



**UNIVERSITATEA MARITIMĂ DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE MECANICĂ**

TEZĂ DE DOCTORAT

Nr. Decizie 268/01.11.2019

**MODELAREA PROCESELOR HIDRODINAMICE ÎN
ZONA PORTURILOR MARITIME ROMÂNEȘTI**

**THE MODELLING OF THE HYDRODYNAMIC
PROCESSES OFF THE COAST OF THE ROMANIAN
MARITIME PORTS**

Autor: Drd. ing. Elena Vlăsceanu

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. Nicolae BUZBUCHI

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte: Conf. dr. ing. Ion Omocea, Decan Facultatea Electromecanică Navală		
Conducător științific: Prof. dr. ing. Nicolae BUZBUCHI, Universitatea Maritimă din Constanța		
Referenți	Prof. dr. ing. Eugen Victor Cristian RUSU	Universitatea “Dunărea de Jos” Galați
	Prof. dr. ing. Ichinur OMER	Universitatea “Ovidius” Constanța
	Prof. dr. ing. Dumitru DINU	Universitatea Maritimă din Constanța

CONSTANȚA

2019

CUVÂNT ÎNAINTE

În primul rând doresc să mulțumesc domnului Prof. Univ. dr. ing. Nicolae Buzbuchi și domnului Prof. Univ. Acad. dr. ing. Eugen Rusu, pentru încrederea acordată atunci când am început acest stagiul de cercetare doctorală. Finalizarea acestei lucrări nu ar fi fost posibilă fără suportul constant, răbdarea, generozitatea și bunăvoința domniilor lor. Îmi pot exprima astfel admirația sinceră față de înalta ținută științifică ce îi caracterizează.

Doresc să îmi exprim aprecierea față de domnii profesori din comisia de îndrumare, Prof. Univ. dr. ing. Dumitru Dinu, Prof. Univ. dr. ing. Remus Zăgan, Conf. Univ. dr. ing. Liviu Stan și Ș.l. Univ. dr. ing. Adrian Sabău. Sfaturile și sugestiile dumneavoastră mi-au permis să duc la bun sfârșit această lucrare.

Cu o deosebită apreciere îi mulțumesc doamnei Prof. Univ. dr. ing. Ichinur Omer, Decan al Facultății de Construcții a Universității Ovidius, pentru sfaturile, profesionalismul și încrederea acordată, atunci când a fost necesar.

Validarea rezultatelor obținute din modelarea numerică nu ar fi fost completă fără datele înregistrate *in situ* prin intermediul sistemului de colectare a datelor în timp real, EMSO EUXINUS aparținând I.N.C.D. pentru Geologie și Geoecologie Marină – GeoEcoMar, date care mi-au fost puse la dispoziție prin bunăvoința domnului Geofiz. Vlad Rădulescu.

Mulțumesc doamnei Director General al C. N. "Administrația Porturilor Maritime" S.A. Constanța, doamna Daniela Șerban pentru deschiderea și promptitudinea cu care mi-a aprobat demersul de documentare în Portul Constanța și doamnei Liliana Mihai, șef Serviciu Cadastru și Evidențe Funciare pentru bunăvoința cu care mi-a pus la dispoziție tot ce a fost necesar pentru a putea realiza demersul de modelare hidrodinamică în zona Portului Constanța.

Un rol esențial în formarea mea profesională l-au avut și îl au colegii și prietenii de la Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare Marină "Grigore Antipa", Dr. ing. Răzvan Mateescu și Dr. ing. Dragoș Niculescu. Vă mulțumesc pentru suportul moral, răbdarea și imensa bunăvoință cu care m-ați ajutat ori de câte ori am traversat perioade dificile pe parcursul elaborării acestei lucrări. Mulțumesc colegilor din Departamentul de Oceanografie, Inginerie Marină și Costieră pentru sfaturile și susținerea oferite în cadrul expedițiilor de măsurători în teren și atunci când a apărut necesitatea.

De asemenea, tuturor colegilor și profesorilor UMC și UGAL, dar și OUC și UB, cu care am schimbat idei, și care m-au ajutat să înțeleg diferite aspecte asupra problematicii abordate, le mulțumesc din suflet.

Dedic această lucrare familiei mele, părinților mei care m-au susținut mereu, total și necondiționat, cu o răbdare infinită.

Noiembrie 2019

Elena Vlăsceanu

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

CAPITOLUL 1 INTRODUCERE

1.1. MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI

1.3. METODOLOGIA ABORDATĂ

1.4. SCURT ISTORIC AL CERCETĂRII HIDROLOGIEI MARINE LA ȚĂRMUL ROMÂNESC

1.5. STRUCTURA TEZEI

CAPITOLUL 2 CADRUL FIZIC ȘI GEOGRAFIC AL ZONEI MARINE COSTIERE ROMÂNEȘTI

2.1. CARACTERISTICI GENERALE ALE BAZINULUI MĂRII NEGRE

2.2. REGIMUL CLIMATIC ȘI VÂNTURILE PREDOMINANTE ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC

2.3. ANALIZA VARIABILITĂȚII NIVELULUI MĂRII LA ȚĂRM

2.4. AMPLASAREA ȘI CONFIGURAȚIA PORTURILOR MARITIME ROMÂNEȘTI

CAPITOLUL 3 ELEMENTE TEORETICE PRIVIND HIDRODINAMICA ZONEI MARINE/COSTIERE

3.1. NOȚIUNI GENERALE DE CINEMATICA ȘI DINAMICA FLUIDELOR

3.2. REGIMUL CURENȚILOR MARINI

3.2.1. TIPURI DE CURENȚI MARINI

3.2.2. MODELE DE CIRCULAȚIE A MASELOR DE APĂ

3.2.3. REGIMUL CURENȚILOR ÎN ZONA ȚĂRMULUI ROMÂNESC

3.2.4. METODE MODERNE DE MĂSURARE A CURENȚILOR MARINI ȘI COSTIERI

3.3. ELEMENTE DE TEORIA VALURILOR

3.3.1. ELEMENTELE MORFOMETRICE ALE VALULUI

3.3.2. REGIMUL DE AGITAȚIE MARINĂ - VALURILE EOLIENE

3.3.3. TEORII DE ORDIN SUPERIOR PRIVIND TRANSFORMAREA VALURILOR ÎN APROPIEREA ȚĂRMULUI

3.3.3. PROCESE DE PROPAGARE A VALURILOR ÎN APROPIEREA ȚĂRMULUI

3.3.5. METODE MODERNE DE OBSERVARE ȘI MĂSURARE A PARAMETRILOR DE VAL

3.3.6. FONDUL DE DATE EXISTENT CU PRIVIRE LA VALURILE DIN APROPIEREA ȚĂRMULUI ROMÂNESC

CAPITOLUL 4 METODE DE MODELARE/SIMULARE A PROCESELOR HIDRODINAMICE ÎN ACVATORIILE PORTUARE ȘI ZONELE ADIACENTE

4.1. TIPURI DE MODELE NUMERICE UTILIZATE ÎN MODELAREA PROCESELOR HIDRODINAMICE MARINE/COSTIERE

4.1.1. DESCRIEREA MODELELOR NUMERICE PE DOMENII DE APLICABILITATE

4.1.2. ETAPELE PRINCIPALE ÎN DEZVOLTARE A UNUI MODEL NUMERIC

4.2. MODELUL HIDRODINAMIC MOHID

4.2.1. STRUCTURA MODULARĂ A MODELULUI HIDRODINAMIC MOHID

4.2.2. IMPLEMENTAREA MODELULUI MOHID ÎN ZONA MAMAIA – CONSTANȚA - EFORIE

4.2.3. PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE CELOR TREI MODELE AFERENTE ȚĂRMULUI ROMÂNESC

4.3. MODELE NUMERICE SPECTRALE DE VALURI

4.3.1. SIMULAREA PROPAGĂRII VALURILOR ÎN INCINTA PORTULUI CONSTANȚA CU MODELUL SWAN

4.3.2. EXPERIMENT NUMERIC – MODELAREA PROPAGĂRII VALURILOR ÎN PORTUL CONSTANȚA

4.3.3. REZULTATELE SIMULĂRIILOR NUMERICE

4.4. MODELAREA PROCESELOR DE TRANSFORMARE A VALURILOR COSTIERE

4.4.1. ELEMENTE TEORETICE ȘI ECUAȚII DE GUVERNARE ALE MODELULUI BOUSS 2D

4.4.2. SIMULĂRI DE TRANSFORMARE A VALURILOR ÎN PORTUL CONSTANȚA

4.4.3. EXPERIMENTE IN SITU – VARIABILITATEA NIVELULUI MĂRII LA FURTUNĂ

4.4.4. CONCLUZII

CAPITOLUL 5 VALIDAREA REZULTATELOR MODELELOR HIDRODINAMICE

5.1. VALIDAREA MODELELOR DE CIRCULAȚIE COSTIERĂ PRIN MĂSURĂTORI DE CURENȚI ÎN ACVATORIUL PORTULUI CONSTANȚA

5.1.1. COLECTAREA DATELOR DE TEREN (IN SITU)

5.1.2. ANALIZA DATELOR MĂSURATE ÎN TIMPUL EXPERIMENTULUI

5.2. VALIDAREA MODELELOR NUMERICE DE TRANSFORMARE A VALURILOR PRIN METODE DE OBSERVARE DE LA DISTANȚĂ – TELEDETECȚIE SATELITARĂ

5.3 CONCLUZII

CAPITOLUL 6 ANALIZA RISCULUI MARITIM

6.1. CONCEPTUL DE MANAGEMENT AL RISCULUI LA FURTUNĂ

6.1.1. CAZURI DE CATASTROFE MARITIME PROVOCARE DE FURTUNI ÎN ZONA PORTULUI MARITIM CONSTANȚA

6.2. METODE DE MANAGEMENT AL SITUAȚIILOR DE URGENȚĂ SURVENITE ÎN CAZUL FURTUNILOR, ACCIDENTELOR NAVALE, DEVERSĂRIILOR ACCIDENTALE DE PETROL

CAPITOLUL 7 CONCLUZII

7.1. CONCLUZII ȘI CONSIDERAȚII FINALE

7.2. CONTRIBUȚII PERSONALE

7.3. DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

BIBLIOGRAFIE

ANEXA 1 - LISTA LUCRĂRIILOR

ANEXA II - PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE DE CERCETARE-DEZVOLTARE

CUPRINSUL REZUMATULUI TEZEI DE DOCTORAT

PREZENTAREA SINTETICĂ A CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT	1
CAPITOLUL I INTRODUCERE	1
Motivația alegerii temei	1
Obiectivele temei de cercetare doctorală	2
Metodologia Abordată	2
Structura Tezei	3
CAPITOLUL 2 CADRUL FIZIC ȘI GEOGRAFIC AL ZONEI MARINE COSTIERE ROMÂNEȘTI	5
CAPITOLUL 3 ELEMENTE TEORETICE PRIVIND HIDRODINAMICA ZONEI MARINE/COSTIERE	6
CAPITOLUL 4 METODE DE MODELARE/SIMULARE A PROCESELOR HIDRODINAMICE ÎN ACVATORIILE PORTUARE ȘI ZONELE ADIACENTE	7
CAPITOLUL 5 VALIDAREA REZULTATELOR MODELELOR HIDRODINAMICE	27
CAPITOLUL 6 ANALIZA RISCULUI MARITIM	38
CAPITOLUL 7 CONCLUZII	41
Concluzii și considerații finale	41
Contribuții personale	41
Direcții de cercetare viitoare	43
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	44
ANEXA 1 - LISTA LUCRĂRILOR	48
ANEXA II - PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE DE CERCETARE-DEZVOLTARE	52

PREZENTAREA SINTETICĂ A CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT

CAPITOLUL I INTRODUCERE

Motivația alegerii temei

Procesele hidrodinamice care au loc în zona de coastă reprezintă o problemă complexă cu multiple ramificații care conduc la apariția și evoluția în spațiu-timp a diferitelor situații cu impact hidromorfologic. Studiarea regimului de valuri și curenți permite înțelegerea fenomenelor implicate, fapt ce conduce la obținerea unei viziuni de ansamblu asupra aspectului general al siguranței transportului maritim.

Având în vedere importanța problematicii siguranței navigației în vecinătatea coastei și în special în zona porturilor maritime, există o preocupare deosebită în rândul multor categorii de administratori/cercetători de a aprofunda teoretic și de a prelucra volumul tot mai mare de date obținute din observații și măsurători specifice. S-au creat astfel, organisme naționale și internaționale care se ocupă de elaborarea și implementarea unor programe de monitorizare hidrologică marină, care au ca scop furnizarea prognozelor oceanografice în legătură cu controlul navigației maritime. Metodele de calcul pe care aceste programe de monitoring le includ împreună cu modelările numerice aferente, pot duce la structurarea unui sistem decizional real și eficient.

A existat în 2016 interesul în cadrul prefecturii județului Constanța de a se determina o zonă de adăpost, ca loc de refugiu în cazul în care o navă se află în diferite situații excepționale, fiind în pericol de scufundare la furtună sau în cazul în care a raportat o problemă la bord, o deficiență sau un accident privind pierderea încărcăturii, o deversare accidentală de hidrocarburi, un incendiu sau explozie la bord, coliziune, etc. și solicită asistență. Nava care solicită asistență pentru acordarea unui loc de refugiu, conform aprecierii comandantului, nu trebuie să fie în pericol de scufundare sau de intensificare a unui incendiu la bord, situație care să necesite evacuarea imediată a întregului echipaj.

Pentru a lua decizia de a pune la dispoziția unei nave în pericol un loc de refugiu este necesar să se cunoască anumite aspecte care țin de starea de navigabilitate a navei, natura și starea mărfurilor transportate, a proviziilor, a combustibililor și a încărcăturilor periculoase aflate la bord, locația și caracteristicile refugiului, distanța și timpul necesar de manevră estimate până la locul de refugiu, numărul de persoane și/sau de salvatori aflați la bordul navei precum și factorii umani implicați, inclusiv panica declanșată. [1]

Pentru ca un loc de refugiu să răspundă unor astfel de cerințe este necesară cunoașterea și delimitarea celei mai bune zone de adăpostire, în condițiile în care țărmul vestic al Mării Negre este expus acțiunii factorilor de agitație marină. Zona costieră și implicit zonele portuare sunt cadrul de manifestare al proceselor dinamice complexe, rezultate în urma interacțiunii dintre mare, uscat și atmosferă. Zona de coastă va fi abordată în cadrul tezei din punct de vedere al proceselor hidrodinamice și descrisă în funcție de elementele și parametrii ei caracteristici, în vederea structurării modelului geometric care stă la baza demersului de modelare numerică a proceselor studiate.

Obiectivele temei de cercetare doctorală

Scopul principal al acestui studiu de cercetare doctorală este optimizarea operațiunilor portuare și a siguranței navigației costiere în cazul evenimentelor naturale excepționale, prin identificarea zonelor de adăpost și respectiv a zonelor de risc maritim, pe baza simulărilor și a prognozelor oferite de aplicarea modelelor hidrodinamice numerice, de înaltă precizie. Pentru ca acest scop să fie îndeplinit este necesară atingerea graduală a unor obiective care să permită, în final, întocmirea unei metodologii specifice managementului situațiilor de urgență, în cazul furtunilor excepționale produse în Bazinul nord-vestic al Mării Negre.

Un prim obiectiv presupune înțelegerea hidrodinamicii în zona bazinelor/acvatoriilor portuare, astfel încât să fie posibilă realizarea unui model conceptual, necesar aplicării modelelor hidrodinamice numerice.

Al doilea obiectiv se referă la alegerea și aplicarea corectă a modelelor hidrodinamice adecvate condițiilor marine din zona de coastă, caracterizată de un regim hidrodinamic specific. Pentru aceasta este necesară evaluarea fondului de date existent, dar și o analiză comparativă a pachetelor de programe informatice, aferente modelelor numerice, în funcție de capacitățile, accesibilitatea acestora și acuratețea cu care procesele hidrodinamice specifice zonelor marine cu adâncime medie/mică sunt descrise în complexitatea lor, de un set de ecuații matematice, rezolvate numeric.

Cel de al treilea obiectiv se referă la demersul propriu-zis de modelare a proceselor hidrodinamice aferente zonele porturilor maritime, în condiții hidrometeorologice extreme manifestate la țărmul vestic al Mării Negre, cu scopul de a identifica zonele de adăpost și/sau risc maritim. Îndeplinirea acestui obiectiv a presupus, de asemenea, identificarea valorilor maxime, de impact pentru zona de coastă/portuară, a parametrilor de vânt, val și curent, din seturile de date multianuale (menționate în capitolul 4), dar și realizarea unor măsurători *in situ*, în incinta portului Constanța și în zonele adiacente, cu scopul de a valida rezultatele modelelor hidrodinamice.

Metodologia Abordată

Metodologia abordată este reprezentată de utilizarea modelelor numerice spectrale pentru studiul fenomenelor de transformare a valurilor în acvatoriile portuare și în zonele adiacente acestora și de asemenea, a modelelor hidrodinamice numerice, cu element finit, pentru studiul dinamicii curenților, ceea ce oferă un evident caracter multidisciplinar și complex, abordării problematicei generale de cercetare, relaționată în mod special cu mecanica fluidelor și în particular cu hidrodinamica marină.

Modelul hidrodinamic MOHID, utilizat pentru studiul curenților marini, modelul spectral SWAN, utilizat pentru modelarea proceselor de propagare a valurilor în acvatoriile portuare și modelul BOUSS 2D, aplicat pentru transformarea valurilor în apropierea țărmului, permit dezvoltări ulterioare pe baza cărora se pot elabora diferite servicii, care actualmente stau la baza sistemelor informatice interconectate, cu aplicabilitate în transportul maritim, dar și în domeniul mai nou al MSP/Planificării Spațiale Maritime, în plină dezvoltare la nivel European și internațional.

Rezultatele obținute în cadrul simulărilor pe model numeric asupra curenților marini și costieri, precum și cele asupra impactului acestora alături de valuri în sectorul de tranziție al

litoralului românesc al Mării Negre, în special, în zona Portului Constanța au fost analizate comparativ, pentru a fi validate de măsurători *in situ* și de măsurători satelitare, specifice domeniului EO (Earth Observation). Colectarea datelor necesare pentru validarea modelului de circulație a fost realizată cu un curentmetru cu efect Doppler (ADCP), în cadrul unei expediții de măsurători hidrologice în portul Constanța și în zonele adiacente. Datele necesare pentru validarea modelului hidrodinamic de valuri au provenit de la sistemul de avertizare pentru geohazarde marine, EMSO EUXINUS, aparținând institutului GeoEcoMar.

Au fost, de asemenea, utilizate instrumente specifice domeniului GIS, pentru crearea cadrului necesar generării gridului/rețelei de calcul pentru modelele hidrodinamice utilizate.

S-a ajuns la concluzia, în urma studiului, că este nevoie de aprofundarea, atât a demersurilor numerice/teoretice, cât și a celor de măsurători și observații pe teren, pentru o cunoaștere corectă a proceselor hidrodinamice, dată fiind marea variabilitate a parametrilor implicați.

Structura Tezei

Pentru desfășurarea studiilor aferente aplicațiilor de modelare, sunt necesare date cu acoperire spațială și temporală, suficient de extinse, precum și documentarea activităților de inginerie, pentru modelarea costieră. Aceasta implică concentrarea asupra a două aspecte ale modelării hidrodinamice. Primul aspect se referă la demonstrarea modului în care modelele numerice pot fi aplicate, pentru a înlesni înțelegerea proceselor coastiere regionale și locale, în scopul unei evaluări predictive asupra regimului de val-curent și respectiv a răspunsului țărmului/structurilor portuare la diferite configurații de influență a factorilor de agitație marină.

Al doilea aspect este corelat cu selectarea modului în care aceste modele hidrodinamice pot fi utilizate pentru realizarea unui cadru de management integrat al navigației în zona de coastă. [2] Acest aspect poate fi extrapolat și asupra proiectelor de control al eroziunii costiere, care se pot desfășura în complementaritate cu proiectele de siguranță a navigației, într-un cadru specific noului concept al Planificării Spațiale Marine, conform Directivei privind amenajarea spațiului maritim - Directiva 2014/89/UE, de stabilire a unui cadru pentru amenajarea spațiului maritim, “proces prin care autoritățile statului membru în cauză analizează și organizează activitățile umane în zonele marine, cu scopul de a îndeplini obiective ecologice, economice și sociale” [3].

Modelele specifice hidrodinamicii valurilor și curenților marini, rezolvate numeric prin metode de calcul automat, abordate în lucrarea de față, au fost aplicate la diferite scări regionale și locale, de la scara întregului bazin al Mării Negre, la scara șelfului românesc, pe mezoscală (peste 100 de km), la aplicațiile costiere la scară locală, de zeci de kilometri, și chiar cinci kilometri.

Acest studiu de cercetare doctorală structurat în șapte capitole urmărește să identifice și să analizeze procesele hidrodinamice complexe, care se manifestă în zonele porturilor maritime în anumite condiții specifice ale regimului de agitație marină și care, de asemenea, pot avea impact asupra navigației costiere.

În **Capitolul 1** sunt prezentate motivația alegerii temei de cercetare și obiectivele studiului, metodologia utilizată, precum și un scurt istoric al demersurilor de cercetare hidrologică întreprinse în zona marină și a țărmului României.

Capitolul 2 cuprinde descrierea generală a bazinului Mării Negre, a cadrului fizic/geografic al zonei marine/costiere românești și a porturilor maritime. Sunt descrise regimul climatic general și vânturile predominante, precum și o analiză a variabilității nivelului mării la țarm.

Capitolul 3 prezintă elemente teoretice referitoare la hidrodinamica zonei marine/costiere. Sunt prezentate noțiuni de dinamica și cinematica fluidelor, principalele tipuri de curenți marini, elemente de teoria valurilor și domeniile de aplicabilitate ale acestor teorii, precum și metode moderne de măsurare și observare a parametrilor de val și ai circulației maselor de apă, în zone de interes, semnificative în ceea ce privește variabilitatea proceselor hidrodinamice.

În Capitolul 4 sunt prezentate noțiuni teoretice despre modelarea numerică a proceselor hidrodinamice, tipurile de modele utilizate precum și structura modulară și ecuațiile de guvernare ale modelului hidrodinamic MOHID. Au fost prezentate etapele principale în dezvoltarea unui model numeric, structura planului de simulări, condițiile la limită, domeniile de aplicabilitate. În acest sens a fost prezentat modelul hidrodinamic MOHID aplicat în zona Constanța începând din anul 2013 în varianta de procesare pe un sistem de calcul tip calculator PC, și concretizat la finalul anului 2017, într-un sistem operațional de prognoză, iSWIM (<http://iswim.rmri.ro>), accesibil pe server, prin intermediul unui sistem informatic de cartare web (WebMappingSistem/WMS).

Au fost realizate simulări ale propagării valurilor în incinta portului Constanța cu modelul SWAN (Simulating WAVes Nearshore), care este un model inclus în pachetul de programe MOHID STUDIO și care permite efectuarea de simulări la diferite scări spațiale și temporale, ales ca model alternativ la modelul WAM, cu aplicații la mezoscală.

De asemenea, a fost aplicat un model de fază, care simulează compunerea și transformarea valurilor din domeniul geometric ales al modelului. Un astfel de model de rezolvare a fazelor de dezvoltare a unui val este modelul de valuri dezvoltat pe baza aproximațiilor Boussinesq, fiind integrat ca aplicație numerică, inserată în pachetul de programe SMS (Surface Water Modeling System), sub denumirea BOUSS2D. Modelul a fost utilizat pentru aplicațiile numerice asupra propagării valurilor de furtună în zona porturilor maritime Constanța și Midia, unde datorită influenței pe care acestea o au asupra ariilor din incintele portuare, pot apărea fenomene asociate valurilor de resacă sau/și valurilor de seișă.

Capitolul 5 cuprinde demersurile de validare a modelelor hidrodinamice în zona portului Constanța, prin măsurători realizate în teren cu curentmetrul Doppler (ADCP) pe un traseu care cuprinde portul Tomis, zona șenalului navigabil al portului, gura de acces în port și dana zero, concomitent cu date obținute prin metode de observare de la distanță – prin teledetecție satelitară.

Capitolul 6 cuprinde concepte de bază privind evaluarea riscurilor în zonele porturilor maritime și noțiuni referitoare la managementul riscului maritim în cazul evenimentelor hidro-meteorologice excepționale.

În Capitolul 7 sunt prezentate concluziile, contribuțiile personale, precum și direcțiile de cercetare viitoare, având la bază rezultatele obținute în cadrul stagiului de cercetare doctorală.

CAPITOLUL 2 CADRUL FIZIC ȘI GEOGRAFIC AL ZONEI MARINE COSTIERE ROMÂNEȘTI

Capitolul 2 cuprinde prezentarea în sinteză a principalelor date și parametrii caracteristici ai regimului hidro-meteorologic marin și costier. Aceste date au fost procesate pe baza seturilor de date disponibile, furnizate de diferite centre oceanografice de la nivel regional, european și internațional. Rezultatele obținute converg cu tendințele identificate în lucrări de referință în domeniu pentru zona Mării Negre. Au fost analizate datele de vânt de la stațiile Mangalia și Constanța, în perioada 1965-2000 și s-a observat faptul că vânturile cu frecvența cea mai ridicată sunt cele care bat din direcția vestică cu o pondere de 17 % la Constanța și 20.3% la Mangalia, mai ales în timpul sezonului rece.

Cele mai mari viteze ale vântului s-au înregistrat la Constanța din direcție N și la Mangalia din NE de 6.5 m/s și respective 5.6 m/s. Acestea valori se înregistrează în perioada rece datorită predominanței circulației nordice. Cea mai mică viteză a vântului se înregistrează din sector sud-vestic de (3.4 m/s).

Furtunile din sector nordic sunt predominante pe durata întregului an. Furtunile cu vânt din sector sudic prezintă frecvența cea mai ridicată primăvara, cu valori ale vitezei vântului de până la 40 m/s. În lunile de vară apar intensificări scurte ale vântului cu viteze de 14-18 m/s. Pe fondul acestor valori ale vitezei și direcției vântului din sector nordic și sudic, valurile de larg pot atinge valori de 5 m și chiar mai mult. Frecvența valurilor de furtună în Marea Neagră este mai mică, dar acestea provoacă pagube mai mari, deoarece magnitudinea ridicării nivelului mării este de 7-8 ori mai mare decât variațiile nivelului mării datorate altor factori. Ca atare, valurile de furtună în zona Mării Negre pot conduce la o creștere a nivelului apei cu până la 1,3 m peste nivelul mediu.

O deosebită importanță pentru hidrodinamica bazinelor portuare o au oscilațiile de deformare periodice sau seișele care sunt caracteristice mărilor închise sau semiînchise și se manifestă ca un fel de pendulare a apei de la un tărâm la altul putând fi foarte ușor confundate cu mareele. Seișele se propagă pe suprafețe extinse ale mării și se manifestă în general pe perioade de timp, de la câteva minute până la treisprezece ore.

La litoralul românesc, în zonele Sulina, Sf. Gheorghe și Constanța, datorită orientării nord-sud a tărâmului, vânturile din N, NE, SE și S produc creșteri de nivel, iar vânturile din SV, V și NV produc scăderi ale nivelului mării. În zona Gura Portiței, unde tărâmul este orientat pe direcția NE-SV, vânturile din NE, E, SE, S și SV produc creșteri ale nivelului iar vânturile din V, NV, și N produc descreșteri ale nivelului mării. [4]

Este evidențiată tendința de creștere a nivelului mării, care poate fi atribuită atât unui excedent de apă (cazul anului 2005 când s-au înregistrat inundații catastrofale provocate de Dunăre), cât și tendinței de creștere a temperaturii apei marine cu 1,34 mm/an în intervalul 1933 – 1996, și de 1,9 mm/an pentru intervalul 1933 - 2007.

În acest capitol sunt prezentate, de asemenea, elemente despre amplasarea și configurația porturilor maritime românești, cu etapele de extindere a structurilor portuare, configurația danelor și a bazinelor portuare.

CAPITOLUL 3 ELEMENTE TEORETICE PRIVIND HIDRODINAMICA ZONEI MARINE/COSTIERE

Capitolul 3 cuprinde elemente teoretice referitoare la cinematica și dinamica fluidelor, regimul curenților marini, elemente de teoria valurilor și sunt descrise câteva metode moderne de măsurare a curenților marini și ai parametrilor de val.

Au fost prezentate elemente teoretice referitoare la regimul curenților marini, tipurile de curenți, dar și modele de circulație a maselor de apă. În mecanica fluidelor se disting două tipuri de viteze: viteza unei particule de apă în mișcare pe traiectoria sa/în derivă (metoda Lagrange) și viteza apei înregistrată într-o poziție fixă (metoda Euler), ambele descrise în acest capitol. Pe baza acestor două metode matematice s-au stabilit mai multe metode de măsurare a curenților marini, dintre acestea radarele costiere, sateliții sau curentmetrele cu efect Doppler fiind cele mai uzitate în oceanografia operațională.

A fost descris regimul general al curenților în zona țărmului românesc corelat cu metode de măsurare a curenților marini și costieri care au la bază cele două principii matematice amintite anterior. Pentru efectuarea de măsurători directe, de mare rezoluție spațială (atât pe orizontală, cât și în adâncime), asupra circulației marine în zona de nord-vest a mării, s-a utilizat aparatură de determinare a profilului vertical al curenților pe baza efectului Doppler (ADCP), capabilă să funcționeze staționar, sau/și pe durata marșului unei nave/ambarcațiuni.

În ceea ce privește abordarea aspectelor legate de teoria valurilor, au fost prezentate elementele morfometrice ale valului, regimul de agitație marină, domeniile de aplicabilitate ale diferitelor teorii de val, dar și elemente teoretice despre seșișe corelate cu rezonanța bazinelor portuare.

În finalul capitolului au fost prezentate câteva metode moderne de măsurare și observare a parametrilor de val:

- ✓ Măsurători cu valograful realizate de AQUAPROIECT S.A. București la Mangalia pentru măsurarea elementelor dinamice ale valurilor (viteze, perioade, amplitudini).
- ✓ Perspectometrul tip GM-12 care are posibilitatea măsurării înălțimii, perioadei, vitezei și direcției de propagare a valurilor, precum și a distanțelor pe mare.
- ✓ Stația de măsurare a energiei valurilor construită în anul 1983, din inițiativa ISPH, preluată ulterior de ICPGA devenit mai târziu AQUAPROIECT, iar din anul 2005 în custodia INCDGGM GeoEcoMar.
- ✓ Sistemul complex de monitorizare a mediului în zona vestică a Mării Neagre EMSO-EUXINUS, administrat de către Institutul de Cercetare-Dezvoltare GeoEcoMar în cadrul unui proiect internațional de cooperare transfrontalieră româno-bulgar pentru alertare în timp real față de geo-hazardele marine.
- ✓ Stațiile fixe amaratate, formate din aparate de tipul ADCP montate pe un cadru de inox nemagnetic pentru a evita influența materialelor fero-magnetice asupra busolei interioare. Setarea configurațiilor de colectare a datelor se realizează în funcție de adâncime, de condițiile hidrodinamice și de natura structurilor învecinate în cazul stațiilor fixe de măsurare.

CAPITOLUL 4 METODE DE MODELARE/SIMULARE A PROCESELOR HIDRODINAMICE ÎN ACVATORIILE PORTUARE ȘI ZONELE ADIACENTE

În acest capitol sunt prezentate tipurile de modele numerice utilizate în modelarea proceselor hidrodinamice marine/costiere, descrise pe domenii de aplicabilitate. În urma analizei efectuate a fost ales modelul hidrodinamic MOHID pentru simularea proceselor de circulație în zona Constanța/portul Constanța și modelele numerice pentru transformarea valurilor aplicabile în zona de coastă și în bazinele portuare, SWAN și BOUSS2D.

Modelele numerice hidrodinamice includ modele de circulație, modele de valuri și modele de transport de sedimente. Mai multe tipuri de modele sursă liberă sunt oferite de comunitatea internațională, sau sunt furnizate contra cost diferite interfețe grafice, de tipul celor din pachetul de programe CEDAS și SMS (Surface Waters Modeling System), fiind direct aplicabile pentru utilizare în domenii precum STR (Sediment Transport Rate) și ICZM aplicat managementului regional de sedimente, de pe litoralul românesc al Mării Negre. Toate aceste modele sunt disponibile, având interfețele de utilizator prietenoase, aplicabile la coasta românească.

Un model de circulație utilizează viteza și direcția vântului, nivelul apei (supraînălțări la furtună, regimul hidrologic al râurilor, etc.) și inputul debitelor râurilor care se varsă în mare dacă este cazul. Modelul este rulat la limitele specificate pentru a calcula viteza curentului și a nivelului apei la fiecare nod din domeniul geometric al rețelei de calcul extinse pe întregul sector modelat. Modelul de circulație MOHID rulat la scara bazinului Mării Negre este destinat să furnizeze condiții regionale la limită (viteza de curgere, direcția și calcule ale nivelului apei) ca date de intrare pentru a susține modelul regional/costier. Cerințele de calitate asupra datelor includ batimetria la scara întregului bazin, poziția liniei țărmului bazinului, existența diferitelor structuri de navigație, și date hidro-meteorologice constând din serii de timp (viteza vântului, direcția vântului, nivelul apei și debitul cursurilor de apă).

Modelele numerice de transformare a valurilor, calculează modificările valurilor la apropierea de țărm. Un model de transformare a valurilor utilizează o combinație între parametrii energiei eoliene de larg, înălțimea, perioada și direcția valului înregistrate în anumite zone (ex. Platforma Gloria), precum și viteza curentului și nivelul apei calculate dintr-un model de circulație regională ca intrare sau condiție la limite. În cadrul modelului, undele valurilor trec prin transformări, cum ar fi refracția/difracția sau deferlarea la apropierea de țărm. Efectele curenților din apropierea malului, cum ar fi cei generați de fluxul debitului fluviilor la gurile de vărsare sau influența curenților longitudinali, sunt încorporate în procesul de transformare a valurilor. Modelul de val are un domeniu regional, care reprezintă un modul inclus al domeniului modelului de circulație.

Pachetul de programe MOHID Studio acceptă mai multe modele de valuri disponibile pentru aplicarea pe domenii de coastă. Alegerea tipului de model depinde de procesele și structurile/obstacolele marine din zona de studiu. Datele necesare pentru rularea modelului sunt batimetria în apropierea țărmului, locația, altitudinea și transmisibilitatea structurilor de coastă (diguri, epiuri, structuri portuare) și date/serii de timp la limita dinspre larg (înălțimea valurilor marine, perioada și direcția valurilor, viteza și direcția vântului, nivelul apei, viteza și direcția curentului din modelul de circulație sau dintr-o altă sursă de date).

Într-un model de studiu al hidrodinamicii marine costiere o importanță specială o au specificarea condițiilor la limită, construcția grid-ului (a rețelei de calcul) împreună cu interpolarea batimetriei. La modul general există patru etape în dezvoltarea unui model numeric:

1. Prima etapă în crearea unui model numeric pentru o anumită regiune, are la bază dezvoltarea unei înțelegeri conceptuale a cauzelor/factorilor motori care stau la baza proceselor hidrodinamice care urmează a fi modelate. În această etapă se aleg modelele matematice care vor fi folosite și se stabilesc condițiile la limită. Realizarea unui model conceptual viabil al sistemului natural se realizează prin introducerea unor simplificări sub forma unui set de ipoteze care exprimă înțelegerea asupra comportamentului sistemului real.

2. Al doilea pas constă în translatarea modelului conceptual într-un model matematic. Modelul matematic descrie fenomenele fizice/chimice/biologice relevante pentru problema considerată, definește suprafețele de graniță, condițiile inițiale care descriu starea cunoscută a sistemului la un anumit moment (inițial), introducerea corectă a condițiilor de limită, intrările și ieșirile cantităților generale, ecuațiile care exprimă echilibrul cantităților generale considerate, (masa, energia de fază și componentele). Astfel, în această etapă are loc discretizarea domeniului geometric rezultând rețeaua (gridul) de discretizare care reprezintă cadrul spațial al problemei studiate.

3. Etapa a treia reprezintă modelarea propriu-zisă pe baza rețelei de discretizare, care a fost generată în etapa anterioară. În această etapă se aleg ecuațiile care modelează fenomenele caracteristice problemei studiate, ținând cont de scara la care se desfășoară procesele semnificative, selectate în cadrul modelului și se definesc condițiile la limită. Rezultatul obținut în etapa de calcul este supus postprocesării grafice care face accesibilă analiza rezultatelor.

4. Ultima etapă constă în validarea rezultatelor obținute în urma procesului de modelare prin măsuratori *in situ*. Toate aceste etape necesită resurse hardware și software adecvate precum și o experiență și înțelegere deosebite a fenomenelor implicate.

Modelul hidrodinamic MOHID este un model de circulație marină, tridimensional realizat de [MARETEC](#) (Marine and Environmental Technology Research Center) aparținând de Universitatea Tehnică din Lisabona.

Modelul este structurat pe principiul modular complex, respectiv fiecare modul poate cere sau primi informații/rezultate de la alte module. Modulul hidrodinamic se bazează pe curgere de tip hidrostatic în contextul aproximării Boussinesq. Discretizarea spațială se face pe volume finite într-o rețea octogonală, respectiv în coordonate generice în planul orizontal, respectiv vertical. Punctele de calcul din rețea sunt definite prin metoda *Arakawa C*, existând module pentru transportul de tip Euler sau Lagrange. Analiza discretizării forțelor și a condițiilor de frontieră arată, prin comparație, că modelul este modern și la un nivel ridicat de complexitate.

Modelul MOHID este structurat, în jurul a patru clase principale interconectate: clasa hidrodinamică (soluție hidrodinamică de calcul), clasa Water Properties (model de transport Eulerian), clasa de Turbulență (calculul coeficienților de difuzie a turbulenței), clasa Lagrangiană (model de transport Lagrangian).

Clasa de hidrodinamică a modelului MOHID rezolvă ecuațiile primitive de continuitate și de impuls pentru ridicarea suprafeței mării și câmpul de viteze 3D pentru

fluide incompresibile, în coordonate orizontale ortogonale și coordonate verticale generice, presupunând un echilibru hidrostatic și o aproximație Boussinesq.

Implementarea modelului hidrodinamic MOHID în zona Constanța. Modelul a fost implementat, fiind compus dintr-un set de componente software, care gestionează fluxul de lucru de date provenind din diferite surse de date, inclusiv date CMEMS, precum și modele/rutine numerice operate în Windows.

- ✓ Aplicațiile Modelului MOHID includ următoarele caracteristici principale: achiziție de date în timp real, de la stațiile meteorologice și hidrologice, incluzând prognozele meteorologice de la stațiile meteorologice locale sau prin rularea modelului WRF integrat.
- ✓ Simulare avansată a circulației de coastă folosind modelul 3D MOHID.
- ✓ Predicții ale indicatorilor de calitate a apei din zonele pentru îmbăiere, realizate pe baza oricărei proprietăți observate (de exemplu ploii, debite) sau orice proprietate, care poate fi modelată (de exemplu, concentrația de coliformi).
- ✓ Informațiile furnizate de către sistem pot fi publicate prin rapoarte periodice și pagini web personalizate <http://iswim.rmri.ro/>.

Configurarea modelului MOHID a fost realizată pe cele 3 domenii incluse pe baza procedurilor de reducere a scării/downscaling. Toate modelele sunt implementate ca modele baroclinice 3D, având ca forță motrice condițiile meteorologice (vânt, radiație solară) și debitele principalelor râuri.

Nivelul 1 - Modelul Mării Negre. Modelul Marea Neagră este nivelul de bază de la care se pornește (Level 1) și acoperă întreaga bazin al Mării Negre (fig. 4.1.).

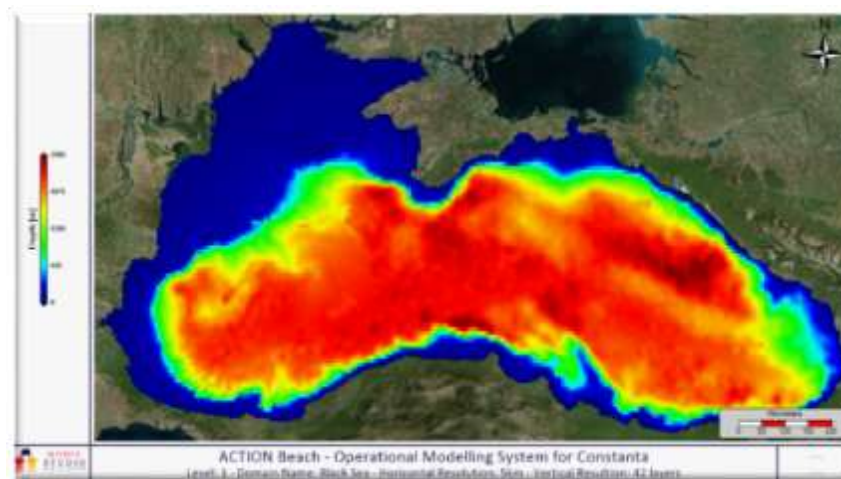


Fig. 4. 1. – Batimetria Mării Negre

Modelul Mării Negre a fost configurat pentru a avea o rezoluție orizontală a rețelei de calcul de aproximativ 42 straturi verticale și o mărime a celulei de calcul de 5.0 km . Condițiile la limită sunt date de vânt (date preluate inițial de la GFS/NOAA), fluxurile de radiație solară (preluate de la GFS) și debitele medii anuale ale regimului hidrologic: Dunărea cu cele 3 brațe, Nipru, Strâmtoarea Kerchi (Don și Kuban), Strâmtoarea Bosfor (suprafață și de fund). Condițiile inițiale pentru temperatură și salinitate sunt obținute în prezent de la CMEMS/Copernicus.

Nivelul 2 - Modelul Șelfului românesc. Nivelul 2 al modelului acoperă șelful românesc, și a fost configurat pentru a avea o rezoluție orizontală a gridului de calcul de aproximativ 39 de straturi și o mărime a celulei de calcul verticale de 1.25 km. Condițiile la limită sunt date de parametri de vânt (GFS), fluxuri de radiație solară (GFS) și debitele medii anuale. La limita deschisă a modelului sunt preluate condițiile inițiale de la modelului Mării Negre din etapa nivelului 1 (fig. 4.2.).

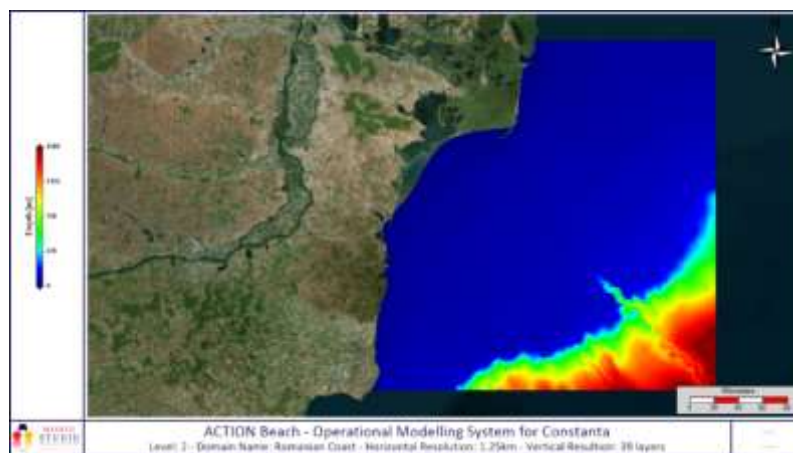


Fig. 4. 2. – Batimetria șelfului românesc al Mării Negre

Nivelul 3 - Modelul costier al zonei Constanța. Acesta acoperă Golful Mamaia, Constanța și golful Eforie așa cum se arată în figura următoare. Acest model a fost configurat pentru a avea o rezoluție orizontală a rețelei de calcul de 0.3 km și aproximativ 18 straturi pe verticală. Condițiile la limită sunt vântul (GFS) și fluxurile de radiație (GFS). Condițiile la limita deschisă sunt impuse de condițiile inițiale ale modelului regional (level1) și respectiv al șelfului românesc (level 2). (Fig.4.3)

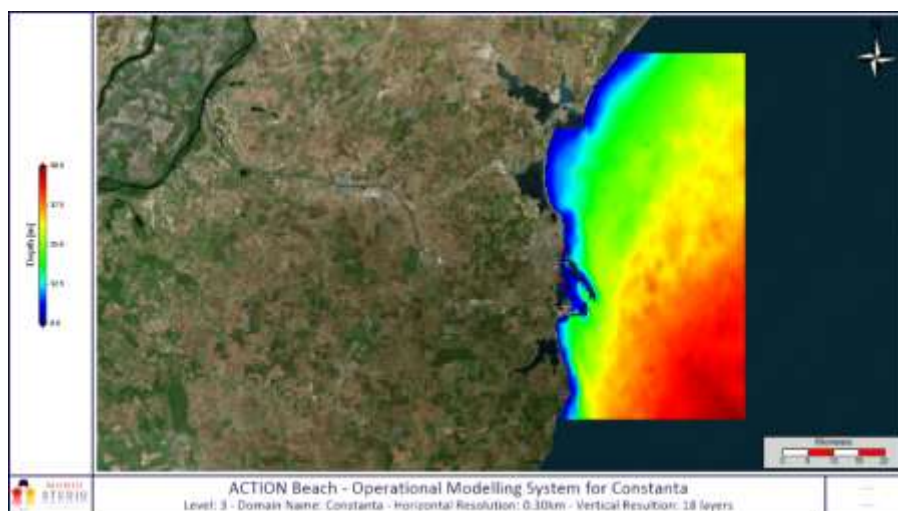


Fig. 4. 3. – Batimetria aferentă zonei metropolitane Constanța

Rezultate obținute în urma rulărilor modelului MOHID. Odată ce modelul a fost configurat și rulat, sunt obținute datele de ieșire care sunt stocate și extrase în seturi de date HDF. Aceste seturi de date conțin date de ieșire pentru întreaga suprafață a domeniului modelului. Modelul furnizează hărți de distribuție a curenților la diferite scări: scara regională (zona Constanța), scara bazinului Mării Negre și la scări locale (Mamaia), precum

și diferite serii de timp în locații de interes (fig. 4.4. – 4.6.). De asemenea sunt furnizate informații asupra parametrilor de calitate a apei sub forma distribuțiilor temperaturii și salinității, pe profil sau pe suprafață. Informațiile asupra circulației sunt furnizate de măsurătorile istorice desfășurate în diferite zone costiere ale Mării Negre (fig. 4.4.).

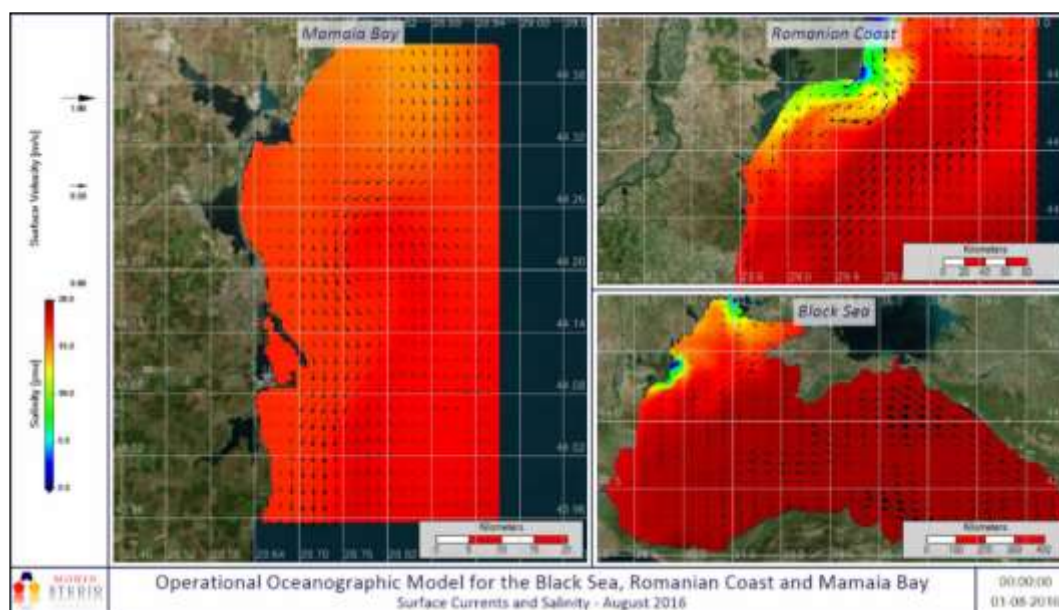


Fig. 4. 4. – Batimetria aferentă zonei metropolitane Constanța

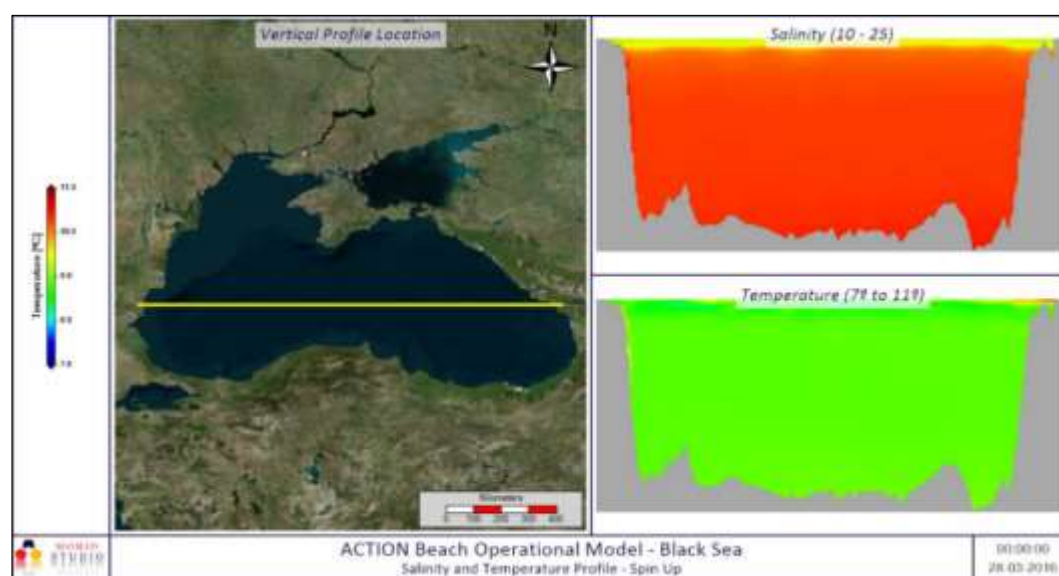


Fig. 4. 5. – Parametrii de calitate a apei - profil transversal

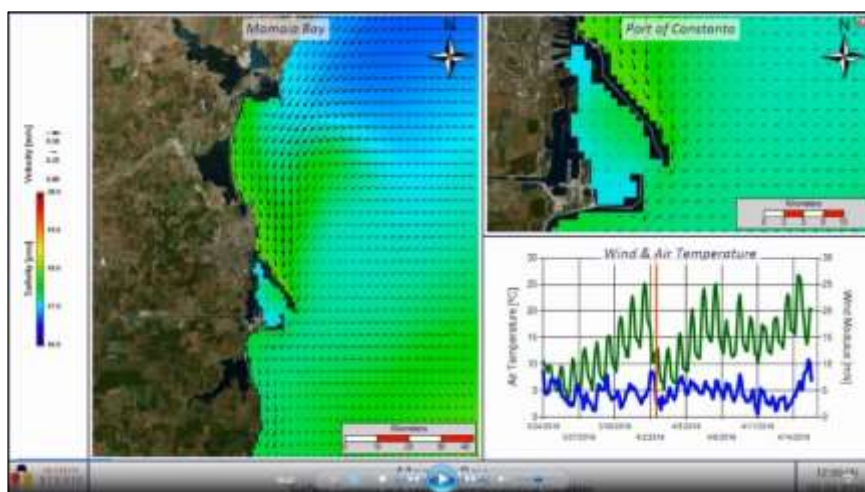


Fig. 4. 6. – Distribuția curenților pentru zona Portului Constanța 02.24.2016 (ora 12:00)

Rezultatele obținute pe model 3D, arată un bun acord cantitativ cu rezultatele măsurătorilor istorice pentru parametrii hidrodinamici, respectiv includerea magnitudinii vectorilor curenților calculați în domeniul valorilor medii de fond (0 - 0,75cm/s). Problema comună pentru studiile privind modelarea circulației marine este aceea a concordanței rezultatelor obținute pe model cu datele înregistrate în teren. Rezultatele obținute în simulări numerice realizate cu modelul MOHID concordă, în linii generale, cu schemele generale de circulație, și a celorlalte parametrii hidrodinamici pentru sezonul cald, în timpul în care modelul a fost implementat, oferind detalii asupra proceselor de mezoscală. Analiza rezultatelor relevă faptul că rezultatele obținute concordă cu paternurile variabilității hidrologice aferente șelfului românesc.

Pentru validarea simulărilor numerice realizate, este necesară comparația rezultatelor calculate cu înregistrările disponibile pentru a evalua corelația acestora pentru cele trei modele. Validarea modelului s-a făcut însă pe baza comparației parametrilor mășurați ai curenților dar și vizual, prin compararea rezultatelor cu hărți de distribuție furnizate de sistemele ESA și NASA de Observare a Terrei. Astfel s-a putut identifica/detecta și îndepărta un “bug” în legătură cu temperatura debitelor la gurile Dunării. Această analiză rapidă este foarte utilă în identificarea acestor inadvertențe, distorsiuni ale programelor (fig. 4.7).

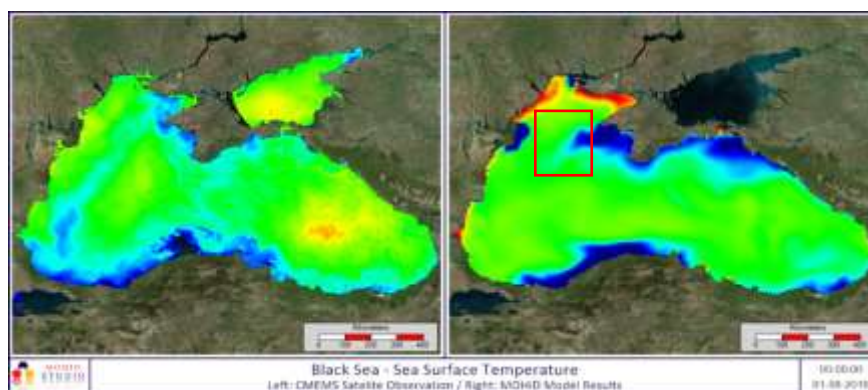


Fig. 4. 7. – Comparația distribuțiilor calculate cu imagini satelitare (CMEMS) pentru data de 01.08.2016

Modelul reproduce foarte bine curenții de suprafață în legătură cu răspândirea penei de apă dulce la gurile Dunării și în zona promontoriilor naturale/obstacole marine, precum și extinderea fronturilor de turbulență/sediment în suspensie în zona șelfului românesc nordic (fig.4.8).

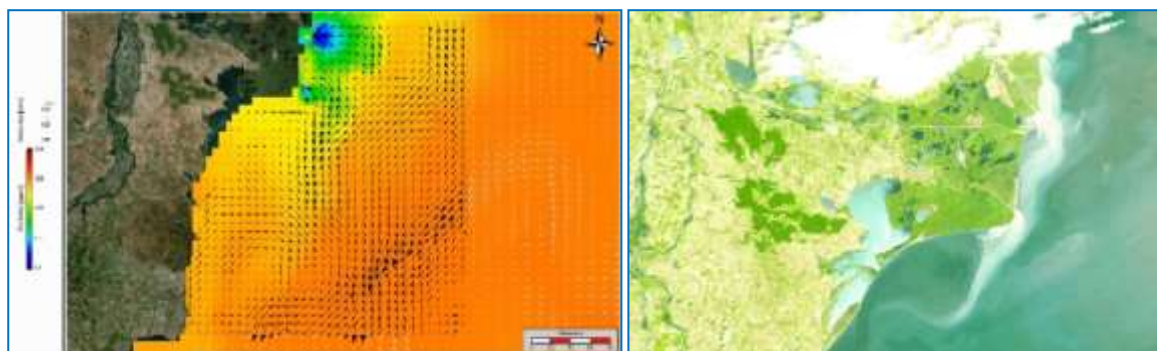


Fig. 4. 8. - Rezultatul modelului de circulație comparat cu date satelitare CMEMS asupra zonei Deltei Dunării

În același timp, analiza diferențelor dintre proprietățile fizice (temperatură și salinitate) calculate și măsurate ale maselor de apă la gurile de vărsare, evidențiază utilitatea modelului hidrodinamic în evaluările impactului fluvial asupra ecosistemului marin adiacent Deltei Dunării (fig.4.9).

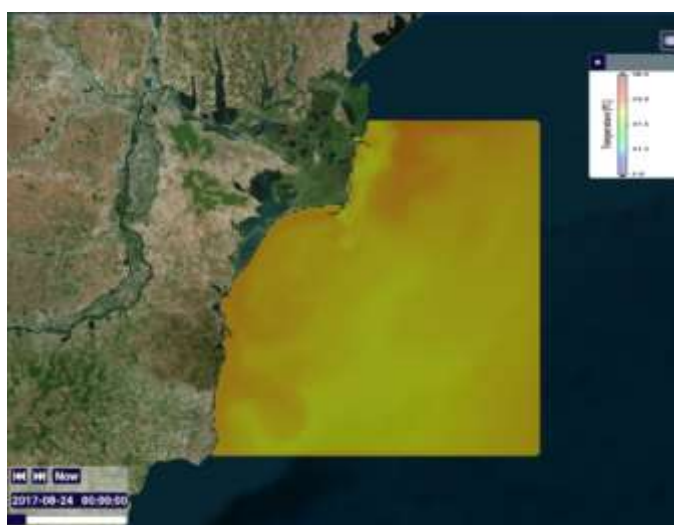


Fig. 4. 9. – Pana termică aferentă inputului de apă dulce la gurile Dunării

Modelul numeric pentru Marea Neagră este funcțional din 20 octombrie 2016, iar distribuțiile curenților acoperă întreaga zonă a Mării Negre. Analiza rezultatelor obținute în urma rulării celor trei modele hidrodinamice concordă cu schemele generale de variabilitate a mișcării maselor de apă și oferă detalii suplimentare privind dezvoltarea procesele marine de circulație la mezoscală, dar și local, în zone adiacente porturilor. Informațiile asupra circulației furnizate de model, deși măsurătorile *in situ*/datele de validare nu au fost disponibile pentru perioada aleasă pentru rulare, au fost folosite pentru a asuma informații cantitative asupra modurilor de generare a curenților în zonele adiacente portului Constanța.

Studiul proceselor hidrodinamice a fost desfășurat pe o batimetrie relativ bună în zonele din apropierea malului, iar experimentele numerice au fost desfășurate folosind versiunea 3D a modelului MOHID, investigând sensibilitatea la parametrii de mediu, iar rezultatele au fost comparate calitativ cu datele sinoptice, de teledetecție/EO, disponibile. Astfel, rezultatele obținute pe model 3D, arată un bun acord calitativ și cantitativ cu rezultatele măsurătorilor disponibile pentru parametrii hidrodinamici marini. În concluzie sistemul este implementat și rulează bine pentru zone de interes ale Mării Negre. Au fost îmbunătățite condițiile de limită ale modelului de bază (în ceea ce privește asimilarea temperaturii și debitelor). Totuși sunt necesare validări *in situ* dar și cu ajutorul datelor de teledetecție.

Un pas important ca dezvoltare ulterioară ar fi extinderea modelului în domeniul aplicațiilor de deversare de hidrocarburi, cautare și salvare, deșeuri marine și calitatea apelor de băiere în toate zonele turistice de interes din zona litoralului românesc al Mării Negre.

Simularea propagării valurilor în incinta portului Constanța cu modelul SWAN. Pentru studiul propagării valurilor în acvatoriul Portului Constanța a fost ales modelul spectral 2-D SWAN care diferă de modelele de valuri adaptate proceselor de mare adâncă, din următoarele considerente:

- ✓ este descris de ecuații ale proceselor fizice care au loc în apele puțin adânci;
- ✓ este rulat la o rezoluție mai mare pentru a ține cont de variațiile batimetrice costiere;
- ✓ propagarea valurilor este implicită (parametrizată), mai degrabă decât explicită (simulată);
- ✓ este frecvent rulat într-un mod “staționar”, spre deosebire de modul de rulare cu “pas de timp”.

În ceea ce privește pierderile și sursele energiei valurilor, SWAN contabilizează creșterea valurilor indusă de vânt, scăderea valurilor din cauza berbecuților (vârfurile înspumate), frecarea de patul apei și spargerea valurilor produsă de adâncime și transferul nelinier al energiei valurilor prin interacțiuni val-val. În ceea ce privește propagarea undelor, SWAN consideră energia valurilor de la o celulă a rețelei de calcul la alta. Pentru a face acest lucru cu precizie, SWAN contabilizează efectele cauzate de batimetrie, obstacole și curenți. Deși SWAN este capabil să aproximeze efectele difracției, de obicei nu este foarte precis în aceasta, în schimb erorile mici în batimetrie pot duce la erori mari în predicțiile valurilor.

Condițiile inițiale pentru SWAN provin de obicei din două surse: observații și înregistrări *in situ* sau intrări de la modele rulate într-un domeniu mai mare. SWAN necesită date de batimetrie și forțele generate de vânt sau valuri, ca fiind condiții inițiale de rulare. Condițiile de limită provenind de la stații de înregistrare a valurilor sunt de obicei aplicate pe marginea dinspre mare a domeniului geometric al modelului. SWAN poate fi, de asemenea, inclus în domeniul unui model mai mare. Abordările hibride inițializează SWAN cu ieșirea modelului într-un singur punct al rețelei de calcul a modelului, cu o stație hidrologică virtuală.

Modelul SWAN poate fi rulat fie în modul staționar, fie în cel nestaționar. Modul staționar necesită mai puține calcule, dar necesită condiții relativ constante în timpul necesar propagării valurilor în domeniul geometric al modelului, existând predispoziția la erori de timp. Energia valurilor de intrare este absolut esențială pentru majoritatea zonelor de coastă (deși vântul se poate neglija pe un domeniu de model foarte mic), astfel că input-ul datelor

de vânt, înregistrate la coastă este absolut esențial pentru modelarea hidrodinamicii lacurilor, lagunelor sau bazinelor izolate costiere. În funcție de locație, în simulările SWAN pot fi incluse curenți, variații de nivel al mării și frecarea de patul solid al mării, existând riscul ca la implementare marginile domeniului modelului să fie predispuse la erori datorită schimbării condițiilor de limită, respectiv variațiilor rapide ale gradientilor batimetrice și coeficienților specifici ecuațiilor proceselor fizice ale modelului la diferite scări spațiale.

Experiment numeric. Examinarea datelor de vânt pentru unitatea sudică se bazează pe înregistrări la stația Constanța. În același timp, a fost analizat regimul curenților și nivelul mării, pentru a cuantifica magnitudinea valurilor și penetrarea acestora în acvatoriul portului Constanța, în cazul unui regim de val de furtună.

Pentru studiul climatului valurilor a fost analizată disponibilitatea modelelor sursă liberă pentru o implementare numerică asupra proceselor complexe de transformare a valurilor în apropierea coastei, respectiv în zona Portului Constanța.

Dat fiind faptul că **SWAN (Simulating WAVes Nearshore)** este un model inclus în pachetul de programe **MOHID Studio**, dar mai ales pentru că modelul permite implementarea unei aplicații numerice de modelare a valurilor la coasta Mării Negre, prin efectuarea de simulări la diferite niveluri și scări spațiale, a fost ales ca model alternativ la modelul WAM, cu aplicații la mezoscală. Următoarele procese de propagare a valurilor au fost implementate în SWAN:

- ✓ propagarea în spațiul geografic,
- ✓ refracție datorată variației curențului și batimetriei,
- ✓ blocarea și reflecția datorate opoziției curenților și obstacolelor.

Efectele generării și disipației valurilor sunt, de asemenea, luate în considerare:

- ✓ redistribuirea energiei spectrului de val datorită interacțiunilor valurilor neliniare,
- ✓ generarea valurilor de vânt,
- ✓ disiparea datorită berbecuților,
- ✓ disiparea energiei în zonele de adâncime mică/spargere a valurilor.

Modelul geometric pentru implementarea modelului SWAN a fost configurat pe baza batimetriei regionale a portului Constanța și a liniei de coastă dintre portul Midia, la nord de golful Mamaia și stațiunea Costinești, la sud de capul Tuzla. Pentru a reprezenta adâncimea, datele disponibile au fost structurate în rețele de calcul, folosind date de înaltă rezoluție măsurate în apropierea plajei și date batimetrice de rezoluție scăzută spre largul mării.

Zona de interes a portului Constanța a fost inclusă de o rețea de 21x42km, asigurând condițiile de frontieră pentru zona de transformare a valului specifică țărmului sudic românesc, așa cum a fost delimitată în figura (4.10). Ulterior, anumite domenii de rezoluție mai mare pot fi introduse în zona de transformare pentru zonele portuare locale de interes, cum ar fi zonele de adăpostire sau de manevră din port.

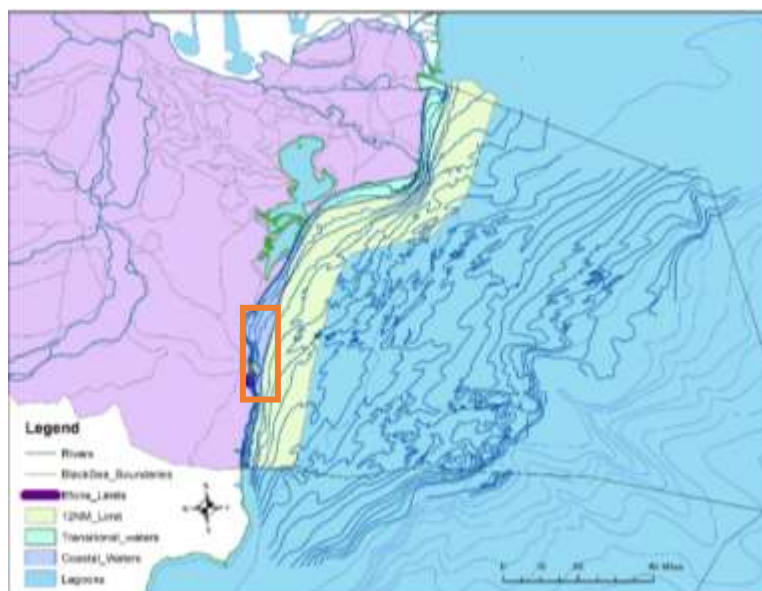


Fig. 4. 10. – Construirea domeniului geometric de implementare a modelului SWAN

Testele de calibrare și validare a sistemului de modelare au fost efectuate luând în considerare sursele de date din zona Constanța, înregistrările de date costiere și datele off-shore ECMWF pentru o stație virtuală plasată la 40 m adâncime, în apele teritoriale. Simularea pe câmpurile de valuri a fost realizată pentru evenimente extreme, pentru diferite setări ale regimului de val pe anumite direcții ale acțiunii vântului dominant, în special în timpul sezonului rece, respectiv pentru direcțiile maxime de acțiune date de configurația intrării portului, dar și de direcția valului de furtună maxim calculat pentru o perioadă de întoarcere de 100 de ani.

Simulările SWAN au fost rulate în modul *bidimensional non-staționar*, cu un pas de timp de o oră pe o rețea de calcul de 21x42 km, care acoperă modelul geometric ales, având originea în punctul de coordonate UTM35N ($X_0 = 629000$ / $Y_0 = 4867000$), cu o rezoluție de 75 m pe ambele direcții, nord și est. Datele de inițializare a modelului au fost **batimetria**, **linia de coastă**, împreună cu **datele de vânt**.

Datorită amplasării gurilor de acces ale porturilor Navodari și Constanța spre sud și sud-est, o mare varietate de valuri de frecvențe, faze și amplitudini diferite, au fost convertite cu ajutorul programelor de preprocesare, pentru a decela situațiile cele mai semnificative pentru zona de interes a portului Constanța. Pentru fiecare rulare, modelul efectuează maximum 50 de iterații sau până la atingerea unei convergențe de 98%. Calculele au fost făcute pe baza unor relații semi-empirice derivate din spectrul JONSWAP, la care s-au aplicat parametrii spectrali specifici (coeficientul direcțional „m” a fost stabilit la 8 și coeficientul de frecare de pat: 0,038).

Modelul a fost setat să scrie rezultatele la fiecare 6 ore. Astfel, propagarea valurilor incidente extreme în acvatoriu s-a făcut pentru trei cazuri de valuri de larg la condițiile de val extreme în apropierea țărmului, determinate pentru Portul Constanța. O serie de simulări cu diferite limitări au asigurat relația dintre condițiile off-shore și a celor din apropierea țărmului ale zonelor de interes selectate.

Datele incluse în model au fost pentru parametrii vântului: viteza vântului la 10 m înălțime [m / s] și direcția [°], iar pentru parametrii valurilor: înălțimea semnificativă a valului [m], perioada maximă a valurilor [s], perioada medie a valului [s] și direcția de val

medie [°], iar pentru direcțiile spectrale au fost alese determinările tridirecționale de 0°, 45-60° și 135-180°.

Condițiile de limită pentru modelul SWAN au fost specificate uniform pentru condițiile la limita deschisă ale zonei costiere aferente portului Constanța.

Distribuțiile valului obținute pentru valorile maxime ale valurilor pe direcțiile valurilor dominante maxime, au asigurat selectarea cazurilor de propagare specifice pentru zonele acvatoriului.

Parametrii considerați, înălțimea semnificativă a valului, viteza vântului și viteza curentului, au fost furnizați de Masterplanul de protecție costieră (Halcrow 2011) [5], în care pentru măsurătorile valurilor marine, estimările obținute au fost realizate folosind modele empirice derivate din analiza datelor altimetrice, precum și metoda valorilor maxime a valurilor pentru a determina condițiile extreme. Astfel, toate condițiile de larg peste o valoare de prag au fost considerate și selectate ca valori ale furtuniilor: viteza vântului peste 10 m/s, înălțimea semnificativă a valului peste 2,0 m și dezvoltate pe o perioadă de minim 48 de ore. Perioadele de vârf ale valului au fost determinate în raport cu datele disponibile pentru segmentul de trei direcții ale rozei valurilor. Valorile de furturi extreme/pe niveluri de setare maximă a mării, au fost stabilite pe baza unui studiu amplu al literaturii existente în România sau regional pentru Marea Neagră. Nivelul apei a fost stabilit la MSL, care este Marea Neagră75 (MN75), variațiile nivelului mării din cauze meteorologice, care variaza de la -30cm la + 80cm în cazul furtunilor puternice, nu depășesc valorile de 20 cm pentru situații de regim normal la țărmul românesc.

Rezultatele simulărilor numerice. Valurile de suprafață, ca urmare a energiei transferate prin acțiunea vântului, au un rol foarte important în formarea și evoluția câmpului de valuri incidente de-a lungul malului, în propagarea lor din direcția dominantă a vântului.

În zona porturile maritime Navodari și Constanța, obstacole marine majore induc o mare variabilitate a valurilor, interferate de valurile reflectate sau difractate, în cantități diferite. Astfel energia transferată de forța vântului pe suprafața apei este disipată semnificativ, după ce în zonă valurile ajung în apropiere de țărm, în contact cu construcțiile hidrotehnice de protecție portuară care dezvoltă zone de adăpostire a activităților portuare.

Pentru un interval de timp multianual de referință, între 1971 - 2015, datele valurilor înregistrate pentru stația de coastă din Constanța plasate la 11 m adâncime, în partea de nord a portului maritim, frecvența cea mai mare, 37-40% din cazuri sunt reprezentate de valuri cu o înălțime de 0,5-1,0m, urmată de valuri cu înălțime foarte mică (0,0 - 0,5 m) pentru 27-28% din cazuri, și respectiv valuri cu înălțime 1,0-1,5 m în 17-18% din cazuri. Doar într-un procent de 1% din valuri este depășită înălțimea de 3,7 m. Pentru distribuția sezonieră - înălțimea medie a valurilor în sezonul de iarnă este de 0,78 - 1,79m. Prin urmare, în cazul coastei românești, activitățile legate de navigația maritimă nu sunt afectate major de variabilitatea climatică, existând doar câteva cazuri mai speciale de operațiuni portuare în condiții critice.

De asemenea, pentru țărmul românesc, curenții de coastă sunt în general curenți sudici, dar sunt influențați de curentul de margine al Mării Negre și de variabilitatea vântului, de aceea predomină curenții dinspre N, NE și E. Există curenți cu intensitate mai mare apropiați de zonele gurilor de intrare a incintelor de adăpostire ale porturilor maritime, dar influențele date de obstacole marine, cum ar fi stâncile sau promontoriile naturale, nu

există. Astfel, au fost utilizate date ale spectrului de val, având înălțimea cea mai mare, pentru rularea modelului SWAN, în studiul impactul câmpului incident al valurilor sudice, din ce în ce mai frecvent în ultimii ani. Condițiile valurilor extreme, obligatorii pentru estimarea regimului mediu hidrodinamic pentru diferitele secțiuni critice aferente zonei studiate, sunt prezentate de rezultatele modelului, evidențierea înălțimii valurilor semnificative și a perioadei de val mediu, pentru clasele de direcții principale, care produc cele mai severe condiții de limitare ($135-180^\circ$ și $45-60^\circ$) și provoacă cele mai indezirabile condiții în arii adiacente portului. Impactul nivelului apei/furtunii asupra valului semnificativ în locații de înregistrare cu adâncime relativ redusă este de aproximativ 10% și considerabil mai mic la adâncimi mari. De asemenea, efectul de adăpost creat de digurile portului Constanța, este bine reprezentat în condițiile specifice pentru incidențele valurilor sudice. Procesele relevante testate cu SWAN au fost efectuate pentru diferite combinații ale parametrilor modelului, pentru transformarea condițiile de navigație în larg pentru locațiile din apropierea porturilor maritime: nivelul semnificativ al valului incidente H_{m0} , panta valului și direcția vântului (trei clase semnificative de direcții ale valurilor) (Fig. 4.11. – 4.13.).

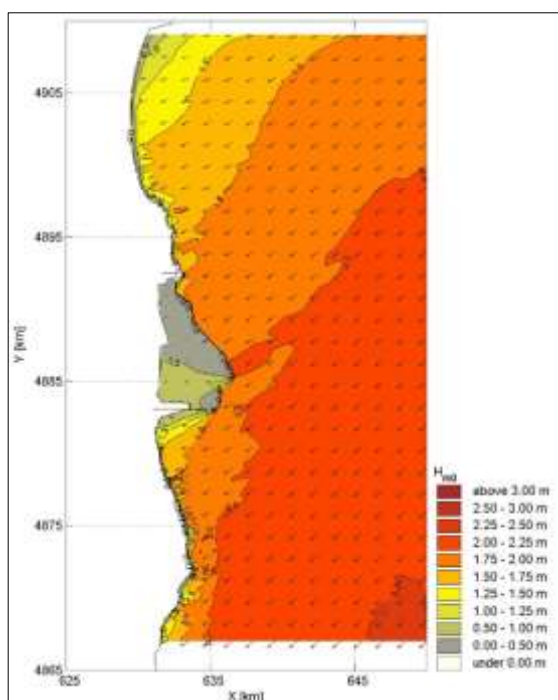


Fig. 4. 11. – Distribuția spațială pentru valuri incidente din direcția NE, 45° ($H_{m0} = 2.75\text{m}$, $T_p = 9\text{sec}$), la o viteză a vânturilor de 11m/s .

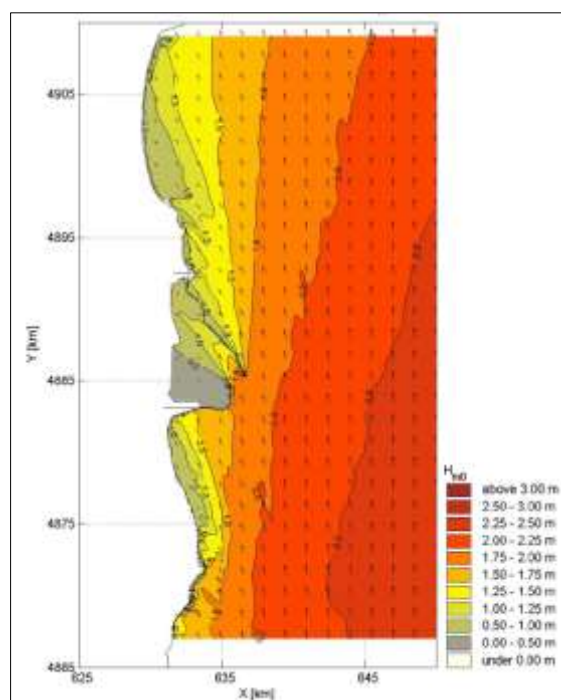


Fig. 4. 12. – Distribuția spațială pentru valuri incidente din direcția S, 180° ($H_{m0} = 2.75\text{m}$, $T_p = 9.39\text{sec}$), la o viteză a vânturilor de 12m/s .

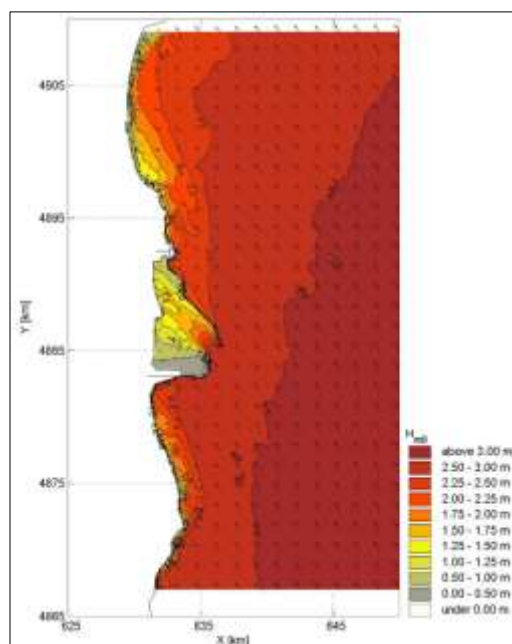


Fig. 4. 13. – Distribuția spațială pentru valuri incidente din direcția SE, 135° ($H_{m0} = 2.75\text{m}$, $T_p = 9\text{sec}$), la o viteză a vânturilor de 12m/s .

Dintre aceste condiții de val aplicate în modelul SWAN pentru diferite situații semnificative pentru locațiile din apropierea portului Constanța, este de subliniat faptul că valurile cele mai mari sunt generate din direcția NE, iar valurile cele mai impactante sunt valurile cu incidența perpendiculară pe gura portului, respectiv, valurile de S și SE, care produc în acvatoriu, mai ales în zona șenalului, valuri de cca $1,5 - 2\text{ m}$.

Modelarea proceselor de transformare a valurilor în portul Constanța cu modelul hidrodinamic BOUSS2D. Modelele costiere de valuri se împart în două clase largi, care pot fi abordate unidimensional sau bidimensional: modele de rezolvare a fazelor de dezvoltare a valurilor și modele ale valurilor spectrale. Modelele de fază simulează fiecare val din domeniul geometric ales al modelului. Un astfel de model de rezolvare a fazelor de dezvoltare a unui val este modelul Boussinesq, având o aplicație numerică inserată în pachetul de programe SMS (*Surface Water Modeling System*) numită **BOUSS2D**, util în special pentru aplicațiile care includ regimul valurilor de furtună asupra porturilor, unde datorită influenței pe care valurile o au asupra ariilor din incintele portuare, pot apărea fenomene asociate valurilor de resacă și valurilor de seișă. Modelul este bazat pe o soluție de timp pentru ecuațiile Boussinesq. Ecuațiile de guvernare sunt valabile atât pentru propagarea valurilor în apă adâncă dar de asemenea pot simula fenomenele de transformare a valurilor în zona bazinelor portuare, inclusiv procesele de shoaling (ridicare a valului în zona de spargere)/ refracția datorată topografiei variabile, reflexia/difracția în apropierea structurilor portuare, disiparea energiei datorită frecării de patul apei, transferul de energie datorită interacțiunilor nelineare, acțiunea curenților transversali și a curenților de tip Rip, interacțiunea val-curent dar și interacțiunea valurilor cu structurile permissive sau reflexive. **BOUSS-2D** poate fi utilizat cu succes pentru studiul fenomenelor specifice gurilor de vărsare și canalelor navigabile. Nwogu (1996) a extins forma neliniară a ecuațiilor Boussinesq la zona de surf, prin cuplarea ecuațiilor de masă și moment cu o ecuație pentru evoluția temporală și spațială a energiei cinetice turbulente produse de spargerea valurilor.

[6] Ecuațiile au fost de asemenea modificate pentru a include frecarea de patul apei și curgerea prin structuri permissive inclusiv toate procesele amintite anterior.

Discretizarea temporală a gridului de calcul are la bază metoda diferențelor finite. Discretizarea spațială se realizează pe un grid dreptunghiular cu ridicarea suprafeței libere a apei și viteze orizontale definite la nodurile gridului de calcul într-o manieră eșalonată. Seriile de timp și fluxurile corespunzătoare condițiilor de furtună sunt specificate de-a lungul limitelor externe sau interne de generare a valurilor. Condițiile de propagare a valurilor pot fi periodice sau neperiodice, unidirecționale sau multidirecționale. Valurile care se propagă în afara domeniului de calcul sunt „absorbite” și amortizate în straturile plasate în jurul gridului de calcul al bazinului. Straturile corespunzătoare mediilor permissive pot fi plasate în interiorul domeniului de calcul pentru a simula procesele de reflecție caracteristice structurilor sparge-val.

Modelul Boussinesq este un model de sine stătător care poate fi rulat din MS-DOS dar în prezent el este integrat în interfața grafică (*GUI-Graphical User Interface*) a modelului SMS, furnizat de AQUAVEO. În cadrul acestui soft, etapele de rulare presupun următoarele:

- Etapa 1. Setarea fișierelor de intrare/ieșire ale modelului.
- Etapa 2. Construirea modelului geometric descris de fișierele de batimetrie, linia coastei și construirea rețelei de calcul.
- Etapa 3. Setarea condițiilor de limită ale modelului/rețelei de calcul
- Etapa 4. Setarea tipului de obstacol luat în considerare în cadrul modelului geometric (structuri permissive sau reflective).
- Etapa 5. Setarea condițiilor de margine generatoare a trenurilor de valuri.
- Etapa 6. Selectarea tipului și a parametrilor de valuri incidente (construirea spectrului de val aferent): valuri neregulate/unidirecționale/multidirecționale.
- Etapa 7. Introducerea câmpurilor de curenți (dacă există date disponibile).
- Etapa 8. Setarea parametrilor de simulare și a tipului de fișiere de ieșire pentru diferite vizualizări.
- Etapa 9. Postprocesarea datelor rezultate și vizualizarea rezultatelor finale (grafice/profile de val, distribuții spațiale, animații, etc).

Simulări de transformare a valurilor în Portul Constanța. În dezvoltarea aplicației modelului Bouss 2D la studiul propagării în porturile maritime românești, au fost parcurse toate etapele menționate pentru porturile Midia și Constanța. Batimetria a fost obținută prin cuplarea datelor furnizate de C.N. "Administrația Porturilor Maritime" S.A. Constanța și de serviciul European Emodnet Bathymetry. Linia de țărm a fost digitizată și georeferențiată după hărți DHM, imagini satelitare de fundal Spot5, iar datele hidrologice folosite au fost cele utilizate la rularea modelului SWAN pentru portul Constanța, similare celor prognozate în Masterplanul de protecție costieră, pentru furtuni cu perioada de recurență de 50 de ani. Modelul geometric a fost construit, prin cuplarea tuturor seturilor de date menționate, în proiecție UTM35N (fig.4.14.).

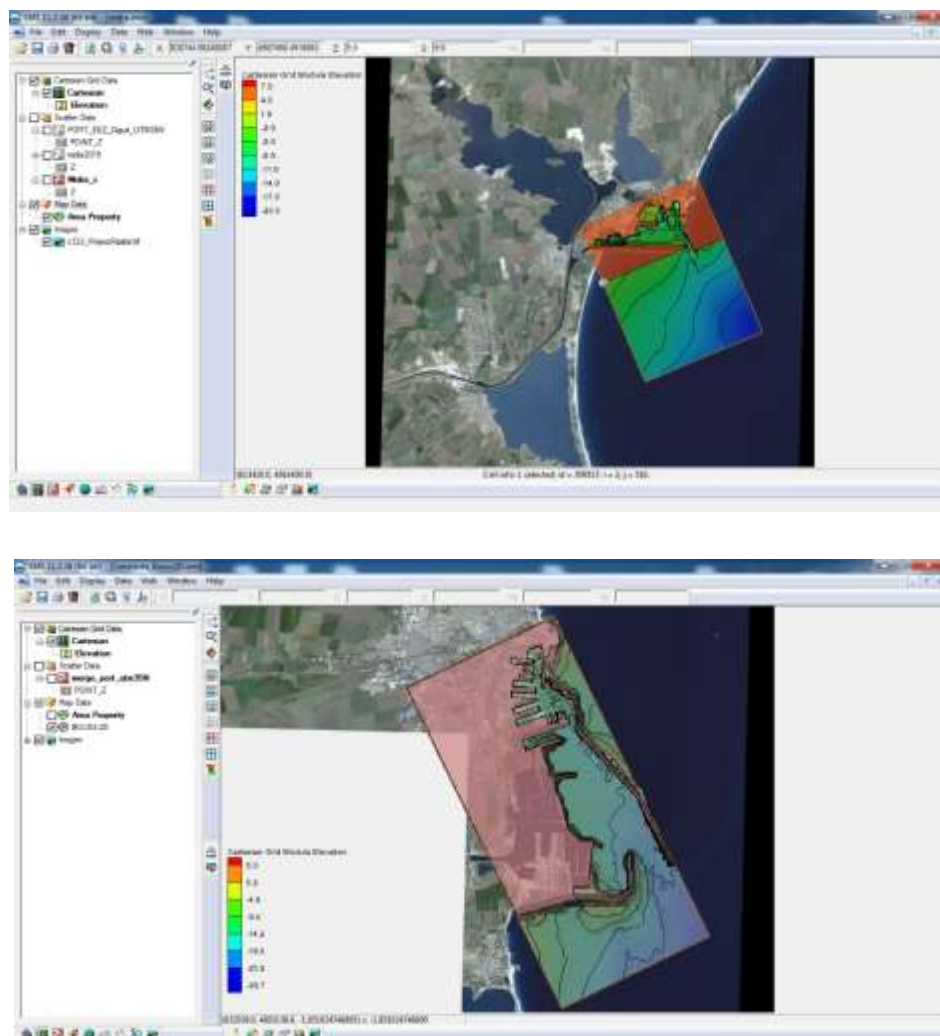


Fig. 4.14. a și b Definirea rețelelor carteziene de calcul pentru Portul Midia și Portul Constanța

Ulterior etapelor de rafinare a condițiilor de margine (uscat/mare, respectiv amortizare/reflecție), au fost eliminate suprafețele redundante obiectivelor urmărite – la portul Constanța au fost extrase suprafețele portului Agigea. În continuare, au fost setate valorile coeficienților de reflexie pentru diferite suprafețe ale digurilor portuare reflectante și s-a generat un motor de valuri pe limita de larg a modelului geometric, având parametrii de val setați pentru un regim de val neregulat, din direcția SSE, cea mai vulnerabilă pentru cele două porturi. Valul de calcul a fost asociat spectrului Jonswap, descris de parametrii amintiți ($H_{sig}=2.75$, $T_p=9\text{sec}$). Ulterior setării parametrilor hidraulici de modelare (factorii de porozitate, coeficienții de rugozitate Chezy pentru diferite acoperiri ale modelului, timpul de control cu specificarea duratei de rulare și a pasului de timp, precum și a tipului de date de ieșire dorit: înălțimea suprafeței mării, viteza de propagare a valurilor, etc), au fost rulate modelele aferente celor două porturi, cca 50 de minute.

Rezultatele obținute au fost vizualizate cu o rutină aferentă pachetului de programe SMS11.2.(fig. 4.15).

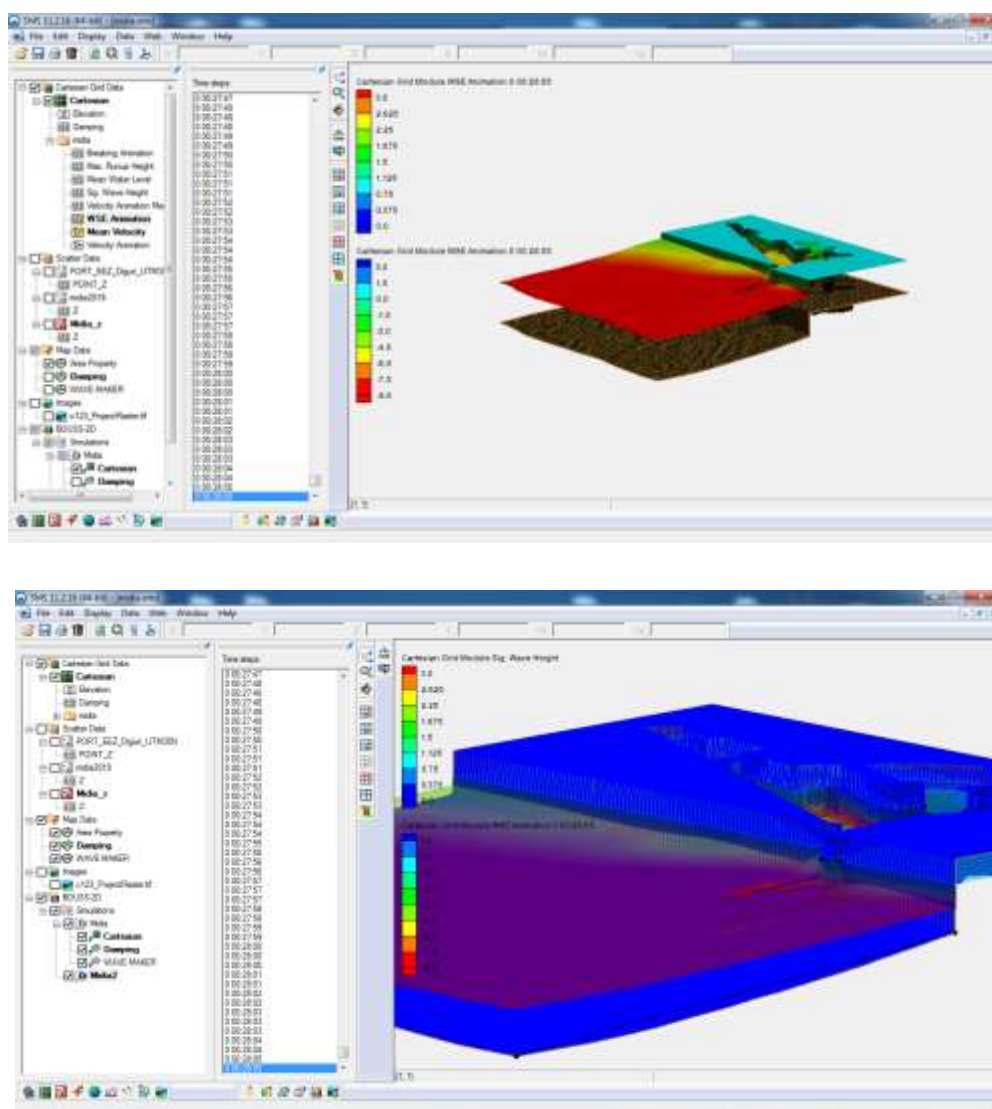


Fig. 4.15. a și b Înălțimea suprafeței mării deasupra batimetriei portului Midia și a zonei învecinate (acoperite de rețeaua de calcul) aferente modelului BOUSS2D

Se poate observa, modificarea câmpului de valuri în zona șenalului de acces în port, precum și intensificarea valurilor în zona cheurilor verticale ale incintei. Portul Midia, datorită existenței unor mari suprafețe nedragate, cu o adâncime mică, are avantajul amortizării valurilor capturate în acvatoriu, fapt mai puțin întâlnit în cazul portului Constanța, unde în special în zona de intrare, valurile/înălțimea suprafeței mării (WSE/Water Surface Elevation) prezintă valori mari în cazul incidenței valurilor din sectorul SE-S (fig. 4.16.)

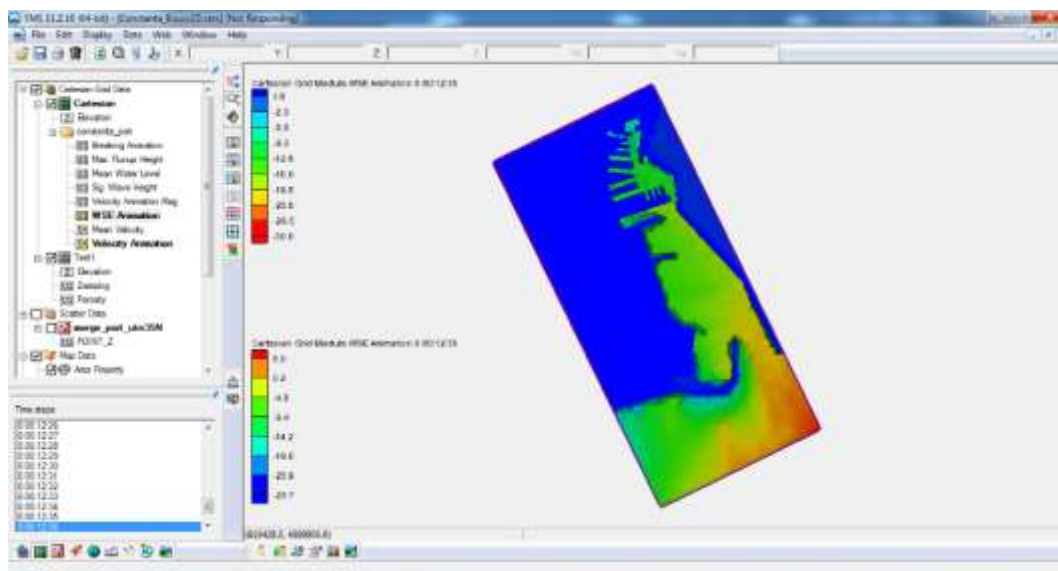


Fig. 4.16. Înălțimea suprafeței mării în zona portului Constanța

Pentru ariile dinspre uscat de la care s-a pornit dezvoltarea portului, își fac apariția valurile de resacă, fapt urmărit într-un punct de probare/listare, setat în rețeaua de calcul (fig. 4.17. și fig.4.18.)

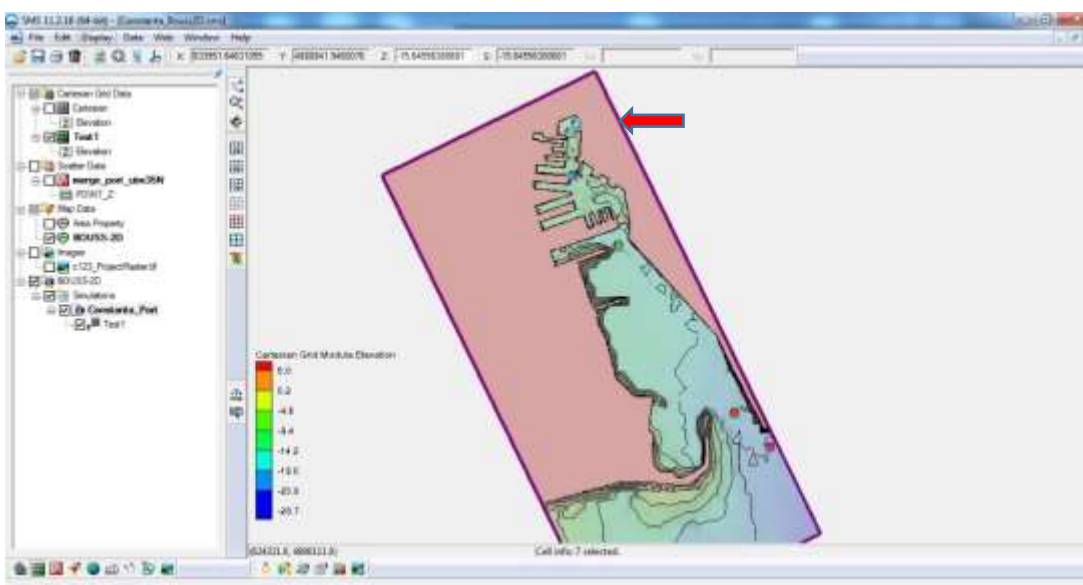


Fig. 4.17. Poziționarea unui punct de probare în zona maregrafului mecanic Constanța

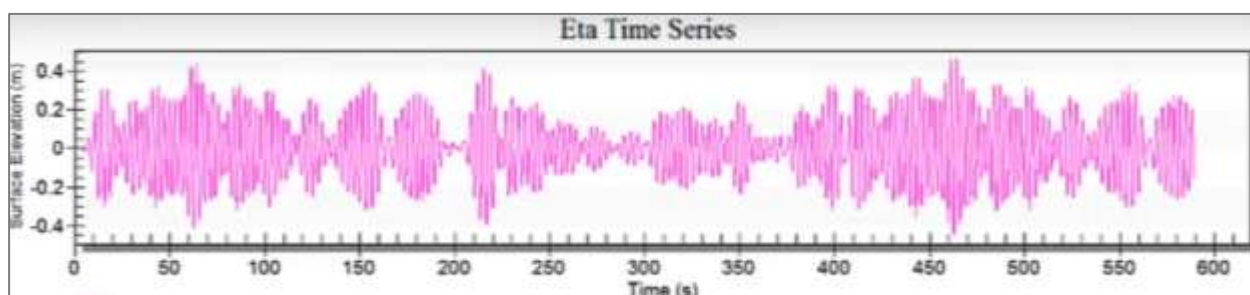


Fig. 4.18. Listare a oscilațiilor aferente pentru punctul de probare asociat maregrafului Constanța

Oscilația simulată pentru bazinul terminal al acvatoriului evidențiază posibilitatea apariției unor valuri lungi în acest sector portuar, datorită prezenței cheurilor verticale, după intrarea semnalizată de Farul Rosu/Verde și ulterior Terminalul de pasageri. O astfel de oscilație a fost înregistrată foarte pregnant în perioade de furtună, chiar dacă dominanța valurilor incidente a fost din alte direcții. Astfel, pentru furtuna din 26 februarie 2018, maregrama indică o oscilație la cca. 20 de minute (fig.4.19.).

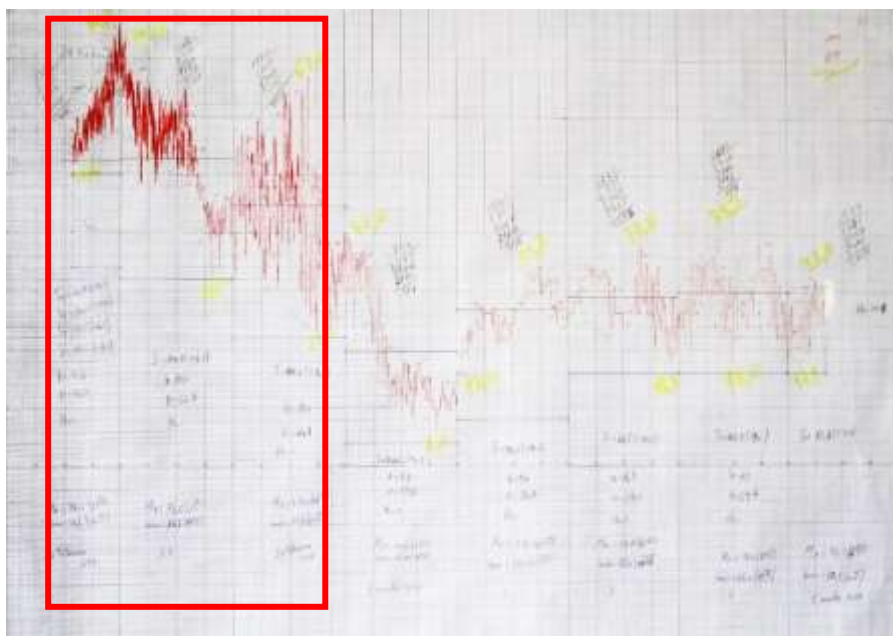


Fig. 4. 19. - Înregistrare a nivelului mării la maregraful mecanic Constanța – 26-27.03.2018

Experimente *in situ* – variabilitatea nivelului mării la furtună. În cazul furtunilor, întotdeauna în legătură cu variații ale presiunii barometrice își face apariția în portul Constanța un fenomen de variație a suprafeței mării, denumit seișe (descrie în capitolul 3 al tezei). Seișele din Marea Neagră sunt cauzate de schimbări bruște în presiunea atmosferică, provocând fluctuația nivelului mării de genul unui val lung (seișă) care se propagă pe întreg bazinul nord-vestic al Mării Negre. Pentru o situație de furtună înregistrată în intervalul 25-27 februarie 2018 s-a înregistrat o valoare maximă a curentului de suprafață de peste 1m/s la înălțimi de val de 2,5 m (fig.4.20.).

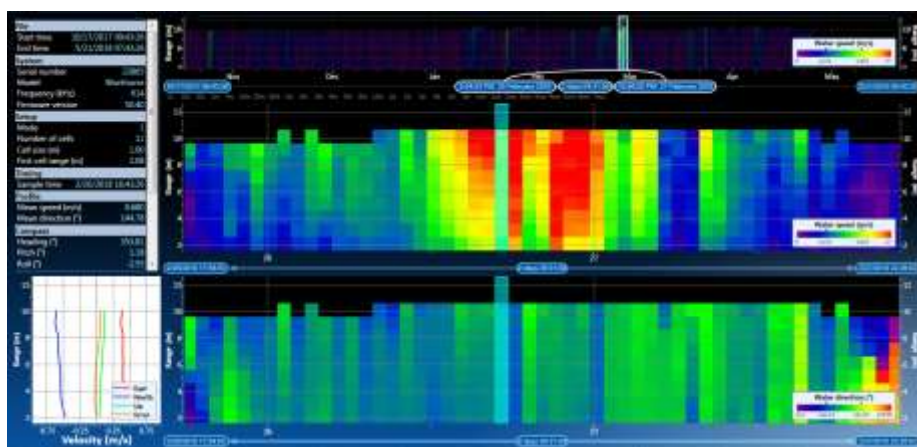


Fig. 4. 20. – Viteza curentului la furtună în Baia Mamaia, în intervalul 26-27.03.2018

Se evidențiază prezența seîșelor atât în timpul, dar și ulterior evenimentului, în care zona Portului Constanța a fost prinsă într-o formațiune ciclonică, impactând rapid incinta portului Constanța, din direcții multiple. Se evidențiază grafic trei treceri într-un interval de o oră, ceea ce corespunde unor oscilații cu perioadă de 20 de minute (în perioada de maxim a furtunii).

În locația în care este amplasat maregraful Constanța, respectiv într-o derivație a bazinului terminal al Gării Maritime Constanța este sesizată foarte bine prezența seîșelor. Astfel, persistența anumitor valori medii ale nivelului mării în Portul Constanța indică perioadele de timp și gradul de inundare al acestuia. Perioadele de inundare, cele când nivelurile sunt mai ridicate, indică o circulație mai activă a apei în bazin și implicit accelerarea proceselor erozionale (fig.4.21.).

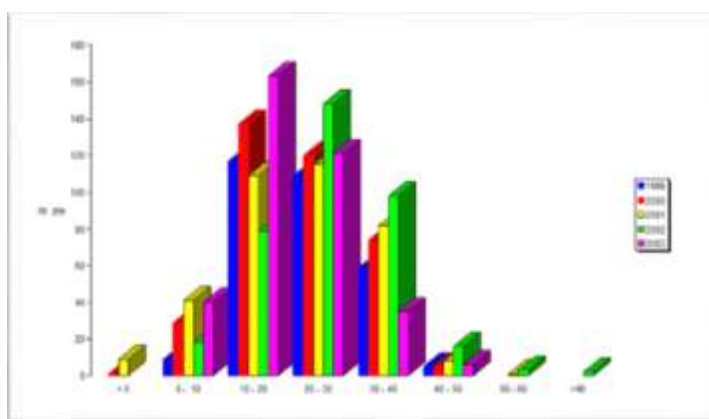


Fig. 4. 21. – Durata nivelurilor în portul Constanța în perioada 1999-2003

Se remarcă durata mare a nivelurilor între 10 – 20 cm și 20 - 30 cm, cu media de 121 de zile și respectiv 123 zile/an în anul 2002 ajungând la 148 de zile. Clasele < 10 cm și > 60 de cm sunt slab reprezentate, dar în acest caz s-au folosit mediile zilnice ale nivelului, care nu reflectă în totalitate extensia fenomenului dacă s-ar folosi valorile maxime. Clasa cuprinsă între 30 și 40 cm este prezentă cu 70 zile pe an. Persistența nivelurilor medii pozitive indică faptul că în bazinul Portului Constanța intră cantități importante de apă sub forma curenților marini, care la rândul lor sunt influențați de regimul anemobaric pe diferite perioade de timp. Se evidențiază astfel faptul că în portul Constanța există o activitate complexă a undelor staționare care produc linii nodale în care curenții sunt accentuați și zone unde curenții au rate mici. Acest fenomen duce la apariția unor zone de eroziune și a altora de colmatare. Aceste zone se pot pune în evidență și localiza cu exactitate numai printr-o activitate de cercetare amănunțită a nivelurilor și curenților în tot portul Constanța coroborate cu alte observații simultane hidrometeorologice.

Concluzii. Simulările numerice furnizează climatul de valuri offshore și nearshore pentru o mai bună selecție a măsurilor de protecție a zonelor portuare, stabilind condițiile hidrodinamice pentru diverse facilități de adăpostire a navelor în caz de furtună, prin stabilirea climatului mediu anual de valuri din diferite locații adiacente bazinului nord-vestic al Mării Negre.

Transformarea valului este bine prevăzută de model, astfel încât perioadele scad din larg spre țărm, iar înălțimile valurilor în apropierea țărmului sunt, în general, mai mici decât

în larg, datorită efectului disipării ca urmare a frecării de patul solid al mării, al refracției și al deferlării valurilor marine.

Chiar și efectele de refracție sunt evidente din rotația valurilor către direcțiile perpendiculare de-a lungul liniei de coastă (aproximativ 90°), înălțimile de val propagate în acvatoriu subliniază necesitatea extinderii spre sud a digului de nord pentru asigurarea unor condiții sporite de adăpostire și operare portuară.

CAPITOLUL 5 VALIDAREA REZULTATELOR MODELELOR HIDRODINAMICE

Validarea modelelor de circulație costieră prin măsurători de curenți în acvatoriul portului Constanța. A fost desfășurată o sesiune de măsurători în teren în data de 26.10.2019, având ca scop validarea rezultatelor obținute pe modelul numeric costier MOHID, aplicat pentru zona Constanța, inclus în modelul șelfului românesc și modelul Mării Negre. Echipamentele folosite au constat din barca cu motor a INCDM “Grigore Antipa”, Constanța, echipată cu GPS și un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), tip WHS600 - Workhorse Sentinel 600 KHz având ca dotare modulul *Bottom Track*, pentru măsurători dinamice, de profile de curenți pe coloana de apă.

Zona în care s-au făcut măsurători de curenți include tot șenalul portului Constanța de la intrarea în port, până la dana zero, aflată în cel mai adăpostit sub-bazin portuar, plecând din zona portului turistic Tomis. Măsurătorile au constat în realizarea unor profile cu ADCP-ul, între deschiderile principalelor bazine portuare, după traiectoriile prezentate în figura (5.1.).



Fig. 5. 1. – Realizarea măsurătorilor de curenți în acvatoriul Portului Constanța

Planificarea experimentului a fost făcută urmărind prognoza pe 2-5 zile a sistemului iSWIM (<http://iswim.rmri.ro>), care are ca nucleu, modelul MOHID, accesat prin platforma MOHID Action-Server. A fost urmărită producerea unei situații în care vântul suflă dinspre NE, pentru a surprinde propagarea curenților marini în acvatoriul portului Constanța, în cazul cel mai defavorabil, al producerii furtunilor de iarnă din direcția nord-est.

Astfel, rezultatele obținute pe model au fost estimate într-un regim meteo-hidrologic marin normal, accesibil pentru deplasare cu barca din portul TOMIS, aprobată de APMC și ANR, în intervalul 11:30-18:00, în ziua de 26.10.2019. Valori medii pentru: vânt sub 5 m/s, din direcția NE, curent SV, 0.37m/s, val NE de 0,42m, perioada 5 secunde și nivel MN75 de 15cm (fig.5.2 – fig. 5.8)



Fig. 5. 2. – Distribuția vântului în ziua de 26 octombrie 2019 – vânt din direcția NE, având viteza prognozată de 3,3m/s

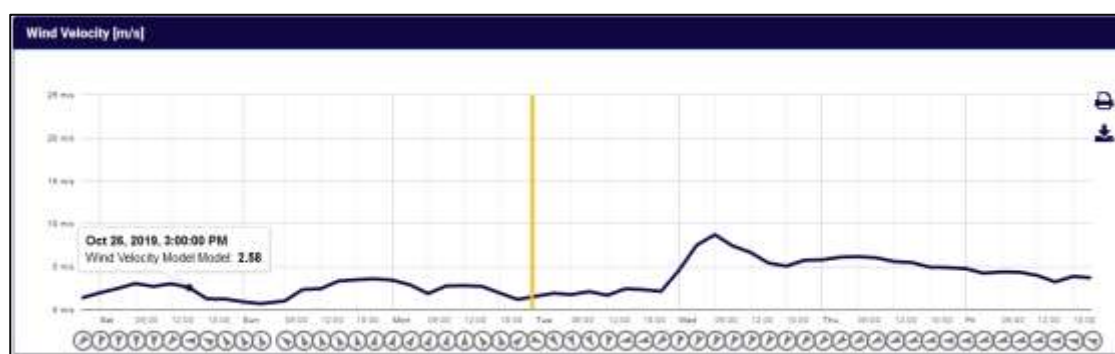


Fig. 5. 3. – Valoare prognozată a vitezei vântului pe direcții – model GFS (Global Forecast System – NOAA/National Oceanic and Atmospheric Administration)

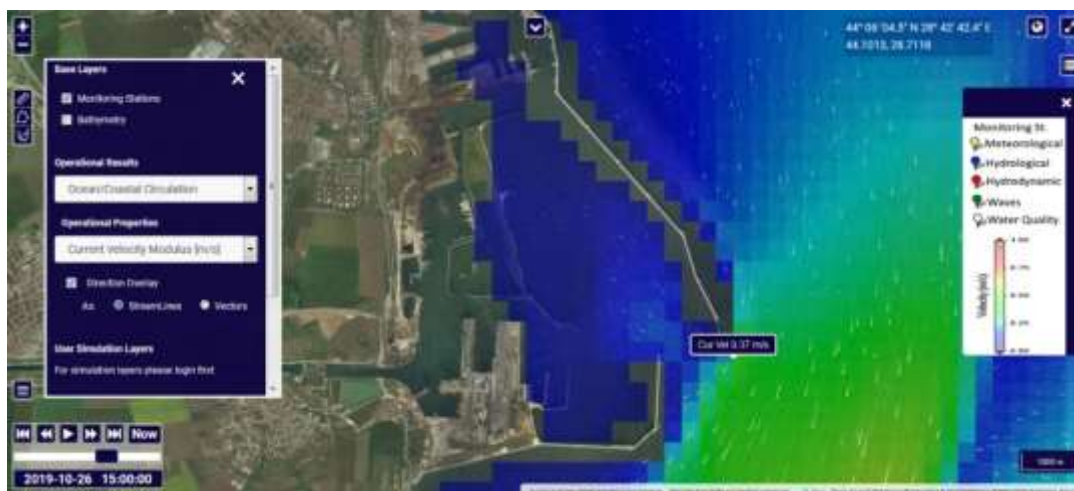


Fig. 5. 4 – Distribuția curenților în ziua de 26 octombrie 2019 – curent de SV la intrarea portului Constanța, având viteza prognozată de 0,37m/s, la ora 15:00

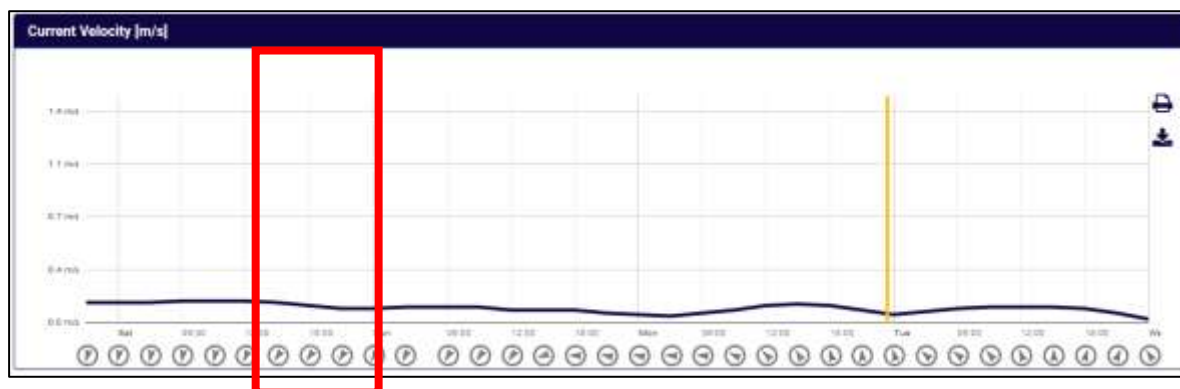


Fig. 5. 5. – Valoare prognozată a vitezei curentului în zona adiacentă Portului Constanța, pe direcții – model MOHID (downstream service CMEMS), 26 octombrie 2019, 11:30-18:00.



Fig. 5. 6. – Valoare prognozată a nivelului în zona adiacentă Portului Constanța, (cca 12cm, 26 octombrie 2019, 15:00)



Fig. 5. 7. – Distribuții prognozate a parametrilor de val, în zona adiacentă Portului Constanța, pe direcții – model MOHID (downstream service CMEMS)

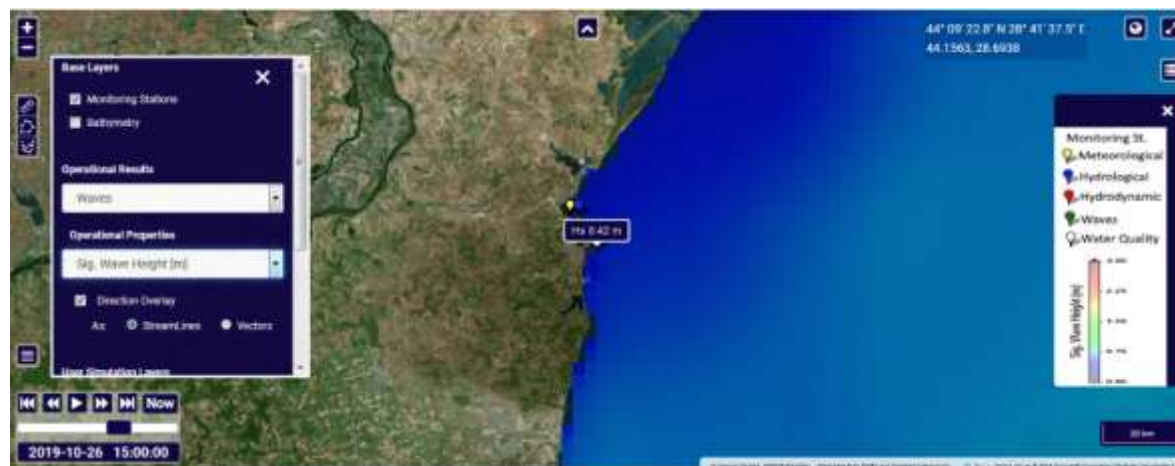


Fig. 5. 8. – Distribuții prognozate a parametrilor de val, în zona adiacentă Portului Constanța, pe direcții – model MOHID (downstream service CMEMS)

Pentru colectarea datelor privind circulația în interiorul bazinului portuar, ADCP-ul a funcționat conectat la o tabletă de teren, rezistentă la umiditate, având preinstalate softuri dedicate Teledyne - RD Instruments, pentru citirea datelor în timp real, respectiv pentru operarea curentmetrului cu efect Doppler: BBT, WINRIVER II și Plan ADCP. Pentru deplasarea bărcii pe secțiuni de măsurare s-a folosit GPS-ul bărcii, iar poziționarea măsurătorilor s-a realizat continuu cu un GPS Trimble GEOXH6000, cu corecție PPK/Post Procesing Kinematic, având o precizie de măsurare decimetrică (fig.5.9.)

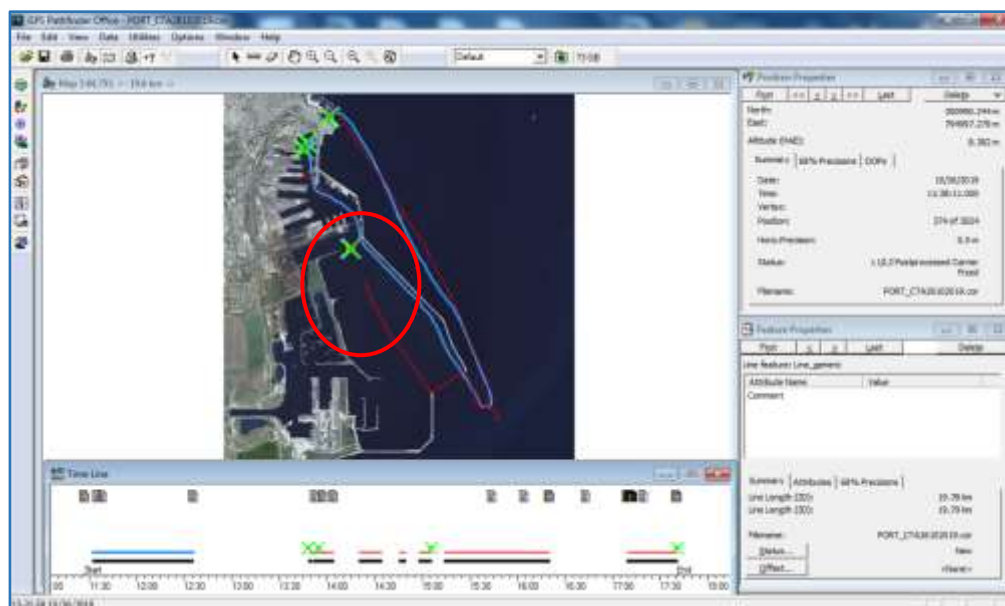


Fig. 5. 9. – Post-procesarea datelor GPS în softul Trimble Pathfinder Office

Măsurătorile au fost efectuate cu senzorul ADCP-ului imersat 1.5 m la pupa, în regim dinamic, o viteză maximă a ambarcațiunii de cca 1m/s (maxim 2m/s), pentru a evita formarea bulelor de aer la viteze mari și crearea de discontinuități în șirul de date (fig.5.10.). Desfășurarea măsurătorilor a decurs continuu, fiind o activitate foarte redusă în port.



Fig. 5. 10. – Fixarea aparatului de barcă (a), verificarea nivelului mării/la maregraful Constanța (b) și setarea softurilor de măsurare (c), +36cm, ora 11:30 (începerea măsurărilor)

Profilul 1 a fost efectuat în bazinul Gării Maritime, pe un aliniament de cca 220 m, cu adâncimea medie de 15 m, în apropierea maregrafului mecanic al INCDM, aflat în funcționare continuă din 1933. Aparatul a fost setat la o rezoluție verticală de 50 de cm (mărimea celulei de mediere a vitezelor curentului pe coloana de apă) și o deviație standard de 1,9-2,0 cm/s. Parametrii profilului se încadrează în acuratețea vitezei: 0.3% din viteza apei ± 0.3 cm/s, la o rezoluție a vitezei: 1 m/s, aparatul având o rată de măsurare de 1 Hz.

Profilul 2 (Cuibul Reginei), și **Profilul 3** (secțiune Farul roșu – Farul verde) au permis înregistrarea intensificării și întoarcerii curenților la îngustarea bazinelor, și respectiv, dezvoltarea configurațiilor complexe ale bazinelor, canalelor și cheurilor de acostare. În figurile 5.11. a și b sunt prezentate imagini ale curenților de suprafață în zona Terminalului de pasageri, aflat în sub-bazinul legat printr-un canal de portul de gabare, spre Canaulul Dunăre Marea Neagră.

Profilul 3 a fost măsurat în zona gurii de acces în port. Sunt prezentate fotografiile ale monitorului tabletei de teren, respectiv a GPS-ului folosit la măsurători, precum și fotografii aeriene în timpul operațiunilor de înregistrare a datelor.



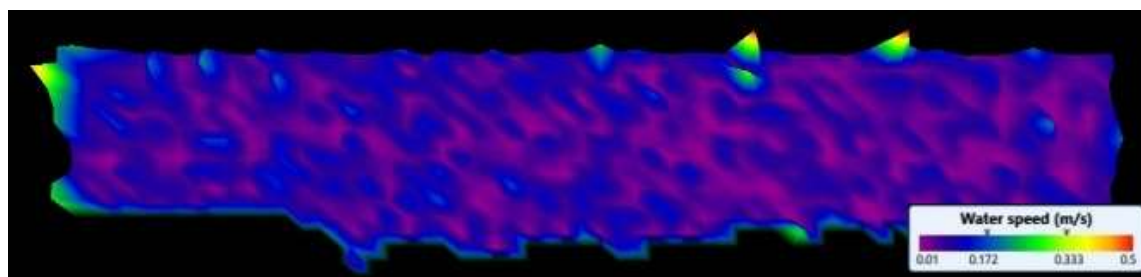


Fig. 5. 11. – a, b, și c. Efectuarea măsurătorilor pe secțiunea de închidere a bazinului Gării maritime, cu înregistrarea curenților de suprafață pe direcție SE.

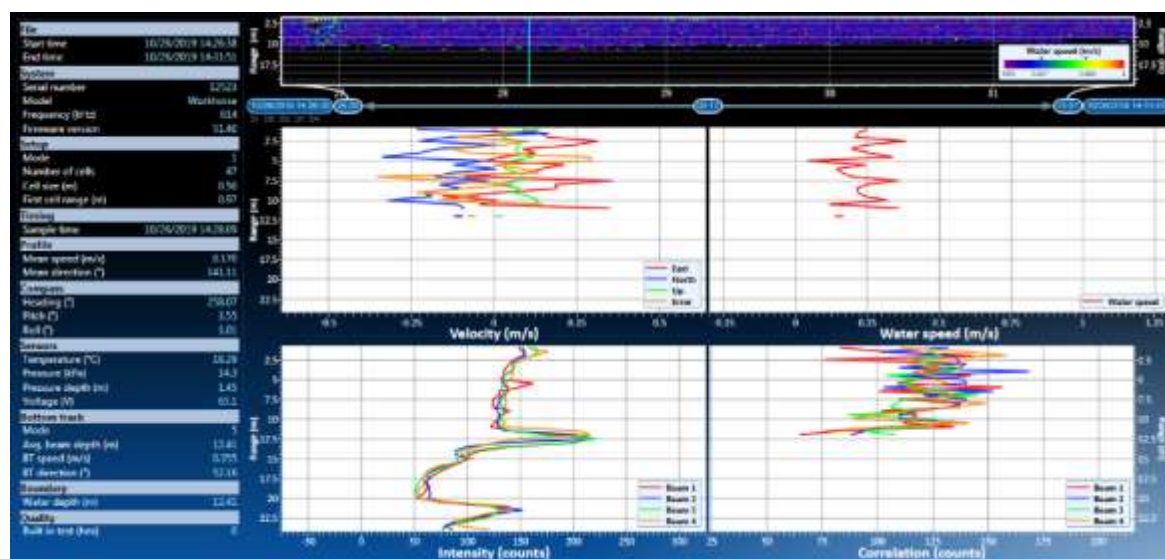


Fig 5.12. - Profil P2 – zona adăpostită în zona Cuibului Reginei/Maregraf digital (captură de ecran Velocity-software)

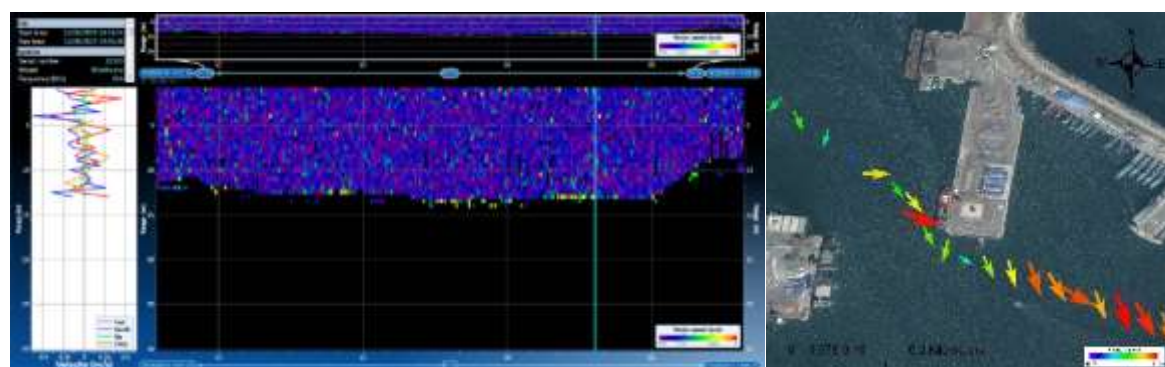


Fig 5.13 - Profil 2 și măsurătoare în trecere în zona terminalului de pasageri (captură de ecran Velocity-software, și respectiv reprezentare)

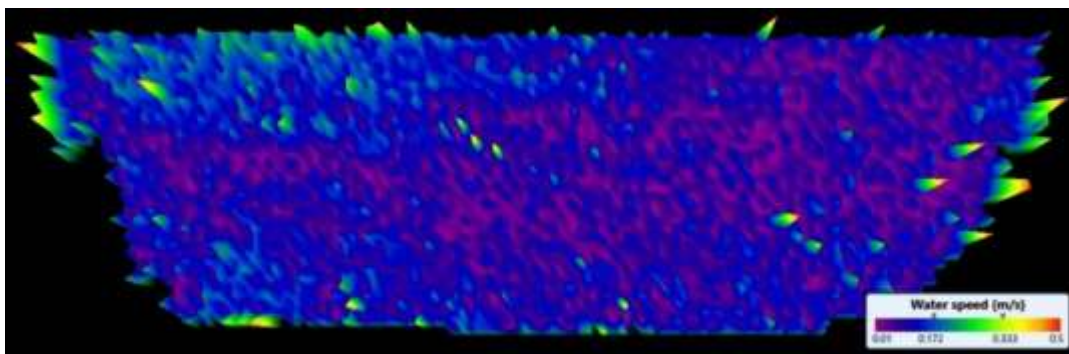


Fig 5.14. - Distribuția curenților în secțiunea capătului digului de nord - Gura de acces a Portului Constanța

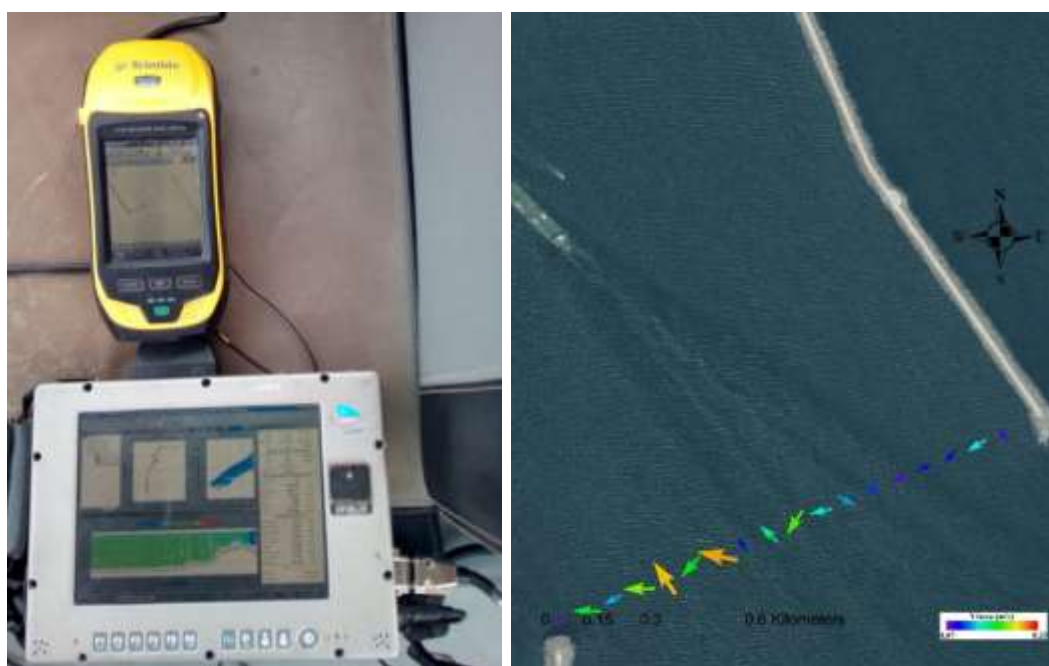


Fig. 5.15. - Profil ADCP fotografiat pe ecranul tabletei (a) și evidențierea curenților la intrarea în port (b), precum și un curent anticiclonic în vecinătatea digului de nord al incintei portuare.

Analiza datelor măsurate în timpul experimentului. Datele colectate au fost prelucrate și vizualizate cu ajutorul programului V-software, disponibil pentru achiziție la compania producătoare, fiind folosit alături de ArcGIS în poziționarea spațială a profilelor/stațiilor, dar și pentru interpretarea profilelor și/sau a datelor măsurate în diferite configurații de utilizare a curentmetrelor/valmetrelor cu efect Doppler. Au fost înregistrate viteze ale curentului în intervalul 0,002 m/s - 1,058m/s, ceea ce pentru regimul la care s-a lucrat se încadrează în domeniul unei viteze de regim normal a curenților pentru zona de interes a portului Constanța, cu unele excepții, în cazul terminalelor de colț și/sau la capătul șenalului și canalelor de trecere unde valoarea medie a curenților depășește 0,5m/s, apropiindu-se de valoarea de 1m/s. Pentru zonele critice au fost făcute măsurători cu ADCP-ul în stație fixă, măsurători care furnizează detalii asupra distribuției vitezelor pe coloana de apă (fig. 5.15.).



Fig 5.16.- Distribuția vitezelor în stratul de suprafață în bazinul semi-închis al portului

Validarea modelelor numerice de transformare a valurilor prin metode de observare de la distanță – teledetecție satelitară. Metodologia aplicațiilor de teledetecție poate constitui un instrument de analiză și validate valoros a rezultatelor modelelor numerice hidrodinamice. Analizarea valurilor extreme, a curenților și a valurilor de furtună împreună cu cartografierea fenomenelor de vulnerabilitate și riscuri în porturile maritime poate contribui la scăderea riscurilor de navigație maritimă pentru sectorul de tranziție al țărmului românesc, din vestul Mării Negre. Integrarea produselor de observare a Pământului/EO (Earth Observation) în modelul de valuri poate îmbunătăți considerabil precizia extinderii hărților oceanografice, ceea ce duce la creșterea semnificativă a calității siguranței navigației.

În studiul de față au fost abordate condiții de mediu specifice pentru zona portului din Mangalia, și au fost efectuate cateva teste de validate a datelor provenite în urma simulării realizate cu modelul de valuri cu date satelitare și date măsurate *in situ*.

Câmpurile de valuri au fost considerate pentru un regim hidrodinamic normal/mediu, după cum au fost calculate distribuțiile cu ajutorul modelului numeric marin, CMEMS rafinat la scară în cadrul sistemului iSWIM, în paralel cu datele de măsurare *in situ*, la stația hidrometrică Mangalia, aparținând institutului GeoEcoMar. [7] Datele EO (Sentinel 2/ Copernicus) au fost utilizate pentru a descrie caracteristicile penei de apă dulce a Dunării, cu aport de apă dulce și sediment în suspensie.

Modelele climatice de val au fost evaluate în zona Portului Mangalia împreună cu schimbările care ar putea fi de așteptat în zona marină/costieră (fig. 5.17). Datele de teledetecție furnizate de Copernicus (Sentinel 2) au acoperire regională și locală, putând furniza informații asupra generării valurilor de suprafață, dar și a valurilor interne/undelor de adâncime în vecinătatea porturilor maritime. Astfel, pot evidenția câmpurile de valuri difractate și reflectate în zona de coastă aceasta fiind o caracteristică foarte utilă pentru a prelucra și compara rezultatele obținute pe model numeric.



Fig. 5. 17. – Câmp de valuri în vecinătatea Portului Mangalia/poziția geamandurii GeoEcoMar

În ceea ce privește procedura de verificare a rezultatelor modelului de date, scopul general al acestor metode este de a profita de observațiile disponibile prin comparație cu rezultatele procesului de modelare, astfel încât previziunile modelului să fie îmbunătățite și testate în diferite zone climatice. Precizia și rezoluția spațială a produselor EO permit validarea modelelor valurilor regionale. Ca exemplu, în legătură cu aceeași zi 15 iunie 2018, cifrele de mai jos arată că modelul numeric de val (WAM în simulări de prognoză) poate duce la o dezvoltare substanțială a rezultatelor (figurile 5.18.; 5.19.; 5.20.)



Fig. 5. 18. – Valul semnificativ, măsurat la valoarea de 0.44m la ora 9:00 a.m. în fața Portului Mangalia

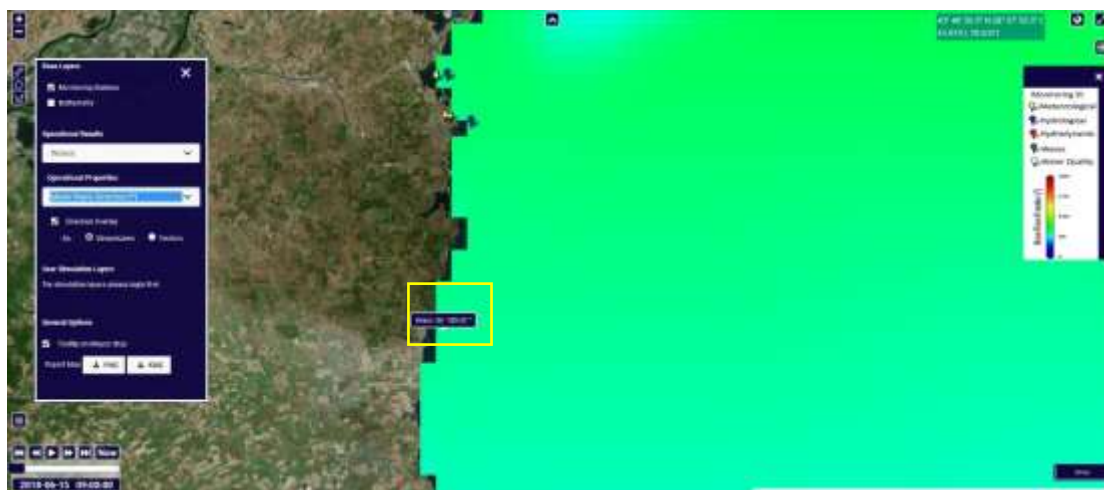


Fig. 5. 19. – Direcția valului, calculată la 109° la ora 9:00 a.m. în fața Portului Mangalia



Fig. 5. 20. – Perioada medie, calculată la valoarea de 4.45s la ora 9:00 a.m. în fața Portului Mangalia

În vizualizarea datelor măsurate pentru data luată în considerare, 15 iunie, la momentul colectării datelor imaginilor din satelit, regimul de valuri a fost schimbat rapid, iar rezultatele comparației arată o corelație între măsurători și simulările modelului, care poate să fie dezvoltat și asociat cu sistemul operațional (figura 5.21.). Acest lucru ar permite o implementare rapidă a modelelor într-un anumit site, precum Portul Mangalia, unde se poate face o mai bună comunicare între elementele sistemului și o evaluare cuprinzătoare a rezultatelor modelelor, pentru dezvoltarea sigură a navigației costiere, dar și în cazul în care anumite caracteristici ale Mării Negre, în general, și în special ale țărmului românesc, pot fi abordate în lucrări de cercetare specifice.

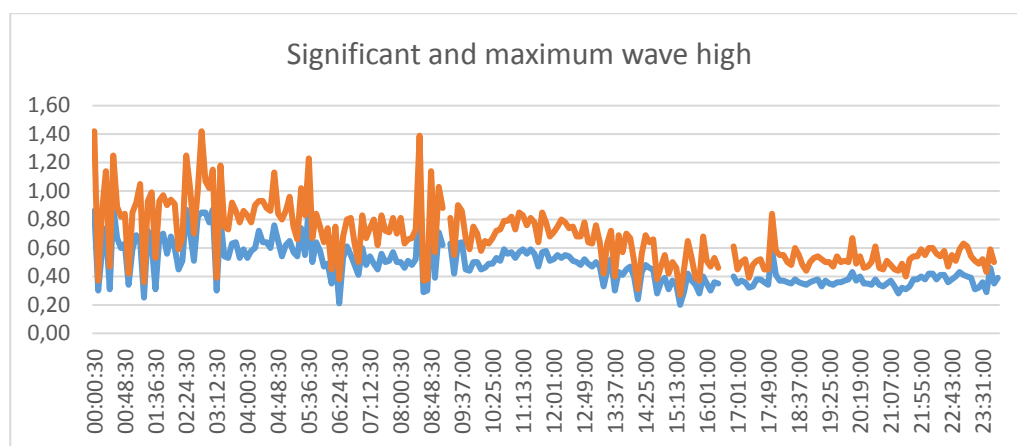


Fig. 5. 21. – Variația înălțimii valului maxim și semnificativ H_s și H_{max} în data de 15.06.2018 la stația costieră a GeoEcoMar (date obținute prin bunăvoința Institutului GeoEcoMar)

În ceea ce privește răspunsul la incidența diferitelor tipuri de valuri, acestea sunt prezentate în mod diferit în ceea ce privește condițiile hidrodinamice, simulările numerice pot fi identificate ca reprezentative și pot fi adăugate în baza de date. Este evidențiat astfel faptul că utilizarea modelelor numerice prezintă avantajul că oferă informații privind starea mării pe zonele locale, spre deosebire de măsurătorile *in situ*, care sunt limitate doar la locația punctului de măsurare a stației hidrologice/fixe, oferind o evaluare a condițiilor de navigație de-a lungul operațiunii portului maritim.

Concluzii. Datele înregistrate pe ansamblul incintei portuare permit evaluarea mișcărilor maselor de apă, și evidențiază în stratul de suprafață, unele zone critice în cazul intensificării regimului hidrologic marin, aflat în sezonul rece sub incidența vânturilor de furtună din sectorul NE. În cadrul sesiunii de măsurători au fost observate situații speciale care dau o imagine asupra fenomenelor de regim exceptional. Datele înregistrate permit validarea modelului hidrodinamic MOHID aplicat pentru cele trei domenii de calcul specifice pentru bazinului Mării Negre, zona de șelf și de coastă aferente României, pentru perioada de regim scăzut ales și pentru intervalul în care s-au desfășurat măsurătorile de curenți, respectiv intervalul de trecere de la sezonul cald la sezonul rece. Se pot observa ușoare intensificări ale circulației maselor de apă, fapt datorat unei perioade de rotație a vântului pe intervalul experimentului de validare, dar și configurației complexe a bazinelor acvatoriului portuar.

Utilizarea integrată a produselor de teledetecție satelitară/EO, a modelelor numerice și a măsurătorilor *in situ* pentru descrierea condițiilor de navigație pe coastă subliniază dezvoltarea potențială a unui algoritm complex pentru intercalibrarea datelor din diferite surse pentru diferite scale spațiale și temporale și pentru modelarea și observarea fenomenelor marine.

CAPITOLUL 6 ANALIZA RISCULUI MARITIM

Conceptul de management al riscului la furtună. Managementul riscului la furtună implică aplicarea unor politici, proceduri și practici având ca obiective identificarea riscurilor, analiza și evaluarea lor, tratarea, monitorizarea și reevaluarea riscurilor în vederea reducerii acestora astfel încât comunitățile umane să trăiască într-un mediu fizic și social durabil. Diminuarea pagubelor și a pierderilor de vieți omenești ca urmare a furtunilor marine excepționale nu depinde numai de acțiunile de răspuns întreprinse în timpul desfășurării lor ci și de acțiuni abordate uneori separat, sub denumirea de managementul situațiilor de urgență.

Cazuri de catastrofe maritime provocare de furtuni în zona Portului Maritim Constanța. În toate arhivele consultate, cazurile cele mai deosebite prin impactul furtunilor asupra integrității structurale a construcțiilor portuare aferente Portului Constanța au fost catastrofa maritimă din data de 4 ianuarie 1995 și prăbușirea cheului danei “Post acostare gabare” din 2005. În urmă cu 25 de ani, nava Paris sub pavilion Malta și You Xiu, sub pavilion Hong Kong, s-au scufundat. „Marea avea gradul de agitație 9, pe scara Beaufort de la 1 la 10, iar vântul avea forța 9, pe scara de la 1 la 12. Valurile ajungeau în larg la 11 metri, așa cum am aflat de la cei de la platforme“, spune fostul angajat al Căpităniei Constanța, Jorj Unciuleanu, de 60 de ani, care la acea dată era căpitan șef adjunct la Căpitănia Constanța (fig. 6.1.).



Fig. 6. 1. – Foto din arhiva personală a lui Constantin Cumpănă (adev.ro/pbbzwj)

Prăbușirea cheului danei “Post acostare gabare”. Urmare a unei serii de trei zile de vânt puternic din direcția SE, în luna iunie a anului 2004, cheul “danei gabare” s-a prăbușit, creându-se astfel o pagubă de cca 4 milioane de euro (fig. 6.2.).



Fig. 6. 2. – Zona de amplasament/tipul cheului de acostare gabare

Metode de management al situațiilor de urgență survenite în cazul furtunilor, accidentelor navale, deversărilor accidentale de petrol. În principiu, fiecare stat implicat în operațiunea de salvare ar trebui să își evalueze capacitatea de a oferi un loc de refugiu în situații de criză. Toate statele membre ale Convenției ONU privind dreptul mării (UNCLOS) au obligația de a proteja și de a conserva mediul marin. [8] Pentru a respecta această obligație, statele ar trebui să elaboreze și să implementeze un Plan Național de Contingență pentru a oferi un răspuns adecvat în cazul oricărui tip de incident maritim. Operațiunile de salvare în cazul incidentelor navale se realizează cel mai bine în astfel de locuri de refugiu întrucât rareori este posibil ca astfel de acțiuni să se realizeze în condiții de agitație marină. ”Un loc de refugiu este un loc în care o navă care are nevoie de asistență, poate lua măsuri pentru a își stabiliza starea și a reduce pericolele pentru navigație și a proteja viața umană și mediul înconjurător. Aceste zone de adăpostire pot include porturi, zone din apropierea coastei, golfuri, fiorduri, estuare sau orice altă zonă de coastă ferită de agitația marină”. [1]

În anul 2016 România se afla în situația de infringement, datorită neaplicării prevederilor/legilor europene în legătură cu stabilirea zonelor de adăpostire în zone adiacente porturilor maritime majore, respectiv în cazul Portului Constanța. Datorită urgenței, această zonă a fost delimitată în interiorul acvatoriului portuar, în stânga înțrării/canalului navigabil de acces, spre zona portului liber Agigea. Această arie de adăpostire, pe lângă limitarea în întindere prezintă și limitări de adâncime și dezvoltare în proximitate, într-un viitor apropiat fiind necesară mutarea ei în alte sectoare exterioare portului, fapt care va necesita un studiu temeinic de Planificare Spațială Maritimă/PSM multianual asupra perioadelor de revenire a furtunilor excepționale în zona țărmului vestic al Mării Negre.

Metodele de management al situațiilor de urgență necesită combinarea de informații de diferite tipuri (măsurători/date, prognoze, imagini, hărți etc.), rulate pe sisteme/componente hardware și software complete, toate aflate sub directă coordonare și determinare a componentei umane, antrenate și avizate. Ele pot avea suportul metodologic specific următoarelor domenii:

Sistemele informatice geografice (Geographical Information Systems - GIS) fac parte din clasa mai largă a sistemelor informatice. Ele au ca principală caracteristică tratarea informației spațiale și temporale geografice. Sistemele GIS implică în mod necesar tratarea unitară într-o bază de date unică și neredundantă a componentelor grafice, cartografice, topologice și tabelare.

Sistemul planificării spațiale este un sistem complex, caracterizat de o dinamică aparte, caracteristică ce influențează modul în care acesta interacționează cu alte sisteme, modul în care acesta răspunde la schimbările globale la care este expus, precum și evoluția acestuia. Modificarea în timp a stării sistemului din cauze interne (anumite componente pot dispărea sau pot apărea alte componente) reprezintă comportamentul intern al sistemului planificării spațiale (și poate fi urmărit cu ajutorul diagramelor de cauzalitate/CLD), iar modificările din cauze externe (schimbările globale în acest caz) determină comportamentul extern al sistemului

Modelarea hidraulică a proceselor marine. Un model hidraulic după cum a fost prezentat anterior, este un sistem care va transforma o serie de date de intrare într-un set de rezultate pentru a fi utilizate atât în studiile de fundamentare, pentru proiectare cât și în

execuție. Modelarea componentelor sistemelor hidrologice marine prezintă o importanță mare în studierea furtunilor, fiind o permanentă preocupare a cercetării științifice marine, cu o aplicabilitate foarte mare în ceea ce privește gestionarea integrată a activității portuare/de navigație maritimă.

Harta de hazard la furtuni majore constituie documentul pe care sunt reprezentate zonele potențial impactate de valuri și curenți, fiind caracterizat de următoarele probabilități de depășire: 0,1% (probabilitate mică), 1% (probabilitate medie) și 10% (probabilitate mare).

Harta de risc la furtună constituie documentația care indică, pentru zonele vulnerabile la diverse probabilități de depășire a valului maxim de calcul, pagubele materiale și umane potențiale la nivel de unități economice aflate în porturi, unități administrative costiere, etc.

Incidentele navale pot avea loc în orice zonă maritimă ca urmare a unor dezastre naturale sau erori umane cu consecințe nefaste pentru mediul înconjurător. Astfel, înțelegerea proceselor care au loc în mediul marin/costier reprezintă avantaje importante în zonele maritime cu navigație intensă precum porturi, golfuri și gurile de varsare ale râurilor. Cunoașterea hidrodinamicii marine/în zona de coastă permite dezvoltarea strategiilor/metodologiilor necesare pentru a oferi un răspuns rapid în caz de urgență.

În prezent, modelarea proceselor hidrodinamice în zona de coastă este o problemă importantă pentru siguranța navigației. Astfel, modelarea numerică a proceselor hidrodinamice costiere reprezintă un instrument util și necesar, în realizarea unor sisteme suport pentru luarea deciziilor în cazul unor hazarde maritime. Modelele numerice de înaltă rezoluție pot oferi prognoze asupra caracteristicilor mediului marin în diferite situații, inclusiv în cazul evenimentelor hidro meteorologice extreme.

CAPITOLUL 7 CONCLUZII

Concluzii și considerații finale

Lucrarea de față abordează atât investigarea amănunțită a hidrologiei și hidrodinamicii marine și costiere, precum și anumite procese hidrodinamice asociate porturilor maritime, care pot fi înțelese prin metodologii de integrare complexă a acestora. Scopul acestui studiu, este să prezinte modalități de optimizare a navigației costiere și anumite metodologii inovatoare, de gestiune a operațiunilor portuare în legătură cu considerarea anumitor interacțiuni mare-uscăat determinante în procesul de planificare spațială maritimă și management al riscului la situații excepționale de furtună.

Hidrodinamica zonei marine portuare reprezintă o problemă foarte actuală, iar rezolvarea ei este dificilă, datorită lipsei măsurătorilor sistematice asupra proceselor care duc la apariția și evoluția diferitelor procese asociate rezonanței valurilor, dar și curenților induși în bazine cu configurație complexă. Studiarea interacțiunilor dintre diferite caracteristici ale regimului de val și curent în zone costiere este o cale care conduce la înțelegerea fenomenelor în ansamblul lor, iar rezultatele obținute pot contribui astfel la controlul sporit și optimizarea modalităților de proiectare a extinderii structurale și funcționale a porturilor și siguranța navigației maritime în porturi și zone adiacente acestora.

Metodele de colectare și analiză a datelor și informațiilor din mediul marin și costier, precum și metodele de calcul automat incluse în noile demersuri de abordare integrată a proceselor implicate pot conduce la înțelegerea modurilor de gestiune adecvată a caracteristicilor de adăpostire a porturilor, iar diferitele tipuri de modelare numerică adaptată bazinelor portuare aflate în zonele costiere pot rezolva într-o anumită măsură problematica siguranței navigației.

Astfel, metodele prezentate în teză, țin pe de o parte de abordarea clasică, asupra hidrologiei marine, dar includ, pe de altă parte aplicarea atentă a unor modele numerice interconectate, care sunt în prezent niște instrumente necesare în studiul procesele hidrodinamice costiere.

Analiza rezultatelor obținute prin simulări numerice asupra valurilor și curenților marini și costieri modificați de existența adâncimilor mici și unele obstacole marine/naturale și/sau de navigație, în sectorul românesc al Mării Negre, concomitent cu măsurătorile în teren, realizate cu aparatură modernă, de înaltă rezoluție, pot conduce la concluzia că anumite cauze naturale sau constructive, pot fi înțelese și manageriate în mod corect, dincolo de marea variabilitate a fenomenelor de risc hidrologic marin și/sau tehnologic, asociat navigației maritime.

Contribuții personale

Chiar dacă lucrarea de față reprezintă un început al unui demers ce se dorește foarte eficient, câteva dintre contribuțiile aduse studiului în domeniul hidrodinamicii aferente zonei costiere pot fi menționate succint:

- ✓ Proiectarea unei strategii de cercetare adecvată studiului porturilor maritime românești, incluzând selectarea unor ipoteze de lucru, și a unor metodologii adecvate

unui demers de studiu complet (realizat pe model numeric și validat prin comparații cu datele colectate *in situ*);

- ✓ Sistematizarea și prelucrarea datelor și informațiilor cu privire la caracteristicile hidrologice marine și costiere la litoralul românesc al Mării Negre, atât din surse internaționale, cât și locale și regionale;
- ✓ Abordarea în sinteză a teoriilor legate de studiul proceselor marine și costiere asociate porturilor maritime prin metode clasice, precum și prin simulări numerice de înaltă rezoluție;
- ✓ Colectarea în teren și procesarea, verificarea și managementul datelor înregistrate de diferite aparate oceanografice de monitorizare;
- ✓ Utilizarea unor metode de calcul statistic al seriilor de timp hidro-meteorologice, înregistrate în stațiile marine și costiere;
- ✓ Utilizarea adecvată a metodelor și instrumentelor informatice pentru evaluarea și calculul automat al proceselor de transformare a câmpurilor de valuri și curenți în apropierea malului;
- ✓ Prelucrarea datelor de intrare pentru inițializarea modelelor hidrodinamice – utilizarea programelor de GIS și teledetecție pentru georeferențierea și uniformizarea topologică a datelor spațiale necesare construirii modelelor geometrice aferente aplicațiilor numerice;
- ✓ Construirea unor seturi de detaliu cu date de linia țărmului și batimetrie actualizate, considerarea diferitelor date și informații meteo-hidrologice marine și actualizarea lor pentru construirea unor condiții de margine corespunzătoare, respectiv a unor modele realiste;
- ✓ Identificarea surselor de date furnizate de diferite centre oceanografice/meteorologice europene și internaționale și achiziționarea într-un format adecvat a datelor necesare inițializării modelelor;
- ✓ Realizarea unui studiu de caz bazat pe aplicații numerice 2D și 3D, dar și pe măsurători de teren asupra Portului Constanța, folosind programul MOHID (Modelo hidrodinamico), în trei configurații de dezvoltare, respectiv nivele de calcul;
- ✓ Implementarea secvențială a modelelor pe platforme PC, pentru eliminarea distorsiunilor, rularea rutinelor numerice (eliminarea bug-urilor), testarea modelelor pentru diferite configurații și reprezentarea datelor la diferite scări spațiale;
- ✓ Aplicarea unui model de valuri în zone costiere la scară sectorială (SWAN) și a unui model de calcul automat al valurilor în acvatorii (BOUSS2D), pentru studiul proceselor de propagare a valurilor la scara incintei portuare Constanța;
- ✓ Evaluarea influenței curenților și valurilor asupra porturilor maritime românești;
- ✓ Validarea modelor de circulație și respectiv de valuri, cu seturi de date satelitare, date furnizate de modele similare, de diferite servicii oceanografice europene/internaționale, dar și *in-situ*, obținute în urma unui experiment desfășurat în teren/zona portului Constanța, cu aprobarea APC și ANR;
- ✓ Identificarea limitărilor impuse de datele și informațiile folosite, precum și limitările modelelor utilizate;
- ✓ Identificarea unor metodologii de optimizare a metodelor utilizate în construcția/adaptarea modelelor numerice și optimizarea aplicabilității lor în

sprijinul navigației costiere și a diferitelor activități de management portuar în situații de furtună;

- ✓ Conturarea unor direcții de cercetare pe termen scurt/mediu și lung în domeniul studiului proceselor costiere asociate activităților maritime.

Direcții de cercetare viitoare

Studiul prezent a fost limitat de timpul de derulare al programului de cercetare doctorală, dar și de amploarea problematicei abordate. Din acest punct de vedere, au fost selectate o parte din componentele disciplinelor abordate, în vederea atingerii obiectivului propus, însă documentarea și investigarea continuă va fi necesară pentru a evidenția o serie de alte direcții spre care studiul poate continua. Astfel, cercetarea și documentarea în domeniile prezentate trebuie să includă, următoarele componente și aspecte ale unui demers complex/studiu aprofundat:

- ✓ Abordarea aspectelor legate de monitorizarea vulnerabilităților bazinelor portuare și a zonelor critice ale acestora induse de procesele hidro-morfologie marine;
- ✓ Identificarea unor factori potențiali cu impact asupra hidrodinamicii bazinelor și a dinamicii sedimentare în zona șenalului navigabil și al zonelor de ancoraj aferente portului Constanța;
- ✓ Analiza variației multianuale a nivelului Mării Negre înregistrate în portul Constanța extinsă cu datele CMEMS/altimetre precum și o analiză fractală a variațiilor de nivel al mării induse de valurile de resacă;
- ✓ Aprofundarea proceselor de transformare a valurilor în bazinele portuare/seișe și rezonanța bazinelor - corelată cu înregistrările de nivel la maregraful din dana zero a portului Constanța și ecluza Agigea;
- ✓ Dezvoltarea și includerea unor rutine de asimilare a datelor înregistrate în zona costieră, în modelele de prognoză adaptate proceselor costiere;
- ✓ Studiul comparativ și extinderea în domeniul 3D a modelelor de valuri, considerate în interacțiunea lor cu curenții costieri;
- ✓ Transformarea metodologiei de intervenție pe baza unor algoritmi de tip structură Artificial Neural Network (ANN);
- ✓ Testarea și adaptarea metodologiei de evaluare a impactului cumulativ, precum și considerarea acestuia în elaborare de scenarii anticipative, pe baza unor sisteme de alertare în caz de furtună/fenomene periculoase;
- ✓ Dezvoltarea și optimizarea componentelor sistemului planificării spațiale maritime în ceea ce privește procesele de interacțiune mare-uscat aferente bazinului vestic al Mării Negre.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] „<https://portal.rna.ro/SiteAssets/servicii/sar-poluare/Informare%20Plan%20locuri%20de%20refugiu.pdf>,” [Interactiv].
- [2] „<https://portal.rna.ro/>,” [Interactiv].
- [3] „marsplan.ro,” [Interactiv]. Available: <http://www.marsplan.ro/ro/msp-general/directiva-2014-89-ue.html>.
- [4] „Rapoarte de mediu 2006-2013 elaborate de INCDM “Grigore Antipa”,” Constanța.
- [5] „Halcrow 2011. Raport diagnostic al zonei costiere,” 2011.
- [6] O. G. Nwogu, „BOUSS2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Region and Harbors; Report 1,” U.S. Army Corps Of Engineers, Washington DC, 2001.
- [7] „<http://www.euxinus.eu/>,” [Interactiv].
- [8] „United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS),” [Interactiv]. Available: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/UNCLOS-TOC.htm.
- [9] „<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D1116&from=EN>,” [Interactiv].
- [10] B. C., Marea Neagra în zona litoralului românesc; monografie hidrologica, Bucuresti: Institutul de Meteorologie și Hidrologie, , 1973.
- [11] „<http://www.geo-spatial.org/articole/ii-litoralul-romanesc-in-documente-cartografice-perioada-medievala>,” [Interactiv].
- [12] E. Vespremeanu, „Geografia Marii Negre,” Bucuresti, Editura Universitară, 2005.
- [13] „<http://www.rowater.ro/dadobrogea/Master%20Plan%20privind%20Protecia%20i%20Reabilitarea%20Zonei/Master%20Plan.pdf>,” [Interactiv].
- [14] R. Mateescu, Hidrodinamica zonei marine costiere romanesti, Bucuresti: Editura Universitara, 2009.
- [15] M. Lungu, Resurse și riscuri climatice din Dobrogea, București: Universitatea Din București Facultatea De Geografie, 2010.
- [16] D. Niculescu, E. Vlasceanu, A. Ivan, N. Buzbuchi și I. Omer, „Coastal works post-construction effectiveness validation in Eforie Bay area,” în *International Multidisciplinary Scientific GeoConference*, Albena, 2017.
- [17] D. A. Ross, Introducere în oceanografie, Bucuresti: Stiintifica si Enciclopedica, 1976.

- [18] C. Spataru, Construcții costiere și acvatorii, București: Editura Tehnică, 1990.
- [19] E. G. Bondar C., „Contributie la studiul agitației Marii Negre pe litoralul,” în *Studii de Hidrologie, vol. IV*, București, 1963.
- [20] E. VLASCEANU, D. NICULESCU, S. PETRISOAIA, A. SPINU, R. MATEESCU, L. Marius, A. VASILACHE, R. VLASCEANU și M. Elif., „ROMANIAN SHORE VULNERABILITY DUE TO STORM INDUCED EROSION WITHIN THE LAST DECADES,” *Journal of Environmental Protection and Ecology* 16, No 4, 1478–1486, (2015).
- [21] „www.portofconstantza.com,” [Interactiv].
- [22] „evenimentulistoric.ro,” [Interactiv].
- [23] Ernst & Yang SRL INROS LAKNER SE, „Master Plan Portul Constanța Versiune Finală,” 2015.
- [24] „www.aoml.noaa.gov,” [Interactiv]. Available:
https://www.aoml.noaa.gov/phod/argo/webpage_sections/doc/argo_intro_what_is.php.
- [25] Shore Protection Manual, Volumul 1, Washington DC 20314: Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center,, 1984.
- [26] J. R. Morison și R. C. Crooke, „The mechanics of deep water, shallow water, and breaking waves,” U.S. Army Corps of Engineers, Berkeley, California, 1953.
- [27] R. W. Johnson, The Handbook of Fluid Dynamics, CRC press, 1998.
- [28] J. Battjes, „Surf similarity,” în *proceedings of 14th Coastal Engineering Conference*, Copenhagen, 1974.
- [29] R. L. Wiegel, „Forces Induced by Breakers on Piles,” *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Coastal Engineering*, pp. 1699 - 1715, 1982.
- [30] B. Wilson, Seiches, Advances in Hydrosiences,, Pasadena: Consulting Oceanographic Engineer, 1972.
- [31] A. B. Rabinovich, „Seiches and Harbour Oscillations,” în *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, 2008.
- [32] B. J. Korgen, „Seiches: transient standing-wave oscillations in water bodies can create hazards to navigation and unexpected changes in water conditions,” *American Scientist*, vol. 83, nr. 4, 1995.
- [33] J.-J. Lee, „Wave-induced oscillations in harbours of arbitrary geometry,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 110, 2006.
- [34] Coastal Engineering Manual Part II, US Army Corps of Engineers, 2015.

- [35] V. Radulescu, I. Samoila, G. Oaie, R. Radulescu, N. Acmla și R. Dervisi, „EMSO ERIC Black SEA NODE - EUXINUS NETWORK,” în *EMSO Eric all region Workshop*, 2016.
- [36] G. L. Mellor, *USERS GUIDE for A THREE-DIMENSIONAL, PRIMITIVE EQUATION, NUMERICAL OCEAN MODEL*, Princeton: Princeton University, 2002.
- [37] C. Bondar, „The Black Sea Level Variation and the River-Sea Interaction. Coastal Zone Processes and Management. Environmental Legislation.,” *GEO-ECO-MARINA 13.*, 2007 .
- [38] E. Vlasceanu, D. Niculescu, R. Mateescu și N. Buzbuchi, „Complex assessment on the marine hydrological variability regime of the western Black Sea coastal zone, its support for the regional Marin,” în *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference*, Albena, 2019.
- [39] „www.unisdr.org,” [Interactiv]. Available: <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>.
- [40] D. Roland și P. Francoise, *Dicționar de psihologie*, București: Humanitas, 2006.
- [41] T. Wamsley, E. A. Vuxton, T. S. Bridges, B. Suedel, J. Gailani și J. Rosati, *Use of natural and natural-based features (NNBF) for coastal resilience*, US Army Corps of Engineers, 2015.
- [42] „Raport proiect ECOMAGIS, PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1427,” Proiect nr. 69/2012.
- [43] „MSP Platform,” [Interactiv]. Available: <https://www.msp-platform.eu/> .
- [44] M. A. Abdulah, *Studiu fizico –geografic al complexului Lagunar Razelm –Sinou, teză de doctorat*, Bucuresti: Universitatea Din București Facultatea De Geografie, 2010.
- [45] M. P. A. P. Constanța, „portbusiness.ro,” [Interactiv]. Available: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjjg9eoyMTIAhXJLIAKHwXNAXYQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fportbusiness.ro%2Fwp-content%2Fuploads%2FMPPC.pdf&usg=AOvVaw3p7wTjrE2x0bONeJi53Mcy>.
- [46] I. Omer, R. Mateescu, E. Vlăsceanu, D. Niculescu și E. Rusu, „Hydrodynamic regime analysis in the shore area taking into account the new master plan implementation for the coastal protection at the Romanian shore.,” în *Journal of Ecology and Environment Protection*, Albena, 2015.
- [47] A. IVAN și E. VLASCEANU, „Romanian shore’s hydrodynamic classifications for balneary tourism purposes,” Albena, 2017.
- [48] MARETEC, *MOHID Manual: Description of the 3D water modeling system Mohid* (2003).
- [49] D. M. Glover, W. J. Jenkins și S. C. Doney, *Modeling Methods for Marine Science*, Massachusetts: Woods Hole Oceanographic Institution, 2005.

- [50] G. Korotaev, T. Oguz, A. Nikiforov și C. Koblinsky, „Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea,” *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, vol. VOL. 108.
- [51] C. Bondar și T. Micu, „Date asupra dinamicii litoralului Marii Negre,” în *Studii de Hidrologie*, vol. IX, Bucuresti, 1965.
- [52] A. A. Almazov, C. Bondar, C. Diaconu și e. al., Zona de vărsare a Dunării. Monografie hidrologică, București: Ed. Tehnică, 1963.
- [53] A. Vespremeanu, L. Preoteasa și F. Tătui, Oceanografie Fizica, Bucuresti: Editura Ars Docendi, 2014.
- [54] R. A. J. Luettich, J. J. Westerink și N. W. Scheffner, ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves, Coasts, and Estuaries. Report 1. Theory and Methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Washington, DC 20314-1000: US Army Corps of Engineers , DEPARTMENT OF THE ARMY,, 1992.
- [55] M. Lungu, A. Vasilachi, R. Vlasceanu, R. Mateescu, E. Vlasceanu, D. Niculescu și E. Memet, „HYDRO-MORPHOLOGICAL RISK PHENOMENA INDUCED BY THE CLIMATIC CHANGES WITHIN ROMANIAN BLACK SEA COASTAL ZONE,” *Journal of Environmental Protection and Ecology* 16, No 4, 1316–1325 (2015).
- [56] T. Oguz, S. Tuğrul, A. E. Kideys, N. Kubilay, N. Kubilay și V. Ediger, „Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea,” în *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
- [57] C. Bondar, I. State, D. Cernea, E. Harabagiu, C. Bută și U. G., „Rezultate privind morfologia litorală aferentă Deltei Dunării,” în *Studii de Hidraulică*, vol. XXXIII, Bucuresti, 1992.
- [58] IPCC, „Climate Change, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
- [59] M. T. Baescu și R. Codreanu, Ecologie marina, Bucuresti: Ed. Academiei. Bucuresti, 1969.
- [60] A. Arakawa și V. Lamb, „Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA General Circulation Model. Methods of Computational Physics, 17, pp.174-264,” 1977.
- [61] D. Arsenie și I. Omer, Hidraulica Valurilor Marine, Constanta: Ovidius University Press, 2008.

ANEXA 1 - LISTA LUCRĂRILOR**I. PUBLICAȚII ÎN REVISTE ISI**

1. **E. Vlasceanu**, N. Buzbuchi. (2019). *Application of numerical hydrodynamic models in the study of the marine currents in Romanian black sea area*. **In press** in JEPE journal.
2. Razvan Mateescu, **Elena Vlasceanu**, Liliana Rusu. *Analysis-based results on the delineation of prearrangement areas for marine renewable energy installations in the Western Black Sea Basin*. ICACER 2018, Barcelona, Spain, 6 – 8 April 2018. Editors: W. Cui. E. Rusu. E3S Web of Conferences, Volume 51.
3. Niculescu, D., **Vlasceanu, E.**, Petrila, M., Mateescu, R., Omer, I., Dimache, A. Iancu, I. (2017). Unmanned aeral vehicle (UAV) technology in monitoring of coastal cliffs. Journal of Environmental Protection and Ecology. F.I. = 0.774,18. No. 3, pp. 1202-1212. <http://www.jepe-journal.info/journal-content/vol-18-no-3>
4. I. Omer, D. Niculescu, **E. Vlasceanu**, T. Cristescu, R. Mateescu. (2016). Marine pollution risks assessment in the Romanian coastal zone. Journal of Ecology and Environment Protection, Vol 17, (3)/2016: ISBN1311-5065, 911–921 Impact factor is: 0.838 <http://www.jepe-journal.info/vol-17-no-3>.
5. Omer, I., Mateescu, R., Rusu, L., Niculescu, D., **Vlăsceanu, E.** (2015). Coastal works extensions on the Romanian touristic littoral, its ecological impacts on the nearshore bathing areas. Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol 16, (2): 417-424, ISBN1311-5065, <http://www.jepe-journal.info/vol-16-no2-2015>
6. M.-L. Lungu, A. Vasilachi, R. Vlasceanu, R. Mateescu, **E. Vlasceanu**, D. Niculescu, E. Memet. (2015). Hydro-morphological risk phenomena induced by the climatic changes within Romanian Black Sea coastal zone. Journal of Ecology and Environment Protection) Vol 16, (4): 1307-1314, ISBN1311-5065, <http://www.jepe-journal.info/vol-16-no-4-2015>
7. **E. Vlasceanu**, D. Niculescu, S. Petrisoia, A. Spinu, R. Mateescu, M.-L. Lungu, A. Vasilache, R. Vlasceanu, E. Memet. (2015). *Romanian shore vulnerability due to storm induced erosion within the last decades*. Journal of Ecology and Environment Protection Vol 16, (4): 1468-1478, ISBN1311-5065, <http://www.jepe-journal.info/vol-16-no-4-2015>.

II. PUBLICAȚII ÎN VOLUMELE UNOR CONFERINȚE INDEXATE WOS

8. **PhD Student Elena Vlasceanu**, PhD Student Dragos Niculescu, Dr. Razvan Mateescu, Prof. Dr. Nicolae Buzbuchi (2019). *Complex assessment on the marine hydrological variability regime of the western Black Sea coastal zone, its support for the regional Marine Spatial Planning activities*. 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Conference proceedings, Volume 19, Issue 3.1. ISBN 978-619-7408-81-2, ISSN 1314-2704, DOI 10.5593/sgem2019/3.1, pg.97-104.
9. **PhD Student Elena Vlasceanu**, Dr. Razvan Mateescu, Prof. Dr. Nicolae Buzbuchi, *Synergic remote sensing data routines for the validation of the hydrodynamic model's results, applied towards the Romanian maritime ports safe operations*. 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019, Conference proceedings Volume 19, Issue 2.2. ISBN 978-619-7408-80-5, ISSN 1314-2704, DOI 10.5593/sgem2019/2.2, pg.647-653.
10. Angela Ivan, **Elena Vlasceanu**. *The monitoring of the shoreline evolution adjacent to maritime ports, in the context of marine storms intensification*. The 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 02-08 July, 2018, Varna, Bulgaria, research areas: [Hydrology and Water Resources](#), Volume 18, Book 3.1, Pg. 745-750, ISBN 978-619-7408-42-3, ISSN 1314-2704, DOI 10.5593 / sgem2018 / 3.1 / S12.097.
11. Angela Ivan, **Elena Vlasceanu**. *The model validations through the usage of the high-resolution remote sensing imagery on the marine processes* (2018). The 18th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 02-08 July, 2018, Varna, Bulgaria, research areas: Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 18, Book 2.3. pg. 219-224, ISBN 978-619-7408-41-6, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593/SGEM 2018/2.3/S10.028.
12. Niculescu, D., **Vlasceanu, E.**, Ivan, A., Buzbuchi, N., Omer, I. (2017). *Coastal works post-construction effectiveness validation in Eforie Bay area*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Vol. 17, Issue 31, pp. 129-136, <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article9500>.
13. Angela IVAN, **Elena VLASCEANU**, "Romanian shore's hydrodynamic classifications for balneary tourism purposes" 17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2017, Conference proceedings Volume 17, Issue 31, ISBN 978-619-7408-04-1, ISSN 1314-2734 DOI: 105593/sgem2017/31.
14. Niculescu, D., **Vlasceanu, E.**, Omer, I., Mateescu, R. (2015). *The monitoring of the romanian littoral cliffs using automatic flight systems*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Proceedings Book2 Vol. 1, pp. 1187-1194. <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article5740>.

15. **E.Vlasceanu**, I. Omer, D. Niculescu, E. Rusu, A. Ivan. (2015). *Modelling aspects of the hydro – geomorphological process and their impact on the evolution of the Romanian coastal eco - system on the black sea, in the context of the new climate change*. SGEM Proceedings Volume 2, Issue 3, 2015, pp. 667-674.
<https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6096>.
16. Omer, I., Mateescu, R., **Vlăsceanu, E.**, Niculescu, D., Rusu, E. (2015). *Hydrodynamic regime analysis in the shore area taking into account the new master plan implementation for the coastal protection at the Romanian shore*. ISBN 978-605-88990-6-3, SGEM Proceedings Book3 Vol. 2, pp. 675-682
<https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6097>.
17. **E.Vlasceanu**, D. Niculescu, I. Omer, E. Rusu, A. Ivan. (2015). *Offshore wave regime investigations towards safety port operations in the transitional zone of the Romanian coast*. SGEM Proceedings Volume 2, Issue 3, 2015, pp. 675-682.
<https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article6097>.
18. Mateescu R.D., Spinu A., Buga L., Niculescu D., Mihailov E., **Vlasceanu E.** (2014) *Remote sensing applications for the ecosystem-based management process implementation in the Romanian Black Sea Coastal Zone*. published in: Baltic International Symposium (BALTIC), 2014 IEEE/OES, 27-29 Mai 2014, Tallinn, Estonia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6887837>.

III. PUBLICAȚII ÎN JURNAL INDEXATE BDI

19. **Elena Vlasceanu**, Nicolae Buzbuchi, Razvan Mateescu, Alexandra Craciun, Simona Tascu, *Analysis-based results on the waves model applications for the Romanian shelf*. The 4th International Conference Water Across Time in Engineering Research, 21-23 iunie 2018 proceeding, pg. 43, ISBN 978-606-598-663-3,
<http://revista-constructii.univ-ovidius.ro/conferinte/index.php/publication>.
20. Razvan Mateescu, Emanuela Mihailov, **Elena Vlasceanu**. *Earth observation products for the validation of the Hydrodynamics model applications on the Romanian shelf area*. Scientific Conference of Doctoral Schools, SCDS-UDJC-6th Edition, Dunarea de Jos Galati University, 7-8 June 2018, Galati 07/08.06.2018.
21. Răzvan Mateescu, **Elena Vlăsceanu**, Dragos Niculescu, Frank BROWNSCHEIG, Rodrigo FERNANDEZ, Dr. ing David BRITO. (2017). *Sistemul de Prognoză a Calității Apelor de Îmbăiere Aferente Plajei Mamaia*. Buletinul AGIR nr. 4, pp. 72-76. <http://www.agir.ro/buletine/2016.pdf>.
22. Dragoș Niculescu, Silică Petrisoia, Răzvan Mateescu, **Elena Vlăsceanu**. (2015). *Supravegherea de la distanță a zonelor de risc geomorfologic, aferente*

- țărmlui românesc cu faleze. Buletinul AGIR nr. 4, pp.28-31.
<http://www.agir.ro/buletine/2428.pdf>.
23. Ion GRIGORAȘ, Dragos Niculescu, **Elena Vlăsceanu**, Răzvan Mateescu, Marian Mierlă. (2016). *Dezvoltarea unei baze de date GIS pentru zona costieră a Rezervației Biosferei Delta Dunării*. Buletin AGIR nr. 2, ISSN – L 1224-7928.
<http://www.agir.ro/buletine/2676.pdf>.
24. Răzvan Mateescu, Dragoș Niculescu, **Elena Vlăsceanu**, Emanuela Mihailov. (2016). *Capacități specifice tehnologiilor de observare a pământului, create în cadrul centrului de competență COSMOMAR, în vederea dezvoltării durabile a zonelor marine și costiere românești*. Buletin AGIR nr. 3, ISSN – L 1224-7928.
<http://www.buletinulagir.agir.ro/articol.php?id=2801>
25. Răzvan Mateescu, **Elena Vlăsceanu**, Dragoș Niculescu, Silica Petrișoia. (2015). *Aplicații spațiale de observare a pământului, aplicate zonei marine și costiere românești*. Buletinul AGIR nr. 4 pp. 22-27.
<http://www.agir.ro/buletine/2427.pdf>.
26. Răzvan Mateescu, Laura Alexandrov, **Elena Vlăsceanu**, Dragoș Niculescu. (2015). *Atractivitatea și specificul peisajului natural aferent zonei costiere românești: sector Mamaia, natura vs. intervenția umană*. Buletinul AGIR nr. 1, pp. 91-95. <http://www.agir.ro/buletine/2187.pdf>.
27. **Elena Vlasceanu**, Dragos Niculescu, Nicolae Buzbuchi. (2014). *Modelarea numerică a proceselor hidromorfologice, instrument științific al ingineriei de mediu și aplicațiile acestora la reconstrucția zonelor costiere deltaice cu sedimentare intense*. Buletinul AGIR nr. 4, pp. 12-16
<http://www.agir.ro/buletine/2153.pdf>.
28. R. Mateescu, D. Niculescu, **E. Vlasceanu**, Conf. Univ. Dr. Ing. Ichinur Omer. (2014). *Utilizarea sistemelor automate de zbor în supravegherea integrată a mediului zonei costiere*. Buletinul AGIR nr. 4, pp. 65-69.
<http://www.agir.ro/buletine/2163.pdf>

ANEXA II - PARTICIPĂRI ÎN PROIECTE DE CERCETARE-DEZVOLTARE

1. **iSWIM** - integrated Service for Water Quality Monitoring in Mamaia bay
<http://iswim.rmri.ro/>
2. **SkyFISH** - Service for water quality monitoring for sustainable fishing in Romanian Coastal Area Project, <http://skyfish.terrasigna.com/>
3. **Ro-CEO** – Romanian Cluster for Earth Observation; <https://www.ro-ceo.ro/>
4. **ECOAST** – New methodologies for an ecosystem approach to spatial and temporal management of fisheries and aquaculture in coastal area;
5. **ECORYS** – Assistance Mechanism for the Implementation of Maritime Spatial Planning;
6. **COSMOMAR** – Constanta Space Technology Competence Centre Dedicated to the Romanian Marine and Coastal Regions Sustainable Development;
7. **MARSPLAN-BS** - Cross-Border MARitime Spatial PLANning in the Black Sea;
8. **ECOMAGIS** 69/2012,” Implementation of a complex geographic informatic system for ecosystem-based management, through integrated monitoring and assessment of the biocoenosis status and its evolution trends in a fast-changing environment at the Romanian coastal zone of the Black Sea”
<http://ecomagis.rmri.ro/>