



Delft University of Technology

Seasonal hydro-and morphodynamics of data-limited bay and coastal inlet systems

Do, Anh

DOI

[10.4233/uuid:faa16f1c-524c-4958-b8b0-d9ce4fd7c045](https://doi.org/10.4233/uuid:faa16f1c-524c-4958-b8b0-d9ce4fd7c045)

Publication date

2019

Citation (APA)

Do, A. (2019). Seasonal hydro-and morphodynamics of data-limited bay and coastal inlet systems. <https://doi.org/10.4233/uuid:faa16f1c-524c-4958-b8b0-d9ce4fd7c045>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SEASONAL HYDRO- AND MORPHODYNAMICS OF DATA-LIMITED BAY AND COASTAL INLET SYSTEMS

Dissertation

for the purpose of obtaining the degree of doctor
at Delft University of Technology,
by the authority of the Rector Magnificus prof.dr. ir. T.H.J.J. van der Hagen
chair of the Board of Doctorates,
to be defended publicly on
Monday 8 April 2019 at 12:30 o'clock

by

Thi Kim Anh DO

Master of Science in Hydraulic and Ocean Engineering
National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan,
born in Quang Binh, Vietnam.

This dissertation has been approved by the promotor

Composition of the doctoral committee:

Rector Magnificus,	chairman
Prof. dr. ir. M. J. E. Stive	Delft University of Technology, promotor
Prof. dr. ir. Z. B. Wang	Delft University of Technology, promotor
Dr. ir. S. de Vries	Delft University of Technology, copromotor

Independent members:

Prof. dr. T. V. Nguyen	ThuyLoi University, Vietnam
Dr. Q. Ye	Deltares
Prof. dr. ir. S. G. J. Aarninkhof	Delft University of Technology
Prof. dr. ir. A. J. H. M. Reniers	Delft University of Technology

This research was funded by the European Commission through the Erasmus Mundus Mobility with Asia 2014 (EMMAAsia 2014) for Doctorate Programme, and also partially supported by the Lamminga Fund.



Keywords: Seasonal inlet, data-limited, headland bay beach
Printed by: Anh DO

Copyright © 2019 by A. Do

ISBN 978-94-6366-154-6

An electronic version of this dissertation is available at
<http://repository.tudelft.nl/>.

To my family

Contents

Summary	vii
Samenvatting	ix
1 Introduction	1
1.1 Problem statements	2
1.2 The Vu Gia-Thu Bon river basin	3
1.3 Possibilities in data limited environments	5
1.4 Objectives and research questions	6
1.5 Thesis Outline	7
2 Beach Evolution adjacent to a seasonally varying tidal inlet	13
2.1 Introduction	14
2.2 Environmental Conditions	15
2.3 Methods	19
2.3.1 Rates of change in shoreline location	19
2.3.2 Calculation of volume changes	21
2.3.3 Longshore sediment transport capacity	22
2.4 Results	23
2.4.1 Wave climate	23
2.4.2 Derived shoreline changes and changes in sediment volume	23
2.4.3 Derived longshore sediment transports	28
2.5 Discussion	32
2.6 Conclusions	37
3 Detailed Hydrodynamics and Sediment Transport at a Seasonal Inlet and its Adjacent Beach	43
3.1 Introduction	45
3.2 Methodology	47
3.2.1 The numerical model	47
3.2.2 Model Setup of Cua Dai inlet	48
3.2.3 Model simulations	50
3.3 Results and discussion	51
3.3.1 Sediment patterns	51
3.3.2 Longshore sediment at adjacent coasts	53
3.3.3 Sediment transport through the mouth	53

3.3.4	Pattern of erosion and deposition	55
3.4	Conclusions	56
4	Estimation and Evaluation of Shoreline Locations, Shoreline Change Rates and Coastal Volume Changes derived from Landsat Images	63
4.1	Introduction	65
4.2	Test site and imagery	67
4.2.1	Study site	67
4.2.2	Landsat Images	68
4.2.3	JARKUS Data.	69
4.3	Methods	70
4.3.1	Extracting SDSs from Landsat Images	71
4.3.2	Observed Shoreline Position from JARKUS Profiles	74
4.3.3	Calculation of profile volumes from satellite and JARKUS data.	74
4.3.4	Deriving the accuracy of SDSs, SDSCRs and SDVCs	76
4.4	Results	76
4.4.1	Quantitative evaluation of the SDS.	76
4.4.2	Quantitative evaluation of the SDSCR	79
4.4.3	Quantitative evaluation of SDVCs	81
4.5	Discussion	84
4.6	Conclusions.	88
5	Planform Stability of A Complex Embayed Beach	95
5.1	Introduction	97
5.2	Environmental Settings	100
5.3	Methods	102
5.3.1	Planform stability analysis	102
5.3.2	Shoreline change analysis	103
5.3.3	Wave modelling	103
5.4	Results and Discussion	104
5.4.1	Planform headland bay beach stability along the central coast	104
5.4.2	Shoreline change rate results	109
5.4.3	Planform stability analysis of Da Nang Bay	111
5.5	Conclusions.	116
6	Conclusions	123
6.1	Cua Dai Inlet and Da Nang Bay	124
6.2	Response to research questions	126
6.3	Perspective	129
	Acknowledgements	133
	Curriculum Vitæ	135

Summary

The main objective of this study is to unravel the physical processes that control typical coastal systems in Central Vietnam while challenged by the fact that it is a data limited environment. Inlets and bays are the typical coastal system along the central coast of Vietnam. These coastal systems are strongly influenced by tropical monsoon conditions, which are characterised by variations in seasonal wave conditions and seasonal river flow. These systems are even more vulnerable to extreme weather conditions, such as floods and storms, because of the complex topography of a relatively narrow and steep mountain range which is directly connected to a dense river network in the low-lying coastal plains at the downstream end. Economic and ecological values in the coastal area are under pressure as a result of the intensification of natural disasters and human interventions. Notable examples of this are Cua Dai beach and Da Nang bay.

Cua Dai beach lies adjacent to the Cua Dai inlet which is a typical seasonal varying tidal inlet connected to the catchment area of the Vu Gia-Thu Bon River. Cua Dai beach has suffered extreme erosion in the recent decade. Da Nang bay is a complex bay beach headland downstream of the Vu Gia River that discharges into this bay. Also, this system is affected by human interventions. Due to the common downstream basin of the Vu Gia-Thu Bon River system, both being typical coastal systems in Central Vietnam that experience data limitations, this study attempts to combine and understand the hydrodynamics and morphodynamics of Cua Dai inlet and the complex Da Nang embayment. In order to identify and quantify the main processes governing the evolution of Cua Dai beach to explain the morphological changes and extreme erosion in recent years, a new approach was developed. Historical shoreline positions and sediment budget changes are the two parameters of main importance in the approach to quantify the erosion processes in the Cua Dai coastal inlet. Historical shoreline changes were derived from satellite images and associated sediment budgets were estimated based on shoreline change rates using additional assumptions, such as defining a closure depth and a time invariant beach profile. To gain insight into the sediment transport along the Cua Dai beach, additional numerical models and empirical equations are used to investigate the variation in alongshore sediment transport induced by waves. Further analysis on how seasonal variation in both waves and river discharge impacts the morphodynamics of the ebb tidal delta and its adjacent coasts is performed based on process-based modelling.

The new methodology to extract volume changes from Landsat images combined with process-base modelling have been successfully applied to investigate the main processes that govern morphological changes and extreme erosion at Cua Dai beach during re-

cent decades. The results from shoreline change rates show that the erosion at Cua Dai beach has started since 1995 with the highest rate of erosion appearing in the period between 2000 and 2010. Results of volume change indicate the system has lost a significant sediment volume during this period. The erosion at Cua Dai beach since 1995 was the result of a long-term geomorphological inlet development reflecting a non-periodic cyclic process that took place over several decades. It appears that a channel, shifting from the North to the South, triggered by typhoon Cecil in 1987, dictated the geomorphological development of Cua Dai Beach. The decrease of sediment supply from the river and the squeeze by coastal developments may have contributed to the erosion. The results from alongshore sediment transport gradients, with the existence of a transport divergence point and a transport convergence point induced by waves, has significantly contributed to explain the erosion that occurs at Cua Dai beach.

While developing the proposed methodology of extracting volume changes derived from shoreline changes, we have evaluated it for a data-rich environment (i.e. the North-Holland coast) before applying it to a data limited environment. This important evaluation is presented as an intermezzo in this thesis. The results indicate that the use of Landsat images for deriving shoreline change rates and volume changes have accuracies comparable to observed in-situ measurements when comparing measurements on decadal scales.

To obtain more insight into planform stability of the complex embayed Da Nang Bay, we first employed the simple Parabolic Bay Shape Equation (PBSE) to 26 less complex embayed beaches on the central coast of Vietnam. Shoreline change rates derived from Landsat images were used to evaluate the planform stability of the bay beaches with special attention to difficulties in determining the state of equilibrium due to multiple potential diffraction points. Then the PBSE and shoreline change rates were used to investigate planform stability of the complex headland of Da Nang Bay, also considering the presence of the influence of a seasonal wave climate. Due to the complexity of Da Nang bay beach headland, combining the occurring seasonal river discharges and seasonal climates, the PBSE and shoreline changes do not sufficiently contribute to identify what will result in the stability of this bay beach. Although the PBSE and shoreline change rates analysis have successfully evaluated the planform stability of various less complex headland bay beaches along the central coast Viet Nam, the effect of sediment supply from river may need to be further investigated.

Samenvatting

Het doel van deze studie is de fysieke processen, die zo kenmerkend zijn voor de kust van Centraal -Vietnam, te ontrafelen, en de uitdaging aan te gaan om deze met zeer beperkte gegevens te onderzoeken. Karakteristiek voor het kuststelsel van Centraal -Vietnam zijn de vele inhammen en baaien, met zeer specifieke variaties in seizoensgebonden golfcondities en rivierstromingen en de grote invloed van tropische moessons. Als gevolg van de complexe topografie, met relatief smalle en steile bergketens en een dicht netwerk van rivieren in de laaggelegen stroom-afwaartse kustvlakte, is het kuststelsel kwetsbaarder voor extreme weersomstandigheden, zoals stormen en overstromingen. Economische en ecologische belangen in het kustgebied staan onder druk als gevolg van deze intensivering van menselijke interventies en natuurrampen. Opvallende voorbeelden hiervan zijn het strand van Cua Dai en de baai van Da Nang.

Het strand van Cua Dai grenst aan de Cua Dai-inham, een typische seizoensgebonden getijdeninham, die verbonden is met het stroomgebied van de Vu Gia -Thu Bon Rivier. Het strand van Cua Dai heeft in het afgelopen decennium onder extreme erosie te lijden gehad. De baai van Da Nang is een complexe combinatie van een strand en een baai, waarin de Vu Gia Rivier uitmondt. Bovendien is ook hier de invloed van menselijke interventies merkbaar. Vanwege het gemeenschappelijke stroomgebied van het Vu Gia-Thu Bon Rivier-systeem, waarover weinig wetenschappelijke gegevens beschikbaar zijn, werden in deze studie de hydrodynamica en morfodynamica van de Cua Dai-inlaat en de complexe Da Nang-baai gecombineerd. Om de belangrijkste processen van de ontwikkeling van het Cua Dai-strand te identificeren en te kwantificeren, en om de morfologische veranderingen en extreme erosie van de afgelopen jaren te verklaren, werd een nieuwe aanpak ontwikkeld. De twee belangrijkste variabelen, de ligging van historische oever en de sedimentbudgetveranderingen, zijn van het grootste belang in de aanpak om het proces van erosie in de Cua Dai-kustinham te kwantificeren. De historische veranderingen van de oever, afgeleid vanuit satellietbeelden, en het daarbij horende sedimentbudget werden geschat op basis van de veranderingen met behulp van toegevoegde aannames, zoals het definiëren van een sluitingsdiepte en een tijds-invariant strandprofiel. Om inzicht te krijgen in het sedimenttransport langs het strand van Cua Dai, werden aanvullende numerieke modellen en empirische vergelijkingen gebruikt om de variatie in longitudinaal sedimenttransport, veroorzaakt door golven, te onderzoeken. Analyse van de invloed van seizoensvariatie, in zowel golven als rivierafvoer, op de morfodynamica van de eb-getijde-delta en de aangrenzende kusten, werd uitgevoerd op basis van proces gebaseerde modellering.

De nieuwe methodologie om volumeveranderingen af te leiden uit Landsat-afbeeldingen, in combinatie met procesbasismodellering, is met succes toegepast om de belangrijkste processen van de laatste decennia te onderzoeken, die de morfologische veranderingen en de extreme erosie op het strand van Cua Dai hebben beheerst. De resultaten van de studie van veranderingen in de kustlijn tonen aan dat de erosie op het strand van Cua Dai sinds 1995 is begonnen, met de hoogste mate van erosie in de periode tussen 2000 en 2010. De resultaten van volumeverandering wijzen erop dat het systeem tijdens deze periode een aanzienlijk sedimentvolume heeft verloren. De erosie op het strand van Cua Dai, sinds 1995, was het resultaat van een langlopende geomorfologische ontwikkeling van de inlaat, en een niet-periodiek cyclisch decennialang proces weerspiegelt. Een getijdegeul, zich van het noorden naar het zuiden verplaatsend, en veroorzaakt door de tyfoon Cecil in 1987, heeft de geomorfologische ontwikkeling van het strand van Cua Dai bepaald. De afname van het sedimentaanbod uit de rivier en het estuarium én de druk van kustontwikkelingen hebben mogelijk bijgedragen aan de erosie. De resultaten van het sedimenttransport gradiënt langs de kust, samen met het bestaande transportdivergentiepunt en een transportconvergentiepunt veroorzaakt door golven, hebben aanzienlijk bijgedragen aan een verklaring van de erosie van het strand van Cua Dai.

Bij het ontwikkelen van de voorgestelde methodologie voor het extraheren van volumeveranderingen welke zijn afgeleid van veranderingen in de kustlijn, hebben we de methodologie geëvalueerd voor een datarijke omgeving (d.w.z. de Noord-Hollandse kust), alvorens deze toe te passen op een omgeving met beperkte gegevens. Deze belangrijke evaluatie wordt gepresenteerd als een intermezzo in dit proefschrift. De resultaten geven aan dat het gebruik van Landsat-afbeeldingen voor het afleiden van veranderingen in de kustlijn en in volumeveranderingen zo nauwkeurig zijn dat deze vergelijkbaar zijn met waargenomen in-situ metingen bij het vergelijken van decennia lange metingen.

Om meer inzicht te krijgen in de stabiliteit van de planvorm van de complexe Baai van Da Nang, hebben we eerst de eenvoudige parabolische baai-vormvergelijking (PBSE) gebruikt voor 26 gevallen, minder gecompliceerde, stranden aan de centrale kust van Vietnam. Veranderingen in de kustlijn, afgeleid van Landsat-beelden, werden gebruikt om de stabiliteit van de planvorming van de baastrand te evalueren, met speciale aandacht voor moeilijkheden bij het bepalen van de evenwichtstoestand als gevolg van meerdere potentiële diffractiepunten. Vervolgens werden de PBSE- en het percentage van verandering in de kustlijn gebruikt om de stabiliteit van de planvorm van de complexe landtong van de Baai van Da Nang te onderzoeken, als ook de invloed van een seizoen-golfklimaat. Vanwege de complexiteit van de landtong, die deel is van het strand van Da Nang, en de seizoengebonden rivierafvoer en het klimaat van de diverse seizoenen, dragen de PBSE en kustlijnveranderingen onvoldoende bij aan de identificatie van de factoren die bijdragen aan de stabiliteit van deze baai-strand situatie. Hoewel de analyses van de PBSE en de veranderingen in de kustlijn met succes hebben bijgedragen aan de evaluatie van de stabiliteit van de planvorm van verschillende, minder complexe identieke baai-stranden langs de centrale kust van Vietnam, moet het effect van de aanvoer van sediment uit de rivier verder worden onderzocht.