



Kennisprogramma Natte Kunstwerken  
*Kennisplan 2018*

# **Veranderende belasting door veranderend gebruik**

## Schroefstralen in de sluiskolk

Freek Verkerk	(MARIN)
Tom O'Mahoney	(Deltares)
Wim Kortlever	(Rijkswaterstaat)

Kenmerk	:	KpNK-BKW-01a003
Versie	:	1.0
Datum publicatie	:	30 november 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](http://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](http://www.waterenklimaat.nl).

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

Freek Verkerk - [f.verkerk@marin.nl](mailto:f.verkerk@marin.nl)  
Tom O'Mahoney - [tom.omahoney@deltares.nl](mailto:tom.omahoney@deltares.nl)

Voor vragen over Kennisprogramma Natte Kunstwerken en Kennisplan 2018 kunt u terecht bij:  
Maarten van der Vlist - [maarten.vander.vlist@rws.nl](mailto:maarten.vander.vlist@rws.nl)

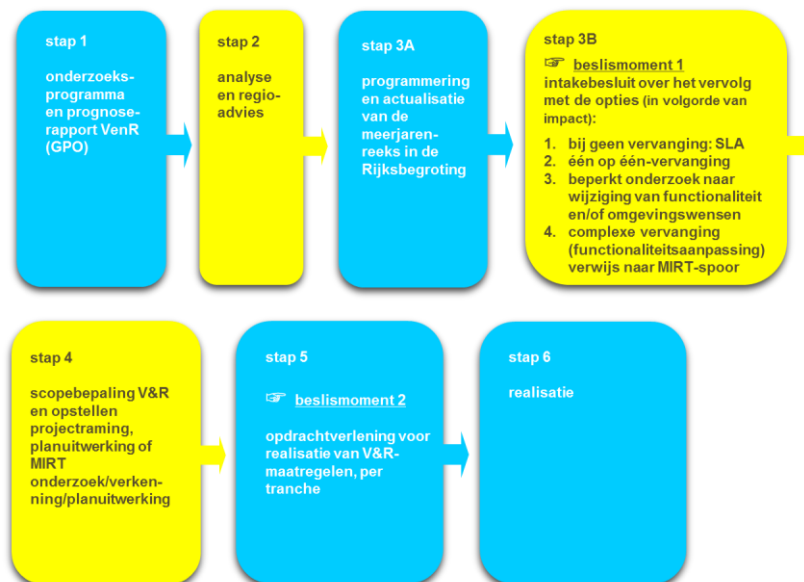




## Voorwoord

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 zich 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.



Sinds enkele jaren is er het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Hieronder lopen diverse onderzoeklijnen. Eén van de onderzoeklijnen 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 2018 is er binnen het kader van Kennisprogramma Natte Kunstwerken samengewerkt met Acotec BV, Arcadis en ArcelorMittal.

Resultaten uit het Kennisprogramma Natte Kunstwerken worden gedeeld met de gehele sector, onder andere via de website [www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl](http://www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl).

De hierop volgende samenvatting heeft betrekking op het onderliggende onderzoeksrapport “Existing objects – Changing loads related to different use: propeller outflow”. Dit onderzoek is geleid door MARIN in het kader van het Kennisplan Natte Kunstwerken 2018. In verband met de Algemene Verordening Gegevensbescherming is het originele MARIN rapport ten behoeve van het publiceren op de website alleen qua persoonsgegevens, maar niet qua inhoud aangepast.



## Samenvatting

# Propeller outflow (Schroefstralen in de sluiskolk)

### Aanleiding

Bij het in- en uitvaren van sluisen maar ook bij het manoeuvreren bij kades kunnen bodem en oever worden aangetast door de schroefstraal van het schip. Hierbij moet men denken aan de hoofdschroeven maar ook aan boeg- en hekschroeven. Als gevolg van de schaalvergroting neemt het geïnstalleerd vermogen aan boord van schepen toe waardoor de effecten van de schroefstralen heftiger worden. Daarnaast groeit de infrastructuur minder mee met de toegenomen scheepsafmetingen. De afstanden tussen de schroef en de infrastructuur worden kleiner, waardoor de belasting op kades en oevers ook toeneemt.

Naast de interactie-effecten met de omgeving is er ook een vraag over de effectiviteit van scheepsschroeven in sluisen. Door re-circulatie in de sluis neemt de geproduceerde stuwkracht af terwijl er door de schaalvergroting juist grotere krachten nodig zijn om het schip onder controle te houden.

Voor het dimensioneren van oever- en bodembescherming is een methode beschikbaar die voornamelijk gebaseerd is op empirie. Deze empirische formules zijn in het verleden bepaald met behulp van modelonderzoek. Door de toegenomen vermogens en de relatief kleinere afstanden tussen schroef en infrastructuur vermindert waarschijnlijk de betrouwbaarheid van de bestaande formules .

### Onderzoeksvraag en -opzet (WAT)

De onderzoeksvragen voor de uitgevoerde studie zijn:

- Is het mogelijk om met CFD de belasting van de infrastructuur door schroefstralen te berekenen?
- Wat is de invloed van verschillende schematisaties (te weten: actuator disk versus een volledige schroefgeometrie)?

Eind 2016 en begin 2017 zijn er series CFD berekeningen uitgevoerd naar het effect van een schroefstraal op de bodembescherming. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met ReFresco, het CFD pakket van MARIN. In deze berekeningen is de schroef geschematiseerd als een 'Actuator Disk'. In deze schematisatie wordt het water ter plaatse van de schroefschijf versneld. Dit is een relatief eenvoudige en effectieve manier om de schroef te schematiseren. Het nadeel is echter dat details van de schroef zelf niet in de berekening worden meegenomen zodat bijvoorbeeld aflopende wervels niet worden meegenomen in de berekening. Juist aflopende wervels kunnen lokaal voor grote drukverschillen zorgen op bodem of oever.



Om deze reden is in 2018 een CFD berekening uitgevoerd met een volledig gemodelleerde draaiende schroef. De berekening is zo uitgevoerd, dat de resultaten vergelijkbaar zijn met de eerder uitgevoerde berekening met een Actuator Disk. Hiermee is inzicht verkregen in het effect van de modellering op de resultaten, en met name het effect van wervels op de druk- en snelheidsfluctuaties op de sluisbodem en -wanden.

### Onderzoeks aanpak en -methode (HOE)

De resultaten van de berekeningen uit 2016-2017 en deze nieuwe berekeningen zijn samengevat in een rapport. Er is een vergelijking gemaakt tussen de twee typen berekeningen (Actuator Disk versus schroef modellering) en verder zijn de resultaten van de berekeningen vergeleken met de ontwerpregels.

Het nauwkeurig uitrekenen van wervels met CFD is een uitdaging. Enerzijds dienen er fijne rekenroosters te worden gebruikt om de grote snelheidsvariaties in de beperkte afmetingen van de wervel goed te vangen. Anderzijds weten we dat de huidige turbulentie modellering in CFD de fysica in de wervel slechts benadert en dat daardoor de wervelsterkte te snel afneemt in vergelijking met de werkelijkheid. MARIN heeft ervaring opgebouwd met soortgelijke berekeningen aan tipwervels. Daarbij is, indien voorhanden, ook een vergelijking gemaakt tussen modelproeven en CFD. De onzekerheid van dergelijke CFD berekeningen blijft echter hoog, waar rekening mee gehouden dient te worden bij de interpretatie van de resultaten.

Met behulp van de resultaten wordt een plan ontwikkeld om in de toekomst de ambitie verder te realiseren. Hiervoor wordt ook contact gezocht met andere initiatieven binnen RWS en de onderzoeksinstituten om na te gaan of dit gezamenlijk kan worden opgepakt.

### Onderzoeksresultaten en synthese

De uitkomst van de CFD-berekeningen met ReFresco toont de belasting op de bodem en wanden van de sluis kolk ten gevolge van gemodelleerde schroefbelasting. De twee bestudeerde schroefmodelleringen zijn de Actuator Disc en de volledige draaiende propeller. Uit deze vergelijking bleek een duidelijk verschil in stroombeelden bij gelijke stuwkracht van de propeller, waarbij ook de belasting op de bodem en wanden duidelijke variatie vertoonde.

Omdat het hier gaat om zeer complexe instationaire stroombeelden bleek convergentie van de berekeningen uitdagend. Ook waren er zeer fijne rekenroosters nodig om de karakteristieken van de stroming met voldoende nauwkeurigheid in beeld te kunnen brengen waardoor de volledig draaiende propeller naar verhouding veel rekenkracht kost. Met behulp van CFD berekeningen in ReFresco kunnen de stroombeelden berekend worden, maar verdere validatie is wenselijk om een goede afschatting van de onzekerheid te kunnen geven voor dergelijke condities.

Uit het vergelijk tussen de twee methodieken bleek in dit geval de Actuator Disc een hogere belasting op de bodem en wanden van de sluis kolk op te leveren dan de volledig gemodelleerde propeller. Daardoor lijkt dit voor praktische toepassingen een conservatieve schatting te geven van de belasting. De aftredende wervels uit de schroefschijf worden echter niet correct gemodelleerd in deze aanpak. Hierdoor zou het kunnen voorkomen dat in andere operationele condities de Actuator Disc een onderschatting van de krachten op de bodem en wanden van de sluis kolk oplevert.





### Evaluatie en vooruitblik

Binnen het project “schroefstralen in de sluiskolk” is gekeken naar de voorspelling van de belasting op de bodem van een sluiskolk ten gevolge van schroefstralen met behulp van CFD. Hierbij is gebleken dat de CFD code ReFRESCO goed in staat is dergelijke fenomenen te beschrijven maar dat een degelijke validatie van deze berekeningen vooralsnog ontbreekt. Dit zal in verdere studies (in 2019) gedaan worden waarin een vergelijking gemaakt zal worden tussen CFD-berekeningen en modelproeven.



Kennisprogramma Natte Kunstwerken  
*Kennisplan 2018*



**BETTER SHIPS, BLUE OCEANS**

## **Knowledge program on Hydraulic Structures**

Existing objects – Changing loads related to different use: propeller outflow

Text Report

Report No. : 80336-1-CFD-rev.1.0  
Date : 30 June 2019  
Version : 1.0

<b>CONTENTS</b>	<b>PAGE</b>
1 INTRODUCTION.....	3
1.1 Problem definition.....	3
1.2 Objectives.....	3
1.3 Report outline.....	3
2 SHIP PARTICULARS AND SAILING CONDITIONS.....	4
3 CALCULATION SETUP.....	5
3.1 Geometry modelling.....	5
3.2 Computational domain discretization actuator disc.....	6
3.3 Computational domain discretization sliding interface.....	8
3.4 Numerical settings.....	8
3.5 Simulation parameters.....	8
4 PRESENTATION OF RESULTS AND DISCUSSION.....	10
4.1 Overview.....	10
4.2 Actuator disc.....	10
4.3 Sliding interface.....	11
4.4 Unsteady actuator disc.....	12
4.5 Trust and power comparison.....	14
4.6 Vortex shedding of propeller.....	14
5 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	18
5.1 Conclusions.....	18
5.2 Recommendations.....	18
6 LIST OF REFERENCES.....	19
APPENDIX 1 VERGELIJKING VAN SCHROEFSTRAALSTROOMBEELDEN – CFD EN EMPIRISCHE FORMULES.....	1

Software documentation sheets: ReFRESCO

## **MANAGEMENT SUMMARY**

The work presented in this report is about ships leaving a lock and the loading on bottom and walls of the lock caused by the ship propellers.

CFD calculations are performed to assess the interaction effects of the ship propeller with the lock. A comparison is made between two different propeller modelling techniques, the actuator disc model and the full model of the rotating propeller.

The findings of the present project show that the different calculation methods show significantly varying flow patterns. The calculated thrusts show good agreement, while the loadings show greater variations.

Convergence of the calculations for this type of flow has shown to be cumbersome, which can be related to the nature of the problem.

It is not likely that modelling of the full propeller will result in larger loading predictions on lock walls and bottom. For engineering purposes the use of the actuator disc model for this type of calculation is advised. However, time-dependency and convergence of the problem needs further investigation.

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Problem definition

Both with entering and leaving locks and with manoeuvring along quay walls, bottom and banks can be affected by the propeller jet of the ship. Besides the main propellers, the bow and stern thrusters also play a role. Due to the increasing size of ships the installed power increases too, leading to a potential increase in the effects of the propeller jets. Besides, the size increase of the infrastructure does not keep up with the increase of the ship size. Therefore the clearances between propeller and infrastructure shrink, leading to an increase of the load on quays and banks.

Apart from the interaction with the environment, the effectiveness of the ship propellers in locks is unclear. Recirculation in the lock leads to a decrease of the delivered thrust, while due to the scaling of the ships bigger forces are needed to control the ship.

An empirical based method is available for dimensioning of bottom and bank protection. The empirical formulas are based on the results of model research. Due to the increased power levels and the decreased clearances between propellers and infrastructure, the existing formulas are questioned. To investigate these questions a number of CFD calculations shall be performed to model the effect of propeller jets in locks.

Preliminary CFD calculations are performed to assess the interaction effects of the ship propeller with the lock. The method employed here is the actuator disc propeller modelling. Here the propeller is incorporated in the simulation by setting body forces in the propeller plane. Now the question is how accurate this modelling is for the interaction of ship propeller and lock. Therefore a comparison between actuator disc modelling and real propeller modelling has to be made.

### 1.2 Objectives

The ambition of this project is to develop a new validated design method of dimensioning the bank and bottom protection. For simple geometries, this will consist of a set of design rules. For more complex situations, model tests or CFD calculations might be a feasible option.

In this report a comparison between two different propeller modelling techniques is made. The first method is the actuator disc (AD) modelling, the second method is with a full model of the rotating propeller (SI, sliding interface with RANS-RANS modelling).

### 1.3 Report outline

The ship particulars and sailing conditions are presented in Chapter 2. Details about the setup of the calculation can be found in Chapter 3. Results are presented in Chapter 4 and the conclusions and recommendations can be found in Chapter 5.

Throughout this report SI units are used unless indicated otherwise.

## 2 SHIP PARTICULARS AND SAILING CONDITIONS

The simulations are performed on the case which is designated as “Case 4” in the previous calculations, see (Deltares, 2017). This was the worst case scenario from the previous results. General dimensions of the problem are:

The main particulars of the ship are:

Length	330.0	m
Breadth	52.0	m
Draught	12.5	m

The main particulars of the lock are:

Length	545.0	m
Breadth	70.0	m
Bottom	-17.75	m

Bottom and draught are given with reference to the NAP level, which is 0.4 m above the free surface.

The situation calculated here is “Before lock exit” wherein the vessel is in the lock with the gate behind the stern closed and the gate in front of the bow open. The distance to the gate is measured between the stern and the back gate. The water surface is modelled as a rigid lid.

An overview of the case parameters is given in Table 1 and Table 2.

*Table 1 Summary of calculation settings*

Water level [mNAP]	Distance between ship and gate [m]	Distance between ship and wall [m]	Rudder angle [°]	Power
-0.4	50	1.5	0	Half ahead

*Table 2 Definition of applied propeller power*

Situation	Power [kW]	Speed [rpm]	Thrust [kN]	Torque [kNm]	Power [%]	Torque [%]
Half ahead	9507	49.0	1817	1854	50	43

### 3 CALCULATION SETUP

This chapter discusses the numerical settings and the computational grids which were used. All calculations are carried out for full scale.

#### 3.1 Geometry modelling

The computational domain exists of the vessel in the lock chamber. The vessel is positioned according to the parameter values described in Table 1. For the actuator disc calculation one single domain is applied. See Figure 1 for an overview of the domain.

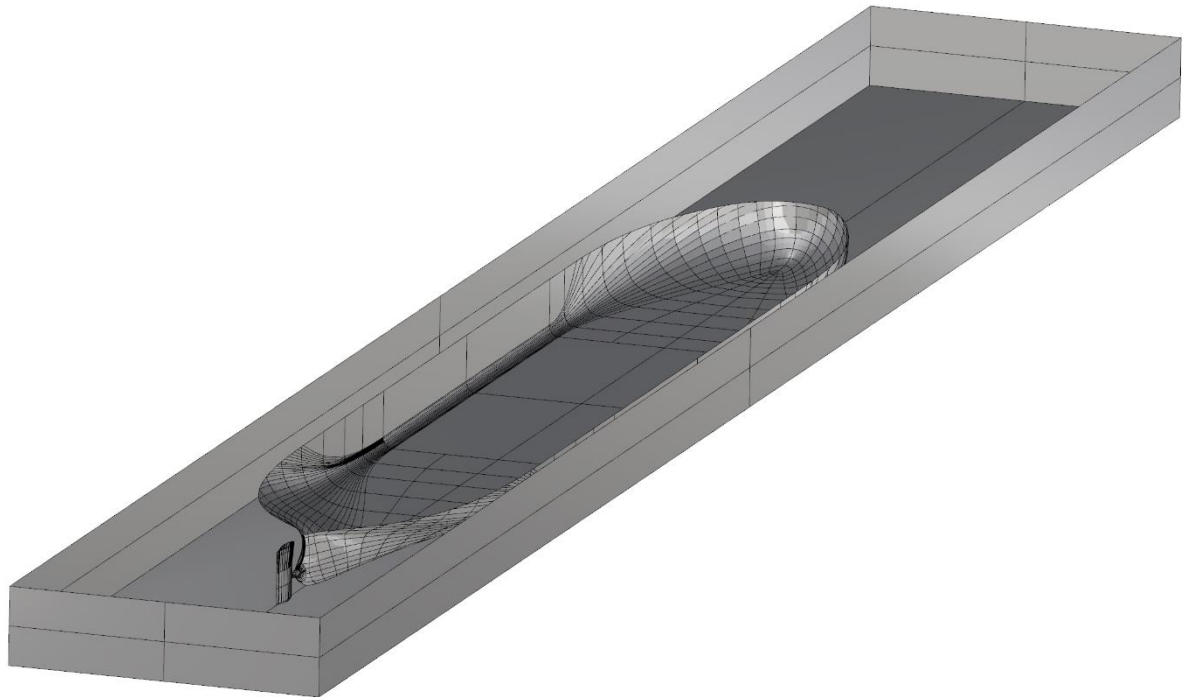
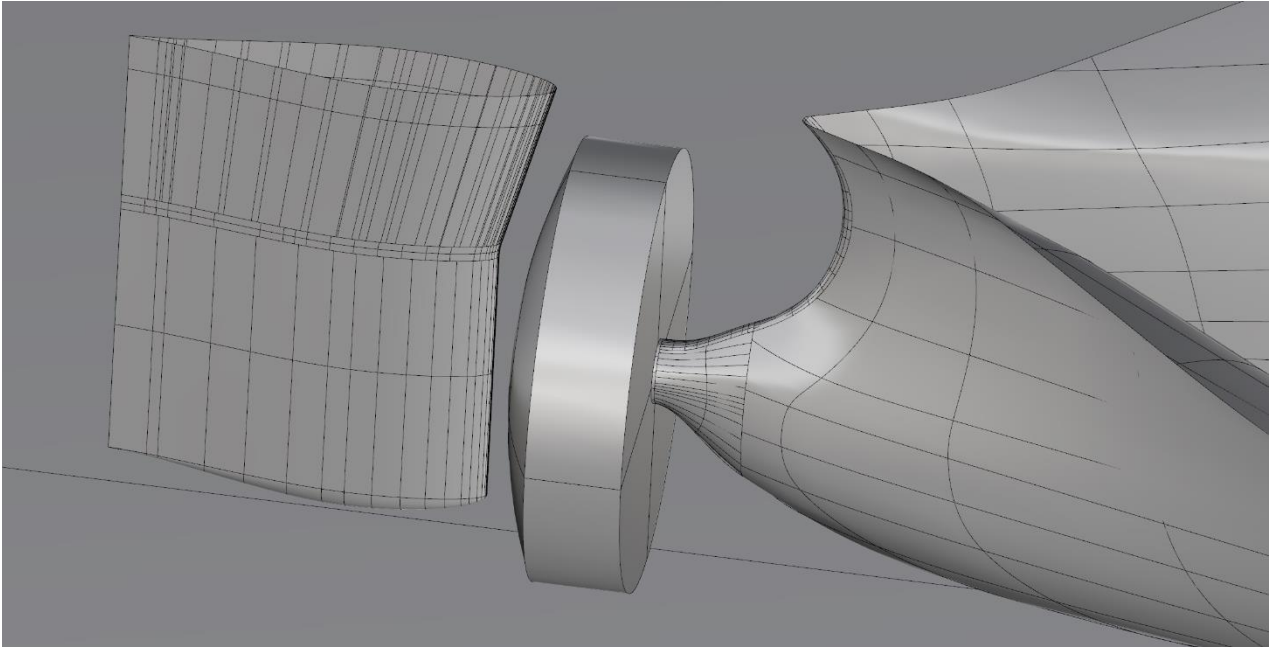


Figure 1: Overview of actuator disc geometry (top plane not shown)

For the sliding interface calculation, two domains are used. The second domain is a rotational symmetric domain around the propeller in order to enable a rotational movement of this domain. This domain is shown in Figure 2.

The propeller used in this project is the S7079 propeller. This propeller was used in a previous project as a stock propeller for this vessel.





*Figure 2: Detail of propeller domain for sliding interface*

### **3.2 Computational domain discretization actuator disc**

The unstructured grid around the ship for the actuator disc calculations are generated using the software package Hexpress. In Figure 3 and Figure 4 horizontal and vertical planes are shown to give an impression of the distribution of refinement areas in the volume grid.

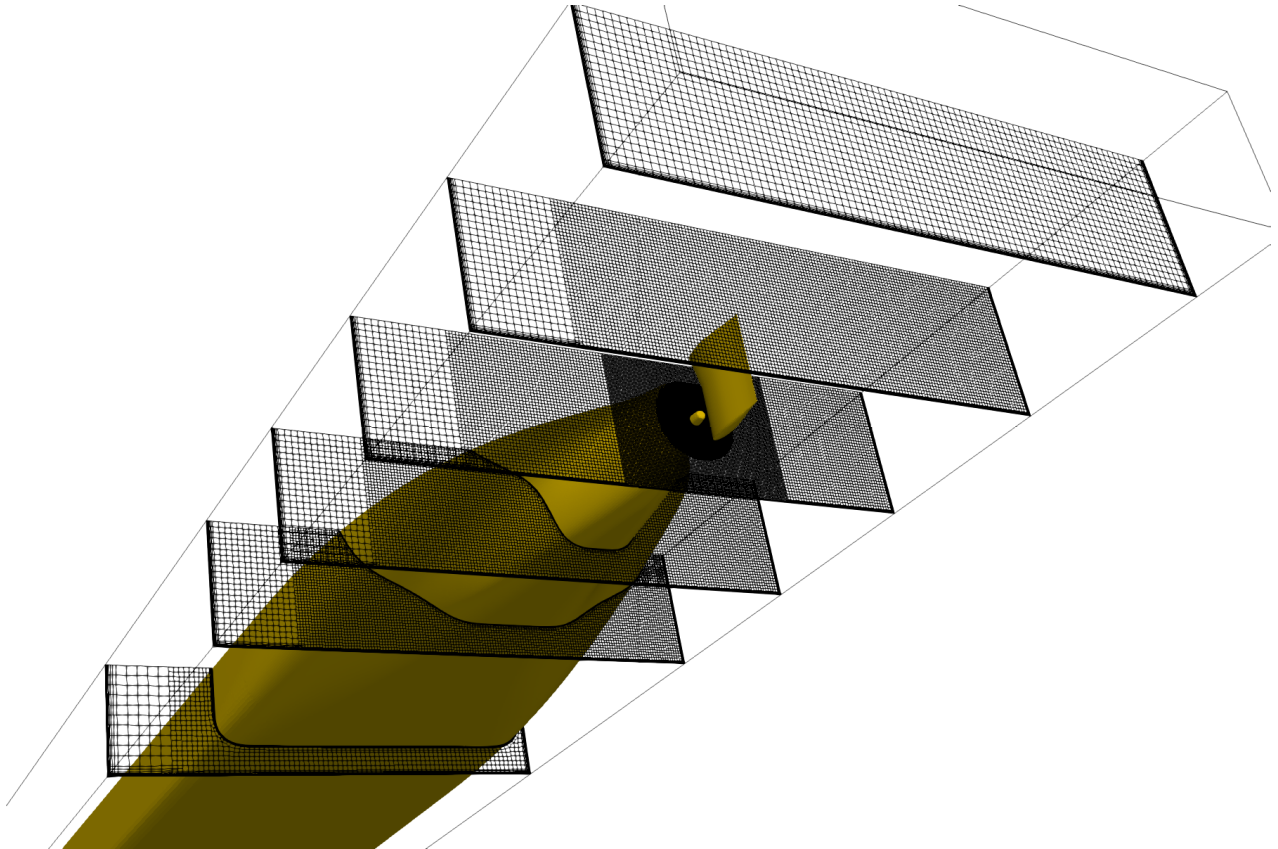


Figure 3: Traverse planes showing the volume grid around the stern of the vessel

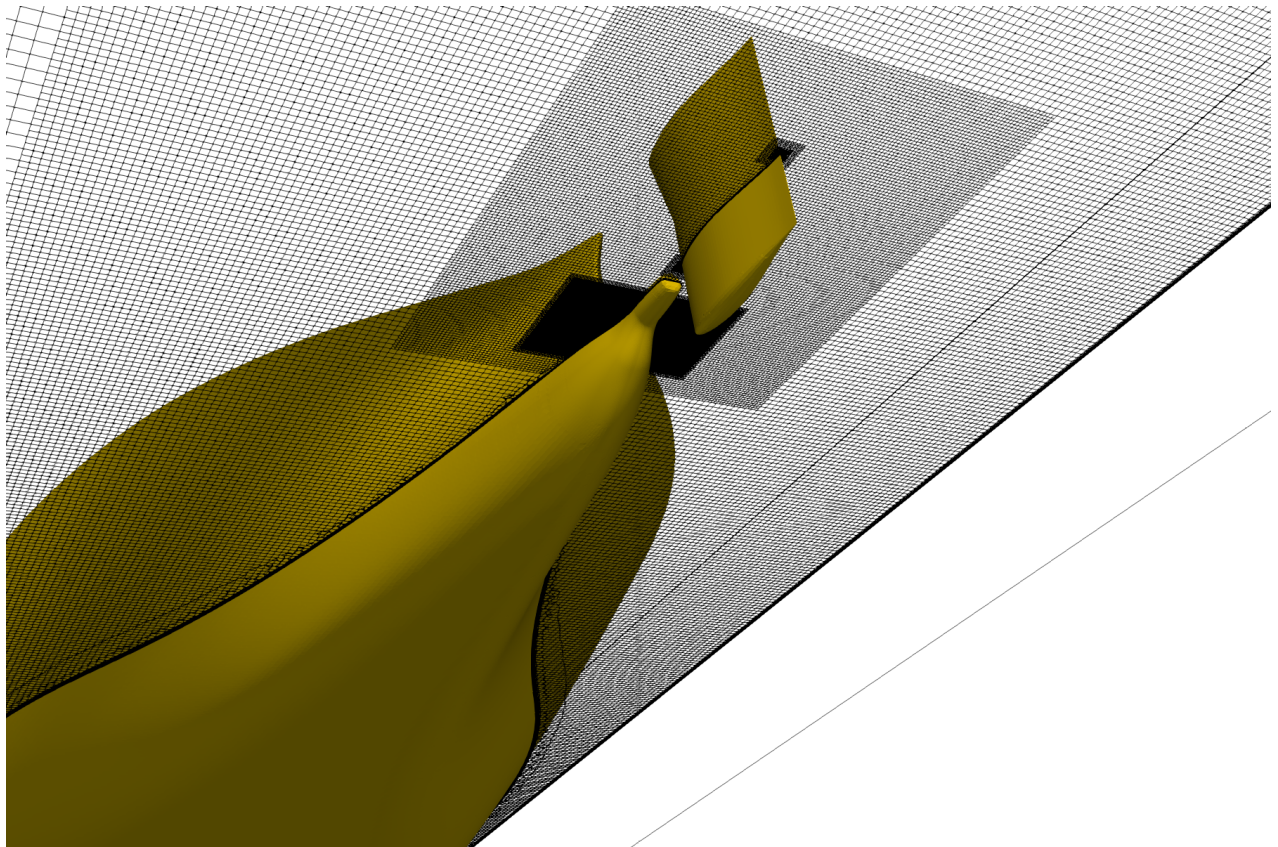


Figure 4: horizontal plane showing the volume mesh around the stern of the vessel



The grid for the actuator disc calculations has a total of 11.2M volume cells.

### 3.3 Computational domain discretization sliding interface

The grid for the sliding interface calculations is based on the domain for the actuator disc calculations. A cylindrical domain at the propeller plane is removed and replaced by a domain which contains the propeller. The propeller domain is generated with the software package GridPro, which delivers block structured hexahedral grids. An overview of the final grid is shown in Figure 5.

The grid for the sliding interface outer domain has a total of 9.8M volume cells while the propeller domain has a total of 3.4M volume cells. Total cell count for the complete domain is 13.2M volume cells.

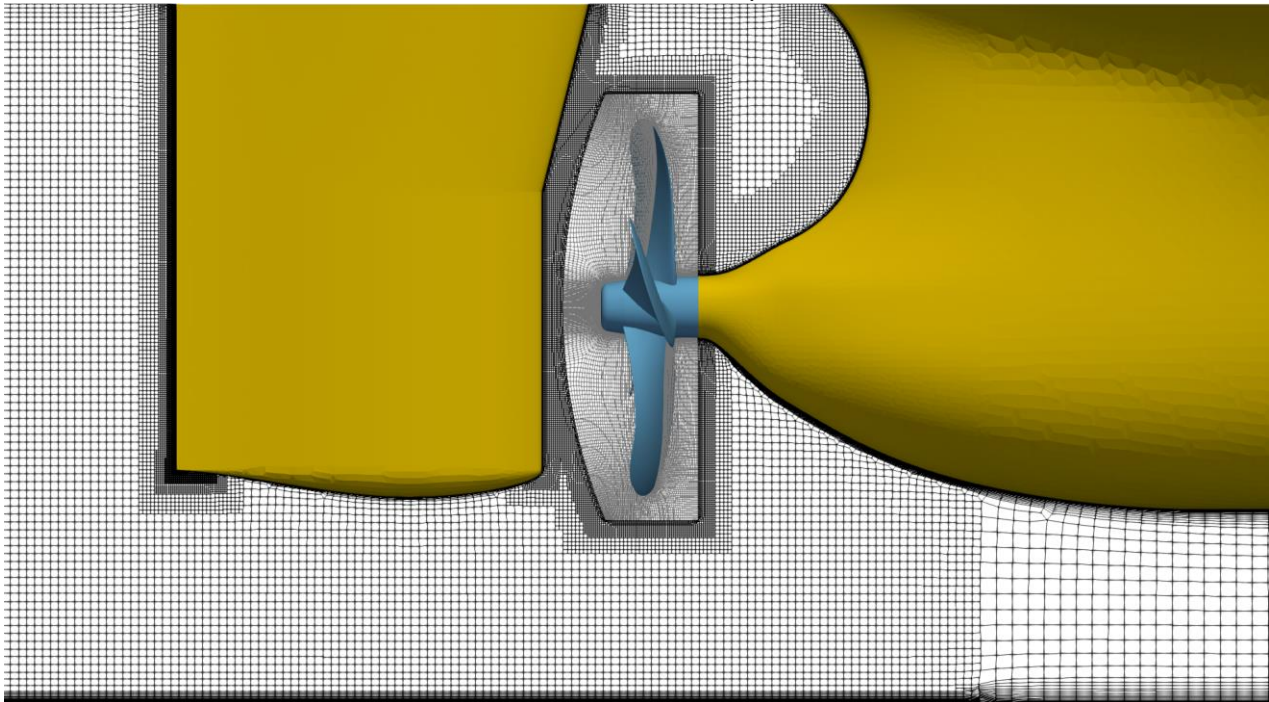


Figure 5: Detail of the sliding interface grid, slice through centerline of vessel

### 3.4 Numerical settings

The turbulence in the RANS equations is modelled by use of the SST k- $\omega$  2003 turbulence model. Wall functions are employed to model the flow very near to the wall. This enables the use of larger grid cells adjacent to the surface of the vessel, thus saving computational effort.

The ship hull and the bottom and walls of the lock are modelled as solid walls. A no-slip condition is applied here. The lock outlet is modelled as an opening and the water surface is modelled as a rigid lid with a slip velocity, i.e. a free surface without waves.

### 3.5 Simulation parameters

Modelling a ship leaving a lock by its own propulsion is a complex problem. A number of observations can be made regarding this problem:

- The initial condition is a ship at rest, in a fluid which is assumed to be at rest too.
- The ship is accelerated by the thrust of the propeller and is moving through the lock.

- The thrust generates a velocity field in the lock, with interaction with the lock walls and bottom. A complex flow pattern with secondary flows can be expected.
- The forward speed of the ship has also its influence on the flow pattern, there will be backflow around the ship in the lock.
- Due to these points, the problem will show unsteady behaviour.
- The relevant timescales of the problem will show a large ratio. E.g. the ship movement will be on a time scale of minutes where the rotation of the propeller will be on a time scale of milliseconds. Because of the focus on the influence of the propeller modelling, the timescale used in the current work is based on the propeller rotation rate.

The effect of the propeller modelling on the flow on the lock bottom and side walls is the main question of this report. Therefore the problem is approached in a simplified manner. The calculations are done for steady flow in case of the actuator disc. The sliding interface is by definition a unsteady calculation, for comparison with the actuator disc the average values of the unsteady flow field are used.

## 4 PRESENTATION OF RESULTS AND DISCUSSION

### 4.1 Overview

A number of calculation methods were used:

1. Steady actuator disc
2. Unsteady actuator disc
3. Unsteady sliding interface with zero initial conditions (startup)
4. Unsteady sliding interface with convergence to quasi steady solution

In method 3, where a unsteady calculation was started from rest, problems with convergence were experienced. No results were generated and this method is not discussed here further.

Convergence of the other methods was also difficult. This is due to the nature of the problem, where a physical unsteady problem is simulated in a steady way.

### 4.2 Actuator disc

The actuator disc calculation is the type of calculation which was performed in the previous research.

The simulation shows a convergence with velocity residual values around  $10^{-3}$  ( $L_2$  norm).

In Figure 6, an overview of the pressure slices at various depths is given and in Figure 7 the velocity slices can be found. Compared to the previous calculations, the most important difference is the location of the low pressure zone. In the previous calculation, this zone was found on starboard of the vessel, in the current calculation this zone is located on portside of the vessel.

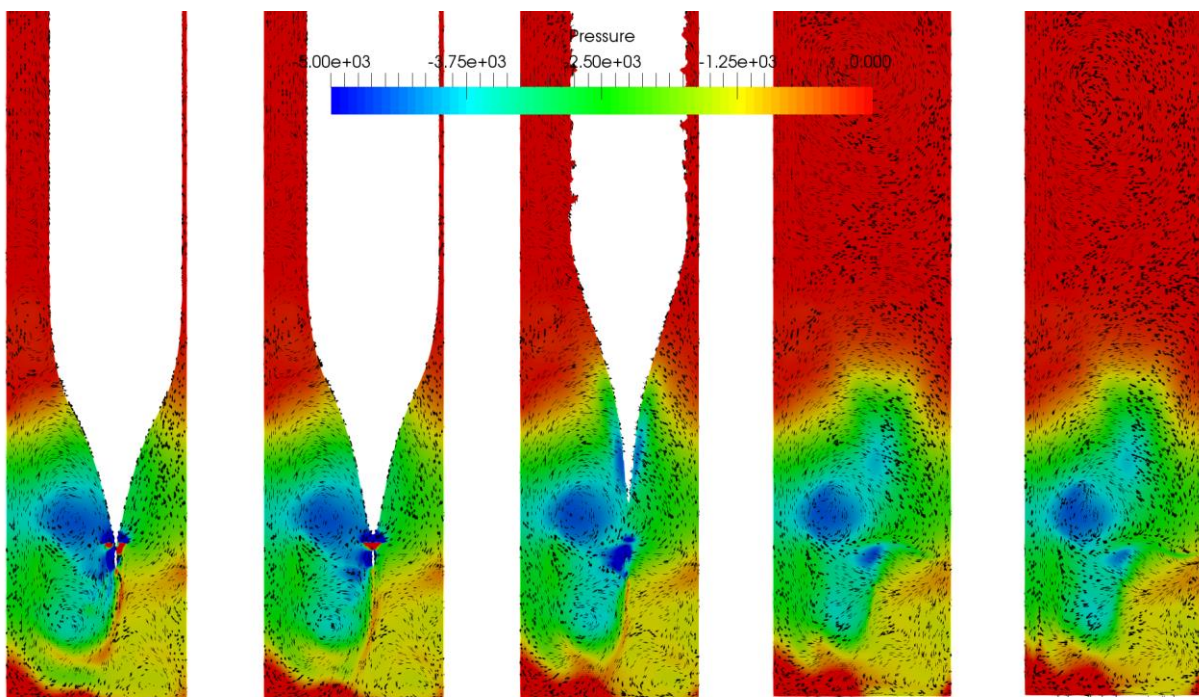


Figure 6: Steady actuator disc, pressure slices

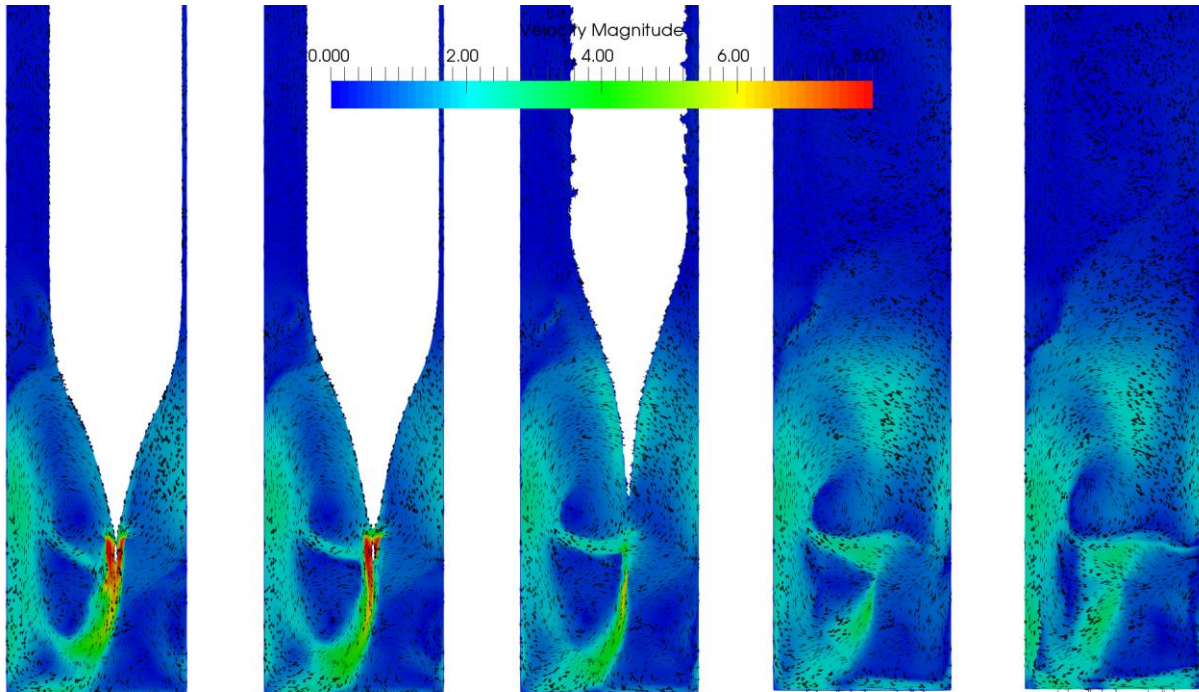


Figure 7: Steady actuator disc, velocity slices

The maximum velocity on the bottom of the lock is 2.9 m/s.

### 4.3 Sliding interface

In a sliding interface calculation, there is an extra sub-grid in the domain for the propeller. The simulation for the sliding interface is performed in a number of steps:

- The first step is with the AFM motion of the propeller domain, to initialize the global flow field.
- The second step is with MVG motion of the propeller with a time-step which corresponds to a propeller rotation of  $360^\circ$ , to initialize the wake flow field. With a rotational speed of 49.0 rpm, the time-step has a value of  $1.224 \times 10^{-3}$  sec.
- The final step is with MVG motion of the propeller with a time-step which corresponds to a propeller rotation of  $2^\circ$ . With a rotational speed of 49.0 rpm, the time-step has a value of  $6.803 \times 10^{-3}$  sec.

An averaged flow field is obtained by taking the time averaged solution over the last 180 time-steps. With  $2^\circ$  per time-step, this equals to one full rotation of the propeller.

In Figure 8, an overview of the pressure slices at various depths is given and in Figure 9 the velocity slices can be found. Note that here the time-averaged values for velocity and pressure are found. Compared to the AD calculation, the global velocity field shows reasonable similarity. However, there are differences too: the pressure in the AD calculation shows greater minima than the pressure in the SI calculation.

The maximum velocity on the bottom of the lock is 4.3 m/s.



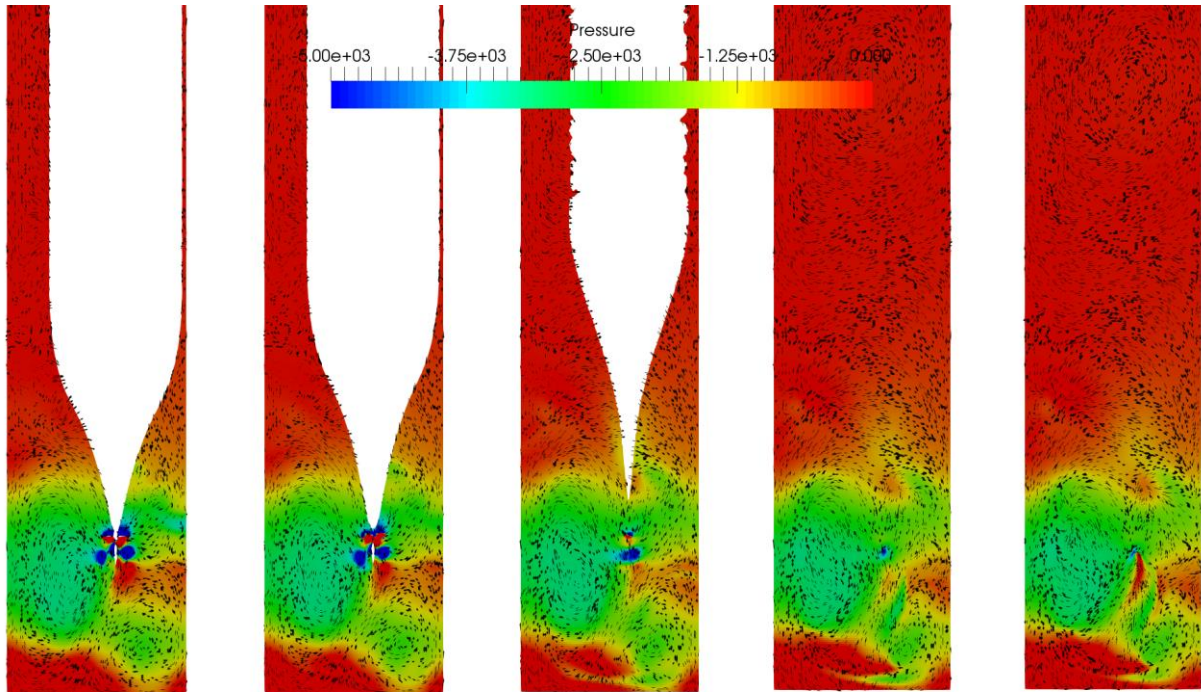


Figure 8: Sliding interface, average pressure slices

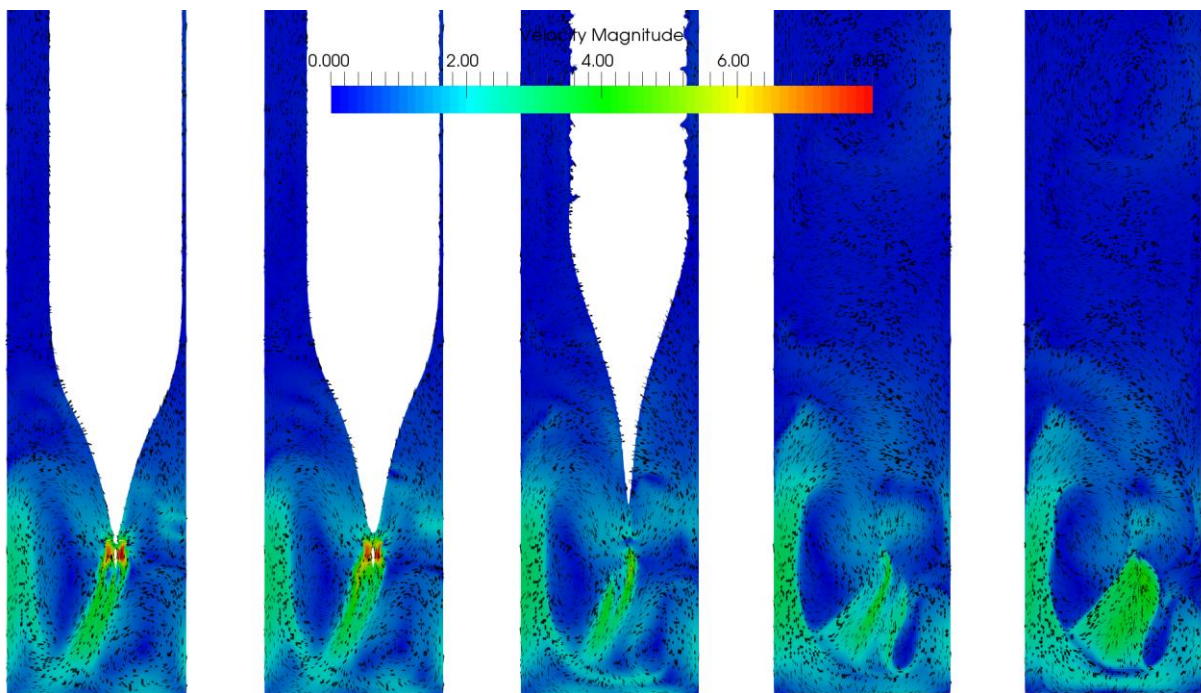


Figure 9: Sliding interface, average velocity slices

#### 4.4 Unsteady actuator disc

The residuals of the steady actuator disc calculation are about  $10^{-3}$ . In order to try to improve these residuals, also an unsteady calculation with large time step was performed. The pressure- and velocity slices can be found in Figure 10 and Figure 11. The flow field shown here is the average value over the last time-steps.

The global velocity pattern shows reasonable similarity with the steady AD and the SI calculation.

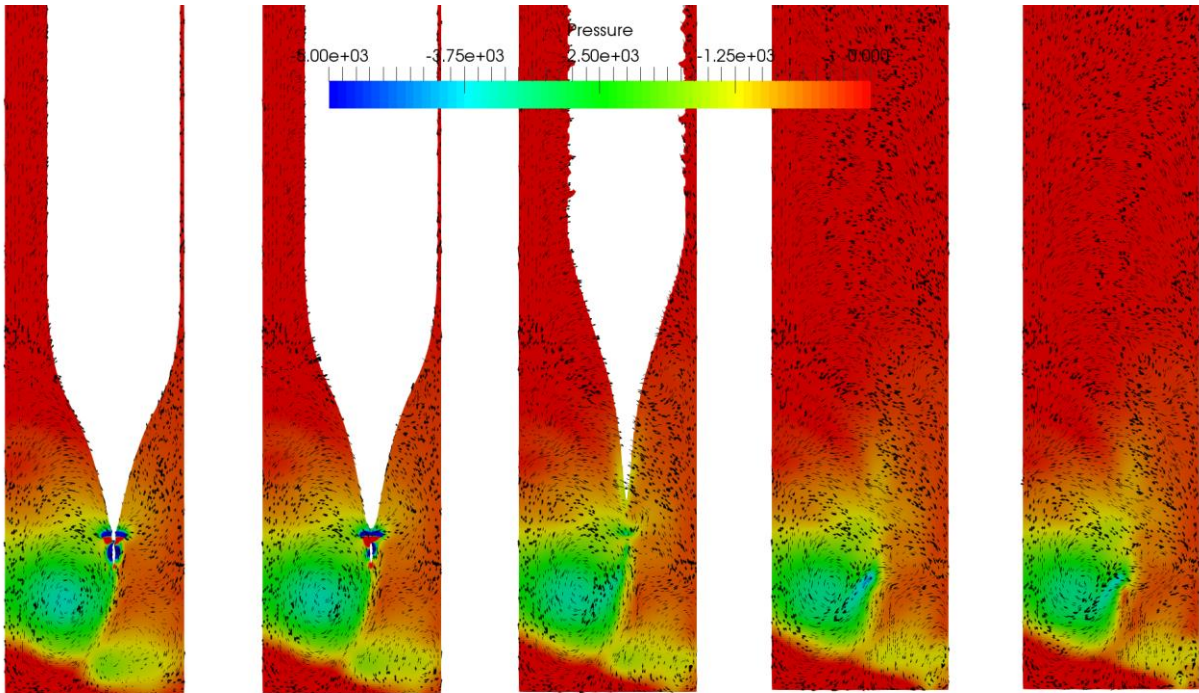


Figure 10: unsteady actuator disc, pressure slices

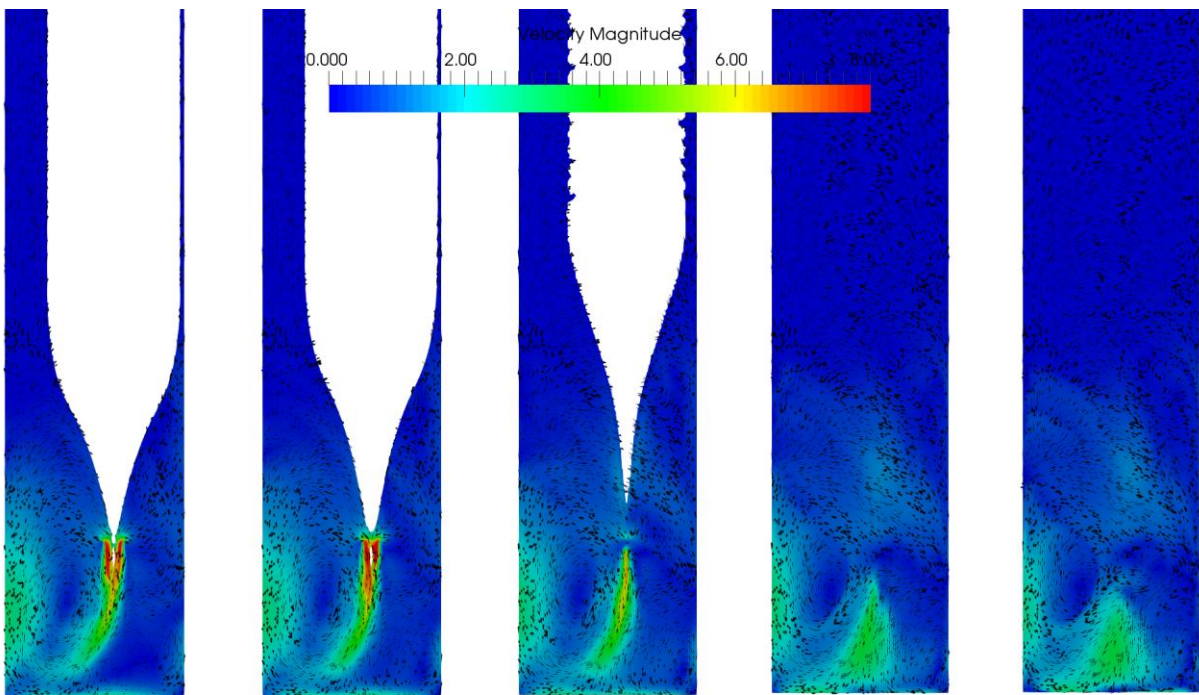


Figure 11: unsteady actuator disc, velocity slices

The maximum velocity on the bottom of the lock is 3.4 m/s.



#### 4.5 Trust and power comparison

In order to have a fair comparison between actuator disc and sliding interface calculations, the generated trust should be equal for both calculations. In Table 1 the values for both calculations can be found. Here the values for the sliding interface calculation are taken from the time steps which describe the last 180° of rotation of the propeller.

Table 3: Trust and power data

	Actuator disc	Sliding interface	Relative difference
Trust	1817 kN	1825 kN	0.45%
Power	9507 kW	8709 kW	-8.39%

From the data in Table 3 it can be seen that the thrust values for AD and SI calculations show good agreement with a relative difference of 0.45%. Comparison of both calculations is therefore feasible.

Table 4: Areas of low pressure and resulting forces

Case 4	Area (< 0 Pa) [m <sup>2</sup> ]	Force (< 0 Pa) [kN]	Area (< 1000 Pa) [m <sup>2</sup> ]	Force (<1000 Pa) [kN]	Area (<2000 Pa) [m <sup>2</sup> ]	Force (<2000 Pa) [kN]
Previous calculation	30,386	12,210	4,991	10,203	2,391	6,263
Actuator disc	30,669	19,390	7,523	18,094	4,579	13,995
AD unsteady averaged	35,939	7,853	3,505	6,095	1,031	2,326
Sliding interface (time average)	33,203	12,428	4,497	9,465	2,170	5,895

In Table 4 an overview of the areas of low pressure and the resulting forces on the bottom can be found. The AD calculation shows significant higher values for the forces. Comparing Figure 6 and Figure 8, it can be seen that the pressure values are lower for the AD case, leading to higher values of the forces.

#### 4.6 Vortex shedding of propeller

An important difference between an AD calculation and a SI calculation is the resolving of flow details around the propeller geometry. In Figure 12 a vorticity contour is presented which shows among others the location of the propeller tip vortices. It can be seen that high vorticity values are concentrated in the direct vicinity of the propeller.

The transport of the vorticity might be influenced by the local grid size and the applied turbulence model, which remains a topic of future research.

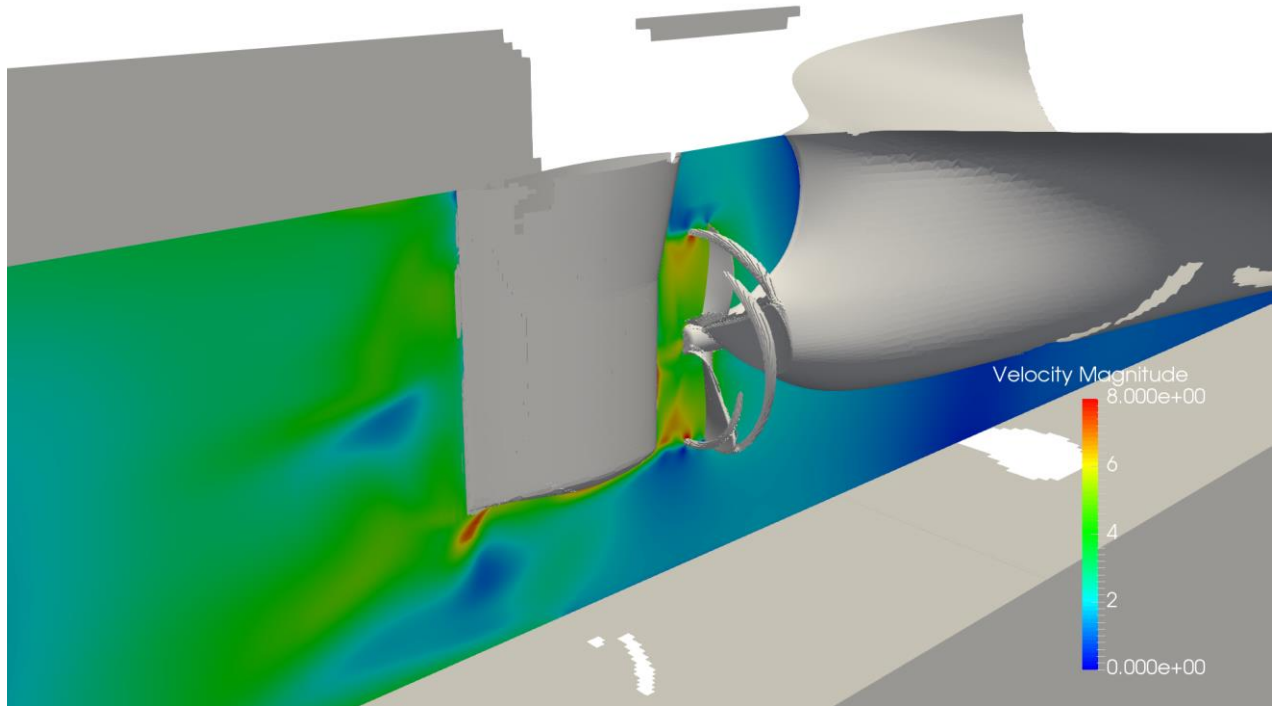


Figure 12: vortex generation by propeller

In Figure 13 it can be seen that the vorticity is concentrated in a tube downstream of the propeller.

In Figure 14 the velocity fields at 5 cm above the bottom are shown for the various calculation methods. In Figure 15 the velocity fields at the shaft plane are shown. From the velocity fields at the shaft plane it can be seen that the induced velocities for each type of calculation have about the same magnitude.

The magnitude of the velocity above the bottom is higher for the unsteady calculations. However, the steady calculation shows larger areas with significant velocities.

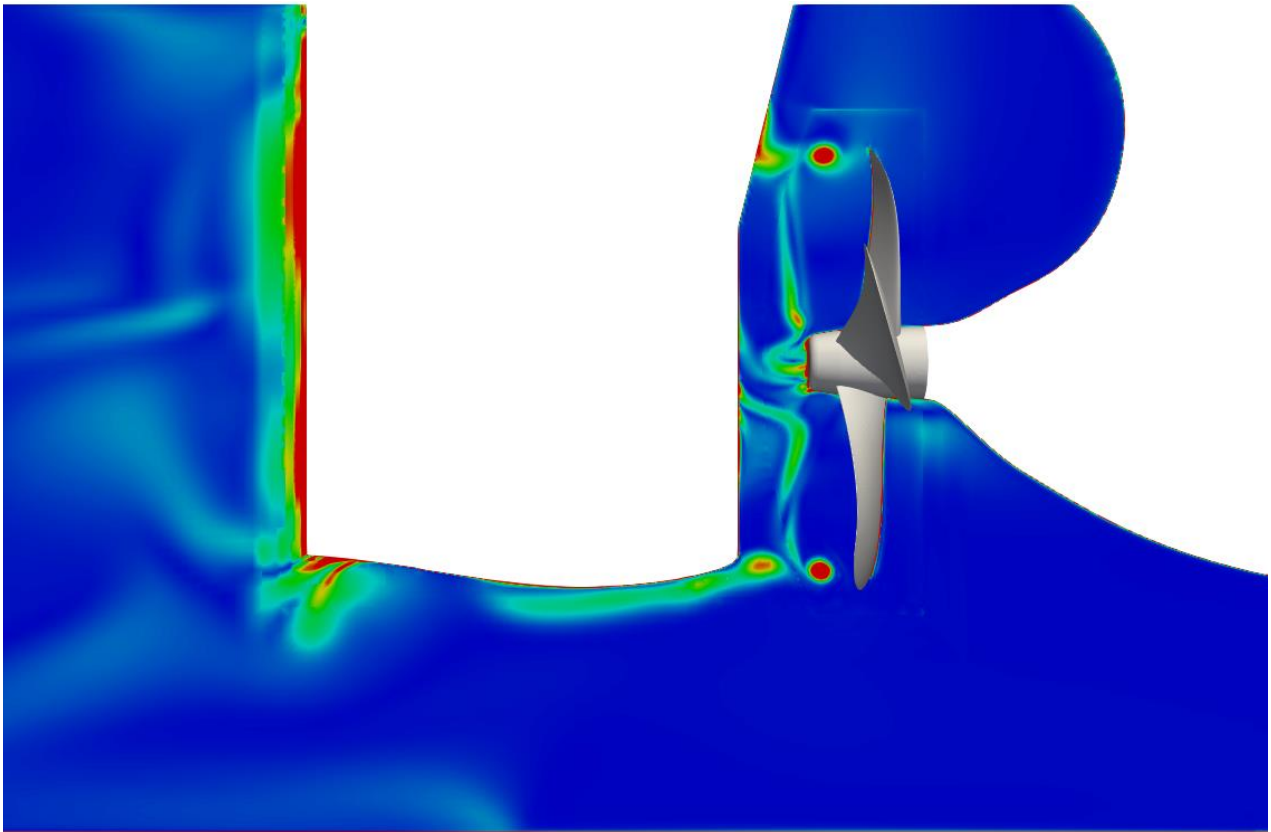


Figure 13: Vorticity in center plane of ship

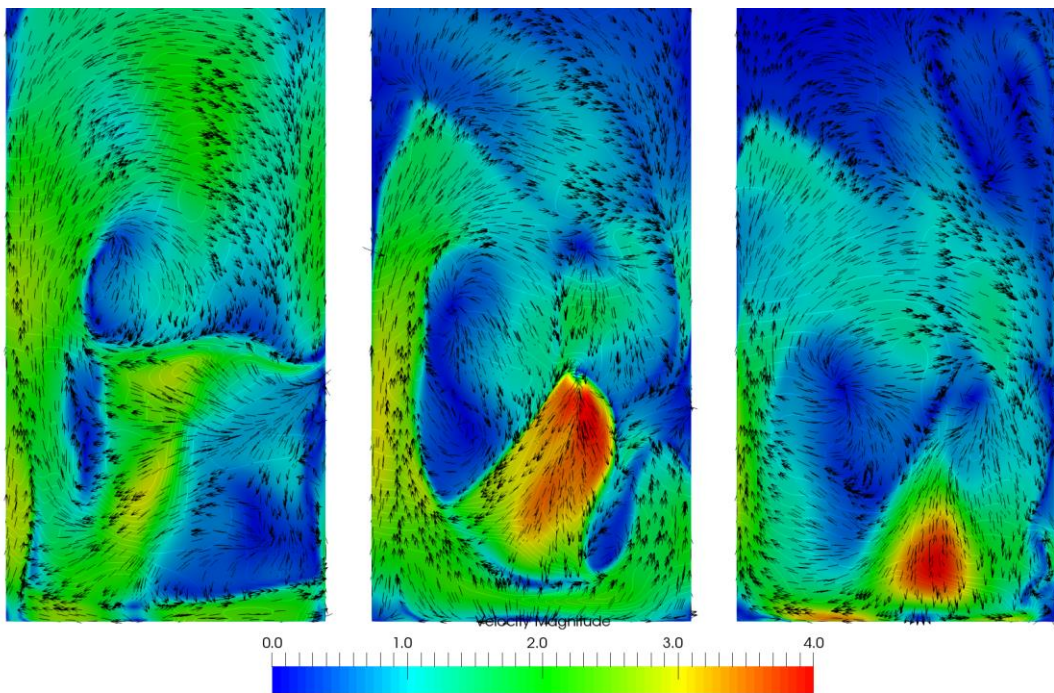


Figure 14: Velocity above the bottom, from left to right: steady AD, SI, unsteady AD

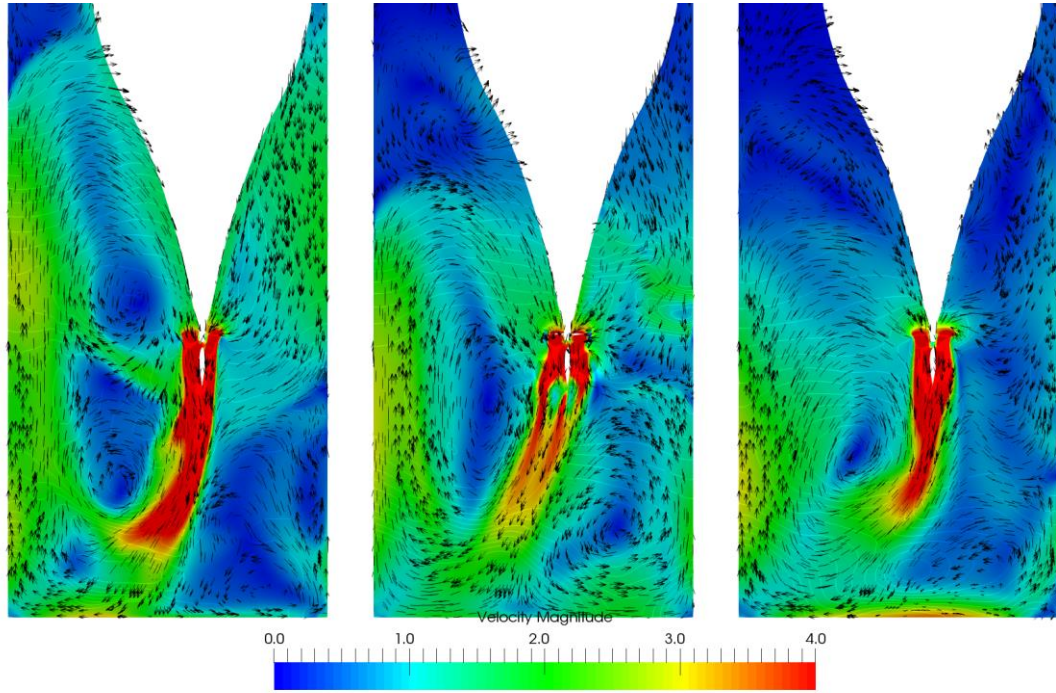


Figure 15: Velocity at shaft plane, from left to right: steady AD, SI, unsteady AD

## 5 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

### 5.1 Conclusions

In this project, steady and unsteady actuator disc calculations are compared with a calculation with a real propeller geometry in a sliding interface calculation.

The following conclusions summarise the findings of the present project:

- The calculated flow fields for the different calculation methods show significantly varying flow patterns.
- The thrust of both calculation methods shows good agreement.
- The loadings of the different calculation methods do not agree, which can be explained from the calculated flow fields
- Reaching a good convergence for this type of calculations is difficult. This might be due to the nature of the problem (e.g. low velocities, steady calculations for unsteady physics)
- The effects of the full propeller modelling compared to the actuator disc model appear to be concentrated in the close vicinity of the propeller. It is not expected that these effects will have a large influence on the loadings on the bottom and side walls.
- It is not possible to correlate the different flow patterns for the different calculation methods with the different propeller modelling. Convergence and time-dependency of the problem must be taken into account also.

### 5.2 Recommendations

The following recommendations can be done based on the results of the current project:

- It is not likely that the modelling of the full propeller will result in larger loading predictions on the lock walls and bottom. It is advised to use actuator disc modelling for this type of calculation.
- Time-dependency and convergence, as well as the effect of local grid size, need further investigation for these types of calculations.

## 6 LIST OF REFERENCES

- Deltares. (2017). *Definitieve berekeningsprogramma - CFD van schroefstralen in sluiskolk.*
- Deltares. (2018). *Vergelijking van schroefstraalstroombeelden - CFD en empirische formules.*

# **APPENDICES**



## **APPENDIX 1 VERGELIJKING VAN SCHROEFSTRAALSTROOMBEELDEN – CFD EN EMPIRISCHE FORMULES**

The comparison between the CFD results and the empirical formulas can be found in (Deltares, 2018).



# **SOFTWARE DOCUMENTATION PAGE**

MARIN  
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen  
The Netherlands

T +31 317 49 39 11  
E [info@marin.nl](mailto:info@marin.nl)

I [www.marin.nl](http://www.marin.nl)  
   