



FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Proiect POSDRU/159/1.5/s/132397 – Excelență în cercetare prin burse doctorale și postdoctorale – ExcelDOC

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala Doctorală de Inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

IMPLEMENTAREA DE METODE DE ASIMILARE DE DATE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA PREDICȚIEI VALURILOR CU MODELE SPECTRALE ÎN BAZINUL MĂRII NEGRE

Doctorand,
Ing. RĂILEANU D. Alina Beatrice

Conducător științific:

Prof. Dr. Ing. **RUSU Eugen Victor Cristian**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

Președinte Comisie:

Prof. Dr. Ing. **MEREUȚĂ Elena**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

Referenți științifici:

Prof. Dr. Ing. **CONDURACHE Daniel**

Universitatea Tehnică „Gheorghe ASACHI” din Iași

Prof. Dr. Ing. **BUZBUCHI Nicolae**

Universitatea Maritimă din Constanta

Prof. Dr. Ing. **GEORGESCU Lucian**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

Seria I6: Inginerie Mecanică Nr. 34

GALAȚI

2016

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie-Engleză**

Seria U 2: **Filologie-Română**

Seria U 3: **Istorie**

CUVÂNT ÎNAINTE

Prezenta lucrare contribuie la înțelegerea sistematică și complexă a metodelor aplicate în asimilarea de date, cu aplicații la predicția climatului de val din bazinul Mării Negre. Procedura de asimilare a datelor utilizată are drept scop acela de a dezvolta și corecta rezultatele modelului numeric luând în calcul condiții inițiale mai precise, determinând astfel modelul de a avansa într-o direcție realistă. Teza reprezintă un pas înainte în dezvoltarea unui model operațional de val pentru bazinul Mării Negre, cercetările fiind focalizate pe zona de vest a mării și pe sectorul costier corespunzător litoralului Românesc

Îmi exprim profunda recunoștință față de conducătorul științific, domnul profesor Eugen RUSU, pentru încredere, pentru permanenta sa îndrumare și sprijinul constant acordat de-a lungul perioadei de pregătire a doctoratului și de elaborare a tezei. Doresc să vă mulțumesc în mod deosebit pentru gândul dumneavoastră transformat în faptă de a mă invita să fac parte dintre acei privilegiați care v-au avut conducător științific, pentru lungile discuții purtate, sfaturile acordate și mai ales pentru încrederea pe care mi-ați acordat-o pe toată perioada studiilor.

În egală măsură, doresc să îi mulțumesc doamnei profesor abilitat Liliana RUSU, cea care m-a introdus în lumea prelucrării datelor climaterice, acceptându-mă în echipa proiectului de cercetare coordonat de domnia sa, *Data Assimilation Methods for improving the WAVE predictions in the Romanian nearshore of the Black Sea - DAMWAVE (PN-II-IDPCE-2012-4-0089)*, <http://www.im.ugal.ro/DAMWAVE/index.htm>, cât și colegului asist. dr. ing. Florin ONEA.

În continuare, doresc să îmi exprim gratitudinea față de membrii comisiei de îndrumare a lucrării pentru sfaturile și sugestiile oferite. Sunt astfel adresate mulțumiri doamnei profesor Lorena DELEANU, domnului profesor Ștefan DRAGOMIR și doamnei conferențiar Nicoleta TALMACIU.

Mulțumirile autorului sunt adresate, de asemenea, colectivului Departamentului de Inginerie Mecanică, cât și colectivului Școlii doctorale pentru sprijinul acordat în timpul celor trei ani de Școală doctorală.

Echipei de management și implementare a proiectului *POSDRU/159/1.5/S/132397 – ExcelDOC* îi sunt aduse mulțumiri pentru sprijinul oferit.

Gânduri de recunoștință se îndreaptă către prof. dr. ing. Elena MEREUȚĂ, prof. dr. ing. Daniel CONDURACHE, prof. dr. ing. Nicolae BUZBUCHI și prof. dr. ing. Lucian GEORGESCU, care m-au onorat, în calitate de președinte, respectiv referenți științifici, în comisia de doctorat.

Nu în ultimul rând, îmi exprim întreaga recunoștință și adresează mulțumiri familiei, colegilor și celor apropiați pentru încrederea, înțelegerea și susținerea de care au dat dovadă.

Galați, septembrie 2016

Ing. Alina Beatrice RĂILEANU

CUPRINS

	Pag. rezumat	Pag. teză
Introducere	3	5
Actualitatea și importanța temei	3	5
Obiectivele tezei	4	6
Structura tezei	5	7
Capitolul 1. APLICABILITATEA TEHNICILOR DE ASIMILARE A DATELOR	7	29
1.1 Aspecte generale	7	29
1.2 Domenii de aplicare a sistemelor DA	8	31
1.2.1 Meteorologie	9	31
Capitolul 2. ASIMILAREA DE DATE - METODE SECVENȚIALE ȘI VARIAȚIONALE	11	43
2.1 Abordare secvențială	11	43
Capitolul 3. FILTRE KALMAN	15	55
3.1 Procese aleatorii	16	56
3.2 Filtrul Kalman Discret (FKD)	17	57
Capitolul 4. INTEGRAREA TEHNICILOR DE ASIMILARE ÎN CADRUL UNOR CENTRE DE PREDICȚIE HIDRO-METEOROLOGICE	21	73
4.1 Zona Mării Negre	24	76
Capitolul 5. EVALUAREA CONDIȚIILOR DE VÂNT ȘI VAL DIN MAREA NEAGRĂ FOLOSIND DATE FURNIZATE DE MODELE NUMERICE ȘI MĂSURĂTORI DE SATELIT	27	93
Capitolul 6. IMPLEMENTAREA TEHNICILOR DE ASIMILARE A DATELOR ÎN MAREA NEAGRĂ	35	119
6.1 Asimilarea datelor folosind metoda corecțiilor succesive	35	119
Capitolul 7. APLICAȚII ALE MODELELOR NUMERICE PENTRU VALURI	49	143
7.1 Transport naval	50	144
7.2 Industria offshore	52	146
Capitolul 8. CONSIDERAȚII FINALE	55	155
8.1 Discuții asupra studiilor realizate	55	155
8.2 Contribuții personale	59	159
8.3 Direcții pentru cercetări viitoare	61	161
Bibliografie	63	167
Lista de lucrări	67	163
Curriculum vitae	71	177

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei

Evaluarea și predicția condițiilor de val reprezintă un aspect important pentru planificarea activităților din mediul marin, în timp ce pe termen lung aceste date pot indica tendințe climatologice care sunt evidențiate mult mai clar de evoluțiile geomorfologice ale zonelor costiere. La ora actuală, cele mai bune informații sunt furnizate de sistemele de măsurare *in situ*, care prezintă dezavantajul că furnizează măsurători doar pentru o singură locație. Mai mult decât atât trebuie precizat că, în cazul unor condiții de furtună, aceste instrumente pot furniza valori eronate sau, în cel mai rău caz, pot fi avariate. Studiarea climatului valurilor din Marea Neagră a prezentat întotdeauna interes dar, cu toate acestea, în prezent în zonă nu există o rețea de măsurători *in situ*, dacă ne raportăm la numărul mic de balize și la faptul că majoritatea sunt amplasate în apropiere de zonele portuare.

Pentru a putea identifica distribuția energiei valurilor pentru o anumită zonă marină se pot folosi date provenind de la simulări numerice sau măsurători furnizate de misiunile altimetrice raportate în aceea regiune. Trebuie precizat că niciuna din aceste surse de date nu este perfectă, în fiecare dintre acestea fiind definite de erori sau de o acuratețe scăzută a simulărilor. Dacă discutăm despre modelele numerice acestea sunt folosite cu succes în zonele de ocean, dar când sunt implementate în cadrul unor mări închise pot exista probleme datorită caracteristicilor fizice existente aici. În ceea ce privește misiunile altimetrice, acestea pot furniza informații precise despre distribuția valurilor din zonele offshore, dar în apropierea țărmului (la interfața uscat-apă) pot raporta informații eronate sau chiar și valori lipsă. Aceste puncte slabe pot fi compensate prin aplicarea unor tehnici de asimilare a datelor (DA) prin care se are în vedere combinarea simulărilor numerice cu observații *in situ* sau a unor măsurători de satelit pentru a putea obține o predicție îmbunătățită, acest lucru fiind valabil și în cazul unor condiții extreme. Ținând cont de faptul, ca în prezent măsurătorile de satelit sunt disponibile pentru suprafețe întinse de apă și că există sisteme de calcul performante, există toate premisele dezvoltării unor scheme de asimilare a datelor în cadrul unor modele operaționale. O astfel de abordare pare a fi potrivită pentru bazinul Mării Negre, unde nu există foarte multe informații despre caracteristicile câmpurilor de valuri. O mare parte din cercetări s-au axat pe implementarea unor modele de val pentru diverse intervale de timp, acestea fiind validate local cu date de la baliză, dar fără a lua în considerare folosirea unei tehnici DA.

Direcția de cercetare abordată este de actualitate dacă luăm în considerare doar dinamica traficului de mărfuri din Marea Neagră prin intermediul unor coridoare Pan-Europene de transport (ex: IV, V și VII), unde siguranța echipajului și protecția mediului joacă un rol important. Ținând cont că în cadrul acestui bazin există și anumite arii protejate, cum ar fi de exemplu Biosfera Deltei Dunării, aceste studii devin cu atât mai importante. Prin implementarea unui sistem operațional se pot realiza prognoze ale câmpurilor de valuri, informațiile obținute fiind de interes pentru toți cei care operează în mediul marin, pornind de la sectorul turistic, pescuit, activități portuare sau chiar și pentru identificarea unor tendințe climatologice.

În raport cu alte studii similare raportate pentru acest bazin, în prezenta lucrare se are în vedere obținerea unor rezultate realiste, bazate pe rularea unor simulări numerice cu modelul spectral în medie de fază pentru predicția valurilor SWAN (Simulating Waves Nearshore) care să acopere perioade lungi de timp (10-15 ani), urmând ca aceste rezultate să fie corelate cu măsurători *in situ*. Corecțiile rezultate din acest proces urmează a fi propagate în spațiul spectral și geografic, obținându-se în final o predicție optimă a stării mării. Pornind de la rezultatele simulărilor raportate pentru întreg bazinul Mării Negre, se are în vedere focalizarea acestui sistem pe zona de vest a mării, o atenție deosebită fiind acordată zonei costiere Românești. Ținând cont că fiecare nivel de calcul considerat prezintă caracteristici specifice, atât în ceea ce privește procesele fizice activate cât și disponibilitatea măsurătorilor *in situ* sau de satelit, pentru fiecare studiu s-au implementat simulări specifice. Din studiile realizate s-a considerat utilă folosirea unei perioade de antrenare de circa 60 de zile, în timp ce pentru metodele DA cele mai des abordate s-au axat pe folosirea unor metode specifice regresiei liniare (ex: metoda celor mai mici pătrate) sau pe corecții ale erorilor sistematice.

Înălțimea semnificativă de val (H_s) este considerată ca fiind relevantă pentru descrierea condițiilor din mediul marin, astfel că el a fost considerat cel mai des în procesul de asimilare. Folosind acest parametru există avantajul că rezultatele obținute pot fi corectate (sau comparate) cu măsurătorile de satelit. Prin folosirea măsurătorilor altimetrice se obțin rezultate bune pentru suprafețe extinse de apă, în timp ce pentru arii mai mici se observă o îmbunătățire a predicțiilor doar cu ajutorul observațiilor *in situ*. Pentru evaluarea în detaliu a stării mării și a energiei valurilor se pot include în procesul de asimilare și alți parametri, cum ar fi de exemplu perioada de val sau direcția acestora, paarametri care pot fi folosiți pentru transferul informației în domeniul spectral folosind un spectru teoretic. Este de preferat folosirea unui spectru deoarece atunci când au loc corecții, se pot ajusta înălțimile de val fără a modifica forma spectrului. Dacă discutăm despre Marea Neagră, pentru corecția spectrelor în punctele care definesc frontierele domeniului de calcul, se poate defini un spectru JONSWAP echivalent care este folosit pentru a descrie o stare a mării în continuă dezvoltare.

Obiectivele tezei

În acest context, cercetările întreprinse sunt focalizate pe următoarele obiective:

1. Furnizarea unei imagini de ansamblu privind implementarea tehnicilor DA, care încep să devină tot mai folosite în modelarea fenomenelor fizice ce implică simulări numerice. În această etapă sunt menționate câteva exemple relevante care evidențiază versatilitatea și utilitatea acestor metode. O atenție deosebită a fost acordată identificării modelelor de val operaționale care sunt utilizate la ora actuală în cadrul unor centre hidro-meteorologice importante.
2. Descrierea principalelor metode DA, în care s-au prezentat diverse tehnici, cum ar fi cele legate de metode secvențiale sau variaționale. Ținând cont că una din primele tehnici folosite se referă la filtrul Kalman, s-au indicat principalele filtre precum și aparatul matematic care stă la baza lor.
3. Identificarea condițiilor de val și vânt pentru bazinul Mării Negre considerând date provenind de la modele numerice sau de la măsurători de satelit. Dintre sursele de date folosite se pot menționa date de reanaliză provenind de la centrele NCEP sau ECMWF, în timp ce pentru măsurătorile de satelit s-au folosit observații de la proiectul AVISO. Datele au fost analizate din punct de vedere meteorologic dar și considerând potențialul resurselor de val și vânt de a fi folosite în cadrul unor proiecte de energie regenerabilă.

4. Implementarea unor tehnici de asimilare a datelor pentru bazinul Mării Negre folosind modelul spectral în medie de fază pentru predicția valurilor SWAN. Simulările au fost centrate pe partea de vest a bazinului, accentul fiind pus pe realizarea unor predicții pentru zona litoralului Românesc.

5. Evidențierea unor domenii de activitate în care predicțiile de val au un rol important. La acest punct poate fi menționată și diseminarea rezultatelor care s-au centrat pe implementarea tehnicilor DA și analiza statistică a parametrilor specifici mediului marin.

Structura tezei

Teza de doctorat intitulată ***Implementarea de metode de asimilare de date pentru îmbunătățirea predicției valurilor cu modele spectrale în bazinul Mării Negre*** este structurată pe opt capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 realizează o introducere în domeniul asimilării de date prezentând diverse studii de caz din inginerie, meteorologie sau medicină. Ținând cont că la ora actuală majoritatea studiilor implică folosirea unor simulări numerice, scopul acestui capitol este a scoate în evidență avantajele unor astfel de tehnici, care urmăresc în final obținerea unor rezultate cât mai aproape de realitate.

Capitolul 2 tratează pe larg principalele tehnici de asimilare a datelor care au fost grupate în metode secvențiale și variaționale. Aici este prezentat aparatul matematic care stă la baza unor tehnici cum ar fi interpolările optimale sau metode variaționale de tip 3DVAR, care sunt cele mai des întâlnite în acest domeniu și care au fost implementate în lucrarea de față.

Capitolul 3 descrie evoluția filtrului Kalman și aplicabilitatea acestuia în cadrul unor sisteme definite de procese stochastice. Aici se realizează o prezentare teoretică a principalelor filtre existente, începând cu filtrul Kalman discret și ajungându-se în final la exemplificarea unor studii de caz în care s-au implementat aceste filtre.

Capitolul 4 prezintă mecanismele generale care stau la baza unui model de val și evidențiază principalele programe dezvoltate la nivel global. Dintre acestea, o atenție deosebită a fost acordată unor proiecte care furnizează informații la nivel global (ex: ECMWF și NCEP) dar și a unor modele regionale care pot identifica mult mai precis starea mării la nivel local (ex: NCOF - Marea Britanie sau DNMI - Norvegia).

Capitolul 5 evaluează condițiile de vânt și val din Marea Neagră considerând date provenind de la modele numerice de reanaliză sau de la misiunile altimetrice. Pe baza acestor informații sunt evidențiate diferite tendințe sezoniere care se manifestă în acest bazin geografic, o atenție deosebită fiind acordată zonei costiere Românești. S-au analizat condițiile din mediu marin raportate de-a lungul unor rute de navigație majore, în timp ce în unele situații s-a considerat utilă compararea valorilor obținute cu cele raportate în bazinul Mării Caspice.

Capitolul 6 se axează pe implementarea tehnicilor DA în bazinul Mării Negre, metodele folosite fiind ajustate în funcție de domeniul de calcul și de procesele fizice activate în modelul SWAN. Folosind măsurători de val *in situ*, date provenind de la programul NCEP și măsurători de satelit, s-a reușit calibrarea și corecția valorilor furnizate de simulările numerice, corecțiile obținute fiind propagate în spațiul spectral și geografic. Pentru a putea estima impactul tehnicilor DA asupra

acurateții predicțiilor furnizate, s-au folosit diverse instrumente statistice care au indicat o îmbunătățire semnificativă a parametrilor de val asimilați.

Capitolul 7 evidențiază importanța predicțiilor de val, prezentând diverse domenii care pot beneficia de pe urma unui model operațional. Sunt analizate diverse situații, cum ar fi cele de cercetare și căutare, accentul fiind pus pe activitățile desfășurate în bazinul Mării Negre. Indiferent de situația analizată, se observă că parametrul timp iese în evidență, deoarece starea mării se poate modifica rapid pentru diverse ferestre de timp, iar existența unei prognoze poate evita (sau diminua) impactul unor condiții extreme.

Capitolul 8 recapitulează principalele rezultate obținute în cadrul acestei teze, fiind evidențiate în mod direct elementele de originalitate și contribuțiile autorului. Ținând cont că domeniul de cercetare ales este foarte dinamic, în această secțiune sunt punctate câteva direcții de studiu care pot contribui la implementarea într-un timp relativ scurt a unui model operațional de val pentru bazinul Mării Negre, care să folosească o tehnică DA. Este menționată de asemenea și activitate de cercetare științifică realizată de autor, unde se poate sublinia faptul că lucrările științifice au fost realizate și integrate în cadrul a două proiecte:

- a) Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/159/1.5/S/132397
- b) Data Assimilation Methods for improving the WAVE predictions in the Romanian nearshore of the Black Sea - DAMWAVE (PN-II-IDPCE-2012-4-0089).

Capitolul 1

APLICABILITATEA TEHNICILOR DE ASIMILARE A DATELOR

1.1 Aspecte generale

Prin asimilarea de date (DA) se urmărește îmbunătățirea rezultatelor furnizate de un model numeric pentru a putea obține rezultate cât mai apropiate de realitate. Acest lucru se realizează prin implementarea unor metode statistice care pot ajusta rezultatele obținute pentru diverse intervale de timp, respectiv: a) trecut - *hindcast*, b) prezent - *nowcast*, c) viitor - *forecast*. Una din primele metode care a fost folosită în acest domeniu se referă la interpolarea statistică, care reprezintă un element de bază fiind folosită cu succes și în prezent [1, 2]. Primele aplicații s-au axat pe determinarea comportării geofluidelor, metodele DA fiind implementate cu succes în predicția vremii sau oceanografie, de-a lungul timpului fiind adoptate și de alte sectoare cum ar fi aeronautică, agricultură sau respectiv medicină. Aceste tehnici au un fundament matematic bine pus la punct, prin aplicarea lor urmărindu-se calibrarea unor simulări, monitorizare unor procese sau eventual identificarea relațiilor care pot exista între diverse fenomene fizice [3].

Având în vedere că procesarea datelor se realizează într-un mediu virtual, informațiile obținute depind atât de calitatea observațiilor folosite pentru a forța un model cât și de performanțele programului de modelare folosit. La fel ca în oricare domeniu care implică procesarea unor baze de date sau măsurători, există riscul să apară erori, care pot fi identificate cu ajutorul tehnicilor DA. Pentru a putea obține rezultate de calitate este nevoie ca în funcție de fenomenul fizic studiat să se găsească o metodă DA optimă care să combine măsurătorile cu simulările numerice, urmărindu-se în final calibrarea modelului și ajustarea erorilor existente. Cu cât observațiile folosite au o rezoluție spațială și temporară mai bună, cu atât tehnica DA este mai eficientă și rezultatele obținute sunt mai realiste [4, 5].

Metodele de asimilare a datelor sunt caracterizate de o dinamică continuă, ajungându-se la ora actuală la tehnici complicate care pot furniza informații despre diverși parametri la nivel global sau la asamblarea unor baze de date care acoperă zeci de ani. Atunci când se dorește implementarea unei metode complexe și asimilarea unui număr mai mare de parametri, trebuie avute în vedere performanțele sistemelor hardware, care de exemplu în cazul centrelor hidro-meteorologice importante pot să acopere suprafețe importante dintr-o clădire.

Atunci când se ia în calcul și parametrul timp, se pot implementa diverse tehnici în care observațiile să fie asimilate atât în mod continuu cât și în mod secvențial considerând intervale de timp diferite. Acest lucru este ilustrat în Figura 1.1, cu mențiunea că la ora actuală se urmărește

asimilarea în timp real a datelor folosind diverse tehnici DA care variază în funcție de complexitatea lor, după cum se poate observa și în Figura 1.2.

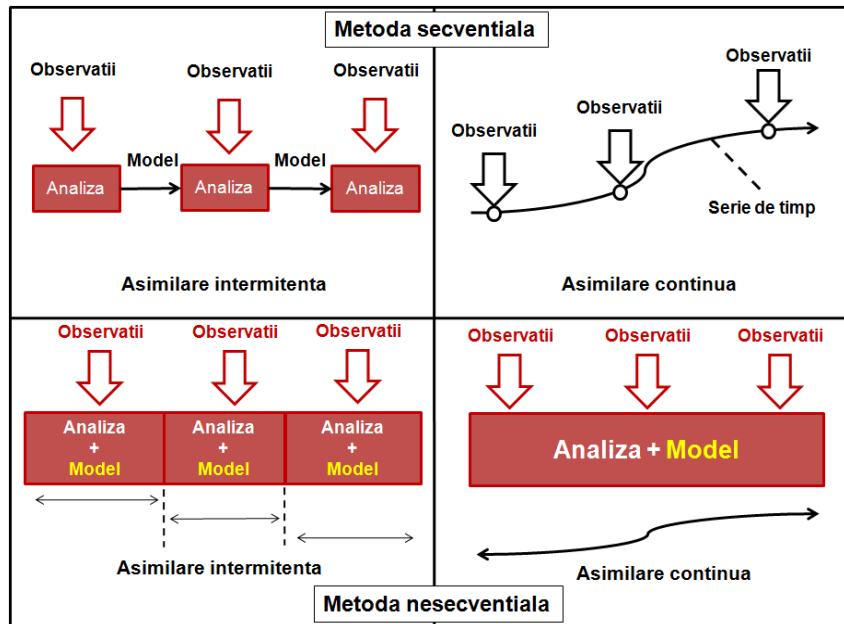


Figura 1.1. Clasificarea tehnicilor DA în funcție de metodele abordate [6].

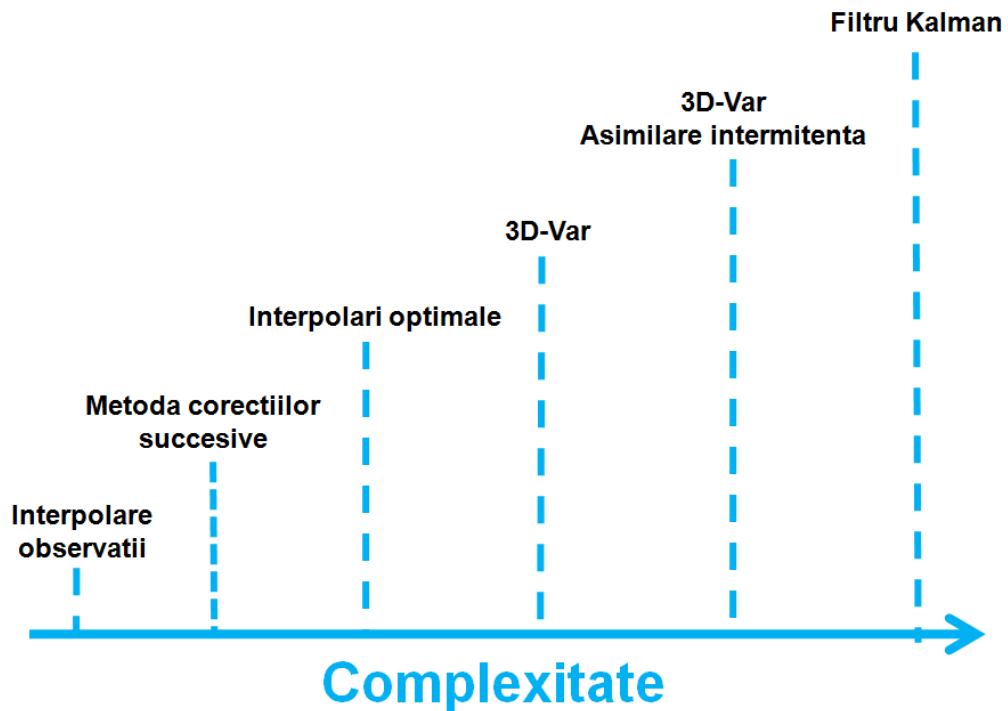


Figura 1.2. Nivele de complexitate ale tehnicilor DA [6]

1.2 Domenii de aplicare a sistemelor DA

Aplicațiile ce implică DA sunt deja prezente în viața noastră, cele mai relevante exemple fiind predicția vremii sau telefoanele mobile. Ținând seama că scopul unei tehnici de asimilare este acela de a îmbunătăți predicțiile unui model, în continuare se vor prezenta câteva aplicații din diverse domenii pentru a putea evidenția acest aspect.

1.2.1 Meteorologie

Prognoza meteo a reprezentat unul din primele domenii în care s-au folosit tehnicile DA pentru a putea prognoza dinamica condițiilor atmosferice. Un prim studiu de caz este prezentat în Figura 1.3 unde s-a evaluat distribuția unor ploi torențiale raportate în apropiere de Beijing (China) pentru data de 21.07.2012 [7]. Pentru acest tip de studiu s-au procesat date AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit), care au fost asimilate într-un model numeric ce are ca scop simularea proceselor fizice specifice zonei de mezoscală. Rezultatele obținute au fost comparate cu observații *in situ* raportate pentru zona analizată, unde prin procesul de asimilare s-a urmărit evaluarea unor domenii de calcul având rezoluțiile spațiale cuprinse între 3 km și respectiv 27 km. Din rezultatele furnizate rezultate se poate observa o îmbunătățire a predicțiilor, în special pentru studiul de caz centrat pe o rezoluție spațială de 27 km.

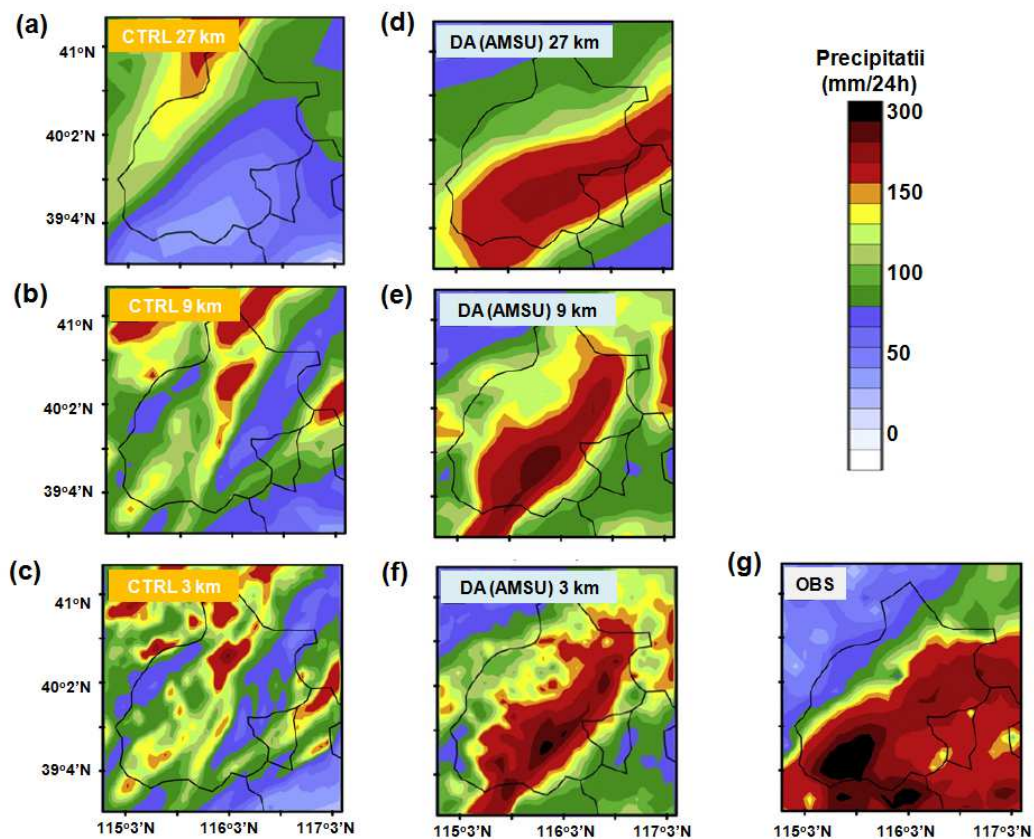


Figura 1.3. Analiza volumului de precipitații din apropiere de Beijing considerând diverse rezoluții spațiale. Simulări raportate pentru: a) - c) fără asimilare; d) - f) DA pe baza datelor AMSU; g) observații *in situ* [7].

Pe de altă parte, în zonele aride și semi-aride, cantitatea de precipitații este mult mai mică astfel că pot apărea frecvent furtuni de nisip care pot afecta sănătatea oamenilor. O situație de acest gen este prezentată în Figura 1.4, aceasta fiind identificată pentru zona Asiei considerând intervalul de timp 10.05.2011-13.05.2011 [8]. Simulările numerice s-au realizat cu ajutorul programului MAsINGAR mk-2 (Model of Aerosol Species IN theGlobal AtmospHeRe Mark 2), care are la bază modelarea circulației aerosolilor. Datele asimilate provin de la proiectul MODIS/Tera, în

timp ce pentru simulările realizate s-a folosit indicatorul AOT (Aerosol Optical Thickness) iar valorile lipsă au fost identificate cu ajutorul unor puncte negre.

Evaluând variațiile prezentate în Figura 1.4c se poate preciza că predicțiile realizate înregistrează o îmbunătățire semnificativă, acestea sugerând în același timp că partea de nord a zonei țintă pare a fi cea mai afectată de acest fenomen. În Figura 1.5 este indicată repartiția particulelor în suspensie (PM_{10}) pentru diverse orașe din zona geografică evaluată.

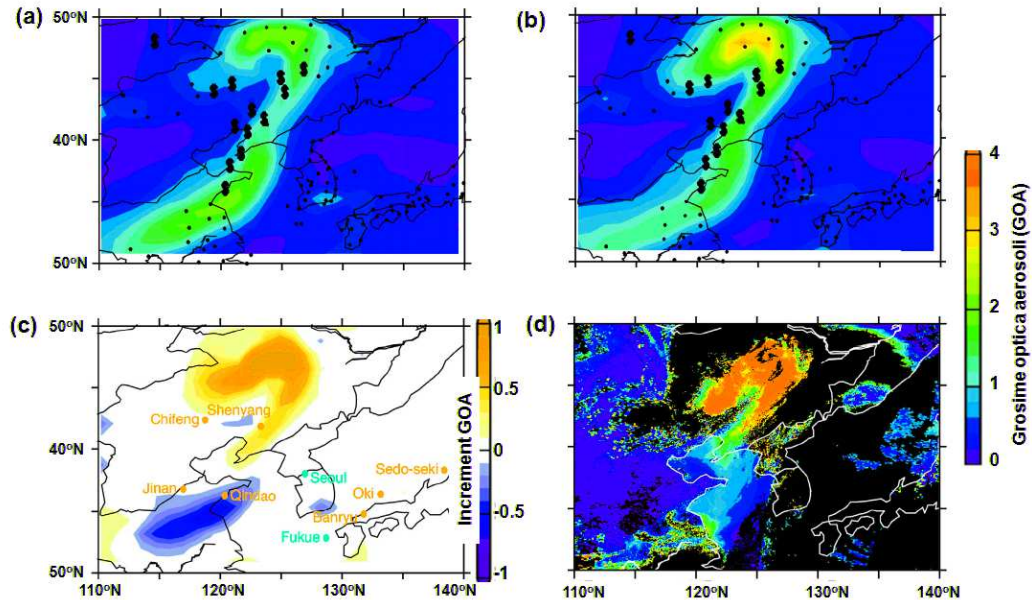


Figura 1.4. Estimarea indicatorului AOT la data de 12.05.2011 (ora 04:00), unde: a) fără asimilare; b) predicție cu DA; c) diferențe (asimilare DA-fără DA); d) măsurători MODIS/Tera [8].

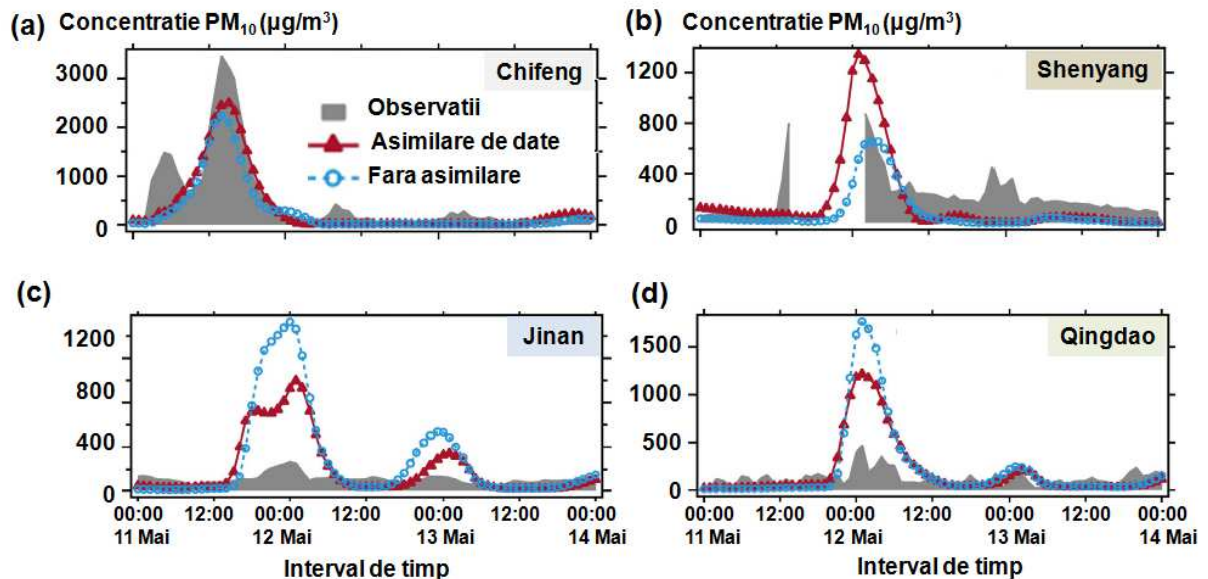


Figura 1.5. Volumul concentrațiilor PM_{10} raportat pentru diverse orașe din zona țintă [8].

Din aceste rezultate reiese că orașul Chifeng prezintă valori mai bune, unde se înregistrează și o concentrație maximă de $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la ora 12:00 (12.05.2011). În comparație cu aceste valori, celelalte orașe prezintă concentrații mai mici sau chiar valori lipsă, cum ar fi în cazul orașului Shenyang. Se poate preciza că simulările numerice au o bună corelare cu măsurătorile *in situ*, identificând cu acuratețe și inițierea furtunii de nisip.

Capitolul 2

ASIMILAREA DE DATE - METODE SECVENȚIALE ȘI VARIAȚIONALE

Toate schemele DA sunt procesate secvențial în raport cu timpul, astfel că majoritatea metodelor de asimilare prezintă elemente comune. Cea mai des întâlnită abordare este ca fiecare observație dintr-o secvență să fie considerată soluția problemei variaționale, unde măsurătorile sunt folosite pentru ajustarea simulărilor numerice. De-a lungul timpului s-au dezvoltat diverse elemente de teorie și aparate matematice, care au în vedere aplicarea unor principii statistice generale capabile să reducă erorile ce pot apărea în procesul de modelare [9]. Domeniile care implică geofluidă, cum ar fi în cazul predicțiilor atmosferice sau oceanice, se axează pe analiza unor medii haotice în care este important să se stabilească în mod corect condițiile inițiale pentru a putea reduce propagarea erorilor de la un ciclu de simulare la altul, sau între diverse arii de calcul. Cele mai multe metode DA sunt de tipul interpolărilor optime (IO) care pot fi clasificate în scheme de tip 1DVAR sau 3DVAR, existând mai nou și posibilitatea implementării unor scheme 4DVAR care pe lângă caracteristicile spațiale iau în considerare și timpul [4].

În implementarea cu succes a unei metode DA și obținerea unor rezultate realiste este important să se țină seama de calitatea bazelor de date folosite pentru a forța sau valida simulările numerice. Pentru predicția valurilor, cel mai important factor este vântul care prin acțiunea sa pe interfața aer-apă cedează energie, acest mecanism contribuind la apariția înălțimilor de val. Ținând seama că zonele de ocean sunt caracterizate de suprafețe întinse, la ora actuală cea mai bună sursă de măsurători provine de la misiunile altimetrice care acoperă cu ușurință aceste zone.

Având în vedere aceste aspecte, în continuare se are în vedere prezentarea unor elemente fundamentale care stau la baza tehnicilor DA.

2.1 Abordare secvențială

Aceste metode au la bază ecuații diferențiale cu ajutorul cărora se pot prelucra informații distribuite aleatoriu în timp și spațiu. Pentru aplicații ce implică geofluidă se poate pleca de la următoarea relație [10]:

$$s_k^p = \Psi_{k-1} s_{k-1}^a \quad (2.1)$$

$$s_k^a = s_k^p + K_k (s_k^o - H_k s_k^p) \quad (2.2)$$

unde cu s s-a indicat vectorul de stare care reprezintă variabilele incluse în model ca puncte ale unei grile exprimate fie ca elemente finite sau sub formă spectrală. În cazul unor predicții, acestea avansează cu un pas de timp Δt obținându-se următoarele forme: a) $s_k = s(t_k)$; b) $t_k = k\Delta t$. În ecuațiile de mai sus, s-au indicat următorii parametri: p - predicție; o - observație; a - analiză; ψ - matricea care indică dinamica sistemului; H_k - matrice observații.

Dacă ne raportăm la domeniul elementelor finite, Ecuația 2.1 devine:

$$\psi_k^{(1)} s_k^p = \psi_{k-1}^{(2)} s_{k-1}^a \quad (2.3)$$

Ținând cont de faptul că matricea $\psi_k^{(1)}$ are un caracter ireversibil, Ecuația 2.3 mai poate fi scrisă sub forma:

$$\psi_{k-1} = [\psi_k^{(1)}]^{-1} \psi_{k-1}^{(2)} \quad (2.4)$$

Pentru aceste relații, vectorul observațiilor (s_k^o) este definit de o dimensiune p_k mult mai mică decât dimensiunea N caracteristică parametrilor s_k^a și s_k^p . Matricea H_k este folosită pentru interpolarea valorilor din grilă, vectorul η_k (denumit și *inovație* sau *rezidu*) are următoarea reprezentare:

$$\eta_k \equiv s_k^o - H_k s_k^p \quad (2.5)$$

Relația 2.2 este echivalentă cu Ecuația 2.6 dacă: $y = s_k^p$, $z = s_k^o$ iar $\alpha_2 = K_k$.

$$\bar{x} = y + \alpha_2 (z - y) \quad (2.6)$$

Parametrul y se referă la observațiile anterioare, pe baza acestuia urmărindu-se în final identificarea unei *matrici câștig* prin care să se identifice valori optime ale parametrului K_k . Un prim pas în această direcție constă în cuantificarea variației geofluidului (k_k^t) care este furnizată de:

$$s_k^p = \psi_{k-1} s_{k-1}^t + b_{k-1}^t \quad (2.7)$$

în care, b_k^t se referă la o secvență de tip zgomet alb care are următoarea formă:

$$E b_k^t = 0 \quad (2.8)$$

$$E b_k^t (b_l^t) = Q_k \delta_{kl} \quad (2.9)$$

unde: t - transpusa vectorului coloană; δ_{kl} - funcția Kronecker.

Dacă includem un element de forțare (b_k) în Ecuația 2.1 se poate rescrie Ecuația 2.8 sub forma [10]:

$$E b_k^t = b_k \neq 0 \quad (2.10)$$

În implementarea metodelor DA în afară de obținerea matricii câștig se are în vedere și identificarea acurateții rezultatelor numerice în comparație cu măsurătorile:

$$s_k^o = H_k s_k^t + b_k^o \quad (2.11)$$

prin b_k^o fiind indicată eroarea de măsurare. Dacă se presupune că acest parametru este o secvență Gaussiană (de tip zgomot alb), el apare sub următoarea formă:

$$E b_k^o = 0 \quad (2.12)$$

$$E b_k^o (b_l^o)^T = R_k \delta_{kl} \quad (2.13)$$

Pe lângă acestea, se poate preciza că zgomotul observațiilor și cel al sistemului nu sunt corelate:

$$E b_k^t (b_k^o)^T = 0 \quad (2.14)$$

Pe baza acestor simplificări menționate în Ecuațiile 2.7-2.14 se poate estima variația în timp a erorii matricii de covarianță:

$$P_k^{p,a} \equiv E (s_k^{p,a} - s_k^t)(s_k^{p,a} - s_k^t)^T \quad (2.15)$$

unde, s_k^a și s_k^p indică analiza și respectiv previziunea. Această ecuație se bazează și pe relațiile anterioare care se referă la:

$$P_k^p = \Psi_{k-1} P_{k-1}^a \Psi_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (2.16)$$

$$P_k^a = (I - K_k H_k) P_k^p (I - K_k H_k)^T + K_k R_k K_k^T \quad (2.17)$$

Dacă se cunosc valorile $P_k^{p,a}$ în funcție de $w_k^{p,a}$, se poate estima calitativ orice stare s_k^t pentru valoarea K_k . Ajustarea optimă a parametrului K_k (raportat la fiecare pas de timp) este identificată printr-o reducere a erorii estimării:

$$R \equiv tr P_k^a \equiv E (s_k^a - s_k^t)^T (s_k^a - s_k^t) \quad (2.18)$$

Ecuația 2.18 este adaptată după relația 2.17, pentru matricea P_k^a atunci când derivatele elementului R în raport cu matricea K_k sunt nule. O astfel de abordare duce la obținerea unei valori minime, indicată prin [10]:

$$K_k = K_k^* \equiv P_k^p H_k^T (H_k P_k^p H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.19)$$

Combinând Ecuțiile 2.1 și 2.2 cu Ecuția 2.19 specifică matricii câștig optimale (K_k^*) se obține o metodă de asimilare care poartă numele de filtrul Kalman. Dacă reformulăm Ecuțiile 2.17 și 2.19 se poate realiza o comparație între ecuațiile de asimilare și filtrul Kalman:

$$(P_k^a)^{-1} = (P_k^p)^{-1} + H_k^T R_k^{-1} H_k \quad (2.20)$$

$$K_k^* = P_k^a H_k^T R_k^{-1} \quad (2.21)$$

Analizând relațiile anterioare se poate preciza că media observațiilor este invers proporțională cu varianța, iar acuratețea asimilării este de fapt suma previziunilor în raport cu observații curente și anterioare. Dacă nu există informații pentru un anumit moment k , parametrii H_k și K_k^* sunt nuli.

Elementul P_k^a (Ecuția 2.17) poate fi adus la o formă mai simplă dacă considerăm $K_k = K_k^*$, situație în care ecuațiile anterioare devin:

$$s_k^p = \psi_{k-1} s_{k-1}^a \quad (2.22)$$

$$P_k^p = \psi_{k-1} P_{k-1}^a \psi_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (2.23)$$

$$K_k^* = P_k^p H_k^T (H_k P_k^p H_k^T + R_k)^{-1} \quad (2.24)$$

$$P_k^a = (I - K_k^* H_k) P_k^f \quad (2.25)$$

$$s_k^a = s_k^p + K_k^* (s_k^o - H_k s_k^p) \quad (2.26)$$

Avantajul unei astfel de abordări este dat de faptul că se poate reduce eroarea varianței pentru întreg intervalul de timp la care este raportată asimilarea, și nu doar în raport cu un pas de timp. De aici rezultă și numele de metodă secvențială, deoarece pe măsură ce sunt prelucrate observațiile curente, acestea nu mai sunt incluse în procesul de asimilare [10].

Capitolul 3

FILTRE KALMAN

Una din primele aplicații ale filtrului Kalman a fost în cadrul programului spațial Apollo, unde s-a avut în vedere asigurarea unei traiectorii optime și ghidarea aeronavei. Acest lucru s-a realizat prin corelarea informațiilor provenind din diverse surse (ex: radare, senzori, etc) și rezolvarea potențialelor erori din seriile de măsurători [11].

Ecuțiile acestui filtru au la bază un set de relații care sunt capabile să estimeze evoluția unui proces prin minimizarea erorilor. Este folosit pentru o gamă foarte largă de aplicații, pornind de la cele de tip *hindcast* și ajungând la predicții care țin cont de comportarea anterioară a sistemului [12]. O schemă simplificată a unui astfel de filtru este indicată în Figura 3.1. Cea mai bună reprezentare a stării unui parametru se poate realiza prin intermediul măsurătorilor provenind de la instrumente de măsură, care prezintă dezavantajul că sunt afectate de erori sau că pot avea principii de funcționare diferite. Cu ajutorul unui filtru Kalman, se pot grupa toate datele disponibile, pe baza acestora și a unor condiții inițiale fiind posibilă estimarea unei stări optime a unui sistem.

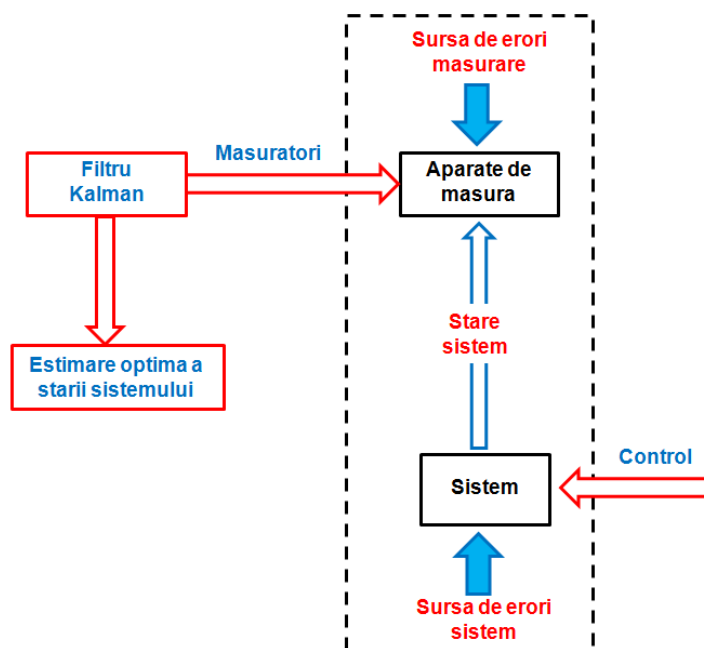


Figura 3.1. Filtru Kalman - reprezentare simplificată [13].

3.1 Procese aleatorii

Aceste procese, care mai poartă numele și de stochastice sunt complet opuse proceselor deterministe. Un proces determinist are în vedere stabilirea unei singure căi de evoluție a unui sistem, în timp ce într-un model aleatoriu se pot dezvolta mai multe soluții. Acest lucru este dat de faptul că pornind de la o stare inițială, pot fi asimilate mai multe variabile care cresc nivelul de incertitudine al unei probleme [14].

Dacă ținem cont de un proces dinamic caracterizat de o ecuație diferențială (de ordin n), dinamica procesului poate fi descrisă prin [15]:

$$y_{i+1} = a_{0,i}y_i + \dots + a_{n-1,i}y_{i-n+1} + u_i, i \geq 0 \quad (3.1)$$

în care u_i se referă la funcția de autocorelare (valoare medie):

$$E(u_i, u_j) = R_u = Q_i \delta_{ij} \quad (3.2)$$

iar parametrii $y_0, y_{-1}, \dots, y_{-n+1}$ definesc valorile inițiale, acestea fiind raportate la o matrice de covarianță (de dimensiune $n \times n$)

$$P_0 = E(y_{-j}, y_{-k}), j, k \in \{0, n-1\} \quad (3.3)$$

Se pot realiza și anumite simplificări, în sensul că:

$$E(u_i, y_j) = 0 \quad (\text{pentru } -n+1 \leq j \leq 0) \quad \text{și} \quad i \geq 0 \quad (3.4)$$

și

$$E(u_i, y_j) = 0, i \geq j \geq 0 \quad (3.5)$$

Prin ecuațiile anterioare se are în vedere identificarea zgomotului, care este independent de procesele pe care le evaluăm. Acest lucru poate fi exprimat matematic sub forma:

$$x_{i+1} \equiv \begin{bmatrix} y_{i+1} \\ y_i \\ y_{i-1} \\ \vdots \\ y_{i-n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} & a_{n-1} \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_i \\ y_{i-1} \\ y_{i-2} \\ \vdots \\ y_{i-n+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} u_i \quad (3.6)$$

Notând primul element de după egal cu M , al doilea cu n_i și cel de-al treilea cu W , se poate obține o formă simplificată a Ecuației 3.6:

$$x_{i+1} = Mn_i + Wu_i \quad \text{și} \quad y_i = [1 \ 0 \ \dots \ 0]n_i \quad (3.7)$$

sau eventual într-o formă mai compactă:

$$x_{i+1} = Mn_i + Wu_i \quad (3.8)$$

$$y_i = D_i n_i \quad (3.9)$$

Cu ajutorul relației 3.8 se poate stabili o nouă stare a sistemului x_{i+1} , care rezultă din combinarea unei stări anterioare (x_i) și zgomotul de proces (u_i), în timp ce relația 3.9 indică modul în care sunt procesate observațiile y_i caracteristice stării x_i . Pornind de la aceste relații, în continuare se va realiza o prezentare mai completă a filtrului Kalman și a versiunilor sale.

3.2 Filtrul Kalman Discret (FKD)

Dacă urmărim să estimăm o stare $x \in \mathfrak{R}^n$ a unui proces cu ajutorul unui filtru Kalman, trebuie să apelăm la ecuații diferențiale stocastice liniare:

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + s_{k-1} \quad (3.10)$$

unde $z \in \mathfrak{R}^m$, reprezintă o măsurătoare definită ca:

$$z_k = Dx_k + v_k \quad (3.11)$$

În ecuațiile anterioare, prin A și B s-a precizat legătura stării curente de intrarea/starea anterioară, în timp ce s_k și v_k se referă la zgomotul de proces și măsurare, iar D este o matrice ce indică dependenței liniare a ieșirii sistemului. Dacă presupunem că cele două variabile (s_k și v_k) sunt independente și au următoarele distribuții de probabilitate:

$$p(w) \approx N(0, Q) \quad (3.12)$$

$$p(w) \approx N(0, R) \quad (3.13)$$

în care Q și R se referă la matrici de covarianță ale zgomotului de proces și respectiv de măsurare, care pentru simplificare s-au considerat a fi constante.

Elementul A ($n \times n$) face trecerea de la un moment anterior ($k-1$) cu un moment curent k , fără a ține seama de valorile de intrare u_k și w_k . Matricile A și D sunt actualizate pentru fiecare pas de timp, dar pentru acest caz vor fi considerate a fi constante.

Prin $\hat{x}_k^- \in \mathfrak{R}^n$ se indică o stare anterioară a sistemului, care reprezintă de fapt estimarea de la un moment de timp k în care se cunosc caracteristicile sistemului din pașii anteriori. Pe lângă aceasta, se mai știe și o stare $\hat{x}_k \in \mathfrak{R}^n$ indicată pentru un moment k , care are legătură cu observațiile z_k . Pe baza acestor relații se pot stabili erorile *a priori* și *a posteriori* [15]:

$$\bar{e}_k \equiv x_k - \hat{x}_k^- \quad (3.14)$$

$$e_k \equiv x_k - \hat{x}_k \quad (3.15)$$

În acest caz, covarianța erorii *a priori* poate fi scrisă ca:

$$P_k^- = E[\bar{e}_k \bar{e}_k^{-T}] \quad (3.16)$$

iar covarianța erorii *a posteriori* are expresia:

$$P_k = E[e_k e_k^T] \quad (3.17)$$

Următorul pas constă în identificarea unor ecuații care definesc filtrul Kalman, astfel că trebuie stabilită o ecuație pentru o stare *a posteriori* (\hat{x}_k) care să combine o estimare a priori (\hat{x}_k^-) și diferențele raportate între o măsurătoare actuală (z_k) și o predicție a măsurării ($H\hat{x}_k^-$). O astfel de ecuație poate fi de forma:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - D\hat{x}_k^-) \quad (3.18)$$

Diferențele raportate pentru ($z_k - D\hat{x}_k^-$) definesc *reziduul măsurării* sau *inovația*. Parametrul K ($n \times m$) se numește *câștig*, fiind un factor important ce reduce covariația erorii *a posteriori*. Această minimizare se poate realiza prin intermediul unei matrici ajustate (K_k) care să îmbunătățească Ecuația 3.16, astfel:

$$K_k = P_k^- D^T (D P_k^- D^T + R)^{-1} \quad (3.19)$$

Analizând ecuația anterioară, se poate menționa că atunci când covarianța erorii de măsurare (R) tinde spre zero, parametrul K_k care influențează reziduul prezintă valori tot mai mari. Această tendință este indicată prin:

$$\lim_{R_k \rightarrow 0} K_k = D^{-1} \quad (3.20)$$

În schimb, dacă covarianța erorii pentru o stare *a priori* (P_k^-) tinde spre zero, parametrul K_k modifică reziduul, în sensul că valoarea acestuia crește cu valori foarte mici.

$$\lim_{P_k^- \rightarrow 0} K_k = 0 \quad (3.21)$$

Filtrul Kalman are la bază un proces care ține cont de feedbackul generat, în sensul că prezice o stare a modelului pentru un anumit moment de timp obținând în același timp și informații care iau forma unor măsurători. Astfel ecuațiile filtrului sunt divizate în două părți: a) ecuații de actualizare în timp; b) ecuații de actualizare a măsurătorilor, unde prima categorie indică evoluția în timp a stării curente, în timp ce restul de ecuații au în vedere obținerea de informații privind reacția sistemului adăugând noi măsurători care îmbunătățesc următorul ciclu de predicții.

Ecuațiile din prima categorie sunt prezentate mai jos:

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_k \quad (3.22)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (3.23)$$

În timp ce ecuațiile măsurătorilor sunt de forma:

$$K_k = P_k^- D^T (D P_k^- D^T + R)^{-1} \quad (3.24)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - D\hat{x}_k^-) \quad (3.25)$$

$$P_k = (I - K_k D)P_k^- \quad (3.26)$$

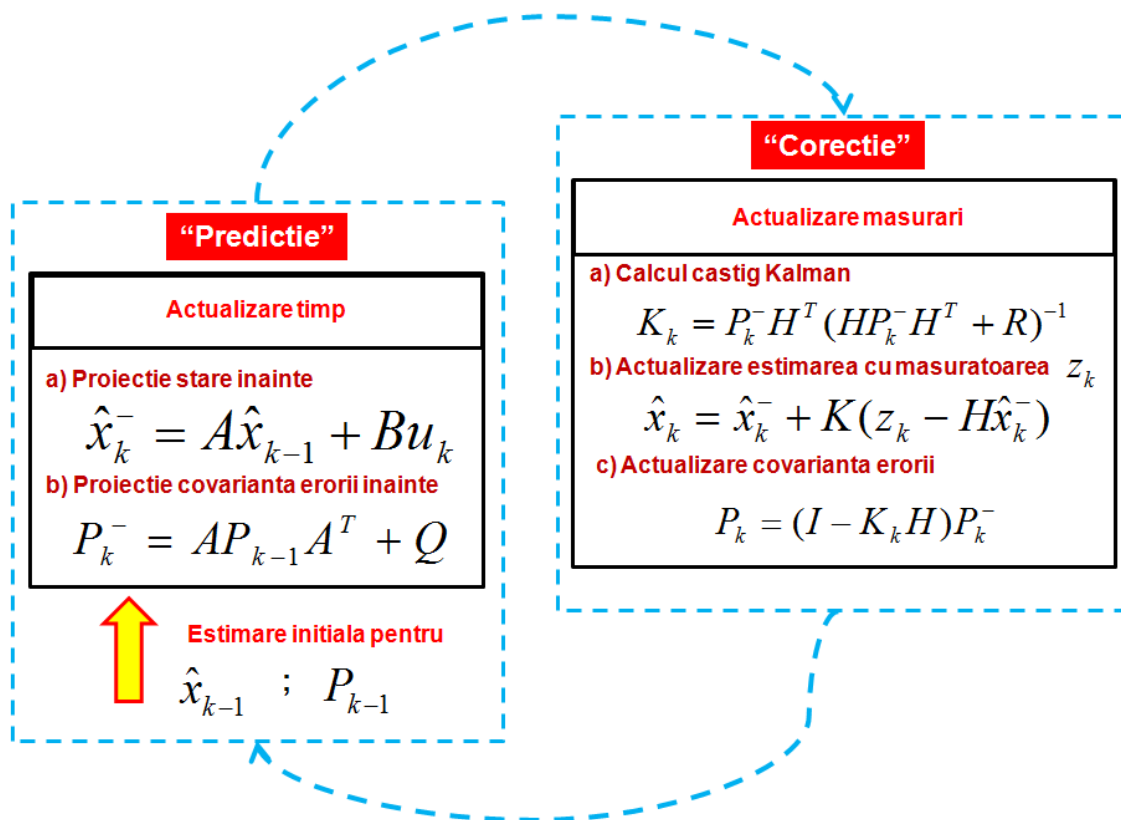


Figura 3.2. Reprezentare simplificată a filtrului Kalman discret [15].

De obicei se realizează perechi de actualizare în timp și măsurătoare, acest proces fiind reluat cu valori *a priori* pentru a putea stabili o nouă estimare. Acest ciclu de asimilare este prezentat mai în detaliu în Figura 3.2, unde sunt prezentate principalele elemente ale unui filtru Kalman discret.

Capitolul 4

INTEGRAREA TEHNICILOR DE ASIMILARE ÎN CADRUL UNOR CENTRE DE PREDICȚIE HIDRO-METEOROLOGICE

Dinamica maselor de aer și a condițiilor atmosferice ne influențează și modelează activitățile de zi cu zi. Pentru a putea identifica evoluția acestor fenomene naturale, este important să folosim observații de calitate care pot proveni atât de la măsurători *in situ* (sau de satelit), sau eventual considerând seturi de date furnizate de modele numerice la nivel global sau regional. Pe baza acestor informații se pot realiza diverse predicții care să aibă aplicabilitate în diverse domenii de interes, cum ar fi meteorologie, energia regenerabilă sau operațiuni de salvare și căutare. Pentru zonele costiere, probabil că cele mai importante aplicații se referă la domeniul naval și offshore, un accent deosebit fiind pus pe identificarea condițiilor extreme care pot afecta în mod negativ aceste activități.

De-a lungul timpului modelele numerice de predicție a valurilor au înregistrat progrese semnificative, acuratețea predicțiilor furnizate fiind îmbunătățită semnificativ de aplicarea schemelor de asimilare a datelor. O procedură tot mai des întâlnită constă în includerea măsurătorilor de satelit în cadrul etapelor de asimilare și validare, această sursă de date fiind preferată deoarece misiunile altimetrice acoperă majoritatea zonelor marine și au o rezoluție în domeniul timpului destul de bună [16].

Prin aplicarea acestor modele de calcul se dorește obținerea unei imagini complete a distribuției condițiilor de val, atât în zonele offshore cât și costiere, cu ajutorul unor seturi de date care pot prezenta valori lipsă sau pot fi disponibile doar pentru anumite perioade de timp sau zone geografice. De cele mai multe ori din determinarea unui parametru fizic, se poate identifica evoluția unor parametri indirectii cum ar fi de exemplu distribuția curenților costieri sau a ratei de eroziune costieră. Dacă ne raportăm la modele de val care furnizează predicții la nivel global, trebuie precizat că acestea furnizează rezultate mai bune pentru zonele de ocean în comparație cu bazinele închise unde pentru identificarea proceselor neliniare se pretează mai bine modele regionale adaptate unor anumite arii țintă. Acest lucru se datorează faptului că în zonele cu apă puțin adâncă, procesele de disipare și transfer a energiei valurilor sunt mai complexe, în această categorie fiind incluse fenomene fizice cum ar fi spargerea valurilor, influența curenților costieri sau respectiv refracția valurilor.

Prin folosirea unei grile de calcul, procesele naturale și dinamica valurilor sunt evaluate mult mai precis de către aceste modele numerice, care pot furniza o gamă mai largă de informații decât cele provenind din alte surse care nu implică simulări numerice. Pentru zonele marine simulările

numerice par a fi mai potrivite pentru identificarea evoluției unor fenomene naturale (ex: furtună), unde pentru suprafețe mari de apă se poate monitoriza (sau simula) dinamica unui eveniment.

Primele modele de val au apărut la începutul secolului XIX, fiind folosite în timpul celui de-Al Doilea Război Mondial pentru elaborare unor prognoze marine pentru intervalul de timp în care forțele aliate au invadat Normandia (6 Iunie 1944). La ora actuală există mai multe modele operaționale, dintre care pot fi menționate WAM (WAVE Model) [17], SWAN (Simulating WAVes Nearshore) [18] precum și WW3 (WAVEWATCH III) [19]. Pe lângă aceste modele care au o acoperire globală, mai există și programe derivate care sunt destinate unor predicții regionale a câmpurilor de valuri [20].

Valurile sunt generate de către acțiunea maselor de aer, cantitatea de energie transportată fiind direct influențată de viteza vântului și suprafața zonei de *fetch* pe care acesta acționează. De aceea, trebuie acordată o atenție deosebită acurateții datelor de vânt care sunt incluse în simulările numerice, care pot contribui la obținerea unor prognoze marine care nu au acoperire în realitate.

În Figura 4.1 este prezentată o schemă generală care stă la baza modelelor de val, aceasta indicând modul în care diverse procese sau fenomene fizice sunt cuplate pentru a putea simula numeric evoluția condițiilor de val. Acestea acoperă întreg ciclul de viață al valurilor care începe cu generarea valurilor și care se termină odată cu accentuarea fenomenelor disipative care devin mai vizibile în apropiere de zonele costiere. Pentru zona de larg, acțiunea vântului și interacțiunile neliniare între valuri (ex: triade) sunt mai importante, în timp ce în apropierea țărmului energia valurilor este disipată gradual în zona de surf. La nivel global sunt implementate un număr semnificativ de modele operaționale de predicție a valurilor, o scurtă prezentare a lor fiind realizată în Tabelul 4.1.

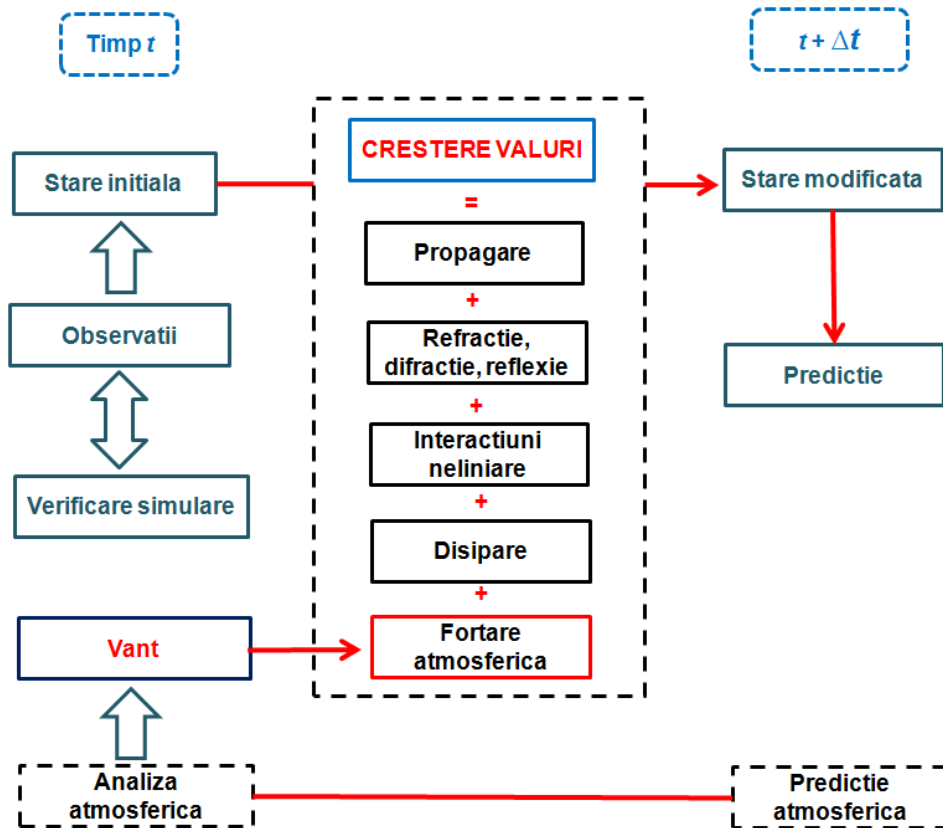


Figura 4.1. Schemă de calcul specifică unui model de predicție a valurilor [21].

Tabel 4.1. Sisteme numerice folosite pentru predicția valurilor [21].

Țară	Sistem	Arie	Rezoluție	Zonă
Australia	WAM	Global	3° x 3° (lat/long)	offshore
	WAM	Australia	1° x 1°	offshore
Canada	Canadian Spectral Ocean Wave Model (CSOWM)	Oceanul Atlantic (nord)	1.08° long.	offshore
	CSOWM	Oceanul Pacific (nord)	1.08° long.	offshore
Europe	WAM	Global	1.5° x 1.5°	hibrid (offshore/ costier)
	WAM	Marea Mediterană Marea Baltică	0.25° x 0.25°	-
Franța	VAGMED	Marea Mediterană (vest)	35 km polar	offshore
	VAGATLA	Oceanul Atlantic (nord)	-	offshore
Germania	Deutscher Wetterdienst	Oceanul Atlantic (nord)	-	offshore
	AMT für Wehrgeophysik	Marea Norvegiei Marea Nordului	50 km	zonă continentală
Grecia	Model Mediteranean	Marea Mediterană (centru și est)	100 km polar	offshore
Hong Kong	MRI-II	5°–35°N; 105°–135°E	-	offshore
	Model costier HK	Hong Kong	4.4 x 4.4 km	zonă costieră
India	Sverdrup-Munk Bretschneider	mări adiacente	2.5° x 2.5°-	offshore
Irlanda	NOWAMO (model adaptat)	Oceanul Atlantic (nord)	-	hibrid
Japonia	MRI-II	Oceanul Pacific (nord)	381 km 36 x 27	offshore
	MRI-II	mări adiacente	127 km 37 x 31	offshore
	model costier	ape costiere	10 km	hibrid
Malaezia	GONO	De la Equator la 18°N; 110°–118°E	2° x 2°	hibrid
Olanda	GONO	Marea Nordului; Marea Norvegiei	75 km	hibrid
Norvegia	WINCH	Marea Barents Marea Norvegiei Marea Nordului	75 km	offshore
Suedia	NORSWAM	Marea Nordului	100 km	hibrid
Marea Britanie	Model European	Oceanul Atlantic	0.25° x 0.4°	zonă costieră
	Model Global	Global	1.25° x 0.8333°	offshore
SUA	NOAA/WAM	Global	2.5° x 2.5°	offshore
	GWAM	Global	1° x 1°	offshore

4.1 Zona Mării Negre

În prezent, există interes din partea țărilor aflate în regiunea Mării Negre de a dezvolta modele regionale de predicție a valurilor. Din acest punct de vedere, cele mai bune rezultate par a fi raportate de cercetătorii din Bulgaria care au în vedere implementarea modelului WAVEWATCH III într-un mod operațional prin intermediul proiectului IncREO (Increasing Resilience through Earth Observation). Pentru a forța modelul, s-au considerat date de vânt (raportate la 10 m) provenind de la proiectul ALADIN [22], rezultatele obținute fiind raportate la măsurători de satelit. Regiunea considerată pentru implementare acoperă zona 40°N - 47°N; 27°E - 42°E, rezoluția spațială fiind setată la un pas de 0.125°. Mai trebuie menționat că simulările numerice se realizează *la cold*, în sensul că rezultatele obținute în cadrul unor rulări anterioare sunt folosite pentru a iniția noi simulări [23].

O serie de rezultate sunt prezentate în Figura 4.2, unde sunt indicate și traiectoriile misiunii Jason-2 care sunt raportate în zona de vest a bazinului pentru momentele de timp avute în vedere. Analizând aceste distribuții se poate menționa că valori H_s mai consistente sunt raportate în partea de nord-vest a mării care pot atinge maxime de 7 m în cazul unor condiții mai energetice. În ceea ce privește direcția de propagare a valurilor, se observă că vectorii de direcție sunt orientați din est către vest, ceea ce înseamnă că masele de aer acționează pe o zonă de fetch importantă, care contribuie la o concentrare a energiei valurilor în zona de vest a bazinului.

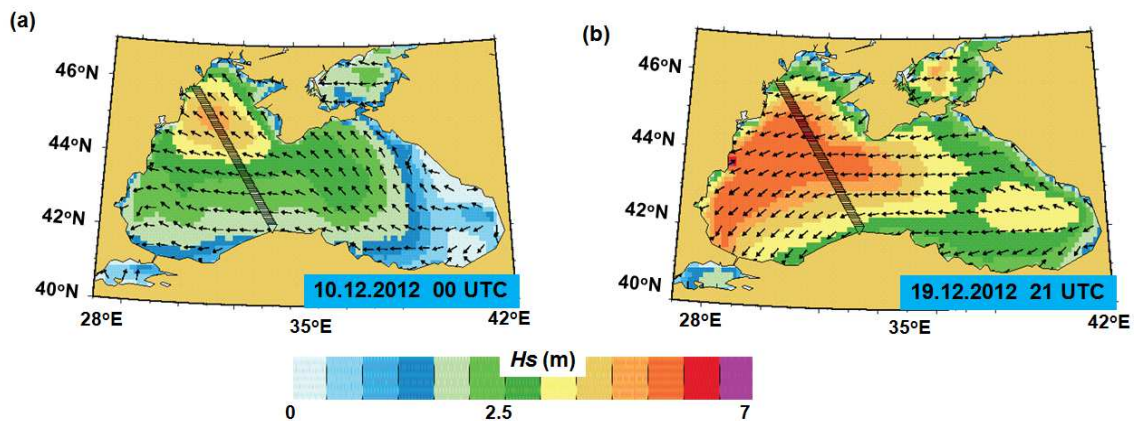


Figura 4.2. Distribuția spațială a înălțimilor H_s (m) indicată de modelul WAVEWATCH III pentru Marea Neagră. Valori estimate pentru: a) 10.12.2012; b) 19.12.2012 [23].

Tehnicile DA se folosesc în general pentru elaborare unor pedicții sau avertizări în prezent și viitor, dar au capacitatea de a genera și baze de date raportate în trecut, așa numite *hindcast*. În continuare urmează a fi prezentat un studiu în care s-au folosit date de vânt ce acoperă un interval de 60 ani [24], acesta având în vedere îmbunătățirea prognozelor marine din această regiune. Chiar dacă nu are legătură cu asimilarea de date, ținând seama de anvergura acestui proiect rezultatele obținute în acest caz pot fi folosite pentru implementarea unui sistem operațional. Pentru acest studiu s-a folosit modelul SWAN, rezultatele obținute în figurile 4.3 și 4.4 fiind raportate pentru valori H_s estimate pentru intervalul 1949-2010, unde pentru a forța modelul numeric s-au folosit date de vânt provenind de la programul NCEP/NCAR.

Analizând repartiția sezonieră a valorilor medii din Figura 4.3 pentru întreg intervalul de timp considerat, se poate menționa că valori mai importante par a fi raportate în zona centrală a Mării Negre, care acoperă de asemenea și o porțiune din zona de vest a bazinului.

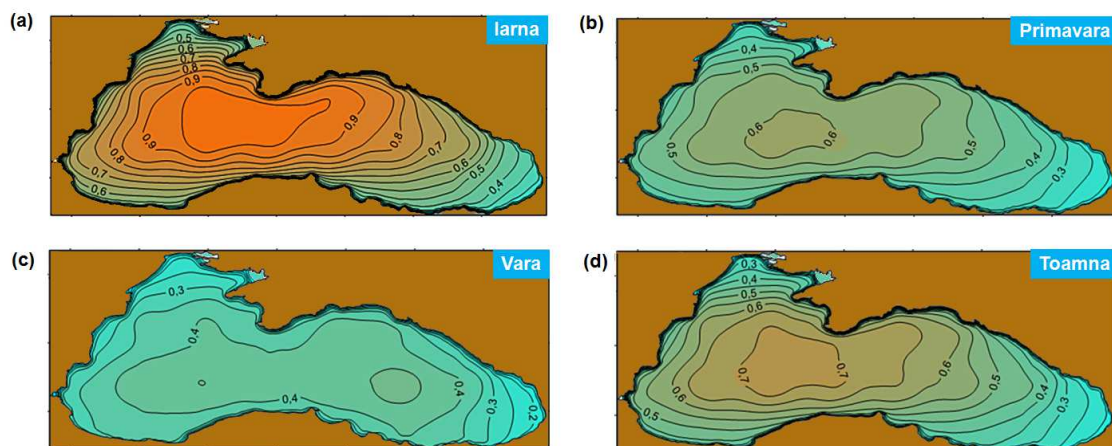


Figura 4.3. Evoluția spațială a înălțimilor H_s medii, estimată de modelul SWAN pentru intervalul 1949-2010 [24].

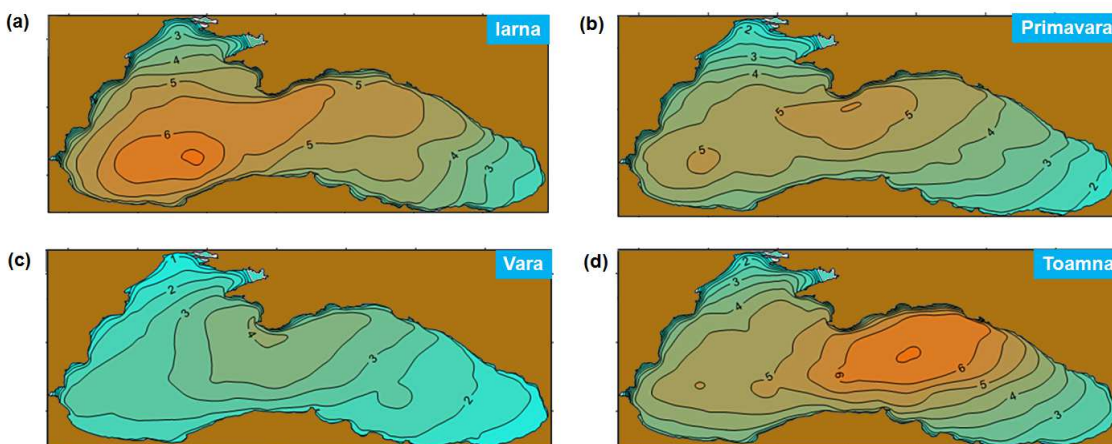


Figura 4.4. Evoluția spațială a înălțimilor H_s maxime, indicată de modelul SWAN pentru intervalul 1949-2010 [24].

Ținând seama de distribuția valorilor maxime, se observă că zona centrală și de vest prezintă valori mai însemnate în sezonul de iarnă și primăvară, în comparație cu zona de est unde în sezonul de toamnă maximele H_s pot ajunge până la 6 m.

Capitolul 5

EVALUAREA CONDIȚIILOR DE VÂNT ȘI VAL DIN MAREA NEAGRĂ FOLOSIND DATE FURNIZATE DE MODELE NUMERICE ȘI MĂSURĂTORI DE SATELIT

Activitățile maritime sunt importante pentru țările aflate în regiunea Mării Negre, în special prin cele care țin de operații portuare sau de navigație ce implică domenii cum ar fi pescuit, transport sau energie. Pentru a putea menține un nivel de siguranță în acest domeniu, este important să se înțeleagă și să se estimeze condițiile extreme, pentru a putea opri activitățile din apropierea țărmului atunci când este nevoie sau pentru a evita zonele de furtună care pot exista pe traseul navelor aflate în zonele de larg. Deoarece toate activitățile ce țin de transporturi navale implică cantități importante de petrol, trebuie precizat că există riscul ca în cazul unor condiții de furtună navele să naufragieze, un astfel de eveniment având consecințe negative asupra florei și faunei din mediul marin [25]. Această problemă devine și mai importantă dacă discutăm despre zone protejate, cum ar fi de exemplu în cazul Deltei Dunării aflată în partea de nord-vest a Mării Negre. În această regiune, la interacțiunea curenților generați de fluviul Dunărea și valuri, pot apărea probleme serioase pentru navigația locală în condițiile în care aici există un coridor de transport important (VII Pan-European) care leagă Marea Neagră de Marea Nordului, pe axa Rin-Main-Dunăre. Chiar dacă Marea Neagră nu prezintă condiții energetice similare cu cele din zonele de ocean [26, 27], studiile anterioare au sugerat că vântul și valurile din această arie geografică pot atinge valori semnificative [28]. Considerând aceste aspecte, în continuare se va realiza o analiză generală a condițiilor extreme care pot fi întâlnite de-a lungul principalelor rute de navigație din Marea Neagră.

Distribuția punctelor de referință este prezentată în Figura 5.1. Pentru a putea identifica cele mai relevante condiții de vânt și val, s-au identificat trei rute de transport importante. Prima dintre acestea (notată cu Ruta A) a fost definită între Odesa și Istanbul, de-a lungul căreia s-au definit trei puncte de referință (A1, A2 și A3). O altă rută importantă (Ruta B), leagă Istanbul de Strâmtoarea Kerçi (Rusia), de unde pornește Ruta C care se termină în zona costieră a Georgiei.

Un alt obiectiv al studiului curent, se referă la evaluarea condițiilor naturale din apropierea unor sectoare costiere unde aceste resurse (vânt și val) sunt concentrate natural. O astfel de zonă se află situată în apropiere de Delta Dunării, unde interacțiunile dintre valuri și curenții costieri pot contribui la apariția unor condiții periculoase [29].

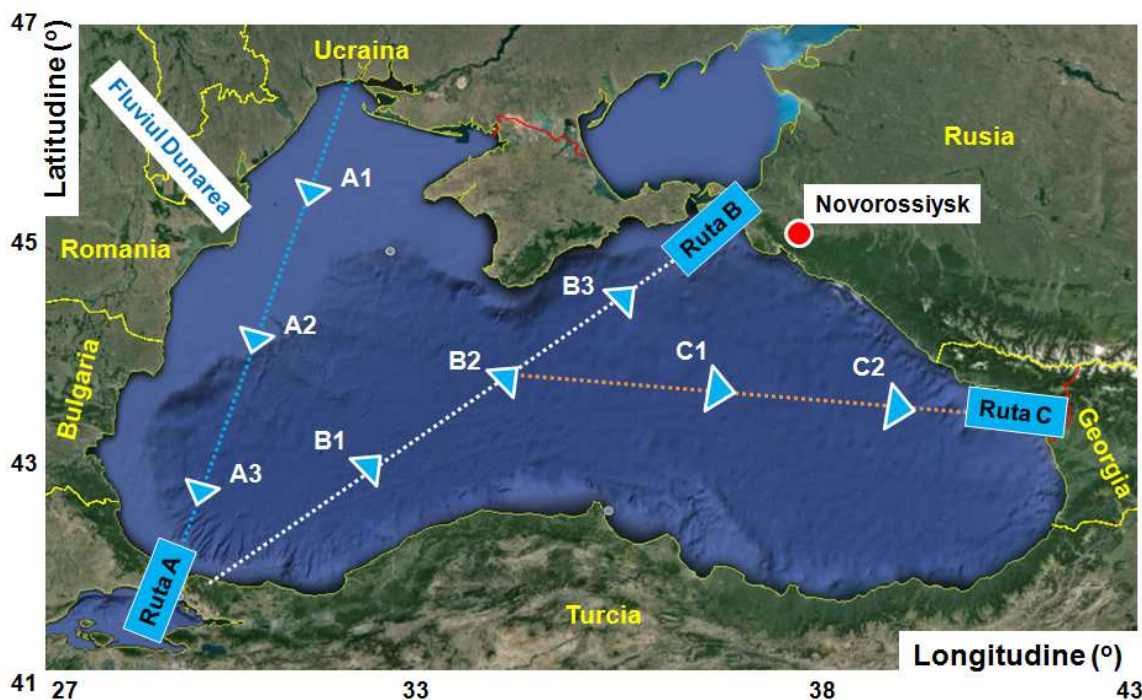


Figura 5.1. Distribuția punctelor de referință care au fost alese pentru rutele de navigare (A, B și C) din Marea Neagră. În apropiere de zona costieră au fost definite două puncte de referință, acestea corespunzând Deltei Dunării (nord-vest) și respectiv regiunea Novorossiysk (nord-est) [30].

O altă zonă la fel de interesantă se află în partea de nord-est a bazinului, în apropiere de regiunea Novorossiysk (Rusia), unde la interfața aer-uscat se formează vântul Bora. În timpul acestui eveniment, se pot înregistra condiții comparabile cu cele ale unui uragan, dacă ținem cont de faptul că viteza vântului poate să depășească frecvent 50 m/s [31].

Pentru analiza acestor condiții de mediu din Marea Neagră, s-au considerat două seturi de date. Primul din acestea provine de la platforma AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data), care reprezintă un proiect multi-misiune care colectează date provenind de la mai multe misiuni altimetrice [32]. Măsurătorile de satelit (vânt și val) au fost procesate pentru intervalul de timp Ianuarie 2010-Noiembrie 2015, pentru care au fost disponibile o singură valoare pe zi raportată la 00:00 UTC.

Variațiile din mediul marin au fost analizate de asemenea considerând și date provenind de la ECMWF care încorporează mai multe baze de date reanalizate [33, 34]. Pentru studiul curent, datele au fost procesate pentru intervalul Ianuarie 2005 - Decembrie 2014, valorile fiind raportate pentru un pas de 6 ore (00:00/06:00/12:00/18:00 UTC). Pentru datele ECMWF, dintre parametrii marini avuți în vedere se pot menționa: înălțimea semnificativă de val (H_s), direcția valurilor, viteza vântului raportată la o înălțime de 10 m (U_{10}) precum și direcția vântului. Deoarece cele două baze de date avute în vedere (AVISO și ECMWF), sunt raportate pentru intervale diferite este de așteptat să se înregistreze variații semnificative între rezultatele furnizate. O analiză calitativă a celor două seturi de date nu reprezintă un punct principal, principalul obiectiv constând în identificarea unor condiții extreme care s-ar putea manifesta în bazinul Mării Negre.

Figura 5.2 prezintă variațiile parametrului U_{10} (valori maxime) de-a lungul celor trei rute de transport din Marea Neagră (A, B și C).

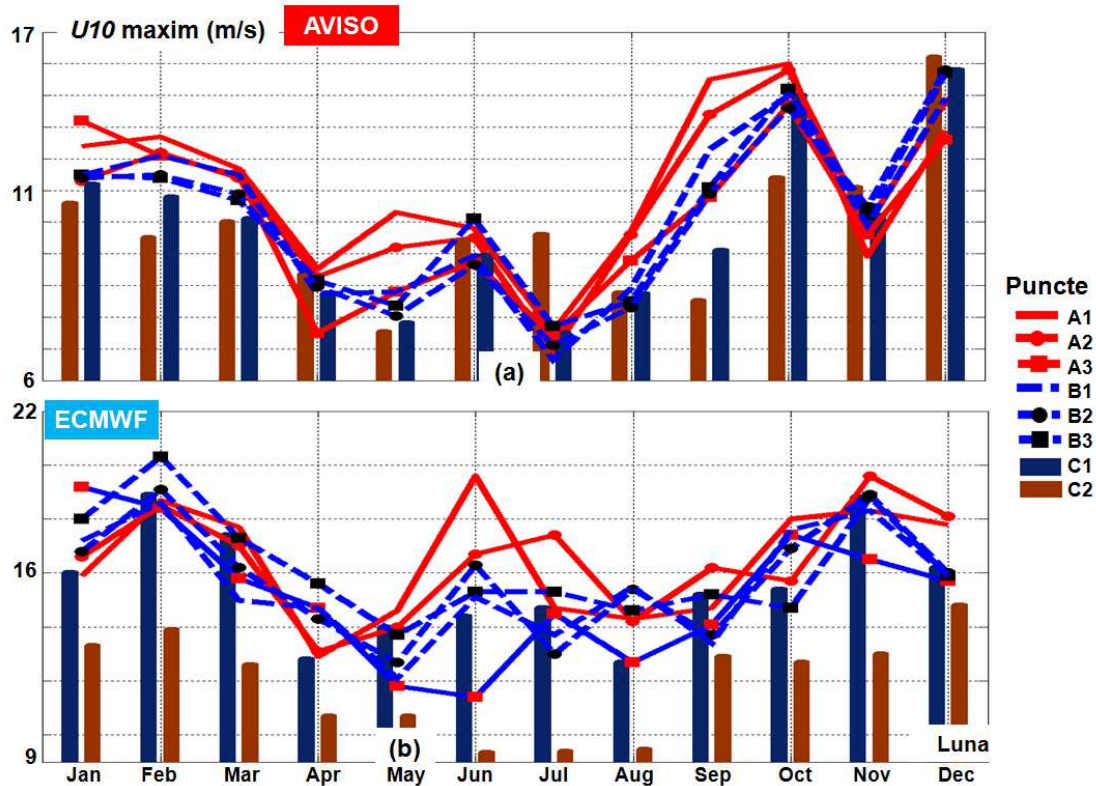


Figura 5.2. Variații lunare ale parametrului U_{10} (valori maxime) raportate pentru punctele de referință situate de-a lungul rutelor A, B și C, acestea fiind raportate de: a) măsurători AVISO; b) date ECMWF [30].

În ceea ce privește datele AVISO, se poate menționa că punctele situate pe ruta A și B prezintă valori mai consistente, în special pentru intervalul: Ianuarie-Martie (maxim: 14.2 m/s-A3); Mai (11.3 m/s - A1); August-Septembrie (15.5 m/s - A1). Din analiza punctelor C1 și C2, se poate observa că valorile maxime sunt egal distribuite, cu mențiunea că punctul C1 poate raporta un maxim de 16.2 m/s în Decembrie, în comparație cu 15 m/s indicat de C2 în Octombrie. În general, sunt raportate valori mai mari în intervalul Octombrie-Decembrie, în comparație cu perioada de vară atunci când un minim de 7.5 se poate înregistra de-a lungul rutei C.

Trecând la datele ECMWF (Figura 5.2b), se poate observa că grupul de puncte C sunt evidențiate de asemenea ca fiind mai puțin energetice, cu mențiunea că de această dată intervalul Ianuarie-Februarie prezintă valori mai mari. Pentru această perioadă din an, un maxim de 20.3 m/s este indicat pentru B3, în timp ce un minim de 11.8 m/s este acontat de A3. Un vârf de 19.6 m/s este indicat pentru A1 (Mai), valoare care este apropiată de cea raportată de majoritatea punctelor în Noiembrie. Punctul C1 indică de această dată valori mai consistente, comparabile cu cele raportate de-a lungul celorlalte rute. Astfel, în apropierea acestui punct se pot înregistra valori de 18.8 m/s în Februarie și Noiembrie, în timp ce un minim de 12.7 m/s este observat în Aprilie și respectiv August. Valori mult mai mici sunt raportate de punctul C2, care în perioada de iarnă (Octombrie-Martie) prezintă un maxim de 14.8 m/s în Decembrie, în timp ce în perioada de vară viteza vântului poate atinge 10.7 m/s, cu excepția lunii Septembrie atunci când se observă o valoare de 12.9 m/s.

Figura 5.3 prezintă o analiză similară, centrată de această dată pe distribuția parametrului H_s . La o primă evaluare, se observă că distribuția valorilor este mai lină fiind raportate diferențe mici între punctele de referință. Ambele seturi de date indică luna Februarie ca fiind mai energetică, cu

mențiunea că AVISO raportează în intervalul Aprilie-Septembrie valori constante în comparație cu ECMWF, unde valorile cresc gradual din Iunie până în Septembrie, ajungându-se în final la o valoare de 6.21 m (în B3) pentru luna Decembrie. Dintre punctele analizate se poate spune că C2 este caracterizat de cele mai mici valori, exceptând datele AVISO care pot indica pentru lunile Ianuarie și Februarie un maxim de 3.89 m.

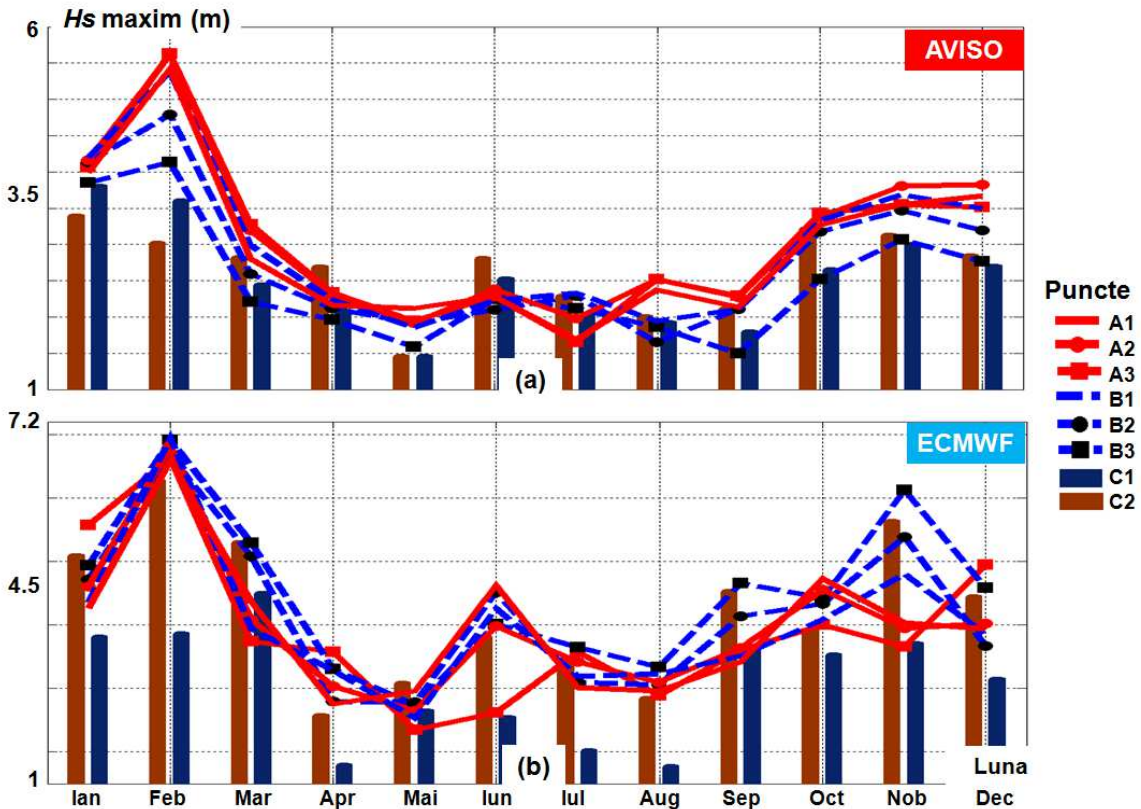


Figura 5.3. Variații lunare ale parametrului H_s (valori maxime) raportate pentru punctele de referință situate de-a lungul rutelor A, B și C, acestea fiind raportate de: a) măsurători AVISO; b) date ECMWF [30].

În afară de înălțimea valurilor, un alt factor important care influențează condițiile de navigare este dat de direcția din care se propagă valurile, acest lucru fiind reprezentat în Figura 5.4 pentru diverse puncte offshore situate pe rutele de trafic A, B și respectiv C. Din analiza acestor rezultate se poate observa că nu se evidențiază o direcție dominant, fiecare zonă fiind definită de caracteristici particulare. În apropiere de punctul A1, direcția din care se propagă valurile se modifică semnificativ de-a lungul anului, cele mai întâlnite direcții fiind nord-vest și sud-est, cu mențiunea că în luna Mai sectorul sudic poate fi considerat reprezentativ. Dacă ne raportăm la punctul A3 (situate în sud-est), se poate observa că masele de aer raportate din nord-vest sunt dominante de-a lungul anului, fiind posibil ca în intervalul Noiembrie-Februarie să se manifeste și condiții din zona țărului (sud-est).

Pentru punctele B2, majoritatea valorilor sunt concentrate de-a lungul axei est-vest, fiind raportate și câteva vârfuri din sectoarele nord-vest și sud-est, atunci când înălțimile de val pot ajunge până la 6 m. În luna August, ambarcațiunile aflate în apropierea de acest punct pot întâlni valuri din nord, dintre care se pot menționa valuri mai mari din sectorul nord-vest. În ceea ce privește C2, se poate preciza că valorile raportate din sectorul de vest sunt cele mai des întâlnite, cu mențiunea că în luna August sectorul nord-est pare a fi mai important. O evoluție similară este

evidențiată pentru punctul A3, unde în intervalul Noiembrie-Februarie este posibil să se înregistreze valuri dinspre zona costieră a Georgiei (sud-vest).

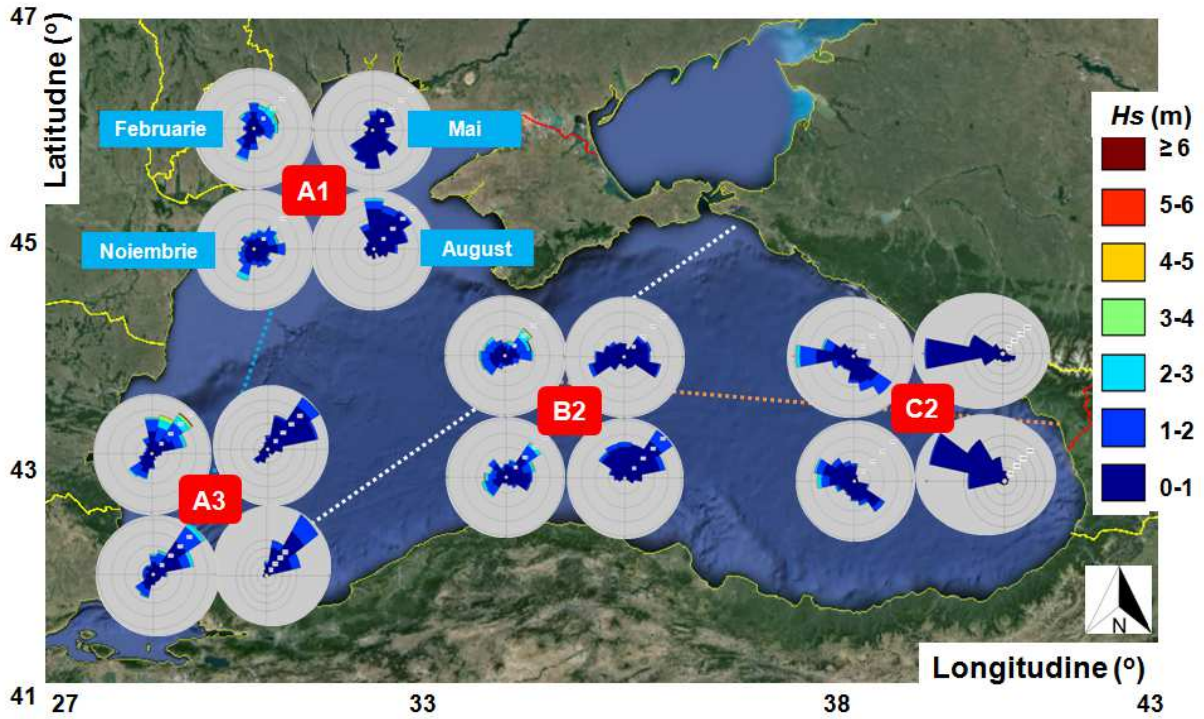


Figura 5.4. Distribuția pe direcții a valurilor raportată de datele ECMWF pentru intervalul Ianuarie 2005-Decembrie 2014. Rezultatele sunt indicate pentru lunile Februarie, Mai, August și Noiembrie considerând date procesate pentru punctele A1, A3, B2 și respectiv C2 [30].

Deoarece în apropierea Deltei Dunării se pot manifesta condiții de mediu importante, în Figura 5.5 este ilustrată distribuția condițiilor de vânt și val pentru intervalul 2010-2015. Seria de timp a parametrului U_{10} este indicată în Figura 5.5a, din care se poate observa variațiile dintre sezonul de vară (goluri) și iarnă a fiecărui an considerat. După cum era de așteptat, valori mai importante sunt raportate în perioada de iarnă, când valorile pot atinge un maxim de 16 m/s, în timp ce la nivel inter-anual, se poate preciza că intervalul 2014-2015 pare a prezenta valori mai consistente. În ceea ce privește parametrul H_s (Figura 5.5b), se observă că maximele variază în jurul unei valori de 3 m, existând și o excepție în care se înregistrează un vârf de 5.8 m în anul 2012.

Analizând seriile de timp, s-au identificat câteva situații în care energia vântului și a valurilor prezintă valori mai mari, așa cum se poate observa din Figura 5.11c și 5.11d. Referitor la aceste distribuții spațiale, se poate observa că valorile extreme raportate de cei doi parametri nu coincid ca interval de timp.

Un alt punct important a fost definit în partea de nord-vest a Mării Negre în apropiere de regiunea Novorossiysk (Rusia) unde pot fi raportate condiții extreme, în special în ceea ce privește viteza vântului. O astfel de analiză este prezentată în Figura 5.6, considerând valorile maxime lunare raportate de datele AVISO și ECMWF pentru parametrii U_{10} și respectiv H_s . Pe baza acestor date se poate observa că valorile indicate de către modelul ECMWF sunt în general mai mari, în special în ceea ce privește parametrul H_s .

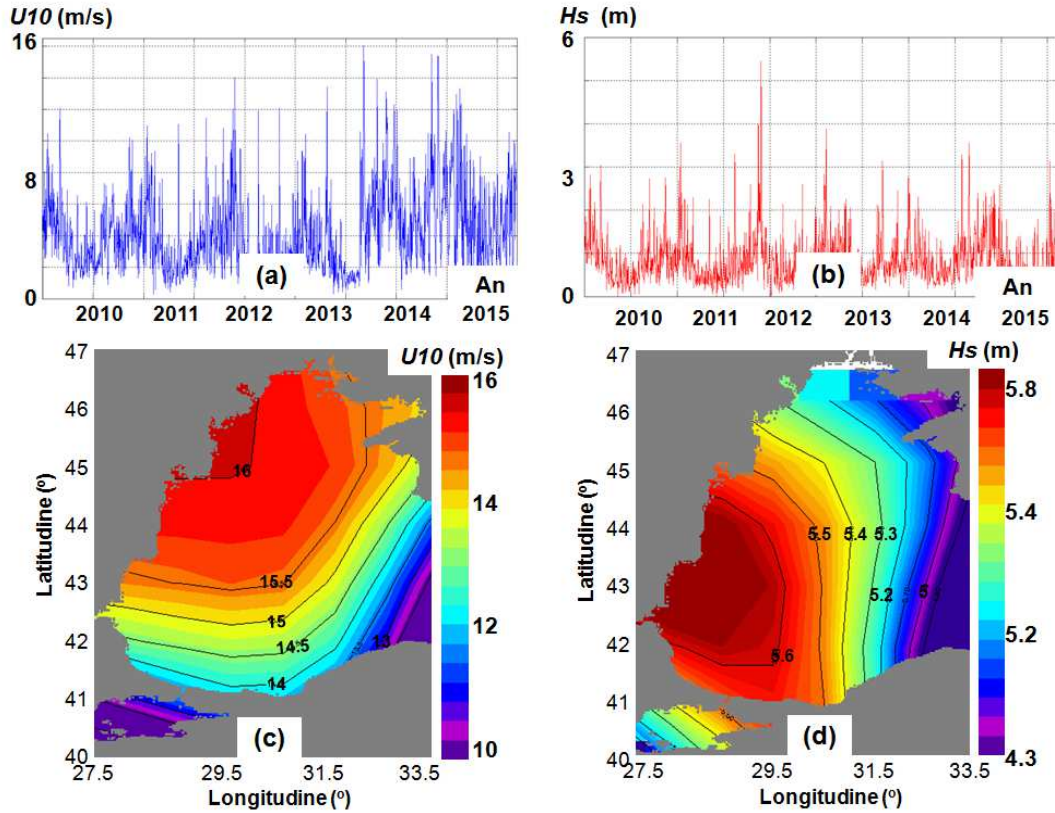


Figura 5.5. Evoluția condițiilor de mediu din partea de nord-vest a Mării Negre, unde: a) și b) serii de timp ale parametrilor $U10$ și Hs raportate în apropiere de Delta Dunării; c) valori extreme ale parametrului $U10$ raportate pentru 20.10.2013; d) valori extreme ale parametrului Hs raportate pentru 8.02.2012. Măsurătorilor AVISO procesate pentru intervalul 2010-2015 [30].

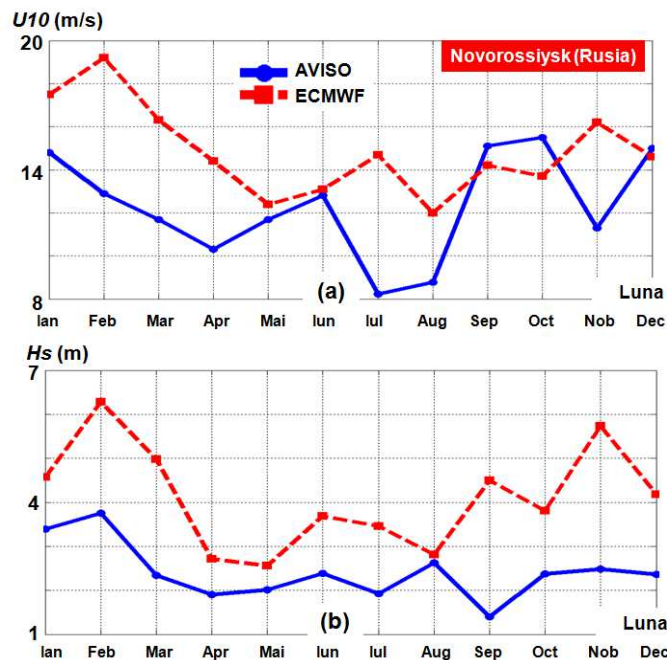


Figura 5.6. Variații lunare ale parametrilor $U10$ (figura a) și Hs (figura b) raportate pentru Novorossiysk (Rusia), considerând măsurători AVISO procesate pentru intervalul 2010-2015 [30].

În ceea ce privește viteza vântului, datele ECMWF indică luna Februarie ca fiind mai importantă cu un maxim de 19.2 m/s, în timp ce pentru perioada Mai-Decembrie valorile pot oscila în intervalul 12-16.2 m/s. O distribuție neregulată a valorilor este indicată de măsurătorile AVISO, care prezintă valori mai mari pentru intervalul Septembrie-Decembrie, atunci când se înregistrează un maxim de 15.5 m/s. Aici trebuie menționat că în luna Noiembrie valorile pot atinge un minim de 11.3 m/s. Valori mult mai mici sunt raportate în sezonul de vară (Iulie și August), atunci când un minim de 8.22 m/s poate fi înregistrat.

Distribuția parametrului H_s este prezentată în Figura 5.6b, din care se poate observa o distribuție similară a valorilor lunare, ambele baze de date indicând luna Februarie ca fiind mai importantă, fiind raportate valori de 3.75 m (AVISO) și respectiv 6.28 m (ECMWF). Valorile AVISO sunt relativ constante de-a lungul întregului an, cu excepția lunii Septembrie atunci când se înregistrează un minim de 1.4 m. Analizând distribuția valorilor ECMWF, se evidențiază două perioade în care valorile au tendința să crească, și anume: a) Mai (2.56 m) - Iulie (3.46 m) - Octombrie (3.81 m) - Decembrie (4.18 m); b) Aprilie (2.71 m) - Iunie (3.69 m) - Septembrie (4.5 m) - Noiembrie (5.74 m).

Pe baza rezultatelor prezentate anterior, se poate trage concluzia că deși Marea Neagră este o mare închisă caracterizată în general de valori medii ale condițiilor de mediu, pot exista situații în care să apară condiții extreme ce pot restricționa activitățile din zonele costiere sau offshore.

Capitolul 6

IMPLEMENTAREA TEHNICILOR DE ASIMILARE A DATELOR ÎN MAREA NEAGRĂ

6.1 Asimilarea datelor folosind metoda corecțiilor succesive

În cadrul acestui capitol se are în vedere dezvoltarea și implementarea unor procedee de asimilare a datelor (DA), zona țintă avută în vedere fiind situată în partea de vest a bazinului Mării Negre, o atenție deosebită fiind acordată zonei costiere Românești. După cum se poate observa și din Figura 6.1, un prim pas constă în implementarea acestor sisteme în zona de vest a bazinului considerând două domenii de calcul principale: a) Nivel I - bazinul Mării Negre; b) Nivel II - local.

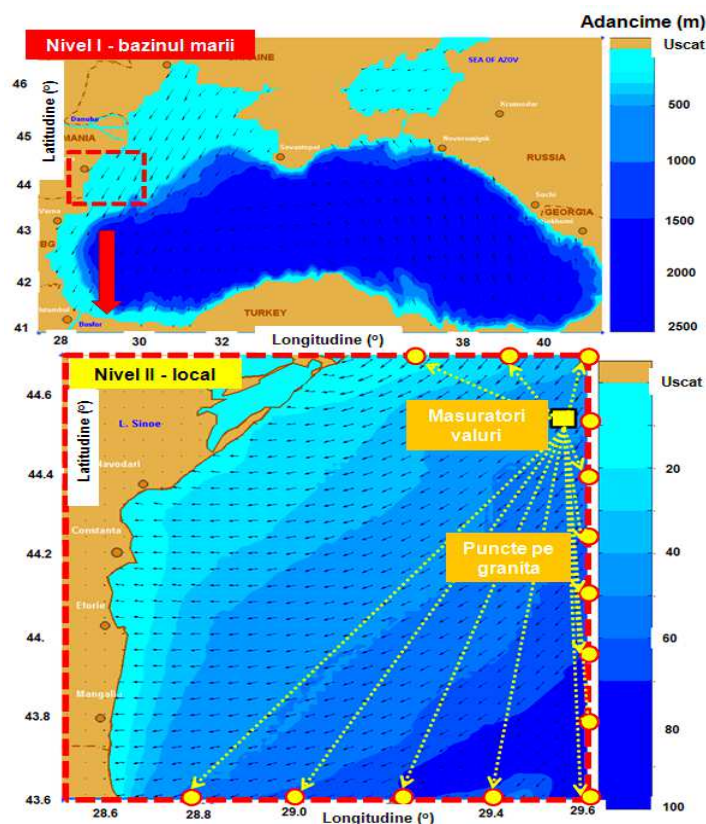


Figura 6.1. Domenii de calcul considerate în simulările SWAN [35].

În figură sunt prezentate condiții generale ale climatului valurilor (vectori de val și câmpuri scalare) care pot fi întâlnite frecvent, în timp ce în fundal se poate observa batimetria acestui bazin închis. Pe lângă aceste elemente sunt evidențiate și punctele de frontieră folosite în simulările cu modelul SWAN (Simulating WAVes Nearshore), precum și platforma Gloria care reprezintă o sursă importantă de măsurători in situ. În ceea ce privește setările aplicate în cadrul modelărilor numerice, mai multe detalii sunt furnizate în Tabelul 6.1.

Modelul SWAN a fost implementat considerând 36 de direcții și 30 de frecvențe care au valori cuprinse între 0.12 Hz - 1.2 Hz, simulările fiind rulate într-un mod nestaționar caracterizat de un pas de timp de 20 minute, în care nu s-au inclus efectele generate de prezența curenților costieri. Pentru zona Mării Negre s-a considerat util folosirea unui număr de iterații egal cu 10, pentru a putea obține o mai bună acuratețe a rezultatelor obținute. Caracteristicile zonei țintă și procesele fizice vizate în cadrul simulărilor numerice sunt de asemenea identificate în Tabelul 6.1.

Tabel 6.1. Descrierea parametrilor și proceselor fizice activate în cadrul simulărilor SWAN, identificate pentru fiecare nivel de calcul [35].

SWAN	Parametri fizici											
	Origine	$\Delta x \times \Delta y$ (°)	Δt (min)	$\Delta \theta$ (°)	Mod	nf	n θ	$ngx \times ngy = np$				
Nivel I bazin	$X_{01}=-27.5^{\circ}V$ $Y_{01}=41^{\circ}N$	0.08x 0.08	20	10	Nestat	34	36	176x76=13376				
Nivel II Local	$X_{02}=-28.5^{\circ}V$ $Y_{02}=43.6^{\circ}N$	0.005 x 0.005	20	10	Nestat	29	36	75x90=6750				
Intrări/ Proc.	Procese fizice activate											
	Val	Vânt	Maree	Crt	Gen	Wcap	Quad	Tri	Dif	Mfr	Set up	Br
Nivel I bazin	0	X	0	0	X	X	X	0	0	X	0	X
Nivel II Local	X	X	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X

Parametrii menționați în Tabelul 6.1 sunt indicați pentru: Δx și Δy - rezoluții în spațiul geografic, Δt - rezoluția în spațiul timpului, $\Delta \theta$ - rezoluție în spațiul direcțiilor, $n\theta$ - număr de direcții în domeniul spectral, nf - număr de frecvențe în domeniul spectral, ngx - număr puncte din grilă după axa x , ngy - număr puncte din grilă după axa y , np - număr total de puncte. Dintre procesele fizice activate se pot menționa: *valuri* - forțare valuri, *vânt* - forțare vânt, *gen* - generare folosind vânt, *wcap* - procese de înspumare, *quad* - interacțiuni quadruple, *triad* - interacțiuni de tip triadă, *dif* - difracție, *Mfr* - interacțiune cu fundul mării, *set up* - ridicare nivel apă, *br* - deferlare valurilor datorată scăderii adâncimii apei.

Pentru a putea obține rezultate mai bune în apropierea zonelor costiere, este important să se folosească o batimetrie cu o rezoluție mult mai mare, deoarece regiunea în care se propagă valurile de vânt (din apă adâncă spre apă puțin adâncă) poate prezenta variații importante. Acest lucru se poate realiza considerând o grilă nestructurată a cărei rezoluție crește gradual către zona de surf.

Cu ajutorul modelului SWAN s-au realizat simulări numerice care acoperă întreg bazinul Mării Negre pentru intervalul de timp 2006/01/01-2006/07/01 (primele 6 luni din anul 2006), în acest scop fiind folosite câmpuri de vânt provenind de la NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis) care sunt caracterizate de o

rezoluție spațială de $0.312^\circ \times 0.312^\circ$, pentru care datele au fost folosite în sistemul de modelare al valurilor la un interval de 3 ore.

Folosind măsurătorile de val furnizate de platforma Gloria, în Figura 6.2 s-a realizat o analiză a valorilor obținute din simulările numerice considerând doi parametri de val: a) înălțimea semnificativă (H_s); b) perioada de val - T_p . Măsurătorile in situ furnizate de platformă acoperă întreg intervalul de timp avut în vedere, fiind raportate zilnic la un interval de 6 ore. Ținând cont că dintre măsurătorile înregistrate, aproximativ 92% reprezintă date valide, prin intermediul unei metode descrisă în Makarinsky *et al.*, 2005 [36] s-au completat valorile lipsă.

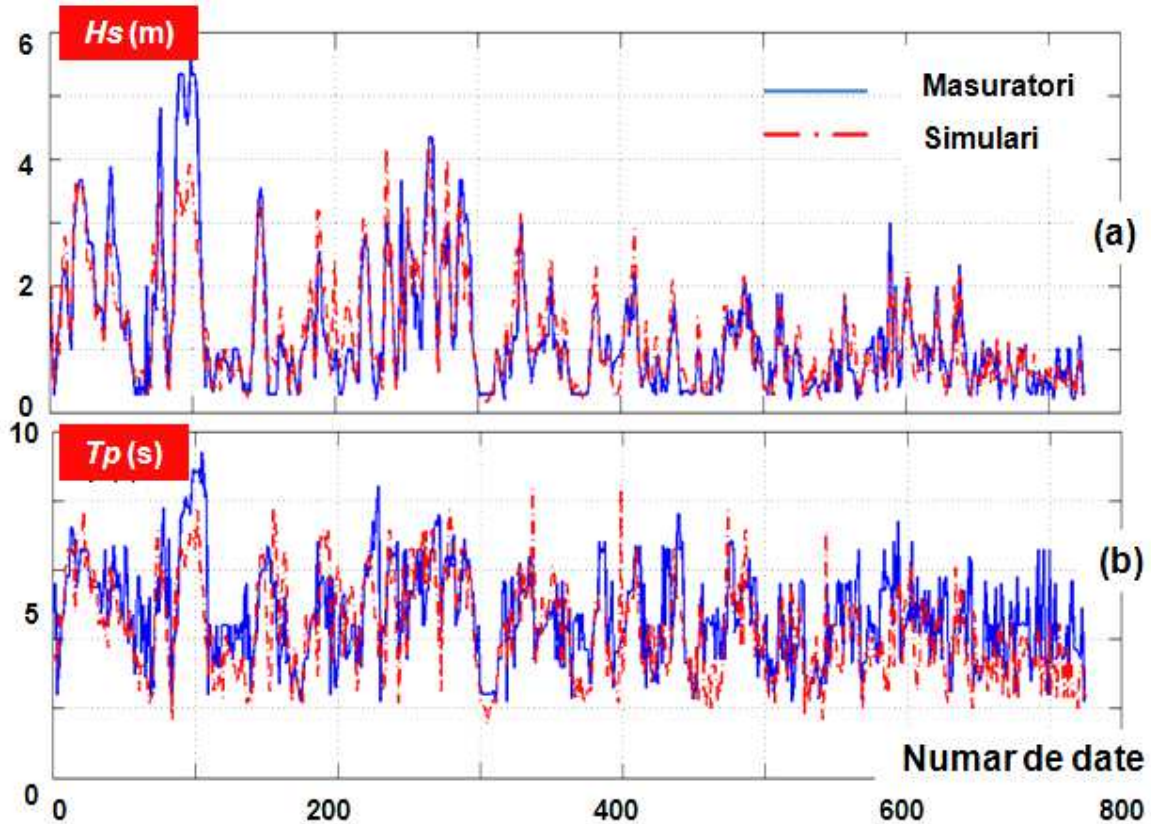


Figura 6.2. Serii de timp ale parametrilor H_s și T_p , considerând măsurători de val de la platforma Gloria și simulări SWAN. Rezultate raportate pentru perioada de timp 2006/01/01-2006/07/01 [35]

Ținând cont că pentru un studiu de acest gen este important să se verifice calitatea simulărilor numerice, în acest scop au fost considerați mai mulți parametri numerici, ale căror ecuații matematice sunt definite în continuare:

$$\text{Eroare medie: } \text{Eroare} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{N} \quad (6.1)$$

$$\text{Eroare medie absolută: } \text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - Y_i|}{N} \quad (6.2)$$

$$\text{Eroarea rădăcinii medii pătrate: } RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (6.3)$$

$$\text{Index de împrăștiere: } SI = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i - \text{Eroare})^2}}{\bar{X}} \quad (6.4)$$

Coeficientul de corelare (R), sau coeficientul lui Pearson, are următoarea expresie:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (6.5)$$

$$\text{Pantă: } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Y_i^2}{\sum_{i=1}^N X_i^2}} \quad (6.6)$$

În ecuațiile anterioare cu X_i s-au indicat valori măsurate, Y_i - valori simulate, \bar{X} și \bar{Y} - valori medii (simulate și măsurate), N - număr de valori. Pentru perioada de timp analizată (2006/01/01-2006/07/01) s-au comparat rezultatele obținute din simulările SWAN cu cele măsurate în cadrul platformei Gloria. Valorile statistice obținute sunt prezentate în Tabelul 6.2, în timp ce diagramele de dispersie asociate sunt indicate în Figura 6.3 pentru cei doi parametri principali (H_s și T_p).

Tabel 6.2. Rezultate statistice ale condițiilor de val, raportate între valorile obținute din simulările numerice SWAN și cele de la platforma Gloria, considerând intervalul de timp 2006/01/01-2006/07/01 (6 luni) [35].

Parametru	Medie măsurători	Medie simulări SWAN	Eroare	MAE	RMSE	SI	R	S	N
H_s (m)	1.19	1.18	0.01	0.33	0.49	0.41	0.88	0.93	725
T_p (s)	4.61	4.21	0.40	1.07	1.41	0.31	0.55	0.92	725

Analizând rezultatele indicate în Tabelul 6.2 precum și Figurile 6.2 și 6.3, se poate evidenția faptul că cele mai importante valori sunt raportate pentru 2006/01/25/h12, atunci când simulările numerice prezintă valori mult mai mici pentru ambii parametri considerați pentru evaluare. Dacă discutăm despre înălțimile de val H_s , se observă că modelul raportează o înălțime de 3.82 m, în comparație cu 5.67 m indicate de către măsurători, înregistrându-se în acest fel o eroare relativă de 0.33% care corespunde unei erori absolute de 1.85 m.

Trecând la parametrul T_p se evidențiază un maxim de 7.11 s (model SWAN) în comparație cu 8.9 s (măsurători), care indică o eroare absolută de aproximativ 1.8 s și o eroare relativă de 0.2 %. Pe lângă aceste aspecte, trebuie menționat că eroare raportată este pozitivă ($T_p=0.4$ s; $H_s=0.01$ m) în timp ce panta distribuției prezintă valori mai mici de 1 ($T_p=0.92$ s; $H_s=0.93$ m), aceste valori indicând o subestimare a condițiilor reale de către simulările SWAN.

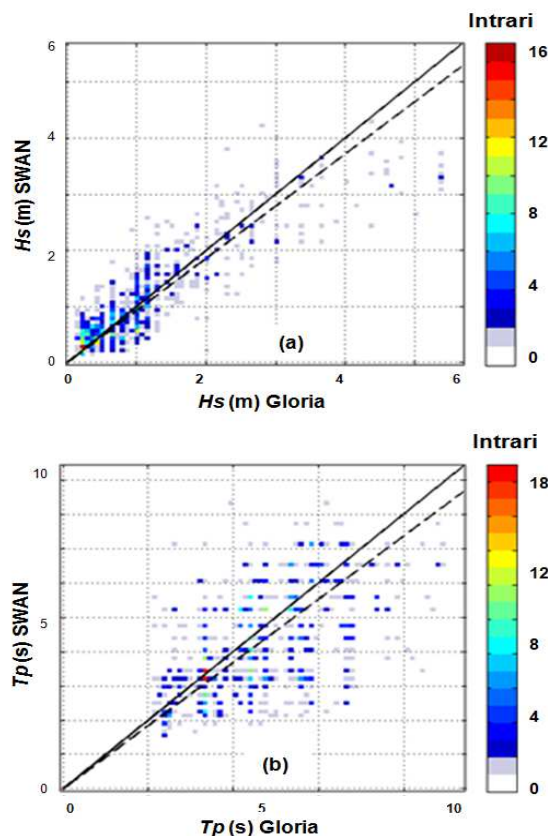


Figura 6.3. Diagrame de disperie raportate pentru măsurătorile in situ (platforma Gloria) și simulările SWAN considerând intervalul de timp 2006/01/01-2006/07/01 și parametrii: a) H_s ; b) T_p [35].

Pe baza acestor rezultate se poate menționa că valorile obținute din simulări par a fi destul de precise pentru zona țintă avută în vedere, în condițiile în care modelare climatului valurilor în cadrul unor bazine închise sunt mai dificil de implementat de în comparație cu cele raportate la zonele oceanice. De asemenea trebuie avut în vedere că performanțele modelelor de val raportate la mări închise sau semi-închise depind în mare măsură de acuratețea câmpurilor de vânt folosite, care sunt caracterizate de o calitate mai slabă datorită influențelor ce apar la interfața uscat-mare. Pentru a putea îmbunătăți predicțiile modelelor de val este important să se folosească baze de date având o rezoluție superioară, la care se adaugă și implementarea unor metode de tip DA, aceste tehnici fiind discutate în continuare.

Structura tehnicii DA implementată în zona țintă este prezentată în Figura 6.1, aceasta implicând folosirea măsurătorilor de val de la platforma Gloria pentru a ajusta predicțiile obținute pentru domeniul SWAN raportat la nivel costier. În mod concret, se urmărește transmiterea corecțiilor raportate între măsurătorile de la platforma Gloria și rezultatele SWAN, care au fost calculate pentru aceeași poziție și serie de timp. Acestea vor fi propagate în spațiul geografic, având un impact semnificativ asupra punctelor de frontieră care delimitează domeniul de calcul specific zonei centrale din partea de vest a bazinului. Inițial s-au considerat pentru procedura de asimilare doar înălțimile de val H_s și perioada T_p .

Generalizând, se poate spune că pentru un punct F (aflat pe frontiera domeniului cu o rezoluție mai mare), valorile asimilate pentru un parametru de val corespunzătoare unor simulări raportate la un moment de timp t sunt definite ca:

$$X_{Ft}^{(A)} = X_{Ft}^{(E)} + K(F, t)(\Delta X_{Mt}), \quad (6.7)$$

$X_{Ft}^{(E)}$ se referă la valorile furnizate de model pentru punctul F , coeficientul $K(F, t)$ - raport între valorile provenind de la model (în punctul F) și cele corespunzătoare unui punct M (în care sunt raportate măsurătorile in situ), pentru parametrul de val estimat:

$$K(F, t) = \frac{X_{Ft}^{(E)}}{X_{Mt}^{(E)}}. \quad (6.8)$$

Cu ΔX_{Mt} s-a notat diferența dintre măsurători și valorile estimate de modelul SWAN pentru un parametru de val, valorile fiind raportate pentru punctul M :

$$\Delta X_{Mt} = X_{Mt}^{(Ms)} - X_{Mt}^{(E)}. \quad (6.9)$$

În relațiile 6.7, 6.8 și 6.9, prin indicele A s-au indicat valorile asimilate ale parametrului de val, cu E valorile estimate în timp ce cu Ms s-au notat valorile măsurate. Prin intermediul lui F s-a notat un punct de frontieră, iar prin M s-a indicat punctul unde sunt raportate măsurători, în acest caz fiind vorba de poziția platformei Gloria care se află în partea de vest a Mării Negre. Un studiu similar a fost realizat de către Rusu și Guedes Soares [37], acesta fiind raportat pentru peninsula Iberică, cu mențiunea că există o diferență majoră în procedeul folosit pentru a transfera informațiile în spațiul spectral. Astfel, în studiul anterior valorile parametrului Hs se propagă în spațiul spectral considerând ca invariant matricea spectrală normalizată, acest lucru referindu-se la faptul că înălțimea valurilor este corectată fără a modifica forma spectrului. În această situație, s-a considerat util ca spectrul de val să fie înlocuit cu un spectru JONSWAP echivalent [38]. Alte variante constau în folosirea unui spectru de tip Pierson Moskowitz [39] sau a unui spectru având o formă Gaussiană pentru implementarea în modelul SWAN, care să definească condițiile spectrale de frontieră cu valori parametrice. Pentru a putea defini un spectru teoretic (ex: JONSWAP sau Pierson Moscovitz) se pot lua în considerare patru parametri de val, cum ar fi: înălțimea val Hs , perioada maximă de val (sau eventual cea medie), direcția de val (Dir) și împrăștierea în spațiul direcțional ($DSPR$). Dintre aceștia, primii trei parametri sunt considerați a fi standard, expresiile acestora fiind descrise în manualul de implementare SWAN [40].

În ceea ce privește parametrul $DSPR$, acesta se referă la lățimea spectrului pe o singură latură direcțională (în grade), fiind calculat la fel ca valorile înregistrate de o baliză [41]:

$$\left(DSPR \frac{\pi}{180} \right)^2 = 2 \left[1 - \sqrt{\left[\left(\int \sin \theta \frac{\int E(\sigma, \theta) d\sigma}{\int E(\sigma) d\sigma} d\theta \right)^2 + \left(\int \sin \theta \frac{\int E(\sigma, \theta) d\sigma}{\int E(\sigma) d\sigma} d\theta \right)^2 \right]} \right] \quad (6.10)$$

Prin metoda folosită în acest studiu se are în vedere ajustarea celor patru indicatori de val (Hs , Tp , DIR , $DSPR$), prin înlocuirea spectrelor de val ale punctelor aflate pe granița domeniului de calcul, cu un spectru JONSWAP format din parametri de val corecțai. Beneficiile schemei de calcul propuse rezultă din faptul că se poate realiza o tehnică de asimilare a datelor de tip multi-parametru. Cele două tehnici DA considerate au fost analizate pentru diverse zone costiere, rezultatele obținute indicând diferențe mici între acestea [42, 43]. Din rezultatele obținute, se pare că în apropierea zonelor costiere, folosirea condițiilor parametrice de frontieră reprezintă o abordare viabilă în modelarea climatului valurilor.

Ținând cont de faptul că pentru perioada avută în vedere (2006/01/01-2006/07/01), dintre parametrii mășurați la platforma Gloria sunt disponibili doar valorile H_s și T_p , în primă fază doar aceste valori vor fi considerate în procesul de asimilare. Influența tehnicii DA în spațiul geografic, urmează a fi evaluată considerând două studii de caz distincte, care sunt indicate prin: a) CS1 - 2006/01/19/h00; b) CS2 - 2006/01/20/h00.

Variațiile raportate între valorile măsurate și cele provenind din simulările SWAN (pentru platforma Gloria), sunt calculate astfel:

$$\Delta H_s = H_{sM}^{(M)} - H_{sM}^{(E)}, \Delta T_p = T_{pM}^{(M)} - T_{pM}^{(E)}. \quad (6.11)$$

Figura 6.4 indică evoluția în spațiul geografic a celor doi parametri, considerând situația în care s-au raportat simulările SWAN cu și fără asimilare de date, unde s-au precizat de asemenea și condițiile de vânt locale (viteză și direcție - valori medii). În acest caz, se observă că valurile se propagă din sectorul sudic, acestea fiind influențate de direcția vântului care acționează din sud-vest cu o viteză medie de 12 m/s. Analizând cazul CS1, se observă că modelul SWAN supra-evaluează condițiile reale, înregistrând următoarele variații pentru parametrii de val: $\Delta H_s = -0.69m$, $\Delta T_p = -2.41s$

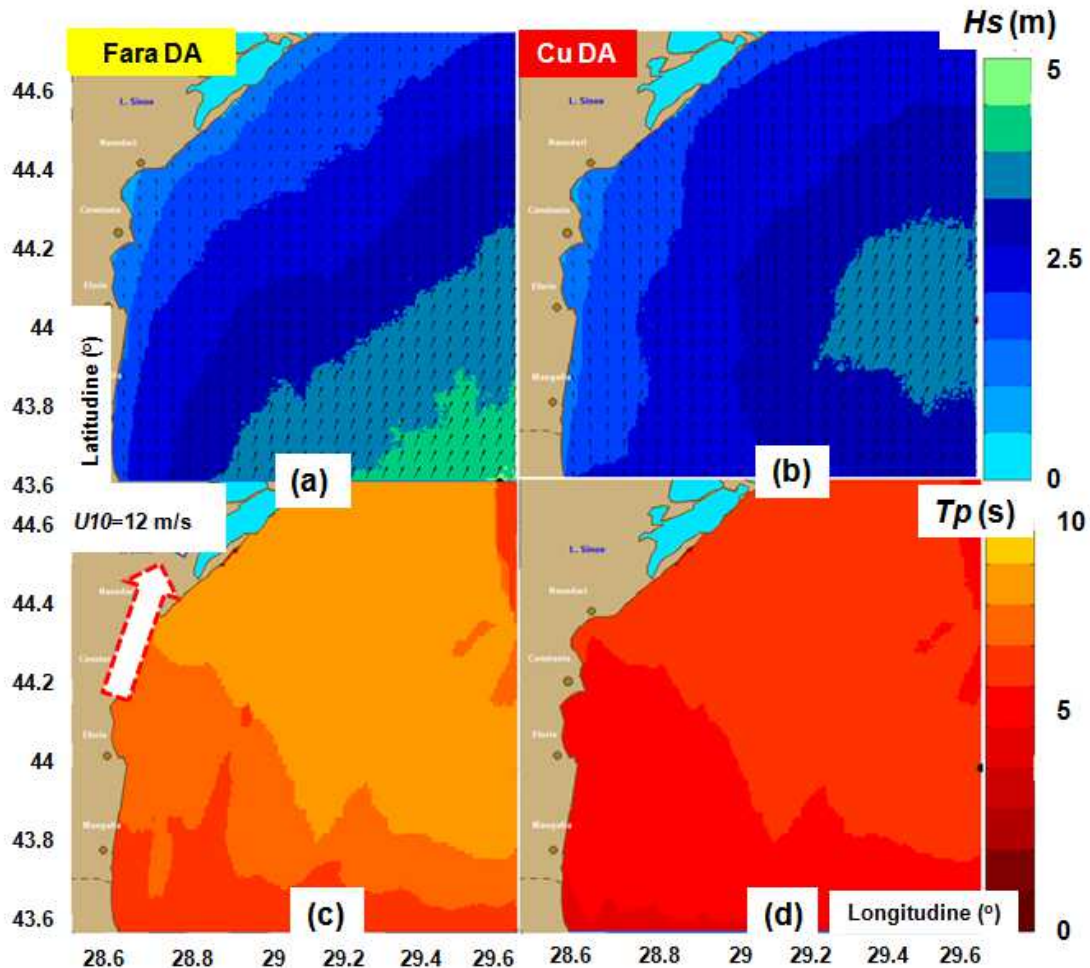


Figura 6.4. Simulări numerice obținute cu modelul SWAN pentru zona țintă considerând studiul de caz CS1 (2006/01/19/h00). Parametrii de val evaluați sunt: a) și b) valori H_s - fără asimilare și cu DA; c) și d) parametrul T_p - fără asimilare și cu DA [35].

În ceea ce privește studiul de caz CS2, se poate observa că în cazul simulărilor numerice există tendința de a estima valori mai mici decât în cazul măsurătorilor, înregistrându-se următoarele diferențe: $\Delta H_s = 2.81m$, $\Delta T_p = 1.73s$. Distribuția câmpurilor de valuri în spațiul geografic pentru acest studiu de caz sunt prezentate în Figura 6.5.

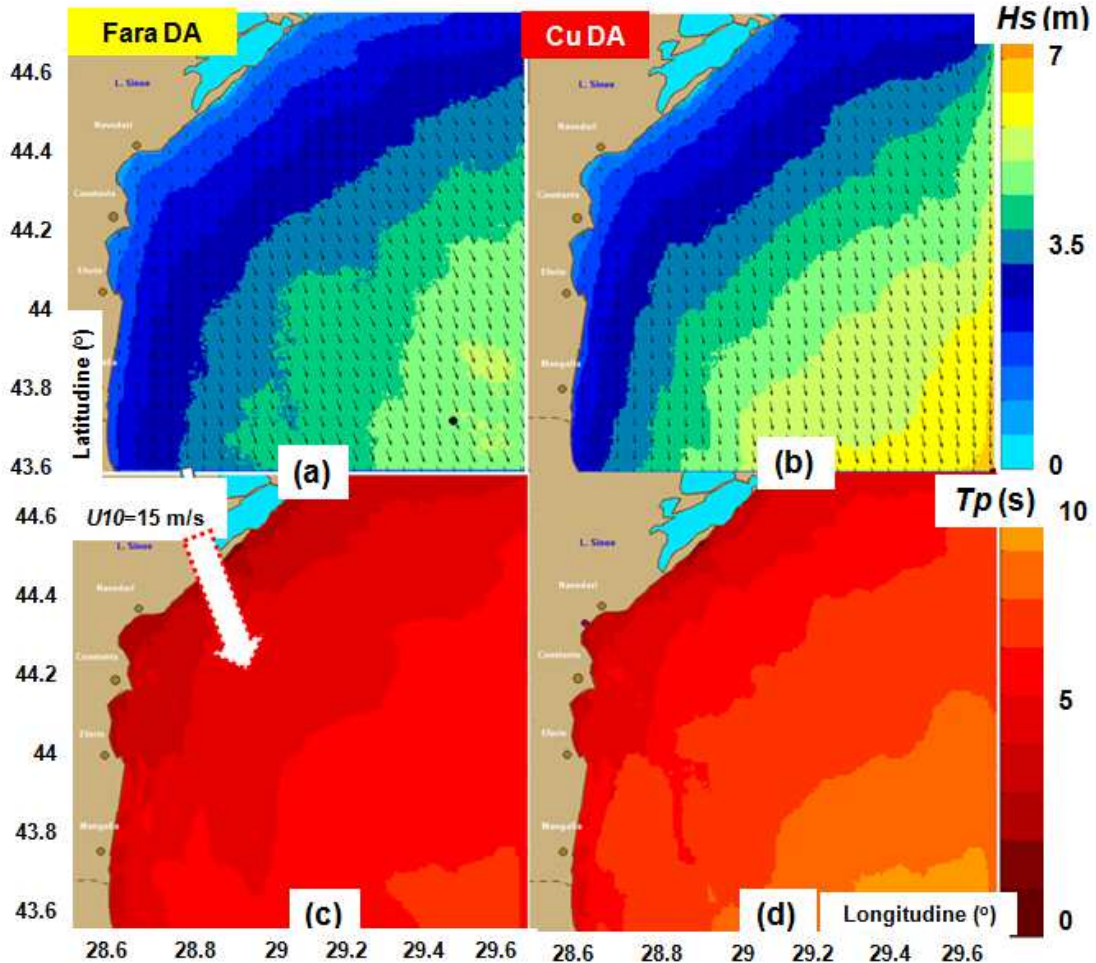


Figura 6.5. Simulări numerice realizate cu ajutorul modelului SWAN considerând studiul de caz CS2 (2006/01/20/h00). Parametrii de val considerați pentru evaluare sunt: a) și b) înălțimi de val H_s - fără asimilare și cu DA; c) și d) perioadă de val T_p - fără asimilare și cu DA [35].

Pentru această situație, valurile intră în zona țintă din nord-vest, această direcție fiind similară cu cea a vântului, care pentru acest moment de timp poate atinge o viteză medie de circa 15 m/s. Analizând rezultatele ilustrate în Figura 6.4 și 6.5, se poate preciza că deși cele două studii de caz sunt separate de un interval de numai 24 ore, ele prezintă distribuții total diferite atât în ceea ce privește direcția valurilor cât și valorile înregistrate între simulările SWAN și măsurători. Comparând cele două distribuții, se observă că prin folosirea unei tehnici DA se înregistrează o îmbunătățire a rezultatelor chiar și pentru intervale scurte de timp.

O analiză mai detaliată a impactului pe care îl are asimilarea de date asupra predicțiilor de val s-a realizat pentru zona țintă, analizând misiunile altimetrice care au fost raportate în această zonă geografică în intervalul de 6 luni considerat pentru evaluare. Pentru a ilustra aceste trasee, traiectoriile misiunilor altimetrice din regiune sunt prezentate în Figura 6.6, considerând doar sateliții înregistrați în luna Martie 2006. În Figura 6.7 este realizată o comparație între măsurătorile

de satelit și simulările numerice, considerând parametrul H_s care a fost analizat pentru întreaga perioadă de timp (6 luni → 2006/01/01-2006/07/01).

Din analiza acestor rezultate, se poate spune că prin folosirea tehnicilor DA se pare că predicțiile de val se îmbunătățesc în mod semnificativ. Analizând seriile de timp, se evidențiază mai multe vârfuri energetice care în urma procesului de asimilare sunt raportate variații mai consistente în ceea ce privește înălțimea valurilor. Aceste valori sunt caracteristice lunii Ianuarie, perioadă în care sunt raportate variații semnificative raportate la un interval scurt de timp. Analizând din alt punct de vedere, este posibil ca aceste variații să existe datorită unor erori care pot oricând apărea într-un set de măsurători.

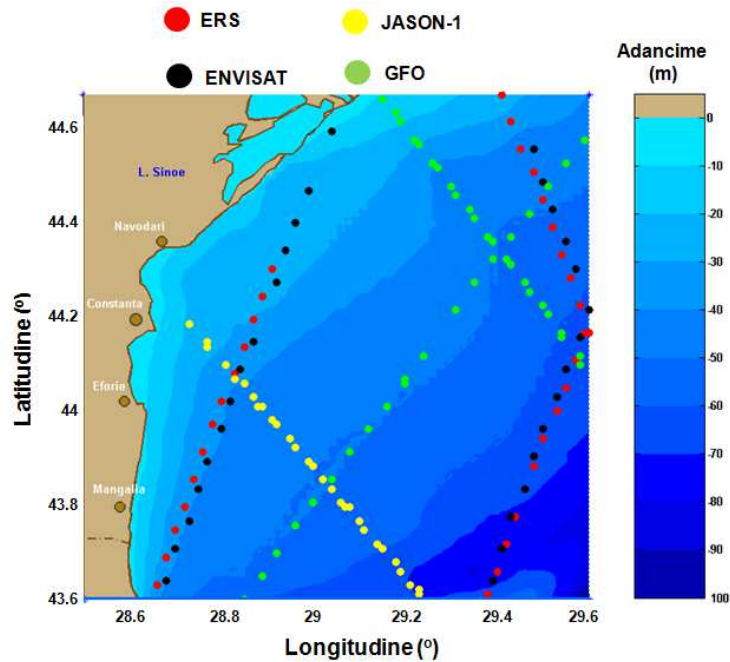


Figura 6.6. Trajectoriile misiunilor altimetrice raportate în zona țintă pentru luna Martie 2016 [35].

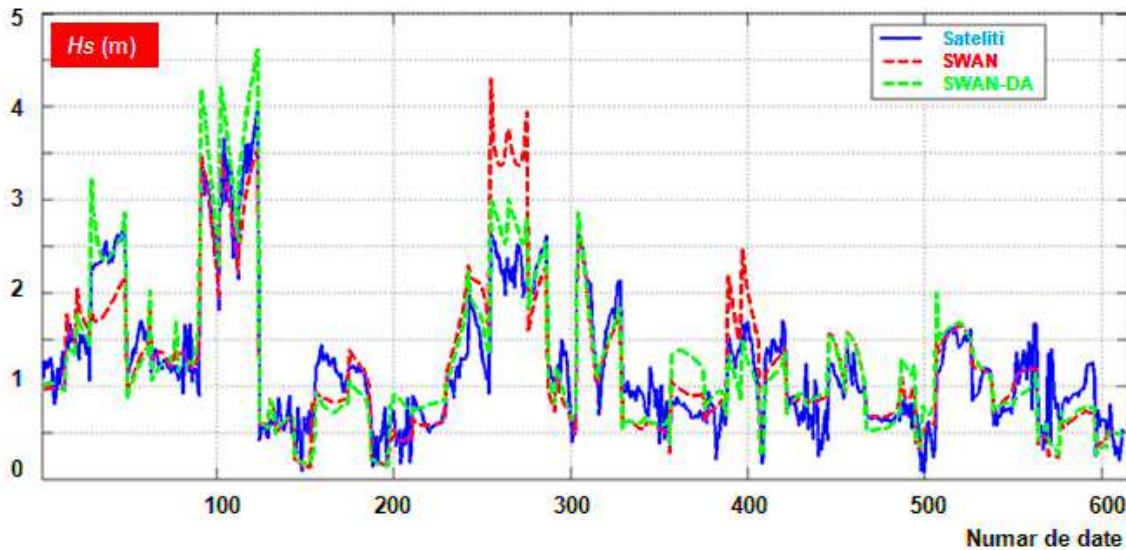


Figura 6.7. Distribuția parametrului H_s , raportată de măsurătorile de satelit și simulările SWAN (fără asimilare și cu DA) pentru intervalul 2006/01/01-2006/07/01 [35].

Rezultatele statistice raportate pentru înălțimile H_s sunt prezentate în Tabelul 6.3, datele fiind procesate pentru intervalul de timp 2006/01/01-2006/07/01. Simulările numerice au fost realizate pentru domeniul de calcul caracterizat de o rezoluție mai bună, aceste rezultate fiind prezentate și în Figura 6.8 sub forma unor diagrame de dispersie.

Tabel 6.3. Analiza statistică a valorilor H_s indicată pentru domeniul de calcul având o rezoluție superioară. Simulările numerice (fără asimilare și cu DA) sunt raportate la măsurătorile de satelit disponibile pentru intervalul 2006/01/01-2006/07/01 [35].

Parametru	Medie măsurători	Medie simulări	Eroare	MAE	RMSE	SI	R	S	N
H_{s_SIM} (m)	1.21	1.22	-0.01	0.28	0.38	0.32	0.88	1.04	612
H_{s_ASIM} (m)	1.21	1.24	-0.03	0.26	0.33	0.27	0.92	1.07	612

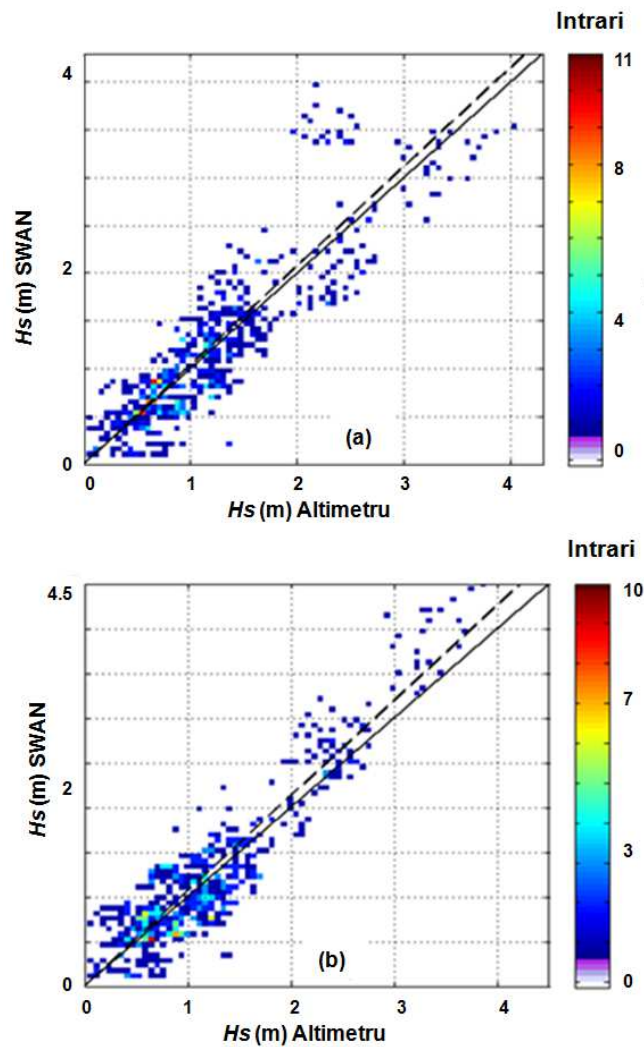


Figura 6.8. Diagrame de dispersie indicate pentru valorile H_s , raportate pentru simulările numerice SWAN și măsurătorile de satelit. Informații furnizate pentru intervalul 2006/01/01-2006/07/01, unde: a) simulări fără asimilare; b) simulări cu DA [35].

Ținând seama de rezultatele anterioare, se observă că prin aplicare unei tehnici DA se poate genera o predicție exinsă, care poate contribui în mod pozitiv la îmbunătățirea simulărilor numerice realizate pentru diverse zone costiere. Pornind de la aceste rezultate, următorul pas constă în elaborarea unei tehnici DA care să permită obținerea în timp real a unor informații privind starea actuală a mării sau care să estimeze evoluția acesteia în viitor. Pentru a putea realiza acest lucru, pentru studiul de față s-a considerat util realizarea unor fișiere cheie la sfârșitul fiecărei zile, acestea fiind denumite și *hot file*. Acestea conțin informații esențiale ce țin de starea actuală a mării, fiind folosite ca bază (fișiere de intrare) pentru simulările următoare.

Din analiza acestor valori se observă o calitate mai bună a rezultatelor, care rezultă din evoluția următorilor parametri statistici: eroare absolută medie (0.26 față de 0.28 anterior), RMSE (0.33 față de 0.38), SI (0.27 față de 0.32) și coeficientul de corelare (0.92 față de 0.88). Dintre indicatorii avuți în vedere trebuie precizat că doar panta simetrică nu s-a îmbunătățit aceasta înregistrând 1.07 (față de 1.04 anterior).

Raportându-ne la aceste rezultate se poate afirma că prin asimilare unor alți parametri de val (ex: *DIR*, *DSPR*), se poate îmbunătăți în mod semnificativ calitatea simulărilor numerice realizate cu ajutorul modelului SWAN.

După ce s-a identificat starea mării folosind aceste fișiere, următoarea etapă constă în corectarea predicțiilor de val pentru diverse puncte în care există disponibile măsurători in situ, aceste ajustări fiind transferate în spațiul geografic folosind o metodă descrisă în Ecuațiile 6.7-6.9. Această schemă folosită pentru a îmbunătăți simulările numerice are la bază un algoritm ce include corecții succesive care folosesc metoda regresiei liniare. Astfel, pentru fiecare zi (d) sunt generate predicții pentru orele 00h și 18h ce sunt caracterizate de o rezoluție de 6 ore, acestea fiind elaborate pentru poziția platformei de foraj Gloria. Aceste predicții sunt corectate luând în considerare măsurătorile de val raportate pentru această poziție, în procesul de asimilare fiind folosite înălțimea și perioada valurilor.

Pe baza predicțiilor realizate pentru un interval $d-n$ de zile anterioare (stabilite în funcție de perioada de antrenare), se urmărește identificarea unor valori pentru regresia liniară care să ajusteze într-un mod convenabil parametrii de val simulați. Valorile rezultate vor fi considerate pentru a modifica predicțiile raportate pentru ziua d , care este asociată cu perioada de asimilare.

Parametrii regresiei liniare (a - panta; b - intercept) sunt calculați folosind metodei celor mai mici pătrate (OLS - Ordinary Least-Square) care poate fi definită prin:

$$a^d = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{și} \quad b^d = \bar{y} - a^d \bar{x}, \quad (6.12)$$

unde, cu d s-a reprezentat ziua pentru care s-a implementat DA, y - caracteristica de val estimată de modelul SWAN (Hs sau Tp), x - caracteristica de val măsurată (Hs sau Tp), cu \bar{x} și \bar{y} - valori medii ale variabilelor x și y , iar k - numărul de măsurători valide raportate pentru perioada de antrenare. Bazele teoretice caracteristice metodei OLS folosită în acest caz sunt prezentate în literatura de specialitate [44].

Elementele regresiei sunt calculate doar în cazul în care există cel puțin 10 perechi consecutive de măsurători/valori simulate în perioada de antrenare, valorile lor fiind actualizate pentru fiecare pas de timp dintr-o singură zi. Aceste valori ajustate (sau asimilate), identificate prin y_a^d , pentru fiecare parametru de val estimate pentru ziua d rezultă din ecuația regresiei:

$$y_a^d = a^d y^d + b^d, \quad (6.13)$$

Dacă aceste condiții pentru evaluarea parametrilor regresiei nu sunt realizate sau dacă valorile corectate ale parametrilor de val sunt negative, nu se va aplica nici o modificare asupra valorilor estimate de modelul numeric. Acest sistem de predicție al valorilor [45] împreună cu schema de asimilare a măsurătorilor de satelit [46], au fost folosite pentru a obține rezultate mai bune ale simulărilor numerice realizate cu modelul SWAN, care au fost evaluate în raport cu poziția platformei Gloria. Ținând seama de aceste rezultate, în Tabelul 6.4 au fost identificate diverse rezultate statistice definite pentru platforma Gloria, unde parametrii H_s și T_p au fost analizați pentru un interval de 9 ani (1999-2007). Urmărind aceste rezultate, se poate spune că după o perioadă de antrenare de 60 de zile, toți parametri statistici au înregistrat o îmbunătățire a valorilor.

Tabel 6.4. Valori statistice indicate pentru poziția platformei Gloria considerând parametrii de val H_s și T_p , care au fost analizați pentru un interval de 9 ani (1999-2007). Rezultatele sunt raportate pentru simulările SWAN fără asimilare și cu DA, unde cu N_s -a indicat numărul de date [35].

N=12208	Medie măsurători	Medie simulări	Eroare	MAE	RMSE	SI	R	S	Interval antrenare
H_s (m)	0.96	0.92	0.04	0.27	0.38	0.40	0.85	0.92	Fără asimilare
	0.96	0.95	0.00	0.27	0.38	0.40	0.85	0.95	20 zile
	0.96	0.96	0.00	0.27	0.37	0.39	0.85	0.96	40 zile
	0.96	0.97	-0.01	0.26	0.37	0.39	0.86	0.97	60 zile
T_p (s)	5.03	4.68	-0.35	1.24	1.63	0.32	0.39	0.94	Fără asimilare
	5.03	5.03	0.00	1.03	1.29	0.26	0.42	0.97	20 zile
	5.03	5.03	0.00	1.00	1.26	0.25	0.45	0.97	40 zile
	5.03	5.04	-0.01	0.99	1.25	0.24	0.45	0.97	60 zile

Figura 6.9 prezintă o schemă de aplicare a tehnicii DA pentru identificarea unei stări anterioare a mării (*hindcast*) și respectiv pentru predicții în viitor (*forecast*). Pentru a putea stabili o stare curentă se pot folosi parametri de bază (H_s și T_p), la care se pot adăuga și alți parametri (DIR și $DSPR$), care furnizează informații suplimentare, cum ar fi cele legate de direcția din care se propagă valurile.

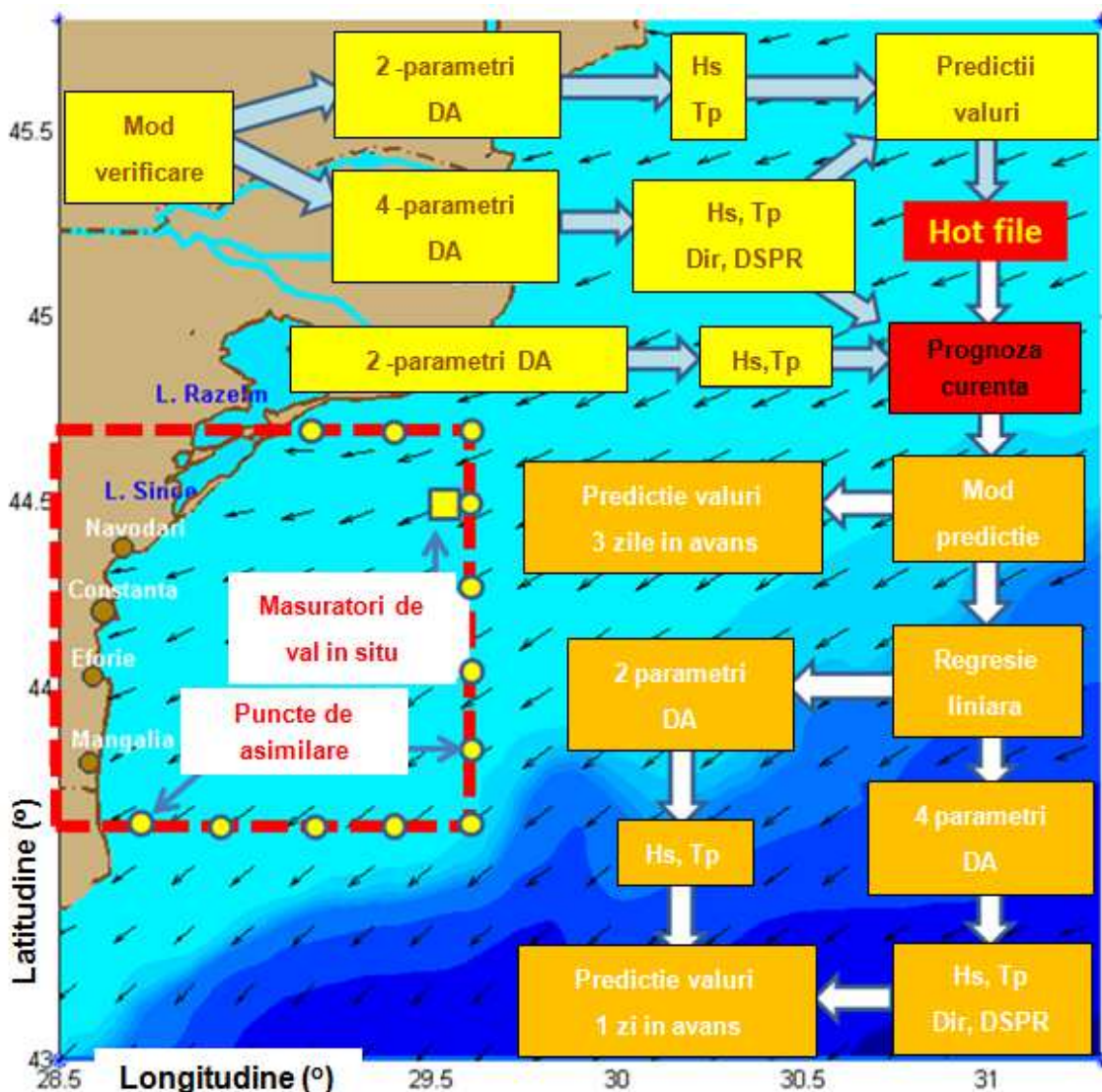


Figura 6.9. Implementarea tehnicii DA pentru estimarea unor condiții anterioare și viitoare a stării mării [35].

Un rol important în această schemă constă în identificarea pasului de la etapa curentă la etapa prognoză, unde pentru fiecare zi (la sfârșitul ei) se are în vedere rularea unui model *hindcast-nowcast* (*nowcast*-stare curentă) pentru a putea obține acele *fișiere cheie*, care stau la baza inițierii modelului pentru obținerea unor noi predicții. Deoarece algoritmul regresiei liniare permite acest lucru, condițiile de frontieră pot fi ajustate folosind doi parametri sau într-un caz ideal, patru parametri de val.

Capitolul 7

APLICAȚII ALE MODELELOR NUMERICE PENTRU VALURI

Prognozele care estimează starea mării cu ajutorul unor modele numerice sunt de un real folos pentru cei care operează în zonele maritime. În funcție de cerințele existente se pot furniza informații despre evoluția valurilor în trecut (hindcast), prezent (nowcast) sau în viitor (forecast). Pentru valorile raportate în trecut, de obicei se dorește realizarea unor baze de date prin care să se identifice diferite tendințe climatologice, în timp ce pentru valorile raportate în prezent (sau viitor) se urmărește elaborare unor avertizări privind apariția unor condiții extreme sau pentru identificare potențialului energetic al unei regiuni.

Dacă ne raportăm la distanța față de țărm, cu siguranță că pentru cei aflați în zonele offshore contează mai mult predicția condițiilor extreme pentru a putea stabili ferestre de timp în care activitățile să nu fie perturbate sau să pună în pericol siguranța celor care activează în astfel de condiții. Prin folosirea unor tehnici de asimilare a datelor se pot obține rezultate realiste care pot influența managementul costurilor, care de exemplu în cazul unei nave se pot reduce semnificativ prin identificare unei rute optime de navigare.

În funcție de fereastra de timp considerată, prognozele pot fi folosite pentru avertizări de scurtă durată (ore sau zile), în timp ce în cazul unor simulări mai complexe se pot realiza baze de date ce acoperă zeci de ani (ex: baza de date ECMWF) care pot fi folosite cu succes pentru elaborarea unor studii climatologice (Figura 7.1).

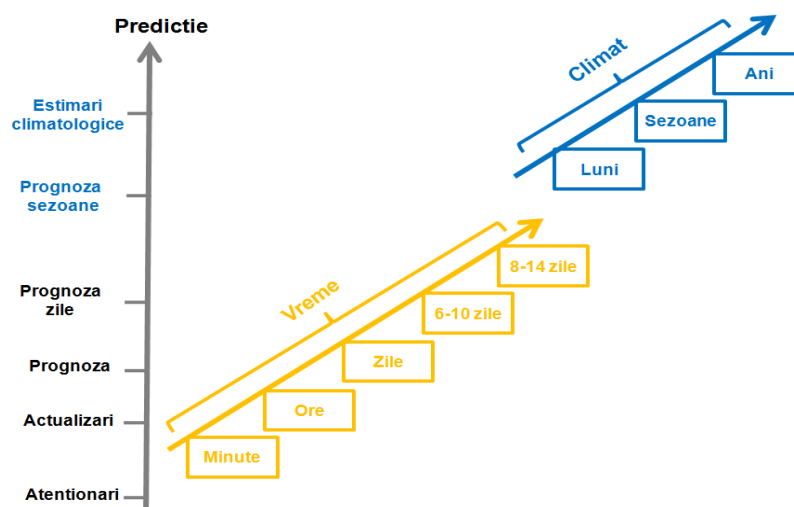


Figura 7.1. Rezultate furnizate de modele de val indicate pentru diverse intervale de timp [47].

7.1 Transport naval

În momentul de față se estimează, că cel mai economic mod de a transporta mărfuri pe distanțe lungi este prin intermediul rutelor de transport maritime. Folosind aceste trasee, aproximativ 80% dintre mărfuri sunt livrate în diverse părți ale lumii, aceste implicând un număr important de locuri de muncă în domeniul portuar, șantierelor navale sau a transportatorilor [48].

Analizând traficul maritim din Marea Neagră, se observă că zona de vest a bazinului este caracterizată de un trafic mai mare din partea navelor de transport datorită numeroaselor porturi existente în această zonă costieră. Zona Românească este favorizată din acest punct de vedere, ea fiind situată în apropiere de două trasee pan-Europene importante, și anume coridorul VII (Rin-Main-Dunăre) și coridoul IV (traseu de cale ferată). Aceste coridoare principale fac legătura și cu alte noduri de transport care acoperă întreaga zonă situată între Marea Neagră și Marea Nordului.

Chiar dacă Marea Neagră este un bazin închis, există situații în care condițiile de val din această regiune pot atinge valori apropiate ca valoare cu cele raportate în zonele costiere cu deschidere la ocean [49]. De-a lungul acestui bazin, se pot dezvolta la nivel local condiții energetice care depășesc cu mult valorile medii. O astfel de situație apare la gurile de vărsare ale Dunării în Marea Neagră, acolo unde la interacțiunea dintre curenții costieri și valurile din larg se pot dezvolta valuri periculoase care pot afecta integritatea navelor sau a echipajului [50]. Prin implementarea unui model operațional de val în această zonă se pot identifica mai ușor aceste fenomene anormale, care prin cuplarea la un model de estimare a curenților costieri, pot furniza predicții realiste pentru cei care tranzitează această zonă.

Marea Neagră mai este cunoscută și pentru apariția vântului Bora, care se manifestă frecvent în zona de nord-est a bazinului (regiunea Novorossiysk - Rusia). Atunci când se manifestă acest fenomen, viteza vântului poate prezenta frecvent valori în intervalul 15-50 m/s, circulația navală circulația navală din zonă desfășurându-se cu greutate [51, 52].

Estimarea cu acuratețe a stării mării devine importantă pentru navele aflate în larg, deoarece condițiile din mediul marin se pot modifica destul de rapid, trecând foarte rapid de la o stare calmă a mării la apariția unei furtuni. Pentru aplicațiile militare, pentru succesul unei misiuni este important să se cunoască atât evoluția valurilor și a condițiilor de vânt, precum și alți parametri cum ar fi cei legați de vizibilitate sau temperatură. Prin evitarea unor condiții nefavorabile, se poate asigura integritatea navei și a echipajului, dar se poate realiza și o economie importantă de combustibil prin identificarea unor rute optime de transport. Combinând predicțiile furnizate de un model de val cu caracteristicile navei (și a mărfii transportate) se pot identifica diverse rute de navigație, care să evite anumite zone periculoase ce ar putea pune probleme din punct de vedere structural.

De asemenea, în elaborarea unor astfel de predicții este important să se țină seama de caracteristicile condițiilor de vânt, aici o atenție deosebită fiind acordată direcției din care se propagă. Astfel dacă ne raportăm la o viteză mică a vântului (sub 10 m/s), care acționează în direcția în care se deplasează navă, se poate înregistra o creștere semnificativă a vitezei de transport, în timp ce un vânt din fața navei va opune o rezistență semnificativă. Dacă ținem cont doar de viteza vântului, trebuie precizat că o viteză mai mare a vântului va contribui la apariția unor înălțimi de val mai mari care în contact cu chila navei vor genera forțe de frecare ce reduc performanțele oricărei ambarcațiuni. De asemenea, pot apărea situații nedorite în care elicea care asigură propulsia navei să nu fie în apă, în acest caz pierzându-se o cantitate importantă de energie [53].

Indiferent de domeniul de activitate, cei care activează în zonele marine își doresc să aibă parte de o mare calmă indiferent că vorbim de activități de recreere sau de aplicații industriale. În funcție de caracteristicile unei nave, pe lângă înălțimea valurilor este important să se cunoască și alți parametri, cum ar fi cei legați de: lungimea de val, panta valurilor sau de prezența unei mări confuze [47].

Valurile având o pantă mare pot cauza disconfort celor aflați pe mare și care nu sunt obișnuiți cu astfel de condiții, existând riscul ca în situații să aibă loc inundarea punții unui vas sau chiar naufragiul acestuia în funcție de direcția din care acționează valurile în raport cu poziția unei ambarcațiuni. Prin folosirea unui model de val se pot determina toate aceste efecte, elaborându-se predicții în acest sens. Pentru cei pasionați de scufundării, în cazul unei mări agitate sunt raportate condiții de vizibilitate reduse care pot fi deduse în funcție de adâncimea apei, distanța față de țărm și starea mării.

De obicei valurile lungi nu au un impact negativ asupra ambarcațiunilor, în special asupra celor care se află în larg. Dar pentru petroliere sau alte nave similare de lungimi mari, există pericolul ca pupa și prova să fie sprijinite de crestele de val în timp ce mijlocul navei să nu fie susținut de valuri. În această situație, nava va fi solicitată destul de puternic existând riscul naufragierii acesteia. De asemenea nu trebuie neglijate nici valurile care intră în apă puțin adâncă și care pot întâlni în drumul lor bare de nisip submerse, care pot crește semnificativ înălțimile valurilor.

Marea Neagră este un loc în care se desfășoară frecvent întreceri sportive, un astfel de eveniment fiind Regata Marilor Veliere care devine tot mai cunoscută. La competiția organizată în 2014 au luat parte un număr de 13 veliere mari care au avut la bord în jur de 1200 de marinari, provenind din diverse țări, cum ar fi Rusia, Marea Britanie sau România. De regulă această întrecere are loc la începutul sezonului de iarnă (în intervalul Septembrie-Octombrie), implicând un traseu ce pornește din Constanța (România), traversează Marea Neagră și ajunge la Novorossiysk (Rusia), trece prin Sochi (Rusia) și se termină la Varna (Bulgaria) [54].

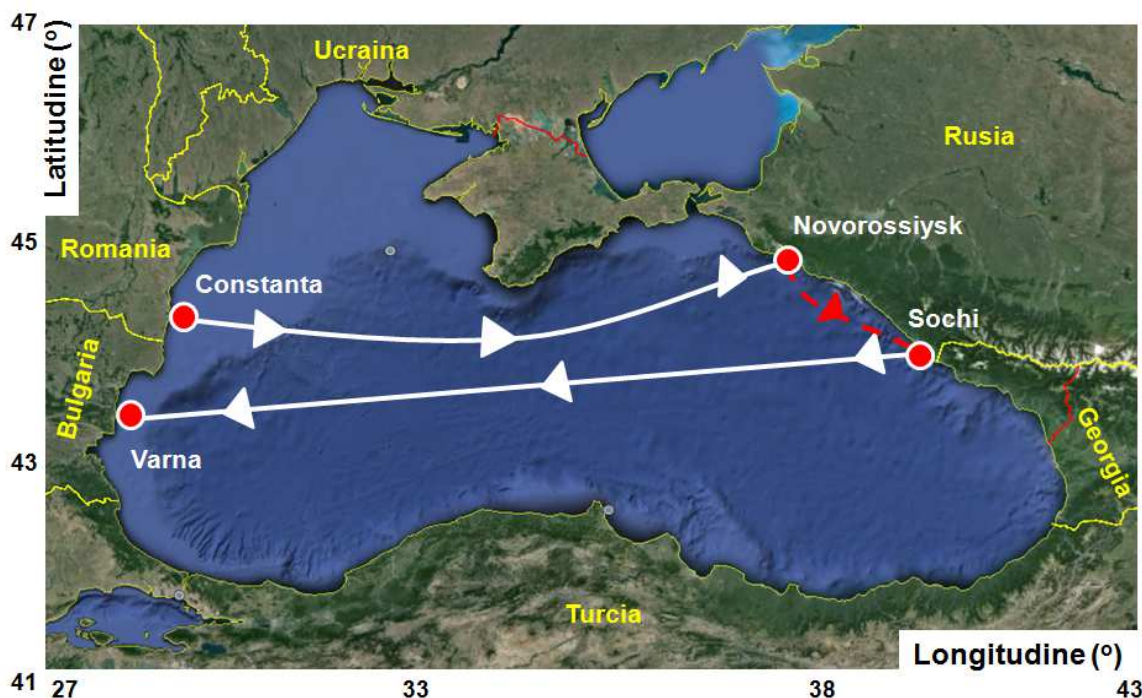


Figura 7.2. Harta rutelor de concurs parcurse în cadrul Regatei Marilor Veliere desfășurată în Marea Neagră [54].

De regulă Marea Neagră este cunoscută pentru condițiile extreme care se manifestă în timpul sezonului de iarnă, astfel că o predicție a valurilor care are la bază asimilarea de date poate contribui la o estimare precisă a condițiilor de val din zonele offshore, elaborându-se de asemenea

și predicții particularizate pentru anumite sectoare costiere. O astfel de monitorizare realizată în timp real, ar contribui la o mai bună cunoașterea a condițiilor de navigare și implicit la succesul acestei competiții.

7.2 Industria offshore

Probabil că din această categorie, cele mai cunoscute sunt platformele de foraj marin ale căror program depinde în mare parte de starea mării, indiferent că este vorba de aprovizionarea cu personal și bunuri sau despre transferul produselor petroliere. Marea Neagră reprezintă o zonă bogată în astfel de resurse, în special în zona de vest a bazinului care prezintă avantajul că este definită de o zonă cu apă puțin adâncă (în raport cu restul mării). Studiile anterioare au pus în evidență că această regiune este definită de un climat al valurilor care are un potențial energetic mai ridicat, acest lucru datorându-se maselor de aer care acționează din est către vest. Din acest punct de vedere, prin focalizarea unui model de val pe această zonă se pot obține informații detaliate cu privire la impactul pe care îl au valurile asupra platformelor marine, cum ar fi de exemplu în cazul structurilor de tip jacket sau de tip turn care sunt cele mai des întâlnite. Componenta ecologică joacă și ea un rol important, dacă avem în vedere că în acest sector costier se află Biosfera Deltei Dunării care a fost declarată o zonă protejată. De aceea, trebuie avut în vedere că în cazul unei deversări accidentale de petrol, impactul asupra ecosistemului marin ar fi greu de cuantificat. Prin implementarea unui model de val de tip SWAN, se poate identifica într-un mod eficient dinamica unei pete de petrol ținând cont de anumiți parametri de mediu cum ar fi valuri, vânt sau evoluția curenților costieri. Prin identificarea zonelor vulnerabile care riscă să fie cele mai afectate, se pot lua măsuri rapide pentru a reduce poluarea din aceste zone, o astfel de predicție având ca finalitatea reducerea eforturilor logistice și de personal desfășurate în cazul unui astfel de eveniment.

Ținând cont că modelele de val pot simula doar valuri de vânt, ele nu pot fi implementate pentru identificarea unor fenomene de tip tsunami. Studiile anterioare [55] au evidențiat dinamica acestor fenomene extreme, menționând de asemenea și efectele catastrofale pe care le-au avut asupra zonelor costiere.



Figura 7.3. Platforma Gloria amplasată în partea de vest a bazinului Mării Negre.

Având în vedere că bazinul Mării Negre este caracterizat de condiții de vânt importante este de așteptat ca în viitorul apropiat să se dezvolte ferme de vânt offshore, în special în partea de

vest a mării care pare a fi caracterizată de condiții mai consistente. O prognoză realistă a stării mării poate contribui la succesul unui astfel de proiect, prin identificare unor ferestre de timp în care se pot realiza lucrări specifice, cum ar fi de exemplu realizarea unor servicii de mentenanță. În comparație cu zonele de uscat, acest aspect devine important pentru zonele marine deoarece în unele cazuri există intervale scurte de timp în care se pot realiza astfel de operațiuni, în condițiile în care navele de transport trebuie să ajungă până la fermă și să se întoarcă în siguranță. În acest sens, se poate folosi experiența acumulată de platforma Gloria care operează la o adâncime de 50 m încă din 1976. Pe lângă produsele petroliere pe care le furnizează, aceasta este folosită și ca stație meteorologică furnizând informații importante despre condițiile marine din zona offshore, care pot fi folosite pentru calibrarea și verificarea predicțiilor de val.

Capitolul 8

CONSIDERAȚII FINALE

8.1 Discuții asupra studiilor realizate

Simulările numerice au devenit un instrument de bază pentru orice domeniu de activitate, dintre care putem aminti aplicații ce țin de economie, sport sau inginerie. Chiar dacă aparatul matematic ce reprezintă baza acestor modele teoretice este unul foarte bine pus la punct, există situații în care acestea pot furniza rezultate eronate care nu sunt în concordanță cu realitatea. Această problemă poate fi rezolvată prin folosirea unor tehnici de corecție care pot fi centrate pe asimilarea de date sau care să folosească alte metode, cum ar fi cele ce țin de rețele neuronale. Pentru mediul marin, care acoperă o zonă importantă de pe glob se pare că cele mai bune rezultate sunt obținute cu ajutorul tehnicilor DA, acestea fiind deja implementate în cadrul unor centre hidro-meteorologice importante, cum ar fi ECMWF sau NCEP. Reușita acestor metode se bazează pe o vastă experiența acumulată în cadrul unor proiecte ce vizează predicția vremii.

Având în vedere puterea de calcul și evoluția metodelor DA, la ora actuală există baze de date globale care acoperă zeci de ani, furnizând informații precise despre starea mării. Având în vedere că acestea iau în considerare doar anumite variabile, aceste informații par a fi mai potrivite pentru zonele de ocean sau pentru regiunile costiere care au deschidere la acest mediu. Pentru arii regionale există tendința ca fiecare țară să-și implementeze un model propriu, cum ar fi de exemplu în Marea Britanie (NAE), Australia (AUSWAVE) sau Norvegia (WINCH). Prin folosirea unui model propriu se pot obține rezultate mai bune în ceea ce privește predicția valurilor locale, deoarece modelul va fi ajustat pentru un anumit domeniu de calcul care este definit de caracteristici proprii, cum ar fi: grilă batimetrică mai fină, calibrare cu măsurători *in situ* locale, o reprezentare mai precisă a liniei țărmului, etc. Un astfel de model pare a fi potrivit pentru Marea Neagră, deoarece procesele fizice din cadrul acestui bazin închis sunt total diferite de cele din ocean. Modelul spectral în medie de fază SWAN a fost folosit intens pentru această regiune geografică, în special datorită versatilității acestui model de a fi focalizat pe diferite nivele de calcul și domenii având rezoluții diferite. Acest model de val a fost deja implementat și calibrat pentru Marea Neagră, existând astfel toate premisele dezvoltării unui model operațional care să aibă la bază o metodă de asimilare a datelor (globală și locală).

În acest context, teza de față reprezintă un pas înainte în dezvoltarea unui model operațional de val pentru bazinul Mării Negre, cercetările fiind focalizate pe zona de vest a mării și pe sectorul costier corespunzător litoralului Românesc. Prin evaluarea tehnicilor DA disponibile la ora actuală, s-a urmărit identificarea celor mai bune metode care pot fi aplicate pentru această regiune și care să contribuie la obținerea unor rezultate realiste. Astfel, s-au identificat două

metode principale, unde la nivel global s-au inclus în procesul de asimilare măsurători de sateliți, în timp ce la nivel local calibrarea rezultatelor s-a realizat folosind măsurători in situ de la platforma Gloria.

Teza începe cu o prezentare succintă a principalelor metode DA și a domeniilor în care pot fi aplicate. Aici trebuie precizat că inițial aceste metode erau folosite doar în cadrul centrelor de predicție meteorologică, ele fiind introduse gradual și în alte domenii. Beneficiile acestor metode constau în faptul că rezultatele pot fi obținute pentru orice moment de timp, acest lucru fiind dictat de studiile avute în vedere. Dacă ne raportăm în trecut (*hindcast*), se pot reconstitui baze de date care să acopere zeci de ani pornind doar de la câteva informații, acest tip de date fiind important în elaborarea unor studii climatologice. Pentru prezent (*nowcast*) se pot realiza simulări care se axează pe furnizarea unor avertizări de mediu sau care să fie folosite pentru diverse aplicații, cum ar fi operațiuni de salvare sau poluarea mediului marin. O evaluarea în viitor a stării mării (*forecast*) este de interes pentru cei interesați de sursele de energie regenerabile sau de activități ce țin de protecția costieră.

În Capitolul 1, au fost prezentate cazuri concrete în care sunt folosite aceste metode. Indiferent de domeniul analizat, se observă că parametrul timp este cel mai important, cu atât mai mult în cazul unor condiții extreme cum ar fi bioterorism sau inundații, unde pe baza unui număr mare de variabile trebuie luate decizii într-un interval scurt de timp. Alte studii se axează pe procese de optimizare, cum ar fi în cazul aerodinamicii aripilor de avion sau a îmbunătățirii tehnicilor de turnare în matriță. Prin implementarea unor astfel de sisteme se pot reduce în mod semnificativ cheltuielile dintr-un anumit domeniu, care de exemplu în sectorul medical se pot concretiza prin reducerea numărului de investigații ținând seama de antecedentele unui pacient.

Următoarele două capitole prezintă mai detaliat elementele teoretice ce stau la baza principalelor tehnici DA, aici fiind prezentate metode variaționale sau optimale care în funcție de domeniul de studiat pot fi de tip 1DVAR, 3DVAR sau 4DVAR. S-au identificat principalele mecanisme folosite pentru minimizarea erorii unei estimări, fiind definiți anumiți parametri specifici, cum ar fi matricea câștig, inovație sau funcție cost. Deoarece filtrul Kalman reprezintă un element de referință în domeniul asimilării de date, s-au prezentat mai multe informații despre acest instrument și despre modul în care poate fi aplicat pentru rezolvarea unor procese stochastice. De-a lungul timpului acest filtru a evoluat constant pornind de la Filtrul Kalman Discret, ajungându-se la forme mai complexe cum ar fi Filtrul Kalman Extins sau Filtrul EnKF.

Capitolul 4 este destinat centrelor de predicție hidro-meteorologice unde sunt implementate modele de val operaționale. Aici sunt indicate principiile care stau la baza asimilării de date precum și a unor elemente teoretice care definesc un model de val. Chiar dacă predicția valurilor nu pare la prima vedere un domeniu foarte important, din analiza modelelor operaționale de predicție a valurilor la nivel global se observă dinamica acestui sector și interesul unor țări importante (ex: Germania, Canada sau Japonia) de a-și dezvolta modele proprii focalizate pe diverse domenii de calcul. O atenție deosebită este acordată modelelor WAM (WAVE Model) sau WW3 (WAVEWATCH III) care sunt folosite ca modele principale în diverse centre hidro-meteorologice importante, pentru elaborarea unor baze de date la nivel global.

Chiar dacă pentru bazinul Mării Negre nu există la ora actuală un model operațional, sunt menționate eforturile cercetătorilor din Bulgaria care au în vedere folosirea modelului WAVEWATCH III și a unor măsurători de satelit pentru realizarea unui astfel de proiect care să acopere întreg bazinul. Este prezentat și un studiu de caz în care, deși nu este vorba de asimilarea de date, s-a realizat o simulare cu ajutorul modelului SWAN în care s-au folosit câmpuri de vânt ce acoperă un interval de 60 ani (1949-2010). Pe baza acestor informații se poate menționa că zona de vest a bazinului pare a fi mai importantă, unde energia valurilor pare a se concentra în mod natural. Acest lucru este datorat condițiilor de vânt care acționează din est către vest, aici un rol important având masele de aer care iau naștere pe teritoriul Rusiei. De

asemenea sunt evidențiate și ultimele cercetări în acest domeniu, cum ar fi cele din proiectul DAMWAVE care au în vedere implementarea de metode de asimilare pentru îmbunătățirea predicțiilor de val din apropierea zonelor costiere Românești.

Capitolul 5 prezintă o parte din contribuțiile proprii ale autorului, care sunt centrate pe identificarea regimului vântului și valurilor din regiunea Mării Negre. În primă fază s-a realizat o astfel de analiză pentru resursele de vânt din apropierea zonelor costiere, rezultatele obținute fiind comparate cu cele din Marea Caspică, care se află în aceeași regiune și care prezintă caracteristici fizice similare. S-au folosit date provenind de la centrul ECMWF, care au fost procesate pentru un număr de 16 puncte de referință distribuite de-a lungul Mării Negre. Deoarece pe lângă o evaluare meteorologică, s-a urmărit și identificarea performanțelor teoretice ale unei turbine de vânt offshore, setul de date raportat inițial la o înălțime de 10 m (U_{10}) a fost ajustat prin intermediul unei legi logaritmice. În acest fel, datele au fost raportate la o înălțime de 80 m (U_{80}) aceasta reprezentând cea mai mică înălțime la care operează astfel de generatoare în zonele marine. Din analiza unor parametri specifici (ex: densitatea de putere) s-a pus în evidență faptul că zona de vest a bazinului pare a prezenta caracteristici mai energetice în comparație cu Marea Caspică unde se observă valori mai consistente în partea de nord a bazinului. Ambele bazine analizate au în comun faptul că zonele cu un bun potențial energetic se află situate în regiuni cu adâncimi mici ale apei, această particularitate reprezentând un element pozitiv pentru dezvoltarea unor parcuri offshore.

Odată identificate punctele cu un bun potențial energetic, următorul pas a constat în compararea acestor condiții cu cele din zone în care operează ferme offshore din Marea Nordului sau respectiv Marea Baltică. Inițial s-au considerat pentru evaluare un număr de 146 de proiecte, dar în urma analizelor efectuate s-au folosit doar 7 proiecte care par a prezenta condiții de vânt apropiate ca valoare. În general, s-a observat că punctele alese din Marea Neagră și Caspică, prezintă valori mai mari în prima parte din an (Ianuarie-Aprilie), cu mențiunea că punctul de referință din Marea Neagră pare a fi definit de valori un pic mai mari. Chiar dacă capacitatea de operare a turbinei indică valori situate în intervalul 45-70%, este important de menționat că pentru capacitatea optimă aceste valori nu depășesc 5% de-a lungul anului indiferent de punctul analizat, cu excepția lunii Decembrie care poate înregistra un vârf de 10%.

Deoarece rutele de navigare din Marea Neagră acoperă lungimi destul de mare, acestea traversând întreg bazinul, în cadrul acestui capitol s-a urmărit identificarea condițiilor extreme de val (H_s) și vânt (U_{10}) care pot fi întâlnite de navele care parcurg aceste trasee. Acestea au fost notate cu: ruta A (Odesa-Istanbul), ruta B (Istanbul-strâmtoarea Kerchi) și respectiv ruta C (centrul Mării Negre-zona costieră Georgia). S-au considerat pentru analiză date provenind de la ECMWF cât și măsurători specifice proiectului AVISO. La o analiză generală se poate preciza că valorile ECMWF sunt un pic mai mari față de cele de la AVISO, existând de asemenea diferențe lunare importante între cele două baze de date, în special pentru viteza vântului. Astfel pe baza datelor de la AVISO se poate spune că valori mai importante ale vitezei vântului sunt raportate în Octombrie și Noiembrie unde se poate ajunge până la valori de 17 m/s, în comparație cu valorile furnizate de ECMWF care pot atinge valori de 21 m/s în Noiembrie și Februarie. Pentru înălțimile de val H_s ambele seturi de date indică luna Februarie ca fiind mai importantă, pentru care sunt raportate valori de 5.5 m/s (AVISO) și respectiv 7.2 m/s (ECMWF).

Având în vedere că există anumite sectoare costiere în care se pot înregistra valori mai mari ale parametrilor marini, s-a considerat util a se furniza o imagine de ansamblu a condițiilor de mediu extreme raportate pentru Delta Dunării și regiunea Novorossiysk (Rusia).

Capitolul 6 este cel în care se discută despre implementarea tehnicilor DA în bazinul Mării Negre, fiind realizat integral din contribuții proprii ale autorului care au fost diseminate în cadrul

unor manifestări științifice internaționale. Într-o primă etapă, s-a urmărit aplicarea unei metode ce implică corecții succesive pentru predicția climatului valurilor din zona de vest a Mării Negre.

Simulările numerice au fost realizate cu ajutorul modelului SWAN, acestea fiind focalizate mai întâi pe un nivel global (bazinul Mării Negre), după care rezultatele obținute din aceste simulări au fost introduse într-un domeniu local (zona de vest). Pentru forțarea modelului s-au folosit date de vânt provenind de la NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis), care acoperă primele 6 luni din anul 2006. Valorile obținute din simulări au fost comparate cu măsurătorile de val raportate de platforma Gloria, aceste date fiind folosite ca etalon pentru a realiza corecții ale simulărilor SWAN. Procesul de asimilare implică transferul informațiilor în spațiul spectral astfel că în acest scop se va folosi un spectru JONSWAP echivalent, realizat pe baza informațiilor furnizate de parametri de val H_s și T_p .

Impactul tehnicii DA în spațiul geografic a fost evaluat prin intermediul a două studii de caz, indicate prin CS1 (2006/01/19/h00) și CS2 (2006/01/20/h00), observându-se o îmbunătățire a valorilor, în condițiile în care modelul SWAN supra-evaluează valorile reale în cazul unor condiții energetice medii, în timp ce o tendință opusă se observă pentru condiții mai energetice.

Pentru această regiune s-a realizat și asimilarea unor măsurători de sateliți pentru zona de vest, considerând măsurători furnizate de misiunile ERS, ENVISAT, JASON-1 și respectiv GFO. De această dată metoda DA presupune folosirea metodei celor mai mici pătrate (sau OLS) prin care sunt estimați parametri regresiei liniare. Cu toate că metoda furnizează rezultate destul de precise, dezavantajul acestei abordări rezultă din faptul că este nevoie de cel puțin 10 perechi consecutive de măsurători/valori simulate în perioada de antrenare, altfel nu se va aplica nici o modificare asupra valorilor estimate de model. Ținând seama că zona aleasă este mult mai restrânsă este posibil ca în unele cazuri să nu se îndeplinească această condiție, deoarece numărul de sateliți care traversează această regiune într-o singură zi poate fi destul de mic. În cadrul acestui capitol este propusă și o schemă de calcul în care în funcție de numărul de parametri de val asimilați (doi sau patru) se pot obține prognoze curente sau predicții ale valurilor pentru un interval de câteva zile, acestea având la bază realizarea unor fișiere cheie (de tip *hot file*). Aceste fișiere descriu în detaliu starea mării la sfârșitul unei etape de simulare, fiind folosite mai departe ca bază pentru inițierea unor noi simulări și obținerea predicțiilor prin intermediul unei metode DA ce implică elemente de regresie liniară. Atunci când se folosesc mai mulți parametri de val, este posibil să se obțină o evaluare mai detaliată a stării mării, estimându-se și alte caracteristici, cum ar fi de exemplu direcția din care se propagă valurile. Zona costieră Românească a fost și ea analizată, considerând de această dată pentru implementarea doar parametrul H_s .

Tot în acest capitol mai sunt propuse câteva metode care pot fi aplicate fie la nivel global folosind metoda interpolărilor optime folosind o lungime de corelare specifică, sau la o scară locală folosind metoda OLS ce implică o perioadă de antrenare de 40 zile. Pe lângă acestea s-a mai aplicat o metodă (nivel local) care se bazează pe estimarea erorilor sistematice, acestea fiind definite separat pentru condiții normale sau de furtună care au fost delimitate de o înălțime H_s de 3 m, care a fost considerată ca punct de referință.

În partea finală a tezei (Capitolul 7) sunt prezentate câteva domenii în care pot fi folosite predicțiile furnizate de un model de val, cu mențiunea că acestea sunt de un real folos pentru toți cei care își desfășoară activitatea în mediul marin sau costier. De obicei cel mai des întâlnit parametru analizat este înălțimea valurilor, dar este important să se realizeze predicții ale caracteristicilor de val ținând seama de cerințele unor potențiali clienți. De exemplu, pentru cei din turism sau pescuit panta valurilor reprezintă un parametru mult mai important care poate fi folosită pentru a estima starea de confort pe care o vor avea cei aflați pe mare. Ținând seama că la ora actuală protecția costieră din zona litoralului Românesc reprezintă o problemă majoră și de

faptul că energia vântului și valurilor din zonele offshore Europene este tot mai folosită, în cadrul acestui capitol, autorul a realizat diverse studii de caz prin care s-a identificat impactul pe care l-ar putea avea o fermă energetică marină asupra valurilor și curenților costieri din această regiune.

Pe baza acestor rezultate, se poate concluziona că teza de față reprezintă o primă încercare de a implementa tehnicile DA într-un model de val focalizat pe bazinul Mării Negre, rezultatele obținute până în acest moment fiind promițătoare. Având în vedere că aceste studii sunt încă la început, nu ar fi corect să se realizeze o comparație cu rezultate similare furnizate de către centrele hidro-meteorologice importante, care au resursele necesare și tradiție în acest domeniu. Mai mult decât atât, modelele globale sunt destinate furnizării unor informații generale despre starea mării din zonele de ocean, astfel că poate fi pusă la îndoială precizia acestor baze de date pentru zone izolate din interiorul continentului, cum ar fi în cazul mărilor închise și semi-închise. Ținând cont că aceeași metodologie (tehnic DA + modelul SWAN) folosită în această teză, a fost implementată cu succes în zona costieră Potugheză, există toate premisele să se poată dezvolta un model operațional centrat pe zona de vest a bazinului Mării Negre, cu mențiunea că trebuiesc avute în vedere particularitățile acestei mări închise.

Dacă ar fi să caracterizăm metodele DA folosite în această teză, acestea ar fi definite de simplitate și de modul eficient în care transferă corecțiile în spațiul spectral și geografic folosind echipamente de calcul mai puțin performante. Studiile realizate pot fi considerate oportune pentru bazinul Mării Negre, în special pentru zona costieră Românească dacă ținem cont de dinamica unor domenii cum ar fi construcțiile navale, transportul maritim sau turismul, precum și de condițiile extreme care se pot dezvolta în această regiune.

8.2 Contribuții personale

La acest capitol, ar trebui evidențiată capacitatea autorului de a implementa tehnicile de asimilare a datelor atât la nivel global cât și local, acestea necesitând o bună cunoaștere a modelului SWAN și a proceselor fizice care definesc fiecare domeniu de calcul. De asemenea, tot prin intermediul acestui model de val, autorul a realizat diverse studii de caz în care s-a identificat impactul asupra zonei costiere a unor ferme energetice marine (teoretice) amplasate în mediul marin. Procesarea unor baze mari de date (vânt și val) necesită o anumită experiență și dexteritate în extragerea unor informații relevante din punct de vedere științific, rezultatele obținute de autor fiind apreciate în cadrul manifestărilor internaționale. Aceste realizări sunt cu atât mai importante dacă ținem cont de faptul că au fost obținute într-un interval relativ mic de timp (3 ani) alocat studiilor doctorale.

Cu siguranță că principalul element de originalitate constă în implementarea la scară locală a unor metode de asimilare a datelor în partea de vest a bazinului Mării Negre, o atenție deosebită fiind acordată zonei litoralului Românesc. Un alt element de noutate rezultă din studiile privind impactul costier al unei ferme de vânt pentru zona aferentă Deltei Dunării, rezultatele obținute fiind interesante în condițiile în care un astfel de proiect are un grad de absorbție al energiei valurilor destul de scăzut.

Studiile prezentate în cadrul acestei teze și în lucrările diseminate pot fi grupate după mai multe direcții de cercetare, majoritatea fiind axate pe obținerea și prelucrarea unor baze de date consolidate. Dintre activitățile specifice se pot menționa:

- a) Identificarea elementelor de teorie relevante pentru asimilarea de date (studiu bibliografic)

- a1) Prezentarea principalelor metode folosite în tehnicile DA;
 - a2) Evaluarea unor studii de caz din diverse domenii științifice care au la bază metode DA;
 - a3) Analiza unor modele de val operaționale și a modului în care acestea sunt implementate în cadrul unor centre hidro-meteorologice internaționale;
- b) Analiza și procesarea condițiilor de vânt și val folosind măsurători *in situ*, date de reanaliză și măsurători de satelit.
- b1) Analiza condițiilor de vânt din apropierea zonelor costiere din Marea Neagră, considerând date provenind de la centrul ECMWF raportate la intervalul 2004-2013;
 - b2) Analiza condițiilor de vânt din apropierea zonelor costiere din Marea Caspică, considerând date provenind de la centrul ECMWF raportate la intervalul 2004-2013;
 - b3) Analiza condițiilor de vânt din apropierea unor ferme de vânt offshore din Europa (146 de proiecte), pe baza datelor ECMWF raportate la intervalul 2011-2013;
 - b4) Analiza condițiilor de vânt și val de-a lungul principalelor rute de navigare din Marea Neagră considerând măsurători AVISO raportate pentru intervalul 2010-2015;
 - b5) Analiza condițiilor de vânt și val de-a lungul principalelor rute de navigare din Marea Neagră considerând date ECMWF raportate pentru intervalul 2005-2014;
 - b6) Identificarea potențialului energetic al vântului din zona litoralului Românesc folosind măsurători AVISO raportate pentru intervalul 2009-2015;
 - b7) Identificarea potențialului energetic al vântului din zona litoralului Românesc folosind date ECMWF raportate pentru intervalul 2000-2014;
 - b8) Evaluarea condițiilor de vânt diurne și nocturne din Marea Neagră cu ajutorul datelor NCEP-CFSR raportate pentru intervalul de timp 1999-2008;
 - b9) Analiza potențialului energetic al valurilor din cadrul unor ferme eoliene offshore (75 de proiecte) din Germania, Danemarca și Marea Britanie considerând măsurători AVISO raportate pentru intervalul 2010-2015;
 - b10) Evaluarea condițiilor de vânt din Marea Mediterană considerând măsurători AVISO raportate pentru intervalul 2010-2014.
- c) Implementarea tehnicilor de asimilare a datelor în Marea Neagră
- c1) Realizarea unor simulări a condițiilor de val cu ajutorul modelului spectral in medie de fază SWAN considerând diverse domenii de calcul din Marea Neagră;
 - c2) Aplicarea metodelor DA asupra predicțiilor furnizate de modelul SWAN pentru zona de vest a bazinului Mării Negre. Dintre metodele folosite pot fi menționate: a) interpolări optimale; b) metoda celor mai mici pătrate;
 - c3) Implementarea tehnicilor DA prin intermediul modelului SWAN pentru zona costieră Românească;
 - c4) Calibrarea și validarea predicțiilor furnizate de modelul SWAN cu ajutorul măsurătorilor de val *in situ* provenind de la platforma Gloria;

- c5) Calibrarea și validarea predicțiilor furnizate de modelul SWAN cu ajutorul măsurătorilor de satelit provenind de la diverse misiuni altimetrice cum ar fi: ERS, ENVISAT, JASON-1 și respectiv GFO.

În afară de aceste contribuții, în care autorul a fost implicat direct, ar mai trebui menționate și cele două studii de caz simulate cu ajutorul modelului SWAN, prin care s-a urmărit evaluarea impactului costier al unor ferme energetice marine. Pentru primul caz s-a considerat o fermă de val teoretică (formată din mai multe WEC-uri) amplasată în apropiere de Mangalia, în această situație fiind evaluat doar impactul asupra câmpului de valuri local. Cel de-al doilea studiu de caz, s-a axat pe zona din apropierea Deltei Dunării și a implicat folosirea unei ferme de vânt a cărei distanță față de țărm a fost mărită treptat, în acest caz fiind evaluat impactul asupra valurilor și a curenților longitudinali.

Trebuie precizat că un procent semnificativ din rezultatele obținute au fost incluse în cadrul proiectului *Data Assimilation Methods for improving the WAVE predictions in the Romanian nearshore of the Black Sea - DAMWAVE (PN-II-IDPCE-2012-4-0089)*, <http://www.im.ugal.ro/DAMWAVE/index.htm>, acolo unde autorul face parte din echipa de cercetare. Autorul împreună cu coordonatorul echipei de cercetare a proiectului DAMWAVE au participat la seminarul cu tematica *Use of Satellite Observations in Numerical Weather Prediction* <http://www.ecmwf.int/en/seminar-2014-use-satellite-observationsnumerical-weather-prediction> organizat în septembrie 2014 de unul din cele mai importante centre de predicție a vremii la nivel global, respectiv European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Au fost purtate discuții privind asimilarea de date în modelele de valuri, atât în acest centru, precum și în alte centre pentru predicția vremii.

Cercetările efectuate în cadrul acestei teze au fost incluse într-un număr de **19 lucrări** științifice, acestea fiind incluse în volumele unor jurnale sau conferințe internaționale. Dintre acestea, cele mai importante lucrări care pot fi menționate sunt:

- a) **Articolele indexate ISI**, publicate în *Advances in Meteorology*, *Evaluation of the wind energy potential in the coastal environment of two enclosed seas*, (I.F: **1.107/2015**) și *Journal of Operational Oceanography*, *A multi parameter data assimilation approach for wave predictions in coastal areas*, (I.F:**1.263/2016**);
- b) **Lucrarile prezentate la conferințele internaționale indexate ISI: MARTECH 2016** (Lisabona, Portugalia), **OCEANS'15 MTS/IEEE** (Genova, Italia), **IMAM 2015** (Croatia) și **SGEM 2015-2016** (Bulgaria);
- c) **Cartea Asimilarea de date cu aplicații la predicția climatului de val în bazinul Mării Negre** publicată la editura Zigotto din Galați, 2016, ISBN 978-606-669-182-6.

Pe baza rezultatelor obținute în anul I de studii doctorale, autorul a fost inclus în cadrul proiectului **POSDRU 159/1.5/S/132397, ExcelDOC**, "Excelenta în cercetare prin burse doctorale și postdoctorale", axat pe sprijinirea cercetătorilor din cadrul Universității „Dunărea de Jos” din Galați cu un potențial științific ridicat.

8.3 Direcții pentru cercetări viitoare

Având în vedere tematica abordată, cu siguranță că cercetările viitoare ar trebui să aibă în vedere implementarea unui model operațional focalizat atât pe Marea Neagră cât și pe litoralul Românesc. De asemenea trebuie identificate domenii în care pot fi aplicate astfel de predicții și realizarea unor programe integrate în care prognozele de val să ajungă în timp util la cei care au nevoie de ele. În continuare sunt indicate câteva direcții de cercetare și sugestii care pot fi benefice din acest punct de vedere, și anume:

- Identificarea unor noi surse de măsurători in situ din zona litoralului Românesc care să vină în completarea observațiilor furnizate de platforma Gloria;
- Realizarea unui algoritm DA în care asimilarea și calibrarea datelor să se realizeze continuu și în timp real;
- Cuplarea modelului SWAN la un model de curenți pentru a estima dinamica curenților costieri (longitudinali+transversali);
- Realizarea unor baze de date pentru Marea Neagră prin rularea unor simulări de tip *hindcast* sau *forecast*, care pot fi folosite pentru diverse studii climatologice;
- Monitorizarea în timp real a eroziunii litoralului Românesc prin intermediul unei aplicații care să folosească informațiile furnizate de modelul SWAN;
- Identificarea celor mai bune soluții în ceea ce privește sistemele WEC care ar putea opera în bazinul Mării Negre, ținând seama de performanțele energetice ale acestora și protecția costieră pe care o pot furniza;
- Elaborarea unor studii de *seakeeping* care să țină seama de caracteristicile navelor de transport și de condițiile din mediu marin care se pot dezvolta în Marea Neagră, în această categorie intrând și planificarea unor rute optime de navigare;
- Implementarea modelului SWAN (și a tehnicilor de asimilare) în cadrul unor bazine închise sau semi-închise și realizarea unor comparații cu rezultatele raportate de modele globale pentru aceste regiuni.

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Bocquet. *Introduction to the principles and methods of data assimilation in geosciences*. Lecture notes, Master M2 OACOS & WAPE, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées Paris Tech. Ecole des Ponts ParisTech. Revision 0.15, pp. 88, 2014.
- [2] N.K. Nichols. *Mathematical concepts of data assimilation*. In: Lahoz, W., Khattatov, B. and Menard, R. (eds.) *Data assimilation: making sense of observations*. Springer, pp. 13-40, 2010. ISBN 9783540747024.
- [3] M. Nodet. *Introduction to Data Assimilation*. Université de Grenoble, INRIA, LJK, 2012.
- [4] R.H. Reichle. *Data assimilation methods in the Earth sciences*. *Advances in Water Resources* 31: 1411-1418, 2008.
- [5] WMO (World Meteorological Organisation) http://www.wmo.int/pages/index_en.html (Accesat în Decembrie 2015)
- [6] F. Bouttier, P. Courtier. *Data assimilation concepts and methods*. Meteorological Training Course Lecture Series, 2002.
- [7] Y. Xie, J. Xing, J. Shi, Y. Dou, Y. Lei. *Impacts of radiance data assimilation on the Beijing 7.21 heavy rainfall*. *Atmospheric Research* 169: 318–330, 2016.
- [8] K. Yumimoto, H. Murakami, T.Y. Tanaka, T.T. Sekiyama, A. Ogi, T. Maki. *Forecasting of Asian dust storm that occurred on May 10–13, 2011, using an ensemble-based data assimilation system*. *Particology in press*, 2015.
- [9] D.P. Dee. *Bias and data assimilation*. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131: 3323–3343, 2005.
- [10] M. Ghill, P. Malanotte-Rizzoli. *Data assimilation in meteorology and oceanography*. *Advances in Geophysics* 33: 141-266, 1991.
- [11] S.G. Mohinder, P.A. Angus. *Kalman Filtering: Theory and Practice using MATLAB*. Second Edition, 2001.
- [12] K. Shashank, N. Ravi, M. Rakshith, J.V. Alamelu. *Implementation of Kalman Filter to Monitor the Level Fluctuations in a Dam Using FPGA*. *Recent Advancements in System Modelling Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2013.
- [13] P.S. Maybeck. *Stochastic models, estimation and control*. Vol. 1. Academic Press, 1979.
- [14] A.L. Pletea, L. Popa. *Teoria Probabilităților*. Universitatea Tehnică "GH. ASACHI", Iași 1999.
- [15] G. Welch, G. Bishop. *An Introduction to the Kalman Filter*. SIGGRAPH 2001, Los Angeles, CA, August 12-17, 2001.
- [16] J.M. Lefevre, L. Aouf, C. Skandrani, P. Queffeulou. *Contribution of satellite altimetry to wave analysis and forecasting*. 15 years of progress in radar altimetry Symposium, Venice, Italy, 2006.
- [17] WAMDI Group. *The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model*. *J. Phys. Oceanogr* 18: 1775-1810, 1988.
- [18] N. Booij, R.C. Ris, L.H. Holthuijsen. *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*. *Journal of Geophysical Research* 104, C4: 7649-7666, 1999.
- [19] H.L. Tolman. *A third-generation model for wind waves on slowly varying unsteady, and inhomogeneous depths and current*. *Journal of Physical Oceanography* 21:782-797, 1991.

- [20] HL. Tolman. *Practical wind wave modeling*. Proc. CBMS Conf. Water Waves: Theory and Experiment, Howard University, Word Scientific Publishers, 2008.
- [21] World Meteorological Organization (WMO). *Guide to wave analysis and forecasting*, 1998.
- [22] A. Bogathev. *Changes in operational suite of ALADIN-BG*. ALADIN Newsletter No 34, 2008.
- [23] M. Dimitrova, A. Kortcheva, V. Galabov. *Validation of the operational wave model WAVEWATCH III against altimetry data from JASON-2 satellite*. Bul. J. Meteo & Hydro 18 (1-2):4-17, 2013.
- [24] VS. Arkhipkin, FN. Gippius, KP. Koltermann, GV. Surkova. *Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14: 2883-2897, 2014.
- [25] A. Kotrikla. *Environmental management aspects for TBT antifouling wastes from shipyards*. Journal of Environmental Management 90: 77-85, 2008.
- [26] F. Onea, E. Rusu E. *The expected efficiency and coastal impact of a hybrid energy farm operating in the Portuguese nearshore*. Energy 97: 411-423, 2016.
- [27] E. Rusu, C. Ventura Soares, L. Rusu. *Computational strategies and visualization techniques for the wave modelling in the Portuguese nearshore*. Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources 1-2: 1129-1136, 2005.
- [28] F. Onea, **A. Raileanu**, E. Rusu. *Evaluation of the wind energy potential in the coastal environment of two enclosed seas*. Advances in Meteorology, Article ID 808617, 2015.
- [29] E. Rusu, L. Rusu, C. Guedes Soares. *Prediction of extreme wave conditions in the Black Sea with numerical models*. 9th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Victoria, Canada, September, 2006.
- [30] **A. Raileanu**, F. Onea, E. Rusu. *Spatial and seasonal variations of the environmental conditions along the Black Sea shipping routes*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 28 June - 7 July 2016 Albena, Bulgaria.
- [31] W. Alpers, A. Ivanov, J. Horstmann. *Observations of Bora events over the Adriatic Sea and Black Sea by space borne synthetic aperture radar*. Mon. Weather Rev 137: 1150-1161, 2009.
- [32] AVISO. *SSALTO/DUACS User Handbook: (M)SLA and (M)ADT Near-Real Time and Delayed Time Products*, 2014.
- [33] SM. Uppala, PWK. Allberg, AJ. Simmons, U. Andrae, V. Da Costa Bechtold, M. Fiorino, et al. *The ERA-40 re-analysis*. Quart J R Meteorol Soc 131: 2961-3012, 2005.
- [34] DP. Dee, SM. Uppala, AJ. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi et al. *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. QJR Meteorol Soc 137 (656): 553-597, 2011.
- [35] E. Rusu, **A. Raileanu**. *A multi parameter data assimilation approach for wave predictions in coastal areas*. Journal of Operational Oceanography 2016; in press.
- [36] O. Makarynskyy, D. Makarynska, E. Rusu, A. Gavrilov. *Filling Gaps in Wave Records With Artificial Neural Networks*. Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, Guedes Soares, C., Garbatov, Y. and Fonseca, N. (Eds.), Taylor & Francis Group, London, 1085-1091, 2005.
- [37] L. Rusu, C. Guedes Soares. *Local data assimilation scheme for wave predictions close to the Portuguese ports*. Journal of Operational Oceanography 7(2): 45-57, 2014.
- [38] K. Hasselmann, TP. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, DE. Cartwright, K. Enke, JA. Ewing, H. Gienapp, DE. Hasselmann, P. Kruseman. et al. *Measurements of wind-Wave growth and swell*

- decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl, 12, A8, 1973.
- [39] WJ. Pierson, L. Moskowitz. *A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii*. J. Geophys. Res. 69 (24): 5181-5190, 1964.
- [40] SWAN. *Scientific and technical documentation, SWAN Cycle III version 41.01*. Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, the Netherlands, 2015.
- [41] AJ. Kuik, GP van Vledder, LH. Holthuijsen. *A method for the routine analysis of pitch and roll buoy wave data*. J. Phys. Oceanogr. 18: 1020-1034, 1988.
- [42] DC. Conley, E. Rusu. *Tests of wave shoaling and surf models in a partially enclosed basin*. Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, Taylor & Francis publications, London, ISBN 13: 978-0-415-39036-1, II:1015-1021, 2005.
- [43] E. Rusu, M. Gonçalves, C. Guedes Soares. *Evaluation of the wave transformation in an open bay*. *Ocean Engineering*; 38(16):1763-1781, 2011.
- [44] T. Soukissian, C. Kechris. *About applying linear structural method on ocean data: Adjustment of satellite wave data*. *Ocean Engineering* 34(3-4): 371-389, 2007.
- [45] **A. Raileanu**, L. Rusu, E. Rusu. *Wave modelling with data assimilation in the Romanian nearshore*. In: Proc. of 16th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, IMAM 2015 - Towards Green Marine Technology and Transport, 21-24 September 2015, Croatia, pp.837-843.
- [46] L. Rusu. *A data assimilation scheme to improve the wave predictions in the western side of the Black Sea*. In: Proc. of 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2014) – Marine and Ocean Ecosystems, 17-26 June 2014, Albena, Bulgaria, Vol. II, 539-545.
- [47] COMET. *Understanding Marine Customers*, 2nd Edition; www.meted.ucar.edu (Accesat în Mai 2016)
- [48] JS. Fuglestedt, T. Berntsen, G. Myhre, K. Rypdal, RB. Skeie. *Climate forcing from the transport sectors*. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 454-458, 2008.
- [49] E. Rusu. *Wave energy assessments in the Black Sea*. J Mar Sci Tech 14: 359-372, 2009.
- [50] E. Rusu. *Modelling of wave-current interactions at the Danube's Mouths*. Journal of Marine Science and Technology 15 (2): 143-159, 2010.
- [51] W. Alpers, A. Ivanov, J. Horstmann. *Observations of bora events over the Adriatic Sea and Black Sea by spaceborne synthetic aperture radar*. Monthly Weather Review 137: 1150-1161, 2009.
- [52] W. Alpers, AY. Ivanov, KF. Dagestad. *Investigation of coastal wind fields over the Black Sea using Envisat synthetic aperture radar images*. Proceedings of the ESA Living Planet Symposium, held in Bergen, Norway 28 June-2 July 2010, ESA publication SP-686.
- [53] Y. Cai, Y. Wen, L. Wu. *Ship route design for avoiding heavy weather and sea conditions*. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 8 (4): 551-556, 2014.
- [54] STI (Sail Training International). <http://www.sailtraininginternational.org/vessels/vessel-database> (Accesat în Iunie 2016)
- [55] GA. Papadopoulos, G. Diakogianni, A. Fokaefs, B. Ranguelov. *Tsunami hazard in the Black Sea and the Azov Sea: a new tsunami catalogue*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci 11: 945-963, 2011.

LISTA DE LUCRĂRI

A - PUBLICAȚII ÎN JURNALE COTATE ISI

1. Rusu E, **Răileanu A.**, 2016. *A multi parameter data assimilation approach for wave predictions in coastal areas.* Journal of Operational Oceanography. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1192013> (I.F:1.263/2016), autor principal-corespondent
2. Onea F, **Raileanu A**, Rusu E, 2015. *Evaluation of the wind energy potential in the coastal environment of two enclosed seas.* Advances in Meteorology. Article Number: 808617, 14 pages, doi: 10.1155/2015/808617. <http://www.hindawi.com/journals/amete/aip/808617/> (I.F:1.107/2015)

B - CARTE

3. L Rusu, **A Raileanu**, F. Onea, 2016. *Asimilarea de date cu aplicații la predicția climatului de val în bazinul Mării Negre*, Zigotto, 300 p, ISBN 978-606-669-182-6.

C - LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE INTERNAȚIONALE INDEXATE ISI

4. **Raileanu A**, Onea F, Rusu E., 2016. *Spatial and seasonal variations of the environmental conditions along the Black Sea shipping routes.* 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Albena, Bulgaria, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-62-9 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book3 Vol. 2, 829-836 pp, DOI: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.108.
5. **Raileanu A**, Rusu L., Rusu E., 2016. *Data Assimilation Methods to improve the Wave Predictions in the Romanian Coastal Environment.* 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Albena, Bulgaria, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-59-9 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book2 Vol. 2, 855-862 pp, DOI: 10.5593/SGEM2016/B22/S10.109
6. Onea F, **Raileanu A**, Rusu E., 2016. *Evaluation of the wave energy potential in some locations where European offshore wind farms operate.* MARTECH 2016 - 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering 4 - 6 July 2016 Lisbon, Portugal. In book ISI indexed: Maritime Technology and Engineering 3, Chapter: Evaluation of the wave energy potential in some locations where European offshore wind farms operate, Publisher: Taylor & Francis Group, London, Editors: Guedes Soares & Santos, pp.1119-1124.
7. **Raileanu A**, Onea F, Rusu E, 2015. *Assesment of the wind energy potential in the coastal environment of two enclosed seas.* OCEANS'15 MTS/IEEE GENOVA 18-21 May 2015 Genova, Italy. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=7271248&queryText=onea%20florin&newsearch=true>

8. **Raileanu A**, Onea F, Rusu E, 2015. *Evaluation of the offshore wind resources in the European seas based on satellite measurements*. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM) Location: Albena, BULGARIA Date: 18-24 June; 227-234, 2015. <http://sgem.org/sgemlib/spip.php?article6134>
9. **Răileanu A.**, Rusu L., Rusu E., 2015. *Wave modelling with data assimilation in the Romanian nearshore*. In: Proc. of 16th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, IMAM 2015 - Towards Green Marine Technology and Transport, 21-24 September, Croatia, pp. 837-843, <http://www.imamhomepage.org/imam2015/>

D - LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE INTERNAȚIONALE

10. **A Raileanu**, F Onea, E Rusu, 2015. *Evaluation of the offshore wind energy potential in the Romanian coastal environment at the Black Sea*. Presented at The international symposium Protection of the Black Sea ecosystem and sustainable management of maritime activities - PROMARE 2015, http://www.mareframe-fp7.org/ue_31.html, publicat în "Cercetări Marine - Recherches Marines" 46/2016, <http://www.rmri.ro/Home/Publications.RecherchesMarines.html> (**Premiul III pentru cea mai bună prezentare orală**).
11. A. Ivan, **A Raileanu**, F Onea, E Rusu, 2015. *Studies concerning the coastal impact of an offshore wind farm operating in the vicinity of the Danube Delta*. Presented at The international symposium Protection of the Black Sea ecosystem and sustainable management of maritime activities - PROMARE 2015, http://www.mareframe-fp7.org/ue_31.html, publicat în "Cercetări Marine - Recherches Marines" 45/2015, (**Premiul III pentru cea mai bună prezentare poster**) <http://www.rmri.ro/Home/Publications.RecherchesMarines.html>
12. Onea F, **Raileanu A**, Rusu E. *Evaluation of the general wind conditions in the Black and the Caspian seas*. International Conference Environmental Issues in terms of its Protection and Ecology, 6-7 May 2015, Galați, Romania, pp 13-14, ISBN 978-606-696-035-9.
13. Rusu L., **Raileanu A.**, Rusu E., 2015. *An assimilation scheme based on remotely sensed data to improve the results of the numerical wave models in the Black Sea*, International Conference Environmental Issues in terms of its Protection and Ecology, 6-7 May 2015, Galați, Romania, pp 11-12, ISBN 978-606-696-035-9

E - PUBLICAȚII ÎN JURNALE INDEXATE ÎN BAZE DE DATE INTERNAȚIONALE

14. Onea F, **Raileanu A**, Rusu E, 2016. *Analysis of the extreme wind and wave conditions in the Black Sea as reflected by the altimeter measurements*. Mechanical Testing and Diagnosis, 1, 5-12. http://www.om.ugal.ro/mtd/download/2016-1/1%20MTD_2016_Volume%201_One.pdf
15. Zanopol AT, Onea F, **Raileanu A**, 2014. *Coastal impact simulation of a Wave Dragon farm operating in the nearshore of Mangalia*. Constanta Maritime University Annals, 21 (I), 65-70. <http://www2.cmu-edu.eu/anale/41-2/>
16. Gasparotti, C., **Răileanu, A.** & Rusu E, 2013, *New Strategies for the Waste Management in the Black Sea Region*, EuroEconomica, 2013, issue 2(32), pages 79-92. <http://EconPapers.repec.org/RePEc:dug:journl:y:2013:i:2:p:79-92>

F – COMUNICĂRI ÎN CADRUL UNOR CONFERINȚE NAȚIONALE

17. **Răileanu A**, Rusu E, 2014. *Overview on Data Assimilation Methods in the Wave Predictions*, prezentat la 'A doua ediție a Conferinței Științifice a Școlilor Doctorale din UDJ Galați (CSSD-UDJG 2014), 15-16 Mai 2014, Galați, Romania. http://www.cssd-udjg.ugal.ro/2014/resources/Book_of_Abstracts_2014.pdf
18. **Răileanu A**, Rusu E, *Evaluation of Various Data Assimilation Procedures to Increase the Reliability of the Wave Predictions in the Black Sea*, prezentat la a treia ediție a Conferinței Științifice a Școlilor Doctorale din UDJ Galați (CSSD-UDJG 2015), 4-5 iunie 2015 Galați, Romania. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/2015/abstracts-2015>
19. **Răileanu A**, Rusu E, *Advances in increasing the Reliability of the Wave Predictions in the Black Sea by Implementing Data Assimilation Techniques*, prezentat la a patra ediție a Conferinței Științifice a Școlilor Doctorale din UDJ Galați (CSSD-UDJG 2015), 2-3 iunie 2016 Galați, Romania. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts>

G – PARTICIPĂRI ÎN ECHIPELE PROIECTELOR DE CERCETARE-DEZVOLTARE



20. **DAMWAVE** (2013-2015), Implementation of data assimilation methods to improve the wave predictions in the Romanian nearshore, CNCS – UEFISCDI, proiect number **PN-II-ID-PCE-2012-4-0089**, <http://www.im.ugal.ro/DAMWAVE/index.htm>, membru în echipa de proiect.
21. **ExcelDOC** (2014-2015) - proiect POSDRU 159/1.5/S/132397, "Excelenta in cercetare prin burse doctorale si postdoctorale", membru al grupului țintă.


PERSONAL INFORMATION



Alina Beatrice Răileanu

 47, Str. Universitatii, Galati, 800018, Romania

 +40 372 361175  +40 722 455631

 alinaraileanu@univ-danubius.ro

Sex F | Date of birth 07/12/1967 | Nationality Romanian

WORK EXPERIENCE

From 1st of November, 2014

Managing Director of Danubius International Business School

Danubius University from Galati, Bdul. Galati Nr.3, 800654 Galati, Romania

- Coordination of DIBS, analyzing development opportunities, business partnerships management
- Project manager and/or team member in many European projects

Business or sector Education

From 1st of October 2011

To 31st of October 2014

Managing Director of Continuous Learning Centre

Danubius University from Galati, Bdul. Galati Nr.3, 800654 Galati, Romania

- Coordination, analyze opportunities to develop training activities

From 1st of October 2009

To 30th of October 2011

Lecturer in Informatics

Danubius University from Galati, Bdul. Galati Nr.3, 800654 Galati, Romania

From 25th of March 2007

To 30th of September 2009

Research Assistant in Informatics

Danubius University from Galati, Bdul. Galati Nr.3, 800654 Galati, Romania

From 1st of September 2002

To 24th of March 2007

General Manager

Euroserv SRL, Galati

- Project management and consultancy

From 1st of September 1995

To 31st of August 2002

System Engineer

ELIA SA, Galati

- Web applications – research and development

From 6th of June 1994

To 31st of August 1995

Programmer

Credit Bank SA, Galati branch

- Management of banking software applications

From 1st of July 1991

To 5th of June 1994

System Administrator

“Dunărea de Jos” University of Galati

- Computer Network administration

EDUCATION AND TRAINING

1st of October 2013 - present

PhD student

“Dunărea de Jos” University of Galati, Romania

EQF-8

Thesis: “Implementarea de metode de asimilare de date pentru îmbunătățirea predicției valorilor cu modele spectrale în bazinul Mării Negre”



2006 - 2010	Bachelor of Laws Danubius University from Galati, Romania	EQF-6
1986 - 1991	Diplomat Engineer - Naval Architecture "Dunărea de Jos" University of Galati, Romania	EQF-7
October 2011	Manager Ttini Smart Ideas SRL, Bucharest, Romania	EQF-6
November 2009	Project Manager Dotis Trening SRL, Bucharest, Romania	EQF-6
May 2010	ECDL Core Certificate 4.0 European Computer Driving Licence Core – RO052199	EQF-6
Februarie 2009	Quality Insurance Consultant, ISO 9001:2008, ISO 19011:2003 Quality International Consulting SRL, Bucharest, Romania ▪ Third party auditor	EQF-6
April 2008	Certified Trainer Social Trade SRL, Galati, Romania	EQF-

PERSONAL SKILLS

Mother tongue(s) Romanian

Other language(s)

	UNDERSTANDING		SPEAKING		WRITING
	Listening	Reading	Spoken interaction	Spoken production	
English	C1	C1	C1	C1	C1
Replace with name of language certificate. Enter level if known.					
French	B2	B2	B2	B2	B2
Replace with name of language certificate. Enter level if known.					

Levels: A1/2: Basic user - B1/2: Independent user - C1/2 Proficient user
Common European Framework of Reference for Languages

Communication skills

- Excellent communication skills, team building abilities and strategic management of an international team obtained during the partnership between ELIA SA (the first Internet Service Provider in Galati, Romania), Infobahn International GmbH (Germany) and Cybernet AG (Germany)

Organisational / managerial skills

- leadership (currently responsible for a team of 9 people)
- Project management abilities and practice gained during over 5 years of collaboration with Safe Invest Holding (Austria), since September 2002, as an extraprofessional activity, managing and training over 2.000 sales persons. I also graduated 'Safe Invest Academy' (marketing, management, rhetoric, time management, team building, train the trainers and many others corporate trainings)

Computer skills

- Over 20 years experience in IT (Analysis and maintenance of IT system; Participation in IT research-development activities; Implementation of the e-learning software; National Correspondent for studies on Web Accessibility published on EU e-Agenda)

Driving licence

- B

ANNEXES

- If demanded

