

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidat:

Aljaž Verdev

Vpliv povprečevanja vetra na hidrodinamiko Sredozemskega morja

Diplomska naloga št.: 151

Mentor:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:

prof. dr. Matjaž Četina

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ALJAŽ VERDEV** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

"VPLIV POVPREČEVANJA VETRA NA HIDRODINAMIKO SREDOZEMSKEGA MORJA."

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Celje, 13. 9. 2010

BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.311.3:551.5:532.5(262)(043.2)
Avtor:	Aljaž Verdev
Mentor:	doc. dr. Dušan Žagar
Somentor:	prof. dr. Matjaž Četina
Naslov:	Vpliv povprečevanja vetra na hidrodinamiko Sredozemskega morja
Obseg in oprema:	83 strani, 25 preglednic, 6 slik, 9 grafov, 10 prilog
Ključne besede:	tridimenzionalni model, matematični model, hidrodinamični model, meteorološki model, Sredozemsko morje, GRIB

POVZETEK

Za račune cirkulacije z modelom PCFLOW3D potrebujemo veliko količino kvalitetnih vhodnih podatkov. Podatki o vetru so predvsem pri simulacijah na večjih območjih, kot je npr. Sredozemsko morje, običajno časovno ali krajevno povprečni. Na tako velikih območjih ni mogoče pridobiti ustrežnejših vhodnih podatkov samo iz meritev. Meteorološke službe v Evropi izdajajo dnevno ali tedensko napoved v različnih resolucijah, ki jo je mogoče uporabiti kot najboljši približek dejanske vetrovne slike na območjih različnih velikosti. Rezultati meteoroloških modelov so večinoma zapisani v stisnjenih datotekah formata GRIB. V nalogi so bili uporabljeni podatki urnih napovedi, ki jih z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje za celotno območje Sredozemlja izdaja Univerza v Atenah (IASA).

Podatke tipa GRIB smo s pomočjo izdelanega vmesnika pretvorili v ASCII obliko in jih zapisali v bazo podatkov, nato pa podatke povprečili prek različnih časovnih intervalov in jih statistično obdelali. Analiza je pokazala razmeroma velika odstopanja in izgubo vetrne energije, ki narašča z večanjem intervala povprečevanja. Iz istih podatkov v visoki resoluciji, smo pripravili vhodne podatke za model PCFLOW3D in na njih opravili enako statistično analizo. Na podlagi primerjave odstopanja srednjih vrednosti smo ugotovili, da so podatki primerni za uporabo v modelu PCFLOW3D. S podatki povprečenimi v različnih časovnih intervalih smo izvedli

simulacije cirkulacije Sredozemskega morja. Odstopanja rezultatov z upoštevanjem vetra povprečenega v različnih časovnih intervalih so bila zelo majhna.

Iz študije lahko sklepamo, da je za sliko cirkulacije Sredozemlja ob simulacijah s tako grobo resolucijo vpliv časovno spremenljivega vetra na manj kot mesečni ravni nepomemben. Obravnavano območje je preveliko, da bi ga bilo mogoče modelirati v bistveno manjši resoluciji (npr. 0,1 x 0,1 stopinje in debelina površinskega sloja reda velikosti 1 m) s tako detajlnimi podatki o vetru v razumno dolgem simulacijskem času. Na manjših (polzaprtih) in plitvejših območjih (predvsem ob obali) pa se vpliv krajevno in časovno spremenljivega vetra na cirkulacijo jasno pokaže.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 551.311.3:551.5:532.5(262)(043.2)
Author: Aljaž Verdev
Supervisor: Assist. Prof. Ph.D. Dušan Žagar
Co-Supervisor: Prof. Ph.D. Matjaž Četina
Title: Impact of wind averaging on hydrodynamics of the Mediterranean Sea
Notes: 83 pages, 25 tables, 6 figures, 9 graphs, 10 appendices
Key words: three-dimensional model, mathematical model, hydrodynamic model, meteorological model, Mediterranean Sea, GRIB

ABSTRACT

Large quantity of quality input data is needed in order to simulate circulation with the model PCFLOW3D. The wind fields needed for such simulations are usually space and/or time averaged, particularly in larger domains such as the Mediterranean Sea. In such areas, more adequate input data is not possible to gather solely from measurements. European meteorological services provide daily or weekly forecasts in different resolutions. These forecasts can be used as the best approximation of the real wind-fields in various domains. The results of meteorological models are mostly compressed in GRIB format files. In this study data from the forecasts provided by the University of Athens (IASA) were used. Hourly forecasts for the entire Mediterranean Sea are available in resolution 0,1 x 0,1 degree.

Using a newly developed interface, the GRIB data were transformed to ASCII format and further to database. Averaging over different time intervals followed by statistical analyses was performed on these data. The analyses showed relatively large discrepancies and loss of wind energy, both increasing with the length of the averaging interval. From the same high resolution wind fields input data for the model PCFLOW3D was prepared and the same statistic analyses were concluded. The comparison of discrepancies in wind force values confirmed credibility of the input data for modelling. Hydrodynamic simulations of the Mediterranean Sea were

performed using wind fields averaged over different time intervals. These simulations however showed very small discrepancies between the circulation patterns.

It can be concluded that the impact of wind averaging interval on the circulation of the Mediterranean Sea becomes significant only on a scale larger of a month (using such rough resolution). On the other hand, the Mediterranean Sea is too large for simulations in significantly finer resolution (e.g. 0.1 x 0.1 deg. and surface layer thickness of an order of 1 m) with such detailed wind data in reasonable computational time. The impact of wind averaging interval can be clearly seen only in smaller (semi-closed) and shallower areas, mainly near the coastline.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem somentorju prof. dr. Matjažu Četini, mentorju doc. dr. Dušanu Žagarju za strokovno usmerjanje in potrpljenje pri analizi raziskave ter prof. George Kallosu in njegovim sodelavcem z Univerze v Atenah za dostop do podatkov.

Zahvalil bi se tudi družini, ki je z mano prebrodila vsa dolga leta študija, sestri Katji za pomoč pri ohranjanju dobre volje, Urši, ki mi je pomagala pri oblikovanju diplome ter prijateljem za spodbudne besede.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 PREDGOVOR	1
1.2 DOSEDANJE MODELIRANJE NA OBMOČJU SREDOZEMSKEGA MORJA.....	2
1.3 CILJI	6
2 MODEL PCFLOW3D	8
2.1 HIDRODINAMIČNI (HD) MODUL	9
2.1.1 Osnovne enačbe, ki sestavljajo HD modul	10
2.1.2 Model turbulence in upoštevanje stratifikacije	14
2.1.3 Metoda reševanja	16
2.2 TRANSPORTNO DISPERZIJSKI (TD) MODUL.....	18
2.3 BIO-GEOKEMIČNI (BGK) MODUL	19
3. VETER NAD SREDOZEMLJEM	20
3.1 OPIS PROBLEMA	20
3.2 FORMAT GRIB	22
3.3 PRIPRAVA PODATKOV ZA STATISTIČNE ANALIZE VETRA Z RESOLUCIJO 0,1 x 0,1 STOPINJE NAD SREDOZEMSKIM MORJEM	24
3.4 STATISTIČNE ANALIZE PODATKOV O VETRU Z RESOLUCIJO 0,1 x 0,1 STOPINJE NAD SREDOZEMSKIM MORJEM.....	27
3.5 PRIPRAVA PODATKOV ZA MODELIRANJE CIRKULACIJE V SREDOZEMSKEM MORJU	39
3.6 STATISTIČNE ANALIZE OPRAVLJENE NA PODATKIH ZA MODELIRANJE CIRKULACIJE V SREDOZEMSKEM MORJU.....	51
3.6.1 Uvod.....	51
3.6.2 Statistična obdelava podatkov za modeliranje cirkulacije	52
3.6.3 Primerjava odstopanja srednjih vrednosti v GR in SLO mreži podatkov	59
3.7 VETROVNE SLIKE PODATKOV ZA MODELIRANJE CIRKULACIJE V SREDOZEMSKEM MORJU .	63
4 SIMULACIJE Z MODELOM PCFLOW3D IN REZULTATI.....	74
5 ZAKLJUČEK.....	77

6 VIRI	80
---------------------	-----------

PRILOGE	
----------------------	--

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primer začetka ene izmed 31 tabel, dbo.podatki v bazi podatkov.....	25
Preglednica 2: Primer začetka ene izmed 31 tabel, dbo.podatki v bazi podatkov.....	26
Preglednica 3: Dodana jakost vetra v novi bazi podatkov Veter (začetni del baze podatkov)	26
Preglednica 4: Statistična analiza jakosti vetra za vsak dan v mesecu, povprečena po celotnem območju.....	29
Preglednica 5: Statistična analiza jakosti vetra za tri dni v mesecu, povprečena po celotnem območju.	32
Preglednica 6: Statistična analiza jakosti vetra za sedem dni v mesecu, povprečena po celotnem območju.....	33
Preglednica 7: Statistična analiza jakosti vetra za štirinajst dni v mesecu, povprečena po celotnem območju.	34
Preglednica 8: Statistična analiza jakosti vetra za cel mesec, povprečena po celotnem območju.	34
Preglednica 9: Indeksi in koordinate vogalnih točk grške mreže, resolucija 0,1 stopinje v obeh smereh.....	39
Preglednica 10: Indeksi in koordinate vogalnih točk SLO MREŽE	40
Preglednica 11: Prikaz dela preglednice GR mreže s koordinatami sredine celic	40
Preglednica 12: Koordinate celic SLO mreže v lateralni smeri (z modro so označene celice, ki so drugih dimenzij)	41
Preglednica 13: Začetne vrstice SLO mreže (I, J, Lon, Lat).....	43
Preglednica 14: Začetne vrstice GR mreže (I, J, Lon, Lat)	44
Preglednica 15: Urejeni indeksi celic SLO in GR mreže	46
Preglednica 16: Prikaz dela končnih podatkov iz baze podatkov Veter.....	50
Preglednica 17: Statistična analiza jakosti vetra za enodnevna povprečenja od 1 do 14 marca po celotnem območju.	52
Preglednica 18: Statistična analiza jakosti vetra za dvodnevna povprečenja od 1 do 14 marca po celotnem območju.....	53

Preglednica 19: Statistična analiza jakosti vetra za tri dni od 1 do 14 marca, povprečena po celotnem območju.	54
Preglednica 20: Statistična analiza jakosti vetra za sedemdnevna intervala od 1. do 14. marca, povprečena po celotnem območju	55
Preglednica 21: Statistična analiza jakosti vetra za štirinajst dni od 1 do 14 marca, povprečena po celotnem območju.....	56
Preglednica 22: Primerjava eno dnevnega časovnega intervala povprečenj jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov	60
Preglednica 23: Primerjava tridnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.....	61
Preglednica 24: Primerjava sedem dnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.....	62
Preglednica 25: Primerjava štirinajst dnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.....	62

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz statistične analize jakosti vetra za vsak dan v mesecu.....	30
Grafikon 2: Povprečne maksimalne jakosti vetra.....	35
Grafikon 3: Povprečne srednje jakosti vetra.....	36
Grafikon 4: Standardna deviacija jakosti vetra.....	38
Grafikon 5: Povprečne maksimalne jakosti vetra.....	56
Grafikon 6: Povprečne srednje jakosti vetra.....	57
Grafikon 7: Standardna deviacija jakosti vetra.....	58
Grafikon 8: Primerjava enodnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.....	60
Grafikon 9: Primerjava tridnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.....	61

KAZALO SLIK

Slika 1: Biogeokemični modul modela PCFLOW3D (Žagar in sod., 2007, str. 68).....	19
Slika 2: Shematičen prikaz poteka priprave vhodnih podatkov za model PCFLOW3D.....	21
Slika 3: Prikaz območja, ki ga pokriva model SKIRONE.....	23
Slika 4: Shematski prikaz območji štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala ..	66
Slika 5: Prvo območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala....	67
Slika 6: Drugo območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala..	68
Slika 7: Tretje območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala...	69
Slika 8: Četrto območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala..	70
Slika 9: Peto območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala....	71
Slika 10: Šesto območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala..	72

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BGK	biogeokemični modul
C	koncentracija
C_{smaH}	brezdimenzijski koeficient modela Smagorinsky, ki se določi empirično
D_h	horizontalni difuzijski koeficient
D_v	vertikalni difuzijski koeficient
f_i	prostorninska sila na enoto mase v koordinatni smeri i
h	debelina obravnavanega sloja
h_{min}	debelina najtanjšega sloja
H	globina vode od dna do trenutne gladine
HD	hidrodinamični (modul)
N_h	horizontalni kinematični koeficient turbulentne viskoznosti
N_v	vertikalni kinematični koeficient turbulentne viskoznosti
p_a	atmosferski tlak na površini vode
P	trenutni tlak
Sc	Schmidtovo število
ST	sedimentacijski (modul)
S_Φ	izvorni člen skalarja Φ
t	čas
T	temperatura
T_w	temperatura vode na površini
TD	transportno disperzijski (modul)
u,v,w	vrednosti komponent hitrosti v koordinatnih smereh X,Y in Z
U,V	komponenti vetra v koordinatnih smereh X in Y
U_i	trenutne hitrosti v posameznih koordinatnih smereh
w	vertikalna hitrost
w_b	vertikalna hitrost na spodnjem robu obravnavanega sloja
w_t	vertikalna hitrost na gornjem robu obravnavanega sloja
W_s	hitrost usedanja delcev (sedimentacijska hitrost)

x_i	posamezne koordinatne smeri
z_b	kota dna
ν	kinematični koeficient laminarne viskoznosti
ρ	gostota
ρ_w	gostota vode
τ_{bx}, τ_{by}	strižna napetost zaradi trenja ob dnu v smereh X in Y
τ_{wx}, τ_{wy}	strižna napetost na površini vode v smereh X in Y
ξ	odmik gladine od referenčne srednje vrednosti
Φ	trenutna vrednost skalarja (koncentracije C, temperature T, slanosti s ipd.)
Γ_ϕ	laminarna difuzija skalarja Φ

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

baza podatkov	posplošena združena zbirka podatkov skupaj z njenim opisom, ki jo uporabljamo tako, da zmore zadostiti vsem različnim potrebam uporabnikov
dekodiranje	pretvorba zapisa v logično enoto
difuzija	širjenje, medsebojno premikanje plinov ali tekočin; tisti del transporta, ki ga povzročajo molekularne sile ter turbulenca; vzrok difuzije je razlika v koncentracijah snovi med dvema točkama in gibljivosti vodnih molekul
disperzija	razpršitev
ftp	file transfer protocol, protokol za prenos datotek je programski standard za prenos datotek z različnimi operacijskimi sistemi
lebdeče plavine	lebdeči delci v vodi
pasiven polutant	ne vpliva na gostoto vode; gibanje vode je neodvisno od koncentracije pasivnih polutantov (primer: raztopljeno živo srebro)
modifikacija kode	spreminjanje izvorne kode za druge namene
Sql	strukturirani povpraševalni jezik za delo s podatkovnimi bazami
Visual Basic	visokonivojski računalniški programski jezik in razvojno okolje za aplikacijske programske opreme za operacijski sistem Windows
Delphi	programski jezik, katerega podlaga je Objektni Pascal (programski jezik Pascal z objektnimi dodatki)

1 UVOD

1.1 Predgovor

V današnjem svetu, po več kot stoletnem intenzivnem izkoriščanju naravnih virov in indiferentnosti človeštva za dolgoročna ekološka vprašanja, postaja čista voda vse dragocenejša dobrina. Države se vse bolj zavedajo pomena zaščite in sanacije vodnih virov in to večkrat postavljajo pred gospodarske interese.

Hidrodinamični in meteorološki matematični modeli so orodja, s katerimi je mogoče z manj stroški in v primerih, ko nimamo dejanskih meritev, tudi v krajšem časovnem obdobju oceniti spremembe in nekatere vplive onesnaževanja v vodi in zraku. Pri tem je potrebno uporabiti poenostavitve in predpostavke, ki se jih mora uporabnik zavedati pri uporabi modela ter interpretaciji rezultatov. Matematični modeli na področju varstva okolja so skoraj vedno računalniški programi, ki vsebujejo osnovne enačbe (opisujejo fizikalne zakonitosti pojava), topografijo obravnavanega vodnega sistema ter robne pogoje: dejavnike, ki povzročajo gibanje vode ter vnos in disperzijo onesnažil.

Sodobni matematični modeli zahtevajo za pravilno delovanje veliko količino kvalitetnih vhodnih podatkov. Podatki o vetrovni sliki, ki jih za delovanje potrebujejo hidrodinamični in transportno-disperzijski modeli so predvsem pri simulacijah na večjih območjih, kot je npr. Sredozemsko morje, običajno časovno ali krajevno povprečni. Na teh območjih ni mogoče pridobiti ustrežnejših vhodnih podatkov zgolj iz meritev. Meritve vetra se izvajajo pretežno ob obali in na redkih oceanografskih bojah, zato je podatkov za dolgotrajne simulacije v realnem času običajno premalo. Meteorološke službe v Evropi izdajajo dnevno ali tedensko napoved v različnih resolucijah, ki jo je mogoče uporabiti kot dober približek dejanske vetrovne slike na območjih različnih velikosti. Rezultati meteoroloških modelov so večinoma zapisani v stisnjenih datotekah formata GRIB, ki jih je mogoče pretvoriti v vhodne podatke za hidrodinamične modele. V nalogi

so bili uporabljeni podatki za območje Sredozemlja, ki jih izdaja Univerza v Atenah (IASA) z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje v enournem intervalu.

Uporabili smo vmesnik in bazo podatkov (Verdev, 2010), s katerima je mogoče pretvoriti rezultate meteoroloških matematičnih modelov iz formata GRIB v vhodne podatke za model PCFLOW3D. Glavni cilj naloge je bila torej uporaba vmesnika (Verdev, 2010), ki pretvori zapis GRIB v ASCII obliko, prebere ustrezne podatke iz datoteke GRIB in jih zapiše v bazo podatkov s pomočjo programskega orodja MSSQL (Otey, 2005; Darwen, 1997), izdelava statističnih analiz pridobljenih podatkov in izvedba hidrodinamičnih simulacij z modelom PCFLOW3D. Izdelali smo samostojen program s pomočjo programskega jezika Delphi (Mrhar, 1999; Mrhar, 2000; Calvert, 1995) in konzolnega programa Degrib18 (Verdev, 2010) ter z njuno pomočjo prenesli podatke iz formata GRIB v bazo podatkov. Podatke smo nato povprečili v različnih intervalih (1 dan do 14 dni) in na povprečjih izvedli statistične analize, ki kažejo, da so nekatere statistične vrednosti zelo odvisne od intervala povprečevanja podatkov. Iz baze smo podatke pretvorili v vhodne datoteke za model PCFLOW3D in z njimi izračunali cirkulacijo Sredozemskega morja. Tako uporabljeni vhodni podatki namreč predstavljajo pomembno izboljšavo v načinu modeliranja z modelom PCFLOW3D, saj je na ta način mogoče izboljšati tako hidrodinamične simulacije s časovno in krajevno spremenljivim vetrom kot tudi nekatere druge procese, npr. modeliranje izmenjave živega srebra med vodo in zrakom.

1.2 Dosedanje modeliranje na območju Sredozemskega morja

V oceanih 1D modeli niso primerni za simulacije, zato se je pojavila potreba po uporabi 2D in 3D modelov, čeprav je za njihovo kalibracijo pomembno veliko število meritev. Za njihovo uporabo je bilo več razlogov:

1. Sredozemsko morje je preveliko in advekcijski transport zaradi tokov je preveč pomemben za opis pojava z 0- ali 1D modelom.
2. S pomočjo modelov se lahko določi primernejši načrt vseh pomembnih parametrov, ki jih je potrebno meriti za kalibracijo in validacijo modela.

3. Večdimenzionalni modeli dajejo bolj točne odgovore na vprašanja v zvezi s transportom in disperzijo onesnažil.
4. Za opis procesov, ki so izrazito neenakomerni po globini, je primerna samo uporaba 3D modelov.
5. PCFLOW3D je obstoječi 3D model, ki omogoča hkratno simulacijo hidrodinamičnih parametrov, transporta in procesov pretvorb živega srebra v vodnem okolju.

Sredozemlje je zelo heterogeno glede klimatskih in oceanografskih lastnosti. Klimatološko gledano ima Sredozemsko morje dve sezoni. Hladna sezona traja od novembra do februarja. Zanjso so značilne obilnejše padavine, za toplo sezono je značilno suho vreme z zelo malo padavinami. Traja od junija do septembra. V obdobju pomladi in jeseni se mešajo vzorci hladne in tople sezone. Cirkulacija Sredozemskega morja je zaradi vplivov različnih slanosti in temperatur vodnih mas, ki se izmenjujejo v Gibraltarskih vratih, in zaradi izmenjave toplote ter vlage med morjem in atmosfero zahtevna za modeliranje.

Do sedaj je bilo narejenih veliko modelnih študij cirkulacije, ki so pripomogle k boljšemu razumevanju gibanja vodnih mas v Sredozemskem morju (Bethoux, 1979; Zavatarelli in Mellor, 1995; Boukthir in Barnier, 2000; Rajar in sod., 2007; Žagar in sod., 2007). Prav tako so bile izdelane študije, ki so temeljile na izmenjavi vode in onesnažil med Atlantskim oceanom in Sredozemskim morjem, vplivu tokov rek in vnosu onesnažil iz atmosfere v Sredozemsko morje. (Bethoux, 1979; Ferrara in Maserti, 1988; Boukthir in Barnier, 2000; Lafuente in sod., 2002; Rajar in sod., 2007; Žagar in sod., 2007).

Območje Sredozemskega morja je dobro pokrito z matematičnimi modeli. Na voljo so dnevne napovedi meteorološkega stanja (npr. projekt MFSTEP: <http://forecast.uoa.gr/mfstep/>) ter hidrodinamičnih in oceanografskih parametrov, ter tudi nekateri parametri kvalitete vode (oboje v okviru projekta MyOcean: <http://www.myocean.eu.org>). Nekateri podatki so dostopni po dogovoru z organizacijo, ki izvaja modeliranje, drugi pa so celo prosto dostopni na omenjenih spletnih straneh. V hidrodinamičnih modelnih izračunih so uporabljene različne časovno povprečne vrednosti vetra, od dnevnih do sezonskih.

Študije celotnega Sredozemlja, izdelane na Katedri za mehaniko tekočin UL-FGG, so bile doslej v glavnem posvečene onesnaženju z živim srebrom (Žagar in sod., 2007; Rajar in sod., 2007). Obalna populacija ob Sredozemskem morju je ocenjena na 450 milijonov prebivalcev. Analize in študije kažejo, da je rast prebivalcev 1,3 odstotka na leto na tem območju. Napovedi za leto 2050 so, da se bo populacija na tem delu dvignila na 600 milijonov ljudi (Caparis, 2001).

Južni del obale Sredozemskega morja je veliko bolj intakten kot severni, vzhodni in zahodni del. Sredozemlje, katerega glavni del sta Jadransko morje in Tržaški zaliv, je eno izmed najbolj obremenjenih območij z živim srebrom na svetu, saj se tu na 1% zemeljskega površja nahaja 65% svetovnih zalog živega srebra. Zato so bile na področju onesnaženja z živim srebrom doslej izdelane številne študije; nekatere so vključevale tudi matematično modeliranje hidrodinamike Sredozemlja (npr. Žagar in sod., 2007; Rajar in sod., 2007). Znano je namreč, da lahko oceani nastopajo v vlogi vira živega srebra za atmosfero ali pa ga absorbirajo iz nje (Mason in sod., 1994; Mason in sod., 1995; Mason in Fitzgerald., 1996). Trideset odstotkov živega srebra prehaja v atmosfero preko oceanov. Prav veter je najpomembnejši parameter, ki vpliva na izmenjavo živega srebra med vodo in zrakom (Andersson in sod., 2007; Gardfeldt in sod., 2003; Žagar in sod., 2007). Doslej so vsi avtorji pri izračunu izmenjave živega srebra med vodo in zrakom na podlagi modelov, ki so jih izdelali Nightingale in sod. (2000a) ali Wanninkhof (1992), uporabili časovno povprečen veter na Sredozemskem morju.

V diplomski nalogi želimo statistično prikazati, kako različen je lahko veter glede na različne časovno povprečne vrednosti. Podatki, ki so pripravljene v diplomski nalogi, nazorno prikazujejo, kako spremenljiv je lahko veter na območju Sredozemlja in kakšne so razlike pri različnih intervalih povprečenja. V delih Žagar in sod. (2007) ter Ramšak (2006), je opisan način modeliranja živega srebra v Sredozemskem morju in Tržaškem zalivu, ki temelji na hidrodinamičnih simulacijah, pri čemer je vpliv vetra različno ovrednoten. V Tržaškem zalivu je uporabljen časovno spremenljiv (urno povprečje) in krajevno povprečen veter, na območju Sredozemlja pa so bila uporabljena različna (šesturna do sezonska) časovna povprečja, veter pa je bil spremenljiv v prostoru.

Do sedaj na Katedri za mehaniko tekočin UL-FGG simulacije cirkulacije za celotno Sredozemsko morje z realnim vetrom oz. krajšimi časovnimi povprečji vetra še niso bile izvedene. To ni bilo mogoče, ker je bilo na voljo premalo podatkov o vetru. Izdelane so bile sezonske simulacije hidrodinamike, kjer so Žagar in sod. (2007) modelirali na principu kvazistacionarnega načina. Mrežo na Sredozemskem morju so razdelili na 84 x 47 celic, ki so bile dimenzije 30' x 20'. Na območju Gibraltarja so bile celice manjše (dimenzije 30' x 12'). V vertikalni smeri so območje razdelili na 19 slojev. Od gladine do dna so bili sloji debeline (v metrih): 10, 15, 22, 33, 50, 70, 80, 120, 150, 200, 300, 350 in sedem slojev po 400 metrov.

Hidrodinamične rezultate so avtorji primerjali z rezultati modela POM (Princeton Ocean Model). Ujemanje obeh modelov je bilo sprejemljivo. Na osnovi hitrostnih polj izračunanih s hidrodinamičnim modulom so avtorji izvedli nadaljnje simulacije transporta in pretvorb živega srebra. Za izračun hidrodinamike so upoštevali povprečne sezonske vetrove, gostotne tokove in pritoke glavnih rek. Za doseganje boljših rezultatov je bil model PCFLOW3D povezan z modelom RAMS-Hg, ki je bil razvit na Univerzi v Atenah. RAMS-Hg je atmosferski model, ki računa meteorološke podatke v realnem času. Na podlagi meritev in simulacij hidrodinamičnega in atmosferskega modela je bila izdelana tudi masna bilanca vode in celokupnega živega srebra v Sredozemskem morju ob oceni glavnih izvorov in ponorov (Rajar in sod., 2007).

Diplomsko delo Ramšak (2006) obravnava izmenjavo živega srebra med vodo in zrakom v Tržaškem zalivu na osnovi predhodno izvršenih hidrodinamičnih simulacij. Modelne simulacije so bile izvršene s tridimenzionalnim baroklinim matematičnim modelom PCFLOW3D, uporabljene pa so bile sezonske vetrovne slike z nekaterimi vložki močnega vetra in visokih pretokov reke Soče. Na podlagi podatkov o temperaturnih in slanostnih razmerah, vetru, depoziciji in koncentracijah živega srebra v Tržaškem zalivu ter pretokih, temperaturi in vsebnosti različnih zvrsti živega srebra v reki Soči so bile izračunane povprečne sezonske vrednosti parametrov, ki so skupaj z vložki kratkega trajanja predstavljali vhodne podatke modela. Na podlagi teh podatkov je bil izdelan scenarij za celoletno simulacijo. Veter je zelo pomemben dejavnik, ki močno vpliva na izmenjavo živega srebra med vodo in zrakom, na manjših območjih tudi odločilno vpliva na hidrodinamiko, zato računi s povprečnim sezonskim

vetrom in vložki, ki so jih uporabili pri simulaciji hidrodinamike, dajejo zgolj omejeno zanesljive rezultate.

Pri simulacijah izmenjave živega srebra med vodo in zrakom so bili uporabljeni različni podatki o vetru za račun hidrodinamike in za račun izmenjave. Hidrodinamične količine so bile obravnavane na kvazi-stacionarni način. Za slednje so uporabili povprečen sezonski veter. Upoštevali so, da je veter na priobalnih območjih, kot je Tržaški zaliv, glavni vzrok gibanja vodnih mas, vendar so se zaradi pomanjkanja podatkov o vetru odločili za kvazi-stacionarne simulacije hidrodinamike.

Študije izmenjave živega srebra med vodo in zrakom in modeliranja hidrodinamike, ki smo jih preučili, so torej imele skupno pomanjkljivost – povprečenje vetra. Uporaba časovno povprečnega vetra (Andersson in sod., 2007), realnega vetra v kratkem obdobju (Žagar in sod., 2007) in krajevno povprečnega vetra na malem območju (Ramšak, 2006) lahko negativno vplivajo na točnost simulacij. Kot eno od možnih rešitev smo poiskali in uporabili rezultate meteorološkega matematičnega modela SKIRONE, ki zapisuje napovedi podatkov o vremenu v urnih intervalih za celotno območje Sredozemlja v kodiran zapis Grib. Dekodiranje in priprava grib datotek je opisana v seminarskem delu Verdev (2010).

1.3 Cilji

Glavni motiv v diplomskem delu je priprava krajših časovnih povprečij podatkov o vetru na območju Sredozemskega morja, s katerimi lahko izračunamo cirkulacijo z večjo natančnostjo. S še krajšimi časovnimi povprečji bo možen tudi račun izmenjave živega srebra med vodo in zrakom. S časovno povprečnim vetrom različnih intervalov (nekaj ur, nekaj dni ali sezonskim) so modelirali izmenjavo živega srebra med vodo in zrakom Andersson in sod. (2007) ter Žagar in sod. (2007). V diplomskem delu bomo s statistično analizo prikazali, kako različen je lahko veter, ki ga povprečimo v različnih časovnih obdobjih. Prikazana bo pretvorba podatkov iz formata GRIB v vhodne podatke za model PCFLOW3D in rezultati izvedenih simulacij.

Cilj je statistično obdelati realne podatke o vetru na območju Sredozemskega morja in prikazati vetrovne slike, ki so povprečene prek različno dolgih časovnih intervalov v mesecu marcu 2010 (3, 7 in 14 dni). Izbrani so bili podatki za mesec marec 2010, ko je bil po podatkih evropskih meteoroloških služb veter nad Sredozemljem izrazito raznolik.

Simulacije hidrodinamike s krajšimi časovnimi povprečji smo izbrali zaradi aktualnosti problema, saj je prav hidrodinamični modul v 3D modelu PCFLOW3D najpomembnejši za nadaljnje računanje in simuliranje transporta in disperzije onesnažil in tudi nekaterih pretvorb ter izmenjave živega srebra med vodo in zrakom.

2 MODEL PCFLOW3D

Model PCFLOW3D se uvršča med integrirane matematične modele za preučevanje kakovosti voda (Water Quality Model). Sestavljen je iz pod-modelov oziroma modulov, ki omogočajo simuliranje različnih fizikalnih, bioloških in kemičnih procesov.

PCFLOW3D je tridimenzionalni nestacionarni nelinearni baroklini matematični model, ki je bil razvit na Katedri za mehaniko tekočin na FGG. Model je sestavljen iz štirih modulov:

- hidrodinamičnega modula (HD), ki smo ga uporabili v diplomskem delu;
- transportno-disperzijskega modula (TD), ki je bil posredno uporabljen za račun temperature in slanosti ter gostotnega gibanja;
- sedimentacijskega modula (ST);
- biogeokemičnega modula (BGK).

Model PCFLOW3D je bil uporabljen pri praktičnih problemih disperzije onesnažil, tako v Sloveniji kot tudi v tujini (Rajar in Širca, 1996; Rajar in sod., 1997; Rajar in Četina, 1997; Rajar in sod., 2000; Rajar in sod., 2004a; Rajar in sod., 2004b in Rajar in sod., 2004c; Širca in sod., 1999). Verificiran in validiran je bil za hidrodinamiko (Rajar in sod., 1997; Rajar in sod., 2000; Žagar in sod., 2001; Ramšak, 2006 in Dorić 2008), za transport plavin (Žagar, 1999), tako v laboratorijskih razmerah, kot v naravnem okolju, kjer so bile na voljo meritve (Bohinjsko jezero v Sloveniji, zaliv Minamata in morje Yatsushiro na Japonskem); biogeokemični modul pa za transport (Žagar, 1999) in kombinirane račune transporta in procesov pretvorb (Žagar in sod., 2007). Pri računih, povezanih z živim srebrom, je bilo ugotovljeno kvalitativno dobro ujemanje merjenih in izračunanih rezultatov.

Kot je omenjeno že v uvodu, se z razvojem računalniške tehnologije razvijajo tudi matematični modeli, ki so postali nepogrešljivo orodje pri analizi in načrtovanju ekoloških ukrepov. Z njimi lahko simuliramo vplive različnih dejavnikov na onesnaženje nekega območja in s preučevanjem posledic le-teh določimo tisti ukrep, ki je za dane razmere iz ekoloških, socialnih in ekonomskih

vidikov najsprejemljivejši. S pravilno izbiro in uporabo matematičnega modela lahko zmanjšamo število dragih in zamudnih terenskih meritev. Matematični model nam tako s pomočjo manjšega števila terenskih meritev, ki so nujno potrebne za umerjanje in verifikacijo modelov, omogoča tudi boljše razumevanje procesov v naravi. Sam matematični model lahko preverimo z dejanskimi meritvami in tako potrdimo oziroma ovržemo hipotezo, ki jo obravnavamo.

2.1 Hidrodinamični (HD) modul

Hidrodinamični modul (skupaj z delom transportno disperzijskega modula, ki računa gostoto zaradi spremenljive temperature in slanosti) je v našem primeru najpomembnejši, saj smo podatke, ki smo jih pripravili, uporabili v tem modulu. Za simulacijo hidrodinamike v (skoraj) realnem času smo se odločili predvsem zaradi aktualnosti problema, saj je prav hidrodinamični modul v 3D modelu PCFLOW3D pomemben za nadaljnje simulacije transporta in pretvorb onesnažil, npr. izmenjave živega srebra med vodo in zrakom.

Enačbe baroklinega hidrodinamičnega modela so zapisane v Kartezijskem koordinatnem sistemu, tako da sta x in y osi v horizontalni in z os v vertikalni smeri. Računsko območje je razdeljeno na več slojev debeline h , ki so med seboj ločeni s horizontalnimi mejnimi ploskvami. Globine mejnih horizontalnih ploskev lahko poljubno določimo. Zgornja plast ima prosto gladino, kar pomeni, da je debelina gornjega sloja spremenljiva v času in prostoru, medtem ko imajo vsi ostali sloji fiksno debelino. Posledično imajo nekateri parametri v enačbah različno interpretacijo za vrhnji sloj napram ostalim. V vsakem kontrolnem volumnu se na podlagi kontinuitetne in treh dinamičnih enačb ter kinematičnega robnega pogoja za vrhnji sloj izračunajo komponente hitrosti u , v , w , tlak p ter gladina vode v površinskem sloju h_a . Izračunane komponente hitrosti se v nadaljevanju uporabijo za reševanje advekcijsko-difuzijske enačbe, ki določa porazdelitev temperature in slanosti. Neenakomerna porazdelitev temperature in slanosti vpliva na gostoto vode in posredno tudi na hitrostno polje, zato se v naslednji iteraciji pri izračunu komponent hitrosti upošteva spremenjena gostota vode.

2.1.1 Osnovne enačbe, ki sestavljajo HD modul

- kontinuitetna enačba

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.1)$$

- dinamična enačba

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i \quad (2.2)$$

- advekcijsko-difuzijska enačba za temperaturo, slanost in/ali poljuben polutant, ki vpliva na spremenljivo gostoto vode

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial U_i \Phi}{\partial x_i} = \Gamma_\Phi \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_i \partial x_i} + S_\Phi \quad (2.3)$$

- enačba stanja

$$\rho = \rho(T, s, C) \quad (2.4)$$

kjer je:

$U_i (i=1,2,3)$	trenutne hitrosti v posameznih koordinatnih smereh
P	trenutni tlak
x_i	posamezne koordinatne smeri
t	čas
ν	kinematični koeficient laminarne viskoznosti
ρ	gostota
f_i	prostorninska sila na enoto mase v koordinatni smeri i
Φ	trenutna vrednost skalarja (koncentracije C , temperature T , slanosti s ipd.)

S_Φ	izvorni člen skalarja Φ
Γ_Φ	laminarna difuzija skalarja Φ

Če enačbe (2.1) - (2.3) povprečimo po času in integriramo znotraj posameznih slojev debeline h ter upoštevamo hidrostatično razporeditev tlakov, dobimo kontinuitetno in dinamične enačbe v posameznih koordinatnih smereh v naslednji obliki:

- kontinuitetna enačba za posamezni sloj debeline h

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + w_t - w_b = 0 \quad (2.5)$$

kjer je:

u, v, w	časovno povprečene vrednosti komponent hitrosti v koordinatnih smereh X, Y in Z
h	debelina obravnavanega sloja
w_t	vertikalna hitrost na gornjem robu obravnavanega sloja
w_b	vertikalna hitrost na spodnjem robu obravnavanega sloja

- kontinuitetna enačba za vse sloje (račun gladine)

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \int_{z_b}^{z_b+H} \left(\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right) dz = 0 \quad (2.6)$$

kjer je:

z_b	kota dna
H	globina vode od dna do trenutne gladine
ξ	odmik gladine od referenčne srednje vrednosti

- dinamična enačba v X smeri

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} + \frac{\partial(huw)}{\partial z} = +fvh - \frac{h\partial p}{\rho\partial x} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(hN_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hN_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(hN_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho} \tau_{wx} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx} \end{aligned} \quad (2.7)$$

- dinamična enačba v Y smeri

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} + \frac{\partial(hvw)}{\partial z} = -fuh - \frac{h\partial p}{\rho\partial x} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(hN_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hN_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(hN_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho} \tau_{yx} - \frac{1}{\rho} \tau_{by} \end{aligned} \quad (2.8)$$

- dinamična enačba v Z smeri

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \rightarrow p = p_a + g \int_{z_b}^{z_b+H} \rho dz \quad (2.9)$$

kjer je:

h	debelina posameznega sloja
H	celotna gladina vode od dna do trenutne gladine
u, v	vertikalno povprečene horizontalne hitrosti v posameznem sloju
w	vertikalna hitrost
p_a	atmosferski tlak na površini vode
N_h	horizontalni kinematični koeficient turbulentne viskoznosti
N_v	vertikalni kinematični koeficient turbulentne viskoznosti
τ_{wx}, τ_{wy}	strižna napetost na površini vode v smereh X in Y
τ_{bx}, τ_{by}	strižna napetost zaradi trenja ob dnu v smereh X in Y

- advekcijsko-difuzijska enačba za temperaturo T

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hT)}{\partial t} + \frac{\partial(huT)}{\partial x} + \frac{\partial(hvT)}{\partial y} + \frac{\partial(hwT)}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_h \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(hD_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

- advekcijsko-difuzijska enačba za slanost s

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hs)}{\partial t} + \frac{\partial(hus)}{\partial x} + \frac{\partial(hvs)}{\partial y} + \frac{\partial(hws)}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_h \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_h \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(hD_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

kjer je:

D_h horizontalni difuzijski koeficient

D_v vertikalni difuzijski koeficient

Difuzijska koeficienta sta s turbulentno viskoznostjo povezana prek Prandtlovega (σ_T) in Schmidtovega (σ_S) števila, ki se gibljeta med 0,5 in 1,0, po enačbah:

$$D_h = \frac{N_h}{\sigma_T} \text{ oz. } D_h = \frac{N_h}{\sigma_S} \quad (2.12a)$$

$$D_v = \frac{N_v}{\sigma_T} \text{ oz. } D_v = \frac{N_v}{\sigma_S} \quad (2.12b)$$

Enačbi (2.10) in (2.11) sta napisani za konservativna polutanta, t.j. za primer, ko v tekočini ni izvorov ali ponorov za obravnavani količini. V modelu PCFLOW3D sta temperatura in slanost obravnavani tudi v hidrodinamičnem modulu, saj je potrebno celoten sistem enačb reševati

istočasno, saj temperatura in slanost vplivata na gostoto in s tem na hidrodinamične količine, ki so končni rezultat hidrodinamičnega modula.

Z danimi enačbami in upoštevanjem robnih pogojev (Četina,1992) izračunamo hidrodinamične količine u , v , w , ξ , p in ρ ter porazdelitev slanosti in temperature, ki so osnova za izračun transporta in koncentracij poljubnega polutanta.

2.1.2 Model turbulence in upoštevanje stratifikacije

Turbulenco v vodnem mediju povzročajo strižne sile med sloji tekočine in na stiku med tekočino in obalo. Zaradi pojava turbulence se pojavljajo vrtinci, zaradi katerih prihaja do izgub energije, ki se povečujejo sorazmerno s kvadratom hitrosti. Vpliv turbulence opišemo s tako imenovanimi modeli turbulence, s katerimi izračunamo koeficiente turbulentne viskoznosti in turbulentne difuzije. Koeficienti turbulentne viskoznosti so odvisni od lastnosti toka in ne tekočine, zato so odvisni od kraja in časa v toku, koeficienti turbulentne difuzije pa upoštevajo vpliv mikroturbulence in jih potrebujemo za račun turbulentnega transporta snovi in toplote.

Koeficienti turbulentne difuzije in viskoznosti so v modelu PCFLOW3D obravnavani ločeno v horizontalni in vertikalni smeri, saj se na območjih, kjer je velika razlika med globino in horizontalnima dimenzijama območja, koeficienti v obeh smereh razlikujejo za red velikosti ali več. V Sredozemskem morju je največja globina 5267 m, povprečna globina pa je 1500 m. Horizontalni dimenziji območja sta okrog 3600 km, razmerje dimenzij je tako 1:2400 m, če vzamemo povprečno globino.

Izračun lahko zajema tudi vpliv izmenjave toplote med kapljevino in okoliškim zrakom; ta fizikalni proces je pomemben v časovno dolgih simulacijah, pri katerih nenehno segrevanje in ohlajanje ozračja povzroča spremembo temperature in posledično gostote vode, ki povzroča horizontalno in tudi vertikalno gibanje vode - gostotne tokove.

Za določitev koeficientov turbulentne difuzije in viskoznosti imamo v modelu PCFLOW3D na voljo več modelov turbulence, ki jih delimo glede na število v model vgrajenih transportnih enačb. Uporabimo tisti model, ki ga je, glede na željeno natančnost, smiselno uporabiti in je v preteklosti pri podobnih problemih že dal zadovoljive rezultate. Vsi modeli, ki so opisani v nadaljevanju, se uporabljajo za izračun koeficientov turbulentne viskoznosti, koeficiente turbulentne difuzije dobimo tako, da izračunano vrednost delimo z neko konstanto, Prandtlvim oz. Schmidtovim številom.

V modelu PCFLOW3D so vgrajene naslednje metode oz. modeli za določanje turbulentne difuzije in viskoznosti:

- konstantne vrednosti turbulentnih koeficientov v vertikalni in/ali horizontalni smeri lahko uporabimo pri velikih vodnih telesih, kot so jezera in morja; to je model brez transportnih enačb. Natančnost je običajno zadostna za preliminarne oz. približne izračune, pogoj so pravilno izbrane oz. ocenjene vrednosti koeficientov;
- Koutitasov model je model z eno transportno enačbo, ki je namenjen izračunu vertikalnih koeficientov turbulence. Običajno ga uporabljamo v kombinaciji s konstantnimi vrednostmi ali z modelom Smagorinsky v horizontalni smeri. Primeren je v situacijah, kjer je glavna gonilna sila veter. Po Koutitasovi metodi se predpostavi parabolično porazdelitev vertikalnega koeficienta turbulentne viskoznosti N_v po globini, z vrednostjo nič ob dnu in na površini ter maksimalno vrednostjo na globini, ki je odvisna od hitrosti vetra na gladini in največje globine vode v opazovani vertikali. Podrobnosti so opisane v Četina (1992);
- Model Smagorinsky je na področju računalniškega modeliranja turbulentnih tokov v horizontalni ravnini dobro poznan in veliko uporabljan. Model Smagorinsky je poenostavljen model z dvema transportnima enačbama za izračun turbulentnih koeficientov v horizontalni smeri N_h in D_h , ki ga običajno uporabljamo v kombinaciji s Koutitasovim modelom za vertikalno smer. Pri tem modelu lahko spreminjamo

brezdimenzijski koeficient $C_{\text{sm}aH}$, s katerim uravnavamo izračun koeficienta turbulentne viskoznosti zaradi gradientov hitrosti v horizontalni ravnini. Prednost metode Smagorinsky je v tem, da je koeficient $C_{\text{sm}aH}$ brez-dimenzijska empirična konstanta, iz česar sledi, da je turbulentna viskoznost funkcija gostote lokalne numerične mreže (Δx in Δy) in srednjih gradientov hitrosti v horizontalni ravnini. V navodilih za uporabo modela POM (Princeton Ocean Model; Mellor, 2004) priporočajo uporabo vrednosti $C_{\text{sm}aH} = 0,2$, vendar se je pri uporabi modela PCFLOW3D izkazalo, da je potrebno največkrat upoštevati večje vrednosti, cca 0,3 do 1,0 (Kovšca, 2007).

- model Mellor-Yamada je model z dvema transportnima enačbama, ki omogoča izračun koeficientov turbulence v vertikalni smeri, z njim nadomestimo Koutitasov model za vertikalne vrednosti koeficientov turbulence. Model je glede na število uporabljenih enačb podoben modelu "k- ϵ ", njegova prednost je v tem, da lahko določamo red polinoma uporabljenih enačb in tako vplivamo na hitrost in natančnost računa. Običajno se uporablja v kombinaciji z modelom Smagorinsky, ki izračuna koeficiente v horizontalni smeri (Mellor in Yamada, 1982).

Pri modeliranju procesov v naravnem okolju je vpliv stratifikacije oz. vzgonskih efektov zelo pomemben. Vertikalna koeficienta turbulentne viskoznosti N_v oz. difuzije D_v , se lahko v primeru stabilne stratifikacije bistveno zmanjšata. V modelu je stopnja stratifikacije opisana z Richardsovim številom Ri , natančne enačbe za gostotno in toplotno stratifikacijo pa so opisane v Četina (1992).

2.1.3 Metoda reševanja

Za reševanje enačb uporabimo metodo kontrolnih volumnov, izpeljanko numerične metode končnih razlik. Definijsko območje razdelimo po vertikali na posamezne sloje (vsi razen površinskega imajo konstantno debelino, ki je lahko od sloja do sloja različna), v horizontalni smeri pa na mrežo celic. Numerična mreža je premaknjena v horizontalni in vertikalni smeri.

Spremenljivke P , ρ , s in C računamo v središču kontrolnega volumna, hitrosti u , v in w pa na premaknjenih pozicijah, kar zagotavlja boljše rezultate.

Diferencialne enačbe nato spremenimo v diferenčne, tako da jih integriramo znotraj kontrolnih volumnov, za diskretizacijo v posamezni smeri uporabimo izbrano numerično shemo. V modelu PCFLOW3D sta na voljo dve numerični shemi:

- Upwind je shema gorvodnih razlik - enostavna interpolacijska shema prvega reda točnosti (Četina, 1992).
- Quick je kompleksnejša shema drugega reda točnosti, ki zaradi numerične difuzije povzroča manjšo napako kot shema Upwind (Leonard, 1979; Hayase in sod., 1992).

Pomembna je pravilna izbira števila in debeline slojev, teoretično bi bilo najbolje računati s čim več zelo tankimi, enako debelimi sloji. Prav tako je pomembna tudi pravilna izbira optimalnega - kratkega časovnega koraka, s pomočjo katerega zagotovimo numerično stabilnost. Pri prekratkem časovnem koraku je namreč skupni čas nesprejemljivo dolg, numerične napake iz posameznih časovnih korakov se seštevajo in lahko precej vplivajo na končno točnost računa. Navzgor je časovni korak računa zaradi stabilnosti uporabljene numerične metode omejen z naslednjim pogojem:

$$\Delta t \leq \frac{h_{\min}^2}{2 \cdot N_v} \quad (2.13)$$

kjer je:

h_{\min} debelina najtanjšega sloja

N_v koeficient turbulentne viskoznosti v vertikalni smeri

Enačba 2.13 velja v primeru, ko se koeficienti turbulentne viskoznosti računajo po Koutitasu in so po celem sloju enaki. Pri tem je lahko Courantovo število veliko večje od 1, celo do 15.

Pri modelu turbulence Mellor-Yamada so vertikalni koeficienti v posameznih celicah istega sloja različni in je ponavadi Δt potrebno zmanjšati, sicer postane metoda hitro nestabilna in je potrebno vsaj približno izpolniti Courant-Friedrich-Levyjev pogoj, pri tem je Courantovo število lahko maksimalno 3 do 5.

Pri modeliranju se običajno računa z 10 do 25 sloji, kar je odvisno od vrste obravnavanega problema, globine vode, točnosti vhodnih podatkov in zahtevane točnosti računa.

2.2 Transportno disperzijski (TD) modul

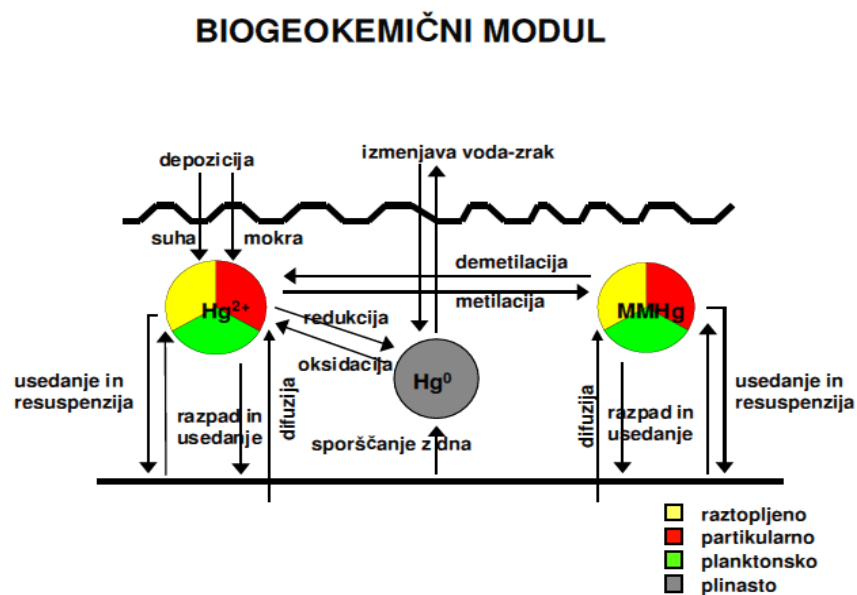
Ker je PCFLOW3D baroklini model, sta dve advekcijsko-difuzijski enačbi vsebovani že v HD modulu, saj se pri izračunu hitrosti upošteva vpliv temperature in slanosti na gostoto vode in posredno nazaj na hitrostno polje. Enačbi sta v skoraj enaki obliki uporabni tudi za račun transporta in disperzije poljubnega aktivnega polutanta. Zato je bil model PCFLOW3D dopolnjen s samostojnim TD modulom, v katerem so dodatne advekcijsko-difuzijske enačbe zapisane za koncentracijo poljubnega nekonservativnega polutanta C .

TD modul je samostojni modul, ki se za aktivne polutante, ki vplivajo na hidrodinamične količine, rešuje v sklopu s HD modulom. Za pasivne polutante enačbo rešujemo v okviru transportno-disperzijskega modula, pri čemer sta na voljo dve različni metodi. Enačbe za izbrani koordinatni sistem lahko izpeljemo na dva načina, Eulerjev in Lagrangeov način. Eulerjev način (metoda končnih volumnov) je bolj razširjen in temelji na preučevanju kontrolnega volumna, ki je zapolnjen z gibajočo se tekočino (preučujemo vektorska in skalarna polja). Drugi način je Lagrangeov (metoda sledenja delcev), pri katerem preučujemo delce tekočine. V modelu je direktno vgrajena metoda kontrolnih volumnov, medtem ko je metoda sledenja delcev v posebnem programu, toda model PCFLOW3D daje rezultate v taki obliki, da so kompatibilni za

uporabo v metodi sledenja delcev. Obe metodi sta podrobneje opisani v literaturi (Četina, 1992; Širca, 1996; Ramšak, 2006).

2.3 Bio-geokemični (BGK) modul

Biogeokemični modul, ki je vgrajen v model PCFLOW3D, obravnava tri različne zvrsti živega srebra: elementarno (Hg^0), reaktivno (Hg^{2+}) in monometil (MMHg) živo srebro v raztopljeni, plinski, planktonski in partikularni (na delce vezani) obliki. Na osnovi hidrodinamičnih količin (polj hitrosti) izračunanih s hidrodinamičnim modulom lahko izračunamo transport zaradi advekcije in disperzije vsake izmed oblik živega srebra, prav tako lahko simuliramo nekatere procese pretvorb. Pri tem lahko upoštevamo izmenjavo s sedimentom na dnu, izmenjavo z atmosfero, metilacijo, demetilacijo, redukcijo in oksidacijo. Na spodnji sliki (Slika 4) je prikazan biogeokemični modul modela PCFLOW3D. Modul pri izdelavi diplomskega dela ni bil uporabljen, kljub temu ga omenjamo, ker so čim kvalitetnejši podatki o vetru pomembni tudi za račun izmenjave živega srebra med vodo in zrakom, ki je že vgrajena v BGK modul modela PCFLOW3D (Žagar in sod., 2007).



Slika 1: Biogeokemični modul modela PCFLOW3D (Žagar in sod., 2007, str. 68)

3. VETER NAD SREDOZEMLJEM

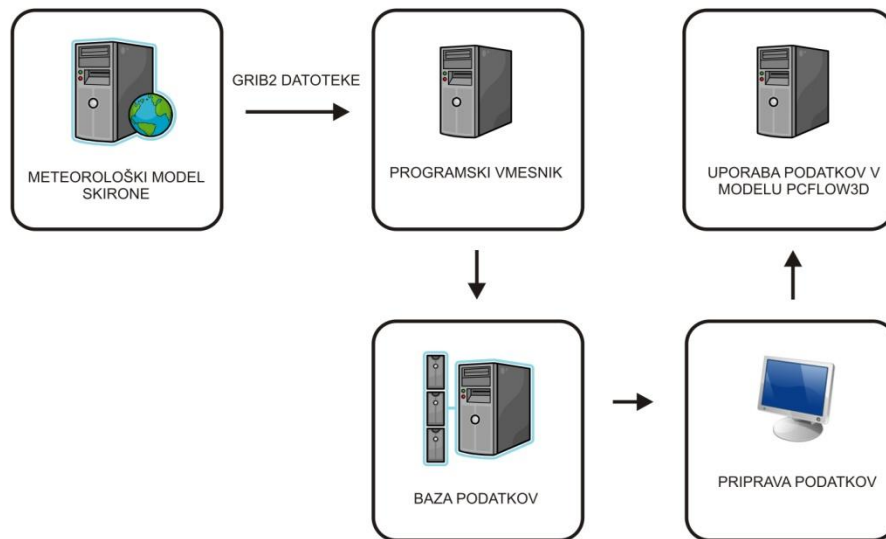
3.1 Opis problema

Podatki o vetrovnih slikah, ki jih za delovanje potrebujejo hidrodinamični modeli, so predvsem pri simulacijah na večjih območjih, kot je npr. Sredozemsko morje, običajno časovno povprečni prek daljšega časovnega obdobja (dan, teden, mesec, letni čas ali celo leto). Na teh območjih ni mogoče pridobiti ustrežnejših vhodnih podatkov zgolj iz meritev. Meritve vetra se izvajajo pretežno ob obali in na redkih oceanografskih bojah, zato je podatkov za kakršnekoli zahtevnejše simulacije premalo.

Do sedaj so bile simulacije cirkulacije Sredozemskega morja na UL-FGG izvedene na osnovi sezonsko povprečnih vetrov. Ker želimo izdelati statistike in izvesti simulacije v krajših časovnih obdobjih, smo rešitev poiskali v rezultatih meteoroloških matematičnih modelov. Meteorološke službe v Evropi izdajajo dnevno ali tedensko napoved v različnih resolucijah, ki jo je mogoče uporabiti kot najboljši približek dejanske vetrovne slike na območjih različnih velikosti. S pomočjo statistične analize bomo predstavili razlike, ki jih dobimo s povprečenjem vetrov v različnih časovnih intervalih.

Te podatke je bilo pred izvedbo simulacij potrebno pridobiti, prebrati in pretvoriti v obliko, kakršno kot vhodni podatek zahteva model PCFLOW3D. Podatkov ni težko pridobiti, saj večina meteoroloških služb deluje v okviru ustreznih državnih institucij, zato so ti podatki javni in prosto dostopni. Zapisani so v močno skrčenem zapisu, da je prenos velikih datotek s podatki mogoč tudi ob počasnejših internetnih povezavah.

V seminarskem delu (Verdev, 2010) je bil izdelan programski vmesnik, s katerim smo lahko pričeli z izdelavo baze podatkov. To je bila osnova za pripravo vhodnih podatkov v 3D model PCFLOW3D. Modeliranje hidrodinamike z realnimi podatki o vetru za celotno Sredozemlje je bilo tokrat izvedeno prvič.



Slika 2: Shematičen prikaz poteka priprave vhodnih podatkov za model PCFLOW3D

Shematičen prikaz poteka priprave vhodnih podatkov (Slika 2) prikazuje delo, ki je bilo opravljeno v okviru seminarske naloge (Verdev, 2010). Rezultate poljubnega meteorološkega modela (v našem primeru meteorološki model SKIRONE) zapisane v formatu GRIB povlečemo iz svetovnega spleta in ga naložimo v izdelani programski vmesnik. Za območje Sredozemlja je na voljo prognoza, ki jo na ftp strežniku objavlja Univerza v Atenah (<http://forecast.uoa.gr/>). Programski vmesnik podatke, ki jih potrebujemo za simulacije, zapiše v bazo podatkov. V bazi podatkov lahko podatke poljubno uredimo, statistično obdelamo in jih pripravimo za nadaljnje delo. Vsi koraki in postopki so opisani v seminarskem delu (Verdev, 2010).

Na tako zapisanih podatkih je mogoče izdelovati različne statistične analize in jih povprečiti v času in prostoru. Za simulacije cirkulacije z modelom PCFLOW3D so v izbranem primeru pomembni podatki o vetru, za prihodnje izračune izmenjave živega srebra med vodo in zrakom pa tudi podatek o temperaturi vode na površini. Izbrane podatke iz meteorološkega modela lahko zapišemo v oblike:

- komponente vetra po smereh,
- skalarne vrednosti jakosti in smeri vetra,

- skalarna vrednost temperature.

Takšna oblika podatkov je primerna za statistično analizo in nadaljnje delo z modelom PFLOW3D. Z upoštevanjem čim realnejših, časovno in prostorsko spremenljivih vrednosti vetra in površinske temperature je mogoče z modelom PCFLOW3D cirkulacijo v Sredozemskem morju izračunati bolj točno kot s časovno ali krajevno povprečnimi podatki, ki so bili v uporabi doslej. Neposredni zapis komponent hitrosti vetra v matrike omogoča tudi simulacije hidrodinamike v realnem času. Te simulacije postajajo s povečevanjem hitrosti procesorjev vedno bolj dostopne. Takšna izvedba simulacij hidrodinamike je bila glavni cilj diplomske naloge.

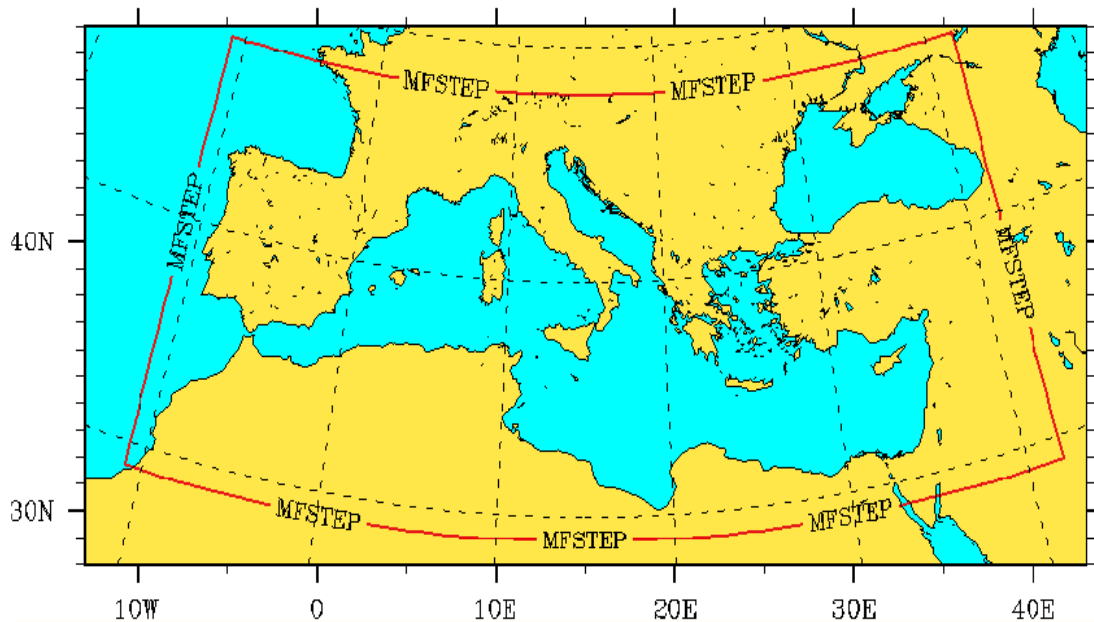
3.2 Format GRIB

GRIB (GRIdded Binary) je zgoščen matematični zapis, ki se uporablja v meteorologiji za shranjevanje podatkov o vremenu. GRIB je matematični zapis, ki je sam po sebi bolj kompakten kot ostali zapisi o vremenu. Zaradi svoje velikosti (datoteke so zgoščene in zelo majhne) je idealen za pretok, kjer imamo dostop do svetovnega spleta samo preko mobilnih ali satelitskih naprav oz. tam, kjer je pretok slabši, s tem mislimo predvsem na plovbo in odmaknjene dele sveta. Največji distributer GRIB datotek je National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Če bi torej datoteko iz formata GRIB pretvorili v npr. ASCII, bi imeli datoteko z veliko podatki. Takšni podatki so nepregledni, iskanje po njih zahteva ogromno časa tudi pri zelo zmogljivih računalnikih. Ker vseh teh podatkov za nameravane simulacije niti ne potrebujemo, z vmesnikom preberemo samo komponente hitrosti vetra tik nad gladino in temperaturo gladine morja ter jih prenesemo v bazo za nadaljnje obdelave.

Struktura datotek, njihova vsebina in podrobnosti formata GRIB so opisane v seminarskem delu (Verdev, 2010). Uporabljene datoteke, izdelane v projektu MFSTEP IASA (<http://forecast.uoa.gr>), so izdelane v resoluciji 0,1 x 0,1 stopinje, kar pomeni 531 x 139 podatkov

na uro za vsak parameter. Slika 3 prikazuje območje, ki ga pokriva ta model. Datoteke vsebujejo šestnajst parametrov, od katerih zapišemo v bazo podatkov samo prvi dve in zadnjo vrednost:

- UGRD (komponenta vetra U),
- VGRD (komponenta vetra V),
- TMP (temperatura $^{\circ}\text{C}$),
- SPFH (specifična vlažnost),
- TCDC (oblačnost v odstotkih),
- PRMSL (reduciran tlak),
- APCP (padavine), DSWRF (valovanje),
- USWRF (valovanje), DLWRF (valovanje),
- ULWRF (valovanje), EVP (izhlapevanje),
- LHTFL (topel tok), SHTFL (topel tok),
- LAND (vrednost 1 predstavlja zemljo, vrednost 0 pa morje),
- TMP (temperatura $^{\circ}\text{C}$).



Slika 3: Prikaz območja, ki ga pokriva model SKIRONE

3.3 Priprava podatkov za statistične analize vetra z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje nad Sredozemskim morjem

Potrebno se je zavedati, da za delovanje kakršnegakoli matematičnega modela potrebujemo kvalitetne vhodne podatke. V seminarskem delu (Verdev, 2010) smo izdelali bazo podatkov s pomočjo programskega orodja MSSQL (Otey, 2005; Darwen, 1997; Schneider, 1997; Microsoft Corporation, 1999). Programsko orodje MSSQL je bilo idealno za ustvarjanje ogromne baze podatkov. Baza podatkov narejena z MSSQL orodjem je zelo dobro obdelovala podatke in ni imela problemov z obdelovanjem 954.650 vrstic podatkov. Baza podatkov za 31 dni zajema 236.753.200 podatkov. Za 12 mesecev pa je podatkov 2.841.038.400. S tako ogromno bazo je nemogoče upravljati, zato smo izbrali mesec s kar najbolj krajevno in časovno neenakomernim vetrom. Po podatkih meteoroloških služb (IASA, ARSO) je bil ustrezen mesec marec 2010.

V bazi podatkov smo izdelali 31 tabel, ki so za vsak dan vsebovale naslednje podatke:

- X (indeks mreže x),
- Y (indeks mreže y),
- zemljepisno širino,
- zemljepisno dolžino,
- U (komponenta vetra),
- V (komponenta vetra),
- temp (temperatura na gladini v $^{\circ}\text{C}$),
- Land (vrednost 1 predstavlja kopno, vrednost 0 pa morje),
- id_cas (urna oznaka podatkov),
- Veter (absolutna jakost vetra iz komponent U in V),
- id_cas_datum (dnevna oznaka podatkov).

Indeks Id_cas smo izdelali, ker smo imeli 31 tabel in v vsaki tabeli podatke za vsako uro posebej za vse celice, indeksirati pa je bilo potrebno vsak par koordinat v vsakem času. Vsaka od 31 tabel

vsebuje 954.650 podatkov, v katerih so podatki za Sredozemsko morje z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje. 954.650 podatkov torej opiše stanje za en dan. Vsako uro v dnevu smo označili z indeksom od 1 do 24 in jo pripisali indeksu id_cas. Vsaka tabela vsebuje 25 x 38.186 podatkov, kar je 954.650 podatkov.

V vsaki od 31 tabel je 954.650 vrstic in 8 stolpcev, kar pomeni, da matrika vsebuje 7.637.200 podatkov. Če vrednost 7.637.200 podatkov pomnožimo z 31 dni dobimo 236.753.200 podatkov, ki jih vsebuje baza podatkov za mesec marec 2010.

Bazo podatkov smo razširili in razdelili na 31 dvojnih tabel. Prva tabela z imenom dbo.cas je zapis vsake posamezne datoteke, kjer lahko podatke razvrstimo po času in vemo, kdaj so nastali. Druga tabela, dbo.podatki so zapisi vseh podatkov skupaj na določeni koordinati X in Y. Datoteka vsebuje števca X in Y, ki sta zapisana na začetku. S pomočjo koordinat, ki so zapisane v naslednjih dveh stolpcih, vemo kje se ta točka nahaja.

Preglednica 1: Primer začetka ene izmed 31 tabel, dbo.podatki v bazi podatkov.

X,	Y,	Latitude	Longitude	U	V	TEM	LAND
1	1	29.000.000,00	-11.000.000,00	-2.612	-0.234	18.878	0.000
2	1	29.000.000,00	-10.900.000,00	-2.279	-0.071	18.867	0.000
3	1	29.000.000,00	-10.800.000,00	-1.928	0.104	18.854	0.000
4	1	29.000.000,00	-10.700.000,00	-1.595	0.433	18.828	0.000
5	1	29.000.000,00	-10.600.000,00	-1.269	0.665	18.809	0.000
6	1	29.000.000,00	-10.500.000,00	-1.138	0.931	18.805	1.000
7	1	29.000.000,00	-10.400.000,00	-1.015	1.078	18.801	1.000
8	1	29.000.000,00	-10.300.000,00	-0.877	1.108	18.797	1.000
9	1	29.000.000,00	-10.200.000,00	-0.677	1.052	18.802	1.000
...

V tako nastali bazi smo lahko preverili, ali so vsi podatki na ustreznem mestu, nato smo bazo zmanjšali zaradi hitrejše in učinkovitejše uporabe. Eliminirali smo polji Latitude in Longitude. Izločili smo tudi vse podatke nad kopnim ter se tako znebili še polja Land. Tabelam smo dodali polje id_cas, ter dobili končno obliko tabel, ki je vzorčno prikazana v Preglednici 2.

Preglednica 2: Primer začetka ene izmed 31 tabel, dbo.podatki v bazi podatkov.

X,	Y,	U	V	TEM	Id_cas
1	1	-2.612	-0.234	18.878	1
2	1	-2.279	-0.071	18.867	1
3	1	-1.928	0.104	18.854	1
4	1	-1.595	0.433	18.828	1
...

Vhodne podatke jakosti vetra, ki smo jih pripravili za model PCFLOW3D, smo izračunali po celotni bazi z zaporednim Query stavkom:

Use Veter

```
UPDATE [310310] SET Veter= sqrt (ABS(V)*ABS(V)+ABS(U)*ABS(U));
```

Stavek UPDATE smo zaporedno vpisali v vse tabele od dne 1. 3. 2010 do dne 31. 3. 2010. V novi bazi podatkov smo izdelali novo bazo z imenom Veter. Tabele smo razdelili od dne 1. 3. 2010 do dne 31. 3. 2010 in jim dodali stolpec Veter (jakost vetra). Končna tabela je prikazana v preglednici 3.

Preglednica 3: Dodana jakost vetra v novi bazi podatkov Veter (začetni del baze podatkov).

X	Y	U	V	temp	Id_cas	Veter
1	1	-0,345	-4,251	20.055	1	4,264977
16	298	2,569	-2,514	17.778	1	3,594434
22	311	3,756	-0,846	17.443	1	3,850098
25	3	1,653	-3,862	19.035	1	4,200887
26	440	-0,142	4,416	18.224	1	4,418282
28	310	5,593	-2,648	17.154	1	6,188178
29	430	-1,852	7,383	18.122	1	7,611174
31	288	4,654	0,966	17.128	1	4,753196
32	384	0,45	4,096	17.044	1	4,120645
...

3.4 Statistične analize podatkov o vetru z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje nad Sredozemskim morjem

Doslej so bile simulacije cirkulacije Sredozemlja na UL-FGG vedno izvedene na osnovi povprečnih sezonskih vetrov. S statistično analizo želimo pokazati odstopanja, ki nastanejo s povprečevanjem podatkov v različnih časovnih intervalih. Predvsem nas zanima razlika med različno dolgimi časovnimi povprečji.

Statistično analizo smo izvedli za jakost vetra na celotnem Sredozemskem morju za mesec marec leta 2010. Izbrana analiza prikazuje jakosti vetra nad Sredozemskim morjem v različnih časovnih intervalih. Prikazati želimo tudi, da je pomembno, katero časovno povprečje vetra uporabimo kot vhodni podatek za model PCFLOW3D, saj se pri povprečenju prek daljšega časovnega obdobja izgublja energija vetra. Želeli smo preveriti odstopanja in razlike, ki nastanejo s povprečenjem podatkov v različnih časovnih intervalih, in sicer v 1, 3, 7, 14 in 31 dnevnom časovnem intervalu. Statistično analizo smo izvajali na mreži podatkov, ki je podana v GRIB datoteki (531 x 191) in zajema površino celotnega Sredozemskega morja. Maksimalno, minimalno, srednjo vrednost in standardno deviacijo jakosti vetra smo iskali po celotni mreži, vrednosti pa povprečili znotraj izbranega časovnega intervala. V primeru dnevnega povprečja smo izvedli račun na podlagi 24 urnih podatkov za vsak dan v mesecu marcu 2010. Izračunali smo standardno deviacijo, maksimalno, minimalno in srednjo vrednost jakosti vetra. V primeru tridnevnega časovnega intervala smo izračunali standardno deviacijo, maksimum, minimum in srednjo vrednost jakosti vetra, na podlagi 72 urnih podatkov. Statistične analize smo izvedli še za 7 (168 urno), 14 (336 urno) in 31 (744 urno) dnevno povprečje. Postopek smo izvedli na podatkih, ki smo jih (v vsaki celici na mreži 531 x 191) povprečili v prej naštetih časovnih intervalih.

Jakost vetra ($\sqrt{V^2 + U^2}$) smo za vsako celico na mreži zapisali v stolpič Veter, ki smo ga izračunali in zapisali v bazo podatkov s pomočjo algoritma:

Use Veter

```
UPDATE [310310] SET Veter= sqrt (ABS (V) *ABS (V)+ABS (U) *ABS (U) );
```

V bazi podatkov imamo tabelo dbo.cas, ki nam točno pove, za katero uro je kakšen podatek. S pomočjo id_cas in Veter lahko določimo za **izbrani časovni interval v vsaki točki mreže** naslednje vrednosti:

- maksimalno jakost vetra,
- minimalno jakost vetra,
- srednjo jakost vetra,
- standardno deviacijo jakosti vetra.

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - en dan

Izdelali smo statistiko na vseh tlorisnih celicah Sredozemskega morja, ki so zajete v tabeli (nad morjem, resolucija 0,1 x 0,1 stopinje, kot je opisano v poglavju 3.3). Poiskali smo statistične vrednosti, ki so prikazane v preglednici 4, po dnevih od 1. 3. 2010 do 31. 3. 2010. Dnevne statistične vrednosti smo v bazi podatkov poiskali z naslednjimi ukazi:

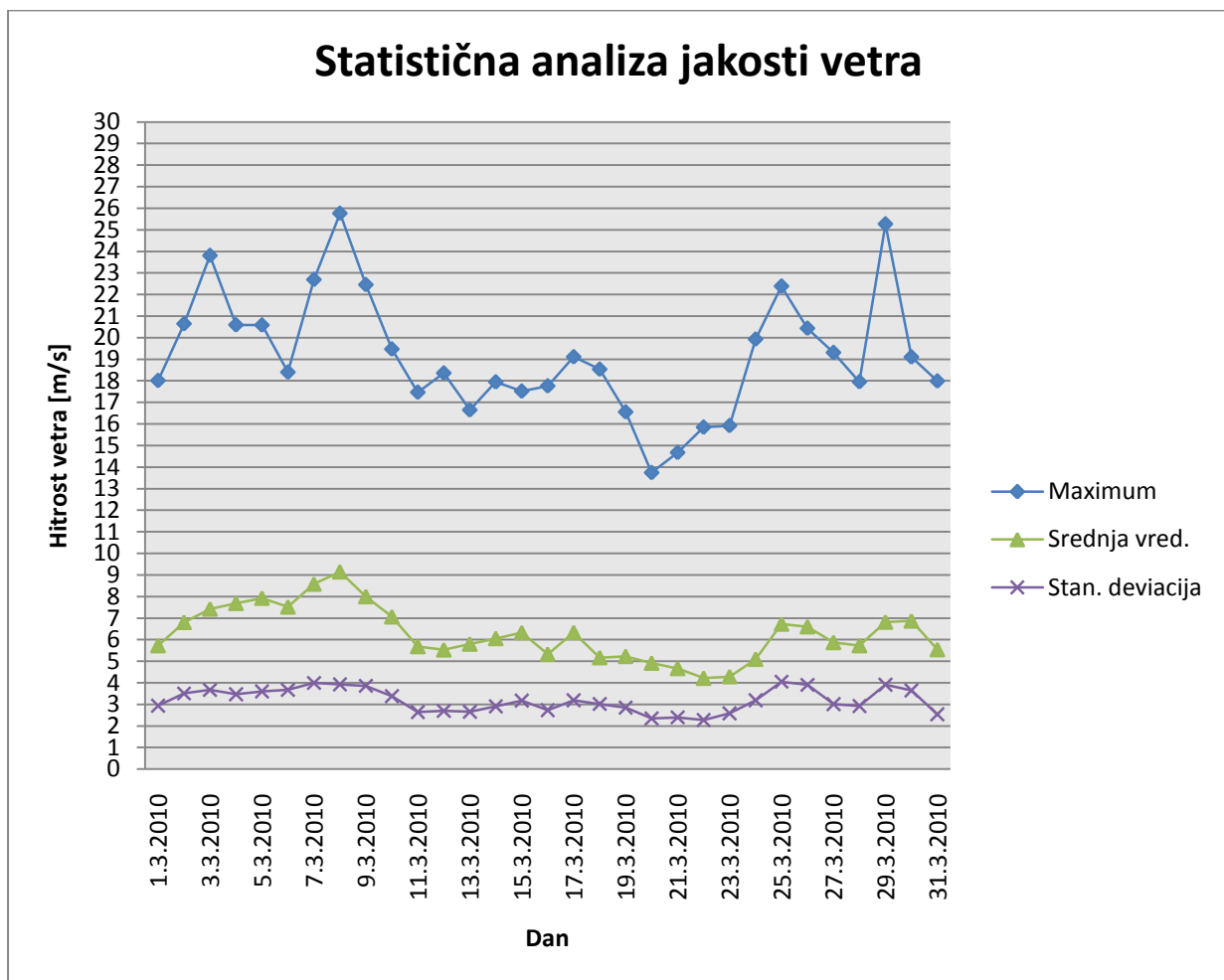
```
/Programska koda uporabi bazo Veter
/Programska koda deluje v programu MSSQL
Use Veter
/Select MAX (program poišče maksimalno srednjo vrednost) iz tabele [310310]
/Časovni interval povprečenja en dan omejimo z id_cas od 0 do 25
/STDEV - Standardna deviacija
Select MAX(Veter) FROM [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '25'
Select MIN(Veter) FROM [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '25'
Select AVG(Veter) FROM [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '25'
Select STDEV(Veter) FROM [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '25'
```

V ukazni vrstici smo v nadaljevanju spreminjali polje [310310]. Ukaz smo izvedli 31-krat in proti spreminjali vrednosti od [010310] do [310310].

Preglednica 4: Statistična analiza jakosti vetra za vsak dan v mesecu, povprečena po celotnem območju

Dan	Maksimum	Minimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
1.3.2010	18,0104792	0,003162	5,725173149	2,9370572
2.3.2010	20,641557	0,001414	6,804055713	3,50639567
3.3.2010	23,8036277	0,008544	7,422175714	3,669292616
4.3.2010	20,5887396	0,00728	7,685677275	3,472333716
5.3.2010	20,5813936	0,013454	7,925988464	3,604344076
6.3.2010	18,3983809	0,02126	7,519557487	3,668398427
7.3.2010	22,6893082	0,019209	8,578213356	3,992890181
8.3.2010	25,7605329	0,019105	9,145419968	3,930148465
9.3.2010	22,4533702	0,004	7,998669833	3,857026761
10.3.2010	19,4668982	0,002828	7,061567632	3,376521935
11.3.2010	17,4664321	0,005385	5,682448878	2,64528785
12.3.2010	18,3565095	0,005657	5,529655815	2,696884723
13.3.2010	16,6464594	0,007071	5,797315619	2,655119547
14.3.2010	17,9432102	0,002236	6,056050491	2,908907031
15.3.2010	17,5187357	0,007	6,327353962	3,177706382
16.3.2010	17,7592298	0,003162	5,33115832	2,734488895
17.3.2010	19,1082134	0,002	6,333319202	3,189459398
18.3.2010	18,5328964	0,004	5,168446375	3,017517534
19.3.2010	16,553922	0,003162	5,227544595	2,852380703
20.3.2010	13,7411144	0,005385	4,913195735	2,348979003
21.3.2010	14,6735136	0,005	4,667613459	2,399542452
22.3.2010	15,8479875	0,004	4,213856067	2,270137029
23.3.2010	15,9193097	0,001414	4,286854413	2,584638356
24.3.2010	19,9265247	0,002236	5,094793113	3,191617907
25.3.2010	22,3848301	0,010198	6,724896676	4,049973016
26.3.2010	20,4312048	0,004	6,601261427	3,90547283
27.3.2010	19,3073766	0,002828	5,87051273	3,008333319
28.3.2010	17,9525929	0,005657	5,726680673	2,922080797
29.3.2010	25,2680743	0,004472	6,818817941	3,909138306
30.3.2010	19,1008115	0,007071	6,869351706	3,647934473
31.3.2010	17,9864836	0,005	5,540347919	2,536971825

Iz Preglednice 4 je razvidno, da sta bili maksimalna in srednja jakost vetra najvišji 8. 3. 2010 in znašata 25,76 m/s oz. 9,14 m/s. Najnižja maksimalna vrednost je nastopila 20. 3. 2010 in znaša 13,74 m/s, najnižja srednja vrednost vetra pa dne 22. 3. 2010 in znaša 4,213 m/s. Iz tabele je razvidno, da v mesecu marcu 2010 razmerje med skrajnima maksimalnima in srednjima vrednostma večje od 2. Nekateri procesi (npr. izmenjava živega srebra med vodo in zrakom) so povezani z jakostjo vetra na potenco, ki je višja od 1, zato je za njihov pravi opis pomembno, da povprečne vrednosti vetra upoštevamo na čim krajših intervalih. Grafikon 1 nazorno prikazuje statistične vrednosti jakosti vetra za vsak dan v mesecu, povprečene v vsaki tlorisni celici po celotnem območju.



Grafikon 1: Prikaz statistične analize jakosti vetra za vsak dan v mesecu

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - tri dni

Iste statistične vrednosti smo poiskali še na podatkih o jakosti vetra v časovnih intervalih, ki so zajemali po 3 zaporedne dni (72 ur). Tridnevne statistične vrednosti smo v bazi podatkov poiskali z naslednjimi ukazi:

```
/Uporabimo bazo podatkov Veter
```

```
Use Veter
```

```
/Izberemo ukaz (MAX, MIN, AVG in STDEV)
```

```
Select MAX(Veter) FROM [010310] TO [030310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select MIN(Veter) FROM [010310] TO [030310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select AVG(Veter) FROM [010310] TO [030310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select STDEV(Veter) FROM [010310] TO [030310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

V ukazni vrstici smo spreminjali polje [010310] TO [030310]. Polja smo spreminjali po časovnem intervalu:

- [010310] TO [030310],
- [040310] TO [060310],
- [070310] TO [090310],
- [100310] TO [120310],
- [130310] TO [150310],
- [160310] TO [180310],
- [190310] TO [210310],
- [220310] TO [240310],
- [250310] TO [270310],
- [280310] TO [300310].

Preglednica 5: Statistična analiza jakosti vetra za tri dni v mesecu, povprečena po celotnem območju

Dne	Maksimum	Minimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 3	20.81855462	0.004373498	6.650468192	3.370915162
od 4 do 6	19.85617135	0.013998009	7.710407742	3.581692073
od 7 do 9	23.63440377	0.014104782	8.574101052	3.926688469
od 10 do 12	18.4299466	0.004623482	6.091224108	2.906231503
od 13 do 15	17.36946843	0.005435712	6.060240024	2.913910987
od 16 do 18	18.46677988	0.003054093	5.610974632	2.980488609
od 19 do 21	14.98951667	0.004515814	4.93611793	2.533634053
od 22 do 24	17.23127395	0.002550094	4.531834531	2.682131097
od 25 do 27	20.70780383	0.005675489	6.398890278	3.654593055
od 28 do 30	20.77382623	0.005733353	6.471616773	3.493051192

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja – sedem dni

Poiskali smo še statistične vrednosti v časovnih intervalih, ki so zajemali 7 zaporednih dni (168 ur), z naslednjimi ukazi:

```

/Uporabimo bazo podatkov Veter
Use Veter
/Izberemo ukaz (MAX, MIN, AVG in STDEV)
Select MAX(Veter) FROM [010310] TO [070310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas <
'26'
Select MIN(Veter) FROM [010310] TO [070310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas <
'26'
Select AVG(Veter) FROM [010310] TO [070310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas <
'26'
Select STDEV(Veter) FROM [010310] TO [070310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas <
'26'

```

V ukazni vrstici smo spreminjali polje [010310] TO [070310]. Polja smo spreminjali po časovnem intervalu:

- [010310] TO [070310],
- [080310] TO [140310],

- [150310] TO [210310],
- [220310] TO [280310].

Preglednica 6: Statistična analiza jakosti vetra za sedem dni v mesecu, povprečena po celotnem območju

Dne	Maksimum	Minimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 7	20.6733552	0.010618	7.380120166	3.550101698
od 8 do 14	19.7276304	0.006612	6.753018319	3.15284233
od 15 do 21	16.8410893	0.004244	5.424090235	2.817153481
od 22 do 28	19.6297376	0.004351	5.66720913	3.230173945

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - štirinajst dni

Poiskali smo še statistične vrednosti v obeh zaporednih štirinajstdnevnikih časovnih intervalih (336 ur), z naslednjimi ukazi:

```
/Izberemo bazo podatkov Veter
```

```
Use Veter
```

```
/Parametri (MAX, MIN, AVG in STDEV)
```

```
Select MAX(Veter) FROM [010310] TO [140310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select MIN(Veter) FROM [010310] TO [140310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select AVG(Veter) FROM [010310] TO [140310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select STDEV(Veter) FROM [010310] TO [140310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

V ukazni vrstici smo spreminjali polje [010310] TO [140310]. Polja smo spreminjali po časovnem intervalu: [010310] TO [140310] in [150310] TO [280310].

Preglednica 7: Statistična analiza jakosti vetra za štirinajst dni v mesecu, povprečena po celotnem območju

Dne	Maksimum	Minimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 14 dne	25.7605329	0.02126	9.145419968	3.992890181
od 15 do 28 dne	22.3848301	0.010198	6.724896676	4.049973016

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja – enaintrideset dni

Poiskali smo še statistične vrednosti v celotnem časovnem intervalu 31 dni (744 ur), z naslednjimi ukazi:

```
/Izberemo bazo podatkov Veter
```

```
Use Veter
```

```
/Parametri (MAX, MIN, AVG in STDEV)
```

```
Select MAX(Veter) FROM [010310] TO [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select MIN(Veter) FROM [010310] TO [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

```
Select AVG(Veter) FROM [010310] TO [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

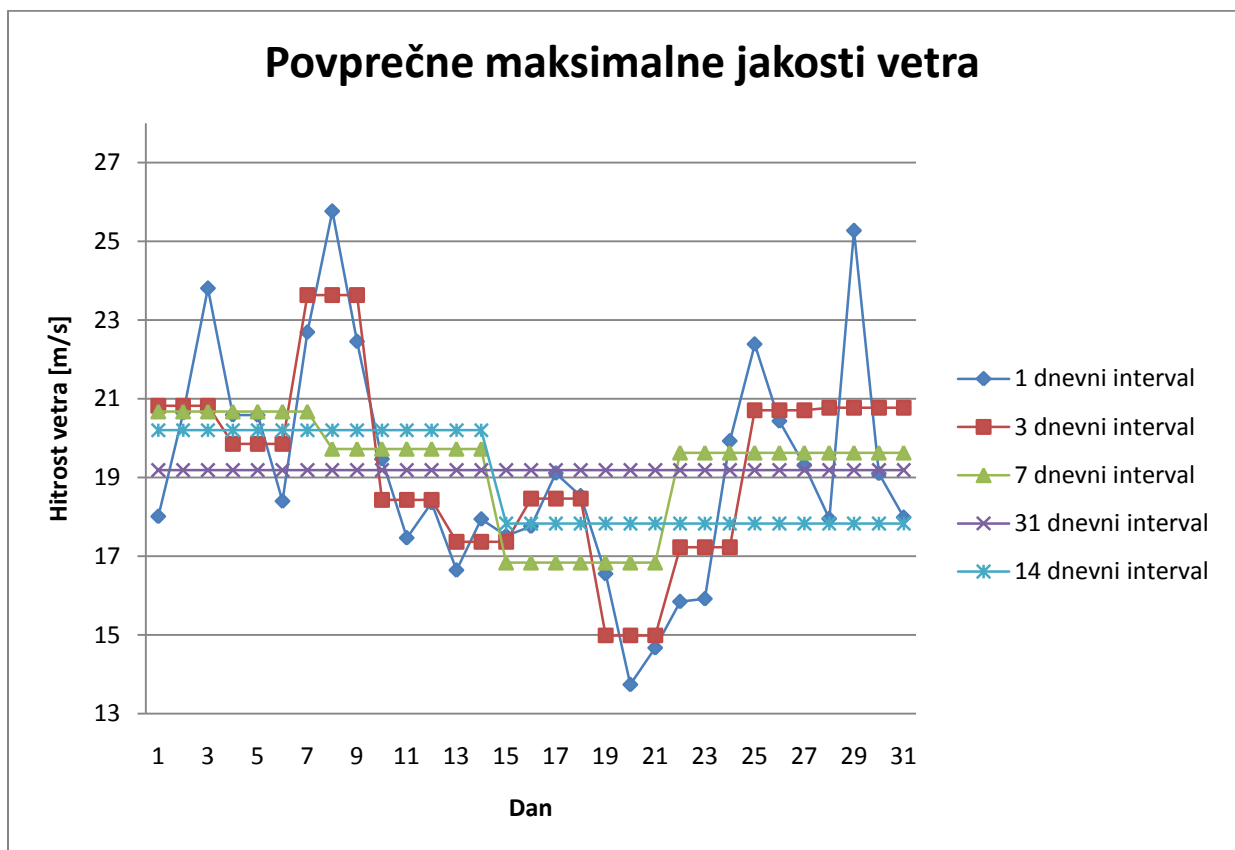
```
Select STDEV(Veter) FROM [010310] TO [310310] WHERE id_cas > '0' AND id_cas < '26'
```

Pri 31 dnevnem intervalu smo ukazni stavek izvršili samo enkrat.

Preglednica 8: Statistična analiza jakosti vetra za cel mesec, povprečena po celotnem območju

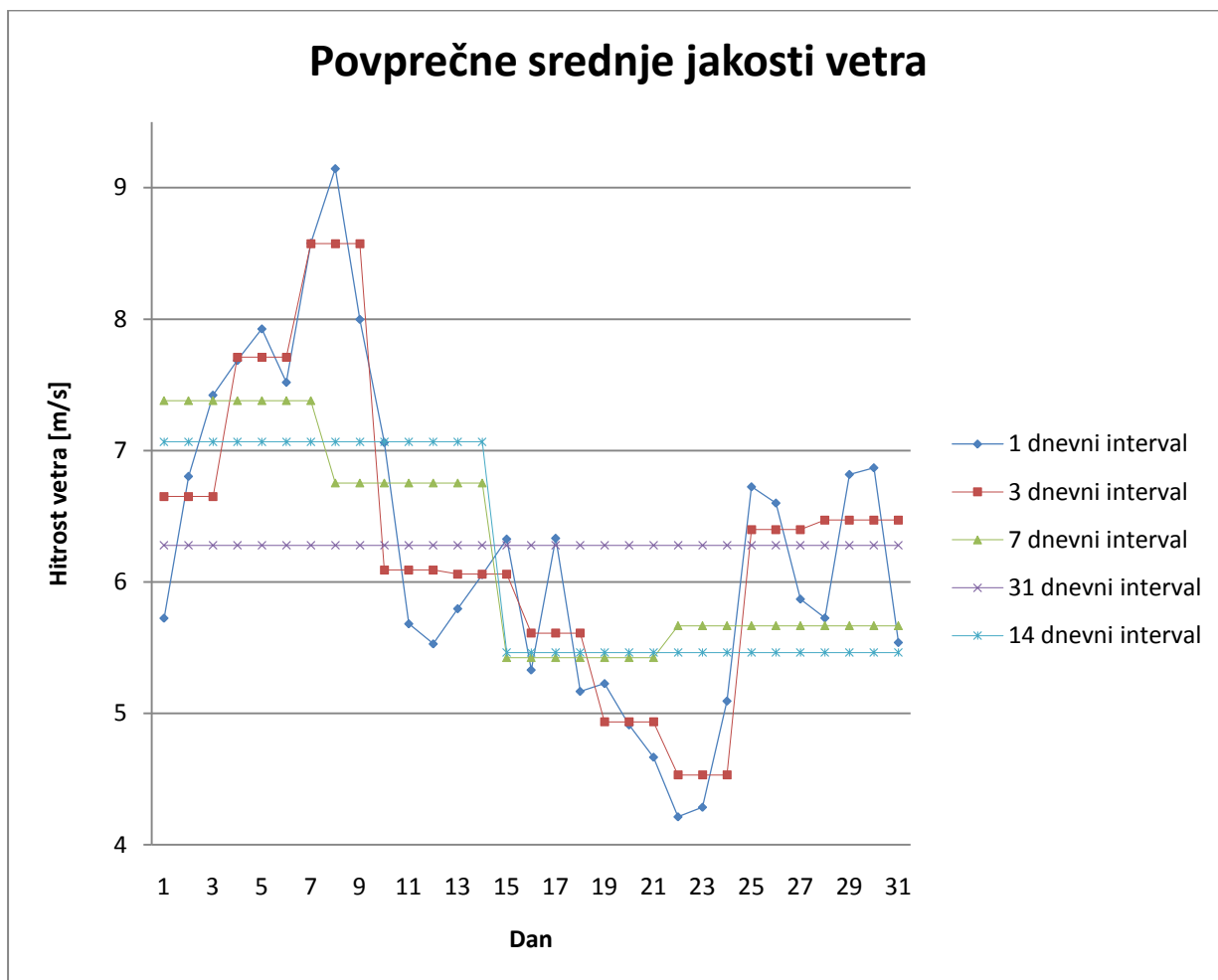
Dne	Maksimum	Minimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 31	19.1877329	0.006361	6.278966894	3.18280582

Grafikon 2 prikazuje združene maksimalne jakosti vetra, povprečene prek različnih časovnih intervalov. Razlike med posameznimi povprečenji so razmeroma velike. V 31 dnevem intervalu je znašala npr. maksimalna jakost vetra 19,18 m/s, v vseh povprečenjih prek krajših intervalov pa so bili maksimumi višji. Isto velja tudi za vse druge prikazane statistične vrednosti. V prvi polovici meseca se maksimalne vrednosti jakosti vetra povprečene po različnih časovnih intervalih razlikujejo od 1 do 6 m/s. V drugi polovici meseca so razlike v velikosti 2 m/s. Iz grafikona 2 je razvidno, da v primeru mesečnega povprečenja podatkov izgubimo konice, ki so najbolj izrazite pri dnevni povprečjih in upadajo z dolžino intervala. Z daljšimi, najbolj pa z mesečnim povprečenjem, izgubimo precejšen del vetrne energije, ki je lahko odločilnega pomena pri modeliranju cirkulacije, predvsem pa pri nekaterih drugih procesih na površini morja, npr. izmenjavi živega srebra med vodo in zrakom.



Grafikon 2: Povprečne maksimalne jakosti vetra

Grafikon 3 prikazuje povprečne srednje jakosti vetra v različnih intervalih. Srednja vrednost na časovnem intervalu dolžine 31 dni znaša 6,27 m/s. V prvi polovici meseca povprečenja v tridnevnem časovnem intervalu odstopajo od 0,5 do 2,4 m/s. V drugi polovici meseca pa vrednosti v tridnevnem časovnem intervalu odstopajo od 1 do 2 m/s glede na 31 dnevno povprečenje. Razlike v posameznih intervalih so velike, daljša časovna povprečenja slabše opišejo dejansko stanje. V daljših povprečenjih torej izgubimo velik del informacij (konice), ki so pomembne za modeliranje. Srednje jakosti vetra povprečene prek različnih časovnih intervalov so namreč vhodni podatki za model PCFLOW3D. Grafikon 3 nam tako kaže tudi odstopanja med vhodnimi podatki o vetru pri izvedenih modelnih simulacijah.



Grafikon 3: Povprečne srednje jakosti vetra

Standardna deviacija je statistični kazalec, največkrat uporabljen za merjenje statistične razpršenosti enot. Z njim je moč izmeriti, kako razpršene so vrednosti, vsebovane v populaciji. Standardni odklon je definiran kot kvadratni koren variance, s čimer je v vsakem primeru dosežena pozitivna vrednost kazalca. Standardni odklon je lahko računat kot σ (sigma), in sicer kot odklon celotne populacije ali njene naključne spremenljivke, ali kot s , in sicer kot odklon posameznega vzorca statistične populacije. Za ta različna odklona se enačbi razlikujeta. Pri analizah smo uporabljali enačbo za standardni odklon vseh enot statistične populacije, ki je definiran z enačbo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (3.1)$$

kjer je:

x_i i-ta enota v statistični populaciji

\bar{x} aritmetična sredina populacije

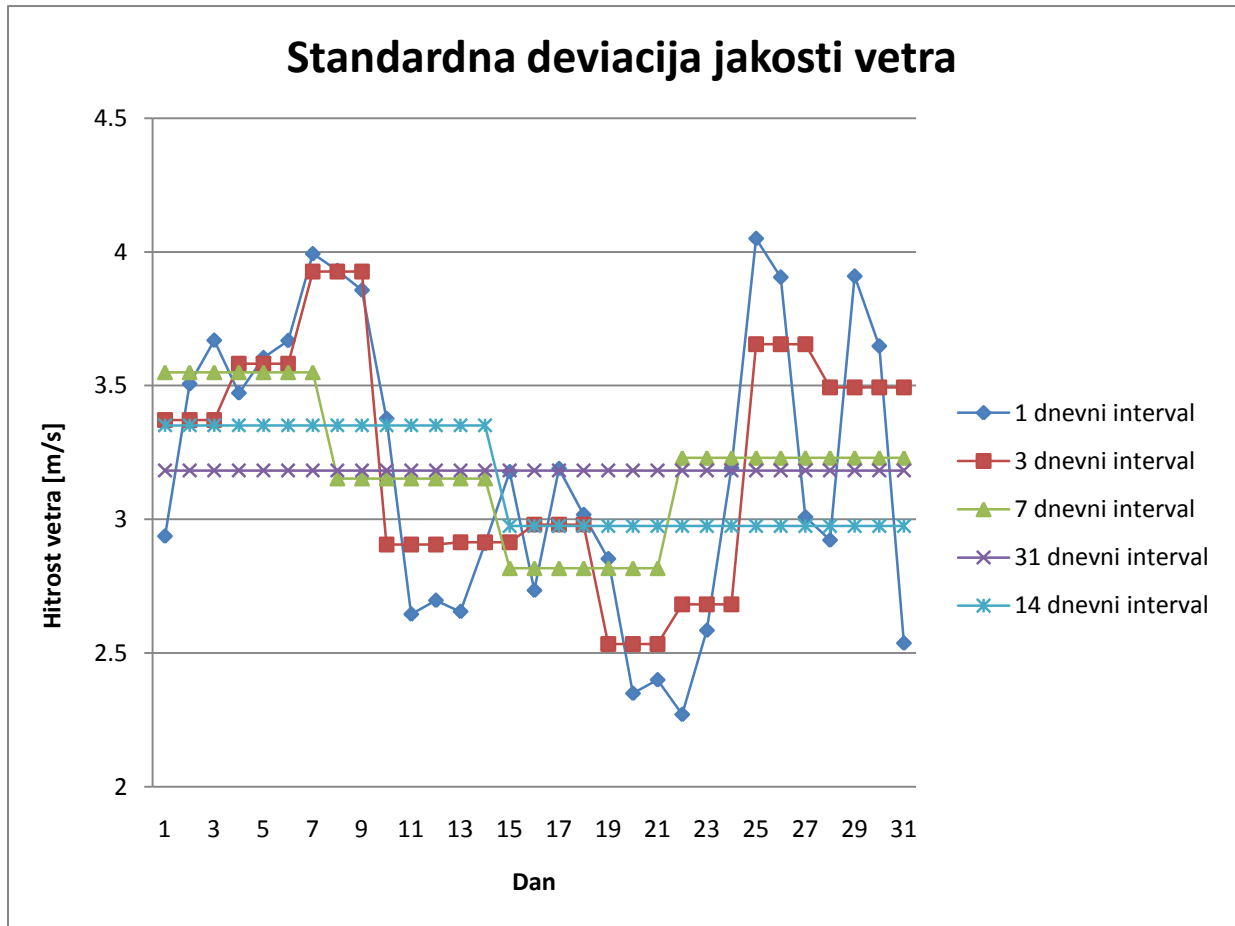
N število vseh enot

V obravnavanem primeru standardna deviacija pove, kako razpršena je jakost vetra v časovnih intervalih. Krajši kot so intervali povprečenj, višja je standardna deviacija in razpršenost podatkov (Grafikon 4).

Standardna deviacija jakosti vetra, prikazana v grafikonu 4, pokaže, da so primerljiva edino enodnevna in tridnevna povprečja, pri vseh daljših intervalih pa se vrednosti močno razlikujejo. Izgube informacij (konic oz. sunkov vetra) se najbolj izrazito pokažejo pri 31 in 14 dneven povprečenju.

Rezultati kažejo velik standardni odklon pri dnevnem povprečju od 1. do 10. in 23. do 29. dne – vrednosti so razporejene v velikem obsegu okoli aritmetične sredine. V tem času je bil veter bolj neenakomeren. Manjši standardni odklon je od 10. do 20. dne, kar pomeni, da je v tem obdobju

večja koncentracija statističnih enot okoli aritmetične sredine. V obdobju od 10. do 20. dne je bila jakost vetra višja kot od 1. do 10. dne, vendar bolj enakomerna po celotnem območju.



Grafikon 4: Standardna deviacija jakosti vetra

Rezultati celotne analize prikazujejo, da je pravilna izbira časovnih intervalov povprečenja pomembna. Izračunana časovna povprečenja kažejo, da lahko povprečne hitrosti vetra pri različnih intervalih povprečevanja odstopajo tudi do 3 metre na sekundo, ustrezno pa je tudi odstopanje vetrne energije oz. strižnih napetosti na gladini. Maksimalne in srednje vrednosti se s krajšanjem časovnega intervala povprečevanja višajo. Z vidika vetrne energije v povprečenjih prek daljših časovnih obdobj izgubimo vrednosti v konicah, ki lahko močno vplivajo na rezultate modeliranja. Podatki, ki smo jih analizirali, zavzemajo celotno območje Sredozemlja (Slika 6). Iz

teh podatkov, ki so produkt modela SKIRONE v visoki resoluciji, smo v nadaljevanju pripravili vhodne podatke za model PCFLOW3D. Tudi te podatke smo statistično analizirali. Vsi postopki priprave bodo opisani po izvedenih fazah. Baza podatkov, ki zajema podatke za celotno Sredozemsko morje obsega okrog 30 milijonov podatkov. Ekstrakcija in priprava podatkov je zahtevala temeljito pripravo in poglobljeno znanje ukazov za obvladovanje baze, tj. zbirke med seboj pomensko povezanih podatkov, ki so shranjeni v računalniškem sistemu. Dostop do tako shranjenih podatkov je centraliziran in omogočen s pomočjo sistema za upravljanje.

3.5 Priprava podatkov za modeliranje cirkulacije v Sredozemskem morju

Grški meteorološki model zajema podatke v resoluciji 0,1 x 0,1 stopinje. Dimenzije mreže, ki smo jo poimenovali GR MREŽA, so 531 x 191. Indeksi na abscisni in ordinatni osi so v korelaciji z geografskimi koordinatami in so prikazani v preglednici 9.

Preglednica 9: Indeksi in koordinate vogalnih točk grške mreže, resolucija 0,1 stopinje v obeh smereh

X	Y	LATITUDE	LONGITUDE
1	1	29,000	-11,000
531	1	29,000	42,000
1	191	48,000	-10,000
531	191	48,000	42,000

Žagar in sod. (2007) so izvedli modelno študijo cirkulacije Sredozemlja za potrebe modeliranja transporta in pretvorb živega srebra. Za vhodne podatke v model PCFLOW3D so izdelali mrežo z 86 x 49 celicami. Mreža podatkov je narejena z 0,5 stopinjsko resolucijo v longitudinalni smeri in 0,33 stopinjsko resolucijo v lateralni smeri. Vseh celic na gladini je 4214, od tega 1625 podatkov o morju (1) in 2589 podatkov o kopnem (0). Model računa le s podatki, ki so na morju (1). Iz GR MREŽE je bilo potrebno izbrati tiste podatke, ki bodo uporabljeni kot vhodni podatek za model PCFLOW3D. Mrežo smo poimenovali SLO MREŽA. Celica v GR mreži podatkov je 16,5-krat

manjša (bolj fina) kot celica v SLO mreži. Z bazo podatkov, ki smo jo izdelali na osnovi GR MREŽE, bomo dopolnili modeliranje z upoštevanimi različnimi polji vetra, povprečenimi preko 14, 7 in 3 dni.

Preglednica 10: Indeksi in koordinate vogalnih točk SLO MREŽE

X	Y	LAT	LON
1	1	30.1667	-6.25
86	1	30.1667	36.25
1	49	45.833	-6.25
86	49	45.833	36.25

Izdelali smo preglednice, ki so vsebovale vse indekse in koordinate iz GR in SLO mreže. V preglednici 11 je prikazanih nekaj začetnih vrstic GR mreže. Prikazani del preglednice obsega le nekaj od 38186 vrstic, ki jih vsebuje tabela podatkov v GR mreži. V preglednici 13 so podatki od indeksiranju celic (X, Y) in zapis koordinat v GR mreži podatkov.

Preglednica 11: Prikaz dela preglednice GR mreže s koordinatami sredine celic

XGR	YGR	LON	LAT
1	1	-11	29
2	1	-10.9	29
3	1	-10.8	29
4	1	-10.7	29
5	1	-10.6	29
6	1	-10.5	29
7	1	-10.4	29
8	1	-10.3	29
9	1	-10.2	29
10	1	-10.1	29
11	1	-10	29
12	1	-9.9	29

se nadaljuje...

...nadaljevanje

13	1	-9.8	29
14	1	-9.7	29
15	1	-9.6	29
16	1	-9.5	29
17	1	-9.4	29
18	1	-9.3	29
19	1	-9.2	29
20	1	-9.1	29
21	1	-9	29
22	1	-8.9	29
23	1	-8.8	29
...

Na podlagi mreže, ki so jo izdelali Žagar in sod. (2007), smo izdelali preglednico, ki je vsebovala indekse SLO mreže in ustrezne koordinate z 0,5 stopinjsko resolucijo po longitudinalni smeri in 0,33 stopinjsko resolucijo po lateralni smeri. Vse celice v longitudinalni smeri so široke 0,5 stopinje. V lateralni smeri pa vse celice nimajo enake širine. Na območju Gibraltarske ožine so celice zožene zaradi hkratnega pravilnega upoštevanja gibalne količine in pretoka skozi Gibraltar. V preglednici 2 je prikaz indeksiranih celic in njihove širine po lateralni smeri.

Preglednica 12: Koordinate celic SLO mreže v lateralni smeri (z modro so označene celice, ki so drugih dimenzij)

Od J proti S	Center (stopinje)	Center (min)	Širina celice (min)
49	45	50	20
48	45	30	20
47	45	10	20
46	44	50	20
45	44	30	20
44	44	10	20
43	43	50	20

se nadaljuje...

...nadaljevanje

42	43	30	20
41	43	10	20
40	41	50	20
39	41	30	20
38	42	10	20
37	41	50	20
36	41	30	20
35	41	10	20
34	40	50	20
33	40	30	20
32	40	10	20
31	39	50	20
30	39	30	20
29	39	10	20
28	38	50	20
27	38	30	20
26	38	10	20
25	37	50	20
24	37	30	20
23	37	10	20
22	36	50	20
21	36	30	20
20	36	11	18
19	35	56	12
18	35	44	12
17	35	29	18
16	35	10	20
15	34	50	20
14	34	30	20
13	34	10	20
12	33	50	20
11	33	30	20
10	33	10	20
9	32	50	20
8	32	30	20
7	32	10	20
6	31	50	20
5	31	30	20
4	31	10	20
3	30	50	20
2	30	30	20
1	30	10	20

Na podlagi mreže podatkov, ki so jo izdelali Žagar in sod. (2007), smo izdelali preglednico, ki vsebuje stolpce I (indeksi v longitudinalni smeri), J (indeksi v lateralni smeri), Lon (geografsko dolžino) in Lat (geografsko širino). Matrika je dimenzij 86 x 49 in vsebuje 4214 vrstic. Preglednica vsebuje podatke za morje in kopno. Slednje je v GR mreži že izločeno.

Preglednica 13: Začetne vrstice SLO mreže (I, J, Lon, Lat)

I	J	LON	LAT
1	49	-6.25	45.83333
2	49	-5.75	45.83333
3	49	-5.25	45.83333
4	49	-4.75	45.83333
5	49	-3.75	45.83333
6	49	-3.25	45.83333
7	49	-2.75	45.83333
8	49	-2.25	45.83333
9	49	-1.75	45.83333
10	49	-0.25	45.83333
11	49	0.25	45.83333
12	49	0.75	45.83333
13	49	0.25	45.83333
14	49	0.25	45.83333
15	49	0.75	45.83333
16	49	1.25	45.83333
17	49	1.75	45.83333
18	49	2.25	45.83333
19	49	2.75	45.83333
20	49	3.25	45.83333
21	49	3.75	45.83333
22	49	4.25	45.83333
23	49	4.75	45.83333
24	49	5.25	45.83333
25	49	5.75	45.83333
26	49	6.25	45.83333
27	49	6.75	45.83333

se nadaljuje...

...nadaljevanje

28	49	7.25	45.83333
29	49	7.75	45.83333
30	49	8.25	45.83333
31	49	8.75	45.83333
32	49	9.25	45.83333
33	49	9.75	45.83333
...

V bazi podatkov z imenom Veter imamo celotno matriko GR mreže, iz katere smo izdelali preglednico 14, ki vsebuje stolpce I (indeksi v longitudinalni smeri), J (indeksi v lateralni smeri), Lon (geografsko dolžino) in Lat (geografsko širino). Matrika vsebuje 38.186 vrstic s podatki o vetru nad morjem. Kopno smo izločili že pri zapisu v bazo podatkov (Verdev, 2010).

Preglednica 14: Začetne vrstice GR mreže (I, J, Lon, Lat)

XGR	YGR	LON	LAT
1	1	-11	29
2	1	-10.9	29
3	1	-10.8	29
4	1	-10.7	29
5	1	-10.6	29
6	1	-10.5	29
7	1	-10.4	29
8	1	-10.3	29
9	1	-10.2	29
10	1	-10.1	29
11	1	-10	29
12	1	-9.9	29
13	1	-9.8	29
14	1	-9.7	29
15	1	-9.6	29
16	1	-9.5	29
17	1	-9.4	29
18	1	-9.3	29

se nadaljuje...

...nadaljevanje

19	1	-9.2	29
20	1	-9.1	29
21	1	-9	29
22	1	-8.9	29
23	1	-8.8	29
24	1	-8.7	29
25	1	-8.6	29
...

SLO mreža ima različno resolucijo od GR mreže, zato je bilo v nadaljevanju potrebno izdelati programsko orodje, s katerim smo lahko pretvorili podatke iz GR mreže v SLO mrežo. Program temelji na načinu iskanja najbližjih parov celic (najkrajše povezave). Poiskali smo torej ustrezne (najbližje) pare celic v obeh mrežah. Izdelali smo programsko orodje z imenom GR2PCF. Programsko orodje prebere koordinati (Lon, Lat) iz SLO mreže in poišče najbližji koordinati (Lon, Lat) iz GR mreže. Koordinate in indekse parov najbližjih celic zapišemo v tekstovno datoteko. Postopek izvedemo za vse celice (4.214) SLO mreže. SLO matrika vsebuje 86 x 49 celic in se razprostira na območju Sredozemlja (kopno in morje). Podatki o morju in kopnem na Sredozemlju so označeni:

- 0 (kopno),
- 1 (morje).

GR matrika vsebuje 531 x 191 celic. Pri postopku priprave podatkov iz Grib datotek (Verdev, 2010), smo izločili kopno iz GR matrike. Ko smo s pomočjo programa GR2PCF iskali ustrezne pare, smo iz SLO mreže podatkov zajeli samo podatke o vetru nad »mokrimi« celicami. Končni rezultat programa je datoteka z 1625 vrsticami, v katerih so zapisani ustrezni pari celic na gladini, prikazani v preglednici 15.

Glede na resolucijo obeh mrež je največje možno prostorsko odstopanje podatkov manjše od 1/20 geografske stopinje (približno 5 km). Podatki, podani s takšno natančnostjo, bi morali zadoščati za nameravane simulacije, čeprav postopek ni popolnoma natančen, saj popolnoma ne ohranja

energije vetra nad celotnim Sredozemljem. Pravilen postopek bi zahteval integracijo vetra po vseh celicah in delih celic GR mreže, ki pripadajo izbrani celici SLO mreže. Ker je postopek zaradi različne orientacije mrež in krivih robov celic kompliciran, smo v prvem približku poskusili z opisanim postopkom, ki ga bomo utemeljili s primerjavo statističnih vrednosti narejenih na podatkih v obeh mrežah.

Preglednica 15 ima štiri kolone, ki smo jih poimenovali:

- Field1 (indeks SLO mreže v longitudinalni smeri),
- Field2 (indeks SLO mreže v lateralni smeri),
- Field3 (ustrezni indeks GR mreže v longitudinalni smeri),
- Field4 (ustrezni indeks GR mreže v lateralni smeri).

Preglednica 15: Urejeni indeksi celic SLO in GR mreže

Field1	Field2	Field3	Field4
2	31	53	109
3	30	58	106
3	31	58	109
3	32	58	113
3	33	58	116
4	29	63	103
4	30	63	106
4	31	63	109
4	32	63	113
4	33	63	116
4	34	63	119
5	29	68	103
5	30	68	106
5	31	68	109
5	32	68	113
5	33	68	116
5	34	68	119
6	29	73	103

se nadaljuje...

...nadaljevanje

6	30	73	106
6	31	73	109
6	32	73	113
6	33	73	116
6	34	73	119
...

Urejeno preglednico 15, ki je zapisana v bazi podatkov Veter, z imenom Morje, uporabimo za iskanje ustreznih podatkov o vetru iz GR mreže. V nadaljevanju bomo prikazali korake, ki so bili potrebni za izdelavo vhodnih podatkov za model PCFLOW3D in njihovo kasnejšo statistično analizo.

Baza podatkov vsebuje 31 tabel s podatki:

- X (indeks mreže x),
- Y (indeks mreže y),
- Geografsko širino,
- Geografsko dolžino,
- U (komponenta vetra),
- V (komponenta vetra),
- temp (temperatura na gladini v $^{\circ}\text{C}$),
- Land (vrednost 1 predstavlja kopno, vrednost 0 pa morje),
- id_cas (urna oznaka podatkov),
- Veter (absolutna jakost vetra iz komponent U in V)
- id_cas_datum (dnevna oznaka podatkov).

Vsaka od 31 tabel (za vsak dan) vsebuje 954.650 zgoraj navedenih podatkov za celotno Sredozemsko morje z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje. Vsako uro v dnevu smo označili z indeksom časa (id_cas) od 1 do 24. Grški meteorološki model na koncu vsakega dne zapiše še podatek za

eno uro za naslednji dan (0:00 – 1:00). Te podatke smo upoštevali in jih pripisali k prejšnjemu dnevu. Vsaka tabela vsebuje 25 x 38.186 podatkov, kar je 954.650 podatkov.

Za nameravane simulacije in statistično obdelavo smo podatke omejili na 14 dni (od 1 do 14 marca 2010). Povprečili smo jih v časovnih intervalih 1, 2, 3, 7 in 14 dni. Za izbrana obdobja povprečenj smo izdelali tudi grafični prikaz vetrovnih slik, iz katerega so dobro razvidne razlike, ki so odvisne od intervala povprečevanja.

V bazi podatkov MSSQL smo uporabili algoritem:

```
Use Veter

INSERT INTO Pari1

SELECT Morje.Field4 AS
PCFLOWX, Morje.Field3 AS
PCFLOWY, [140310].U AS
PCFLOWU, [140310].V AS
PCFLOWV, Morje.Field4 AS
SLOX, Pari.Field3 AS
SLOY

FROM [140310], Morje

WHERE Morje.Field4 = [140310].X AND Morje.Field3 = [140310].Y AND id_cas=1

ORDER BY

pcflowx asc,
pcflowy desc
```

Algoritem uporabi bazo podatkov Veter:

```
Use Veter
```

Končni rezultat zapiše v novo tabelo Pari1:

```
INSERT INTO Paril
```

Izbere polje Field3 (indeks GR mreže v longitudinalni smeri) kot PCFLOWY in polje Field4 (indeks GR mreže v lateralni smeri) kot PCFLOWX:

```
SELECT Morje.Field4 AS  
PCFLOWX, Morje.Field3 AS  
  
PCFLOWY
```

Ustrezne pare poišče z algoritmom:

```
WHERE Morje.Field4 = [140310].X AND Morje.Field3 = [140310].Y AND id_cas=1
```

in jih uredi po velikosti:

```
ORDER BY  
  
pcflowx asc,  
pcflowy desc
```

Polje [140310] v algoritmu pove, iz katerega dne v mesecu marcu 2010 program jemlje podatke. Polje id_cas=1 pove, iz katere ure jemlje podatke. Ukaz smo pognali za vsako uro posebej (24 ur) in za vsak dan posebej (od 1. 3. 2010 do 14. 3. 2010). Rezultati so prikazani v preglednici 16. Preglednica vsebuje polja:

- I (indeks SLO mreže v longitudinalni smeri),
- J (indeks SLO mreže v lateralni smeri),
- 1.3.2010_0:00 U (U komponenta vetra nad Sredozemskim morjem podana za dan 1.3.2010 ob 0:00 v celici z indeksom I, J),
- 1.3.2010_0:00 V (V komponenta vetra nad Sredozemskim morjem podana za dan 1.3.2010 ob 0:00 v celici z indeksom I, J).

Preglednica 16: Prikaz dela končnih podatkov iz baze podatkov Veter

I	J	1.3.2010 U	1.3.2010 V
2	19	-0.394	-1.225
3	20	-0.086	-1.393
3	19	-0.596	-2.029
3	18	-0.596	-2.029
3	17	-0.053	-2.293
4	21	0.021	-0.994
4	20	-0.745	-1.009
4	19	-1.35	-1.306
4	18	-1.259	-1.794
4	17	-0.756	-2.25
4	16	-0.439	-2.166
5	21	-0.646	0.217
5	20	-1.747	-0.116
5	19	-2.422	-0.288
5	18	-2.589	-0.953
5	17	-2.236	-2.069
5	16	-2.019	-1.992
6	21	-1.505	3.121
6	20	-2.424	1.953
6	19	-3.116	1.216
6	18	-3.272	0.352
6	17	-2.824	-0.965
6	16	-2.265	-2.168
7	21	-1.261	5.839
7	20	-2.481	4.549
7	19	-3.203	3.091
7	18	-3.242	1.892
7	17	-2.513	0.405
8	21	-0.778	6.831
...

V nadaljevanju smo izračunali jakost vetra v vseh »mokrih« celicah in jih zapisali v nove preglednice. Iz zaporednih preglednic za posamezne ure smo lahko izračunali povprečja (za vsako celico, vhodni podatek za model PCFLOW3D) in druge statistične vrednosti.

3.6 Statistične analize opravljene na podatkih za modeliranje cirkulacije v Sredozemskem morju

3.6.1 Uvod

S tako dobljenimi podatki smo izvedli statistično analizo jakosti vetra na celotnem Sredozemskem morju, za obdobje od 1. do 14. marca 2010, po enakem postopku, kot je opisan v poglavju 3.4. Prikazati želimo, da ni pomembnih odstopanj med skupno energijo vetra v GR in SLO mreži podatkov. Prikazati želimo tudi, da je pomembno, katero časovno povprečje vetra (glede na interval povprečevanja) uporabimo kot vhodni podatek za model PCFLOW3D. Iste podatke, na katerih je izdelana analiza, smo uporabili tudi za modeliranje. Podatke smo povprečili v naslednjih časovnih intervalih:

- enodnevni dnevni časovni interval,
- dvodnevni časovni interval,
- tridnevni časovni interval,
- sedemdnevni časovni interval,
- štirinajstdnevni časovni interval.

Statistike so izvedene na podatkih o jakosti vetra v SLO mreži podatkov. Maksimalno in srednjo vrednost ter standardno deviacijo jakosti smo iskali po celotni mreži, vrednosti pa povprečili znotraj izbranega časovnega intervala. V primeru enodnevnega povpečja smo izvedli račun na podlagi 24 urnih podatkov, za vsak dan od 1. do 14. marca 2010. V primeru tridnevnega časovnega intervala smo izračunali statistične vrednosti na podlagi 72 urnih podatkov. Statistične analize smo izvedli za enodnevno (24 urno), dvodnevno (48 urno), tridnevno (72 urno), sedemdnevno (168 urno) in štirinajst dnevno (336 urno) povprečje.

Jakost vetra (\overline{v}) smo za vsako celico mreže zapisali v stolpič, ki smo ga izračunali in zapisali v preglednice.

Izračuni so potekali po istem vzorcu, kot je prikazan v poglavju 3.4. Modifikacija kode ni bila potrebna, saj smo zamenjali samo podatke. Postopki računanja so enaki, kot so opisani v poglavju 3.4, dodali smo le časovni interval za dvodnevno povprečenje in izpustili enaintridesetdnevni časovni interval, ker smo obdelali le podatke od 1. do 14. marca 2010.

3.6.2 Statistična obdelava podatkov za modeliranje cirkulacije

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja 1 dan

Statistično analizo smo izvedli na podatkih o jakosti vetra od 1. do 14. marca 2010. Izdelali smo statistiko na vseh tlorisnih celicah Sredozemskega morja, ki so zajete v tabeli (nad morjem, resolucija 0,5 x 0,33 stopinje, kot je opisano v poglavju 3.4). Poiskali smo statistične vrednosti, ki so prikazane v preglednici 19, po dnevih od 1. 3. 2010 do 14. 3. 2010. Dnevne statistične vrednosti smo v bazi podatkov poiskali na enak način, kot je opisan v poglavju 3.4. Iz preglednice 17 je razvidno, da je bil najmočnejši veter 8. 3. 2010 (22,57 m/s) in datumsko ustreza najmočnejšemu vetru izračunanemu v poglavju 3.4 (25,7 m/s). Najpomembnejša je primerjava srednjih vrednosti jakosti vetra, ki so bile uporabljene tudi kot vhodni podatki za model PCFLOW3D. Iz preglednice 17 so razvidne najvišje srednje vrednosti med 7. 3 in 9. 3. 2010 (7,7 do 8,8 m/s). Tudi te vrednosti časovno sovpadajo z vrednostmi iz poglavja 3.4 (7,9 do 8,5 m/s). Pri dnevih povprečjih med 7. 3 in 9. 3. 2010 je tudi visok standardni odklon. V času najmočnejšega vetra je bil veter tudi najbolj neenakomeren.

Preglednica 17: Statistična analiza jakosti vetra za enodnevna povprečenja od 1. do 14. marca po celotnem območju

Dan	Maksimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
1.3.2010	12.8110603	5.34244515	2.649504571
2.3.2010	15.7770253	6.167168586	3.218411053

se nadaljuje...

...nadaljevanje

3.3.2010	19.5033015	7.931721275	3.669820058
4.3.2010	17.4705232	7.471855473	3.341117704
5.3.2010	16.030226	7.299279718	3.061704967
6.3.2010	15.6977439	6.710035275	3.090969231
7.3.2010	20.2782345	8.748498264	3.963707736
8.3.2010	22.5784965	8.477729073	3.963800875
9.3.2010	21.1002295	7.734491548	4.113680778
10.3.2010	15.6652844	6.551492772	2.892468287
11.3.2010	12.3168759	4.973780876	2.300295271
12.3.2010	16.4208625	5.204656916	2.754136781
13.3.2010	15.0270515	5.712073774	2.797920977
14.3.2010	15.9775563	6.31008824	3.046339722

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - 2 dni

Enak postopek smo uporabili pri dvodnevem časovnem intervalu povprečenja. Rezultati so prikazani v preglednici 18. Preglednice 18 ne moremo primerjati z rezultati iz poglavja 3.4, ker tam nismo izvedli dvodnevnega povprečenja. Preglednica 20 kaže, da sta najvišji maksimum (21,42 m/s) in najvišja srednja vrednost (8,61 m/s) jakosti vetra, enako je največja standardna deviacija v obdobju med 7. 3 in 8. 3. 2010.

Preglednica 18: Statistična analiza jakosti vetra za dvodnevna povprečenja od 1. do 14. marca po celotnem območju

Dne	Maksimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 2	14.29404279	5.754806868	2.933957812
od 3 do 4	18.48691231	7.701788374	3.505468881
od 5 do 6	15.86398493	7.004657496	3.076337099
od 7 do 8	21.42836553	8.613113668	3.963754306
od 9 do 10	18.38275696	7.14299216	3.503074532
od 11 do 12	14.36886921	5.089218896	2.527216026
od 13 do 14	15.49219216	6.004719151	2.919487597

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - 3 dni

Poiskali smo statistične vrednosti, ki so prikazane v preglednici 21, po dnevih od 1. 3. 2010 do 14.3.2010, razdeljene v tridnevne časovne intervale povprečenj.

Iz preglednice 19 je razvidno, da je bil najmočnejši veter od dne 7. 3 do 9. 3. 2010 (21,3 m/s). Najmočnejši veter iz preglednice 19 datumsko ustreza najmočnejšemu vetru izračunanemu v poglavju 3.4, preglednica 5 (23,6 m/s).

Najpomembnejša je primerjava srednjih vrednosti jakosti vetra, ki so bile uporabljene tudi kot vhodni podatki za model PCFLOW3D v poglavju 4. Iz preglednice 19 so razvidne najvišje srednje vrednosti med 7. 3 in 9. 3. 2010 (8,3 m/s). Tudi te vrednosti časovno sovpadajo z vrednostmi iz poglavja 3.4, preglednica 5 (8,57 m/s). Pri časovnem intervalu povprečenja od 7. 3 do 9. 3. 2010 je tudi visok standardni odklon (4,01 m/s). V času najmočnejšega vetra je bil torej veter tudi najbolj neenakomeren. Podatki o standardni deviaciji iz preglednice 19 časovno sovpadajo z podatki iz poglavja 3.4, preglednica 5.

Preglednica 19: Statistična analiza jakosti vetra za tri dni od 1. do 14. marca, povprečena po celotnem območju

Dne	Maksimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 3	16.03046235	6.480445004	3.179245228
od 4 do 6	16.39949768	7.160390155	3.164597301
od 7 do 9	21.31898685	8.320239628	4.013729796
od 10 do 12	14.80100761	5.576643521	2.64896678
od 13 do 14	15.49219216	6.004719151	2.919487597

Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - 7 dni

Statistične vrednosti, ki so prikazane v preglednici 20, so razdeljene v dva sedemdnevna časovna intervala povprečenja od 1. 3. 2010 do 14. 3. 2010.

Iz preglednice 20 je razvidno, da je bil najmočnejši veter pri sedemdnevem časovnem intervalu povprečenja 17,01 m/s, kar je manj od najmočnejšega vetra v tridnevem časovnem intervalu povprečenja (21,3 m/s). Razlika med najmočnejšim vetrom iz sedemdnevnega in tridnevnega časovnega intervala povprečenja je razmeroma velika in znaša 4,29 m/s. Razvidno je torej, da s sedemdnevem časovnim intervalom povprečenja izgubimo del vetrne energije.

Iz preglednice 20 sta razvidni srednji vrednosti jakosti vetra, ki znašata 7,09 in 6,42 m/s. Tudi ti vrednosti časovno sovpadata z vrednostma iz poglavja 3.4, preglednica 6 (7,3 in 6,75 m/s). Standardni odklon je podoben v obeh časovnih intervalih povprečenja. Od 1. 3. do 1. 7. 2010 je 3,28 m/s, od 8. 3. do 14. 3. 2010 pa 3,12 m/s. Iz primerjave standardne deviacije jakosti vetra iz poglavja 3.4, preglednica 6 in preglednice 20, je razvidno, da vrednosti časovno sovpadajo. Standardna deviacija v poglavju 3.4 znaša 3,55 m/s, v obdobju od 1.3. do 7. 3. 2010 in 3,15 m/s v obdobju od 8. 3. do 14. 3. 2010.

Preglednica 20: Statistična analiza jakosti vetra za sedemdnevna intervala od 1. do 14. marca, povprečena po celotnem območju

Dne	Maksimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 7	17.01853296	7.095858	3.285034
od 8 do 14	16.79544495	6.424152	3.124557

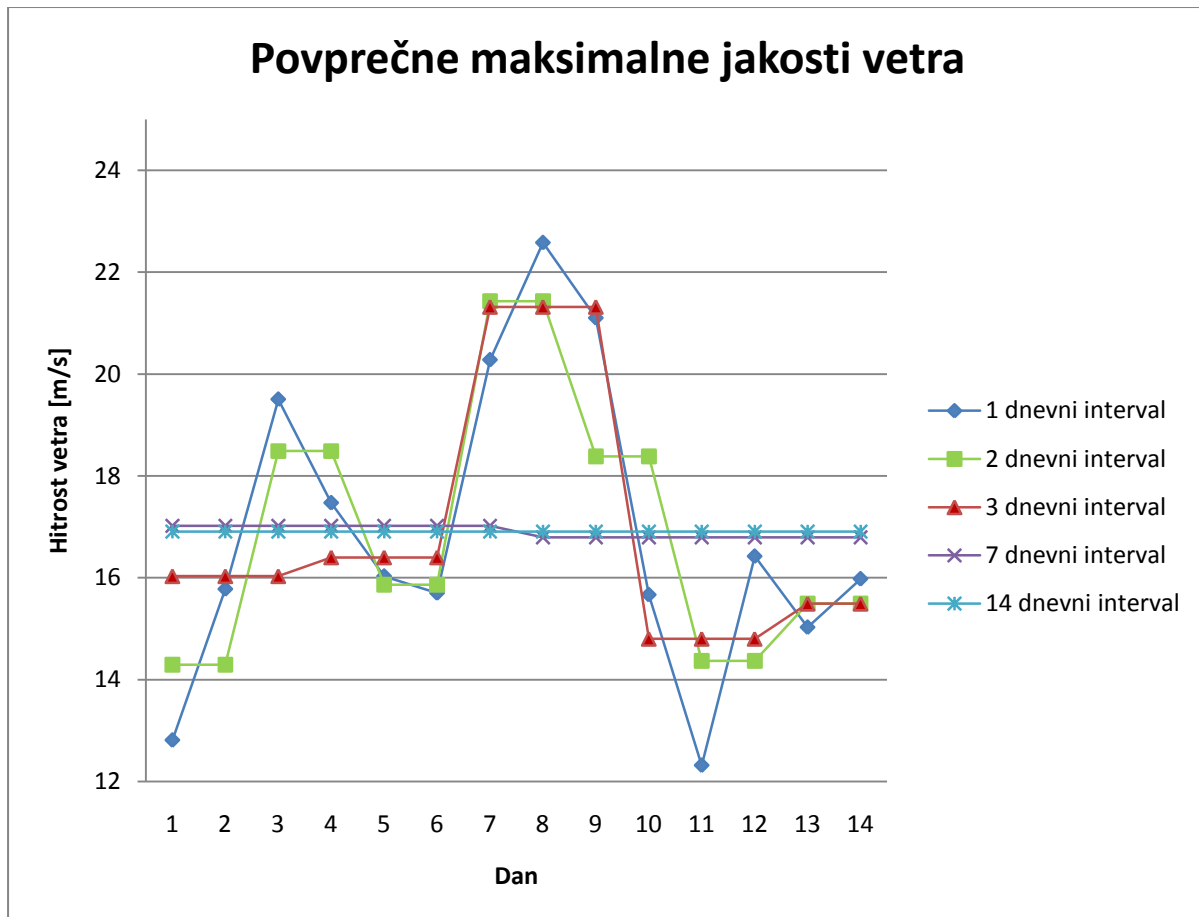
Statistična obdelava podatkov: časovni interval povprečenja - 14 dni

Izračunane statistične vrednosti jakosti vetra v dnevnem časovnem intervalu povprečenja: maksimum 22,57 m/s, srednja vrednost 8,74 m/s, standardna deviacija 4,11 m/s niso primerljive s štirinajstdnevnim časovnim intervalom povprečenja (maksimum 16,9 m/s, srednja vrednost 6,7 m/s in standardna deviacija 3,21 m/s), so pa primerljive z rezultati iz analize opravljene v poglavju 3.4 (srednja vrednost 9,1 m/s in standardna deviacija 3,9 m/s).

Prav tako kot v poglavju 3.4 lahko poudarimo, da je pravilna izbira časovnih intervalov povprečenja pomembna. Izračunana časovna povprečenja kažejo, da lahko srednje povprečne hitrosti vetra pri štirinajstdnevem časovnem intervalu povprečenja odstopajo tudi do 2 metra na sekundo glede na enodnevni časovni interval povprečenja. Ustrezno je tudi odstopanje vetrne energije oz. strižnih napetosti na gladini.

Preglednica 21: Statistična analiza jakosti vetra za štirinajst dni od 1. do 14. marca, povprečena po celotnem območju

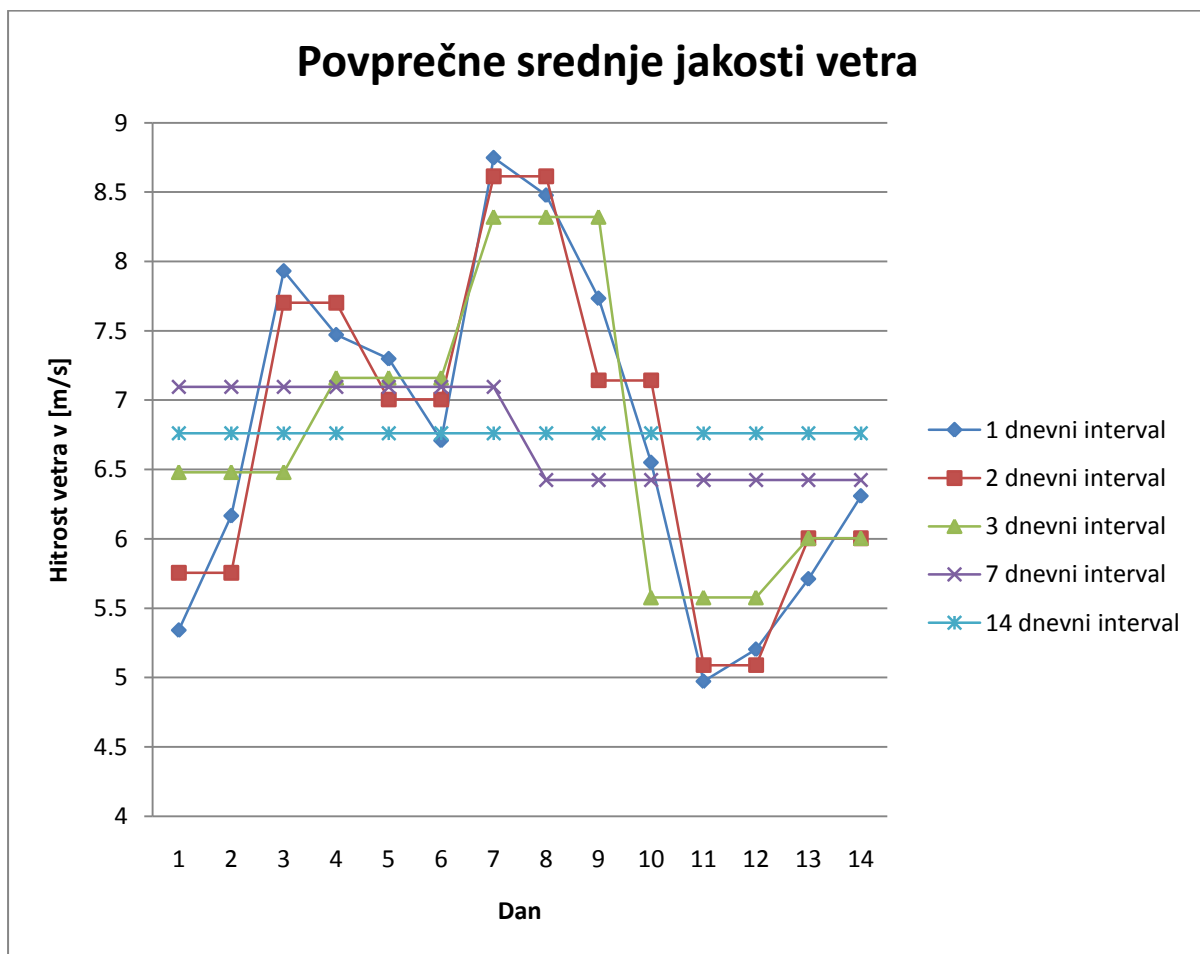
Dne	Maksimum	Srednja vrednost	Standardna deviacija
od 1 do 14 dne	16.90665598	6.761007517	3.205035023



Grafikon 5: Povprečne maksimalne jakosti vetra

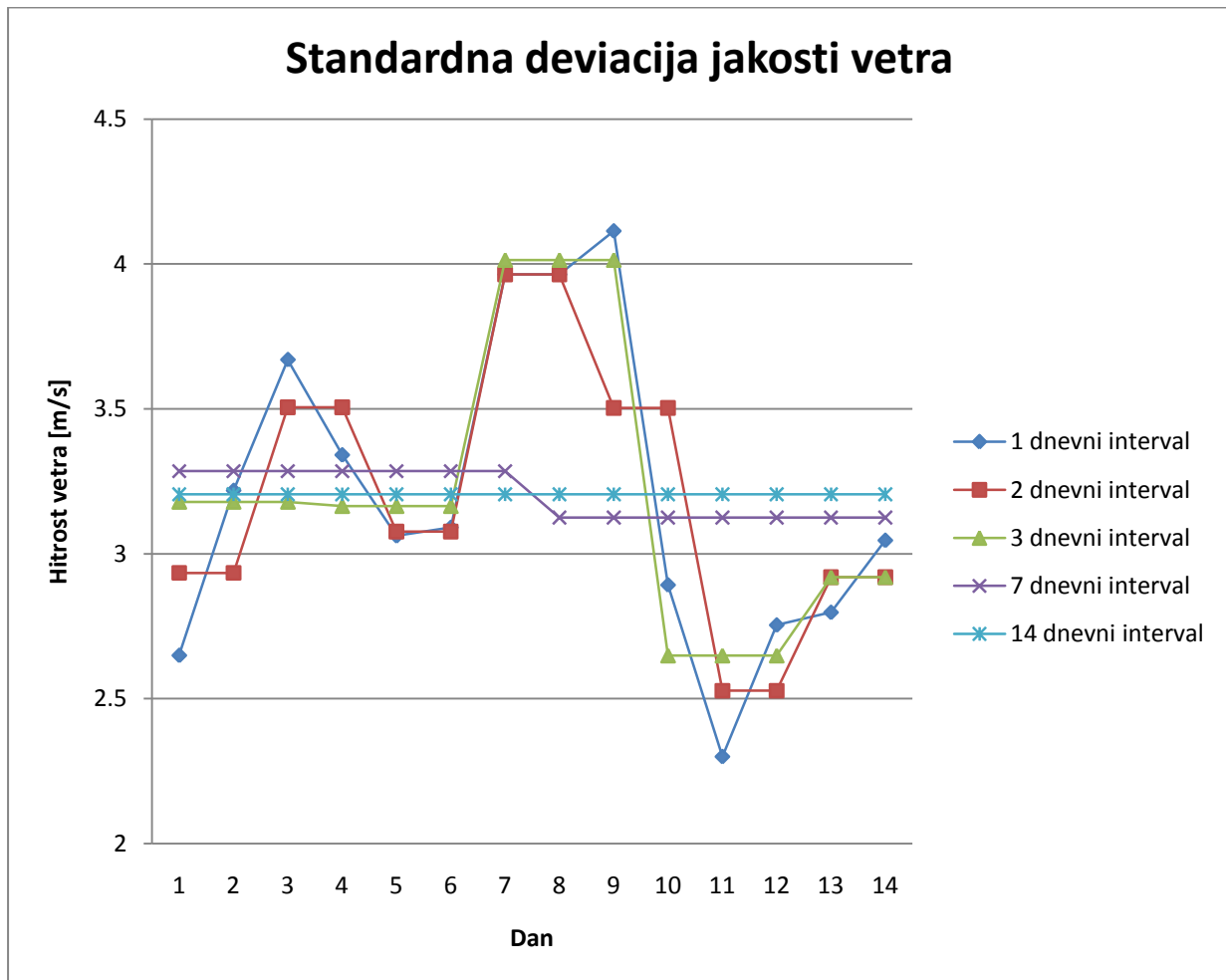
Razvidno je, da se v štirinajstdnevem in sedemdnevem intervalu izgubijo konice. Maksimalna jakost vetra je v tem časovnem intervalu od 16,8 do 16,9 metrov na sekundo. Pri enodnevem, dvodnevem in tridnevem povprečenju vetra so vrednosti med 13 in 22,5 metrov na sekundo. Velike razlike (>2 m/s) se pokažejo od prvega do četrtega dne in med sedmim ter devetim dnevom, ko razlike dosežejo vrednost 5 metrov na sekundo.

Z daljšimi, predvsem s štirinajstdnevnim povprečenjem slabše opišemo dejansko stanje in tako izgubimo precejšen del vetrne energije, ki je lahko zelo pomembna pri modeliranju cirkulacije, še posebej pa pri nekaterih drugih procesih na površini morja, npr. izmenjavi živega srebra med vodo in zrakom.



Grafikon 6: Povprečne srednje jakosti vetra

Pri štirinajstdnevnom intervalu znaša povprečna jakost vetra 7,76 m/s. Razlika znaša do 2 m/s, če primerjamo to jakost vetra z enodnevnim intervalom. Iz grafikona 6 je razvidno, da so razlike srednje jakosti vetra nižje (< 1 m/s), če primerjamo dvodnevna in tridnevna povprečja z enodnevnim povprečjem.



Grafikon 7: Standardna deviacija jakosti vetra

Standardna deviacija prikazana v grafikonu 7 nam pokaže razpršenost vrednosti v posamezni časovnih intervalih. Razvidno je, da so edino tridnevna, dvodnevna in enodnevna povprečja primerljiva, pri vseh daljših intervalih se vrednosti precej razlikujejo. Izgube informacij (konice) se najbolj izrazito pokažejo pri sedemdnevni in štirinajstdnevni povprečenju.

3.6.3 Primerjava odstopanja srednjih vrednosti v GR in SLO mreži podatkov

S primerjavo odstopanja srednjih vrednosti jakosti vetra v GR in SLO mreži podatkov želimo prikazati, da se pri pretvorbi podatkov med mrežama ni pojavilo pomembno odstopanje pri skupni energiji vetra. Postopek pretvorbe med mrežama ni bil izveden natančno (z integracijo vetra po površini posamezne celice SLO mreže), ampak smo iz GR mreže vzeli najbližji podatek o vetru, kakor je opisano v poglavju 4.5. GR mreža podatkov je približno 16,5-krat bolj gosta od SLO mreže. Verodostojnost končnih vhodnih podatkov za model PCFLOW3D smo preverili tako, da smo primerjali statistične vrednosti, ki so bile izračunane za obe mreži na enak način. Podatke o srednji vrednosti jakosti vetra smo primerjali v:

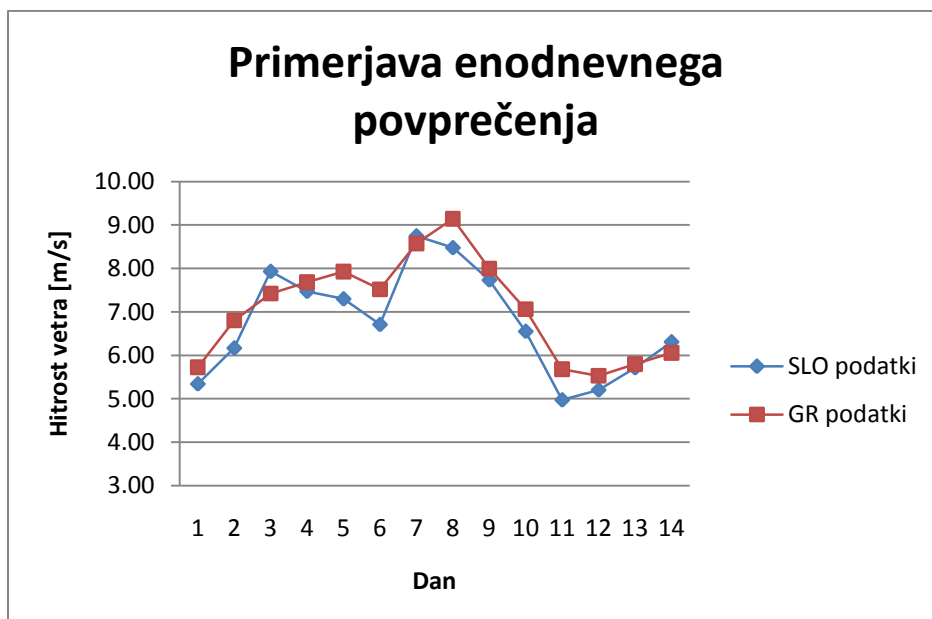
- enodnevnem časovnem intervalu,
- tridnevem časovnem intervalu,
- sedemdnevem časovnem intervalu,
- štirinajstdnevem časovnem intervalu.

Primerjava odstopanj srednjih vrednosti jakosti vetra pri enodnevnem časovnem intervalu povprečenj

V preglednici 22 so prikazane srednje vrednosti povprečene prek celotnega območja v enodnevnih časovnih intervalih. Največje odstopanje ne presega 12,5 odstotkov, torej lahko sklepamo, da smo zadovoljivo dobro izbrali ustrezne podatke o jakosti vetra. Rezultati so grafično prikazani tudi v grafikonu 8.

Preglednica 22: Primerjava enodnevnega časovnega intervala povprečenj jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov

DAN	SLO	GR	ODSTOPANJE	ODSTOPANJE V %
1	5.34	5.73	0.07	6.69
2	6.17	6.80	0.09	9.36
3	7.93	7.42	-0.07	6.87
4	7.47	7.69	0.03	2.78
5	7.30	7.93	0.08	7.91
6	6.71	7.52	0.11	10.77
7	8.75	8.58	-0.02	1.99
8	8.48	9.15	0.07	7.30
9	7.73	8.00	0.03	3.30
10	6.55	7.06	0.07	7.22
11	4.97	5.68	0.12	12.47
12	5.20	5.53	0.06	5.88
13	5.71	5.80	0.01	1.47
14	6.31	6.06	-0.04	4.19



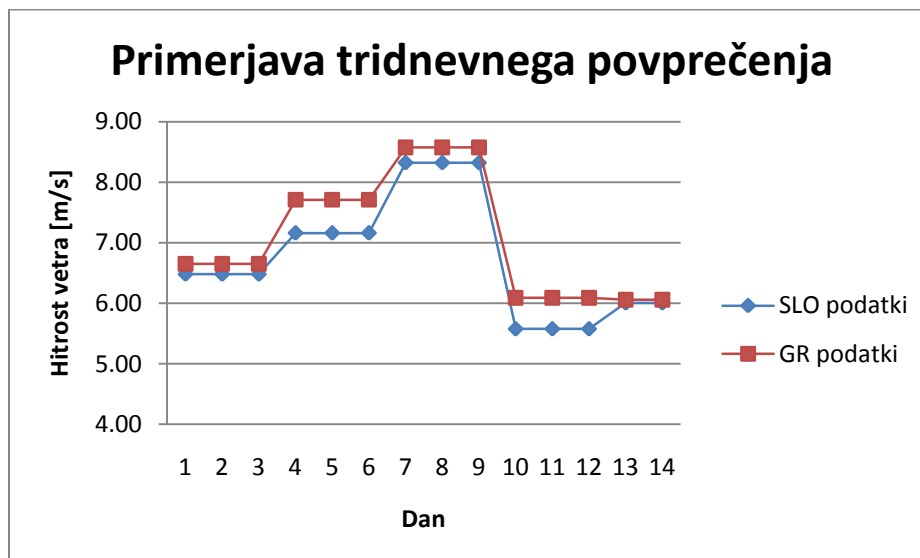
Grafikon 8: Primerjava enodnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov

Primerjava odstopanj srednjih vrednosti pri tridnevnem časovnem intervalu povprečenj

Po istem postopku smo primerjali tudi srednje vrednosti jakosti vetra povprečene prek tridnevni intervalov (preglednica 23). Največje odstopanje ne presega 8,5 %, odstopanje je še manjše kot pri enodnevnih povprečjih, podatki so tudi pri tridnevnem povprečenju izbrani zadovoljivo točno. Na Grafikonu 9 je odstopanje prikazano grafično. Razvidno je, da so odstopanja manjša tudi v konicah.

Preglednica 23: Primerjava tridnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov

DAN	SLO	GR	ODSTOPANJE	ODSTOPANJE V %
Od 1 – 3 dne	6.48	6.65	0.03	2.56
Od 4 – 6 dne	7.16	7.71	0.07	7.13
Od 7 do 9 dne	8.32	8.57	0.03	2.96
Od 10 do 12 dne	5.58	6.09	0.08	8.45
Od 13 do 14 dne	6.00	6.06	0.01	0.92



Grafikon 9: Primerjava tridnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.

Primerjava odstopanj srednjih vrednosti pri sedemdnevem časovnem intervalu povprečenj

Podobno kot pri prejšnjih dveh analizah smo tudi pri sedemdnevem časovnem intervalu povprečenj dobili odstopanja, ki so bila tokrat celo manjša od 5 odstotkov (preglednica 26). Odstopanje se torej očitno niža s podaljšanjem časovnega intervala povprečenja. Že v poglavju 4.6.1 smo ugotovili, da so med seboj primerljiva samo tridnevna, dvodnevna in enodnevna povprečja, pri vseh daljših intervalih pa se vrednosti precej razlikujejo. Izgube informacij (konice) se najbolj izrazito pokažejo pri sedemdnevem in štirinajstdnevem povprečenju. Pri primerjavi odstopanj smo ugotovili, da daje uporabljena metoda pretvorbe podatkov iz GR v SLO mrežo ustrežnejše rezultate pri manjši razpršenosti podatkov.

Preglednica 24: Primerjava sedemdnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov

DAN	SLO	GR	ODSTOPANJE	ODSTOPANJE V %
Od 1 do 7 dne	7.10	7.38	0.04	3.85
Od 8 do 14 dne	6.42	6.75	0.05	4.87

Primerjava odstopanj srednjih vrednosti pri štirinajstdnevem časovnem intervalu povprečenj

Iz preglednice 25 je razvidno, da odstopanje pri štirinajstdnevem časovnem intervalu povprečenja znaša 4,32 odstotkov.

Preglednica 25: Primerjava štirinajstdnevnega povprečenja jakosti vetrov iz GR mreže podatkov in SLO mreže podatkov.

DAN	SLO	GR	ODSTOPANJE	ODSTOPANJE V %
Od 1 do 14 dne	6.76	7.07	0.04	4.32

Zaključimo lahko, da smo pri primerjavi srednjih vrednosti jakosti vetra, povprečenih v različnih časovnih intervalih na obeh podatkovnih mrežah dobili razmeroma nizka odstopanja rezultatov (pod 12,5 %). Podatki v SLO mreži večinoma kažejo nižje jakosti vetra od podatkov v GR mreži, kar pomeni, da se je tudi pri tej (ne popolnoma pravilni pretvorbi) del vetrne energije izgubil. Razlika v skupni vetrni energiji pa bi v najslabšem primeru znašala okrog 20 odstotkov. Sklepamo torej lahko, da so takšni podatki dovolj natančni za nameravane simulacije z modelom PCFLOW3D.

3.7 Vetrovne slike podatkov za modeliranje cirkulacije v Sredozemskem morju

Bazo podatkov Veter, ki smo jo izdelali in na njej opravljali statistične analize, smo uporabili tudi za izris vektorjev vetra na obravnavanem območju. Izrisali smo vhodne podatke za model PCFLOW3D nad Sredozemskim morjem v časovnih intervalih:

- tridnevni časovni interval,
- sedemdnevni časovni interval,
- štirinajstdnevni časovni interval.

S pomočjo programskega paketa Matlab smo izdelali programsko orodje, s katerim smo izrisali vektorje vetra. V programskem orodju smo poganjali naslednjo kodo:

```
%Izris povprečij za štirinajst dni, 1. teden, 2. teden in po tri dni
%Branje iz datoteke smo enkrat izvedli, nato pa smo spreminjali izris, zato so
%branja podatkov iz xls datoteke skrita
% Preberemo koordinate
koordinata=xlsread('C:\Documents and
Settings\Brazg0tine\Desktop\Diploma_DELO\Statistike\Statistike_potegnjene.xlsx
','Sheet1','A3:B1627');

% Preberemo povprečje za 14 DNI
dni14=xlsread('C:\Documents and
Settings\Brazg0tine\Desktop\Diploma_DELO\Statistike\Statistike_potegnjene.xlsx
','Sheet1','YW3:YX1627');
```



```

% Izrišemo povprečje za 14 dni
figure('position',[0 0 1280 800 ]) % Čez cel ekran
quiver(koordinate(:,1), koordinate(:,2),dni14(:,1),dni14(:,2));
set(gcf, 'InvertHardCopy', 'off');
title('Povprečje v 14 dneh');
hold on;

% Preberemo povprečje za 1. TEDEN
teden1=xlsread('C:\Documents and
Settings\Brazg0tine\Desktop\Diploma_DELO\Statistike\Statistike_potegnjene.xlsx
','Sheet1','ZF3:ZG1627');
% Izrišemo povprečje za 1. TEDEN
figure('position',[0 0 1280 800])
quiver(koordinate(:,1), koordinate(:,2),teden1(:,1),teden1(:,2));
title('Povprečje v prvem tednu');
% Preberemo povprečje za 2. TEDEN
teden2=xlsread('C:\Documents and
Settings\Brazg0tine\Desktop\Diploma_DELO\Statistike\Statistike_potegnjene.xlsx
','Sheet1','ZO3:ZP1627');

% Izrišemo povprečje za 2. TEDEN
figure('position',[0 0 1280 800])
quiver(koordinate(:,1), koordinate(:,2),teden2(:,1),teden2(:,2));
title('Povprečje v drugem tednu');
hold off;

% Preberemo povprečja po 3 dni skupaj
U=['ZX ','AAG','AAP','AAY','ABH'];
V=['ZY ','AAH','AAQ','AAZ','ABI'];

for i=1:5
obmocje=strcat(U(i,:), '3:',V(i,:), '1627');
data(:, :, i)=xlsread('C:\Documents and
Settings\Brazg0tine\Desktop\Diploma_DELO\Statistike\Statistike_potegnjene.xlsx
','Sheet1',obmocje);
figure('position',[0 0 1280 800]) % Čez cel ekran
quiver(koordinate(:,1), koordinate(:,2),data(:,1,i),data(:,2,i));
title(strcat('Povprečje 3 dni: ',int2str(i)));
end

```

Vetrovna slika nad Sredozemskim morjem povprečena v tridnevem časovnem intervalu

Na slikah (*slika 3.7-1, slika 3.7-2, slika 3.7-3, slika 3.7-4, slika 3.7-5*) so prikazane slike vetra (vetrovni vektorji), kjer so podatki povprečeni prek zaporednih tridnevni intervalov. Iz baze podatkov Veter smo v vsaki celici SLO mreže podatkov izračunali tridnevne srednje vrednosti komponent U in V vetra nad Sredozemskim morjem. Iz baze podatkov Veter smo v programsko orodje Excel prenesli srednje vrednosti U in V komponente vetra nad Sredozemskim morjem.

Med sabo smo primerjali tridnevne časovne intervale povprečenja, ki so izrisani v enakem merilu. Sedemdnevni in štirinajstdnevni časovni interval povprečenja jakosti vetra smo izrisali skupaj in prikazali odstopanja smeri in jakosti vetra, ki nastanejo pri različnih časovnih intervalih povprečenja. Izrisana slika (*slika 3.7-1*) predstavlja tridnevni časovni interval povprečenja od 1. 3. do 3. 3. 2010. Legenda prikazuje barvno lestvico jakosti vetra.

V prvih treh dneh so bile najvišje jakosti vetra v Zahodnem sredozemskem morju (okrog 15 m/s) in na območju Tirenskega morja (okrog 16 m/s). Jakosti vetra od 10 do 14,5 m/s so bile na območju Tržaškega zaliva in Genovskega zaliva. Iz slike (*slika 3.7-1*) je razvidno, da so jakosti vetra izrazito neenakomerne, saj so vrednosti v Balearskem morju od 2 do 5 m/s, Gibraltarju od 1 do 10 m/s in na območju nad severno Afriko od 0 do 5 m/s. Slika (*slika 3.7-2*) predstavlja tridnevni časovni interval povprečenja od 4. 3. do 6. 3. 2010 in je izrisana v istem merilu kot slika (*slika 3.7-1*). Jakost vetra je precej drugačna kot v obdobju od 1. 3. do 3. 3. 2010 (*slika 3.7-1*). Jakost vetra je najvišja na območju Lionskega zaliva (16,5 m/s). Nižje vrednosti so v južnem delu Sredozemskega morja (ob Afriški obali) in v Egejskem morju (od 0 do 6 m/s).

Naslednja slika (*slika 3.7-3*) predstavlja tridnevni časovni interval povprečenja od 4. 3. do 6. 3. 2010. Jakosti vetra so visoke na območju Ligurskega morja (od 14 do 16,5 m/s) in na območju Egejskega morja (od 10 do 16 m/s). V primerjavi z sliko (*slika 3.7-1*) in sliko (*slika 3.7-2*) so jakosti vetra v obdobju od 4. 3. do 6. 3. 2010 na južnem delu Sredozemskega morja nižje (od 0 do 8 m/s). Izrisana slika (*slika 3.7-4*) prikazuje jakost vetrov v časovnem intervalu od 7. 3. do 9. 3. 2010. Najvišja jakost vetra je na območju Lionskega zaliva (od 12 do 16,5 m/s). Jakost vetra je na območju Gibraltarja, Jonskega in Egejskega morja od 1 do 8 m/s. Višja jakost je na območju Tirenskega morja (od 7 do 11 m/s). Na skrajnem južnem delu Sredozemskega morja je jakost nižja (od 0 do 5 m/s).

V zadnjem časovnem intervalu povprečenja (od 12. 3. do 14. 3. 2010, *slika 3.7.1-5*) je jakost vetra višja (od 8 do 16,5 m/s) na območju od Lionskega zaliva do severne Afriške obale in na območju Tarantskega zaliva in Jonskega morja. Drugod je jakost nižja (od 0 do 6 m/s).

Pri pregledu vseh petih slik ugotovimo, da so srednje jakosti vetra zelo razpršene (različne) po časovnih intervalih povprečenja. Izrisane slike potrdijo dejstva, ki smo jih navedli v poglavju 3.4 in 3.6: jakosti vetra so v krajših časovnih intervalih bolj razpršene in bolj raznolike. V nadaljevanju prikazujemo jakost vetra v sedem in štirinajstdnevnem časovnem intervalu povprečenja in na koncu primerjamo 3, 7 in 14 dnevne časovne intervale povprečenj.

Združena vetrovna slika štirinajstdnevne in sedemdnevne časovnega intervala povprečenja srednje vrednosti jakosti vetra nad Sredozemskim morjem

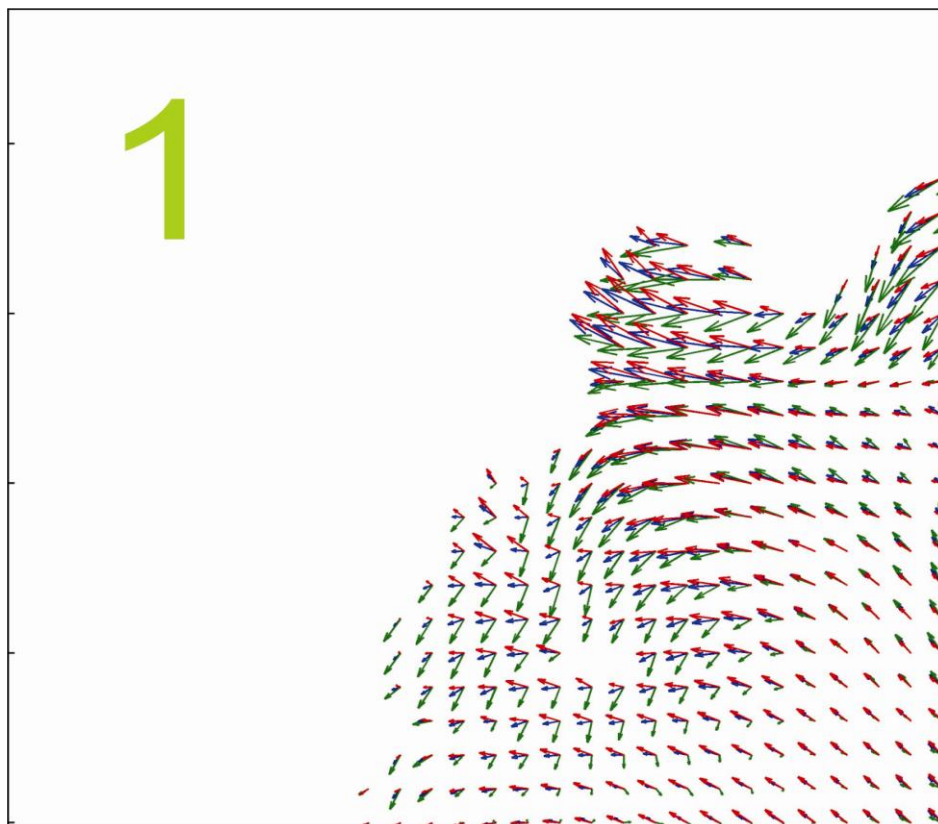
Zaradi boljše preglednosti in lažje primerjave smo združili sedemdnevni in štirinajstdnevni časovni interval povprečenja jakosti in smeri vetra ter ga razdelili na šest območij. S programskim orodjem Matlab smo izrisali vetrovne vektorje po enakem postopku, kot je opisan v uvodnem delu poglavja 3.7.



Slika 4: Shematski prikaz območji štirinajstdnevne in sedemdnevne časovnega intervala

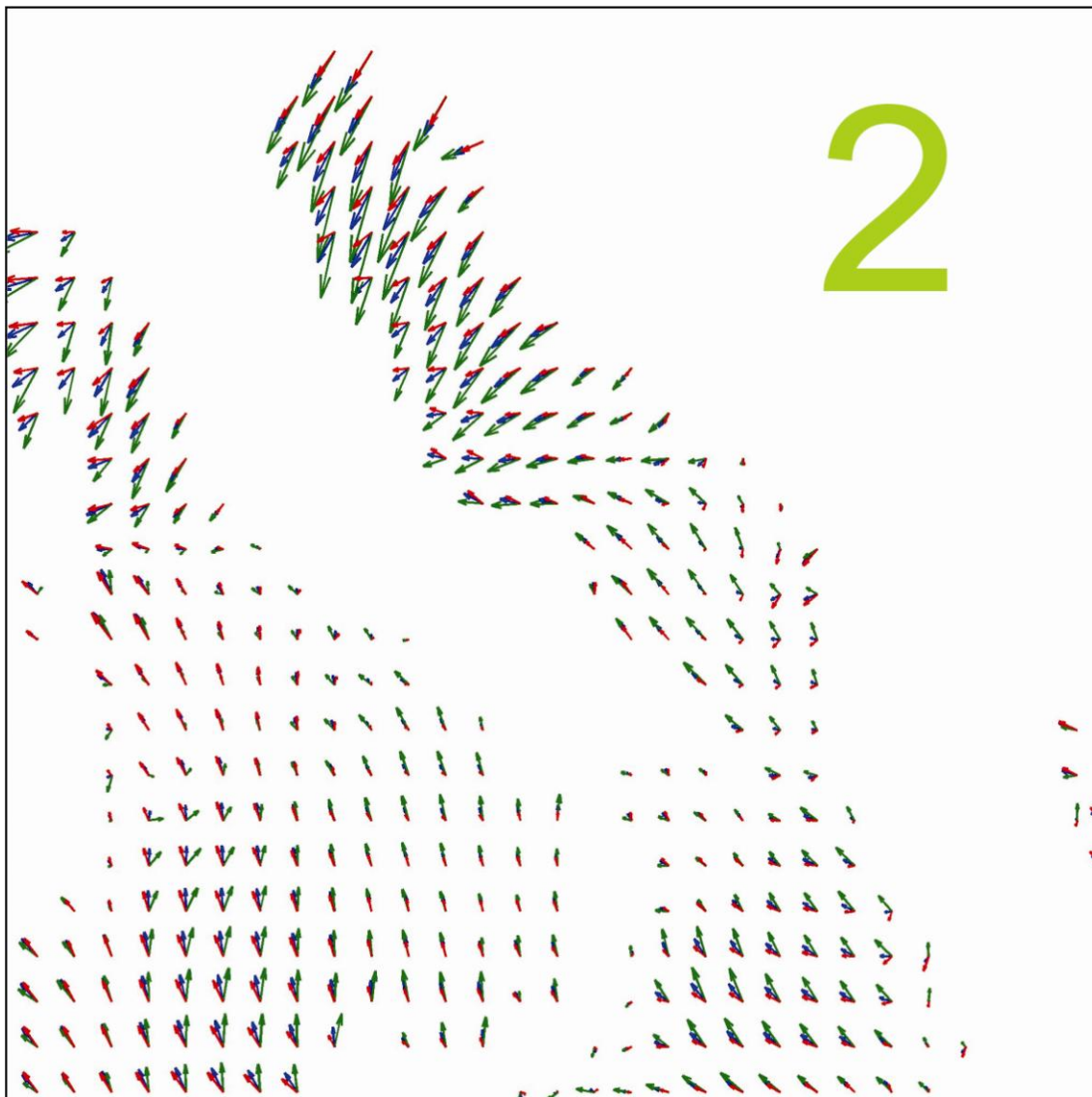
Slika 4 prikazuje območja srednje jakosti in smeri vetra nad Sredozemskim morjem, povprečenega v štirinajst in sedemdnevnem časovnem intervalu, ki jih bomo analizirali v nadaljevanju. Na vsakem območju (od 1 do 6) so prikazani vhodni podatki za model PCFLOW3D.

Območje 1; na sliki 5 so z modro barvo označeni podatki za štirinajstdnevni časovni interval jakosti in smeri vetra od 1. 3. do 14. 3. 2010. Z zeleno (od 3. 3. do 7. 3. 2010) in rdečo (od 8. 3. do 14. 3. 2010) barvo so označeni vetrovni vektorji, povprečeni v 7 dnevnem časovnem intervalu. Razlike v jakosti in smeri vetra so bolj izrazite v priobalnem pasu. Večjo jakost doseže veter povprečen v sedemdnevnem časovnem intervalu, kar je razvidno iz spodnje desne strani slike 5. Že v prejšnjih poglavjih smo poudarili, da se je pri daljših časovnih intervalih jakost vetra nižja.



Slika 5: Prvo območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala

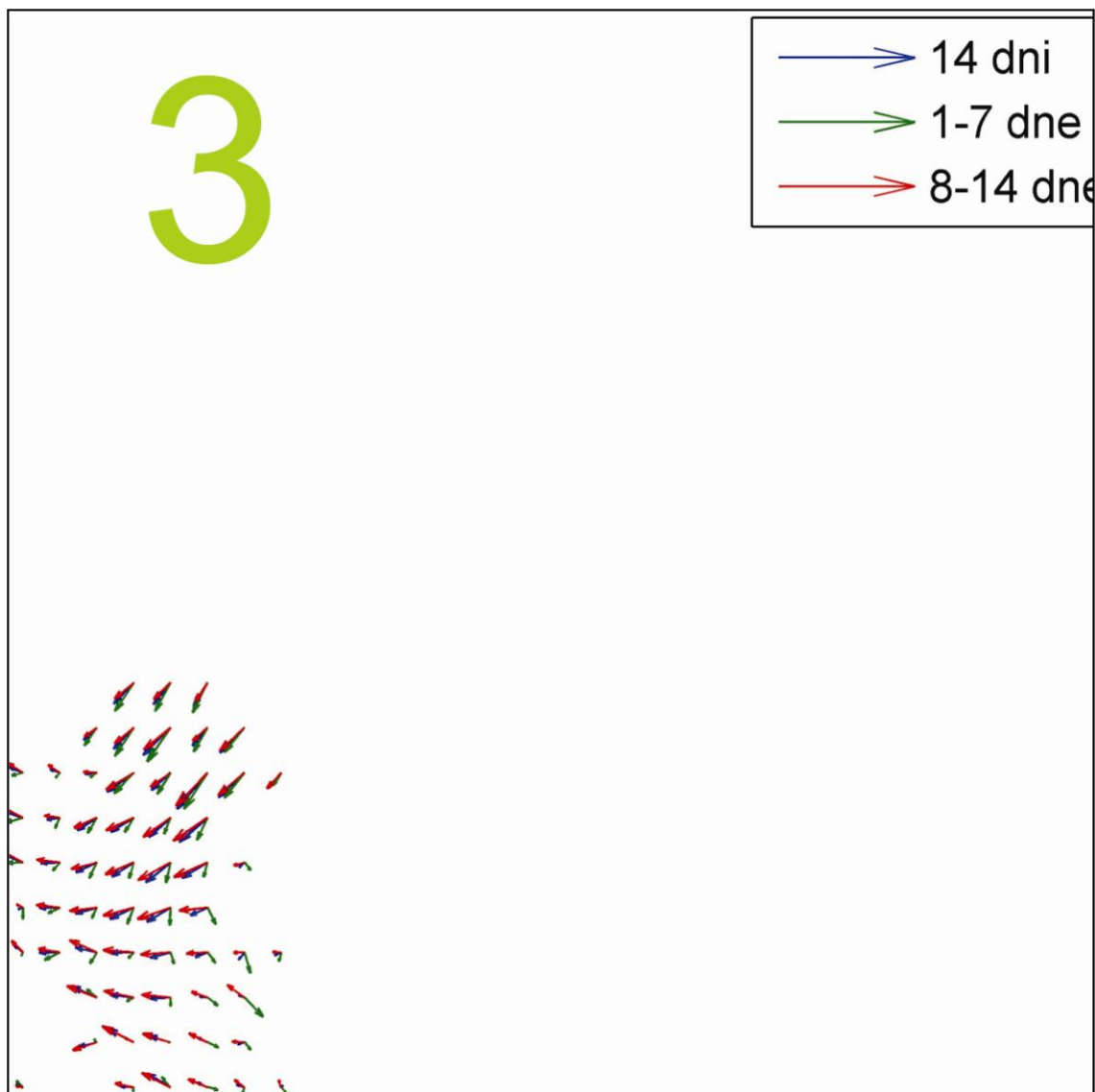
Območje 2; na sliki 6 so izrazito višje jakosti vetra povprečene v sedemdnevem časovnem intervalu (zeleni in rdeči vektorji).



Slika 6: Drugo območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega dnevnega časovnega intervala

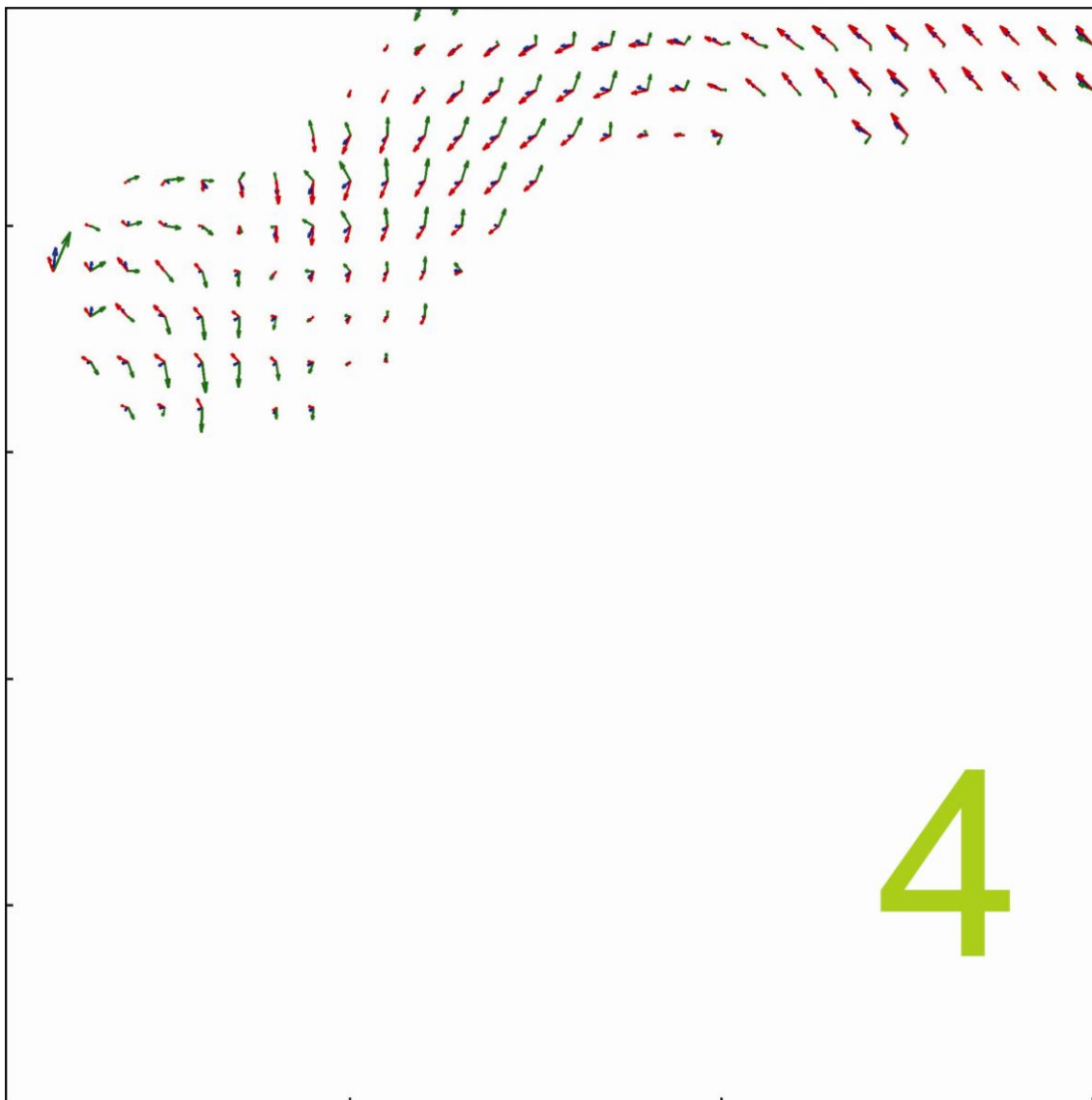
Območje 3; v tem delu je bila višja jakost vetra od 8. 3. do 14. 3. 2010. V severnem delu Egejskega morja so jakosti podobne, vendar se proti jugu jakost vetra povprečena v

sedemdnevem časovnem intervalu poveča. Na sliki prevladuje dolžina zelenih vektorjev (sedemdnevni časovni interval od 1. 3. do 7. 3. 2010) nad rdečimi vektorji (štirinajstdnevni časovni interval), kar nazorno pokaže, kako se izgubi jakost, ko podaljšamo časovni interval povprečenja.



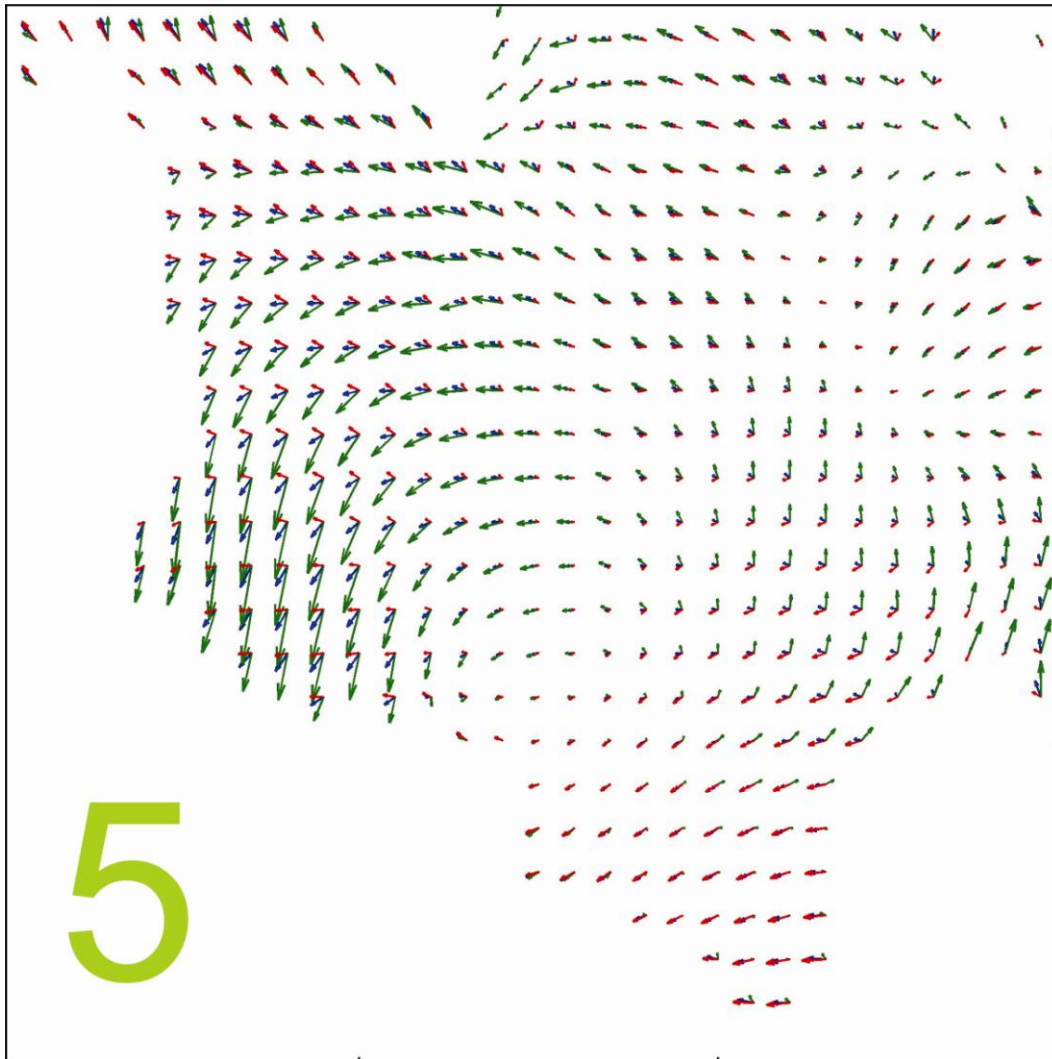
Slika 7: Tretje območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala

Območje 4; na območju 4 so razlike v jakosti vetra med intervaloma povprečenja večje kot na prejšnjih območjih (1, 2 in 3). Iz slike 7 je razvidno, kako je smer vetra različna med časovnimi intervali, na Gibraltarskem območju je veter, povprečen v prvem tednu, obrnjen proti jugu. Veter, povprečen v drugem tednu, je v istih točkah obrnjen proti severu zahodu.



Slika 8: Četrto območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala

Območje 5; je prikazano na sliki 12; na območju Gabeškega zaliva (levi srednji del slike) lahko opazimo, da se pri štirinajstdnevem povprečenju (modri vektorji na sliki) izgubi kar nekaj vetrne energije v primerjavi s tedenski časovnim intervalom povprečenja.

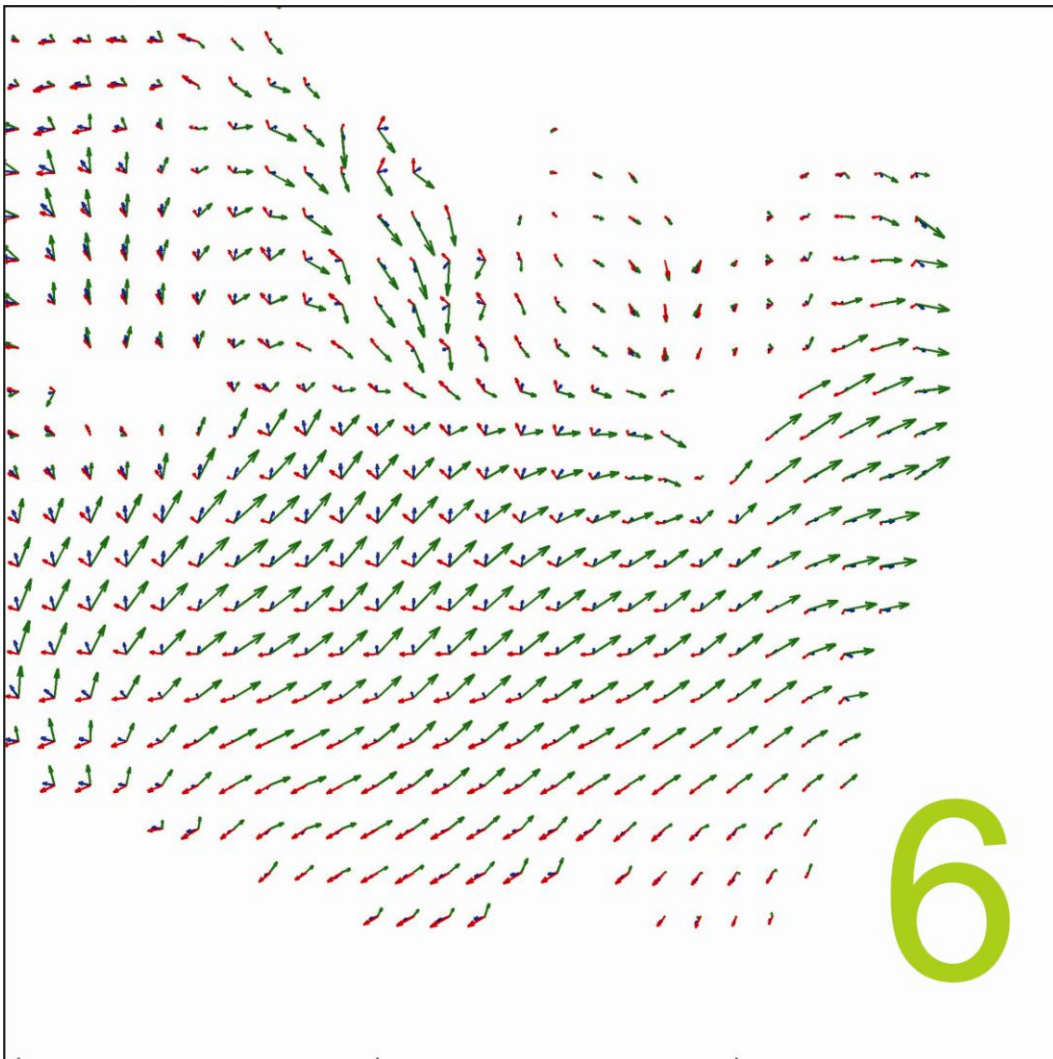


Slika 9: Peto območje primerjave štirinajstdnevnega in sedemdnevnega časovnega intervala

Območje 6; prikazuje zelo velika odstopanja, ki se pojavijo pri časovnih intervalih povprečenja. Slika 6 prikazuje Vzhodno Sredozemsko morje, kjer je v prvem tednu časovnega intervala visoka jakost vetra in je precej višja od štirinajst dnevnega časovnega intervala.

Z razliko od večine prejšnjih slik na tej sliki v določenih točkah (spodnji desni kot slike) opazimo, kako različna je smer vetra pri dveh zaporednih tednih, ki smo ju časovno povprečili. Na isti točki sta vektorja (povprečena v sedemdnevem časovnem intervalu) obrnjena v nasprotno smer, z malim odklonom.

V isti točki je jakost vetra, ki smo ga povprečili v štirinajstdnevem časovnem intervalu, izredno nizka, kar ponovno potrjuje dejstvo, da z daljšim časovnim intervalom povprečenja izgubimo del vetrne enregije. Takšne razlike nastanejo tudi zaradi različnih predznakov, ki jih imata komponenti vetra. Statistične analize smo izvedli tako, da smo najprej analizirali komponenti vetra v vsaki celici na mreži glede na časovni interval povprečenja, nato pa smo jih uporabili in izrisali vetrovne vektorje. V tem primeru lahko v časovnem intervalu pride do menjave predznaka pri komponenti vetra. Končna izračunana jakost vetra je drugačna kot v primeru, ko najprej izračunamo jakost vetra in nato na jakosti vetra izvajamo statistično analizo.



Slika 10: Šesto območje primerjave 14 in 7 dnevnega časovnega intervala

4 SIMULACIJE Z MODELOM PCFLOW3D IN REZULTATI

S podatki iz podpoglavja 3.5 smo izvedli simulacije cirkulacije Sredozemskega morja z modelom PCFLOW3D. Hidrodinamični modul v modelu PCFLOW3D predstavlja osnovo za izvedbo nadaljnjih simulacij transporta onesnažil in različnih procesov živega srebra.

Pri simulacijah smo uporabili numerično mrežo, kjer smo definicijsko območje – celotno Sredozemsko morje, razdelili na 86 x 49 celic (velikosti 30' x 20') v horizontalni ravnini; po globini pa na 19 slojev z debelinami 10, 15, 22, 33, 50, 70, 80, 120, 150, 200, 300, 350, in sedem slojev po 400 m. Že pri prejšnjih simulacijah (Žagar in sod., 2007) se je namreč pokazalo, da sta takšno število in debelina slojev primerna glede na računski čas in primerljiva z numeričnimi mrežami, ki so bile uporabljene v podobnih raziskavah (Zavatarelli in Mellor, 1995). Na območju Gibraltarske ožine so celice zožene in so, zaradi hkratnega pravilnega upoštevanja gibalne količine in pretoka skozi Gibraltar, dimenzije celic 30' x 12'. Upoštevani so vtoki večjih rek: Pad, Nil, Ebro, Rhone ter pretoka skozi Gibraltar in Dardanele. Pri modeliranju smo uporabili povprečno zimsko temperaturo in slanostno polje, kot je opisano v študiji Žagar in sod. (2007), pridobljeno iz baze podatkov Mediterranean Oceanic Database (MODB, <http://modb.oce.ulg.ac.be/>). V modelu PCFLOW3D sta bila uporabljena modela turbulence Mellor – Yamada v vertikalni smeri in Smagorinsky v horizontalni smeri. Oba modela sta opisana v poglavjih 2.1 in 2.1.2.

Izvedene so bile simulacije s tremi različnimi vetrovnimi polji, povprečenimi v treh časovnih intervalih. Upoštevani so bili štirinajstdnevni, sedemdnevni in tridnevni časovni intervali povprečenja. Priprava vhodnih podatkov (vetrovnih polj) za model PCFLOW3D je opisana v poglavju 3.5.

V modelu PCFLOW3D sta bila uporabljena dva različna začetna pogoja:

- 1) sezonske povprečne hitrosti vetra v Sredozemskem morju, kot so bile izračunane v okviru projekta Mercyms (Žagar in sod., 2007);

2) popolno mirovanje.

Na sliki (*Slika 4-1*) je viden začetni cirkulacijski pogoj v površinskem sloju, kot je bil uporabljen pri simulacijah v okviru projekta Mercyms. V nadaljevanju opisujemo hitrostna polja, ki so bila izračunana na osnovi tega začetnega pogoja.

V primeru simulacij iz popolnega mirovanja predstavlja glavni problem inercija ogromne vodne mase, ki se nahaja v Sredozemlju. V štirinajstih dneh je dovedena energija vetra tudi ob zelo močnih vetrovih in razmeroma velikih spremembah vetra na posameznem območju premajhna, da bi se gibanje vzbudilo, pa tudi model v tako kratkem času ne doseže konvergence. Rezultatov simulacij iz popolnega mirovanja ne prikazujemo, saj so hitrosti po štirinajstdnevem vzburjanju z različnimi vetrovnimi polji popolnoma nerealne.

S slik, ki prikazujejo vektorje hitrosti v površinskem sloju, je razvidna cirkulacija Sredozemskega morja. Na sliki (*Slika 4-2*) je prikazano končno hitrostno polje v površinskem sloju Sredozemskega morja po štirinajstdnevni simulaciji, narejeni na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenj vetra. S slike (*Slika 4-2*) je razvidno, da so v primerjavi z rezultati simulacij izvedenih s sezonsko povprečnim vetrom odstopanja rezultatov zelo majhna, na večini obravnavanega območja celo premajhna, da bi bila opazna na prvi pogled. Najverjetnejši razlog je pregroba resolucija (30' x 20') v horizontalni in predvsem v vertikalni smeri. Debelina obravnavanega sloja tik pod gladino (površinski sloj) znaša namreč 10 m. Pri takšni debelini površinskega sloja pa je vpliv gostotnih gibanj prevelik, in jih tudi zelo močni nekaj ur (ali dni) trajajoči vetrovi ne morejo preusmeriti. Vseeno pa so ponekod, predvsem v južnem Tirenskem morju, nekoliko manj v Jonskem morju in na območju zahodno od Sicilske ožine razlike v jakosti in smeri vektorjev hitrosti opazne tudi pri izvedenih simulacijah.

Tudi drugi avtorji, ki se ukvarjajo s fizikalno oceanografijo in modeliranjem Sredozemskega morja (npr. Zavatarelli in Mellor, 1995), ugotavljajo prevladujoč vpliv gostotnih gibanj nad vplivom vetra. Razvidno je tudi, da so pri simulacijah za vzburjanje cirkulacije izvajali večletne

študije (5 do 10 let) z mesečnim povprečnim vetrovnim poljem (Zavatarelli in Mellor, 1995), opazovana pa je mesečno povprečna struktura cirkulacije.

Iz študije lahko sklepamo, da je za sliko cirkulacije Sredozemlja ob simulacijah s tako grobo resolucijo vpliv časovno spremenljivega vetra na manj kot mesečni ravni nepomemben. Velikost (prostornina) obravnavanega območja je prevelika, da bi ga bilo mogoče modelirati v bistveno manjši resoluciji (npr. 0,1 x 0,1 stopinje in debelina površinskega sloja reda velikosti 1 m) in s prikazanimi podatki o vetru v razumno dolgem simulacijskem času. Na manjših in plitvejših območjih (predvsem ob obali in otokih) pa se vpliv krajevno in časovno spremenljivega vetra na cirkulacijo jasno pokaže. Na sliki (*slika 4-3*) je prikazan del južnega Jadranskega morja in severni del Jonskega morja. To območje je na zahodni strani obdano z Italijo in na vzhodni strani z Jonskimi otoki. Razlike hidrodinamike med tridnevnim, sedemdnevnim in štirinajstdnevnim časovnim intervalom povprečenja (srednje vrednosti komponent jakosti vetra) so na tem območju opazne. Na sliki (*slika 4-4*) je prikazana cirkulacija ob vzhodni Alžiriji in Tuniziji. Tukaj so prav tako vidne razlike cirkulacije, če uporabimo različne časovne intervale povprečenja (predvsem na plitvejših območjih). Na sliki (*slika 4-5*) sta prikazana južni del Tirenskega morja in Sicilska ožina. Razlike pri modeliranju cirkulacije z modelom PCFLOW3D, ki nastanejo v plitvejših in manjših polzaprtih območjih, so na prikazanih slikah precej izrazite.

Izračun cirkulacije z modelom PCFLOW3D s krajevno spremenljivim vetrom so doslej opisali Maslo (2009) ter Žagar in Ramšak (2010). Obe študiji kažeta razmeroma velik vpliv krajevno spremenljivega vetra na cirkulacijo v Tržaškem zalivu. V teku so tudi simulacije s hkratnim časovno in krajevno spremenljivim vetrom na istem območju, ki bodo verjetno pomembno izboljšale ujemanje računov cirkulacije v Tržaškem zalivu v primerjavi z meritvami na boji Nacionalnega inštituta za biologijo pred Piranom.

5 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu je predstavljena uporaba podatkov tipa GRIB z resolucijo 0,1 x 0,1 stopinje za območje Sredozemlja. Podatki so na voljo na ftp strežniku Univerze v Atenah (IASA). Na podlagi preučenih meteoroloških slik v zadnjem letu smo za obdelavo in simulacije izbrali mesec marec 2010, ker je bil v tem obdobju veter nad Sredozemskim morjem zelo raznolik. S pomočjo izdelanega vmesnika (Verdev, 2010) smo pretvorili rezultate meteoroloških matematičnih modelov za mesec marec 2010 iz formata GRIB v bazo podatkov, ki smo jo izdelali s pomočjo programskega orodja MSSQL (Otey, 2005; Darwen, 1997).

V bazi podatkov smo podatke obdelovali v dveh mrežah; prvo smo poimenovali GR mreža (resolucija 0,1 x 0,1 stopinje), drugo pa SLO mreža podatkov (resolucija 0,5 x 0,33 stopinje). Podatki iz SLO mreže so bili hkrati vhodni podatki za model PCFLOW3D. V SLO mrežo smo podatke iz GR mreže pretvorili s pomočjo vmesnika GR2PCF, kjer smo poiskali najbližje točke GR in SLO mreže. Ustrezne koordinate in podatke o vetru smo zapisali v nove tabele.

Izdelana baza podatkov je omogočila izdelavo statističnih analiz, ki smo jih izvedli na podatkih v obeh mrežah. Za obe mreži smo izračunali povprečne jakosti vetra v različno dolgih časovnih intervalih ter maksimalne in minimalne jakosti vetra in standardno deviacijo. Primerjava statističnih količin je pokazala:

- da se pri daljših intervalih povprečevanja izgublja del vetrne energije in so zato za modeliranje cirkulacije, predvsem pa nekaterih procesov transporta in izmenjave, kjer veter nastopa s potenco večjo od 1, krajši časovni intervali povprečenja bolj primerni,
- da so podatki iz SLO mreže uporabni za modeliranje, kljub ne popolnoma točnemu prenosu iz GR v SLO mrežo,
- da so programska orodja uporabna in da je z njihovo pomočjo mogoče izdelati statistične analize, vetrovne slike in kvalitetnejše vhodne podatke za model PCFLOW3D.

Iz rezultatov simulacij (poglavje 5) smo ugotovili, da modeliranje s kratkotrajno povprečnim časovno spremenljivim vetrom ni pokazalo pomembnega napredka v primerjavi s sezonsko povprečnim vetrom. Najvažnejši razlog so oceanografske značilnosti Sredozemlja, kjer imajo največji vpliv na cirkulacijo izmenjava toplote med ozračjem in morjem ter posledični gostotni tokovi. Drugi pomemben razlog je razmeroma groba resolucija numerične mreže (0,5 x 0,33 stopinje v horizontalni smeri, in najtanjši sloj debeline 10 m v vertikalni smeri), ki smo jo uporabili v modelu. Izvedli smo tudi poizkus računa iz mirnega stanja, ki ni dal uporabnih rezultatov, saj potrebuje ogromna masa Sredozemskega morja bistveno več energije za začetek gibanja, kot jo lahko dovede veter v nekaj dneh. Za takšno ugotavljanje vpliva realnega oziroma kratkotrajno časovno povprečnega vetra na hidrodinamiko Sredozemskega morja bi bilo potrebno simulacije izvajati s precej višjo horizontalno (0,1 x 0,1 stopinje ali manj) in vertikalno resolucijo, kar pa pomeni bistveno daljše simulacije.

Vsekakor so kratkotrajno povprečena (nekaj ur do nekaj dni) hitrostna polja uporabna pri računu na manjših in plitvejših območjih (npr. Severni Jadran, Egejsko morje, Tržaški zaliv), kar izdelani vmesnik in baza podatkov omogočata.

Omeniti velja, da je z izdelanimi vetrovnimi polji mogoče takoj izvesti simulacije izmenjave živega srebra med vodo in zrakom. V modelih izmenjave živega srebra je veter najpomembnejši podatek. Že do sedaj (Žagar in sod., 2007) so bila (v krajših obdobjih, dolžina približno 2 tedna) uporabljena 6 urna povprečja; z uporabo novega orodja za iz vrednotenje kratkotrajnih povprečji vetra bo mogoče na celotnem območju Sredozemlja izdelati simulacijo izmenjave živega srebra skozi vse leto z bistveno večjo natančnostjo kot do sedaj.

Nadaljnje delo na obravnavanem problemu pa bi lahko potekalo v več smereh:

- Univerza v Atenah (IASA) ima na voljo Grib datoteke z resolucijo 0,05 x 0,05 stopinje, ki jih podajo vsako uro za celotno Sredozemsko morje. Te podatke bi bilo potrebno uporabiti za modeliranje cirkulacije z modelom PCFLOW3D, na manjših in predvsem plitvejših območjih.

- Izdelati vmesnik, ki bi kljub težavam zaradi različnosti numeričnih mrež atmosferskega in hidrodinamičnega modela pravilno (z integracijo) upošteval pretvorbo podatkov med obema mrežama.
- Opraviti modeliranje cirkulacije z modelom PCFLOW3D na več manjših območjih različnih globin in pri tem uporabiti različne horizontalne resolucije numerične mreže ter rezultate simulacij primerjati med sabo.
- Izvesti simulacijo izmenjave živega srebra z modelom PCFLOW3D in na podlagi teh raziskav podati oceno za masno bilanco Sredozemskega morja.

6 VIRI

Andersson, M., Gårdfeldt, K., Wängberg, I., Sprovieri, F., Pirrone, N., 2007. Seasonal and daily variation of mercury evasion at coastal and off-shore sites at the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 104, 214–226.

ARSO, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si> (1.12.2010).

Bethoux, J.P., 1979. Budgets of the Mediterranean Sea: their dependence on the local climate and on the characteristics of the Atlantic waters. *Oceanologica Acta* 2; 157–163.

Boukthir, M., Barnier, B., 2000. Seasonal and inter-annual variations in the surface freshwater flux in the Mediterranean Sea from the ECMWF reanalysis project. *Journal of Marine Systems* 24; 343–354.

Calvert, C. 1995. *Delphi programming unleashed*. Indianapolis, Sams, cop.: 930 str.

Caparis, M. 2001. Combating Land-based pollution in the Mediterranean. *Mediterranean Action Plan. Med Pol. UNEP Report*. Edited by Civili, FS, 44 str.

Četina, M. 1992. Tridimenzionalni matematični baroklini model za izračun tokov v jezerih in morju. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 127 str.

Darwen, H. 1997. *A guide to the SQL standard*. Addison-Wesley: 522 str.

Dorić, E. 2008. Primerjava modelov MIKE 3 in PCFLOW3D za simulacije hidrodinamike v Tržaškem zalivu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 90 str.

Ferrara, R., Maserti, B., 1988. Mercury exchange between outflowing and inflowing waters in the strait of Gibraltar. *Marine Pollution Bulletin* 19,8; 387–388.

Gårdfeldt, K., Sommar, J., Ferrara, R., Ceccarini, C., Lanzillotta, E., Munthe, J., Wängberg, I., Lindqvist, O., Pirrone, N., Sprovieri, F., Pesenti, E., Strömberg, D. 2003. Evasion of mercury from coastal and open waters of the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. *Atmospheric Environment* 37 Supplement 1: 73-84.

Hayase, T., Humphrey, J.A.C., Greif, R., 1992. A consistently formulated QUICK for fast and stable convergence using finite volume iterative calculation procedures. *Journal Of Computational Physics* 98: 108–117.

Kallos G., 2004. Mediterranean ocean forecasting system: toward environmental prediction, MFSTEP, 5 str. http://forecast.uoa.gr/mfstep/deliv/MFSTEP_WP10_D7.pdf (17.2.2010).

Kovšca, J. 2007. Dopolnitve modela PCFLOW3D za simulacijo tokov in širjenja polutantov. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 135 str.

Lafuente, J.G., Delgado, J., Vargas, J.M., Vargas, M., Plaza, F., Sarhan, T. 2002. Low-frequency variability of the exchanged flows through the Strait of Gibraltar during CANIGO. Deep-Sea Research II, 49: 4051–4067.

Leonard, B.P., 1979. A stable and accurate convective modelling procedure based on quadratic upstream interpolation. Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering 19: 59–71.

Maslo, A., 2009. Vpliv krajevno spremenljivega vetra na sliko tokov v tržaškem zalivu, simulacije z modelom PCFLOW3D. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 92 str.

Mason, R.P., Fitzgerald, W.F. 1996. Sources, sinks and biogeochemical cycling of mercury in the ocean. V: Baeyens, W., Ebinghaus, R., Vasiliev, O., (ur.). Global and regional mercury cycles: sources fluxes and mass balances. Netherlands, Kluwer Academic Publishers: 249-272.

Mason, R.P., Fitzgerald, W.F., Morel, M.M. 1994. The biological cycling of elemental mercury: anthropogenic influences. Geochimica et Cosmochimica Acta, 58; 3191-3198.

Mason, R.P., Rolffhus K.R., Fitzgerald, W.F. 1995. Methylated and elemental mercury cycling in surface and deep ocean waters of the north Atlantic. Water Air Soil Pollut, 80; 665-677.

MERCYMS database. <http://www.cs.iiia.cnr.it/MERCYMS/project.htm> (10.12.2008).

Mellor, G.L., Yamada, T., 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Reviews of Geophysics and Space Physics 20, 4; 851– 875.

Mellor G. L., 2004. User guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University. <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/FTPbackup/usersguide0604.pdf> (16.9.2010).

Microsoft Corporation. 1999. Microsoft SQL Server 7.0 database. Redmond, Microsoft Press: 593 str.

Mrhar, P. 1999. Spoznajmo Delphi. Nova Gorica, Flamingo: 435 str.

Mrhar, P. 2000. Delphi: zvižgače in nasveti. Nova Gorica, Flamingo: 115 str.

Nightingale, P. D., Malin, G., Law, C.S., Watson, A.J., Liss, P.S., Liddicoat, M.I., Boutin, J., Upstill-Goddard, R.C. 2000. In situ evaluation of air-sea gas exchange parameterizations using novel conservative and volatile tracers. *Global biogeochemical cycles*, 14, 1; 373–387.

NOAA, 2007. Programsko orodje degrib18. <http://www.nws.noaa.gov/mdl/degrib/> (17.2.2010).

Otey, M. 2005. Microsoft SQL Server 2005 new features. New York, McGraw-Hill: 275 str.

Rajar, R., Širca, A. 1996. Modeliranje transporta živega srebra v tržaškem zalivu. *Acta hydrotechnica*; 14,12; 55-65.

Rajar, R., Četina, M. 1997. Hydrodynamic and water quality modelling: An experience. *Ecological Modelling*, 101; 195-207.

Rajar, R., Četina, M., Širca, A. 1997. Hydrodynamic and water quality modelling: Case studies. *Ecological Modelling*, 101; 209-228.

Rajar, R., Žagar, D., Širca, A., Horvat, M., 2000. Three-dimensional modelling of mercury cycling in the ulf of Trieste. *The Science of the Total Environment* 260; 109–123.

Rajar, R., Žagar, D., Četina, M., Akagi, H., Yano, S., Tomiyasu, T., Horvat, M., 2004a. Application of three-dimensional mercury cycling model to coastal seas. *Ecological Modelling* 171, 139–155.

Rajar, R., Četina, M., Žagar, D., Petkovšek, G., 2004b. Threedimensional simulations of mercury cycling in the Mediterranean Sea. *RMZ-Mater. Geoenviron.* 51, 2; 1461–1463.

Rajar, R., Yano, S., Tada, A., Akagi, H., Oshikawa, H., Žagar, D., Četinar, M., Krzyk, M., Brecelj, M., 2004c. Measurements and threedimensional modelling of mercury cycling in Minamata Bay and in the Gulf of Trieste. *RMZ-Mater. Geoenviron.* 51, 2; 1461–1463.

Rajar, R., Četina, M., Horvat, M., Žagar, D., 2007. Mass balance of mercury in the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry*, 107; 89-102.

Ramšak, V., 2006. Simulacija izmenjave živega srebra med vodo in zrakom s 3-D modelom PCFLOW3D v Tržaškem zalivu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 120 str.

Schneider, R.D. 1997. Microsoft SQL server: planing and building a high performance database. Upper Saddle River, Prentice Hall: 582 str.

Širca, A. 1996. Modeliranje hidrodinamike in transporta živosrebrnih spojin v Tržaškem zalivu. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 165 str.

Širca, A., Rajar, R., Harris, R.C., Horvat, M. 1999. Mercury transport and fate in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic) - a two-dimensional modelling approach. *Environmental Modelling & Software*, 14; 645-655.

The World Meteorological Organization. http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMO_Codes/Guides//GRIB/GRIB1-Contents.html (21.3.2010).

Verdev, A. 2010. Uporaba podatkov iz meteoroloških modelov za izračun izmenjave živega srebra med vodo in zrakom. Seminarska naloga. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 48 str.

Wanninkhof, R., 1992. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *Journal of eophysical Research* 97; 7373–7382.

Zavatarelli, M., Mellor, G., 1995. A numerical study of the Mediterranean Sea Circulation. *Journal of Physical Oceanography* 25; 1384–141.

Žagar, D. 1999. Razvoj in aplikacija tridimenzionalnega modela za simulacijo transporta in procesov pretvorb živega srebra v morskem okolju. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 101 str.

Žagar, D., Rajar, R., Širca, A., Horvat, M., Četina, M. 2001. Dolgotrajna 3D simulacija transporta in disperzije živega srebra v tržaškem zalivu. Ljubljana, *Acta hydrotechnica*, 19,30; 25-43.

Žagar, D., Petkovšek, G., Rajar, R., Sirnik, N., Horvat, M., Voudouri, A., Kallos, G., Četina, M. 2007. Modelling of mercury transport and transformations in the water compartment of the Mediterranean Sea. *Marine Chemistry*, 107; 64-88.

Žagar, D. in Ramšak, V. 2010. The impact of spatially variable wind on hydrodynamic and transport processes in a small coastal basin (Gulf of Trieste, Northern Adriatic). First European Division Congress. Heriot Watt University, National Telford Institutut, Edinburg: 12 str.

7 Priloge

Priloga A

Slika 3.7-1: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 1. 3. do 3. 3. 2010

Slika 3.7-2: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 4. 3. do 6. 3. 2010

Slika 3.7-3: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 7. 3. do 9. 3. 2010

Slika 3.7-4: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 10. 3. do 12. 3. 2010

Slika 3.7-5: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 13. 3. do 14. 3. 2010

Priloga B

Slika 4-1: Prikaz začetnega stanja hitrosti v površinskem sloju

Slika 4-2: Prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja, na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra

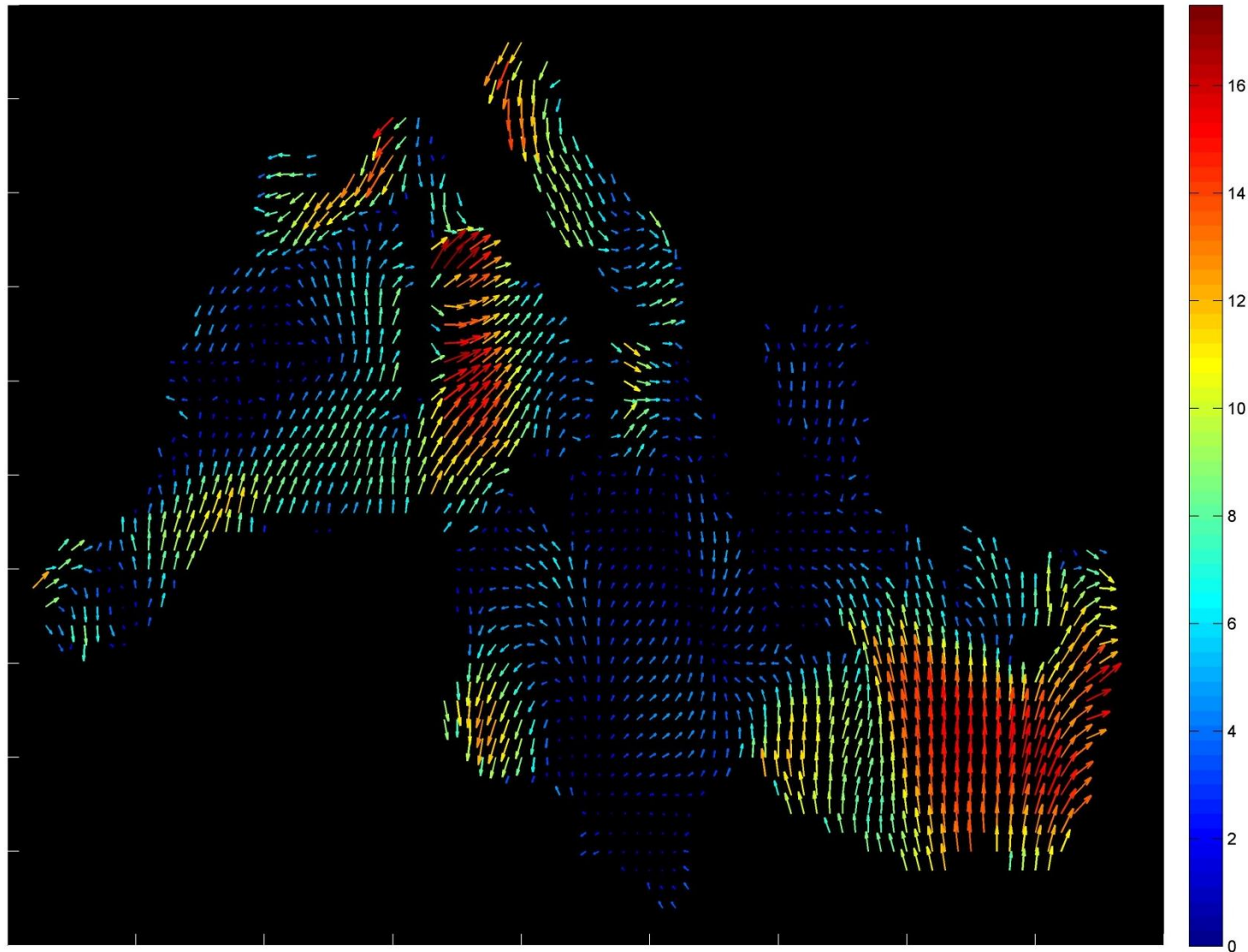
Slika 4-3: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 13) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra

Slika 4-4: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 23) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra

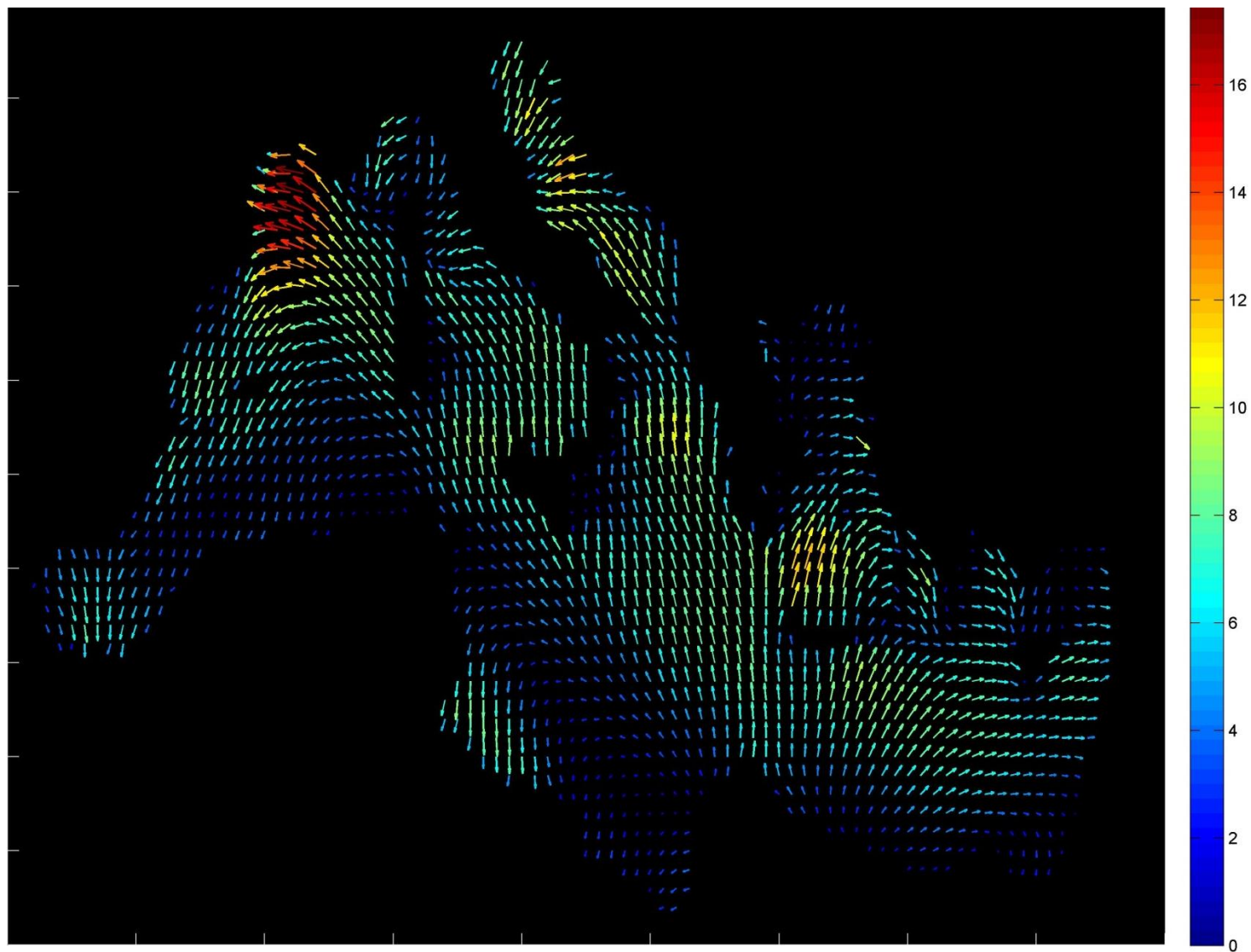
Slika 4-5: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 12) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra

Priloga A: Slike k poglavju 3.7

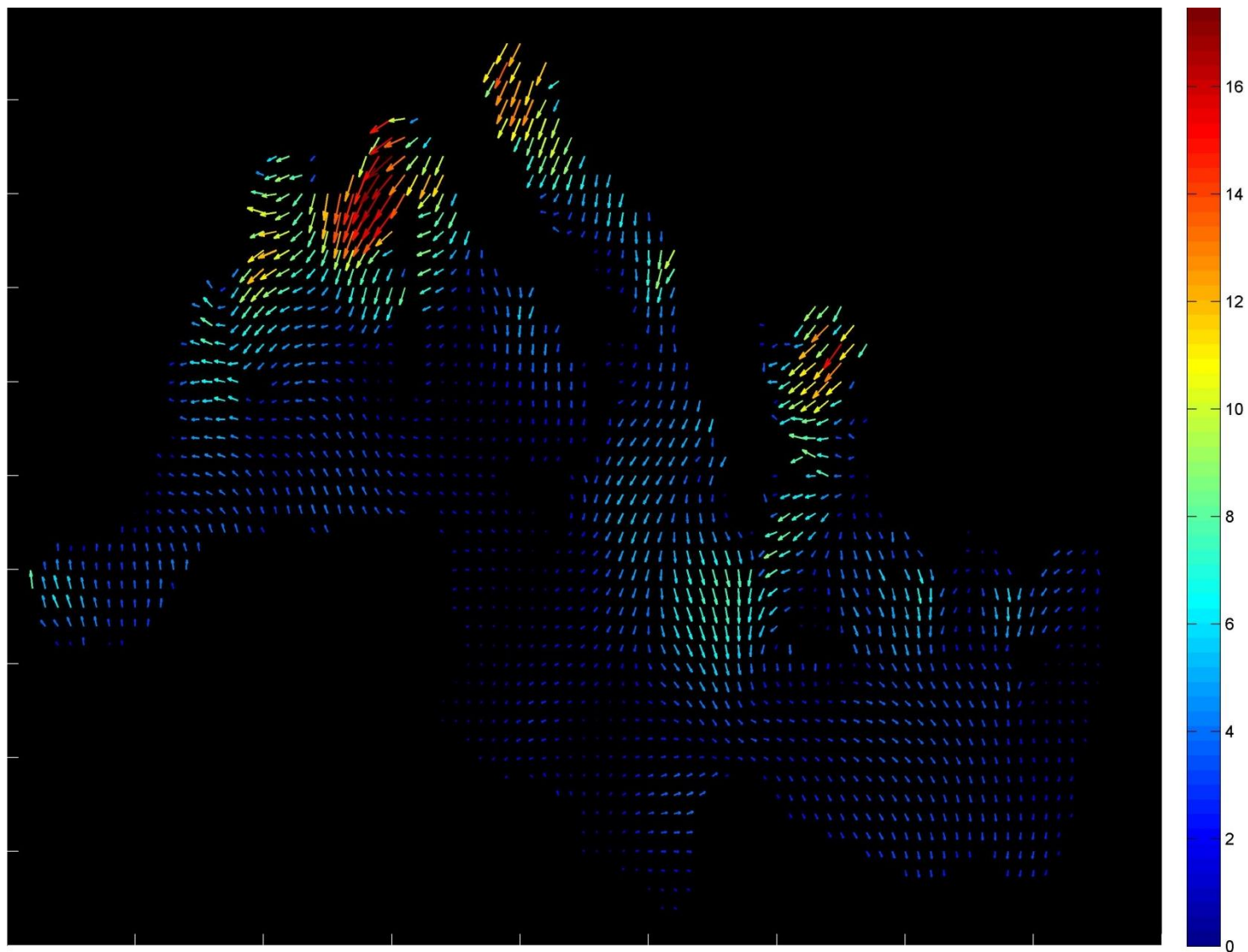
Priloga B: Slike k poglavju 4



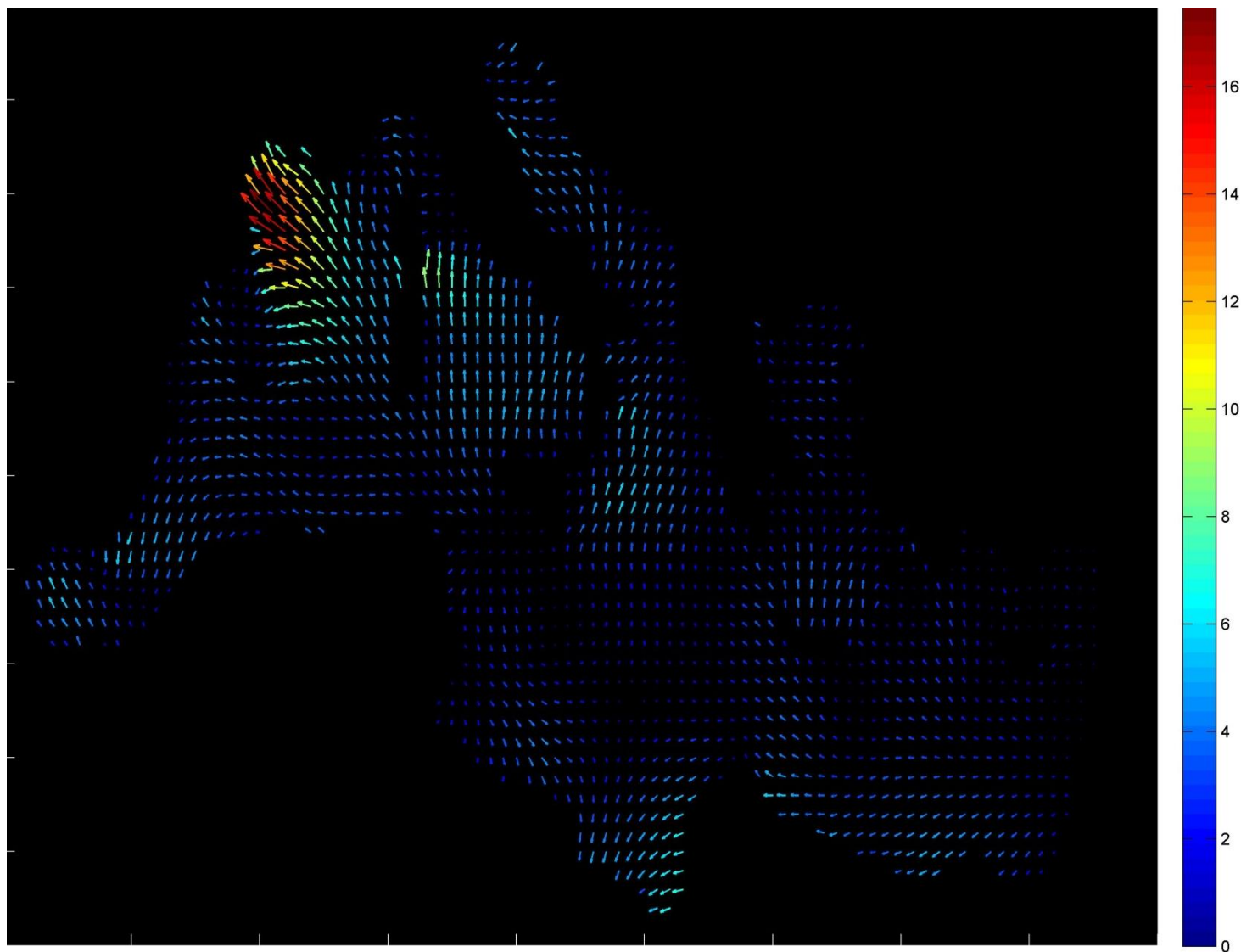
Slika 3.7-1: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 1.3. do 3.3.2010.



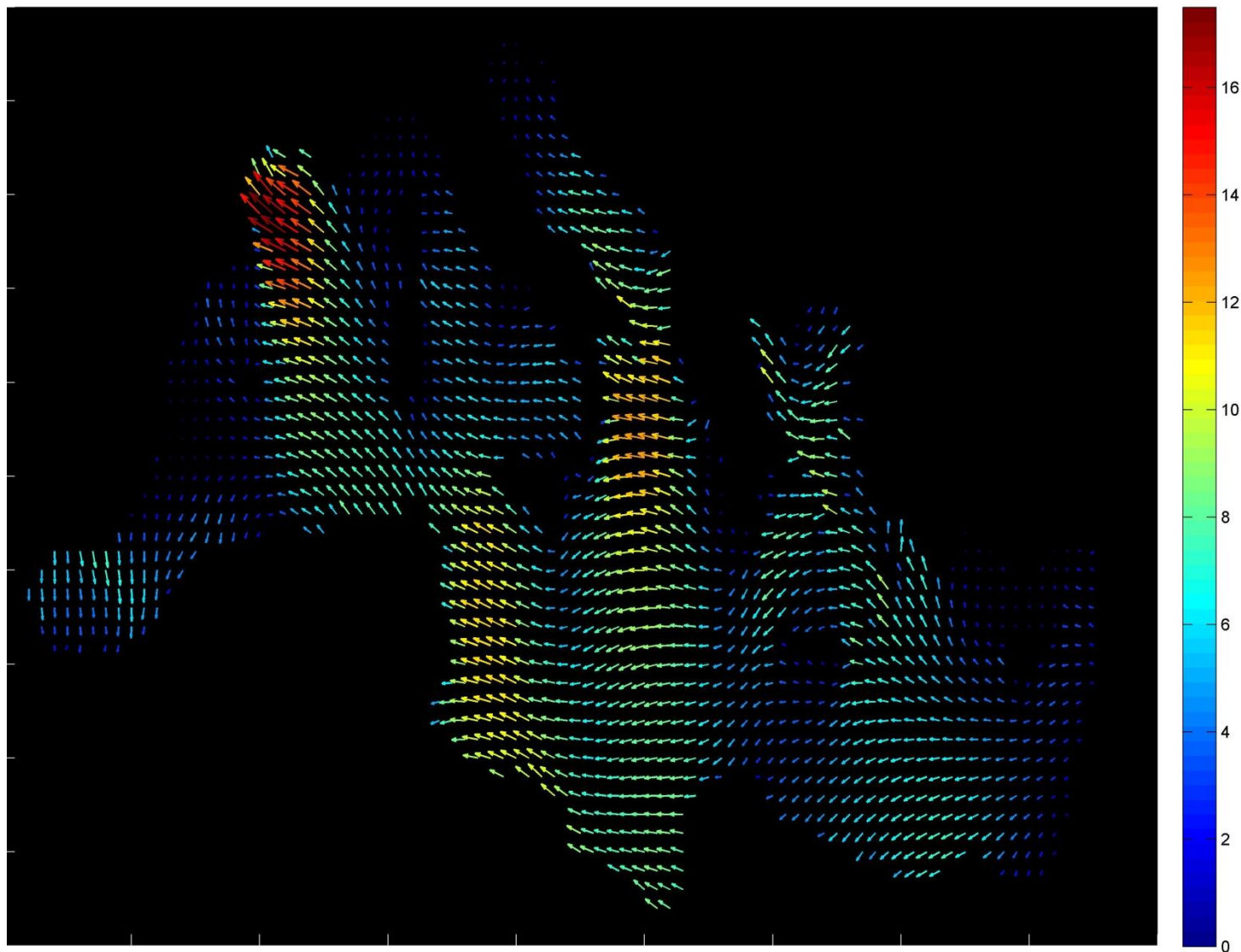
Slika 3.7-2: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 4.3. do 6.3.2010.



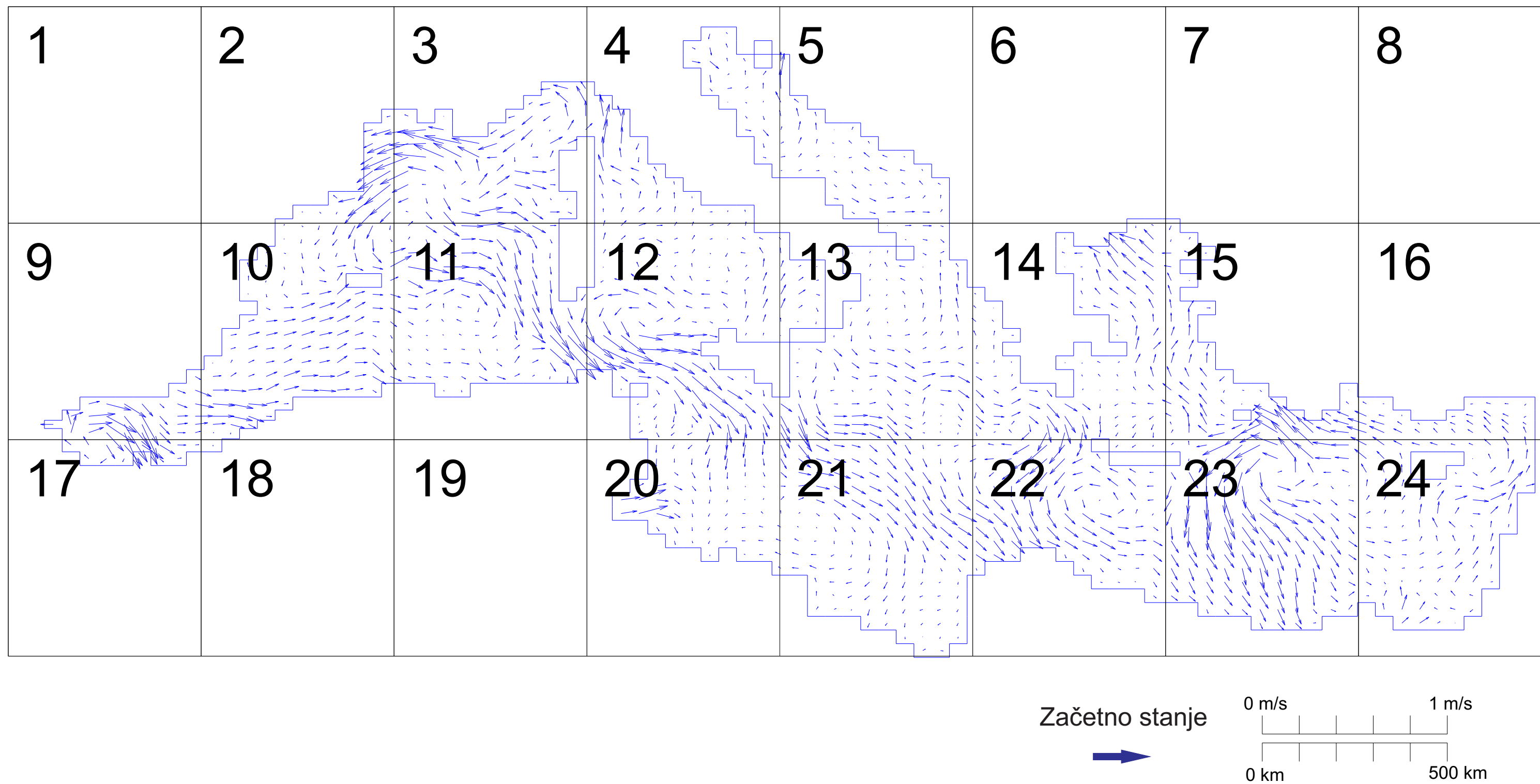
Slika 3.7-3: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 7.3. do 9.3.2010.



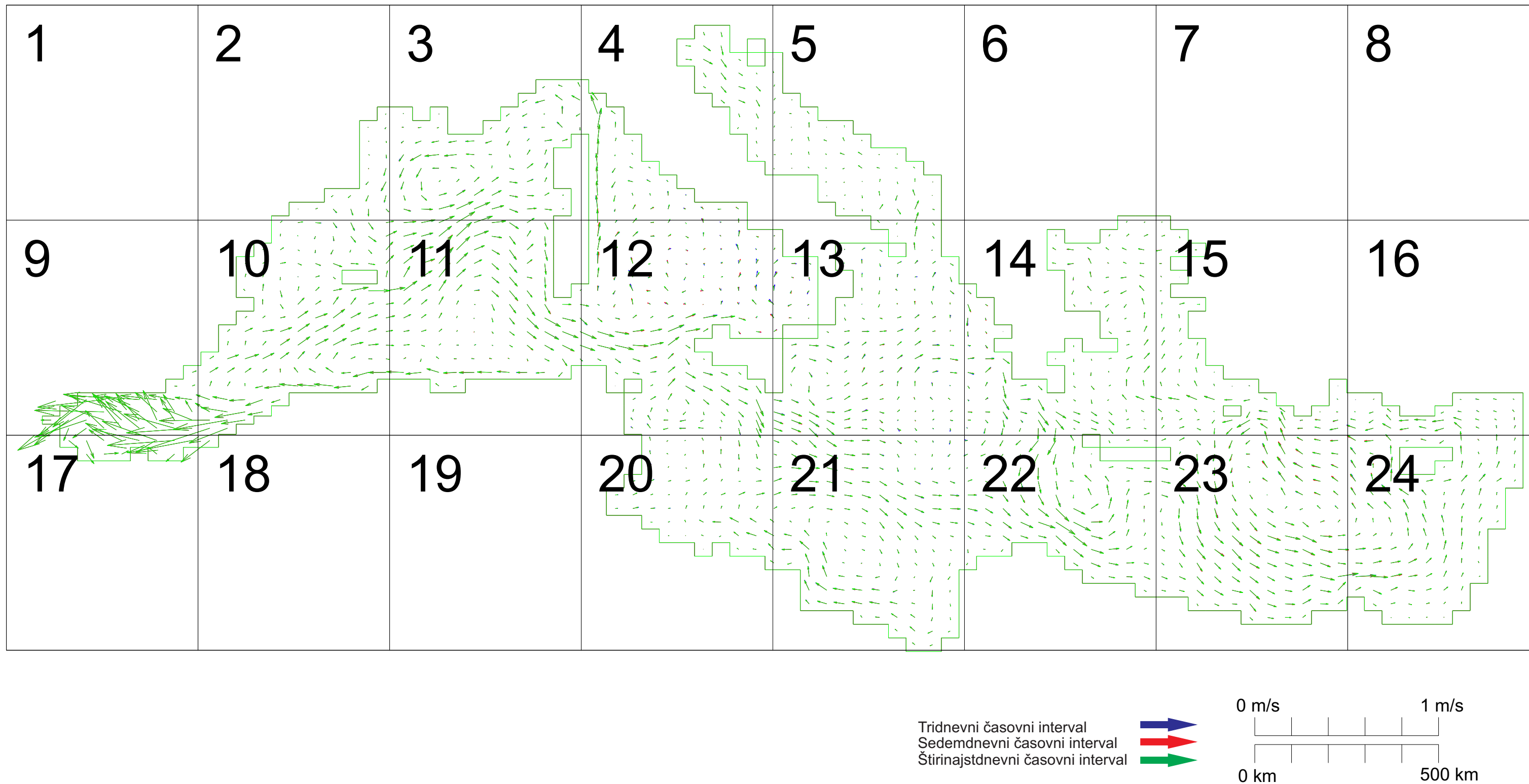
Slika 3.7-4: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 10.3. do 12.3.2010.



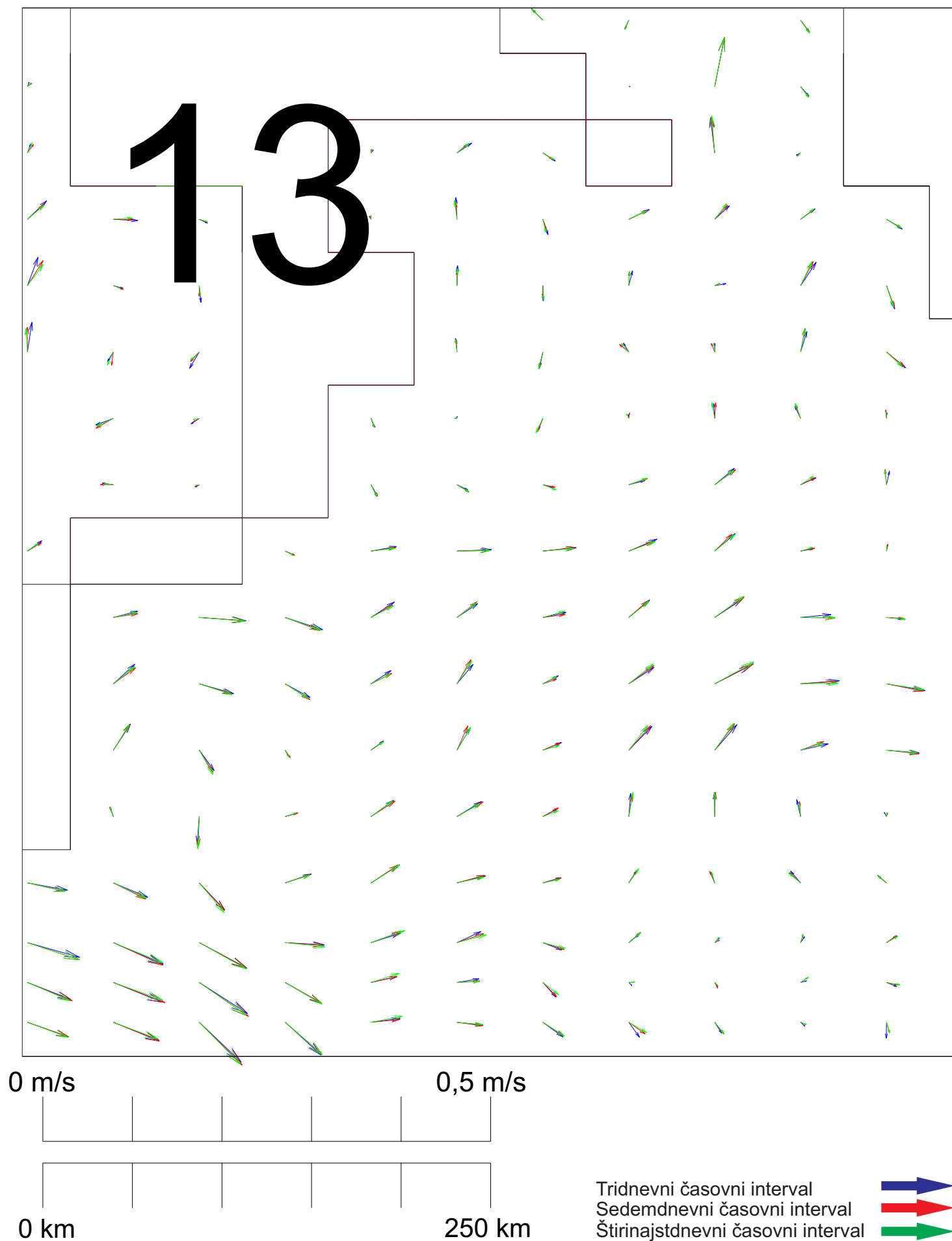
Slika 3.7-5: Prikaz vetra v tridnevnem časovnem intervalu povprečenja od 13.3. do 1.14.2010.



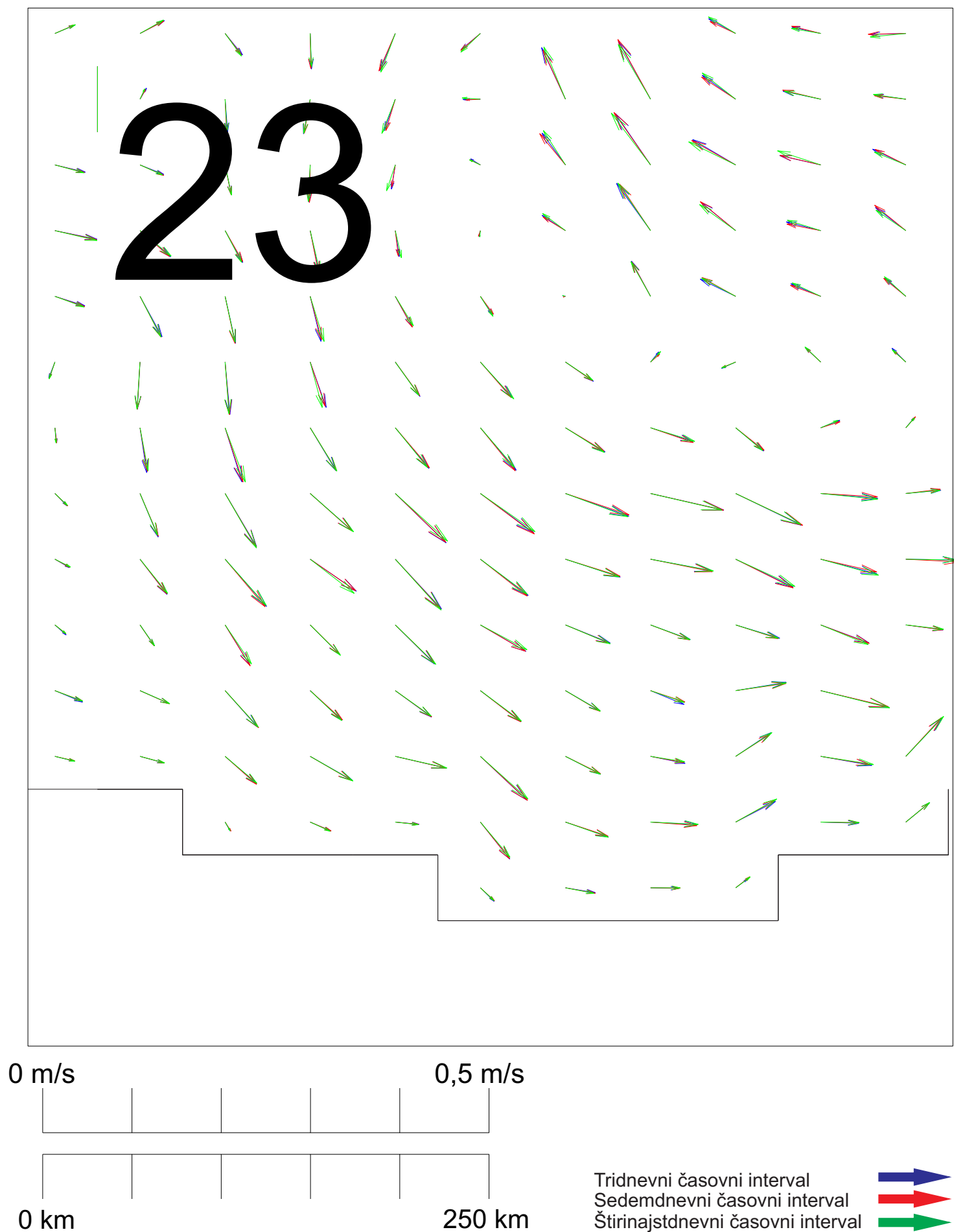
Slika 4-1: Prikaz začetnega stanja hitrosti v površinskem sloju



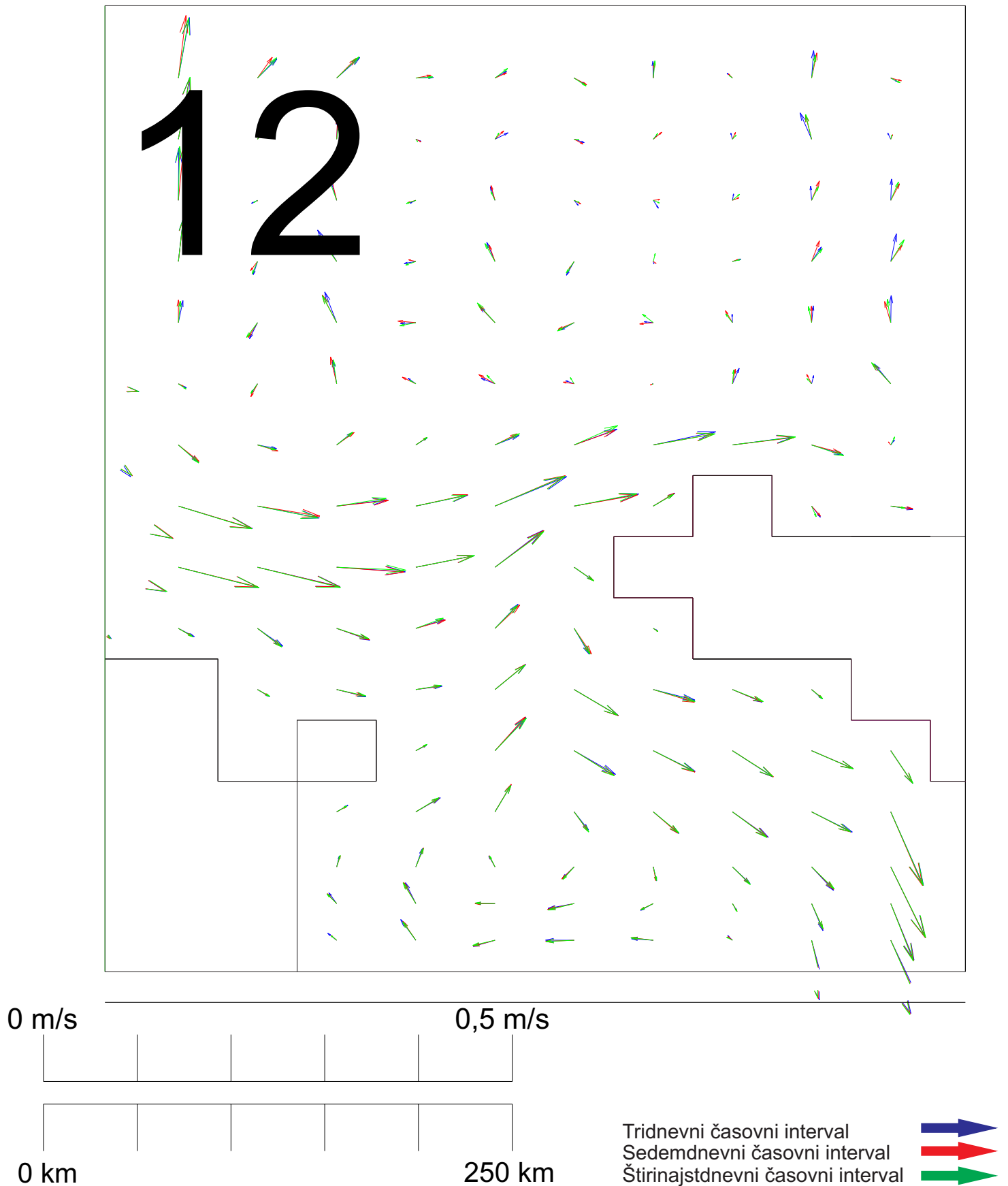
Slika 4-2: Prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja, na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra



Slika 4-3: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 13) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra



Slika 4-4: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 23) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajst dnevnega časovnega intervala povprečenja vetra



Slika 4-5: Detajlen prikaz hitrostnega polja v površinskem sloju Sredozemskega morja (območje 12) na podlagi tridnevnega, sedemdnevnega in štirinajstdnevnega časovnega intervala povprečenja vetra