



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMFOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



GALATIENSIS

UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
Facultatea de Mecanică

Ing. Dorin BUTUNOIU

TEZA DE DOCTORAT

***IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE PREDICȚIE
A VALURILOR PENTRU CREȘTEREA
SIGURANȚEI OPERAȚIUNILOR PORTUARE ÎN ZONA
LITORALULUI ROMÂNESC***

REZUMAT

Coordonator științific:
Prof. dr. ing. EUGEN RUSU

C 11626/05.11.2012

C ă t r e

Universitatea “ Dunărea de Jos “ din Galați vă face cunoscut că în data de 05 decembrie 2012, ora 11.00 în D 12, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: **”IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE PREDICȚIE A VALURILOR PENTRU CREȘTEREA SIGURANȚEI OPERAȚIUNILOR PORTUARE ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC”**, elaborată de domnul/doamna **BUTUNOIU DORIN**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - **Inginerie mecanică**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte:** **Prof.univ.dr.ing. Elena MEREUȚĂ**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

- 2. Conducător de doctorat:** **Prof.univ.dr.ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

- 3. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Gigel PARASCHIV**
Universitatea POLITEHNICA din București

- 4. Referent oficial:** **Prof.univ.dr.ing. Dumitru DINU**
Universitatea Maritimă din Constanța

- 5. Referent oficial:** **Conf.univ.dr.ing. Ioan STRAT**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.



Prof.univ.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN

CUPRINS

| | |
|--|-----------|
| Adresă acceptare susținere teză doctorat | 2 |
| Cuprins | 3 |
| Capitolul 1. Introducere | 7 |
| 1.1 Descrierea tematicii propuse în cadrul tezei de doctorat și importanța ei | 7 |
| 1.2 Structura tezei de doctorat | 11 |
| Capitolul 2. Caracteristicile regimului de val și vânt în Marea Neagră | 14 |
| 2.1 Litoralul românesc - caracterizare generală | 14 |
| 2.2 Măsurători de val și vânt | 15 |
| 2.2.1 Măsurători in situ | 15 |
| 2.2.2 Date de satelit | 16 |
| 2.3 Analize ale datelor măsurate și simulate de modele numerice | 17 |
| 2.4 Descrierea principalelor zone și activități portuare din zona litoralului românesc a Mării Negre | 30 |
| Capitolul 3. Modelarea valului marin utilizând metodele spectrale | 38 |
| Capitolul 4. Creșteri ale valurilor limitate în timp și spațiu și efecte ale câmpurilor de vânt nestaționare | 41 |
| 4.1 Creștere limitată în spațiu și durată | 41 |
| 4.2 Vânturi nestaționare | 41 |
| Capitolul 5. Modele numerice pentru modelarea valurilor și curenților | 42 |
| 5.1 Echilibrul energetic pentru valuri nedezvoltate complet (<i>seas</i>) și pentru valuri complet dezvoltate (<i>swell</i>) | 42 |
| 5.2 O trecere în revistă a principalelor modele utilizate mai frecvent | 43 |
| 5.3 Particularizări ale ecuației Hasselmann pentru diferite modele din generația a treia | 45 |
| 5.4 Modelul SWAN | 45 |
| 5.5 Explicarea termenilor sursă și integrarea numerică în modelul SWAN | 46 |
| Capitolul 6 Simulări numerice de înaltă rezoluție în zonele cu apă puțin adâncă | 47 |
| 6.1 Comparații între modelele SWAN și STWAVE în zonele costiere | 47 |
| 6.2 Câteva considerații suplimentare și simulări preliminare în zona litoralului românesc | 70 |

| | |
|---|------------|
| Capitolul 7. Simulări numerice în bazinul Mării Negre | 74 |
| 7.1 Evaluarea influenței vântului în modelarea climatului de valuri din Marea Neagră | 74 |
| 7.2 Analize în spațiile geografic și spectral | 85 |
| 7.3 Focalizarea sistemului spre porturile românești de la Marea Neagră | 101 |
| Capitolul 8. Experimente realizate în zone portuare pentru a valida rezultatele de model - studiu de caz portul Mangalia | 111 |
| 8.1 Instalarea unei stații hidrodinamice ADCP | 111 |
| 8.2 Obiectivele experimentului | 112 |
| 8.3 Analiza rezultatelor | 115 |
| 8.4 Discuții asupra rezultatelor experimentale | 120 |
| 8.5 Situații deosebite înregistrate în experiment | 121 |
| Capitolul 9. Considerații finale | 125 |
| 9.1 Discuții asupra studiilor tezei de doctorat | 125 |
| 9.2 Contribuții proprii și elemente de originalitate | 126 |
| 9.3 Direcții pentru cercetarea viitoare | 128 |
| Bibliografie | 129 |

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1 DESCRIEREA TEMATICII PROPUSE ÎN CADRUL TEZEI DE DOCTORAT ȘI IMPORTANȚA EI

Obiectivul general al studiilor realizate în cadrul prezentei teze de doctorat este de a analiza condițiile de valuri din apropierea ariilor portuare românești. În mod evident pentru a realiza o astfel de analiză este necesară și o privire de ansamblu asupra matricii de mediu din zonele aferente. Principala metodologie considerată o reprezintă utilizarea modelelor numerice spectrale pentru valuri (SWAN și STWAVE). Deși lucrarea are în mod evident un caracter multidisciplinar și complex, întrucât principala direcție de cercetare este relaționată în mod special cu Mecanica Fluidelor, și în particular cu Hidrodinamica Marină, se poate considera că domeniul principal de încadrare a lucrării este cel al Ingineriei Mecanice. Alte domenii cum ar fi Ingineria Civilă și Transporturile Navale sunt totuși relaționate și ele în mod direct cu lucrarea de față.

În continuare vor fi prezentate câteva aspecte mai importante privind contextul general și importanța tematicii propuse.

În continuare se vor prezenta câteva exemple de accidente navale ce au dus la dezastre ecologice în diferite oceane și mări ale lumii dar și câteva accidente ce au avut loc în Marea Neagră, catastrofe ecologice ce au avut loc pe parcursul secolului XX. Unul dintre dezastrele ecologice cele mai cunoscute pe plan mondial este cel al petrolierului Exxon Valdez care în martie 1989 a naufragiat în Alaska, ducând la vărsarea unui volum mare de petrol în apă, fapt care a afectat în mod grav mediul înconjurător (Fig. 1.1). În ocean s-au revărsat cam 256.000 barili sau echivalentul a 125 bazine olimpice de înot. Petrolierul transporta aproximativ 1.264.155 barili de petrol. În comparație cu alte revărsări ExxonValdez a produs unul din cele mai grave accidente din S.U.A., situându-se în lume pe locul 50 în materie de petrol revărsat în timp ce în ceea ce privește distrugerile provocate mediului înconjurător este pe primul loc. Timpul scurgerii, distanța pe care s-a răspândit, abundența animalelor sălbatice din zonă au dus la un dezastru ecologic. În urma scurgerii 1300 mile au fost foarte contaminate cu un strat gros de petrol, iar alte 1100 mile au fost ușor și foarte ușor contaminate.

În urma acestui accident compania de vapoare *Exxon* și-a schimbat denumirea în 'Sea River' iar petrolierul Exxon Valdez în 'Sea River Mediteranean' transportând acum petrol prin Oceanul Atlantic. Petrolierul nu mai are voie să treacă prin Prince William Sound locul unde a naufragiat. Accidentul a avut loc la scurt timp după plecarea sa de la terminalul țevii de petrol Trans Alaska în 23 martie 1989.

Fig.1.1

Accidentul petrolierului Exxon Valdez din 1989.



O altă mare catastrofă ecologică s-a produs la 12 noiembrie 1999, când petrolierul Erika s-a rupt în două în apropiere de coasta Britaniei (Franța), având o încărcătură de aproximativ 30000 tone de păcură. În 24 de ore s-a scufundat întreg petrolierul. Se estimează că atunci când s-a rupt, aproximativ 10000 de tone din încărcătură au fost deversate în mare (Fig.1.2). Această poluare a avut, pe lângă urmări în ceea ce privește mediul marin, și consecințe economice grave, mai ales pentru populația locală a cărei principală ocupație era pescuitul.

La 12 noiembrie 2002 petrolierul Prestige (cu o vechime de 26 de ani), s-a rupt în două în timpul unei furtuni și s-a scufundat în apropierea coastei de nord a Spaniei. Petrolierul transporta între 60000 și 70000 de tone amestec de hidrocarburi mai greu decât apa. Aceasta este cea mai mare catastrofă ecologică din istoria Spaniei, poluarea afectând și o parte din coasta Franței.



Fig.1.2
Scufundarea petrolierului Erika în 1999.



Fig.1.3
Scufundarea petrolierului Prestige în 2002.

Trebuie menționat și faptul că în prezent atenția cea mai mare pe plan internațional este concentrată asupra efectelor poluării pe termen lung. În principal se urmărește evoluția unor mări închise ca Marea Baltică, Marea Mediterană și Marea Neagră.

În ceea ce privește Marea Neagră, și aici au avut loc în ultimii ani o serie de accidente. Astfel, la 12 Noiembrie 2007, nava Volga-Neft care transporta peste 4000 de tone de țiței, s-a rupt în două în timpul unei furtuni, în cursul unei escale în portul Kavkaz. Oficialii ruși au relatat despre acest accident ca fiind un “dezastru ecologic foarte grav”. La câteva ore după incidentul petrolierului rusesc, alte 2 cargoboturi care transportau sulf s-au scufundat lângă portul Kavkaz. Urmările acestor accidente sunt dintre cele mai grave, existând riscul depunerii țițeiului pe fundul mării și atunci acesta va fi practic imposibil de eliminat, dar există și problema poluării cu sulf a Mării Negre, atât la suprafața apei cât și în regiunea de coastă.

În decembrie 2009 o navă sub pavilion moldovenesc, care transporta combustibil, a fost ruptă în două, de o furtună puternică, în largul stațiunii ruse Soci. Nava Aras-1, care transporta 31 de tone de motorină, a fost aruncată de valuri pe o plajă. Un accident cu adevărat tragic a avut loc în martie 2012 în largul coastelor Mării Negre când o navă rusească încărcată cu dinamită, aflată în derivă, s-a ciocnit de platforma de prospecțiuni petroliere REXXON, provocând o uriașă explozie (Fig. 1.4). Tot în anul 2012 la data de 13 iulie la 15Km de portul Mangalia, având direcția de deplasare spre Istanbul, un vas comercial a explodat, punând în pericol viața pasagerilor aflați la bordul navelor care se deplasau din sens opus (Fig. 1.5).



Fig.1.4

Explozia de la platforma Rexion in 2012.

Aceste câteva exemple arată faptul că în Marea Neagră nu numai că este o incidență destul de ridicată din punct de vedere al apariției unor astfel de accidente marine dar și că fiind o mare închisă, impactul produs de poluare poate fi mult mai mare decât în oceane.

Marea Neagră reprezintă de altfel o importantă rută de navigație, fiindcă prin intermediul coridorului de transport pan european numărul 7 (Canalul Dunăre-Rin-Maine), care reprezintă cel mai important sistem de navigație interioară, se face legătura cu țările Europei Centrale până la Marea Baltică. Pe de altă parte prin strâmtoarea Bosfor are ieșire la Marea Mediterană și implicit la ocean. Mai mult chiar, se preconizează în viitorul apropiat o creștere substanțială a traficului naval din Marea Neagră datorită creșterii activităților offshore generată de identificarea recentă a unor importante zăcăminte de petrol și gaze în largul mării.

În acest context, prezenta teză de doctorat se constituie ca o încercare de a îmbunătăți cunoașterea condițiilor de val din zona economică românească a Mării Negre și din zonele costiere din apropierea principalelor porturi românești la Marea Neagră (Mangalia, Constanța și Midia Năvodari) în special. O mai bună cunoaștere a acestor condiții ar avea ca efect direct

creșterea siguranței navigației și reducerea riscurilor de accidente în aceste zone care prezintă un risc ridicat întrucât sunt supuse unui intens trafic maritim.



Fig.1.5

Explozia din apropierea portului Mangalia în 2012.

1.2 STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT

Vor fi descrise pe scurt în continuare principalele aspecte tratate în teza de doctorat. Astfel, după partea introductivă prezentată în Capitolul I, în Capitolul II este realizată o analiză a condițiilor de mediu din vecinătatea principalelor porturi românești de la Marea Neagră, Mangalia, Constanta și Midia-Navodari. Adicional sunt analizate și condițiile din vecinătatea portului Sulina situat în apropierea gurii Dunării. Parametrii analizați au fost valurile, vântul și curenții iar principala sursă de date o reprezintă măsurătorile provenite de la sateliți. Date de vânt provenite de la Centrul European pentru Prognoză a Vremii pe Termen Mediu (European Centre for Medium-range Weather Forecasts - ECMWF) și date de curenți furnizate de Institutul Național Român pentru Cercetări Marine au fost de asemenea considerate în această analiză. Analiza este apoi continuată cu o descriere generală a zonelor portuare evidențiindu-se și importanța economică crescândă a transportului intermodal.

Pornind de la faptul că în prezent cea mai viabilă reprezentare a valurilor mării este dată de modele spectrale, Capitolul III prezintă câteva elemente de referință privind modelarea spectrală a valului marin. Așa cum se cunoaște spectrul de val este transformata Fourier a funcției de autocorelație a ridicării suprafeței libere a apei. Sunt prezentate mai întâi principalele mecanisme de transfer a energiei de la vânt la valuri, fiind exemplificat mecanismul Jeffrey iar mai apoi fiind discutat mai pe larg mecanismul Phillips-Miles. Pe baza acestui ultim mecanism este dedusă ecuația de guvernare a modelelor spectrale (Ecuația Hasselmann), care descrie propagarea energiei spectrale a valului în timp, în spațiul geografic

(latitudine, longitudine) și în spațiul spectral (definit de frecvențe și direcții). Sunt discutate apoi câteva aspecte privind modelarea principalilor termeni sursă care se referă la interacțiunile neliniare dintre valuri de tip cuadrupleți, la fenomenul de disipare prin înspumare (de tip whitecapping) și la efectele adâncimii finite.

Capitolul IV prezintă câteva aspecte privind creșterile valurilor limitate în timp și spațiu. Sunt discutate câteva spectre teoretice uzuale, cum ar fi spectrul Pierson-Moscowitz al mării complet dezvoltate și spectrul JONSWAP al mării în curs de dezvoltare. În același capitol sunt prezentate și principalele efecte ale vânturilor nestaționare asupra valurilor dar și distribuția valurilor în cazul furtunilor puternice și uraganelor.

Capitolul V prezintă mai întâi evoluția modelelor numerice în medie de fază pentru valuri (modelele care se bazează pe conceptul de spectru) pornind de la modelele de generația a întâia și până la stadiul actual al modelelor de generația a treia. Sunt discutate apoi pe scurt principalele modele spectrale de generația a treia: WAM, WAVE WATCH 3, SWAN și STWAVE. Sunt discutate pe scurt și modelele pentru valuri bazate pe conceptul de impuls (modelele care calculează faza) dar și modelele pentru circulația costieră. În ceea ce privește modelul SWAN, care reprezintă principalul model numeric considerat în teza de doctorat, și care este în prezent cel mai complex dar și cel mai frecvent utilizat pe plan mondial model spectral pentru valuri, o descriere mai amănunțită a acestuia se face la sfârșitul capitolului.

Capitolul VI prezintă comparații între modelele SWAN și STWAVE într-o arie costieră din zona litoralului Portughez la Oceanul Atlantic. Acest capitol continuă o lucrare a conducătorului de doctorat publicată în jurnalul Ocean Engineering și se referă la experimentul efectuat în Golful Obidus, unde trei instrumente de măsurare a valurilor (o baliză direcțională, un ADCP-Acoustic Doppler Current Profiler și un senzor de presiune) au fost instalate simultan în apropierea izoliniei de 20 de metri. Cum în lucrarea menționată s-au studiat mai ales efectele vântului și mării asupra rezultatelor celor două modele, principalul aspect studiat în acest capitol se referă la analiza influenței condițiilor de frontieră și a dimensiunii domeniului de calcul, în condițiile în care modelul SWAN este foarte sensibil la aceste aspecte iar în modelul STWAVE frontierele laterale nu introduc în general efecte nedorite. Comparații între modelele SWAN și STWAVE au fost realizate atât în domeniul timpului cât și în domeniul spațial. În finalul acestui capitol este ilustrată și o primă comparație dintre cele două modele în zona litoralului românesc (în apropiere de portul Mangalia).

În Capitolul VII sunt prezentate rezultatele simulărilor numerice care au fost realizate în bazinul Mării Negre. Mai întâi este evaluată influența vântului în modelarea climatului de valuri din Marea Neagră făcându-se comparații atât cu măsurători in situ cât și cu date de satelit. Rezultatele arată ca rezoluția și acuratețea câmpurilor de vânt utilizate pentru a forța modelul de valuri reprezintă un factor crucial în obținerea de predicții credibile ale condițiilor de val din Marea Neagră și că în general în mările închise acest aspect este mult mai important decât în cazul modelării valurilor în zonele oceanice cu întinderi mari. S-au realizat apoi analize în spațiul geografic evaluând distribuțiile spațiale cele mai probabile ale unor parametri de val mai importanți cum ar fi înălțimea semnificativă, perioada medie, împrăștierea direcțională (DSPR) și împrăștierea în frecvențe (FSPR). Rezultate deosebit de interesante au relevat analizele realizate în spațiul spectral unde au fost identificate patru categorii importante de forme spectrale caracteristice bazinului Mării Negre și în special zonei de vest. Acestea sunt spectrele împrăștiate în frecvență și direcție, spectrele de tip multi-peak, spectrele cu coadă și spectrele caracteristice mării complet dezvoltate. Tot în cadrul acestui capitol s-au realizat și câteva comparații cu Marea Caspică. Aceasta este o mare închisă la fel ca și Marea Neagră, între cele două mări existând și multe alte asemănări. De altfel, rezultatele arată că și tehnicile de modelare a valurilor în cele două bazine marine sunt destul de similare. În finalul Capitolului VII se prezintă focalizarea sistemului de predicție a

valurilor bazat pe modele numerice către principalele zone portuare românești de la Marea Neagră, precum și rezultatele unor simulări de înaltă rezoluție (utilizând în paralel modelele SWAN și STWAVE) în apropierea porturilor Mangalia și Midia-Navodari.

Capitolul VIII prezintă rezultatele unor experimente realizate recent în apropiere de portul Mangalia la care autorul prezentei teze de doctorat a participat în mod nemijlocit. Pe lângă informații deosebit de utile privind condițiile de valuri și curenți din apropierea portului Mangalia, experimentul confirmă în general validitatea rezultatelor furnizate de modele numerice.

În final, Capitolul IX prezintă considerațiile finale care sunt structurate pe trei direcții: discuții asupra rezultatelor obținute, evidențierea elementelor de originalitate și direcțiile de urmat pentru cercetarea următoare. Sunt menționate și lucrările științifice realizate de doctorand în cursul elaborării tezei dintre care cele mai importante ar fi patru lucrări publicate (sau acceptate spre publicare) în jurnale cotate ISI, trei lucrări în *Journal of Environmental Protection and Ecology* și o altă lucrare în *Environmental Engineering and Management Journal*. De asemenea doctorandul a mai publicat o carte în editura AGIR și a participat cu prezentări la mai multe conferințe internaționale cum ar fi Conferința IMAM (International Maritime Association of the Mediterranean) 2009, Istanbul și conferințele B.EN.A (Balkan Environmental Association) 2011, Ioannina - Grecia și București.

CAPITOLUL 2

CARACTERISTICILE REGIMULUI DE VAL ȘI VÂNT ÎN MAREA NEAGRĂ

În acest Capitol II, s-a efectuat o analiză a condițiilor de mediu din vecinătatea principalelor porturi românești de la Marea Neagră, Mangalia, Constanta și Midia-Navodari. Adicional sunt analizate și condițiile din vecinătatea portului Sulina situat în apropierea gurilor Dunării. Parametrii analizați au fost valurile, vântul și curenții iar principala sursă de date o reprezintă măsurătorile provenite de la sateliți. Date de vânt provenite de la Centrul European pentru Prognoză a Vremii pe Termen Mediu (European Centre for Medium-range Weather Forecasts - ECMWF) și date de curenți furnizate de Institutul Național Român pentru Cercetări Marine au fost de asemenea considerate în această analiză. Analiza este apoi continuată cu o descriere generală a zonelor portuare evidențiindu-se și importanța economică crescândă a transportului intermodal.

2.1. LITORALUL ROMÂNESC – CARACTERIZARE GENERALĂ

Țărmlul românesc este situat în partea nord-vestică a Marii Negre, având o deschidere de 244 km. Orientarea predominantă a țărmului este pe direcția N-S, cu excepția sectorului central Chituc-Midia dispus sub forma unui arc de cerc destinat de la est către vest. Limitele sunt: cea nordică delimitată de brațul Mosura ($45^{\circ}12'N$ și $29^{\circ}40'E$) și respectiv cea sudică, dată printr-o delimitare convențională ($43^{\circ}44'N$ și $28^{\circ}35'E$), ceva mai la sud de Vama Veche.

Pe sectorul nordic, până la Sulina, cordonul nisipos preexistent este submers (-0,80 m), liziera de stuf delimitând aici linia țărmului. Datorită digurilor înălțate, la terminarea canalului Sulina, prin depuneri sedimentare succesive s-a format ca un pinten înfipt în mare.

Spre Sfântu Gheorghe, țărmul este mai stabil, mai puțin supus eroziunii, datorită protejării de valuri de insula Șcalin. Între Sfântu Gheorghe și Capul Midia, cu precădere spre sud de Portița, furtunile puternice produc dese rupturi ale cordoanelor litorale, care se refac parțial în timpul verii.

Sectorul sudic, de la Capul Midia până la granița cu Bulgaria, ce cuprinde aproape o treime (67 km) din lungimea țărmului românesc, se evidențiază prin caractere structurale de faleză înaltă, cu o mare stabilitate comparativ cu celelalte sectoare (cele din zona Deltei Dunării), ce suferă un proces lent dar continuu de retragere datorită abraziunii, acțiunii agenților atmosferici și apelor subterane de infiltrație, care modelează prin alunecări de teren, dând aspect de terase false. Fenomene mai puțin grave de eroziune se petrec dacă materialele dizlocate au fost depozitate la baza falezei precum la Sara, S de Tuzla sau 2 Mai.

Analizând evoluția seculară a Mării Negre, în ultimul secol, oscilațiile de lungă și scurtă durată ale nivelului Mării Negre au intrat într-o fază de transgresiune, unde pe litoralul românesc nivelurile cresc lent dar constant cu circa 0,4 cm/an. Aceasta e o accelerare a ritmului mediu din ultimii 2000 de ani, determinat ca fiind de 4 m pentru întreaga perioadă amintită, deci de 0,2 cm/an. Vânturile, seșele și marea determină oscilații de scurtă durată ale nivelului mării.

Vânturile care suflă dinspre larg, provoacă supraînălțări de nivel la mal, ca urmare a remuului format de masele de apă antrenate de vânt în direcția plajelor. Vânturile care bat înspre mare, creează scăderi de nivel la mal, prin antrenarea apelor costiere către larg. Pentru

plaje întinse, cu adâncimi mici, s-a remarcat ca pentru aceleași viteze de vânt, creșterile de nivel sunt mai semnificative decât descreșterile, precum la Portița; la Constanța însă, descreșterile de nivel sunt mai mari decât creșterile acestuia.

Seișele sunt fenomene de oscilații periodice (amortizate sau întreținute) ale nivelului mării, provocate de o serie de cauze cum ar fi: încetarea bruscă, începerea bruscă sau variația bruscă a direcției vântului, trecerea unor cicloane sau a fronturilor de aer printr-o anumită zonă. Pentru țărmul românesc al Mării Negre, sunt fenomene rare.

2.2 MĂSURĂTORI DE VAL ȘI VÂNT

2.2.1 Măsurători în situ

Evaluarea climatului valurilor, considerând măsurători pentru perioade lungi de timp a ajuns la dezvoltarea de sisteme de măsurare care pot fi instalate în mediul offshore nefiind nevoie de o atenție specială în supravegherea și întreținerea acestora. De obicei aceste sisteme sunt instalate în apropierea zonelor costiere sau în zone cu apă adâncă, cu puține dispozitive instalate în zona cu apă intermediară. În zonele cu apă adâncă, instrumentele prezintă o mai bună calitate a datelor de val măsurate (intensitate și direcție), deoarece pentru aceste zone caracteristicile valurilor nu sunt influențate de fenomenele disipative care apar la interacțiunea cu fundul mării.

Pentru sistemele situate în apropierea țărmului acestea prezintă măsurători generale a datelor de val, având avantajul că analizează valuri care au trecut deja de zonele în care se întâlnesc cele mai multe procese costiere (refracție, difracție etc). Datorită diferențelor existente în mediul marin (locație, adâncime apă, etc) s-au dezvoltat mai multe tipuri de instrumente de a monitoriza și măsura condițiile de val și vânt din zonele costiere și offshore. Pentru măsurătorile de val, pe lângă clasificarea tipurilor de instrumente după adâncimea apei pentru care furnizează măsurători se pot considera și alte tipuri de clasificări. Unele sisteme sunt capabile să măsoare intensitatea valurilor (pe baza unei serii de timp a ridicării suprafeței apei), fără a ține cont de distribuția după direcții. Un al doilea set de instrumente face posibilă măsurarea distribuției pe direcții a condițiilor de val pentru diverse grade de rezoluție în spațiul geografic (Seymour, 1982).

Balize cu accelerometru vertical – fac parte din categoria sistemelor care urmăresc suprafața apei, având o formă sferică, fiind ancorate de obicei în ape cu o adâncime de circa 200 m sau chiar mai mică.



a)



b)

Fig. 2.1 Balize cu accelerometru vertical:

a) Waverider (University of Hawaii), b) Wave-Track (NOC).

Balize direcționale – prima baliză direcțională a fost dezvoltată în Marea Britanie și a fost îmbunătățită de cercetători din Japonia și Statele Unite (Holthuijsen, 2007). Acest tip de

sistem măsoară în special înclinarea suprafeței mării, producând rezultate mai puțin precise pentru ridicarea acestei suprafețe.

Unul din cele mai vechi instrumente meteorologice pentru determinarea direcția vântului este *morișca de vânt*. Aceasta este formată dintr-un corp lung care se termină cu o coadă, ce îi permite să se rotească liberă în jurul unei poziții verticale iar vârful acestui instrument este orientat întotdeauna către direcția din care bate vântul.



a) **Fig. 2.2 Instrumente de măsurare a condițiilor de vânt:**
a) Anemometru și b) aero- morișca

2.2.2 Date de satelit

În acest caz se folosește un sistem de tip radar care este orientat către suprafața mării, unde amprenta acestui fascicul (zona de pe suprafața mării care este marcată de aceste raze) are un diametru de câțiva kilometri, dimensiune care este mult prea mare pentru a urmări valurile individuale (Holthuijsen, 2007).

Cu toate acestea, semnalul reflectat de valurile din zona analizată către satelit este oarecum distorsionat datorită prezenței valurilor în aceea zona. Această deformare poate fi folosită pentru a estima distribuția acestei suprafețe, care va fi transformată în date de val, mai precis înălțimi semnificative de val. Acest procedeu de măsurare este prezentat în Figura 2.3, în care se consideră un instrument radar care trimite un puls electromagnetic de la satelit către suprafața apei.

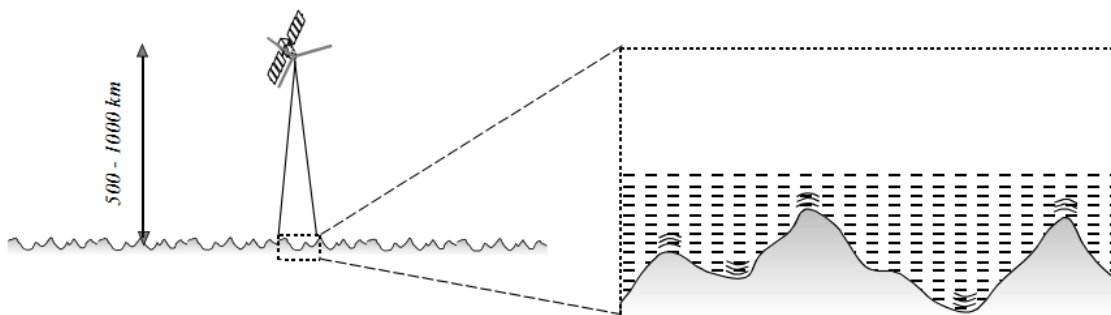


Fig. 2.3 Reprezentare schematizată a măsurătorilor de satelit (Holthuijsen, 2007)

În prezența valurilor, reflecțiile apar mai întâi de la creștele de val cele mai înalte. Acest lucru duce la o reflecție mai slabă a pulsului către satelit. Atunci când valurile sunt mici, deformarea acestui puls este mică și perioada de recepție va fi de asemenea scurtă.

Dacă valurile sunt mai mari, această deformare este mai mare și semnalul receptat este mai lung. Caracteristicile semnalului receptat reprezintă o măsură a stării suprafeței mării din care se pot obține valori ale înălțimii de val din zonele offshore studiate.

2.3 ANALIZE ALE DATELOR MĂSURATE ȘI SIMULATE DE MODELE NUMERICE

Datele referitoare la climatul vântului sunt valabile de zeci de ani, încă din 1950. În toată această perioadă metodele de măsurare și estimare a condițiilor de vânt s-au schimbat în mod constant dată fiind dorința meteorologilor de a obține previziuni cât mai precise. Pentru a reduce această problemă, s-a luat în considerare colectarea arhivelor de date existente și reanalizarea acestora folosind diverse modele numerice pentru a produce un set uniform și consistent de valori.

În prezent, două seturi de date de reanaliză sunt mai des utilizate:

- **NCEP/NCAR**
- **ERA-INTERIM**

Datele de măsurători in situ considerate pentru acest studiu au locațiile prezentate în Figura 2.4.



Fig. 2.4 Imagine satelit

Tabelul 2.1

Caracteristicile principale ale punctelor de referință și ale datelor de mediu considerate pentru analize

| Locație | Latitudine (N) | Longitudine (E) | Set de date | | | |
|-----------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------|-----------------|-----------|
| | | | Aviso val | Aviso vânt | ECMWF | |
| | | | Măsurători / Perioada | | Date / Perioada | |
| Sulina | 45 ⁰ 05′ | 29 ⁰ 46′ | 1 | 2010-2011 | 4 | 2001-2009 |
| Midia | 44 ⁰ 20′ | 28 ⁰ 43′ | 1 | 2010-2011 | 4 | 2001-2009 |
| Constanța | 44 ⁰ 10′ | 28 ⁰ 44′ | 1 | 2010-2011 | 4 | 2001-2009 |
| Mangalia | 43 ⁰ 48′ | 28 ⁰ 39′ | 1 | 2010-2011 | 4 | 2001-2009 |

Datele raportate de stațiile meteo sunt analizate considerând câțiva parametri statistici prezentați în Tabelul 2.1, în care analizele sunt raportate la perioada totală și cea de iarnă (unde perioada de iarnă este considerată din Octombrie până în Martie). Parametrii statistici evaluați sunt: percentilele 50 și 95, deviația standard, skeweness și kurtosis. Percentilele 50 și 95 sunt folosiți pentru a identifica valoarea mediană și valoarea maximă nefiind influențate de valorile extreme.

Aceștia sunt calculați folosind ecuația propusă de Robertson (2004),

Din valorile prezentate în Tabelul 2.2 rezultă că în timpul iernii valorile medii ale înălțimii semnificative a valurilor sunt în general aproape duble față de valorile înregistrate în

timpul verii. În timpul verii aproximativ 98% din valori sunt mai mici de 2 m, în timp ce în timpul iernii procentul scade la aproximativ 92%.

Tabel 2.2

Analize statistice ale condițiilor de val reflectate de măsurătorile de satelit pentru punctele de referință Sulina ,
Midia, Constanța și Mangalia. Analiza efectuată pentru intervalul de timp: Ianuarie 2010 – Decembrie 2011

| Locație | Perioada de timp | Număr de date | Date lipsă (NaN) | 50 th (m) | Medie (m) | 95 th (m) | Mod (m) | Std. (m) | Procent (%) | |
|-----------|------------------|---------------|------------------|----------------------|-----------|----------------------|---------|----------|-------------|------|
| | | | | | | | | | ≤ 2m | >2m |
| Sulina | Vară | 365 | 18 | 0.49 | 0.57 | 1.23 | 0.20 | 0.35 | 99.18 | 0.81 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 0.91 | 1.04 | 2.20 | 1.10 | 0.56 | 92.41 | 7.58 |
| Midia | Vară | 365 | 7 | 0.50 | 0.60 | 1.40 | 0.29 | 0.39 | 98.64 | 1.35 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 0.98 | 1.09 | 2.38 | 0.98 | 0.60 | 91.60 | 8.40 |
| Constanța | Vară | 365 | 7 | 0.50 | 0.61 | 1.40 | 0.37 | 0.40 | 98.65 | 1.35 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 0.98 | 1.09 | 2.39 | 1.02 | 0.60 | 91.32 | 8.67 |
| Mangalia | Vară | 365 | 7 | 0.53 | 0.64 | 1.50 | 0.32 | 0.41 | 98.64 | 1.35 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 1.00 | 1.11 | 2.51 | 0.49 | 0.61 | 91.32 | 8.67 |

În Tabelele 2.3 și 2.4 sunt prezentate analize statistice privind condițiile de vânt în punctele de referință considerate. Măsurătorile de satelit înregistrate într-o perioadă de doi ani indică pentru iarna valori medii în jur de 4,5 m/s, procentajul valorilor mai mici de 5 m/s fiind în jur de 60% iarna.

Analiza statistică a datelor simulate la ECMWF într-o perioadă de nouă ani indică valori medii ușor mai ridicate în special vara. De asemenea, procentul de viteze ale vântului mai mari ca 5 m/s este mai ridicat atât iarna, cât și vara.

Tabel 2.3

Analize statistice ale condițiilor de vânt reflectate de măsurătorile de satelit pentru punctele de referință Sulina,
Midia, Constanța și Mangalia. Analiza efectuată pentru intervalul de timp: Ianuarie 2010 – Decembrie 2011

| Locație | Perioada de Timp | Număr de date | Date lipsă (NaN) | 50 th (m/s) | Medie (m/s) | 95 th (m/s) | Mod (m/s) | Std. (m/s) | Procent (%) | |
|-----------|------------------|---------------|------------------|------------------------|-------------|------------------------|-----------|------------|-------------|--------|
| | | | | | | | | | ≤ 5m/s | > 5m/s |
| Sulina | Vară | 365 | 18 | 2.58 | 2.87 | 5.93 | 1.35 | 1.52 | 89.61 | 10.38 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 4.34 | 4.34 | 8.72 | 4.34 | 2.15 | 61.51 | 38.48 |
| Midia | Vară | 365 | 7 | 2.60 | 2.90 | 6.37 | 2.58 | 1.60 | 89.18 | 10.81 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 4.37 | 4.65 | 8.83 | 2.61 | 2.22 | 60.16 | 39.83 |
| Constanța | Vară | 365 | 7 | 2.62 | 2.90 | 6.36 | 1.27 | 1.60 | 89.18 | 10.81 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 4.34 | 4.64 | 8.80 | 3.67 | 2.22 | 60.43 | 39.56 |
| Mangalia | Vară | 365 | 7 | 2.64 | 2.91 | 6.17 | 3.13 | 1.59 | 88.64 | 11.35 |
| | Iarnă | 365 | 11 | 4.24 | 4.56 | 8.67 | 4.78 | 2.21 | 63.95 | 36.04 |

Tabel 2.4

Rezultate statistice considerând datele ECMWF pentru punctele de referință Sulina, Midia, Constanța și Mangalia. Analiza efectuată pentru intervalul de timp: Ianuarie 2001– Decembrie 2009

| Locație | Perioada de timp | Număr de date | Date lipsă | 50 th (m/s) | Medie (m/s) | 95 th (m/s) | Mod (m/s) | Std. (m/s) | Procent (%) | |
|-----------|------------------|---------------|------------|------------------------|-------------|------------------------|-----------|------------|-------------|--------|
| | | | | | | | | | ≤ 5m/s | > 5m/s |
| Sulina | Vară | 6570 | 0 | 3.98 | 4.17 | 7.85 | 2.35 | 2.02 | 68.98 | 31.01 |
| | Iarnă | 6570 | 0 | 5.29 | 5.48 | 9.80 | 3.07 | 2.39 | 45.38 | 54.61 |
| Midia | Vară | 6570 | 0 | 3.65 | 3.65 | 6.99 | 1.67 | 1.79 | 79.40 | 20.59 |
| | Iarnă | 6570 | 0 | 4.49 | 4.78 | 8.91 | 2.63 | 2.21 | 58.22 | 41.77 |
| Constanța | Vară | 6570 | 0 | 3.52 | 3.76 | 7.16 | 1.87 | 1.84 | 77.03 | 22.96 |
| | Iarnă | 6570 | 0 | 4.69 | 4.97 | 9.24 | 3.53 | 2.29 | 55.07 | 44.92 |
| Mangalia | Vară | 6570 | 0 | 4.15 | 4.36 | 8.21 | 2.85 | 2.12 | 65.94 | 34.05 |
| | Iarnă | 6570 | 0 | 5.68 | 5.95 | 10.86 | 4.20 | 2.72 | 40.39 | 59.60 |

Din seriile temporale de înălțimi de val prezentate în Fig. 2.5 se poate observa variația temporală a valorilor înregistrate. Maximele se regăsesc în perioadele de iarnă, când observăm valori apropiate de 6 m.

În Fig. 2.6 sunt prezentate valorile maxime, medii și minime ale înălțimii valurilor măsurate de sateliți în fiecare lună a anului. Din nou apare foarte clar diferențele semnificative care există între valorile înregistrate în timpul lunilor de vară, față de cele de iarnă.

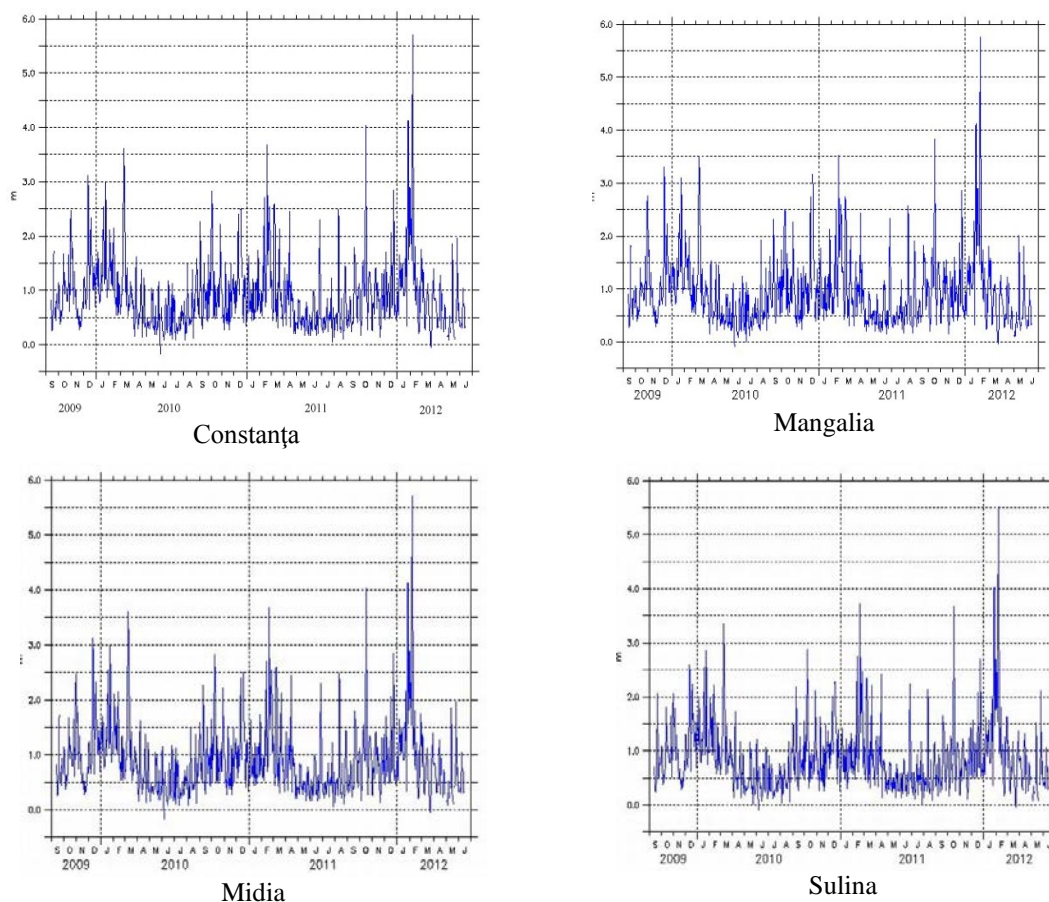


Fig.2.5 Serii temporale de înălțimi ale valurilor

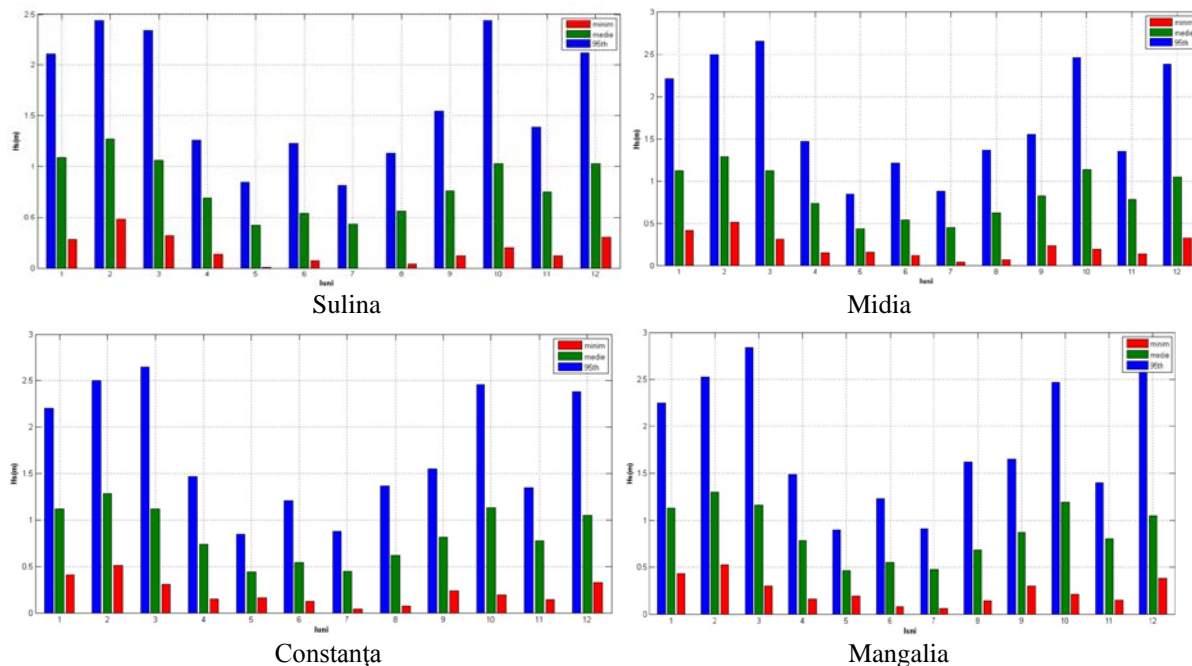


Fig. 2.6 Grafice lunare valori AVISO (max., med., min.)

În Fig. 2.7 este realizată analiză comparativă între valorile maxime, medii și minime ale înălțimii valorilor înregistrate în cele patru puncte de referință. Valorile sunt apropiate, dar ușor mai ridicate la Mangalia, în comparație cu celelalte locații. De asemenea, histogramele prezentate în Fig. 2.8 sunt asemănătoare.

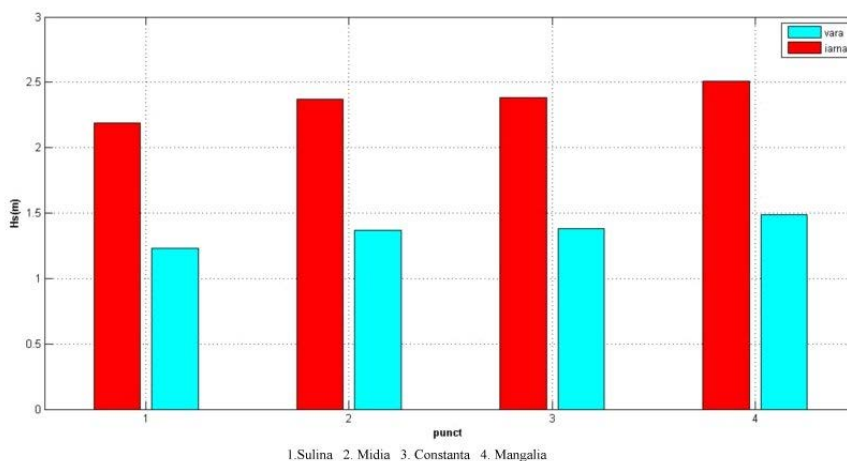


Fig.2.7.a Comparații directe vara/iarna valori –valori maxime

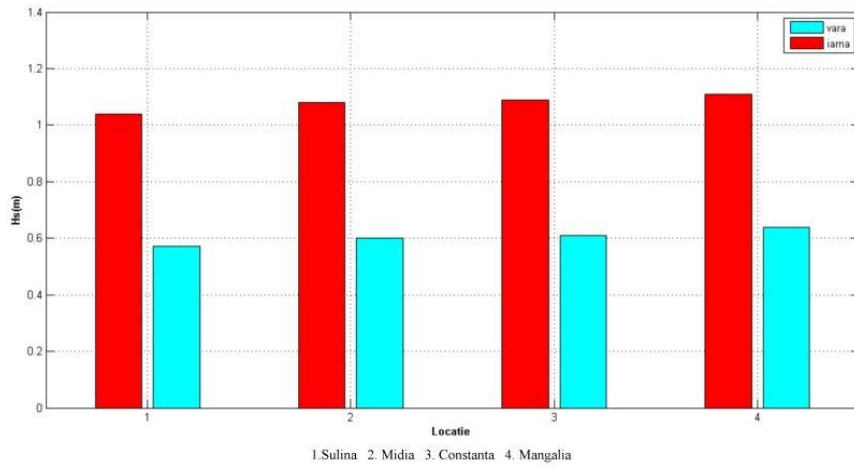


Fig.2.7.b Comparații directe vara/iarna valori –valori medii

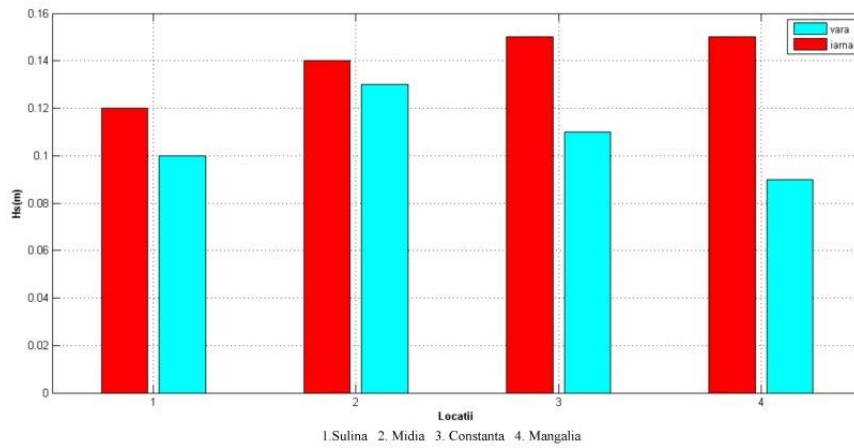
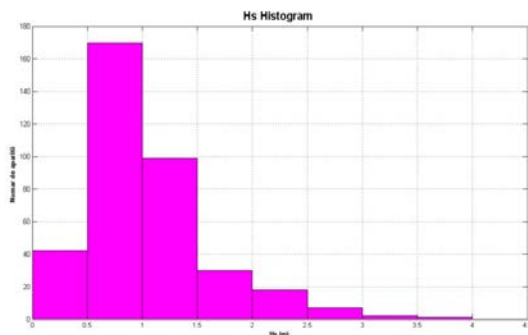
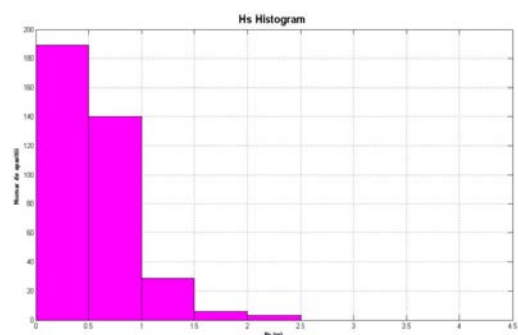


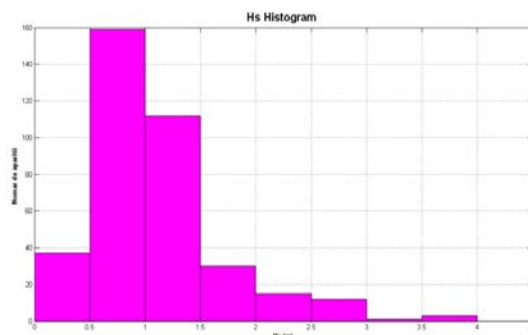
Fig.2.7.c Comparații directe vara/iarna valori –valori minime



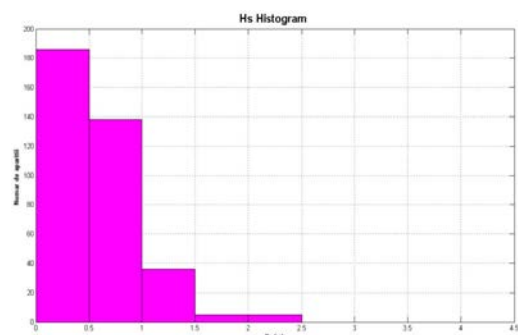
Sulina - iarna



Sulina - vara



Midia - iarna



Midia - vara

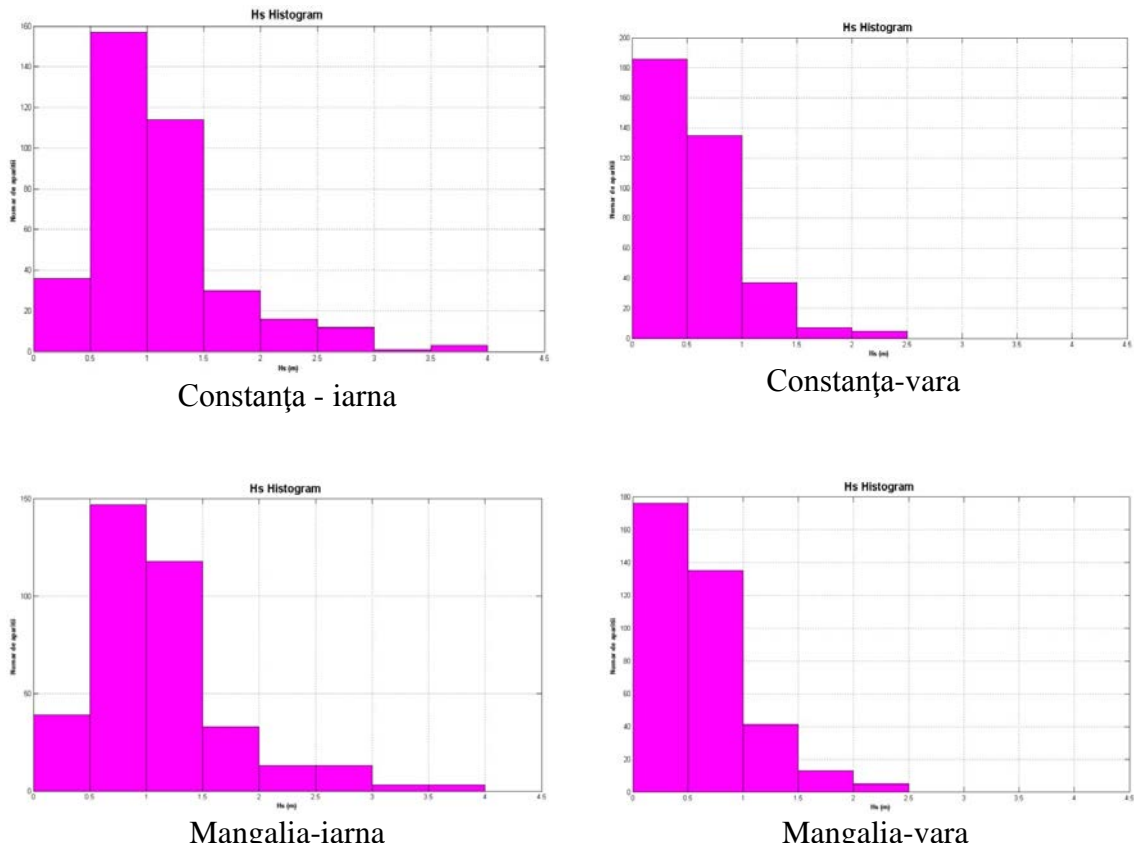


Fig. 2.8 Histograme valuri.

În Fig. 2.9 sunt prezentate valorile medii de înălțimi de val disponibilizate de AVISO pentru întreg bazinul Mării Negre. Se observă că în partea de vest și sud-vest a bazinului valorile medii ale înălțimilor de val sunt cele mai mari în toate lunile analizate.

Același tip de analize sunt realizate pentru datele de vânt în figurile 2.10÷2.16.

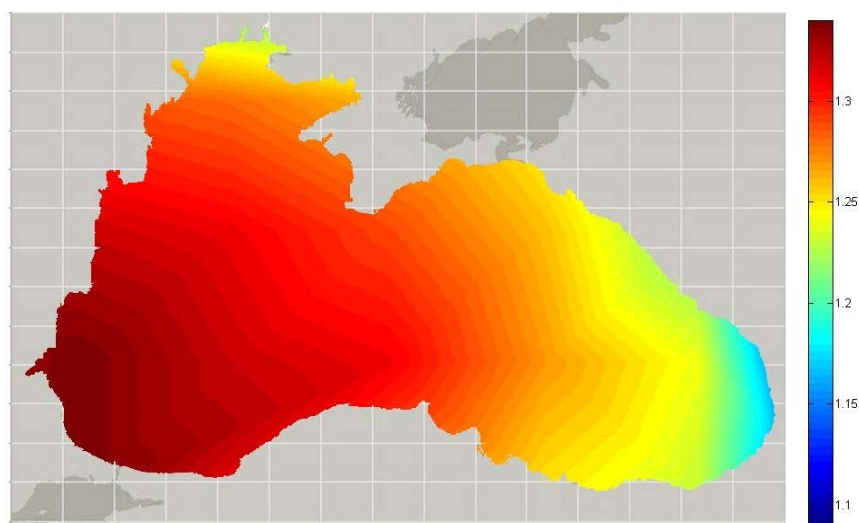


Fig.2.9.a. Interpolare spațială valuri – valori medii - Ianuarie

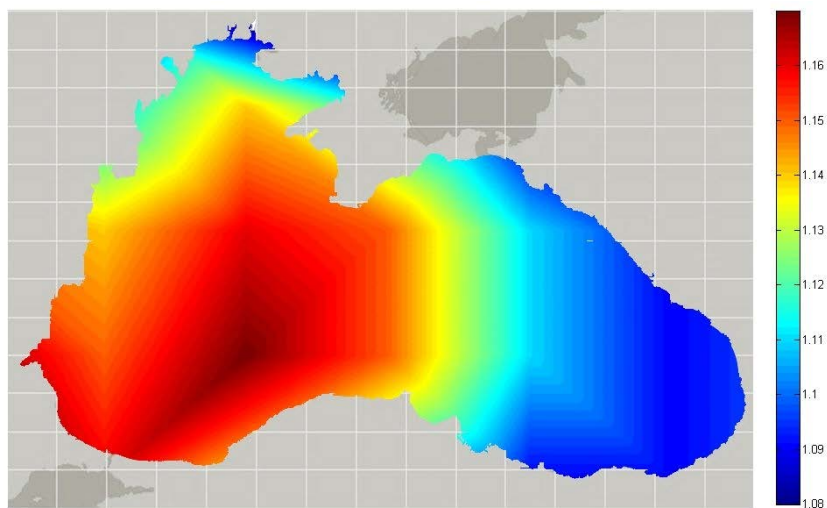


Fig.2.9.b. Interpolare spațială valuri – valori medii - Februarie

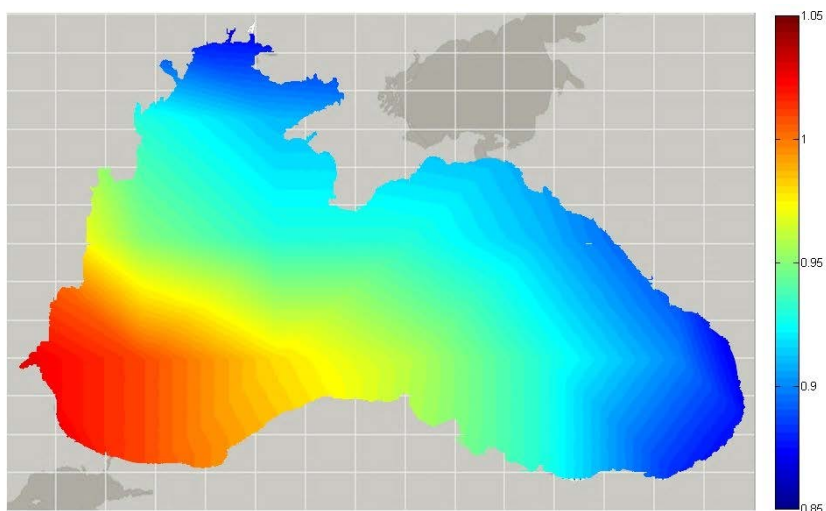


Fig.2.9.c. Interpolare spațială valuri – valori medii - Martie

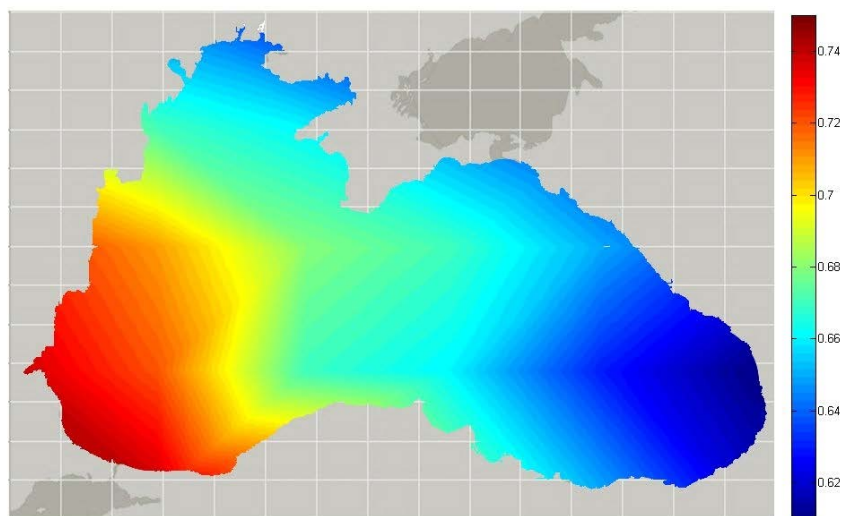


Fig.2.9.d. Interpolare spațială valuri – valori medii - Aprilie

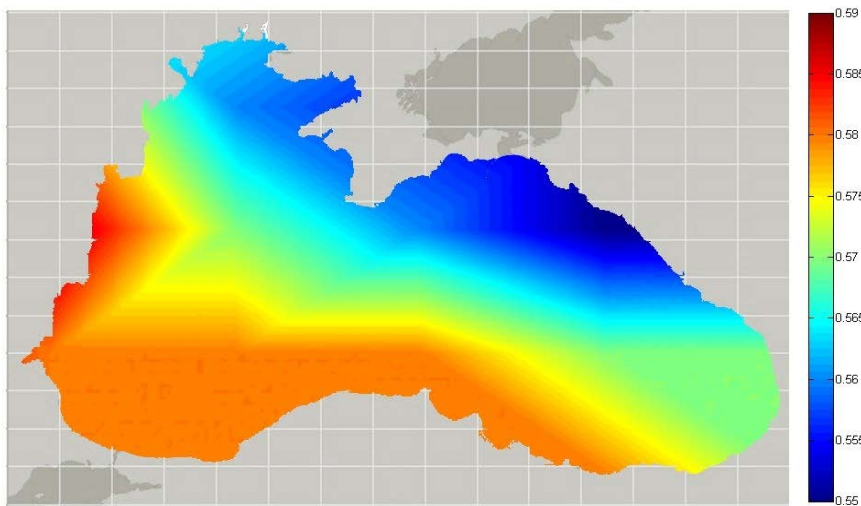


Fig.2.9.e. Interpolare spațială valuri – valori medii - Mai

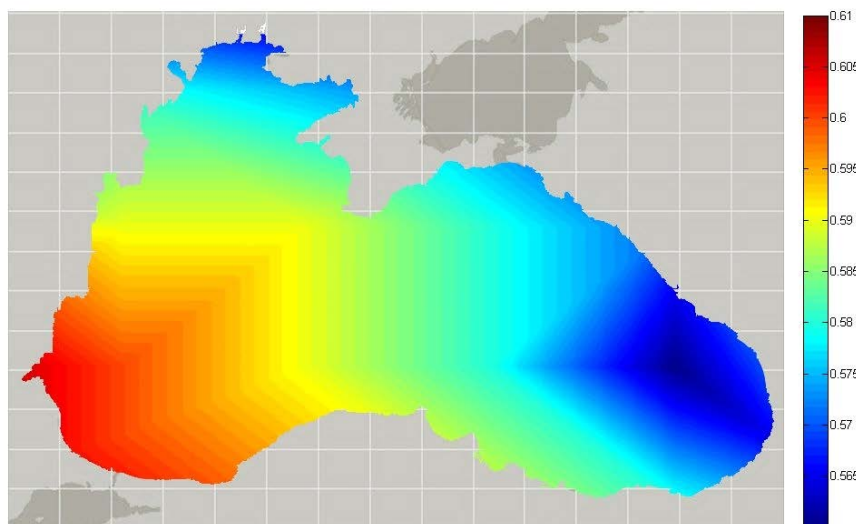
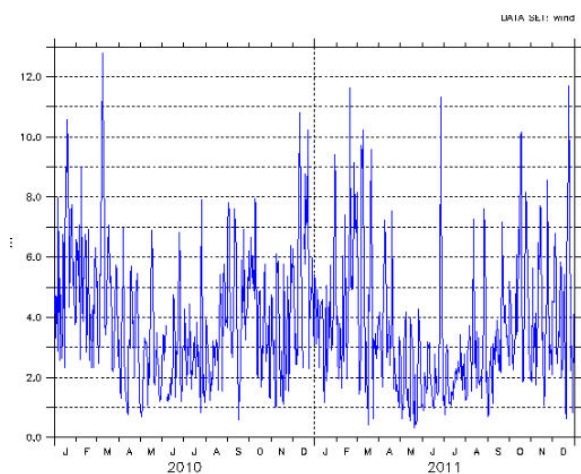
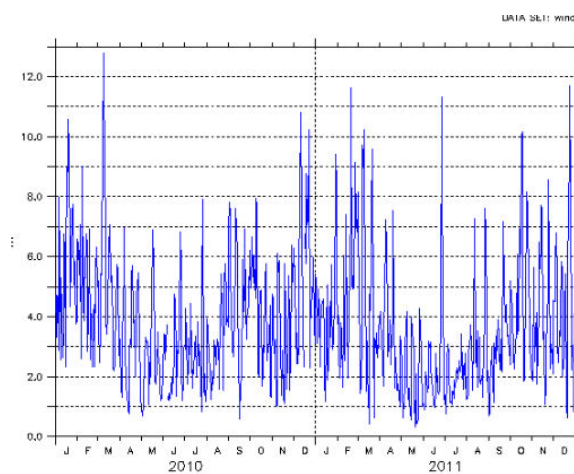


Fig.2.9.f. Interpolare spațială valuri – valori medii - Iunie



Constanța



Mangalia

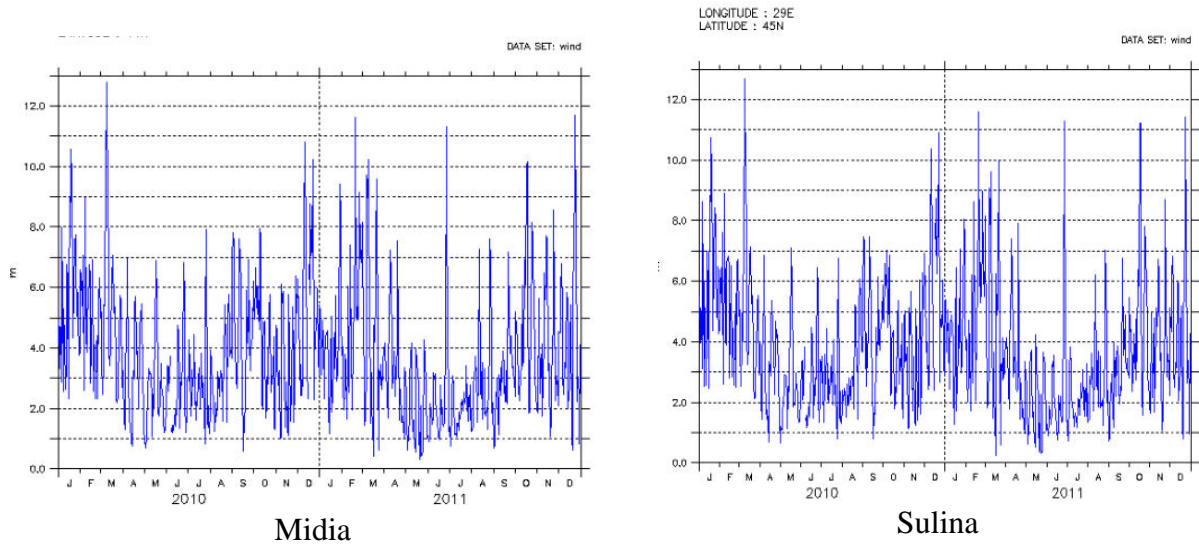


Fig.2.10.Serii timp – vânturi AVISO

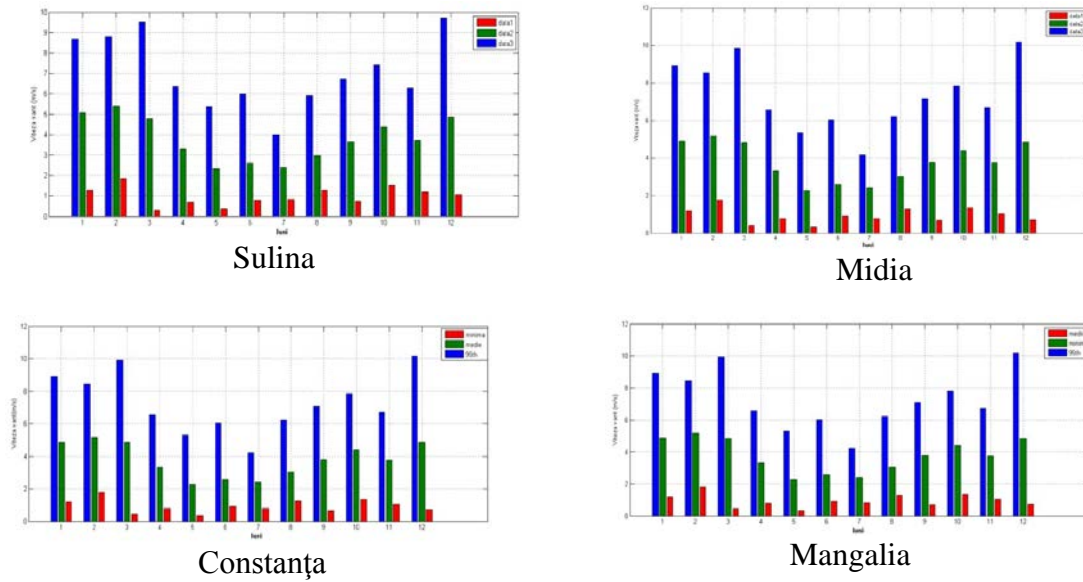
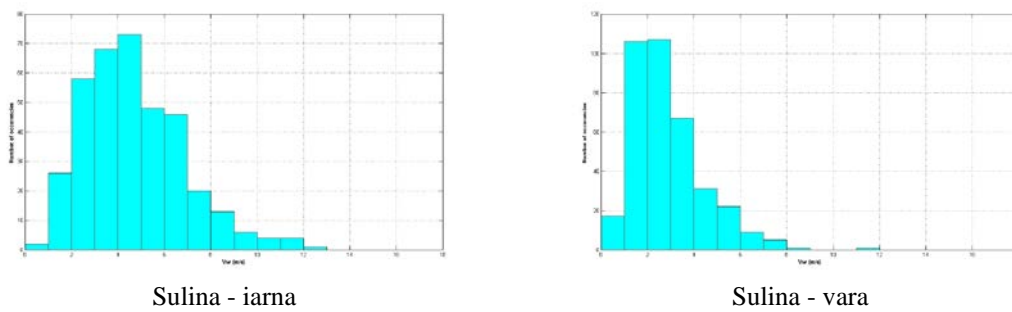


Fig. 2.11 Grafice lunare vânturi AVISO (max., med., min.)



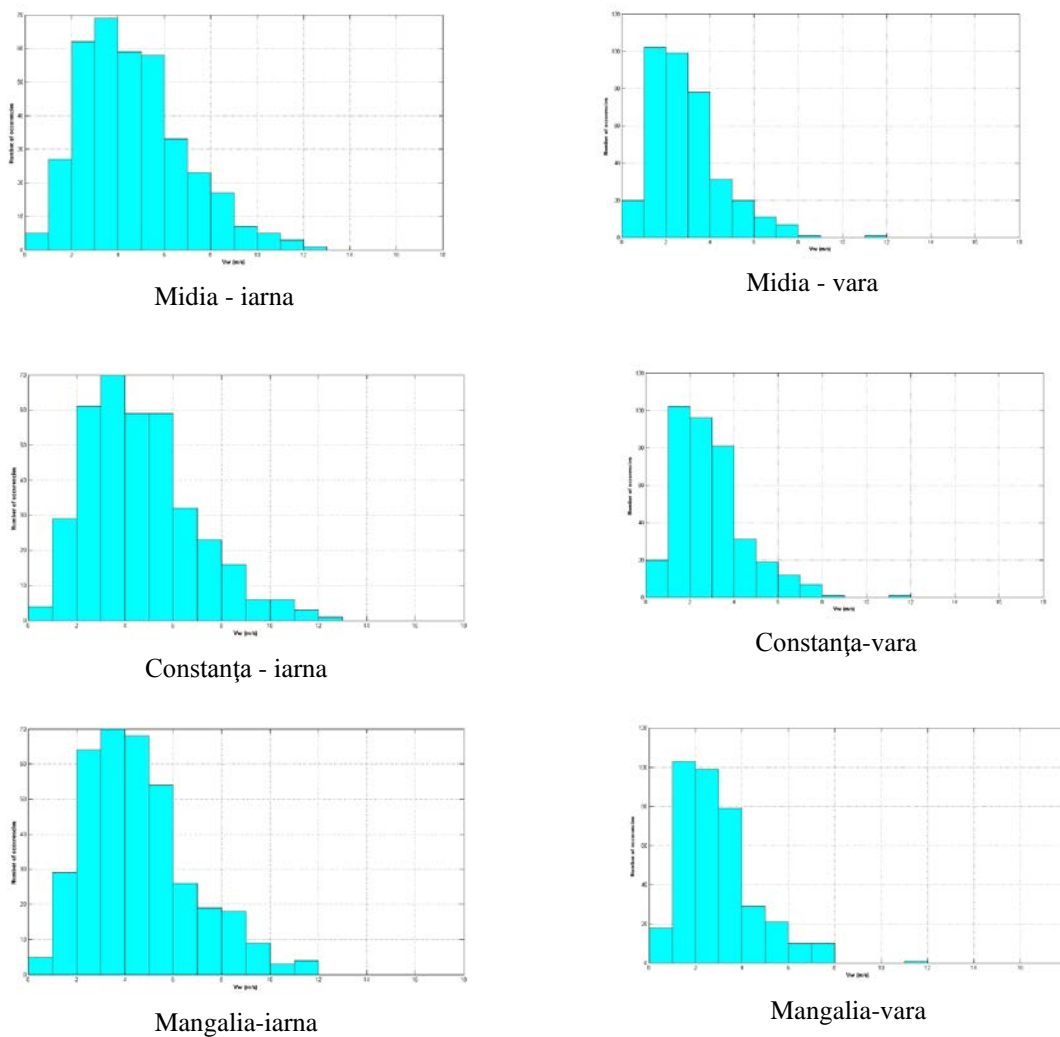


Fig. 2.12 Histograme vânturi – valori medii

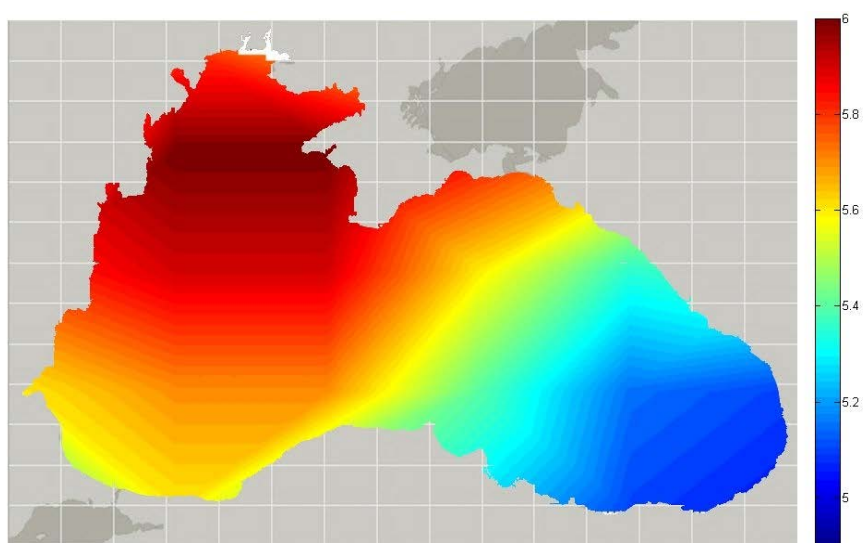


Fig.2.13.a. Interpolare spațială vânturi- valori medii - Ianuarie

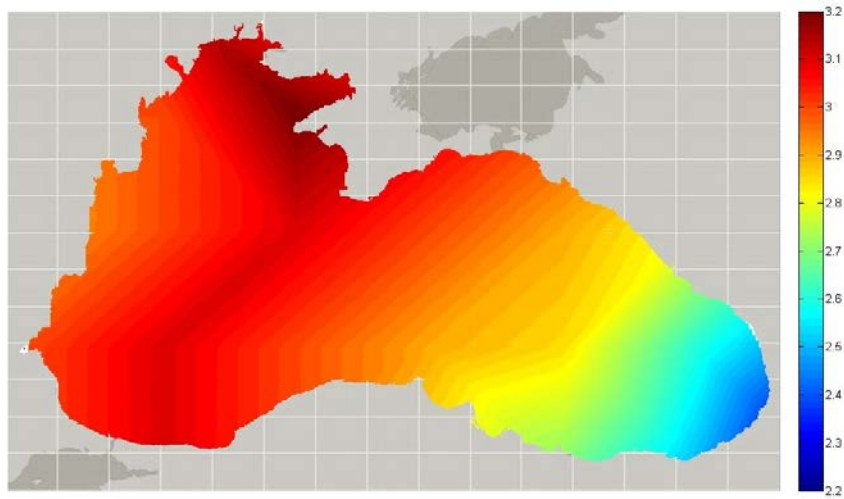


Fig.2.13.b Interpolare spațială vânturi- valori medii - Iunie

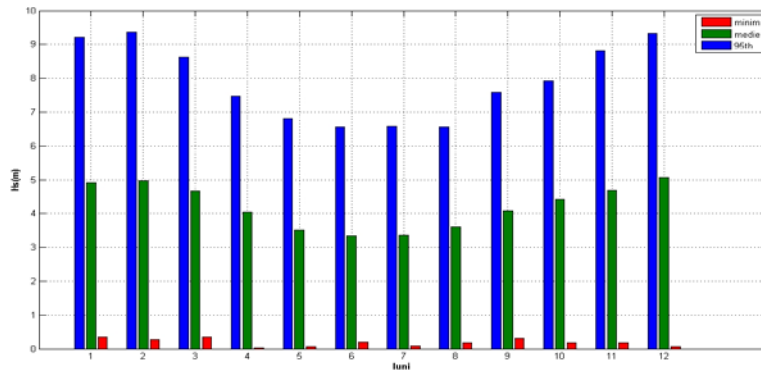


Fig.2.14.a. ECMWF vânturi – valori medii lunare - Midia

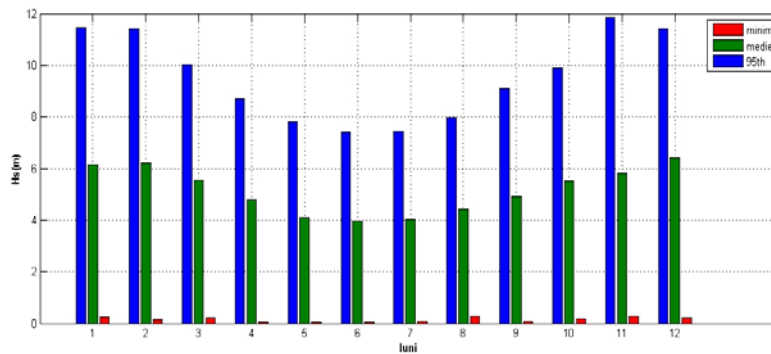
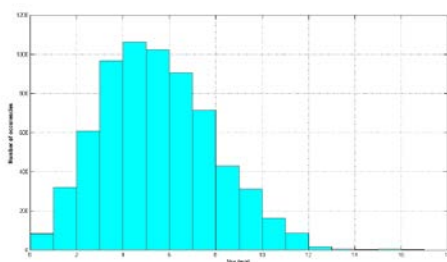
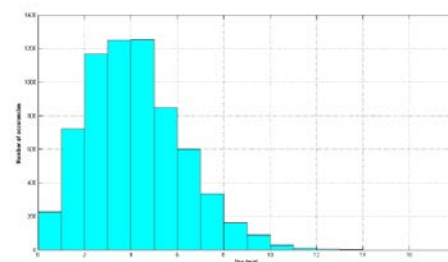


Fig.2.14.b. ECMWF vânturi – valori medii lunare - Mangalia



Sulina - iarna



Sulina - vara

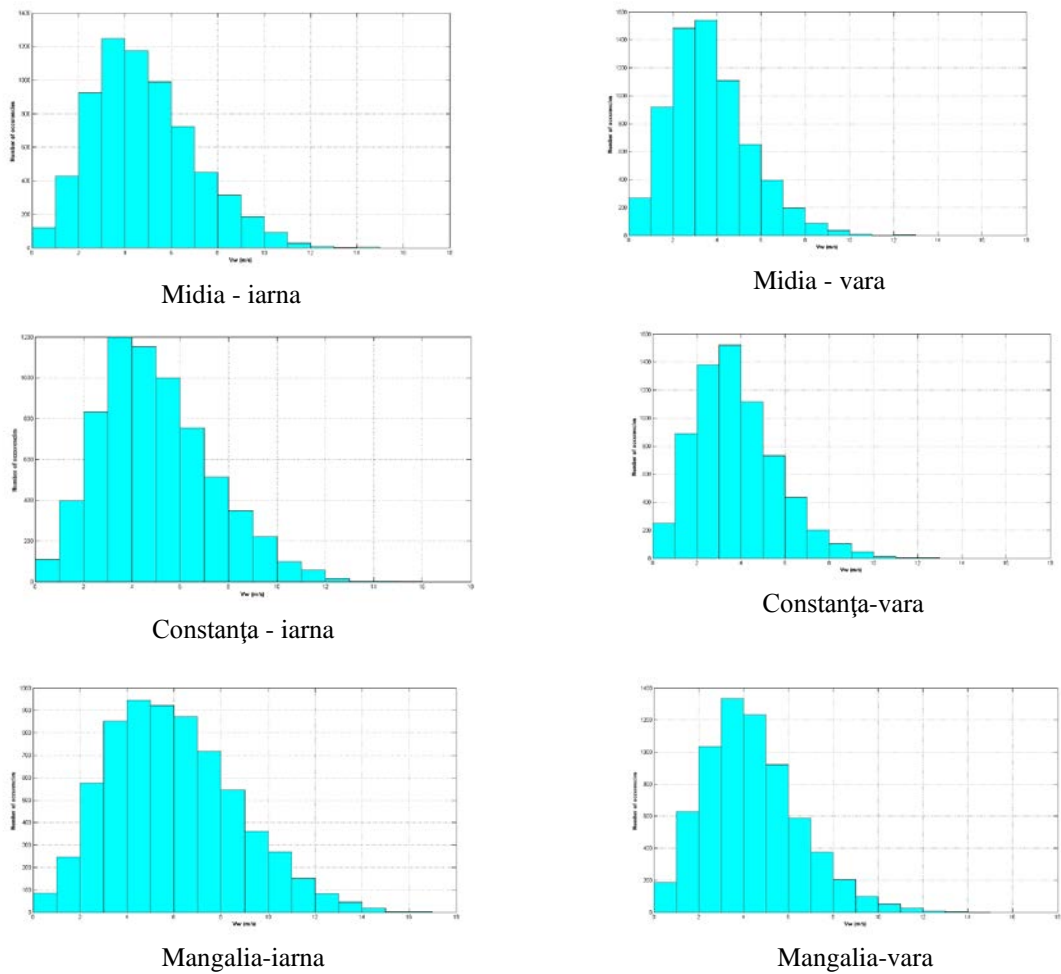


Fig. 2.15 SCMWF - Histograme vânturi –valori medii

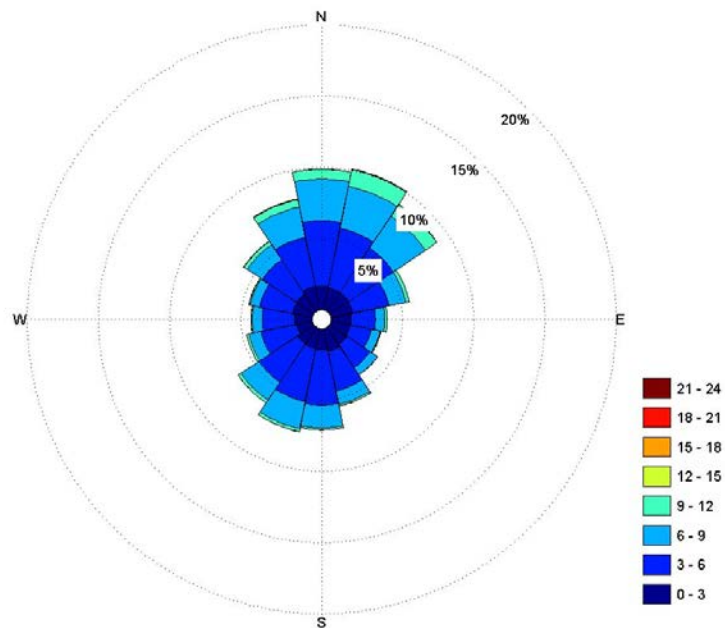


Fig.2.16.a. Wind roses – Distribuția vântului pe direcții - Sulina

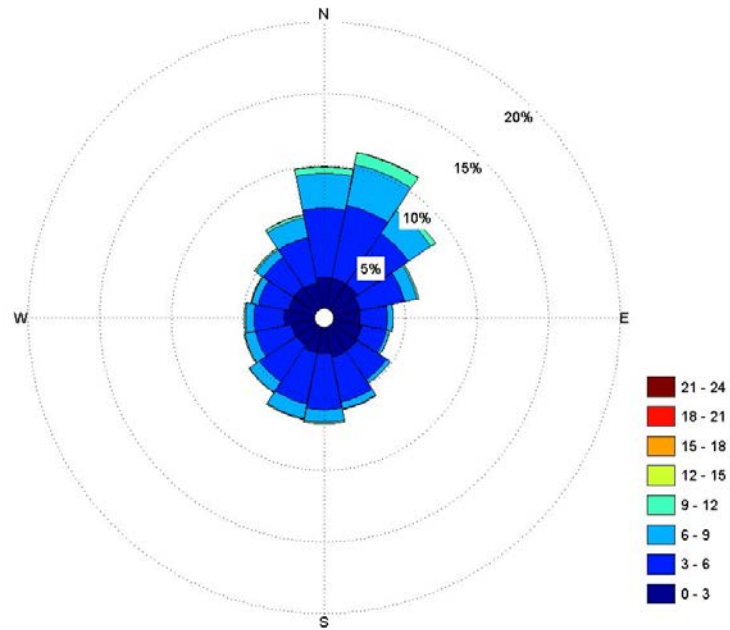


Fig.2.16.b. Wind roses – Distribuția vântului pe direcții - Midia

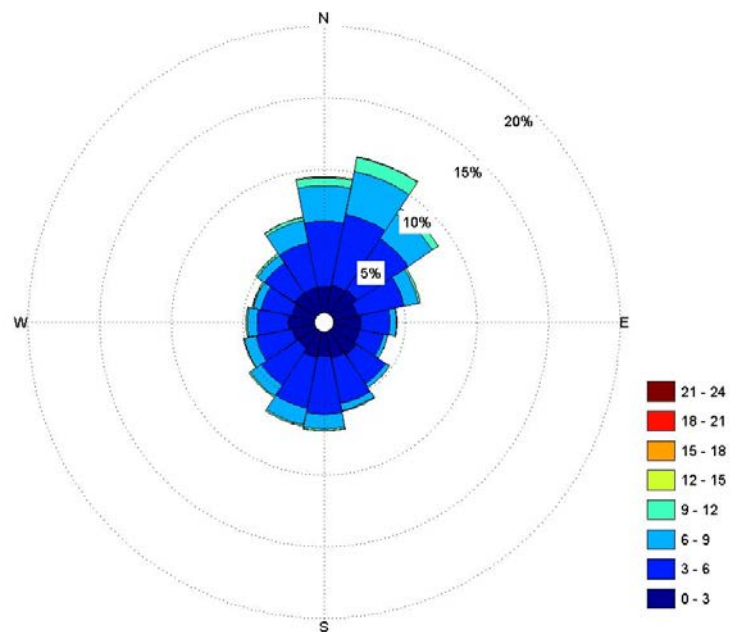


Fig.2.16.c. Wind roses – Distribuția vântului pe direcții - Constanta

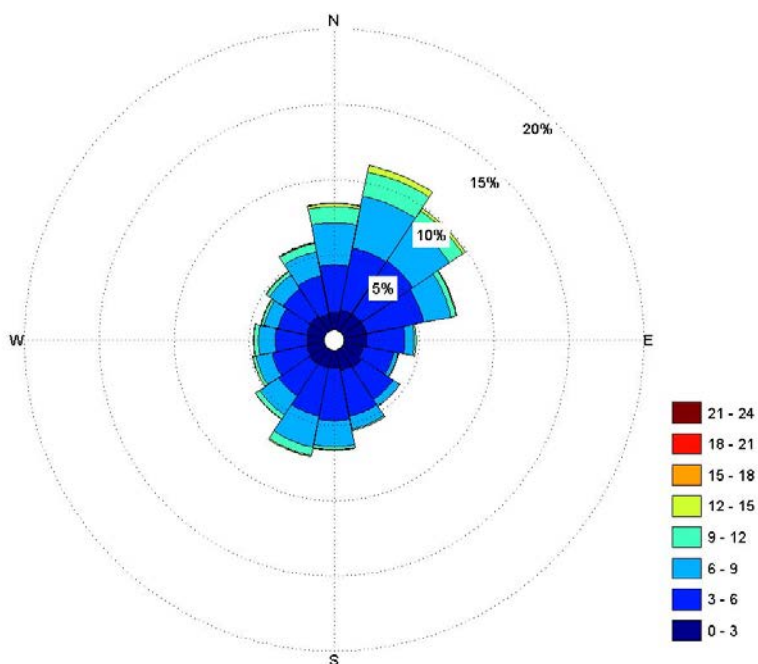


Fig 2.16.d. Wind roses – Distribuția vântului pe direcții - Mangalia

Din analiza direcțională a vitezelor vântului prezentată în Fig. 2.16 rezultă că în toate locațiile de referință direcția predominantă este nord-est, urmată de sud-vest.

Fig. 2.17 prezintă distribuția spațială a curenților din sectorul nord-vest al bazinului Mării Negre.

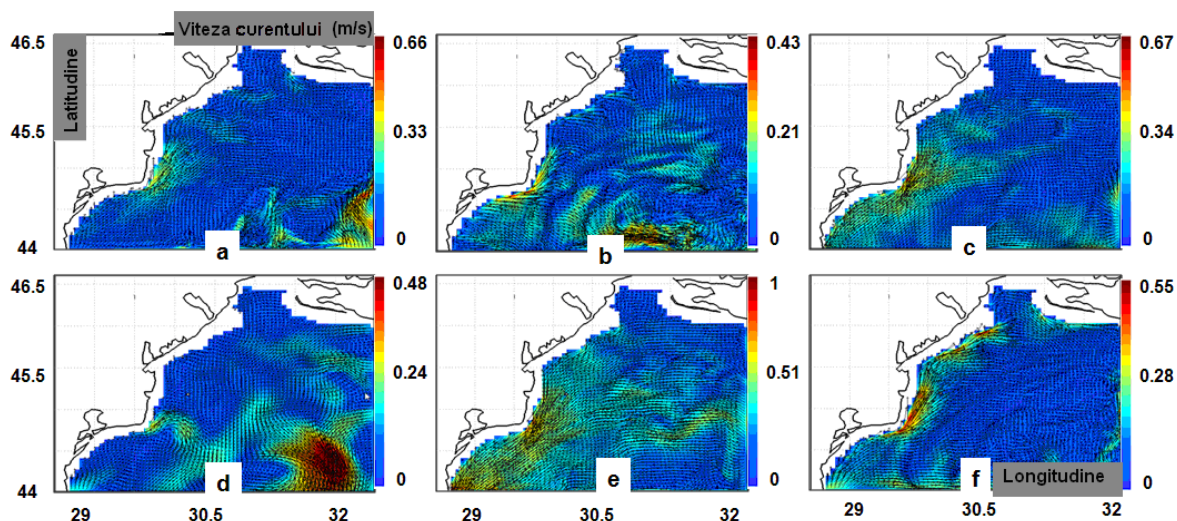


Fig. 2.17. Distribuția spațială a condițiilor actuale din sectorul de nord-vest a Mării Negre, obținute de la Institutul Național Român de Cercetare Marină și Dezvoltare. Evoluția curenților pentru: a) 22 februarie 2010; b) 8 iulie 2010; c) 3 ianuarie 2011; d) 11 iulie 2011; e) 26 ianuarie 2012; f) 12 iulie 2012.

La stațiile nearshore s-au raportat valori apropiate de 0,15 m/s, și sunt similare cu cele raportate în zona off-shore. Pentru același an, în timpul verii (iulie) poate fi de așteptat să se întâlnească o viteză mult mai mică a curenților, valori cuprinse între 0,25-0,40 m/s, care va avea loc în zona adiacentă a Sulinei și aproape de locația Midia. Pentru anul 2011, în timpul iernii (ianuarie) o valoare maximă de 0,67 m/s este raportată pentru Sulina, în timp ce pentru punctele rămase, viteza cu valori între 0,30-0,40 m/s poate fi considerată reprezentativă. Pentru perioada de vară (iulie) este raportată o valoare similară celei din anul 2011, care influențează doar zona Sulina. Pentru acest studiu de caz se poate observa circulația moderată a curenților locali, care pe zona off-shore va conta doar pentru o valoare maximă de 0,48 m/s.

Trebuie menționat și faptul că rezultatele prezentate în această parte a lucrării au fost publicate în Butunoiu și alții (2012).

2.4 DESCRIEREA PRINCIPALELOR ZONE ȘI ACTIVITĂȚI PORTUARE DIN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC A MĂRII NEGRE

Date generale - pentru țara noastră, litoralul maritim a constituit din cele mai vechi timpuri locul unde geții, grecii, romanii și apoi românii au schimbat cu alte popoare vecine creația lor materială și spirituală. Aici s-au intersectat în decursul vremurilor drumurile comerciale, culturale și strategice, precum și mari interese politice ce au marcat evoluția și destinele zonei.

Pe lungimea de 244 km a litoralului românesc sunt amplasate trei porturi, **Portul Constanța**, **Portul Mangalia** situat la cca. 40 km spre sud de Constanța și respectiv **Portul Midia** aflat la circa 18 km spre nord de Constanța.

PORTUL CONSTANȚA - orașul și portul se află amplasate pe fâșia de litoral de forma unei peninsule care are spre mare o înălțime de cca 15-20 m deasupra apei, iar spre interior de cca 50 m. Spre vest se întinde un podiș a cărui înălțime atinge 100 m.

Construcția portului Constanța - în anul 1858 au început primele lucrări în port, care constau din: două diguri, un bazin și un cheu lung de 200 m, în regim de concesiune acordat de turci. În 1870 se anulează însă concesiunea datorită întârzierilor și după obținerea independenței se elaborează studii pentru extinderea lucrărilor. În 1882 se promulgă legea privind lucrările din portul Constanța și răscumpărarea celui executate de un consorțiu englez la linia ferată Cernavodă- Constanța.

Urmare analizei variantelor de proiecte elaborate, s-a adoptat planul portului Constanța, ale căror caracteristici erau:

- suprafață acvatoriu = 60 ha;
- suprafață platformă împrejmuită = 67 ha;
- suprafață depozitare = 30 ha;
- dig larg cu l = 1377,56 m;
- dig sud cu l = 653,07 m;
- lungime cheiuri = 710 ml.

Lucrările s-au desfășurat în trei faze astfel:

- 1895 - 1899 de către antrepriza franceză Hallier;
- 1899 - 1910 în regie;
- 1911 - 1916 în regie.

Din 1908 portul Constanța a intrat în administrarea Direcției Porturilor Maritime subordonată Direcției Generale a Porturilor și Căilor de Comunicații pe Apă. Între 1880 - 1895 traficul a evoluat practic constant de la 67.549 t la 105.787 t, ajungând în 1911 la 1.400.686 tone.

În timpul primului război mondial Constanța a fost ocupată de trupele bulgare în oct. 1916, producându-se mari distrugereri, pierderi și jafuri. După 1 decembrie 1918 Dobrogea, inclusiv Constanța, au revenit în granițele țării. Începând din 1920 s-au executat lucrări de reparații - refaceri ale infrastructurii portuare, completate cu amenajări ale suprastructurii (platforme, magazii, utilaje de exploatare).

Traficul a evoluat fluctuant de la 568.125 t în 1921 la 1.573.422 t în 1945, din care cca 90% erau mărfuri de export (petrol, cereale, animale vii, produse lemnoase). După al doilea război mondial, s-a trecut la modernizarea portului, astfel că la sfârșitul deceniului VI portul Constanța dispunea de:

- o suprafață totală a incintei de 199 ha, din care acvatoriu 64 ha și teritoriu 135 ha;
- 24 dane de acostare, din care 21 operative;
- spații de depozitare în suprafață de 236.500 nr, din care 113.000 nr acoperite;
- adâncimi existente în port de 8,3 - 10 m, pentru nave de 25.000 tdw.

Acești parametri corespundeau în general cu prevederile vechilor proiecte ale ing. Anghel Saligny.

Pe baza proiectelor de extindere, aprobate în prima parte a anilor '60, s-au executat lucrări de infrastructură în intervalul 1964-1982 care au constat din: 5300 ml diguri. 8375 ml diguri și peste 110.000 m² magazii. Totodată s-a procedat la dotarea cu utilaje de exploatare la cheu și pe platforme, precum și la extinderea rețelelor de transport terestru care cuprindeau în final 144 km de cale ferată și 80 km drumuri interioare.

Corespunzător dezvoltării economice a țării, a apărut necesitatea construirii unui nou port maritim, pentru a cărui amplasare s-au studiat variantele: Sf.Gheorghe, Midia, Tuzla, Constanta Sud și Mangalia. În baza unor detaliate analize tehnico-economice s-a ales în 1985 soluția execuției portului Constanța Sud, care avea și avantajul că asigura debusarea canalului Dunăre – Marea Neagră în apropierea localității Agigea.

Principalele caracteristici ale portului sunt redate în tabelul de mai jos.

Tabelul 2.5
Caracteristicile portului Constanța

| CARACTERISTICA | U.M. | PORT ACTUAL | CONSTANTA SUD (final) | TOTAL (final) |
|-----------------------|----------|----------------|-----------------------------|------------------|
| Suprafața totala: | ha | 722 | 2500 | 3222 |
| - uscat | ha | 404 | 1300 | 1704 |
| - apa | ha | 318 | 1200 | 1518 |
| Lungime diguri | km | 6,77 | 11,45 | 17,77 |
| Lungime cheuri | km | 13,4 | 50 | 63,4 |
| Număr dane | buc | 78 | 200 | 278 |
| Adâncimi bazine | m | 7.2- 14,5 | 7 - 22.5 | 7 - 22,5 |
| Capacitate de trafic | mii.tone | 60 | 180 | 240 |
| Capacitate nave (max) | tdw | 80 | 250 | 250 |

Portul este dotat cu următoarele utilaje și utilități pentru exploatare:

- 154 macarale de cheu de 3,5 și 16 tf;
- 10 poduri descărcătoare de 20-50 tf pentru mărfuri în vrac;
- 2 portainere de 40 tf;
- 6 instalații pentru încărcat mărfuri în saci în nave;
- 4 instalații pneumatice din care 2 plutitoare pentru cereale și una plutitoare pentru ciment;
- 35 instalații pentru operarea produselor petroliere;

- 94 macarale mobile de 11,5 - 250 tf;
- 18 macarale plutitoare de 16-100 tf;
- 39.000 mp spații acoperite pentru depozitare și cca 172.200 mp platforme;
- o rețea interioară de 190 km căi ferate și 100 km de drumuri;
- cca 12.000 angajați în activitățile portuare.

În prezent portul Constanța oferă facilități și servicii specializate pentru desfășurarea activităților, astfel:

- 82 de dane în funcțiune din care, 25 pentru mărfuri generale, 2 pentru produse frigorifice, 6 pentru cereale, 7 pentru echipamente, 2 pentru produse metalurgice, 12 pentru cărbune și minereu, 7 pentru ciment, una pentru containere, 10 pentru îngrășăminte și fosfați, 2 pentru Ro-Ro, una pentru ferry-boat și 7 pentru produse petroliere;

- activități specifice în regim de zonă liberă, pe etape și perimetre distincte, din care unul este operativ;

- șantier naval dotat cu două docuri uscate cu lungimea de 360 m, lățimi de 48 m și respectiv 58 m, adâncimea de 10 m, două docuri plutitoare de 8000 t și 15000 t, cheuri de armare, macara capră de 480 tf;

- șantier naval de reparații nave fluviale, echipat cu cală de ridicare-lansare și platforme de lucru;

- remoraj maritim și fluvial cu remorchere de 600 - 4800 CP;

- servicii de pilotaj;

- servicii de aprovizionare a navelor.

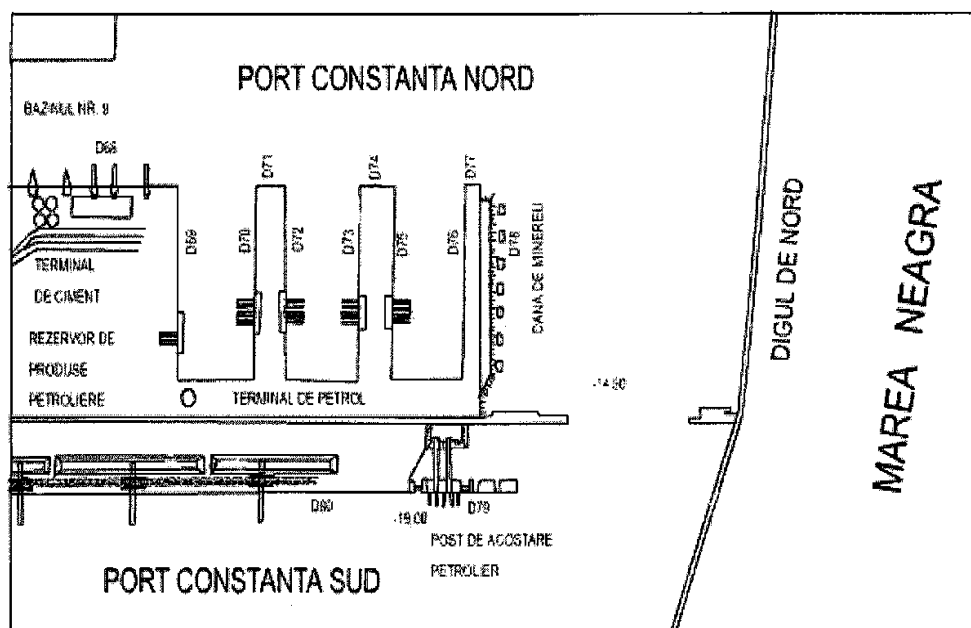


Fig. 2.22

Terminal de produse petroliere și terminalul de ciment

Portul turistic - Portul Tomis se integrează armonios în arhitectura urbanistică a orașului Constanța, reprezentând o prelungire a falezii Cazinoului și realizează o trecere echilibrată la plaja orașului. Accesul din oraș în port este deosebit de facil, putând fi realizat atât cu mijloace auto cât și pietonal. În apropiata vecinătate se află o serie de obiective turistice care sporesc gradul de atractivitate : Piața Ovidiu cu statuia poetului Ovidiu, Muzeul de Arheologie, Mozaicul Român cu vestigiile antice ale vechiului Tomis, Acvariul, Farul Genovez, Cazinoul.

Prin amplasamentul și infrastructura existentă, Tomis port oferă un potențial ridicat de valorificare a turismului nautic, activități sportive și de agrement, constituind un adăpost

pentru ambarcațiunile sportive cu vele. Capacitatea portului permite organizarea unei game largi de activități sportive, ca de exemplu regate care se desfășoară pe durata a mai multor zile

Potențialul Portului Tomis și calitățile organizatorice ale C.N. A.P.M. S.A. Constanța au fost dovedite în iulie 1999 cu ocazia Raliului de yachturi Kayra- raliu care a însemnat un itinerariu de peste 2000 mile marine în 58 de zile cu escale, în 30 de porturi din 6 țări care a inclus și Portul Tomis. Acesta din urmă a fost gazda timp de 6 zile pentru 40 de ambarcațiuni cu o lungime variind între 9 și 20 m - reprezentând 14 țări.

În prezent CN APM SA Constanța realizează un proiect de amenajare a Portului turistic Tomis, în sensul reabilitării atât din punct de vedere al gradului de siguranță, cât și al funcționalității și serviciilor. Se intenționează ca Portul Tomis să devină o destinație importantă pentru navele de agrement costiere care navigă de-a lungul litoralului românesc, cu escale spre sud la Eforie, Costinești, Neptun, Mangalia sau spre nord, la Mamaia, Midia.

Turismul nautic poate capata un caracter internațional, incluzând portul Tomis într-un circuit al Mării Negre. Se are astfel în vedere traseul Istanbul- Varna- Constanța- Odessa- Yalta, care poate fi realizat printr-o navigație costieră. Acest gen de circuit se poate extinde, incluzând și alte localități de pe țărmurile Mării Negre (portul bulgăresc Varna, portul ucrainean Odessa), dar și Delta Dunării.

PORTUL MANGALIA- este amplasat în sud-estul litoralului românesc, la o distanță de 25 Km de Constanța și 264 km de Istanbul, în vecinătatea localității sinonime.



Fig. 2.24
Imagine Port Mangalia

Amplasat la sud de oraș, acvatoriul portuar este realizat cu patru diguri în lungime totală de 3,78 km. Bazinul inițial - de nord - avea suprafața de 80 ha cu dane de acostare pentru nave de capacitate redusă.

Portul Mangalia este situat pe coasta Mării Negre în SE României în coordonatele: Lat : 43 gr. 49' N Long : 028 gr. 35' E.

În deceniul VIII s-a proiectat extinderea portului, realizându-se o incintă cu suprafața de cca 300 ha, în care sunt create zone de manevră și există un front de cheu în lungime de 400 m și cu adâncimea de acostare la -9,0 m pentru încărcarea-descărcarea mărfurilor. Aceste dane comerciale dispun de 4 macarale portic de 5 tf x 32 m, o magazie cu suprafața de 4300

m și platforme de depozitare de cca 20.000 mp. În anii '80 a existat o propunere de extindere a acvatoriului portuar spre sud care însă nu s-a concretizat din lipsă de trafic. Totuși în deceniul XX s-a amenajat un terminal destinat importului de bitum, dotat cu un front de acostare de 100 ml și trei rezervoare de 5000 t prevăzute cu instalațiile aferente pentru primire și expediere pe c.f. sau auto.



Fig. 2.25
Harta portului Mangalia

Dane operaționale = 400 m, adâncime maximă la cheu = 8 m, macarale de cheu = 4 buc cu cap.de ridicare de 6.3 tf fiecare, pescaj pe șenal la intrare/ieșire = 6,5 m.

Danele sunt operaționale pentru mărfuri generale, cereale, produse balastiere, pasageri. În incinta portului, din mai 1998 s-a pus în funcțiune un terminal de stocare Bitum în 3 rezervoare de 5000 t, fiecare cu sistem propriu de menținere a temperaturii la 160 C. Bitumul este importat din Italia. Livrarea la intern se face prin 4 rampe de încărcare auto și o rampă pentru cisterne CFR.

Suprafața de depozitare a mărfurilor în port = 27.000 mp cu 3 magazii cu suprafață de 4500 mp.

În portul Mangalia au acces nave având capacități de maxim 10.000 tdw.

Pe malul de sud al lacului Mangalia s-a dezvoltat un șantier naval denumit până în 1995 "2 MAI" când a fost preluat de concernul coreean DAEWOO.

Pe baza proiectelor elaborate la IPCM și IPTANA în perioada 1975-1984 s-au realizat următoarele obiective de investiții:

- doc de construcții - reparații nave cu două camere;
- doc de reparații nave cu dimensiunile camerei de 340 x 60 m;
- un doc plutitor de 20.000 t și două buc.de câte 10.000 t;
- cheuri de armare în lungime totală de cca 1600 ml .

PORTUL MIDIA - se află amplasat în zona capului Midia, pe teritoriul dintre țărmul mării și lacul Tasaul, la nord de orașul și stațiunea Năvodari.

Portul Midia este situat pe coasta Mării Negre, aproximativ 13.5 nm N de Constanța.

Digurile N și S au o lungime totală de 6,97 m. Portul se referă la 833,9 ha din care 233,7 ha este teren și 600,1 ha este apa. Există 14 dane.

În anul 1938, în cadrul lucrării "Baza navală Tasaul" s-a întocmit proiectul de realizare a portului Midia pentru asigurarea intrării/ieșirii navelor maritime aflate atunci în dotarea flotei. Din acest proiect s-a realizat un tronson de 900 ml din digul de nord, precum și prelungirea căii ferate pe tronsonul Constanta - Ovidiu .

Ulterior, în 1950, în cadrul primului proiect de realizare a canalului Dunăre – Marea Neagră în varianta Cernavoda - Poarta Alba - Năvodari, portul terminus a fost stabilit la Midia. Cu acest prilej s-au executat încă 800 ml din digul de larg, precum și circa 1400 ml din digul de sud după care lucrarea a fost sistată din nou în 1953.



Fig. 2.26
Imagine Port Midia

În 1976, corelat cu amplasarea combinatului petrochimic Năvodari (actual SC PETROMIDIA SA) pe cordonul litoral dintre lacul Tasaul și mare, s-au reluat lucrările de realizare a portului. Acesta era destinat aducerii pe mare a petrolului brut și livrarea pe calea apei (mare și canal navigabil) a produselor combinatului, precum și creerii unei baze de reparații nave (conf.Decret nr.446/30.11.1977).

În incinta acvatoriului portuar există în prezent spațiu disponibil pentru amenajarea unor noi moluri și cheuri inclusiv platforma de depozitare și utilități în exploatare, în funcție de oportunități viitoare.



Fig. 2.27
Vedere asupra Portului Midia

FLOTA COMERCIALĂ - după anul 1878 a fost înființat Serviciul Maritim Român (cu sediul la București, dar baza la Constanța), în timp ce Școala Flotilei, devenită ulterior Universitate Maritimă și transferată la Constanța, funcționa deja la Galați din 1872. În anul 1909, anul înființării Școlii Navale Superioare de la Constanța, Serviciul Maritim Român avea în exploatare o duzină de pacheboturi și vreo douăzeci de cargouri și alte nave, la care se adăugau nave ale unor companii private.

„Serviciul Maritim Român” a fost desființat la sfârșitul celui de-al doilea război mondial, după ce URSS confiscă cele 16 vase de linie în posesia sa, și înlocuit printr-o întreprindere sovieto-română numită „Sovromtransport”, căreia sovieticii îi atribuiră două din navele confiscate: pachebotul „Transilvania” și vaporul mixt „Ardeal”. La rândul său compania „Sovromtransport” a fost integrată în 1954 în noua companie „Navrom”, înființată prin HCM 368 și aflată sub controlul exclusiv al statului român, cu sigla „NR” în litere roșii peste două benzi orizontale albastre, care mulțumită construcțiilor navale a navlosit până la treizeci de nave.

Până în 1990, flota maritimă comercială a României avea peste 300 de nave, la care se adăugau flota de pescuit oceanic și cea fluvial. Navrom Constanța deținea toate navele. Apoi, Navrom s-a divizat în trei societăți, toate cu capital integral de stat: Navrom, Romline și Petromin. În 1993, fostul ministru al Transporturilor Paul Teodoru a luat decizia de a transfera navele către mediul privat. Așa s-au înființat 53 de societăți cu capital privat. În februarie 2011, flota mai avea doar cinci nave, celelalte fiind înstrăinate. Cargoul Albatros, feriboturile Eforie și Mangalia, precum și RO-RO-urile Sammarina A și M (RO-RO-urile sunt vase care transportă autovehicule) erau singurele nave de transport maritim aflate sub pavilion românesc.

În prezent, flota turistică maritimă sub pavilion românesc, este redusă la mai puțin de cincizeci de unități. În acest domeniu economic, foarte dezvoltat în țările care dispun de un litoral, România reprezintă o excepție, deoarece flota turistică maritimă a dispărut în anii comunismului, când marea devenise o zonă de frontieră strict păzită unde numai ambarcațiile aparținând statului erau autorizate să pătrundă și să navigheze. După întoarcerea la economia de piață, în România, legislația, regulamentele maritime, investismentele și infrastructurile portuare turistice nu s-au modificat substanțial unde domeniul maritim național rămâne greu accesibil particularilor. Din acest motiv, flota turistică maritimă nu s-a putut dezvolta în România, deși în țările europene cu litoral, este un sector economic înfloritor, cerința internațională de locuri la cheu depășind cu mult oferta, cu termeni de așteptare depășind zece ani.

CAPITOLUL 3

MODELAREA VALULUI MARIN UTILIZÂND METODELE SPECTRALE

În capitolul III se prezintă câteva elemente de referință privind modelarea spectrală a valului marin, acestea pornind de la faptul că în prezent cea mai viabilă reprezentare a valurilor mării este dată de modele spectrale.

Așa cum se cunoaște spectrul de val este transformata Fourier a funcției de autocorelație a ridicării suprafeței libere a apei. Sunt prezentate mai întâi principalele mecanisme de transfer a energiei de la vânt la valuri, fiind exemplificat mecanismul Jeffrey iar mai apoi fiind discutat mai pe larg mecanismul Phillips-Miles. Pe baza acestui ultim mecanism este dedusă ecuația de guvernare a modelelor spectrale (Ecuația Hasselmann), care descrie propagarea energiei spectrale a valului în timp, în spațiul geografic (latitudine, longitudine) și în spațiul spectral (definit de frecvențe și direcții). Sunt discutate apoi câteva aspecte privind modelarea principalilor termeni sursă care se referă la interacțiunile neliniare dintre valuri de tip cuadruplet, la fenomenul de disipare prin înspumare (de tip whitecapping) și la efectele adâncimii finite.

PROPAGAREA AERULUI DEASUPRA SUPRAFEȚEI MĂRII

Sistemul atmosferă-ocean acționează ca sistem termodinamic cuplat, în care răspunsul unui fluid la forțarea impusă de celălalt duce la o schimbare în zona suprafeței de separare dintre cele două medii.

Nu ne vom ocupa aici de descrierea generală a interacțiunii cuplate atmosferă-ocean ci mai degrabă de dinamica stratului limită. Acesta este tratat ca un strat cu fluxuri verticale constante de impuls, căldură și umiditate.

Cu acuratețea 10-20% în stratul $h_p \approx 10 - 50$ m Fig. 3.1 prezintă o relație idealizată pentru un profil de vânt extins într-o zonă marină omogenă din punct de vedere spațial (departe de orice uscat). Porțiunea cea mai joasă este uneori denumită stratul de efort constant, întrucât există esențial un flux constant al impulsului prin acest strat. În acest strat de jos, scara temporală a transferului impulsului este atât de scurtă încât efectul Coriolis este mic sau chiar deloc, iar de aici, direcția vântului rămâne aproximativ constantă (Cavaleri și Bertotti, 2004).

Deasupra acestui strat este o regiune care este uneori denumită Stratul Ekman. Deasupra stratului Ekman, așa-numitul nivel geostrofic este (din punct de vedere asimptotic) apropiat. Se presupune că vânturile la acest nivel sunt în afara influenței suprafeței planetare. În consecință, variații în ceea ce privește vânturile deasupra stratului Ekman sunt produse de mecanisme diferite de cele din straturile anterioare.

Folosind teoria amestecurilor dezvoltată de Prandtl, se poate arăta cum curgerea în stratul cu flux constant (sau stratul Prandtl) depinde doar de rugozitatea suprafeței.

Soluția lui Prandtl arată cum curgerea orizontală peste suprafața oceanului urmează bine cunoscutul profil „log” (logaritm) în direcția verticală.

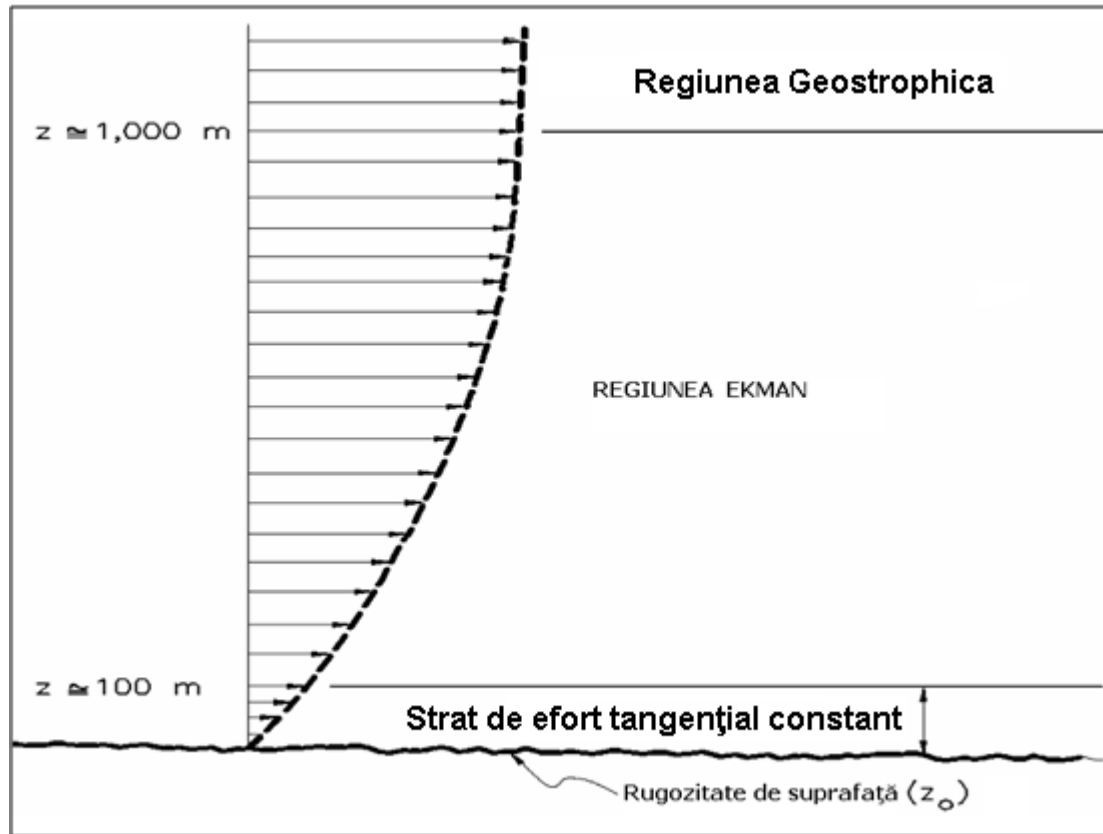


Fig. 3.1
 Profil de vânt în stratul atmosferic limită

Când suprafețele (uscat sau apă) sunt semnificativ mai calde sau mai reci decât aerul de deasupra, efectele stabilității termale tind să modifice profilul logaritm din ecuația (3.7). Dacă suprafața de bază este mai rece decât aerul, atmosfera devine stabil stratificată, iar transferurile turbulente sunt suprimate. Dacă suprafața este mai caldă decât aerul, atmosfera devine instabil stratificată iar transferurile turbulente sunt îmbunătățite.

Un transfer de impuls în apa din atmosferă poate fi influențat considerabil de efectele stabilității.

Stratificarea reduce clar coeficientul de rezistență pentru condiții stabile și mărește coeficientul de rezistență pentru condiții instabile (Fig. 3.2). În consecință, pentru aceeași viteză a vântului la un nivel de referință, rata transferului de impuls este mai mică într-o atmosferă stabilă decât într-o atmosferă instabilă (Booij și alții, 1999).

Studiile lui Hsu (1974), Geernaert, Katsaros și Richter (1986), Huang și alții (1986), Janssen (1989, 1991) și Geernaert (1990) sugerează faptul că, în acest caz, coeficientul de rezistență depinde nu numai de viteza vântului ci și de stadiul de dezvoltare al mării. Mecanismul fizic responsabil de acest lucru se pare că este relaționat de viteza de fază a valurilor în apropierea vârfului spectral relativ la viteza vântului (Morton, 2002).

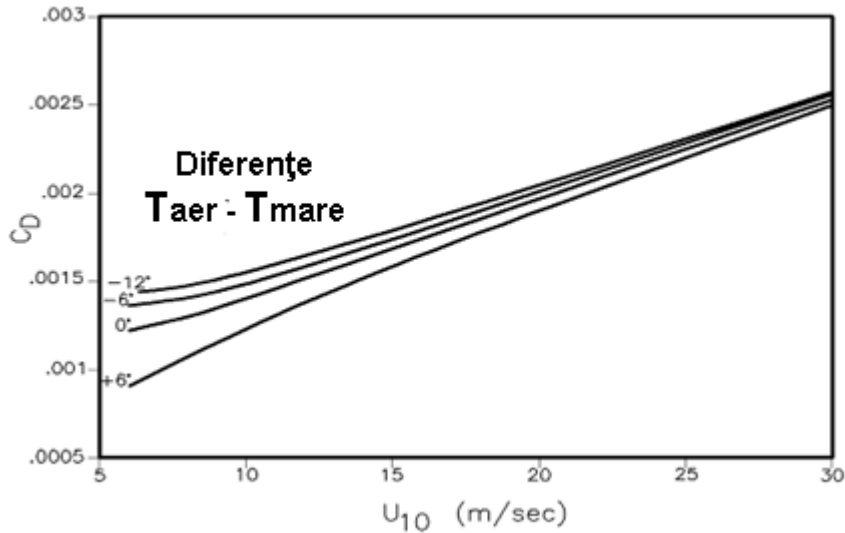


Fig. 3.2
Coeficientul de rezistență și viteza vântului

În Fig. 3.3 este prezentată variația lungimii rugozității în raport cu viteza de frecare. Linia groasă corespunde formulei lui Charnock cu $m = 0,021$ (Komen și alții, 1994).

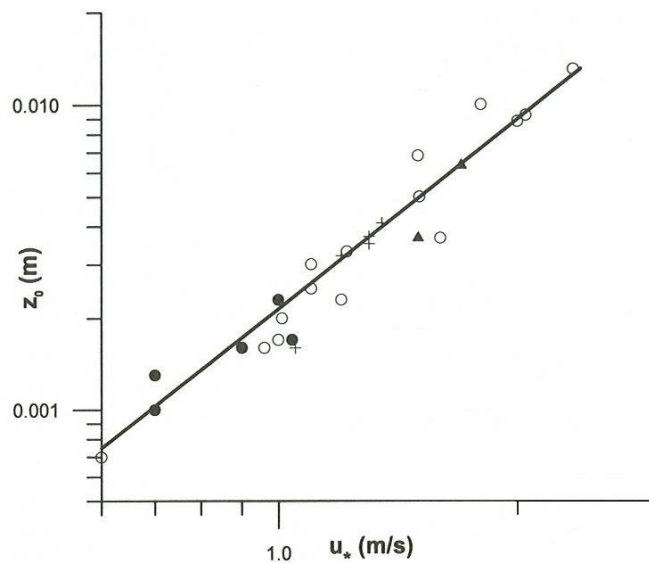


Fig. 3.3
Lungimea rugozității în raport viteza de frecare

Adesea, vânturile provenite de la diverse observații (de pe nave, platforme petroliere, structuri *offshore*, geamanduri, avioane etc) nu coincid cu nivelul standard de referință de 10 m. Ele trebuie deci să fie convertite la nivelul de referință de 10 m considerat pentru predicția valurilor și a curenților cu modele numerice. Imposibilitatea de a face acest lucru poate produce erori extrem de mari. În cazul vânturilor luate în condiții aproape neutre la un nivel apropiat de nivelul de 10 m (în intervalul de creștere de aproximativ 8-12 m), regula „1/7” poate fi aplicată.

CAPITOLUL 4

CREȘTERI ALE VALURILOR LIMITATE ÎN TIMP ȘI SPAȚIU ȘI EFECTE ALE CÂMPURILOR DE VÂNT NESTAȚIONARE

Capitolul IV prezintă câteva aspecte privind creșterile valurilor limitate în timp și spațiu. Sunt discutate câteva spectre teoretice uzuale, cum ar fi spectrul Pierson-Moscowitz al mării complet dezvoltate și spectrul JONSWAP al mării în curs de dezvoltare. În același capitol sunt prezentate și principalele efecte ale vânturilor nestaționare asupra valurilor dar și distribuția valurilor în cazul furtunilor puternice și uraganelor.

4.1 CREȘTERE LIMITATĂ ÎN SPAȚIU ȘI DURATĂ

Se vor parcurge câteva etape privind dezvoltarea unor modele empirice de predicție a valurilor, cum ar fi:

- teoria similitudinii și mărimii adimensionale asociate cu predicția valurilor;
- observații limitate în spațiu;
- compararea relațiilor limitate în spațiu;
- influențe secundare;
- observații limitate în timp.

Există mulți factori care pot influența dezvoltarea valurilor. Câțiva dintre aceștia includ: viteza vântului și variațiile ei, poziția și geometria țărmului, direcția vântului și adâncimea apei. Combinarea acestor variabile conduce la un număr de situații care nu pot fi caracterizate cu ușurință.

Creșterea limitată în spațiu are loc atunci când un vânt cu magnitudine și directive constante bate perpendicular pe un țărm lung și drept.

Creșterea limitată în timp este o problemă aflată în strânsă legătură cu creșterea limitată în spațiu. Acest caz ia în considerare dezvoltarea valurilor de la o mare inițial calmă. Se presupune că toate granițele uscatului sunt destul de îndepărtate încât nu există limitare de spațiu la creșterea a valurilor. Vântul are o direcție și o viteză constantă și este omogen din punct de vedere spațial. Se presupune de asemenea că apa este infinit de adâncă. Pentru o viteză a vântului dată, valurile care rezultă vor fi omogene din punct de vedere spațial și doar o funcție de durată sau timpul în care a bătut vântul.

4.2 VÂNTURI NESTAȚIONARE

Cazuri precum creșterea limitată în timp și spațiu reprezintă situații extrem de idealizate. În majoritatea cazurilor de generare a valului, vântul nu este constant în viteză și direcție. În astfel de cazuri predicția modului cum evoluează spectrul de val se realizează prin intermediul modelelor numerice.

Patru cazuri specifice vor fi luate în considerare:

- Interacțiunea dintre valurile de tip *swell* și marea generată de vânt (valuri de tip *wind seas*);
- Schimbarea rapidă a vitezei vântului;
- Schimbarea rapidă a direcției vântului;
- Câmpuri de vânt și de val asociate uraganelor.

Interacțiunea dintre valurile de tip *swell* și marea generată de vânt - valurile de tip *swell* sunt prezente aproape oriunde în largul mărilor și oceanelor. Odată generate ele se pot propaga pe distanțe foarte mari cu pierderi relativ mici de energie. De exemplu, s-a observat faptul că valuri generate în Noua Zeelandă se pot propaga străbătând Oceanul Pacific în întregime și pătrunzând pe țărmurile Alaskăi fără vreo schimbare măsurabilă în amplitudine. În plus nu este încă complet clar dacă valurile (generate) de vânt limitate în spațiu sunt influențate în mod relevant de valurile de tip *swell* de fundal. Există probabil două mecanisme prin care *swell*-ul și marea generată de vânt pot interacționa.

- primul ar fi cel prin care *swell*-ul influențează într-o oarecare manieră fluxul de aer peste valurile generate de vânt și de aici modificând fluxul de energie de la vânt la apă. Nu se cunoaște încă dacă astfel de influențe sunt semnificative.

- cel de-al doilea mecanism este cel prin interacțiuni neliniare de tip. Young (1999) a investigat magnitudinea termenului sursă neliniar pentru spectre care consta într-o însumare a două spectre **JONSWAP**. Spectrele aveau frecvențe de vârf f_{m1} , f_{m2} și, respectiv, direcții medii, θ_1 , θ_2 . Magnitudinea transferului neliniar al spectrului compozit a fost apoi investigată atât ca f_{m2}/f_{m1} cât și ca $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$.

Schimbarea rapidă a vitezei vântului - Toba (1973) a investigat datele de teren colectate dintr-o serie de locuri pentru cazul unei schimbări bruște a vitezei vântului. Ei și-au descris rezultatul în termeni de formă spectrală de echilibru.

Schimbarea rapidă a direcției vântului - o problemă strâns legată de schimbarea rapidă a vitezei vântului este schimbarea rapidă a direcției vântului. Pentru o modificare a vântului de mai puțin de aproximativ 90 de grade componentele de înaltă frecvență ale spectrului se rotesc rapid ca să se alinieze noii direcții de vânt, rata de rotație scade odată cu scăderea frecvenței. Nu există nici o tendință pentru ca un nou vârf de înaltă frecvență să se dezvolte în noua direcție a vântului. Young a aflat că rotația spectrului a fost cauzată de energia atmosferică adăugată în noua direcție a vântului, împreună cu disiparea neechilibrată din vechea direcție a vântului.

Câmpuri de vânt și de valuri asociate uraganelor - Sistemele intense de presiune scăzută cunoscute ca uragane, cicloni tropicali sau taifune reprezintă cele mai extreme evenimente meteorologice întâlnite mai ales în zonele tropicale.

Vor fi discutate în teza de doctorat, pe larg, uraganele (care sunt caracteristice emisferei nordice) dar este aceeași situație și în cazul ciclonilor tropicali și taifunelor cu corecția potrivită pentru direcția de circulație.

CAPITOLUL 5

MODELE NUMERICE PENTRU MODELAREA VALURILOR ȘI CURENȚILOR

În acest capitol IV sunt prezentate câteva aspecte privind creșterile valurilor limitate în timp și spațiu. Sunt discutate câteva spectre teoretice uzuale, cum ar fi spectrul Pierson-Moscowitz al mării complet dezvoltate și spectrul JONSWAP al mării în curs de dezvoltare. În același capitol sunt prezentate și principalele efecte ale vânturilor nestaționare asupra valurilor dar și distribuția valurilor în cazul furtunilor puternice și uraganelor.

5.1 ECHILIBRUL ENERGETIC PENTRU VALURI NEDEZVOLTATE COMPLET (*SEAS*) ȘI PENTRU VALURI COMPLET DEZVOLTATE (*SWELL*)

Modele spectrale pentru valuri de primă generație - modelele bazate pe ecuația de echilibru energetic sunt de obicei clasificate ca modele de primă, secundă sau de a treia generație.

La sfârșitul anilor '50, când primul model al lui Gelci și alții (1957) a fost dezvoltat, se cunoșteau foarte puține informații despre termenii sursă. Pe de altă parte, în jurul aceleiași perioade, publicarea teoriilor generării valurilor de către Phillips (1957) și Miles (1957) și transferul de energie neliniar datorat lui Hasselmann (1962), a generat o baza teoretică pentru modelele spectrale de generare ale valurilor.

În anii 1960 și 1970 au fost dezvoltate mai multe modele noi:

- Pierson și alții, 1966;
- Barnett, 1968;
- Gelci și Devillaz, 1970;
- Ewing, 1971;
- Gelci și Chavy, 1978.

Din restructurarea modelelor de primă generație a rezultat dezvoltarea modelelor din generația a doua.

Modele spectrale pentru valuri de a doua generație - sunt utilizate în general trei abordări distincte în modelele pentru generare de valuri de a doua generație:

- Modele spectrale discrete (DS);
- Modele parametrice (P);
- Modele hibride (H);

A treia generație de modele de tip DS oferă soluții mult mai de încredere pentru câmpuri de vânt puternic variabile.

Modele spectrale pentru valuri de a treia generație - în anii 1980 simulări numerice extinse au arătat că prima și a doua generație de modele nu pot fi aplicate tuturor câmpurilor de vânt, în special pentru condiții extreme care necesită predicții personalizate. În același timp au fost dezvoltate îmbunătățiri numerice în calcularea integralei Boltzmann de către Hasselmann și alții (1985) și Snyder și alții (1993). Aceste îmbunătățiri înlătură dificultățile numerice de bază ale modelelor de generația a doua și au fost folosite într-un model de a treia generație dezvoltat în cadrul programului **WAM** (acronim de la Wave Modeling).

Cele mai importante caracteristici sunt:

- O parametrizare exactă a funcției sursă de transfer nelinier care conține același număr de grade de libertate ca însuși spectrul. A fost introdusă aproximarea interacțiunilor discrete (DIA).

- Echilibrul energetic a fost completat prin specificarea funcției de disipare. Disiparea era reglată să reproducă creșterea limitată în lungime a valurilor și spectrul complet dezvoltat Pierson Moscowitz.

5.2 O TRECERE ÎN REVISTĂ A PRINCIPALELOR MODELE UTILIZATE MAI FRECVENT

Modele spectrale în medie de fază

- Modele de generare a valurilor

a. Modelul WAM (acronimul pentru Wave Model) a fost dezvoltat la Institutul de Meteorologie din Hamburg, Germania de către S. și K. Hasselmann, cu ajutorul lui P. Janssen și G. Komen (WAMDI Group, 1988), fiind utilizat în prezent în diverse locuri din lume pentru cercetări și aplicații operaționale.

Este un model din a treia generație care rezolvă explicit ecuația de transport a valului fără orice alte constrângeri ale formei spectrului de val și reprezintă fizica evoluției valului în concordanță cu cunoștințele actuale. Modelul rulează pentru orice arie dată, globală sau regională, rezoluția fiind arbitrară în spațiu și timp. Modelul poate calcula înălțimea semnificativă, direcția medie a valului și frecvența, înălțimea *swell*-ului și direcția medie, câmpurile forțelor de vânt corectate incluzând forțele induse de val și coeficienții de frecare la fiecare punct al grilei și pentru fiecare moment și de asemenea spectrul 2D la anumite puncte ale grilei și momente. Rulările se pot face pentru ape adânci precum și pentru adâncimi intermediare și include refracția dată de adâncime și de curenți. Integrarea poate fi întreruptă și reîncepută în orice moment.

b. Modelul WAVEWATCH III (WW3) (Tolman, 1999) este un model din a treia generație, dezvoltat la NOAA/NCEP (*National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction*), SUA în spiritul modelului **WAM**. Totuși, el diferă de predecesorul său în multe puncte importante, cum ar fi: ecuațiile de mișcare, structura modelului, metodele numerice și parametrizările fizice.

Acest model rezolvă ecuația spectrală de conservare a densității de acțiune în toate cele cinci dimensiuni (timpul, spațiul geografic, frecvențe și direcții). Presupunerea implicită a acestei ecuații este că proprietățile mediului (adâncimea apei și curentul) ca și câmpul de val însuși variază în scalele timpului și spațiului care sunt mult mai mari decât scalele corespondente unui singur val. O constrângere în plus este că parametrizarea proceselor incluse în model nu acoperă condițiile corespunzătoare adâncimilor mici. Aceste două presupuneri bazice implică faptul că modelul în general poate fi aplicat la scară spațială mai mare și în afara zonei de surf.

Modele de transformare a valurilor

a. modelul SWAN (acronimul pentru *Simulating Waves Nearshore*) este un model numeric din a treia generație utilizat pentru obținerea unor estimări realiste ai parametrilor valului în zonele costiere, lacuri și estuare. A fost realizat la Universitatea Delft din Olanda (Booij și alții, 1999) ultima versiune 40.85 fiind realizată în 2011. Modelul se bazează pe integrarea aceleiași ecuații spectrale de conservare a densității de acțiune (sau conservarea energiei în absența curenților) cu surse și disipări, rezolvând ecuația în toate cele cinci dimensiuni. Sunt implementate procese de propagare cum ar fi: propagarea în spațiul geografic, refracția datorită variației curenților și batimetriei, fenomenul de *shoaling*, reflexia datorită opoziției curenților și obstacolelor. Procesele de generare și disipare reprezentate în **SWAN** se referă la generarea valurilor de vânt și disiparea prin *whitecapping*, prin spargerea valului sau prin frecarea cu fundul.

b. Modelul STWAVE (acronim de la *Steady-State Spectral Wave Model*) a fost dezvoltat de către Corpul de Ingineri al Armatei Americane (*U.S. Army Corps of Engineers - USACE, Waterways Experiment Station - WES*), (Smith și alții, 2001), cu intenția de a cuantifica schimbarea parametrilor valului (înălțime, perioadă, direcție și spectru) între *offshore*, unde câmpul de val este destul de omogen pe o suprafață de kilometri, și *nearshore*, unde valurile sunt puternic influențate de variațiile de batimetrie, nivelul apei și curent. Este un model spectral staționar, bazat pe o formă a ecuației de conservare a densității de acțiune a lui Jonsson (1990), capabil să simuleze refracția valului și fenomenul de *shoaling* induse de schimbările de batimetrie și de interacțiunile dintre val și curenți. Modelul include modelarea spargerii valului, bazându-se pe adâncimea apei și curbura valului. Alte caracteristici ale modelului includ: generarea valurilor de vânt, influența fenomenului de *whitecapping* la distribuția și disiparea energiei în spectrul de val și interacțiunea dintre valuri.

Modele care rezolvă faza

a. Modelul REF/DIF - propagarea valurilor peste o batimetrie neregulată și în jurul insulelor implică multe procese iar modelele combinate refracție/difracție sunt singurele convenabile pentru calcularea înălțimilor și direcției valurilor în zonele unde unul sau ambele efecte sunt prezente.

b. Modelul CGWAVE A *Coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation* (Demirbilek și Panchang, 1998) a fost dezvoltat la Universitatea din Maine în colaborare cu *U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station* și este utilizat pentru estimarea câmpurilor de val în bazine portuare, regiuni costiere deschise, în jurul insulelor sau în jurul unor structuri fluctuante. Modelul simulează efectele combinate de refracție și difracție ale valurilor incluse în ecuația pantei line și, de asemenea, include efectele de disipare prin frecare, spargere și dispersie neliniară.

c. Modelul BOUSS-2D (Nwogu și Demirbilek, 2001) este un model numeric pentru simularea propagării și transformării oceanului în regiunile litorale și porturi, dezvoltat de către Corpul de Ingineri al Armatei Americane. Modelul se bazează pe o soluție în domeniul de timp al ecuațiilor neliniare de tip Boussinesq care reprezintă ecuațiile integrate pe adâncime pentru conservarea masei și a impulsului pentru valurile care se propagă în apă cu adâncime variabilă.

Modele de circulație și atmosferice

a. Modele globale de circulație - cele mai cunoscute și utilizate modele globale de circulație sunt **HOPS** (*Harvard Ocean Prediction System*) și **POM** (*Princeton Ocean Model*) și este un sistem de programe pentru cercetări oceanografice multidisciplinare, fiind destinat să asigure: previziuni oceanografice cu estimări cât mai exacte ale suprafeței oceanului, simularea dinamicii oceanului și variația vitezei sunetului la scară largă, realizarea

unor simulări fizico-bio-geochimice cuplate. Configurarea modelului pentru cercetări interdisciplinare asigură un cadru pentru investigarea influenței mediului fizic asupra evoluției masei oceanice bio-geochimice și a propagării sunetului. Modelul **POM** simulează suprafața oceanului incluzând un submodel de turbulență. Este utilizat pentru modelarea estuarelor, a regiunilor costiere cât și a întregului ocean.

b. Modele locale de circulație - modelul **SHORECIRC** este un model quasi-3D bazat pe integrarea ecuației conservării impulsului și constă din două părți: un model de agitație maritimă numit driverul pentru valuri care este **REF/DIF1** și un model pentru previziunea curenților de derivă costieră, incluzând influența variației verticale a curenților (fenomenul numit *lateral mixing* care semnifică transmiterea pe orizontală a cantității de mișcare datorită variației verticale a curentului).

c. Modele atmosferice - modelele atmosferice furnizează informații despre vânt, temperatură, presiune atmosferică, etc., acestea fiind utilizate ca date de intrare pentru modelele de valuri sau de circulație, corespunzător fiecărei arii de aplicabilitate (globale sau regionale). și avem modelul **GCM** (*General Circulation Model*) care este un model complex utilizat pentru estimarea sistemului climatologic al Pământului și modelul **ALADIN** care este un proiect internațional de modelare atmosferică, finanțat de guvernul francez și de Comunitatea Europeană, țara noastră fiind parteneră a acestui proiect. Modelul este implementat la I.N.M.H. București încă din anul 1996.

5.3 PARTICULARIZĂRI ALE ECUAȚIEI HASSELMANN PENTRU DIFERITE MODELE DIN GENERAȚIA A TREIA

Ecuția de echilibru energetic în formă spectrală - Modelele de valuri de a treia generație rezolvă ecuația de echilibru energetic, care descrie evoluția spectrului de val în timp, spațiile geografic și spectral.

Diverse particularizări ale ecuației spectrale de propagare a valurilor - În această secțiune ecuațiile spectrale de propagare a valurilor utilizate de către modele de val spectrale de ultimă generație vor fi prezentate și discutate pe scurt. Toate aceste versiuni sunt provenite din ecuația de bilanț energetic.

Tehnici numerice - Toate modelele discutate rezolvă o versiune a ecuației bilanțului energetic în formă spectrală prin scheme cu diferențe finite. Metodele numerice sunt totuși, destul de diferite între ele, de la un model la altul.

- Modelul **WAM** rezolvă ecuația de transport a valurilor în mod explicit;
- Modelul **WW3** rezolvă ecuația bilanțului de acțiune folosind o metodă cu pas fracționat;

5.4 MODELUL SWAN

SWAN (acronim pentru *Simulating Waves Nearshore*) este un model numeric din a treia generație utilizat pentru obținerea unor estimări realiste ale parametrilor valului în zonele costiere, lacuri și estuare. A fost dezvoltat la Universitatea Delft din Olanda (Booij și alții, 1999) ultima versiune 40.85 fiind lansată în domeniul public în anul 2011. Modelul se bazează pe integrarea aceleiași ecuații spectrale de conservare a densității de acțiune (sau conservarea energiei în absența curenților) cu surse și disipări, rezolvând ecuația în toate cele cinci dimensiuni. Sunt implementate procese de propagare cum sunt: propagarea în spațiul geografic, refracția datorită variației curentului și batimetriei, fenomenul de *shoaling*, reflexia datorită opoziției curenților și obstacolelor. Procesele de generare și disipare reprezentate în

SWAN se referă la generarea valurilor și disiparea prin *whitecapping*, prin spargerea valului sau prin frecarea cu fundul mării. În teză, acest model va fi explicat mai în detaliu unde se vor discuta definiția variabilelor, unitățile și coordonatele sistemului, grilele utilizate în model, alegerea parametrilor de intrare și a sistemului de coordonate, facilități pentru datele de ieșire a programului și procese fizice active.

5.5 EXPLICITAREA TERMENILOR SURSĂ ȘI INTEGRAREA NUMERICĂ ÎN MODELUL SWAN

Termenul sursă exprimă efectele de generare, disipare și interacțiuni neliniare dintre valuri (triade și quadrupleturi). Transferul de energie de la vânt la valuri se realizează în cadrul modelului **SWAN** prin intermediul mecanismului de rezonanță al lui Phillips (1957) și mecanismul de *feedback* al lui Miles (1957). Termenul sursă corespunzător este descris ca suma a doi termeni, primul corespunzător creșterii liniare iar celălalt creșterii exponențiale.

Scheme numerice aplicate pentru integrarea ecuației Hasselmann - pentru a înțelege mai bine schemele utilizate în modelul **SWAN** (care au fost menționate anterior în acest capitol), se va face în subcapitolul de față, o definiție succintă a schemelor și tipurilor de diferențe finite, a schemelor *explicite* și *implicite* și a schemelor de tip *upwind*.

- a) *Tipuri de diferențe finite*
- b) *Aproximări explicite și implicite*
- c) *Scheme ascendente de tip upwind*

CAPITOLUL 6

SIMULĂRI NUMERICE DE ÎNALTĂ REZOLUȚIE ÎN ZONELE CU APĂ PUȚIN ADÂNCĂ

Capitolul VI prezintă comparații între modelele SWAN și STWAVE într-o arie costieră din zona litoralului Portughez la Oceanul Atlantic. Acest capitol continuă o lucrare a conducătorului de doctorat publicată în jurnalul *Ocean Engineering* și se referă la experimentul efectuat în Golful Obidus, unde trei instrumente de măsurare a valurilor (o baliză direcțională, un ADCP-Acoustic Doppler Current Profiler și un senzor de presiune) au fost instalate simultan în apropierea izoliniei de 20 de metri. Cum în lucrarea menționată s-au studiat mai ales efectele vântului și mării asupra rezultatelor celor două modele, principalul aspect studiat în acest capitol se referă la analiza influenței condițiilor de frontieră și a dimensiunii domeniului de calcul, în condițiile în care modelul SWAN este foarte sensibil la aceste aspecte iar în modelul STWAVE frontierele laterale nu introduc în general efecte nedorite. Comparații între modelele SWAN și STWAVE au fost realizate atât în domeniul timpului cât și în domeniul spațial. În finalul acestui capitol este ilustrată și o primă comparație dintre cele două modele în zona litoralului românesc (în apropiere de portul Mangalia).

6.1 COMPARAȚII ÎNTRE MODELELE SWAN ȘI STWAVE ÎN ZONELE COSTIERE

În capitolele anterioare au fost arătate modelele spectrale pentru valuri (numite și modele în medie de fază) și sunt folosite în prezent pe o scară largă pentru a face predicția condițiilor de val din diverse zone costiere. Spre deosebire de modelele de generare (cum ar fi WAM și WW3) fizica pentru scara de transformare este mult mai elaborată pentru a putea lua în considerare mai bine procesele specifice din zonele costiere, procese cum ar fi: refracția, difracția, *shoaling* (care reprezintă înălțarea valurilor când acestea intră în ape cu adâncimi mai mici) sau spargerea valurilor indusă de adâncime.

În ultimii ani, numeroase studii distincte cu privire la corectitudinea rezultatelor modelelor SWAN și STWAVE au fost efectuate. Dacă ne referim doar la Marea Neagră, unele lucrări relevante ar fi cele ale lui Rusu și alții (2006), Rusu (2008, 2009 și 2010) și Rusu și Ivan (2010) care au utilizat modelul SWAN.

Deși SWAN și STWAVE sunt în mod cert cele mai populare modele în medie de fază pentru valuri adaptate la zonele de transformare, sunt disponibile puține comparații între ele în domeniul public și, probabil, cel mai relevant ar fi raportul realizat de Kelly și alții (1999), cu privire la primele versiuni ale celor două modele și lucrările lui Allard și alții (2004) și Smith și alții (2001), pentru versiuni mai recente.

În acest context, obiectivul prezentului capitol este de a evalua în paralel rezultatele furnizate de cele două modele spectrale de val aplicate la același studiu de caz, respectiv o arie din zona costiera portugheza unde masuratori de la trei instrumente diferite care au operat

simultan sunt disponibile. Studiul prezentat în acest capitol continuă rezultatele publicate de Rusu și alții (2011). O parte din rezultatele acestui studiu au fost publicate și în Butunoiu și Rusu (2012a) iar informații privind programele MATLAB originale care au fost utilizate pentru procesare și vizualizarea datelor au fost publicate în Butunoiu și Rusu (2012b).

Zona țintă este Golful Obidos, care este situat în partea centrală a litoralului continental portughez. Ca date de intrare pentru cele două modele, au fost luați în considerare parametrii de val, furnizați de o baliză direcțională, în timp ce datele de la trei instrumente diferite amplasate toate la o adâncime de aproximativ 20m au fost utilizate pentru a valida rezultatele celor două modele.

Experimentul costier din Golful Obidos - un experiment a avut loc în Golful Obidos, pe Coasta portugheză, la nord de Lisabona (Ventura Soares și alții, 2002). Configurația batimetrică a zonei țintă este ilustrată în Fig. 6.1. În această zonă costieră trei dispozitive de măsurare a valurilor au fost amplasate: o geamandură direcțională de tip DATAWELL, un ADCP RDI Workhorse 600 KHz și un senzor de presiune AANDERAA WTR-9 (PS).

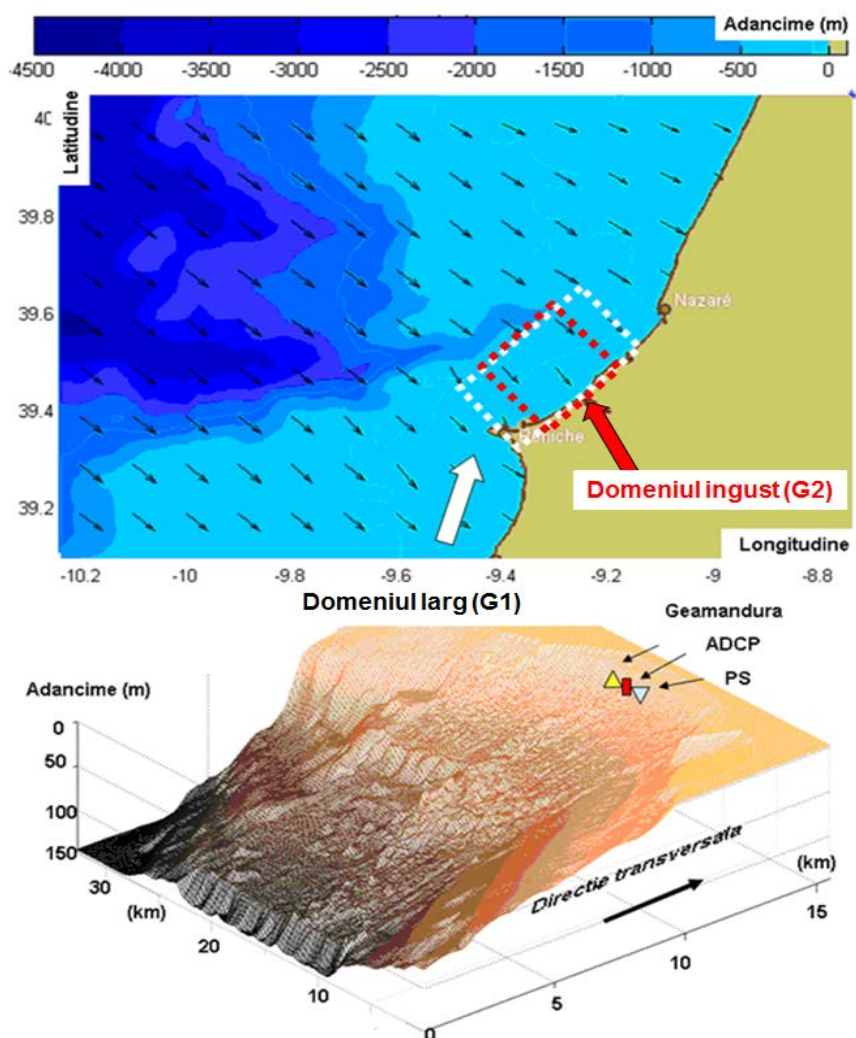


Fig. 6.1

Partea superioară prezintă domeniul de calcul care este ilustrat pe harta batimetrică a părții centrale a zonei țintă. Direcția valurilor dominante este de asemenea indicată. Partea inferioară prezintă batimetrica domeniului de calcul și poziția instrumentelor.

Amplasarea senzorilor în domeniul costier considerat a urmat în linii mari isobatimetria de 20 de metri, cei trei senzori fiind distanțați în mod egal, cu un pas spațial de aproximativ

400 de metri (colocați în practică). Pozițiile acestor trei instrumente sunt de asemenea ilustrate în Fig. 6.1.

Baliza direcțională DATAWELL este o baliză sferică care măsoară înălțimea valurilor și direcția acestora. Geamandura urmează mișcările suprafeței libere a apei și estimează valurile prin măsurarea accelerațiilor verticale ale unghiurilor de ruluu și tangaj ale geamandurii, precum și cele trei componente ale câmpului magnetic al Pământului. Din aceste măsurători (cu pasul de 20 de minute și pornire la fiecare 3 ore) sunt calculate înălțimea și panta suprafeței de apă, în direcțiile nord-sud și est-vest, (acelerația este integrată de două ori).

Rata de eșantionare este de 1,28 Hz și datele sunt grupate în blocuri de câte 200 de secunde. Fiecare probă de 20 de minute conține 6 blocuri de câte 200 de secunde. Principalii parametri calculați pentru acest aparat au fost înălțimea semnificativă a valurilor (H_s), perioada vârfului spectral și perioada medie (T_p și T_m - calculat ca T_{m02}) și direcția valurilor (Dir).

RDI Workhorse 600 KHz ADCP (ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler) este un dispozitiv acustic Doppler de 600 KHz, echipat cu un senzor de presiune care îndeplinește trei calcule independente ale spectrului de val folosind viteza orbitală, variația suprafeței libere a apei și datele de presiune (cu rata de eșantionare de 2Hz). Sunt utilizate tehnicile de prelucrare ale semnalului (metoda iterativă a probabilității maxime), - Terray și alții (1990) - pentru a estima direcția valurilor. Calculele au fost făcute pentru eșantioane de 9 minute, începând cu fiecare oră. ADCP-ul este instalat într-o zonă convenabilă de montare și colectează seriile temporale ale suprafeței lichide calculând H_s , T_p , Dir și spectrele de undă direcționale pentru fiecare eșantion. Principiile prin care informațiile de valuri pot fi obținute de la ADCP sunt discutate în detaliu în Terray și alții (1997, 1999).

AANDERAA WTR-9 (PS) este un senzor de presiune (cu cuarț), montat pe bord electronic, turnat în spumă poliuretanică și adăpostit într-o carcasa cilindrică de presiune. Instrumentul operează în cicluri declanșate de ceasul intern. Atunci când sistemul este pornit rămâne în repaus până când mai rămân 15 minute din intervalul eșantionului selectat (în acest caz 30 de minute). Apoi începe măsurarea, calcularea parametrilor este efectuată și datele sunt înregistrate. Măsurarea valurilor cuprinde înălțimile semnificative și maxime ale valurilor și punctele zero până la trecerea perioadei de val (T_m - calculat ca T_o) bazat pe o serie de timp de presiune peste 8,5 minute, prelevată de la 2 Hz. PS a fost plasat pe fundul mării. Adâncimea de amplasare recomandată este de până la 15 metri. Cu toate acestea, izobata de 20 m a fost selectată pentru motive de securitate în zonă, pentru a evita zona de spargere. În această locație condițiile de furtună în timpul iernii sunt adesea asociate cu înălțimi de valuri ce depășesc 10 metri.

Trei categorii de parametri de val au fost comparate: H_s , T_p (sau, alternativ, T_m) și Dir . Analiza a luat, de asemenea, în considerare faptul că datele de la geamandură sunt post-procesate utilizând atât metode spectrale cât și statistice. Pentru calculul acestor parametri pe baza datelor spectrale au fost aplicate definițiile standard, a se vedea de exemplu Holthuijsen, (2007). Pe de altă parte, ADCP-ul utilizează metode spectrale și PS un tratament statistic al datelor colectate. Instrumentele au fost utilizate de pe 5 martie până pe 10 mai 2002. Analiza se concentrează pe perioada 7-31 martie 2002, care a fost, de fapt, perioada cea mai energetică, iar măsurătorile au fost efectuate la fiecare 3 ore. Acest pas de timp corespunde intervalului de eșantionare al geamandurii, care este pasul cel mai mare de timp din cei trei senzori luați în considerare. ADCP-ul înregistrează în fiecare oră, în timp ce PS măsoară parametrii valurilor la fiecare 30 de minute.

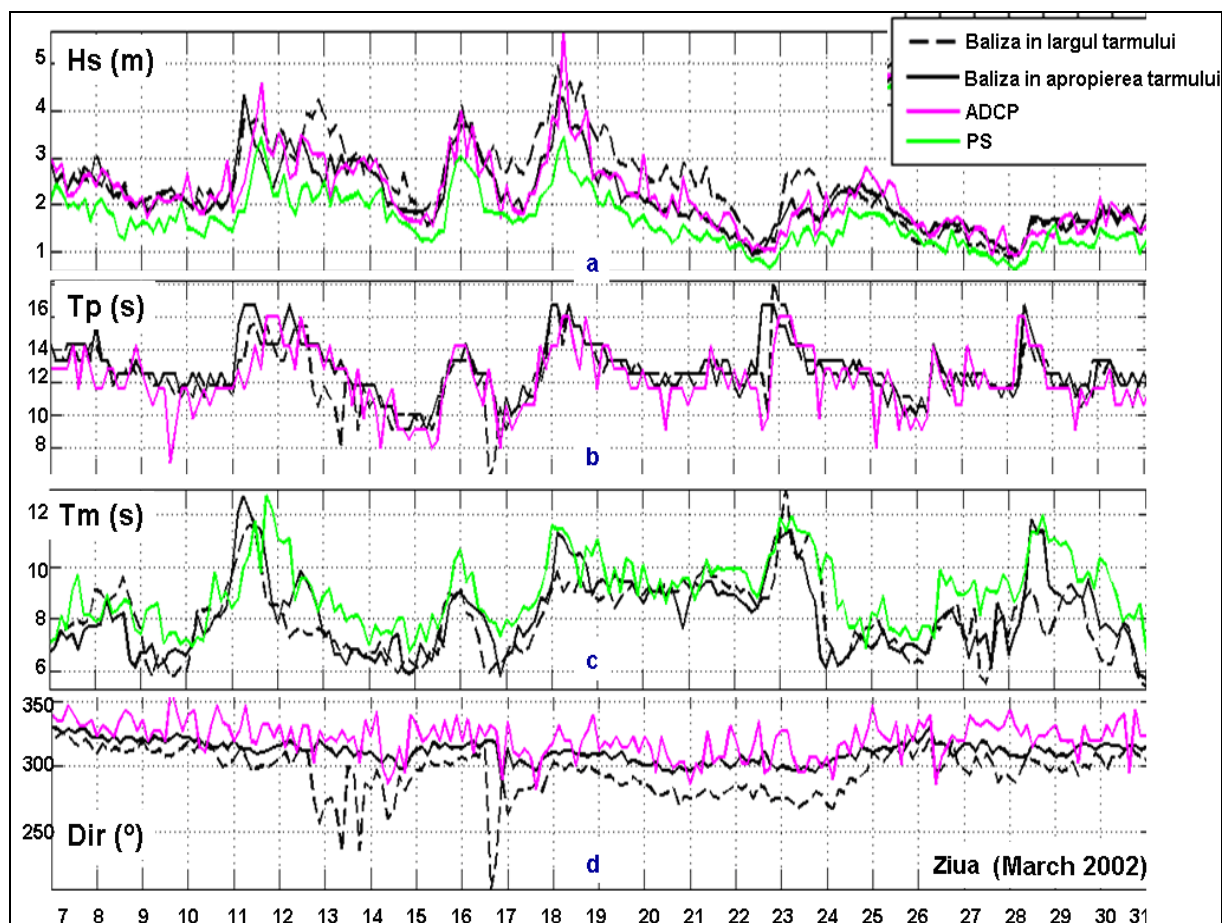


Fig. 6.2

Compararea datelor măsurate în larg cu măsurătorile din apropierea țărmului la cele trei instrumente care operează la aproximativ 20 de metri adâncime a apei (Geamandură, ADCP și senzor de presiune).

Intervalul de timp considerat a fost 2002/03/07 - 2002/03/31 și parametrii de val comparați sunt:

a) H_s , b) T_p , c) T_m și d) Dir .

Fig. 6.2a ilustrează seriile de timp ale lui H_s , obținute pentru toate cele trei instrumente din apropierea țărmului, dar și pentru geamandura din larg. H_s a fost dedus spectral pentru balize și ADCP și statistic pentru PS. Se poate observa un acord rezonabil între ADCP și datele de la geamandura din apropierea țărmului în timp ce datele PS sunt sistematic mai mici. În afară de zgomotul de măsurare, această discrepanță poate fi legată de achiziționarea diferită de date și tehnici de prelucrare (analiză spectrală versus analiza statistică), poziții diferite de senzori în raport cu fundul apei (ADCP vs PS), a mareelor și a influenței curentului (ADCP vs Geamandură) (Strong și alții, 2000.).

Seriile de timp ale T_p (geamanduri și ADCP) au fost, de asemenea, comparate și acest lucru este ilustrat în Fig. 6.2b. În general, valorile sunt confirmate, dar cu mai multe schimbări dramatice neașteptate în valorile T_p ale ADCP-ului, răspândite de-a lungul perioadei de 25 de zile. Fig. 6.2c prezintă seriile de timp pentru T_m (geamanduri și PS), ambele derivate din punct de vedere statistic. Există mai multe diferențe importante la perioadele T_m și acest lucru ar putea avea legătură cu faptul că, deși ambele sunt notate cu T_m , există două cantități diferite reprezentate în Fig. 6.2c, deoarece pentru geamandură acest lucru este T_{m02} în timp ce pentru PS este de fapt T_o .

În cele din urmă, direcțiile medii de val, așa cum rezultă de la cele două geamanduri și ADCP, sunt de asemenea, ilustrate în Fig. 6.2d. Din această figură poate fi observată o variabilitate mai mare a valorilor furnizate de ADCP pentru acest parametru.

Acesta este un dreptunghi rotit în sens invers acelor de ceasornic cu 42 de grade de la poziția orizontală. Deși configurația batimetrică din apropierea țărmului este în general, netedă și paralelă, Fig. 6.1 arată clar că gradientii batimetrici importanți sunt, de asemenea, prezenți în zona țintă.

Unele caracteristici ale domeniului de calcul, cum ar fi rezoluțiile luate în considerare în spațiile geografic și spectral, sunt prezentate în Tabelul 6.1. Aceeași gamă de frecvențe, logaritmice distribuite, a fost definită pentru cele două modele și, de asemenea, aceeași rezoluție în spațiul direcțional (5°) a fost considerată pentru ambele modele. Nivelul de mare, dat de site-ul Institutului Hidrografic al Marinei Portugheze (<http://www.hidrografico.pt>), a fost inclus în simulările cu cele două modele.

Tabelul 6.1

Caracteristicile domeniilor de calcul definite pentru simulările cu cele două modele, Δx și Δy reprezintă rezoluțiile în spațiul geografic, $\Delta\theta$ - rezoluția în spațiu direcțional, Δt - rezoluția în timp, nf - numărul de frecvențe în spațiul spectral, $n\theta$ - numărul de direcții în spațiul spectral, ngx - numărul de puncte de grilă în direcția x , ngy - numărul de puncte de grilă în direcția y și np - numărul total de puncte de grilă.

| Modelul de val | Coordonate | $\Delta x \times \Delta y$ (m) | $\Delta\theta$ ($^\circ$) | Δt (min) | nf | n θ | $ngx \times ngy = np$ |
|---------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|----|------------|-----------------------|
| (SWAN/ STWAVE) _{G1} | Carteziane | 100 × 100 | 5 | 180 stat | 20 | 35 | 155 × 327 = 50685 |
| (SWAN/ STWAVE) _{G2} | Carteziane | 100 × 100 | 5 | 180 stat | 20 | 35 | 155 × 155 = 24025 |

Tabelul 6.2

Parametri statistici pentru valuri, comparații Geamandură - SWAN - STWAVE pentru domeniul de calcul G1. Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide. X_{med} reprezintă valoarea medie a parametrului măsurat de val și Y_{med} valoarea medie corespunzătoare care rezultă din simulări.

Parametrii valurilor luați în considerare pentru comparații sunt: H_s , T_p și Dir .

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | Geamandură |
|-----------|--------|--------|-------|------|------|------|---------------------------|
| Hs (m) | 2.14 | 2.10 | 0.04 | 0.37 | 0.18 | 0.89 | Geamandură ↓ SWAN |
| Tp (s) | 12.77 | 12.48 | 0.29 | 1.18 | 0.09 | 0.75 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 309.68 | 1.90 | 5.97 | 0.02 | 0.74 | |
| Hs (m) | 2.14 | 2.16 | -0.03 | 0.33 | 0.15 | 0.91 | Geamandură ↓ STWAVE |
| Tp (s) | 12.77 | 12.60 | 0.17 | 1.17 | 0.09 | 0.76 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 311.56 | 0.02 | 6.18 | 0.02 | 0.71 | |
| Hs (m) | 2.10 | 2.16 | -0.07 | 0.12 | 0.06 | 0.99 | SWAN ↓ STWAVE |
| Tp (s) | 12.48 | 12.60 | -0.12 | 0.52 | 0.04 | 0.95 | |
| Dir (deg) | 309.68 | 311.56 | -1.89 | 2.44 | 0.01 | 0.99 | |

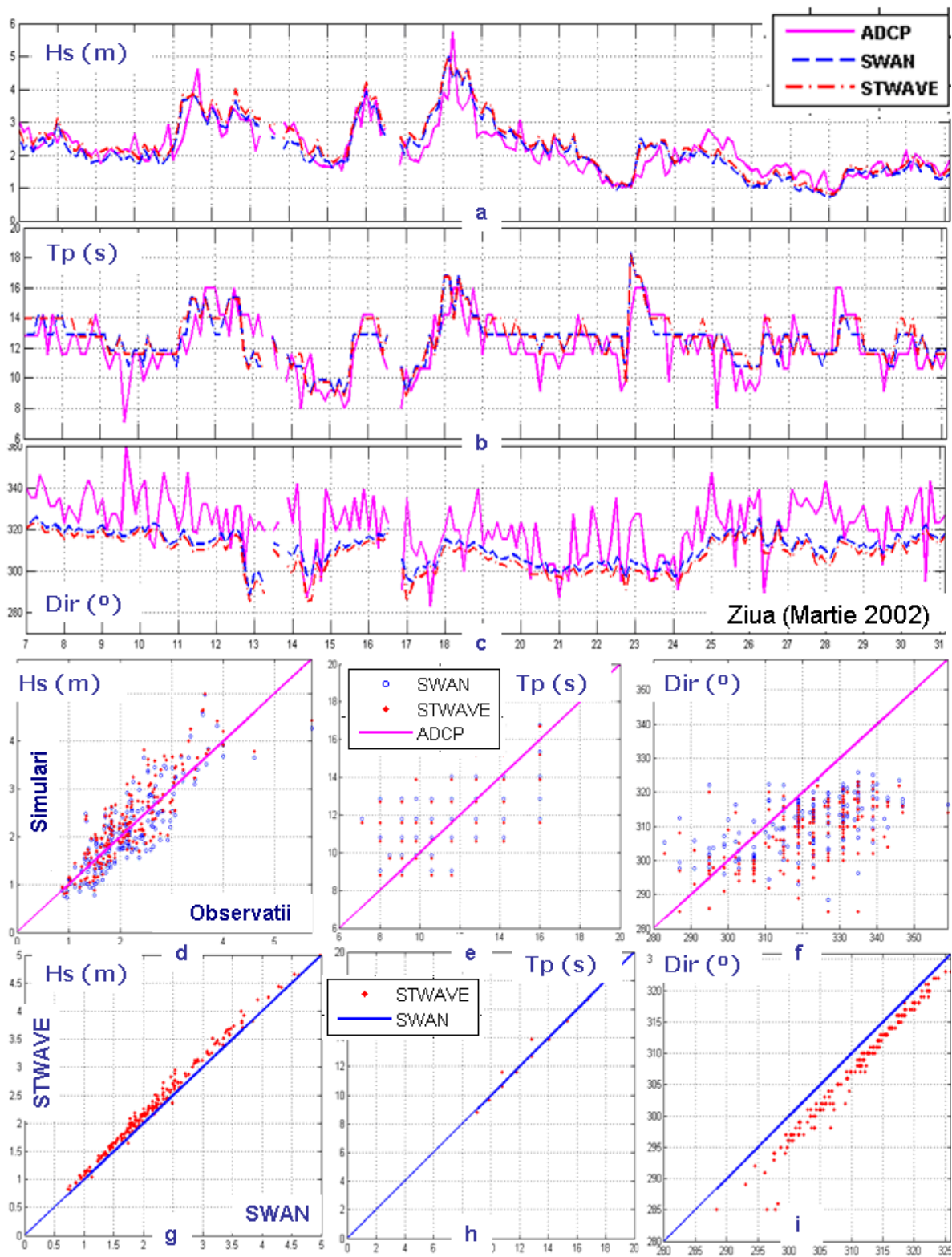


Fig. 6.3

Comparație Geamandură - SWAN - STWAVE. Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31. a) comparație directă pentru Hs; b) comparație directă pentru Tp; c) comparație directă pentru Dir; d) diagrama de împrăștiere pentru Hs; e) diagrama de împrăștiere pentru Tp; f) diagrama de împrăștiere pentru Dir. Comparația SWAN - STWAVE la locația geamandurii. g) diagrama de împrăștiere pentru Hs; h) diagrama de împrăștiere pentru Tp; i) diagrama de împrăștiere pentru Dir.

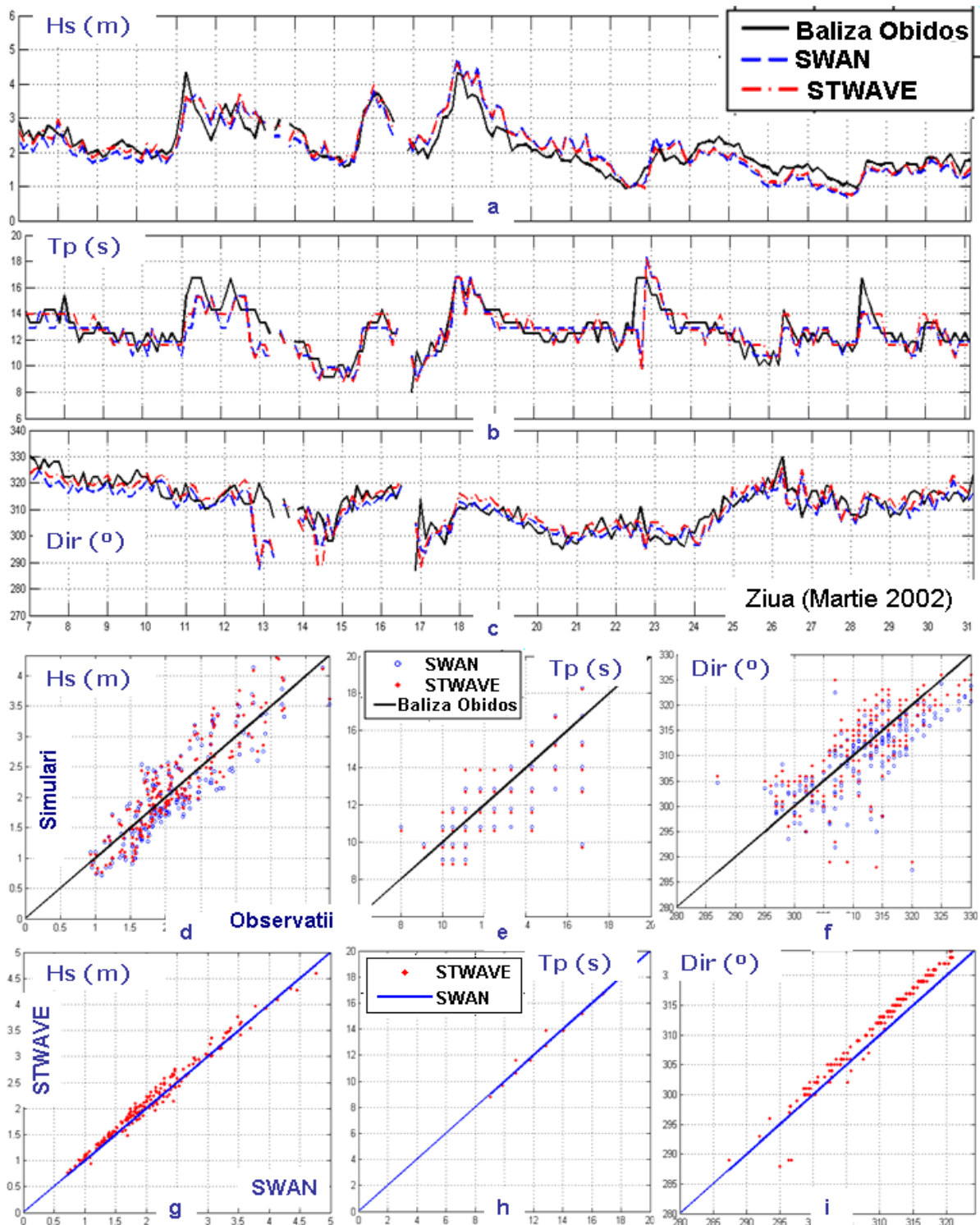


Fig. 6.4

Comparația ADCP - SWAN - STWAVE.

Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31. a) comparație directă pentru Hs; b) comparație directă pentru Tp; c) comparație directă pentru Dir; d) diagrama de împrăștiere pentru Hs; e) diagrama de împrăștiere pentru Tp; f) diagrama de împrăștiere pentru Dir.

Comparație SWAN - STWAVE la locația ADCP. g) diagrama de împrăștiere pentru Hs; h) diagrama de împrăștiere pentru Tp; i) diagrama de împrăștiere pentru Dir.

Tabelul 6.3

Parametri statistici pentru valuri, comparații ADCP - SWAN - STWAVE.
 Simulările realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide.
 Parametrii luați în considerare pentru comparații sunt: *Hs*, *Tp* și *Dir*

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | ADCP |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|-----------------------------------|
| Hs (m) | 2.17 | 2.16 | 0.01 | 0.45 | 0.21 | 0.84 | ADCP ↓ SWAN |
| Tp (s) | 12.09 | 12.48 | -0.40 | 1.49 | 0.12 | 0.66 | |
| Dir (deg) | 321.17 | 311.08 | 10.09 | 15.44 | 0.05 | 0.56 | |
| Hs (m) | 2.17 | 2.30 | -0.13 | 0.46 | 0.21 | 0.86 | ADCP ↓ STWAVE |
| Tp (s) | 12.09 | 12.60 | -0.52 | 1.53 | 0.13 | 0.67 | |
| Dir (deg) | 321.17 | 307.94 | 13.23 | 17.66 | 0.05 | 0.56 | |
| Hs (m) | 2.16 | 2.30 | -0.14 | 0.17 | 0.08 | 1.00 | SWAN ↓ STWAVE |
| Tp (s) | 12.48 | 12.60 | -0.12 | 0.52 | 0.04 | 0.95 | |
| Dir (deg) | 311.08 | 307.94 | 3.14 | 3.53 | 0.01 | 0.99 | |

Abaterile STWAVE față de SWAN în locația ADCP sunt ilustrate în Fig. 6.4 g, h și i, pentru aceiași trei parametri considerați. Rezultatele statistice corespunzătoare sunt prezentate în Tabelul 6.3.

Rezultatele corespunzătoare pentru senzorul de presiune sunt prezentate în Tabelul 6.4 și Fig. 6.5.

Tabelul 6.4

Parametri statistici pentru valuri, comparații PS - SWAN - STWAVE.
 Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide.
 Parametrul luat în considerare pentru comparații este *Hs*.

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | PS |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|-----------------------------------|
| Hs (m) | 1.63 | 2.19 | -0.57 | 0.72 | 0.45 | 0.88 | PS ↓ SWAN |
| Tm (s) | 9.04 | 10.54 | -1.49 | 1.95 | 0.22 | 0.58 | |
| Hs (m) | 1.63 | 2.26 | -0.63 | 0.77 | 0.47 | 0.89 | PS ↓ STWAVE |
| Tm (s) | 9.04 | 10.58 | -1.54 | 1.95 | 0.22 | 0.57 | |
| Hs (m) | 2.19 | 2.26 | -0.07 | 0.10 | 0.05 | 1.00 | SWAN ↓ STWAVE |
| Tm (s) | 10.54 | 10.58 | -0.04 | 0.37 | 0.04 | 0.97 | |

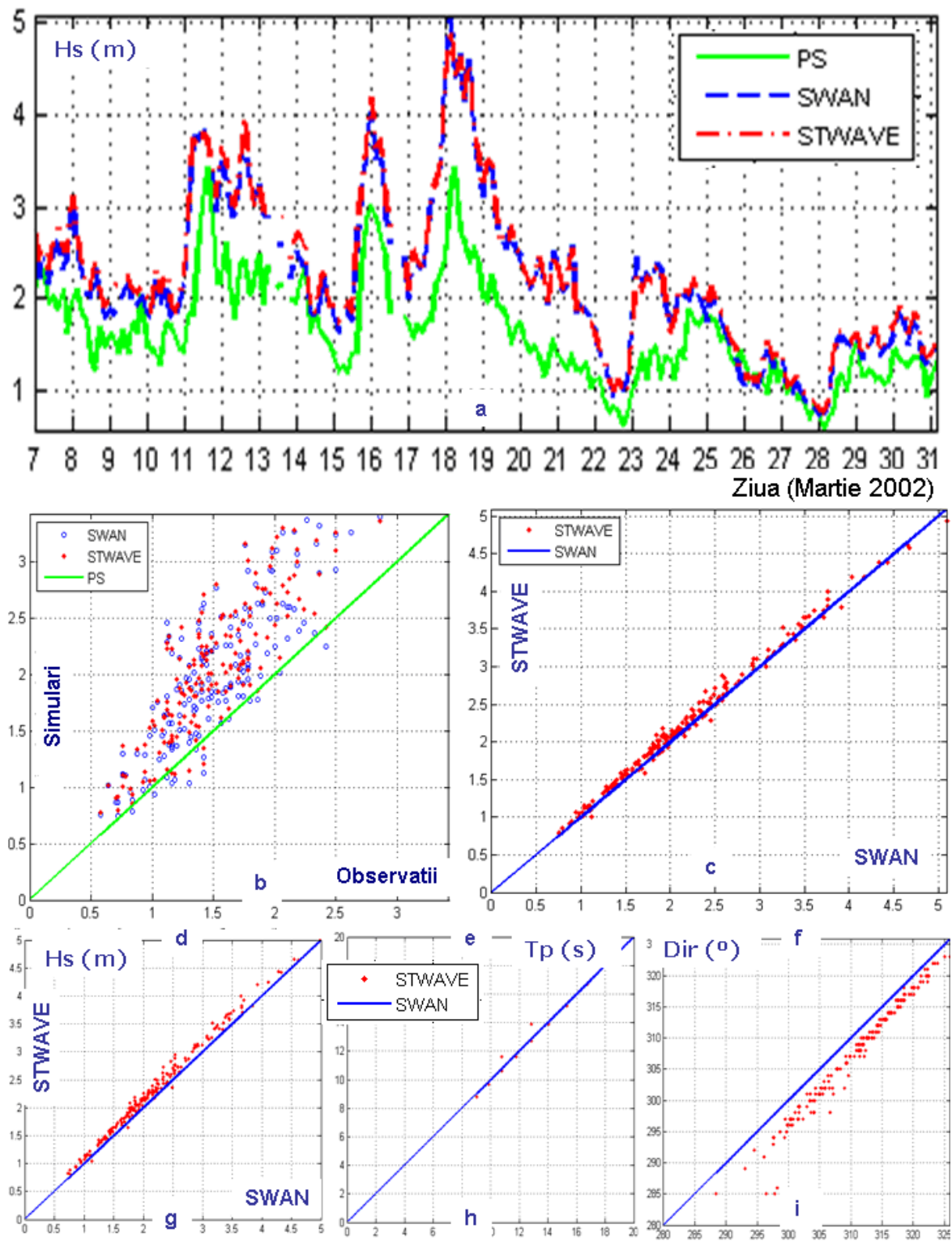


Fig. 6.5
 Comparație PS - SWAN - STWAVE.
 Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31.
 a) comparația directă pentru Hs; b) diagrama de împrăștiere pentru Hs.
 Comparație SWAN - STWAVE la locul de amplasare al senzorului de presiune.
 c) diagrama de împrăștiere pentru Hs.

Analiza rezultatelor - având în vedere comparațiile efectuate între cele două modele și față de rezultatele furnizate de cele trei dispozitive diferite care au operat în zona costieră în intervalul de timp (7-31 martie 2002) pot fi făcute o serie de observații pe baza rezultatelor prezentate în Tabelele 6.2, 6.3 și 6.4 și în Figurile 6.3, 6.4 și 6.5.

În ceea ce privește geamandura din apropierea țărmului (numită și baliza Obidos), din punct de vedere statistic în ceea ce privește H_s , rezultatele STWAVE sunt puțin mai bune în toți parametrii (Tabelul 6.2). Astfel, SWAN dă RMSE de 0,37, S_i de 0,18 și coeficientul de corelație de 0,89, în timp ce pentru STWAVE valorile aceluiași parametri statistici sunt: 0,33, 0,15 și respectiv 0,91.

De vreme ce eroarea medie pătrată (RMSE) și indicele de împrăștiere (SI) sunt mai bune atunci când valorile sunt mai mici, iar coeficientul de corelație este mai bun atunci când este mai aproape de 1, rezultatele STWAVE sunt oarecum mai bune din punct de vedere statistic. Biasul este foarte mic, dar pozitiv, pentru SWAN (0,04 m) și negativ (-0,03 m) pentru STWAVE.

În legătură cu celelalte două instrumente, situația nu este la fel de evidentă ca pentru geamandură. Astfel atât pentru ADCP și senzorul de presiune, coeficienții de corelație furnizați de simulările cu STWAVE sunt tot mai buni, 0,84 pentru SWAN și 0,86 pentru STWAVE la ADCP și 0,88 pentru SWAN și 0,89 pentru STWAVE la senzorul de presiune.

În ceea ce privește parametrii, RMSE și SI sunt sensibil egali în cazul ADCP în timp ce pentru PS, deși cei doi parametri statistici sunt din nou foarte apropiați, rezultatele SWAN sunt de această dată ceva mai bune ($SI = 0,45$ pentru SWAN față de 0,47 pentru STWAVE și $RMSE = 0,72$ pentru SWAN față de 0,77 pentru STWAVE). Cu toate acestea, biasul este mai mare rezultă pentru STWAVE în locația ADCP (0,01 m pentru SWAN față de -0,13 m pentru STWAVE).

În locația PS, ambele modele dau un bias negativ considerabil mai mare decât în cazul celorlalte două instrumente (-0,57 m pentru SWAN față de -0,63 m pentru STWAVE), dar acest lucru ar putea fi legat, de asemenea, de tendința de a subestima înălțimea semnificativă a valurilor pentru acest aparat relaționat cu setările și locația prezentă.

Cu toate acestea, se poate observa, de asemenea, că rezultatele statistice furnizate de comparațiile cu geamandura și ADCP sunt foarte apropiate, puțin mai bune la geamandură. În raport cu senzorul de presiune, rezultatele sunt considerabil mai puțin precise. În primul rând biasul negativ este mare, ceea ce înseamnă că măsurările PS subestimează sistematic înălțimea semnificativă a valurilor în relație cu celelalte două instrumente.

O posibilă explicație generală a inexactității în măsurători ar putea fi legată de setările instrumentelor. Cu toate acestea, deoarece este evident că măsurătorile de la senzorul de presiune sunt mai puțin precise în acest caz, decât pentru celelalte două instrumente, acest aspect ar putea fi, probabil, legat, de asemenea, de faptul că, deși adâncimea maximă a apei indicate pentru acest tip de senzor de presiune a fost de 15 m, de data aceasta s-a operat la o adâncime ce depășea intervalul indicat (la aproximativ 20 m adâncime).

În scopul de a oferi o perspectivă mai bună asupra performanțelor celor două modele în curs de evaluare, o comparație între rezultatele oferite de modele în punctele în care instrumentele sunt situate, a fost efectuată luând ca bază modelul SWAN. Biasul este -0,07m la geamandură și la locația senzorului de presiune și -0,14m la locația ADCP. În ceea ce privește alți parametri statistici, rezultatele sunt, de asemenea, destul de echilibrate. Astfel, pentru toate cele trei puncte luate în considerare, RMSE este în intervalul 0,1 – 0,17, indicele de împrăștiere este mai mic de 0,08 și coeficientul de corelație este 0,99 sau mai mare.

Diagramele de împrăștiere din figurile 6.3g, 6.4g și 6.5c ilustrează tendința STWAVE de a supraestima ușor înălțimile valurilor cu privire la SWAN în cele trei locații luate în considerare. Al doilea parametru discutat va fi T_p (Tabelele 6.2 și 6.3). Deoarece senzorul de

presiune oferă doar perioada medie și acest parametru nu este un output direct al STWAVE, discuția se va referi doar la primele două instrumente.

Coefficienții de corelație (r), RMSE și SI sunt sensibil egali pentru cele două modele, deși de data aceasta valorile sunt mai mici decât pentru H_s (coeficienți de corelație de aproximativ 0,76 la geamandură și 0,67 la ADCP, SI = 0,09 la geamandură și 0,12 la ADCP și RMSE sunt de aproximativ 1.18 la geamandură și de 1,5 la ADCP). La geamandură, biasul este pozitiv în timp ce la ADCP este negativ și are valoarea de aproximativ de două ori mai mare ca la geamandură.

În ceea ce privește comparația directă SWAN-STWAVE, în funcție de perioadele de vârf, parametrii statistici au exact aceleași valori în cele două puncte (0,95, 0,04 și respectiv 0,52). În legătură cu parametrul Dir, rezultatele modelului SWAN par să fie mai bine corelate (0,74 pentru SWAN versus 0,71 pentru STWAVE) și, de asemenea, RMSE este ceva mai bună în SWAN (6,97 față de 6,18 pentru STWAVE). Cu toate acestea, STWAVE indică biasuri mai mici (0,02° față de 1,9° pentru SWAN), în timp ce indicele de împrăștiere este aproape la fel (0,02). Se poate concluziona, totuși, că în ceea ce privește acest parametru (Dir), atunci când se compară rezultatele cu cele de la geamandură, cele două modele sunt în general de încredere, cel puțin pentru studiul de caz luat în considerare.

Pe de altă parte, așa cum este în mod clar ilustrat în Fig. 6.4c,d,e informațiile direcționale furnizate de ADCP au precizie considerabil mai mică (bias pozitiv mai mare de 10° și coeficienți de corelare de aproximativ 0,55). La compararea celor două modele, doar tendințele sunt diferite la cele două locații (-1,89° la geamandură și 3,14° la ADCP, în timp ce ceilalți parametri statistici sunt foarte apropiați).

Influența condițiilor de frontieră și a dimensiunii domeniului de calcul - ca și în prezenta aplicație din Golful Obidos, multe sisteme bazate pe datele furnizate în timp real care provin de la o geamandură sunt folosite pentru a asigura condițiile de frontieră pentru simulările cu modelul de valuri într-o zonă de coastă. Astfel de cazuri apar, în general, în apropierea coastei atunci când este identificată o limită superioară pentru valuri (cu informații de val corespunzătoare) și două limite laterale (cu informații parțiale sau chiar fără informații despre condițiile de valuri).

Condițiile de frontieră zero propagă unele erori în domeniul de calcul și zonele afectate sunt, de obicei, regiuni cu vârful în colțurile de frontieră de apă adâncă, care se propagă spre țârm la un unghi de 30-45 de grade pentru condiții de valuri de vânt, și sub unghiuri ceva mai mici pentru condiții de valuri de hulă (de tip *swell*).

În aceste condiții, o soluție ar fi alegerea limitelor laterale suficient de departe de zona de interes pentru a se evita propagarea erorii, în această zonă. Pentru diminuarea impactului spațial al limitelor laterale, o soluție simplă, care a fost luată în considerare în acest subcapitol, a fost înlocuirea condițiilor laterale de frontieră zero, cu condiții constante pe granițele externe.

Cu toate acestea, trebuie să fie de asemenea menționat faptul că scheme mai elaborate, oferind condiții variabile de frontieră liniar descrescătoare spre coastă sau proporționale cu adâncimea dată sub o anumită valoare, posibil legate de frecvența vârfului spectral, ar putea fi, de asemenea, concepute, dar testarea de soluții diferite de acest tip a fost dincolo de domeniul și obiectivul acestui capitol.

Pe de altă parte, o astfel de problemă, caracteristică pentru SWAN, nu apare în cazul simulărilor cu modelul STWAVE unde schema de propagare urmează direcția unei raze de val și, în cazul în care limitele laterale sunt specificate ca apă, este aplicată o limită de tip gradient-zero, care permite energiei, în concordanță cu celulele vecine, să se propage în sau din afara domeniului de-a lungul frontierei laterale

În scopul de a evalua influențele frontierelor laterale în zona de interes (în cazul de față aria în care cele trei instrumente au fost operaționale), două serii suplimentare de calcule au fost efectuate și rezultatele lor vor fi discutate mai jos. Având în vedere faptul că rezultatele de la secțiunea anterioară au arătat că cea mai bună concordanță între rezultatele modelelor și măsurători a fost realizată la nivelul geamandurii, numai acest instrument este folosit ca referință în această secțiune.

Prima serie nouă de teste este legată de influența în SWAN a condițiilor de frontieră zero folosind același domeniu de calcul precum cel de la secțiunea anterioară (ilustrat în fig. 6.1).

Astfel, simulările ce iau în calcul ca limită activă doar limita din largul țărmlui (Nord-Vest), precum și condițiile de zero pe toate celelalte frontiere au fost efectuate cu modelul SWAN și din punct de vedere statistic rezultatele sunt prezentate în Tabelul 6.5, unde sunt comparate atât cu măsurătorile geamandurii, cât și cu rezultatele STWAVE dar și cu simulările anterioare SWAN (care au fost efectuate considerând condițiile constante pe frontierele laterale).

Tabelul 6.5

Parametri statistici pentru valuri, comparații Geamandură - SWAN
(Condițiile pe frontieră zero) – SWAN (Condițiile pe frontieră constante) - STWAVE.
Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide.
Parametrii valurilor luați în considerare pentru comparații sunt: *Hs*, *Tp* și *Dir*

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | Geamandură |
|-----------|--------|--------|-------|------|------|------|---|
| Hs (m) | 2.14 | 2.05 | 0.09 | 0.38 | 0.18 | 0.89 | Geamandură ↓ SWAN- Condițiile de frontieră zero |
| Tp (s) | 12.77 | 12.48 | 0.29 | 1.18 | 0.09 | 0.75 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 310.60 | 0.98 | 5.40 | 0.02 | 0.76 | |
| Hs (m) | 2.05 | 2.16 | -0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.99 | SWAN- Condițiile de frontieră zero ↓ STWAVE |
| Tp (s) | 12.48 | 12.60 | -0.12 | 0.52 | 0.04 | 0.95 | |
| Dir (deg) | 310.60 | 311.56 | -0.97 | 3.15 | 0.01 | 0.95 | |
| Hs (m) | 2.10 | 2.05 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 1.00 | SWAN ↓ SWAN- Condițiile de frontieră zero |
| Tp (s) | 12.48 | 12.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | |
| Dir (deg) | 309.68 | 310.60 | -0.92 | 1.81 | 0.01 | 0.99 | |

Pentru compararea față de datele de geamandură, rezultatele statistice din Tabelul 6.5 arată că, în ceea ce privește *Hs*, deși domeniul de calcul considerat părea să fie suficient de larg, condițiile de frontieră zero scad acuratețea parametrilor statistici în ceea ce privește biasul (de la 0,04 m la 0,09 m) și RMSE (de la 0,37 la 0,38).

În ceea ce privește *Tp* nu este întâlnită nici o diferență între cele două seturi de simulări, în timp ce în ceea ce privește parametrul *Dir* (direcția medie a valurilor), condițiile de frontieră zero furnizează rezultate ușor mai bune decât condițiile constante pe frontieră ($0,98^\circ$ față de $1,9^\circ$ pentru bias, 6,4 față de 6,9 pentru RMSE și 0,76 față de 0,74 pentru coeficientul de corelație, în timp ce SI rămâne același: 0,02). În ceea ce privește comparația efectuată în raport cu modelul STWAVE, condițiile de frontieră constante în SWAN oferă rezultate mai apropiate decât condițiile de frontieră zero pentru toți parametrii statistici, cu excepția tendinței parametrului *Dir*.

O a doua analiză va fi efectuată în prezent în legătură cu influența extinderii laterale a domeniului de calcul în rezultatele furnizate de cele două modele. Din acest motiv, un al

doilea domeniu de calcul a fost definit prin tăierea în lățime a domeniului inițial cu 17 km (8,5 km din fiecare parte). Acest domeniu a fost notat ca Grila 2 și rezultatele simulărilor noi efectuate sunt prezentate în Tabelul 6.6 unde acest nou domeniu este indicat ca indicele G2.

Tabelul 6.6

Parametri statistici pentru valuri, influența extinderii domeniului de calcul în direcția longitudinală; comparații Geamandură – SWAN (Condițiile de frontieră zero) - SWAN (Condițiile de frontieră constante) - STWAVE. Simulările realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide.

Parametrii valurilor luați în considerare pentru comparații sunt: H_s , T_p și Dir

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | Geamandură |
|-----------|--------|--------|-------|------|------|------|---|
| Hs (m) | 2.14 | 2.17 | -0.04 | 0.41 | 0.19 | 0.87 | Geamandură ↓ (SWAN) _{G2} |
| Tp (s) | 12.77 | 12.48 | 0.29 | 1.18 | 0.09 | 0.75 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 308.14 | 3.44 | 7.07 | 0.02 | 0.73 | |
| Hs (m) | 2.14 | 1.83 | 0.31 | 0.46 | 0.22 | 0.90 | Geamandură ↓ (SWAN- Condițiile de frontieră zero) _{G2} |
| Tp (s) | 12.77 | 12.48 | 0.29 | 1.18 | 0.09 | 0.75 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 312.48 | -0.90 | 6.01 | 0.02 | 0.75 | |
| Hs (m) | 2.10 | 2.17 | -0.08 | 0.11 | 0.05 | 1.00 | SWAN ↓ (SWAN) _{G2} |
| Tp (s) | 12.48 | 12.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | |
| Dir (deg) | 309.68 | 308.14 | 1.54 | 2.14 | 0.01 | 1.00 | |
| Hs (m) | 2.17 | 1.83 | 0.34 | 0.42 | 0.19 | 0.95 | (SWAN) _{G2} ↓ (SWAN-0BC) _{G2} |
| Tp (s) | 12.48 | 12.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | |
| Dir (deg) | 308.14 | 312.48 | -4.34 | 7.01 | 0.02 | 0.93 | |
| Hs (m) | 2.14 | 2.26 | -0.12 | 0.37 | 0.17 | 0.92 | Geamandură ↓ (STWAVE) _{G2} |
| Tp (s) | 12.77 | 12.60 | 0.17 | 1.17 | 0.09 | 0.76 | |
| Dir (deg) | 311.58 | 312.30 | -0.72 | 6.60 | 0.02 | 0.71 | |
| Hs (m) | 2.17 | 2.26 | -0.09 | 0.18 | 0.08 | 0.98 | (SWAN) _{G2} ↓ (STWAVE) _{G2} |
| Tp (s) | 12.48 | 12.60 | -0.12 | 0.52 | 0.04 | 0.95 | |
| Dir (deg) | 308.14 | 312.30 | -4.16 | 4.28 | 0.01 | 0.99 | |
| Hs (m) | 2.16 | 2.26 | -0.10 | 0.11 | 0.05 | 1.00 | STWAVE ↓ (STWAVE) _{G2} |
| Tp (s) | 12.60 | 12.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | |
| Dir (deg) | 311.56 | 312.30 | -0.74 | 1.21 | 0.00 | 1.00 | |

În ceea ce privește H_s nu are loc nici o diferență semnificativă între simulările realizate considerând condițiile de frontieră constantă în cele două domenii de calcul, în timp ce în ceea ce privește biasul și RMSE, rezultatele provenite din simulările SWAN cu condițiile de frontieră zero sunt puternic afectate.

Cu toate acestea, trebuie să fie, de asemenea, menționat faptul că pentru simularea efectuată, luând în considerare condițiile de frontieră constantă, biasul și RMSE pentru parametrul Dir sunt crescute pentru cazul cu G2, în relație cu grila de calcul inițial (diferența este de 1,54 ° pentru bias și 1,1 pentru RMSE), în timp ce în cazul condițiilor de frontieră zero, acest parametru este mai puțin afectat. Pentru toate situațiile, parametrul T_p rămâne aproape invariabil, în raport cu scăderea lățimii domeniului de calcul.

În ceea ce privește influența micșorării domeniului de calcul în rezultatele simulărilor STWAVE, Tabelul 6.6 arată că a doua grilă induce pentru H_s o creștere a biasului în valoare

absolută de 0,09m, o creștere a RMSE de 0,04 și o creștere de 0,02 a SI, în timp ce coeficientul de corelație se îmbunătățește crescând cu 0,01. În ceea ce privește parametrii T_p și Dir , diferențele dintre rezultatele obținute folosind cele două domenii diferite nu sunt relevante.

Tabelul 6.7

Parametri statistici pentru valuri, influența extinderii domeniului de calcul în direcția longitudinală; comparații ADCP– SWAN (Condițiile de frontieră constante) - STWAVE. Simulările realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide. Parametrii valurilor luați în considerare pentru comparații sunt: H_s , T_p și Dir

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | ADCP |
|-----------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|---|
| Hs (m) | 2,169 | 2,187 | -0,018 | 0,469 | 0,216 | 0,829 | ADCP ↓ (SWAN) _{G2} |
| T_p (s) | 12,086 | 12,482 | -0,396 | 1,490 | 0,123 | 0,662 | |
| Dir (deg) | 321,168 | 309,524 | 11,644 | 16,534 | 0,051 | 0,557 | |
| Hs (m) | 2,169 | 2,355 | -0,186 | 0,487 | 0,224 | 0,864 | ADCP ↓ (STWAVE) _{G2} |
| T_p (s) | 12,086 | 12,604 | -0,517 | 1,527 | 0,126 | 0,671 | |
| Dir (deg) | 321,168 | 308,284 | 12,884 | 17,430 | 0,054 | 0,557 | |
| Hs (m) | 2,187 | 2,355 | -0,168 | 0,227 | 0,104 | 0,987 | (SWAN) _{G2} ↓ (STWAVE) _{G2} |
| T_p (s) | 12,482 | 12,604 | -0,121 | 0,519 | 0,042 | 0,950 | |
| Dir (deg) | 309,524 | 308,284 | 1,240 | 1,603 | 0,005 | 0,993 | |

Tabelul 6.8

Parametri statistici pentru valuri, influența extinderii domeniului de calcul în direcția longitudinală; Comparații PS– SWAN (Condițiile de frontieră constante) - STWAVE. Simulări realizate pentru intervalul de timp 2002/03/07 - 2002/03/31, 190 puncte de date valide. Parametrul luat în considerare este: H_s

| n=190 | Xmed | Ymed | Bias | RMSE | SI | r | PS |
|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---|
| Hs (m) | 1,626 | 2,242 | -0,6158 | 0,774 | 0,476 | 0,862 | PS ↓ (SWAN) _{G2} |
| Hs (m) | 1,626 | 2,371 | -0,745 | 0,882 | 0,543 | 0,890 | PS ↓ (STWAVE) _{G2} |
| Hs (m) | 2,242 | 2,371 | -0,129 | 0,169 | 0,075 | 0,993 | (SWAN) _{G2} ↓ (STWAVE) _{G2} |

Analiza a fost continuată și în ceea ce privește rezultatele furnizate de ADCP și de senzorul de presiune și rezultatele correspondente sunt prezentate respectiv în Tabele 6.7 și 6.8. Astfel în ceea ce privește comparația SWAN cu ADCP, pentru parametrul H_s biasul este negativ, -0,018 pentru G2 față de 0,01 pentru G1, RMSE este 0,47 față de 0,45, SI rămâne

aproximativ constant 0,21 iar coeficientul de corelație scade doar foarte puțin (de la 0,84 la 0,83). Și pentru STWAVE rezultatele din domeniul G2 apar în ceea ce privește parametrul Hs ușor mai puțin bune. Astfel, biasul este -0,186 în G2 față de -0,13 în G1, RMSE este 0,49 față de 0,46, SI este 0,22 față de 0,21 și doar coeficientul de corelație rămâne relativ constant. Pentru ceilalți doi parametri analizați Hs și Dir diferențele sunt ne semnificative. Aceiași tendință rezultă analizând și rezultatele în raport cu senzorul de presiune.

Comparații în domeniul spațial - pentru a efectua o comparație mai detaliată între cele două modele costiere evaluate, o analiză comparativă a distribuțiilor înălțimilor semnificative în domeniul de calcul a fost, de asemenea, efectuată. Setările celor două modele sunt cele descrise anterior.

Două cazuri diferite au fost luate în considerare: studiul de caz 1 (CS-1) care corespunde condițiilor reale întâlnite în 2002/03/08/06h și reflectă o situație medie din punct de vedere energetic, și studiul de caz 2 (CS-2), corespunzător condițiilor de val din data 2002/03/18/03h, caracterizate prin energie mare care nu poate fi însă clasificată ca o situație extremă.

În ambele situații direcția valurilor a fost de la Nord-Vest, aproximativ 318 grade în convenție Nautică și deoarece domeniul de calcul este rotit (invers acelor de ceasornic), cu 42 de grade, rezultă că direcția în convenție carteziană în raport cu sistemul local asociat domeniului de calcul corespunde la 0 grade.

Fig. 6.6 ilustrează o astfel de comparație în domeniul spațial pentru Hs între SWAN și STWAVE corespunzând la CS-1, considerând condiții constante pe frontierele laterale. Valorile celorlalți parametri de val pe frontiera externă sunt $H_s = 2,86$ m și $T_p = 12,2$ s.

Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea cu modelul SWAN sunt ilustrate în Fig. 6a, în timp ce câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea cu modelul STWAVE sunt prezentate în Fig. 6b. Fig. 6c prezintă variațiile pozitive pentru Hs iar Fig. 6d, variațiile negative ale Hs în valoare absolută.

În Figurile 6.7 și 6.8 aceleași rezultate ca în Fig. 6.6 sunt ilustrate pentru CS-1, dar având în vedere direcțiile valurilor în convenție carteziană de -30° și 45° corespunzătoare în convenție nautică la 348° și respectiv 273° .

În CS-2 se realizează aceeași analiză, dar de data aceasta condițiile energetice sunt mai mari. Hs pe frontiera externă este de 6.24m în timp ce T_p este 15.4s. Fig. 6.9 ilustrează rezultatele corespunzătoare direcției medii de val pe granița externă de 0° (318° în convenție nautică), în timp ce figurile 6.10 și 6.11 la direcțiile -30° (348° în convenție nautică) și respectiv 45° (273° în convenție nautică).

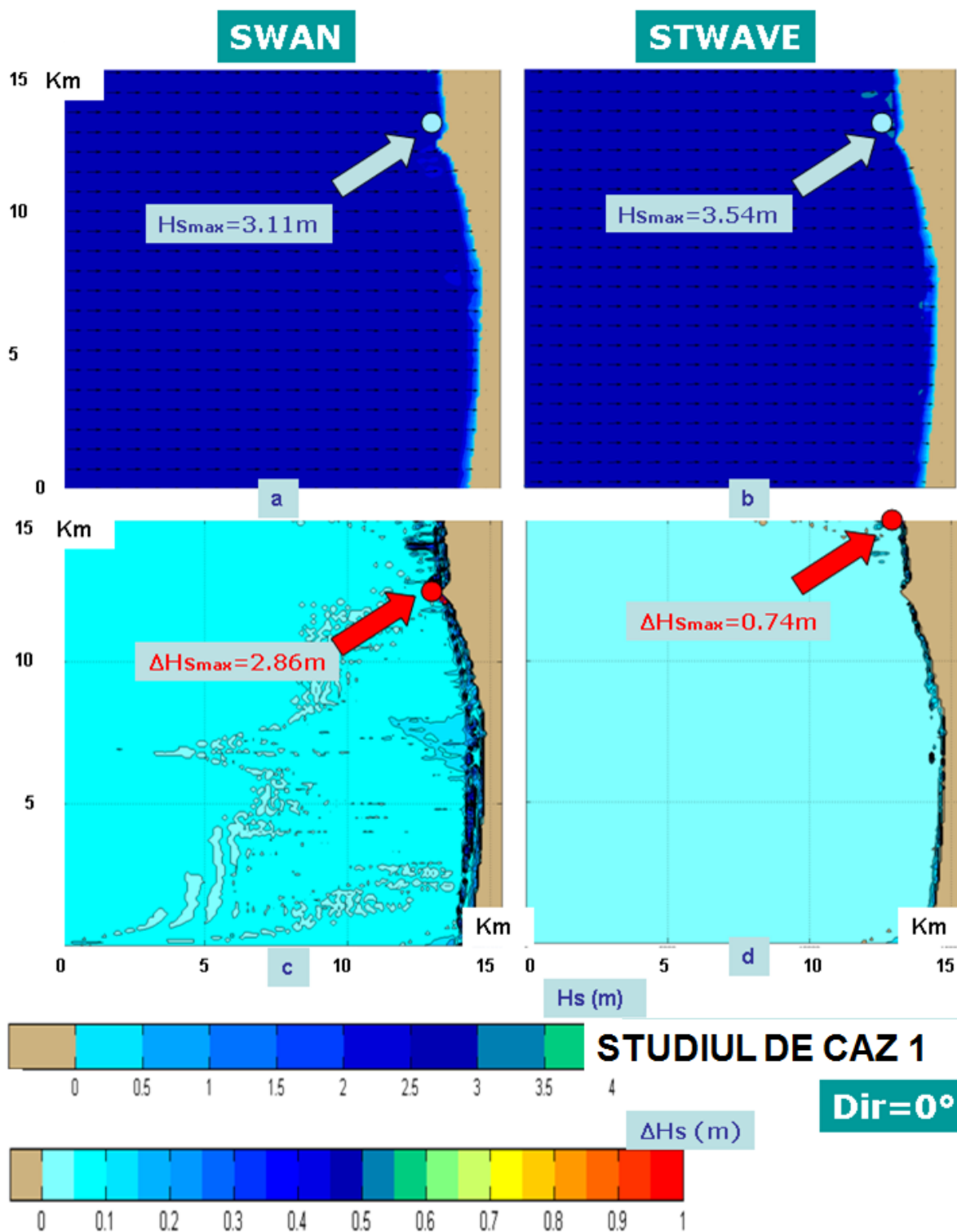
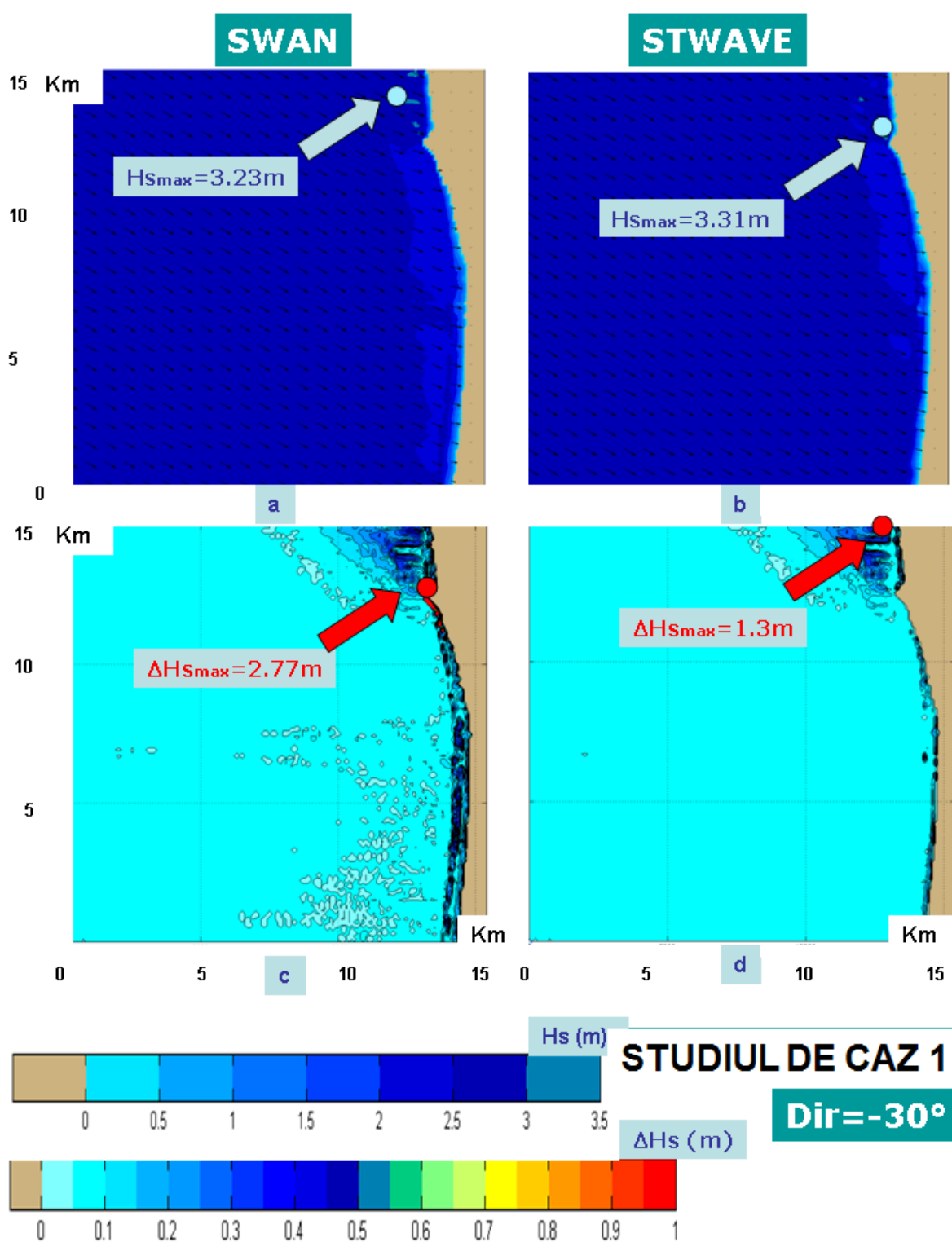


Fig. 6.6

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-1.
 a) Câmpurile H_s și vectorii de undă pentru simulările SWAN; b) Câmpurile H_s și vectorii de undă pentru simulările cu STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri H_s , variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative H_s în valoare absolută, variația maximă cu semn real este, de asemenea, indicată


Fig. 6.7

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-1. Parametrii de intrare ai valurilor: Dir = -30° (348° în convenție nautică), Hs = 2.86m, Tp = 12.2s. Condițiile de mai sus corespund la un interval de timp 2002/03/08/06h. a) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea SWAN; b) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri Hs, variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative Hs în valoare absolută, variația maximă cu semn real este de asemenea indicată.

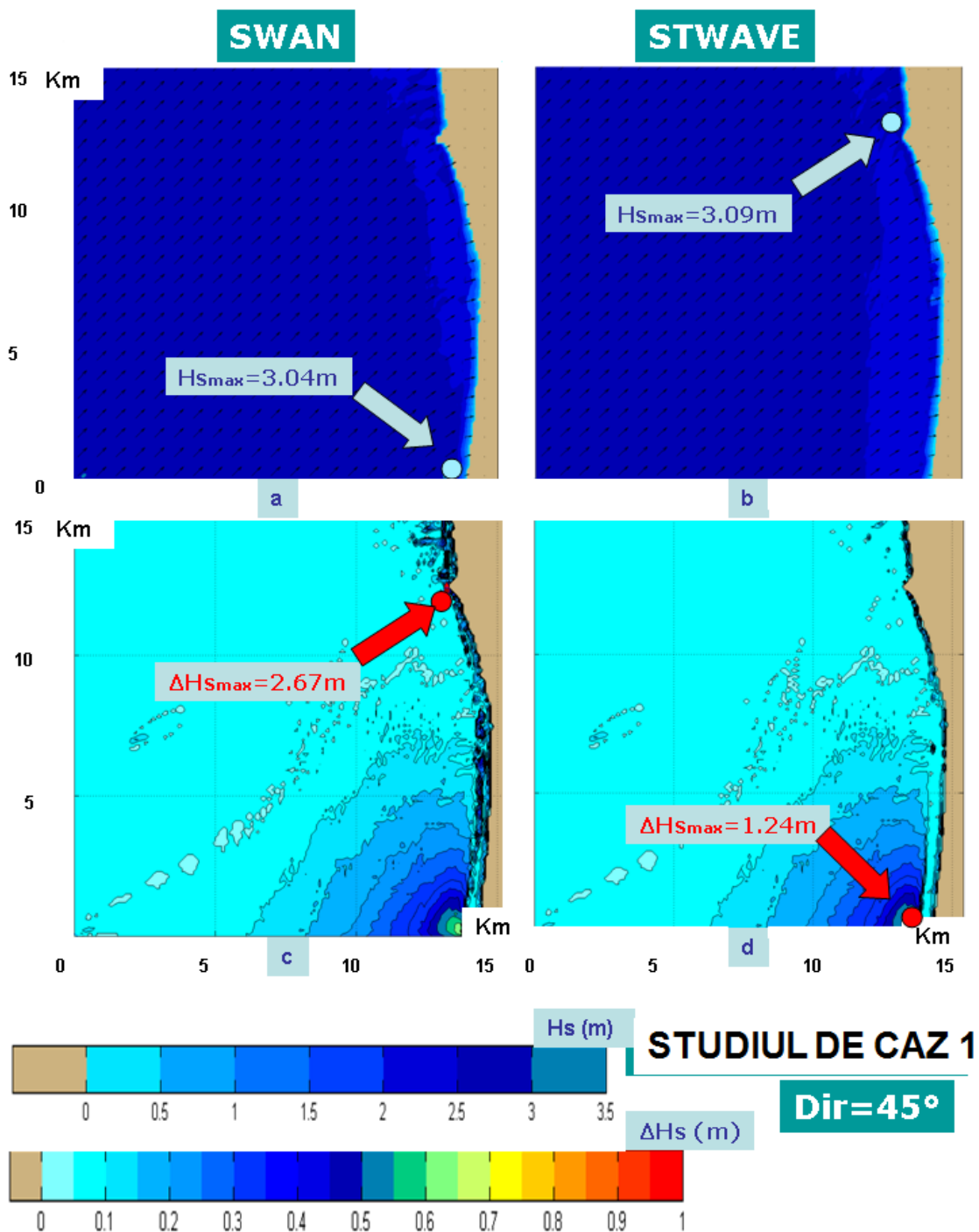


Fig. 6.8

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-1. Parametrii de intrare ai valurilor: Dir = 45° (273° în convenție nautică), $H_s = 2.86m$, $T_p = 12.2s$. Condițiile de mai sus corespund la un interval de timp 2002/03/08/06h. a) Câmpurile H_s și vectorii de undă pentru simularea SWAN; b) Câmpurile H_s și vectorii de undă pentru simularea STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri H_s , variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative H_s în valoare absolută, variația maximă cu semn real este de asemenea indicată.

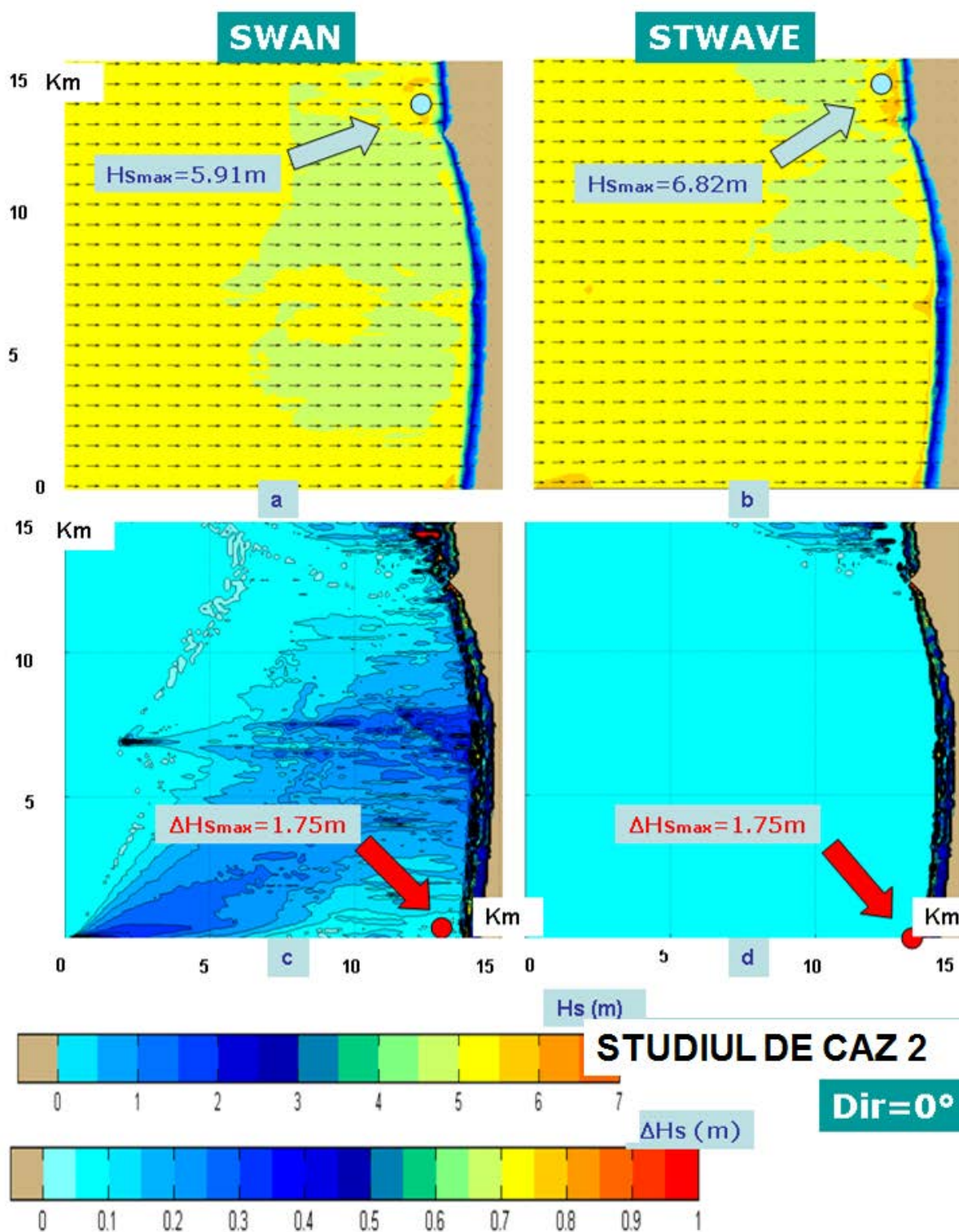


Fig. 6.9

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-2. Parametrii de intrare ai valorilor: Dir = 0° (318° în convenție nautică), Hs = 6.24m, Tp = 15.4s. a) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea SWAN; Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri Hs, variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative Hs în valoare absolută, variația maximă cu semn real este, de asemenea, indicată

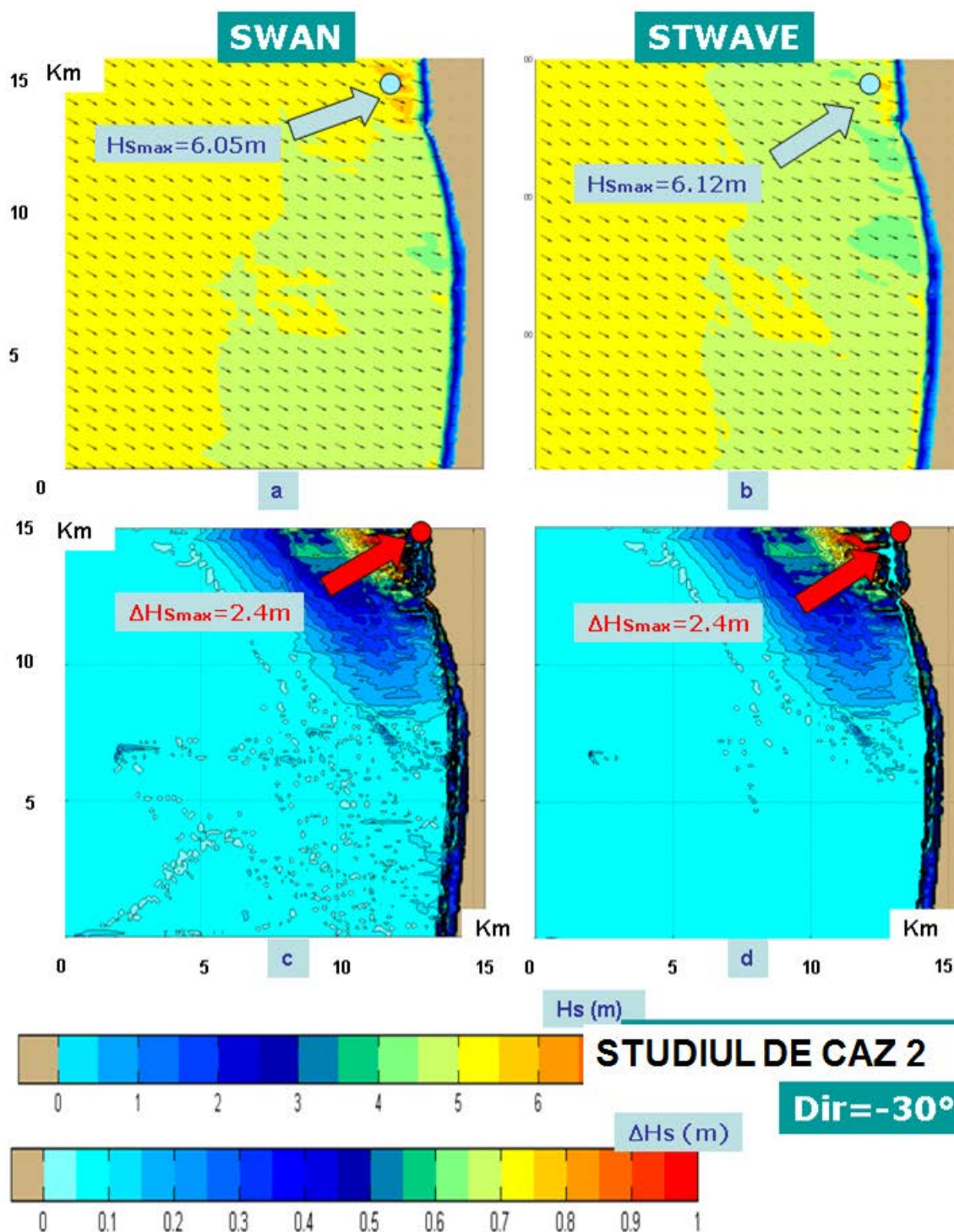


Fig. 6.10

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-2. Parametrii de intrare ai valurilor: Dir = -30° (348° în convenție nautică), Hs = 5.24m, Tp = 15.4s. a) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea SWAN; Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri Hs, variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative Hs în valoare absolută, variația maximă cu semn real este, de asemenea, indicată

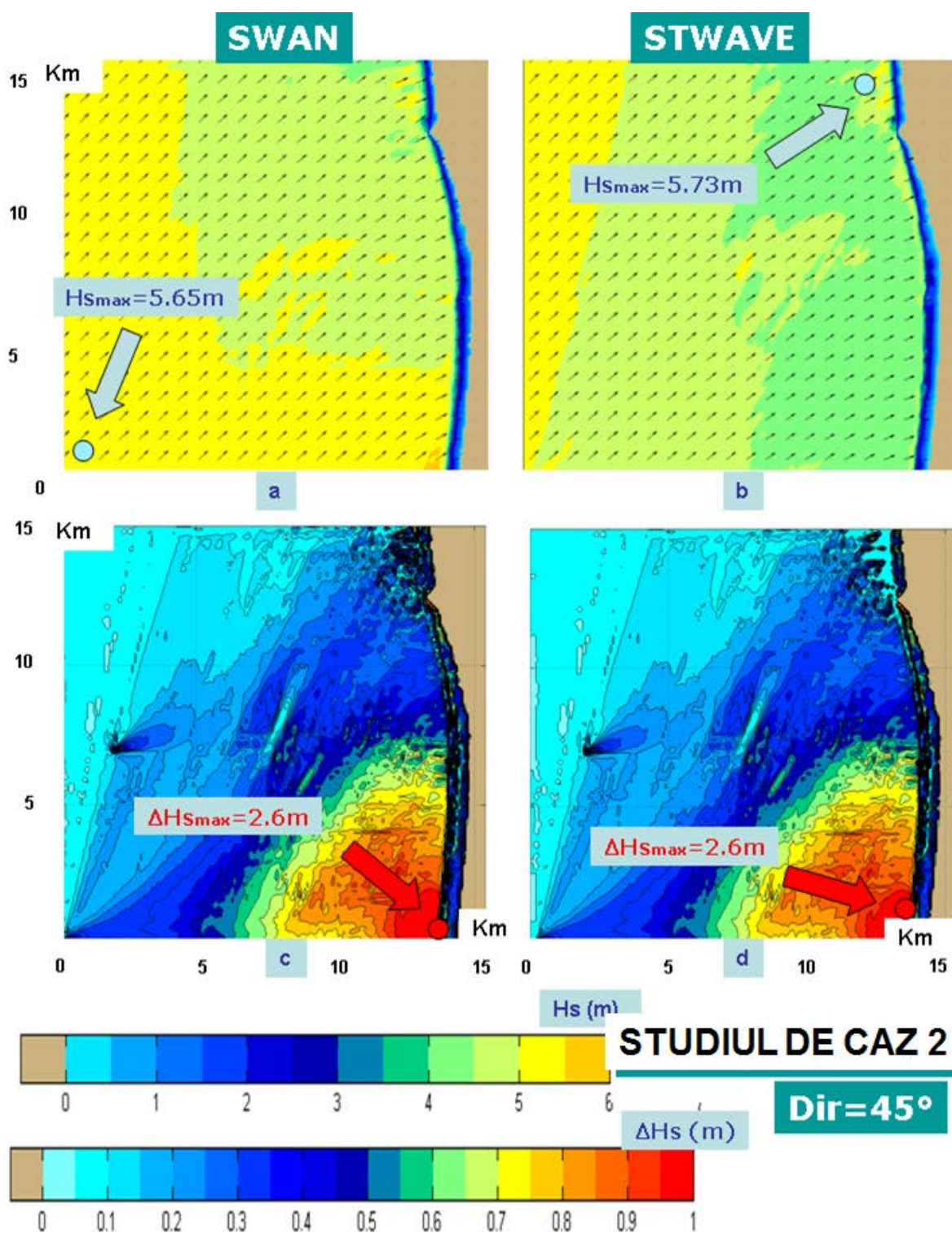


Fig. 6.11

Simulări în domeniul de calcul G2, comparație în cadre spațiale SWAN - STWAVE, CS-2. Parametrii de intrare ai valurilor: Dir = 45° (273° în convenție nautică), Hs = 5.24m, Tp = Tp = 15.4s. Condițiile de mai sus corespund la un interval de timp 2002/03/08/06h. a) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea SWAN; b) Câmpurile Hs și vectorii de undă pentru simularea STWAVE; c) diferențe pozitive între cele două câmpuri Hs, variația maximă este de asemenea indicată; d) diferențe negative Hs în valoare absolută, variația maximă cu semn real este, de asemenea, indicată

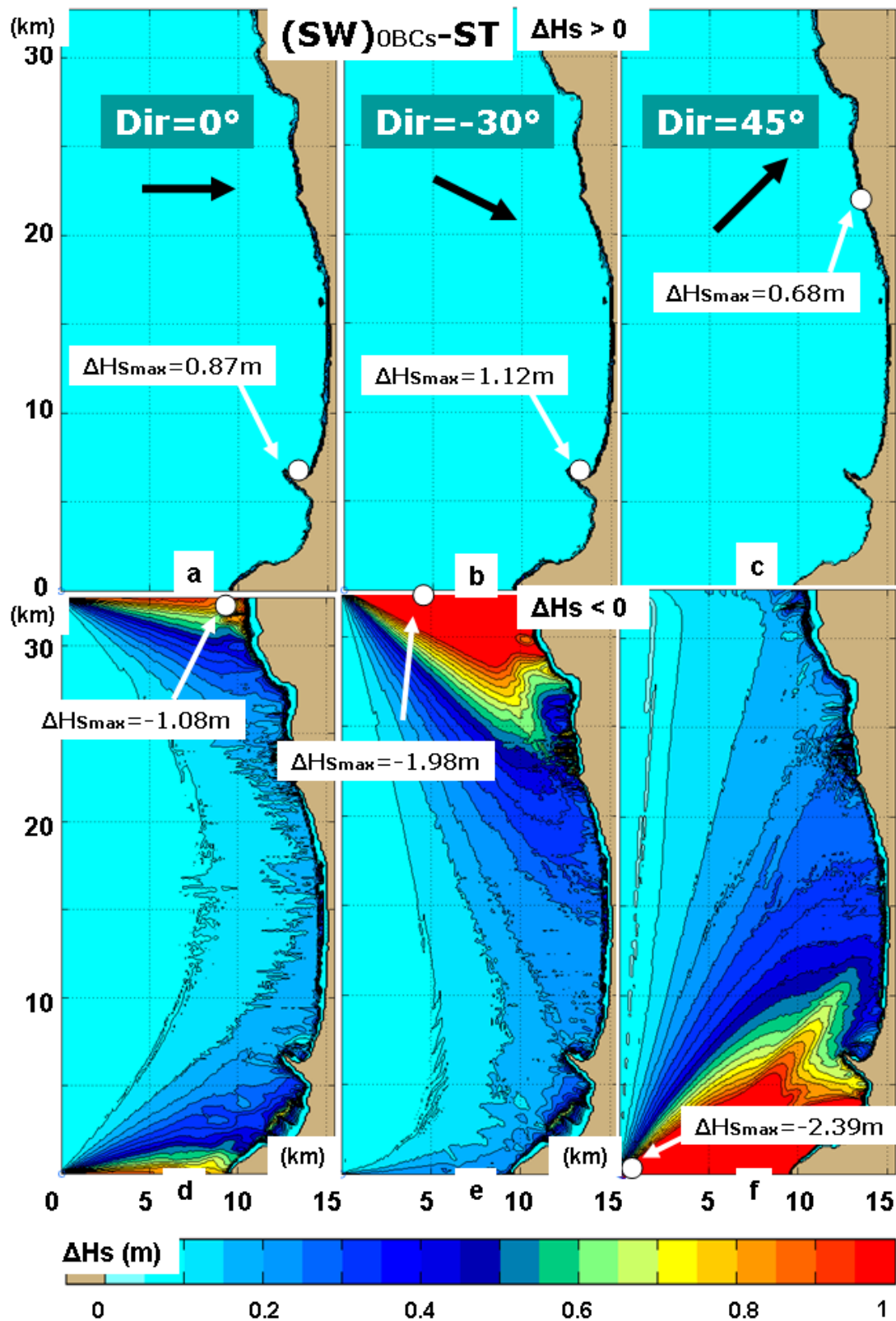


Fig. 6.12

Simulări în domeniul de calcul G1, Influența condițiilor de frontieră laterală zero în SWAN așa cum este reflectată prin câmpurile de H_s , comparații cu simulări STWAVE (CS-1) pentru domeniul de calcul larg (notat G1). a) diferențele pozitive pentru Dir = 0°; b) diferențele pozitive pentru Dir = -30°; c) diferențele pozitive pentru Dir = 45°; d) diferențele negative în valoare absolută pentru Dir = 0°; e) diferențele negative în valoare absolută pentru Dir = -30°; f) diferențele negative în valoare absolută, Dir = 45°. Variațiile maxime cu semn real sunt, de asemenea, indicate.

O primă observație care rezultă din analiza rezultatelor prezentate în Figurile 6.6 și 6.9, corespunzătoare direcției de val pe frontiera externă ce urmărește aproximativ normală la linia de coastă (0 grade în convenție carteziană sau 318 grade în convenție nautică), ar fi că STWAVE uneori supraestimează considerabil valoarea lui H_s în raport cu modelul SWAN, mai ales în vecinătatea liniei de spargere a valurilor (Fig. 6.9 arată uneori o supraestimare de aproximativ 1,5 m).

Pe de altă parte, STWAVE subestimează uneori înălțimea semnificativă a valurilor, în apropierea liniei de coastă. Aceste diferențe devin mai relevante și acestea sunt extinse din zona de surf către zone mai mari din domeniul de calcul odată cu creșterea condițiilor energetice și acest lucru este bine ilustrat prin compararea figurii 6.6 cu Fig. 6.9.

Așa cum a fost discutat în secțiunile anterioare, deși ambele modele sunt bazate pe integrarea ecuației de echilibru a acțiunii spectrale pe o grilă rectangulară, schemele de propagare sunt destul de diferite. În SWAN un sistem de coordonate cartezian (sau, alternativ, sferic) este considerat în timp, iar în STWAVE este urmărită propagarea de-a lungul razelor de val. Acest sistem de propagare, deși devine complicat pentru integrări în domeniul timpului, în cazul simulărilor staționare, când timpul este eliminat din ecuația de guvernare, pare a fi foarte eficient și în plus nu introduce efecte de frontieră laterale.

Aceste efecte de frontieră induse în SWAN sunt ilustrate în Fig. 6.6 - 6.11 unde se poate observa o creștere considerabilă în înălțime a valurilor în SWAN pe partea laterală de unde vin valurile, în timp ce direcția valurilor pe limita externă este deviată de la zona de coastă.

Pentru astfel de situații, recomandarea din manualul de utilizare SWAN este de a mări domeniul de calcul, astfel încât zona de interes să fie destul de departe de frontiere, însă extinderea domeniului crește timpul de calcul și în plus sunt necesare mai multe date batimetrice.

Prin urmare unghiurile de valuri mai mari de 30 de grade raportate normal la țărm în condiții înalt energetice atunci când, după cum este ilustrat în Figurile 6.10 și 6.11, erorile se extind dincolo de centrul domeniului de calcul, o opțiune mai bună ar fi, probabil, să se ia în considerare un domeniu de calcul rotit în scopul de a micșora unghiul valurilor incidente.

Având în vedere faptul că analiza prezentată în Figurile 6.6-6.11 este legată de opțiunea condițiilor de frontieră laterală constante în SWAN, diferențele dintre SWAN cu condițiile de frontieră zero și STWAVE sunt, de asemenea, ilustrate în Fig. 6.12 pentru CS-1 în acest caz fiind prezentate chiar rezultatele din domeniul de calcul largit care este notat G1. Comparațiile cu Figurile 6.6 și 6.8 arată în mod clar că, în ceea ce privește H_s , impactul condițiilor de frontieră zero este considerabil mai mare și nici chiar domeniul largit nu este suficient de mare pentru a se evita erorile induse de condițiile de frontieră zero.

Cu toate acestea, trebuie să fie, de asemenea, menționat că acest gen de probleme apar doar în cazul predicțiilor de tip *nowcast*, precum cel discutat în acest subcapitol. În cadrul rularilor de tip *nest*, când condițiile pe frontieră sunt furnizate de-a lungul tuturor granițelor printr-o rulare anterioară a modelului pe un domeniu de calcul mai mare, nu este indus aproape nici un efect limită în modelul SWAN.

6.2 CÂTEVA CONSIDERAȚII SUPLIMENTARE ȘI SIMULĂRI PRELIMINARE ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC

O primă concluzie, care reiese din acest subcapitol, ar fi în legătură cu rezultatele oferite de diferite instrumente utilizate frecvent pentru măsurătorile de valuri în apropierea țărmului. Astfel, pentru adâncimea apei de aproximativ 20 m, geamandura încă furnizează rezultatele cele mai fiabile cu privire la principalii parametri de valuri.

În ceea ce privește înălțimile și perioadele valurilor, rezultatele furnizate de ADCP sunt bine corelate cu cele care provin de la geamandură. Un ADCP este un dispozitiv mai complex și oferă și informații privind curenții, dar în ceea ce privește direcțiile de valuri, așa cum arată rezultatele experimentului de teren aceste instrumente par a fi considerabil mai puțin precise decât balizele direcționale. O posibilă explicație pentru oscilațiile mari în ceea ce privește direcțiile valurilor (și într-o măsură mai mică în ceea ce privește înălțimea semnificativă a valurilor și perioada vârfului spectral) ar putea avea legătură cu influența mării în măsurătorile efectuate de acest aparat la locația prezentă. Această idee conduce la faptul că, pentru perioada și locația considerată, variația medie a nivelului apei între flux și reflux a fost de aproximativ 2,5 m, dar valoarea extremă a acestei variații a depășit uneori 3 m.

În legătură cu înălțimile semnificative ale valurilor măsurate la senzorul de presiune, deși bine corelate cu celelalte două instrumente, acestea sunt sistematic mai mici. În ceea ce privește posibilitatea inexactității măsurătorilor PS, trebuie să fie menționat că probabil PS a dat înălțimi mai mici ale valurilor din cauza adâncimii relativ mari a apei, față de marja sa de operaționalitate (5 m mai mare decât adâncimea maximă indicată de 15 m).

Pot fi făcute acum și unele observații generale în legătură cu cele două modele de valuri evaluate în acest capitol. Trebuie să fie menționat în primul rând că atât SWAN cât și STWAVE sunt modele spectrale de valuri concepute pentru zonele de coastă și bazate pe integrarea ecuației de echilibru a acțiunii cu scheme cu diferențe finite, cu scopul de a oferi estimări realiste ale parametrilor de valuri cei mai relevanți. SWAN este un model mult mai complex și sunt disponibile mult mai multe opțiuni. Avantajul este ca modelul poate fi calibrat mai bine atât în ceea ce privește implementarea într-o anumită locație dar și în ceea ce privește condițiile asociate cu diverse configurații ale matricii de mediu. Pe de altă parte, STWAVE este un model mai simplu dar mai rapid și mai robust (pentru toate simulările efectuate a rezultat un timp de calcul care reprezintă în medie pentru STWAVE cam 80% din timpul necesar pentru SWAN) și care poate fi utilizat cu succes în foarte multe medii costiere și pentru diverse situații.

Un alt aspect deosebit de important care rezultă din această parte a lucrării se referă la influența condițiilor de frontieră în SWAN. Schema de propagare care a fost implementată în STWAVE și care se bazează pe propagarea de-a lungul razelor de val nu induce nici un effect vizibil pe frontierele laterale. În ceea ce privește modelul SWAN condițiile zero pe frontierele laterale afectează câmpul de valuri conducând la o scădere a înălțimilor semnificative care se propaga începând cu partea de unde vin valurile. Aceasta înseamnă că pe măsură ce direcția valurilor de pe frontiera externă este deviată de la direcția normalei cu un unghi mai mare, impactul va fi și el crescut. Pentru astfel de situații, o primă soluție ar fi să se lărgască domeniul de calcul dar prin aceasta timpul de calcul va crește deasemenea și în plus sunt necesare și mai multe date batimetrice. O soluție alternativă care este mai simplă decât elaborarea de scheme complicate care presupun proiectarea de condiții de frontieră laterale variabile este să se considere condiții constante pe frontierele laterale. Această abordare introduce însă și ea erori în domeniul de calcul care de fapt sunt contrare cu efectele induse de condițiile de frontieră zero, în sensul că acestea induc nu o scădere ci o creștere a câmpului de valuri, dar aria afectată este mai mică decât în cazul anterior. Rezultatele obținute până acum arată că efectele de frontieră induse de modelul SWAN depind în primul rând de direcția

valurilor pe frontiera externă dar depind de asemenea și de configurația batimetrică a sectorului costier considerat. Rezultatele prezentate în acest capitol arată că soluția frontierelor laterale constante este viabilă pentru unghiuri până la 30° față de direcția normalei la linia de coastă și în astfel de cazuri nu se justifică extinderea domeniilor în spațiul geografic. De asemenea trebuie menționat și faptul că în cazul schemelor de tip 'nest' modelul SWAN nu introduce nici un fel de efect de frontieră și în aceste situații nu apar diferențe între cele două modele pe frontierele laterale ale domeniului de rezoluție înaltă.

Obiectivul principal al lucrării de doctorat îl reprezintă predicția condițiilor de val din zonele apropiate porturilor românești. Din această perspectivă studiul de față are rolul de a da informații privind performanțele modelelor spectrale SWAN și STWAVE în zonele costiere pentru ca, cunoscând avantajele și limitările modelelor, acestea să fie ulterior implementate și aplicate în zona litoralului românesc pentru a furniza suportul în operațiile portuare.

O prima implementare a celor două modele a fost realizată în zona Mangalia și câteva rezultate sunt prezentate în Fig. 6.13 și 6.14. Astfel Fig. 6.13 prezintă un studiu de caz destul de înalt energetic pentru Marea Neagră caracterizat prin următoarele valori ale parametrilor de val pe frontiera externă a domeniului de calcul: $H_s=3,28\text{m}$, $T_p=6,4\text{s}$, $Dir=92^\circ$. Pentru simularea cu modelul SWAN, s-au considerat condiții de frontieră laterale zero, și așa cum rezultă din figură chiar și când direcția de propagare a valurilor urmărește aproximativ direcția normalei la linia de coastă (așa cum este cazul prezentat în Fig. 6.13) diferențe semnificative apar pe frontierele laterale și acest aspect este ilustrat în Fig. 6.13d. Rezultatele unui al doilea studiu sunt ilustrate în Fig. 6.14. Și în acest caz sunt studiate condiții destul de înalte energetice pentru vestul Mării Negre dar de această dată direcția valurilor este deviată cu 39° față de normala la linia coastei. În consecință acest caz este caracterizat prin următoarele valori ale parametrilor de val pe frontiera externă a domeniului de calcul: $H_s=3,42\text{m}$, $T_p=7,1\text{s}$, $Dir=129^\circ$. Spre deosebire de cazul anterior, în acest caz însă pentru simularea cu modelul SWAN, s-au considerat condiții de frontieră laterale constante și așa cum rezultă din Fig. 6.14 deși există un unghi considerabil între direcția valurilor și direcția normalei la linia de coastă efectul de frontieră este mult redus în comparație cu situația anterioară.

Se poate aprecia deci în finalul acestui capitol că și pentru condițiile specifice ale Mării Negre opțiunea condițiilor de frontieră constante în modelul SWAN este în general viabilă atunci când unghiul dintre direcția de propagare a valurilor și normala la linia de coastă este nu este mai mare decât 40° . Pentru cazul în care unghiurile sunt mai mari o soluție alternativă la mărirea domeniului de calcul este rotirea domeniului astfel încât frontiera laterală să devină paralelă cu direcția de propagare a valurilor sau măcar să facă un unghi mai mic. Pe de altă parte, așa cum s-a văzut în acest capitol, modelul STWAVE nu induce nici un fel de condiție de frontieră, este mai robust și mai rapid decât SWAN și faptul că prezintă mai puține opțiuni privind modelarea proceselor fizice poate fi considerat un dezavantaj fiindcă reduce posibilitățile de calibrare, dar în același timp poate reprezenta și un avantaj fiindcă este mai simplu de implementat.

Totuși trebuie remarcat și faptul că SWAN prezintă avantajul că poate fi implementat pentru întregul bazin al Mării Negre sub forma unui sistem cu mai multe nivele de calcul dar bazat pe același model spectral (SWAN). În ceea ce privește zonele costiere cu rezoluție spațială mai mare atât modele SWAN și STWAVE pot fi conectate la acest sistem deși în mod evident conectarea modelului SWAN este mai directă. Capitolul următor va prezenta principalii pași făcuți pentru implementarea acestui sistem de predicție a valurilor la nivelul Mării Negre care este focalizat pe zona românească.

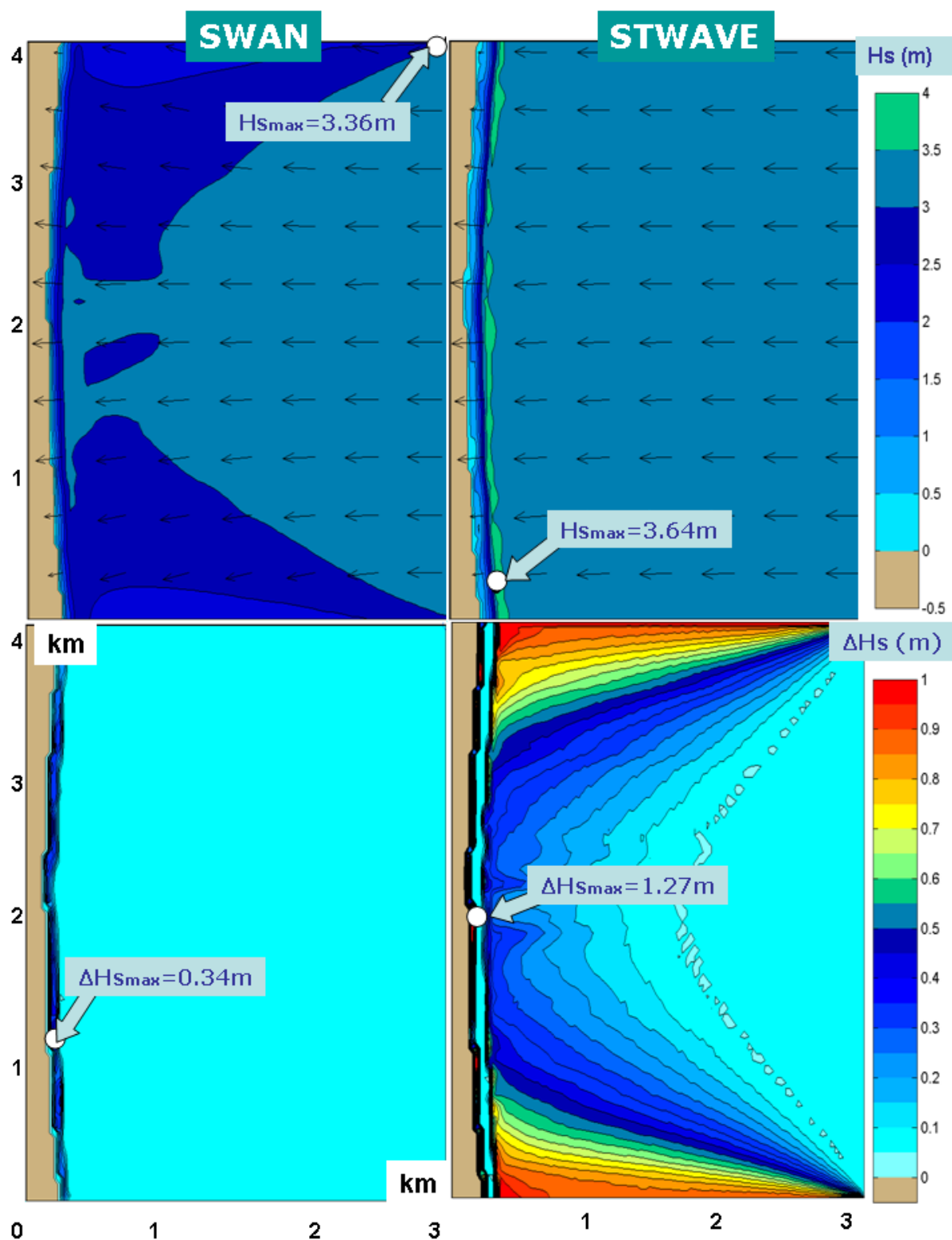


Fig. 6.13

Arie costiera in zona Mangalia, comparatie SWAN (IBC) - STWAVE. Parametrii de input: $H_s=3.28\text{m}$, $T_p=6.4\text{s}$, $Dir=92^\circ$. a) Campuri de inaltimi semnificative si vectori de de val pentru simularile cu modelul SWAN; b) Campuri de inaltimi semnificative si vectori de de val pentru simularile cu modelul STWAVE; c) Variatii H_s pozitive; d) Variatii H_s negative in valoare absoluta.

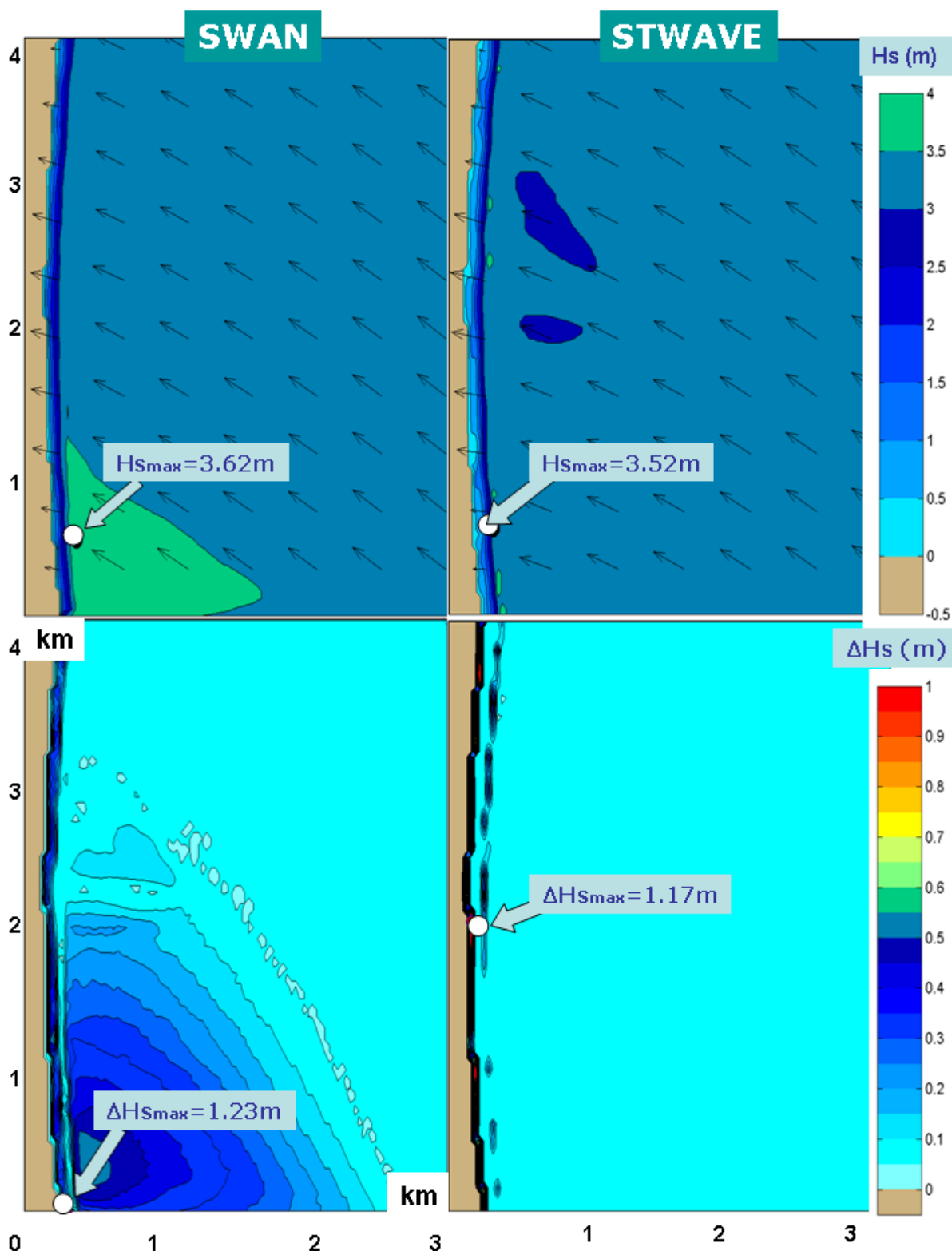


Fig. 6.14

Arie costiera in zona Mangalia, comparatie SWAN (3BC) - STWAVE. Parametrii de input: $H_s=3.42\text{m}$, $T_p=7.1\text{s}$, $Dir=132^\circ$. a) Campuri de inaltimi semnificative si vectori de de val pentru simularile cu modelul SWAN; b) Campuri de inaltimi semnificative si vectori de de val pentru simularile cu modelul STWAVE; c) Variatii H_s pozitive; d) Variatii H_s negative in valoare absoluta

CAPITOLUL 7

SIMULĂRI NUMERICE ÎN BAZINUL MĂRII NEGRE

În Capitolul VII sunt prezentate rezultatele simulărilor numerice care au fost realizate în bazinul Mării Negre. Mai întâi este evaluată influența vântului în modelarea climatului de valuri din Marea Neagră făcându-se comparații atât cu măsurători in situ cât și cu date de satelit. Rezultatele arată ca rezoluția și acuratețea câmpurilor de vânt utilizate pentru a forța modelul de valuri reprezintă un factor crucial în obținerea de predicții credibile ale condițiilor de val din Marea Neagră și că în general în mările închise acest aspect este mult mai important decât în cazul modelării valurilor în zonele oceanice cu întinderi mari. S-au realizat apoi analize în spațiul geografic evaluând distribuțiile spațiale cele mai probabile ale unor parametri de val mai importanți cum ar fi înălțimea semnificativă, perioada medie, împrăștierea direcțională (DSPR) și împrăștierea în frecvențe (FSPR). Rezultate deosebit de interesante au relevat analizele realizate în spațiul spectral unde au fost identificate patru categorii importante de forme spectrale caracteristice bazinului Mării Negre și în special zonei de vest. Acestea sunt spectrele împrăștiate în frecvență și direcție, spectrele de tip multi-peak, spectrele cu coadă și spectrele caracteristice mării complet dezvoltate. Tot în cadrul acestui capitol s-au realizat și câteva comparații cu Marea Caspică. Aceasta este o mare închisă la fel ca și Marea Neagră, între cele două mări existând și multe alte asemănări. De altfel, rezultatele arată că și tehnicile de modelare a valurilor în cele două bazine marine sunt destul de similare. În finalul Capitolului VII se prezintă focalizarea sistemului de predicție a valurilor bazat pe modele numerice către principalele zone portuare românești de la Marea Neagră, precum și rezultatele unor simulări de înaltă rezoluție (utilizând în paralel modelele SWAN și STWAVE) în apropierea porturilor Mangalia și Midia-Navodari.

7.1 EVALUAREA INFLUENȚEI VÂNTULUI ÎN MODELAREA CLIMATULUI DE VALURI DIN MAREA NEAGRĂ

Cel mai adecvat mod de a evalua condițiile de val în mediul marin la scări geografice mai extinse este acela de a utiliza modele numerice spectrale. Aceste modele permit predicții asupra întregului bazin al Mării Negre și de asemenea, pot oferi prognoze viabile pentru datele de val. Ca urmare a acestei abordări, un sistem de predicție a valurilor pe mai multe nivele, bazat pe modelul SWAN (Booij și alții, 1999), a fost implementat pentru întregul bazin al Mării Negre, Rusu și alții (2006), Rusu (2009), Rusu (2010a), și s-a axat pe partea de vest a mării, vizând în special zona din jurul țărmlui românesc. Ulterior, același sistem de modelare a fost folosit pentru a studia interacțiunile val - curenți în zona de coastă de la gura de vărsare a fluviului Dunărea așa cum este descris în Rusu (2010b) și curenții induși de valuri în zona din jurul țărmlui așa cum este prezentat acest fenomen de către Rusu și Măcuță (2009). Validări multiple au fost realizate atât în raport cu măsurători de la balize dar și cu date de satelit. Acest sistem se bazează pe modelul spectral în medie de fază SWAN care este utilizat atât pentru procesul de generare a valurilor cât și pentru transformările din zonele cu apă mai puțin adâncă.

Deși un singur model de valuri acoperă întreaga scală a procesului de modelare, configurația sistemului diferă destul de mult de la un nivel de calcul la altul. Astfel domeniul de calcul la nivelul întregului bazin al Mării Negre care include de asemenea și Marea de Azov este ilustrat în Figura 7.1.

În urma rezultatelor prezentate în capitolul VI, s-a evidențiat în mod foarte clar faptul că la scara de generare a valurilor, care corespunde întregului bazin al Mării Negre, un element fundamental în obținerea de rezultate cât mai bune îl reprezintă rezoluția câmpurilor de vânt considerate. Din acest motiv cu scopul de a oferi o perspectivă cât mai clară asupra importanței rezoluției și acurateții câmpurilor de vânt utilizate în modelarea valurilor din Marea Neagră influența acestor aspecte a fost cuantificată în prima secțiune a acestui capitol.

O descriere a sistemului de modelare considerat la scară globală - două câmpuri de vânt diferite au fost luate în considerare pentru forțarea sistemului de modelare a valurilor care a fost implementat pentru bazinul Mării Negre. Rezultatele modelelor de valuri și de vânt sunt comparate cu măsurătorile in situ, măsurători efectuate la unitatea de foraj Gloria, și de asemenea, comparate cu măsurătorile de satelit pentru o perioadă de două luni pe timp de iarnă.

Studiile din secțiunea de față sunt axate pe procesele de la scara întregului bazin al Mării Negre și sunt relaționate mai ales cu generarea valurilor cu scopul de a oferi o perspectivă asupra importanței rezoluției și acurateții câmpurilor de vânt utilizate în modelarea valurilor din Marea Neagră.

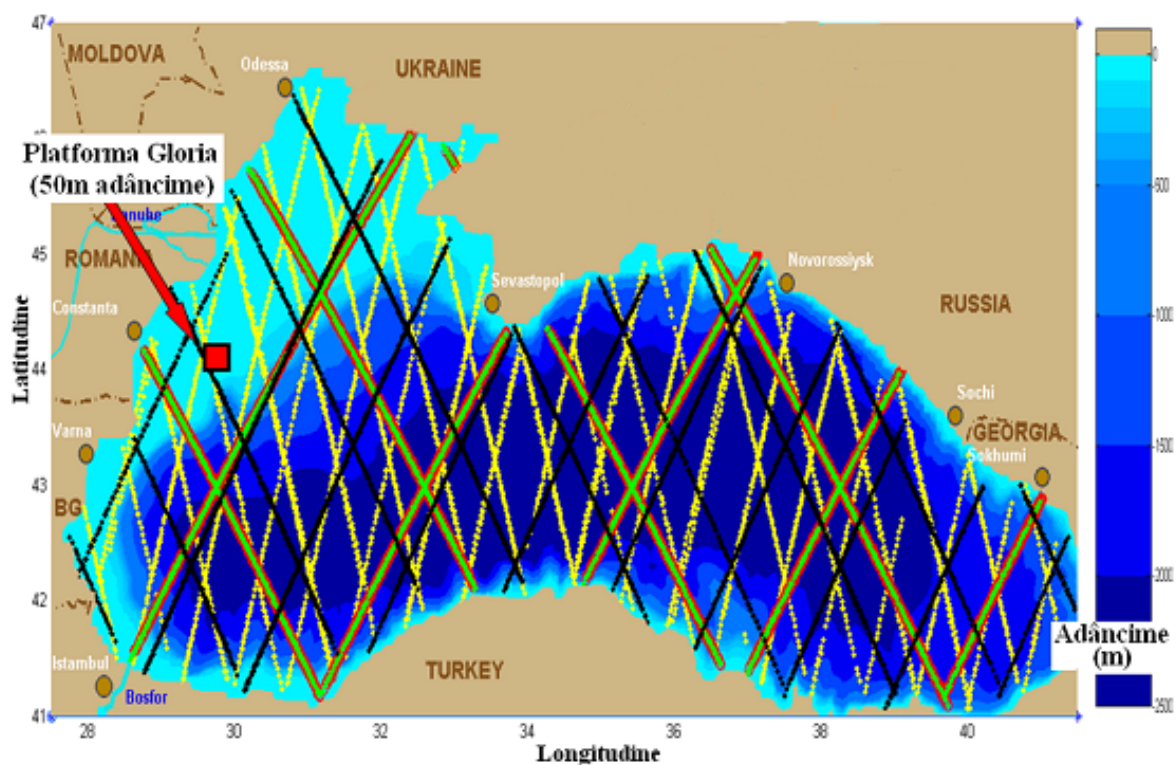


Fig. 7.1

Domeniul global de calcul pentru simulările cu modelul SWAN. Pe fundal este ilustrată harta batimetrică a Mării Negre. În prim plan este reprezentată locația platformei de foraj Gloria (44.52° N, 29.57° E) și traiectoriile sateliților în zona bazinul Mării Negre pentru perioada 2009/01/01- 2009/02/28, ERS-2 (galben), TOPEX (roșu), JASON1 (verde) și GEOSAT Follow-On (negru).

ERA-Interim (Simmons și alții, 2006) reprezintă cea mai recentă reanaliză a datelor de vânt produse de ECMWF. Acesta folosește o analiză 4D - variațională pe o grilă spectrală cu

trunchiere triunghiulară de 255 de valori (corespunde la aproximativ 80km) și un sistem hibrid de coordonate pe verticală, cu 60 de nivele. Modelul global ECMWF este utilizat pentru analiza variațională 4D și pasul temporal este de 12h. Această reanaliză acoperă perioada din 1979 până în prezent.

WRF este un sistem de modelare numerică meteo de ultimă generație, proiectat pentru a servi atât previziunilor operaționale cât și necesităților de cercetări atmosferice. Modelul dispune de mai multe nuclee dinamice, un sistem de asimilare a datelor bazat pe metode variaționale (3DVAR) și o arhitectură software care permite atât calculul paralel cât și extensibilitatea sistemului. În același timp, modelul este potrivit pentru un spectru larg de aplicații pentru scări geografice variind de la zeci de metri și până la mii de kilometri. Sistemul WRF a fost implementat în regiunea Mării Negre de către Bernardino și alții (2011) folosind o grilă cu rezoluție de 27km și cu un pas de timp cu rezoluție de 10min. Simularea a utilizat un total de 51x30 de puncte de grilă. Parametrizările fizice utilizate în simulări au fost cele implicite și sunt descrise în Tabelul 7.1.

Tabelul 7.1

Parametrizarea fizică a implementării modelului WRF pentru regiunea Mării Negre.

| Microfizica | Sistemul de clasă 3 WRF cu moment unic |
|----------------------------|---|
| Radiația undelor lungi | Sistemul RRTM |
| Radiația undelor scurte | Sistemul Dudhia |
| Stratul de suprafață | Similaritatea MM5 |
| Suprafața terestră | Modelul de suprafață Noah Land |
| Suprafața urbană | Fără fizică urbană |
| Suprafața limită planetară | Sistemul Universității Yonsei |
| Parametrizarea Cumulus | Sistemul Kain-Fritsch |

Câmpurile de intrare considerate și procesele fizice activate pentru nivelul global al simulărilor cu modelul SWAN sunt de asemenea indicate în tabel. Astfel, Val reprezintă forțarea prin val, Vânt este forțarea prin vânt; Marea este forțarea prin marea, Crt – reprezintă introducerea în model a câmpului de curenți, Gen reprezintă activarea procesului de generare a valurilor datorită transferului de energie de la vânt la valuri, Wcap indică activarea procesului de înspumare, Quad reprezintă activarea interacțiunilor neliniare de tip cuadruplet, Triad reprezintă activarea interacțiunilor neliniare de tip triada, Diff activarea procesului de difracție, Bfric indică activarea procesului de frecare cu fundul mării, Set up reprezintă înălțarea apei indusă de valuri, Br indică activarea procesului de spargere a valurilor.

Tabelul 7.2

Caracteristicile domeniilor de calcul definite pentru simulările cu modelul SWAN

| SWAN | Coordonate | | $\Delta x \times \Delta y$ (°) | | $\Delta \theta$ (°) | Δt (min) | nf | $n\theta$ | $ngx \times ngy = np$ | | | |
|--------------------|------------|------|--------------------------------|-----|---------------------|------------------|------|-----------|-----------------------|-------|--------|----|
| | Sferice | | 0.08 × 0.08 | | 10 | 10 stat | 30 | 36 | 176×76=13376 | | | |
| Intrare/ Proces | Val | Vânt | Maree | Crt | Gen | Wcap | Quad | Triad | Diffr | Bfric | Set up | Br |
| | | 0 | X | 0 | 0 | X | X | X | 0 | 0 | X | 0 |

Comparație dintre rezultatele de model și datele măsurate in situ - la primul nivel, analiza se bazează pe datele măsurate la platforma de foraj Gloria, care operează în sectorul vestic al Mării Negre (44° 31'N, 29° 34'E), la o locație unde adâncimea apei este de aproximativ 50m. Locația platformei de foraj în bazinul Mării Negre este ilustrată în Figura 7.1. Măsurători de vânt și val au fost efectuate zilnic pe o perioadă de 3 ani între 2008 și 2010, la intervale de 6 ore, procentul de date valabile a fost de aproximativ 94%.

Pentru perioada ianuarie-februarie 2009, Figura 7.2 ilustrează comparația directă la platforma de foraj Gloria pentru vitezele vântului furnizate de cele două sisteme de modelare ECMWF (cu o rezoluție de 1.5°×1.5°) și respectiv WRF (cu o rezoluție de 27km×27km). Măsurătorile vitezelor vântului au fost efectuate la 36 de metri înălțime și vitezele vântului au fost ajustate de la 36 la 10 metri utilizând relația lui Hsu și alții (1994).

Acest lucru este foarte bine ilustrat pentru primul vârf energetic, înregistrat în 04 ianuarie 2009, când simulările cu rezoluție mai mică cu sistemul de modelare ECMWF dă erori mari în ceea ce privește vitezele vântului, în timp ce simulările de înaltă rezoluție cu WRF aproximează mult mai bine măsurătorile in situ.

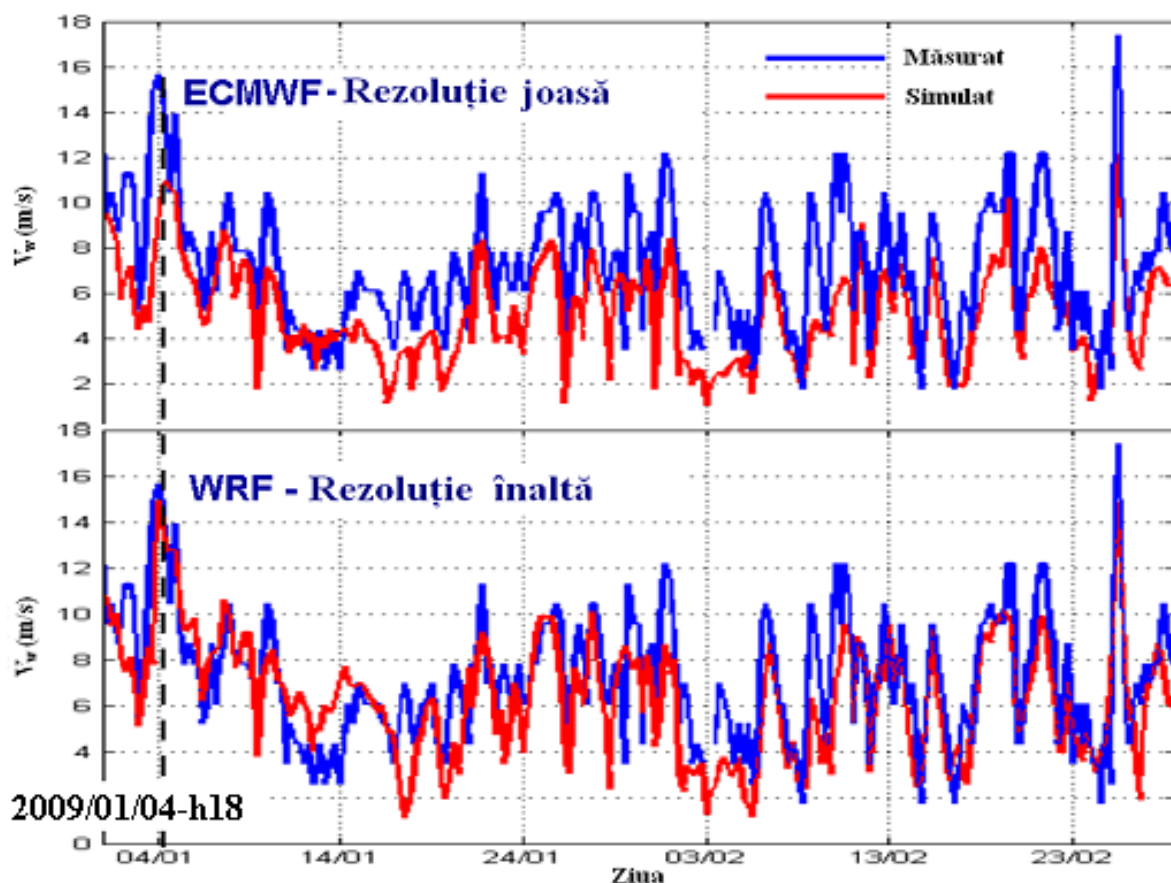


Fig. 7.2

Comparație directă la platforma de foraj Gloria pentru parametrul V_w (în m/s), în perioada 2009/01/01-2009/02/28. Câmpurile de vânt ECMWF (cu o rezoluție de 1.5°×1.5°) și WRF (cu o rezoluție de 27km×27km) comparate cu măsurătorile efectuate la Gloria.

Pentru vârful energetic de mai sus (2009/01/04/h18), Figura 7.3 ilustrează în paralel câmpurile de vânt pentru întregul bazin al Mării Negre, care corespunde celor două sisteme de modelare (ECMWF și WRF). Pentru fiecare caz, vectorii de vânt sunt reprezentați cu săgeți albe. Comparația rezultatelor din Figura 7.3 arată că, deși cele două câmpuri au configurații generale similare, există diferențele considerabile între ele.

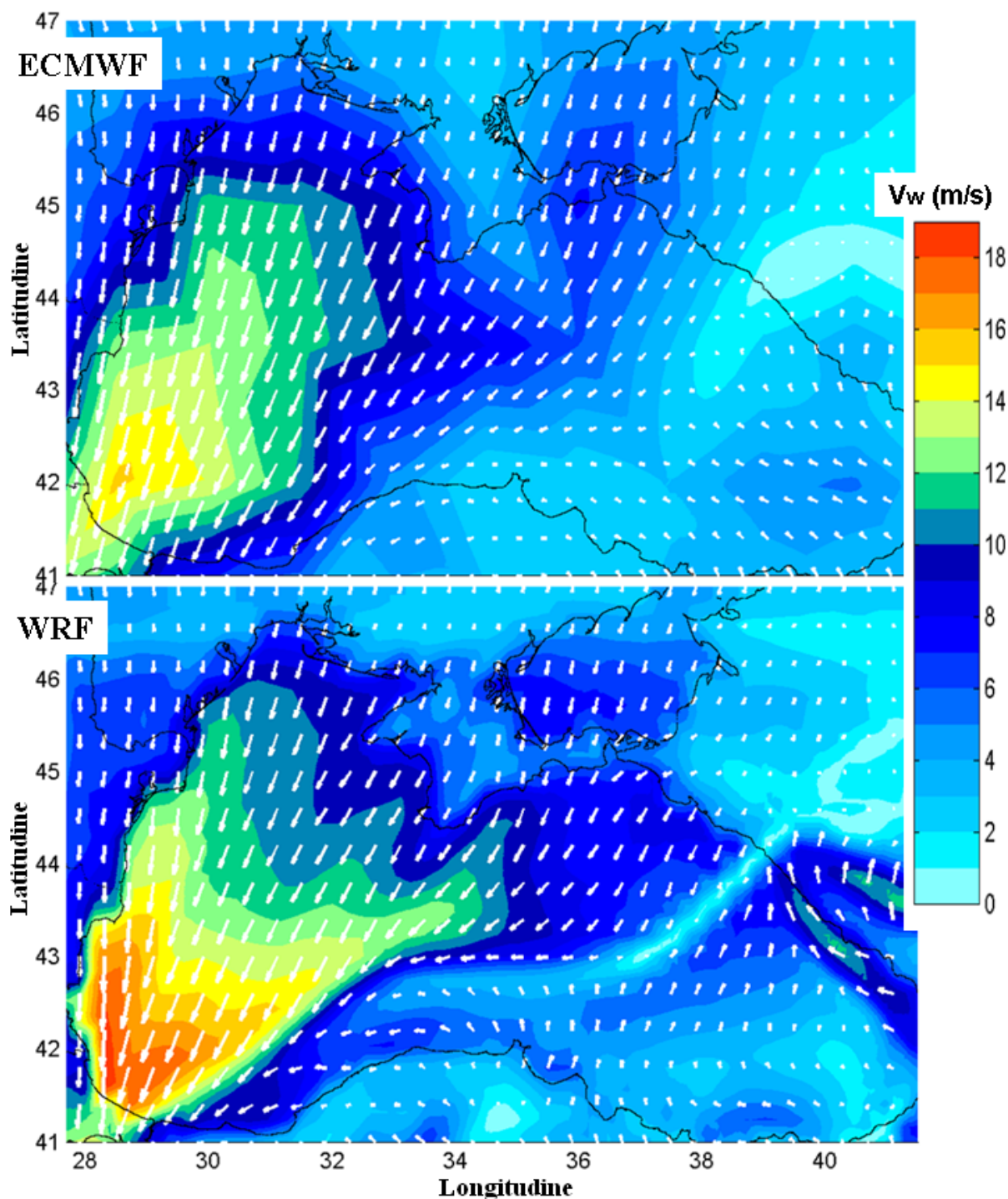


Fig. 7.3

Câmpurile de vânt pe întregul bazin al Mării Negre pentru intervalul de timp 2009/01/04/h18. Câmpul de vânt ECMWF în partea superioară și WRF în partea de jos a figurii. Pe fundal sunt reprezentate câmpurile scalare ale vitezei vântului V_w (în m/s) în timp ce în prim-plan sunt indicați vectorii de vânt cu săgeți albe

Pentru a se analiza din punct de vedere statistic rezultatele modelelor de vânt și de valori au fost evaluați parametri statistici, cum ar fi: valorile medii, *bias*, *RMSE* (erorile medii pătratic), *SI* (indicele de dispersie) și *r* (coeficientul de corelare, de asemenea, numit corelația impulsului produs a lui Pearson). După cum se cunoaște *bias*, *RMSE* și *SI* sunt mai buni atunci când au valori mai mici, în timp ce coeficientul de corelație este mai bun atunci când este mai aproape de unitate. Pentru comparațiile efectuate cu datele măsurate in situ,

Tabelul 7.3 prezintă statisticile datelor de vânt ce corespund modelului ECMWF în timp ce Tabelul 7.4 prezintă rezultate similare pentru WRF.

Tabelul 7.3

Statisticile de vânt și valori la unitatea de foraj Gloria (44.52° N, 29.57° E), luând în considerare modelul ECMWF pentru intervalul de timp 2009/01/01- 2009/02/28.

| $N = 234$ | X_{mes} | Y_{sim} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|
| V_w (m/s) | 7.15 | 5.11 | 2.04 | 2.69 | 0.37 | 0.79 |
| H_s (m) | 0.86 | 0.53 | 0.33 | 0.46 | 0.53 | 0.83 |
| T_m (s) | 5.03 | 2.56 | 2.48 | 2.70 | 0.54 | 0.44 |
| Dir (°) | 228.5 | 205.2 | 6.40 | 67.5 | 0.30 | 0.41 |

Tabelul 7.4

Statisticile de vânt și valori la unitatea de foraj Gloria luând în considerare modelul WRF pentru intervalul de timp 2009/01/01- 2009/02/28.

| $N = 234$ | X_{mes} | Y_{sim} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|
| V_w (m/s) | 7.15 | 6.40 | 0.76 | 2.09 | 0.29 | 0.76 |
| H_s (m) | 0.86 | 0.84 | 0.02 | 0.27 | 0.32 | 0.87 |
| T_m (s) | 5.03 | 3.09 | 1.94 | 2.25 | 0.45 | 0.40 |
| Dir (°) | 228.5 | 214.6 | 0.80 | 70.7 | 0.30 | 0.47 |

Din tabelele de mai sus se poate observa că de fapt toți parametrii statistici sunt mai buni, în cazul modelului WRF.

Diagramele de împrăștiate pentru vitezele vântului furnizate de cele două sisteme de modelare prin comparare cu măsurătorile efectuate la platforma Gloria pentru perioada ianuarie-februarie 2009 sunt prezentate în Figura 7.4.

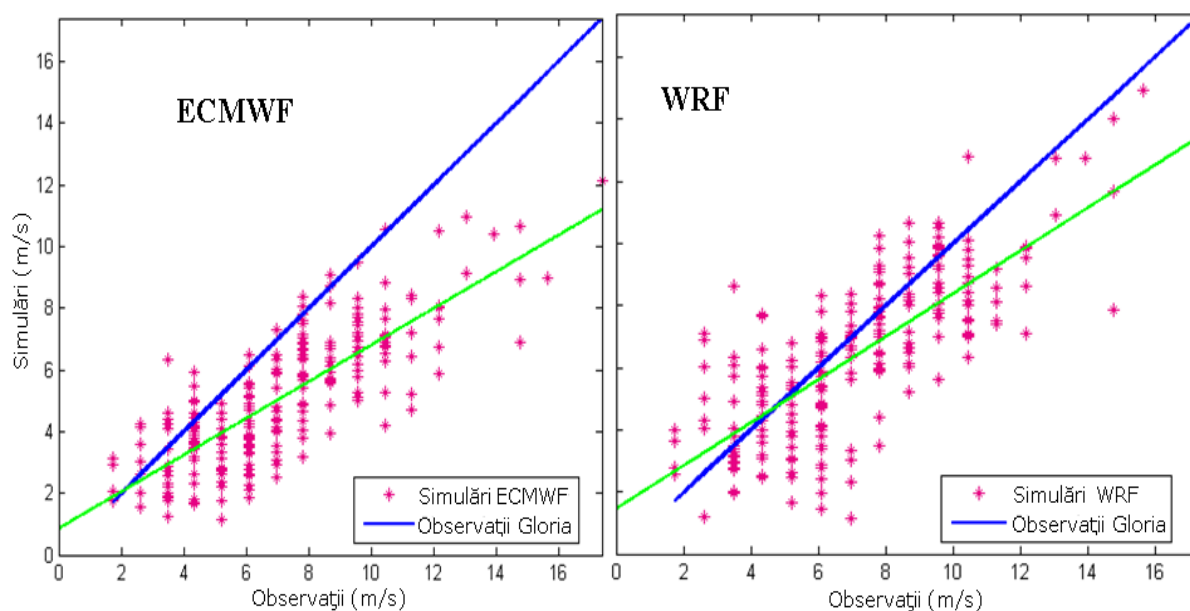


Fig. 7.4

Diagramele de împrăștiere pentru parametrul V_w (în m/s), care corespund câmpurilor de vânt ECMWF și WRF comparate cu măsurătorile efectuate la platforma Gloria pentru perioada 2009/01/01- 2009/02/28.

În figura de mai sus, linia albastră reprezintă o concordanță perfectă între datele măsurate și cele simulate, în timp ce linia verde reprezintă regresia liniară a datelor rezultate din simulările numerice. Figura 7.4 arată foarte clar, de asemenea, că, în cazul sistemului WRF, linia verde se apropie mult mai bine de linia albastră decât în cazul sistemului ECMWF ceea ce înseamnă că modelul de înaltă rezoluție aproximează mai bine măsurătorile.

Folosind cele două câmpuri de vânt diferite (ECMWF și WRF) au fost făcute comparații ale parametrilor de val furnizați de simulările realizate cu același sistem de modelare a valurilor bazat pe modelul SWAN care a fost descris în secțiunea anterioară a acestui capitol. În acest sens, Figura 7.5 prezintă o comparație directă la platforma de foraj Gloria pentru parametrul H_s (înălțimea semnificativă a valurilor), în timp ce Figura 7.6 ilustrează diagramele de împrăștiere pentru același parametru.

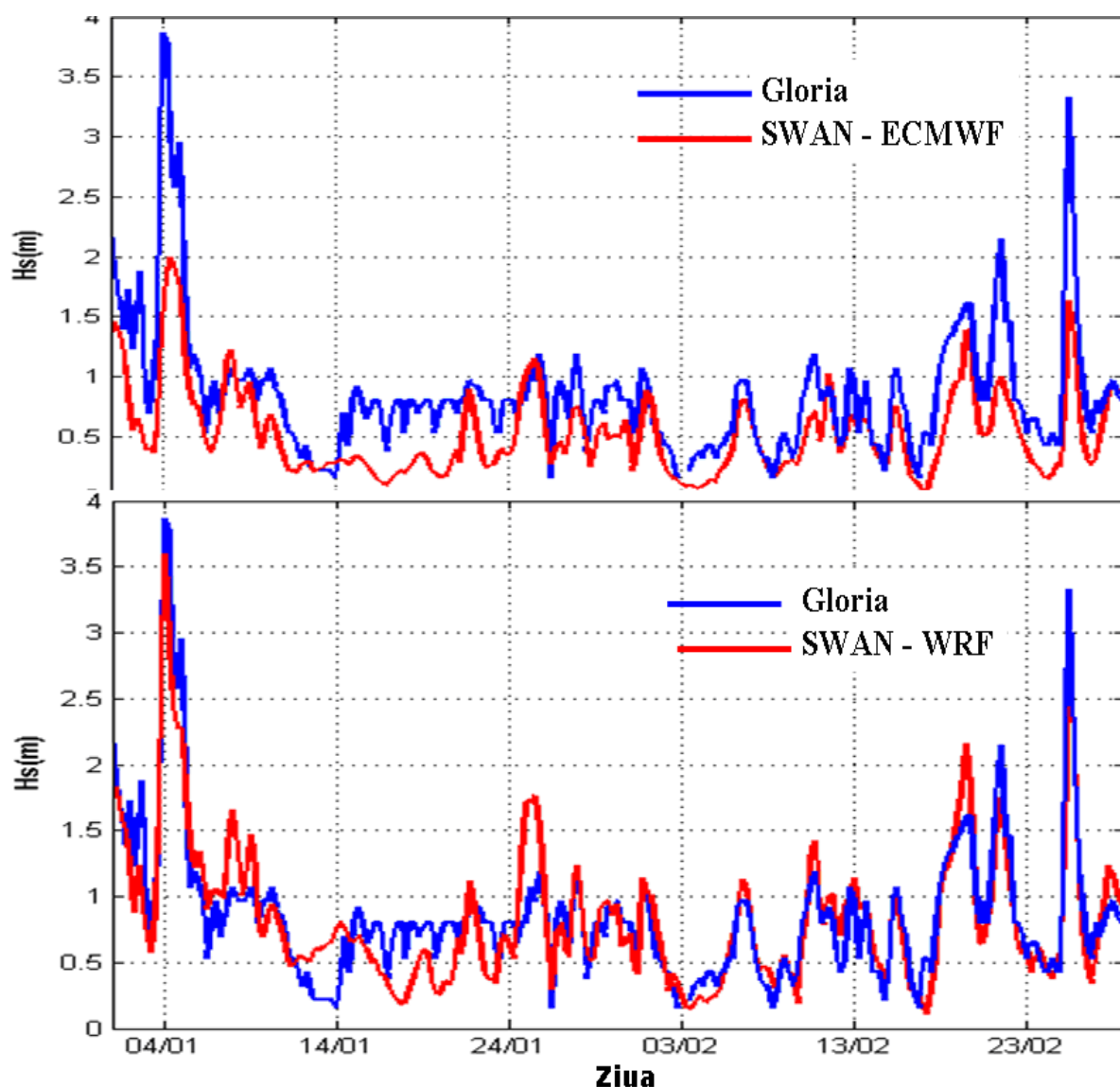


Fig. 7.5

Comparație directă la platforma de foraj Gloria pentru parametrul H_s în perioada 2009/01/01- 2009/02/28. Rezultatele simulărilor cu modelul SWAN utilizând câmpurile de vânt ECMWF și respectiv WRF, față de măsurătorile efectuate la platforma Gloria.

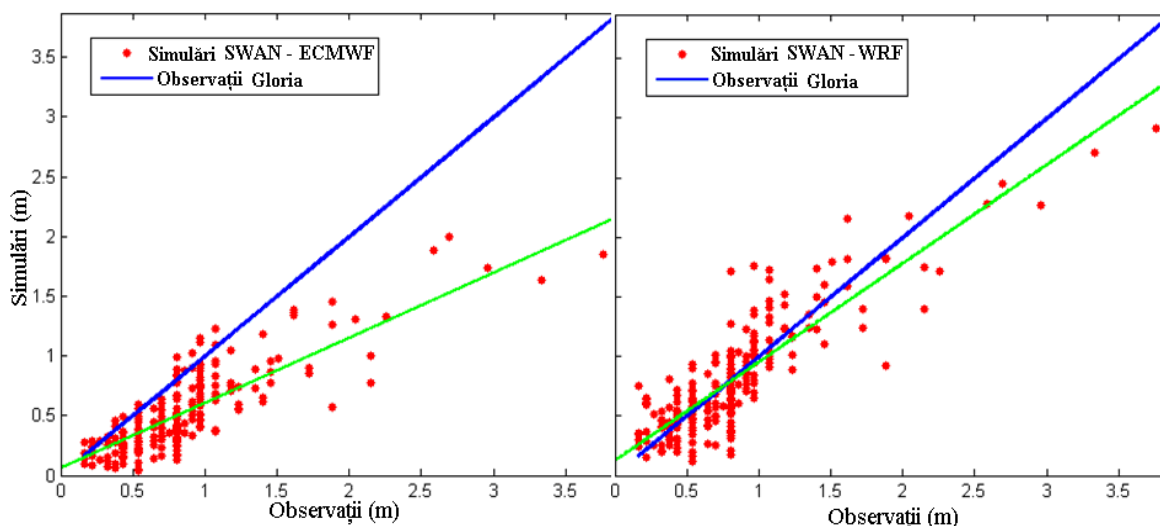


Fig. 7.6

Diagramele de împrăștiere pentru parametrul H_s în perioada 2009/01/01- 2009/02/28. Rezultatele simulărilor modelului SWAN cu câmpurile de vânt ECMWF și respectiv WRF, față de măsurătorile efectuate la Gloria.

Împreună cu statisticile de vânt, Tabelul 7.3 prezintă statisticile pentru valuri care corespund simulărilor cu modelul SWAN forțat cu vântul ECMWF, în timp ce Tabelul 7.4 prezintă rezultate similare pentru cazul când se utilizează vântul WRF pentru a forța modelul de val. Parametrii de val estimați în cele două tabele sunt înălțimea semnificativă a valurilor, perioada medie T_m și direcția de medie a valurilor (Dir).

Rezultatele ilustrate în figurile de mai sus, precum și cele din Tabelele 7.3 și 7.4, arată că, în ceea ce privește parametrii de val, influența rezoluției vântului este amplificată de sistemul de modelare a valurilor devenind chiar mai mare decât în cazul vitezelor vântului.

Comparație dintre rezultatele modelelor și datele de satelit – este realizată într-o locație fixă însă incompletă, deoarece permite doar o evaluare locală a calității predicțiilor celor două modele evaluate în bazinul Mării Negre. Prin compararea rezultatelor modelelor de vânt și val cu datele de satelit, o validare la nivel global a sistemului de modelare dezvoltat pentru întregul bazin al Mării Negre devine posibilă.

Pentru perioada analizată (ianuarie-februarie 2009) au fost analizate și comparate seturi de date de viteza vântului și înălțimi semnificative de valuri provenite de la patru misiuni altimetrice ERS-2, TOPEX, JASON1 și GEOSAT Follow-On (GFO).

Interpolări similare au fost făcute pentru a se raporta rezultatele modelului la timpul de trecere a satelitului. Această metodă este foarte similară cu cea folosită de către Cavaleri & Sclavo (2006). În toate cazurile, au fost utilizate fișierele de colocare pentru a calcula datele statistice și pentru a produce diagramele de dispersie, care prezintă valorile măsurate evaluate în raport cu valorile simulate.

Urmărind metodologiile propuse de Allen și alții (2007) și de Moriasi și alții (2007), datele statistice de validare obținute prin comparația dintre modele și datele de satelit pentru parametrii V_w și H_s sunt prezentate în Tabelul 7.5 pentru câmpul de vânt ECMWF și SWAN forțat cu câmpul de vânt ECMWF. Tabelul 7.6 prezintă rezultate similare pentru WRF și SWAN forțat cu câmpul de vânt WRF. Diagramele de împrăștiere pentru V_w corespunzătoare celor două câmpuri ale vântului sunt prezentate în Figurile 7.7, în timp ce în Figura 7.8, sunt prezentate diagramele de împrăștiere pentru H_s , care rezultă din simulările cu modelul SWAN, având în vedere cele două câmpuri de vânt diferite pentru forțarea modelului SWAN. Rezultatele sunt în general, conforme cu cele din secțiunea anterioară.

Tabelul 7.5

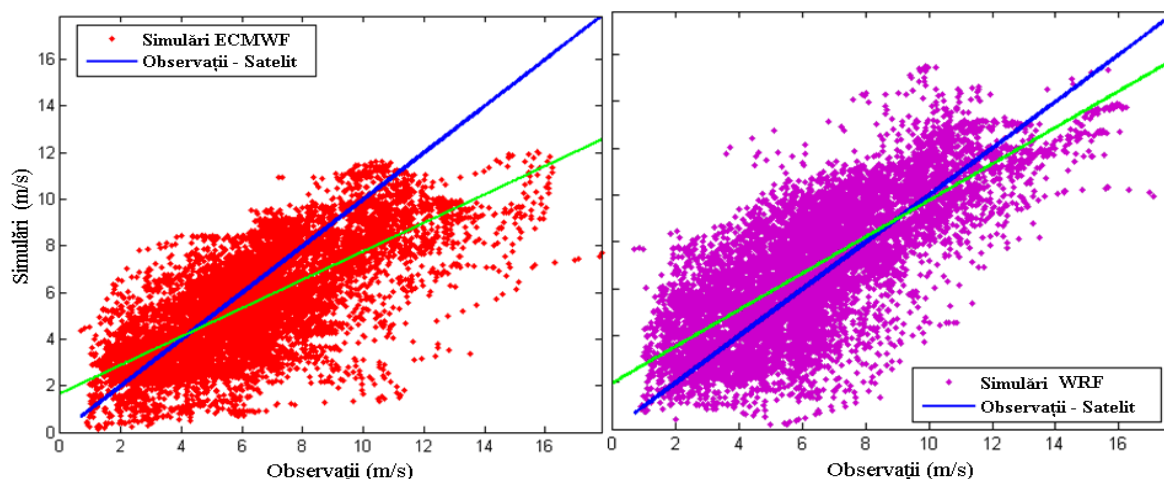
Statisticile de vânt și valuri pentru datele de satelit pe întreaga zonă a bazinului Mării Negre, luând în considerare câmpul de vânt ECMWF, pentru intervalul de timp 2009/01/01- 2009/02/28. Datele au fost furnizate de sateliții ERS-2, TOPEX, JASON1 și GEOSAT Follow-On.

| $N = 9538$ | X_{mes} | Y_{sim} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|
| V_w (m/s) | 6.41 | 5.57 | 0.84 | 2.15 | 0.34 | 0.71 |
| H_s (m) | 1.03 | 0.70 | 0.33 | 0.50 | 0.49 | 0.76 |

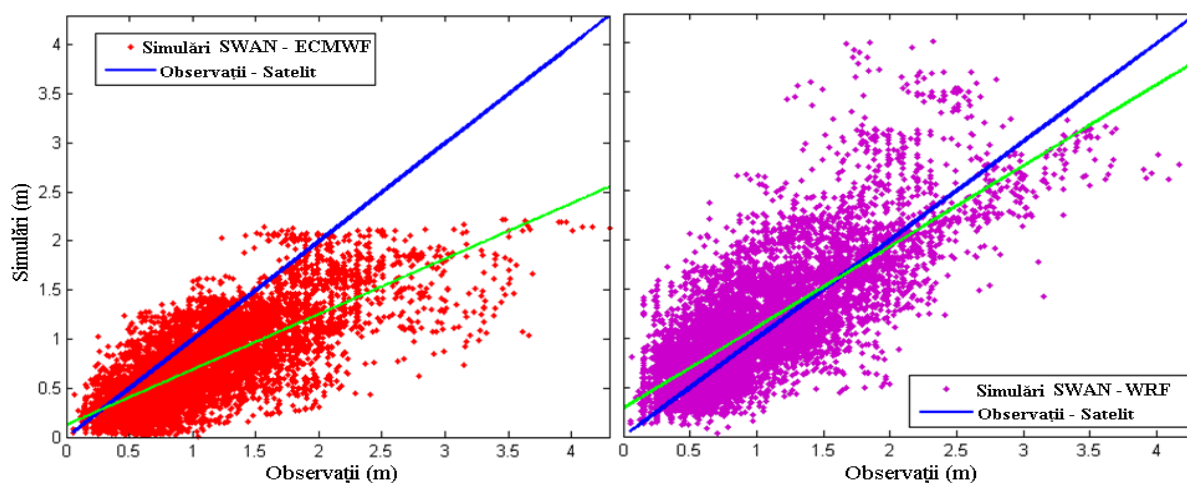
Tabelul 7.6

Statisticile de vânt și valuri pentru datele de satelit pe întreaga zonă a bazinului Mării Negre, luând în considerare câmpul de vânt WRF pentru intervalul de timp 2009/01/01- 2009/02/28. Datele au fost furnizate de sateliții ERS-2, TOPEX, JASON1 și GEOSAT Follow-On.

| $N = 9538$ | X_{mes} | Y_{sim} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|
| V_w (m/s) | 6.41 | 6.96 | - 0.55 | 2.09 | 0.33 | 0.75 |
| H_s (m) | 1.03 | 1.13 | - 0.10 | 0.43 | 0.42 | 0.77 |


Fig. 7.7

Diagramele de împrăștiere pentru parametrul V_w (în m/s) corespunzătoare câmpurilor de vânt ECMWF și WRF față de datele obținute prin satelit pentru perioada 2009/01/01- 2009/02/28.


Fig. 7.8

Diagramele de împrăștiere pentru parametrul H_s în perioada 2009/01/01-2009/02/28. Rezultatele simulărilor modelului SWAN luând în considerare domeniile de vânt ECMWF și respectiv WRF, față de datele obținute prin teledetecție.

Astfel, pentru viteza vântului în simulările modelului vânt de înaltă rezoluție, biasul este negativ (ceea ce înseamnă că modelul supraestimează ușor observațiile) și că RMSE se apropie de 2m/s. Aceste rezultate sunt similare cu cele observate de Solvsteen & Hansen (2006) pentru Marea Baltică și puțin mai bune decât cele obținute de către Signell și alții (2005) pentru Marea Adriatică. SI și r au în general, valori rezonabile, atât pentru vânt cât și pentru parametrii valurilor, în cazul câmpurilor de vânt de înaltă rezoluție și care sunt în același interval de precizie cu rezultatele obținute de Ardhuin și alții (2007) în Marea Mediterană și de către Dykes și alții (2009) în Marea Adriatică.

Extindere a intervalului de timp pentru simulări și discuții - luând în considerare faptul că setul inițial de simulări cu modelul a fost efectuat numai pentru o perioadă de timp de două luni de iarnă, care este în general caracterizată de condiții mai ridicate pentru vânt și valuri, simulările cu modelele au fost extinse pentru o perioadă de alte patru luni (2002/03/01-2002/06/30). Acest interval de timp cuprinde întreaga perioadă a primăverii dar și o lună de vară când condițiile de vânt și val sunt în general mai moderate.

Comparația datelor statistice prezentate în Tabelul 7.7 cu cele din Tabelele 7.3 și 7.4 indică faptul că statisticile rezultate atunci când este utilizat vântul ECMWF în noua perioadă de timp sunt în general în linie cu rezultatele anterioare în ceea ce privește parametrii bias și coeficientul de corelare, în timp ce în ceea ce privește parametrii statistici $RMSE$ și SI acuratețea este ușor mai scăzută. Astfel, biasul este tot pozitiv și are valoarea de aproximativ 2m/s, coeficientul de corelație are exact aceeași valoare ca și în cazul anterior (0,79), în timp ce parametrii $RMSE$ și SI au valori ușor mai înalte (de la 2,69m/s și respectiv 0,37 în intervalul inițial de două luni acestea ajung la 2,76m/s și respectiv 0,41, în intervalul de patru luni considerat). Pe de altă parte, rezultatele statistice pentru parametrii de val sunt mai bune în al doilea interval de timp.

Tabelul 7.7

Comparații ale datelor de vânt și val măsurate la platform Gloria și rezultatele furnizate de modelele ECMWF și WRF pentru vânt și de modelul SWAN pentru valuri forțat succesiv cu cele două modele, pentru intervalul de timp 2002/03/01–2002/06/30.

| $N = 439$ | X_{mean} | Y_{mean} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------------|------------|------------|--------|--------|------|------|
| Vânt ECMWF | | | | | | |
| V_w (m/s) | 6.77 | 4.80 | 1.96 | 2.76 | 0.41 | 0.79 |
| H_s (m) | 0.83 | 0.58 | 0.25 | 0.41 | 0.50 | 0.84 |
| T_{m01} (s) | 5.11 | 2.83 | 2.27 | 2.56 | 0.50 | 0.45 |
| Dir (°) | 161.0 | 148.5 | 3.43 | 59.2 | 0.37 | 0.70 |
| Vânt WRF | | | | | | |
| V_w (m/s) | 6.77 | 6.22 | 0.55 | 1.92 | 0.29 | 0.86 |
| H_s (m) | 0.83 | 0.81 | 0.02 | 0.26 | 0.30 | 0.92 |
| T_{m01} (s) | 5.11 | 3.42 | 1.69 | 2.10 | 0.41 | 0.51 |
| Dir (°) | 161.0 | 156.7 | 2.30 | 56.8 | 0.36 | 0.76 |

Pentru cazul comparației cu datele de satelit, câmpul de vânt ECMWF este prezentat în Tabelul 7.8 și rezultatele arată că parametrii statistici au valori mai bune decât în primul interval de timp considerat (prezentate în Tabelul 7.5). În ceea ce privește câmpul de vânt WRF, rezultate mai bune apar în cel de-al doilea interval de timp, chiar dacă acestea nu sunt atât de notabile ca în cazul anterior care se referă la măsurătorile in situ.

Este de asemenea bine cunoscut faptul că diferențe semnificative între partea de est și cea de vest a Mării Negre sunt întâlnite în ceea ce privește climatul de vânt, ceea ce conduce de asemenea la diferențe considerabile și în climatul de valuri dintre cele două regiuni (Ozhan și alții, 2004). Pentru a observa mai bine aceste trăsături caracteristice, rezultatele modelelor devânt au fost separate pentru cele două regiuni. Astfel, rezultatele modelelor pentru vânt

între longitudinile 27,5°E și 34°E reprezintă partea de vest, în timp ce acelea între longitudinile 34°E și 41°E reprezintă partea de est a bazinului Mării Negre.

Tabelul 7.8

Comparații ale datelor de satelit de vânt și val și rezultatele furnizate de modelele ECMWF și WRF pentru vânt și de modelul SWAN pentru valuri forțat succesiv cu cele două modele, pentru intervalul de timp 2002/03/01–2002/06/30.

| $N = 19148$ | X_{mean} | Y_{mean} | $bias$ | $RMSE$ | SI | r |
|-------------------|------------|------------|--------|--------|------|------|
| Vânt ECMWF | | | | | | |
| V_w (m/s) | 5.70 | 4.90 | 0.80 | 1.95 | 0.34 | 0.73 |
| H_s (m) | 0.93 | 0.59 | 0.34 | 0.49 | 0.53 | 0.72 |
| Vânt WRF | | | | | | |
| V_w (m/s) | 5.70 | 5.84 | - 0.15 | 1.78 | 0.28 | 0.76 |
| H_s (m) | 0.93 | 0.96 | - 0.04 | 0.37 | 0.34 | 0.77 |

Diagramele de împrăștiere corespunzătoare sunt ilustrate în Figura 7.9 și acestea indică faptul că valorile extreme sunt subestimate de modelul de vânt ECMWF. Se poate totuși observa că în zona de est (ilustrată în partea stângă a figurii) subestimarea se extinde chiar și la valorile mai mici ale vitezei vântului. Pentru ambele zone viteza medie a vântului este în jur de 5,7m/s, dar în partea de est biasul este de -1,1m/s, în timp ce în partea de vest are o valoare de aproximativ jumătate (-0,56m/s). De fapt se poate observa de asemenea că toate rezultatele statistice care corespund părții de vest sunt mai bune. Astfel, coeficientul de corelație este 0,74 față de 0,72, $RMSE$ este 1,7m/s față de 2,1m/s și SI este 0,31 față de 0,37. Așa cum era de așteptat, aceeași tendință se întâlnește pentru câmpurile de vânt de înaltă rezoluție WRF dar și pentru parametrii de val care corespund simulărilor cu modelul SWAN forțat cu vântul de rezoluție înaltă.

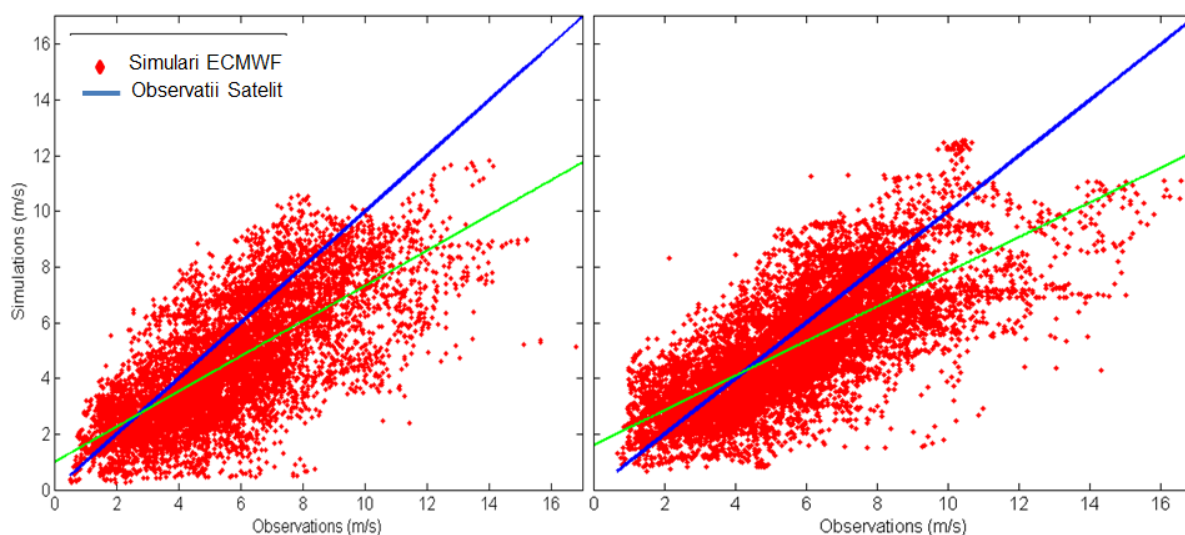


Fig. 7.9.

Diagrame de împrăștiere pentru parametrul V_w , corespunzând câmpurilor de vânt ECMWF în raport cu datele de satelit pentru intervalul de timp 2002/03/01–2002/06/30, partea de est a Mării Negre (partea stângă) și partea de vest (partea dreaptă).

O primă concluzie ce reiese din această parte a capitolului VII ar fi că utilizarea unui model atmosferic regional oferă o mai bună reprezentare a vântului, dar și a condițiilor de valuri în Marea Neagră. Acest al doilea aspect rezultă atunci când modelul regional WRF este folosit pentru a forța un sistem de modelare a valurilor.

De fapt, într-o astfel de mare închisă rezoluția vântului este mult mai importantă decât atunci când se modelează valurile în mediul oceanic și această parte a tezei de doctorat demonstrează pe deplin acest lucru. Mai mult decât atât, într-un astfel de mediu impactul creșterii rezoluției vântului în modelarea valurilor pare a fi chiar mai mare decât impactul creșterii rezoluției în modelarea vântului. Acest lucru înseamnă că parametrii statistici ai valurilor sunt în general, mai mult îmbunătățiți decât parametrii statistici ai vântului atunci când crește rezoluția vântului. Rezoluția vântului în spațiu și timp devine chiar mai importantă în situații nestaționare extreme. Aceste situații sunt de fapt cele mai importante, de prețios corect, deoarece afectează drastic atât navigația maritimă cât și activitățile umane care au loc în mediul de coastă dar și în larg.

Rezultatele acestui subcapitol arată, de asemenea, că deși cu anumite limitări, modelele numerice spectrale de a treia generație pot furniza informații viabile cu privire la condițiile de valuri din Marea Neagră. Subestimarea datelor observate, fenomen tipic pentru modelele de scară largă, este în general corectată, dar încă persistă în condiții de vânt și valuri mari, precum și în cazurile nestaționare extreme. Pe de altă parte, SWAN a devenit în ultimii ani un model foarte flexibil și eficient, iar sistemul dezvoltat mai sus poate fi focalizat pe diferite arii costiere speciale cum ar fi ariile portuare care reprezintă de fapt ținta finală a studiilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat.

Mai mult decât atât, sistemul bazat pe modele numerice spectrale în medie de fază poate fi utilizat cu rezultate bune pentru studii de reconstituire a climatului de val (hindcast) dar și pentru furnizarea de prognoze (forecast). Astfel de prognoze pot fi considerate în general, de încredere într-o fereastră de timp de câteva zile, dar acest lucru este de asemenea, în principal datorat calității prognozei vântului. În urma rezultatelor prezentului subcapitol, devine, de asemenea, evident că parametrii preziși pentru valuri și în special înălțimea semnificativă, pot fi considerabil îmbunătățiți prin creșterea rezoluției vântului.

Totuși, în acest punct ar trebui menționată îmbunătățirea considerabilă a rezultatelor parametrilor de val odată cu creșterea rezoluției vântului, rezultate care sunt în perfect acord cu rezultatele lui Bertotti și Cavaleri (2009) și ale lui Ponce de Leon și Guedes Soares (2008).

Un rezultat foarte interesant, care este într-un fel contra intuitiv, al studiilor făcute în acest capitol este că corespondența dintre datele măsurate (de satelit) și cele simulate cu modelul SWAN pentru întregul bazin al Mării Negre este mult mai bună decât corespondența cu cele măsurate in situ la platform Gloria. Pentru vânturi care bat predominant dinspre vest, această tendință este surprinzătoare deoarece modelul SWAN descrie în general în mod satisfăcător creșterile limitate în spațiu și explicația cea mai posibilă este relaționată cu faptul că modelul SWAN are încă niște limitări în generarea valurilor pe spații mari, așa cum este cazul când vântul bate din spre est sau sud.

7.2 ANALIZE ÎN SPAȚIILE GEOGRAFIC ȘI SPECTRAL

În continuare, după studiul impactului pe care îl au câmpurile de vânt în creșterea acurateței predicției valurilor cu modele numerice în bazinul Mării Negre, se vor analiza și distribuțiile specifice ale principalilor parametri de val în spațiul geografic al întregului bazin al mării dar și cele mai relevante forme spectrale care sunt caracteristice regiunii de vest a mării, regiune care cuprinde și zona economică exclusivă românească.

Analize în spațiul geografic - două studii de caz care apar reprezentative se vor considera la acest nivel. Primul, denumit SC1, corespunde unei situații energetice medii din Marea Neagră și se referă la momentul de timp 2009/03/22/h18. Pentru acest caz, Figura 7.10 prezintă în paralel câmpurile de înălțimi semnificative împreună cu vectorii de undă și câmpurile de perioade medii împreună cu vectorii de vânt. La nivelul întregului bazin, înălțimea

semnificativă are valoarea maximă de 5,5 m iar viteza vântului de 18,1 m/s. Așa cum se observă din Figura 7.10, deși ambele maxime sunt localizate în aceeași zonă geografică a bazinului (în partea de nord) ele sunt localizate totuși la mare distanță.

În Figura 7.11 este ilustrată repartizarea în spațiul geografic pentru acest moment de timp a alți doi parametri relevanți. Aceștia sunt împrăștierea în direcție (DSPR), care reprezintă de fapt lățimea medie a spectrului în spațiul direcțional și împrăștierea în frecvențe (FSPR) care reprezintă lățimea medie a spectrului în domeniul frecvențelor.

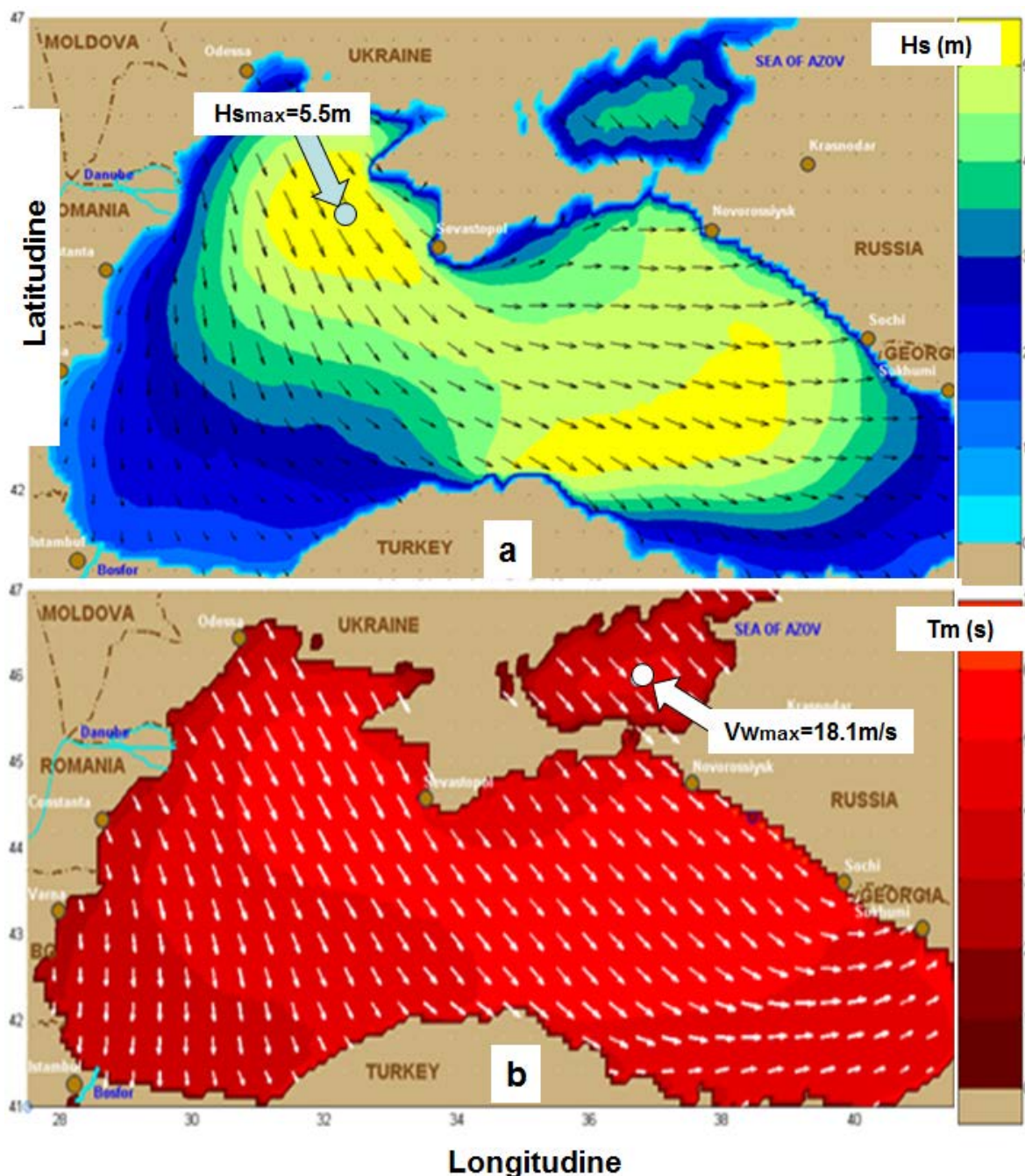


Fig. 7.10

SC1 (2009/03/22/h18), situație de energie medie în Marea Neagră; a) Câmpuri de înălțimi semnificative și vectorii de undă; b) Câmpuri perioade medii și vectorii de vânt.

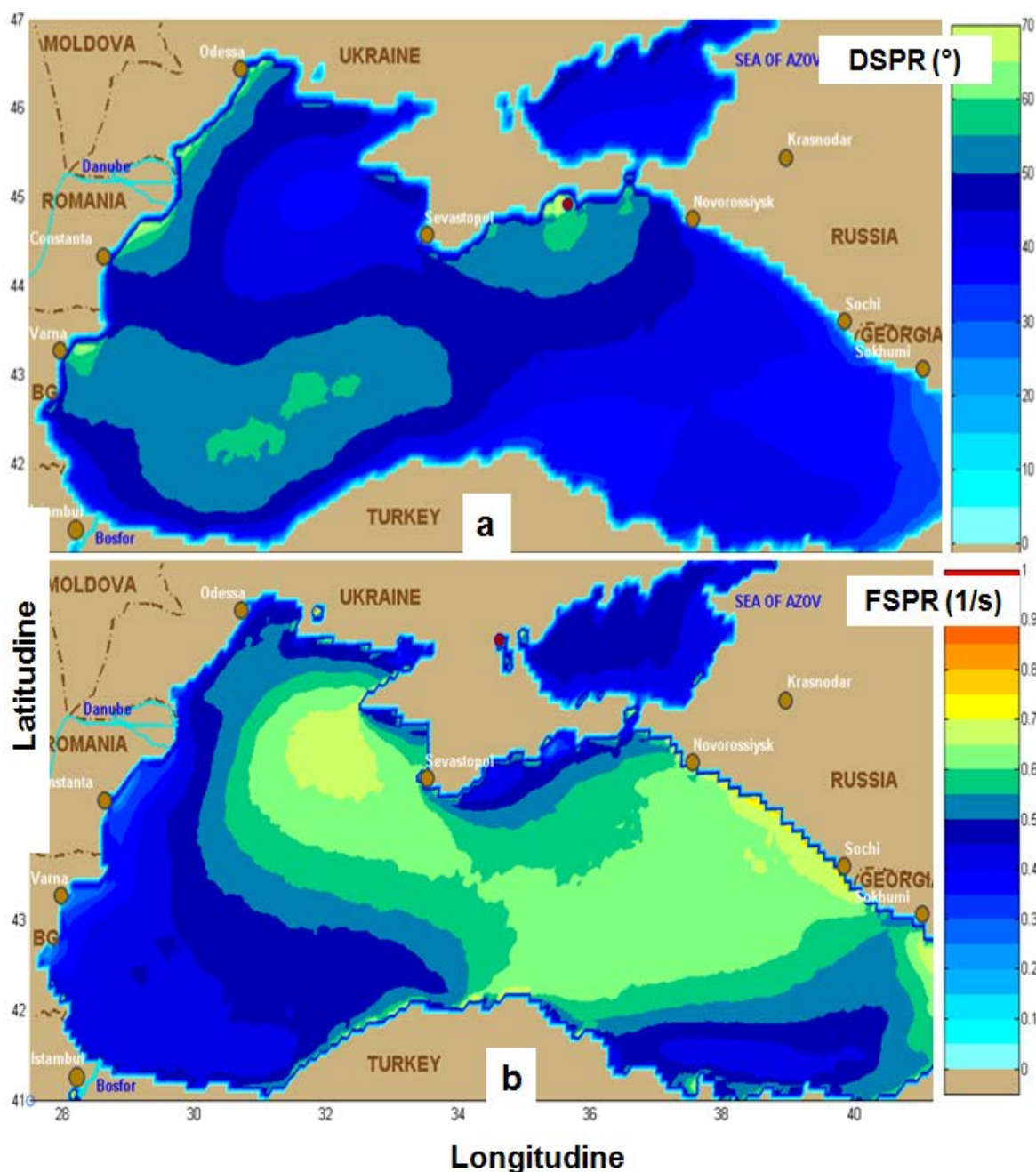


Fig. 7.11

SC1 (2009/03/22/h18), situație de energie medie în Marea Neagră; a) Repartizarea parametrului împrăștiere în direcție (DSPR) în spațiul geografic; b) Repartizarea parametrului împrăștiere în frecvență (FSPR) în spațiul geografic.

Un al doilea studiu de caz, denumit SC2 și care corespunde momentului de timp 2009/02/14/h06, va fi analizat în continuare. Acesta este chiar și mai important pentru zona costieră românească fiindcă reflectă o situație când energia valurilor este focalizată spre coasta de vest a mării. Pentru acest caz, Figura 7.12 prezintă în paralel câmpurile scalare de înălțimi semnificative împreună cu vectorii de undă și câmpurile scalare de perioade medii împreună cu vectorii de vânt. La nivelul întregului bazin, înălțimea semnificativă are valoarea maximă de 6,1 m iar viteza vântului de 21,4 m/s. Așa cum se observă din Figura 7.12, în acest caz ambele maxime sunt localizate foarte apropiat. În Figura 7.13 sunt reprezentate câmpurile

de înălțimi semnificative și vectorii de undă pentru domeniul costier care corespunde zonei economice exclusive românești. Poziția acestui domeniu de calcul este indicată în Figura 7.12. Așa cum se observă din Figura 7.13, în acest caz valoarea maximă a înălțimii semnificative este de 6,2 m. Rezultatele din acest domeniu de calcul reprezintă fenomenele din zona costieră cu o mai mare acuratețe întrucât rezoluția din spațiul geografic este de $0,02^\circ$ în ambele direcții față de $0,08^\circ$ în ambele direcții cât este rezoluția pentru domeniul global. În Figura 7.14 este ilustrată repartizarea în spațiul geografic pentru acest moment de timp a celorlalți doi parametri considerați care se referă la lățimea medie a spectrului în direcție și frecvență (DSPR și FSPR).

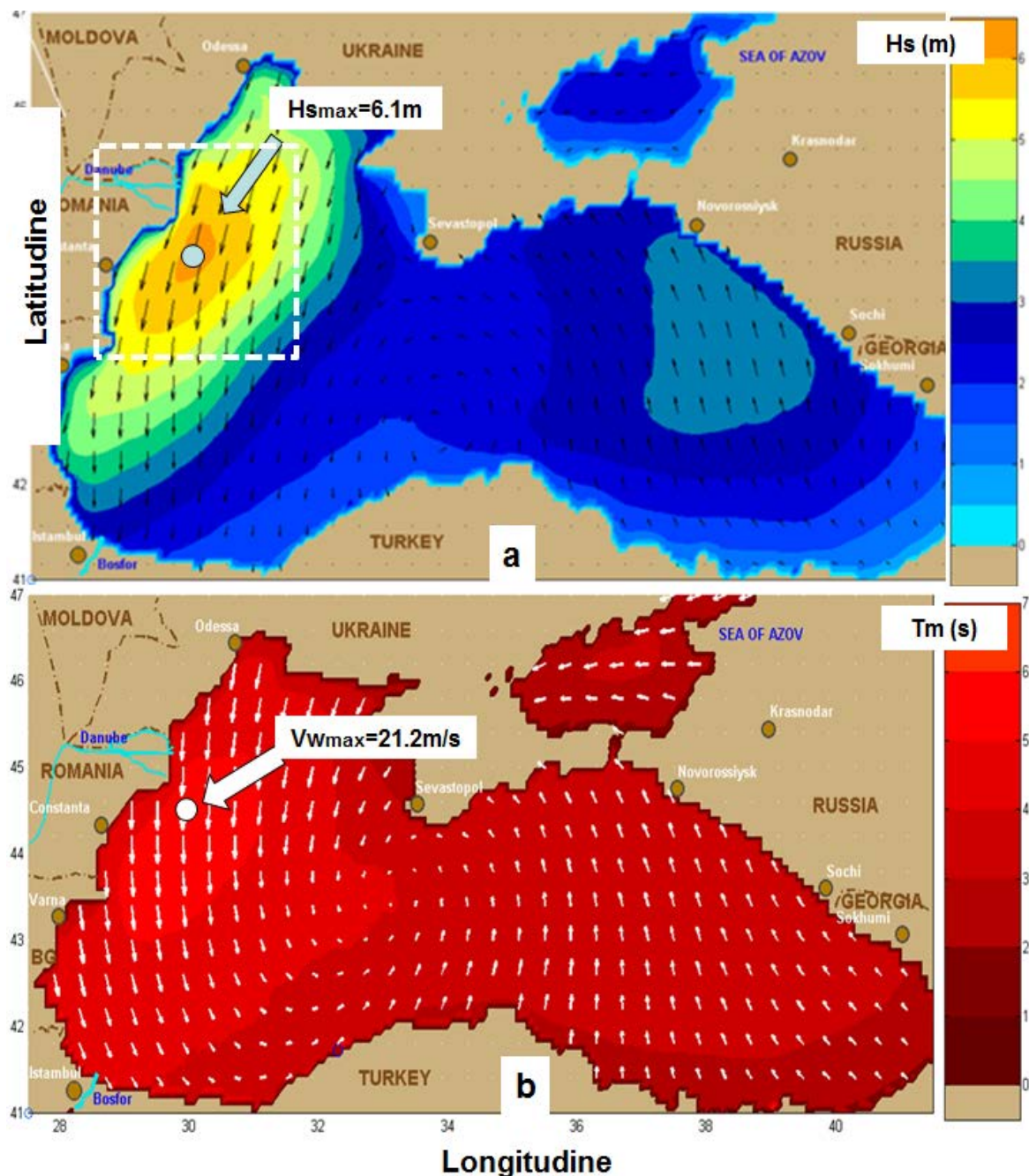


Fig. 7.12

SC2 (2009/02/14/h06), situație de energie înaltă în zona de vest a Mării Neagre; a) Câmpuri de înălțimi semnificative și vectorii de undă; b) Câmpuri perioade medii și vectorii de vânt.

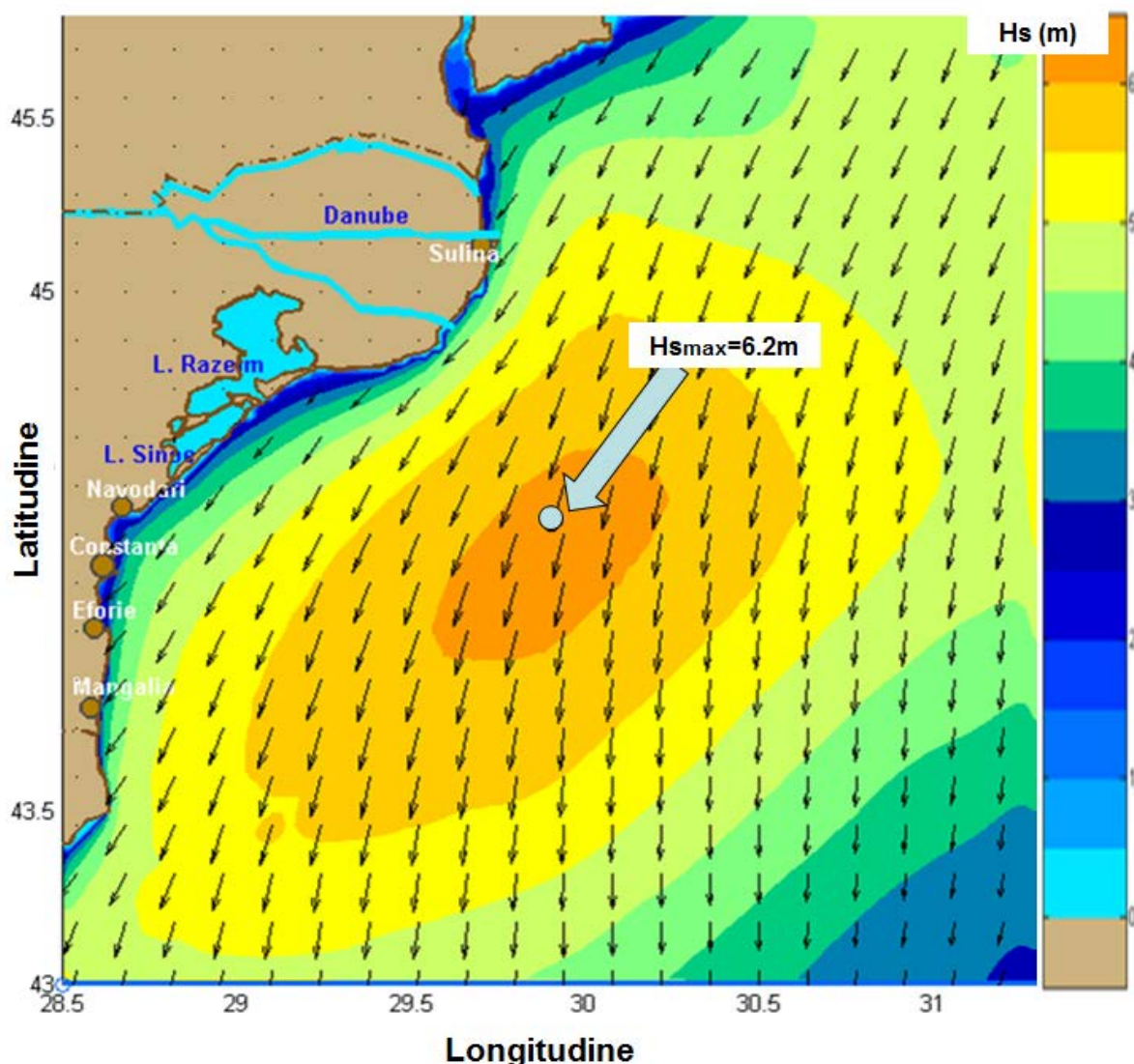


Fig. 7.13

SC2 (2009/02/14/h06), situație de energie înaltă în zona de vest a Mării Negre. Simulare pentru domeniul regional de calcul câmpuri de înălțimi semnificative și vectorii de undă

Din analiza Figurilor 7.11 și 7.14 se poate observa și o deosebire fundamentală între distribuția acestor doi parametri (DSPR și FSPR). Astfel în CS1 apar valori destul de mari în raport cu parametrul DSPR pentru zona de coastă românească (în jurul valorii de 60°) și valori relativ mai mici pentru parametrul FSPR (în intervalul 0,2-0,3 Hz). Pentru CS2, DSPR are valori în intervalul $40-50^\circ$ iar FSPR are valori în intervalul 0,6-0,7Hz. De aici se poate trage concluzia că există variații destul de mari pentru parametrul FSPR în zona costieră românească. Acestea sunt determinate de caracteristicile matricii de mediu. În ceea ce privește împrăștierea direcțională (DSPR) acest parametru apare mai stabil și are variații relative mai mici (între $40-60^\circ$). Analiza acestor parametri integrali ai spectrului va fi continuată în secțiunea următoare în care se efectuează de o analiză a formelor spectrale care apar mai des în zona de vest a Mării Negre.

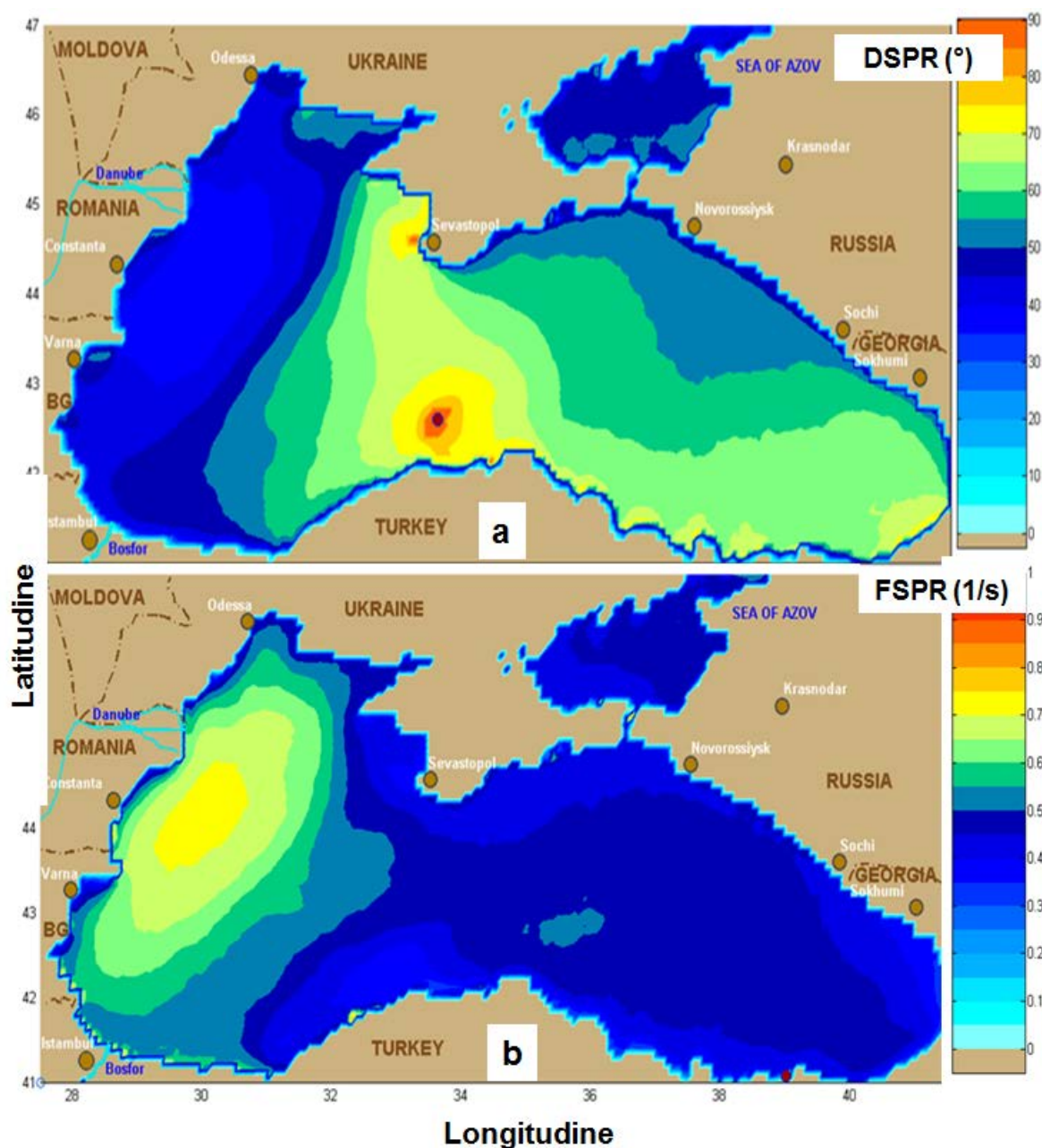


Fig. 7.14

SC2 (2009/02/14/h06), situație de energie înaltă în zona de vest a Mării Neagre; a) Repartizarea parametrului împrăștiere în direcție (DSPR) în spațiul geografic; b) Repartizarea parametrului împrăștiere în frecvență (FSPR) în spațiul geografic.

Analize în spațiul spectral- așa cum s-a arătat în capitolele dedicate formulărilor teoretice relaționate cu modelarea spectrală a valurilor au fost definite diverse spectre teoretice care descriu formele spectrale cele mai probabile. Spectrul de val este transformata Fourier a funcției de autocorelație a ridicării suprafețe libere a apei. Dintre spectrele teoretice probabil cele mai cunoscute sunt spectrul Pierson-Moscowitz pentru mare complet dezvoltată și spectrul JONSWAP pentru mare în curs de dezvoltare. Pornind de la aceiași filozofie a fost definit și spectrul de val al Mării Negre (I.N.C.D.M., 1994).

Din acest motiv, în această secțiune se vor analiza cele mai relevante forme spectrale care sunt caracteristice valurilor din zona de vest a Mării Negre. Aceste spectre au rezultat din

analiza rezultatelor simulărilor care au fost făcute în bazinul Mării Negre cu modelul SWAN pentru primele șase luni ale anului 2009 utilizând câmpurile de vânt de înaltă rezoluție furnizate de modelul WRF. Spectrele au fost grupate în patru categorii care vor fi denumite în continuare Forme Spectrale Caracteristice (FSC). Pentru aceste forme spectrale identificate ca fiind mai reprezentative, Tabelul 7.9. prezintă valorile parametrilor integrali (înălțimea semnificativă, perioada și direcția medie) și energia maximă. Pentru fiecare formă spectrală caracteristică, spectrele au fost ordonate în ordinea crescătoare a înălțimii semnificative așa cum se poate observa din Tabelul 7.9. Pe de altă parte, întrucât studiul de față se referă la valurile din zona de vest a Mării Negre, direcțiile medii ale spectrelor analizate vor fi în intervalul 0-180°.

Astfel prima categorie identificată (numită FSC-I), se referă la spectrele împrăștiate care acoperă atât aproape întreg spațiul direcțional cât și domeniul frecvențelor. Aceste spectre sunt în general caracteristice valurilor cu înălțimi semnificative mici și acest lucru este întrucâtva explicabil fiindcă în aceste cazuri transferul de energie de la vânt la valuri sunt mai rapide. În consecință, o schimbare a direcției vântului poate genera o distribuție energetică cu o configurație diferită în spațiul spectral și realiza astfel de spectre împrăștiate. Șase spectre reprezentative din această categorie (FSC-I) sunt ilustrate în Figura 7.15. Pentru toate situațiile ilustrate perioadele medii sunt relativ mici (în intervalul 2-3s). Așa cum a rezultat din analiza efectuată, în general pentru înălțimile semnificative mai mari de un metru împrăștierea spectrelor devine mai redusă.

Figura 7.16 ilustrează o a doua categorie de spectre (numită FSC-II) și se referă la spectrele cu mai multe vârfuri (multi-peak). În acest caz perioadele medii au valori într-o gamă ceva mai largă (între 2 s și 4 s). De asemenea și înălțimile semnificative pot avea valori mai mari pentru spectrele din această categorie ajungând până la aproximativ 1,5m. Vârfulurile spectrale pot fi localizate diferit atât în ceea ce privește direcțiile dar și în frecvențe. Astfel în Figurile 7.16 a, d, e și f, localizarea vârfurilor spectrale este diferită în ceea ce privește direcțiile dar corespunde la frecvențe apropiate, iar în Figurile 7.16 b și c localizarea vârfurilor spectrale este diferită în domeniul frecvențelor dar corespunde la direcții apropiate.

O a treia categorie importantă de forme spectrale este ilustrată în Figura 7.17 (FSC-III) și se referă la spectrele de bandă îngustă în domeniul frecvențelor dar de bandă largă (împrăștiate) în spațiul direcțional, sau altfel spus spectre caracterizate printr-un nucleu energetic destul de concentrat în jurul vârfului spectral și o coada destul de lungă împrăștiată în domeniul direcțiilor (dar într-un interval de frecvențe destul de îngust). Așa cum se observă din Figura 7.17, pentru valurile care vin din spre nord coada este în partea stângă (Figurile 7.17 e și f) iar pentru direcții medii din spre est coada este în partea dreaptă (Figurile 7.17 a, b, c și d). În acest caz, perioadele medii au valori în general între 4 s și 6 s) iar înălțimile semnificative sunt în intervalul dintre unul și doi metri. Din analiza datelor prezentate în Tabelul 7.9 se poate observa că în acest caz și varianța are valori mult mai mari. Astfel varianța are valori supraunitare pentru toate cazurile considerate ajungând până la aproximativ $9\text{m}^2/\text{Hz}/\text{grd}$ pentru cazul prezentat în Figura 7.17f.

Figura 7.18 ilustrează ce-a de a patra și ultima categorie de forme spectrale analizate și se referă la spectrele care corespund la marea complet dezvoltată. Așa cum se poate observa și din datele prezentate în Tabelul 7.9, astfel de forme spectrale acoperă o gamă foarte largă de perioade medii și înălțimi semnificative în sensul că astfel de spectre de echilibru sunt întâlnite atât în cazul unor înălțimi semnificative mici (situații ilustrate în Figurile 7.18 a și b), în cazul unor înălțimi semnificative medii (situații ilustrate în Figurile 7.18 c și d) dar și în cazul unor înălțimi semnificative mari (situații ilustrate în Figurile 7.18 e și f). Figura 7.18 mai arată și faptul că deși formele spectrale sunt asemănătoare ele devin mai restrânse în domeniul frecvențelor pe măsură ce cresc înălțimile semnificative. În cazul acestor forme spectrale,

varianța are în general valori subunitare pentru înălțimi semnificative mai mici ca unu și supraunitare pentru înălțimi semnificative mai mari.

Tabelul 7.9.

Valorile parametrilor integrali și energia maximă pentru cele patru tipuri de spectre caracteristice identificate ca fiind mai reprezentative.

| | <i>Hs</i> (m) | <i>Tm</i> (s) | <i>Dir</i> (°) | <i>E_{max}</i> (m ² /Hz/grad) |
|---|---------------|---------------|----------------|---|
| Spectre caracteristice – I (FSC-I) | | | | |
| a | 0.12 | 2.2 | 25.9 | 0.01 |
| b | 0.21 | 1.8 | 108.3 | 0.01 |
| c | 0.29 | 2.2 | 8.8 | 0.02 |
| d | 0.38 | 2.4 | 101.5 | 0.03 |
| e | 0.39 | 2.4 | 175.2 | 0.03 |
| f | 0.81 | 2.9 | 160.8 | 0.20 |
| Spectre caracteristice – II (FSC-II) | | | | |
| a | 0.34 | 2.2 | 183.9 | 0.02 |
| b | 0.35 | 2.5 | 31.8 | 0.03 |
| c | 0.42 | 2.4 | 96.9 | 0.04 |
| d | 0.53 | 4.3 | 192.5 | 0.21 |
| e | 1.00 | 3.5 | 161.5 | 0.31 |
| f | 1.38 | 3.9 | 0.6 | 0.71 |
| Spectre caracteristice – III (FSC-III) | | | | |
| a | 0.86 | 4.3 | 129.6 | 1.01 |
| b | 0.99 | 4.4 | 91.1 | 1.12 |
| c | 1.02 | 4.5 | 82.2 | 1.46 |
| d | 1.38 | 4.9 | 102.8 | 2.61 |
| e | 1.82 | 5.2 | 4.7 | 8.55 |
| f | 1.92 | 5.4 | 7.1 | 8.97 |
| Spectre caracteristice – IV (FSC-IV) | | | | |
| a | 0.40 | 2.4 | 146.2 | 0.03 |
| b | 0.76 | 3.2 | 24.6 | 0.20 |
| c | 1.01 | 3.5 | 158.5 | 0.58 |
| d | 2.05 | 4.7 | 154.5 | 2.82 |
| e | 2.70 | 5.7 | 143.5 | 6.46 |
| f | 3.28 | 6.0 | 142.6 | 10.47 |

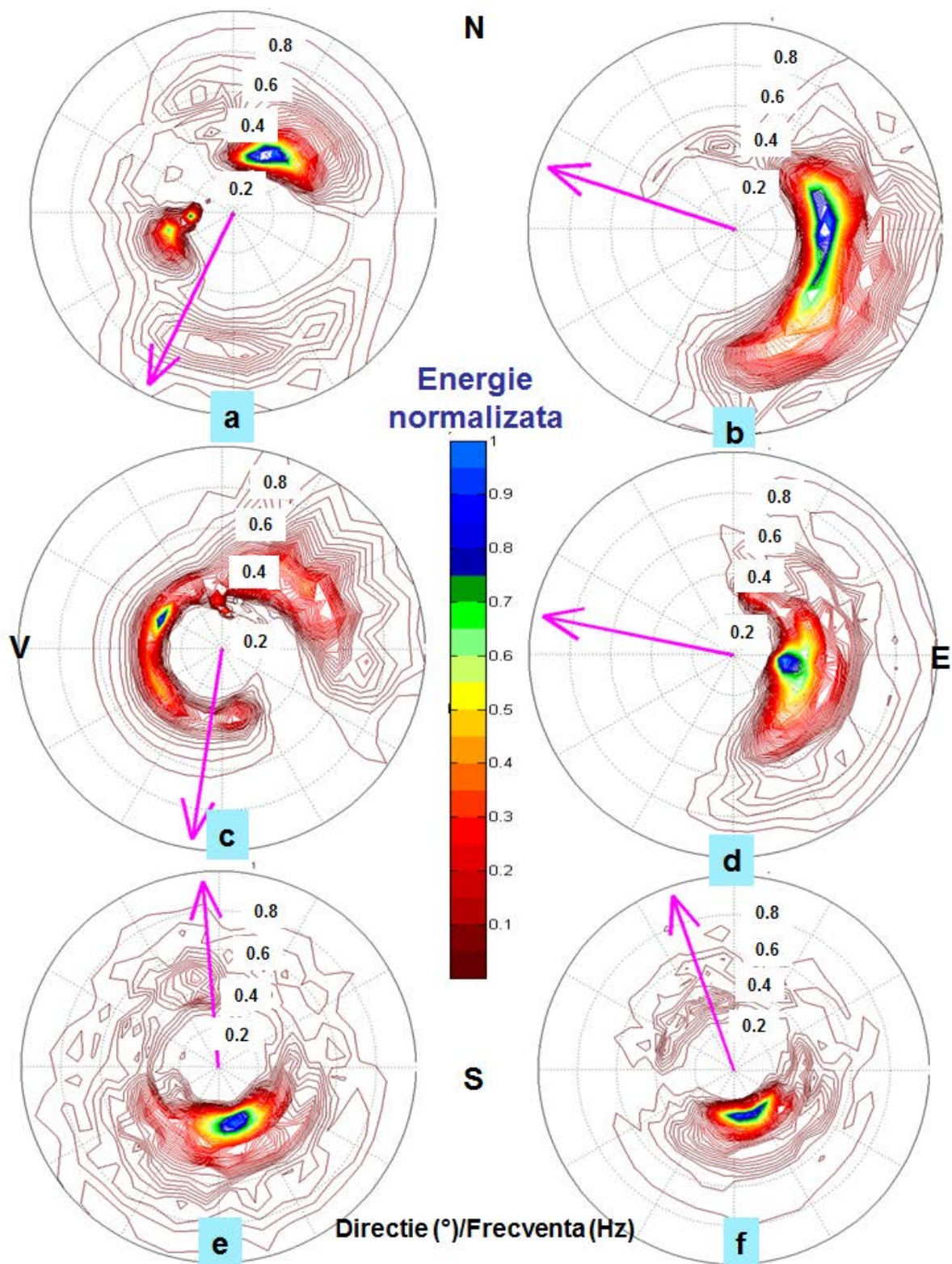


Fig. 7.15 FSC-I, Spectre împrăștiat în spațiul direcțional și în domeniul frecvențelor.

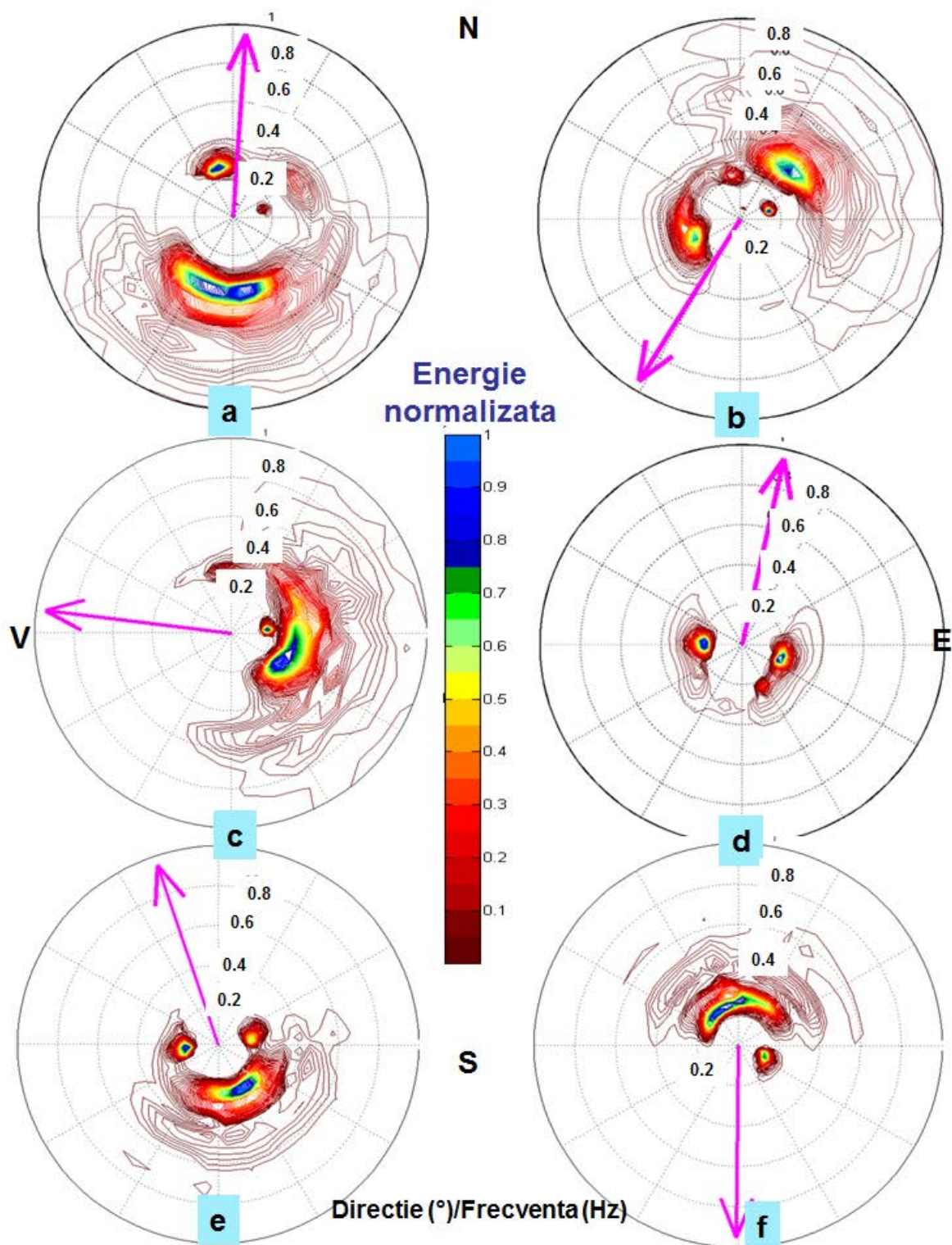


Fig. 7.16
FSC-II, spectre cu mai multe vârfuri (multi-peak).

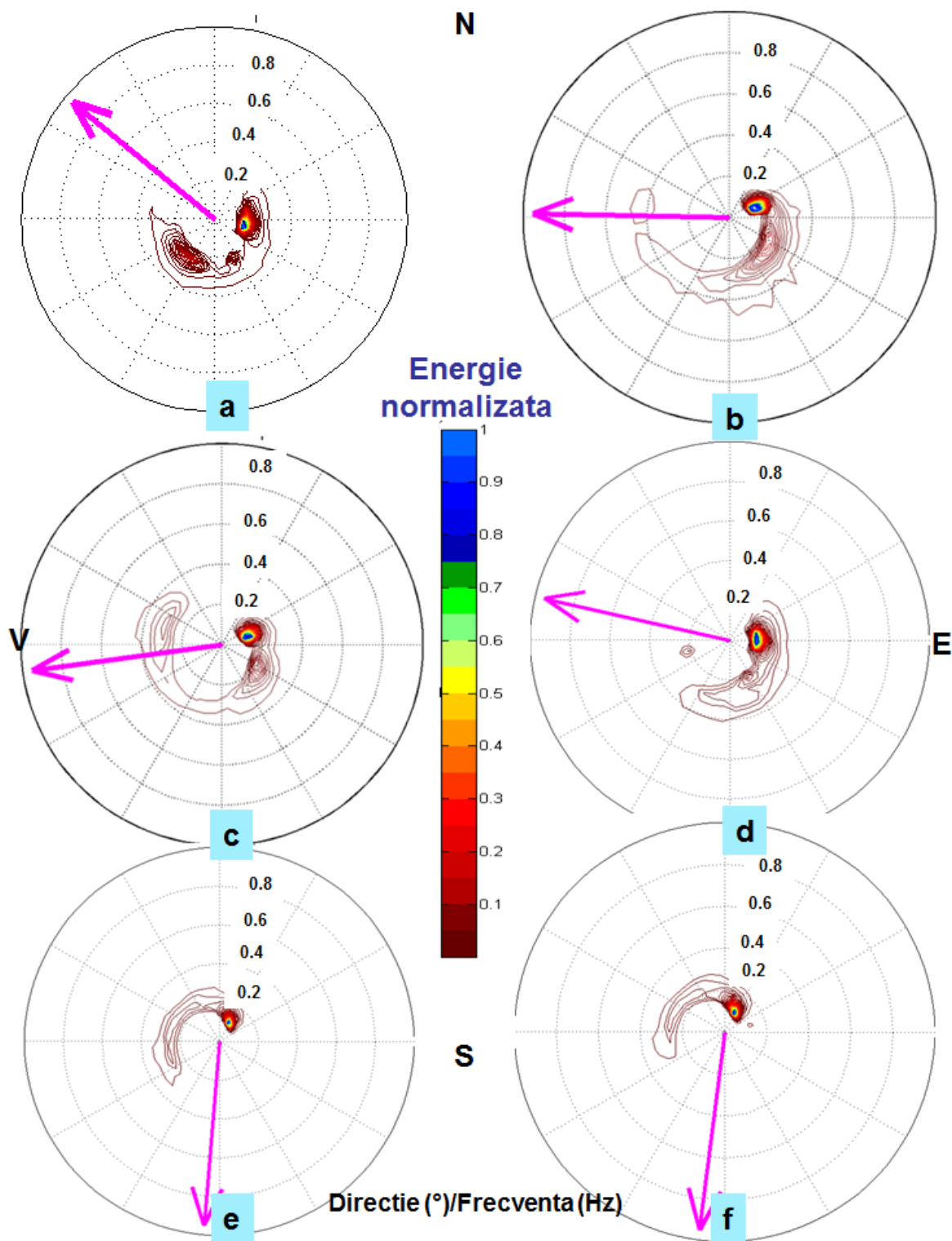


Fig. 7.17

FSC-III, spectre de bandă îngustă în domeniul frecvențelor dar de bandă largă (împrăștiată) în spațiul direcțional.

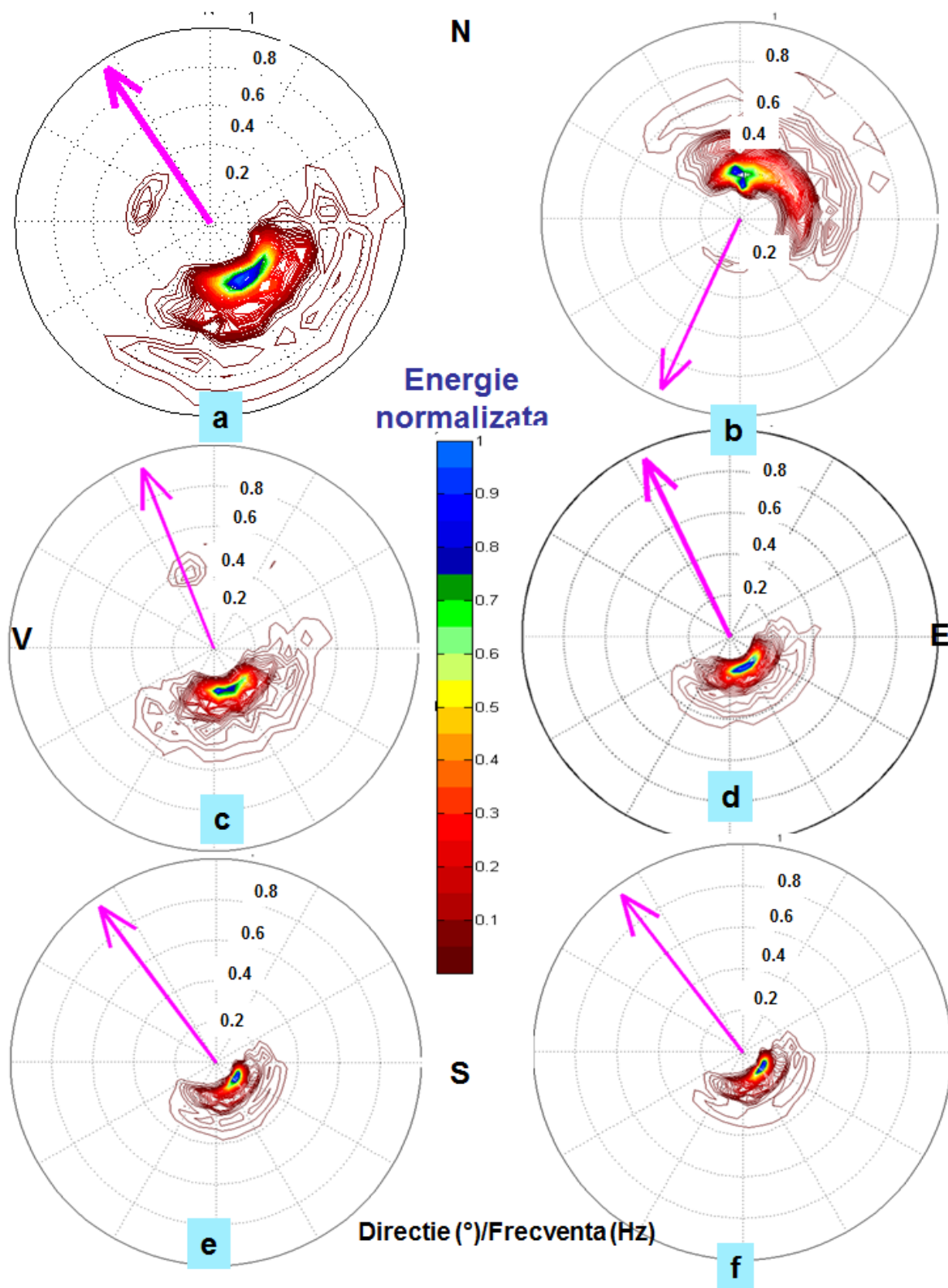


Fig. 7.18

FSC-IV, Spectre caracteristice pentru marea complet dezvoltată din bazinul Mării Negre.

Așa cum s-a menționat, formele spectrale analizate se referă în mod special la spectrele de val caracteristice zonei de vest a Mării Negre și din acest motiv direcțiile medii ale

valurilor sunt în intervalul 0-180°. Pentru înălțimile semnificative mici (mai mici de un metru) toate cele patru categorii de spectre identificate se pot întâlni, deși cele mai reprezentative în acest caz sunt formele spectrale din prima categorie.

Spectrele cu mai multe vârfuri (FSC-II) și așa numitele spectre cu coadă în spațiul direcțional (FSC-III) se regăsesc atât în cazul înălțimilor semnificative mici cât și ale celor medii. A patra categorie de spectre (FSC-IV) acoperă întreaga gamă de înălțimi semnificative de la valorile mici și până la cele mai mari, fiind de fapt predominantă în cazul înălțimilor semnificative mari care corespund la marea complet dezvoltată. Este foarte interesant de subliniat și observația făcută anterior, și anume că pe măsură ce înălțimea semnificativă crește ca valoare, banda de frecvențe se îngustează ajungând ca pentru valorile cu înălțimi semnificative mai mari de 2,5 metri aceasta să fie în general în intervalul 0,2-0,4 Hz.

Comparații cu Marea Caspică - pentru a înțelege mai bine fenomenele și procesele din Marea Neagră, dar și modul cum modelele numerice spectrale au capacitatea de a reprezenta aceste procese sistemul de predicție a valurilor bazat pe modelul SWAN a fost implementat și evaluat și în Marea Caspică. Aceste rezultate au fost comunicate în conferințele internaționale B.EN.A (Balkan Environmental Association) de la Ioannina din Grecia și de la București (Rusu și Butunoiu, 2011a și 2011b) și au fost publicate în volumele celor două conferințe.

Motivul pentru care a fost considerată Marea Caspică, este că această reprezintă un mediu marin foarte apropiat ca trăsături specifice de Marea Neagră, fiind ambele mări închise de dimensiuni relativ mici în comparație de exemplu cu Marea Mediterană, care este tot un bazin închis dar de dimensiuni mult mai mari. Astfel, Marea Caspică se extinde pe o distanță de aproximativ 1200 km de la nord la sud, cu o lățime medie de aproximativ 325km de la est la vest, având o arie totală de 400.000 km² (Kosarev și alții, 1994). Cea mai mare parte a nordului Mării Caspice este caracterizată prin apă puțin adâncă cu adâncimi medii doar de aproximativ 4m. Partea centrală a mării are adâncime de aproximativ 800m, în timp ce partea de sud a Mării Caspice are o adâncime maxima puțin peste 1000 m.

Râul Volga care este cel mai mare râu din Europa reprezintă sursa a aproximativ 80% din apa dulce din Marea Caspică și aceasta este o altă asemănare fundamentală cu Marea Neagră în care se varsă fluviul Dunărea care este al doilea ca mărime în Europa după Volga. Alte 130 de râuri se varsă de asemenea în Marea Caspică, dar marea nu are nici o scurgere spre exterior alta decât evaporarea. În acest fel marea este un bazin marin închis cu nivelul său propriu care este independent de nivelul oceanului planetar.

Caracteristicile batimetrice împreună cu caracteristicile geografice mai importante sunt foarte diferite de la nord la sud și ca o consecință climatul regiunilor Mării Caspice variază de asemenea substanțial. Domeniul de calcul considerat pentru implementarea prezentă a modelului SWAN în Marea Caspică este ilustrat în Figura 7.19. Origina sistemului corespunde punctului din stânga de jos a domeniului de calcul și are coordonatele (46,7°E, 36,2°N). Domeniul de calcul are lungimile de 8° în direcția x (longitudine) și de 11,2° în direcția y (latitudine). În spațiul geographic grila de calcul a fost aleasă identică cu grila batimetrică și are 100 de puncte în direcția x și 140 de puncte în direcția y , cu pasul spațial de $\Delta x = \Delta y = 0,08^\circ$. În spațiul spectral au fost considerate 36 de direcții și 30 de frecvențe. Gama de frecvențe considerată este între 0,06Hz și 1,2Hz. Trebuie menționat și faptul că aceiași discretizare în spațiile geografic și spectral a fost considerată în cazul implementării modelului SWAN în Marea Neagră.

Câmpul de vânt ECMWF cu rezoluție spațială de 1,5° și rezoluție temporală de șase ore a fost folosit pentru forțarea modelului SWAN în bazinul Mării Caspice. Mai întâi au fost făcute simulări pentru primele trei luni ale anului 2009 și rezultatele au fost comparate cu datele de satelit. Aceste date de satelit provin de pe situl internet <http://las.avisioceanobs.com>

care dau date provenite simultan de la măsurătorile a mai mulți sateliți. Astfel un nod de altimetru dă zilnic pentru ora zero date provenite de la sistemul multi-mission pentru înălțimea semnificativă (H_s) și viteza vântului (V_w). Acestea sunt valori mediate în timp (pentru ultimile 48 de ore) și în spațiu (pentru pătrate de 1° centrate în nod).

Pentru a realiza o compatibilitate mai mare cu datele de satelit, rezultatele modelului SWAN au fost mediate atât în spațiu cât și în timp urmărind aceeași procedură ca cea utilizată pentru medierea datelor de satelit. Astfel în ceea ce privește medierea spațială au fost definite grile pătrate cu rezoluția de $0,25^\circ$ și lungimea de 1° (având în centru punctual de referință). În ceea ce privește medierea temporală aceasta a fost făcută pentru ultimile 48 de ore utilizând pasul de timp pentru output din simulările modelului SWAN care era de 3 ore.

Două studii de caz care reflectă situații de energie medie în Marea Caspică sunt ilustrate în Figura 7.21. Acestea au fost denumite SC3 (studiul de caz 3) care se referă la momentul de timp 2009/03/18/h12 și SC4 (studiul de caz 4) care reflectă rezultatele simulărilor cu modelul SWAN corespunzătoare momentului de timp 2009/03/26/h18.

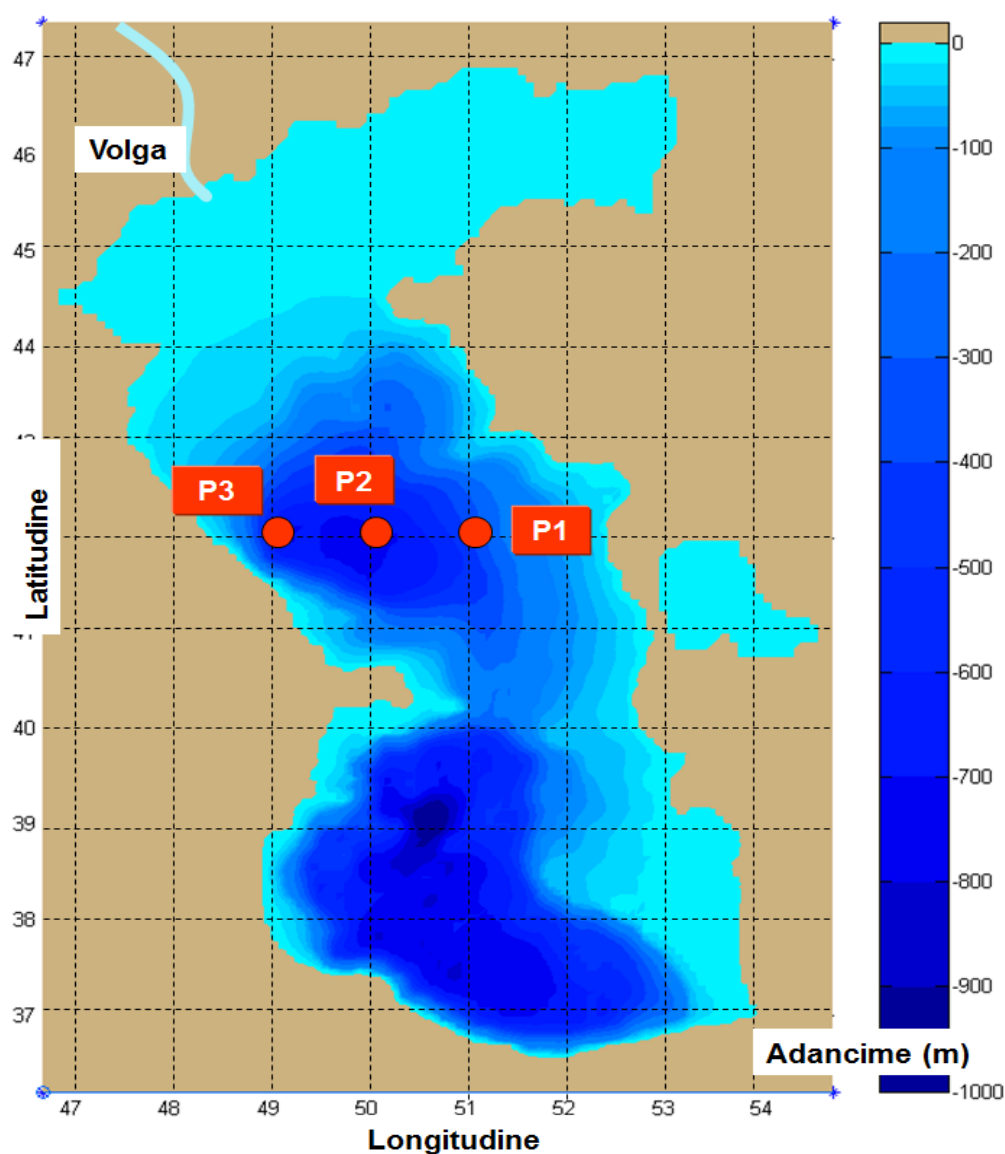


Fig. 7.19

Harta batimetrică a Mării Caspice și pozițiile celor trei puncte de referință considerate

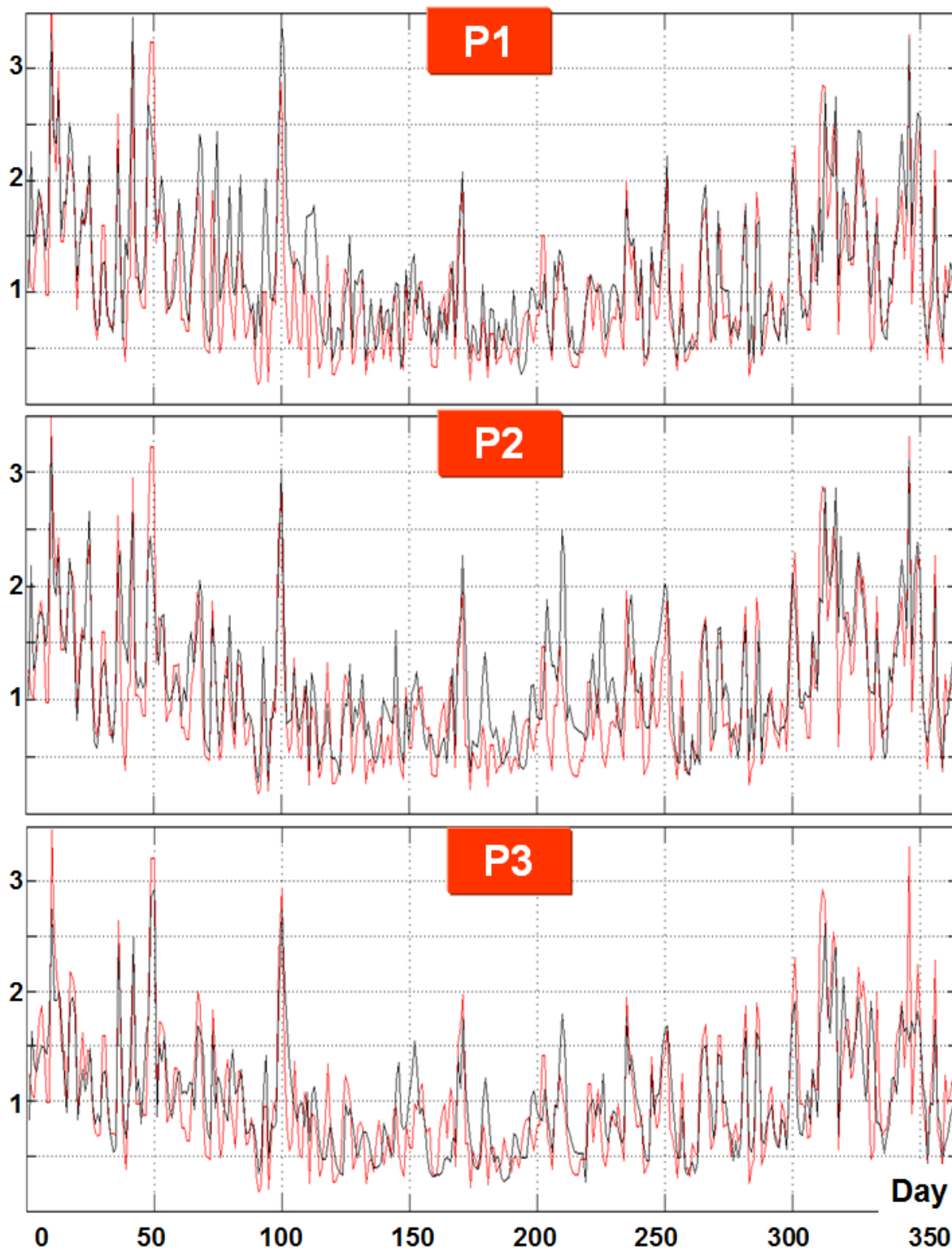


Fig. 7.20
 Comparație H_s , simulare cu modelul SWAN versus măsurători de satelit în cele trei puncte de referință (P1, P2, P3) pentru anul 2009.

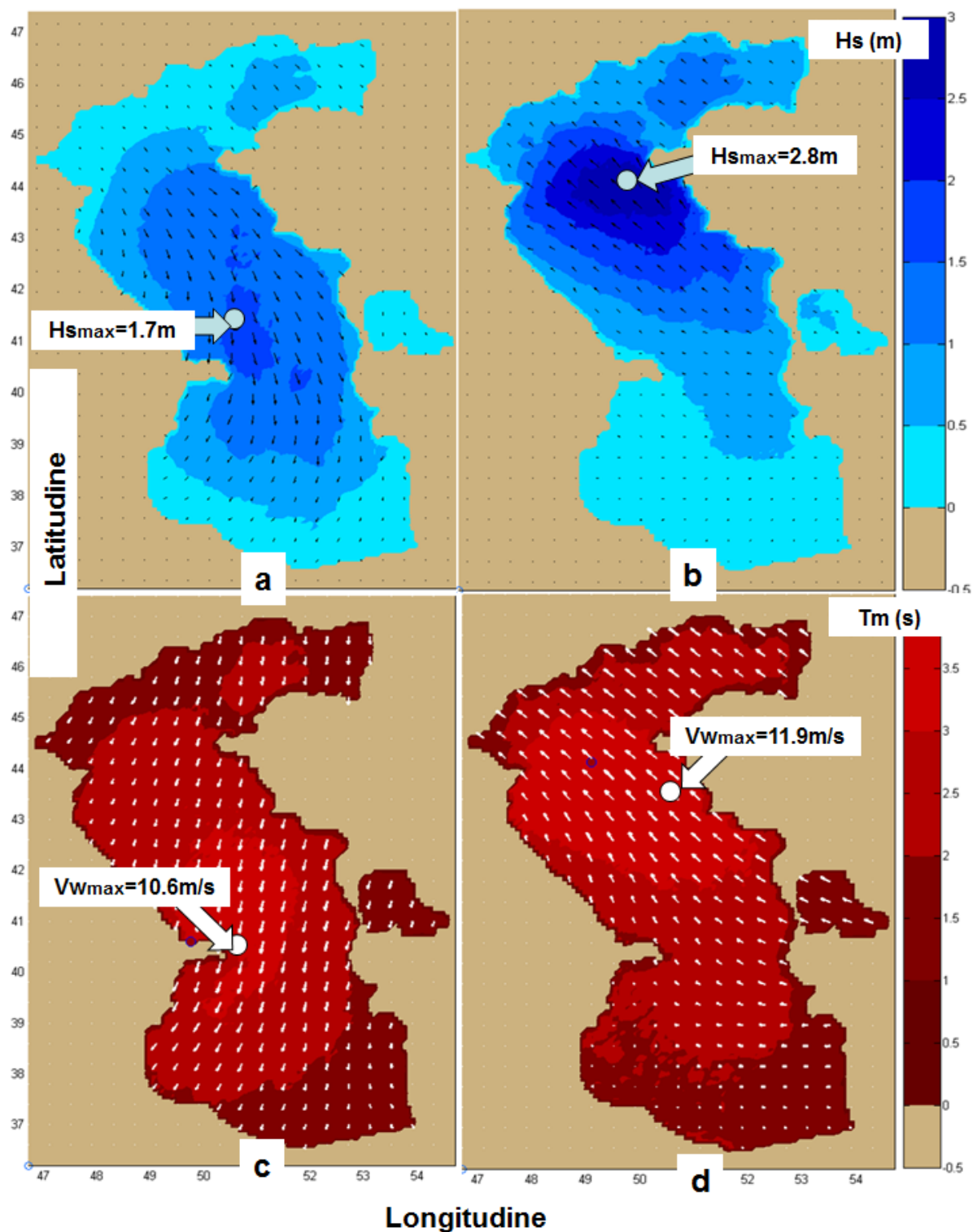


Fig. 7.21

Situații de energie medie în Marea Caspică; SC3 (2009/03/18/h12) a) Câmpuri de înălțimi semnificative și vectorii de undă; b) Câmpuri perioade medii și vectorii de vânt; SC4 (2009/03/26/h18) c) Câmpuri de înălțimi semnificative și vectorii de undă; d) Câmpuri perioade medii și vectorii de vânt.

În Figura 7.21 sunt prezentate câmpurile de înălțimi semnificative și de perioade medii pentru cele două situații analizate. Împreună cu câmpurile de înălțimi semnificative au fost reprezentați vectorii de undă iar împreună cu perioadele medii au fost reprezentați și vectorii de vânt.

Două concluzii preliminare se pot trage din analiza rezultatelor furnizate de modelul SWAN în bazinul Mării Caspice. Prima ar fi că rezultatele predicțiilor valurilor cu sistemul bazat pe modele numerice spectrale sunt în general în linie cu cele din bazinul Mării Negre în ceea ce privește acuratețea predicțiilor. A doua concluzie ar fi că totuși condițiile de val din Marea Neagră sunt mai însemnate decât cele întâlnite de obicei în Marea Caspică, deși vântul este foarte des mai puternic în Marea Caspică. Aceste rezultate sunt susținute și de analiza datelor de satelit care se referă la cele două bazine marine.

7.3 FOCALIZAREA SISTEMULUI SPRE PORTURILE ROMÂNEȘTI DE LA MAREA NEAGRĂ

Focalizarea sistemului către zona Românească - în capitolul prezent a fost mai întâi analizată influența câmpurilor de vânt asupra rezultatelor furnizate de sistemul de predicție a valurilor bazat pe modelul SWAN. Așa cum a rezultat din studiile efectuate, acest element reprezintă de fapt principalul factor care influențează acuratețea rezultatelor modelului numeric pentru valuri. Compararea predicțiilor modelului cu datele de satelit arată că în condițiile unei rezoluții suficient de mari pentru câmpurile de vânt sistemul de predicție a valurilor bazat pe modele numerice spectrale în medie de fază (în particular pe modelul SWAN) dă rezultate care pot fi considerate în general de încredere.

S-au studiat apoi trăsăturile predominante pentru coasta de vest a Mării Negre atât în spațiul geografic cât și în spațiul spectral. Rezultatele acestor studii arată că zona de vest a Mării Negre este în general mai energetică, fiind caracterizată prin înălțimi semnificative mai mari decât în restul mării. Valorile mai mari pentru parametrii DSPR și FSPR arată de asemenea că spectrul este în general mai larg în zona de vest atât în direcții cât și în frecvențe, rezultate care sunt confirmate și de analiza care a fost realizată în spațiul spectral.

În acest context, principala etapă care va fi parcursă în partea finală a prezentului studiu se referă la focalizarea sistemului de predicție către ariile țintă, care sunt reprezentate de zonele portuare. Figura 7.22 ilustrează focalizarea sistemului de predicție către zona Constanța, arie costieră mai largă care include și zona portuară Constanța Sud - Agigea. Figura se referă la o situație cu energie foarte înaltă corespunzând momentului de timp 2002/03/11/h13, fiind reprezentate câmpurile de înălțimi semnificative și vectorii de val pentru trei domenii de calcul cu rezoluții diferite în spațiul geografic. Acestea sunt: aria de generare care reprezintă domeniul global ce corespunde întregului bazin al Mării Negre, aria de transformare care corespunde zonei litoralului românesc și aria locală, care este centrată pe zona Constanța. Aria portului Constanța este de asemenea ilustrată printr-o imagine de pe Google Earth (Figura 7.22d).

Rezoluțiile domeniilor de calcul considerate sunt indicate în Tabelul 7.10. De asemenea fizica modelului este diferită de la un nivel de calcul la altul. Astfel, la nivelul global în afară de rezoluția vântului, procesele cheie luate în calcul sunt: transferul de energie de la vânt la valuri, disiparea prin înspumare și interacțiunile neliniare dintre valuri de tip cuadruplet. La nivelul doi, pe lângă procesele menționate anterior, devin importante și alte procese fizice cum ar fi refracția, interacțiunile neliniare dintre trei valuri (de tip triadă) și frecarea cu fundul mării.

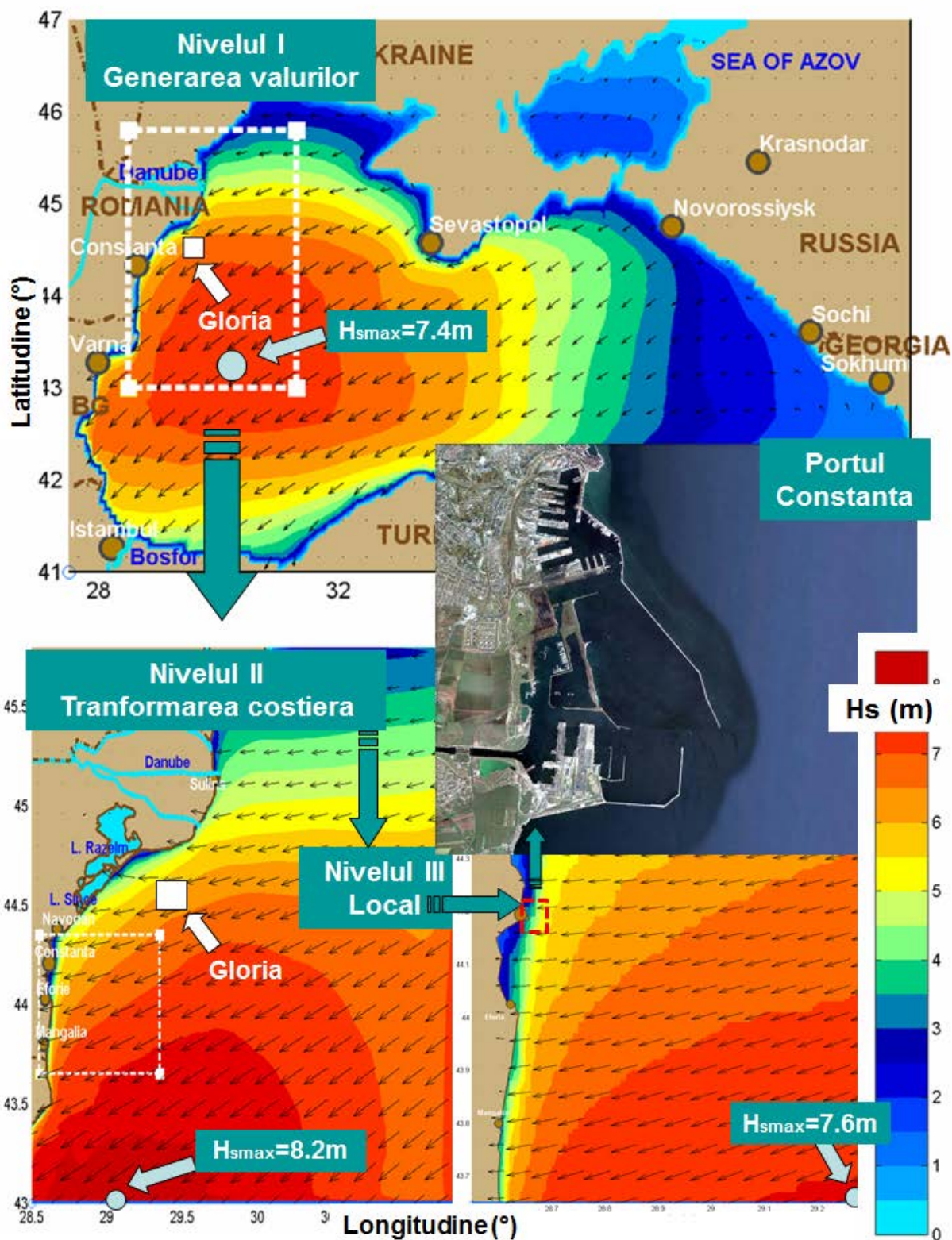


Fig. 7.22

Focalizarea sistemului de predicție catre portul Constanța, situație cu energie foarte înaltă corespunzând momentului de timp 2002/03/11/h13, sunt reprezentate câmpurile de înălțimi semnificative și vectorii de val a) Aria de generare; b) Aria de transformare; c) Aria locală; d) Aria portului (Imagine de pe Google Earth).

Aceste procese sunt relevante și pentru nivelul trei când însă apar ca importante și alte efecte cum ar fi difracția, reflecțiile și ridicarea apei indusă de valuri. Trebuie menționat și că la acest nivel devine foarte importantă și rezoluția și acuratețea datelor batimetrice utilizate în simulările cu modelul numeric pentru valuri.

Tabelul 7.10

Caracteristicile domeniilor de calcul definite în focalizarea sistemului către zonele portuare românești de la Marea Neagră.

| Rezoluție/ Nivel | $\Delta x \times \Delta y$ (°/m) | Δt (min) | nf | n θ | ngx×ngy=np |
|--|-------------------------------------|---------------------|----|------------|----------------------|
| Global - nivel I | 0,08° × 0,08° | 20 (nestaționar) | 30 | 24 | 176 × 76 = 13376 |
| Coastier - nivel II | 0,02° × 0,02° | 20 (nestaționar) | 30 | 36 | 141 × 141 = 19881 |
| Local Constanța - nivel III | 0,005° × 0,005° | 20 (nestaționar) | 30 | 36 | 161 × 141 = 22701 |
| Mangalia cartezian - nivel IV | 50m × 50m | 180 (staționar) | 25 | 36 | 96 × 107 = 10272 |
| Midia cartezian - nivel IV | 50m × 50m | 180 (staționar) | 25 | 36 | 191×274=52334 |

Din acest motiv pentru zonele din apropierea porturilor Mangalia și Midia Năvodari au fost definite arii cu rezoluție înaltă (de 50 m). Batimetria pentru aceste arii a fost digitalizată utilizând hărți de înaltă rezoluție pentru zonele costiere considerate care au fost editate de Direcția Hidrografică Română.

Simulări de înaltă rezoluție în apropierea porturilor Mangalia și Midia-Năvodari

Pentru simulările de înaltă rezoluție efectuate în apropierea celor două porturi au fost preferate coordonatele carteziene. Aceasta se datorează faptului că în astfel de coordonate modelul SWAN reprezintă mai bine procese cum ar fi difracția, reflexiile, spargerea valurilor dar și înălțarea apei datorită valurilor. Așa cum se cunoaște, pentru simulările din zonele costiere cu o rezoluție înaltă astfel de procese pot fi uneori deosebit de relevante. În același timp trebuie menționat și faptul că influența curenților marini nu a fost luată în considerare în cadrul acestor simulări deoarece spre deosebire de zone cum ar fi cea de la gurile Dunării în cele două arii considerate curenții nu depășesc în general 0,2-0,3m/s, valori care nu afectează fundamental câmpul de valuri. Influența vântului a fost considerată și la acest nivel deși la o astfel de rezoluție nici ea nu este în general relevantă, cu excepția cazurilor când sunt valuri foarte mici cuplate cu vânt puternic.

Figura 7.23 ilustrează zona de transformare costieră corespunzătoare ZEE românești, în figură fiind reprezentată harta batimetrică și cea mai reprezentativă direcție de propagare a valurilor (corespunzând valurilor care vin din spre direcția nord-est. În figura sunt ilustrate de asemenea și două imagini de pe Google Earth care prezintă în detaliu zonele portuare Mangalia și Midia Năvodari.

Câteva rezultate mai relevante ale simulărilor efectuate în aria costieră Mangalia sunt ilustrate în Figura 7.24. Astfel, sunt prezentate în figura patru situații energetice diferite pornind de la valori medii ale energiei valurilor incidente (Figurile 7.24a și 7.24b) continuând cu o situație înalt energetică (Figura 7.24c) și în final fiind prezentată o situație caracterizată prin energie extremă. Acestea corespund unor situații reale așa cum rezultă din simulările sistemului de predicție numerică a valurilor bazat pe modelul SWAN. Astfel situațiile de energie medie ilustrate în Figurile 7.24a și 7.24b corespund la momentele de timp 2009/05/17/h21 și respectiv 2009/03/04/h12.

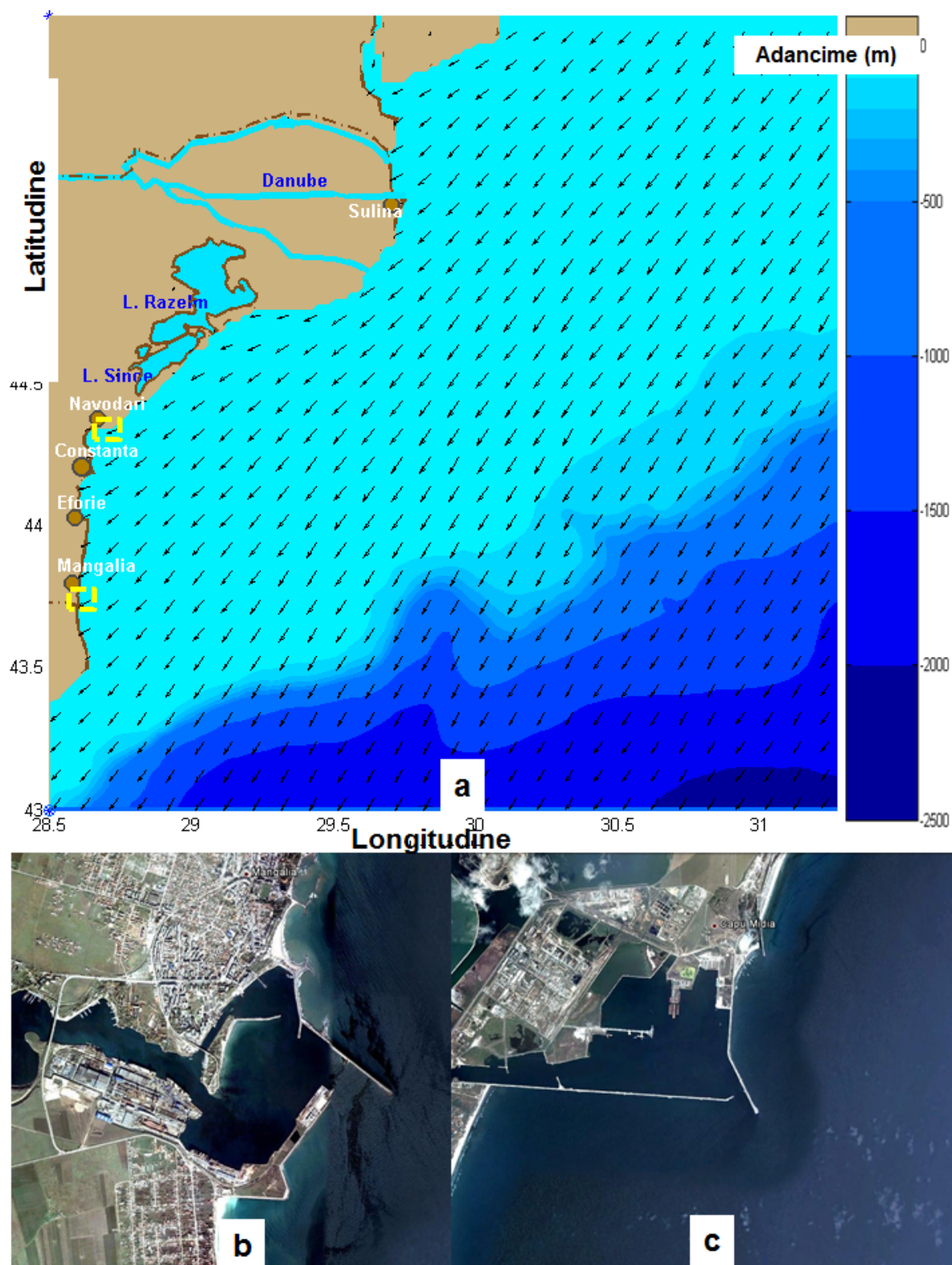


Fig. 7.23

a) Zona de transformare costieră corespunzătoare ZEE românești, harta batimetrică și cea mai reprezentativă direcție de propagare a valurilor; b) Zona portului Mangalia (Imagine de pe Google Earth); c) Zona portului Mădia Năvodari (Imagine de pe Google Earth).

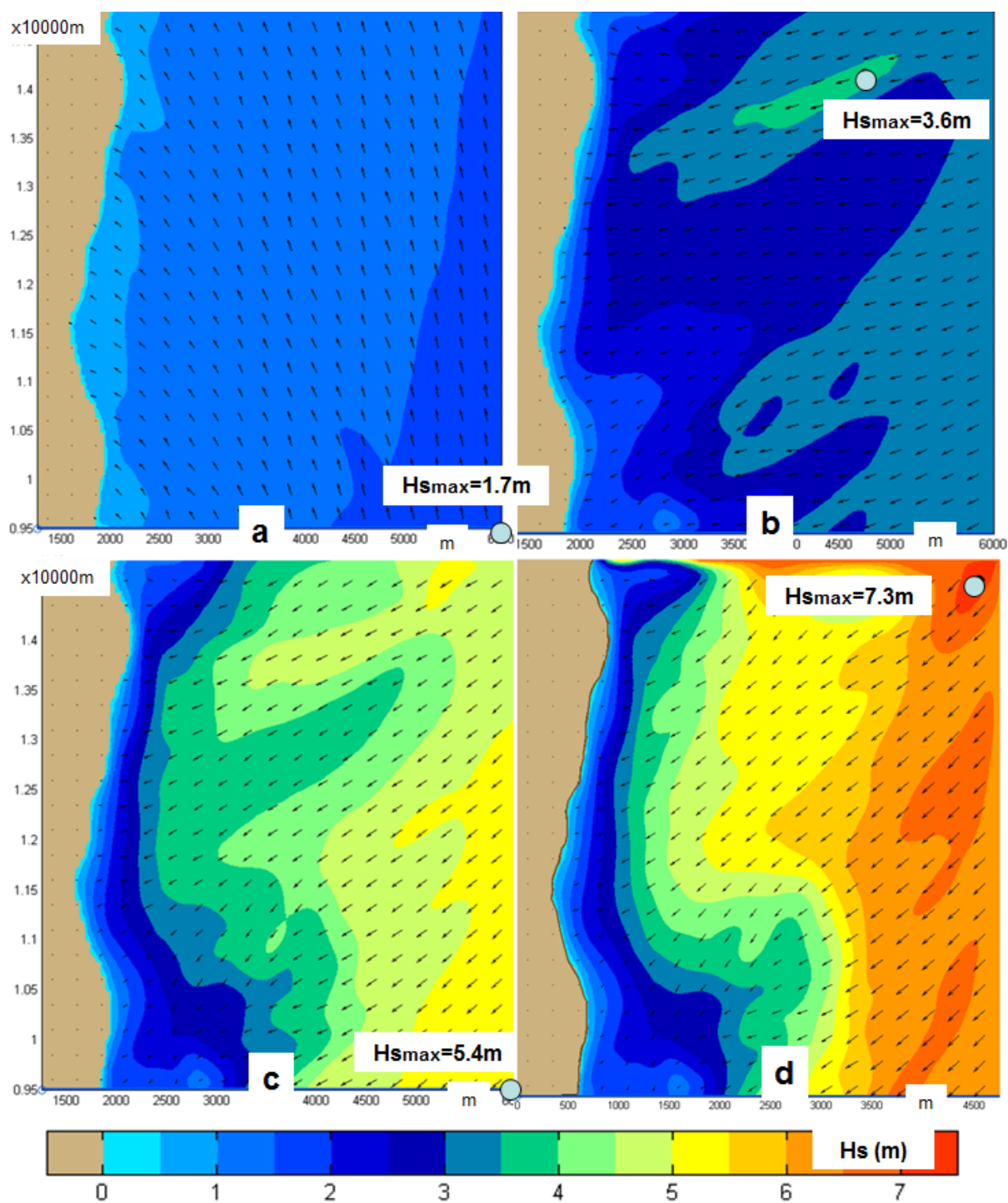


Fig. 7.24

Aria de înaltă rezoluție din apropierea portului Mangalia, câmpuri de înălțimi semnificative și vectori de val; a) Situație de energie medie 2009/05/17/h21; b) Situație de energie medie spre înaltă 2009/03/04/h12; c) Situație de energie înaltă 2009/02/07/h18; d) Situație energetică extremă 2002/03/11/h13.

Situația de energie înaltă ilustrată în Figura 7.24c corespunde la momentul de timp 2009/02/07/h18 iar situația energetică extremă se referă la același moment de timp ilustrat în Figura 7.22 (2002/03/11/h13).

În final pentru aria din apropierea portului Midia Năvodari au fost efectuate simulări în paralel cu modelele SWAN și STWAVE. În acest fel sunt completate și studiile efectuate în capitolul anterior în care au fost evaluate în paralel cele două modele spectrale în medie de fază SWAN și STWAVE și a fost analizată pe larg influența condițiilor de frontieră care afectează în anumite condiții rezultatele simulărilor cu modelul SWAN. Studiile realizate la acest nivel sunt ilustrate în Figurile 7.25, 7.26, 7.27 și 7.28, unde sunt reprezentate în paralel rezultatele simulărilor cu modelele SWAN și STWAVE. Bazându-se pe analiza climatului de valuri din zona costieră din apropierea portului Midia Năvodari, înălțimile semnificative de 2, 3, 4 și respectiv 5 metri au fost considerate ca condiții la limită pe frontiera exterioară a domeniului de calcul. Tot pe baza analizei climatului de valuri, pentru fiecare caz s-au considerat două direcții pentru propagarea valurilor. Acestea sunt direcția de 60° care corespunde la valurile care vin din spre nord-est și direcția de 90° care corespunde la propagarea valurilor care vin din spre est. Acestea reprezintă de fapt principalele direcții de propagare a valurilor în zona considerată. Așa cum se observă din Figurile 7.25, 7.26, 7.27 și 7.28, deși cele două modele dau în general rezultate apropiate, se remarcă totuși faptul că modelul STWAVE furnizează uneori câmpuri de înălțimi semnificative mai mari.

Se poate aprecia în finalul acestui capitol faptul că sistemul de predicție a valurilor bazat pe modelul în medie de fază SWAN poate furniza rezultate credibile pentru condițiile de val din apropierea principalelor porturi românești. Aceste zone au o importanță economică deosebită și sunt supuse unui trafic naval deosebit de ridicat. Din acest motiv, o cunoaștere cât mai precisă a climatului de val și în general a condițiilor de navigație din aceste zone reprezintă probleme de mare importanță.

Întrucât procesele din mările închise sunt întrucâtva diferite față de cele din mediul oceanic (pentru care au fost în general proiectate modelele spectrale în medie de fază) sistemul de predicție bazat pe modele numerice a fost testat și în Marea Caspică. Aceasta reprezintă un mediu marin foarte apropiat de Marea Neagră din punct de vedere al principalelor caracteristici iar rezultatele comparațiilor cu date de satelit întăresc faptul că un astfel de sistem de predicție numerică bazat pe un singur model de la nivelul de generare și până la nivelul costier poate furniza rezultate credibile.

Au fost evidențiate forme spectrale specifice pentru zona de vest a Mării Negre ceea ce furnizează informații importante privind caracteristicile valurilor din această sector costier caracterizate printr-o împrăștiere direcțională și în domeniul frecvențelor mai mare.

Simulări de înaltă rezoluție au fost făcute în apropierea portului Mangalia evidențiindu-se în acest fel principalele tendințe de propagare a valurilor din această zona. Pentru aria Midia Năvodari, cele două modele spectrale în medie de fază SWAN și STWAVE au fost evaluate în paralel urmărind principalele caracteristici care rezultă din studiul climatului de val din zona respectivă, înălțimi semnificative între 2 și 5 metri și direcții ale valurilor din spre nord-est și respectiv din spre est. Rezultatele simulărilor cu cele două modele sunt în general în linie cu cele prezentate în capitolul trecut în sensul că cele două modele sunt convergente dar STWAVE conduce la câmpuri de înălțimi semnificative mai mari decât SWAN.

În capitolul următor se vor analiza și rezultatele unui experiment care au fost făcut în apropierea zonei portuare Mangalia. O discuție mai amplă privind rezultatele modelării valurilor în zona Mării Negre și a focalizării sistemului de predicție către zona litoralului românesc și mai ales spre porturile românești de la Marea Neagră este făcută în ultimul capitol, unde se vor schița și principalele direcții care pot fi urmate pentru a continua cercetările realizate în cadrul prezentei teze de doctorat.

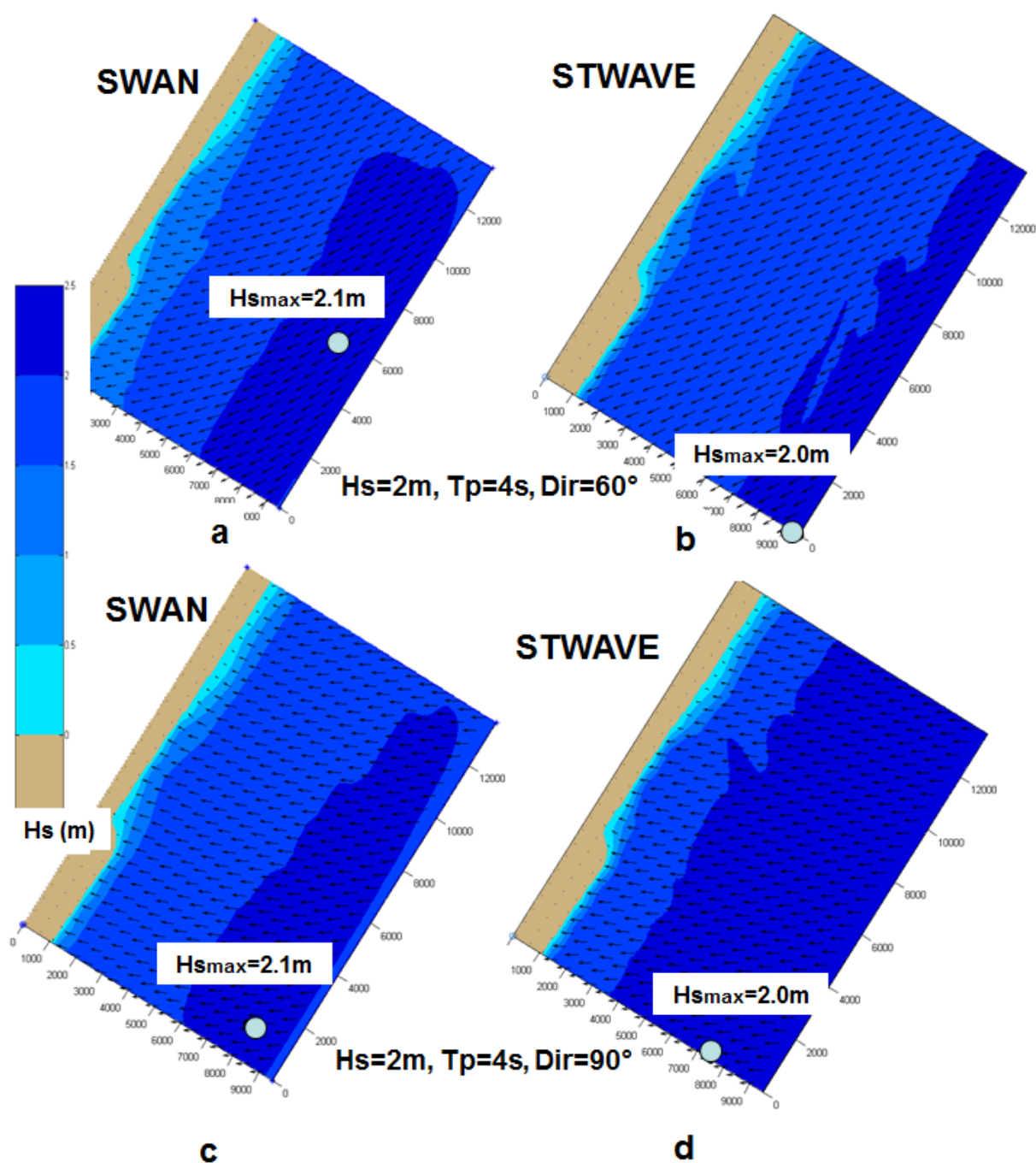


Fig. 7.25

Simulări paralele cu modelele SWAN și STWAVE în zona coastieră la nord de portul Midia Năvodari, câmpuri de înălțimi semnificative și vectori de val; a) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=2\text{m}$, $T_p=4\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; b) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=2\text{m}$, $T_p=4\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; c) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=2\text{m}$, $T_p=4\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$; d) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=2\text{m}$, $T_p=4\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$.

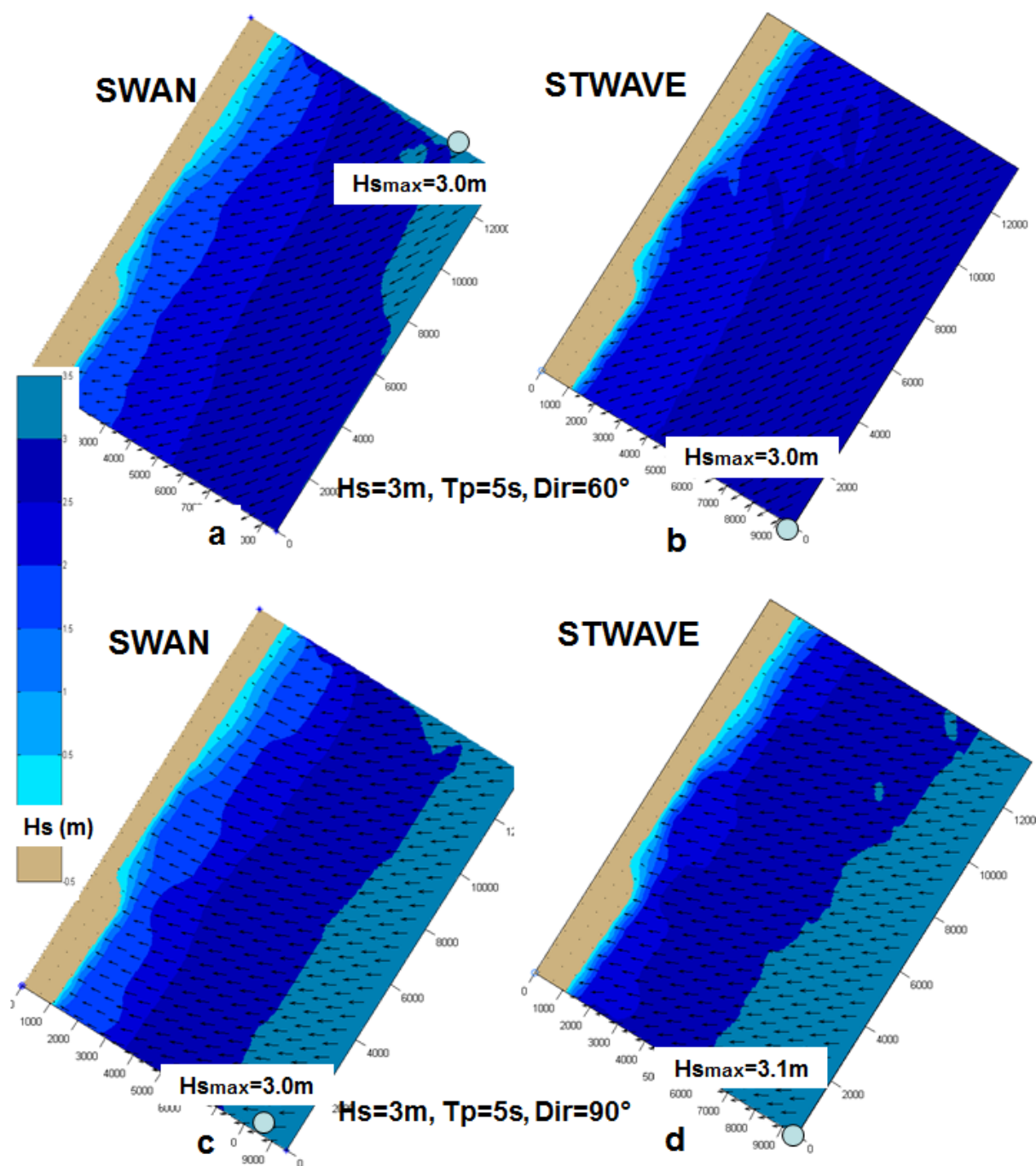


Fig. 7.26

Simulări paralele cu modelele SWAN și STWAVE în zona coastieră la nord de portul Midia Năvodari, câmpuri de înălțimi semnificative și vectori de val; a) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=3\text{m}$, $T_p=5\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; b) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=3\text{m}$, $T_p=5\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; c) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=3\text{m}$, $T_p=5\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$; d) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=3\text{m}$, $T_p=5\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$.

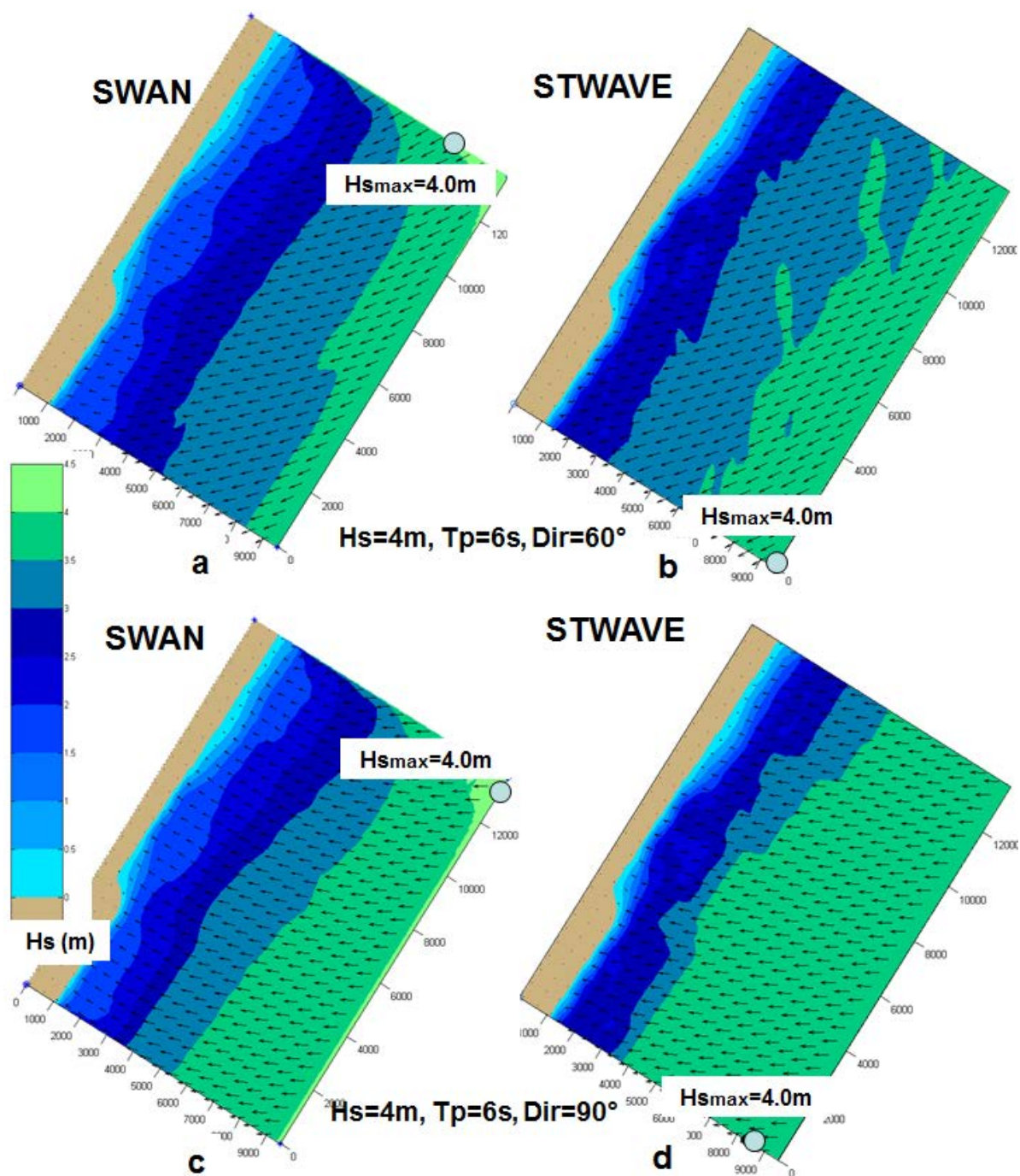


Fig. 7.27

Simulări paralele cu modelele SWAN și STWAVE în zona costieră la nord de portul Midia Năvodari, câmpuri de înălțimi semnificative și vectori de val; a) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=4\text{m}$, $T_p=6\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; b) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=4\text{m}$, $T_p=6\text{s}$, $\text{Dir}=60^\circ$; c) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=4\text{m}$, $T_p=6\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$; d) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=4\text{m}$, $T_p=6\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ$.

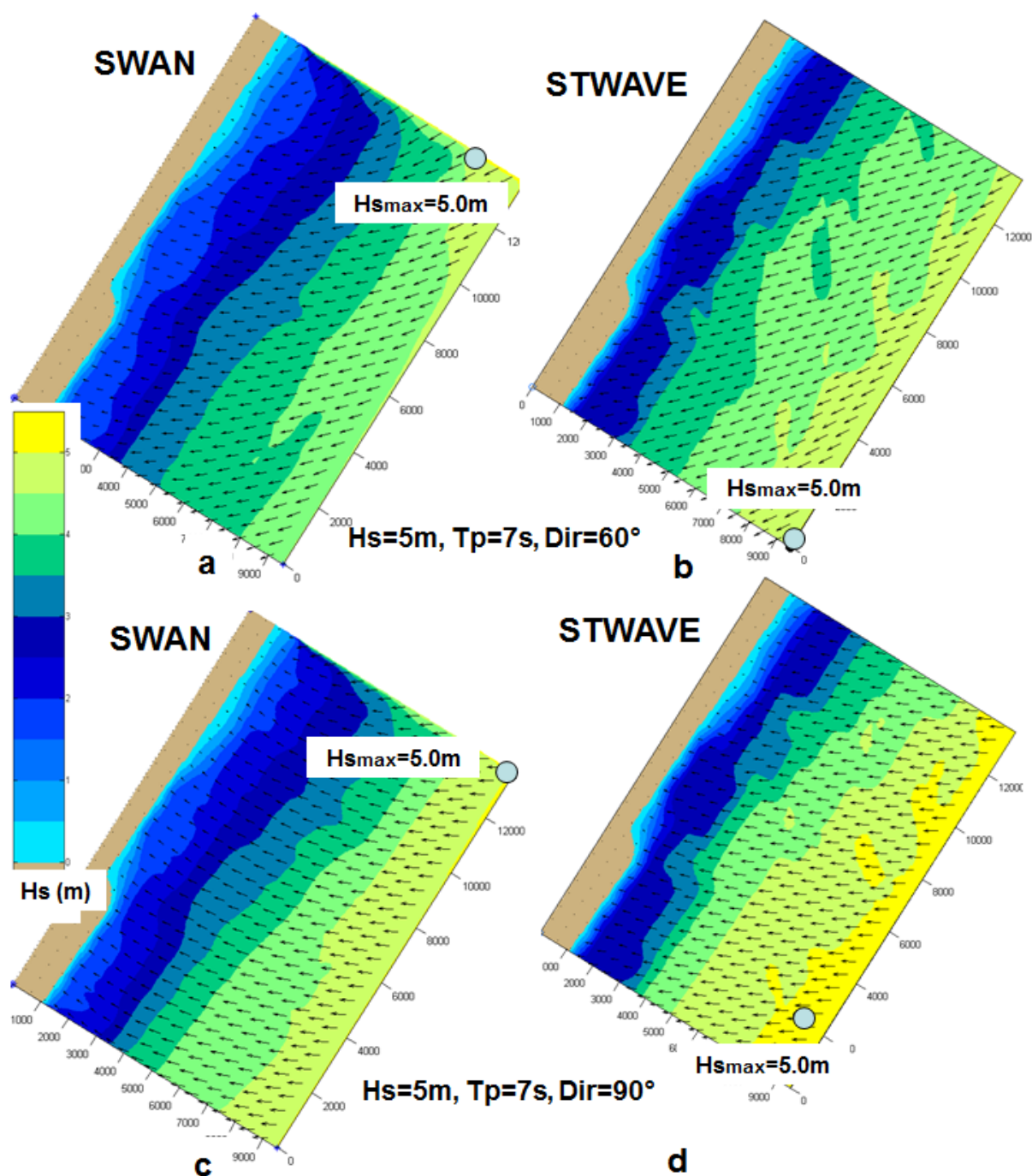


Fig. 7.28

Simulări paralele cu modelele SWAN și STWAVE în zona coastă la nord de portul Midia Năvodari, câmpuri de înălțimi semnificative și vectori de val; a) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=5m, T_p=7s, Dir=60^\circ$; b) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=5m, T_p=7s, Dir=60^\circ$; c) SWAN cu condiții pe frontiera externă $H_s=5m, T_p=7s, Dir=90^\circ$; d) STWAVE cu condiții pe frontiera externă $H_s=5m, T_p=7s, Dir=90^\circ$.

CAPITOLUL 8

EXPERIMENTE REALIZATE ÎN ZONE PORTUARE PENTRU A VALIDA REZULTATELE MODELELOR – STUDIU DE CAZ – PORTUL MANGALIA

Capitolul VIII prezintă rezultatele unor experimente realizate recent în apropiere de portul Mangalia la care autorul prezentei teze de doctorat a participat în mod nemijlocit. Pe lângă informații deosebit de utile privind condițiile de valuri și curenți din apropierea portului Mangalia, experimentul confirmă în general validitatea rezultatelor furnizate de modele numerice.

8.1 INSTALAREA UNEI STAȚII HIDROMETRICE ADCP

În perioada 5-25 septembrie 2012, a fost desfășurat un experiment de înregistrare a parametrilor câmpului de valuri în zona din vecinătatea Portului Mangalia, la adâncimea de 15 metri (43grd 47.7'N și 28grd. 37.1'E)



Fig.8.1

Imagine satelit a portului Mangalia și zona de montare a ADCP-ului WH600

A fost utilizat un Advance Doppler Current Profiler în prezentare scurtă ADCP RDI Teledyne WH600, montat pe un cadru de inox, și fixat de patul solid al mării, setat pentru înregistrarea curenților (direcție și viteză pe întreda coloană de apă, mediate pe celule de 0.5m), valurilor (parametrii principali: Hs – înălțimea semnificativă, Tp - perioada principală, Dp – direcție principală, WL - nivelul apei) și temperaturii, cu o frecvență de 20 de minute.

8.2 OBIECTIVELE EXPERIMENTULUI

Pentru a se încrîie pe direcția scopului principal al experimentului, de validare a rezultatelor modelelor realizate, obiectivele principale au constat în analiza câmpului de valuri într-o perioadă de tranziție de la sezonul cald la sezonul rece, perioadă marcată de o agitație marină importantă, cu multe evenimente.

Decrierea aparatului - măsurătorile au fost efectuate cu un ADCP (Advance Doppler Current Profiler) produs de Teledyne RD Instruments (SUA), în configurația WorkHorse Sentinel de 600kHz, adaptat pentru o mare varietate de aplicații marine și costiere, grație celor 4-bimuri și procesării semnalului pe un domeniu larg de frecvență. Astfel WHS600, având o frecvență de 600 kHz , a fost dispus pe o structură metalică nemagnetică pentru o acuratețe mare a înregistrării direcțiilor de propagare/dezvoltare a valurilor și curenților.

ADCP-ul WorkHorse Sentinel 600kHz este destinat măsurătorilor autonome pe perioade de până la 3 luni, fiind deservit de o baterie alcalină, un card de memorie și un software dedicat.



Fig.8.2

Montarea ADCP-ului WH600 pe structura metalică nemagnetică, în portul Mangalia



Fig.8.3

Transportarea cu șalupa a ADCP-ului WH600 la locul de scufundare

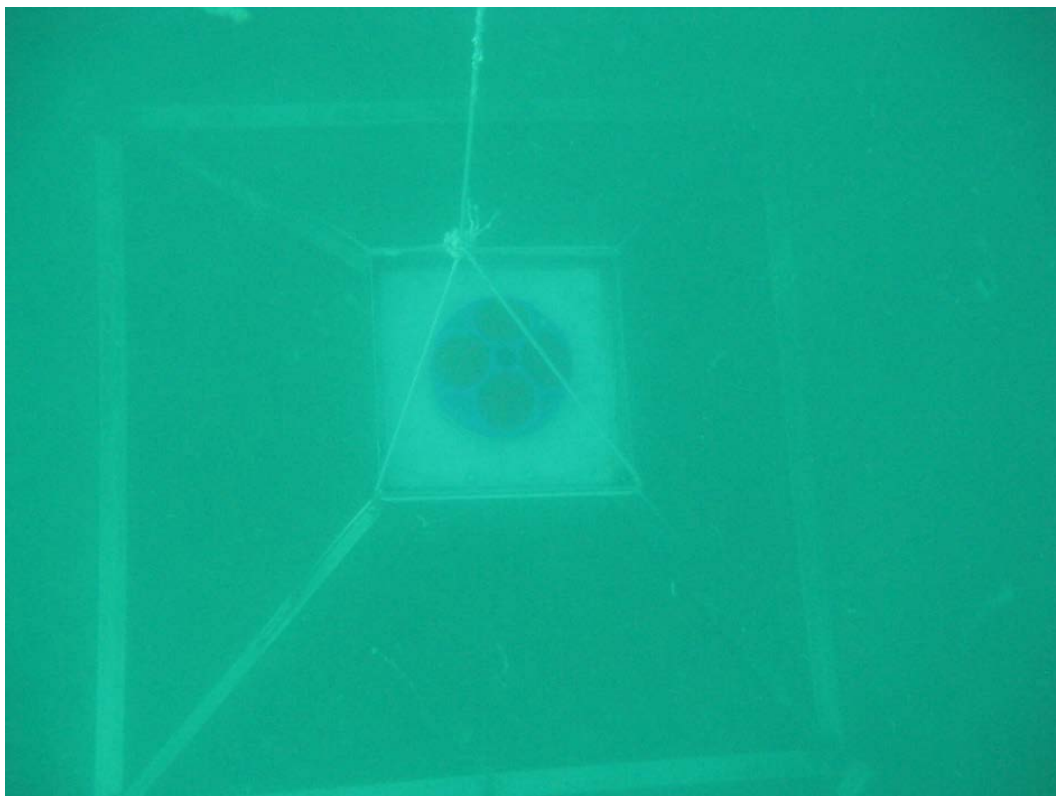


Fig.8.4

Scufundarea la o adâncime de 15 metri a ADCP-ului WH600

Specificații Tehnice - adâncimea de operare standars

Pentru determinarea profilului de curenți pe coloana de apă, domeniul de adâncime este de 50 - 100 m la o rezoluție verticală/mărime a celulei de mediere de 0.5-8m și o deviație standars de 12.9-2.0(cm/s).

Pentru configurația aleasă în cadrul experimentului s-au folosit adâncime de 15m, 0.5m mărimea celulei și deviația standars de 1.9cm/s.

Parameterii profilului

Acuratețea vitezei: 0.3% din viteza apei ± 0.3 cm/s

Rezoluția vitezei: 0.1cm/s

Domeniul vitezei: ± 5 m/(default) ± 20 m/(maximum)

Număr de celule: 1–128 (utilizate, 26)

Rata de măsurare: 2Hz (în general)

Profilul intensității semnalului acustic

Rezoluția Verticală: mărimea celulei pe coloana de apă

Domeniu dinamic: 80dB

Precizie: ± 1.5 dB

Caracteristicile traductorului și a dispozitivului electronic

Unghiul fascicolului sonor: 20°

Configurație: 4-bimuri, convex

Memorie internă: sloturi; un card de memorie de 256Mb

Comunicații: Serial port selectabil RS-RS-422, output binar în domeniul 1200-115200.

Senzorul standars de temperatură

A fost montat pe transducer

Domeniu: -55° to 45° °C

Precizie: $\pm 0.4^\circ$ °C

Rezoluție: 0.01°

Detectarea înclinației

Domeniu: $\pm 15^\circ$

Acuratețe: $\pm 0.5^\circ$

Precizie: $\pm 0.5^\circ$

Rezoluție: 0.01°

Busola (tip, caracteristica calibrate în teren)

Acuratețe: $\pm 2^\circ$ 5

Precizie: $\pm 0.5^\circ$ 5

Rezoluție: 0.01°

Maximum: $\pm 15^\circ$

Conectarea la sursa de curent electric

Input extern: 20 –50VDC

Tensiunea bateriei interne: 42-28VDC

Capacitatea bateriei: @00°C: 450 watt ore

Domeniul de operare în mediu

Temperatura de operare: -55° - 45° °C

Temperatura de stocare: -330° - 60° °C

Greutate în aer: 13.00kg

Greutate în apă: 4.5kg (fără baterie)

Software Teledyne RDI's Windows TM

- WinSC —Achiziție
- WinADCP —Export date
- WaveMon – procesare valuri

Dimensiuni

H=398mm, Phi=229/178/205mm

ADCP-ul a fost montat pe un cadru de inox nemagnetic pentru a evita influența materialelor fero-magnetice asupra busolei interioare. Pentru a desfășura în condiții bune vitezele de curenți la stația de măsurare au fost planificate două expediții de instalare și respective, dezinstalare și au fost utilizate configurații de setare a modului de măsurare în funcție de domeniul de adâncime și condițiile hidrodinamice din vecinătatea locației alese.

8.3 ANALIZA REZULTATELOR

Datele extrase din ADCP au fost preprocesate cu software-ul WaveMon și constituie baza dezvoltării diferitelor analize asupra regimului valurilor în apropierea portului Mangalia.

Astfel, pentru perioada analizată se pot remarca în domeniul de adâncime 0-15m, o variabilitate a curenților.

Au fost analizate rezultatele măsurătorilor executate zilnic, în perioada 05.09 - 25.09.2012.

Se constată că frecvența situațiilor cu val de peste 1m (înălțimea valului mai mare de 1m) este mai mare decât valoarea de regim în lunile de toamnă, reprezentând 129% din valoarea multianuală, totuși aceste diferențe se încadrează în variabilitatea naturală pentru acest sezon.

Înălțimile maxime măsurate au fost de 1.85m în 17.09.2012, iar valorile medii pe perioada de desfășurare au fost de 0.9m, 0.6m și respectiv, 0.7m, situate peste valorile de regim, în timp ce perioadele medii au fost de 5.0s, 4.8s și 4.0s.

Pe ansamblu, peste 80% din valuri au avut înălțimi mai mari 0.8m., iar frecvența situațiilor de mare calmă a fost de 52%.

Curenții înregistrați au avut valori de până la 50cm/s și au prezentat o variabilitate pe adâncime, conform suprafaței/spiralei Ekman.

În figura 8.9 este evidențiat modul de stingere a unui eveniment hidrologic marin, în ziua de 25 septembrie 2012.

Ca observație importantă, se poate vedea pe înregistrări în situațiile în care vântul din direcțiile de sud (SE, S, SV) determină un curent jet în stratul superior în aceeași direcție, datorită extragerii apei din acvatoriul portuar pe o gură de intrare/ieșire, deschidere relativ mică, și respectiv anumite condiții de la intrarea în port în aceste perioade în special o operare mai dificilă a intrărilor în portul Mangalia.

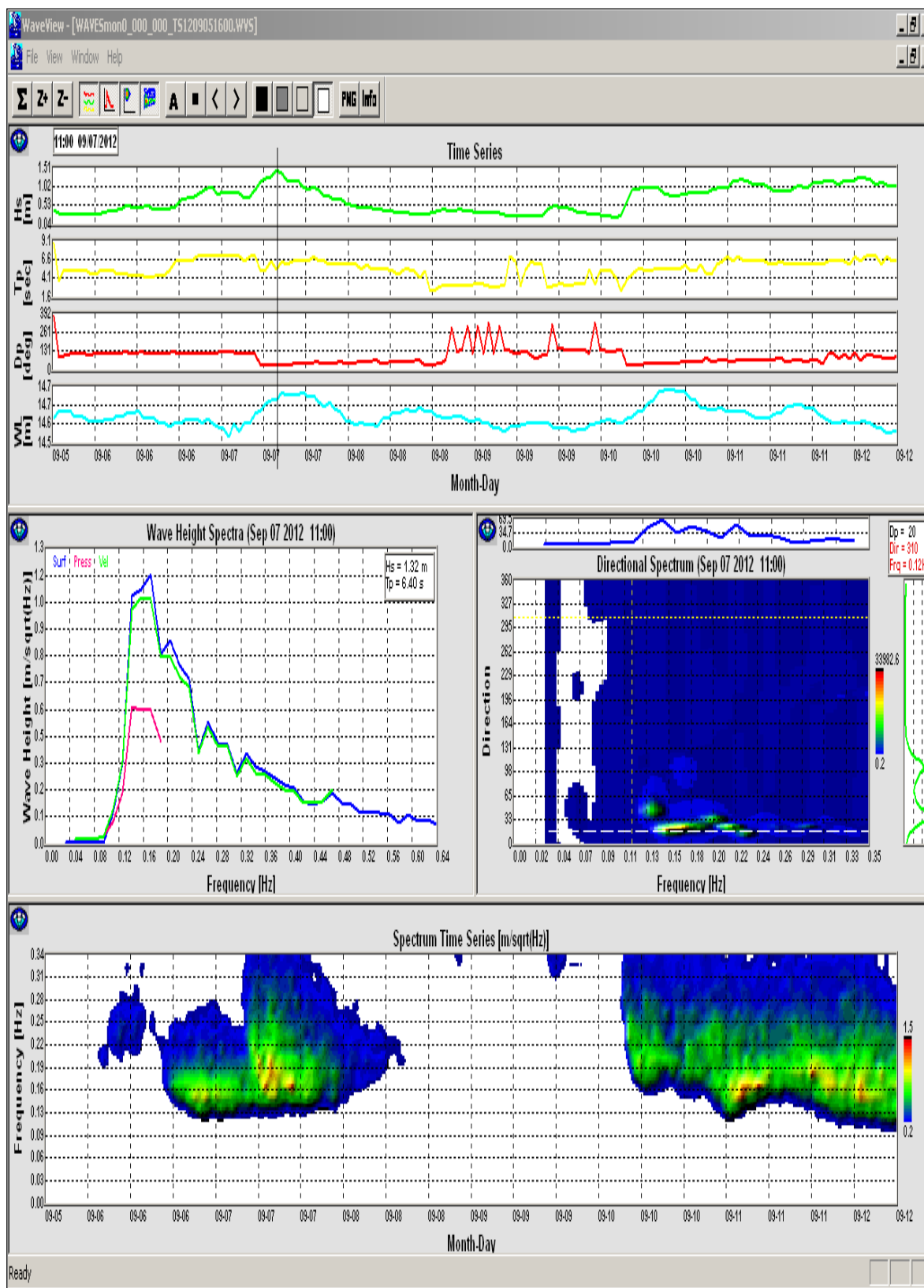


Fig. 8.5

Parametri de val înregistrați în perioada 5-12.09.2012
 Spectrul de înălțime al valurilor în ziua de 7 septembrie Serii de timp spectrale – frecvențe

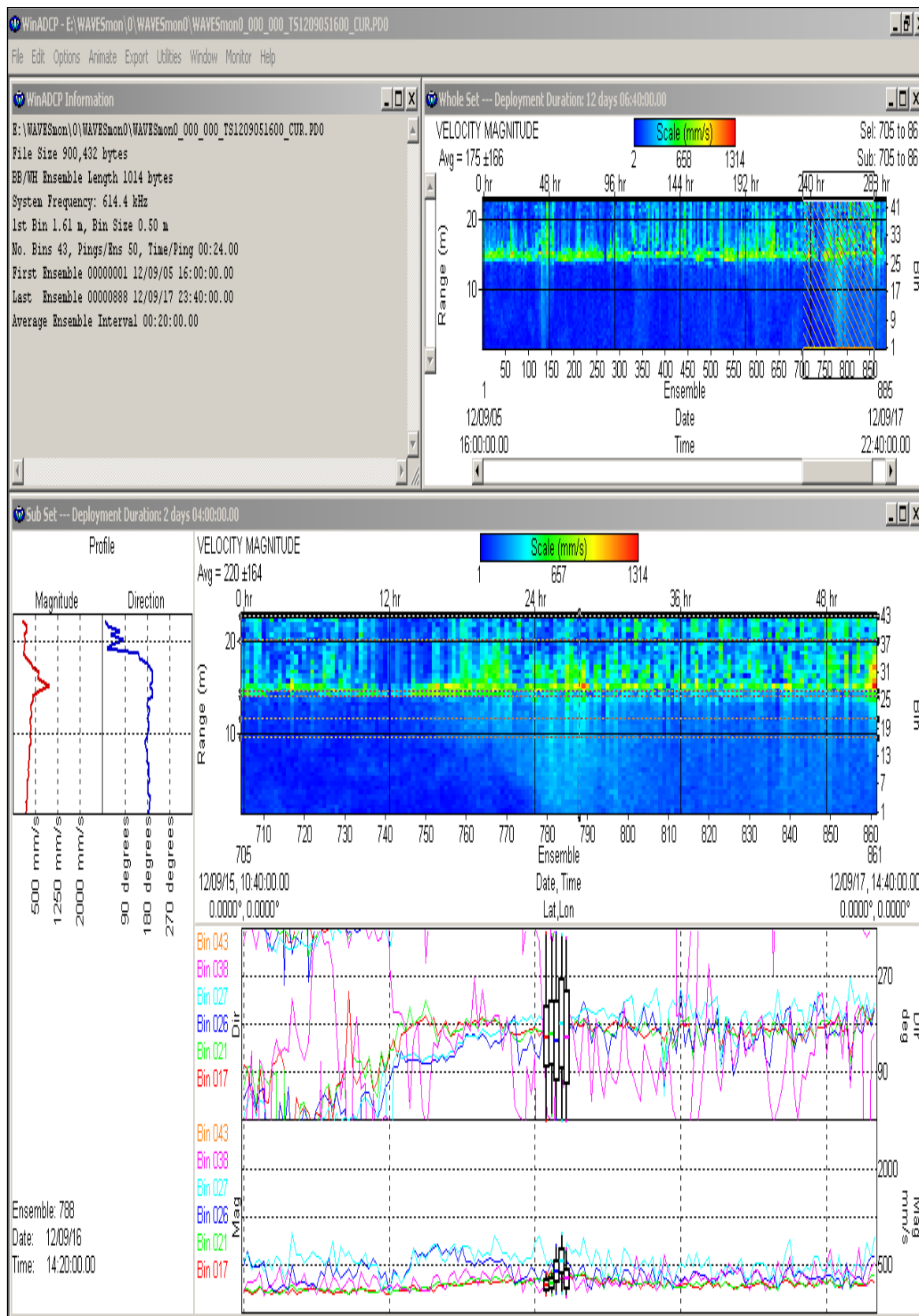


Fig. 8.6

Parametri curenților marini, înregistrați în perioada 5-12.09.2012

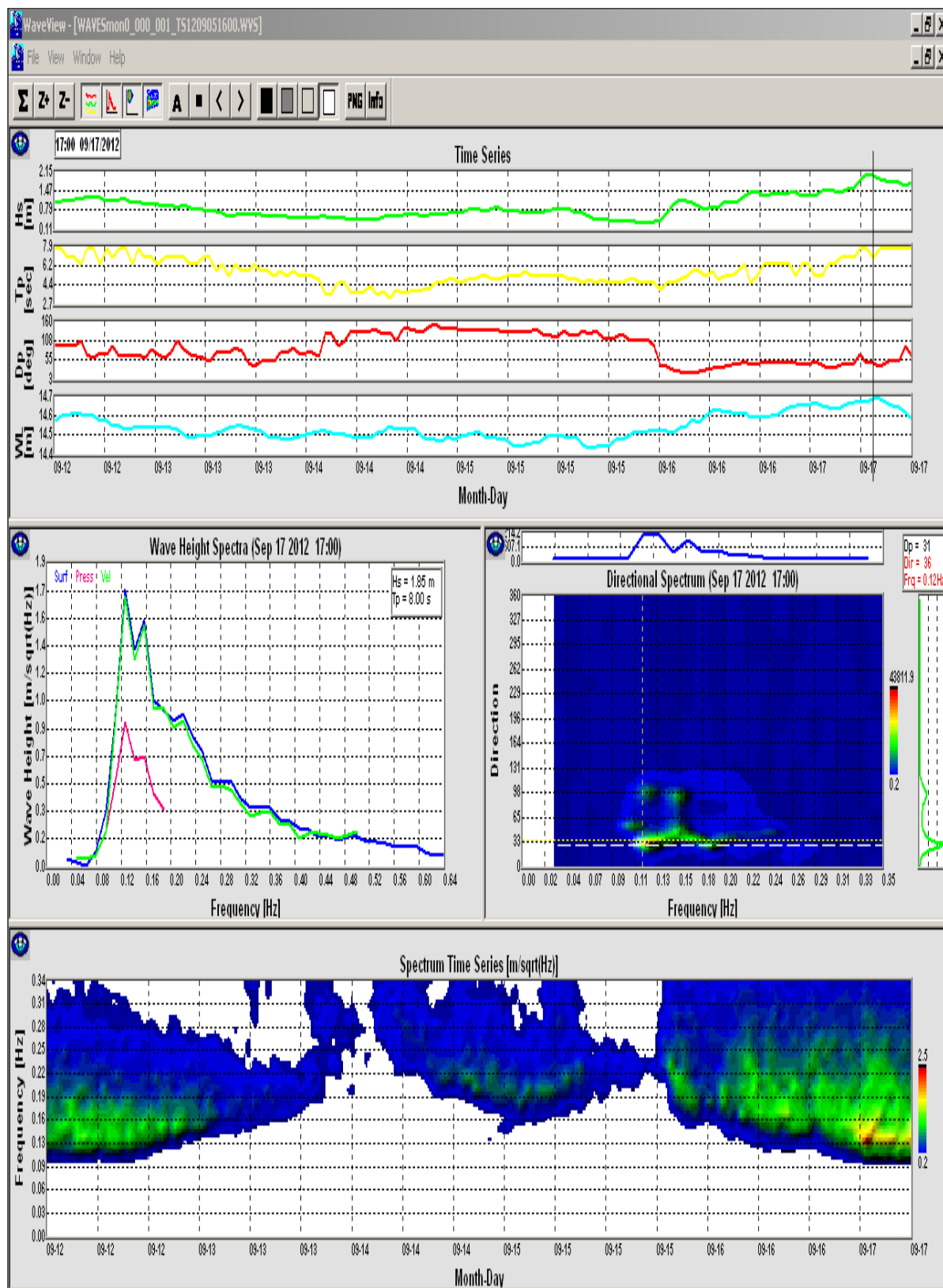


Fig. 8.7

Parametri de val înregistrați în perioada 12 - 17.09.2012
 Spectrul de înălțime al valorilor în ziua de 17 septembrie și Serii de timp spectrale

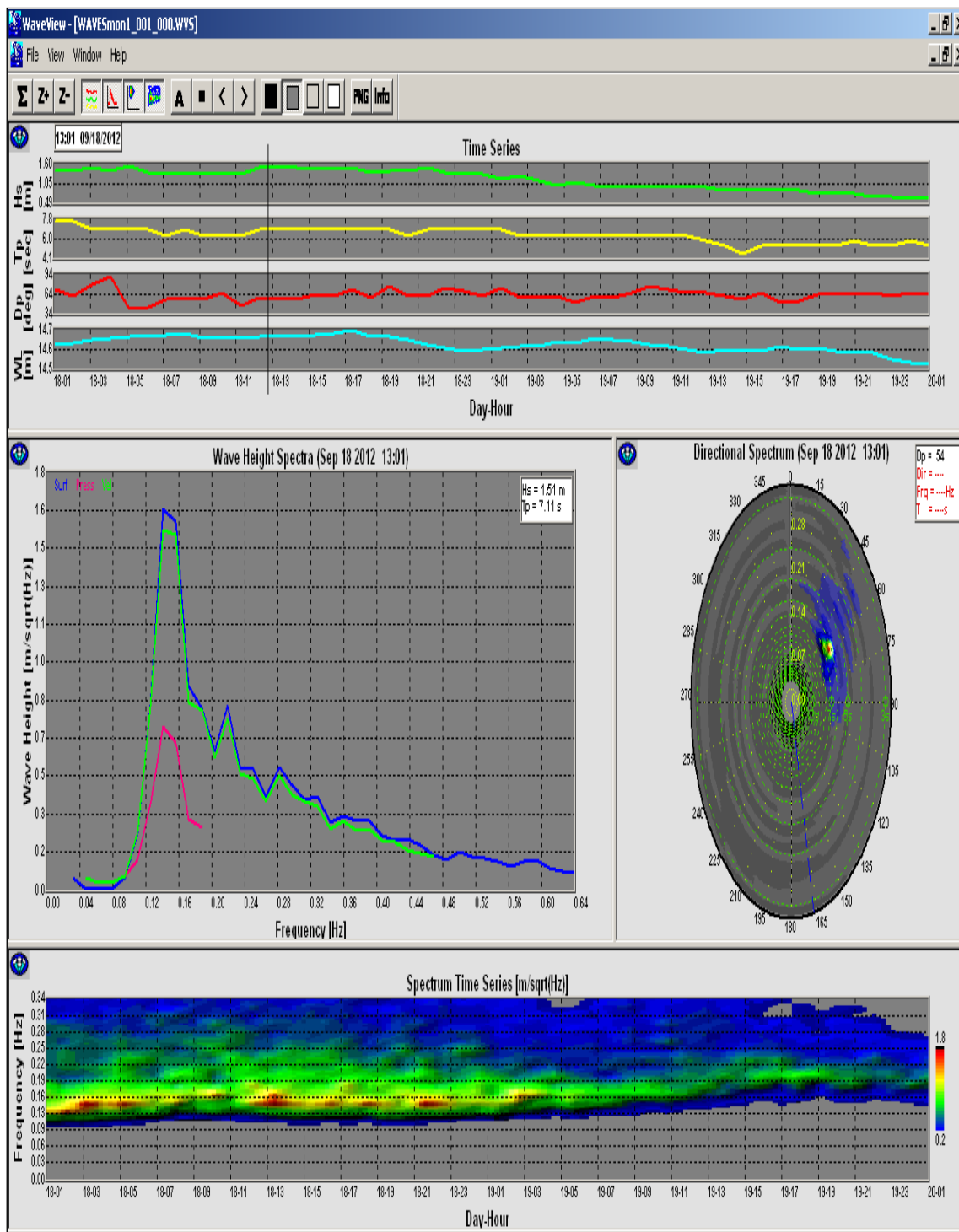


Fig. 8.8

Parametri de val înregistrați în ziua de maxim a furtunii din 17.09.2012 Spectrul de înălțime al valurilor și spectrul direcțional (NE) în ziua de 17 septembrie și Serii de timp spectrale

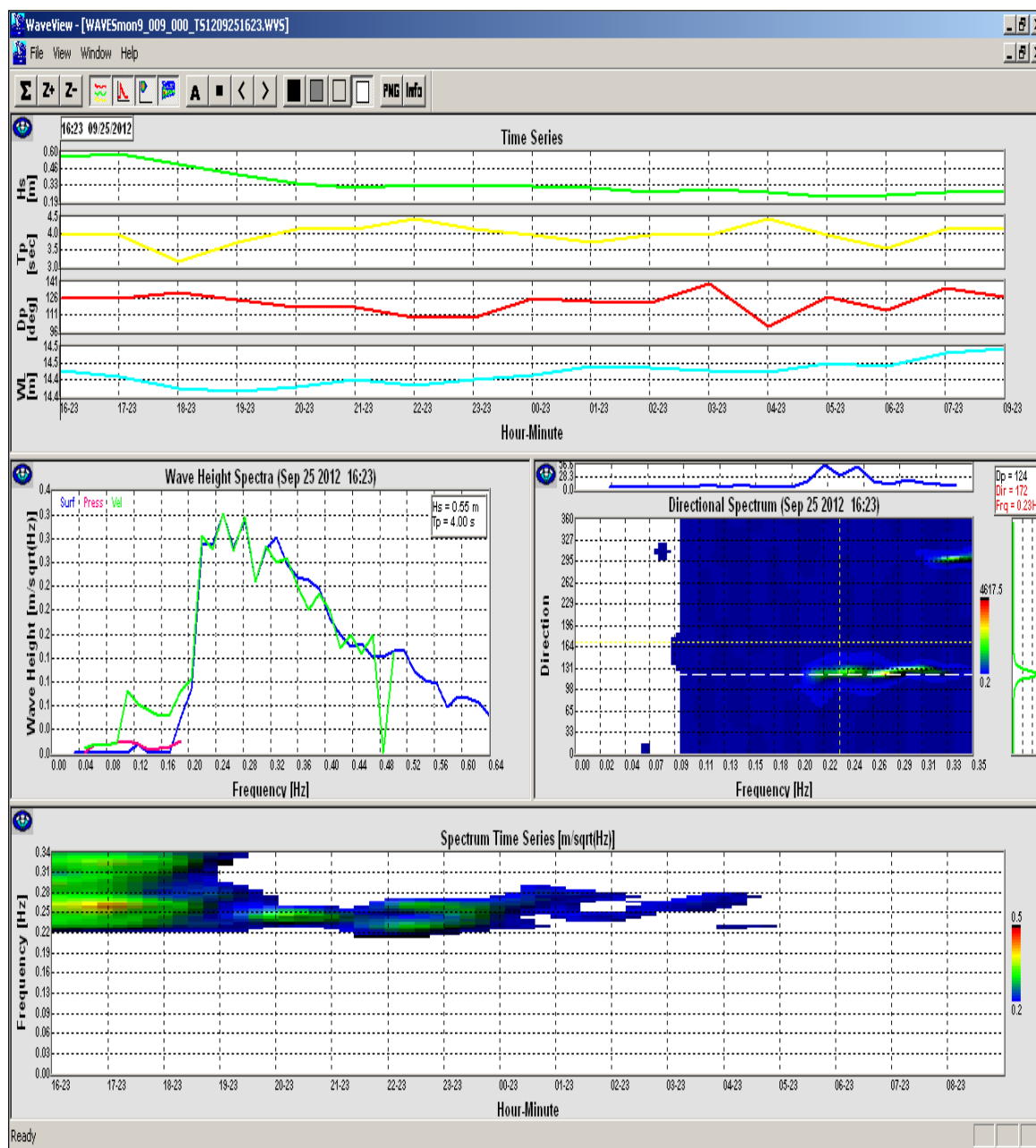


Fig. 8.9

Parametri de val înregistrați în ziua de 25.09.2012
 Spectrul de înălțime al valorilor în ziua de 25 septembrie și Serii de timp spectrale

8.4 DISCUTII ASUPRA REZULTATELOR EXPERIMENTALE

Particularitățile climatice ale zonei marine românești, determinate de poziția geografică și de configurația reliefului, sunt specifice zonei temperat-continentale. Ele sunt caracterizate de un puternic ciclu anual, peste care se suprapun variații de scară medie și mică.

În zona litoralului Mării Negre, regimul climatic este afectat considerabil de influența exercitată de acest acvatoriu atât sub aspect termic, cât și dinamic, prin modificarea bilanțului termic și schimbarea rugozității suprafeței subdiacente. În aceste condiții, există o variabilitate

considerabilă a regimului circulației atmosferice, vânturile înregistrate având un grad ridicat de instabilitate, atât ca direcție, cât și ca viteză, neexistând vânturi regulate. Vitezele sunt, în general, slabe și moderate, iar furtunile sunt destul de rare.

Astfel, regimul vânturilor deasupra Mării Negre este foarte variabil. De aceea, câmpul valurilor generate de vânt, în special în zona de tărâm, depinde puternic de particularitățile locale (direcția, durata și intensitatea vânturilor).

Caracterul stării de agitație a mării într-o regiune dată este determinat nu numai de regimul vânturilor, ci și de structura batimetrică a zonei (topografia fundului mării) și de configurația și orientarea liniei țărmului (în funcție de care se stabilește distanța de acțiune a vântului - 'fetch'). Într-un punct dat, și mai ales în vecinătatea porturilor maritime, acești factori duc la apariția unor câmpuri de valuri cu diferite valori ale parametrilor caracteristici observabili: înălțime, perioadă, lungime, determinanți pentru desfășurarea operațiunilor portuare.

Astfel, a fost surprinsă o situație de furtună când înălțimea maximă a valului a atins 1.85m, valoare medie ce se situează spre limita inferioară a domeniului de înălțime. Dar situația înregistrată în luna septembrie a surprins o instabilitate barică aparte specifică tranziției spre regimul de agitație marină al sezonului rece, când valoarea maximă a înălțimii este de cca. 4.0m, iar cea medie este de 0.5m, mai mult ca dublu față de celelalte luni. În această lună, frecvența situațiilor cu mare calmă este de numai 52%, față de o medie multianuală de 62%.

Datele înregistrate au permis validarea rezultatelor obținute pe model, iar diferențele între valorile măsurate și cele calculate se încadrează într-un domeniu acceptabil de precizie.

8.5 SITUAȚII DEOSEBITE ÎNREGISTRATE ÎN EXPERIMENT

Pentru cazul valurilor din direcția SE, s-a observat interferența valurilor reflectate datorită dispunerii ADCP-ului față de Portul Mangalia.

Astfel s-au înregistrat valurile reflectate de digurile portului în zilele în care vântul a suflat din SE, observându-se în cazul spectrului direcțional cele două trenuri de valuri, valul incident din direcția SE precum și valul reflectat de digurile de incință.

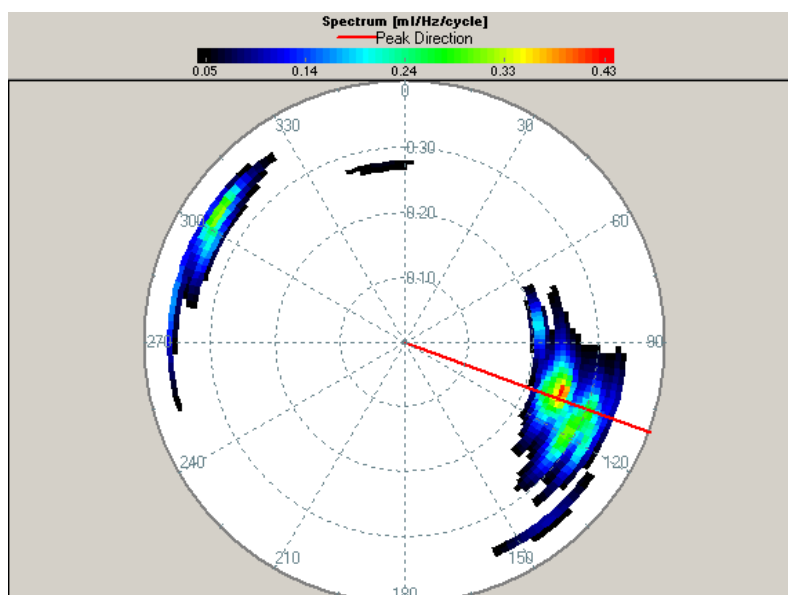


Fig.8.10

Eveniment înregistrat la 06.09.2012

De asemenea, pentru situația valurilor de hula s-au înregistrat chiar compunerea și chiar intensificarea amplitudinii valurilor din direcția ESE.

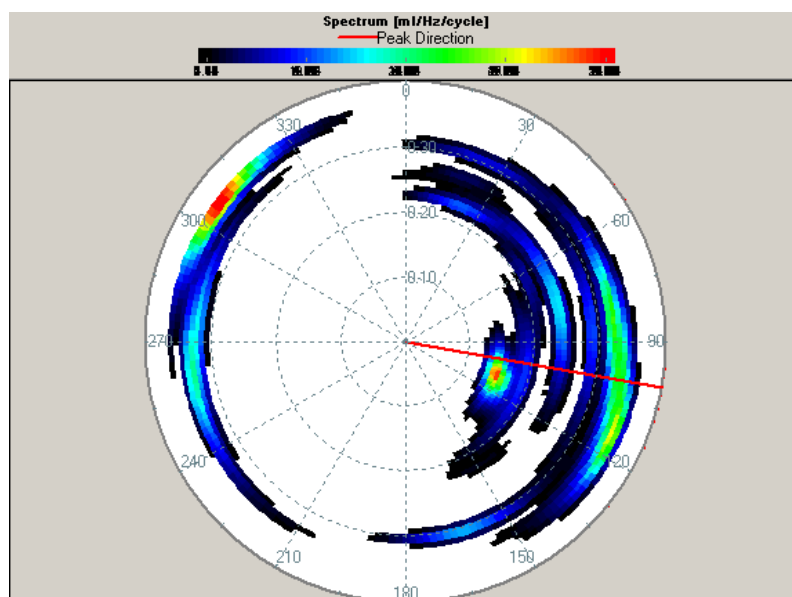


Fig.8.11

Eveniment înregistrat în 09.09.2012, ora 1:00am

În cazul înregistrării a două trenuri de valuri incidente din direcții diferite și compunerea valurilor de vânt cu valurile de hula, aparatul a înregistrat corect, observându-se în roz pe spectrul direcțional pe direcția NE și respectiv SE și respectiv, instalarea unui regim de val de vânt după unul de hula (fig.8.11).

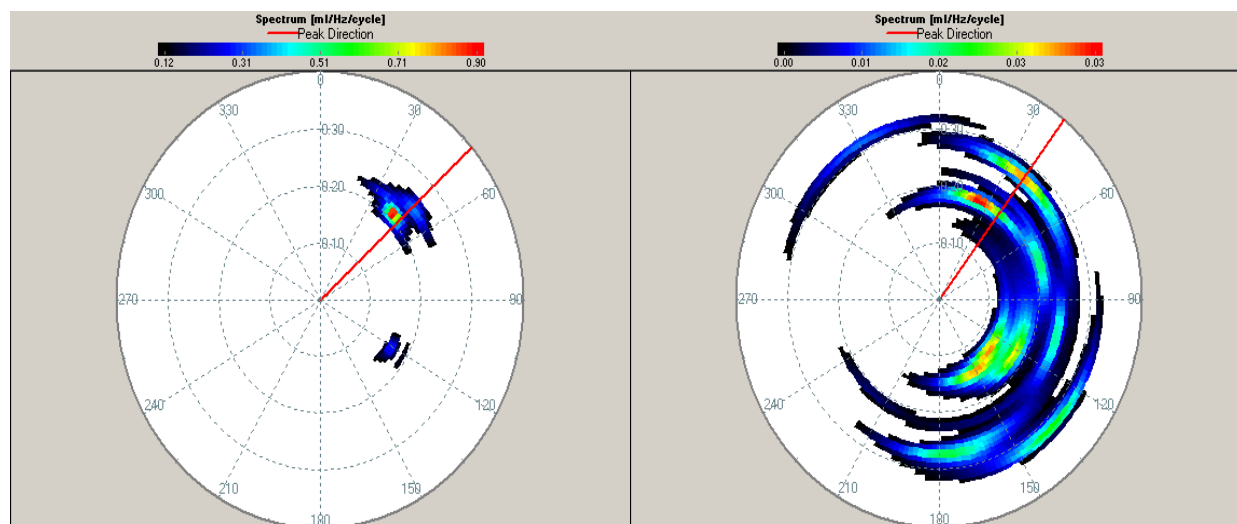


Fig.8.12

Eveniment înregistrat la 20.09.2012, ora 8:00pm și 23.09.2012 ora 5:45am

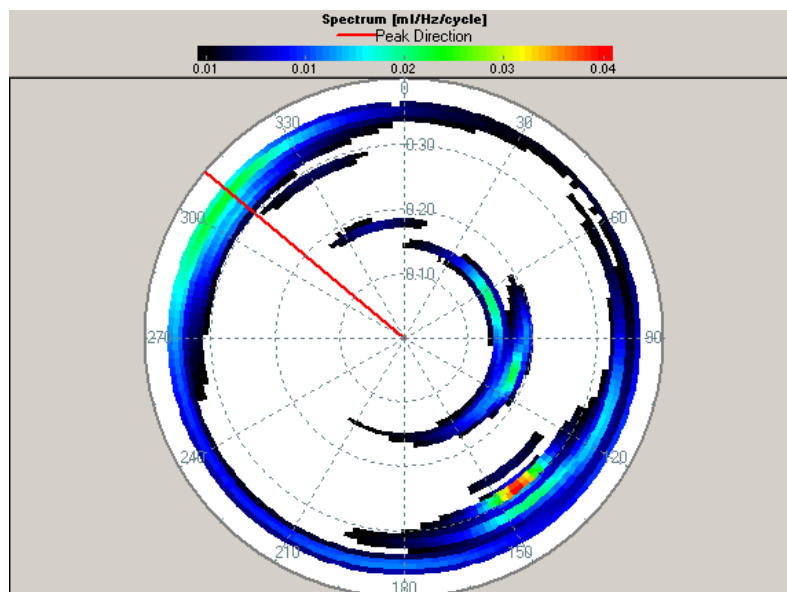


Fig.8.13

Eveniment înregistrat la 24.09.2012, ora 3:45am

Pentru înregistrarea curenților, se pot observa în stratul de suprafață viteze de peste 50 cm/s, precum și scderea lor graduală pe adâncime.

Având în vedere faptul că valurile reprezintă oscilații ale maselor de apă până la adâncimi considerabile, cu componente transversale și longitudinale, măsurătorile elementelor valurilor atât din componența transversală (direcția și viteza de propagare a valului, lungimea de undă) cât și din cea longitudinală (perioadă, înălțimea valului), sunt deosebit de importante, atât pentru proiectarea navelor, cât și a construcțiilor portuare.

Prin utilizarea ADCP-ului RDI teledine s-au mai măsurat și alte elemente specifice, cum ar fi viteza particulei elementare în val, lungimea valului, iar elementele care însoțesc acest fenomen sunt parametrii descriptivi ai vântului care au fost preluați de pe site-urile meteorologice europene.

Măsurătorile s-au executat cu metode ADCP, 20 de minute continuu, la 40 de minute, însumând astfel peste 480 de înregistrări, pentru o dispunere a ADCP-ului la distanța de țarm de cca. 1.5km. Măsurătorile, deci au fost orare și se referă la parametrii descriptivi ai elementelor dinamice: viteze, perioade, amplitudini.

Posibilitățile tehnice ale aparatului, a permis măsurarea înălțimii valurilor cu o eroare de $\pm 0.1\%$, iar a direcțiilor de $\pm 5\%$ din valorile măsurate.

Între elementele valurilor care interesează în producerea de energie regenerabilă, interesează oscilațiile suprafeței pe axa Oz. Aceste oscilații sunt caracterizate de amplitudini, frecvențe, perioade și valori extreme pentru că în funcție de aceste valori sunt proiectate instalațiile de captare a energiei valurilor.

Din alt punct de vedere, pentru estimarea bilanțului energetic al valurilor într-o anumită zonă (litoralul românesc), elementele valurilor trebuie măsurate cu densitate spațială și temporală mare.

Pentru scopurile lucrării prezente, dispunerea unui ADCP în zona porturilor comerciale este suficientă, permițând evaluarea regilului de valuri, cartarea valurilor și curenților, precum și desfășurarea operațiunilor portuare în condiții de siguranță, în vecinătatea acestora.

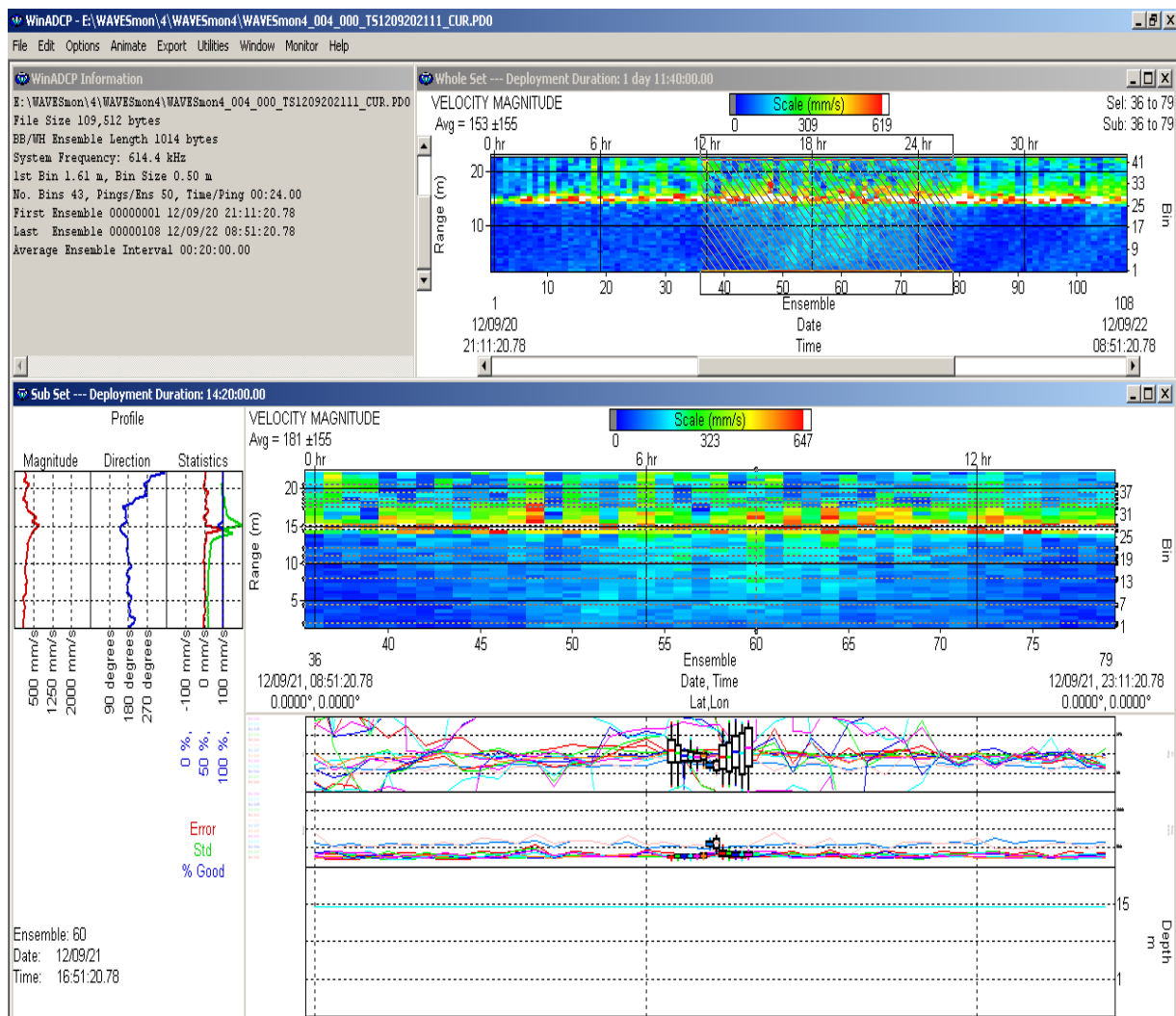


Fig.8.14

Înregistrare în noaptea de 20 spre 21 septembrie 2012

CAPITOLUL 9

CONSIDERAȚII FINALE

În final, Capitolul IX prezintă considerațiile finale care sunt structurate pe trei direcții: discuții asupra rezultatelor obținute, evidențierea elementelor de originalitate și direcțiile de urmat pentru cercetarea următoare. Sunt menționate și lucrările științifice realizate de doctorand în cursul elaborării tezei dintre care cele mai importante ar fi patru lucrări publicate (sau acceptate spre publicare) în jurnale cotate ISI, trei lucrări în *Journal of Environmental Protection and Ecology* și o altă lucrare în *Environmental Engineering and Management Journal*. De asemenea doctorandul a mai publicat o carte în editura AGIR și a participat cu prezentări la mai multe conferințe internaționale cum ar fi Conferința IMAM (International Maritime Association of the Mediterranean) 2009, Istambul și conferințele B.EN.A (Balkan Environmental Association) 2011, Ioannina - Grecia și București.

9.1 DISCUȚII ASUPRA STUDIILOR TEZEI DE DOCTORAT

O primă concluzie care rezultă din studiile efectuate este că modelele numerice bazate pe conceptul de spectru de val pot furniza rezultate credibile în Marea Neagră, deși unele procese sunt sensibil diferite într-o astfel de mare închisă față de procesele corespondente din ocean. Comparațiile cu Marea Caspică au arătat o similitudine pronunțată între cele două mări atât sub aspectul caracteristicilor valurilor cât și al parametrizărilor considerate pentru modelarea principalelor procese fizice.

Modelele SWAN și STWAVE pot furniza rezultate credibile privind propagarea valurilor în zonele costiere, cu observația că modelul SWAN este mai complex și necesită o cunoaștere mai amănunțită a proceselor asociate cu transformarea valurilor pentru a se putea face o bună implementarea a acestuia, în timp ce modelul STWAVE este un model mai simplu și mai robust care prezintă avantajul că nu introduce efecte pe frontierele laterale. Aceasta spre deosebire de modelul SWAN la care problema frontierelor laterale poate introduce distorsiuni în rezultate.

Deși a fost definit un spectru teoretic de echilibru al Mării Negre acesta reflectă realitatea doar într-o anumită măsură. În cadrul lucrării au fost evidențiate patru categorii de spectre care au fost întâlnite cu o incidență mai mare:

- I) spectre împrăștiate;
- II) spectre de tip multi-peak;
- III) spectre cu coadă în spațiul direcțional și
- IV) spectre ale mării complet dezvoltate (acestea din urmă sunt asemănătoare cu spectrele teoretice).

9.2 CONTRIBUȚII PROPRII ȘI ELEMENTE DE ORIGINALITATE

Contribuțiile proprii evidențiate în cadrul prezentei teze de doctorat pot fi grupate în trei categorii distincte după cum urmează:

- a) Procesarea și analiza datelor provenite de la măsurători 'in situ', date de satelit, date de la modele atmosferice și participarea la experimente în apropierea zonelor portuare;

- b) Sintetizarea și structurarea rezultatelor teoretice cele mai importante relaționate cu modelarea spectrală a valurilor marine;
- c) Modelarea numerică a valurilor în bazinul Mării Negre utilizând un sistem de predicție bazat pe modele numerice spectrale în medie de fază.

Prima direcție relaționată cu contribuțiile proprii se referă deci la procesarea și analiza datelor provenite de la diverse surse.

Principalele subdirecții relaționate cu aspectele mai sus menționate care reflectă contribuția originală a doctorandului sunt:

- a1) Procesarea și analiza statistică a datelor de satelit (pentru valuri și vânt) pe o perioadă de doi ani (2010-2011);
- a2) Procesarea și analiza statistică a datelor Era-Interim (pentru vânt) pe o perioadă de nouă ani (2001-2009);
- a3) Participarea la o campanie recentă de măsurători în apropierea portului Mangalia (în anul 2012) și analiza rezultatelor obținute prin compararea cu rezultatele furnizate de modelele numerice.

Cea de-a doua direcție se referă la preluarea selectivă și sintetizarea principalelor aspecte teoretice relaționate cu modelul spectral al valului marin avându-se în vedere și perspectiva istorică a dezvoltării modelelor spectrale din ultimile decade. Cele mai importante subdirecții din această categorie ar fi următoarele:

- b1) Descrierea mecanismelor de transfer a energiei de la vânt la valuri;
- b2) Deducerea ecuației de propagare a valurilor în formă spectrală (ecuația Hasselmann) și descrierea termenilor sursă asociați cu principalele procese fizice;
- b3) Analiza creșterilor valurilor limitate în timp și spațiu;
- b4) Analiza efectelor câmpurilor de vânt nestaționare asupra valurilor și a furtunilor puternice de tip uragan;
- b5) Clasificarea modelelor pentru valuri din diverse perspective (istorică, a ariei de aplicabilitate și conceptuală).

În ceea ce privește cea de treia și ultima categorie, aceasta reprezintă partea cea mai importantă a contribuțiilor personale întrucât se referă la aspectele de modelare numerică și prezintă cel mai semnificativ caracter de originalitate al lucrării de doctorat.

Cele mai importante direcții originale care se pot evidenția relativ la această parte de modelare sunt:

- c1) Analiza influenței condițiilor de frontieră în cazul modelelor spectrale și comparații între modelele SWAN și STWAVE;
- c2) Evaluarea influenței vântului în modelarea climatului de valuri din Marea Neagră;
- c3) Analize în spațiul geografic al Mării Negre privind distribuția principalilor parametrii de val;
- c4) Analize în spațiul spectral și definirea celor mai importante caracteristici ale formelor spectrale în zona de vest a Mării Negre;
- c5) Implementarea sistemului de predicție a valurilor bazat pe modele numerice spectrale în bazinul Mării Caspice și analiza condițiilor de val caracteristice pentru această mare;

- c6) Comparații între parametrizările fizice utilizate în sistemele de modelare implementate în mările Neagră și Caspică în paralel cu analiza comparativă a condițiilor de val din cele două mări.
- c7) Focalizarea sistemului de predicție bazat pe modele numerice spectrale către porturile românești la Marea Neagră;
- c8) Simulări de înaltă rezoluție în paralel cu modelele SWAN și STWAVE în apropierea zonelor portuare Mangalia și Midia-Năvodari.

La finalul acestei secțiuni ar trebui menționat și faptul că cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat au fost prezentate în diverse lucrări științifice. Poate cele mai importante ar fi patru lucrări publicate (sau acceptate spre publicare) în jurnale cotate ISI, dintre care trei lucrări în *Journal of Environmental Protection and Ecology* (Butunoiu și Rusu, 2012a și b și Butunoiu și alții, 2012) și o altă lucrare publicată în *Environmental Engineering and Management Journal* (Rusu și Butunoiu, 2012). De asemenea a mai fost publicată și o monografie în editura AGIR intitulată *Modelarea valurilor în zonele costiere cu aplicații la litoralul Românesc* (Rusu și Butunoiu, 2011c).

Astfel doctorandul a participat cu prezentări la mai multe conferințe internaționale de mare prestigiu cum ar fi Conferința IMAM (International Maritime Association of the Mediterranean) 2009, Istanbul (Rusu și Butunoiu, 2009) și conferințele BENA (Balkan Environmental Association) 2011, Ioannina, Grecia și București (Butunoiu și Rusu 2011a și b și Rusu și Butunoiu 2011a și b), dar și la mai multe conferințe și workshopuri internaționale și naționale care au avut loc în țara noastră.

Ar mai trebui menționat de asemenea în finalul acestei secțiuni și că prezenta lucrare de doctorat a fost realizată în cadrul proiectului: *Sistem de Management al Burselor Acordate Doctoranzilor – SIMBAD* (POSDRU – 6/1.5/S/15/6583).

9.3 DIRECȚII PENTRU CERCETAREA VIITOARE

Această teză de doctorat prezintă efortul depus de doctorand privind dezvoltarea unui sistem de analiză și predicție a condițiilor de val din apropierea zonelor portuare românești de la Marea Neagră. Aceste zone sunt supuse unui trafic naval intens și implicit prezintă un risc ridicat din punct de vedere al accidentelor navale. Din această perspectivă, cunoașterea condițiilor de val din apropierea zonelor portuare prezintă o importanță deosebită.

Rezultatele acestei teze de doctorat au demonstrat și faptul că modelele numerice spectrale în medie fază reprezintă instrumente eficiente pentru o bună evaluare a condițiilor de val în zonele costiere, în general și în apropierea porturilor maritime importante, în special.

Probabil cea mai importantă direcție considerată pentru cercetarea viitoare se referă la implementarea unui sistem de predicție a condițiilor de val bazat pe modele numerice spectrale care să furnizeze rezultate în timp real pentru zonele costiere românești și mai ales pentru ariile din apropierea porturilor (previziuni de tip *forecast*).

O altă direcție deosebit de importantă deschisă pentru viitoarele cercetări din acest domeniu o reprezintă asimilarea de date. În acest fel, prin asimilarea observațiilor de val provenite de la sateliți sau balize calitatea previziunilor modelelor numerice este îmbunătățită semnificativ. În acest moment asimilarea de date nu este atât de avansată în comparație cu ceea ce s-a făcut privind modelele numerice pentru predicția atmosferică. Datorită numărului limitat de măsurători 'in situ', asimilarea acestor tip de date putea avea un impact pozitiv doar la nivel local. Contribuția pozitivă a altimetrelor pentru măsurarea principalilor caracteristici statistice ale valurilor a fost stabilită în mod cât se poate de clar și cele mai multe centre de predicție care operează modele globale pentru valuri utilizează în prezent date de altimetru atât pentru validare cât și pentru asimilarea de date. De altfel și în prezenta teză de doctorat au

fost utilizate date de altimetru atât la capitolul care se referea la analiza matricii de mediu (Capitolul 2) cât și la analiza influenței rezoluției câmpurilor de vânt (Capitolul 7).

Metodele avansate bazate pe scheme variaționale pot lua de asemenea în calcul istoria observațiilor sub constrângerea dinamicii modelului de val. Totuși cerințele de calcul destul de mari impuse de aceste metode au încetinit cumva viteza dezvoltării lor în previziunile de valuri.

Asimilarea datelor de valuri se referă în principal la înălțimea semnificativă, această dată fiind disponibilă prin măsurătorile de satelit. Deci implementarea unei metode secvențiale pentru asimilarea datelor de val furnizate de sistemul de predicție dezvoltat în prezenta teză de doctorat reprezintă o direcție interesantă care ar permite o îmbunătățire substanțială a predicțiilor de val din apropierea zonelor portuare cu atât mai mult cu cât până în prezent în Marea Neagra astfel de sisteme nu au fost încă considerate.

O altă direcție de continuare a cercetării se referă la interacțiunea dintre valuri și curenți. Este de fapt o situație foarte comună ca fluidul peste care se propagă valurile să se deplaseze și ca valurile să fie modificate de către curenți. Interacțiunea dintre valuri și curenți este un proces fizic semnificativ în multe arii marine și are o importanță mărită în zonele costiere. Un alt model semnificativ care ar putea fi luat în considerare este MOHID, Santos (1995). Prin cuplarea modelului de valuri cu modelul de curenți și utilizarea acestora într-un mod iterativ ar putea fi surprinse efectele dintre interacțiunile celor două câmpuri ceea ce ar conduce în mod evident la o îmbunătățire a predicției valurilor și curenților în apropierea zonelor portuare și deci ar contribui la creșterea siguranței navigației.

O ultima direcție avută în vedere se referă la utilizarea modelelor care rezolvă faza (sau modele bazate pe conceptul de moment) pentru a estima propagarea valurilor în zonele portuare. Deci modelele spectrale pot furniza informații credibile până în apropierea zonelor portuare dar pentru a estima propagarea valurilor în zonele portuare ele nu au mecanismele (și nici rezoluția) care să poată reprezenta corect procesele din aceste zone și deci este necesară cuplarea acestora cu modele în medie de fază. Este evident că și aceasta reprezintă o direcție firească de continuare a cercetărilor din prezenta teză de doctorat.

În final ar trebui spus ca au fost enumerate doar câteva direcții considerate de doctorand mai importante pentru continuarea în viitorul apropiat a cercetărilor efectuate în cadrul prezentei teze de doctorat, dar în mod evident și alte direcții de cercetare se pot contura în viitor.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Alkyon and Delft Hydraulics, 2002. SWAN fysica plus, report H3937/A832 (by order of RIKZ/RWS as a part of the project HR-Ontwikkeling);
2. Ardhuin, F., Bertotti, L., Bidlot, J.R., Cavaleri, L., Filipetto, V., Lefevre, J.M., Wittmanne, P., 2007. Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Mediterranean Sea, *Ocean Engineering* 34, 526-541;
3. Bauer, E., Hasselmann, S., Hasselmann, K., 1992. Validation and assimilation of Seasat altimeter wave heights using the WAM wave model, *Jour.Geoph. Res.* 97, 12671-12682;
4. Beersma, J., Rider, K., Komen, G., Kaas, E., Kharin, V., 1997. An analysis of extratropical storms in the North Atlantic region as simulated in a control and a 2 x CO2 time-slice experiment with a high resolution atmospheric model, *Tellus* 49A, 347 – 361;
5. Bertotti L., Cavaleri L., 2009. Wind and wave predictions in the Adriatic Sea, *Journal of Marine Systems*, 78, S227-S234;
6. Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H., 1999. *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*, J. Geoph. Research C4, 104, p.7649-7666;
7. Bretschneider, C.L., 1952. Revised wave forecasting relationships, *Proc. 2nd Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, Council on Wave Research;
8. Butunoiu, D., Rusu, L. 2011a. Influence of the wind resolution in modeling the extreme wave conditions in the Black Sea. *International Environmental Conference - Sustainable Development in Coastal Areas*, 29 June – 1 July, Ioannina, Greece;
9. Butunoiu, D., Rusu, L. 2011b. Analysis of the impact of the input wind field in modeling waves in the Black sea, lucrare prezentată la *International Environmental Conference "Environmental Capacity Building*, 11th-13th november 2011, Bucharest, Romania;
10. Butunoiu, D., Rusu, E. 2012a. Sensitivity tests with two coastal models, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, in press. acceptata Mai 2012;
11. Butunoiu, D., Rusu, E., 2012b: A Matlab interface associated with modeling surface waves in the nearshore, Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Special Issue, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, in press;
12. Butunoiu, D., Onea, F., Rusu, E., 2012: Evaluation of the environmental conditions in the vicinity of the Romanian ports of the Black Sea, Special Issue, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, in press;
13. Cavaleri, L., V. Cardone, 1994. Surface wind fields. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, G. J. Komen et al., Eds., Cambridge University Press, 268–282;
14. Coles, S.G., 1993. Regional Modeling of extreme storms via max-stable processes, *Journal of the Royal Statistical Society Series B-methodological* , 55: (4) 797- 816;
15. Collins, J.I., 1972. *Prediction of shallow water spectra*, J. Geophys. Res., 77, No. 15, 2693-2707;
16. Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., et al., (2011), The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553–597;
17. Delft3D, 2004: Delft Hydraulics, Internet site address <http://www.wldelft.nl>;

18. Demirbilek, Z., Panchang, V., 1998. CGWAVE: A coastal surface water wave model of the mild slope equation, Technical Report CHL-98-26, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS;
19. Donelan, M., Skafel, M., Graber, H., Liu, P., Schwab, D., Venkatesh, S., 1992. *On the growth rate of wind-generated waves*. *Atmos.-Ocean* 30, 457-478;
20. Dykes J. D., Wanga D. W., Booka J. W., (2009), An evaluation of a high-resolution operational wave forecasting system in the Adriatic Sea, *Journal of Marine Systems*, 78, S255-S271;
21. Eldeberky, Y., 1996. *Nonlinear transformation of wave spectra in the nearshore zone*, Ph.D. thesis, Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, The Netherlands;
22. Eldeberky, Y., Battjes, J.A., 1995. Parameterization of triad interactions in wave energy models. *Proc. Coastal Dynamics Conf. '95*, Gdansk, Poland, 140-148;
23. Guedes Soares, C., 1991. On the occurrence of double peaked wave spectra. *Ocean Engineering* 18 (1/2), 167-171;
24. Guedes Soares, C., and Henriques, A.C., 1996. Statistical uncertainty in long-term distributions of significant wave height, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 118, p. 284-291;
25. Guedes Soares, C., de Pablo, H., 2006. Experimental study of the transformation of wave spectra by a uniform current. *Ocean Engineering*, 33, 293-310;
26. Hashimoto, N., H. Tsuruya and Y. Nakagawa, 1998. *Numerical computations of the nonlinear energy transfer of gravity-wave spectra in finite water depths*, *Coastal Engng. J.*, 40, p.23-40;
27. Hashimoto, N., IJ.G. Haagsma and L.H. Holthuijsen, 2002. *Four-wave interactions in SWAN*, Proc. 28th Int. Conf. Coastal Engng., ASCE, Cardiff, p. 392-404;
28. Hasselmann, S., Hasselmann, K., 1985. Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part 1: A new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral, *J.Phys. Oceanogr.* 15, 1369-1377;
29. Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell W., and Walden, H., 1973. *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*, *Deutsches Hydrogr. Z.*, A12: p.1-95;
30. Holland, G. J., 1988. *An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes*, *Mon. Wea. Rev.*, 108, p.1212-1218;
31. Holthuijsen, L.H., 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press, Cambridge;
32. I.N.C.D.M., 1994. *Studiul regimului de vânturi și valuri al litoralului românesc*, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Marină Grigore Antipa, Constanța;
33. Janssen, P. A. E. M., 1989. *Wave-induced stress and the drag of air flow over sea waves*. *J. Phys. Oceanogr.*, 19, 745–754;
34. Janssen, P. A. E. M., 1991. *Quasi-linear theory of wind–wave generation applied to wave forecasting*. *J. Phys. Oceanogr.*, 21, 1631–1642;
35. Jiménez, J. A., Ciavola, P., Balouin, Y., Armaroli, C., Bosom, E., and Gervais, M., 2009. *Geomorphic coastal vulnerability to storms in microtidal fetch-limited environments: Application to NW Mediterranean & N Adriatic Seas*, *J. Coast. Res.*, SI 56, 1641– 1645;
36. Janowiak, J., Mo, K., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D., 1996. The NCEP/NCAR reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 77 (3), 437–471;

37. Kelly, K.A., S. Dickinson and Z.J. Yu, 1999. *NSCAT tropical wind stress maps: Implications for improving ocean modeling*, J. Geophys. Res., 104, 11, 291-11, 310;
38. Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., 1994. Combined Refraction/Diffraction Model - REF/DIF version 2.5. Documentation and User's Manual, Centre for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 CACR Report No. 94-22, 171pp;
39. Kirby, J. T., and Ozkan, H.T., 1994: Combined Refraction/Diffraction Model for Spectral Wave Conditions - REF/DIF_S version 1.1, Documentation and User's Manual, Centre for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 CACR Report No. 94-04, 129pp;
40. Komen, G.J., L.Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, P.A.E.M. Janssen, 1994. *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 560 p;
41. Kosarev, A. N., and Yablonskaya, E. A., 1994: The Caspian Sea, SPB Academic Publishing Hague, the Netherlands;
42. Leake, J., J. Wolf, J.A. Lowe, P.K. Stansby, G. Jacoub, R. Nicholls, M. Mokrech, S. Nicholson-Cole, M.J.A. Walkden, A. Watkinson and S. Hanson. 2007. *Integrated modeling for coastal impacts*, Proceedings of 10th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling, Newport. ASCE, NewYork;
43. Leenknecht, D. A., Szuwalski, A., and Sherlock, A. R. 1992. *Automated Coastal Engineering System*; User Guide and Technical Reference, Version 1.07, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS;
44. Lionello, P., Günther, H., Janssen, P.A.E.M., 1992: Assimilation of altimeter data in a global third-generation wave model, *Journal of Geophysical Research*, 97, 14453-14474;
45. Lopatoukhin, L.J., Boukhanovsky, A.V., Rozhkov, V.A., Divinsky, B.V., 1999: Climatic wave spectra of the Black Sea, Proc. Int. MEDCOAST Conf. Wind and wave climate of the Mediterranean and the Black sea, Antalya, Turkey, 97-109;
46. Nwogu, O. G., and Demirbilek, Z., 2001: BOUSS-2D: A Boussinesq wave model for coastal regions and harbors, ERDC/CHL TR-01-25, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS;
47. Madsen, P.A., and O.R. Sørensen, 1993. *Bound waves and triad interactions in shallow water*, Ocean Engineering, 20, 4, p.359-388;
48. Madsen, O. S., Y.-K. Poon, and H. C. Graber. 1988. *Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory*. Proc. 21st Coastal Engineering Conf., ASCE;
49. Massel, S.R., 1996. *Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction*, World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 11;
50. Matulea, I., Slamnoiu, G., Popa, V., Rusu, L., Nastase, I., Oancea, G., 2007. *Spectral and Probabilistic Models in Marine Technology*, Publishing House of Dunărea de Jos University of Galati, 248p, (in Romanian);
51. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W., (2004), *The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance*, Proc. 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, Reading U.K. 25-29 October, Ed. George Mozdzyński;
52. Moriassi D. N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L., (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, 885-900;
53. Morton, R. A., 2002. *Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beaches: A preliminary basis for near real-time forecasting*, J. Coastal Res., 18(3), 486–501;
54. Nelson, R.C., 1994. Depth limited design wave heights in very flat regions. *Coastal Engineering*, 23, 43-59;

55. Nelson, R.C., 1997. Height limits in top down and bottom up wave environments, *Coastal Engineering*, 32, 247-254;
56. Ozhan E., Abdalla S., Yilmaz N., (2004), *Long-Term and Extreme Wave Climate of the Black Sea*, Proc. 29th International Conference on Coastal Engineering, 19–24 September, Lisbon, Portugal, Vol. 1, 701-713;
57. Ponce de León S., GuedesSoares C., (2008), Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean sea, *Coastal Engineering*, 55, 920–929;
58. Queffeu lou P., (2004), Long term validation of wave height measurements from altimeters, *Marine Geodesy*, 27, 495-510;
59. Rebaudengo Landò, L., Scarsi, G., Taramasso, A.C., 1992. *The Transfer of the Donelan et al. Spectrum on Shoaling Water*, Computer Modelling of Seas on Coastal Regions, Southampton, U.K., p. 33-46;
60. Resio, D.T., J.H. Pihl, B.A. Tracy and C.L. Vincent, 2001. *Nonlinear energy fluxes and the finite depth equilibrium range wave spectra*, J. Geophys. Res., 106, C4, p. 6985-7000;
61. Robertson, I., 2004. Calculating Percentiles, Standford University;
62. Rodriguez, G.R., Guedes Soares, C., 1998. *Uncertainty in the estimation of the slope of the high frequency tail of wave spectra*. Applied Ocean Research 21, 207-213;
63. Rogers, W.E., Kaihatu, J.M., Petit, H.A.H., Booij, N., Holthuijsen, L.H., 2002. *Diffusion reduction in a arbitrary scale third generation wind wave model*. Ocean Eng., 29(11), 1357-1390;
64. Rusu, E.. 2009. Wave energy assessments in the Black Sea. Journal of Marine Science and Technology 2009; 14: 359-372;
65. Rusu, E. 2010b. Modelling of wave-current interactions at the mouths of the Danube. Journal of Marine Science and Technology, 15(2):143-159;
66. Rusu, E., Macuta S., (2009), Numerical modelling of longshore currents in marine environment, *Environmental Engineering and Management Journal*, 8, 147-151;
67. Rusu, E. and Butunoiu, D. (2009) Wave modeling in the proximity of Constanta harbour, Proceedings of the 13th International Congress of Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources - IMAM2009, Istanbul, Turkey, Vol. 2, 633-640;
68. Rusu, E., Butunoiu, D. 2011a. Parallel evaluation of the wave energy in Black Sea, *International Environmental Conference - Sustainable Development in Coastal Areas*, 29 June – 1 July, Ioannina, Greece;
69. Rusu, E., Butunoiu, D. 2011b. *Assessment of the waves and wave-energy in the caspian and black seas*, lucrare prezentată la International Environmental Conference “Environmental Capacity Building”, 11th-13th November, Bucharest, Romania;
70. Rusu, E. and Butunoiu, D., 2011c. Wave Modeling in Coastal Zones with Application to the Romanian Nearshore, Publishing House of the Romanian Technical Academy and General Association of the Romanian Engineering - AGIR Ed., Bucharest, 325p (in Romanian);
71. Rusu, E., Rusu, L., Guedes Soares, C., 2006. *Assessing of Extreme Wave Conditions in the Black Sea with Numerical Models*, Proc. 9th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Victoria, Canada, September;
72. Rusu, E., Pilar, P and Guedes Soares C., 2008. *Evaluation of the Wave Conditions in Madeira Archipelago with Spectral Models*, Ocean Engineering, Volume 35, Issue 13, September 2008, p. 1357-1371;
73. Rusu, L., 2006. *Cercetări și contribuții privind modelele spectrale și Hamiltoniene aplicate în studiul dinamicii valurilor*, Teză de doctorat, Universitatea ‘Dunărea de Jos’ din Galați;

-
74. Rusu, L. 2010a. *Application of numerical models to evaluate oil spills propagation in the coastal environment of the Black Sea*. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management; 18 (4): 288-295;
75. Rusu, L, Ivan A. 2010. *Modelling Wind Waves in the Romanian Coastal Environment*. Environmental Engineering and Management Journal; 9(4): 547-552;
76. Santos, A. J., 1995: *Modelo Hidrodinâmico Tridimensional de Circulação Oceânica e Estuarina*. Ph. D, Thesis, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico;
77. Sanders, B. F., Katopodes, N. D., Boyd, J. P., 1998. *Spectral modeling of nonlinear dispersive waves*. J. Hydraul. Eng., 124, 2–12;
78. Seelig, W.N., 1979: *Effects of breakwaters on waves: laboratory tests of wave transmission by overtopping*, Proc. Conf. Coastal Structures, 79, 2, pp 941-961;
79. Selling W. N., Ahrens, J., 1981. *Estimation of wave reflection and energy dissipation coefficients for beaches, revetments and breakwaters*, USA Army Corps of Engrs, Coastal Eng. Res. Center, Fort Belvoir, Va ;
80. She, K., Greated, C.A., Easson, W.J., 1994. *Experimental-study of 3-dimensional wave breaking*, Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-ASCE,120, 20–36;
81. Shemdin, P., Hasselmann, K., Hsiao, S.V., and Herterich, K., 1978: *Non-linear and linear bottom interaction effects in shallow water*, in: *Turbulent Fluxes through the Sea Surface*, Wave Dynamics and Prediction, NATO Conf. Ser., Vol. 1, 347-372;
82. SMS, 2004 Environmental Modeling Systems, Inc., Internet site address <http://www.ems-i.com/>;
83. Signell R. P., Carniel S., Cavaleri L., Chiggiato J., Doyle J. D., Pullen J., Sclavo M., (2005), *Assessment of wind quality for oceanographic modeling in semi-enclosed basins*, Journal of Marine Systems, 53, 217-233;
84. Simmons, A., Uppala S., Dee D., Kobayashi S., (2006), *ERA-Interim: New ECMWF Reanalysis Products from 1989 onwards*, ECMWF Newsletter 110, 26–35;
85. SWAMP group, 1985. *Ocean wave modelling*, Plenum Press, New York and London;
86. Taylor, P.A., Lee, R.J., 1984, Simple guidelines for estimating wind speed variations due to small-scale topographic features, *Climatol. Bull.*, 18, 3-32;