



Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2017

Vlot en veilig nivelleren

Vergelijking Lockfill en Vul_sluis berekeningen
met model- en in situ metingen
van het nivelleerproces

Pepijn van der Ven (Deltares)
Tom O'Mahoney (Deltares)
Wim Kortlever (Rijkswaterstaat)

Kenmerk : KpNK-2017-NKW-03a002
Versie : 1.0
Datum publicatie : 31 december 2018



In het **Kennisprogramma Natte Kunstwerken** (KpNK) werken Deltares, MARIN, Rijkswaterstaat en TNO samen aan de kennisontwikkeling om de vervangings- en renovatieopgave bij natte kunstwerken (stuwen, sluizen, gemalen en stormvloedkeringen) efficiënt en kostenbesparend aan te pakken.

Deltares

MARIN



TNO

Voor het kennisprogramma wordt er jaarlijks een inhoudelijk **Kennisplan** inclusief bijbehorend financieringsplan opgesteld. Andere partijen (zoals waterschappen en marktpartijen) worden nadrukkelijk uitgenodigd om deel te nemen.

Meer informatie over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vindt op www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl waar ook de onderzoeksresultaten ter beschikking worden gesteld.

NKWK

De samenwerking binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vormt de uitwerking van de onderzoekslijn “Toekomstbestendige Natte Kunstwerken” binnen het **Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat** (NKWK). Dit kennisplatform brengt Nederlandse overheden, kennisinstellingen en bedrijven bij elkaar om samen te werken aan pilots, actuele vraagstukken en lange termijnontwikkelingen op gebied van water- en klimaatvraagstukken.

Meer informatie staat op www.waterenklimaat.nl.

Voor vragen met betrekking tot het rapport kunt u terecht bij de auteurs:

Tom O'Mahoney - tom.omahoney@deltares.nl

Wim Kortlever - wim.kortlever@rws.nl

Voor vragen over Kennisprogramma Natte Kunstwerken en Kennisplan 2017 kunt u terecht bij:

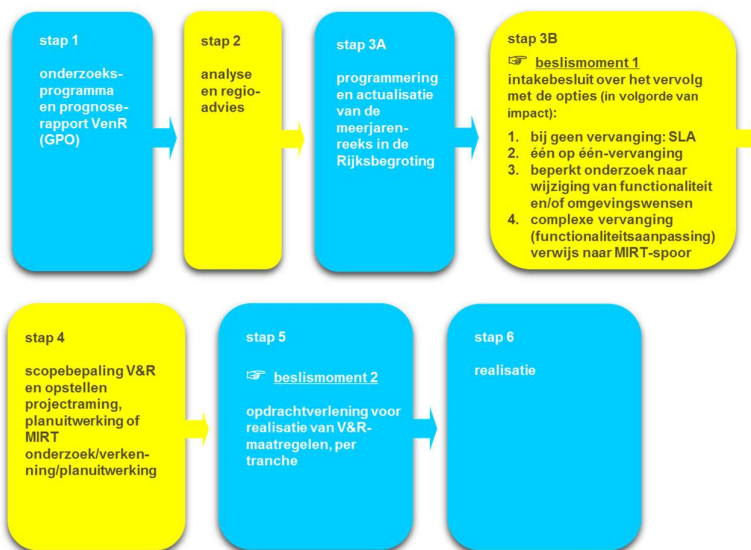
Maarten van der Vlist - maarten.vander.vlist@rws.nl



Voorwoord

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets van beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen. Een groot deel van deze natte kunstwerken bereikt komende decennia het einde van de (technische) levensduur waarvoor het is ontworpen. Er dient zich dan ook een aanzienlijke vervangings- en renovatieopgave van deze kunstwerken aan.

De laatste jaren wordt steeds meer gezocht naar mogelijkheden om levensduur van kunstwerken te verlengen, en om bij einde levensduur (noodzakelijke) ingrepen aan gebiedsontwikkelingen en/of functionele/netwerk ontwikkelingen te koppelen. Rijkswaterstaat heeft daartoe als asset manager een vernieuwde werkwijze voor het Vervanging en Renovatie (VenR) proces opgesteld, welke de basis vormt voor de inrichting van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (zie Figuur 1).



Figuur 1. Vernieuwde RWS-werkwijze Vervanging en Renovatie.

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken wordt kennis ontwikkeld die bijdraagt aan de verschillende stappen binnen deze vernieuwde VenR-werkwijze, met als focuspunten stap 1 (prognoserapport) en stap 2 (regio-analyse en -advies). Het prognoserapport richt zicht op de (einde) technische levensduur, het regio-advies brengt met name de relatie object-netwerk-gebied in kaart.

Het onderzoek in het Kennisprogramma Natte Kunstwerken vindt plaats langs de onderstaande 3 onderzoekssporen en heeft tot doel om een effectieve en efficiënte aanpak van de vervanging- en renovatie-opgave en nieuwbouw van natte kunstwerken mogelijk te maken:

- bestaand object
 - inzicht in (einde) technische levensduur
 - levensduurverlenging
- object-systeem
 - inzicht in (einde) functionele levensduur en object-systeemrelaties
- nieuw(e) object/objectonderdelen
 - toepassen innovaties
 - inspelen op toekomstige ontwikkelingen.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken *Kennisplan 2017*

Sinds enkele jaren is er het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Hieronder lopen diverse onderzoekslijnen. Eén van de onderzoekslijnen is “Toekomstbestendige Natte Kunstwerken”. Voor het praktisch laten functioneren van deze onderzoeklijn is er een Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en een Kennisprogramma Natte Kunstwerken opgesteld:

- Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken. De partijen die momenteel binnen deze overeenkomst samenwerken aan onderwerpen rondom de vervangings- en renovatieopgave bij natte kunstwerken zijn Deltares, MARIN, Rijkswaterstaat en TNO.
- In het kader van de bovengenoemde Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en de 3 onderzoekssporen van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken wordt er jaarlijks een inhoudelijk Kennisplan inclusief bijbehorend financieringsplan opgesteld.

Naast de genoemde partijen zijn en worden andere partijen nadrukkelijk uitgenodigd om deel te nemen aan de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken en/of het Kennisplan. Inzet kan zowel in kind en/of financieel zijn. In het Kennisplan 2017 is er binnen het kader van Kennisprogramma Natte Kunstwerken samengewerkt met Lock2Twente en Acotec BV.

Resultaten uit het Kennisprogramma Natte Kunstwerken worden gedeeld met de gehele sector, onder andere via de website www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.

De hierop volgende samenvatting heeft betrekking op de onderliggende presentaties:

- “Comparison of Borgerhout measurements data with Lockfill computations” (Deltares),
- “15_007 Validatie VUL SLUIS-LOCKFILL” (WL Borgerhout)

Dit onderzoek is geleid door Deltares in het kader van het Kennisplan 2017. In verband met de Algemene Verordening Gegevensbescherming is het originele Deltares rapport ten behoeve van het publiceren op de website alleen qua persoonsgegevens, maar niet qua inhoud aangepast.



Samenvatting

Vlot en veilig nivelleren

Aanleiding

Gedurende het nivelleren van schutsluizen ondervinden de in de kolk afgemeerde schepen krachten, welke via de afmeerlijnen worden afgedragen op de sluisconstructie. Krachten kunnen worden beperkt door langzamer te nivelleren, waarmee de passagesnelheid en verkeerscapaciteit van de sluis wordt verminderd. De uitdaging is dan ook een sluis zodanig te gebruiken of te ontwerpen dat deze op een veilige wijze, maar voldoende snel kan worden genivelleerd.

Het Waterbouwkundig Laboratorium van de Vlaamse overheid (hierna genoemd: WL Borgerhout) en Deltares voeren onafhankelijk van elkaar onderzoeks- en adviesstudies uit naar het nivelleerproces van schutsluizen met de bovenstaande probleemstelling van vlot en veilig nivelleren. Beide partijen gebruiken in dit onderzoek een combinatie van verschillende onderzoeksmiddelen: 3D numerieke stromingsberekeningen (computational fluid dynamics, CFD), schaalmodelmetingen, metingen in werkelijkheid en/of snelle rekensoftware. De snelle rekensoftware is van grote waarde om de krachten in het vroege ontwerpstadium van een sluis te kunnen voorspellen, wanneer schaalmodelonderzoek of complexe CFD-berekeningen in het algemeen worden gezien als te kostbaar en onvoldoende snel aanpasbaar. Deze snelle rekensoftware betreft in het bijzonder de programma's Lockfill (Deltares) en vul_sluis (WL Borgerhout).

Lockfill is in de jaren '80 en '90 door Deltares (destijds Waterloopkundig Laboratorium) ontwikkeld, in opdracht van Rijkswaterstaat. De afgelopen jaren is het programma opnieuw veel gebruikt (onder andere voor het ontwerp van de nieuwe sluis te IJmuiden) en is er reden geweest het programma verder te ontwikkelen. Zo is in 2016 in opdracht van Rijkswaterstaat een rekenmethode toegevoegd voor de translatiegolf, op basis van ondiepwatervergelijkingen, waarmee een veelzijdiger gebruik van Lockfill mogelijk is. Meer informatie over het model is terug te vinden in de handleiding (2015) en de daarin genoemde referenties. Per juli 2015 is Lockfill gratis beschikbaar gesteld via de Deltares website.

Op basis van de beschikbare literatuur inzake het programma Lockfill is het WL Borgerhout in 2008 begonnen met de ontwikkeling van het eigen programma vul_sluis, dat het nivelleren van een schutsluis via openingen in de sluisdeuren beschrijft. Voor de ontwikkeling van dit programma is gekozen voor Matlab. Hierbij wordt enkel het nivelleren via openingen in de sluisdeuren beschouwd; nivelleren via korte omloopriolen, of omloopriolen met woelkelder wordt niet beschouwd.

Vanuit recente projecten beschikken zowel Deltares als WL Borgerhout over metingen van nivelleerprocessen. Dit betreft schaalmodelmetingen van de nieuwe sluizen te Terneuzen en te IJmuiden (Deltares) en verschillende in-situ metingen (Borgerhout). Omdat deze metingen recentelijk zijn uitgevoerd zijn de data en de documentatie compleet en wordt verwacht dat de metingen voldoende nauwkeurig zijn. De metingen leveren dan een goede basis voor validatie van Lockfill en vul_sluis, voor een vergelijking van de prestaties van de twee programma's en voor een evaluatie van de nieuwe translatiegolfmethode in Lockfill. Om hier op te focussen wordt gebruik gemaakt van de schaalmodelmetingen zonder dichtheidsverschil.



Onderzoeksvraag en -opzet (WAT)

Het doel van het onderzoek is om de programma's Lockfill en vul_sluis te vergelijken met waterstandsmetingen die recentelijk zijn uitgevoerd in bestaande sluisen of schaalmodellen. Met deze meetdata wordt de evaluatiebasis van beide programma's vergroot en is het mogelijk een betere indicatie te krijgen van de nauwkeurigheid en toepasbaarheid van de rekenprogramma's. Door ook de programma's onderling te vergelijken en de verschillen met de ontwikkelaars van beide programma's te bespreken kan duidelijk worden welke schematisatie of aanpak het meest geschikt is om de fysische processen gedurende een nivelleerproces te modelleren.

De onderzoeksvragen zijn in het kort de volgende.

- Hoe vergelijken Lockfill en vul_sluis met schaalmodel- en in situ metingen?
- Hoe kunnen deze modellen verbeterd worden?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

Deltares en WL Borgerhout beschikken beide over verschillende recente meetdata. Dit zijn schaalmodel metingen (met name IJmuiden en Terneuzen) of in situ metingen (genoemd zijn o.a. Evergem, Zemst, en de Vandammesluis). De eerste stap is om de beschikbare data te inventariseren, digitaal bruikbaar te maken en te delen binnen dit project. Oudere metingen kunnen relevant zijn, maar worden op dit moment niet beschouwd omdat het terughalen van de meetdata niet altijd gemakkelijk is.

De meetlocaties liggen tussen de boeg van het schip en de deur waardoor wordt genivelleerd en/of tussen het hek van het schip en de andere, 'niet-actieve' deur. Om op deze punten ook uitvoer van berekende waterstanden te kunnen verkrijgen zal Deltares een aanpassing in Lockfill maken.

WL Borgerhout en Deltares rekenen de metingen na met de programma's vul_sluis respectievelijk Lockfill. In een overleg worden de resultaten besproken en wordt gezocht naar de oorzaken van de verschillen tussen beide programma's, of tussen de programma's enerzijds en de metingen anderzijds.

Onderzoekresultaten en synthese

Onderstaand is een overzicht gegeven van de gedeelde dataset en het aantal metingen per project. Van onderstaande metingen is een selectie beschouwd omdat niet voor alle metingen sprake was van een (en slechts één) schip in de kolk. De metingen omvatten zowel ledig- als vulscenario's.

- Data WL Borgerhout:
 - Schaalmodelmeting Zemst 4 metingen
 - Terreinmeting sluis Zemst voor renovatie 2 metingen
 - Terreinmeting sluis Zemst na renovatie 3 metingen



- Terreinmeting sluis Evergem 5 metingen
- Terreinmeting Vandammesluis 5 metingen
- Data Deltares:
 - Meetdata IJmuiden RWS 6 metingen
 - Meetdata IJmuiden OpenIJ 2 metingen
 - Meetdata Terneuzen RWS 6 metingen

Een aangepaste versie van Lockfill is gecreëerd waarmee aanvullende uitvoer wordt gegenereerd zodat de hellingen van de waterspiegel kunnen worden geanalyseerd en kunnen worden vergeleken met de gemeten waterstandshellingen.

WL Borgerhout heeft vul_sluis vergeleken met de publiek beschikbare versie van Lockfill (oorspronkelijke translatiegolfberekening); Deltares heeft berekeningen gemaakt met de nieuwe versie van Lockfill, waarin de translatiegolfberekening wordt uitgevoerd aan de hand van de ondiep-watervergelijkingen (“TROS-methode”). De indruk die de resultaten geeft, uit onderlinge vergelijking en vergelijking met metingen, is wisselend. Binnen een project zijn de resultaten consistent, maar per project is de overeenkomst zeer verschillend. Onderstaand worden de resultaten kort besproken.

Borgerhout heeft de schaalmodelmetingen Zemst nagerekend met vul_sluis en de publiek beschikbare versie van Lockfill. De berekeningen laten eenzelfde trend zien als de metingen, maar de magnitude verschilt sterk. De in-situ metingen van Zemst geven eenzelfde beeld. De langskrachten in Zemst worden gedomineerd door de vulstraalkracht en de impulsverloopkracht (m.n. het effect van de vulstraal op de impulskracht); de translatiegolf is van ondergeschikt belang. Het vulstraaleffect wordt versterkt door het feit dat de nivelleeropeningen van Zemst geen breekbalken omvatten.

De schematisatie van de vulstraalspreiding is bij bovenstaande resultaten dus van belang. Op dit punt verschillen Lockfill en vul_sluis: in de ontwikkeling van vul_sluis is een andere vulstraalschematisatie gekozen dan in Lockfill is opgenomen omdat deze laatste niet in voldoende detail gerapporteerd blijkt te zijn buiten Deltares. De berekende krachten bevestigen dit: deze laten een verschil zien tussen Lockfill en vul_sluis dat verband lijkt te houden met de verschillen in de impulskracht. Ook een systematische vergelijking tussen vul_sluis en Lockfill, uitgevoerd door Borgerhout, laat een verschil in juist de impulskracht en vulstraalkracht zien.

De vergelijking van de in-situ metingen van Zemst met de nieuwe versie van Lockfill (“TROS-methode”) leidt tot dezelfde conclusie: de helling in Lockfill is significant lager dan de gemeten helling. Daarbij wordt opgemerkt dat in de waterstandsmetingen consistent een verstoring lijkt te zitten grofweg halverwege het nivelleerproces, de oorsprong daarvan is nog onbekend.

De vergelijking met de nieuwe Lockfill versie met de schaalmodelmetingen van Deltares geeft juist erg goede overeenkomsten. Omdat hier krachten zijn gemeten kan een rechtstreekse vergelijking van gemeten en berekende krachten worden uitgevoerd. Daarnaast is een vergelijking van waterspiegelhellingen uitgevoerd, welke naar verwachting eenzelfde beeld geeft. De berekening geeft eenzelfde verloop, amplitude en periode als de gemeten kracht. De demping wordt behoorlijk



nagebootst, een enkele keer onderschat, in de regel overschat door Lockfill. Twee metingen met een langzaam nivelleerproces en zeer kleine krachten laten een matige overeenkomst zien; dit kan te maken hebben met de onnauwkeurigheid bij het meten van dit soort kleine krachten.

De IJmuiden en Terneuzen scenario's (NB: zonder dichtheidsverschil) zijn translatiegolfgedreven. Dit verklaart de goede overeenkomst voor deze metingen waar de vergelijking voor Zemst een slechte overeenkomst gaf.

De vergelijking van vul_sluis en Lockfill met de beschikbare metingen toont het belang van de impulsverloopcomponent en met name vulstraalschematisatie voor de sluitsituaties waarin de kracht hiervan sterk afhankelijk is. Om voor deze sluisen een juiste voorspelling te verzorgen dient deze schematisatie te worden verbeterd. Als alternatief kan de methode worden opgenomen aan de translatiegolfmethode om het dubbel tellen van componenten te voorkomen (zie Deltares-rapport Verslag LOCKFILL werkzaamheden – KPP Aanlegvraagstukken 2016, kenmerk 1230029-010-GEO-0003).

De samenwerking heeft Deltares en Borgerhout ook een platform gegeven om relevant aangrenzend onderzoek te bespreken. Zoals genoemd zijn beide partijen buiten dit onderzoek om op verschillende manieren bezig met onderzoek aangaande het nivelleerproces. Een voorbeeld hiervan is het afstudeerwerk van Laurens Van Hoecke (augustus 2017, KU Leuven), waarin het effect van de vulstraal op de waterspiegeldaling nabij de deur wordt beschouwd aan de hand van metingen.

Borgerhout heeft vul_sluis met Lockfill vergeleken, maar ook met Locksim en Delft3D. De resultaten hiervan wordt beschreven in het ISHS paper van Verelst et al. (International Symposium on Hydraulic Structures, Aachen, mei 2018). Lockfill laat hierin een zeer sterke overeenkomst zien met vul_sluis. Locksim en Delft3D geven grotere verschillen ten opzichte van vul_sluis. Een vergelijking met metingen is in dit paper niet opgenomen.

Evaluatie en vooruitblik

De gemaakte vergelijkingen laten een sterk verschil zien tussen de metingen en Lockfill resultaten wanneer de situatie sterk afhankelijk is van het impulsverloop en de vulstraal schematisatie. Dit komt overeen met de bevindingen van Van Loon (2017), het onderzoek naar het effect van de aanwezigheid van het schip op de vulstraal dat in het kader van dit kennisprogramma is uitgevoerd (zie KpNK-2017-NKW-03a001). Daarom is het belangrijk om deze schematisatie te verbeteren.

Na het aanpassen van deze schematisatie is het aan te raden om opnieuw te vergelijken met de beschikbare metingen. Dan kunnen ook de metingen welke nu nog niet zijn gebruikt worden opgenomen aan de validatiebasis (bijvoorbeeld de in-situ metingen Vandammesluis). In de huidige validatiebank van Lockfill zijn verschillende schaalmodelmetingen uit de jaren '80 opgenomen, deze kunnen worden beschouwd worden om de conclusie met betrekking tot de impulsverloopkracht nog nader te onderbouwen.



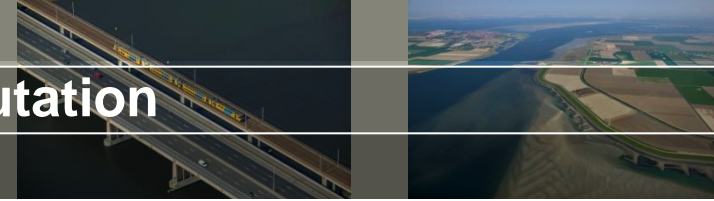
NK FLo3 Nivelleren

Comparison of Borgerhout measurements data with
Lockfill computations

23 november 2017



Data Borgerhout



Case1:Terreinmeting sluis Zemst voor renovatie middendeur

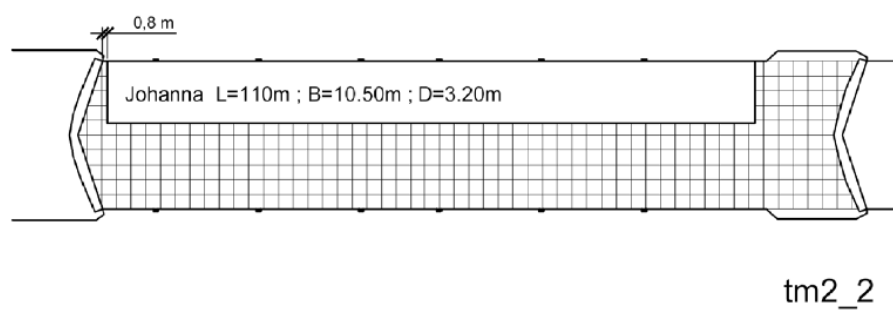
- ❑ Data set for the case 1: tm2_1, tm2_2, tm2_3 & tm2_4
- ❑ Data tm2_2 & tm2_4 are computed from Lockfill & compared with the measurements (with ships)

Case 2: Terreinmeting_sluis_Zemst_na_renovatie_middendeur

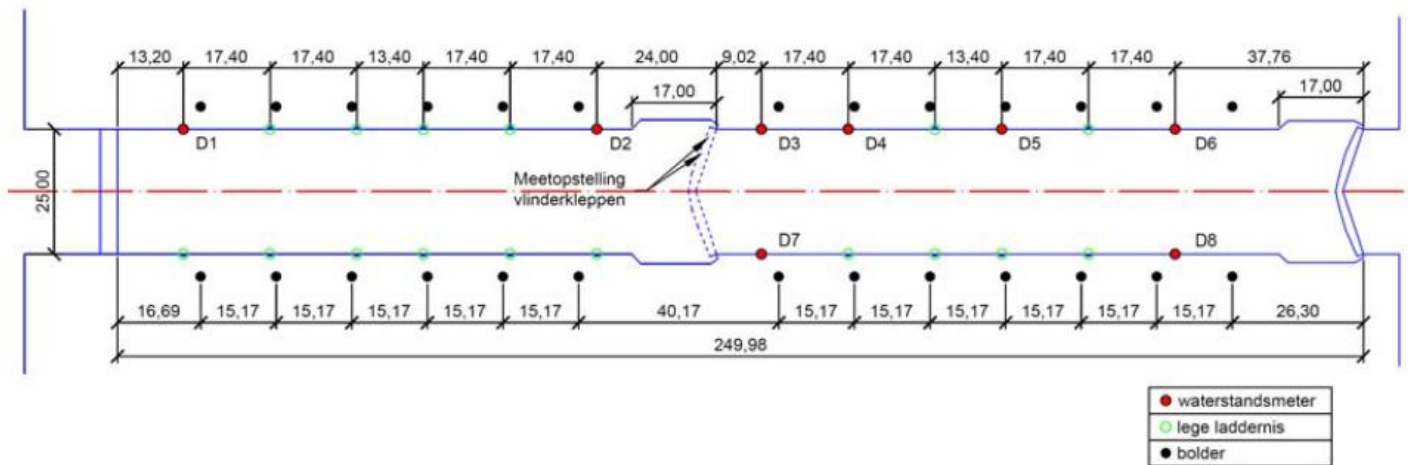
- ❑ Data for the case 2: meting 2014 (Vullen 1, 2 & 3) & meting 2015 (Vullen 1, 3 , 4 & 5)
- ❑ Data meting 2015 Vullen number 1 & 5 are computed from Lockfill and compared with the measurements (Inland ships)

Cases 1: Terreinmeting sluis Zemst voor renovatie middendeur - tm2_2

Sea channel Brussels Schelde: Renovation middle doors lock Zemst (measurements for renovation)

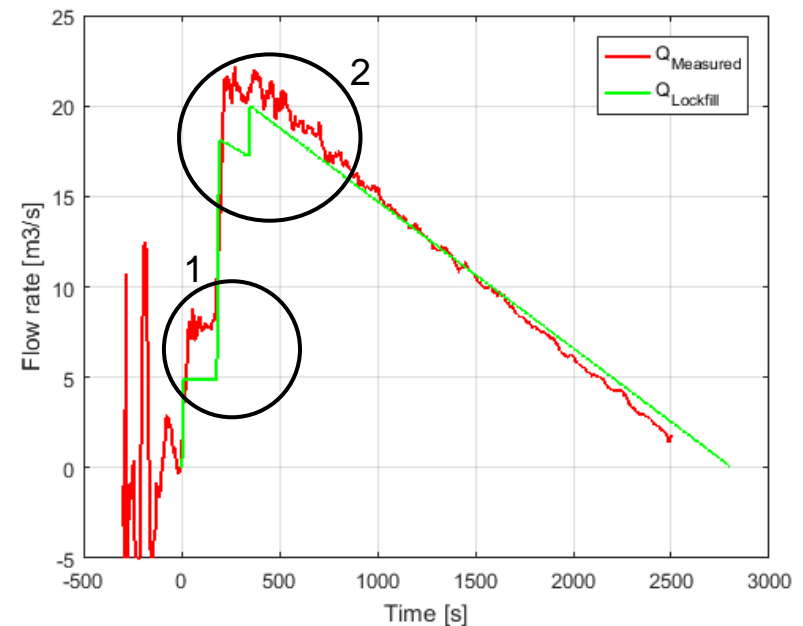
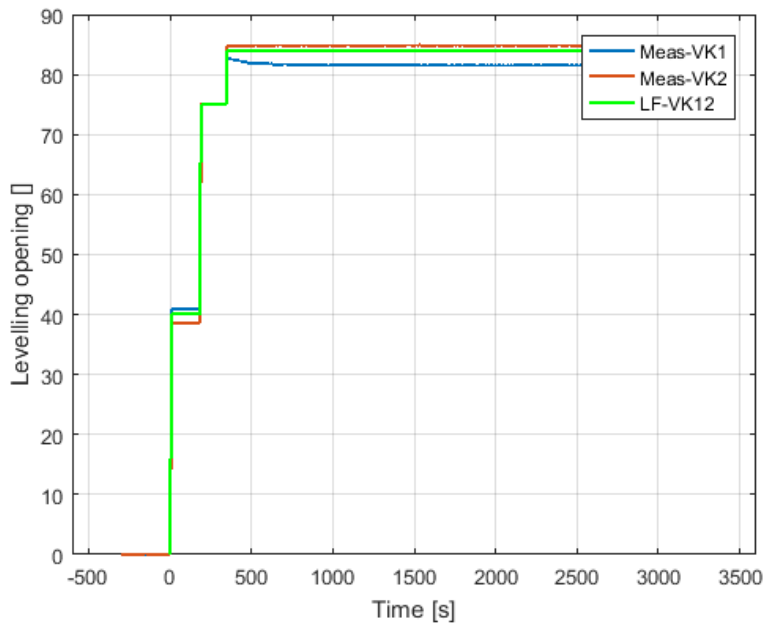


Location of the ship in the lock for tm2_2 (manual valve)



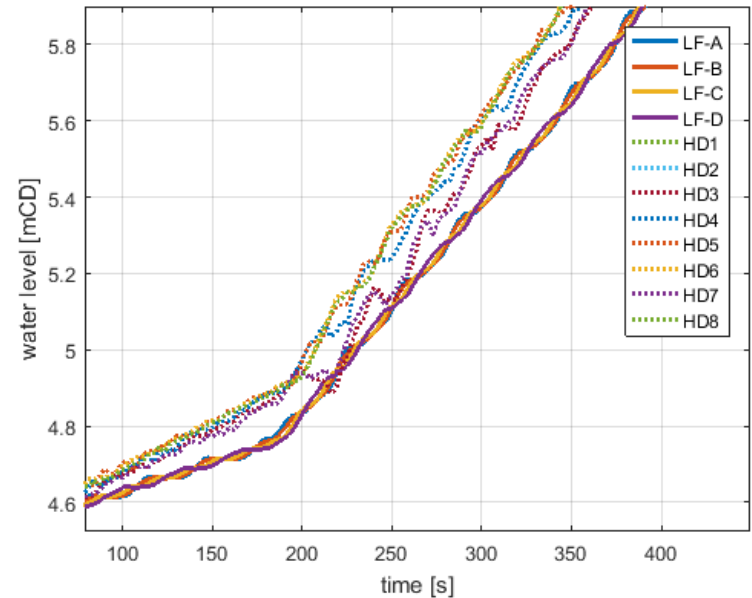
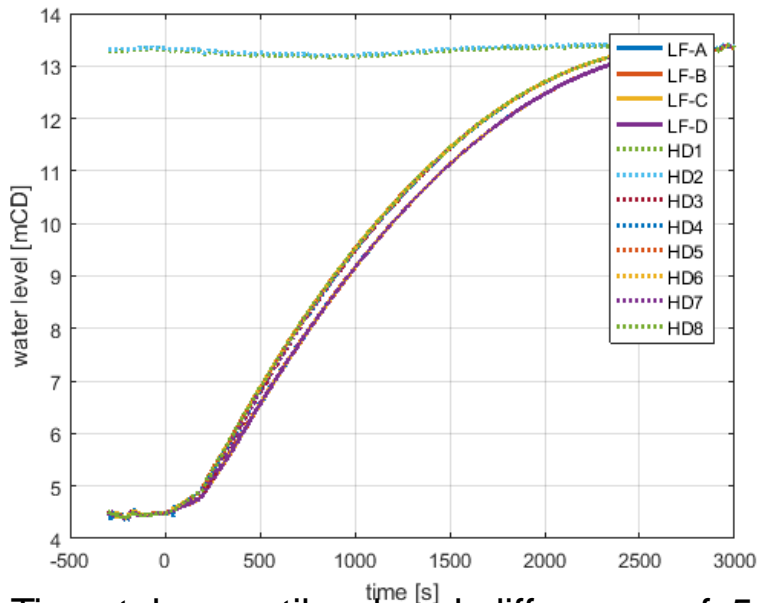
Placement of water stand meters (D1 to D8) during terrain measurement 1 (distance in meters)

Levelling opening and Flow rate comparison with the measurements (tm2_2)



- ❑ For the Lockfill, a single opening is considered (approximately 80% of the width of the lock)
- ❑ Levelling opening matches well with the measurements
- ❑ Overall flow rate versus time is good in match with the measurements except at the instant of constant leveling opening
- ❑ At the instant of constant leveling opening (marked by circle 1 & 2)
 - Measurement depicts the fluctuations, which is absent in the Lockfill (fluctuations are noise during the measurements)
 - Lockfill shows the significant lower magnitude of flow rate in comparison to the measurements (may be associated with discharge coefficient)
 - Volume calculation- $\text{Total_Volume_lockfill} / \text{Total_Volume_measurement} = 0.97$

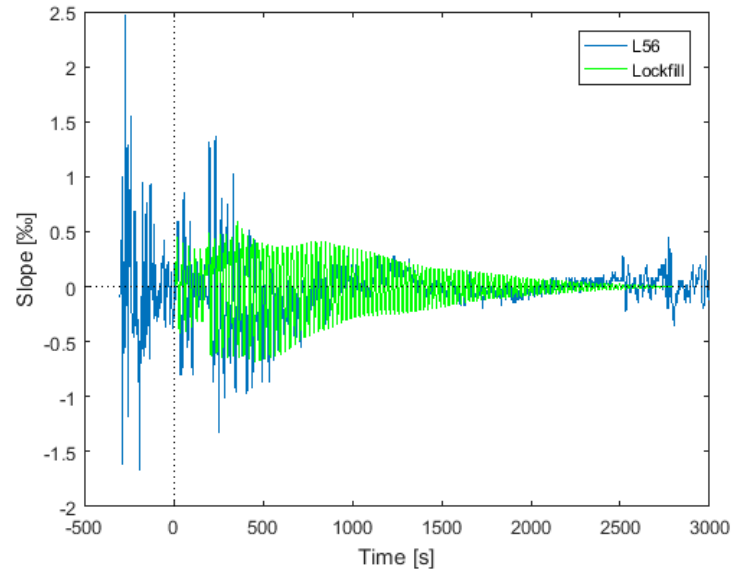
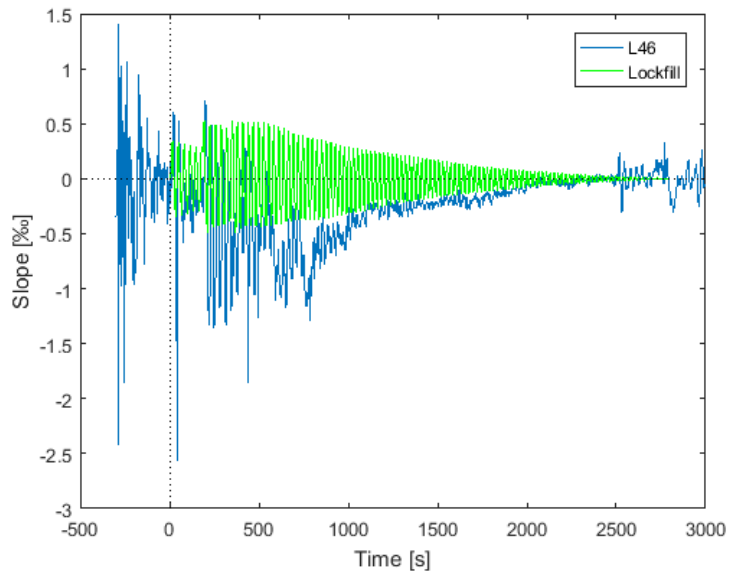
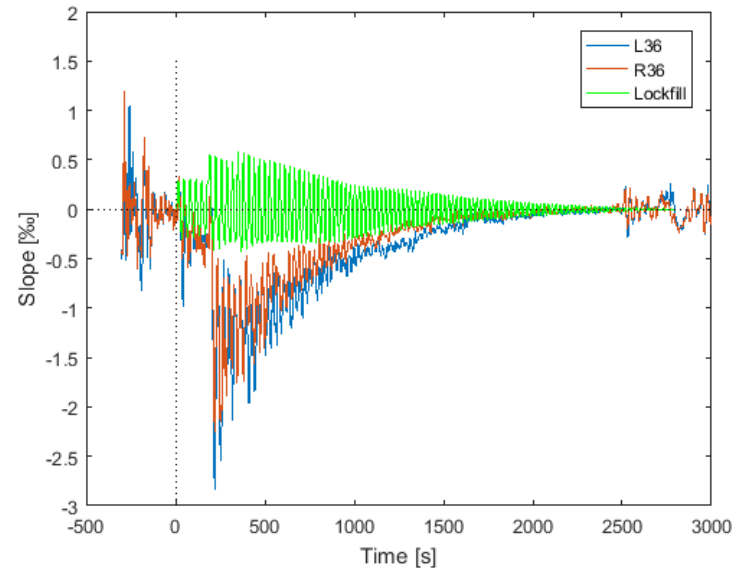
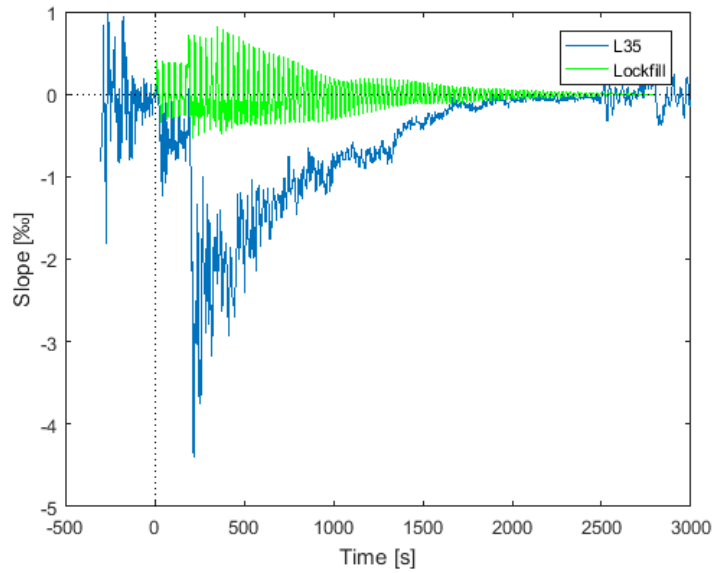
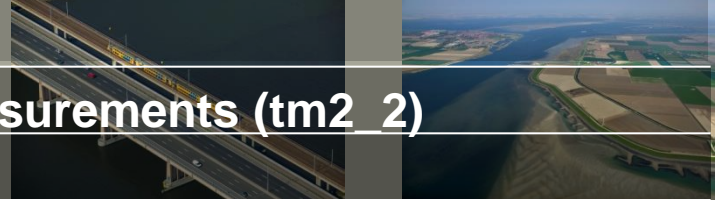
Water level [mCD]-Lockfill comparison with measurements (tm2_2)



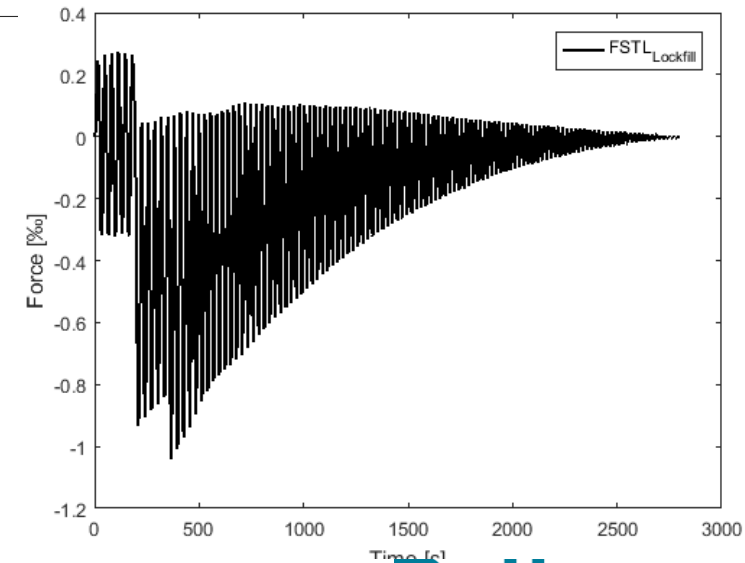
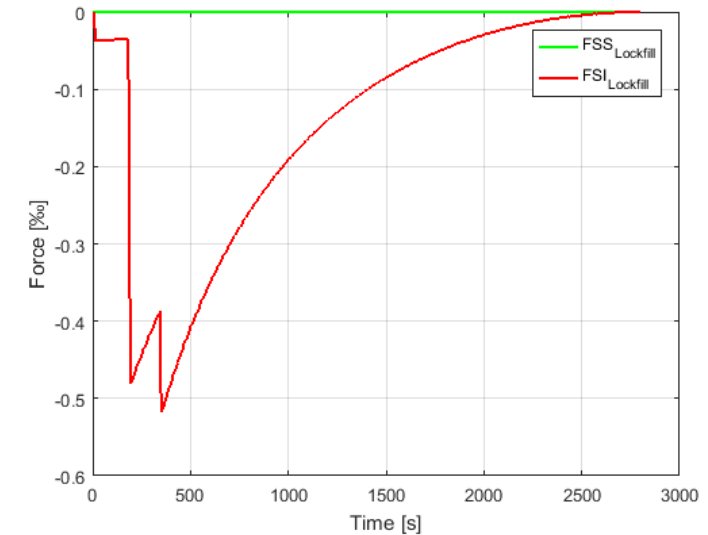
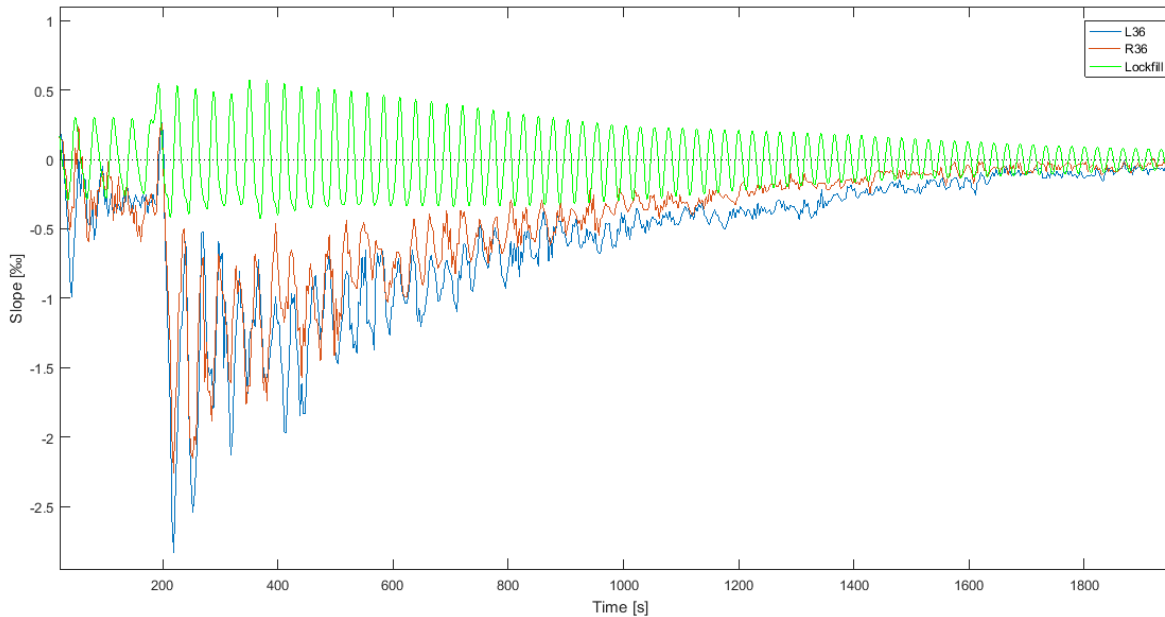
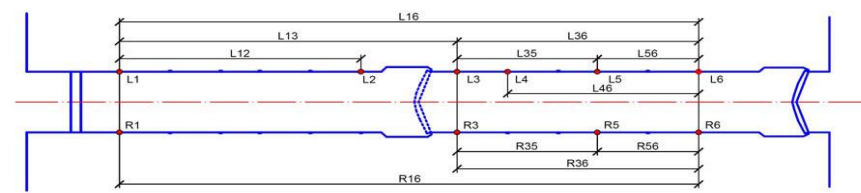
- ❑ Time taken until a head difference of 5 & 17.5 cm is reached (shown in table)
- ❑ Percentage difference is within 5%, which is considered to be good.
- ❑ Lockfill computation of water level is steeper than the measurements
- ❑ From the Lockfill water level plot, oscillation is evident, reflection against the lock doors and bow and stern of the ship
- ❑ Discharge coefficient-inaccuracy influence the water level

Head difference	t_Measurement [s]	t_Lockfill [s]	% Diff
17.5 cm	2379	2439	2,49
5 cm	2517	2611	3,67

Long water level slope-Lockfill comparison with measurements (tm2 2)

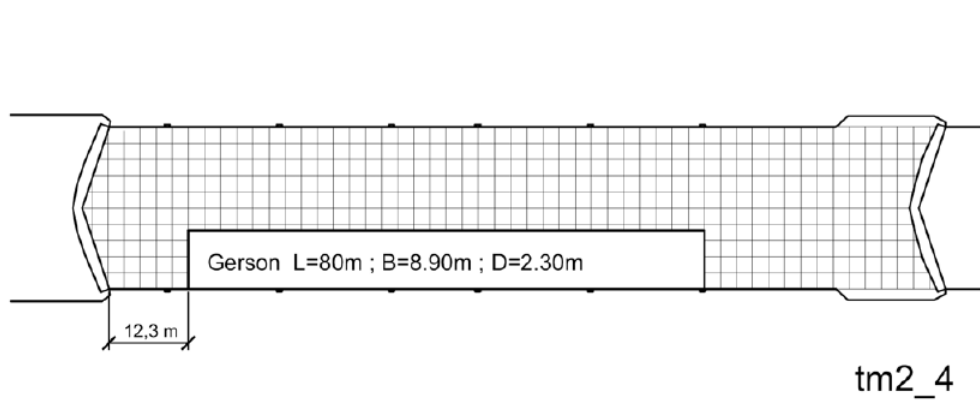


Long water level slope

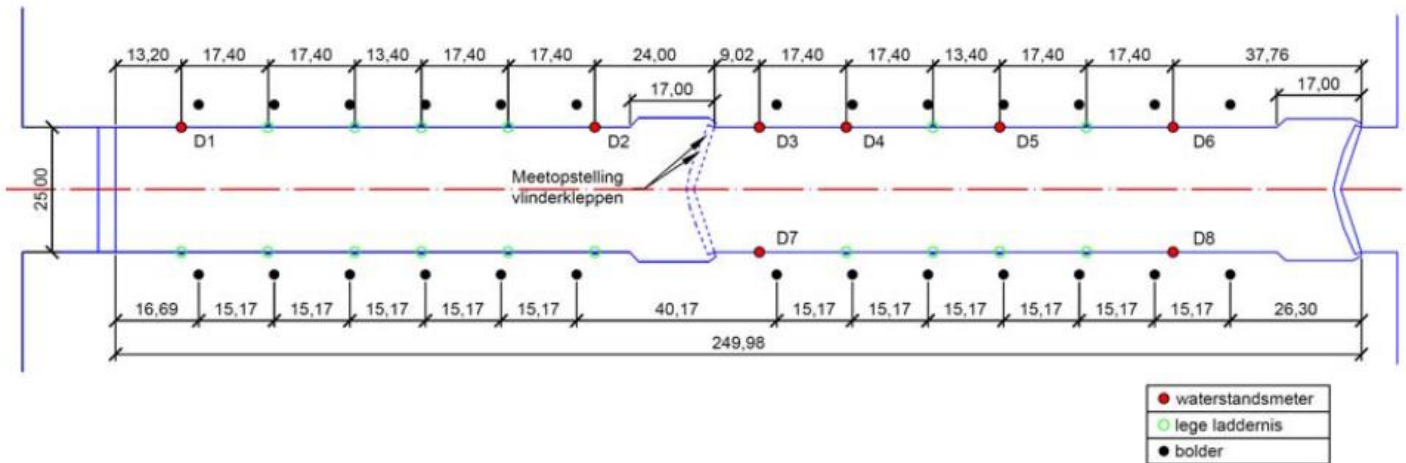


- Damping in the lockfill is lower than the real measurement condition (from the figure)
- Time lapse is also evident
- Long water level slope promile (lockfill) trend differs from measurement
- For the Lockfill calculations, filling jet and its effect on momentum decrease are absent in the water level slope calculation

Case 1: Terreinmeting sluis Zemst voor renovatie middendeur (tm2_4)

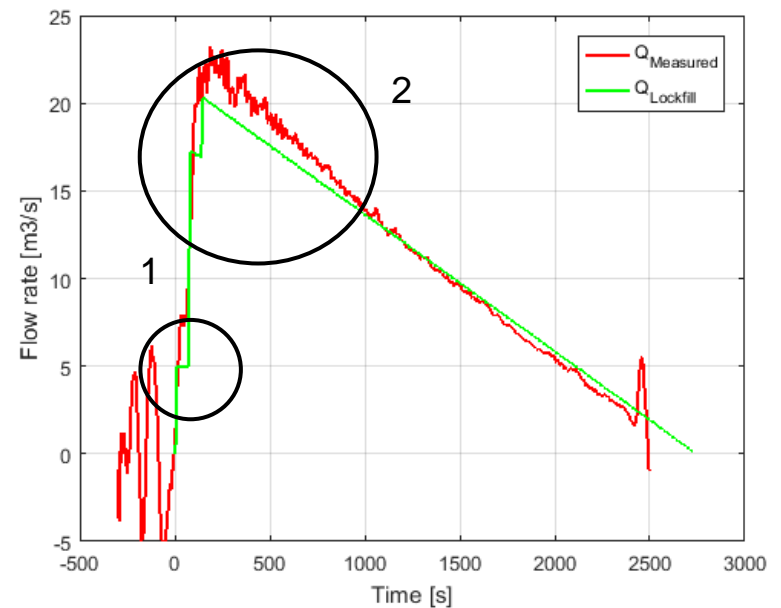
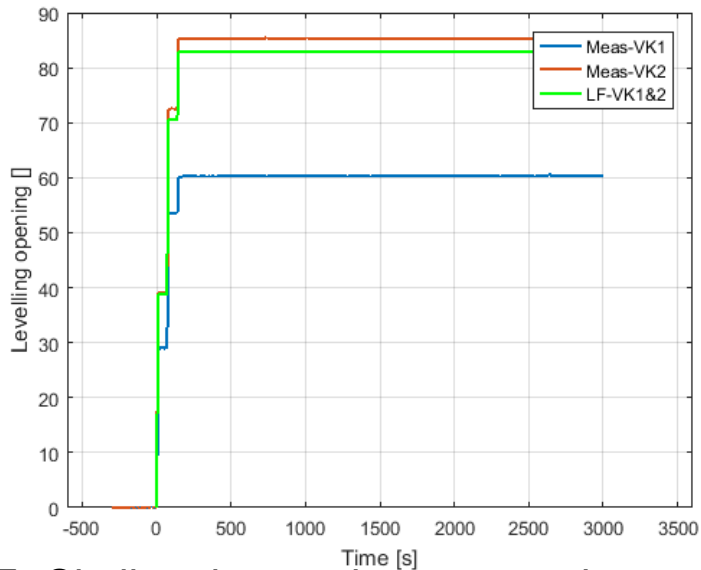


Location of the ship in the lock for tm2_4 (automatic valve)



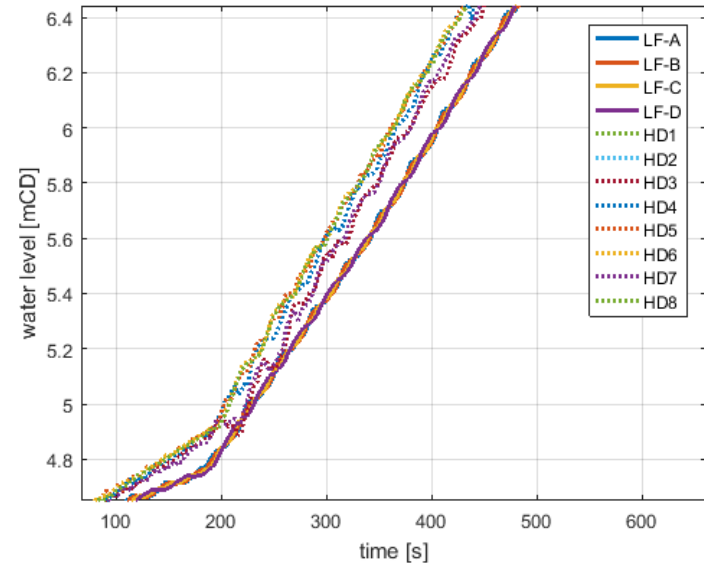
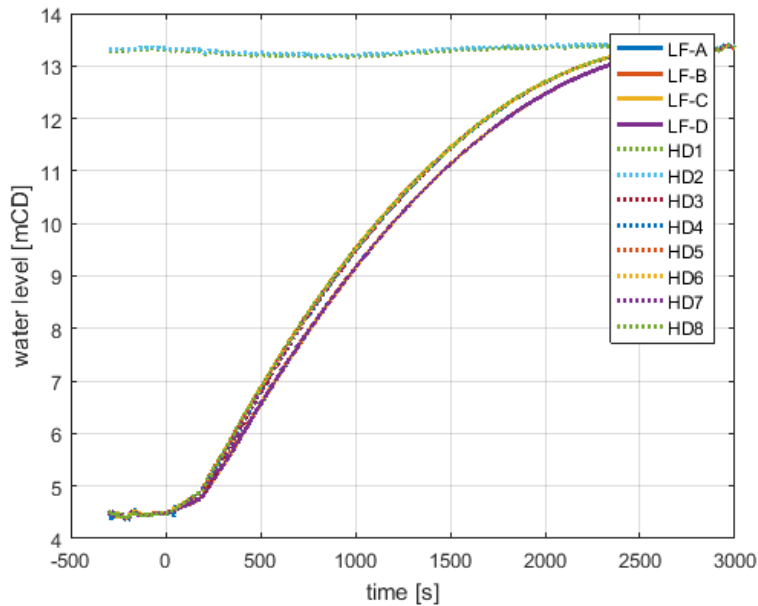
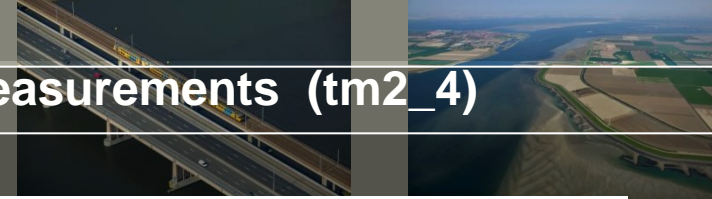
Placement of water stand meters (D1 to D8) during terrain measurement (distance in meters)

Cases 1: Terreinmeting sluis Zemst voor renovatie middendeur (tm2_4)



- ❑ Similar observation as seen in tm2_2
- ❑ Leveling opening matches well with the measurements (a single opening is considered in the lockfill , which is approximately 80% of the width of lock)
- ❑ Overall flow rate versus time is good in match with the measurements (except at the instant of constant leveling opening)
- ❑ At the instant of constant leveling opening (Marked by circle 1 & 2)
 - Measurement depicts the fluctuations, which is absent in the Lockfill (fluctuations are noise during the measurements)
 - Lockfill shows the significant lower magnitude of flow rate in comparison to the measurements (may be associated with discharge coefficient)
 - Volume calculation- $\text{Total_Volume_lockfill} / \text{Total_Volume_measurement} = 0.96$

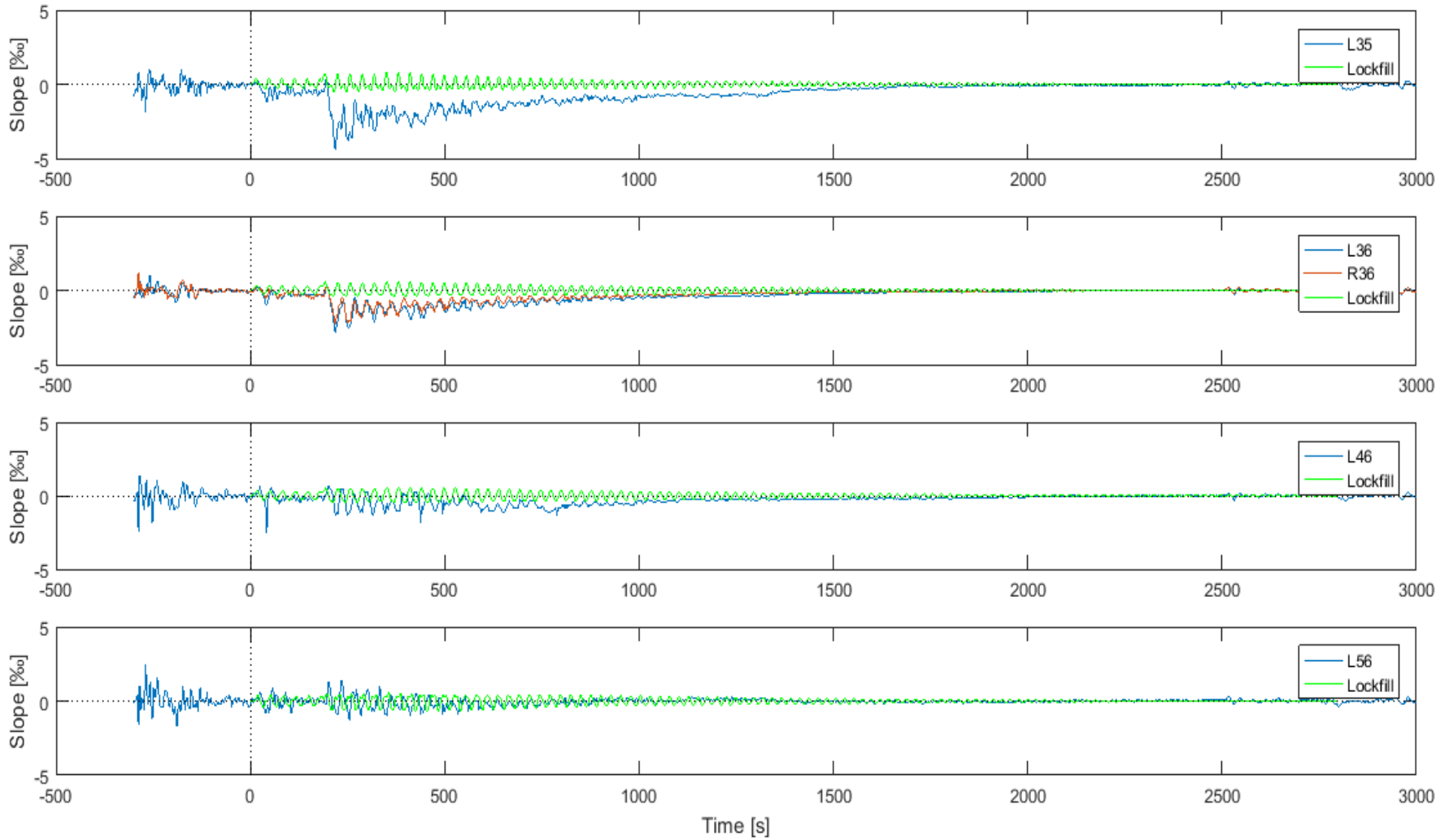
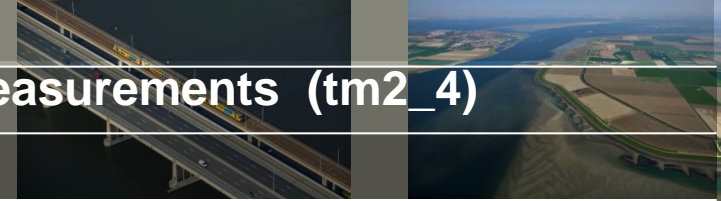
Water level [mCD]-Lockfill comparison with measurements (tm2_4)



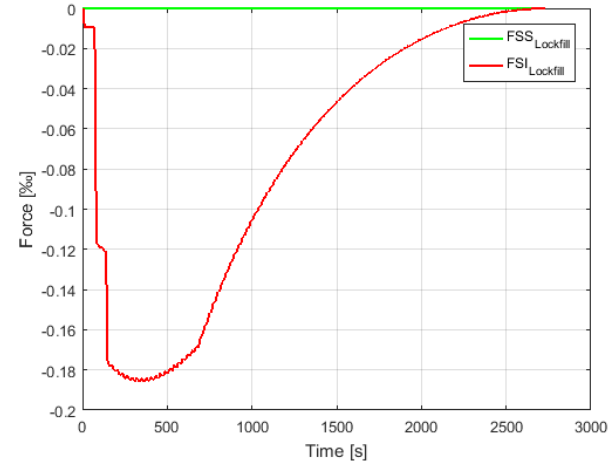
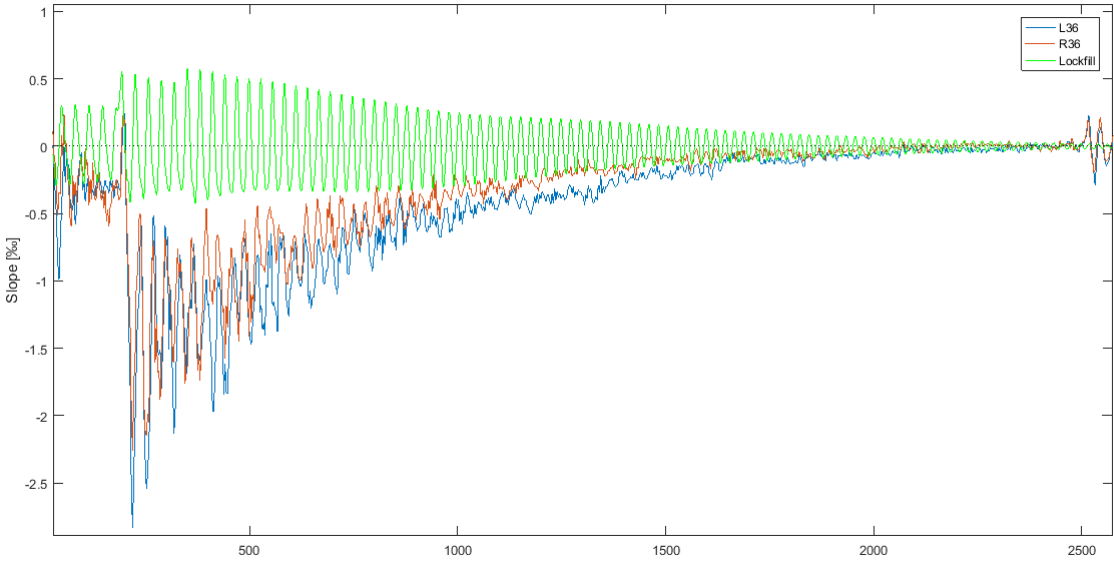
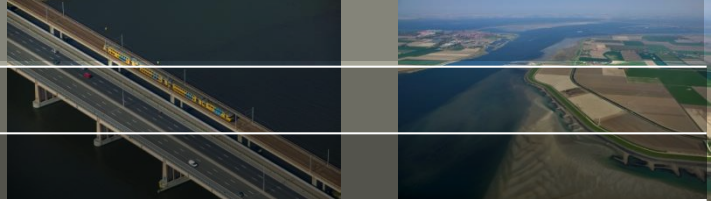
- ❑ Time taken until a head difference of 5 & 17.5 cm is reached (shown in table)
- ❑ Percentage difference is within 5%, which is considered as good.
- ❑ From the Lockfill water level plot, oscillation is evident due to reflection against the lock doors and bow and stern of the ship
- ❑ Discharge coefficient-inaccuracy influence the water level

tm2_4			
Head difference	t_Measurement [s]	t_Lockfill [s]	% Diff
17.5 cm	2343	2366	0,98
5 cm	2457	2542	3,40

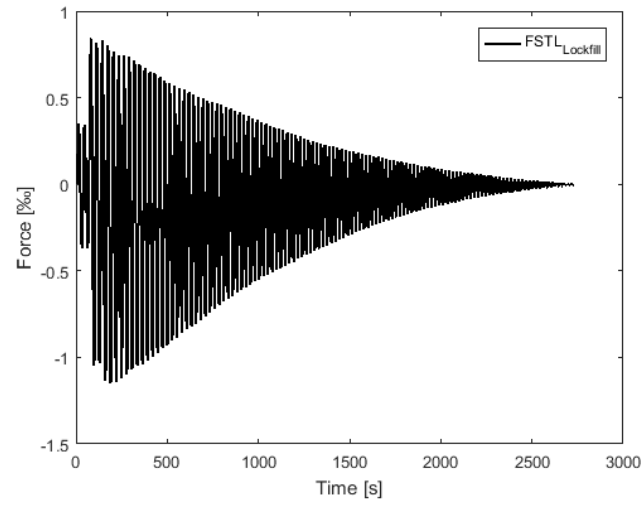
Water level [mcD]-Lockfill comparison with measurements (tm2_4)



Case1: Measurement tm2_4

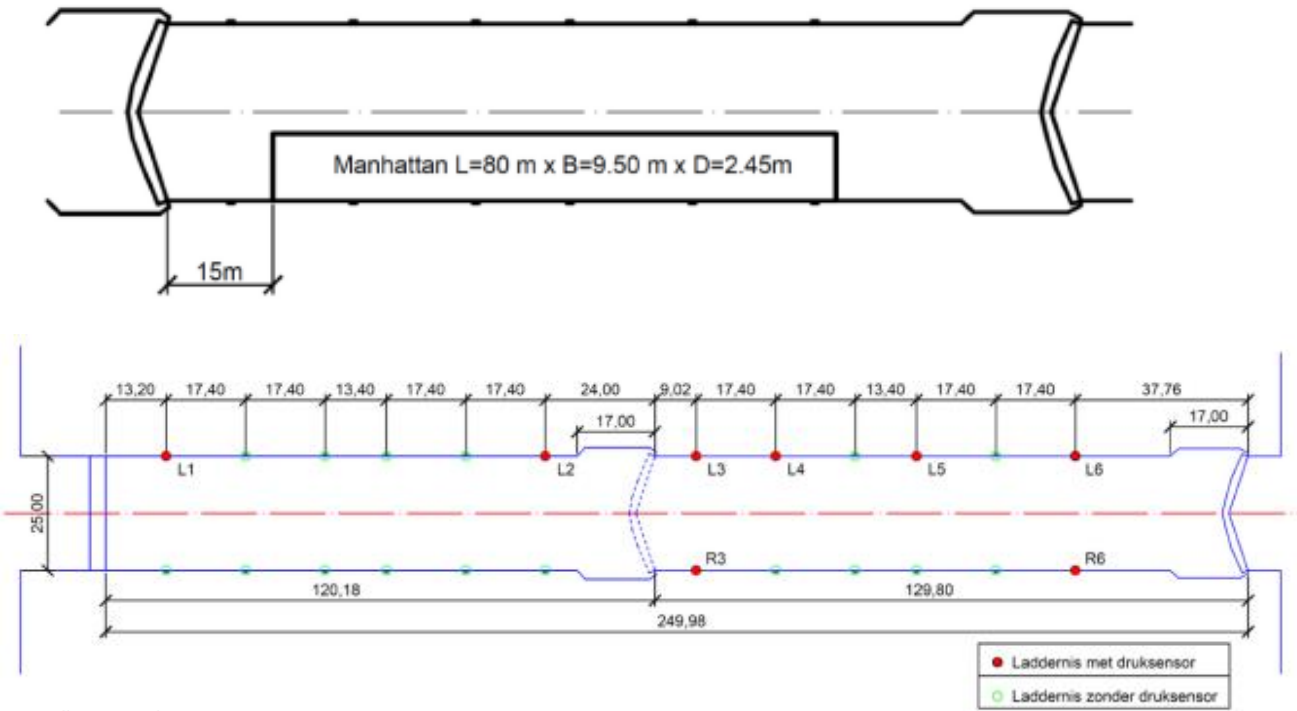


- Damping in the lockfill is lower than the real measurement condition
- Time lapse is also evident
- Long water level slope promile (lockfill) trend differs from measurement
- Filling jet and momentum decrease affect absent in the water level slope calculation



Case2: Terreinmeting_sluis_Zemst_na_renovatie_middendeur (Vullen2015 nr 1)

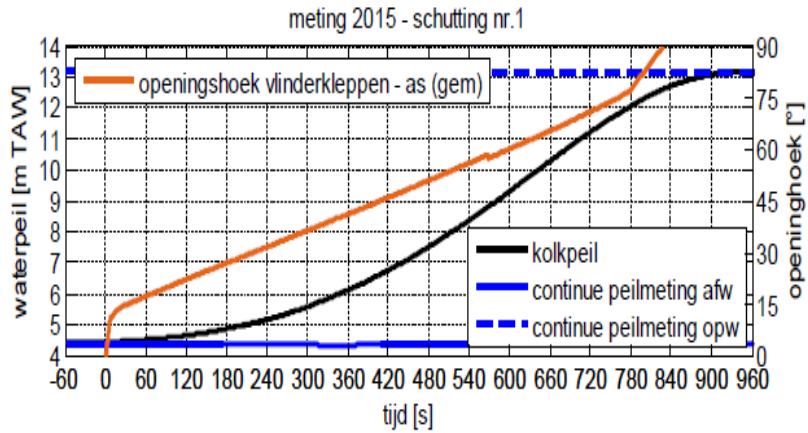
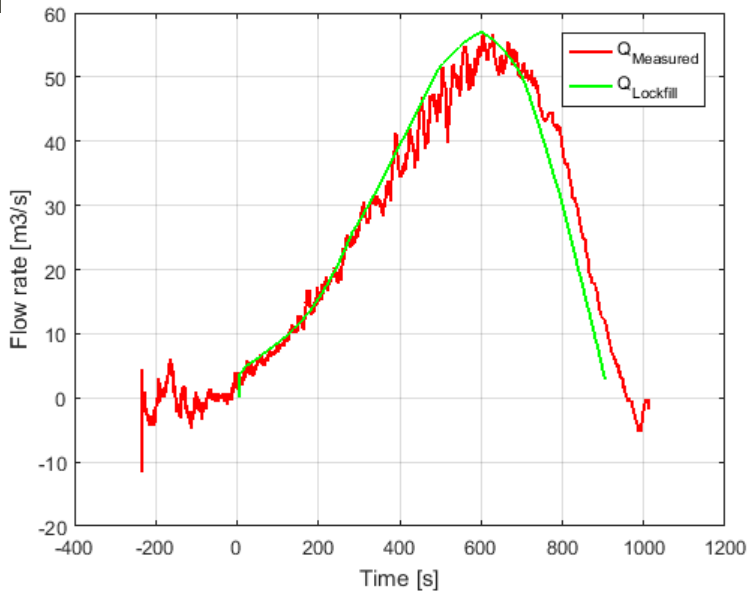
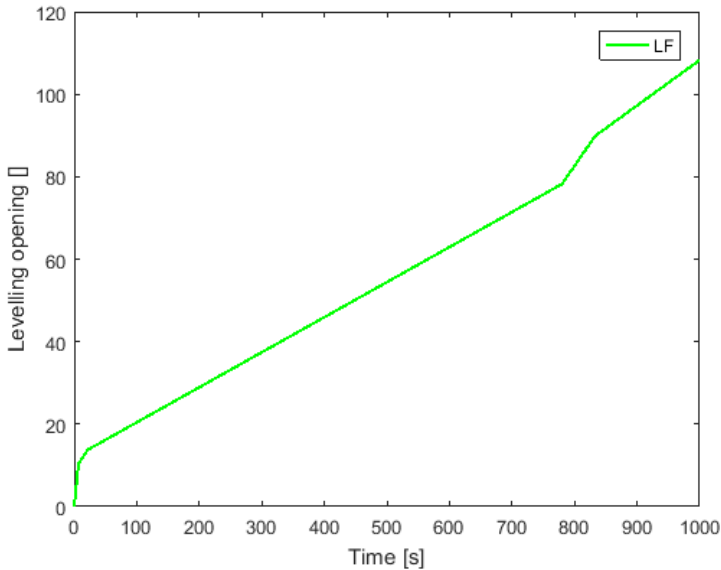
Nivellering nr. 1



Tabel 1 – Uitgevoerde schuttingen – meting 24/092015

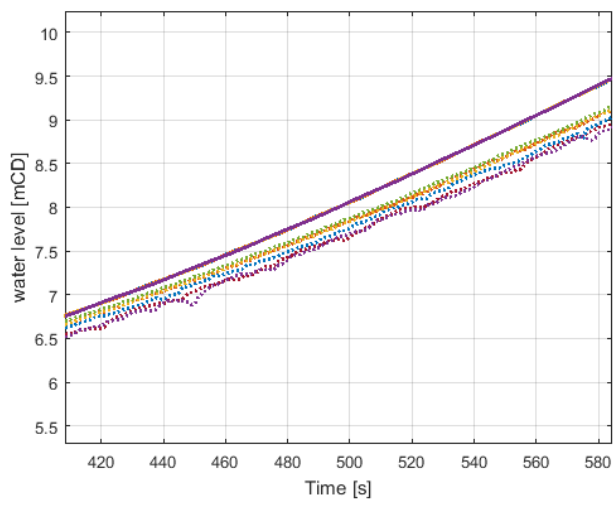
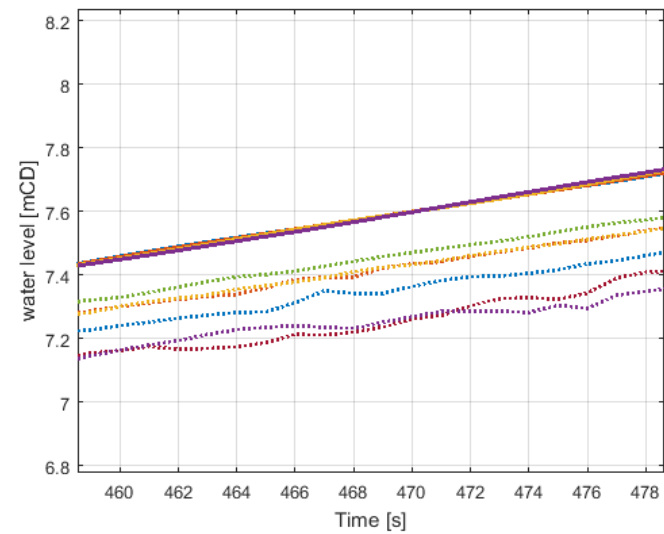
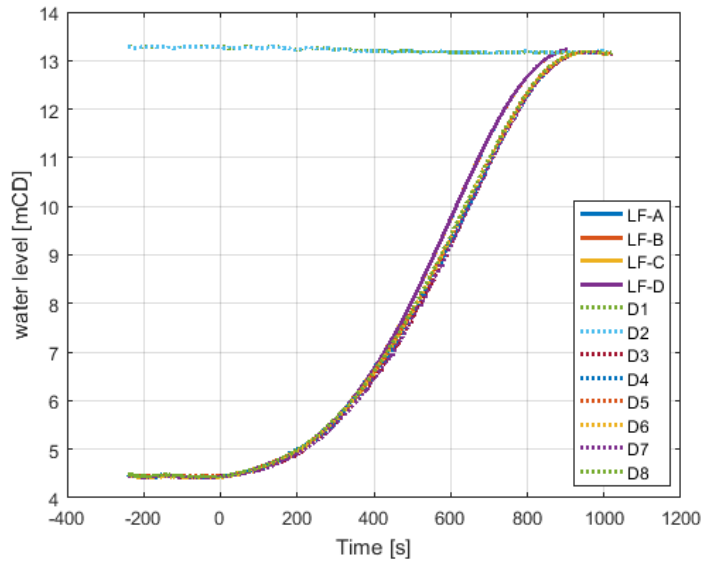
nivellering nr.	starttijdstip nivellering	schip	lengte [m]	breedte [m]	diepgang [m]
1	11:49	Manhattan	80	9.5	2.45
2	12:45	lege kolk	/	/	/
3	13:43	Petra	92	11	niet gekend (geladen)
4	14:44	Jacht Escape	15	4.5	0.5
5	15:27	Meteoor	86	9.5	3.7
6	23:07	Trivor	110	11.45	3.6

Case2: Terreinmeting_sluis_Zemst_na_renovatie_middendeur (Vullen2015 nr 1)



- Mass of the ship- calculated-1500 tons (Ship dimensions and block coefficient =0.83 (Memo Marin Block coefficient))
- Levelling opening trend matches well with the measurement,
- Flow rate versus time from Lockfill is good in match with the measurements
- Measurement depicts the fluctuations, which is absent in the Lockfill (fluctuations are noise during the measurements)
- Volume calculation- $\frac{\text{Total_Volume_lockfill}}{\text{Total_Volume_measurement}} = 0.99$

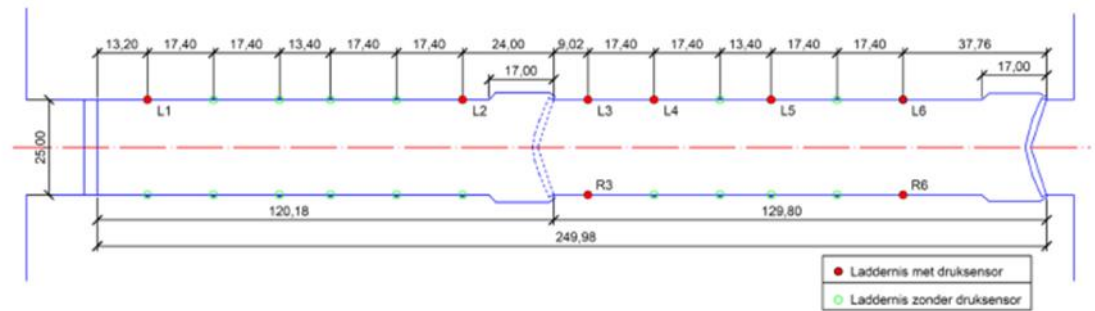
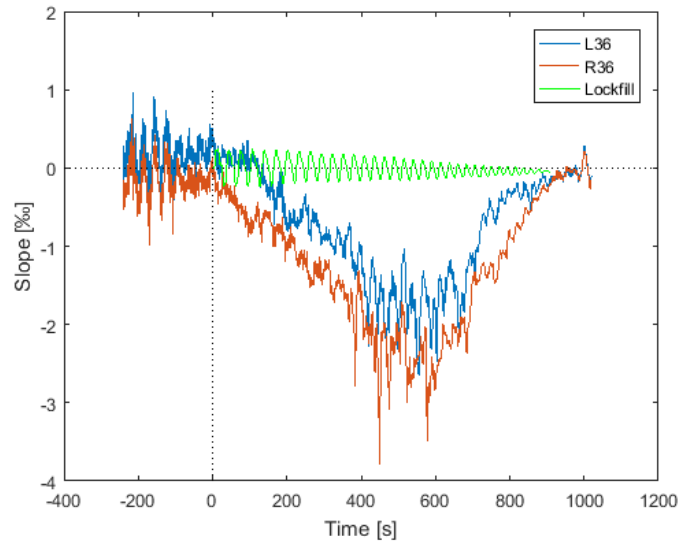
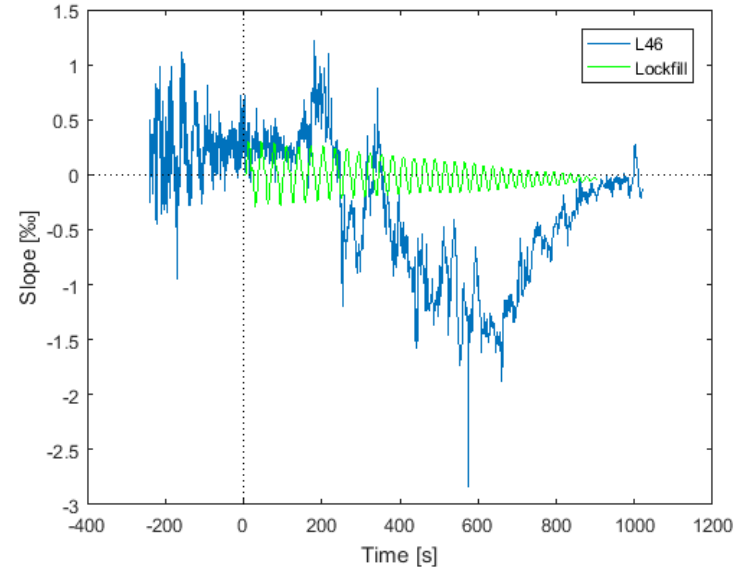
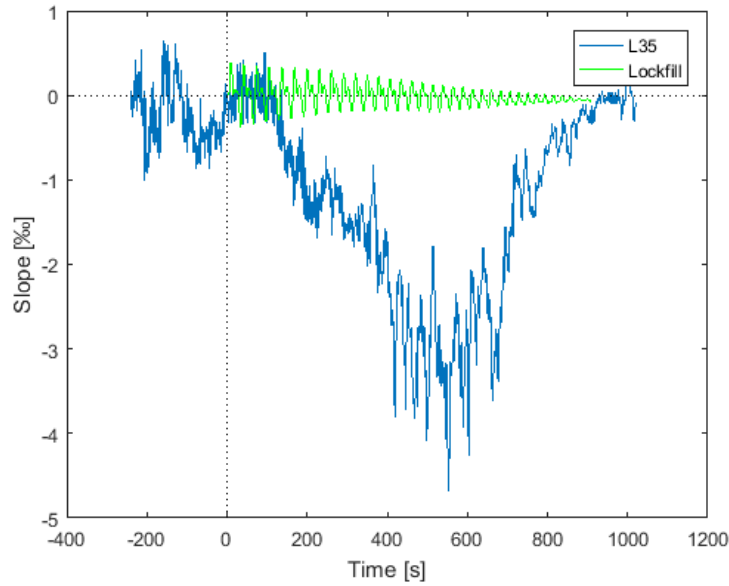
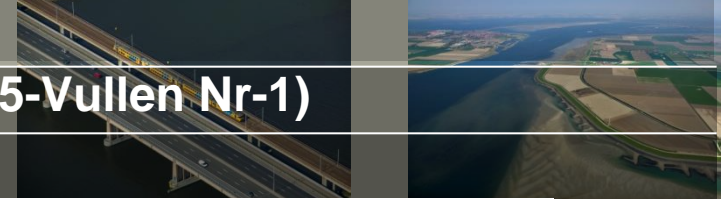
Water level [mCD]-Lockfill comparison with measurements Vullen2015 nr 1)



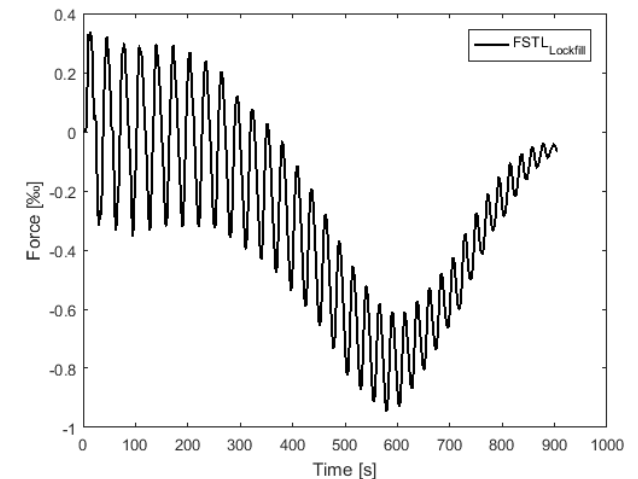
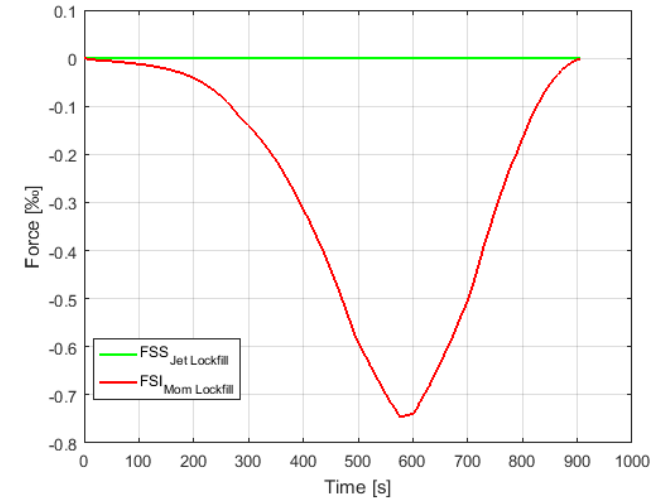
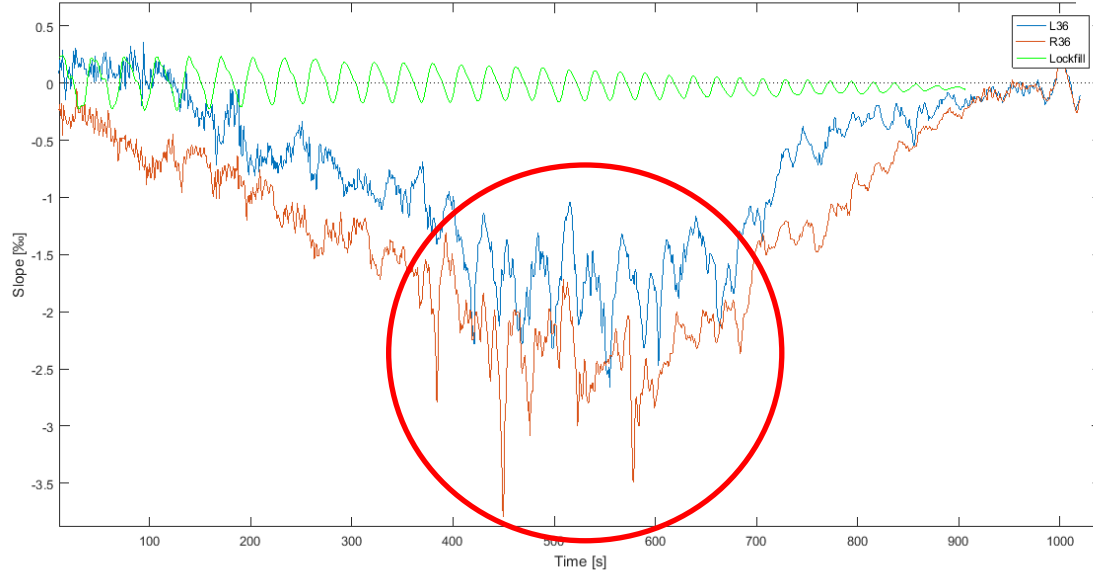
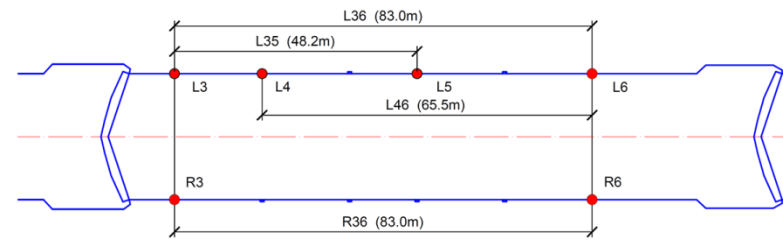
Case	t_measurement [s]	t_Lockfill [s]	% Change
Vullen nr 1	920	880	4,35

- Time taken until a head difference of 5 cm (shown in table)
- Water level from Lockfill are steeper than measurements,
- Small oscillation in the lockfill are present which is due to the reflection against locks, stern and bow of the ship
- Percentage difference is within 5%

Water level slope for the measurements (Meting 2015-Vullen Nr-1)



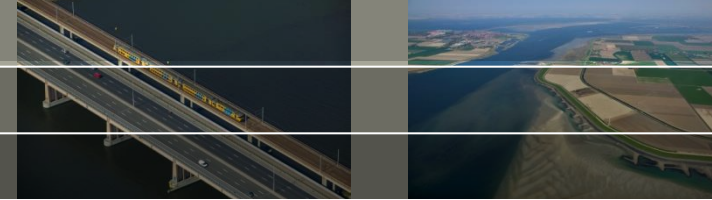
Water level slope for the measurements (Meting 2015-Vullen Nr-1)



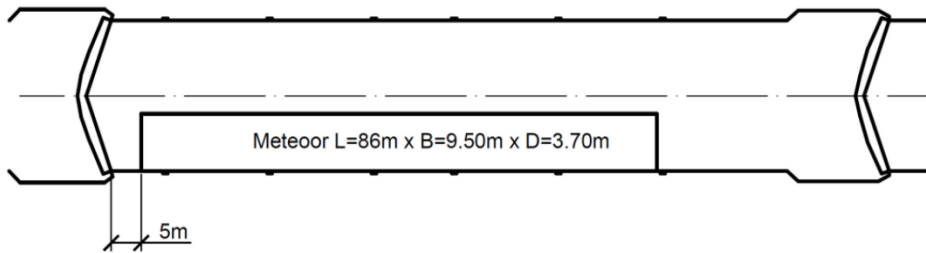
Observation

- Time lapse is evident
- Marked with red circle- spikes reasoning is unknown
- Long water level slope promile (lockfill) trend differs from measurement
- Filling jet and momentum decrease affect absent in the water level slope calculation

Vullen2015 Nr 5

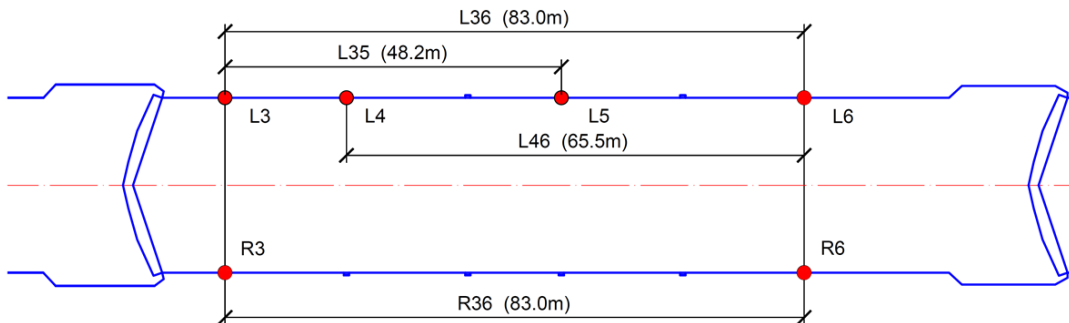
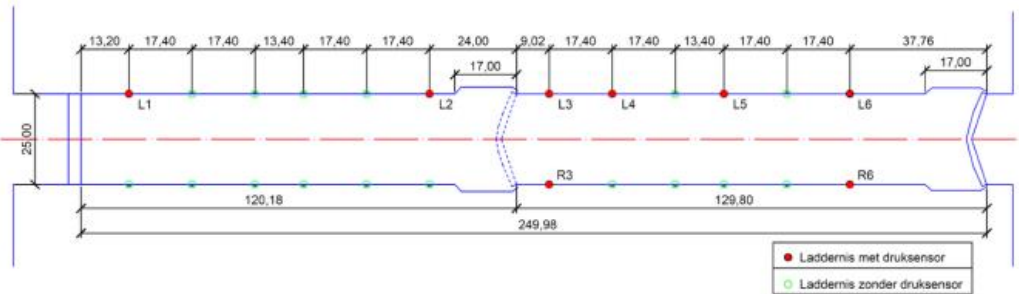


Nivellering nr. 5

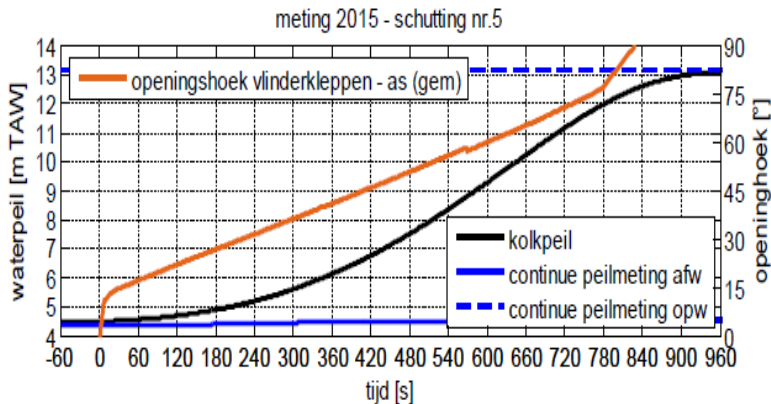
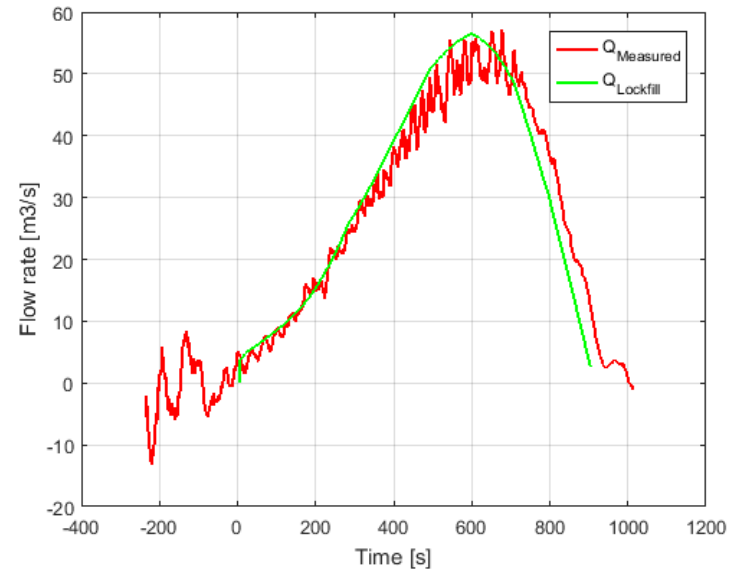
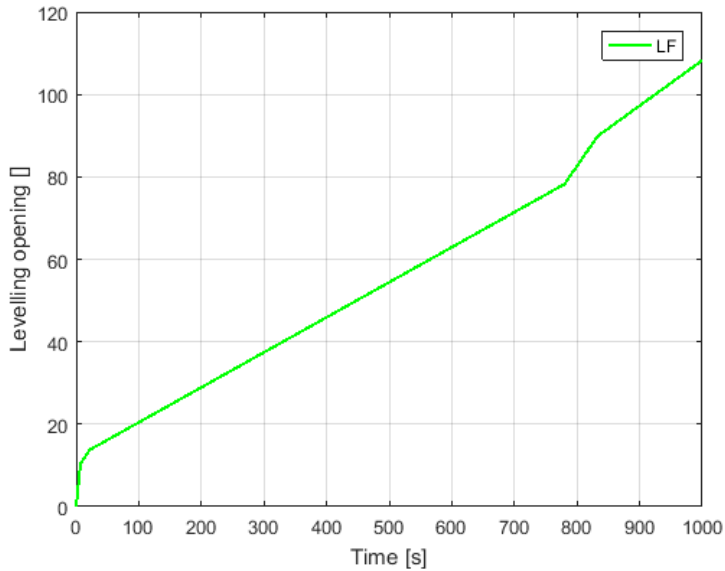
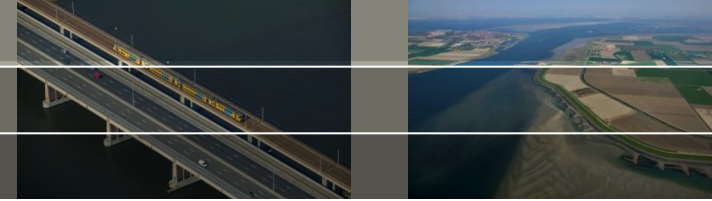


Tabel 1 – Uitgevoerde schuttingen – meting 24/092015

nivellering nr.	starttijdstip nivellering	schip	lengte [m]	breedte [m]	diepgang [m]
1	11:49	Manhattan	80	9.5	2.45
2	12:45	lege kolk	/	/	/
3	13:43	Petra	92	11	niet gekend (geladen)
4	14:44	Jacht Escape	15	4.5	0.5
5	15:27	Meteoor	86	9.5	3.7
6	23:07	Trivor	110	11.45	3.6

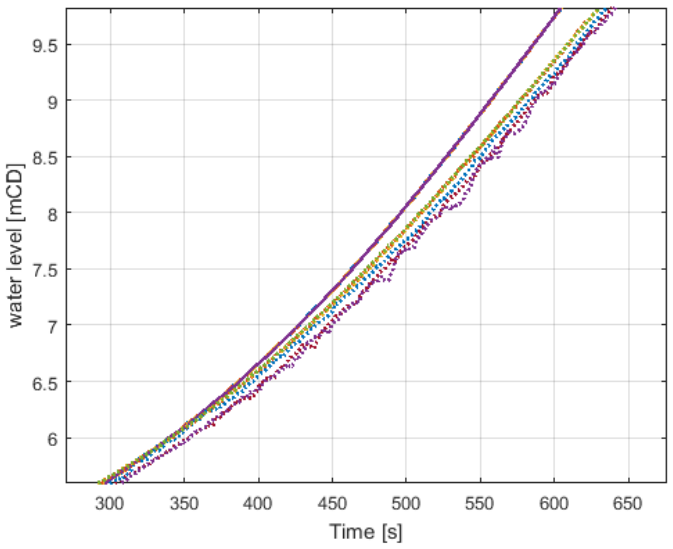
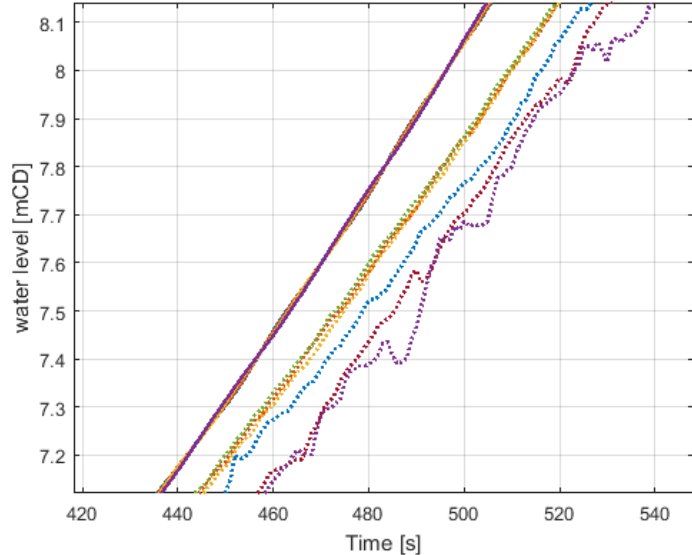
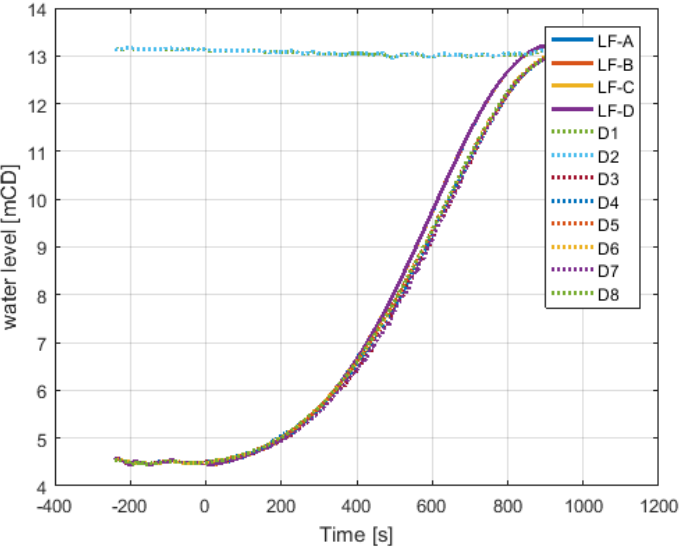


Vullen nr 5



- Mass of the ship calculated-2000 tons (Ship dimensions and block coefficient =0.84 (Memo Marin Block coefficient))
- Levelling opening trend matches well with the measurement,
- Flow rate versus time from Lockfill is good in match with the measurements
- Volume calculation- $\frac{\text{Total_Volume_lockfill}}{\text{Total_Volume_measurement}} = 0.99$
- Measurement depicts the fluctuations, which is absent in the Lockfill (fluctuations are noise during the measurements)

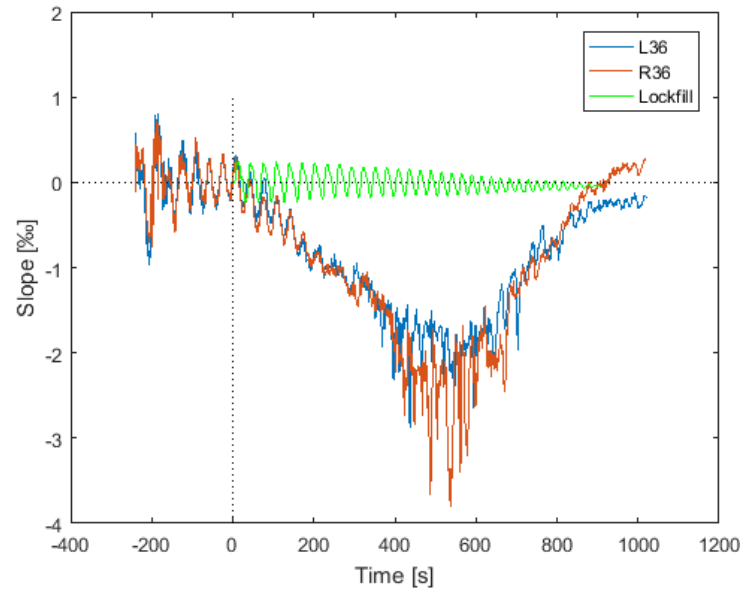
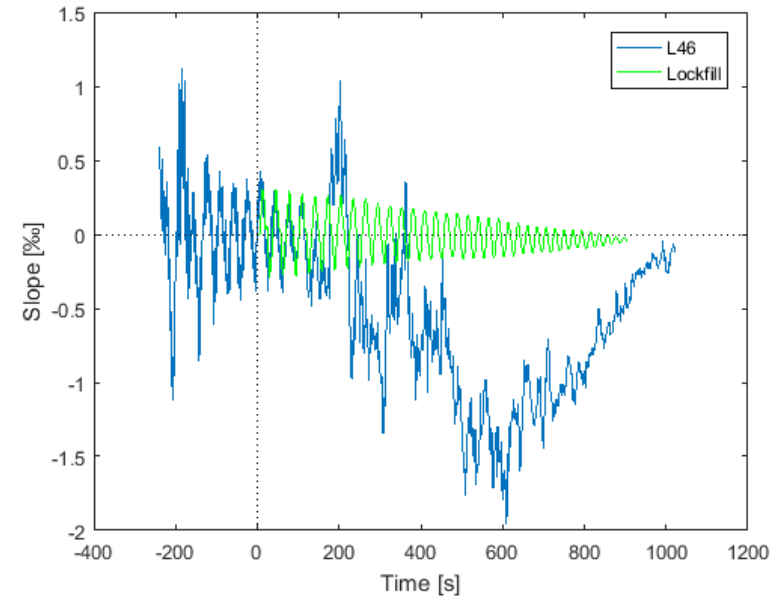
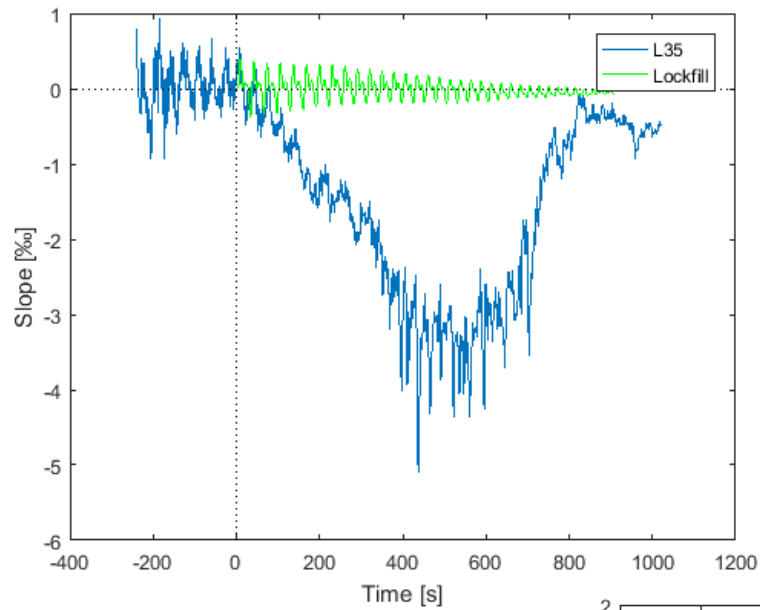
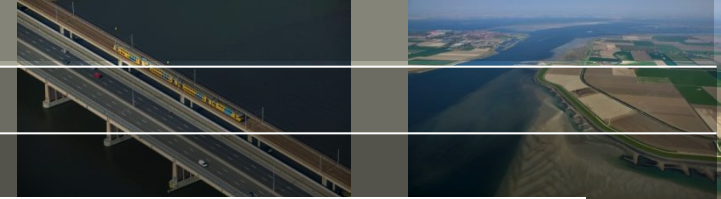
Water level [mCD]-Lockfill comparison with measurements Vullen2015 nr 5)



Case	t_measurement [s]	t_Lockfill [s]	% Change
Vullen nr 5	920	878	4,57

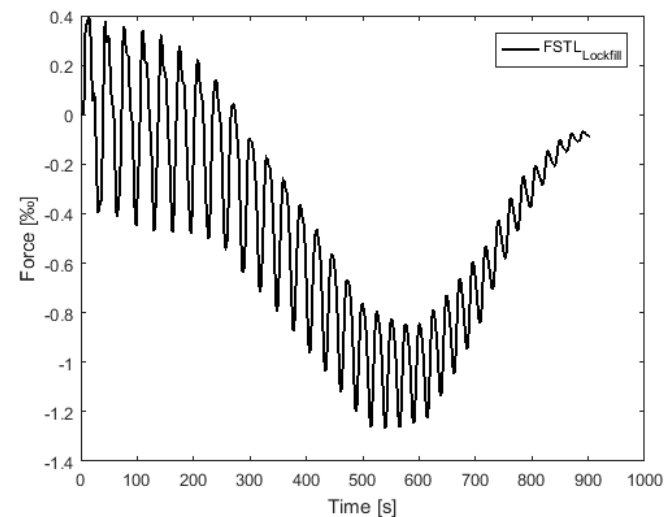
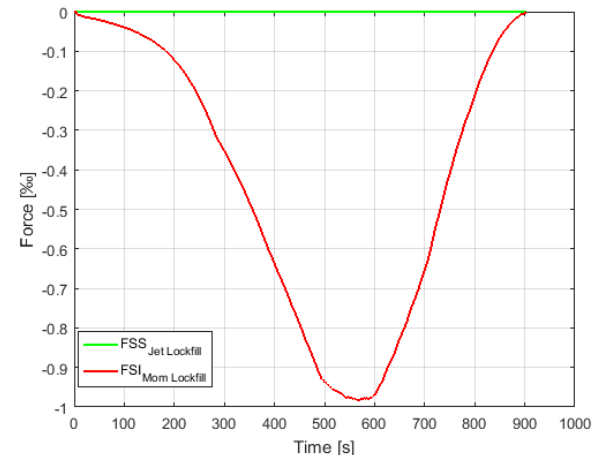
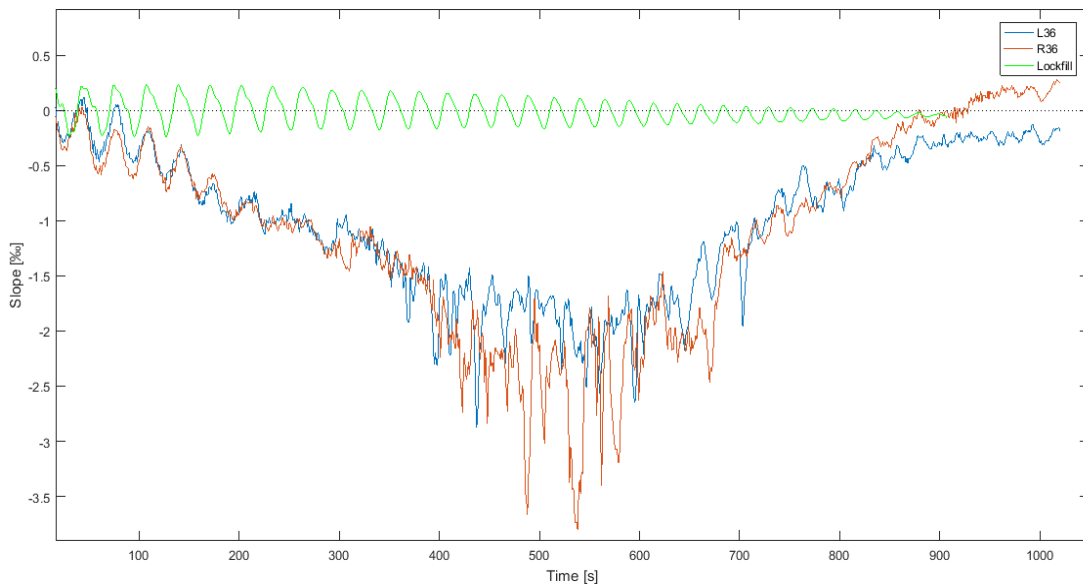
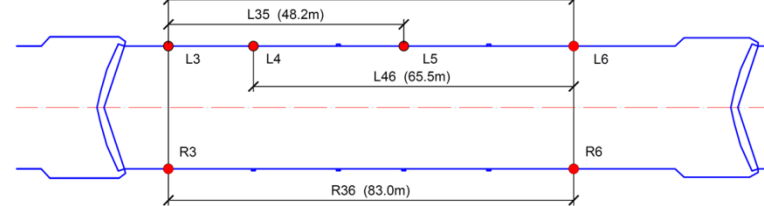
- Time taken until a head difference of 5 cm (shown in table)
- Water level from Lockfill are steeper than measurements,
- Small oscillation in the lockfill are present which is due to the reflection against locks, stern and bow of the ship
- Percentage difference is within 5%.

Long water level slope



23 november 2017

Long water level slope

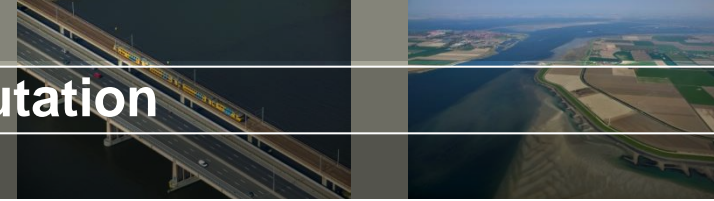


Observation

- Time lapse is evident
- Marked circle- spikes of reasoning unknown
- Long water level slope promise (lockfill) trend differs from measurement
- Filling jet and momentum decrease affect absent in the water level slope calculation

An aerial photograph showing a coastal region. On the left, a large body of water (the IJmuiden waterway) flows. A prominent dike runs along the coast, separating the water from a large area of agricultural fields. The fields are divided into various colored plots, including green, brown, and tan. In the background, a small town or village is visible. The sky is clear and blue.

Schaalmodel IJmuiden

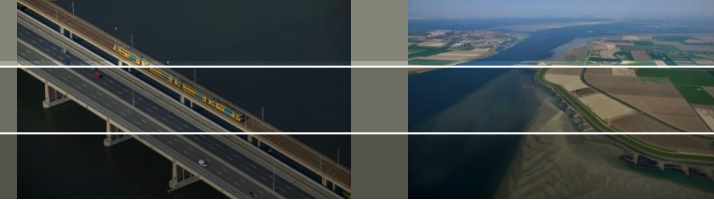


Case1: Scale model for IJmuiden lock Open IJ

Case 2: Scale model for IJmuiden lock for advice for RWS

Case 3: Scale model for Terneuzen lock

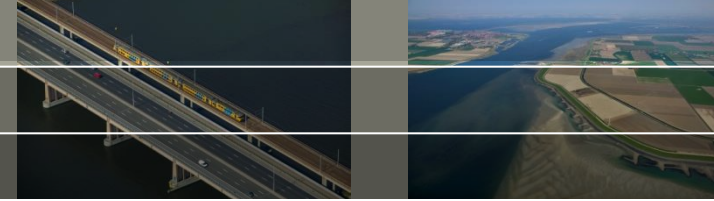
New version of Lockfill 5.3



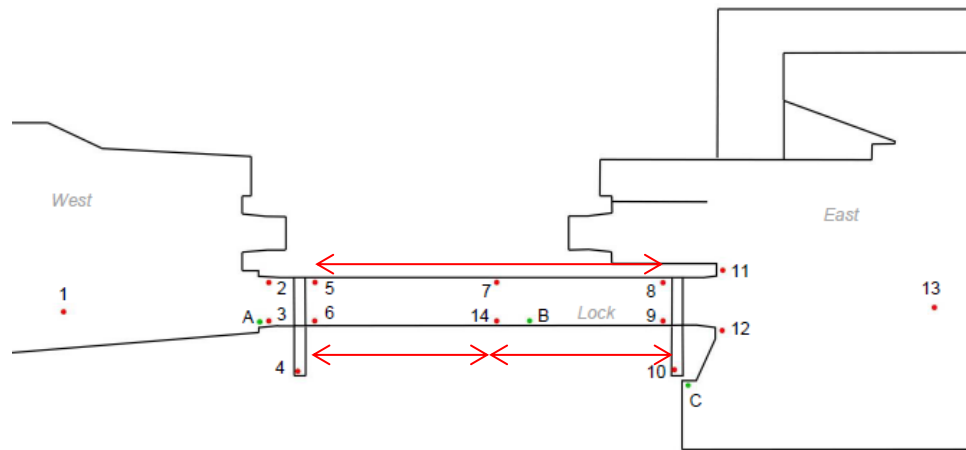
- All the below mentioned comparisons are valid if there are not any density differences between the lock and the approaching harbor.
- The total longitudinal force measured from the scale model is the addition of the values from the two sensors at the bow and stern side.



- The Chezy value that has been assumed for the Lockfill calculations was $66\text{m}^{0.5}/\text{s}$ (this corresponds to a roughness coefficient k_s of 0.005). A sensitivity analysis of this study has been made and the effect was found out to be negligible.



The water level measuring sensors were placed in the scale model as shown in the sketch.

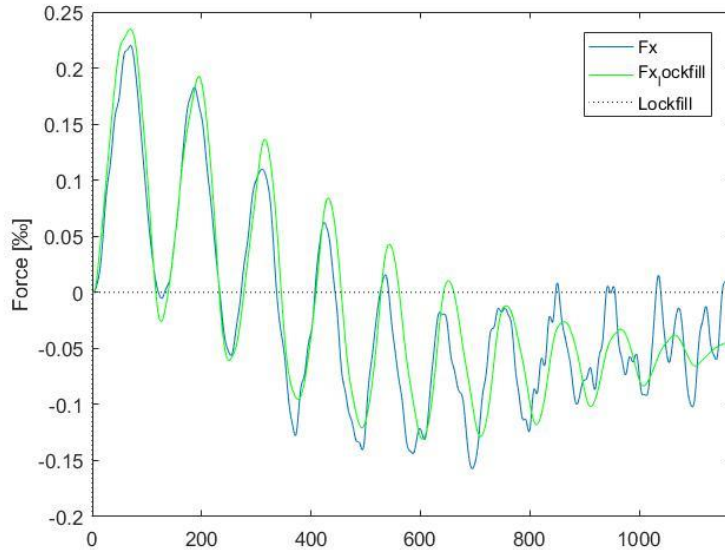


- The slopes between the measurements at the beginning-end and beginning- middle of the lock are compared between scale model and Lockfill.
- The longitudinal force between the measurements and the are compared between scale model and Lockfill.

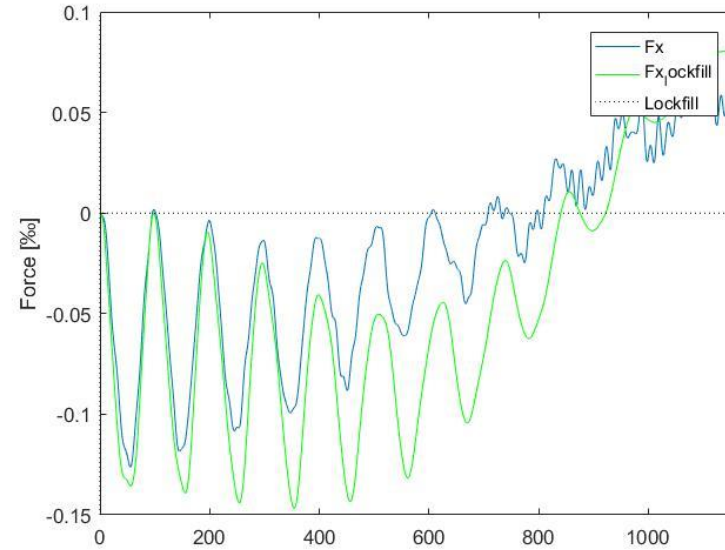
Cases study 1: IJmuiden lock Open IJ- Longitudinal force comparison



A-3- scenario



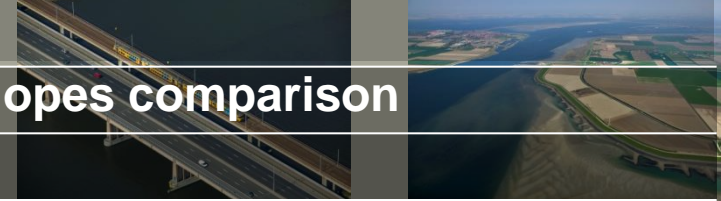
A-4- scenario



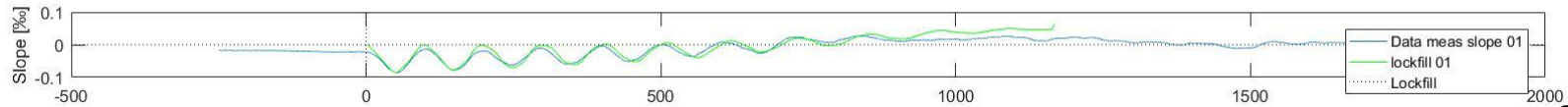
Observations:

- In both examined scenarios the results between the forces measurements and the Lockfill version 5.2 are in good agreement;
- The Lockfill results in a more smooth force and it is omitting the shorter peaks in the model. Are the fluctuations noise in the measurement or are they the short waves generated from the reflection at the second door?
- In scenario A-3 Lockfill seems to overestimate the damping Or not capturing fully the effect of the reflection of the translatory wave at the second door of the lock.
- In both examined scenarios there is better agreement between scale model and the Lockfill in the beginning of the leveling process.
- Het verschil komt door het effect van de impuls kracht

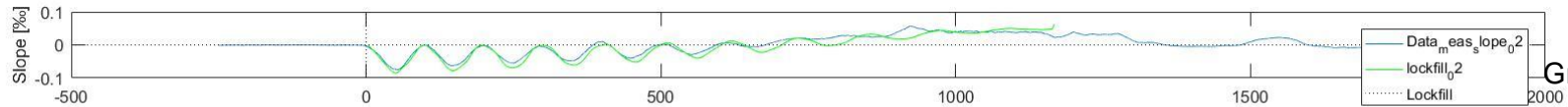
Cases study 1: IJmuiden lock Open IJ- Water level slopes comparison



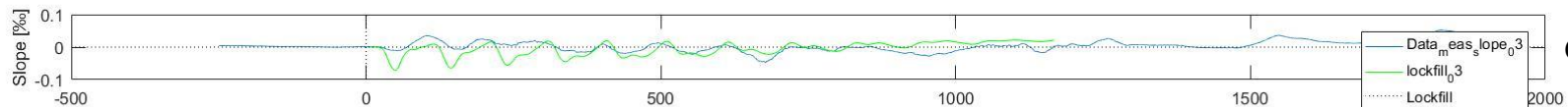
A-4- scenario The slopes are indicated for the emptying scenario



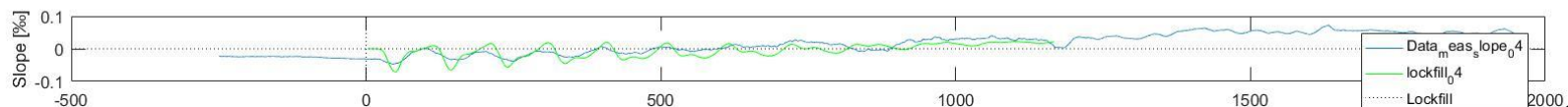
Graph_01: Slope 5-8 series



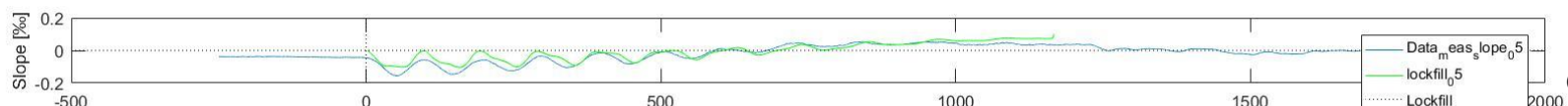
Graph_02: Slope 6-9 series



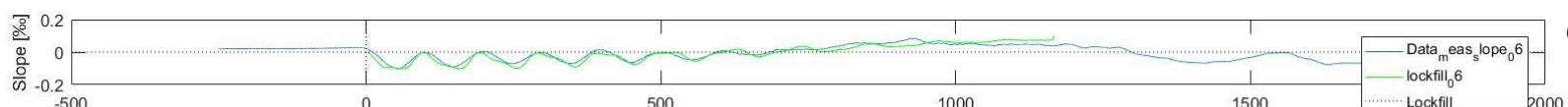
Graph_03: Slope 7-8 series



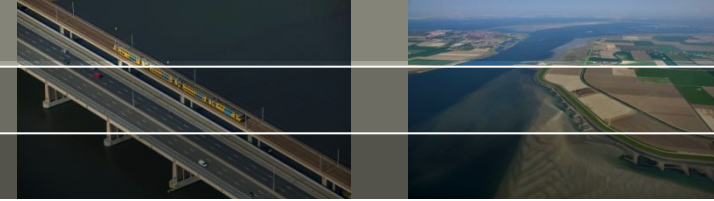
Graph_04: Slope 14-9 series



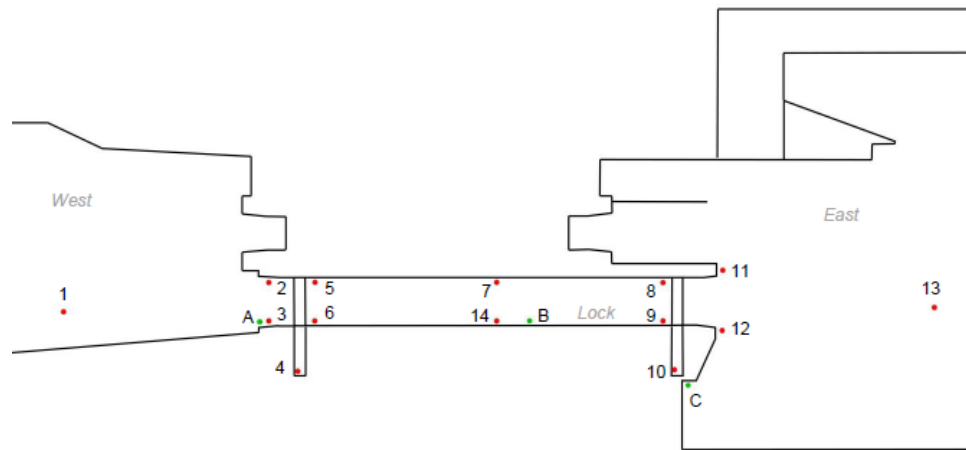
Graph_05: Slope 7-5 series



Graph_06: Slope 14-6 series

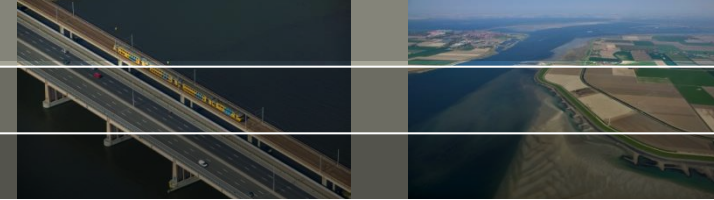


The water level measuring sensors were placed in the scale model as shown in the sketch.



- The slopes between the measurements at the beginning-end and beginning- middle of the lock are compared between scale model and Lockfill.
- The longitudinal force between the measurements and the are compared between scale model and Lockfill.

Cases study 2: IJmuiden lock RWS- scale model

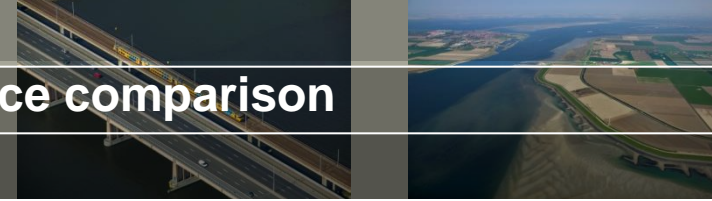


The scale model tests that are compared with the Lockfill results are the following:

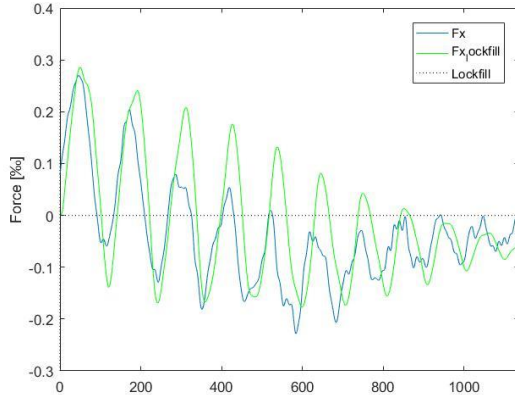
Test nr.	Water lever in the approach harbor	Water lever in the lock	Head difference (AH vs. lock)	Leveling system	Lifting program
3.02	4.00	-0.70	4.70	Gate	2.7 mm/s
3.03	4.01	-0.73	4.73	Gate	2.7 mm/s
3.07	1.20	-0.41	1.61	Gate	5.0 mm/s
3.15	-0.39	1.17	-1.56	Gate	5.0 mm/s
3.24	0.11	-1.77	1.88	Gate	4.3 mm/s

The other design factors were the same for the different tests.

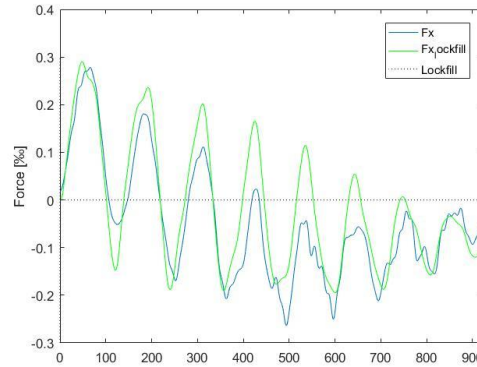
Cases study 2: IJmuiden lock RWS- Longitudinal force comparison



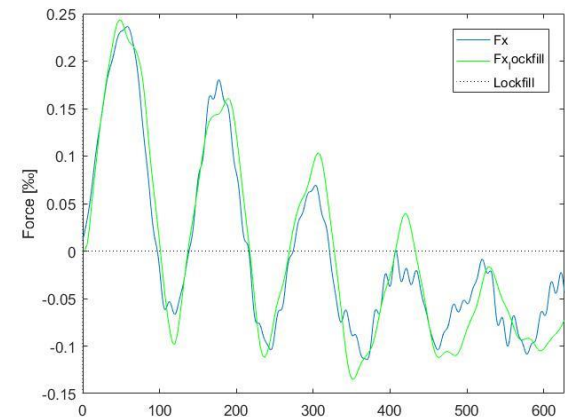
3.02 - scenario



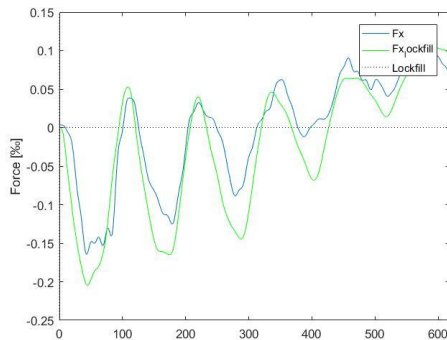
3.03 - scenario



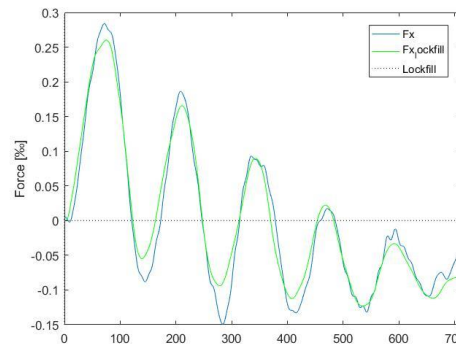
3.07 - scenario



3.15 - scenario



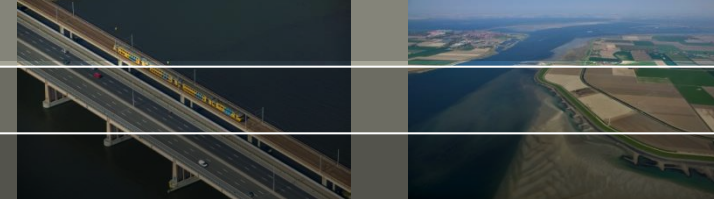
3.24 - scenario



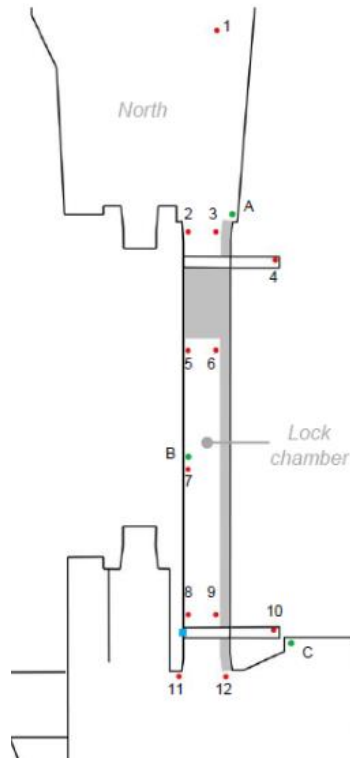
At scenario 3.24 lockfill is overestimating the damping.

Observations:

- From all the examined scenarios it can be concluded that for the scenarios 3.07, 3.15 to 3.24 there is a good agreement between the lockfill results and the scale model measurements.
- From Scenarios 2 and 3 it can be noticed that despite the fact that there is concurrence of the trends of the Lockfill and the measurement, Lockfill seems to underestimate the damping effect.

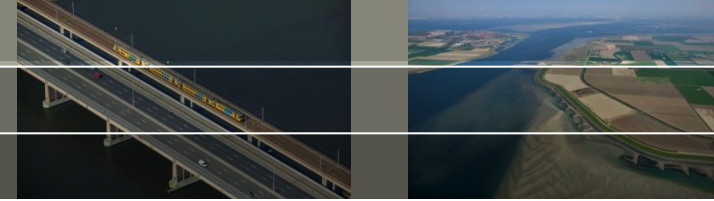


The water level measuring sensors were placed in the scale model as shown in the sketch.



- The slopes between the measurements at the beginning-end and beginning- middle of the lock are compared between scale model and Lockfill.
- The longitudinal force between the measurements and the are compared between scale model and Lockfill.

Cases study 3: Terneuzen lock RWS- scale model

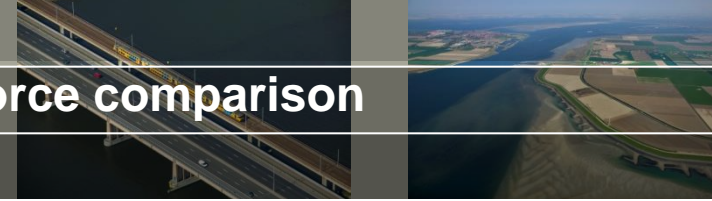


The scale model tests that are compared with the Lockfill results are the following:

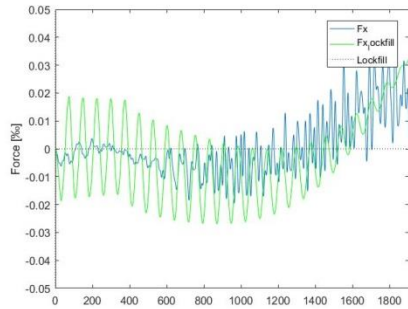
Test nr.	Water lever in the approach harbor	Water lever in the lock	Head difference (AH vs. lock)	Leveling system	Lifting program
T1.09	2.18	4.63	-2.46	Gate	1.00 [mm/s]
T1.10	2.19	-2.68	4.87	Gate	1.00 [mm/s]
T1.11	2.18	4.58	-2.40	Gate	3.00 [mm/s]
T1.12	2.19	-2.67	4.86	Gate	3.00 [mm/s]
T1.13	2.17	-2.68	4.84	Gate	3.00 [mm/s] until 300s and again from 1200s/ 1.00 [mm/s] from 300-1200s
T1.14	2.12	-2.69	4.81	Gate	3.00 [mm/s] until 300s and again from 700s/ 1.00 [mm/s] from 300-700s

The distance of the quay wall is 0.9m.

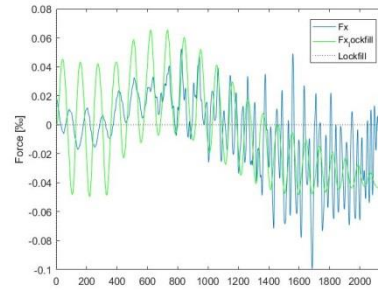
Cases study 3: Terneuzen lock RWS- Longitudinal force comparison



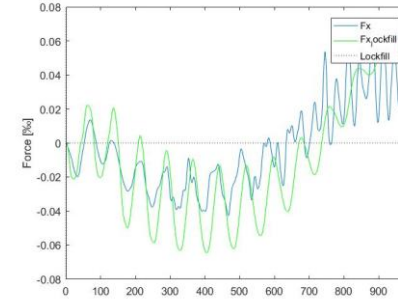
T1.09-scenario



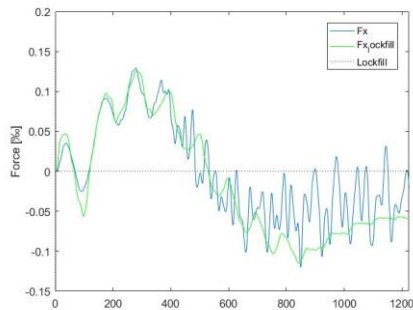
T1.10-scenario



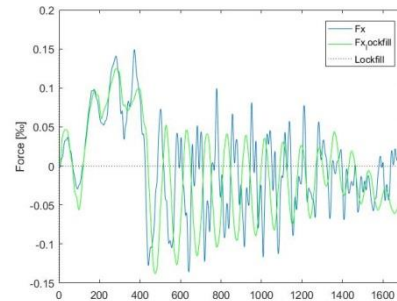
T1.11-scenario



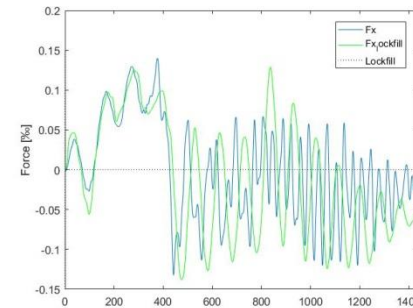
T1.12-scenario



T1.13-scenario



T1.14-scenario



Observations:

- For all the examined scenarios for Terneuzen the average longitudinal force evolution with time is the same between the scale model measurements and the Lockfill calculations.
- In all the scenarios measurements exhibit local peaks that are either not captured by lockfill or they have a phase difference.
- From scenarios T1.13 and T1.14 can be concluded that the change in the lifting speed is causing a sudden decrease in the forces. This effect is captured correctly in Lockfill.
- In the first three scenarios Lockfill is overestimating the forces in the beginning of the leveling process. It has to be noted that the vibration amplitude is very small.