

**UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE**

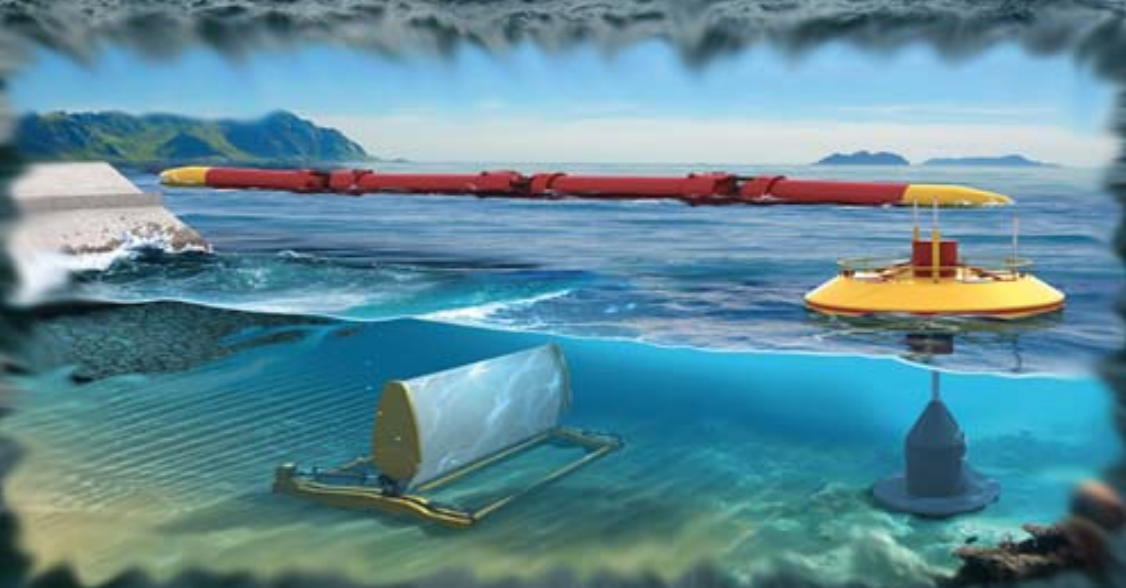
Ing. George - Sorin DIACONU

TEZĂ DE DOCTORAT

**STUDII PRIVIND INFLUENȚA FERMELOR
ENERGETICE MARINE ȘI A STRUCTURILOR
OFFSHORE ASUPRA HIDRODINAMICII COSTIERE**

REZUMAT

**Coordonator științific:
Prof. dr. ing. Eugen Victor Cristian RUSU**



2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



OPOSDRU



UNIVERSITATEA
„DUNĂREA DE JOS”
DIN GALAȚI

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013
Proiect SOP HRD – EFICIENT 61445/2009 - *Eficientizarea activității studenților din cadrul
ciclului de studii doctorale*

UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE

TEZĂ DE DOCTORAT

*Studii privind influența fermelor energetice marine și a structurilor
offshore asupra hidrodinamicii costiere*

*Studies Regarding the Influence of Marine Energy Farms and Offshore
Structures on Coastal Hydrodynamics*

REZUMAT

Conducător de doctorat:

Prof. Dr. Ing. Eugen Victor Cristian RUSU

Doctorand:

Ing. George - Sorin DIACONU

Galați 2013

2013

MULȚUMIRI

În primul rând doresc să-i adresez domnului profesor Eugen Rusu sincerele mele mulțumiri pentru încrederea și sprijinul acordat.

De asemenea vreau să le mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare și evaluare a acestei teze de doctorat pentru timpul și efortul depus.

Îmi exprim recunoștința față de domnul profesor Arthur Veldman din cadrul Universității Groningen din Olanda care m-a sprijinit pe toată durata stagiului de mobilitate externă asigurându-mi condiții de studiu optime pentru o bună desfășurare a activităților de cercetare.

Mulțumesc familiei, tuturor colegilor și prietenilor pentru înțelegerea și sprijinul acordat.

Nu în ultimul rând doresc să menționez suportul financiar asigurat prin intermediul proiectului proiectului POSDRU cod 88/1.5/S/61445 - Eficientizarea activității studenților din cadrul ciclului de studii doctorale-EFICIENT.

Galați, 2013

George - Sorin DIACONU

CUPRINS

	Pag. rezumat	Pag. teză
Mulțumiri		
Cuprins	3	5
Obiectivele tezei și importanța tematicii abordate	5	7
Structura și caracterul multidisciplinar a tezei	7	9
Capitolul 1. Dinamica zonelor costiere românești și evoluția industriei offshore	9	11
1.1 Eroziunea țărmului românesc (stadiul actual)	9	11
Dinamica proceselor de abraziune marină din zona litoralului românesc	10	12
1.2 Descrierea și clasificarea sistemelor offshore	12	16
Tipuri de structuri offshore	13	17
Capitolul 2. Potențialul energetic al resurselor naturale din mediul marin	15	22
Clasificarea și prezentarea principalelor sisteme WEC dezvoltate la ora actuală	17	24
Capitolul 3. Modelarea numerică a interacțiunii valurilor cu structuri care operează în mediul marin	18	36
3.1 Descrierea sistemului de modelare utilizat pentru valuri și curenți (ISSM)	18	36
3.2 Modele numerice folosite pentru analiza interacțiunilor dintre valuri și structurile offshore	21	43
Modelul ComFlow	21	44
Capitolul 4. Analiza și validarea numerică a unor rezultate experimentale efectuate asupra unei structuri semi-submersibile	24	51
4.1 Prezentarea testelor experimentale	24	51

4.2 Rezultate ale testelor experimentale	27	55
4.3 Compararea datelor experimentale cu simulările efectuate în programul ComFlow	29	63
Capitolul 5. Studii privind influența fermelor energetice marine asupra dinamicii costiere	37	75
5.1 Implementarea sistemului de modelare în zona țintă	37	75
5.2 Studii privind sisteme WEC ce operează în mediul marin	41	79
5.2.1 Sistemul Pelamis	41	79
5.2.2 Sistemul Wave Dragon	51	104
5.2.3 Evaluarea impactului fermelor Wave Dragon și Pelamis asupra circulației costiere	58	120
Capitolul 6. Cercetări experimentale privind circulația costieră din apropierea țărmului românesc	66	142
6.1 Colectarea datelor	66	142
6.2 Analiza rezultatelor experimentale	69	147
Capitolul 7. Evaluarea energiei valurilor din zona litoralului românesc	76	156
Conversia energiei valurilor în energie electrică	77	158
Capitolul 8. Considerații finale	82	164
8.1 Discuții privind rezultatele obținute	82	164
8.2 Contribuții personale	85	167
8.3 Direcții de cercetare viitoare	87	169
Bibliografie selectivă	90	172
Listă de publicații	98	188

OBIECTIVELE TEZEI ȘI IMPORTANȚA TEMATICII ABORDATE

Teza intitulată **Studii privind influența fermelor energetice marine și a structurilor offshore asupra hidrodinamicii costiere** prezintă un grad ridicat de originalitate fiind prima lucrare de acest gen care aduce în discuție posibilitatea reducerii eroziunii litoralului românesc prin intermediul unor sisteme de extracție a energiei valurilor (WEC).

Prezenta lucrare este structurată pe trei direcții principale:

- a) validarea numerică a unor teste experimentale hidrodinamice efectuate asupra unei platforme offshore semi-submersibile (model la scară);
- b) evaluarea influențelor unor ferme energetice marine, asupra caracteristicilor de val și circulației costiere într-o zonă țintă considerată ca fiind reprezentativă pentru zona de coastă Românească;
- c) identificarea performanțelor energetice a unor sisteme WEC aflate în faza de comercializare, considerând o matrice de mediu care caracterizează climatul valurilor din zona platformei Gloria (măsurători in situ).

În urma consultării literaturii de specialitate și a cercetărilor din domeniu s-au stabilit următoarele obiective:

- o prezentare succintă a studiilor anterioare privind: eroziunea țărmului românesc, dezvoltarea platformelor de foraj marin precum și a unor aspecte legate de evoluția sistemelor de extracție a energiei valurilor;
- prezentarea noțiunilor teoretice relevante care stau la baza modelului SWAN (Simulating Waves Nearshore), a sistemului de modelare ISSM, precum și a programul de calcul ComFlow;

- validarea numerică a testelor experimentale specifice unei platforme semi-submersibile folosind programul de calcul ComFlow;
- analiza influenței unei ferme de val de tip Pelamis asupra climatului valurilor și a dinamicii curenților marini, pentru o zonă țintă din cadrul litoralului românesc;
- analiza influenței unei ferme de val de tip Wave Dragon asupra climatului valurilor și a dinamicii curenților marini, pentru o zonă țintă din cadrul litoralului românesc;
- analiza influenței unei ferme hibride val-vânt (NEMOS) asupra climatului valurilor și a dinamicii curenților marini, pentru o zonă țintă din cadrul litoralului românesc;
- analiza statistică a condițiilor de val considerând măsurători de satelit (AVISO);
- realizarea unor măsurători in situ privind curenții marini în zona țintă;
- evaluarea performanțelor energetice ale unor sisteme WEC pe baza măsurătorilor de val in situ realizate la platforma Gloria;
- diseminarea rezultatelor obținute în articole științifice și conferințe internaționale.

STRUCTURA ȘI CARACTERUL MULTIDISCIPLINAR A TEZEI

Teza este structurată în opt capitole, rezultatele prezentate în acestea având un caracter multidiscplinar fiind atât de natură teoretică cât și practică. Studiile efectuate de autor se axează pe domenii de cercetare ce au legătură cu ingineria offshore, ingineria costieră precum și cu sectorul surselor de energie regenerabile din mediul marin.

Capitolul 1 (stadiul actual) prezintă problemele actuale cu care se confruntă litoralul românesc datorită proceselor de eroziune costieră. În această secțiune se face o trecere în revistă a zonelor grav afectate precum și a soluțiilor constructive implementate la ora actuală și a unor proiecte de viitor care pot contribui la reducerea acestor fenomene naturale negative. De asemenea tot în acest capitol se face o prezentare succintă a principalelor tipuri de platforme offshore folosite pentru extragerea rezervelor de hidrocarburi, o atenție deosebită fiind acordată sistemelor semi-submersibile care vor fi studiate în detaliu în capitolele următoare.

Capitolul 2 (stadiul actual) se axează pe identificarea celor mai propice zone pentru utilizarea energiei valurilor precum și pe stabilirea unor criterii generale de clasificare a sistemelor de extracție a energie valurilor (WEC). După această prezentare generală se are în vedere o analiză mai detaliată a principalelor sisteme WEC dezvoltate la ora actuală, ale căror caracteristici tehnice vor fi folosite pentru a identifica energia electrică produsă de acestea pentru condiții de val specifice zonelor offshore românești.

Capitolul 3 (aspecte teoretice) în această secțiune se are în vedere prezentare noțiunilor teoretice care stau la baza programelor de calcul folosite în această teză pentru elaborarea unor studii de caz sau pentru validarea unor rezultate experimentale. În primă fază se descrie principiul de calcul al modelului SWAN folosit pentru simularea numerică a propagării valurilor în spațiul geografic, precum și al sistemului de modelare ISSM folosit pentru evaluarea circulației costiere. Cea de-a doua parte a capitolului descrie elemente teoretice fundamentale care stau la baza interacțiunilor dintre valuri și structurile aflate în mediul

offshore, o atenție deosebită fiind acordată identificării principiilor de calcul care definesc funcționarea programului ComFlow.

Capitolul 4 (rezultate experimentale) descrie în prima parte setările și testele experimentale la care este supusă o platformă semi-submersibilă în bazinul de valuri. Rezultatele fizice obținute pentru acest model la scară sunt comparate mai apoi cu simulările numerice realizate în programul de calcul ComFlow, în urma cărora s-a observat o bună acuratețe a rezultatelor obținute.

Capitolul 5 (simulări numerice) analizează diverse studii de caz care se referă la influența unor ferme WEC asupra condițiilor de val și a circulației costiere dintr-o zonă țintă având ca punct de referință brațul Sfântul Gheorghe. În primă fază se face o astfel de analiză considerând caracteristicile a două sisteme WEC aflate în fază de comercializare (Pelamis și Wave Dragon), urmând ca în partea finală o analiză similară să se realizeze pentru un sistem hibrid val-vânt (NEMOS) aflat deocamdată în fază de cercetare.

Capitolul 6 (măsurători in situ) descrie modul de lucru, aparatura folosită și rezultatele obținute de autor în urma unui stagiu de cercetare desfășurat în apropiere de brațul Sfântul Gheorghe și brațul Sulina, care a avut drept scop măsurarea curenților marini. În urma procesării datelor obținute s-a observat o bună corelare cu rezultatele numerice obținute cu ajutorul modelului SWAN.

Capitolul 7 (studii de caz) are în vedere identificare performanțelor energetice a unor sisteme WEC aflate în faza de comercializare, cum ar fi: Wave Dragon, Pelamis, Aqua Buoy, Archimedes Wave Swing sau Wavebob. Acest lucru s-a realizat considerând matricea de putere furnizate de producătorii acestor sisteme WEC și matricea de mediu (perioadă și înălțime de val) furnizate de măsurătorile in situ (platforma Gloria) pentru perioada totală și sezonul de iarnă (Octombrie-Martie).

Capitolul 8 (concluzii și contribuții personale) subliniază obiectivele și rezultatele obținute în această teză, identificând în mod concis contribuțiile personale ale autorului precum și modul de diseminare a cercetărilor efectuate. Tot în această secțiune sunt recomandate câteva direcții de cercetare viitoare care pot contribui la o mai bună protecție a zonelor costiere românești.

CAPITOLUL 1

DINAMICA ZONELOR COSTIERE ROMÂNEȘTI ȘI EVOLUȚIA INDUSTRIEI OFFSHORE

1.1 Eroziunea țărmului românesc (stadiul actual)

Fenomenele de eroziune costieră reprezintă o problemă majoră pentru mediul înconjurător din zona litorală a României, manifestându-se în mare parte prin: a) retragerea liniei țărmului din zonele structurilor hidrotehnice portuare și b) scoaterea din circulația costieră a unor cantități importante de sedimente datorită acțiunii furtunilor (în special în perioada de iarnă).

Ca și definiție zonele costiere sunt considerate a fi subunități ale marginilor continentale (200 - 300m) și muchii ale platformei continentale (-150m), fiind reprezentate de zone aflate la contactul dintre sistemul marin și cel terestru. Aceste zone sunt caracterizate de procese dinamice active între forțele de eroziune specifice mediului marin (valuri, curenți marini, vânt) și capacitatea formațiunilor geologice de a rezista acestor factori.

Litoralul românesc al Mării Negre (Figura 1.1) este situat între brațul Musura (în nord - granița cu Ucraina) și localitatea Vama Veche (în sud - granița cu Bulgaria), acoperind o lungime de circa 245km care reprezintă aproximativ 6% din totalul țărmurilor acestui bazin. În fața acestuia se află o platformă continentală pe o suprafață de 30000km², care prezintă adâncimii mai mari ale apei în partea de est și având în general o înclinație medie a pantei de circa 1.8°. În nord platforma se extinde cu circa 200km față de uscat, în timp ce partea de sud este mai îngustă ajungând la o lățime de circa 100km [1]. Acesta este formată în mare parte din plaje (80%) precum și din faleze mai înalte (20%), cuprinzând atât forme de relief naturale (84%) cât și construcții hidrotehnice (porturi, diguri – 16%) [2].



Figura 1.1 Litoralul românesc al Mării Negre

Două unități distincte definesc țărmul românesc [3, 4]:

- sector nord (164km), între brațul Chilia și Capul Midia. Cea mai importantă unitate de relief din această zonă este Delta Dunării care se desfășoară pe o lungime de 40km între Chilia și Sfântul Gheorghe, acest sector fiind format din plaje joase nisipoase.
- sector sud (80km), între Capul Midia și Vama Veche. În această parte se întâlnesc zone de coastă calcaroase de diverse înălțimi (între 3 și 25m) de-a lungul cărora se observă prezența unor sectoare scurte de plajă precum și existența unor cordoane litorale care delimitează lacurile Mamaia, Techirghiol sau Neptun.

Dinamica proceselor de abraziune marină din zona litoralului românesc

Procesele costiere sunt influențate de valurile care își disipează energia de-a lungul liniei țărmului precum și de natura rocilor asupra cărora acesta acționează. Curenții marini reprezintă de asemenea agenți de transport ai sedimentelor din zonele litorale, fiind generați și controlați de acțiunea vântului sau de condițiile care apar la gurile de vărsare a unor râuri. Curenții marini și valurile pot acționa în diverse moduri asupra zonelor litorale (izbire, aspirare, bombardare) rezultând în final eroziunea acelor zone, procesul fizico-mecanic fiind cunoscut în literatura de specialitate ca și abraziune marină. De asemenea studiile anterioare au pus în evidență faptul că zonele de faleză care prezintă acumulări de

material reduse și de granulație mică sunt cele mai expuse acțiunii agresive ale valurilor [5]. Mai multe detalii privind fenomenele costiere induse de curenți și valuri pot fi obținute din: Rusu și Ivan, 2011 [6], Rusu și Guedes Soares, 2011[7] sau Rusu și Zanopol, 2009 [8].

Pe lângă acțiunea agenților marini, eroziunea litoralului românesc s-a accentuat odată cu construirea unor baraje de acumulare (ex: Porțile de Fier I și II) pe Dunăre, acest lucru contribuind la reducerea aportului de sedimente către Marea Neagră. Intre anii 1921-1960, când nu existau astfel de baraje pe Dunăre debitul mediu de aluviuni în suspensie era raportat la circa 67.6 mil.tone/an, în timp ce pentru anii 1980-1990 acesta a scăzut la circa 29.2mil.tone/an. În perioada 1971-2005 în lacul de acumulare al complexului energetic Porțile de Fier 1 s-a depus un volum de aluviuni de circa 133.15mil.tone, acestea fiind mai însemnate în perioada 1971-1985 [9].

Reducerea aportului de sedimente din Dunăre datorită cauzelor antropice a afectat cel mai mult partea centrală a sectorului nordic cuprinsă între Sulina și Sfântul Gheorghe, una din soluții pentru refacerea echilibrului natural constând în realizarea unei conexiuni litorale cu canalul Sulina care preia o mare parte din debitul Dunării (18-20%). De asemenea prin dezvoltarea zonelor portuare Constanța, Mangalia și Midia s-au introdus modificări majore asupra transportului de sedimente datorat circulației costiere [2, 10]. De asemenea o problemă specifică gurilor de vărsare ale Dunării o constituie interacțiunea dintre valuri și curenții, această problemă fiind dezbătută mai pe larg în: Ivan et al, 2012 [11], Rusu, 2011 [12] sau Rusu, 2010 [13]. La nivel global probleme similare au fost prezentate în Rusu et al, 2011 [14] sau Rusu și Guedes Soares, 2008 [15].

Conform unor studii realizate de Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare Marină "Grigore Antipa", partea nordică a zonei litoralului românesc în care se află Rezervația Biosferei Delta Dunării este cea mai afectată, înregistrându-se în ultimii 35 ani o dispariție a unor suprafețe de plajă ce însumează ≈2400ha [16].

Regiunile de nord și sud ale litoralului sunt caracterizate de diferențe semnificative privind stabilitatea plajelor după cum se poate observa și din Tabelul 1.1 [17].

Tabel 1.1 Evoluția proceselor de eroziune raportate pentru litoralul românesc [17]

	Ani de referință	Eroziune	Stabilitate dinamică	Depuneri sedimentare
Sector nord	1962-2003	78%	6%	22%
Sector sud	1981-2003	42%	18%	40%

În ceea ce privește zonele de interes turistic conform studiilor elaborate de Agenția Japoneză de Cooperare Internațională (JICA) stațiunea Mamaia este una din cele mai afectate plaje de eroziune. Aceste studii indică de asemenea și faptul că în condițiile actuale în care acest sector pierde în jur de 2m de plajă (în fiecare an), această plajă va dispărea complet în anul 2033, ceea ce va duce implicit și la un colaps al industriei hoteliere din zonă. În aceeași situație se mai află și alte plajele, cum ar fi: Eforie Nord, Eforie Sud, Tomis și Saturn [18]. Alte probleme de natură costieră cu care se confruntă litoralul românesc rezultă din modificarea circulației maselor de apă datorită prezenței digurilor portuare care duc la pierderea din circuitul natural al sedimentelor prin transportul acestora în zona de larg precum și prăbușirea falezelor sub acțiunea directă a valurilor [19].

Acțiunea de abraziune marină a valurilor depinde în mare parte de orientarea țărmului precum și de direcția din care se propagă valurile. Astfel dacă analizăm sectorul cuprins între brațele Sulina și Sfântul Gheorghe se observă că în perioada de iarnă datorită vânturilor puternice din sectorul nord-est, sunt generate valuri înalte care au o incidență transversală asupra liniei țărmului.

La ora actuală probabil că cel mai important proiect privind protecția zonelor costiere împotriva eroziunii este POS-Mediu 2007-2013: *Implementarea infrastructurii adecvate de prevenire a riscurilor naturale în zonele cele mai expuse la risc* [8] care însumează un buget de circa 134 milioane euro [20].

1.2 Descrierea și clasificarea sistemelor offshore

La nivel global industria petrolieră reprezintă cel mai important furnizor de energie, progresele și regresele înregistrate în acest domeniu influențându-ne în mod direct viața de zi cu zi, cel mai elocvent exemplu fiind criza petrolului din 1973 [21]. Din punct de vedere ingineresc, cercetările efectuate în acest domeniu au contribuit la o evoluție continuă a sistemelor tehnologice pentru a extrage cantității cât mai mari de petrol sau gaz, unul din cele mai importante progrese fiind tranziția acestui sector energetic din zonele de uscat către zone offshore.

Cele mai importante câmpuri petroliere offshore exploatate la ora actuală se găsesc în Golful Mexicului, Marea Nordului, Marea Caspică (în apropiere de Azerbaijan), bazinul Santa Barbara (California), bazinele Santos și Campos (Brazilia) precum și în zone din Asia de sud-est sau în apropierea regiunii Sakhalin (Rusia). De asemenea importante

rezerve de hidrocarburi se mai găsesc și în Golful Persic fiind exploatare și comercializate de Arabia Saudită [22].

Dintre zonelor marine explorate la ora actuală, zonele cu apă adâncă prezintă cel mai mare potențial, producția de hidrocarburi înregistrând o creștere semnificativă de la 1.5 milioane de barili (în anul 2000) la 5 milioane de barili (în 2009). Aceste zone pot reprezenta viitorul acestei industrii existând deja studii (raportat la anul 2008) care indică faptul că la nivel global rezervele energetice din aceste zone depășesc cu mult pe cele descoperite în apropierea zonelor costiere și în zonele de uscat [23].

Structurile offshore din industria petrolieră sunt platforme de dimensiuni mari care au rolul de a susține echipamentele și instalațiile auxiliare necesare extragerii și prelucrării rezervelor de hidrocarburi din zonele marine. În funcție de adâncimea de foraj și de caracteristicile solului se analizează în detaliu viabilitatea folosirii unor sisteme fixate de fundul mării sau a unor structuri plutitoare. Indiferent de soluțiile constructive alese, aceste platforme trebuie să asigure condiții de lucru stabile care să nu fie influențate de fenomenele naturale specifice zonelor marine [24, 25].

În proiectarea sistemelor offshore, un element important îl reprezintă definirea unor standarde de siguranță în funcție de caracteristicile de mediu (val, vânt, curenți, etc) ce pot fi întâlniți în timpul transportului, instalării și funcționării platformei, precum și determinarea unor solicitări extreme care pot duce la avarierea acestor sisteme. Structurile trebuie să fie suficient de rezistente pentru a putea opera în mediul marin pe o perioadă de minim 30 de ani fără a fi nevoie de reparații majore, precum și pentru a putea supravețui unor condiții extreme care se pot manifesta o dată la 100 de ani [26].

Tipuri de structuri offshore

Explorare zonelor cu apă din ce în ce mai adâncă, a dus la dezvoltarea unor noi forme de structuri offshore (fixe sau plutitoare) pentru extragerea, prelucrarea și depozitarea rezervelor de hidrocarburi, cum ar fi cele prezentate în Figura 1.3:

- Platforme fixe:
 - platforme gravitaționale;
 - platforme de tip jacket;
 - platforme din zăbrele.
- Platforme mobile:

- platforme cu picioare tensionate;
- platforme semi-submersibile;
- platforme FPSO (Floating Production Storage and Offloading);
- platforme SPAR.

La rândul lor aceste sisteme mai pot fi clasificate și în funcție de adâncimea apei la care operează [27]: 0-400m (apă puțin adâncă); 400-1500m (apă adâncă); > 1500m (apă foarte adâncă).

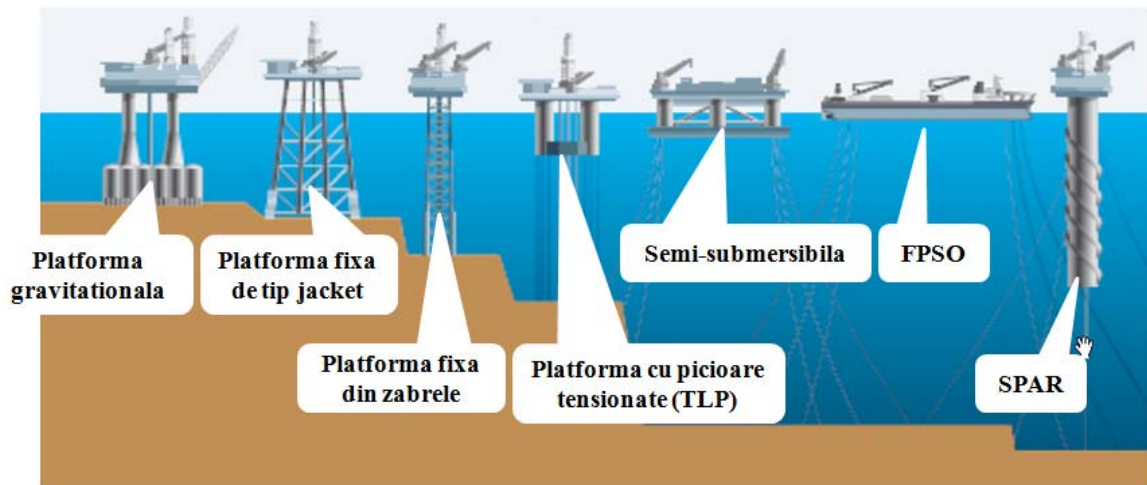


Figura 1.3 Platforme de foraj marin [24]

CAPITOLUL 2

POTENȚIALUL ENERGETIC AL RESURSELOR NATURALE DIN MEDIUL MARIN

Energia regenerabilă se referă la acele surse care au capacitatea de a se regenera în mod continuu folosind resurse naturale cum ar fi cele furnizate de soare, vânt, mare sau energia geotermală. În prezent se estimează că aproximativ 16% din consumul de energie la nivel global este asigurat din surse regenerabile, în special din surse de biomasă și hidroelectricitate (3.4%) [28].

Cele mai multe surse regenerabile folosite la ora actuală se află în zone de uscat, dar considerând faptul că mările și oceanele lumii ocupă în jur de 71% din suprafața Pământului, este de așteptat ca în viitorul apropiat să apară astfel de proiecte și în mediul marin, cel puțin în apropierea zonelor costiere. Pe lângă rezervele de hidrocarburi care sunt intens exploatare în zonele offshore, Oceanul Planetar oferă o gamă largă de resurse energetice cum ar fi: valuri, marea, curenți marini sau diferențe de salinitate și temperatură.

Majoritatea sistemelor tehnologice folosite pentru a extrage aceste resurse marine se află încă la stadiul de cercetare și dezvoltare, această stagnare fiind influențată de eficiența energetică scăzută pe care o au în raport cu prețul de producție precum și de faptul că au nevoie de mecanisme de protecție eficiente împotriva condițiilor extreme care se manifestă frecvent în mediul marin. În mod deloc surprinzător cea mai atractivă sursă de energie din mediul marin este cea a vântului, industria eoliană offshore înregistrând o creștere a capacității de producție care se datorează condițiilor de vânt mai energetice celor raportate în zonele de uscat. Un element cheie care a contribuit la dezvoltarea fermelor eoliene offshore a constat în îmbinarea cu succes a soluțiilor constructive adoptate de industrii energetice mai mature cum ar fi industria eoliană din zonele de uscat și industria offshore de prelucrare a petrolului.

Majoritatea fermelor eoliene offshore sunt dezvoltate în Europa, această industrie evoluând rapid de la 25 de proiecte (în 2007) care însumau capacități de circa 1.1GW până la un număr de 49 de ferme offshore (în 2011) ce asigurau o capacitate de 3.3GW, înregistrându-se un trend ascendent de a dezvolta proiecte din ce în ce mai mari în zone cu apă adâncă [29, 30].

Dintre resursele energetice specifice mediului marin o atenție deosebită ar trebui acordată valurilor mării datorită faptului că acestea furnizează cantități semnificative de energie care pot fi extrase în mod eficient prin intermediul sisteme WEC. Cele mai des întâlnite valuri sunt cele de vânt, ce sunt generate de interacțiunea maselor de aer cu particulele de apă, acestea fiind puse în mișcare de energia cedată de vânt la interfața aer-apă. Mai multe detalii privind mecanismele care stau la baza producerii, propagării și disipării valurilor pot fi găsite în Dean și Dalrymple [31], Holthuijsen [32] sau Rusu 2011 [33].

La nivel global (Figura 2.1a) regiunile aflate în partea de vest a continentelor prezintă condiții de val mai energetice aici putând fi menționate: partea de vest a Europei, America de Sud, Australia sau Noua Zeelandă. Raportat la nivel european (Figura 2.1b) zonele costiere din apropierea Marii Britanii, Scoției, Irlandei, Portugaliei sau Norvegiei sunt caracterizate valori energetice ale valurilor care depășesc frecvent 40kW/m (lungime de front de val).

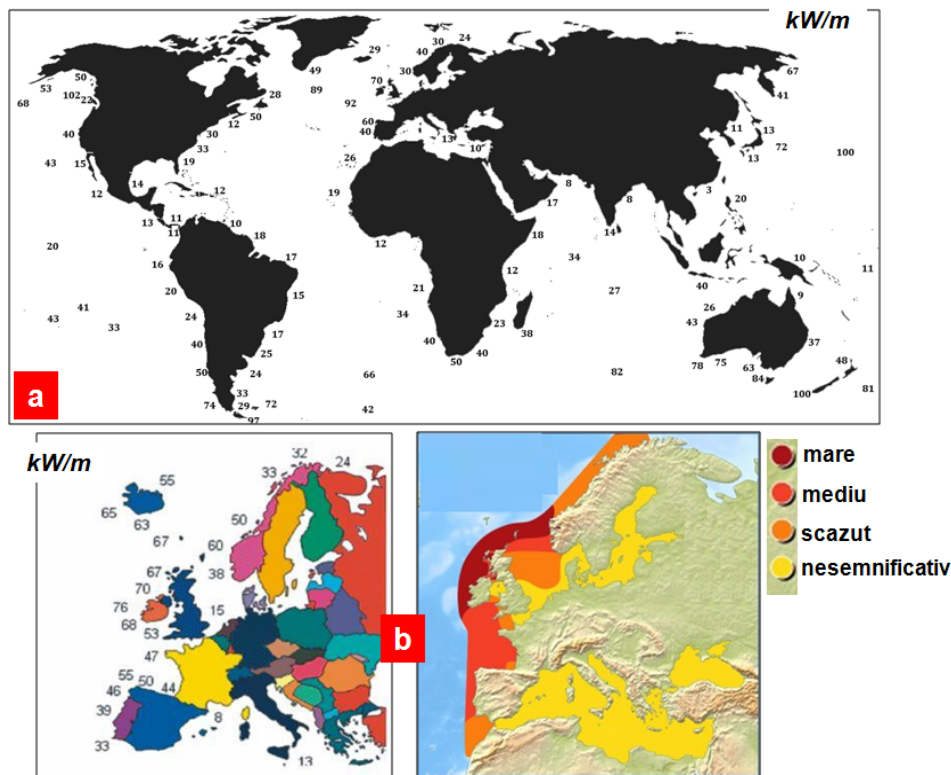


Figura 2.1 Distribuția energiei valurilor (kW/m): a) la nivel global [34]; b) la nivel european [35, 36]

Clasificarea și prezentarea principalelor sisteme WEC dezvoltate la ora actuală

După se poate observa din Figura 2.1 țările care au parte de un bun potențial al valurilor sunt și cele mai interesate în dezvoltarea unor astfel de proiecte energetice. Există mai multe moduri de a clasifica sistemele WEC [37, 38] (principiu constructiv, fixe, plutitoare, etc) dar cele mai întâlnite criterii sunt cele legate de: amplasare sistemului față de linia țărmului și poziționarea acestora în raport cu direcția valurilor incidente.

Pe măsură ce valurile se apropie de zonele costiere, energia conținută de acestea începe să se disipeze datorită proceselor care se manifestă în zone cu apă puțin adâncă (ex: frecare cu fundul mării), ajungându-se în final la o disipare completă a energie în zona plajelor datorită spargerii valurilor. Astfel, zonele offshore sunt avantajate de prezența unor condiții de val mai energetice, dar totodată există și o incidență mai mare a furtunilor ce pot afecta sistemele WEC.

Raportat la linia țărmului sistemele WEC pot fi poziționate:

- pe țărm;
- în zona de coastă – apă puțin adâncă;
- în zona de larg (offshore) – apă adâncă.

În ceea ce privește modul în care sistemele WEC captează energia mecanică a valurilor se pot menționa trei categorii principale (Figura 2.2):

- terminator - aceste sisteme sunt orientate paralel cu crestele de val, având ca principiu de funcționare captarea sau reflexia valurilor, cele mai des întâlnite fiind cele de tip coloană de apă oscilantă (OWC) sau inundate (ex: Wave Dragon);
- atenuator – este un sistem plutitor, poziționat paralel cu direcția de propagare a valurilor, care urmărește panta acestuia. Energia este extrasă gradual din mișcarea relativă a două secțiuni independente odată cu propagarea valurilor;
- punct absorbitor – este o structură plutitoare simetrică care absoarbe energia valurilor din toate direcțiile.

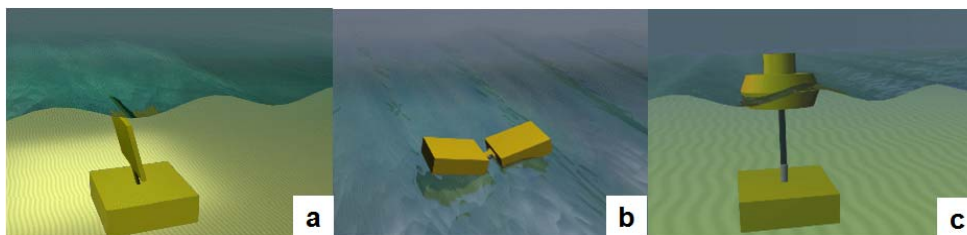


Figura 2.2 Clasificarea sistemelor WEC: a) terminator; b) atenuator; c) punct absorbitor [39]

CAPITOLUL 3

MODELAREA NUMERICĂ A INTERACȚIUNII VALURILOR CU STRUCTURI CARE OPEREAZĂ ÎN MEDIUL MARIN

3.1. Descrierea sistemului de modelare utilizat pentru valuri și curenți (ISSM)

Modelele în fază spectrală medie furnizează în prezent cele mai exacte estimări ale generării și propagării valurilor pe zone întinse de apă.

Modelul SWAN [40] rezolvă ecuația de balanță a energiei spectrale, ce descrie evoluția în timp a spectrului de val pentru spațiul geografic și spectral. Acest model a fost implementat cu succes în diverse regiuni ale lumii după cum se poate observa și din rezultatele prezentate în: Rusu și Butunoiu, 2012 [41], Rusu et al, 2011 [42], Guedes Soares et al, 2011 [43], Rusu et al, 2008 [44] sau Rusu și Guedes Soares, 2006 [45]. Ecuația menționată anterior are următoarea formă:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \left[(\vec{c}_g + \vec{U}) N \right] + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad 3.1$$

unde: N este densitatea spectrală și U este viteza curentului ambiental; C_g , C_σ și C_θ sunt vitezele de propagare în domeniul frecvențelor (σ) și în spațiul geografic (θ), S reprezintă sursa exprimată în densități de energie. Toți acești termeni sunt asociați proceselor specifice zonelor cu apă adâncă, cum ar fi interacțiuni val-val, generarea valurilor de către vânt sau fenomenul de disipare a energiei valurilor prin înspumare (whitecapping). De asemenea, modelul oferă posibilitatea de a include formulări care se referă la procese specifice apelor puțin adânci:

interacțiuni neliniare val-val (de tip triadă), difracție, reflecție, frecare cu fundul mării sau creșterea nivelului apei sub acțiunea valurilor incidente.

Deoarece procesele fizice pot fi ajustate pentru fiecare studiu de caz, acest model are capacitatea de a simula condiții de val atât pentru zone costiere (apă puțin adâncă) cât și pentru zone offshore (apă adâncă). Predicții mai bune ale caracteristicilor de val se pot obține prin calibrarea modelului, pentru diverși parametri și procese fizice care se pot manifesta într-o anumită zonă geografică [46 - 48].

Dintre procesele care au loc în zona de surf, generarea și propagarea curenților de-a lungul țărmului poate fi considerată ca fiind cea mai relevantă, având în vedere că acest fenomen este direct implicat în modelare și configurarea țărmului. Pentru a putea prezice acești curenți, numeroase modele numerice au fost dezvoltate, majoritatea având la bază teoria integrării ecuației de conservare [49]. Sistemul de predicție SHORECIRC [50] este frecvent utilizat pentru curenții din zona țărmului, în timp ce un model mai simplu dar la fel de eficient este Navy Standard Surf Model (NSSM) care folosește o relație parametrică pentru creșterea și disiparea valurilor de-a lungul țărmului asociată cu spargerea valurilor [51].

O evaluare detaliată a valurilor și a curenților din apropierea țărmului a fost realizată de către Conley și Rusu [52], prin combinarea modelelor SWAN și NSSM într-un instrument de calcul versatil numit *Interface for SWAN and Surf Models* (ISSM), care poate fi folosit pentru o gamă variată de aplicații costiere. Fiabilitatea și eficiența sistemului de modelare ISSM a fost demonstrată în urma comparațiilor cu măsuratori in situ și cu modelul de circulație SHORECIRC.

Aceasta este un model 3D ce combină o soluție numerică pentru integrarea ecuațiilor 2D de balanța a momentelor pe orizontală cu o soluție analitică pentru profilele de curent 3D.

Modelul include o relație parametrică pentru creșterea și disiparea de-a lungul țărmului a valurilor datorită spargerii. În acest caz relații adiționale sunt folosite pentru a estima procentul spargerii, numărul liniilor de spargere și tipul structurilor care sparg valurile. Deoarece NSSM este un model unidimensional, câteva simplificări au fost considerate: conturul fundului mării este considerat a fi constituit din linii drepte și paralele; o adâncime uniformă a curentului și un spectru de val îngustat în domeniul frecvențelor și direcțiilor.

La ora actuală cele mai întâlnite softuri comerciale, asociate cu modelarea curenților și a valurilor sunt: Surface Water Modeling System (SMS) din SUA, dezvoltat de Environmental

Modeling Systems, Inc., (<http://www.ems-i.com/>), și DELFT3D din Europa, dezvoltat de Delft Hydraulics, (<http://www.wldelft.nl>). SMS include modele de val costiere STWAVE și CGWAVE în timp ce Delft3D conține un model de a doua generația HISWA și succesul său SWAN. Acestea sunt destinate modelării circulației costiere prin analize 2D și 3D.

În această secțiune se urmărește a se prezenta un pachet de modelare alternativ, denumit “Interface for SWAN and Surf Models” (ISSM), care a fost folosită în această teză pentru realizarea unor simulări ce au avut drept scop evaluarea valurilor și curenților marini din zona costiera românească, acesta fiind deja implementat cu succes și în alte zone țintă [53-55].

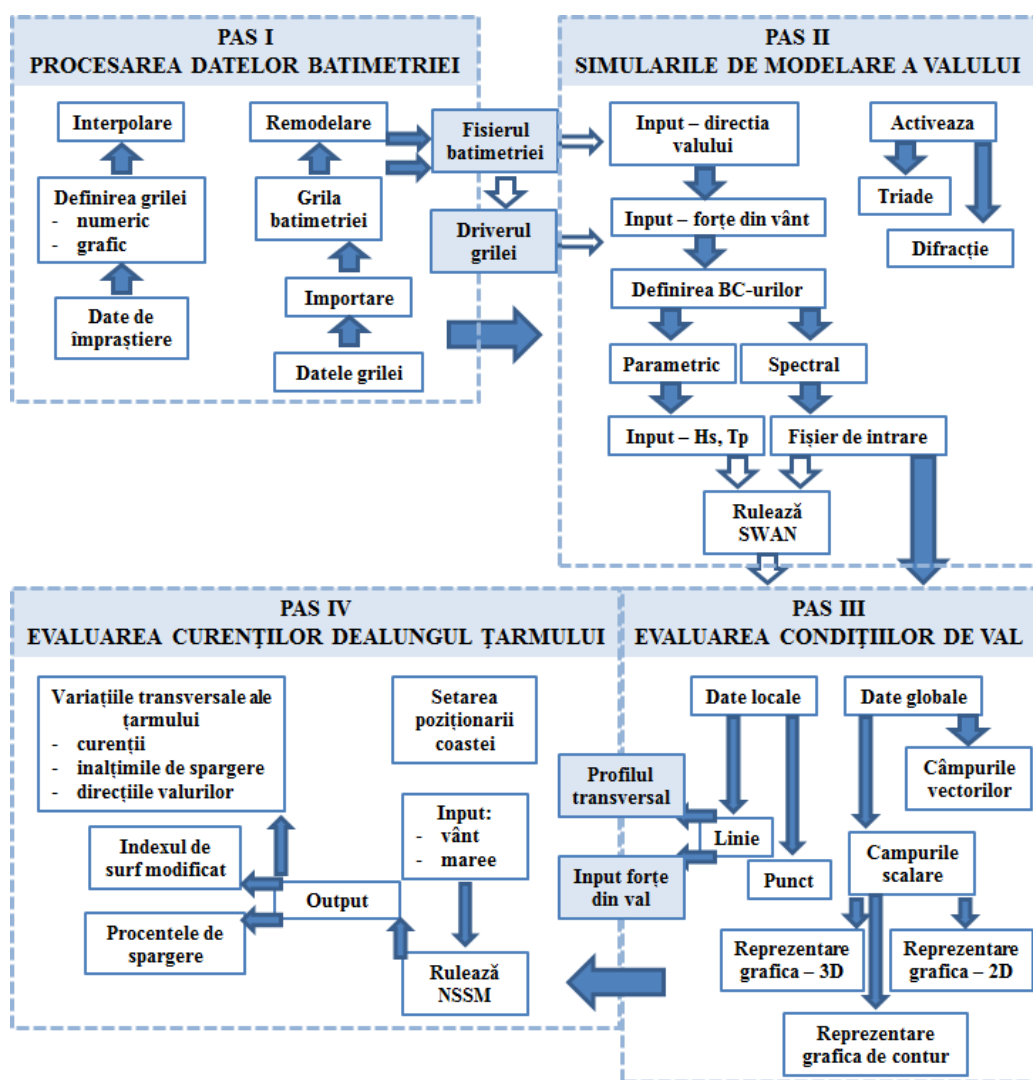


Figura 3.1 Diagrama interfeței ISSM.

ISSM este o interfață grafică creată în MATLAB [56], care facilitează legătura dintre modelul de generare și transformare SWAN (versiunea 40.41), cu un model 1D de circulație costieră, NSSM (versiunea 3.2). Pachetul se bazează și pe pachete din programul MATLAB cum ar fi M_MAP [57] și DIWASP [58]. În Figura 3.1 este realizată o reprezentare schematică a structurii acestui program.

Toate acțiunile pot fi controlate prin intermediul interfeței principale ISSM folosind butoane de comandă. Procedura propusă pentru evaluarea valurilor și curenților costieri constă în patru etape consecutive: a) procesare date batimetrice; b) rulare model de val; c) evaluare condiții de val; d) evaluare curenți costieri.

3.2. Modele numerice folosite pentru analiza interacțiunilor dintre valuri și structurile offshore

În timpul funcționării, o structură offshore este supusă unei game variate de solicitări, cele mai importante fiind cele provocate de valuri. Condițiile operaționale sunt importante pentru proiectarea unei structuri luând în considerare solicitările de oboseală și comportamentul acesteia pe termen lung [59]. Distrugerile critice ce pot rezulta în urma acțiunii valurilor extreme trebuie să fie prevenite sau în cel mai rău caz să fie limitate. Prin analiza experimentelor, răspunsul structurilor atât din punct de vedere operațional, cât și al condițiilor extreme poate fi evaluat. În același timp, simulările numerice ale valurilor ce interacționează cu structurile marine, sunt importante pentru a valida rezultatele experimentale.

În simulările ce analizează eforturile hidrodinamice ale valurilor asupra structurilor offshore este importantă interpretarea forțelor și mișcarea apei în jurul acestor structuri.

Modelul ComFlow

Modelul numeric ComFlow [60] a fost dezvoltat pentru simularea interacțiunii lichidelor sau a valurilor, în special pentru aplicațiile offshore. Acest program poate fi folosit și în simulări numerice ce au în vedere evaluarea cu acuratețe a unor studii de caz privind fenomenele de *sloshing* sau *wave run-up* [61 - 63]. Ca și principiu de calcul, programul are la bază ecuațiile Navier-Stokes, în care metoda volumului de fluid (VOF) este aplicată pentru a descrie evoluția suprafeței libere, fiind capabil să simuleze atât corpuri solide aflate în mișcare, cât și mișcarea

suprafeței libere [64-66]. Pentru o acuratețe mai mare a reprezentării valului în apropierea structurii, reflecțiile valului din domeniul limită trebuie prevenite. O atenție mai detaliată trebuie acordată la introducerea numerică a zonelor de amortizare, ce necesită lungimi multiple ale valului pentru a disipa efectiv energia valului și de a preveni reflecțiile. Prin urmare, o condiție de absorbție (ABC) a fost implementată pentru îmbunătățirea simulărilor de impact ale valurilor cu programul ComFlow.

ComFlow a fost dezvoltat prin cooperarea dintre universitatea din Groningen, institutul maritim de cercetare din Olanda (MARIN) și laboratorul aerospațial național al Olandei (NLR). La început, programul a fost creat pentru a simula mișcarea lichidului la bordul unei nave spațiale. Mai târziu, capacitatea acestuia a fost extinsă pentru a incorpora fenomenul de impact al valurilor cu navele marine [67]. Astfel, prin folosirea combinată a experienței acumulate în cele două domenii a rezultat o metodă precisă ce simulează fluxul fluidelor.

Având în vedere complexitatea suprafeței libere, unele ipoteze fizice sunt necesare pentru a înțelege formularea rezultată și modul în care interfața dintre lichid (apă) și gaz (aer) este tratată.

În ComFlow faza gazului este considerată neglijabilă și numai faza lichidului este luată în considerare. De asemenea, fluidul este considerat incompresibil și izoterm. Deși în majoritatea simulărilor efectuate cu programul ComFlow apar și efecte difuze, acestea sunt de o importanță minoră, iar efectele vâscoase nu sunt neglijate, vâscozitatea fiind considerată constantă.

Simulările realizate în programul ComFlow sunt prezentate în Capitolul 4, fiind axate pe analiza unei structuri fixe. Principiul de calcul al programului este prezentat pe scurt în Figura 3.2.

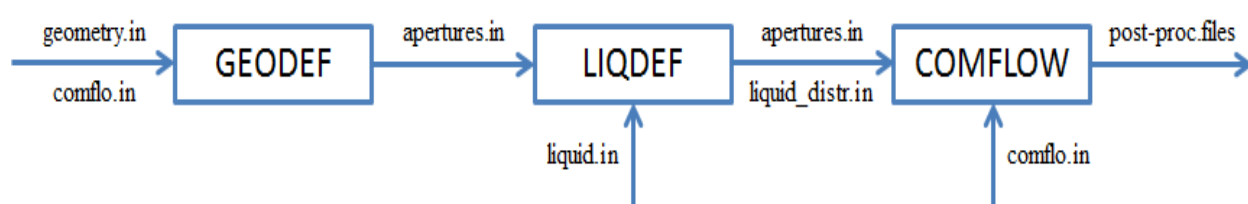


Figura 3.2 Diagrama interfeței ComFlow (pentru corp fix).

Mai întâi se rulează pachetul GEODEF, pentru a se defini geometria ce urmează a fi analizată. Fișierul de intrare pentru GEODEF este *geometry.in*, fișier ce conține elemente din care geometria poate fi construită. Mai apoi, se rulează LIQDEF, pentru a se defini configurația inițială a fluidului. Fișierul input pentru acesta este *liquid.in* ce este structurat în același fel.

Al treilea fișier input atât pentru GEODEF cât și pentru LIQDEF este *comflo.in* ce conține toate informațiile ce țin de dimensiunea domeniului de calcul, rețea, date numerice și date de posprocesare ce sunt necesare pentru funcționarea programului COMFLOW.

În cazul în care rețeaua este descrisă într-un fișier separat (*grid.in*), atunci și acesta este necesar pentru fișierele GEODEF și LIQDEF, rezultatele finale urmând a fi stocate în fișierele:

- *apertures.in* - conține informații geometrice;
- *liquid_distr.in* - definește caracteristici ale fluidului.

CAPITOLUL 4

ANALIZA ȘI VALIDAREA NUMERICĂ A UNOR REZULTATE EXPERIMENTALE EFECTUATE ASUPRA UNEI STRUCTURI SEMISUBMERSIBILE

4.1. Prezentarea testelor experimentale

Rezultatele experimentale prezentate în acest capitol au fost obținute în urma stagiului de mobilitate externă prevăzut în programul de doctorat care a fost efectuat în cadrul departamentului de Matematică și Știința Calculatoarelor din cadrul Universității Groningen, Olanda.

Experimentele privind modelul semisubmersibil au fost furnizate de către compania MARIN [68], obiectivul principal al acestor teste constând în validarea programului ComFlow.

Modelul este alcătuit din două coloane și un ponton, acesta fiind considerat fix pentru toate experimentele efectuate. Datorită acestui lucru modelul dă cea mai mare difracție și înălțime a apei pe coloane. Impactul asupra punții este aproape sigur, ceea ce este de nedorit pentru o platformă funcțională, dar dă cele mai bune circumstanțe pentru validarea unui model numeric. Dimensiunile platformei sunt afișate în Figura 4.1. Sunt prezentate dimensiunile la scară ale modelului semisubmersibil, acesta având o lungime de 114.50m și o lățime de 17.5m. Înălțimea pontonului este de 10m, înălțimea coloanei de 17.5m iar distanța dintre cele două coloane este de 43.5m.

În timpul experimentului, înălțimile suprafeței libere au fost măsurate atât în jurul coloanelor cât și între acestea. Coloanele și puntea au fost echipate cu traductoare de presiune pentru a monitoriza presiunea exercitată de-a lungul impactului provocat de val. În Figurile 4.2-4.4, sunt indicate pozițiile senzorilor ce înregistrează presiunea și înălțimea valurilor.

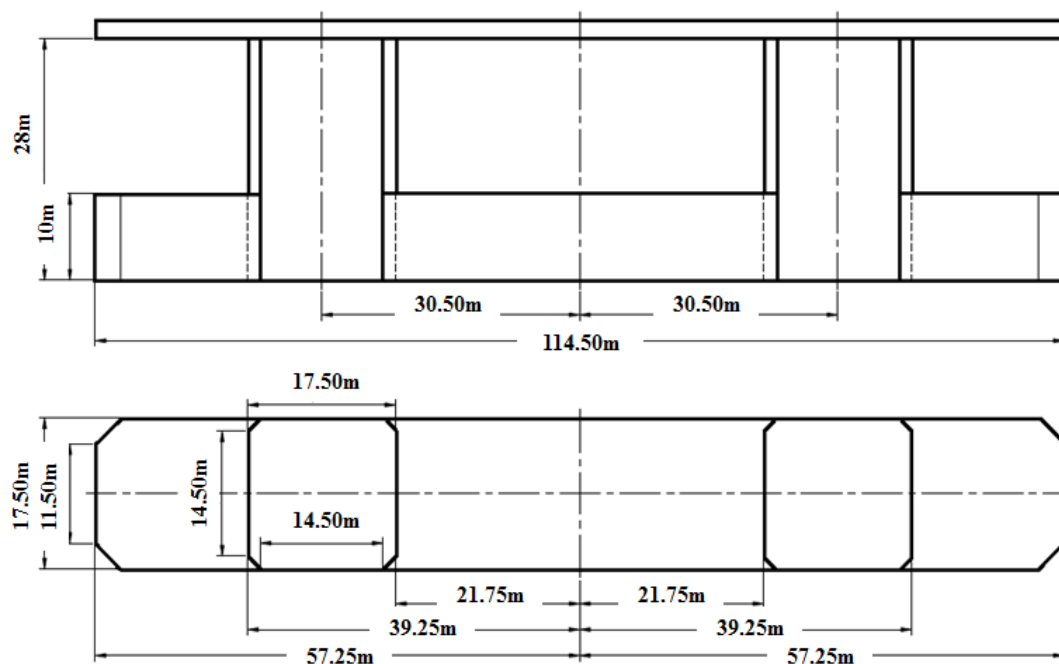


Figura 4.1 Dimensiunile la scară completă a platformei semisubmersibile [68]

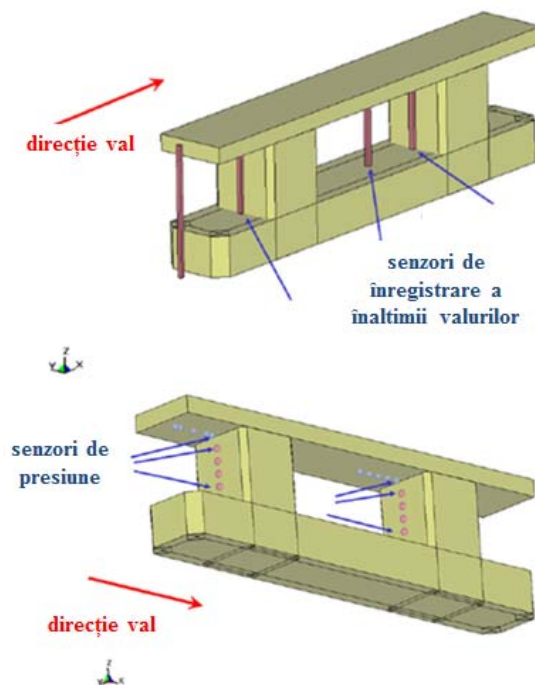


Figura 4.2 Locațiile traductorilor înălțimilor de val (sus) și locațiile senzorilor de presiune și de viteză ale fluidului (jos)

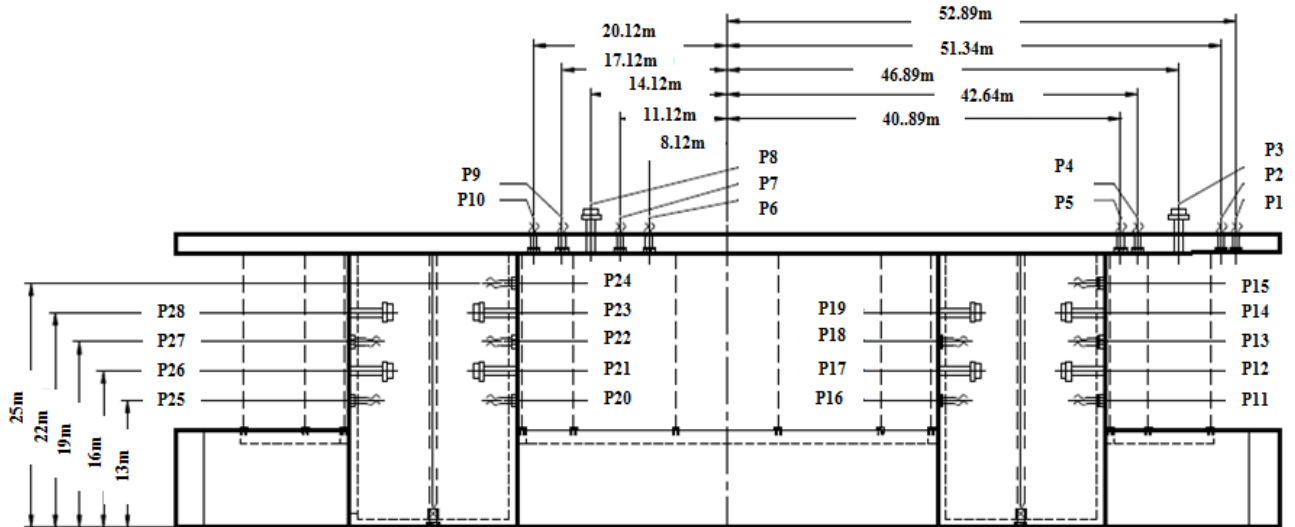


Figura 4.3 Poziționarea senzorilor de presiune [68]

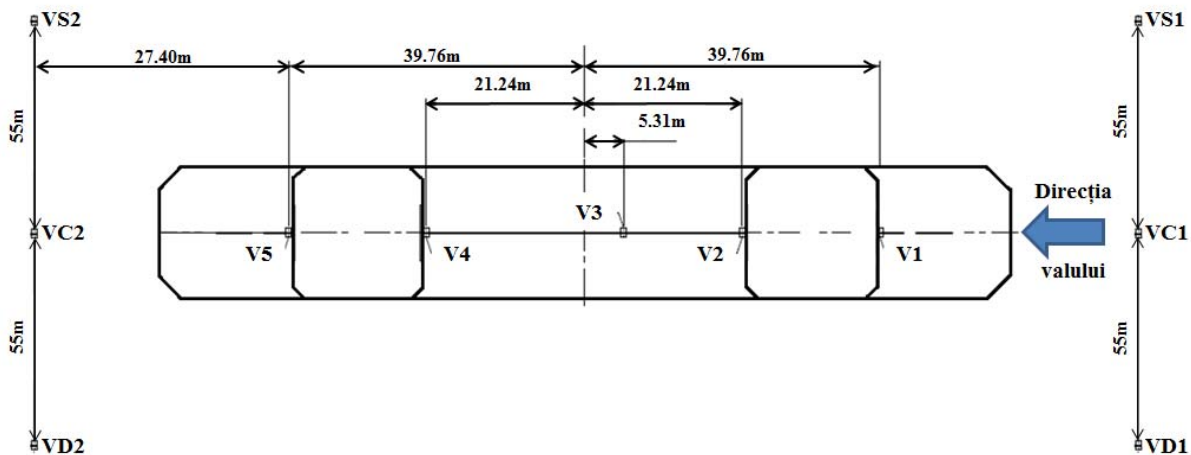


Figura 4.4 Zone considerate pentru analiza înălțimilor de val

Rezultatele modelului la scară au fost ajustate în funcție de valorile la scară reală (Tabelul 4.1) prin intermediul legii de similitudine Froude.

Valoarea raportului $\rho = 1.025$ dintre greutatea specifică a apei sărate și a apei dulci din bazin a fost și el inclus astfel că rezultatele testelor experimentale sunt valabile și pentru apă sărată.

Caracteristicile valurilor regulate analizate în experiment și analizate în acest capitol sunt prezentate în Tabelul 4.2.

Tabel 4.1 Corespondența scărilor de mărime dintre prototip și modelul la scară

Mărime	Model	Prototip	Unitate de măsură
Dimensiuni liniare	$1m$	$50m$	λ
Arie	$1m^2$	$2500m^2$	λ^2
Volum	$1m^3$	$125000m^3$	λ^3
Timp	$1s$	$7.07s$	$\sqrt{\lambda}$
Viteză	$1m/s$	$7.07m/s$	$\sqrt{\lambda}$
Accelerație	$1m/s^2$	$1m/s^2$	1
Unghi	1°	1°	1
Masă	$1kg$	$128.13\ tone$	$(\rho \cdot \lambda^3) / 1000$
Forță	$1kg$	$1kN$	$(\rho \cdot g \cdot \lambda^3) / 1000$
Moment	$1kgm$	$1kNm$	$(\rho \cdot g \cdot \lambda^4) / 1000$

Tabel 4.2 Prezentarea valurilor regulate analizate în experiment

Val	Caracteristici de val		
	<i>Dir.</i> [°]	<i>Hs</i> [m]	<i>T</i> [s]
regulat 1	180	8	9
regulat 2	180	15	11
regulat 3	180	20	13

4.2. Rezultate ale testelor experimentale

De-a lungul testării modelului și a calibrării acestuia au fost efectuate fotografii și înregistrări video, cu o cameră de înaltă rezoluție și o cameră normală. Intervalul de timp a fost selectat astfel încât să se evite reflecțiile ce au loc după contactul valurilor cu zona de absorbție din bazin ce care se comportă la fel ca și o zonă de plajă.

În timpul proceselor de calibrare și a testelor din bazin, valurile au fost măsurate în câteva puncte de referință identice situate în apropierea structurii. Acest lucru face posibilă compararea directă a valului neperturbat cu valul perturbat. Figura 4.5 prezintă o analiză a valurilor regulate cu perioada de 9s, 11s și 13s. Atât valurile neperturbate cât și cele perturbate (toată structura, adică cu cele două coloane, apoi cu o singură coloană, respectiv jumătate de structură) sunt prezentate în zona de măsurare de la 27.4m în partea frontală a primei coloane.

Din aceste analize putem observa că:

- cele mai mari efecte de difracție apar la valurile cu perioade de 9s și 11s;
- efectele de difracție se reduc atunci când pontonul este înlăturat;
- diferența dintre analiza cu o singură coloană și cu două coloane (fără ponton) este mai mică.

Pentru o mai bună vizualizare a momentelor din timpul experimentului, în Figura 4.6 sunt prezentate câteva cadre reprezentative.

Principalele fenomene care au loc la contactul valurilor cu structura sunt reprezentate prin:

- linie neagră - reprezintă valul neperturbat (în absența semisubmersibilului). Unele puncte au fost măsurate, iar altele au fost prezise de dispersia liniară pe valul măsurat.

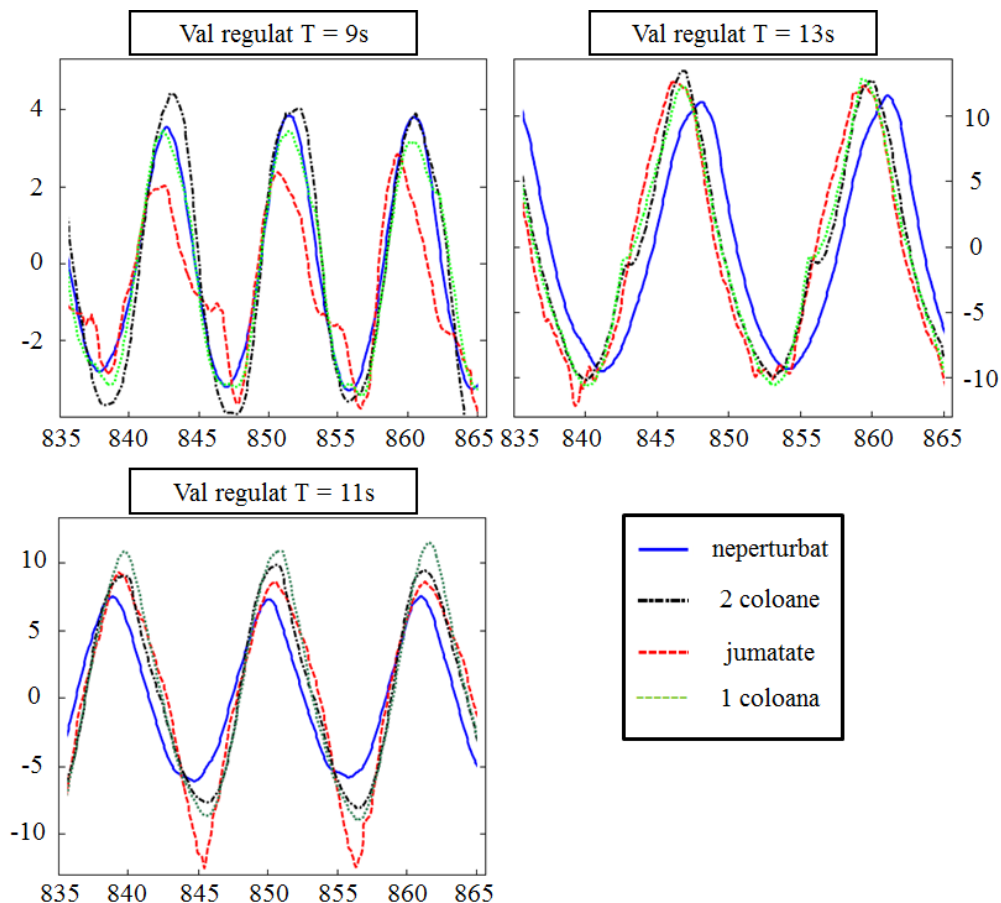


Figura 4.5 Evoluția înălțimii valului în fața primei coloane. Perioade de val considerate (T): 9s, 11s și 13 s [68]

- linie albastră - reprezintă valul total măsurat în prezența semisubmersibilului (difracția este inclusă)

- blocurile roșii indică amplitudinea presiunii. Presiunea a 50kPa corespunde unui bloc cu o lungime de 1m.
- în stânga, sunt prezentate înregistrări facute de camera de înaltă rezoluție asupra primei coloane.

Toate datele provin de la trei măsuratori/sisteme diferite (val neperturbat, test cu semisubmersibilul în bazin și înregistrări cu camera de mare viteză). Toate acestea au fost sincronizate cu ajutorul măsurătorilor clapetei generatoare de val și prin sincronizarea semnalului de la cele două camere video.

În Figura 4.6 sunt prezentate evenimentele semnificative ce au loc în urma trecerii valului pe suprafața platformei:

1. Partea din față a valului trece pe pontonul din față;
2. Partea frontală a valului trece pe suprafața primei coloane;
3. Valul lovește puntea;
4. Valul se sparge la contactul cu puntea;
5. Nivelul apei este în scădere pe prima coloană. Spațiul dintre cele două coloane este complet inundat;
6. Valul trece de primul ponton și lovește partea inferioară a punții din spate.

4.3. Compararea datelor experimentale cu simulările efectuate în programul ComFlow

În simulările efectuate s-au folosit aceleași distanțe ca și în experiment, domeniul de calcul fiind setat la fel ca bazinul de valuri. Astfel pereții laterali ai domeniului reflectă complet fluidul și sunt poziționați identic ca în experiment ($y = -100\text{m}$ și $y=100\text{m}$). Apoi rezultatele numerice s-au comparat cu datele experimentale luându-se în considerare diferite caracteristici de val. S-au folosit mai multe grile în domeniul de calcul pentru fiecare tip de val:

- valuri mici: $474 \times 146 \times 121$ - după cum se poate observa și în Figura 4.7;
- valuri medii: $548 \times 146 \times 121$;
- valuri mari: $612 \times 146 \times 121$.

S-au considerat pentru analiză valuri reprezentative ce au la bază teoria Stokes de ordinul 5. De asemenea din simulările anterioare s-a observat că alegerea acestei rețele de grile este foarte importantă pentru estimarea corectă a rezultatelor.

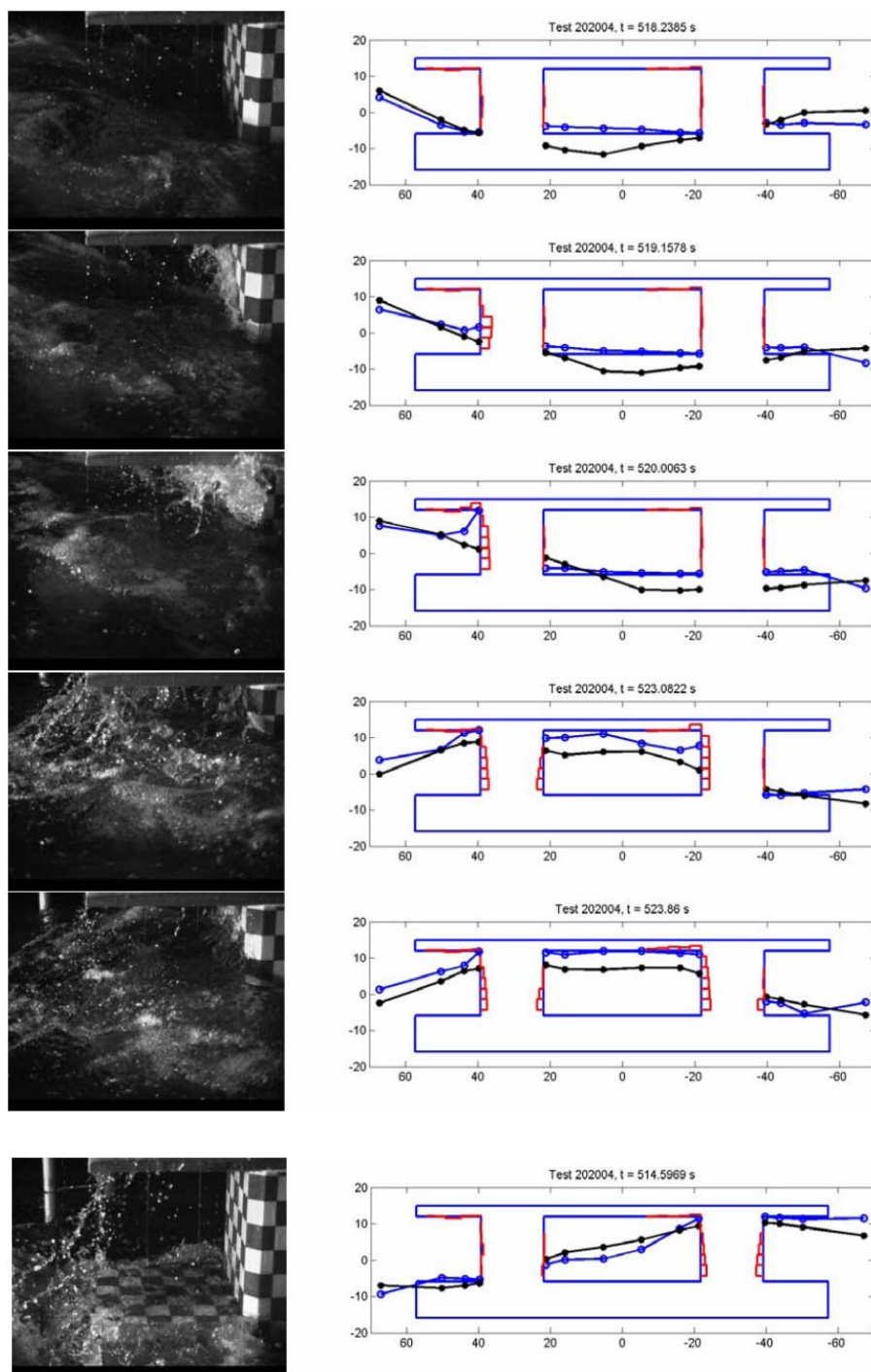


Figura 4.6 Trecerea valului de-a lungul structurii semisubmersibile [68]

Prezentarea rezultatelor simulărilor ComFlow începe prin ilustrarea fluidului și a structurii analizate. Simularea se face pornind de la configurarea inițială a fluidului, urmând ca în etapele următoare să se dezvolte suprafața câmpului de val, așa cum se poate observa din Figura 4.8.

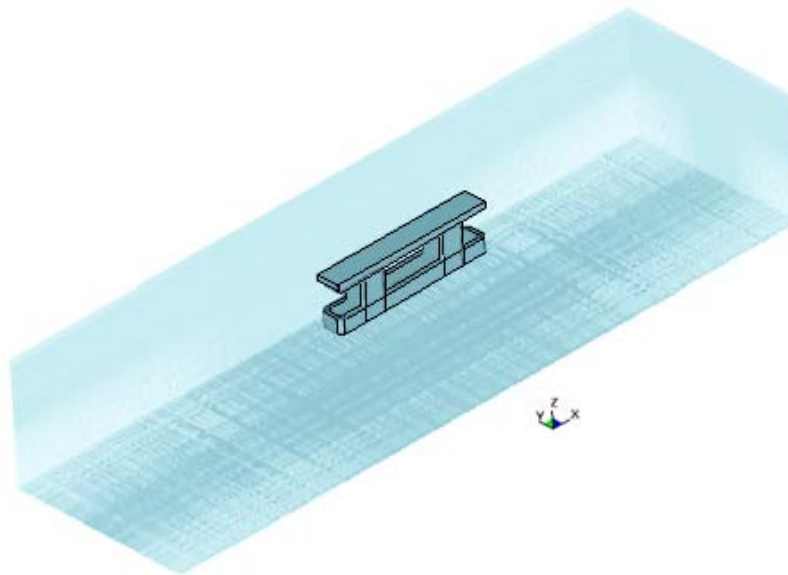


Figura 4.7 Domeniul de calcul și grila programului ComFlow

Se poate evidenția difracția valului datorită prezenței platformei, aceasta fiind prezentă în toate studiile de caz (val mic, mediu și mare). Săgețile din fundalul imaginii reprezintă direcțiile vectorilor de fluid.

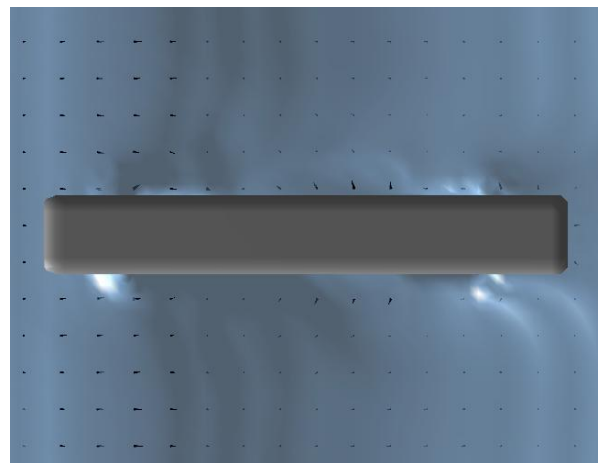
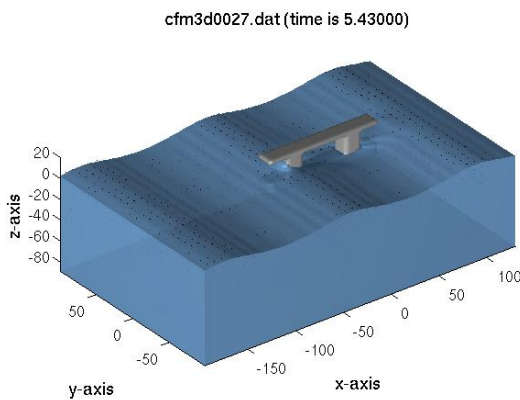


Figura 4.8 Captură din timpul simulărilor pentru condiții de val mic (*H8-T9*) vedere de ansamblu și vedere de sus.

Nu s-a făcut nici o înregistrare experimentală asupra vitezei de fluid ce se deplasează pe suprafața platformei, astfel că rezultatele prezentate în Figura 4.9 sunt doar rezultate numerice din simulări. Astfel acestea au valori cuprinse între 10 – 20m/s, analiza acestora putând fi folosită pentru a identifica încărcările ce au loc pe elemente structurale de dimensiuni mici.

În urma comparațiilor dintre datele experimentale și simulări s-a observat ca modelul ComFlow poate face analize precise pentru toate tipurile de val, acesta fiind ideal în studii ce țin de impactul valurilor cu diferite structure offshore, suprafața liberă putând lua orice formă. Acest lucru se poate observa și din Figurile 4.10 - 4.15, rezultatele simulărilor atât în cazul analizei înălțimii de val, cât și a presiunii din zonele de studiu prezentând valori apropiate.

ComFlow reproduce înălțimea crestei valului satisfăcător de bine, dar unele diferențe apar la intervalul dintre acestea. Graficele înălțimilor de fluid prezintă zone abrupte, acest lucru indicând faptul că valul incident intră în contact cu suprafața punții.

În cazul comparării rezultatelor presiunii se observă ca acestea sunt apropiate ca valoare în special în partea inferioară a coloanelor platformei, dar aceste zone se consideră a fi mai ușor de prezis având în vedere că dinamica fluidului nu atinge cote extreme și există o parte hidrostatică a presiunii fluidului. Se mai poate observa că prima parte a înregistrării de presiune nu coincide cu cea din simulare, acest lucru datorându-se faptului că domeniul de val este definit încă de la început și nu apare încă difracția valurilor din jurul structurii. Aceasta se manifestă după trecerea celui de-al doilea val din zona unde este situată platform, rezultatele obținute fiind luate în considerare după această perioadă.

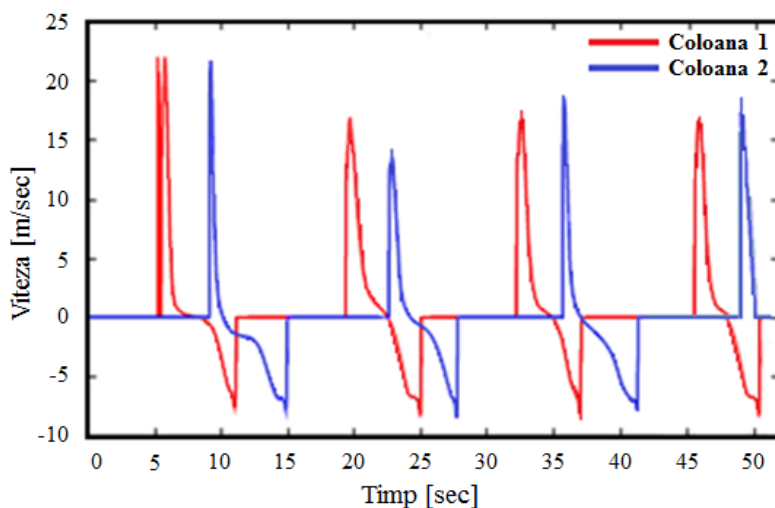


Figura 4.9 Viteza pe direcția z înregistrată în ComFlow la nivelul suprafeței fluidului

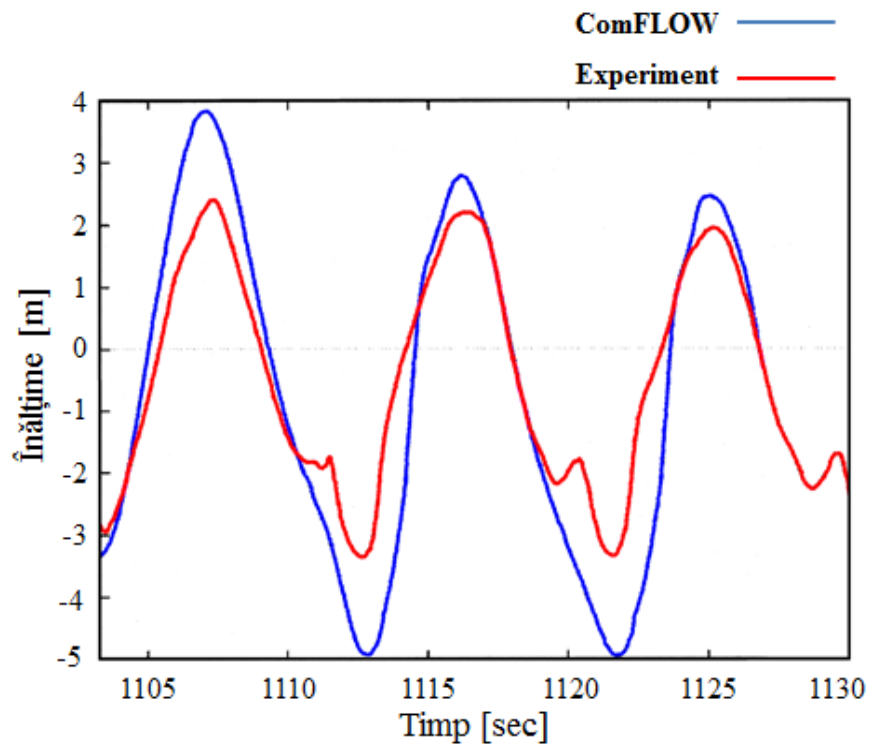


Figura 4.10 Înălțimea valului în zona de impact raportată în cazul unui val mic (H8-T9).

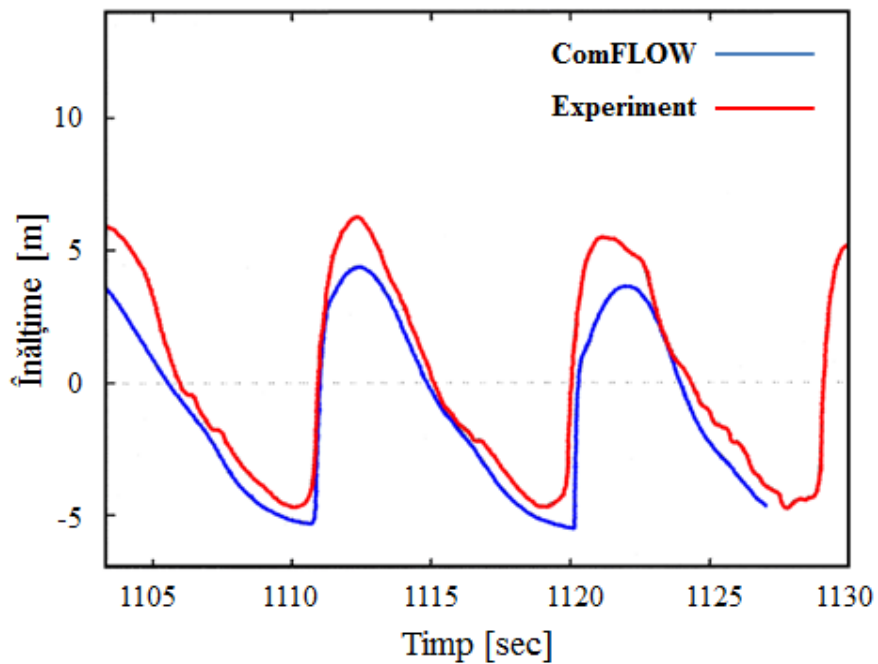


Figura 4.11 Înălțimea valului între coloane raportată în cazul unui val mic (H8-T9).

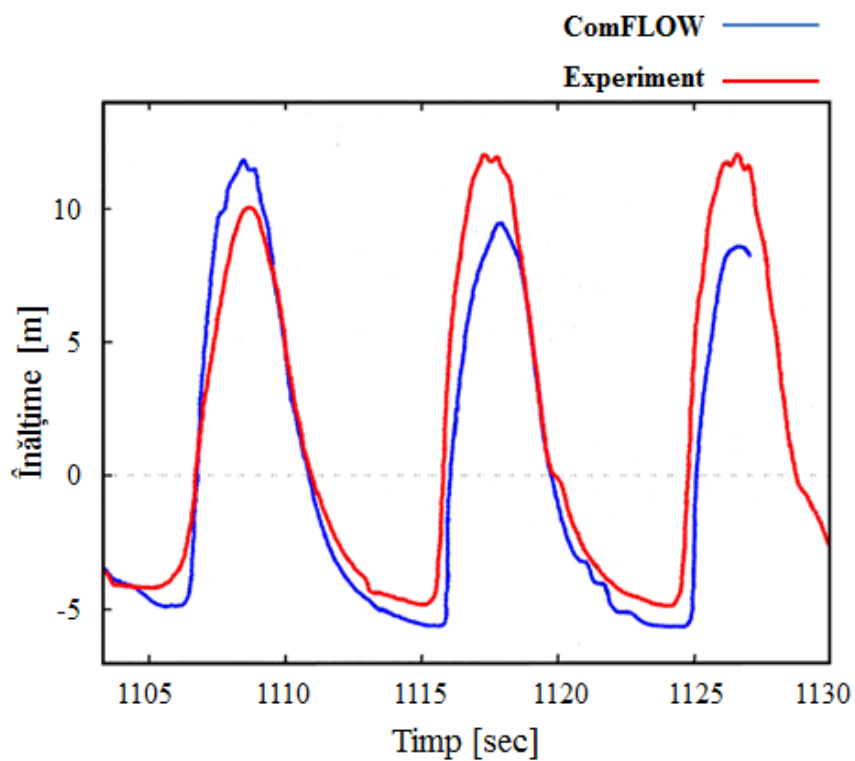


Figura 4.12 Înălțimea valului pe prima coloană raportată în cazul unui val mic (H8-T9).

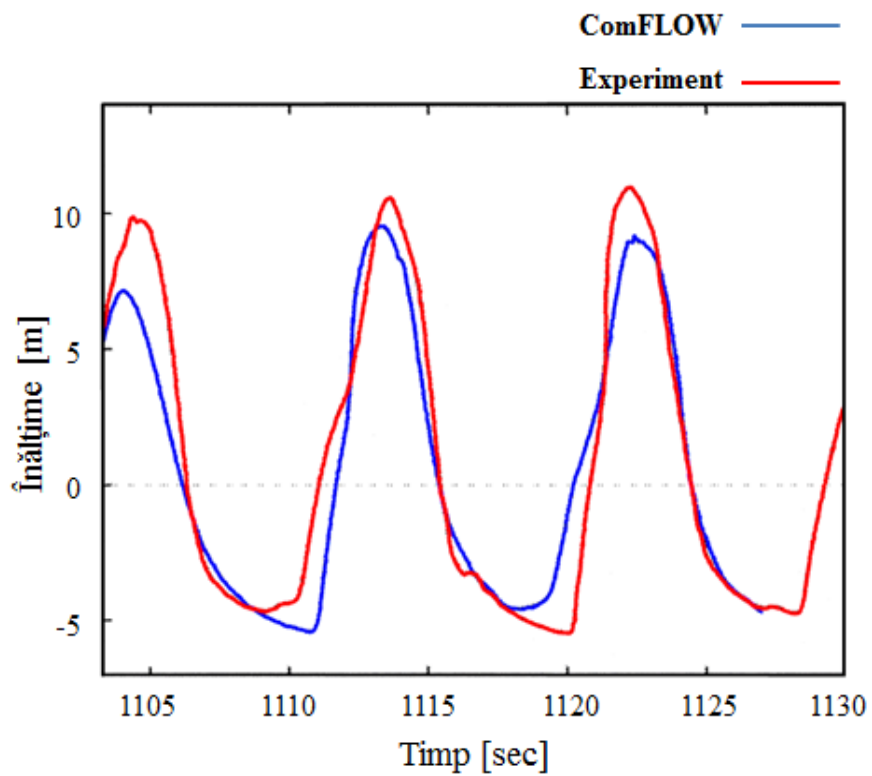


Figura 4.13 Înălțimea valului pe cea de-a doua coloană raportată în cazul unui val mic (H8-T9).

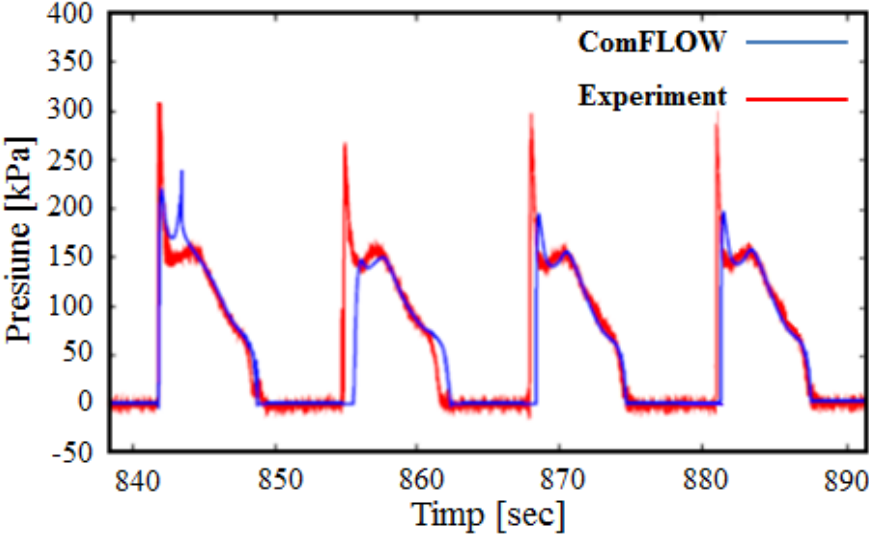


Figura 4.14 Presiunea înregistrată pe prima coloană raportată în cazul unui val mare (H20-T13).

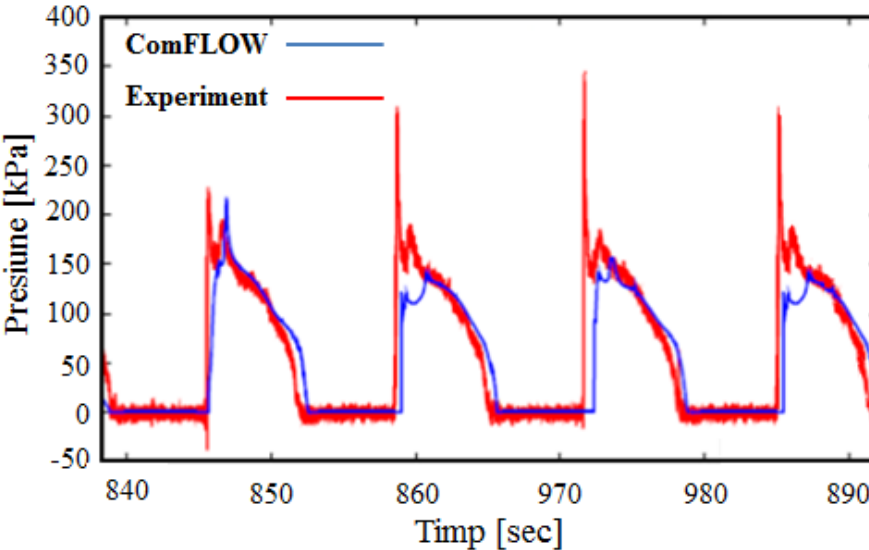


Figura 4.15 Presiunea înregistrată pe cea de-a doua coloană raportată în cazul unui val mare (H20-T13).

În Figura 4.16 se prezintă o sincronizare a simulărilor efectuate în programul ComFlow și experiment. Se poate observa că simulările numerice prezintă o bună concordanță cu imaginile obținute din experiment pentru cazul în care valurile incidente acționează asupra structurii.

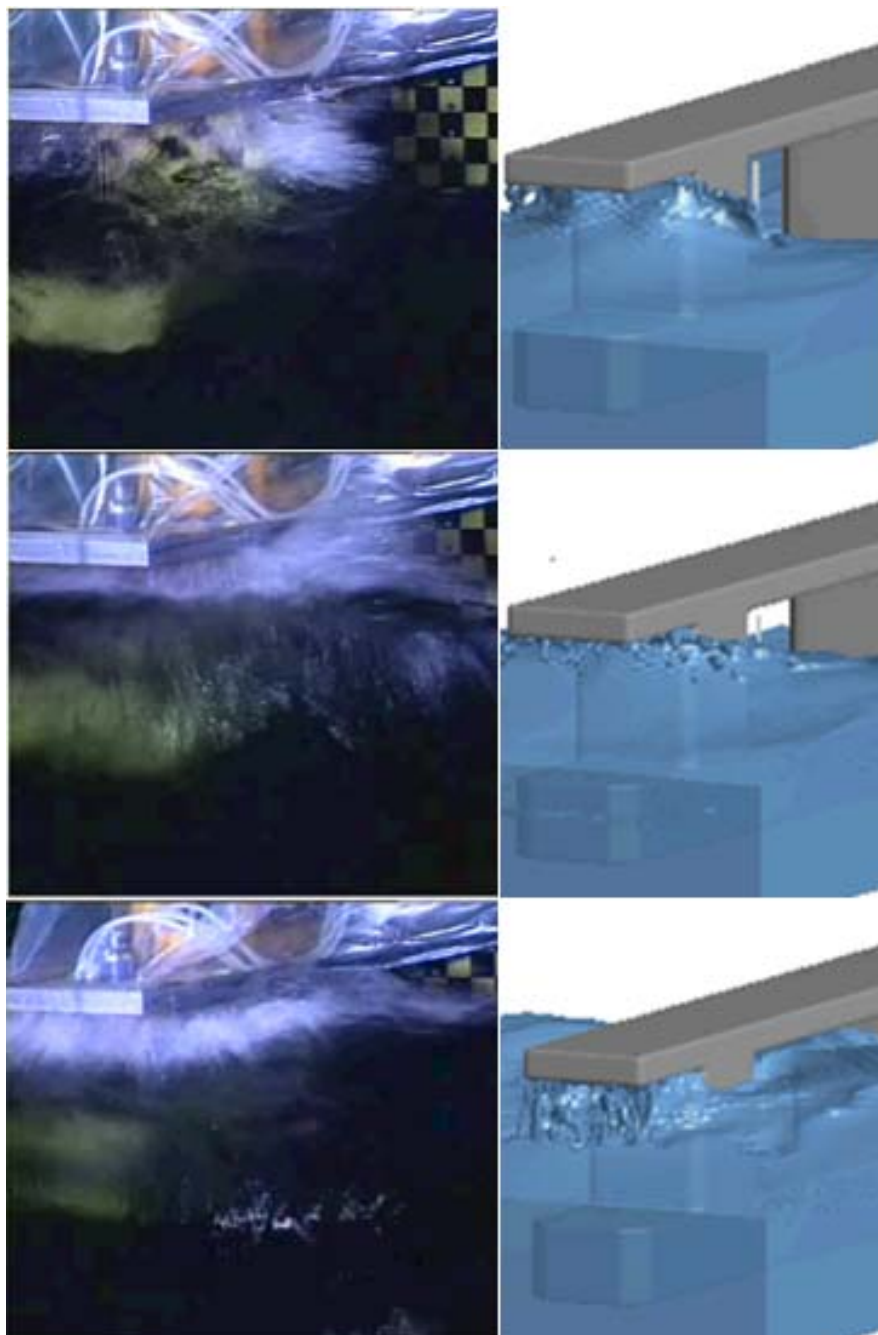


Figura 4.16 Sincronizarea video a experimentului cu simulările efectuate în programul ComFlow

CAPITOLUL 5

STUDII PRIVIND INFLUENȚA FERMELOR ENERGETICE MARINE ASUPRA DINAMICII COSTIERE

5.1 Implementarea sistemului de modelare în zona țintă

Proiectele eoliene reprezintă un sector al industriei energiilor regenerabile care de-a lungul timpului și-au dovedit viabilitatea prin creșterea în capacitate a turbinelor eoliene și gruparea acestora în ferme energetice. În mod similar, pentru ca sistemele de extracție a energiei valurilor (WEC) dezvoltate la ora actuală să obțină performanțe energetice notabile este de așteptat ca mai multe dispozitive să funcționeze în cadrul unor ferme de valuri.

Pe lângă avantajele care rezultă din obținerea de energie electrică dintr-o sursă regenerabilă, printr-o poziționare spațială optimă a fermelor de valuri și o bună configurare a sistemelor WEC se pot reduce anumite fenomene care influențează în mod negativ morfologia zonelor costiere (ex: eroziunea țărmului).

Ținând cont de aspectele menționate anterior, în acest capitol se vor realiza diverse studii de caz privind influența unor ferme de valuri (Pelamis și Wave Dragon) asupra condițiilor de val din zona țintă care are ca punct de referință localitatea Sfântul Gheorghe. De asemenea în partea finală se va realiza și o analiză similară pentru un sistem hibrid val-vânt (NEMOS).

Zona țintă avută în vedere este situată în partea de vest a Mării Negre, mai precis în partea de sud a canalului Sulina așa cum se poate observa și din Figura 5.1. La fel ca majoritatea zonelor din cadrul litoralului românesc și această regiune prezintă variații semnificative ale condițiilor de val, care sunt influențate în mod direct de evoluția sezonelor de vară și iarnă [69].

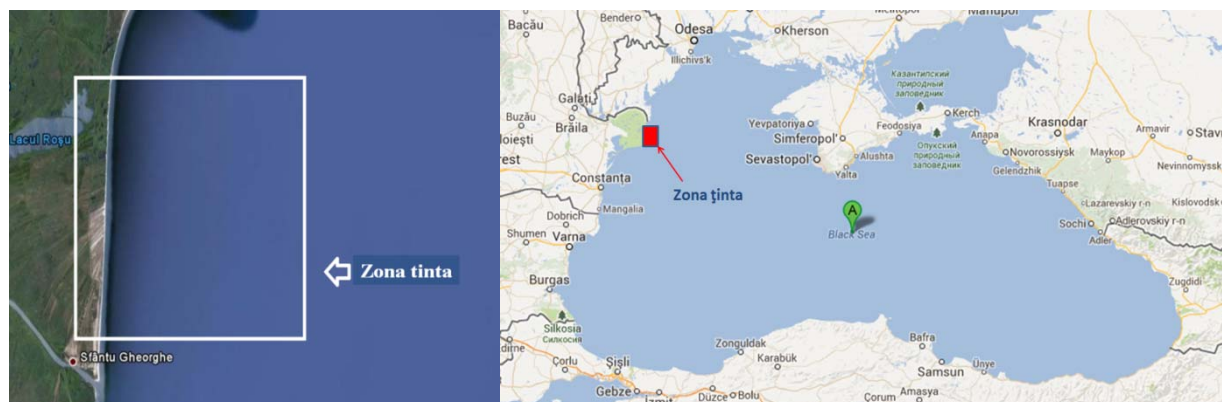


Figura 5.1 Identificarea zonei țintă

Domeniul de calcul considerat (Figura 5.2) în modelul SWAN este un dreptunghi de aproximativ 17.5km pe direcția x și 20km pe direcția y, care este definit de-a lungul liniei coastei. În fundal este reprezentată batimetria, în timp ce în prim-plan se poate observa zona în care vor fi poziționate fermele WEC, liniile de referință și punctele de referință. Primul punct de control este un punct de frontiera (notat cu BP), care poate oferi informații exacte cu privire la caracteristicile valurilor incidente fără a fi influențat de prezența fermei. Celelalte puncte (offshore points - OP1, OP2 și OP3) sunt de asemenea situate în zona offshore, fiind definite în fața liniei de coastă la o distanță de 1.8km față de zona în care se vor poziționa fermele WEC. Este de așteptat ca aceste trei puncte să identifice mai bine variațiile care pot manifesta în spațiul geografic și spectral datorită prezenței sistemelor WEC.

În ceea ce privește evaluarea impactului costier al fermelor WEC asupra curenților marini din această regiune, șapte linii de referință (notate de la RL1 la RL7 - reference lines) au fost plasate de-a lungul liniei de coastă. Extremitățile acestor linii de referință aflate în zona de larg sunt notate ca puncte din apropierea coastei (puncte nearshore - NP), acestea permițând o analiză detaliată a evoluției curenților marini.

Caracteristicile principale și procesele fizice activate în modelul SWAN sunt prezentate în Tabelul 5.1. Cu Δx și Δy s-a notat rezoluția în spațiul geografic, $\Delta \theta$ reprezintă rezoluția în spațiul direcțional, n_f reprezintă numărul frecvențelor din spațiul spectral, n_θ numărul de direcții din spațiul spectral. În ceea ce privește grila de calcul folosită, cu: ng_x s-a notat numărul de puncte din grilă pe direcția x, ng_y numărul de puncte din grilă pe direcția y și cu np numărul total de puncte ale grilei.

Datele de intrare considerate, sunt prezentate de asemenea în Tabelul 5.1, după cum urmează: *val* - forțe din val, *maree* - forțe datorate marilor, *vânt* - forțe din vânt, *crt* - introducerea câmpurilor de curenți.

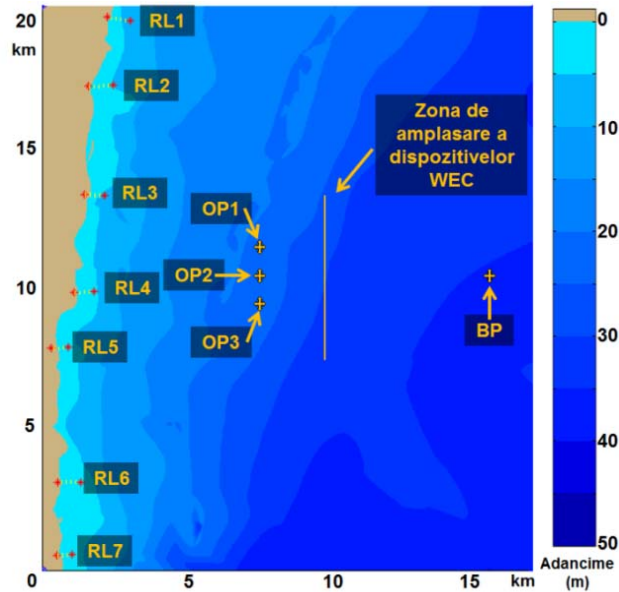


Figura 5.2 Domeniul de calcul considerat pentru simulările numerice.

Procesele fizice activate sunt notate astfel: *gen* - reprezintă generarea valurilor datorită acțiunii vântului; *wcap* - reprezintă procesului de înspumare; *quad* - interacțiuni neliniare între valuri (patru valuri); *triad* - interacțiuni neliniare între valuri (trei valuri); *diff* - procese de difracție; *bfric* - frecarea cu fundul mării; *set up* – ridicarea nivelului apei care apare datorită propagării valurilor incidente; *br* - activarea proceselor de spargere a valurilor care apar odată cu scăderea adâncimii apei.

Modelele în fază spectrală medie furnizează în prezent cele mai exacte estimări ale evoluției câmpurilor de val pe arii geografice mari, acesta fiind unul din motivele pentru care în simulările curențe s-a considerat folosirea modelului SWAN [40].

Tabel 5.1 Caracteristicile domeniului de calcul definit pentru simulările SWAN și procesele fizice activate.

model SWAN	Coordonate		$\Delta x \times \Delta y$ (m)		$\Delta\theta$ (°)	Mod/ schemă	n_f	n_θ	$n_{gx} \times n_{gy} = n_p$			
	Cartezian		50 × 50		5	stat/ BSBT	34	35	355×406=144130			
Intrări/Procese	val	vânt	maree	crt	gen	wcap	quad	triad	diff	bfric	set up	br
SWAN	X	X	0	X	X	0	X	X	X	X	X	X

În Figura 5.3 este prezentată evoluția câmpului de valuri din zona țintă considerată, în absența fermelor de valuri. Distribuția în spațiul geografic a înălțimilor de val semnificative (H_s) este ilustrată pentru trei studii de caz reprezentative:

- condiții de val mici (notată cu valuri mici), indicate prin combinația: $H_s=1\text{m}$, $T_m=4\text{s}$.
- condiții de val medii (notată cu valuri medii), indicate prin combinația: $H_s=3\text{m}$, $T_m=6\text{s}$.
- condiții de val energetice (notată cu valuri mari), indicate prin combinația: $H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$.

Aceste condiții de val au fost analizate pentru trei direcții reprezentative (convenție nautică) din care se pot propaga valurile incidente, respectiv: 30° , 90° și 150° .

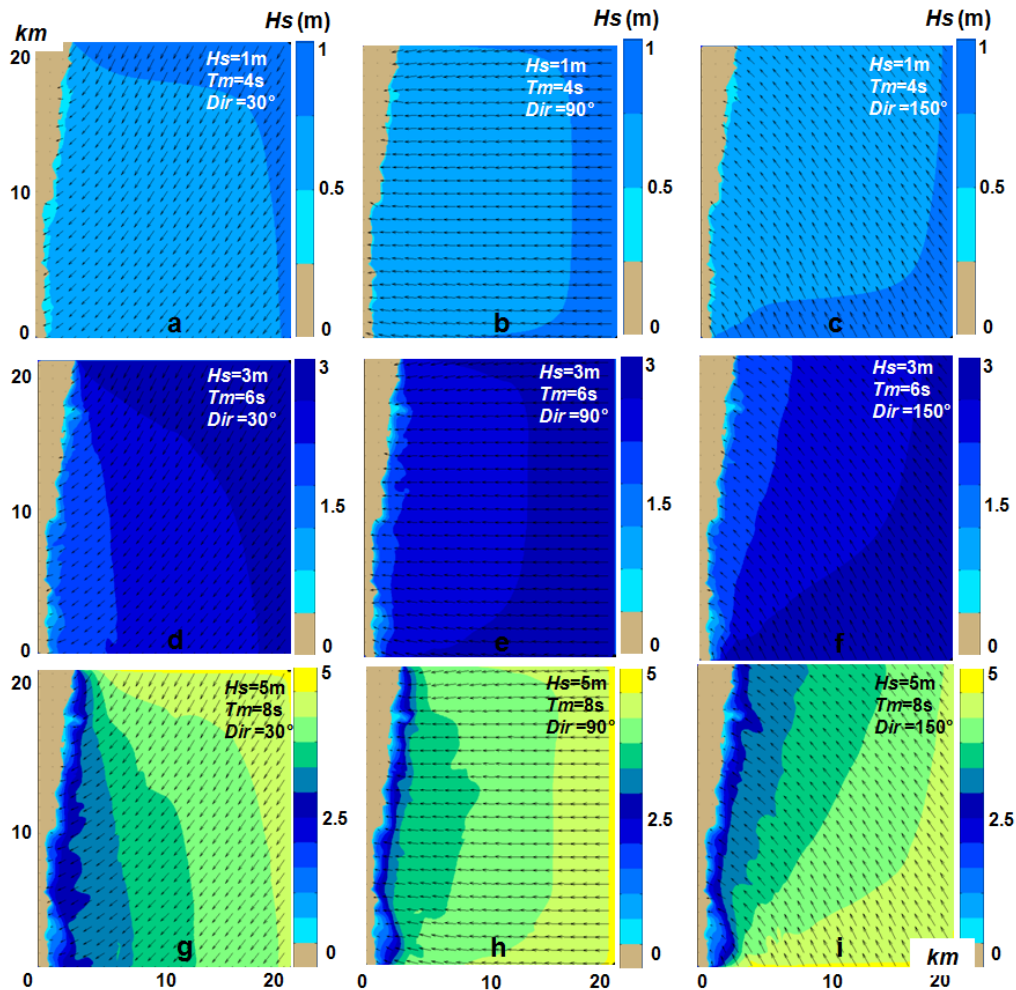


Figura 5.3 Evaluarea în spațiul geografic a evoluției câmpului de valuri din zona țintă, pentru: a), b), c) valuri mici ($H_s=1\text{m}$, $T_m=4\text{s}$) care se propagă din nord-est, est și sud-est (30° , 90° și 150° – în convenție nautică); d), e), f) valuri medii ($H_s=3\text{m}$, $T_m=6\text{s}$) pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est; g), h), i) valuri mari ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$) pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est.

Pentru condițiile de val mici (Figura 5.3a, b, c) se observă prezența a două câmpuri de valuri reprezentative de 0.7m și 0.9m, valorile mai mari înregistrându-se pe direcția din care acționează

valurile. În apropierea liniei țărmului înălțimile de val din intervalul 0.2-0.4m devin dominante, fiind influențate în mare parte de procesele costiere care apar odată cu scăderea adâncimii apei.

Pentru condițiile de val medii (Figura 5.3d, e, f), atunci când valurile se propagă din sectorul nord-est (30°) și sud-est (150°) se identifică trei câmpuri de valuri (de 2.7m, 2.3m și 1.8m) care scad odată cu adâncimea apei. În cazul în care aceste valuri sunt raportate din est (90°) zona țintă este definită de prezența câmpurilor de valuri de 2.7m și 2.3m.

În cazul înălțimilor de val mari, care se pot manifesta în timpul furtunilor, se observă prezența a trei câmpuri de valuri reprezentative având valori de 4.7m, 4.2m și 3.7m atunci când valurile se propagă din est, în timp ce în cazul celorlalte direcții se înregistrează și înălțimi de val de 3.2m în apropierea liniei țărmului.

5.2 Studii privind sisteme WEC ce operează în mediul marin

5.2.1 Sistemul Pelamis

Ținând cont că unul din obiectivele urmărite este acela de a identifica o configurație optimă a fermei de valuri, în continuare se va face o astfel de analiză considerând doar 6 sisteme Pelamis dispuse pe o singură linie și pe două linii.

O caracteristică constructivă specifică sistemului Pelamis o constituie sistemul de ancorare care îi permite orientarea pe direcția valurilor incidente, contribuind astfel la creșterea energiei electrice produsă de acesta precum și la o protecție mai bună în mediul marin [70]. Astfel, în simulările efectuate în modelul SWAN s-a ținut cont de acest aspect, sistemele Pelamis fiind ajustate pentru fiecare direcție considerată. Configurația acestei ferme a fost aleasă în urma consultării literaturii de specialitate din domeniu, considerându-se o distanță de 150m între fiecare sistem WEC (pe direcțiile x și y) [71].

În simulările numerice, sistemele Pelamis au fost reprezentate în modelul SWAN ca și obstacole cărora le corespunde un coeficient de transmisie de 0.5 (valoarea 0 corespunzând unei blocări complete a valurilor incidente) și de un coeficient de reflexie de 0.225. Pentru a putea observa mai ușor eventualele diferențe care se pot manifesta în spațiul geografic și spectral pentru analiza configurațiilor cu o sigură linie și cu două linii s-au luat în considerare doar condițiile de val mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$).

La fel ca și în cazul fermelor de vânt care includ un număr mare de turbine eoliene, în continuare se va face o analiză a impactului pe care îl poate avea asupra zonei țintă o fermă de valuri formate din 30 de sisteme Pelamis, poziționate pe două linii (Figura 5.9a). Pe lângă aspectele ce țin de protecția zonei costiere, o desfășurare pe două linii a ferme de val prezintă beneficii atât din punct de vedere economic și tehnic rezultând o configurare compactă a liniilor de ancorare și de transport a energiei produse, precum și cheltuieli mai mici în dezvoltarea și întreținerea unui astfel de proiect [72].

Rezultatele prezentate în această secțiune au fost diseminate de autor în cadrul lucrării Diaconu și Rusu, 2013 [73].

În cazul fermei Pelamis sistemele au fost configurate pentru a fi orientate pe direcția din care se propagă valurile. În Figura 5.4a s-au pus în evidență liniile de batimetrie de 20m și 25m care vor fi folosite în analizele viitoare pentru a identifica evoluția înălțimilor de val de-a lungul acestora.

De asemenea, pe lângă impactul în spațiul geografic și spectral al fermelor de val se are în vedere și identificarea evoluției valurilor incidente atunci când acestea intră în contact cu sistemele WEC, precum și a modului de propagare prin ferma de val. O astfel de analiză se va realiza considerând 3 linii de referință (notate prin: linie 1, 2 și 3) prezentate în Figura 5.4b care sunt poziționate la mijlocul și extremitățile fiecărei ferme de val.

După cum s-a precizat, datorită modului de ancorare acest sistem WEC se poziționează automat pe direcția valurilor incidente, dar până la stabilizarea pe această direcție sistemul poate varia în jurul acestei poziții de echilibru (în stânga sau în dreapta), acest aspect contribuind la o comportare dinamică a sistemului Pelamis.

De asemenea din principiul de funcționare, în care fiecare secțiune imersă se deplasează în mod independent sub acțiunea valurilor (din față și lateral) rezultă o altă caracteristică dinamică. Pentru a include în simulările numerice și această comportare dinamică s-a considerat util a se folosi mai multe cazuri de transmisie (și reflexie) ce pot fi întâlnite frecvent în timpul funcționării unui sistem Pelamis.

Acestea au fost notate prin:

- $Trans = 0.2$; $Ref=0.3$ (notat cu Caz 1): în această situație sistemele WEC opun cea mai mare rezistență valurilor incidente fiind considerate aproape ca niște diguri care blochează aproape complet transmisia valurilor în spațiul geografic;

- $Trans = 0.5$; $Ref=0.225$ (notat cu Caz 2): pentru acest caz valurile opun o rezistență medie;
- $Trans = 0.8$; $Ref=0.15$ (notat cu Caz 3): în acest caz se poate considera că sistemele Pelamis sunt orientate aproape perfect pe direcția de propagare a valurilor, având astfel o amprentă minimă asupra valurilor incidente.

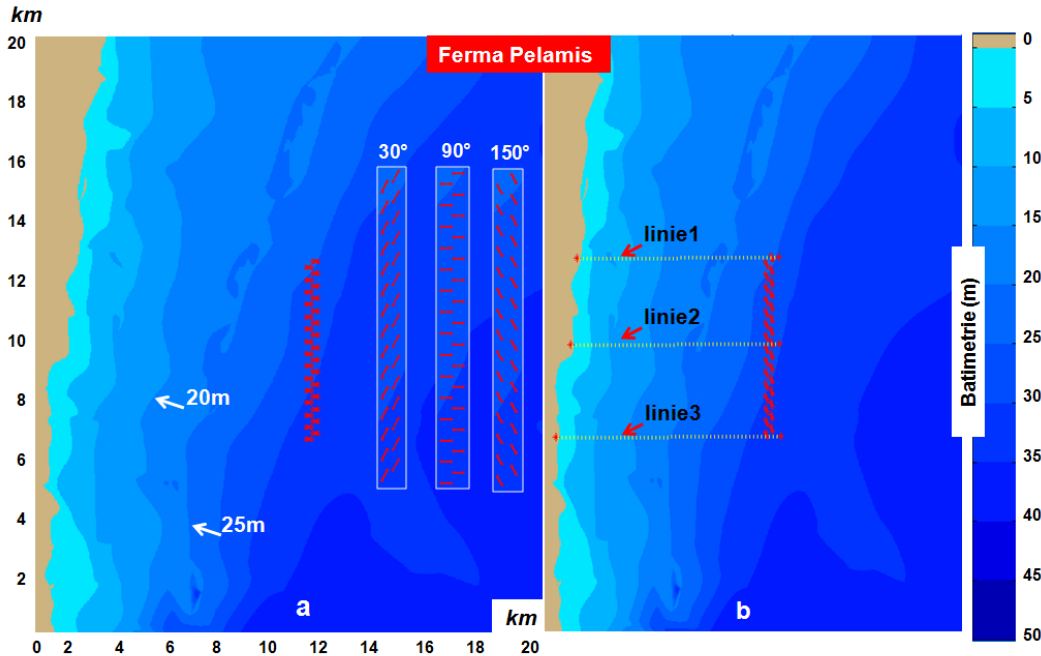


Figura 5.4 Prezentarea studiului de caz Pelamis: a) fermă formată din 30 de sisteme Pelamis dispuse pe două linii configurată pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est; b) poziția liniilor de referință considerate pentru a identifica evoluția câmpului de valuri atunci când acesta se propagă prin ferma WEC.

Figura 5.5 prezintă influența asupra câmpului de valuri din zona țintă a fermei Pelamis pentru Cazul 1 ($Trans = 0.2$; $Ref=0.3$). Pentru valurile mici (Figura 5.5 a, b, c), indiferent de direcția de propagare a valurilor se observă în spatele fermei WEC apariția unui câmp de valuri cu înălțimi de circa 0.4m, în timp ce zona dintre fermă și linia țărnelui este caracterizată de înălțimi de val de 0.6m și 0.8m care scad odată cu adâncimea apei. În cazul valurilor medii, zona din spatele fermei Pelmais este caracterizată de prezența unui câmp mixt de valuri cu valori cuprinse între 1.2m și 1.7m, în timp ce la nivel local în spatele fermei WEC se pot observa și valuri cu o înălțime de 0.3m, cum ar fi de exemplu în cazul valurilor din est.

Cele mai semnificative modificări se înregistrează în cazul valurilor mari (Figura 5.5 g, h, i). Pentru valurile din nord-est și sud-est, câmpul de valuri din fața fermei WEC scade progresiv de la 4.2m până la 3.8m, 2.6m, ajungând la 2m în apropierea liniei țărnelui. În cazul valurilor din

est se observă o reducere bruscă a câmpului de valuri de 4.2m până la o valoare de 0.3m, ajungându-se în final la înălțimi de val cuprinse în intervalul 2.3-2.6m (în zona țărmului).

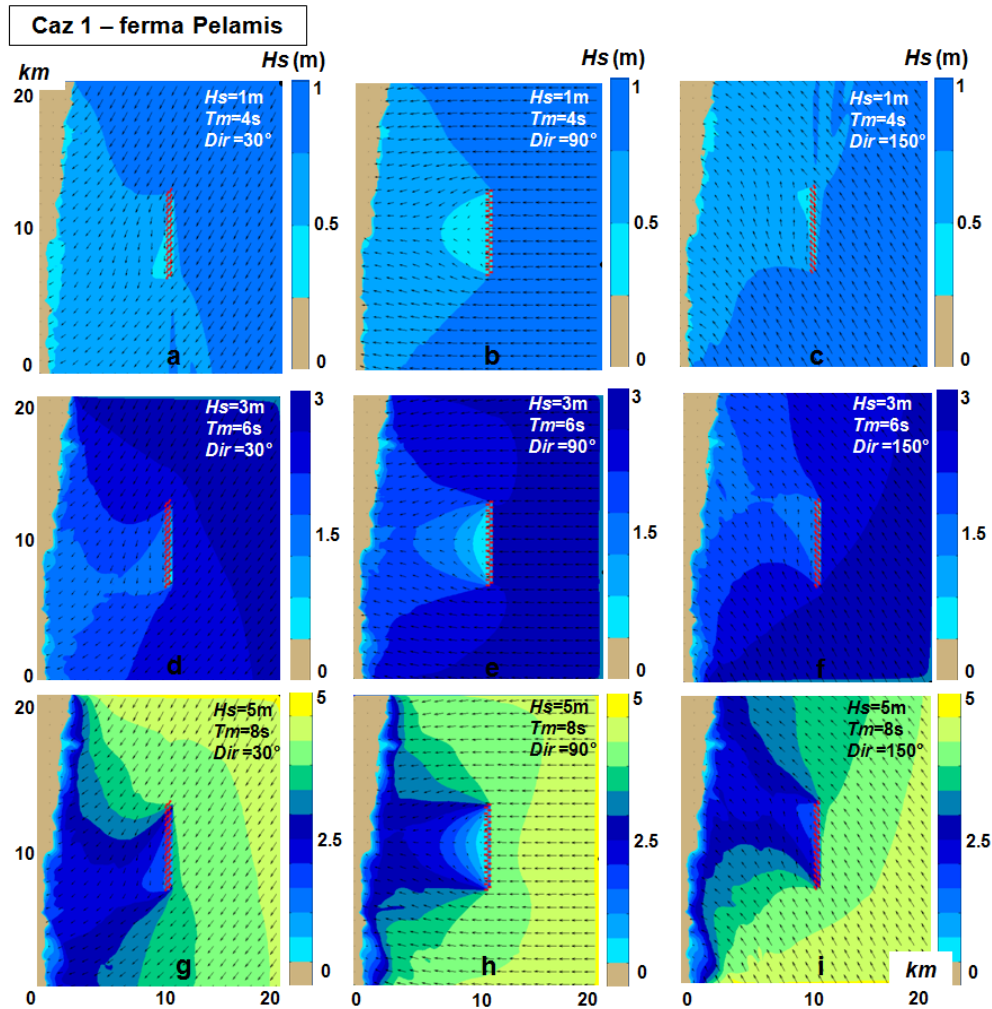


Figura 5.5 Evaluarea în spațiul geografic a impactului unei ferme de val formată din sisteme Pelamis pentru cazul 1 ($Trans = 0.2$; $Ref=0.3$). Rezultatele sunt raportate pentru: a), b), c) valuri mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est (30° , 90° și 150° – în convenție nautică); d), e), f) valuri medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est; g), h), i) valuri mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est.

Evoluția înălțimilor de val în prezența fermei Pelamis pentru cazul 2 ($Trans = 0.2$; $Ref=0.3$) este ilustrată în Figura 5.6. Pentru valurile mici, ferma WEC se află situată într-un câmp de valuri cu înălțimi cuprinse între 0.6m și 0.8m, valorile mai mari fiind raportate pentru zona offshore. În spatele fermei Pelamis se evidențiază valuri de 0.4m, mărimea suprafeței ocupată de acestea depinzând în mare parte de direcția din care se propagă.

În cazul valurilor medii, prezența sistemelor Pelamis duce la apariția în fața fermei WEC a unui câmp de valuri cu valori de 2.3-2.4m, iar când acestea se propagă din nord-est și sud-est

zona se observă în spatele fermei prezența unor înălțimi de val de 1,7m (dominante) în timp ce în apropierea fermei și în zona țărmului valurile de 1.3m prezintă o pondere semnificativă.

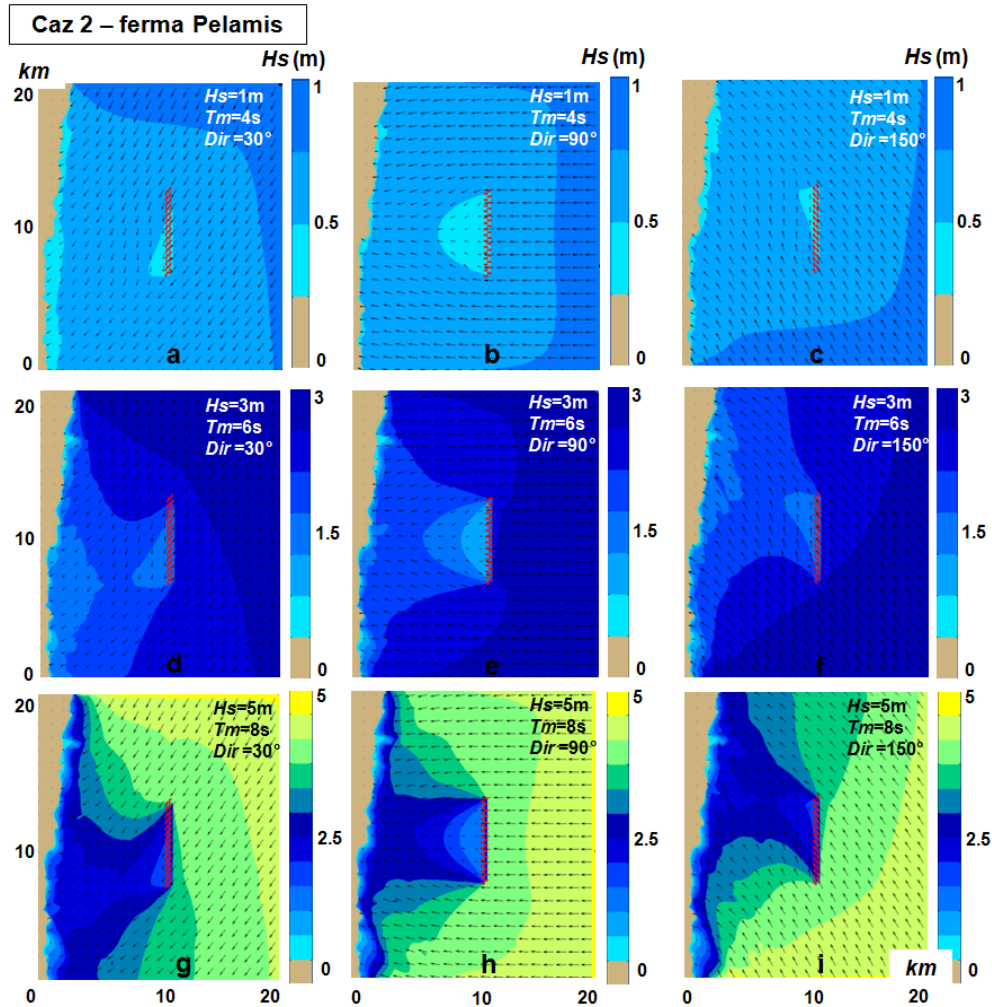


Figura 5.6 Evaluarea în spațiul geografic a impactului unei ferme de val formată din sisteme Pelamis pentru cazul 2 ($Trans = 0.5$; $Ref=0.225$). Rezultatele sunt raportate pentru: a), b), c) valuri mici ($Hs=1m$, $Tm=4s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est (30° , 90° și 150° – în convenție nautică); d), e), f) valuri medii ($Hs=3m$, $Tm=6s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est; g), h), i) valuri mari ($Hs=5m$, $Tm=8s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est.

Atunci când valurile se propagă din est, se înregistrează și apariția unor valuri de 0.6-0.8m în imediata apropiere a fermei.

În cazul unor condiții mai energetice ($Hs=5m$, $Tm=8s$) în fața primului șir de sisteme WEC sunt raportate valuri de 4.2m. Atunci când direcția de propagare este din nord-est și sud-est se observă o reducere a înălțimilor de val cu circa 2.3m în apropierea fermei Pelamis și cu 1.7m în spatele acesteia. Valurile din est, care acționează perpendicular pe fermă sunt reduse brusc la o

valoare de 1.1m, după care are loc o regenerare a câmpului de valuri ajungându-se la o înălțime de 2.7m în apropierea țărmului.

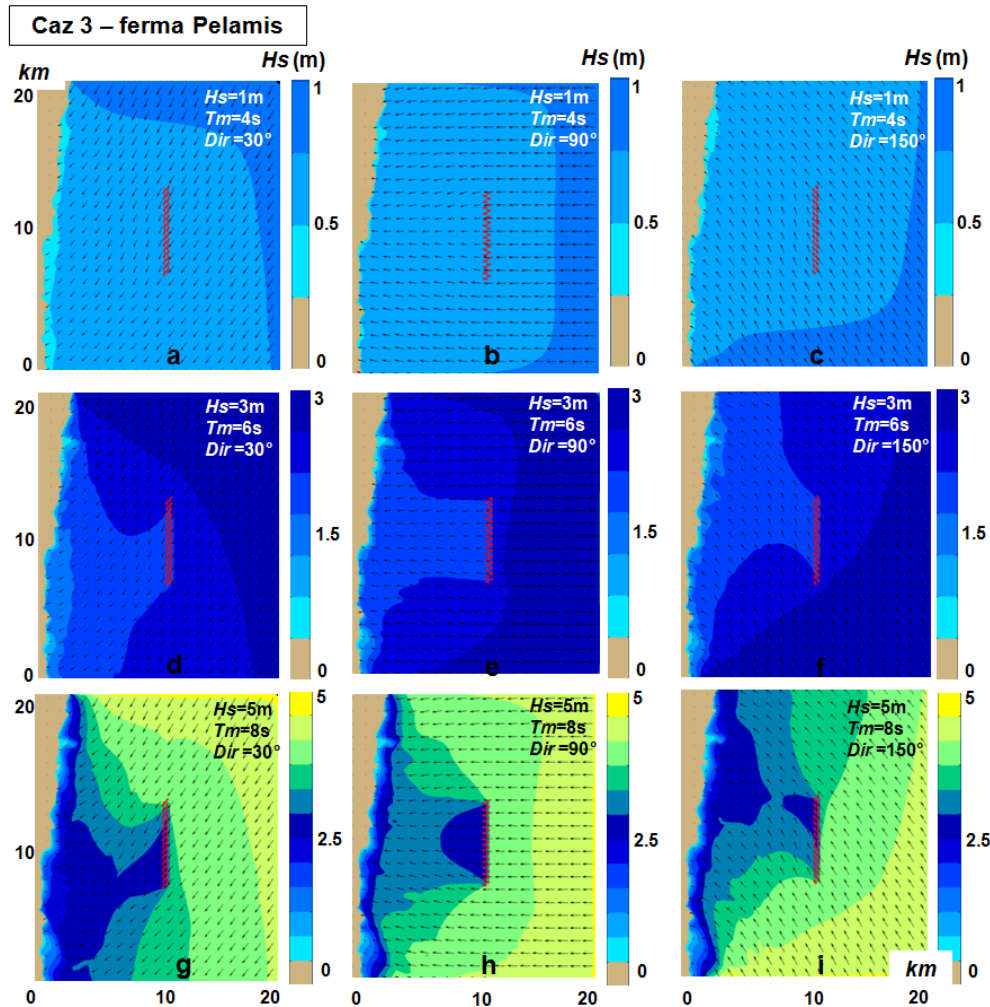


Figura 5.7 Evaluarea în spațiul geografic a impactului unei ferme de val formată din sisteme Pelamis pentru cazul 3 ($Trans = 0.8$; $Ref=0.15$). Rezultatele sunt raportate pentru: a), b), c) valuri mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est (30° , 90° și 150° – în convenție nautică); d), e), f) valuri medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est; g), h), i) valuri mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$) care se propagă din nord-est, est și sud-est.

Cazul 3 de transmisie ($Trans 0.8$; $Ref=0.15$) al fermei Pelamis este ilustrat în Figura 5.7. La o primă analiză a simulărilor numerice se observă ca prezența fermei nu are nici o influență în spațiul geografic în cazul condițiilor de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$). Pentru condițiile de val medii, în spatele fermei WEC se observă apariția unui câmp de valuri cu înălțimi de 1.7-1.8m, în timp ce în imediata apropiere a liniei țărmului valurile de 1.3m devin dominante. În cazul valurilor mari, ferma Pelamis are ca efect reducerea locală a înălțimilor de val până la o valoare de 2.8m,

această valoare fiind întâlnită și în apropierea liniei țărmlui în situația în care valurile se pot propaga din sectorul nord-est și sud-est.

Evoluția înălțimilor de val de-a lungul liniilor de batimetrie (de 20 și 25m), este prezentată în Figura 5.8 unde sunt analizate în absența fermei Pelamis și pentru cele trei cazuri de transmisie (1, 2 și 3). Se poate observa că în unele situații care pot apare în funcționarea fermei WEC, prezența acesteia în spațiul geografic poate duce la o creștere a înălțimilor de val. Este vorba de cazul 1 ($Trans=0.2$; $Ref=0.3$), care duce la o creștere în extremitatea zonei țintă a înălțimilor de val cu circa 0.1m.

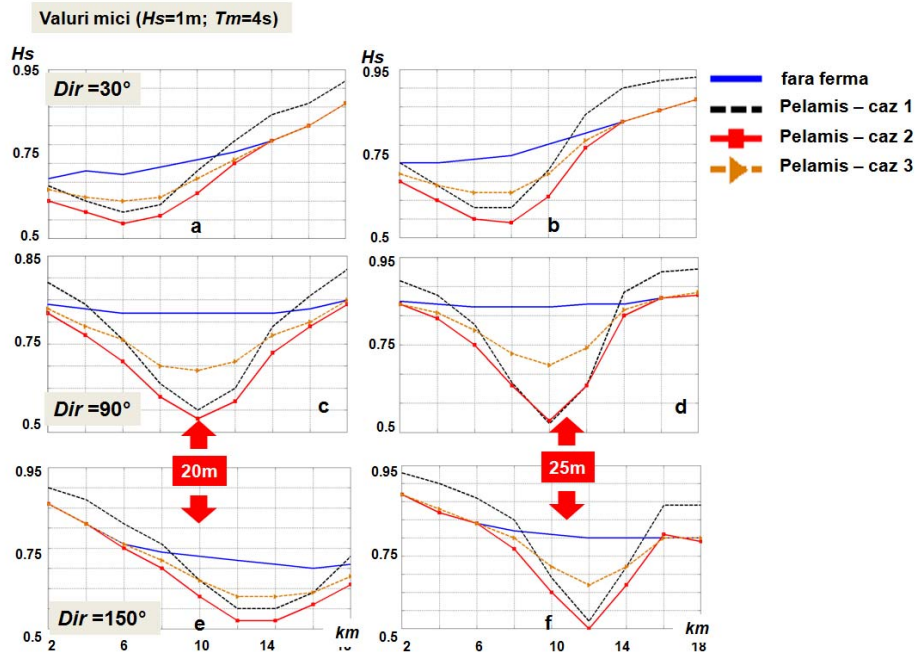


Figura 5.8 Evoluția înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m (partea stângă) și 25m (partea dreaptă) pentru valuri mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile în care nu există nici o fermă de val și atunci când există o fermă Pelamis supusă acțiunii valurilor din: a), b) nord-est (30°); c), d) est (90°) și e), f) sud-est (150°). Combinațiile coeficienților de transmisie și reflexie s-au indicat prin: caz 1 ($Trans=0.2$; $Ref=0.3$); caz 2 ($Trans=0.5$; $Ref=0.225$) și caz 3 ($Trans=0.8$; $Ref=0.15$).

Chiar dacă cazul 1 prezintă cel mai mare coeficient de transmisie, cele mai mari diferențe sunt raportate în schimb în raport cu cazul 2 indiferent de direcția din care se propagă valurile. Cea mai mare diferență (de 0.4m) este înregistrată în partea centrală a zonei țintă de linia de batimetrie de 25m pentru cazurile de transmisie 1 și 2.

În Figura 5.9 este prezentată evoluția înălțimilor de val pentru condiții medii. Cazul 3 de transmisie prezintă cele mai mari valori, existând un maxim de 0.2m pentru linia de batimetrie de

25m. Și în acest studiu de caz, diferențele între cazul 1 și 2 sunt destul de mici fiind influențate în mare parte de direcția din care se propagă valurile.

Ferma WEC are o influență maximă asupra înălțimilor de val atunci când acestea se propagă din est existând o diferență maximă de 0.2-0.3m pentru ambele linii de batimetrie.

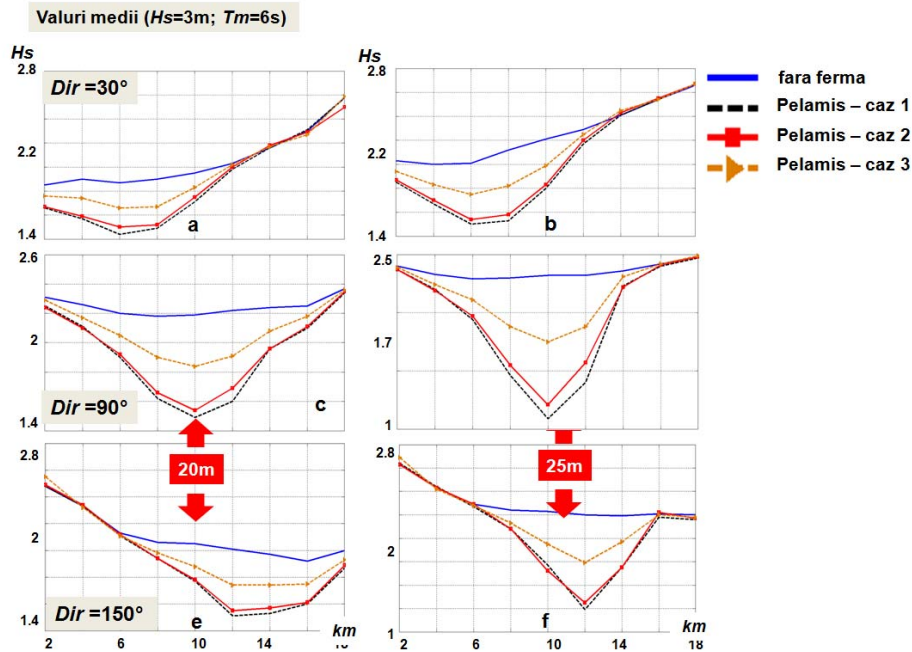


Figura 5.9 Evoluția înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m (partea stângă) și 25m (partea dreaptă) pentru valuri medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$). Rezultatele sunt raportate pentru situația în care nu există nici o fermă de val și atunci când există o fermă Pelamis (pentru cazurile 1, 2 și 3) supusă acțiunii valurilor din: a), b) nord-est (30°); c), d) est (90°) și e), f) sud-est (150°).

Distribuția înălțimilor de val de-a lungul liniilor de batimetrie în prezența fermei WEC, în cazul evoluției unor valuri mari este prezentată în Figura 5.10, unde se poate observa că cele mai mari diferențe sunt distribuite predominant în partea centrală a zonei țintă.

În Figura 5.11 este ilustrată evoluția valurilor mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$) în prezența fermei Pelamis (cazurile 1, 2 și 3), așa cum sunt reflectate de cele trei linii de referință prezentate în Figura 5.4. Pentru acest studiu de caz cea mai mare diferență se observă în cazul valurilor din sectorul est raportată de linia de referință 2, unde valurile sunt reduse de la 0.8m până la 0.1m în imediata apropiere a fermei WEC. Caracterul mai puțin energetic al valurilor nu pune în evidență prezența celui de-al doilea șir de sisteme Pelamis, iar în unele cazuri nici nu se observă prezența

fermei (linie1; Dir=30° sau Dir=150°). Cazul 2 de transmisie prezintă o evoluție similară cu cazul 1, diferențele fiind destul de mici ($\leq 0.2m$).

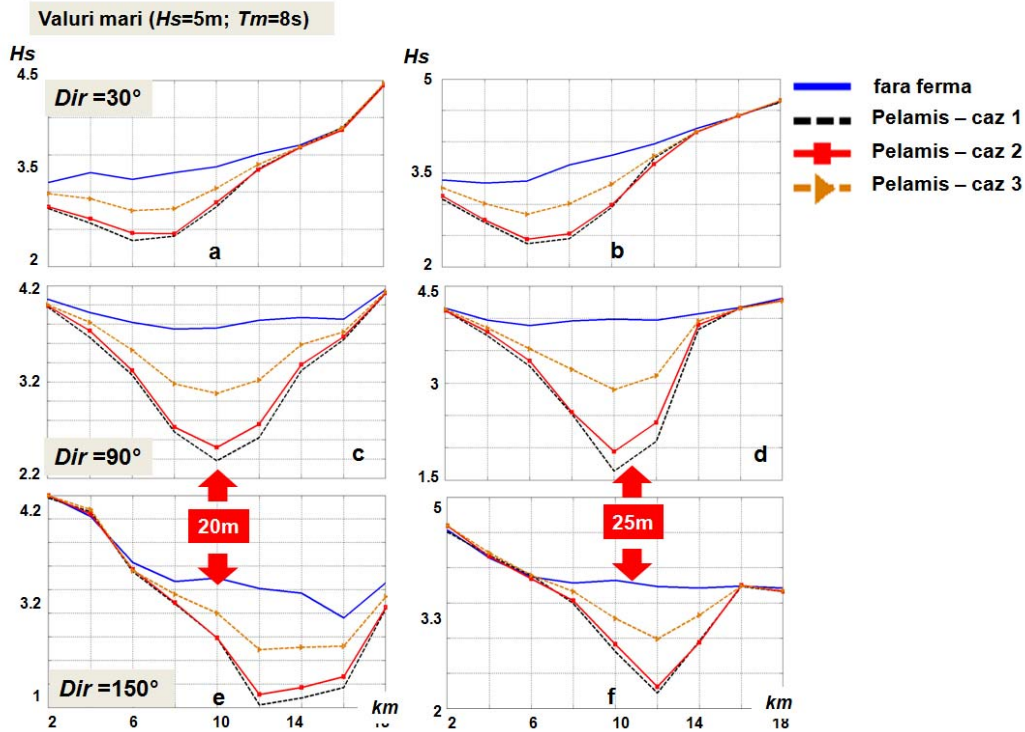


Figura 5.10 Evoluția înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m (partea stângă) și 25m (partea dreaptă) pentru valuri mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$). Rezultatele sunt raportate pentru situația în care nu există nici o fermă de val și atunci când există o fermă Pelamis (pentru cazurile 1, 2 și 3) supusă acțiunii valurilor din: a), b) nord-est (30°); c), d) est (90°) și e), f) sud-est (150°).

Figurile 5.12 și 5.13 prezintă o analiză similară pentru condițiile medii și mari de val. De asemenea nici pentru aceste condiții mai energetice nu se evidențiază prezența celui de-al doilea șir de sisteme WEC (cel din apropierea țărmlui).

Cele mai mari diferențe sunt înregistrate de linia 2 pentru valurile din est, acestea ajungând până la 0.3m. De asemenea se poate observa că prin configurația fermei Pelamis și prin poziționarea acesteia în spațiul geografic, partea centrală a zonei țintă prezintă cele mai mici valori indiferent de direcția din care se propagă valurile sau de cazurile de transmisie considerate.

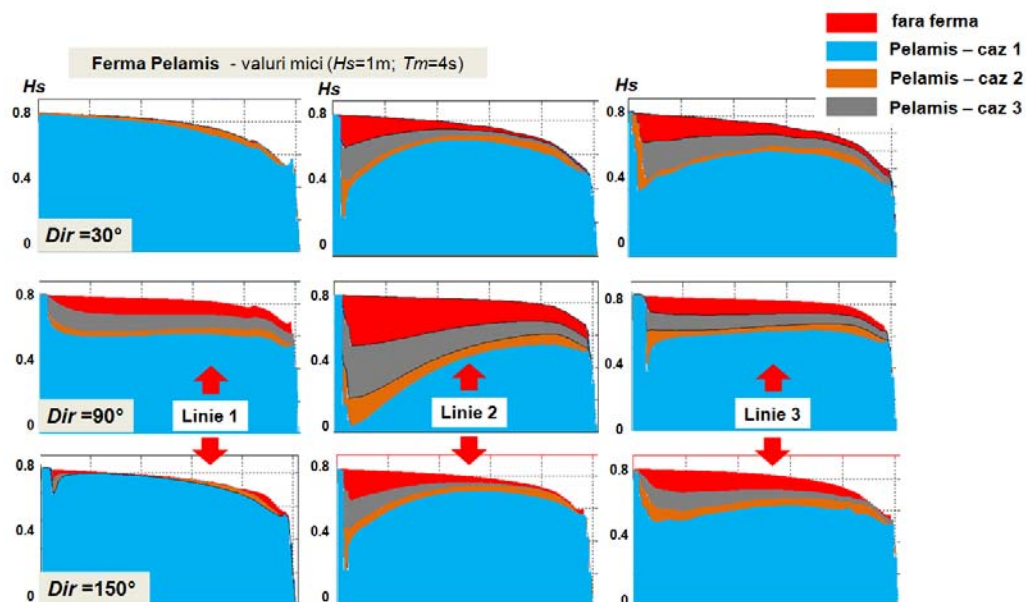


Figura 5.11 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Pelamis, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri mici ($H_s=1\text{m}$, $T_m=4\text{s}$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°), raportate pentru: caz 1 ($Trans=0.2$; $Ref=0.3$); caz 2 ($Trans=0.5$; $Ref=0.225$) și caz 3 ($Trans=0.8$; $Ref=0.15$).

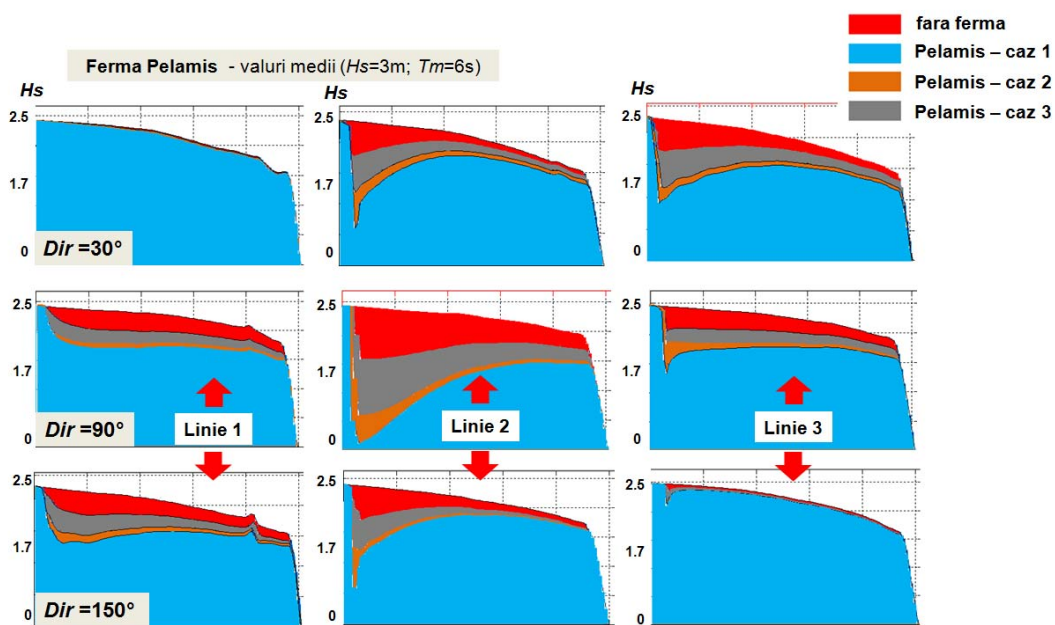


Figura 5.12 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Pelamis, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri medii ($H_s=3\text{m}$, $T_m=6\text{s}$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°), raportate pentru: caz 1 ($Trans=0.2$; $Ref=0.3$); caz 2 ($Trans=0.5$; $Ref=0.225$) și caz 3 ($Trans=0.8$; $Ref=0.15$).

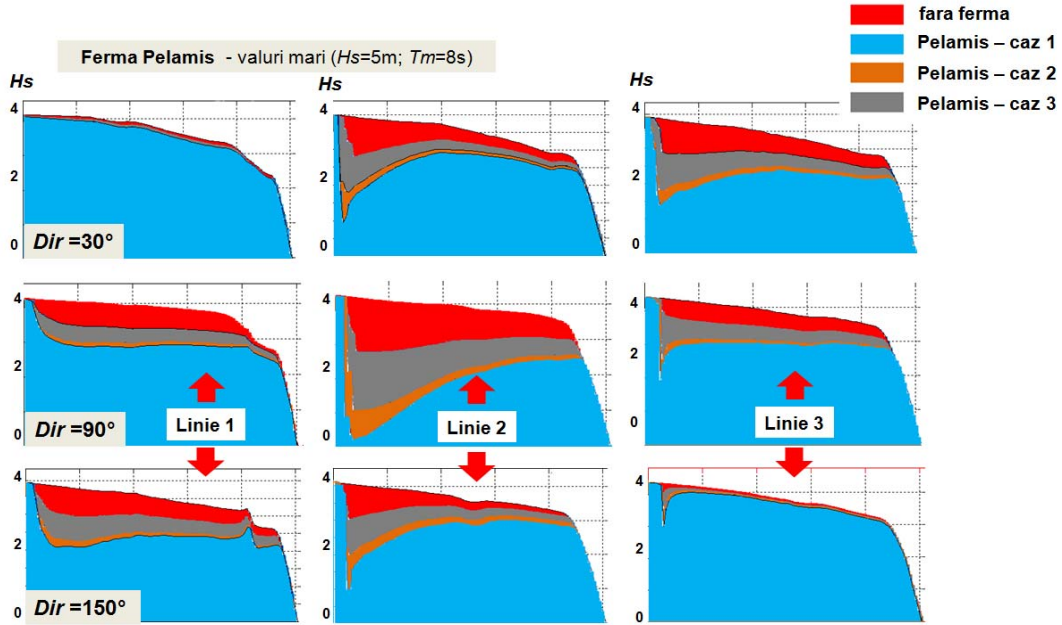


Figura 5.13 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Pelamis, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri mari ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°), raportate pentru: caz 1 ($Trans=0.2$; $Ref=0.3$); caz 2 ($Trans=0.5$; $Ref=0.225$) și caz 3 ($Trans=0.8$; $Ref=0.15$).

5.2.2 Sistemul Wave Dragon

În simulările numerice efectuate pentru sistemul Wave Dragon s-a considerat că acest dispozitiv este fix indiferent de direcția din care se propagă valurile. În acest caz s-a folosit o distanță de 255m între fiecare sistem Wave Dragon, în timp ce între cele două linii (Figura 5.22b) s-a considerat o valoare de 190m, mai multe detalii fiind prezentate în Beels et al [74].

În simulările numerice sistemele Wave Dragon au fost considerate ca și obstacole, având un coeficient de transmisie de 0.5 și un coeficient de reflexie de 0.225.

În continuare se va face o analiză a impactului pe care îl poate avea asupra zonei țintă o fermă de valuri formată din 30 de sisteme Wave Dragon poziționate pe două linii (Figura 5.14), aceste rezultate fiind prezentate deja în Diaconu și Rusu, 2013 [75] sau în Rusu și Diaconu, 2013 [76]. Ca și în cazul fermei Pelamis se va analiza și evoluția valurilor incidente în urma interacțiunii cu ferma Wave Dragon, luând în considerare 3 linii de referință notate cu: linie 1, 2 și 3 (Figura 5.14b).

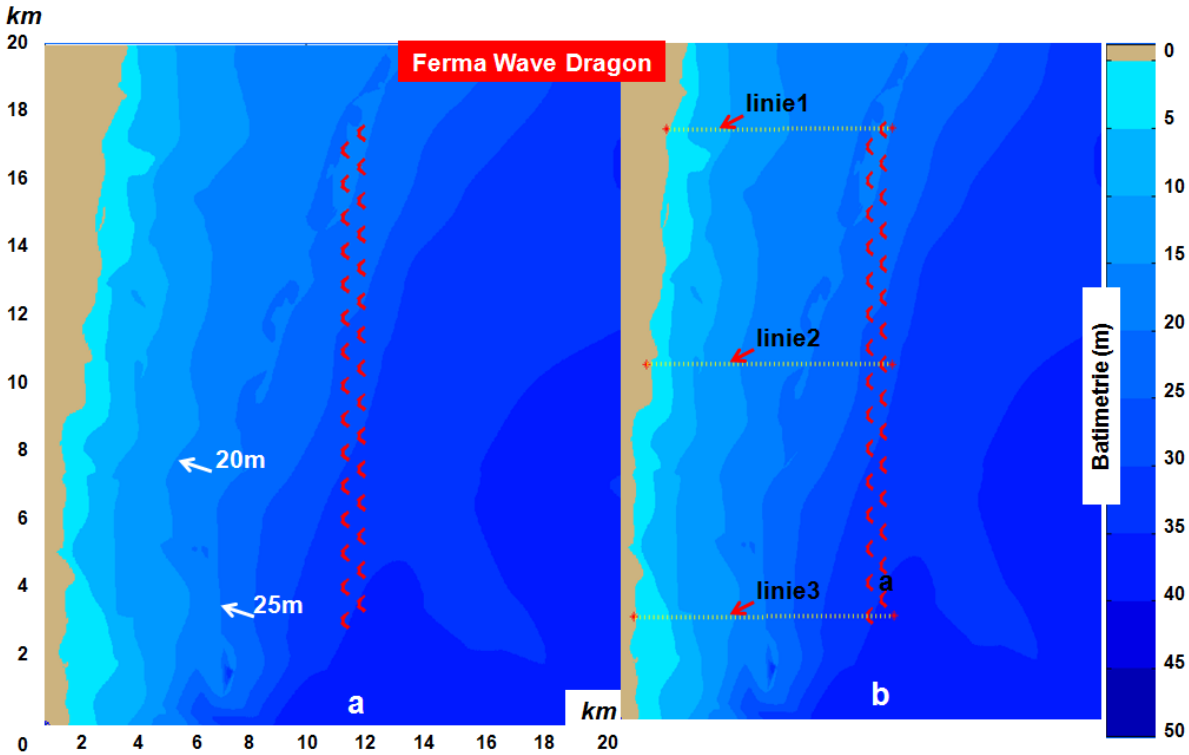


Figura 5.14 Prezentarea studiului de caz Wave Dragon: a) fermă formată din 30 de sisteme Wave Dragon dispuse pe două linii configurată pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est; b) poziția liniilor de referință considerate pentru a identifica evoluția câmpului de valuri atunci când acesta se propagă prin ferma WEC.

În Figura 5.15 este prezentată influența în spațiul geografic al fermei de valuri Wave Dragon considerând toate condițiile de val (mici, medii și mari) precum și toate direcțiile (30° , 90° și 150°).

Din analiza condițiilor de val mici (Figura 5.15a, b, c), câmpurile de valuri din zona țintă nu prezintă nici o modificare. În cazul valurilor medii care se propagă din nord-est și sud-est se observă că zona din spatele fermei de val este ocupată în totalitate de valuri cu înălțimi cuprinse în intervalul 1.6-1.9m, iar în această situație în apropierea țărmului se întâlnesc și valuri cu înălțimi de 1.3-1.5m.

Pentru cazul în care valurile se propagă din est regiunea din spatele fermei de val este ocupată în mare parte de valuri cu înălțimi de 1.6m și 1.7m iar în spatele celei de-a doua linii de sisteme Wave Dragon (cea mai aproape de țărm) se evidențiază și înălțimi de val de 1.4m (în partea superioară a zonei țintă).

În cazul valurilor mari care se propagă din nord-est (Figura 5.15g) se observă o reducere graduală a înălțimilor de val din direcția din care se propagă acestea. Astfel câmpurile de valuri scad de la o valoare de 4.2m, ajungând treptat la 3.8m, 3.2m și 3.7m.

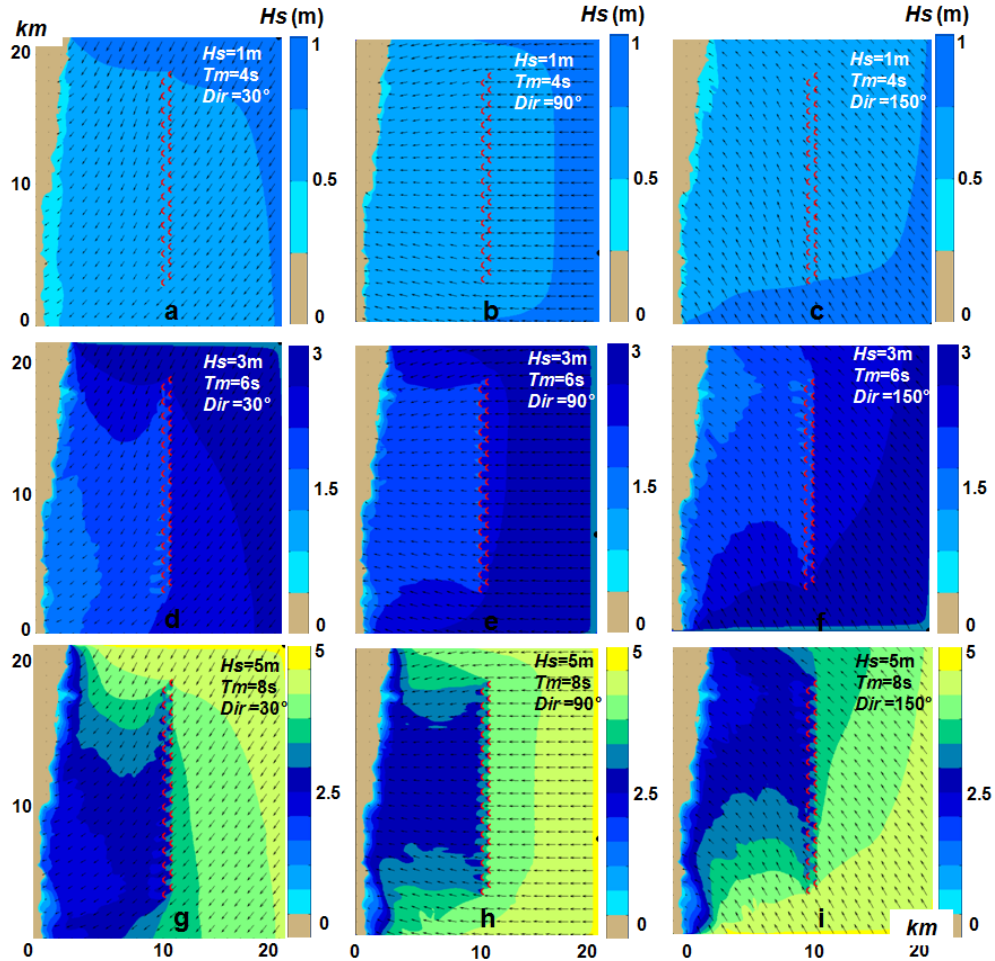


Figura 5.15 Evaluarea în spațiul geografic a impactului unei ferme de val formată din 30 de sisteme Wave Dragon. Rezultatele sunt raportate la următoarele studii de caz: a), b), c) valuri mici ($H_s=1\text{m}$, $T_m=4\text{s}$) care se propagă din nord-est, est și sud-est (30° , 90° și 150° – în convenție nautică); d), e), f) condiții medii ($H_s=3\text{m}$, $T_m=6\text{s}$) pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est; g), h), i) condiții energetice ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$) pentru valuri care se propagă din nord-est, est și sud-est.

De asemenea în apropierea țărnelui se înregistrează o regiune semnificativă cu înălțimi de val de 2.4m. O evoluție similară a condițiilor de val pe direcția de propagare se observă în prezența fermei Wave Dragon pentru valurile care ajung în zona țintă din sud-est.

Efectul de ecranare dat de ferma Wave Dragon în cazul valurilor mari care se propagă din sectorul est, contribuie la crearea unui câmp de valuri cu înălțimi de 2.8-2.9m în partea centrală a zonei țintă, în timp ce la extremitățile fermei de val se observă valuri cu înălțimi de 3-3.2m.

Distribuția înălțimilor de val în prezența fermei Wave Dragon de-a lungul liniilor de batimetrie (de 20m și 25m) este prezentată în Figura 5.16 pentru valuri mici. În absența fermei WEC se poate observa că înălțimile de val raportate la linia de 20m prezintă valori mai mici decât cea de 25m acest fapt datorându-se fenomenelor disipative care se manifestă odată cu scăderea adâncimii apei. Pentru valurile care se propagă din nord-est se observă că în prezența fermei Wave Dragon linia de batimetrie de 20m prezintă valori un pic mai mici în partea superioară a zonei țintă (decât linia de 25m) prezentând valori în intervalul 0.65-0.76m.

În schimb pentru valurile din est și sud-est, înălțimile de val caracteristice liniei de 25m prezintă ce-a mai mare variație care începe de la 0.58m și ajunge la o valoare de 0.88m. Se poate observa că prezența fermei WEC contribuie la o reducere semnificativă a înălțimilor de val de-a lungul liniei de batimetrie de 20m, evoluția câmpului de valuri fiind însă influențată în mare parte de configurația spațială a liniei de batimetrie (fără fermă WEC).

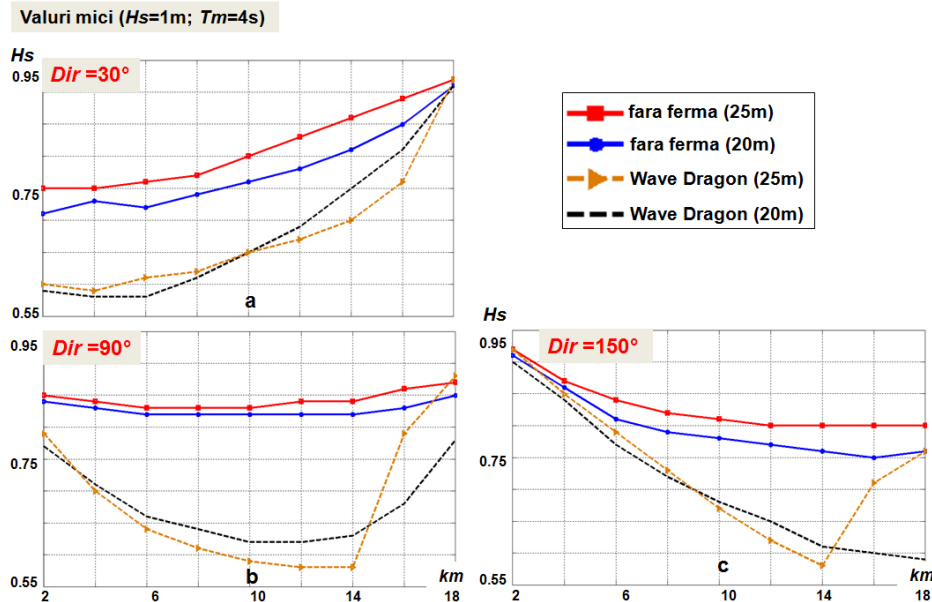


Figura 5.16 Evoluției înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m și 25m pentru condiții de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile în care nu există nici o fermă de val și în situația când o fermă de val Wave Dragon e supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

În cazul unor condiții de val medii (Figura 5.17), pentru valurile care se propagă din nord-est ferma Wave Dragon are ca efect reducerea cu $\approx 0.4m$ a înălțimilor de val inițiale, în timp ce o variație bruscă a înălțimilor de val este înregistrată de linia de batimetrie de 25m pentru valurile care se propagă din est (de la 1.61m la 2.49m). Pentru valurile din est, cea mai mare diferență

între linia de batimetrie de 20m este înregistrată în partea centrală a zonei țintă ($\approx 0.56m$). Pentru valurile din sud-est, înălțimile de val de-a lungul liniei de 20m prezintă o evoluție descendentă ajungând la un minim de 1.47m, în timp ce de-a lungul liniei de 25m se înregistrează o creștere a înălțimilor de val de la 1.56m la 2.10m.

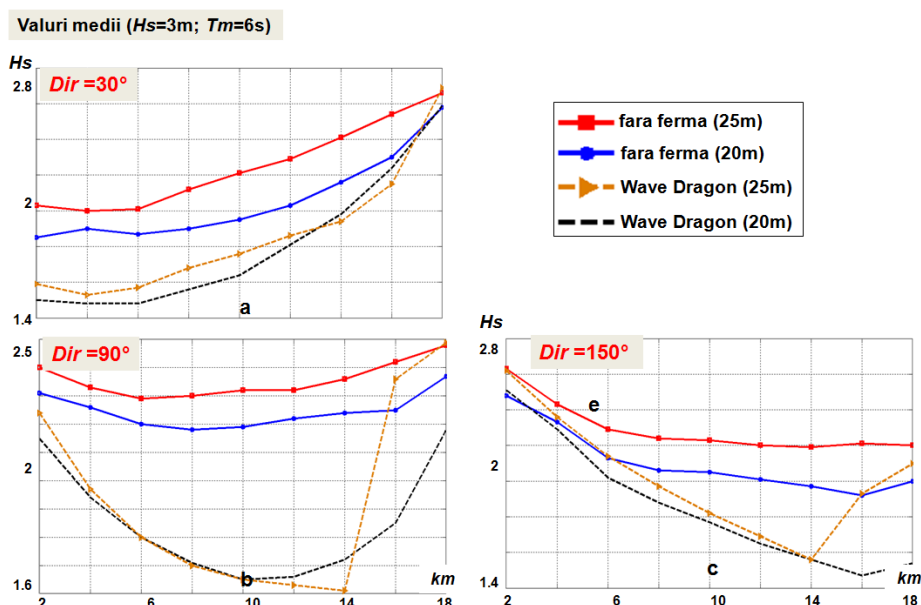


Figura 5.17 Evoluției înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m și 25m pentru condiții de val medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile în care nu există nici o fermă de val și atunci când o fermă de val Wave Dragon e supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

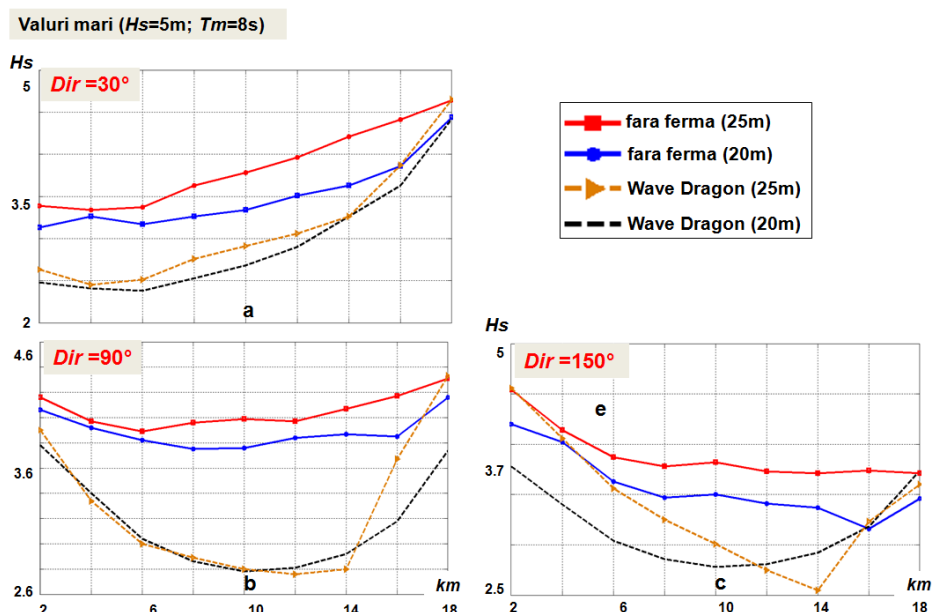


Figura 5.18 Evoluției înălțimilor de val H_s de-a lungul liniilor de batimetrie de 20m și 25m pentru valuri mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile în care nu există nici o fermă de val și atunci când o fermă de val Wave Dragon este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

În cazul simulărilor numerice în care s-au luat în considerare condiții de val mai energetice (Figura 5.18) modificările introduse de ferma Wave Dragon devin semnificative. Pentru valurile din nord-est în partea centrală și inferioară a zonei țintă diferențele sunt de circa 0.77m ajungând la o valoare de 0.2-0.3m în partea superioară a zonei analizate în cazul liniei de 20m.

Cele mai mari variații ale înălțimilor de val sunt înregistrată pe linia de 25m pentru valurile care se propagă din est (de la 2.80m la 4.33m) și pentru valurile din sud-est (de la 2.55m la 3.60m).

Figura 5.19 prezintă evoluția condițiilor de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$) la trecerea acestuia prin ferma Wave Dragon, așa cum este reflectată de cele trei linii de control prezentate în Figura 5.27b. Prin culoarea roșie s-a identificat situația când nu există nici o fermă în timp ce cu albastru s-a pus în evidență evoluția înălțimilor de val în prezența fermei WEC, iar acțiunea valurilor din zona offshore către țărm a fost reprezentată de la stânga la dreapta.

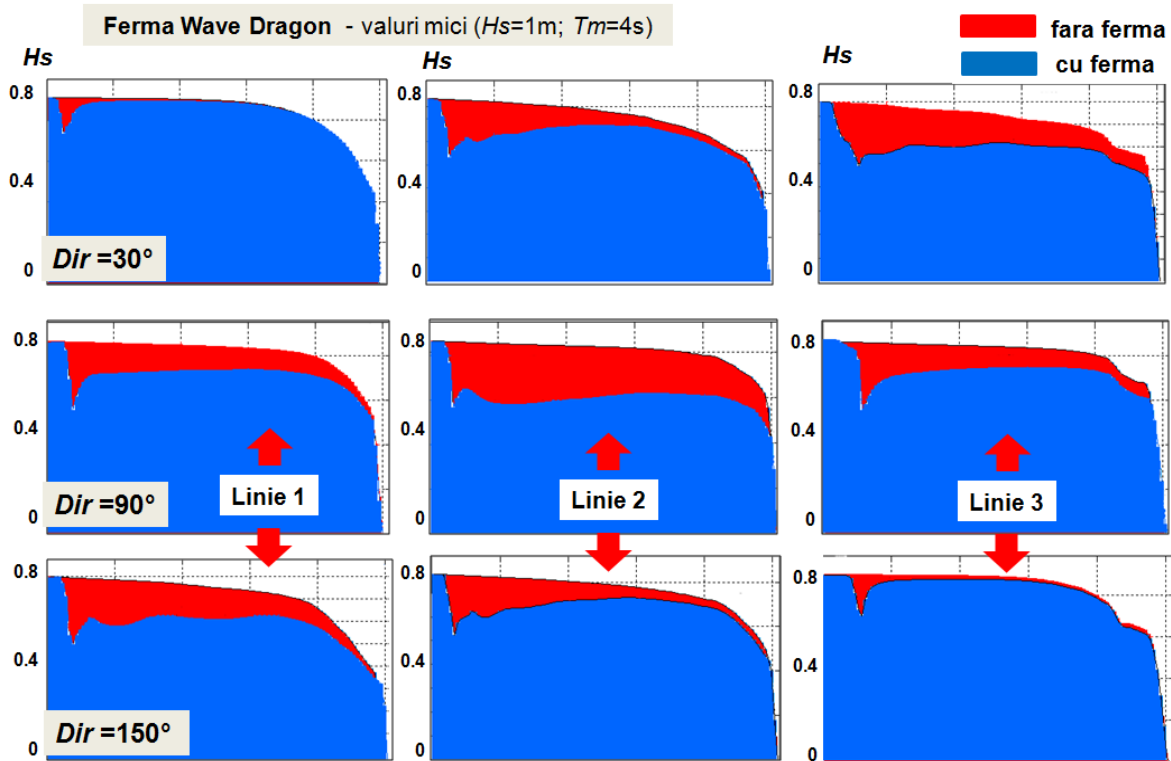


Figura 5.19 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Wave Dragon, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°).

În cazul valurilor care se propagă din nord-est linia 1 evidențiază prezența primului șir de sisteme Wave Dragon (cele din zona offshore) printr-o reducere a înălțimilor de val cu circa

0.1m, în timp linia 3 prezintă o diminuare a înălțimilor de val cu circa 0.3m care se menține până în apropierea liniei țărmului. Pentru valurile care se propagă din est liniile 1 și 2 prezintă o reducere bruscă a înălțimilor de val cu circa 0.3m, după care are loc o regenerare a câmpului de valuri până la o valoare de 0.6m. De-a lungul liniei 2, aceste diferențe sunt mai consistente cu mențiunea că se observă și prezența celui de-al doilea șir de sisteme Wave Dragon (din zona liniei țărmului) care duc la o reducere locală a înălțimilor de val cu circa 0.1m. În cazul valurilor din sud-est linia 1 prezintă cea mai mare variație a înălțimii de val (0.3m), care scade progresiv până la o valoare de 0.1m în apropierea liniei 3.

Figura 5.20 prezintă evoluția condițiilor medii de val ($H_s=3m$, $T_m=6s$) în prezența fermei Wave Dragon. Se observă o evoluție similară a înălțimilor de val cu cele prezentate în cazul anterior, diferențele existente fiind însă mai semnificative.

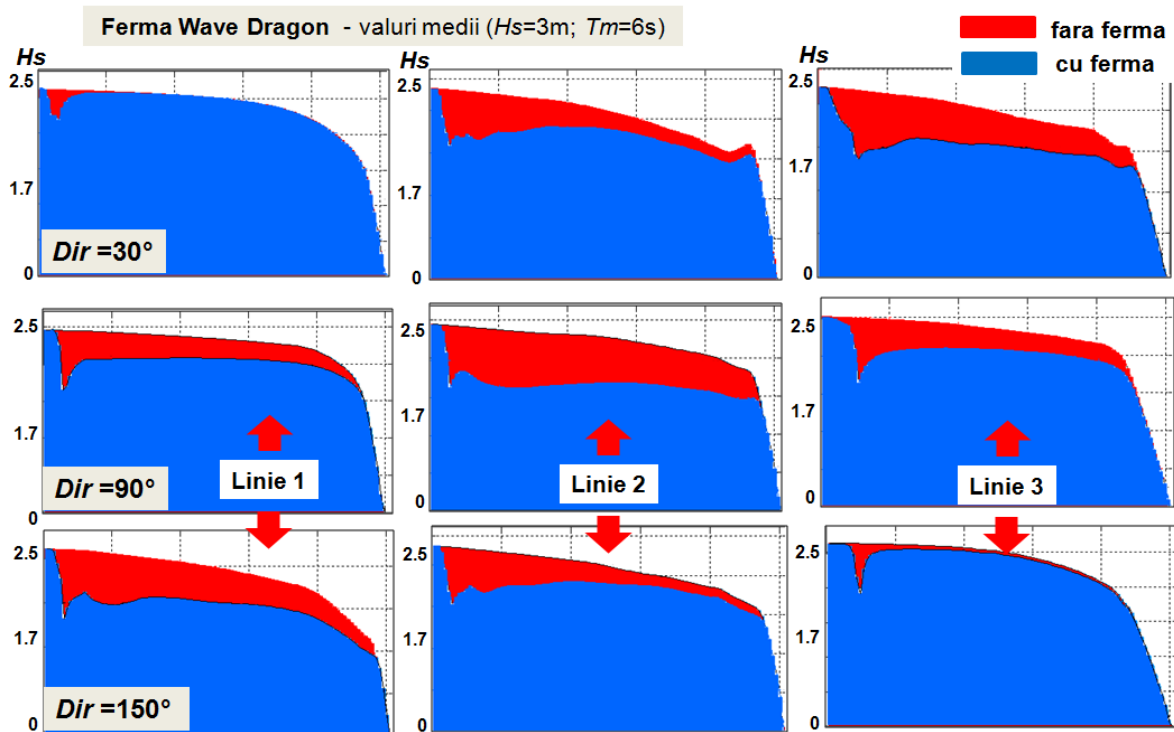


Figura 5.20 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Wave Dragon, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°).

Se observă faptul că prezența fermei WEC are o influență locală asupra valurilor incidente, producând reducerea acestora cu circa 0.5m (de ex: linia 2 – valuri din est) în timp ce la o distanță de 5-6km de linia țărmului procesele disipative de frecare cu fundul apei devin dominante contribuind în mod direct la reducerea diferențelor existente.

În Figura 5.21 este ilustrată evoluția condițiilor energetice de val ($H_s=5m$, $T_m=8s$) în prezența fermei Wave Dragon. Pentru acest studiu de caz cele mai mari diferențe se observă în cazul valurilor din sectorul nord-est pentru linia de referință 3 ($\approx 2m$). Prezența celui de-al doilea șir de sisteme WEC este evidențiată pentru: linia 2 (valuri din nord-est și est) și pentru liniile 1 și 2 (valuri din sud-est).

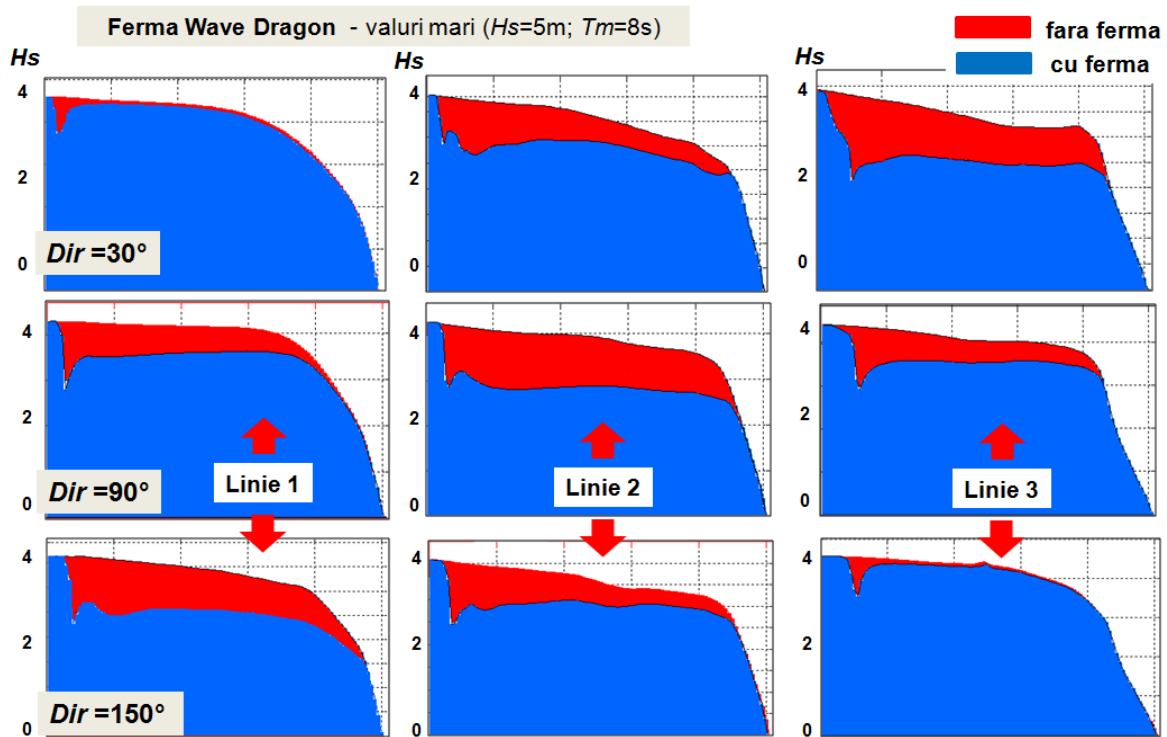


Figura 5.21 Evoluția câmpului de valuri H_s de-a lungul fermei de val formată din sisteme Wave Dragon, raportată pentru cele trei linii de referință. Simulări efectuate pentru valuri mari ($H_s=5m$, $T_m=8s$) care se propagă din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°).

5.2.3 Evaluarea impactului fermelor Wave Dragon și Pelamis asupra circulației costiere

- **Wave Dragon**

În această secțiune se va evalua influența fermei Wave Dragon (formată din 30 de sisteme) asupra circulației maselor de apă din cadrul zonei țintă.

O astfel de analiză este efectuată în Figura 5.22, pentru condiții de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$), rezultatele fiind raportate pentru cele șapte puncte de referință NP (NP1, NP2 ... NP7) situate în apropierea liniei țărmului așa cum se poate observa din Figura 5.2. În cazul valurilor

care se propagă din sectorul nord-est și sud-est, se observă că vitezele curenților V_c în prezența fermei WEC au o evoluție similară cu situația în care nu ar exista nici o fermă de val. Pentru valurile din nord-est se observă o scădere graduală a vitezei curenților (de la NP1 la NP7), cea mai mare viteză înregistrându-se în punctul NP1 (1.16m/s), în timp ce un minim de 0.26m/s este caracteristic punctului NP6 (doar în prezența fermei Wave Dragon).

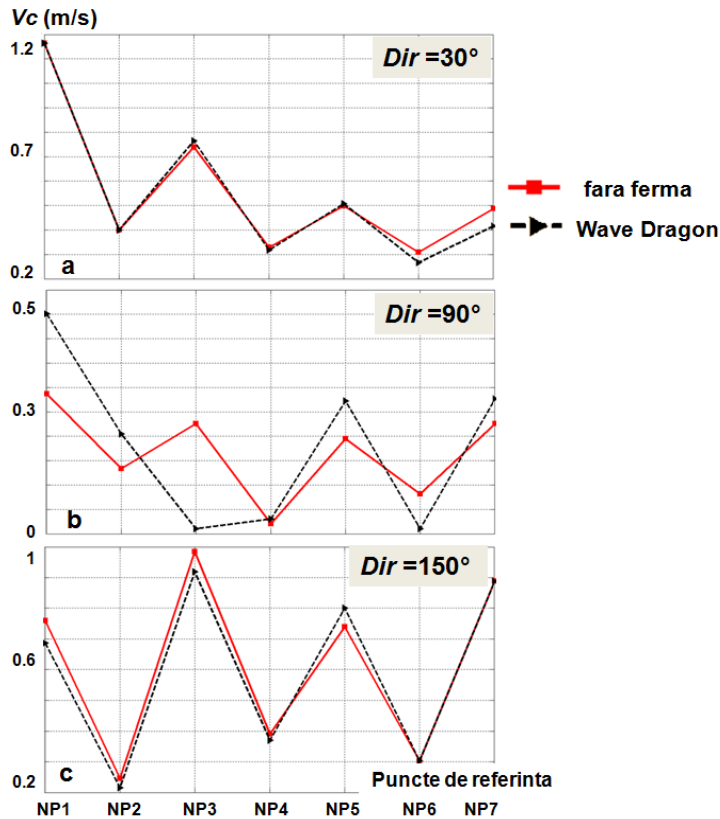


Figura 5.22 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazul în care nu există nici o fermă de val și pentru situația în care o fermă de val Wave Dragon (30 de sisteme) este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

În schimb pentru valurile din sud-est cele mai mari valori se observă în partea centrală a zonei țintă cu 0.98m/s (fără fermă WEC) și 0.8m/s (fermă Wave Dragon), în timp ce punctele NP2 și NP6 prezintă cele mai mici valori ($\approx 0.3m/s$). De asemenea se observă și o mică influență a fermei WEC asupra circulației costiere, în sensul că punctele de control din zona superioară (de la NP1 la NP4) raportează valori mai mici ale vitezei curenților în prezența fermei Wave Dragon, cu o diferență maximă de aproximativ 0.1m/s în apropierea punctului NP1.

Pentru valurile care se propagă din est (Figura 5.22b) se observă valori mai mici ale curenților marini și variații semnificative ale vitezelor acestora în prezența fermei Wave Dragon.

Astfel în partea superioară a zonei țintă, punctul NP1 înregistrează o valoare a curenților de 0.45m/s în prezența fermei WEC și o diferență de 0.17m/s pentru cazul în care nu există nici un sistem WEC. Tot în această zonă, punctul NP3 raportează o reducere a vitezei curenților cu circa 0.22m/s în prezența fermei WEC, viteza curenților fiind apropiată de zero. În partea inferioară se înregistrează diferențe mai mici între cazurile studiate, cea mai mare diferență ($\approx 0.1\text{m/s}$) fiind raportată de punctul NP5 atunci când s-a luat în considerare prezența fermei WEC.

În Figura 5.23 este prezentată distribuția curenților pentru situația în care s-au luat în considerare condiții de val medii. Pentru valurile care se propagă din nord-est se observă la fel o reducere a vitezei curenților ca și în cazul anterior studiat, existând o valoare maximă de 1.6m/s în punctul NP1 precum și alte două valori semnificative de 1.4m/s (fermă WEC) și 1.2m/s (fără fermă) în apropierea punctului NP3. În partea inferioară a zonei țintă diferențele vitezele curenților sunt distribuite în general în jurul valorii de 0.7m/s ajungându-se în final la o valoare de 0.4m/s în punctul NP7.

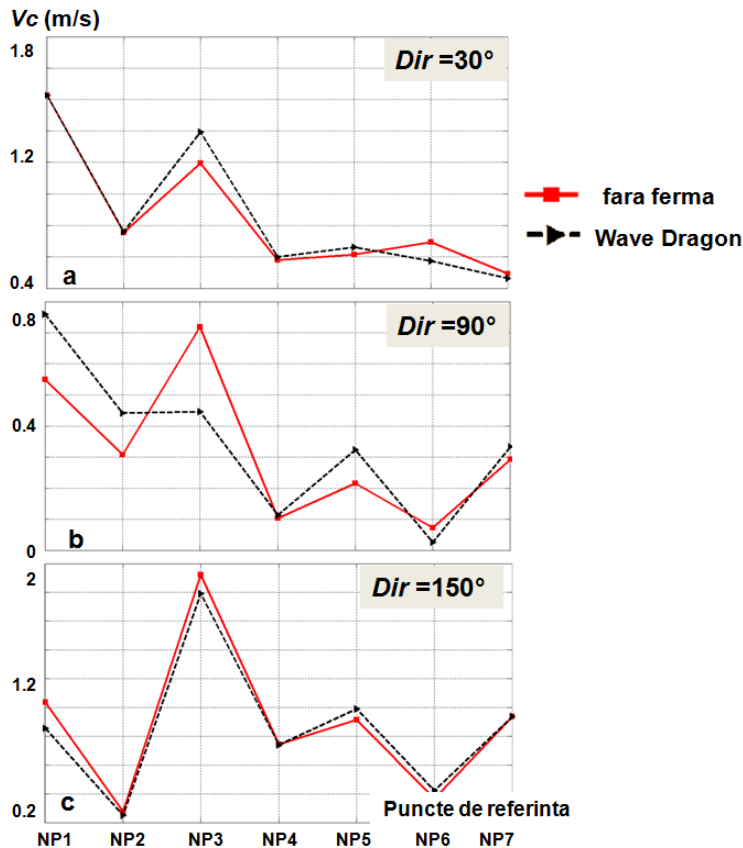


Figura 5.23 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val medii ($H_s=3\text{m}$, $T_m=6\text{s}$). Rezultatele sunt raportate pentru cazul în care nu există nici o fermă de val și pentru situația în care o fermă de val Wave Dragon (30 de sisteme) este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

Analizând influența valurilor medii din est se observă că partea inferioară a zonei țintă, caracterizată de o adâncime mai mică a apei, prezintă valori mai mari ale vitezei curenților în comparație cu zona inferioară în care adâncimea apei este mai mare. Prezența fermei WEC duce la o creștere a vitezei curenților cu: 0.2m/s (în NP1), 0.14m/s (NP2) și 0.11m/s (NP5); în timp ce viteza curenților se reduce cu 0.27m/s în NP3.

Acțiunea valurilor din sud-est (Figura 5.23c) are ca efect o evoluție similară a vitezelor curenților (cu fermă și fără fermă WEC) existând un maxim de $\approx 1.9\text{m/s}$ în punctul NP3, în timp ce un minim de 0.4m/s se observă în punctul NP6 situat în partea inferioară a zonei țintă.

Figura 5.24 ilustrează distribuția vitezei curenților pentru condiții de val mai energetice ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$) care ar putea corespunde eventual unor condiții de furtună și așa cum s-a precizat și în capitolele introductive, aceste condiții reprezintă unul din pricipalii factorii care duc la eroziunea țărmului românesc în special de-a lungul sezonului de iarnă (Octombrie - Martie).

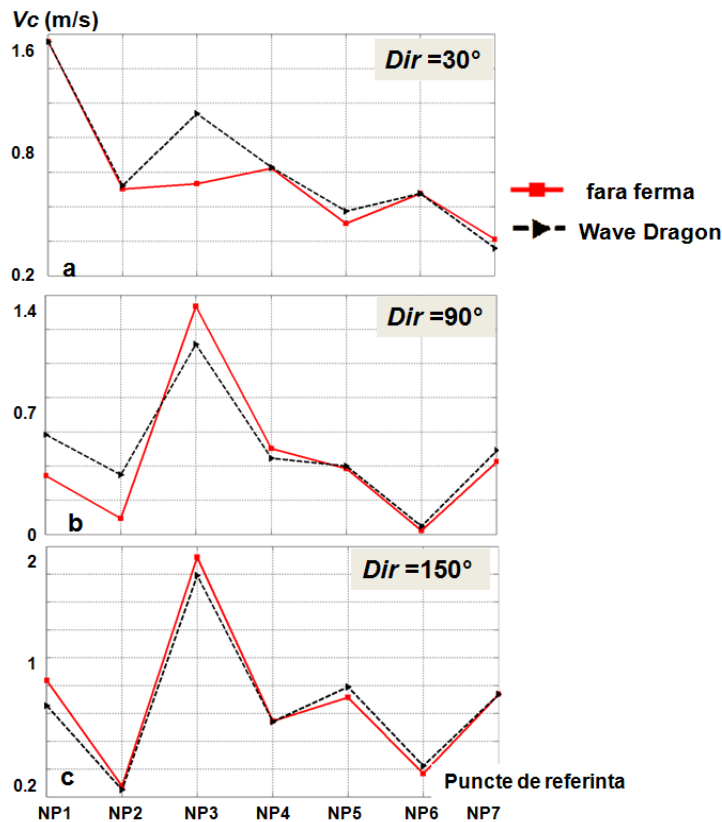


Figura 5.24 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val mari ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$). Rezultatele sunt raportate pentru cazul în care nu există nici o fermă de val și pentru situația în care o fermă de val Wave Dragon (30 de sisteme) este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

Pentru valurile din nord-est (Figura 5.24a), punctul NP1 indică o valoare maximă de 1.55m/s (în ambele cazuri), în timp ce punctul NP7 este caracterizat de o valoare minimă de ≈ 0.4 m/s. Cea mai mare diferență (0.4m/s) se înregistrează în punctul NP3, care indică o valoare mai mare a curenților în prezența fermei Wave Dragon.

În cazul valurilor din est se observă variații semnificative ale vitezelor curenților din partea superioară a zonei țintă cu o valoare de 0.58m/s (în prezența fermei WEC) în punctul NP1 și un maxim de 1.33m/s (fără fermă WEC) existând în acest caz o diferență de 0.22m/s față de situația în care ar exista o fermă Wave Dragon.

Referitor la condițiile de val din sud-est (Figura 5.24c), prezența fermei WEC nu are un impact semnificativ asupra curenților din apropierea țărmlui, observându-se valori mai mari în apropierea punctului NP3 (≈ 2 m/s) în timp ce punctele NP2 și NP6 prezintă viteze mai mici ale curenților de 0.26m/s și respectiv 0.32m/s.

- **Pelamis**

Figura 5.25 ilustrează evoluția curenților marini în prezența unei ferme Pelamis (30 de sisteme WEC), atunci când în spațiul geografic acționează valuri având caracteristici energetice reduse ($H_s=1m$, $T_m=4s$).

Simulările numerice au fost efectuate pentru cele trei cazuri de transmisie considerate (1, 2 și 3). În cazul valurilor care se propagă din sectorul nord-est evoluția curenților este similară cu cea prezentată în cazul fermei Wave Dragon, singura diferență care ar putea fi menționată este că pentru zona cuprinsă între punctele NP6 și NP7 cazul 1 de transmisie al sistemelor Pelamis contribuie la o reducere mai mare a vitezei curenților.

Pentru valurile din est (Figura 5.25b) caracteristicile curenților variază foarte mult în special pentru partea inferioară a zonei țintă. În cazul punctului NP5 vitezele curenților cresc în prezența fermei Pelamis ajungând la un maxim de 0.33m/s (cazul 1 și 2 de transmisie) în timp ce curenți în absența sistemelor WEC au o valoare de 0.19m/s. De asemenea și punctul NP3 iese în evidență prin faptul că viteza curenților indicată de cazul 3 de transmisie (care are cel mai mic impact asupra valurilor) este aproape zero, existând o diferență de aproape 0.2m/s față de celelalte situații studiate. În ceea ce privește valurile din sud-est, vitezele curenților prezintă de asemenea o distribuție identică cu cea din cazul fermei Wave Dragon.

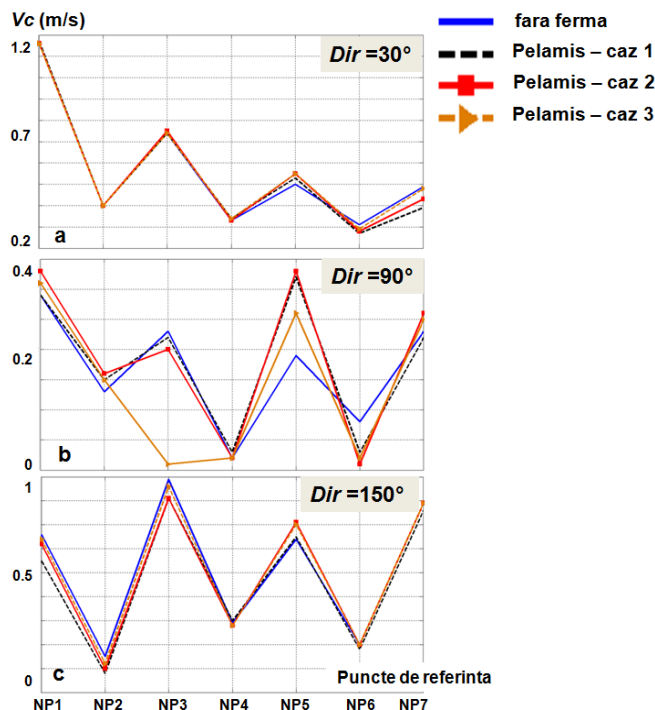


Figura 5.25 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val mici ($H_s=1m$, $T_m=4s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile de transmisie 1, 2 și 3 considerând situația în care nu există nici o fermă de val și cazul în care o fermă Pelamis formată din 30 de sisteme este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

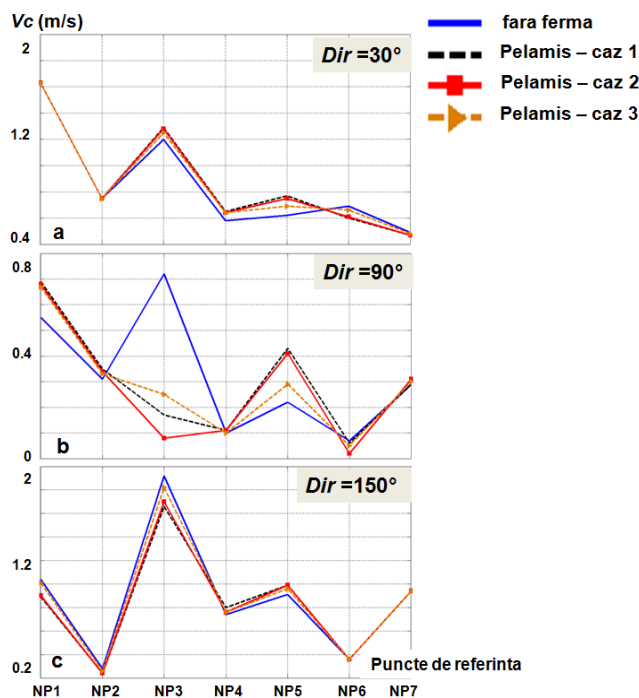


Figura 5.26 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val medii ($H_s=3m$, $T_m=6s$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile de transmisie 1, 2 și 3 considerând situația în care nu există nici o fermă de val și cazul în care o fermă Pelamis formată din 30 de sisteme este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

Distribuția curenților marini specifică caracteristicilor medii de val este prezentată în Figura 5.26. În cazul valurilor din nord-est se observă că în partea centrală a zonei țintă (între NP2 și NP6) prezența fermei WEC duce la creșterea vitezei curenților cu circa 0.2m/s pentru toate cazurile de transmisie.

În cazul valurilor din est cea mai severă reducere a vitezei curenților în prezența sistemelor Pelamis se înregistrează în punctul NP3, unde vitezele curenților sunt reduse treptat de la 0.72m/s (fără fermă) până la: 0.25m/s (caz 3 de transmisie), 0.17m/s (caz 1) și 0.08m/s (caz 2). Contrar acestei evoluții în punctul NP5 are loc o creștere a vitezei curenților de la o valoare 0.22m/s (fără fermă) până la un maxim de 0.43m/s (caz 1 și 2 de transmisie). Valurile din sud-est (Figura 5.26c) au ca efect o evoluție similară a curenților marini cu cea înregistrată în cazul fermei Wave Dragon, în care se evidențiază faptul că cele mai mici valori se înregistrează în punctul NP2, în timp ce punctul NP3 se evidențiază prin cele mai mari valori ($\approx 1.9\text{m/s}$) și prin faptul că în prezența fermei WEC are loc o reducere a vitezei curenților cu maxim 0.26m/s (caz 1 de transmisie).

Figura 5.27 prezintă evoluția curenților de-a lungul punctelor de control NP pentru condiții energetice de val ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$).

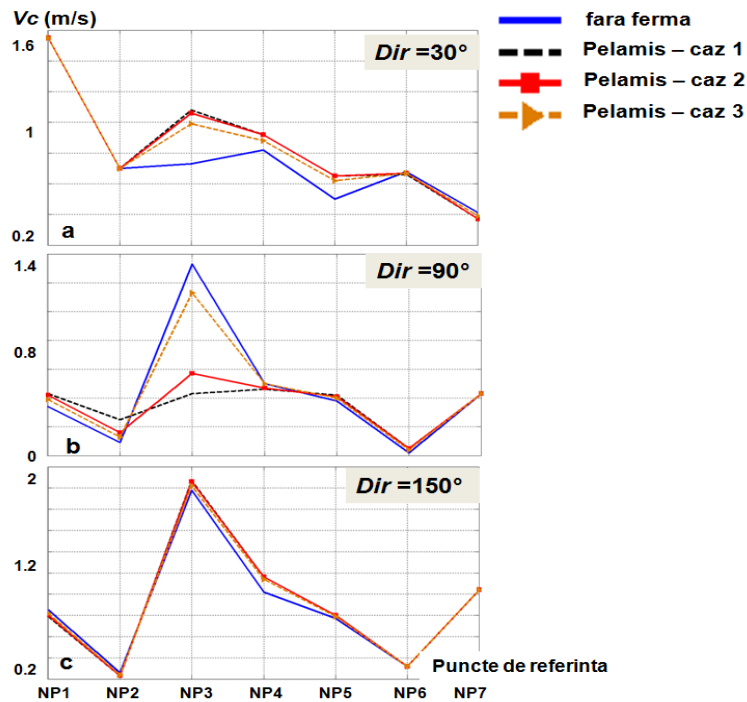


Figura 5.27 Evoluția curenților marini (m/s) în punctele de referință NP, pentru condiții de val mari ($H_s=5\text{m}$, $T_m=8\text{s}$). Rezultatele sunt raportate pentru cazurile de transmisie 1, 2 și 3 considerând situația în care nu există nici o fermă de val și cazul în care o fermă Pelamis formată din 30 de sisteme este supusă acțiunii valurilor din: a) nord-est (30°); b) est (90°) și c) sud-est (150°).

În cazul valurilor din nord-est curenții din apropierea punctelor NP1, NP2, NP6 și NP7 prezintă o evoluție similară, în timp ce în partea centrală a zonei țintă prezența fermei WEC contribuie la o creștere a vitezei curenților. Cea mai mare diferență este înregistrată în punctul NP3 unde curenții cresc de la o valoare de 0.73m/s (fără fermă WEC) până la un maxim de 1.08m/s (caz 1 de transmisie).

Pentru valurile din est (Figura 5.27b) curenții prezintă o evoluție similară cu situația în care nu s-a considerat nici o fermă WEC, cu mențiunea că în punctul NP3 se observă o creștere semnificativă a vitezei curenților în raport cu celelalte puncte NP (la fel ca și în cazul fermei Wave Dragon). În acest punct prezența fermei Pelamis contribuie la reducerea vitezei curenților de la 1.33m/s (fără fermă) până la: 1.13m/s (caz 3 de transmisie), 0.57m/s (caz 2) și 0.43 (caz 1). În ceea ce privește valurile care se propagă din sectorul sud-est curenții marini au evoluție similară cu cea din cazul fermei Wave Dragon înregistrându-se valori mai mici ale vitezelor în punctele de control NP2 și NP6.

CAPITOLUL 6

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND CIRCULAȚIA COSTIERĂ DIN APROPIEREA ȚĂRMULUI ROMÂNESC

6.1. Colectarea datelor

În data de 17.06.2013 a fost realizat un experiment de măsurare a curenților din Marea Neagră, folosind echipamente furnizate de Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare Marină “Grigore Antipa” în zona ariei țintă ce a fost considerată în analizele din Capitolul 5 ($\approx 44^{\circ}56'N - 29^{\circ}40'E$).

În cadrul experimentului au fost realizate măsurători cu ajutorul unui sistem imers ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) ce a fost montat la pupa unei șalupe de mici dimensiuni, acesta fiind orientat cu fața în jos. Pentru a înregistra distribuția curenților din vecinătatea țărmului au fost efectuate trei seturi de măsurători pe o distanță de circa 300 de metri. Liniile considerate pentru analiză sunt orientate perpendicular pe linia țărmului. Viteza maximă a ambarcațiunii a fost restricționată la un maxim de 2m/s, deoarece la viteze mai mari sistemul ADCP se ridică la suprafața apei, rezultatele obținute prezentând o acuratețe mai scăzută sau eventual chiar și unele erori de măsurare.

Figurile 6.1 și 6.2 prezintă imagini din timpul operațiilor de pregătire și montare a aparatului de măsurare, în timp ce în Figura 6.3 se poate observa aparatul montat la pupa ambarcațiunii.



Figura 6.1 Etape preliminarii de instalare și fixare a cablului electric la sursa de curent.



Figura 6.2 ADCP-ul a fost montat pe o placă de plastic de aproximativ 1cm grosime, fixarea acestuia realizându-se cu șuruburi. Placa a fost mai apoi amplasată în zona din spate (în dreapta) a ambarcațiunii cu două frânhii trecute pe sub șalupă și fixate în chingi.



Figura 6.3 Montarea sistemului ADCP.

ADCP-ul folosit în cadrul experimentului prezintă următoarele specificații tehnice:

- adâncime de operare standard: 50 - 100m;
- o rezoluție verticală/mărime a celulei de mediere de 0.5-8m;
- o deviație standard de 12.9-2.0cm/s.

Pentru configurația aleasă în cadrul experimentului s-a considerat utilă investigarea unor adâncimi de 15m, 0.5m mărimea celulei și deviația standard de 1.9cm/s.

În ceea ce privește înregistrarea datelor de măsurare s-a folosit un calculator militar de teren cu sistem de operare Windows XP. Programul folosit pentru citirea datelor a fost Winriver II, software disponibil pe site-ul Teledyne RD Instruments, pagina web a firmei producătoare a ADCP-ului. Pentru menținerea liniei drepte de deplasare s-a folosit un GPS de teren, rezistent la apă.

În Figura 6.4 se poate observa o imagine a aparatului din timpul efectuării experimentului, iar Figura 6.5 prezintă imagini luate în timpul colectării datelor.



Figura 6.4 Imagine a aparatului de măsurare luată din timpul efectuării experimentului.



Figura 6.5 Imagine luată în timpul operațiunii de achiziționare a datelor.

6.2. Analiza rezultatelor experimentale

Datele colectate în timpul experimentului pot fi citite de o serie de programe disponibile pe pagina web a companiei producătoare. Printre acestea se numără Winriver I, Winriver II, WinADCP, WinSC. În cazul de față, pentru citirea și interpretarea datelor a fost folosit

programul Winriver II. În Figura 6.6 este prezentată o captură de ecran a datelor încărcate în programul Winriver II. La deschiderea aplicației pot fi observate cinci ferestre, delimitate cu chenar roșu. În fereastra A sunt prezentate datele ce cuprind măsurătorile: numărul măsurătorii, configurația, date salvate cu ocazia altor operări ale datelor, etc. Fereastra B prezintă undele sonore din momentul analizat, în timp ce fereastra C prezintă traiectoria vasului. În fereastra D se pot observa informațiile furnizate de aparat cum ar fi: adâncime, viteză înregistrată sau acuratețea măsurătorilor. Viteza înregistrată este reprezentată în culori de la albastru spre roșu. În fereastra E sunt prezentate date cu privire la poziția și deplasarea ambarcațiunii, distanța parcursă, etc.

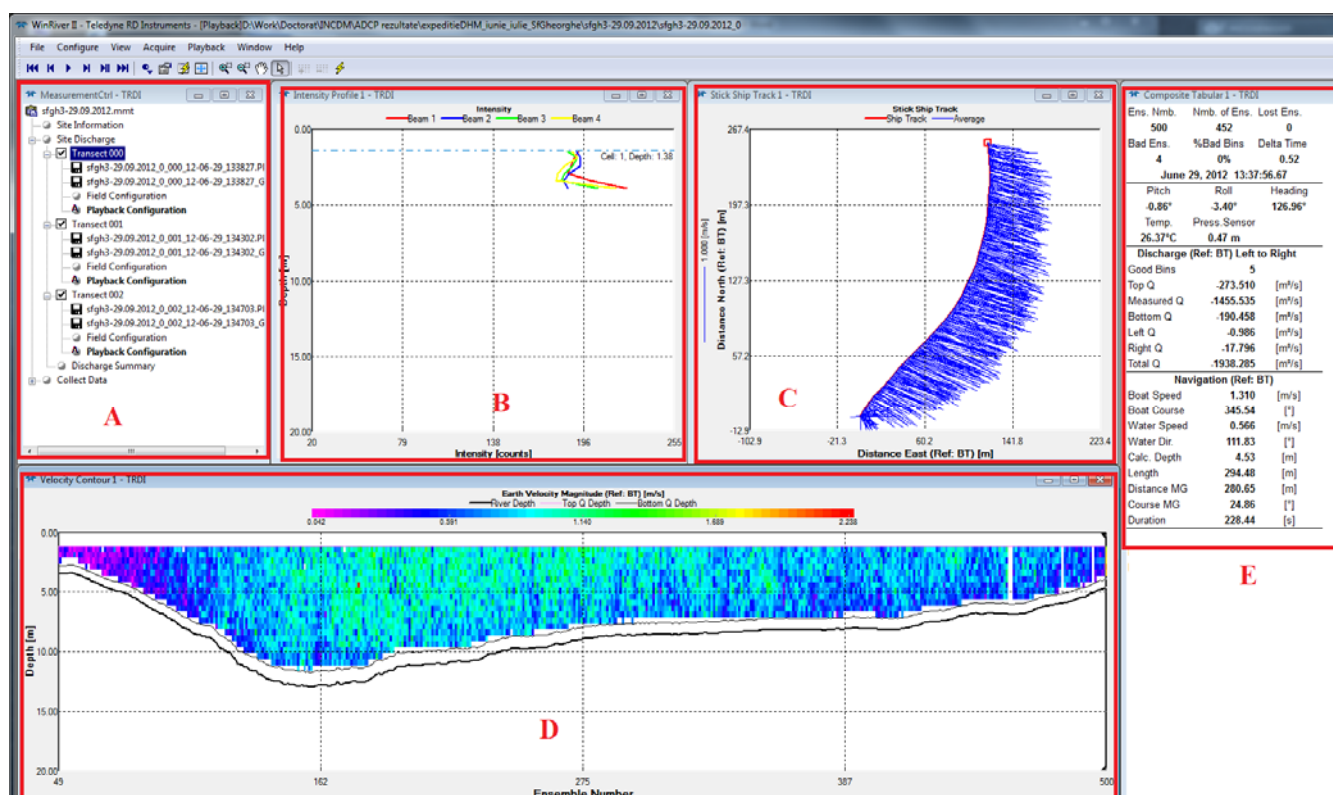


Figura 6.6 Captură de ecran a programului datelor programului Winriver II, efectuată la finalul primei măsurători.

Figura 6.7 prezintă o captură detaliată a ferestrei D, captură ce a fost efectuată la mijlocul citirilor, după cum prezintă acul indicator. În figură se poate observa conturul fundului mării ce atinge în acest caz adâncimea maximă de 11m. De asemenea se poate observa și frecvența citirilor și variația vitezei curentului de la 0.04m/s până la 2.24m/s. După cum se poate observa, viteza înregistrată a curenților este de aproximativ 0.5-0.7m/s, viteză confirmată și de literatura

de specialitate. În Tabelul 6.1 se prezintă viteza înregistrată în punctul prezentat în Figura 6.7, pe adâncime. După cum se poate observa, după adâncimea de 10.88m toate citirile sunt incorecte, fapt ce confirmă că adâncimea maximă se află la aproximativ 11m. În tabel sunt prezentate mărimea vitezei, direcția, adâncimea, eroarea.

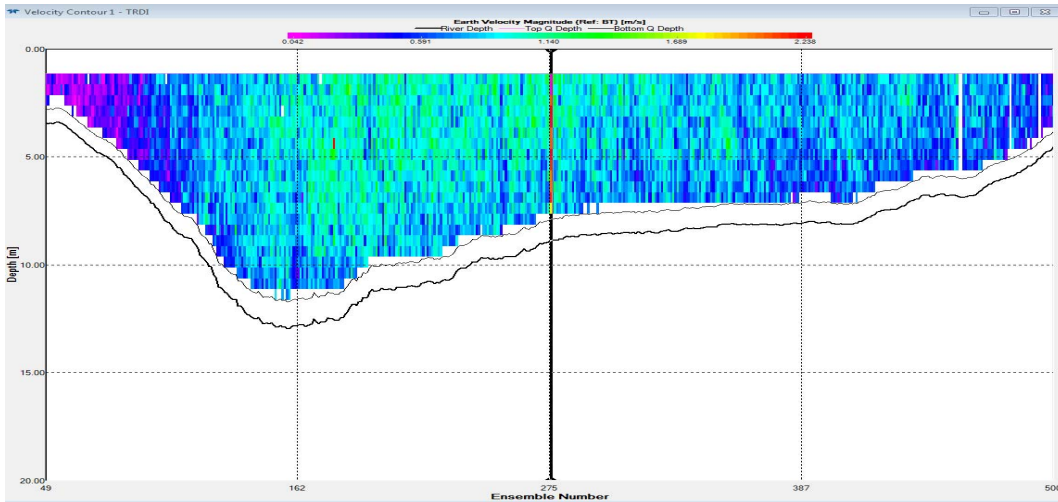


Figura 6.7 Fereastra D, detaliu.

Tabel 6.1 Tabel cu citirile pe adâncime.

Adâncime [m]	Viteza [m/s]		
	Mag.	Dir. [grade]	Eroare
1.38	1.02	121.4	0.19
1.88	0.83	134.7	0.17
2.38	1.06	108.2	-0.08
2.88	0.88	103.1	-0.01
3.38	1.08	113.4	-0.14
3.88	1.01	129.6	-0.01
4.38	0.72	110.8	-0.10
4.88	0.80	119.9	-0.11
5.38	0.78	123.2	0.12
5.88	0.68	121.3	-0.06
6.38	0.81	116.8	-0.02
6.88	0.63	119.9	-0.10
7.38	0.84	107.5	-0.13
7.88	0.65	137.7	0.21
8.38	0.66	133.9	0.23
8.88	0.85	121.5	0.01
9.38	0.50	138.7	0.30
9.88	0.45	162.7	0.16
10.38	0.49	134.1	0.10
10.88	0.52	119.9	-0.15

În Figura 6.8 este prezentată o captură de ecran a celei de-a doua linii perpendiculare pe țărm efectuate în cadrul experimentului. După cum se poate observa în Figura 6.9 a ferestrei D, aici viteza curenților crește puțin comparativ cu prima trecere a aparatului, viteza fiind inclusă aici între 0.7 și 1.2m/s, fapt de altfel descris și de Tabelul 6.2 ce conține citirile în punctul din dreptul acului indicator. Figura 6.10 conține captură de ecran a ferestrei B, chenar ce conține reprezentarea intensității undelor sonore în punctul considerat.

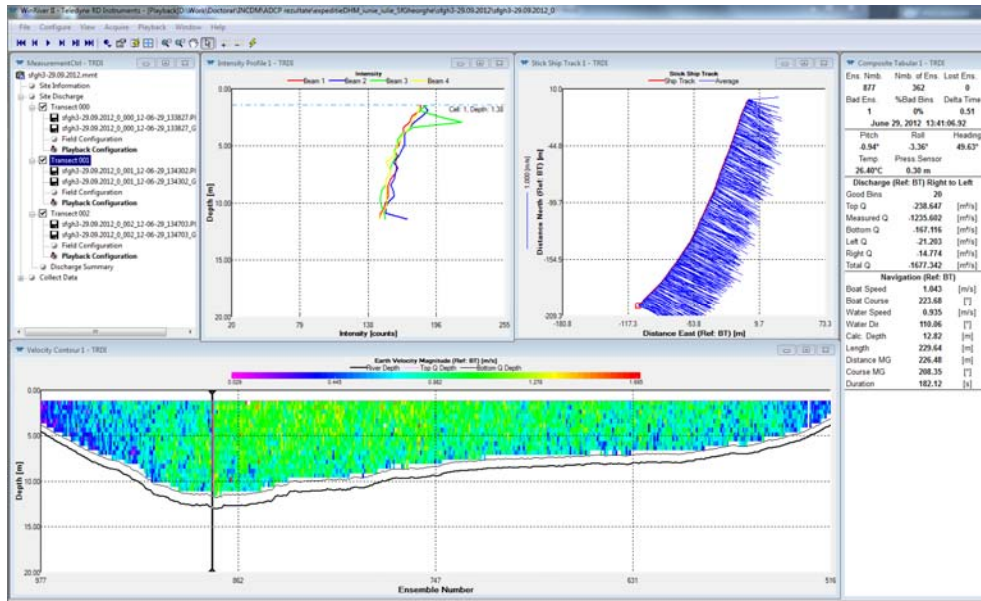


Figura 6.8 Captură de ecran a celei de-a doua treceri cu aparatul

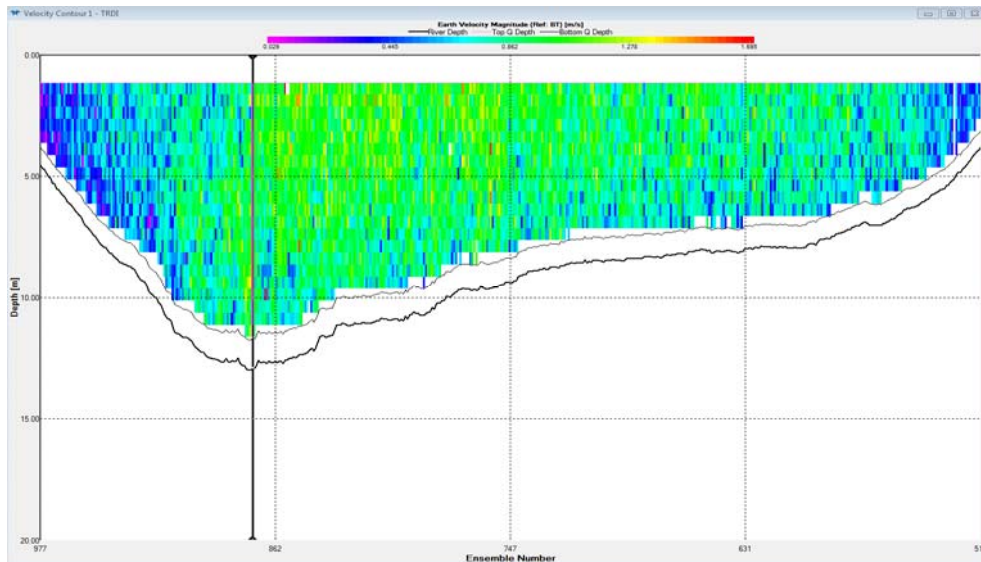


Figura 6.9 Fereastra D pentru a doua trecere.

Tabel 6.2 Tabel cu citire a vitezei pe adâncime

Adâncime [m]	Viteza [m/s]		
	Est	Nord	Eroare
1.38	0.98	-0.61	0.10
1.88	1.02	-0.63	0.08
2.38	1.08	-0.60	-0.13
2.88	1.08	-0.53	0.22
3.38	0.87	-0.50	-0.01
3.88	1.08	-0.23	0.02
4.38	0.82	-0.19	-0.19
4.88	0.95	-0.26	-0.09
5.38	0.92	-0.13	-0.19
5.88	1.03	-0.50	-0.11
6.38	1.01	-0.52	0.11
6.88	0.95	-0.41	0.02
7.38	1.02	-0.33	0.11
7.88	0.83	-0.14	-0.16
8.38	0.77	-0.34	-0.23
8.88	0.65	-0.45	-0.15
9.38	0.56	-0.72	-0.30
9.88	0.81	-0.59	-0.36
10.38	0.90	-0.81	-0.41
10.88	1.10	-0.53	-0.20

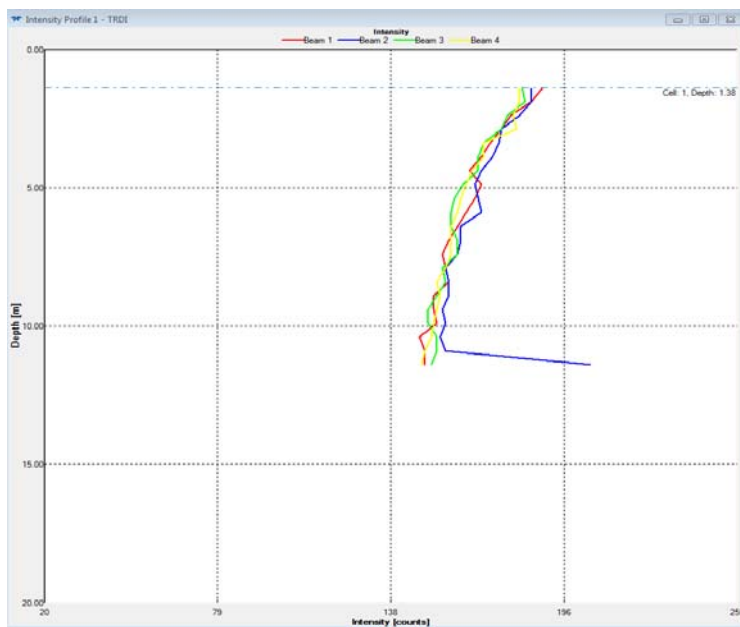


Figura 6.10 Reprezentare a intensității undelor sonore pe adâncime

Figura 6.11 prezintă captura de ecran a celei de-a treia linii descrise de ambarcațiune. După cum se poate observa mai clar în Figura 6.12, viteza curentului atinsă în acest caz variază de la 0.8 la 1.23m/s, cu mici variații situate în general sub acest prag, fapt de asemenea descris de Tabelul 6.3.

În zonele de pantă ale țărmului datorită neregularităților stratului solid al mării, curenții prezintă unele creșteri accentuate și la adâncimi diferite putem observa din calcularea vitezelor și a direcțiilor curentului, modificări ale intervalului de variabilitate a vitezelor și păstrarea direcției dominante a curentului.

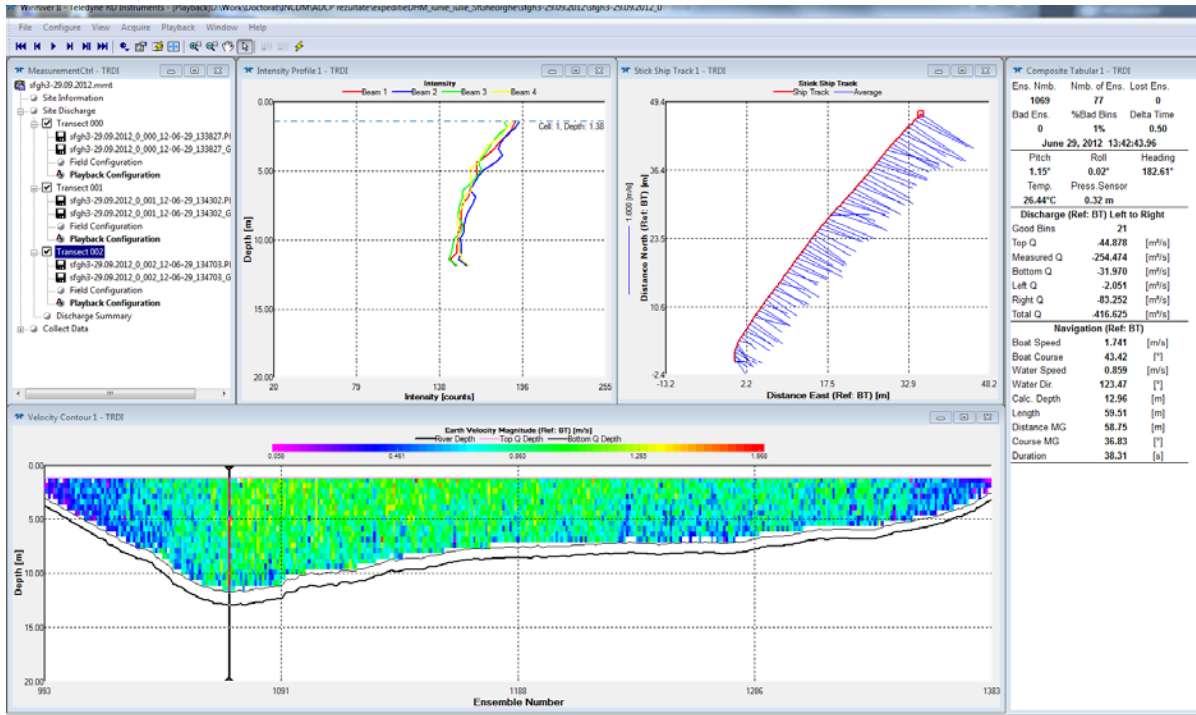


Figura 6.11 Captură de ecran a celei de-a treia linii orizontale descrise de ambarcațiune.

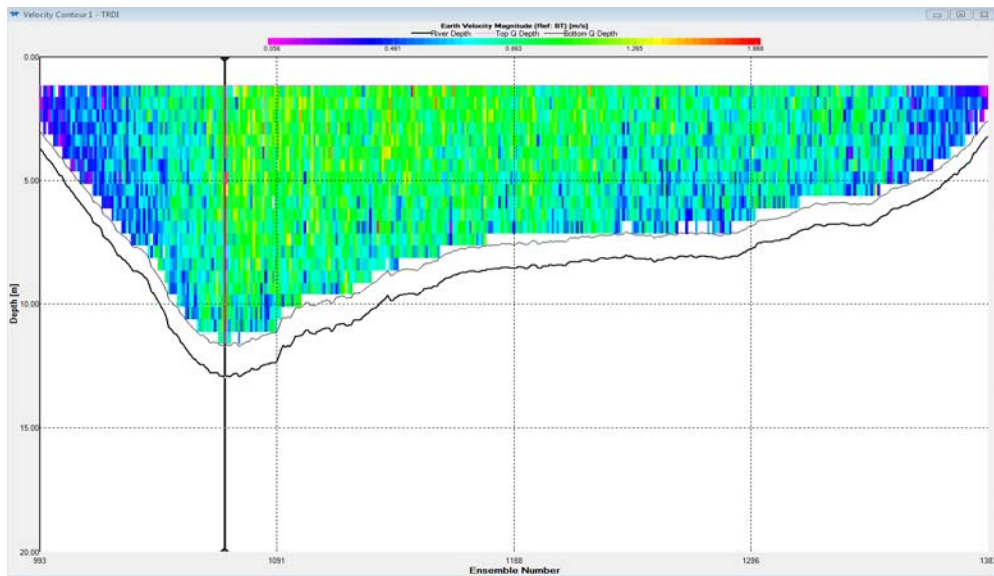


Figura 6.12 Captură a graficului cu viteza înregistrată pentru a treia linie descrisă.

Tabel 6.3 Tabel al componentelor estice și nordice ale vitezei pe adâncime în punctul descris în Figura 6.12.

Adâncime [m]	Viteza [m/s]		
	Est	Nord	Eroare
1.38	1.17	-0.21	0.17
1.88	1.21	-0.29	0.12
2.38	1.23	-0.22	0.15
2.88	1.05	-0.42	0.11
3.38	0.98	-0.42	0.15
3.88	1.19	-0.52	0.12
4.38	1.26	-0.43	0.20
4.88	1.00	-0.24	0.18
5.38	1.06	-0.16	0.13
5.88	0.65	-0.29	0.13
6.38	0.85	-0.23	0.12
6.88	0.94	-0.52	0.15
7.38	1.24	-0.40	0.14
7.88	1.05	-0.29	0.15
8.38	0.94	-0.16	0.11
8.88	0.68	-0.08	0.08
9.38	0.73	-0.36	0.13
9.88	0.94	-0.08	0.13

În concluzie se poate afirma că rezultatele experimentului se apropie de simularile numerice pentru zona analizată. Desigur, pot apare mici diferențe între cele două, diferențe ce pot exista datorită schimbărilor bruște ale vântului, stării mării, factori ce în general nu pot fi niciodată preziși cu exactitate.

CAPITOLUL 7

EVALUAREA ENERGIEI VALURILOR DIN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC

Acest capitol își propune prezentarea studiilor privind evaluarea performanțelor furnizate de diverse tehnologii de conversie a energiei valurilor amplasate în partea de vest a bazinului Mării Negre, această zonă considerată prezentând un potențial energetic ridicat. S-a folosit o metodologie similară cu cea prezentată în Rusu and Guedes Soares, 2012 [77], rezultatele obținute în această secțiune fiind diseminate în Diaconu și Rusu, 2013 [78]. Inițial se va efectua o analiză a climatului valurilor în zona țintă considerând date obținute de la platforma de foraj Gloria. Pe baza acestor date au fost realizate diagrame a distribuției energiei, acestea fiind definite de înălțimile semnificative ale valurilor și perioada energiei valurilor, pentru intervalul total de timp și pentru sezonul de iarnă. Puterea electrică obținută a fost estimată considerând aceste grafice și matricea de putere caracteristică unor sisteme WEC, cum ar fi: Wave Dragon, Pelamis, Aqua Buoy, Archimedes Wave Swing, Langlee, Oceantec, OE Buoy, Pontoon, Seabased AB și Wavebob. După cum se știe, energia valurilor este abundență și este mai predictibilă decât energia solară sau eoliană și deține de asemenea o densitate de energie ridicată, permițând extragerea de cantități mari de energie din zone mai mici decât cele folosite în cazul energiei solare sau eoliene.

Pentru evaluarea performanțelor dispozitivelor WEC în bazinul Mării Negre a fost folosită o metodologie similară cu cea prezentată în Rusu și Guedes Soares [79]. Au fost considerate măsurători ale valurilor de la platforma Gloria, ce acoperă o perioadă de timp cuprinsă între Ianuarie 2003 și Decembrie 2009.

Conversia energiei valurilor în energie electrică

Pentru a evalua potențialul energetic bazat pe caracteristicile de energie ale zonelor considerate, au fost trasate diagrame ale distribuțiilor H_s - T_s unde H_s este înălțimea valului iar T_s perioada energiei valului. Diagramele au fost trasate pentru întreaga perioadă de timp, precum și pentru perioada de iarnă (Octombrie-Martie). Aceste diagrame sunt prezentate și în Iglesias [80] unde s-a făcut o analiză a coastei Galiciene.

În general nu sunt furnizate caracteristicile valurilor cu parametrii de formă T_s și H_s , dar aceștia pot fi obținuți indirect prin relațiile 7.1 și 7.2 [81, 82]:

$$T_e = 0.9T_p = 1.269T_z \quad 7.1$$

$$H_s = \frac{H_m}{0.64} \quad 7.2$$

Unde T_p și T_z reprezintă maximul și media perioadei valurilor, iar H_m este înălțimea medie de val. Acest tip de diagrame prezintă probabilitatea aparițiilor diferitelor stări ale mării exprimate în procente fiind considerate în funcție de numărul total de observații. Acestea sunt realizate din celule de $0.5s \times 0.5m$ ($\Delta T_e \times \Delta H_s$) iar culoarea fiecărei celule reprezintă procentul pe care aceasta îl ocupă, așa cum este evidențiat și în legenda figurii. De asemenea în figuri sunt prezentate și izoliniile puterii valurilor care pentru adâncimi mari ale apei, sunt calculate cu relația 7.3 [83]:

$$P_w = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 \quad 7.3$$

Unde P_w este fluxul de energie în wați pe metru, $\rho = 1025 kg / m^3$ este densitatea apei iar $g = m / s^2$ reprezintă accelerația gravitațională.

Pentru platforma Gloria aceste distribuții sunt prezentate în Figura 7.1 fiind valabile pentru perioada: Ianuarie 2003 – Decembrie 2009. Cele mai întâlnite stări ale mării sunt cele cuprinse între 3-9s (T_e) și 0-2,5m (H_s), fiind localizate în apropiere de izolinia de 25kW/m. De asemenea se mai observă și celulele între izoliniile de 25kW/m și 100kW/m, dar într-un procent nesemnificativ (sub 1%).

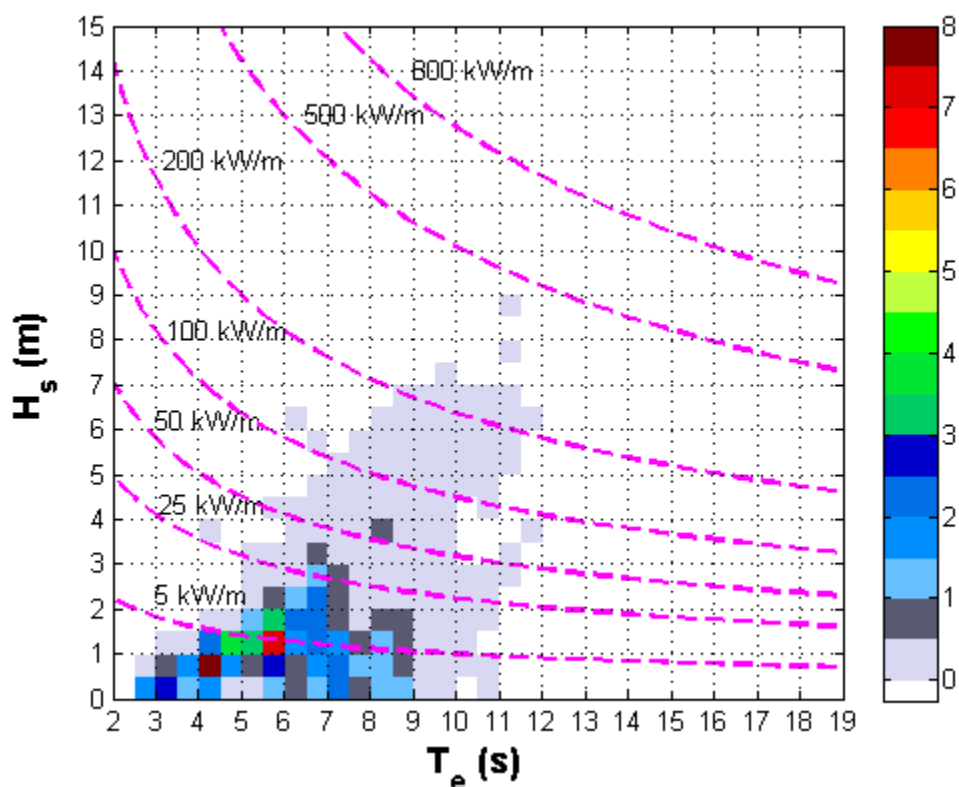


Figura 7.1 Diagramele H_s - T_s ce corespund zonei platformei Gloria pentru intervalul de timp Ianuarie 2003 – Decembrie 2009. Pătratele colorate prezintă numărul aparițiilor în procente ale tuturor observațiilor, ce au o lungime de 0.5s în direcția x și lungimea de 0.5m în direcția y. De asemenea în figura sunt reprezentate izoliniile ale puterii valului.

În Figura 7.2 sunt prezentate diagramele H_s - T_e pentru perioada de iarnă. Majoritatea valorilor sunt grupate pe intervale T_e și H_s ca și în cazul perioadei totale, cu excepția că acestea sunt concentrate pe diagonală, cu distribuții ale izoliniilor între 5kW/m și 50kW/m.

Cele mai mari procentaje din observații (7%) apar în jurul combinației de 5.5s-1m unde se înregistrează o putere a valului de 5kW/m. Această distribuție a datelor duce la o prezență frecventă a puterii valurilor cuprinsă între 25-50kW/m, aspect ce nu este reflectat și de platforma Gloria. Pentru perioada de iarnă (Figura 7.2) se observă că înălțimea valurilor mai mici de 0.5m are o contribuție redusă asupra condiției mării, de asemenea înregistrând apariții ale valurilor cu înălțimi cuprinse între 3.5-4m, ce duc la obținerea unei puteri maxime a valurilor de 75kW/m.

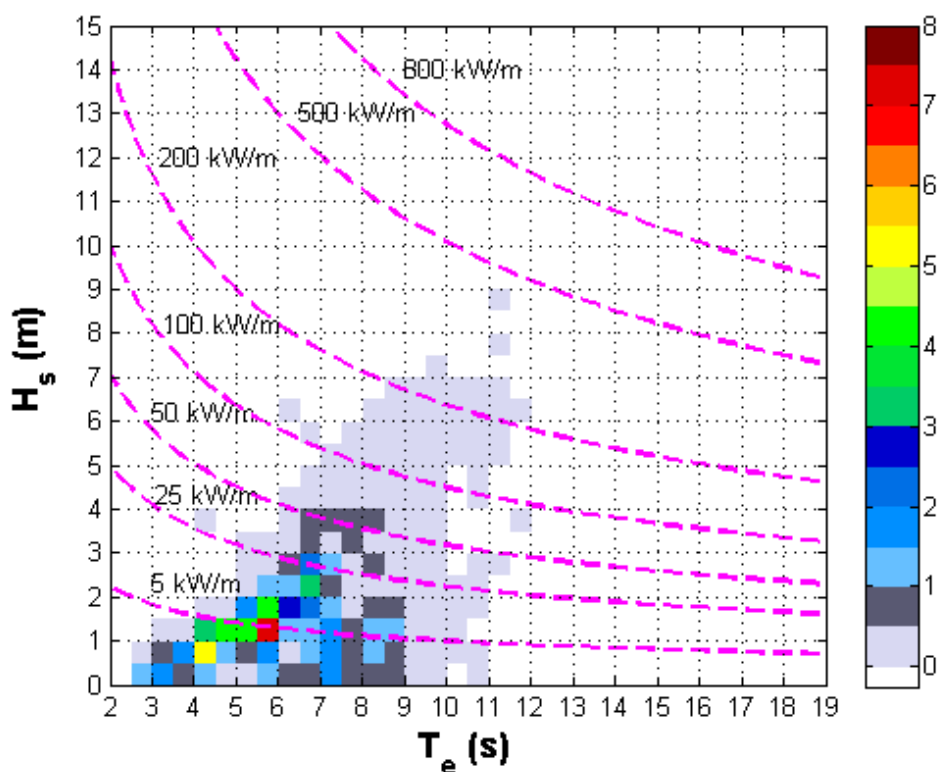


Figura 7.2 Diagramele H_s - T_s ce corespund zonei platformei Gloria pentru intervalul de timp Ianuarie 2003 – Decembrie 2009, perioada de iarnă.

Platforma Gloria prezintă condiții ale valurilor ce depășesc 8 metri (0.5%), caz în care majoritatea sistemelor WEC ar trebui închise pentru a evita distrugerea acestora.

Din analiza măsurătorilor de valuri se poate identifica energia teoretică pentru variate perioade de timp dar electricitatea obținută depinde în final de caracteristicile individuale ale sistemului WEC. La fel ca în cazul turbinelor de vânt unde firma producătoare descrie performanțele printr-o curbă de putere, performanțele colectoarelor de valuri sunt obținute printr-o matrice de putere.

Pentru fiecare diagramă de distribuție a fost asociat un tabel ce arată activitatea valurilor în intervalul de timp 2003-2009 pentru timpul total și cel de iarnă. Aceste tabele indică numărul aparițiilor ca procent din total.

Performanțele fiecărui WEC sunt furnizate de către firma producătoare în tabele ce arată puterea obținută în funcție de înălțimea valurilor și de perioada valurilor. În capitolul de față sunt considerate 10 convertitoare de energie. Acestea sunt: Wave Dragon [84], Pelamis [85], Aqua

Buoy [86], Archimedes Wave Swing [87], Langlee [88], Ocentec [88], OE Buoy [88], Pontoon [88], Seabased AB [88], Wavebob [88]. Aceste sisteme au fost alese pentru că fiecare dintre ele reprezintă o anumită clasă a convertoarelor: punct de absorbție, atenuator și terminator. Toate cele 10 dispozitive sunt construite să poată opera în zonele offshore. De asemenea cele 10 dispozitive considerate acoperă o gamă largă de dimensiuni și capacități. De exemplu Wave Dragon este caracterizat de dimensiuni crescute comparativ cu Aqua Buoy, (celulele fiind definite luând în considerare parametrii H_s și T_p , rezoluțiile celulelor fiind de $1s \times 0.5m$ și $1s \times 1m$) iar Pelamis are dimensiuni medii (celulele fiind definite luând în considerare parametrii H_s și T_p , rezoluția celulelor fiind de $0.5s \times 0.5m$).

Pentru estimarea energiei produse de un sistem WEC de-a lungul unei perioade de timp, cea mai folosită metodă este aceea de a asocia matricea de putere a sistemului cu matricea mediului din aria considerată, într-un interval determinat de timp. Aceasta se poate efectua folosind ecuația:

$$P_E = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_H} p_{ij} \cdot P_{ij} \quad 7.4$$

Unde p_{ij} procentajul de energie ce corespunde unei celule definite de linia i și coloana j în matricea de mediu (date de tabelele asociate cu diagramele prezentate în Figurile 7.1 și 7.2), iar P_{ij} este puterea electrică raportată de sistemul WEC pentru aceeași celulă (așa cum se arată în tabelele din Anexă). Urmărind această metodă rezultatele puterii electrice medii ce poate fi produsă de fiecare dintre cele 10 convertoare a energiei valurilor sunt prezentate în Tabelul 7.1.

Rezultatele prezentate în Tabelului 7.1 arată că perioada de iarnă prezintă estimări mai mari ale puterii electrice medii față de perioada totală, iar cel mai mare aport de energie este produs de sistemul Wave Dragon, cel mai mare dintre dispozitivele considerate.

Cel mai mic aport este produs de sistemul Seabased AB, care este de asemenea și cel mai mic în dimensiuni. Referitor la capacitatea maximă de producție, un index de eficiență (%) poate fi calculat împărțind puterea obținută la valoarea maximă. De exemplu cea mai importantă valoare este cea a sistemului Wave Dragon și cea mai mică a sistemului Seabased AB. Eficiența fiecărui sistem este prezentată în Tabelul 7.2.

Tabelul 7.1 Puterea medie (kW) obținută de fiecare din cele 10 sisteme WEC în zona platformei Gloria. Rezultatele sunt pentru perioada totală și cea de iarnă.

Puterea medie (kW)		
Sisteme WEC → WEC Systems ↓	Total	Sezonul de iarnă
Wave Dragon	391.79	579.23
Pelamis	59.84	89.23
Aqua Buoy	15.92	24.00
Archimedes Wave Swing	59.85	95.01
Langlee	66.29	93.48
Oceantec	96.03	131.75
OE Buoy	96.73	148.13
Pontoon	164.41	234.14
Seabased AB	1.42	1.97
Wavebob	55.42	83.96

Tabelul 7.2 Indexul de eficiență obținut de la cele 10 sisteme WEC pentru zona platformei Gloria.

Eficiență (%)		
Periodă → Sisteme WEC ↓	Timp total	Perioada de iarnă
Wave Dragon	5.60	8.27
Pelamis	7.98	11.90
Aqua Buoy	6.37	9.60
Archimedes Wave Swing	2.42	3.85
Langlee	3.98	5.61
Oceantec	19.21	26.35
OE Buoy	3.36	5.14
Pontoon	4.54	6.47
Seabased AB	10.52	14.59
Wavebob	5.54	8.40

Cele mai bune rezultate aparțin sistemelor Oceantex cu 26.35% (perioada de iarnă) și Seabased AB cu 14.59% (perioada de iarnă) în timp ce valorile cele mai mici sunt înregistrate de Archimedes Wave Swing cu 3.85% (timp total). De asemenea, cu privire la eficiență se poate observa faptul că cele mai mari diferențe dintre două cazuri (timp total și perioada de iarnă) apar la Oceantec cu o diferență de 7.14% iar cele mai constante sunt Archimedes Wave Swing cu 1.44%, urmat de Langlee cu 1.63%.

Din punct de vedere al analizei prezentate se consideră că cel mai potrivit dispozitiv pentru zona litoralului românesc este sistemul Oceantec, în ciuda faptului că în Tabelul 7.1 Wave Dragon are cele mai mari valori ale energiei. Desigur, pentru o evaluare corectă, în analizele viitoare ar trebuie luate în calcul și costurile de producție ale fiecărui sistem în parte.

CAPITOLUL 8

CONSIDERAȚII FINALE

8.1 Discuții privind rezultatele obținute

În prezent metodele de protecție a litoralului românesc împotriva fenomenelor de eroziune costieră se axează pe limitarea și reabilitarea zonelor afectate, care pe termen lung sunt îndeplinite prin acțiuni complexe și eforturi financiare semnificative din partea autorităților și cercetătorilor provenind din diverse domenii de activitate (inginerie, geologie, oceanografie, etc).

Prin poziționarea în sectorul Dunăre - Delta Dunării - Marea Neagră, transportul de sedimente din zona litoralului românesc este influențat de o serie de factori care sunt atât de natură antropică cât și din cauze naturale. Se estimează că pe termen mediu această zonă va fi la fel de afectată de eroziune ca și în ultimele decenii datorită acțiunii valurilor și a furtunilor din larg care se manifestă frecvent în sezonul de iarnă. În schimb pe termen lung datorită ridicării nivelului Mării Negre și a existenței construcțiilor hidrografice de pe Dunăre (ex: Porțile de Fier) și a celor din zonele portuare aportul de sedimente în zonele critice va fi considerabil redus, cel mai probabil observându-se în următorii 30 de ani o dispariție masivă a unor zone litorale (ex: plaja Mamaia).

Analizând severitatea proceselor de eroziune care duc la pierderea anuală a unor suprafețe mari de teren ce afectează industria turismului și ecosistemul litoral, se impune adoptarea unor măsuri majore de protecție la nivel național.

Pe lângă aceste probleme legate de zonele costiere, partea de nord-vest a Mării Negre poate fi afectată și de fenomene de poluare marină care apar datorită traficului intens din regiune, acest aspect fiind tratat mai pe larg în literatura de specialitate [90-95].

Primul capitol introductiv al tezei a pus în evidență problema eroziunii litoralului românesc, o atenție deosebită fiind acordată sectorului nordic (partea centrală) situat între brațele Sulina și Sf. Gheorghe care a și fost considerat pentru elaborarea unor studii de caz. În această secțiune s-a evidențiat amplitudinea proceselor de eroziune precum și soluțiile actuale și de viitor avute în vedere de autoritățile locale pentru stabilizarea zonelor costiere.

Ținând cont de faptul că o mare parte din energia globală provine din arderea combustibililor fosili care se extrag din zonele marine offshore în continuare s-a realizat o prezentare succintă a principalelor platforme de foraj marin folosite la ora actuală. O atenție deosebită s-a acordat platformelor semi-submersibile care reprezintă și subiectul unui studiu de caz prezentat în Capitolul 4.

Tot în partea introductivă s-a realizat o analiză generală a sistemelor de extracție a energiei valurilor (WEC) care au șanse reale de a depăși nivelul de concept. Astfel s-a pus în evidență varietatea soluțiilor constructive alese de cercetători și faptul că în prezent nu există un sistem WEC care să prezinte avantaje net superioare din punct de vedere tehnic și economic.

Având în vedere că o mare parte din teză se axează pe elaborarea unor studii de caz și pe realizarea unor simulări numerice, în Capitolul 3 s-a realizat o prezentare succintă a elementelor teoretice care stau la baza programelor de calcul SWAN și ComFlow, pentru a putea înțelege în linii mari modul cum acestea simulează propagarea valurilor în spațiul geografic și interacțiunile cu structurile offshore aflate în mediul marin.

Analizele ce au avut ca subiect platforma semi-submersibilă (model la scară) au arătat o bună concordanță între datele furnizate de experimentul din bazinul de valuri și rezultatele furnizate de programul ComFlow.

O parte semnificativă din rezultatele prezentate se axează pe elaborarea unor studii de caz privind influența unor ferme WEC asupra câmpurilor de valuri și a evoluției curenților marini din zona Sfântul Gheorghe - Sulina. Sistemele WEC avute în vedere sunt Pelamis și Wave Dragon, în timp ce din categoria sistemelor aflate în faza de concept s-a considerat oportună folosirea sistemului NEMOS. În ceea ce privește propagarea valurilor în spațiul geografic și spectral, se observă o reducere a înălțimilor de val în zona cuprinsă între ferma WEC și linia țărmului. Această reducere este influențată în mod direct de intensitatea valurilor (mici, medii sau mari) care se propagă din zona de larg, precum și de direcția de propagare a valurilor și caracteristicile batimetrice ale zonei țintă considerate.

În ceea ce privește circulația costieră din zona țărmului indicată de cele șapte puncte de referință NP (NP1 ... NP7), se observă în unele cazuri că partea superioară a zonei țintă (între NP1 și NP4) prezintă viteze mai mari ale curenților marini în prezența fermelor WEC. Acest lucru sugerează o propagare paralelă a curenților cu linia țărmului care se poate manifesta prin erodarea și transportul de sedimente în alte zone de plajă.

Pentru ferma hibridă val-vânt s-a observat că efectul de ecranare al valurilor se datorează în mare parte sistemelor WEC de tip NEMOS, stâlpii turbinelor de vânt având doar un impact local asupra condițiilor de val din spațiul geografic.

Acțiunile de protecție actuale a zonelor costiere sunt orientate pe trei direcții principale: a) înnisiparea artificială a plajelor; b) realizarea unor diguri de protecție și c) realizarea unor structuri de tip *sparge val* submerse în zona de larg. Din istoria ultimelor ani s-a observat că aceste modalități de protecție sunt inefficiente deoarece acționează asupra efectelor produse de acțiunea agenților marini (în special al valurilor) și nu asupra cauzelor.

După cum s-a menționat în capitolele introductive la ora actuală există un program POS Mediu - Axa Prioritară 5 [16], elaborat de Ministerul Mediului și Pădurilor privind eroziunea zonelor costiere în valoare de 134 de milioane de euro care urmează a se desfășura în perioada 2007-2013. Având în vedere studiile anterioare efectuate [20], o mare parte din acești bani urmează a fi folosiți pentru protecția a cinci zone costiere grav afectate de eroziune: 1.) Năvodari și Vama Veche; 2.) în dreptul localităților Mamaia; 3.) Tomis, Eforie, Tuzla, Olimp-Venus; 4.) Saturn-Mangalia și 5.) 2 Mai-Vama Veche. Lucrările de reabilitare a zonelor considerate au ca obiectiv protejarea unor fronturi de țărm (în jur de 9km), prin: înnisipare artificială, consolidare diguri existente sau crearea unor diguri suplimentare.

Dacă considerăm faptul că prețul unui sistem Pelamis este la ora actuală de circa 3 milioane de euro [96, 97] fiind nevoie de 4 sisteme WEC (dispuse pe o singură linie) pentru a putea acoperi 1km liniar, din banii alocați la ora actuală pentru protecția zonelor costiere se pot cumpăra în jur de 45 de sisteme Pelamis care ar putea acoperi circa 11km de coastă. În comparație cu sistemele clasice de protecție ale țărmului (ex: diguri) sistemele Pelamis au capacitatea de a extrage energia din valuri nefiind supuse fenomenelor de abraziune marină. Alte beneficii privind utilizarea acestor sisteme WEC rezultă din faptul că pot fi relocate în mod rapid pentru a putea proteja alte zone supuse eroziunilor costiere, realizând în același timp și zone de refugiu naturale pentru ambarcațiunile de dimensiuni mici în cazul condițiilor atmosferice nefavorabile.

Pe lângă aspectele ce țin de protecția costieră, trebuie avut în vedere faptul că un astfel de sistem are o capacitate de producție a energiei electrice de circa 750kW (o singură unitate), iar prin intermediul celor 45 de sisteme se poate asigura o capacitate de producție de circa 33MW ceea ce ar însemna în jur de 2.5% din proporția care îi revine României din proiectele energetice Porțile de Fier 1 și 2. Față de cele menționate anterior, dezvoltarea unor ferme energetice care folosesc energia valurilor ar contribui la apariția unei noi industrii în zonă și implicit la crearea unor locuri de muncă.

Acesta este un calcul simplu realizat pentru sistemul Pelamis dar care se poate extinde și pentru alte sisteme WEC.

În ultima parte a tezei s-au evaluat performanțele energetice a unor sisteme WEC, rezultatele indicând că sistemele WEC de tip Wave Dagon și Pontoon sunt cele mai performante (pentru perioada totală și de iarnă) pentru zona în care se află platforma Gloria. Raportat la capacitatea acestor sisteme și la energia produsă s-a pus în evidență faptul că sistemele Langlee și Seabased AB s-ar preta mai bine condițiilor de val din zona considerată, în această categorie intrând și sistemul Pelamis care prezintă performanțe bune în special pentru sezonul de iarnă.

8.2 Contribuții personale

După cum s-a precizat în capitolele anterioare, caracterul original al tezei rezultă din faptul că pentru prima dată pentru zona litoralului românesc s-au realizat studii de caz concrete privind influența unor sisteme WEC asupra condițiilor de val și asupra circulației costiere, acești doi factori reprezentând și principalele cauze ale eroziunii.

Cercetările întreprinse în cadrul tezei de doctorat au fost prezentate în numeroase manifestări științifice (jurnale și conferințe), fiind orientate pe trei direcții principale:

- a) validarea numerică a unor teste hidrodinamice experimentale efectuate asupra unei platforme offshore semi-submersibile;
- b) evaluarea influențelor unor ferme WEC, asupra caracteristicilor de val și circulației costiere dintr-o zona țintă cuprinsă între Sulina și Sfântul Gheorghe;
- c) identificarea performanțelor energetice ale unor sisteme WEC pe baza măsurărilor de val furnizate de platforma Gloria.

În ceea ce privește prima direcție de cercetare aceasta constă în prelucrarea rezultatelor experimentale, autorul tezei neparticipând în mod direct la efectuarea testelor fizice. Analizând simulările numerice efectuate, se evidențiază eforturile depuse de autor pentru validarea numerică a rezultatelor experimentale, prin intermediul programului de calcul ComFlow. Contribuțiile autorului pentru această direcție de cercetare constau în:

- a1) procesarea datelor experimentale provenite din testarea în bazinul de valuri a unei platforme semi-submersibile (model la scară);
- a2) validarea numerică a testelor experimentale folosind programul ComFlow;

Ceea de a doua direcție de cercetare s-a axat pe efectuarea unor studii de caz privind modul cum diverse sisteme WEC grupate în ferme de val, contribuie la modificarea în spațiul geografic și spectral a evoluției caracteristicilor de val și a curenților marini. Pe lângă aspectele de natură teoretice legate de rularea simulărilor numerice cu ajutorul modelului SWAN, această secțiune cuprinde și un experiment practic de măsurători in situ desfășurat în zona țintă.

În acest caz contribuțiile personale constau în:

- b1) extragerea și procesarea datelor de batimetrie din zona țintă, dintr-o hartă de înaltă rezoluție, pentru a putea fi folosite ca date de intrare în modelul SWAN;
- b2) analiza influenței în spațiul geografic și spectral a prezenței unor mini-ferme Pelamis și Wave Dragon, pentru a putea stabili o configurație optimă a fermelor de val;
- b3) configurarea și efectuarea de simulări numerice (cu modelul SWAN) pentru 30 de sisteme Pelamis grupate în cadrul unei singure ferme de val;
- b4) configurarea și efectuarea de simulări numerice (cu modelul SWAN) pentru 30 de sisteme Wave Dragon grupate în cadrul unei singure ferme de val;
- b5) configurarea și efectuarea de simulări numerice (cu modelul SWAN) pentru 50 de sisteme NEMOS și 10 turbine de vânt, grupate în cadrul unei ferme hibride val-vânt;
- b6) evaluarea influenței fermelor de val Pelamis, Wave Dragon și NEMOS asupra caracteristicilor de val, prin prelucrarea și interpretarea rezultatelor raportate în spațiul geografic și spectral;
- b7) analiza statistică a măsurătorilor de satelit (înălțimi de val H_s) furnizate de site-ul AVISO (<http://las.avisioceanobs.com>) pentru o perioadă de ≈ 7 ani (Decembrie 2005 – Iulie 2012);
- b8) evaluarea circulației costiere, pentru sectorul Sulina-Sf. Gheorghe în prezența fermelor WEC: Pelamis, Wave Dragon și NEMOS.

În ceea ce privește ultima direcție de cercetare, aceasta s-a focalizat pe identificarea performanțelor energetice ale unor sisteme WEC pentru condițiile de val din zona platformei Gloria. Rezultatele au fost raportate pentru perioada totală și de iarnă (Octombrie-Martie) considerând următoarele sisteme WEC: Wave Dragon, Pelamis, Aqua Buoy, Archimedes

Wave Swing, Langlee, Oceantec, OE Buoy, Pontoon, Seabased AB și Wavebob. Contribuțiile personale ale autorului constau în:

c1) prelucrarea măsurătorilor de val de la platforma Gloria pentru o perioadă de 7 ani, acestea acoperind intervalul de timp: Ianuarie 2003 - Decembrie 2009;

c2) identificarea performanțelor energetice (în kW) și a eficienței fiecărui sistem WEC pentru zona offshore în care se află situată platforma Gloria.

Rezultatele prezentate în această teză de doctorat au fost diseminate într-un număr de 18 lucrări științifice, acestea fiind prezentate mai detaliat în lista de publicații. Dintre acestea merită menționate cele două articole publicate în jurnale cotate ISI, dintre care: una în The Scientific World Journal și cealaltă în Indian Journal of Geo-Marine Sciences (acceptată spre publicare). Mai trebuie menționată de asemenea și participarea la conferința internațională Energy and Environment Technologies and Equipment, în cadrul căreia cele două lucrări prezentate de autor au primit aprecieri favorabile din partea cercetătorilor invitați.

Nu în ultimul rând trebuie menționat și suportul financiar asigurat prin proiectul de burse doctorale POSDRU cod 88/1.5/S/61445 - Eficientizarea activității studenților din cadrul ciclului de studii doctorale-EFICIENT.

8.3 Direcții pentru cercetarea viitoare

Lucrarea de față prezintă un caracter multidisciplinar care are legătură cu domeniile din: ingineria offshore, ingineria costieră, energia regenerabilă și protecția mediului înconjurător. Pe lângă rezultatele cercetărilor prezentate de autor s-au evidențiat și alte direcții de cercetare care nu au putut fi abordate datorită complexității acestora și a perioadei relativ scurte de finalizare a tezei.

Aceste direcții pot contribui semnificativ la reducerea fenomenului de eroziune costieră prin folosirea unor sisteme WEC precum și la transformarea valurilor din mediul marin într-o sursă consistentă de energie.

a) Direcție de cercetare 1: validarea numerică a testelor experimentale hidrodinamice

- reluarea simulărilor numerice în scopul efectuării unor studii de optimizare folosind programul ComFlow;

- având în vedere că programul ComFlow este în fază de testare, se pot relua simulările numerice și pentru alte structuri marine pentru a putea identifica acuratețea și limitările acestuia;

- introducerea rezultatelor obținute în programul ComFlow într-un program de Analiză cu Element Finit (FEA) pentru identificarea comportării materialului acestei structuri la oboseală și la încărcările maxime din val, pentru a putea identifica cu acuratețe zonele critice.

b) Direcție de cercetare 2: implementarea unor ferme WEC în zona costieră românească.

- realizarea unor studii de caz și pentru alte zone costiere din litoralul românesc afectate de eroziunea costieră;

- folosirea rezultatelor obținute în modelul SWAN ca date de intrare în programe care sunt specializate în analiza transportului sedimentar, pentru a identifica în mod precis impactul asupra liniei țărmului pentru diverse condiții de val;

- realizarea unor ferme de val teoretice, considerând caracteristicile unor alte sisteme WEC care ar putea opera în mod eficient pentru caracteristicile energetice a condițiilor de val specifice zonelor offshore/de coastă românești;

- în absența unor măsurători in situ caracteristice zonei țintă, în studiile de caz efectuate s-au luat în calcul combinații teoretice ale înălțimilor de val și perioadelor de val care descriu condiții de val mici, medii și mari. O altă direcție de cercetare o constituie realizarea unor măsurători in situ sau identificarea unor surse de date de înaltă rezoluție, care să furnizeze informații despre caracteristicile de val (înălțime, perioadă, și direcție) din zonele costiere afectate de eroziune care pot fi folosite în simulările din modelul SWAN;

- realizarea unor studii de caz pentru litoralul românesc în care să se analizeze impactul asupra eroziunii țărmului pe care îl poate avea un anumit tip de sistem WEC asupra zonelor țintă în funcție de adâncimea apei și distanța față de țărm recomandată de producători acestora. Reluarea acestor simulări poziționând sistemele WEC mai aproape sau mai departe de linia țărmului pentru a identifica eventualele modificări aduse dinamicii costiere;

- având în vedere că furtunile extreme afectează în mod sever țărmul românesc, o altă direcție de cercetare constă în realizarea unor simulări numerice privind modul cum o fermă

de val influențează valurile și curenții din zonă pentru condiții de furtună care se pot manifesta odata la 10, 50 sau chiar 100 de ani;

- realizarea unui catalog privind particularitățile (batimetrie, valuri, vânt, curenți, etc) zonelor afectată de eroziune și ajustarea fermelor WEC în funcție de acești parametri pentru obținerea unei protecții optime. Tot în acest studiu de caz se poate analiza modul în care prin protecția unei anumite regiuni se acționează în mod negativ asupra altor zone, contribuind la accentuarea fenomenelor de eroziune;

c) Direcție de cercetare 3: evaluarea energiei produsă de sistemele WEC pentru zonele costiere românești.

- identificarea performanțelor energetice a unor ferme WEC considerând matricea de putere specifică fiecărui sistem WEC precum și coeficienții de transmisie asociați;

- stabilirea viabilității economice a dezvoltării unor ferme WEC în zona litoralului românesc, în contextul implementării unor proiecte europene de amenajare și stabilizare a plajelor.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Marinescu A, Şelariu O. 1965. *An underwater valley in front of the Romanian shore of the Black Sea*. Rev. Roum. Geol. T. IX-1 (republished in Rapp. Comm. Inter. Mer Medit., 20-4, Monaco). Edit. Academiei, Bucureşti, 77-80.
2. ApeleRomâne. 2011. *Asistență tehnică pentru pregătirea de proiecte axa prioritară 5. Implementarea structurii adecvate de prevenire a riscurilor natural în zonele cele mai expuse la risc*. Domeniul major de intervenție 2 – Reducerea eroziunii costiere, Evaluare strategică de mediu (SEA).
3. http://ro.wikipedia.org/wiki/Delta_Dun%C4%83rii (accesat în Mai 2013)
4. Gabriel Negrilă (Apele Române). 2004. *Planul de management al fluviului Dunărea, Deltei Dunării, spațiului hidrografic Dobrogea și apelor costiere*.
5. Tufescu V. 1966. *Modelarea naturală a reliefului și eroziunea accelerată*. Ed. Academiei, București.
6. Rusu L, Ivan A. 2011. *Modelling of the hydrodynamic processes in delta and estuary areas*. Publishing House of the Romanian Technical Academy and General Association of the Romanian Engineering - AGIR Ed., Research and Studies Series, Bucharest, ISBN 978-973-720-365-6, 184.
http://www.edituraagir.ro/catalogul_editurii.php
7. Rusu L, Guedes Soares C. 2011. *Modelling the wave-current interactions in an offshore basin using the SWAN model*. Ocean Engineering 33 (1), 63-76.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.09.012>
8. Rusu E, Zanopol A. 2009. *Modelling the nearshore currents*. Galati University Press, 211.
9. Bondar C. 2008. *Bilanțul morfologic pe Dunăre în sistemul lacurilor de retenție Porțile de Fier 1 și 2 pentru intervalele 1971-2005, respectiv 1985-2005*. GEO-ECO-MARINA 14/2008 – supliment nr. 1.
10. Panin N, Jipa DC, Gomoiu MT, Secreieru D. 1999. *Importance of sedimentary processes in environmental changes: lower river Danube-Delta Dunării - Black Sea-system*. Environmental degradation of the Black Sea. Challenges and remedies (S.Beskipe et al eds.).
11. Ivan A, Gasparotti C, Rusu E. 2012. *Influence of the interactions between waves and currents on the navigation at the entrance of the Danube Delta*. Protection and

- Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Special Issue. Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 13 (3A), 1673-1682.
<http://www.jepe-journal.info/journal-content/vol13-no-3a>
12. Rusu E. 2011. *Wave Energy Assessments and Modelling of Wave-Current Interactions in the Black Sea*, In Macro-engineering Seawater in/and Unique Environments, Springer-Verlag Publishing House.
<http://www.springerlink.com/content/h66h73475834728t/>
 13. Rusu E. 2010. *Modeling of wave-current interactions at the Danube's mouths*. Journal of Marine Science and Technology, 15, Issue 2, 143-159.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00773-009-0078-x>
 14. Rusu L, Bernardino M, Guedes Soares C. 2011. *Modelling the influence of currents on wave propagation at the entrance of the Tagus estuary*. Ocean Engineering 38 (10), 1174-1183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.016>
 15. Rusu L, Guedes Soares C. 2008. *Modelling of the wave-current interactions in the Tagus Estuary*. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources, Editors Taylor & Francis, London, Vol. II, 801-810.
 16. Ministerul Mediului și Pădurilor. 2011. *Implementarea infrastructurii adecvate de prevenire a riscurilor naturale în zonele cele mai expuse la risc*. Ghidul solicitantului, Axa Prioritară 5 POS Mediu.
 17. Alexandrov ML, Mateescu RD. 2011. *The Romanian littoral –coastal geomorphologic changes during the last half of Century (1961-2011); its impact on the coastal development and solutions for protection and rehabilitation*. EGU, Viena, Austria.
 18. <http://www.evz.ro/detalii/stiri/de-ce-riscam-sa-ne-pierdem-plajele-in-20-deani903616.html> (accesat în Mai 2013).
 19. Maximov G, Stănică A, Dan S, Caraivan G. 2008. *Studiul proceselor sedimentare de pe litoralul sudic românesc al Mării Negre*. GEO-ECO-MARINA – supliment nr. 1.
 20. Monitorul Oficial al României nr 187 din 2013-04-03. Notă de fundamentare la Hotărârea Guvernului nr. 127 /2013 pentru aprobarea indicatorilor tehnico-economici ai obiectivului de investiții: *Protecția și reabilitarea părții sudice a litoralului românesc al Mării Negre în zona Municipiului Constanța (Mamaia Sud, Tomis Nord, Tomis Centru și Tomis Sud) și Eforie Nord, județul Constanța*.
 21. Hamilton JD. 2011. *Handbook of Major Events in Economic History*.
 22. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sakhalin> (accesat în Septembrie 2012)

23. Encyclopedia of Earth. 2013. *A brief history of offshore oil drilling*. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment)
24. http://www.eoearth.org/article/A_Brief_History_of_Offshore_Oil_Drilling?topic=64403 (accesat în Martie 2013).
25. Segurini G. 2012. *Introduction to offshore oil and gas industry*. C.O.E. Program at Kasetsart University, Sri Racha Campus – Thailand.
26. Holmager M. 2010. *An introduction to the offshore industry*. Offshore Center Danmark.
27. Bai. Y. 2003. *Marine structural design*. Amsterdam: Elsevier.
28. http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy (accesat în Martie 2013)
29. EWEA (European Wind Energy Association). 2012. *The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics*.
30. Matthies HG, Garrad A. 1993. *Study of offshore wind energy in the EC*. JOULE (JOUR0072). Report to the European Commission, Germanischer Lloyd, Hamburg.
31. Dean RG, Dalrymple RA. 1984. *Water Wave Mechanics for Scientists and Engineers*. World Scientific.
32. Holthuijsen LH. 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge Press.
33. Rusu E, Butunoiu D. 2011. *Modelarea valurilor în zonele costiere cu aplicații la litoralul românesc*. Seria: Studii și cercetări, Editura A.G.I.R., București, ISBN: 978-973-720-408-0, 325.
34. http://www.seai.ie/Renewables/Ocean_Energy/Ocean_Energy_Information_Research/Ireland_Wave_and_Tidal_Energy_Resources/ (accesat în Martie 2013)
35. <http://www.aoea.ie/wave-energy/> (accesat în Martie 2013)
36. <http://www.emec.org.uk/marine-energy/> (accesat în Martie 2013)
37. Hagerman G. 1995. *Wave power*. In *Encyclopaedia of Energy Technology and The Environment* (eds A. Bisio & S.G. Boots). John Wiley & Sons Inc.
38. Silva D, Rusu E, Guedes Soares C. 2013. Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore, *Energies*, 6 (3), 1344-1364, <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/3/1344>

39. <http://www.aquaret.com/> (accesat în Ianuarie 2013)
40. Booijl N, Ris RC, Holthuijsen LH. 1999. *A third generation wave model for coastal regions: Part 1. Model description and validation*. J. Geophys. Res. 104 (C4), 7649–7666.
41. Rusu L, Butunoiu D. 2012. *Evaluation of the wind influence in modeling the Black Sea wave conditions*. Environmental Engineering and Management Journal, in press.
42. Rusu L, Bernardino M, Pilar P, Guedes Soares C. 2011. *Hindcast studies of the wave conditions on the Portuguese coast*. Marine Technology and Engineering – Guedes Soares et al. (Eds), Taylor & Francis Group, London, Vol. I, 181-198.
43. Guedes Soares C, Rusu L, Bernardino M, Pilar P. 2011. *An operational wave forecasting system for the Portuguese continental coastal area*. Journal of Operational Oceanography 4 (2), 16-26.
<http://www.ingentaconnect.com/content/imarest/joo/2011/00000004/00000002/art00002>
44. Rusu L, Pilar P, Guedes Soares C. 2008. *Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast*. Coastal Engineering 55 (11), 906-919.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.02.029>
45. Rusu L, Guedes Soares C. 2006. *High resolution SWAN simulations in the Tagus Estuary*. Inovação e Desenvolvimento nas Atividades Marítimas, Salamandra Ed., Lisbon, Portugal, 503-519, (in Portuguese).
46. Rusu L, Ivan A. 2010. *Modelling Wind Waves in the Romanian Coastal Environment*. Environmental Engineering and Management Journal 9 (4), 547-552.
http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol9/no4/18_2_Rusu_10.pdf
47. Rusu L, Bernardino M, Guedes Soares C. 2009. *Influence of Wind Resolution on the Prediction of Waves Generated in an Estuary*. Journal of Coastal Research SI 56, 1419-1423.
http://egeo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_II/1419.1423_L.Rusu_ICS2009.pdf
48. Rusu E, Silva R, Soares CV, Rusu L. 2003. *Wave Forecast in the Coastal Environment Affected by M/V Prestige Breakdown*. Paper presented at the 4th Symposium on the Atlantic Iberian Continental Margin, Vigo, Spain, 7-10 July, published in Thalassas – An International Journal of Marine Science, 161-162.
http://webs.uvigo.es/thalassas/thalassas_marco%20principal.htm
49. Longuet-Higgins MS. 1970. *Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, I and II*. J. Geophys. Res. 75, 6778–6801.

50. Svendsen IA, Haas K, Zhao Q. 2002. *Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC, version 2.0*. Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 U.S.A.
51. Mettlach TR, Earle M.D, Hsu YL 2002. *Software Design Document for the Navy Standard Surf Model, Version 3.2*. Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, Mississippi, 187.
52. Conley DC, Rusu E. 2005. *Tests of wave shoaling and surf models in a partially enclosed basin*. The 12th International Congress of Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources. IMAM 2, 1015–1022.
53. Butunoiu D, Rusu E. 2012. *A Matlab interface associated with modeling surface waves in the nearshore*. Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Special Issue, Journal of Environmental Protection and Ecology, 13 (3A), 1606-1816.<http://www.jepe-journal.info/journal-content/vol13-no-3a>
54. Rusu E. 2011. *A MATLAB toolbox associated with modeling coastal waves*. Current Development in Oceanography, Vol. 2, Number 1, 17-52.<http://www.pphmj.com/journals/articles/749.htm>
55. Rusu E, Conley DC, Coelhon EF. 2008. *A Hybrid Framework for Predicting Waves and Longshore Currents*. Journal of Marine Systems, Vol. 69, Issues 1-2, 59–73.<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.02.009>
56. The Math Works Inc. 2004. *MATLAB the Language of Technical Computing*, Reference Guide, version 7.0 (Release 14).
57. Pawlowicz R. 2004. *M_Map - A mapping package for MATLAB, User Manual, V 1.4*, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, Canada.
58. Johnson D. 2002. *DIWASP, a directional wave spectra toolbox for MATLAB*. UserManual, WP 1601 DJ (V1.1), i-18. Centre for Water Research, University of Western Australia.
59. Matulea I, Slamnoiu G, Popa V, Rusu L, Nastase I, Oancea G. 2007. *Spectral and Probabilistic Models in Marine Technology*. Publishing House of University “Dunărea de Jos” of Galati, ISBN978-973-627-366-7, 248, (in Romanian).
60. ComFLOW2, User Manual V2.3.
61. **Diaconu S.** 2013. *Wave run-up simulations and comparison with experimental data on a semi-submersible*. Mechanical Testing and Diagnosis, ISSN 2247-9635, (3), Vol. 1, 5-11. <http://www.omg.ugal.ro/mtd/issue2013-1.htm>

62. **Diaconu S.** 2013. *Numerical simulation of sloshing dynamics in a tank*. Mechanical Testing and Diagnosis, ISSN 2247-9635, (3), Vol. 1.
<http://www.omg.ugal.ro/mtd/issue2013-1.htm>
63. **Diaconu S,** Rusu E. 2011. *Simulations of hydrodynamic wave loading by a three-dimensional two-phase numerical model*. The PhD Student Symposium, 7th December 2011, Dunarea de Jos University, Galati, Romania.
64. Fekken G. *Numerical simulations of free-surface flow with moving rigid bodies*, PhD thesis. University of Groningen, the Netherlands.
65. Kleefsman K. 2005. *Water impact loading on offshore structures - a numerical study*. PhD thesis, University of Groningen, the Netherlands.
66. Kleefsman K, Fekken G, Veldman A, Iwanowski B, Buchner B. 2005. *A volume-of fluid based simulation method for wave impact problems*. Journal of Computational Physics, 206, 262–393.
67. Veldman AEP et al. 2011. *Extreme Wave Impact on Offshore Platforms and Coastal Constructions*. ASME 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering.
68. Bunnik THJ, Doeveren AG. 2007. *Wave runup tests on a semi submersible*. Report No: 18378-2-HT.
69. Rusu E. 2010. *Modelling of wave-current interactions at the Danube's mouths*. Journal of Marine Science and Technology, 15, 143-159.
70. <http://www.pelamiswave.com/> (accesat în Februarie 2013)
71. Le Crom I, Brito-Melo A, Sarmiento A. 2008. *Maritime Portuguese Pilot Zone for Wave Energy Conversion: Modelling Analysis of the Impact on Surfing Conditions*. 2nd International Conference on Ocean Energy (ICOE 2008), 15th – 17th October, Brest, France.
72. Angelelli E, Zanuttigh B. 2012. *A farm of wave activated bodies for coastal protection purposes*. Coastal Engineering.
73. **Diaconu S,** Rusu E. 2013. *Impact evaluation of a large Pelamis based energy farm on the wave field in the romanian nearshore area*. Analele Universității Maritime din Constanța. - în curs de evaluare.
74. Beels et al. 2009. *Numerical simulation of wake effect in the lee of a farm of Wave Dragon wave energy converters*. In Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden.

75. **Diaconu S**, Rusu E. 2013. *The environmental impact of a Wave Dragon array operating in the Black Sea*. Marine Renewable Energies: Perspectives and Implications for Marine Ecosystems (**IF 1.73**).
<http://www.hindawi.com/journals/tswj/aip/498013/>
76. Rusu E, **Diaconu S**. 2013. *Costal impact of a Wave Dragon based energy farm operating on the nearshore of the Black Sea*. Indian Journal of Geo-Marine Sciences (**IF 0.422**) – acceptată spre publicare.
77. Rusu L, Guedes Soares C. 2012. *Wave energy assessments in the Azores islands*. Renewable Energy 45, 183-196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.027> 137
78. **Diaconu S**, Rusu E. 2013. *Evaluation of various WEC devices in the Romanian nearshore*. 2nd WSEAS International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '13). Brasov, Romania, June 1-3. EEETE Session: Latest Trends in Environment Technologies and Equipment II.
<http://www.wseas.org/multimedia/conferences/2013/Brasov/Program.pdf>
79. Rusu L, Guedes Soares C. 2012. *Wave energy assessments in the Azores islands*. Renewable Energy 45, 183-196.
80. Iglesias G, Carballo R. 2011. *Choosing the site for the first wave farm in a region: A case study in the Galician Southwest*. Energy, 36, 5525–5531.
81. Cornett AM. 2008. *A Global Wave Energy Resource Assessment*. Proceedings of the Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Vancouver, Canada, July 6-11.
82. U.S. Army Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
83. Waters R, Engstrom J, Isberg J, Leijon M. 2009. *Wave climate off the Swedish west coast*. Renewable Energy 34, 1600-1606.
84. Kofoed JP, Frigaard P, Friis-Madsen E, Sørensen HC. 2006. *Prototype testing of the wave energy converter Wave Dragon*. Renew. Energy, 31, 181–189.
85. Henderson R. 2006. *Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter*. Renew. Energy, 31, 271–283.
86. Weinstein A, Fredrikson G, Parks M.J, Neislen K. 2004. *Aqua Buoy—The offshore wave energy converter: Numerical modeling and optimization*. Proceedings of Oceans '04 MTS/IEEE Techno-Ocean '04, Kobe, Japan, 9–12 November.
87. OCEANTEC. 2006. *Desarrollo tecnológico de un sistema de aprovechamiento de la energía de las olas*. Informe Publicable, EKINBERRI.

88. Babarit A et al. 2012. *Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters*, Renewable Energy, Vol. 41, 44–63.
89. OCEANTEC. 2006. *Desarrollo tecnológico de un sistema de aprovechamiento de la energía de las olas*. Informe Publicable, EKINBERRI.
90. Rusu L, 2010. *Application of numerical models to evaluate oil spills propagation in the coastal environment of the Black Sea*. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 18 (4), 288-295.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/jeelm.2010.33>
91. Gasparotti C, Rusu L, 2010. *Risk assessment of oil spills from Black Sea basin*, Tenth International Conference on Marine Sciences and Technologies - BLACKSEA2010, 7-9 October, Varna, Bulgaria, 403-408.
92. Gasparotti C, Rusu E, 2012. *Methods for the risk assessment in maritime transportation in the Black Sea basin. Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem*, Special Issue, Journal of Environmental Protection and Ecology, 13 (3A), 1751-1759.<http://www.jepe-journal.info/journal-content/vol13-no-3a>
93. Ivan A, **Diaconu S**. 2010. *Analysis of the navigation threats at the entrance of Sulina channel*. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, Issue II. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010I2.htm>
94. Onea F, **Diaconu S**, Rusu E. *Evaluation of the environmental conditions in the vicinity of the Romanian ports at the Black Sea*. Analele Universității Maritime din Constanța. - în curs de evaluare.
95. **Diaconu S**, Rusu E 2010. *Environmental modeling to prevent the coastal hazards at the entrance of Danube Delta*. European Dimensions of the Doctoral Programmes (POSDRU 19524- 2010), Location: Galati, ROMANIA. http://www.phd-expert.ugal.ro/SiteWorkshop/new_page_4.htm
96. Michel Paillard, Denis Lacroix and Veronique Lamblin, 2009. *Marine Renewable Energies, Prospective Foresight Study for 2030*. Editions Quae, ISBN 978-2-7592-0183-9.
97. <http://www.2000watts.org/index.php/energies-renouvelables/maree/128-the-pelamis-wave-energy-converter-in-portugal-.html> (accesat în Mai 2013).

ANEXA 1

LISTĂ DE PUBLICAȚII

A. Lucrări publicate în reviste indexate ISI

1. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. The environmental impact of a Wave Dragon array operating in the Black Sea. *Marine Renewable Energies: Perspectives and Implications for Marine Ecosystems* (IF 1.73).

<http://www.hindawi.com/journals/tswj/aip/498013/>

B. Lucrări în reviste cotate ISI acceptate spre publicare

2. E. Rusu, **S. Diaconu**. 2013. Costal impact of a Wave Dragon based energy farm operating on the nearshore of the Black Sea, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, October (IF 0.422).

C. Lucrări publicate în reviste indexate BDI

3. **S. Diaconu**, F. Onea, E. Rusu. 2013. Evaluation of the nearshore impact of a hybrid wave-wind energy farm. *International Journal of Education and Research (IJER)*, Vol. 1 No. 2, February. <http://www.ijern.com/February-2013.php>
4. **S. Diaconu**. 2013. Wave run-up simulations and comparison with experimental data on a semi-submersible. *Mechanical Testing and Diagnosis*, ISSN 2247-9635, (III), Vol. 1, 5-11. <http://www.omg.ugal.ro/mtd/issue2013-1.htm>
5. **S. Diaconu**. 2013. Numerical simulation of sloshing dynamics in a tank. *Mechanical Testing and Diagnosis*, ISSN 2247-9635, (III), Vol. 1. <http://www.omg.ugal.ro/mtd/issue2013-1.htm>
6. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. Impact evaluation of a large Pelamis based energy farm on the wave field in the romanian nearshore area. *Analele Universității Maritime din Constanța*.
http://www.cmu-edu.eu/anale/anale/2013-vol19/Abstract_Anale_vol%2019_2013.pdf

7. F. Onea, **S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. Evaluation of the environmental conditions in the vicinity of the Romanian ports at the Black Sea. *Analele Universității Maritime din Constanța*.
http://www.cmu-edu.eu/anale/anale/2013-vol19/Abstract_Anale_vol%2019_2013.pdf
8. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2009. Plates analysis in plane state. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612.
<http://www.mrm.ugal.ro/Annals2009.htm>
9. A. Ivan, **S. Diaconu**. 2010. Analysis of the navigation threats at the entrance of Sulina channel. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, issue II. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010I2.htm>
10. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2010. Hydrodynamic analysis of an energy converter. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, issue I. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010.htm>
11. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2010. Wave effect on two cylinders using the panel method. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, issue II. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010I2.htm>
12. **S. Diaconu**, E. Rusu, M. Bernardino. 2010. Practical Challenges in Harvesting Wave Energy: Heaving buoy device. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, issue I. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010.htm>
13. A. Nastase, **S. Diaconu**, M. R. Bernal. 2010. Symmetrical circular vibrating systems. The annals of “Dunărea de Jos” University of Galați Fascicle x, Applied Mechanics, ISSN 1221-4612, issue II. <http://www.mrm.ugal.ro/Annals2010I2.htm>

D. Lucrări publicate în volumele unor conferințe cotate ISI

14. **S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. Evaluation of various WEC devices in the Romanian nearshore. 2nd WSEAS International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '13). Brasov, Romania, June 1-3. EEETE Session: Latest Trends in Environment Technologies and Equipment II.
<http://www.wseas.org/multimedia/conferences/2013/Brasov/Program.pdf>

- 15. S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. The influence of a WEC array on the Romanian coastal environment. 2nd WSEAS International Conference on Energy and Environment Technologies and Equipment (EEETE '13). Brasov, Romania, June 1-3.
EED Session: Environmental Researches in Romania.
<http://www.wseas.org/multimedia/conferences/2013/Brasov/Program.pdf>

E. Lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale sau naționale cu participare internațională

- 16. S. Diaconu**, E. Rusu. 2010. Enviromental modeling to prevent the coastal hazards at the entrance of Danube Delta, European Dimensions of the Doctoral Programmes (POSDRU 19524- 2010), Galati, Romania, 22-23 July.
http://www.phd-expert.ugal.ro/SiteWorkshop/new_page_4.htm
- 17. S. Diaconu**, E. Rusu. 2011. Simulations of hydrodynamic wave loading by a three-dimensional two-phase numerical model, The PhD Student Symposium, 7th December 2011, Dunarea de Jos University, Galati, Romania.
- 18. S. Diaconu**, E. Rusu. 2013. Evaluation of the efficiency and of the coastal impact of a Pelamis wave farm operating in the Romanian nearshore, 1 st International Conference 3E - Energy, Environment & Efficiency, Galati, Romania.
<http://www.iweee.ugal.ro/>
- 19. S. Diaconu**. 2013. Numerical modeling of the interactions between the waves and the structures operating in marine environment, 1 st International Conference 3E - Energy, Environment & Efficiency, Galati, Romania.
<http://www.iweee.ugal.ro/>

