



Vlaanderen
is wetenschap



17_041_1
WL rapporten

Haven van Antwerpen – Royerssluis

Aanvullende simulaties nivelleersysteem
met omloopriolen in sluishoofden

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Haven van Antwerpen - Royerssluis

Aanvullende simulaties nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden

Vercruyse, J.; Verelst, K.; 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/2017/3241/250

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017). Haven van Antwerpen - Royerssluis: Aanvullende simulaties nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_041_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie



Opdrachtgever:	afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2017R17_041_1
Keywords (3-5):	lock, filling emptying system, design, short culverts		
Tekst (p.):	25	Bijlagen (p.):	31
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vercruysse, J.
------------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	
Projectleider:	Vercruysse, J.	

Goedkeuring

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

Abstract

De Royerssluis is een van de 6 sluisen die de Schelde verbindt met het havengebied op de rechteroever. Een grondige aanpassing van de bestaande Royerssluis wordt vooropgesteld. De vernieuwde sluis is zowel aan Scheldezijde als aan dokzijde voorzien van twee roldeuren. De breedte van de vernieuwde sluis zal 36 m bedragen en de lengte tussen de buitenste roldeuren zal 250 m bedragen. Het bodempeil van de kolk wordt behouden op -6.41 m TAW.

Door het Waterbouwkundig Laboratorium werd in 2014 en 2015 een hydraulische ontwerpstudie uitgevoerd voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen. In deze studie werden onder andere simulaties uitgevoerd met een hydraulisch netwerkmodel voor het bepalen van de nivelleerkromme, de debietskromme en het verloop van de langskrachten op het ontwerpschip in de kolk. Na afloop van dit project werden door afdeling Maritieme Toegang (aMT) en het Havenbedrijf Antwerpen (HA) bijkomende simulaties gevraagd. Deze bijkomende simulaties worden gerapporteerd in dit advies.

Een eerste vraag voor bijkomende simulaties werd gesteld door aMT. Uit de hydraulische ontwerpstudie volgden drie openingswetten: een verval onafhankelijke openingswet voor het benedenhoofd en voor het bovenhoofd een openingswet voor Scheldepeilen lager dan 0.0 m TAW en een openingswet voor Scheldepeilen gelijk aan en hoger dan 0.0 m TAW. Op vraag van aMT werden simulaties uitgevoerd met één enkele openingswet voor de volledige sluis. Uit de simulaties volgde dat dit voor vullen via het bovenhoofd met een Scheldepeil 0.0 m TAW en hoger resulteert in een toename van de nivelleertijd met 1.0 min en bij ledigen via het benedenhoofd resulteert in een toename van de nivelleertijd met 1.9 min (onafhankelijk van het Scheldepeil). Om de sluis na ingebruikname te kunnen optimaliseren zal door HA in het bestek een marge op de hefsnelheid gevraagd worden. Om inzicht te geven in de benodigde marge zijn simulaties uitgevoerd met een vertraging respectievelijk versnelling van de hefsnelheid met een waarde 10 %, 20 % en 30 %.

De door WL voorgestelde openingswetten werden door HA geoptimaliseerd voor het elektromechanisch ontwerp. Hierbij werd een afzonderlijke (vervalonafhankelijke) openingswet voor het boven- en het benedenhoofd beschouwd. Uit de simulaties volgde dat de door HA voorgestelde geoptimaliseerde openingswetten voldoen aan het criterium voor de langskracht en de nivelleertijd. Ook werden een snellere en een tragere openingswet voorgesteld door HA. Voor het bovenhoofd betreft dit een toename respectievelijk afname van de hefsnelheid tijdens de tweede fase van de openingswet met 30 %. Doordat het positieve maximum van de langskracht zich voordoet tijdens de eerste fase is het met de door HA voorgestelde openingswetten niet mogelijk om bij het maatgevend Scheldepeil het positieve extremum van de langskracht te reduceren. Voor het benedenhoofd wordt bij de snellere openingswet de snelheid van de tweede fase met 30 % verhoogd en voor de tragere openingswet werd de snelheid van de eerste en tweede fase met 30 % verlaagd. De invloed van het 30 % versnellen van de tweede fase van het openingswet heeft slechts een minimale invloed op de langskracht en de nivelleertijd. Het 30 % vertragen van de eerste en tweede fase van de openingswet zorgt bij het maatgevend Scheldepeil voor een afname van het extremum van de langskracht met 24 % en een toename van de nivelleertijd met 0.3 min.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	3
2.1 Sluiskolk	3
2.2 Nivelleersysteem	5
2.3 Hydraulisch netwerkmodel	7
2.4 Maatgevende waterstanden	8
2.5 Maatgevende scheepscombinatie.....	9
3 Criteria	10
3.1 Nivelleertijd	10
3.2 Stijgsnelheid waterpeil	10
3.3 Kracht op verschutte schepen	10
4 Aanvullende simulaties aMT	12
4.1 Toegepaste openingswetten	12
4.2 Invloed toepassen van één vervalonafhankelijke openingswet.....	14
4.3 Invloed versnellen of vertragen van openingssnelheid op nivelleertijd	15
5 Aanvullende simulaties HA.....	17
5.1 Openingswetten	17
5.2 Resultaat simulaties.....	19
6 Besluit	23
7 Referenties	25
Bijlage A: Resultaat simulaties.....	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht afmetingen voorontwerp sluiskolk (Vlaamse Overheid - MOW, 2012)	3
Tabel 2 – In deze studie beschouwde extra te nivelleren oppervlakte van deurkamers en binnenoppervlakte roldeur in bovenhoofd (BOHO) en benedenhoofd (BEHO)	4
Tabel 3 – In deze studie gehanteerde combinaties van Scheldepeilen en dokpeilen.....	8
Tabel 4 – Peilen simulaties openingswetten HA	8
Tabel 5 – Karakteristieken van de maatgevende scheepscombinatie (combinatie CEMT klasse Vb en een CEMT klasse VIb)	9
Tabel 6 – Voorgestelde openingswetten Royerssluis.....	13
Tabel 7 – Nivelleertijd vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd bij gebruik van één vervalonafhankelijk openingswet (O8) voor boven- en benedenhoofd en een geoptimaliseerde openingswet voor bovenhoofd (O9) en benedenhoofd (O10)	14
Tabel 8 – Openingswet O8 met 10 %, 20 % en 30 % vertraagde en versnelde hefsnelheden.....	15
Tabel 9 – Invloed van het met 10 %, 20 % en 30 % vertragen of versnellen van de openingswet op de nivelleertijd en het extremum van de langse waterspiegeling over het maatgevend schip.	16
Tabel 10 – Openingswetten bovenhoofd HA	17
Tabel 11 – Openingswetten benedenhoofd HA	18
Tabel 12 – Nivelleren bovenhoofd – simulaties openingswetten HA	20
Tabel 13 – Nivelleren benedenhoofd – simulaties openingswetten HA	20

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Locatie Royerssluis in het Antwerps havengebied	1
Figuur 2 – Principeschets nivelleersysteem Antwerpse Zeesluizen omlloopriolen (blauw), hefschuiven (rood), roldeuren (grijs)	2
Figuur 3 – Afmetingen sluiscolk.....	3
Figuur 4 – Bovenaanzicht korte en lange omlloopriool bovenhoofd.....	5
Figuur 5 – Doorsnede omlloopriolen bovenhoofd	6
Figuur 6 – Doorstroomsectie	7
Figuur 7 – Lokale verdieping kolkbodem ter hoogte van de uitstroomopeningen.....	7
Figuur 8 – Hydraulisch netwerkmodel voor nivelleren via bovenhoofd	7
Figuur 9 – Voorgestelde openingswetten Royerssluis variatie van de hefhoogte (boven) en hefsnelheid (onder) in functie van de tijd.....	13
Figuur 10 – Variatie van de langskrachten in functie van de tijd bij toepassen van openingswet O8 bij de maatgevende schutting.....	14
Figuur 11 – Openingswetten HA.....	18
Figuur 12 – Nivelleertijd in functie van Scheldepeil - simulaties openingswetten HA.....	21
Figuur 13 – Positief en negatief extremum langskracht in functie van Scheldepeil - simulaties openingswetten HA.....	22

1 Inleiding

De Royerssluis is een van de 8⁽¹⁾ sluisen die de Schelde verbindt met het havengebied van de haven van Antwerpen, zie Figuur 1. De Royerssluis is gelegen op de rechteroever van de Schelde. De bestaande Royerssluis heeft een breedte van 22 m en een lengte van 180 m. Een grondige aanpassing van de bestaande Royerssluis met een (symmetrische) verbreding en verlenging (naar Schelde toe) wordt vooropgesteld. De vernieuwde sluis is zowel aan Scheldezijde als aan dokzijde voorzien van twee roldeuren. De breedte van de vernieuwde sluis zal 36 m bedragen en de lengte tussen de buitenste roldeuren bedraagt 250 m.

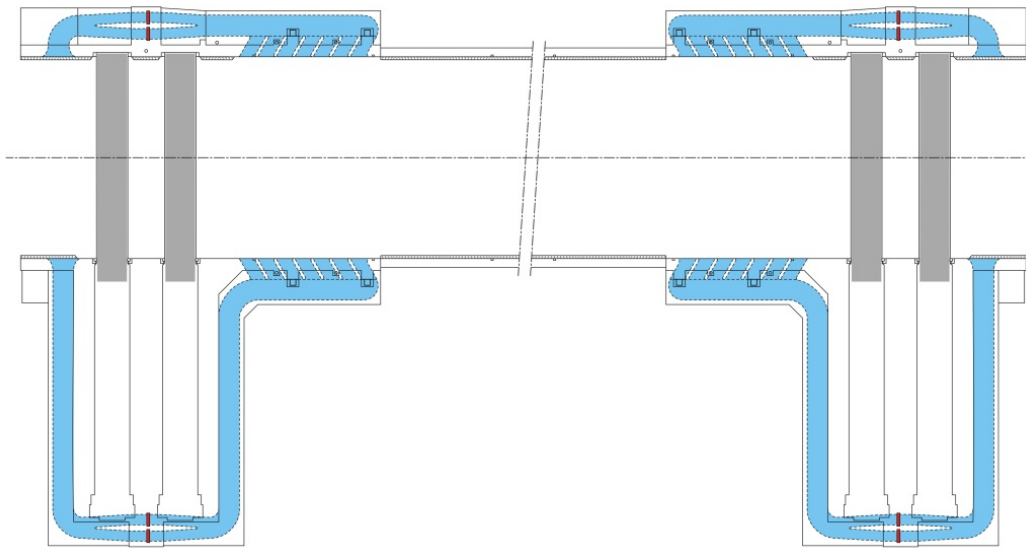
Figuur 1 – Locatie Royerssluis in het Antwerps havengebied



De afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersoon: ir. W. De Cock) heeft eind 2013 aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) gevraagd om het hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem uit te voeren voor de vernieuwde Royerssluis. Een illustratie van een dergelijk nivelleersysteem wordt gegeven in Figuur 2. Dit type nivelleersysteem werd voor het eerste toegepast voor de Boudewijnsluis (1955). Vervolgens zijn ook de recentere zeevaartsluizen van de haven van Antwerpen (Zandvlietsluis (1967), Berendrechtsluis (1989), Kallosluis (1979) en Kieldrechtsluis (2016)) met een dergelijk type nivelleersysteem uitgerust.

¹ De 8 sluisen in volgorde van constructie zijn de Kattendijksluis, de Royerssluis, de Van Cauwelaertsluis, de Boudewijnsluis, de Zandvlietsluis, de Kallosluis, de Berendrechtsluis en de Kieldrechtsluis.

Figuur 2 – Principeschets nivelleersysteem Antwerpse Zeesluizen omloopriolen (blauw), hefschuiven (rood), roldeuren (grijs)



De studie voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen werd uitgevoerd in 2014 en 2015. Deze studie is gerapporteerd in (Vercruysse *et al.*, 2016). In deze studie werd de benodigde doorstroomsectie van de omloopriolen bepaald doormiddel van literatuurformules en meetgegevens van de Berendrechtssluis. Na het bepalen van de benodigde doorstroomsectie werd een hydraulisch netwerkmodel opgesteld. Met dit hydraulisch netwerkmodel werden simulaties uitgevoerd waarbij de nivelleerkromme, de debieten doorheen de omloopriolen en de langse waterspiegelhellingen in de kolk gesimuleerd werden. Omwille van de complexiteit van de uitstroomconstructie werd besloten de stroming door deze component te bestuderen met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) in een uitbestede studie. Op basis van de resultaten van de CFD-simulaties werd het hydraulisch netwerkmodel aangepast en werden de uiteindelijke simulaties uitgevoerd.

Na afwerking van het rapport kwam de vraag van afdeling Maritieme Toegang (aMT) om de openingswetten te verduidelijken, om simulaties uit te voeren met één openingswet onafhankelijk van het hoofd of het verval en om de invloed van versnellen of vertragen van de openingswet op de nivelleertijd en de langskrachten te bepalen. De bijkomende simulaties werden gerapporteerd in een memo (J. Vercruysse & Verelst, 2015), dewelke niet is geïntegreerd in het finale rapport.

In maart 2017 stelde het Havenbedrijf Antwerpen (HA) de vraag om nieuwe simulaties met voor het elektromechanisch ontwerp geoptimaliseerde openingswetten uit te voeren.

De bijkomende simulaties gevraagd door aMT en Havenbedrijf Antwerpen (HA) worden in dit rapport gerapporteerd. Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 beschrijft de afmetingen van de sluis, de maatgevende waterstanden en het maatgevend schip. De criteria voor de nivelleertijd, stijgsnelheid en langskracht worden gegeven in hoofdstuk 3. De in 2015 opgestelde memo is overgenomen in hoofdstuk 4. De door HA gevraagde additionele simulaties worden gerapporteerd in hoofdstuk 5. Een besluit wordt geformuleerd in hoofdstuk 6.

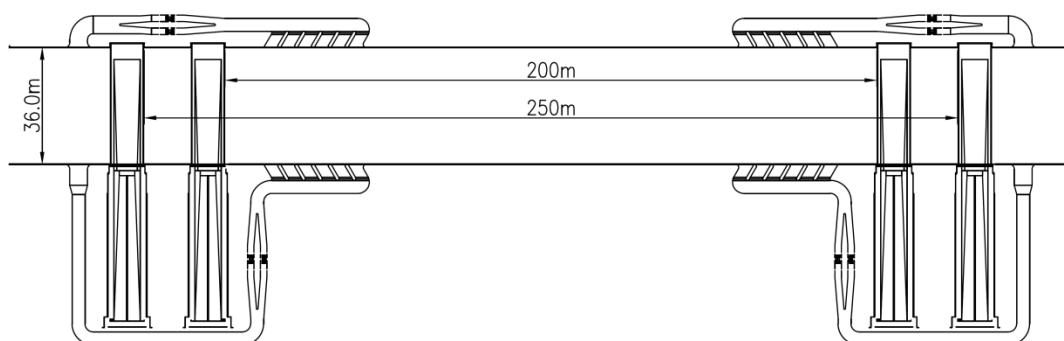
2 Gegevens

Dit hoofdstuk geeft achtereenvolgens een korte beschrijving van de geometrie van de kolk, de geometrie van het nivelleersysteem, het hydraulisch netwerkmodel, de maatgevende waterstanden en het maatgevend schip. De inhoud van dit hoofdstuk is overgenomen uit Vercruysse *et al.* (2016). Bemerkt dat in dit hoofdstuk slechts een samenvatting gegeven wordt zodat dit rapport op zichzelf gelezen kan worden. Voor meer informatie wordt verwezen naar het hoofd rapport.

2.1 Sluiskolk

Een bovenaanzicht van de vernieuwde Royerssluis wordt gegeven in Figuur 3. De afmetingen van de sluiskolk worden gegeven in Tabel 1.

Figuur 3 – Afmetingen sluiskolk



Tabel 1 – Overzicht afmetingen voorontwerp sluiskolk (Vlaamse Overheid - MOW, 2012)

lengte sluiskolk tussen de buitenste roldeuren	250 m
lengte sluiskolk tussen de binnenste roldeuren	200 m ⁽²⁾
breedte sluiskolk	36.0 m
bodempeil sluiskolk	TAW - 6.41 m

Merk in Figuur 3 op dat naast het te nivelleren volume van de kolk ook het volume van de deurkamers en één roldeur genivelleerd moet worden. Een overzicht van de totaal te nivelleren oppervlak per type nivellering wordt gegeven in Tabel 2.

² Deze afmeting kan in het definitief ontwerp nog gewijzigd worden, afhankelijk van de definitieve breedte van de roldeuren en deurkamers.

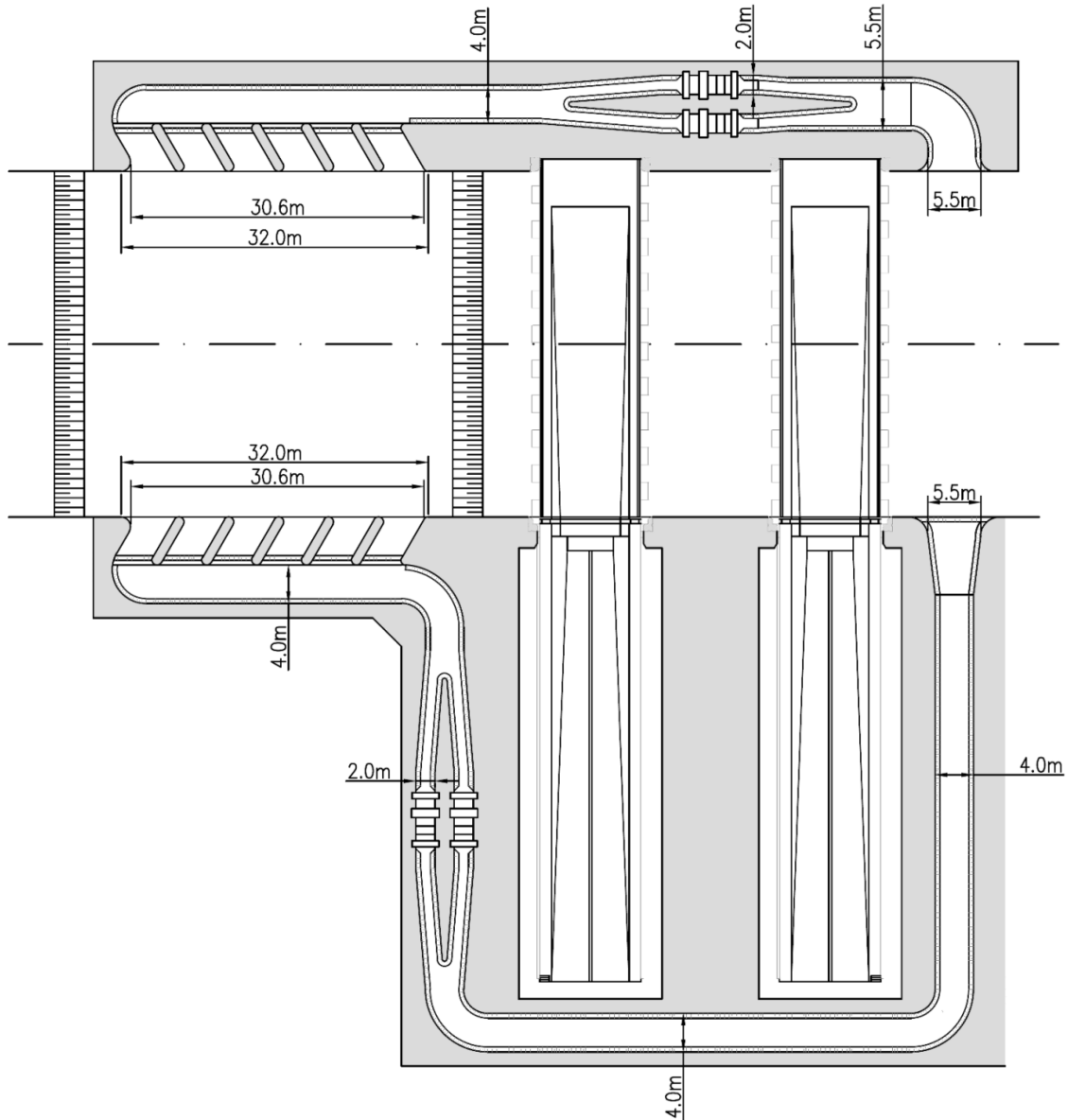
Tabel 2 – In deze studie beschouwde extra te nivelleren oppervlakte van deurkamers en binnenoppervlakte roldeur in bovenhoofd (BOHO) en benedenhoofd (BEHO)

		buitenste roldeuren gesloten		binnenste roldeuren gesloten	
		Scheldezijde	dokzijde	Scheldezijde	dokzijde
vullen BOHO / ledigen BEHO (Schelde < dok)	extra te nivelleren opp.	2123.2 m ²	890.6 m ²	1232.6 m ²	0 m ²
	kolk opp.	9000 m ²		7200 m ²	
	totaal te nivelleren opp.	12014 m ²		8432 m ²	
ledigen BOHO / vullen BEHO (Schelde > dok)	extra te nivelleren opp.	890.6 m ²	2123.2 m ²	0 m ²	1232.6 m ²
	kolk opp.	9000 m ²		7200 m ²	
	totaal te nivelleren opp.	12014 m ²		8432 m ²	

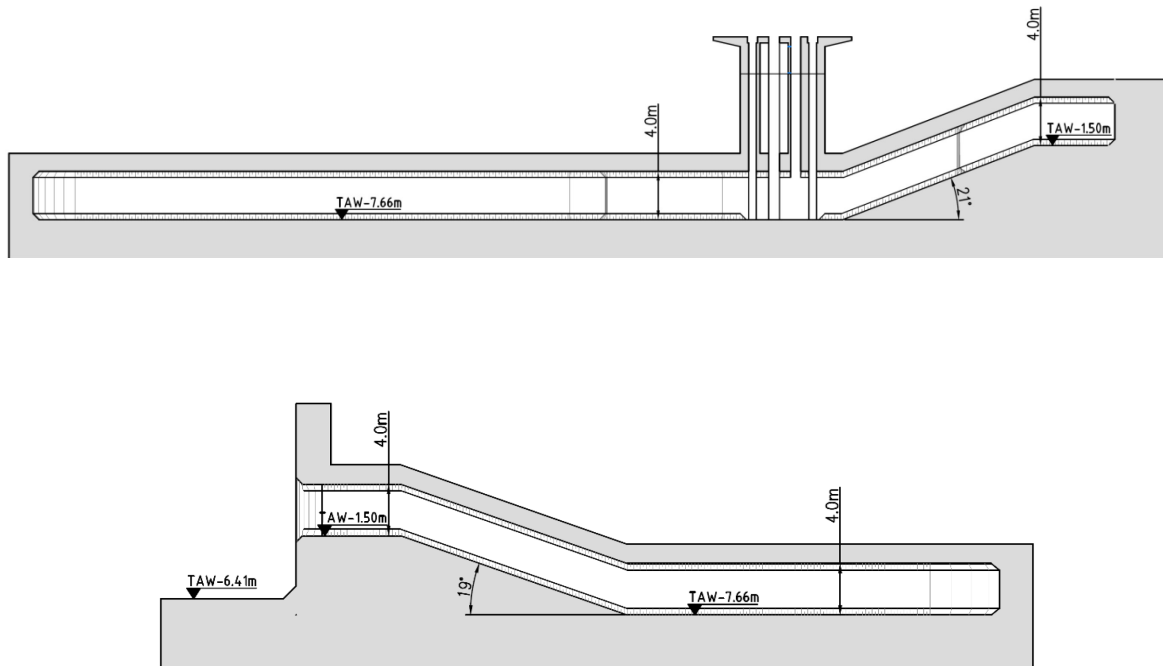
2.2 Nivelleersysteem

Een bovenaanzicht respectievelijk doorsnede van het nivelleersysteem wordt gegeven in Figuur 4 respectievelijk Figuur 5.

Figuur 4 – Boven-aanzicht korte en lange omloopriool bovenhoofd



Figuur 5 – Doorsnede omloopriolen bovenhoofd

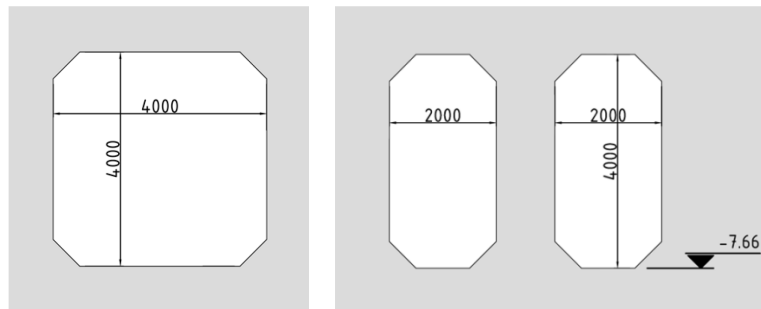


boven: kort omloopriool / onder: lange omloopriool

Bemerk hierin:

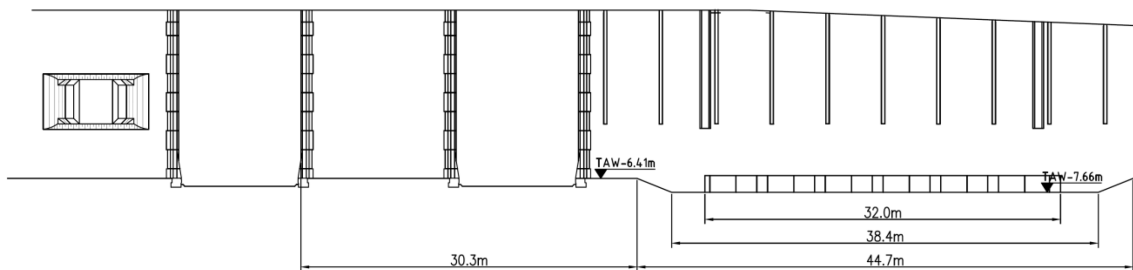
- De omloopriolen hebben een breedte 4.0 m en een hoogte 4.0 m. Omwille van constructieve redenen worden de 4 hoeken afgeschuind over 0.25 m. Ter hoogte van de hefschuiven wordt de omloopriool gesplitst. De beschikbare doorstroomsectie blijft behouden en de deelriolen hebben een breedte 2.0 m en een hoogte 4.0 m.
- De lange omloopriool wordt rondom de deurkamers geleid en heeft hierdoor twee extra 90° bochten in vergelijking met de korte omloopriool. De lengte van de lange omloopriool is hierdoor ook groter dan deze van de korte omloopriool: 168 m ten opzichte van 78 m.
- Om de bouwkuip te beperken in breedte worden de hefschuiven van de lange omloopriool naast de deurkamers geplaatst. Dit in tegenstelling tot de reeds bestaande zeesluizen waar de hefschuiven halfweg de omloopriool geplaatst zijn (zie Figuur 4).
- Het bodempeil van de kolk ligt op TAW – 6.41 m. Bij een maatgevend Scheldepeil TAW – 1.00 m bedraagt de waterhoogte in de kolk 5.41 m, wat maakt dat de kielspeling voor de ontwerpschepen met diepgang 4.50 m bij deze peilen 0.91 m bedraagt.
- Ter hoogte van de uitstroomconstructie wordt een lokale verdieping van de kolkbodem met 1.25 m voorzien tot een bodempeil TAW – 7.66 m, zie Figuur 7. Het bodempeil van de omloopriolen bevindt zich ook op TAW – 7.66 m omwille van het risico op luchtaanzuiging ter hoogte van de hefschuiven.

Figuur 6 – Doorstroomsectie



links: omloopriool / rechts: t.h.v. hefschuif

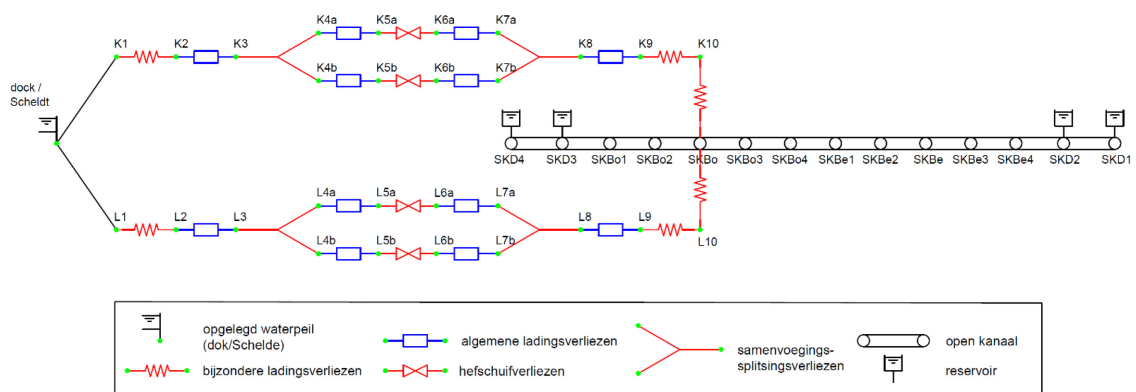
Figuur 7 – Lokale verdieping kolkbodem ter hoogte van de uitstroomopeningen



2.3 Hydraulisch netwerkmodel

Een illustratie van het hydraulisch netwerkmodel wordt gegeven in Figuur 8. Een dergelijk netwerkmodel betreft een netwerkschema van gesloten en open leidingen, lokale (tijdsafhankelijke) verliezen en splitsingen en samenvoegingen. Merk op dat de omloopriolen van het beneden- en bovenhoofd (op het drempelpeil van de inlaat na) identiek zijn waardoor voor beide omloopriolen dezelfde schematisatie gebruikt zal worden.

Figuur 8 – Hydraulisch netwerkmodel voor nivelleren via bovenhoofd



De schematisatie van de korte en lange omloopriool is identiek. De bijzondere ladingsverliezen en de algemene ladingsverliezen (i.e. de rioollengtes) zijn evenwel verschillend. Voor meer details inzake de componenten wordt verwezen naar Vercruyse *et al.* (2016).

2.4 Maatgevende waterstanden

De in Vercruysse *et al.* (2016). gehanteerde peilen worden gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 – In deze studie gehanteerde combinaties van Scheldepeilen en dokpeilen

waterstand Schelde [m TAW]	waterstand dokken [m TAW]	verval [m]
- 1.00	+ 4.40	5.40
+ 0.00	+ 4.40	4.40
+ 1.00	+ 4.40	3.40
+ 2.00	+ 4.40	2.40
- 1.00	+ 3.82	4.82

Bij Tabel 3 wordt het volgende opgemerkt:

- Aangezien het in deze studie beschouwde maatgevend laagwater op de Schelde slechts uitzonderlijk voorkomt, worden ook simulaties uitgevoerd met hogere Scheldepeilen. Als conservatieve aanname wordt hierbij voor het dokpeil de bovengrens van TAW + 4.40 m gebruikt.
- In Vercruysse *et al.* (2016) zijn enkel simulaties uitgevoerd met een Scheldepeil lager dan het dokpeil. Enerzijds is het maximale verval hoger voor de situatie met een Scheldepeil lager dan het dokpeil. Anderzijds is de waterdiepte in de kolk kleiner voor de situatie met een Scheldepeil lager dan het dokpeil. Dit maakt dat deze situatie maatgevend is voor de optredende langskrachten in de kolk en de nivelleertijd.

Op vraag van HA worden de bijkomende simulaties uitgevoerd met de peilen gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Peilen simulaties openingswetten HA

Dokpeil [m TAW]	Saspeil [m TAW]	Verval [m]
4.17	-1.00	5.17
4.17	0.00	4.17
4.17	1.00	3.17
4.17	2.00	2.17
4.17	3.00	1.17
4.17	4.00	0.17
4.17	5.00	0.83
4.17	6.00	1.83
4.17	7.00	2.83
4.17	8.00	3.83

2.5 Maatgevende scheepscombinatie

De vernieuwde Royerssluis zal uitsluitend gebruikt worden voor binnenvaartschepen. De maatgevende scheepscombinatie bestaat uit een CEMT klasse Vb duwkonvooi en een CEMT klasse VIb duwkonvooi naast elkaar afgemeerd. Tabel 5 geeft een overzicht van de in deze studie toegepaste afmetingen van deze maatgevende combinatie.

Tabel 5 – Karakteristieken van de maatgevende scheepscombinatie (combinatie CEMT klasse Vb en een CEMT klasse VIb)

	CEMT klasse Vb	CEMT klasse VIb
Lengte	195.0 m	195.0 m
Breedte	11.4 m	22.8 m
Diepgang	4.5 m	4.5 m
totale massa (schip+lading)	8271 ton	16095 ton
hoek boeg in verticale vlak	21.2°	21.2°
hoek boeg in horizontale vlak	90°	90°

Bij deze tabel moet het volgende opgemerkt worden:

- Merk op dat volgens de CEMT-classificering (CEMT, 1992) een duwkonvooi CEMT klasse Vb een lengte heeft tussen 172 m en 185 m en een duwkonvooi CEMT klasse VIb een lengte heeft tussen 185 m en 195 m. In de in deze studie beschouwde software wordt omwille van de ééndimensionale benadering, ter vereenvoudiging, de combinatie van duwkonvooi CEMT klasse Vb en duwkonvooi CEMT klasse VIb gesimuleerd als één schip. Om die reden wordt in deze studie voor het duwkonvooi CEMT klasse Vb ook een lengte 195 m toegepast.
- In het kader van sleeptankonderzoek uitgevoerd met een schaalmodel (op schaal 1/25) van het duwkonvooi CEMT klasse Vb en een schaalmodel van het duwkonvooi CEMT klasse VIb (op schaal 1/40) is de totale massa van de beide duwkonvoeien bepaald bij een diepgang van 4.0 m. De prototype-lengte van deze duwkonvoeien bedroeg 185.0 m (2 duwbakken met een lengte van 76.5 m en een duwboot met een lengte van 32.0 m). Op basis van de opgemeten massa van de duwkonvoeien (omgerekend naar prototypedimensies) en rekening houdend met het feit dat de duwboot een lengte heeft van 32.0 m, een diepgang van 1.75 m en een blokcoëfficiënt van 0.71, wordt voor de duwbak een blokcoëfficiënt van 0.93 berekend. Met behulp van de blokcoëfficiënt van de duwbak en de grotere lengte van het duwkonvooi in rekening brengend (door een duwbak van 82.0 m^[3] te beschouwen) is voor het CEMT klasse VIb duwkonvooi de totale massa bij een diepgang van 4.5 m uit Tabel 5 bepaald.
- De waarden voor de hoek van de boeg van de duwbak in het horizontaal en verticaal vlak zijn bepaald op basis van het op het WL aanwezig zijnde schaalmodel van deze duwbakken.

³ De website www.debinnenvaart.nl vermeldt een beperkt aantal duwbakken met lengtes groter dan 76.5 m. Op deze site wordt een duwbak van een Belgische schipper vermeld met een lengte van 82.0 m. Deze lengte is beschouwd voor deze studie.

3 Criteria

De nivellering dient te voldoen aan een aantal hydraulische criteria. De gebruikte criteria betreffen: de nivelleertijd (paragraaf 3.1), de stijgsnelheid (paragraaf 3.2) en de kracht op de verschutte schepen (paragraaf 3.3).

Dit hoofdstuk is overgenomen uit het ontwerprapport (Vercruyse *et al.*, 2016).

3.1 Nivelleertijd

Door de opdrachtgever wordt bij een maximaal verval van 5.40 m een nivelleertijd van 12.0 min vooropgesteld. Dit maximaal verval komt overeen met een Scheldepeil-1.00 m TAW en een dokpeil +4.40 m TAW. Later werd in overleg met de opdrachtgever de vooropgestelde nivelleertijd gewijzigd naar 15.0 min. De nivelleertijd wordt hierbij berekend als de tijd tussen de start van de nivellering en het tijdstip dat het waterpeil in de sluiskolk gelijk is aan het waterpeil van het pand waarnaar genivelleerd wordt.

In sommige gevallen (vooral van toepassing op puntdeuren) worden de sluisdeuren reeds geopend indien er nog een restverval over de deuren aanwezig is. Bij roldeuren echter is het niet gebruikelijk om de deuren te openen onder een restverval. Tijdens de door WL uitgevoerde terreinmeting in de Vandammesluis echter is vastgesteld dat bij deze sluis de roldeuren regelmatig geopend worden onder een restverval. In deze studie wordt voor de bepaling van de nivelleertijd echter geen restverval beschouwd.

3.2 Stijgsnelheid waterpeil

Voor de stijgsnelheid van het waterpeil in de sluiskolk vermeldt Ontwerp van schutsluizen (Beem *et al.*, 2000) voor binnenvaart met vaste haalkommen een maximale stijgsnelheid van het kolkpeil van 1 m/min (~0.017 m/s).

3.3 Kracht op verschutte schepen

De maatgevende scheepscombinatie is een duwkonvooi CEMT klasse Vb in combinatie met een duwkonvooi CEMT klasse VIb. In de literatuur worden voor deze sloopstypes volgende waarden voor de maximaal toegelaten langskracht (uitgedrukt als een fractie in promille van het gewicht van het schip) vermeld:

- Voor een duwkonvooi CEMT klasse Vb wordt een maximaal toelaatbare langskracht op het schip van 0.75 ‰ bij vullen en 1.00 ‰ bij ledigen toegepast (Meersschaut, 1999).
- In de cursus “Ontwerpen en beoordelen van waterbouwkundige constructies” (Anon, 2006) wordt voor het duwkonvooi CEMT klasse Vb een maximaal toegelaten langskracht op het schip van 0.75 ‰ bij vullen en bij ledigen van de sluiskolk vermeld.
- Meersschaut (1999) vermeldt dat telefonisch onderhoud met de Bouwdienst van Rijkswaterstaat heeft geleerd dat voor vierbaksduwvaart (CEMT klasse VIb) een maximaal toelaatbare langskracht van 0.60 ‰ bij vullen en 0.80 ‰ bij ledigen toegepast wordt.

Voor vullen van de sluiskolk volgt hieruit voor het duwkonvooi CEMT klasse Vb een maximaal toelaatbare langskracht van 0.75 ‰ en voor het duwkonvooi CEMT klasse VIb een maximale toegelaten waarde voor de langskracht op het schip van 0.60 ‰.

De bovenstaande waarden gelden voor het schip zelf. Bij combinatie van deze beide scheeptypes tot één schip kunnen deze maximaal toelaatbare waarden niet toegepast worden.

In het programma LOCKSIM wordt de combinatie van beide schepen ingegeven als één schip met een lengte van 195.0 m een breedte van 34.2 m en een diepgang van 4.5 m. Deze schepen zijn in praktijk niet met elkaar verbonden. Om die reden wordt voor de combinatie van beide schepen de minimale waarde van de maximaal toelaatbare langskracht op beide schepen (i.e. 0.60 %) beschouwt.

Hierbij wordt het volgende opgemerkt:

- De combinatie van een duwkonvooi CEMT klasse Vb en een duwkonvooi CEMT klasse VIb zou kunnen gezien worden als een duwkonvooi CEMT klasse VIc (1 duwboot met 3 duwbakken naast elkaar en 2 duwbakken achter elkaar), maar dan met 2 duwbotten in plaats van 1 duwboot. De in deze paragraaf afgeleide waarden voor de maximaal toelaatbare langskracht op het schip mogen echter niet beschouwd worden als de maximaal toelaatbare waarden voor de langskracht op een duwkonvooi CEMT klasse VIc. Logischerwijs zouden voor een duwkonvooi CEMT klasse VIc lagere maximale toegelaten waarden voor de langskracht moeten toegepast worden dan voor het duwkonvooi CEMT klasse VIb. Voor grotere schepen (i.e. een groter gewicht van het geladen schip) worden algemeen lagere maximaal toegelaten waarden voor de langskracht (uitgedrukt in %, relatief ten opzichte van het gewicht van het schip) toegepast.
- In deze studie zijn voor de maximaal toegelaten waarde van de langskracht op het ontwerpschip waarden uit de literatuur toegepast. In het verleden zijn door WL metingen uitgevoerd van de langse waterspiegelhelling in bestaande sluisen (o.a. de Zandvlietsluis, de Berendrechtsluis, de Vandammesluis en de sluis van Zemst). Deze langse waterspiegelhelling is een maat voor de hydrostatische kracht welke, volgens de literatuur, vaak de belangrijkste component is van de totale hydrodynamische kracht die schepen ondervinden tijdens nivelleren. Op basis van deze metingen werd besloten dat de troskrachtcriteria uit de literatuur redelijk conservatief zijn. Om die reden werd het ontwerp van het nivelleersysteem voor onder andere de Kieldrechtsluis en voor de nieuwe sluis in Zeebrugge in het kader van SHIP getoetst aan berekende langskrachten op het ontwerpschip in een bestaande sluis (als referentiesluis). Voor de studie van de vernieuwde Royerssluis kon geen referentiesluis (i.e. een sluis met een gelijkaardig nivelleersysteem en ontwerpschip) gedefinieerd worden, waardoor de (eerder conservatieve) criteria voor de maximaal toegelaten langskracht op het schip uit de literatuur toegepast dienden te worden.

4 Aanvullende simulaties aMT

Op vraag van aMT werden bijkomende simulaties uitgevoerd. De simulaties werden gerapporteerd door middel van een memo (J. Vercruysse & Verelst, 2015). Deze memo is overgenomen in dit hoofdstuk. Merk op dat ook HA bijkomende simulaties heeft gevraagd. Deze worden gerapporteerd in hoofdstuk 5.

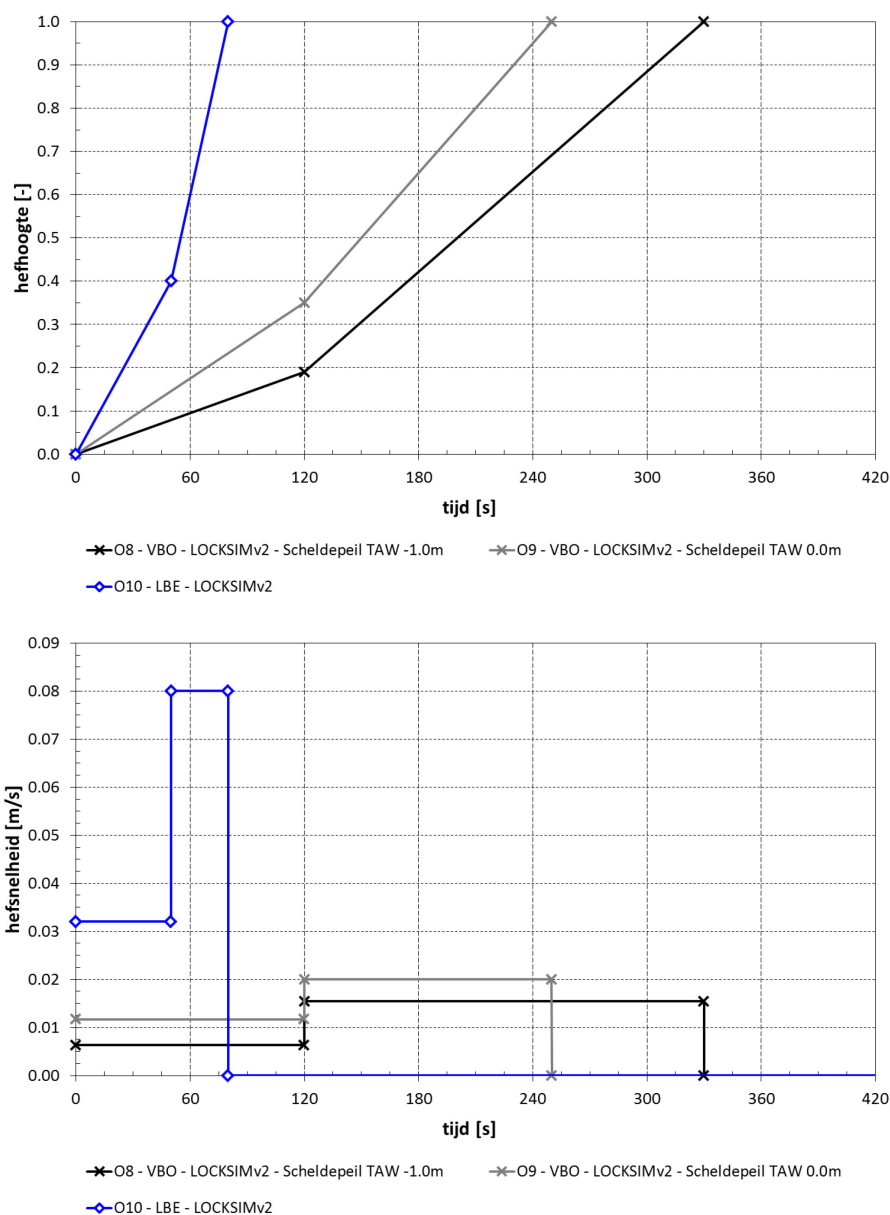
De voorgestelde openingswetten uit het conceptrapport worden getabelleerd in paragraaf 4.1. De winst op de nivelleertijd bij toepassen van twee verschillende openingswetten voor het bovenhoofd en een afzonderlijke openingswet voor het benedenhoofd wordt begroot in paragraaf 4.2. Om rekening te houden met een mogelijke optimalisatie van de openingswet in situ zal in het bestek voor de hefsnelheden een range opgegeven worden waarbinnen de openingsnelheid van de hefschuiven aanpasbaar moet zijn. De invloed van een 10 %, 20 % en 30 % versnelde of vertraagde openingswet op de nivelleertijd en op de extrema van de langskracht op het schip wordt beschreven in paragraaf 4.3.

4.1 Toegepaste openingswetten

In het ontwerprapport worden volgende drie openingswetten voorgesteld:

- Openingswet O8. Deze openingswet is van toepassing op het bovenhoofd bij een Scheldepeil tussen -1.00 m TAW en $+ 0.00$ m TAW.
- Openingswet O9. Deze openingswet is van toepassing op het bovenhoofd bij een Scheldepeil hoger dan $+ 0.00$ m TAW.
- Openingswet O10. Deze openingswet is van toepassing op het benedenhoofd en is onafhankelijk van het verval.

De naamgeving van de openingswetten is overgenomen uit het ontwerprapport. In Figuur 9 wordt voor deze openingswetten de variatie van de hefhoogte en de hefsnelheid van de hefschuif in functie van de tijd grafisch weergegeven. De getalwaarden van de openingswetten worden gegeven in Tabel 6.

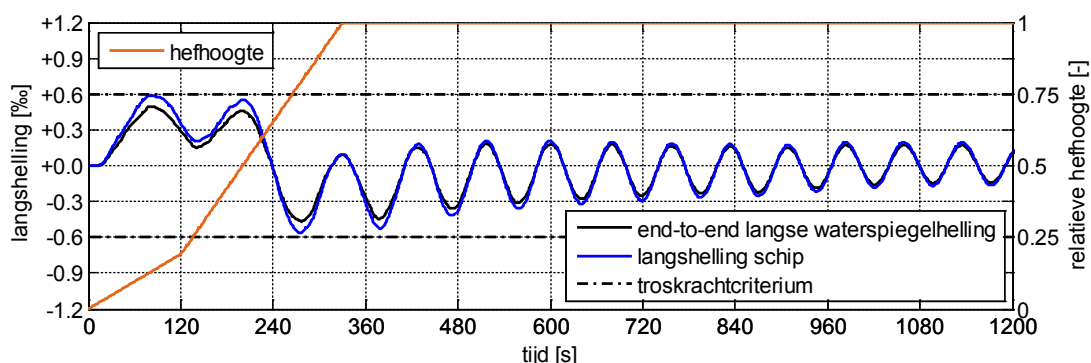
Figuur 9 – Voorgestelde openingswetten Royerssluis
 variatie van de hefhoogte (boven) en hefsnelheid (onder) in functie van de tijd


Tabel 6 – Voorgestelde openingswetten Royerssluis

Bovenhoofd Scheldepeil – 1.00 m TAW tot + 0.00 m TAW			Bovenhoofd Scheldepeil boven + 0.00 m TAW			Benedenhoofd		
openingswet O8			openingswet O9			openingswet O10		
tijd	hefhoogte	hefsnelheid	tijd	hefhoogte	hefsnelheid	tijd	hefhoogte	hefsnelheid
[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]
0 - 120	0.00	0.0063	0 - 120	0.00	0.0117	0 - 50	0.00	0.0320
120 - 330	0.76	0.0154	120 - 250	1.40	0.0200	50 - 80	1.60	0.0800
330 - ...	4.00	0.0000	250 - ...	4.00	0.0000	80 - ...	4.00	0.0000

De openingswet bestaat uit een initieel tragere opening, gevolgd door een snellere opening van de hefschuiven. De hefsnelheid en tijdsduur van de eerste tragere openingsfase werd zo gekozen dat de grootte van de eerste piek van de langse waterspiegelhelling lager blijft dan het beschouwde criterium voor de langskracht, zie Figuur 10. De openingsnelheid van de tweede snellere fase werd zo gekozen dat de hierop volgende pieken van de langse waterspiegelhelling in grootte lager blijven dan het toegepaste criterium. In het geval bij ingebruikname van de sluis gekozen wordt voor een openingswet met één openingsnelheid moet de openingsnelheid van de eerste tragere openingsfase toegepast worden, wat de heftijd van de schuiven aanzienlijk zal doen toenemen en bijgevolg ook de nivelleertijd van de sluiscolk.

Figuur 10 – Variatie van de langskrachten in functie van de tijd bij toepassen van openingswet O8 bij de maatgevende schutting



4.2 Invloed toepassen van één vervalonafhankelijke openingswet

Bij het toepassen van één vervalonafhankelijke openingswet zowel voor het bovenhoofd als voor het benedenhoofd dient de meest conservatieve openingswet toegepast te worden. Dit betreft openingswet O8. Tabel 7 vergelijkt de nivelleertijd bij het toepassen van één vervalonafhankelijke openingswet (O8) zowel voor het bovenhoofd als het benedenhoofd met de nivelleertijd bij toepassen van de geoptimaliseerde openingswetten voor bovenhoofd en benedenhoofd (respectievelijk openingswet O9 en O10).

Tabel 7 – Nivelleertijd vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd bij gebruik van één vervalonafhankelijk openingswet (O8) voor boven- en benedenhoofd en een geoptimaliseerde openingswet voor bovenhoofd (O9) en benedenhoofd (O10)

Scheldepeil	vullen bovenhoofd			ledigen benedenhoofd		
	O9	O8	Δ	O10	O8	Δ
[m TAW]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]
-1	/*	13.5	/	13.5	15.4	+ 1.9
0	11.5	12.3	+ 0.8	12.1	14.0	+ 1.9
1	10.2	11.0	+ 0.8	10.5	12.4	+ 1.9
2	8.8	9.5	+ 0.8	8.8	10.7	+ 1.9

* Openingswet O9 werd in het ontwerprapport toegepast voor een Scheldepeil 0.0 m TAW en hoger.

Merk op dat het toepassen van openingswet O8 bij vullen via het bovenhoofd resulteert in een toename van de nivelleertijd met 0.8 min in vergelijking met het toepassen van openingswet O9. Bij ledigen via het

benedenhoofd neemt de nivelleertijd met 1.9 min toe bij het toepassen van openingswet O8 in plaats van openingswet O10.

4.3 Invloed versnellen of vertragen van openingsnelheid op nivelleertijd

In het bestek voor de bouw van de vernieuwde Royerssluis zal een marge opgegeven worden waarbinnen de snelheid van de hefschuiven aanpasbaar moet zijn. Om na te gaan wat de invloed is van een snellere of tragere openingswet op de optredende langse waterspiegeling en de nivelleertijd worden in deze paragraaf voor vullen via het bovenhoofd simulaties uitgevoerd met openingswet O8 en met een 10 %, 20% en 30 % versnelde of vertraagde openingswet. De in deze paragraaf beschouwde openingswetten worden gegeven in Tabel 8. De nivelleertijd en het positieve en negatieve extremum van de langse waterspiegeling over het maatgevend schip in de sluis kolk wordt gegeven in Tabel 8.

Tabel 8 – Openingswet O8 met 10 %, 20 % en 30 % vertraagde en versnelde hefsnelheden

Openingswet	tijd [s]	hefhoogte [m]	hefsnelheid [m/s]
- 30 %	0	0.00	0.0044
	120	0.53	0.0108
	441	4.00	0.0000
- 20 %	0	0.00	0.0051
	120	0.61	0.0123
	395	4.00	0.0000
- 10 %	0	0.00	0.0057
	120	0.68	0.0139
	359	4.00	0.0000
Openingswet O8	0	0.00	0.0063
	120	0.76	0.0154
	330	4.00	0.0000
+ 10 %	0	0.00	0.0070
	120	0.84	0.0170
	306	4.00	0.0000
+ 20 %	0	0.00	0.0076
	120	0.91	0.0185
	287	4.00	0.0000
+ 30 %	0	0.00	0.0082
	120	0.99	0.0201
	270	4.00	0.0000

Tabel 9 – Invloed van het met 10 %, 20 % en 30 % vertragen of versnellen van de openingswet op de nivelleertijd en het extremum van de langse waterspiegelhelling over het maatgevend schip.

hefsnelheid	nivelleertijd		extremum langse waterspiegelhelling schip			
	tijd	Δ	pos	Δ	neg	Δ
	[min]	[min]	[‰]	[‰]	[‰]	[‰]
- 30 %	14.2	+0.8	0.48	-0.11	-0.40	0.17
- 20 %	13.9	+0.4	0.52	-0.07	-0.46	0.10
- 10 %	13.7	+0.1	0.54	-0.04	-0.51	0.05
Openingswet O8	13.5	- *	0.59	- *	-0.56	-*
+ 10 %	13.3	-0.2	0.63	0.04	-0.64	-0.08
+ 20 %	13.2	-0.3	0.68	0.09	-0.70	-0.14
+ 30 %	13.1	-0.4	0.74	0.16	-0.76	-0.20

* - = referentie

Bemerk dat een vertraging van de hefsnelheid met 30 % zorgt voor een reductie van het positieve extremum van de langskracht met 0.106 ‰ (18 %) en een reductie van het negatieve extremum van de langskracht met 0.167 ‰ (30 %). Het versnellen van de openingswet met 30 % geeft aanleiding tot een stijging van het positieve extremum van de langskracht met 0.156 ‰ (27 %) en een toename van het positieve extremum van de langskracht met 0.200 ‰ (35 %). Het 30 % vertragen van de openingswet zorgt voor een toename van de nivelleertijd met 0.8 min het 30 % versnellen van de openingswet zorgt voor een afname van de nivelleertijd met 0.4 min.

Bij de in deze paragraaf vermelde besluiten moet opgemerkt worden dat de aangepaste openingswetten zijn gedefinieerd door de openingsnelheden van de voorgestelde openingswet O8 te vermenigvuldigen met of te delen door een constante factor. Indien bij ingebruikname van de sluis of uit terreinmetingen blijkt dat de openingswet geoptimaliseerd kan worden zal dit niet noodzakelijk uitgevoerd moeten worden met behoud van de openingsstappen van de originele openingswet O8.

5 Aanvullende simulaties HA

HA heeft aan WL gevraagd om bijkomende simulaties uit te voeren met alternatieve openingswetten. Deze alternatieve openingswetten zijn eenvoudiger te implementeren dan de door WL voorgestelde openingswetten (zie paragraaf 4.1).

De door HA voorgestelde openingswetten worden gegeven in paragraaf 5.1. Het resultaat van de bijkomende simulaties wordt samengevat in paragraaf 5.2. Per simulatie wordt in Bijlage A een figuur gegeven met de nivelleertijd, openingswet, debiet en langskracht.

5.1 Openingswetten

De door HA voorgestelde openingswetten voor het bovenhoofd worden gegeven in Tabel 10. Merk hierin op dat de door HA voorgestelde openingswet O12 quasi gelijk is met de uit het ontwerp volgende openingswet O8. Bij openingswetten O13 en O14 werd de snelheid van de eerste fase gelijk gehouden met openingswet O12. De snelheid van de tweede fase van openingswet O12 wordt met 30 % verlaagd respectievelijk verhoogd in geval van openingswet O13 respectievelijk openingswet O14.

Tabel 10 – Openingswetten bovenhoofd HA

ontwerp WL			optimalisatie HA								
openingswet O8			openingswet O12			openingswet O13			openingswet O14		
tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid
[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]
0 – 120	0.00	0.0063	0 - 119	0.00	0.0064	0 – 119	0.00	0.0064	0 – 119	0.00	0.0064
120 – 330	0.76	0.0154	119 – 321	0.76	0.0160	119 – 275	0.76	0.0208	119 – 408	0.76	0.0112
330 – ...	4.00	0.0000	321 – ...	4.00	0.0000	275 – ...	4.00	0.0000	408 – ...	4.00	0.0000

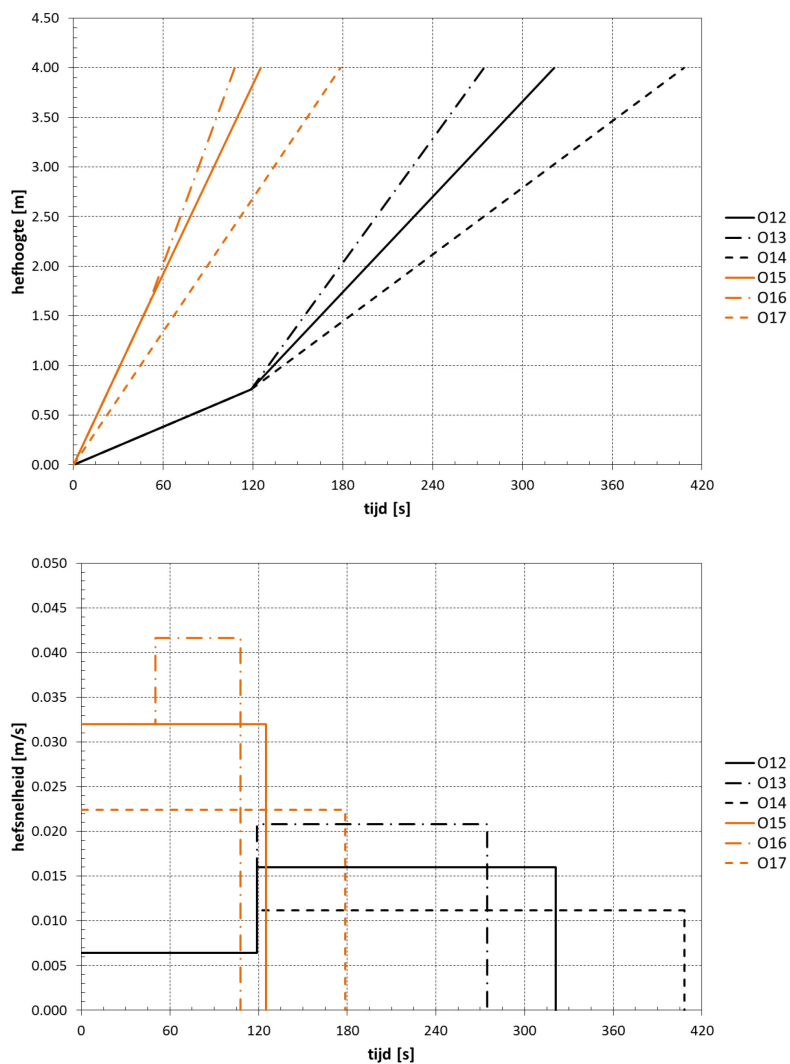
De door HA voorgestelde openingswetten voor het benedenhoofd worden gegeven in Tabel 11. Merk hierin op dat de snelheid van de eerste fase van de door HA voorgestelde openingswet O15 overeenkomt met de uit het ontwerp volgende openingswet O10. Bij openingswet O10 volgt hierop een tweede snellere fase. Bij openingswet O15 wordt de snelheid van de eerste fase behouden in de tweede openingsfase. Bij openingswet O16 wordt de snelheid van de tweede fase van openingswet O15 verhoogd met 30 %. Bij openingswet O17 wordt de snelheid van de eerste en tweede fase van openingswet O15 verlaagd met 30 %.

Tabel 11 – Openingswetten benedenhoofd HA

ontwerp WL			optimalisatie HA								
openingswet O10			openingswet O15			openingswet O16			openingswet O17		
tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid	tijd	hef- hoogte	hef- snel- heid
[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]	[s]	[m]	[m/s]
0 – 50	0.00	0.0320	0 – 50	0.00	0.0320	0 – 50	0.00	0.0320	0 – 71	0.00	0.0224
50 – 80	1.60	0.0800	50 – 125	1.60	0.0320	50 – 108	1.60	0.0416	71 – 179	1.60	0.0224
80 – ...	4.00	0.0000	125 – ...	4.00	0.0000	108 – ...	4.00	0.0000	179 - ...	4.00	0.0000

De hefhoogte en hefsnelheid in functie van de tijd van de door HA voorgestelde openingswetten wordt gevisualiseerd in Figuur 11.

Figuur 11 – Openingswetten HA



variatie van de hefhoogte (boven) en hefsnelheid (onder) in functie van de tijd

5.2 Resultaat simulaties

Met de openingswetten voorgesteld in vorige paragraaf worden simulaties uitgevoerd. Per openingswet worden simulaties uitgevoerd voor een reeks Scheldepeilen startend op -1.0 m TAW en gaande tot +8.0 m TAW met een stapgrootte 1.0 m. Het dokpeil bedraagt hierbij steeds +4.17 m TAW. De simulaties werden uitgevoerd met het ontwerpschip (een CEMT klasse Vb duwkonvooi en een CEMT klasse VIb duwkonvooi) gecentreerd in de kolk. De simulaties worden uitgevoerd met het programma LOCKSIM (Schohl G.A., 1998). Dit programma werd ter beschikking gesteld van het WL door de ontwikkelaar Dr. G. Schohl (Tennessee Valley Authority, USA). LOCKSIM wordt courant gebruikt voor sluismodellering door de USACE (U.S. Army Corps of Engineers). Voor meer details over de simulaties wordt verwezen naar Vercruysse *et al.* (2016).

Voor het bovenhoofd worden de resultaten in tabelvorm gegeven in Tabel 12 voor het benedenhoofd worden de resultaten in tabelvorm gegeven in Tabel 13. De nivelleertijd in functie van het Scheldepeil wordt gegeven in Figuur 12. Het extremum van de langskracht in functie van het Scheldepeil wordt gegeven in Figuur 13. In bijlage A wordt per simulatie een figuur gegeven met de nivelleerkromme, de openingswet van de hefschuiven het debiet en de langse waterspiegelhelling. Bemerkt dat ten opzichte van de simulaties gegeven in Vercruysse *et al.* (2016) de simulaties in dit hoofdstuk opnieuw vanaf 1 genummerd zijn.

Tabel 12 – Nivelleren bovenhoofd – simulaties openingswetten HA

Dokpeil [m TAW]	Kolkpeil [m TAW]	openingswet O12				openingswet O13				openingswet O14			
		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]	
				pos	neg			pos	neg			pos	neg
4.17	-1.00	1	13.2	0.58	-0.58	11	13.0	0.76	-0.91	21	13.6	0.58	-0.38
	0.00	2	11.9	0.53	-0.48	12	11.7	0.67	-0.57	22	12.4	0.36	-0.32
	1.00	3	10.6	0.37	-0.29	13	10.4	0.47	-0.38	23	11.0	0.26	-0.18
	2.00	4	9.1	0.22	-0.14	14	8.9	0.28	-0.21	24	9.5	0.16	-0.12
	3.00	5	7.2	0.10	-0.07	15	7.0	0.13	-0.09	25	7.6	0.08	-0.07
	4.00	6	4.5	0.02	-0.02	16	4.3	0.02	-0.03	26	4.7	0.02	-0.02
	5.00	7	7.1	0.04	-0.05	17	6.9	0.05	-0.07	27	7.5	0.04	-0.04
	6.00	8	9.7	0.04	-0.09	18	9.5	0.05	-0.12	28	10.0	0.04	-0.06
	7.00	9	11.7	0.05	-0.11	19	11.5	0.06	-0.15	29	12.0	0.04	-0.08
	8.00	10	13.4	0.04	-0.13	20	13.2	0.05	-0.17	30	13.7	0.04	-0.09

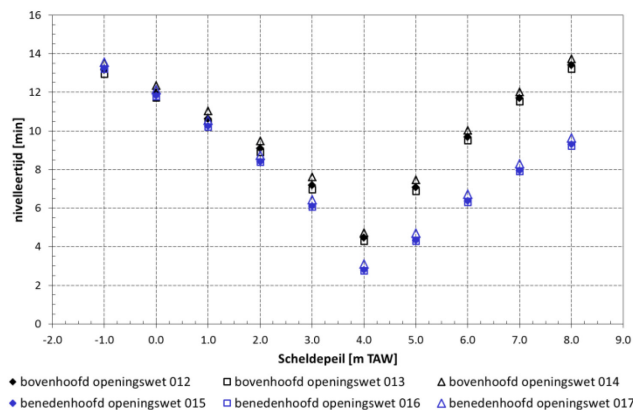
Tabel 13 – Nivelleren benedenhoofd – simulaties openingswetten HA

Kolkpeil [m TAW]	Scheldepeil [m TAW]	openingswet O15				openingswet O16				openingswet O17			
		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]		simulatie nr.	nivelleer- tijd [min]	langskracht [‰]	
				pos	neg			pos	neg			pos	neg
4.17	-1.00	31	13.3	0.19	-0.58	41	13.2	0.18	-0.58	51	13.6	0.18	-0.42
	0.00	32	11.8	0.16	-0.52	42	11.8	0.13	-0.52	52	12.1	0.12	-0.37
	1.00	33	10.3	0.16	-0.45	43	10.2	0.11	-0.45	53	10.6	0.10	-0.32
	2.00	34	8.4	0.15	-0.36	44	8.4	0.11	-0.36	54	8.7	0.10	-0.26
	3.00	35	6.1	0.13	-0.25	45	6.1	0.10	-0.25	55	6.4	0.09	-0.18
	4.00	36	2.8	0.06	-0.08	46	2.8	0.06	-0.08	56	3.1	0.05	-0.06
	5.00	37	4.3	0.21	-0.14	47	4.3	0.21	-0.14	57	4.7	0.15	-0.10
	6.00	38	6.4	0.33	-0.22	48	6.3	0.33	-0.20	58	6.7	0.24	-0.15
	7.00	39	8.0	0.42	-0.28	49	7.9	0.42	-0.24	59	8.3	0.30	-0.18
	8.00	40	9.3	0.49	-0.33	50	9.2	0.49	-0.28	60	9.6	0.35	-0.22

Bemerk uit Tabel 12 dat voor de simulaties van het bovenhoofd met openingswet O12 het criterium van de langskracht niet overschreden wordt. De nivelleertijd bij een Scheldepeil -1.00 m TAW bedraagt 13.2 min, dit is lager dan het criterium van 15.0 min. Bij het 30 % sneller openen van de tweede fase (openingswet O13) wordt het criterium voor de langskracht overschreden bij een scheldepeil 0.00 m TAW en -1.00 m TAW. De winst in nivelleertijd door het sneller openen van de hefschuif is beperkt tot 0.2 min, onafhankelijk van het verval. Omdat bij een Scheldepeil -1.00 m TAW het positieve maximum optreedt tijdens de eerste fase van de openingswet zorgt het 30 % trager openen van de tweede fase (openingswet O14) niet voor een reductie van de optredende maximale langskracht. Bij hogere Scheldepeilen zorgt openingswet O14 wel voor een reductie van de optredende langskracht (tot ca. 30 %). De toename van de nivelleertijd bij openingswet O14 bedraagt 0.3 min, onafhankelijk van het verval.

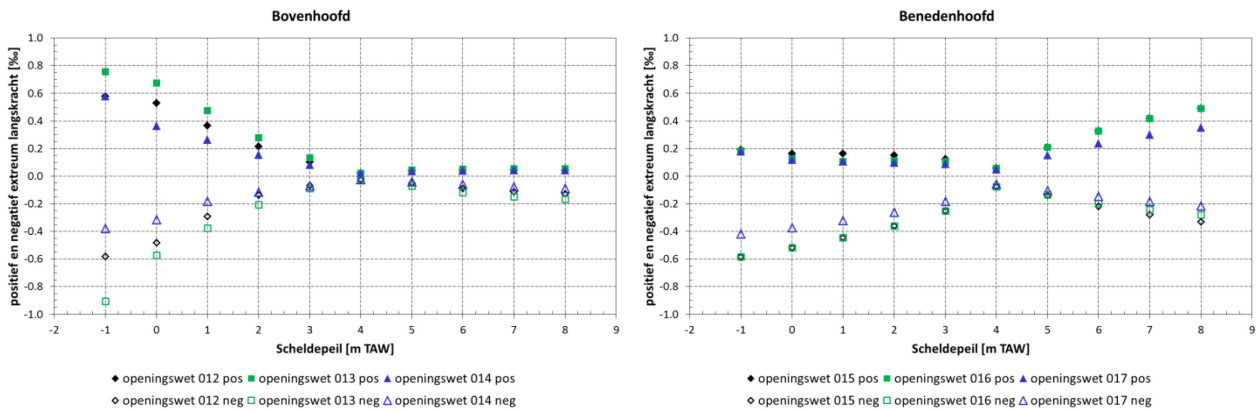
Bemerk uit Tabel 13 dat voor het benedenhoofd de grootste krachten optreden bij nivelleren naar een Scheldepeil -1.00 m TAW. Het criterium voor de langskracht wordt bij de uitgevoerde simulaties niet overschreden. De nivelleertijd bij een Scheldepeil -1.00 m TAW bedraagt 13.3 min, dit is lager dan het criterium van 15.0 min. Doordat openingswet O15 al een snelle openingswet betreft is de invloed van het 30 % sneller openen van de tweede fase (openingswet O16) verwaarloosbaar zowel op vlak van kracht als op vlak nivelleertijd. Het 30 % trager openen van de hefschuiven (openingswet O17) zorgt voor een reductie van de optredende langskracht met ca. 28 % en een toename van de nivelleertijd met ca. 0.3 min, onafhankelijk van het verval.

Figuur 12 – Nivelleertijd in functie van Scheldepeil - simulaties openingswetten HA



In Figuur 12 wordt de nivelleertijd in functie van het Scheldepeil gegeven. Bemerk dat bij een Scheldepeil tot ca. 2.0 m TAW de nivelleertijd van het bovenhoofd en benedenhoofd quasi gelijk zijn. Bij Scheldepeilen boven het dokpeil (4.17 m TAW) is de nivelleertijd bij het bovenhoofd merklijk trager. De verklaring hiervoor is dat de openingswet voor het benedenhoofd opgesteld werd voor ledigen naar een Scheldepeil -1.0 m TAW. Bij ledigen kan een merklijk snellere openingswet ingesteld worden dan bij vullen. Doordat de verliezen in het model bij ledigen hoger zijn dan bij vullen is niettegenstaande de snellere openingswet bij ledigen de nivelleertijd toch quasi gelijk met vullen. Bij een Scheldepeil hoger dan het dokpeil wordt de openingswet per hoofd behouden maar keert de stroomrichting om en wordt dus een openingswet opgesteld voor vullen toegepast voor ledigen en vice versa. Dit verklaart het verschil in nivelleertijd tussen het bovenhoofd en het benedenhoofd bij een Scheldepeil hoger dan het dokpeil.

Figuur 13 – Positief en negatief extremum langskracht in functie van Scheldepeil - simulaties openingswetten HA



In Figuur 13 wordt het extremum van de langskracht in functie van het Scheldepeil gegeven. Bemerkt dat voor het bovenhoofd de grootste krachten optreden bij een Scheldepeil -1.0 m TAW en dat deze krachten afnemen bij een toename van het Scheldepeil naar het dokpeil toe (4.17 m TAW). Bij een Scheldepeil hoger dan het dokpeil wordt de kolk geleidigd door middel van het bovenhoofd. Doordat (bij het gebruik van dezelfde openingswet) de optredende langskrachten bij ledigen lager zijn dan bij vullen neemt de langskracht slechts beperkt terug toe met een toename van het Scheldepeil. Bij het benedenhoofd valt op dat het extremum van de langskracht afneemt met een toename van het Scheldepeil naar het dokpeil toe. Bij een verdere toename van het Scheldepeil neemt de langskracht terug toe. De verklaring hiervoor is dat bij een Scheldepeil hoger dan het dokpeil de kolk gevuld wordt door middel van het benedenhoofd. Bij een Scheldepeil 8.0 m TAW is de optredende langskracht nog lager dan het criterium.

6 Besluit

Het WL heeft in een vorige studie een hydraulisch ontwerp uitgevoerd voor een nivelleersysteem met korte omloopriolen voor de vernieuwde Royerssluis. Deze studie is beschreven in Vercruyse *et al.* (2016). Door afdeling Maritieme Toegang (aMT) en Havenbedrijf Antwerpen (HA) werden bijkomende simulaties gevraagd. Deze bijkomende simulaties worden beschreven in dit rapport.

Een eerste vraag voor bijkomende simulaties werd gesteld door aMT. Uit het hydraulisch ontwerp volgden drie openingswetten: een vervalonafhankelijke openingswet voor het benedenhoofd en voor het bovenhoofd een openingswet voor een Scheldepeil lager dan 0.0 m TAW en een openingswet voor een Scheldepeil gelijk aan en hoger dan 0.0 m TAW. Op vraag van aMT werden simulaties uitgevoerd met een openingswet die identiek is voor het boven- en benedenhoofd en bovendien onafhankelijk van het verval. Hieruit volgde dat het gebruik van één enkele openingswet voor nivelleren met het bovenhoofd en voor nivelleren met het benedenhoofd onafhankelijk van het Scheldepeil zorgt voor een toename van de nivelleertijd met 0.8 min bij vullen met het bovenhoofd en met 1.9 min bij ledigen met het benedenhoofd. In het bestek voor de bouw van de vernieuwde Royerssluis zal een marge opgegeven worden waarbinnen de snelheid van de hefschuiven aanpasbaar moet zijn. Om een inschatting te krijgen van de benodigde marge werden op vraag van aMT simulaties uitgevoerd met een vertraging respectievelijk versnelling van de hefsnelheid met een waarde 10 %, 20 % en 30 %. Hieruit volgde dat een vertraging van de hefsnelheid met 30 % zorgt voor een reductie van het positieve extremum met 0.11 ‰ (18 %). De reductie op het negatieve extremum bedraagt 0.17 ‰ (30 %). Het 30 % vertragen van de openingswet zorgt voor een toename van de nivelleertijd met 0.8 min. Het versnellen van de openingswet met 30 % geeft een stijging van de langskrachten op het schip met 0.16 ‰ (27 %) voor het positieve extremum en met 0.20 ‰ (35 %) voor het negatieve extremum. Het 30 % versnellen van de openingswet zorgt voor een afname van de nivelleertijd met 0.4 min.

De door WL voorgestelde openingswetten werden door HA geoptimaliseerd voor het elektromechanisch ontwerp. Hierbij werd een afzonderlijke vervalonafhankelijke openingswet voor het boven- en het benedenhoofd beschouwd. De openingswetten bestaan uit een eerste en een tweede fase met een verschillende openingssnelheid van de hefschuiven. De geoptimaliseerde openingswet voor het bovenhoofd is quasi gelijk aan de voor aMT bekomen/afgeleide/beschouwde vervalonafhankelijke openingswet. De uit het hydraulisch ontwerp volgende openingswet van het benedenhoofd bevat een eerste tragere fase en een tweede snellere fase. Bij de door HA geoptimaliseerde openingswet voor het benedenhoofd wordt voor de tweede fase de snelheid van de eerste fase overgenomen. Om de openingswet in situ te kunnen optimaliseren werd door HA ook een snellere en tragere variant voorgesteld.

Uit de simulaties met de door HA voorgestelde openingswetten voor het bovenhoofd volgt:

Met de door HA voorgestelde openingswet voor het bovenhoofd wordt voldaan aan de criteria voor de langskracht op schepen. Bij een Scheldepeil -1.00 m TAW en een dokpeil $+4.17$ m TAW bedraagt de nivelleertijd 13.2 min. De variante openingswetten betreffen een versnelling respectievelijk een vertraging van de tweede fase van de openingswet met 30 %. Het versnellen van de tweede fase zorgt bij een Scheldepeil -1.0 m TAW en 0.0 m TAW voor een overschrijding van het criterium voor de langskracht. Doordat bij vullen via het bovenhoofd de maximale positieve langskracht optreedt tijdens de eerste fase zorgt het vertragen van de hefsnelheid tijdens de tweede fase niet voor een afname van het extremum van de langskracht bij het maatgevend verval. Het versnellen van de tweede fase met 30 % zorgt voor een afname van de nivelleertijd met 0.1 min, het vertragen van de tweede fase met 30 % zorgt voor een toename van de nivelleertijd met 0.3 min.

Uit de simulaties met de door HA voorgestelde openingswetten voor het benedenhoofd volgt:

Met de door HA voorgestelde openingswet voor het benedenhoofd wordt voldaan aan de criteria voor de langskracht op schepen. Bij een Scheldepeil – 1.00 m TAW en een dokpeil + 4.17 m TAW bedraagt de nivelleertijd 13.3 min. Bij de snellere openingswet wordt de hefsnelheid van de tweede fase met 30 % versneld. Bij de tragere openingswet wordt de hefsnelheid van de eerste en tweede fase met 30 % vertraagd. De invloed van het 30 % versnellen van de tweede fase van het openingswet heeft slechts een minimale invloed op de langskracht en nivelleertijd. Het 30 % vertragen van de eerste en tweede fase van de openingswet zorgt bij het maatgevend Scheldepeil voor een afname van de langskracht met 28 % en een toename van de nivelleertijd met 0.3 min.

7 Referenties

Beem, R.C.A.; Boogaard, A.; Glerum, A.; de Graaf, M.A.; Henneberque, S.D.; Hiddinga, P.H.; Kranenburg, D.; van der Meer, M.T.J.; Nagtegaal, G.; Van der Paverd, M.; Smink, L.M.C.; Vrijburcht, A.; Weijers, J. (2000). Ontwerp van schutsluizen: deel 1. Bouwdienst Rijkswaterstaat: Utrecht. ISBN 90-369-3305-6

European conference of ministers of transport (CEMT). (1992). RESOLUTION No. 92/2 ON NEW CLASSIFICATION OF INLAND WATERWAYS [CEMT/CM(92)6/FINAL]

Meersschaut, Y. (1999). Ringvaart rond Gent. Nieuwe sluis te Evergem. Hydrodynamische krachten op schepen bij vullen en ledigen van de sluiscolk

Schohl G.A. (1998). User's Manual for LOCKSIM – Hydraulic simulation of navigation lock filling and emptying systems

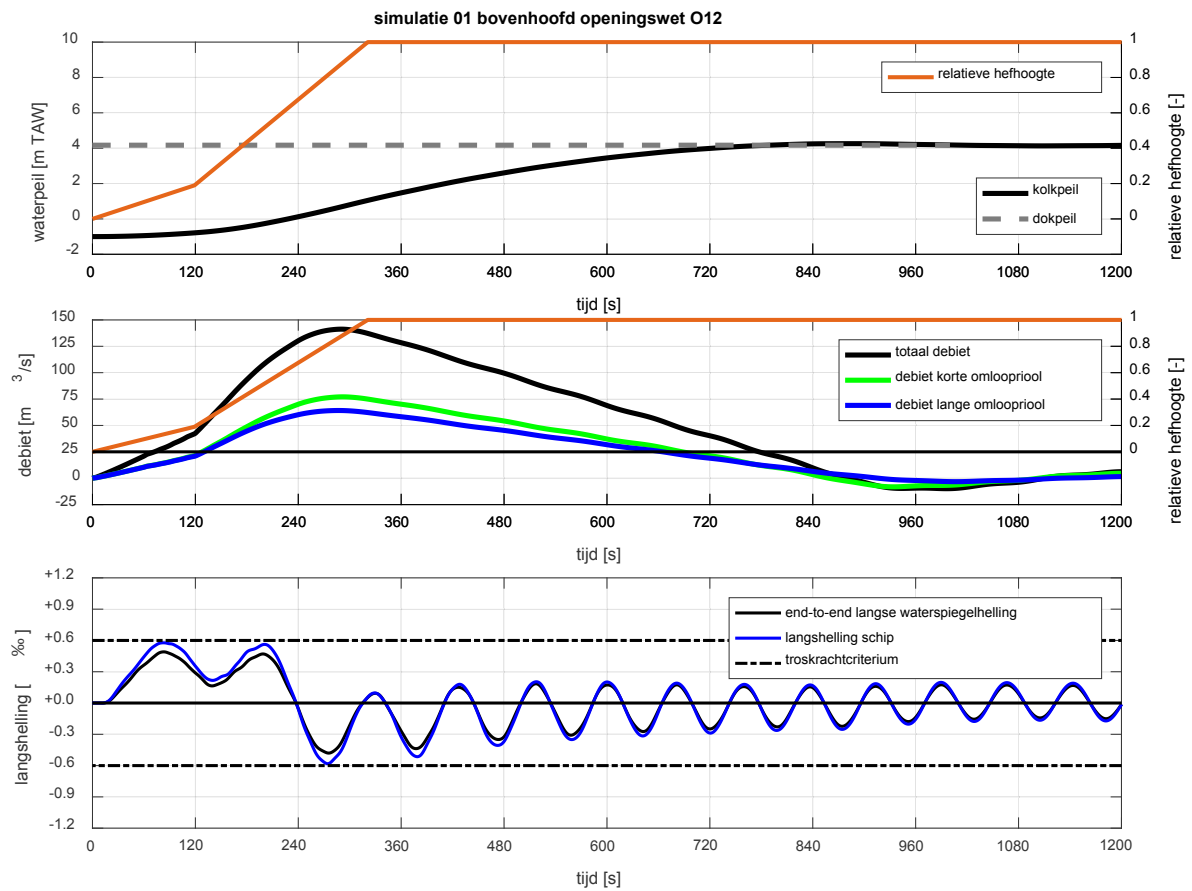
Stichting Postacademisch Onderwijs. (2006). Hydraulische aspecten van waterbouwkundige constructies [CURSUS]: Delft

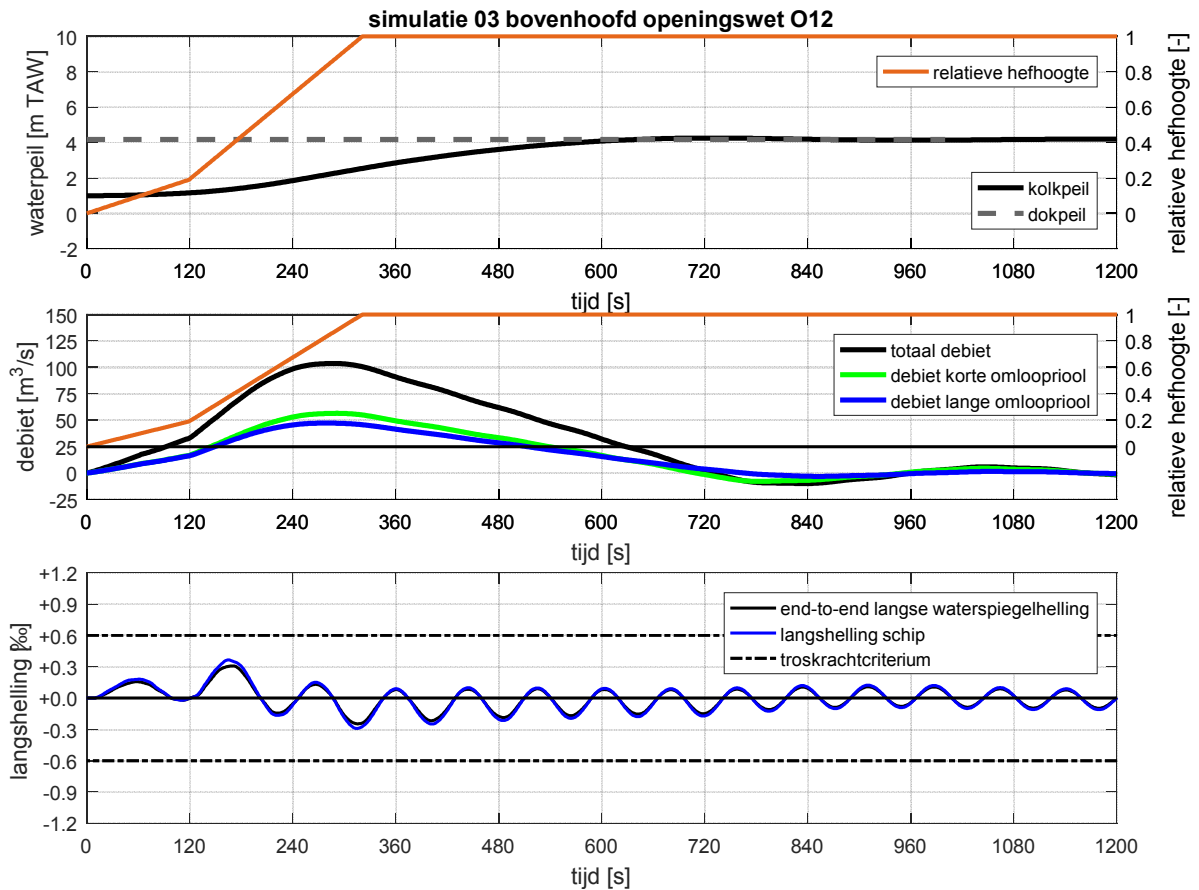
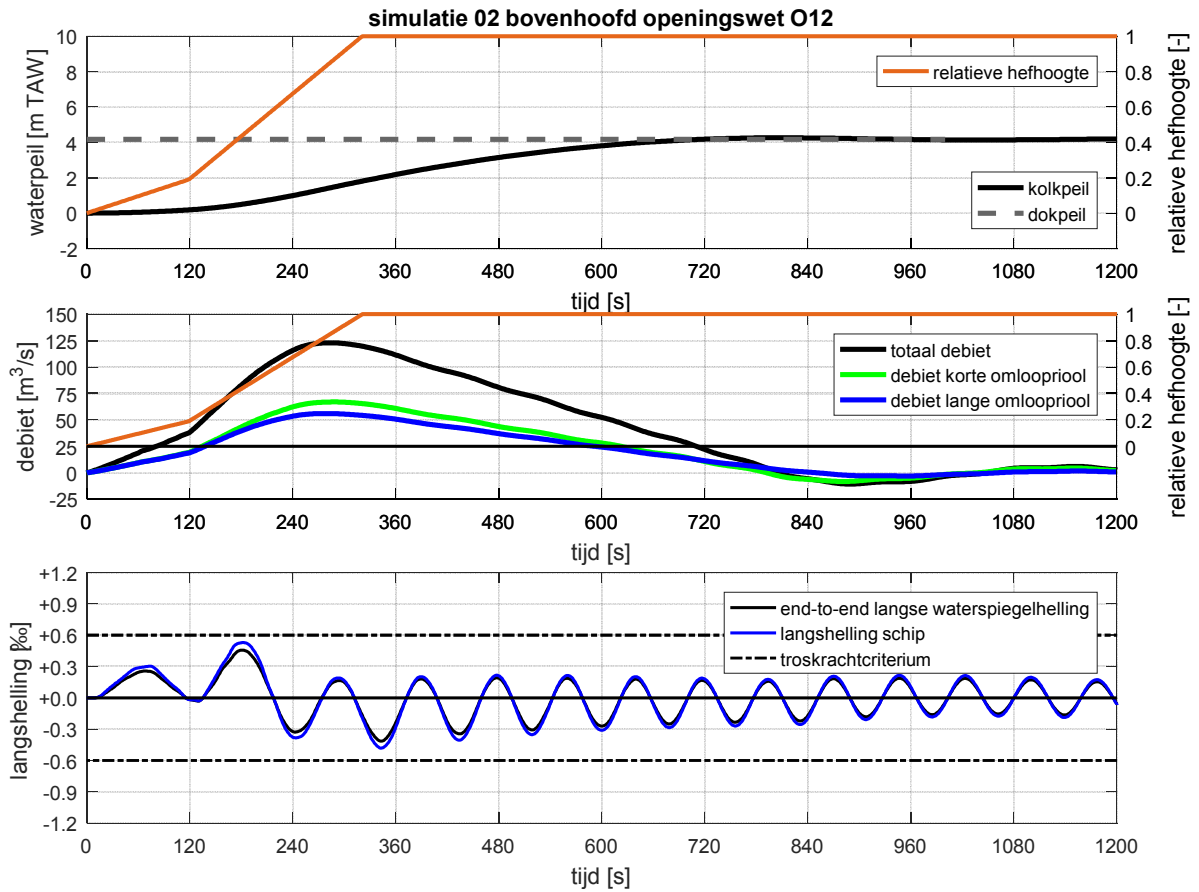
Vercruyse, J.; Verelst, K. (2015). Voorontwerp nivelleersysteem Royerssluis – bijkomende simulaties (WL2015M12_131_7)

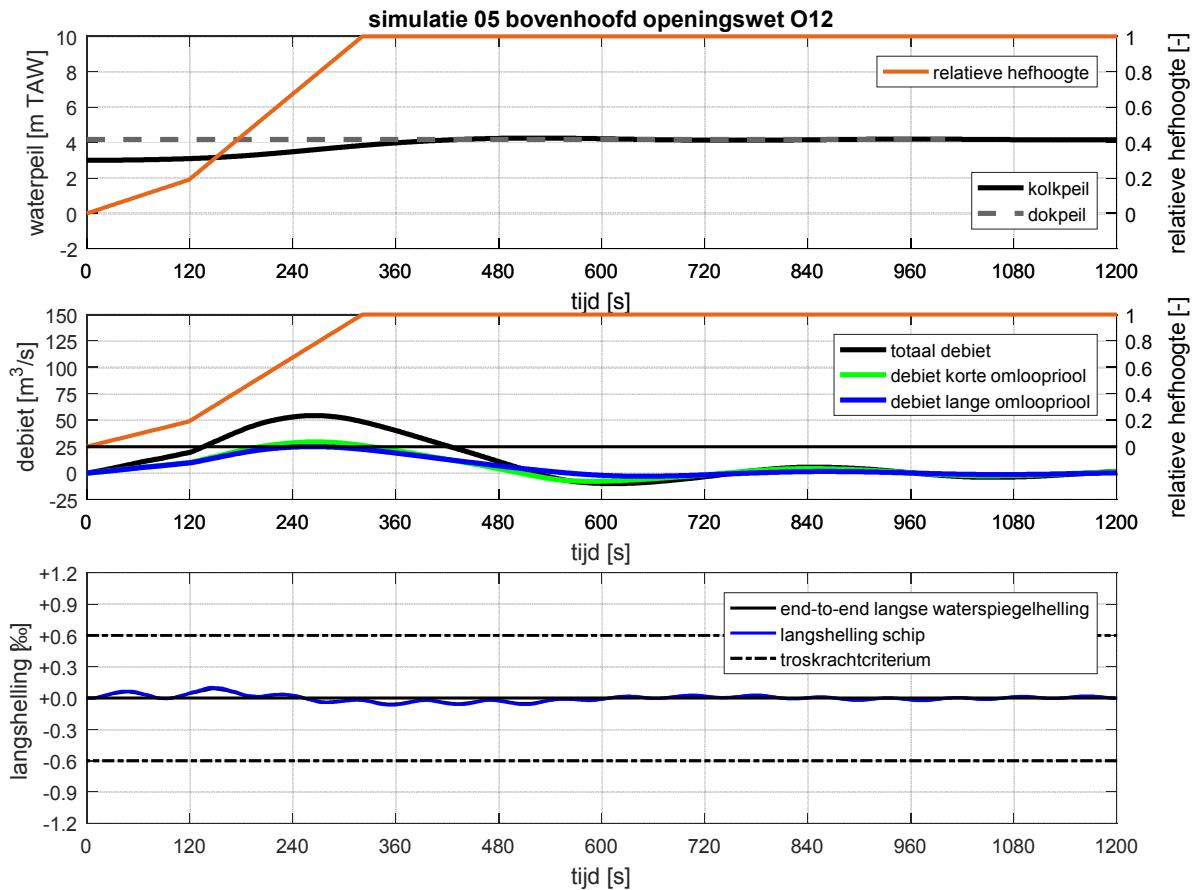
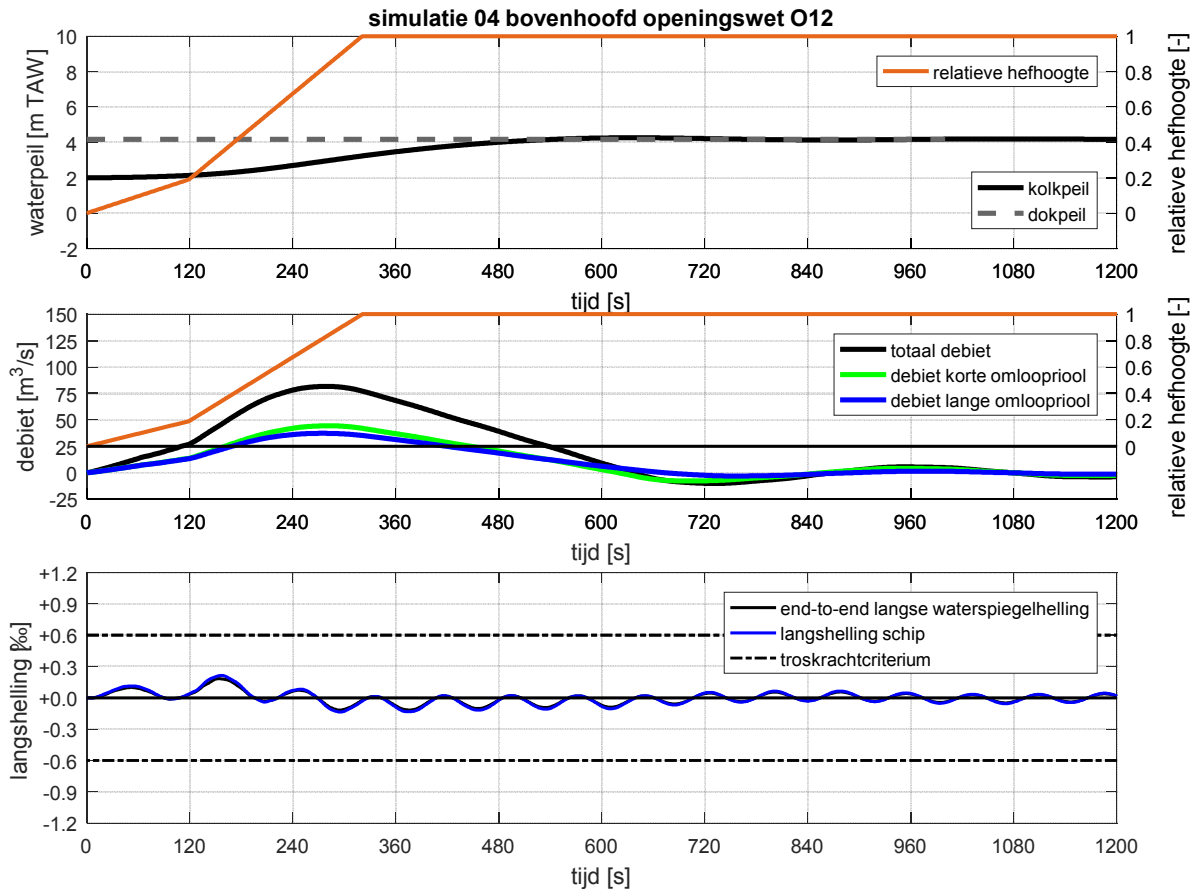
Vercruyse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016). Haven van Antwerpen - Royerssluis: deelrapport 2. Hydraulisch ontwerp nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden voor vernieuwde RoyerssluisVersie 3.0. *WL Rapporten, 12_131_2*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Versie 3.0., XI, 104 + 35 p. appendices pp.

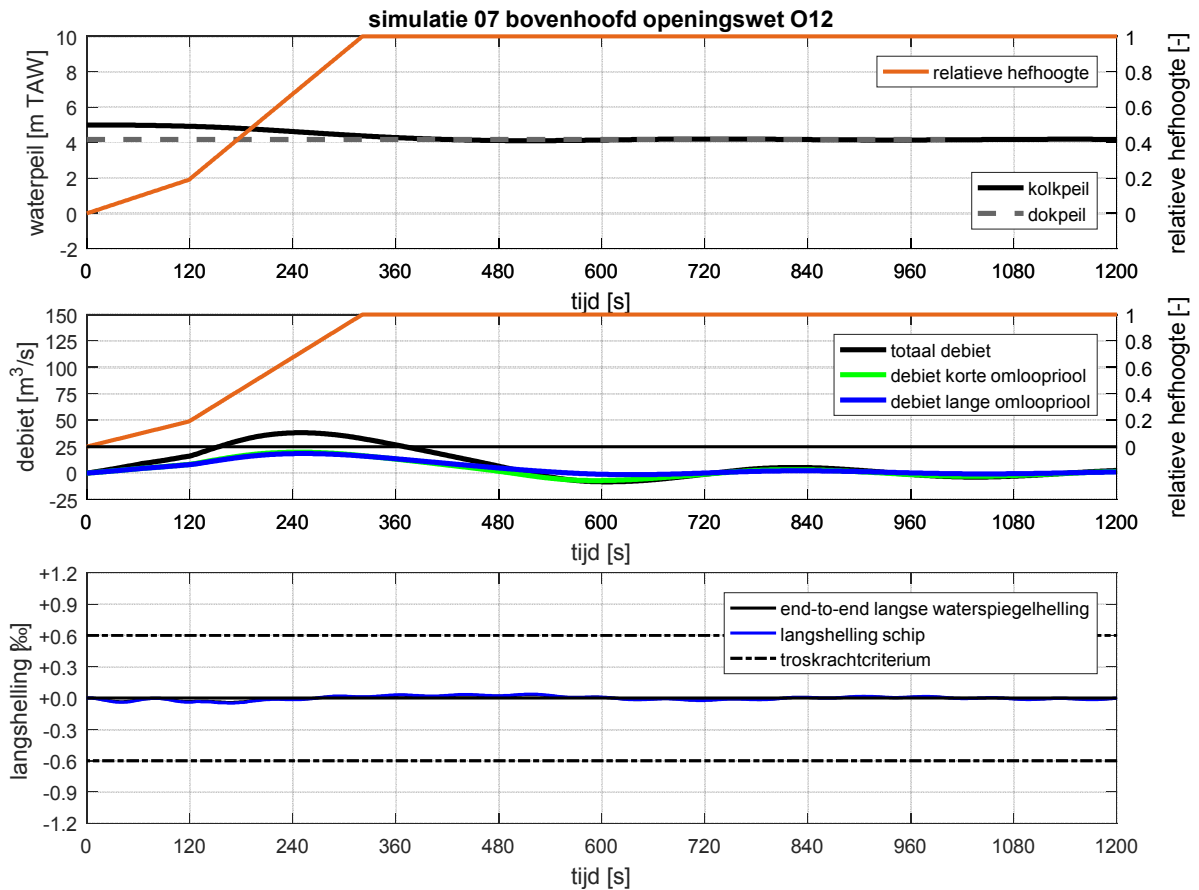
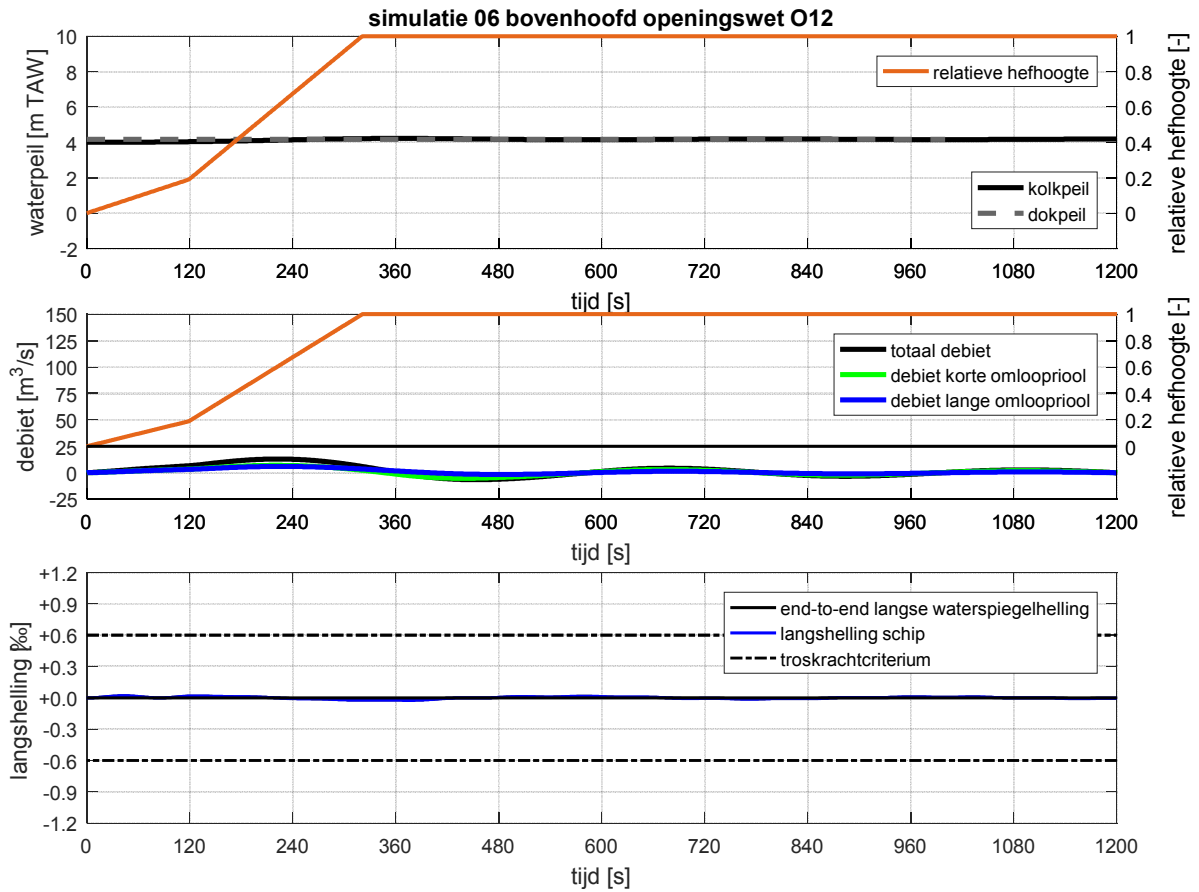
Vlaamse Overheid - MOW. (2012). Haven Antwerpen; Renovatie Royerssluis; Voorstel wegenis met rotonde oostkant. Plan AMT/A/4100 C dd. 12/10/2012

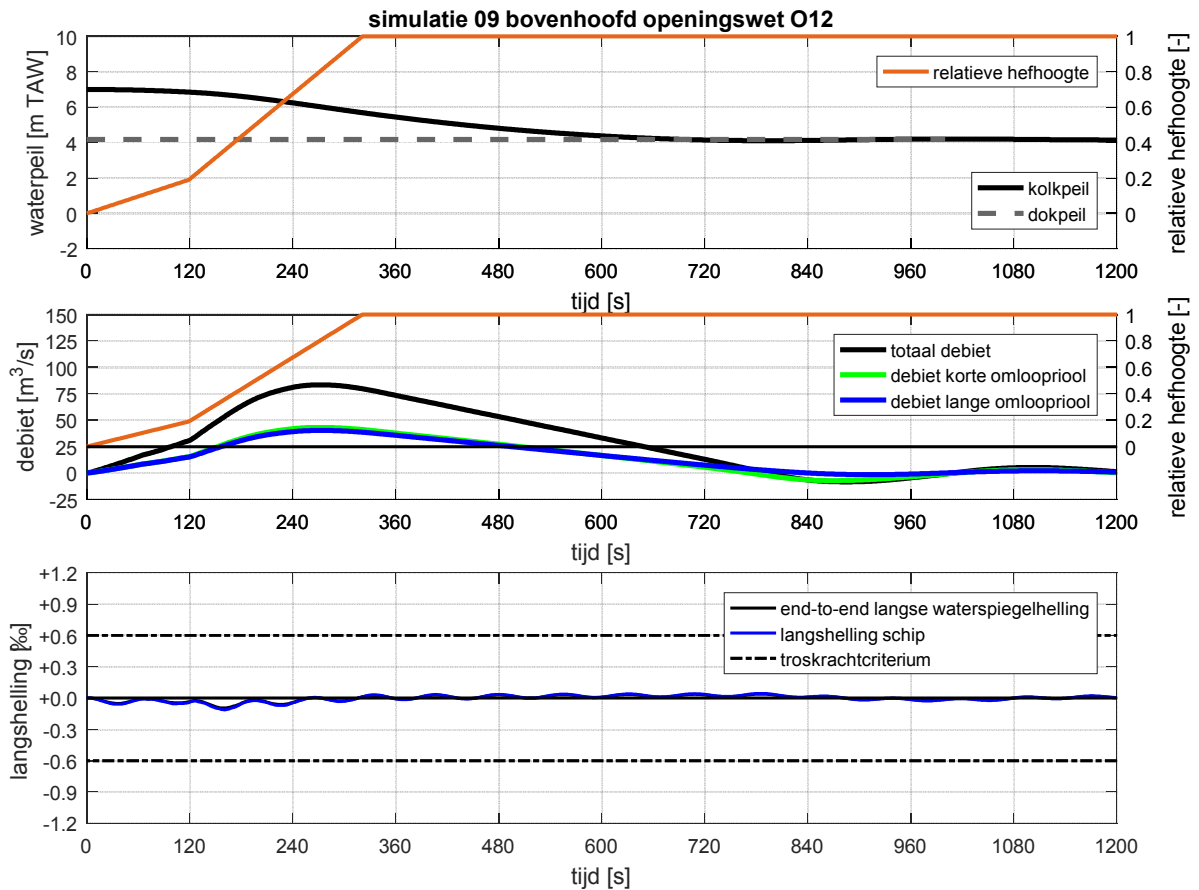
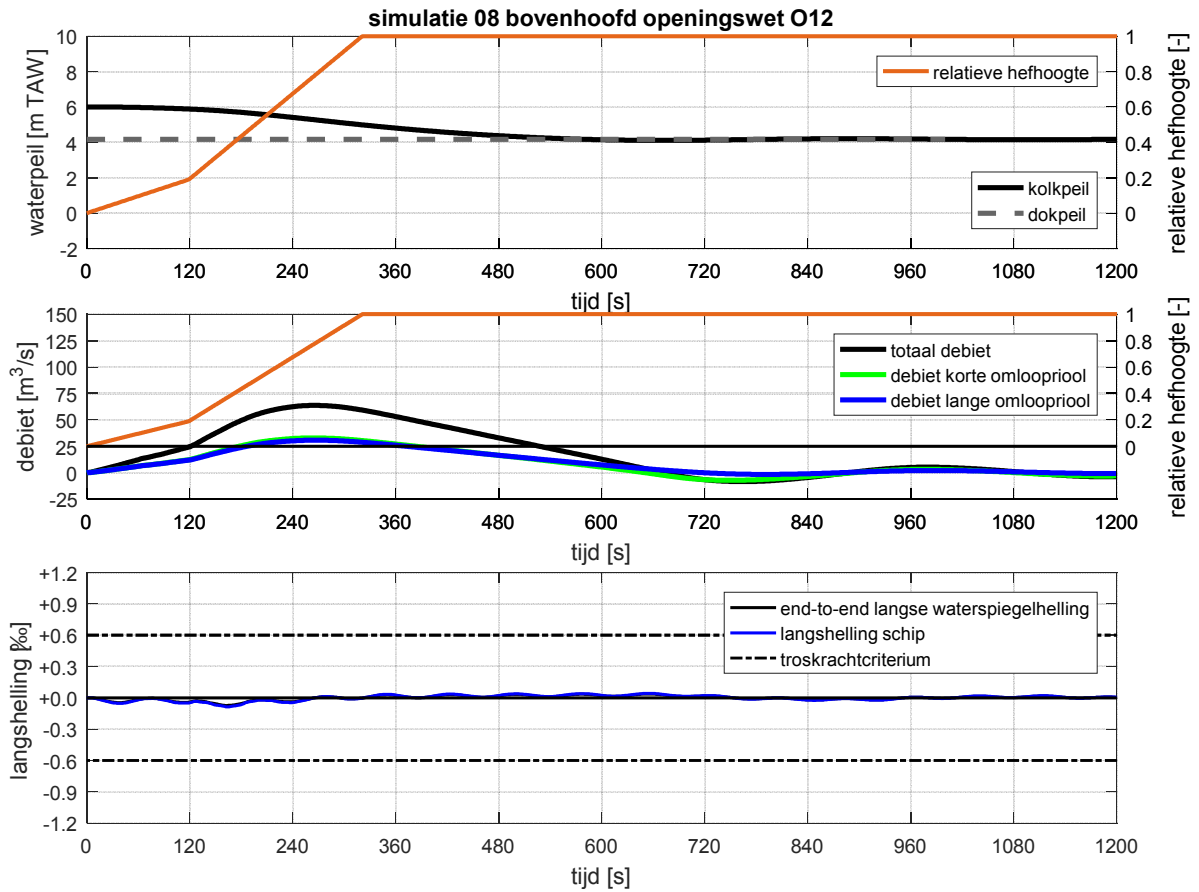
Bijlage A: Resultaat simulaties

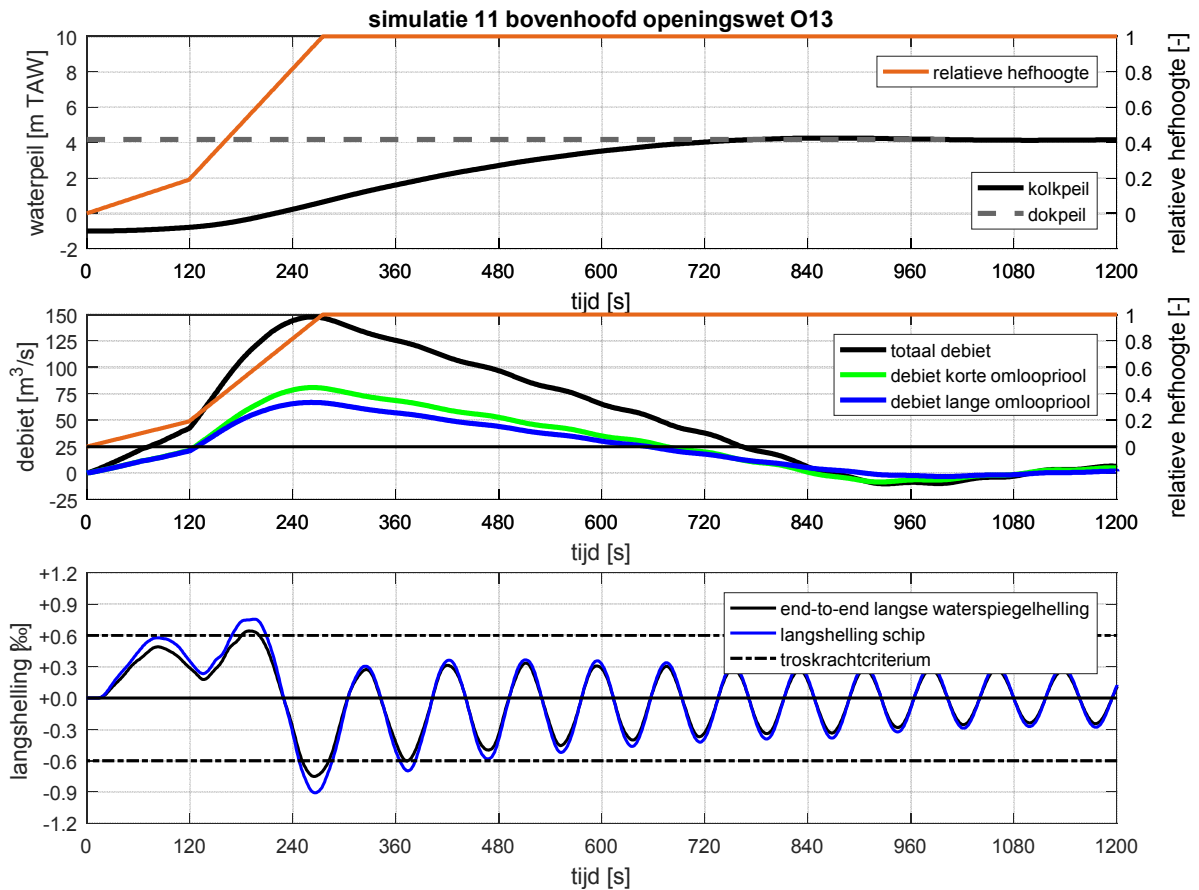
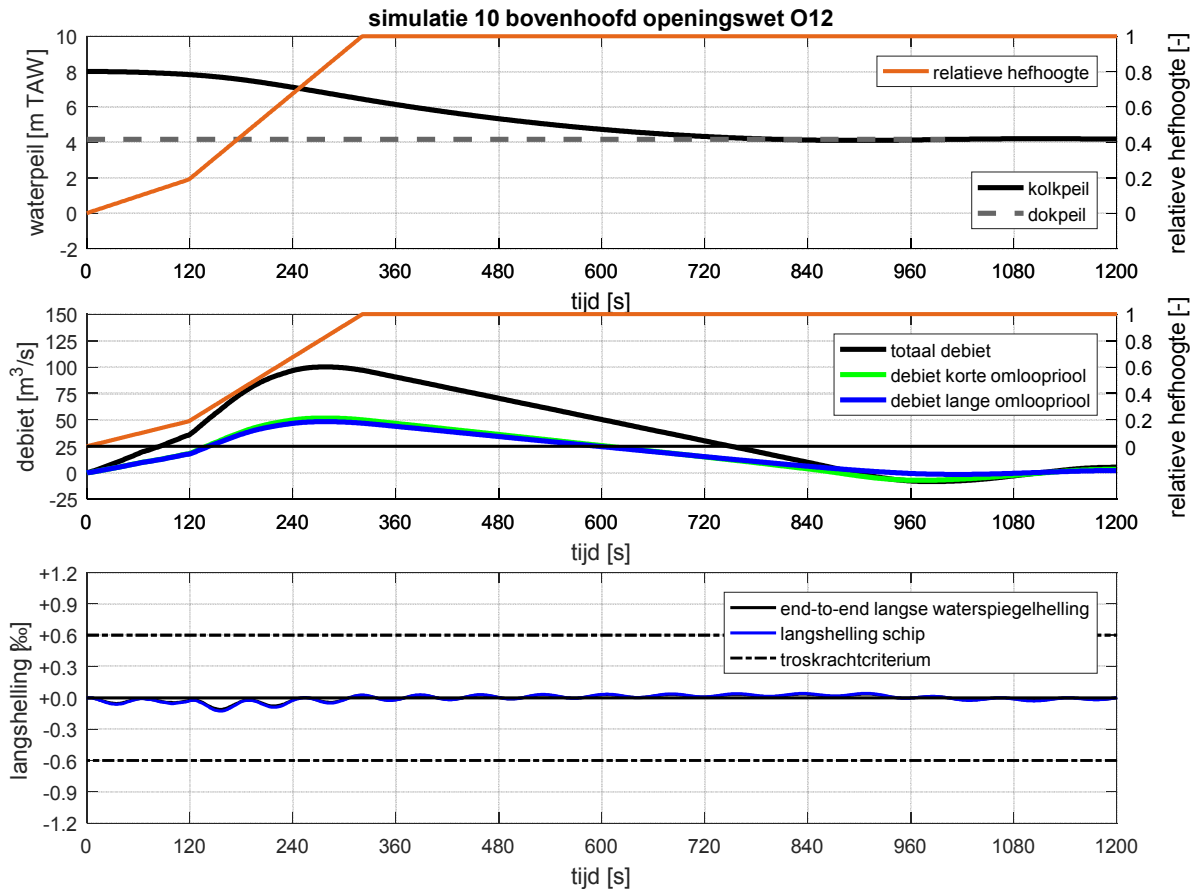


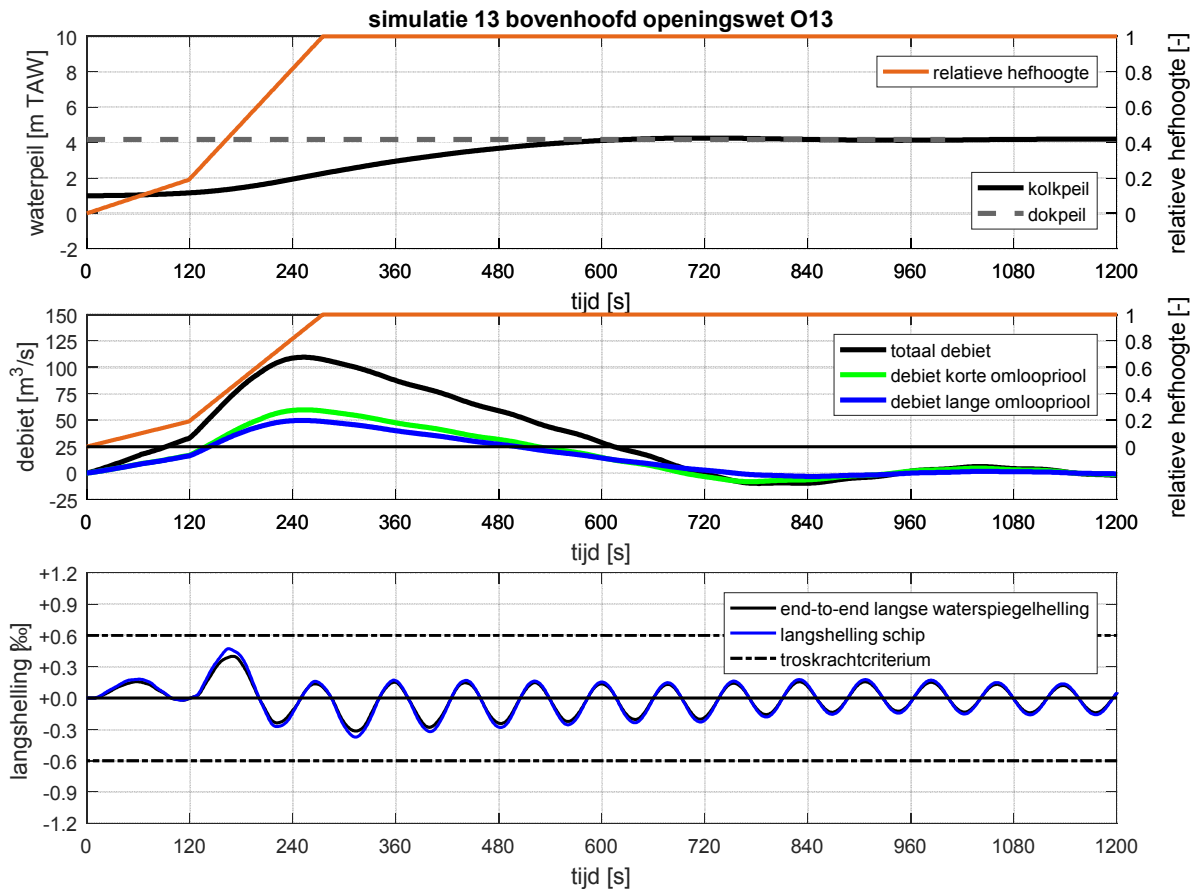
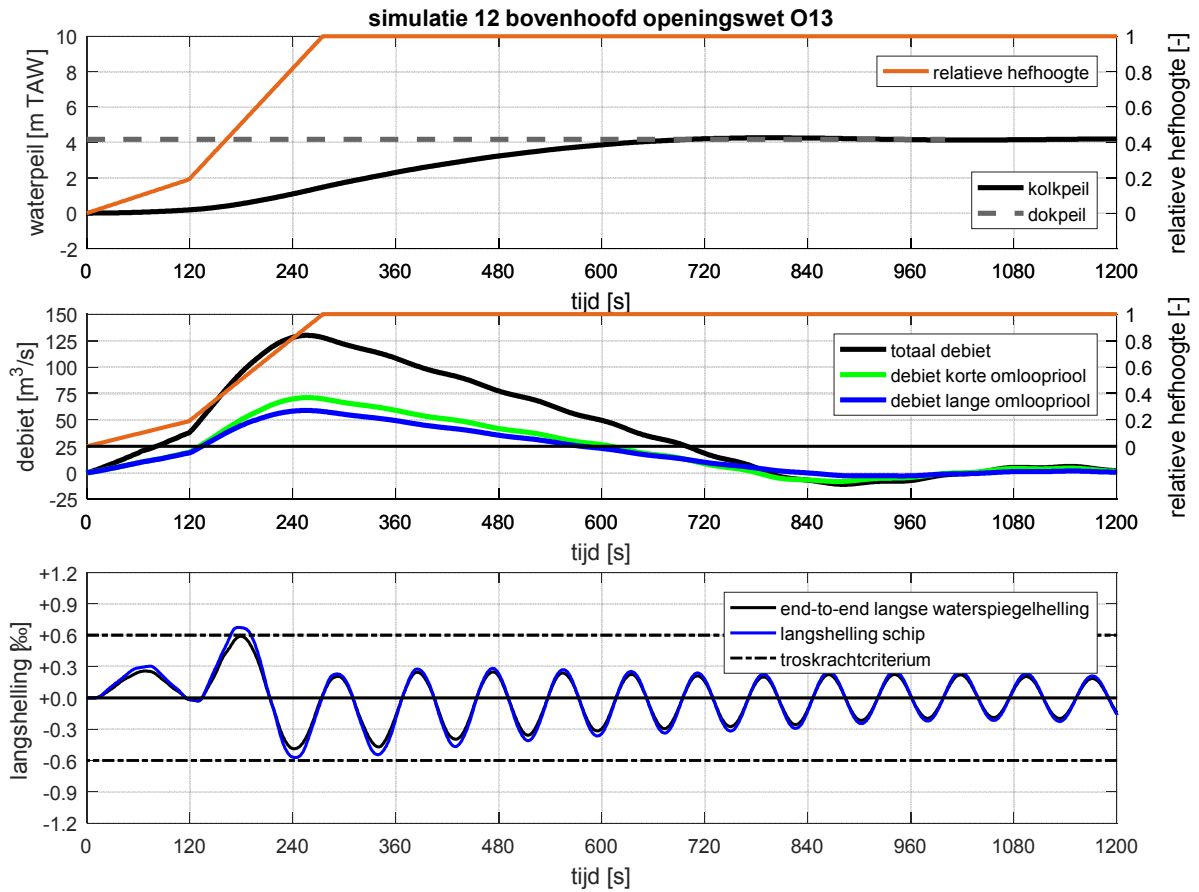


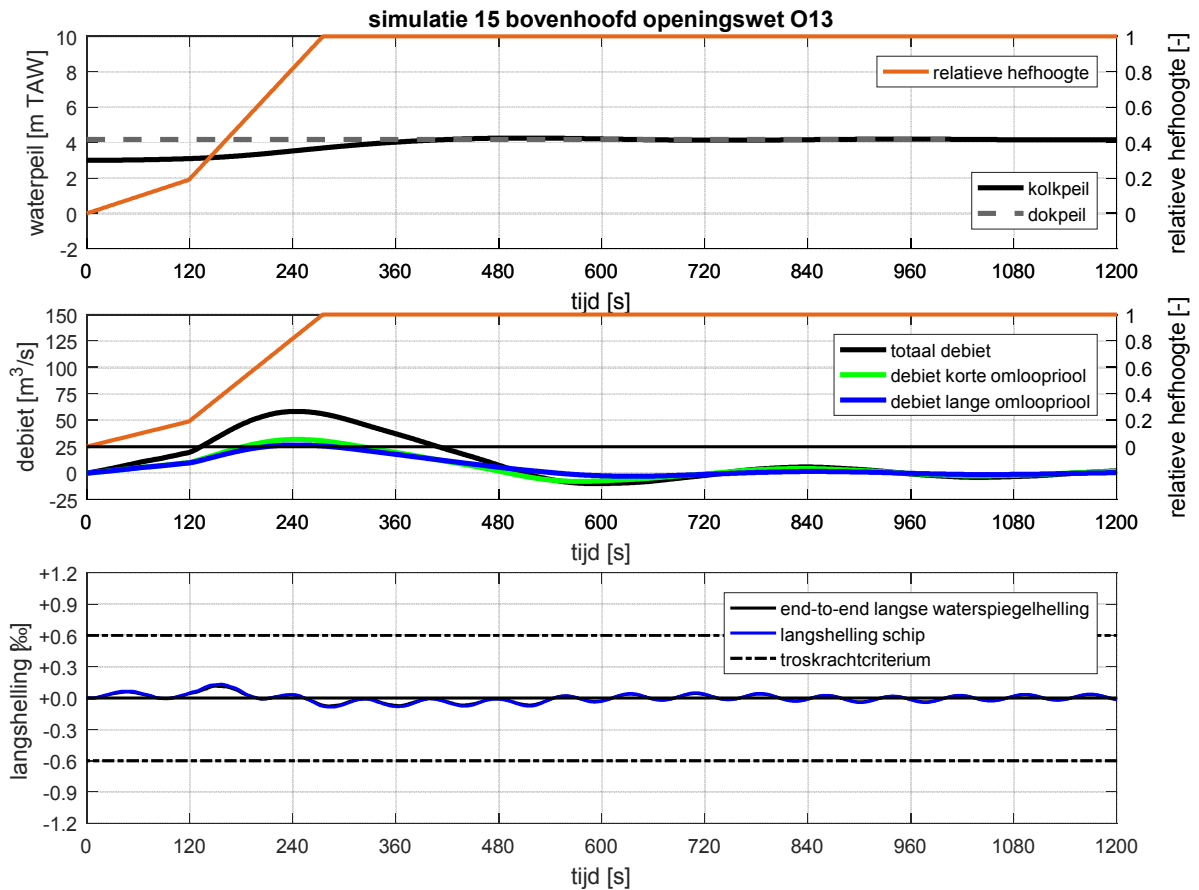
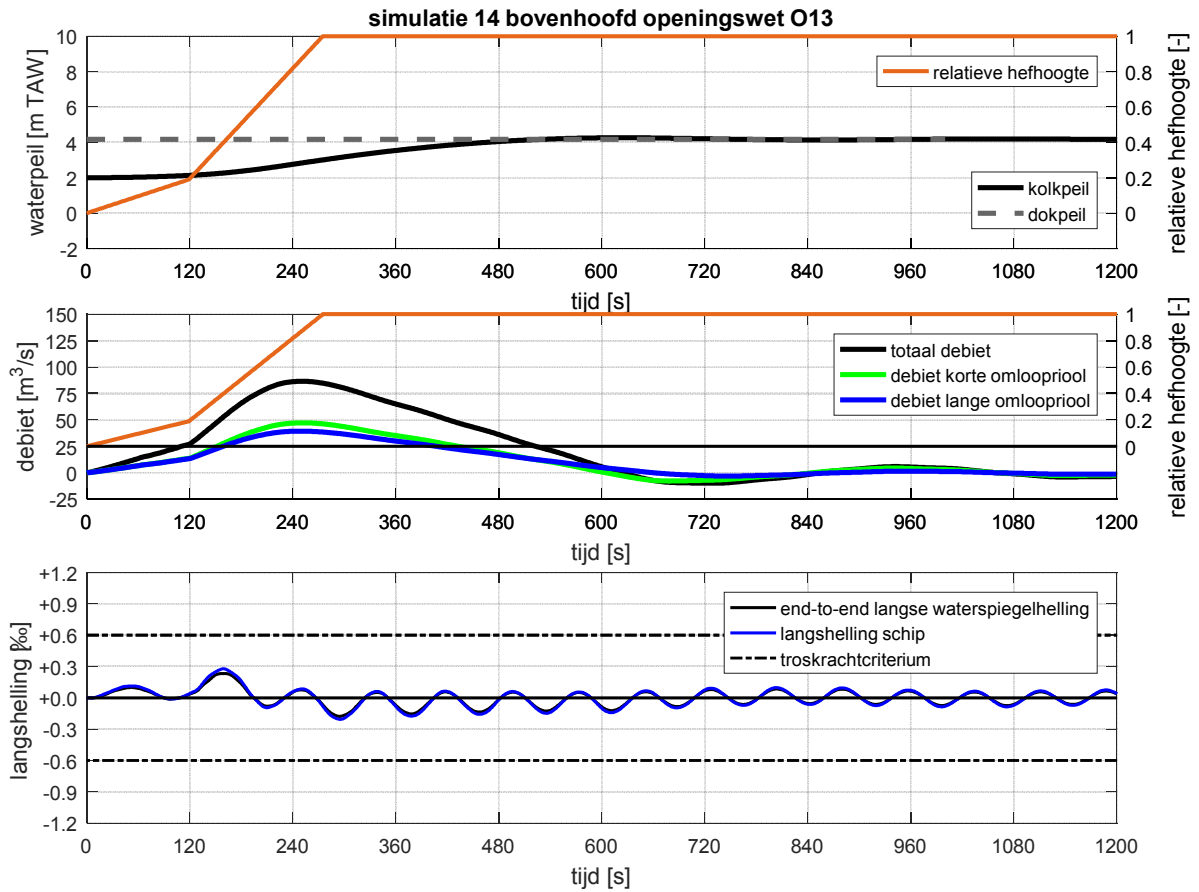


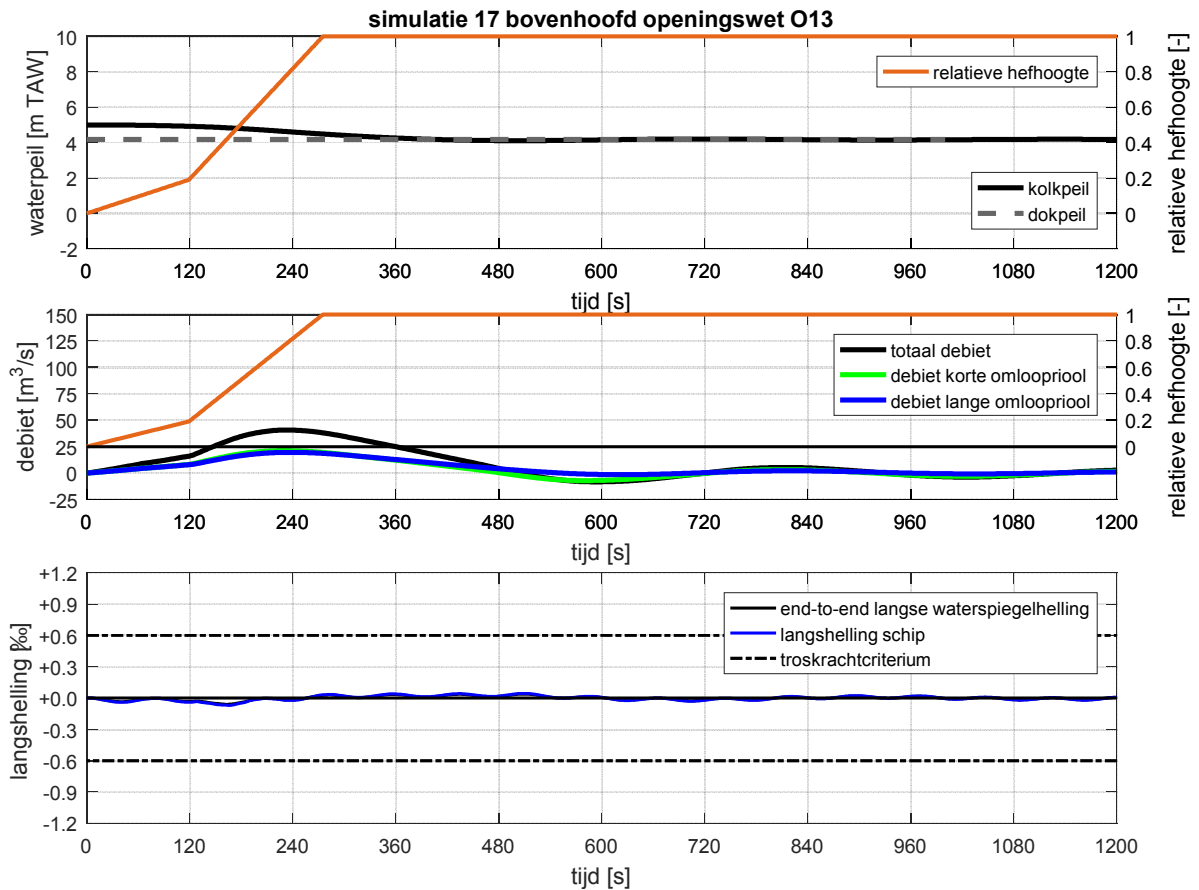
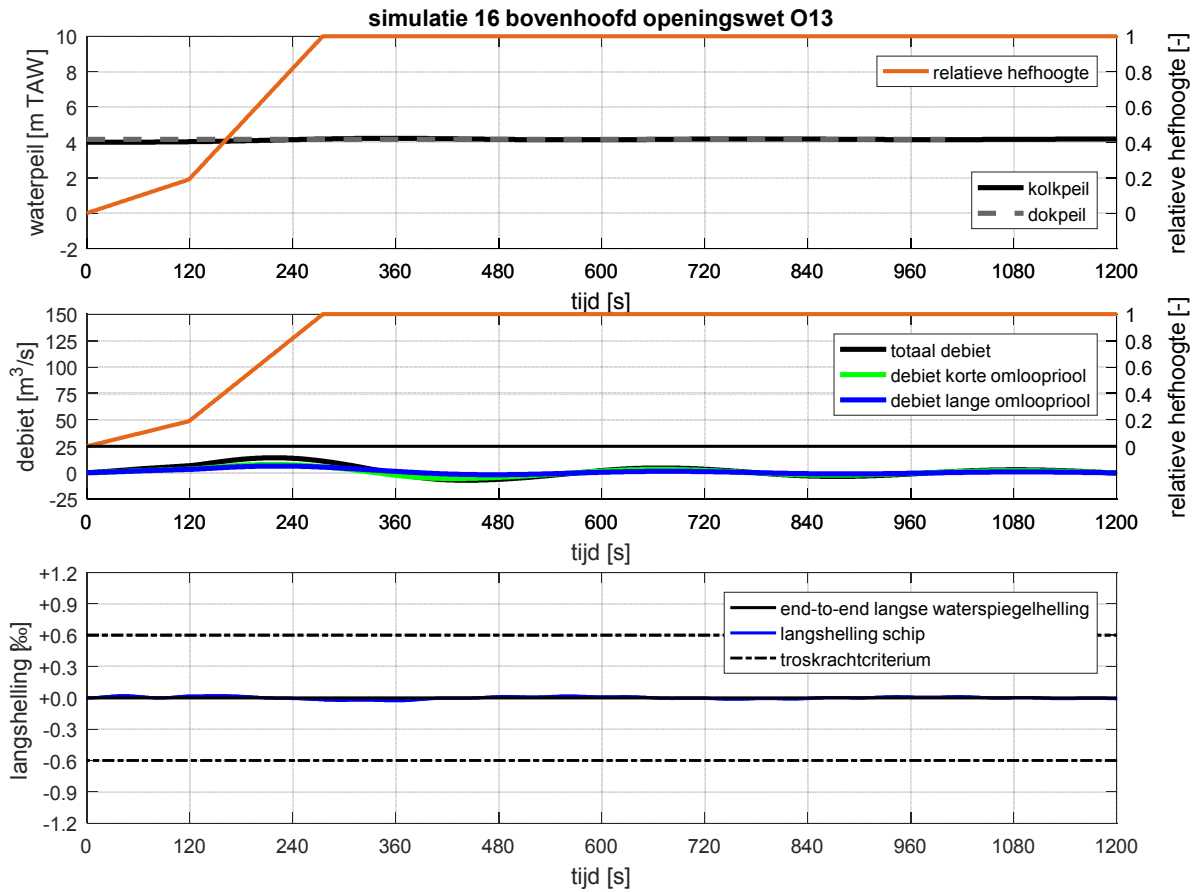


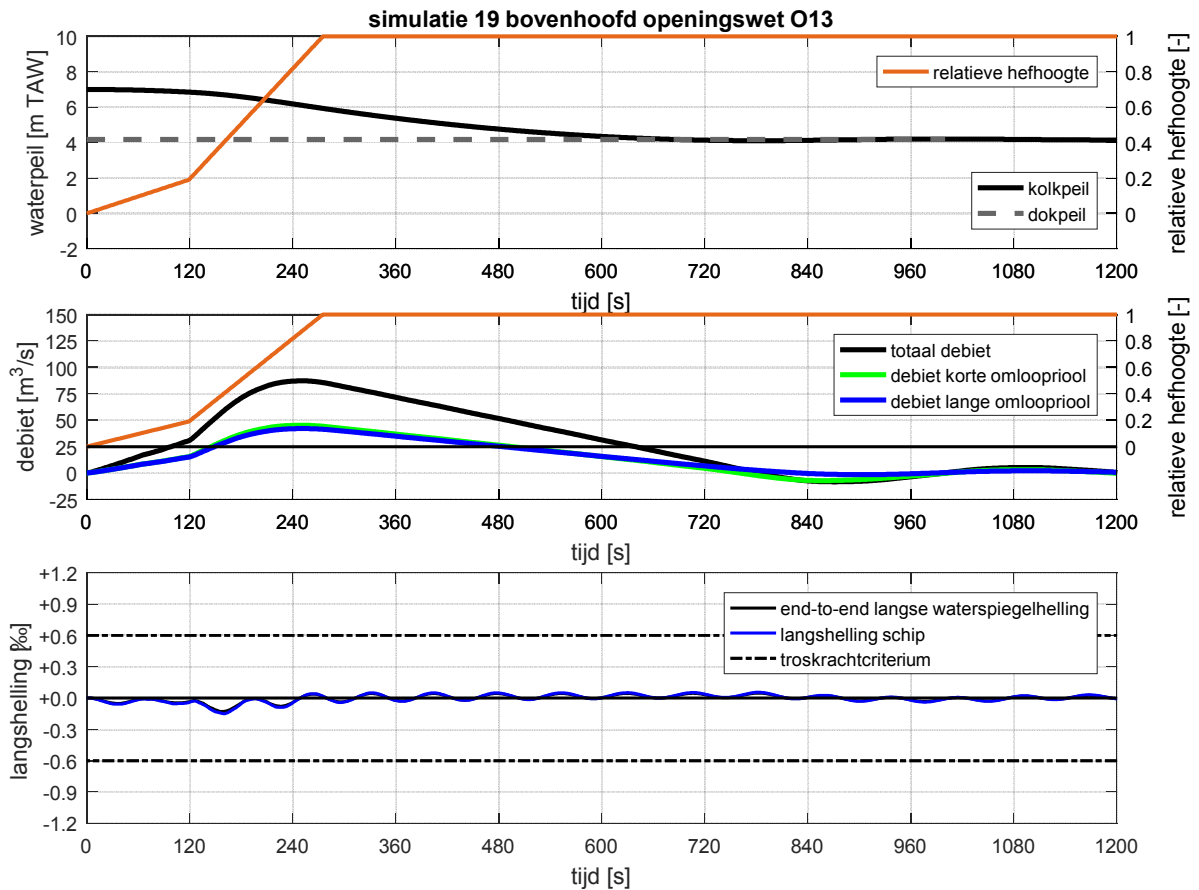
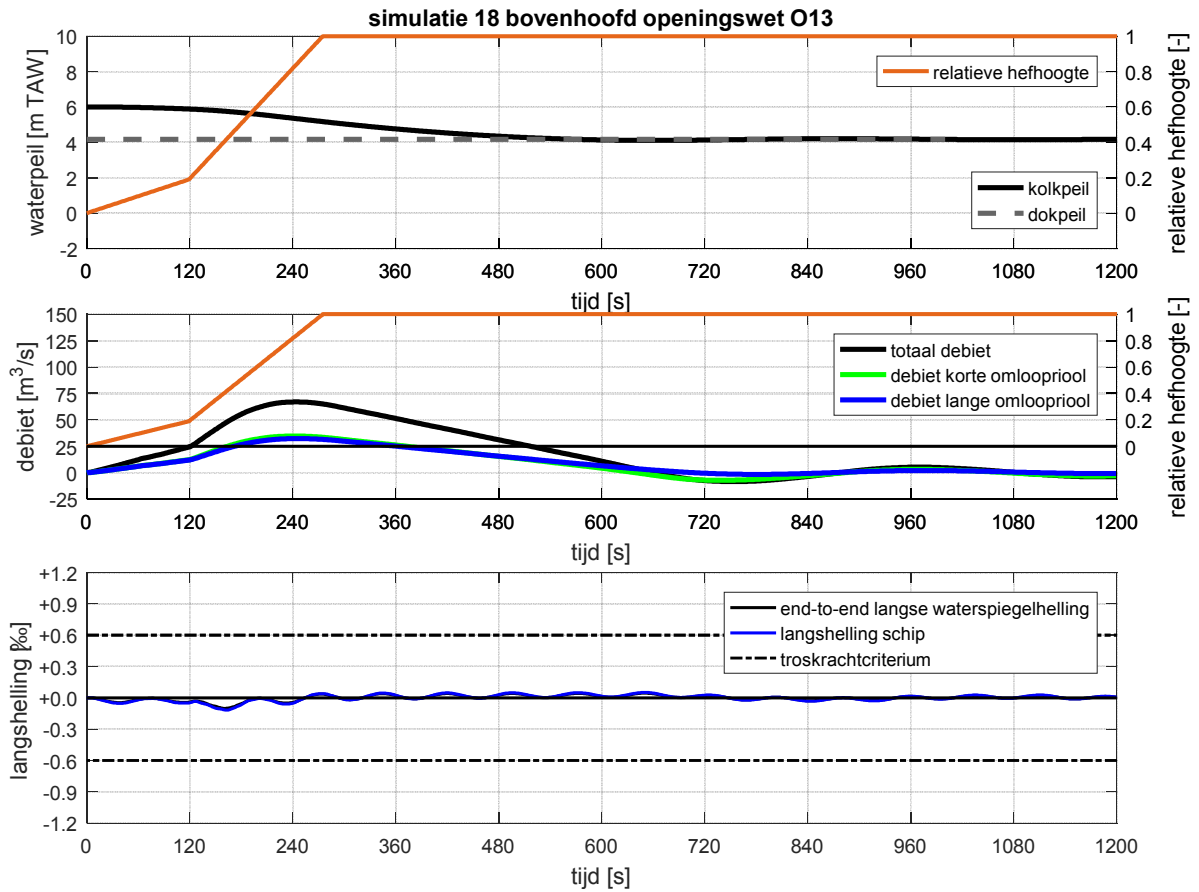


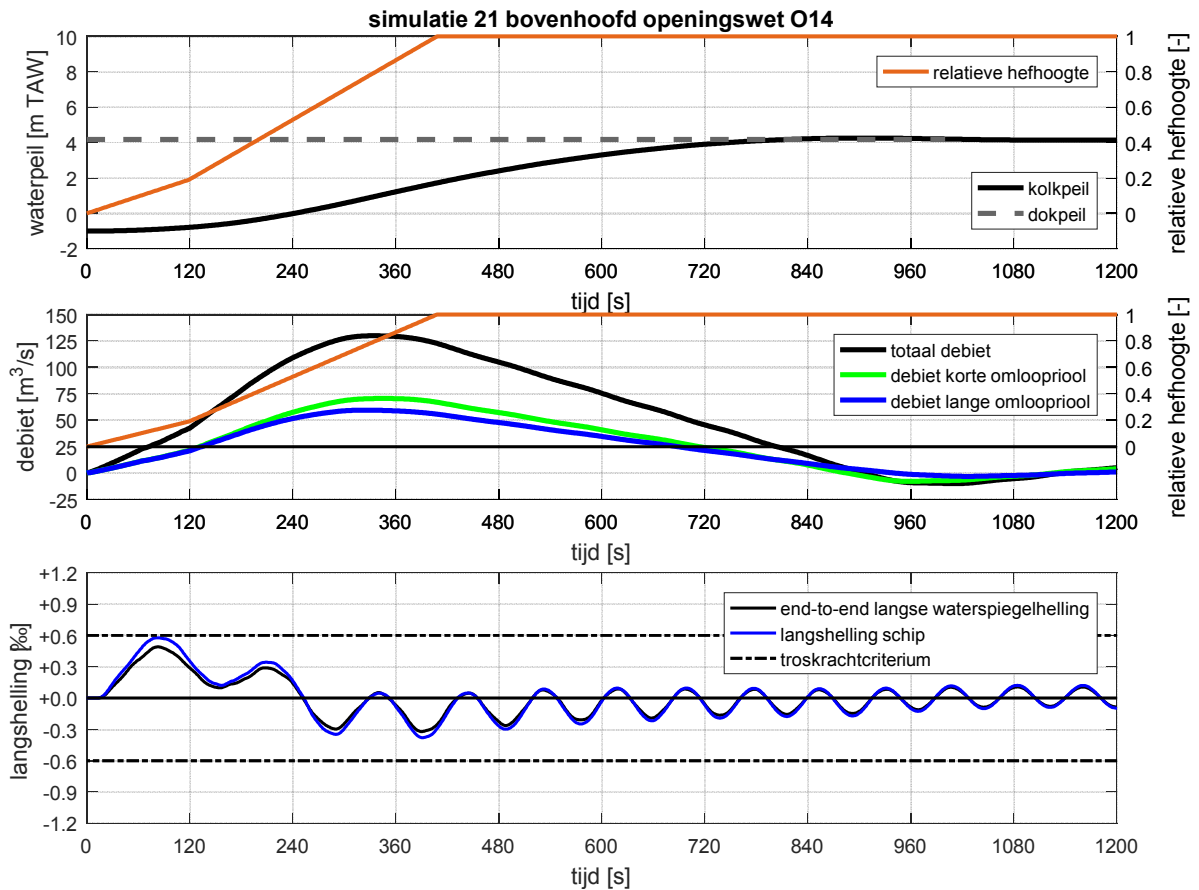
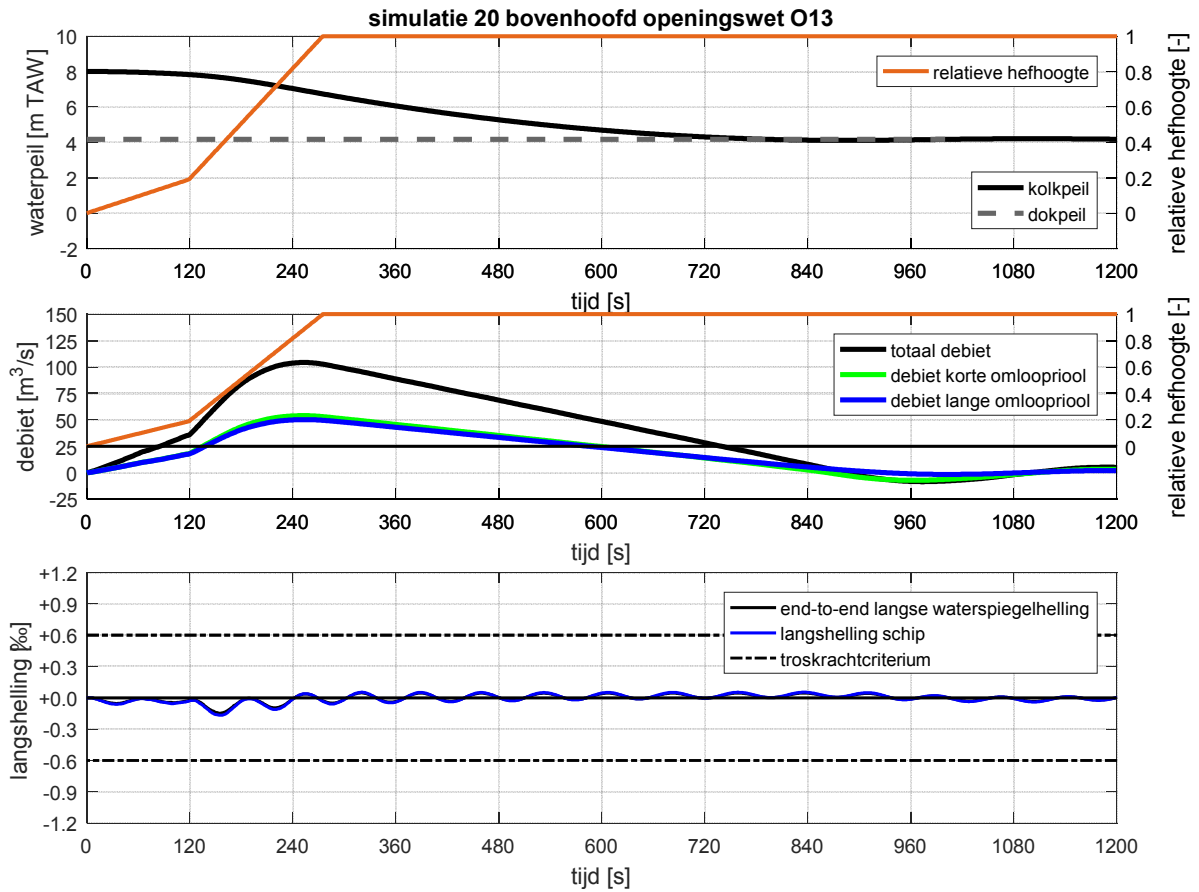


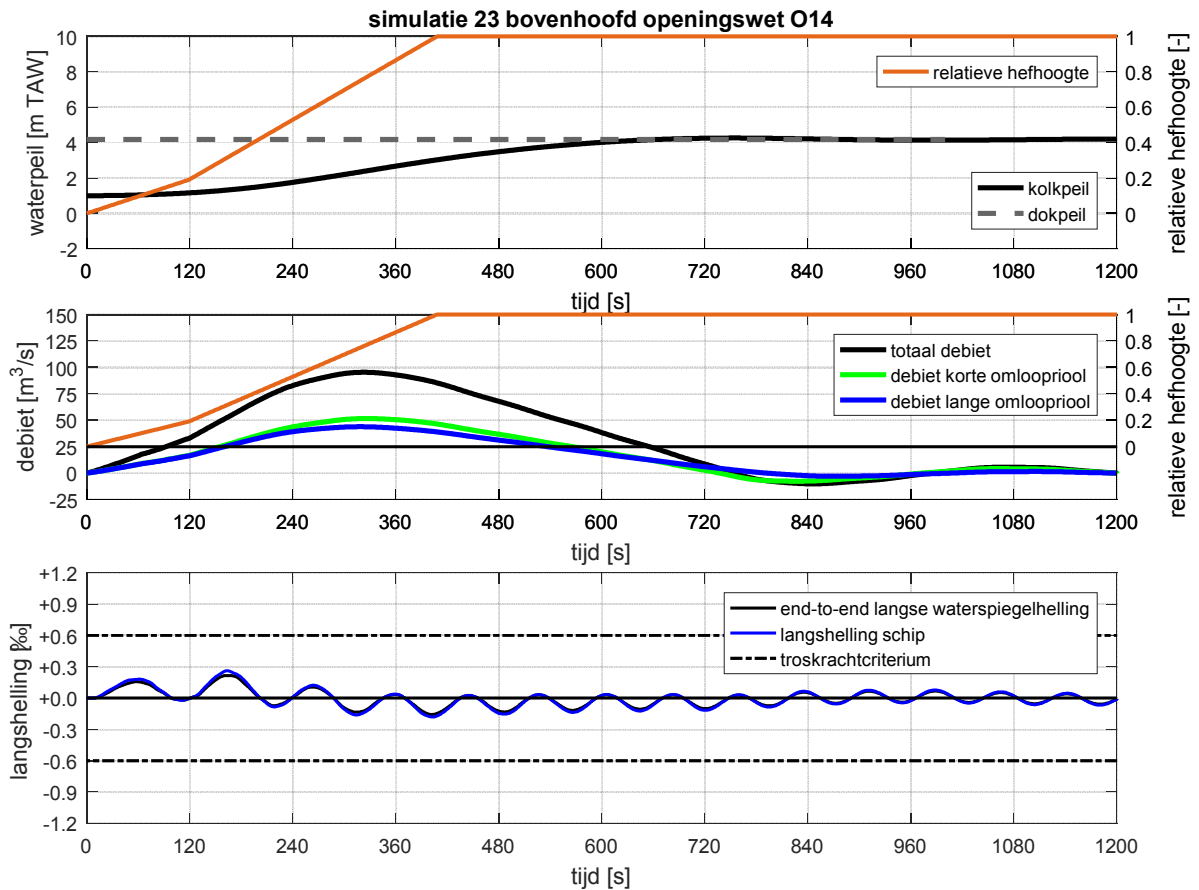
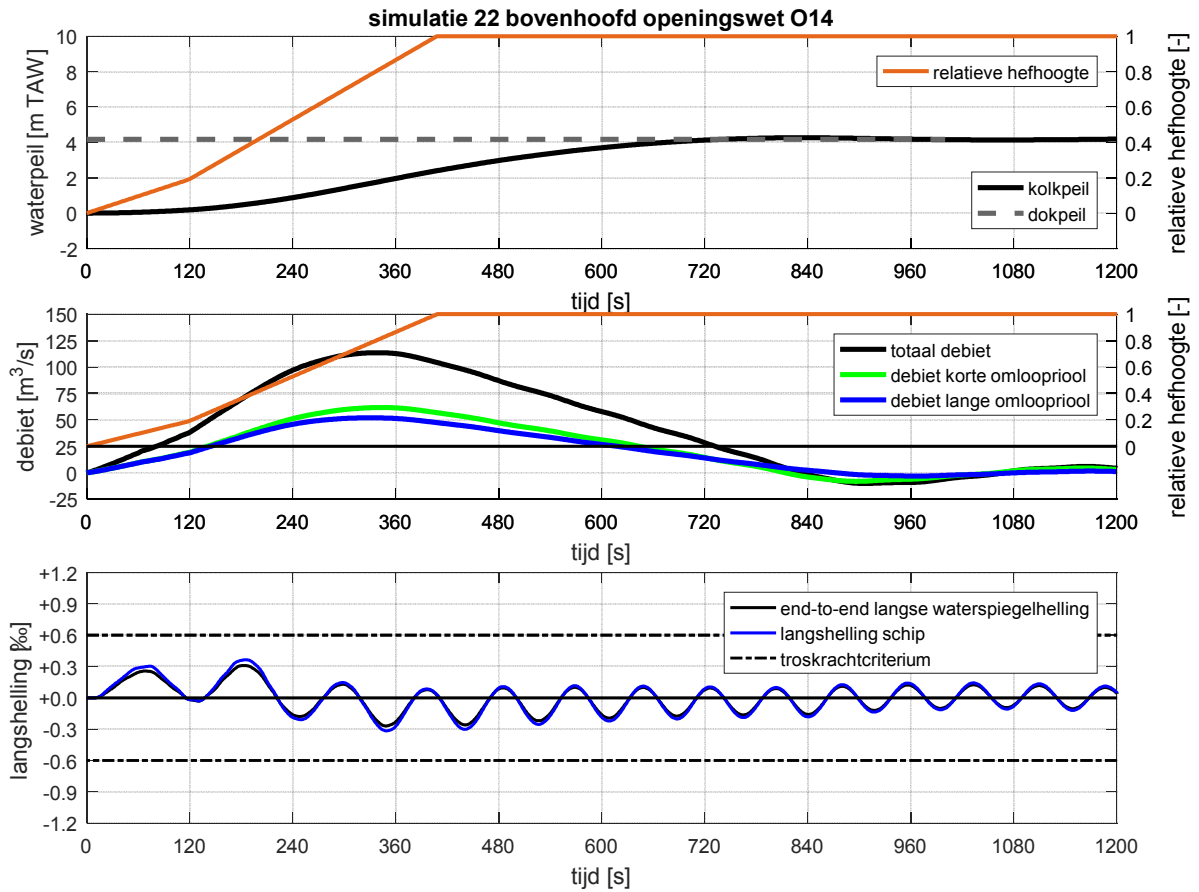


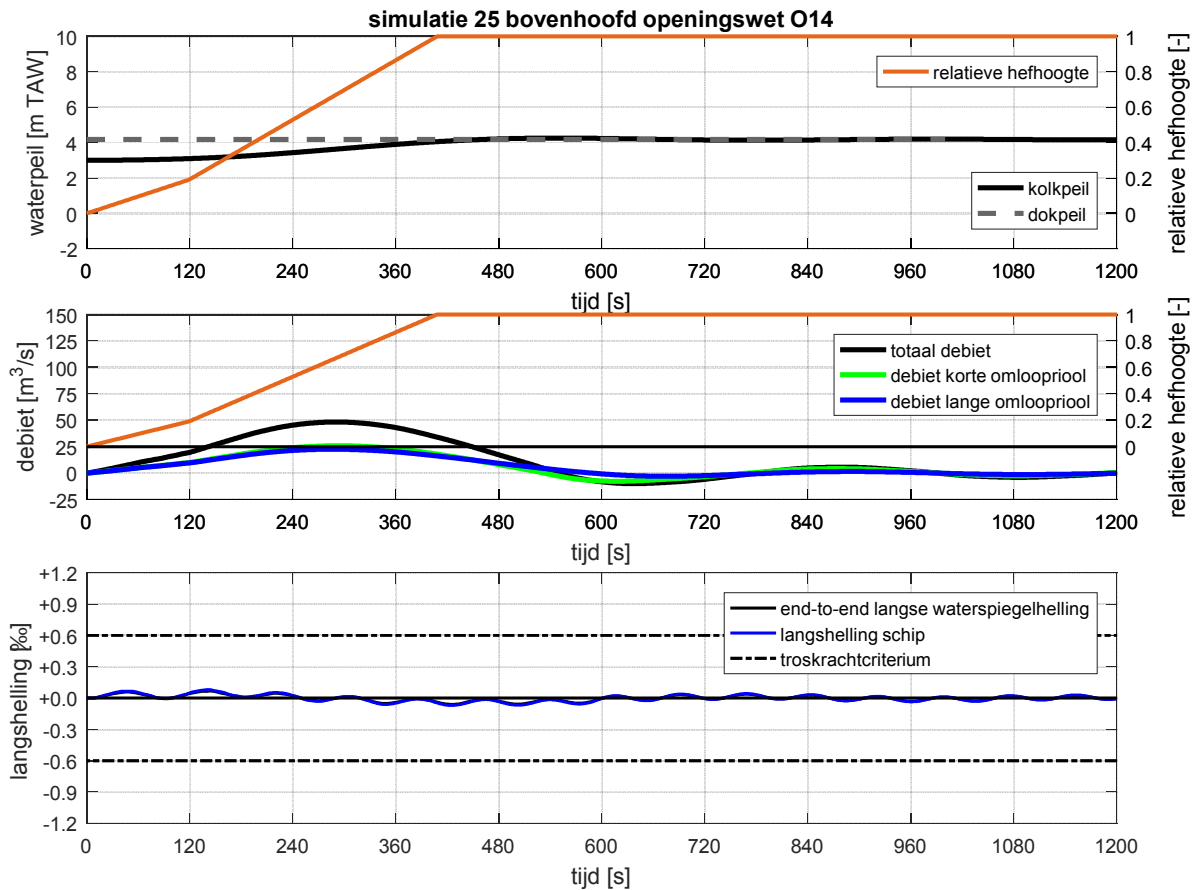
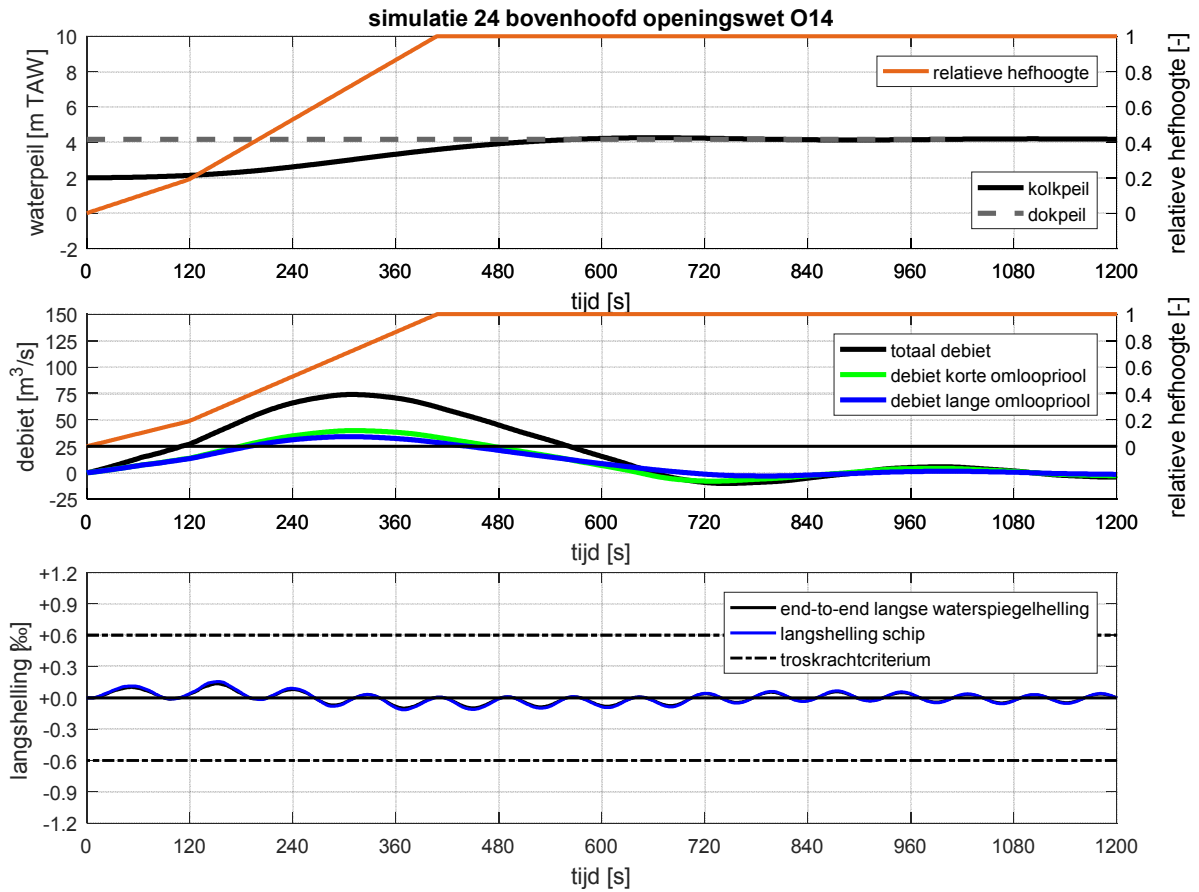


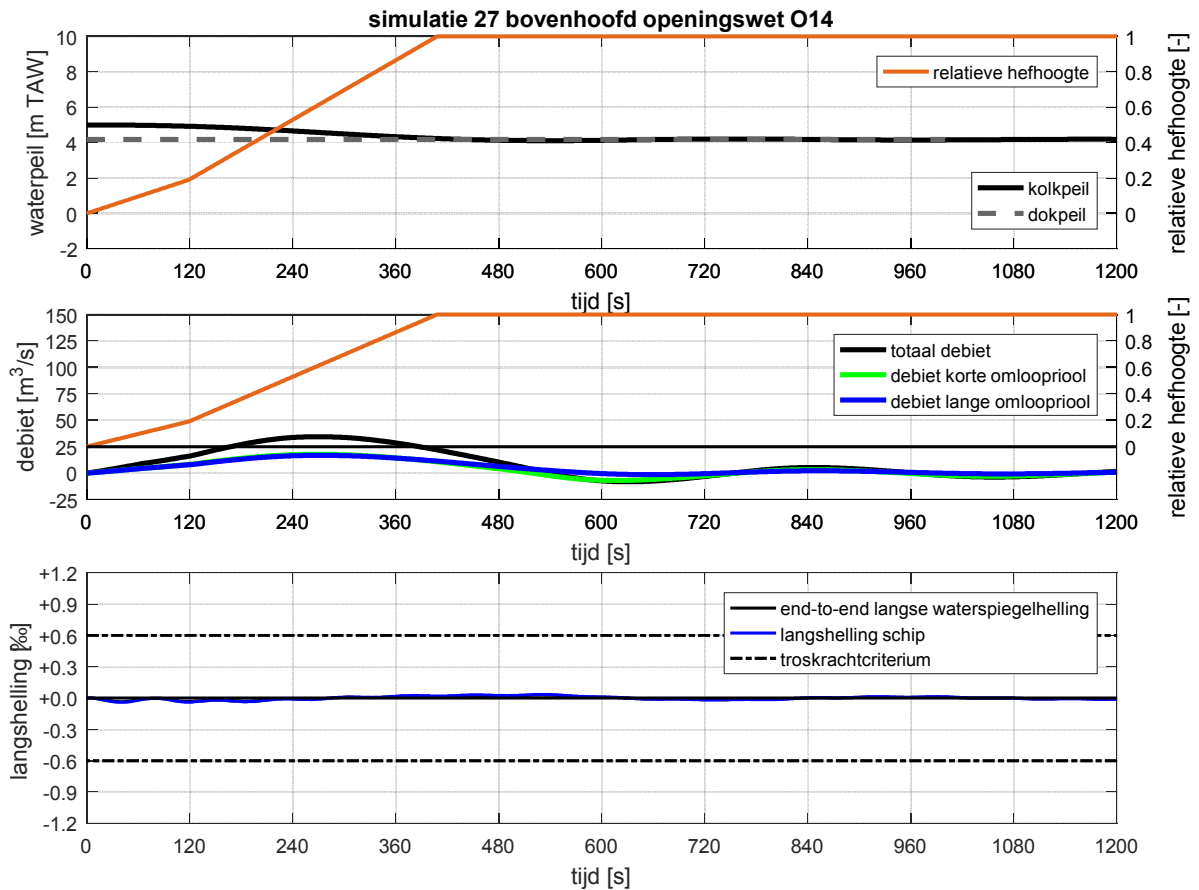
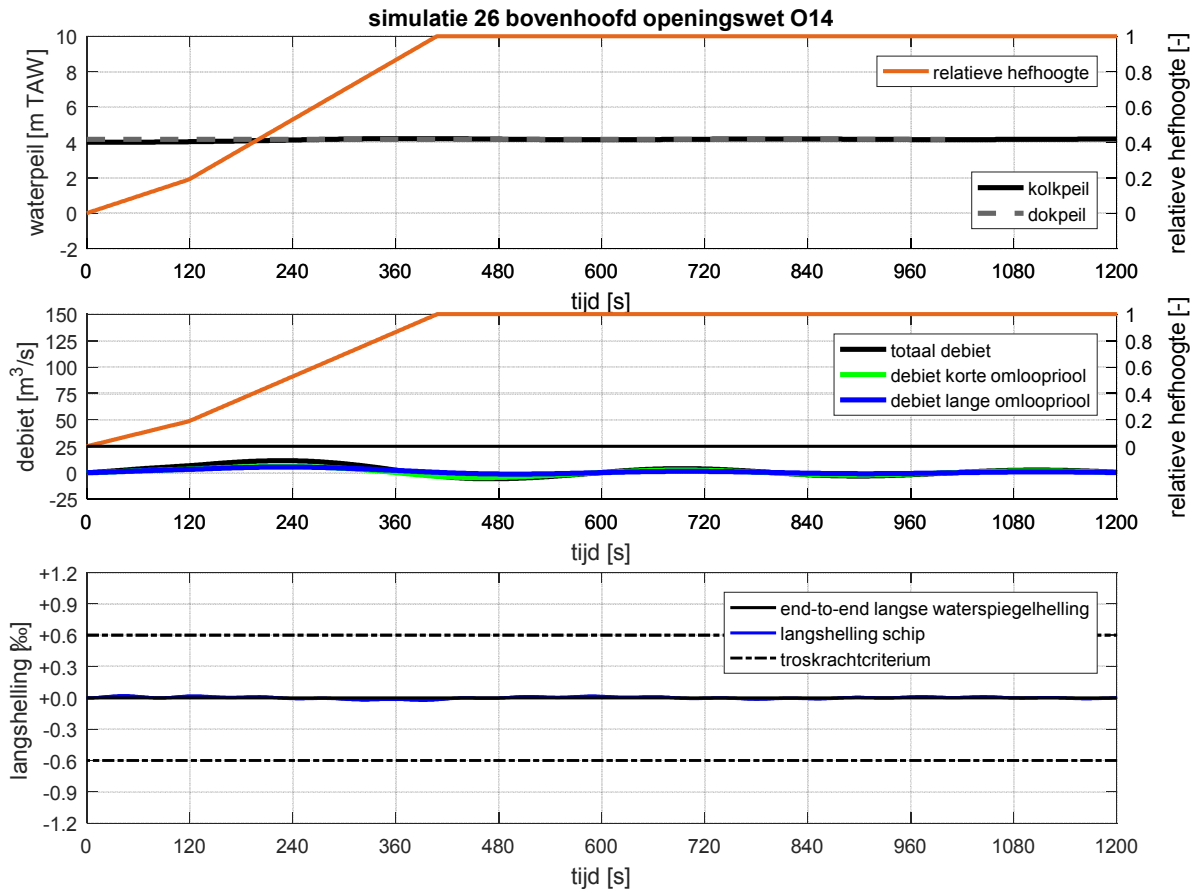


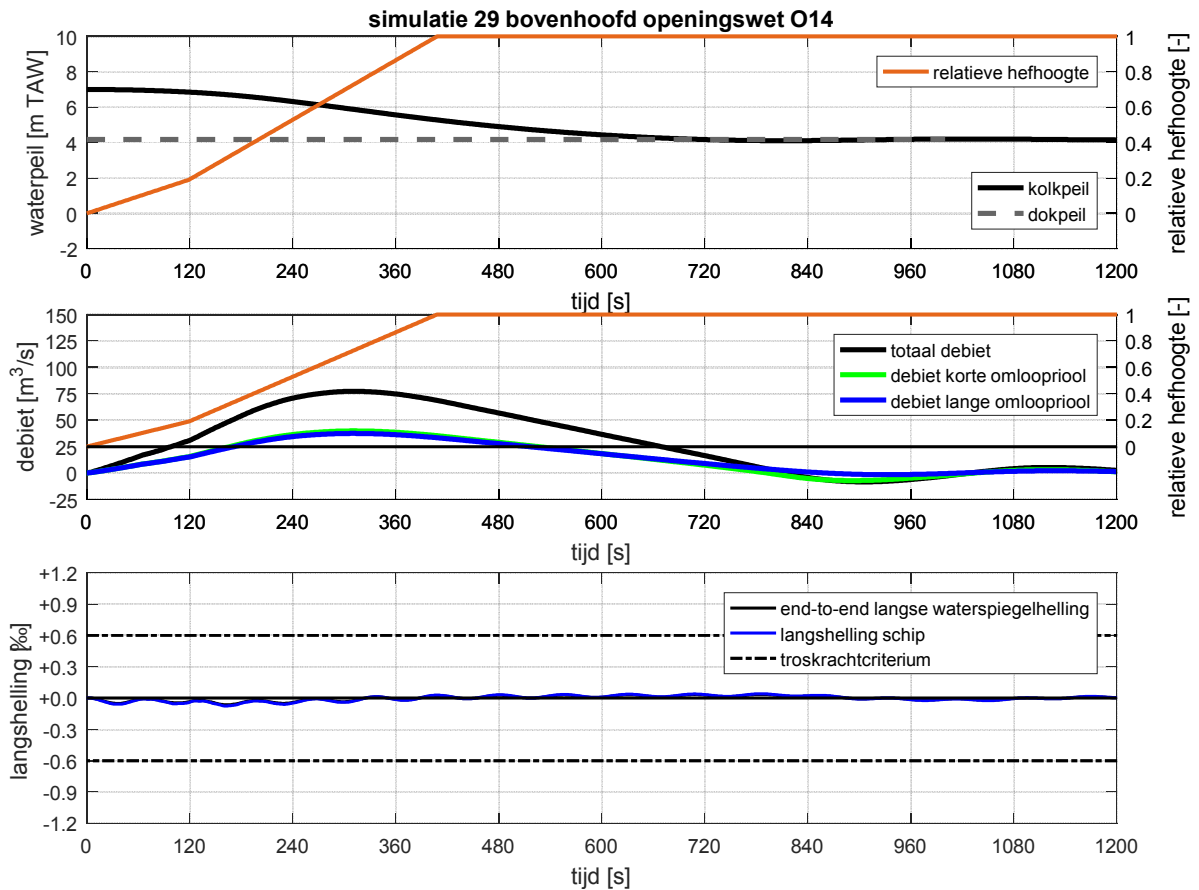
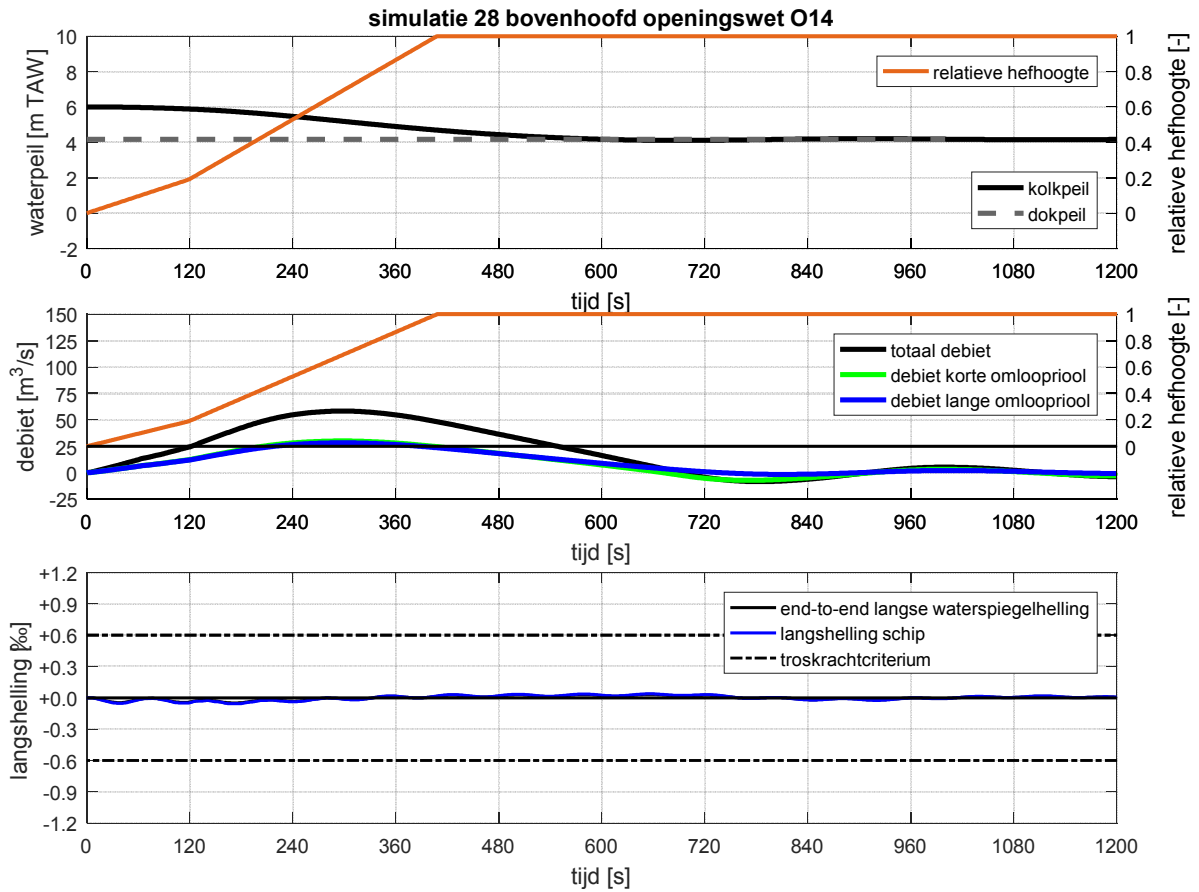


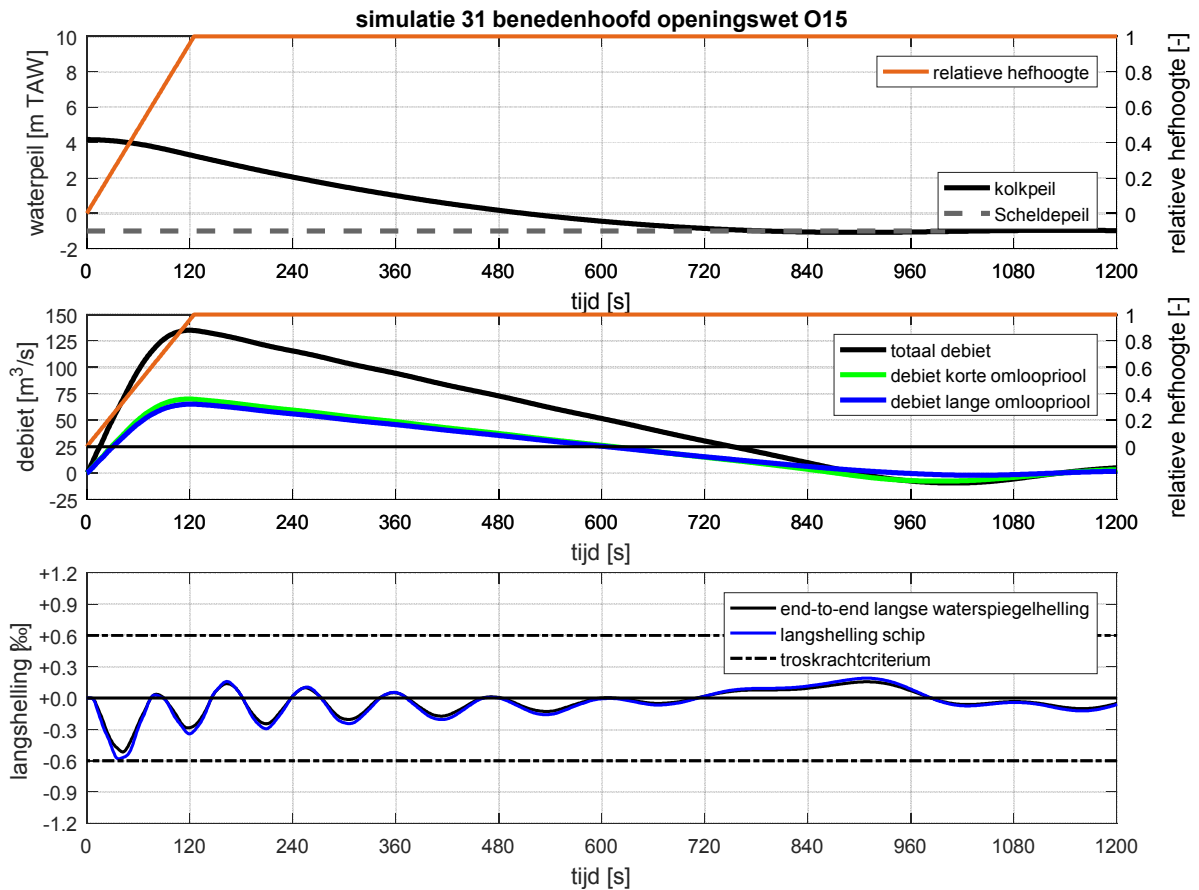
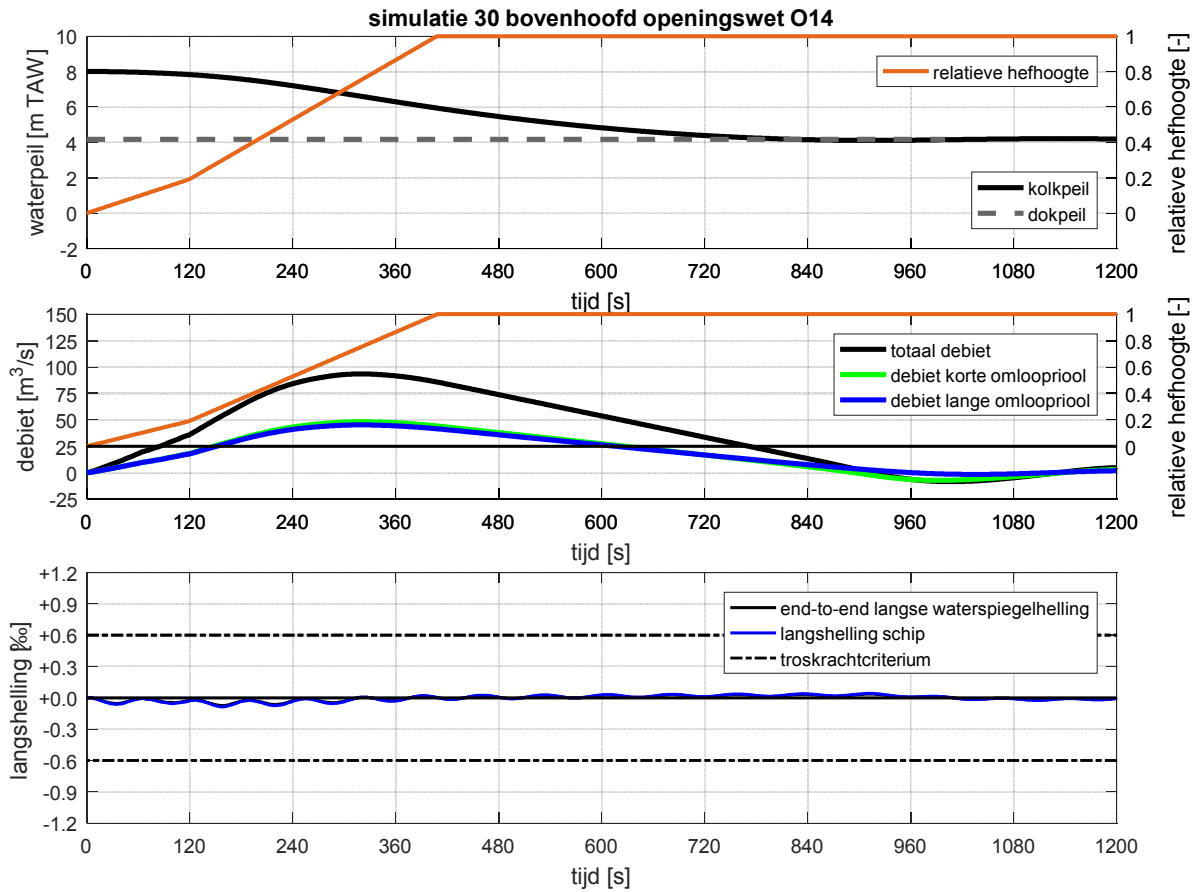


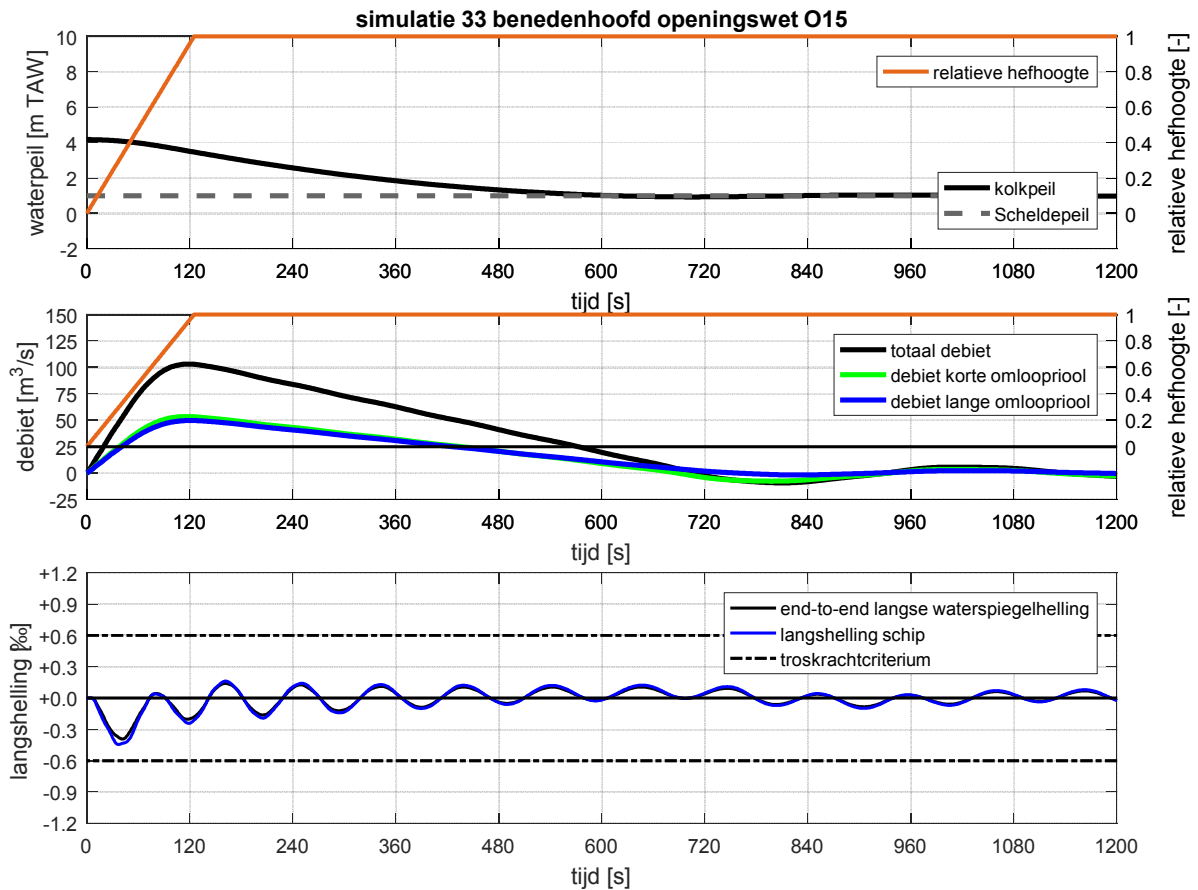
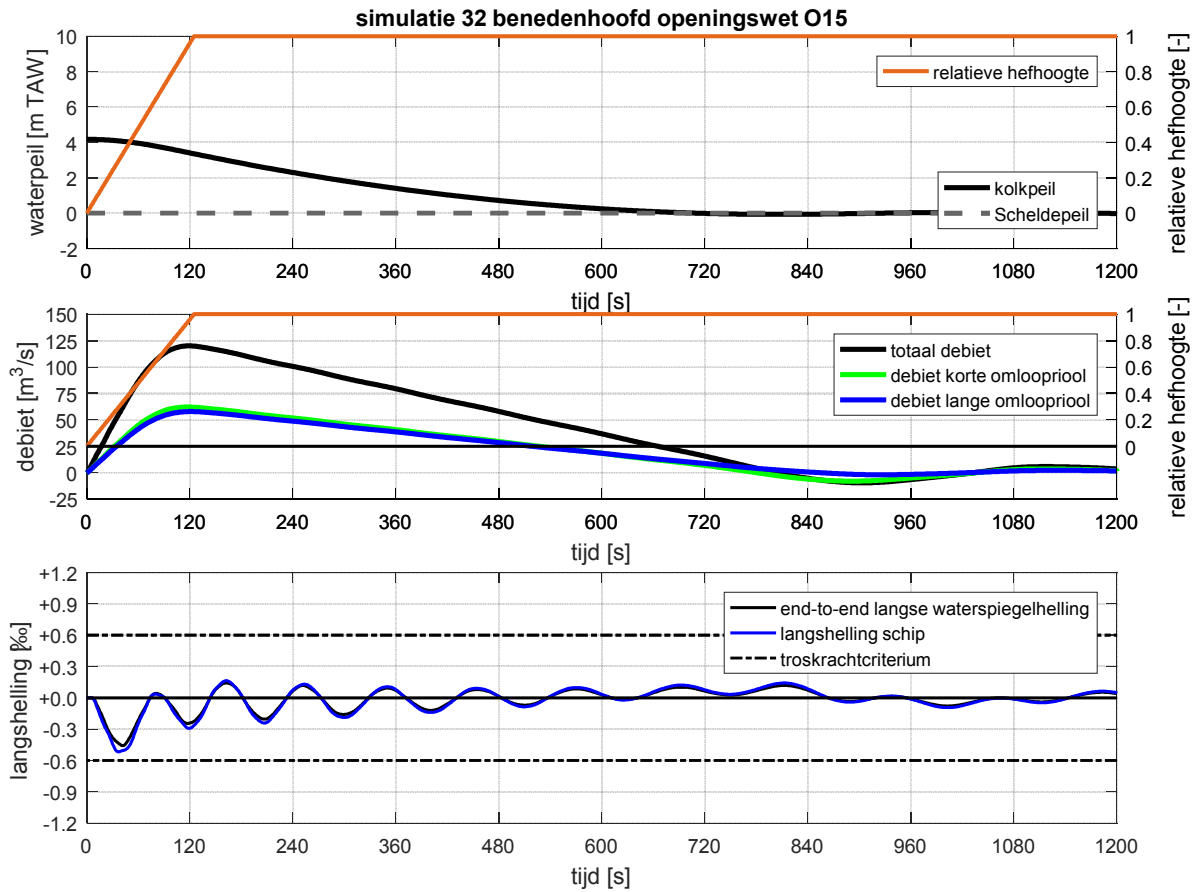


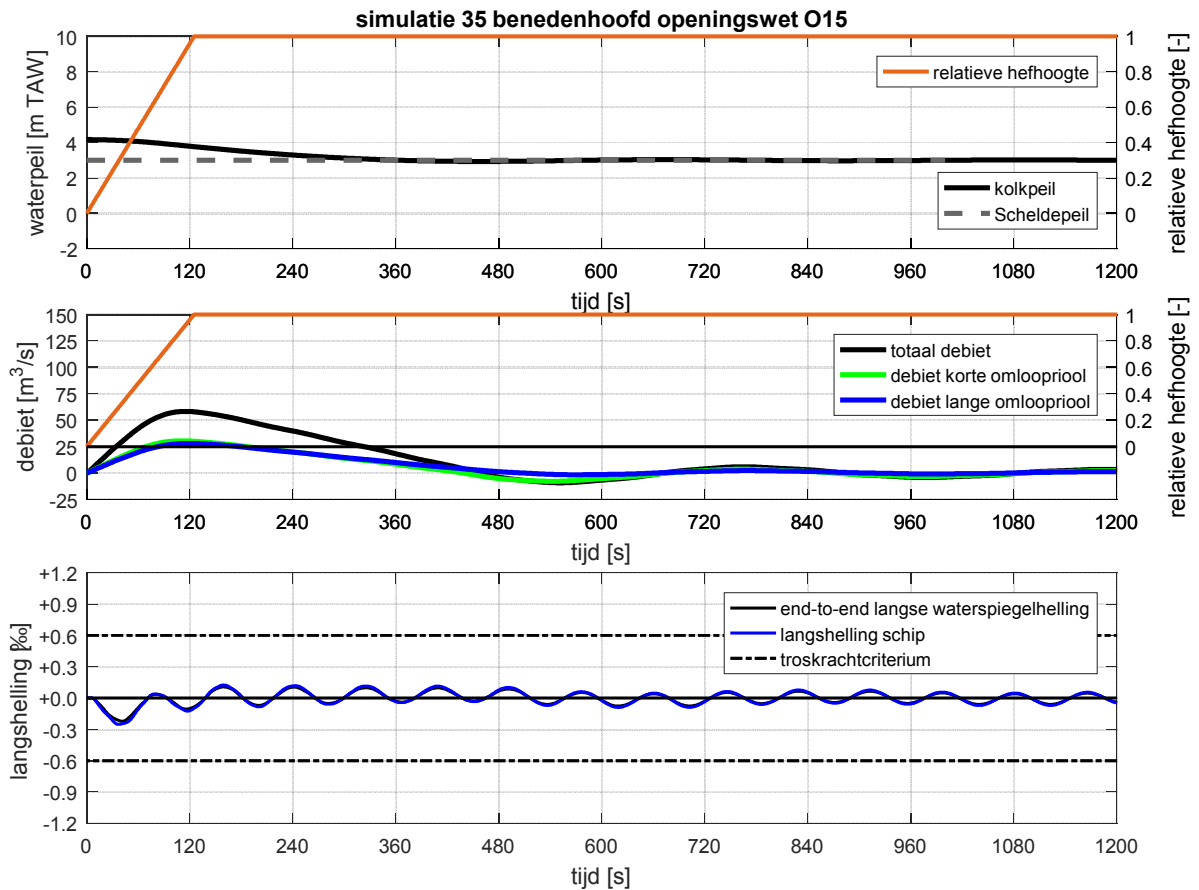
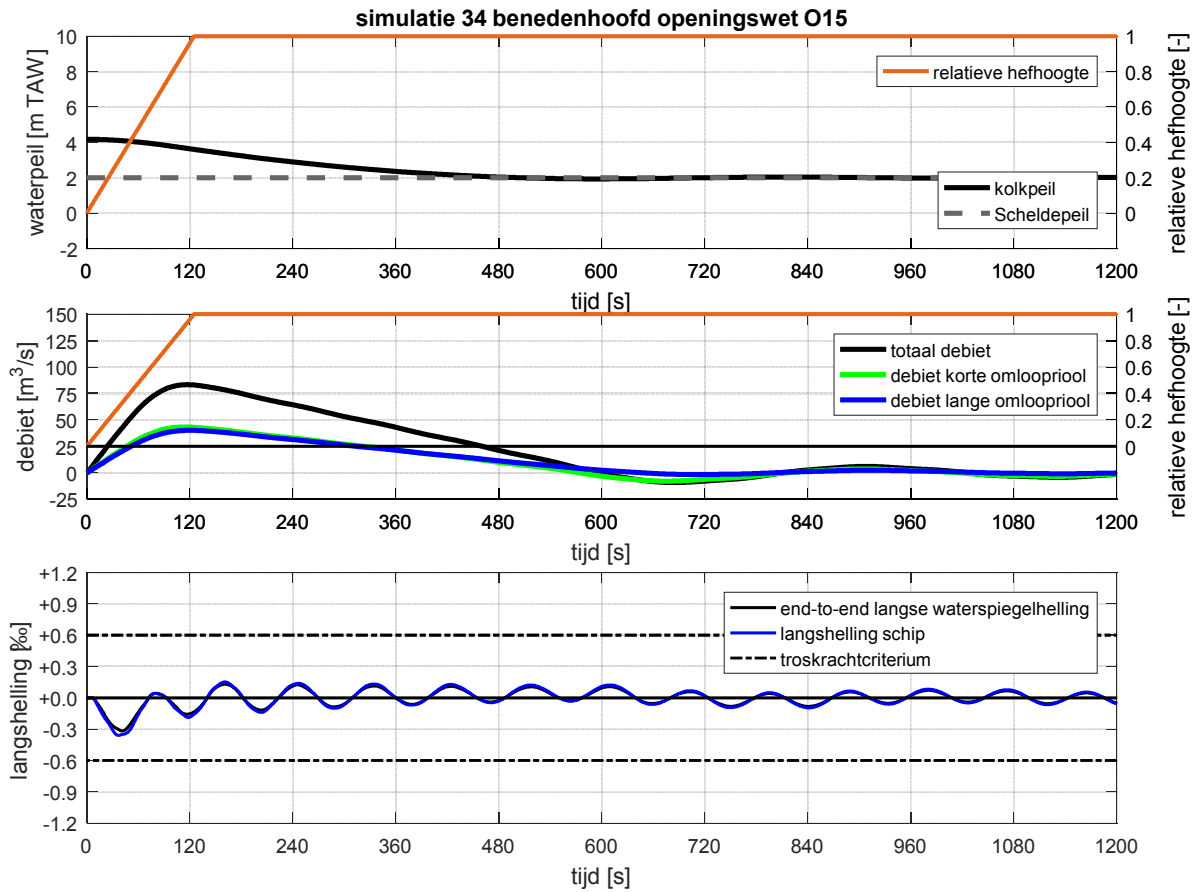


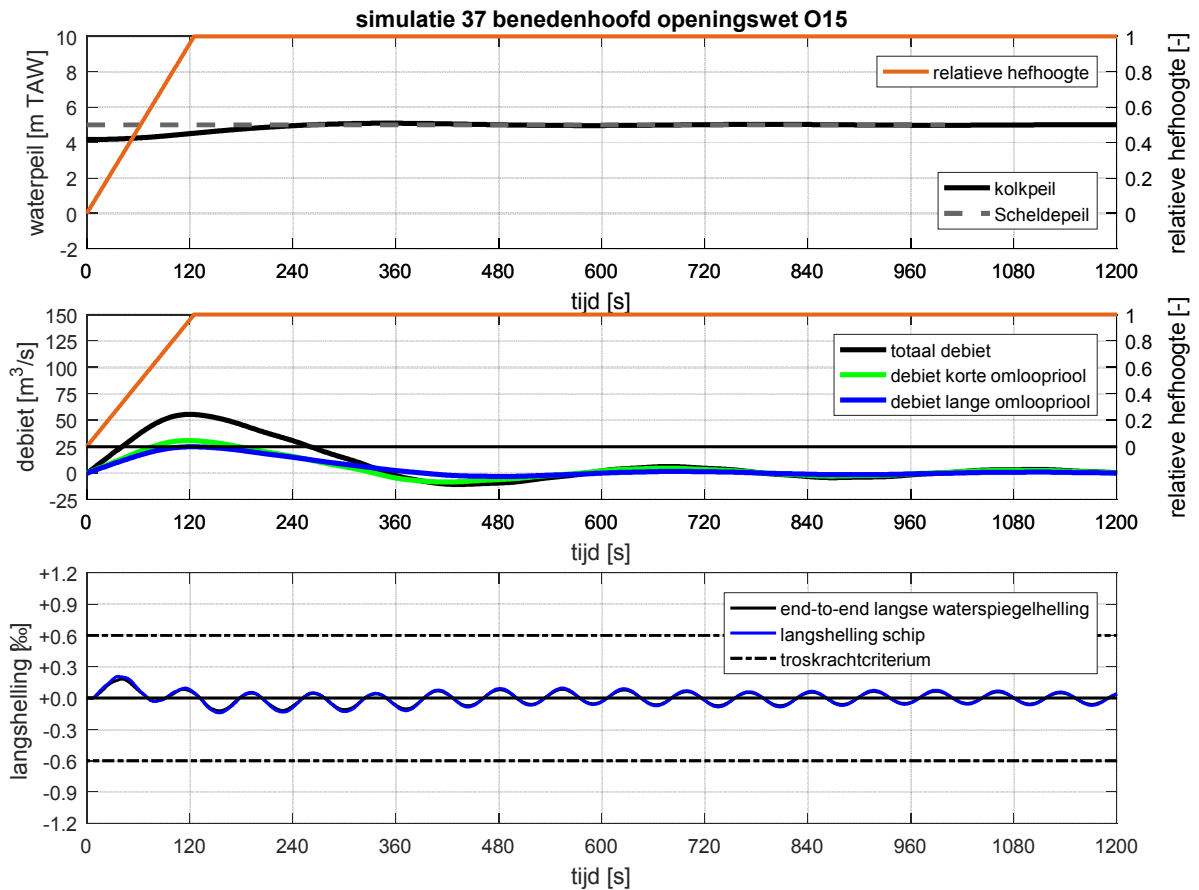
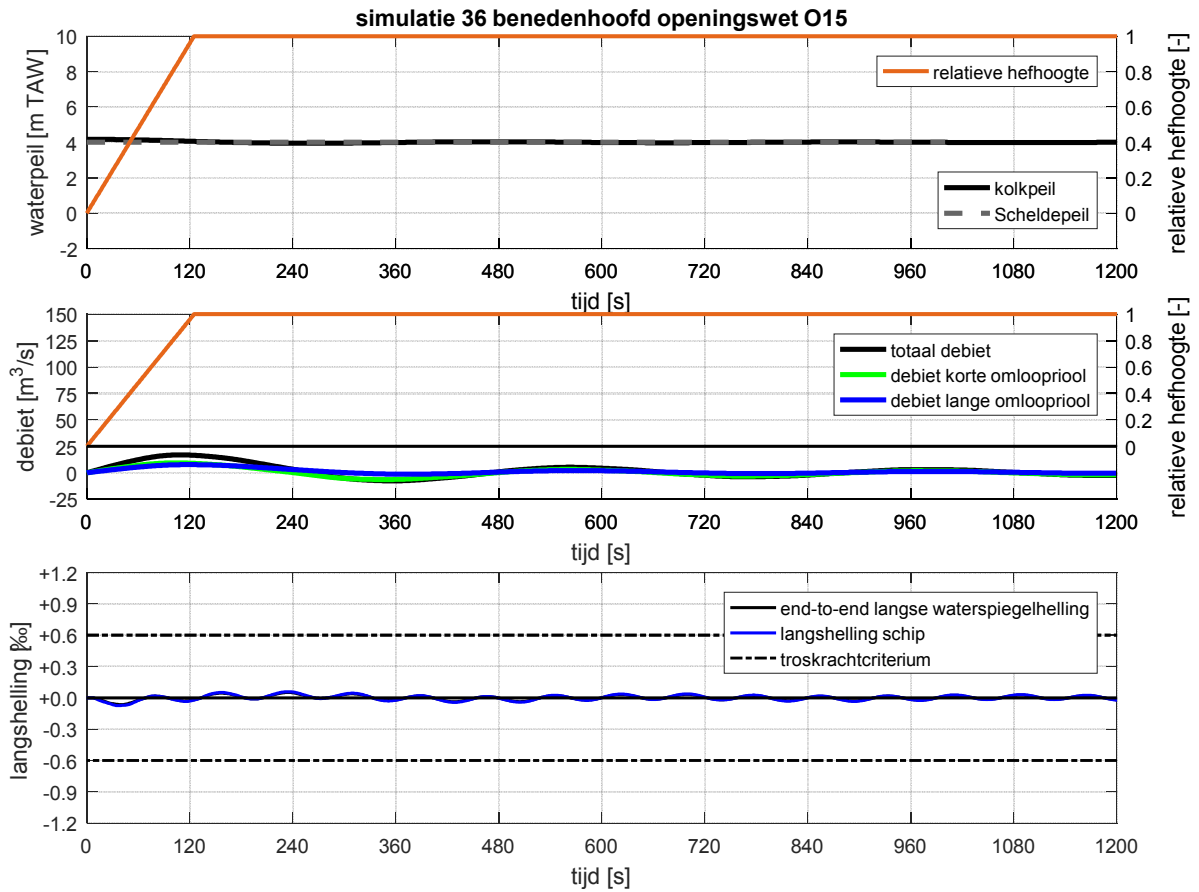


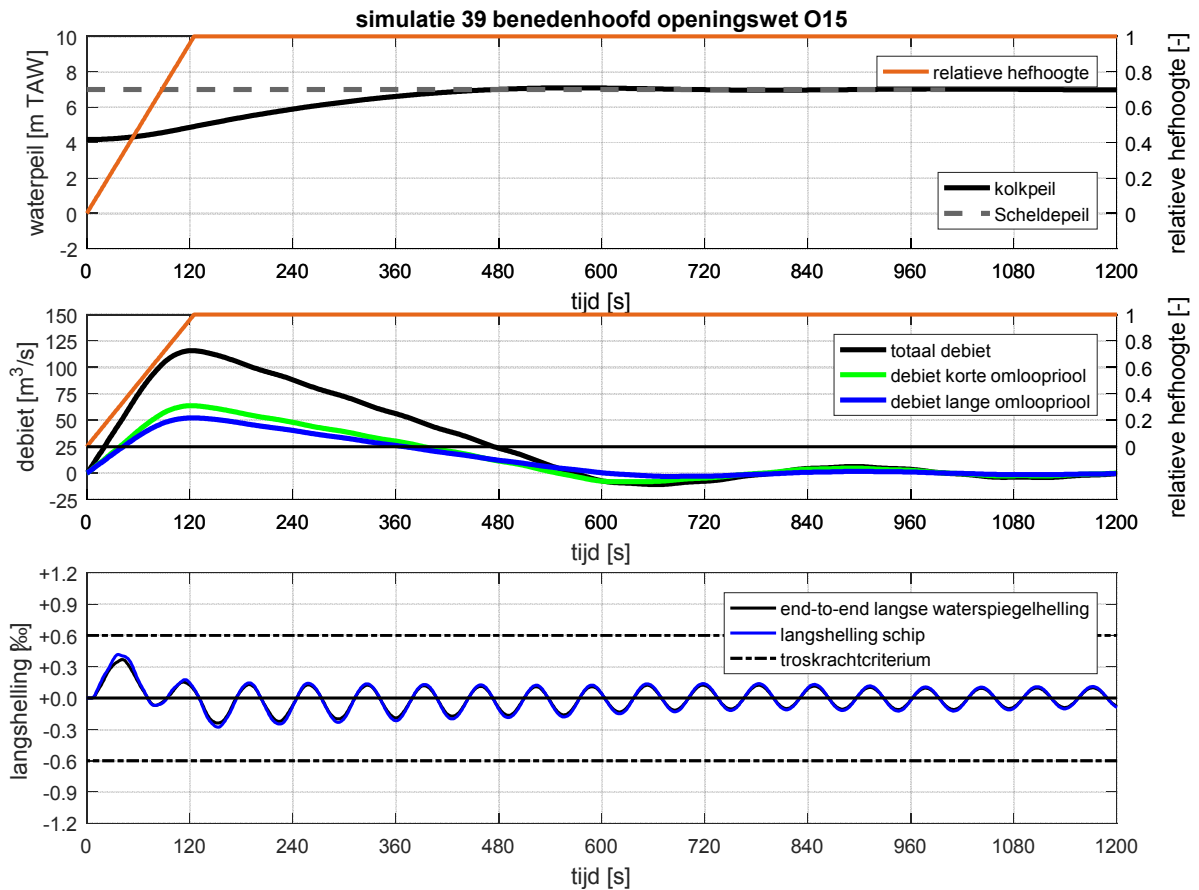
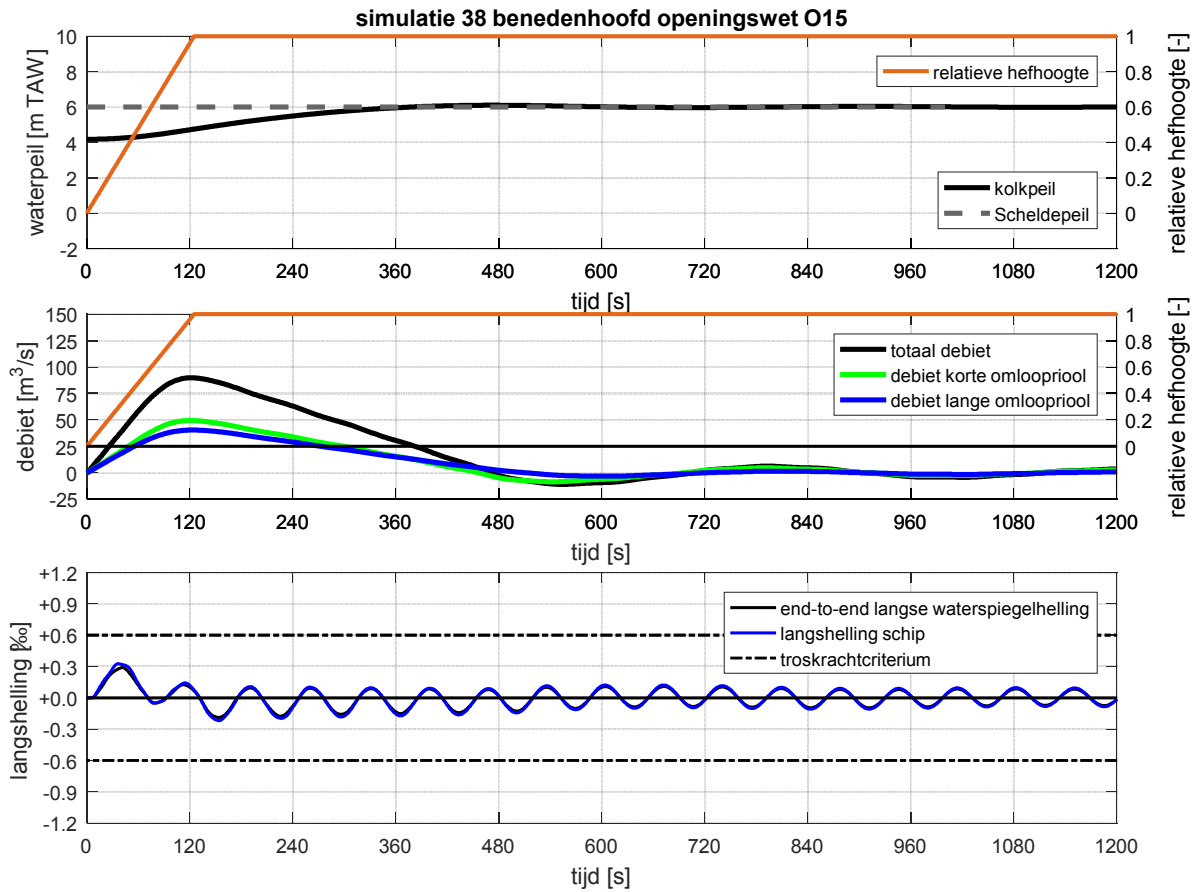


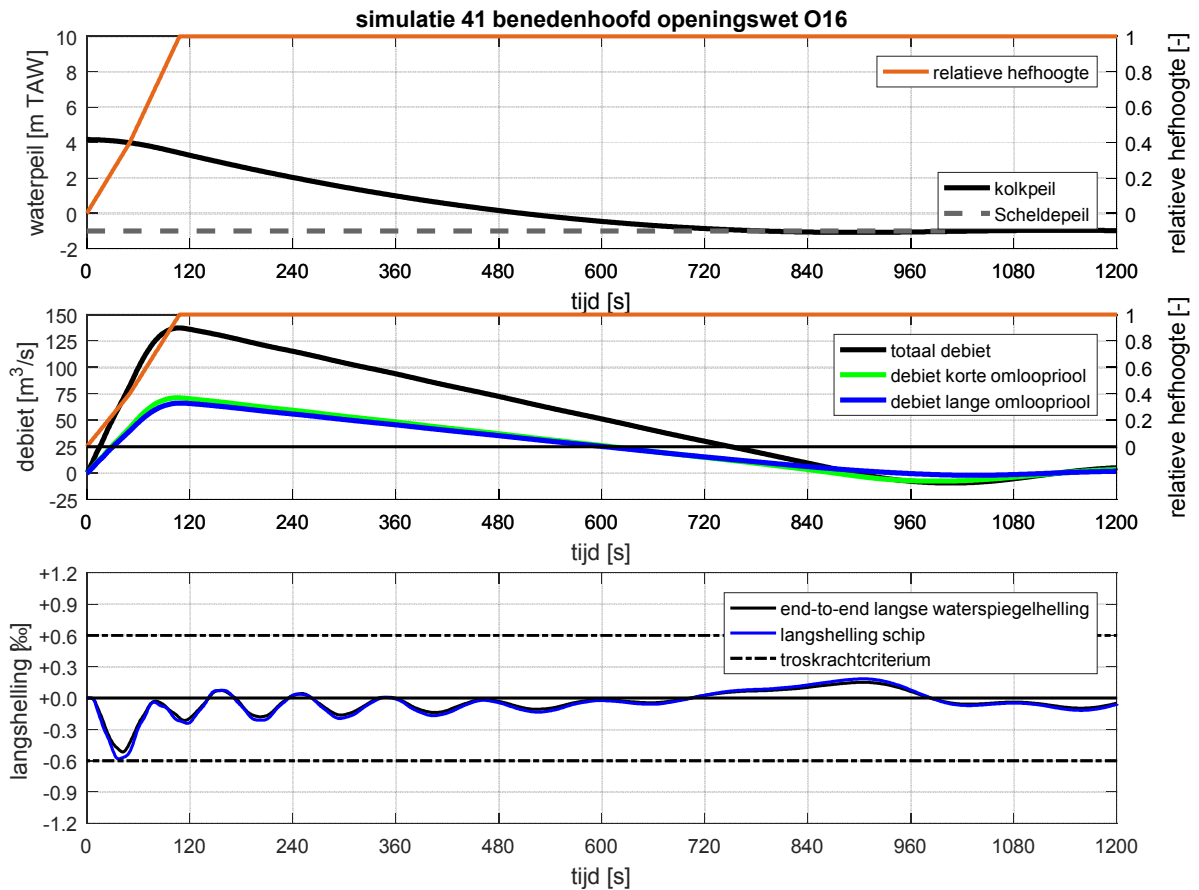
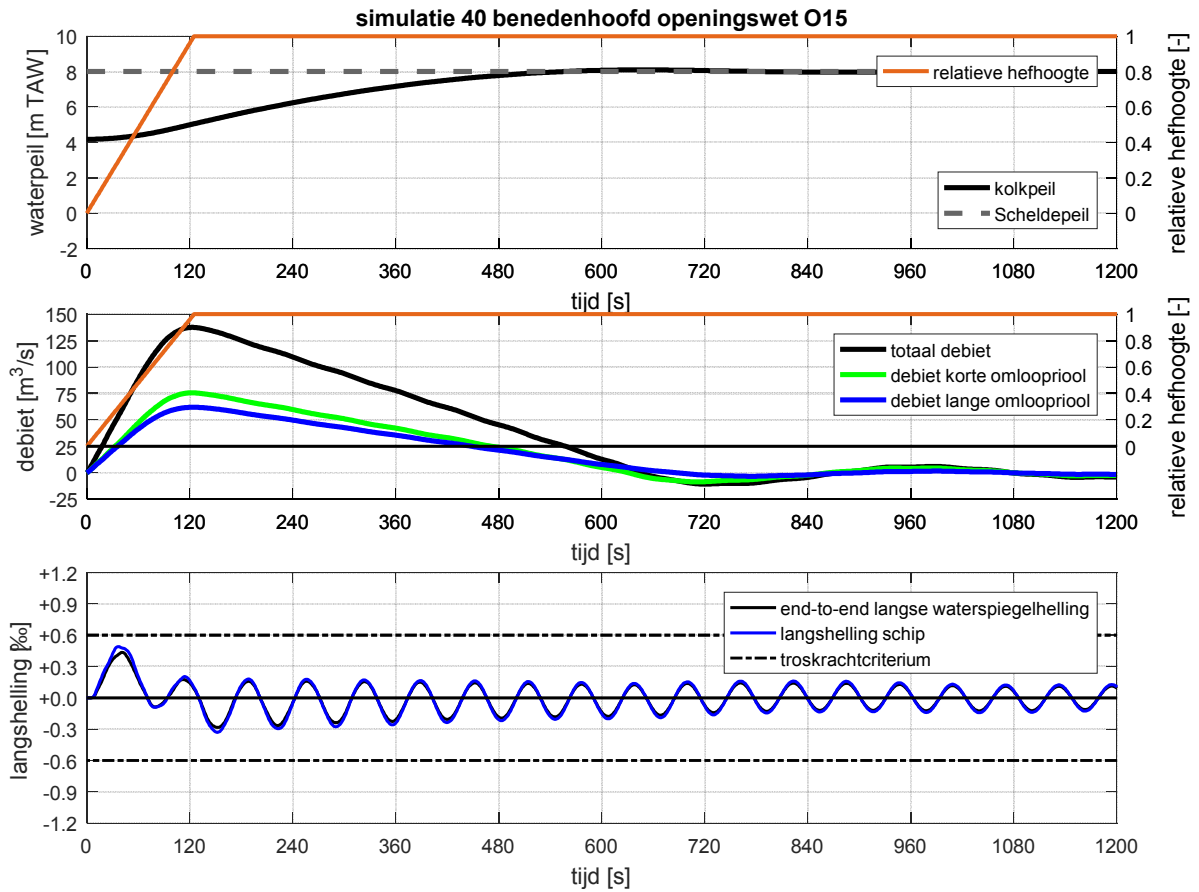


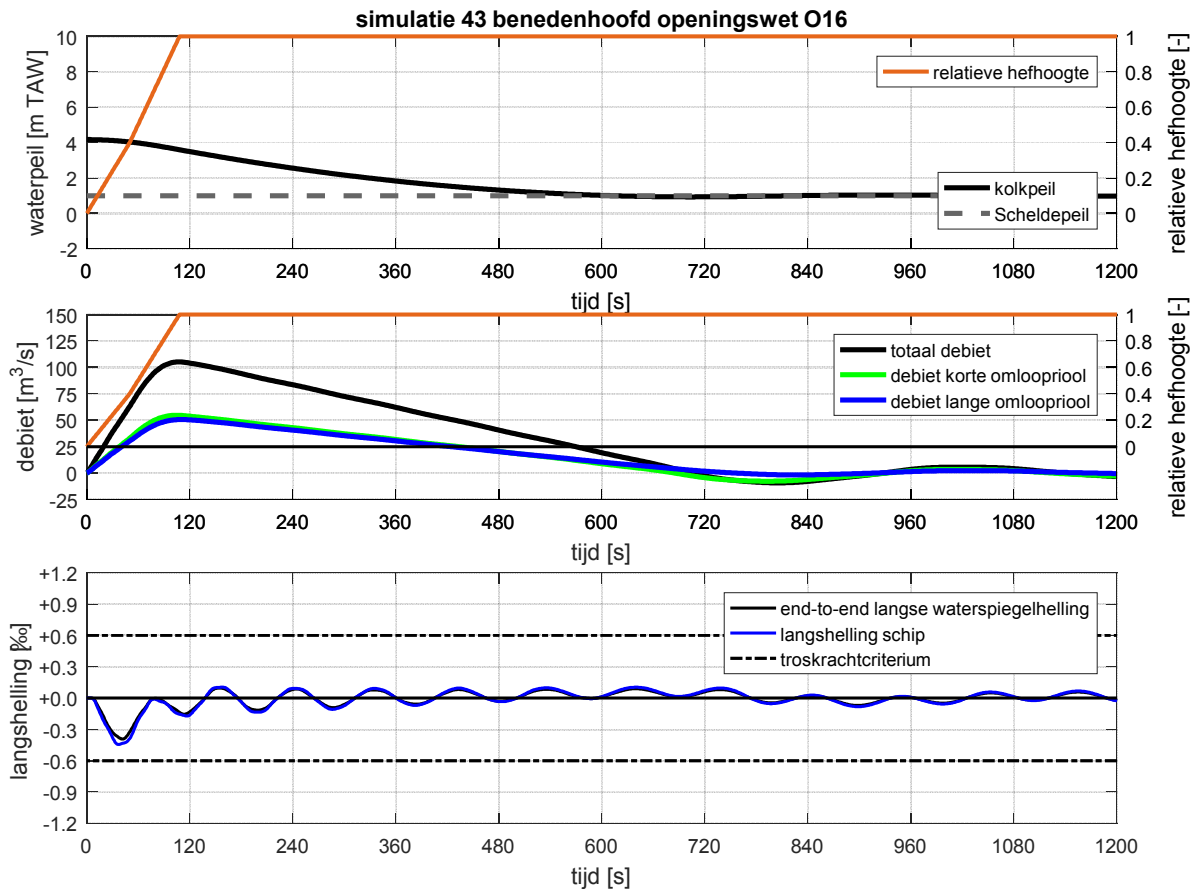
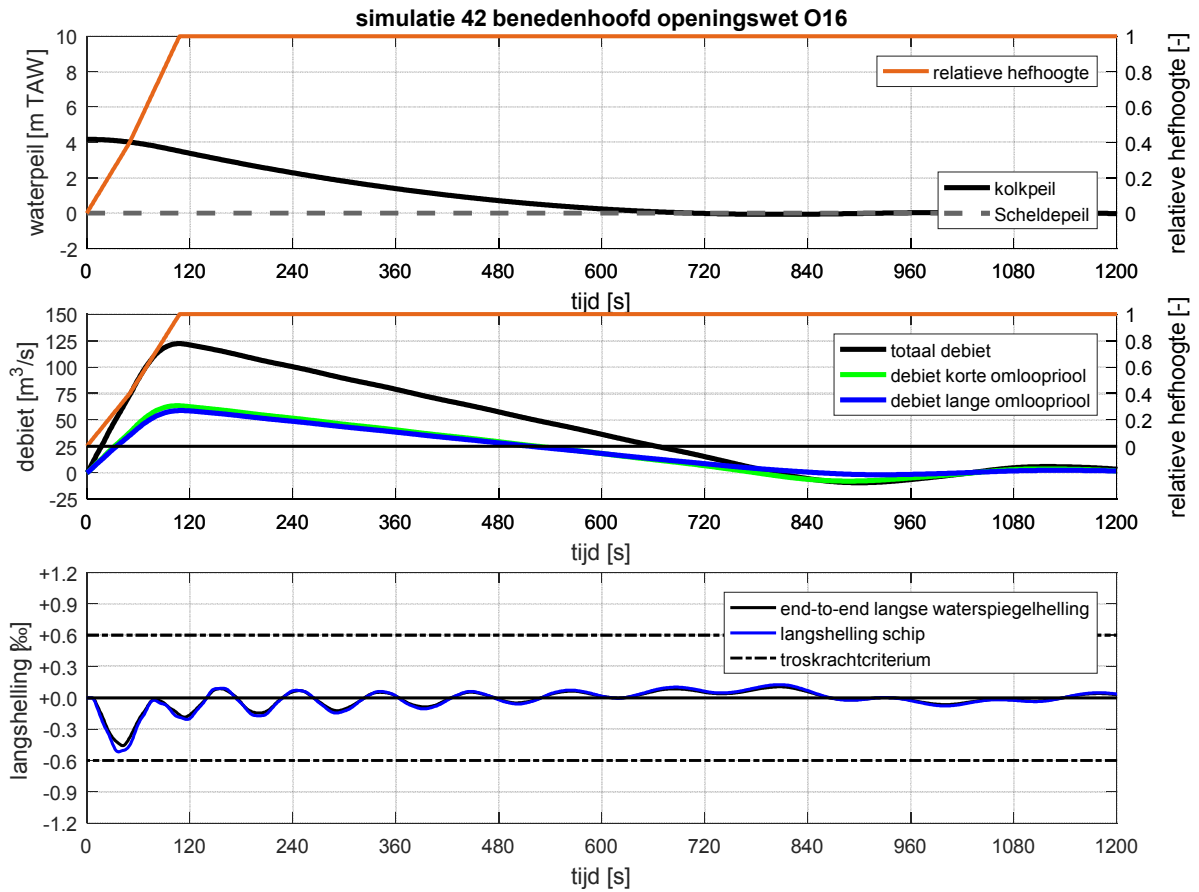


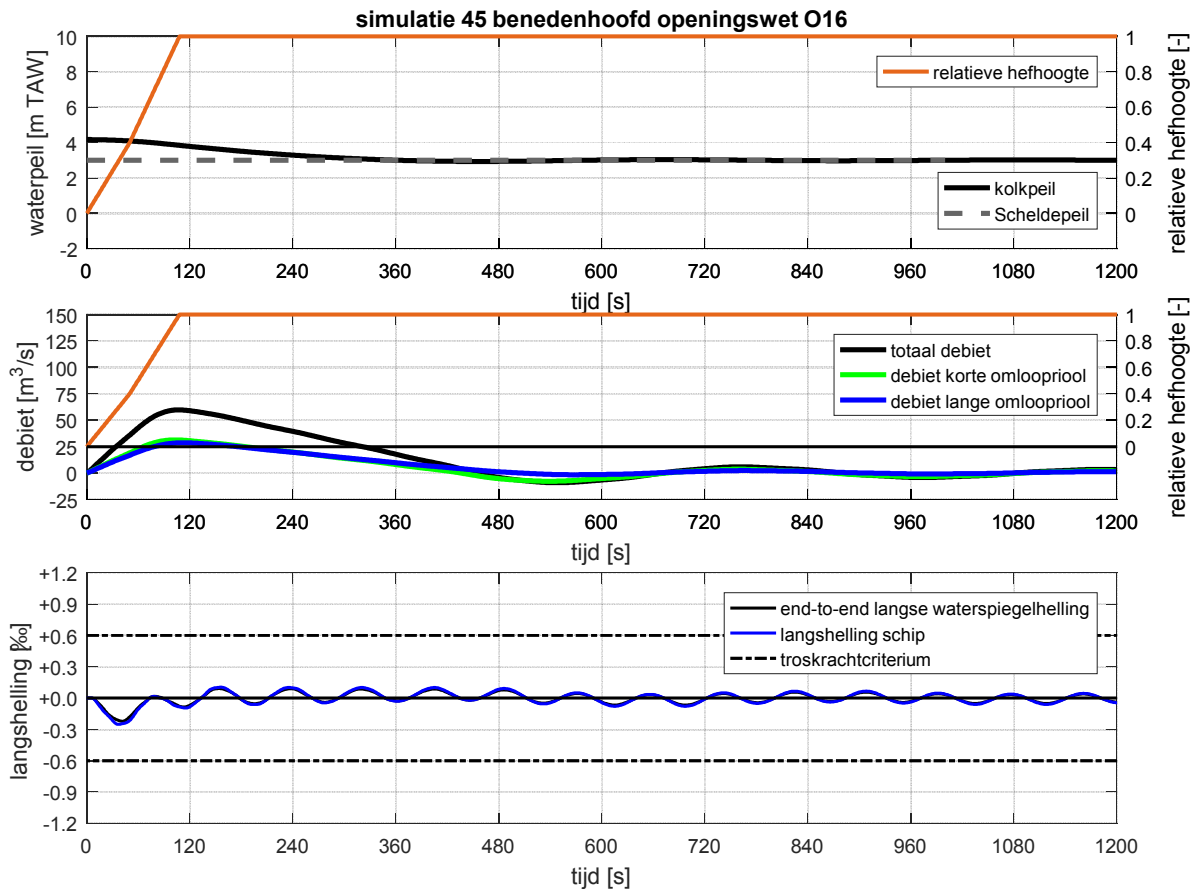
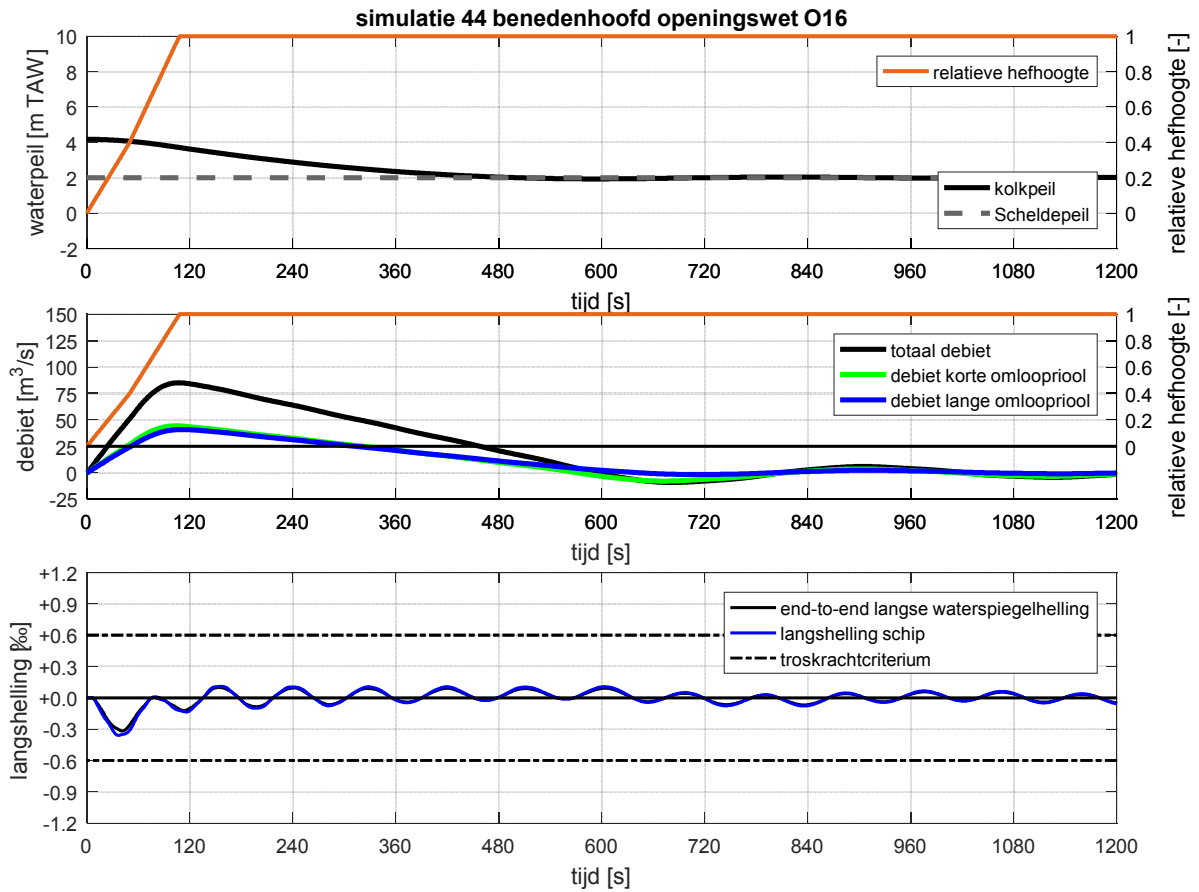


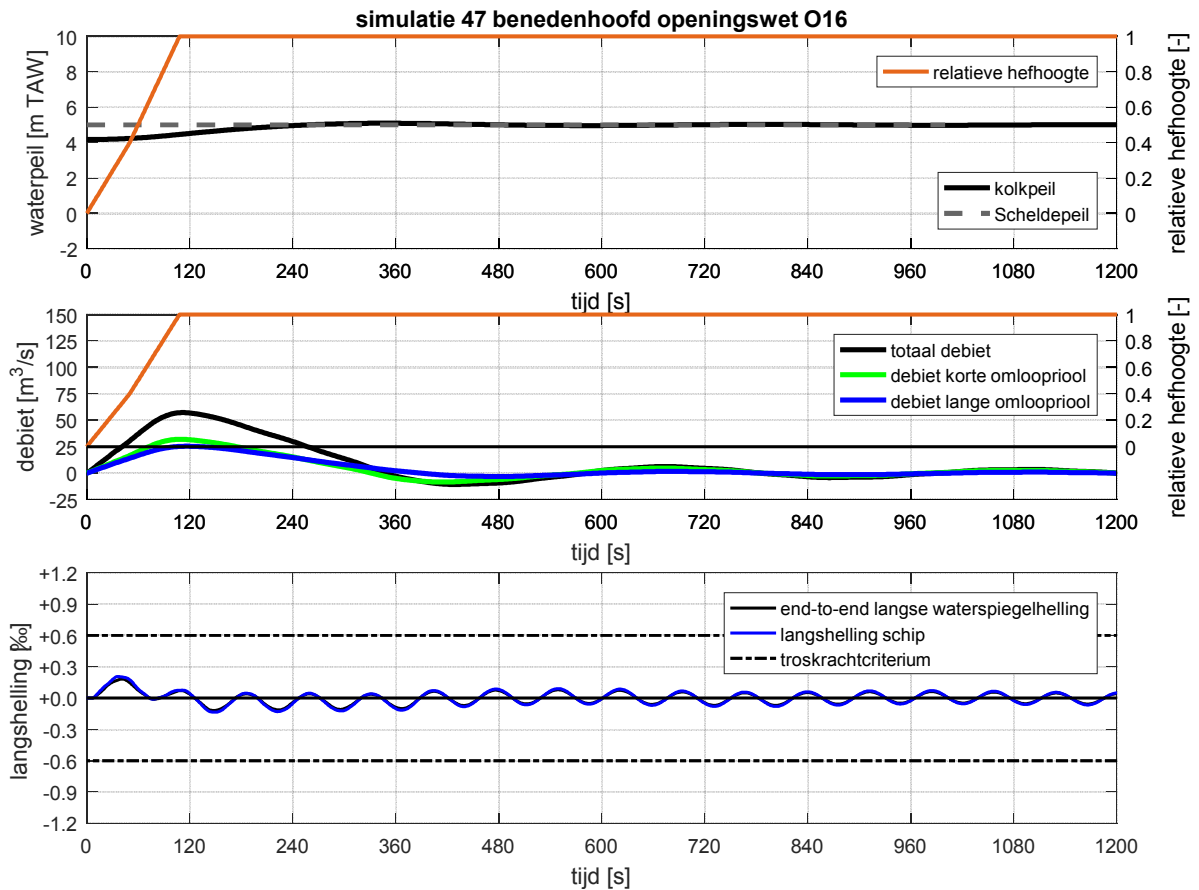
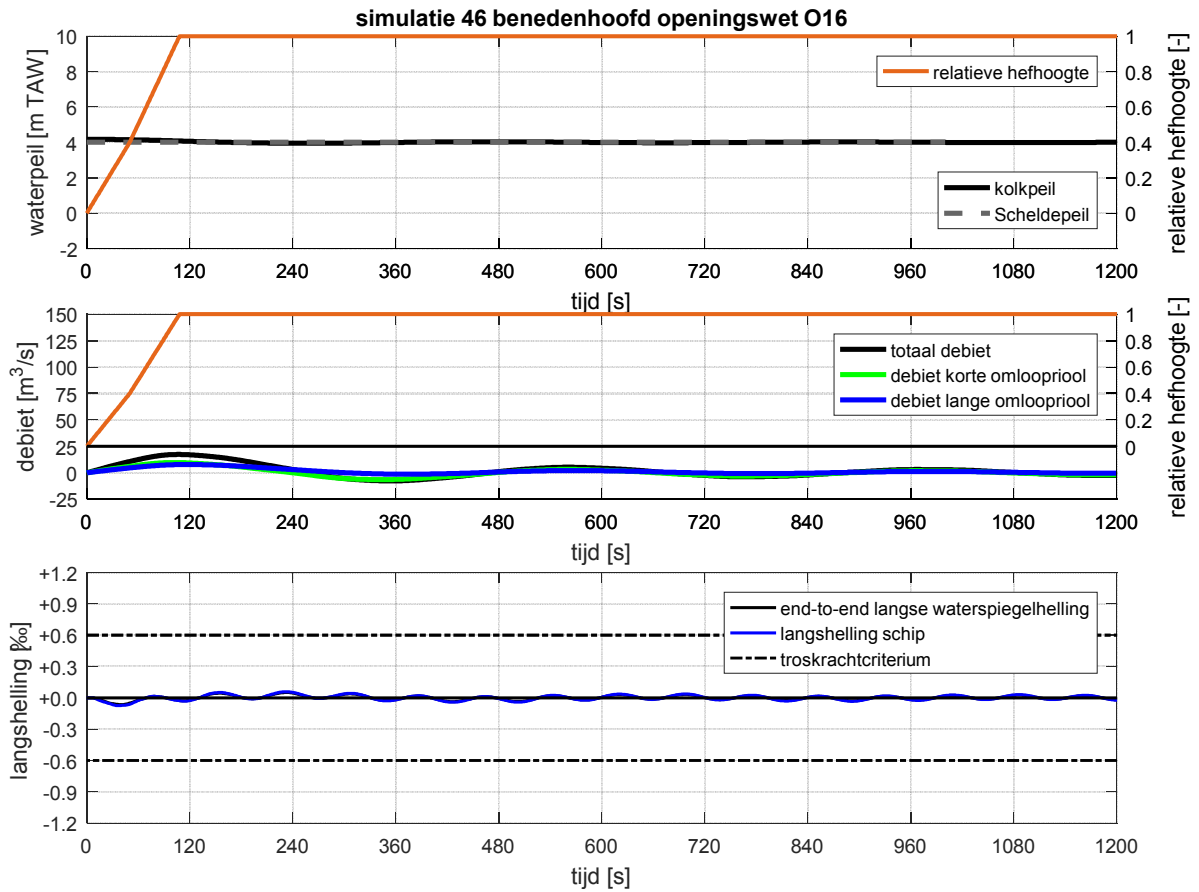


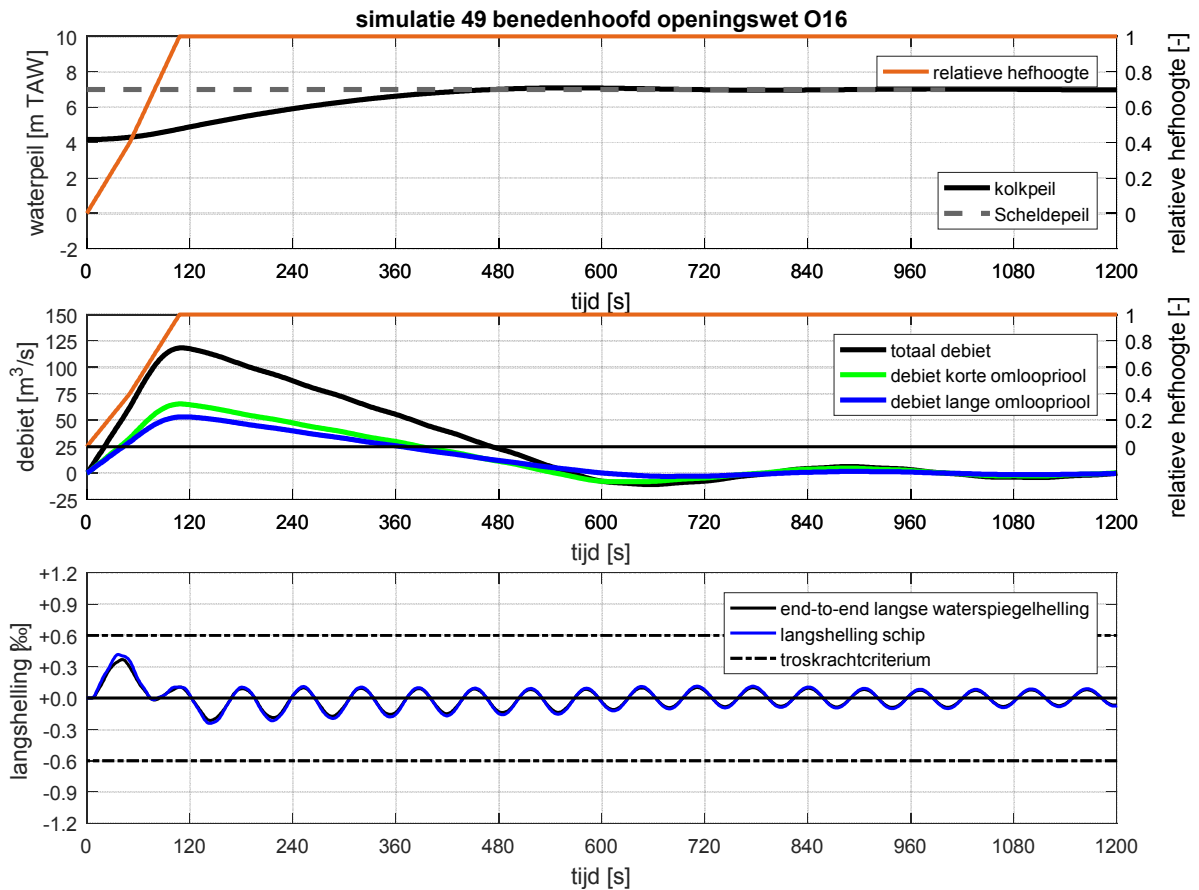
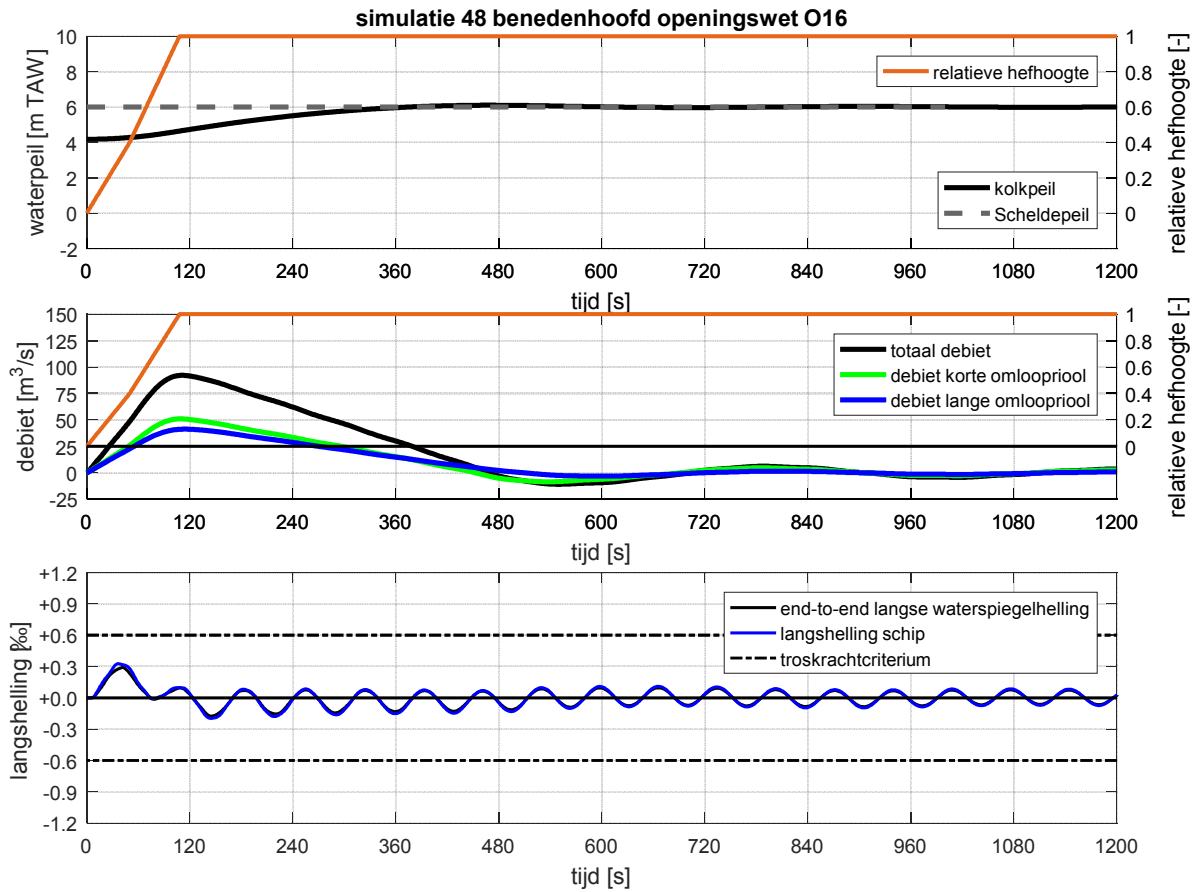


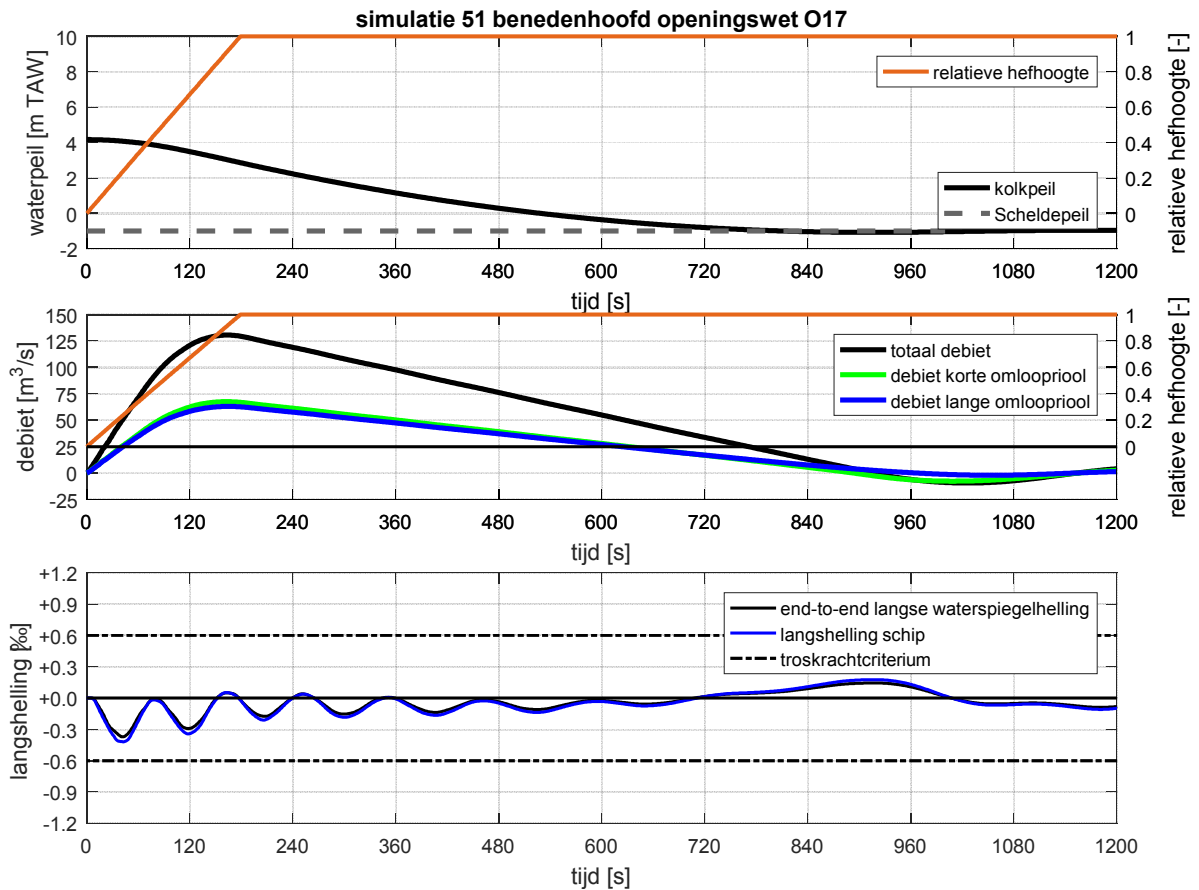
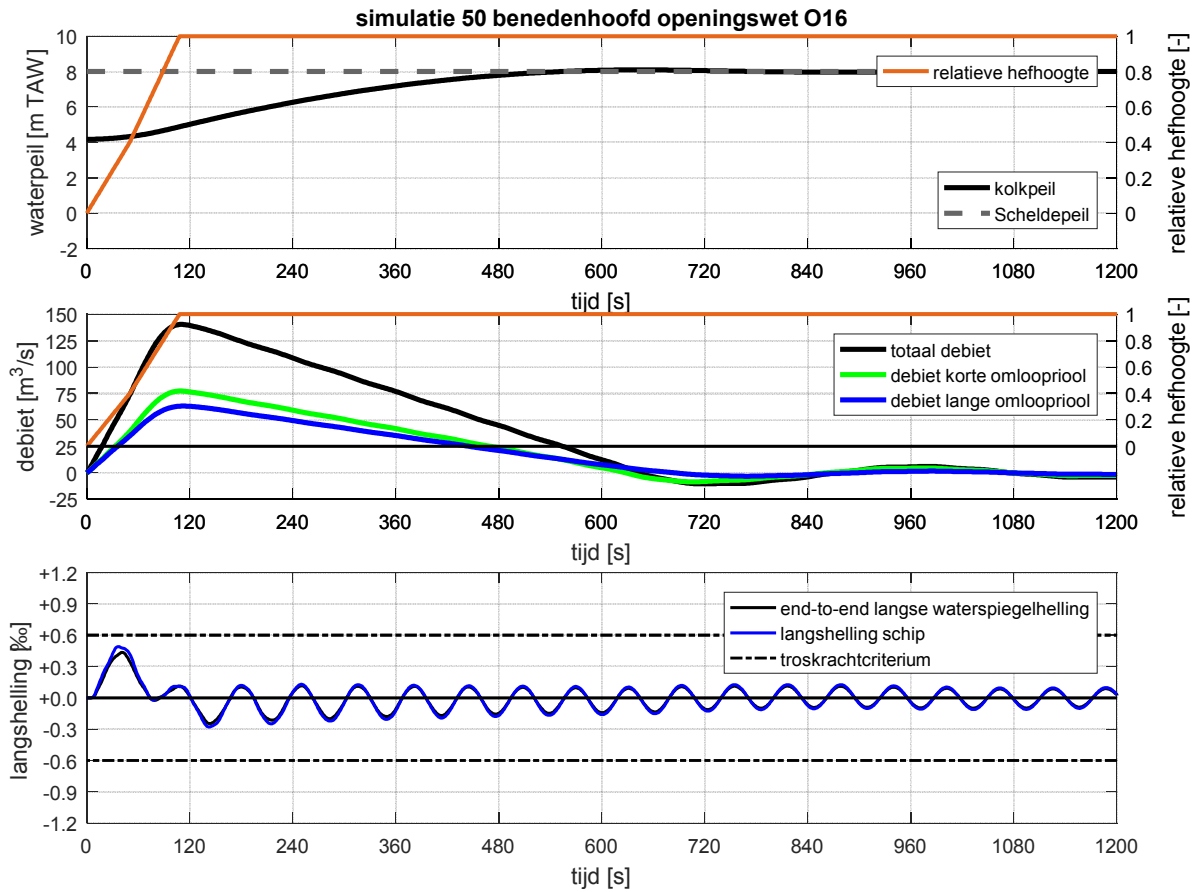


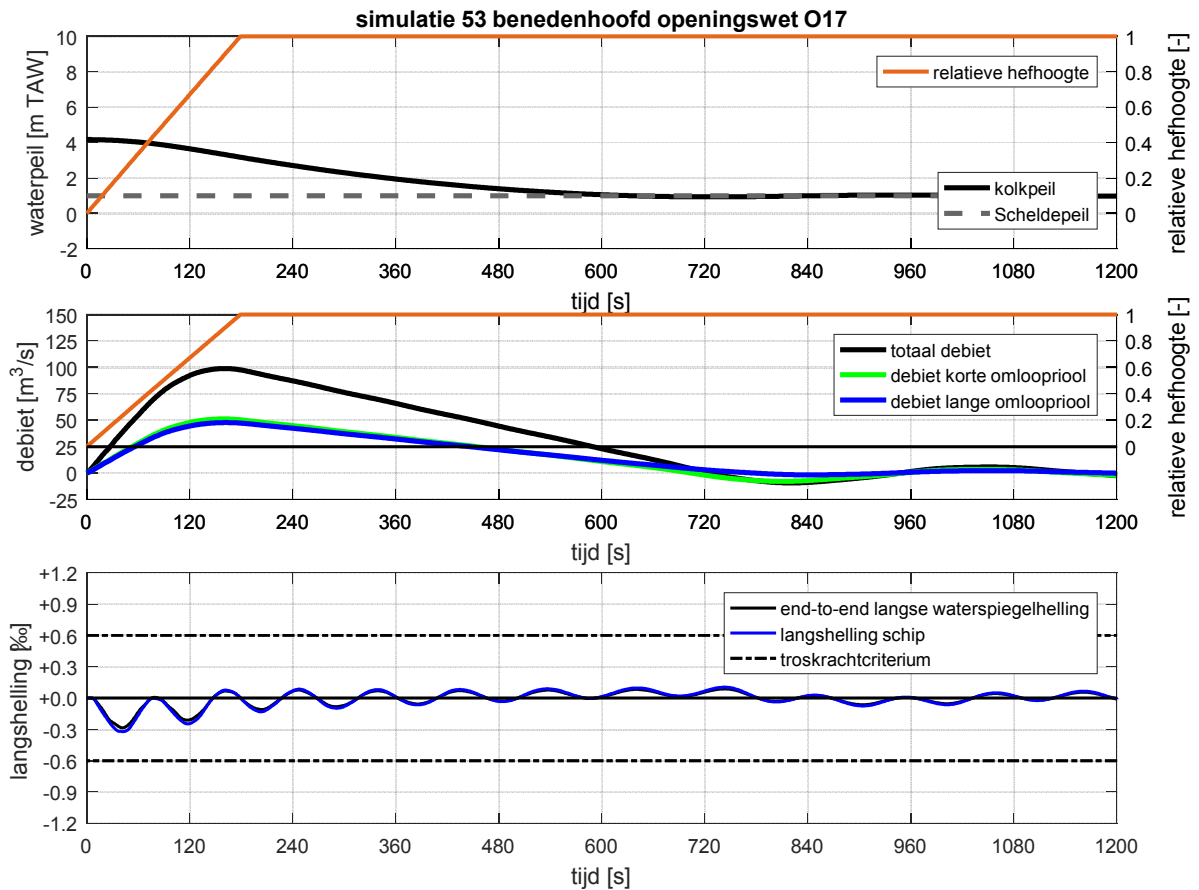
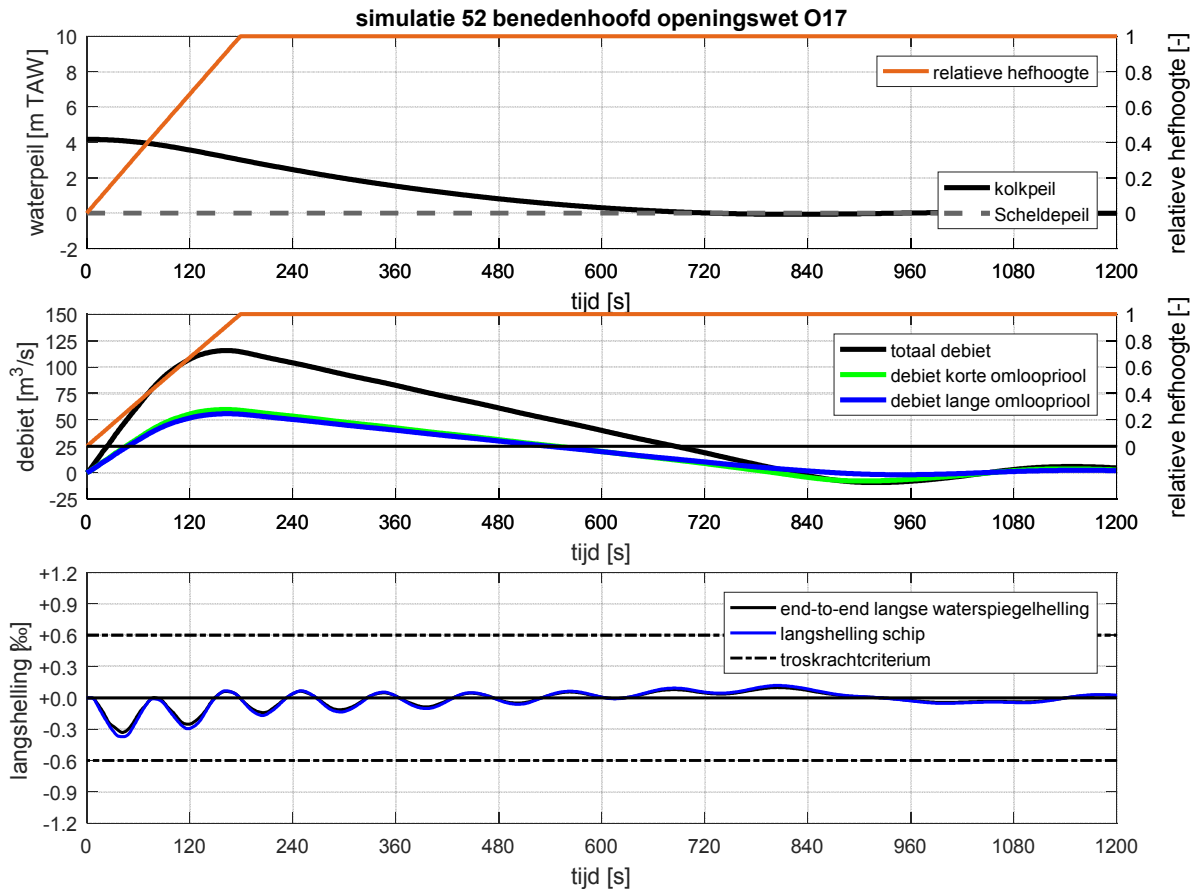


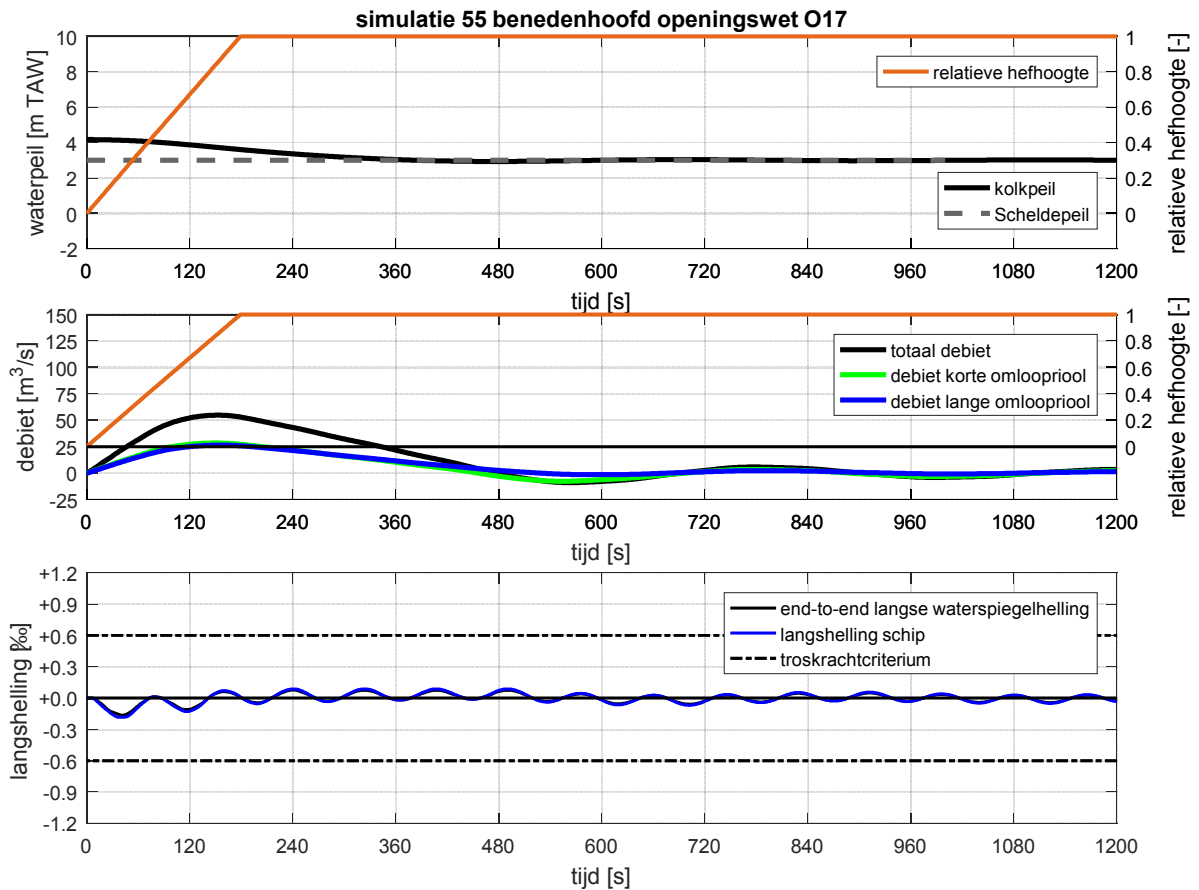
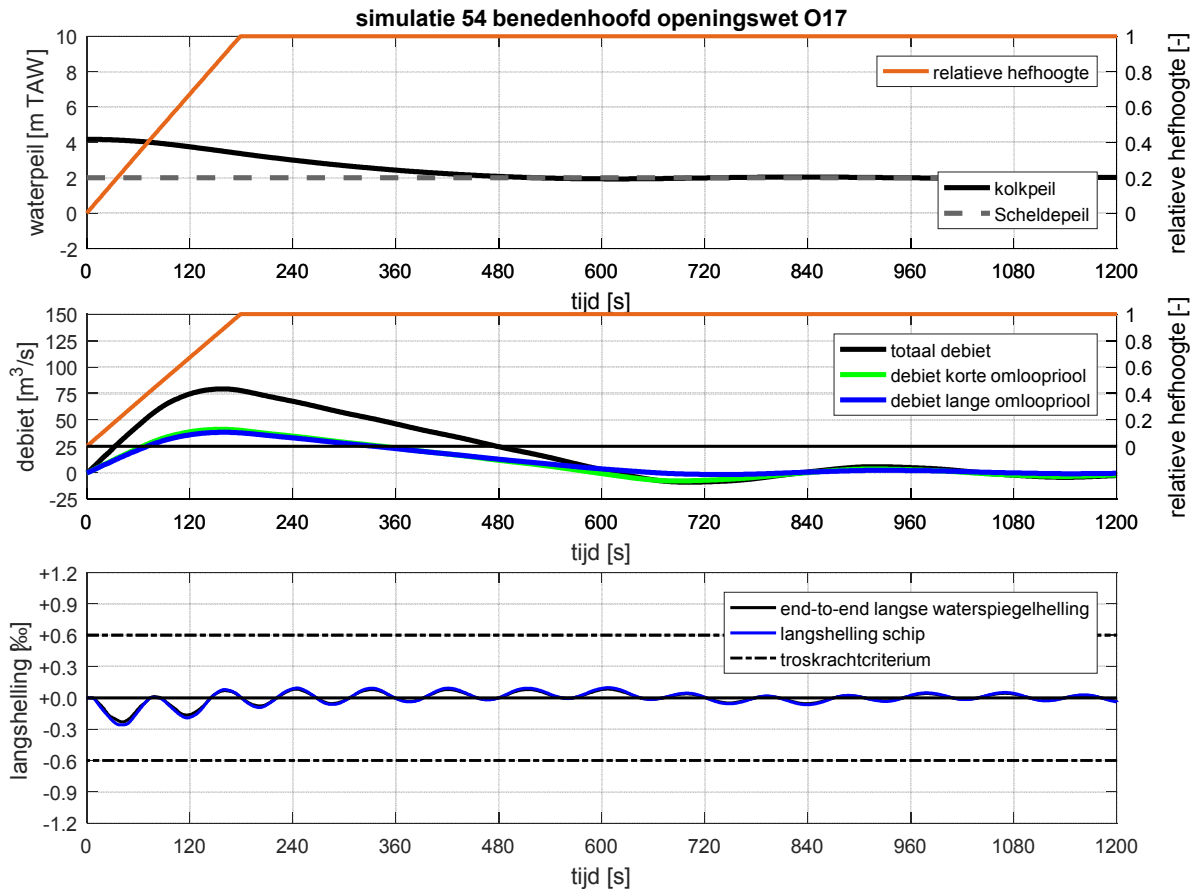


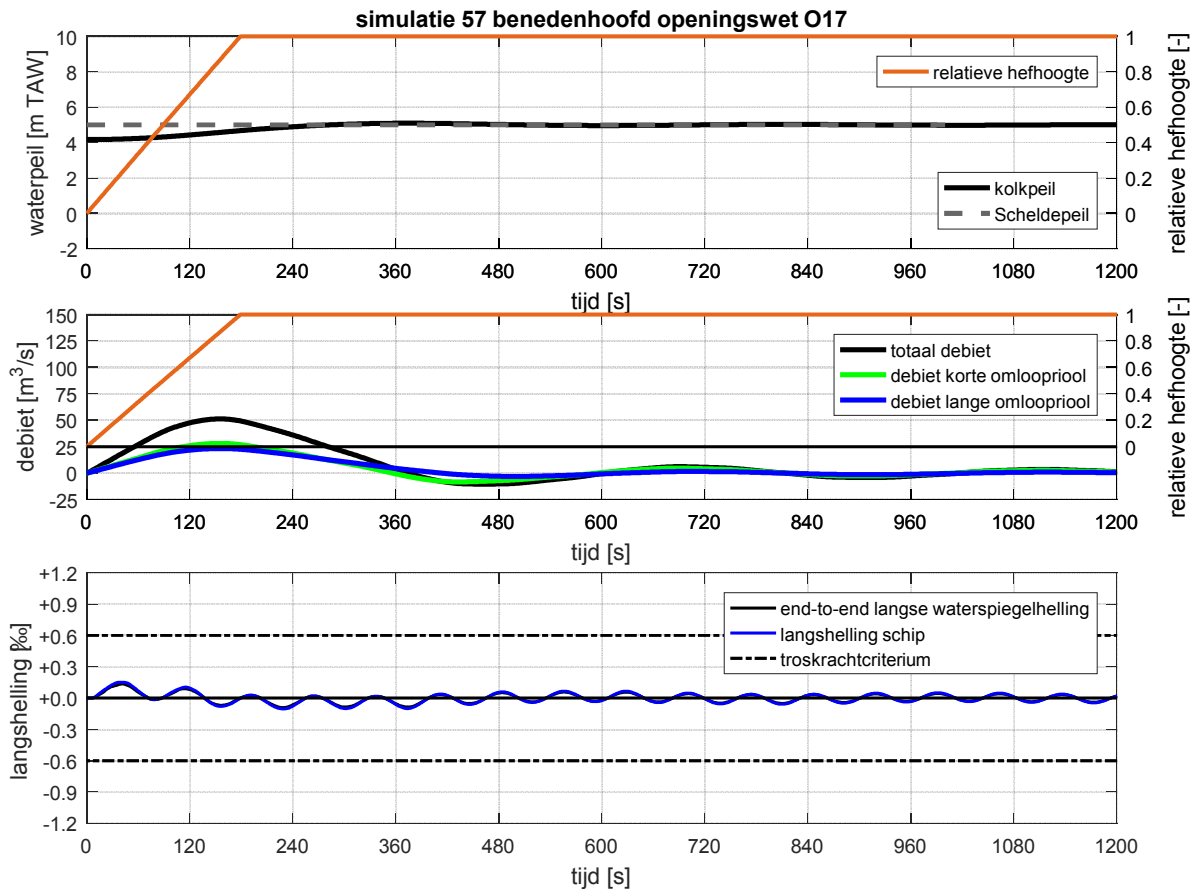
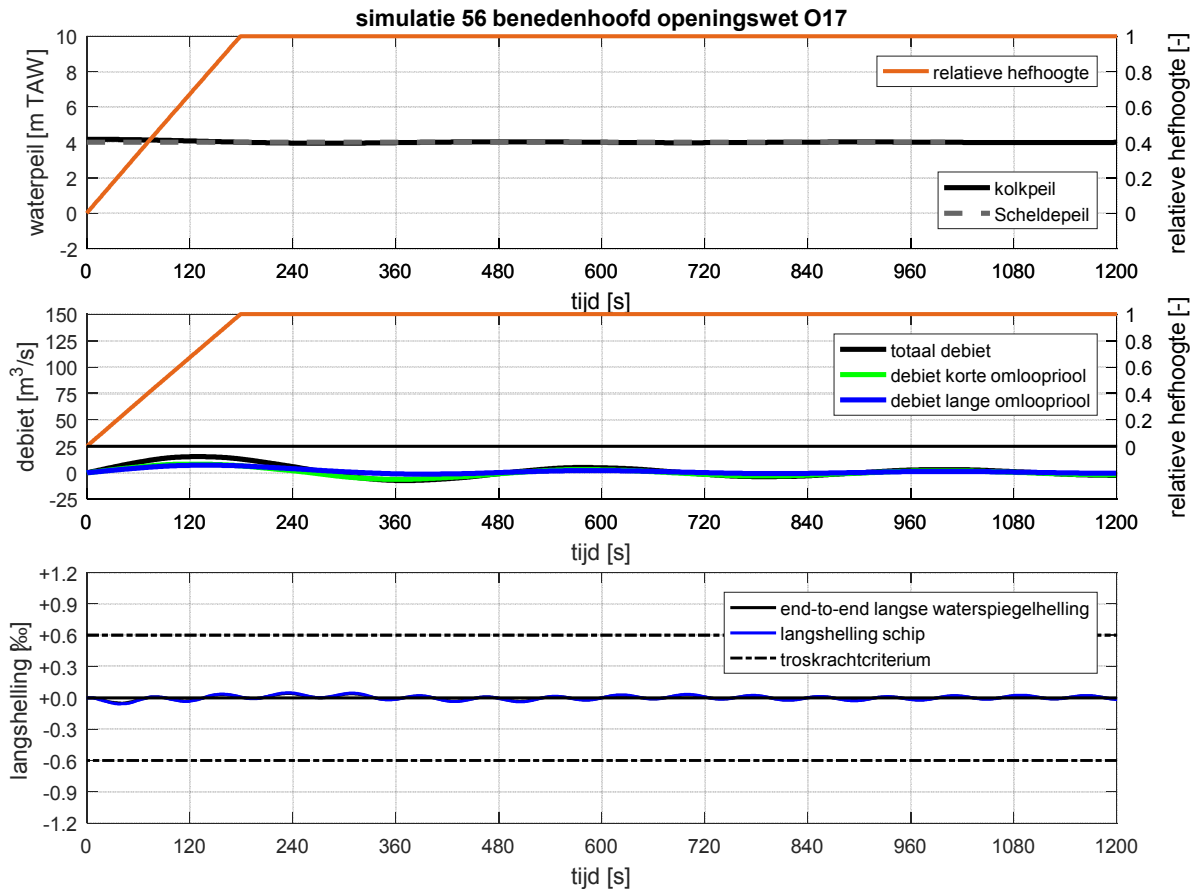


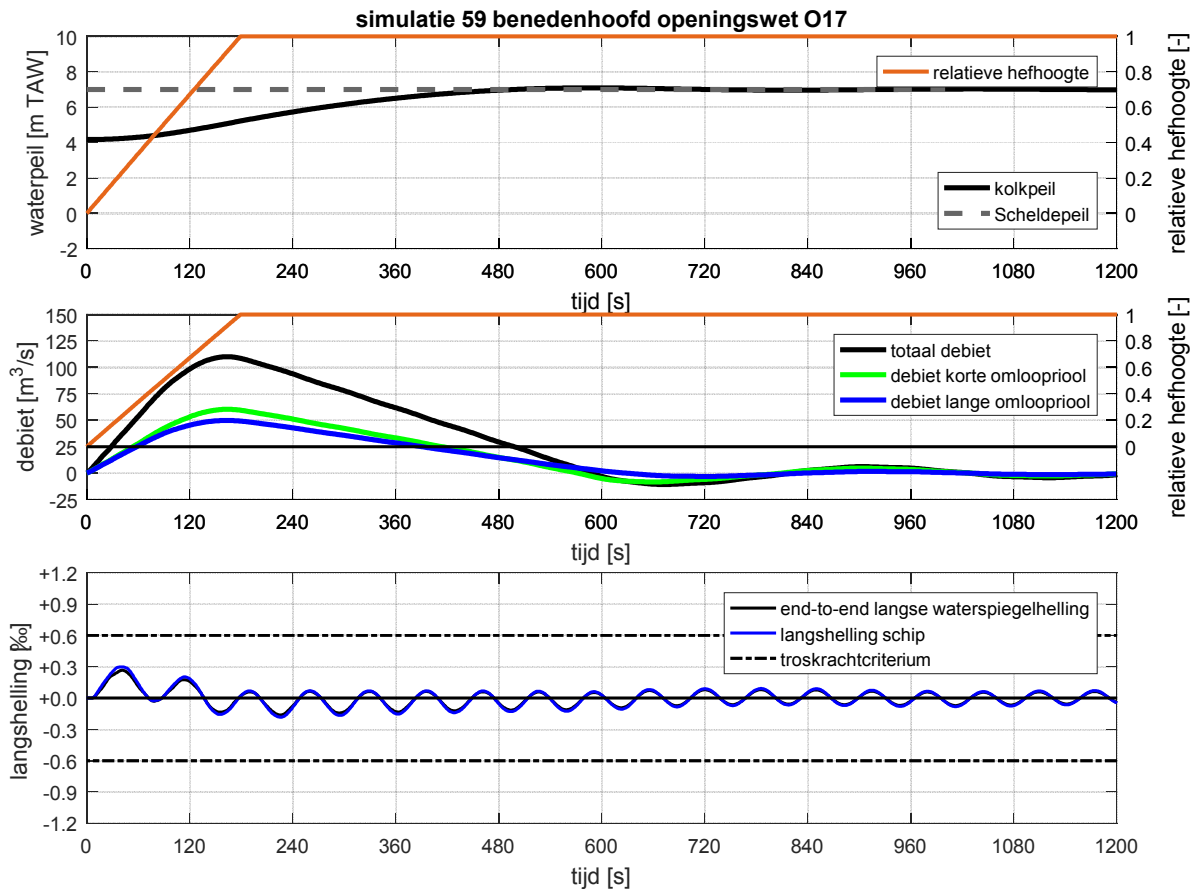
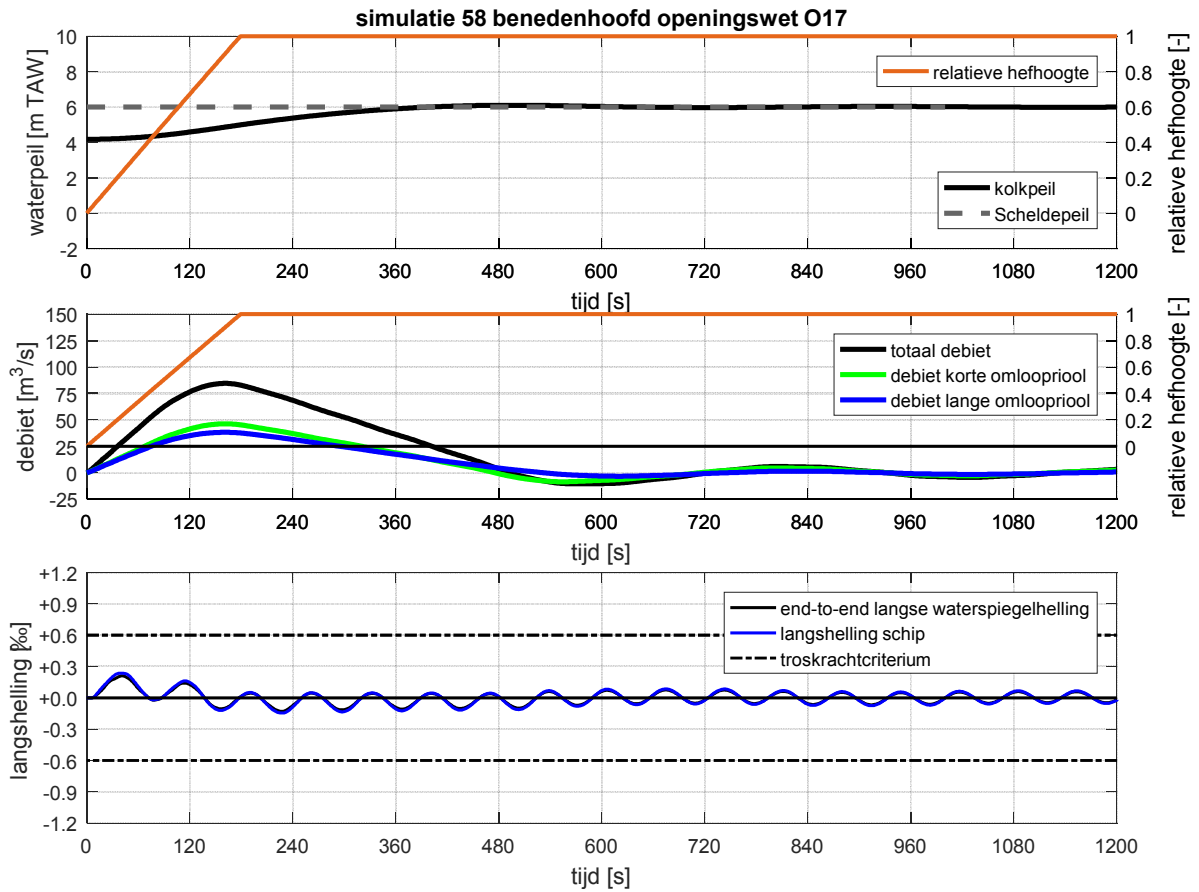


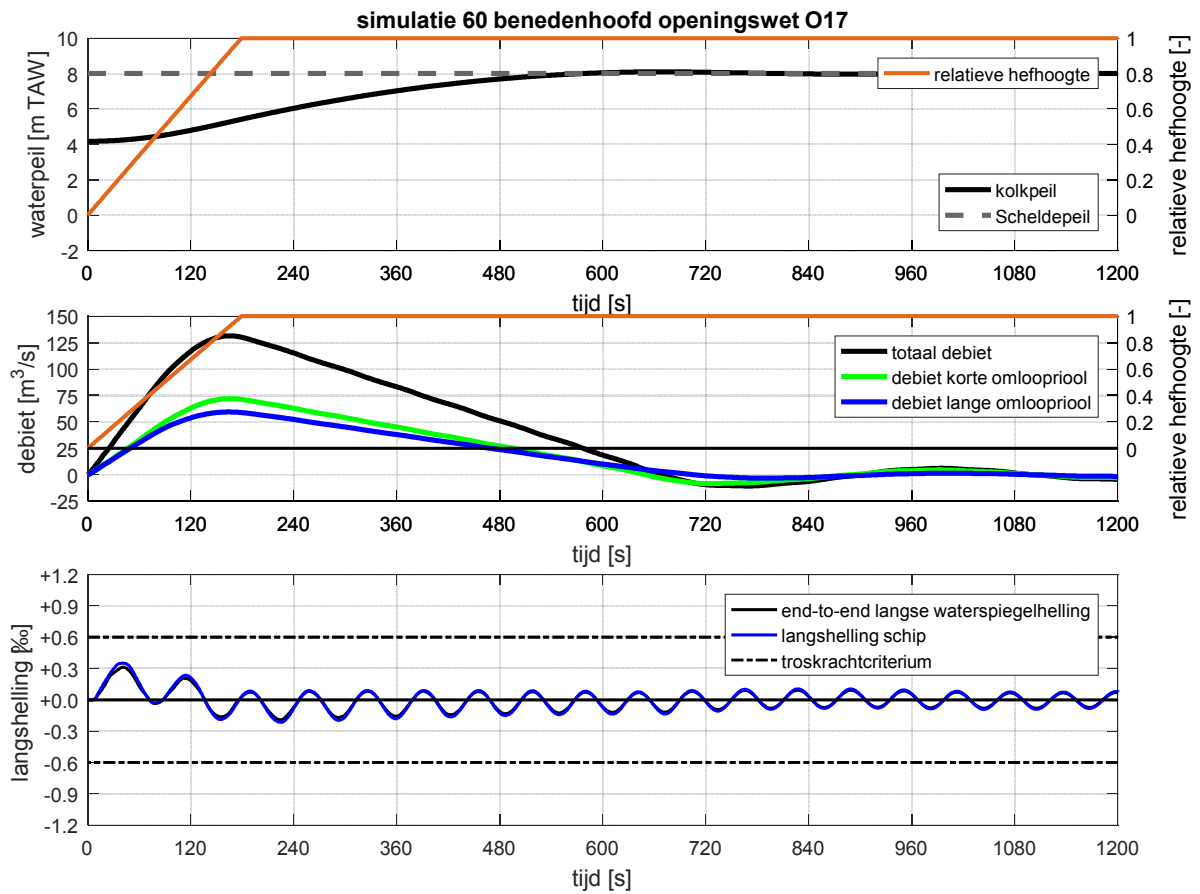












DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be