UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON

FACULTY OF TO BE COMPLETED

TITLE OF THE THESIS

by

AUTHOR

Supervised by SUPERVISOR

A thesis presented for the degree of DEGREE

DATE (i.e. September 2018)

This thesis was submitted for examination in DATE (e.i. September, 2018). It does not necessarily represent the final form of the thesis as deposited in the University after examination.

TITLE OF THESIS

AUTHOR

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

Declaration of Authorship

I, THE AUTHOR declare that this thesis and the work presented in it are my own and has been generated by me as the result of my own original research.

I confirm that:

1. This work was done wholly or mainly while in candidature for a degree at this University;
2. Where any part of this thesis has previously been submitted for any other qualification at this University or any other institution, this has been clearly stated;
3. Where I have consulted the published work of others, this is always clearly attributed;
4. Where I have quoted from the work of others, the source is always given. With the exception of such quotations, this thesis is entirely my own work;
5. I have acknowledged all main sources of help;
6. Where the thesis is based on work done by myself jointly with others, I have made clear exactly what was done by others and what I have contributed myself;
7. Either none of this work has been published before submission, or parts of this work have been published as: [please list references below]:

Dedication

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo.

Acknowledgements

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo.

Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui.

Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci.

Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

Contents

List of Figures

List of Tables

Nomenclature

B_{WL}	breadth on waterline	$[m]$
C_T	total drag coefficient	[-]
C_{u_l}	lower value of CFL threshold	[-]
C_{u_u}	upper value of CFL threshold	[-]
D	experimental result	$[various]$
e_a^{ij}	approximate relative error between i^{th} and j^{th} solution	[-]
α	volume fraction	[-]
β	drift angle	$[rad]$
γ	non-dimensional yaw rate	[-]
δ	rudder angle	$[rad]$
δ_{ij}	Kronecker delta	[-]
δ_D	error in the experimental value	$[various]$
δ_{SN}	numerical error in simulated value	$[various]$
$\delta^*_{I_{km}}$	iterative error of the k^{th} variable at the m^{th} refinement	$[various]$
ϵ_{ij}	change between i^{th} and j^{th} corrected solutions	$[various]$
θ	pitch angle	$[rad]$
λ	scale factor	[-]
ψ	yaw angle	$[rad]$
ω	angular velocity ($2\pi/T$)	[rad/s]
Ω_{ij}	vorticity or rotation tensor	$[1/s]$
∇	displacement volume moulded	$[m^3]$

List of Abbreviations

CFD	Computational Fluid Dynamics
CFL	Courant–Friedrichs–Lewy
CMT	Circular Motion Test
CPU	Central Processing Unit
(D)DES	(Delayed) Detached Eddy Simulation
DOF	Degrees Of Freedom
DTMB	David Taylor Model Bassin
EASM	Explicit Algebraic Stress Model
FVM	Finite Volume Method
GCI	Grid Convergence Index
ITTC	International Towing Tank Conference
JBC	Japanese Bulk Carrier
JMU	Japan Marine United Corporation
KCS	KRISO Container Ship
KRISO	Korean Research Institute of Ships and Ocean Engineering
LES	Large Eddy Simulation
LS	Level Set
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands
MMG	Mathematical Manoeuvring Model Group
MOERI	Maritime & Ocean Engineering Research Institute
NMRI	National Maritime Research Institute

Chapter 1

Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

1.1 How to cite?

Use "\citet{pope2001turbulent}" for in text citation such as: Many books threat of the different turbulence models, for example, Pope (2001) give a thorough and comprehensive...

Use "\citep{pope2001turbulent}" for in text citation such as: The spectral tensor ϕ_{ij} is defined as the Fourier transform of the correlation function $R(\mathbf{r})$ (Pope, 2001).

1.2 Section of Introduction

Viverra orci sagittis eu volutpat odio. Ac orci phasellus egestas tellus rutrum tellus. Accumsan in nisl nisi scelerisque eu. Ac tortor dignissim convallis aenean et tortor at risus. Amet nulla facilisi morbi tempus iaculis urna id volutpat. Nisl nunc mi ipsum faucibus vitae aliquet nec. Dolor purus non enim praesent elementum facilisis leo vel fringilla. Nunc scelerisque viverra mauris in aliquam sem fringilla. Arcu non sodales neque sodales ut etiam sit amet nisl. Vel orci porta non pulvinar neque laoreet suspendisse. Integer enim neque volutpat ac tincidunt. Imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Molestie a iaculis at erat pellentesque adipiscing commodo elit. Blandit aliquam etiam erat velit scelerisque.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

1.3 Second Section of Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

Chapter 2

Background

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

2.1 Section of Background

At quis risus sed vulputate. Amet risus nullam eget felis eget nunc. Ac felis donec et odio pellentesque. A iaculis at erat pellentesque adipiscing. A pellentesque sit amet porttitor. Ridiculus mus mauris vitae ultricies leo integer malesuada nunc vel. Cras semper auctor neque vitae tempus quam pellentesque. Aliquam sem fringilla ut morbi tincidunt augue interdum. Nam aliquam sem et tortor consequat id porta nibh venenatis. Nullam vehicula ipsum a arcu. Bibendum neque egestas congue quisque egestas. Quis enim lobortis scelerisque fermentum dui. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium lectus quam id. Arcu dictum varius duis at consectetur lorem donec massa sapien. In est ante in nibh mauris. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros. Sit amet aliquam id diam maecenas. Viverra vitae congue eu consequat ac. Consequat mauris nunc congue nisi vitae suscipit tellus mauris.

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

2.2 Conclusion on Background

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

Chapter 3

Theory

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor.

3.1 Section of Theory

Two different coordinate systems are used in ship manoeuvring. A ship-fixed coordinate system ($oxyz$), fixed to the hull at the origin (o) and a space-fixed (*inertial*) coordinate system ($OXYZ$). For consistency with the experimental data available, the origin for the ship-fixed coordinate system is taken at midship, and not at the centre of gravity, for all simulations presented herein. The motions of the ship-fixed coordinate system are expressed relative to the space-fixed coordinate system.

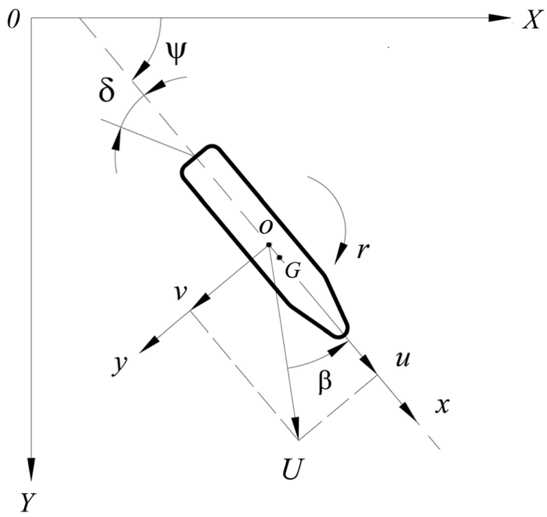

Figure 3.1: Space and ship-fixed coordinate system. Adapted from Luo et al. (2016).

In the ship-fixed coordinate system, x is pointing forward, y to starboard and z downwards. The origin of the space-fixed coordinate system is usually taken as lying on the undisturbed free surface. A positive yaw angle ψ is therefore defined as a *clockwise* rotation of the ship in the space-fixed coordinate system. Similarly, a positive drift angle β corresponds to the flow coming from starboard.

Chapter 4

Methodology

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

4.1 Section of Methodology

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

4.1.1 Sub-section of Methodology

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

At quis risus sed vulputate. Amet risus nullam eget felis eget nunc. Ac felis donec et odio pellentesque. A iaculis at erat pellentesque adipiscing. A pellentesque sit amet porttitor. Ridiculus mus mauris vitae ultricies leo integer malesuada nunc vel. Cras semper auctor neque vitae tempus quam pellentesque. Aliquam sem fringilla ut morbi

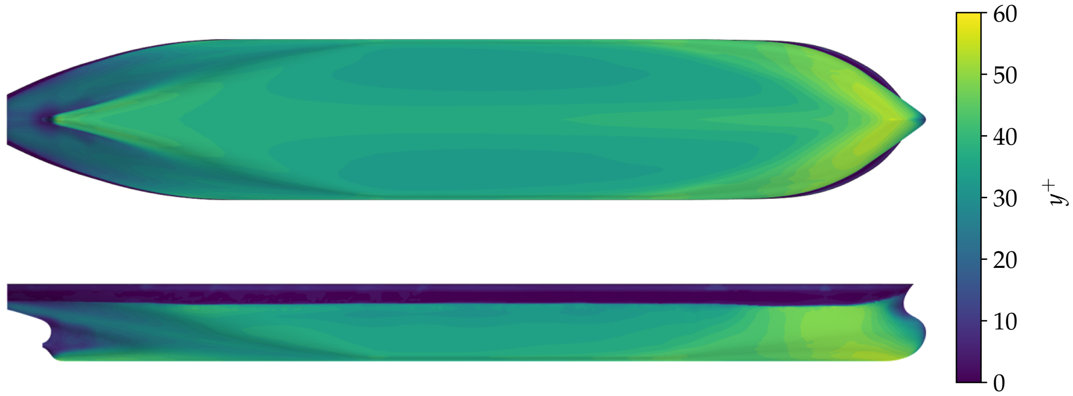

Figure 4.1: Bottom and profile view of the non-dimensional wall distance (y^+) on the KVLCC2 for the static drift simulation ($\beta = 0°$, $Fr = 0.142$).

tincidunt augue interdum. Nam aliquam sem et tortor consequat id porta nibh venenatis. Nullam vehicula ipsum a arcu. Bibendum neque egestas congue quisque egestas. Quis enim lobortis scelerisque fermentum dui. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium lectus quam id. Arcu dictum varius duis at consectetur lorem donec massa sapien. In est ante in nibh mauris. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros. Sit amet aliquam id diam maecenas. Viverra vitae congue eu consequat ac. Consequat mauris nunc congue nisi vitae suscipit tellus mauris.

Table 4.1: Example of a threeparttable, useful for footnotes in tables.

Boundary	Quantity	Value
Inlet	-Turbulence Intensity	0.01
	-Turbulent Viscosity Ratio	10.0
	-Velocity	Wave[1]
	-Volume Fraction	Wave[1]
Outlet	-Turbulence Intensity	0.01
	-Turbulent Viscosity Ratio	10.0
	-Pressure	Wave[1]
	-Volume Fraction	Wave[1]
Hull	-Shear Stress	No-Slip
Deck	-Shear Stress	Slip
Tank Walls	-Shear Stress	Slip

[1] Star-CCM$^+$ uses flat-water waves when using the VOF model to specify the velocity, hydrostatic pressure and volume fraction at the boundaries.

Chapter 5

Chapter X

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

5.1 Section of chapter X

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

Viverra orci sagittis eu volutpat odio. Ac orci phasellus egestas tellus rutrum tellus. Accumsan in nisl nisi scelerisque eu. Ac tortor dignissim convallis aenean et tortor at risus. Amet nulla facilisi morbi tempus iaculis urna id volutpat. Nisl nunc mi ipsum faucibus vitae aliquet nec. Dolor purus non enim praesent elementum facilisis leo vel fringilla. Nunc scelerisque viverra mauris in aliquam sem fringilla. Arcu non sodales neque sodales ut etiam sit amet nisl. Vel orci porta non pulvinar neque laoreet suspendisse. Integer enim neque volutpat ac tincidunt. Imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Molestie a iaculis at erat pellentesque adipiscing commodo elit. Blandit aliquam etiam erat velit scelerisque.

At quis risus sed vulputate. Amet risus nullam eget felis eget nunc. Ac felis donec et odio pellentesque. A iaculis at erat pellentesque adipiscing. A pellentesque sit amet porttitor. Ridiculus mus mauris vitae ultricies leo integer malesuada nunc vel. Cras semper auctor neque vitae tempus quam pellentesque. Aliquam sem fringilla ut morbi tincidunt augue interdum. Nam aliquam sem et tortor consequat id porta nibh venenatis. Nullam vehicula ipsum a arcu. Bibendum neque egestas congue quisque egestas. Quis enim lobortis scelerisque fermentum dui. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium lectus quam id. Arcu dictum varius duis at consectetur lorem donec massa sapien. In est ante in nibh mauris. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros. Sit amet aliquam id diam maecenas. Viverra vitae congue eu consequat ac. Consequat mauris nunc congue nisi vitae suscipit tellus mauris.

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

Chapter 6

Chapter XX

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

Table 6.1: Another threeparttable example.

	X (N)	Y (N)	N (Nm)
$\hat{S}_{k1}$ (Fine)	-3.111	5.512	8.860
$\hat{S}_{k2}$ (Standard)	-3.094	5.502	8.8544
$\hat{S}_{k3}$ (Coarse)	-3.065	5.483	8.8540
Convergence[1]	M	M	M
$\boldsymbol{p}$ (apparent order)	**3.31**	**4.13**	**12.13**
$\hat{S}^{21}_{\mathrm{ext}}$	-3.129	5.519	8.861
e^{21}_{a}	0.55	0.18	0.07
e^{21}_{ext}	0.56	0.14	0.01
$\mathbf{GCI}^{21}_{\mathrm{standard}}$	**1.41**	**0.4**	**0.0074**

[1] M: monotonic convergence, O: oscillatory convergence, D: divergence

Chapter 7

Conclusion and Future Work

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo.

7.1 Conclusions

RLorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. At erat pellentesque adipiscing commodo elit. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium. Risus feugiat in ante metus dictum at tempor commodo. Faucibus scelerisque eleifend donec pretium vulputate. Elit scelerisque mauris pellentesque pulvinar. Aliquam etiam erat velit scelerisque in. In cursus turpis massa tincidunt dui. Turpis massa tincidunt dui ut ornare lectus sit. Lectus nulla at volutpat diam ut. Mauris augue neque gravida in fermentum et sollicitudin ac orci. Sit amet venenatis urna cursus eget nunc scelerisque viverra. Elit duis tristique sollicitudin nibh sit amet.

At quis risus sed vulputate. Amet risus nullam eget felis eget nunc. Ac felis donec et odio pellentesque. A iaculis at erat pellentesque adipiscing. A pellentesque sit amet porttitor. Ridiculus mus mauris vitae ultricies leo integer malesuada nunc vel. Cras semper auctor neque vitae tempus quam pellentesque. Aliquam sem fringilla ut morbi tincidunt augue interdum. Nam aliquam sem et tortor consequat id porta nibh venenatis. Nullam vehicula ipsum a arcu. Bibendum neque egestas congue quisque egestas. Quis enim lobortis scelerisque fermentum dui. Nibh ipsum consequat nisl vel pretium lectus quam id. Arcu dictum varius duis at consectetur lorem donec massa sapien. In est ante in nibh mauris. Placerat vestibulum lectus mauris ultrices eros. Sit amet aliquam id diam maecenas. Viverra vitae congue eu consequat ac. Consequat mauris nunc congue nisi vitae suscipit tellus mauris.

7.2 Recommendations for Future Work

Sit amet tellus cras adipiscing enim eu. Nulla porttitor massa id neque aliquam vestibulum morbi blandit. Maecenas sed enim ut sem viverra. Eu volutpat odio facilisis mauris sit amet massa vitae. Pharetra magna ac placerat vestibulum lectus mauris. Scelerisque felis imperdiet proin fermentum leo vel orci porta non. Ullamcorper a lacus vestibulum sed arcu non. Sit amet massa vitae tortor. Odio ut enim blandit volutpat maecenas volutpat blandit. Gravida dictum fusce ut placerat orci nulla pellentesque dignissim enim. Integer eget aliquet nibh praesent tristique. Cursus vitae congue mauris rhoncus aenean vel elit scelerisque mauris. Viverra aliquet eget sit amet tellus.

Mauris pharetra et ultrices neque ornare aenean. Nascetur ridiculus mus mauris vitae ultricies. Placerat orci nulla pellentesque dignissim enim sit amet. Quis risus sed vulputate odio ut. Semper feugiat nibh sed pulvinar proin gravida hendrerit lectus. Nec feugiat nisl pretium fusce id velit ut tortor. Non quam lacus suspendisse faucibus interdum posuere lorem. Lorem sed risus ultricies tristique nulla. Non sodales neque sodales ut etiam sit amet. Sagittis purus sit amet volutpat consequat mauris nunc congue nisi.

References

Luo, W., Soares, G. S., and Zou, Z. (2016). "Parameter identification of ship maneuvering model based on support vector machines and particle swarm optimization". In: *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 138.3, pp. 031101-1–031101-8.

Menter, F. R. (1994). "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications". In: *AIAA journal* 32.8, pp. 1598–1605.

Pope, S. B. (2001). *Turbulent flows*. Cambridge University Press.

Schlichting, H. (1979). "Boundary-layer theory, 7th. editon". In: *McCraw-Hill Book Co., New York*.

Siemens, PLM Software (2017). "Star-CCM+ Theroy Guide". In: *Star-CCM+ Documentation* 12.04, pp. 7258–7795.

Appendix A

Writing Equations

The following present the details of the different turbulence closure models used. For a complete explanation of the implementation of the different models, refer to Siemens (2017).

A.1 Different Equations

Menter's formulation of the k-ω turbulence model is used (Menter, 1994), where the turbulent kinematic energy k is given by

$$\frac{Dk}{Dt} = \tau_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^{\star}\rho\omega k + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \sigma_{k1}\mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right], \tag{A.1}$$

and the specific dissipation rate ω,

$$\begin{aligned}\frac{D\rho\omega}{Dt} = {} & \frac{\gamma}{\nu_t}\tau_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta\rho\omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \sigma_{\omega}\mu_t)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right] \\ & + 2\rho(1 - F_1)\sigma_{\omega 2}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j}.\end{aligned} \tag{A.2}$$

F_1 is a blending function that calculates the new model constants ϕ from the constant ϕ_1 and ϕ_2,

$$\phi = F_1\phi_1 + (1 - F_1)\phi_2\,. \tag{A.3}$$

The turbulent viscosity is calculated using the turbulent kinetic energy and the specific dissipation rate

$$\nu_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1\omega; \Omega F_2)}, \tag{A.4}$$

with

$$F_2 = \tanh(arg_2^2)\,, \tag{A.5}$$

where,

$$arg_2 = max\left(2\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}; \frac{500\nu}{y^2\omega}\right) . \tag{A.6}$$

The constant of set ϕ_1 are (SST inner):

$$\begin{array}{cccc} \kappa = 0.41 & \beta^\star = 0.09 & \beta_1 = 0.0750 & \sigma_{k1} = 0.85 \\ \sigma_{\omega 1} = 0.5 & a_1 = 0.31 & \gamma_1 = \beta_1/\beta^\star - \sigma_{\omega 1}\kappa^2/\sqrt{\beta^\star} & \end{array}$$

The constant of set ϕ_2 are (standard k-ϵ):

$$\begin{array}{cccc} \kappa = 0.41 & \beta^\star = 0.09 & \beta_2 = 0.0828 & \sigma_{k2} = 1.0 \\ \sigma_{\omega 2} = 0.856 & & \gamma_2 = \beta_2/\beta^\star - \sigma_{\omega 2}\kappa^2/\sqrt{\beta^\star} & \end{array}$$

Appendix B

Other Tricks

B.1 Standard appendix

Boundary layer theory can be used to determine the required first cell height and the depth of the boundary layer for meshing. First the Reynolds number of the simulation is determined, using fresh water properties

$$Re_x = \frac{Ux}{\nu} = \frac{0.76 \cdot 2.9091}{1.138 \times 10^{-6}} = 1.94 \times 10^6 \,. \tag{B.1}$$

The wall distance can be calculated using the ITTC skin-friction correlation line

$$C_f = \frac{0.075}{(\log(Re_x) - 2)^2} = \frac{0.075}{(\log(1.94 \times 10^6) - 2)^2} = 4.078 \times 10^{-3} \,, \tag{B.2}$$

for $Re_x < 10^9$. The wall shear stress can be expressed as

$$\tau_w = \frac{1}{2}\rho U^2 C_f = \frac{1}{2} \cdot 999.1026 \cdot 0.76^2 \cdot 4.078 \times 10^{-3} = 1.176 \,. \tag{B.3}$$

From this the friction velocity can be calculated

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.176}{9989.1026}} = 0.0343 \,. \tag{B.4}$$

And finally, the wall distance

$$y = \frac{y^+ \nu}{u_*} = \frac{30 \cdot 1.0034 \times 10^{-6}}{0.0343} = 0.000994m \,. \tag{B.5}$$

With a target y+ $\sim$ 30 the required first cell height is (this gives us the position of the first node, which is at the centre of the cell)

$$y = 0.00198m \ \sim \ 2mm \,. \tag{B.6}$$

The total boundary layer depth can be estimated using Schilchting formula for a turbulent boundary layer over a flat plate (Schlichting, 1979)

$$\frac{\delta}{x} = 0.37 Re_x^{-1/5} = 0.37 \cdot 1.94 \times 10^{6^{-1/5}} = 0.02044\,. \tag{B.7}$$

At the stern, the boundary layer depth will be

$$\delta = 0.02044 \cdot 2.9091 = 0.0595 m\,. \tag{B.8}$$

B.2 Include code (Python and more)

```
from scipy.signal import butter, filtfilt

# Filter for experimental data
def butter_lowpass(cutoff, fs, order):
    nyq = 0.5 * fs
    normal_cutoff = cutoff / nyq
    b, a = butter(order, normal_cutoff, btype='low', analog=False)
    return b, a

def butter_lowpass_filter(data, cutoff, fs, order):
    b, a = butter_lowpass(cutoff, fs, order=order)
    y = filtfilt(b, a, data)
    return y
```

Page left intentionally blank.