

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala Doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**Studii privind evaluarea resurselor de  
energie regenerabilă în zona litoralului  
românesc al Mării Negre**

**Doctorand,**  
**Ing. Niculescu F.I. Dragoș Marian**

**Conducător științific,**  
**Prof. Dr. Ing. RUSU Eugen Victor Cristian**

**Seria: I6 Inginerie Mecanică Nr. 49**

**GALAȚI**  
**2019**



**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**

**Școala Doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



**TEZĂ DE DOCTORAT**

**Studii privind evaluarea resurselor de energie regenerabilă în zona litoralului românesc al Mării Negre**

**Doctorand,**

**Ing. Niculescu F.I. Dragoș Marian**

**Conducător științific,**

**Prof. dr. ing. MEREUȚĂ Elena**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

**Conducător științific,**

**Prof. dr. ing. RUSU Eugen Victor Cristian**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

**Referenți științifici:**

**Prof. dr. ing. OMER Ichinur**

Universitatea Ovidius din Constanța

**C.S. I dr. ing. MATEESCU Răzvan**

INCDM “Grigore Antipa”

**Conf. dr. ing. CIORTAN Sorin**

Universitatea „DUNĂREA DE JOS” din Galați

**Seria: I6 Inginerie Mecanică Nr. 49**

**GALAȚI**

**2019**

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

Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

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

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie-Engleză**

Seria U 2: **Filologie-Română**

Seria U 3: **Istorie**

Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul **MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

Seria C: **Chimie**

## CUVÂNT ÎNAINTE

Oceanele și mărilor lumii au fost exploate din totdeauna, din punct de vedere al navigației, transportului și al sectorului petrolier. Atât la nivel mondial cât și local se estimează că nevoile energetice vor crește odată cu schimbările climatice. Întrucât dependența de combustibilii fosili nu este benefică pentru mediu vor trebui găsite soluții cu ajutorul cărora diverse probleme de mediu ar putea fi evitate. Așadar există o mare nevoie de creștere a capacității de producție a energiei regenerabile. Întrucât nevoile de energie au fost și sunt din ce în ce mai ridicate, la nivel global, s-au realizat studii și implementări ale diverselor soluții de colectare a energiei eoliene offshore cât și a mișcării maselor de apă, în care rezidă o sursă abundentă de energie regenerabilă.

Acest studiu pleacă de la necesitatea de a descoperi noi metode de a produce energie regenerabilă care au un impact cât mai mic asupra mediului înconjurător.

Lucrarea își propune să evidențieze potențialul energetic existent în zona litoralului Românesc, fie eolian, fie al valurilor sau curenților marini, cât și posibilitatea obținerii acestei energii din punct de vedere al încadrării în utilitățile existente, aferente spațiului marin al României.

Un alt obiect al acestui studiu este posibilitatea integrării acestor instalații în spațiul deja deosebit de limitat, disponibil la acest moment în zona litoralului românesc. Astfel, planificarea spațială marină împreună cu managementul integrat al zonei costiere joacă un rol foarte important.

*În primul rând doresc să mulțumesc profesorilor și colegilor ce m-au ajutat în realizarea tezei, și m-au susținut cu răbdare în momente mai dificile întâmpinate în scrierea acesteia. Am acumulat cunoștințe noi, și a fost necesar să adopt noi moduri de a gândi și de a rezolva probleme. Acum am atins un nou nivel de înțelegere asupra problematici științifice și am aprofundat aspecte ale relațiilor interumane.*

*Doresc să-mi exprim sincera recunoștință față de conducătorul științific, domnul profesor Eugen RUSU, pentru prețioasele îndrumări acordate de-a lungul acestor ani și pentru ajutorul lui în elaborarea lucrării de doctorat. Mulțumesc altfel încă odata pentru încurajarea continuă de a transforma o idee într-o realizare concretă și pentru privilegiul de a vă fi student.*

*În egală măsură doresc s-a mulțumesc domnului Teodor Cristescu, pentru lungile discuții purtate asupra factorilor fizici ai fenomenelor marine, cât și pentru modul de a privi și înțelege lucrurile.*

*Totodată vreau să mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare pentru sfaturile și sugestiile oferite. Astfel, adresez mulțumiri doamnei profesor Lorena DELEANU, doamnei profesoare Antoaneta ENE, și domnului Răzvan Mateescu.*

*De asemenea doresc să îmi afirm recunoștința față de colectivul Departamentului de Oceanografie, Inginerie Marină și Costieră, al Institutului Național de Cercetare Dezvoltare Marină „Grigore Antipa”, cât și față de colectivul Școlii Doctorale, pentru sprijinul acordat în timpul anilor de doctorat.*

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

Galați, Mai 2019

Dragoș Marian NICULESCU



## Cuprins

<b>Introducere .....</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>I Actualitatea și importanța temei .....</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>II Obiectivele cercetării .....</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>III Structura tezei .....</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Capitolul 1. Caracteristicile fizico-geografice ale zonelor costiere românești .....</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Caracterizarea sectorială a zonelor costiere românești .....</b>	<b>6</b>	<b>15</b>
<b>Capitolul 2. Generalități privind factorii care influențează zona costieră .....</b>	<b>9</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Vântul și forța indusă .....</b>	<b>9</b>	<b>26</b>
<b>2.2. Valurile marine .....</b>	<b>10</b>	<b>27</b>
<b>2.3. Curenții marini .....</b>	<b>11</b>	<b>30</b>
<b>2.3.1. Curenții generați de vânt în zona costieră .....</b>	<b>11</b>	<b>32</b>
<b>Capitolul 3. Cercetări privind regimul vântului, valurilor și curenților marini.....</b>	<b>12</b>	<b>34</b>
<b>3.1. Elemente teoretice privind modelele numerice .....</b>	<b>12</b>	<b>34</b>
<b>3.1.1. Descrierea modelului SWAN „Simulating WAVes Nearshore” .....</b>	<b>12</b>	<b>34</b>
<b>3.1.2. Descrierea modelului MOHID “MOdelo HIDrodinamico” .....</b>	<b>12</b>	<b>34</b>
<b>3.1.3. Descrierea modelului POM “Princeton Ocean Model” .....</b>	<b>12</b>	<b>38</b>
<b>3.2. Regimul vântului .....</b>	<b>13</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2. Analiza statistică a datelor de vânt din zona de vest a Mării Negre ...</b>	<b>13</b>	<b>43</b>
<b>3.2.3. Caracteristicile vântului în zona românească.....</b>	<b>16</b>	<b>49</b>
<b>3.2.5. Regimul furtunilor.....</b>	<b>18</b>	<b>59</b>
<b>3.3. Regimul valurilor .....</b>	<b>22</b>	<b>71</b>
<b>3.3.1. Analiza datelor de val .....</b>	<b>22</b>	<b>71</b>
<b>3.4. Regimul curenților marini .....</b>	<b>24</b>	<b>74</b>
<b>3.4.1. Analiza unor măsurători de curent, realizate în zona de sud a litoralului românesc.....</b>	<b>24</b>	<b>75</b>
<b>3.5. Rezultatele simulărilor numerice (SWAN, MOHID și POM).....</b>	<b>29</b>	<b>86</b>
<b>3.5.1. Studiul regimului valurilor din zona litoralului românesc utilizând modelul SWAN .....</b>	<b>29</b>	<b>86</b>
<b>3.5.2. Influența unui parc de turbine eoliene asupra câmpului de valuri .....</b>	<b>29</b>	<b>90</b>
<b>3.5.3. Analiza rezultatelor celor două modele, privind direcția curenților marini pe durata unor evenimente meteorologice deosebite.....</b>	<b>32</b>	<b>95</b>
<b>Capitolul 4. Energii neconvenționale în zona țărmlui.....</b>	<b>36</b>	<b>104</b>
<b>4.1. Energia eoliană în Europa .....</b>	<b>36</b>	<b>111</b>
<b>Capitolul 5. Studii privind cartarea energiei regenerabile offshore.....</b>	<b>38</b>	<b>134</b>
<b>5.1. Energia eoliană în zona costieră românească.....</b>	<b>38</b>	<b>134</b>
<b>5.1.1. Estimări privind densitatea de putere la diverse înălțimi.....</b>	<b>40</b>	<b>139</b>

<b>5.2. Energia valurilor .....</b>	<b>42</b>	<b>142</b>
<b>5.2.1. Estimări privind puterea pe metru liniar de val .....</b>	<b>42</b>	<b>143</b>
<b>5.3. Analiza spațiului marin în contextul energiei regenerabile.....</b>	<b>44</b>	<b>148</b>
<b>Capitolul 6. Concluziile generale, Contribuții originale și Perspective.....</b>	<b>47</b>	<b>151</b>
<b>6.1. Concluzii.....</b>	<b>47</b>	<b>151</b>
<b>6.2. Contribuții originale.....</b>	<b>48</b>	<b>153</b>
<b>6.3. Perspective .....</b>	<b>48</b>	<b>154</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>49</b>	<b>158</b>
<b>Lista lucrărilor .....</b>	<b>52</b>	<b>166</b>



## Introducere

Abordarea este direcționată spre potențialul energetic al vântului aflat în largul Mării Negre cât și al valurilor. Demersurile acestui studiu au evidențiat faptul că puterea disponibilă din punct de vedere al valurilor și curenților costieri, care se propagă predominant de la nord la sud, nu pare a fi suficientă pentru a putea pune în mișcare rentabil convertoarele de energie. Considerând că tehnologia va evolua în viitor, există posibilitatea ca aceste convertoare să poată fi optimizate pentru acest câmp de valuri, respectiv curenți costieri.

Având în vedere suprafețele disponibile care pot fi folosite pentru captarea energiei regenerabile se poate spune că există posibilitatea extragerii unei cantități semnificative de energie din vântul offshore, eventual din valuri sau curentul costier. Însă acestea ar trebui să se suprapună pe suprafața mării. Astfel, trebuie determinată soluția tehnologică care are un randament mai bun și locul geografic de instalare al acestora. Analizând în continuare separat fiecare tehnologie de captare a energiei regenerabile, se ajunge la concluzia că energia eoliană este cea mai accesibilă, necesitând costuri mai reduse pentru a o produce. Într-o primă fază ar fi posibil ca aceste dispozitive de captare a energiei regenerabile să fie construite separat, pe o anumită suprafață în largul mării, însă, pentru o mai bună integrare și folosire a suprafeței marine, aceste echipamente pot fi construite într-un sistem ce ar permite funcționarea lor pe aceeași suprafață, formând cluster de captare a energiei regenerabile. Însă trebuie avut în vedere ca toate acestea trebuie să țină cont de ritmul de dezvoltarea al activităților costiere și maritime în general, întrucât acolo unde pot fi instalate aceste ferme de energie regenerabilă pot trece linii de navigație, sau pot fi construite ferme piscicole și multe altele. Trebuie avut în vedere un plan de management costier pentru a putea profita din plin de aceste dispozitive de captare a energiei regenerabile. Prin instalarea convertoarelor de valuri și curenți se favorizează crearea unor zone propice construcției de ferme piscicole.

În funcție de structura de captare, energia valului poate fi absorbită total sau parțial, astfel încât să nu afecteze structura și funcționalitatea fermelor sau operațiunile de mentenanță ale fermelor piscicole. Totodată, aceste convertoare ar putea fi folosite pentru a proteja linia de coastă, împiedicând eroziunea prin absorbția energiei valurilor care, de altfel, determină eroziunea costieră.

Studiul este structurat în câteva subiecte majore.

1. analiza datelor de vânt, val și curent, provenite din măsurători de teren și modele numerice,
2. utilizarea de aplicații numerice ale modelelor SWAN, MOHID și POM,
3. energiile ce pot fi utilizate (tipuri de soluție față de tipuri de energie),
4. evaluarea potențialului energiei regenerabile în contextul planificării spațiului marin românesc.

## I Actualitatea și importanța temei

Politica la nivel european privind producerea energiei din surse regenerabile precum și promovarea utilizării acestei forme de energie, este stabilită prin Directiva UE 28/2009. De asemenea toate țările membre ale Uniunii Europene, au obligația de a asigura până în 2020 cel puțin 10% din combustibilii destinați transportului din surse regenerabile. La 30 noiembrie 2016,

Comisia Europeană a publicat o propunere de directivă revizuită privind obținerea energiei din surse regenerabile cu scopul de a transforma UE în lider mondial pe piața energiei regenerabile până în 2030. Această directivă urmărește să traseze obiective naționale privind energia din surse regenerabile pentru fiecare țară membră, pe baza potențialului de energie regenerabilă specific fiecărei țări în parte. Datorită acestui fapt, aceste obiective variază de la o țară la alta, de la un nivel minim de 10% în Malta până la un nivel ridicat de 49% în Suedia.

Datorită politicilor guvernamentale în domeniul energiei dar și evoluției rapide a tendințelor impuse de industria energetică este din ce în ce mai necesară evaluarea corectă a potențialului de energie regenerabilă specific fiecărei țări.

Mările și oceanele oferă o uriașă resursă de energie regenerabilă. În prezent atât la nivel european cât și la nivel mondial, sunt dezvoltate tehnologii pentru exploatarea potențialului energetic al valurilor, a mareelor, a curenților marini precum și a diferenței gradientilor de salinitate.

Dezvoltarea continuă a acestui sector nu numai că va ajuta la realizarea obiectivelor privind energia regenerabilă și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, dar totodată poate stimula creșterea economică prin crearea de noi locuri de muncă de înaltă calitate.

Așadar, pe lângă cele mai sus menționate, o astfel de analiză își are aplicabilitatea în industria offshore, oferind cunoștințe suplimentare comunității maritime offshore prin evaluarea resurselor energetice din zona costieră în ceea ce privește puterea valurilor, până la izobata de 90 m. Un alt aspect esențial este aplicația pe care acest tip de cercetare (analiza condițiilor marine menite să furnizeze energie regenerabilă) o are în cadrul Planificării Spațiale Marine (Directiva EU 89/2014/ - Maritime Spatial Planning).

Aceste aspecte au fost analizate utilizând modelarea numerică a proceselor hidrodinamice concomitent cu procesarea datelor colectate in situ. În acest sens au fost utilizate două modele numerice, MOHID și POM pentru modelarea curenților marini din zona costiera românească, urmărindu-se printr-o analiză comparativă a rezultatelor obținute, identificarea eventualelor inadvertențe de prognozare, menite să fie ulterior utilizate pentru optimizarea aplicării acestor modele la Marea Neagră.

Rezultatele obținute vor fi utile pentru evaluarea câmpului eolian, câmpului de acțiune a valurilor și a curenților marini. Evaluarea rezultatelor acestor modele numerice este un proces dificil și cu toate că rezultatele pot părea a fi în acord cu datele obținute prin măsurători în teren, analiza comparativă a datelor obținute în urma rulării modelelor nu sunt întotdeauna în concordanță, existând unele incompatibilități.

Această evaluare pe termen lung a condițiilor eoliene, a câmpului de valuri și a curenților marini, ne arată tendințele schimbărilor climatice și efectul acestora asupra evoluției dinamicii zonelor costiere, care la rândul lor reprezintă un aspect deosebit de important în evaluarea și planificarea activităților spațiului marin.

În final, pe baza acestor rezultate s-au obțin hărți în care sunt reprezentate zonele de interes, din punctul de vedere al planificării spațiale marine dar și zonele identificate ca având densitatea de putere necesară pentru implementarea viitoarelor convertitoare energetice.

Contribuțiile specifice pe care această lucrare le aduce sunt:

- Un studiu metodologic care ilustrează situația actuală și tendințele climatologice. Analiza rezultatelor parametrilor fizici care pot duce la rezultate îmbunătățite.
- Contribuții la îmbunătățirea cunoștințelor existente privind estimarea resurselor energetice, în zona costieră românească.

- Analizarea unor seturi de date pe termen lung, de înaltă rezoluție, care să sprijine investigarea condițiilor de vânt, val și curenți marini prin intermediul modelelor numerice și a resurselor energetice în diferite puncte de interes.
- Realizarea unor demersuri de modelare numerică privind puterea câmpului de valuri în vederea estimării resursei energetice disponibile în anumite condiții specifice.
- Examinarea performanței diverselor dispozitive și fezabilitatea amplasării acestora în mediul marin, pe baza acestor analize.
- Analiza datelor din punct de vedere statistic și a zonelor optime identificate pe baza rezultatelor obținute privind regimul de agitație marină de-a lungul coastei.
- Examinarea zonelor fezabile și a caracteristicilor lor specifice în care convertoarele de energie a valurilor pot fi amplasate.
- Furnizarea de informații suplimentare privind apariția potențialelor situații extreme, informații care totodată vor contribui la îmbunătățirea înțelegerii generale a câmpului eolian, câmpului de valuri și al curenților marini, în special în zonele de coastă.

## II Obiectivele cercetării

Principalul obiectiv al acestei teze de doctorat este analiza potențialului energetic regenerabil în zona costieră românească, folosind datele măsurate/ înregistrate de-a lungul anilor, de la stațiile hidrometeorologice de pe țărm sau din largul mării de la Platforma Gloria, în corelație cu rezultatele modelului "Global Wind Atlas" (GWA), și compararea rezultatelor analizelor de vânt curent și val cu simulările numerice ale programului de modelare SWAN și MOHID.

Un alt obiectiv a fost realizarea unei imagini de ansamblu asupra condițiilor climatice și hidrologice prezente la litoralul românesc. Analiza acestor date a fost folosită în determinarea unor situații semnificative ale potențialului energetic al valurilor, până la izobata de 90 m. S-a analizat câmpul de curenți pentru a evalua potențialul energetic al acestuia, însă din cauza costurilor prea ridicate de colectare a datelor *in situ* au fost analizate doar măsurătorile unui experiment de înregistrare a curenților în partea de sud a litoralului, ce însumează 23 de profile perpendiculare pe țărm, până la izobata de 15 m.

Pe baza acestor demersuri și analize s-au putut evidenția atât zonele propice pentru instalarea unor turbine eoliene, respectiv convertoare de energie a valurilor, cât și locuri în care curentul marin are o viteză mai mare datorită configurației și orientării țărmului.

Pe baza rezultatelor obținute, s-a urmărit realizarea unei analize spațiale care a inclus majoritatea zonelor interzise, din punct de vedere al amplasării unor parcuri eoliene sau a unor parcuri de convertoare de val. Aceste rezultate, în final, trebuie să țină cont de rezultatul planificării spațiale marine (scenarii de dezvoltare), care în momentul de față nu este finalizat. Cu toate acestea s-au luat în considerare liniile de navigație, zonele de radă, zonele interzise din fața gurilor de vărsare ale Dunării, zone ale industriei petroliere, situri de importanță comunitară, cât și spațiul destinat ariilor marine protejate inclusiv al rezervației 2Mai – Vama Veche. Spațiul rămas ar putea fi exploatat din punct de vedere al obținerii energiei regenerabile, însă trebuie avut în vedere ansamblul general al planificării spațiului marin aferent zonei economice exclusive românești; rezultatele obținute sunt o contribuție la finalizarea planificării marine.

### III Structura tezei

Teza de doctorat, intitulată „Studii privind evaluarea resurselor de energie regenerabilă în zona litoralului românesc al Mării Negre” este structurată pe șase capitole și o anexă. Structura și conținutul fiecărui capitol sunt următoarele:

**Capitolul 1** conține un istoric al primelor studii hidrografice pe litoralul românesc al Mării Negre, un studiu asupra caracteristicilor fizico-geografice ale zonelor costiere românești, și caracterizare sectorială a litoralului.

**Capitolul 2** realizează o introducere în domeniul tratat în ceea ce privește vântul, valurile și curenții marini.

**Capitolul 3** prezintă elemente teoretice ale modelele numerice SWAN, MOHID și POM.

Sunt evaluate condițiile de vânt din vestul Marea Neagră, o atenție deosebită fiind acordată zonei costiere românești. Sunt studiate caracteristicile vântului în zona românească a Mării Negre, și se fac comparații între vântul de pe țărm și vântul din largul mării, precum și o analiză a furtunilor incidente acestei zone.

Este prezentată o analiză a datelor de val din zona Constanța, pentru o perioadă de aproximativ patruzeci de ani.

Sunt prezentate instrumente de colectare, respectiv de măsurare a curenților costieri și de larg, și o analiză a unor profile de curenți realizate într-un experiment, în sudul litoralului, în vederea formării unei concluzii privind potențialul energetic.

Tot în acest capitol, sunt realizate simulările privind regimul valurilor, pentru patru direcții principale de propagare a vântului în zona litoralului Românesc. Este analizată situația curenților marini, în anumite perioade de vara și de iarnă, în special problematica direcției curenților marini, care reiese din comparația rezultatelor celor două modele numerice MOHID și POM cu date de vânt de la stația meteorologică Sulina.

**Capitolul 4** prezintă sursele de energie neconvențională în zona țărmului. Tratează pe larg energia eoliană în Europa și tehnologiile de captarea energiei eoliene, a câmpului de valuri sau a curenților marini.

**Capitolul 5** evidențiază potențialul energiei regenerabile pe litoralul românesc, fie eolian, fie bazat pe energia valurilor, cât și posibilitatea obținerii acestei energii din punct de vedere al planificării spațiului marin. Acest capitol cuprinde studii de caz privind diversele forme de energie regenerabilă în zona de coastă, și de larg, precum și estimări privind distribuția densității de putere a vântului și a valurilor de-a lungul coastei românești.

**Capitolul 6** recapitulează principalele rezultate obținute în cadrul acestei teze și formulează concluzii. Ținând cont de faptul că domeniul de cercetare ales este foarte dinamic, s-a ales să se puncteze câteva din direcțiile de studiu care ar putea fi abordate în viitor.

## Capitolul 1. Caracteristicile fizico-geografice ale zonelor costiere românești

Încă din perioada antichității, țărmul de vest al Mării Negre și gurile de vărsare ale Dunării au fost cercetate temeinic, la nivelul cunoașterii specific vremurilor. Însă primele cercetări științifice asupra litoralului românesc au fost făcute de câțiva savanți români, printre care Gr. Antipa, C. Brătescu și Al. Brăileanu. În secolul XX, Gr. Antipa realizează primele cercetări respectiv măsurători asupra Mării Negre, și totodată, este primul român care realizează o hartă a circulației Mării Negre, în anul 1941.

În 1971 un colectiv de cercetători ai laboratorului de Oceanografie al noului constituit IRCM au început o supraveghere anuală, vizând particularitățile și variațiile spațiale ale principalilor factori fizico-chimici ai mediului costier și marin (vânt, val, curenți, nivel, temperatură, salinitate, densitatea, transparentă, etc.). [1] [2]

Cercetările privind variabilitatea curenților Marii Neagre, în special în dreptul gurilor de vărsare ale Dunării au început în anul 1857, după formarea Comisiei Europene a Dunării, având ca scop îmbunătățirea navigației maritime. Din aceste observații este semnalat curentul de nord-sud de-a lungul coastei. Aceeași concluzie este obținută și de cercetătorii ruși în urma unor expediții din 1871-1887. În 1896, cercetătorii ruși lansează la apă 72 de butelii, în anumite puncte cheie, fiind recuperate doar cincisprezece; demonstrând astfel existența curentului de suprafață.

Pe baza unei expediții rusești în perioada 1922-1924, a fost realizată, în sfârșit, o hartă a curenților pe baza măsurătorilor și observațiilor directe, din care reiese că litoralul românesc este atins de circuitul principal al curentului Rim (Fig. 1.1).

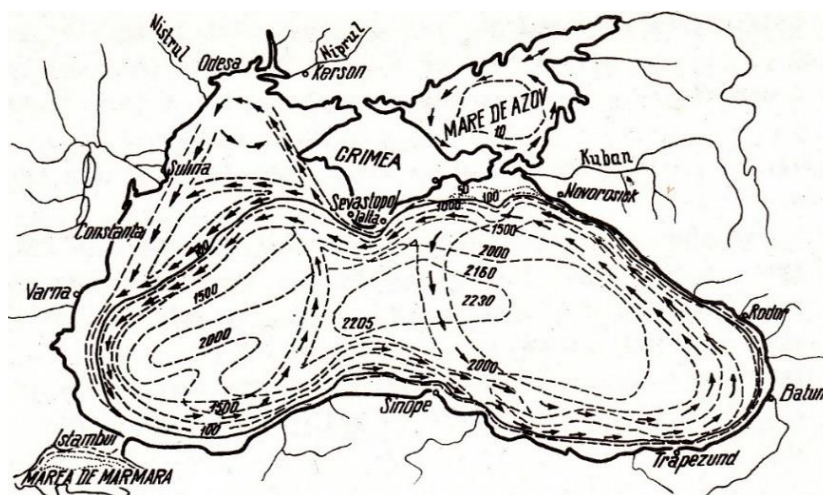


Fig. 1.1 – Harta curenților din Marea Neagră, întocmită de profesorul Knipovici [1]

În perioada 1927-1929 sunt realizate primele studii hidrografice de-a lungul litoralului românesc de către direcția generală a porturilor și căilor de comunicație pe apă în colaborare cu Marina Militară, prin serviciul hidrografic, actuala Direcție Hidrografică Maritimă. Acest studiu a urmărit influența condițiilor hidrometeorologice asupra depunerii aluviunilor în preajma gurilor de vărsare ale brațelor Dunării.

## 1.1. Caracterizarea sectorială a zonelor costiere românești

Unul dintre cele mai importante procese de mediu, care au un impact negativ asupra infrastructurii de coastă la Marea Neagră, este procesul de eroziune. În ultimele decenii, acest proces a afectat țărmul românesc, diminuând încetul cu încetul zonele mari de plaje nisipoase. În ultimele decade, unitatea nordică a litoralului românesc, dar și sectoarele cu faleze aflate în sud, s-au schimbat datorită proceselor de coastă, care au un mare impact asupra acestora. Acest lucru este legat de un buget de sedimente dezechilibrat, care se datorează construirii celor două baraje hidroenergetice de-a lungul fluviului Dunărea și a infrastructurii de navigație fluvială, la gura de vărsare Sulina.

Factorii de mediu care își lasă amprenta de-a lungul țărmului românesc, nu sunt întotdeauna cauze naturale determinante. Cauzele procesului de eroziune includ și factorii antropogeni și nu pot fi soluționați cu ușurință sau prea curând. O modalitate de a ameliora această problemă este de a construi plaje artificiale prin înnisipare și extindere de diferite structuri costiere (diguri emerse și submerse), pentru a menține echilibrul liniei de coastă la o distanță dorită.

Cauza problemei nu poate fi rezolvată ușor întrucât există problema sursei sedimentare creată de cele două baraje (Porțile de Fier I și II). Barajul Porțile de Fier I a fost finalizat în 1972 iar barajul Porțile de Fier II s-a finalizat în 1986. Coasta românească este împărțită în două unități geografice: unitatea nordică și unitatea sudică, având ca punct de inflexiune Capul Midia.



Fig. 1.2 – Sistemul topografic de pe litoralul nordic al României instalat în 1961 [3]

Sectorul nordic are o lungime de aproximativ 170 km și include țărmul Deltei Dunării, care reprezintă o parte importantă a acesteia. Acest sector se întinde de la granița cu Ucraina până la portul Midia. Deoarece Delta Dunării formează o bună parte a acestui sector nordic, o

caracteristică a reprezentativă este prezenta lagunelor și cordoanelor de nisip de joasă altitudine care, în general, nu depășesc înălțimea de 2 m [4] [5].

Sectorul sudic are o lungime de aproximativ 74 km și se întinde de la Portul Midia până la granița cu Bulgaria. Acest sector este caracterizat de faleză înalte, care au o înălțime maximă de 80 m în regiunea portului Constanța. Comparativ cu sectorul nordic, sectorul sudic are plaje mici, cu o multitudine de protecții costiere, iar în unele subsectoare plaja a erodat complet, permițând valurilor să se spargă direct la baza falezelor.

Procesul de eroziune și extindere a acestuia pe coasta românească a fost observat și monitorizat sistematic încă din 1962 pe baza unei rețele de repere topografice care se extind pe o lungime de aproximativ 140 km, fiind funcțională din anul 1961 de-a lungul țărmului Deltei Dunării (Fig. 1.2).



Fig. 1.3 – Sistemul topografic de borne al sectorului sudic românesc, instalat în intervalul 1973 - 1975 [3]

În sectorul sudic, monitorizarea sistematică a început în 1980, după instalarea primei rețele topografice în această zonă (Fig. 1.3) [6].



Fig. 1.4 – Modificări ale linei țărmului între 2007 și 2016 [3]

Sistemul bazei bornate aferent sectorului nordic este foarte afectat, întrucât din toate cele 60 de repere existente în 1985 care au fost instalate, doar 18 repere mai sunt astăzi în uz. Multe repere au fost pierdute din cauza procesului intens de eroziune. În partea de sud a sectorului nordic, două repere (CSA 1 și 2) sunt fără acces întrucât au fost instalate într-o zonă militară. Prin urmare, nu s-au efectuat măsurători pe cele două repere. Chiar și așa, rețeaua rămasă susține procesul de monitorizare la un interval anual sau, în unele cazuri, sezonier, pentru a surprinde modificările geomorfologice după o furtună care poate afecta coasta la un nivel semnificativ [7].

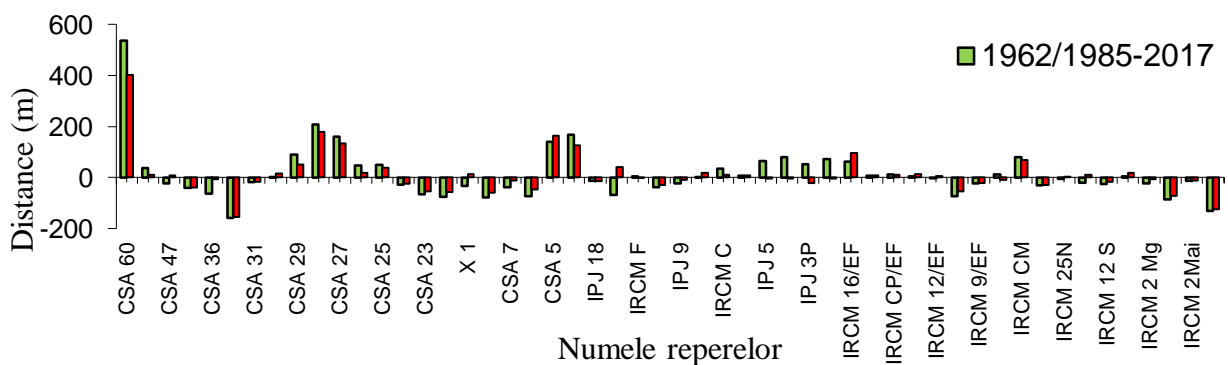


Fig. 1.5 – Valorile de acreeție și eroziune de-a lungul rețelei topografice de referință pentru două perioade de timp considerate (1962/1985-2017 și 1962/1985-2006)

Comparația evidențiază evoluția linei de țărm între cele două perioade 1962/1985-2006, respectiv 1962/1985-2017. Acest lucru oferă informații concludente despre starea țărmului. În general, diferența este mică, deoarece perioada dintre cele două linii de coastă este de numai 11 ani (Fig 1.4 și Fig 1.5).



## Capitolul 2. Generalități privind factorii care influențează zona costieră

Numeroasele centre oceanografice (aproximativ 80 la număr) de la nivel mondial colectează date de mediu în stații oceanografice pe profile verticale, ale coloanei de apă în toate mările și oceanele lumii, principalii parametri măsurați fiind temperatura, salinitatea, oxigenul, fosfatul, nitratul și silicatul. Sunt analizate la adâncimi standard. Acești parametri principali colectați până în 1998, sunt secundari în lucrarea de față, interesul major al acesteia fiind orientat către analiza datelor de vânt, valuri și curenți. Acești factori de mediu, în speță valurile și curenții sunt interdependenți și au la bază acțiunea vântului și respectiv acțiunea soarelui ca sursă primară de energie.

Viteza vântului pe mare a fost măsurată de secole. O serie de observații au fost efectuate de către cercetătorii pasionați, aceștia înțelegând rolul important al informațiilor meteorologice pentru cercetarea marină. Din acest considerent s-au făcut observații meteorologice în câteva stații costiere, inclusiv Sulina începând cu anul 1857 [8].

### 2.1. Vântul și forța indusă

Generarea valurilor depinde de viteza vântului, de durata, dar și de întinderea pe care acesta suflă, numită *fetch*.

Furtunile generează valuri aleatoare care depind de viteza și direcția vântului. Valurile continuă să crească până când marea nu mai este influențată de energia vântului, aceasta fiind complet dezvoltată sub impactul respectivei furtuni.

Furtunile îndepărtate își anunță iminența datorită valurilor uniforme de tip hulă. Acestea pot parcurge sute sau mii de kilometri înainte de a ajunge la țărm. Astfel, într-un loc particular de pe coastă pot ajunge valuri generate de furtuni diferite localizate la mii de kilometri depărtare.

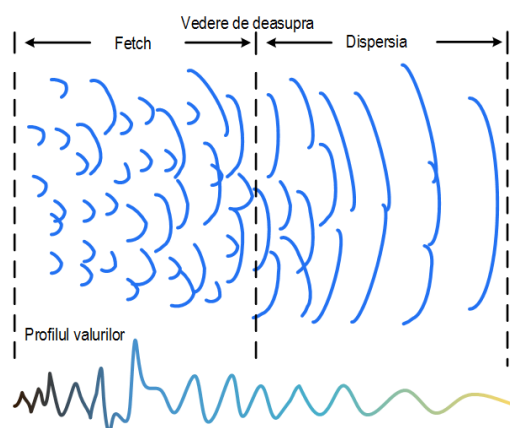


Fig. 2.1 – Transformarea valurilor datorită forței vântului [9]

Un vânt care acționează paralel cu suprafața unei mase de apă transferă energia acesteia prin simpla acțiune de frecare. În felul acesta, transferul energiei potențiale produce la suprafața apei un curent de derivă. În același timp, suprafața este deformată sub acțiunea vântului, formându-

se valurile capilare. În figura 2.1 se observă interacțiunea dintre puterea vântului și suprafața apei, caracterizată de scara Beaufort.

Magnitudinea forței vântului pe o suprafață este estimată prin ecuația vântului de forfecare. Ecuația parametrizează efortul de forfecare indusă ca o funcție de viteză a vântului la o anumită înălțime de suprafață.

$$\tau_{vânt} = \rho_{aer} C_f v_h^2 \quad \text{Ec. 2.1}$$

În general pentru asemenea calcule, înălțimea este de 10m de la suprafața apei.

Funcția  $C_f$  este determinată de o ecuație empirică prin experimente de laborator și/sau în teren. În funcție de viteza vântului, numeroși cercetători au creat diferite ecuații pentru a rezolva mai bine problema, luând în considerare mai multe aspecte mecanice și interacții subtile. [10]

## 2.2. Valurile marine

Valul este un fenomen fizic cu un caracter nepermanent care se manifestă prin deformarea suprafeței unui lichid. Energia valurilor este proporțională cu variația suprafeței de apă deplasată. Valurile de pe suprafața mărilor și oceanelor sunt generate în primul rând de vântul care acționează la interfața aer-apă, o cantitate importantă din energia valului fiind disipată în zonele din apropierea țărmului. Aceste fenomene de natură ondulatorie se clasifică în: *valuri de vânt* sau *valuri întreținute* (sunt valuri neregulate, formând o suprafață tridimensională, cu creste scurte și perioade cuprinse între 0,25 și 10 secunde, fiind generate datorită acțiunii directe a vântului), *valuri de hula* sau *valuri libere* (cu forma regulată bidimensională, cu creste mai lungi și bine definite cu perioade cuprinse între 10 și 30 secunde, propagându-se în afara ariei de generare după încetarea vântului, datorită forței de inerție), și valuri mixte (apar prin suprapunerea valurilor întreținute cu cele de hula). Astfel, valurile pot influența geometria plajelor, lucrările de amenajări costiere, planificarea și concepția porturilor, stabilirea măsurilor de protecție pentru zona costieră.

Valurile generate de vânt preiau o cantitate importantă din energia vântului, o transportă către întinderea mării pentru ca în final aceasta energie să fie disipată către zonele costiere, atât în apropierea țărmului cât și în zona de contact cu țărmul. Astfel valul devine un agent de transfer al energiei către zonele costiere, generând curenți costieri care la rândul lor influențează transportul sedimentar, devenind astfel o cauză principală a eroziunii țărmului.

Diametrul orbitei se mărește odată cu mărimea valului, scade cu adâncimea și este egal cu înălțimea valului. Așadar, energia valului pătrunde în masa apei până la o anumită adâncime, limita aceasta purtând numele de baza valului, iar dincolo de aceasta, mișcarea particulelor tinde către zero (Fig 2.5) [11].

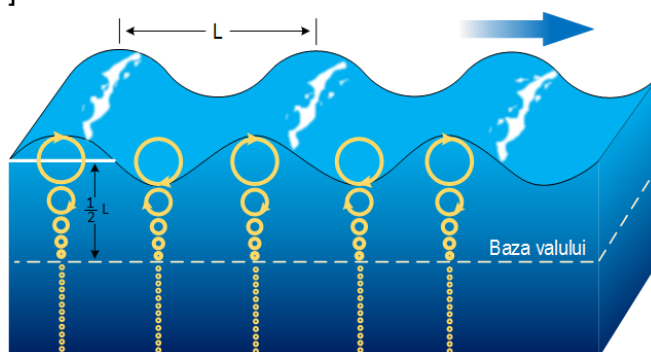


Fig. 2.2 – Valurile de adâncime [12]

## 2.3. Curenții marini

Deplasarea orizontală a maselor de apă dintr-un bazin marin sub acțiunea unui ansamblu de forțe, poartă numele de curent marin și este determinat de procesele geostrofice de meandrare și vortexuri. Masele de apă sunt influențate de două tipuri de forțe: forțe principale care declanșează și întrețin mișcarea și forțe secundare care atenuează și dirijează mișcarea. Aceste forțe principale și secundare acționează simultan, dar cu ponderi diferite în majoritatea cazurilor.

Principalele cauze de generare a curenților în cazul bazinului Mării Negre sunt acțiunea vântului asupra mării, densitatea neomogenă a maselor de apă, acumularea apelor fluviale în zonele de vărsare și înclinarea suprafeței mării datorată presiunii atmosferice.

Forțele secundare intră în acțiune odată cu declanșarea mișcării. Forța de frecare caută să reducă mișcarea, forța Coriolis urmărește să rotească sensul deplasării spre dreapta, iar forța centrifugă să-i rectifice traiectoria.

În funcție de ponderea forțelor principale care declanșează mișcarea, curenții pot fi: geostrofici, de densitate și de vânt. [13]

### 2.3.1. Curenții generați de vânt în zona costieră

Circulația atmosferică și vânturile temporare au o importanță deosebită, creând curenții staționari de derivă și curenții de vânt. În funcție de topografia mării acești curenți duc la formarea structurilor orizontale sau verticale de curenți gradienti.

#### Upwelling indus de vânt

Acțiunea vânturilor stabile ca direcție și durată, cu o viteză mai mare de 8 m/s, determină dezvoltarea pe adâncime a curenților din zona marină costieră. Astfel, în stratul superior se dezvoltă un curent de suprafață, iar în stratul inferior se dezvoltă un curent de fund, cu direcția în sens invers curentului de suprafață. Acest proces determină rotația curenților până la valoarea de 90 de grade, apa mișcându-se la dreapta față de direcția vântului în emisfera nordică, datorită forței Coriolis. Acest tip de curenți (transportul Ekman) cu valori medii de până la 50 cm/s generează procesele de upwelling (ridicarea maselor de apă rece de la fundul mării) și downwelling (procesul invers) (Fig. 2.9). La coasta românească aceste două procese au o importantă influență asupra ecosistemului deoarece masele de apă rece cu aport de nutrienți sunt împinse spre mal, proces generat de vânt, când acesta bate din sud. [14]

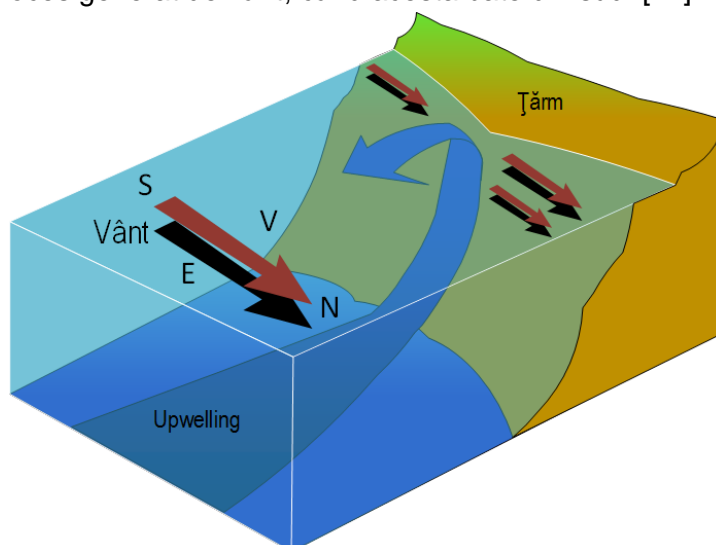


Fig. 2.3 – Upwelling sau transportul Ekman [15]

## Capitolul 3. Cercetări privind regimul vântului, valurilor și curenților marini

---

### 3.1. Elemente teoretice privind modelele numerice

#### 3.1.1. Descrierea modelului SWAN „Simulating WAVes Nearshore”

În lucrarea de față s-a folosit programul ISSM (acronim pentru Interfața modelelor SWAN și SURF) [16], este un model prietenos pentru utilizatori, dezvoltat pentru o evaluare rapidă a undelor și curenților din apropierea țărmului. Acesta este un cadru computațional care combină modelul spectral SWAN cu modelul 1D SURF. SWAN „Simulating WAVes Nearshore” (simularea valurilor din apropierea țărmului) [17], este probabil cel mai utilizat model de valuri. În ciuda faptului că domeniul de aplicabilitate a fost extins în continuare, modelul a fost inițial conceput ca model de pentru valurile de mică adâncime, cu parametrizare pentru unele procese fizice din apropierea zonei de deflerare, incluzând un model de difracție.

SURF este un model simplu, dar foarte eficient, pentru circulația din apropierea țărmului [18], cunoscut și sub numele de „Navy Standard Surf Model” (Modelul de surf standard al Marinei). Acesta este un model parametric 1D, care estimează curenții induși de valurile care se sparg de-a lungul țărmului, prin rezolvarea componentei de impuls a ecuației de echilibru. Prin urmare, un astfel de model poate estima doar componenta longitudinală a curenților din apropierea țărmului, în timp ce un model 3D poate estima componenta transversală și variația verticală a curenților. Justificarea existenței modelului 1D este că cei mai relevanți curenți pentru aplicațiile costiere sunt cei longitudinali din imediata apropiere a coastei.

#### 3.1.2. Descrierea modelului MOHID “MOdelo HIDrodinamico”

În prezent, în INCDM, este studiat modelul MOHID în scopul implementării sale la nivelul Mării Negre și local la o rezoluție mai mare, de-a lungul litoralului.

Modelul este realizat pe principiul modular complex, respectiv fiecare modul poate cere sau primi informații/rezultate de la alte module, asigurându-se astfel o corelare continuă în pașii de calcul succesivi.

Modulul hidrodinamic se bazează pe curgere de tip hidrostatic, în contextul aproximării Boussinesq. Discretizarea spațială se face la volume finite, iar rețeaua este 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.

Modulul hidro are printre fișierele de intrare (cel mai vast și mai complex) pe cel care conține parametri de lucru privind turbulența. Folosind algoritmi de lucru din modelul GOTM pentru calculul evoluției vâscozității verticale și difuziei, permite utilizarea mai multor metode, cele mai acceptate în prezent. Numai pentru calculul scalei de lungime sunt posibile nouă variante, astfel încât se poate considera că această componentă esențială a modelărilor în domeniul curgerii este bine realizată.

#### 3.1.3. Descrierea modelului POM “Princeton Ocean Model”

Modelul POM a fost implementat în INCDM Gr. Antipa în colaborare cu MHI (Institutul Marin de

Hidrofizică din Sevastopol) și rulează din 28.01.2009, prezentând aproape zilnic, pe site-ul [www.rmri.ro](http://www.rmri.ro), prognoze (pe 3-5 zile, la trei ore) privind nivelul, temperatura și salinitatea mării, precum și câmpul curenților marini pentru zona de coasta românească până la longitudinea 30°5' E, prezentarea este sub forma de animații (prognoze la trei ore unite succesiv).

Modelul numeric POM (Princeton Ocean Model) este format dintr-un program principal și un set de module, însumând în total aproximativ 15000 linii de cod. Programul principal se găsește sub diferite variante (POM98, POM2K, OZPOM, etc) și conține operațiile de inițializare și separare a calculului iterativ pentru modul intern tridimensional. Aceste operațiuni se desfășoară cu ajutorul subrutinelor: advq, profq, advu, profu, advv, profv, advt (pentru temperatură sau salinitate), profst (temperatură sau salinitate), advare. Modelul aparține unei clase de modele ce se adresează fenomenelor de circulație mezoscalară, acesta fiind folosit în diferite zone ca parte a programelor de prognoză. O caracteristică a modelului este includerea în acesta a unui modul de închidere a turbulenței, factor ce permite determinarea fidelă a suprafeței Eckman și a dinamicii straturilor de fund. Modelul POM este proiectat pentru a reprezenta procesele fizice marine la scara de 1-100km, pentru 1-30 de zile [19].

## 3.2. Regimul vântului

### 3.2.2. Analiza statistică a datelor de vânt din zona de vest a Mării Negre

Pentru a descrie evoluția regimului vântului s-a realizat o analiză, luând în considerare datele înregistrate de la nouă stații meteorologice de pe țărmul de vest al Mării Negre (Constanța, Sulina, Odessa, Yalta, Inebolu, Zonguldak, Kaliakra, Shabla și Mangalia) (Fig. 3.1), care au înregistrările pe perioadele cele mai întinse, în perioada 1932 – 2013.

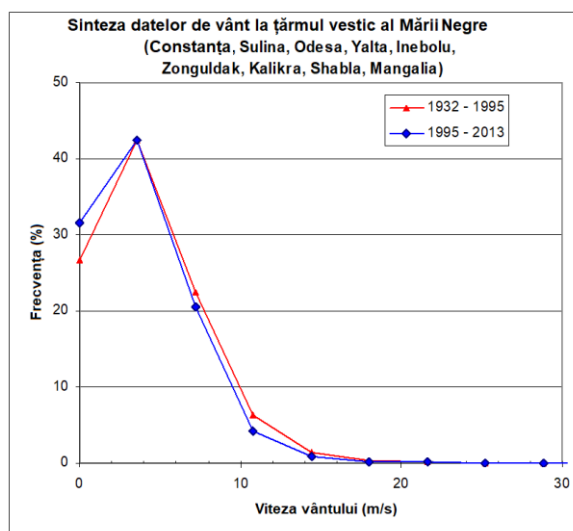


Fig. 3.1 – Distribuția vitezei vântului la țărmurile din vestul Mării Negre.

Datele au fost integrate într-un singur set de valori, ordonate în ordine temporală. Împărțind întregul set în două părți egale și reprezentând distribuția datelor, se observă o deplasare a distribuției spre valorile mici.

Întrucât, pe de o parte, perioadele determinate de lungimi egale ale seturilor de date (63 ani, respectiv 18 ani) sunt mult prea diferite, iar pe de altă parte, în caracterizările meteorologice

### Capitolul 3. Cercetări privind regimul vântului, valurilor și curenților marini

climatice se folosesc perioade de definire de 20 – 40 de ani, s-a împărțit setul de date în două intervale de câte 40 de ani (ultimul interval fiind împărțit și în două subintervale de câte 20 de ani).

Distribuțiile corespunzătoare celor patru seturi de date enunțate anterior evidențiază mai clar deplasarea în timp (pentru perioadele de câte 40 de ani) a distribuției vitezelor vântului spre valorile mici (în grafic, roșu spre albastru).

Diferențele între seturile de câte 20 de ani (1973 – 1993 și 2003 – 2013) sunt net mai mici și ar indica o tendință inversă, întrucât graficul aferent perioadei 2003-2013 este apropiat de graficul perioadei de 40 de ani (1932-1972), ceea ce înseamnă ca valorile vitezei vântului au crescut în ultima perioadă de 20 de ani.

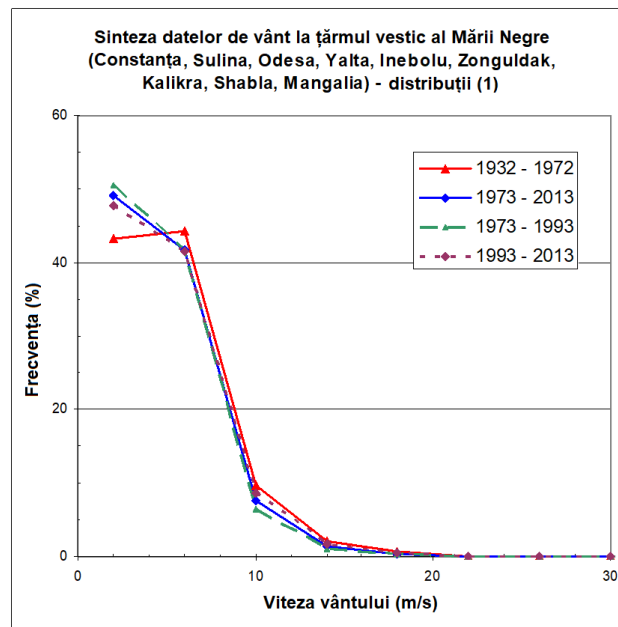


Fig. 3.2 – Distribuția vitezei vântului la țărmurile din vestul Mării Negre (perioade climatice)

Analizând în primul rând seturile de câte 40 de ani, diferența vitezei medii este mai mică decât în abordarea anterioară (0,38 m/s), dar rămâne semnificativă la gradele de încredere peste 95%. Se observă că excesul este mai mare la al doilea set, indicând o mai bună grupare a datelor, deși viteza maximă a setului este mai mare. Analiza în detaliu a parametrilor statistici și a valorilor caracteristice percentilelor și cuartilelor indică modificări în cadrul frecvenței distribuției vitezei vântului (Fig. 3.2) în domeniul percentilelor mici și cuartilei 1. Pentru a evalua, măcar aproximativ, riscurile apariției unor fenomene extreme (aparent în creștere din datele prezentate mai sus), s-a realizat analiza din graficul următor (Fig. 3.3). Din acesta rezultă că pantele distribuției (pentru viteze mai mari de 10 m/s) cresc în valoare absolută, deci probabilitățile fenomenelor extreme tind să scadă. Trebuie făcute două observații:

- pentru setul obținut în perioada 1932 – 1972, împrăștierea punctelor este mai mare ( $r^2 = 0,90$ ), în timp ce pentru următorii 40 de ani liniaritatea este mai bună ( $r^2 = 0,98$ ) iar „pantele” de – 0,3 și – 0,35 sunt clar diferite;
- pentru cele două seturi de date pentru perioadele de câte 20 de ani pantele sunt – 0,36 și – 0,35; valorile anterioare arată că diferența dintre cele două seturi de date pentru perioadele de câte 20 de ani nu este atât de mare pe cât a părut la prima vedere.

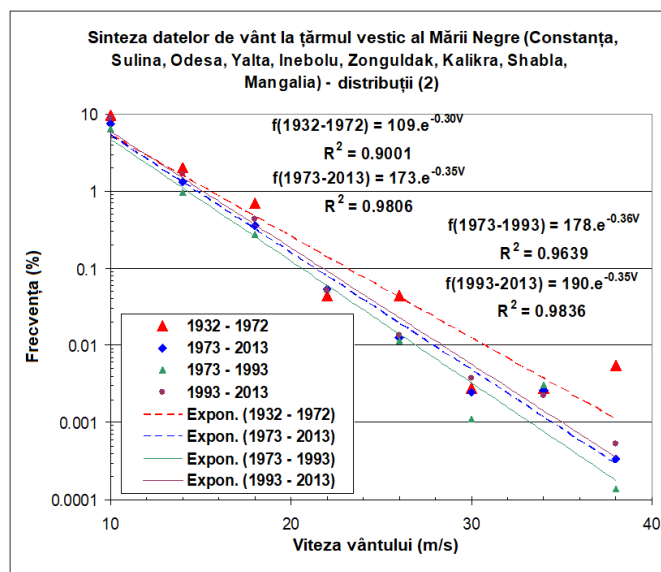


Fig. 3.3 – Distribuția vitezei vântului pe țărmul din vestul Mării Negre (perioade climatice)

Se poate concluziona că, în termeni statistici normali, există o evidențiere a faptului că viteza medie a vântului la țărmurile din vestul Mării Negre a scăzut în timp. Trebuie menționat că această afirmație conține, de fapt, un termen eronat de analiză: distribuțiile vântului nu sunt normale cu un grad de încredere destul de ridicat, astfel încât comparații statistice clasice nu se pot efectua. Cu toate acestea, analiza vizuală a distribuțiilor și valorile statistice specifice indică același lucru.

Spre deosebire de ceea ce indică evoluția valorilor vântului la țărm, datele existente pentru vântul înregistrat offshore indică o evoluție temporală inversă. Astfel, pentru datele înregistrate de nave în jumătatea de vest a Mării Negre – a căror distribuție este reprezentată în (Fig. 3.4) – se observă o deplasare a distribuției spre valori mari.

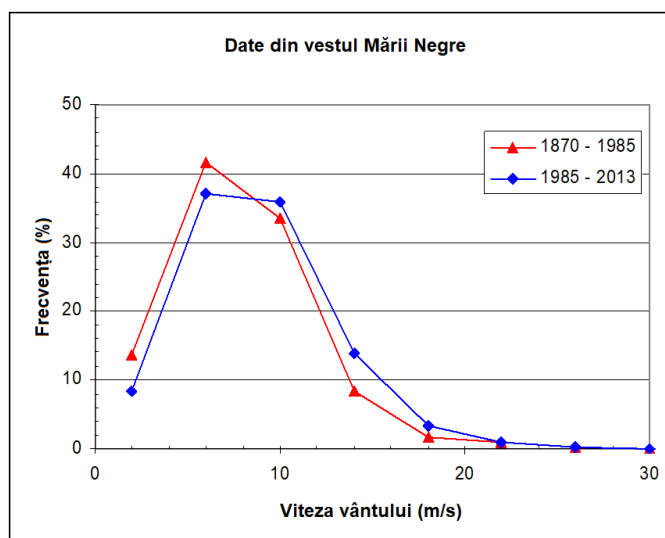


Fig. 3.4 – Distribuția vitezei vântului în largul vestului Mării Negre ( $\lambda \leq 34^{\circ}5 E$ )

Setul de date a fost împărțit în două părți egale ca număr de înregistrări, determinând cele două perioade de 115, respectiv 28 de ani. Creșterea mediei vitezei vântului (cu 0.85 m/s) dintre setul de date “MN A” (1870 - 1985) și setul “MN B” (1985 - 2013) este apreciabilă și, presupunând, totuși, o oarecare normalitate a distribuției frecvenței vitezei vântului, pentru cele două seturi de

date, gradul de încredere al diferenței depășește clar 95%.

Diferențele nete apar la parametrii statistici asimetrie și exces, excesul indicând o turtire mai puternică a curbei distribuției și, deci, o creștere a probabilităților valorilor extreme. Același lucru rezultă și din analiza cuantilelor și centilelor, până la P90 inclusiv.

O analiză similară celei de mai sus s-a efectuat pe un set de date reprezentând toate înregistrările offshore (incluzând înregistrările de pe nave) pentru întreaga Mare Neagră, care indică, de asemenea, o deplasare a distribuției către valori mari ale vitezei (Fig. 3.5). Seturile au lungimi numerice egale, corespunzând la un interval de 97 ani, respectiv 38 de ani, durate suficiente pentru a defini perioade climatice distincte. Creșterea mediei cu 0,53 m/s are un grad de încredere depășind 95%, în timp ce excesul e mai ridicat pentru intervalul al doilea. De la Q1 la P95 valorile sunt mai mari pentru intervalul al doilea, ceea ce confirmă afirmațiile anterioare.

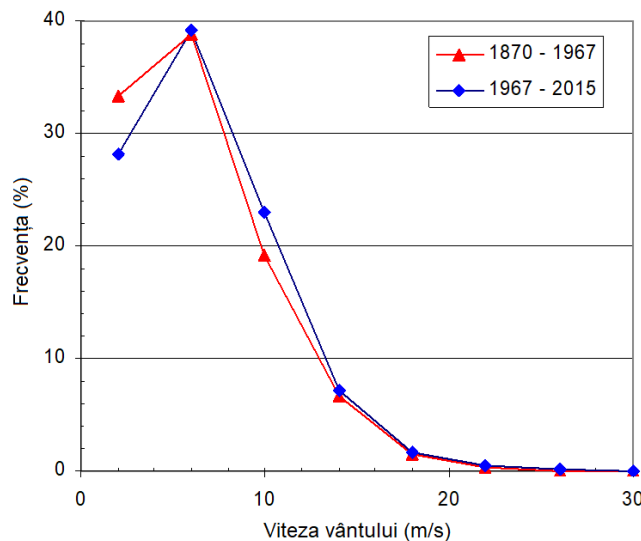


Fig. 3.5 – Distribuției vitezei vântului în largul Mării Negre

Din cele două tipuri de date, pe țărm și în afara țărmului, rezultă clar o diferență interesantă: în timp ce la țărm viteza medie a scăzut, pe mare viteza medie a crescut. Se pot găsi explicații diferite:

- efectul modificărilor generate de inevitabilele construcții în apropierea stațiilor meteorologice;
- trecerea stațiilor meteorologice de la estimarea vitezei cu placa, la anemometre moderne;
- incertitudinea relativ mare a măsurătorilor efectuate pe nave din cauza sistemului de estimare;
- eventualele supraestimări ale vitezelor offshore, generate de interese economice ale comandanților de nave.

Toate explicațiile considerate par suficient de convingătoare spre a considera că rezultatele prezentate mai sus reprezintă de fapt un fenomen real. Putem presupune că o creștere a preponderenței vremii extreme este facilitată de condițiile de pe mare (indicele de rugozitate net mai mic al mării decât cel al uscatului).

### 3.2.3. Caracteristicile vântului în zona românească

Pentru caracterizarea unei zone mici, din punct de vedere a acțiunii vântului, este necesar să se cunoască direcțiile principale ale diverselor evenimente și repartiția acestora. Însă, pentru o suprafață mai mare precum Marea Neagră, trebuie cunoscute tipurile de acțiune ale vântului



asupra întregii regiuni, care pot depinde de mai mulți factori [20] [21] [22]. Întrucât vântul local, precum brizele, circulația muntoasă a vâilor, din jurul Mării Negre, au un impact remarcabil asupra circulației atmosferice din zona costieră. Viteza brizelor variază între 1-3 m/s de-a lungul țărmului, iar în larg este 3-5 m/s.

Toate datele utilizate au fost obținute din surse libere [<http://gis.ncdc.noaa.gov>] și au ca sursă principală WMO. Lucrarea reunește cinci seturi de date, trei fiind de-a lungul țărmului, oferind o imagine spațială a modului în care valorile vântului pot varia de la nord la sud, nu numai din larg

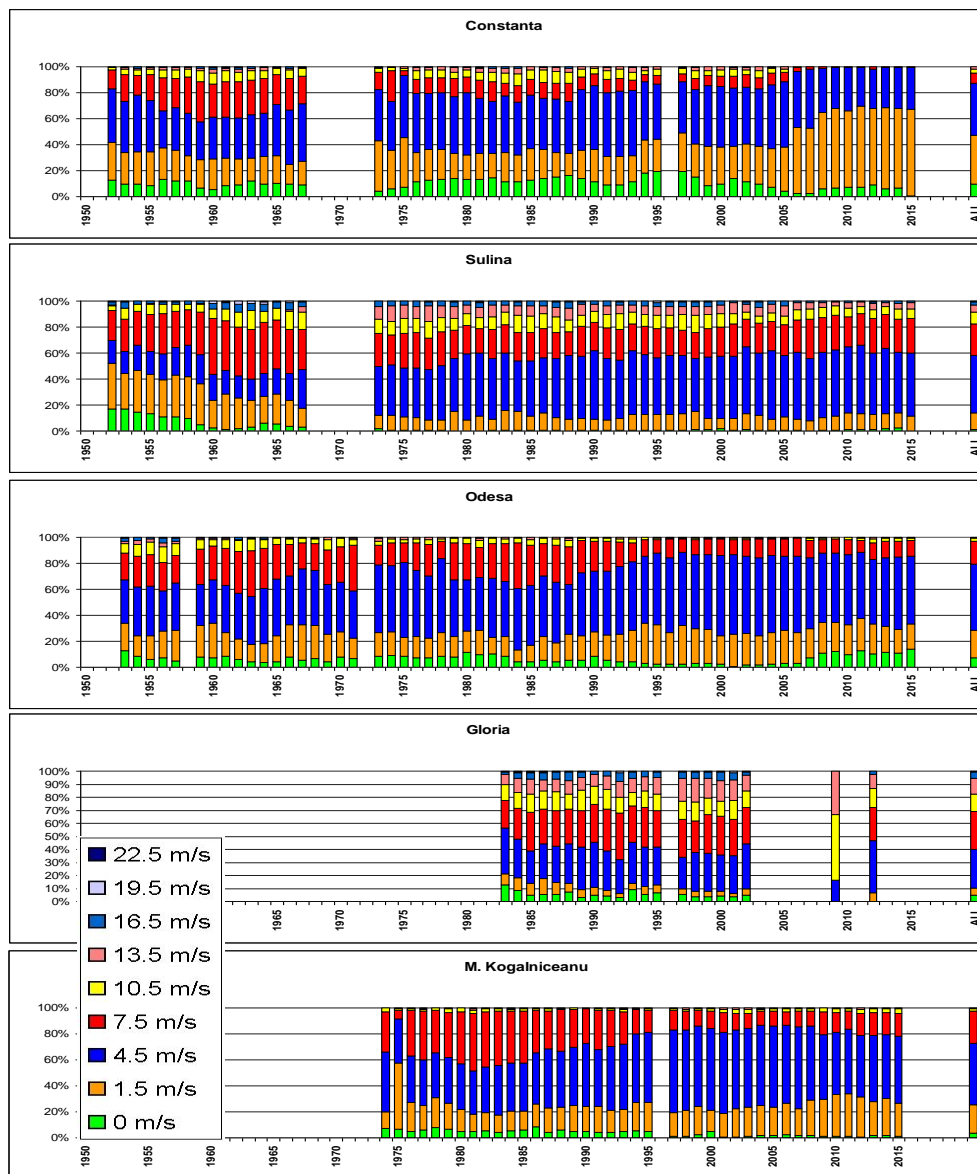


Fig. 3.6 – Distribuția multianuală a vitezei vântului (valori medii) pentru fiecare set de date (1950 - 2015)

Rezultatele vitezei vântului au fost analizate ca procent din întreaga distribuție (pe clase de la 0 m/s la 22.5 m/s) pentru fiecare an (Fig. 3.6). În ultimul deceniu, vitezele vântului de la Constanța au început să scadă, deoarece aproape 95% din viteza vântului este în intervalul 0 - 6 m/s. Acest rezultat poate fi legat de faptul că stația meteorologică este înconjurată de construcții noi (care au fost dezvoltate începând cu anul 2005), care au afectat fluxul de aer (și, desigur, viteza vântului, așa cum este înregistrată).

Pentru stația Sulina, clasele de viteză a vântului sunt aproape stabile, dar valorile superioare ale clasei de viteză (10,5 – 16,5 m/s) devin tot mai mici. Chiar și așa, în acest set de date valorile vitezei vântului ajung până la 19,5 m/s, iar procentul global al vitezei vântului care depășește 10,5 m/s este de aproape 20% pe an, însă pentru stațiile Constanța și Mangalia acest procent este mai mic de 5%. La începutul setului de date există o perioadă notabilă când distribuția vitezei vântului de la 0 la 3 m/s a fost de aproximativ 40%, corespunzând probabil unei perioade mai calde.

Pentru stația Odessa, mai mult de 50% din distribuție corespunde clasei de viteză 4,5 m/s. Astfel, comparând distribuția globală a celor trei stații de pe uscat, distribuția valorilor stației Odessa este cumva la mijloc. Iar în ceea ce privește stația de la Platforma Gloria, viteza vântului de 9 m/s și peste, ocupă 30% din interval; calmul și briza sunt mai mici decât 10%, iar restul de 60% este împărțit între clasele de 4,5 și 7,5 m/s.

Clasele de viteză ale stației M. Kogălniceanu nu variază la fel de mult, distribuția acestora arată că 75% din ele se află în intervalul valoric 0 - 6 m/s.

S-a urmărit prezentarea condițiilor generale de vânt în zonele de offshore, de-a lungul coastei cât și în zona interioară. Pe baza analizei și a rezultatelor obținute, există o schimbare a distribuției valorilor mici.

### 3.2.5. Regimul furtunilor

Procesele hidrodinamice care au loc în mediul marin sunt generate de fenomenele complexe ale interacțiunilor dintre mare și atmosferă. Schimburile de energie cinetică dintre cele două medii determină formarea curenților marini și a valurilor. În ambele cazuri, mișcarea este furnizată de tensiunea tangențială a vântului la suprafața mării, ce se transformă în circulație cvasiuniformă în straturile active și în mișcare ondulatorie la suprafața apei.

Regimul eolian este caracterizat de condițiile fizico-geografice locale, relieful având cel mai important rol. Dinamica maselor de aer în zona costieră a României este caracterizată de sezoane. Mai exact, pe timpul verii, vântul este determinat de dorsala anticiclonei azorice, iar pe timpul iernii, de dorsala anticiclonei siberiene.

S-au realizat analize complete sau parțiale pe mai multe șiruri de date:

- setul de la stația Platforma Gloria ANM, achiziționat de INCDM;
- seturile de la stațiile Mangalia, Constanța, Sulina, Odessa și Gloria [23] [24] [25], conform raportărilor meteo internaționale standard ale stațiilor meteorologice.

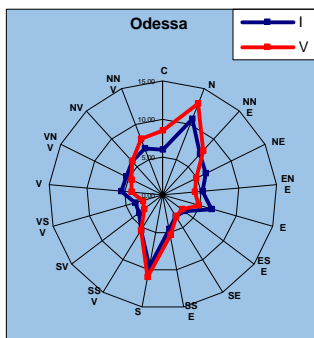
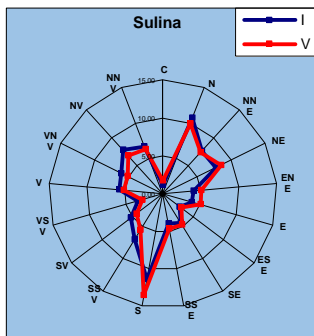
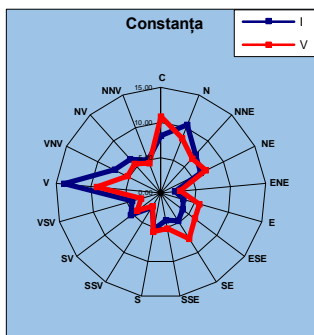
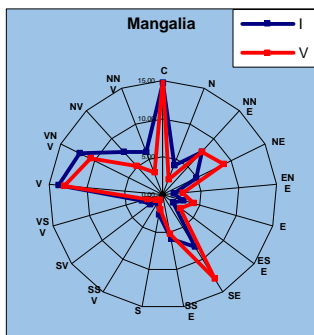
Perioadele seturilor de date sunt, în ordine: 1995-2006, 1975-2013, 1964-2002, 1952-2016, 1952-2016, 1953-2016, 1983-2002, seturile având respectiv 84621, 62291, 138946, 286056, 256792, 535137, 62283, 627594 valori.

Analiza s-a realizat pentru distribuția după direcția vântului (iarna și vara) (Fig. 3.7).

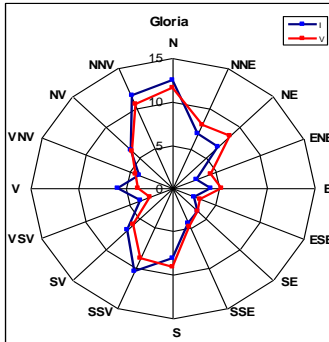
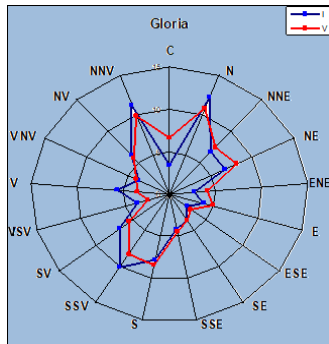
În prima coloană se regăsesc rozele de vânt care au luat în considerare perioadele sau zilele de calm în care viteza vântului a fost 0. În a doua coloană, sunt prezentate rozele stației de la Platforma Gloria cu și fără perioada de calm. În coloana a treia sunt prezentate rozele fără perioada de calm pentru cele patru stații

Rozele au fost realizate pe baza tuturor valorilor de pe întreaga perioadă a seturilor de date, sub formă de procente. Astfel, în cazul stației Mangalia, când roza include perioadele de calm, se poate observa cum această perioadă coincide cu aproximativ 15% din distribuție, iar când nu include perioadele de calm, distribuția pe direcția vest și vest-nord-vest crește procentual depășind limita valorii de 15% a rozei. Rozele colorate cu albastru sunt cele care includ perioada de calm în distribuție.

Roza vânturilor (%)  
(inclusiv v=0)



Roza vânturilor (%)  
Gloria (inclusiv v=0)  
Gloria (fără calm)



Roza vânturilor (%)  
(fără perioada de calm)

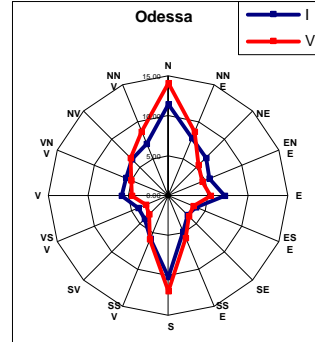
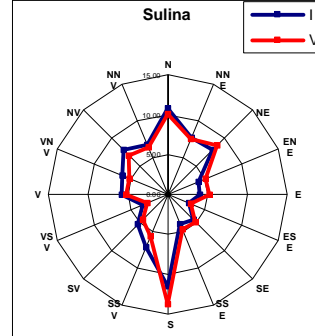
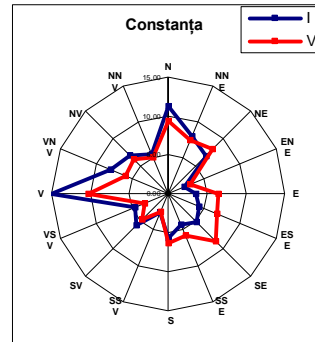
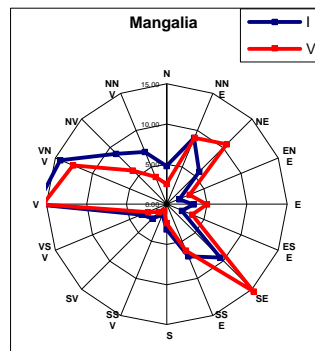


Fig. 3.7 – Distribuția direcția vântului (iarna – I și vara - V) cu perioadă de calm și fără perioadă de calm din totalul înregistrărilor

Aspectul neobișnuit al rozelor pentru Mangalia și Constanța, în raport cu stațiile Sulina și Platforma Gloria sugerează condiții locale particulare.

Distribuțiile anuale (Fig. 3.8) ale vitezei vântului (clase de 3 m/s pornind de la 0, dar cu clasa 0 separat) permit mai multe considerații interesante:

- în perioada 1952-1964 vitezele sub 6 m/s au scăzut de la 80% la 60%, iar cele sub 9 m/s, de la 93% la 86%;
- în perioada 1973-1988 vitezele sub 6 m/s și 9 m/s au fluctuat puțin (5%-6%), procentul de situații de calm crescând până la 15%;
- în perioada 1990-2003 vitezele sub 6 m/s au fluctuat între 80 și 90%;
- după anul 2006 procentul vitezelor sub 6m/s a fost net peste 95%;
- contribuția vitezelor sub 3 m/s a fluctuat între 20 și 30% până în 2005, crescând apoi până la a depăși 50%.

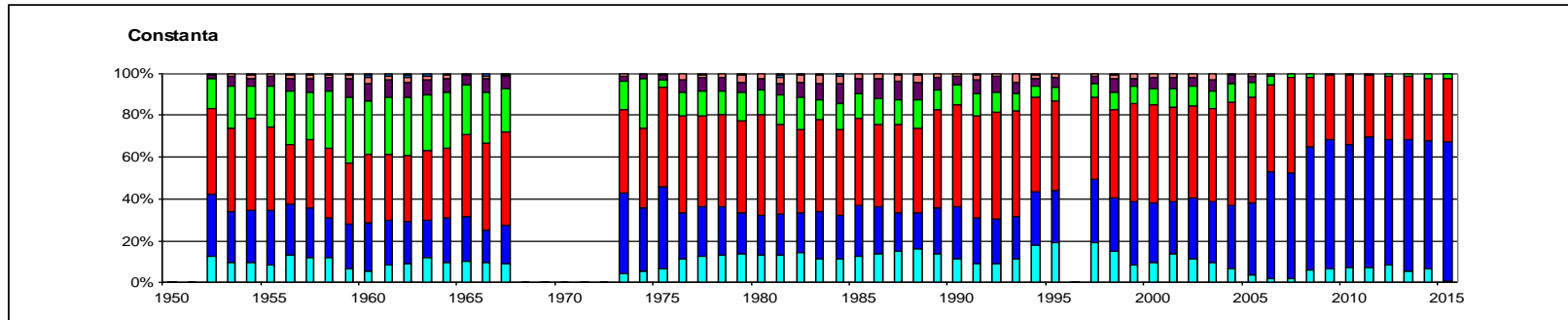
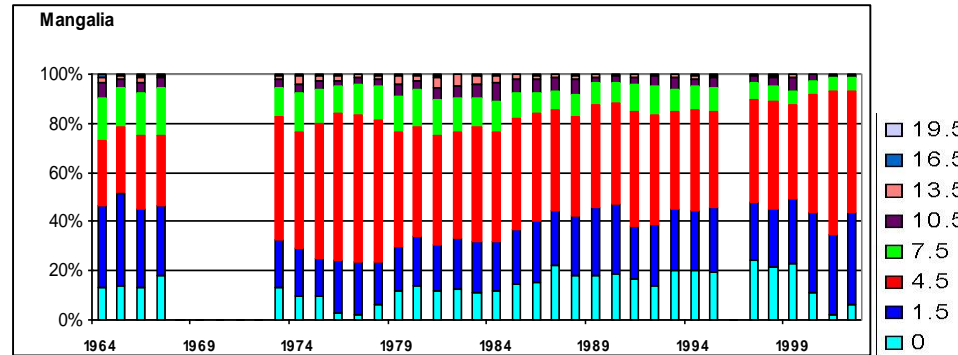


Fig. 3.8 – Distribuțiile anuale ale vitezei vântului la stațiile Constanța și Mangalia

Considerațiile de mai sus sugerează, pe lângă influența modificărilor de peisaj, o perioadă (actuală) de scădere a energiei purtate de vânt în zona litoralului românesc.

Furtunile ce depășeșc valoarea vântului de 7 m/s, sunt mai dese față de cele din trecut, însă durata lor a scăzut foarte mult. În Fig. 3.9, pot fi observate furtunile care au durată cea mai mare, în funcție de stația meteorologică unde au fost înregistrate.

Valorile maxime respectiv medii ale duratei furtunilor, sunt în funcție de mediul înconjurător al fiecărei stații. Pe baza acestui lucru, se poate deduce care stație este mai afectată de topografia zonei în care se află.

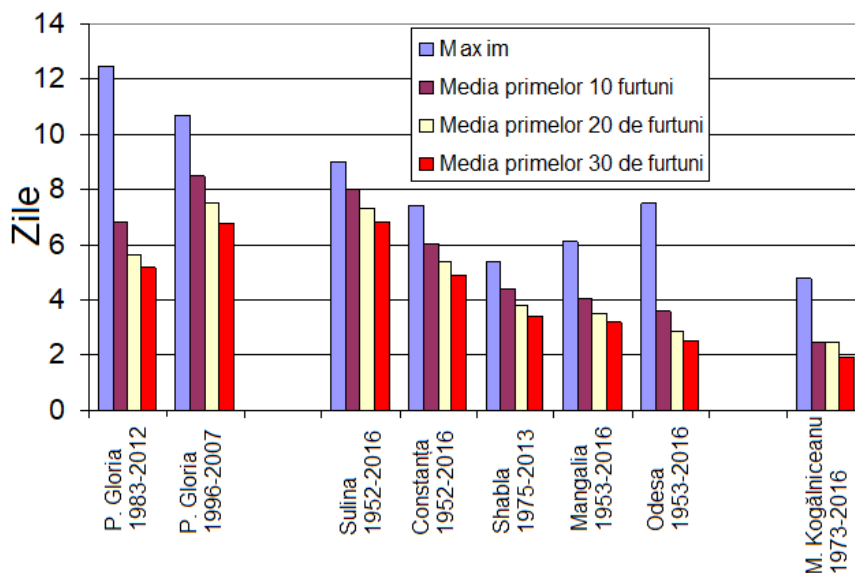


Fig. 3.9 – Durata furtunilor pentru fiecare stație meteorologică

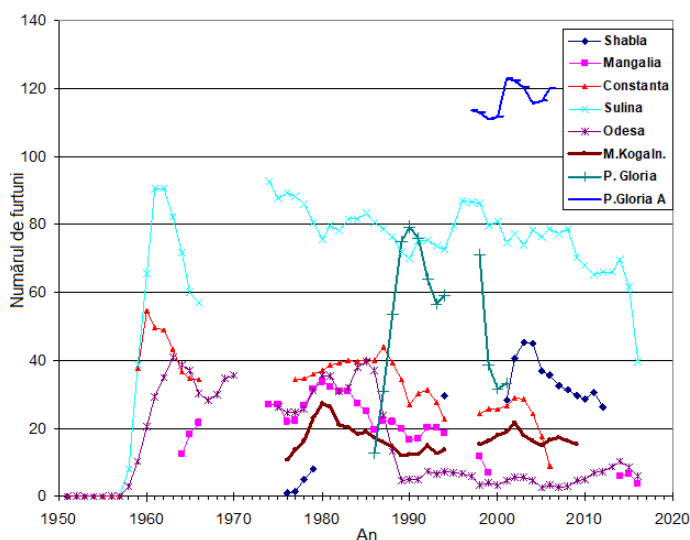


Fig. 3.10 – Numărul de furtuni ( $v > 7$  m/s) cu o durată mai mare de 12h

În Fig. 3.10 s-a optat pentru o medie glisantă pe trei valori, pentru o mai ușoară comparare.

În ceea ce privește furtunile extreme care apar din când în când, cea mai mare furtună înregistrată a fost în mod clar la stația de la Platforma Gloria (P. Gloria, Fig. 3.9), iar aceasta a durat 12 zile. Valorile de durată a furtunii arată o tendință care la început nu pare verosimilă, dar după cele trei medieri ale primelor 10, 20 și 30 de valori ale duratei furtunii, poate exista un tipar. Chiar dacă P. Gloria este în larg, expusă furtunilor puternice și, în acest caz, și celei de cea mai mare durată, zona Sulina pare să aibă mai multe furtuni de durată (Sulina, Fig. 3.9), în cazul medierii primelor

10 valori, rezultând într-o furtună de opt zile, în timp ce pentru zona Platformei Gloria are o valoare de aproape 7 zile.

### 3.3. Regimul valurilor

În modelarea transportului sedimentar de-a lungul coastei, datele de val sunt principalul parametru pentru orice model. Parametrii necesari pentru o asemenea modelare includ o serie de date de val (înălțimea, perioada și direcția), coordonatele locului și batimetria zonei de interes. Cu toate că spectrul de val poate fi calculat folosind modele introducând date de vânt satelitare, este de preferat a se folosi date măsurate.

Disponibilitatea datelor de val măsurate pe un timp îndelungat în partea de nord este inexistentă. Din anul 2013 institutul GeoEcoMar derulează un proiect prin intermediul căruia s-au instalat trei balize cu sonde multi-parametru, care măsoară curenții marini, valurile și alți parametri fizici, date care sunt disponibile la cerere sau parțial prin portalul EMODNET. Singurele date de val ce au o continuitate pe o perioadă lungă de timp sunt cele din observații vizuale și cele înregistrate cu ajutorul perspectometrului, cele vizuale nu sunt veridice din punct de vedere științific, fiind supuse subiectivității în timpul măsurării, iar cele realizate cu perspectometrul au fost întrerupte.

#### 3.3.1. Analiza datelor de val

Starea de agitație marină pentru mai - septembrie 2014 este evaluată pe baza datelor din modelul regional FNMOC-WW3-MEDIT (grid  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ , prognoză 3 zile și pas de timp 6 ore) extrase de pe platforma online <http://www.ngdc.noaa.gov/>, pentru locația Constanța (459 valori), comparativ cu perioada de referință (1971 – 2013). Observațiile de val în perioada de referință au fost realizate cu ajutorul perspectometrului Ivanov în perioada 1971 – 1995 (locația Far Genovez, Constanța) și din 1996 – 2013 vizual, cu o frecvență de 3 măsurători pe zi (doar în zilele lucrătoare).

Repartiția valurilor pe direcțiile de propagare este determinată de distribuția vânturilor dominante și, respectiv, orientarea generală a țărmului. Asimetria distribuției acestora în zona de mică adâncime se datorează, pe de o parte, limitării fetch-urilor pentru vânturile din sectorul vestic și, pe de altă parte, efectului refracției care face ca crestele valurilor să devină paralele cu linia țărmului. Astfel, în perioada mai - septembrie 2014, 53,81% din valurile de vânt se propagă din NE, NNE, ENE și E (Fig. 3.11).

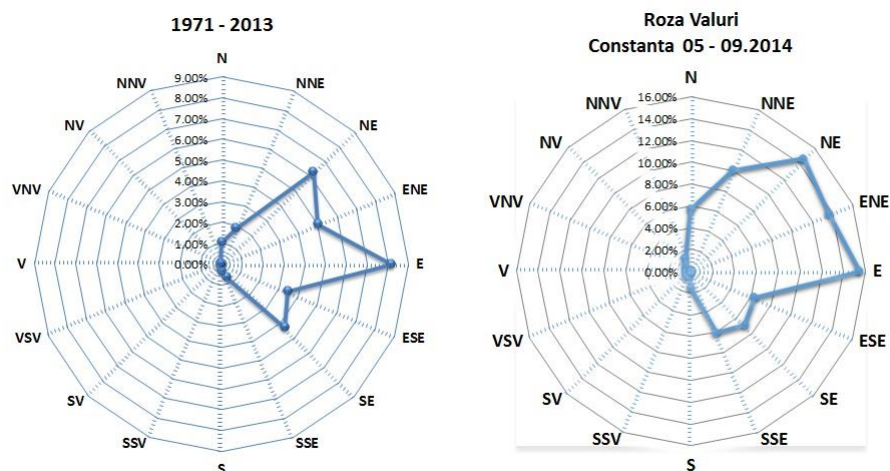


Fig. 3.11 – Distribuția frecvențelor direcției de propagare a valurilor la Constanța – stânga - perioada de referință (1971 – 2013) și dreapta – perioada 05-09.2014

Datorită metodelor, cât și a perioadei de timp a observațiilor, valorile pentru perioada de referință sunt neomogene. Astfel că 68,62% din totalul de 47121 valori privind direcția valului sunt lipsă. Doar un procent de 27,2% din valorile de vânt se propagă din direcțiile NE, ENE, E, ESE, SE (Fig. 3.11).

Maximul gradului de agitație al mării, pe scara Beaufort, a fost de grad 5-7 (înălțime val de 4,0 m), înregistrat în luna mai (Fig. 3.12).

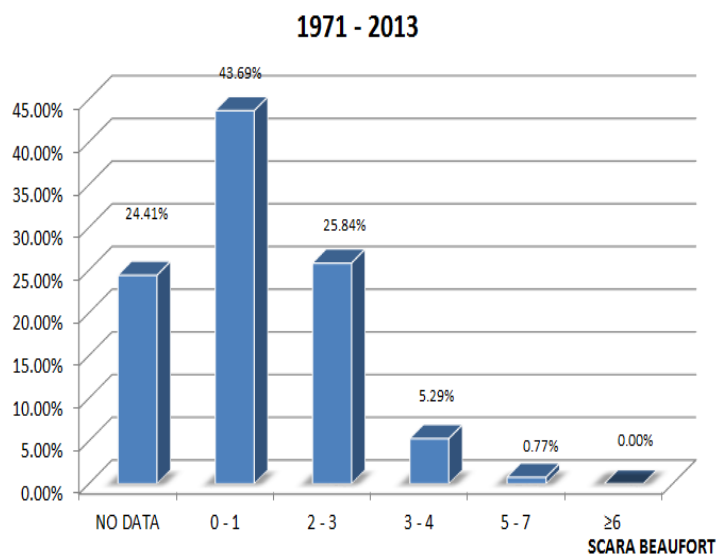


Fig. 3.12 – Starea de agitație a mării în perioada de referință (1971 – 2013) și perioada 05 - 09.2014 (scara Beaufort)

Gradul de agitație 2-3 pe scara Beaufort prezintă o frecvență mai mare în perioada mai – septembrie 2014, de 77,8%, comparativ cu perioada de referință (25,9%).

Valorile maxime ale parametrilor pentru anul 2014, sunt determinate de cauze diferite. Cea mai mare valoare înregistrată a înălțimii din direcție ENE (4 m) - în sezonul de primăvară (22 mai) - este cauzată de vânturile puternice dominante, din această direcție. Perioada maximă a valului înregistrată a fost de 8 s (15 și 19 mai), pentru un val de vânt din direcții N și NV. Perioada maximă pentru valul de hulă de 7s din direcția E a fost înregistrată în sezonul de toamnă, 27 septembrie (Fig. 3.13).

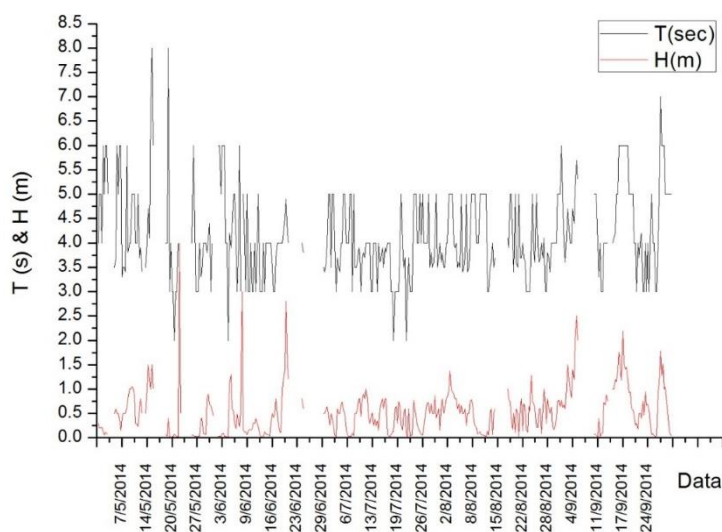


Fig. 3.13 – Evoluția parametrilor valului (înălțime și perioadă) la Constanța, 01.05 – 30.09.2014 (FNMOC-WW3-MEDIT)

### 3.4. Regimul curenților marini

Circulația curenților marini în Marea Neagră este influențată pe de o parte de structura ciclonică a vântului, pe de altă parte de contrastul dintre forța ascensională a fluxurilor de apă dulce fluvială și aportul de apă sărată din strâmtoarea Bosfor. Toate acestea combinate cu forța Coriolis induc o circulație ciclonică în bazin.

Circuitul de ansamblu al curenților are o particularitate care o individualizează. În stratul superior se manifestă un curent cadru, periferic, permanent (Curentul RIM) care formează, la scară mare, un vârtej ciclonic. Acest curent încadrează două circuite secundare, în partea de est și de vest a bazinului.

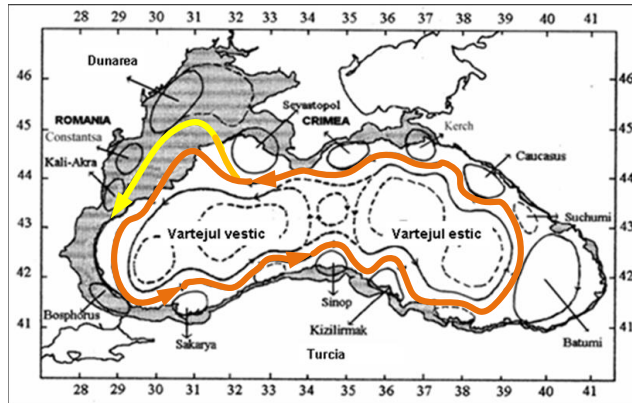


Fig. 3.14 – Circulația curenților în bazinul Mării Negre [26]

Viteza medie a curentului RIM/CPMN este de 0,3-0,5m/s, iar în centrul jetului atinge 0,4-0,6m/s, în condiții favorabile putând depăși 1,5m/s. Circuitele ciclonice au viteze de 0,2-0,4m/s la periferie și 0,1-0,2m/s spre centru. Între ele se află o zonă de curenți instabili, cu viteze reduse, iar ramificații ale RIM/CPMN se extind și pe platoul continental din vestul mării (Fig. 3.14).

Întrucât metoda dinamică nu poate fi aplicată pe platoul continental, extinderea spațială a acestor fenomene poate fi stabilită numai prin măsurători directe. Aceste fenomene, având un caracter tranzitoriu, obținerea datelor necesare este dificilă și aleatorie.

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 și pe durata marșului navei.

#### 3.4.1. Analiza unor măsurători de curent, realizate în zona de sud a litoralului românesc

Curenții pot fi măsurați utilizând instrumente acustice Doppler (ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler), care pot fi ancorate, fie de fundul mării, fie de geamanduri sau atașate la bordul diferitelor ambarcațiuni de navigație. Instrumentele ancorate sunt lansate / recuperate de ambarcațiuni sau nave de cercetare și pot funcționa luni de zile, în limita capacității bateriilor. Cu toate că aceste echipamente au o valoare ridicată, sunt cele mai des întâlnite pentru măsurarea directă a curenților.

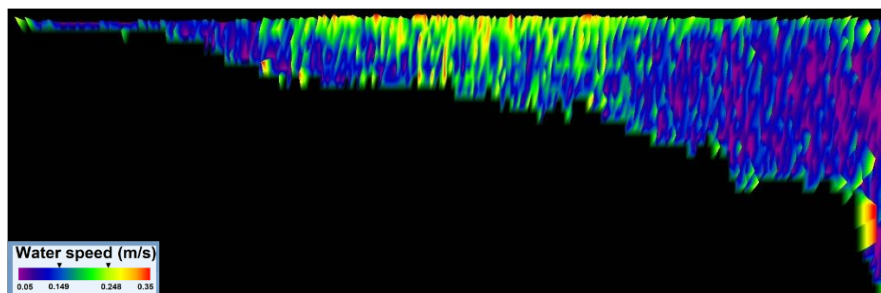
Aparatele pot măsura până la o adâncime de 150 m – 160 m, însă sunt altele mai performante din acest punct de vedere, ce depășesc 1000 m. Instrumentul măsoară deplasarea maselor de apă, folosind trei, patru respectiv cinci fascicule ultrasonice.

Datele au fost prelucrate folosind trei programe; Winriver II, Velocity și ArcMap.

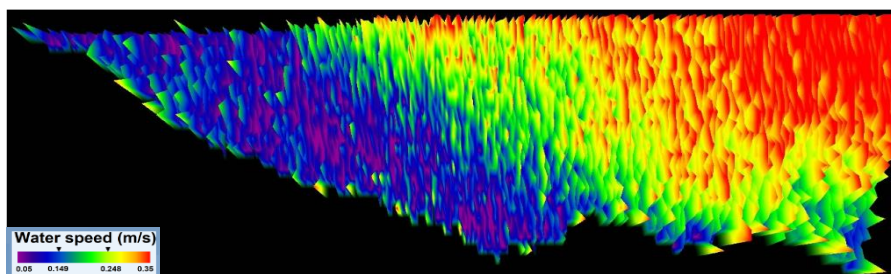


Pentru acest experiment au fost extrase doar datele de la suprafață, cele de adâncime nu au fost folosite.

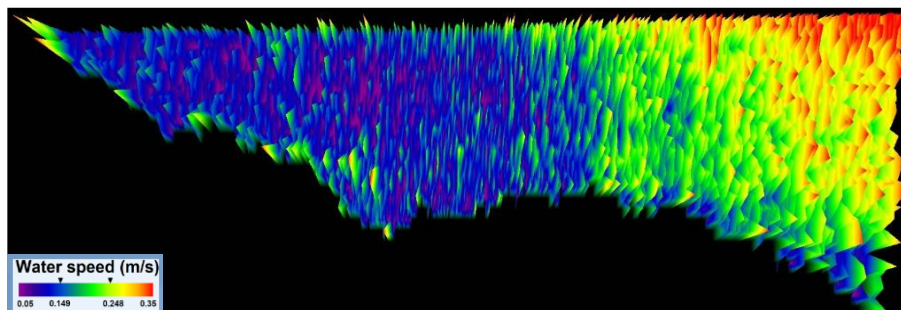
Pentru o vizualizare mai bună a datelor de profil s-a folosit programul Velocity. Profilele sunt enumerate de la nord la sud (1 fiind primul profil de la nord de Capul Tuzla, iar 23 ultimul profil, de la Vama Veche). În imaginile de mai jos (Fig. 3.15) se poate observa viteza curentului (intensitatea), folosindu-se un artificiu de exagerare a valorilor pentru a putea fi observate tridimensional.



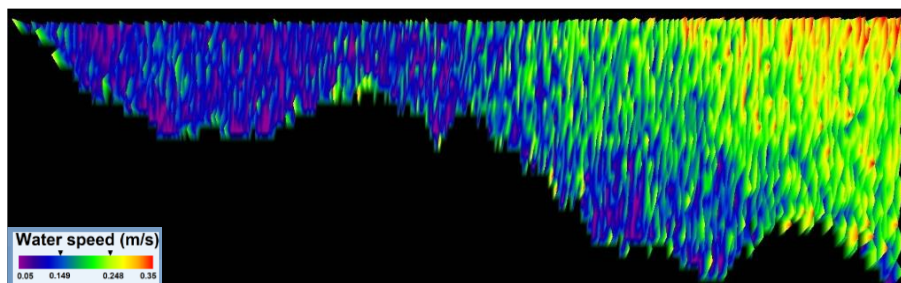
Profilul 1



Profilul 18



Profilul 21



Profilul 23

Fig. 3.15 – Profile de curent ale apei în funcție de adâncime

Întrucât frecvența de măsurare este ridicată, datele colectate sunt foarte multe din punct de vedere cantitativ și a fost necesară medierea acestora la un interval de 5 secunde. Imaginile de mai sus sunt rezultatul medierii.

### Capitolul 3. Cercetări privind regimul vântului, valurilor și curenților marini

Valorile curentului de suprafață au fost extrase și introduse în programul ArcMap, în care aceste date au putut fi reprezentate vectorial, sub formă de săgeți. Interpolarea valorilor a fost posibilă doar după ce acestea au fost mediate pe intervale de timp mari, astfel încât distanța dintre profile și distanța dintre valori să nu mai fie o problemă pentru metoda de interpolare. În total, pentru toate cele 23 de profile, au fost folosite 262 de valori, ceea ce înseamnă că pentru fiecare profil s-au folosit aproximativ 11 valori (Fig. 3.16).

Pe baza hărților realizate, se poate fi observată direcția generală a curentului de la nord la sud, cu excepția primului profil de la nord, care arată că în acea zonă curentul era orientat către nord.

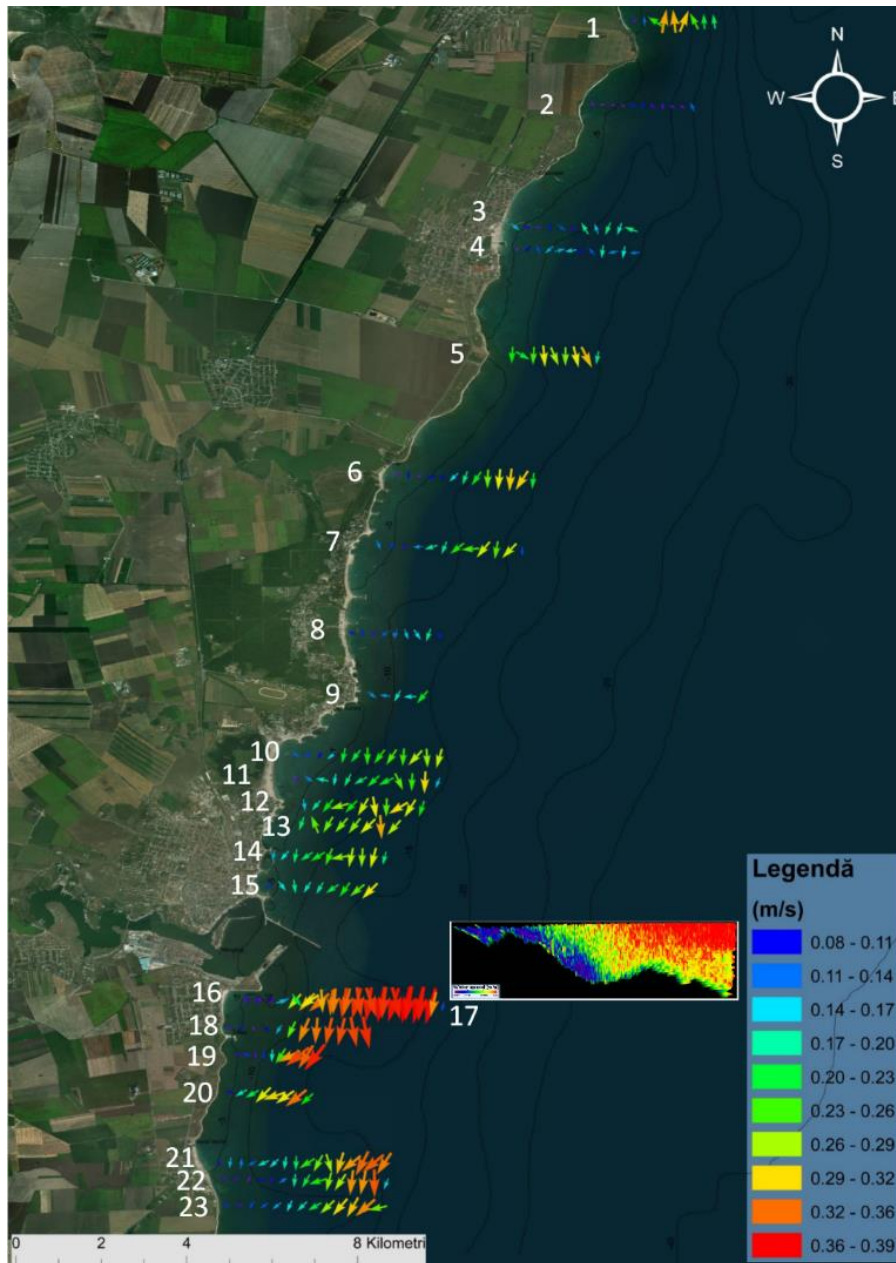


Fig. 3.16 – Viteza curentului apei și direcția

Poate fi menționat că acest profil a fost realizat la câteva minute diferență, nu în altă zi. Cu toate acestea, intensitatea vitezei curentului către sud, pentru profilele 3 și 4, este redusă, iar în cazul profilului 2 sunt și mai mici, iar direcțiile vectorilor indică că se îndreaptă către nord cu o viteză extrem de mică, cuprinsă între 0,004 – 0,06 m/s. O posibilă explicație ar fi că în acea zonă a fost surprins un vârtej, însă fără alte profile de îndesire, este imposibilă aprecierea.

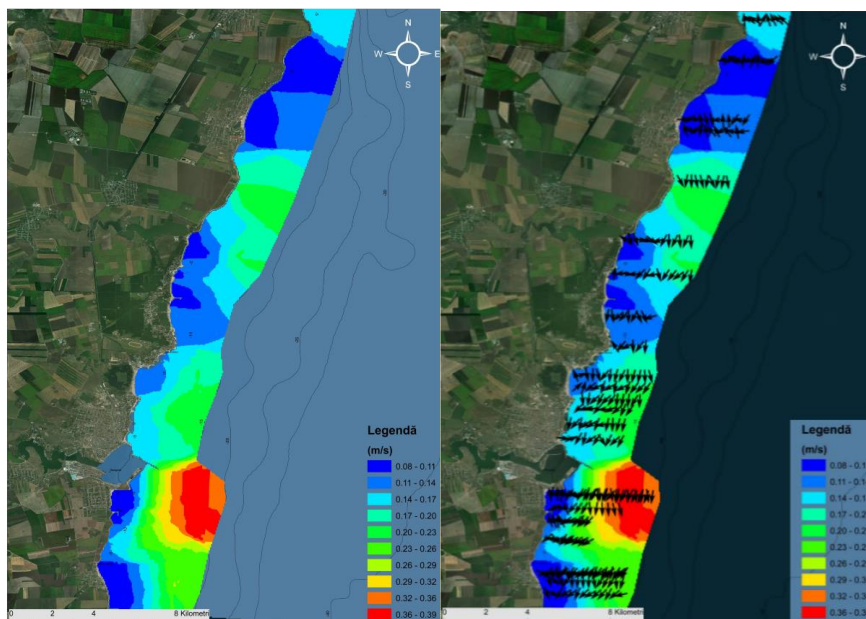


Fig. 3.17 – Viteza curentului de-a lungul coastei

În partea de sud (Fig. 3.17) poate fi observată o viteză ridicată a curentului, acest lucru putând fi datorat pe de-o parte batimetriei care se micșorează dintr-o dată, (poate fi observată diferența dintre profilul 15 și profilul 16 sau 17), forțând masa de apă să își mărească viteza, ca apoi să scadă ca intensitate datorită adâncimii crescute (conform batimetriei, diferența de adâncime este de 5 m), iar pe de altă parte, datorită digului de nord al portului Mangalia, care împinge masa de apă către larg, astfel creând un fel de “pâlnie” în zona respectivă.

S-a urmărit înregistrarea datelor de curent până la izobata de 15 m, iar acest lucru poate fi observat și în hărți prin faptul că profilele nu au aceeași lungime.

Mai departe s-au descompus componentele vectoriale ale curentului pentru a realiza două hărți a componentelor U și V. Valorile rezultate au fost interpolate folosind metoda Kriging, iar pe baza hărților rezultate, pot fi observate componentele vectoriale ce scot în evidență mișcarea maselor de apă pe direcția nord-sud și est-vest.

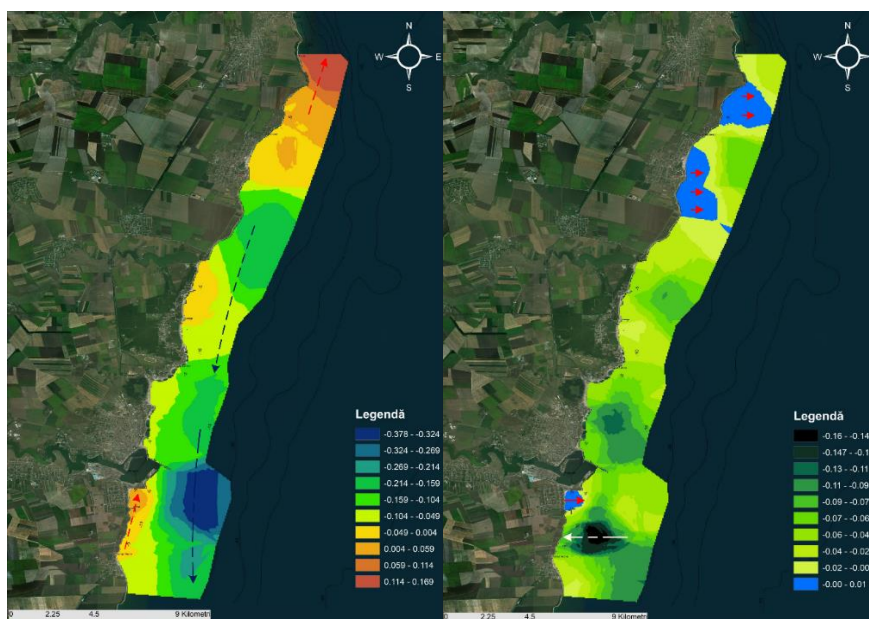


Fig. 3.18 – Curentul în funcție de componentele vectoriale U (figura stângă) și V (figura dreaptă)

În imaginea din stânga a figurii Fig. 3.18, poate fi observat cum, în imediata vecinătate a portului (în albastru, de la -0,378 la -0,324) valoarea componentei U, este ca mai mică (pe minus), sugerând că masa de apă se îndreaptă către sud. Drept răspuns al acestui lucru, în zona de țârm (în portocaliu) s-a format un curent de compensare care se îndreaptă către nord, având o valoare cuprinsă între 0,059 și 0,114 m/s.

În partea de nord, valoarea componentei U este pozitivă de-a lungul profilului, iar masa de apă se îndreaptă către nord, fără a exista un curent de compensare pe lângă țârm. Cel mai probabil acest lucru se întâmplă mai la larg.

În imaginea din stânga a figurii Fig. 3.18 poate fi observată componenta vectorială V, în care este reprezentat curentul pe direcția orizontală. În urma medierilor, aproape toate valorile sunt negative, iar interpolarea a scos în evidență micile zone în care componenta V este pozitivă. În cazul zonei albastre de la sud de Portul Mangalia, acest lucru arată răspunsul local al configurației topografice (batimetrice) realizându-se un curent de întoarcere ca răspuns al presiunii exercitate asupra coastei.

În urma analizei vizuale a hărților și valorilor rezultate, poate fi spus că profilele nu sunt suficient de apropiate sau îndeajuns de lungi pentru a surprinde întrutotul mișcarea curenților în această perioadă surprinsă în experiment [27].

Ar fi fost de dorit o mai bună rezoluție spațială pentru a prinde curenții din imediata apropiere a coastei de până la 5 m adâncime, cât și profile pe o distanță mai mare (unde va până la izobata de 60 m) pentru a surprinde procesul la o scală mai mare.

La acest nivel de colectare al datelor nu pot fi realizate analize amănunțite ale interacțiunilor dintre curenții de larg și cei din apropierea țârmului de-a lungul coastei.

Pe baza datelor analizate se poate concluziona că, din punct de vedere al producției de energie pe baza intensității curentului costier, cea mai propice zonă ar fi la sud de portul Mangalia și, probabil, în aceeași situație s-ar afla și Portul Constanța, unde, datorită configurației țârmului (digurilor de nord ale celor două porturi) și batimetriei din zonă, masa de apă este supusă unei presiuni crescute și ca rezultat curentul marin este mai puternic. Această afirmație se poate aplica doar în cazul în care curentul costier se mișcă de la nord către sud.

Valorile maxime măsurate, de 0,36 – 0,39 m/s, nu sunt suficient de mari pentru a justifica costurile de construcție a unui parc submers de turbine. Turbinele marine submerse prezentate în lucrare au nevoie de un curent cu o viteză minimă de 1,5 m/s. Aceste măsurători au fost realizate când starea mării era bună, cu un val de maxim 0.5 m la larg. Ar exista posibilitatea ca pe timp de furtună, curentul în aceste locuri să fie mai puternic (prin excepție, ar putea ajunge la 1,5 m/s), însă aceasta ar fi doar în perioade rare.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Utilizând ecuația 3.2, se poate observa că, în cazul vitezei maxime înregistrate în perioada experimentului, puterea curentului are o valoare aproximativă de 0,03 kW/m<sup>2</sup>. În cazul în care viteza curentului marin ar fi de 1,5 m/s, puterea ar fi echivalentă cu 1,71 kW/m<sup>2</sup>. În general, majoritatea turbinelor marine încep să funcționeze la o viteză minimă a curentului marin de 0,5 m/s - 1 m/s, în funcție de construcția acestora [28] [29].

### 3.5. Rezultatele simulărilor numerice (SWAN, MOHID și POM)

#### 3.5.1. Studiul regimului valurilor din zona litoralului românesc utilizând modelul SWAN

Caracteristicile domeniilor computaționale pentru simulările modelului SWAN sunt definite iar parametrizările fizice sunt valabile pentru simulări la scară mare și rezoluție înaltă.

Pentru acest studiu au fost analizate două seturi de date de vânt și un set de date de val. Locul în care au fost înregistrate valorile a fost Platforma Gloria. Un set aparține centrului ANM (Administrația Națională de Meteorologie) Constanța și are un grad mai mare de încredere față de al doilea set de date, ce nu are un control al calității. Primul set de date corespunde unei perioade de 10 ani (1996 – 2007), iar cel de-al doilea unui perioade de 19 ani (1983-2002). Primele 30 cele mai mari valori ale setului de la ANM sunt în intervalul 26 - 40 m/s, în timp ce în al doilea set de date există valori maxime ce depășesc 80 m/s (intervalul primelor 30 de valori fiind 29,94 – 88,05 m/s).

S-a ales valoarea de 40 m/s pentru a simula câmpul de valuri pe patru direcții de propagare a vântului. Alegerea direcțiilor de propagare a vântului (NE, E respectiv SE) a avut în vedere ca suprafața mării pe care bate vântul (fetch-ul) să fie cât mai mare, pentru un efect mai mare asupra câmpului de valuri. S-a mai ales și direcția de propagare a vântului pe NV datorită frecvenței foarte mari.

Mai jos pot fi observate rezultatele modelului SWAN; În prima imagine (Fig. 3.19) se poate observa distribuția înălțimii valului semnificativ de-a lungul coastei românești, când vântul se propagă din direcția nord. Pe baza distribuției se poate observa că valul ajunge la maxima dezvoltare în zona de sud, ceea ce era și de așteptat. Iar cea mai scurtă distanță de la țărm către această zonă în care înălțimea valului este considerabil mai mare se află între Capul Tuzla și Vama Veche, pornind în jurul izobatei de 40 m.

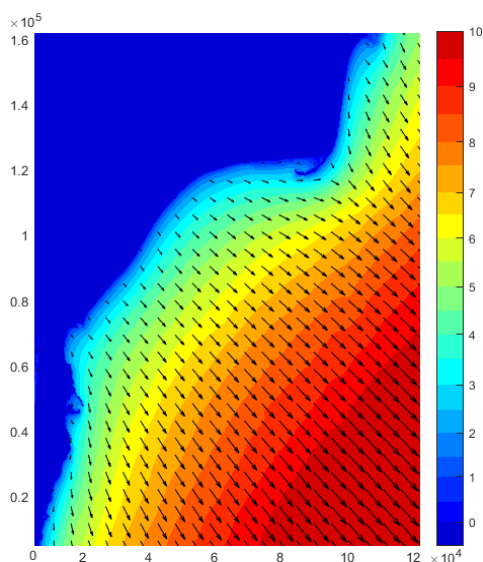


Fig. 3.19 – Distribuția înălțimii valului semnificativ calculat – vânt din NV – HS maxim= 13,5 m

#### 3.5.2. Influența unui parc de turbine eoliene asupra câmpului de valuri

S-a urmărit realizarea unei simulări folosind modelul SWAN, pentru a observa impactul pilonilor (suportul turbinelor eoliene) asupra câmpului de valuri. Există și alte cercetări ce urmăresc

impactul altor echipamente de generare a energiei electrice din mediul marin asupra câmpului de valuri [30].

Pentru acest lucru s-a realizat o batimetrie artificială aferentă pilonilor, iar după realizarea primului parc de piloni, s-au mai realizat încă trei în diferite zone de interes. Spațierea optimă a turbinelor eoliene depinde de diametrul rotorului, de regulă se înmulțește de șapte ori valoarea diametrului și rezultă distanța de spațiere a turbinelor într-un parc eolian. [31]

Numărul total de valori (puncte xyz) al batimetriei a fost de aproximativ 1070000. Această mulțime a inclus și punctele de pe țărm ce formează digurile porturilor și linia țărmului, precum și insula Sahalin.

Întrucât pilonii au un diametru de 6 m, aceștia sunt vizibil toți numai dacă rezoluția de interpolare este mare, pentru cazul de mai jos s-a folosit o rezoluție a gridului de 5 pe 5 (Fig. 3.20).

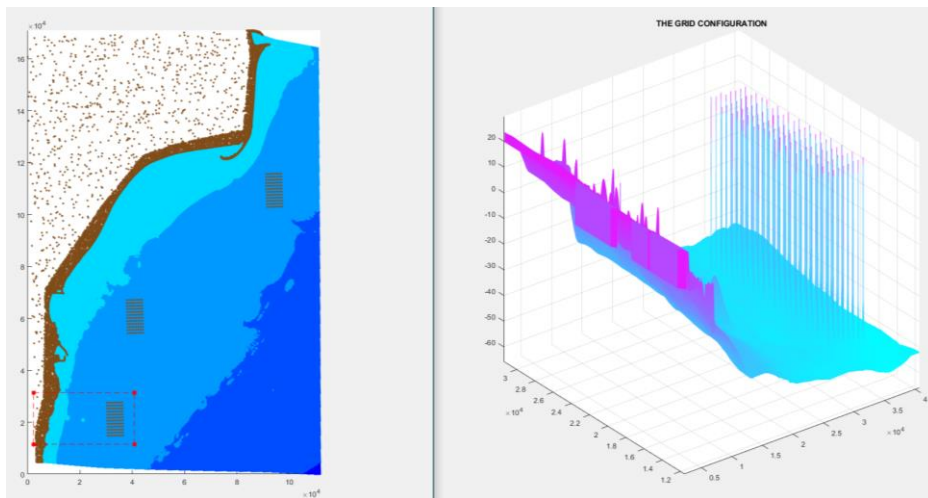


Fig. 3.20 – Selecția și rezultatul interpolării punctelor de batimetrie

Din păcate modelul SWAN nu reușește să ruleze o simulare de val cu o asemenea rezoluție. Urmărind totuși un rezultat, s-au încercat numeroase rezoluții până s-a ajuns la o valoare a rețelei de 40 pe 40, care a dus la un rezultat final (Fig. 3.21), ce a permis rularea modelului.

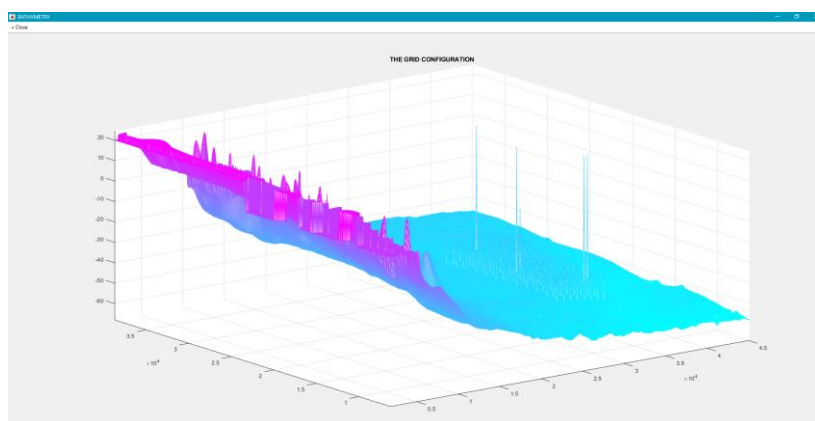


Fig. 3.21 – Rezultatul interpolării de 40 x 40

Se poate observa cum în această situație pilonii nu mai ajung la suprafață cu excepția câtorva. S-a continuat rularea modelului cu interpolarea din Fig. 3.21 pentru a observa influența pilonului asupra câmpului de valuri, mai exact, la ce distanță față de pilon se regenerează frontul de val.

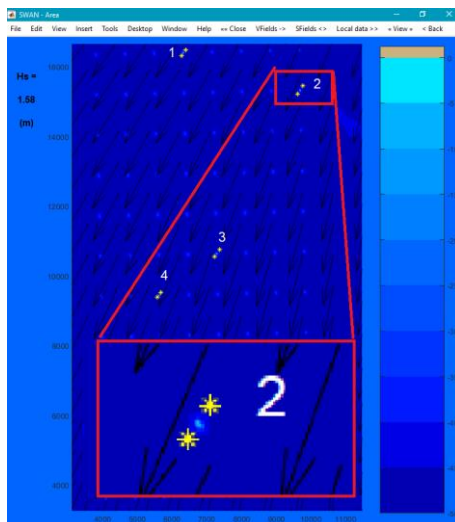


Fig. 3.22 – Rezultatul Modelului SWAN

Au fost extrase valori ale înălțimii semnificative a valului, înainte și după cei patru piloni. Punctele de măsură au fost în imediata apropiere a acestora (Fig. 3.22).

Pe baza acestor rezultate, se poate observa cum valul crește, fiind strâns dependent de suprafața fetch-ului. Primele două puncte măsurate sunt în partea de nord a parcului, în timp ce punctele 3 și 4 sunt mai la sud, unde înălțimea semnificativă a valului este mai mare. Conform altor cercetări în domeniu [32], s-ar putea calcula un factor de reducere a câmpului de valuri în funcție de dimensiunea parcului eolian, cât și influența acestuia asupra țărmului.

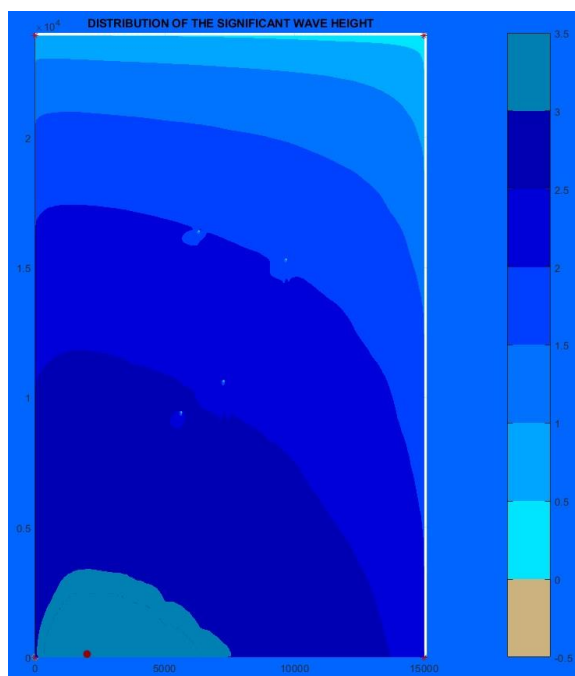


Fig. 3.23 – Distribuția înălțimii valului semnificativ

Pe baza acestei distribuții poate fi observat impactul mic al pilonilor asupra înălțimii valurilor (Fig. 3.23), și cum valul se regenerează mai repede când acesta are o înălțime mai mare. Astfel încât după aproximativ 300 m, influența pilonului asupra valurilor dispare.

Probabil dacă s-ar folosi piloni cu un diametru mai mare (spre exemplu, pilonii folosiți în cadrul Parcului eolian Gemini care au un diametru de 7,5 m) și dacă parcul eolian putea fi simulat în întregime sa, rezultatul ar fi fost altul.

### **3.5.3. Analiza rezultatelor celor două modele, privind direcția curenților marini pe durata unor evenimente meteorologice deosebite**

Evident, logica “drumului” spre descrierea rezultatelor obținute pentru cele două modele pornește de la Soare la atmosferă, la valuri și curenți; punctul slab al acestui drum este cel al atmosferei: la nivel local, densitatea mică a aerului implică inerție mică și, deci, instabilitate mare, justificând gluma că bătaile din aripi ale unui fluture în America generează ciclon în China.

Oricum, problema de principiu poate fi observată dacă, în cazul în care toate modelele implementate sunt verificate, calibrate, corect rulate etc., se urmărește o comparație între rezultatele obținute de acestea (în comparație cu date de teren).

O primă testare/verificare în raport cu experiența în teren a fost făcută încercând evidențierea modificărilor câmpului curenților, produse de perioade de vânt de direcție practic constantă. S-au folosit datele de vânt raportate la stația Sulina [23] deoarece distribuția vitezelor și a direcțiilor este cea mai apropiată de cele corespunzătoare punctului Platforma Gloria (situat în larg). După identificarea unor perioade de vânt practic constant ca direcție, au fost calculate mediile modulului ( $|\mathbf{v}|$ ) și vectorului ( $\mathbf{v}$ ) vitezei vântului pentru perioada considerată și pentru perioada de 24 de ore precedente. Din model s-au obținut hărțile estimate ale câmpului curenților marini la momentul inițial și cel final al perioadei de vânt constant. S-a folosit aceeași scală a vitezei curențului (0 – 1,74 m/s) pentru toate reprezentările. Unde a fost posibil s-au extras, pentru comparare, estimările realizate de modelul POM implementat în INCDM (modelul a fost implementat în cadrul unei colaborări științifice la Marea Neagră între România, Ucraina și Turcia) - acestea având scale diferite, atașate fiecărei reprezentări.

Pentru estimările date de Mohid, figurile au asociat numărului litera a), respectiv c), pentru zona de interes a României, respectiv pentru toată Marea Neagră, iar prognozele POM au atașat la numărul figurii litera b). Fiecare estimare corespunde datei, orei și valorilor calculate de vânt descrise mai sus.

Înainte de a încerca o analiză a rezultatelor, trebuie accentuate câteva caracteristici generale.

- Geografia zonei românești este specială în sensul că masele de apă corespunzând la suprafețe egale variază puternic de la nord la sud (conform apropierii de țarm a izobatelor). În consecință, în partea de nord, este de așteptat un efect mai puternic al vântului în zona de țarm, pe de o parte, și un efect semnificativ al câmpului curenților de larg asupra celor de țarm, pe de altă parte.
- Stările de stabilitate ale sistemului curenților Mării Negre în întregime sunt, de fapt, destul de instabile, între 7- 8 situații diferite (chiar dacă pentru zona românească de țarm curențul RIM este statistic majoritar).
- La unghiuri mici ale vântului față de țarm se generează vortexuri de compensare, ale căror poziții și dimensiuni sunt variabile, acestea interacționând și uneori generând vortexuri spre larg (astfel încât estimările sunt imprecise).
- Compararea estimărilor celor două modele este doar parțial corectă, deoarece pentru POM este prezentată starea calculată pentru adâncimea de 2,5 m, în timp ce pentru MOHID este o estimare a stratului de suprafață, 0 - 2,5 m.
- Câmpul presupus al vântului a fost uniform și egal cu cel măsurat la stația Sulina (ceea ce este, totuși, puțin probabil)

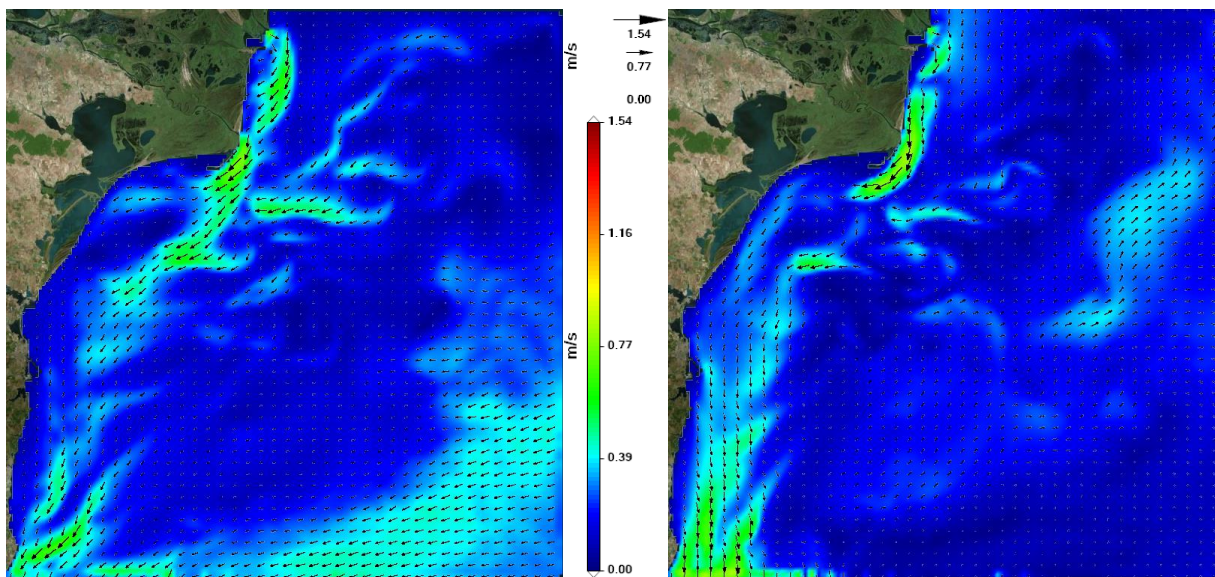
În continuare sunt prezentate câteva din situațiile considerate.



Primele cazuri, de la A la F, sunt pentru evenimentele din perioada de iarnă, iar de la G la K pentru evenimentele aferente perioadei de vară.

**Cazul A**

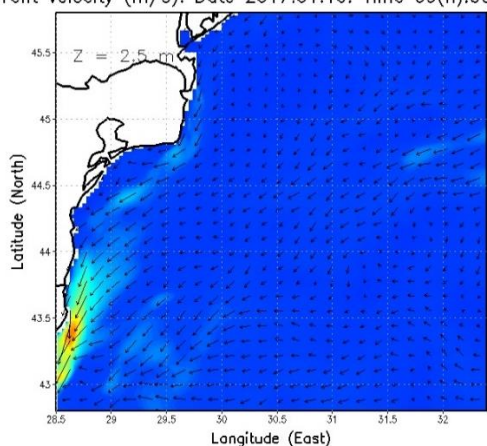
Data	2017.01.10	2017.01.11
Ora	9 <sup>00</sup>	5 <sup>00</sup>
$V_{\text{mediu}}$ (m/s)	4,3	12,5
Direcția (°)	311	29
$ V _{\text{mediu}}$ (m/s)	4,5	12,6



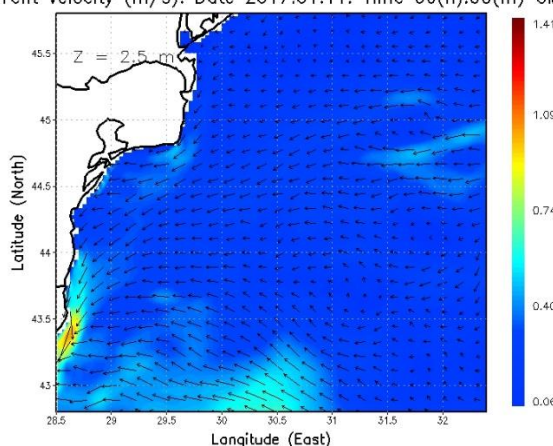
a)

a)

Current velocity (m/s). Date 2017.01.10. Time 09(h):00(m) GMT Current velocity (m/s). Date 2017.01.11. Time 06(h):00(m) GMT



b)



b)

Fig. 3.24 – Rezultatul modelelor 10.01.2017

Fig. 3.25 – Rezultatul modelelor 11.01.2017

Schimbarea direcției vântului cu  $-78^\circ$  (dintre Fig. 3.24 și Fig. 3.24) modifică puțin câmpul curenților în zona gurii Dunării, de la larg, est - Sahalin până la est - Periboina, direcția curenților se schimbă de la E la N – NE. În zona sudică, la țarm curenții se rotește de la SSV și SV la S, iar la larg curgerea spre VSV este anulată. Se constată că modificările prognozate de Mohid (Fig. 3.24a și Fig. 3.24a) nu par a se corela cu datele vântului măsurat.

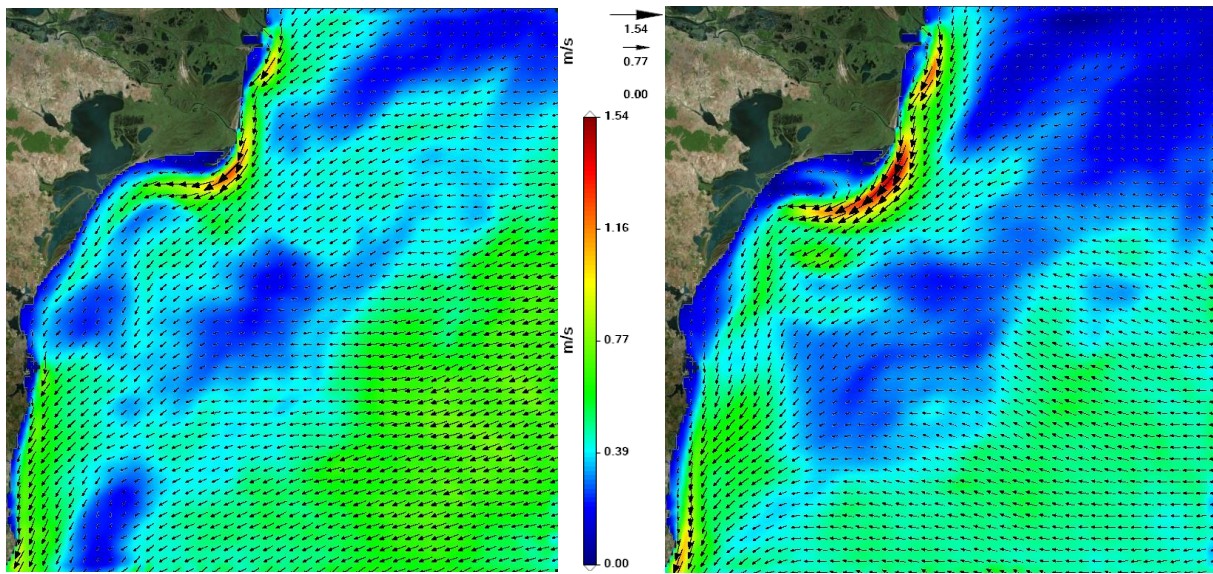
### Capitolul 3. Cercetări privind regimul vântului, valurilor și curenților marini

Estimările POM (Fig. 3.24b și Fig. 3.24b) indică la larg slabe modificări de direcție în zona nordică, și mai intense în zona de sud (de la V – SV la NV – V), modificările de direcție și intensitate după 21 de ore sunt minore.

Prognozele celor două modele sunt diferite între ele cât și raportând la așteptările de corelare cu datele măsurate pentru vânt.

**Cazul D** - prezintă situații din perioada de vară din luna iulie 2017.

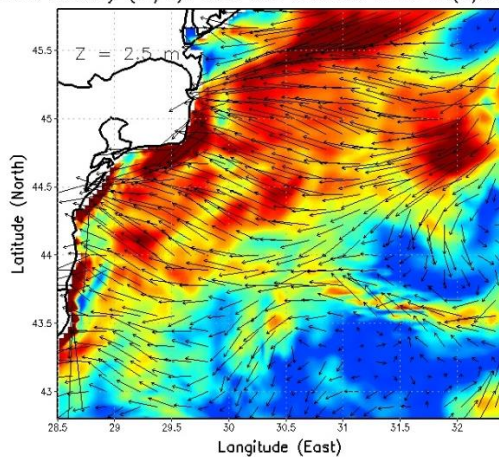
Data	2017.07.03	2017.07.04
Ora	17 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>
$V_{\text{mediu}}$ (m/s)	7,3	5,5
Direcția (°)	22	353
$ V _{\text{mediu}}$ (m/s)	8,1	11,9



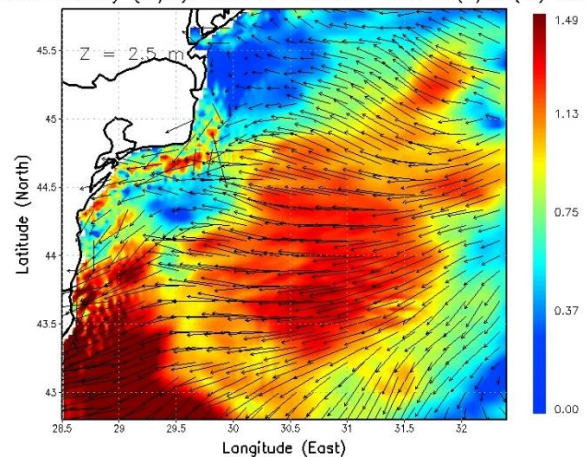
a)

a)

Current velocity (m/s). Date 2017.07.03. Time 18(h):00(m) GMT Current velocity (m/s). Date 2017.07.04. Time 15(h):00(m) GMT



b)



b)

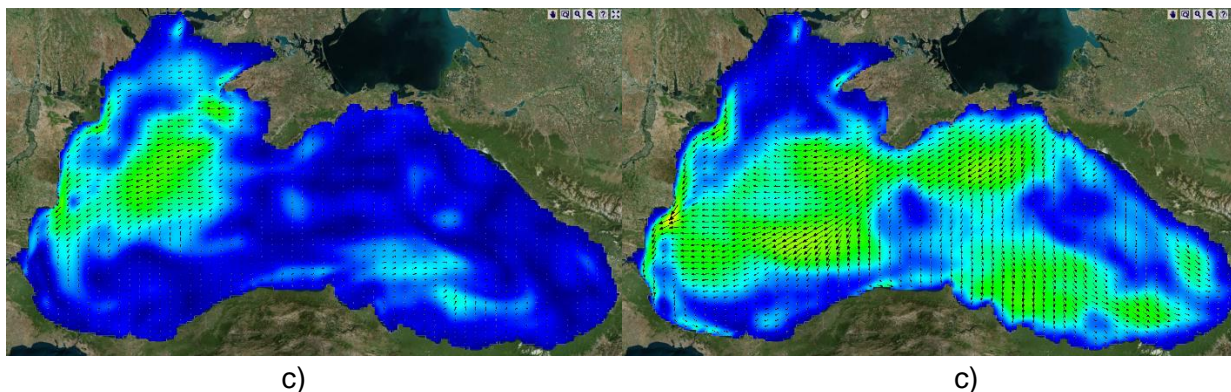


Fig. 3.26 – Rezultatul modelelor 03.07.2017      Fig. 3.27 – Rezultatul modelelor 04.07.2017

Deși vântul (din Fig. 3.26) își modifică direcția cu  $+29^\circ$  (Fig. 3.26), curenții de-a lungul țărmului (de la gurile Dunării și din zona sudică) cresc în viteză, păstrând direcția, cu excepția zonei Sahalin, unde se îndepărtează ușor de țărm (generată de o întoarcere coerentă cu direcția de  $353^\circ$ , prezentă în Fig. 3.26a). În zona de larg, schimbările câmpului curenților sunt complet diferite de cele așteptate – o modificare cu aproximativ  $-45^\circ$ . În acest caz, deși durata vântului constant este apreciabilă (23 ore), efectele sunt relativ mici și nu în sensul așteptat.

Estimarea POM (Fig. 3.26b) prezintă, în zona centrală și nordică, modificări așteptate în zona țărmului și adiacentă (deși viteza curenților este exagerată în centru în larg). Vitezele foarte mari din zona sudică a țărmului sunt, însă, imprecise deci foarte rar întâlnite.

În Fig. 3.26c și Fig. 3.26c, este prezentată circulația la nivelul Mării Negre utilizând programul

Ținând cont de elementele generale prezentate anterior analizelor, dar și de observațiile de la fiecare caz în parte, se poate afirma că:

- ambele modele nu au rate de reușită suficient de mare pentru a putea folosite în situații critice sau specifice unor momente bine definite; fiecare model estimează corect câmpul curenților pentru anumite zone sau anumite situații, dar pot apărea și mari diferențe;
- stările de stabilitate specifice sistemului curenților Mării Negre se ating lent (probabil după furtuni cu viteze peste 10 m/s și cu durate asemănătoare cazului E);
- sursele diferite de date folosite de modele nu ar trebui să ducă la diferențele mari, constatate între estimările acestora;
- ca și în cazul modelărilor de valuri, se observă prognoze diferite ale unor modele, folosind chiar și aceleași surse de date. Modificând anumiți parametri se pot obține mai bune "potriviri" ale rezultatelor la caracteristicile zonei pentru care au fost implementate modelele respective.

Pare ca evidentă necesitatea ca, indiferent de modelul implementat pentru o anumită zonă, să urmeze o lungă perioadă de testări, verificări și comparații cu date măsurate *in situ*, urmate de modificări ale parametrilor de control ai modelului. Acest lucru pare evident în prezent cel puțin pentru modelarea curenților la Marea Neagră.

---

## Capitolul 4. Energii neconvenționale în zona țărmului

---

În prezent sunt două mari surse de energie regenerabilă (excluzând hidrocentralele amplasate pe râuri), care au ajuns la nivelul de implementare și operare la scară mare, ce au costuri de producere a energiei electrice comparabile cu cele produse în mod convențional. În ultimii ani numeroase studii au fost realizate vizând producerea energiei electrice pe baza valurilor: energia eoliană și energia valurilor. O sursă de energie ce nu a fost exploatată la scară mare, în schimb există numeroase prototipuri în funcțiune chiar la acest moment. Întrucât aceste echipamente trebuie să reziste la diverse furtuni puternice ce pot avea loc anual, sau în unele cazuri, ce pot avea loc odată la câțiva ani, evenimente ce pot fi devastatoare din puncte de vedere al integrității acestor echipamente, este foarte dificil a produce un echipament care să reziste la puterea formidabilă a valurilor oceanice sau a mărilor. Întrucât valurile sunt de diverse mărimi și intensități, convertoarele de energie trebuie calibrate în funcție de mărimea valului semnificativ din zona de interes. Dacă valul este prea mic, nu poate pune în mișcare sistemul de conversie iar dacă este prea mare, energia furnizată de acesta depășește parametrii mecanici la care convertorul poate funcționa, blocându-l și/sau producând avarii grave.

Așadar, este o mare provocare pentru inginerie de a profita de pe urma mișcării maselor de apă, dat fiind faptul că trebuie proiectate dispozitive robuste de generare a electricității, robuste, fiabile și eficiente, care să funcționeze în condiții climatice dure. În ultimii ani au fost realizate numeroase progrese în direcția proiectării dispozitivelor de conversie a energiei valurilor în curent electric, unele dintre aceste fiind aproape de stadiul de comercializare pe scară largă. Rămân însă problemele tehnologice importante de soluționat înainte ca energia valurilor să poată fi valorificată comercial.

Cu toate că mișcarea maselor de apă oferă o sursă de energie enormă, aceasta este valorificată cu greu și în mică măsură. Potențialul energetic al oceanelor se manifestă fundamental în patru forme directe:

- energia asociată diferenței termice între diversele adâncimi ale oceanelor (nu este de interes la Marea Neagră),
- energia mareelor (nu este de interes la Marea Neagră),
- energia curenților,
- energia valurilor.

### 4.1. Energia eoliană în Europa

Conform ultimelor rapoarte realizate de WindEurope [33], energia eoliană a ajuns pe locul doi din punct de vedere al capacității de putere în Europa (Fig. 4.1). Depășind treptat din 2007 producția energiei pe bază de petrol, în 2013 producția de energie nucleară, în 2015 producția energiei hidroelectrice iar în 2016 producția energiei electrice pe bază de cărbune, care se află într-un continuu declin. Întrucât producția energiei eoliene este într-o continuă creștere, aceasta va depăși curând și producția de energie pe bază de gaz (care se află într-o ușoară creștere).

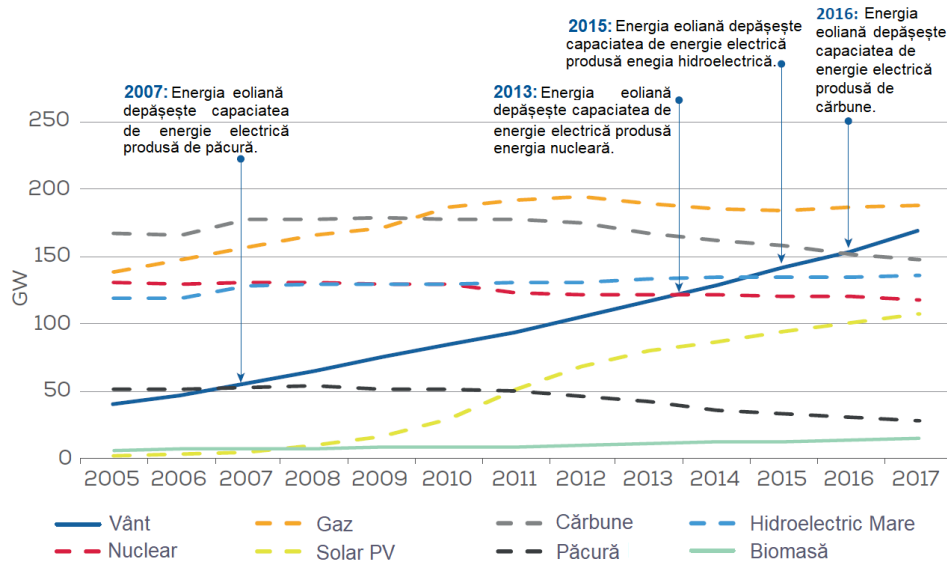


Fig. 4.1 – Capacitatea de puterea totală a Uniunii Europene [34]

Pe baza graficului se poate observa că, în Europa, energia eoliană a dominat din punct de vedere al dezvoltării în 2017, aproximativ 55% din toate capacitățile de energie instalate. Surse convenționale de energie, precum păcura și cărbunele, sunt într-o continuă scădere, întrucât capacitatea energetică dezinstalată este mai mare decât cea instalată. În 2017 capacitatea de putere dezinstalată pe bază de gaz petrolier a fost aproape egală cu cea instalată.

La sfârșitul anului 2017 capacitatea de putere eoliană, instalată pe uscat a fost de 168,7 GW în timp ce în largul mării (offshore) au fost instalați aproximativ 15,8 GW. Cumulat, puterea eoliană constituie 18% din toată capacitatea de putere instalată, la nivelul Europei.

De-a lungul ultimilor 12 ani capacitatea de putere eoliană instalată anual a crescut constant de la 6,6 GW în 2005 la 15,6 GW în 2017 (Fig. 4.2). Instalațiile offshore reprezintă 3,1 GW, aproximativ 20% din capacitatea totală instalată în 2017.

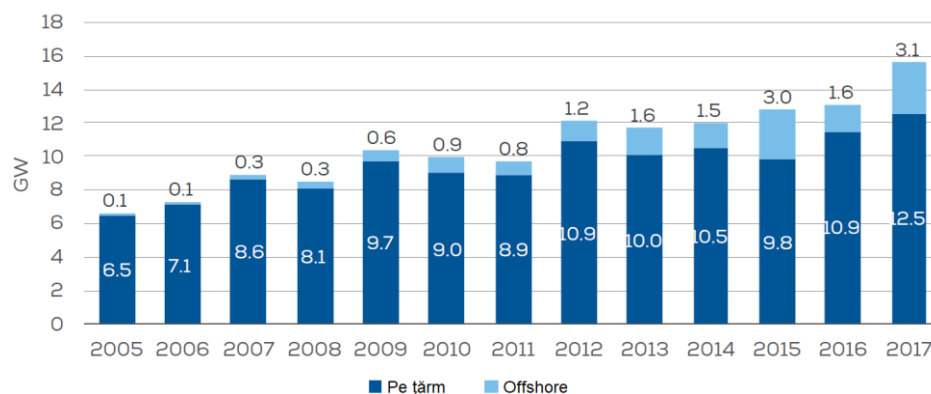


Fig. 4.2 – Capacitatea eoliană instalată anual pe țărm și offshore [34]

Procentele capacității eoliene totale instalate de 18% sunt reprezentate de 168,7 GW la nivel European.

Peste jumătate din capacitatea de putere eoliană 58% este instalată doar în trei țări; Germania (56,1 GW), Spania (23,2 GW) și Marea Britanie (18,9 GW). România contribuie în acest sens cu o capacitate instalată pe țărm de 3 GW.

## Capitolul 5. Studii privind cartarea energiei regenerabile offshore

---

### 5.1. Energia eoliană în zona costieră românească

S-a urmărit realizarea unor studii de cercetare privind vântul din largul mării. Acest studiu a avut în vedere compararea datelor oferite de un model meteorologic, cu date provenite de la stațiile meteo aflate de-a lungul litoralului românesc, respectiv stația meteo din largul Mării Negre, aflată pe platforma petrolieră Gloria.

Trebuie avut în vedere ca cele două seturi de date provin din surse diferite (de exemplu, date de model și date măsurate), așadar nu pot fi comparate pur și simplu. Seturile de date au fost analizate din perspective diferite pentru a gestiona o corelație și a contribui într-o mică măsură la înțelegerea modului în care viteza vântului variază atunci când este scalabilă în model.

Date măsurate – Vântul înregistrat pe țărm

Pe baza seriilor de date obținute de la mai multe stații meteorologice de-a lungul liniei de țărm, cât și de la una aflată în interiorul țărmului, s-au realizat estimările preliminare ale potențialului energetic. Trebuie remarcat faptul că stația meteorologică M. Kogălniceanu se află la o distanță de aproximativ 16 km față de țărm, în câmp deschis, iar datorită acestui fapt valoarea distribuției de putere este cea mai mică. Celelalte trei stații se află pe coastă, având astfel densități mai mari de putere [35]. Pentru stațiile de la Sulina, Constanța și Mangalia, înălțimea la care se culeg datele este de 9m, 14m și respectiv 9m. Înălțimea stației meteorologice M. Kogălniceanu este necunoscută [24].

Date măsurate – Vântul înregistrat în largul mării

Datele offshore au fost colectate pe o platformă petrolieră între 1995 și 2007. Acestea sunt alcătuite din aproape 85000 de valori, rezultând o medie a vitezei vântului de 7,97 m/s, la o înălțime de aproximativ 28 m [24].

Date rezultate din model

Datele utilizate în acest studiu sunt rezultatul proiectului "The Atlas Global Wind", o aplicație gratuită ce poate fi accesată cu ajutorul internetului (Global Wind Atlas).

Mai jos pot fi observate rezultatele acestei analize comparative.

Procesarea datelor, cât și realizarea hărților au fost făcute cu ajutorul software-ului ArcGIS. Zona exclusivă economică a României fost realizată ținând cont de raportul de judecată al Curții Internaționale de Judecată privind delimitarea maritimă a Marii Neagre dintre România și Ucraina din 2009 [36].

Seturile de date măsurate au fost folosite alături de cele provenite din model pentru a compara eficacitatea modelului de-a lungul litoralului, cât și în largul mării. În Fig. 5.1, romburile roșii reprezintă stațiile meteorologice de pe țărm, triunghiul negru reprezintă stația de la platforma Gloria, iar punctele verzi, locul de unde au fost selectate valorile modelului.

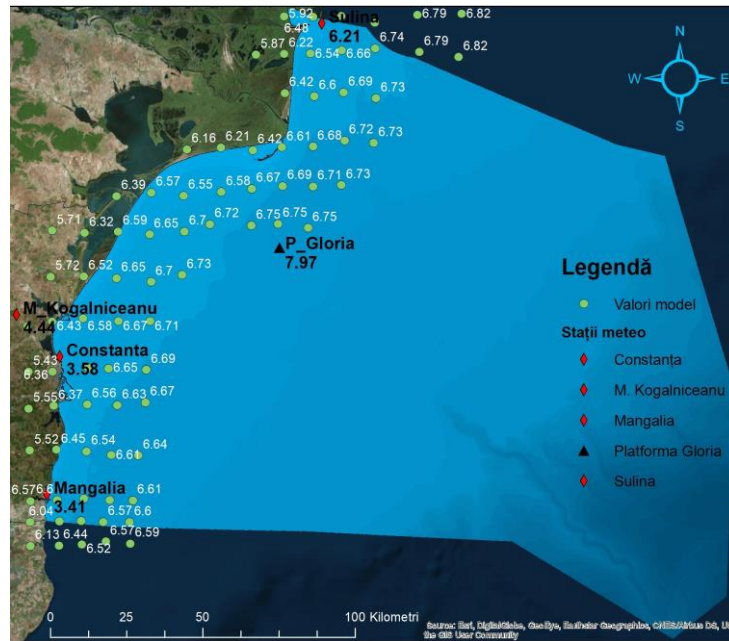
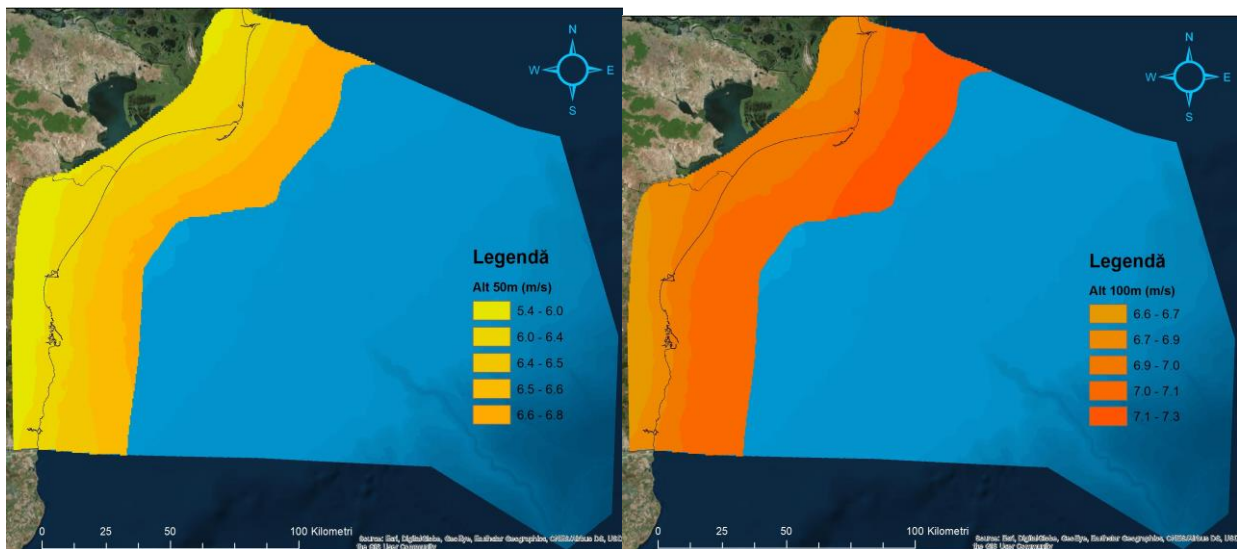


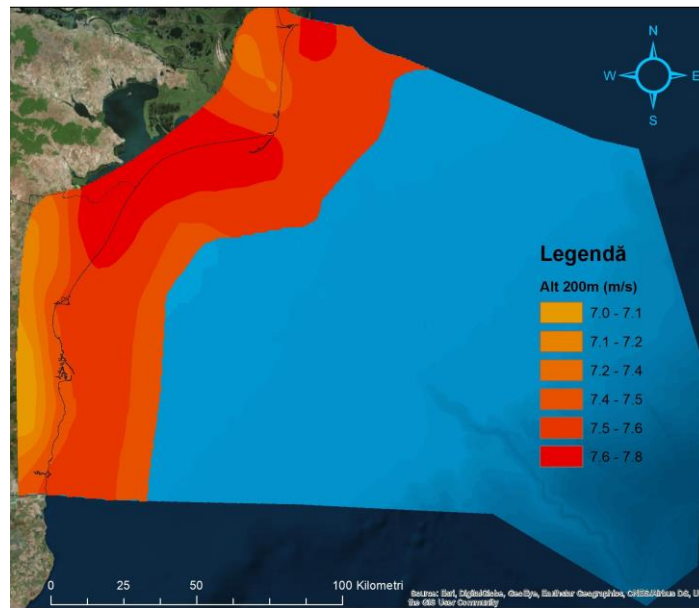
Fig. 5.1 – Reprezentarea stațiilor meteo și a datelor extrase din model (valorile densității de putere)

Analizând harta de mai sus (Fig. 5.1) în care sunt reprezentate datele rezultate din modelul meteorologic alături de cele măsurate, se pot observa câteva particularități. Trebuie avut în vedere că datele furnizate de stațiile meteorologice sunt măsurate la înălțimi diferite față de înălțimea la care modelul produce rezultatele. Valoarea vitezei vântului de la stația meteo Sulina este destul de apropiată ca mărime de valorile ce corespund modelului din jurul acesteia și este de așteptat ca această valoare să fie mai mică, având în vedere altitudinea de 9m la care se află stația meteo.



(a) – 50 m altitudine

(b) – 100 m altitudine



(c) – 200 m altitudine

Fig. 5.2 – Viteza vântului la diferite înălțimi 50 m, 100 m și 200 m

Valorile pentru stațiile Constanța și Mangalia sunt semnificativ mai mici, o posibilă explicație fiind aceea că stațiile meteorologice respective sunt situate în zone unde există efecte de umbră, datorate construcțiilor care au apărut după amplasamentul acestor stații.

În urma analizei celor trei hărți rezultate din interpolarea datelor obținute din modelul mai sus menționat, se poate observa variația vitezei vântului de-a lungul litoralului, în funcție de altitudine. În a treia imagine (înălțimea de 200 m, Fig. 5.2), rezultatul interpolării arată două zone unde viteza vântului este cuprinsă între 7,6 și 7,8m/s.

### 5.1.1. Estimări privind densitatea de putere la diverse înălțimi

Pentru a calcula densitatea de putere a datelor de pe uscat a fost utilizată ecuația (Ec. 5.1).

$$P_{wind} = \frac{\rho_{air} \cdot U_x^3}{2} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$\rho_{aer}$  – densitatea aerului ( $\approx 1,22 \text{ kg / m}^3$ ),

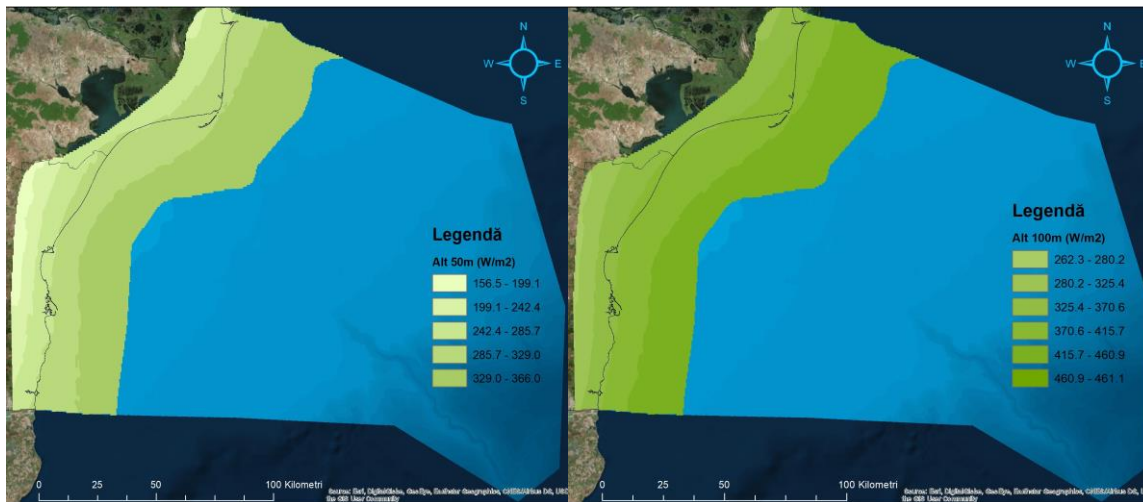
$U_x$  – viteza vântului raportată de stația meteorologică.

În Fig. 5.3 pot fi observate valorile densității de putere extrase din model, alături de valorile înregistrate ale stațiilor meteo. Se poate observa aceeași situație de mai sus, în care, valorile înregistrate la stația P. Gloria sunt mai mari decât valorile extrase din model.



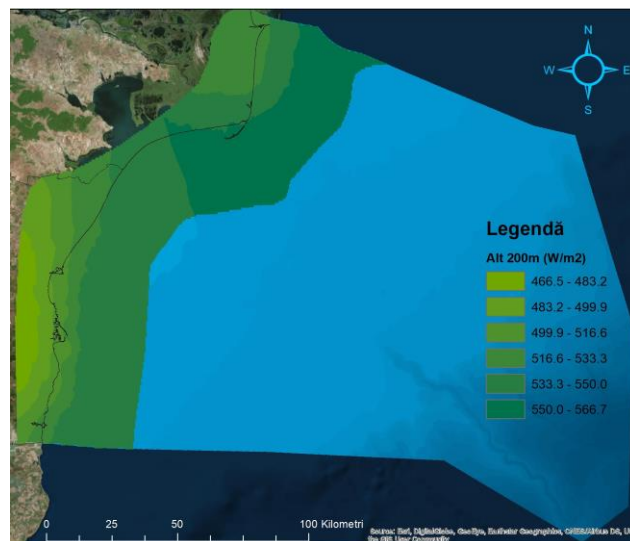


Fig. 5.3 – Valorile densității de putere (date model și măsurate)



(a) – 50 m altitudine

(b) – 100 m altitudine



(c) – 200m altitudine

Fig. 5.4 – Densitatea de putere la diferite înălțimi

O scurtă comparație între cele trei imagini din Fig. 5.4, arată cum rezultatul interpolării urmează mai mult sau mai puțin, linia țărmului în primele două imagini (pentru 50 m și respectiv 100 m) și modul în care densitatea maximă de putere se deplasează spre partea de nord, în cea de-a treia imagine (înălțimea de 200 m). Tot în a treia imagine se poate observa influența Complexului Lagunar Razim – Sinoe care, prin indicele său de rugozitate scăzut, afectează densitatea de putere (zona Gura Portița). Banda de nuanță verde (533,3-550,0 W/m<sup>2</sup>) pătrunde către interiorul țărmului.

Datele de ieșire ale modelelor și datele măsurate ar putea sugera că în partea de nord a litoralului românesc, densitatea de putere este mult mai mare decât în partea de sud.

Cercetările sunt încă în curs de desfășurare fiind nevoie de efectuarea unor noi studii și campanii de colectare a datelor pentru a valida modelele numerice pe baza datelor măsurate.

## 5.2. Energia valurilor

Una dintre proprietățile caracteristice ale valurilor este capacitatea lor a de se deplasa la mari distanțe, aproape fără pierdere de energie. Datorită acestui fapt, energia generată în orice parte a mării poate ajunge la țărm pentru a fi utilizată.

În funcție de starea mării, densitatea de energie medie (pe metru pătrat), la suprafața apei este proporțională cu pătratul înălțimii valului.

Densitatea energiei medii are ca unitate de măsură Jouli pe metru pătrat și variază cu pătratul înălțimii valului mediu.

$$E = \frac{1}{8} \rho \cdot g \cdot H^2 \quad \text{Ec. 5.2}$$

Puterea valurilor este descrisă de următoarea formulă:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H^2 \cdot T \quad \text{Ec. 5.3}$$

Ecuția oferă puterea în W/m<sup>2</sup> și variază cu înălțimea și perioada valului.

Valoarea înălțimii valului semnificativ este o mediere a unui număr de valuri. Valoarea aproximativă a acestei noțiuni este cunoscută ca fiind 1/3 din înălțimea celui mai înalt val ( $H_{1/3}$ ).

Mai exact, se înregistrează timp de câteva minute înălțimea a 120 de valuri (în funcție de perioada acestora timpul de măsurare poate fi mai mare sau mai mic), apoi se aleg cele mai mari 40 de valori și se calculează media lor. [11]

### 5.2.1. Estimări privind puterea pe metru liniar de val

S-au analizat date de vânt și val de la stația Platforma Gloria pentru a stabili valorile pe baza cărora vor fi rezolvate ecuațiile pentru perioada valului (T) și valul semnificativ (Hs), parametri ce sunt incluși în ecuația de putere pe metru de val liniar [37].

$$\frac{g \cdot Hs}{U_A^2} = 0,283 \tanh \left[ 0,53 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \tanh \left\{ \frac{0,00565 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}}}{\tanh \left[ 0,53 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]} \right\} \quad \text{Ec. 5.4}$$

$$\frac{g \cdot T}{U_A} = 7,54 \tanh \left[ 0,833 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right] \tanh \left\{ \frac{0,0379 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}}{\tanh \left[ 0,833 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{\frac{3}{8}} \right]} \right\} \quad \text{Ec. 5.5}$$

Au fost alese datele de val de la Platforma petrolieră Gloria, întrucât aceasta se află în largul mării și reflectă stadiul real al distribuției valurilor, respectiv înălțimii, valorile nefiind afectate de țărm sau de batimetria de mică adâncime a celorlalte puncte în care au fost realizate măsurători de val cu perspectometru (stațiile Constanța și Mangalia).

S-a urmărit realizarea unor hărți pe baza cărora să poată fi analizată puterea pe metru liniar de val, în funcție de adâncime. Acest lucru poate fi estimat pentru cazuri concrete (chiar și în acest caz sunt aproximări ale realității) în care viteza, direcția vântului, durata furtunii, adâncime mării, și lungimea fetch-ului, sunt cunoscute, iar cum vântul se schimbă mereu, aceste aproximări pot fi realizate doar individual în funcție de furtună. Pentru simulările prezente s-au folosit ecuațiile care descriu valul semnificativ și perioada. Pe baza rezultatelor acestor ecuații, s-a calculat puterea valului până la adâncimea de 100 m. Trebuie menționat că ecuațiile ce descriu valul semnificativ și perioada acestuia pot fi utilizate pentru a descrie valorile de până la izobata de 90m.

S-au ales trei situații (când direcția vântului se propagă de la nord-est, est și sud) în care valurile de vânt ar avea un impact mai mare, din punct de vedere energetic, în zona costieră, cât și de larg. A mai fost aleasă o situație care este mai des întâlnită, cea în care vântul bate din direcția nord-vest. Fetch-ul a fost diferit în toate cele patru cazuri (în funcție de direcția de propagare a vântului), luându-se în calcul distanța de la țărmul Peninsulei Crimeea până la țărmul românesc (pentru direcția nord-est), respectiv distanța de la țărmul de est al Mării Negre pe direcția est și pe direcția sud-est de la țărmul turcesc. Iar pentru viteza vântului a fost luată în considerare o singură valoare de 40 m/s. Valoare este una maximă, și ar reprezenta viteza în situația unei furtuni. Interpolarea valorilor de putere a fost realizată folosind metoda Kriging.

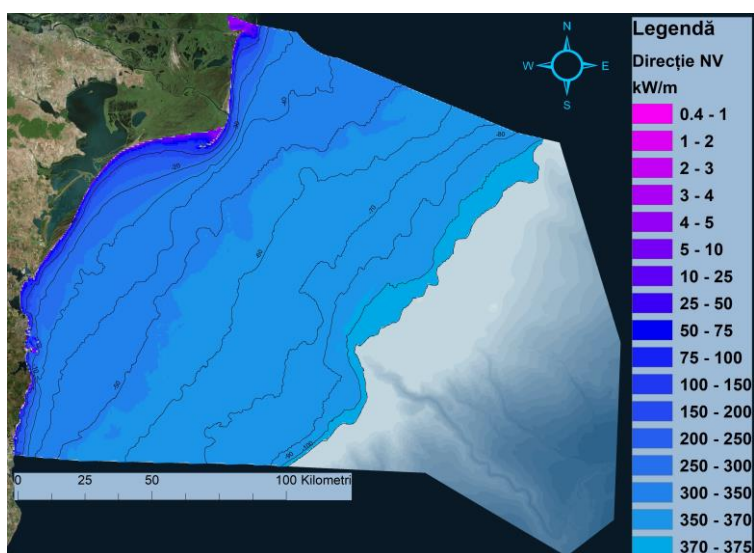


Fig. 5.5 – Rezultatul interpolării valorilor de putere când vântul bate din direcția nord-vest

În cazul figurii Fig. 5.5, când vântul bate din direcția nord-vest, distanța (de la mal către largul mării) asupra căreia poate bătea vântul (fetch) este mică (aproximativ 30 km), rezultând o putere net inferioară față de celelalte rezultate ce provin direcțiile NE și E.

În situația în care vântul se propagă de la est (Fig. 5.6) puterea este cuprinsă între 22 kW/m și 6500 de kW/m.

Diferențele din puncte de vedere al puterii produse de vânt când bate din direcția NE sau E sunt mici. Cea mai mică distanță (de 15 km) de la mal până la zona în care puterea valului este de între 4000 kW/m și 4500 de kW/m se află în sudul litoralului.

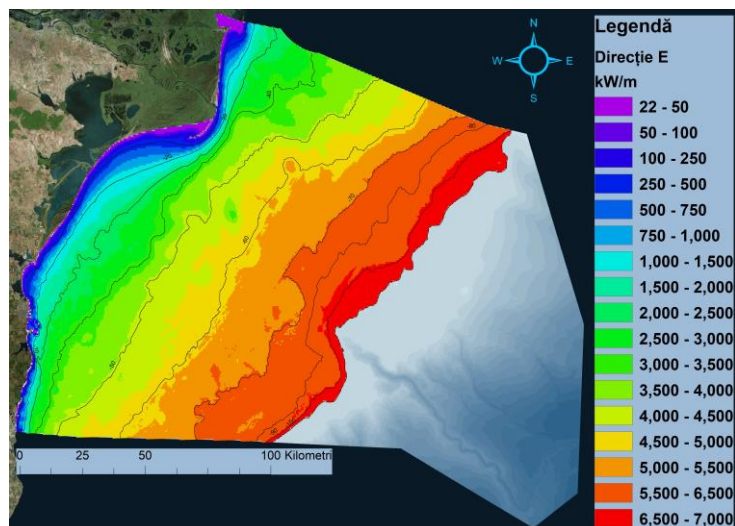


Fig. 5.6 – Rezultatul interpolării valorilor de putere când vântul bate din direcția est

A fost realizată o hartă și pentru situația în care vântul se propagă din direcția sud-est, însă având în vedere că valoarea fetch-ului, după o anumită distanță, nu mai are nici o influență asupra înălțimii valului, rezultatul a fost asemănător cu cel de pe direcția est și nu a mai fost expus.

Trebuie menționat că aceste rezultate reprezintă o singură situație idealizată. Valorile rezultate iau în calcul un regim al valurilor complet dezvoltat, având o forță a vântului rar întâlnită (doar în câteva furtuni de-a lungul anilor). Pentru o estimare și mai realistă ar trebui realizate simulări și calcule pentru fiecare minut al fiecărei zile dintr-un an pentru a putea arăta cu exactitate valorile puterii/energii valurilor în intervalul de timp analizat.

### 5.3. Analiza spațiului marin în contextul energiei regenerabile

Pentru a oferi o perspectivă asupra potențialului de energie regenerabilă la Marea Neagră trebuie luat în calcul suprafața disponibilă a mării pentru instalarea diverselor convertoare. Așadar, în această analiză sunt luate în calcul Ariile Marine Protejate, Rezervația 2 Mai – Vama Veche, liniile de navigație, rade portuare, cât și aria interzisă a platformelor petroliere.

Au fost create două situații, una în care sunt luate în considerare toate ariile interzise, mai puțin ariile naturale protejate, de interes comunitar (SCI – Situri de Importanță Comunitară) și a doua în care sunt luate în considerare toate ariile [38].

Trebuie menționat că pe baza art. 28 din ONG nr. 57 / 2007, activitățile derulate în perimetrul ariilor naturale protejate de interes comunitar sunt interzise în cazul în care acestea generează o poluare, deteriorează habitatele sau perturbă speciile pentru care acestea au fost create. Pentru realizarea unui proiect sau plan ce s-ar desfășura într-o arie naturală protejată de interes comunitar trebuie realizată o evaluare adecvată privind efectele potențiale asupra acestor arii în concordanță cu obiectivele de conservare ale acestora [39] [40] [41] [42]. Pe baza acestora au fost realizate hărțile ce expun zonele platoului continental până la adâncimea de 100 m, având în vedere rezultatele de putere a valului și vântului.

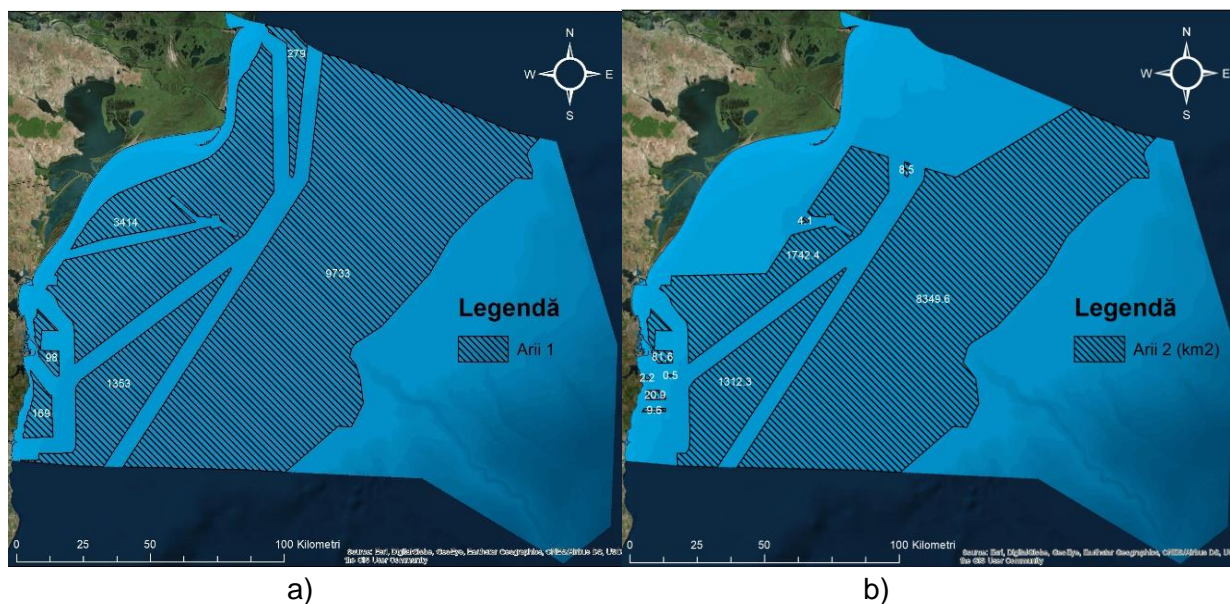


Fig. 5.7 – Ariile potențiale privind instalarea convertoarelor de energie

Pentru această evaluare s-a considerat că zona din apropierea coastei (distanța de la țărm până la izobata de 20 m) să rămână nefolosită pentru amplasarea convertoarelor de energie, întrucât ar strica peisajistica zonei, cu atât mai mult cu cât zona costieră este folosită pentru turism.

Așadar, eliminând din hartă zona de până la izobata de 20 m și zonele interzise privind căile de navigație, zona platformelor petroliere și ariile aparținând rezervațiilor marine, se obține harta din figura Fig. 5.7a. Pentru a obține harta din figura Fig. 5.7b s-au mai eliminat suprafețele aparținând ariilor protejate de interes comunitar.

Un parc eolian de dimensiunea celui considerat mai sus în subcapitolul 3.2., care acoperă aproximativ o arie de 64 km<sup>2</sup> (pentru care s-a luat în considerare un parc format din 72 de turbine eoliene, având un diametru al rotorului de 154 m și o spațiere între turbine de 1,08 km) și-ar găsi locul oriunde de-a lungul litoralului, în poligoanele verzi, unde puterea ar fi între 420 W/m<sup>2</sup> și 460 W/m<sup>2</sup> (Fig. 5.8).

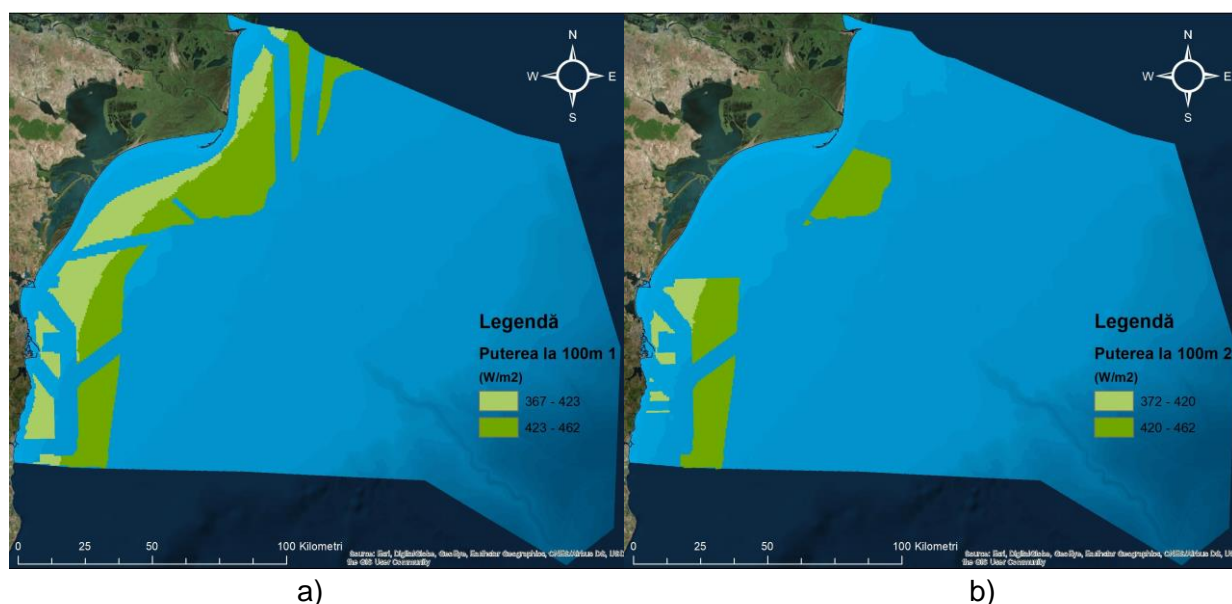


Fig. 5.8 – Zonele rămase și densitatea de putere a vântului

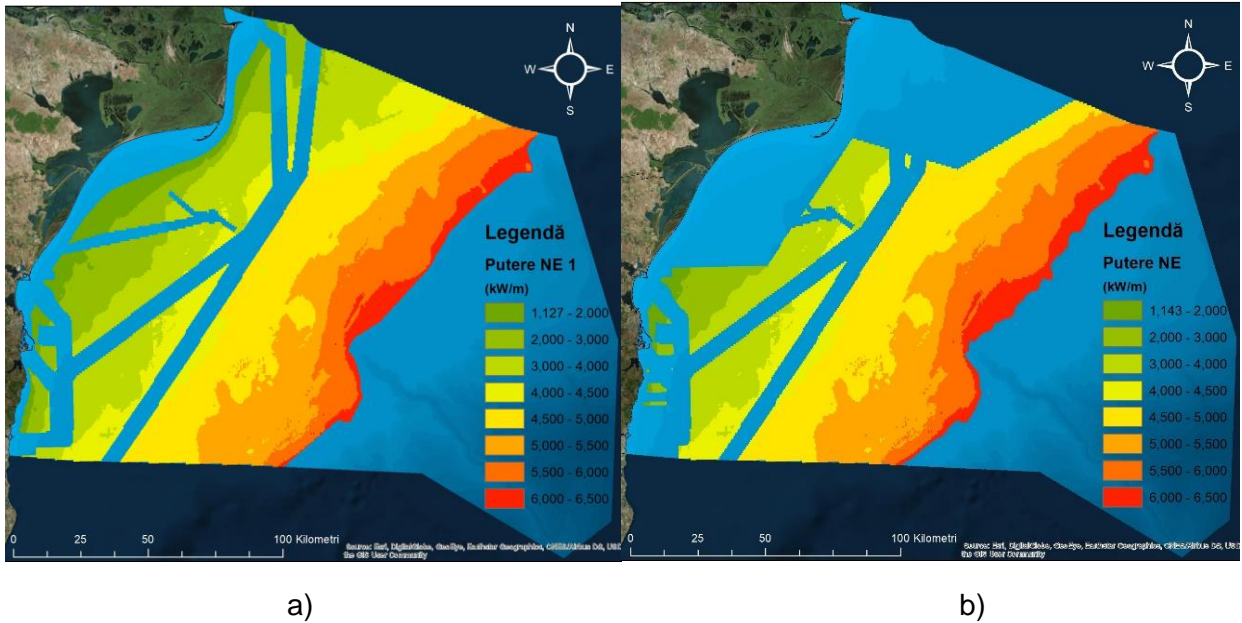


Fig. 5.9 – Zonele rămase privind puterea valului

În ceea ce privește zona propice extragerii energiei din valuri, aceasta trebuie să fie cât mai aproape de țărm pentru a fi conectată la o rețea electrică, iar fluxul de putere al valului de-a lungul unui an să fie cât mai mare.

Urmărind Fig. 5.9, se poate observa că zona cea mai apropiată de țărm în care puterea valului este cuprinsă între 4MW și 4.5 MW este în sudul litoralului, la aproximativ 40 km în larg. Cu toate acestea se pot construi convertoare ce ar funcționa la o putere mai mică a valului (1 MW – 2 MW), specifică zonei din imediata apropiere a țărmului (zona Portului Constanța sau mai în sudul litoralului) în cazul în care se dorește protejarea țărmului și nu numai.

## Capitolul 6. Concluziile generale, Contribuții originale și Perspective

---

### 6.1. Concluzii

Analizând datele de vânt și nivel pe o perioadă mare de timp, rezultă faptul că variația nivelului mării este strâns legată de direcția vântului, având un aport mult mai important decât seșișele generate de schimbarea bruscă a presiunii atmosferice sau a unei ploii puternice. O analiză a datelor de nivel din perioada 1933-1968, arată că valorile medii și minime din lunile mai – iunie sunt mai mari decât restul valorilor medii și minime ale celorlalte luni, datorită predominanței vântului de NE și E, care „umflă” marea în zona de țarm. Iar în luna ianuarie nivelul ridicat este datorat furtunilor puternice de iarnă.

Pe baza analizei rozelor de vânt și prin corelarea cu fotografiile aferente, se observă clar influențele clădirilor asupra mișcării maselor de aer la nivelul instrumentelor de măsură. Astfel, stația de la Sulina este cea mai de încredere sursă, în ceea ce privește datele de vânt.

Din analiza distribuției vitezei vântului la stația Constanța și anume, a variațiilor clasei 0 - 3 m/s, rezultă că în perioada 1952-2005 această clasă a avut o contribuție în general sub 40%, depășind limita doar de șapte ori, în domeniul 40-50%. Începând cu 2006, contribuția valorilor mici a depășit 45-50% din distribuția vitezei vântului, iar în ultimii șapte ani valorile au fluctuat în jurul unei contribuții de 65-70%; în aceeași perioadă contribuția valorilor peste 6 m/s a fost redusă la 0-2% astfel încât se poate afirma că este o schimbare semnificativă a regimului vântului în zona studiată.

Analizând seturile de date de la stațiile meteorologice românești și ucrainene, rezultă că viteza vântului, este mai mare în dreptul gurilor de vărsare ale Dunării. Acest lucru se datorează topografiei și indicelui mai mic de rugozitate al terenului. Se trage concluzia că în partea de nord a litoralului românesc există cel mai mare potențial energetic eolian, un aspect ce trebuie în continuare cercetat, însă cu accent pe partea de larg la altitudini de 50 m, 100 m și respectiv 150 m înălțime, acestea fiind înălțimile la care se construiesc turbinele eoliene de larg.

Din datele de furtună analizate rezultă că puterea, durata și numărul furtunilor a scăzut în ultimii 10 ani.

Realizarea și utilizarea tehnologiilor (ținând cont de aspecte precum mediul coroziv, funcționarea în condiții meteorologice extreme, variabilitatea forței și joasa frecvență a valurilor) a făcut ca acestea să fie încă în fază de dezvoltare / perfecționare. În ultimii 25 de ani s-au multiplicat eforturile în realizarea de proiecte de dispozitive pentru folosirea energiei valurilor.

Valorile maxime măsurate ale vitezei curentului marin, în perioada experimentului au fost de 0,36 – 0,39 m/s. Aceste valori au fost înregistrate la sud de portul Mangalia, unde topografia fundului mării joacă un rol foarte important în creșterea vitezei curentului marin. Trebuie menționat că în timpul derulării experimentului de colectare a valorilor de viteză ale curentului marin, starea mării din punct de vedere al agitației marine a fost bună, înălțimea maximă a valurilor în larg fiind de 0.5 m. În ceea ce privește densitatea de putere a curentului marin, nu este mare, având o valoare de 0.198 kW/m<sup>2</sup>.

## 6.2. Contribuții originale

Contribuțiile specifice ale acestui studiu sunt enumerate în continuare:

- evaluarea condițiilor de vânt, pentru caracterizarea zonei de nord-vest a Mării Negre, folosind serii mari de date pe termen lung,
- realizarea studiilor comparative privind vântul, înregistrat de stațiile meteorologice aflate de-a lungul litoralului românesc în relație cu cele înregistrate în largul mării,
- analiza comparativă a rezultatelor celor două modele (Mohid și POM) cu date de vânt măsurate de la stația meteorologică Sulina, în vederea obținerii unei mai bune înțelegeri asupra felului în care cele două modele realizează simulările, cu scopul de a ajuta îmbunătățirea simulărilor, respectiv calibrarea acestora pentru zona de nord-vest a Mării Negre,
- evaluarea densității de putere a spectrului de vânt la diferite înălțimi pe baza datelor modelului (Global Wind Atlas) în comparație cu datele înregistrate de stațiile meteorologice,
- identificarea zonelor de interes privind potențialul energetic al vântului,
- evaluarea puterii valurilor în funcție de adâncime, viteza vântului, fetch, valoarea înălțimii semnificative a valului, precum și perioada și direcții principale de propagare a valului,
- identificarea zonelor de interes privind potențialul energetic al valurilor,
- evaluarea condițiilor hidrodinamice ale câmpului de curenți marini din sudul litoralului pe baza unor măsurători în teren, care au fost înregistrate în timpul unui experiment desfășurat pe o perioadă de trei zile, și identificarea zonelor în care curentul prezintă modificări datorită batimetriei și configurației țărmului,
- realizarea hărților de amplasare pe potențială pe baza cărora se pot distinge zonele de interes privind instalarea convertoarelor de energie regenerabilă cât și evitarea suprapunerii acestora cu zonele funcționale și zonele interzise ale spațiului marin.
- simulările realizate cu ajutorul programului SWAN privind impactul unui parc eolian asupra câmpului de valuri nu a mai fost realizat până în prezent la o rezoluție ridicată, iar realizarea corelațiilor privind puterea valului pe metru liniar dintre valul semnificativ și perioada acestuia ținând cont de adâncime a fost abrdată deși este un proces dificil.

## 6.3. Perspective

În continuare sunt prezentate câteva direcții de cercetare și sugestii.

- Monitorizarea și colectarea datelor de vânt, val și curent marin, prin instalarea mai multor geamanduri multiparametru în Marea Neagră (în diverse puncte de interes), în vederea realizării unor studii privind puterea acestor parametri în multiple situații meteorologice (inclusiv situații de furtună) de-a lungul anilor.
- Cuplarea măsurătorilor directe provenite de la geamanduri, cu modele de curent marin și valuri (Mohid, SWAN, respectiv POM), pentru a realiza simulări și prognoze îmbunătățite.
- O viitoare direcție de cercetare care trebuie luată în considerare, ar fi proiectarea convertoarelor energetice sub o formă ce integrează cele trei surse de energie (vânt, val și curent marin) într-o singură "insulă" de colectare a energiei regenerabile. Acestea ar putea fi construite sub o formă de matrice special concepute pentru a se potrivi mai bine condițiile de mediu din locațiile în care vor fi instalate. În acest fel ar crește eficiența transformării energiei din cele trei surse, raportată la suprafața acoperită/construită.
- Plan de colectarea datelor de curent marin



## Bibliografie

- [1] C. Bondar, Marea Neagră în zona litoralului Românesc, București: Institutul de Meteorologie și Hidrologie, 1973.
- [2] L. Boicenco și e. al., „Evaluarea Inițială a Mediului Marin,” Institutul Național de Cercetare Dezvoltare marină "Grigore Antipa", Constanța, 2012.
- [3] G. A. NIMRD, Evaluarea Inițială a Mediului Marini, Constanța: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Marină "Grigore Antipa", 2012.
- [4] P. Gastescu, „Evoluția tarmului Mării Negre între bratul Sfântu Gheorghe și grindul Perisor. Studii și Cercetări de Geologie, Geofizică Geografie-Geografie,” Ed. Academiei RSR, vol. Tomul XXVI, p. 37 – 42, 1979.
- [5] E. E. Vespremeanu și D. A. Stefanescu, „Present - Day Geomorphological Processes on the Romanian Delta and Lagoon Littoral of the Black Sea,” București, Analele Universității București, 1988, pp. 85-91.
- [6] C. Bondar, I. State și D. Cernea, „Date referitoare la evoluția liniei tarmului Mării Negre pe litoralul Deltei Dunării între 1962 - 1979,” în *Studii și cercetări, hidrologie*, București, 1983, pp. 155-163.
- [7] D. Dorogan și D. Diaconeasa, „The Black sea Romanian coastal zone - a general survey of the erosion process,” *The Science and Culture Series — Nuclear Strategy and Peace Technology*, pp. 145-164, 2002.
- [8] S. C. Hepites, Istoricul studiilor meteorologice în România, Editura Tipografia curții regale, 1886.
- [9] A. Pecher și J. Kofoed, Erratum to: Handbook of Ocean Wave Energy, Springer, Cham, 2017.
- [10] D. S. Stuart, „Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles as a function of wind speed and temperature,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 93, nr. C12, 15 December 1988.
- [11] H. H. Leo, Waves in Oceanic and Coastal Waters, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [12] D. T. Sandwell, „Physics of Surfing Waves,” [Interactiv]. Available: <https://topex.ucsd.edu/ps/waves.pdf>. [Accesat 08 August 2018].
- [13] R. Mateescu, Hidrodinamica Zonei Marine Costiere Românești, București: Editura Universitară, 2009.
- [14] J. Kämpf și P. Chapman, Upwelling Systems of the World, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [15] Y. Zhang, M. Godin, J. Bellingham și J. Ryan, „Using an Autonomous Underwater Vehicle to Track a Coastal Upwelling Front,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 37, nr. 3, pp. 338-347, 2012.

- [16] E. Rusu, D. C. Conley și E. F. Coelho, „A hybrid framework for predicting waves and longshore currents,” *Journal of Marine Systems*, vol. 69, p. 59–73, 2008.
- [17] N. Booij, R. C. Ris și L. H. Holthuijsen, „A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation,” *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 104, nr. C4, p. 7649–7666, 1999.
- [18] T. R. Mettlach, M. D. Earle și Y. L. Hsu, „Software design document for the navy standard surf model, version 3.2,” United States Navy, 2002.
- [19] P. University, „The Princeton Ocean Model,” The Trustees of Princeton University , [Interactiv]. Available: <http://www.ccpo.odu.edu/POMWEB/index.html>. [Accesat 25 11 2018].
- [20] F. Onea și E. Rusu, „Wind energy assessments along the Black Sea basin,” *Meteorological Applications*, vol. 21, nr. 2, pp. 316-329, 2014.
- [21] F. Onea, A. Raileanu și E. Rusu, „Evaluation of the Wind Energy Potential in the Coastal Environment of Two Enclosed Seas,” *Advances in Meteorology*, p. 14, 2015.
- [22] F. Onea și E. Rusu, „Efficiency assessments for some state of the art wind turbines in the coastal environments of the Black and the Caspian seas,” *Energy Exploration & Exploitation*, vol. 34, nr. 2, pp. 217-234, 2016.
- [23] N. C. f. E. Information, „National Oceanic and Atmospheric Administration,” NCEI GIS Agile Team, [Interactiv]. Available: <https://gis.ncdc.noaa.gov>. [Accesat 25 11 2018].
- [24] T. M. Cristescu, „Long-Term Characteristics of the Wind Onshore and Offshore Western Black Sea,” *Cercetari Marine*, vol. 45, pp. 160-172, 2015.
- [25] T. M. Cristescu, G. Ganea, A. Niculescu, L. Buga, M. Nedelcu, D. Diaconeasa, R. Mateescu și N. D. „Wind data analysis for NIMRD’s oceanographic measurement point “estacada Mamaia”,” *Cercetari Marine*, vol. 46, nr. 4, pp. 19-30, 2016.
- [26] G. Korotaev, T. Oguz, N. A și K. C, „Seasonal, Interannual, and Mesoscale Variability of the Black Sea Upper Layer Circulation Derived from Altimeter Data,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, nr. C4, p. 3122, 2003.
- [27] I. Omer, D. Butunoiu, R. Mateescu și A. Ivan, „Modeling of the marine hydrological processes in the proximity of Mangalia harbour, Romania,” *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics*, vol. 36, nr. 2, pp. 323-330, 2013.
- [28] K. Orhan și R. Mayerle, „Assessment of the tidal stream power potential and impacts of tidal current turbines in the Strait of Larantuka, Indonesia,” *Energy Procedia*, vol. 125, pp. 230-239, 2017.
- [29] Georgia Tech Research Corporation, „Assessment of Energy Production Potential from Ocean Currents along the United States Coastline,” Atlanta, 2013.
- [30] S. Diaconu și E. Rusu, „The Environmental Impact of a Wave Dragon Array Operating in the Black Sea,” *The Scientific World Journal*, p. 20, 2013.
- [31] J. Meyers și C. Meneveau, „Optimal turbine spacing în fully developed wind farm boundary layers,” *Wind Energy*, vol. 15, nr. 2, pp. 305-317, 2011.

- [32] C. Perez-Collazo, S. Astariz, J. Abanades, D. Greaves și G. Iglesias, „Co-located wave and offshore wind farms: A preliminary case study of an hybrid ary,” *International conference in coastal engineering (ICCE)*, nr. 34, 2014.
- [33] R. Tom, M. Ariola, P. Iván și M. Laia, „Offshore Wind in Europe,” Wind Europe, Brussels, 2017.
- [34] D. Fraile, A. Mbistrova, P. Iván, P. Tardieu și L. Miró, „Wind in power 2017 - Annual combined onshore and offshore wind energy statistics,” Wind Europe, Brussels, 2018.
- [35] D. Niculescu și E. Rusu, „Study of the wind regime in the north western part of the Black sea,” *Mechanical Testing and Diagnosis*, nr. 2, pp. 25-34, 2016.
- [36] I. C. O. JUSTICE, „MARITIME DELIMITATION IN THE BLACK SEA (ROMANIA v. UKRAINE),” I.C.J., 2009.
- [37] Department Of The Army, SHORE PROTECTION MANUAL, Washington DC.: U.S. Government Printing Office, 1984.
- [38] R. Mateescu, E. Vlasceanu și L. Rusu, „Analysis-based results on the delineation of prearrangement areas for marine renewable energy installations in the Western Black Sea Basin,” *E3S Web Conferences, International Conference on Advances on Clean Energy Research (ICACER)*, vol. 51, p. 4, 2018.
- [39] E. Rusu, „Analysis of the effect of a marine energy farm to protect a biosphere reserve,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 62, p. 5, 2016.
- [40] M. Nenciu, V. NIȚĂ, T. Zaharia și M. Golumbeanu, „Awareness campaigns as tools for MPA management, Case study: Vama Veche – 2 Mai marine reserve,” în *B.EN.A Conference Proceedings - Sustainable Landscape Planning and Safe Environment*, Istanbul, 2012.
- [41] G. V. UNGUREANU, A. V. LAZĂR, R. LAZĂR, A. D. BALAHURA, A. D. IONESCU, D. MICU și V. NIȚĂ, „Habitat mapping of Romanian Natura 2000 sites. A case study – Underwater Sulfurous Seeps, Mangalia,” *Italian Journal of Geosciences*, vol. 134, nr. f. 1, pp. 69-73, 2015.
- [42] V. NIȚĂ, T. Zaharia, M. Nenciu, M. Cristea și G. Țiganov, „Current state overview of the Vama Veche – 2 Mai Marine Reserve, Black Sea, Romania,” *AACL Bioflux*, vol. 5, nr. 1, 2012.

## Lista lucrărilor

### 1. Publicații în reviste ISI

1. **Dragos M. Niculescu** and Eugen V.C. Rusu. (2018). *Evaluation of the new coastal protection scheme at Mamaia Bay in the nearshore of the Black Sea*. Ocean Systems Engineering Volume 8, Number 1, March 2018, pages 1-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.12989/ose.2018.8.1.001>.
2. **Niculescu, D.**, Vlasceanu, E., Petrila, M., Mateescu, R., Omer, I., Dimache, A. Iancu, I. (2017). *Unmanned aerial 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>
3. 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>.
4. 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/home>
5. 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/home>.
6. E. Vlasceanu, **D. Niculescu**, S. Petrisoiaia, 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/home>.

### 2. Publicații în volume unor conferințe indexate WOS

7. **Dragos M. Niculescu** and Eugen V. C. Rusu. (2018), *An Overview of the Wind Power Potential in the Romanian Coastal Environment - moving from Onshore to Offshore*. MATEC Web of Conferences
8. **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>.
9. **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>.

10. 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>.
11. 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>.
12. 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>.
13. 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/?reload=true>.

### 3. Publicații in jurnale indexate BDI

14. Răzvan MATEESCU, Elena VLĂȘCEANU, **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>
15. **Dragos Niculescu**, Eugen Rusu. (2016). *Study of the wind regime in the north western part of the Black Sea*. Mechanical Testing and Diagnosis, ISSN 2247 – 9635, (VI), Volume 2, pp. 25-34. [http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2016-2/3%20MTD\\_2016\\_Volume%202\\_Niculescu.pdf](http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2016-2/3%20MTD_2016_Volume%202_Niculescu.pdf).
16. **Dragoş Niculescu**, Silică Petrisoia, Răzvan Mateescu, Elena Vlăsceanu. (2015). *Supravegherea de la distanță a zonelor de risc geomorfologic, aferente țărmului românesc cu faleze*. Buletinul AGIR nr. 4, pp.28-31.  
<http://www.agir.ro/buletine/2428.pdf>.
17. 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>.

18. 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>
19. T.M. Cristescu, G. Ganea, A. Niculescu, L. Buga, M. Nedelcu, D. Diaconeasa, R. Mateescu, **D. Niculescu**. (2016) *Wind data analysis for NIMRD's oceanographic measurement point "Estacada Mamaia"*. Cercetari Marine, Issue no. 46, pp 19-30. <http://www.rmri.ro/Home/Downloads/Publications.RecherchesMarines/2016/paper02.pdf>.
20. 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>.
21. Răzvan Mateescu, Laura Alexandrov, Elena Vlăsceanu, **Dragoș Niculescu**. (2015). *Atractivitatea și specificul peisajului natural aferent zonei costiere românești: sectorul mamaia, natura vs. intervenția umană*. Buletinul AGIR nr. 1, pp. 91-95. <http://www.agir.ro/buletine/2187.pdf>.
22. 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 intensă*. Buletinul AGIR nr. 4, pp. 12-16. <http://www.agir.ro/buletine/2153.pdf>.
23. R. Mateescu, D. Niculescu, E. Vlasceanu, Conf. Univ. Dr. Ing. Ichinur Oer. (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>
24. Razvan Mateescu, Angela Ivan, Ichinur Omer, Dorin Butunoiu, **Dragos Niculescu**. (2013). *Aspects of the coastal hydro-geomorphological processes at the danube river mouths*. ANNALS OF "Dunarea de Jos" University of Galati mathematics, physics, theoretical mechanics, fascicle II, year V(XXXVI) 2013, No. 2, pp. 316-322. [https://www.researchgate.net/publication/296641898\\_ASPECTS\\_OF\\_THE\\_COASTAL\\_HYDRO-GEOMORPHOLOGICAL\\_PROCESSES\\_AT\\_THE\\_DANUBE\\_RIVER\\_MOUTHS](https://www.researchgate.net/publication/296641898_ASPECTS_OF_THE_COASTAL_HYDRO-GEOMORPHOLOGICAL_PROCESSES_AT_THE_DANUBE_RIVER_MOUTHS)

#### 4. Comunicări în cadrul unor conferințe naționale și internaționale

25. Elena Vlăsceanu, **Dragoș Niculescu**, Silică Petrișoia, Răzvan Mateescu. (2015). *Aplicații ale metodei folosite în determinarea variabilității temporale și spațiale a proceselor costiere la litoralul românesc*. Buletinul AGIR <https://agir-constanta.ro/wp-content/uploads/2015/11/program.pdf>.
26. Mateescu Razvan, Alina Spinu, **Dragos Niculescu**, Danut Diaconeasa. (2013). *The Coastal Variability of Geomorphological Processes at the Romanian Coast in the Last Five Decades (1962-2012)*. Book of Abstract, The 4<sup>th</sup> Bi-annual Black Sea Scientific Conference, 28-31 October 2013, Constanta, ISBN 978-606-8066-46-2, pag. 15.

[http://www.rmri.ro/Home/Downloads/AboutUs/Announcements/2013\\_RaportActivitateAnexa7.pdf](http://www.rmri.ro/Home/Downloads/AboutUs/Announcements/2013_RaportActivitateAnexa7.pdf).

- 27.** R. Mateescu, V. Malciu, **D. Niculescu**, A. Spinu, E. Vlasceanu, S. Petrisoiaia, D. Diaconeasa, G. Munteanu. (2014). *Cercetari recente asupra variabilitatii liniei de tarm in sectorul Deltei Dunarii*. Ziua Hidrografiei  
[http://www.cosmomar.ro/extraFiles/dhm\\_2014.pdf](http://www.cosmomar.ro/extraFiles/dhm_2014.pdf)
- 28.** F. Bastardie., J. Rasmus Nielsen, I. Maina, S. Kavadas, V. Vassilopoulou, L. M. Alexandrov, **D. M. Niculescu**, A. Spinu, A. Nicolaev, M. Rosca, H. Höffle, K. D. Farnsworth, D. Predeschi, D. G. Reid, L. Bolognini, M. Martinelli, F. Grati, F. Fuga. (2018). *Modelling spatial interactions among fish communities, fishers and other marine activities: comparing five European case-studies*. IIFET 2018, Seattle, US.

## **5. Cărți (capitole teoretice redactate) publicate pe plan local sau pe Web**

- 29.** Alina Daiana Spinu, Razvan Doru Mateescu, Mihaela Laurenta Alexandrov, Victor Nita; Contributii: Luminita Lazar, Valentina Coatu, Andra oros, Oana Marin, Emanuela Mihalov, Tania Zaharia, Danut Diaconeasa, Mariana Golumbeanu, Laura Boicenco, Eugen Anton, Gheorghe Radu, **Dragos Niculescu**, Elena Vlasceanu (2018). *CASE STUDY 1 EFORIE - COASTAL EROSION*, in press, ISBN 978-606-565-131-9.