



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIE
MINISTERUL MUNCII,
FAMILIEI ȘI PROTECȚIEI
SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POS DRU
2007-2013



Instrumente Structurale
2007 - 2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



GALATIENSIS

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de inginerie



STUDII PRIVIND IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM PENTRU EVALUAREA PROPAGĂRII AGENȚILOR POLUANȚI ÎN MEDIUL MARIN

REZUMAT

**Doctorand,
Ing. Robert Toderașcu**

**Conducător științific,
Prof. Univ. Dr. Ing. Eugen Rusu**

Seria I 6: Inginerie Mecanică Nr. 12

GALAȚI

2014

Lucrare finanțată în cadrul proiectelor EFICIENT HRD - EFICIENT 61445/2009 și DAMWAVE

CNCS – UEFISCDI PN-II-ID-PCE-2012-4-0089

Mulțumiri

În primul rând doresc să adresez sincere mulțumiri domnului profesor Eugen Rusu pentru sprijinul și încrederea acordată, precum și pentru cantitatea și calitatea informațiilor pe care, datorită domniei sale, le-am acumulat în cadrul realizării acestei teze.

De asemenea adresez mulțumiri doamnei profesoare Liliana Rusu pentru ajutorul acordat în cadrul realizării acestei lucrări, pentru indicațiile și sfaturile primite pe parcursul redactării acestei teze.

Multe mulțumiri colectivului de profesori al catedrei de Mecanică aplicată care au contribuit, direct sau indirect la realizarea tezei.

În ceea ce privește desfășurarea stagiului de mobilitate externă, recunoștința mea se îndreaptă către domnul profesor Flavio Martins și doctorandului domniei sale, Joao Janeiro din cadrul Universității din Algarve (Portugalia), pentru ajutorul cu privire la implementarea modelului Mohid în bazinul Mării Negre.

De asemenea aș dori să mulțumesc echipei de cercetători de la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare Marină "Grigore Antipa" și în special domnului Răzvan Mateescu pentru sprijinul în vederea realizării măsurărilor experimentale precum și pentru seturile de date furnizate cu privire la implementarea modelului POM în bazinul Mării Negre.

Nu în ultimul rând doresc să adresez mulțumiri membrilor comisiei de îndrumare și evaluare a acestei teze de doctorat, pentru timpul și efortul depus.

Mulțumesc de asemenea familiei, prietenilor și colegilor pentru sprijinul acordat.

Galați, 2014

Ing. Robert Toderașcu

CUPRINS

	Pag. rezumat	Pag. teză
Introducere.....	3	3
Obiectivul și importanța temei propuse.....	3	3
Structura tezei de doctorat.....	4	4
Capitolul 1. Poluarea mediului marin.....	6	20
1.1 Accidente navale soldate cu deversări de petrol.....	6	20
1.2 Caracteristici fizice și chimice ale hidrocarburilor.....	9	23
1.3 Metode de observare, curățare și prevenire a deversărilor de petrol.....	11	25
1.4 Riscuri ale poluării mediului marin.....	14	28
Capitolul 2. Generalități privind curenții oceanici și marini.....	16	30
2.1 Tipuri de curenți.....	17	31
2.2 Asimilarea de date.....	18	46
Capitolul 3. Studiul curenților în mări închise.....	20	51
3.1 Generalități.....	20	51
3.2 Structura spațială a câmpului de curenți în bazinul Mării Negre.....	21	53
3.3 Analiza curenților cu date de satelit pentru bazinul Mării Negre și al Mării Caspice.....	23	55
3.4 Analiza datelor in situ privind măsurători ale curenților în zona portului Mangalia și a platformei Gloria.....	36	79
3.5 Concluzii.....	38	80
Capitolul 4. Implementarea modelului Mohid pentru bazinul Mării Negre.....	39	82
4.1 Generalități privind modelul Mohid.....	39	90
4.1.1 Istoric.....	39	90
4.1.2 Aplicații ale modelului Mohid.....	39	91
4.2 Implementarea modelului Mohid în bazinul Mării Negre.....	40	96
4.2.1 Preprocesarea datelor.....	40	96
4.2.2 Procesarea datelor.....	46	103
4.2.3 Postprocesarea datelor și rezultate.....	46	104
4.3 Comparații ale rezultatelor obținute cu modelul Mohid cu simulări similare realizate în bazinul Mării Negre.....	50	108
4.4 Concluzii.....	54	115
Capitolul 5. Rezultate experimentale privind măsurarea curenților în bazinul Mării Negre.....	56	117
5.1 Colectarea datelor.....	56	117
5.2 Analiza datelor obținute în timpul experimentului.....	60	123
5.3 Concluzii.....	64	128
Capitolul 6. Implementarea unui model cuplat asociat valuri și curenți pentru evaluarea propagării agenților poluanți în mediul marin.....	65	129
6.1 Structura sistemului propus.....	65	129
6.2 Implementarea sistemului de modele de valuri și curenți.....	66	131
6.3 Concluzii.....	73	149
Capitolul 7. Scenarii privind propagarea poluării în cazul unor accidente ipotetice ce ar putea avea loc în bazinul Mării Negre.....	74	150

7.1 Primul studiu de caz.....	75	151
7.2 Al doilea studiu de caz.....	79	155
7.3 Al treilea studiu de caz.....	83	159
7.4 Concluzii.....	88	165
Capitolul 8. Considerații finale.....	89	167
8.1 Discuții asupra studiilor efectuate în teza de doctorat.....	89	167
8.2 Contribuții personale și elemente de originalitate.....	91	169
8.3 Direcții viitoare de cercetare.....	93	171
Lista de lucrări.....	94	172
Bibliografie.....	96	174

INTRODUCERE

Obiectivul și importanța temei de doctorat

Obiectivul prezentei teze este acela de a prezenta implementarea unui sistem capabil de a evalua propagarea agenţilor poluanţi în mediul marin, sistem focalizat pe bazinul Mării Negre.

Poluarea mediului marin generează nu doar probleme legate de mediu ci și situații tensionate la nivel politic, din moment ce factorii poluanți se pot deplasa liber în mediul acvatic. Impactul accidentelor generate de deversări de poluanți are loc nu doar asupra zonei afectate ci asupra întregului bazin hidrografic. Poluanții toxici pot fi considerați a se afla la capătul opus al spectrului chimic, în vârful căruia se află nutrienții, din moment ce aceștia afectează productivitatea biologică și reduc speranța de viață a speciilor ce trăiesc în mediul poluat. Concentrațiile toxice, de regulă, sunt mai mari în sedimente decât în restul apei, sedimente ce pot ajunge să conțină chiar și metale grele. Chiar dacă poluarea se face doar la suprafață, algele pot incorpora substanța toxică și, odată cu moartea acestora, poluantul ajunge în sediment. Sedimentul este sursa de hrană a multor specii acvatice, generându-se astfel un întreg ciclu de absorbție a poluantului de-a lungul lanțului trofic.

Efectul impactului agenților poluanți în mediul marin poate fi analizat prin două metode:

- A) seturi de date și monitorizări precum și comparații cu surse acvatice neafectate, și prin supravegherea efectelor biologice sau ecologice ale acestuia asupra mediului.
- B) a doua metodă implică monitorizări biologice, senzori, măsurători de indici biologici sau ecologici și este cea mai folosită metodă de evaluare a efectelor poluanților asupra mediului.

Chiar și dacă se folosesc metode considerate a fi sigure, monitorizarea directă a concentrațiilor de poluanți în sedimente, apă sau mediul biotic, poate duce la rezultate eronate datorate faptului că nu toți poluanții chimici pot fi detectați cu ușurință, precum și din cauza faptului că în acest fel se neglijează efectele sinergetice ale diferiților poluanți aflați în vecinătate. Prin urmare, monitorizarea ecologică este necesară pentru a evalua starea zonei afectate, din moment ce rezultatele arată efectele toxicității concentrate cumulate a poluanților.

În general, sursele biodegradabile bazate pe sol contribuie la îmbogățirea organică a apelor de coastă și a sedimentelor, în special a celor aflate sub influența apelor care intră în mare, cum ar fi Dunărea și Nistru. În plus, îmbogățirea ecologică promovează creșterea și dominația fitoplanctonului, în special Noctiluca, care, în timpul înfloririi poate depăși 90% din fitoplanctonului biomasei. Îmbogățirea particulelor organice oferă o sursă de hrană suplimentară pentru crustacee, în special moluște. Un nivel ridicat a biomasei ar putea fi de așteptat în apele afectate de poluanți. Cu toate acestea, descompunerea acesteia poate duce la niveluri reduse de oxigen dizolvat, iar în cazul în care acest lucru se întâmplă, în loc de o creștere a biomasei biologice, poate apare mortalitatea acesteia. Mai mult, nu numai biomasa este afectată; peștii din apele poluate ce nu sunt capabili să evadeze vor fi, de asemenea, uciși. În cazul în care poluantul este deversat în zonele și perioadele de depunere a icrelor, este posibil ca întreaga generație de pești să fie grav afectată. De asemenea deversările de poluanți pot afecta grav și fauna ce locuiește în apropierea malului. Petrolul poate rămâne zeci de ani îmbibat în nisip, se poate lipi de penele păsărilor sau blana animalelor. Oricât de eficiente sunt eforturile de curățare ale unei pete de petrol, o cantitate va rămâne întotdeauna în apă. Cu toate acestea, s-a constatat că efectele poluării pot fi mult diminuate dacă eforturile de curățare încep devreme.

Curenţii marini, sub acţiunea vântului şi a valurilor, pot purta poluanţii pe distanţe foarte mari, prin urmare se impune dezvoltarea unui sistem capabil de a evalua propagarea agenţilor poluanţi în apă, astfel încât eforturile de reducere ale pagubelor să fie eficiente. Acest sistem va trebui să fie uşor de folosit şi capabil de a efectua simulări numerice bazate pe date reale de vânt, valuri şi curenţi. În ultimii ani a crescut foarte mult disponibilitatea datelor. Acestea pot fi descărcate de pe o varietate de site-uri şi acoperă aproape orice zonă de pe Pământ.

Teza de faţă îşi propune dezvoltarea unui astfel de sistem ce foloseşte seturi de date din variate surse, ce vor fi prelucrate apoi de modele numerice specializate, cum ar fi SWAN pentru valuri şi MOHID pentru curenţi. Scopul final este cuplarea acestor două modele printr-o interfaţă capabilă de a interpreta şi implementa rezultatele, generând astfel un sistem ce va beneficia de punctele forte a două dintre cele mai bune modele de simulări numerice din gama acestora. Pentru aceasta se impune în primul rând o cunoaştere detaliată a regimului de circulaţie şi a variabilităţii acestuia pentru mările închise, în general şi pentru Marea Neagră, în special. Nu în ultimul rând, se cere a fi menţionat, faptul că pentru implementarea modelului Mohid pentru bazinul Mării Negre s-a efectuat un stagiul de cercetare de 8 luni la Universitatea din Algarve, Faro, Portugalia.

Structura tezei de doctorat

Teza este structurată pe 8 capitole, la care se adaugă şi capitolul de faţă unde se prezintă importanţa şi structura tezei de doctorat.

Capitolul 1: Prezintă douăsprezece cazuri de accidente soldate cu deversări de petrol, accidente considerate a fi cele mai mari din istorie, în ceea ce priveşte poluarea mediului marin. Aşa cum se va observa din această secţiune, eroarea umană nu este întotdeauna elementul ce cauzează accidentul. În continuare, sunt prezentate caracteristicile fizice şi chimice ale hidrocarburilor, metodele de observare, curăţare şi prevenire ale accidentelor soldate cu deversări de petrol, precum şi riscurile şi efectele poluării mediului marin.

Capitolul 2: Are un caracter teoretic şi prezintă câteva generalităţi cu privire la curenţii oceanici şi circulaţia globală, clasificarea curenţilor. De asemenea, vor fi prezentate şi elementele matematice considerate a satisface factorii cunoscuţi deja referitori la mişcarea particulelor de apă şi elementele cauzatoare ale acestuia. În final vor fi prezentate metodele cele mai folosite de măsurare ale curgerii împreună cu aparatele folosite pentru aceasta.

Capitolul 3: Are ca obiectiv prezentarea unui studiu efectuat asupra circulaţiei din două mări închise cu ajutorul datelor de satelit şi ale măsurătorilor in situ. Date de satelit din 18 ani au fost procesate analizând 20 de puncte pentru Marea Neagră şi 20 pentru Marea Caspică. A fost studiată variabilitatea acestora interanuală, precum şi pe întreaga perioadă de timp. Capitolul este încheiat cu o analiză a curenţilor din zona de nord-vest a bazinul Mării Negre şi o analiză a variaţiei curenţilor cu adâncimea.

Capitolul 4: Debutează cu prezentarea celor mai cunoscute modele de circulaţie marină, evoluţia acestora în timp şi principalele caracteristici ale acestora. În a doua jumătate este prezentat un scurt istoric al modelului de circulaţie Mohid, starea actuală a acestuia şi principalele module de lucru, precum şi ecuaţiile matematice folosite de acest model. Capitolul se încheie prezentând implementarea modelului Mohid şi metodele folosite, precum şi

comparații efectuate între simulările realizate cu modelele Mohid și POM pentru zona de nord-vest a bazinului Mării Negre.

Capitolul 5: Are ca obiectiv analiza rezultatelor experimentale obținute de doctorand în perioada efectuării doctoratului și procesarea datelor, prezentându-se în final concluziile cu privire la corelarea rezultatelor experimentale cu datele de satelit.

Capitolul 6: Prezintă implementarea unui sistem de modele asociate valori - curenți pentru evaluarea propagării agenților poluanți în mediul marin precum și realizarea unor validări ale sistemului folosind date de satelit și măsurători in situ. Aici este prezentat sistemul propus de cuplare a modelelor SWAN și Mohid, dar și alte sisteme alternative ce pot funcționa. De asemenea, se analizează diferențele obținute între simulările efectuate cu modelul SWAN, cu și fără curenții obținuți de la modelul Mohid. Trebuie precizat că, pentru prezentul capitol, au fost realizate simulări zilnice pe o perioadă de un an.

Capitolul 7: Prezintă scenariile unor accidente ipotetice soldate cu deversări de petrol ce ar putea avea loc în bazinul Mării Negre. Aici sunt prezentate două cazuri ce analizează mișcarea petei de petrol în condiții de vânt diferite.

Capitolul 8: Sintetizează rezultatele tezei de doctorat, evidențiind elementele de originalitate ale lucrării, precizând totodată și câteva direcții viitoare de cercetare. La finalul capitolului este prezentată și lista lucrărilor publicate în timpul elaborării tezei.

CAPITOLUL 1

POLUAREA MEDIULUI MARIN

1.1 Accidente navale soldate cu deversări de petrol

Odată cu dezvoltarea transportului maritim crește și riscul apariției accidentelor. Navele petroliere au, în general, învelișuri cel puțin duble, dar acest lucru, deși ajută, nu este suficient pentru a evita un accident marin soldat cu un dezastru ecologic. Cu privire la poluarea cu petrol a zonei maritime există trei amenințări principale: 1) poluarea ce apare în porturi datorită transportului petrolului dinspre docuri spre vas sau a scurgerilor accidentale; 2) o problemă majoră sunt și deversările ilicite datorate operațiilor de rutină ale navelor. Nivelul de petrol deversat într-o astfel de operațiune nu este destul de mare pentru a fi îngrijorător, dar problema apare atunci când aceste deversări ilicite se cumulează de-a lungul timpului. Deversările ilicite de petrol pot avea loc în aproape orice loc al mării, și la orice oră, din moment ce supravegherea unei suprafețe hidrografice mari este imposibilă; 3) poluarea datorată accidentelor navale, soldate cu deversări de petrol.

În primul caz, nivelul de poluare este mic dar efectele scurgerilor accidentale se cumulează în timp. Acest tip de deversări de petrol este tipic terminalelor de extracție și transport al petrolului. Pe de altă parte, al treilea caz, cel al accidentelor navale, prezintă o problemă mult mai importantă.

Accidentele navale soldate cu deversări mari de petrol (de peste 700 tone) au scăzut considerabil în ultimii 43 de ani de la 30 respectiv 14 și 27 accidente majore în anii 1970, 1971 și 1972 la 4 în 2010, 1 în 2011 și 0 în 2012, [1] conform tabelului 1.1.

Cu toate acestea, accidente ca cel din Golful Mexic din Aprilie 2010, atunci când platforma submersibilă Deepwater Horizon aparținând companiei British Petroleum a suferit o explozie care a dus la deversarea în total a peste 4,9 milioane de barili, impun necesitatea dezvoltării unui sistem pentru evaluarea propagării agenților poluanți în mediul marin.

În continuare vor fi prezentate primele douăsprezece accidente soldate cu deversări de petrol din lume.

Petrolierul M/T Haven, 1991 - Petrolierul Haven a explodat și s-a scufundat pe coasta Italiei. Accidentul a ucis 6 persoane iar 1.470.000 de tone petrol au fost deversate în mare. Imediat după incident autoritățile italiene au făcut eforturi să tracteze epava petrolierului spre țarm, eforturi ce au eșuat. Pentru a controla împrăștierea focului datorat aprinderii petrolului deversat, autoritățile italiene au folosit 14 kilometri de bariere gonflabile ce au fost scufundate sub nivelul mării, în jurul epavei petrolierului. Restul petrolului a fost eliminat folosind aspiratoare [2].

Accidentul Odyssey, 1988 - În Noiembrie 1988 petrolierul liberian Odyssey, plin până la refuz, s-a rupt în două și s-a scufundat în Atlanticul de Nord, la 1300 de kilometri de Noua Scoție, Canada. 1.505.822 tone de petrol au fost deversate în ocean. Datorită distanței mari față de țarm nu s-a efectuat nici o procedură de curățare [3].

Petrolierul Amoco Cadiz, 1978 - Ca urmare a unei erori de direcționare, petrolierul Amoco Cadiz a eșuat pe coasta Marii Britanii în 1978. Întreaga încărcătură de 246.000 tone de petrol a fost răsturnată în Canalul Mânecii. Pentru curățare au fost folosite peste 3.300 tone de soluție

de dispersie. Cu toate acestea eforturile de curățare nu au fost încununete de succes. La o lună după incident, aproape 320 de kilometri ai coastei franceze au fost contaminați cu petrol [4].

Tabelul 1.1. Cantitatea anuală a deversărilor de petrol ca urmare a accidentelor navale în ultimii 43 de ani [1].

Anul	Număr accidente soldate cu deversări de petrol		Cantitate totală de petrol deversat (tone)
	între 7-700 tone	peste 700 tone	
1970	7	30	409,000
1971	18	14	143,000
1972	48	27	313,000
1973	28	31	159,000
1974	90	27	173,000
1975	96	20	351,000
1976	67	26	364,000
1977	69	16	275,000
1978	59	23	393,000
1979	60	32	636,000
1980	52	13	206,000
1981	54	7	48,000
1982	46	4	12,000
1983	52	13	384,000
1984	26	8	29,000
1985	33	8	85,000
1986	27	7	19,000
1987	27	10	30,000
1988	11	10	190,000
1989	33	13	174,000
1990	51	14	61,000
1991	30	7	431,000
1992	31	10	167,000
1993	31	11	140,000
1994	26	9	130,000
1995	20	3	12,000
1996	20	3	80,000
1997	28	10	72,000
1998	25	5	13,000
1999	20	6	29,000
2000	21	4	14,000
2001	17	3	8,000
2002	12	3	67,000
2003	19	4	43,000
2004	17	5	16,000
2005	22	3	18,000
2006	13	5	23,000
2007	13	4	19,000
2008	8	1	3,000
2009	7	1	2,000
2010	4	4	12,000
2011	5	1	2,000
2012	7	0	1,000

Petrolierul Castillo de Bellver, 1983 - Pe 6 August 1983, la 110km nord-vest de Capetown, Africa de Sud, petrolierul Castillo de Bellver a luat foc, nava fiind abandonată imediat după ce s-a constatat că acesta nu poate fi stins. La scurt timp după aceasta, petrolierul s-a rupt în două în mijlocul mării. În momentul accidentului petrolierul transporta 2.766.510 tone de petrol. Eforturile de curățare au fost minime [5].

ABT Summer, 1991 - În drum spre Rotterdam, la bordul petrolierului ABT Summer a avut loc o explozie ce a aprins întregul petrolier în timp ce se afla la 1.600km distanță de coastele Angolei. Timp de trei zile nava a plutit în derivă, arzând, înainte de a se scufunda. Petrolierul avea o încărcătură de 2 800.000 tone de petrol [6].

Accidentul de la câmpul petrolier Nowruz, 1983 - Aflat în mijlocul războiului Iran-Irak, un petrolier a naufragiat lovindu-se de platforma petrolieră Nowruz aflată în Golful Persic. Peste 2.800.000 de tone de petrol au curs, dar pentru că accidentul a avut loc în mijlocul unei zone de război, au trecut 7 luni până să se ia măsuri. [7]

Valea Fergana, 1992 - Aproape 3.816.000 de tone de petrol s-au vărsat dintr-o gaură de forare în Valea Fergana, Uzbekistan în 1992. Cazul nu a beneficiat de atenția presei pe moment, dar aceasta este cea mai mare scurgere de petrol pe o suprafață terestră [3].

Petrolierul Atlantic Empress, 1979 - În iulie 1979, în timpul unei furtuni, două petroliere de calibru mare s-au ciocnit, ambele fiind pline. Accidentul a avut loc lângă coastele insulei Tobago în Marea Caraibelor. Afectate de ciocnire, ambele petroliere au început să aibă scurgeri de petrol și s-au aprins la scurt timp. Focul de pe una dintre nave, Captain Aegean, a fost stins iar nava a putut fi tractată în siguranță la mal. Pe cealaltă navă, Atlantic Empress, focul nu a putut fi stins dar a fost posibilă tractarea navei în largul mării, unde a explodat la aproximativ 500km în larg. 3.151.720 tone de petrol s-au revărsat în apă [3].

Gura de forare Ixtoc 1, 1979 - Gura de forare din Golful Campeche, Mexic, a cedat în iulie 1979 ca urmare creșterii presiunii datorată unei explozii accidentale. Pe perioada următoarelor 10 luni peste 4.900.000 tone s-au revărsat în Golful Mexic. Pentru a încetini curgerea petrolului, inițial noroi și apoi oțel, fier și piele au fost introduse în conductă. Potrivit companiei ce deținea conducta, Mexican Petroleum, jumătate din cantitatea revărsată a ars când a ajuns la suprafață iar o treime s-a evaporat. Mexican Petroleum a angajat de asemenea și o firmă pentru a împrăștia dizolvanți pe o arie de 2.000km² [3].

Războiul din Golf, 1991 - În timp ce forțele irakiene se retrăgeau din Kuweit în timpul primului război din Golful Persic, soldații deschideau valvurile conductelor de petrol într-o încercare disperată de a încetini avansul trupelor americane. Acest fapt a rezultat în cea mai mare scurgere de petrol din istorie, aproape 11.766.424 milioane de tone de petrol s-au scurs în Golful Persic. În timpul războiului s-a reușit închiderea unor conducte și guri de forare dar majoritatea eforturilor de curățare au avut loc după finalizarea războiului [3].

Cazul Deepwater Horizon - În seara zilei de 20 Aprilie 2010 a avut loc o explozie pe platforma petroliera Deepwater Horizon aparținând British Petroleum. În acel moment platforma fora la o adâncime de aproximativ 10.000 de metri, dintre care 1.600 de apă. Ca rezultat al exploziei, o scurgere de petrol a fost observată pe data de 22 Aprilie [4]. Inițial compania BP a estimat scurgerea între 118 și 591 tone de petrol pe zi, dar se crede că 7.000 de tone pe zi reprezintă o cifră mai realistă [5]. Scurgerea de petrol nu a putut fi oprită timp de 3 luni și se consideră ca și astăzi, într-o cantitate semnificativ mai mică, mai are loc. În total în timpul celor 3 luni s-au revărsat în apă aproximativ 5.798.881 de tone petrol. Acțiunile de curățare au continuat până în Decembrie 2012 din moment ce au fost afectați 546km de coastă. Cu excepția cazului incidentului din Golful Persic, 1991, acesta reprezintă accidentul cu cea mai

mare cantitate de petrol revărsată în apă din istorie. Cifrele menționate aici sunt considerate a fi corecte, cu toate că British Petroleum le contestă afirmând că guvernul Statelor Unite a supraestimat cantitatea de petrol scursă [6].

Accidentul Exxon Valdez - Un alt caz ce merită a fi enumerat aici este cel al accidentului petrolierului Exxon Valdez. Accidentul a avut loc pe data de 24 Martie, 1989 când petrolierul s-a ciocnit de un banc al insulei Prince William Sound, Alaska. Cantitatea de petrol deversată nu este considerabilă comparativ cu a celor mai mari 10 accidente din istorie, cu doar 30.769 tone deversate dar datorită zonei greu accesibile eforturile de curățare a petei au fost reduse. Cazul Exxon Valdez este considerat a fi accidentul cu cele mai mari efecte asupra mediului estimându-se că au fost ucise între 250.000 și 500.000 de păsări. Cauza accidentului se datorează faptului că radarul RAYCAS (Raytheon Collision Avoidance Radar) de evitare a coliziunii era închis în momentul impactului [7].

1.2. Caracteristici fizice și chimice ale hidrocarburilor

Hidrocarburile transportate în vrac se supun aceluiași reguli ca și materialele omogene. Dintre proprietățile acestora amintim: tensiunea superficială, vâscozitatea, densitatea și punctul de curgere.

Tensiunea superficială și vâscozitatea stabilesc ușurința curgerii și determină fie desfacerea hidrocarburii în mici picături plutitoare, fie formarea acesteia într-un film subțire.

Densitatea. În cazul hidrocarburilor densitatea variază între 0,85 și 1,07 gcm⁻³. [8] Marea majoritate a hidrocarburilor sunt mai ușoare decât apa și plutesc, densitatea apei dulci fiind de 1gcm⁻³ iar cea a apei sărate de 1,02 gcm⁻³.

Punctul de curgere reprezintă o variabilă greu de măsurat din moment ce hidrocarburile pot prezenta proprietăți diferite. Principiul este: odată cu scăderea temperaturii, hidrocarbura va căpăta proprietăți semisolide până la eventuala congelare. Dacă poluantul deversat este solid sau semisolid acesta se va comporta diferit în raport cu fluidele [8]. Proprietățile descrise aici pot furniza informații valabile pentru perioada de început a împrăștierii. Valabilitatea lor se reduce odată cu trecerea timpului datorită interacțiunii hidrocarburilor cu dinamica câmpului de valuri, curenți sau temperatură. În timpul inițial al deversării, poluantul este relativ fluid și omogen, grosimea de echilibru fiind foarte mică (sub forma unui film subțire de câțiva microni). Grosimea filmului poate fi asociată cu lungimea de undă a luminii iar culorile rezultate pot da detalii cu privire la grosimea filmului. Conform lui Dumitru Brînză [8], pe suprafața apei pot apare următoarele forme tipice de împrăștiere a hidrocarburii:

- a) film transparent (necolorat, doar o schimbare a rugozității);
- b) aură argintie (o reflectare ușoară a cerului);
- c) primele urme de culoare;
- d) culori strălucitoare;
- e) culori intense;
- f) culori întunecate.

În Figura 1.1 este prezentată o imagine a unei pete de petrol rezultată în urma scurgerii a 50m³ de petrol.

Cu toate acestea, formele tipice de împrăștiere nu reprezintă metode practice de estimare a cantității de petrol deversat pentru că țiteiul se degradează într-un timp scurt. Filmul subțire își schimbă proprietățile transformându-se într-o crustă de grosime variabilă, ori ca urmare a acțiunii vântului ori, în lipsa acestuia, ca urmare a acțiunii valurilor sau a curenților. Astfel pentru hidrocarburile plutitoare, proprietățile inițiale sunt importante în primele 1-2 ore de la deversare [8].



Figura 1.1. Imagine a unei pete de petrol [9].

În momentul împrăștierii, petrolul se împrăștie ca un film subțire pe suprafața apei. Undele gravitaționale scurte sunt absorbite de către filmul format și transferă acestuia momentul, producând două efecte: undele tind să împingă filmul de petrol pe direcția dominantă filmul deplasându-se odată cu vârful valului cu o viteză diferențială cuprinsă între 0,7% și 1,4% din viteza vântului; acțiunea undelor mici are loc chiar dacă există o direcție dominantă. Acestea au loc pentru că mai multe oscilații vin din toate direcțiile și momentul transferat petei de petrol tine să îi inhibe împrăștierea. Acest din urmă efect este comun situațiilor cu vânt slab, atât timp cât petrolul formează o pată continuă [8]. Un alt mecanism de transport asociat valurilor este deriva Stokes care formează un mic curent de suprafață în lungul direcției valului. De asemenea, nu trebuie neglijat în acest caz nici fenomenul de dispersie a valurilor, fenomen dependent de procentul de valuri care se sparg și creează turbulență, deplasând coloana de apă.

Vântul are un efect semnificativ în mișcarea petei de petrol, nu neapărat în mod direct ci prin fenomenele la a căror formare ajută acesta, devenind astfel un parametru primar al predicției mișcării petei de petrol. În afară de formarea valurilor, vântul este responsabil și de generarea curenților de suprafață ce contribuie la deplasarea poluantului în apă. În general, este considerat că vântul generează un curent de 2% din viteza acestuia și pe aproximativ aceeași direcție. Această regulă se referă la curgerea primară generată de vânt, dar curgerea de primul ordin este instabilă, având tendința desfacerii în structuri complexe, numite celule Langumir, celule ce produc convergențe și divergențe la suprafață. Aceste celule apar dacă viteza vântului depășește $5-7\text{ms}^{-1}$. Circulația celulelor Langumir poate avea loc la adâncimi nu mai mari de 20 de metri. Curgerea are loc pe benzi alternative orientate cu 15° spre dreapta din direcția vântului (doar pentru emisfera nordică). Între benzile adiacente se formează o linie de convergență sau divergență, după poziția celor două perpendiculare pe direcția vântului [10].

Pe măsură ce curenții se apropie de țărm, curgerea tinde să se întindă de-a lungul acestuia. Ca urmare al acestui fenomen, hidrocarburile ce se apropie de țărm par să își schimbe direcția și să se răspândească paralel cu plaja, pe o secțiune mai mare de coastă decât cea estimată inițial. Petrolul ajunge pe plajă când o componentă a vântului este perpendiculară pe țărm. Componentele vântului orientate spre larg tind să readucă o parte din hidrocarburi spre apă, dar cantitatea depinde de tipul de hidrocarbură și caracterul plajei.

1.3 Metode de observare, curățare și prevenire a deversărilor de petrol

În cazul accidentelor soldate cu deversări de petrol, viteza răspunsului autorităților pentru luarea măsurilor de combatere a împrăștierii este critică. Prin urmare semnalarea petelor de petrol în momentul apariției acestora este foarte importantă. Din nefericire, principala metodă de semnalare a petelor de petrol este cea a observațiilor aeriene. Dezavantajele acestei forme de observare sunt acelea că vizibilitatea poate fi limitată de condițiile atmosferice și starea mării, precum și imposibilitatea efectuării observațiilor pe timp de ploaie, ceață sau noapte. Din această cauză, estimările grosimii petei de petrol bazate pe fotografiile aeriene trebuie considerate cu atenție, luând în calcul posibilitatea dezavantajelor metodei vizuale de observare.

O altă metodă de observare a scurgerilor de petrol este aceea a senzorilor aerieni plasați pe aeronave ce funcționează prin detectarea culorii, reflexiei, a temperaturii și a altor proprietăți ale suprafeței apei. Această metodă este folosită pentru supravegheri ale petelor de petrol întinse pe suprafețe mari și asistență tactică în cazul operațiunilor de curățare. Principalele dezavantaje ale acestei metode sunt prețul ridicat și necesitatea personalului înalt calificat pentru operarea aeronavelor și interpretarea datelor [11].

Sistemul ideal de detecție a deversărilor de petrol trebuie să conțină următoarele caracteristici:

- a) să fie complet automat pentru a reduce costurile operaționale;
- b) să fie capabil de a livra date în timp real (inclusiv date de valuri și curenți) fără să fie nevoie de procesarea acestora;
- c) să aibă capacitatea de a distinge petele de petrol în întuneric, fiind operațional 24 de ore din 24.

În 2005 o companie din Norvegia a dezvoltat un sistem de detecție a petelor de petrol ce însumează câteva din aceste caracteristici prin capturarea și procesarea imaginilor de pe radarele de navigație standard. Sistemul deține o interfață ușor de accesat, prezentând pata de petrol, viteza, aria și alte informații utile unor operațiuni de descoperire și curățare. Tehnologia din spatele acestui sistem se bazează pe faptul că zonele acoperite de petrol vor reflecta mai puțin microunde [12]. Alte metode de precizare a împrăștierii petei de petrol sunt bazate pe procesarea unor date cum ar fi temperatura, salinitatea, presiunea, curenții și valurile, date ce pot fi obținute prin satelit.

Dintre metodele de curățare a petelor de petrol, cele mai utile sunt:

a) Barierele flotante

Atunci când are loc un accident soldat cu deversare de petrol, principala prioritate este aceea de a limita împrăștierii petei pentru a micșora efectul asupra mediului și a ușura eforturile de curățare. Datorită faptului că densitatea petrolului este mai mică decât cea a apei, acesta se ridică la suprafață, unde barierele plutitoare îi pot suprima împrăștierii. O barieră flotantă este formată dintr-un material rezistent ce conține o parte plutitoare ce poate fi umplută cu aer sau alte substanțe ce măresc flotabilitatea barierei, și o parte de balast (de regulă un lanț greu) ce face respectiva parte a barierei să se scufunde. În condiții optime, o pată de petrol este complet închisă de barierele flotante. În realitate totuși, factori cum sunt curenții, valurile, viteza vântului și vâscozitatea petrolului fac închiderea completă a unei pete de petrol greu de realizat [13]. Prin urmare în cazurile în care marea nu este calmă, există situații când petrolul poate evada fie pe sub bariera plutitoare, fie pe deasupra acesteia făcând necesară amplasarea concentrică a mai multor astfel de bariere. Figura 1.2 prezintă o astfel de barieră plutitoare.



Figura 1.2. Barieră plutitoare [14].

Atunci când pata de petrol este prea împrăștiată pentru a putea fi încercuită sau când se apropie de mal, se folosește o formă modificată a barierei plutitoare, proiectată pentru a absorbi petrolul sau pentru respingerea apei. Spre deosebire de barierele plutitoare normale, barierele absorbante au o greutate redusă, sunt mai ușor de amplasat și au abilitatea de a opri împrăștierea petei de petrol și simultan de a începe procedeul de curățare. Acestea trebuie să fie recuperate rapid sau bine ancorate, din moment ce după absorbția petrolului se îngreunează. Barierele plutitoare absorbante comercializate sunt realizate din materiale absorbante naturale cum ar fi păr, fân și kenaf, fapt ce duce la costuri de producție reduse [15-16].

b) Curățarea mecanică: glisoare, separatori și pompe

Metodele mecanice cum ar fi glisoarele, separatorii și aspirarea pot fi folosite odată ce barierele plutitoare au concentrat pata de petrol în straturi suficient de groase deasupra apei. Principalele tipuri de glisoare sunt cele cu bandă, perie, disc, cilindru, mop sau suucțiune [17]. Glisoarele sunt coborâte în apa contaminată unde absorb petrolul, apoi sunt ridicate și curățate.

Petrolul împrăștiat în apă se poate afla în trei forme diferite: petrol crud, emulsificat sau dizolvat [18]. Separatorii folosesc diferența de densitate dintre apă și petrol pentru a le separa. Un separator gravitațional are o cameră proiectată pentru a separa particulele de petrol de cele de apă. Datorită diferenței de densitate, particulele de petrol se ridică la suprafață de unde pot fi îndepărtate mecanic. Separatorii tradiționali însă, nu pot separa petrolul emulsificat sau dizolvat de apă. De asemenea un alt tip de separatori ce pot separa petrolul de apă sunt separatorii centrifugali. Aceștia pot separa aproximativ 6 tone de petrol pe minut, cu toate că în timpul separării mici cantități de petrol se pot dizolva în apă [19].

Metodele mecanice ce folosesc glisoarele și separatoarele nu pot recupera toată cantitatea de petrol deversată în cazul unui accident major, precum nici în situația unei scurgeri ce are loc la adâncime. De asemenea în cazurile în care marea este agitată folosirea acestora este problematică. În Figura 1.3 este prezentat un separator mecanic multidirecțional.

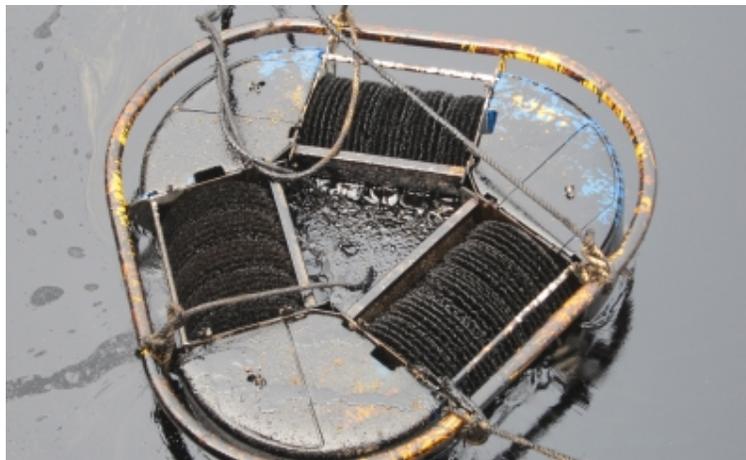


Figura 1.3. Separator mecanic multidirecțional.

Pompele de transfer petroliere sunt, de asemenea, intens folosite pentru recuperarea petrolului atunci când acesta este concentrat pe arii mici. Acestea sunt proiectate pentru a evita pe cât posibil amestecarea petrolului cu apa în timpul pompării. Capacitățile unei pompe de transfer al petrolului pot varia între 20-140m³/h. Figura 1.4 prezintă o pompă de transfer al petrolului împreună cu vedere longitudinală a secțiunii acesteia.



Figura 1.4. Pompă de transfer al petrolului de tip Lamor GT A.

c) Dizolvanții

Dizolvanții sunt compuși chimici alcătuiți din solvenți, ce separă suprafața solidă a petrolului, reducând tensiunea dintre particulele de petrol și apă, permițând agitației naturale impuse de valuri, separarea particulelor de petrol în particule mai mici. Aceste particule mici, ce nu mai dețin proprietățile inițiale ale petrolului devin mai grele decât apa, scufundându-se. Acțiunea dizolvanților nu schimbă cantitatea totală de petrol scurs, doar schimbă proprietățile acestuia de transport și efectele potențiale. Folosirea dizolvanților protejează suprafața apei și coastele de influențele petei de petrol, dar prezintă un risc ridicat de contaminare a populațiilor de pești. Decizia de a folosi dizolvanți este de fapt un schimb între protejarea faunei de pe coaste și suprafața apei, în detrimentul populațiilor subacvatice. Din aceste motive, deciziile de folosire a dizolvanților se iau ca urmare a analizei impactului asupra mediului [20-21].

Desigur, evoluția metodelor de curățare a petelor de petrol nu se oprește aici și, odată cu avansul tehnologic, vor apare altele noi, mai bune, ce vor prezenta un risc mai mic pentru mediu. Dintre acestea o posibilitate considerată de cercetători este aceea a folosirii microbilor și bacteriilor ce se hrănesc în mod natural cu petrol. În acest caz părerile sunt împărțite: o parte dintre cercetători consideră ca microorganismele ce se hrănesc cu hidrocarburi există deja în

mediul acvatic dar cantitățile mici de nutrienți necesari acestora ca nitrogenul și fosforul sunt prea mici și împiedică aceste microorganisme să-și realizeze potențialul maxim. Pe de altă parte, un număr din ce în ce mai crescut de cercetători afirmă ca există beneficii majore ale împrăștierii acestor tip de microorganisme pe suprafețele petelor de petrol [22]. O altă metodă extremă de prevenire a efectelor petelor de petrol asupra coastelor este și cea a incendiului petrolului, considerându-se că efectele poluării vor fi mai mici decât cazul în care țărmașul ar fi atins. Această metodă a fost folosită printre altele și în cazul scurgerii din Golful Mexic din 2010 datorită faptului ca operațiunile de încetinire a avansului petrolului spre țărmaș au eșuat.

1.4 Riscuri ale poluării mediului marin

Contaminarea cu petrol afectează grav ecosistemele în care are loc. Efectele se pot întinde pe generații, forțând schimbări în comportamentul speciilor afectate. Impactul principal al contaminării cu petrol este mai subtil decât cel al prezenței petrolului pe pene sau în blana animalelor. Expunerea pe termen lung la dizolvanți sau petrol pot avea ca efect scăderea sau numărului sau chiar dispariția speciilor specifice mediului contaminat. Atunci când petrolul atinge țărmașul, acesta se agață de fiecare piatră sau bob de nisip. În cazurile în care mediul contaminat conține vegetație, aceasta absoarbe poluantul, fapt ce afectează flora, făcând întreaga zonă nelocuibilă faunei și florei, de asemenea. Chiar și atunci când contaminarea are loc doar în larg, populațiile de pești și microorganisme sunt grav afectate, fapt ce dezechilibrează echilibrul natural local. Efectele contaminării pot fi simțite pe perioade timp foarte mari. Spre exemplu, în ciuda eforturilor intense de curățare ale urmărilor accidentului Exxon Valdez din 1989, un studiu din 2007 efectuat de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) din SUA a constatat că aproximativ 818 tone de petrol se află încă în nisip de-a lungul coastelor Alaskei, unde pata de petrol a atins țărmașul. Același studiu a determinat că rata de declin a petrolului rezidual este de maxim 4% anual [23].

Păsările cu penele acoperite de petrol reprezintă practic simbolul universal al impactului asupra mediului pe care îl au accidentele soldate cu deversări de petrol. Unele specii specifice zonei de coastă reușesc să se mute atunci când simt apropierea pericolului, dar speciile ce își asigură hrana pescuind sau scufundându-se în apă sunt afectate grav. Petele de petrol pot afecta de asemenea și zonele de reproducere, afectând grav specii întregi. Accidentul din Golful Mexic în 2010 s-a întâmplat în perioada de împerechere a multor dintre speciile de păsări specifice zonei iar efectele complete ale acestui accident nu sunt cunoscute nici astăzi. Petele mari de petrol pot chiar afecta tiparele migratorii ale speciilor.

Chiar și o cantitate mică de poluant poate fi fatală păsărilor. Prin acoperirea penelor, petrolul face zborul acestora imposibil, afectând în același timp și capacitatea păsărilor de a rămâne uscate, fapt ce duce la hipotermie. În timp ce păsările încearcă să se curețe în mod natural, acestea pot ingeră cantități mici de petrol ce duce la afectarea organelor interne ale acestora. Se estimează ca accidentul Exxon Valdez a ucis între 250.000 și 500.000 păsări. De asemenea petele de petrolucid mamifere marine cum ar fi balene, delfini, foci și vidre. Uneori petrolul acoperă găurile respiratorii ale delfinilor și balenelor îngreunând respirația și afectând capacitățile acestora de comunicare. Chiar și atunci când mamiferele marine scapă efectului imediat al petrolului, acesta poate cauza daune afectându-le zonele de hrănire. Mamiferele marine ce se hrănesc cu pește contaminat cu petrol sunt otrăvite și chiar pot muri.

De asemenea, accidentele soldate cu deversări de petrol pot afecta și economia locală. Spre exemplu, în cazul accidentului din Golful Mexic, 2010, au fost afectate crescătorile de creveți și scoici de pe întreaga coastă a Louisianei. Severitatea efectelor și durata acestora în timp poate varia în funcție de factori cum ar fi: cantitatea de poluant deversată, tipul petrolului,

locul producerii accidentului, speciile ce se află în zona de producere a accidentului sau zona de coastă, perioada anului în care se produce accidentul, chiar și starea mării imediat după producerea accidentului. Un singur factor nu variază niciodată, și anume acela că un accident soldat cu deversare de petrol va afecta întotdeauna mediul în care va avea loc. Oricâte eforturi se fac și oricât de organizată este operațiunea de curățare, recuperarea cantității deversate în procent de 100% rămâne, cel puțin deocamdată, imposibilă.

CAPITOLUL 2

GENERALITĂȚI PRIVIND CURENȚII OCEANICI ȘI MARINI

Conform definiției Biroului Hidrografic Internațional [24] pe Terra există doar patru mari oceane, și anume Oceanul Atlantic, Oceanul Pacific, Oceanul Indian și Oceanul Arctic.

Oceanul Pacific se întinde spre nord dinspre Antarctica spre Strâmtoarea Bering. Granița dintre oceanele Pacific și Indian formează o linie ce trece prin Peninsula Malay spre Sumatra, Java, Timor, Australia (Capul Londonderry) și Tasmania.

Oceanul Atlantic se întinde la nord de Antarctica și include Marea Arctică, Marea Mediteraneană și Marea Caraibelor. Granița dintre Oceanul Atlantic și cel Indian se află în dreptul zonei numite Capul Agulhas, la 20°E, sudul Africii. Cea dintre Oceanul Pacific și Atlantic este considerată a fi linia ce formează distanța cea mai scurtă dintre Capul Bunei Speranțe și insulele Shetland de Sud. Spre nord, Strâmtoarea Bering este considerată a fi granița dintre Oceanele Atlantic și Pacific.

Oceanul Indian se întinde dinspre Antarctica spre continentul Asia, incluzând Marea Roșie și Golful Persic. Uneori Oceanul Indian este găsit în literatura de specialitate și sub numele de Oceanul Sudic.

Oceanul Arctic este situat în emisfera boreală fiind mărginit de coastele nordice ale Americii, Asiei și Europei. Acest ocean face legătură cu Oceanul Pacific prin Strâmtoarea Bering iar cu cel Atlantic prin Marea Norvegiei și Marea Groenlandei.

Cu o suprafață de 160 milioane km² și un volum de 707 milioane km³, Oceanul Pacific este cel mai mare de pe Terra, suprafața acestuia acoperind aproximativ jumătate din totalul oceanului planetar. Adâncimile maxime ale oceanului Pacific sunt situate în apropierea zonelor muntoase cum ar fi Chile (8.063m), groapa Kurilelor (10.542m), groapa Japoniei (10.347m) și desigur, groapa Marianelor (11.022m).

Oceanul Atlantic acoperă o suprafață de 83 milioane km² și are un volum de apă de 330 milioane km³. Adâncimea medie în Oceanul Atlantic este de 3600m iar cea maximă 8742m, în groapa Puerto Rico.

Oceanul Indian este mai mic decât primele două, cu o suprafață de numai 76 milioane km² și un volum de apă de 284 milioane km³. Adâncimea medie este de 3730 metri dar se pot atinge și adâncimi de peste 7000m, în depresiunile din zona Bazinului Indian de Est.

Oceanul Arctic are o suprafață de 14,7 milioane km² cu un volum de apă de 16,4 milioane km³ și o adâncime maximă de 5450m [24].

Pe lângă oceanele binecunoscute, se speculează și existența Oceanul Antarctic. Oceanul Antarctic înconjoară continentul Antarctica. Acesta fost clasificat astfel, fiind acceptat printr-o decizie a Organizației Internaționale Hidrografice, IHO în 2000. Această schimbare reflectă descoperiri recente în oceanografie, în special despre curenții oceanici. Alte surse precum Societatea Națională Geografică din SUA continuă să demonstreze că Oceanul Atlantic, Oceanul Pacific și Oceanul Indian se extind până la Antarctica. Doar 28 din cele 193 națiuni ale lumii au participat la sondajul organizat de către IHO în 2000, și doar 18 au votat în favoarea noului nume, "Oceanul Antarctic". Doar 14 voturi au fost plasate în favoarea întreruperii oceanului la linia imaginară la 60 de grade de latitudine, celelalte 14 voturi fiind în favoarea plasării limitei oceanului la 35 de grade sud, o latitudine echivalentă cu Marea

Mediterană în emisfera de nord. El ar înconjura continentul Antarctica, limita sa de nord fiind paralela de 60°E [25, 26].

Majoritatea mărilor aparțin unuia dintre cele 4 mari oceane planetare, dar se deosebesc de acestea prin anumite proprietăți fizice și chimice ale apei cum ar fi temperatura, salinitate, densitate, dinamica apei. Mărilor pot fi clasificate în mări interioare sau continentale cum ar fi Marea Mediterană, Marea Baltică, Marea Azov, Marea Neagră, Marea Caspică și Marea Roșie; mări semiînchise și aici enumerăm Marea Bering, Marea Nordului, Marea Ohtosk, Marea Galbenă, Marea Chinei de Sud și Marea Caraibelor; mări deschise, cum ar fi: Marea Barents, Marea Kara, Marea Siberiei de Est. De asemenea, există și mări interinsulare cum ar fi Marea Ceebeles, Marea Sulu, Marea Banda. Mărilor închise și cele semiînchise sunt numite și mări mediteraneene, iar cele deschise mări marginale.

2.1. Tipuri de curenți

Curenții marini apar ca urmare a acțiunii forțelor externe ce produc translația dintr-o regiune în alta a unor mase mari de apă. Spre deosebire de valuri sau marea, curenții pot exista atât la suprafață cât și pe adâncime. Printre elementele externe ce influențează și duc la apariția curenților marini se pot enumera: vântul, diferențe ale câmpurilor de salinitate și temperatură, valurile, forțele gravitaționale, marea precum și diferențele de nivel dintre masele de apă.

După modul de formare al acestora, curenții pot fi împărțiți în trei categorii: cea a curenților de fricțiune sau eolieni, cea a curenților generați de gradientul de gravitație și cea a curenților mareici. Curenții eolieni sunt provocați de acțiunea vântului pe suprafeței apei. Cu toate că interacțiunea vânt-apă, în acest caz, are loc la suprafața apei, curenții creați se pot propaga până la adâncimi mici, datorită fenomenului de frecare. În funcție de tipul vântului implicat în proces, curenții pot avea diferite caracteristici. Curenții provocați de vântul regulat sunt numiți curenți de derivă. Aceștia din urmă pot fi curenți de derivă forțați, atunci când curentul se deplasează printr-o zonă în care se continuă acțiunea vântului generator sau liberi, atunci când trec dincolo de limitele zonei de acțiune a vântului și persistă până când frecarea încetează. Interacțiunea dintre vânturile periodice și suprafața apei dă naștere așa numiților curenți de vânt. Curenții provocați de vânturile ocazionale se numesc curenți temporari.

Apariția curenților provocați de gradientul de gravitație se datorează înclinării nivelului apei iar aceștia se împart în mai multe categorii, după cum urmează:

- Curenții de scurgere: aceștia se formează ca urmare a înclinării nivelului apei provocat de revărsarea apelor curgătoare sau căderea precipitațiilor. Acest tip de curenți este caracteristic bazinelor de mici dimensiuni.

- Curenții de nivelare: apar ca urmare a interacțiunii dintre două mase de apă, interacțiune ce apare sub presiunea unei forțe externe. Aceștia apar îndeosebi în zonele unde vântul bate spre țarm, îngrămădind masele de apă. După încetarea acțiunii vântului, masele de apă se retrag.

- Curenții determinați de diferența de densitate: aceștia se formează în zonele de întâlnire a două sau mai multe mase de apă care au densități diferite, fie ca urmare a diferenței de temperatură, fie ca urmare a diferenței de salinitate.

- Curenții de compensație: se formează în condițiile unor pierderi de apă. Prin deplasarea masei de apă dintr-o zonă în alta apare un spațiu liber, care este imediat umplut de apa din jur. Curenții din această categorie pot fi superficiali (atunci când sunt legați de curenții eolieni) sau de adâncime (caz în care sunt provocați de mișcarea ascendentă a apei sau upwelling).

Apariția curenților mareici se datorează acțiunii mareelor. Acest tip de curenți își schimbă direcția în funcție de perioada de timp. La flux sunt orientați dinspre mare spre uscat, iar la reflux invers. Rugozitatea fundului mării și a malurilor cu care interacționează îi încetinesc, provocând de asemenea mișcări turbionare.

Curenții pot fi clasificați și după alte criterii. După direcție și formă aceștia pot fi curenți orizontali, verticali, liniari și circulari. După temperatură putem distinge curenți calzi și reci, aceștia fiind caracterizați de temperatura diferită a apei ce o aduc față de cea a zonei unde este transportată [28].

Un alt tip de curent responsabil de transportul apei la suprafață este și deriva Stokes, curent datorat influenței valurilor asupra curenților.

2.2 Asimilarea de date

Asimilarea de date este o metodă modernă ce unește modelele dinamice cu datele reale. Modelele dinamice sunt, până la un anumit punct, aproximative iar seturile de date sunt finite și limitate de marjele de eroare. În cadrul acestei metode, dinamica generală a unui model este combinată sau unită cu seturi de observații sau măsurători. Scopul asimilării de date este acela de a produce estimări ale sistemelor naturale ce sunt superioare estimărilor obținute doar prin observații sau doar prin rularea modelelor dinamice [29].

Dinamica evoluează starea naturală a unui sistem în timp. Variabilele de stare (viteze, temperaturi, concentrații ale densității fitoplanctonului, nutrienți) sunt funcții cvadridimensionale în spațiu și timp, motiv pentru care sunt numite câmpuri. Un model dinamic pentru reprezentarea proceselor naturale este format din seturi de ecuații neliniare de prognoză, cuplate între ele. Proprietățile fundamentale ale sistemului apar în câmpul de ecuații ca parametri (vâscozitate, difuzie, mortalitatea speciilor, etc). Asimilarea de date tratează ca parametri și condițiile la limită ale sistemului, condiții necesare pentru integrarea ecuațiilor. În principiu, parametrii și variabilele de stare ale sistemului pot fi estimate direct prin observații sau măsurători. Cunoscându-se starea în care se află sistemul la un moment dat, evoluția acestuia poate fi estimată de către un model de predicție.

Datorită complexității biogeochimice a sistemelor marine, numărul variabilelor de stare posibile este foarte mare și reducerea acestora la un număr finit de variabile de stare critice prezintă o deosebită importanță. O altă problemă o reprezintă și numărul mare de fenomene ce se dezvoltă într-un sistem, acestea interacționând între ele. Acești factori impun necesitatea abordării a două premise importante:

- 1) Se consideră doar variabilele de stare relevante pentru fenomenul studiat;
- 2) Trebuie dezvoltate ecuații ce descriu dinamica aproximativă a sistemului, considerând variabilele de stare relevante precum și interacțiunea acestora cu alte variabile.

Prin urmare, se poate deduce că un sistem de asimilare de date este format din trei componente majore: un set de observații, un model dinamic și o schemă de asimilare a datelor.

Estimarea erorilor și modelarea acestora prezintă o deosebită importanță pentru sistemele de asimilare de date. Erorile pot fi datorate plasării incorecte a instrumentelor, interpretării eronate a datelor, zgomotului de fond, proceselor fizice sau ca urmare a interacțiunii dintre fauna locală și instrument. De asemenea, toate modelele dinamice oceanice sunt imperfecte, acestea conținând erori ce se datorează aproximării matematice a fenomenelor fizice. Cu toate acestea, unificarea observațiilor cu modelele numerice printr-o schemă de asimilare nu degradează numărul de informații corecte ci crește calitatea acestora [29-30].

Primele metode de asimilare de date erau numite și analize obiective, spre deosebire de analizele subiective în care predicțiile numerice erau ajustate folosindu-se expertiza

operaţională a personalului responsabil. Metodele obiective foloseau tehnici de interpolare simple ce s-au dovedit mai eficiente decât aplicarea metodelor subiective, rezultând astfel metodele de asimilare 3-D. Metodele de asimilare de date cvadridimensionale includ, în plus faţă de cele tridimensionale, şi observaţii sau măsurători din trecut.

Prima descoperire în domeniul asimilării de date îi aparţine lui L. Gandin (1963). Acesta a introdus metoda de interpolare statistică sau interpolare optimă. Metoda introdusă de Gandin este o metodă de asimilare de date tridimensională, mai exact o metodă de analiză a regresiei, ce utilizează informaţii despre distribuţia spaţială a funcţiilor de eroare. Aceste funcţii sunt dificil de cunoscut, totuşi se pot aproxima. De fapt, algoritmul de interpolare optimă este o metodă simplificată a algoritmului numit filtrul Kalman, în condiţiile în care matricele de covarianţă nu sunt calculate de ecuaţiile dinamice ci pre-determinate în avans.

Filtrul Kalman (numit după Rudolf E. Kalman), cunoscut şi sub numele de estimare liniară cuadrică este un algoritm ce foloseşte măsurători observate de-a lungul timpului, măsurători ce conţin variaţii aleatoare sau alt tip de erori, pentru a produce estimări le variabilelor necunoscute, estimări mult mai precise decât în cazul unei singure măsurători [29-35].

Un alt pas important în evoluţia metodelor de asimilare de date cvadridimensionale a fost utilizarea teoriei controlului introdusă de Le Dimet şi Talagrand. Aceştia şi-au bazat munca pe cea a lui G. Marchuk, ce a aplicat pentru prima dată teoria controlului modelelor de mediu. Metode tridimensionale de asimilare de date bazate pe teoria de control au fost dezvoltate în primă fază de Sasaki (1958) [36-37].

Aşa cum se arată în lucrările lui Lorenc [38, 39], metodele de asimilare de date cvadridimensionale sunt, în mare măsură, echivalente: folosind aceleaşi asumptii, acestea reduc aceleaşi funcţii. Totuşi, în aplicaţiile practice aceste asumptii nu sunt niciodată îndeplinite, motiv pentru care nu se poate spune care dintre cele două metode (filtrul Kalman sau teoria de control) este mai eficientă. Pe lângă aceste două metode, în asimilarea de date se folosesc şi metode directe de minimizare şi metode stocastice şi hibride.

CAPITOLUL 3

STUDIUL CURENȚILOR ÎN MĂRI ÎNCHISE

3.1 Generalități

În general, mările închise se comportă similar lacurilor mari: având legături restrânse sau inexistente cu Oceanul Planetar, mările sunt suficient de mici pentru a putea fi ignorate iar viteza curenților de suprafață este mică, depinzând de vânt și componenta forței Coriolis.

Marea Caspică este considerată a fi cel mai mare bazin de apă închis din lume, cu o suprafață de 436000km², urmată îndeaproape de Marea Neagră cu suprafața de 423.000km². Marea Caspică este situată în zona de întâlnire a Europei de sud-est cu continentul Asiatic, între latitudinile 36,33°N și 47,07°N și longitudinile 45,43°E și 54,20°E. Are aproximativ 1030km lungime iar lățimea sa variază între 196 și 435km. Drept rezultat a formei geometrice alungite există o diferență mare climatică dintre nord și sud ce are ca efect o diferență semnificativă a temperaturii apei, estimată la aproximativ 10°C. [40] În Marea Caspică se varsă aproximativ 130 de râuri cu un debit total anual de 300km³ de apă. Principalul râu este Volga, responsabil de aproape 80% din aportul de apă dulce anual, dar mai pot fi enumerate și Ural (5%), Terek, Sulak și Samur (toate trei fiind responsabile de 5% din aportul de apă dulce), Kura, Sefi Ruud, Alborz și altele (10%). [41] Marea Caspică este alcătuită din trei părți diferite și anume: partea nordică, cu o adâncime medie de 5 metri, partea de mijloc cu o adâncime medie de 190-200 de metri și partea sudică ce prezintă o adâncime medie de aproximativ 1025 metri, fiind și cea mai adâncă. Coastele Mării Caspice au o lungime estimată la 7000km și sunt împărțite de cinci state: Azerbaidjan, Iran, Kazahstan, Federația Rusă și Turkmenistan [42].

Fenomenele ce guvernează comportamentul curenților în Marea Caspică sunt puțin cunoscute, ideea generală fiind aceea că circulația conține o componentă ciclonică semnificativă [42].

Temperatura la suprafața mării în bazinul Nordic variază de la 25-26°C vara până la 0°C iarna. Bazinul Sudic prezintă valori mai moderate ale temperaturii apei, variind între 25-29°C vara și 7-10°C iarna. Schimbările sezoniere pot afecta apa până la 100 de metri pentru bazinul Nordic și 200 de metri pentru bazinul Sudic.

Salinitatea Mării Caspice este mică, cuprinsă între 12 și 13 PSU, aproximativ de trei ori mai mică decât cea a Oceanului Planetar. Salinitatea scăzută a Mării Caspice se datorează faptului că aceasta a fost, cu 50-60 milioane de ani în urmă, parte a unui ocean numit Thetis. Acesta se conecta cu Oceanul Pacific, ulterior și cu cel Atlantic [42].

Marea Neagră este situată între Europa, podișul Anatoliei și Caucaz, între coordonatele 40,56°N și 46,33°N latitudine nordică și 27, 27°E și 41,42°E longitudine estică. Adâncimea medie a Mării Negre este de 2100 metri cu un maxim de 2588m. Spre deosebire de Marea Caspică ce este complet închisă (excluzând aportul râurilor), Marea Neagră este conectată cu Oceanul Planetar prin strâmtoarea Bosfor, ce o leagă de Marea Mediterană prin Marea Marmara. Strâmtoarea Bosfor este un canal puțin adânc, îngust de 0,7-3,5km cu o lungime de 31km și o adâncime cuprinsă între 39 și 100 de metri. Marea Neagră este înconjurată de 6 țări: Bulgaria, Georgia, România, Federația Rusă, Turcia și Ucraina, toate acestea împărțind 4340km de coastă. Râurile principale de curg în Marea Neagră sunt Dunărea, Dniepr și Bug-ul

de Sud, toate trei responsabile de 70% din aportul de 300km³ de apă dulce anual. Apoi mai pot fi menționate: Dniester, Don, Kuban, Rioni. [43-44]

Marea Neagră conține trei straturi de apă verticale ce nu se amestecă între ele, stratul de jos fiind cea mai mare coloană de apă anoxică din lume. Stratul anoxic este situat la adâncimi mai mari de 200 de metri și reprezintă aproximativ 90% din totalul cantității de apă din Marea Neagră. Stratul de suprafață mixt este responsabil de circulația de suprafață, acesta fiind puternic afectat de regimul de vânt și variațiile sezoniere. Stratul de suprafață mixt se află până la adâncimi de aproximativ 50 de metri. Al doilea strat este stratul rece intermediar, aflat la adâncimi cuprinse între 50 și 180-200 de metri, cu o temperatură constantă cuprinsă între 6° și 8°C. Stratul de suprafață și stratul intermediar rece interacționează între ele, în schimb stratul intermediar rece nu interacționează cu stratul de adâncime, ce se întinde de la 200-500m până la 2100-2500m. Sub 1700 de metri adâncime, apa este supusă fenomenelor de încălzire geotermală, cu o temperatură potențială de 8,8°C [45].

La fel ca și în cazul Mării Caspice, salinitatea Mării Negre este mai mică decât cea a Oceanului Planetar, datorită faptului ca aceasta este mare închisă, precum și a aportului de apă dulce din râuri, și a fenomenului de evaporatie. Salinitatea medie în Marea Neagră este de 18,2 PSU dar poate fi mult mai scăzută în apropierea gurilor de vărsare ale râurilor. Salinitatea stratului de adâncime este, totuși, puțin mai ridicată cu o medie de 21,8 PSU.

3.2 Structura spațială a câmpului de curenți în bazinul Mării Negre

Circulația în bazinul Mării Negre este caracterizată de o variabilitate semnificativă a curenților în timp și spațiu. Sistemul actual este construit în jurul regimului de vânt și a variației de temperatură și salinitate. Două tipuri de curenți se evidențiază la o analiză mai atentă a circulației Mării Negre: curenții de suprafață, creați de modelul ciclonic al vânturilor și curenții din strâmtoarele Bosfor și Kertch, cauzati de schimbul de apă cu Marea Marmara, respectiv Marea Azov. În cazul strâmtoării Bosfor, apele cu salinitate scăzută din Marea Neagră curg sub forma unui curent de suprafață în Marea Marmara cu o viteză de 1-2ms⁻¹ iar apele mai sărate din Marea Marmara curg la o adâncime de 50-100m spre Marea Neagră cu o viteză de 2-4ms⁻¹. În strâmtoarea Kerch, curenții de suprafață curg dinspre Marea Azov cu o viteză de 1-2ms⁻¹, în timp ce un alt curent curge în direcție opusă la adâncimea de 5 metri. În Marea Neagră, pe lângă curenții de suprafață, există și curenți de adâncime care au totuși valori mici și sunt limitați în general până la 200 de metri. Aceștia încă există la adâncimile mari, dar au viteze foarte mici, de ordinul milimetrelor pe secundă.

Elementul principal legat de circulația de suprafață a Mării Negre este curentul ciclonic de margine sau curentul Rim (Rim Cyclonic Current, eng.) ce traversează întregul bazin și este responsabil de transportul ciclonic general de apă. Secțiunea de mijloc a curentului Rim se poate apropia de zonele costiere până la o distanță de 8-10km sau se poate îndepărta până la 80-100km. Perioadele meandrelor pot varia de la 6 la 12 zile. Pe perioada iernii, când acțiunea vânturilor de nord-est este crescută, curentul Rim atinge creșterea maximă și este cel mai stabil, cu o grosime de 50-65km pe secțiunea transversală, în timp ce aria sa de mijloc atinge 24-32km. În acest timp, viteza curentului Rim poate atinge 0,7-0,75ms⁻¹ iar în timpul furtunilor chiar și 1-1,2ms⁻¹. Adâncimea până la care poate fi observată acțiunea curentului Rim este de maximum 200m, cu mici excepții în unele zone izolate, unde atinge chiar și 400m. În perioada de vară, când acțiunea vânturilor este minimă și apa este calmă, curentul Rim atinge o stare de instabilitate hidrologică, viteza secțiunii sale de mijloc scăzând de 3-4 ori. Vârtejuri anticiclonice de coastă (nearshore anticyclonic eddies, eng.) se formează la granița dreaptă a curentului în timp ce pe granița stângă a acestuia se formează vârtejuri ciclonice (cyclonic eddies, eng.).

Vârtejurile anticiclone sunt în general mai puternice decât cele ciclonice datorită faptului că gradientul de viteză este maxim în partea dreaptă a curentului Rim [46].

Caracterul ciclonic al circulației din bazinul Mării Negre, ce rezultă din starea ciclonică a vânturilor a fost descris inițial de Knipovich [46] și Newmann [47, 48]. Ulterior Filipov, Boguslavsky și alții, Blatov și alții, Stanev și alții și Emereev [49-58] au studiat în detaliu acest factor, cu toate că modelul rezultat nu prezintă modificări importante al modelului clasic propus de Knipovich.

În timp ce curentul Rim șerpuiește spre est de-a lungul coastei Anatoliei, acesta formează două vârtejuri anticiclone de coastă ce au fost identificate inițial de Oguz [54] ca Sinop și Kizilirmak. În zona de est a bazinului Mării Negre se formează vârtejul anticiclonic numit Batumi. Curentul Rim curge de-a lungul coastei Caucaz formând o răsucire ce separă printr-un jet trei vârtejuri ciclonice ce se formează în interiorul zonei delimitate de curentul Rim. Aceste trei vârtejuri ciclonice formează zona Curentului Ciclonic al bazinului de est.

În zona de coastă a curentului se formează un mic vârtej anticiclonic numit vârtejul Caucaz. Curentul de margine sau curentul Rim curge apoi spre Peninsula Crimeei printre două vârtejuri anticiclone de coastă și două vârtejuri ciclonice localizate în zona centrală a bazinului mării. Vârtejurile anticiclone localizate în exteriorul curentului Rim poartă numele de vârtejul Crimeei și vârtejul Sevastopol. În timp ce curentul Rim curge spre sud-est spre zona strâmtorii Bosfor, acesta formează vârtejul de coastă anticiclonic numit vârtejul Bosfor. Între vârtejurile Sevastopol și Bosfor se formează un vârtej anticiclonic mic numit Kali-Akra. Circulația curentului Rim de-a lungul bazinului este închisă de vârtejul anticiclonic numit Sakarya, situat în zona de sud-est. Dintre cele enumerate mai sus, vârtejurile Sevastopol și Bosfor sunt cele mai mari și permanente structuri mezoscalare din bazinul Mării Negre. Figura 3.1 prezintă schema circulației de suprafață a Mării Negre, așa cum este discutată mai sus. Liniile solide indică structurile periodice ale circulației [56-61].

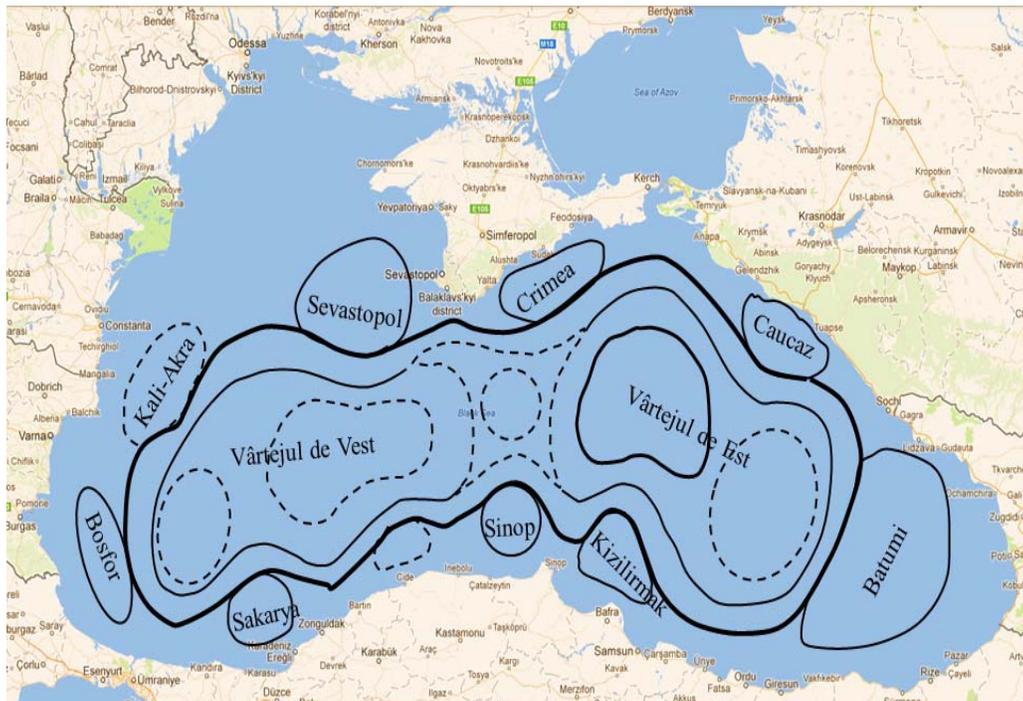


Figura 3.1. Schemă generalizată a circulației în bazinul Mării Negre.

3.3. Analiza curenților cu date de satelit pentru bazinul Mării Negre și al Mării Caspice

Pentru a înțelege mai bine mișcările curenților în timp și spațiu pentru mările Neagră și Caspică au fost analizate date de satelit pentru o perioadă de 18 ani. Datele au fost obținute de pe site-ul Aviso în format NetCdf și sunt structurate pe rețele după cum urmează: rețeaua Mării Negre conține 47 de puncte pe latitudine și 121 pe longitudine în timp ce rețeaua Mării Caspice 45 de puncte pe latitudine și 24 pe longitudine. Pentru fiecare mare au fost alese 20 de puncte ce au fost analizate pe perioada de timp cuprinsă între 1993 și 2010. Punctele considerate pentru analiză au fost alese astfel încât să se afle în toate zonele a fiecărei dintre cele două mări. În Figura 3.2 este prezentată poziția punctelor analizate pentru Marea Neagră iar în Figura 3.3 poziția acestora pentru Marea Caspică.

În Tabelul 3.1 sunt prezentate coordonatele punctelor analizate pentru Marea Neagră, laolaltă cu valorile medii ale vitezelor curenților pentru fiecare lună a anului, în metri pe secundă. Tabelul 3.2 prezintă coordonatele punctelor analizate pentru bazinul Mării Caspice și valorile medii lunare ale vitezelor curenților.

În analiza statistică deviația standard măsoară dispersia datelor comparativ cu valoarea medie:

$$\text{Std} = \sqrt{E[(X - \mu)^2]} \quad (3.1)$$

unde $\mu = E[X]$ este valoarea medie, E este operatorul presupus, iar X este o variabilă aleatoare discretă cu funcția de probabilitate a masei $p(x)$. Prin urmare, valoarea presupusă va fi:

$$E(X) = \sum x_i p(x_i) \quad (3.2)$$

Skewness este o măsură a distribuției simetriei într-un calup de date. Valoarea skewness poate fi pozitivă, negativă sau nedefinită. Valoarea skewness a unei variabile X este definită drept momentul standardizat de ordin 3:

$$\text{Skew} = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (3.3)$$

Unde μ_3 este al treilea moment deasupra mediei. Momentul k de deasupra mediei este definit drept:

$$\mu_k = E[(X - E[X])^k] \quad (3.4)$$

Kurtosis reprezintă concentrația relativă a datelor în raport cu centrul contra distribuției frecvenței atunci când este comparată cu distribuția normală (distribuție ce are o valoarea kurtosis de 3).

Kurtosis este egal cu:

$$\text{Kurt} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \quad (3.4)$$

Tabelele 3.3 și 3.4 prezintă analize statistice pentru Marea Neagră, respectiv Marea Caspică, cum ar fi: minim, maxim, mediu, valorile mediane, deviație standard, skewness și kurtosis [62].

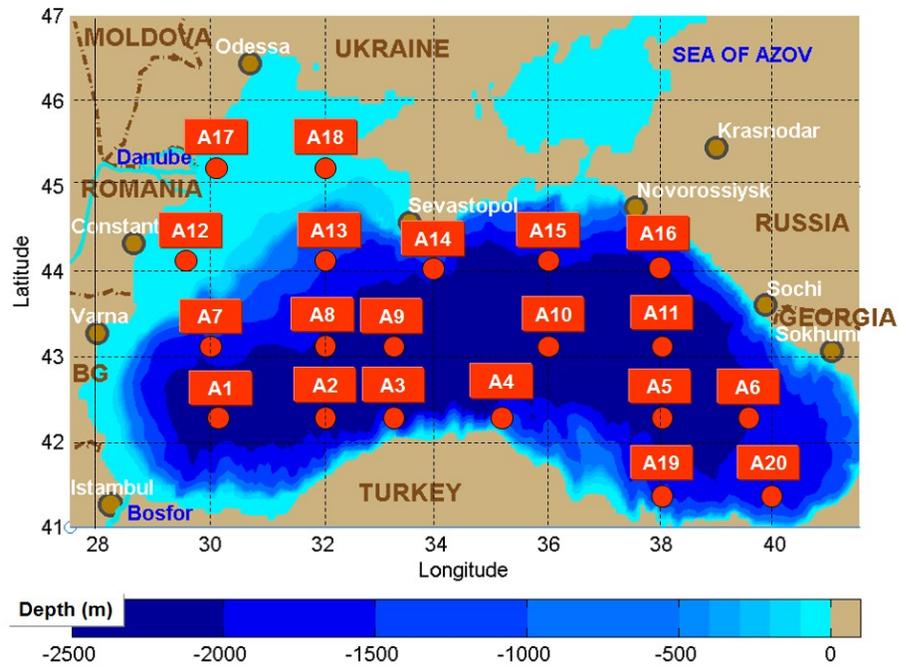


Figura 3.2. Poziția celor 20 de puncte analizate pentru bazinul Mării Negre.

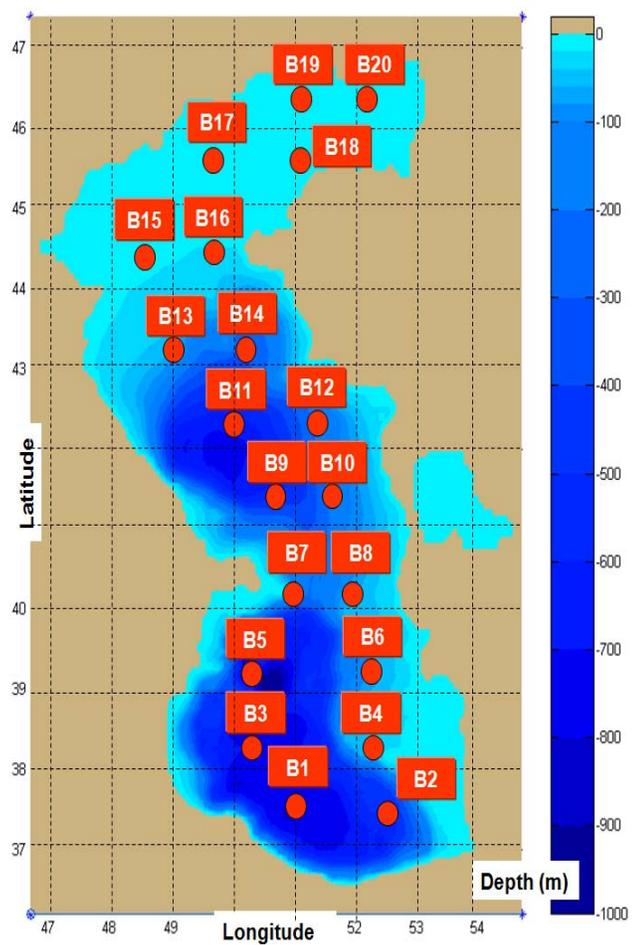


Figura 3.3. Poziția celor 20 de puncte analizate pentru bazinul Mării Caspice.

Tabelul 3.1. Valorile medii ale vitezelor curenților în bazinul Mării Negre.

Puncte (coordonate)	Luna											
	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
A1 (42.37 N,30.12E)	0.069	0.069	0.068	0.053	0.053	0.052	0.068	0.063	0.06	0.07	0.072	0.08
A2 (42.37 N, 32E)	0.088	0.079	0.074	0.082	0.067	0.066	0.067	0.063	0.071	0.104	0.085	0.093
A3 (42.37 N, 35.6E)	0.098	0.096	0.097	0.097	0.084	0.082	0.094	0.087	0.1	0.093	0.101	0.095
A4 (42.37 N, 38E)	0.124	0.109	0.108	0.116	0.09	0.081	0.11	0.116	0.12	0.113	0.119	0.107
A5 (42.37 N, 38E)	0.111	0.095	0.086	0.072	0.075	0.072	0.081	0.078	0.085	0.073	0.072	0.081
A6 (42.37 N, 39.6E)	0.131	0.101	0.087	0.09	0.102	0.097	0.128	0.143	0.153	0.15	0.129	0.132
A7 (43.3 N, 30E)	0.101	0.12	0.123	0.11	0.112	0.107	0.096	0.109	0.115	0.101	0.118	0.105
A8 (43.3 N, 32E)	0.072	0.069	0.072	0.076	0.086	0.078	0.066	0.061	0.077	0.09	0.081	0.074
A9 (43.3 N, 33.6E)	0.06	0.069	0.079	0.072	0.055	0.062	0.056	0.067	0.059	0.061	0.075	0.063
A10 (43.3 N, 36E)	0.068	0.072	0.065	0.062	0.073	0.076	0.067	0.075	0.071	0.073	0.075	0.077
A11 (43.3 N, 38E)	0.118	0.123	0.121	0.093	0.117	0.092	0.086	0.081	0.091	0.09	0.091	0.097
A12 (44.3 N, 29.6E)	0.068	0.069	0.06	0.057	0.059	0.049	0.075	0.074	0.063	0.088	0.085	0.078
A13 (44.3 N, 32E)	0.155	0.167	0.181	0.171	0.147	0.173	0.147	0.13	0.146	0.134	0.133	0.163
A14 (44.125 N, 34E)	0.119	0.123	0.123	0.11	0.088	0.074	0.11	0.114	0.105	0.113	0.13	0.11
A15 (44.3 N, 36E)	0.13	0.149	0.137	0.121	0.101	0.099	0.106	0.125	0.126	0.134	0.116	0.106
A16 (44.12 N, 38E)	0.115	0.122	0.12	0.092	0.098	0.11	0.117	0.105	0.121	0.1	0.106	0.118
A17 (45.25 N, 30.2E)	0.082	0.09	0.072	0.069	0.068	0.072	0.098	0.081	0.083	0.076	0.086	0.076
A18 (45.25 N, 32E)	0.069	0.074	0.057	0.061	0.055	0.055	0.061	0.07	0.079	0.078	0.083	0.067
A19 (41.5 N, 38E)	0.088	0.091	0.093	0.092	0.077	0.077	0.095	0.112	0.106	0.096	0.099	0.106
A20 (41.6 N, 40E)	0.158	0.168	0.156	0.162	0.153	0.167	0.176	0.193	0.204	0.178	0.175	0.171

Tabelul 3.2. Valorile medii ale vitezelor curenților în bazinul Mării Caspice.

Puncte (coordonate)	Luna											
	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
B1 (37.5N,51E)	0.041	0.042	0.036	0.03	0.03	0.031	0.038	0.038	0.041	0.043	0.048	0.044
B2 (37.3N,52.6E)	0.056	0.044	0.049	0.036	0.041	0.04	0.044	0.049	0.043	0.053	0.051	0.058
B3 (38.3N,50.3E)	0.035	0.041	0.052	0.051	0.054	0.042	0.041	0.049	0.061	0.056	0.042	0.045
B4 (38.3N,52.3E)	0.049	0.046	0.046	0.048	0.049	0.049	0.057	0.079	0.069	0.054	0.055	0.053
B5 (39.3N,50.3E)	0.054	0.059	0.056	0.062	0.064	0.064	0.063	0.056	0.061	0.069	0.068	0.059
B6 (38.3N,52.3E)	0.039	0.043	0.042	0.05	0.053	0.062	0.046	0.057	0.066	0.044	0.043	0.041
B7 (40.15N,50.9E)	0.038	0.04	0.041	0.042	0.044	0.047	0.049	0.056	0.053	0.056	0.064	0.056
B8 (38.3N,51.9E)	0.035	0.031	0.029	0.038	0.035	0.04	0.037	0.035	0.04	0.033	0.027	0.035
B9 (41.16N,50.33E)	0.068	0.056	0.049	0.035	0.042	0.059	0.069	0.066	0.073	0.057	0.06	0.073
B10 (41.16N,51.3E)	0.045	0.036	0.038	0.032	0.026	0.033	0.041	0.038	0.037	0.034	0.034	0.04
B11 (42.15N,49.3E)	0.05	0.047	0.046	0.045	0.04	0.043	0.047	0.053	0.06	0.051	0.045	0.061
B12 (42.15N,51.3E)	0.073	0.068	0.065	0.051	0.042	0.046	0.046	0.062	0.057	0.054	0.064	0.064
B13 (42.15N,48.9E)	0.089	0.085	0.084	0.073	0.065	0.06	0.057	0.06	0.058	0.065	0.066	0.088
B14 (43.13N,50.3E)	0.098	0.08	0.072	0.055	0.053	0.058	0.051	0.072	0.067	0.063	0.07	0.091
B15 (44.30N,48.3E)	0.144	0.135	0.126	0.126	0.105	0.126	0.151	0.115	0.097	0.109	0.105	0.128
B16 (44.30N,49.3E)	0.077	0.092	0.09	0.063	0.056	0.065	0.061	0.064	0.059	0.058	0.071	0.075
B17 (45.28N,49.3E)	0.124	0.12	0.143	0.168	0.136	0.163	0.148	0.141	0.148	0.161	0.175	0.172
B18 (45.28N,50.6E)	0.062	0.054	0.073	0.104	0.094	0.094	0.109	0.096	0.094	0.093	0.105	0.076
B19 (45.5N, 50.3 E)	0.068	0.062	0.077	0.113	0.098	0.111	0.121	0.098	0.105	0.114	0.14	0.103
B20 (45.6N, 51.3 E)	0.063	0.048	0.067	0.112	0.12	0.163	0.137	0.099	0.123	0.11	0.108	0.096

Tabelul 3.3. Analizele statistice ale vitezei curentului în punctele considerate pentru Marea Neagră.

Nr puncte= 6672	Minim (ms ⁻¹)	Maxim (ms ⁻¹)	Media (ms ⁻¹)	Valoare mediană (ms ⁻¹)	Deviația standard (ms ⁻¹)	Skewness	Kurtosis
A1	0.001	0.307	0.065	0.058	0.041	0.013	0.061
A2	0.001	0.325	0.078	0.071	0.046	0.01	0.046
A3	0.002	0.291	0.094	0.088	0.048	0.006	0.032
A4	0.001	0.407	0.109	0.098	0.063	0.008	0.037
A5	0	0.306	0.082	0.072	0.052	0.012	0.048
A6	0.002	0.421	0.121	0.105	0.074	0.009	0.036
A7	0.001	0.425	0.11	0.096	0.069	0.011	0.045
A8	0.002	0.288	0.075	0.068	0.043	0.010	0.045
A9	0.001	0.27	0.065	0.06	0.037	0.011	0.052
A10	0.001	0.263	0.071	0.065	0.038	0.008	0.037
A11	0	0.418	0.101	0.09	0.06	0.01	0.044
A12	0.001	0.329	0.069	0.061	0.043	0.012	0.054
A13	0.001	0.533	0.154	0.143	0.087	0.008	0.038
A14	0	0.391	0.109	0.099	0.065	0.009	0.036
A15	0.002	0.392	0.12	0.108	0.07	0.008	0.034
A16	0.001	0.385	0.111	0.1	0.065	0.009	0.038
A17	0.001	0.374	0.079	0.07	0.049	0.013	0.06
A18	0	0.341	0.067	0.059	0.042	0.012	0.056
A19	0.003	0.534	0.094	0.081	0.059	0.013	0.062
A20	0.001	0.629	0.172	0.161	0.091	0.006	0.034

Tabelul 3.4 Analizele statistice ale vitezei curentului în punctele considerate pentru Marea Caspică.

Nr puncte= 6672	Minim (ms ⁻¹)	Maxim (ms ⁻¹)	Media (ms ⁻¹)	Valoarea mediană (ms ⁻¹)	Deviația standard (ms ⁻¹)	Skewness	Kurtosis
B1	0.001	0.177	0.039	0.034	0.025	0.013	0.059
B2	0.001	0.167	0.048	0.042	0.029	0.009	0.036
B3	0	0.199	0.048	0.044	0.027	0.01	0.05
B4	0	0.209	0.055	0.051	0.029	0.009	0.046
B5	0.001	0.163	0.061	0.057	0.033	0.004	0.024
B6	0.001	0.159	0.049	0.045	0.026	0.008	0.038
B7	0.001	0.17	0.049	0.045	0.027	0.007	0.033
B8	0.001	0.12	0.035	0.031	0.02	0.008	0.036
B9	0.001	0.186	0.059	0.055	0.033	0.007	0.034
B10	0	0.104	0.036	0.034	0.019	0.006	0.031
B11	0	0.169	0.049	0.045	0.027	0.007	0.034
B12	0.001	0.175	0.058	0.052	0.032	0.008	0.032
B13	0.001	0.265	0.072	0.06	0.048	0.01	0.037
B14	0.001	0.27	0.07	0.062	0.042	0.01	0.041
B15	0.001	0.535	0.122	0.106	0.079	0.012	0.054
B16	0.001	0.35	0.069	0.061	0.045	0.012	0.055
B17	0.002	0.917	0.152	0.128	0.116	0.018	0.089
B18	0	0.58	0.088	0.076	0.064	0.014	0.073
B19	0	0.636	0.101	0.081	0.084	0.015	0.073
B20	0	0.575	0.104	0.082	0.089	0.013	0.052

O primă observație după analiza statistică a punctelor din cele două mări este aceea că, pentru ambele, vitezele curenților sunt în general mici, cu maxime de $0,629\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Neagră (A20) și $0,917\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Caspică. Valorile minime sunt 0 pentru ambele mări. Valorile medii ale vitezei curenților sunt cuprinse între $0,065$ și $0,172\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Neagră și $0,035$ - $0,152\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Caspică în timp ce valorile mediane variază de la $0,058$ până la $0,161\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Neagră și $0,031$ - $0,128\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Caspică.

Valorile deviației standard sunt mici, de la $0,037\text{ms}^{-1}$ până la $0,091\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Neagră și $0,019$ - $0,116\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Caspică. Valori ridicate ale deviației standard ar sugera că datele sunt dispuse mai departe de valorile medii, ceea ce nu este cazul aici. Valoarea zero pentru skewness sugerează că valorile sunt dispuse egal de-a dreapta și de-a stânga valorii medii, ceea ce poate fi observat și în tabelele 3.3 și 3.4 unde valorile pentru skewness sunt între $0,006$ - $0,13$ pentru Marea Neagră și $0,024$ - $0,089$ pentru Marea Caspică. De asemenea, au fost efectuate analize privind percentilele 50 și 95 pentru toate punctele, grupate pe vară și iarnă, unde sezonul de vară este considerat a fi perioada de 6 luni dintre Aprilie și Septembrie iar perioada de iarnă este cuprinsă între lunile Octombrie și Martie. Percentilele sunt folosite pentru a caracteriza distribuții frecvențiale. În special percentilele 50 și 95 sunt considerate deseori pentru a identifica valorile medii la distribuția maximă a datelor ce nu este afectată de valori externe, ce sunt distanțate de calupul de date. Percentilele (p_i) se calculează astfel:

$$p_i = 100 \frac{i - 0.5}{n} \quad (3.5)$$

unde i reprezintă poziția din calupul de date ce marchează percentila ce urmează a fi calculată iar n este numărul total al valorilor din distribuție [87].

Analizele percentilelor sunt prezentate în Tabelele 3.5 pentru Marea Neagră și 3.6 pentru Marea Caspică.

Tabelul 3.5. Percentilele în punctele considerate pentru Marea Neagră.

Punct	Perioada de timp	Nr. puncte	Percentila 50 (ms^{-1})	Percentila 95 (ms^{-1})	Punct	Perioada de timp	Nr. puncte	Percentila 50 (ms^{-1})	Percentila 95 (ms^{-1})
A1	Vară	3294	0.053	0.1254	A11	Vară	3294	0.081	0.202
	Iarnă	3110	0.062	0.155		Iarnă	3110	0.097	0.222
A2	Vară	3294	0.065	0.149	A12	Vară	3294	0.057	0.137
	Iarnă	3110	0.078	0.183		Iarnă	3110	0.065	0.156
A3	Vară	3294	0.083	0.177	A13	Vară	3294	0.138	0.304
	Iarnă	3110	0.092	0.186		Iarnă	3110	0.148	0.342
A4	Vară	3294	0.092	0.221	A14	Vară	3294	0.087	0.220
	Iarnă	3110	0.102	0.232		Iarnă	3110	0.107	0.259
A5	Vară	3294	0.068	0.163	A15	Vară	3294	0.101	0.244
	Iarnă	3110	0.077	0.208		Iarnă	3110	0.115	0.270
A6	Vară	3294	0.106	0.276	A16	Vară	3294	0.095	0.230
	Iarnă	3110	0.104	0.258		Iarnă	3110	0.106	0.242
A7	Vară	3294	0.094	0.243	A17	Vară	3294	0.071	0.173
	Iarnă	3110	0.092	0.265		Iarnă	3110	0.068	0.173
A8	Vară	3294	0.064	0.167	A18	Vară	3294	0.055	0.135
	Iarnă	3110	0.068	0.141		Iarnă	3110	0.063	0.155
A9	Vară	3294	0.056	0.123	A19	Vară	3294	0.079	0.201
	Iarnă	3110	0.064	0.141		Iarnă	3110	0.082	0.203
A10	Vară	3294	0.067	0.14	A20	Vară	3294	0.167	0.327
	Iarnă	3110	0.062	0.149		Iarnă	3110	0.151	0.343

Tabelul 3.6. Percentilele în punctele considerate pentru Marea Caspică.

Punct	Perioada de timp	Nr. puncte	Percentila 50 (ms ⁻¹)	Percentila 95 (ms ⁻¹)	Punct	Perioada de timp	Nr. puncte	Percentila 50 (ms ⁻¹)	Percentila 95 (ms ⁻¹)
B1	Vară	3294	0.03	0.08	B11	Vară	3294	0.044	0.100
	Iarnă	3110	0.038	0.092		Iarnă	3110	0.045	0.103
B2	Vară	3294	0.036	0.093	B12	Vară	3294	0.047	0.094
	Iarnă	3110	0.046	0.117		Iarnă	3110	0.058	0.132
B3	Vară	3294	0.045	0.1	B13	Vară	3294	0.055	0.126
	Iarnă	3110	0.042	0.094		Iarnă	3110	0.066	0.192
B4	Vară	3294	0.055	0.119	B14	Vară	3294	0.055	0.112
	Iarnă	3110	0.048	0.094		Iarnă	3110	0.072	0.163
B5	Vară	3294	0.058	0.123	B15	Vară	3294	0.104	0.243
	Iarnă	3110	0.056	0.119		Iarnă	3110	0.108	0.297
B6	Vară	3294	0.051	0.101	B16	Vară	3294	0.056	0.129
	Iarnă	3110	0.038	0.089		Iarnă	3110	0.07	0.172
B7	Vară	3294	0.048	0.092	B17	Vară	3294	0.136	0.311
	Iarnă	3110	0.042	0.103		Iarnă	3110	0.121	0.421
B8	Vară	3294	0.034	0.076	B18	Vară	3294	0.087	0.203
	Iarnă	3110	0.029	0.066		Iarnă	3110	0.061	0.202
B9	Vară	3294	0.055	0.119	B19	Vară	3294	0.092	0.247
	Iarnă	3110	0.052	0.125		Iarnă	3110	0.069	0.268
B10	Vară	3294	0.032	0.066	B20	Vară	3294	0.104	0.284
	Iarnă	3110	0.035	0.074		Iarnă	3110	0.058	0.257

De asemenea, pentru a evalua distribuția pe direcții și clase de viteză a curenților, au fost realizate grafice de tip roze pentru câte 5 dintre punctele considerate, pentru fiecare mare. În Figura 3.4 este prezentată variația pe direcții și clase în cele 5 puncte considerate din Marea Neagră, și anume (A1, A4, A13 și A15), pentru toată perioada de timp (18 ani). Figura 3.5 prezintă distribuția pe direcții și clase de viteză a curenților pentru perioada de iarnă iar Figura 3.6 pentru perioada de vară.

Așa cum se poate observa din analiza Figurilor 3.9 și 3.10, în Marea Neagră există o evidentă modificare a direcțiilor curenților de la iarnă la vară. În timpul iernii, direcțiile curentului în punctele localizate în sectorul de nord al mării (A13, A15) sunt orientate spre vest dar pentru perioada de vară aceasta se schimbă spre sud-est pentru A13. Referitor la punctul A15, pentru perioada de vară direcțiile curentului sunt distribuite aproximativ egal, cu o orientare dominantă spre nord-est. Cât despre partea de sud a mării, în punctul A1 (localizat în sud-est) nu apar schimbări semnificative ale direcției de la iarnă la vară. În schimb în punctele A4 și A20 se observă schimbări majore: în punctul A4, localizat aproape de sectorul de mijloc a zonei de sud a bazinului, se observă pe perioada iernii o orientare clară spre est în timp ce vara, aceasta pare să fie împărțită pe toate direcțiile.

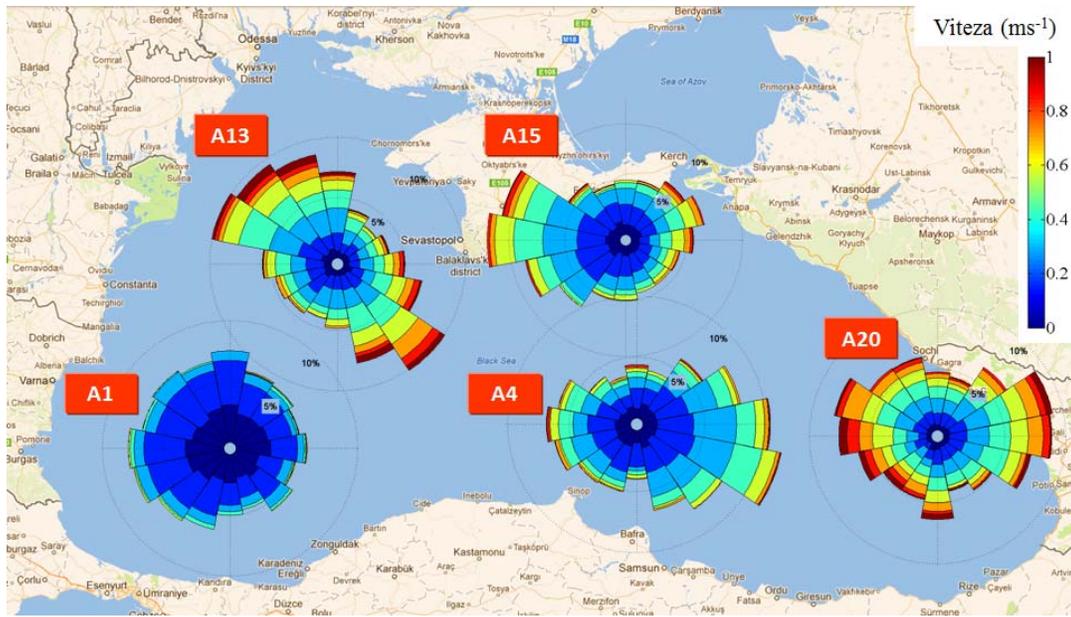


Figura. 3.4. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele A1, A4, A13, A15 și A20 în bazinul Mării Negre pentru întreaga perioadă de timp (1993-2010).

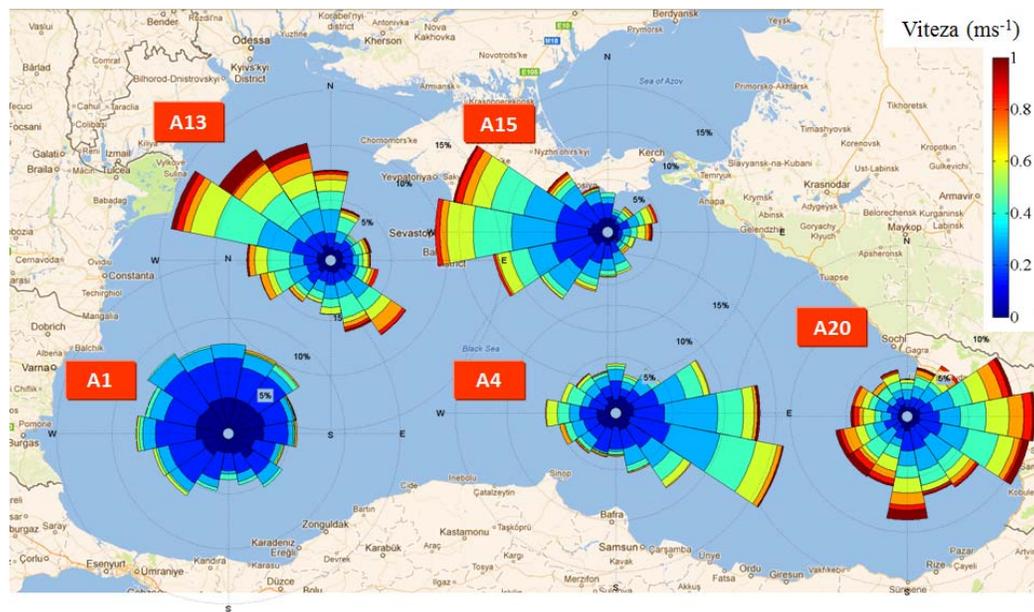


Figura 3.5. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele A1, A4, A13, A15 și A20 în bazinul Mării Negre pentru perioada de iarnă.

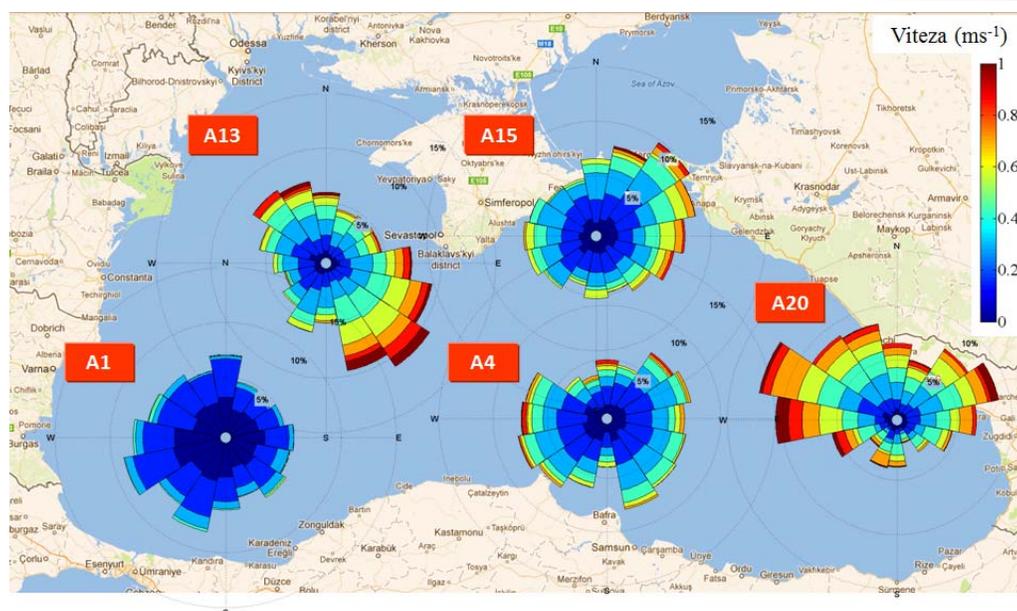


Figura 3.6. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele A1, A4, A13, A15 și A20 în bazinul Mării Negre pentru perioada de vară.

În punctul A20 situat în sectorul de sud-est al bazinului Mării Negre apare pe perioada iernii o direcție dominantă spre est și sud, dar pentru perioada verii aceasta se schimbă, fiind orientată spre vest, cu o componentă mică spre est.

Același tip de grafice este prezentat și pentru Marea Caspică. Dat fiind forma geometrică a acestei mări, punctele analizate au fost alese de-a lungul longitudinii: B1, B5, B9, B16 și B19.

În Figura 3.7 sunt prezentate variațiile pe direcții și clase de viteză în Marea Caspică pentru toată perioada de timp, în timp ce în Figurile 3.8, 3.9 sunt prezentate variațiile pe direcții și clase de viteză ale curenților pentru perioada de iarnă, respectiv de vară. În punctul B1, localizat în sectorul sudic al Mării Caspice apare o componentă dominantă nordică pentru perioada de iarnă ce scade în timpul perioadei de vară. În același timp, apare o componentă sudică. Pentru punctul B5 nu există mari variații ale orientării curenților între perioadele de iarnă și vară, cu excepția faptului că pe perioada de iarnă există o mică componentă nordică ce crește puțin în perioada de vară. Cu toate că în primele două puncte nu apar diferențe mari în cele două perioade de timp, acestea apar în punctul B9 localizat în bazinul de mijloc al Mării Caspice. Direcția dominantă în punctul B9 pentru perioada de iarnă este clar sud-vest dar pentru perioada de vară aceasta se schimbă semnificativ spre nord-vest. În punctul B16 nu sunt, de asemenea, variații mari ale direcțiilor pentru cele două perioade. O situație interesantă apare la analiza pe direcții și clase de viteză a punctului B19 situat în nordul Mării Caspice. Pentru perioada de iarnă acesta nu are o singură direcție dominantă, ci aparent două: una dintre ele orientată spre nord-est și una spre sud-est. Pentru perioada de vară însă, aceste două componente sunt înlocuite de una singură orientată nord-est.

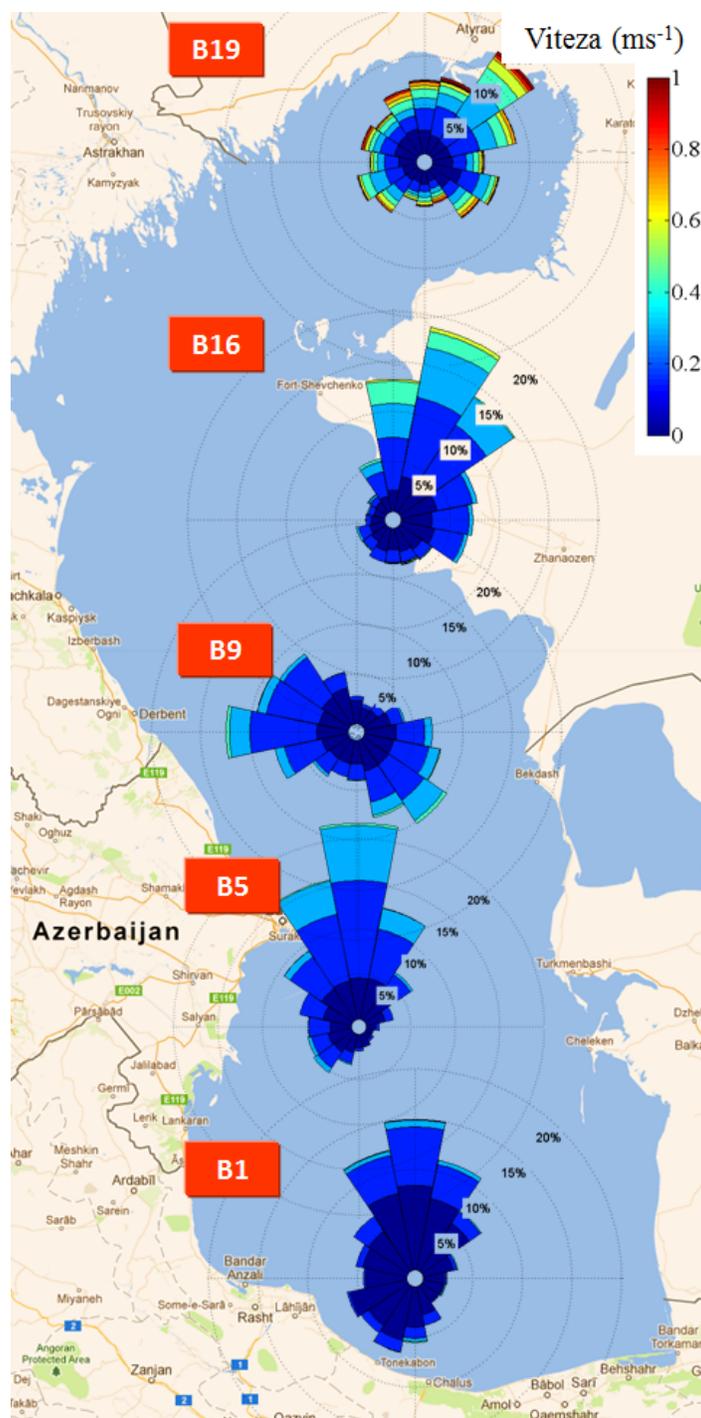


Figura 3.11. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele B1, B5, B9, B16 și B19 în bazinul Mării Caspice, pentru întreaga perioadă de timp (1993-2010).

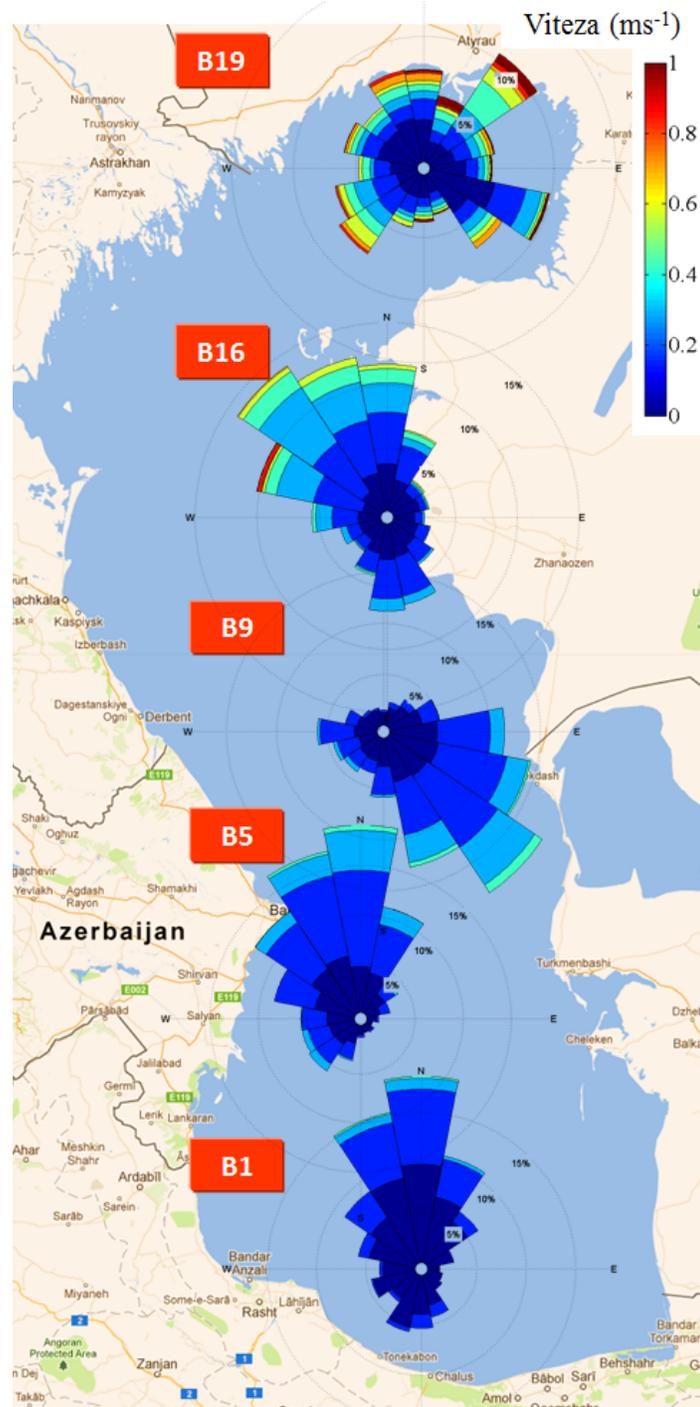


Figura 3.12. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele B1, B5, B9, B16 și B19 în bazinul Mării Caspice, pentru perioada de iarnă.

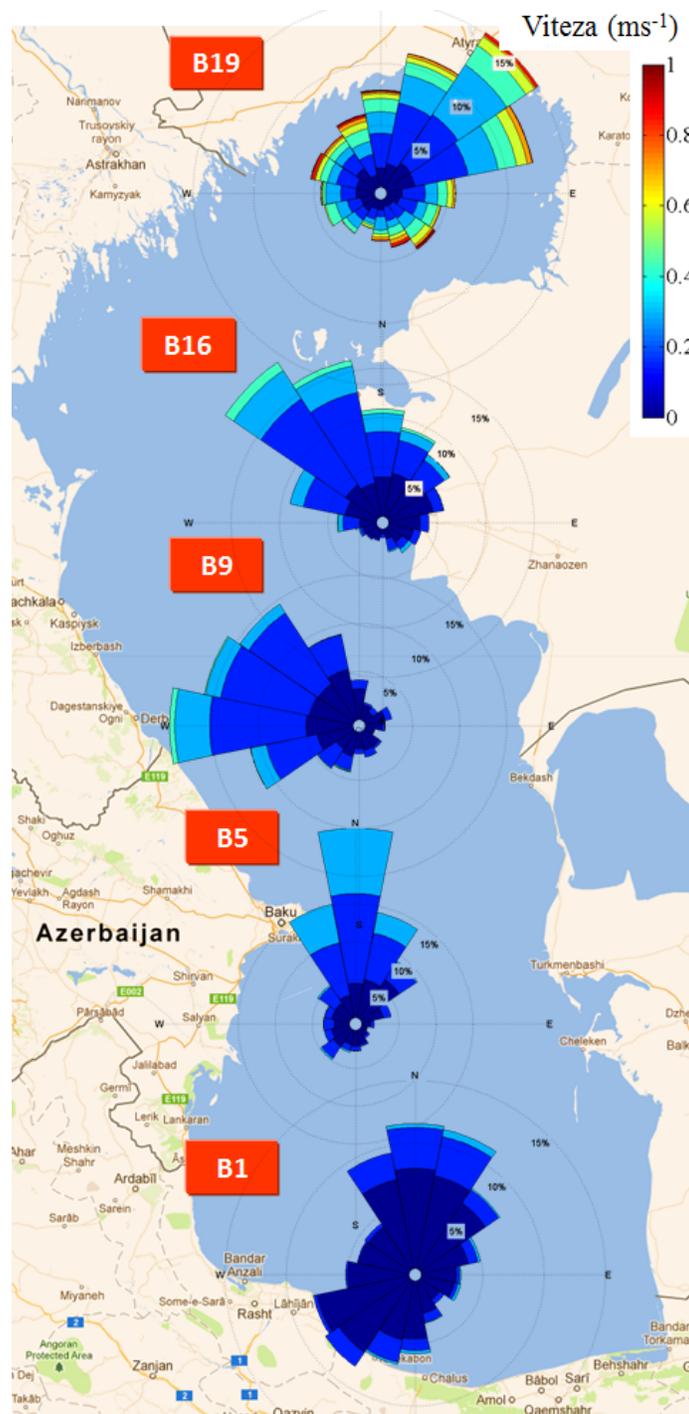


Figura 3.13. Variația circulației pe direcții și clase de viteză în punctele B1, B5, B9, B16 și B19 în bazinul Mării Caspice, pentru perioada de vară.

În Figurile 3.10 și 3.11 sunt prezentate histogramme ale vitezelor curenților pentru punctele A1, A4, A13, A15 și A20 pentru Marea Neagră și B1, B5, B9, B16, B19 pentru Marea Caspică.

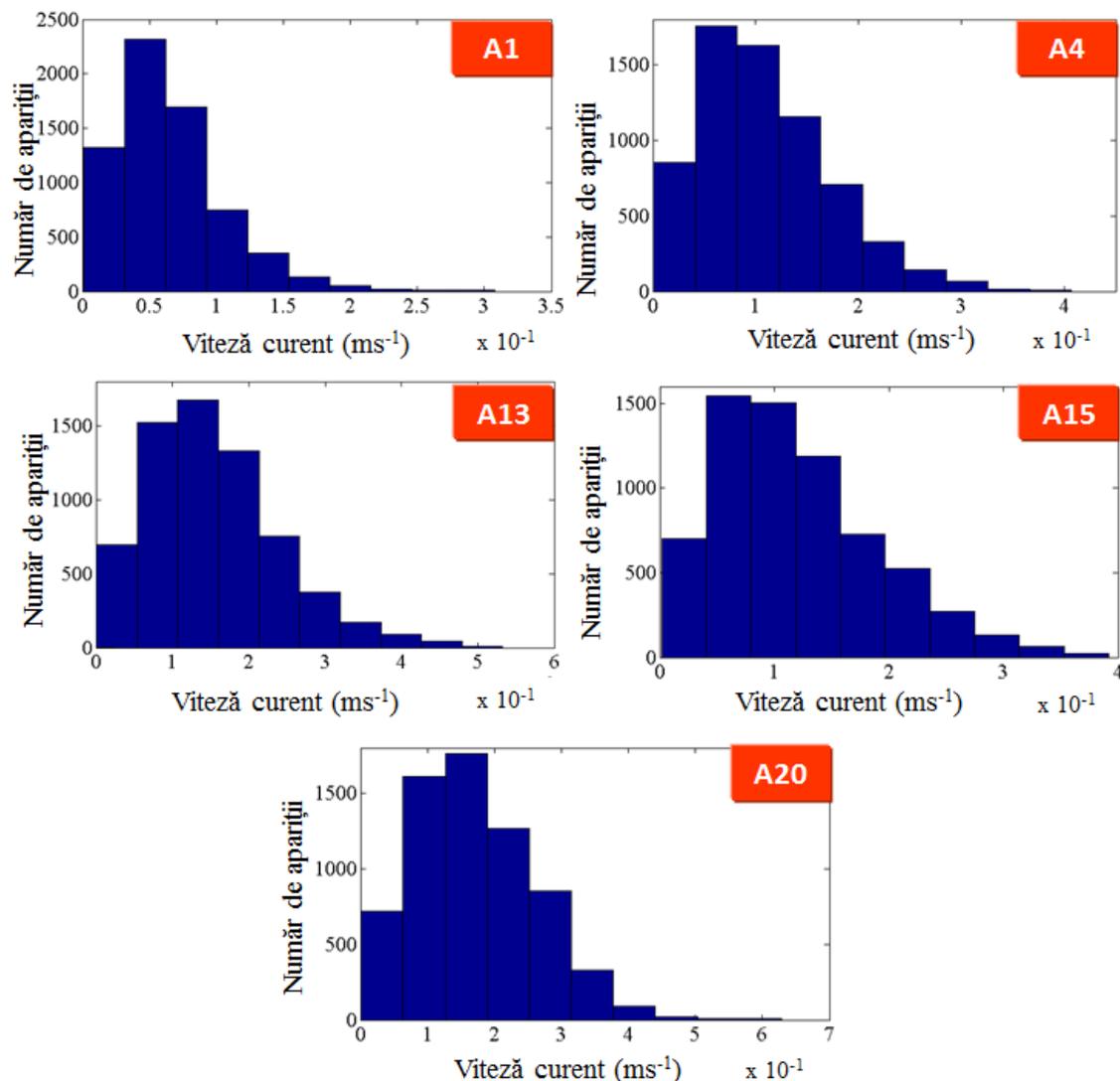


Figura 3.10. Histograme ale vitezelor curenților în punctele a) A1, b) A4, c) A13, d) A15 și e) A20.

Așa cum reiese din analiza histogramelor, în punctul A1 viteza curenților pare să se încadreze mai mult în jurul valorilor de $0,05-0,07\text{ms}^{-1}$. În punctele A4, A13, A15 și A20 vitezele curenților se încadrează preponderent în jurul valorilor $0,07-0,1\text{ms}^{-1}$, $0,1-0,2\text{ms}^{-1}$, $0,07-0,15\text{ms}^{-1}$, respectiv $0,1-0,2\text{ms}^{-1}$ pentru Marea Neagră.

În Marea Caspică viteza curenților în punctele considerate este distribuită preponderent după cum urmează: în jurul valorii de $0,03\text{ms}^{-1}$ pentru punctul B1 și în jurul valorii de $0,5\text{ms}^{-1}$ în punctele B5, B9, B16 și B20.

Marea Neagră pare să prezinte o stabilitate mai mare la variația sezonieră decât Marea Caspică privind direcția și orientarea curenților. În unele cazuri pentru Marea Neagră, orientarea se schimbă cu sezonul, dar sunt prezente aceleași tipare generale, pe direcții diferite. Pentru Marea Caspică, dimpotrivă, tiparele se schimbă complet odată cu variația sezonieră, fiind introduse noi componente pe diferite direcții. Valorile medii ale curenților din Marea Neagră sunt în medie mai mari decât cele ale Mării Caspice. Totuși, punctele din sectorul nordic ale Mării Caspice (B17-B20) prezintă valori ridicate (B17 cu un maxim de $0,917\text{ms}^{-1}$).

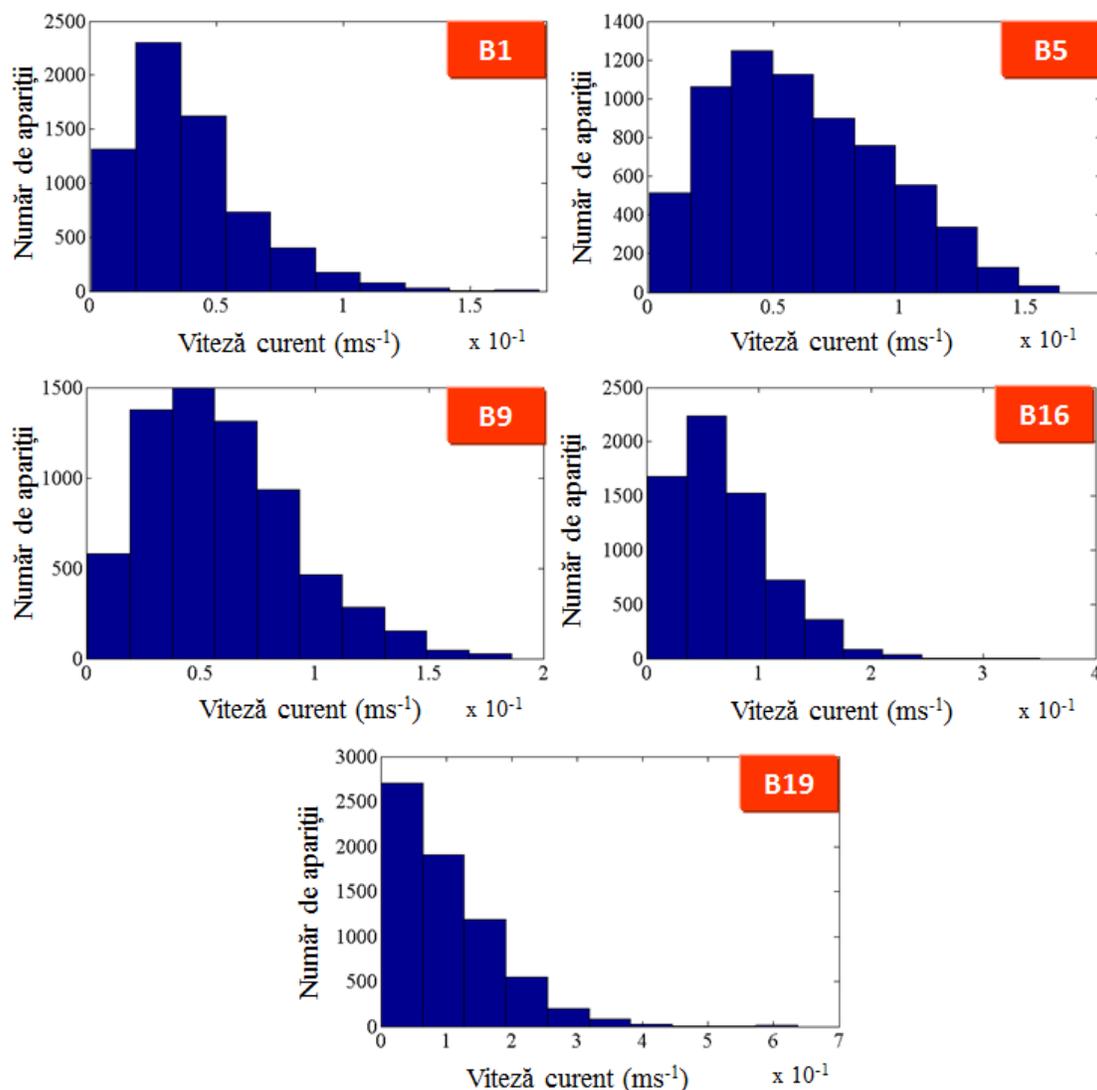


Figura 3.11. Histograme ale vitezelor curenților în punctele a) B1, b) B5, c) B9, d) B16 și e) B19.

3.4. Analiza datelor *in situ* privind măsurători ale curenților în zona portului Mangalia și a platformei Gloria

Pentru Marea Neagră au fost efectuate măsurători *in situ* privind viteza și orientarea curenților măsurate la platforma Gloria pentru perioada 2002-2009 și în portul Mangalia pentru perioada 2004-2009. Datele disponibile sunt măsurători zilnice la un interval de 6 ore, procentul de date valide fiind de 94%. Platforma marină Gloria este localizată în partea de vest a Mării Negre la coordonatele 44°31'N/29°34'E. În Figura 3.12 sunt prezentate graficele pe direcții și clase ale vitezei curentului măsurat la platforma Gloria. Portul Mangalia se situează în partea de vest a Mării Negre, la coordonatele 43°47'N, 28°34'E. Figura 3.13 prezintă distribuția pe direcții și clase ale curentului măsurat în zona portului Mangalia.

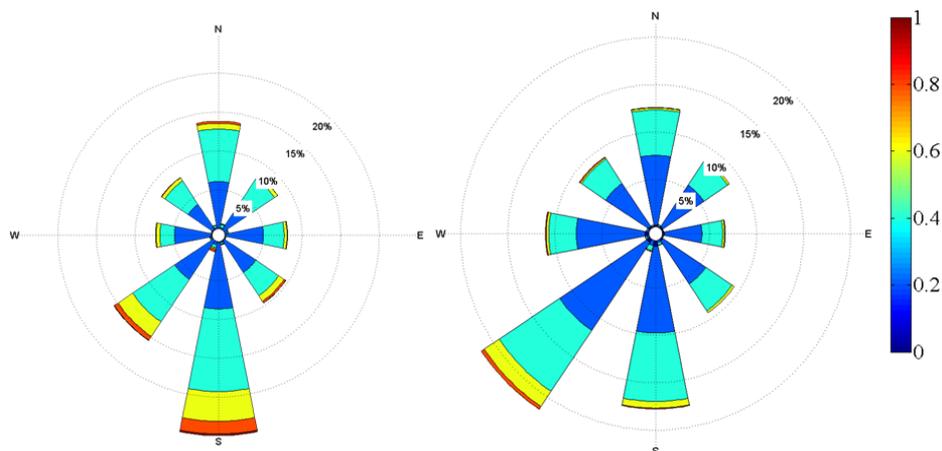


Figura 3.12. Distribuția pe direcții și clase de viteză [%] ale curentului măsurat la platforma Gloria: stânga – perioada de iarnă, dreapta – perioada de vară.

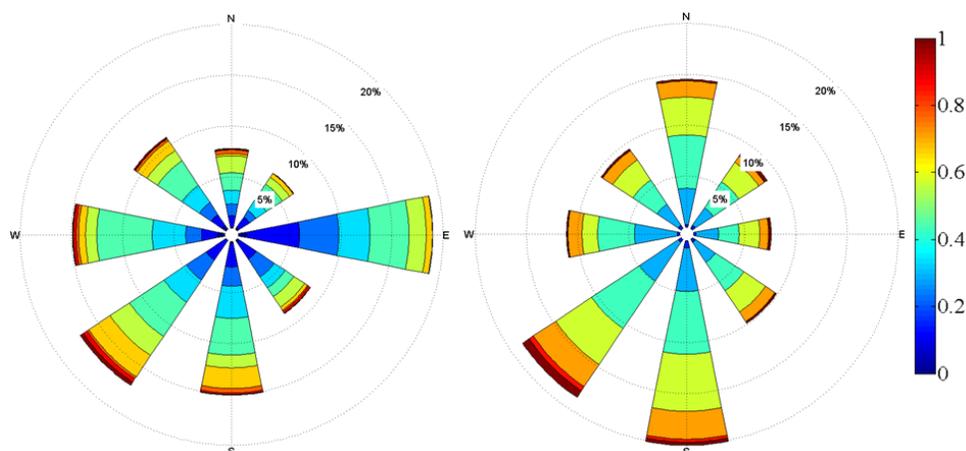


Figura 3.13. Distribuția pe direcții și clase de viteză [%] ale curentului măsurat în zona portului Mangalia: stânga – perioada de iarnă, dreapta – perioada de vară.

Au fost efectuate de asemenea și analize statistice privind datele in situ. În tabelul 3.10 sunt prezentate analizele privind minimul, maximum, media, valoarea mediană, deviația standard, skewness și kurtosis.

Tabelul 3.10. Analize statistice ale vitezei curenților măsurați.

	Gloria iarnă	Gloria vară	Mangalia iarnă	Mangalia vară
Număr puncte	5110	4981	2920	3002
Minim (ms^{-1})	0	0	0	0
Maxim (ms^{-1})	0.5	0.4	0.4	0.3
Medie (ms^{-1})	0.2	0.12	0.9	0.1
Valoare mediană (ms^{-1})	0.2	0.14	0.1	0.1
Deviația standard (ms^{-1})	0.7	0.5	0.56	0.4
Skewness	0.9	0.8	0.5	0.5
Kurtosis	3.8	4.3	3.3	3.4

Datele de satelit furnizate de Aviso nu acoperă și zona portului Mangalia, în schimb s-au putut efectua comparații ale datelor măsurate la platforma Gloria cu cele de satelit. Tabelul 3.11 prezintă parametri statistici rezultați în urma comparației cum ar fi: valorile medii, bias, eroarea RMS

Tabelul 3.11. Parametri statistici rezultați în urma comparației datelor de satelit cu cele in situ.

Punct	X_{med} (ms^{-1})	Y_{med} (ms^{-1})	Bias (ms^{-1})	RMSE
G	0.195	0.077	0.117	0.147

3.5 Concluzii

Scopul prezentului capitol este acela de a furniza detalii adiționale privind circulația în mările închise, Marea Neagră și Marea Caspică. Cele două mări prezintă caracteristici aproximativ similare: aproape aceeași suprafață, același debit de apă dulce și valori mici ale vitezei curenților. Salinitatea Mării Negre este mai ridicată decât cea a Mării Caspice cu 18-21 PSU comparativ cu 12-13 PSU. Adâncimea ridicată a Mării Negre nu pare să aibă un impact asupra mișcării curenților, în schimb apa puțin adâncă din nordul Mării Caspice este pare a fi responsabilă de valorile mai înalte ale vitezei curenților în acea zonă. Orientarea nord-sud a Mării Caspice ce creează o diferență de temperatură de aproximativ $10^{\circ}C$ duce la crearea unui curent nord-sud ce poate fi responsabil de variația crescută sezonieră a vitezei curenților. Pentru ambele mări, valorile curenților nu depășesc $1ms^{-1}$, totuși această valoare poate crește în cazul furtunilor.

Curenții marini sunt de o importanță majoră în distribuția și dezvoltarea vieții marine. De asemenea, cunoașterea acestora este folosită pentru reducerea costurilor transportului marin. Și nu în ultimul rând, cunoașterea tiparelor de circulație ale curenților este necesară în cazurile nefericite de accidente marine soldat cu deversări de petrol.

Un studiu al circulației curenților axat pe studierea zonelor specifice bazinului Mării Negre (Curentul Ciclonic de Margine, Vârtejurile Anticlonice de Coastă) a fost de asemenea publicat în International Journal of Geosciences, jurnal indexat ISI [63].

Studiul referitor la circulația curenților în Marea Neagră și Caspică a fost prezentat în cadrul conferinței IWEED (The First International Conference 3E – Energy, Environment and Efficiency, Galați, Romania) cu titlul Evaluation of the circulation patterns in two enclosed seas [64].

Subcapitolul 3.4 a fost prezentat în cadrul conferinței International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo, SGEEm 2012 sub titlul Study on the currents variability and patterns in the Black Sea [65].

CAPITOLUL 4

IMPLEMENTAREA MODELULUI MOHID PENTRU BAZINUL MĂRII NEGRE

4.1 Generalități privind modelul de circulație MOHID

4.1.1 Istoric

Dezvoltarea modelului MOHID (Model Hidrodinamic) a început în 1985, acesta dezvoltându-se prin intermediul unei continue actualizări și îmbunătățiri, datorită utilizării sale de către instituții de cercetare și în cadrul mai multor proiecte de inginerie. Inițial MOHID a fost un model bi-dimensional de cercetare a mareelor creat de Neves [66]. Acest model a fost folosit pentru studiul estuarelor, precum și zonelor de coastă, folosind o abordare clasică a diferențelor finite. În anii următori, modulele bi-dimensionale Eulerian și Lagrangian de transport au fost incluse în acest model, precum și un model Boussinesq pentru gravitația valurilor non-hidrostatice de către Silva în 1992. Primul model tri-dimensional a fost introdus de Santos [67], care a folosit o coordonată Sigma verticală dublă (MOHID 3D). Limitările coordonatelor dublu Sigma au relevat necesitatea de a dezvolta un model care ar putea folosi coordonate generice verticale, permițând utilizatorului să aleagă din mai multe coordonate, în funcție de principalele procese din zona de studiu. Această versiune a modelului a arătat că utilizarea unui model integrat bazat pe coordonate verticale generice este un instrument foarte puternic. Cu toate acestea, s-a verificat că modelul a fost dificil de menținut și extins din cauza limitărilor limbajului FORTRAN 77. Apoi s-a decis reorganizarea acestui model folosind Fortran 95, precum și o strategie orientată pe obiect. [68]

4.1.2 Aplicații ale modelului Mohid

Modelul MOHID a fost aplicat în mai multe zone costiere precum și estuare demonstrând capacitatea de a simula caracteristicile complexe ale fluxurilor. În cadrul proiectelor de cercetare și consultanță, modelul MOHID a fost implementat în diverse zone costiere, spre exemplu de-a lungul coastelor portugheze, inclusiv estuarele principale (Minho, Lima, Douro, Mondego, Tejo, Sado, Mira, Arade și Guadiana) și lagunele de coastă (Ria de Aveiro și Ria Formosa) [69-70]. Modelul a fost, de asemenea, pus în aplicare în Rias: Ria de Vigo de Taboada et al. [71] Ria de Pontevedra și în Rias de Pérez, Villar [71-73]. Departe de coasta atlantică a Peninsulei Iberice, a fost modelată hidrodinamica mai multor estuare europene: Vest Scheldt, Olanda, Gironde, Franța de către Cancino și Neves, [74] și Carlingford, Irlanda, de Leitão, [75] - precum și unele estuare din Brazilia (Santos SP și Fortaleza). În ceea ce privește deschiderea la mare, MOHID a fost aplicat în regiunea de nord-est a Oceanului Atlantic, în cazul unor procese, inclusiv curenți de coastă pentru zona portugheză. Mai recent MOHID a fost aplicat la mai multe rezervoare de apă dulce portugheze Monte Novo, Roxo și Alqueva, [76] în scopul de a studia fluxul și calitatea apei. [77]

4.2 Implementarea modelului Mohid în bazinul Mării Negre

4.2.1 Preprocesarea datelor

Datorită valorilor mici ale mareelor din bazinul Mării Negre, acestea vor fi ignorate pentru simulările prezentate. În schimb, mișcarea apei va fi calculată luând în considerare câmpurile de densitate acvatică, temperatura și salinitatea. Câmpurile de densitate au fost obținute de pe site-ul MyOcean cu o acoperire geografică de 27.4 E - 41.9E, 40.9N - 46.9N, cu numele de catalog: BLACKSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_007_001. Variabilele incluse în aceste produse sunt temperatura apei și salinitatea, și au rezoluția spațială de aproximativ 5 km pe 35 de nivele de adâncime, calculate zilnic. Primul strat vertical se găsește la adâncimea de 2,5 metri iar ultimul la 2100m. Datele au fost furnizate în format NETCDF CF 1.4.

Anterior analizei, folosind metodologia descrisă în [78-87] au fost create anumite scripturi în Matlab pentru a putea converti datele din formatul NETCD în HDF5 (Hierarchical Data File), format recunoscut de MOHID. Un fișier de input în format HDF5 conține 3 grupuri majore: Grid, Results și Time. Grupul rețelei (Grid) conține următoarele seturi de date: Bathymetry (fișierul cu adâncimi pe un format standard de 238x132 de celule în acord cu rețeaua aleasă, unde punctele cu pământ au fost înlocuite cu valoarea simbolică -99; setul de date VerticalZ conține felii tridimensionale (238x132x36), Longitude și Latitude conțin longitudinea și respectiv latitudinea punctelor considerate, în timp ce în grupul WaterPoints, punctele ce conțin apă au fost înlocuite cu 1, celelalte devenind 0. Pentru acest caz particular au fost create două fișiere HDF5 pentru a evita încărcarea programului cu un singur fișier mare: unul pentru temperatură și unul pentru salinitate, acoperind un interval de timp de 31 de zile începând cu 1 Ianuarie 2010. Deci, grupul numit Results va conține pentru unul din fișiere câmpul de temperatură și pentru celalalt salinitate (238x132x35).

În cadrul tezei au fost efectuate simulări ce acoperă trei luni și anume: Noiembrie 2009, Februarie 2010 și August 2010. În Figurile 4.1-4.12 sunt prezentate temperatura și salinitatea bazinului Mării Negre pentru zilele de 15, respectiv 25 ale fiecărei luni simulate, la adâncimea de 2,5m, stratul de suprafață. Aceste figuri reprezintă rezultatul conversiei datelor furnizate de MyOcean. Fișierele HDF5 cu temperatură și salinitate, împreună cu cele de vânt (tot în format HDF5), batimetria și poligoanele de reprezentare ale terenului sunt datele de intrare folosite de modelul Mohid pentru realizarea simulărilor. Figurile 4.1, 4.2 prezintă câmpul de salinitate la suprafață pentru zilele de 15 și 25 Noiembrie 2009, în timp ce Figurile 4.3 și 4.4 prezintă câmpul temperaturii la suprafața mării pentru aceleasi date. În Figurile 4.5 și 4.6 este prezentat câmpul de salinitate pentru 15 și 25 Februarie 2010, Figurile 4.7 și 4.8 prezentând distribuția temperaturii pentru zilele de 15, respectiv 15 Februarie 2010. De asemenea, Figurile 4.9, 4.10 prezintă distribuția salinității la suprafață pentru zilele de 15 și 25 August 2010, Figurile 4.11 și 4.12 prezentând câmpurile de temperatură pentru zilele de 15, respectiv 25 August 2010. Trebuie precizat faptul că în figurile ce prezintă câmpul de salinitate se poate observa clar influența apelor dulci ale Dunării prin valori mai mici ale salinității comparativ cu cele specifice bazinului Mării Negre.

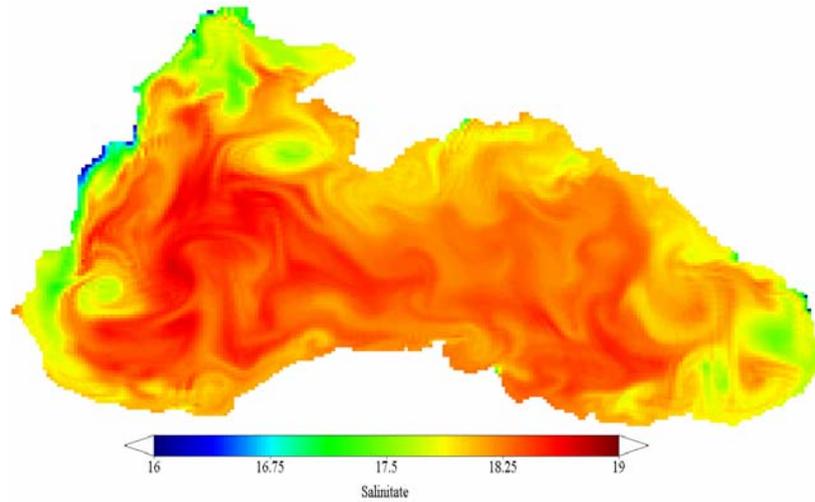


Figura 4.1. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 15 Noiembrie 2009, conform datelor MyOcean.

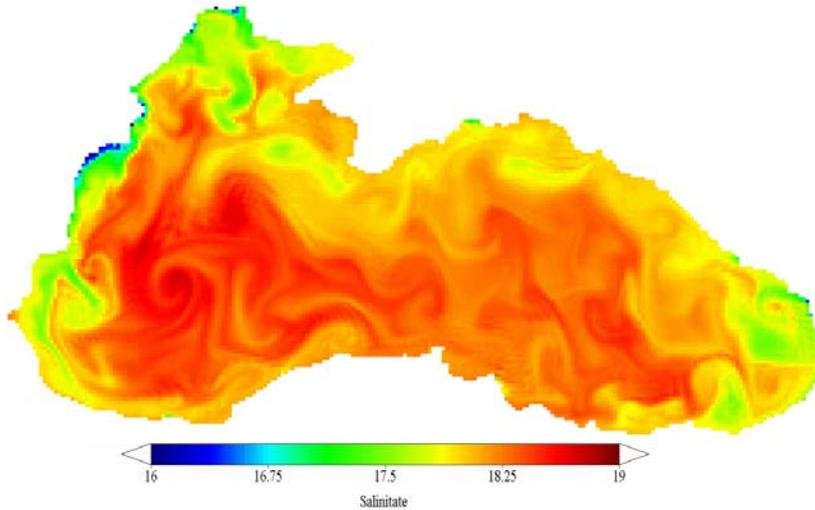


Figura 4.2. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 25 Noiembrie 2009, conform datelor MyOcean.

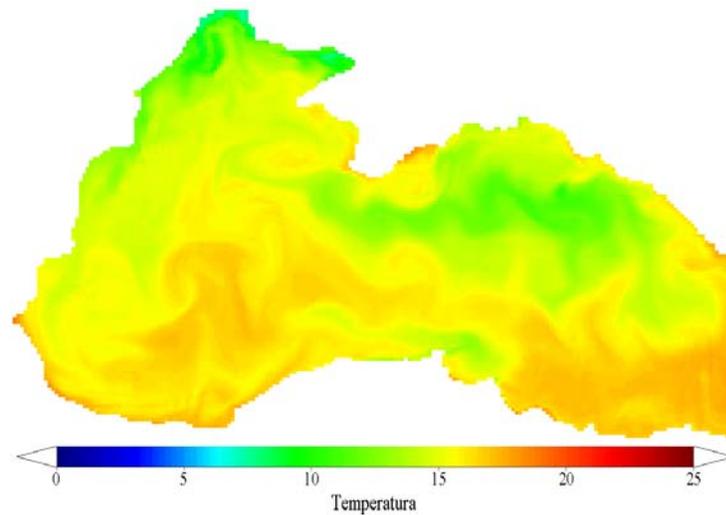


Figura 4.3. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 15 Noiembrie 2009, conform datelor MyOcean.

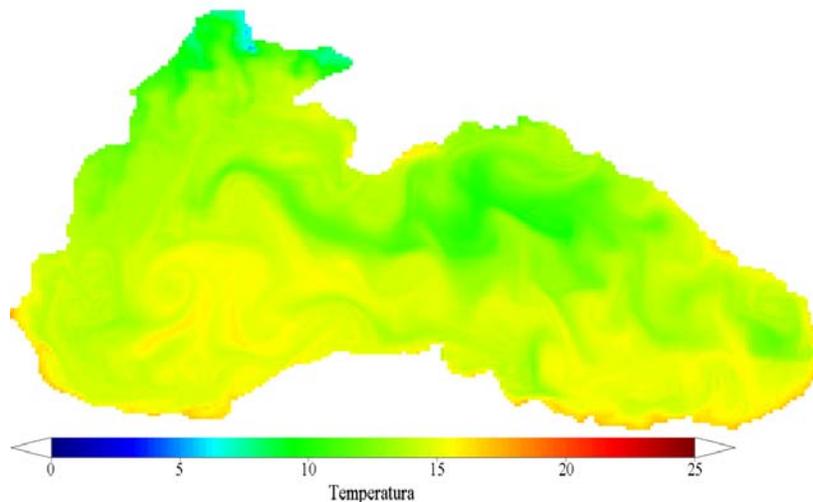


Figura 4.4. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 25 Noiembrie 2009, conform datelor MyOcean.

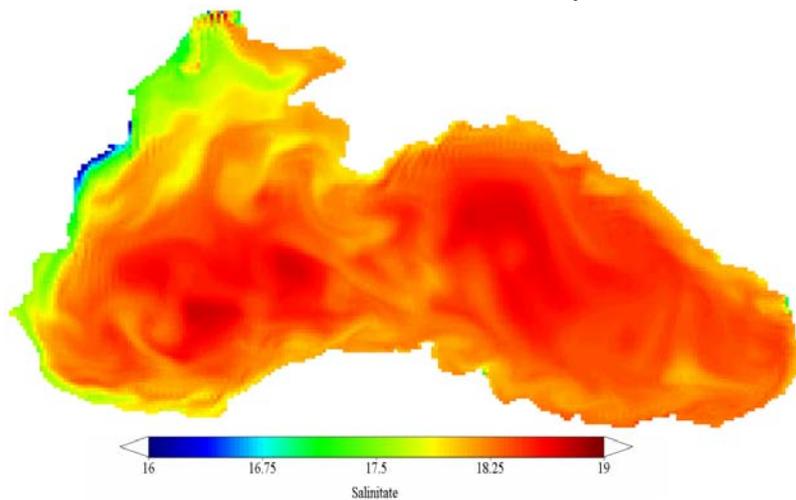


Figura 4.5. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 15 Februarie 2010, conform datelor MyOcean.

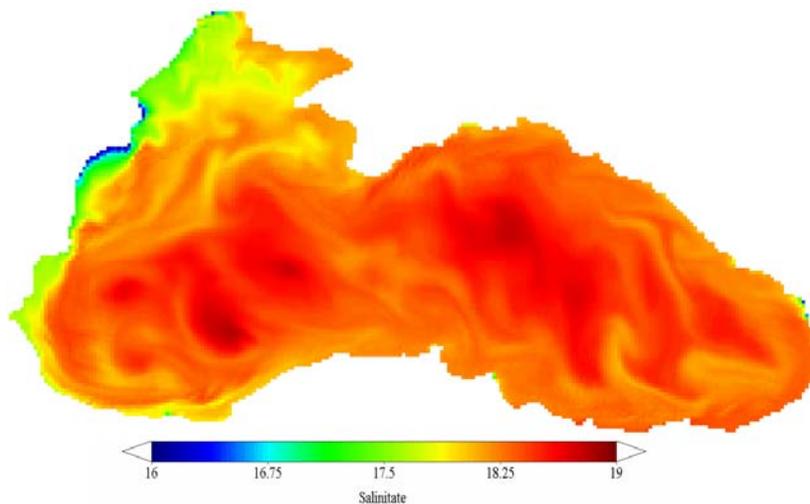


Figura 4.6. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 25 Februarie 2010, conform datelor MyOcean.

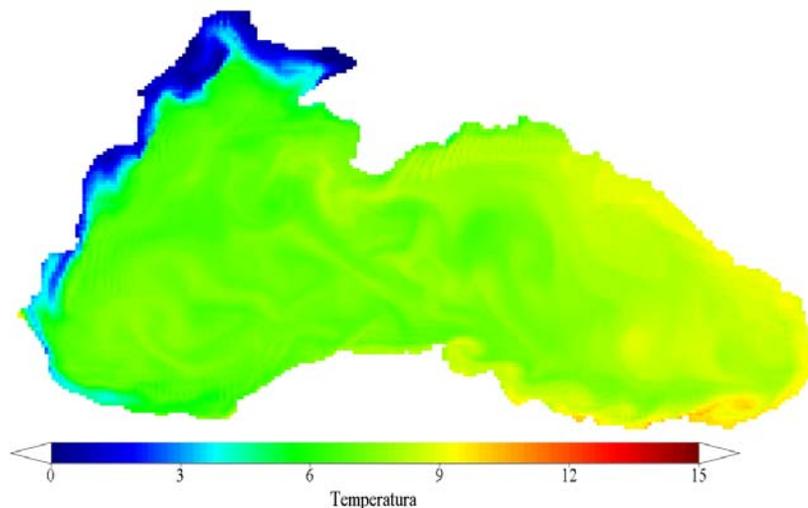


Figura 4.7. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 15 Februarie 2010, conform datelor MyOcean.

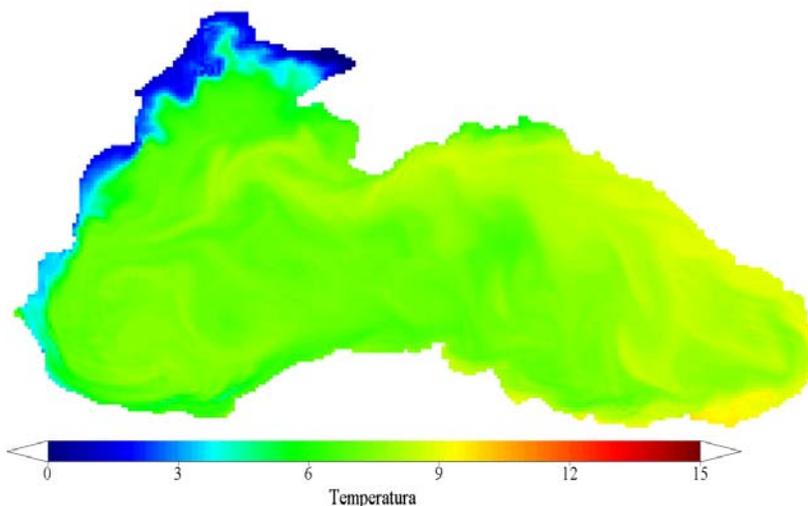


Figura 4.8. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 25 Februarie 2010, conform datelor MyOcean.

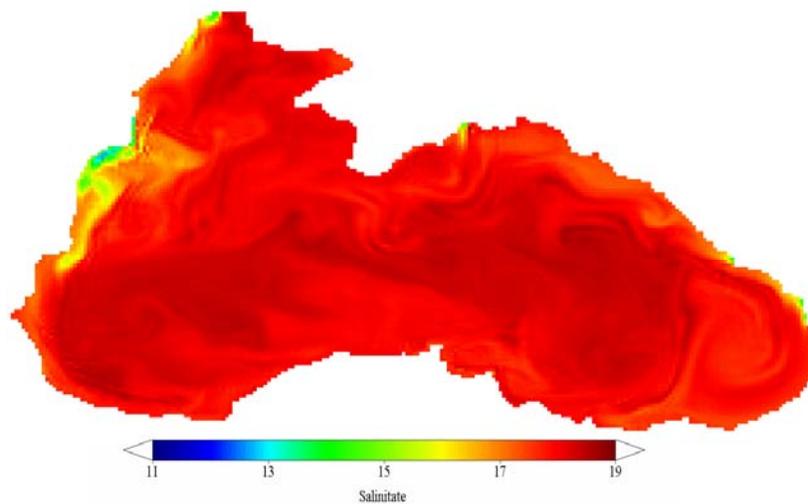


Figura 4.9. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 15 August 2010, conform datelor MyOcean.

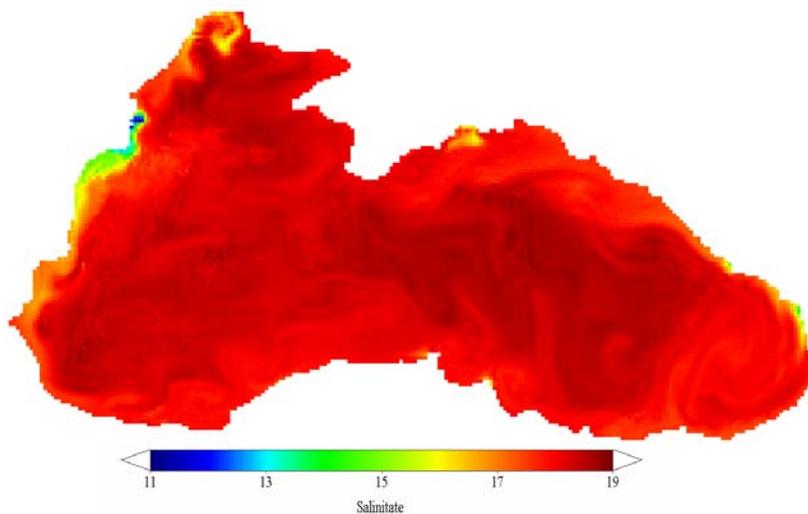


Figura 4.10. Distribuția câmpului de salinitate în bazinul Mării Negre pentru data de 25 August 2010, conform datelor MyOcean.

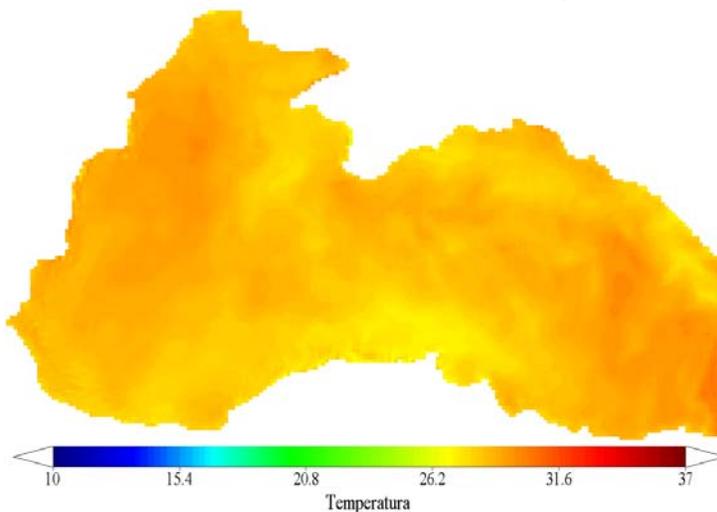


Figura 4.11. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 15 August 2010, conform datelor MyOcean.

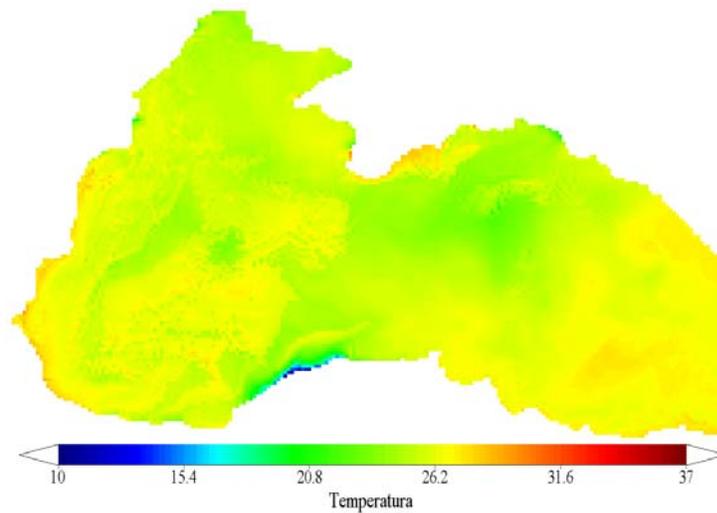


Figura 4.12. Distribuția câmpului de temperatură în bazinul Mării Negre pentru data de 25 August 2010, conform datelor MyOcean.

Batimetria folosită pentru realizarea terenului digital a fost obținută de pe site-ul ETOPO2 Global Gridded 2 Minute Database aparținând NOAA. Peste batimetria nemodificată se suprapune rețeaua formată. Aceasta a fost realizată astfel încât să corespundă fișierelor de temperatură și salinitate deja create. Prin urmare, rețeaua va conține 238 de ochiuri pe axa x și 132 pe axa y. Distanța dintre ochiurile rețelei este de aproximativ 4,44km pe orizontală și 6,1km pe verticală. Un alt element de intrare, pentru analiza circulației cu modelul Mohid, este terenul. Acesta este reprezentat prin poligoane ce înconjoară suprafața Mării Negre. Orice poligon ce delimitează terenul trebuie să fie închis, în caz contrar spațiul încadrat va fi considerat apă. Se pot include oricâte poligoane este nevoie pentru o delimitare exactă a terenului. În acest caz au fost necesare 7 poligoane ce imită coastele, dispuse în jurul Mării Negre. Acestea au fost trasate urmărind conturul datelor de temperatură și salinitate, pentru a se evita apariția erorilor datorate incompatibilității datelor. Figura 4.13 prezintă cele 7 poligoane considerate.

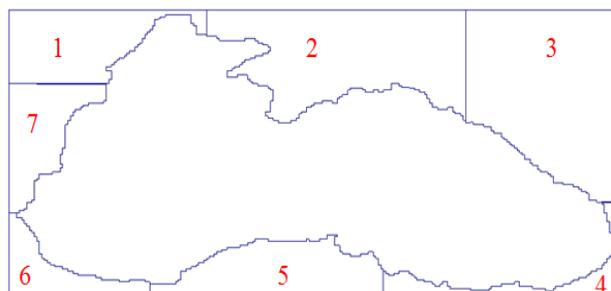


Figura 4.13. Cele 7 poligoane considerate pentru realizarea terenului digital.

Introducând factorii prezentați anterior în modulul responsabil pentru crearea terenului digital, și anume: batimetria inițială, rețeaua și poligoanele, se realizează terenul digital. Metoda aleasă pentru aceasta este cea de a calcula media valorilor dintr-o celulă. În Figura 4.14 este prezentată batimetria rezultată, ce va fi folosită pentru simulări. Trebuie precizat că problema privind diferența dintre adâncimea maximă a datelor de intrare referitoare la câmpurile de salinitate și temperatură de 2100 de metri și adâncimea maximă a batimetriei a fost rezolvată prin îngroșarea stratului de la fundul mării. Astfel, ultimul strat va avea 556,917m.

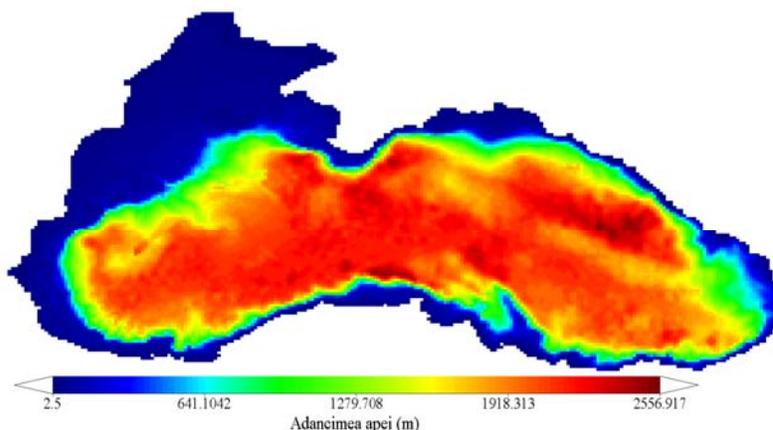


Figura 4.14. Batimetria rezultată sau terenul digital.

4.2.2 Procesarea datelor

Pentru procesarea datelor se folosește modulul Mohid GUI. Acesta dispune de o interfață ușor de folosit ce permite editarea individuală a modulelor incluse în analiză. Modulele sunt editate în fișiere de tip text, editorul folosit fiind notepad. Figura 4.15 prezintă modulul GUI al modelului Mohid, împreună cu modulele introduse în analiza de față. Modulele folosite aici sunt Model, Geometry, InterfaceSedimentWater, Hydrodynamic, Turbulence, Water Properties, Assimilation și Interface WaterAir. Pentru stabilirea faliilor verticale, acestea se vor scrie în fișierul Geometry. Acestea sunt în număr de 35 pentru acest caz și sunt împărțite în grosimi ce variază de la 2,5 la 556,917m după cum urmează: 2.5, 2.5, 5, 5, 5, 5, 5, 10, 10, 12,5, 12,5, 12,5, 12,5, 12,5, 25, 25, 25, 50, 50, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 300, 200, 100, 100, 100, 556,917. Datele de vânt folosite pentru simulările prezentate sunt achiziționate de pe site-ul ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) și sunt interpolate pentru a se suprapune peste rețeaua formată. De asemenea au fost folosite scripturi similare celor de conversie a datelor de salinitate și temperatură pentru a converti datele de vânt în formatul HDF5.

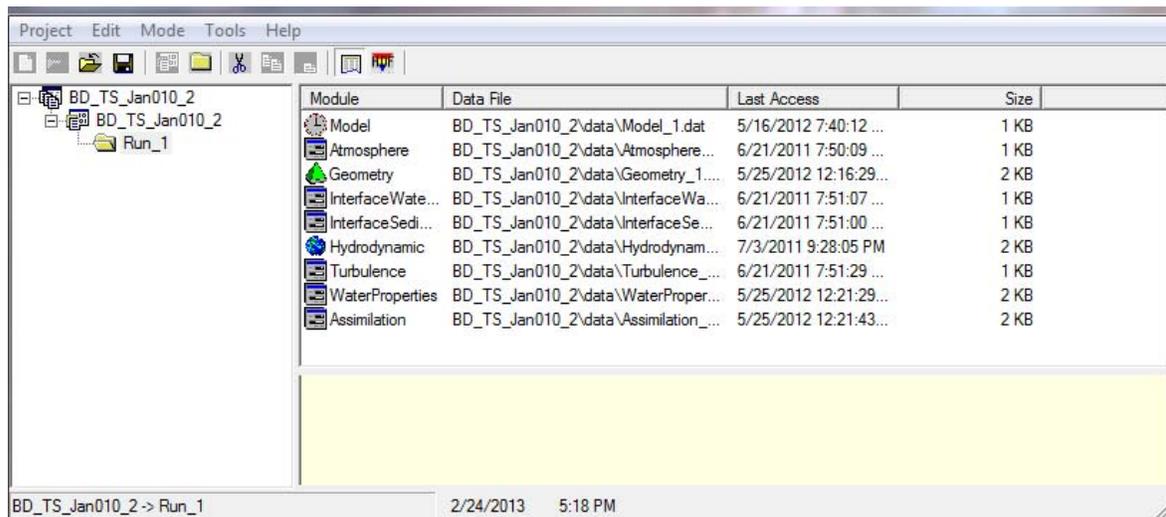


Figura 4.15. Modulul GUI al modelului Mohid.

4.2.3 Postprocesarea datelor și rezultate

Erorile ce apar în cadrul rulării modelului Mohid pot fi interpretate prin citirea codului sursă. Acestea identifică încă de la apariție modulul în care se află, operație ce ușurează corectarea acestora. După efectuarea analizelor, ce pot dura între 2 și 5 zile, modelul va scrie rezultatele într-un fișier de tip HDF5 similar celor create pentru câmpurile de temperatură și salinitate. Modelul va scrie în secțiunea rezultatelor (Results); rezultatele pot fi inspectate cu ajutorul modulului de post-procesare. În Figura 4.16 este prezentat modulul de post-procesare a datelor. Tot de aici se poate selecta regiunea de interes folosind funcția ROI (region of interest).

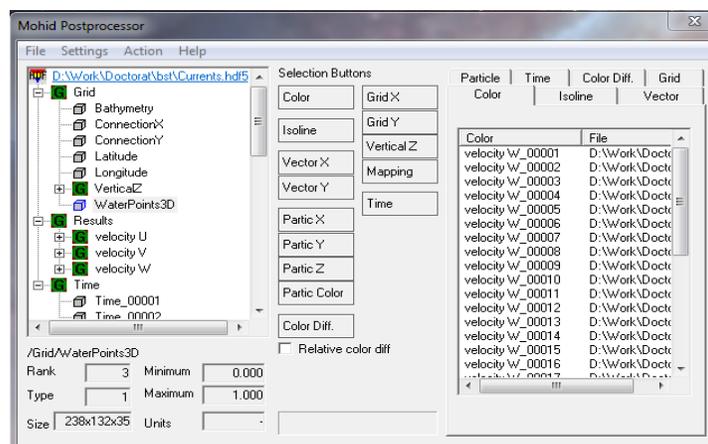


Figura 4.16. Modulul de postprocesare a datelor.

Au fost efectuate simulări zilnice începând cu luna Noiembrie 2009 până în Decembrie 2010 inclusiv. În Figurile 4.17 și 4.18 sunt prezentate rezultatele simulărilor pentru zilele de 15, respectiv 25 Noiembrie 2009. Figurile 4.19 și 4.20 prezintă rezultatele simulărilor pentru zilele de 15 și 25 Februarie 2010, iar Figurile 4.21 și 4.22 prezintă rezultatele simulărilor pentru zilele de 15 și 25 August 2010. Figurile prezintă vectorii u și v ai curenților, pe fundal fiind reprezentat vectorul w rezultat în urma compunerii acestora. Valorile vectorului w variază între 0 și 2.2ms^{-1} , valori considerate normale pentru bazinul Mării Negre.

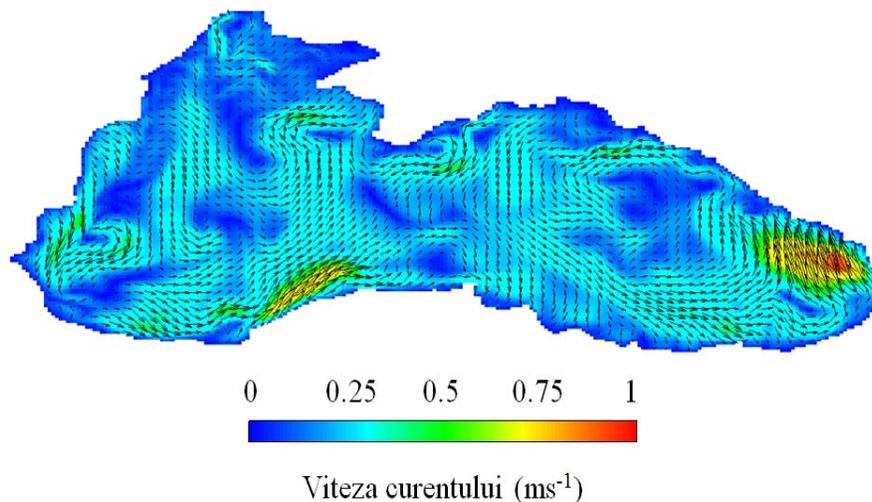


Figura 4.17. Vectorii curenților pentru data de 15 Noiembrie 2009 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

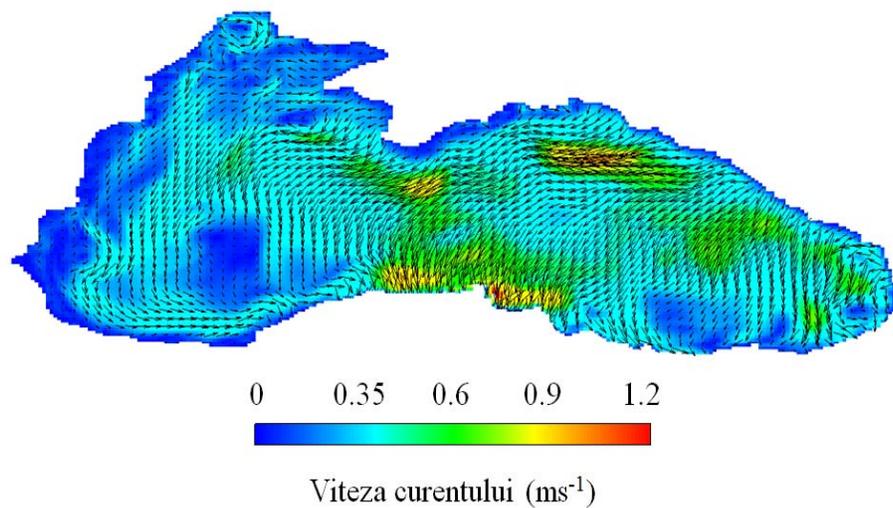


Figura 4.18. Vectorii curenților pentru data de 25 Noiembrie 2009 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

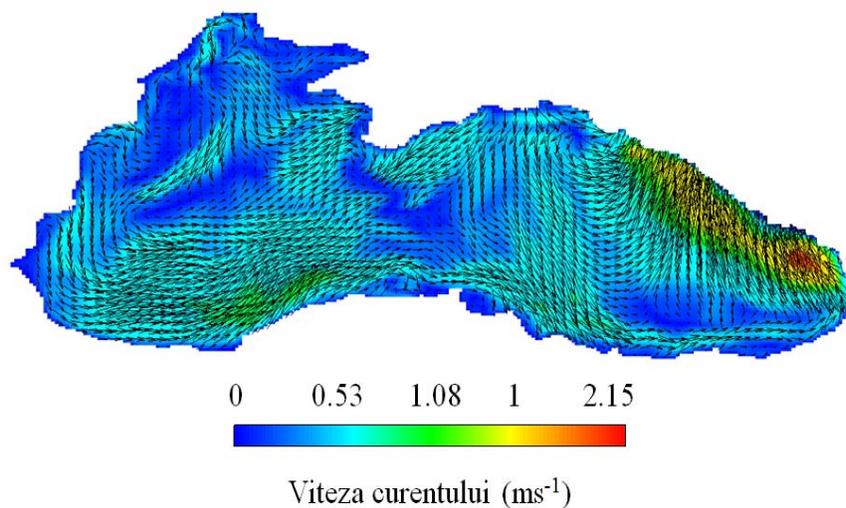


Figura 4.19. Vectorii curenților pentru data de 15 Februarie 2010 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

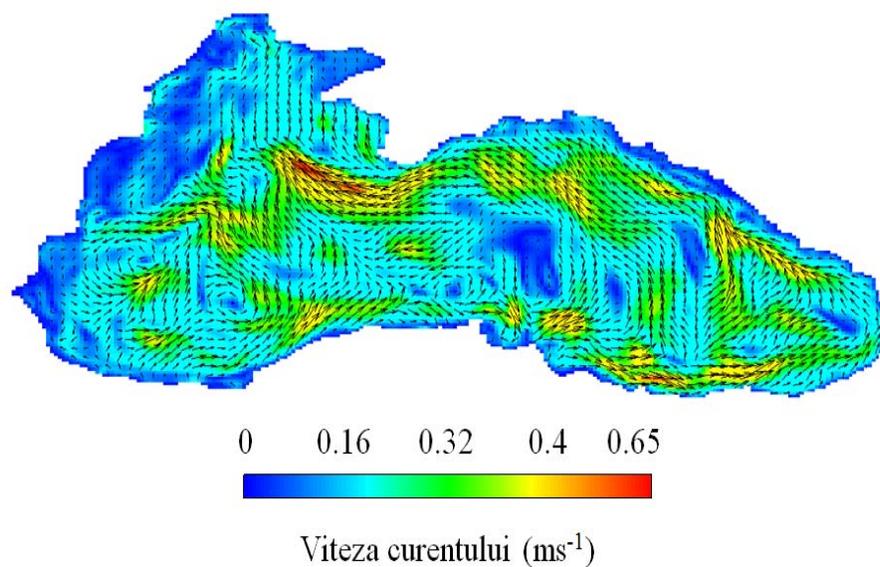


Figura 4.20. Vectorii curenților pentru data de 25 Februarie 2010 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

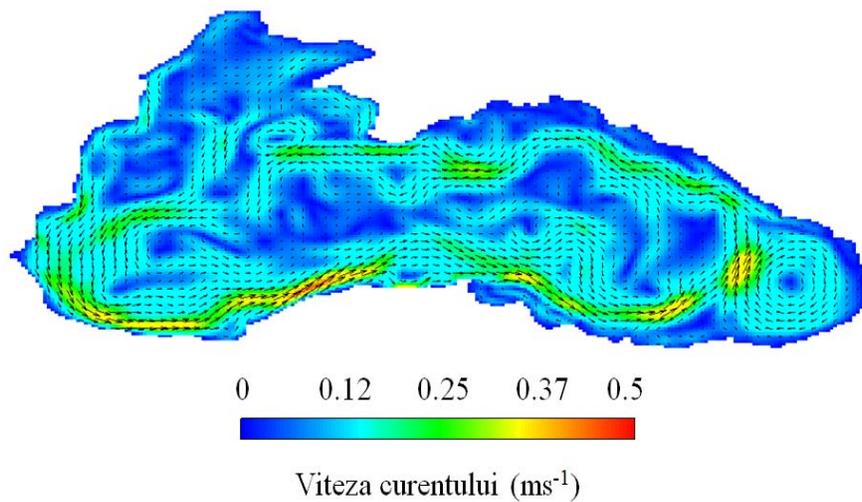


Figura 4.21. Vectorii curenților pentru data de 15 August 2010 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

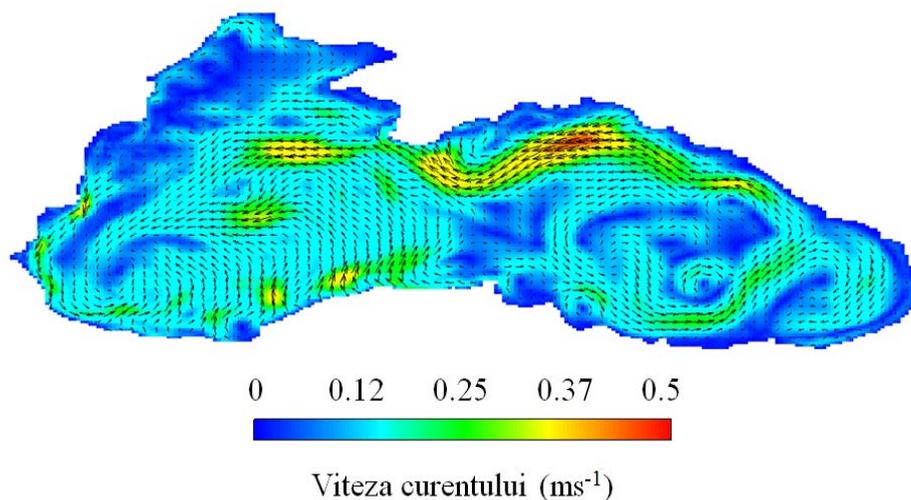


Figura 4.22. Vectorii curenților pentru data de 25 August 2010 conform simulărilor realizate cu programul de circulație Mohid.

Trebuie precizat faptul că, pentru o mai bună vizualizare a imaginilor, pentru Figurile 4.17-4.22 numărul de vectori prezenți a fost împărțit la 3 iar aceștia au fost măriți cu un factor de 1.7. De asemenea, în figurile prezentate se poate observa apariția fenomenelor specifice bazinului Mării Negre, așa cum au fost descrise în capitolul 3. Astfel se pot observa apariția turbulențelor anticiclonice de coastă și a curentului Rim de margine. Așa cum este și de așteptat, valorile vitezei curenților în zonele turbulențelor numite Batumi și Sinop sunt mai mari decât cele din alte zone. De asemenea, același lucru se poate spune și despre valorile ce apar în zonele unde poate fi observat curentul ciclonic de margine. Valorile observate în timpul lunii August sunt, așa cum este și de așteptat, mai mici decât cele din timpul lunilor Noiembrie și Februarie. Astfel, acestea rareori depășesc 1ms^{-1} . Luna Februarie 2010 prezintă cele mai mari valori privind viteza curenților, acestea depășind 2ms^{-1} la un moment dat.

4.3 Comparații ale rezultatelor obținute cu modelul Mohid cu simulări similare realizate în bazinul Mării Negre

În scopul validării rezultatelor obținute cu modelul Mohid au fost realizate comparații între rezultatele obținute în capitolul de față și cele obținute de către Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare Marină "Grigore Antipa" cu ajutorul modelului POM (Princeton Ocean Model).

Simulările realizate cu modelul POM la Institutul National de Cercetare-Dezvoltare Marină "Grigore Antipa" au fost realizate sub egida proiectului ECOOP (European Coastal Sea Operational Observing and Forecasting) și sunt realizate pe o rețea cu 324×289 ochiuri, pe 18 nivele de adâncime de tip sigma (simulările cu Mohid sunt realizate cu nivele de adâncime de tip cartezian). Domeniul de calcul este cuprins între coordonatele $44^{\circ}019' - 46^{\circ}597'$ latitudine nordică și $28^{\circ}512' - 32^{\circ}484'$ longitudine estică. Batimetria a fost obținută din diferite baze de date, cea mai importantă fiind Institutul Hidrofizic Marin din Sevastopol. Interfața apă-atmosferă

folosită a fost obținută din modelul ALADIN de la Administrația Națională de Meteorologie din România. În Figura 4.23 este prezentată zona simulată.

Au fost realizate comparații între simulările cu Mohid și POM pentru zilele de 26, 27 și 28 Februarie 2010 și 23, 24 și 29 August 2010. În Figurile 4.24-4.26 sunt prezentate comparații între simulările realizate cu POM și cele cu Mohid pentru zilele de 26, 27 și 28 Februarie 2010, iar Figurile 4.27-4.29 prezintă comparații între rezultatele obținute cu cele două modele pentru zilele de 23, 24, respectiv 29 August 2010.

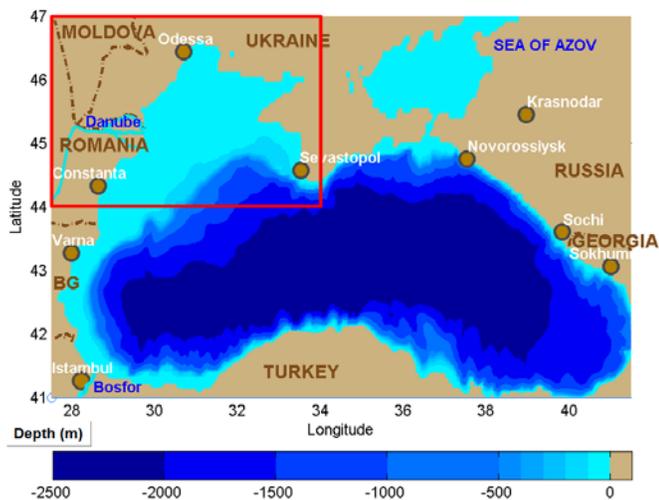


Figura 4.23. Zona țintă a simulărilor realizate cu modelul POM.

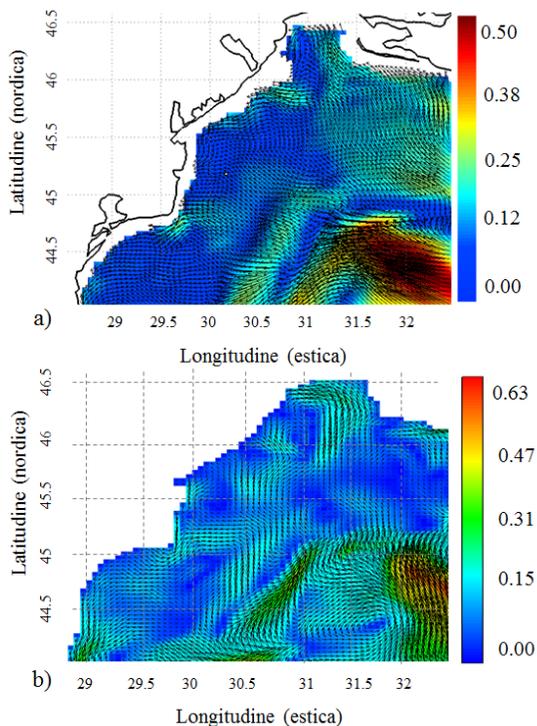


Figura 4.24. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 26 Februarie 2010.

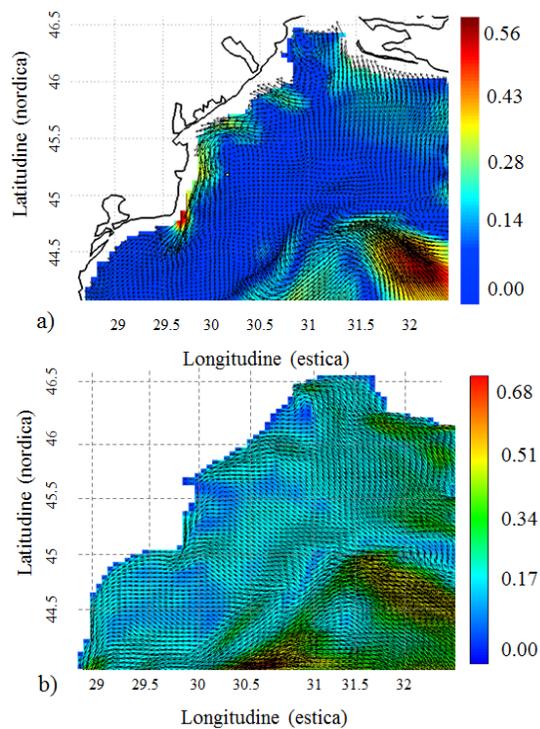


Figura 4.25. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 27 Februarie 2010.

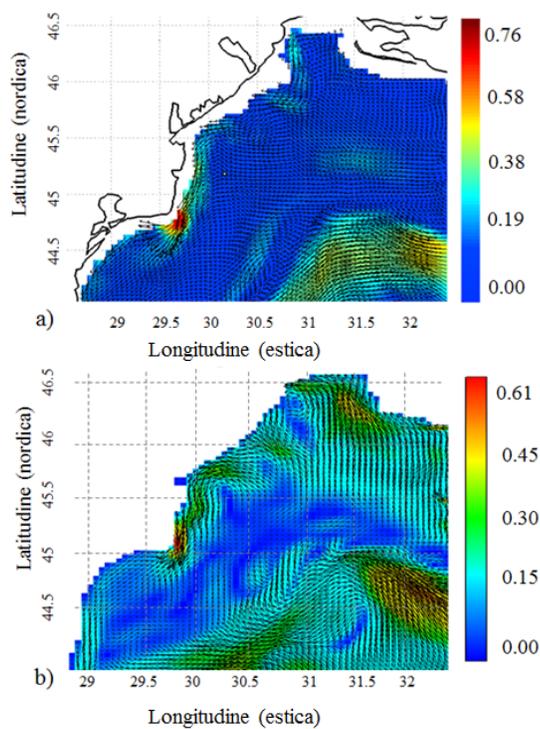


Figura 4.26. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 28 Februarie 2010.

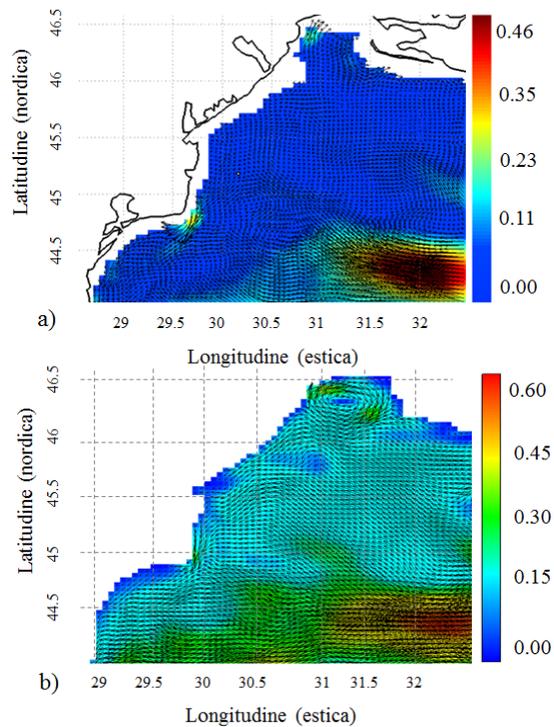


Figura 4.27. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 23 August 2010.

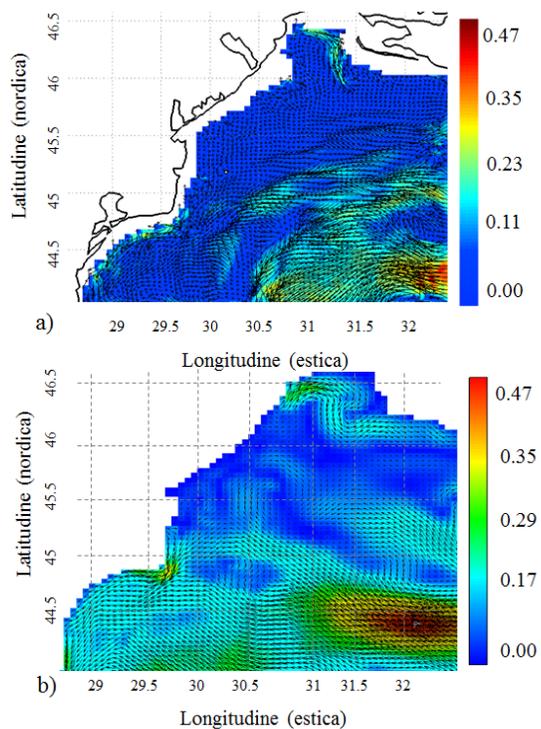


Figura 4.28. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 24 August 2010.

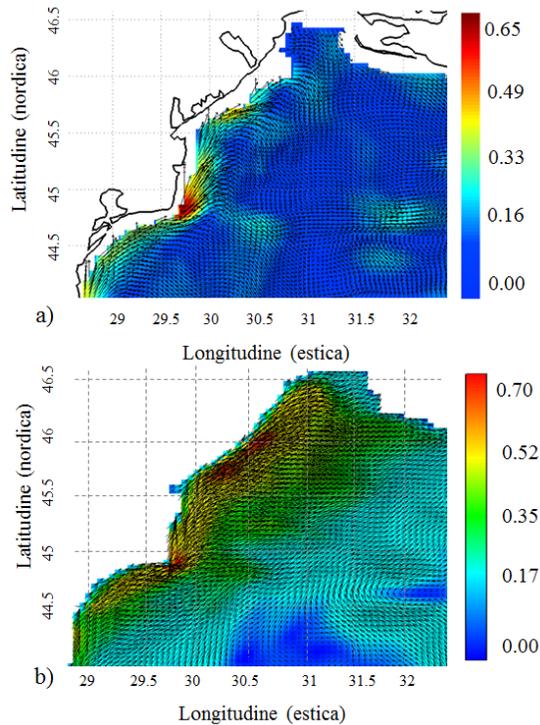


Figura 4.29. Comparații între rezultatele simulărilor obținute cu POM (a) și Mohid (b) pentru data de 29 August 2010.

4.4 Concluzii

După cum se poate observa în Figurile 4.24-4.29, zona analizată este în principal stabilă, aceasta neincluzând decât o mică parte a curentului ciclonic Rim în zona sud-estică și doar o singură turbulență anticiclonică de coastă, cea numită Sevastopol. Datorită acestor factori este de așteptat ca valorile vitezei curenților să fie, în general, mici. Viteza maximă a curentului înregistrată este de $0,76\text{ms}^{-1}$, valoare înregistrată pe data de 28 Februarie în zona costieră Românească. Simularea realizată cu modelul POM prezintă aproximativ aceleași structuri ale câmpului de curenți, cu o valoare maximă de $0,61\text{ms}^{-1}$. Viteza maximă cea mai mică observată în cadrul acestor comparații este, pentru ambele modele, de $0,47\text{ms}^{-1}$, pentru data de 24 August 2010, în zona estică a simulării.

Diferența cea mai mare a vitezei maxime a curenților dintre cele două modele este de $0,14\text{ms}^{-1}$ pentru data de 23 August 2010, urmată îndeaproape de $0,13\text{ms}^{-1}$ pentru data de 26 Februarie 2010. În ambele cazuri simulările realizate cu Mohid prezintă valorile cele mai mari. Între cele două modele pot fi observate mici diferențe cu privire la viteza sau orientarea curenților. Pentru aceasta sunt responsabili anumiți factori, cum ar fi faptul că modelele folosesc câmpuri de vânt diferite, modelul POM folosind vânt de la modelul ALADIN iar Mohid date obținute de la ECMWF. Cele două câmpuri au și rezoluții diferite, rezoluția modelului ECMWF fiind mai joasă ceea ce face ca simulările realizate cu modelul Mohid să nu poată reprezenta toate fenomenele locale. De asemenea, modelul Mohid folosește câmpuri de salinitate și temperatură, în timp ce modelul POM este bazat mai mult pe influența vântului. Luând în calcul acești factori, mici diferențe între cele două modele sunt de așteptat, totuși rezultatele obținute cu modelul Mohid nu contrazic în nici un fel pe cele obținute cu modelul POM, iar asemănările dintre cele două seturi de rezultate sunt mai mult decât evidente.

Chiar dacă există deja un model de circulație implementat pentru bazinul Mării Negre (modelul POM), adăugarea modelului Mohid la această listă își dovedește utilitatea prin posibilitatea realizării studiilor comparative între rezultatele oferite de cele două modele.

Conținutul subcapitolului 4.6 a fost prezentat în cadrul conferinței The First International Conference 3E – Energy, Environment and Efficiency cu titlul Numerical simulations of the current field in the North-Western area of the Black Sea. [88]

CAPITOLUL 5

REZULTATE EXPERIMENTALE PRIVIND MĂSURAREA CURENȚILOR ÎN BAZINUL MĂRII NEGRE

5.1 Colectarea datelor

În data de 27.05.2013 a fost realizat un experiment de măsurare a curenților în Marea Neagră. Echipamentele folosite au fost împrumutate de la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare Marină "Grigore Antipa" din Constanța. Zona în care s-a desfășurat experimentul de măsurare se află în apropierea portului de ambarcațiuni ușoare Tomis (Figura 6.1). În cadrul experimentului au fost efectuate măsurători cu ajutorul unui profilometru acustic ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ce a fost fixat la pupa unei șalupe de mici dimensiuni, orientat cu fața în jos. Măsurătorile au constat în două treceri cu aparatul după cum sunt prezentate în Figura 5.1. Măsurătoarea 1 a fost efectuată din apropierea portului Tomis spre larg pe aproximativ 1165 metri. Măsurătoarea 2 este efectuată din punctul de oprire al măsurătorii 1 până la intrarea în portul Tomis și se întinde pe 1713 metri. Viteza maximă a ambarcațiunii a fost restricționată la maxim 2m/s deoarece la viteze mai mari aparatul iese din apă și măsurătorile apar eronate.

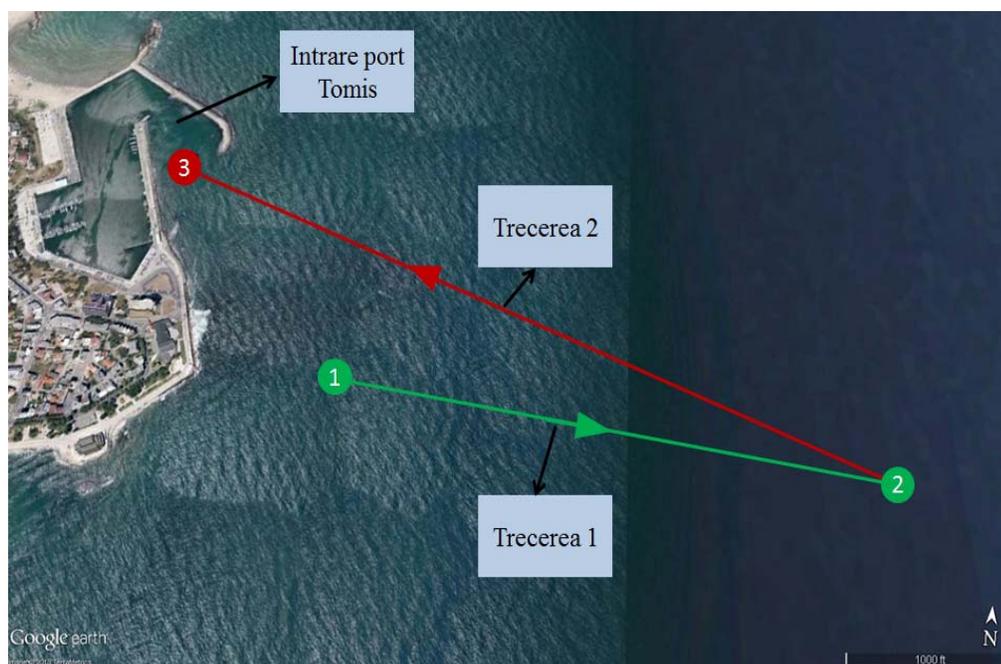


Figura 5.1. Zona de desfășurare a experimentului cu cele două treceri cu aparatul.

Figurile 5.2 și 5.3 prezintă fotografiile efectuate în cadrul operațiilor de pregătire și montare al aparatului, iar Figura 5.4 arată aparatul montat la pupa-dreapta a ambarcațiunii.



Figura 5.2. Scoaterea aparatului de măsurare din cutia de transport.



Figura 5.3. ADCP-ul a fost montat pe o placă de plastic de aproximativ 1 cm grosime, fiind fixat cu șuruburi. Placa a fost apoi fixată în zona din spate dreapta a ambarcațiunii cu două frânhii trecute pe sub șalupă și fixate în chingi.



Figura 5.4. Aparatul a fost amplasat în partea din dreapta-spate a ambarcațiunii.

ADCP-ul folosit în cadrul experimentului are o adâncime de operare standard cuprinsă între 50 și 100 de metri la o rezoluție verticală (mărimea a celulei de mediere) între 0,5-8m și o deviație standard de 12,9-2,0cm/s. Pentru configurația aleasă experimentului au fost selectate adâncimea de 15m și mărimea celulei de 0,5m, cu o deviație standard de 1,9cm/s.

Parametrii profilului:

Acuratețea vitezei: 0.3% din viteza apei $\pm 0.3\text{cm/s}$

Rezoluția vitezei: 0.1cm/s

Domeniul vitezei: $\pm 5\text{m}/(\text{default})\pm 20\text{m}/(\text{maximum})$

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

Rata de măsurare: 2Hz (în general)

Profilul intensității semnalului acustic:

Rezoluția Verticală: mărimea celulei pe coloana de apă

Domeniu dinamic: 80dB Precizie: $\pm 1.5\text{dB}$

Caracteristicile traductorului și a dispozitivului electronic:

Unghiul fascicolului sonor: 20°

Configurație: 4-bimuri, convex

Memorie internă: sloturi; card de memorie de 256Mb

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

Senzorul standard de temperatură:

Domeniu: $-55^\circ - 45^\circ\text{C}$

Precizie: $\pm 0.4^\circ\text{C}$

Rezoluție: 0.01°

Detectarea înclinatiei:

Domeniu: $\pm 15^\circ$

Acuratețe: $\pm 0.5^\circ$

Precizie: $\pm 0.5^\circ$

Rezoluție: 0.01°

Busola (tip, caracteristica calibrate în teren):

Acuratețe: $\pm 2^\circ$

Precizie: $\pm 0.5^\circ$

Rezoluție: 0.01°

Maximum: $\pm 15^\circ$

Conectarea la sursa de curent electric:

Input extern: 20 –50VDC

Tensiunea bateriei interne: 42-28VDC

Capacitatea bateriei: @ 00°C : 450 watt ore

Domeniul de operare în mediu:

Temperatura de operare: $-55^\circ - 45^\circ\text{C}$

Temperatura de stocare: $-330^\circ - 60^\circ\text{C}$

Greutate în aer: 13.00kg

Greutate în apă: 4.5kg (fără baterie)

Software:

Teledyne RDI's Windows TM

WinRiver II — Achiziție date

WinADCP — Export date

Dimensiuni: H=398mm, Phi=229/178/205mm [89].

Pentru colectarea datelor ADCP-ul a fost conectat la un calculator militar de teren rezistent la apă, cu sistem de operare Windows XP. Programul folosit pentru citirea datelor a fost Winriver II, software disponibil de pe site-ul Teledyne RD Instruments, pagina web a firmei producătoare a ADCP-ului. Pentru menținerea liniei drepte de deplasare s-a folosit un GPS de teren, rezistent la apă. În Figurile 5.5 și 5.6 sunt prezentate fotografiile ale monitorului calculatorului de teren, respectiv a GPS-ului, fotografii efectuate în timpul operațiunii de înregistrare a datelor. Figura 5.7 prezintă o fotografie a aparatului de măsurare în timpul desfășurării experimentului.

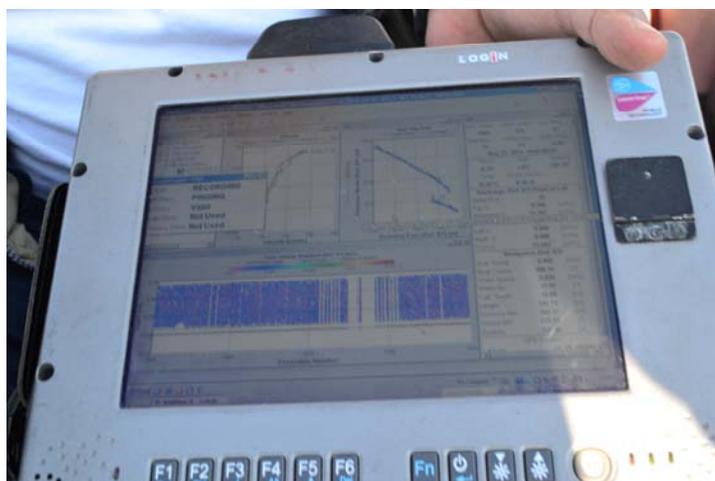


Figura 5.5. Imagine a calculatorului în timpul înregistrării datelor de la ADCP.



Figura 5.6. Fotografie efectuată în cadrul experimentului.



Figura 5.7. Fotografie a aparatului de măsurare luat în timpul desfășurării experimentului.

5.2. Analiza datelor obținute în timpul experimentului

Datele colectate în timpul experimentului pot fi citite și interpretate de o serie de programe disponibile pe pagina web a companiei producătoare. Printre acestea se numără Winriver I, Winriver II, WinADCP, WinSC. În cazul de față, pentru citirea și interpretarea datelor a fost folosit programul Winriver II. În Figura 5.8 este prezentată o captură de ecran a datelor încărcate în programul Winriver II. La deschiderea aplicației pot fi observate 5 ferestre, delimitate în imagine cu chenar verde. În fereastra 1 sunt prezentate date referitoare la măsurătorile efectuate: numărul acestora, configurația, salvări precedente, etc. Fereastra 2 prezintă undele sonore din momentul analizat, în timp ce fereastra 3 prezintă traiectoria ambarcațiunii în timpul funcționării ADCP-ului. În fereastra 4 sunt prezentate citirile efectuate de aparat, adâncimea, viteza sau calitatea înregistrării efectuate. Fereastra 5 arată date cu privire la poziția ambarcațiunii în momentul ales în fereastra 4. De asemenea tot în fereastra 5 se pot obține date cu privire la deplasarea ambarcațiunii, distanța parcursă, temperatura înregistrată și presiunea.

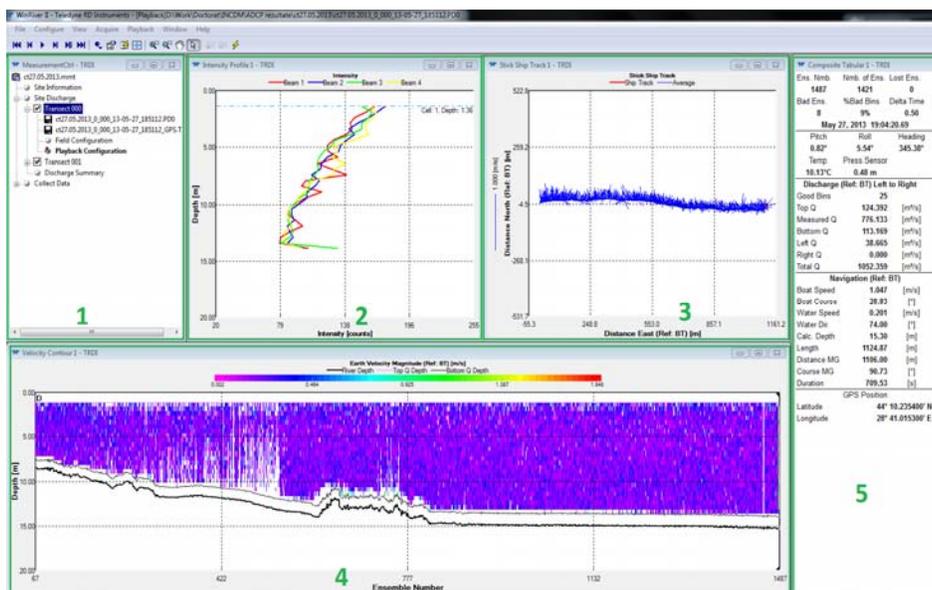


Figura 5.8. Captură de ecran a datelor importate în programul Winriver II.

Figura 5.9 prezintă o imagine detaliată a ferestrei 4, captură efectuată într-un punct de maximă adâncime, după cum prezintă acul indicator. În figură se poate observa conturul fundului mării ce atinge în acest caz adâncimea de 13,36m. De asemenea se pot observa frecvența citirilor precum și variația vitezei curentului de la $0,002\text{ms}^{-1}$ până la $1,848\text{ms}^{-1}$. După cum poate fi observat în Figura 5.9, viteza curentului în punctul prezentat este de aproximativ $0,2\text{ms}^{-1}$, viteză normală a curenților pentru zona analizată. Figurile 5.10 și 5.11 prezintă variații înregistrate de senzorul de temperatură, respectiv presiune, pe durata primei treceri cu aparatul.

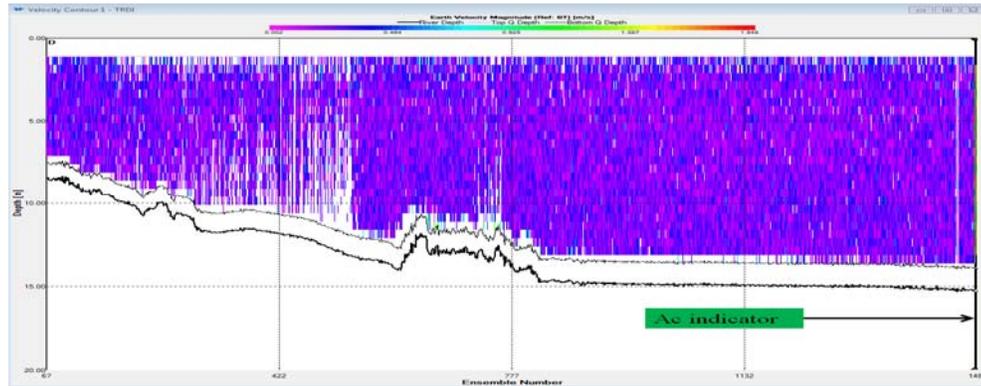


Figura 5.9. Vedere detaliată a ferestrei 4.

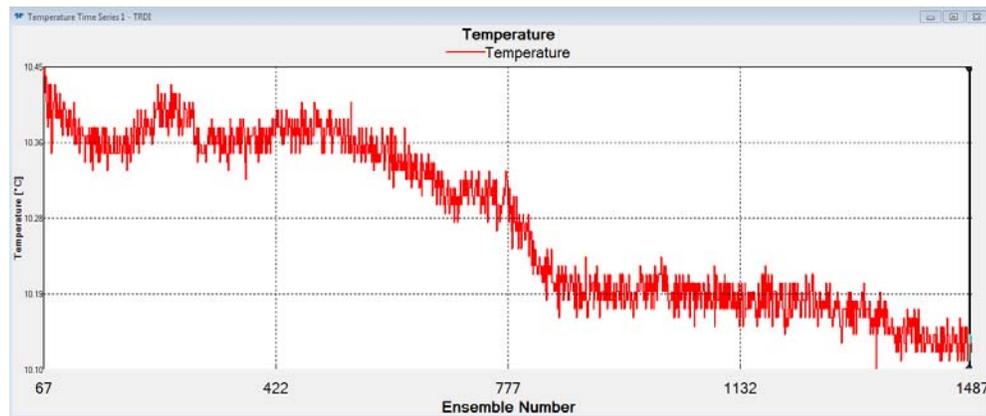


Figura 5.10. Variațiile înregistrate de senzorul de temperatură pe durata primei treceri cu aparatul.

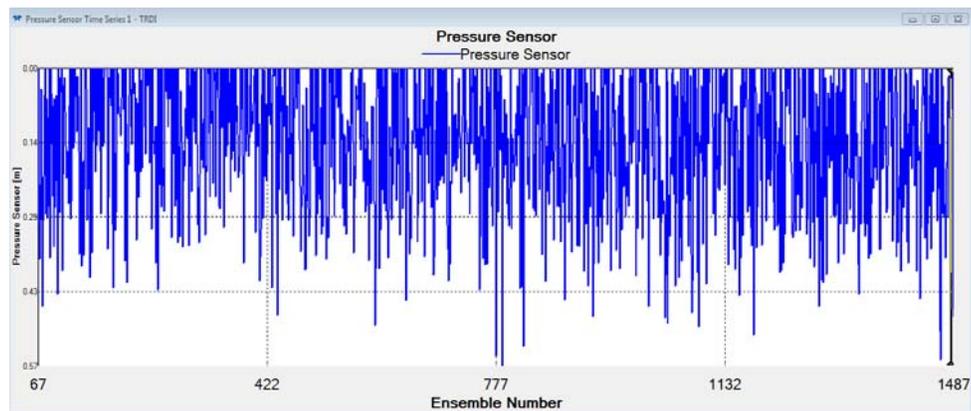


Figura 5.11. Variațiile înregistrate de senzorul de presiune pe durata primei treceri cu aparatul.

În tabelul 5.1. sunt prezentate viteza curentului înregistrată în punctul acului indicator, adâncimea la care a fost înregistrată viteza, precum și direcția curentului. Trebuie precizat faptul că adâncimea maximă înregistrată este de 13,36m, orice citire peste această adâncime fiind reprezentată în program prin cuvintele BAD (rău, eng.) înscrise cu roșu.

Figura 5.12 prezintă reprezentarea citirilor cu ADCP-ul pe parcursul celei de-a doua treceri cu acesta, pe linia descrisă de punctele 2-3 din Figura 5.1. De data aceasta acul indicator este fixat în punctul de final al experimentului, intrarea în portul Tomis. Figurile 5.13 și 5.14 prezintă înregistrările efectuate de senzorii de temperatură și presiune pe durata acestei măsurători.

Tabelul 5.1. Viteza curentului în punctul ales pentru analiză.

Adâncime (m)	Viteză curent (ms^{-1})	Direcție curent ($^{\circ}$)
1.36	0.376	99.6
1.86	0.352	50.8
2.36	0.097	280.2
2.86	0.242	153.7
3.36	0.489	123.2
3.86	0.377	80.3
4.36	0.161	227.9
4.86	0.275	182.2
5.36	0.163	86.2
5.86	0.338	80.3
6.36	0.125	118.4
6.86	0.247	238.9
7.36	0.043	41.8
7.86	0.152	286.5
8.36	0.223	237.3
8.86	0.127	160.3
9.36	0.067	130.1
9.86	0.308	227.7
10.36	0.157	161.1
10.86	0.241	19.3
11.36	0.186	133.3
11.86	0.181	88.8
12.36	0.211	11.7
12.86	0.165	85.8
13.36	0.207	45.1
13.86	BAD	BAD
14.36	BAD	BAD
14.86	BAD	BAD

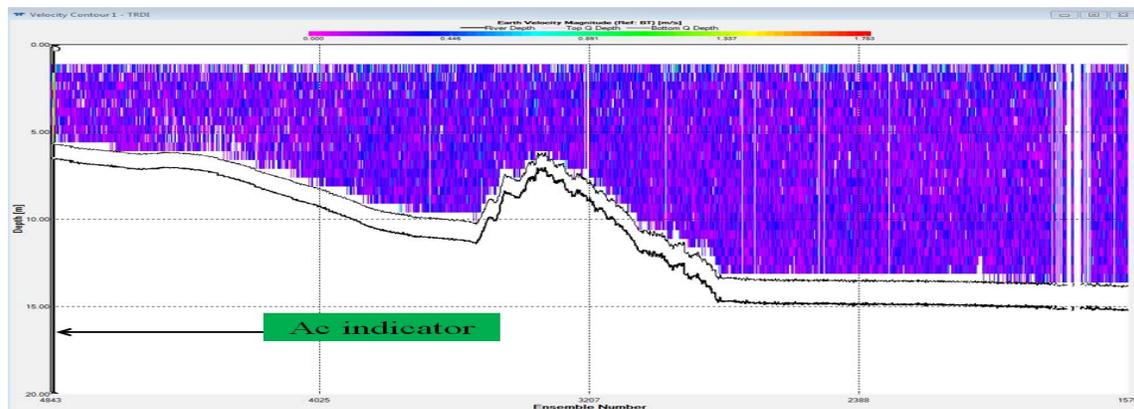


Figura 5.12. Reprezentarea citirilor aparatului pe durata celei de-a doua treceri.

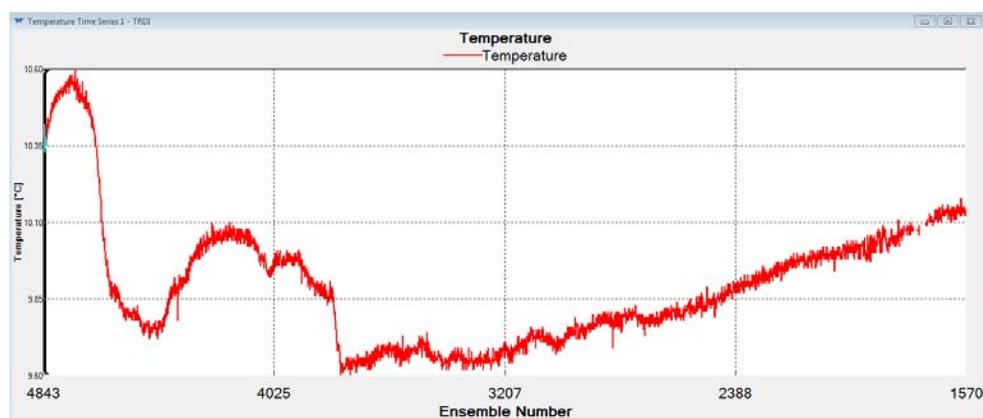


Figura 5.13. Variațiile înregistrate de senzorul de temperatură pe durata celei de-a doua treceri cu aparatul.

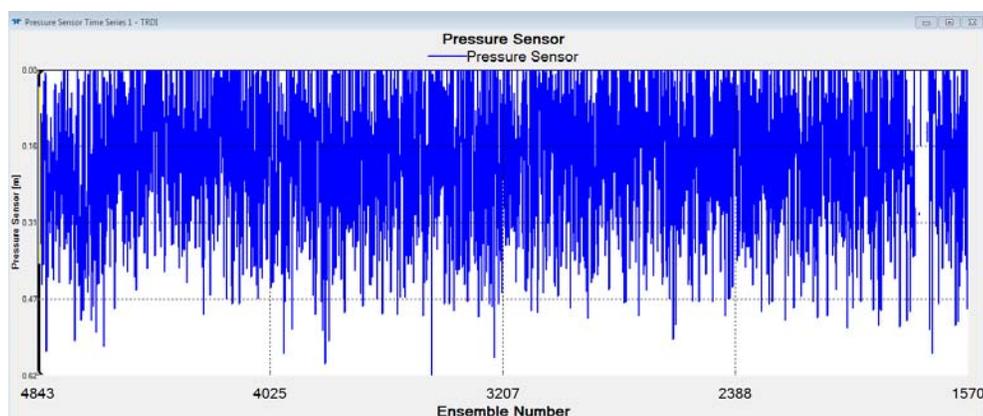


Figura 5.14. Variațiile înregistrate de senzorul de presiune pe durata celei de-a doua treceri cu aparatul.

De asemenea, în Tabelul 5.2 sunt prezentate viteza curentului și direcția în punctul 3, finalul experimentului de măsurare. Așa cum se poate observa din tabel, adâncimea la intrarea în portul Tomis este de maxim 5.36m.

Tabelul 5.2 Viteza și direcția curentului în punctul 3, finalul experimentului.

Adâncime (m)	Viteză curent (ms^{-1})	Direcție curent ($^{\circ}$)
1.36	0.256	118.0
1.86	0.045	287.5
2.36	0.049	170.5
2.86	BAD	BAD
3.36	0.112	358.6
3.86	0.061	229.5
4.36	0.080	276.0
4.86	0.180	10.4
5.36	0.315	214.9
5.86	BAD	BAD
6.36	BAD	BAD
6.86	BAD	BAD
7.36	BAD	BAD
7.86	BAD	BAD

5.3 Concluzii

În cadrul experimentului nu au fost observate anomalii sau situații speciale. Datele înregistrate sunt specifice pentru zona de coastă a bazinului Mării Negre, pentru perioada de timp în care s-a desfășurat experimentul. Temperatura apei pe parcursul celor două treceri s-a menținut între valorile de 9,60-10,60°C. Se poate observa pe parcursul primei treceri cu aparatul o temperatură ușor mai ridicată, cu un minim de 10,10°C față de 9,60°C înregistrate la cea de-a doua trecere, fapt datorat și orei înaintate la care s-a finalizat experimentul (19.40 PM). În general vitezele curenților se mențin la valori cuprinse între 0,003 și 0,4 ms^{-1} cu mici excepții, cazuri unde valoarea de 0,4 ms^{-1} este depășită ajungând chiar și la 0,8 ms^{-1} . Acestea sunt totuși cazuri izolate.

CAPITOLUL 6

IMPLEMENTAREA UNUI SISTEM DE MODELE DE VALURI ȘI CURENȚI PENTRU EVALUAREA PROPAGĂRII AGENȚILOR POLUANȚI ÎN MEDIUL MARIN

6.1 Sistemul propus

În capitolul ce urmează vor fi prezentate bazele unui sistem cuplat asociat, destinat estimării operaționale a condițiilor de mediu din bazinul Mării Negre. Figura 6.1 prezintă structura sistemului propus. Câmpurile de vânt sunt asigurate de NCEP, ECMWF sau WRF. Modulele offshore sunt alcătuite din modelele SWAN pentru generarea valurilor și MOHID pentru circulația curenților. Pentru zonele de coastă, domeniul computațional de mare rezoluție SWAN sunt considerate împreună cu modelele SURF-ISSM.

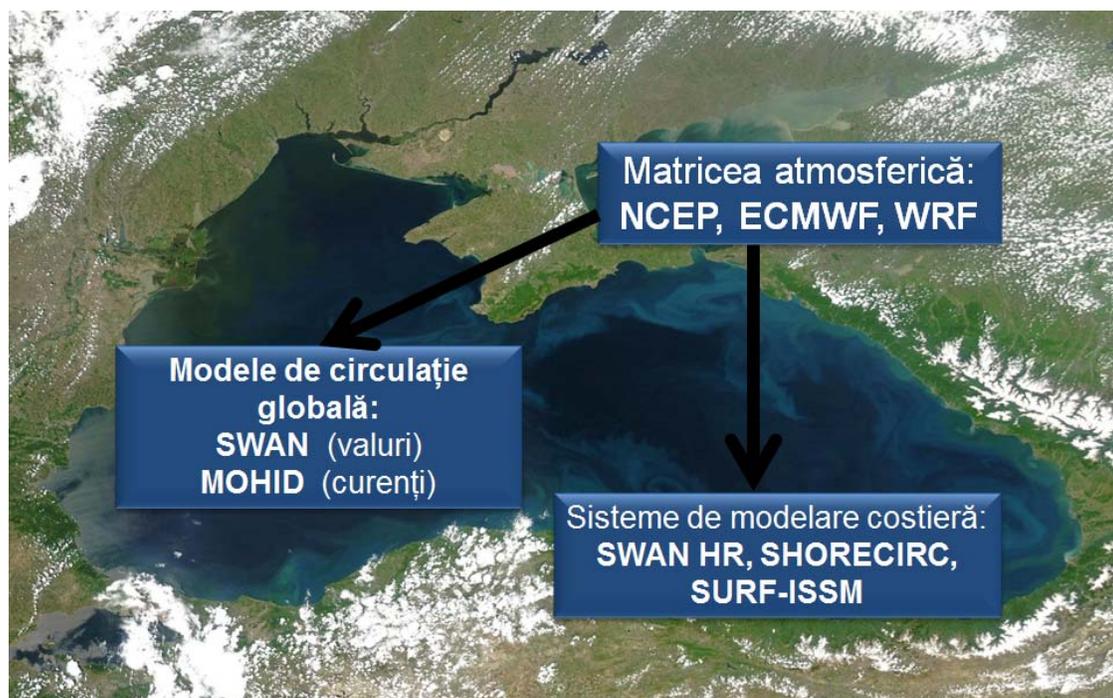


Figura 6.1. Structura sistemului propus.

6.2 Implementarea sistemului de modele de valuri și curenți

În cazul de față a fost aleasă combinația formată din modelul Mohid pentru curenți și SWAN pentru valuri. Cu ajutorul modelului Mohid au fost efectuate simulări zilnice, la interval de 24 de ore pentru anul 2010 (capitolul 4). Rezultatele obținute cu ajutorul modelului de circulație Mohid au fost convertite și inserate în modelul SWAN, cu ajutorul unor scripturi realizate în Matlab. Vântul a fost obținut de pe site-ul ECMWF, la intervale de 4 ore. Modelul SWAN permite efectuarea simulărilor ce conțin pași de timp diferiți: astfel cuplarea curenților la fiecare 24 de ore cu datele de intrare de vânt la fiecare 4 ore devine posibilă. Pentru pașii de timp intermediari necesari, modelul SWAN interpolează datele între pasul de timp precedent și cel următor. Simulările SWAN au fost rulate în regim nestaționar bidimensional, cu un pas de timp de 1 oră, pe o rețea de 175x75 ochiuri ce acoperă întregul bazin al Mării Negre. Atât batimetria cât și curenții și vântul au fost realizate sau convertite cu ajutorul programului Matlab. Pentru fiecare pas de timp, modelul efectuează un număr maxim de 50 de iterații sau până se atinge convergența de 98%. În cele ce urmează, este prezentat conținutul fișierului de comandă folosit pentru simularea lunii Aprilie 2010. Așa cum se poate observa, pentru efectuarea calculelor au fost alese expresiile semi-empirice derivate din rezultatele JONSWAP pentru disiparea fricțiunii pe fundul mării. De asemenea, termenul AGROW indică faptul că pentru creșterea valului a fost folosit termenul descris de Cavaleri și Malanotte [90]. Modelului i s-a cerut să scrie rezultate la fiecare 6 ore în 8 fișiere separate.

Concomitent, pentru a evalua diferențele ce apar, au fost efectuate simulări în aceleași condiții, dar fără a lua în calcul influența curenților. În Figurile 6.2-6.13 este prezentat parametrul H_s , înălțimea semnificativă a valului, pentru data de 15 a fiecărei luni la ora 12, simulări efectuate cu și fără curenți. Cu vectori de culoare neagră a fost reprezentată direcția vectorului H_s , pe fundal cu culori de la albastru la roșu fiind reprezentată valoarea numerică, în metri.

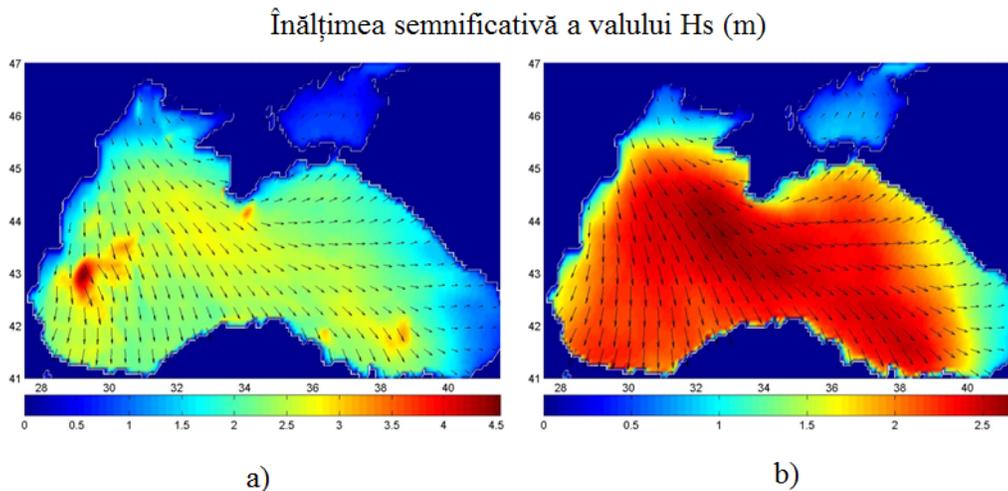


Figura 6.2. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Ianuarie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m)

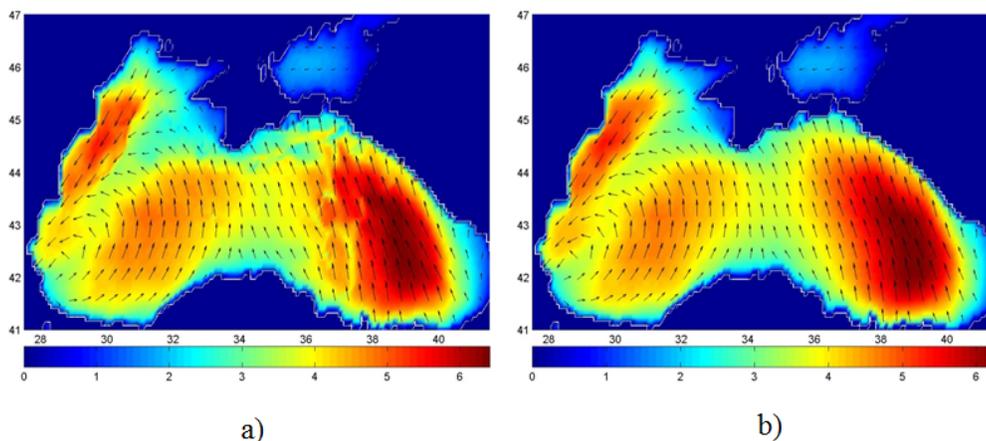


Figura 6.3. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Februarie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m)

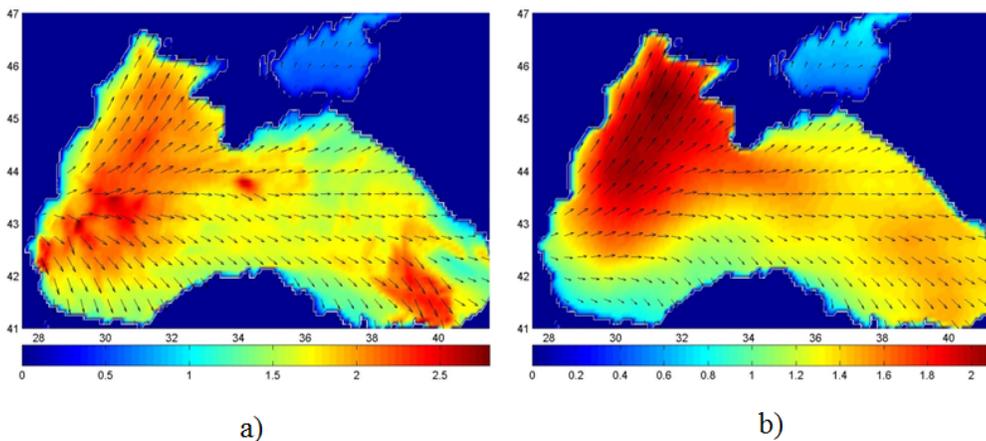


Figura 6.4. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Martie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m)

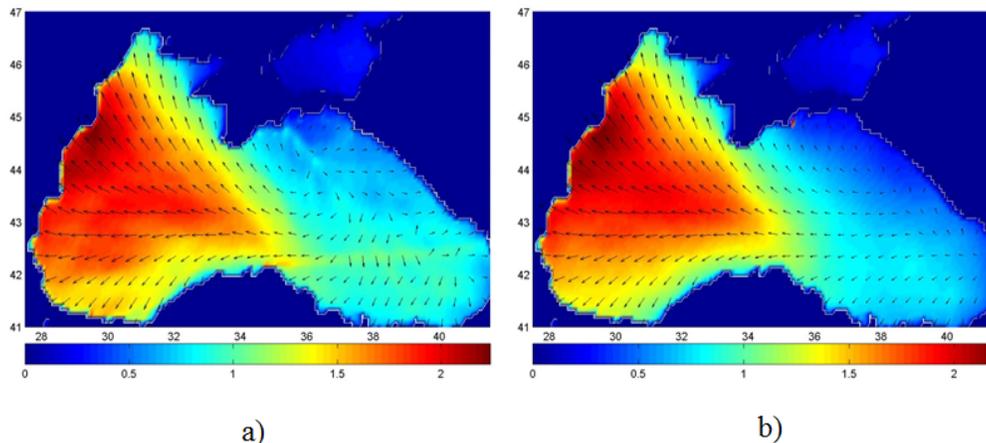


Figura 6.5. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Aprilie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

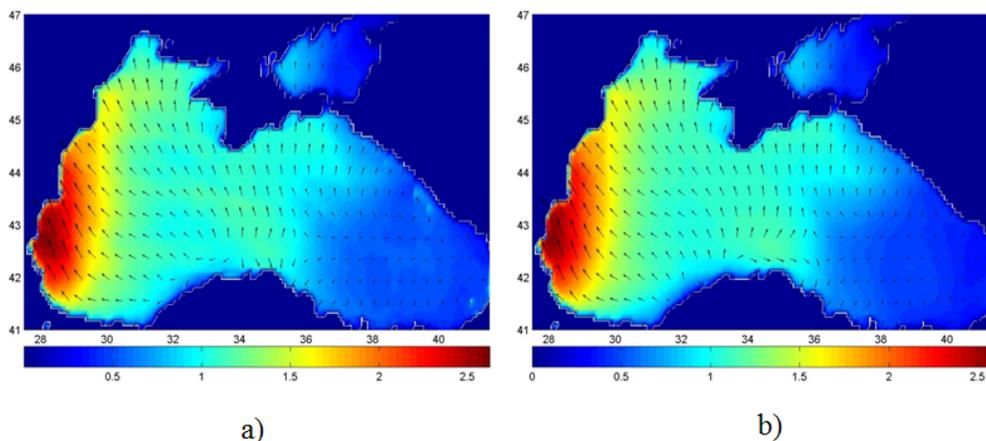


Figura 6.6. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 Mai 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

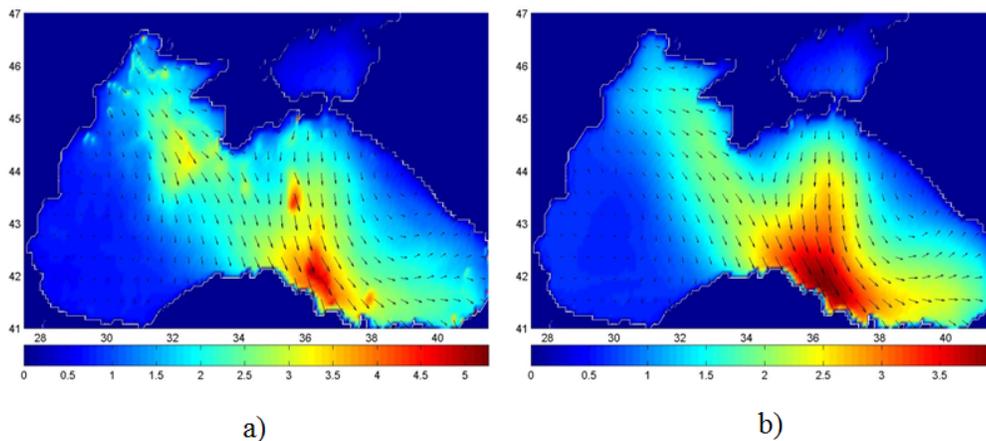


Figura 6.7. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 Iunie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

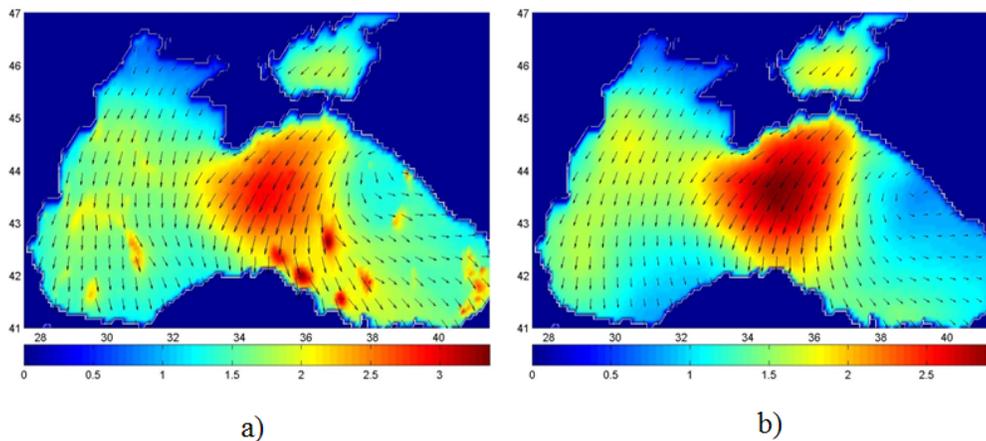


Figura 6.8. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 Iulie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

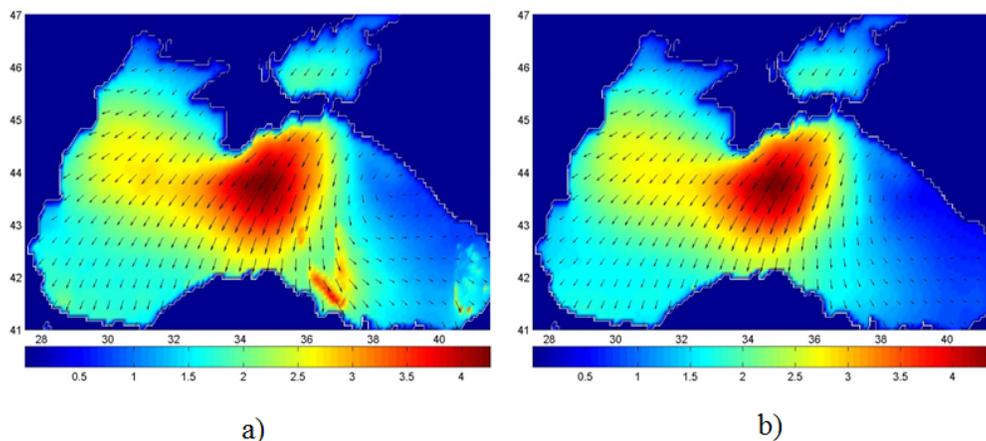


Figura 6.9. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 August 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

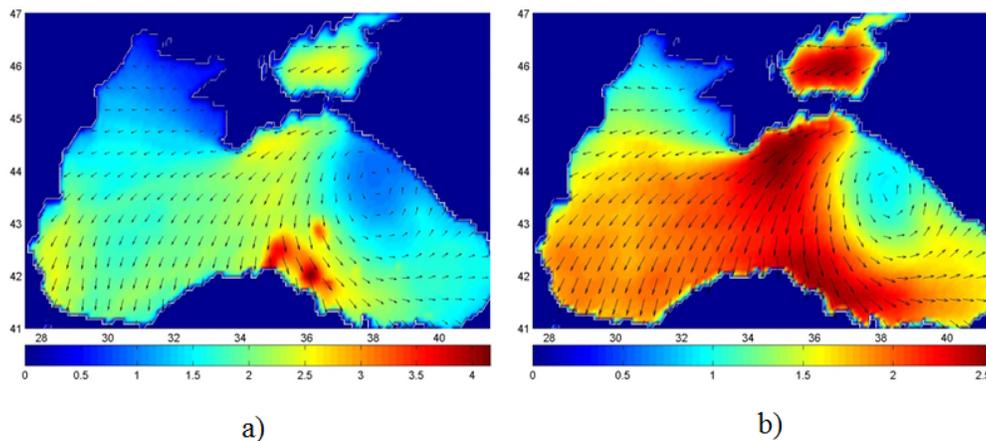


Figura 6.10. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 Septembrie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălţimea semnificativă a valului Hs (m)

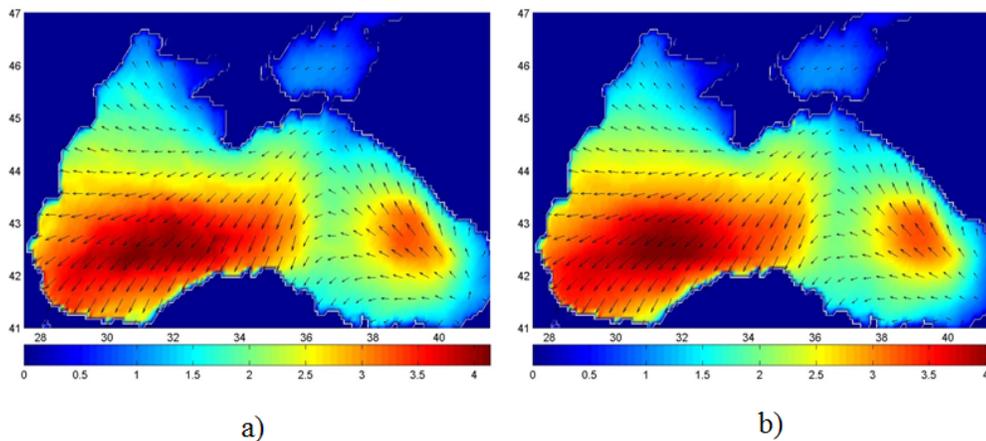


Figura 6.11. Înălţimea semnificativă a valului pentru data de 15 Octombrie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenţii rezultaţi din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenţi.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m)

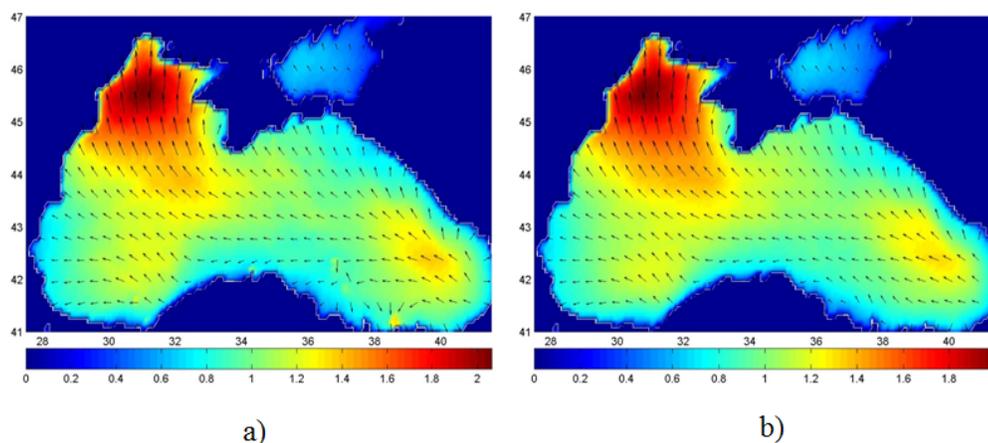


Figura 6.12. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Noiembrie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m)

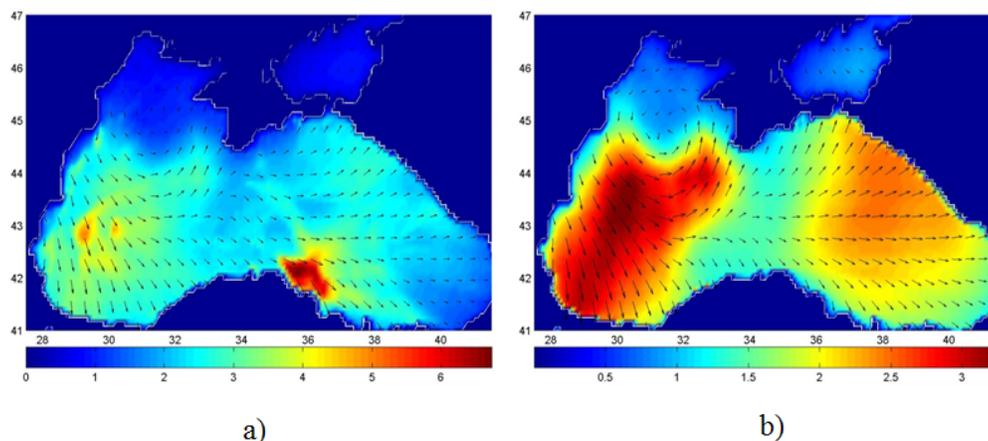


Figura 6.13. Înălțimea semnificativă a valului pentru data de 15 Decembrie 2010, ora 12: a) simulări efectuate cu curenții rezultați din modelul Mohid, b) simulări efectuate fără curenți.

Din examinarea rezultatelor se constată, așa cum este demonstrat și de figurile prezentate mai sus, că prezența curenților influențează atât valoarea înălțimii valurilor formate cât și orientarea acestora. În majoritatea cazurilor, prezența curenților crește valoarea termenului Hs. Pentru o examinare detaliată a acestui fenomen, au fost analizate 10 puncte în care apar diferențe majore între înălțimea valului în prezența curenților și în absența acestora. Trebuie precizat, totuși, că diferențele, deși semnificative în unele cazuri, nu sunt permanente. În Figura 6.14 sunt prezentate, cu roșu, pozițiile celor 10 puncte alese pentru analiză. Pe fundal este prezentată batimetria Mării Negre. Pentru cele zece puncte analizate s-a calculat termenul ΔH_s , definit după cum urmează:

$$\Delta H_s = H_{s_{\text{curenți+vânt}}} - H_{s_{\text{vânt}}} \quad (6.4)$$

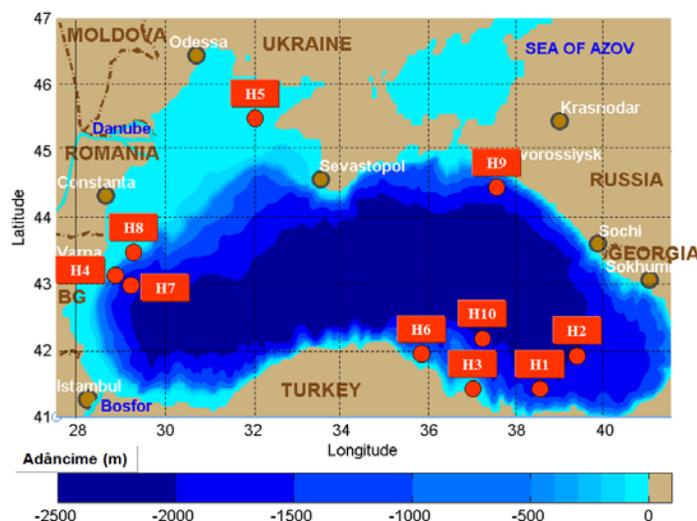


Figura 6.14. Pozițiile celor 10 puncte alese pentru analiză.

În tabelul 6.1 sunt prezentate coordonatele punctelor considerate pentru analiză precum și elemente statistice ale acestora cum ar fi minim, maxim, media, valoarea mediană, deviația standard, skewness și kurtosis.

Tabelul 6.1. Coordonatele punctelor considerate și analiza statistică a valorilor înălțimilor semnificative ale valului în punctele considerate.

Punct	Coordonate	Minim (m)	Maxim (m)	Media (m)	Valoare mediană (m)	Deviația standard (m)	Skewness	Kurtosis
H1	41.56N, 38.7E	-0.26	6.15	0.26	0.1	0.53	4.85	36.58
H2	41.96N, 9.42E	-0.39	5.92	0.17	0.07	0.39	6.72	74.44
H3	41,56N, 7,18E	-0.37	7.15	0.36	0.11	0.64	4.05	31.9
H4	43,16N, 8,86E	-0.49	6.04	0.23	0.02	0.62	3.72	22.71
H5	45,48N, 1,98E	-0.32	5.94	0.16	0.009	0.55	5.51	42.5
H6	41,96N, 5,82E	-0.48	5.25	0.33	0.08	0.69	3.32	16.75
H7	43N, 28,86E	-0.47	5.36	0.28	0.03	0.7	3.01	14.31
H8	43,48N, 9,34E	-0.72	6.15	0.19	0.03	0.62	5.05	36.95
H9	44,44N, 4,78E	-0.61	5.43	0.14	0.03	0.48	5.74	49.32
H10	42,2N, 36,54E	-0.33	4.85	0.28	0.08	0.57	3.52	19.41

Figurile 6.15-6.17 prezintă variația în timp a diferenței dintre înălțimile semnificative ale valului pentru cele zece puncte (ΔH_s), în metri, pe parcursul întregului an 2010.

Așa cum se poate observa în tabelul 6.1, valorile maxime ale diferenței înălțimii semnificative a valului (ΔH_s) ating valori de până la 7,15m pentru punctul H3, urmate îndeaproape de punctele H1 și H8 cu valoarea de 6,15m. Media este cuprinsă între 0,14m pentru punctul H9 și 0,36 pentru H3. De asemenea, valoarea mediană atinge valori cuprinse între 0,009m pentru punctul H5 și 0,11m pentru H3.

Dispersia maximă în raport cu valoarea medie, sau deviația standard, are valori cuprinse între 0,39m pentru punctul H2 și 0,7 pentru H7. Skewness-ul sau măsura distribuției simetriei datelor are valori cuprinse între 3,01 pentru H7 și 6,72 pentru punctul H2. Kurtosis-ul, ce reprezintă concentrația relativă a datelor în raport cu centrul, contra distribuției frecvenței atunci

când este comparată cu distribuția normală, prezintă valori cuprinse în general între 14,31 pentru punctul H7 și 42,39 pentru H9, cu excepția punctului H2 ce prezintă un kurtosis de 74,44.

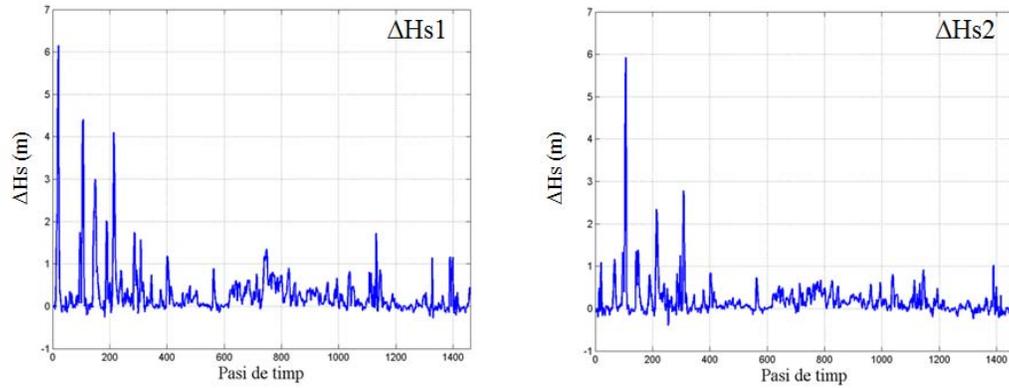


Figura 6.15. Variația termenului ΔH_s (m) în punctele H1 și H2.

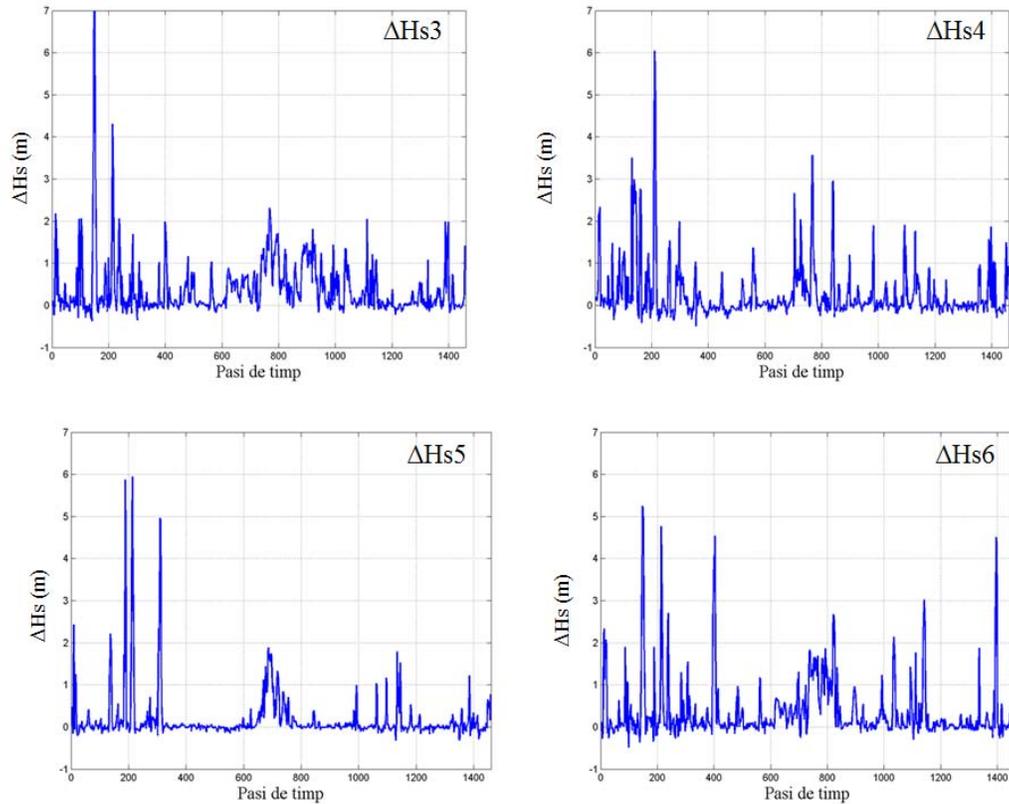
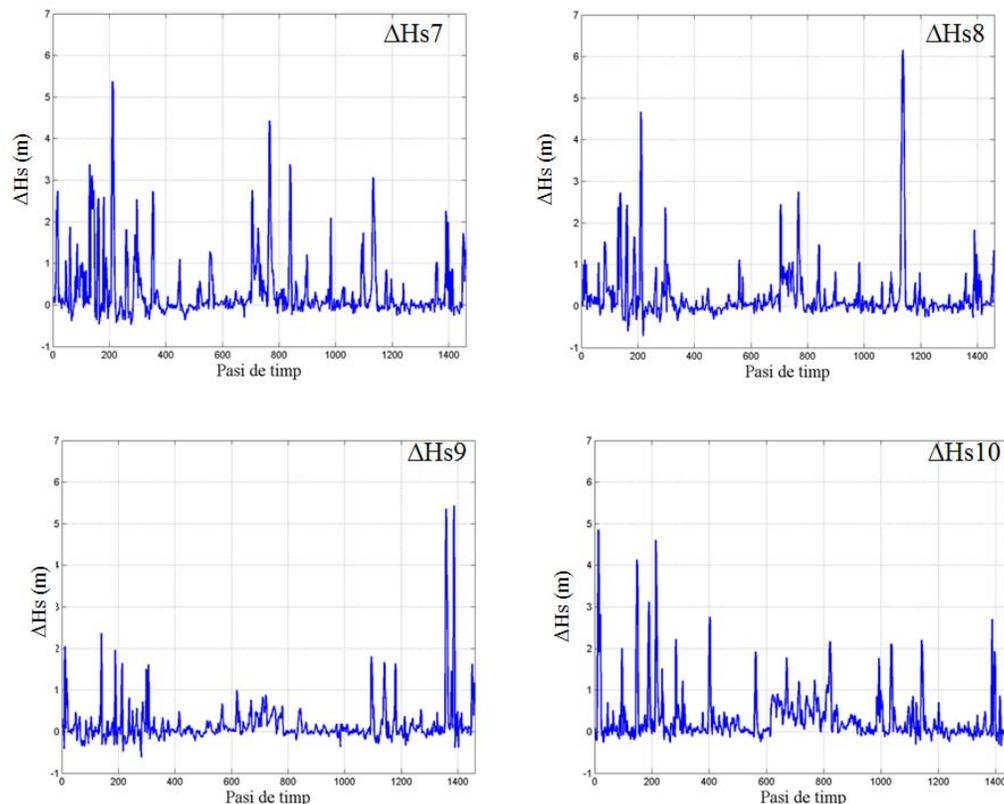


Figura 6.16. Variația termenului ΔH_s (m) în punctele H3, H4, H5 și H6.

Figura 6.17. Variația termenului ΔH_s (m) în punctele H7, H8, H9 și H10.

6.3 Concluzii

Prezența curenților în simulări modifică nu doar valoarea termenului H_s (înălțimea semnificativă a valului) ci și direcția generală a valului, fapt demonstrat de figurile 6.1-6.13. Astfel se constată că există o creștere generală a înălțimii semnificative a valului atunci când sunt luați în calcul curenții, chiar dacă aceștia au valori în general mici, așa cum este cazul pentru bazinul Mării Negre.

Prin urmare, se validează importanța implementării unui astfel de sistem cuplat asociat valuri-curenți, ce folosește curenții calculați de un model specializat (Mohid) și, luând astfel curenții în calcul, generează valurile. Modelul propus poate fi folosit nu doar pentru a studia fenomenele fizice specifice ce apar în mediul marin, ci și în cazul nefericit al accidentelor navale soldate cu deversări de petrol, fapt ce va fi tratat în capitolul următor.

CAPITOLUL 7

SCENARII PRIVIND PROPAGAREA POLUĂRII ÎN CAZUL UNOR ACCIDENTE IPOTETICE CE AR PUTEA AVEA LOC ÎN BAZINUL MĂRII NEGRE

Formula propusă pentru calculul mișcării petei de petrol ia în considerare influența curenților și deriva Stokes:

$$V = V_c + V_{Stokes} \quad (7.1)$$

Deriva Stokes poate fi estimată folosind formula spectrală:

$$\vec{v}_{Stokes} = \frac{1}{\pi} \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} \int_0^{2\pi} \sigma k e^{2kz} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta, \quad (7.2)$$

unde k reprezintă numărul de val, z poziția particulei de apă față de suprafață. Cu toate acestea, integrarea efectuată pentru toate punctele simulării este considerată o metodă ineficientă din punct de vedere al timpului de calcul. Prin urmare \vec{v}_{Stokes} va fi calculată estimând relația de transport masic din teoria de ordin 2 [148]:

$$\vec{v}(z) = \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \cdot \frac{C}{2} \cdot \frac{\cosh[4\pi(z+d)/L]}{\sinh^2(2\pi d/L)}. \quad (7.3)$$

unde L este lungimea de undă, C este viteza de fază definită drept $\frac{L}{T}$, T perioada, z poziția particulei de apă față de suprafață, în cazul de față $z=0$, iar H înălțimea valului. În loc de H va fi folosită media pătratică a înălțimii valului, H_{rms} ce va fi dedus considerând distribuția Rayleigh. Este cunoscut faptul că, viteza de transport masic în cazul mișcării irotazionale creează o derivă în direcția mișcării valului (de ordinul ka^2 unde k este numărul de val iar a amplitudinea acestuia). Totuși, în cazul în care apa este contaminată de o peliculă de fluid se va crea o mișcare între peliculă și fluid, mișcare datorată vâscozității. În [149] se arată că pentru apă adâncă, particula de fluid contaminant curge înaintea particulei de apă de la suprafață:

$$\Delta v_{Stokes} = \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \cdot C \coth^2 \left(\frac{2\pi d}{L} \right). \quad (7.4)$$

Datorită curgerii la suprafață, expresia excesului de viteză devine astfel:

$$\Delta v_{Stokes} = \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \cdot C \quad (7.5)$$

Ceea ce înseamnă că o peliculă de petrol se mișcă mai repede decât suprafețele curate de apă, viteza totală a derivatei Stokes, fiind astfel suma dintre ecuațiile 7.4 și 7.5:

$$V_{Stokes} = \frac{7}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \cdot C \quad (7.6)$$

Sistemul folosit în prezenta simulare este cel prezentat în capitolul 6 al tezei, format din curenți calculați folosind modelul Mohid și valori calculate cu modelul SWAN. Deriva Stokes s-a calculat folosind formula 7.5, H,L și C, fiind obținute din fișierele de output ale modelului SWAN. [150-154] Observarea rutelor navale utilizate de către petroliere s-a realizat cu ajutorul site-ului marinetraffic.com, site ce afișează poziția autodeclarată a navelor în timp real. În Figura 7.1 este prezentată harta rutelor navale și poziția petrolierelor pentru data de 30 Octombrie 2013. În Figura 7.1 sunt reprezentate cu albastru navele de pasageri, cu verde cargoboturile și cu roșu tancurile petroliere. Astfel, se poate observa că o rută intens folosită pentru transportul petrolului în bazinul Mării Negre este cea dintre portul Novorossiysk și strâmtoarea Bosfor, rută ce asigură transportul petrolului dinspre Marea Caspică spre Mediterană.



Figura 7.1. Harta poziției navelor în timp real la data de 30 Octombrie 2013.

7.1 Primul studiu de caz

Accidentul ipotetic a fost calculat începând cu ziua de 15 Februarie 2010, ora 18. Condițiile de mediu din bazinul Mării Negre pentru această dată prezintă caracteristici tipice pentru furtună, cu înălțimi ale valului de depășesc 7 metri. În Figura 7.2 sunt prezentați vectorii de val (cu negru) și înălțimea acestora, precum și poziția petrolierului în momentul apariției accidentului (cu alb). Se presupune că la momentul producerii accidentului petrolierul se află la coordonatele: 42.4°N/32.1°E.

În Figura 7.3 sunt prezentați curenții calculați pentru data de 15 Februarie 2010 ora 18, momentul producerii accidentului. Figura 7.4 focalizează pe zona în care s-a produs accidentul, soldat cu deversare de petrol. Figurile 7.4-7.6 prezintă mișcarea petei de petrol până când aceasta se împrăștie spre larg, 36 de ore mai târziu. Figura 7.8 prezintă traiectoria urmată de pata de petrol, cu roșu fiind însemnate pozițiile petei de petrol la fiecare 12 ore.

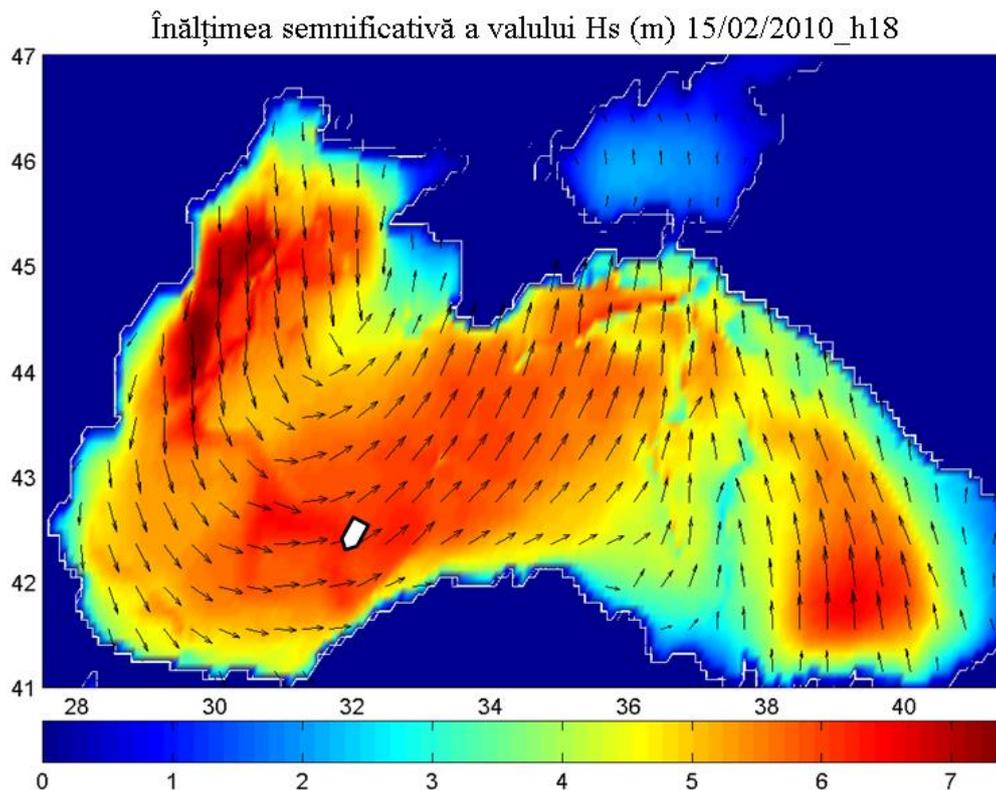


Figura 7.2. Condițiile de mediu în momentul apariției accidentului.

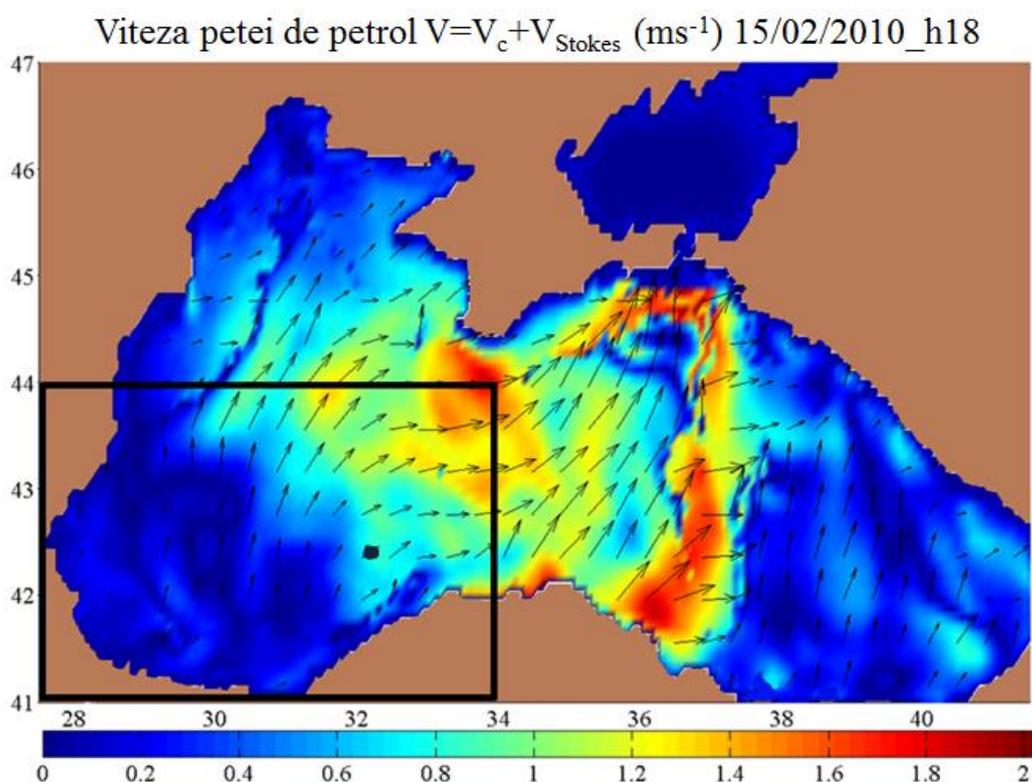


Figura 7.3. Vectorii V calculați pentru momentul producerii accidentului.

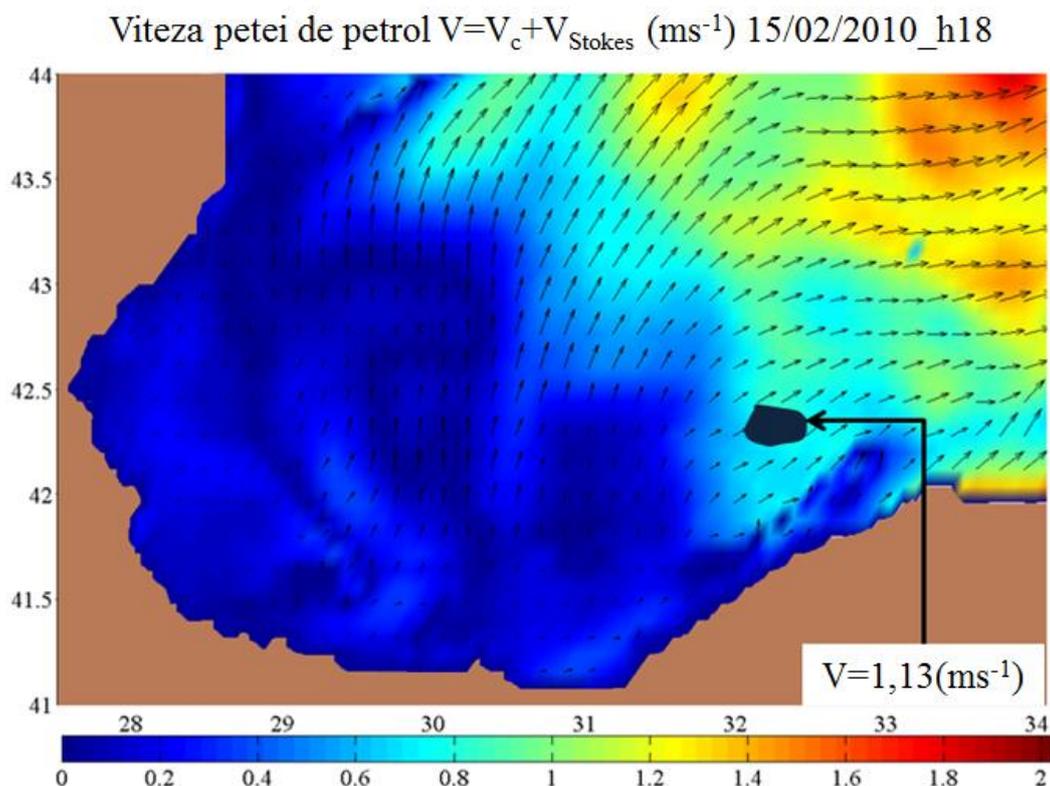


Figura 7.4. Fereastra de focalizare pe zona afectată în momentul producerii accidentului. Viteza petei de petrol este de $1,13 \text{ ms}^{-1}$.

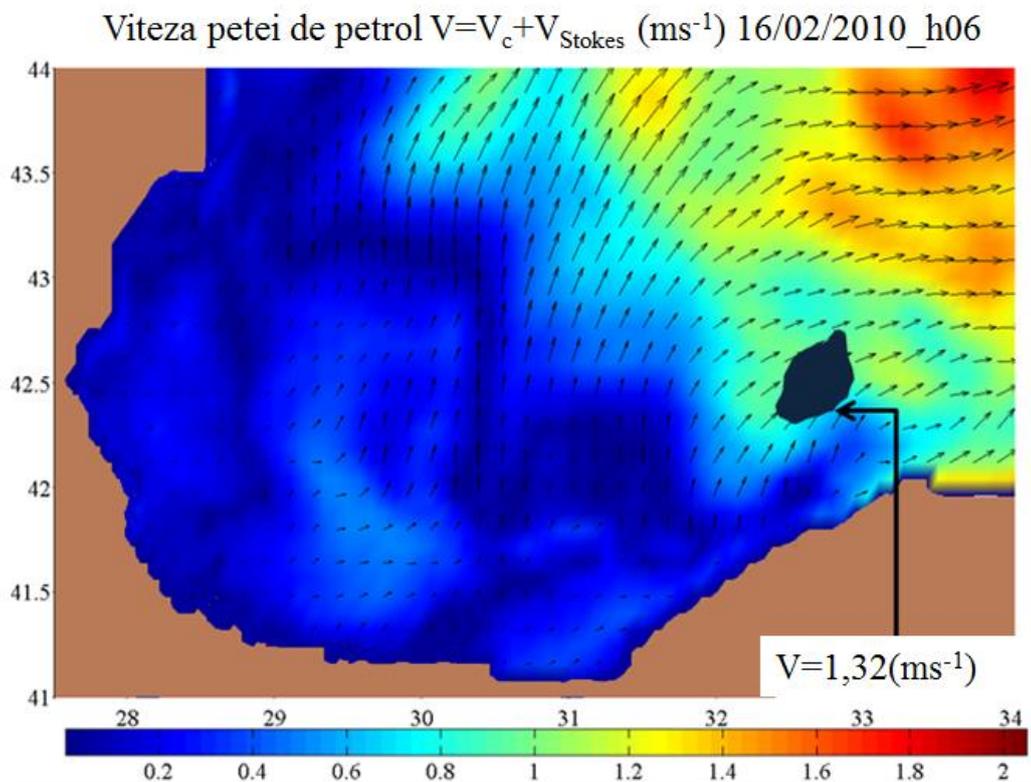


Figura 7.5. Poziția și viteza petei de petrol 12 ore după momentul accidentului. Pata de petrol se deplasează în direcția nord-est cu $1,32 \text{ ms}^{-1}$.

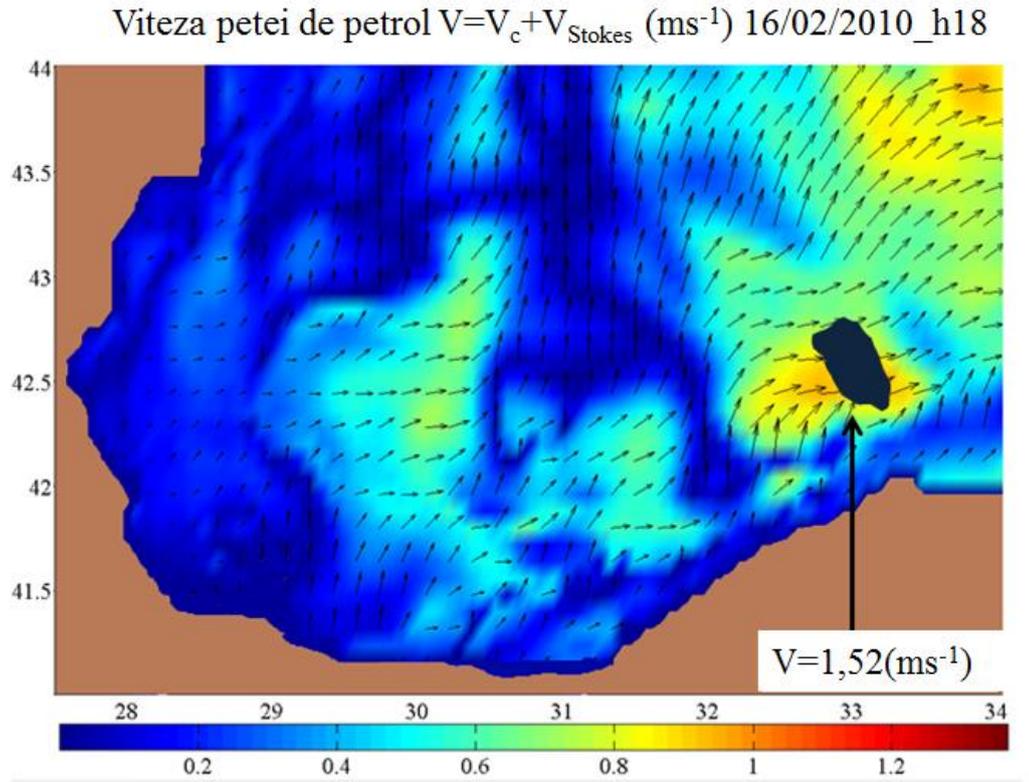


Figura 7.6. Poziția și viteza petei de petrol 24 ore după momentul accidentului. Pata de petrol se deplasează în direcția nord-est cu $1,52 ms^{-1}$.

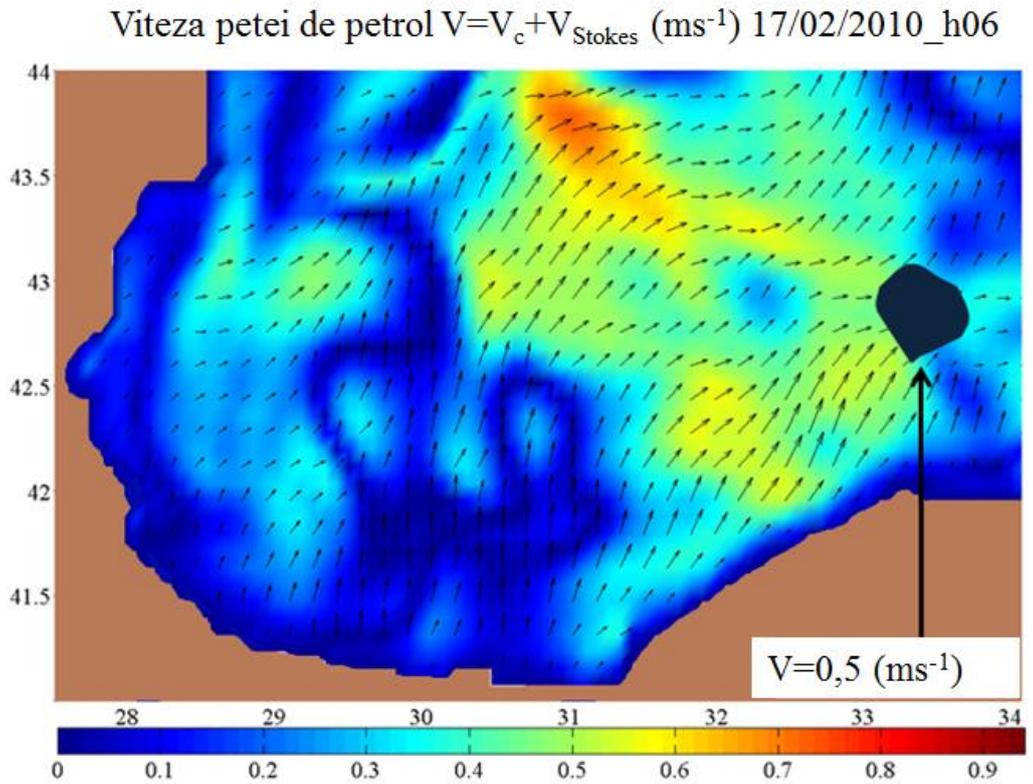


Figura 7.7. Poziția și viteza petei de petrol 36 ore după momentul accidentului. Pata de petrol este antrenată spre largul mării de către Vârtejul de Vest. Viteza petei de petrol este de $0,5ms^{-1}$.

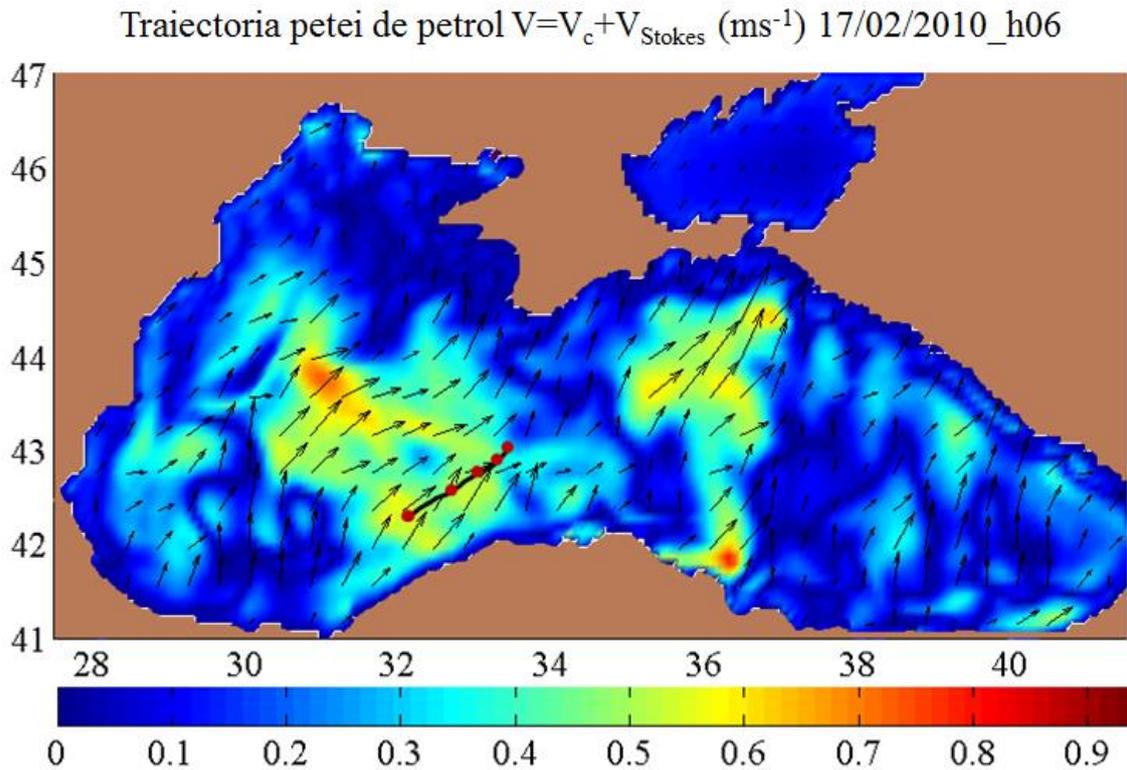


Figura 7.8. Traectoria urmată de pata de petrol (negru). Cu roșu sunt însemnate pozițiile petei de petrol la fiecare 12 ore.

7.2 Al doilea studiu de caz

Al doilea caz de accident naval soldat cu deversare de petrol a fost calculat pentru data de 1 August 2010, ora 12. Condițiile de mediu pentru această zi sunt cele specifice mării calme, cu valuri mici, cu înălțimea maximă de 2,5m. Accidentul ipotetic are loc la coordonatele $44^{\circ}N/38^{\circ}E$. Figura 7.9 prezintă înălțimile semnificative și direcțiile valurilor pentru momentul apariției accidentului ipotetic (vectori de culoare neagră) și poziția petrolierului (cu alb). În Figura 7.10 sunt prezentați vectorii V calculați pentru toată marea împreună cu chenarul de focalizare. Figura 7.11 prezintă poziția petei de petrol în momentul producerii accidentului. Pata de petrol se deplasează spre nord-est cu viteza de $0,37ms^{-1}$. Figura 7.12 prezintă poziția petei de petrol la 12 ore după producerea accidentului. Viteza petei de petrol scade la $0,29ms^{-1}$. Figura 7.13 prezintă poziția petei de petrol la 24 de ore după producerea accidentului. Aceasta își păstrează direcția inițială nord-est, dar viteza scade la $0,2ms^{-1}$. Viteza petei de petrol continuă să scadă, aceasta ajungând la $0,07ms^{-1}$ în momentul impactului cu coasta în apropierea orașului rus Gelendzhik, 60 de ore după producerea accidentului (Figura 7.14). În Figura 7.15 este prezentată traectoria petei de petrol (negru), cu roșu fiind însemnate pozițiile petei la fiecare 12 ore.

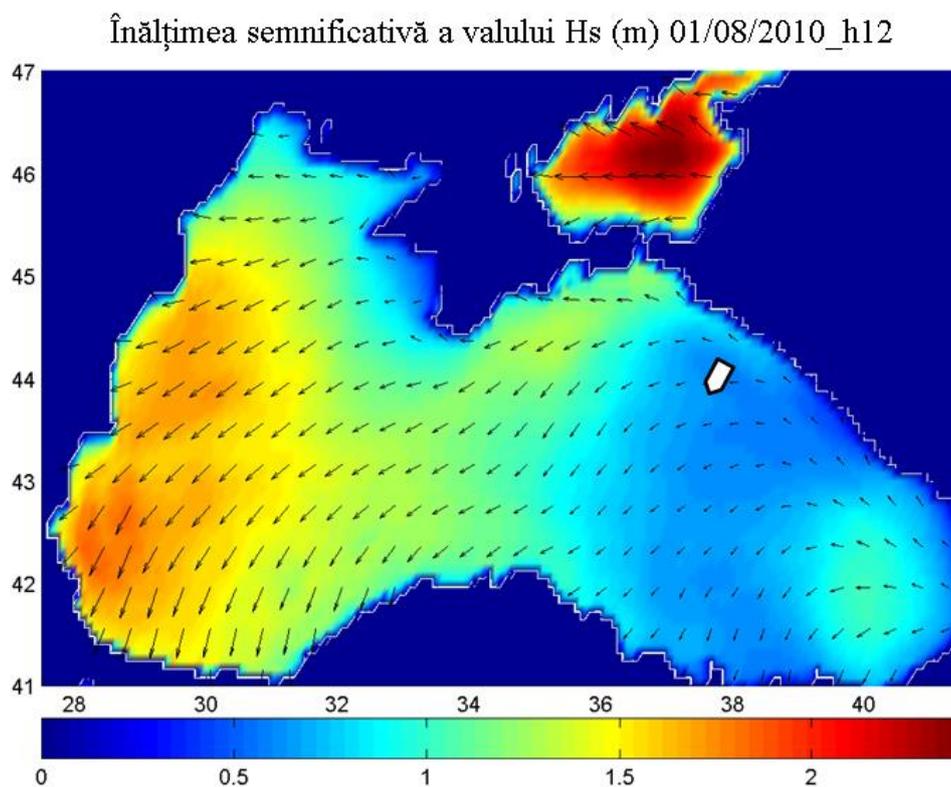


Figura 7.9. Condițiile de mediu în momentul apariției accidentului.

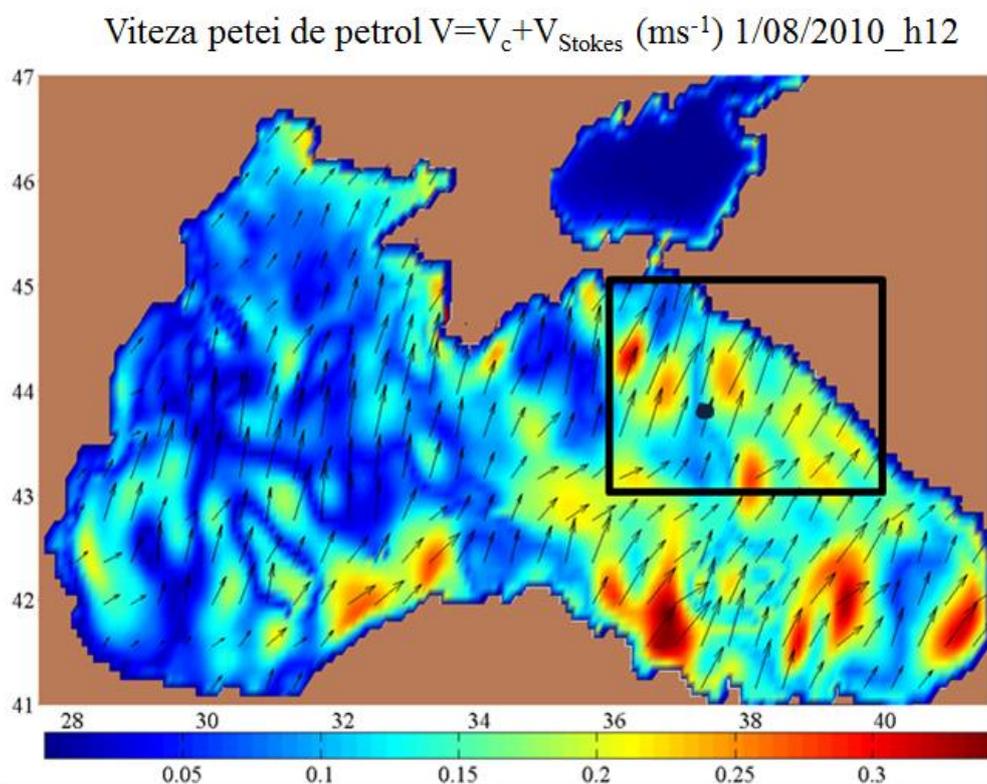


Figura 7.10. Vectorii V calculați pentru momentul producerii accidentului.

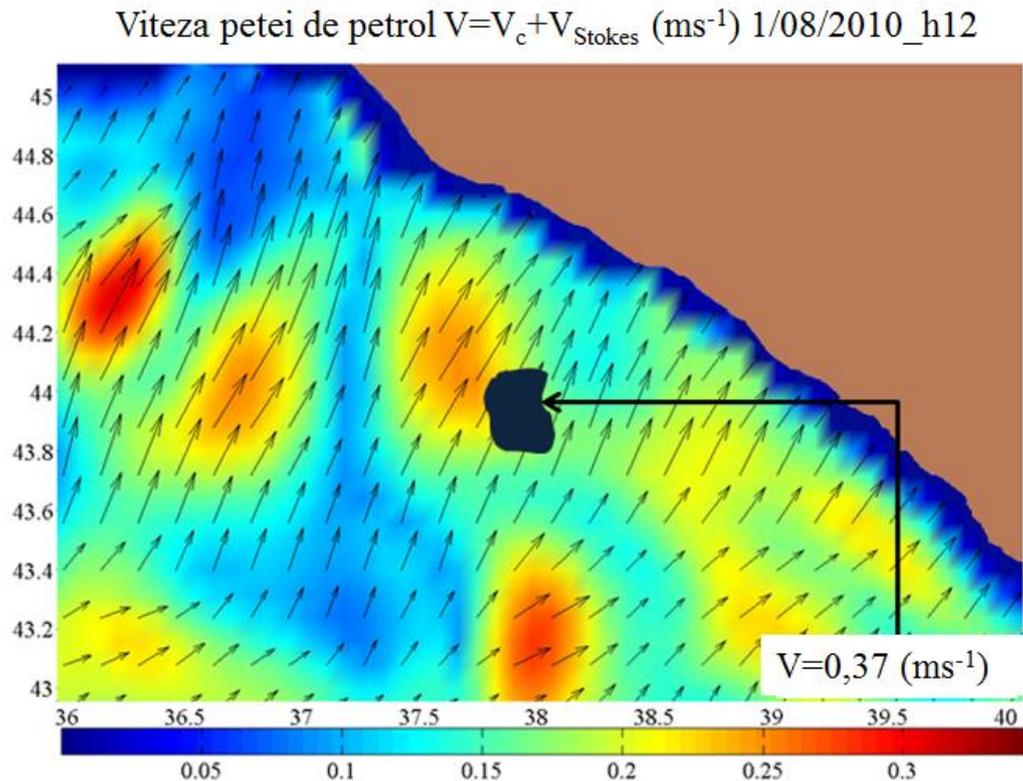


Figura 7.11.Fereastra de focalizare pe zona afectată în momentul producerii accidentului.
Viteza petei de petrol este de $0,37 ms^{-1}$.

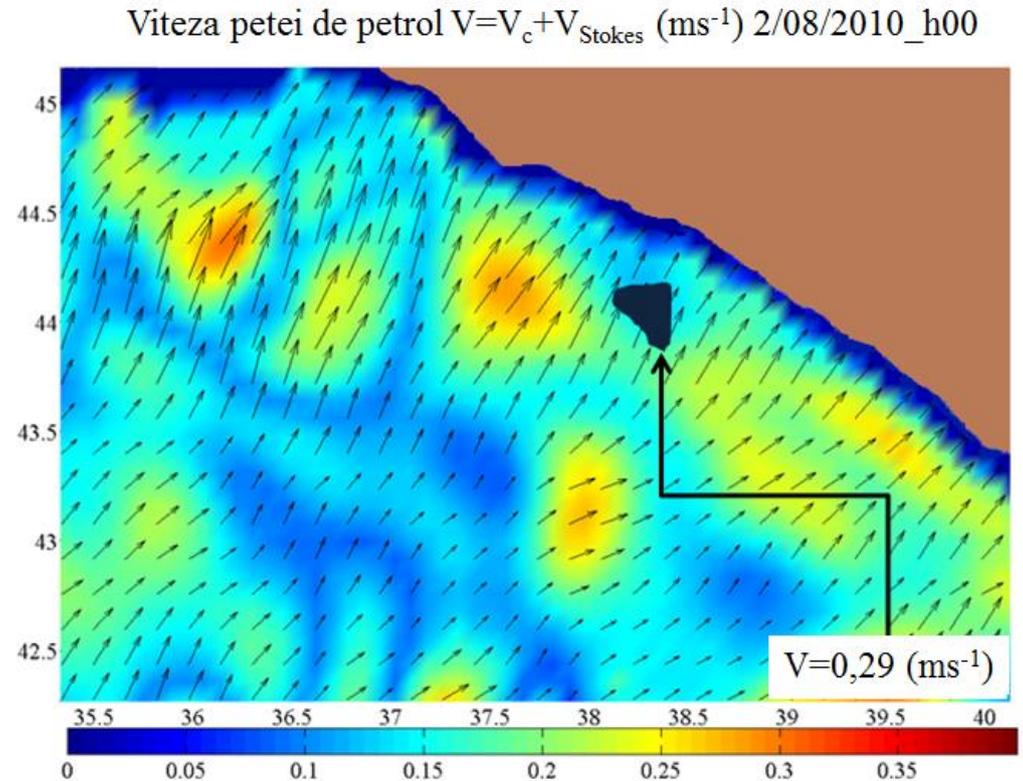


Figura 7.12.Fereastra de focalizare pe zona afectată la 12 ore după producerea accidentului.
Viteza petei de petrol este de $0,29 ms^{-1}$.

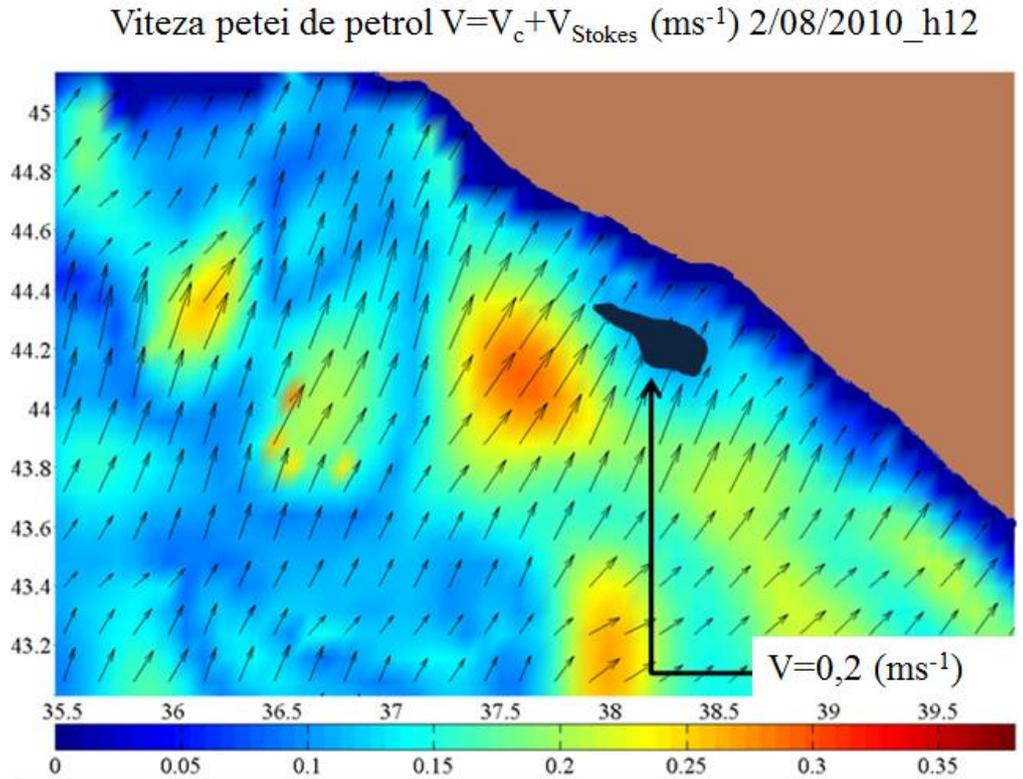


Figura 7.13. Fereastra de focalizare pe zona afectată la 24 ore după producerea accidentului. Viteza petei de petrol este de $0,2 ms^{-1}$.

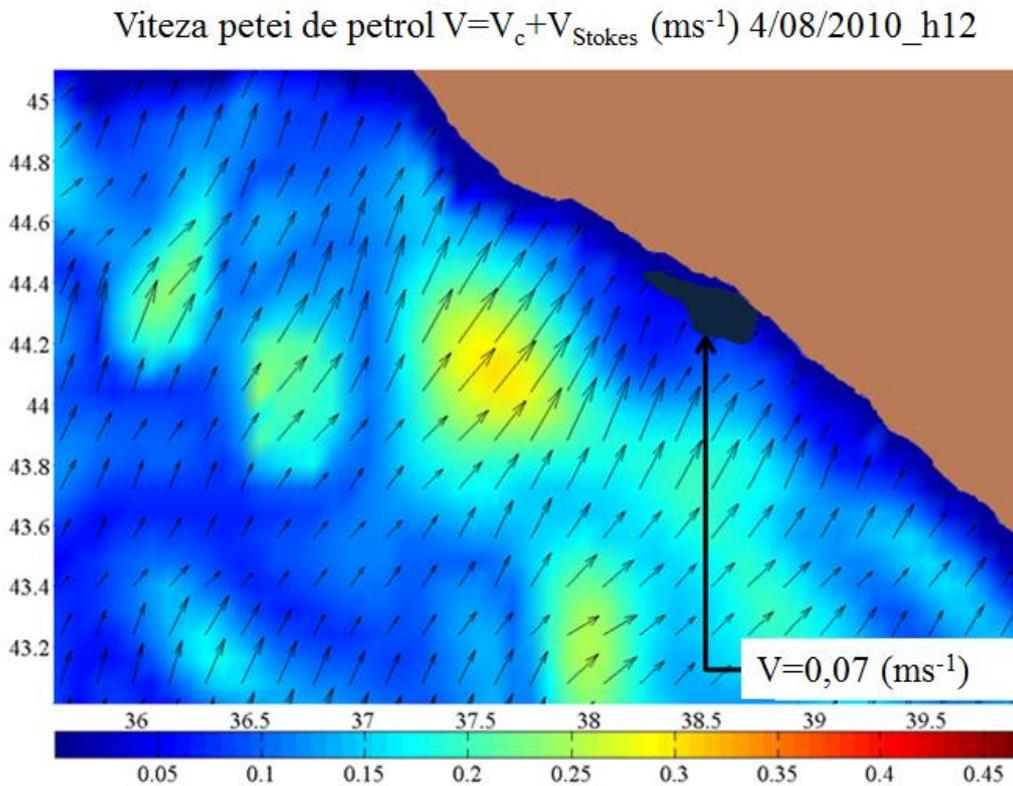


Figura 7.14. Fereastra de focalizare pe zona afectată la 60 ore după producerea accidentului. Pata de petrol atinge coasta în apropierea oraşului rus Gelendzhik cu viteza de $0,07 ms^{-1}$.

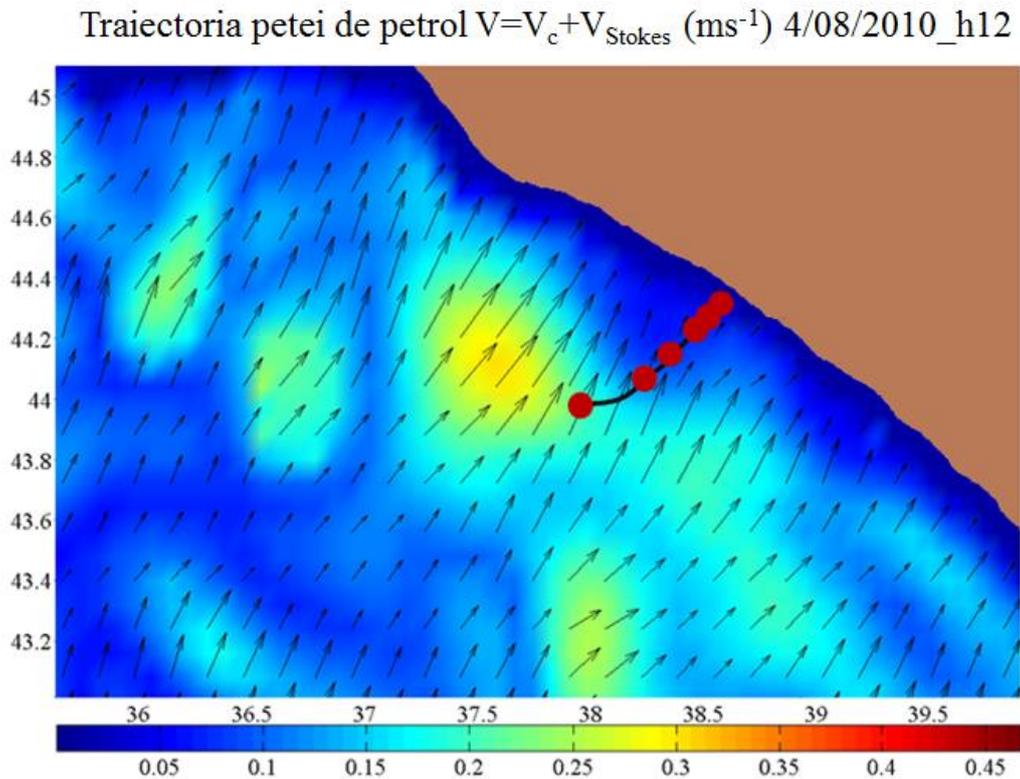


Figura 7.15. Traectoria urmată de pata de petrol (negru). Cu roșu sunt însemnate pozițiile petei de petrol la fiecare 12 ore.

7.3 Al treilea studiu de caz

Al treilea studiu de caz simulează apariția unui accident naval ipotetic soldat cu deversare de petrol la platforma marină Gloria. Aceasta este situată la coordonatele 44,31°N/29,34°E. Condițiile de mediu sunt cele simulate pentru data de 18 Decembrie 2010, ora 18. Figura 7.16 prezintă înălțimile semnificative și direcțiile valurilor pentru momentul producerii accidentului și poziția platformei petroliere Gloria (cu alb). În Figura 7.17 sunt prezentați vectorii curentului calculat pentru momentul zero al producerii accidentului împreună cu fereastra de focalizare pe zona afectată. Figura 7.18 prezintă fereastra de focalizare în momentul producerii accidentului, viteza petei de petrol fiind de $0,84 \text{ ms}^{-1}$. Figura 7.19 prezintă poziția petei de petrol la 12 ore după momentul producerii accidentului. Pata de petrol se deplasează în direcția nord-est cu viteza de $0,62 \text{ ms}^{-1}$. Figura 7.20 prezintă poziția petei de petrol la 24 de ore după momentul producerii accidentului. În acest moment pata de petrol se deplasează spre est cu viteza de $0,37 \text{ ms}^{-1}$. Figura 7.21 prezintă poziția petei de petrol la 48 de ore de la momentul producerii accidentului. Viteza petei de petrol este de $0,64 \text{ ms}^{-1}$. Figura 7.21 prezintă traiectoria urmată de pata de petrol în primele 48 de ore de la producerea accidentului (cu negru). Cu roșu sunt marcate pozițiile petei de petrol la fiecare 12 ore.

Contrar indicațiilor furnizate de primele ore ale simulării, pata de petrol nu atinge coastele României. Aceasta este, în schimb, împinsă spre larg de curenți.

Înălțimea semnificativă a valului Hs (m) 18/12/2010_h18

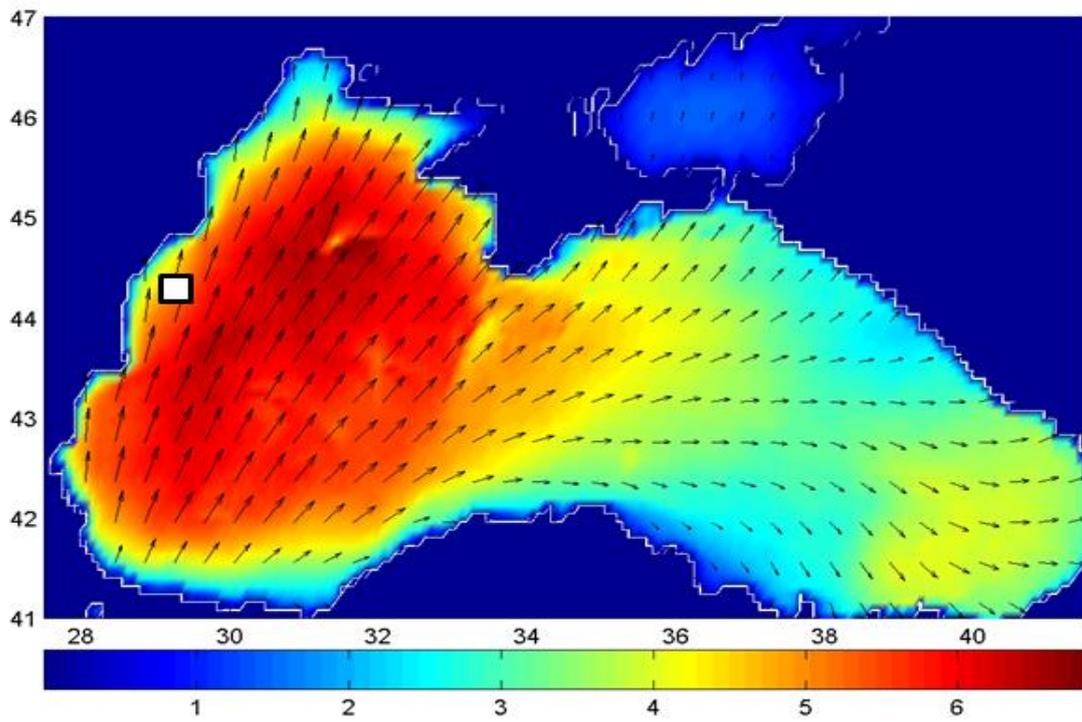


Figura 7.16. Condițiile de mediu în momentul producerii accidentului.

Viteza petei de petrol $V=V_c+V_{Stokes}$ (ms^{-1}) 18/12/2010_h18

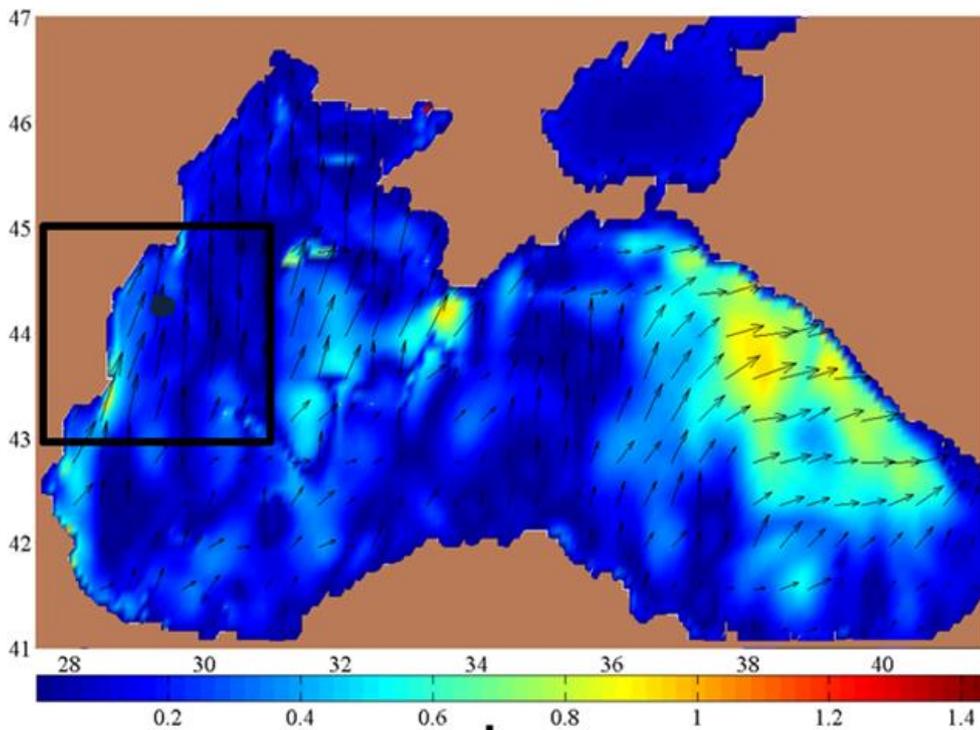


Figura 7.17. Vectorii V calculați pentru momentul producerii accidentului.

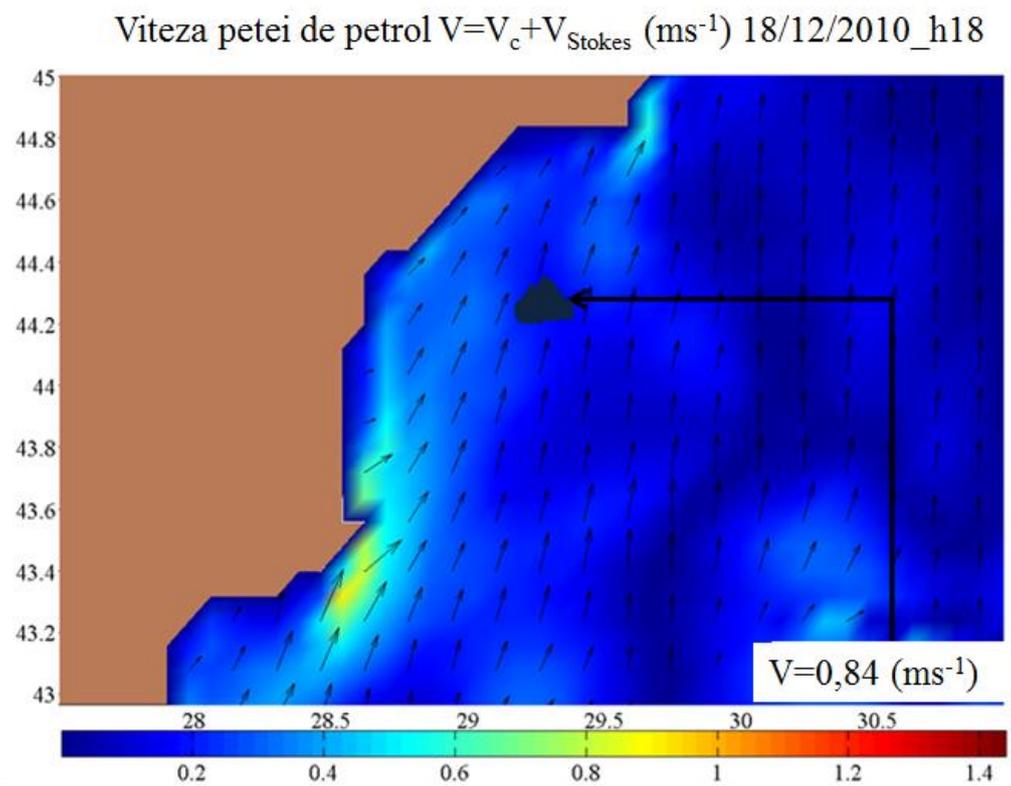


Figura 7.18. Fereastra de focalizare pe zona afectată în momentul producerii accidentului. Viteza petei de petrol este de $0,84 \text{ ms}^{-1}$.

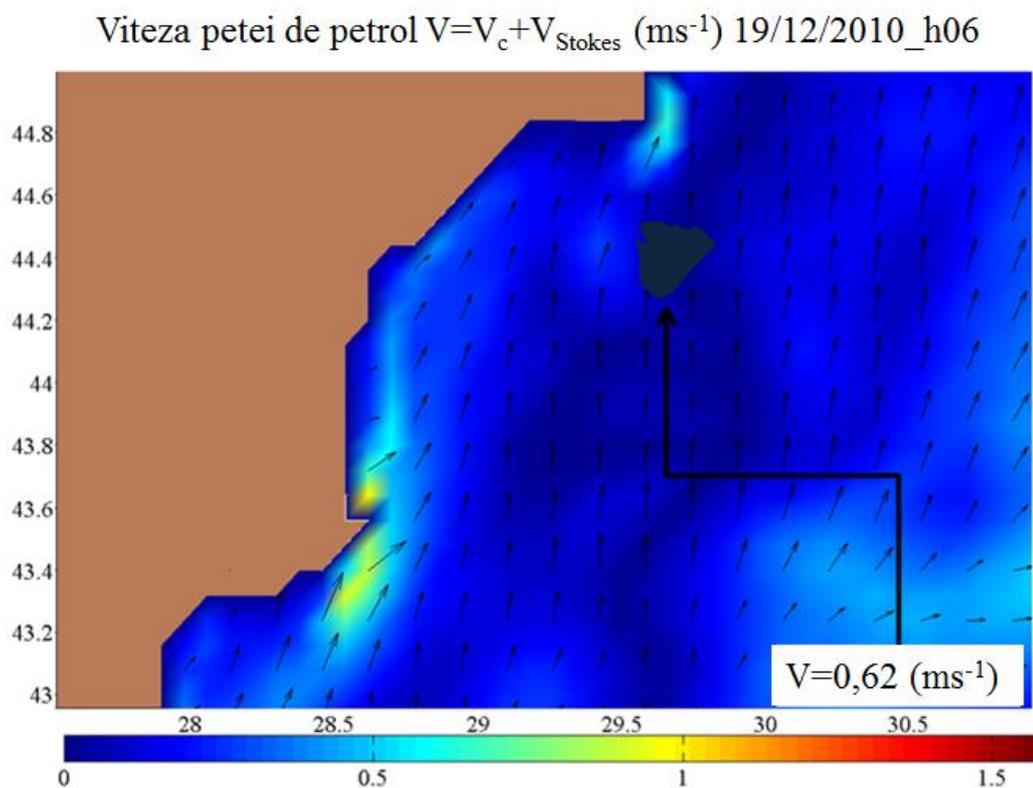


Figura 7.19. Fereastra de focalizare pe zona afectată la 12 ore după producerea accidentului. Viteza petei de petrol este de $0,2 \text{ ms}^{-1}$.

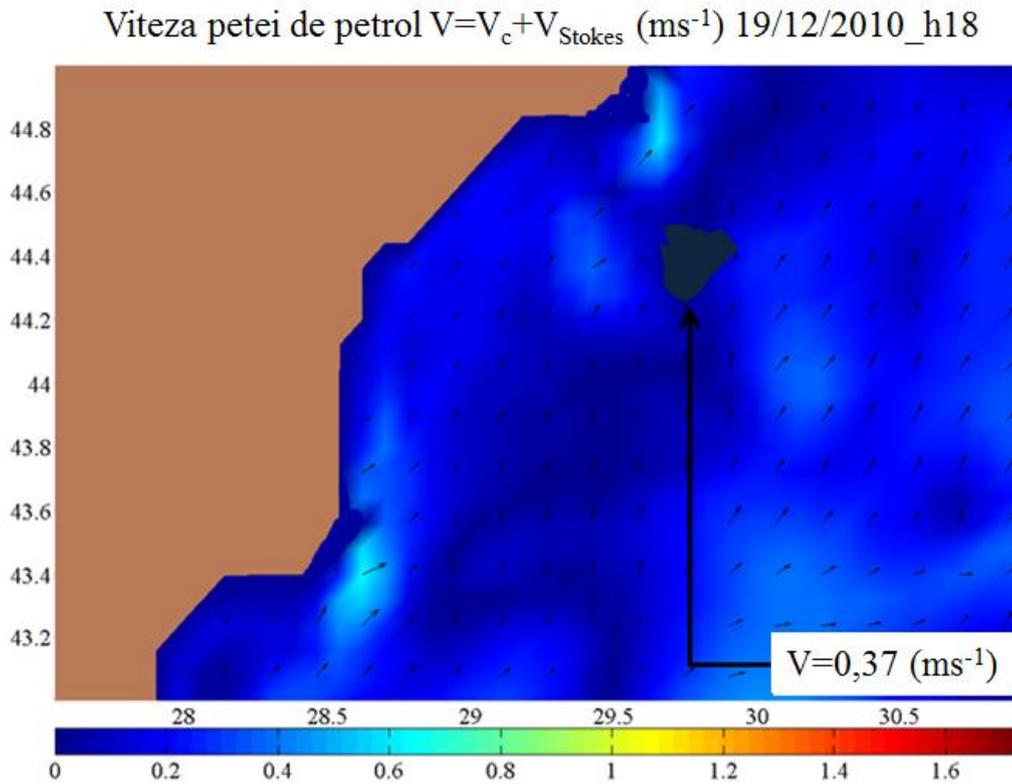


Figura 7.20. Fereastra de focalizare pe zona afectată la 24 ore după producerea accidentului.
Viteza petei de petrol este de $0,37 \text{ ms}^{-1}$.

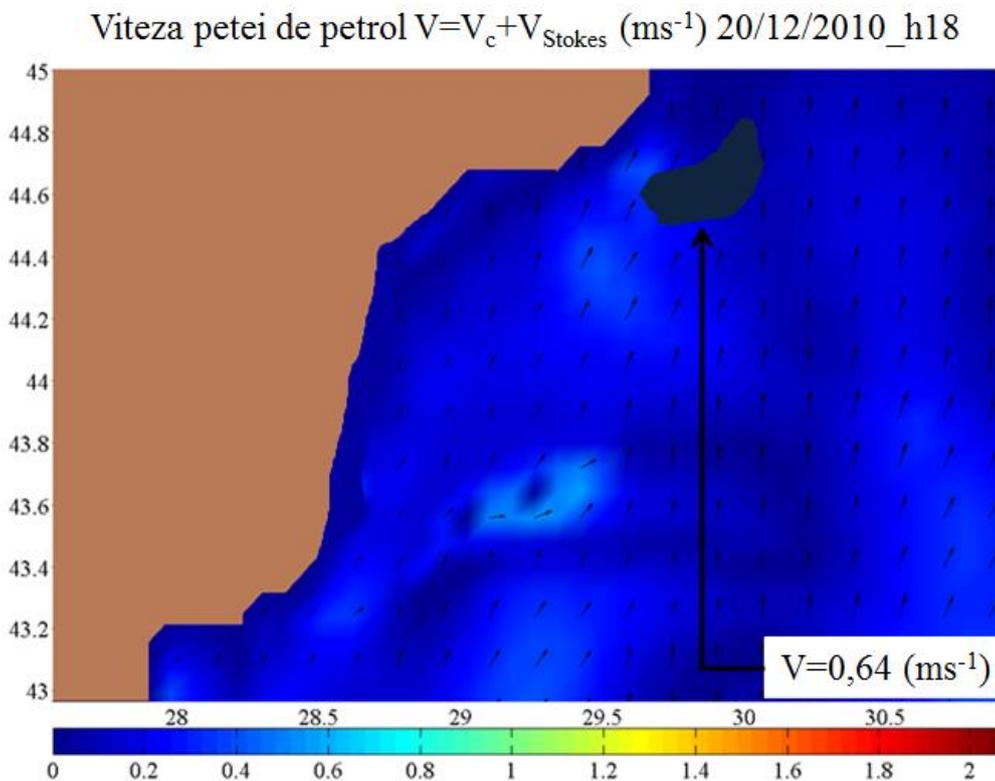


Figura 7.21. Fereastra de focalizare pe zona afectată la 48 ore după producerea accidentului.
Viteza petei de petrol este de $0,64 \text{ ms}^{-1}$.

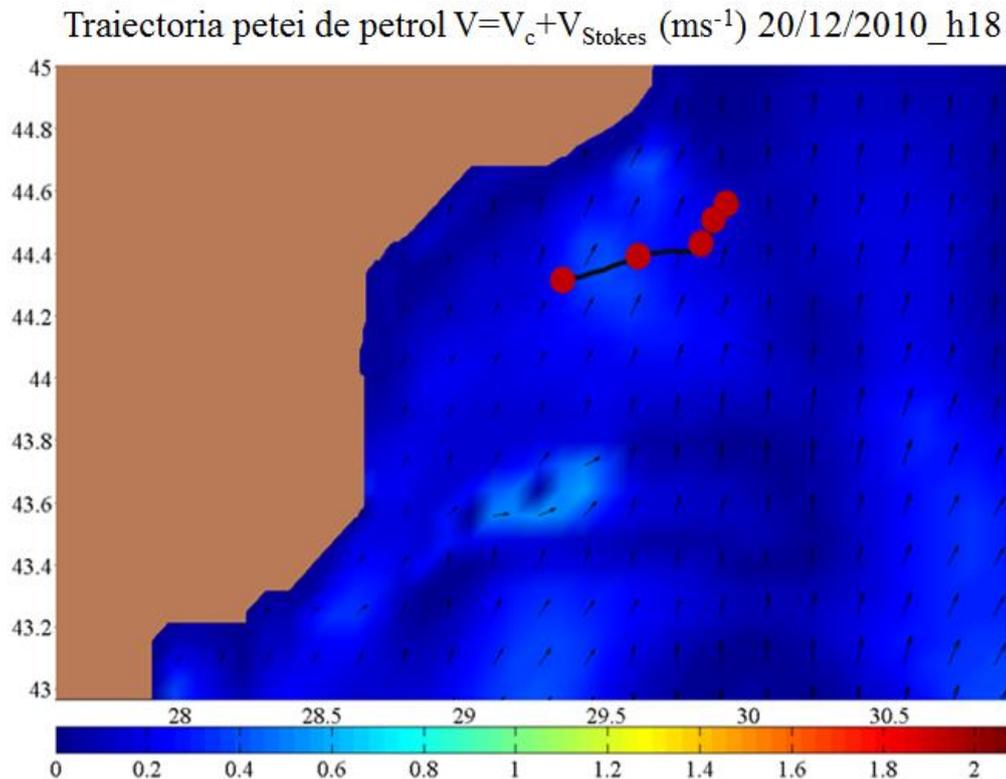


Figura 7.22. Traectoria urmată de pata de petrol (negru). Cu roșu sunt însemnate pozițiile petei de petrol la fiecare 12 ore.

Așa cum rezultă din studierea celor trei cazuri prezentate, mișcarea agenților poluanți depinde în principal de mișcarea curenților și deriva Stokes. Desigur, nu trebuie neglijate nici proprietățile fizice și chimice ale petrolului deversat, fapt luat în considerare la dezvoltarea ulterioară a modelului. În primul caz studiat, curenții puternici din zona de impact transportă pata de petrol pe o distanță de 115km în 35 de ore. Pentru aceasta sunt responsabile vitezele mari ale curenților din primele 24 de ore. Studiul de caz fiind realizat pentru condiții de furtună, cel mai probabil echipele de curățare nu ar fi putut ajunge la fața locului mai devreme de 24 de ore.

În al doilea caz studiat, curenții au viteze mici, motiv pentru care pata de petrol este transportată pe distanța de 58km în 60 de ore. Apropierea de țărm și starea calmă a mării, fac posibilă începerea imediată a operațiunilor de curățare și recuperare, caz în care doar o cantitate mică de petrol ar atinge coastele.

Al treilea studiu de caz se situează între primele două ca valoare a vitezei curenților și distanței parcurse. Astfel, pata de petrol parcurge în acest caz 56km în 48 de ore. Cel mai probabil, la fel ca și la cazul 2, apropierea de țărm va face ca echipele de curățare să ajungă acolo mult mai devreme.

Sistemul de modele elaborat pe parcursul realizării tezei nu tratează și problema curenților costieri, aceasta fiind una dintre direcțiile viitoare de cercetare. Totuși, datorită versatilității sistemului de modele pentru valuri și curenți, acesta poate fi cuplat cu unul dintre modelele ce studiază curenții costieri, cum ar fi SHORECIRC (Shore Circulation, eng.), ISSM sau SURF.

7.4 Concluzii

Modelarea corectă a condițiilor de mediu și a proceselor hidrodinamice prezintă o deosebită importanță atunci când se are în vedere implementarea unui model capabil să simuleze mișcarea agenților poluanți în mediul marin. De asemenea un pas important îl reprezintă validarea modelului prin comparații cu măsurători in situ, sau prin modelarea mișcării petelor de petrol a accidentelor care au avut loc deja.

Echipele de curățare a petrolului pot sosi la fața locului și instala echipamentele necesare în termen de maxim 24 de ore pentru mare calmă, sau 72 de ore pentru mare agitată. Rularea corectă a unui astfel de model, bazat pe condiții reale de mediu, poate reduce timpul de răspuns al echipelor de curățare, micșorând pagubele produse mediului.

Simulările prezentate în acest capitol demonstrează utilitatea sistemului de modele de valuri și curenți cu privire la evaluarea agenților poluanți în mediul marin. Sistemul propus poate fi implementat cu ușurință pentru orice zonă. Ba chiar, dacă există date de forecast, acesta poate fi rulat și în regim de predicție. Astfel, în cazul nefericit al apariției accidentelor navale, echipele responsabile cu organizarea operațiunilor de curățare vor ști la ce sa se aștepte și care sunt zonele unde trebuiesc instalate preventiv bariere.

Cu toate că simulările curenților efectuate cu Mohid și cele ale valurilor efectuate cu SWAN necesită putere mare de calcul și un interval relativ mare de timp, odată ce sunt efectuate, calculele de predicție ale mișcării petelor de petrol se pot efectua în timp real, puterea de calcul și timpul fiind semnificativ reduse. De asemenea trebuie subliniată importanța implementării unui astfel de sistem, posibilitatea apariției accidentelor navale crescând direct proporțional cu frecvența transporturilor. Deși tancurile petroliere din ziua de azi sunt proiectate pentru a minimiza scurgerile de petrol în cazul accidentelor, acestea au dimensiuni semnificativ crescute pentru a reduce costul transportului.

CAPITOLUL 8

CONSIDERAȚII FINALE

8.1 Discuții asupra studiilor efectuate în teza de doctorat

Așa cum s-a arătat în capitolul 1 al prezentei teze de doctorat, poluarea mediului marin este un fenomen grav cu efecte grave asupra florei și faunei zonelor afectate. Efectele poluării se diminuează încet, pe perioade de timp ce se pot întinde pe zeci de ani, destabilizând în tot acest timp echilibrul fragil dintre speciile viețuitoare ale mediului poluat. Pe lângă dispariția speciilor din mediul afectat, trebuie menționate și costurile ridicate la care se ridică operațiunile de curățare ale zonelor afectate de poluarea cu petrol.

Odată cu progresul tehnologic au apărut nenumărate metode de a preveni și reduce riscul accidentelor soldate cu deversări de petrol. Printre acestea amintim:

- Inspecția anuală, pentru a evalua deteriorarea echipamentului și înlocuirea pieselor uzate;
- Instalarea valvelor de siguranță pentru a preveni scurgerile accidentale;
- Curățarea la fiecare 10 ani a calelor petroliere;
- Înlocuirea tancurilor petroliere uzate, în special a celor localizate sub pământ, din moment ce acestea sunt supuse coroziunii mai des decât cele aflate la suprafață;
- Efectuarea cu grijă a operațiunilor de manipulare a tancurilor de petrol;
- Dotarea tancurilor petroliere cu tablă groasă (dublu-fund) și împărțirea acestora pe zone izolate în cala navei, astfel încât în cazul unui accident să nu se scurgă întreaga cantitate în apă.

Totuși oricâte măsuri de prevenire se vor lua, atât timp cât va exista transportul pe mare al hidrocarburilor, va exista și riscul producerii accidentelor. Pe măsură ce consumul energetic al planetei crește, va crește și frecvența transportului maritim al hidrocarburilor, crescând astfel și riscul accidentelor. Prin urmare, dezvoltarea unor sisteme numerice capabile de a evalua propagarea agenților poluanți în mediul marin este de o importanță crucială.

Obiectivul principal al prezentei teze este tocmai acela de a pune bazele unui astfel de sistem pentru bazinul Mării Negre. În primul rând se impune cunoașterea amănunțită a factorilor ce influențează mișcarea poluanților în apă. Cei mai influenți factori sunt, desigur, curenții de suprafață ce pot transporta petele de petrol pe distanțe de zeci de kilometri. Există o varietate de metode și echipamente de observare a mișcării curenților, atât prin metode Euleriene cât și Lagrangiene și de asemenea, în ultimii ani au început să fie accesibile publicului larg și date obținute de la sistemele de sateliți. De asemenea, mișcarea curenților poate fi evaluată și prezisă folosind sistemele de formule matematice dezvoltate de-a lungul timpului, în corelație cu observațiile efectuate. Mările închise au caracteristici diferite de cele deschise sau oceanele cum ar fi lipsa mareelor (acestea nu lipsesc cu desăvârșire ci au doar valori foarte mici ce nu sunt luate în considerare). Cu atât mai diferită este Marea Neagră, cu structura sa stratificată și stratul anoxic de apă.

În capitolul 3 este prezentată o analiză comparativă pe 18 ani a câmpurilor de curenți pentru bazinele Mării Negre și Caspice, o analiză a curenților verticali ai bazinului Mării Negre, precum și o analiză ale datelor obținute în urma măsurătorilor experimentale efectuate la platforma marină Gloria și în zona portului Mangalia. Vitezele curenților sunt mici comparativ cu

oceanele și mărilor deschise, atingând un maxim de 1ms^{-1} . Se constată o mică diferență dintre datele obținute prin satelit și cele ale măsurătorilor experimentale, diferență explicată prin faptul că majoritatea datelor de satelit sunt obținute ca medie a două sau mai multe măsurători simultane ale diferințelor sateliți asupra aceleiași zone. Rezultatele analizei verticale ale curenților din bazinul Mării Negre sunt în concordanță cu observațiile făcute cu privire la structura sa stratificată și lipsa schimbului de apă dintre stratul de adâncime și cele de suprafață. De asemenea, este de așteptat ca salinitatea stratului de adâncime să fie mai mare decât cea a straturilor de suprafață, din moment ce o salinitate crescută adaugă greutate particulei de apă. În plus, straturile de suprafață primesc apă dulce din râuri și de la apa de ploaie. De asemenea temperatura aproape de fundul mării este mai ridicată cu $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$, fenomen datorat încălzirii geotermale.

Există o varietate de modele de circulație marină, acestea fiind prezentate în capitolul 4. Desigur, nu toate sunt potrivite analizei bazinului Mării Negre. Modelul Mohid a fost ales datorită rezultatelor bune obținute în urma implementării în alte zone și a popularității crescânde a acestuia. De asemenea, un alt plus al modelului este interfața grafică ce permite utilizatorului pregătirea datelor cu ușurință. Nu același lucru se poate spune însă despre modulul de calcul al modelului. Cu toate că există și aici o interfață grafică pentru implementarea simulărilor, un manual detaliat pentru implementarea modelului lipsește cu desăvârșire. Interpretarea erorilor se face prin citirea codului sursă și identificarea codurilor de eroare. De asemenea, sunt cunoscute incompatibilități între librăriile de date folosite de modelul Mohid și alte programe, ce pot fi folosite pentru conversia datelor în model, cum ar fi Matlab. În cazul elaborării tezei au fost întâmpinate dificultăți cu privire la versiunea librăriilor hdf5 de date folosite. Modelul Mohid folosește versiuni vechi ale librăriilor (1.6), în timp ce Matlab folosește versiuni recente (1.8) ce nu pot fi modificate.

Din fericire, codul sursă a modelului Mohid este disponibil utilizatorilor, această problemă fiind rezolvată prin recompilarea executabilului modelului Mohid, astfel încât să folosească noile librării de date. De asemenea, există cunoscute incompatibilități ale diferitelor module ale modelului Mohid cu sistemele de operare recente, incompatibilități ce nu afectează însă calculele ci doar afișarea datelor. Totuși, toate aceste obstacole au fost depășite grație comunității online în creștere a modelului Mohid. În final, toate micile probleme ale modelului nu fac decât să împingă utilizatorul spre o mai bună și amănunțită cunoaștere a proceselor ce se desfășoară în cadrul analizelor.

Drept contribuție personală, pe lângă analizele și simulările efectuate, atât cu modelul Mohid cât și cu SWAN, doctorandul dorește să amintească și programele create în Matlab pentru convertirea datelor de temperatură, salinitate și vânt, programe ce transformă datele în formatul acceptat de Mohid. Pe site-ul modelului Mohid există un set de instrumente pentru conversia datelor, dar acestea acoperă o arie mică a datelor, arie în care nu sunt incluse și datele de salinitate și temperatură disponibile pentru Marea Neagră. Prin urmare, pentru realizarea analizelor, a fost necesară crearea și folosirea acestor programe a căror mărime se întinde pe aproximativ 7500 de linii de cod. Odată create aceste programe pot fi folosite oricând pentru efectuarea analizelor, fiind posibile modelări pe orice perioadă de timp. De asemenea, în cazul unor date de format diferit, programele pot fi modificate cu ușurință astfel încât să se reducă timpul de pregătire a datelor.

De asemenea, trebuiesc menționate și programele realizate pentru conversia datelor de curenți obținute din calculele modelului Mohid pentru modelul SWAN, programele de conversie a vântului și cele de afișare grafică a rezultatelor, precum și programele realizate pentru observarea mișcării agenților poluanți în bazinul Mării Negre. Modelul SWAN de generare a valurilor este foarte stabil, acesta rulând fără probleme atât timp cât instrucțiunile sunt formulate corect, dar o interfață grafică de reprezentare a rezultatelor lipsește cu desăvârșire, motiv

pentru care s-au realizat programe în Matlab capabile să reprezinte grafic rezultatele, cum ar fi înălţimea valului, vântul şi curenţii.

Analiza datelor experimentale cu privire la curenţi, temperatură şi salinitate este, de asemenea, în concordanţă cu măsurătorile de satelit şi observaţiile efectuate.

În capitolul 6 este propus sistemul propriu zis, sau mai bine zis o listă a sistemelor posibile ce pot fi create din modelele existente în ziua de azi. Pentru matricea atmosferică datele pot fi obţinute de la NCEP (National Centre for Environmental Protection), ECMWF (European Centre for Medium Weather Forecast) sau WRF (Weather Research and Forecast model). Această matrice a fost cuplată cu modelele de circulaţie Mohid şi SWAN. Rezultatele sunt prezentate în capitolul 6, unde sunt prezentate şi diferenţele obţinute în urma rulării modelului SWAN cu şi fără curenţi. Pentru modelarea costieră pot fi folosite modele de înaltă rezoluţie cum ar fi SWAN HR, Shorecirc sau SURF-ISSM.

În final, în capitolul 7 sunt prezentate trei scenarii privind propagarea poluării în cazul unor accidente ipotetice ce ar putea avea loc în bazinul Mării Negre. Accidentele au fost modelate considerând influenţa curenţilor şi a derivei Stokes. Toate acestea au fost calculate din rezultatele obţinute cu sistemul de modele de valuri şi curenţi descris în capitolul 6. Cele trei cazuri au fost calculate pentru situaţii şi zone complet diferite: primul caz este calculat pentru zona de sud-vest a Mării Negre pentru condiţii de furtună, cel de-al doilea pentru zona de nord-est pentru condiţii de mare calmă, iar ultimul caz pentru zona de vest a Mării Negre pentru condiţii normale ale mării.

8.2 Contribuţii personale şi elemente de originalitate

Caracterul original al prezentei teze de doctorat este legat de faptul că, în urma analizelor efectuate a fost obţinută o privire de ansamblu asupra circulaţiei curenţilor şi a influenţei acestora asupra valurilor în bazinul Mării Negre. De asemenea, un alt element de originalitate este implementarea modelului Mohid şi cuplarea acestuia cu modelul SWAN. Modelul Mohid a fost implementat, în general pe suprafeţe mici şi zone deschise, prin urmare implementarea acestuia pe întreaga suprafaţă a Mării Negre este o noutate. Rezultatele prezentate în cadrul acestei teze, diseminate şi în cadrul diverselor manifestări ştiinţifice şi lucrări sunt grupate în jurul a trei direcţii principale, şi anume:

- a) prelucrarea şi analiza statistică a datelor de satelit şi măsurătorilor in situ pentru bazinele Mării Negre şi cel al Mării Caspice;
- b) implementarea modelului de circulaţie Mohid pentru întregul bazin al Mării Negre;
- c) cuplarea modelului de circulaţie Mohid cu modelul de analiză spectrală a valurilor SWAN pentru crearea unui sistem ce îşi propune evaluarea agenţilor poluanţi în bazinul Mării Negre.

Contribuţiile personale ce au dus la realizarea acestor obiective au fost concretizate în:

- a1) procesarea şi analiza statistică a datelor de satelit (curenţi) în zona Mării Negre pentru o perioadă de 18 ani;
- a2) procesarea şi analiza statistică a datelor de satelit (curenţi) în zona Mării Caspice pentru o perioadă de 18 ani;
- a3) procesarea şi analiza statistică a datelor (curenţi) pe adâncime în bazinul Mării Negre;
- a4) procesarea şi analiza datelor (curenţi) pe direcţii şi clase de viteză în zona Mării Negre pentru o perioadă de 18 ani;
- a5) procesarea şi analiza datelor (curenţi) pe direcţii şi clase de viteză în zona Mării Caspice pentru o perioadă de 18 ani;

- a6) procesarea și analiza statistică a datelor (curenți) măsurătorilor in situ efectuate la platforma Gloria pentru o perioadă de 8 ani (2002-2009);
- a7) procesarea și analiza statistică a datelor (curenți) măsurătorilor in situ efectuate în zona portului Mangalia pentru o perioadă de 6 ani (2004-2009);
- a8) procesarea și analiza datelor (curenți) pe direcții și clase de viteză la platforma Gloria pentru o perioadă de 8 ani (2002-2009);
- a9) procesarea și analiza datelor (curenți) pe direcții și clase de viteză în zona portului Mangalia pentru o perioadă de 6 ani (2002-2009);
- b1) procesarea și conversia datelor cu privire la câmpurile de temperatură și salinitate obținute de la Black Sea Forecast Program, convertire pentru care au fost scrise două programe în Matlab ce pot fi utilizate oricând pentru conversia datelor de intrare necesare modelului Mohid;
- b2) recompilarea executabilului modelului Mohid pentru a fi posibilă preluarea datelor convertite cu ajutorul Matlab;
- b3) implementarea modelului de circulație Mohid pentru întregul bazin al Mării Negre;
- c1) cuplarea modelului Mohid cu modelul SWAN pentru realizarea unui sistem capabil de a prezice propagarea agenților poluanți în mediul marin;
- c2) evaluarea influenței curenților asupra valurilor din bazinul Mării Negre;
- c3) realizarea de scenarii ipotetice cu privire la posibile accidente soldate cu deversări de petrol în bazinul Mării Negre.

Rezultatele din această teză au fost prezentate de asemenea în cadrul a 6 conferințe internaționale cu 6 lucrări dintre care două publicate volumele conferințelor, 10 lucrări publicate în reviste indexate BDI, o lucrare indexată ISI și un capitol de carte.

De asemenea, în cadrul elaborării tezei, doctorandul a beneficiat de suport din partea proiectului DAMWAVE.

Proiectul DAMWAVE are în vedere implementarea metodelor de asimilare a datelor pentru îmbunătățirea sistemului de predicție a valurilor în zona costieră a Mării Negre. Prima componentă a proiectului este relaționată cu predicția valurilor bazată pe modelul SWAN, model ce prezintă avantajul că un singur model poate acoperi întreaga gamă a procesului de modelare, de la generarea valurilor în apă adâncă până la nivel costier. În cadrul celei de-a doua componente se vor evalua, implementa și testa diferite tehnici de asimilare de date pentru diverse nivele de calcul ale sistemului de modelare.

Proiectul DAMWAVE are ca obiective predicția climatului de val din bazinul Mării Negre prin realizarea de simulări pe o perioadă de 10 ani. Pentru aceasta se vor utiliza date de vânt din baze de date internaționale. Rezultatele obținute se vor compara cu observații de satelit și se vor evalua erorile sistematice ce apar în cadrul predicțiilor. De asemenea, se vor efectua analize climatologice și comparații cu alte mări închise ce prezintă caracteristici apropiate de cele ale Mării Negre. Un alt obiectiv principal este implementarea unei scheme de asimilare de date, bazată pe metode secvențiale sau variaționale pentru simulările de tip hindcast. Validarea rezultatelor obținute se va face prin realizarea de comparații și analize statistice.

De asemenea va fi implementat un sistem operațional de predicție a valurilor bazat pe modelul SWAN cu două nivele de calcul: aria de generare a bazinului Mării Negre și aria de transformare a zonei litoralului românesc, fiind totodată dezvoltată și o metodologie de asimilare de date pentru sistemul operațional. Aceasta va cuprinde adaptarea metodologiei de asimilare de date validată la sistemul operațional, extinderea aplicării acesteia către zonele costiere și utilizarea de măsurători in situ. De asemenea se preconizează și evaluarea altor proceduri de asimilare de date. Acest pas cuprinde aplicarea altor tehnici de asimilare de date bazate pe metode secvențiale și analiza oportunității implementării unei proceduri de asimilare de date bazată pe filtrul Kalman. Va fi definitivată, în final, o procedură de asimilare de date ce va fi

asociată sistemului de predicție a valurilor din bazinul Mării Negre, focalizat pe zona litoralului românesc.

8.3 Direcții viitoare de cercetare

În prezent asistăm la efectele descrise de legea lui Moore care descrie tendința pe termen lung în istoria mașinilor de calcul de a se dubla capacitatea de calcul la fiecare doi ani până în 2018, când Moore estimează că se va atinge numărul maxim de tranzistori ce pot fi plasați pe un circuit integrat. [98-99] În ultimii ani, însă, s-a observat o scădere a creșterii puterii de calcul a mașinilor, fapt ce a dus la reorientarea proceselor de calcul pe sisteme ce lucrează cu mai multe procesoare. Cu toate acestea, majoritatea modelelor de circulație existente încă folosesc un singur procesor, chiar dacă sunt disponibile mai multe. O posibilă direcție de cercetare în acest domeniu este, prin urmare, tranziția modelelor numerice pe noile platforme de calcul, fapt ce ar reduce considerabil durata efectuării simulărilor.

De asemenea, o altă direcție viitoare de cercetare pe care doctorandul și-o propune este aceea de a îmbunătăți sistemul prezentat în această teză, precum și aceea de crește generalitatea sistemului, astfel încât să poată fi folosit în diferite zone ale lumii. Un alt element ce trebuie luat în considerare, cu privire la posibile direcții de viitor este și acela modificării sistemului, astfel încât să poată funcționa pe modul de predicție.

În general, datele cu privire la mișcarea curenților și a valurilor sunt disponibile ca urmare a sistemelor de predicție pe o perioadă de 10 zile. Implementarea acestui sistem axat pe predicție ar putea evalua propagarea petelor de petrol în timp real, datele fiind disponibile echipelor de curățare. Realizarea sistemului pe modul de predicție, ar reduce considerabil costurile și impactul accidentelor soldate cu deversări de petrol.

O altă posibilă direcție de viitor pe care doctorandul o are în vedere este aceea de a dezvolta sistemul propus în varianta stand-alone, astfel încât modelul să fie independent de diferite modele de calcul (Matlab) și să dețină o interfață grafică ușor accesibilă utilizatorilor, fapt ce va permite cu ușurință folosirea acestuia chiar și de către utilizatorii neinițiați în elemente de modelare numerică. Respectiva variantă stand-alone a modelului va fi astfel centrată pe trei module principale: modulul de pregătire a datelor pentru modelul de circulație, modulul de transformare a rezultatelor din modulul de circulație pentru modelul SWAN și modulul de simulare a petelor de petrol. Implementarea executabilelor modelelor SWAN și Mohid în modelul propus este, desigur, posibilă cu toate că nu se poate realiza cu ușurință. Acesta ar putea reprezenta un scop ulterior dezvoltării modelului propus în varianta stand-alone, sau obiectivul unui proiect de cercetare.

În final, trebuie menționat că elaborarea acestei teze a fost realizată cu suportul financiar al proiectului POSDRU cod 88/1.5/S/61445-Eficientizarea activității studenților din cadrul ciclului de studii doctorale-EFICIENT. Trebuie de asemenea menționat faptul că teza a fost susținută și de Ministerul Educației Naționale prin proiectul DAMWAVE CNCS – UEFISCDI PN-II-ID-PCE-2012-4-0089.

Lista lucrărilor publicate

Lucrari publicate în reviste indexate ISI:

1. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Evaluation of the circulation patterns in the Black Sea using remotely sensed and in situ measurements, International Journal of Geosciences, Vol.4, No7 <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2013.47094>

Lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale indexate ISI:

2. Toderășcu R., Rusu L., Study on the currents variability and patterns in the Black Sea, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo, SGEM 2012, 11-17 June 2012, Albena, Bulgaria. <http://dx.doi.org/10.5593/SGEM2012/S13.V3041>
3. Toderășcu R., Rusu E., Implementation of a global circulation modeling system for the Black Sea basin, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo, SGEM 2012, 11-17 June 2012, Albena, Bulgaria. <http://dx.doi.org/10.5593/SGEM2012/S13.V3030>

Capitol monografie:

4. Rusu, E., Onea, F., and Toderascu, R., 2011: The Black Sea: Dynamics, Ecology and Conservation, Ch. Dynamics of the environmental matrix in the Black Sea as reflected by recent measurements and simulations with numerical models, Nova Science Publishers, Inc, New York. https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=15888

Conferințe internaționale:

5. Toderășcu R., Rusu E., 2011: Development of software for processing data related with MOHID circulation model, The PhD Student Symposium, 7th December 2011, Dunarea de Jos University, Galati, Romania.
6. Toderășcu, R., Rusu, E., 2010: Implementation of a joint modeling system to provide support in the prediction of the extreme environmental events in the Black Sea, ESF-COST High-Level Research Conference, Extreme Environmental Events, 13-17 December 2010, Selwyn College, Cambridge, United Kingdom. <http://www.esf.org/index.php?id=7048>
7. Toderascu R., Rusu E., 2010: A modelling system to support environmental alerts in the Black Sea, European Dimensions of the Doctoral Programmes Conference, 22-23 July 2010, Galati, Romania
8. Toderascu, R., Rusu, E., 2010: Development of a joint system based on numerical models to provide the environmental support in the Black Sea, Global Change Research II: Environmental Crisis, Energy Issues and Global Regulation Policies, 11-16 June 2010, IGESA, Porquerolles Island, France. <http://www.esf.org/index.php?id=6339>

Lucrări publicate în reviste indexate BDI:

9. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Implementation of a joint coupled system in the Black Sea basin, lucrare depusă la Ocean Systems Engineering (OSE), An International Journal.

10. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Evaluation of the circulation patterns in two enclosed seas, Annals of "Dunarea De Jos" University Of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year V (XXXVI) 2013, No. 2, Galați, Romania.
11. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Numerical simulations of the current field in the North-Western area of the Black Sea, Annals of "Dunarea De Jos" University Of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year V (XXXVI) 2013, No. 2, Galați, Romania.
12. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Numerical simulations of the current field in the Black Sea basin, Annals of Marine University of Constanta, Vol. 19. http://www.cmu-edu.eu/anale/anale/2013-vol19/Volumul_19.pdf
13. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Vertical structure of the currents in the Black Sea basin, Annals of Marine University of Constanta, Vol. 19. http://www.cmu-edu.eu/anale/anale/2013-vol19/Volumul_19.pdf
14. Toderășcu R., Rusu E., 2013.: Current field variations over the last 18 years for the north-western area of the Black Sea, Mechanical Testing and Diagnosis, Issue 1, <http://www.omg.ugal.ro/mtd/issue2013-1.htm>
15. Toderascu R., Rusu L., 2010: Some features of the MOHID Water Modelling System and on the reliability of such model for the Black Sea basin. The Annals Dunarea de Jos of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010I2.htm>
16. Toderășcu R., Rusu L., Lucas C., 2010: A Lagrangian Approach for the Wave Body Interactions Problem. The Annals Dunarea de Jos of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010.htm>
17. Butunoiu D., Toderascu R., Resul Teke, 2010: Development of a system based on numerical models to provide the environmental conditions in the Black Sea basin. The Annals Dunarea de Jos of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics. <http://www.mrm.ugal.ro/AnnalsAbstracts/2010I2/6%20Dbutunoiu%20RToderascu.pdf>
18. Toderășcu R., Rusu L., Lucas C., 2009: Oil spill propagation in Black Sea's marine Environment. The Annals Dunarea de Jos of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2009.htm>

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. www.itopf.com
2. <http://www.popularmechanics.com/science/energy/coal-oil-gas/biggest-oil-spills-in-history#slide-10>
3. <http://realitypod.com/2011/08/the-top-ten-worst-oil-spills/>
4. Coast Guard: Oil rig that exploded has sunk", *CNN*, 22 April 2010.
5. US military joins Gulf of Mexico oil spill effort". *BBC News*. 29 April 2010.
6. Kunzelman, Michael "BP Seeks Gulf Oil Spill Size Ruling From Judge". *The Huffington Post*. The Associated Press.
7. Greg Palast, Ten years after but who was to blame?" March 21, 1999.
8. Dumitru Brânză, Influența condițiilor meteo-climatice și a poluării mediului marin asupra navigației, manevrei navei și ecosistemelor din zona litoralului românesc al Mării Negre, ed. Ex-Ponto, Constanța, 2005
9. http://lms.seos-project.eu/learning_modules/marinepollution/marinepollution-c02-s01-p01.html
10. Butterworth-Heinemann, Ocean Circulation (2nd ed.), Open University (2001), ISBN 9780750652780
11. Remote Sensing for Oil Spill Detection and Response. International Union of Pure and Applied Chemistry, March 2000 <http://jobfunctions.bnet.com/search.aspx?compid=19384>
12. Exploration & Production, The Oil & Gas Review 2005 - Issue 2, 2005 http://www.touchoilandgas.com/publications.cfm?publication_id=67&level=2
13. Kolda Corp, First Response. <http://www.koldacorp.com/english/firstresponse.html>
14. <http://img.nauticexpo.com/>
15. Min Choi, Hyung and Rinn M. Cloud - Natural Sorbents In Oil Spill Cleanup. *Environmental Science Technology*, 1992 <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00028a016>
16. Keating, Michael. Product with Long History Is Fighting Gulf Spill. *GovPro*, *Penton Media*, 2010 http://govpro.com/public_works/content/oil-absorbent-booms-20100624/
17. The Basics of Oil Skimming? How It Gets Done with the BP "Big Spill/Leak" in the Gulf. Skimoil, Inc., June, 2010 <http://www.wisegEEK.com/what-are-oil-skimmers.htm>
18. TurnKey Solutions, Inc, What is Emulsified Oil and where does it come from? <http://www.turnkey-solutions-inc.com/wieo.html>
19. Thompson, Derek. How Does Kevin Costner's Oil Cleaning Machine Work, Exactly? The Atlantic, June, 2010 <http://www.theatlantic.com/business/archive/2010/06/how-does-kevin-costners-oil-cleaning-machine-work-exactly/57983/>
20. Committee on Understanding Oil Spill Dispersants: Efficacy and Effects. Oil Spill Dispersants: Efficacy and Effects. *National Research Council*, 2005 http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11283&page=2
21. Oil Spill Dispersants: Top 20 Frequently Asked Questions (FAQs). Australian Maritime Safety Authority

22. Oil-Spill Answers: Are We Going to Use Microbes to Destroy the Oil? If So, How Would That Work? Newsweek, 2010 <http://www.newsweek.com/blogs/the-human-condition/2010/05/04/oil-spill-answers-are>
23. http://environment.about.com/od/petroleum/a/oil_spills_and_environment.htm
24. International Hydrographic Bureau, 1953
25. <http://www.nasa.gov/>
26. CIA World Factbook
27. Ilie Boian, Geografia fizică generală, Chişinău, 2003
28. Robert H Stewart, Introduction to physical oceanography, Departament of Oceanography, Texas, A&M University, 1997-2000
29. Allan R. Robinson, Pierre F.J. Lermusiaux (2000), An Overview of Data Assimilation, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
30. Eresmaa, R., Introduction to Data Assimilation, Finnish Meteorological Institute.
31. R. Daley (1991), Atmospheric data analysis, Cambridge University Press.
32. http://www.ecmwf.int/newsevents/training/lecture_notes/LN_DA.html
33. Ide, K., P. Courtier, M. Ghil, A. C. Lorenc (1997), Unified Notation for Data Assimilation: Operational, Sequential and Variational Journal of the Meteorological Society of Japan, vol. 75, No. 1B, pp. 181–189.
34. https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=62
35. Geir Evensen (2007), Data Assimilation. The Ensemble Kalman Filter. Springer.
36. John M. LEWIS; S. Lakshmivarahan, Sudarshan Dhall (2006), "Dynamic Data Assimilation A Least Squares Approach", Encyclopedia of Mathematics and its Applications 104, Cambridge University Press.
37. Lewis, John, S. Lakshmivarahan, 2008: Sasaki's Pivotal Contribution: Calculus of Variations Applied to Weather Map Analysis. Mon. Wea. Rev., 136, 3553–3567.
38. Lorenc, A., 1986: Analysis methods for numerical weather prediction. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 112, 1177-1194.
39. Lorenc, A., 1981: A Global Three-Dimensional Multivariate Statistical Interpolation Scheme. Mon. Wea. Rev.
40. Caspian Sea Environment Program, <http://www.caspianenvironment.org/>.
41. The Caspian Sea: Restoring Depleted Fisheries and Consolidation of a Permanent Regional Environmental Governance Framework "CaspEco" 2009. UNDP Project Document Governments of: Azerbaijan, Islamic Republic of Iran, Kazakhstan, Russian Federation & Turkmenistan United Nations Development Programme, 119 pp.
42. Ibrayev R. A. and Schrum C. 2010. Seasonal variability of the Caspian Sea three-dimensional circulation, sea level and air-sea interaction, Ocean Science, 6, pp. 311-329 (19)
43. Blokhina M. D. and Afanasyev Y. D. 2003. Baroclinic instability and transient features of mesoscale surface circulation in the Black Sea: Laboratory experiment, Journal of Geophysical Research, 108, pp. 20-31 (12)
44. <http://www.aviso.oceanobs.com/en/>
45. Enriquez Ortiz C. E. 2005. Mesoscale Circulation in the Black Sea: A Study Combining Numerical Modelling and Observations, PhD Thesis, School of Earth, Ocean and Environmental Sciences, 257 pp.

46. V.B. Titov & M. T. Savin Spatial structure of the Black Sea current field, Russian Meteorologiya i Gidrologiya, Russia, 2008, pp 80-92;
47. T. Oguz, V. S. Latun, M. A. Latif, V. V. Vladimirov, H. I. Sur, A. A. Markov, E. Ozsoy, B. B. Kotovchchikov, V. V. Eremeev, U. Unluata, "Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea", "Deep Sea research I", Vol 40, No. 8, pp 1597-1612, 1993.
48. T. Oguz, M. A. Latif, H. I. Sur, E. Ozsoy, U. Unluata, "The Black Sea circulation: its variability as inferred from hydrographic and satellite observations", "Journal of Geophysical Research", vol. 97, pp. 12,596-12,584, 1992.
49. J. Staneva, D. Dietrich, E. Stanev, M. Bowman, "Rim current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model.", "Journal of Marine Systems" no. 31, pp. 137–157, 2001.
50. G. Korotaev, T. Oguz, A. Nikiforov, C. Koblinsky, "Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data." "Journal of geophysical research", vol. 108, pp. 3122, 2003.
51. E. Stanev, M. Bowman, E. Peneva, S. Joanna, "Control of Black Sea intermediate water mass formation by dynamics and topography: Comparison of numerical simulations, surveys and satellite data", "Journal of Marine Research", vol. 61, pp. 59–99, 2003.
52. Z. Cherneva, N. Andreeva, P. Pilar, N. Valchev, P. Petrova, C. G. Soares, "Validation of the WAMc4 wave model for the Black Sea.", "Coastal Engineering", no. 55, pp. 881–893, 2008.
53. S. O. Krichak, P. Kishcha, P. Alpert, "Decadal trends of main Eurasian oscillations and the eastern Mediterranean precipitation.", "Theoretical and Applied Climatology", no. 72, pp. 209–220, 2002.
54. T. Oguz, J. W. Dippner, Z. Kaymaz, "Climatic regulation of the Black Sea hydro meteorological and ecological properties at interannual to decadal time scales", "Journal of Marine Systems", no. 60, pp. 235–254, 2006.
55. A. S. Kazmin, A. G. Zatsepin, "Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the large-scale atmospheric forcing.", "Journal of Marine Systems", vol. 68, pp. 293–301, 2007.
56. U. Niermann, A. E. Kideys, A. Kovalev, V. Melnikov, V. Belokopytov, "Fluctuations of pelagic species of the open Black Sea during 1980-1995 and possible teleconnections, in: Besiktepe, S., Unluata, U., Bologna, S. (Eds.), Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies. Kluwer Academic Publishers, pp. 147–173, 1999.
57. J. W. Hurrell, C. Deser, "North Atlantic climate variability: The role of the north Atlantic oscillation.", "Journal of Marine Systems", no. 79, pp. 231–244, 2010.
58. E. V. Stanev, E. L. Peneva, "Regional sea level response to global climatic change: Black sea examples", "Global and Planetary Changes", vol. 32, pp. 33–47, 2002.
59. A. Ginzburg, A. Kostianoyu, N. Sheremet, "Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982-2000)", "Journal of Marine Systems", no. 52, pp. 33–50, 2004.
60. H. Kutiel, Y. Benaroch, "North sea-Caspian pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Identification and definition.", "Theoretical and Applied Climatology", no. 71, pp. 17–28, 2002.
61. A. Capet, A. Barth, J. M. Beckers, G. Marilaure, "Interannual variability of Black Sea's hydrodynamics and connection to atmospheric patterns", "Deep Sea Research II", vol. 77-80, pp. 128-142, 2012.

62. <http://en.wikipedia.org/wiki/Statistics>
63. Toderaşcu R., Rusu E., 2013: Evaluation of the circulation patterns in the Black Sea using remotely sensed and in situ measurements, International Journal of Geosciences, Vol.4, No7 <http://www.scirp.org/journal/ijg/>
64. Toderaşcu R., Rusu E., 2013: Evaluation of the circulation patterns in two enclosed seas, The First International Conference 3E – Energy, Environment and Efficiency, Galaţi, Romania. <http://www.iweee.ugal.ro/>
65. Toderaşcu R., Rusu L., Study on the currents variability and patterns in the Black Sea, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & Expo, SGEEm 2012, 11-17 June 2012, Albena, Bulgaria. <http://sgem.org/sgemlib/spip.php?article2190>
66. Neves, R. J. J. (1985) - Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Trasitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado. Ph. D. Thesis, Univ. Liège
67. Santos, A. J. (1995) - Modelo Hidrodinâmico Tridimensional de Circulação Oceânica e Estuarina. Ph. D, Thesis, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico
68. Argyris JH, Doltsinis JSt, Fisher H and Wustenberg H. TA _ANTA PEI. Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 1985;
69. Miranda, R., F. Braunschweig, P. Leitão, R. Neves, F. Martins and A. Santos (2000) – Mohid 2000, A Costal integrated object oriented model. Hydraulic Engineering Software VIII, WIT Press
70. Martins, F., P. Leitão, A. Silva and R. Neves (2000) - 3D modeling in the Sado estuary using a new generic vertical discretization approach, submitted to *Oceanologica Acta*
71. Montero, P. (1999) - Estudio de la hidrodinámica de la Ría de Vigo mediante un modelo de volúmenes finitos (Study of the hydrodynamics of the Ría de Vigo by means of a finite volume model), Ph.D. Dissertation, Universidad de Santiago de Compostela, in Spanish
72. Taboada, J.J., M. Ruíz-Villarreal, M. Gómez-Gesteira, P. Montero, A. P. Santos, V. Pérez-Villar and R. Prego (2000) - Estudio del transporte en la Ría de Pontevedra (NOEspanña) mediante un modelo 3D: Resultados preliminares, In: Estudios de Biogeoquímica na zona costeira ibérica, Eds. A. Da Costa, C. Vale and R. Prego, Servicio de Publicaciones da Universidade de Aveiro in press.
73. Montero, P., M. Gómez-Gesteira, J. J. Taboada, M. Ruiz-Villarreal., A. P. Santos, R. J. J. Neves, R. Prego and V. Pérez-Villar (1999) - On residual circulation of Vigo Ría using a 3D baroclinic model, *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, n o 15. SUPLEMENTO-1
74. Cancino, L. and R. Neves (1999) - Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems. Part II: Application to the Western Scheldt and Gironde estuaries, *Journal of Marine Systems* 22, 117-131
75. Leitão, P. C. (1996) – Modelo de Dispersão Lagrangeano Tridimensional. Ms. Sc. Thesis, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico
76. Braunschweig, F (2001) – Generalização de um modelo de circulação costeira para albufeiras, MSc. Thesis, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon
77. INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO – MARETEC, MOHID Hydrodynamic Module User Guide
78. Hunt, Lipsman, Rosenberg (1995) – A fuide to MATLAB for beginners and experienced users, Cambridge University press
79. Otto, Denier (2005) – An introduction to programming and numerical methods in MATLAB, Springer-Verlag London

80. Yang Cao Chung and Morris (2005) - Applied Numerical Methods Using MATLAB, Willey Interscience
81. Joaquim P. Marques (2007) - Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R, Integra Software Services Pvt. Ltd., India
82. Robert E. White (2004) - Computational Mathematics Models Methods and Analysis with Matlab, Chapman & Hall/CRC
83. J. Manassah (2001) - Elem. Math. and Comp. Tools for Engineers using MATLAB, CRC Press LLC
84. Shehrzad Qureshi (2005) - Embedded Image Processing with DSP Examples in MATLAB, Springerlink
85. Y. C. Pao (2001) - Engineering Analysis Interactive Methods and Programs with MATLAB, Boca Raton London New York Washington, D.C.
86. Sergey E. Lyshevski (2003) - Engineering and Scientific Computations Using MATLAB, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION
87. Ekkehard Holzbecher (2007) - Environmental Modeling Using MATLAB, Springer Berlin Heidelberg New York
88. Toderășcu R., Rusu E., 2013: Numerical simulations of the current field in the North-Western area of the Black Sea, The First International Conference 3E – Energy, Environment and Efficiency, Galați, Romania. <http://www.iweee.ugal.ro/>
89. <http://www.teledyneinstruments.com/>
90. L. Cavaleri and P. Malanotte-Rizzoli , “Wind wave prediction in the Adriatic Sea . Theory and numerical experiments”, J. Geophys. Res ., 86, C11, 19961-19974, 1981
91. Lakshmi H. Kantha & Carol Anne Clayson (2000). Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes . Academic Press. p. 56.
92. Rusu, L., 2010. Application of numerical models to evaluate oil spills propagation in the coastal environment of the Black Sea. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 18 (4), 288-295. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/jeelm.2010.33>
93. Gasparotti, C., Rusu, L., 2010. Risk assessment of oil spills from Black Sea basin, Tenth International Conference on Marine Sciences and Technologies - BLACKSEA2010, 7-9 October, Varna, Bulgaria, 403-408.
94. Gasparotti, C., Rusu, L., 2010. Seakeeping studies for containerships operating in the Black Sea, Tenth International Conference on Marine Sciences and Technologies - BLACKSEA2010, 7-9 October, Varna, Bulgaria, 160-165.
95. Rusu, L., Bernardino, M., 2009. Estimation of the operability index of a containership operating in Black Sea. The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Fascicle VIII, Tribology, No. 2. <http://www.om.ugal.ro/AnnalsFasc8Tribology/index.htm>
96. Toderășcu, R., Rusu, L, Lucas, C., 2009: Oil Spill propagation in the Black Sea Marine Environment. The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics, 97-106. <http://www.mrm.ugal.ro/AnnalsAbstracts/2009/LL-5.pdf>
97. Rusu, L., 2006. Numerical Simulations to Estimate the Propagation of an Accidental Oil Spillage in the Black Sea Nearshore. The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle X Applied Mechanics, 43-48.
98. Understanding Moore’s Law: Four Decades of Innovation, Edited by David C. Brock 2006, Chemical Heritage Foundation.

99. G. E. Moore, 1965, The Future of Integrated Electronics, Fairchild Semiconductor, Electronics magazine