

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Gartner, M., 20014. Analiza valovne klime in ocena projektne višine vala za Tržaški zaliv. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žagar, D., somentorja Ličer, M., Jaromel, M.): 120 str.

Datum arhiviranja:06-01-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Gartner, M., 20014. Analiza valovne klime in ocena projektne višine vala za Tržaški zaliv. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žagar, D., co-supervisors Ličer, M., Jaromel, M.): 120 pp.

Archiving Date: 06-01-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

MOHOR GARTNER

**ANALIZA VALOVNE KLIME IN OCENA PROJEKTNE
VIŠINE VALA ZA TRŽAŠKI ZALIV**

Diplomska naloga št.: 249/VKI

**ANALYSIS OF WAVE CLIMATE AND EVALUATION
OF DESIGN WAVE HEIGHT FOR THE GULF OF
TRIESTE**

Graduation thesis No.: 249/VKI

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:

dr. Matjaž Ličer

Maja Jaromel

Član komisije:

prof. dr. Franc Steinman

doc. dr. Primož Banovec

Ljubljana, 12. 12. 2014

STRAN ZA POPRAVKE (ERRATA)

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Mohor Gartner izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza valovne klime in ocena projektne višine vala za Tržaški zaliv«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 21. 11. 2014

Mohor Gartner

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.466(262.3)(0.43.2)
Avtor:	Mohor Gartner
Mentor:	izr. prof. dr. Dušan Žagar
Somentor/ica:	dr. Matjaž Ličer Maja Jeromel
Naslov:	Analiza valovne klime in ocena projektne višine vala za Tržaški zaliv
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	120 str., 34 pregl., 51 sl., 2 pril.
Ključne besede:	projektna višina vala, povratna višina vala, Tržaški zaliv, analiza ekstremnega valovanja, valovna klima

Izveček

Pri projektiranju konstrukcij na obali in proč od obale je potrebno poznati projektno višino vala za oceno sil na obalo in konstrukcije. Z analizo ekstremnega valovanja smo ocenili značilne višine valov z določenimi povratnimi dobami. Določili smo tudi najprimernejšo porazdelitev in obseg parametra razpona valov v Tržaškem zalivu. Pridobili smo vse razpoložljive podatke z boj v Tržaškem zalivu in desetletni niz rezultatov valovnega modela WAM. Vhodni podatki za analizo ekstremnega valovanja so prilagojeni (popravljeni) rezultati valovnega modela WAM. Ker izračunane višine valov modela podcenjujejo meritve boj, je bilo potrebno izračune prilagoditi s korekcijskimi razmerji. Slednja so določena na podlagi valovne klime, model pa je validiran glede na različne statistične parametre med merjenimi podatki na boji Vida in rezultati valovnega modela. V diplomskem delu prikazujemo enačbe in postopke, potrebne za izračun maksimalne višine valov, v delo pa je vključena tudi ocena maksimalne višine vala glede na globino vode. Diplomaska naloga vsebuje tudi analizo valovne in vetrovne klime za Tržaški zaliv. Dobljeni rezultati povratnih višin valov so prve okvirne vrednosti za projektante in izvajalce konstrukcij na obali in proč od obale v Tržaškem zalivu.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 551.466(262.3)(0.43.2)
Author: Mohor Gartner
Supervisor: Assoc. Prof. Dušan Žagar, Ph.D.
Cosupervisors: Matjaž Ličer, Ph.D.
Maja Jeromel
Title: Analysis of wave climate and evaluation of design wave height for the Gulf of Trieste
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 120 p., 34 tab., 51 fig., 2 ann.
Keywords: design wave height, return wave height, Gulf of Trieste, extreme wave analysis, wave climate

Abstract

Design wave height is an important parameter for evaluating forces on the coast and both onshore and offshore constructions. Extreme wave analysis was performed in order to evaluate the significant wave height for given return periods. Furthermore, the most probable distribution and range of spread parameter were defined for the Gulf of Trieste. All available data from buoys in the Gulf of Trieste and a ten-year set of results of the wave model WAM were obtained. A modified (corrected) data set of wave model results was used as input data for the extreme wave analysis. The calculated wave heights from the model underestimates measurements at the buoy. Therefore, it was necessary to modify the model results with correction factors, which are based on the wave climate. The model validation is based on structural relations between measured data on buoy Vida and the results of the wave model. In the thesis we describe the equations and procedures required for calculation of the significant wave height for a given return period. Moreover, the evaluation of the depth-limited maximum wave height is included. In addition, the thesis provides the wind and wave climate analysis for the Gulf of Trieste. The calculated return wave heights are the first estimates aimed for designers and construction contractors onshore and offshore in the Gulf of Trieste.

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil

mentorju izr. prof. dr. Dušanu Žagarju za vso podporo, spodbudo, napotke in pomoč pri pisanju diplomske naloge,

somentorju dr. Matjažu Ličerju (MBP) za vse nasvete, odgovore ter za pomoč pri pridobitvi rezultatov valovnega modela WAM,

somentorici Maji Jeromel (ARSO) za vse nasvete in odgovore ter za posredovanje podatkov boj,

zaposlenim na Univerzi v Atenah, ki so priskrbeli potrebne rezultate valovnega modela: George Galanis, Christina Kalogeri, George Kallos,

Borisu Petelinu (MBP) za posredovanje podatkov boje Vide,

Emilianu Ramieriju (THETIS) za poslan atlas valov v Sredozemskem morju,

Gerbrantu van Vledderju iz Tehnične Univerze Delft za poslane članke in pripadajoče podatke,

osebam, ki so mi odgovorili na vprašanja v zvezi z diplomsko nalogo: Fabio Brunetti (National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics, Trieste), Xavier Abellan (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), Petar Hitij (ARSO), Nenad Leder (Hydrographic Institute of the Republic of Croatia, Split), Dejan Grigillo (FGG), Mojca Šraj (FGG), Miroslav Gačić (National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics, Trieste),

Republiki Sloveniji za brezplačen študij in podporo z državno štipendijo,

in

tudi moji družini, prijateljem in vsem drugim za podporo in spodbudo pri pisanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev teme.....	1
1.2 Dosedanje raziskave in podatki.....	1
1.3 Hipoteza in cilji.....	3
1.4 Metodološki pristop.....	4
2 DOSEDANJE RAZISKAVE VALOVNE KLIME V JADRANSKEM MORJU	5
2.1 Celotno Jadransko morje.....	5
2.2 Veter in vetrni valovi v Tržaškem zalivu.....	7
2.2.1 Smeri vetrov, vrste valov in lokacija Tržaškega zaliva	7
2.2.2 Pregled preteklih analiz.....	9
2.2.3 Pomen preteklih analiz za oceno projektne višine vala.....	15
2.3 Klimatske spremembe na območju Jadranskega morja.....	16
3 PREGLED VHODNIH PODATKOV IN ANALIZA VETROVNE IN VALOVNE KLIME..	18
3.1 Uvod.....	18
3.2 Oceanografska boja Vide in numerični napovedni valovni model WAM.....	18
3.3 Pregled podatkov boje Vide.....	21
3.4 Pregled rezultatov (podatkov) napovednega valovnega modela WAM na lokaciji boje Vide	27
3.5 Primerjava podatkov boje Vide in rezultatov napovednega valovnega modela WAM	31
3.6 Podrobna primerjava podatkov boje Vide in valovnega modela za obdobje od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.....	35
3.7 Pregled in primerjava sočasnih podatkov boje Vide, Zore in Zarje.....	38
4 METODE IN MATERIALI	45
4.1 Določitev enačbe za prilagoditev rezultatov valovnega modela	45
4.1.1 Validacija in korekcijsko razmerje.....	45
4.1.1.1 Uvod	45
4.1.1.2 Validacija	45
4.1.1.3 Korekcijsko razmerje.....	48

4.1.2	<i>Primerjava števila ekstremnih konic.....</i>	50
4.1.3	<i>Točka modela na lokaciji boje</i>	51
4.1.4	<i>Ostale točke modela.....</i>	52
4.1.5	<i>Linearna regresija valovnih višin med bojo Vido, Zoro in Zarjo ter njena primerjava s linearno regresijo izračunanih valovnih višin valovnega modela na lokaciji boj.....</i>	52
4.2	Statistična analiza ekstremnih valov	53
4.2.1	<i>Uvod.....</i>	53
4.2.2	<i>Vir in obseg podatkov za pripravo vzorca.....</i>	55
4.2.3	<i>Priprava vzorca.....</i>	55
4.2.4	<i>Metoda POT.....</i>	57
4.2.5	<i>Pomembna parametra vzorca ekstremnih podatkov</i>	57
4.2.6	<i>Predlagane porazdelitvene funkcije za analizo ekstremnih podatkov</i>	58
4.2.7	<i>Izbira metode ocene parametrov porazdelitve</i>	59
4.2.8	<i>Enačba izrisa pozicije (ang. plotting position formula).....</i>	60
4.2.9	<i>Izračun reducirane variate.....</i>	60
4.2.10	<i>Sočasna enačba za določitev umeritvenega in lokacijskega parametra</i>	61
4.2.11	<i>Ocena povratne vrednosti.....</i>	62
4.2.12	<i>Parameter razpona porazdelitvene funkcije</i>	62
4.2.13	<i>Izbira najbolj verjetne porazdelitve populacije s testoma skladnosti.....</i>	62
4.2.14	<i>Zavrnitev porazdelitvene funkcije.....</i>	63
4.2.14.1	<i>Odkrivanje osamelca po kriteriju DOL.....</i>	64
4.2.14.2	<i>REC kriterij za zavrnitev predlaganih porazdelitev.....</i>	65
4.2.15	<i>Interval zaupanja povratnih vrednosti.....</i>	66
4.2.15.1	<i>Statistična variabilnost vzorcev ekstremnih porazdelitev</i>	66
4.2.15.2	<i>Interval zaupanja ocen parametrov A in B.....</i>	66
4.2.15.3	<i>Interval zaupanja povratne vrednosti.....</i>	66
4.2.16	<i>Postopek ocene projektne višine vala.....</i>	68
4.3	Teoretična maksimalna višina valov	69
4.3.1	<i>Uvod.....</i>	69
4.3.2	<i>Indeks globine rušenja</i>	70
4.3.3	<i>Teoretična maksimalna višina valov v Tržaškem zalivu</i>	72
5	REZULTATI	75
5.1	Enačba za prilagoditev podatkov valovnega modela na lokaciji boje Vide	75
5.1.1	<i>Celoten vzorec.....</i>	75
5.1.2	<i>Manjši vzorci.....</i>	77
5.2	Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela v ostalih točkah modela.....	83

5.2.1	<i>Linearna regresija valovnih višin med bojo Vido, Zoro in Zarjo ter primerjava s linearno regresijo izračunanih valovnih višin valovnega modela na lokaciji boj.....</i>	84
5.3	Ocena projektne višine vala s podatki boje Vide in nadomestitvijo manjkajočih podatkov z rezultati valovnega modela	86
5.4	Ocena projektne višine vala za 24 lokacij v Tržaškem zalivu	89
5.5	Teoretična maksimalna višina valov v Tržaškem zalivu.....	102
5.6	Ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let in njihova omejitve zaradi globine za 24 točk v Tržaškem zalivu	104
6	DISKUSIJA.....	106
6.1	Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela na lokaciji boje Vide	106
6.2	Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela na ostalih točkah modela.....	106
6.3	Postopek določitve enačbe za prilagoditev rezultatov valovnega modela WAM.....	107
6.4	Ocena projektne višine vala s podatki boje Vide.....	107
6.5	Ocena projektne višine vala z rezultati valovnega modela na točki 6 Tržaškega zaliva	108
6.6	Ocena projektne višine vala z rezultati valovnega modela na ostalih točkah Tržaškega zaliva	109
6.7	Teoretična maksimalna višina vala za Tržaški zaliv	110
6.8	Ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let in njihova omejitve zaradi globine v 24 točkah v Tržaškem zalivu.....	111
6.9	Uporabnost rezultatov za Tržaški zaliv.....	111
7	SKLEPI	113
	VIRI	115

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki valov, razdeljeni glede na dve značilni smeri valov. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 17). Opomba: Za pravilno definicijo smeri valov bi morale veljati: smeri valov 20° – 60° so posledica vpliva burje, 210° – 270° pa juga. Potrebno je gledati na smer, iz katere se valovi širijo. Torej besedilo pred preglednico napačno definira smer valovanja.....	9
Preglednica 2: Značilnosti valovnega modela za Sredozemsko morje. Napoved valovnega modela je dosegljiva na: http://forecast.uoa.gr/wamindx.php (AM&WFG, 2014).....	20
Preglednica 3: Geografska širina in dolžina ter globina računskih točk valovnega modela in boj v Tržaškem zalivu. *Koordinate računske točke 6 so skoraj identične koordinatam boje Vide, zato za primerjavo prostorska linearna interpolacija ni potrebna.....	21
Preglednica 4: Potencialne napake v meritvah valovanja boje Vide, ki so tudi izločene. Valovni podatki z * so bili že označeni kot napake v Kavčič in Malačič (2008). Čas je podan v formatu UTC + 01. Valovni podatki v tabeli so bili izločeni iz nadaljnje analize.....	22
Preglednica 5: Močna tramontana in burja ter posledično visoke značilne višine vala. Za čas 22:30 boja ni zabeležila podatkov valov. Čas je podan v formatu UTC + 01.....	26
Preglednica 6: Primerjava podatkov valov med bojo in valovnim modelom za obdobje meritev boje od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.....	34
Preglednica 7: Podatki meritev boj v obdobju potencialnih napak v meritvah značilne višine vala boje Vide. Podatki Zore in Zarje so z linearno interpolacijo spremenjeni iz enournega na polurni časovni korak. *Podatki so izločeni iz nadaljnje obravnave.....	38
Preglednica 8: Statistični parametri merjenih značilnih višin valov (m) boj Vide, Zore in Zarje. *Število meritev z linearno interpolacijo in izločitev napak. Realno je bilo zabeleženih 2156 meritev.....	39
Preglednica 9: Konstante za nepristransko enačbo izrisa pozicije (Goda, 2010: str. 553).....	60
Preglednica 10: Empirični koeficienti za Δr_{mean} v kriteriju MIR (Goda, 2010: str. 562).....	63
Preglednica 11: Empirični koeficienti za zgornji DOL kriterij $\xi_{95\%}$ (Goda, 2010: str. 565).....	65
Preglednica 12: Empirični koeficienti za spodnji DOL kriterij $\xi_{5\%}$ (Goda, 2010: str. 565).....	65
Preglednica 13: Empirični koeficienti za $\Delta r_{95\%}$ v REC kriteriju (Goda, 2010: str. 567).....	66

Preglednica 14: Konstante za standardno deviacijo povratne vrednosti za FT-I in Weibull porazdelitev (Goda, 2010: str. 576).	67
Preglednica 15: Konstante za standardno deviacijo povratne vrednosti za FT-II porazdelitev (Goda, 2010: str. 576).	67
Preglednica 16: Meje intervala zaupanja za ekstremne značilne višine (Gomes in Pinto, 2013: str. 4).	68
Preglednica 17: Statistika validacije med meritvami boje Vide in rezultati valovnega modela WAM za obdobje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.	75
Preglednica 18: Statistika validacije za SV in JV z razdeljenima dogodkoma za ekstremne višine valov glede na rezultate valovnega modela. *21 podatkov je izločenih, zato je število podatkov validacije a2) 136.	77
Preglednica 19: Statistika validacije za d) originalne izračunane in e) prilagojene značilne višine valov računске točke 6 glede na meritve boje Vide za obdobje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.	81
Preglednica 20: Preglednica s številom dogodkov ekstremnih značilnih višin, med katerimi je vsaj 1 dan razlike. $H_{S,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi; $H_{S,M}$ – izračunana značilna višina vala valovnega modela; $\hat{H}_{S,M}$ – prilagojena značilna višina vala valovnega modela, H – izračunana ali prilagojena značilna višina vala, odvisno, ali beremo vrstico s $H_{S,M}$ ali $\hat{H}_{S,M}$	83
Preglednica 21: Primerjava statističnih parametrov, grafikonov raztrosa in potencialnih strukturnih razmerij merjenih značilnih višin valov (m) za boje Vida, Zora in Zarja, ter računskih točk valovnega modela na lokacijah boj. Za lokaciji Zore in Zarje so podatki lokacijsko linearno interpolirani. Trajanje in obseg obdobja merjenja so različni za boje in model.	84
Preglednica 22: Geometrične enačbe strukturnih razmerij meritev in izračunov na lokacijah Vide, Zore in Zarje. Časovna obdobja izračunov oziroma meritev so različna tako po zajetih datumih kot tudi po trajanju.	85
Preglednica 23: A , B in r za 9 predlaganih porazdelitev.	86
Preglednica 24: Povratne vrednosti značilnih višin valov $\hat{x}_{(R)}$ (oziroma $H_{(R)}$) za povratne dobe 10, 20, 30, 50 in 100 let ter parametri razpona γ_{50}	86
Preglednica 25: Korelacijski koeficienti r , ocena povprečnega ostanka Δr_{mean} in MIR kriteriji $\Delta/\Delta r_{\text{mean}}$	87
Preglednica 26: ξ , $\xi_{95\%}$ in $\xi_{5\%}$ za zavrnitveni kriterij DOL.	87

Preglednica 27: Korelacijski koeficienti Δr in mejne vrednosti $\Delta r_{95\%}$ za vseh 9 predlaganih porazdelitev. REC kriterij zavrnitve.	87
Preglednica 28: Povratne vrednosti značilnih višin valov $\hat{x}_{(R)}$ za 90 %	89
Preglednica 29: Konice značilnih višin valov neviht za meritve boje Vide (manjkajoči podatki so iz modela) in prilagojenih rezultatov modela od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.....	90
Preglednica 30: Začetni parametri vzorca (N – število podatkov, λ – povprečna stopnja ekstremnih dogodkov, \bar{x} – povprečje vzorca, σ_x – standardna deviacija vzorca, max – maksimalna vrednost vzorca), izbran prag in najbolj primerna kandidata za porazdelitev populacije (oziroma najbolj primerna porazdelitev).....	91
Preglednica 31: Izračuni umeritvenega parametra A in lokacijskega parametra B s 95 % intervalom zaupanja:	92
Preglednica 32: Porazdelitve, zavrnjene s kriterijem DOL in/ali REC. 6 so rezultati za primer, kjer je $K = 4,28$ let. $S \bullet$ je označena najbolj primerna porazdelitev populacije glede na testa skladnosti in testa zavrnitve.	93
Preglednica 33: Testi skladnosti in zavrnitve za najbolj ustrezno porazdelitev.....	94
Preglednica 34: Povratne značilne višine valov $\hat{x}_{(R)}$ za določene povratne dobe R s povratnimi vrednostmi z 90 % intervalom zaupanja za najbolj ustrezno porazdelitev. γ_{50} – parameter razpona.....	95

KAZALO SLIK

Slika 1: Poimenovanja značilnih smeri vetrov v Jadranu (GIS, 2014a).	7
Slika 2: Vrste valov glede na periodo, silo povzročitve in zaviranja ter porazdelitev valovne energije (Saksida, 2009b: str. 7).....	8
Slika 3: Tržaški zaliv. Kartografska podlaga je iz Google Zemlje (Google Inc., 2013).	8
Slika 4: Histogram kotne porazdelitve valov (število valov iz smeri širjenja) za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 16).	10
Slika 5: Kotna porazdelitev višin valov za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 16).....	10
Slika 6: Histogram kotne porazdelitve valov (število valov iz smeri širjenja) glede na originalne podatke za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Izločene so smeri valov od 0° do 1°, saj so številčne (okoli 360) meritev v omenjeni smeri gotovo produkt napačne določitve smeri valov ob nizkem valovanju (manj kot 0,4 metra). Lokacija: boja Vida.....	10
Slika 7: Distribucija (roža) jakosti vetra (od 1. 1. 2007 do 31. 12. 2007) in velikosti valov (od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008). Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 42).	11
Slika 8: Roža valov merjenih podatkov boje Vide za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Smer je določena kot smer, iz katere se valovi širijo. Smer od 0° do 1° ni izločena. Lokacija: boja Vida.	11
Slika 9: Tržaški zaliv z lokacijo Bibioneja (Google Inc., 2013).	12
Slika 10: Distribucija valov glede na smer. Lokacija: boja Vida (magenta) in pred vhomom v tržaški zaliv (modra) (Kavčič in Malačič, 2008: str. 40).	12
Slika 11: Distribucija vetra glede na smer; lokacija merjenja ni podana (Kavčič in Malačič, 2008: str. 39).	13
Slika 12: Roža vetrov za celotno obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (Hladnik in Malačič, 2011: str. 3).....	13
Slika 13: Roža valov za celotno obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (Hladnik in Malačič, 2011: str. 3).....	13
Slika 14: Zgornja slika prikazuje vetrovno rožo burje za celotno obdobje meritev, spodnja pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 5).	14

Slika 15: Zgornja slika prikazuje vetrovno rožo oštra za celotno obdobje meritev, spodnja pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 6).	14
Slika 16: Leva slika prikazuje vetrovno rožo lebiča za celotno obdobje meritev, desna pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 7).....	14
Slika 17: Puščice na levi sliki prikazujejo pihanje burje (modra), oštra (rdeča) in lebiča (zelena), puščice na desni sliki pa smeri širjenja valov ob pihanju burje (modra), oštra (rdeča) in lebiča (zelena). Dolžine puščic pomenijo pogostost (Hladnik in Malačič, 2011: str. 16).	15
Slika 18: Lokacije boj Vide, Zore in Zarje (rumena, vijolična, zelena). Z belimi kvadrati so označene računske točke valovnega modela WAM.	19
Slika 19: Pokritost valovnega modela za Sredozemsko morje (AM&WFG, 2014).....	20
Slika 20: Valovni model Sredozemskega morja za področje Jadranskega morja. Prikazana je napoved za značilne višine valov in smeri za 5. 6. 2014 ob 12:00 po univerzalnem koordiniranem času (UTC – mešanica francoskega izraza <i>temps universel coordonné</i> in angleškega izraza <i>coordinated universal time</i>) (AM&WFG, 2014).	20
Slika 21: Roža povprečne hitrosti vetrov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.	24
Slika 22: Roža značilne višine valov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010... ..	25
Slika 23: Roža srednje periode valov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.. ..	27
Slika 24: Roža hitrosti vetra 10 metrov nad gladino morja za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela WAM, dobljena iz modela SKIRON.	29
Slika 25: Roža značilne višine vala za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela WAM.....	30
Slika 26: Roža srednje periode valov za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela.....	31
Slika 27: Roža hitrosti vetrov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.....	32
Slika 28: Roža značilne višine valov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.	33
Slika 29: Roža srednje periode valov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.	34

Slika 30: Izmerjene/izračunane značilne višine (m, zgoraj), povprečne periode (s, na sredini) in srednje smeri valov (°, spodaj) na boji Vidi (modra) in za valovni model (zelena) od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.....	36
Slika 31: Izmerjene/izračunane povprečne hitrosti (m/s, zgoraj) in srednje smeri vetra (°, spodaj) na boji Vidi (modra) in za obdobje valovnega modela (zelena) od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.	37
Slika 32: Roža značilnih višin vala boje Vide za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 4302, polurni časovni korak).....	40
Slika 33: Roža značilnih višin vala boje Zore za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 2156, urni časovni korak).	41
Slika 34: Roža značilnih višin vala boje Zarje za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 2156, urni časovni korak).	42
Slika 35: Izpisani valovni podatki ekstremnih dogodkov za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014: boja Vida (modra), boja Zora (zelena) in boja Zarja (rdeča).	43
Slika 36: Izpisani valovni podatki ekstremnih dogodkov za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014: boja Vida (modra), boja Zora (zelena) in boja Zarja (rdeča).	44
Slika 37: Batimetrija Tržaškega zaliva. Enote za globine so v metrih.	73
Slika 38: Grafikon raztrosa podatkov, merjenih z bojo Vido in izračunanih z valovnim modelom WAM, ter linije enačb strukturnih razmerij.	76
Slika 39: Grafikon raztrosa podatkov, merjenih z bojo Vido in izračunanih z valovnim modelom WAM, ter potencialne linije enačb strukturnih razmerij razdeljenih valovanj iz smeri SV in JZ. GMFR – geometrična povprečna funkcijska odvisnost, ODR – ortogonalna regresija razdalj, CR – klasična regresija, $H_{S,M}$ – izračunana značilna višina vala valovnega modela, $H_{S,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi.	79
Slika 40: Grafikon raztrosa merjenih značilnih višin valov boje Vide in prilagojenih izračunanih značilnih višin valov z valovnim modelom WAM ter potencialne linije enačb strukturnih razmerij. GMFR – geometrična povprečna funkcijska odvisnost, ODR – ortogonalna regresija razdalj, CR – klasična regresija, $H^{\wedge}_{S,M}$ – prilagojena značilna višina vala valovnega modela, $H_{S,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi.....	81
Slika 41: Izmerjene/izračunane/prilagojene značilne višine valov (m) na boji Vidi in valovni model za obdobje od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.....	82

Slika 42: Skladanje podatkov za porazdelitvi FT-II (k = 5) (levo) in FT-II (k = 10) (desno). Pri branju grafikonov je potrebno biti pazljiv, saj je leva y os med 0 in 5 metri, desna pa med 0 in 4 metri.	88
Slika 43: Prikaz najprimernejših porazdelitev za točke. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.....	97
Slika 44: Prikaz značilnih višin valov s povratno dobo 30 let v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.....	98
Slika 45: Prikaz značilnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.....	99
Slika 46: Prikaz maksimalnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Značilne višine so pomnožene s faktorjem 1,58. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.....	100
Slika 47: Prikaz ekstremnih maksimalnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Značilne višine so pomnožene s faktorjem 2. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.....	101
Slika 48: Povprečen naklon batimetrije v Tržaškem zalivu	102
Slika 49: Območja z naklonom manj ali enako 1 : 50 (modra) in več kot 1 : 50 (zelena); za modro območje upoštevamo faktor 0,78, za zeleno pa 1,1. Med faktorjem 1,1 in kopnim so pojavlja vrzel s faktorjem 0,78, kar je napaka. Vrzel bi morala imeti faktor 1,1.....	103
Slika 50: Zemljevid teoretične maksimalne višine vala za Tržaški zaliv. Enote za globine so v metrih.	104
Slika 51: Teoretične maksimalne višine vala (zelena) in ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let (bela) v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate povratnih višin.	105

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AMM – annual maxima method – metoda letnih maksimumov

ARSO – Agencija Republike Slovenija za okolje

CEM – Coastal Engineering Manual – Priročnik obalnega inženirstva

DOL – deviation of outlier

GMFR – geometric mean functional relationship – geometrična povprečna funkcijska odvisnost

JJV – jug-jugovzhod

LSM – least square method – metoda najmanjših kvadratov

MBP – Morska biološka postaja Piran

ME – mean error – srednja napaka

MIR – minimum ratio of residual correlation coefficient

ODR – orthogonal distance regression – ortogonalna regresija razdalj

POT – peak over threshold – metoda vrednosti nad določenim pragom

R – korelacijski koeficient (v primeru validacije) – povratna doba (v primeru analize ekstremnega valovanja)

REC – residue of correlation coefficient

RMSE – root-square-mean error – koren srednje kvadratne napake

SI – scatter index – indeks razpršenosti

SKIRON – vremenski napovedni model, iz katerega so rezultati vetra uporabljeni kot vhodni podatki za valovni model WAM na Univerzi v Atenah

SWAN – tip valovnega modela razvit na Tehnični Univerzi Delft

TSM – total sample method – metoda celotnega vzorca

UL FGG – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

USACE – United States Army Corps of Engineers

VJV – vzhod-jugovzhod

VSV – vzhod-severovzhod

WAM – tip valovnega modela

ZSZ – zahod-severozahod

A – parameter umerjenosti oziroma višine

B – parameter lokacije

d – globina vode

d_b – globina ob začetku rušenja vala

F – faktor standardne napake

g – gravitacijska konstanta

H_b – višino vala ob začetku rušenja vala

H_m ali \bar{H} – povprečna višina valov v določenem intervalu

$H_{s,B}$ – značilna višina vala izmerjena z bojo

$H_{s,M}$ – originalno izračunana značilna višina vala valovnega modela

$\hat{H}_{s,M}$ – prilagojena (popravljen) značilna višina vala valovnega modela

$H_s = H_{1/3}$ – značilna višina vala

k – parameter oblike

K – obdobje let

kv – koeficient variacije

L – valovna dolžina vala

L_0 – valovna dolžina vala za globoko vodo

m – mediana

max – maksimalna vrednost

min – minimalna vrednost

n – število podatkov

N – število uporabljenih (upoštevanih) dogodkov v analizi

N_T – število vseh ekstremnih dogodkov (neviht)

$P_{s,M}$ – perioda vala valovnega modela

p – povprečna vrednost

r – korelacijski koeficient

s – standardna deviacija

T – perioda vala

v – hitrost vetra

$x_{(m)}$ – zaporedna vrednost značilne višine vala

\bar{x} – povprečje merjenih vrednosti; ali povprečje vzorca

x_i – merjena vrednost

X – merjena vrednost

$\hat{x}_{(R)}$ ali \hat{H}_R – ocena povratne višine vala, oziroma višine vala z določeno povratno dobo R

$y_{(R)}$ – reducirana variata

$y_{(m)}$ – reducirana variata

\bar{y} – povprečje izračunanih vrednosti

y_i – izračunana vrednost

Y – izračunana vrednost

γ_{50} ali γ – parameter razpona

γ_b – indeks globine rušenja

δ_i – napake merjene vrednosti za X_i

Δr – ostanek koeficienta vzorca

Δr_{mean} – povprečni ostanek skladne porazdelitve

ε_i – napake izračunane vrednosti Y_i

η_i – neizračunana vrednost

θ – naklon dna v stopinjah

λ – razmerje med variancama merjenih in izračunanih napak; ali povprečna stopnja ekstremnih dogodkov

v – cenzurni parameter

ξ – brezdimenzijsko odstopanje

ξ_i – neizmerjena vrednost

σ_{δ}^2 – varianca izračunanih napak

σ_{ε}^2 – varianca merjenih napak

σ_x – standardna deviacija značilne višine vala

$\sigma(\hat{x}_R)$ – ocena standardne deviacije povratne vrednosti

Ω_b – indeks višine rušenja

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

analiza ekstremnega valovanja – extreme wave analysis

analiza ekstremnih valov – extreme wave analysis

analiza preteklih dogodkov – hindcast

brezdimenzionalna višina rušenja – nondimensional breaker height

dolgi valovi z dolgo periodo od 30 sekund do nekaj minut – infragravity waves

dolgoročna analiza valov – long term wave analysis

dvig srednje gladine vode zaradi valovanja – wave setup

globoka voda – deep water – je določena kot globina vode, pri kateri hitrost valovanja ni odvisna od globine, ampak le od valovne dolžine. Je tam, kjer je globina bistveno večja od valovne dolžine.

indeks globine rušenja – breaker depth index

indeks rušenja – breaker index

izračunani rezultati (podatki) – vhodni oziroma izhodni podatki valovnega modela (veter oziroma valovi)

kalibracijsko razmerje – calibration relation – glej korekcijsko razmerje

klasifikacijsko drevo – classification tree

klima valovanja – wave climate

korekcijsko razmerje – correction relation – strukturno razmerje med dvema spremenljivkama. Pogosto se uporablja manj primeren izraz kalibracijsko razmerje.

lom – refraction

merjeni podatki – podatki izmerjeni in-situ oziroma z bojami

metoda najmanjših kvadratov – least square method – LSM

metoda največjega verjetja – maximum likelihood method

metoda napak v spremenljivkah – errors in variables method – EIV method

mrtvi valovi/morje – swell

neurni val – storm surge

nevronska mreža – artificial neural network – ANN

ortogonalna regresija razdalj – orthogonal distance regression

pas rušenja valov – breaker zone – pas, kjer se valovi začnejo rušiti, običajno pri globinah vode od 5 do 10 metrov za oceanske obale, seveda pa je to možno tudi v bolj plitvi vodi

plitva voda – shallow water – kjer je hitrost valovanja odvisna od valovne dolžine in še posebej globine. Je v območju, kjer je globina bistveno manjša od valovne dolžine.

plitvinska deformacija valov – shoaling

pljuskovni pas – swash zone – cona valovanja, kjer se gladina vode spreminja; obsega pas od meje odteka do meje pljuska

popravljen vsota križnih produktov – corrected sums of cross products

popravljen vsota kvadratov – corrected sums of squares

prehodna voda (globina) – transitional water (depth), oziroma intermediate water (depth) – prehod med globoko in plitvo vodo, kjer hitrost valovanja postane odvisna tudi od globine vode. Nahaja se, kjer je globina približno enaka valovni dolžini.

prilagojeni rezultati (podatki) – rezultati (podatki) popravljeni s korekcijskim razmerjem oziroma enačbo

privetrišče – fetch

proč od obale – offshore

projektna višina vala – design wave height

regresijsko drevo – regression tree

relativna globina – relative depth – je lahko izražena z $\frac{d}{gT^2}$ ali $\frac{d}{L}$, kjer je d globina vode, g gravitacijska konstanta, T perioda in L valovna dolžina vala; glede na relativno globino se lahko po linearni teoriji valovanja določi, ali je voda globoka, plitva ali prehodna

rušenje vala – wave breaking – se pojavi, ko greben vala potuje hitreje kot ostali del in se »podre«

stojni val – seiche

strmina vala – wave steepness

uklon – diffraction

validacija – validation – lahko bi uporabili izraz ovrednotenje

vzvalovani pas – surf zone – pas valovanja od obalne črte do točke na morju (do pasu rušenja valov),
kjer se valovi rušijo, tipično v globinah od 5 do 10 metrov (te globine so bolj značilne za ocean kot za
morje)

1 UVOD

1.1 Opredelitev teme

Načrtovanje in izgradnja konstrukcij na obali in proč od obale (ang. offshore) je v nekaterih pogledih podobno konstrukciji na rekah in njenih bregovih. Uporablja se podobne materiale, mehanizacijo, opremo. Povsod je potrebno upoštevati sile vode, ki lahko pri tem nastanejo. Seveda pa obstaja nekaj pomembnih razlik. Morje je voda bogata z ioni in je posledično agresivna za konstrukcije in materiale. Največja razlika pa je v periodičnem nihanju vode (plima, oseka) in bolj izrazitem valovanju. Pri slednjem je pomembna določitev sil visokih valov, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju in izgradnji konstrukcij. Sile visokih valov lahko ocenimo ob znani projektni višini vala. Nekaj vpliva imata tudi perioda in smer valovanja. Pri projektiranju običajno upoštevamo smer valovanja pravokotno na konstrukcijo, saj val tako povzroči največje sile.

Za oceno projektne višine vala je potrebno imeti niz podatkov o valovanju vsaj za 10 let (Goda, 2010). Opravi se analiza ekstremnih valov (ang. extreme wave analysis) oziroma dolgoročna analiza valov (ang. long term wave analysis). Podatke o valovanju se lahko pridobi z opazovanjem z obale in ladij, meritvami boj (in-situ) in daljinskim zaznavanjem z obale ali s sateliti. Za boljše pokritje vseh točk v območju so zaželeni izračunani podatki (rezultati) valovnih modelov (npr. SWAN, WAM). Možna je tudi ocena valovanja samo iz rezultatov valovnih modelov. Če je le mogoče, se valovni model primerja s pravimi izmerjenimi podatki, s čimer se določi točnost izračunanih podatkov (rezultatov) modela. Možna je tudi ocena projektne višine vala s tako imenovano analizo preteklih dogodkov (ang. hindcast), kjer se na podlagi arhivskih podatkov ekstremnega vremena (najbolj pomembni sta hitrost in smer vetra) opravi simulacije z valovnimi modeli.

1.2 Dosedanje raziskave in podatki

Ni nam znano, da bi bila projektna višina vala za Tržaški zaliv kadarkoli doslej določena na podlagi statistike valov, vendar obstaja možnost, da podatki niso javno dostopni.

Za severno Jadransko morje je bil določen projektni val za neurne zapore na vhodih v Beneško laguno. Ni bila določena samo prva ocena, ampak tudi podrobna analiza z valovnim modelom, ki upošteva plitvinsko deformacijo vala (ang. shoaling), uklon (ang. diffraction), lom (ang. refraction), itd. (De Girolamo et al., 1992; Hurdle et al., 1995; Sclavo et al., 1996).

Obstajajo globalne analize podatkov valovanja oziroma določitev klime valovanja (ang. wave climate). Te so neprimerne za oceno projektne višine vala v Tržaškem zalivu zaradi upoštevanja nizkega valovanja, preslabe resolucije (redka mreža točk), odstopanja višine valov zaradi zaprtosti Jadrana ter predolgega časovnega koraka med zaporednima podatkom oziroma zaradi povprečenja podatkov na predolg časovni korak. Običajno predstavijo samo povprečno mesečno/sezonsko klimo

valovanja. Primeri takih analiz so naslednji: Ocean Wave Atlas (KNMI, 2004), KNMI/ERA-40 Wave Atlas (Caires et al., 2005), WorldWaves (Fugro OCEANOR, 2004), Eurowaves (Athanasoulis et al., 1999). Rezultati navedenih analiz so tudi težko dostopni. Informacije smo pridobili na podlagi prejšnjih naštetih člankov. Imeli pa smo dostop do analize Sredozemskega morja: Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea (Medatlas Group, 2004a, 2004b). Mogoče bi bila slednja analiza še nekako sprejemljiva za severni Jadran, vendar ima zelo grobo resolucijo in največje odstopanje od realne višine valov prav na severu. Omenjene analize valovanja so izdelane na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja, (napovednih) valovnih modelov (ang. wave forecast model), kalibracije z bojami in včasih tudi opazovanja valov s kopnega in ladij. V poglavju 2 so podane še nekatere druge raziskave valovne klime Jadranskega morja.

Nekatere izmed obstoječih originalno merjenih/izračunanih podatkov lahko pridobimo s pomočjo ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), celo za 40 let (ECMWF, 2014). Tudi slednji imajo pregrobo resolucijo, saj valovni model vsebuje le 2 točki na robu Tržaškega zaliva, rezultati pa bi bili mogoče primerni za ostali del Jadrana, ki je proč od obale. Obstajajo še druge podobne baze podatkov, kot je na primer ECMWF, toda večinoma ne pokrivajo Sredozemskega, kaj šele Jadranskega morja.

Možna baza podatkov za Jadransko morje so napovedni valovni modeli, kot na primer: Triton Wave Forecast System (OPAM, 2014), Sea Waves by ECMWF Numerical Weather Prediction (DHMZ, 2014), Mediterranean Wave Forecast (ISRAMAR, 2014), Mediterranean Sea Charts, Magicseaweed (MSW, 2014), Univerza v Atenah - AM&WFG Wave Forecast (AM&WFG, 2014). Rezultati modela WAM predstavljajo osnovni vir podatkov za diplomsko nalogo. Desetletne rezultate smo pridobili z Univerze v Atenah, kjer teče model WAM za Sredozemsko morje (osebni vir George Galanis, Christina Kalogeri, George Kallos). Opis valovnega modela je v poglavju 3.1.

V Sloveniji sta trenutno v uporabi dva valovna modela: model WAM na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in model SWAN na Morski biološki postaji Piran (MBP). Model WAM teče že nekaj let, model SWAN pa se uporablja za točno določene simulacije napovedi visokega valovanja (Jeromel, 2010) in analize preteklih dogodkov (ang. hindcast). To pomeni, da imamo na podlagi teh modelov premalo podatkov za oceno projektne višine vala. Možno pa bi jih bilo uporabiti za analizo preteklih dogodkov za ekstremne dogodke.

V Piranskem zalivu valovne in vetrovne podatke meri boja Vida od leta 2006. Podatki o valovih ne zadostijo pogoju merjenja (minimalno 10 let) in imajo vrzeli zaradi občasnih okvar, vzdrževanja itd. Meritve na boji pa so uporabne za validacijo (ang. validation) podatkov napovednega valovnega modela Univerze v Atenah. V začetku leta 2014 je ARSO v sklopu projekta BOBER v slovensko morje namestil še dve novi boji: Zoro in Zarjo. Razpoložljivi podatki obeh boj so analizirani skupaj s

sočasnimi podatki boje Vide v poglavju 3.7. V načrtu je tudi postavitve 12 radijskih anten (visokofrekvenčni radar), ki bodo med drugim merile tudi valovanje (Jeromel, 2014; Ličer, 2014). Po dostopnih podatkih drugje v Tržaškem zalivu ni boj ali kakšnega drugega sistema za merjenje valovanja.

Za slovensko morje že obstajajo nekatere kratkotrajne analize valovanja: Analiza podatkov tlaka na morskem dnu in površinskih valov na oceanografski boji v Piranskem zalivu 2007 in 2008 (Kavčič in Malačič, 2008), Roža vetrov in roža valov – kateri valovi se pojavljajo pri določenih vetrovih (Hladnik in Malačič, 2011). Slednji analizi sta na kratko povzeti v poglavju 2.2.2. Saksida (2009b, 2009a) navede nekatere splošne karakteristike valovanja in povzame omenjene analize. Tudi Kolega (2006) navede splošne lastnosti valovanja ob slovenski obali.

Obstajajo seveda številne druge raziskave, ki se ne nanašajo na valovanje. Govorijo o različnih temah, povezanih s slovenskim morjem: poplavam, obalnih konstrukcijah, hidrodinamiki in onesnaževanju morja. Pregled večine teh del je podan v uvodu seminarske naloge z naslovom Obalno inženirstvo – pregled ukrepov za zaščito obale (Gartner, 2013).

Za načrtovanje in izgradnjo konstrukcij na obali in proč od obale je potrebno poznati projektni val. Doslej projektni val za slovensko obalo in Tržaški zaliv ni znan oziroma ni bil nikoli posebej analiziran, najverjetneje zaradi treh razlogov: prvi razlog je, da se valovi v Tržaškem zalivu merijo šele kratek čas. Drugi razlog je, da bližina obale in različna usmerjenost obale onemogočata splošno določitev projektne vala za celoten zaliv. In tretjič, zaradi zaprtosti zaliva so valovi dokaj nizki. Zaradi slednjega se mogoče zdi, da taka analiza sploh ni potrebna, zgodi pa se lahko tudi to, da pride do predimenzioniranja ali poddimenzioniranja obalnih konstrukcij glede na sile valov. Zato je v tej diplomski nalogi opravljena prva ocena projektne vala za 24 točk v Tržaškem zalivu. Ker pa je potrebno dobro poznati valovno klimo, je za boljše poznavanje lokalnih pogojev podan pregled obstoječe analize valov in vetra za Tržaški zaliv. Dodatno pa je potrebno opraviti tudi nove analize na podlagi vseh razpoložljivih podatkov.

1.3 Hipoteza in cilji

Višina projektne vala na posameznih območjih je različna zaradi razčlenjenosti obale Tržaškega zaliva. Na osnovi in-situ meritev, rezultatov valovnega modela, analize valovne klime in analize ekstremnih valov je mogoče izračunati projektni val za določena območja.

Merjeni in izračunani podatki se med seboj razlikujejo. Rezultati valovnega modela podcenjujejo realne vrednosti zaradi grobe resolucije in podcenjenih vhodnih podatkov vetra. Zato jih je potrebno pred uporabo v analizi ekstremnih valov predhodno prilagoditi.

Primarni cilj diplomske naloge je določitev projektne višine vala za različne lokacije v Tržaškem zalivu. Ob tem se opravi vetrovna in valovna analiza na osnovi že opravljenih raziskav in naše analize podatkov, validacija valovnega modela in določitev korekcijskih razmerij za prilagoditev podatkov valovnega modela.

1.4 Metodološki pristop

Diplomska naloga najprej poda splošne značilnosti valov in vetra v Tržaškem zalivu na podlagi dosegljivih raziskav in analizi novih podatkov.

Ker valovni model WAM očitno podcenjuje realne merjene višine valov, se s korekcijskimi razmerji predlaga enačba za prilagoditev (popravek) rezultatov in oceni učinkovitost enačbe za popravek rezultatov modela.

Na podlagi prilagojenih rezultatov valovnega modela se opravi analiza ekstremnih valov, s katero pridobimo glavni rezultat: povratne višine valov za določene dobe oziroma projektno višino vala za 24 točk v Tržaškem zalivu.

Ker globina morja omejuje maksimalno višino valov, določimo, kakšni so teoretični maksimalni valovi za celoten Tržaški zaliv. Poleg tega preverimo, ali obstaja taka omejitev za 24 izračunanih povratnih značilnih višin v analizi ekstremnih valov.

V zaključku je razložena uporabnost rezultatov.

Izračuni so večinoma izvedeni z odprtokodnim programskim orodjem Spyder v Python(x,y) (Raybaut, 2008), ki je podoben okolju MATLAB. Druga uporabljena programska oprema za obdelavo podatkov: Excel 2007, Google Zemlja (Google Inc., 2013), GE-Path (Sgrillo, 2012), WRPLOT View (Lakes Environmental Software, 2011). Uporaba programov v diplomski nalogi ni razložena.

2 DOSEDANJE RAZISKAVE VALOVNE KLIME V JADRANSKEM MORJU

2.1 Celotno Jadransko morje

Nekatere podrobnosti teorij dolgoročne analize valov, so podane v poglavju 4.2 in jih je priporočljivo poznati za boljše razumevanje poglavja.

Nekatere raziskave valovne klime Jadranskega morja že obstajajo. Parunov et al. (2011) so opravili analizo valov na podlagi podatkov vizualnih opazovanj s plovil v letih od 1957 do 1971 za celotno Jadransko morje in naredili klimatološki atlas z mesečnimi povprečji smeri in značilnih višin z maksimalno višino vala iz vseh smeri. Območje Jadrana so razdelili na 28 podenot. Rezultati so uporabni za plovila, za konstrukcije proč od obale pa se lahko te podatke uporabi le kot grobo oceno. V podenoto 2 spada Tržaški zaliv, žal pa podatki niso dostopni. Za Tržaški zaliv bi bile višine valov zagotovo precenjene, saj podenota zajema skoraj celotno vzhodno polovico severnega Jadrana. V članku je podana tudi enačba, ki naj bi opazovane podatke bolj približala vrednostim, izmerjenim z inštrumenti.

Po trditvah Parunov et al. (2011) naj bi bile najhujše valovne razmere prav na odprtem severnem Jadranu (zaradi najdaljšega privetrišča v primeru široka in burje), kjer je bila izmerjena tudi najvišja maksimalna višina vala v severnem Jadranskem morju, to je 10,8 metra. Val je bil izmerjen februarja 1986 med nevihto z značilno višino vala 6,16 metra. Leder et al. (1998) teoretično predvidijo ekstremno značilno višino vala za 20 in 100 let povratne dobe, 7,20 in 8,57 metra.

Najdaljše meritve na severnem Jadranu ima že od zgodnjih sedemdesetih let prejšnjega stoletja ocnografska ploščad Acqua Alta. Stoji na lokaciji z globino vode 15 metrov in je od Beneške lagune oddaljena 15 kilometrov. Najbolj ekstremna dogodka na ploščadi do leta 2011 sta bila 4. 10. 1966 in 22. 12. 1979, za katera žal ni izmerjenih podatkov, ker sta poškodovala ploščad. Pri dogodku iz leta 1979 lahko samo predvidevamo višino vala, saj je bila ploščad poškodovana do višine 9 metrov nad srednjo višino morja. Pri oceni višine vala pa je potrebno biti previden, saj so valovi nastopili v kombinaciji z nadvišanjem morske gladine zaradi neurnega vala (ang. storm surge) (Lionello et al., 2012a).

Leder et al. (1998) so opravili analizo ekstremnega valovanja za odprto severno Jadransko morje za potrebe gradnje vrtalne ploščadi. Predvidena maksimalna značilna višina vala na odprtem severnem Jadranskem morju s povratno dobo 100 let je 8,57 metra. Smirčić et al. (1996, cit. po Leder et al., 1998) v raziskavi podajo statistično razmerje med značilno in maksimalno višino vala. Značilna višina pomnožena z 1,58 poda maksimalno višino vala s povratno dobo 100 let, ki je 13,54 metra. Faktor je pridobljen iz meritev podatkov na poziciji plinske ploščadi Ivana A na severnem Jadranu (Leder,

2014). Približne koordinate glede na podatke iz Google Zemlje so: 44.75° S, 13.30° V, kar je približno 50 kilometrov zahodno od Pule (Google Inc., 2013).

Med drugim podajo Smirčičevo formulo iz leta 1985 za izračun značilne valovne višine s hitrostjo ekstremnega vetra v na višini 10 metrov:

$$H_s = \begin{cases} 0,0135v^2 + 0,003v + 0,500: \text{za široko,} \\ 0,0031v^2 + 0,111v + 0,474: \text{za burjo.} \end{cases} \quad (1)$$

Seveda je ta empirična enačba dokaj nenatančna, saj ne vsebuje privetrišča (ang. fetch) in trajanja vetra, najverjetneje pa je uporabna samo za odprto severno Jadransko morje.

Podoben odnos je bil dobljen z analizo meritev značilne višine valov in povprečne hitrosti vetra boje Vide (Kavčič in Malačič, 2008). Veter je podan na višini 5 metrov nad gladino. Enačba velja za nefiltriran vzorec:

$$H_s = \begin{cases} 0,0022v^2 + 0,022v + 0,091: \text{za jugo (široko) (155° – 195°),} \\ 0,002v^2 + 0,042v + 0,056: \text{za burjo (45° – 90°).} \end{cases} \quad (2)$$

Koeficienta korelacije sta 0,49 in 0,82 za jugo (široko) in burjo.

V omenjenih raziskavah sta uporabljeni naslednji porazdelitveni funkciji: Gumbel (FT-I) (Leder et al., 1998) in Weibull (Parunov et al., 2011), ni pa razloženo, zakaj taka izbira porazdelitev. Gotovo sta izbrani, ker sta primerni za ekstremne statistike in pogosto uporabljani (Leder, 2014).

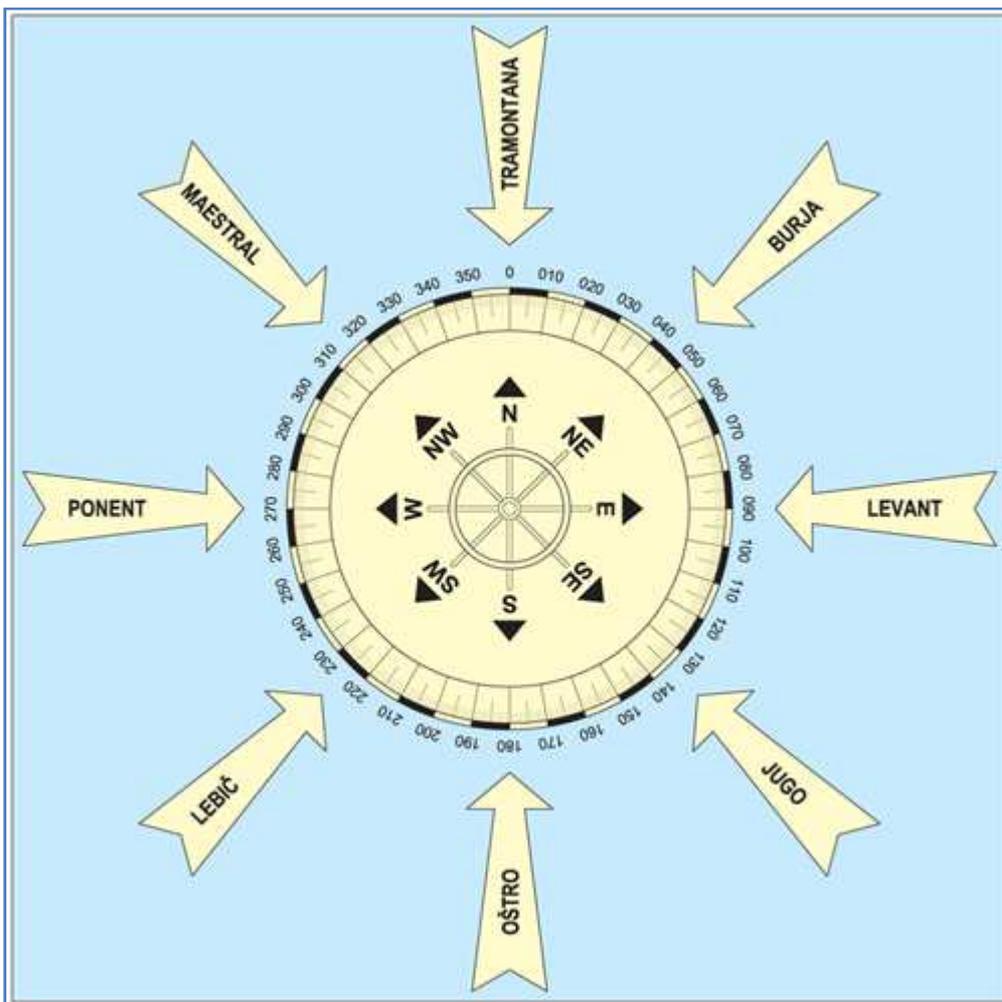
Na lokaciji blizu Ravene (44,5° S, 12,5° V) so za ekstremno analizo valov uporabili metodo najmanjših kvadratov (LSM), opravljena je bila primerjava med metodo letnih maksimumov (AMM) in metodo vrednosti nad določenim pragom (POT). Predlagane porazdelitve so bile Weibull, Gumbel (FT-I) in Frechet (FT-II). Najboljši korelacijski koeficient za AMM poda Gumbel, za POT pa Weibull. Metode zavrnitve niso bile izvedene. Trdijo tudi, da metoda AMM poda boljše približke za značilne višine s povratno dobo manj kot 40 let, POT pa za tiste s povratno dobo več kot 100 let (Martucci et al., 2010).

Razen zadnje, raziskave ne vsebujejo iskanja najbolj primerne kandidatke za porazdelitev populacije. Tudi pri raziskavi o projektni višini vala za Beneško laguno (Hurdle et al., 1995) ni omenjenega iskanja najbolj primerne porazdelitve.

2.2 Veter in vetrni valovi v Tržaškem zalivu

2.2.1 Smeri vetrov, vrste valov in lokacija Tržaškega zaliva

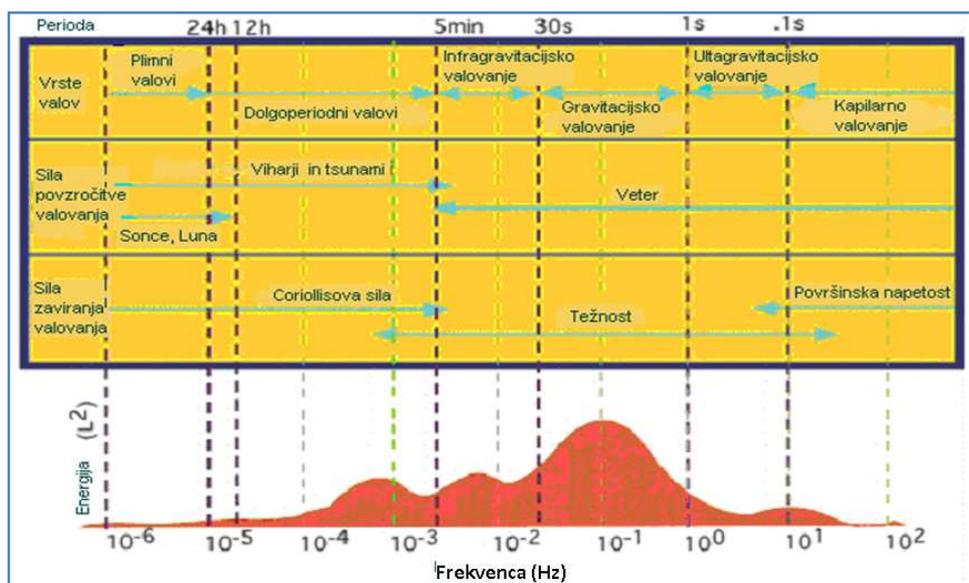
Podajamo poimenovanja smeri vetrov v Jadranu (Slika 1). Potrebno je poudariti, da je v različni literaturi odstopanje v poimenovanju vetrov iz različnih smeri.



Slika 1: Poimenovanja značilnih smeri vetrov v Jadranu (GIS, 2014a).

Osredotočamo se na vetrove in vetrne valove. Poleg vetrnih obstajajo še druge vrste valov (Slika 2), ki so lahko razdeljene v skupine glede na periodo, silo povzročitve in zaviranja valovanja. Podana je tudi približna porazdelitev valovne energije glede na silo povzročitve in zaviranja (Saksida, 2009b).

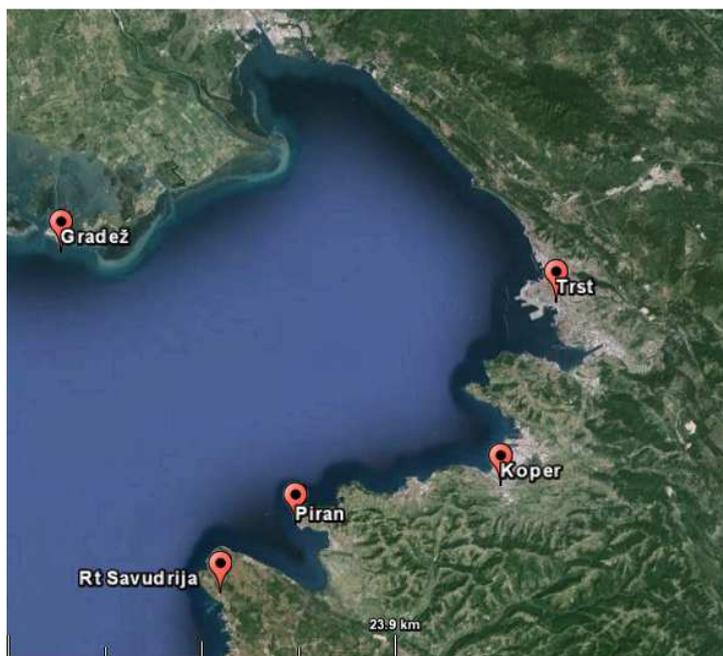
Če ni drugače navedeno, izraz valovna višina ali višina vala v diplomski nalogi pomeni značilno višino vala (ang. significant wave height), H_s . Pomen različnih valovnih višin je podan v poglavju 4.3.1.



Slika 2: Vrste valov glede na periodo, silo povzročitve in zaviranja ter porazdelitev valovne energije (Saksida, 2009b: str. 7).

Tržaški zaliv (Slika 3) je najsevernejši del Jadranskega morja. Sega od Gradeža na severu pa do savudrijskega rta na jugu. Najgloblji del pri piranski Puntji meri približno 38,4 metrov. Batimetrija Tržaškega zaliva je podrobneje prikazana v poglavju 4.4.3 (Slika 37). Globina je pomemben podatek, saj je od nje odvisna tako generacija kot rušenje valov. Višine valov so manjše in periode so krajše za določeno hitrost vetra in privetritšče v prehodni (ang. intermediate/transitional water) in plitvi vodi (ang. shallow water) kot v globoki vodi (ang. deep water) (Thoresen, 2003). Ko valovi dosežejo dovolj plitvo vodo, se zaradi vpliva dna zrušijo. Dno zavira spodnji del vala, zato ob vedno manjši globini oziroma ob bližanju obali greben vala prehiti telo vala in val se zruši.

Splošne značilnosti Tržaškega zaliva in slovenskega morja (vetrovi, tokovi, valovi, plimovanje, slanost, temperatura itd.) opisujejo med drugim Sirnik (2011), Saksida (2009a), Kolega (2006).



Slika 3: Tržaški zaliv. Kartografska podlaga je iz Google Zemlje (Google Inc., 2013).

2.2.2 Pregled preteklih analiz

Na podlagi podatkov boje Vide so Kavčič in Malačič (2008) ter Hladnik in Malačič (2011) v raziskavah med drugim analizirali valovanje in veter.

Sirnik (2011) na kratko opiše izrazite vetrove in povezavo z valovi: vetrovi, ki imajo največji vpliv na hidrodinamiko, so burja, jugo in občasno maestral. Burja je suh, mrzel in sunkovit veter iz smeri VSV. Piha skozi vse leto, predvsem pozimi. Jugo (ali široko) je topel in vlažen veter, ki piha iz smeri VJV in JJV. Jugo močno razburka morje, vendar pa so valovi pravilnejše oblike ter pri isti višini daljši od valov, ki jih povzroči burja. Zato se redkeje rušijo. Poleti je pomemben maestral, ki piha iz smeri ZSZ.

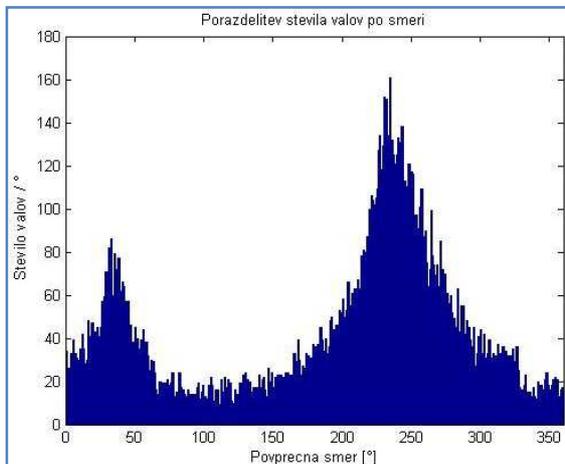
Saksida (2009a) je na kratko opisal ugotovitve o valovih iz poročila Kavčič in Malačič (2008). V nadaljevanju je kratek povzetek poročila Kavčič in Malačič (2008) s komentarjem. Potrebno je biti pozoren na to, da je jugo velikokrat mišljen kot veter iz smeri 180° in ne kot jugo, prikazan na sliki (Slika 1). Pojavil se je tudi dvom, da je ponekod napačno definirana smer valov.

Meritve valov so bile opravljene na boji Vidi. Podatki valov so merjeni od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008, podatki vetrov pa le za leto 2007. Kadar se primerja veter in valove, je to le za obdobje v letu 2007. Kavčič in Malačič pišeta: »Pri kotni porazdelitvi valov je opaziti dva vrhova pri 33° ter 231°, ki predstavljata valove pri dveh značilnih vetrovih burji in jugu« (Kavčič in Malačič, 2008: str. 17). V slednjem stavku so valovi definirani kot iz katere smeri se širijo, kar je pravilno. »Iz zgornje tabele (Preglednica 1) statističnih podatkov vetrov, razdeljenih po obeh značilnih vetrovih opazimo, da jugo ustvarja valove v smereh 20°-60° in so ti v povprečju približno dvakrat višji od valov, ko piha burja. V prvi vrstici tabele je zraven imena vetra v oklepaju podana tudi smer valov v stopinjah azimuta, smeri proti kateri potujejo valovi.« (Kavčič in Malačič, 2008: str. 17).

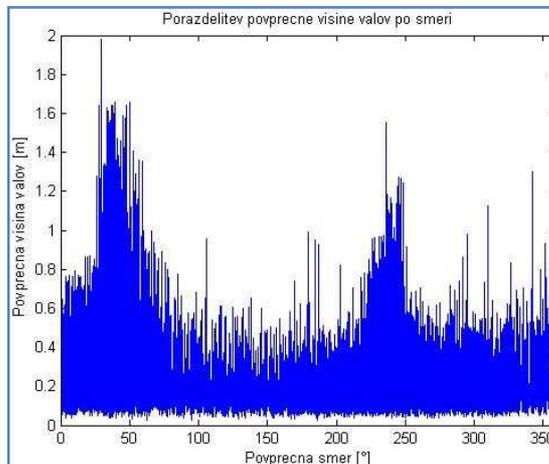
Preglednica 1: Podatki valov, razdeljeni glede na dve značilni smeri valov. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 17). Opomba: Za pravilno definicijo smeri valov bi morale veljati: smeri valov 20°-60° so posledica vpliva burje, 210°-270° pa juga. Potrebno je gledati na smer, iz katere se valovi širijo. Torej besedilo pred preglednico napačno definira smer valovanja.

	Smeri valov (20°-60°)			Smeri valov (210°-270°)		
	Značilna višina valov	Maksimalna višina vala	Povprečna perioda valov	Značilna višina valov	Maksimalna višina vala	Povprečna perioda valov
POVPREČJE	0.5086	0.7924	2.4502	0.2457	0.3759	2.1380
MEDIANA	0.5290	0.8205	2.5000	0.2000	0.3060	2.0700
MINIMALNA VREDNOST	0.0330	0.0510	1.4500	0.0360	0.0520	1.4500
STANDARDNA DIVIACIJA	0.3545	0.5564	0.5440	0.1629	0.2506	0.3816
MAKSIMALNA VREDNOST	1.9820	3.3090	4.2600	1.5530	2.2980	4.3100

Slednji stavek spremeni pomen smeri valov v smer v katero se ti širijo, torej naj bi bili najvišji valovi ob jugu. Kar je napačno, saj najvišje valove v resnici povzroči burja. Na histogramih (Slika 4 in Slika 5) je potrebno brati valove kot iz katere smeri se širijo.

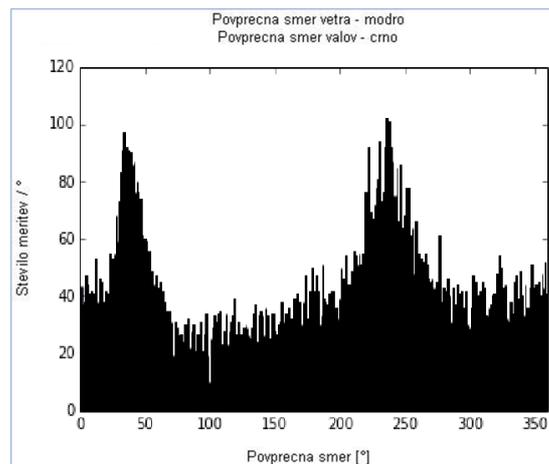


Slika 4: Histogram kotne porazdelitve valov (število valov iz smeri širjenja) za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 16).



Slika 5: Kotna porazdelitev višin valov za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Lokacija: boja Vida (Kavčič in Malačič, 2008: str. 16).

Iz poglavja 4. *Analiza valov* v poročilu (Kavčič in Malačič, 2008) so v diplomi podane nekatere preglednice in slike (Preglednica 1, Slika 4 in Slika 5, Slika 7, Slika 10, Slika 11). Če smer valovanja definiramo kot smer, iz katere se širijo valovi, je branje preglednice (Preglednica 1) in histogramov (Slika 4 in Slika 5) pravilno. Toda v omenjenem poglavju besedilo pravi, da je to smer, v katero se širijo valovi, kar je napaka. Trditev v tem odstavku lahko potrdimo s svojo analizo izvornih meritev boje za isto časovno obdobje. Maksimalna značilna višina vala (1,98) se zgodi ob burji.



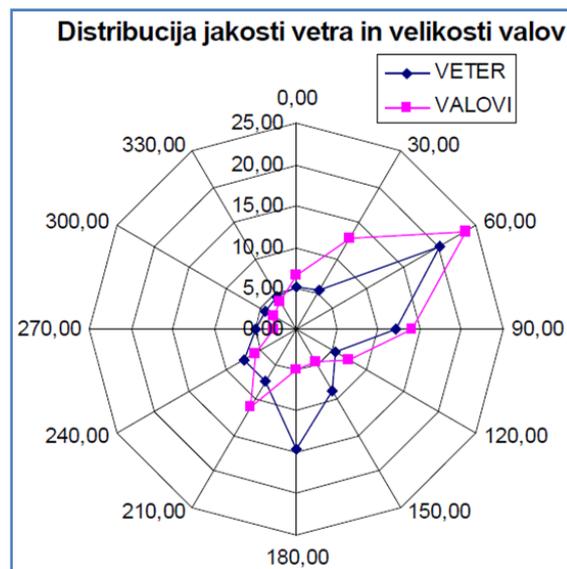
Slika 6: Histogram kotne porazdelitve valov (število valov iz smeri širjenja) glede na originalne podatke za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Izločene so smeri valov od 0° do 1°, saj so številčne (okoli 360) meritev v omenjeni smeri gotovo produkt napačne določitve smeri valov ob nizkem valovanju (manj kot 0,4 metra). Lokacija: boja Vida.

V poročilu (Kavčič in Malačič, 2008) je od poglavja 5. *Analiza vetrov z valovi* naprej smer valov preslikana čez izhodišče in definirana kot smer, iz katere se širijo valovi, kar je napačno.

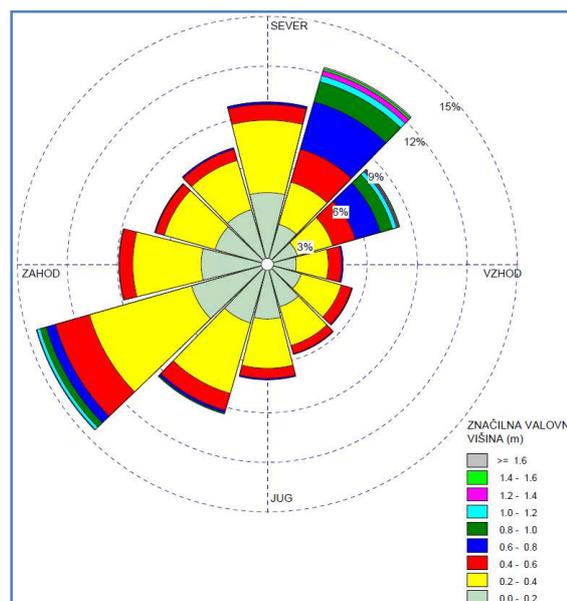
Primerjamo tudi roži valov (Slika 7 in Slika 8). Pri slednji (naša roža, isti podatki kot Slika 6), se pokaže, da pride do zamika valov od smeri vetra, ki jih generira. Prevladujejo valovi iz smeri 30° in 240°. Če to preslikamo preko izhodišča koordinatnega sistema, bi prevladale smeri 60° in 210°, kot kaže roža poročila (Slika 7). Besedilo, vezano na sliko v analizi trdi, da ob burji nastanejo valovi v isti smeri, kar pa ni res, saj pride do zamika. Študija Hladnik in Malačič (2011) (Slika 13) in naša raziskava v diplomski nalogi (Slika 22, Slika 28, Slika 32) prikazujeta še druge rože valov meritev na lokaciji boje Vide, kjer prevladujejo valovi iz smeri JV in ne SV. Tudi roža valov točke valovnega modela iz naše raziskave (Slika 25) na lokaciji Vide prikazuje enako situacijo.

Izkaže se, da je potrebno biti pozoren na to, kako je definirana smer valov. Oceanografijo zanima smer, kamor se valovi širijo, in ne smer, iz katere se le-ti širijo (Hladnik in Malačič, 2011). Toda pri primerjavi smeri vetrov in valov je bolje, če je smer definirana enako. Priprava in obdelava zabeleženih podatkov je torej občutljiv in zelo pomemben proces.

V poročilu (Kavčič in Malačič, 2008) značilna višina vala v Piranskem zalivu le v 1,27 % primerov preseže 1 meter. Maksimalni val pa le v 0,41 % preseže 2 metra.

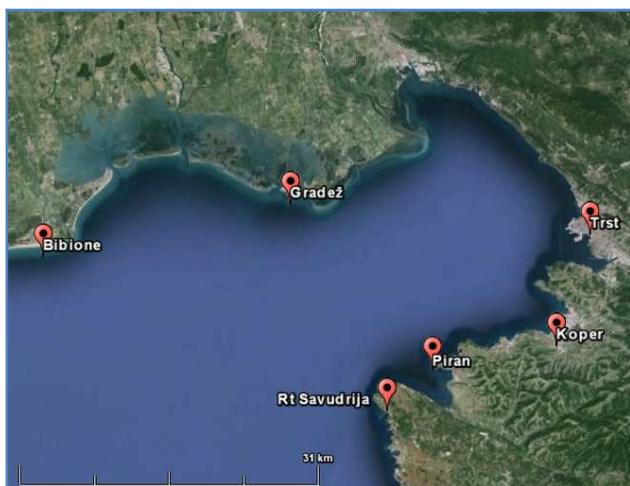


Slika 7: Distribucija (roža) jakosti vetra (od 1. 1. 2007 do 31. 12. 2007) in velikosti valov (od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008). Lokacija: boja Vide (Kavčič in Malačič, 2008: str. 42).

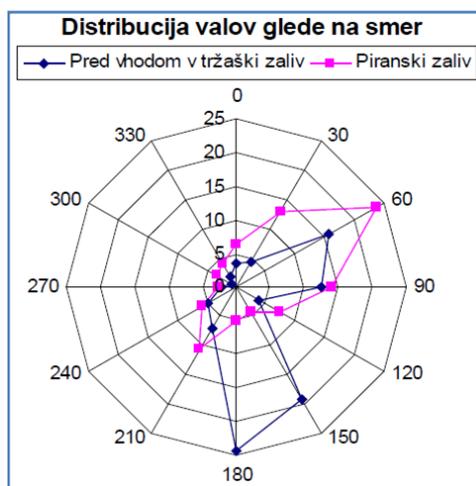


Slika 8: Roža valov merjenih podatkov boje Vide za obdobje od 1. 1. 2007 do 28. 4. 2008. Smer je določena kot smer, iz katere se valovi širijo. Smer od 0° do 1° ni izločena. Lokacija: boja Vide.

Poročilo (Kavčič in Malačič, 2008) poda tudi rezultate meritev z oceanografsko bojo Datawell Rider. Opravljene so bile meritve na vhodu v Tržaški zaliv med 7. 3. 2001 in 6. 11. 2003 v okviru italijanskega projekta Morski terminal za uplinjanje UZP Alpi Adriatico (ARSO (prev.), 2008). Boja se je nahajala na poziciji $45^{\circ} 34.00' S$ in $13^{\circ} 15.00' V$ (na polovici zveznice med Savudrijo in Bibionejem, Slika 9). Podatki žal niso bili merjeni v istem časovnem obdobju kot podatki, merjeni z oceanografsko bojo v Piranskem zalivu, zato bi bila boljša primerjava podatkov v istem časovnem obdobju. Slika 10 prikazuje kotne porazdelite valov pred vhodom v Tržaški zaliv in v Piranskem zalivu. Roža valov je ista, kot jo prikazuje Slika 7 (magenta), torej je smer tudi v tem primeru zagotovo napačno definirana.



Slika 9: Tržaški zaliv z lokacijo Bibioneja (Google Inc., 2013).



Slika 10: Distribucija valov glede na smer. Lokacija: boja Vida (magenta) in pred vhodom v tržaški zaliv (modra) (Kavčič in Malačič, 2008: str. 40).

Pred vhodom v Tržaški zaliv glede na distribucijo valov (Slika 10, modra) prevladujejo valovi iz smeri oštra in juga. Predvidevamo, da bi morali valovi prihajati iz podobne smeri kot veter ali pa so posledica mrtvih valov (ang. swell).

V obdobju merjenja valov pred vhodom v Tržaški zaliv distribucija valov pokaže, da značilno visoki valovi v 7,74 % presežejo značilno višino vala 1 meter, kar je več od podatka za Piranski zaliv (1,27 %). To je tudi pričakovano zaradi vpliva reliefa, saj je Tržaški zaliv zaprt (Kavčič in Malačič, 2008).

V okviru italijanskega projekta Morski terminal za uplinjanje UZP Alpi Adriatico so podani tudi podatki o vetru. Slika 11 prikazuje rožo vetrov iz italijanskega projekta. Žal lokacija merjenja vetra ni podana in obstaja velika verjetnost, da ni ista kot v primeru merjenja valov (Kavčič in Malačič, 2008).

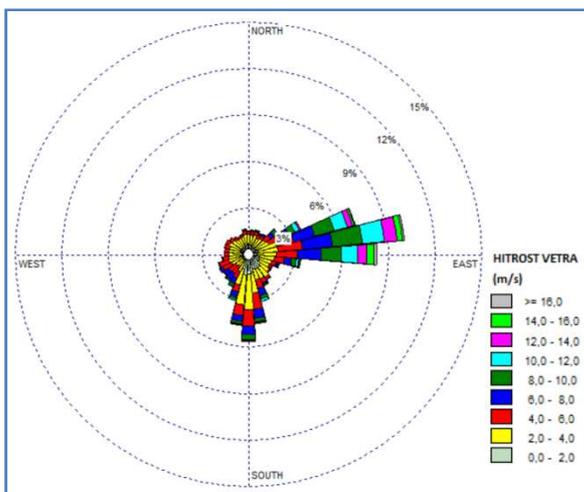
V diplomu smo ugotovili, da katerakoli boja tipa Datawell Waverider ne meri vetra (glede na informacije na spletni strani podjetja Datawell BV (2014)). Kavčič in Malačič (2008) ter Malačič et al. (2008) trdijo, da je povezava med valovi in vetrovi zelo problematična. Veter iz jugozahodne smeri je šibko zastopan. Pri primerjavi s porazdelitvijo valov (modra) po smereh (Slika 10) je vidno, da ta nima zveze z vetrovno rožo (Slika 11) oziroma da so bili podatki meritev vetra pridobljeni na lokaciji, ki nikakor ne more biti reprezentativna za meritve valov na povsem drugi lokaciji.



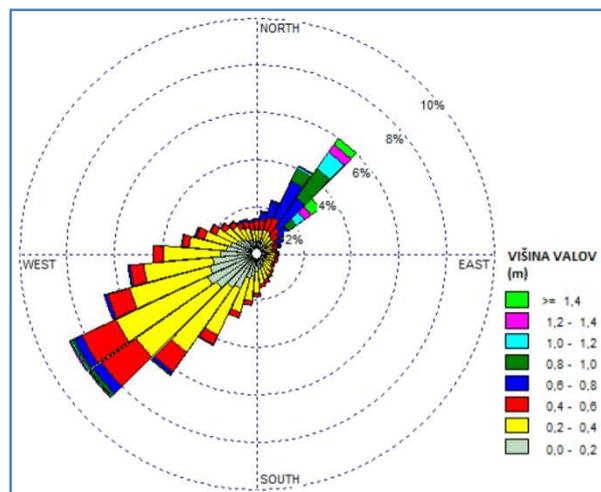
Slika 11: Distribucija vetra glede na smer; lokacija merjenja ni podana (Kavčič in Malačič, 2008: str. 39).

V nadaljevanju je podan kratek povzetek študije (Hladnik in Malačič, 2011) s komentarjem. Opravljena je bila analiza povezave med vetrovi in valovi za obdobje od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 za podatke z boje Vide. V tej analizi so poimenovanja vetrov korektna (Slika 1).

Slika 12 in Slika 13 prikazujeta rožo vetrov in valov. Prikazujeta iz katere smeri piha veter oziroma se širijo valovi (Hladnik in Malačič, 2011).



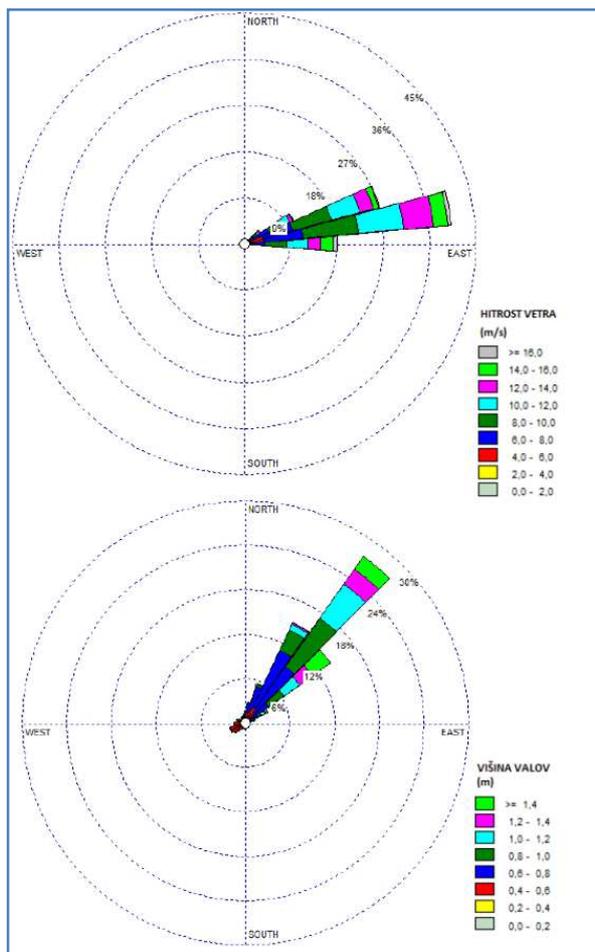
Slika 12: Roža vetrov za celotno obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (Hladnik in Malačič, 2011: str. 3).



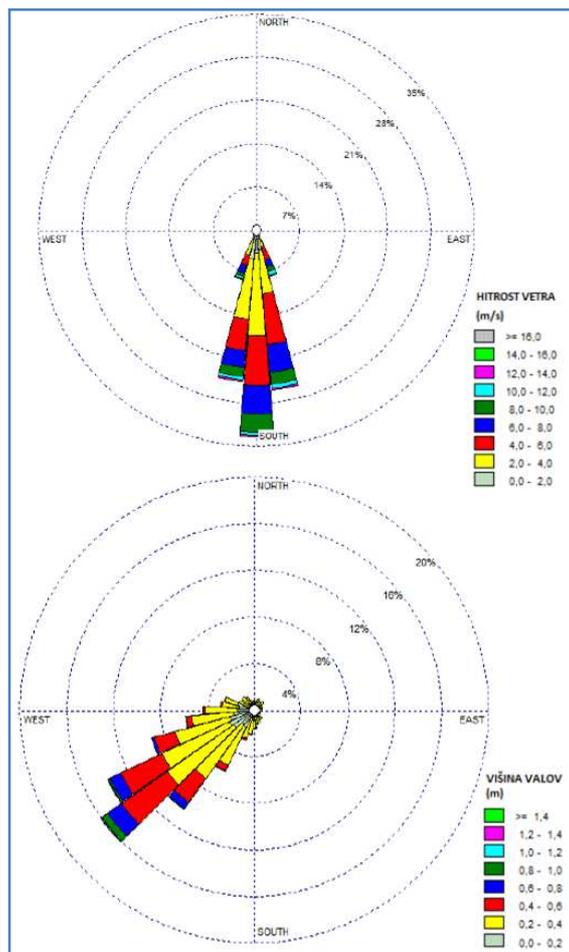
Slika 13: Roža valov za celotno obdobje meritev od 20. 6. 2008 do 9. 2. 2011 (36 smeri) (Hladnik in Malačič, 2011: str. 3).

Iz obdelave vseh podatkov se vidi, da se maksimumi izmerjenih vetrov pojavljajo ob burji, oštru in lebiču (glej naslednjo stran). Slednji na roži vetrov ne izstopa (Slika 12) (Hladnik in Malačič, 2011).

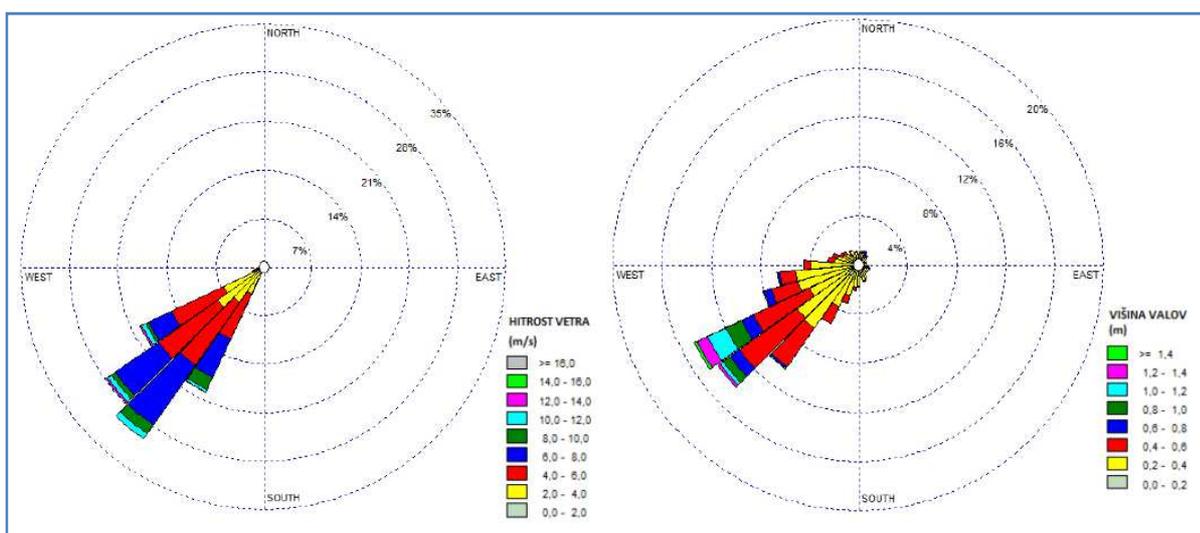
Slika 14, Slika 15 in Slika 16 prikazujejo porazdelitve burje, oštra in lebiča s pripadajočimi valovi (Hladnik in Malačič, 2011).



Slika 14: Zgornja slika prikazuje vetrovno rožo burje za celotno obdobje meritev, spodnja pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 5).



Slika 15: Zgornja slika prikazuje vetrovno rožo oštra za celotno obdobje meritev, spodnja pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 6).

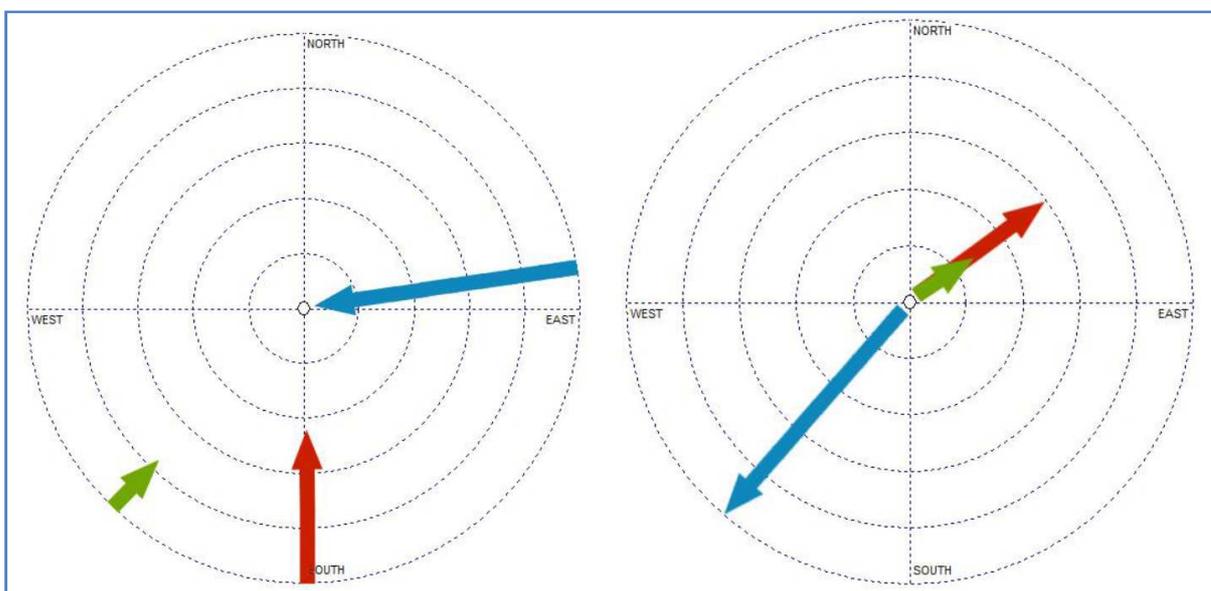


Slika 16: Leva slika prikazuje vetrovno rožo lebiča za celotno obdobje meritev, desna pa rožo valov za isto vetrovno situacijo (Hladnik in Malačič, 2011: str. 7).

Slika 13 potrjuje, da je v poročilu Kavčič in Malačič (2008) možna napačna določitev smeri valov, saj prevladujejo valovi iz JV.

V primeru lebiča so valovi v povprečju podobno visoki kot v primeru oštra, imajo pa višje ekstremne valove. Analiza pokaže tudi, da so valovi v primeru oštra precej nižji kot pri burji. Ob prisotnosti burje se valovi širijo v smereh med 213° in 227° , ob prisotnosti oštra v smereh med 48° in 60° in ob prisotnosti lebiča v smereh med 49° in 62° (Hladnik in Malačič, 2011).

Med smerjo burje in smerjo oštra je kot 90° , medtem ko je med smerjo valov, ki jih povzročata ta vetrova, kot 180° . Valovi, ki so generirani z lebičem, se po smeri skorajda ne razlikujejo od smeri valov, ki so generirani z oštrom. Slika 17 prikazuje razmerja smeri vetrov in valov (Hladnik in Malačič, 2011). V primeru oštra je smer valov zamaknjena vsaj za 45° proti zahodu. Vzrok tega je uklon valov okoli savudrijskega rta.



Slika 17: Puščice na levi sliki prikazujejo pihanje burje (modra), oštra (rdeča) in lebiča (zeleni), puščice na desni sliki pa smeri širjenja valov ob pihanju burje (modra), oštra (rdeča) in lebiča (zeleni). Dolžine puščic pomenijo pogostost (Hladnik in Malačič, 2011: str. 16).

2.2.3 Pomen preteklih analiz za oceno projektne višine vala

Glede na podane opise in analize o vetrovih in vetrnih valovih v Tržaškem zalivu lahko trdimo, da so za dolgoročno analizo oziroma napoved višine valov najbolj pomembni valovi, ki jih povzročijo burja, oštro in lebič. Ti vetrovi generirajo najvišje valove. Zato je potrebno v primeru analize preteklih dogodkov (ang. hindcast) valov v bodoče upoštevati ekstremne dogodke z omenjenimi vetrovi. Pozornost bi bilo verjetno potrebno nameniti tudi razmeram, ko oštro preide v lebič.

Zaradi preteklih analiz, opisanih v prejšnjem poglavju, vemo tudi, kakšni bi morali biti rezultati (izračuni) napovednega valovnega modela. Predvidevamo lahko tudi, da bi bilo za oceno projektne višine vala verjetno potrebno analizirati podatke o valovih v primeru burje posebej, podatke oštra in lebiča pa skupaj.

Glede na opis vetrov s spletne strani Navtični-tečaji.si (Hozjan, 2014) bi bilo potrebno biti pazljiv še na valove ob tramontani in maestralu, ki jih v preteklih analizah vetrov in vetrnih valov omeni le Sirnik (2011). Sicer opisa veljata na splošno za celoten Jadran, kar pa ne izključuje podobnega vpliva tudi v Tržaškem zalivu.

2.3 Klimatske spremembe na območju Jadranskega morja

Analiza ekstremnih valov temelji na predpostavki, da v življenjski dobi konstrukcije ne pride do klimatskih sprememb. Zato v nalogi pregledamo tudi opravljene raziskave o klimatskih spremembah na območju Jadranskega morja. Te večinoma trdijo, da ni dokaza za klimatske spremembe oziroma da bolj kaže na znižanje pogostosti in intenzivnosti neviht in neurnih valov (ang. storm surge) ter posledično tudi višin valov. To velja na splošno za celotno Jadransko morje, seveda pa se lahko pojavijo posebna lokalna odstopanja.

V preteklosti je bilo opravljenih veliko analiz klimatskih sprememb za območje Jadranskega morja.

Matulla et al. (2012) so opravili analizo pogostosti neviht za severno Italijo in Jadransko morje od leta 1760. Največja stopnja pojava neviht je od leta 1880 do leta 1920. Od leta 1880 do leta 1910 se pogostost neviht najhitreje povečuje. Pozneje se stopnja pojava neviht počasi povečuje in doseže višek leta 1940. Od leta 1960 pogostost neviht veliko ne odstopa od povprečja. Trdijo, da v severni Italiji in v severnem Jadranu ni vidnega antropogenega vpliva na podnebje. To pa ne pomeni, da se število neviht v 21. stoletju ne bo povečalo. Lahko pa predvidevamo, da do večjih sprememb v stopnji pojava neviht ne bo prišlo.

Glede na letna povprečja značilne višine vala za severno Jadransko morje Martucci et al. (2010) ugotavljajo, da se je od leta 1960 do 1977 zmanjševala, potem pa do 1999 zviševala.

Lionello et al. (2012b) so opravili simulacije za nevihte beneške obale za obdobje od 2071 do 2100. Analizirali so rezultate neurnega vala in vetrnih valov. Raziskava ne poda prepričljivega dokaza o bolj nevihtnih pogojih v prihodnosti. Nekateri modeli kažejo na enako stopnjo, drugi pa na večjo. Kaže tudi, da globalne podnebne spremembe nimajo vpliva na nevihtnost v severnem Jadranu. Ugotovljajo še, da je v primeru klimatske spremembe vpliv na višino valov drugačen kot na višino neurnega vala. Tudi Benetazzo et al. (2012) opravijo simulacijo valov v prihodnosti za obdobje od 2070 do 2099. Na splošno naj bi se ekstremne valovne višine za celotni Jadran nekoliko zmanjšale. Še zmeraj pa se lahko pojavijo lokalna zvišanja, saj je sprememba višin valov najbolj odvisna od sprememb lastnosti burje in juga.

Lionello et al. (2012a) trdijo, da analiza podatkov kaže na postopno milejše nevihte v drugi polovici 20. stoletja (podatki od 1960 do 2007 za neurni val), kar nakazuje, da bi se naj trend milejših neviht še

nadaljeval. Obdobje podatkov meritev višine valov je krajše (od 1979 do 2007), zato njihova ugotovitev, da naj bi se višine valov nižale, ni zanesljiva.

Lionello (2012) v raziskavi ugotovi, da se trend nevihtnosti ne spreminja dolgoročno, ampak prihaja le do večjih letnih variabilnosti. Določen je tudi povprečni letni dvig gladine severnega Jadranskega morja, in sicer 1,1 mm na leto. Za gotovo oceno bi bilo potrebno ponovno preveriti hitrost posedanja Beneške lagune. Trenutno velja, da se centralni del ne pogreza (tam tudi merijo gladino). Tudi na mareografski postaji Koper je ugotovljen dvig gladine morja za 1 mm na leto (Ličer et al, 2014).

Raicich (2003) v raziskavi zaključí, da se ne glede na to, da se povprečni ekstremni neurni valovi zmanjšujejo, ekstremne anomalije (npr. poplave) ne zmanjšujejo zaradi višanja gladine morja.

Glede na pregledane analize lahko torej povemo, da vsa povprečja let ne kažejo na dolgoročno spremembo pogostosti in intenzivnost neviht, neurnih valov ali višin valov, letne variabilnosti pa so večje. Kar pa se zagotovo spreminja, je nivo morske gladine severnega Jadranskega morja, ki narašča za 1,1 mm na leto.

3 PREGLED VHODNIH PODATKOV IN ANALIZA VETROVNE IN VALOVNE KLIME

3.1 Uvod

Preden izvedemo analizo ekstremnih valov, je potrebno preveriti, ali so vhodni podatki pravilni in smiselni. Če prihaja do večjih odstopanj, je potrebno podatke izločiti. Ob analizi vhodnih podatkov dobimo pregled nad vetrovno in valovno klimo v Tržaškem zalivu. Primerjamo tudi sočasne podatke boje Vide in točke 6 valovnega modela (Slika 18).

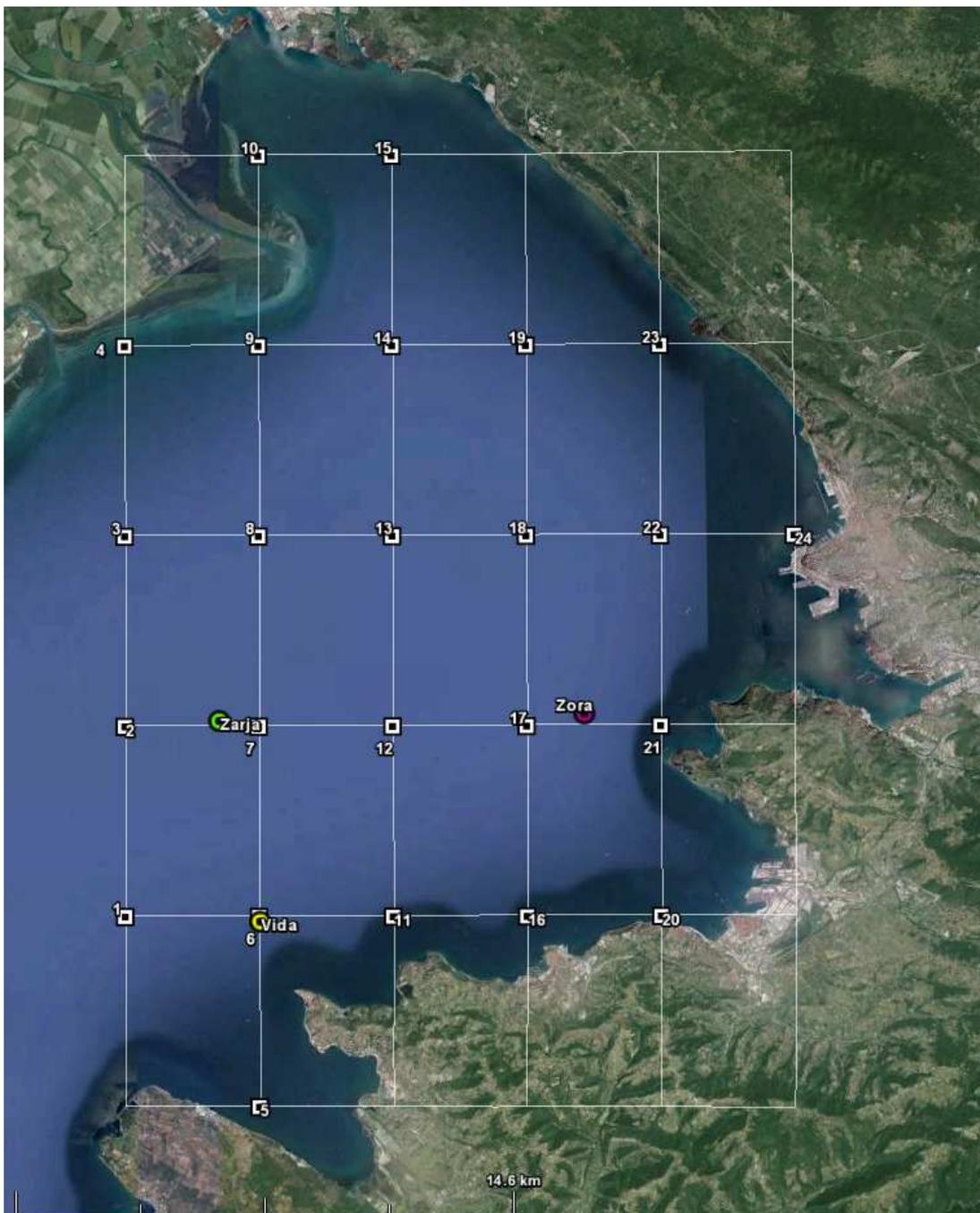
Vira podatkov za oceno projektne višine vala sta numerični valovni model WAM na Univerzi v Atenah in boja Vida pred Piranskim zalivom. Za prvi sočasni pregled merjenih valovnih podatkov in strukturnih razmerij (linearne regresije) različnih lokacij v Tržaškem zalivu med seboj primerjamo tudi podatke boj Vide, Zore in Zarje (poglavji 3.7 in 5.2.1).

Celotni vzorec valov boje in valovnega modela je časovno usklajen, saj pridobljen zapis podatkov boje Vide ni podan v istem časovnem pasu.

3.2 Oceanografska boja Vida in numerični napovedni valovni model WAM

Realno merjeni podatki (in-situ) so zabeleženi z oceanografsko bojo Vido na koordinatah $45^{\circ} 32' 55,68''S$, $13^{\circ} 33' 1,89''V$ pred piransko Punto (Rt Madona). Vida meri valove od 20. 6. 2008 pa vse do danes, z nekaterimi prekinitvami (vrzeli) zaradi okvar, vzdrževanja itd. Zapis posredovanih podatkov iz MBP je v slovenskem lokalnem času: UTC + 01:00 za zimski in UTC + 02:00 za poletni čas. Podatke smo pretvorili na čas valovnega modela UTC + 00:00. Na isti lokaciji je bila pred Vido preizkusna boja. Ta je delovala od 20. 9. 2006 do 28. 4. 2008. Zapis podatkov preizkusne boje je v času UTC + 00:00. MBP je posredovala vse razpoložljive podatke od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010. V nadaljevanju se izraz boja Vida uporablja za vse podatke, zbrane na tej lokaciji.

Preglednica 3 prikazuje koordinate in globine vseh treh boj (Vide, Zore in Zarje, slednji delujeta od leta 2014). Slika 18 prikazuje lokacije boj skupaj z oštevilčenimi točkami valovnega modela WAM.

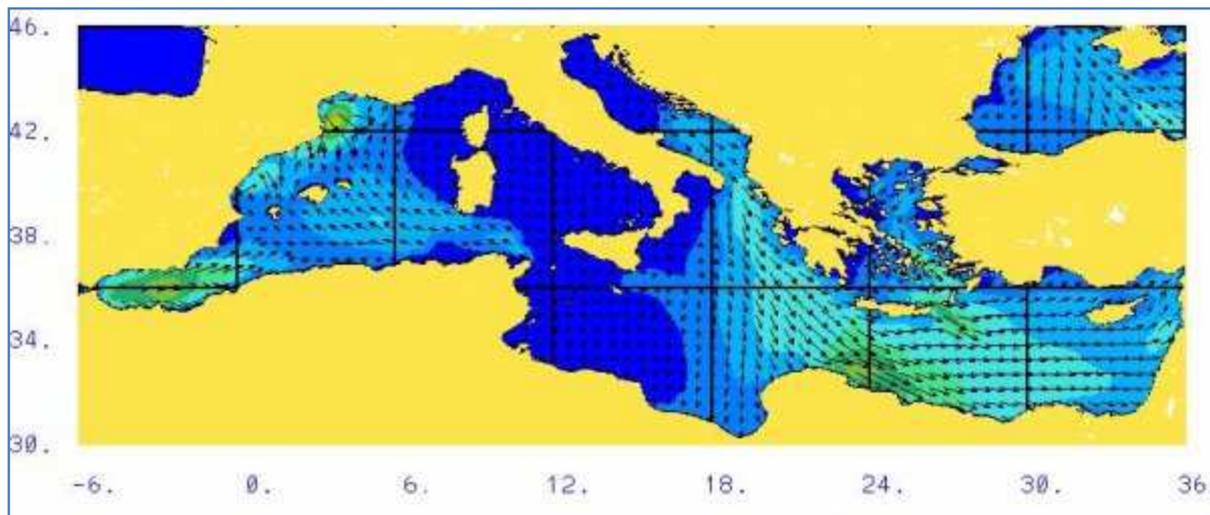


Slika 18: Lokacije boj Vide, Zore in Zarje (rumena, vijolična, zelena). Z belimi kvadrati so označene računske točke valovnega modela WAM.

Numerični napovedni valovni model (ali na kratko valovni model) skupine za atmosferske simulacije in vremenske napovedi Univerze v Atenah je zasnovan na podlagi ECMWF verzije WAM modela (4. cikel). Je valovni model tretje generacije, ki računa spekter naključnih kratkih vetrnih valov. Valovni spekter opiše odvisnost spektralne gostote valov, oziroma porazdelitve energije od frekvence (Slika 2). Zaradi svojih lastnosti je WAM eden izmed najbolj popularnih in preizkušenih valovnih modelov. V delovanju sta dva modela: za vsa svetovna morja in za Sredozemsko morje (AM&WFG, 2014). Preglednica 2 podaja značilnosti valovnega modela za Sredozemlje. Pokritost Sredozemskega modela prikazujeta Slika 19 in Slika 20. Slednja prikazuje območje Jadranskega morja.

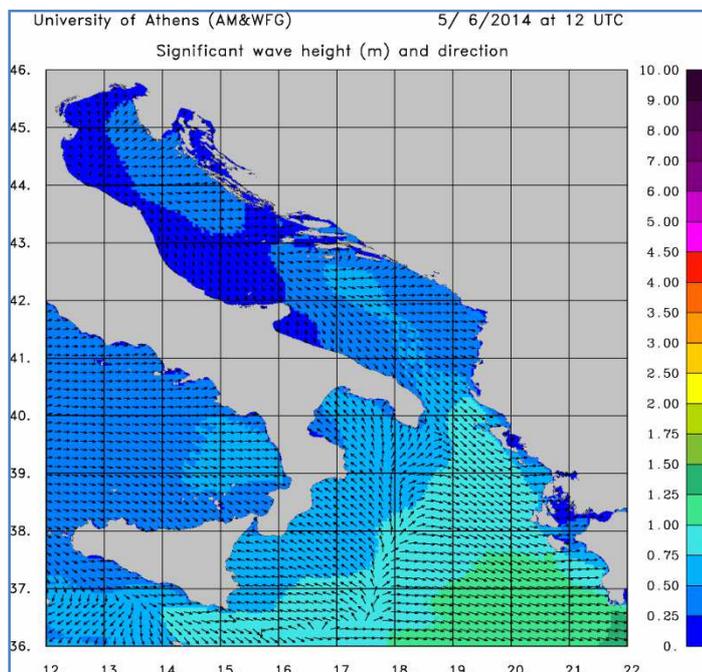
Preglednica 2: Značilnosti valovnega modela za Sredozemsko morje. Napoved valovnega modela je dosegljiva na: <http://forecast.uoa.gr/wamindx.php> (AM&WFG, 2014).

Vhodni podatki				Izhodni podatki (rezultati)	
pokritost modela	resolucija	vhodni veter in resolucija	batimetrija	napoved vnaprej za	prikazani izhodni podatki
6Z - 42V 30S - 48 S	0,05° x 0,05°	SKIRON (urni) 0,05° x 0,05°	NDBC 0,05°	60 ur	značilna višina vala (m) in smer (°), višina mrtvih valov (swell, m), pričakovana maksimalna višina valov (m) in smer (°)



Slika 19: Pokritost valovnega modela za Sredozemsko morje (AM&WFG, 2014).

Slika 18 prikazuje oštevilčenje računskih točk valovnega modela (beli kvadrati). Vetrovni podatki za model WAM so rezultati vremenskega modela SKIRON. Rezultati v 24 točkah (Slika 18) so osnova za izračun projektne višine vala. Podani so s časovnim korakom ene ure od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 po univerzalnem koordiniranem času (UTC + 00:00). Preglednica 3 prikazuje koordinate in globine računskih točk modela in boj Vide, Zore in Zarje.



Slika 20: Valovni model Sredozemskega morja za področje Jadranskega morja. Prikazana je napoved za značilne višine valov in smeri za 5. 6. 2014 ob 12:00 po univerzalnem koordiniranem času (UTC – mešanica francoskega izraza *temps universel coordonné* in angleškega izraza *coordinated universal time*) (AM&WFG, 2014).

Preglednica 3: Geografska širina in dolžina ter globina računskih točk valovnega modela in boj v Tržaškem zalivu. *Koordinate računске točke 6 so skoraj identične koordinatam boje Vide, zato za primerjavo prostorska linearna interpolacija ni potrebna.

Številka računске točke/ime boje	geografska širina	geografska dolžina	(računska) globina
	°	°	m
1	45,55	13,50	19
2	45,60	13,50	20
3	45,65	13,50	12
4	45,70	13,50	2
5	45,50	13,55	5
6*	45,55	13,55	19
7	45,60	13,55	21
8	45,65	13,55	18
9	45,70	13,55	6
10	45,75	13,55	2
11	45,55	13,60	22
12	45,60	13,60	22
13	45,65	13,60	21
14	45,70	13,60	13
15	45,75	13,60	6
16	45,55	13,65	18
17	45,60	13,65	16
18	45,65	13,65	20
19	45,70	13,65	15
20	45,55	13,70	2
21	45,60	13,70	18
22	45,65	13,70	23
23	45,70	13,70	6
24	45,65	13,75	2
Vida	45,5488	13,5505	22
Zora (BOBER1)	45,6033	13,6717	21
Zarja (BOBER2)	45,6016	13,5354	21

3.3 Pregled podatkov boje Vide

Z boje Vide so v polurnem časovnem koraku pridobljeni naslednji podatki: značilna višina valov (m), srednja perioda valov (s), srednja smer valov (°), povprečna hitrost vetra (m/s), povprečna smer vetra (°), maksimalna hitrost vetra (m/s) in smer maksimalne hitrosti vetra (°). Valovi so v polurnem intervalu merjeni 1024 sekund (~17 minut) z vzorčevanjem vsako sekundo (Kavčič in Malačič, 2008). Podatki za veter so povprečno in maksimalno izmerjeni podatki (hitrost in smer) v 30-minutnem intervalu.

Za Tržaški zaliv je značilno, da so valovi večinoma lokalni vetrni valovi in da je malo vpliva mrtvih valov (ang. swell). Za odkritje potencialnih napak v meritvah značilne višine vala se med seboj primerja parametre, našete v prejšnjem odstavku. Najprej se preveri nenadne, ostre dvige značilne višine vala. Pri slednjih se osredotoči na razmerje med povprečno hitrostjo vetra in značilno višino vala. Če je razmerje ob visokem valu neobičajno nizko, se to smatra kot potencialna napaka v meritvah. Preglednica 4 podaja potencialne napake v meritvah valovanja, ki so pozneje tudi izločene iz nadaljnje obdelave.

Preglednica 4: Potencialne napake v meritvah valovanja boje Vide, ki so tudi izločene. Valovni podatki z * so bili že označeni kot napake v Kavčič in Malačič (2008). Čas je podan v formatu UTC + 01. Valovni podatki v tabeli so bili izločeni iz nadaljnje analize.

datum in čas začetka meritev intervala	značilna višina valov	srednja perioda valov	srednja smer valov	povprečna		smer		
				hitrost vetra	povprečna smer vetra	maksimalna hitrost vetra	maksimalne hitrosti vetra	
	m	s	°	m/s	°	m/s	°	
06.02.07 06:30	0,93	1,71	289,87	1,18	160,08	2,23	129,29	*
04.03.07 09:30	0,95	1,71	236,33	2,58	344,95	3,49	319,51	*
04.05.07 13:00	0,97	1,71	16,59	5,35	69,97	6,73	81,69	*
12.05.07 19:30	0,74	8,97	150,93	2,13	200,94	2,70	201,12	*
09.07.07 05:30	0,94	1,70	233,28	2,28	243,11	3,57	224,28	*
08.11.07 10:30	0,82	3,97	162,90	1,98	263,35	3,08	241,98	
29.12.07 14:00	0,91	1,70	354,18	2,47	227,88	3,40	215,25	*
05.01.08 03:30	0,95	1,70	24,28	3,15	58,78	4,36	63,86	*
13.01.08 04:00	0,96	1,73	191,43	5,09	62,52	6,38	72,07	*
24.02.08 10:30	0,93	1,70	88,12	2,72	217,77	4,32	226,86	*
21.03.08 09:00	1,55	2,40	231,84	9,95	182,91	14,15	181,82	*
03.04.08 20:00	0,99	1,72	339,11	9,10	69,48	11,11	66,28	*
03.08.08 08:00	0,94	1,69	97,78	0,07	173,87	1,64	251,31	
19.11.08 20:00	0,93	1,70	87,93	1,91	202,74	3,25	197,74	
10.12.08 06:00	0,97	1,70	139,53	4,29	34,55	6,45	39,23	
28.01.09 20:30	0,97	1,71	273,28	4,30	74,65	5,88	65,98	
28.02.09 17:00	0,91	1,70	119,57	1,97	97,09	2,72	93,39	
23.03.09 13:00	0,92	1,72	301,80	3,67	272,75	4,81	260,86	
21.05.09 12:00	0,92	1,70	8,72	3,64	281,11	5,25	289,70	
27.06.09 07:00	0,38	5,76	320,82	1,87	60,08	2,75	43,83	
02.02.10 17:30	0,91	1,70	15,03	2,76	169,45	4,22	155,44	
15.03.10 13:00	0,92	1,71	350,86	2,73	263,60	4,35	264,30	
27.07.10 06:30	0,93	1,70	32,04	1,12	172,42	1,84	188,57	

Napake označene z * sta opazila že Kavčič in Malačič (2008). Prepoznala sta jih po tem, da je bila značilna višina vala višja od maksimalne višine vala. Mnogo nenadnih dvigov višin vala je na okoli 0,9 metra s periodo okoli 1,7 sekunde. V nadaljevanju v poglavju 3.7 pri primerjavi sočasnih meritev Vide, Zore in Zarje naletimo na 3 podobna zabeleženja boje Vide. Zora in Zarja ne pokažeta nobenega

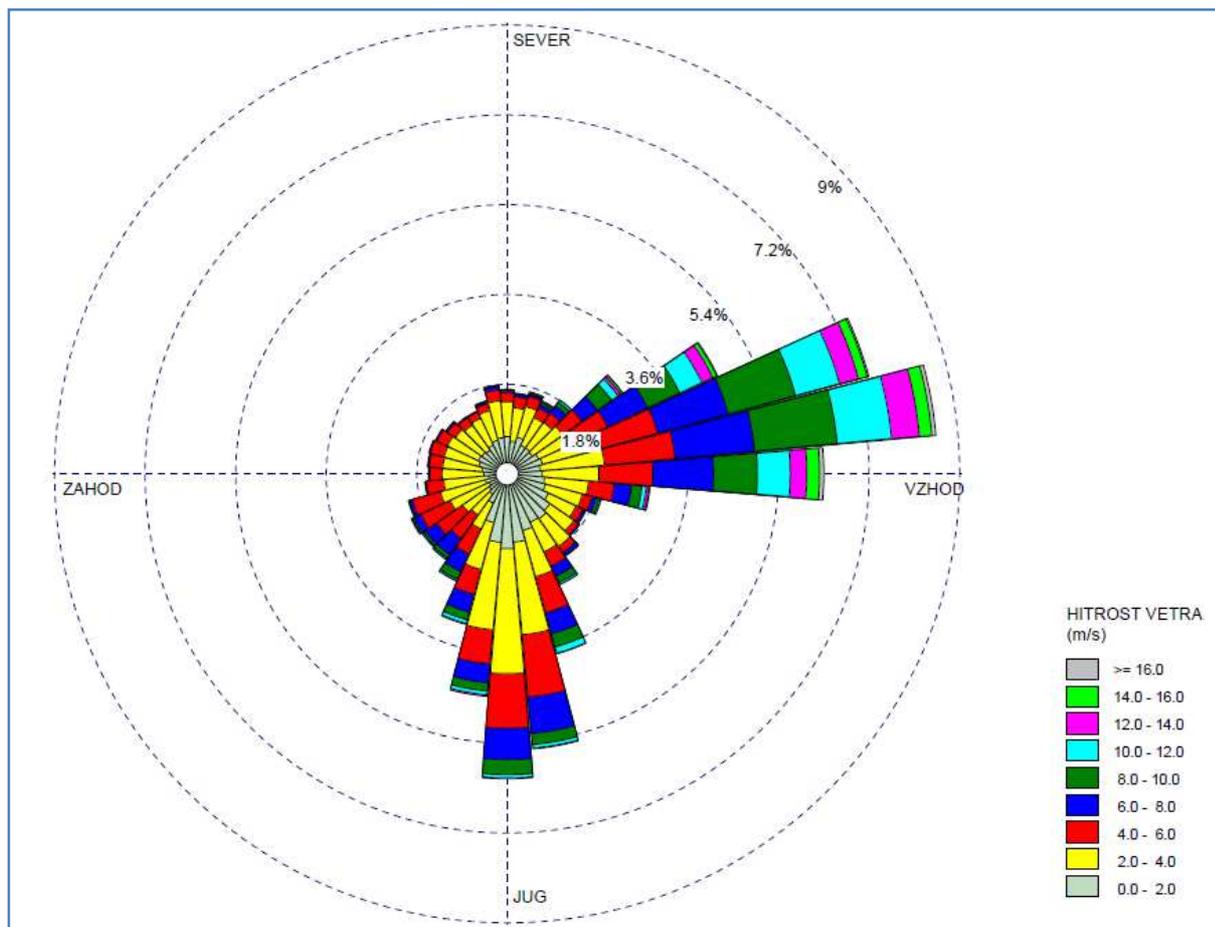
posebnega dviga v višini vala. Zato so meritve (značilna višina vala, smer valovanja in perioda) z nenadnim dvigom vala na okoli 0,9 metra s periodo 1,7 sekunde definirane kot napake in izločene iz nadaljnje obdelave podatkov. Možnost povzročitve takega dviga vala s plovilom je izločena, saj je meritev posameznega podatka predolga. Gotovo prihaja do napake pri določenih pogojih v meritvah inštrumenta AWAC, ki je pritrjen na dno tik pod bojo Vido in med drugim meri tudi valovanje (Jeromel, 2014).

27. 06. 09 je zabeležena perioda vala 5,76 sekund, kar je glede na dokaj mirno morje nerealno. Zato se valovni podatki v tem času izločijo. 12. 5. 07 je zabeležena srednja perioda vala 8,79 sekunde. Ta rezultat je nerealen za območje Tržaškega zaliva. To bi bilo mogoče le ob res ekstremnem valovanju. Take periode so pojavljajo na odprtih morjih ali oceanu. Preglednica 4 podaja valovne podatke (višina, perioda in smer), ki so izločeni iz nadaljnjih analiz. Vzroki napak v diplomskem delu niso raziskani.

Če bi boja delovala brez prekinitev, bi bilo v obdobju med 20. 9. 2006 in 31. 12. 2010 75045 meritev. Zaradi izločitev 23 napak (Preglednica 4) in nedelovanja (18267 meritev) manjka 24 % podatkov. Torej je zajetih le 56755 podatkov za značilne višine vala. Preglednica s časovnimi obdobji nedelovanja meritev valovnih podatkov boje Vide je prikazana v Prilogi A.

V nadaljevanju so podane rože vetrov in valov, ki so izrisane s programom WRPLOT View (Lakes Environmental Software, 2011). Kratek opis uporabe programa v slovenščini sta podala Hladnik in Malačič (2011). Vse smeri valov in vetrov so podane kot smeri, iz katerih piha veter oziroma se širijo valovi.

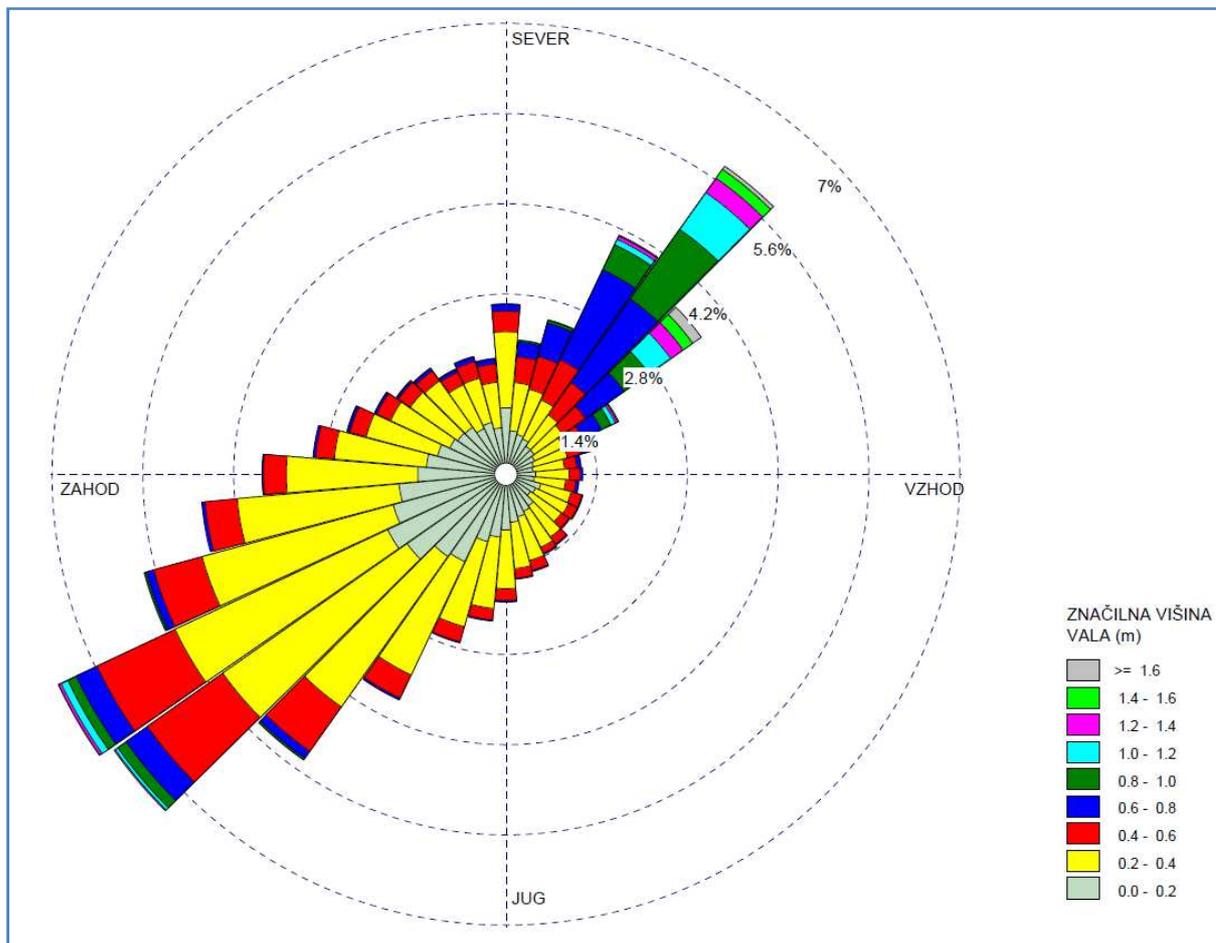
Slika 21 prikazuje rožo povprečne hitrosti vetrov za podatke od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010, toda le takrat, ko so bili merjeni tudi valovni podatki, manjka namreč 24 % podatkov v podanem časovnem intervalu. 100 % na roži predstavlja upoštevane podatke in ne zajema 24 % neizmerjenih in izločenih podatkov.



Slika 21: Roža povprečne hitrosti vetrov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.

Prevladujejo vetrovi burje, levanta in oštra. Ti vetrovi pogosto presežejo hitrost 10 m/s, veter iz drugih smeri pa le redko. Omeniti velja le lebič, ki kot je omenjeno v študiji (Hladnik in Malačič, 2011), nekajkrat preseže hitrost 10 m/s. Zaradi majhne zastopanosti vetra iz te smeri valovi lebiča na roži niso opazni. 7 % vetrov ima hitrost večjo od 10 m/s, 58 % vetrov pa ima hitrost manj kot 4 m/s. Primerjava burje in levanta glede na oštro pokaže, da prva dva večkrat pihata močneje, včasih tudi s hitrostjo nad 14 m/s.

Slika 22 prikazuje rožo značilnih višin valov za obdobje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.



Slika 22: Roža značilne višine valov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.

Na sliki 22 je dobro viden zamik smeri valov glede na smer vetra. Glede na celotno obdobje meritev je videti, da so valovi iz JZ zamaknjeni glede na veter (ki jih povzroči) približno za 45° proti zahodu, valovi iz SV smeri pa za približno 30° proti severu. Pri JZ valovih lahko gre tudi za mrtve valove, ki nastanejo z vetrom na oddaljeni lokaciji. Presenetljivo je, da so valovi iz smeri JZ bolj zastopani, čeprav je glede na rožo vetrov več vetra iz smeri burje. 12,7 % valov preseže značilno valovno višino 0,6 metra, 2,8 % pa 1 meter.

Nenavadno izstopa valovanje iz smeri 0°. To je verjetno posledica napake v meritvah predhodnice boje Vide pri določanju smeri valovanja ob nizkih valovnih višinah (manj kot 0,4 metra). Za višje valovne višine je smer prava.

Na roži valov tudi ni razvidno, da se značilno visoki valovi, višji od 1 metra, ne pojavijo le iz smeri: 75°–215° (verjetno posledica bližine kopnega), 255°–265° in 275°–285°.

Značilne višine vala, ki so večje od 0,8 metra, se bolje ujemajo s smerjo vetra. Valovi z značilno višino, ki je višja od 1,6 metra, prihajajo iz SV smeri (posledica burje) in iz smeri 312° in 315° v noči

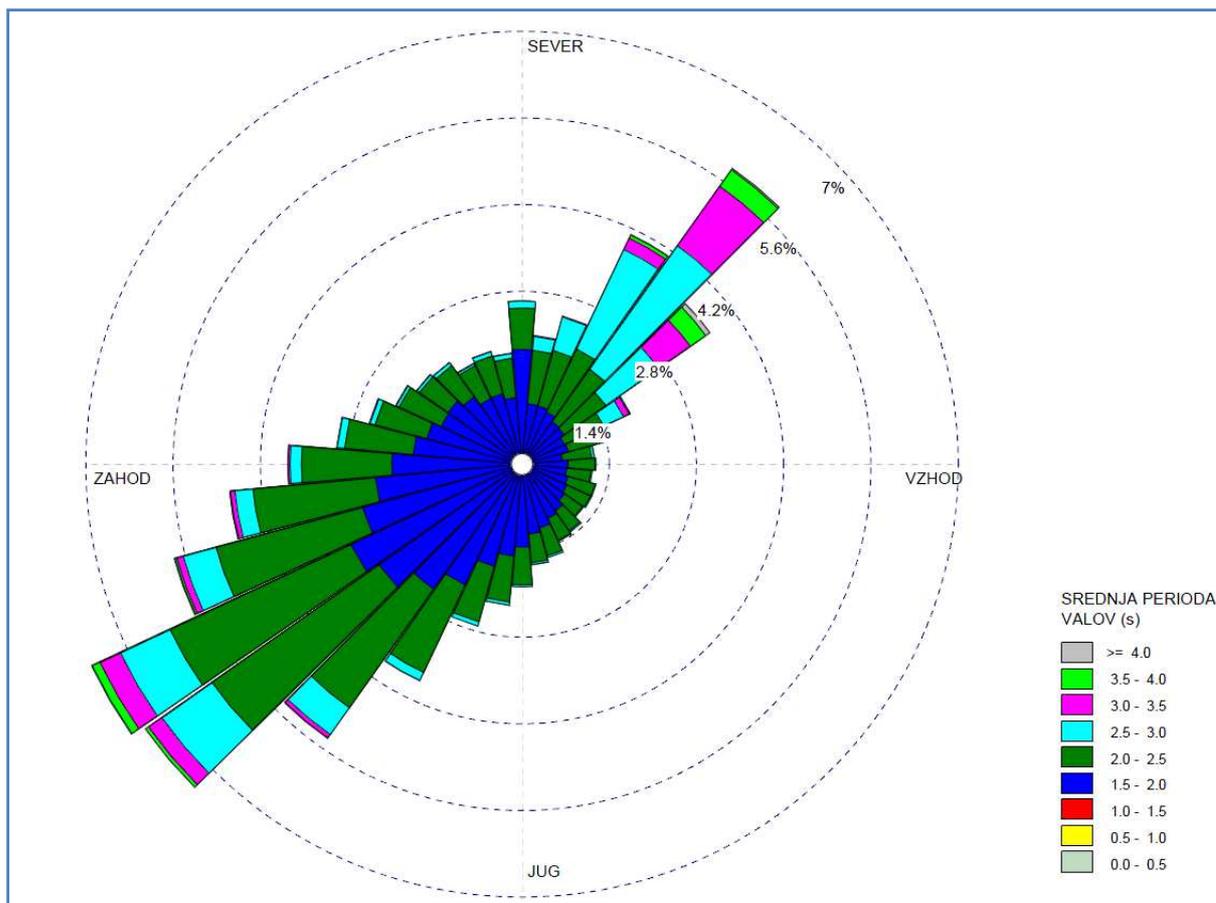
med 8. 8. 2008 in 9. 8. 2008. Na roži valov ta podatek ni opazen. Omenjeni značilni višina nista rezultat napake, ampak močne tramontane, ki se pozneje spremeni v burjo. Tudi na roži vetrov to ni opazno. Preglednica 5 podaja podatke omenjenega dogodka, ki kaže na hitro zvišanje hitrosti vetra in višine valov.

Preglednica 5: Močna tramontana in burja ter posledično visoke značilne višine vala. Za čas 22:30 boja ni zabeležila podatkov valov. Čas je podan v formatu UTC + 01.

datum in čas začetka meritev intervala	značilna višina valov	srednja perioda valov	srednja smer valov	povprečna hitrost vetra	povprečna smer vetra	maksimalna hitrost vetra	smer maksimalne hitrosti vetra
	m	s	°	m/s	°	m/s	°
08.08.08 21:00	0,24	1,89	241,74	2,58	71,19	7,64	41,65
08.08.08 21:30	0,21	1,91	255,70	4,66	52,82	7,23	42,16
08.08.08 22:00	0,25	1,94	192,25	4,32	52,54	5,95	48,90
08.08.08 22:30	/	/	/	11,33	358,99	38,85	359,42
08.08.08 23:00	1,85	4,04	315,24	20,62	16,88	33,58	17,17
08.08.08 23:30	1,78	3,94	312,14	16,10	27,42	21,59	21,10
09.08.08 00:00	1,44	3,48	333,05	15,20	76,47	19,68	78,38
09.08.08 00:30	1,21	3,33	25,65	11,78	103,61	17,40	96,57
09.08.08 01:00	1,04	3,20	46,38	10,46	114,79	13,92	105,68
09.08.08 01:30	1,08	3,24	42,68	10,20	107,37	14,41	100,71
09.08.08 02:00	0,83	3,00	51,12	8,46	81,26	13,25	75,57
09.08.08 02:30	0,75	2,82	46,08	11,01	97,89	14,36	104,67
09.08.08 03:00	0,67	2,71	41,78	10,53	96,92	15,51	107,80

Slika 23 prikazuje rožo srednje periode valov. Porazdelitev v smeri je seveda ista kot pri roži višine valov. Kjer so značilne višine višje, prihaja tudi do daljše srednje periode valov. Boja Vida praktično ne zazna periode valov, krajše od 1 sekunde. Samo 6-krat je bila izmerjena srednja perioda valov pod 1 sekundo. Pri 50 % izmerjenih podatkov je srednja perioda valov pod dvema sekundama, le 4,1 % pa nad tremi sekundami. Tako kratke periode valov so realne, saj je Jadransko morje zaprto, še bolj pa sam Tržaški zaliv.

Najdaljše periode se običajno pojavijo ob močnem lebiču, oštru, burji ali levantu.



Slika 23: Roža srednje periode valov za obdobje meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.

Pričakovano smeri vetra in valov sovpadata v primerih, ko je veter močnejši (približno nad 5 m/s) in so valovi višji. V primerih mirnega morja in vetra so med smermi valov in vetra velika odstopanja.

Opazimo, da je razmerje med hitrostjo vetra in ekstremno visokimi valovi (nad 1 meter) ob oštru in lebiču manjše kot pri burji. Drugače povedano: za ekstremne valove enakih višin ob oštru in lebiču je potrebna manjša hitrost vetra zaradi mrtvih valov in daljšega privetrišča. Verjetno se ob zmanjšanju močnega lebiča in oštra značilne valovne višine ne znižajo takoj zaradi mrtvih valov.

3.4 Pregled rezultatov (podatkov) napovednega valovnega modela WAM na lokaciji boje Vide

Rezultati napovednega valovnega modela WAM s časovnim korakom 1 ure izpišejo naslednje podatke: *značilna višina vala (m), *srednja smer valov (°), vršna frekvenca (Hz), *povprečna frekvenca (Hz), trenjska hitrost (m/s), *smer vetra (°), koeficient upora, *hitrost vetra na nadmorski višini 10 m (m/s), maksimalna višina vala (m), maksimalna perioda vala (s), višina mrtvih valov (m), srednja smer mrtvih valov (°), srednja frekvenca mrtvega morja (Hz), višina vetrnih valov (m), smer vetrnih valov (°), frekvenca vetrnih valov (Hz), srednja perioda mrtvih valov 1 (s), srednja perioda mrtvih valov 2 (s), srednja perioda vetrnih valov 1 (s), srednja perioda vetrnih valov 2 (s).

Osredotočimo se na podatke v prejšnjem odstavku označene z *. Hitrost vetra na nadmorski višini 10 m ni podana kot povprečna ampak kot terminska vrednost. Predpostavili smo, da velja (Holthuijsen, 2007):

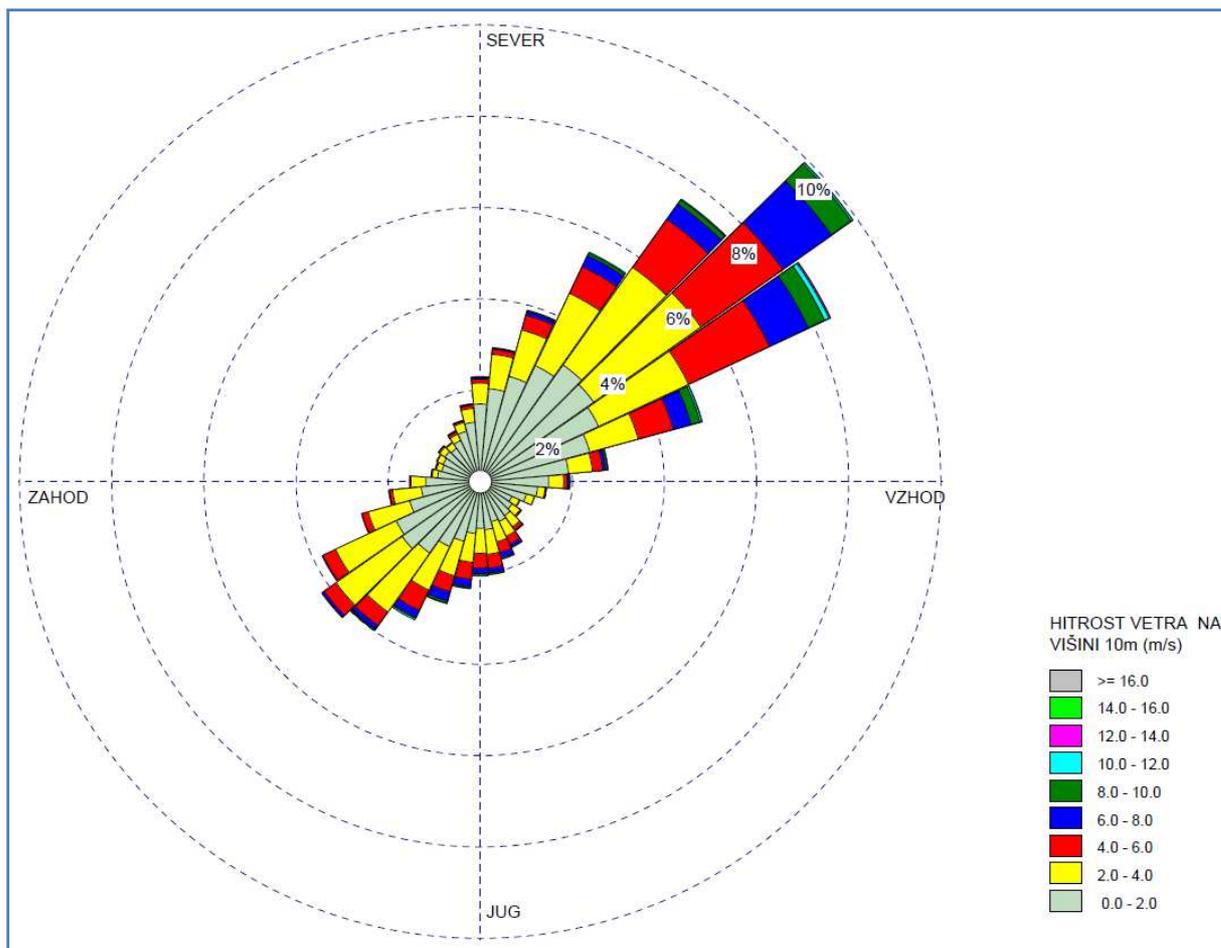
$$\text{srednja perioda vala (s)} = \text{povprečna frekvenca}^{-1}(\text{Hz}), \quad (3)$$

Ob primerjavi značilne višine vala v vseh 24 računskih točkah je ocenjeno, da se te dovolj razlikujejo za oceno projektne višine vala v vsaki točki. Ker pa je Tržaški zaliv zelo zaprt del morja, so pričakovana odstopanja od realne višine valov.

Glede na redna norveška poročila validacije valovnih modelov WAM in SWAN (Gusdal in Carrasco, 2012), SWAN bolje oceni valove na lokaciji boje blizu obale kot WAM, saj ima SWAN boljše fizikalno podlago za računanje valov v plitvi vodi. Razlika v rezultatih med modeloma WAM z resolucijo 10 in 4 kilometre pa ni velika. To nakazuje, da bi bilo za Tržaški zaliv mogoče bolje uporabiti valovni model SWAN, vendar pa bi trditev lahko utemeljili le z opravljeno validacijo obeh modelov na območju Tržaškega zaliva.

V nadaljevanju prikazujemo rože hitrosti vetrov, značilne višine valov in srednje periode za računsko točko 6 valovnega modela, ki sovпада z lokacijo boje Vide za časovno obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 po UTC + 00:00. Manjkajočih podatkov ni. V naslednjem poglavju (3.5) so prikazane rože vetrov, valov in periode točke 6 valovnega modela samo za obdobje izmerjenih podatkov na boji Vidi.

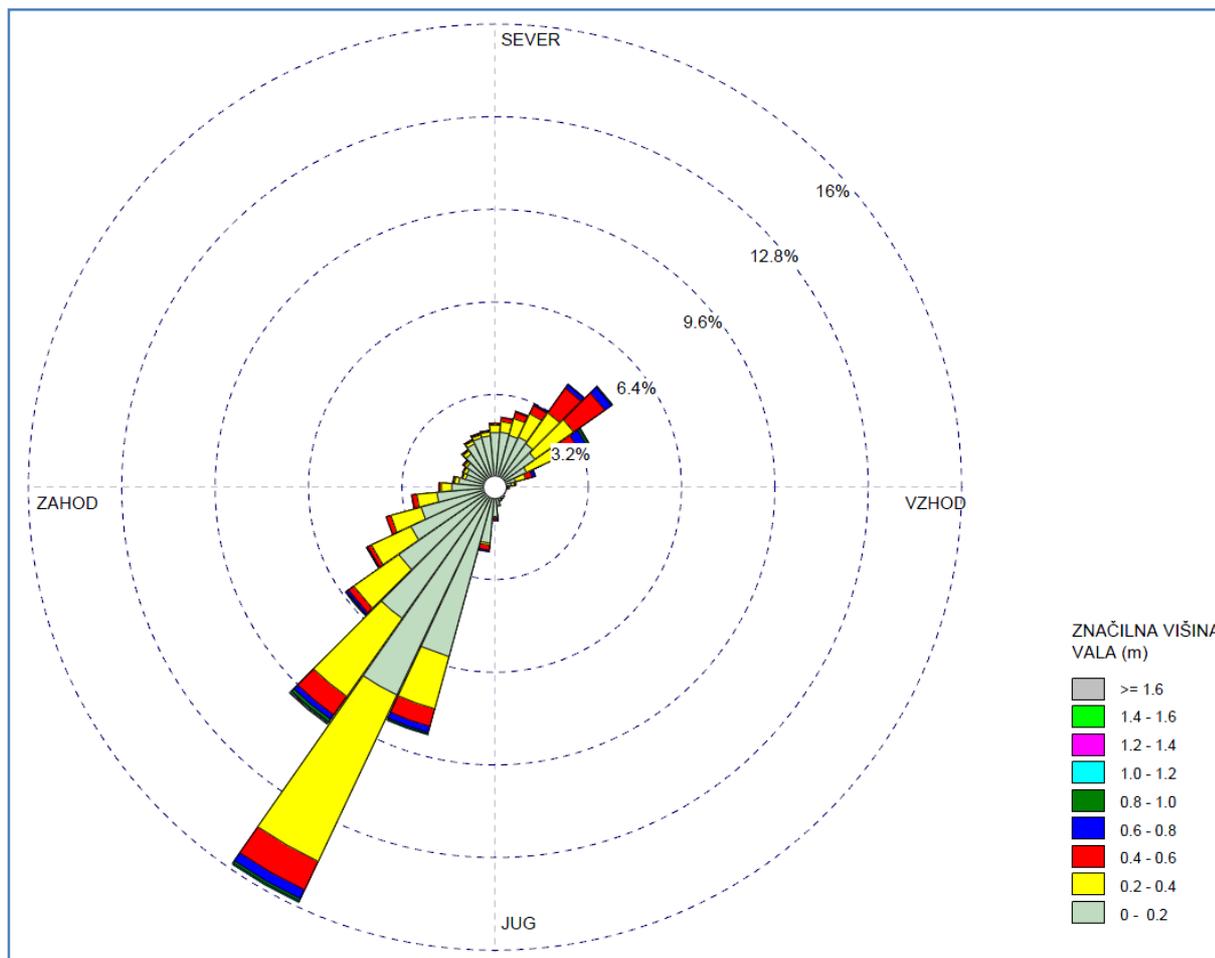
Slika 24 prikazuje rožo hitrosti vetra 10 metrov nad gladino morja.



Slika 24: Roža hitrosti vetra 10 metrov nad gladino morja za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela WAM, dobljena iz modela SKIRON.

Glede na rezultate o vetru iz modela SKIRON, prevladuje burja. Drugi najbolj pogost veter je lebič. Močnejši vetrovi (nad 8 m/s) se največkrat pojavijo ob burji. Manj pogosto se to zgodi tudi ob lebiču in oštru. Pride še do redkih dogodkov, ki iz rože vetrov niso razvidni. Najmočnejši veter (nad 16 m/s) se zgodi v štirih dogodkih: 19. 7. 2001 iz smeri 224° (lebič), 4. 9. 2001 iz smeri 340° (med maestralom in tramontano), 11. 7. 2004 iz smeri 325° (maestral) in 10. 3. 2010 iz smeri 65° (burja). 4. 7. 2007 pride do močne tramontane (15,7 m/s). 14. 8. 2003 pride do močnega (13,7 m/s) ponenta. Če model pravilno računa, to potrjuje ugotovitev iz prejšnjega poglavja 3.3 (Preglednica 5), da so možni pojavi ekstremnih vetrov in valov iz netipičnih smeri.

Slika 25 prikazuje rožo značilne višine vala.



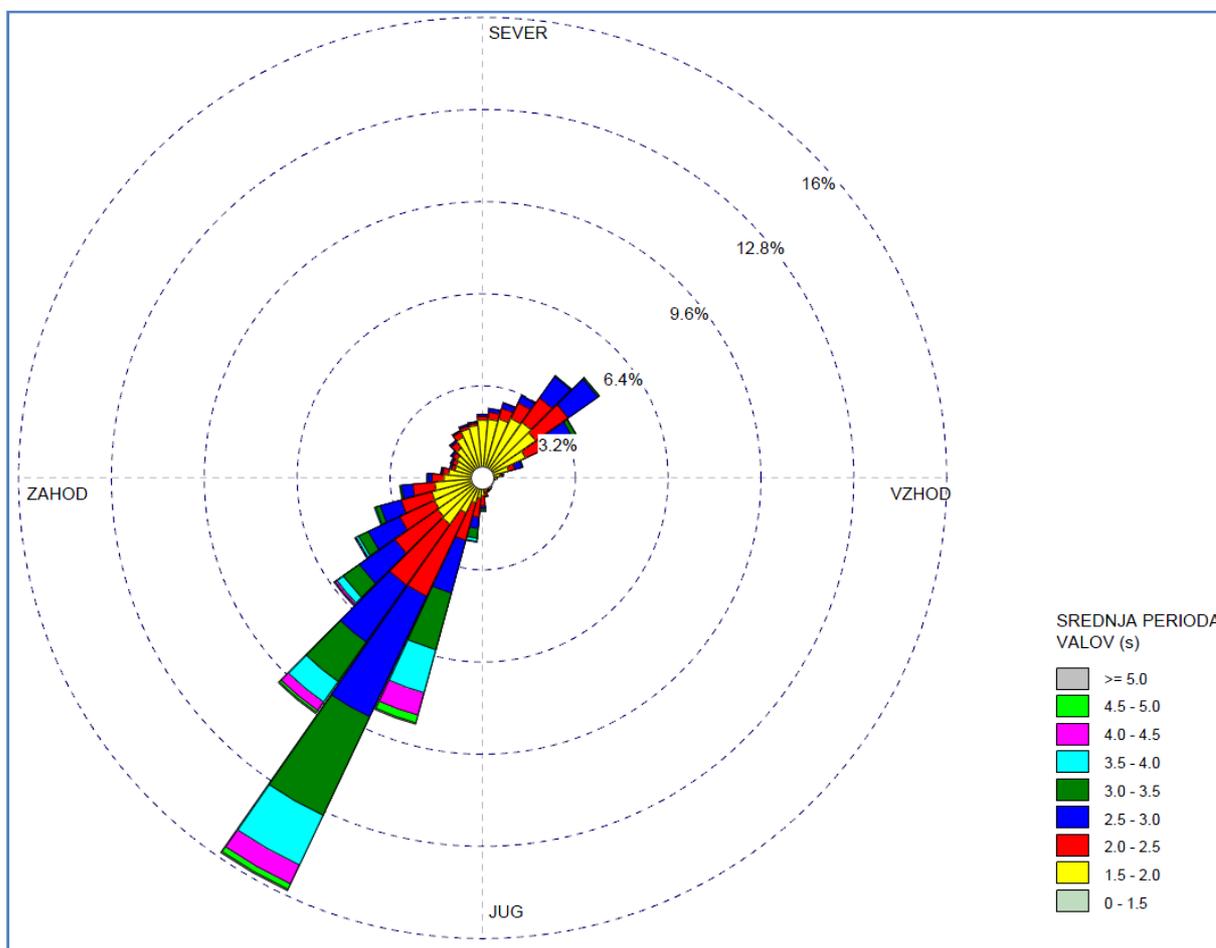
Slika 25: Roža značilne višine vala za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela WAM.

Prevladujejo valovi iz JZ in SV smeri. Valovi, ki so višji od 0,4 m, se pojavijo bolj pogosto iz smeri SV, JZ in tudi J. Za valovni model velja, da podcenjen veter pomeni tudi podcensjene valove. V primeru značilnih višin valovnega modela le-te presežejo 1,6 metra le iz smeri JZ ob treh dogodkih (19. 7. 2001, 9. 11. 2001 in 5. 10. 2003). Najvišja izračunana značilna višina vala je 1,78 metra iz smeri 221°, dne 5. 10. 2003. Kot pri meritvah boje, so tudi tukaj pogostejši valovi iz smeri JZ, kar je v nasprotju s smerjo vetrov. Pogostejša je burja iz smeri SV in V. Zaradi pogostejše burje bi pričakovali valovanje iz smeri SV. Iz tega lahko sklepamo, da boja in valovni model konsistentno podata smer valovanja pravilno ali napačno. Valovi, ki so višji od 1 metra (0,7 %), se širijo iz smeri: 25°–75°, 195°–255° in 295°–355°. Povzročitelji teh valov glede na rezultate valovnega modela so: burja (valovi 25°–75°); mrtvi valovi ter oštro in lebič (valovi 195°–255°); maestral in tramontana (valovi 295°–355°). Valovni model izračuna, da je 64,4 % valov med 0 ali 0,2 metri.

Iz rezultatov valovnega modela so zaradi napake izločeni valovni podatki za 1. 1. 2001 in 1. 1. 2008 ob 00:00 in 01:00, saj se brez močnejšega vetra pojavi nenaden dvig značilne višine vala na okoli 1 meter. 1. 1. 2008 boja ne izmeri nenadnega zvišanja višine valov, kar kaže na napako v valovnem

modelu. Omenjeni podatki so izločeni iz nadaljnje analize v diplomski nalogi za vse točke valovnega modela.

Slika 26 prikazuje rožo srednje periode valov.



Slika 26: Roža srednje periode valov za obdobje od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010 rezultatov valovnega modela.

Valovni model ne podaja periode vala krajše od 1,5 sekunde. Valovi iz SV redkokdaj presežejo periodo 3,5 sekund. Za valove z JZ je to bolj pogosto, saj predstavljajo kar okoli 7 % vseh izračunanih period. So tudi edini, ki presežejo periodo 5 sekund, in to iz smeri 195°–235°.

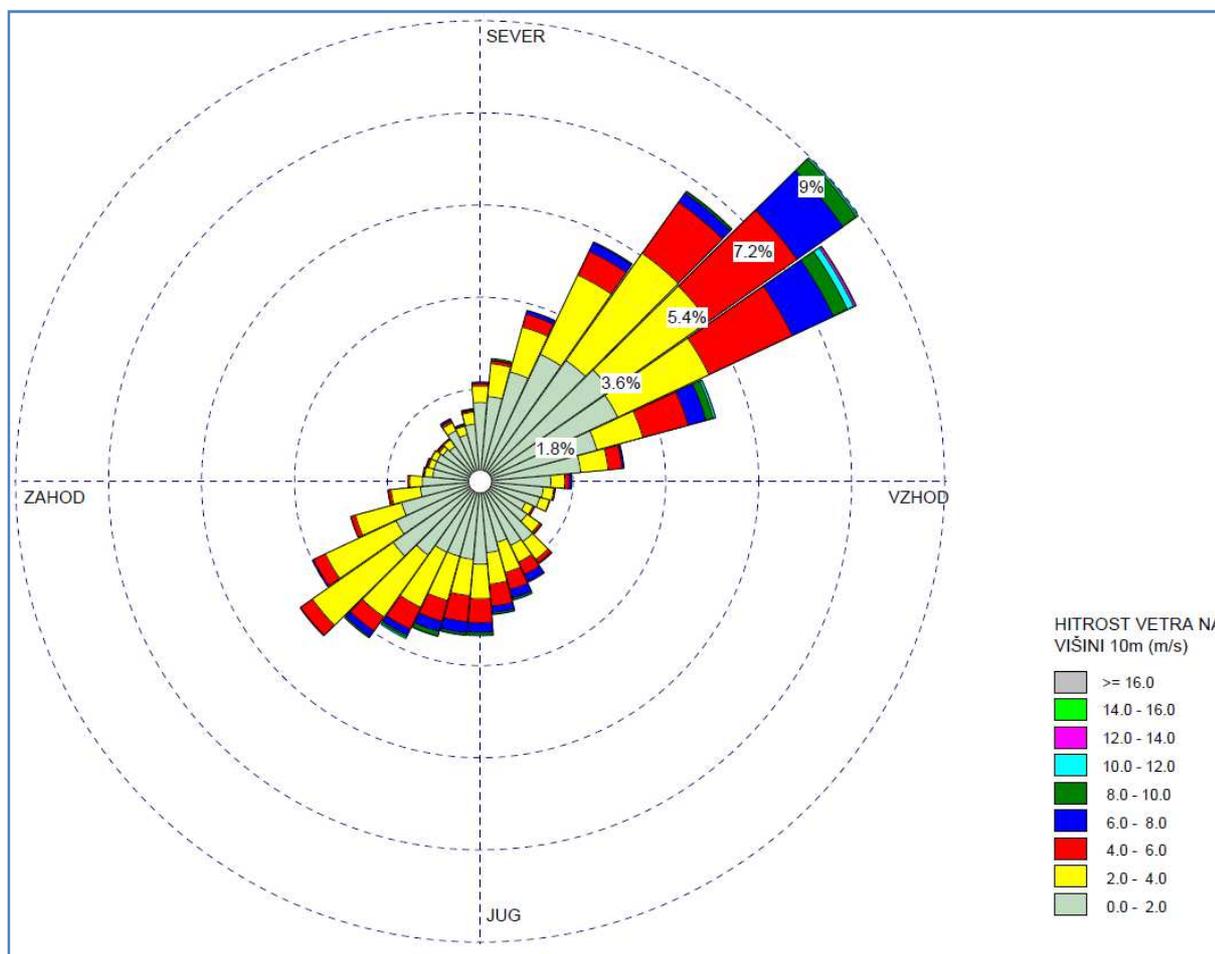
3.5 Primerjava podatkov boje Vide in rezultatov napovednega valovnega modela WAM

Primerjamo podatke iz obdobja od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010, ko imamo hkrati tudi podatke meritev boje. 24 % podatkov v podanem časovnem intervalu manjka. 100 % na roži prikazuje vse razpoložljive podatke in ne zajema 24 % neizmerjenih podatkov. Rezultate (podatke) valovnega modela odčitamo iz računske točke 6 (Slika 18), ki je na lokaciji boje Vide.

Podatki boje so podani s časovnim korakom na 30 minut, rezultati valovnega modela pa na 1 uro. Za oceno projektne višine vala (analizo ekstremnih valov) so zelo pomembni ekstremni podatki (konice).

Zato pretvorimo rezultate valovnega modela s časovno linearno interpolacijo na interval 30 minut. S tem ne izgubimo konic pri podatkih boje.

Slika 27 prikazuje rožo hitrosti vetra 10 metrov nad gladino morja za valovni model.

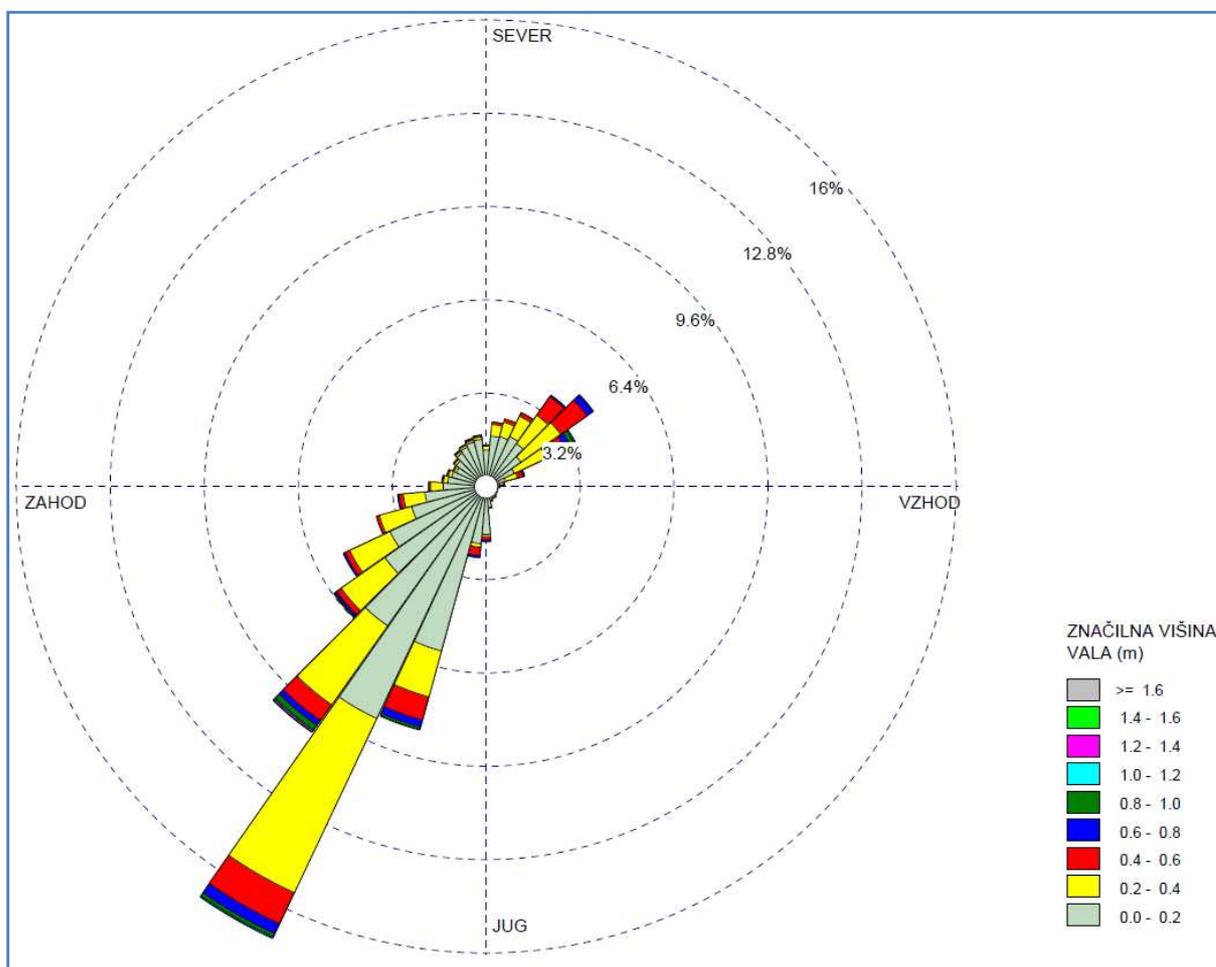


Slika 27: Roža hitrosti vetrov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.

Roža vetrov modela (Slika 27) in roža vetrov boje, prikazana v poglavju 3.3 (Slika 21) sta očitno različni. Še zmeraj sicer po deležu prevladujeta dve podobni smeri vetrov, vendar v primeru modela za smer burje in lebiča. Prva smer je odklonjena za približno 20° proti severu, druga pa za kakšnih 50° proti zahodu glede na vetrove, izmerjene z bojo. V valovnem modelu je tretji najpogostejši veter oštro.

Ne glede na to, da višina vetra modela (10 m) ni preračunana na višino merjenja vetra boje Vide (5 m) in ima terminske vrednosti, lahko povemo, da je v modelu hitrost vetra podcenjena. Eden izmed dodatnih vzrokov za podcenjevanje je verjetno tudi razlika med časovnim korakom med posameznimi podatki, ki je pri valovnem modelu 1 ura, pri boji Vidi pa 30 minut. Še posebej je podcenjena burja. Le 1,7 % vetrov preseže hitrost 8 m/s (pri boji Vidi pa 15 %). Tudi Ličer (2013) poroča o podcenjevanju vetrov za model WAM, ki ga ima ARSO. Posledično so podcenjene tudi višine valov izračunane z modelom.

Slika 28 prikazuje rožo značilne višine vala rezultatov valovnega modela za obdobje meritev boje Vide.

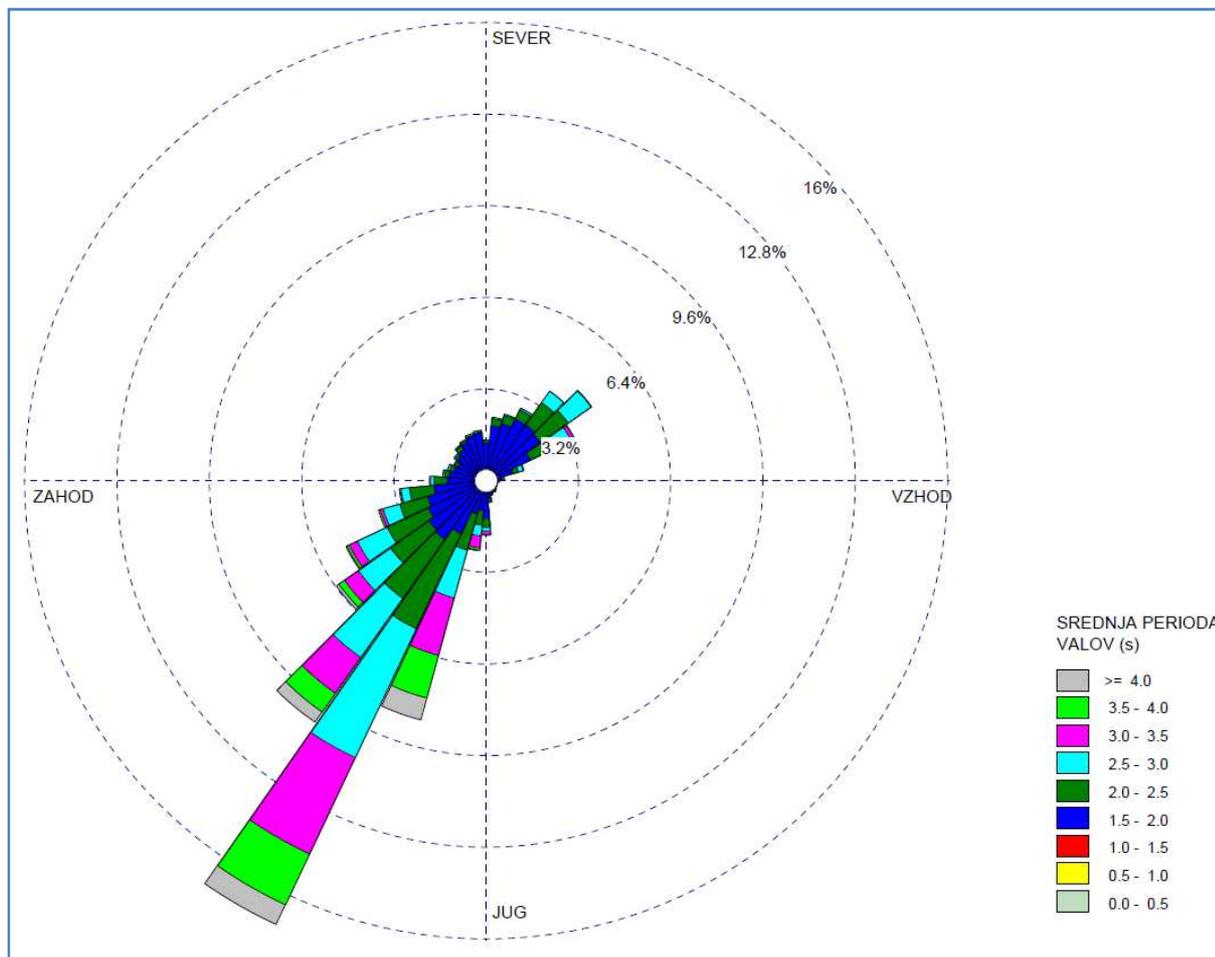


Slika 28: Roža značilne višine valov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.

Le 3 % valov preseže značilno valovno višino 0,6 metra (na boji 12,7 %), le 0,3 % pa 1 meter (na boji 2,8 %). Tako kot pri primerjavi deleža prevladujočih smeri vetrov sta tudi prevladujoči smeri valov zamaknjeni glede na meritve z boje (Slika 22). JV smer je zamaknjena približno za 25° proti jugu in ni tako široka. Valovi iz SV smeri so zamaknjeni za približno 5° proti vzhodu. Delež valov iz te smeri je znatno manjši. Viška valov ob tramontani 8. 8. 2008 (Preglednica 5) model v značilni višini vala ne zazna. Le veter se nekoliko poveča. Predvidevamo, da model ni občutljiv na hitro zvišanje hitrosti vetra in značilne višine vala, kar je potrebno upoštevati v nadaljevanju v izračunu projektne višine vala (koliko »neviht« model zgreši).

Podcenjevanje značilne višine vala pomeni tudi, da bi bila ocena projektne višine vala po rezultatih valovnega modela znatno podcenjena. Zato je potrebno najprej opraviti validacijo modela glede na podatke z boje in določiti korekcijsko razmerje. Več o tem v poglavju 5.1.

Slika 29 prikazuje rožo srednje periode valov za valovni model za obdobje meritev boje Vide.



Slika 29: Roža srednje periode valov za obdobje meritev od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010 rezultatov valovnega modela.

Primerjava rož (Slika 29 in Slika 23) pokaže, da model preceni periodo za valove iz JZ in podceni periodo za valove iz SV. Model preceni tudi krajše periode, saj ne podaja period, krajših od 1,5 sekunde.

Preglednica 6 prikazuje primerjavo nekaterih podatkov valov med bojo Vido in valovnim modelom za obdobje meritev boje. Iz primerjav rož in preglednice lahko trdimo, da model podcenjuje značilne valovne višine.

Preglednica 6: Primerjava podatkov valov med bojo in valovnim modelom za obdobje meritev boje od 20. 9. 2006 do 31. 21. 2010.

vir podatkov	maksimalna značilna višina vala (s smerjo)	prevladujoči smeri	delež značilnih višin vala višjih od 0,6 metra	delež značilnih višin vala višjih od 1 metra	delež značilnih višin vala višjih od 1,6 metra
	m (°)	°	%	%	%
boja Vido	2,79 (52)	40 in 240	12,7	2,8	0,2
valovni model	1,58 (215)	50 in 210	3,0	0,3	0,0

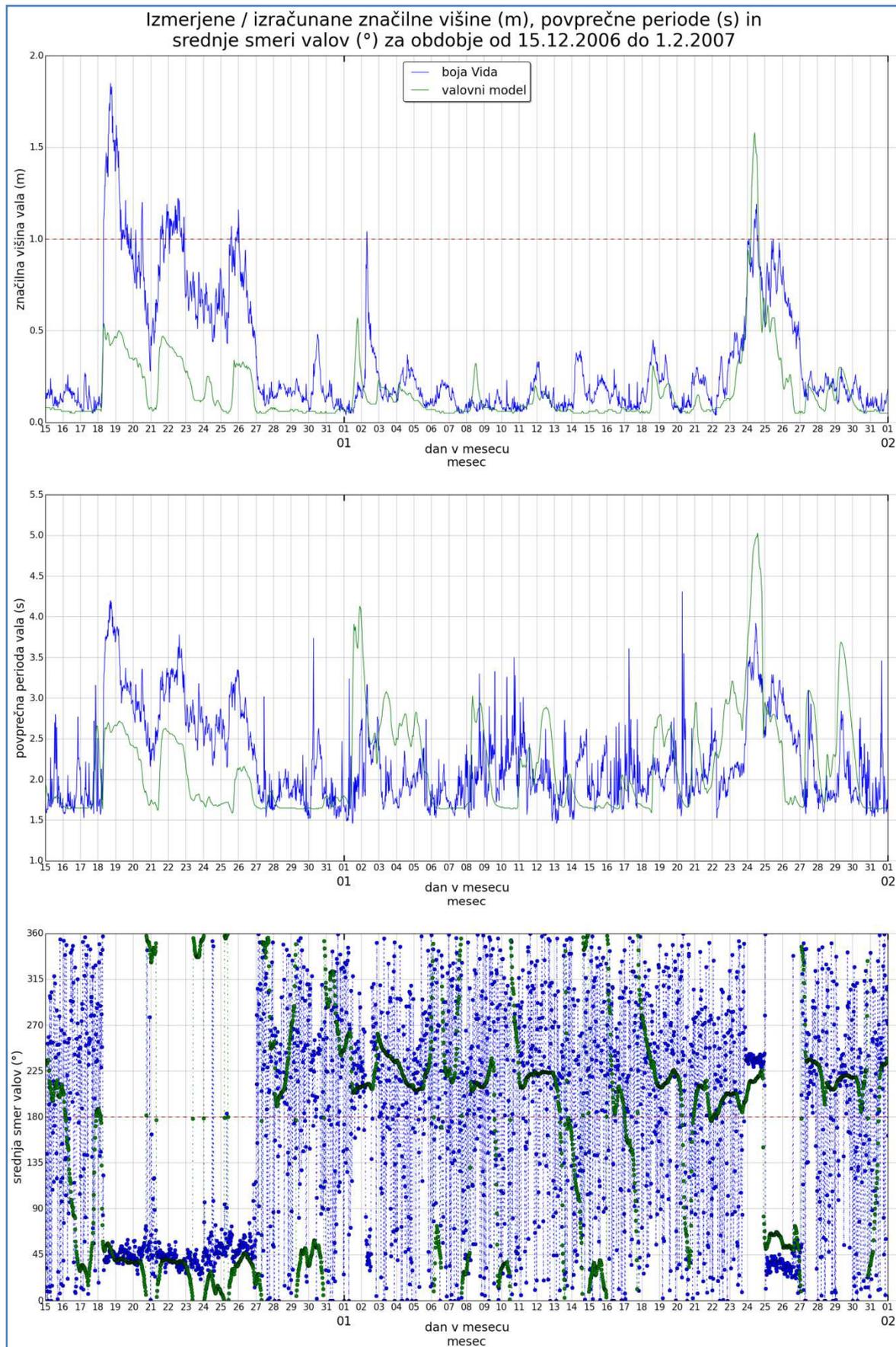
3.6 Podrobna primerjava podatkov boje Vide in valovnega modela za obdobje od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007

Za boljši prikaz podatkov se osredotočimo na višje valove ob močni burji in oštru/lebiču. Izkaže se, da so značilne višine vala ob oštru/lebiču večinoma rahlo podcenjene in samo ob dveh nevihtah precejšnje. Ob burji pa so višine valov močno podcenjene. Slika 30 prikazuje značilne višine, povprečne periode in srednjo smer valov od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007. Prvi ekstremni dogodek višjih valovnih višin (18. 12.–27. 12.) se zgodi zaradi burje, zadnji (22. 1.–27. 1.) pa zaradi oštra, ki pozneje preide v burjo. Jasno se vidi podcenjevanje valov ob burji. Zadnji ekstremni dogodek je ob pihanju oštra precejšen s strani valovnega modela. Pozneje, ko veter preide v burjo (25. 1.), znova pride do podcenjevanja značilne višine vala.

Razberemo lahko še nekaj značilnosti za celotno obdobje meritev boje. Modelna valovna višina ne variira tako hitro kot meritve boj, najverjetneje zaradi daljšega časovnega koraka med izračuni valovnih višin modela in rezultatov vetra, ki jih poda SKIRON. Tudi časovno model ni najbolje usklajen, saj so ekstremni dogodki kratkotrajnejši kot pri meritvah boje. Zanimiv je tudi dogodek od 1. 1. do 4. 1., ko model preceni prvo konico valov (maestral) in spusti drugo konico valov (burja) oziroma prehitri in podceni prvo konico. Seveda je vzrok v vetru valovnega modela. To je še en dokaz, da je model slabši za simulacije hitrih sprememb. Za zaprta morja, kot je Tržaški zaliv, podatki o značilnih valovnih dolžinah s časovnim korakom več kot 1 uro verjetno ne bi bili zelo primerni. Običajno se uporablja podatke s časovnim korakom od 3 do 6 ur.

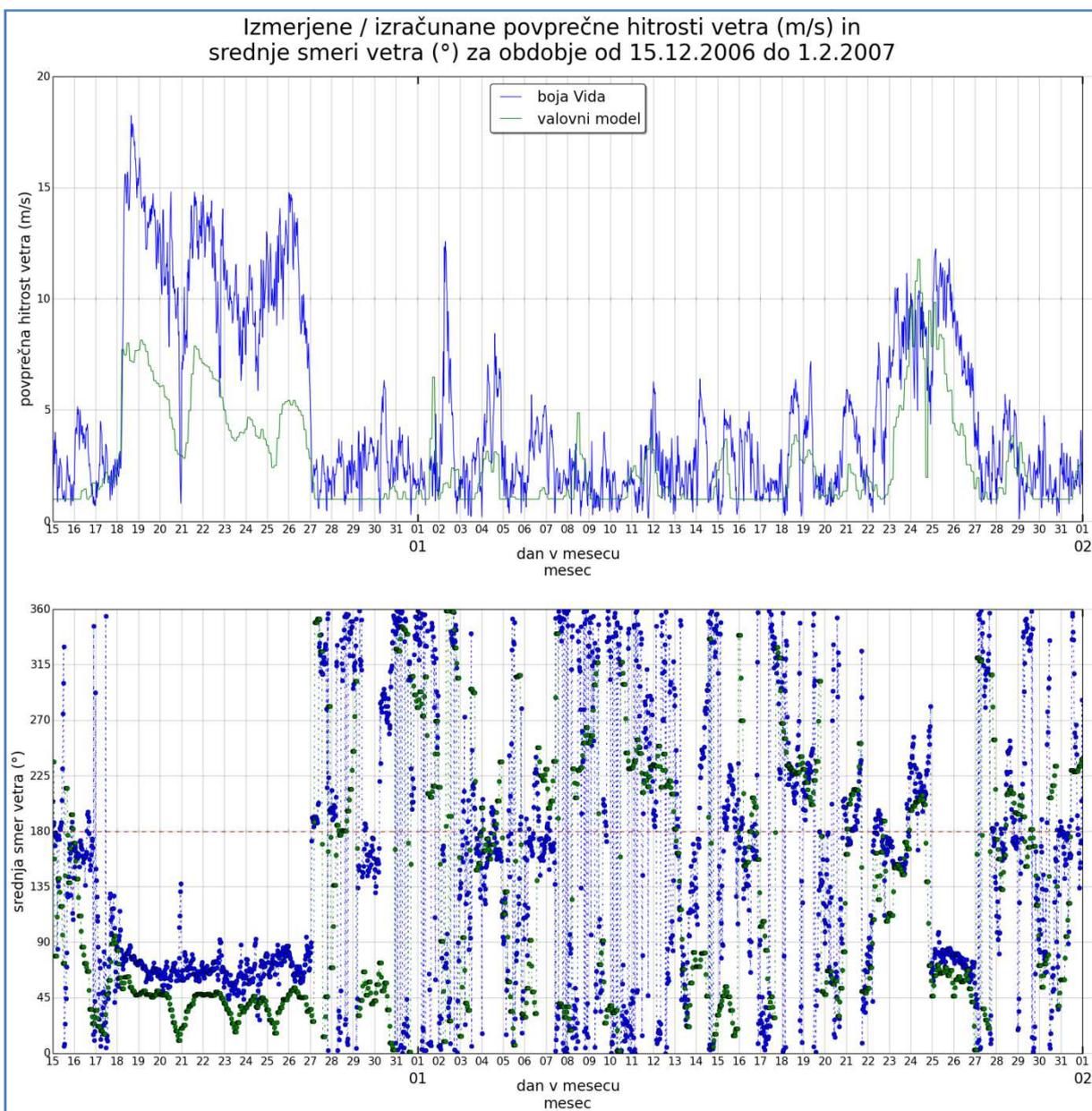
Pri nižjem valovanju smer variira, še posebej pri podatkih z boje. Ob višjem valovanju se smer ustali, je pa opazen zamik smeri valovanja med bojo in modelom.

Srednji grafikon (Slika 30) potrjuje ugotovitev iz primerjav rož srednje periode valov (Slika 23 in Slika 29): srednja perioda modela je večinoma podcenjena. Le v primeru valov iz JZ je srednja perioda precejšnja.



Slika 30: Izmerjene/izračunane značilne višine (m, zgoraj), povprečne periode (s, na sredini) in srednje smeri valov (°, spodaj) na boji Vidi (modra) in za valovni model (zelena) od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.

Slika 31 prikazuje vetrovne podatke za obravnavano obdobje.



Slika 31: Izmerjene/izračunane povprečne hitrosti (m/s, zgoraj) in srednje smeri vetra (°, spodaj) na boji Vidi (modra) in za obdobje valovnega modela (zelena) od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.

Najprej je opazno podcenjevanje hitrosti vetra, le v primeru zadnje konice, ko pihata oštro in lebič, je hitrost dobro ocenjena. Razlike med hitrostmi vetra so podobne kot razlike med značilnimi višinami valov, saj je višina valov odvisna od hitrosti vetra. Pri močnem vetru pride do zamika smeri vetra med meritvami boje in izračunom modela. Ob burji je ta zamik večji. Pri maestralu (od 1. 1. do 4. 1.) ima model približno pravo smer vetra, ne pa tudi hitrosti.

3.7 Pregled in primerjava sočasnih podatkov boje Vide, Zore in Zarje

Preglednica 3 in Slika 18 podata koordinate in lokacije boj. Žal je časovno obdobje primerjanih meritev zelo kratko, le od začetka meritev Zore in Zarje 12. 3. 2014 ob 5:00 do 10. 6. 2014 ob 00:00 (UTC + 01:00). Podatki ne vsebujejo izrednih ekstremnih dogodkov. Primerjava vsebuje le valovne podatke: značilno višino vala (m), srednjo smer valovanja (°) in srednjo periodo vala (s).

Značilnosti meritev Vide so opisane že v poglavju 3.2. Za meritve Zore in Zarje velja naslednje. Podatki so pridobljeni v enournem časovnem koraku. Meritev valov se prične ob vsaki uri in 30 minut. Interval meritve traja 29 minut. V tem času je narejenih 1024 vzorcev, vsak traja 1 sekundo. Torej meritve trajajo približno 17 minut.

Najprej se pregleda podatke za možne napake. 6 meritev boje Vide je brez zapisa podatkov. Možne so še tri napake, kjer značilna valovna višina naraste na okoli 0,9 metra med mirnim morjem. Predhodna in naslednja meritev sta okoli 0,1 metra. To se zgodi v treh meritvah: 8. 4. 2014 ob 9:30, 4. 6. 2014 ob 5:30 in 7. 6. 2014 ob 13:00. Preglednica 7 poda zabeležene podatke za omenjene dogodke.

Primerjava s potencialnimi napakami meritev boje Vide v poglavju 3.3 (Preglednica 4) pokaže na podobne »motnje«, ko je višina vala okoli 0,9 metra in perioda okoli 1,7 sekunde, predhodna in naslednja meritev vala pa sta okoli 0,2 metra. Lahko bi šlo za kratkotrajne, močne vremenske pojave, superpozicije valov zaradi valov iz dveh smeri (Jeromel, 2014) ali pa periodično napako v merjenju boje Vide. V trenutno obravnavanem intervalu meritev imamo tudi meritve Zore in Zarje, zato lahko preverimo, če sta tudi novi boji izmerili visoko valovanje v teh časih (Preglednica 7).

Preglednica 7: Podatki meritev boj v obdobju potencialnih napak v meritvah značilne višine vala boje Vide. Podatki Zore in Zarje so z linearno interpolacijo spremenjeni iz enournega na polurni časovni korak. *Podatki so izločeni iz nadaljnje obravnave.

datum in čas konca meritve intervala	Vida			Zora			Zarja		
	značilna višina valov	srednja perioda valov	srednja smer valov	značilna višina valov	srednja perioda valov	srednja smer valov	značilna višina valov	srednja perioda valov	srednja smer valov
	m	s	°	m	s	°	m	s	°
08.04.14 09:30	0,93*	1,70	165,13	0,04	3,61	301,29	0,10	3,66	221,84
04.06.14 05:30	0,94*	1,71	118,71	0,10	2,20	8,09	0,20	2,54	62,23
07.06.14 13:00	0,94*	1,71	268,85	0,12	4,00	2,54	0,12	2,34	253,13

Preglednica 7 potrdi, da so vsi taki podatki gotovo napaka v meritvah boje Vide. Zato valovne višine označene z * iz nadaljnje analize izločimo.

Značilna višina in srednja smer ne kažeta na napake. Pri periodi se pojavi velika napaka pri nekaterih nižjih višinah valov (pod 0,4 metra), saj meritve pogosto podajo periodo 24 sekund, kar ni mogoče.

Perioda valov je pravilna pri višjih višinah valov (nad 0,4 metra). Kjer Zora oziroma Zarja podata periode daljše od 7 sekund (kar je gotovo napaka), je izmerjena maksimalna višina vala 0,391 oziroma 0,352 metra.

Preglednica 8 prikazuje statistične podatke za posamezne meritve boj. Analizirani statistični parametri značilne višine vala so: povprečna vrednost p , mediana m , standardna deviacija s , maksimalna vrednost max , minimalna vrednosti min in koeficient variacije kv , ki je enak razmerju med standardno deviacijo s in povprečno vrednostjo p .

Preglednica 8: Statistični parametri merjenih značilnih višin valov (m) boj Vide, Zore in Zarje. *Število meritev z linearno interpolacijo in izločitev napak. Realno je bilo zabeleženih 2156 meritev.

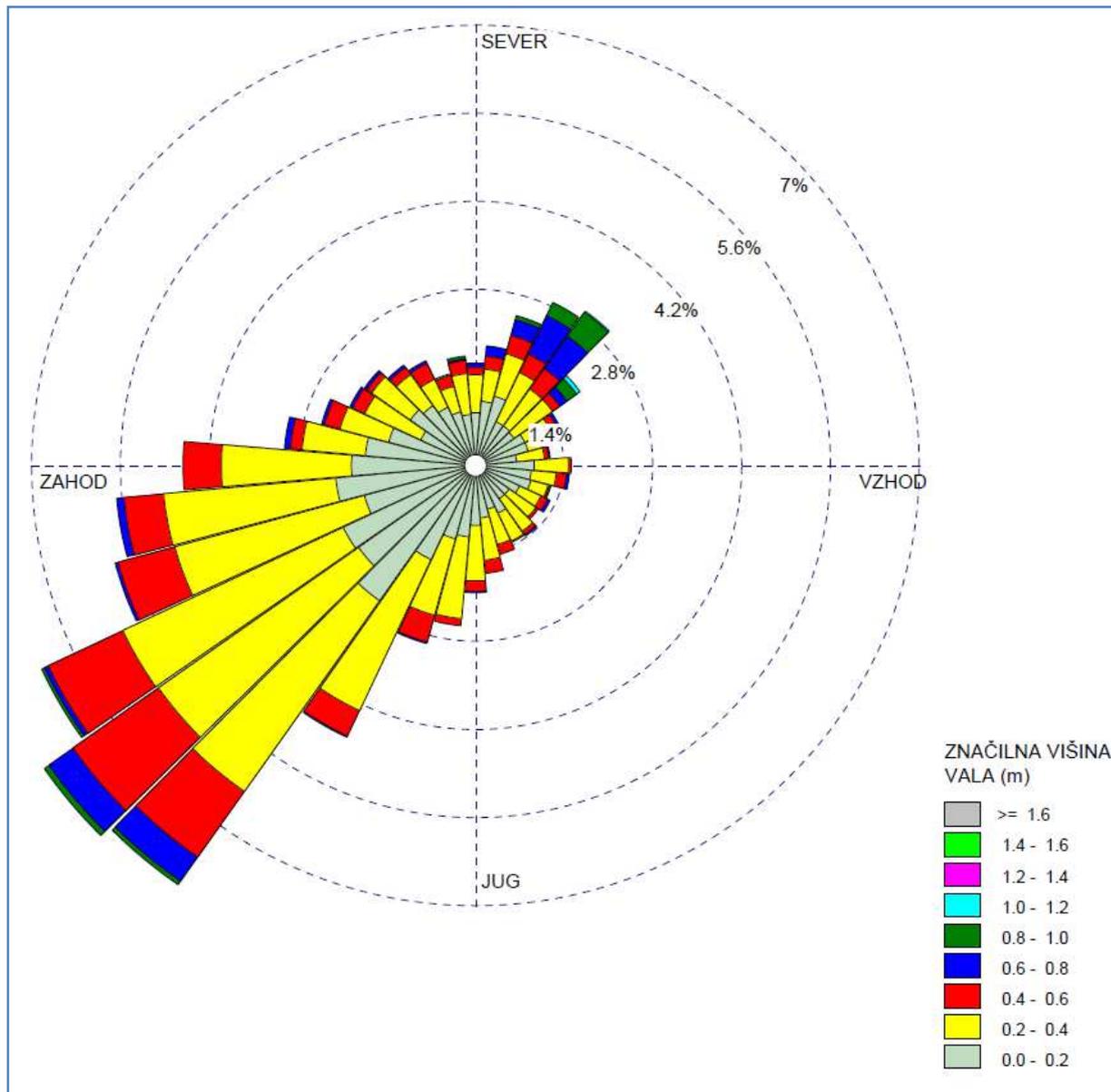
parameter	Vida	Zora	Zarja
povprečna vrednost p (m)	0,23	0,17	0,24
mediana m (m)	0,17	0,12	0,16
standardna deviacija s (m)	0,16	0,13	0,20
maksimalna vrednost max (m)	1,05	0,82	1,21
minimalna vrednosti min (m)	0,034	0,039	0,039
koeficient variacije kv	0,69	0,77	0,83
število meritev	4302	4302*	4302*

Povprečne vrednosti p (0,23 m, 0,17 m in 0,24 m) in maksimalne vrednosti (1,05 m, 0,82 m, 1,21 m) meritev Vide, Zore in Zarje imajo ob medsebojni primerjavi pričakovane rezultate. Podobno kot za povprečno vrednost p velja za mediano Zore (0,12 m). Nepričakovano pa je mediana Zarje (0,16 m) malenkost nižja od mediane Vide (0,17 m). Standardni deviaciji s sta tudi v okviru pričakovanj pri primerjavi, saj sta večji za Vido (0,16 m) in Zarjo (0,20 m). Zaradi nižjega valovanja na lokaciji Zore pa je nižja (0,13 m). Vendar pa koeficient variacije kv kaže na najmanjša nihanja značilne višine valov za Vido (0,69 m).

Vida in Zarja imata najvišji povprečji in maksimalni vrednosti, saj sta na lokacijah, kjer je privetrisče za razvoj valov burje daljše in sta bližje odprtemu delu Jadranskega morja. Krajše privetrisče in lokacija Zore v notranjosti Tržaškega zaliva vplivata na povprečno nižje valovanje. V prihodnosti pa ne smemo izločiti dogodka visokega valovanja iz smeri JV, kjer bi Zora zabeležila višje valovne višine kot Vida, saj je slednja nekoliko v zavetju rta Savudrija.

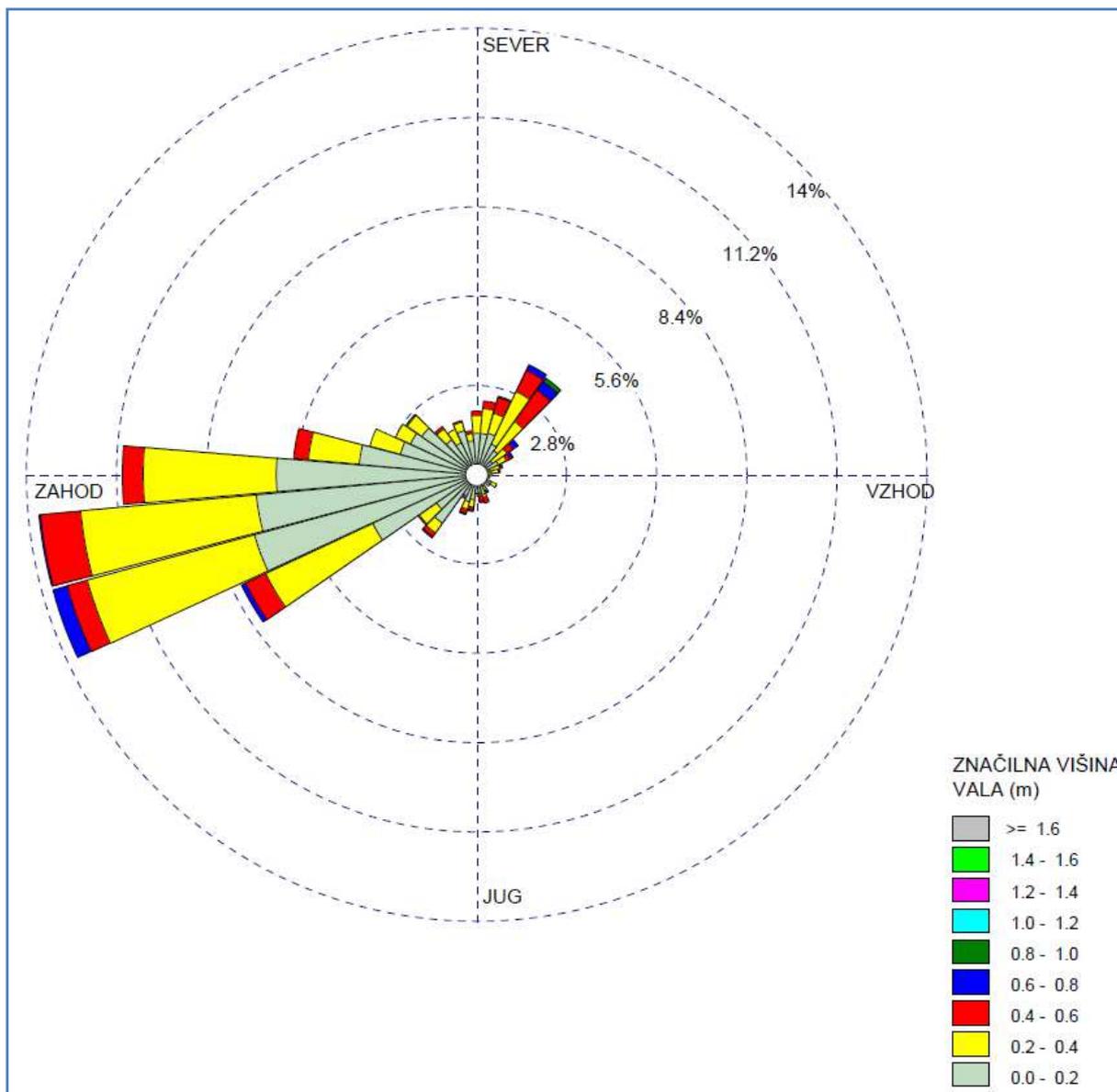
Linearna regresija značilnih višin valov med posameznimi bojami je izračunana v poglavju 5.2.1.

Slika 32, Slika 33 in Slika 34 prikazujejo rože značilnih višin vala za vse tri boje. Podatki Zore in Zarje niso časovno interpolirani. Potrebno je biti pozoren na to, da so krožnice za % valov povsod definirane drugače. Največja krožnica ima tako vrednost 7 %, 14 % oziroma 20 %. Zato sta lahko na prvi pogled roži za Zoro in Zarjo videti, kot da so pri njiju nekatere smeri manj zastopane kot pri Vidi.



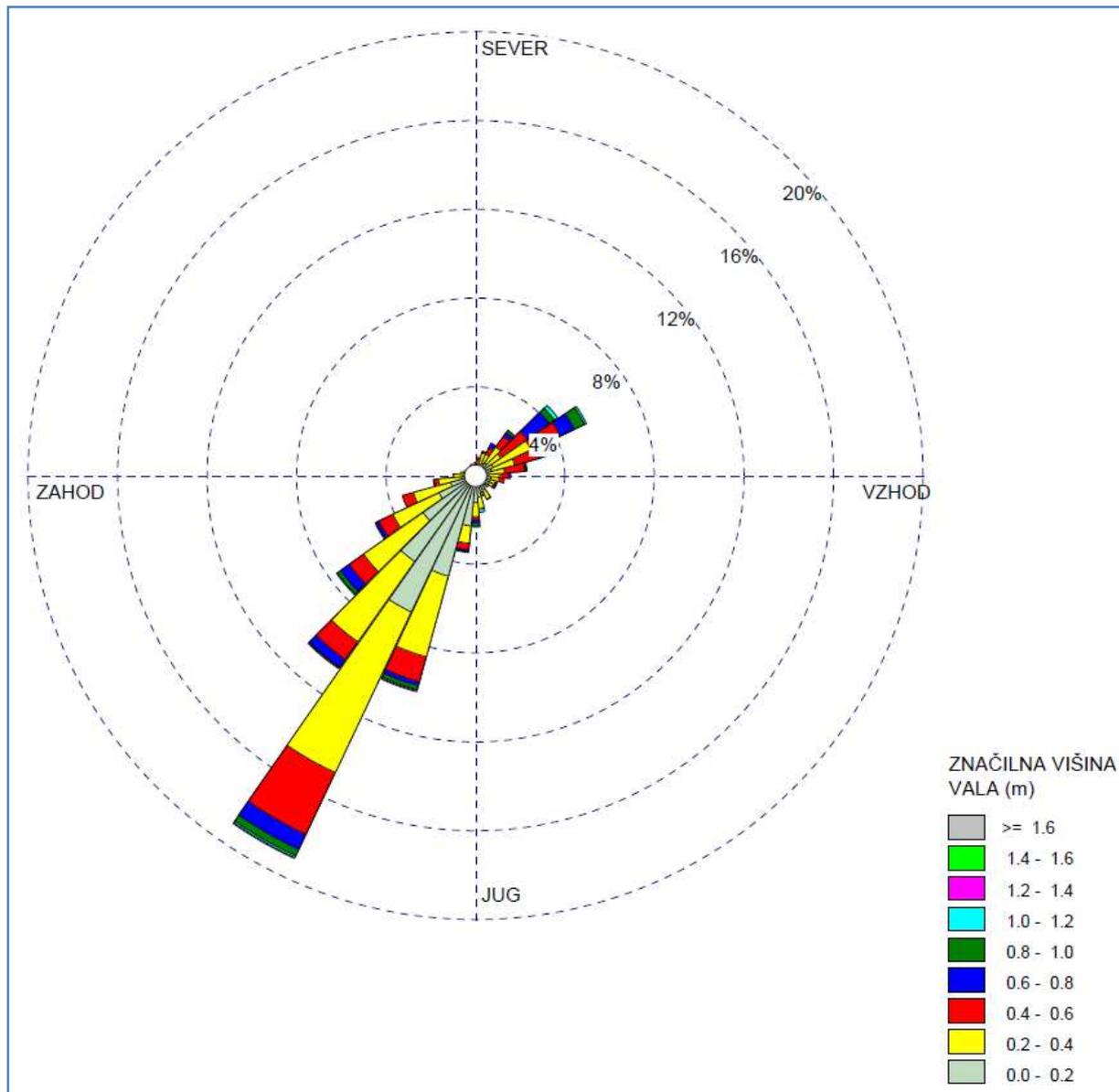
Slika 32: Roža značilnih višin vala boje Vide za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 4302, polurni časovni korak).

Primerjava z rožo valov iz poglavja 3.3 (Slika 22) pokaže dve prevladujoči smeri valovanja: iz JZ in SV. Odstotna porazdelitev valov po smereh je približno enaka, najbolj pa se razlikuje v primeru valovanja iz SV, saj je očitno nižja (Slika 32). Vzrok za to je kratko obdobje meritev od marca do junija (izven tipične sezone ekstremnih valovanj), saj imamo le dve ekstremni valovanji ob burji. Le 1,3 % valov je višjih od 0,8 metra.



Slika 33: Roža značilnih višin vala boje Zore za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 2156, urni časovni korak).

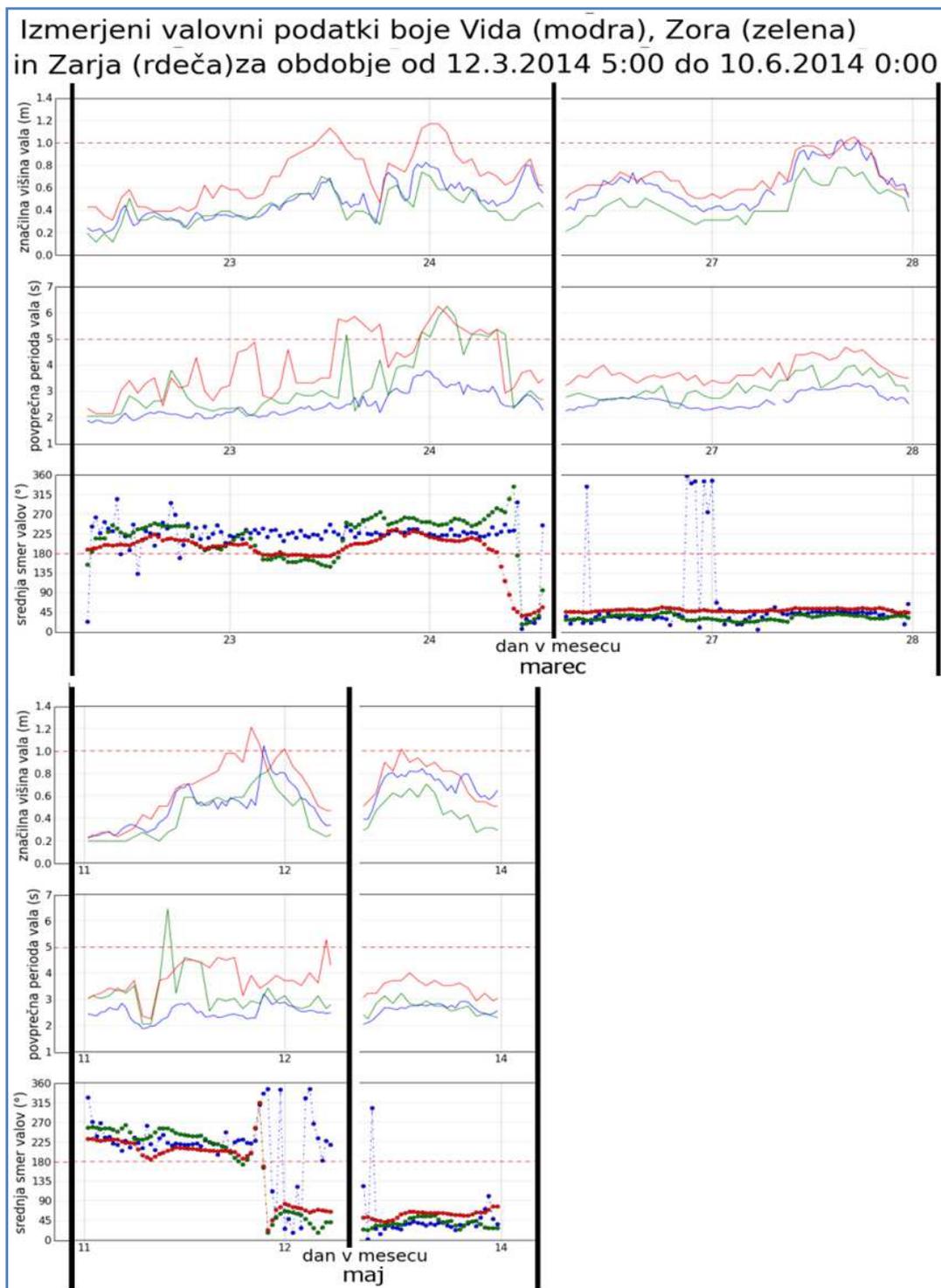
Roža značilnih višin vala boje Zore (Slika 33) pokaže dve prevladujoči smeri valovanja: iz SV in bolj Z kot JZ. Vzrok za to bi bil lahko vpliv plitvinske deformacije valov (ang. shoaling), saj zaradi vpliva dna pride do refrakcije (loma vala, ang. refraction) in zaradi bližnje obale do uklona (ang. diffraction) valov. Druga možnost pa bi bila lahko tudi slabo zaznavanje smeri v primeru nizkega valovanja. Le 0,2 % valov preseže višino 0,8 metra.



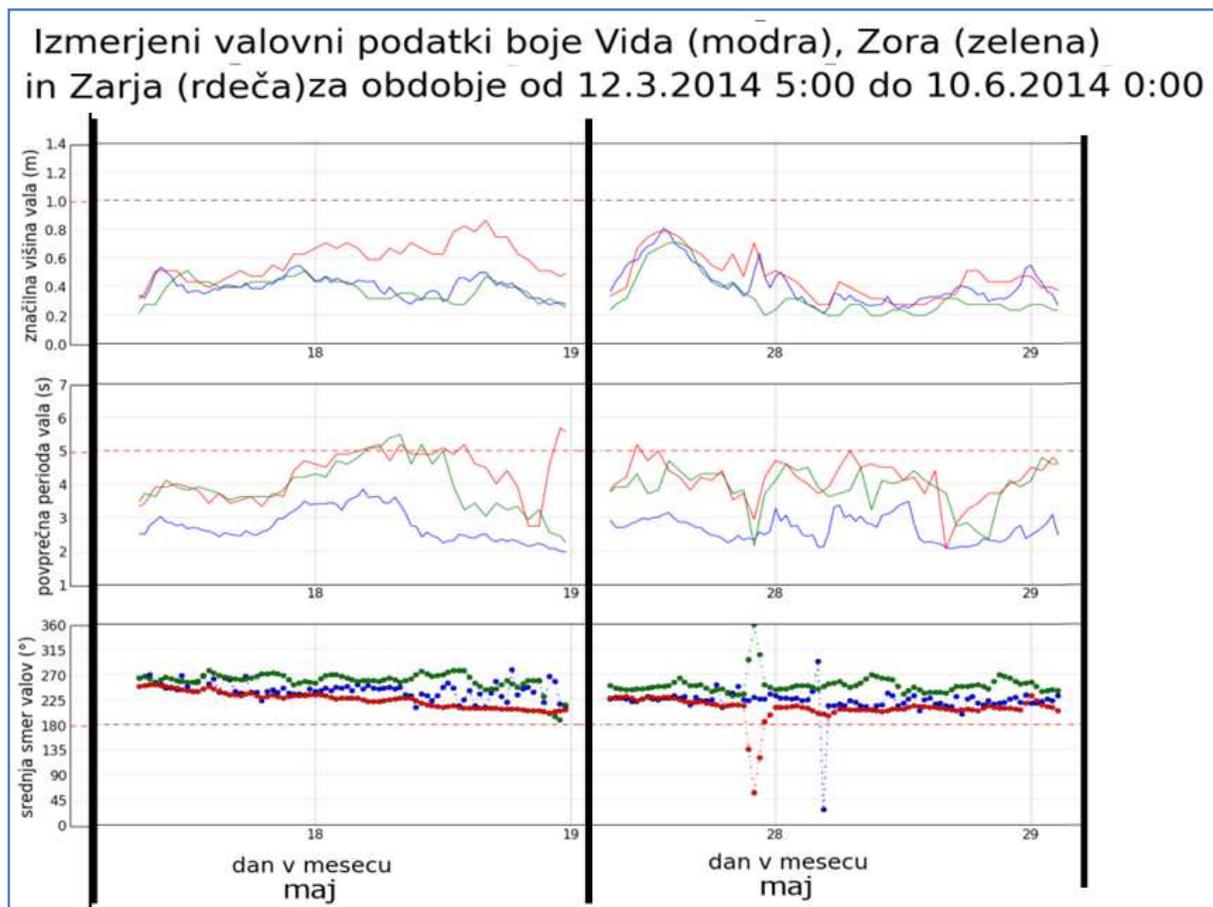
Slika 34: Roža značilnih višin vala boje Zarje za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014 (n = 2156, urni časovni korak).

Tudi pri boji Zarji (Slika 34) prevladata smeri valovanja JZ in SV, še veliko bolj izrazito kot pri prejšnjih rožah valov. Še posebej izstopa valovanje iz smeri 205° – 215° , ki predstavlja kar 19 % valovanja. Iz smeri 185° – 235° se širi kar 50 % valovanja. Iz smeri 315° – 335° pride le 0,003 % valov. Smeri 270° – 30° in 90° – 170° predstavljata le 14,5 % valov. Roža pokaže na višje valovanje kot pri meritvah Vide in Zore (to potrjuje tudi Preglednica 8). 3 % valov presežejo 0,8 metra. 0,8 % valov preseže 1 meter. 0,14 % (tri meritve) valov preseže 1,2 metra iz smeri 195° – 225° . Prevladujoča JZ smer valovanja je nekoliko bolj zamaknjena proti J kot pri Vidi.

Kot že pri pregledu podatkov boje Vide v poglavju 3.3 (Slika 22) in z rožama Vide (Slika 32) in Zarje (Slika 34) nizko valovanje do 0,4 metra prevladuje iz smeri JZ, v primeru Zore (Slika 33) pa iz smeri Z. Trdimo lahko, da vse boje pravilno ali napačno določijo smer nizkega valovanja.



Slika 35: Izpisani valovni podatki ekstremnih dogodkov za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014: boja Vida (modra), boja Zora (zelena) in boja Zarja (rdeča).



Slika 36: Izpisani valovni podatki ekstremnih dogodkov za obdobje od 12. 3. 2014 do 10. 6. 2014: boja Vida (modra), boja Zora (zelena) in boja Zarja (rdeča).

Slika 35 in Slika 36 prikazujeta valovne podatke za daljše ekstremne dogodke (vsaj 12 ur), kjer smer valovanja ne variira kot pri mirnem morju in kjer so verjetno periode vala Zore in Zarje pravilne. Opazimo samo dva celotna dogodka z valovi iz smeri SV (0° – 90°). Podani so še štirje dogodki z valovanjem iz smeri JZ (180° – 315°), kjer se pozneje pri dveh spremeni smer valovanja na SV. Pri valovanju iz SV se običajno izmerjena smer na vseh treh bojah bolj sklada kot pri valovanju iz smeri JZ.

Najvišje značilne valovne višine običajno meri Zarja, najnižje pa Zora. Ob valovanju iz smeri JZ se valovni višini Vide in Zore bolj skladata kot v primeru valovanja iz smeri SZ, kjer je značilna višina vala Vide običajno nižja od značilne višine Zarje in višja od značilne višine Zore.

Perioda vala Zore in Zarje je običajno daljša kot pri Vidi. Vzrok za to je lahko drugačen inštrument merjenja valov ali pa so na lokaciji boje Vide posebni lokalni pogoji. Najdaljša perioda je običajno izmerjena na boji Zarji. Možno je, da bi se ob močnem valovanju iz smeri JV in Z lahko pojavile daljše periode na boji Zora, saj ima v tem primeru daljše privetrisče. Zato podatka povprečne periode (okoli 6,5 sekunde) Zore v prvi polovici dneva 11. 5. 2014 ne moremo izločiti kot napako.

4 METODE IN MATERIALI

4.1 Določitev enačbe za prilagoditev rezultatov valovnega modela

Valovni model WAM podceni značilne višine valov, še posebej iz smeri SV. To ugotovimo na podlagi analizirane valovne klime (poglavji 2 in 3). Zato je potrebno višine valov z enačbo prilagoditi (popraviti) glede na meritve boje Vide. Predlagamo postopek za določitev enačbe, ki med drugim vsebuje teorijo validacije in korekcijskega razmerja (4.1.1). Izračunani podatki (rezultati) se nanašajo na podatke valovnega modela. Merjeni podatki se nanašajo na podatke boje.

4.1.1 Validacija in korekcijsko razmerje

4.1.1.1 Uvod

V preteklosti so za določanje valovne klime uporabljali vizualna opazovanja gladine vode. Sledilo je merjenje z bojami. Te so najbolj natančne, vendar merijo le podatke v določeni točki, mreža boj pa je zelo razpršena. Za boljšo pokritost poskrbita daljinsko zaznavanje in numerični valovni modeli. Ta načina sta pogosto umerjena z meritvami boj, ne glede na kvaliteto podatkov. Numerični valovni modeli lahko pokrivajo vse od majhnih vodnih površin pa do oceanov. Problem sta nenatančnost in nezanesljivost zaradi napak v parametrizaciji modela, začetnih pogojev, odvisnosti od drugih parametrov (npr. napačni vetrovni podatki), diskretne mreže ter fizikalne nezanesljivosti samega modela. Opravljenega je bilo že veliko dela na primerjavi in izboljšavi (korekciji/umerjanju) valovnih modelov (izračunanih podatkov) in inštrumentov daljinskega zaznavanja z drugimi načini meritev. Daljinsko zaznavanje in valovni model se lahko primerjata z meritvami boj. Valovni model pa se lahko primerja tudi z daljinskim zaznavanjem (Soukissian in Prospathopoulos, 2006). Z validacijo oziroma korekcijskim razmerjem se preveri (ovrednoti) natančnost oziroma prilagodi (popravi) izračunane podatke glede na merjene podatke.

V opisanem primeru Tržaškega zaliva smo izvedli validacijo in določitev korekcijskega razmerja rezultatov (izračunanih podatkov) valovnega modela glede na merjene podatke boje. Na enak način je možna tudi validacija in določitev korekcijskega razmerja valovnega modela glede na podatke pridobljene z daljinskim zaznavanjem ter podatkov daljinskega zaznavanja glede na podatke z boje.

4.1.1.2 Validacija

V nadaljevanju so opisane enačbe in postopki za validacijo glede na WMO (1998), če to ni drugače napisano. Postopki se lahko uporabljajo tudi za verifikacijo.

Pomembna zahteva ocene valovnega modela je razpoložljivost zanesljivih izmerjenih podatkov in pripadajočih vremenskih podatkov.

Najboljša validacija je primerjava opazovanega smernega valovnega spektra. Te meritve pa so dokaj redke, pri njih se namreč pojavlja problem interpretacije rezultatov ob primerjavi posameznih smernih valovnih spektrov.

Validacija modela je običajno izvedena s statistično obdelavo vseh razpoložljivih podatkov. Temelji na primerjavi izračunanih parametrov. Splošno razširjen pristop je izvedba linearne regresije pomembnih parametrov, kot so značilna višina vala (H_s), značilna perioda glede na specifikacijo (T_s) ter podatkov o smeri valovanja. Dodatno lahko primerjamo povprečni valovni spekter ali kumulativno porazdelitev (npr. značilne valovne višine) za sočasne rezultate modela in meritev. Veter poganja model, zato je neločljivo povezan z valovi. Večina študij upošteva tudi validacijo vetrovne hitrosti in smeri.

Večina validacij poskuša izračunati več statističnih parametrov in analizirati njihovo magnitudo in variacijo za določitev natančnosti valovnega modela. Med najbolj pogosto uporabljenimi parametri so:

- srednja napaka (ang. mean error – **ME**) ali pristranskost (ang. bias) (Mahjoobi in Etemad-Shahidi, 2008):

$$ME = \bar{y} - \bar{x}; \quad (4)$$

- koren srednje kvadratne napake (ang. root-mean-square error – **RMSE**) (Mahjoobi in Etemad-Shahidi, 2008):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - y_i)^2}; \quad (5)$$

- indeks razpršenosti (ang. scatter index – **SI**), ki je definiran kot razmerje med korenom srednje kvadratne napake $RMSE$ in povprečno merjeno vrednostjo \bar{x} (Mahjoobi in Etemad-Shahidi, 2008):

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}}; \quad (6)$$

- Pearsonov linearni korelacijski koeficient vzorca (**R**) med izračunanimi in merjenimi vrednostmi (Etemad-Shahidi in Mahjoobi, 2008):

$$R = \frac{\sum[(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})]}{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2 \sum (x_i - \bar{x})^2}}; \quad (7)$$

V enačbah pomeni x_i merjeno vrednost, y_i izračunano vrednost, n število merjenih/izračunanih podatkov, \bar{x} povprečje vseh merjenih vrednosti x in \bar{y} povprečje vseh izračunanih vrednosti y .

Bližje kot so ME , $RMSE$ in SI vrednosti 0, bolj se ujemajo merjeni in izračunani podatki. Do leta 1998 je valovni model WAM na ECMWF izračunal valovne višine z $RMSE$ od 0,4 metra do 0,7 metra in ME od 0,05 metra do 0,2 metra.

ME poda povprečno razliko med izračunanimi in merjenimi podatki, pri čemer pomeni pozitivna vrednost, da valovni model preceni merjene podatke. Enota je odvisna od obravnavanega parametra.

$RMSE$ je posplošena oblika standardne deviacije. Pove natančnost ujemanja izračunanih in merjenih podatkov. Enota je odvisna od obravnavanega parametra.

SI (%) je naslednji parameter, ki pove natančnost ujemanja izračunanih in opazovanih podatkov v odstotkih.

R predstavlja moč linearne povezanosti izračunanih in merjenih podatkov.

Navedeni štiri parametri so najboljši indikatorji pravilnega delovanja modela. Ob izračunanih parametrih je podano tudi število merjenih/izračunanih podatkov n .

Lahko upoštevamo tudi druge statistične izračune, npr. naklon in točko sekanja regresijske premice med podatki modela in boje (WMO, 1998). Izvedemo lahko tudi klasično regresijsko analizo (ang. classical regression – CR) oz. preprosto linearno regresijo, ki podaja linearno povezavo med spremenljivkami.

Klasična regresija je pogosto napačno uporabljena, saj zahteva, da so neodvisne spremenljivke (stohastične ali ne) merjene brez napak. Pogoji je v praksi redkokdaj izpolnjen. Zato bi bila potrebna bolj splošna metodologija, npr. napaka v spremenljivkah (ang. errors in variables – EIV, opisano v poglavju 4.1.1.3). Ta poda strukturno razmerje (zvezo) med spremenljivkami in dovoljuje napako v merjenju obeh spremenljivk. Kadar je potrebna prilagoditev (popravek) podatkov (npr. izračune valovnega modela približati realnim rezultatom meritve boj), se iz strukturnega razmerja določi korekcijsko razmerje (ang. correction relation), ki lahko temelji na linearnem odnosu. Omenjeni način analize na primeru primerjav valovnih podatkov je bolj podrobno opišeta v Soukissian in Prospathopoulos (2006).

Opisanih je nekaj raziskav validacije med meritvami boj, daljinskim zaznavanjem, izračunom valovnih modelov (Soukissian in Prospathopoulos, 2006; Soukissian in Kechris, 2007; Sandhya et al., 2014; Gusdal in Carrasco, 2012; Shanas et al., 2014), med drugim tudi validacija med bojo Vido in valovnim modelom WAM na ARSO (Ličer, 2013). V nekaterih je določeno tudi korekcijsko razmerje.

4.1.1.3 Korekcijsko razmerje

V nadaljevanju podajamo teoretične osnove potreben za določitev korekcijskega razmerja, povzete po Soukissian in Prospathopoulos (2006).

Po metodi napake v spremenljivkah (ang. errors in variables – EIV) upoštevamo, da sta obe spremenljivki X in Y merjeni oziroma izračunani z napako:

$$X_i = \xi_i + \delta_i \quad (8)$$

in

$$Y_i = \eta_i + \varepsilon_i, \quad (9)$$

kjer sta δ_i in ε_i napake meritev za X_i in Y_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Z domnevo, da velja linearno razmerje med neizmerjeno oziroma neizračunano vrednostjo ξ_i in η_i , velja naslednje razmerje med X in Y :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 (X_i - \delta_i) + \varepsilon_i \Leftrightarrow Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + (\varepsilon_i - \beta_1 \delta_i), \quad (10)$$

kjer je $(\varepsilon_i - \beta_1 \delta_i)$ člen z napako. β_0 in β_1 sta pa sta parametra modela. Zgornje razmerje je podobno klasični enačbi regresije $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ z majhno, toda ključno razliko člena z napako: v regresijski enačbi je X neodvisen od člena napake, v enačbi (10) pa ne. Običajna metoda najmanjših kvadratov (ang. least square method), uporabljena pri klasični regresiji za oceno β_1 , lahko rezultira v pristransko oceno β_1 . Zato je potrebno oceniti β_0 in β_1 z metodo največjega verjetja (ang. maximum likelihood method). V tem primeru imamo problem določanja ocene zaradi nujne dodatne informacije. Predlagan je dodatni parameter λ , ki definira razmerje med variancama merjenih σ_ε oziroma izračunanih napak σ_δ :

$$\lambda = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sigma_\delta^2}. \quad (11)$$

V primeru, da je λ znan, velja:

$$b_1 = \frac{S_{YY} - \lambda S_{XX} + \sqrt{(S_{YY} - \lambda S_{XX})^2 + 4\lambda S_{XY}^2}}{2S_{XY}}, \quad (12)$$

in

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}, \quad (13)$$

kjer je

$$S_{XX} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (14)$$

$$S_{XY} = S_{YX} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (15)$$

$$S_{YY} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (16)$$

in sta \bar{x} in \bar{y} povprečni vrednosti (vzorca) spremenljivk X in Y . Vsoti S_{XX} in S_{YY} sta popravljene vsoti kvadratov (ang. corrected sums of squares), vsoti S_{XY} in S_{YX} pa sta popravljene vsoti križnih produktov (ang. corrected sums of cross products).

V praktičnih primerih običajno σ_ε^2 in σ_δ^2 nista znana. Pametna izbira λ lahko vodi do zadovoljivega rezultata. Za $\lambda = 1$ je zgoraj opisani postopek definiran kot ortogonalna regresija razdalj (ang. orthogonal distance regression – **ODR**). V tem primeru je ocena β_0 in β_1 podana z b_0 in b_1 oziroma z enačbama (12) in (13). Za $\lambda = S_{YY}/S_{XX}$ je postopek definiran kot geometrična povprečna funkcijska odvisnost (ang. geometric mean functional relationship – **GMFR**). b_1 je poenostavljen v:

$$b_1 = \sqrt{S_{YY}/S_{XX}}, \quad (17)$$

ter pomeni geometrično povprečje naklonov regresijskih enačb Y na X in X na Y . Geometrijsko povprečje je torej neke vrste povprečna vrednost med dvema naklonoma.

V obeh primerih zgoraj sta b_0 in b_1 pristranski, vendar dosledni oceni β_0 in β_1 .

Obstajajo še druge izbire λ . Na primer $\lambda \rightarrow \infty$ opiše klasično (običajno, preprosto) regresijo (ang. classical regression – **CR**; simple regression). Slednjo in ostale izbire λ na kratko opišeta Soukissian in Prospathopoulos (2006) in podata tudi literaturo, kjer je to opisano bolj podrobno. Soukissian in Kechris (2007) bolj podrobno opišeta določitev korekcijskega razmerja. V primeru Tržaškega zaliva primerjamo $\lambda = 1$, $\lambda = S_{YY}/S_{XX}$ in $\lambda \rightarrow \infty$. Priporoča se $\lambda = 1$ za določitev korekcijskega razmerja značilnih valovnih višin (Boogs in Rogers, 1990; Draper in Smith, 1998; JCOMM, 2003; Ray in Beckley, 2003; cit. po Soukissian in Prospathopoulos, 2006).

Za obravnavani primer so zapisane enačbe, kot sledi v nadaljevanju. Značilna višina vala, izmerjena z bojo, je definirana kot $H_{S,B}$, izračunana z valovnim modelom WAM pa kot $H_{S,M}$. Obe vrednosti sta izmerjeni/izračunani z napako, zato običajna regresija ni pravilna. Ker je v obravnavanem primeru napaka valovnega modela veliko večja od napake boje, uporabimo razmerje $\lambda = S_{YY}/S_{XX}$.

V obravnavanem primeru je enačba (10) zapisana kot:

$$H_{s,M} = \beta_0 + \beta_1 H_{s,B} (\varepsilon_i - \beta_1 \delta_i), \quad (18)$$

kjer sta δ_i in ε_i napaki za $H_{s,B}$ in $H_{s,M}$. Parameter λ , ki je potreben za oceno β_0 in β_1 je definiran kot:

$$\lambda = \frac{\sigma_{\varepsilon,M}^2}{\sigma_{\delta,B}^2} \quad (19)$$

kjer sta $\sigma_{\delta,B}^2$ in $\sigma_{\varepsilon,M}^2$ varianci meritev na boji in rezultatov valovnega modela. Po oceni β_0 in β_1 je razmerje med $H_{s,B}$ in $H_{s,M}$ naslednje:

$$H_{s,M} = b_0 + b_1 H_{s,B}. \quad (20)$$

Ker varianci $\sigma_{\delta,B}^2$ in $\sigma_{\varepsilon,M}^2$ nista znani, sami določimo λ . Za $\lambda = 1$ in $\lambda = \infty$ je b_1 izračunan z enačbo (12), pri $\lambda = S_{H_M H_M} / S_{H_B H_B}$ pa z enačbo (17).

S preoblikovanjem enačbe strukturnih razmerij (20) dobimo naslednje korekcijsko razmerje:

$$H_{s,M} = b_0 + b_1 H_{s,B} \Leftrightarrow \hat{H}_{s,M} = -\frac{b_0}{b_1} + \frac{1}{b_1} H_{s,M}, \quad (21)$$

kjer je $\hat{H}_{s,M}$ prilagojena (popravljen) značilna višina vala in $H_{s,M}$ originalno izračunana značilna višina valovnega modela WAM. Enačba je korekcijsko razmerje za prilagoditev značilne višine vala valovnega modela.

4.1.2 Primerjava števila ekstremnih konic

Pri analizi števila ekstremnih konic modelskih rezultatov in prilagojenih rezultatov primerjamo izračunane ($H_{s,M}$) in prilagojene ($\hat{H}_{s,M}$) višine valov glede na merjene vrednosti ($H_{s,B}$). Ker gre za mirno valovno klimo, kot prag vzamemo višino vala 1 meter in časovno razliko med dvema konicama 1 dan. Definiramo lahko 5 različnih dogodkov: zgrešen, podcenjen, ustrezen, precenjen in umeten. Prve štiri situacije se pojavijo, ko je merjena višina vala $H_{s,B}$ večja ali enaka 1 m in je izračunana $H_{s,M}$ ali prilagojena $\hat{H}_{s,M}$ značilna višina vala:

- nižja od 1 metra in $H_{s,B}$: zgrešen dogodek.
- nižja od $H_{s,B}$ vsaj za 0,1 metra in večja ali enaka 1 m: podcenjen dogodek;
- približno enaka merjeni višini vala $H_{s,B}$ ($\pm 0,1m$) in večja ali enaka 1 m: ustrezen dogodek;
- višja od $H_{s,B}$ vsaj za 0,1 metra in večja ali enaka 1 m: precenjen dogodek;

Zadnja situacija je, ko je merjena višina vala $H_{s,B}$ manjša od 1 metra in ko:

- je izračunana $H_{s,M}$ ali prilagojena $\hat{H}_{s,M}$ značilna višina vala večja ali enaka 1 meter: umeten dogodek.

4.1.3 Točka modela na lokaciji boje

Postopek za določitev enačbe za prilagoditev (popravek) rezultatov valovnega modela na lokaciji boje je naslednji:

1. Validacija (opisano v poglavju 4.1.1.2) izračunanih podatkov valovnega modela glede na sočasno merjene podatke boje. S tem se oceni pravilnost delovanja modela.
2. Določitev strukturnih razmerij (opisano v poglavju 4.1.1.3) in njihov izris na grafikonu raztrosa.
3. Glede na parameter λ se odločimo, katera od treh regresij (ODR, GMFR, CR) je boljša za obravnavani primer. V nadaljevanju lahko za primerjavo podamo tudi drugi dve regresiji.
4. Če ocenimo, da je (so) strukturna razmerja preslaba (posledica slabega ujemanja izračunanih in merjenih podatkov), vzorec oziroma vzorce razdelimo na podvzorce. V obravnavanem primeru smo za kriterije razdelitve izbrali naslednje podatke modela: določen obseg smeri in višjo periodo valovanja. Kriterija sta izbrana na podlagi analize valovne klime (poglavji 2 in 3). Pomembno je, da z razdelitvijo zajamemo ekstremne podatke. Vrnemo se na 1. korak, kjer za vsak podvzorec vzporedno sledimo postopku. Izbrana regresija v tretjem koraku lahko za celoten vzorec ostane ista. Ko je (so) strukturna razmerja sprejemljiva, se pomaknemo na 5. korak.
5. Iz strukturnih razmerij izpeljemo korekcijska razmerja (opisano v poglavju 4.1.1.3). Na njihovi podlagi ter na podlagi kriterijev razdelitve iz 4. koraka oblikujemo enačbo za prilagoditev (popravek) izračunanih podatkov modela.
6. Enačbo bi bilo potrebno uporabiti na novem vzorcu (drugo časovno obdobje) valovnega modela in boje. Ker takšnega novega vzorca nimamo, to opravimo na vzorcu, ki je bil uporabljen za določitev enačbe. Opravimo 1. in 2. korak. S tem se preveri učinkovitost/pravilnost enačbe. Za grafično primerjavo se dodatno prikaže izris prilagojenih rezultatov na grafikonu (Slika 30) iz poglavja 3.6.
7. Ker v nadaljevanju naredimo analizo ekstremnih valov, predlagamo primerjavo števila ekstremnih konic izračunanih in prilagojenih rezultatov glede na izbran prag in časovno razliko med konicami (opisano v poglavju 4.1.2).

Za validacijo in določitev strukturnega ter korekcijskega razmerja uporabimo podatke iz obdobja od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010, toda le v obdobjih, ko so bili merjeni valovni podatki na Vidi. Uporabljeni podatki so isti kot v poglavju 3.5. Podatki valovnega modela WAM v točki 6 so s časovno linearno interpolacijo iz enournega časovnega koraka spremenjeni na polurni časovni korak boje Vide.

V 4. koraku vzorec razdelimo na naslednji način: vemo, da so tipično največji valovi v primeru oštra, lebiča in burje iz smeri SV in JZ, zato celotni vzorec najprej razdelimo na valove iz: a) SV (25° – 75°), b) JV (195° – 225°) in c) ostalo. Za boljšo oceno višjega valovanja z daljšo periodo vzorca a) in b) še dodatno razdelimo.

Vzorec valov iz SV a) razdelimo na dva vzorca značilnih višin valov z različno periodo: a1) krajšo ($P_{s,M} < 3 s$) in a2) daljšo ($P_{s,M} \geq 3s$). Vzorec valov iz JV razdelimo na 4 podvzorce: glede na valove iz različnih smeri in potem glede na različno periodo. Primeri so naslednji: b1.1) smer (185° – 215°) in kratka perioda ($P_{s,M} < 4,6s$); b1.2) smer (185° – 215°) in dolga perioda ($P_{s,M} \geq 4,6s$); b2.1) smer (215° – 245°) in kratka perioda ($P_{s,M} < 4,4s$); b2.2) smer (215° – 245°) in dolga perioda ($P_{s,M} \geq 4,4s$).

4.1.4 Ostale točke modela

Uporaba enačbe za prilagoditev rezultatov na lokaciji boje za ostale računske točke v diplomski nalogi je skoraj identična. Seveda poda manj točne rezultate kot na lokaciji točke 6. Vendar je uporaba skoraj identične enačbe nujna, saj nimamo druge izbire.

4.1.5 Linearna regresija valovnih višin med bojo Vido, Zoro in Zarjo ter njena primerjava s linearno regresijo izračunanih valovnih višin valovnega modela na lokaciji boj

Dodatno primerjamo linearnih regresij (strukturna razmerja) valovnih višin med bojami (Vido, Zoro in Zarjo; podatki iz poglavja 3.7) in med točkami valovnega modela na lokaciji boj (podatki iz poglavja 3.4; za lokacijo Zore in Zarje so podatki linearno interpolirani). S tem izvemo, ali valovni model izračuna na različnih točkah v podobnem razmerju sočasne višine valov, kot so v primeru boj na istih lokacijah. Rezultatov valovnega modela (od 2001 do 2010) v istem obdobju kot so zabeležene meritve na bojah (od marca do junija 2014) nimamo. Za medsebojno primerjavo podatkov med posameznimi bojami podajamo dva koeficienta statistike validacije iz poglavja 4.1.1.2: pristranskost (ali srednja napaka ME) in korelacijski koeficient R. Podamo potencialna strukturna razmerja (opis v poglavju 4.1.1.3). ME se uporabi kot merilo povprečne razlike, R kot oceno stopnje linearne povezave in strukturna razmerja kot enačbe linearne odvisnosti med višinami valov na različnih lokacijah.

Te metode se običajno uporabljajo za validacijo podatkov na isti lokaciji, tukaj pa jih uporabimo za podatke na različnih lokacijah.

4.2 Statistična analiza ekstremnih valov

4.2.1 Uvod

Teorija statistične analize ekstremnih valov oziroma dolgoročne statistične analize valov je večinoma povzeta po knjigi *Random seas and design of maritime structures* (Goda, 2010). Ostali viri so navedeni sproti. Postopki so opisani v poglavju 4.2.16. Bolj podrobno je teorija, ki je povezana z obravnavanim primerom v Tržaškem zalivu podana v nadaljevanju.

Glavni rezultat analize je ocena značilne višine vala z določeno povratno dobo oziroma povratna značilna višina vala. Skupaj z njo ter projektnimi pogoji in tipom konstrukcije lahko določimo projektno višino vala. Ne glede na to definicijo lahko že samo oceno značilne višine z določeno povratno dobo poimenujemo projektna višina vala.

V diplomski nalogi izbira projektne višine vala ob določenih projektnih pogojih in tipu konstrukcije ni obravnavana. Podrobneje jo razložita Goda (2010) in Thoresen (2003).

Prvi korak pri načrtovanju morske konstrukcije je določitev projektne višine vala. Večinoma so to značilne višine vala ob neurjih/nevihtah, ki bi bile presežene enkrat za dano dobo (npr. 100 let) oz. se pojavljajo z neko statistično verjetnostjo (npr. 1%). Izbrane so na osnovi statistične analize ekstremnih dogodkov.

Viri podatkov valov so lahko naslednji:

- a) dolgotrajne meritve valovne višine in periode z inštrumenti (npr. boja, daljinsko zaznavanje);
- b) dolgotrajna vizualna opazovanja valovne višine in periode;
- c) valovna analiza preteklih dogodkov (ang. hindcast) za valove ob nevihtah za dolgo obdobje;
- d) arhivi svetovnih napovedi valov (valovni modeli).

Viri podatkov so že obravnavani v poglavju 4.1.1.1.

Primarni podatki v obravnavanem primeru so prilagojene (popravljenе) značilne višine valovnega modela v okviru desetih let za Tržaški zaliv. Za primerjavo izvedemo analizo na podlagi podatkov boje Vide.

Zahteve za dobro bazo podatkov so naslednje:

- a) Podatki so karseda brezhibni. Če se pojavijo napake, je podatke potrebno nadomestiti s približnimi vrednostmi iz analize preteklih dogodkov ali s podatki iz bližnjih lokacij.

Pri analizi podatkov boje Vide manjkajoče podatke nadomestimo s prilagojenimi rezultati valovnega modela. Podcenjeni podatki modela so s pomočjo boje Vide in korekcijskimi razmerji približani izmerjenim vrednostim.

- b) Doba merjenih podatkov: ta naj bi bila čim daljša, po možnosti več kot 30 let in minimalno 10 let. Analiza preteklih dogodkov lahko omogoči daljšo bazo podatkov.

Valovni model podaja rezultate za 10 let. Za primerjavo analiziramo podatki boje Vide za 4,28 let. Vrzeli ob nedelovanju boje nadomestimo s prilagojenimi rezultati valovnega modela.

- c) Vsi podatki največjih neviht morajo biti upoštevani.

Največje nevihte najverjetneje model prepozna, zato podatki izpolnjujejo ta pogoj.

Za dolgoročno napoved valov so podatki valov (značilna višina, perioda, povprečna smer) običajno podani v časovnem koraku treh do šestih ur (Holthuijsen, 2007). V obravnavanem primeru imamo rezultate s časovnim korakom ene ure oziroma pol ure pri analizi podatkov boje Vide. V primeru Tržaškega zaliva je to nujno, saj so nevihte večinoma kratkotrajne in bi triurni korak verjetno znižal najvišje valove. Izjema so le nekateri dogodki dolgotrajne burje.

Natančnost napovedi je odvisna od kvalitete podatkov in dolžine opazovanj. Empirično pravilo pravi, da so lahko valovne višine ekstrapolirane za obdobje, ki je največ trikrat daljše od časa meritev/podatkov (Gomes in Pinto, 2013). To velja v primeru stalne klime. Torej lahko na podlagi dosegljivih podatkov izvedemo razmeroma zanesljivo napoved na podlagi valovnega modela za 30 let oziroma za približno 13 let na podlagi boje Vide.

Fizična omejitev maksimalne višine valov zaradi plitvega dna pri meritvah in numeričnih simulacijah višine valov ni opazna. Toda potrebno je paziti na omejitev ob ekstrapolaciji ekstremnih podatkov, valov (Holthuijsen, 2007). Za Tržaški zaliv bi bilo potrebno predpostaviti še eno omejitev maksimalne višine valov, ki je težko določljiva in ni omenjena v literaturi: omejitev zaradi zaprtosti zaliva oziroma omejene privetrisčne razdalje, hitrosti in trajanja vetra. Ta omejitev v diplomski nalogi ni določena.

Nerešen problem v statistiki ekstremnih valov so tudi dolgoročne podnebne spremembe. Ne vemo, kakšne spremembe v klimi valovanja so se dogajale v zgodovini (več kot 50 let nazaj) niti kakšne se bodo zgodile v prihodnosti. Izbira projektne višine vala na osnovi ekstremne statistike valov je preprosto narejena na (zaželeni) predpostavki, da v prihodnosti življenjske dobe konstrukcije ostane valovna klima enaka kot v preteklosti. V poglavju 2.3 je podan pregled raziskav na temo klimatskih sprememb na območju Jadranskega morja.

4.2.2 Vir in obseg podatkov za pripravo vzorca

Za oceno projektne višine na lokaciji boje Vide oziroma na lokaciji točke 6 valovnega modela opravimo 3 analize, za ostale točke modela pa samo eno. Analize so narejene na podlagi naslednjih značilnih višin valov:

- Iz meritev boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010. Manjkajočih 24 % podatkov nadomestimo s prilagojenimi rezultati točke 6 valovnega modela. Podani so torej podatki za dobo 4,28 let. Časovni korak podatkov je 30 minut. Ker boja zazna vse nevihte in prevladuje delež njenih podatkov, predpostavimo, da je cenzurni parameter $v = 1$ (enačba (23)). Določitev slednjega je razložena v naslednjem odstavku. Rezultati so v poglavju 5.3.
- Iz prilagojenih rezultatov točke 6 valovnega modela za obdobje meritev boje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010. Analiza je narejena za primerjavo s podatki v prejšnjem odstavku. Doba podatkov je 4,28 let, časovni korak podatkov je 1 ura. Cenzurni parameter je $v = 0,97$. Rezultati so v poglavju 5.4.

Določitev cenzurnega parametra je razložena v tem odstavku. Iz sočasnih podatkov od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010 meritev boje Vide in rezultatov točke 6 valovnega modela sta narejena dva vzorca na podlagi POT (brez manjkajočih 24 % meritev). Boja Vida zabeleži 71 neviht, prilagojeni rezultati valovnega modela pa 69. S tem se določi cenzurni parameter za vse izračune na podlagi valovnega modela: $v = \frac{69}{71} = 0,97$. Rezultati modela v resnici zgrešijo večje število neviht. Tudi po prilagoditvi zgrešijo nekatere dogodke, vendar pa te dogodke skoraj popolnoma nadomestimo z »umetnimi« dogodki (poglavje 4.1.2 in Preglednica 20),

- Iz prilagojenih rezultatov za vse točke valovnega modela od 1. 1. 2001 do 31. 12. 2010. Doba podatkov je 10 let. Časovni korak podatkov je 1 ura. Cenzurni parameter je $v = 0,97$. Rezultati so v poglavju 5.4.

4.2.3 Priprava vzorca

Na razpolago so 3 različne metode izbire vzorca iz vseh možnih valovnih podatkov:

- a) metoda celotnega vzorca (ang. total sample method – **TSM**) uporabi vse zbrane podatke mnogih let,
- b) metoda letnih maksimumov (ang. annual maxima method – **AMM**) uporabi le vsakoletne maksimalne značilne višine valov iz neprekinjeno merjenih podatkov,

- c) metoda vrednosti nad določenim pragom (ang. peaks over threshold method – **POT**) uporabi maksimalne konice značilnih višin valov vsake nevihte, ki presežejo določeno vrednost praga.

Ne glede na metodo so izbrani podatki analizirani v obliki kumulativne porazdelitve na ustrezno porazdelitveno funkcijo.

Izbira metode pridobitve vzorca je nekoliko subjektivna. Temelji na najboljši kvaliteti in kvantiteti razpoložljivih podatkov ter zahtevi podatkov v vzorcu, ki morajo biti:

- neodvisni (ang. independent) – posamezni podatki v vzorcu morajo biti statistično neodvisni.
- homogeni (ang. homogeneity) – posamezni podatki v vzorcu imajo skupno porazdelitev oziroma pripadajo isti populaciji z isto matično porazdelitveno funkcijo (ang. parent distribution function). Holthuijsen (2007) definira homogenost kot identično razporejenost (ang. identical distribution). V primeru, da so v vzorcu valovi povzročeni zaradi različnih vplivov, homogenost oziroma identična razporejenost ne velja. Primer: na oceanu je potrebno razlikovati med mrtvimi in lokalnimi vetrnimi valovi, včasih pa tudi to ni dovolj. Lahko je potrebno razlikovati še med valovi iz različnih smeri ali sezone (Holthuijsen, 2007). Valovi v času monsuna imajo zagotovo drugačno kumulativno porazdelitev kot valovi v času, ko ni monsuna. Zato pripadajo različnim populacijama in najbrž tudi različnim porazdelitvama.

Glede na zgornji zahtevi metoda celotnega vzorca (TSM) ni primerna. Ugotovljeno je bilo tudi, da TSM predvideva 10 % višjo 100-letno višino vala kot metoda vrednosti nad izbranim pragom (POT) zaradi vpliva nižjih valov (Van Vledder et al., 1993, cit. po Goda 2010).

Metoda letnih maksimumov (AMM) in metoda vrednosti nad izbranim pragom (POT) zadostita zahtevi po neodvisnosti podatkov. AMM je slabša v primeru kratkotrajne baze podatkov, saj nastane problem nizke zanesljivosti v statističnem smislu. Za AMM mora biti doba merjenih podatkov vsaj 20 let (Gomes in Pinto, 2013). S POT iz kratkotrajne baze podatkov lahko dobimo večji vzorec kot z AMM. Za doseganje neodvisnosti podatkov je torej potrebno poskrbeti, da so zaporedne vrednosti med seboj dovolj časovno oddaljene. Za AMM je to zagotovljeno od vsega začetka, saj vzamemo le maksimalno vrednost vsakega leta. Zagotavljanje neodvisnosti v primeru POT je razloženo v poglavju 4.2.4.

V obravnavanem primeru homogenosti nismo preverjali, saj je večino analiz izvedena brez omenjenega preverjanja oziroma pogoja homogenosti. Razlog je v dolgotrajnem in utrudljivem postopku, še posebej pri POT. V našem primeru sta dodatna razloga še zelo majhen vzorec in da delamo sploh prvo oceno projektne višine vala za Tržaški zaliv.

4.2.4 Metoda POT

Vzorec POT vsebuje le konice oziroma maksimalne vrednosti značilne višine valov iz vsake nevihte. Nevihta je definirana kot neprekinjeno zaporedje valov, kjer značilne višine vala presežejo relativno visoko vrednost, vrednost praga (ang. treshold). Vrednost, ki jo izberemo kot prag, je zelo odvisna od lokalnih pogojev. Za intenzivno klimo je lahko vrednost praga okoli 5 metrov, medtem ko je za mirno klimo bolj primeren prag 1 meter. Kriterij je zadovoljivo število neviht v dolgem časovnem obdobju, po možnosti nekaj ducat ali več (Holthuijsen, 2007).

Natančna izbira praga je zelo delikatna. Če je prag previsok, je število konic maksimalnih višin valov premajhno. Če je prenizek, je lahko zaporedje nekaj neviht lahko upoštevano kot ena nevihta in ponovno dobimo majhno število vrhov. Tudi če je prag na srednjem nivoju, so lahko valovi v nevihti ločeni na dva dela in je ena nevihta obravnavana kot dva ekstremna dogodka, iz česar sledita dve konici maksimalnih višin valov. Za preprečitev take umetne delitve nekateri priporočajo omejitev minimalnega časa med dvema zaporednima konicama nevihtnih valov: od dveh do štirih dni. Drugi trdijo, da bi bilo bolje prag postaviti tako, da maksimira število neviht v letu ali sezoni. S tem se poveča vzorec in zmanjša možnost neujemanja s porazdelitvijo. S pragom in minimalnim časom med konicama se tako izpolni pogoj neodvisnosti.

Ker imamo v obravnavanem primeru kratkotrajno bazo podatkov, izberemo metodo POT. Pogoj neodvisnosti podatkov je izpolnjen z določitvijo praga 1 meter (v nekaterih primerih več) in na podlagi priporočil dvema dnevoma med zaporednimi konicami (Mathiesen et al., 1994, cit. po Goda, 2010). Pogoj homogenosti ni izpolnjen, saj vzorca ne razdelimo. Razlog je v kratkotrajni bazi podatkov in ker je to prva ocena projektne višine vala v Tržaškem zalivu. Ob delitvi vzorca na več skupin bi bila namreč statistična zanesljivost napovedi še nižja, razdelitev pa bi bila bolj pravilna glede določitve prave porazdelitve za vsako skupino. Sicer pa bi bilo potrebno razdeliti valove na 2 ali 3 skupine. Prvo skupino povzroča burja, drugo in tretjo pa oštro in lebič.

4.2.5 Pomembna parametra vzorca ekstremnih podatkov

Značilnost vzorca ekstremnih podatkov opisujeta dva pomembna parametra. Prvi je povprečna stopnja ekstremnih dogodkov (ang. mean rate of extreme events):

$$\lambda = \frac{N_T}{K}, \quad (22)$$

kjer je N_T število vseh ekstremnih dogodkov (neviht), ki so se zgodili v obdobju K let. V primeru AMM velja $\lambda = 1$. Za POT je povprečna stopnja od nekaj pa do nekaj deset, odvisno od praga, ki določi ekstremne dogodke. K je lahko tudi decimalno število.

Drugi parameter je cenzurni parameter (ang. censoring parameter):

$$v = \frac{N}{N_T}, \quad (23)$$

kjer je N število uporabljenih (upoštevanih) dogodkov v analizi. Za N_T je zadovoljiv tudi približek. Cenzurni parameter je pomemben ob neupoštevanju vseh neviht. V obravnavanem primeru valovni model zgreši določen del neviht.

4.2.6 Predlagane porazdelitvene funkcije za analizo ekstremnih podatkov

V diplomski nalogi so uporabljene naslednje porazdelitvene funkcije za analizo ekstremnih podatkov:

- (1) Fisher-Tippett tip I (FT-I) ali Gumbelova porazdelitev:

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - B}{A} \right) \right]: -\infty < x < \infty, \quad (24)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \exp \left[- \frac{x - B}{A} - \exp \left(- \frac{x - B}{A} \right) \right]: -\infty < x < \infty, \quad (25)$$

kjer je $f(x)$ gostota verjetnosti.

- (2) Fisher-Tippett tip II (FT-II) ali Fréchetova porazdelitev:

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 + \frac{x - B}{kA} \right)^{-k} \right]: k > 0, \quad B - kA \leq x < \infty, \quad (26)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1 + \frac{x - B}{kA} \right)^{-(1+k)} \exp \left[- \left(1 + \frac{x - B}{kA} \right)^{-k} \right]. \quad (27)$$

- (3) Minimalna Weibullova porazdelitev

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - B}{A} \right)^k \right]: k > 0, \quad B < x \leq \infty, \quad (28)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x - B}{A} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{x - B}{A} \right)^k \right]. \quad (29)$$

V zgornjih enačbah je A parameter umerjenosti oziroma višine (ang. scale parameter), ki določa linearno naraščanje vrednosti x . B je parameter lokacije (ang. location parameter), ki določa lokacijo porazdelitve na osi x . Parameter k je parameter oblike (ang. shape parameter), ki določa funkcijsko obliko porazdelitve. Parameter k je brezdimenzijski, medtem ko imata A in B iste enote kot x . Imena parametrov niso univerzalna. V nadaljevanju je minimalna Weibullova porazdelitev poimenovana samo kot Weibullova porazdelitev. Potrebno je opozoriti na to, da je v nekateri literaturi Weibullova porazdelitev mišljena kot Fisher-Tippett tip III (FT-III) porazdelitev.

Weibullova porazdelitev vsebuje eksponentno porazdelitev, ko je parameter oblike $k = 1$. Kadar je $k = 2$, poda približno enako stopnjo testa skladnosti kot lognormalna porazdelitev.

Na splošno so v analizi ekstremnih podatkov lahko uporabljene tudi mnoge druge porazdelitvene funkcije, da dosežemo ujemanje vzorca, npr. posplošena Pareto, Pearson type III, itd.

V diplomski nalogi imamo z različnimi vrednostmi parametra oblike k devet predlaganih porazdelitev (ang. candidate distributions): FT-II ($k = 2,5, 3,33, 5, 10$), FT-I in Weibull ($k = 0,75, 1, 1,4, 2$). Ker sta FT-II in Weibull triparameterski porazdelitvi, za vsako vzamemo 4 predpostavljene vrednosti parametra oblike k . Podane vrednosti parametra k so izbrane na podlagi Goda (2010), saj samo za njih poda koeficiente v preglednicah. Omenjene porazdelitve testiramo na podlagi teorije iz poglavja 4.2.13 in 4.2.14. S tem odkrijemo porazdelitev, ki je najbližje neznani porazdelitvi populacije.

4.2.7 Izbira metode ocene parametrov porazdelitve

Potrebno je izbirati proces prilaganja vzorca (ang. fitting) porazdelitvi oziroma metodo za oceno parametrov porazdelitve. Za oceno parametrov v predlaganih porazdelitvenih funkcijah je možnih več metod:

- a) metoda momentov (ang. method of moments),
- b) metoda verjetnostno obteženih momentov (ang. method of probability-weighted moments),
- c) metoda momentov L (ang. method of L-moments),
- d) metoda največjega verjetja (ang. maximum likelihood method),
- e) metoda najmanjših kvadratov (ang. least square method – **LSM**),
- f) razširjena metoda najmanjših kvadratov (ang. extended least squares method).

V diplomski nalogi izberemo metodo najmanjših kvadratov LSM, ki jo tudi na kratko opišemo. Goda (2010) podrobneje razloži tudi ostale metode.

Metoda najmanjših kvadratov (LSM) je numerična verzija tehnik grafičnega prilaganja z regresijsko analizo med zaporedno statistiko $x_{(m)}$ ekstremnih podatkov in njihovimi reduciranimi variatami $y_{(m)}$ (ang. reduced variates).

Metoda ima preproste algoritme in uporabo. V nadaljevanju opisani postopki za reducirane variate $y_{(m)}$ (poglavje 4.2.9), določitev parametrov (poglavje 0) in oceno povratne vrednosti (poglavje 4.2.11) veljajo le v primeru uporabe LSM.

Čeprav jo je težko neposredno uporabiti za triparametersko porazdelitev, ostane metoda izvedljiva s spremembo triparameterske porazdelitve v dvoparametersko porazdelitev s fiksiranjem parametra oblike k na nekaj izbranih vrednosti.

4.2.8 Enačba izrisa pozicije (ang. plotting position formula)

Vzorec spada v kategorijo vrstilne statistike (ang. order statistics), saj so podatki urejeni v vrstnem redu od največje do najmanjše vrednosti, izraženo s številko zaporedja m . Spremenljivka $x_{(m)}$ in njena neprekoračena verjetnost $F_{(m)}$ (ang. nonexceedance probability) reda m sta označeni z indeksom (m) . Verjetnost variate določi enačba izrisa pozicije. Nepristranska oblika enačbe je lahko izražena v splošni obliki:

$$\hat{F}_{(m)} = 1 - \frac{m - \alpha}{N_T + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N. \quad (30)$$

Preglednica 9 podaja konstanti α in β za različne porazdelitve. Enačba uporabi število vseh ekstremnih dogodkov N_T namesto števila ekstremnih dogodkov v vzorcu N , zato je uporaba formule možna tudi v cenzuriranem vzorcu. S predlaganimi konstantami (Preglednica 9) so rezultati enačbe (30) nepristranski oziroma je pristranskost majhna.

Preglednica 9: Konstante za nepristransko enačbo izrisa pozicije (Goda, 2010: str. 553).

Porazdelitev	α	β
FT-II	$0,44 + 0,52/k$	$0,12 - 0,11/k$
FT-I	0,44	0,12
Weibull	$0,20 + 0,27/\sqrt{k}$	$0,20 + 0,23/\sqrt{k}$

4.2.9 Izračun reducirane variate

Reducirana variata $y_{(m)}$ za $m - ti$, podatek je izračunana kot:

$$\begin{cases} FT - I: & y_{(m)} = -\ln[-\ln \hat{F}_{(m)}], \\ FT - II: & y_{(m)} = k \left[(-\ln \hat{F}_{(m)})^{-\frac{1}{k}} - 1 \right], \\ Weibull: & y_{(m)} = [-\ln(1 - \hat{F}_{(m)})]^{\frac{1}{k}}. \end{cases} \quad (31)$$

4.2.10 Sočasna enačba za določitev umeritvenega in lokacijskega parametra

Med vrstilno statistiko $x_{(m)}$ in reducirano variato $y_{(m)}$ velja linearno razmerje:

$$x_{(m)} = \hat{B} + \hat{A}y_{(m)}, \quad (32)$$

Za rešitev enačbe (32) zadošča katerikoli numerični algoritem za metodo najmanjšega kvadrata LSM. Potrebno pa je biti pozoren na to, da je zapisana v drugačni obliki kot običajno: $y = a + bx$.

Parametra \hat{A} in \hat{B} sta ocenjena s sledečo sočasno enačbo:

$$\begin{cases} A \sum_{m=1}^N y_{(m)}^2 + B \sum_{m=1}^N y_{(m)} = \sum_{m=1}^N x_{(m)} y_{(m)}, \\ A \sum_{m=1}^N y_{(m)} + NB = \sum_{m=1}^N x_{(m)}. \end{cases} \quad (33)$$

S sočasno enačbo (33) dobimo naslednji enačbi za določitev parametra \hat{A} in \hat{B} (Gomes in Pinto, 2013):

$$\begin{aligned} \hat{A} &= \frac{\sum_{m=1}^N x_{(m)} y_{(m)} - \frac{\sum_{m=1}^N x_{(m)} \sum_{m=1}^N y_{(m)}}{N}}{\sum_{m=1}^N y_{(m)}^2 - \frac{(\sum_{m=1}^N y_{(m)})^2}{N}}, \\ \hat{B} &= \frac{\sum_{m=1}^N x_{(m)}}{N} - A \frac{\sum_{m=1}^N y_{(m)}}{N} = \bar{x} - A \bar{y}. \end{aligned} \quad (34)$$

\bar{x} in \bar{y} sta povprečji podatkov vzorca $x_{(m)}$ in reduciranih variat $y_{(m)}$. Izračuna se tudi korelacijski koeficient r :

$$r = \frac{\sum_{m=1}^N (y_{(m)} - \bar{y}) (x_{(m)} - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{m=1}^N (y_{(m)} - \bar{y})^2 \sum_{m=1}^N (x_{(m)} - \bar{x})^2}} \quad (35)$$

4.2.11 Ocena povratne vrednosti

Oceni se povratna vrednost $\hat{x}_{(R)}$ oziroma \hat{H}_R za določeno povratno dobo R z enačbo:

$$\hat{x}_{(R)} = \hat{A}y_{(R)} + \hat{B}, \quad (36)$$

kjer je reducirana variata $y_{(R)}$ izračunana kot funkcija povratne dobe R in povprečne stopnje ekstremnih dogodkov λ :

$$\begin{cases} FT - I: & y_{(R)} = -\ln \left\{ -\ln \left[1 - \frac{1}{\lambda R} \right] \right\}, \\ FT - II: & y_{(R)} = k \left\{ \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{\lambda R} \right) \right]^{-1/k} - 1 \right\}, \\ Weibull: & y_{(R)} = [\ln(\lambda R)]^{1/k}. \end{cases} \quad (37)$$

4.2.12 Parameter razpona porazdelitvene funkcije

Parameter razpona (ang. spread parameter) Goda (2010) definira kot razmerje med 50-letno povratno višino vala H_{50} in 10-letno povratno višino vala H_{10} :

$$\gamma_{50} = \frac{\hat{x}_{50}}{\hat{x}_{10}} = \frac{\hat{H}_{50}}{\hat{H}_{10}}, \quad (38)$$

Parameter je lahko zapisan tudi kot:

$$\gamma_{50} = 1 + \frac{y_{50} - y_{10}}{y_{10} + B/A}, \quad (39)$$

kjer sta y_{50} in y_{10} reducirani variati za povratni dobi 50 in 10 let.

Parameter razpona lahko pomaga pri oceni porazdelitve populacije, saj določi obliko desnega repa gostote verjetnosti. Je indikator pojava zelo visoke višine vala za dolgo povratno dobo. Za okolico otokov Japonske je ugotovljeni $\gamma_{50} = 1,13 \sim 1,27$, okrog Italije (Sredozemsko in Jadransko morje) pa $\gamma_{50} = 1,10 \sim 1,24$. Če parameter izberemo vnaprej, se priporoča vrednost od 1,1 do 1,3.

4.2.13 Izbira najbolj verjetne porazdelitve populacije s testoma skladnosti

Ena izmed predlaganih porazdelitev, ki najbolj ustreza vzorcu, je najbolj verjetna porazdelitev populacije. To pa še ne upraviči uporabe samo ene porazdelitve za ekstremne višine valov. V prihodnosti se bosta količina in kakovost valovnih podatkov gotovo izboljšala, zato bo mogoče oceniti porazdelitev populacije ekstremnih valov za posamezna območja.

Testi skladnosti (ang. goodness of fit test) so različni. Pogosto so uporabljeni Kolmogorov-Smirnov test, Anderson-Darling test in hi-kvadrat test. V primeru ocene parametrov z LSM je test skladnosti

ocenjen s korelacijskim koeficientom r med vrstilnimi podatki $x_{(m)}$ in reduciranimi variatami $y_{(m)}$. Bližje kot je koeficient 1, bolj primerna je porazdelitev.

Za oceno skladnosti sta Goda in Kobune (1990, cit. po Goda 2010) predlagala uporabo MIR (MInimum Ratio of residual correlation coefficient) kriterija. To je razmerje med ostankom koeficienta vzorca Δr in povprečnega ostanka skladne porazdelitve Δr_{mean} . Porazdelitev z najmanjšim razmerjem je najboljša.

Ostane koeficienta vzorca je določen kot ostanek korelacijskega koeficienta od 1:

$$\Delta r = 1 - r. \quad (40)$$

Ocena povprečnega ostanka skladne porazdelitve Δr_{mean} je podana v empirični enačbi za dano porazdelitev, velikost vzorca N in parametra cenzure v pa iz podatkov simulacije:

$$\Delta r_{\text{mean}} = \exp[a + b \ln N + c(\ln N)^2]. \quad (41)$$

Preglednica 10 poda koeficiente a , b in c za nekatere porazdelitve.

Preglednica 10: Empirični koeficienti za Δr_{mean} v kriteriju MIR (Goda, 2010: str. 562).

Porazdelitev	a	b	c
FT-II (k=2,5)	$-2,470 + 0,015v^{3/2}$	$-0,1530 - 0,0052v^{5/2}$	0
FT-II (k=3,33)	$-2,462 - 0,009v^2$	$-0,1933 - 0,0037v^{5/2}$	-0,007
FT-II (k=5,0)	-2,463	$-0,2110 - 0,0131v^{5/2}$	-0,019
FT-II (k=10,0)	$-2,437 + 0,028v^{5/2}$	$-0,2280 - 0,0300v^{5/2}$	-0,033
FT-I	$-2,364 + 0,54v^{5/2}$	$-0,2665 - 0,0457v^{5/2}$	-0,044
Weibull (k=0,75)	$-2,435 - 0,168v^{1/2}$	$-0,2083 + 0,1074v^{1/2}$	-0,047
Weibull (k=1,0)	-2,355	-2,612	-0,043
Weibull (k=1,4)	$-2,277 + 0,056v^{1/2}$	$-0,3169 - 0,0499v$	-0,044
Weibull (k=2,0)	$-2,160 + 0,113v$	$-0,3788 - 0,0979v$	-0,041

Kjer je porazdelitev populacije še neznan, moramo biti previdni pri uporabi kriterija MIR. Z uporabo LSM včasih običajni kriterij največjega korelacijskega koeficienta poda malenkost boljše rezultate v napovedi povratnih vrednosti kot MIR.

4.2.14 Zavrnitev porazdelitvene funkcije

Večino statističnih testov skladanja ni dovolj dobrih za razlikovanje učinkovitosti različnih porazdelitvenih funkcij za ekstremne podatke. Namesto iskanja najbolj prilegajoče porazdelitve, lahko izvedemo zavrnitveni test predlaganih porazdelitev s kriterijema DOL in REC. Kriterija nimata teoretičnega ozadja, vendar sta dovolj učinkovita za večje vzorce (npr. 100 ali več).

Cilji zavrnitvenih testov so naslednji:

- a) zmanjšanje nevarnosti slabega ujemanja, kadar prava porazdelitev populacije ni znana z zmanjšanjem števila predlaganih porazdelitev;
- b) na podlagi več vzorcev zožiti obseg možnih porazdelitvenih funkcij za določeno regijo;
- c) oceniti, če je maksimalni podatek vzorca osamelec, kadar je porazdelitev populacije (skoraj) znana na podlagi številnih študij.

4.2.14.1 Odkrivanje osamelca po kriteriju DOL

Vzorec ekstremnih podatkov včasih vsebuje podatek, ki zelo presega ostale podatke. To povzroči, da so ob prileganju vzorca na predlagane porazdelitve posamezni izrisani podatki veliko nad ali pod linijo prilegajoče porazdelitvene krivulje. Tak podatek imenujemo osamelec (ang. outlier).

Odkrivanje osamelca je mogoče s kriterijem DOL (ang. Deviation of OutLier), ki sta ga predlagala Goda in Kobune (1990, cit. po Goda 2010). Kriterij uporabi naslednje brezdimenzijsko odstopanje:

$$\xi = \frac{x_{(1)} - \bar{x}}{s}, \quad (42)$$

kjer je \bar{x} povprečje vzorca in s je standardna deviacija vzorca $s^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / N$.

Če ξ vzorca preseže populacijsko vrednost $\xi_{95\%}$, ki predstavlja preseženo verjetnost 0,95, je največja vrednost podatkov $x_{(1)}$ ocenjena kot osamelec na stopnji značilnosti (ang. at the level of significance) 0,05. Če je ξ vzorca pod populacijsko vrednostjo $\xi_{5\%}$, ki predstavlja nedoseženo verjetnost 0,05, je $x_{(1)}$ tudi ocenjen kot osamelec na stopnji značilnosti 0,05. Vrednost praga $\xi_{95\%}$ populacije je zgornja meja DOL, vrednost praga $\xi_{5\%}$ populacije pa spodnja meja DOL. Zgornja in spodnja meja DOL populacije sta določeni z naslednjo empirično enačbo:

$$\xi_{95\%} \text{ in } \xi_{5\%} = a + b \ln N + c(\ln N)^2, \quad (43)$$

Preglednica 11 in Preglednica 12 podajata empirične koeficiente a , b in c . DOL kriterij za odkrivanje osamelca je uporaben za katerikoli vzorec in je neodvisen od metode ocene parametrov porazdelitve. Preprosto določi, ali je največji podatek v vzorcu osamelec. Ko je največji podatek definiran kot osamelec, je potrebno kvalitativno preveriti podatke. Če ne najdemo nobene napake pri postopku pridobivanja podatkov, potem podatek ne sme biti izvzet iz vzorca. Namesto tega se predlagana porazdelitev z osamelcem izloči.

Preglednica 11: Empirični koeficienti za zgornji DOL kriterij $\xi_{95\%}$ (Goda, 2010: str. 565).

Porazdelitev	a	b	c
FT-II (k=2,5)	$4,653 - 1,076v^{1/2}$	$-2,047 + 0,307v^{1/2}$	0,635
FT-II (k=3,33)	$3,217 - 1,216v^{1/4}$	$-0,903 + 0,294v^{1/4}$	0,427
FT-II (k=5,0)	$0,599 - 0,038v^2$	$0,518 - 0,0045v^2$	0,210
FT-II (k=10,0)	$-0,371 + 0,171v^2$	$1,283 - 0,133v^2$	0,045
FT-I	$-0,579 + 0,468v$	$1,496 - 0,227v^2$	-0,038
Weibull (k=0,75)	$-0,256 - 0,632v$	$1,269 + 0,254v^2$	0,037
Weibull (k=1,0)	-0,682	1,600	-0,045
Weibull (k=1,4)	$-0,548 + 0,452v^{1/2}$	$1,521 - 0,184v$	-0,065
Weibull (k=2,0)	$-0,322 + 0,641v^{1/2}$	$1,414 - 0,326v$	-0,069

Preglednica 12: Empirični koeficienti za spodnji DOL kriterij $\xi_{5\%}$ (Goda, 2010: str. 565).

Porazdelitev	a	b	c
FT-II (k=2,5)	$1,481 - 0,126v^{1/4}$	$-0,331 - 0,031v^2$	0,192
FT-II (k=3,33)	1,205	$-0,077 - 0,050v^2$	0,143
FT-II (k=5,0)	$0,700 + 0,060v^2$	$0,139 - 0,076v^2$	0,100
FT-II (k=10,0)	$0,424 + 0,088v^2$	$0,329 - 0,094v^2$	0,061
FT-I	$0,257 + 0,133v^2$	$0,452 - 0,118v^2$	0,032
Weibull (k=0,75)	$0,534 - 0,166v$	$0,277 + 0,095v$	0,065
Weibull (k=1,0)	0,308	0,423	0,037
Weibull (k=1,4)	$0,192 + 0,126v^{3/2}$	$0,501 - 0,081v^{3/2}$	0,018
Weibull (k=2,0)	$0,050 + 0,182v^{3/2}$	$0,592 - 0,139v^{3/2}$	0

4.2.14.2 REC kriterij za zavrnitev predlaganih porazdelitev

Kadar je prileganje porazdelitve narejeno z metodo LSM, lahko vrednost korelacijskega koeficienta r med $x_{(m)}$ in $y_{(m)}$ poda še en test zavrnitve za predlagane porazdelitve, tako imenovani kriterij REC (Residue of Correlation coefficient). Ostanek korelacijskega koeficienta Δr iz enačbe (40) primerjamo z mejno vrednostjo $\Delta r_{95\%}$. Vrednost se določi z enačbo (44) s koeficienti, podanimi v Preglednica 13:

$$\Delta r_{95\%} = \exp[a + b \ln N + c(\ln N)^2]. \quad (44)$$

Predlagana porazdelitev je zavrnjena v primeru, ko je Δr nad vrednostjo praga $\Delta r_{95\%}$.

Preglednica 13: Empirični koeficienti za $\Delta r_{95\%}$ v REC kriteriju (Goda, 2010: str. 567).

Porazdelitev	a	b	c
FT-II (k=2,5)	$-1,122 - 0,037v$	$-0,3298 + 0,0105v^{1/4}$	0,016
FT-II (k=3,33)	$-1,306 - 0,105v^{3/2}$	$-0,3001 + 0,0404v^{1/2}$	0
FT-II (k=5,0)	$-1,463 - 0,107v^{3/2}$	$-0,2716 + 0,0517v^{1/4}$	-0,018
FT-II (k=10,0)	$-1,490 - 0,073v$	$-0,2299 - 0,0099v^{5/4}$	-0,034
FT-I	-1,444	$-0,2733 - 0,0414v^{5/2}$	-0,045
Weibull (k=0,75)	$-1,473 - 0,049v^2$	$-0,2181 + 0,0505v$	-0,041
Weibull (k=1,0)	-1,433	-0,2679	-0,044
Weibull (k=1,4)	-1,312	$-0,3356 + 0,0449v$	-0,045
Weibull (k=2,0)	$-1,188 + 0,073v^{1/2}$	$-0,4401 - 0,0846v^{3/2}$	-0,039

4.2.15 Interval zaupanja povratnih vrednosti

4.2.15.1 Statistična variabilnost vzorcev ekstremnih porazdelitev

Včasih se zgodi, da ob ekstremni nevihti visoki valovi znatno presežejo povratno dobo projektnih pogojev. Vzrok je lahko izjemen, nenormalen meteorološki dogodek. Pogosto pa je vzrok v neprimernem vzorcu, ki je premajhen (prekratek), kar je problem statistične variabilnosti vzorca ekstremnih dogodkov.

4.2.15.2 Interval zaupanja ocen parametrov A in B

Pomembno je oceniti interval zaupanja (ang. confidence interval) ocen parametrov. Velikost intervala zaupanja je odvisna od metode za oceno parametrov. Za LSM ni bilo podanih teoretičnih osnov, zato je Goda (2010) izvedel simulacijo ocene intervala zaupanja po metodi Monte Carlo za parameter umeritve in lokacije različnih porazdelitvenih funkcij. Kadar vzorec vsebuje več kot 200 konic, dvignemo prag za določitev nevihte. Razlog je zmanjšanje vzorca na največ 200 konic, saj Goda (2010), Preglednica 13.10 str. 572 in 573) ne podaja koeficientov za več kot 200 konic. Koeficienti so določeni na podlagi 20 000 vzorcev za vsak primer.

4.2.15.3 Interval zaupanja povratne vrednosti

Povratne vrednosti znatno variirajo okrog prave vrednosti populacije. Za oceno standardne deviacije povratne vrednosti v primeru uporabe LSM je podana empirična enačba (45). Ta predvideva, da poznamo porazdelitev populacije. Ker je v resnici ne poznamo, na podlagi predlaganih porazdelitev izberemo najbolj primerno.

Iz praktičnih razlogov predpostavimo normalno porazdelitev povratne vrednosti. Interval zaupanja ocenimo na podlagi povprečij standardne deviacije povratne vrednosti.

V primeru LSM Goda (2010) poda empirično enačbo za oceno standardne deviacije povratne vrednosti:

$$\sigma(\hat{x}_R) = \sigma_z \sigma_x, \quad (45)$$

kjer je σ_z standardna deviacija:

$$\sigma_z = [1,0 + a(y_r - c + \alpha \ln v)^2]^{1/2} / \sqrt{N}. \quad (46)$$

konstanta a je izračunana iz naslednjih enačb:

$$a = \begin{cases} a_1 \exp[a_2 N^{-1,3} + \kappa(-\ln v)^2] & : FT - I \text{ in Weibull,} \\ a_1 \exp\{a_2 [\ln(N v^{0,5}/N_0)]^2 + \kappa[\ln(v/v_0)]\} & : FT - II. \end{cases} \quad (47)$$

Konstante v enačbah (46) in (47) prikazujeta Preglednica 14 in Preglednica 15. Vrednosti v preglednicah so izračunane s simulacijo Monte Carlo, ki je bila uporabljena tudi za preglednice pri kriterijih DOL, REC in MIR (Goda, 2010).

Preglednica 14: Konstante za standardno deviacijo povratne vrednosti za FT-I in Weibull porazdelitev (Goda, 2010: str. 576).

Porazdelitev	a_1	a_2	κ	c	α
FT-I	0,64	9,0	0,93	0	1,33
Weibull (k=0,75)	1,65	11,4	-0,63	0	1,15
Weibull (k=1,0)	1,92	11,4	0	0,3	0,90
Weibull (k=1,4)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull (k=2,0)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

Preglednica 15: Konstante za standardno deviacijo povratne vrednosti za FT-II porazdelitev (Goda, 2010: str. 576).

Parameter oblike	a_1	a_2	N_0	κ	v_0	c	α
k=2,5	1,27	0,12	23	0,24	1,34	0,3	2,3
k=3,33	1,23	0,09	25	0,36	0,66	0,2	1,9
k=5,0	1,34	0,07	35	0,41	0,45	0,1	1,6
k=10,0	1,48	0,06	60	0,47	0,34	0	1,4

σ_x je standardna deviacija značilne višine vala (Gomes in Pinto, 2013):

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / N. \quad (48)$$

Ocena standardne deviacije povratne vrednosti $\sigma(\hat{x}_R)$ je pomnožena s standardno napako za določeno stopnjo zaupanja F . Faktorje standardne napake prikazuje Preglednica 16. Torej za izbrani interval zaupanja določene povratne dobe veljata naslednji meji (Gomes in Pinto, 2013):

$$\hat{x}_{(R)meji} = \hat{x}_{(R)} \pm F \times \sigma(\hat{x}_R). \quad (49)$$

Običajno se izbere 90 % stopnja zaupanja s faktorjem $\pm 1,645$.

Preglednica 16: Meje intervala zaupanja za ekstremne značilne višine (Gomes in Pinto, 2013: str. 4).

Stopnja zaupanja	F
80	1,28
85	1,44
90	1,65
95	1,96
99	2,58

Inženirji, ki načrtujejo obalne konstrukcije, se morajo zavedati nezanesljivosti projektne višine vala in podati zadovoljivo stopnjo varnosti proti nevihtnim valovom, ki so lahko veliko višji od projektnih pogojev.

4.2.16 Postopek ocene projektne višine vala

Ocena projektne višine vala oziroma povratne značilne višine vala za določeno dobo je v diplomski nalogi izračunana po naslednjem postopku:

1. Priprava vzorca iz celotnih podatkov za ekstremno analizo po izbrani metodi. V našem primeru je to metoda POT (poglavje 4.2.3 in 4.2.4).
2. Določitev parametrov vzorca (poglavje 4.2.5).
3. Izbira predlaganih porazdelitev (poglavje 4.2.6) in metode za oceno parametrov (4.2.7).
4. Razpored podatkov vzorca od največje do najmanjše vrednosti $x_{(m)}$.
5. Določitev neprekoračene verjetnosti $\hat{F}_{(m)}$ za vsako vrednost $x_{(m)}$ (poglavje 4.2.8).
6. Izračun reducirane variate $y_{(m)}$ (poglavje 0), ki je odvisna od predlagane porazdelitve, za pripadajočo verjetnost $\hat{F}_{(m)}$.
7. Določitev parametrov \hat{A} in \hat{B} ter korelacijskega koeficienta r (poglavje 0).
8. Ocena povratnih vrednosti za določene povratne dobe (poglavje 4.2.11) s parametrom razpona (poglavje 4.2.12).
9. Na podlagi testov skladnosti (korelacijski koeficient r in MIR, poglavje 4.2.13) in zavrnitve (DOL in REC, poglavje 4.2.14) se izmed predlaganih porazdelitev izbere najbolj primerno. Ta je definirana oziroma izbrana kot najboljša kandidatka za porazdelitev populacije.

10. Ocena intervala zaupanja povratnih vrednosti izbrane porazdelitve (poglavje 4.2.15).

4.3 Teoretična maksimalna višina valov

4.3.1 Uvod

Dno vpliva na valove na območju prehodne (ang. transitional water) in plitve vode (ang. shallow water). Zato je dno eden izmed robnih pogojev teoretične maksimalne višine vala, saj povzroča rušenje vala (ang. breaking wave). Valovi se rušijo na globini, ki je približno enaka višini valov (USACE, 2008).

Rušenje vala (ang. wave breaking) se pojavi, ko greben vala potuje hitreje kot ostali del vala in se val »podre«. Strmina vala (ang. wave steepness) je razmerje med valovno višino in dolžino. Relativna globina (ang. relative depth) je lahko izražena z $\frac{d}{gT^2}$ ali $\frac{d}{L}$, kjer je d globina vode, g gravitacijska konstanta, T perioda in L valovna dolžina vala. Glede na relativno globino se lahko po linearni teoriji valovanja določi, ali je voda globoka, plitva ali prehodna. Globoka voda (ang. deep water) je tam, kjer je globina bistveno večja od valovne dolžine. Plitva voda (ang. shallow water) je v območju, kjer je globina bistveno manjša od valovne dolžine. Prehodna voda oz. globina (transitional water (depth) oz. intermediate water (depth)) je prehodno območje med globoko in plitvo vodo. Nahaja se, kjer je globina približno enaka valovni dolžini.

Navajamo še definicije valovnih višin H ter njihova razmerja, kakor priporoča Thoresen (2003):

$H_s = H_{1/3}$ je značilna višina vala; to je povprečna višina tretjine najvišjih valov v določenem intervalu. Povprečna perioda značilne višine vala je značilna perioda $T_s = T_{1/3}$.

$H_m = \bar{H}$ je povprečna višina valov v določenem intervalu, $H_m = 0,6 H_s$.

$H_{1/n}$ je povprečna višina valov $1/n$ deleža najvišjih valov v določenem intervalu. Običajno uporabljene vrednosti za n so 3 (značilna višina), 10, 100.

$H_{1/10}$ je povprečna višina 10 % najvišjih valov v določenem intervalu, $H_{1/10} = 1,27 H_s$.

$H_{1/100}$ je povprečna višina 1 % najvišjih valov v določenem intervalu, $H_{1/100} = 1,67 H_s$.

H_{max} je maksimalna višina vala, kadar je prisotno veliko tveganje ali pa se upošteva dolgo trajajoče nevihte. $H_{max} = 1,87 H_s$ ali $H_{max} = 2 H_s$.

Glede na teoretično porazdelitev posameznih valovnih višin po Rayleighovi porazdelitvi veljajo naslednja razmerja med tipi valovnih višin (Goda, 2010):

$$H_{1/10} = 1,27 H_{1/3} = 2,03 \bar{H}, H_{1/3} = 1,60 \bar{H}, H_{\max} = (1,6 \sim 2,0) H_{1/3}. \quad (50)$$

H_{\max} se velikokrat uporablja pri načrtovanju konstrukcij. Za konstrukcije proč od obale se uporablja faktor 2,0 ali več. Za vertikalne valobrane Goda (2010) določi faktor 1,8.

Gomes in Pinto (2013) predlagata še naslednja razmerja med tipi valovnih višin:

$$H_{1/100} = 1,68 H_s, H_{\max} = 1,768 H_s. \quad (51)$$

Razlogov za takšni razmerji ne poznamo. Predvidevamo, da sta predlagani na podlagi meritev valov ob portugalski obali.

Smirčić et al. (1996, cit. po Leder et al. 1998) iz meritev v severnem Jadranskem morju (50 kilometrov zahodno od Pule) določijo naslednje razmerje:

$$H_{\max} = 1,58 H_s. \quad (52)$$

4.3.2 Indeks globine rušenja

Brezdimenzionalna višina rušenja (ang. nondimensional breaker height) vala je opisana z indeksom rušenja (ang. breaker index). Obstaja več indeksov rušenja. V obalnem inženirstvu je pogosto uporabljen indeks globine rušenja (ang. breaker depth index) (Goda, 2010).

Strukture za zaščito obale so običajno postavljene v pasu rušenja valov. Tam se valovi lomijo zaradi vpliva dna. Povezavo med višino vala H_b in globino d_b ob začetku rušenja vala lahko izrazimo z:

$$\frac{H_b}{d_b} = \gamma_b, \quad (53)$$

kjer je γ_b indeks globine rušenja (van Gelder in Vrijling, 1999; USACE, 2008). Globina ob začetku rušenja vala d_b je ponekod v literaturi označena kot h_b .

V diplomski nalogi se posvečamo samo indeksu globine rušenja, zato je v nadaljevanju naveden kot indeks rušenja. Pri branju druge literature je potrebno biti pozoren, ker je s tem izrazom lahko mišljen indeks višine rušenja (ang. breaker height index):

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_o}, \quad (54)$$

kjer je H_o višina vala v globoki vodi.

Začetek rušenja vala je lahko definiran različno. Najpogosteje je uporabljen kriterij, pri katerem je višina vala maksimalna. Druge definicije opisujejo kot začetek rušenja situacijo, ko prednji del vala postane vertikalni (kipeče rušenje – ang. plunging breakers) ali trenutek tik pred pojavom pene na grebenu vala (razlito rušenje – ang. spilling breakers) (USACE, 2008).

Če je indeks rušenja γ_b znan, lahko izračunamo:

- na kateri globini oziroma na kateri točki se bo val z določeno višino začel lomiti;
- maksimalno možno višino vala za določeno globino, preden se ta zruši, oziroma teoretično najvišji možni val H_b za določeno točko z globino d_b . Kadar je v smeri potovanja valov dno horizontalno ali se dviguje, od določene točke z globino d_b v smeri valovanja ni mogoč višji val od H_b .

Indeks rušenja γ_b je lahko definiran kot konstanta ali funkcija (enačba) z več spremenljivkami. Spremenljivke so lahko perioda vala, naklon dna, strmina vala itd. (van Gelder in Vrijling, 1999). Različni avtorji so na podlagi raziskav določili različne enačbe, ki opisujejo bistvene povezave med parametri rušenja vala. Te enačbe lahko uporabimo za določitev indeksa rušenja. Najbolj znani tipi enačb so: McCowan (1894), Miche (1944), Goda (1970) in Munk (1949). Letnice pomenijo čas določitve tipa formule. Na podlagi tipiziranih enačb so različni avtorji določili različne konstante ali funkcije (formule). Še najbolj podobna sta si tipa enačb Goda in Miche, zato sta zelo verjetno najbolj zanesljiva za določitev bistvenih povezav med parametri rušenja vala (Liu et al., 2011).

V obalnem inženirstvu je doslej najbolj priznana formula tipa Goda, ki je bila pozneje modificirana za boljše rezultate pri strmem naklonu dna:

$$\frac{H_b}{d_b} = \frac{A}{d_b/L_0} \left\{ 1 - \exp \left[-1,5 \frac{\pi d_b}{L_0} (1 + 11 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\}, \quad (55)$$

kjer je $A = 0,17$ za regularne valove in L_0 valovna dolžina vala za globoko vodo. θ je naklon dna v stopinjah. Ta je lahko izražen tudi s parametrom s , ki je enak $\tan \theta$ (Goda, 2010; van Gelder in Vrijling, 1999; Shand et al., 2011).

Indeks rušenja pa je tudi s formulami le slabo določen. Ne glede na to, da se raziskovalci s tem ukvarjajo že več kot 100 let, še ne obstaja splošno veljavna formula (Liu et al., 2011). V priročnikih, knjigah in drugi literaturi o obalnem inženirstvu so pogosto priporočene samo konstante (faktorji) globine za določitev maksimalne višine vala, med drugimi v Thoresen (2003), Holmes (2001), Sorensen (2006), britanskem standardu BSI (2000), Gomes in Pinto (2013), Priročniku za obalna dela ob Erijskem jezeru (ODNR in OCM, 2011). Podobno je tudi v starejših objavah United States Army Corps of Engineers, npr. v USACE (1984), USACE (1989). Podrobneje opišejo indeks rušenja USACE (2008), CIRIA et al. (2007), Goda (2010) ter znanstveni članki npr. Goda (2012), Liu et al. (2011), van Gelder in Vrijling (1999), Shand et al. (2011).

Za prvo oceno maksimalne višine vala, ki se lahko pojavi na določeni globini, se lahko uporabi za indeks rušenja konstanta (faktor). Trenutno se v praksi za prvo oceno priporoča naslednje (van Gelder in Vrijling, 1999):

- a) za rahel naklon dna med 1 : 200 in 1 : 50, je maksimalna višina vala omejena s približnim deležem 0,78 do 0,83 globine;
- b) za zelo rahel naklon dna je značilna višina vala omejena na 0,55 globine;
- c) ob naklonu dna strmejšem od 1 : 100 na maksimalno višino vala močno vpliva relativna valovna dolžina. Ob manjši relativni globini d/gT^2 je indeks rušenja večji. Za strmo dno in realne valovne pogoje je indeks rušenja lahko občutno večji od 0,83;
- d) za naklon dna okoli 1 : 10 in vrednosti relativne globine d/gT^2 pod 0,01 je indeks rušenja pogosto večji od 1,0.

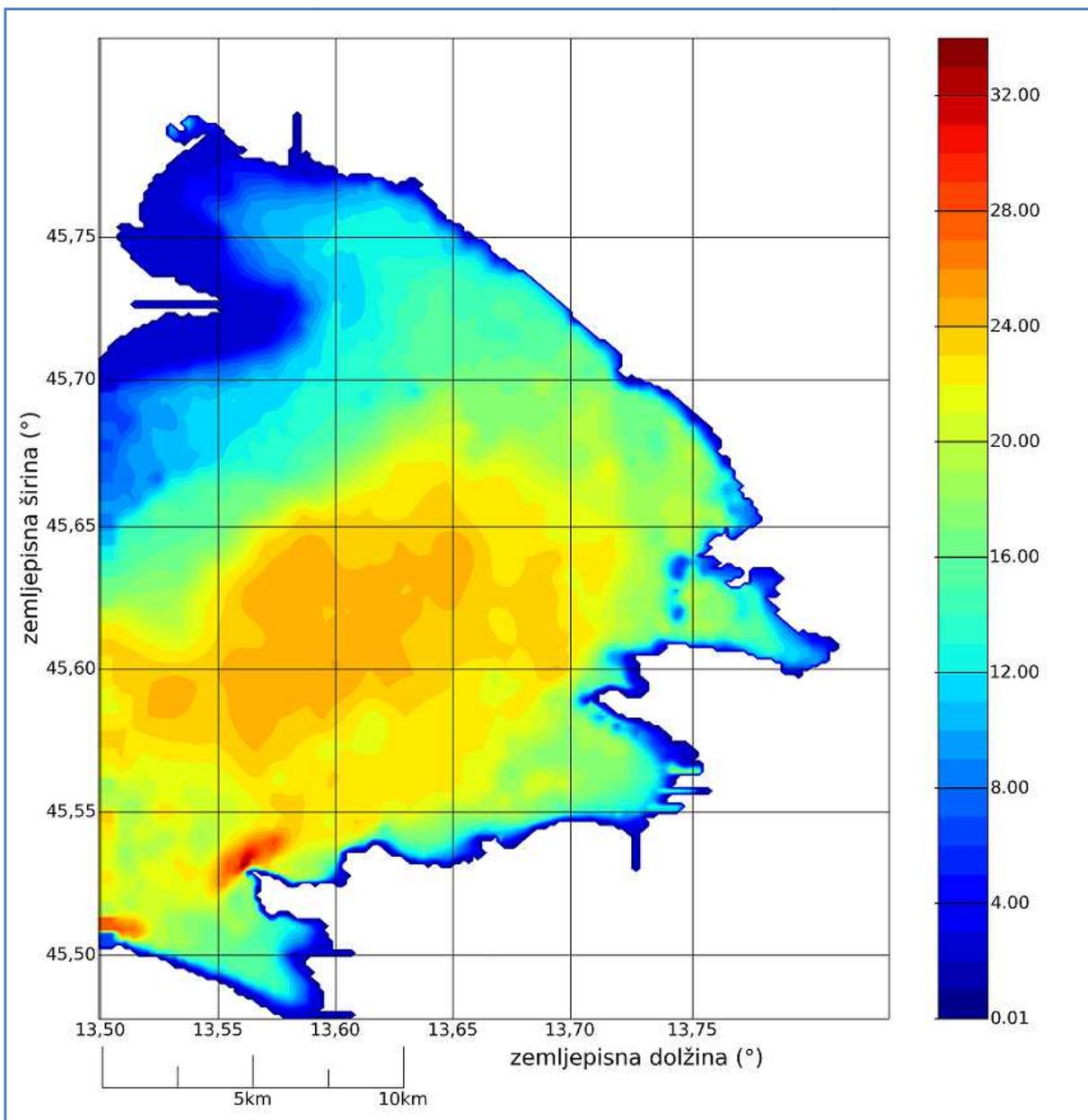
Pogosto se v praksi uporablja McCowanov faktor 0,78 iz leta 1894 ne glede na naklon dna. Ta številka pa je zadovoljiva le za ravna ali rahlo nagnjena dna in valove z dolgo periodo in podcenjuje maksimalno višino vala pri relativno strmem naklonu dna in kratki periodi. Za takšne primere laboratorijski poskusi in podatki s terena nakazujejo vrednost faktorja med 0,8 in 1,2, ki je bolj primerna za primera c) in d) (van Gelder in Vrijling, 1999).

The Rock Manual na splošno določi, da je lahko indeks rušenja med 0,5 in 1,5, kar je odvisno od naklona dna in periode vala. V nadaljevanju poda tudi formule za indeks rušenja (CIRIA et al., 2007).

Nekateri avtorji navajajo, da je največji možni indeks rušenja za horizontalno dno v plitvi vodi (npr. podvodni greben) 0,55. Potrebno pa je biti pazljiv, saj je že pri naklonu 1 : 100 indeks rušenja znatno večji (Nelson, 1994, 1997; Massel, 1996, 1998).

4.3.3 Teoretična maksimalna višina valov v Tržaškem zalivu

MBP je posredovala podatke batimetrije Tržaškega zaliva s približno resolucijo 150 x 150 metrov. Globine dobljene z integracijo in ekstrapolacijo so podane na desetinko milimetra natančno, najmanjša globina v podatkih je 2,0001 metra. Slika 37 prikazuje batimetrijo Tržaškega zaliva.



Slika 37: Batimetrija Tržaškega zaliva. Enote za globine so v metrih.

Gladina vode ($z=0$) je podana na srednjem nivoju nižjih nizkih vod živih morskih men (srednja nižja oseka) oz. hidrografska ničla, ki leži 0,63 metra pod dejanskim srednjim nivojem morja, kar pomeni 0,48 metra na geodetski koti oziroma 1,52 metra nad mareografsko ničlo na mareografski postaji v Kopru (Kolega, 2006; GIS, 2014b).

Z metodo povprečnega maksimuma (ang. average maximum technique) je izračunan naklon dna v Tržaškem zalivu. Ta metoda se uporablja v programu ArcGIS (ESRI, 2008).

Glede na to, da gre za prvo ceno projektne višine vala, se držimo uporabe konstante (faktorja) za indeks rušenja. Ta je za posamezne točke v Tržaškem zalivu izbran glede na naklon dna:

- a) od ravnega, preko rahlega in do naklona 1 : 50 se uporabi faktor 0,78;

b) za naklon, ki je večji od 1 : 50, se uporabi faktor 1,10.

Za ravno in rahlo nagnjeno dno bi lahko uporabili tudi faktor 0,55. Ker pa se lahko le-ta že ob majhni nagnjenosti dna znatno poveča, tega faktorja ne uporabimo. Mogoče bi ga lahko uporabili za severni del Tržaškega zaliva. Faktor 1,10 izberemo iz intervala med 0,8 in 1,2. Tak interval faktorjev so pokazali laboratorijski poskusi za strmo dno in kratke periode (van Gelder in Vrijling, 1999), ki so značilne za Tržaški zaliv.

Globine v Tržaškem zalivu (Slika 37) so pomnožene z izbranimi faktorji (v nadaljevanju Slika 49), s čimer dobimo teoretično maksimalno višino valov v Tržaškem zalivu (v nadaljevanju Slika 50).

5 REZULTATI

5.1 Enačba za prilagoditev podatkov valovnega modela na lokaciji boje Vide

V poglavju je na podlagi analize valovne klime (poglavje 2), validacije, strukturnih razmerij, korekcijskih razmerij in analize prilagojenih rezultatov določena enačba za prilagoditev višine valov modela na točki 6. Sledimo korakom postopka iz poglavja 4.1.3.

5.1.1 Celoten vzorec

1. korak

Preglednica 17 podaja faktorje validacije po enačbah (4), (5), (6) in (7).

Preglednica 17: Statistika validacije med meritvami boje Vide in rezultati valovnega modela WAM za obdobje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.

<i>ME</i>	<i>RMSE</i>	<i>SI</i>	<i>R</i>	povprečje boje	povprečje modela	število podatkov <i>n</i>
m	m	%		m	m	
-0,13	0,23	80	0,61	0,29	0,16	56750

Negativna srednja napaka *ME* (pristranskost) poda dokaj nizko povprečno razliko med podatki, ki meri -0,13 m, in pove, da valovni model podceni meritve boje. Tudi koren srednje kvadratne napake *RMSE* poda dokaj nizko vrednost 0,23 m in nakazuje dobro ujemanje podatkov. Indeks razpršenosti *SI* in korelacijski koeficient *R* pa nasprotujeta dobremu ujemanju, saj je *SI* zelo visok (80 %) in *R* dokaj nizek (0,60). Slednji je zadovoljivo visok, da lahko trdimo, da neka linearna povezava med podatki obstaja. *SI* je zelo visok glede na druge raziskave, navedene na koncu poglavja 4.1.1.2, kjer nikoli ne presega vrednosti 0,37. Eden izmed možnih vzrokov za visok *SI* je, da imamo podatke za mirnejšo valovno klimo. Tudi statistika validacije torej pove, da je ujemanje boje in modela slabo, kar je bilo ugotovljeno že v poglavju 3.

2. korak

Značilna višina vala izmerjena na boji je definirana kot $H_{S,B}$, izračunana z valovnim modelom WAM pa kot $H_{S,M}$. Pripadajoči popravljeni vsoti kvadratov sta $S_{H_B H_B}$ in $S_{H_M H_M}$.

Glede na λ dobimo naslednja strukturna razmerja:

- za ortogonalno regresijo razdalj $\lambda = 1$

$$H_{S,M} = 0,03 + 0,47 H_{S,B}, \quad (56)$$

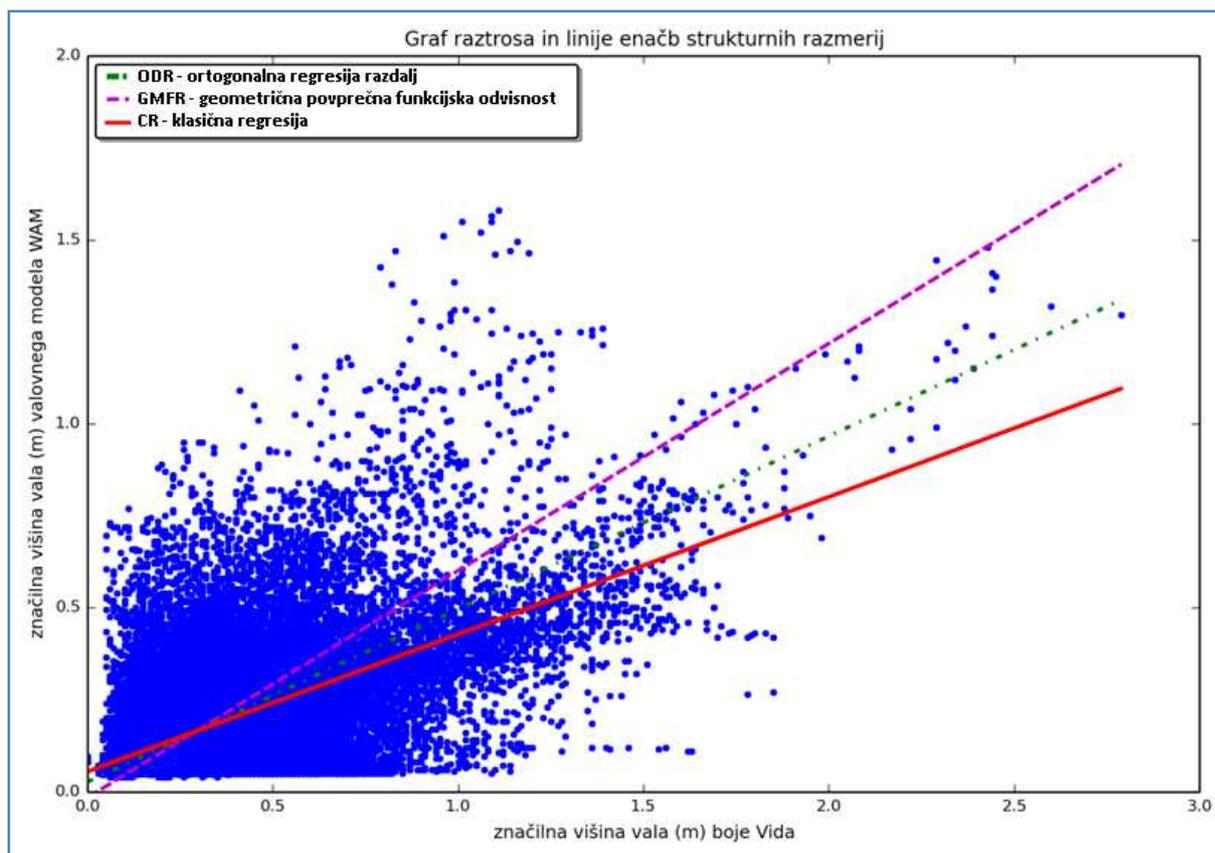
- za klasično regresijo $\lambda = \infty$

$$H_{s,M} = 0,05 + 0,37 H_{s,B}, \quad (57)$$

- za geometrično povprečno funkcijsko odvisnost $\lambda = S_{H_M H_M} / S_{H_B H_B} = 0,38$

$$H_{s,M} = -0,02 + 0,62 H_{s,B}, \quad (58)$$

Slika 38 prikazuje vse tri linije enačb (56), (57), (58) strukturnih razmerij in grafikon raztrosa podatkov, merjenih z bojo Vido in izračunanih z valovnim modelom WAM.



Slika 38: Grafikon raztrosa podatkov, merjenih z bojo Vido in izračunanih z valovnim modelom WAM, ter linije enačb strukturnih razmerij.

Opazimo dokaj različna strukturna razmerja za uporabljene metode (ODR, GMFR, CR). Linija geometrične povprečne funkcijske odvisnosti je najbolj strma. Opazimo dva kraka višjih valovnih višin. Prvi (levi) pripada višjim valovom iz smeri JV, ko model včasih preceni meritve boje. Drugi (desni) krak pa pripada višjim valovom iz smeri SZ, ko model podceni meritve boje.

3. korak

V vseh treh primerih sta $S_{H_M H_M} = 1285,58$ in $S_{H_B H_B} = 3374,75$. Pri takšnem strukturnem razmerju je $\lambda = 0,38$, kar je zelo različno od $\lambda = 1$ za ortogonalno regresijo razdalj. Zato v obravnavanem primeru za korekcijsko razmerje uporabimo enačbo geometrične povprečne funkcijske odvisnosti (GMFR) in ne ortogonalno regresijo razdalj, kot se priporoča. Slednja in klasična regresija sta v nadaljevanju podani za prikaz razlike med tremi regresijami.

4. korak

Grafikon raztrosa (Slika 38) prikaže že prej ugotovljeno slabo ujemanje podatkov in podcenjevanje značilne višine vala valovnega modela.

Ujemanje vseh podatkov je preslabo, zato za nadaljevanje vzorec značilnih valovnih višin celotnega časovnega obdobja meritev boje Vide razdelimo na manjše vzorce glede na podatke valovnega modela. Vrnemo se k 1. koraku.

5.1.2 Manjši vzorci

1. korak

Preglednica 18 prikazuje statistiko validacije za dodatno razdelitev na manjše vzorce.

Preglednica 18: Statistika validacije za SV in JV z razdeljenima dogodkoma za ekstremne višine valov glede na rezultate valovnega modela. *21 podatkov je izločenih, zato je število podatkov validacije a2) 136.

vzorec	ME	RMSE	SI	R	povprečje boje	povprečje modela	število podatkov n
	m	m	%		m	m	
a) SV (25°-75°)	-0,30	0,39	73	0,80	0,54	0,23	8924
a1) $P_{S,M} < 3s$	-0,30	0,38	74	0,78	0,52	0,22	8767
a2) $P_{S,M} \geq 3s$	-0,72	0,78	50	0,90	1,55	0,83	136*
b) JZ (185°-245°)	-0,07	0,16	67	0,56	0,24	0,18	28566
b1.1) (185°-215°) $P_{S,M} < 4,6s$	-0,07	0,17	68	0,50	0,25	0,18	16142
b1.2) (185°-215°) $P_{S,M} \geq 4,6s$	0,06	0,21	45	0,80	0,46	0,52	164
b2.1) (215°-245°) $P_{S,M} < 4,4s$	-0,07	0,16	68	0,53	0,23	0,16	12114
b2.2) (215°-245°) $P_{S,M} \geq 4,4s$	0,12	0,25	33	0,76	0,76	0,88	146
c) ostalo	-0,14	0,22	89	0,47	0,25	0,11	19260
d) celoten vzorec	-0,13	0,23	80	0,61	0,29	0,16	56750

Podatke validacije a), b) in c) najprej primerjamo s podatki validacije celotnega vzorca d). ME se pri a) SV primeru pričakovano zniža (-0,30 m), saj model najbolj podcenjuje valove burje. Tudi pri

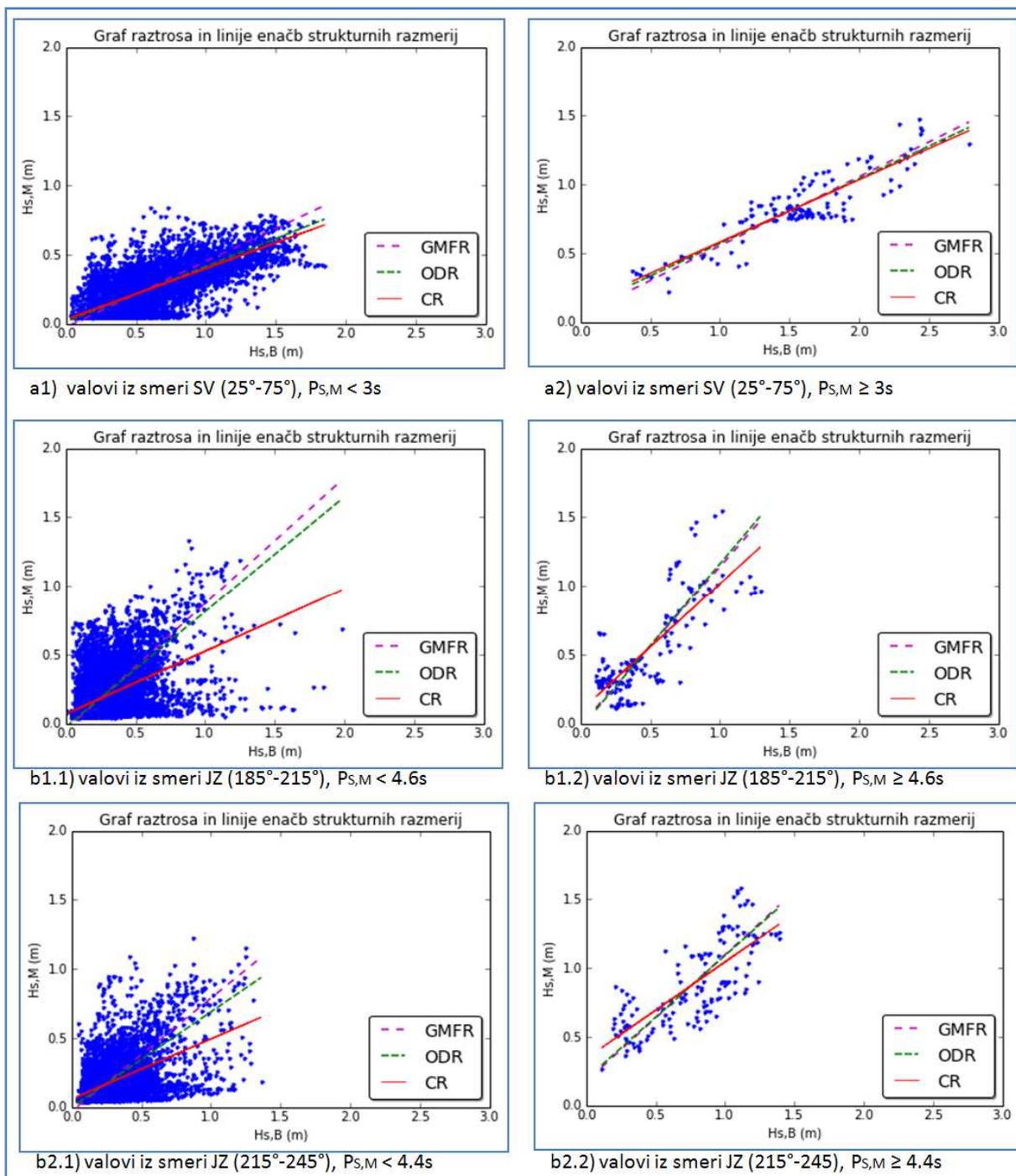
primeru *c*), ostalo se *ME* za malenkost zniža (-0,14 m), kar pomeni povprečno podcenjevanje modela nižjih valov. Za primer *b*) *JZ* se *ME* znatno zviša (-0,07 m) zaradi manjšega podcenjevanja in precenjevanja dveh ekstremnih dogodkov valov z *JZ* (Preglednica 20). Še zmeraj pa so *ME* v primerih *a*), *b*) in *c*) negativni, kar kaže na podcenjevanje značilnih višin vala. *RMSE* se pri *a*) pričakovano zviša (0,39) in potrди največjo razliko v višini valov v primeru burje. *SI* se zniža za *a*) *SV* (73 %) in *b*) *JZ* (69 %), kar še zmeraj potrjuje povprečno neujemanje višin valov. Korelacijski koeficient *R* je v primeru *b*) *JV* in *c*) ostalo znižan (0,56; 0,47), v primeru *SV* pa se dvigne na 0,80. V zadnjem primeru torej dobimo močnejšo linearno povezavo kot za ostala dva primera.

Primerjamo še dodatne razdelitve vzorcev *a1*), *a2*), *b1.1*), *b1.2*), *b2.1*) in *b2.2*) z *a*) in *b*). Ker ima *a1*) večino podatkov originalnega vzorca *a*), so validacijski podatki obeh dokaj podobni. Večje razlike kažejojo validacijski podatki vzorca *a2*), ki predstavlja večinoma ekstremne značilne višine valov. To potrđita povprečji boje in modela (1,55 m, 0,83 m). Pri *a2*) prepoznamo podcenjevanje ekstremnih valov *SV* (*ME* = -0,72 m, *RMSE* = 0,78 m). Boljše je ujemanje *SI*, ki je v tem primeru manjši (50). Korelacijski koeficient je visok (0,90) in kaže na dobro linearno povezavo med visokimi značilnimi višinami valov boje in modela iz *SV*.

Tudi oba večja vzorca valov *JZ* *b1.1*) in *b2.1*) se ne razlikujeta veliko od matičnega vzorca *b*). Omeniti velja le nižja korelacijska koeficienta (0,50; 0,53). Pri *b1.2*) in *b2.2*) sta obe vrednosti *ME* pozitivni (0,06; 0,12), kar kaže na povprečno precenitev višjih valovnih višin modela iz smeri *JZ*. Vrednosti *RMSE* sta višji kot pri *b*) (0,21; 0,25), kar kaže na večjo razliko med značilnimi višinami modela in boje pri visokih vrednostih. *SI* je v obeh primerih znižan (45 %, 33 %). Korelacijski koeficient *R* se zviša (0,80; 0,76), kar ponovno pomeni boljšo linearno povezavo med višjimi valovi.

2. korak

Slika 39 prikazuje grafikone raztrosa in potencialne linije strukturnih razmerij za dodatno razdelitev na manjše vzorce.



Slika 39: Grafikon raztrosa podatkov, merjenih z boji Vido in izračunanih z valovnim modelom WAM, ter potencialne linije enačb strukturnih razmerij razdeljenih valovanj iz smeri SV in JZ. GMFR – geometrična povprečna funkcijska odvisnost, ODR – ortogonalna regresija razdalj, CR – klasična regresija, $H_{s,M}$ – izračunana značilna višina vala valovnega modela, $H_{s,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi.

Iz grafikona (Slika 39) je razvidno, da so najvišji valovi v primeru SV a1) in a2), saj JV primeri ne vsebujejo valov, višjih od 2 metrov. V primeru b1.1) so nekatere vrednosti nad 1,5 metra, vendar jih valovni model zelo podceni ali celo zgreši. Po podrobnem pregledu so to podatki treh dogodkov, ki jih valovni model zelo podceni. Zgrešene so 3 konice značilnih višin valov z 1,98, 1,63 in 1,85 metra za

dneve in ure: 4. 7. 2007 ob 15:30, 30. 7. 2007 ob 15:00 in 8. 8. 2008 ob 22:00. V primerih *a2)*, *b1.2)* in *b2.2)* je ujemanje boljše, saj vsebujejo ekstremne dogodke in manjše število podatkov.

3. korak in 4. korak

Izbrali smo regresijo geometrične povprečne funkcijske odvisnosti (GMFR). Na podlagi validacije (Preglednica 18) in grafikonov (Slika 39) ocenimo, da je taka razdelitev veliko boljša kot v primeru brez razdelitve vzorca. Nadaljnja razdelitev vzorca bi le zapletla enačbo za prilagoditev rezultatov.

5. korak

Uporabimo korekcijska razmerja, izpeljana iz strukturnih razmerij za GMFR (geometrično povprečno funkcijsko odvisnost) iz grafikonov (Slika 39). Korekcijska razmerja izračunamo po enačbi (59). Enačba prilagodi originalne izračunane podatke (rezultate) napovednega valovnega modela WAM za točko 6:

$$\hat{H}_{s,M}(H_{s,M}, H_{s,Mdir}, P_{s,M}) = \begin{cases} 25^\circ \leq H_{s,Mdir} \leq 75^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 3s: 2,11 H_{s,M} + 0,05 \\ P_{s,M} \geq 3s: 1,99 H_{s,M} - 0,10 \end{cases} \\ 185^\circ \leq H_{s,Mdir} < 215^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 4,6s: 1,09 H_{s,M} + 0,05 \\ P_{s,M} \geq 4,6s: 0,87 H_{s,M} + 0,01 \end{cases} \\ 215^\circ \leq H_{s,Mdir} \leq 245^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 4,4s: 1,22 H_{s,M} + 0,04 \\ P_{s,M} \geq 4,4s: 1,09 H_{s,M} - 0,19 \end{cases} \\ \text{drugače:} & H_{s,M} \end{cases}, \quad (59)$$

kjer je $\hat{H}_{s,M}$ prilagojena (popravljen) značilna višina vala, $H_{s,M}$ originalna izračunana značilna višina, $H_{s,Mdir}$ srednja smer valovanja ($^\circ$) in $P_{s,M}$ povprečna perioda (s) izračunana z valovnim modelom.

6. korak

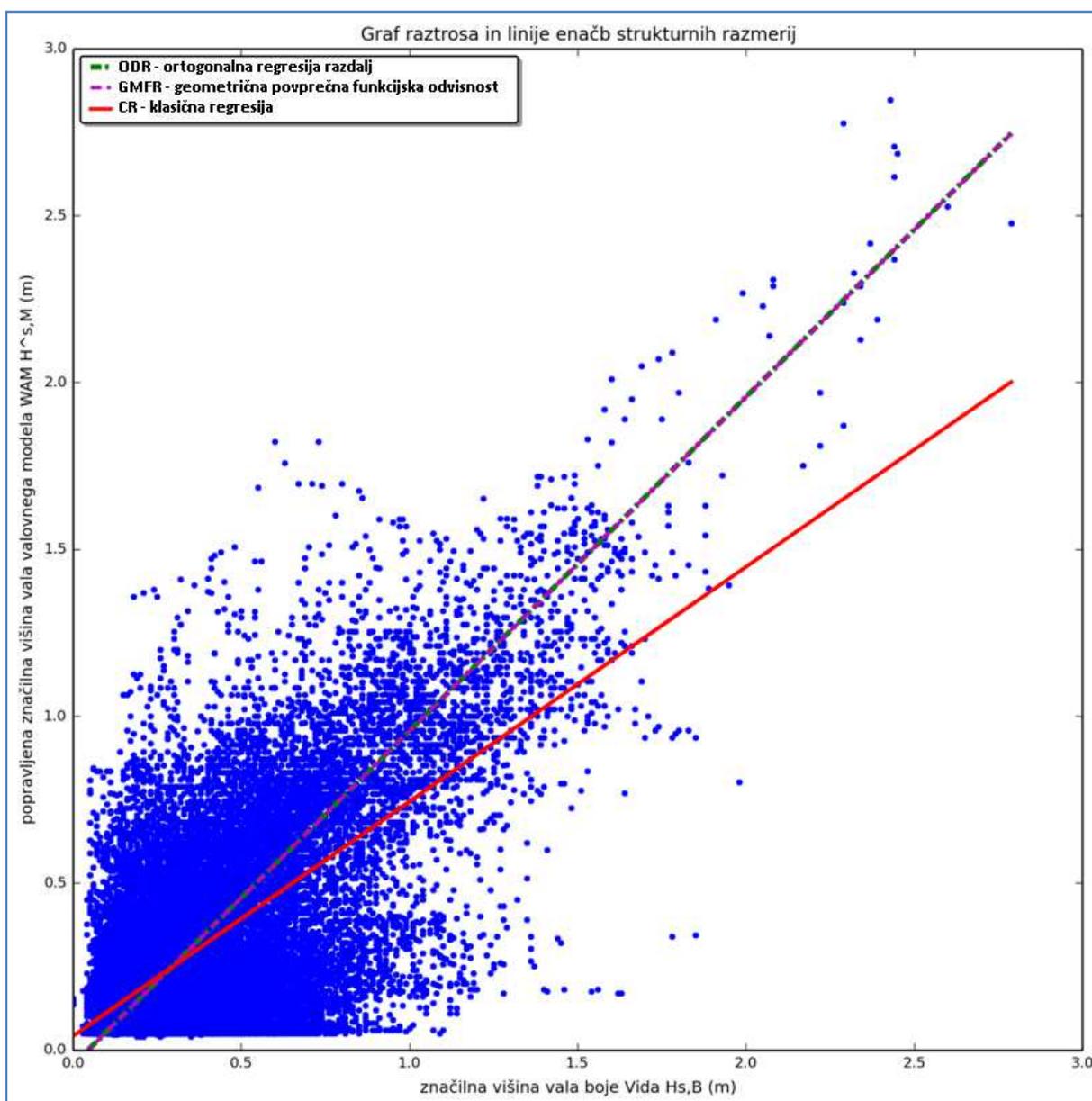
Z enačbo (59) prilagodimo rezultate v obdobju meritev boje Vide in opravimo validacijo (Preglednica 19) ter izrišemo podatke na grafikonu raztrosa (Slika 40). Validacija pokaže ugodnejšo vrednost ME, ki je bližje 0 kot v predhodnih izračunih (iz -0,13 pade na -0,05). Še zmeraj kaže na povprečno podcenjevanje prilagojenih rezultatov, saj je *ME* negativen. *RMSE* se zniža (iz 0,23 na 0,19), kar nakazuje boljše ujemanje podatkov. *SI* pa je še zmeraj zelo visok (67), kar pomeni, da enačba (59) nima velikega vpliva na povprečno izboljšanje podatkov. *R* se zviša, vendar je še zmeraj na razmeroma nizki ravni 0,70.

Na grafikonu (Slika 40) lahko opazimo znatno boljše ujemanje valovnih višin, višjih od 1,5 metra, glede na grafikon raztrosa originalnih rezultatov modela (Slika 38). Po oceni iz grafikona je videti, da valovni model večkrat preceni nižje valovne višine kot valovne višine višje od 1 metra. Enačba za

prilagoditev značilnih valovnih višin torej teži k precenitvi merjenih podatkov. Primerjava potencialnih linij enačb strukturnih razmerij pokaže na skoraj enaki enačbi za ODR in GMFR.

Preglednica 19: Statistika validacije za d) originalne izračunane in e) prilagojene značilne višine valov računске točke 6 glede na meritve boje Vide za obdobje od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.

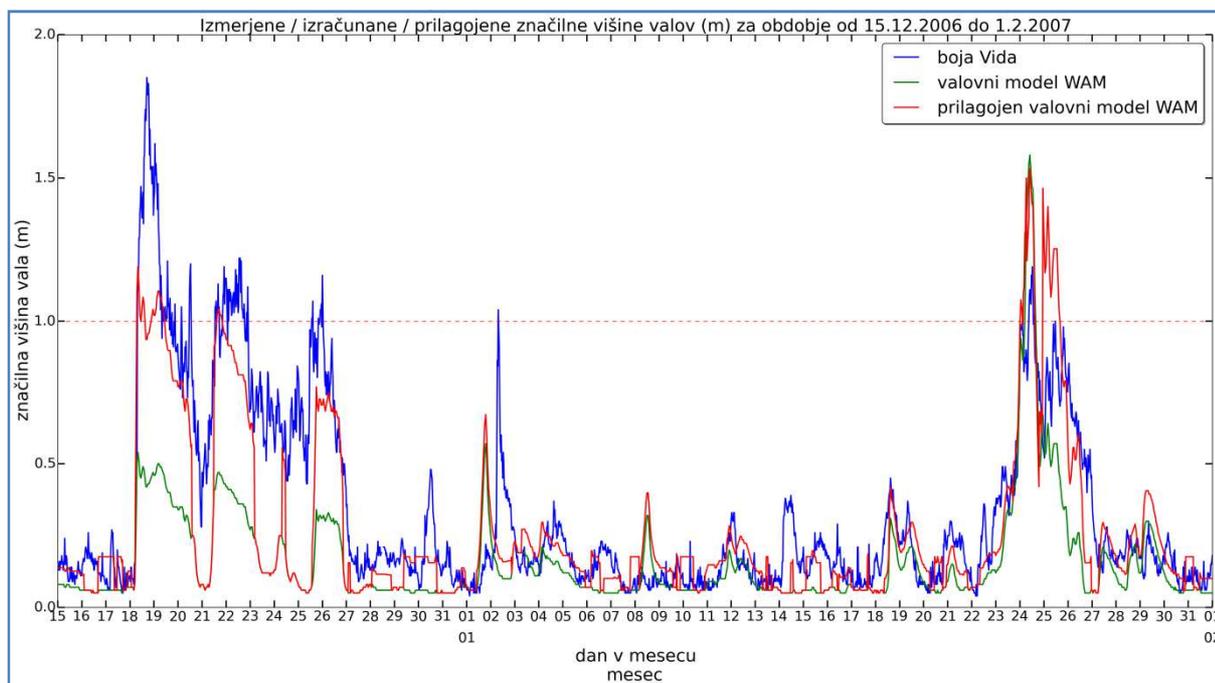
vzorec	<i>ME</i>	<i>RMSE</i>	<i>SI</i>	<i>R</i>	povprečje boje	povprečje modela	število podatkov n
	m	m	%		m	m	
e) celoten prilagojen	-0,05	0,19	67	0,70	0,29	0,25	56750
d) celotno	-0,13	0,23	80	0,61	0,29	0,16	56750



Slika 40: Grafikon raztrosa merjenih značilnih višin valov boje Vide in prilagojenih izračunanih značilnih višin valov z valovnim modelom WAM ter potencialne linije enačb strukturnih razmerij. GMFR – geometrična povprečna funkcijska odvisnost, ODR – ortogonalna regresija razdalj, CR – klasična

regresija, $H_{S,M}$ – prilagojena značilna višina vala valovnega modela, $H_{S,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi

Slika 41 prikazuje prilagojene značilne višine valov (rdeča črta) za grafikon (Slika 30) iz poglavja 3.6.



Slika 41: Izmerjene/izračunane/prilagojene značilne višine valov (m) na boji Vidi in valovni model za obdobje od 15. 12. 2006 do 1. 2. 2007.

V prvem ekstremnem dogodku (18. 12.–27. 12.) popravljene dogodki zelo povečajo valovno višino, vendar jo v prvi konici še zmeraj močno podcenijo. Ocena v drugi konici je razmeroma dobra, tretja pa ne doseže višine 1 meter. Prilagoditev značilnih valovnih višin za 2. 1. 07 je zgrešena, saj valovni model ne zazna tega dogodka. V zadnjem ekstremnem dogodku (22. 1.–27. 1.) prilagoditev malenkost zniža valove modela, a ti še zmeraj precenijo meritve z boje.

7. korak

Opravimo pregled dogodkov ekstremnih značilnih višin, med katerimi je vsaj 1 dan razlike. Primerjamo izračunane $H_{S,M}$ in prilagojene $\hat{H}_{S,M}$ višine valov glede na merjene $H_{S,B}$.

Preglednica 20: Preglednica s številom dogodkov ekstremnih značilnih višin, med katerimi je vsaj 1 dan razlike. $H_{s,B}$ – izmerjena značilna višina vala na boji Vidi; $H_{s,M}$ – izračunana značilna višina vala valovnega modela; $\hat{H}_{s,M}$ – prilagojena značilna višina vala valovnega modela, H – izračunana ali prilagojena značilna višina vala, odvisno, ali beremo vrstico s $H_{s,M}$ ali $\hat{H}_{s,M}$

H	$H_{s,B} \geq 1\text{ m}$					skupaj
	$H < 1\text{ m}$	$H \geq 1\text{ m}$				
		$H_{s,B} > H+0,1$	$H_{s,B} \approx H$	$H_{s,B}+0,1 < H$	$H_{s,B} < 1\text{ m}$	
	zgrešen	podcenjen	ustrezen	precenjen	umeten	
$H_{s,M}$	69	4	4	2	1	80
$\hat{H}_{s,M}$	31	15	21	12	31	110

Iz števila dogodkov (Preglednica 20) lahko najprej razberemo, da originalne izračunane višine valov večinoma zgrešijo valove nad višino 1 metra. Zato je nujno prilagoditi rezultate s korekcijskim razmerjem, čeprav ujemanje podatkov med modelom in bojo ni zelo dobro. Po prilagoditvi rezultatov modela se število zgrešenih dogodkov znatno zmanjša (iz 69 na 31). Na dober popravek kaže tudi to, da se število ustreznih dogodkov poveča s 4 na 21. Še zmeraj so v prilagojenih rezultatih napake, saj pride do 12 precenjenih in 15 podcenjenih dogodkov, za katere bi lahko rekli, da se nekako uravnotežijo. Pojavi pa se tudi 31 dogodkov, pri katerih prilagojeni rezultati pokažejo na valovno višino enako ali višjo od 1 metra, čeprav meritve kažejo na valove pod 1 metrom. Teh 31 umetnih dogodkov na nek način nadomesti 31 zgrešenih.

5.2 Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela v ostalih točkah modela

Uporaba enačbe (59) za druge računske točke je problematična. Smer valovanja v istem časovnem obdobju v različnih točkah valovnega modela se lahko zelo razlikuje, še posebej pri primerjavi bolj oddaljenih točk. To nakazujejo tudi rože valovanja Vide, Zore in Zarje (Slika 32, Slika 33, Slika 34). Zato enačbo (59) spremenimo tako, da smer valovanja zmeraj odčitamo iz točke 6, ostale rezultate pa iz obravnavane točke.

Za ostale točke valovnega modela (razen 6) torej velja naslednja enačba za prilagoditev značilnih valovnih višin:

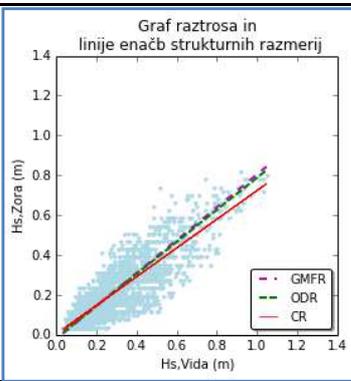
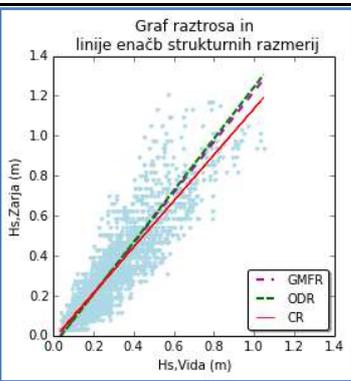
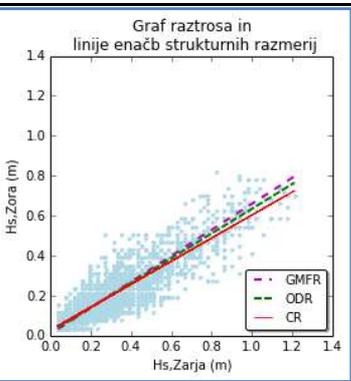
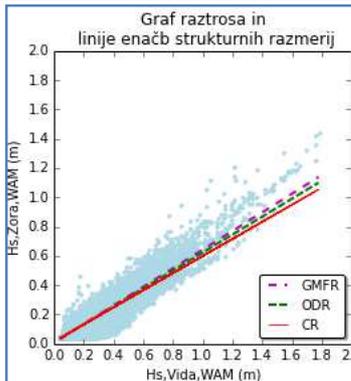
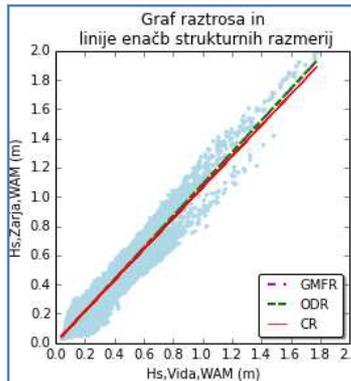
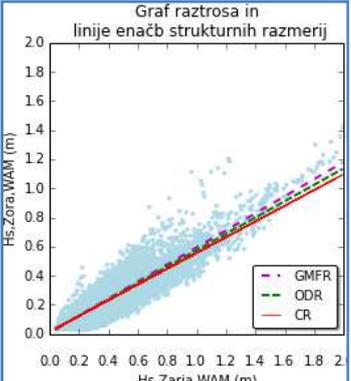
$$\hat{H}_{s,M}(H_{s,M}, H_{s,Mdir,6}, P_{s,M}) = \begin{cases} 25^\circ \leq H_{s,Mdir,6} \leq 75^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 3s: 2,11 H_{s,M} + 0,05 \\ P_{s,M} \geq 3s: 1,99 H_{s,M} - 0,10 \end{cases} \\ 185^\circ \leq H_{s,Mdir,6} < 215^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 4,6s: 1,09 H_{s,M} + 0,05 \\ P_{s,M} \geq 4,6s: 0,87 H_{s,M} + 0,01 \end{cases} \\ 215^\circ \leq H_{s,Mdir,6} \leq 245^\circ & \begin{cases} P_{s,M} < 4,4s: 1,22 H_{s,M} + 0,04 \\ P_{s,M} \geq 4,4s: 1,09 H_{s,M} - 0,19 \end{cases} \\ \text{drugače: } & H_{s,M} \end{cases}, \quad (60)$$

kjer je $H_{s,Mdir,6}$ srednja smer valovanja ($^\circ$) v točki 6.

5.2.1 Linearna regresija valovnih višin med bojo Vido, Zoro in Zarjo ter primerjava s linearno regresijo izračunanih valovnih višin valovnega modela na lokaciji boj

Preglednica 21 prikazuje parametre validacije in strukturna razmerija (linearno regresijo).

Preglednica 21: Primerjava statističnih parametrov, grafikonov raztrosa in potencialnih strukturnih razmerij merjenih značilnih višin valov (m) za boje Vida, Zora in Zarja, ter računskih točk valovnega modela na lokacijah boj. Za lokaciji Zore in Zarje so podatki lokacijsko linearno interpolirani. Trajanje in obseg obdobja merjenja so različni za boje in model.

MERITVE BOJ (polurni časovni korak meritev; časovna interpolacija za Zoro in Zarjo, n = 4302)			
	Vida glede na Zoro	Vida glede na Zarjo	Zarja glede na Zoro
ME	-0,06 m	0,02 m	-0,08 m
R	0,87	0,91	0,89
			
IZRAČUNI VALOVNEGA MODELA ZA LOKACIJE BOJ (urni časovni korak izračunov; n = 87648)			
	Lokacija Vide glede na Zoro	Lokacija Vide glede na Zarjo	Lokacija Zarje glede na Zoro
ME	-0,05 m	0,01 m	-0,06 m
R	0,91	0,98	0,92
			

Za boljšo primerjavo razmerja značilnih višin valovanj različnih lokacij za meritve in izračune podamo enačbe strukturnih razmerij za geometrično povprečno funkcijsko odvisnost GMFR (Preglednica 22).

Preglednica 22: Geometrične enačbe strukturnih razmerij meritev in izračunov na lokacijah Vide, Zore in Zarje. Časovna obdobja izračunov oziroma meritev so različna tako po zajetih datumih kot tudi po trajanju.

MERITVE BOJ (n = 4302)		
Vida glede na Zoro $H_{s,Zora} = -0,022 + 0,83 H_{s,Vida}$	Vida glede na Zarjo $H_{s,Zarja} = -0,05 + 1,27 H_{s,Vida}$	Zarja glede na Zoro $H_{s,Zora} = 0,008 + 0,65 H_{s,Zarja}$
IZRAČUNI VALOVNEGA MODELA ZA LOKACIJE BOJ (n = 87648)		
Lokacija Vide glede na Zoro $H_{s,Zora} = 0,007 + 0,64 H_{s,Vida}$	Lokacija Vide glede na Zarjo $H_{s,Zarja} = -0,02 + 1,09 H_{s,Vida}$	Lokacija Zarje glede na Zoro $H_{s,Zora} = 0,007 + 0,59 H_{s,Zarja}$

Prvi del (Preglednica 21) se nanaša na statistične parametre merjenih podatkov boj. Vrednosti ME (-0,06 m, 0,02 m, -0,08 m) z grafikoni raztrosa in potencialnimi strukturnimi razmerji kažejo na naslednje: ob sočasnih meritvah Vida in Zarja povprečno izmerita višje valove kot Zora. Zarja pa tudi višje kot Vida. Korelacijski koeficienti R so dokaj visoki (0,87, 0,91, 0,89), najvišji pri primerjavi Vide in Zarje. Na grafikonu raztrosa Vide glede na Zarjo je razvidno različno razmerje valovnih višin v primeru valovanja iz JZ ali SV.

V drugem delu (Preglednica 21) so izračunani statistični parametri za značilne višine vala računskih točk valovnega modela.

Pri primerjavi podatkov iz prvega dela preglednice z drugim delom ugotovimo naslednje: ME je za iste lokacije pozitiven oziroma negativen, kar kaže, da valovni model povprečno pravilno oceni medsebojne razlike v višini valovanja na lokacijah. Ker je to numerični model in vsebuje mnogo več podatkov ($n = 87648$) kot merjeni interval, so korelacijski koeficienti R višji kot pri meritvah (0,91, 0,98, 0,92). Grafikoni raztrosa pri izračunih modela kažejo dva različna kraka pri višjih višinah valov. Dva kraka sta pri merjenih podatkih opazna le pri primerjavi Vide in Zarje. Predvidevamo, da sta dva kraka višjih valovnih višin posledica drugačnih razmerij valovnih višin v primeru valov iz SV (burje) in JZ oziroma Z (lebič in oštro). Tega v primeru valovnega modela nismo preverili.

Dva kraka na grafikonu raztrosa Vide in Zarje nakazujeta, da je pri valovanju z JV večinoma značilna višina vala višja pri Zarji kot pri Vidi. V primeru valovanja iz SV pa so značilne višine bolj izenačene.

Enačbi strukturnih razmerij (Preglednica 22) sta najbolj podobni pri primerjavi Zarje in Zore. Pri primerjavi enačb za Vido in Zoro valovni model izračuna večjo razliko med višinami valov. Valovi na lokaciji Zore naj bi bili v primerjavi z Vido še nižji. Pri primerjavi enačb za Vido in Zarjo pa valovni model predvideva manjšo razliko med višinami valov. Valovi na lokaciji Zarje naj bi bili nižji kot na lokaciji Vide.

5.3 Ocena projektne višine vala s podatki boje Vide in nadomestitvijo manjkajočih podatkov z rezultati valovnega modela

V tem poglavju so podani rezultati ocene projektne višine vala na podlagi podatkov za obdobje meritev boje Vide.

Število upoštevanih oziroma vseh ekstremnih dogodkov je $N = N_T = 92$. Ti so se zgodili v obdobju $K = 4,28$ let. Povprečna stopnja ekstremnih dogodkov je $\lambda = 21,5$ in cenzurni parameter je $\nu = 1$.

Oznaka značilne višine vala H_s je v nadaljevanju definirana kot x . Povprečje vzorca konic značilnih višin valov je $\bar{x} = 1,324$ m, standardna deviacija vzorca pa $\sigma_x = 0,282$ m.

Preglednica 23 prikazuje parametra \hat{A} in \hat{B} ter korelacijski koeficient r za 9 predlaganih porazdelitev.

Preglednica 23: \hat{A} , \hat{B} in r za 9 predlaganih porazdelitev

	FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
\hat{A}	0,0920	0,1266	0,1610	0,1918	0,2174	0,1766	0,2838	0,4228	0,5850
\hat{B}	1,212	1,199	1,193	1,193	1,200	1,114	1,040	0,939	0,806
r	0,95039	0,97925	0,99038	0,98733	0,97353	0,97546	0,98652	0,97653	0,95218

Preglednica 24 prikazuje povratne vrednosti značilnih višin valov $\hat{x}_{(R)}$ in parametre razpona γ_{50} za posamezne predlagane porazdelitve.

Preglednica 24: Povratne vrednosti značilnih višin valov $\hat{x}_{(R)}$ (oziroma $H_{(R)}$) za povratne dobe 10, 20, 30, 50 in 100 let ter parametri razpona γ_{50} .

$H_{(R)}$ (m)	FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
$\hat{x}_{(10)}$	2,95	2,89	2,74	2,56	2,37	2,77	2,56	2,34	2,16
$\hat{x}_{(20)}$	3,58	3,38	3,09	2,79	2,52	3,07	2,76	2,47	2,25
$\hat{x}_{(30)}$	4,04	3,72	3,32	2,94	2,61	3,24	2,88	2,54	2,29
$\hat{x}_{(50)}$	4,73	4,21	3,64	3,13	2,72	3,47	3,02	2,63	2,35
$\hat{x}_{(100)}$	5,93	5,00	4,12	3,41	2,87	3,79	3,22	2,75	2,43
γ_{50}	1,369	1,286	1,211	1,149	1,101	1,169	1,122	1,085	1,061

V nadaljevanju se izmed podanih rezultatov testov skladnosti in testov zavrnitve izbere najbolj primerno porazdelitev.

Preglednica 25 prikazuje korelacijske koeficiente r , ocene povprečnega ostanka Δr_{mean} in MIR kriterije $\Delta r / \Delta r_{\text{mean}}$.

Preglednica 25: Korelacijski koeficienti r , ocena povprečnega ostanka Δr_{mean} in MIR kriteriji $\Delta/\Delta r_{\text{mean}}$.

	FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
r	0,95039	0,97925	<u>0,99038</u>	0,98733	0,97353	0,97546	0,98652	0,97653	0,95218
Δr_{mean}	0,04199	0,03005	0,02097	0,01426	0,01600	0,01795	0,01209	0,00840	0,00647
$\frac{\Delta r}{\Delta r_{\text{mean}}}$	1,182	0,691	<u>0,459</u>	0,889	1,655	1,367	1,115	2,793	7,393

Preglednica 26 prikazuje meje $\xi_{95\%}$ in $\xi_{5\%}$ ter brezdimenzijsko odstopanje ξ DOL zavrtnenega kriterija.

Preglednica 26: ξ , $\xi_{95\%}$ in $\xi_{5\%}$ za zavrtneni kriterij DOL.

	FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
$\xi_{95\%}$	8,693	7,978	6,994	5,920	<u>4,850</u>	6,755	5,633	<u>4,621</u>	<u>3,828</u>
ξ	5,236	5,236	5,236	5,236	5,236	5,236	5,236	5,236	5,236
$\xi_{5\%}$	3,644	3,375	3,090	2,822	2,555	3,383	2,977	2,585	2,280

Preglednica 27 prikazuje ostanke korelacijskega koeficienta Δr in mejne vrednosti $\Delta r_{95\%}$ za vseh 9 predlaganih porazdelitev.

Preglednica 27: Korelacijski koeficienti Δr in mejne vrednosti $\Delta r_{95\%}$ za vseh 9 predlaganih porazdelitev. REC kriterij zavrtnitve.

	FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
Δr	0,04961	0,02075	0,00962	0,01267	<u>0,02647</u>	0,02454	0,01348	<u>0,02347</u>	<u>0,04782</u>
$\Delta r_{95\%}$	0,10273	0,07537	0,05327	0,02363	0,02266	0,04424	0,02890	0,01920	0,01377

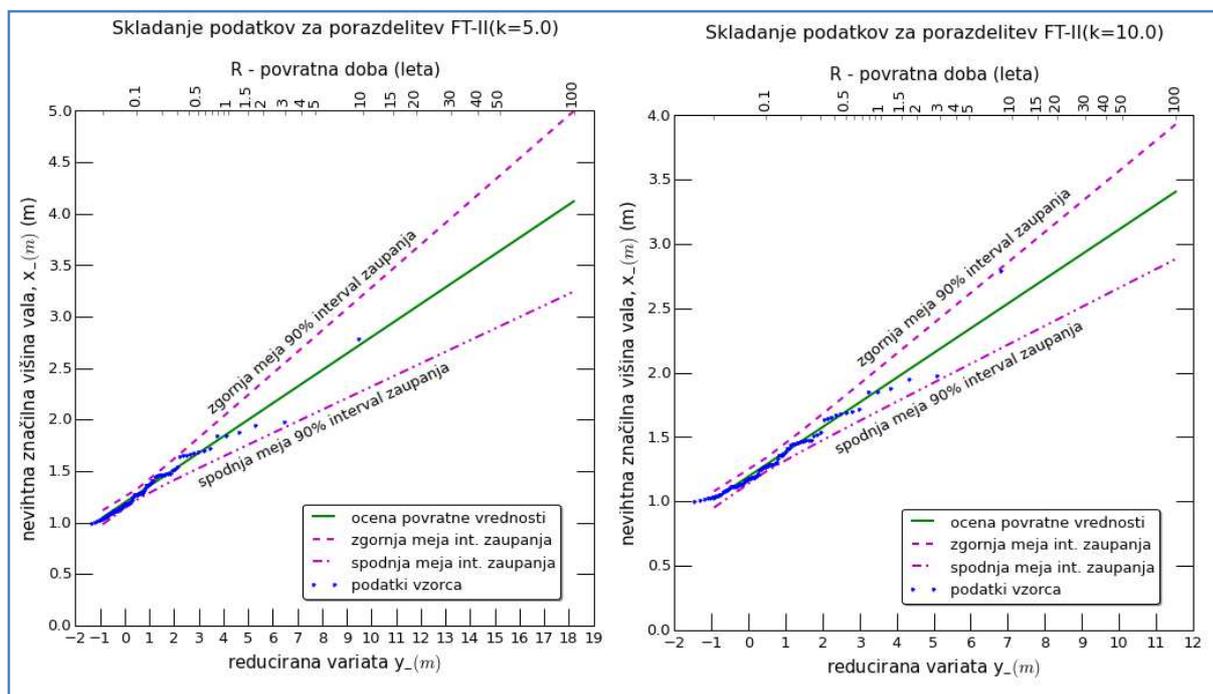
Največje korelacijske koeficiente imajo porazdelitve: FT-II ($k = 5$), FT-II ($k = 10$), Weibull ($k = 1$), ki znašajo: 0,99038, 0,98733 in 0,98652 (Preglednica 25). Razlike med temi tremi so premajhne, da bi po tem kriteriju lahko določili najprimernejšo porazdelitev. Najnižji štirje MIR kriteriji testov skladnosti so pri že omenjenih treh porazdelitvah (0,459, 0,889, 1,115) in pri FT-II ($k = 3,33$) (0,691). Glede na oba testa skladnosti lahko kot najprimernejšo izberemo porazdelitev: FT-II ($k = 5$), ki ima največji korelacijski koeficient (0,99038) in najnižji MIR kriterij (0,459).

Najvišja izmerjena značilna valovna višina $x_{(1)} = 2,79$ gotovo ni napaka, saj je bila izmerjena med dolgotrajnim ekstremnim vetrom. Zato pri DOL kriteriju ne določamo, ali je podatek $x_{(1)}$ osamelec, ampak katere predlagane porazdelitve zavrtnemo. Pri vseh je ξ (5,236) nad spodnjo mejo $\xi_{5\%}$. Pri FT-I, Weibull ($k = 1,4$) in Weibull ($k = 2$) pa je ξ nad zgornjo mejo $\xi_{95\%}$ (4,850, 4,621, 3,828), zato slednje porazdelitve zavrtnemo (Preglednica 26).

Kot pri DOL kriteriju, so tudi pri REC kriteriju zavrnjene porazdelitve FT-I, Weibull ($k = 1,4$) in Weibull ($k = 2$), saj Δr (podčrtane vrednosti) presežejo $\Delta r_{95\%}$. Ker je porazdelitev Weibull ($k = 2$) zavrnjena, lahko predvidevamo, da bi bila zavrnjena tudi lognormalna porazdelitev (Preglednica 27).

Na podlagi testov skladnosti in zavrnitvenih kriterijev je kot najprimernejša izbrana porazdelitev populacije FT-II ($k = 5$).

Slika 42 prikazuje izris skladanja podatkov za porazdelitvi FT-II ($k = 5$) in FT-II ($k = 10$).



Slika 42: Skladanje podatkov za porazdelitvi FT-II ($k = 5$) (levo) in FT-II ($k = 10$) (desno). Pri branju grafikonov je potrebno biti pazljiv, saj je leva y os med 0 in 5 metri, desna pa med 0 in 4 metri.

FT-II ($k = 5$) ima parameter razpona $\gamma_{50} = 1,211$, kar je v mejah priporočil.

Oceno intervala zaupanja parametrov (A in B) in povratnih vrednosti izračunamo le za izbrano najprimernejšo porazdelitev FT-II ($k = 5$). 95 % interval zaupanja za parametra populacije A in B je ocenjen na:

$$\begin{aligned} A &= 0,1062 \sim 0,2360, \\ B &= 1,152 \sim 1,241. \end{aligned} \quad (61)$$

Značilne višine valov za FT-II ($k = 5$) v intervalu zaupanja 90 % ($F = 1,645$, Preglednica 16) za povratne vrednosti 10, 20, 30, 50 in 100 let prikazuje Preglednica 28. Vrednosti lahko odčitamo tudi na levem grafikonu (Slika 42).

Preglednica 28: Povratne vrednosti značilnih višin valov $\hat{x}_{(R)}$ za 90 % interval zaupanja (FT-II, k = 5).

R	$\hat{x}_{(R)zgornja} =$ $\hat{x}_{(R)} + 1,645 \times \sigma(\hat{x}_R)$	$\hat{x}_{(R)}$	$\hat{x}_{(R)spodnja} =$ $\hat{x}_{(R)} - 1,645 \times \sigma(\hat{x}_R)$
leta	m	m	m
10	3,21	2,74	2,27
20	3,67	3,09	2,52
30	3,97	3,32	2,68
50	4,38	3,64	2,90
100	5,01	4,12	3,23

5.4 Ocena projektne višine vala za 24 lokacij v Tržaškem zalivu

Na podlagi prilagojenih značilnih višin valov valovnega modela za 10 let ocenimo projektne višine vala za 24 točk v Tržaškem zalivu. Posebnosti:

- prag za definicijo nevihte je značilna višina vala 1 meter. Če je bilo v vzorcu več kot 200 konic maksimalnih značilnih višin, smo vzorec zmanjšali z višjim pragom. Razlog je Preglednica 13.10 na strani 572 in 573 (Goda, 2010), kjer nimamo podanih koeficientov za vzorce, večje od števila 200.
- Za vse točke velja, da je cenzurni parameter $v = 0,97$. Določitev je razložena v poglavju 4.2.2.
- Za točko 6 sta opravljeni dve analizi: prva za 4,28 let, za enako obdobje kot v prejšnjem poglavju, druga pa za 10 let kot za vse druge točke v nadaljevanju.

Preglednica 29 prikazuje primerjavo vzorca konic iz prejšnjega poglavja (Vida $x_{(m)}$) in prilagojenih rezultatov točke 6 (točka 6 $x_{(m)}$) za 4,28 let.

Preglednica 29: Konice značilnih višin valov neviht za meritve boje Vide (manjkajoči podatki so iz modela) in prilagojenih rezultatov modela od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010.

m	Vida $x_{(m)}(m)$	točka 6 $x_{(m)}(m)$	m	Vida $x_{(m)}(m)$	točka 6 $x_{(m)}(m)$	m	Vida $x_{(m)}(m)$	točka 6 $x_{(m)}(m)$
1	2,79	2,85	41	1,29	1,29	81	1,07	1,04
2	1,98	2,31	42	1,28	1,29	82	1,06	1,04
3	1,95	2,01	43	1,28	1,27	83	1,06	1,03
4	1,88	1,91	44	1,27	1,25	84	1,05	1,02
5	1,85	1,82	45	1,27	1,25	85	1,05	1,02
6	1,85	1,72	46	1,27	1,22	86	1,04	/
7	1,72	1,7	47	1,26	1,21	87	1,04	/
8	1,70	1,7	48	1,25	1,21	88	1,03	/
9	1,69	1,65	49	1,24	1,2	89	1,03	/
10	1,68	1,63	50	1,22	1,19	90	1,02	/
11	1,67	1,63	51	1,21	1,19	91	1,01	/
12	1,66	1,59	52	1,20	1,19	92	1,00	/
13	1,65	1,59	53	1,20	1,19			
14	1,64	1,57	54	1,19	1,15			
15	1,54	1,54	55	1,19	1,15			
16	1,52	1,53	56	1,19	1,15			
17	1,51	1,53	57	1,18	1,14			
18	1,48	1,51	58	1,18	1,13			
19	1,48	1,51	59	1,18	1,13			
20	1,48	1,49	60	1,17	1,13			
21	1,47	1,48	61	1,16	1,1			
22	1,47	1,48	62	1,16	1,1			
23	1,46	1,48	63	1,15	1,1			
24	1,46	1,46	64	1,14	1,1			
25	1,45	1,44	65	1,14	1,1			
26	1,45	1,44	66	1,14	1,1			
27	1,44	1,44	67	1,14	1,08			
28	1,41	1,4	68	1,13	1,08			
29	1,41	1,4	69	1,12	1,08			
30	1,39	1,37	70	1,12	1,08			
31	1,37	1,36	71	1,12	1,08			
32	1,36	1,36	72	1,12	1,08			
33	1,36	1,35	73	1,12	1,06			
34	1,36	1,34	74	1,12	1,06			
35	1,33	1,34	75	1,11	1,06			
36	1,31	1,32	76	1,10	1,06			
37	1,30	1,32	77	1,09	1,05			
38	1,29	1,29	78	1,09	1,04			
39	1,29	1,29	79	1,08	1,04			
40	1,29	1,29	80	1,08	1,04			

Preglednica 30 prikazuje začetne parametre vzorcev in najbolj primerne porazdelitve, ki so v nadaljevanju ugotovljene s testi.

Preglednica 30: Začetni parametri vzorca (N – število podatkov, λ – povprečna stopnja ekstremnih dogodkov, \bar{x} – povprečje vzorca, σ_x – standardna deviacija vzorca, max – maksimalna vrednost vzorca), izbran prag in najbolj primerna kandidata za porazdelitev populacije (oziroma najbolj primerna porazdelitev).

Točka v valovnem modelu	N	λ	\bar{x} m	σ_x m	max m	prag m	Najbolj primerna porazdelitev
6 ($K = 4,28$ let)	85	20,5	1,316	0,284	2,85	1	FT-II(k=5)
6	194	20,0	1,336	0,265	2,85	1	FT-II(k=10)
1	199	20,5	1,485	0,282	3,08	1,14	FT-II(k=10)
2	196	20,2	1,429	0,273	2,90	1,1	FT-II(k=10)
3	191	19,7	1,334	0,246	2,45	1,03	FT-I
4	57	5,9	1,138	0,117	1,52	1	Weibull(k=1)
5	128	13,2	1,246	0,216	2,09	1	Weibull(k=1)
7	180	18,6	1,323	0,255	2,67	1	FT-II(k=10)
8	153	15,8	1,287	0,224	2,35	1	FT-II(k=10)
9	95	9,8	1,215	0,178	1,85	1	FT-II(k=10)
10	13	1,3	1,102	0,073	1,25	1	FT-I
11	134	13,8	1,284	0,244	2,53	1	FT-II(k=10)
12	131	13,5	1,248	0,207	2,35	1	FT-II(k=10)
13	116	12,0	1,234	0,200	2,13	1	FT-II(k=10)
14	74	7,6	1,207	0,185	1,81	1	Weibull(k=1)
15	16	1,6	1,159	0,101	1,30	1	Weibull(k=2)
16	77	7,9	1,243	0,216	2,20	1	FT-II(k=5)
17	74	7,6	1,188	0,168	1,91	1	FT-II(k=10)
18	82	8,5	1,170	0,182	2,03	1	FT-II(k=5)
19	42	4,3	1,214	0,19	1,72	1	FT-I
20	17	1,8	1,122	0,095	1,32	1	FT-I
21	24	2,5	1,134	0,120	1,61	1	FT-II(k=2,5)
22	28	2,9	1,187	0,166	1,82	1	FT-II(k=3,33)
23	17	1,8	1,218	0,184	1,58	1	FT-I
24	3	0,3	1,120	0,191	1,34	1	neznana

Preglednica 31 prikazuje izračune parametrov A in B skupaj s 95 % intervalom zaupanja.

Preglednica 31: Izračuni umeritvenega parametra A in lokacijskega parametra B s 95 % intervalom zaupanja:

Točka v valovnem modelu	Parametra A in B s 95 % intervali zaupanja					
	A_s	A	A_z	B_s	B	B_z
6 ($K = 4,28$ let)	0,1063	0,1633	0,2432	1,129	1,172	1,223
6	0,1489	0,1822	0,2230	1,170	1,200	1,230
1	0,1589	0,1938	0,2366	1,309	1,340	1,371
2	0,1536	0,1878	0,2297	1,258	1,288	1,319
3	0,1716	0,1979	0,2304	1,178	1,208	1,244
4	0,0857	0,1197	0,1749	0,991	1,015	1,050
5	0,1731	0,2180	0,2808	0,989	1,021	1,062
7	0,1425	0,1759	0,2169	1,162	1,192	1,222
8	0,1231	0,1547	0,1935	1,144	1,172	1,202
9	0,0930	0,1233	0,1631	1,095	1,123	1,153
10	0,0371	0,0608	0,1121	1,025	1,065	1,108
11	0,1328	0,1689	0,2142	1,125	1,158	1,193
12	0,112	0,1431	0,1819	1,113	1,141	1,171
13	0,1073	0,1390	0,1793	1,101	1,130	1,160
14	0,1389	0,1875	0,2627	0,979	1,014	1,062
15	0,1600	0,2244	0,3485	0,901	0,956	1,058
16	0,0803	0,1252	0,1897	1,098	1,132	1,173
17	0,0855	0,1175	0,1616	1,071	1,101	1,134
18	0,0681	0,1053	0,1577	1,049	1,077	1,110
19	0,1147	0,1541	0,2128	1,066	1,117	1,171
20	0,0507	0,0786	0,1332	1,031	1,074	1,121
21	0,0161	0,0451	0,1303	1,049	1,076	1,121
22	0,0363	0,0804	0,1767	1,063	1,103	1,157
23	0,0977	0,1515	0,2568	1,042	1,125	1,215
24						

vzorec je premajhen za analizo

Preglednica 32 prikazuje, katere porazdelitve in s katerim kriterijem so zavrnjene, ter najbolj primerno porazdelitev. Podane so tudi velikosti vzorca oziroma število uporabljenih dogodkov.

Preglednica 32: Porazdelitve, zavrnjene s kriterijem DOL in/ali REC. $\underline{6}$ so rezultati za primer, kjer je $K = 4,28$ let. $S \bullet$ je označena najbolj primerna porazdelitev populacije glede na testa skladnosti in testa zavrnitve.

Točka	N	Porazdelitve								
		FT-II ($k = 2,5$)	FT-II ($k = 3,33$)	FT-II ($k = 5$)	FT-II ($k = 10$)	FT-I	Weibull ($k = 0,75$)	Weibull ($k = 1$)	Weibull ($k = 1,4$)	Weibull ($k = 2$)
$\underline{6}$	85			•		DOL,REC			DOL,REC	DOL,REC
6	194	REC			•	DOL	REC		DOL,REC	DOL,REC
1	199	REC			•	DOL	REC		DOL,REC	DOL,REC
2	196	REC			•		REC		DOL,REC	DOL,REC
3	191	DOL,REC	REC			•	REC			DOL,REC
4	57							•		REC
5	128	DOL,REC						•		REC
7	180				•		REC		DOL	DOL,REC
8	153	REC			•		REC			DOL,REC
9	95	DOL			•					REC
10	13					•				
11	134				•				DOL	DOL,REC
12	131				•	DOL			DOL,REC	DOL,REC
13	116				•					DOL,REC
14	74	DOL						•		REC
15	16	DOL,REC	DOL,REC	DOL,REC	DOL,REC	DOL	DOL,REC	DOL,REC	DOL	•DOL
16	77			•						DOL,REC
17	74				•					DOL,REC
18	82			•		REC			DOL,REC	DOL,REC
19	42					•				
20	17					•				
21	24	•			DOL,REC	DOL,REC		DOL,REC	DOL,REC	DOL,REC
22	28		•			REC			DOL,REC	DOL,REC
23	17					•				
24	3									vzorec je premajhen za analizo

Preglednica 33 prikazuje rezultate testov za najbolj primerne porazdelitve točk.

Preglednica 33: Testi skladnosti in zavrnitve za najbolj ustrezno porazdelitev.

Točka v valovnem modelu	Testa skladnosti		Testa zavrnitve					
	r	$MIR = \frac{\Delta r}{\Delta r_{\text{mean}}}$	REC			DOL		
			$\xi_{95\%}$	ξ	$\xi_{5\%}$	Δr	$\Delta r_{95\%}$	
6 ($K = 4,28$ let)	0,98686	0,605	6,821	5,426	3,030	0,01314	0,05507	
6	0,99089	0,976	7,138	5,720	3,466	0,00911	0,01502	
1	0,99340	0,718	7,179	5,676	3,489	0,00660	0,01476	
2	0,99209	0,853	7,154	5,397	3,475	0,00791	0,01491	
3	0,99544	0,501	5,562	4,550	3,055	0,00456	0,01327	
4	0,99026	0,596	5,051	3,288	2,623	0,00974	0,03935	
5	0,99301	0,720	6,021	3,924	3,231	0,00699	0,02308	
7	0,99448	0,565	7,016	5,293	3,400	0,00552	0,01580	
8	0,99432	0,528	6,753	4,762	3,260	0,00568	0,01761	
9	0,99152	0,600	5,995	3,595	2,867	0,00848	0,02398	
10	0,97814	0,416	2,914	2,123	1,467	0,02186	0,07891	
11	0,99459	0,466	6,540	5,126	3,148	0,00541	0,01922	
12	0,99453	0,465	6,504	5,355	3,129	0,00547	0,01951	
13	0,99440	0,444	6,310	4,494	3,028	0,0056	0,02111	
14	0,99037	0,693	5,370	3,285	2,814	0,00963	0,03333	
15	0,96502	1,385	2,822	1,443	1,497	0,03498	0,05726	
16	0,99506	0,219	6,591	4,470	2,936	0,00494	0,05717	
17	0,99393	0,375	5,607	4,324	2,672	0,00607	0,02801	
18	0,99189	0,368	6,737	4,746	2,995	0,00811	0,05582	
19	0,98388	0,610	4,137	2,698	2,103	0,01612	0,03926	
20	0,98112	0,416	3,203	2,150	1,605	0,01888	0,06800	
21	0,98114	0,363	4,462	4,063	2,150	0,01886	0,13382	
22	0,98775	0,302	4,714	3,889	2,199	0,01225	0,10293	
23	0,97670	0,513	3,203	2,035	1,605	0,02330	0,06800	
24			vzorec je premajhen za analizo					

Preglednica 34 prikazuje značilne višine valov z določenimi povratnimi dobami skupaj s povratnimi vrednostmi z 90 % intervalom zaupanja. Podan je tudi parameter razpona. Vse vrednosti so podane za najbolj primerno porazdelitev.

Preglednica 34: Povratne značilne višine valov $\hat{x}_{(R)}$ za določene povratne dobe R s povratnimi vrednostmi z 90 % intervalom zaupanja za najbolj ustrezno porazdelitev. γ_{50} – parameter razpona.

Točka v valovnem modelu	Povratna vrednost	R (leta)					γ_{50}
		10	20	30	50	100	
6 ($K = 4,28$ let)	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	3,21	3,67	3,97	4,39	5,03	1,214
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,72	3,07	3,3	3,62	4,11	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,24	2,48	2,64	2,85	3,19	
6	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,69	2,95	3,11	3,32	3,63	1,146
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,47	2,69	2,83	3,01	3,27	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,25	2,44	2,55	2,7	2,92	
1	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,93	3,21	3,38	3,6	3,93	1,142
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,7	2,94	3,09	3,28	3,56	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,47	2,67	2,79	2,95	3,18	
2	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,83	3,09	3,26	3,48	3,79	1,143
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,6	2,83	2,97	3,16	3,43	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,38	2,57	2,69	2,84	3,07	
3	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,38	2,53	2,62	2,74	2,89	1,097
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,25	2,39	2,47	2,57	2,71	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,13	2,25	2,32	2,41	2,53	
4	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,64	1,75	1,81	1,89	2	1,088
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,5	1,59	1,63	1,69	1,78	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,36	1,42	1,46	1,5	1,56	
5	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,29	2,47	2,58	2,71	2,89	1,115
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,09	2,24	2,33	2,44	2,59	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,88	2,00	2,07	2,16	2,28	
7	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,61	2,86	3,02	3,22	3,51	1,144
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,4	2,61	2,74	2,92	3,17	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,19	2,36	2,47	2,61	2,82	
8	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,38	2,6	2,74	2,91	3,17	1,136
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,19	2,37	2,49	2,64	2,86	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,00	2,15	2,24	2,36	2,54	
9	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,01	2,18	2,29	2,43	2,63	1,124
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,84	1,98	2,07	2,18	2,35	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,67	1,78	1,85	1,93	2,06	
10	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,31	1,37	1,41	1,45	1,52	1,056
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,22	1,26	1,29	1,32	1,36	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,13	1,16	1,17	1,19	1,21	
11	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,45	2,69	2,83	3,03	3,31	1,144
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,23	2,43	2,55	2,72	2,95	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	2,02	2,18	2,28	2,41	2,59	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 34

Točka v valovnem modelu	Povratna vrednost	R (leta)					γ_{50}
		10	20	30	50	100	
12	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,23	2,43	2,56	2,72	2,96	1,133
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,05	2,21	2,32	2,46	2,65	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,86	2,00	2,08	2,19	2,35	
13	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,16	2,36	2,48	2,64	2,87	1,132
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,98	2,14	2,24	2,37	2,56	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,8	1,93	2,01	2,11	2,26	
14	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,03	2,19	2,29	2,41	2,58	1,113
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,83	1,96	2,03	2,13	2,26	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,62	1,72	1,78	1,85	1,94	
15	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,42	1,48	1,51	1,55	1,6	1,051
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,33	1,38	1,4	1,43	1,46	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,24	1,27	1,29	1,31	1,33	
16	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,29	2,58	2,78	3,04	3,45	1,184
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	2,01	2,23	2,38	2,58	2,89	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,72	1,88	1,97	2,11	2,32	
17	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,9	2,07	2,17	2,3	2,5	1,122
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,74	1,87	1,95	2,05	2,21	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,57	1,67	1,73	1,81	1,92	
18	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	2,06	2,32	2,48	2,71	3,05	1,172
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,83	2,02	2,14	2,31	2,58	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,59	1,72	1,81	1,92	2,1	
19	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,85	1,99	2,06	2,16	2,3	1,101
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,7	1,8	1,87	1,95	2,05	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,54	1,62	1,67	1,73	1,81	
20	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,4	1,48	1,52	1,58	1,66	1,068
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,3	1,35	1,38	1,43	1,48	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,19	1,23	1,25	1,27	1,3	
21	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,66	1,92	2,12	2,41	2,92	1,166
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,37	1,5	1,59	1,74	1,99	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,08	1,07	1,07	1,06	1,05	
22	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,86	2,15	2,34	2,63	3,08	1,185
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,57	1,74	1,86	2,03	2,3	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,27	1,33	1,37	1,42	1,52	
23	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	1,75	1,9	1,99	2,1	2,25	1,109
	$\hat{x}_{(R)}(m)$	1,55	1,66	1,72	1,8	1,91	
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$	1,36	1,42	1,46	1,5	1,56	
24	$\hat{x}_{(R)zgornja}(m)$	vzorec je premajhen za analizo					
	$\hat{x}_{(R)}(m)$						
	$\hat{x}_{(R)spodnja}(m)$						

Slika 43 prikazuje najbolj primerne porazdelitve za točke (Preglednica 30 in Preglednica 32)



Slika 43: Prikaz najprimernejših porazdelitev za točke. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.

Slika 44 prikazuje značilne višine valov s povratno dobo 30 let (Preglednica 34).



Slika 44: Prikaz značilnih višin valov s povratno dobo 30 let v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.

Slika 45 prikazuje značilne višine valov s povratno dobo 100 let (Preglednica 34).



Slika 45: Prikaz značilnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.

Slika 46 prikazuje maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let. Izračunane so z množenjem značilnih višin valov s povratno dobo 100 let s faktorjem 1,58 (Smirčić et al., 1996, cit. po Leder et al. 1998).



Slika 46: Prikaz maksimalnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Značilne višine so pomnožene s faktorjem 1,58. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.

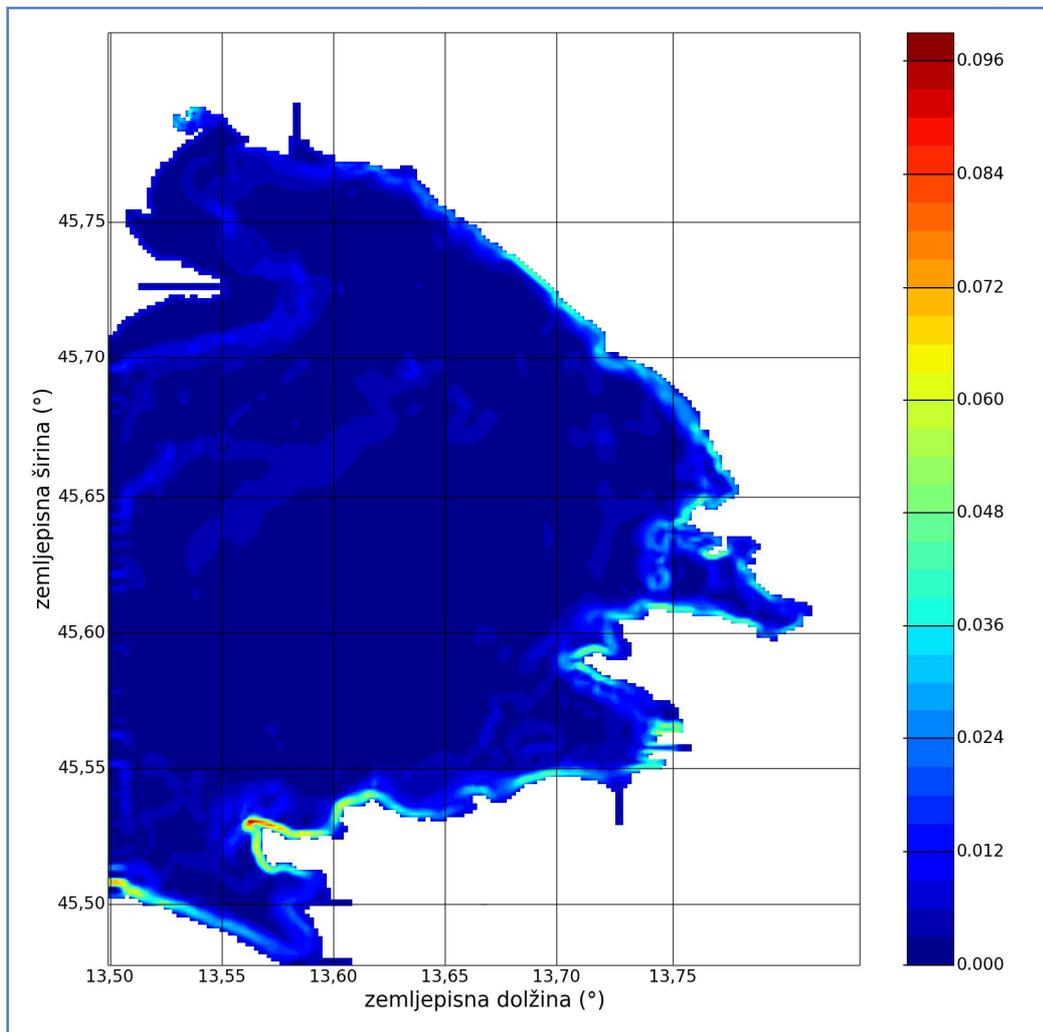
Slika 47 prikazuje ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let. Izračunane so z množenjem značilnih višin valov s povratno dobo 100 let s faktorjem 2 (Goda, 2010).



Slika 47: Prikaz ekstremnih maksimalnih višin valov s povratno dobo 100 let v metrih. Značilne višine so pomnožene s faktorjem 2. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate.

5.5 Teoretična maksimalna višina valov v Tržaškem zalivu

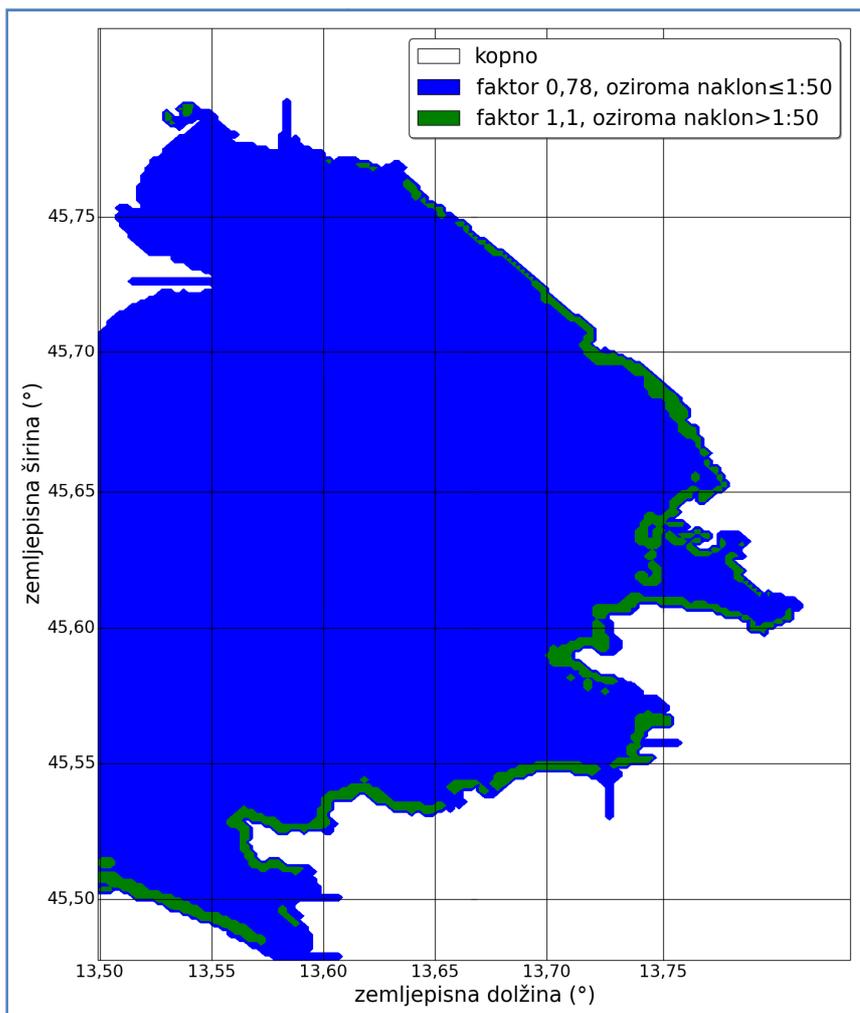
Slika 48 prikazuje izračunan naklon dna. Ker je bazen v Luki Koper ozek, naklona izračun ne zazna.



Slika 48: Povprečen naklon batimetrije v Tržaškem zalivu

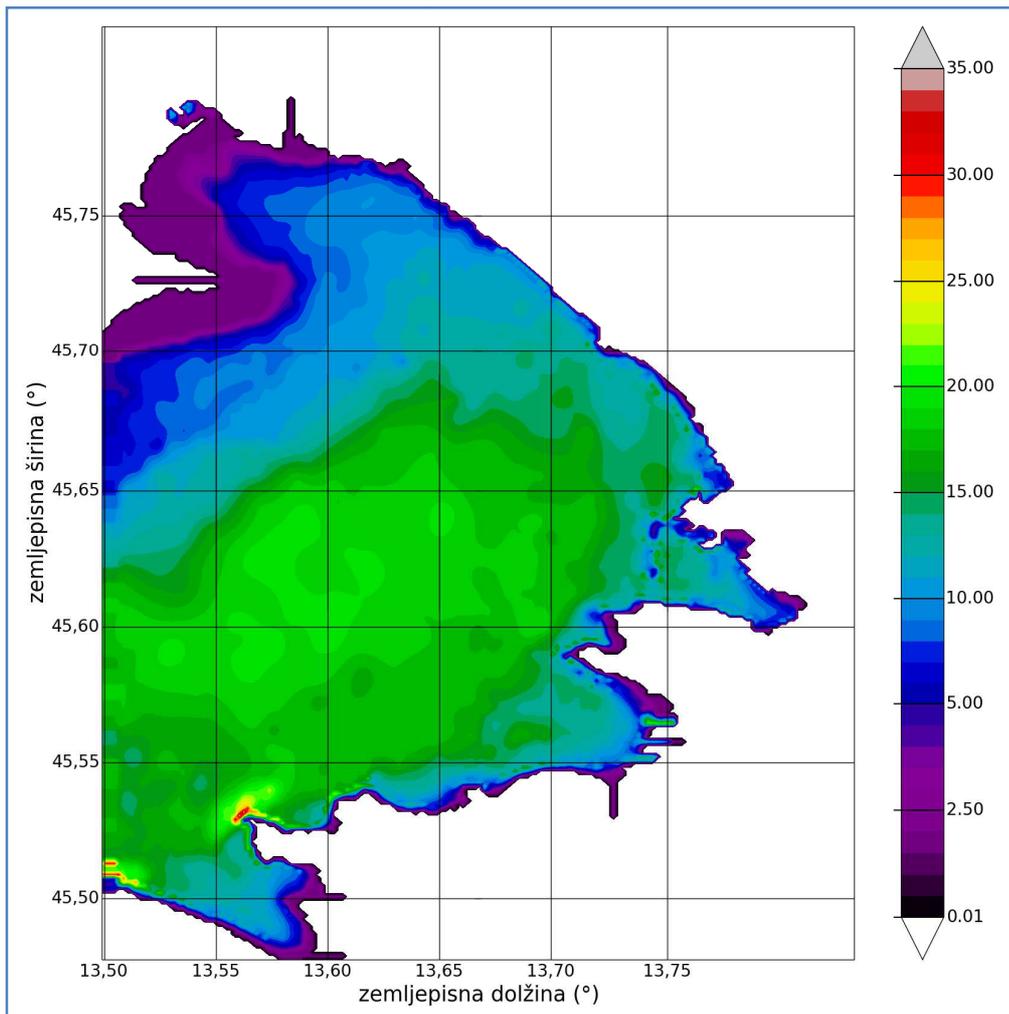
Obalna območja imajo pričakovano večji naklon kot odprto morje. Izjema je le severni del Tržaškega zaliva, kjer je tudi ob obali naklon majhen. Ob ugotovljenem naklonu lahko določimo indeks rušenja.

Slika 49 prikazuje dno z naklonom manj ali enako 1 : 50 (modra) ter več kot 1 : 50 (zelena) oziroma, kje uporabimo faktorja 0,78 in 1,10 kot indeks rušenja.



Slika 49: Območja z naklonom manj ali enako 1 : 50 (modra) in več kot 1 : 50 (zelena); za modro območje upoštevamo faktor 0,78, za zeleno pa 1,1. Med faktorjem 1,1 in kopnim so pojavlja vrzel s faktorjem 0,78, kar je napaka. Vrzeli bi morala imeti faktor 1,1.

Batimetrijo pomnožimo s pripadajočimi faktorji. Tako dobimo zemljevid prve ocene teoretične maksimalne višine valov za Tržaški zaliv (Slika 50).



Slika 50: Zemljevid teoretične maksimalne višine vala za Tržaški zaliv. Enote za globine so v metrih.

5.6 Ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let in njihova omejitev zaradi globine za 24 točk v Tržaškem zalivu

Slika 51 prikazuje teoretične maksimalne višine valov z ekstremnimi značilnimi višinami vala s povratno dobo 100 let za točke valovnega modela. Slika prikazuje kombinacijo dveh prejšnjih slik (Slika 47 in Slika 50).



Slika 51: Teoretične maksimalne višine vala (zelena) in ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let (bela) v metrih. Točke z * oziroma z rdečimi kvadrati označujejo nezanesljive rezultate povratnih višin.

6 DISKUSIJA

6.1 Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela na lokaciji boje Vide

Validacija (Preglednica 17) in grafikon (Slika 38) za celotni vzorec pokažeta zelo slabo ujemanje podatkov boje in modela, zato je bilo najprimerneje celotni vzorec razdeliti na več podvzorcev. Izbira kriterijev, s katerimi razdelimo vzorec, je do neke mere objektivna, saj poznamo valovno klimo. To pomeni, da je izbira smeri valov objektivna, medtem ko je izbira periode subjektivnejša.

Enačba (59) prilagodi rezultate v obdobju meritev boje Vide. Ugotovimo, da se po prilagoditvi rezultatov pojavi povprečno manjše izboljšanje (Preglednica 19). Iz grafikona (Slika 40), lahko ocenimo, da prilagojene valovne višine večkrat precenijo kot podcenijo merjene podatke. Prilagojeni rezultati pa bolje ocenijo višje valovne višine, kar je najbolj pomembno za oceno projektne višine vala.

Na podlagi validacije (Preglednica 19), grafikona (Slika 40) in pregleda dogodkov ekstremnih značilnih višin (Preglednica 20) lahko sklepamo, da korekcijska razmerja v enačbi (59) zadovoljivo prilagodijo originalne izračunane konice dogodkov višjih značilnih višin valov za oceno projektne višine vala. Enačbo (59) uporabimo za celotno obdobje med letoma 2001 in 2010 na modelni točki 6, saj boljše rešitve nimamo.

6.2 Enačba za prilagoditev rezultatov valovnega modela na ostalih točkah modela

Enačba (60) za prilagoditev rezultatov v ostalih točkah modela je le minimalno spremenjena enačba (59). Druge izbire nimamo, saj nimamo sočasnih rezultatov modela z drugimi meritvami kot z bojo Vido.

Korelacije med bojami (Vida, Zora in Zarja) in korelacije med točkami modela na lokaciji boj (Preglednica 21 in Preglednica 22) povedo naslednje: neumestno je trditi, da so primerjave strukturnih razmerij med meritvami in modelom zanesljive, saj so meritve boj kratkotrajne (približno 3 mesece), izračuni valovnega modela pa so podani za 10 let. Če predpostavimo, da je zanesljivost zadovoljiva, lahko trdimo, da valovni model dokaj dobro oziroma s podcenjevanjem oceni medsebojna razmerja valovnih višin za različne lokacije ob istem času (vsaj za lokacije boj).

Prileganje z enačbo (60) je torej na ostalih točkah modela še slabše kot za lokacijo Vide, saj podceni dejanske višine valov. Najbolj nezanesljiva je prilagoditev višjih valovnih višin, saj predlagana korekcijska razmerja v enačbi (60) niso preverjena na višjih valovnih višinah na lokaciji Zarje oziroma lokacijah z višjim valovanjem, kot smo naredili na lokaciji Vide.

6.3 Postopek določitve enačbe za prilagoditev rezultatov valovnega modela WAM

Pri delitvi vzorca za določitev enačbe (59) gre za neko vrsto regresijskega drevesa (ang. regression tree). Za izračun značilne valovne višine nekateri uporabljajo klasifikacijsko drevo (ang. classification tree), regresijsko drevo (ang. regression tree) in nevronske mreže (ang. artificial neural network – ANN). Značilne višine so bile izračunane na podlagi meritev značilne višine valov boje in samo vetrovnih podatkov drugega vira. Na ta način poskušamo brez valovnega modela (fizikalne teorije) dobiti enačbo za značilno višino vala. Tudi ta način bi lahko uporabili v obravnavanem primeru. Ker dobro poznamo valove in veter v Tržaškem zalivu in imamo podane značilne višine valov valovnega modela, smo izbrali opisani postopek.

V opisanem primeru je bila preizkušena le metoda regresijskega drevesa z modulom scikit-learn za Python (Cournapeau et al., 2007). Ugotovili smo, da metoda ni primerna, ker ne zna določiti primerne večje vrednosti za večje vrednosti od tistih iz učne množice. Za to bi morala metoda vsebovati linearno regresijo za vsak list regresijskega drevesa.

6.4 Ocena projektne višine vala s podatki boje Vide

Analiza z merjenimi podatki za 4,28 let je dobra za primerjavo z rezultati valovnega modela za 10 let. Glede na testa skladnosti in testa zavrnitve je najbolj primerna kandidatka za porazdelitev populacije FT-II s parametrom oblike $k = 5$. Ker vemo, da imamo kratek vzorec ($K = 4,28$ let), bi lahko kot drugo najboljše kandidatko predlagali porazdelitev s $k = 10$.

Parameter razpona je v okviru priporočenih vrednosti ($\gamma_{50} = 1,211$) in lahko služi kot orientacijska vrednost za nadaljnje analize.

Ker imamo kratek vzorec, je značilna višina vala s povratno dobo 10 let ($\hat{x}_{(R)} = 2,74$ m) še v okviru zanesljive napovedi glede na empirično pravilo. Višje povratne dobe so dokaj nezanesljive in služijo zgolj kot primerjava za analizo s podatki modela.

Iz povratnih vrednosti značilnih višin (Preglednica 24) lahko vidimo, kako pomembna je prava izbira najbolj ustrezne porazdelitve. Najvišja 100-letna višina vala je 5,93 metra pri porazdelitvi FT-II ($k = 2,5$). Najnižja pa 2,43 pri porazdelitvi Weibull ($k = 2$). Torej je razlika kar 3,5 metra.

Za oceno maksimalne višine vala z določeno povratno dobo bi bilo potrebno na podlagi meritev valov ugotoviti razmerje med značilno in maksimalno višino vala za Tržaški zaliv. Za severni Jadran na lokaciji plinske ploščadi Ivana A je bilo ugotovljeno razmerje 1,58. Torej je teoretični maksimalni val s povratno dobo 100 let 6,51 metra ($1,58 \times 4,12$ m).

6.5 Ocena projektne višine vala z rezultati valovnega modela na točki 6 Tržaškega zaliva

Preglednica 29 prikazuje pripravljen vzorec konic v primeru analize podatkov Vide in rezultatov valovnega modela na točki 6 za 4,28 let. Ob primerjavi vzorcev ugotovimo, da sta si dokaj podobna. Verjetno sta k podobnosti pripomogla:

- določitev enačbe za prilagoditev rezultatov in dejanska prilagoditev rezultatov sta izvedeni na istem vzorcu, kar seveda ni pravilno, vendar je bila to edina možna izbira;
- manjkajoči podatki boje Vide so nadomeščeni z rezultati valovnega modela.

Razloga, zakaj nismo analizirali podatkov le v času, ko je boja Vida delovala, sta dva: imeli bi še krajše obdobje podatkov, navodila za oceno projektne višine vala pa zahtevajo, da se manjkajoče vrzeli podatkov nadomestijo.

Največja razlika v vzorcih je število upoštevanih neviht (85 in 92, Preglednica 29). Pri valovnem modelu smo upoštevali, da 3 % neviht ni zajetih. Znova je najbolj primerna porazdelitev FT-II ($k = 5$) (Preglednica 30). Parameter razpona (1,214) in značilna višina s povratnimi dobami (Preglednica 34) so skoraj identične primeru s podatki boje Vide. Tudi zavrnjene porazdelitve so iste.

Primerjajmo še rezultate analize ocene povratne vrednosti za točko 6 med 4,28- in 10-letnimi rezultati valovnega modela. Začetni parametri (Preglednica 30) so večinoma podobni. Seveda se najbolj razlikuje velikost vzorca, ki je zaradi daljšega obdobja večji (194). Različna je najbolj primerna porazdelitev, ki je FT-II ($k = 10$). Vzroka za to sta boljše testa skladnosti pri omenjeni porazdelitvi. Kot pri primeru dolžine 4,28 let so zavrnjene porazdelitve FT-I, Weibull ($k = 1,4$) in Weibull ($k = 2$). Dodatno sta zavrjnjeni še porazdelitvi Weibull ($k = 0,75$) in FT-II ($k = 2,5$). Povratne višine vala so nižje ($\hat{x}_{(10)} = 2,47\text{m}$, $\hat{x}_{(30)} = 2,83\text{m}$, $\hat{x}_{(100)} = 3,27\text{m}$), še posebej pri 100-letni povratni dobi (Preglednica 34). Ker je vzorec večji, se razpon povratnih vrednosti z 90 % intervalom zaupanja še bolj zniža kot same povratne vrednosti. Na primer, pri prejšnjem primeru ($K = 4,28$ let) je zgornja meja višja za 1,6 metra ($\hat{x}_{(100)\text{zgornja}} = 5,03$ m v primerjavi z $\hat{x}_{(100)\text{zgornja}} = 3,63$ m). To opazimo tudi na grafikonih v Prilogi B. Parameter razpona je nižji (1,146). Ker imamo podatke za 10 let, lahko po empiričnem pravilu trdimo, da je značilna višina s 30-letno povratno dobo (2,83 m) v okviru zanesljive napovedi. Maksimalna valovna višina s 100-letno povratno dobo je ob uporabi faktorja 1,58 5,17 metra.

Vzrok za različno najbolj primerno porazdelitev za 4,28 in 10 let je lahko večji vzorec in/ali da enačba (59) slabo prilagodi rezultate pred začetkom meritev boje Vide (20. 9. 2006). Če privzamemo, da enačba zadovoljivo prilagodi rezultate, velja naslednje: primer z manjšim vzorcem napačno oceni najbolj primerno porazdelitev. Če bi vzeli v primeru 4,28 let kot pravo porazdelitev FT-II ($k = 10$), bi

bile povratne vrednosti in parameter razpona zelo podobni. Torej glede na primer za 10 let določimo, da je na lokaciji boje Vide najbolj primerna kandidatka za porazdelitev populacije FT-II ($k = 10$).

6.6 Ocena projektne višine vala z rezultati valovnega modela na ostalih točkah Tržaškega zaliva

Za točko 24 je vzorec valov premajhen, saj imamo le 3 konice značilnih višin nad višino 1 metra. Zato analiza za to točko ni mogoča oziroma bi bila zelo nezanesljiva. Nezanesljiva je tudi za ostale točke, ki imajo zelo kratke privetrisčne razdalje za burjo (20, 21, 22, 23) ali pa so na severnem delu Tržaškega zaliva (4, 10, 15, 19) in imajo majhen vzorec. Vse omenjene točke so tudi blizu obale. Vemo, da model še bolj podcenjuje valovne višine ob obali. Zato bi za te točke potrebovali enačbo za prilagoditev rezultatov, ki bi še bolj zvišala izračunane valovne višine. Povratne višine in parametri razpona so za te točke verjetno podcenjeni. Dvomimo lahko tudi v pravilnost izbire najprimernejše porazdelitve.

Na nekaterih že omenjenih točkah z majhnim vzorcem tudi testi zavrnitve ne delujejo dobro (Preglednica 32). To je razvidno iz primerov, ko imamo zelo majhen vzorec (pod 50). Za točke 10, 19, 20 in 23 nobena predlagana porazdelitev ni zavrjnena. Pri točki 15 pa so zavrjnene kar vse porazdelitve. Pri teh petih točkah si torej ni mogoče pomagati s testi zavrnitve.

Razlogi, ki smo jih navedli v prejšnjih dveh odstavkih, kažejo, da metoda AMM najverjetneje ne bi bila primerna, saj je vzorec zelo majhen (10). Za točko 6 smo naredili poskusni izračun. Rezultati so podani le v tem odstavku. Najprimernejša porazdelitev je tako FT-II ($k = 3,33$). Testa zavrnitve ni zavrnil nobene porazdelitve. Nižje povratne dobe so dokaj podobne, le za 100-letno povratno dobo je značilna višina 3,83 metra, kar je 0,56 metra več kot pri metodi POT. Posledično je parameter razpona večji, 1,234. Ker ni možno uporabljati testov zavrnitve, je bolje, da smo uporabili metodo POT. Bilo pa bi zanimivo narediti primerjavo, kakšne rezultate bi dala metoda AMM.

Lahko trdimo, da glede na testa skladnosti in zavrnitve za Tržaški zaliv zagotovo niso primerne porazdelitve: FT-II ($k = 2,5$), Weibull ($k = 1,4$) in Weibull ($k = 2$) (tudi lognormalna). Zelo verjetno nista primerni tudi porazdelitvi FT-II ($k = 3,33$) in Weibull ($k = 0,75$). FT-I je večinoma izbrana pri manjših vzorcih (manj kot 42). Izjema je točka 3, ki nakazuje na možno drugačno porazdelitev na severnem delu Tržaškega zaliva. Glede na rezultate (Preglednica 32 in Slika 43) trdimo, da je za odprti del Tržaškega zaliva na sredini in na jugu ustrezna porazdelitev populacije FT-II ($k = 10$). Za obalne dele verjetno lahko samo ugibamo med FT-I in Weibull ($k = 1$) (tudi eksponenta).

V raziskavah na odprtem severnem Jadranu ni bila uporabljena porazdelitev FT-II (Leder et al., 1998; Parunov et al., 2011). Za analizo valov blizu Ravene (Martucci et al., 2010) pa FT-II izmed predlaganih porazdelitev ni ugotovljena kot primerna. Uporaba različnih porazdelitev za različne

lokacije verjetno ni napačna, saj ni nujno, da za celotni severni Jadran proč od obale velja ista porazdelitev.

Najvišje povratne značilne višine vala so na točki 1 (Preglednica 34, Slika 44, Slika 45, Slika 46 in Slika 47), kjer je značilna višina vala s povratno dobo 100 let 3,56 metra. Ta je za več kot polovico nižja od izračunane značilne višine vala s povratno dobo 100 let za odprti severni Jadran. Leder et al. (1998) so določili, da je ta višina 8,57 metra.

Najnižje povratne značilne višine vala so pričakovano ob obali. Če primerjamo severno in južno obalo Jadranskega zaliva, so na severni obali značilne višine malenkost nižje. Najbolj so zanesljivi rezultati na lokaciji boje Vide (točka 6). Ostale vrednosti so manj zanesljive in verjetno podcenjene, saj smo s primerjavo korelacij (poglavje 5.2.1) ugotovili, da valovni model glede na lokacijo Vide na odprtem in zaprtem predvideva prenizke valove.

Točka 5 je edina lokacija, kjer so povratne višine valov verjetno precenjene. To je najbolj južna točka modela, ki jo obravnavamo. Je globoko v Piranskem zalivu. Zato je točna lokacija točke zaščitena proti visokim valovom.

Parameter razpona je pri točkah z večjimi vzorci (vsaj 74 uporabljenih dogodkov) med 1,097 in 1,184. Zgornja meja razpona je nekoliko nižja od ugotovljenih vrednosti okrog Italije v Sredozemskem in Jadranskem morju, ki so od 1,100 do 1,240 (Goda, 2010). To je najverjetneje posledica tega, da je Tržaški zaliv zaprt in spada v mirno valovno klimo ali pa je vzrok v podcenjenih valovnih višinah.

6.7 Teoretična maksimalna višina vala za Tržaški zaliv

Rezultati teoretične maksimalne višine vala (Slika 50) veljajo za Tržaški zaliv do oddaljenosti približno 150 metrov od obale. V obalnem pasu, 150 metrov ali manj do obale, zaradi ločljivosti batimetrije ni mogoče dovolj točno določiti teoretične maksimalne višine vala. Problem je tudi podana minimalna globine vode, ki je 2 metra. Zato priporočamo, da se v primeru načrtovanja obalne konstrukcije pridobita natančna batimetrija in naklon. Glede na slednja se določi indeks rušenja s faktorjem ali v primeru znanih karakteristik valov z enačbo.

Za območje kopališča v Portorožu je teoretično maksimalno višino vala s faktorjem 0,78 kot indeks rušenja določil Saksida (2009a).

Ob piranski Punti je izrazito brezno, zaradi katerega maksimalna teoretična višina vala, prikazana na sliki, zagotovo ne velja. Zato je za to področje potrebno predpostaviti teoretično višino vala okoli 20 metrov, kolikor velja za rob brezna (Slika 50, rdeče območje).

Tudi v zalivu tržaške luke bi bila verjetno bolj primerna maksimalna teoretična višina vala okoli 5 metrov, enako kot na robu zaliva (Slika 50, nižje od koordinate 45,65°S, 13,75°V).

Za prikazane podatke leži gladina 0,63 metra pod srednjim nivojem morja. Primer poplav morja ni upoštevan, ker nimamo podatkov o nadmorski višini reliefa nad hidrografsko ničlo. Dvig gladine pomeni zvišanje teoretične maksimalne višine vala v določeni točki. Lahko bi izračunali teoretično maksimalno višino vala za dva primera dviga gladine vode. Pogostejše poplave so 3,3 metra, najvišje izmerjene (od 1963 do 2003) pa 3,94 metra nad mareografsko ničlo (Kolega, 2006). Vrednosti globin v batimetriji v prvem primeru bi bile višje za 1,78 metra, v drugem primeru pa za 2,42 metra. To pomeni tudi, da bi valovi ob takih poplavah lahko segli globoko v notranjost obale.

Na koncu je potrebno poudariti, da so izračunani rezultati le teoretične maksimalne višine vala za določena območja. Na odprtem delu Tržaškega zaliva so tako visoke višine valov skoraj nemogoče zaradi omejitve privetrišča, jakosti vetra in trajanja vetra. Tudi sama plitkost in zaprtost severnega Jadranskega morja prispevata k realno nižji višini valov.

6.8 Ekstremne maksimalne višine valov s povratno dobo 100 let in njihova omejitev zaradi globine v 24 točkah v Tržaškem zalivu

Slika 51 prikazuje, da povratne maksimalne višine (niti ekstremne) večinoma niso omejene z globino. Le točki 4 in 10 sta omejeni s teoretično maksimalno višino vala, to je 1,6 metra. V praksi to pomeni, da bi za konstrukcijo blizu teh dveh točk (tudi na obali) kot projektno višino vala lahko vzeli vrednost 1,6 metra. Še enkrat pa je potrebno poudariti, da je batimetrija dokaj nenatančna, še posebej za obalne dele. S podrobnejšo batimetrijo ob obali bi lahko določili zgornjo mejo višine valov za celotno obalo Tržaškega zaliva.

6.9 Uporabnost rezultatov za Tržaški zaliv

Izračunane so povratne vrednosti značilnih višin za določene povratne dobe. Za točno določitev projektne višine vala je potrebno vedeti, kakšna konstrukcija se bo gradila, poznati je potrebno stopnjo ogroženosti področja itd.

Analiza temelji na podatkih, ki niso dobre kvalitete. Boljših vhodnih podatkov za izračune nam žal ni uspelo pridobiti oziroma glede na naše informacije ne obstajajo. Podatke (rezultate) smo do neke mere izboljšali (prilagodili) z enačbo. Na lokaciji točke 6 (boja Vida) in v okolici (točke 1, 5, 7, 11, 12, 16, 17) so prilagoditve verjetno ustrezne, medtem ko za druge točke tega ne moremo trditi, saj nimamo in-situ meritev, s katerimi bi preverili pravilnost valovnega modela. V vseh točkah (razen 6) so tudi po prilagoditvi valovne višine še zmeraj podcenjene, kar vemo iz primerjav dveh linearnih regresij: linearnih regresij med meritvami boj (Vida, Zora in Zarja) in linearnih regresij med rezultati v točkah

valovnega modela na lokacijah boj (poglavje 5.2.1). Končni rezultat so verjetno tudi podcenjene povratne višine valov (razen za točki 6 in 15).

Ne glede na vse naštetu so naši rezultati prva ocena povratnih višin valov oziroma projektne višine vala za Tržaški zaliv. Inženirji obalnih in konstrukcij proč od obale naj rezultatov ne dojemajo kot absolutne, ampak kot okvirne vrednosti. V točkah valovnega modela so vrednosti zagotovo pravilnejše kot pa za ostale lokacije, še posebej to velja za obalo. Zato se priporoča upoštevati povratne višine vala točke valovnega modela, ki je najbližja lokaciji konstrukcije. Glede na pogoje (globina, zaprtost lokacije, tip konstrukcije itd.) se lahko oceni primernost povratne značilne višine. Če je ta primerna, se jo lahko uporabi.

Odgovorni inženir se mora zavedati negotovosti projektne višine vala in oceniti ogroženost in škodo v primeru njene prekoračitve. Zato so v pomoč pri preverjanju prekoračitve projektne višine vala podane povratne značilne višine vala z 90 % intervalom zaupanja (Preglednica 34) in izračuni parametrov A in B s 95 % intervalom zaupanja (Preglednica 31). Če zahtevana povratna doba za značilno višino ni v izračunih v preglednicah, jo lahko inženirji najdejo v grafih v Prilogi B. Grafi podajajo povratno dobo do 100 let, saj izračun daljše dobe ne bi bil smiseln zaradi kratkega obdobje podatkov (10 let).

Tudi vrednosti omejitve maksimalne višine vala (Slika 50) so zgolj orientacijske. Za boljšo določitev bi potrebovali kvalitetnejše podatke batimerije.

7 SKLEPI

Vse do danes projektiranje konstrukcij v Tržaškem zalivu ni temeljilo na projektni višini vala, ki je določena z značilno višino vala s povratno dobo. Projektne višine so verjetno določene na podlagi maksimalne višine vala ob ekstremnih vetrovih ali na podlagi maksimalne višine vala glede na globino vode.

Zato smo ne glede na nenatančne vhodne podatke statistično ocenili projektne višine vala na podlagi značilne višine vala z določeno povratno dobo, ob tem pa smo predlagali tudi porazdelitev populacije valov in obseg parametra razpona. Sama metoda ocene projektne višine vala je poenostavljena, saj je narejena šele prvič in bi zanjo potrebovali boljše podatke.

Povratne vrednosti značilnih višin valov so po pričakovanjih relativno nižje od istih vrednosti na odprtem morju, še zmeraj pa niso zanemarljivo nizke in so uporabne kot okvirne vrednosti za projektiranje konstrukcij. Z izračunanimi projektnimi višinami vala se lahko tudi s pomočjo literature (Gartner, 2013) oceni, kateri tip konstrukcije je na določenem mestu ustrezen.

Ob oceni projektne višine vala je opravljena tudi analiza valovne in vetrovne klime v Tržaškem zalivu na podlagi preteklih raziskav in pridobljenih podatkov. Izpostavljene so lastnosti, ki so pomembne za določitev projektne višine vala. Opravili smo tudi prvo analizo sočasnih podatkov na različnih lokacijah na podlagi in-situ meritev (boje Vida, Zora in Zarja). Rezultati so v okviru pričakovanj.

Pri pregledu podatkov z boj smo ugotovili napake v meritvah, ki so lahko pomemben podatek za upravljavce boj. Prikazana je tudi groba ocena naklona dna za Tržaški zaliv.

V prihodnosti bi bilo poleg podrobnejše batimetrije za določitev teoretičnih maksimalnih valov potrebno opraviti še analizo maksimalne višine valov glede na omejitve privetritišča, jakosti vetra in trajanja vetra. Te bi lahko opravili na valovnem modelu z ekstremnimi vetrovi.

Za naslednje statistične analize priporočamo delo z natančnejšimi podatkih in razdelitev vzorca valov na valove, ki se širijo iz SV, in tiste, ki se širijo iz JV. Na boljše podatke bo treba počakati ali pa jih pridobiti z analizo preteklih dogodkov (ang. hindcast). Če bodo meritve na novih bojah in predvidenih radijskih antenah nemotene, lahko v kombinaciji z valovnimi modeli v roku 15 let pričakujemo zanesljivejše podatke o valovih v Tržaškem zalivu. Ti bodo uporabni za podrobnejšo določitev projektnega vala v Tržaškem zalivu. Priporočili bi tudi, da se v analizi primerjajo rezultati po metodah AMM in POT.

Rezultati ocene projektne višine valov so uporabni za projektante in izvajalce konstrukcij v Tržaškem zalivu. Še posebej zato, ker je statistična analiza valov dolgotrajen in naporen postopek. V našem primeru je še posebej zamuden postopek prilagoditev rezultatov valovnega modela. Projektne višine

vala v pričujočem diplomskem delu lahko primerjajo s svojimi ugotovljenimi maksimalnimi višinami vala. Diplomsko delo pa je med drugim dobro tudi za primerjavo z drugimi raziskavami na področju valovne klime in povratnih višin valov v Jadranskem morju. Prevedena teorija ocene projektne višine vala lahko služi tudi kot učno gradivo. Analize valovne klime in povratne višine valov pa podajajo tudi osnovne informacije za morski promet.

VIRI

- AM&WFG. 2014. AM&WFG Wave Forecast. Athens, University Athens, Atmospheric Modeling & Weather Forecasting Group (AM&WFG).
<http://forecast.uoa.gr/wamindx.php> (Pridobljeno 11. 5. 2014.)
- ARSO (prev.). 2008. Morski terminal za uplinjanje UZP Alpi Adriatico. Dopolnilna dokumentacija k vlogi za pridobitev koncesije za rabo javnega dobra. Dokument št. RIDY 08-13645-Rev1. Rim, Terminale Alpi Adriatico S.r.l.: 64 str.
http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/022904-Prevod_C_Appendice%20A.doc (Pridobljeno 21. 5. 2014.)
- Athanassoulis, G. A., Barstow, S. F., Cavaleri, L. 1999. Eurowaves, an easy approach for local wave climatology. Transactions on the Built Environment 42: 10.
<http://library.witpress.com/pages/PaperInfo.asp?PaperID=6127> (Pridobljeno 10. 5. 2014.)
- Benetazzo, A., Fedele, F., Carniel, S., Ricchi, A., Buccignani, E., Sclavo, M. 2012. Wave climate of the Adriatic Sea: a future scenario simulation. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 12, 6: 2065-2076.
[doi: 10.5194/nhess-12-2065-2012](https://doi.org/10.5194/nhess-12-2065-2012)
<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/2065/2012/> (Pridobljeno 7. 4. 2014.)
- BS 6349-1:2000. Maritime structures - Part 1: Code of practice for general criteria.
- Caires, S., Sterl, A., Komen, G., Swail, V. 2005. The KNMI/ERA-40 WAVE ATLAS. Derived from 45-years of ECMWF reanalysis data. Netherlands, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI).
<http://www.knmi.nl/waveatlas/license.cgi> (Pridobljeno 10. 5. 2014.)
- CIRIA, CUR, CETMEF. 2007. The Rock Manual : The use of rock in hydraulic engineering. 2nd ed. London, CIRIA - Construction Industry Research and Information Association: xxxvi, 1268 str.
- Cournapeau, D., Millman, J., Brucher, M., Pedregosa, F., Varoquaux, G., Plas, J., Gramfort, A., Grisel, O., Thirion, B., Michel, V., Gorgolewski, C., Gollonet, A., Halchenko, Y., Weiss, R., Fritsch, V., Blondel, M., Prettenhofer, P., Dubourg, V., Passos, A., Niculae, V., Duchesnay, E., Jones, T., Buitinck, L., Losi, P., Varoquaux, N., Holt, B., Layton, R., Louppe, G., Müller, A., Ghosh, S., Li, W., Joly, A., Eren, K., Becker, M. 2007. Scikit-learn. scikit-learn 0.16, INRIA.
<http://scikit-learn.org/stable/> (Pridobljeno 9. 8. 2014.)
- Datawell BV. 2014. Products - Buoys. Datawell BV.
<http://www.datawell.nl/Products/Buoys.aspx> (Pridobljeno 21. 5. 2014.)
- De Girolamo, P., Passacantando, G., Hurdle, D., Noli, A. 1992. EVALUATION OF DESIGN WAVES ALONG THE COAST AND AT THE INLETS OF THE VENICE LAGOON. Proc. 23rd Int. Conf. Coastal engineering, Venice, 1992: 1851-1864.
<http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/4819/4500> (Pridobljeno 9. 5. 2014.)
- DHMZ. 2014. Sea Waves by ECMWF Numerical Weather Prediction (NWP). Hrvaška, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), preko The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).
http://prognoza.hr/karte_e.php?id=ecmwf¶m=valovi&it=11 (Pridobljeno 11. 5. 2014.)
- ECMWF. 2014. The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Europe.
<http://www.ecmwf.int/> (Pridobljeno 10. 5. 2014.)
- ESRI. 2008. How Slope works. ArcGIS 9.2 Desktop Help. ESRI.
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Slope%20works> (Pridobljeno 19. 5. 2014.)
- Etemad-Shahidi, A., Mahjoobi, J. 2008. Prediction of Significant Wave Height Based on Regression Trees. International Congress on Environmental Modelling and Software 4th Biennial Meeting of iEMSs: 6 str.
- Fugro OCEANOR. 2004. WorldWaves. Trondheim, Fugro OCEANOR.
<http://www.oceanor.com/Services/Worldwaves/> (Pridobljeno 10. 5. 2014.)

- Gartner, M. 2013. Obalno inženirstvo – pregled ukrepov za zaščito obale. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba M. Gartner): 82 str.
- GIS. 2014a. Glavni vetrovi na Jadranu. Navtični vodnik slovenskega morja in obale. Geodetski inštitut Slovenije (GIS).
<http://www.hidrografija.si/p1/4-1-6.php> (Pridobljeno 22. 5. 2014.)
- GIS. 2014b. Navigacijske karte. Navtični vodnik slovenskega morja in obale. Geodetski inštitut Slovenije (GIS).
<http://www.hidrografija.si/p3/2-2-1.php> (Pridobljeno 21. 10. 2014.)
- Goda, Y. 2010. Random seas and design of maritime structures. Advanced series on ocean engineering. 3rd ed. Hackensack, N.J., World Scientific: xxiv, 708 str.
- Goda, Y. 2012. Design wave height selection in intermediate-depth waters. Coastal Engineering 66, 0: 3-7.
[doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.03.005](https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.03.005)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383912000476> (Pridobljeno 29. 4. 2014.)
- Gomes, F., Pinto, F. 2013. Study Material for subjects: Maritime Works 1, Maritime Works 2, Coastal Environments. Porto, Faculty of Engineering, University Porto.
- Google Inc. 2013. Google Earth. Menlo Park, California, Google Inc.
<http://www.google.com/earth/> (Pridobljeno 12. 7. 2013.)
- Gusdal, Y., Carrasco, A. 2012. Validation of the Operational Wave Models - Report 2011. Oslo: The Norwegian Meteorological Institute; 2012 Report No. 23/2012, ISSN: 1503-8025.
http://met.no/filestore/21_2012_report2.pdf (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- Hladnik, V., Malačič, V. 2011. Roža vetrov in roža valov - kateri valovi se pojavljajo pri določenih vetrovih: študija. Piran, Morska biološka postaja, Nacionalni inštitut za biologijo: 17 str.
http://users.ntua.gr/mathan/pdf/Pages_from%20WIND_WAVE_ATLAS_MEDITERRANEAN_SEA_2004.pdf (Pridobljeno 23. 2. 2014.)
- Holmes, P. 2001. A course in coastal defense systems I. Professional development programme: coastal infrastructure design, construction and maintenance. St. Lucia, West Indies, Department of Civil Engineering, The University of the West Indies.
http://www.oas.org/cdcm_train/courses/course2.htm (Pridobljeno 3. 5. 2014.)
- Holthuijsen, L. H. 2007. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge, Cambridge University Press: xvi, 387 p. str.
- Hozjan, M. 2014. Vreme na Jadranu 2. del. Navtični-tečaji.si. Startus skupina d.o.o.
<http://www.navticni-tecaji.si/blog/vreme-na-jadranu-2-del> (Pridobljeno 29. 6. 2014.)
- Hurdle, D., De Girolamo, P., Pellegrini, G. 1995. Evaluation of design waves along the Adriatic coast of the Venice lagoon. Coastal Engineering 25, 1–2: 109-133.
[doi: 10.1016/0378-3839\(94\)00034-U](https://doi.org/10.1016/0378-3839(94)00034-U)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037838399400034U> (Pridobljeno 11. 1. 2014.)
- ISRAMAR. 2014. Mediterranean Wave Forecast. Israel, Israel Oceanographic and Limnological Research (IOLR), The Israel Marine Data Center (ISRAMAR).
http://isramar.ocean.org.il/isramar2009/wave_model/default.aspx?model=wam (Pridobljeno 11. 5. 2014.)
- Jeromel, M. 2010. Valovi in orkanska burja marec 2010. Analiza MBP. Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, Morska Biološka Postaja (MBP): 10 str.
- Jeromel, M. 2014. O podatkih valov za Tržaški zaliv. Osebna komunikacija. (10. 02. 2014.)
- Kavčič, J., Malačič, V. 2008. Analiza podatkov tlaka na morskem dnu in površinskih valov na oceanografski boji v Piranskem zalivu 2007 in 2008. Poročila MBP, elaborat za UNESCO. Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, Morska Biološka Postaja (MBP): 44 str.
http://buoy.mbss.org/doks/KavcicMalacic_AnalizaPodatkovTlaka_Elaborat_UNESCO_IOC_PorocilaMBP_102_2.pdf (Pridobljeno 11. 5. 2014.)
- KNMI 2004. Ocean waves Atlas version 2.0. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
<http://www.knmi.nl/turbowin/> (Pridobljeno 10. 5. 2014.)

- Kolega, N. 2006. Poplave morja na slovenski obali. Diplomaska naloga. Koper, Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije Koper (samozaložba N. Kolega): 108 str.
- Lakes Environmental Software. 2011. WRPLOT View. Waterloo, Ontario, Canada, Lakes Environmental.
<http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html> (Pridobljeno 22. 6. 2014.)
- Leder, N. 2014. Extreme wave distribution function for North Adriatic Sea. Osebna komunikacija. (18. 07. 2014.)
- Leder, N., Smiričić, A., Vilibić, I. 1998. Extreme values of surface wave heights in the Northern Adriatic. *Geofizika* 15, 1-13: 13. http://geofizika-journal.gfz.hr/Vol_15/geofizika_15_1998_1-13_leder.pdf (Pridobljeno 17. 7. 2014.)
- Ličer, M. 2013. Performance of WAM wave model as compared to Wave Measurements at Oceanographic Buoy VIDA (Slovenia). Technical report. Piran, Marine Biology Station (National Institute of Biology), Ocean Physics And Modelling Group (University of Athens), Slovenian Environment Agency.
- Ličer, M. 2014. Predstavitev: Daljinsko zaznavanje tokov in valov. Osebna komunikacija. (15. 05. 2014.)
- Ličer, M., Jeromel, M., Fettich, A. 2014. Prognozirano plimovanje morja. Jadransko morje - Koprski zaliv. Poročila in publikacije ARSO. Ljubljana: 64 str.
http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/022904-Prevod_C_Appendice%20A.doc (Pridobljeno 1. 11. 2014.)
- Lionello, P. 2012. The climate of the Venetian and North Adriatic region: Variability, trends and future change. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 40–41, 0: 1-8.
[doi: 10.1016/j.pce.2012.02.002](https://doi.org/10.1016/j.pce.2012.02.002)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706512000198> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)
- Lionello, P., Cavaleri, L., Nissen, K. M., Pino, C., Raicich, F., Ulbrich, U. 2012a. Severe marine storms in the Northern Adriatic: Characteristics and trends. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 40–41, 0: 93-105.
[doi: 10.1016/j.pce.2010.10.002](https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.10.002)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706510001907> (Pridobljeno 2. 2. 2014.)
- Lionello, P., Galati, M. B., Elvini, E. 2012b. Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 40–41, 0: 86-92.
[doi: 10.1016/j.pce.2010.04.001](https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.04.001)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706510000665> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)
- Liu, Y., Niu, X., Yu, X. 2011. A new predictive formula for inception of regular wave breaking. *Coastal Engineering* 58, 9: 877-889.
[doi: 10.1016/j.coastaleng.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.05.004)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383911000640> (Pridobljeno 3. 5. 2014.)
- Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A. 2008. An alternative approach for the prediction of significant wave heights based on classification and regression trees. *Applied Ocean Research* 30, 3: 172-177.
[doi: 10.1016/j.apor.2008.11.001](https://doi.org/10.1016/j.apor.2008.11.001)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141118708000680> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- Malačič, V., Flander Putrle, V., Forte, J. 2008. Ekspertna ocena čezmejnega vpliva dopolnjenega projekta morskega terminala za ponovno uplinjanje UZP v Tržaškem zalivu. Ekspertna ocena čezmejnega vpliva plinskih terminalov. Piran, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije: 23 str.
http://www.mbss.org/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=131&Itemid=9&lang=sl (Pridobljeno 21. 5. 2014.)

- Martucci, G., Carniel, S., Chiggiato, J., Sclavo, M., Lionello, P., Galati, M. B. 2010. Statistical trend analysis and extreme distribution of significant wave height from 1958 to 1999 – an application to the Italian Seas. *Ocean Sci.* 6, 2: 525-538.
[doi: 10.5194/os-6-525-2010](https://doi.org/10.5194/os-6-525-2010)
<http://www.ocean-sci.net/6/525/2010/> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)
- Massel, S. R. 1996. On the largest wave height in water of constant depth. *Ocean Engineering* 23, 7: 553-573.
[doi: 10.1016/0029-8018\(95\)00049-6](https://doi.org/10.1016/0029-8018(95)00049-6)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0029801895000496> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- Massel, S. R. 1998. The limiting wave height in wind-induced wave trains. *Ocean Engineering* 25, 9: 735-752.
[doi: 10.1016/S0029-8018\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(97)00009-7)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801897000097> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- Matulla, C., Hofstätter, M., Auer, I., Böhm, R., Maugeri, M., von Storch, H., Krueger, O. 2012. Storminess in northern Italy and the Adriatic Sea reaching back to 1760. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 40–41, 0: 80-85.
[doi: 10.1016/j.pce.2011.04.010](https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.04.010)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470651100074X> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)
- Medatlas Group. 2004a. Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea. WESTERN EUROPEAN ARMAMENTS ORGANISATION (WEAO), RESEARCH CELL: 34 str.
http://users.ntua.gr/mathan/pdf/Pages_from%20WIND_WAVE_ATLAS_MEDITERRANEAN_SEA_2004.pdf (Pridobljeno 23. 2. 2014.)
- Medatlas Group. 2004b. Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea. Electronic Version. WESTERN EUROPEAN ARMAMENTS ORGANISATION (WEAO), RESEARCH CELL.
- MSW. 2014. Mediterranean Sea Charts, Magicseaweed. Magicseaweed.
<http://magicseaweed.com/Mediterranean-Sea-Surf-Chart/83/> (Pridobljeno 11.5.2014.)
- Nelson, R. C. 1994. Depth limited design wave heights in very flat regions. *Coastal Engineering* 23, 1–2: 43-59.
[doi: 10.1016/0378-3839\(94\)90014-0](https://doi.org/10.1016/0378-3839(94)90014-0)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378383994900140> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- Nelson, R. C. 1997. Height limits in top down and bottom up wave environments. *Coastal Engineering* 32, 2–3: 247-254.
[doi: 10.1016/S0378-3839\(97\)81752-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(97)81752-8)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383997817528> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- ODNR, OCM. 2011. Ohio Coastal Design Manual. Guidance for professionals designing structures along Lake Erie. 1st ed. Ohio, The Ohio Department of Natural Resources (ODNR) Office of Coastal Management (OCM): 146 str.
<http://www.ohiodnr.com/tabid/23074/default.aspx> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- OPAM. 2014. Triton Wave Forecast System. Athens, University Athens, The Ocean Physics and Modelling (OPAM) Group.
<http://www.oc.phys.uoa.gr/page15.html> (Pridobljeno 11. 5. 2014.)
- Parunov, J., Čorak, M., Pensa, M. 2011. Wave height statistics for seakeeping assessment of ships in the Adriatic Sea. *Ocean Engineering* 38, 11–12: 1323-1330.
[doi: 10.1016/j.oceaneng.2011.06.001](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.06.001)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801811001120> (Pridobljeno 11. 1. 2014.)
- Raicich, F. 2003. Recent evolution of sea-level extremes at Trieste (Northern Adriatic). *Continental Shelf Research* 23, 3–4: 225-235.
[doi: 10.1016/S0278-4343\(02\)00224-8](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00224-8)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434302002248> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)

- Raybaut, P. 2008. Python (x,y). Python 2.7, GNU General Public License version 3.
<https://code.google.com/p/pythonxy/> (Pridobljeno 6 .4. 2014.)
- Saksida, J. 2009a. Ocena vplivov valovanja morja na območju kopališča Portorož. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba J. Saksida): 113 str.
- Saksida, J. 2009b. Vpliv valovanja morja na konstrukcije. Seminaraska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba J. Saksida): 64 str.
- Sandhya, K. G., Balakrishnan Nair, T. M., Bhaskaran, P. K., Sabique, L., Arun, N., Jeykumar, K. 2014. Wave forecasting system for operational use and its validation at coastal Puducherry, east coast of India. *Ocean Engineering* 80, 0: 64-72.
[doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.01.009](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.01.009)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801814000183> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- Slavo, M., Liberatore, G., Ridolfo, R. 1996. Waves in front of the Venetian littoral. *Il Nuovo Cimento C* 19, 1: 125-150. 10.1007/BF02511837
[doi: 10.1007/BF02511837](https://doi.org/10.1007/BF02511837)
- Sgrillo, R. 2012. GE-Path freeware. Brazilija.
<http://www.sgrillo.net/googleearth/gepath.htm> (Pridobljeno 30. 5. 2014.)
- Shanas, P. R., Sanil Kumar, V., Hithin, N. K. 2014. Comparison of gridded multi-mission and along-track mono-mission satellite altimetry wave heights with in situ near-shore buoy data. *Ocean Engineering* 83, 0: 24-35.
[doi: 10.1016/j.oceaneng.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.03.014)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801814001036> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- Shand, T. D., Peirson, W. L., Cox, R. J. 2011. Engineering design in the presence of wave groups. *Coastal Engineering Proceedings*; No 32 (2010): Proceedings of 32nd Conference on Coastal Engineering, Shanghai, China, 2010. University of New South Wales, Sydney, Australia, Water Research Laboratory, School of Civil and Environmental Engineering: 10 str.
<http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/1343> (Pridobljeno 4. 5. 2014.)
- Sirnik, N. 2011. Modeliranje hidrodinamičnih, oceanografskih in okoljskih spremenljivk ter koncentracij živega srebra v morskem okolju. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba N. Sirnik): 309 str.
- Sorensen, R. M. 2006. Basic coastal engineering. 3rd ed. New York, Springer Science+Business Media,: xii, 324 str.
[doi: 10.1007/b101261](https://doi.org/10.1007/b101261)
- Soukissian, T., Kechris, C. 2007. About applying linear structural method on ocean data: Adjustment of satellite wave data. *Ocean Engineering* 34, 3–4: 371-389.
[doi: 10.1016/j.oceaneng.2006.04.002](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2006.04.002)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002980180600117X> (Pridobljeno 26. 6. 2014.)
- Soukissian, T. H., Prospathopoulos, A. M. 2006. The Errors-in-Variables approach for the validation of the WAM wave model in the Aegean Sea. *Mediterranean Marine Science* 7, 1: 47-62.
<http://www.medit-mar-sc.net/index.php/marine/article/view/177> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- Thoresen, C. A. 2003. Port designer's handbook. Recommendations and guidelines. London, Thomas Telford; Reston Distributor USA, ASCE Press: xviii, 549 str.
- USACE. 1984. SPM - Shore protection manual. 4th ed. Vicksburg, Miss. Washington, DC, Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
- USACE. 1989. Retaining and flood walls. Engineer Manual 1110-2-2502. Washigton DC, United States Army Corps of Engineers (USACE): 448 str.
- USACE. 2008. CEM - Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, Change 2. Washigton DC, United States Army Corps of Engineers (USACE): 2817 str.
<http://chl.erd.usace.army.mil/cem> (Pridobljeno 21. 1. 2013.)

- van Gelder, P. H. A. J. M., Vrijling, J. K. 1999. On the distribution function of the maximum wave height in front of reflecting structures. Proceedings of the Conference on Coastal Structures, Santander, June 7-10, 1999. Delft, Subfaculty of Civil Engineering, Delft University of Technology: 10 str.
- WMO. 1998. Guide to Wave Analysis and Forecasting. Secretariat of the World Meteorological Organization, World Meteorological Organization (WMO).
http://www.jcomm.info/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=6080 (Pridobljeno 13. 6. 2014.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PREGLEDNICA NEMERJENIH PODATKOV

**PRILOGA B: GRAFIKONI RAZTROSA IN SKLADANJA PODATKOV ZA 24 TOČK V
TRŽAŠKEM ZALIVU**

Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGA A: PREGLEDNICA NEMERJENIH PODATKOV

Preglednica A1: Nemerjeni podatki boje Vide od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010. Čas je zapisan v UTC + 00:00. Časovni interval zapisa podatkov pri boji Vidi je 30 minut. Tipi nemerjenih podatkov: celoten interval – od prvega do zadnjega nemerjenega podatka ni meritev; del podatkov v intervalu – od prvega do zadnjega nemerjenega podatka obstaja del meritev; posamezen podatek – posamezen nemerjen podatek med merjenimi. Za posamezen interval je podano skupno število nemerjenih podatkov. Število vseh nemerjenih podatkov od 20. 9. 2006 do 31. 12. 2010 je 18267.

tip nemerjenih podatkov	datum in čas prvega nemerjenega podatka v intervalu	datum in čas zadnjega nemerjenega podatka v intervalu	skupno število nemerjenih podatkov
celoten interval	24.09.06 19:00	25.09.06 12:00	35
celoten interval	03.10.06 18:00	04.10.06 13:00	39
celoten interval	09.10.06 19:30	11.10.06 16:30	91
celoten interval	20.11.06 18:30	21.11.06 12:00	36
celoten interval	04.12.06 03:30	04.12.06 15:00	24
celoten interval	05.12.06 13:00	05.12.06 14:30	4
celoten interval	28.12.06 11:30	28.12.06 12:30	3
celoten interval	12.03.07 15:30	11.04.07 15:00	1440
posamezen podatek	13.04.07 15:00	/	1
celoten interval	29.04.07 00:30	03.05.07 22:00	236
del podatkov v intervalu	03.05.07 23:30	18.05.07 21:30	128
del podatkov v intervalu	21.05.07 03:00	23.05.07 08:30	50
celoten interval	23.05.07 09:30	25.05.07 07:30	93
del podatkov v intervalu	25.05.07 08:30	26.05.07 00:30	3
celoten interval	08.06.07 08:00	08.06.07 12:30	10
posamezen podatek	09.06.07 00:00	/	1
celoten interval	09.06.07 05:00	10.06.07 10:30	60
posamezen podatek	13.06.07 12:00	/	1
del podatkov v intervalu	26.06.07 18:00	27.06.07 00:30	3
posamezen podatek	03.07.07 07:00	/	1
del podatkov v intervalu	12.07.07 08:00	04.08.07 10:30	490
celoten interval	07.08.07 22:00	08.08.07 16:30	38
celoten interval	10.08.07 10:00	03.11.07 20:30	4102
celoten interval	04.02.08 17:30	05.02.08 12:00	38
celoten interval	05.03.08 08:30	15.03.08 12:00	488
celoten interval	28.04.08 11:30	20.06.08 08:30	2539
celoten interval	28.06.08 23:30	18.07.08 11:00	936
del podatkov v intervalu	25.07.08 09:30	23.08.08 00:00	50
celoten interval	23.08.08 23:30	16.10.08 10:00	2566
celoten interval	08.11.08 19:30	09.11.08 08:00	26
celoten interval	09.11.08 09:30	10.11.08 11:30	53
celoten interval	01.12.08 17:30	01.12.08 19:30	5
celoten interval	12.12.08 09:00	12.12.08 09:30	2
posamezen podatek	12.12.08 11:00	/	1
celoten interval	13.02.09 13:00	13.02.09 13:30	2
celoten interval	13.02.09 21:00	13.02.09 22:00	3

... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice A1

tip nemerjenih podatkov	datum in čas prvega nemerjenega podatka v intervalu	datum in čas zadnjega nemerjenega podatka v intervalu	skupno število nemerjenih podatkov
celoten interval	20.02.09 10:30	20.02.09 11:30	3
celoten interval	08.04.09 10:00	09.04.09 13:00	55
posamezen podatek	03.05.09 22:30	/	1
celoten interval	05.05.09 02:30	06.05.09 18:00	80
celoten interval	07.05.09 17:00	08.05.09 12:00	39
posamezen podatek	08.05.09 14:30	/	1
posamezen podatek	13.05.09 13:30	/	1
posamezen podatek	17.05.09 01:30	/	1
posamezen podatek	17.05.09 06:30	/	1
posamezen podatek	18.05.09 20:30	/	1
celoten interval	27.05.09 09:30	27.05.09 10:00	2
celoten interval	29.05.09 20:00	30.05.09 08:30	26
celoten interval	30.05.09 09:30	30.05.09 11:00	4
celoten interval	03.06.09 13:30	03.06.09 15:00	4
celoten interval	04.06.09 00:00	04.06.09 07:00	15
celoten interval	06.06.09 06:00	06.06.09 07:00	3
posamezen podatek	08.06.09 13:00	/	1
celoten interval	08.06.09 19:00	10.06.09 16:30	92
celoten interval	20.06.09 06:00	20.06.09 07:30	4
celoten interval	20.06.09 09:00	20.06.09 10:00	3
celoten interval	08.07.09 00:00	08.07.09 07:00	15
posamezen podatek	17.07.09 14:00	/	1
celoten interval	31.07.09 15:30	31.07.09 16:00	2
celoten interval	01.08.09 09:00	01.08.09 12:30	8
posamezen podatek	07.08.09 14:00	/	1
posamezen podatek	09.08.09 10:30	/	1
posamezen podatek	17.09.09 09:30	/	1
posamezen podatek	17.09.09 16:30	/	1
posamezen podatek	18.09.09 10:00	/	1
posamezen podatek	29.09.09 09:30	/	1
posamezen podatek	29.09.09 10:30	/	1
celoten interval	25.10.09 07:30	25.10.09 10:30	7
posamezen podatek	29.10.09 13:30	/	1
posamezen podatek	30.10.09 16:00	/	1
posamezen podatek	01.11.09 23:00	/	1
posamezen podatek	04.12.09 02:30	/	1
posamezen podatek	07.12.09 20:00	/	1
posamezen podatek	20.12.09 18:00	/	1
posamezen podatek	06.01.10 06:00	/	1
posamezen podatek	07.01.10 08:30	/	1
posamezen podatek	13.01.10 15:30	/	1

... se nadaljuje

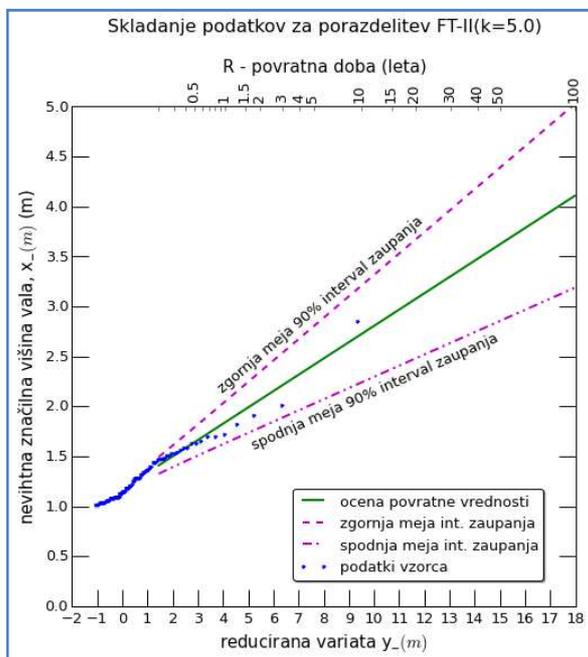
... nadaljevanje Preglednice A1

tip nemerjenih podatkov	datum in čas prvega nemerjenega podatka v intervalu	datum in čas zadnjega nemerjenega podatka v intervalu	skupno število nemerjenih podatkov
posamezen podatek	21.03.10 13:30	/	1
posamezen podatek	24.03.10 13:00	/	1
posamezen podatek	29.03.10 16:00	/	1
posamezen podatek	30.03.10 20:00	/	1
posamezen podatek	03.04.10 09:00	/	1
celoten interval	18.04.10 10:00	18.04.10 10:30	2
posamezen podatek	02.06.10 08:00	/	1
posamezen podatek	08.06.10 02:00	/	1
posamezen podatek	21.06.10 12:30	/	1
posamezen podatek	27.06.10 09:30	/	1
posamezen podatek	08.07.10 03:30	/	1
posamezen podatek	08.07.10 17:00	/	1
celoten interval	15.07.10 07:30	15.07.10 08:00	2
posamezen podatek	22.07.10 14:30	/	1
posamezen podatek	24.07.10 15:00	/	1
posamezen podatek	25.07.10 09:30	/	1
posamezen podatek	27.07.10 00:30	/	1
posamezen podatek	28.07.10 17:30	/	1
posamezen podatek	01.08.10 19:00	/	1
posamezen podatek	03.08.10 04:00	/	1
posamezen podatek	20.08.10 14:30	/	1
posamezen podatek	26.08.10 17:30	/	1
posamezen podatek	13.09.10 00:00	/	1
posamezen podatek	14.09.10 12:30	/	1
posamezen podatek	18.09.10 16:00	/	1
celoten interval	18.09.10 21:30	18.09.10 22:00	2
posamezen podatek	19.09.10 04:00	/	1
celoten interval	19.09.10 05:00	15.12.10 15:00	4197
posamezen podatek	20.12.10 04:30	/	1

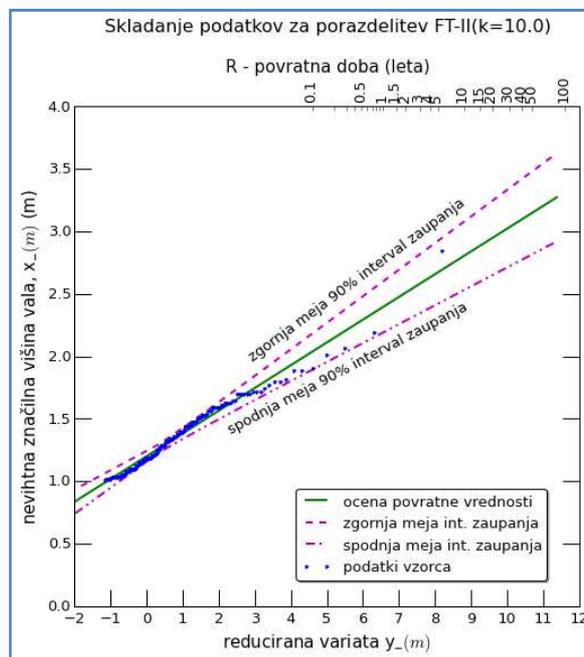
Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGA B: GRAFIKONI RAZTROSA IN SKLADANJA PODATKOV ZA 24 TOČK V TRŽAŠKEM ZALIVU

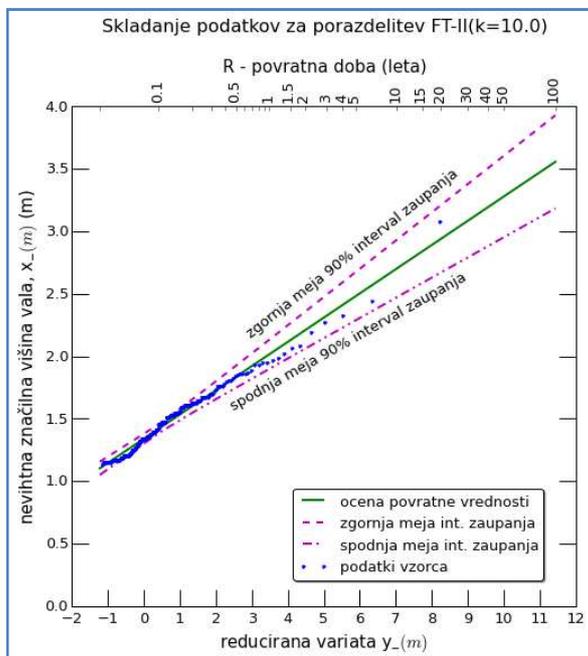
točka 6 (k=4.28)



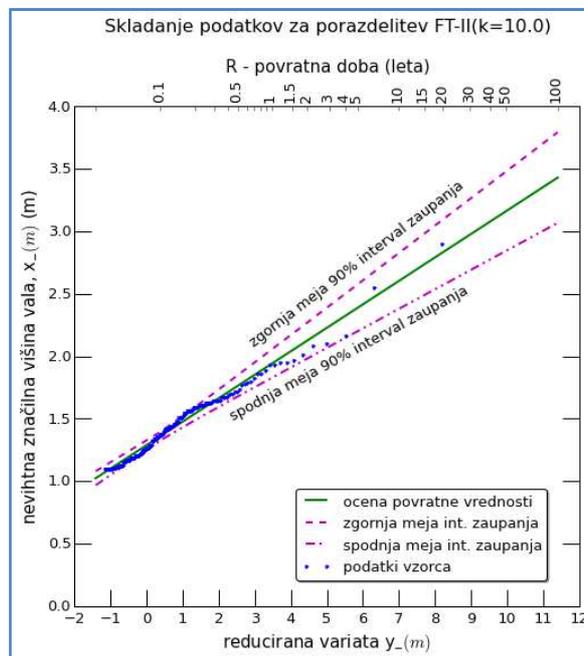
točka 6



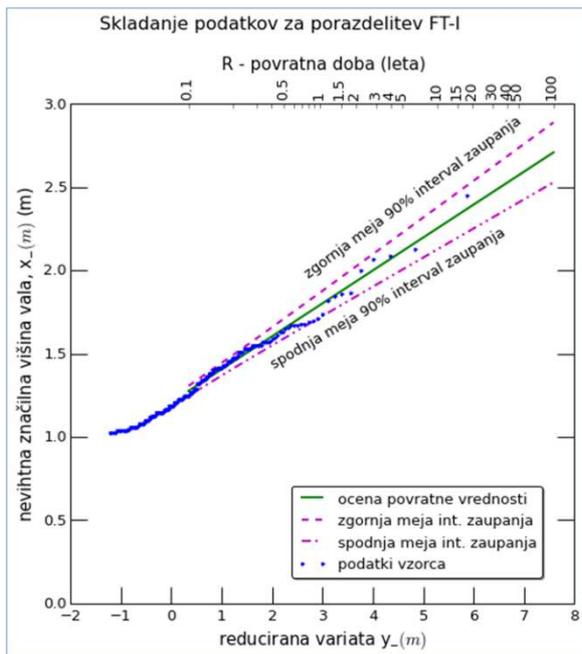
točka 1



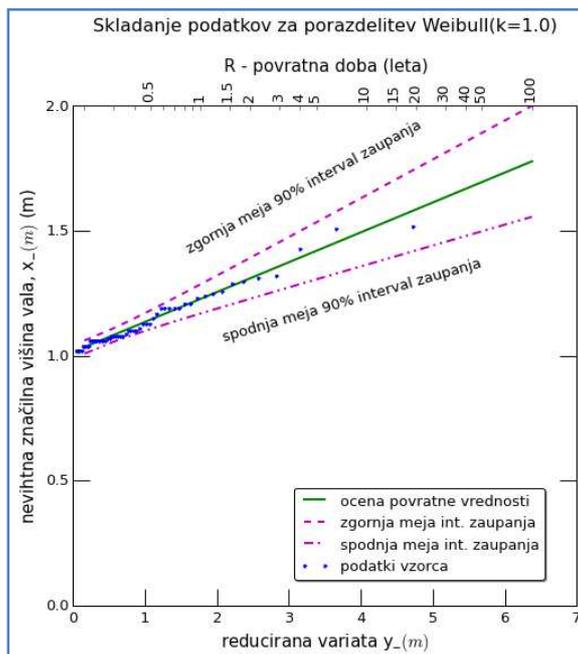
točka 2



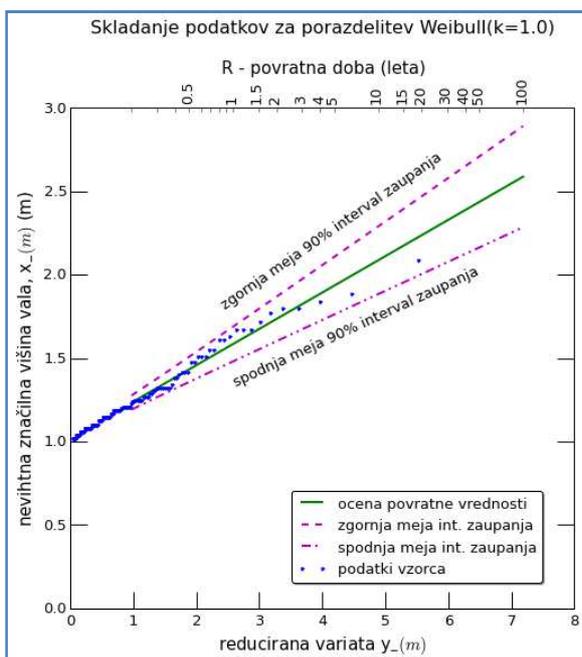
točka 3



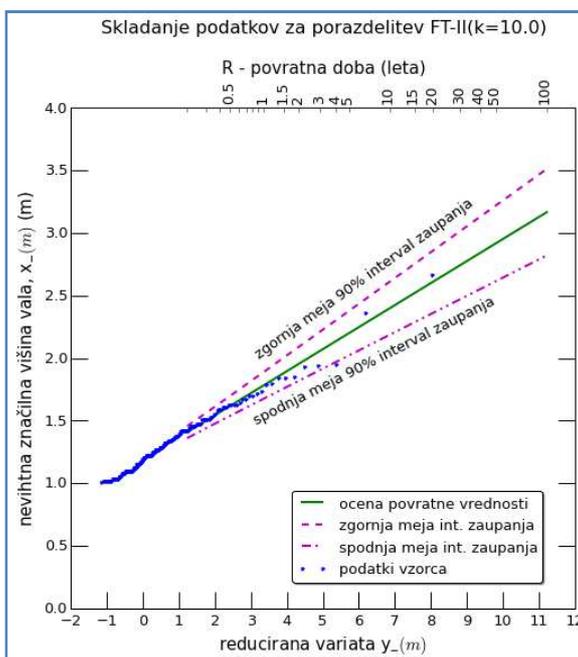
točka 4



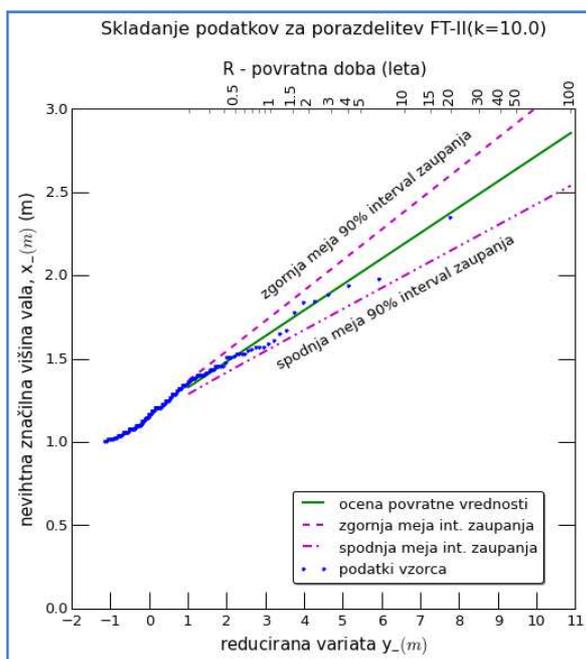
točka 5



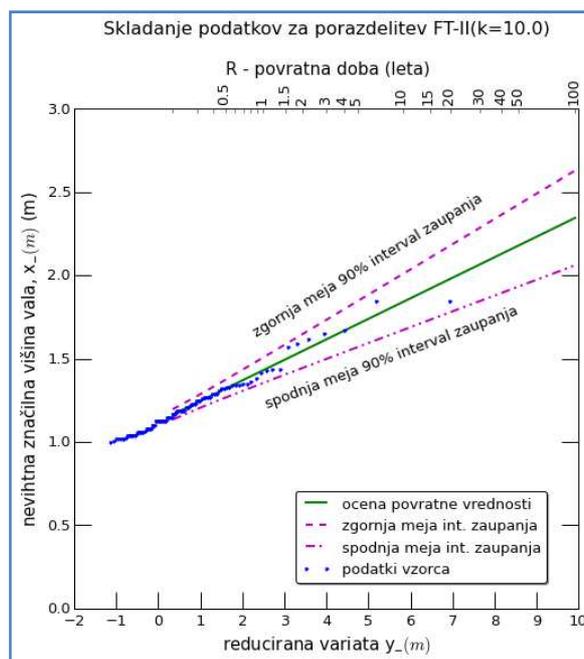
točka 7



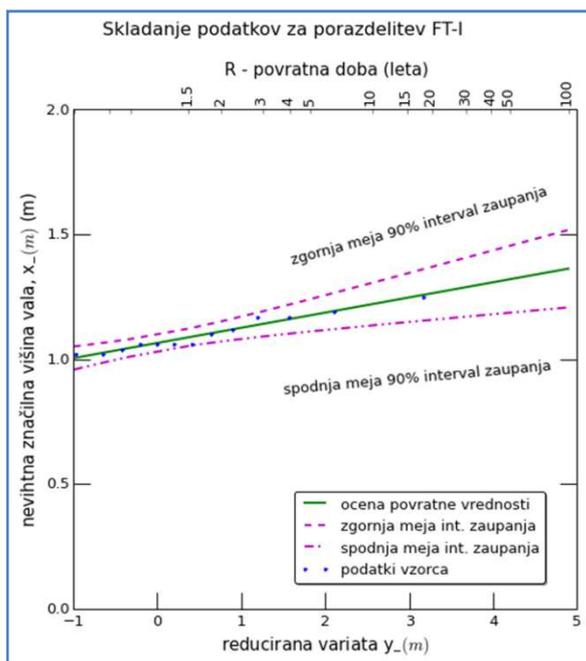
točka 8



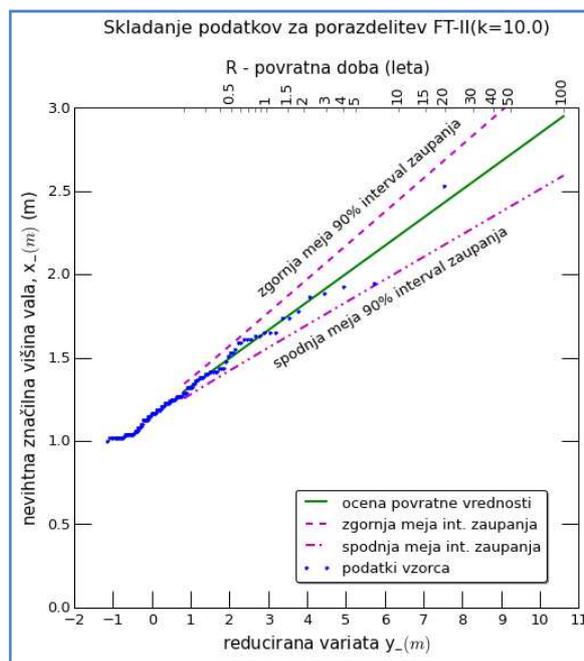
točka 9



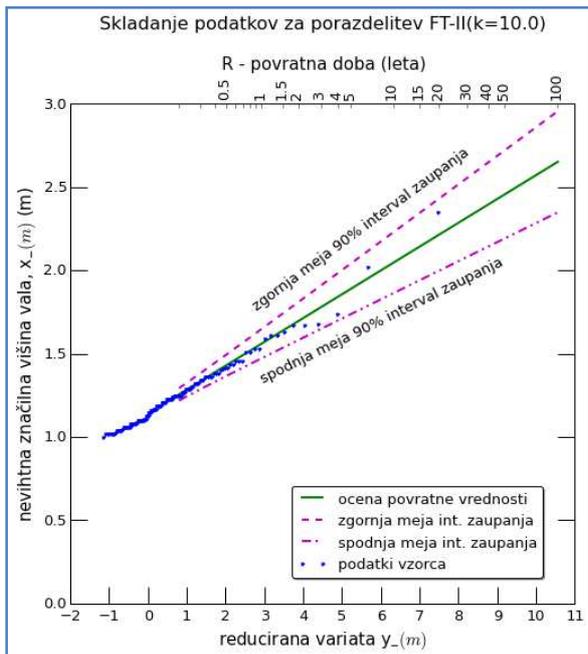
točka 10



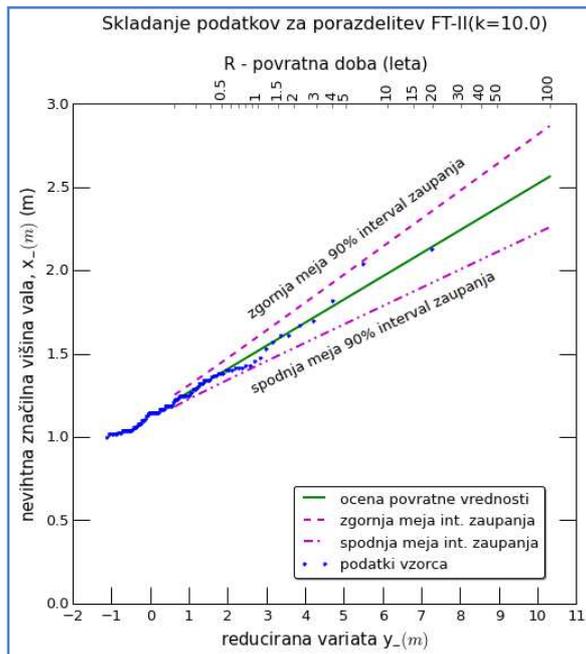
točka 11



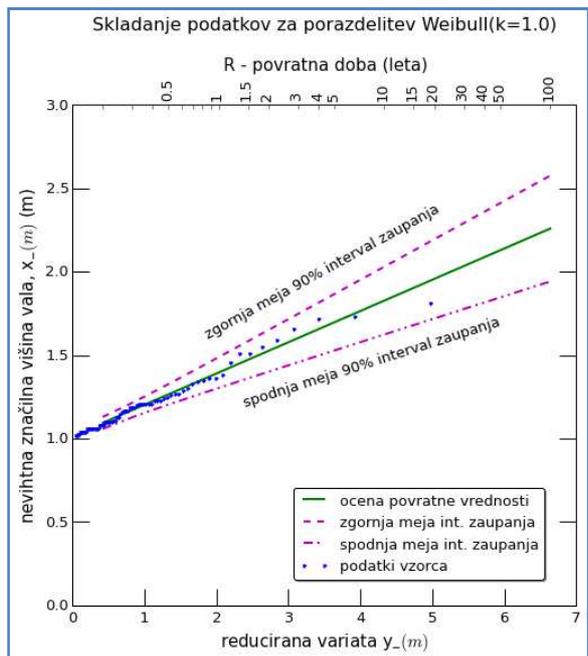
točka 12



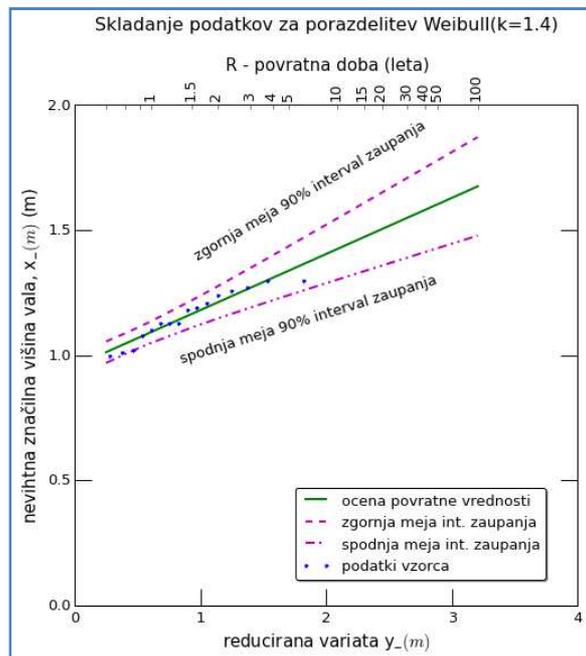
točka 13



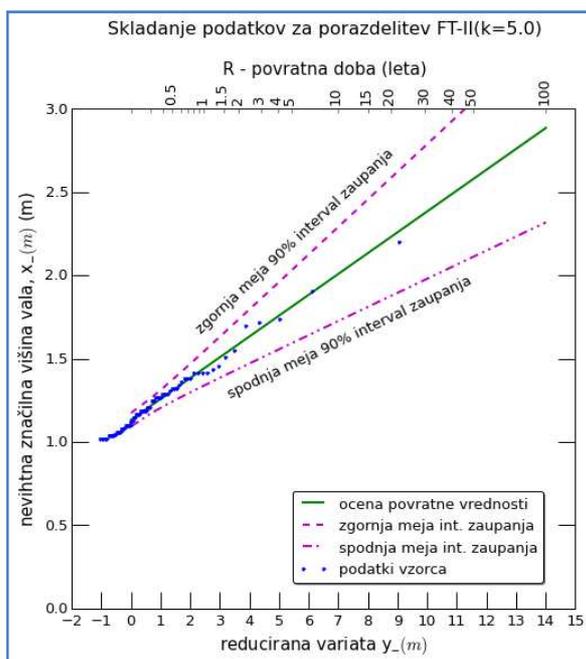
točka 14



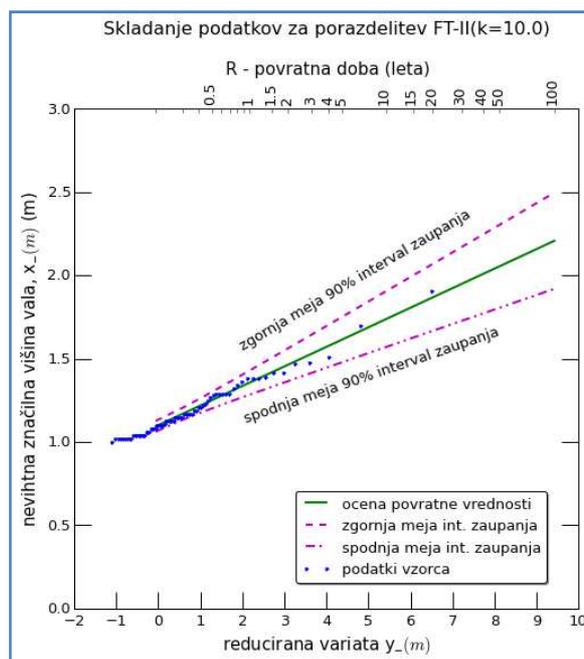
točka 15



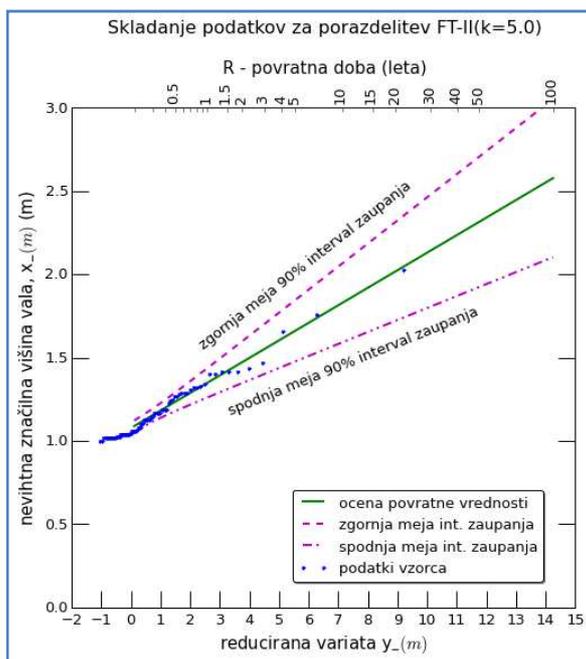
točka 16



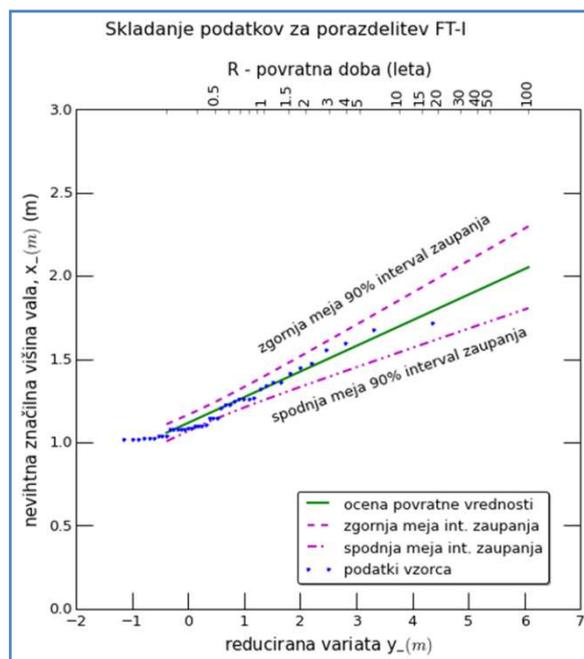
točka 17



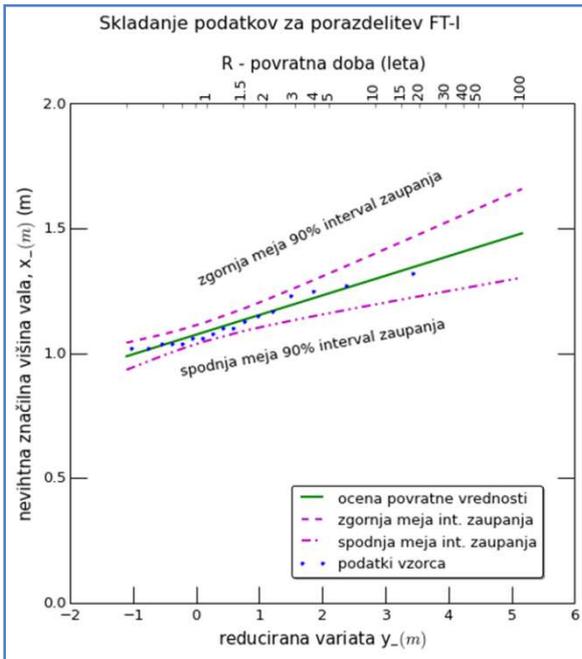
točka 18



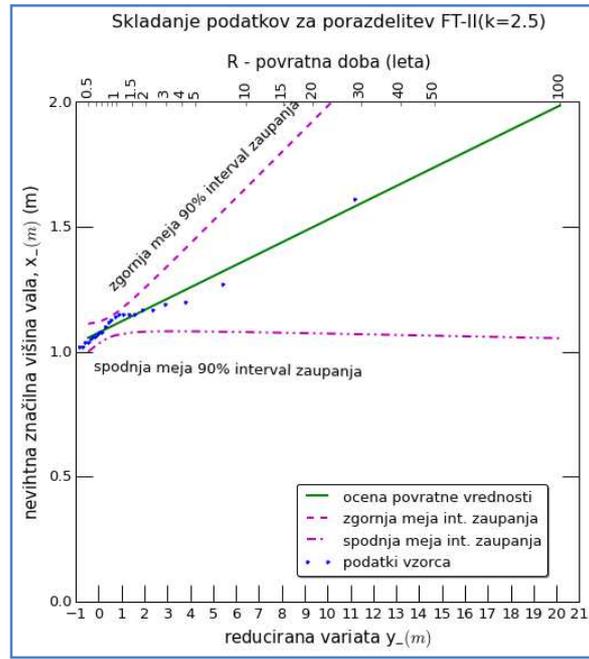
točka 19



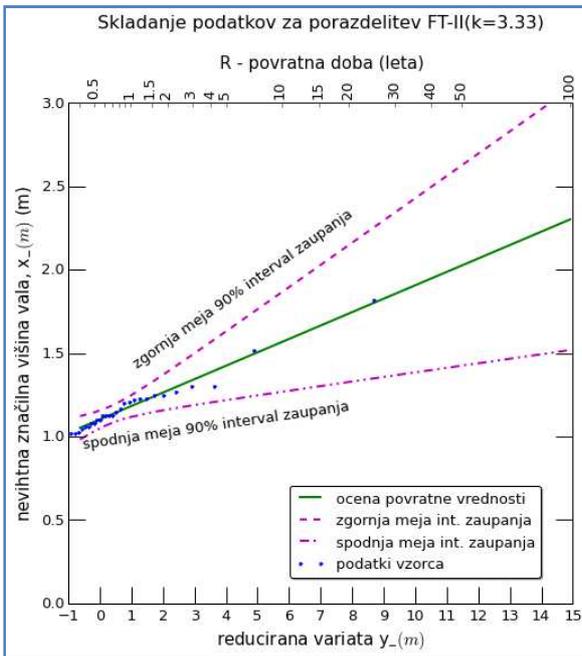
točka 20



točka 21



točka 22



točka 23

