

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND DINAMICA CURENȚILOR COSTIERI ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC AL MĂRII NEGRE

R E Z U M A T

Doctorand,

ing. Tănase ZANOPOL

Conducător științific,

prof. univ. dr. ing. Eugen Victor Cristian RUSU

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 18

GALAȚI

2014

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Școala doctorală de inginerie



TEZĂ DE DOCTORAT

CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND DINAMICA CURENȚILOR COSTIERI ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC AL MĂRII NEGRE

REZUMAT

Doctorand,

ing. Tănase ZANOPOL

Conducător științific: prof. univ. dr. ing. **Eugen Victor Cristian RUSU**

Referenți științifici: prof. univ. dr. ing. **Nicolae BUZBUCHI**
cercet. șt. pr. II dr. ing. **Roman PÎRVULESCU**
prof. univ. dr. ing. **Puiu Lucian GEORGESCU**

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 18

GALAȚI

2014

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

Domeniul **ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

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

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul **ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul **ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie-Engleză**

Seria U 2: **Filologie-Română**

Seria U 3: **Istorie**



2-240/16.07.2014

Către

Stimată doamnă / Stimate domn

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de 26.09.2014 ora 11:00 în sala D12, Facultatea de Mecanică, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: „CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND DINAMICA CURENȚILOR COSTIERI ÎN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC AL MARII NEGRE”, elaborată de doamna/domnul ZANOPOL TĂNASE, în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat **Inginerie mecanică**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte** **Prof.univ.dr.ing. Cătălin FETECĂU**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 2. Conducător de doctorat** **Prof.univ.dr.ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 3. Referent oficial** **Prof.univ.dr.ing. Nicolae BUZBUCHI**
Universitatea Maritimă din Constanța
- 4. Referent oficial** **Cercet.șt.pr.gr.II dr.ing. Roman PÎRVULESCU**
Institutul Național de Cercetare Dezvoltare „Delta Dunării” din Tulcea
- 5. Referent oficial** **Prof.univ.dr.ing. Puiu-Lucian GEORGESCU**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa universității, str. Domnească nr. 47, 800008 Galați, Fax: 0236 / 461353, e-mail rectorat@ugal.ro.

Rector,

Prof. univ. dr. ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



MULȚUMIRI

Exprimăm sincere mulțumiri domnului profesor **Eugen RUSU** pentru încrederea și sprijinul acordate în finalizarea tezei noastre de doctorat.

Mulțumim, de asemenea, pentru efortul și timpul alocat desăvârșirii acestei teze, membrilor comisiei de îndrumare și evaluare a tezei de doctorat formată din: profesor **Silviu MĂCUTĂ**, conferențiar **Ioan STRAT** și profesor **Ștefan DRAGOMIR**.

Adresăm gratitudini decanului Facultății de Mecanică, profesor **Cătălin FETECĂU** pentru imboldurile și sfaturile acordate, precum și profesorilor din cadrul **colectivului Catedrei de Mecanică Aplicată**, care au contribuit, direct sau indirect, la realizarea tezei noastre de doctorat, în special doamnei profesor **Aglaia DIMOFTE** și domnilor profesori: **Iordan MATULEA**, **Sorin MUȘAT** și **Victor POPA**.

În ceea ce privește obținerea și analizarea rezultatelor experimentale, recunoștința mea se îndreaptă către domnul doctor inginer **Răzvan MATEESCU** și către doamna conferențiar **Liliana RUSU**.

Multe mulțumiri domnului doctor inginer **Florin ONEA**, care mi-a fost coautor la multe lucrări științifice și care mi-a furnizat sugestii pentru redactarea formei finale a tezei de doctorat.

Nu în ultimul rând, mulțumim soției mele, **Camelia** și copiilor noștri: **Alina**, **Irina** și **Horia**, care ne-au fost alături și ne-au oferit suport moral și material, pe parcursul pregătirii și finalizării acestei teze de doctorat.

Tănase ZANOPOL

Galați, 2014

CUPRINS

	Pag. rezumat	Pag. teză
Introducere	3	4
Actualitatea și importanța temei	3	4
Obiectivele tezei	4	5
Structura tezei	5	6
Capitolul 1. Teoria curenților costieri	7	35
1.1 Considerații generale	7	35
1.2 Curenții costieri	9	58
1.2.1 Curenții longitudinali	10	59
1.2.2 Curenții transversali	12	61
Capitolul 2. Modelarea numerică a curenților costieri folosind SHORECIRC	13	78
2.1 Un model simplificat pentru curenții costieri	13	92
2.1.1 Ecuațiile modelului	14	93
2.1.2 Ecuațiile de ordin inferior pentru topografii aproape uniforme în direcția longitudinală	17	106
Capitolul 3. Simulări numerice cu modele 3D și 1D	20	116
3.1 Modelul ISSM	21	117
3.1.1 Ecuațiile modelului	21	117
3.1.2 Procesarea datelor batimetrice	23	117
3.1.3 Simulări cu modelul de val	23	119
3.1.4 Simulări cu modelul pentru curenți	24	120
3.1.5 Algoritmi de calcul	24	120
3.2 Studii de caz	28	124
3.2.1 Primul studiu de caz – o aplicație 1D	28	124
Capitolul 4. Regimul curenților costieri și al transportului de sedimente din zona litoralului românesc	31	143
4.1 Cadru general	31	143
4.2 Dinamica zonelor costiere românești	33	146
4.2.1 Regimul sedimentelor dunărene	33	146
4.2.2 Procese costiere din zona litoralului românesc	34	148
Capitolul 5. Studii privind influența fermelor energetice și a structurilor Marine asupra dinamicii costiere din apropierea litoralului românesc	39	160
5.1 Studii de caz considerând situații relevante	41	162
5.1.1 Sfântu Gheorghe	44	165
5.2 Estimări pe termen mediu	57	191
5.2.1 Sfântu Gheorghe	58	204

5.2.2 Mamaia	64	223
5.2.3 Mangalia	68	239
Capitolul 6. Rezultate experimentale recente privind măsurarea curenților în zonele costiere românești	74	256
6.1 Măsurătorile de curenți în zona litoralului românesc	74	256
6.1.1 Descrierea aparaturii	74	256
6.2 Măsurători asupra curenților litorali (Anul 2013)	76	258
6.2.1 Măsurători dinamice cu ADCP RDI WH600	76	258
6.2.2 Măsurători realizate cu ajutorul stațiilor fixe (curentmetrul MIDAS 808-400)	81	263
6.3 Comparații ale măsurătorilor in situ cu cele furnizate de modelele Numerice (curenți longitudinali)	86	268
6.3.1 Sfântu Gheorghe	86	268
6.3.2 Mangalia	86	268
Capitolul 7. Considerații finale	87	269
7.1 Discuții asupra studiilor realizate	87	269
7.2 Contribuții personale	91	273
7.3 Direcții pentru cercetări viitoare	94	276
Lista de lucrări	96	278
Bibliografie	98	280
Curriculum vitae	102	289

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța temei

Având în vedere tendințele actuale de creștere demografică, este logic să ne gândim la faptul, că în viitorul apropiat cantitatea de energie necesară la nivel mondial va crește semnificativ, ceea ce ar contribui la o degradare a mediului ambiant, dacă se are în vedere faptul că o mare parte din energia actuală rezultă în urma arderii combustibililor fosili.

Cu toate că aceasta reprezintă o problemă serioasă pentru viitor, prin intermediul unor noi strategii energetice, se poate obține o consolidare a portofoliului surselor de energie sustenabile folosind îndeosebi resursele naturale din zonele marine. Acestea reprezintă, într-adevar, o sursă importantă de energie dacă se ține cont de faptul că sunt caracterizate de vaste suprafețe de apă, au numeroase resurse naturale (ex: vânt, val sau curenți) care sunt mai consistente și mai stabile decât cele din zonele de uscat. Valurile mării sunt una dintre cele mai importante resurse din mediul marin, ele transportând cantități semnificative de energie din zonele offshore (unde sunt generate) către regiunile costiere, unde va avea loc disiparea valurilor.

Zonele costiere sunt medii dinamice care se modifică constant sub acțiunea factorilor naturali, raportul dintre procesele de eroziune și acreție determinând configurația țărmului pentru diverse intervale de timp. Valurile din această zonă contribuie direct la procesele de eroziune, acționând prin intermediul proceselor mecanice de abraziune în zonele de plajă și de surf, dizlocând particule de sedimente pe care le transportă în zonele offshore. Un alt fenomen important care se manifestă în zonele costiere este constituit de acțiunea curenților longitudinali care transportă cantități semnificative de sedimente de-a lungul țărmului, modificând în acest fel aspectul sectoarelor de plajă. În cazul unor furtuni puternice sau extreme, volume mari de sedimente sunt aduse în stare de suspensie, iar zonele de plajă vor fi supuse astfel unui proces de degradare mult mai intens.

La nivel global, una din cele mai afectate zone de eroziune este cea a litoralului românesc, în care procesele de eroziune se manifestă diferit în sectoarele din nord față de cele din sud. Studiile anterioare au pus în evidență faptul că sectorul nord (situat în apropiere de Delta Dunării) pare a fi într-o stare critică, în timp ce sectorul sud este considerat a fi mai stabil. Această situație se datorează atât factorilor naturali, cât și antropici cum ar fi: dezvoltarea infrastructurii portuare, consolidarea canalelor de navigație sau construcția barajelor hidroenergetice pe Dunăre care contribuie la reducerea volumului de sediment.

În acest context, principalul obiectiv al acestei teze este acela de a elabora diverse studii de caz pentru a putea evalua nivelul curenților costieri și impactul unor ferme de val asupra regimului valurilor și curenților costieri din zona litoralului românesc în vederea îmbunătățirii protecției costiere. Studiile sunt focalizate pe trei zone țintă: a) zona Sfântu Gheorghe situată în apropiere de Delta Dunării (sector nord); b) Mamaia - în apropiere de grindul Chituc (sector nord); c) Mangalia - la extremitatea sudică a litoralului (sector sud). În primă fază, pentru a putea furniza o imagine de ansamblu a climatului valurilor din apropierea acestor sectoare costiere, s-au analizat atât măsurători in situ provenind de la platforma Gloria, cât și date obținute din simulările numerice efectuate cu ajutorul modelului SWAN. Astfel, s-au putut identifica cele mai relevante situații care s-ar putea manifesta în aceste zone, acestea variînd de la condiții medii, ce se pot întâlni frecvent

de-a lungul anului și ajungându-se până la condiții extreme ce se pot manifesta de-a lungul sezonului de iarnă.

Pentru a putea evalua impactul costier al fermelor de val în cele trei zone țintă, s-a folosit modulul de calcul ISSM, care este un sistem destinat simulării valurilor și curenților costieri. Acesta este compus dintr-o interfață MATLAB, care leagă modelul de val SWAN cu un model 1-D SURF, ce rulează în fundal și care poate furniza informații despre profilele curenților și alți parametri din zona de surf. În cadrul simulărilor numerice prezența fermei de val în spațiul geografic s-a realizat cu ajutorul comenzii *obstacle*, care este disponibilă în modelul SWAN, fermele de val fiind definite ca niște linii care au rolul de a întrerupe propagarea valurilor între nodurile domeniului de calcul. Aceste obstacole vor influența câmpul de valuri în trei moduri distincte, prin: a) reducerea înălțimilor de val care se propagă de-a lungul acestor obstacole; b) reflexia valurilor și c) difracția valurilor.

În ceea ce privește caracteristicile fermelor de val, s-au luat în considerare două studii de caz distincte. În primă fază, s-a analizat influența unei ferme generice pentru cele trei zone țintă, în care capacitatea de absorbție a fost ajustată gradual de la absorbție minimă (nici o fermă de val) până la situația în care valurile sunt absorbite complet (caz ideal). Cel de-al doilea scenariu poate fi asociat cu o fermă de val de dimensiuni mari, în care sistemele de extracție a energiei valurilor (WEC) sunt dispuse pe mai multe linii. În cel de-al doilea studiu de caz, fermele de val au fost realizate din sisteme Pelamis și Wave Dragon dispuse pe două linii, care au lungimi similare cu cele ale fermelor generice. Pe lângă evaluarea condițiilor de val, un alt obiectiv al acestei lucrări constă în identificarea eventualelor modificări pe care aceste ferme de val le au asupra circulației curenților costieri, care, după cum s-a menționat, au un rol important în transportul de sedimente. În general, s-a observat că modificările care se manifestă între sistemele WEC și linia țărmului depind în mare parte de orientarea spațială a fermelor de val (în spațiul geografic) precum și de alte caracteristici, cum ar fi direcția și înălțimea valurilor incidente. Rezultatele obținute sunt promițătoare deoarece indică faptul că astfel de proiecte pot fi considerate soluții viabile pentru protecția zonelor costiere, în special în perioada de iarnă când se manifestă o accentuare a proceselor de eroziune.

În ceea ce privește partea experimentală, s-au realizat o serie de măsurători a valurilor și curenților din sectoarele Sfântu Gheorghe, Cap Tuzla și Vama Veche cu ajutorul unui sistem ADCP, care s-a completat cu o monitorizare a curenților costieri realizată prin intermediul unei stații fixe de tip MIDAS 808-400. Măsurătorile sunt raportate pentru anii 2011 și 2013, autorul acestei lucrări participând efectiv la obținerea acestor seturi de date.

Obiectivele tezei

Cercetările realizate în această teză se axează pe următoarele obiective specifice:

1. Prezentarea aspectelor teoretice relevante ce descriu procesele fizice din mediul marin și schemele de calcul ce stau la baza modelelor numerice utilizate pentru elaborarea studiilor de caz. O atenție deosebită se va acorda identificării acurateței rezultatelor furnizate de aceste modele prin comparații cu măsurători in situ, prezentându-se în același timp și limitările acestora.

2. Descrierea dinamicii costiere românești și măsurile de protecție a țărmului pe baza datelor prezentate în literatura de specialitate. Se vor prezenta caracteristicile geomorfologice ale celor două zone principale (nord și sud) și se vor identifica sectoarele de țărm afectate de eroziunea costieră.

3. Elaborarea unor studii de caz care se axează pe evaluarea impactului unor ferme de val asupra regimului valurilor și curenților costieri din zona litoralului românesc. În primă fază, se va

analiza influența unei ferme de val generice pentru sectoarele Sfântu Gheorghe, Mamaia și Mangalia, urmând ca în simulările ulterioare fermele de val să fie alcătuite din sisteme WEC de tip Pelamis și Wave Dragon.

4. Realizarea unor campanii de măsurători în sectoarele Sfântu Gheorghe, Cap Tuzla și Vama Veche pentru a putea identifica caracteristicile valurilor și curenților din apropierea zonelor țintă considerate pentru simulările numerice.

5. Diseminarea rezultatelor obținute prin intermediul unor lucrări științifice publicate/prezentate în jurnale și conferințe internaționale.

Structura tezei

Teza de doctorat intitulată ***Cercetări și contribuții privind dinamica curenților costieri în zona litoralului românesc al Mării Negre*** este structurată pe șapte capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 tratează pe larg aspecte teoretice ce țin de principalii factori din mediul marin (valuri și curenți costieri) care influențează în mod direct procesele costiere. Se face o prezentare a fenomenelor specifice valurilor care intră în zone cu apă puțin adâncă, care duc la spargerea acestora și la producerea curenților longitudinali și transversali.

Capitolul 2 se axează pe modelarea curenților costieri cu ajutorul sistemului complex de modelare numerică SHORECIRC. Este prezentat aparatul matematic care stă în spatele acestui model numeric precum și diverse studii de caz în care se analizează situații teoretice, cum ar fi cazul unei plaje aproape plane sau a unei plaje cu bare longitudinale.

Capitolul 3 prezintă caracteristicile interfeței ISSM, care va fi folosită pentru evaluarea caracteristicilor valurilor și curenților longitudinali. Sunt prezentați algoritmi de calcul și pașii necesari inițializării modelelor SWAN (val) și 1-D SURF (curenți), precum și diverse studii de caz (din România și Portugalia) în care o parte din rezultatele obținute au fost comparate cu măsurători in situ.

Capitolul 4 pune în evidență principalele caracteristici ale litoralului românesc, furnizând o imagine de ansamblu a dinamicii costiere prin analiza principalelor celule de sedimentare. De asemenea, sunt prezentate și principalele măsuri avute în vedere pentru protecția zonelor costiere și durata acestor proiecte.

Capitolul 5 evaluează în primă fază influența unei ferme generice asupra regimului valurilor și curenților costieri din apropierea sectoarelor de țărm Sfântu Gheorghe, Mamaia și Mangalia, considerând ca și date de intrare în modelul SWAN rezultatele statistice ale parametrilor de val provenind de la măsurătorile in situ, specifice platformei de foraj Gloria. În cea de-a doua parte, au fost simulate numeric câmpurile de valuri din zona litoralului românesc cu ajutorul modelului SWAN considerând datele de vânt NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis) pentru intervalul de timp ianuarie 1999 - decembrie 2008. În urma procesării acestor date pentru fiecare sector în parte, s-au identificat condiții de val reprezentative care au fost folosite pentru a identifica, de această dată, influența unor ferme de val formate din sisteme Pelamis și Wave Dragon.

Capitolul 6 reprezintă partea experimentală, care constă în identificarea caracteristicilor valurilor și a curenților costieri din sectoarele Sfântu Gheorghe, Cap Tuzla și Vama Veche cu ajutorul sistemelor ADCP și MIDAS 808-400. Prin realizarea celor două campanii de măsurători (2011 și

respectiv 2013), s-au obținut date care furnizează o imagine de ansamblu a caracteristicilor de mediu din zonele costiere românești precum și valori numerice care pot fi comparate cu rezultatele obținute în urma simulărilor numerice.

Capitolul 7 sintetizează principalele idei și rezultatele obținute în această teză, indicând în mod concis elementele de originalitate ale lucrării și contribuțiile personale, sugerându-se și câteva direcții de cercetare viitoare. De asemenea, sunt prezentate și principalele lucrări științifice, din care majoritatea au fost integrate și realizate în cadrul proiectului *Data Assimilation Methods for improving the WAVE predictions in the Romanian nearshore of the Black Sea - DAMWAVE* (PN-II-IDPCE-2012-4-0089).

Capitolul 1

TEORIA CURENȚILOR COSTIERI

1.1 Considerații generale

Unul din elementele cele mai importante în transportul sedimentelor și modelarea zonelor costiere îl constituie valurile și curenții costieri pe care acestea îi generează. Majoritatea energiei disipate în zonele costiere provine deci de la valurile generate de vânt, iar dispersia și transportul agenților poluanți deversați în zonele costiere, dar și transportul de sedimente, erodarea coastelor și formarea barelor de nisip sunt câteva din rezultatele acestei disipări energetice din zonele costiere.

Valurile și curenții pe care ele le generează sunt deci factorii primari în transportul și depunerea sedimentelor. Valurile dislocă materialul și îl suspendă deasupra fundului mării, iar curenții captează acest material și îl transportă de-a lungul plajelor. Principalii parametri care caracterizează valurile sunt perioada și înălțimea de val. Acestea depind de viteza și durata vânturilor care generează valurile și de distanța pe care valurile sunt generate. Tipurile de valuri care se sparg la nivelul plajei și variația lor sezonală sunt cunoscute ca reprezentând climatul de val.

Valurile de apă adâncă sunt lungi și au o formă sinusoidală. Însă, pe măsură ce valurile intră în apa puțin adâncă, viteza de propagare și lungimea scad, iar înălțimea acestora și ascuțimea lor cresc astfel încât grupul de valuri va consta din creste ascuțite separate de zone plate. Această transformare a valurilor începe de la adâncimile la care valurile "simt fundul mării". Adâncimea corespunzătoare la care începe acest proces reprezintă cam jumătate din lungimea de val.

La intrarea în apa puțin adâncă, valurile sunt supuse procesului de refracție prin care crestele tind să devină paralele cu contururile fundului mării. Simultan procesul de difracție a valurilor cauzează un transfer de energie de-a lungul crestei valurilor, de la valurile înalte la cele mici. Pentru zonele costiere drepte, cu contururi paralele, refracția descrește unghiul dintre direcția de propagare a valurilor și normala la linia coastei, iar difracția cauzează o împrăștiere a energiei de-a lungul crestelor. În consecință, schimbările în înălțimea și direcția valurilor de-a lungul coastei sunt în funcție de perioada valurilor, direcția lor de apropiere și de configurația conturului fundului mării.

Figura 1.1 ilustrează structura generală a unei zonei din apropierea coastei (nearshore). În această figură sunt definite sub zonele și caracteristicile mai importante care pot apărea.

Când direcția de propagare a valurilor care se sparg face un unghi cu direcția normalei la plajă, valurile generează curenți longitudinali care curg paralel cu plaja în interiorul zonei de spargere a valurilor (numită și zonă de surf), în direcția de propagare a valurilor care se sparg. Apa antrenată de-a lungul coastei prin curenții longitudinali se reîntoarce în larg prin intermediul curenților transversali (curenții de tip rip). Spațierea acestor curenți transversali este, de obicei, între două și opt ori lățimea zonei de surf. Curenții longitudinali pot atinge valori de până la 2.5 m/s, iar curenții transversali pot depăși 1.5 m/s. Modul de generare al unui astfel de sistem de curenți

costieri este ilustrat în Figura 1.2. Digurile, spargerea valurilor și alte structuri costiere pot influența semnificativ propagarea și structura acestor curenți.

Termenul de “curenți costieri” (nearshore currents) a fost introdus în literatura de către Shepard și Inman [1] pentru a defini curenții direct asociați cu acțiunea valurilor generate de vânt, în și lângă zona de spargere a valurilor. Circulația costieră este dominată de forțele induse de val, asociate cu spargerea valurilor în apă puțin adâncă. Cu toate acestea, datorită intervalului de timp și a scării geografice care afectează zona costieră și alte mecanisme de forțare nu ar trebui să fie neglijate (de exemplu, vântul sau fluxul și refluxul în zonele unde este cazul). Aceste mișcări afectează, de obicei, o zonă mai mare decât zona de surf.

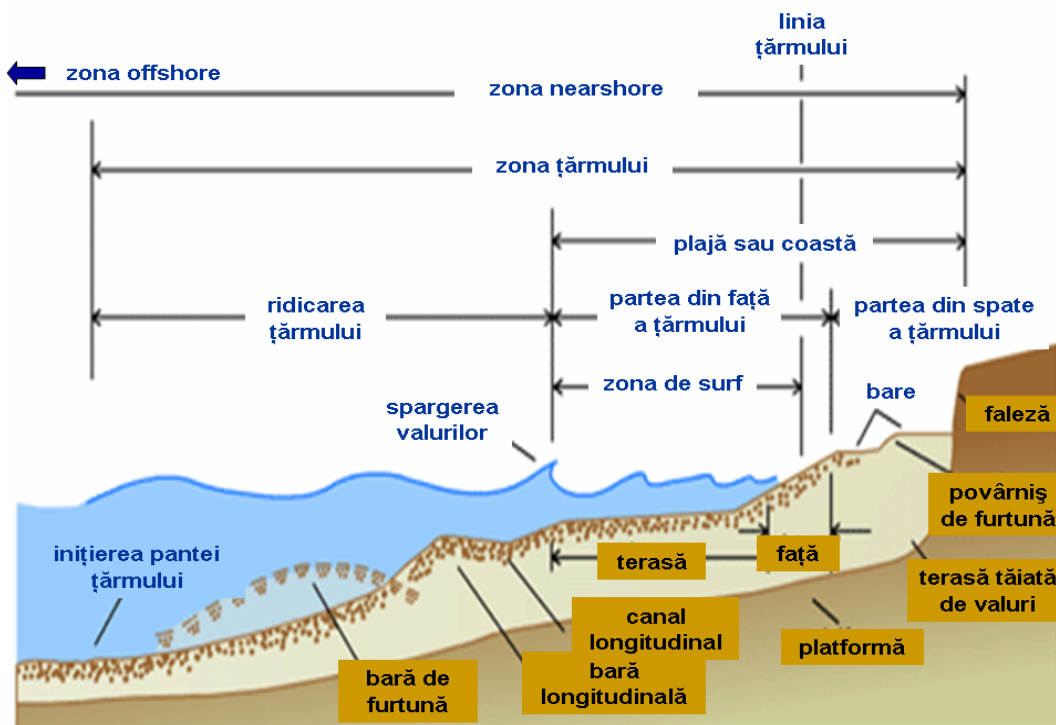


Figura 1.1. Structura generală a unei zone costiere (nearshore) [2]

Așa cum s-a arătat, în regiunea din apropierea țărmului, valurile generate de vânt se propagă de la apă adâncă la linia coastei, fiind supuse proceselor de refracție, difracție și de spargere.

Mai aproape de mal, pe măsură ce valurile se propaga în apă puțin adâncă, procesul de spargere devine dominant, și acest proces este însoțit de o turbulență deosebită. Impulsul transportat de valuri induce forțe care reprezintă factorii generatori pentru curenții costieri.

Mișcările particulelor de fluid induse de valuri și curenții antrenează sedimentele de la fundul mării care pot fi transportate pe distanțe considerabile. Prin urmare, mișcările fluidului sunt responsabile pentru transportul de sedimente și pentru variațiile grosimii stratului sedimentar. Deși la rândul lor sedimentele în mișcare pot afecta mișcarea fluidului (mai ales în zona de fund), această influență poate fi considerată suficient de mică, astfel încât să fie luată în considerare doar prin intermediul fenomenului de frecare cu fundul mării.

Shepard și Inman [1], consideră circulația costieră ca fiind rezultatul combinării următoarelor subsisteme:

1. Fluxul de masă de apă transportat către țărm de valuri;
2. Curenții longitudinali care se propagă de-a lungul coastei, ca urmare a apropierii oblice a valurilor în raport cu linia de coastă;
3. Curenții de întoarcere către larg, care se pot grupa în curenți transversali (de tip “rip”) și curgerea uniformă de revenire către larg (numită “undertow”).

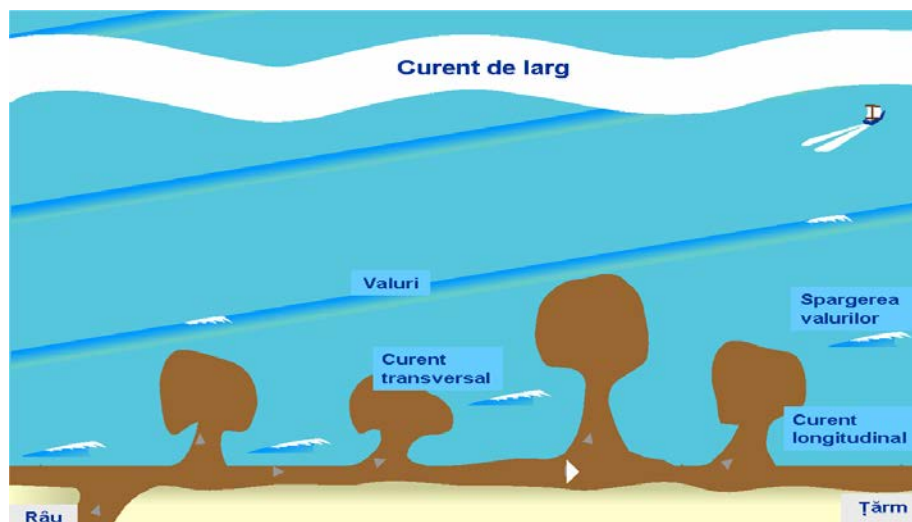


Figura 1.2. Generarea curenților din zona costieră [2]

1.2 Curenții costieri

Curentul din zona de surf este compus din mișcări la diverse scări, forțate de mai multe procese. Schematic curentul total u poate fi exprimat ca o superpoziție a acestor componente inter-relaționate:

$$u = u_w + u_t + u_\alpha + u_o + u_i \quad (1.1)$$

în care u_w este curentul indus de spargerea valurilor, u_t reprezintă curentul de maree, u_α este curentul indus de vânt, iar u_o și u_i sunt curgerile oscilatorii datorate vântului și valurilor infragravitaționale.

Curenții generați de spargerea valurilor oblice incidente domină, în general, zonele din apropierea surfului și coastele deschise. Vânturi locale puternice pot să inducă curenți semnificativi în zona litorală. Curenții induși de val și de vânt sunt importanți în transportul și dispersia sedimentelor și poluanților în zonele costiere. Figura 1.3, ilustrează cele mai obișnuite sisteme de curenți care se pot întâlni:

a) sistem longitudinal (orientat de-a lungul coastei), care apare datorită apropierii oblice a valurilor;

b) sistem simetric celular, care conține curenți longitudinali ce contribuie în mod egal la generarea curenților transversali normali pe direcția coastei (curenții rip) și care apar datorită propagării valurilor în direcția normală la coastă;

c) sistem asimetric celular conținând curenți longitudinali care contribuie în mod inegal la generarea curenților transversali [3].

Topografia plajei este foarte adese modelată de configurația circulației costiere, dar și circulația costieră este la rândul ei influențată de topografia zonei. Curenții costieri sunt calculați din ecuațiile de echilibru dinamic:

$$\begin{aligned} U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} &= -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + F_{bx} + L_x + R_{bx} + R_{sx} \\ U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} &= -g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + F_{by} + L_y + R_{by} + R_{sy} \end{aligned} \quad (1.2)$$

la care se adaugă ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial(Ud)}{\partial x} + \frac{\partial(Vd)}{\partial y} = 0 \quad (1.3)$$

în care:

U – viteza curentului transversal mediată în timp;

V – viteza curentului longitudinal mediată în timp;

F_{bx}, F_{by} – componentele transversale și longitudinale ale frecării cu fundul;

L_x, L_y – componentele transversale și longitudinale ale amestecării laterale (lateral mixing);

R_{bx}, R_{by} - componentele transversale și longitudinale ale forțelor de val;

R_{zx}, R_{zy} - componentele transversale și longitudinale ale forțelor de vânt.

Aceste ecuații includ forțarea dată de vânt, gradientii de presiune datorită variației nivelului apei, frecarea cu fundul și efectul amestecării laterale. Prima forță este reprezentată de fluxul de impuls (efortul de radiație) care induce curenți, atât în direcția longitudinală, cât și transversală. Efortul de radiație este proporțional cu pătratul înălțimii, astfel că forța care generează curenții este mai mare în regiunile caracterizate prin gradienti descrescători ai pantei valului. Frecarea cu fundul este forța rezistentă la propagarea curenților. Rugozitatea fundului mării și viteza valurilor și a curenților determină frecarea cu fundul. Amestecarea laterală reprezintă schimbul de impuls cauzat de vârtejurile turbulente care tind să atenueze efectul forțelor de val, dincolo de regiunea caracterizată prin gradienti descrescători ai pantei valului.

1.2.1 Curenții longitudinali

Curenții longitudinali induși de val sau de vânt se propaga paralel cu linia coastei și sunt mai puternici în zona de surf, scăzând rapid în exteriorul zonei de surf. Acești curenți sunt generați de gradientii din fluxul de impuls (efortul de radiație) datorită valurilor incidente oblice și a componentei vântului orientate de-a lungul coastei.

În mod obișnuit vitezele curenților longitudinali pot prezenta valori medii de circa 0.3m/s sau mai puțin, iar valori care depășesc 2m/s pot apărea în condițiile mai energetice. Vitezele curenților longitudinali sunt relativ constante pe înălțime [4].

Conceptul de efort de radiație a fost aplicat în modelarea matematică a curenților longitudinali de Bowen [5], Longuet-Higgins [6,7], și Thornton [8]. Aceste studii s-au bazat pe presupunerea omogenității în direcția paralelă cu coasta și în absența forțării prin vânt, reducând ecuația de mișcare la un balans între forțarea prin valuri, frecarea cu fundul și amestecul lateral.

Forța generatoare pentru curenții longitudinali este gradientul efortului de radiație centrifugal S_{xy} :

$$R_{by} = -\frac{I}{\rho d} \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \quad (1.4)$$

și acum utilizând teoria liniara, rezultă:

$$S_{xy} = \frac{n}{8} \rho g H^2 \cos \alpha \sin \alpha \quad (1.5)$$

unde n este raportul între viteza de grup și viteza de fază. Variabilele care determină curenții longitudinali induși de valuri reprezintă unghiul dintre creasta valului, conturul fundului mării și înălțimea de val. Înălțimea de val afectează nu numai viteza longitudinală a curențului indus de valuri, dar și rata totală a schimbării volumului de curgere, determinând în acest fel mărimea zonei de surf.

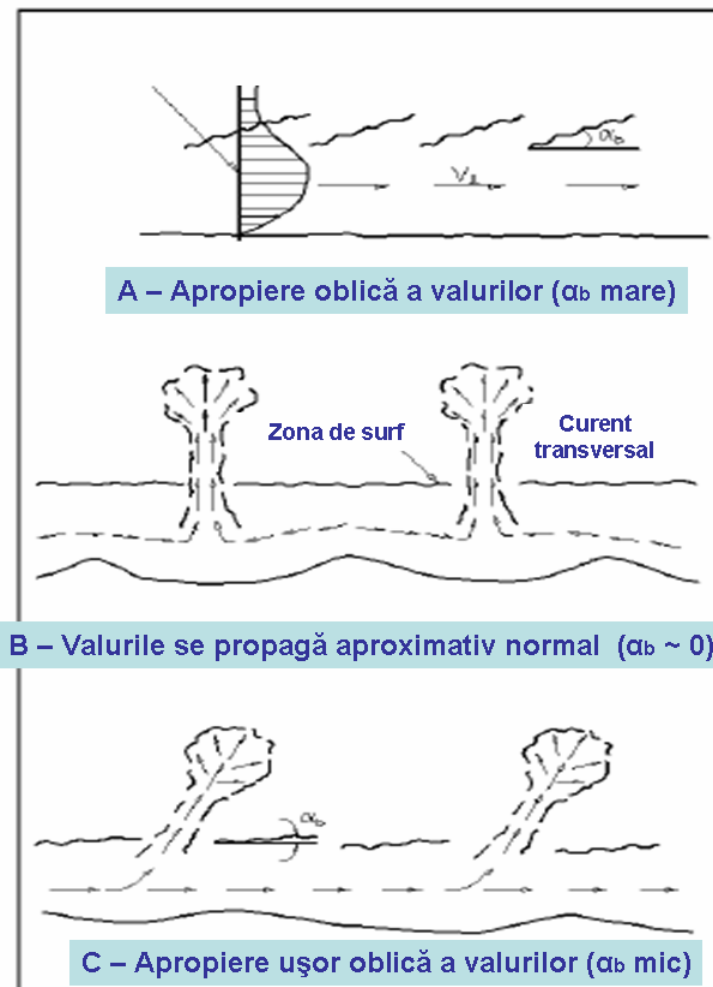


Figura 1.3. Distribuții tipice ale curenților costieri pentru zonele cu paje plane [2]

O soluție analitică simplă a fost dată de Longuet-Higgins [7], cu presupunerea omogenității longitudinale în batimetrie și înălțime de val, a teoriei liniare a valului. Considerând de asemenea unghiuri mici de spargere, panta plajei variază uniform, fără încrucișare laterală și spargere a valurilor saturate ($H = \gamma_b d$) pe zona de surf. În aceste condiții, curențul longitudinal în zona de surf este dat de:

$$V = \frac{5\pi \tan \beta^*}{16 C_f} \gamma_b \sqrt{gd} \sin \alpha \cos \alpha \quad (1.6)$$

unde:

V = viteza curențului longitudinal;

$\tan \beta^*$ - panta plajei modificată pentru înălțarea valurilor;

C_f – coeficientul de frecare cu fundul;

α - este unghiul crestei de val relativ la conturul fundului mării.

Panta modificată a plajei $\tan \beta^*$ ia în considerare schimbarea în adâncimea apei datorită înălțării induse de valuri. Coeficientul C_f ia valori tipice în marja 0.005 - 0.01, dar depinde de rugozitatea fundului. Acesta este folosit adesea pentru a calibra ecuația predictivă dacă sunt disponibile și măsurători. Distribuția curentului longitudinal în direcția perpendiculară la linia coastei, dată de ecuația anterioară, este de forma triunghiulară, cu un maximum la linia de spargere a valurilor.

Komar [9] sugerează o expresie pentru curenții longitudinali la mijlocul zonei de surf V_{mid} care poate fi folosită pentru evaluarea transportului longitudinal de nisip:

$$V_{mid} = 1.17 \sqrt{g H_{rms,b}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (1.7)$$

1.2.2 Curenții transversali

Spre deosebire de curentul transversal, curentul longitudinal nu este în general constant pe înălțime. Transportul de masă către coastă datorat valurilor este concentrat între golurile și înălțimile crestelor. Deoarece nu este un flux net de masă către plajă, transportul de masă indus de valuri în zona golurilor este balansat de o curgere inversă (curent de fund) sub gol.

Figura 1.4 ilustrează măsurători de câmp pentru o curgere transversală a unui profil cu o bară. Curentul submarin poate fi relativ puternic, în general 8-10 procente din viteza de fază (\sqrt{gd}) lângă fund. Curenții de tip “rip” sunt curenți puternici și înguști care se propagă spre larg pornind de la zona de surf.

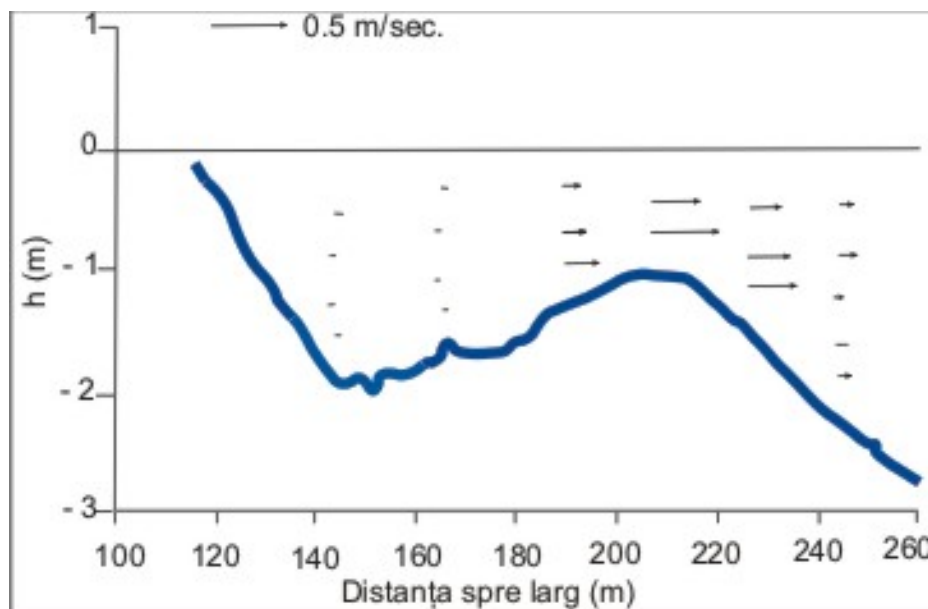


Figura 1.4. Măsurători deasupra unui profil subacvatic cu bară [2]

Aceștia se datorează caracterului tridimensional al curgerii și sunt generați de curenții longitudinali care cresc de la zero, între doi curenți transversali vecini, până la un maxim, chiar înaintea curentului transversal de tip “rip”. Acest tip de curenți apar adesea de-a lungul, formând celule de circulație costieră. Curenții “rip” și celulele de circulație costieră pot fi generate de variațiile de-a lungul coastei în înălțarea apei datorită valurilor.

Capitolul 2

MODELAREA NUMERICĂ A CURENȚILOR COSTIERI FOLOSIND SHORECIRC

2.1 Un model simplificat pentru curenții costieri

Pentru o regiune costieră neuniformă în direcție longitudinală curenții costieri pot avea configurații foarte complicate datorită neuniformității topografiei și ale condițiilor de val și datorită variațiilor pe o scară mai largă ale mecanismelor de forțare. Curgerea dominantă este de obicei un curent longitudinal și diverse situații simplificate au fost considerate pentru predicția acestor curenți. Primele modele pentru curenții longitudinali [5-8, 10] au presupus o batimetrie neuniformă pe direcție longitudinală și o distribuție regulată uniformă pe adâncime a curenților longitudinali. Curenții erau un rezultat între echilibrul dintre efortul de radiație, frecarea cu fundul și amestecarea turbulentă. Studiile ulterioare ale lui Putrevu și Svendsen [11] și Svendsen și Putrevu [12] au concluzionat că interacțiunea neliniară dintre curenții longitudinali și transversali, care variază pe adâncime, cauzează un efect de dispersie laterală care domină amestecul lateral turbulent în regiunile costiere. Kobayashi et al., [13] au confirmat prin studiile lor faptul că amestecul lateral dispersiv este semnificativ pentru valurile regulate, dar au găsit că acesta este un element secundar în cazul valurilor neregulate.

O a doua clasă de modele pentru curenții longitudinali relaxează presupunerea topografiei uniforme. Mei și Liu [14] au considerat mișcarea valurilor incidente normale, care se sparg deasupra unei topografii batimetrice ce variază ușor în direcția longitudinală, și au analizat efectul acelor variații batimetrice longitudinale în definirea caracteristicilor circulației costiere. O extensie a acestor cercetări a fost dată de Wu și Liu [15], care au considerat efectul termenilor neinerțiali (acelerațiile convective) și au studiat cazul valurilor incidente sub un unghi oblic. Ei au găsit că efectele termenilor neliniari convectivi cresc odată cu creșterea amplitudinii și a unghiului valurilor incidente. Cercetările lui Putrevu et al., [16] s-au concretizat printr-un model simplificat care va fi referit în continuare prin acronimul POS (de la Putrevu, Oltman-Shay și Svendsen) și reprezintă o extensie a lucrării lui Mei și Liu [14]. POS a propus un model simplu care să ia în considerare termenii analizați de Mei și Liu [14] - forțarea dată de valuri, frecarea cu fundul și gradientul de presiune longitudinal - plus efectul amestecului dispersiv, menționat anterior. Ei au considerat, de asemenea, valuri incidente oblice și, în exemplele lor, se arată că, pentru o variație longitudinală ușoară a fundului mării și unghiuri de incidență mici, gradientul de presiune longitudinal devine important și contribuie semnificativ la forțarea curenților longitudinali.

Pentru unghiuri de incidență mari, totuși contribuția gradientului de presiune se diminuează semnificativ prin comparație cu efortul de radiație. Sancho et al., [17] au arătat că pentru o topografie cu o bară longitudinală și un canal transversal, forțarea dată de gradientul de presiune longitudinal este de același ordin de mărime cu forțarea dată de efortul de radiație longitudinal. O situație similară a fost evidențiată în modelul simplificat pentru curenți transversali dat de

Dalrymple [18]. În continuare, se va analiza în detaliu aria de valabilitate a modelului POS prin compararea rezultatelor soluțiilor semi-analitice furnizate de POS, cu rezultatele modelului SHORECIRC. Două configurații batimetrice sunt utilizate pentru a ilustra acuratețea și limitările modelului POS. Prima este o plajă plană cu o modulație sinusoidală longitudinală și cealaltă, o plajă cu o bară longitudinală cu o variație în înălțimea barei, corespunzătoare unui canal transversal. Se va folosi modelul SHORECIRC ca un instrument, pentru a evalua importanța fiecărui termen din ecuațiile de mișcare și pentru a cuantifica contribuția lor în curgerea costieră.

S-a găsit faptul că, în ecuațiile transversale și longitudinale de variație ale impulsului, corespunzător circulației costiere, termenii importanți sunt de ordine, de mărime diferite și, în continuare, va fi analizată o nouă extensie a modelului POS, care include în mod consistent toți termenii de același ordin.

2.1.1 Ecuațiile modelului

Ecuațiile de mișcare integrate în timp și mediate pe adâncime pot fi scrise în funcție de debitul de volum \bar{Q}_α și componentele vitezei valului $u_{w\alpha}$ și curenților V_α :

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{Q}_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0. \quad (2.1)$$

Ecuația de impuls poate fi rescrisă ca:

$$\frac{\partial \bar{Q}_\beta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \int_{-h_0}^{\bar{\zeta}} V_\alpha V_\beta dz + \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \overline{\int_{\zeta_t}^{\zeta} (u_{w\alpha} V_\beta + u_{w\beta} V_\alpha) dz} = \quad (2.2)$$

$$- g(h_0 + \bar{\zeta}) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x_\beta} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left[S_{\alpha\beta} - \overline{\int_{-h_0}^{\zeta} \tau_{\alpha\beta} dz} \right] + \frac{\tau_\beta^S}{\rho} - \frac{\tau_\beta^B}{\rho}.$$

În cele ce urmează, se vor scrie ecuațiile (2.1) și (2.2), sub formă nedimensională anterior cuplării dintre ecuațiile variabile și cele integrate pe verticală, scrise în funcție de vitezele curenților. Pentru completare se vor rescrie aceste ecuații sub forma:

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} U dz} + Q_{wx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} V dz} + Q_{wy} \right) = 0, \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} U dz} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} UV dz} + U(\bar{\zeta}) Q_{wy} + V(\bar{\zeta}) Q_{wx} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} U^2 dz} + 2U(\bar{\zeta}) Q_{wx} \right) + g(h_0 - \bar{\zeta}) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} \\ & + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} \tau_{yx} dz} \right) + \frac{\tau_x^B - \tau_x^S}{\rho} = 0, \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{-h_o}^{\zeta} V dz \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-h_o}^{\zeta} UV dz + V(\bar{\zeta}) Q_{wx} + U(\bar{\zeta}) Q_{wy} \right) \\
& + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-h_o}^{\zeta} V^2 dz + 2V(\bar{\zeta}) Q_{wy} \right) + g(h_o - \bar{\zeta}) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial y} \\
& + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-h_o}^{\zeta} \tau_{xy} dz \right) + \frac{\tau_y^B - \tau_y^S}{\rho} = 0,
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Pentru simplificare, s-au considerat următoarele presupuneri în cadrul modelului POS:

- 1) Curgerea este considerată uniformă;
- 2) Eforturile turbulente și de suprafață sunt neglijate;
- 3) Valurile se presupune că se apropie de coastă sub un unghi mic față de normală, astfel că $\sin \alpha_b \ll 1$ și $\cos \alpha_b \approx 1$;
- 4) Refracția este neglijată în estimarea înălțimii valului datorită ipotezei notată cu 3;
- 5) Parametrii de val sunt determinați utilizând teoria liniară.

Modelul POS este bazat pe un set de variabile nedimensionale, după cum urmează:

$$\begin{aligned}
x' &= \frac{x}{L_x}, \quad y' = \frac{y}{L_y}, \quad h' = \frac{h}{h_b}, \\
U' &= \frac{U}{\mu c_b}, \quad V' = \frac{V}{\kappa c_b},
\end{aligned} \tag{2.6}$$

$$\begin{aligned}
Q'_{wx} &= \frac{\bar{Q}_{wx}}{\mu c_b h_b}, \quad Q'_{wy} = \frac{\bar{Q}_{wy}}{\mu \sin \alpha_b c_b h_b}, \\
\tau'_x &= \frac{\tau_x^B}{\rho f_w \mu c_b^2}, \quad \tau'_y = \frac{\tau_y^B}{\rho f_w \kappa c_b^2}, \quad \zeta' = \frac{\bar{\zeta}}{\mu h_b},
\end{aligned} \tag{2.7}$$

$$S'_{xx} = \frac{S_{xx}}{\rho \mu c_b^2 h_b}, \quad S'_{xy} = \frac{S_{xy}}{\rho \mu \sin \alpha_b c_b^2 h_b}, \quad S'_{yy} = \frac{S_{yy}}{\rho \mu c_b^2 h_b}. \tag{2.8}$$

f_w reprezintă coeficientul de frecare cu fundul.

Mărimile scalare L_x și L_y , reprezintă scări de lungime care caracterizează variațiile topografice în direcțiile x și y . Pentru o topografie a fundului mării, care variază ușor în direcție longitudinală, se presupune că $\frac{L_x}{L_y} \ll 1$ în timp ce, pentru o coastă uniformă, în direcție longitudinală, avem

$\frac{L_x}{L_y} = 0$. Astfel, raportul $\frac{L_x}{L_y}$ este un parametru asimptotic care poate tinde la zero, sau poate fi

$O(1)$, în situația scărilor de lungimi egale, pentru variațiile fundului în direcțiile x și y (ca de exemplu cazul regiunilor costiere cu variații longitudinale semnificative). Pentru o plajă aproape plană, raportul $\frac{L_x}{L_y}$ poate fi relaționat cu gradientul batimetriei prin $\frac{L_x}{L_y} = \frac{\partial h}{\partial y} / \frac{\partial h}{\partial x}$. Totuși, în cazul

unei batimetriei cu o bară longitudinală și canale transversale, posibilitățile de a defini scările de lungime L_x și L_y , și raportul lor sunt mai puțin evidente.

Un parametru adițional este definit ca:

$$v = \frac{h_b}{L_x}, \quad (2.9)$$

care pentru o plajă plană este echivalent cu panta fundului mării, h_x . Valori tipice sunt de ordinul 0.01 - 0.1.

Parametrul nedimensional κ care intră în formulele nedimensionale definite mai sus, este relaționat cu viteza longitudinală prin:

$$V_{\max} \approx \kappa \sqrt{gh_b}. \quad (2.10)$$

Date experimentale [3] indică faptul că parametrul κ este în mod esențial $O(\sin \alpha_b)$ și depinde de diverse variabile relaționate cu curgerea. De exemplu, o soluție teoretică pentru curenții longitudinali uniformi în timp și spațiu [6] arată că $\kappa \approx h_x \gamma \frac{\sin \alpha}{f_w}$. Astfel, parametrul κ tinde la zero pentru valuri aproape incidente, sau pentru cazul când h_x tinde la zero.

Parametrul μ , care apare în diverse dintre mărimile nedimensionale, definite mai sus, este un coeficient mic $\mu \approx 0.05 - 0.2$, care diferă de alți parametri mici prin faptul că nu tinde către zero în situațiile cunoscute. Substituind mărimile nedimensionale și parametrul v definit prin (2.9) în ecuațiile mișcării de regim (2.3) - (2.5), atunci rezultă ecuațiile exprimate în funcție de $\frac{L_x}{L_y}$, v , κ , $\sin \alpha_b$ și μ . Pentru ecuația de continuitate avem:

$$\frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U' dz'} + Q'_{wx} \right) + \frac{L_x}{L_y} \frac{\kappa}{\mu} \frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} V' dz'} + \frac{\mu}{\kappa} \sin \alpha_b Q'_{wy} \right) = 0, \quad (2.11)$$

iar pentru ecuațiile de impuls pe direcțiile x și y rezultă respectiv:

$$\begin{aligned} & \mu \frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U'^2 dz'} + 2U'(\zeta') Q'_{wx} \right) \\ & + \frac{L_x}{L_y} \kappa \frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U'V' dz'} + \frac{\mu}{\kappa} \sin \alpha_b U'(\zeta') Q'_{wy} + V'(\zeta') Q'_{wx} \right) \\ & + h' \frac{\partial \bar{\zeta}'}{\partial x'} + \frac{\partial S'_{xx}}{\partial x'} + \frac{L_x}{L_y} \sin \alpha_b \frac{\partial S'_{yx}}{\partial y'} + \frac{f_w}{v} \tau'_x = 0, \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} & \kappa \frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} UV' dz'} + V'(\zeta') Q'_{wx} + \frac{\mu}{\kappa} \sin \alpha_b U'(\zeta') Q'_{wy} \right) \\ & + \frac{L_x}{L_y} \frac{\kappa^2}{\mu} \frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} V'^2 dz'} + \frac{\mu}{\kappa} \sin \alpha_b V'(\zeta') Q'_{wy} \right) \\ & + \frac{L_x}{L_y} h' \frac{\partial \bar{\zeta}'}{\partial x'} + \sin \alpha_b \frac{\partial S'_{xy}}{\partial x'} + \frac{L_x}{L_y} \frac{\partial S'_{yy}}{\partial y'} + \frac{\kappa f_w}{\mu v} \tau'_y = 0, \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.1.2 Ecuțiile de ordin inferior pentru topografiile aproape uniforme în direcția longitudinală

Ecuțiile de mișcare, date mai sus, pot fi simplificate în diverse moduri, depinzând de restricțiile impuse parametrilor. Se va deduce, în continuare, modelul analitic propus de POS. Mai întâi, bazat pe evaluări anterioare se vor considera situațiile când $O(\nu) = O(\kappa) = O(\sin \alpha_b)$, astfel încât toți acești parametri asimptotici se pot reprezenta doar printr-unul dintre ei (și se alege ν).

Se consideră, de asemenea, parametrul de frecare astfel încât $\frac{\kappa f_w}{\mu \nu} = O(\sin \alpha_b)$, care rezultă din

echilibrul dintre componenta efortului de radiație $\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}$ și efortul tangențial de frecare cu fundul τ_y^B

în modelul simplu pentru curenți longitudinali al lui Longuet-Higgins [6]. Pentru o coastă aproape uniformă în direcția longitudinală avem:

$$\frac{L_x}{L_y} \ll 1, \quad (2.14)$$

adică se presupune $\frac{L_x}{L_y} = O(\nu)$. Introducând acum aceste presupuneri în ecuațiile de mișcare

(2.11) - (2.13), le putem rescrie doar în funcție de doi parametri ν și μ , primul tinzând asimptotic către zero, iar al doilea fiind doar un număr mic $O(0.1)$. Din acest motiv ecuația de continuitate devine:

$$\frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U' dz'} + Q'_{wx} \right) + \frac{\nu^2}{\mu} \frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} V' dz'} + \mu Q'_{wy} \right) = 0, \quad (2.15)$$

iar pentru ecuațiile de variație a impulsului pe direcțiile x și y prin regruparea termenilor în funcție de ordinul lor de mărime rezultă:

$$\begin{aligned} & h' \frac{\partial \bar{\zeta}'}{\partial x'} + \frac{\partial S'_{xx}}{\partial x'} + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U'^2 dz'} + 2U'(\bar{\zeta}') Q'_{wy} \right) + \tau'_x \right] \\ & + \nu^2 \left[\frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U' V' dz'} + V'(\bar{\zeta}') Q'_{wx} \right) + \frac{\partial S'_{yx}}{\partial y'} \right] \\ & + \nu^2 \mu \frac{\partial}{\partial y'} \left(U'(\bar{\zeta}') Q'_{wy} \right) = 0, \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} & \nu \left[\frac{\partial}{\partial x'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} U' V' dz'} + V'(\bar{\zeta}') Q'_{wx} \right) + h' \frac{\partial \bar{\zeta}'}{\partial y'} + \frac{\partial S'_{xy}}{\partial x'} + \frac{\partial S'_{yy}}{\partial y'} + \tau'_y \right] \\ & + \nu \mu \frac{\partial}{\partial x'} \left(U'(\bar{\zeta}') Q'_{wy} \right) + \frac{\nu^3}{\mu} \frac{\partial}{\partial y'} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta'} V'^2 dz'} \right) \\ & + \nu^3 \frac{\partial}{\partial y'} \left(2V'(\bar{\zeta}') Q'_{wy} \right) = 0. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Cu aceste constrângeri, se observă că cel mai mare termen în ecuația de variație a impulsului pe direcția x (2.16) este un ordin de mărime mai mare decât ordinul de mărime cel mai mare al

termenilor din ecuația de variație a impulsului pe direcția y (2.17). Aceasta arată că pentru unghiuri de incidență mici și pentru $L_x \ll L_y$, forțele din direcția transversală sunt mult mai mari decât cele care acționează pe direcția longitudinală. Pentru această situație, POS propune un model simplificat care reține numai termenii de ordin principal din fiecare ecuație:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} U dz} + Q_{wx} \right) = 0, \quad (2.18)$$

iar pentru ecuațiile de impuls pe direcțiile x și y rezultă :

$$g(h_0 + \bar{\zeta}) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} = 0, \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} UV dz} + V(\bar{\zeta}) Q_{wx} \right) \\ & + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_y^B}{\rho} + g(h_0 + \bar{\zeta}) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial y} = 0. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Prin reținerea numai a termenilor $O(1)$ în ecuația de impuls pentru direcția x (2.16), modelul POS neglijează termenii $O(\mu)$ din acea ecuație, care sunt de același ordin de mărime cu termenii principali din ecuația de impuls pe direcția y (2.17), care sunt de $O(\nu)$. În consecință, cele două ecuații sunt rezolvate cu ordine de acuratețe diferite. În al doilea rând, se observă că pentru ordinul principal din ecuația (2.18), ecuația de continuitate simplificată conduce la o soluție de debit de volum nul ($\bar{Q}_x = 0$), pentru un debit transversal zero considerat pe linia de coasta. Astfel, pentru acest ordin fluxul de volum local al valurilor este complet echilibrat de curentul de întoarcere de tip "undertow".

Totuși, așa cum a fost menționat în modelul POS, se poate face o aproximare pentru termenul al doilea din membrul drept al ecuației (2.11), făcându-se o corecție la curgerea de ordinul întâi. Aceasta se face utilizând soluția ecuației (2.20) pentru a calcula termenul de ordinul al doilea din ecuația de continuitate completă (2.11). Apoi \bar{Q}_x poate fi determinat prin integrarea aceleiași ecuații conducând la ordinul doi (în forma dimensională):

$$\bar{Q}_x = \overline{\int_{-h_0}^{\zeta} U dz} + Q_{wx} = - \int_0^x \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} V dz} + Q_{wy} \right) dx', \quad (2.21)$$

în care a fost utilizată condiția de frontieră $\bar{Q}_x(0, y) = 0$. Se observă că \bar{Q}_x care a fost găsit în acest fel, este o cantitate de ordinul doi, care satisface condiția de flux zero la nivelul țărmlui, și ecuația (2.3) pentru conservarea masei.

În cele din urmă, considerând efectul amestecului dispersiv, datorită curenților variabili pe verticală [12], în modelul POS este introdusă următoarea aproximare pentru primul termen a ecuației de variație a impulsului pe direcția longitudinală (2.20):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\int_{-h_0}^{\zeta} UV dz} + V(\bar{\zeta}) Q_{wx} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c h \frac{\partial \tilde{V}}{\partial x} \right) \quad (2.22)$$

în care D_c este un coeficient de dispersie, care variază în direcția transversală, iar \tilde{V} reprezintă viteza curentului longitudinal mediată pe adâncime. Svendsen și Putrevu [11] au estimat că, în interiorul zonei de surf, D_c ar putea fi dat de:

$$D_c \cong 0.2h_o\sqrt{gh_o} . \quad (2.23)$$

De aceea, ecuația (2.19) este rezolvată pentru a determina ridicarea apei datorită valurilor, iar ecuația (2.20) cu primul termen calculate cu ajutorul ecuației (2.23) este utilizată pentru a calcula curentul longitudinal mediat pe adâncime \tilde{V} . Modelul POS poate da însă predicții cu o acuratețe destul de mică, chiar și pentru ordinul cel mai mic. De aceea, se va prezenta o nouă extensie a modelului care include, în mod consistent, toți termenii de același ordin și se va arăta că rezultatele acestui model îmbunătățit converg către soluțiile modelului SHORECIRC complet. În continuare, va fi prezentat un model care reține în mod corect toți termenii din ecuațiile de mișcare în raport cu $O(\mu)$ și $O(\nu, \kappa)$, în loc să rețină numai termenii $O(\nu, \kappa)$, ca în modelul POS original. Aceasta rezultă din recunoașterea faptului că μ nu este în realitate asimptotic mic, dar în multe cazuri totuși suficient de mic astfel încât să facă $\frac{\nu^2}{\mu}$ din ecuația de continuitate (2.15) de același ordin de mărime ca și ceilalți termeni în ν .

Se va considera astfel un model POS îmbunătățit care constă din următoarele ecuații:

$$\frac{\partial(\tilde{U}h)}{\partial x} + \frac{\partial(\tilde{V}h)}{\partial y} = 0 , \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial(\tilde{U}^2h)}{\partial x} + g(h_o + \bar{\zeta})\frac{\partial\bar{\zeta}}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\tau_x^B}{\rho} = 0 , \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\tilde{V}\tilde{U}h)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_c h \frac{\partial\tilde{V}}{\partial x}\right) + g(h_o + \bar{\zeta})\frac{\partial\bar{\zeta}}{\partial y} \\ + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\tau_y^B}{\rho} = 0 . \end{aligned} \quad (2.26)$$

Aceste ecuații consideră în mod esențial termenii efortului transversal de fund și al accelerației neliniare transversale advective, care au ambele o magnitudine față de termenii principali multiplicată cu μ . S-a inclus, de asemenea, termenul $O\left(\frac{\nu^2}{\mu}\right)$ în ecuația de continuitate (2.15), care este al doilea termen în ecuația (2.24) de mai sus. Se observă că primul termen din ecuația (2.26) a fost deja inclus în modelul POS așa cum rezultă din ecuația (2.20), deși devine zero deoarece $\tilde{U} = 0$ în schema utilizată de modelul POS.

Modelul dat de ecuațiile (2.24)-(2.26) reprezintă deci modelul POS extins. Deși termenii adăugați în ecuațiile modelului (în comparație cu modelul POS inițial) sunt mici, ei sunt de același ordin de mărime cu unii termeni care au fost reținuți în ecuația longitudinală de impuls și deci pot fi importanți în anumite condiții fizice.

Capitolul 3

SIMULĂRI NUMERICE CU MODELE 3D ȘI 1D

Așa cum s-a arătat în capitolele anterioare, SHORECIRC [19] este un model viabil pentru studiul circulației costiere. Acesta este un model cvasi-3D, care utilizează modelul, care rezolvă faza REFDFIF pentru a simula propagarea valurilor. Modelul SHORECIRC combină o soluție numerică pentru ecuațiile de mișcare 2D pe direcție orizontală, cu o soluție analitică pentru a determina profilurile verticale ale curenților. Limitările modelului există, dar ecuațiile de bază ale circulației sunt rezolvate cu acuratețe considerând relația de tip "feedback" neliniar dintre curenții generați de valuri și valurile care generează acești curenți. Totuși trebuie remarcat faptul că SHORECIRC este un model care lucrează în domeniul timpului și necesită resurse de calcul destul de serioase.

Un model mai simplu, dar considerabil mai rapid este SURF [20], cunoscut de asemenea și ca Navy Standard Surf Model (NSSM, Modelul Standard pentru Surf al Marinei). Acesta este un model parametric 1D care estimează curenții longitudinali induși, rezolvând numai componenta longitudinală a ecuațiilor de mișcare. Deci, un astfel de model poate estima numai componenta longitudinală a curenților costieri, în timp ce un model 3D poate estima și componentele transversală și verticală ale curenților. Justificarea existenței modelelor 1D este că, în general, curenții longitudinali sunt cei mai relevanți în zonele costiere. În cazurile în care și curenții transversali pot deveni importanți, poate fi necesar să se studieze structura verticală a curenților, deoarece spre deosebire de curenții longitudinali, curenții transversali nu sunt constanți pe adâncime. Aceasta se datorează mai ales faptului că, masa de apă transportată către țărm de către valuri, este concentrată între golul și creasta valului. Pentru că nu se realizează de fapt nici un transport net de masă către plajă, masa transportată deasupra golului este echilibrată dedesubtul golului de o curgere inversă numită *undertow*. În consecință, curenții transversali își pot schimba semnul pe verticală. În astfel de cazuri, simulările cu modelele 1D trebuie completate cu rezultate obținute de la modelele 3D.

Cuplarea modelelor costiere pentru valuri, cu cele de circulație, necesită de cele mai multe ori interfețe grafice (GUI – acronim de la Graphical User Interface) care să conțină module pentru generarea, procesarea și vizualizarea datelor de intrare și ale celor de ieșire. În general, rezultatele modelelor trebuie vizualizate cât mai clar, pentru a putea verifica dacă modelul funcționează corect, și pentru a identifica eventualele probleme și inadvertențe.

Multe programe comerciale sunt disponibile pentru modelele de valuri și circulație. Acestea sunt concepute pentru procesarea datelor de intrare, analiza datelor, vizualizare și post procesare. În SUA, Surface-water Modeling System (SMS) este utilizat pe scară largă. În Europa, sunt utilizate mai ales DELFT3D și MIKE. DELFT3D conține modelul de val de generația a doua, HISWA și succesorul său, SWAN. Sistemul de modele MIKE include, de fapt, cinci modele pentru valuri, două spectrale și alte trei care rezolvă faza. Toate aceste pachete soft comerciale pot face

simulări 2D sau 3D, pentru a estima circulația costieră, rezolvând ecuațiile de mișcare, fie cu element finit, fie cu diferențe finite. Totuși nici utilizarea unor astfel de sisteme de modele nu este chiar simplă, întrucât necesită o calificare destul de îndelungată.

Un sistem creat recent pentru evaluarea circulației costiere este ISSM [21], care permite o evaluare rapidă a valurilor și curenților costieri. ISSM este acronimul de la Interfața pentru Modelele SWAN [22] și SURF (Interface for SWAN and SURF Models) și este de fapt un GUI MATLAB, care integrează cele două modele și permite utilizarea lor rapidă și facilă.

Obiectivul acestui capitol este deci, să se evalueze în paralel performanțele sistemelor ISSM și SHORECIRC considerând ca și studiu de caz o zonă costieră aparținând litoralului portughez, caracterizată prin contururi batimetrice drepte și paralele (dar având și o bară longitudinală) care se poate reduce la paradigma 1D.

3.1 Modelul ISSM

3.1.1 Ecuațiile modelului

ISSM utilizează modelul în medie de fază SWAN, pentru simularea propagării valurilor în zona costieră, și modelul 1-D SURF, pentru estimarea curenților longitudinali. SWAN este în prezent considerat cel mai performant model spectral pentru valuri și rezolvă ecuația de echilibru a densității spectrale de acțiune care poate fi exprimată ca:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_{gx} N + \frac{\partial}{\partial y} C_{gy} N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_{\sigma} N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_{\theta} N = \frac{S}{\sigma}, \quad (3.1)$$

în care N este densitatea de acțiune, iar C_{gx} , C_{gy} , C_{σ} , și C_{θ} reprezintă vitezele de propagare în direcțiile x și y , și respectiv în spațiul spectral definit prin σ și θ . S/σ reprezintă termenii sursă care țin cont de generarea valurilor datorită vântului, disiparea prin înspumare (whitecapping), interacțiuni neliniare de tip cvadruplet, și efectele scăderii adâncimii (cum ar fi frecarea cu fundul mării, interacțiuni neliniare de tip triade, spargerea valurilor, etc.).

Acest model a fost proiectat inițial pentru aria de transformare, dar ulterior, capacitățile modelului au fost extinse și spre coastă (prin introducerea unei parametrizări pentru difracție decuplată de fază, și spre larg prin introducerea unei parametrizări care să contracareze efectul Garden-Sprinkel. În prezent, modelul poate fi utilizat fie în coordonate carteziene, fie sferice (longitudine, latitudine).

În cadrul modelului SURF, calculul vitezei curenților este bazat pe teoria efortului de radiație [6, 7]. O formă generală a ecuației de mișcare este:

$$\tau_y^h + \frac{d}{dx} \left(\mu h \frac{dV}{dx} \right) - \langle \tau_y^b \rangle + \tau_y^w = 0 \quad (3.2)$$

în care ρ este densitatea apei, h este adâncimea apei, și V este viteza curenților longitudinali. Primul termen din membrul stâng este efortul de radiație pe direcția longitudinală exercitat de valuri și este dat de relația:

$$\tau_y^h = \langle \varepsilon_b \rangle \frac{\sin \theta}{c} \quad (3.3)$$

cu ε_b funcția de disipare rezultată din ecuație de variație a energiei:

$$\frac{\partial(E_w c_g \cos \theta)}{\partial x} = - \langle \varepsilon_b \rangle \quad (3.4)$$

iar $\langle \varepsilon_b \rangle$ este funcția de disipare mediată. c este viteza de fază și θ este unghiul de apropiere al valurilor în raport cu axa x . Cel de-al doilea termen reprezintă amestecul orizontal. Vâscozitatea turbulentă orizontală μ a fost modelată de Battjes [23].

$$\mu = Mh \left(\frac{\varepsilon_b}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5)$$

în care M este o constantă empirică egală cu 2. Cel de-al treilea termen este efortul mediu datorită frecării cu fundul dat de:

$$\tau_y^b = \rho c_d U_w |\bar{U}| \quad (3.6)$$

unde c_f este coeficientul de frecare cu fundul, iar U este viteza orbitală orizontală a valului dată de teoria liniară:

$$U_w = \frac{g H T}{2L \cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (3.7)$$

în care H este înălțimea valului, T este perioada și k este numărul de undă. Aplicând relația dispersiei rezultă:

$$T = \left(\frac{g k \tanh(k h)}{4 \pi^2} \right)^{-1/2} \quad (3.8)$$

cu σ frecvența relativă și g accelerația gravitațională. Ecuația de mișcare a curențului pe direcție longitudinală este rezolvată utilizând o aproximare prin diferențe finite după ce înălțimea valului, disiparea valului și adâncimea sunt calculate la fiecare punct transversal al grilei.

O îmbunătățire majoră în calculul curențului longitudinal a fost inclusă în modelul SURF de către Hsu et al., [24], care a arătat că utilizând un coeficient de frecare cu fundul variabil se îmbunătățește semnificativ valoarea vitezei curenților longitudinali. Coeficientul de frecare dependent de adâncime este definit ca:

$$c_f(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 0.0035 & ; x \geq \frac{X_b}{2} \\ 0.0035 \left(\frac{h \frac{X_b}{2}}{h(x)} \right) & ; x < \frac{X_b}{2} \end{array} \right\} \quad (3.9)$$

unde x este distanța dinspre larg, h adâncimea locală a apei, și X_b este distanța de la linia de coastă până la locația unde 10% din valuri se sparg.

În continuare vor fi prezentați, succint, pașii necesari pentru a evalua valurile și curenții cu sistemul ISSM.

3.1.2 Procesarea datelor batimetrice

În faza inițială a modelării valurilor, un pas crucial îl constituie procesarea datelor batimetrice disponibile și definirea celei mai convenabile arii pentru simularea cu sistemul de modele. Din acest motiv, *primul pas* în implementarea modelului este analiza și, după caz, transformarea datelor batimetrice.

Datele batimetrice sunt achiziționate prin diverse metode și, în mod obișnuit, date în format digital x-y-z (coordonata-x, coordonata-y, adâncime). Aceste date sunt în referire, fie la un sistem geografic (latitudine-longitudine), sau în sisteme plane. Aceste date pot proveni din hărți nautice digitalizate sau din măsurători hidrografice.

Predicția parametrilor costieri de valuri și curenți este foarte sensibilă la acuratețea batimetriei. Din acest motiv, prima opțiune disponibilă în cadrul sistemului ISSM este să se vizualizeze datele batimetrice spațiate neregulat. Partea stângă, din Figura 4.1, ilustrează datele utilizate în locația Porto Ferro, din nord vestul insulei Sardinia, Italia (arie care va fi obiectul unui studiu de caz în acest capitol). Se presupune că datele batimetrice, incluzând și linia de coastă, sunt toate în același fișier de date. În figură este ilustrat conturul coastei colorat cu maro și apa colorată în diverse nuanțe de albastru (mai închise pe măsură ce apa este mai adâncă).

O fereastră separată (care nu este arătată) furnizează informații adiționale privind caracteristicile datelor (numărul de puncte și limitele din fiecare direcție). Datele batimetrice spațiate neregulat pot fi transformate în date grilă prin interpolare. Pentru a realiza acest lucru, trebuie definite caracteristicile grilei (origine, dimensiunile grilei, spațierea grilei și rotația ei). Grila poate fi definită grafic sau numeric. În primul caz, trebuie definite grafic originea și colțul opus, care sunt selectate direct de pe harta zonei, în timp ce spațierea grilei și unghiul de rotație, sunt introduse ca date numerice. Opțiunea de a genera grile rotite este foarte importantă, deoarece în ariile în care urmează să fie evaluați curenții, una din axele grilei trebuie să fie aproximativ normală la linia de coastă. O metodă de interpolare cubică, bazată pe triangularea Delaunay, este aplicată pentru generarea grilei.

Secvența urmată este prezentată în Figura 3.1, o hartă batimetrică fiind asociată fiecărei grile. Aceasta permite o mai bună selecție a configurației finale a ariei pentru simulări. Opțiunea de a utiliza grile batimetrice generate anterior există de asemenea.

Când se selectează comanda de salvare a batimetriei, este generat automat un fișier batimetric în formatul adecvat pentru simulările cu modelul SWAN și totodată, este creat un fișier MATLAB, de tipul "mat", care conține informații privind grila generată. Acestea includ: originea grilei, rotația ei, dimensiunile grilei, numărul de puncte și spațierea în fiecare direcție.

O rezoluție spațială, cât mai mare posibilă, este esențială pentru o bună evaluare a curenților costieri. Aceasta este de asemenea, în funcție și de acuratețea datelor batimetrice. Totuși, pentru rezoluții foarte înalte (în jur de 10 metri), schema numerică a modelului SWAN poate fi neconvergentă. Din acest motiv, ca o regulă generală, se recomandă rezoluții de 20-30 metri în direcție transversală, și de 20 - 50 metri în direcția longitudinală.

3.1.3 Simulări cu modelul de val

Odată ce un fișier batimetric a fost salvat, poate fi inițiat *pasul al doilea* în ISSM. Acest pas implică definirea altor parametri de intrare și de calcul pentru modelul SWAN. Aceasta se realizează prin intermediul unui panou de comandă, secvența trebuind repetată pentru fiecare simulare. Grila batimetrică definește automat grila de calcul. Numărul de direcții este fixat la 36 obținând astfel o rezoluție de 10 grade în spațiul direcțional. Numărul de frecvențe considerat este de 35, între 0.04 și 1 Hz.

Primul parametru, care trebuie introdus ca dată de intrare, este direcția vârfului spectral în convenție Nautică. Aceasta reprezintă direcția de la care vin valurile măsurată de la Nord. Cel de-al doilea este reprezentat de forțarea dată de vânt, respectiv viteza și direcția. Întrucât ISSM a fost

proiectat pentru a opera la scări locale, numai opțiunea pentru vânt constant a fost introdusă. Dacă condițiile de vânt nu sunt activate, atunci și interacțiunile neliniare de tip cvadruplet sunt dezactivate automat, deoarece nu este recomandat să se utilizeze în modelul SWAN, condiții de vânt zero în combinație cu cvadrupletii.

Condițiile de frontieră sunt considerate constante și identice de-a lungul tuturor frontierelor active. Acestea sunt definite în funcție de direcția valurilor, astfel din cele opt frontiere posibile (N, NW, W, SW, S, SE, E, NE), numai cele patru mai apropiate vor fi considerate active. Sunt disponibile atât condiții parametrice de frontieră, cât și spectrale. În primul caz, trebuiesc introduse valorile înălțimii semnificative și perioadei, în timp ce pentru împrăștierea direcțională (parametrul DSPR), se consideră valoarea standard de 30°. În cazul condiției de frontieră parametrice este utilizat spectru JONSWAP. Condiții de frontieră spectrale fie 1-D, sau 2-D, pot fi, de asemenea, utilizate.

Odată ce au fost definite condițiile de frontieră, se poate opta dacă să se activeze procesele fizice mai importante în apă puțin adâncă, cum ar fi interacțiunile neliniare de tip triade și difracția. Celelalte procese fizice și parametrizări sunt activate automat. Ca date de ieșire, valorile celor mai importanți parametri de val sunt date în punctele grilei de calcul. Alte modificări pot fi operate direct în fișierul de comandă SWAN, care poate fi vizualizat și salvat după modificare. Această procedură asigură o flexibilitate maximă sistemului.

După fiecare simulare cu modelul de val, fișierele cu datele de ieșire sunt încărcate automat. Pentru a simplifica analiza, datele de ieșire au fost structurate în trei părți: câmpuri vectoriale, câmpuri scalare și date locale.

Câmpurile vectoriale se referă la mărimile vectorilor de undă, de swell (corespunzător componentelor spectrale cu perioade mai mari de 10 s), vântul, forțele specifice induse de valuri (gradientul efortului de radiație) și viteza orbitală maximă lângă fundul mării. O culoare diferită este asociată fiecărui vector în cadrul interfeței grafice, dar această culoare poate fi și schimbată, după caz, cu o comandă de setare a culorii. Densitatea câmpului vectorial poate fi, de asemenea, modificată, ca și factorul de scară, asigurându-se în acest fel o vizualizare cât mai bună a rezultatelor.

Câmpurile scalare pot fi reprezentate în trei feluri: reprezentări 3-D, 2-D și cu linii de contur. Următorii parametri sunt calculați de către model și pot fi vizualizați: adâncimea, înălțimea semnificativă, înălțimea valurilor de tip "swell", diverse tipuri de perioade ($TM01$, $TM02$, Tp), lungimea de val și împrăștierea direcțională. Vectorii și câmpurile scalare pot fi reprezentați împreună așa cum rezultă din Figura 3.2, în care este exemplificată simularea pentru o situație energetică (2005/02/14/h13) din aria Porto Ferro, Sardinia. O altă opțiune disponibilă este de asemenea ilustrată în figură. Aceasta se referă la analiza datelor într-un punct.

3.1.4 Simulări cu modelul pentru curenți

Ultimul modul al sistemului ISSM se referă la evaluarea curenților costieri longitudinali și este ilustrat în Figurile 3.3 și 3.4. Figura 3.3 prezintă aceeași situație energetică discutată în subcapitolul anterior, în aria Porto Ferro, Sardinia (2005/02/14/h13). Figura 3.4 ilustrează câmpul de valuri și curenții longitudinali evaluați cu ISSM, în zona Mangalia, Marea Neagră, (2004/01/15/h19).

Prima etapă în simularea cu modelul SURF, constă în definirea unei linii normale la linia coastei. Aceasta se realizează prin selectarea primului și ultimului punct al liniei. Așa cum se observă din Figurile 3.3 și 3.4 modelul SURF furnizează informații privind variația a trei parametri de-a lungul liniei de referință definită anterior. Aceștia sunt: viteza curențului longitudinal, înălțimea semnificativă (și înălțimea maximă) și direcția de propagare a valurilor. În plus, mai este figurată și variația batimetriei de-a lungul profilului selecționat.

3.1.5 Algoritmi de calcul

În afară de opțiunile de vizualizare pentru datele de intrare și de ieșire (ilustrate în Figurile 3.1, 3.2, 3.3 și 3.4), una dintre cele mai importante funcții ale sistemului ISSM este de procesare a datelor în mod special prin interpolări. Aceste interpolări sunt făcute în faza de pre-procesare, când este generată grila batimetrică. În ceea ce privește modelul SWAN, în faza de post-procesare, se

realizează o interpolare tri-liniară între punctele grilei pentru a genera datele de intrare necesare modelului SURF. Aceste două tipuri de interpolări vor fi discutate pe scurt în cele ce urmează.

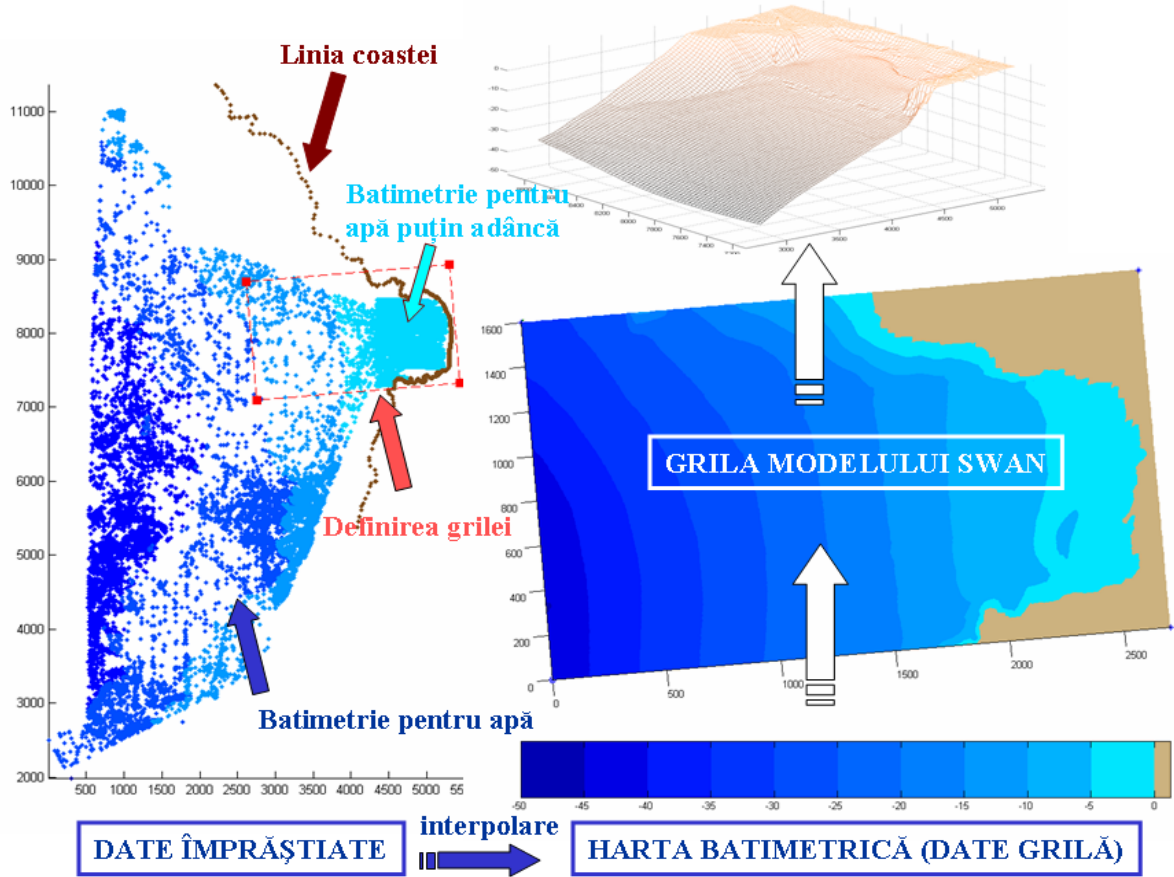


Figura 3.1. Generarea grilei modelului pornind de la datele batimetrice în Porto Ferro, insula Sardinia [2]

Pentru a genera o grilă batimetrică, sunt definite grafic originea (colțul din stânga jos) $O_1 \equiv P_1(x_{01}, y_{01})$ și colțul opus (dreapta sus) $P_3(x_{03}, y_{03})$. Ceilalți trei parametri necesari pot fi introduși numeric sau pot fi lăsate valorile standard. Acești parametri sunt: spațierile grilei în ambele direcții Δx și Δy (valori standard 25 m) și rotirea grilei θ (standard 0°). Cu acești parametri poate fi generată grila. În primul pas lungimile grilei sunt estimate ca:

$$\begin{pmatrix} L_{ox} \\ L_{oy} \end{pmatrix} = \mathfrak{R}^{-1}(\theta) \cdot \begin{pmatrix} x_{03} - x_{01} \\ y_{03} - y_{01} \end{pmatrix}, \quad \text{Error! Bookmark not defined. (3.10)}$$

în care $\mathfrak{R}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$, este matricea de rotație. Numărul punctelor de grilă este determinat utilizând relația:

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I \\ I \end{pmatrix} + \frac{1}{k} f_1 \left(k \begin{pmatrix} L_{ox} / \Delta x \\ L_{oy} / \Delta y \end{pmatrix} \right), \quad (3.11)$$

în care f_i reprezintă operatorul care face rotunjirea către infinit și k este un factor de corecție. $k = 1$ pentru coordonatele Carteziene și $k = 10^4$ pentru coordonatele sferice. La acest punct vor fi calculate lungimile finale ale grilei ca fiind:

$$\begin{pmatrix} L_x \\ L_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N_x - 1) \cdot \Delta x \\ (N_y - 1) \cdot \Delta y \end{pmatrix}. \quad (3.12)$$

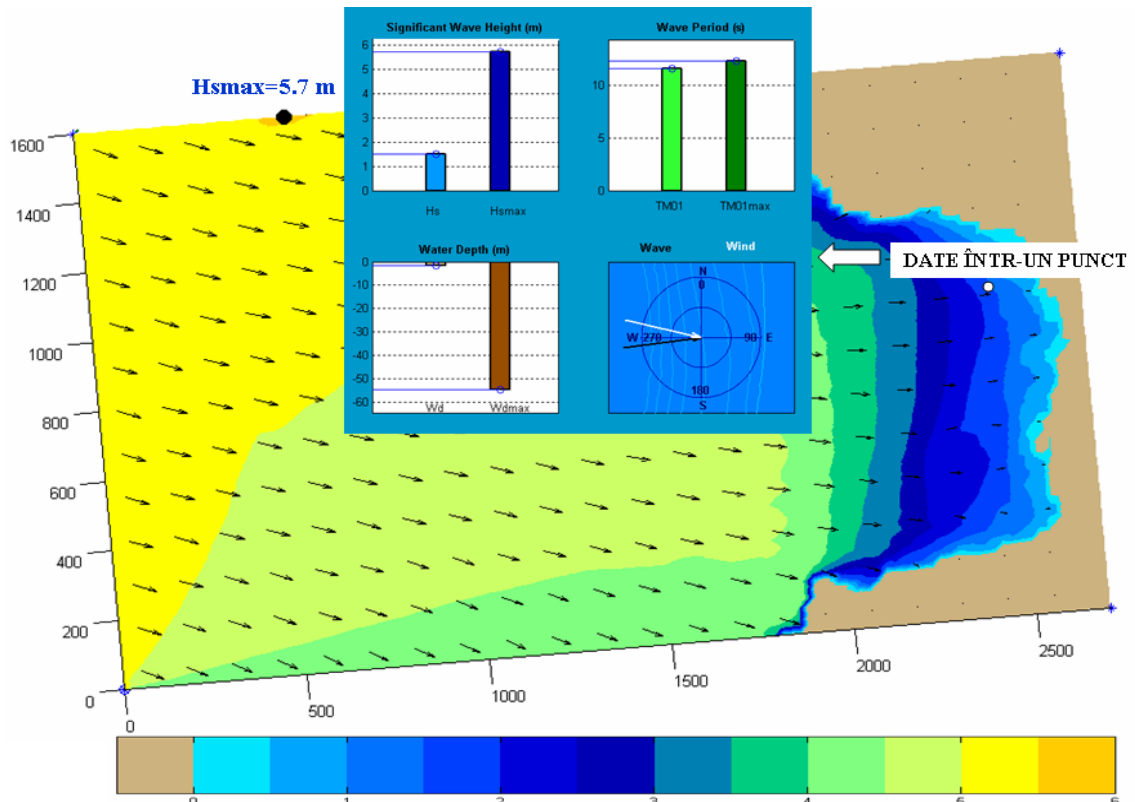


Figura 3.2. Câmpuri de înălțime semnificativă (reprezentare 2D rotită), vectorii de undă și date într-un punct pentru simulări efectuate la Porto Ferro, Sardinia (2005/02/14/h13) [2]

Odată ce principalii parametri au fost definiți, grilele batimetrice pot fi generate prin interpolare utilizând două tehnici diferite:

$$\begin{cases} Z_{G1} = \psi_1(h(\lambda, \varphi), X_G, Y_G), \\ Z_{G2} = \psi_2(h(\lambda, \varphi), X_G, Y_G). \end{cases} \quad (3.13)$$

în care $h(\lambda, \varphi)$ este adâncimea apei la punctul (λ, φ) , X_G, Y_G sunt matricele coordonatelor grilei, iar ψ_1 un operator de interpolare bazat pe triangularea, de tip Delaunay, iar ψ_2 este un operator de interpolare bazat pe metoda celui mai apropiat vecin. Batimetria finală se compune din valorile interpolate cu primul operator, cu excepția cazurilor când aceste valori nu există și se utilizează valori obținute utilizând al doilea operator.

Pentru a putea calcula rezultatele parametrilor valului, în fiecare punct arbitrar, în timpul fazei de post-procesare, interpolări trilineare între punctele grilei au fost realizate.

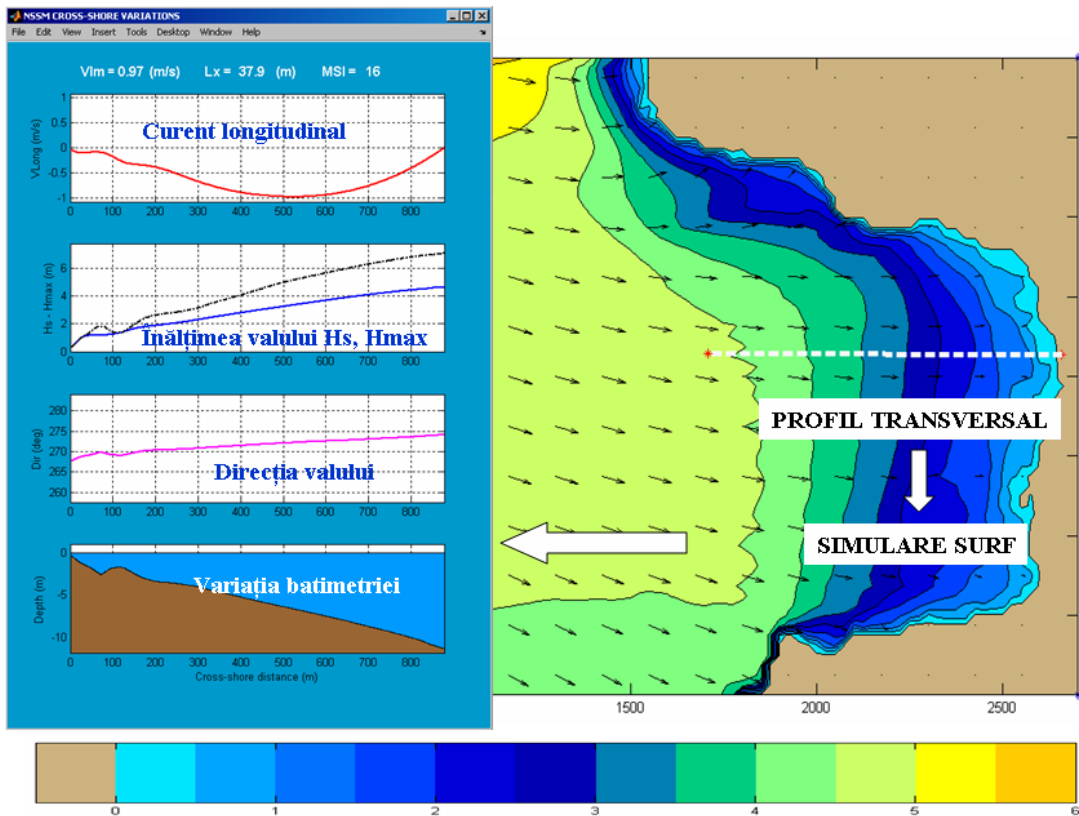


Figura 3.3. Evaluarea câmpului de valuri și a curenților longitudinali cu ISSM în Porto Ferro, Sardinia (2005/02/14/h13) [2]

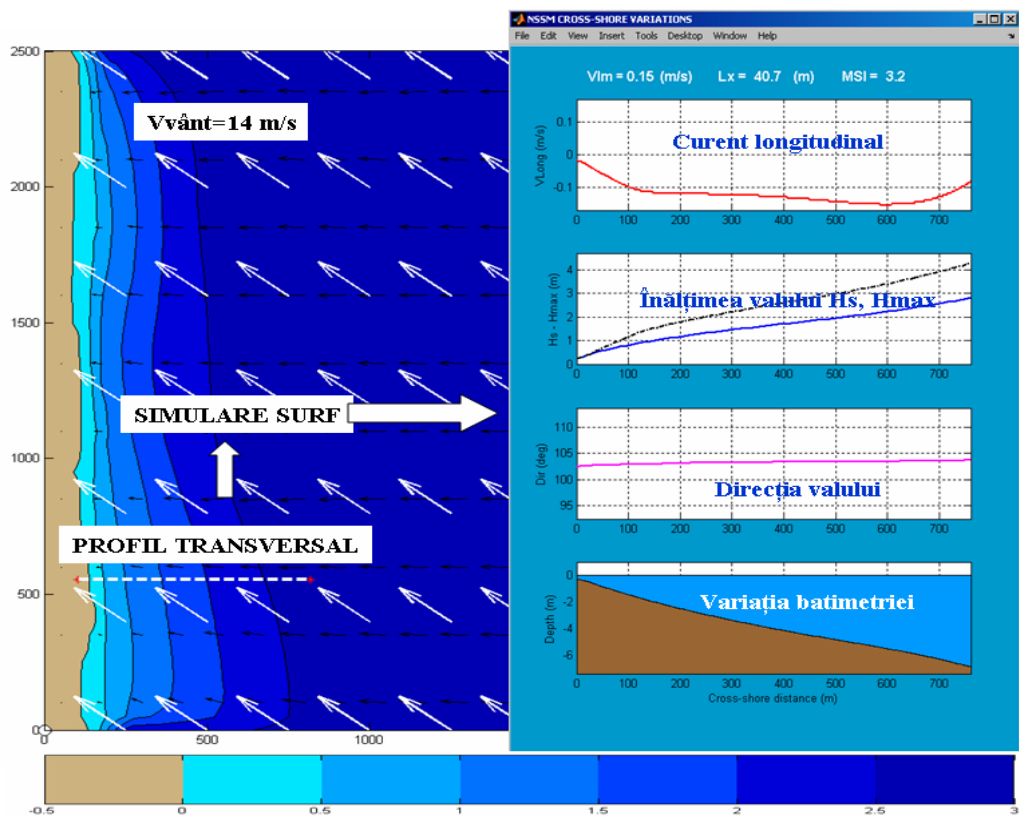


Figura 3.4. Evaluarea câmpului de valuri și a curenților longitudinali cu ISSM în zona Mangalia, Marea Neagră, (2004/01/15/h19) [2]

Dacă Φ reprezintă parametrul de val care urmează să fie interpolat și locația care a fost aleasă grafic este $P_{in}(x_{in}, y_{in})$, atunci se definește operatorul de interpolare ca \mathfrak{I}^* și rezultă:

$$\Phi_{int} = \mathfrak{I}^*(x_{in}, y_{in}, \Phi). \quad (3.14)$$

În cazul în care Φ este un vector bidimensional (vânt, curent, etc), interpolarea este făcută separat pentru fiecare componentă scalară. Dacă sunt cerute valori de-a lungul unei linii (cum ar fi de exemplu cazul profilurilor transversale utilizate ca date de intrare la modelul SURF) sunt selectate grafic punctul inițial (din larg) $P_{in1}(x_{in1}, y_{in1})$ și punctul final (de la linia țărmului) $P_{in2}(x_{in2}, y_{in2})$. Un profil batimetric 1-D este atunci generat, considerând N_o (valoare standard 101) de interpolări succesive de forma:

$$z_{Lk} = \mathfrak{I}^*(x_{Lk}, y_{Lk}, Z_G), \quad k = 1, N_o, \quad (3.15)$$

în care x_{Lk} și y_{Lk} sunt cele N_o puncte echidistante între x_{in1}, y_{in1} și x_{in2}, y_{in2} , iar Z_G este matricea batimetriei. Celelalte valori de-a lungul profilului sunt calculate similar. Dacă o simulare cu modelul SURF este cerută pentru un anumit segment, datele de intrare vor fi salvate în formatul necesar modelului.

3. 2 Studii de caz

3.2.1 Primul studiu de caz – o aplicație 1D

Primul studiu de caz (SC1) considerat, este un sector localizat în partea centrală a coastei continentale portugheze (la sud de orașul portughez Figueira da Foz). Este un sector uniform de coastă de lungime 9 km cu linii de contur ale batimetriei drepte și paralele cu linia de coastă orientată aproximativ pe direcția N21°E. Este de remarcat absența structurilor costiere, fie ele artificiale, sau naturale, sau a discontinuităților, cum ar fi gurile de râuri. Fundul mării este nisipos, fără surse de sedimente. Configurația batimetrică este ilustrată în Figura 3.5a (partea de sus) interpolată după o hartă hidrografică realizată la scara 1:2000. O bară submarină continuă se ridică de la aproximativ 10m adâncime, ajungând până la o adâncime de 4 m. Dimensiunile barei sunt 3.5 – 6 m înălțime și 350 – 450 m lățime. Creasta barei este de 500 – 650 m de la nivelul mediu al liniei de coastă.

Pentru a furniza o estimare realistă a derivei litorale și pentru a contribui la calibrarea modelelor numerice în aria țintă, s-a realizat un experiment [25] prin lansarea și urmărirea prin intermediul unor fotografii aeriene georeferențiate a unui număr substanțial de driftere (plutitori de suprafață). Aceștia au fost realizați din folii A3 de plastic colorate în diferite culori. Plutitorii care au ajuns pe plajă au fost colectați de o echipă și poziționați. Locurile de lansare a plutitorilor au fost selecționate pe baza unor experimente numerice și analitice care au fost realizate în timpul fazei inițiale de proiectare a experimentului. Trei operații diferite de lansare separate prin intervale de timp de 35-60 de minute, în fiecare din cele două zile ale experimentului (6 și 7 octombrie 2003). Seturi de 250 de plutitori de o culoare specifică au fost lansate de pe o barcă pneumatică, în fiecare lansare. Șase culori diferite au fost alese pentru plutitori. Fotografii aeriene au fost realizate de la aproximativ 800 de metri, corespunzând la o scară de 1:5.000. Șase zboruri s-au realizat în ziua de 6 octombrie, la intervale de timp de 30 minute, și nouă zboruri în 7 octombrie, la intervale între 11 și 33 de minute. În timpul fiecărui zbor s-au făcut fotografii la intervale de 11 secunde.

Condițiile de valuri, ca și nivelul mării și curentul de larg, au fost monitorizate la limita exterioară a ariei experimentului cu un sistem ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) echipat cu un modul pentru măsurarea valurilor și amplasat la o adâncime de 13 m (Figura 3.5a). Valurile predominante în regiune vin din NV, cu înălțimi semnificative medii între 1 și 2 m și perioade medii

între 5 și 7 s. Condițiile de vânt au fost monitorizate de o stație de coastă situată 60km la sud de aria experimentului.

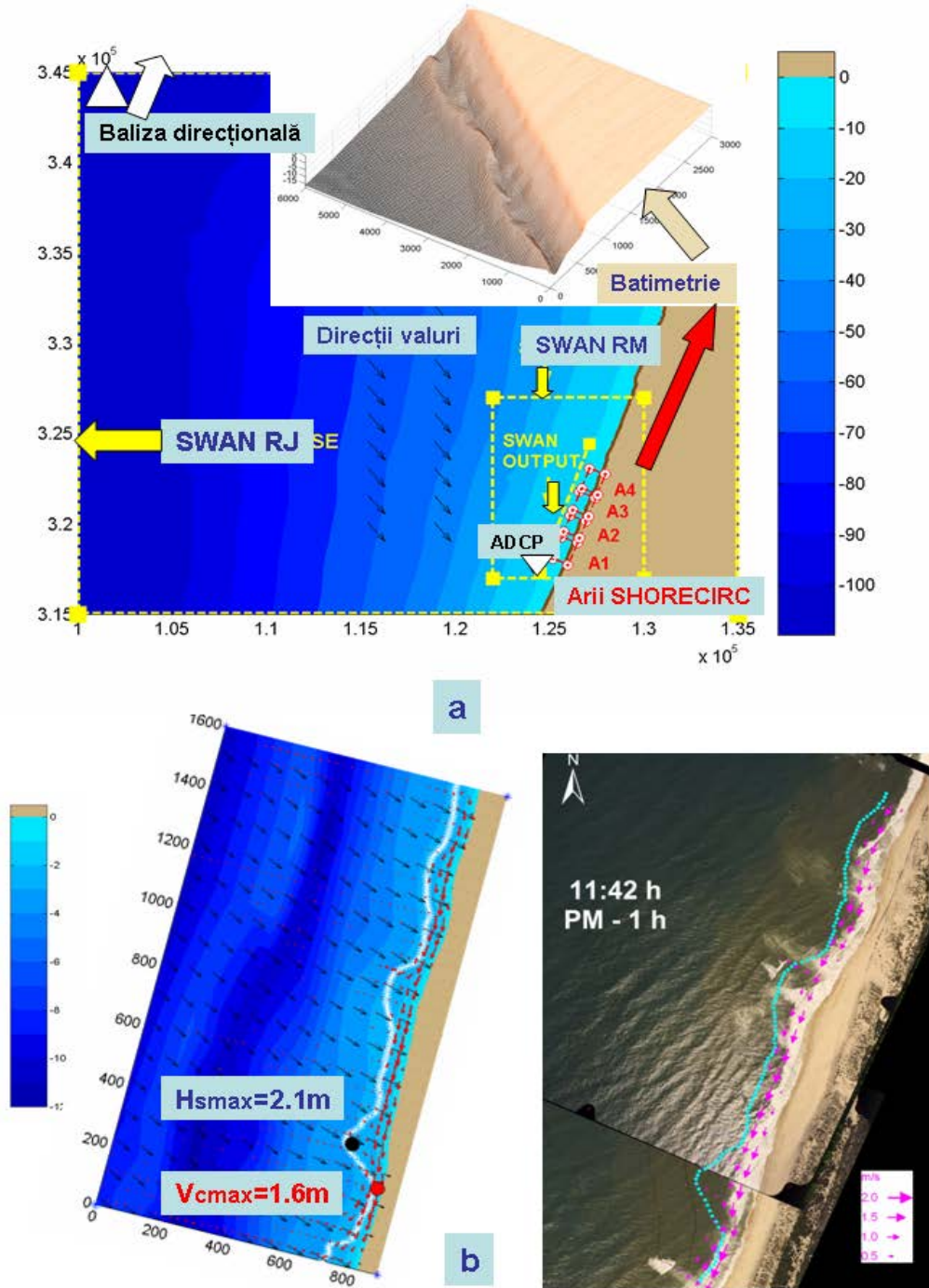


Figura 3.5. Primul studiu de caz – paradigma 1D; a) Domeniile de calcul, locațiile surselor de date și o reprezentare 3D a batimetriei de înaltă rezoluție; b) Partea stângă – Rezultate date de modelul SHORECIRC pentru cel de-al doilea domeniu de calcul (A2), corespunzător momentului de timp 2003/10/07/h11:42 cu maree înaltă. Vectorii de undă sunt reprezentați cu săgeți negre, viteza curentului cu săgeți roșii, linia de spargere a valurilor este reprezentată cu alb, în fundal este reprezentată harta batimetrica 2D; b) Partea dreaptă – curenții costieri rezultați din simulările cu SHORECIRC suprapuși pe fotografia ariei (A2) pentru același moment de timp considerat anterior (2003/10/07/h11:42) [2]

S-au realizat 120 de fotografii care au fost georeferențiate în raport cu puncte de pe coastă a căror poziție este cunoscută. Pe baza acestor fotografii s-a estimat apoi viteza medie a curențului [26].

Plutitorii de culoare portocalie au fost lansați în interiorul zonei de surf și aproape imediat au fost antrenați de curențul de derivă litorală. Plutitorii de culoare albastră au fost lansați din aceeași poziție o oră mai târziu când nivelul apei era mai mare (datorită mării) și zona de surf se mutase deja mai spre țărm. Curenți semnificativi cu viteze mai mari de 20 cm/s, au fost puși în evidență doar de plutitorii de culoare portocalie, verde, și galbenă (Tabelul 3.1). Aproximativ două treimi dintre plutitori au fost duși către țărm unde au fost recuperați de echipa de la țărm chiar în aceeași zi, sau în ziua următoare.

Tabelul 3.1. Deriva plutitorilor în primul studiu de caz

Culoare Plutitori	Poziția de Lansare	Ora	Deriva	Viteză curent longitudinal (m/s)
Roșie	N	08:55	Spre larg	0.1
Verde	N	09:30	Spre țărm	0.1 – 0.3
Galben	N	10:30	Spre țărm	0.2 – 0.6
Alb	S	08:55	Spre larg	0.1
Portocaliu	S	09:30	Spre țărm	0.1-0.9
Albastru	S	10:30	Spre țărm	0.1 – 0.2

Pentru condițiile de val observate, care corespund la valori tipice la acea locație, viteza curențului longitudinal a fost cuprinsă între 20 cm/s și 1 m/s, pentru plutitorii care au fost lansați în zona de surf cu o medie de 30 cm/s și o deviație standard de 21 cm/s. Plutitorii, care au fost deviați către larg, au avut o viteză mai mică, de același ordin de mărime cu viteza curențului măsurată de ADCP. Viteza transversală a fost mai mică de 15 cm/s, în concordanță cu curențul transversal înregistrat de ADCP.

Strategia adoptată pentru modelarea numerică este ilustrată în Figura 3.5a. Principala sursă de date este o baliză direcțională de tipul "wave-rider" localizată la adâncime de aproximativ 90 Nord-Vest față de aria experimentului.

Transformarea valurilor este simulată prin intermediul a două simulări succesive cu modelul SWAN, cu rezoluție crescută către țărm. Parametrii de val calculați au fost comparați cu datele înregistrate de ADCP. Datele de ieșire de la modelul SWAN de-a lungul unei linii aproximativ paralele la linia coastei (Figura 3.5a) au fost utilizate ca date de intrare pentru cele două modele de circulație (SHORECIRC și ISSM).

Patru domenii de calcul, acoperind aria experimentului, au fost utilizate pentru simulările cu modelul SHORECIRC. Datorită numărului mare de puncte ale grilei, timpul de calcul necesar în cazul în care se utilizează o singură grilă care să acopere întregul domeniu, era considerabil mai mare. În plus, cele patru domenii permit calcule paralele. Caracteristicile domeniilor de calcul considerate sunt date în Tabelul 3.2.

S-au realizat simulări pentru condițiile din 7 octombrie 2003, pentru un interval de timp de 2 ore și 45 de minute (între 9 a.m. și 11:45.a.m.), la fiecare 15 minute. Pentru fiecare moment de timp s-au modificat datele de intrare în mod corespunzător (atât cele referitoare la valuri cât și nivelul mării).

Capitolul 4

REGIMUL CURENȚILOR COSTIERI ȘI AL TRANSPORTULUI DE SEDIMENTE DIN ZONA LITORALULUI ROMÂNESC

4.1 Cadru general

În Figura 4.1 este prezentată zona litoralului românesc care este situată în partea de nord-vest a Mării Negre între golful Musura (la nord) și Vama Veche (la sud), acesta având o lungime totală de circa 244 km.

În ceea ce privește intensitatea proceselor de eroziune și caracteristicile geomorfologice, această regiune poate fi împărțit în două unități distincte [27]:

- unitatea nordică (164 km) între Musura și portul Midia;
- unitatea sudică (80 km) care are, la rândul ei, în componență două subunități: una de tranziție (Midia-Cap Singol) și alta sudică.

Litoralul românesc este aliniat pe direcția nord-sud, iar ca și o particularitate, sectorul cuprins între delta secundară a brațului Sf. Gheorghe și Perișor este orientat spre vest. În ceea ce privește caracteristicile plajelor se observă că sectorul de nord este caracterizat de plaje joase nisipoase formate din aluviuni dunărene în timp ce în unitatea sudică materialul este mai grosier și provine din erodarea zonelor de coastă calcaroase.

În afară de acțiunea valurilor și a curenților marini, care contribuie la modelarea acestor zone costiere, litoralul românesc înregistrează în ultimele trei decenii o degradare continuă, ca urmare a reducerii volumului de sedimente din regiune ce se datorează dezvoltării infrastructurii portuare sau a numeroaselor baraje hidroenergetice de pe Dunăre [28].

După cum s-a menționat, unitatea nordică este dominată de prezența Deltei Dunării, care, ca și mărime, ocupă locul doi în Europa. Inițial s-a dezvoltat lobul Sulina (12 km spre larg), dar în ultimii 2000 de ani acesta a înregistrat o degradare continuă, în timp ce deltele Chilia și Sf. Gheorghe s-au consolidat [29, 30]. Aici zonele de plajă (ex: Sărăturile, Letea sau Perișor) pot înregistra înălțimi de la câțiva zeci de centimetri până la 1.7 m deasupra nivelului mării, astfel că acest sector este frecvent afectat de inundații. Se observă că în această regiune formarea dunelor are un caracter sezonier, întreaga zonă fiind afectată de un proces de eroziune rapidă care duce la o retragere a liniei țărmului cu circa 10 m pe an, aici putând fi inclus și sectorul Sulina-Sf. Gheorghe. Proiectele hidrotehnice realizate în ultimii ani (Porțile de Fier I și II sau extinderea digurilor de la Sulina) au accelerat fenomenele de eroziune, în special în zona centrală a sectorului Sulina-Zătoane [31].

Unitatea sudică este definită de o zonă de platou care are la bază un strat calcaros, deasupra căruia se află un strat de loess moale și numeroase regiuni stâncoase. Plajele din acest sector sunt sărace în sedimente și astfel sunt vulnerabile la eroziunea produsă de furtuni, când cantități mari de sedimente sunt transportate în zona de larg. Aceste fenomene contribuie la pierderea

rapidă a zonelor de plajă deoarece în perioadele de calm aceste regiuni nu se pot refăce în mod natural cu sedimente provenite din Dunăre. În perioada de iarnă, acest fenomen este mai sever datorită faptului că condițiile extreme (furtuni) sunt mai frecvente [32]. O altă problemă pentru această unitate o constituie prezența jetelelor Portului Midia care întrerup transportul litoral, scoțând astfel din circuit o cantitate semnificativă de sedimente datorită acțiunii curenților de larg. În general se preconizează că zona de nord (situată în apropierea Deltei) se află într-o stare critică, în timp ce sectorul sudic (mai dezvoltat economic) este mai stabil [33].

În urma cercetărilor efectuate de către Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare Marină "Grigore Antipa" s-a observat că pe aproape 60-80% din lungimea țărmului se înregistrează pierderi ale zonelor de plajă. Astfel, în apropiere de Rezervației Biosferei Delta Dunării aproximativ 2400 ha (≈ 80 ha/an) de plajă au dispărut în ultimii 35 ani raportat la zonele de plajă nou create (≈ 7 ha/an). Retragera liniei țărmului variază de la un sector la altul, prezentând în general valori situate în intervalul 180-300 m, existând de asemenea în unele zone sectoare care înregistrează și 400 m [34].

De asemenea, s-a evidențiat și faptul că unitatea sudică, considerată stabilă, este afectată de eroziune, existând zone în care se pot înregistra valori de circa 2 m/s. Cele mai afectate sectoare sunt Tomis, Eforie, Tuzla, Olimp-Venus, Saturn-Mangalia, 2 Mai-Vama Veche și Mamaia unde se preconizează o retragere a liniei țărmului cu circa 40 m în următorii 20 de ani [35].

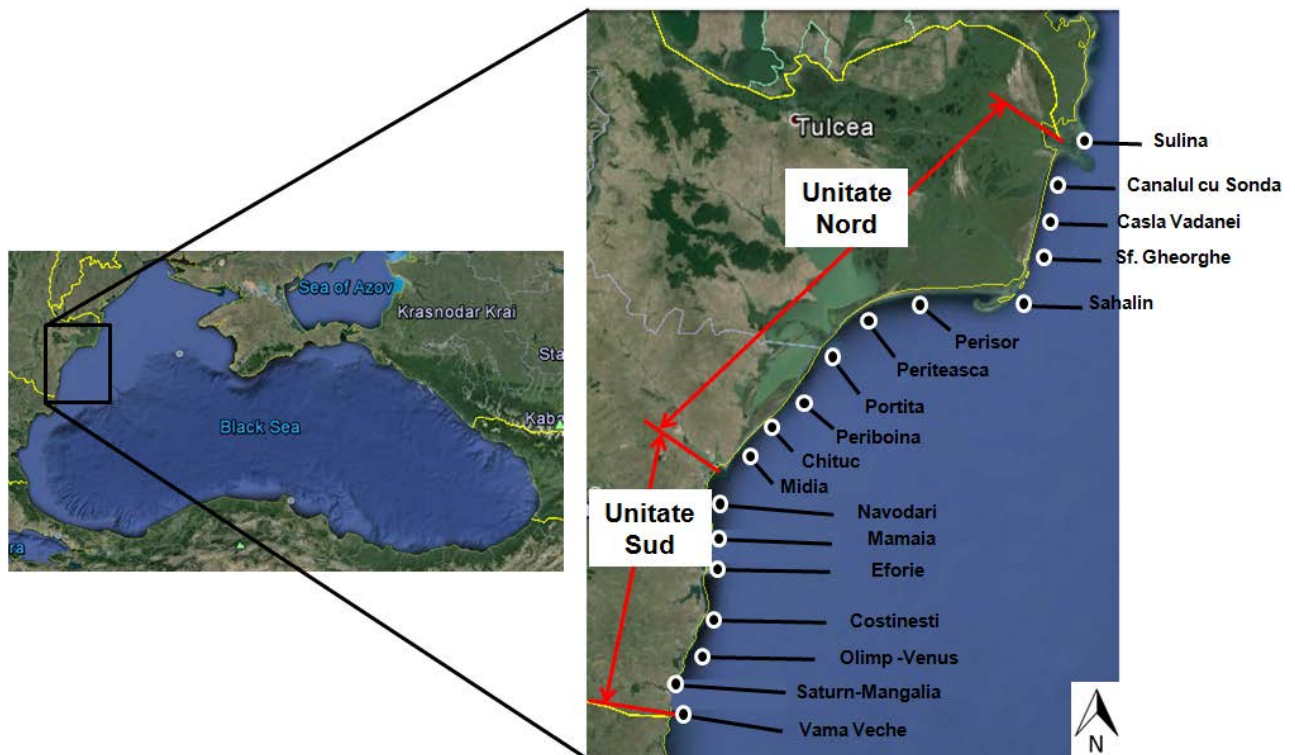


Figura 4.1. Marea Neagră și litoralul românesc

Pentru a contracara aceste fenomene de eroziune, diverse sisteme de protecție au fost considerate. După cum, se poate observa și din Tabelul 4.1, cele mai importante măsuri s-au luat în perioada 1897-1990 atunci când s-au dezvoltat și principalele porturi românești. La acel moment s-a considerat utilă folosirea digurilor de protecție (din beton armat sau stabilopozii) pentru a reduce acțiunea abrazivă a valurilor asupra zonelor de coastă. În unele cazuri, cum ar fi de exemplu plajele Constanța, Eforie Nord, Eforie Sud și Neptun, s-au realizat și lucrări de conservare care au constat în introducerea artificială de nisip sau în folosirea unor pini de stabilizare (epiuri îngropate).

În general, lucrările de protecție a țărmului sunt realizate pentru adâncimi maxime ale apei de 5m, în timp ce, în apropierea zonelor portuare, se ajunge și la valori de 20 m. Majoritatea digurilor de protecție sunt poziționate paralel cu linia coastei pentru a capta valurile incidente, iar prin orientarea acestora circulația apei între dig și țărm nu este împiedicată. O astfel de configurare permite un transport natural al sedimentelor de-a lungul țărmului.

La ora actuală, o mare parte din structurile hidrotehnice existente se află într-o stare avansată de degradare ca urmare a influenței agenților marini (ex: valuri, curenți) precum și a faptului că acestea nu au fost întreținute în mod corespunzător de-a lungul timpului. Ca urmare, s-a adoptat un Master Plan intitulat "Protecția și Reabilitarea Zonei Costiere" care a fost deja aprobat de Ministerul Mediului și Pădurilor în 2012 [36] și care urmează a fi implementat în trei etape principale.

4.2 Dinamica zonelor costiere românești

4.2.1 Regimul sedimentelor dunărene

Raportat la suprafața Europei, Dunărea ocupă locul doi (după Volga). Acest fluviu este caracterizat de un bazin hidrografic care se întinde pe circa 10% din continent, o lungime de aproximativ 2780 km și un debit multianual care se apropie de 6500 m³/s. Analizând sectorul românesc al Dunării, se poate observa ca lucrările hidrotehnice de amenajare a bazinului și albiei fluviului au modificat semnificativ regimul aluviunilor [37]. Aceste schimbări devin importante în contextul în care Dunărea reprezintă principalul furnizor de sedimente din zona de nord-vest a bazinului Mării Negre.

În Figura 4.2 este prezentată distribuția sedimentelor în suspensie (kg/s) din sectorul românesc al Dunării pentru diverse profile hidrometrice luând în considerare datele prezentate în Bondar, 2008 [38]. Acestea sunt valori medii multianuale furnizate de *Institutul National de Hidrologie și Gospodărire a Apelor* pentru intervalul de timp 1931-2006, care au fost grupate pe două secțiuni principale: a) Baziaș-Turnu Măgurele; b) Giurgiu-Ceatal Ismail. După cum se poate observa, principalele modificări ale regimului sedimentelor apar odată cu punerea în funcțiune a hidrocentralelor Porțile de Fier I (în 1971) și a Porților de Fier II (în 1984).

Este important de menționat faptul că profilele hidrometrice Baziaș și Orșova sunt situate în amonte față de Porțile de Fier I, Drobeta Turnu Severin se află între cele două hidrocentrale, în timp ce restul punctelor de referință sunt situate în aval. Punctul de referință Ceatal Ismail se află situat în apropiere de zona de separarea a brațelor Chilia și Tulcea.

Dacă ne raportăm la sectorul Baziaș-Turnu Măgurele (Figura 5.2a) se poate observa că în perioada 1931-1970 măsurătorile înregistrate se situau în intervalul 1495-1016 kg/s, cu valori maxime pentru Calafat și Turnu Măgurele și minime pentru Corabia și Baziaș. În perioada 1971-1984 s-au înregistrat următoarele valori: Baziaș – 752 kg/s; Drobeta Turnu Severin – 618 kg/s; Calafat – 989 kg/s și în Corabia – 741 kg/s. Odată cu pornirea hidrocentralei Porțile de Fier II fluxul de sedimente s-a redus considerabil. Astfel în perioada 1985-2006 s-au înregistrat următoarele valori: Orșova – 126 kg/s; Gruia – 135 kg/s; Bechet – 457 kg/s și Turnu Măgurele – 393 kg/s.

În sectorul Giurgiu - Ceatal Ismail, înainte de construcția hidrocentralelor, sedimentele în suspensie înregistrau un maxim de 1840 kg/s la Isaccea, în jur de 1700 kg/s la Chiciu-Călărași și Vadu Oii și un minim de 1275 kg/s la Oltenița. Pentru perioada următoare (1971-1984) se observă că valorile inițiale s-au redus cu aproximativ: 685 kg/s - Chiciu-Călărași; 598 kg/s - Vadu Oii; 574 kg/s - Oltenița și 314 kg/s - Isaccea. Comparativ cu acest interval de timp valorile înregistrate în perioada 1985 - 2006 sunt în unele cazuri duble sau chiar triple. Astfel, se observă diferențe de:

1324 kg/s - Vadu Oii; \approx 1200 kg/s - Brăila, Grindu și Isaccea; 1000 kg/s - Giurgiu și Ceatal Ismail; 822 kg/s - Oltenița.

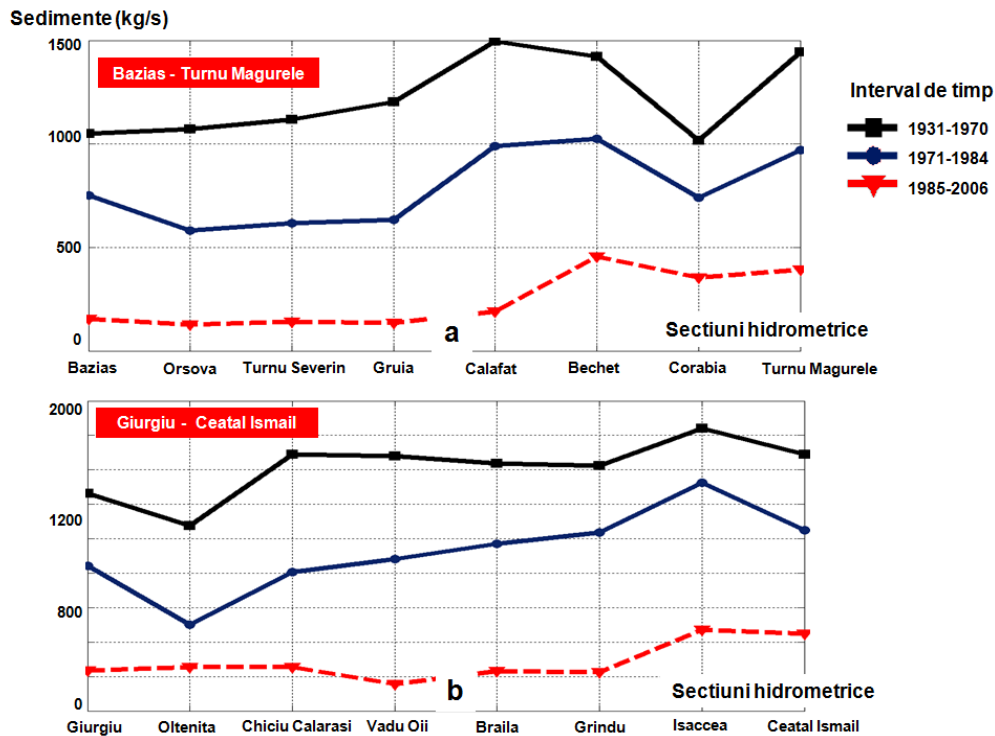


Figura 4.2. Valori multianuale ale transportului de sedimente (kg/s) raportate în diverse secțiuni hidrometrice românești ale Dunării în perioada 1931-2006, pentru: a) sectorul Baziaș-Turnu Măgurele; b) Giurgiu-Ceatal Ismail [38]

Analizând cele două zone considerate se evidențiază trei sectoare principale: a) zona cuprinsă între Baziaș și Calafat, caracterizată de valori mai mici; b) Bechet - Grindu cu valori medii și apropiate ca valoare, cu excepția profilurilor Corabia și Oltenița, pentru intervalul 1971-1984; c) Isaccea - Ceatal Ismail care prezintă cele mai mari valori. Aceste valori pot fi explicate prin faptul că, pe cursul inferior, Dunărea prezintă numeroși afluenți și totodată nu mai există amenajări hidrotehnice importante.

4.2.2 Procese costiere din zona litoralului românesc

În Figura 4.3 este prezentată evoluția liniei țărmului în cazul unor sectoare de plajă situate în zona Deltei Dunării. Aceste date sunt valabile pentru intervalul de timp 1971-1997 și sunt calculate în raport cu anul 1962, unde valorile pozitive indică depuneri de sedimente (acreție costieră) iar celelalte valori caracterizează procesele de eroziune. Astfel, se poate observa că cea mai mare parte a sectoarelor considerate sunt afectate în mod vizibil de eroziune, cu excepția zonei Perișor-Periteasca, în care procesele de acrețiune sunt dominante, existând un maxim de 3.3 m (în 1971) și un minim de 0.7 m (în 1991). Un alt sector care prezintă depuneri este Chituc-sud Vadu, acesta înregistrează valori cuprinse între 0.41-0.61 m, dar doar în intervalul 1971-1975. După această perioadă, acest sector înregistrează doar eroziune care este mai accentuată în anii 1991 și 1997 când se depășesc valori de 0.82 m.

Cel mai afectat de eroziune este sectorul Sfântul Gheorghe-Ciotic care înregistrează în mod constant valori de 20 m existând și un maxim de 22 m în anul 1986. Pentru sectorul Sulina-grindul Sărăturile retragerea liniei țărmului variază între 4.3 m și 6.1 m în timp ce pentru zona Portița-

Periboina aceste valori sunt situate în intervalul 2.9-6.2 m, cu mențiunea că se înregistrează o reducere semnificativă a valorilor, începând cu anul 1991.

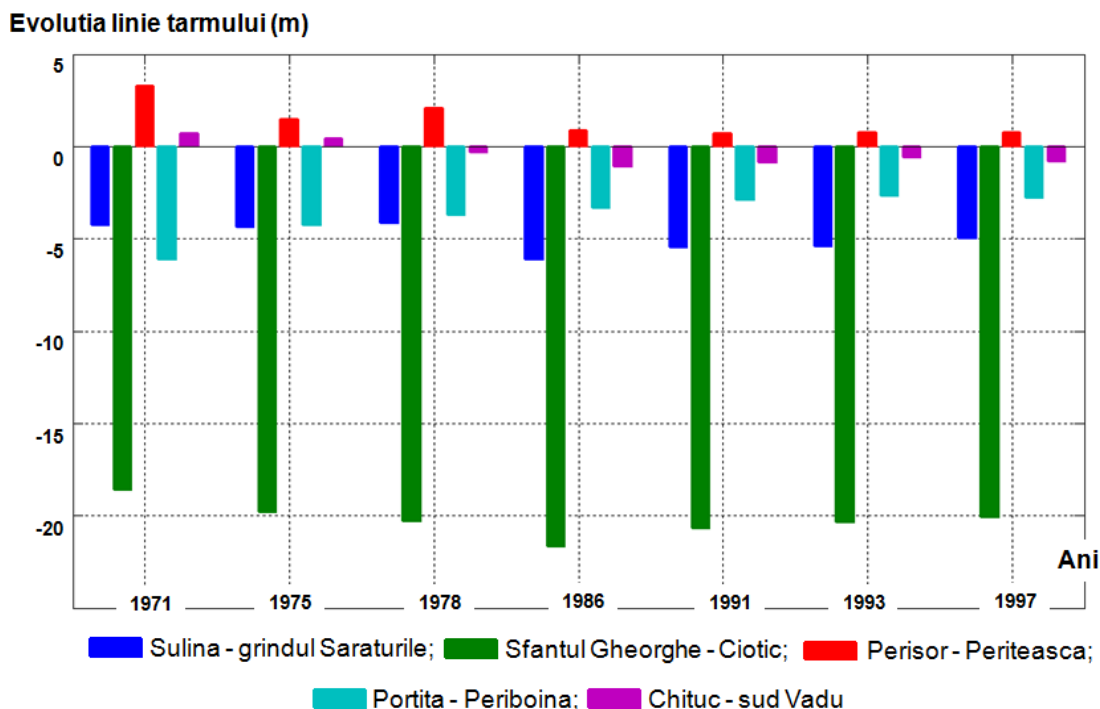


Figura 4.3. Variația liniei țărmului Deltei Dunării exprimată în funcție de vitezele medii de deplasare. Valorile sunt indicate pentru intervalul de timp 1971-1997 și sunt raportate la anul 1962 [39]

Evoluția sectoarelor de țărm din cadrul Deltei Dunării este prezentată în Figura 4.4 pentru perioada 1962-1997. Din acestea, doar sectorul Perisor-Portița înregistrează acrețiuine costieră care s-a concretizat în apariția unor noi zone de plajă ce însumează în jur de 94 ha. Din aceste date, cel mai afectat de eroziune pare a fi zona Sfântul Gheorghe-Ciotic unde în jur de 766 ha au dispărut în acest interval de timp, fiind urmat de Ciotic-Perisor cu 379ha.

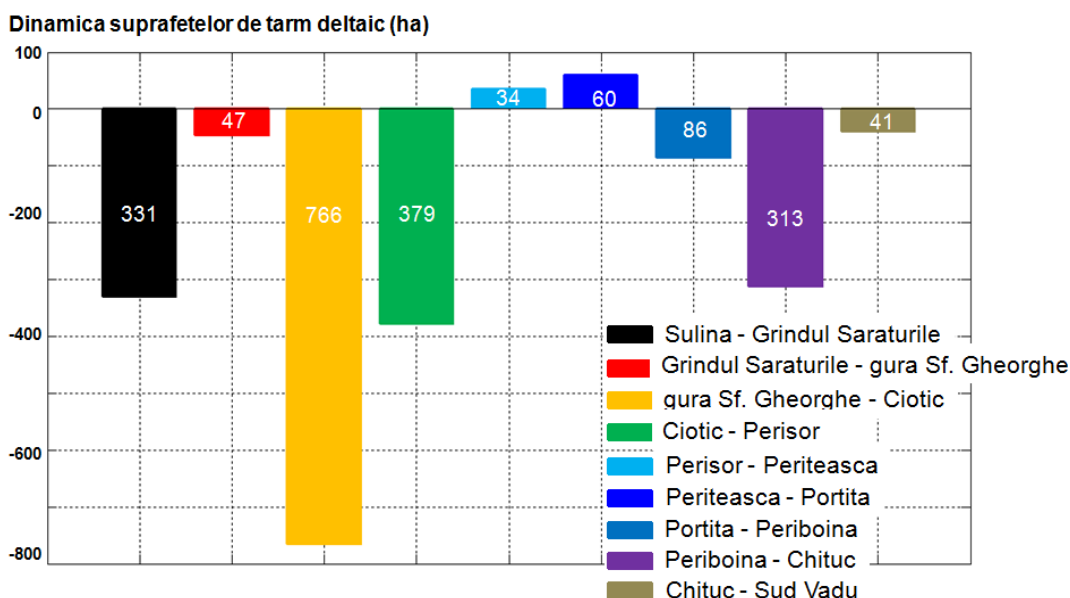


Figura 4.4. Influența proceselor costiere asupra zonelor de țărm pentru intervalul de timp 1962-1997 [39]

Pe locul trei, se situează oarecum la egalitate sectoarele Sulina-Grindul Sărăturile și Periboina-Chituc, care prezintă valori de 331 ha și respectiv 313 ha. Cele mai puțin afectate de eroziune sunt zonele Grindul Sărăturile-Sfântul Gheorghe și Chituc-sud Vadu unde procesele de eroziune au avut o influență mai mică, suprafețele dispărute fiind de maxim 50 ha.

De asemenea, procesele de eroziune din cadrul Deltei Dunării au fost studiate și în cadrul proiectului EUROSION [40], o parte din rezultatele obținute fiind prezentate în Figura 4.5. Analizele sunt axate pe două intervale de timp 1962-1979 și 1979-1997 și se poate observa că pentru ambele perioade de timp se înregistrează doar eroziune costieră. Zona cuprinsă între Gârla Împutiță și Grindul Cerbului prezintă valori mai mari ale proceselor de eroziune care s-au redus totuși cu circa 3-4 m în intervalul 1979-1997, cu excepția zonei aflate la nord de Japsa lui Matei. Din acest studiu reiese că cel mai afectat sector este cel din dreptul Canalului Sondă, care prezintă valori maxime de 16-19 m/an în ambele perioade de timp.

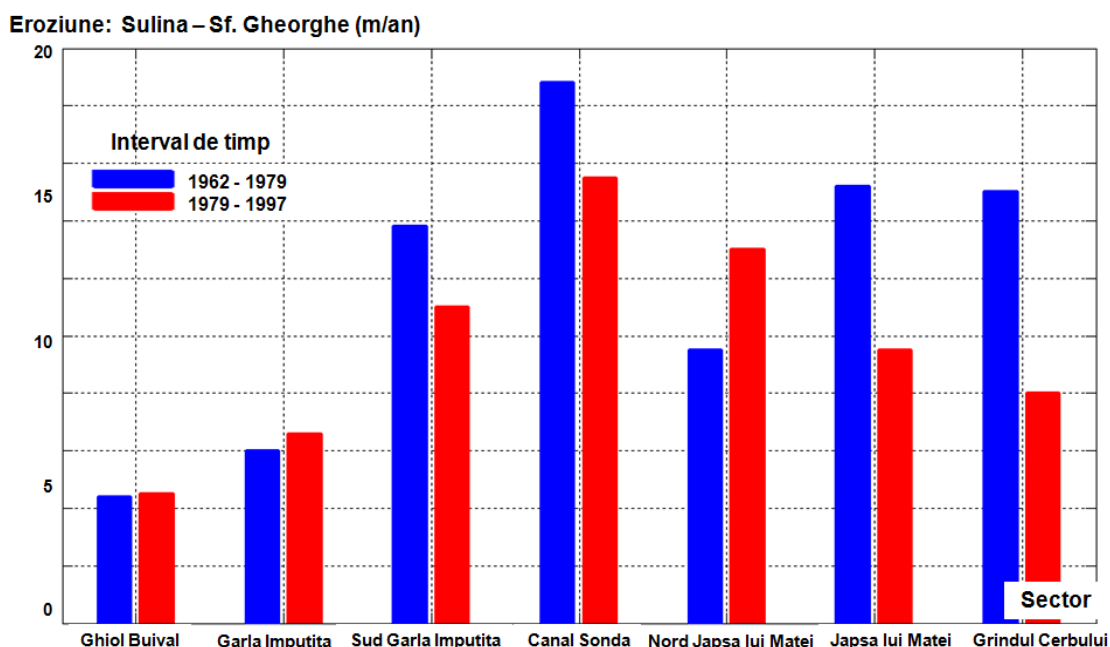


Figura 4.5. Eroziune costieră (în m/an) a sectorului Sulina-Sfântul Gheorghe, raportată pentru perioada 1962-1997 [40]

Procesele de eroziune din sectorul Ghiol Buival-Gârla Împutița sunt caracterizate de valori mai mici și mai stabile, care se situează în intervalul 4-7 m/an. O privire de ansamblu a evoluției proceselor costiere din zona litoralului românesc este prezentată în Figura 4.6 pentru intervalul de timp 1962-1997, cu mențiunea că valorile negative indică în acest caz fenomenul de eroziune. La o primă analiză se observă că sectoarele aflate în unitatea nordică sunt caracterizate de o dinamică mai mare a liniei țărmului. De asemenea, se observă că intensitatea proceselor de eroziune crește odată cu lungimea sectoarelor de țărm la care sunt raportate. În general depunerile costiere prezintă valori mai mici decât zonele de țărm erodate cu excepția Insulei Sacalin (unitate nord) și a unității sudice. De asemenea, trebuie menționat faptul că în cazul sectorului de țărm 2 Mai-Vama Veche nu există date privind procesele de acrecție.

Pentru perioada de timp considerată, sectorul Ciotica-Portița (în lungime de 94 km) prezintă o eroziune a liniei țărmului de circa 47 km, fiind urmat de Portița-Midia (47 km) cu 38 km și de Musura-Sfântul Gheorghe (35 km) cu 28 km. O influență mai mică a proceselor de eroziune este înregistrată de sectoarele aflate în zona Tătlăgeac-Vama Veche care prezintă valori în intervalul 1-3 km, dar care sunt caracterizate și de lungimi mai mici ale liniei țărmului. În aceeași situație se află și sectorul Constanța-Eforie Sud.

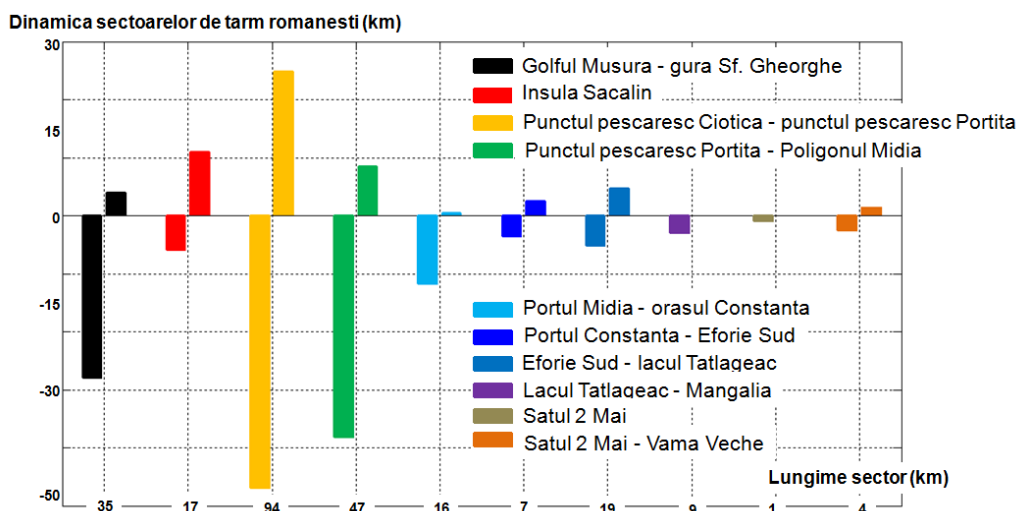


Figura 4.6. Evoluția sectoarelor de țărm românești în perioada 1962-1997 [39]

Acreția costieră înregistrează un maxim de 25 km în sectorul Ciotica-Portița, dar chiar și așa există o diferență de 22 km față de fenomenele de abraziune. Apoi urmează Insula Sacalin în care acumulările de sedimente sunt dominante și înregistrează o valoare de 11 km. De asemenea, se pot observa și sectoare care sunt caracterizate de o stabilitate dinamică a liniei țărmului (eroziune vs acreție) cum ar fi cele din unitatea sudică.

În Figura 4.7 se face o analiză mai detaliată a dinamicii costiere din zona de nord a litoralului românesc. Rezultatele se bazează pe studiile prezentate în Halcrow, 2012 [41] și care combină două tipuri de date: a) hărți și date de satelit valabile pentru intervalul 1979-2006; b) valori numerice raportate la perioada 1991-2007. Cele două seturi de date prezintă o bună corelare indicând acreție în cinci sectoare și eroziune totală în șase zone costiere. Analizând primul set de date se observă că zona din apropiere de Sulina linia țărmului avansează constant cu circa 8m/an, iar alte zone în care se înregistrează depuneri sunt Sfântul Gheorghe (4 m/an), Cap Midia Sud (3.2 m/an) și Cap Midia Nord (2.1 m/an). Măsurătorile prezintă o evoluție similară indicând acreție în Sulina (4.7 m/an), Cap Midia Nord (4.2 m/an) și Cap Midia Sud (2.9 m/an).

Cele mai mari diferențe apar în sectorul Perisor unde primul set de date indică eroziune (de 2.7 m/an), în timp ce măsurătorile existente indică acreție (1.6 m/an).

Dinamica zonei de nord (m/an)

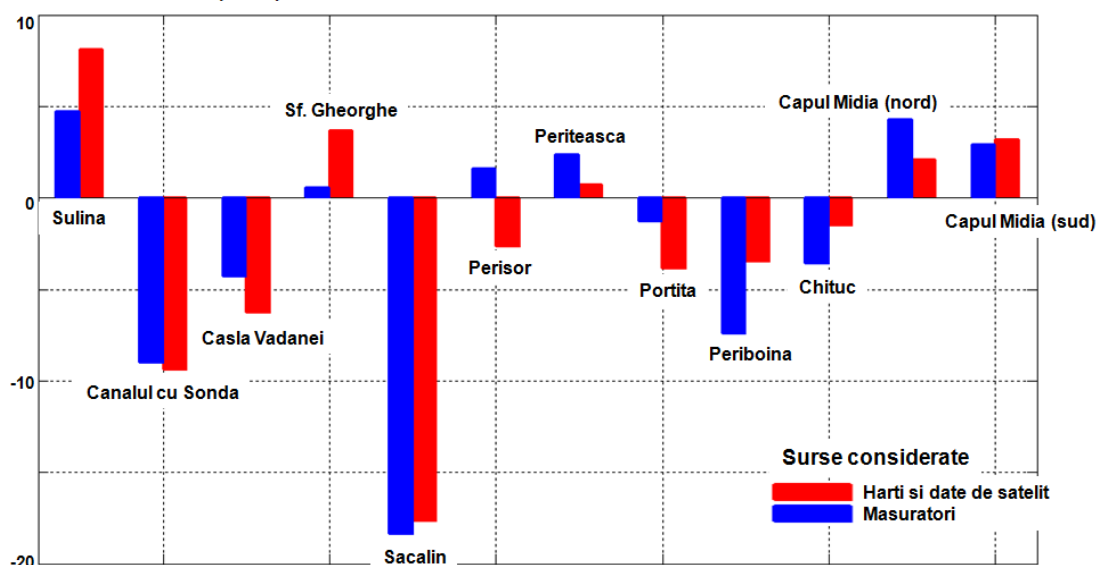


Figura 4.7. Dinamica liniei țărmului din unitatea nordică a litoralului românesc [41]

În acest caz, cea mai afectată zonă de eroziune pare a fi Sacalin unde se înregistrează valori de 18.4 m/an (măsurători) și 17.8 m/an (hărți), aceasta fiind urmată de: Canalul cu Sondă - 9.4 m/an (hărți), Periboina - 7.4 m/an (măsurători) și Casla Vădanei - 6.3 m/an (hărți). Cele mai puțin afectate de eroziune par a fi sectoarele Portița și Chituc, care prezintă valori în intervalul 1.5-4 m/an. Comparând aceste rezultate cu cele prezentate anterior, se observă o alternanță a proceselor de eroziune/abraziune pe toată zona de nord a litoralului românesc.

La fel ca în Figura 4.7, în Figura 4.8 se face o analiză similară, dar pentru sectoarele de țărm aflate în partea de sud. Pentru această regiune se poate spune că fenomenul de eroziune costieră este dominant dar în comparație cu zona de nord intensitatea acestuia este mai mică ajungându-se la valori maxime de 2.5 m/an.

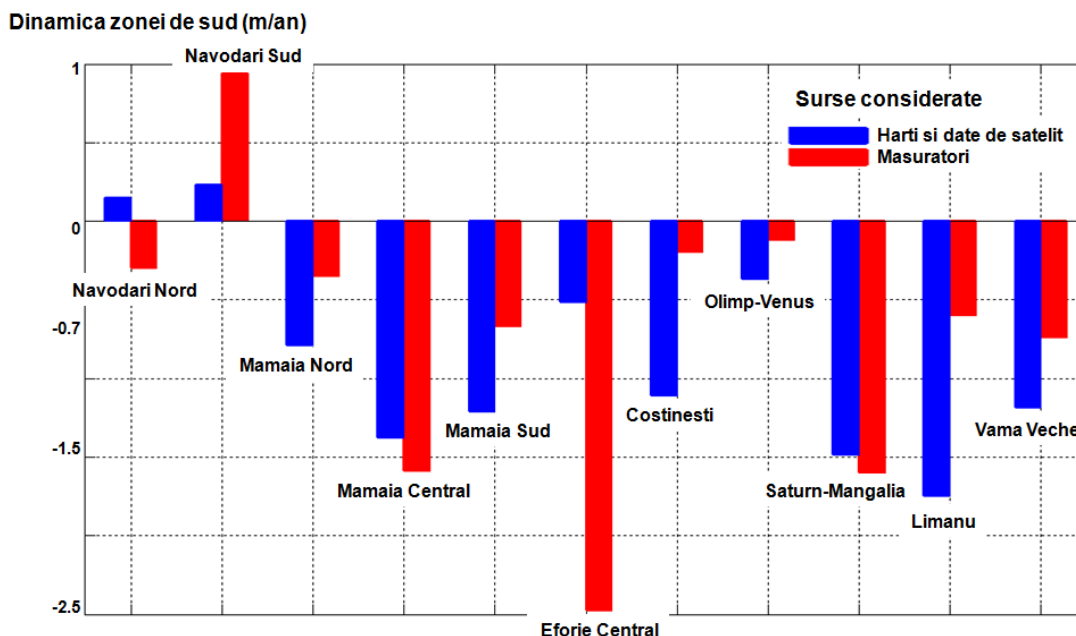


Figura 4.8. Dinamica liniei țărmului din unitatea sudică a litoralului românesc [41]

Excepție face sectorul Năvodari (nord și sud) care înregistrează depuneri de sedimente ce pot modifica linia țărmului cu maxim 0.9 m/an (măsurători), iar în schimb, pe celelalte sectoare de țărm se observă că acreția costieră este ca și inexistentă.

În ceea ce privește procesele de eroziune, din analiza măsurătorilor, se observă că Eforie Central este caracterizat de o retragere a liniei țărmului de circa 2.5 m/an, fiind urmat de Mamaia Central și respectiv Saturn-Mangalia cu 1.6 m/an, precum și de Vama Veche și Mamaia Sud cu 0.7 m/an. Dacă considerăm datele furnizate de sateliți sau hărți se observă că cele mai afectate zone sunt: Limanu (1.7 m/an), Saturn-Mangalia (1.5 m/an) și Mamaia central (1.4 m/an).

Capitolul 5

STUDII PRIVIND INFLUENȚA FERMEI ENERGETICE ȘI A STRUCTURILOR MARINE ASUPRA DINAMICII COSTIERE DIN APROPIEREA LITORALULUI ROMÂNESC

Pentru a putea furniza o imagine de ansamblu a impactului pe care îl are pe care îl poate avea o fermă WEC și alte amenajări specifice zonei costiere (ex: diguri sparge-val de larg), în acest capitol se va face o astfel de analiză. În Figura 5.1a este prezentat litoralul românesc de-a lungul căruia au fost marcate cele trei zone de referință: Sfântu Gheorghe, Mamaia și Mangalia. Tot aici s-a indicat și poziția platformei de foraj Gloria deoarece o parte din studiile de caz se vor baza pe măsurătorile in situ provenind de la aceasta. Primele două zone sunt situate în partea de nord a litoralului fiind caracterizate de un aport mai mare al sedimentelor dunărene, în timp ce Mangalia se află în partea de sud. Dacă ne raportăm la orientarea liniei țărmului, se poate observa că Sfântul Gheorghe și Mangalia prezintă caracteristici similare fiind aliniate, în general, pe direcția nord-sud, în timp ce în sectorul Mamaia linia țărmului este orientată după direcțiile sud-vest și nord-est [42].

Simulările numerice au fost realizate cu ajutorul modelului SWAN, iar rezultatele obținute (date de val și curenți) au fost procesate prin intermediul interfeței ISSM (Interface for SWAN and SURF Models). În Tabelul 5.1 sunt prezentate principalele caracteristici ale celor trei domenii de calcul considerate împreună cu setările și procesele fizice activate. Astfel, cu Δx și Δy s-a notat rezoluția în spațiul geografic, cu $\Delta \theta$ rezoluția în spațiul direcțiilor, cu nf numărul de frecvențe din spațiul spectral și cu $n\theta$ numărul de direcții din spațiul spectral.

Tabelul 5.1. Caracteristicile celor trei domenii de calcul definite pentru simulările SWAN

Intrări/ Procese	val	vânt	maree	crt	gen	wcap	quad	triad	diff	bfric	set up	br
	X	0	0	0	X	0	X	X	X	X	X	X
SWAN												
	Coordonate	$\Delta x \times \Delta y$ (m)	$\Delta \theta$ (°)	Mod/schemă	nf	$n\theta$	$ngx \times ngy = np$					
Sfântu Gheorghe	Cartezian	50 x 50	5	stat/BSBT	34	35	355x406=144130					
Mamaia	Cartezian	50 x 50	5	stat/BSBT	34	35	180x280=50400					
Mangalia	Cartezian	50 x 50	5	stat/BSBT	34	35	110x122=13420					

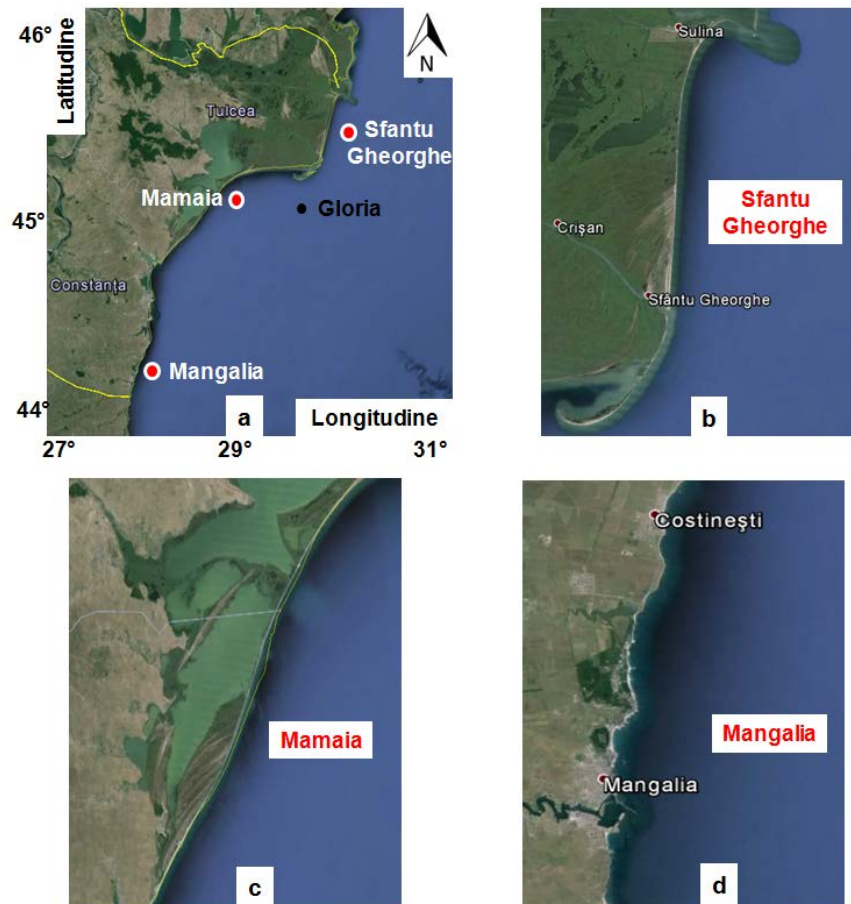


Figura 5.1. Prezentarea zonelor țintă considerate pentru analiză, unde: a) litoralul românesc al Mării Negre; b) Sfântu Gheorghe; c) Mamaia; d) Mangalia

Zona țintă este discretizată în np puncte de control, care sunt distribuite de-a lungul axei x (ngx) și de-a lungul axei y (ngy). Datele de intrare considerate în SWAN sunt marcate cu X și reprezintă: *Val* - forțe din val; *Vânt* - forțe din vânt; *Maree* - forțe din maree (= 0); *Crt* - curenți.

Procesele fizice activate constau în: *Gen* - generarea valurilor de către vânt; *Quad* - interacțiuni neliniare între patru valuri (cuadruplet); *Triad* - interacțiuni neliniare între trei valuri (triade); *Diff* - procese de difracție; *Bfric* - frecarea cu fundul mării; *Set up* - înălțarea nivelului apei indusă de valuri; *Br* - spargerea valurilor odată cu scăderea adâncimii apei.

Figura 5.2 prezintă caracteristicile celor trei domenii de calcul, unde în fundal este prezentată batimetria acestora în timp ce, în prim plan, se poate observa ferma generică WEC considerată pentru analiză. Pentru obținerea unei batimetrie de înaltă rezoluție, s-au prelucrat o serie de hărți realizate de Direcția Hidrografică Maritimă (Constanța). Se poate observa că domeniul Sfântu Gheorghe este caracterizat de o suprafață mai mare având în jur de 16 km după axa x (perpendicular pe coastă) și 20 km după axa y (de-a lungul coastei), în timp ce Mangalia prezintă un minim de 5k m - axa x și 6 km - axa y . Având în vedere aceste dimensiuni și lungimea fermei generice a fost ajustată pentru fiecare zonă în parte, astfel: Sfântul Gheorghe – 9 km; Mamaia – 6 km; Mangalia – 2 km.

Pentru a putea identifica evoluția parametrilor de val și a curenților longitudinali, mai multe linii și puncte de referință au fost definite. Pentru valurile din zona de larg (offshore) acest lucru se face prin intermediul grupului de puncte P (P1-P4), unde primul punct situat în fața fermei generice permite identificarea cu acuratețe a caracteristicilor valurilor incidente în absența sistemelor de extracție a energiei valurilor (WEC). Pentru a putea identifica caracteristicile curenților longitudinali, s-au definit șapte linii de referință (L1-L7), în timp ce extremitățile offshore ale acestora (notate de

la NP1 la NP7) au fost folosite pentru a evalua transformările din această zonă a parametrilor de val.

În zonele cu apă puțin adâncă, efectele disipative sunt semnificative, astfel că aceste puncte pot indica dacă fermele de val prezintă vreo influență asupra câmpurilor de valuri locale.

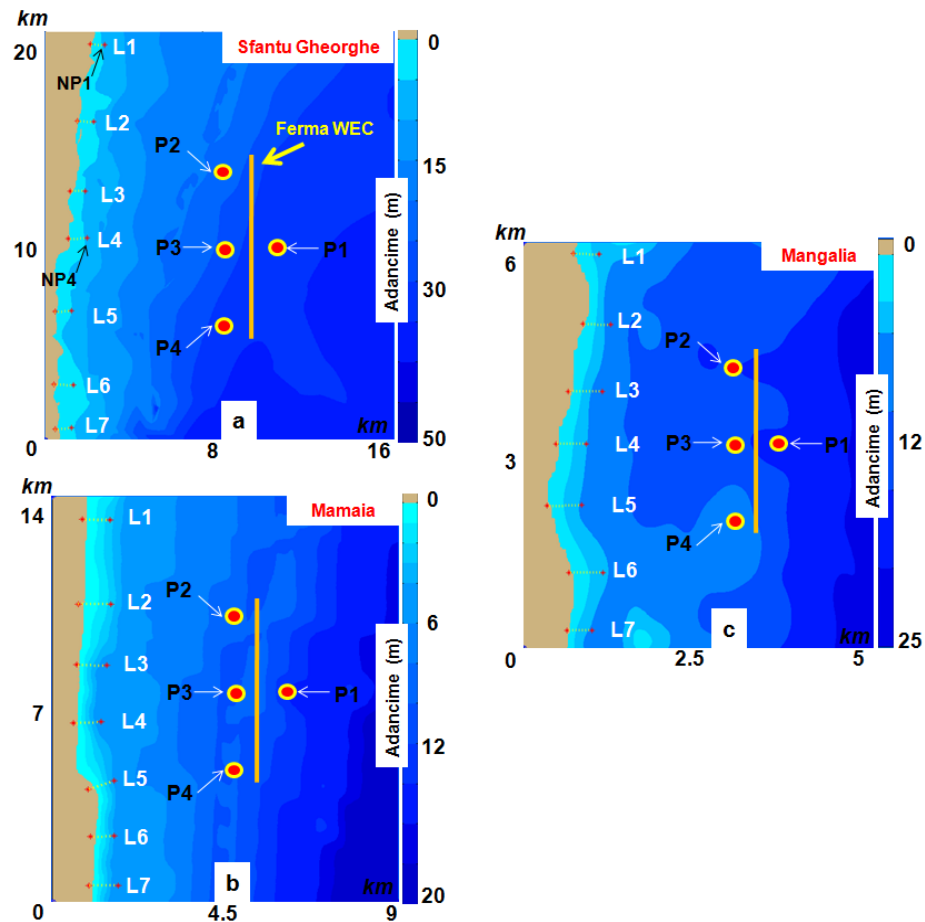


Figura 5.2. Domeniile de calcul considerate pentru simulările numerice: a) Sfântu Gheorghe; b) Mamaia; c) Mangalia. În fundal este prezentată batimetria zonelor țintă, în timp ce în prim plan se poate observa ferma WEC. Liniile și punctele de referință au fost notate cu: P1, P2, P3 și P4 - puncte offshore; L1-L7 linii de referință considerate pentru analiza curenților longitudinali, extremitatea (dinspre apă) a fiecărei linii a fost considerată ca și punct de referință (NP1-NP7)

5.1 Studii de caz considerând situații relevante

Pentru a putea include prezența fermei în simulările numerice din SWAN, comanda **obstacle** a fost activată. În acest mod, ferma WEC poate modifica caracteristicile câmpului de valuri din zona țintă, astfel: a) reduce înălțimea valurilor; b) contribuie la reflecția și difracția valurilor. Pentru a putea identifica modul în care diverse ferme de val pot influența transmisia valurilor în spațiul geografic, mai multe cazuri de transmisie (notate de la T1 la T5) au fost avute în vedere, acestea fiind prezentate în Tabelul 5.2.

Primul scenariu (T1) este folosit pentru a identifica condițiile de val în absența fermei. Următoarele două cazuri (T2 și T3) pot fi considerate ca fiind scenarii mai realiste deoarece simulează prezența unor ferme de val în care există spații mari între sistemele WEC, ceea ce permite o transmisie mai mare a valurilor către țărm, acest scenariu putând fi asociat cu o fermă de val pilot.

Tabelul 5.2. Cazuri de transmisie considerate în simulările SWAN pentru ferma generică

Scenariu	Transmisie valuri	Detalii
T1	100%	Fără fermă de val
T2	75%	Fermă de val în care există spații mari între sistemele WEC - scenariu realist
T3	50%	Fermă de val în care există spații mici între sistemele WEC
T4	25%	Fermă de val puternic absorbantă - scenariu optimist
T5	0%	Fermă de val ideală (absorbție totală) - sisteme WEC dispuse pe mai multe linii

Ultimele două scenarii (T4 și T5) simulează influența unor ferme WEC cu un grad mare de absorbție a energiei valurilor, incluzând și un caz ideal în care valurile sunt absorbite complet. Cazul T5 corespunde situației în care sistemele WEC sunt dispuse pe mai multe linii în interiorul fermei de val. Deoarece în partea de vest a Mării Negre energia valurilor și a vântului nu este încă utilizată, în acest fel se poate estima care ar fi cea mai potrivită configurație a unei ferme de val pentru această zonă [43 - 45].

Pentru a putea identifica condițiile de val care s-ar putea manifesta în cele trei zone țintă, s-au considerat pentru analiză măsurătorile in situ corespunzătoare stației Gloria care este situată în zona offshore (Figura 5.1a). Această platformă operează în apropiere de litoralul românesc (44°31'N, 29°34'E), la o adâncime de circa 50 m și furnizează măsurători zilnice ale parametrilor de val la un interval de 6 ore (01-07-13-19 UTC (*Coordinated Universal Time*)) acoperind perioada cuprinsă între ianuarie 2003 și decembrie 2009 (șapte ani) [46].

Parametrii de val considerați pentru analiză sunt: înălțimea, perioada și direcția valului. Deoarece simulările numerice din acest capitol s-au realizat pe baza înălțimilor semnificative de val (H_s), înălțimile de val din măsurătorile in situ ($H_{1/10}$) au fost ajustate astfel [47]:

$$H_{1/10} = 1.27H_s \quad (5.1)$$

Figura 5.3a prezintă evoluția lunară a parametrului H_s pentru diverși parametri statistici: medie; percentila 95 (95%) și valori extreme. Se poate observa că pentru valorile medii în perioada de iarnă (octombrie-martie) pot depăși 1.4 m în timp ce valori de 1.78 m pot fi întâlnite în ianuarie. Pentru perioada de vară aceste valori sunt situate în intervalul 0.82-1.34 m, cu un maxim pentru luna septembrie. În cazul percentilei 95, există diferențe mari între cele două sezoane principale (vară și iarnă) și un maxim de 5.11 m în ianuarie și februarie. În perioada de iarnă, furtunile din larg pot contribui la producerea unor condiții extreme în timpul cărora se pot înregistra valori de 8.5m în ianuarie și 3.5 m în iunie.

Caracteristicile parametrului T_m sunt prezentate în Figura 5.3b, de unde se poate observa că valorile medii variază în intervalul 4.11-5.08 s. În ceea ce privește percentila 95, aceasta prezintă valori între 6.6 s și 7.62 s, iar valorile extreme indică un maxim de 9.4 s în ianuarie și Martie.

Histogramele H_s și T_m sunt prezentate în Figurile 5.3c și 5.3d pentru perioada totală și sezonul de iarnă. În general cele două distribuții prezintă o evoluție similară cu mențiunea că, în perioada de iarnă, înălțimile de val din intervalul 1.5-2 m sunt mai mari decât cele din intervalul 0.5-1 m. Valorile H_s sunt grupate în jurul intervalului 0.5-2 m, în timp ce, pentru perioada de val, se observă că intervalul 4-8 s este dominant.

Distribuția pe direcții a înălțimilor H_s în zona platformei Gloria este prezentată în Figurile 5.3e și 5.3f. Raportat la perioada totală se observă că sectorul de nord este dominant (22%), fiind urmat

de sud (17.5%) și nord-est (17%) în timp ce, raportat la celelalte direcții, nu se înregistrează mai mult de 10% (pentru fiecare).

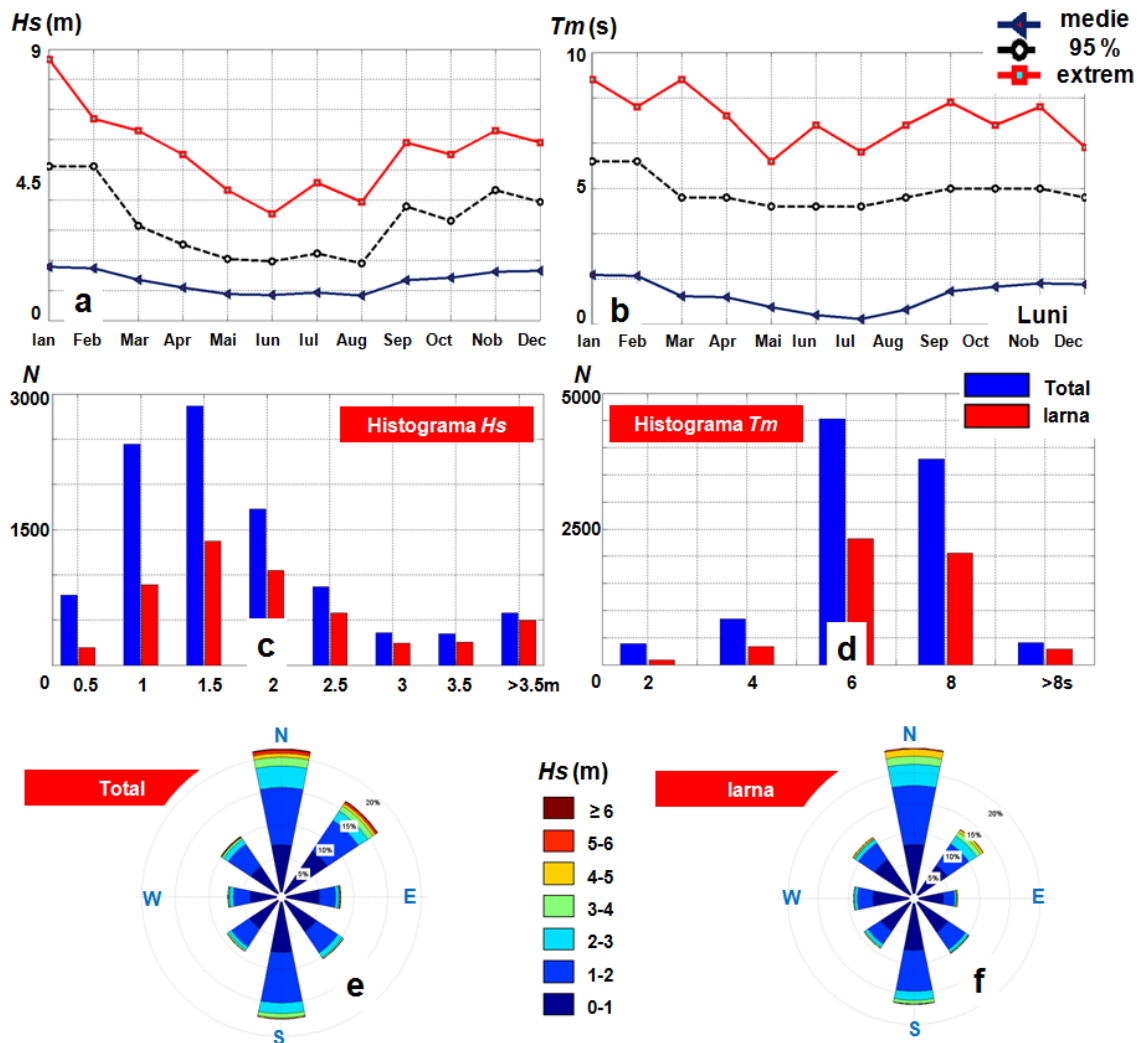


Figura 5.3. Analiza statistică a parametrilor de val din zona stației Gloria. Măsurători in situ, raportate la intervalul de timp ianuarie 2003-decembrie 2009, unde: a) și b) evoluția lunară a parametrilor H_s și T_m raportată pentru valori medii, percentila 95 (95%) și maxime; c) și d) histograme H_s și T_m corespunzătoare perioadei totale și sezonului de iarnă; e) și f) distribuția pe direcții a înălțimilor semnificative de val (total și iarnă)

Valori mai mari sunt raportate din nord și nord-est, unde se pot observa și valori care pot depăși 5 m. Sezonul de iarnă prezintă diferențe mai mici, cele mai importante modificări fiind date de faptul că de această dată sectorul nord înregistrează circa 30% din distribuția totală, în timp ce sectorul nord-est nu depășește 14%.

Pentru a putea identifica influența fermei de val asupra valurilor și curenților din zona costieră, câteva studii de caz prezentate în Tabelul 5.3 au fost considerate pe baza măsurătorilor in situ. Primul caz (notat cu CS1) corespunde unor condiții de val medii ($H_s=1.3$ m; $T_m=4.6$ s) care se pot manifesta frecvent în această zonă geografică. Următoarea situație (notată cu CS2) poate fi considerată ca fiind mai energetică ($H_s=3.9$ m; $T_m=7.2$ s) și poate fi întâlnită în perioada de iarnă sau pe durata unor furtuni. Ultimul studiu de caz (notat cu CS3) corespunde unei situații extreme ($H_s=8.7$ m; $T_m=9.4$ s), atunci când prezența fermei de val poate contribui semnificativ la protecția zonelor de plajă, mai mult decât în primele două situații.

În ceea ce privește direcția valurilor incidente, având în vedere că stația Gloria este situată în zona offshore, este posibil ca în cele trei zone țintă să apară valuri din mai multe direcții. De asemenea, dacă considerăm că valurile care se apropie de țărm se pot roti în spațiul geografic datorită proceselor de refracție ce apar odată cu interacțiunea cu fundul mării, se pot avea în vedere următoarele direcții (raportate la convenția nautică): a) nord-est (30°) - notate cu valuri *NE*; b) est (90°) - notate cu valuri *E*; c) sud-est (150°) - notate cu valuri *SE*.

Tabelul 5.3. Studii de caz considerate pentru simulările SWAN identificate pe baza măsurătorilor in situ provenind de la platforma de foraj Gloria. Rezultate valabile pentru intervalul de timp: Ianuarie 2003-Decembrie 2009

Studii de caz	Condiții	Parametri val	
		<i>Hs</i> (m)	<i>Tm</i> (s)
CS1	Condiții de val medii	1.3	4.6
CS2	Condiții de val medii spre mari	3.9	7.2
CS3	Condiții extreme	8.7	9.4

5.1.1 Sfântu Gheorghe

După cum s-a menționat anterior, această zonă țintă este situată în partea de nord a litoralului românesc, între cele două brațe ale Dunării: Sulina și Sfântu Gheorghe. Această regiune este caracterizată de o zonă litorală joasă creată în urma acumulărilor de sedimente, iar în dreptul Deltei Dunării zona de platou este mai mare, fiind caracterizată de adâncimi ale apei de circa 12-15 m și de profil al plajei format din mai multe bare de acumulare. Plajele au în componență nisip de granulație medie sau fină care este transportat din zona de nord a Deltei Dunării [48, 49].

Figura 5.4 prezintă evoluția câmpului de valuri în spațiul geografic pentru studiul de caz CS1 și pentru cazurile de transmisie T1, T3 și T5, în timp ce în partea dreaptă se poate observa evoluția înălțimilor de val între punctele de referință P1-P3. În absența fermei de val (transmisie T1), se poate observa că în apropiere de linia coastei câmpul local de valuri este considerabil influențat de direcția valurilor incidente. Pentru aceste condiții de val, în partea centrală a zonei țintă, se pot înregistra valuri de 1.2 m indiferent de direcția valurilor. În schimb, influența fermei de val se simte încă de la cazul de transmisiei T3, indicând pentru valurile care vin din nord-est și sud-est o reducere a înălțimilor de val de la 1.2 m la 0.8 m la contactul cu ferma, precum și o valoare de 0.9 m în apropiere de punctul P3. Pentru valurile din est, există o diferență de 0.6 m față de condițiile de val inițiale.

Analizând scenariul în care s-a considerat o fermă ideală (caz de transmisie T5), se poate observa că atunci, când valurile se apropie din nord-est și sud-est, se produce un efect de ecranare (umbrire) la extremitatea fermei de val care duce la apariția unor câmpuri de val locale ce au valori în intervalul 0.3-0.5 m. Pentru valurile provenind din est, întreaga zonă situată în spatele fermei de val prezintă caracteristici similare. Raportat la partea centrală a zonei țintă, se observă că variații mai mari (de până la 0.9 m) se pot înregistra atunci când valurile incidente acționează din sector est, în timp ce pentru restul direcțiilor variația valurilor poate înregistra valori apropiate de 0.6 m.

În Figura 5.5 este prezentată evoluția câmpului de valuri în spațiul geografic, în prezența fermei de val pentru studiul de caz CS2, unde se observă apariția a mai multor câmpuri locale de valuri. Pentru primul caz de transmisie (T1), valurile din nord-est duc la apariția în zona offshore

(sus dreapta) a două câmpuri de val care prezintă valori în intervalul 3.4-3.9 m și 3.0-3.4 m, care diferă în funcție de profilele batimetrice.

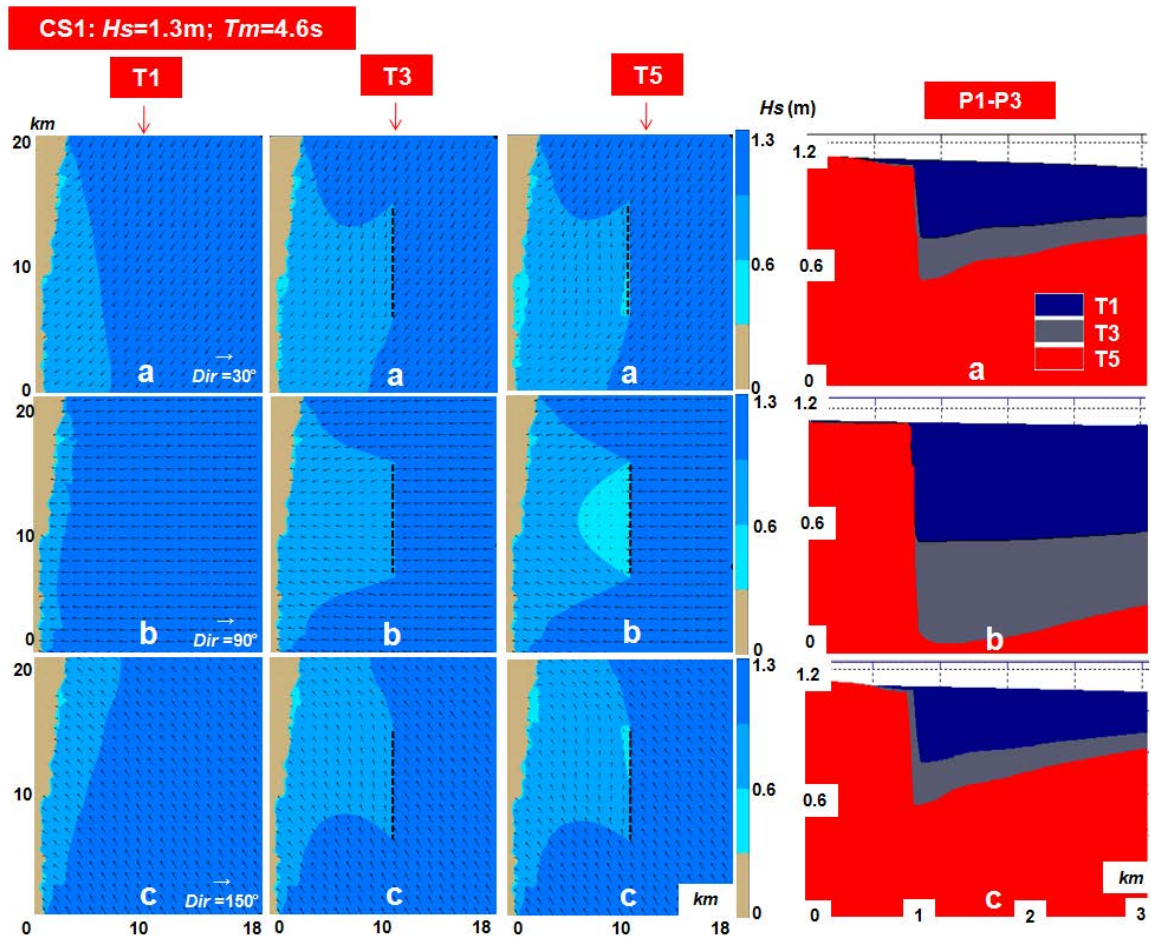


Figura 5.4. Evaluarea în spațiul geografic (câmpuri scalare și vectori de val) a influenței fermei generice. Rezultatele sunt prezentate pentru studiul de caz CS1 (condiții de val medii) și sunt raportate la trei scenarii de transmisie (T1, T3 și T5), unde: a) simulări SWAN corespunzătoare valurilor NE (30° în convenție nautică); b) simulări SWAN corespunzătoare valurilor E (90°); c) simulări SWAN corespunzătoare valurilor SE (150°). Figurile din partea dreaptă prezintă variația parametrului H_s de-a lungul liniei de referință P1-P3

În partea centrală, înălțimile de val sunt reduse treptat până la o valoare de 2.2 m, în timp ce în apropiere de linia coastei se observă existența unor câmpuri de val dispuse paralel. Atunci când valurile se propagă din sud-est și nord-est, în apropierea coastei apare și un câmp de valuri îngust care prezintă valori în intervalul 2.6-2.9 m, orientarea acestuia depinzând de direcția valurilor.

Ferma de val caracterizată de cazul de transmisie T3, produce o modificare semnificativă a câmpului de valuri situat între fermă și linia coastei. Atunci când valurile se propagă din nord-est, în partea centrală a zonei țintă se observă că înălțimile de val sunt reduse de la 3.5 m la 1.8 m, în timp ce în apropiere de punctul P3 se poate înregistra o valoare de 2.2 m. Pentru valurile din est, în apropiere de fermă, câmpul de valuri inițial poate fi redus cu circa 2 m până în apropiere de punctul P3.

Considerând cazul de transmisie T5, se poate observa că efectul de ecranare dat de prezența fermei de val se manifestă prin intermediul unui efect de tip "tunel" care reduce semnificativ înălțimea valurilor până în apropiere de linia țărmului. Lățimea acestei zone este aproximativ egală cu lungimea fermei de val, în timp ce orientarea acesteia în spațiul geografic depinde în mare parte de direcția valurilor incidente. În partea centrală, se observă variații mai mari ale înălțimilor

de val la contactul acestora cu ferma de val, astfel: 2.2 m (valuri NE); 3.1 m (valuri E) și 2.2 m (valuri SE).

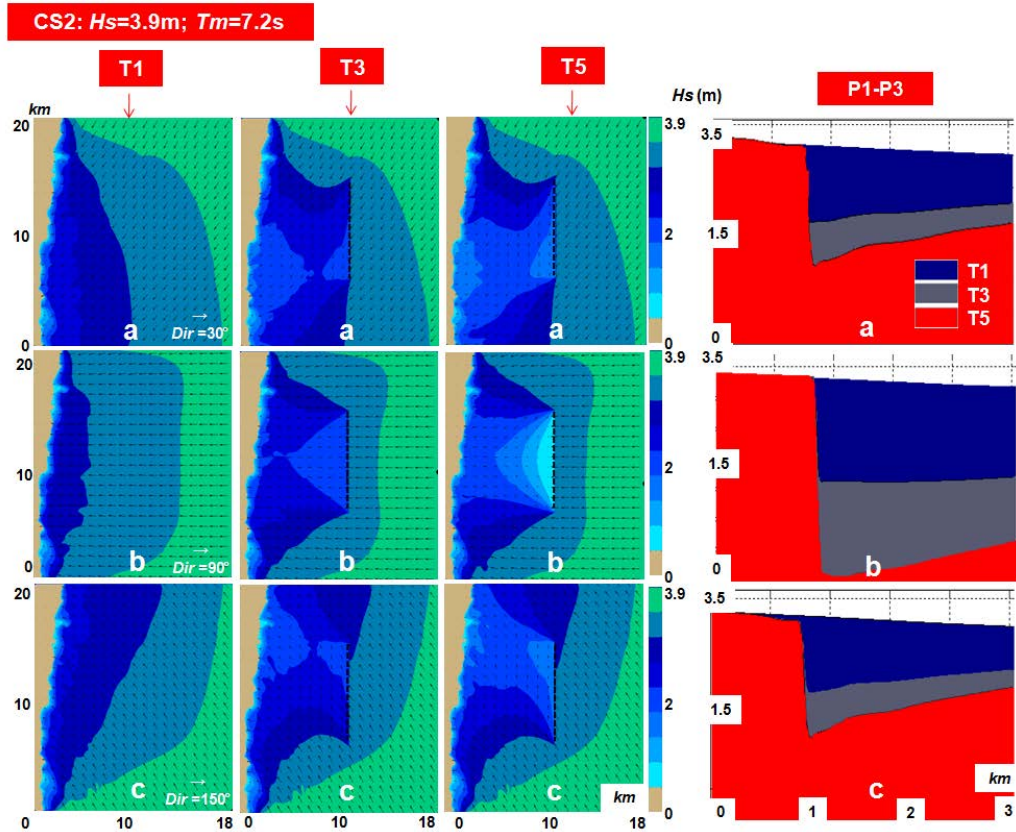


Figura 5.5. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei generice pentru studiul de caz CS2 (condiții medii spre mari) considerând trei scenarii de transmisie (T1, T3 și T5), pentru: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°). Figurile din partea dreaptă prezintă variația parametrului H_s de-a lungul liniei de referință P1-P3

În Figura 5.6 este prezentată evoluția câmpului de valuri pentru studiul de caz CS3 (condiții extreme). Atunci când valurile se propagă din nord-est se observă că în absența fermei de val punctul P1 raportează o valoare de circa 6 m. În prezența fermei, câmpul de valuri este redus la o valoare de 3 m pentru cazul de transmisie T3 și la o valoare de 1.2 m pentru T5. Pentru valurile din est această variație este mai semnificativă, ajungând de la 7 m la 3.5 m pentru scenariul T3 și la o valoare de 0.4 m pentru T5, în apropierea fermei. În cazul T5, se observă o regenerare locală a câmpului de valuri ce poate ajunge până la o valoare de 2 m în apropiere de punctul P3. Pentru aceste condiții de val, trebuie menționat că efectul de ecranare dintre fermă și linia coastei este mult mai accentuat.

Pentru a putea identifica influența în spațiul spectral a fermei de val, s-a considerat un spectru 2D de tip JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*). Figura 5.7 prezintă o astfel de analiză pentru studiul de caz CS1, pe baza valorilor indicate de punctul de referință P3. În comparație cu cazul de transmisie T1, se poate observa că atunci când valurile se propagă din nord-est și sud-est, formele spectrale se reduc semnificativ în spațiul direcțional, în timp ce, pentru valurile din est, se observă apariția unui spectru cu două vârfuri.

O analiză similară este realizată în Figura 5.8 dar pentru studiul de caz CS2. Deoarece, de această dată, condițiile de val sunt mai semnificative, rezultatele indică o concentrare mai mare a energiei spectrale care se manifestă prin reducerea formelor spectrale în domeniul direcțiilor și al frecvențelor. O ultimă analiză a evoluției energiei spectrale este prezentată în Figura 6.9 pentru studiul de caz CS3 și cazurile de transmisie T1, T3 și T5.

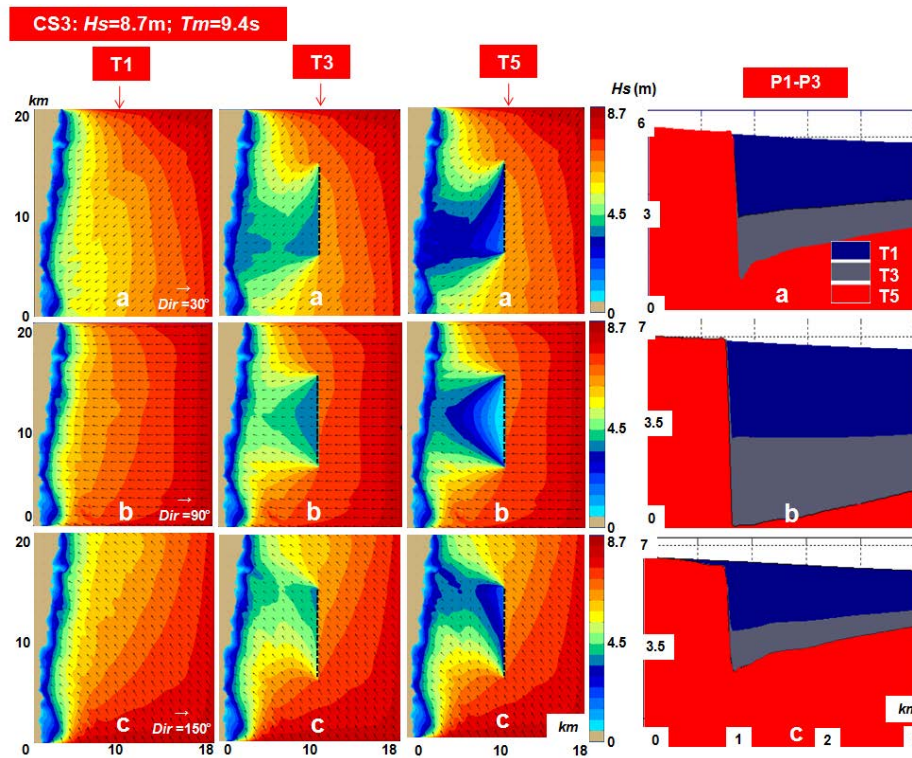


Figura 5.6. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei generice pentru studiul de caz CS3 (condiții extreme) considerând trei scenarii de transmisie (T1, T3 și T5), pentru: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°). Figurile din partea dreaptă prezintă variația parametrului H_s de-a lungul liniei de referință P1-P3

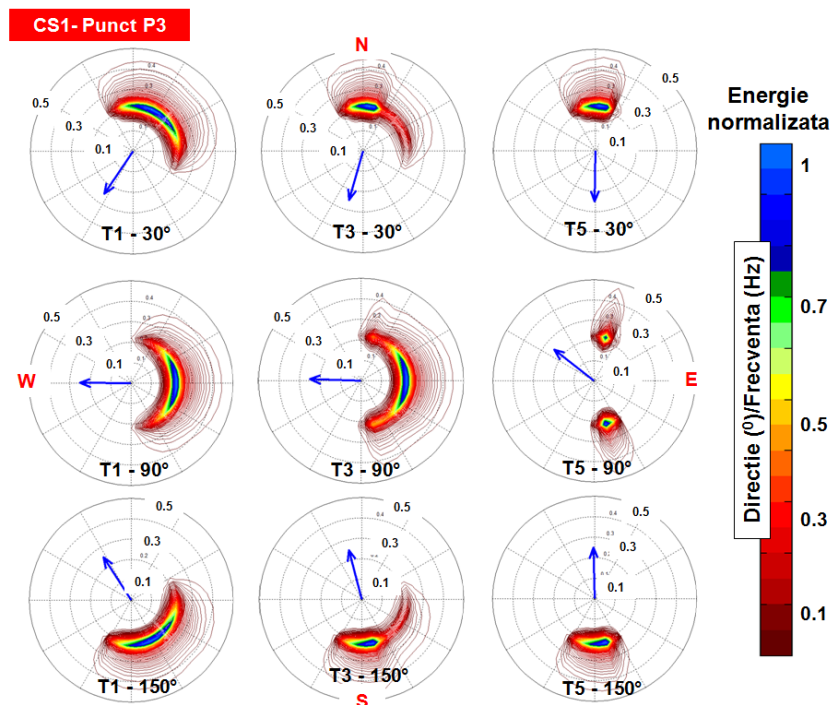


Figura 5.7. Evaluarea în spațiul spectral a influenței fermei generice pentru CS1, raportată de punctul de referință P3. Analize realizate pentru valuri NE, E și SE, considerând trei cazuri de transmisie (T1, T3 și T5)

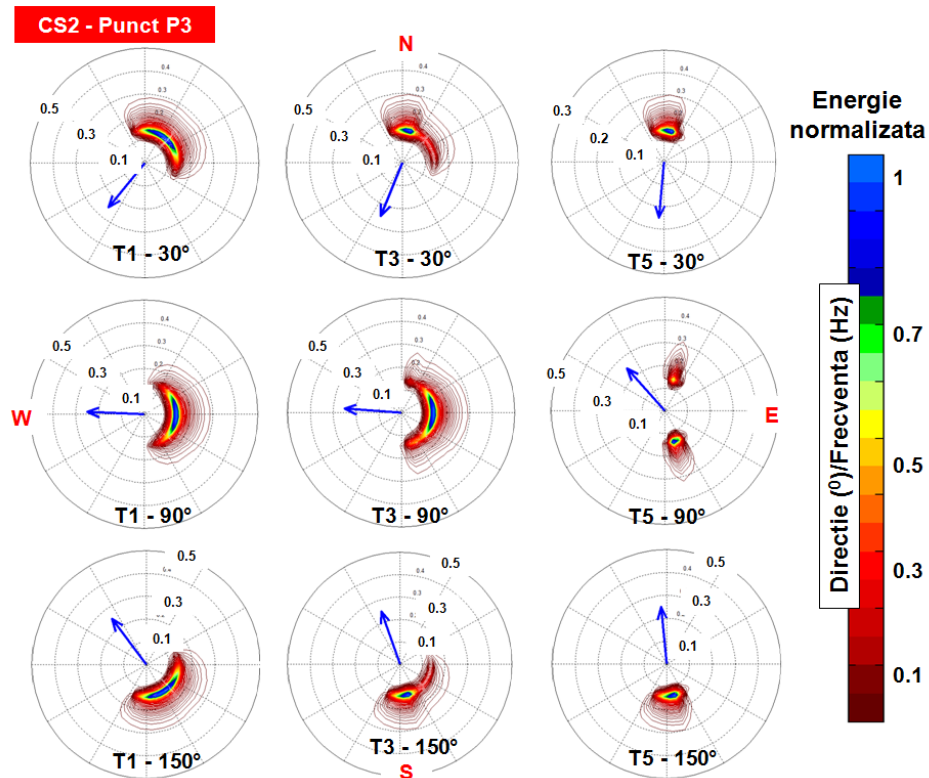


Figura 5.8. Evaluarea în spațiul spectral a influenței fermei generice pentru CS2, raportată de punctul de referință P3. Analize realizate pentru valuri NE, E și SE, considerând trei cazuri de transmisie (T1, T3 și T5)

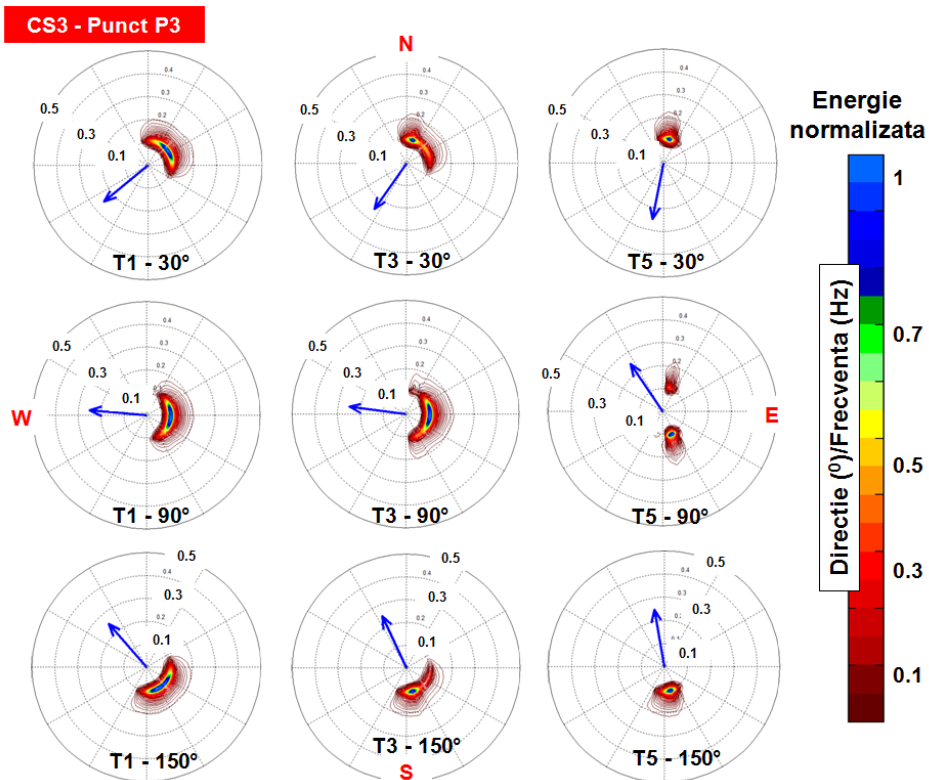


Figura 5.9. Evaluarea în spațiul spectral a influenței fermei generice pentru CS3, raportată de punctul de referință P3. Analize realizate pentru valuri NE, E și SE, considerând trei cazuri de transmisie (T1, T3 și T5)

Tabelul 5.4 prezintă evoluția principalilor parametri de val în absența fermei WEC (caz T1) așa cum aceștia sunt indicați de grupul de puncte NP (din apropierea țărmlui) pentru studiul de caz CS1. Toate aceste puncte descriu caracteristicile de val pentru adâncimi ale apei de circa 5-6 m cu excepția punctului NP6 care este situat într-o zonă în care apa are în jur de 2.6 m. Valori mai mari ale înălțimilor semnificative de val sunt indicate de punctul NP1 (pentru valurile din nord-est și est) și de punctul NP7 (valuri din sud-est) deoarece ferma de val nu are nici o influență asupra valurilor care intră în zona țintă. Pentru valurile din nord-est, valorile H_s sunt situate în intervalul 0.66-1.15 m, cu valori mai mici pentru punctul NP2 care este situat în partea superioară a zonei țintă. Punctele de referință prezintă valori mai mari pentru valurile care acționează din sector est, indicând valori în intervalul 0.9-1.05 m. Pentru valurile din sud-est, punctele de referință situate în partea superioară a zonei țintă (NP1-NP3) prezintă valori H_s mai mici decât punctele rămase care înregistrează valori cuprinse între 0.8 m și 1.08 m.

Pentru perioada medie de val (T_m), se observă valori maxime de 4.10 s în punctele: NP6 (pentru valuri NE) și în NP4 (valuri E). În schimb, o valoare minimă de 3.74 s este indicată de punctul NP7 atunci când valurile se propagă din sud-est.

În ceea ce privește direcția medie a valurilor (Dir), dacă ne raportăm la valorile inițiale (30° , 90° și 150°), se observă că cele mai mari variații sunt raportate de: NP7= 36.4° (valuri NE); NP7= 11.6° și NP1= 10.1° (valuri E); NP2= 30.7° (valuri SE).

Tabelul 5.4. CS1, valorile parametrilor de val indicate de grupul de puncte NP (NP1-NP7). Rezultatele sunt raportate doar pentru cazul de transmisie T1 (fără fermă de val)

Caracteristici	Direcție val	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	NP6	NP7
Adâncime (m)	↓	5.87	4.74	5.52	6.05	5.09	2.58	4.46
H_s (m)	30°	1.15	0.66	0.71	0.77	0.72	0.74	0.70
	90°	1.05	0.87	0.91	0.95	0.92	0.91	0.97
	150°	0.79	0.73	0.79	0.84	0.80	0.92	1.08
T_m (s)	30°	3.76	3.92	3.93	3.98	4.01	4.10	4.03
	90°	3.89	4.04	4.05	4.08	4.06	4.06	3.85
	150°	4.0	4.02	4.01	4.0	3.93	4.02	3.74
Dir ($^\circ$)	30°	34.4	63.25	60.64	56.08	61.28	58.33	66.44
	90°	79.87	91.32	92.07	92.17	93.74	87.30	101.56
	150°	122.87	119.31	126.06	129.73	126.32	123.13	142.15

Figura 5.10 prezintă diferențele dintre cazul de transmisie T1 (fără fermă) și cazurile de transmisie T2-T5, pentru studiul de caz CS1. Variațiile sunt raportate la T1 și sunt indicate prin simbolul Δ împreună cu parametrul de val și numărul fiecărui caz de transmisie (T2- Δ 2, T3- Δ 3, T4- Δ 4 și T5- Δ). Aceste rezultate sunt valabile pentru grupul de puncte NP și la o primă analiză a datelor prezentate se poate spune că parametrii de val H_s și T_m prezintă o evoluție similară, cu mențiunea că ultimele două cazuri de transmisie (T4 și T5) indică variații mai mari. Evoluția parametrului H_s este prezentată în coloana din stânga. Pentru valurile care provin din sectorul nord-est, punctul NP5 indică o reducere a valurilor inițiale cu circa 30% (0.22 m) pentru cazurile T4 și T5, 22% pentru cazul T3 și 12% pentru cazul T2, iar variații nesemnificative sunt indicate de punctele NP1 și NP2. Pe de altă parte atunci când valurile se apropie perpendicular de ferma de val (valuri E), se observă variații mai în partea centrală a zonei țintă, în special în apropiere de punctele NP3 și NP4. În punctul NP4 înălțimile de val sunt reduse gradual cu circa 12.1-34.7% (de

la ΔHs_2 la ΔHs_5). Pentru valurile din sud-est, punctele de referință NP1, NP2 și NP3 nu prezintă variații foarte mari ale parametrului Hs în comparație cu punctul NP2 care indică o reducere a înălțimilor de val cu circa 32.6% (0.24 m) pentru cazul de transmisie T5.

Pentru parametrul Tm (coloana din mijloc) valori mai mari sunt raportate pentru cazul de transmisie T5 în punctele: NP5 (4.11% valuri NE); NP3 și NP4 (5.1% valuri E) and NP2 (5.5% valuri SE).

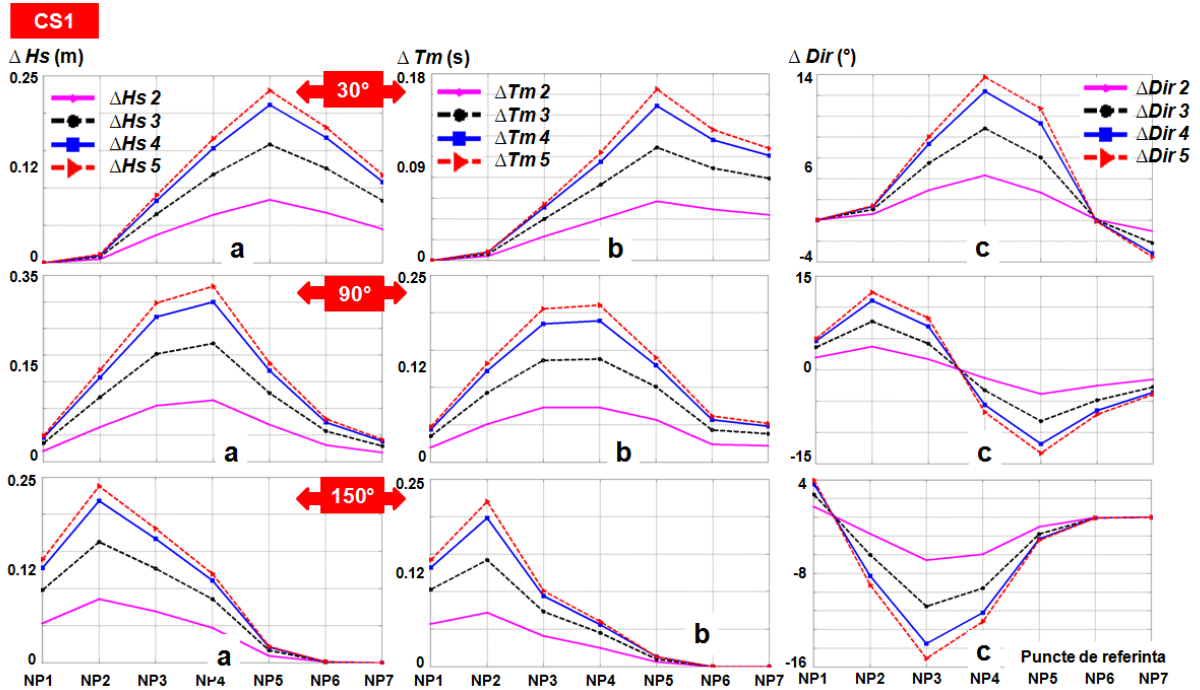


Figura 5.10. Parametri de val indicați de grupul de puncte NP (din apropierea țărmului) pentru studiul de caz CS1 considerând valuri NE, E și SE, pentru: a) variație Hs corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; b) variație Tm corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; c) variație Dir corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5

În partea dreaptă este prezentată variația direcției de val, unde valoarea negativă indică faptul că raportat la direcția inițială se observă valori mai mari. De exemplu, pentru valurile care acționează din nord-est, atunci când se înregistrează valori mai mari de 30° , apar aceste valori negative, în timp ce o valoare pozitivă indică o tendință opusă. Astfel, pentru valurile care acționează din nord-est se observă o diferență maximă de 13.7° în apropiere de punctul NP4, în timp ce pentru punctul NP7 valorile inițiale sunt un pic mai mari, existând o diferență de 3.6° . Pentru valurile din est, doar punctele situate în partea superioară a zonei țintă prezintă valori pozitive. Dintre aceste puncte, NP2 prezintă diferențe ce variază în intervalul $4-13.6^\circ$ (de la T2 la T5), în timp ce din partea inferioară a zonei țintă, punctul NP5 indică valori situate în intervalul $4.1-14.2^\circ$ (de la T2 la T5). Majoritatea punctelor indică valori negative atunci când valurile se propagă din sud-est, punctul NP3 indicând o diferență maximă de 15° (ΔDir_5) și un minim de 4.6° (ΔDir_2).

Tabelul 5.5 prezintă evoluția caracteristicilor de val de-a lungul liniei țărmului așa cum sunt ele reflectate de grupul de puncte NP pentru studiul de caz CS2, în absența fermei de val. Raportat la aceste valori, Figura 6.11 prezintă principalele diferențe față de cazurile de transmisie T2-T5. Pentru parametrul Hs , diferențele raportate pentru valurile din nord-est sunt mult mai mari în punctele NP5 (32.2%) și NP4 (25.9%), în timp ce punctele NP1 și NP6 nu prezintă diferențe foarte mari. Raportat la cazul de transmisie T2, o diferență maximă de 9.7% este indicată de punctele NP4 și NP5. Dacă ne raportăm la valurile care intră în zona țintă din est, se observă valori mai mari în apropiere de punctele NP3 și NP4 care prezintă diferențe în intervalul 0.26-0.92 m (de la T2 la T5). În cazul valurilor din sud-est, datorită efectului de ecranare, diferențe semnificative apar în partea superioară a zonei țintă, punctul NP2 indicând un maxim de 0.7 m (ΔHs_2).

Tabelul 5.5. CS2, valorile parametrilor de val indicate de grupul de puncte NP (NP1-NP7). Rezultatele sunt raportate doar pentru cazul de transmisie T1 (fără fermă de val)

Caracteristici	Direcție val	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	NP6	NP7
H_s (m)	30°	2.54	1.90	2.03	2.18	2.07	1.23	1.87
	90°	2.66	2.20	2.42	2.59	2.31	1.27	1.92
	150°	2.25	2.03	2.24	2.38	2.20	1.21	1.85
T_m (s)	30°	6.19	6.59	6.59	6.49	6.52	6.44	6.59
	90°	6.34	6.41	6.46	6.45	6.38	6.53	6.21
	150°	6.50	6.60	6.55	6.50	6.57	6.64	6.06
Dir (°)	30°	43.64	72.89	70.85	67.72	72.82	68.67	80.33
	90°	82.65	92.69	94.10	94.40	96.70	91.84	109.45
	150°	112.10	110.07	115.77	119.31	117.37	105.95	143.81

Pentru parametrul T_m , se poate observa că în unele cazuri prezența fermei poate contribui la o creștere ușoară a perioadei de val, cum este de exemplu în cazul punctului NP2 (valuri NE). În cazul valurilor din nord-est, se observă diferențe mici între punctele NP4 și NP7, în timp ce în cazul valurilor din est între punctele NP3 și NP4 se înregistrează diferențe de circa 0.3s pentru cazul de transmisie T5.

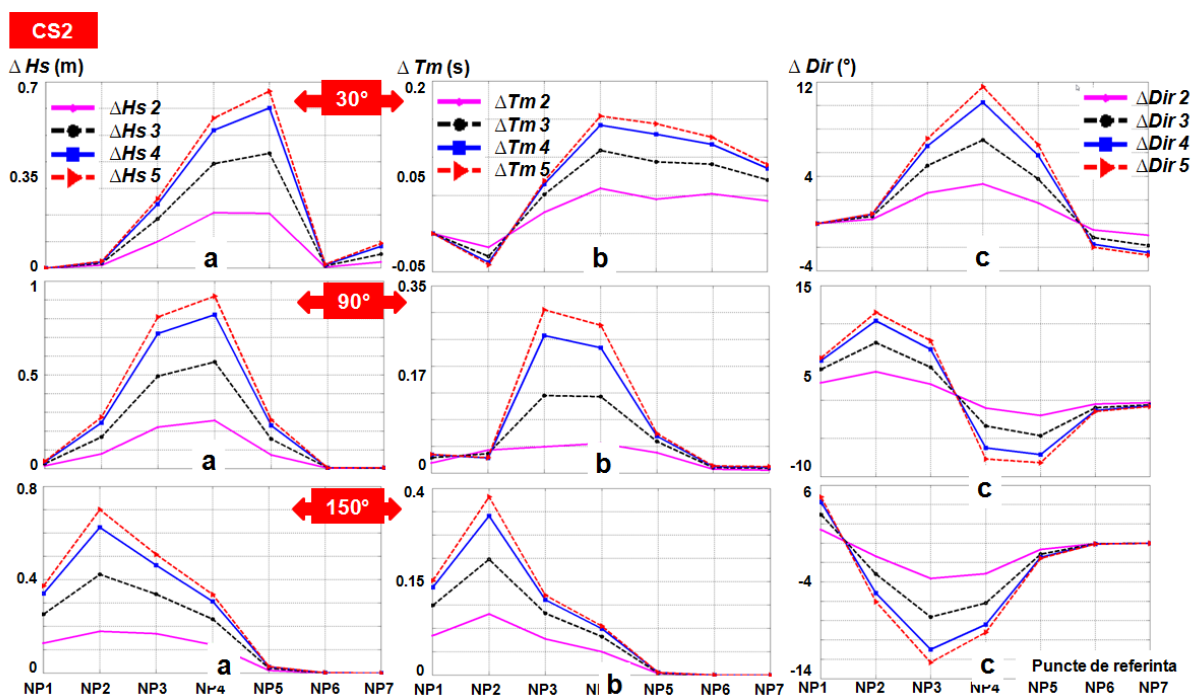


Figura 5.11. Parametri de val indicați de grupul de puncte NP (din apropierea țărmlui) pentru studiul de caz CS2 considerând valuri NE, E și SE, pentru: a) variație H_s corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; b) variație T_m corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; c) variație Dir corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5

Pentru celelalte direcții de val, se observă că punctul NP2 prezintă o valoare de 0.38 s (caz T5) care se reduce treptat până în apropiere de punctele NP5, NP6 și NP7 când se înregistrează valori apropiate de zero pentru toate cazurile de transmisie. Considerând variația pe direcții, se pot menționa următoarele diferențe pentru cazul de transmisie T5: NP4 (11.6° - valuri NE); NP2 (11.5°) și NP5 (8.2° - valuri E); NP3 (12.3° - valuri SE).

Pentru studiul de caz CS3, în Figura 5.12 sunt prezentate diferențele dintre T1 și celelalte studii de caz (T2-T5), acestea fiind raportate la valorile numerice din Tabelul 5.6. În ceea ce privește parametrul H_s , se pot observa valori mai mari atunci când valurile se propagă din sector nord-est.

Tabelul 5.6. CS3, valorile parametrilor de val indicate de grupul de puncte NP (NP1-NP7). Rezultatele sunt raportate doar pentru cazul de transmisie T1 (fără fermă de val)

Caracteristici	Direcție val	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	NP6	NP7
H_s (m)	30°	2.54	1.90	2.03	2.18	2.07	1.23	1.87
	90°	2.66	2.20	2.42	2.59	2.31	1.27	1.92
	150°	2.25	2.03	2.24	2.38	2.20	1.21	1.85
T_m (s)	30°	6.19	6.59	6.59	6.49	6.52	6.44	6.59
	90°	6.34	6.41	6.46	6.45	6.38	6.53	6.21
	150°	6.50	6.60	6.55	6.50	6.57	6.64	6.06
Dir (°)	30°	43.64	72.89	70.85	67.72	72.82	68.67	80.33
	90°	82.65	92.69	94.10	94.40	96.70	91.84	109.45
	150°	112.10	110.07	115.77	119.31	117.37	105.95	143.81

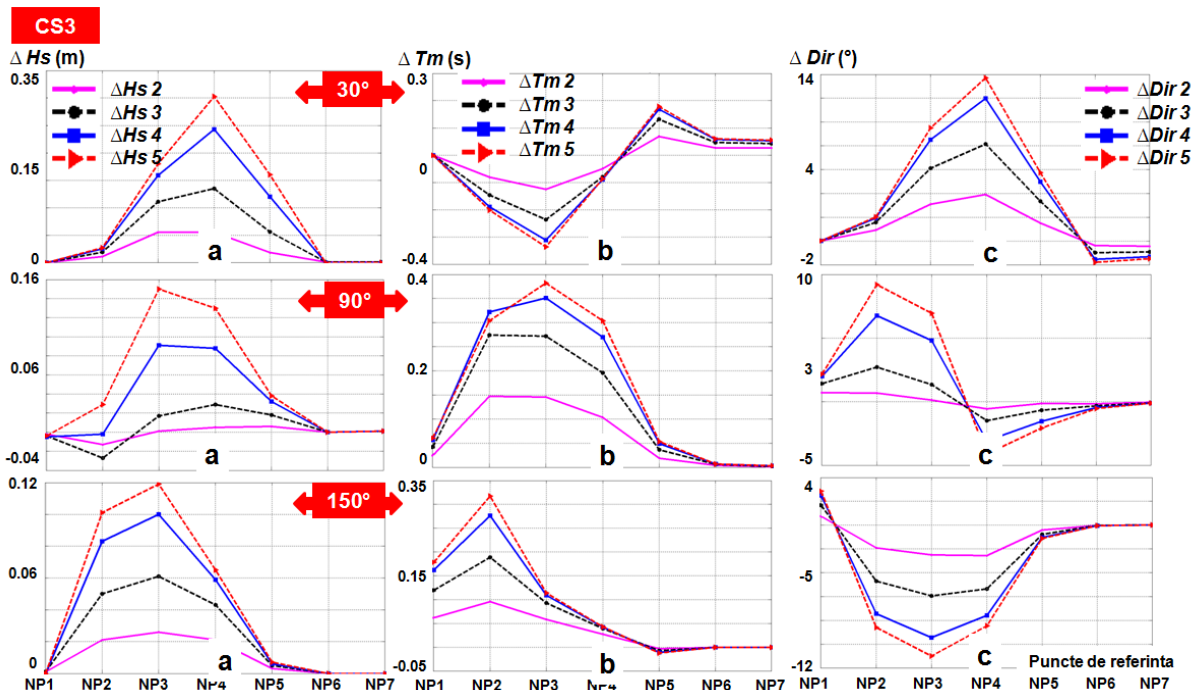


Figura 5.12. Parametri de val indicați de grupul de puncte NP (din apropierea țărmlui) pentru studiul de caz CS3 considerând valori NE, E și SE, pentru: a) variație H_s corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; b) variație T_m corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5; c) variație Dir corespunzătoare cazurilor de transmisie T2-T5

În acest caz, se observă că o diferență maximă de 0.3 m (10%) este raportată în partea centrală a zonei țintă de către punctul NP4 (caz T5), în timp ce punctele NP1, NP2, NP6 și NP7 nu prezintă diferențe semnificative în raport cu cazul T1. Atunci când valurile acționează din est, punctele NP3 și NP4 indică o valoare de 0.14 m (caz T5), în timp ce raportat la cazul T2 se observă că toate punctele NP indică valori apropiate de zero.

Pentru parametrul Tm , punctul NP3 indică o creștere a perioadei de val cu circa 0.34 s (valuri NE), în timp ce o valoare de 0.38 s este raportată de același punct pentru valurile din est. În cazul valurilor din sud-est un maxim de 0.32 s este observat în apropiere de punctul NP2.

Deoarece un alt obiectiv al acestei lucrări este acela de a identifica evoluția curenților longitudinali în prezența fermei de val în continuare se va face o astfel de analiză pentru sectorul Sfântu Gheorghe. În Tabelul 5.7 sunt prezentate valorile maxime ale curenților longitudinali (V_{cmax}) pentru studiul de caz CS1. Deoarece acești curenți sunt creați de valurile incidente care se apropie de țarm sub un unghi ascuțit în unele cazuri se pot raporta și valori negative atunci când aceștia se propagă într-o direcție opusă axei y . Astfel pentru valurile din nord-est un maxim de 1.03 m/s este raportat de linia de referință L1 pentru toate cazurile de transmisie, în timp ce un minim de 0.23 m/s se observă de-a lungul liniei L6 (caz T5). Liniile situate în partea inferioară a zonei țintă prezintă diferențe maxime de circa 0.09 m/s.

În cazul valurilor din est se observă că valorile maxime cresc treptat de la cazul T1 la T5. Un maxim de 0.42 m/s este înregistrat de linia L1 (caz T5) și de L7 (caz T4 și T5), în timp ce linia L6 prezintă în general valori apropiate de zero. Cele mai mari diferențe între cazurile T1 și T5 sunt raportate pentru: L5 - 0.2 m/s; L2 - 0.16 m/s; L1 - 0.15 m/s și L7 - 0.13 m/s. Pentru valurile din sud-est, linia L1 indică o diferență maximă de 0.12 m/s (între T1 și T5), în timp ce vitezele curenților de-a lungul liniilor L5, L6 și L7 sunt apropiate ca valoare.

Tabelul 5.7. CS1, valori maxime ale vitezei curenților (V_{cmax} în m/s) considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1-T5) și pentru cele șapte linii de referință (L1-L7)

Direcție val (°)	Linie de referință →	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Caz de transmisie ↓							
30°	T1	-1.03	-0.33	-0.42	-0.4	-0.37	-0.3	-0.49
	T2	-1.03	-0.33	-0.42	-0.41	-0.37	-0.28	-0.46
	T3	-1.03	-0.33	-0.42	-0.39	-0.36	-0.26	-0.43
	T4	-1.03	-0.33	-0.44	-0.39	-0.37	-0.24	-0.41
	T5	-1.03	-0.33	-0.44	-0.38	-0.37	-0.23	-0.40
90°	T1	-0.27	0	0.04	0.03	0.05	-0.03	0.28
	T2	-0.31	-0.03	0.01	0.05	0.13	-0.03	0.31
	T3	-0.34	-0.11	-0.03	0.09	0.18	-0.03	0.33
	T4	-0.35	-0.14	-0.06	0.11	0.24	-0.04	0.41
	T5	-0.42	-0.16	-0.11	0.11	0.25	-0.05	0.41
150°	T1	0.62	0.38	0.55	0.49	0.46	0.38	0.96
	T2	0.58	0.34	0.52	0.48	0.46	0.38	0.96
	T3	0.54	0.32	0.52	0.48	0.46	0.38	0.96
	T4	0.51	0.32	0.50	0.47	0.46	0.38	0.96
	T5	0.50	0.31	0.49	0.47	0.46	0.38	0.96

În Tabelul 5.8 sunt indicate valorile maxime ale curenților, de-a lungul liniilor de referință pentru studiul de caz CS2. Se observă că în cazul valurilor din nord-est viteza curenților crește cu circa 1.17 m/s de-a lungul liniei L1, în timp ce linia L7 indică o valoare minimă de 0.22 m/s (caz T5). Pentru linia L3 se poate preciza că există o diferență maximă de 0.9 m/s (între T1 și T3) și de 0.2 m/s (între T1 și T5), în timp ce pentru celelalte direcții se observă o diferență maximă de 0.32 m/s de-a lungul liniei L3 (între T1 și T5 - valuri E), și o valoare de 0.16 m/s pentru L3 (între T1 și T5 - valuri SE), atunci când viteza curenților este aproape dublă față de studiul de caz CS1.

Tabelul 5.8. CS2, valori maxime ale vitezei curenților (V_{cmax} în m/s) considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1-T5) și pentru cele șapte linii de referință (L1-L7)

Direcție val (°)	Linie de referință →	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Caz de transmisie ↓							
30°	T1	-1.17	-0.58	-0.75	-0.68	-0.56	-0.56	-0.30
	T2	-1.17	-0.58	-0.80	-0.74	-0.52	-0.55	-0.27
	T3	-1.17	-0.59	-0.84	-0.73	-0.47	-0.52	-0.24
	T4	-1.17	-0.59	-0.94	-0.73	-0.44	-0.51	-0.22
	T5	-1.17	-0.59	-0.95	-0.73	-0.44	-0.50	-0.22
90°	T1	-0.35	0.10	0.18	0.15	0.32	0.05	0.55
	T2	-0.42	-0.04	0.07	0.24	0.36	0.07	0.55
	T3	-0.47	-0.16	-0.01	0.27	0.4	0.08	0.55
	T4	-0.50	-0.30	-0.08	0.30	0.43	0.09	0.56
	T5	-0.51	-0.32	-0.12	0.32	0.44	0.09	0.56
150°	T1	0.69	0.70	1.02	0.91	0.87	0.46	0.99
	T2	0.65	0.64	1.05	0.91	0.87	0.46	0.99
	T3	0.62	0.61	1.09	0.96	0.86	0.46	0.99
	T4	0.59	0.62	1.17	0.95	0.87	0.46	0.99
	T5	0.58	0.61	1.18	0.95	0.86	0.46	0.99

O analiză similară este prezentată în Tabelul 5.9 pentru studiul de caz CS3. Ca și în cazurile anterioare, se poate observa că viteza curenților este mai mare atunci când valurile incidente acționează din sectorul sud-est și în general prezența fermei de val are ca efect creșterea vitezei acestor curenți. În cazul acestor condiții extreme, se observă că în prezența valurilor din nord-est de-a lungul liniilor L3 și L4 se observă o creștere a valorilor cu circa 50% (de la T1 la T5), în timp ce pentru liniile L6 și L7 se observă o reducere a valorilor cu circa 17%. Pentru valurile din est, se poate menționa o valoare maximă a curenților de circa 0.93 m/s pentru linia L4 (caz T5). În ceea ce privește valurile din sud-est, se observă în general că liniile de referință prezintă valori apropiate de 1m/s, și că există diferențe mici (sau deloc) între valorile raportate de liniile L5, L6 și L7. Diferențele dintre cazurile de transmisie T1 și T5, constau în faptul că viteza curenților este redusă cu circa 25% de-a lungul liniei L1, crește cu 12% pentru L2 și crește de asemenea cu 24% pentru L3.

În Figurile 5.13-5.15 sunt prezentate valorile maxime ale curenților (V_{cmax}), indicate în tabelele anterioare împreună cu profilele transversale ale curenților de-a lungul liniilor de referință L1, L4 și L7. Pentru aceste profile transversale s-au considerat doar valurile din nord-est (30°) și sud-est (150°) deoarece în cazul acestora se pot forma curenți longitudinali care să contribuie la transportul de sediment de-a lungul liniei coastei. Pe măsură ce condițiile de val se modifică, se poate observa și că lungimea acestor linii de referință poate varia în funcție de direcția și intensitatea valurilor incidente [50].

O primă analiză a profilului curenților este prezentată pentru cazul CS1 în Figura 5.13. Pentru linia L1 se observă că ferma de val nu prezintă nici o influență asupra evoluției curenților în cazul valurilor din nord-est deoarece aceasta este situată în partea superioară a zonei țintă. În schimb, se poate menționa că aproape de țărm viteza curenților are o valoare de 0.5 m/s. De-a lungul liniei L4, se observă că, la o distanță de aproximativ 200 m de coastă, viteza curenților este redusă de la 0.4 m/s (caz T1) până la zero (caz T5). O evoluție similară este observată de-a lungul liniei L7, existând de această dată o variație de la 0.3 m/s (caz T1).

Tabelul 5.9. CS3, valori maxime ale vitezei curenților (V_{cmax} în m/s) considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1-T5) și pentru cele șapte linii de referință (L1-L7)

Direcție val (°)	Linie de referință →	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Caz de transmisie ↓							
30°	T1	-1.45	-0.63	-0.62	-0.73	-0.50	-0.42	-0.10
	T2	-1.45	-0.66	-0.73	-0.96	-0.56	-0.40	-0.09
	T3	-1.45	-0.69	-0.91	-1.03	-0.61	-0.38	-0.08
	T4	-1.45	-0.70	-0.95	-1.06	-0.64	-0.36	-0.07
	T5	-1.45	-0.70	-0.97	-1.11	-0.65	-0.35	-0.06
90°	T1	-0.03	0.54	0.69	0.73	0.70	0.11	0.75
	T2	-0.06	0.51	0.68	0.76	0.70	0.12	0.75
	T3	-0.09	0.42	0.62	0.78	0.72	0.13	0.75
	T4	-0.12	0.06	0.42	0.81	0.75	0.13	0.75
	T5	-0.13	-0.07	0.16	0.93	0.77	0.13	0.75
150°	T1	0.86	0.98	1.16	1.25	1.14	0.55	1.09
	T2	0.84	0.84	1.22	1.37	1.15	0.56	1.09
	T3	0.70	1.04	1.37	1.41	1.16	0.56	1.09
	T4	0.66	1.09	1.41	1.45	1.16	0.56	1.09
	T5	0.64	1.1	1.44	1.45	1.17	0.56	1.09

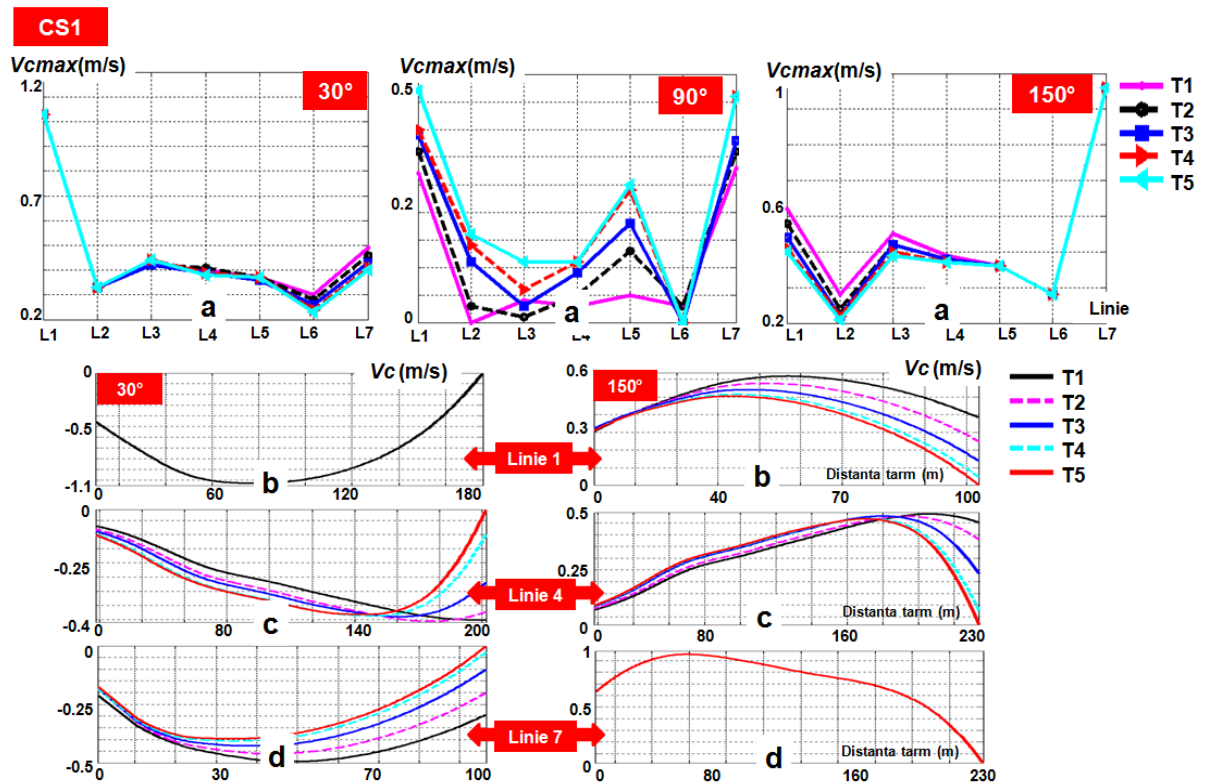


Figura 5.13. CS1, impactul fermei WEC asupra curenților longitudinali considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1 - T5), unde: a) valori maxime (V_{cmax}) de-a lungul celor 7 linii de referință; b) evoluția curenților (V_c) de-a lungul liniei L1; c) evoluție V_c de-a lungul liniei L4; d) evoluție V_c de-a lungul liniei L7

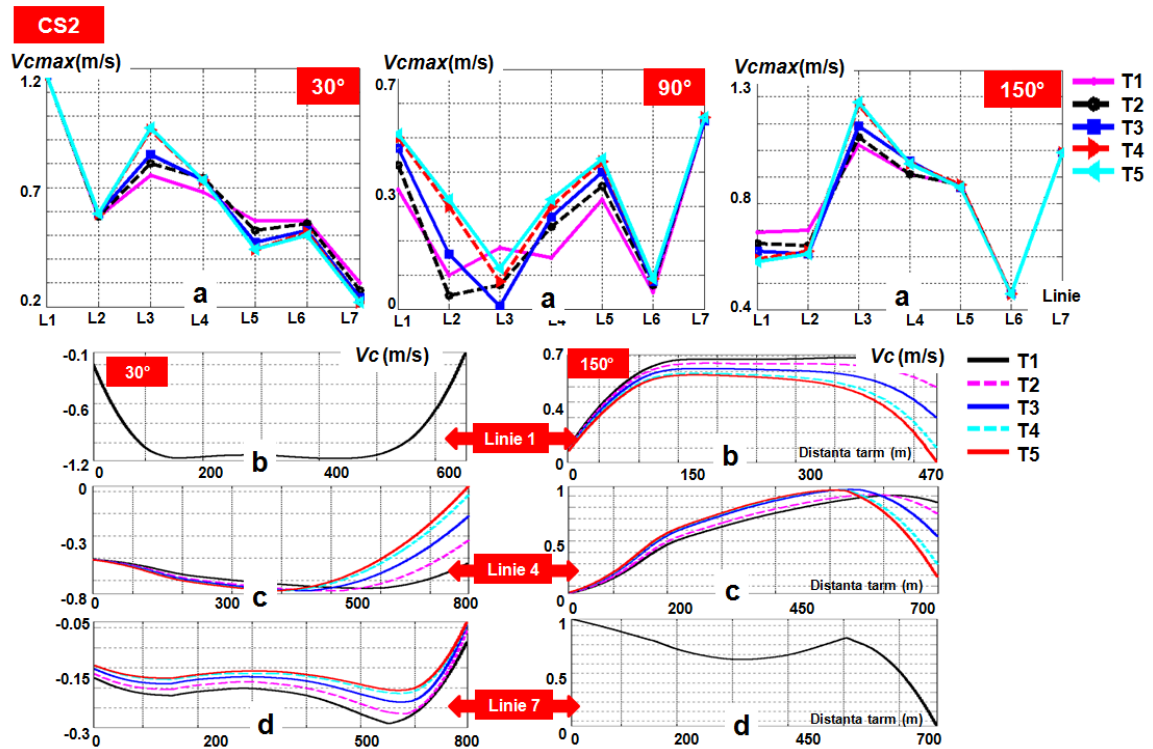


Figura 5.14. CS2, impactului fermei WEC asupra curenților longitudinali considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1 - T5), unde: a) valori maxime (V_{cmax}) de-a lungul celor 7 linii de referință; b) evoluția curenților (V_c) de-a lungul liniei L1; c) evoluție V_c de-a lungul liniei L4; d) evoluție V_c de-a lungul liniei L7

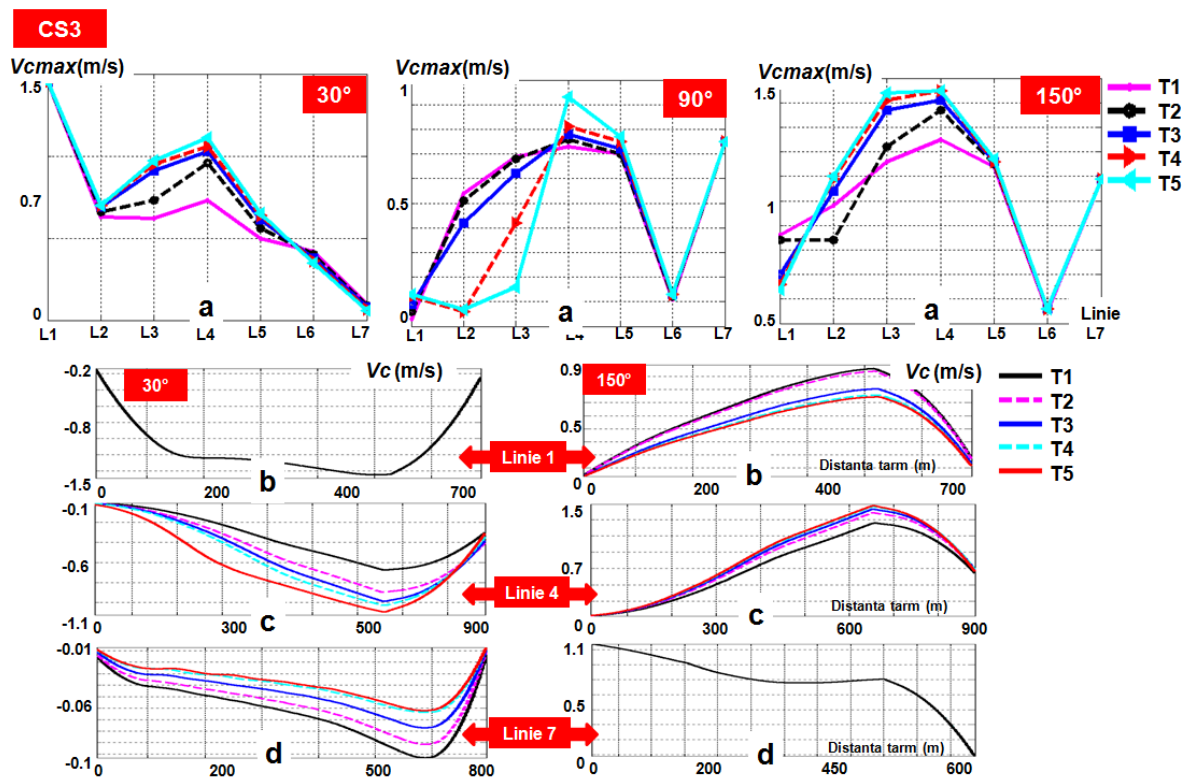


Figura 5.15. CS3, impactului fermei WEC asupra curenților longitudinali considerând valuri NE, E și SE. Rezultatele sunt raportate pentru toate cazurile de transmisie (T1 - T5), unde: a) valori maxime (V_{cmax}) de-a lungul celor 7 linii de referință; b) evoluția curenților (V_c) de-a lungul liniei L1; c) evoluție V_c de-a lungul liniei L4; d) evoluție V_c de-a lungul liniei L7

În ceea ce privește valurile din sud-est, se observă o diferență de 0.31 m/s (între T1 și T5) de-a lungul liniei L1 la circa 100 m de coastă, în timp ce o valoare de 0.5 m/s este raportată de linia L4 la o distanță de 230 m față de țărm. Linia L7 (230 m) indică în apropiere de țărm o valoare a curenților de 0.6 m/s și nu prezintă variații semnificative între cazurile de transmisie considerate.

5.2 Estimări pe termen mediu

În continuare, se va analiza influența asupra zonei costiere românești a unor ferme WEC formate din sisteme Pelamis și Wave Dragon. Cele trei domenii de calcul considerate anterior (Sfântu Gheorghe, Mamaia și Mangalia) vor fi folosite în continuare pentru studiile curențe, iar ca și date de intrare vor fi considerate caracteristicile de val obținute în urma simulării câmpurilor de valuri din zona țintă folosind modelul SWAN.

Un prim pas a fost acela de a identifica mai precis condițiile de val care se pot manifesta în zona costieră românească. În primă fază au fost simulate numeric câmpurile de valuri din întreg bazinul Mării Negre cu ajutorul modelului SWAN pe baza datelor de vânt provenind de la NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis). Datele de vânt au o rezoluție spațială de $0.312^\circ \times 0.312^\circ$, sunt furnizate din 3 în 3 ore și acoperă intervalul de timp ianuarie 1999 - decembrie 2008. Mai multe detalii despre aceste simulări fiind prezentate în Tabelul 5.10, unde cu x s-au identificat procesele activate.

Odată ce s-au obținut aceste câmpuri de valuri, s-a restrâns domeniul de calcul la zona costieră românească (Tabelul 5.11), realizându-se o nouă simulare numerică (în SWAN), care este caracterizată de o rezoluție spațială mai bună precum și de activarea proceselor de tip *triad* care devin importante în zonele cu apă puțin adâncă deoarece contribuie la disiparea energiei valurilor.

Tabelul 5.10. Caracteristicile domeniului de calcul (din modelul SWAN) definite pentru întreg bazinul Mării Negre

Model SWAN	Coordonate		$\Delta x \times \Delta y$ (°)		$\Delta\theta$ (°)	Mod/ schemă	nf	n θ	$ngx \times ngy = np$			
		Sferice		0.08 x 0.08		10	nonstat/ S&L	24	36	176x76=13376		
Intrări/ Procese	val	vânt	maree	crt	gen	wcap	quad	triad	diff	bfric	set up	br
SWAN	X	X	0	0	X	X	X	0	0	X	0	X

Tabelul 5.11. Caracteristicile domeniului de calcul (din modelul SWAN) definite pentru zona costieră românească

Model SWAN	Coordonate		$\Delta x \times \Delta y$ (°)		$\Delta\theta$ (°)	Mod/ schemă	nf	n θ	$ngx \times ngy = np$			
		Sferice		0.02 x 0.02		10	nonstat/ S&L	35	36	141x141=19881		
Intrări/ Procese	val	vânt	maree	crt	gen	wcap	quad	triad	diff	bfric	set up	br
SWAN	X	X	0	0	X	X	X	X	0	X	0	X

5.2.1 Sfântu Gheorghe

În Figura 5.16 este prezentată o analiză a principalilor parametri de val așa cum aceștia rezultă din simulările SWAN pentru punctul S1 ($30^{\circ}05'E/44^{\circ}77'N$) situat în apropiere de sectorul Sfântul Gheorghe (în zona offshore) [51].

Analizând evoluția lunară a parametrului H_s , se observă că valorile medii se încadrează în intervalul 0.6-1.3 m, fiind aproape duble în perioadă de iarnă. În cazul percentilei 95, valorile sunt distribuite între 2.1-2.9 m în perioada de iarnă în comparație cu sezonul de vară când un minim de 1.4 m este raportat în iunie, iulie și august. În ceea ce privește valorile extreme care pot fi asociate condițiilor de furtună se observă valori mai mari în lunile ianuarie și martie cu 6.1 m, fiind urmate de noiembrie cu 5.5 m. Sezonul de vară prezintă valori mult mai mici care se situează între 2.7 m și 4 m, indicând astfel că procesele de eroziune se pot intensifica în perioada de iarnă. În ceea ce privește perioada medie de val (T_m) se observă că valorile medii și percentila 95 prezintă o evoluție lunară similară cu parametrul H_s , acestea înregistrând valori în intervalul 2.8-3.7 s și respectiv 4.1-5.6 s. Pentru valorile extreme se observă un vârf de 9.1 s în luna martie în timp ce în perioada de iarnă se pot înregistra în general valori apropiate de 7.2 s.

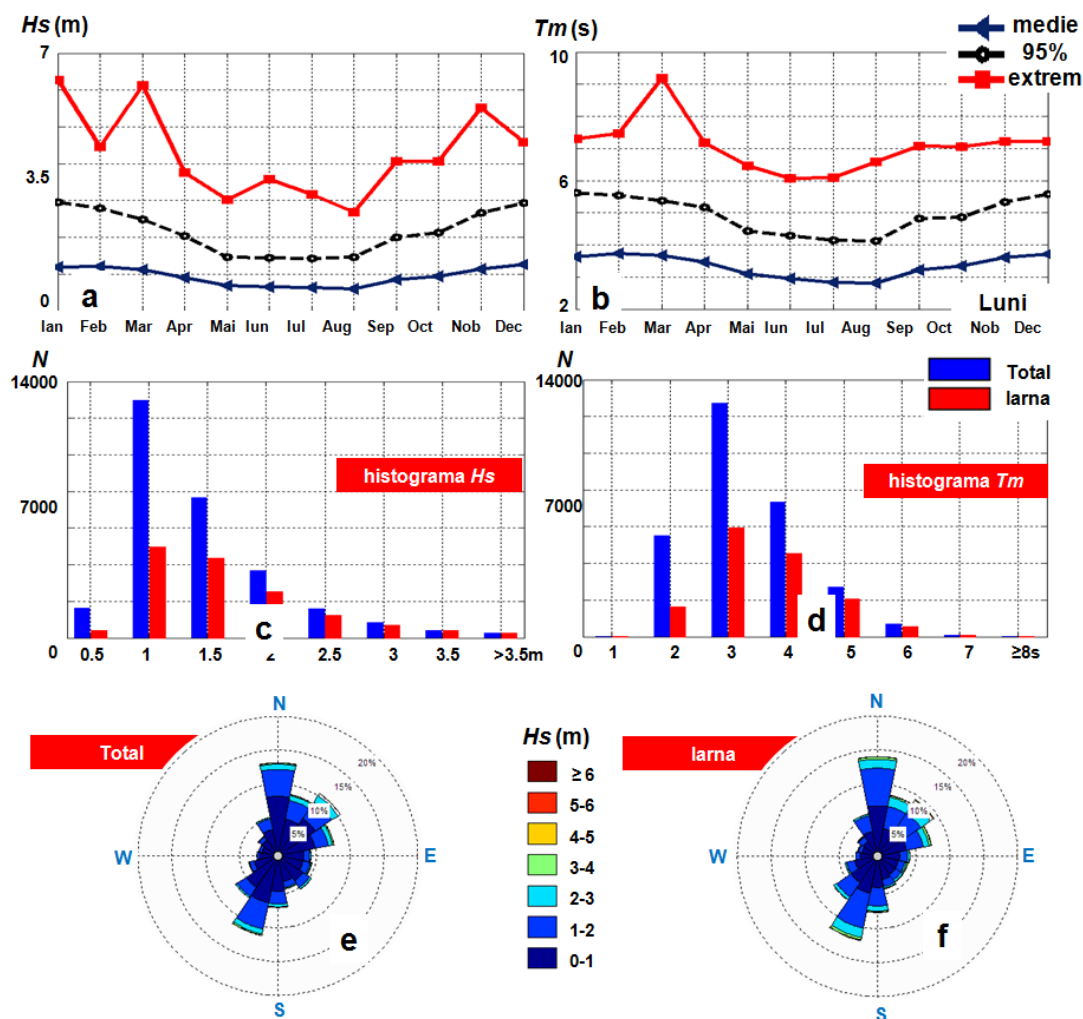


Figura 5.16. Analiza statistică a parametrilor de val furnizată de punctul S1 ($30^{\circ}05'E/44^{\circ}77'N$) pentru intervalul de timp ianuarie 1999-decembrie 2008, unde: a) și b) evoluția lunară a parametrilor H_s și T_m raportată pentru valori medii, percentila 95 (95%) și maxime; c) și d) histograme H_s și T_m corespunzătoare perioadei totale și de iarnă; e) și f) distribuția pe direcții a înălțimilor H_s (total și iarnă)

Din distribuția pe clase de valori a înălțimilor H_s se observă că valurile din intervalul 0.5-1.5 m sunt mai frecvente atât în perioada totală cât și de iarnă, existând totuși un plus pentru intervalul 0.5-1 m. Parametrul T_m prezintă mai multe valori în intervalul 1-4 s în perioada totală, în timp ce în sezonul de iarnă intervalul 2-4 s poate fi considerat reprezentativ.

În ceea ce privește distribuția pe direcții a înălțimilor de val se observă că valurile din nord și sud-vest sunt cele mai des întâlnite atât în perioada totală cât și în sezonul de iarnă, evidențiându-se de asemenea și valurile din nord-est (perioadă totală). De asemenea, trebuie menționat că înălțimile de val mai mari de 5 m nu sunt raportate într-un procent semnificativ pentru niciuna din aceste direcții.

După cum s-a precizat anterior în simulările numerice se vor folosi caracteristicile sistemelor Pelamis și Wave Dragon. Principalul criteriu de alegere a celor două sisteme WEC a constat în faptul că acestea și-au dovedit viabilitatea aflându-se deja în etapele de comercializare, în timp ce, din punct de vedere tehnic, aceste sisteme sunt total diferite ca și principii constructive. Astfel se poate studia influența fermelor de val asupra zonelor costiere în general, și în mod special se poate identifica care sistem WEC poate fi considerat a fi mai potrivit pentru protecția litoralului românesc.

Sistemul Pelamis este de tip atenuator, ceea ce înseamnă că este aliniat pe direcția de propagare a valurilor absorbind treptat energia acestora. Acest sistem are o capacitate de 750 kW furnizată de prin intermediul a cinci secțiuni cilindrice articulate între ele prin intermediul unor sisteme hidraulice, fiind proiectat a extrage energie din zone offshore cu adâncimi mari ale apei (>50 m). Pentru simulările curențe s-au folosit următoarele setări: fiecare sistem Pelamis are o lungime de 150 m; distanța între fiecare sistem (după x și y) este de 150 m; coeficientul de transmisie a fiecărui sistem WEC a fost setat la o valoare de 0.5 (0=blocare completă a valurilor) [52, 53].

În schimb, sistemul Wave Dragon este de tip terminator care captează sau reflectă valurile incidente. Este un sistem plutitor ancorat destinat zonelor de val care prin intermediul celor două reflectoare de val ce însumează o deschidere de circa 300 m sunt captate valuri către un rezervor aflat deasupra nivelului mării. Turbinele aflate la partea inferioară a rezervorului au o capacitate de circa 7 MW, sistemul total însumând circa 237 tone. Între fiecare sistem WEC (dintr-o linie) s-a considerat o distanță de circa 25 m iar între linii s-a păstrat o distanță de circa 190 m, în timp ce coeficientul de transmisie a fost setat la o valoare de 0.68 la fel ca și în Diaconu și Rusu, 2013 [54].

Mai multe detalii despre cele două sisteme WEC fiind prezentate în Figura 5.17.



Figura 5.17. Sisteme WEC considerate pentru simulările curențe, în care: a) Pelamis; b) Wave Dragon

Având în vedere că punctul de referință S1 este situat în zona offshore în apropiere de țărm se pot propaga valuri din mai multe direcții datorită interacțiunii cu fundul mării, astfel că doar trei direcții vor fi considerate pentru simulările numerice (nord-est, est și sud-est)

În Figura 5.18 este prezentată configurația fermei Pelamis pentru sectorul Sfântu Gheorghe, în care cele 46 de sisteme WEC au fost configurate în așa fel încât să fie aliniate pe direcția valurilor care intră în zona țintă (la fel ca și într-o situație reală). Punctele de referință P1-P4 vor fi folosite pentru identificarea condițiilor de val din zona offshore.

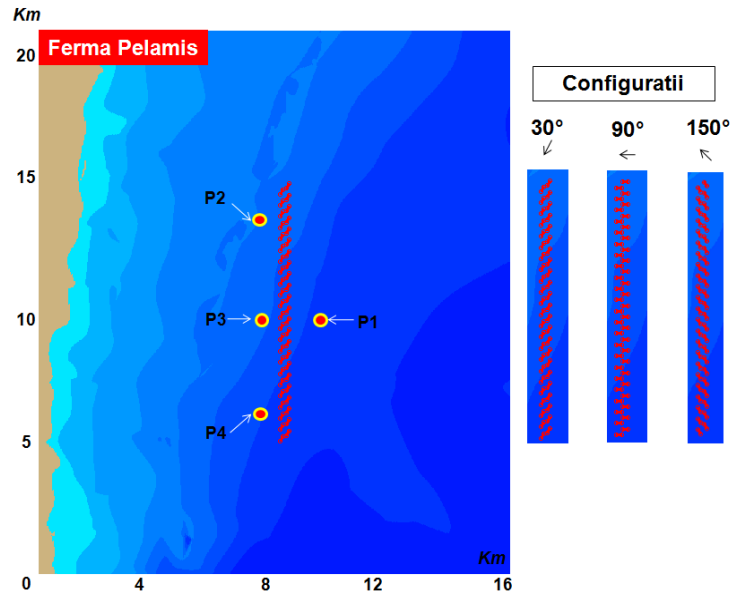


Figura 5.18. Configurarea fermei de val Pelamis pentru zona Sfântu Gheorghe, în care cele 46 sisteme WEC sunt aliniate după direcția valurilor care intră în zona țintă: nord-est (30°); est (90°) și sud-est (150°)

Figura 5.19 prezintă ferma Wave Dragon, în care cele 18 sisteme WEC au fost aliniate pe două linii. Datorită modului de ancorare al acestui sistem, în simulările numerice acesta a fost considerat fix indiferent de direcția valurilor.

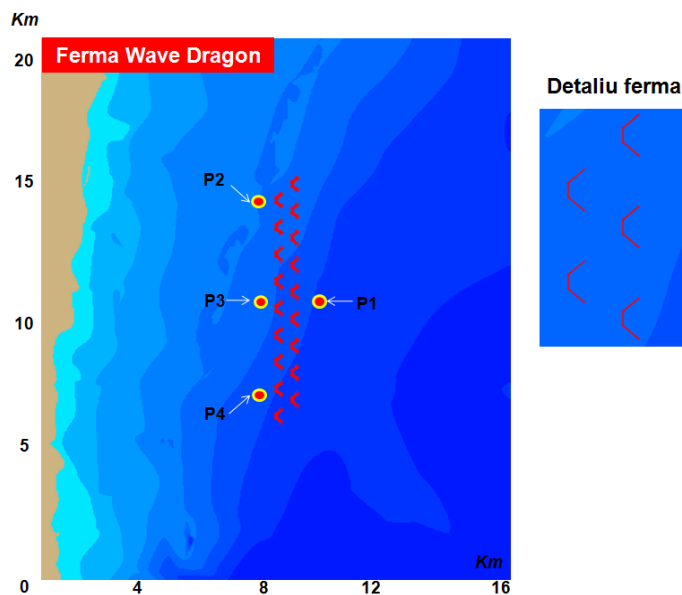


Figura 5.19. Configurarea fermei de val Wave Dragon (18 sisteme WEC) pentru zona Sfântu Gheorghe. Grupul de puncte P1-P4 este folosit pentru a identifica variația parametrilor de val din zona offshore

Fermele WEC au o lungime similară cu cea raportată pentru ferma generică, acest lucru fiind valabil și pentru setările din celelalte două zone țintă (Mamaia și Mangalia). Considerând rezultatele prezentate anterior, următoarele studii de caz au fost identificate:

- CS1: $H_s=0.94$ m; $T_m=3.5$ s - condiții de val medii;
- CS2: $H_s=2.50$ m; $T_m=5.3$ s - condiții de val medii spre energetice;
- CS3: $H_s=6.30$ m; $T_m=9.2$ s - condiții extreme (ex: furtuni).

În Figura 5.20 este prezentată evoluția în spațiul geografic a înălțimilor de val pentru studiul CS1 considerând cele trei cazuri: fără fermă, fermă Pelamis și fermă Wave Dragon. În absența fermelor de val se observă că cea mai mare parte din zona țintă este caracterizată de înălțimi de val ce variază între 0.5-0.9 m (țărm-zonă offshore), în timp ce în apropiere de linia țărmului se observă prezența unui câmp de valuri ce prezintă valori în intervalul 0.2-0.4 m. De asemenea se poate menționa că pentru valurile din nord-est câmpul de valuri din apropierea țărmului acoperă o suprafață mai mare în comparație cu celelalte direcții.

Pentru valurile din nord-est se observă că o influență a fermelor de val asupra valurilor din apropierea țărmului, în sensul că acestea prezintă o tendință de a se extinde spre zona offshore.

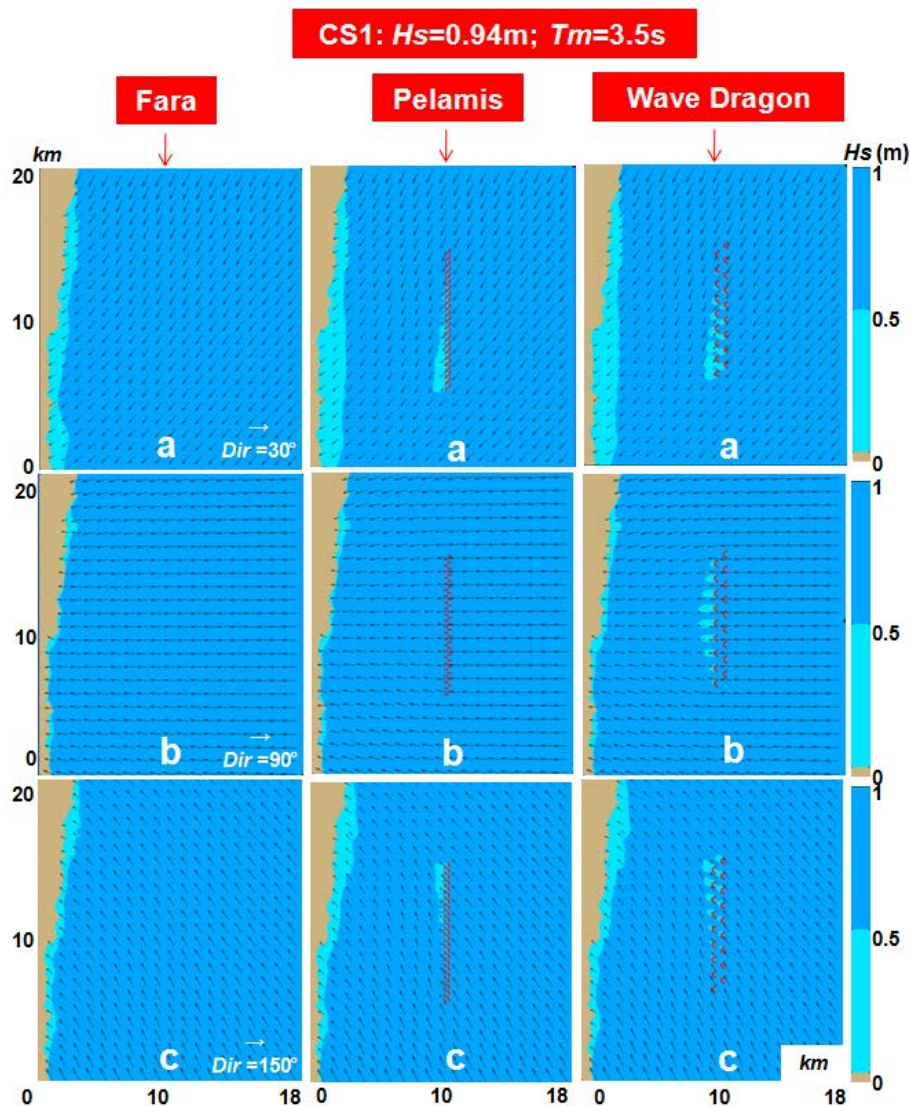


Figura 5.20. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS1, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

În spatele fermei Pelamis (în partea inferioară) efectul de ecranare se manifestă prin apariția unor câmpuri de val locale ale căror înălțimi H_s nu depășesc 0.5 m. Pentru sistemele Wave Dragon se observă că după prima linie de sisteme (din zona offshore) câmpurile de valuri prezintă valori de circa 0.5 m în timp ce după a doua linie (dinspre țăr) valurile pot ajunge până la o valoare de 0.4 m în partea inferioară a fermei.

Atunci când valurile se propagă din est sistemele Pelamis nu prezintă o influență semnificativă în spațiul geografic, în timp ce în spatele fermei Wave Dragon (zona centrală) valurile se pot reduce de la 0.7 m la 0.5 m. În ambele situații, influența fermelor WEC nu produce modificări majore asupra valurilor din apropierea țărmului.

Pentru valurile din sud-est, ferma Pelamis duce la apariția în zona superioară a unui câmp de valuri mai compact care prezintă valori de 0.5 m în timp ce pentru sistemele Wave Dragon se pot observa câmpuri de val locale (în spatele fiecărui sistem) care prezintă valori apropiate. Acest lucru se datorează faptului că sistemul Wave Dragon este fix în timp ce sistemele Pelamis prin orientarea lor formează un paravan blocând în acest mod o bună parte din valurile care provin din nord-est și sud-est.

Figura 5.21 prezintă o analiză similară a înălțimilor de val dar pentru studiul de caz CS2.

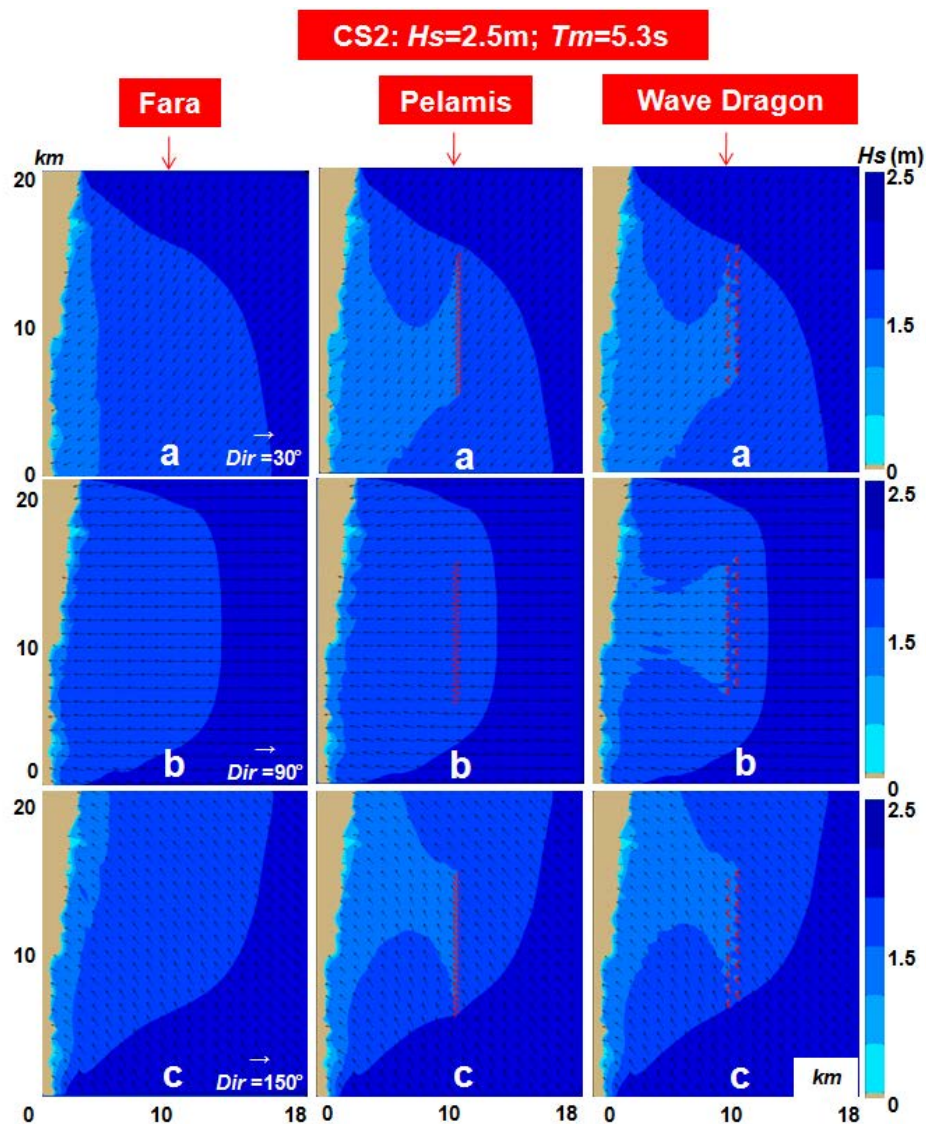


Figura 5.21. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS2, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

Pentru valurile din nord-est și sud-est se observă prezența a trei câmpuri de valuri principale, care dinspre zona offshore către țărm prezintă valori în intervalele: 2-2.3 m; 1.6-1.9 m și 1.1-1.5 m. Primele două câmpuri de valuri pot fi considerate reprezentative și în cazul valurilor din est. De asemenea se poate menționa că în apropiere de țărm se manifestă câmpuri de valuri locale ale căror distribuție nu este influențată de direcția de propagare a valurilor, ci mai degrabă de efectele disipative din zonele cu apă puțin adâncă.

În cazul valurilor din nord-est și sud-est se observă că efectul de ecranare al fermelor Pelamis și Wave Dragon este evident contribuind la extinderea câmpului de valuri din zona țărmului până în spatele fermei WEC, orientarea acestuia depinzând de direcția de propagare a valurilor. Pentru valurile din est, ferma Wave Dragon are o influență mai semnificativă contribuind la apariția în spatele celor două linii de sisteme a unor înălțimi de val de circa 1.35 m.

Figura 5.22 prezintă evoluția valurilor H_s în prezența fermelor WEC considerând condiții extreme (CS3). Câmpurile de val prezintă caracteristici oarecum similare atât pentru sistemele Pelamis cât și pentru cele Wave Dragon, cu mențiunea că în cazul valurilor din est ferma Wave Dragon poate proteja mai bine partea centrală a zonei țintă.

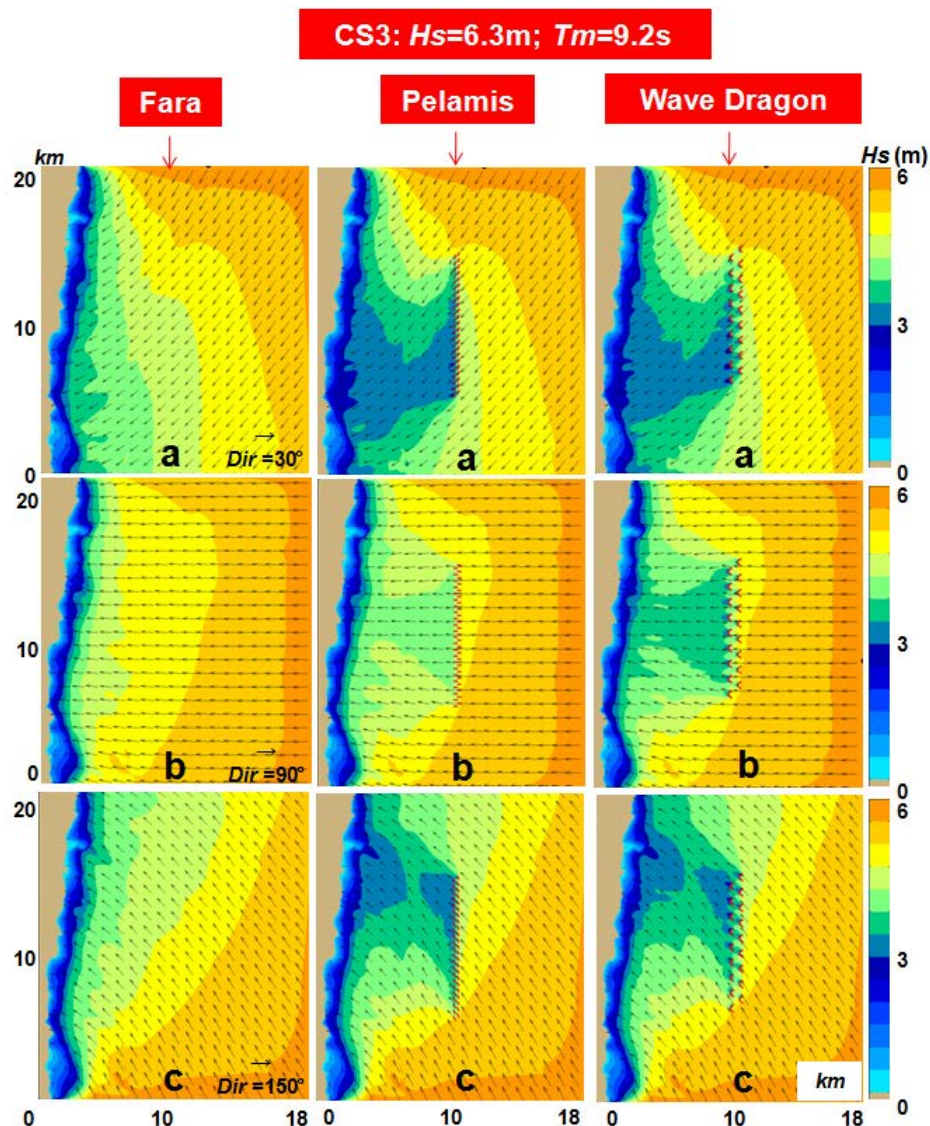


Figura 5.22. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS3, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

5.2.2 Mamaia

Evaluarea parametrilor de val din zona Mamaia, rezultați în urma simulărilor SWAN, s-a făcut considerând datele furnizate pentru punctul de referință S2 ($29^{\circ}30'E/44^{\circ}31'N$) situat în apropiere de acest sector (în zona offshore). În Figura 5.23 se face o analiză statistică a parametrilor de val H_s și T_m , indicându-se de asemenea, distribuția lunară. Valorile medii H_s se situează în intervalul 0.6-1.2m prezentând valori mai mici în lunile iunie, iulie și august și un maxim în decembrie. Percentila 95 pune în evidență cele două sezoane principale (vară și iarnă) indicând un maxim de 2.8 m în ianuarie și decembrie, în timp ce, în perioada de vară, se poate înregistra un minim de 1.3 m. Din analiza condițiilor extreme, se observă că în perioada de iarnă furtunile sunt mai frecvente în această zonă, în care se pot propaga valuri având înălțimi de circa 5.5 m (ianuarie), 5.2 m (decembrie) sau 5 m (februarie). În perioada de vară, condițiile extreme pot deveni mai intense în luna august când se înregistrează un maxim de 4.2 m.

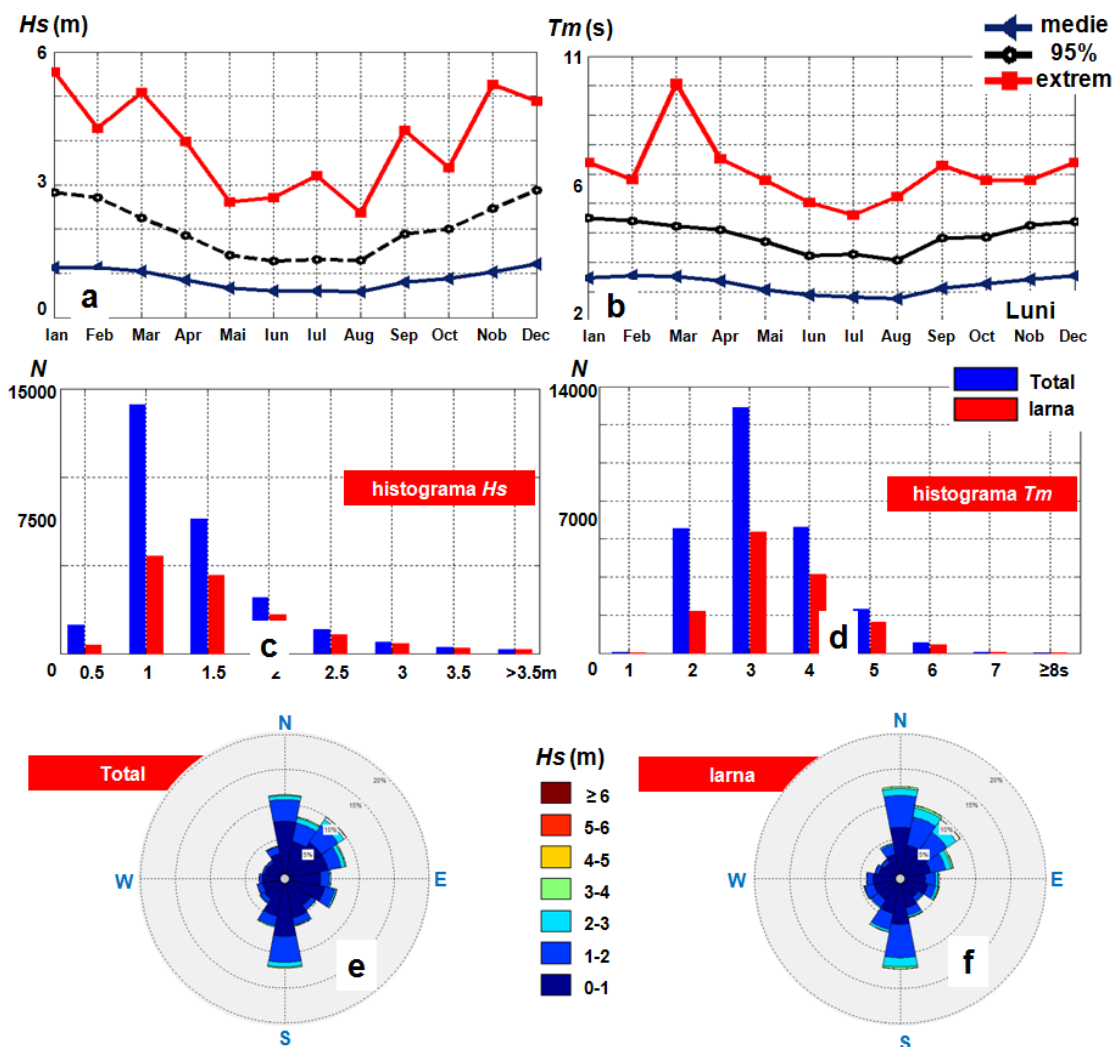


Figura 5.23. Analiza statistică a parametrilor de val furnizată de punctul S2 ($29^{\circ}30'E/44^{\circ}31'N$). Date raportate la intervalul de timp ianuarie 1999-decembrie 2008, unde: a) și b) evoluția lunară a parametrilor H_s și T_m raportată pentru valori medii, percentila 95 (95%) și maxime; c) și d) histograme H_s și T_m corespunzătoare perioadei totale și sezonului de iarnă; e) și f) distribuția pe direcții a înălțimilor semnificative de val (total și iarnă)

În ceea ce privește perioada medie de val (T_m), se observă că valorile medii se situează în intervalul 2.8-3.5 s, valorile percentilei 95 în intervalul 4-5.5 s, în timp ce, pentru valorile extreme, se poate menționa un vârf de 10.1 s în luna martie.

Analizând histogramele celor doi parametri de val, se poate preciza că, în cazul înălțimilor de val H_s , sunt raportate frecvent valori în intervalul 0.5-1.5 m în perioada totală, în timp ce sezonul de iarnă prezintă o evoluție asemănătoare, în care valurile din intervalul 0.5-1 m sunt reprezentative. Pentru perioada totală, parametrul T_m prezintă mai multe valori în intervalul 1-4 s (cu un vârf pentru intervalul 2-3 s) în timp ce, de-a lungul perioadei de iarnă intervalul, 3-4 s pare a fi dominant.

În ceea ce privește direcția valurilor (Figura 5.23e și 5.23f), se pot întâlni frecvent valuri din nord, nord-est și sud cu mențiunea că, în perioada de iarnă, valurile din zona 2-3 m sunt mai des întâlnite. Pe baza acestor analize s-au identificat trei studii de caz, considerând următoarele condiții de val [55 - 57]:

- CS1: $H_s=0.9$ m; $T_m= 3.2$ s - condiții de val medii;
- CS2: $H_s=2.3$ m; $T_m= 5.3$ s - condiții de val medii spre energetice;
- CS3: $H_s=5.6$ m; $T_m=10.1$ s - condiții extreme (ex: furtuni).

Se poate observa că, în această situație, studiile de caz CS1 și CS2 sunt asemănătoare cu cele din zona Sfântu Gheorghe în timp ce în cazul CS3 parametrul H_s este mai mic cu 0.7 m. În ceea ce privește direcția valurilor, s-a considerat ca fiind reprezentative valurile provenind din nord-est (30°), est (90°) și sud-est (150°).

Figura 5.24a prezintă configurația fermei Pelamis pentru sectorul Mamaia în care cele 31 de sisteme au fost distribuite pe două linii, la fel ca și în cazul zonei Sfântul Gheorghe. Sistemele au fost ajustate pentru fiecare direcție de val în parte, în figură fiind prezentate doar sistemele ajustate pentru situația în care valurile se propagă din sector est (90° - în convenție nautică). Caracteristicile fermei Wave Dragon sunt prezentate în Figura 5.24b, unde cele 13 sisteme sunt aliniate pe două linii în zona centrală a sectorului Mamaia.

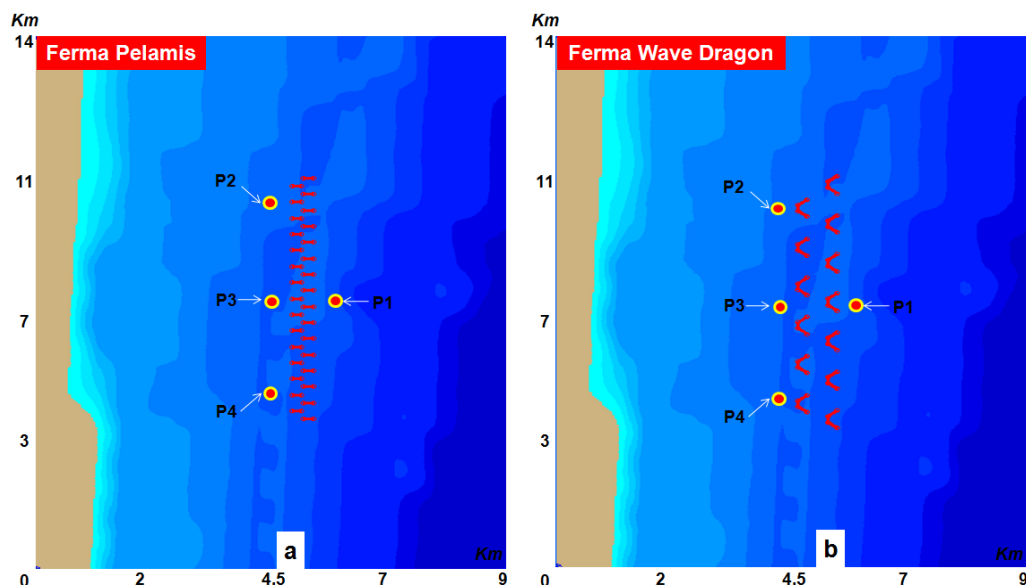


Figura 5.24. Configurarea fermei de val Pelamis (31 de sisteme) și Wave Dragon (13 sisteme) pentru zona Mamaia

În Figura 5.25 se poate observa evoluția câmpurilor de valuri în prezența celor două ferme WEC considerând studiul de caz CS1, în care zona țintă a fost rotită cu un unghi de 32° la fel ca și în cazul fermei generice. Atunci când valurile se propagă din nord-est și sud-est în apropierea țărmlului se observă un câmp de valuri ale cărui valori nu depășesc 0.5 m, lățimea acestuia variind

în funcție de direcția valurilor. Atunci când valurile se propagă din nord-est, cele două ferme de val au o influență similară asupra câmpurilor de val locale, prin intermediul efectului de ecranare. În spatele acestora, se pot întâlni valuri cu înălțimi de 0.4 m în timp ce, în spatele primei linii de sisteme Wave Dragon, valurile se pot reduce de la 0.6 m la 0.47 m. O evoluție similară se observă și pentru valurile din sud-est, doar că, de această dată, efectul de ecranare se manifestă în partea superioară a zonei țintă.

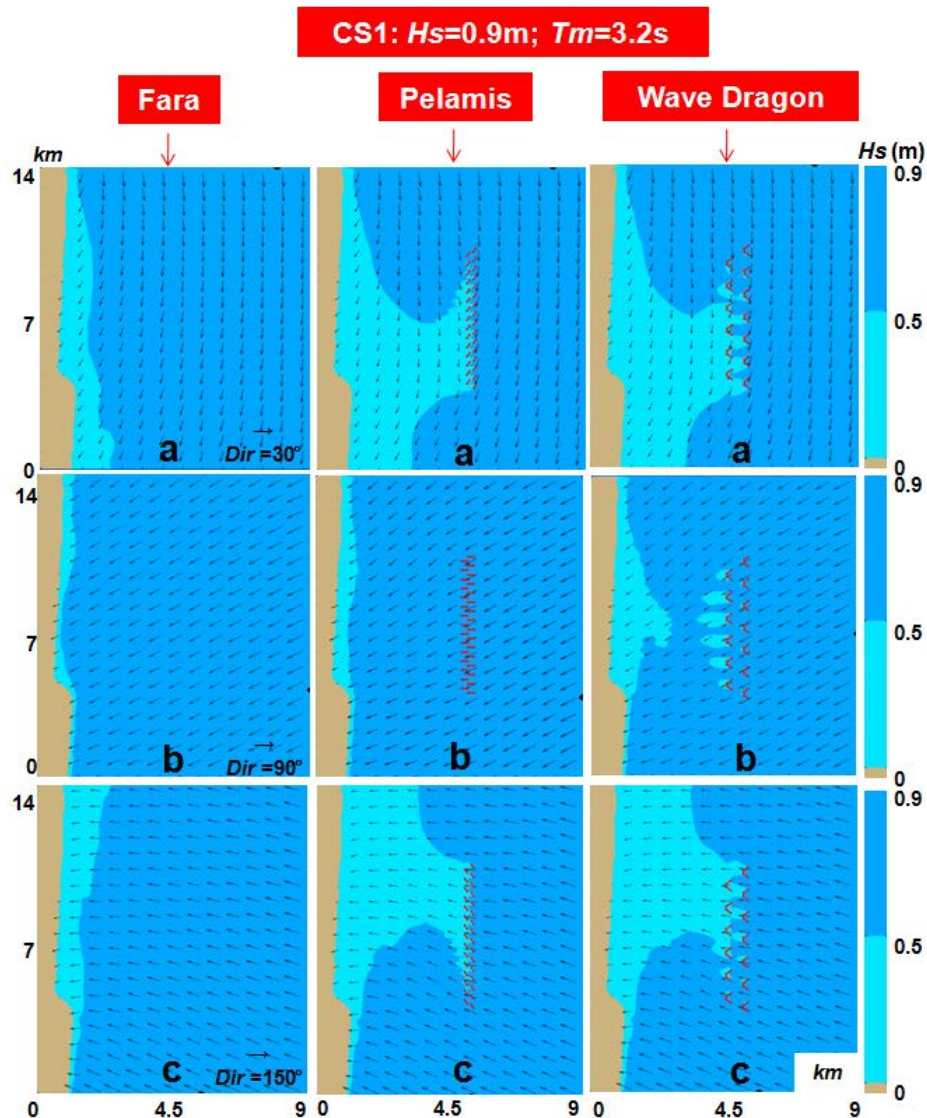


Figura 5.25. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS1, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

Analizând valurile din est, se observă că ferma Pelamis nu modifică semnificativ valurilor din zona offshore și nici pe cele din apropierea țărmului. În schimb, prezența sistemelor Wave Dragon contribuie la modificarea câmpurilor de valuri din zona țărmului în sensul că acestea se pot extinde spre larg (în zona centrală), în timp ce, în spatele celei de-a doua linii de sisteme WEC, se pot întâlni câmpuri de valuri locale care înregistrează valori de 0.45 m.

În Figura 5.26 este prezentată evoluția câmpurilor de valuri pentru studiul de caz CS2. Atunci când valurile se propagă din nord-est, se observă, în absența fermelor de val, prezența a trei câmpuri de valuri principale care prezintă valori în intervalul: 1.2-1.5 m (aproape de țărm); 1.5-1.9 m (zona centrală); 1.9-2.3 m (în extremitatea zonei țintă). În schimb, pentru valurile din sud-est, câmpul de valuri din apropierea țărmului are o pondere mult mai mică, în timp ce valuri mai mari de

1.9 m se pot înregistra, de această dată, și în partea centrală. Pentru valurile din est, se observă o distribuție paralelă a câmpurilor de valuri în care cele din clasa 1.9-2.3 m pot fi considerate ca și dominante. Influența fermelor WEC în cazul valurilor din nord-est, este oarecum similar, în sensul că se observă o extindere către zona offshore a valurilor cu valori de până la 1.9 m, în timp ce în apropierea țărmului, se observă prezența locală a unui câmp de valuri ce poate înregistra valori de 0.9 m.

Pentru valurile din sud-est, se observă o evoluție similară, în care sistemele Pelamis și Wave Dragon contribuie la extinderea valurilor mai mici de 1.9 m până în apropiere de cea de-a doua linie de sisteme. Aici trebuie precizat că, în apropiere de țărm, nu se înregistrează modificări majore asupra câmpurilor de valuri.

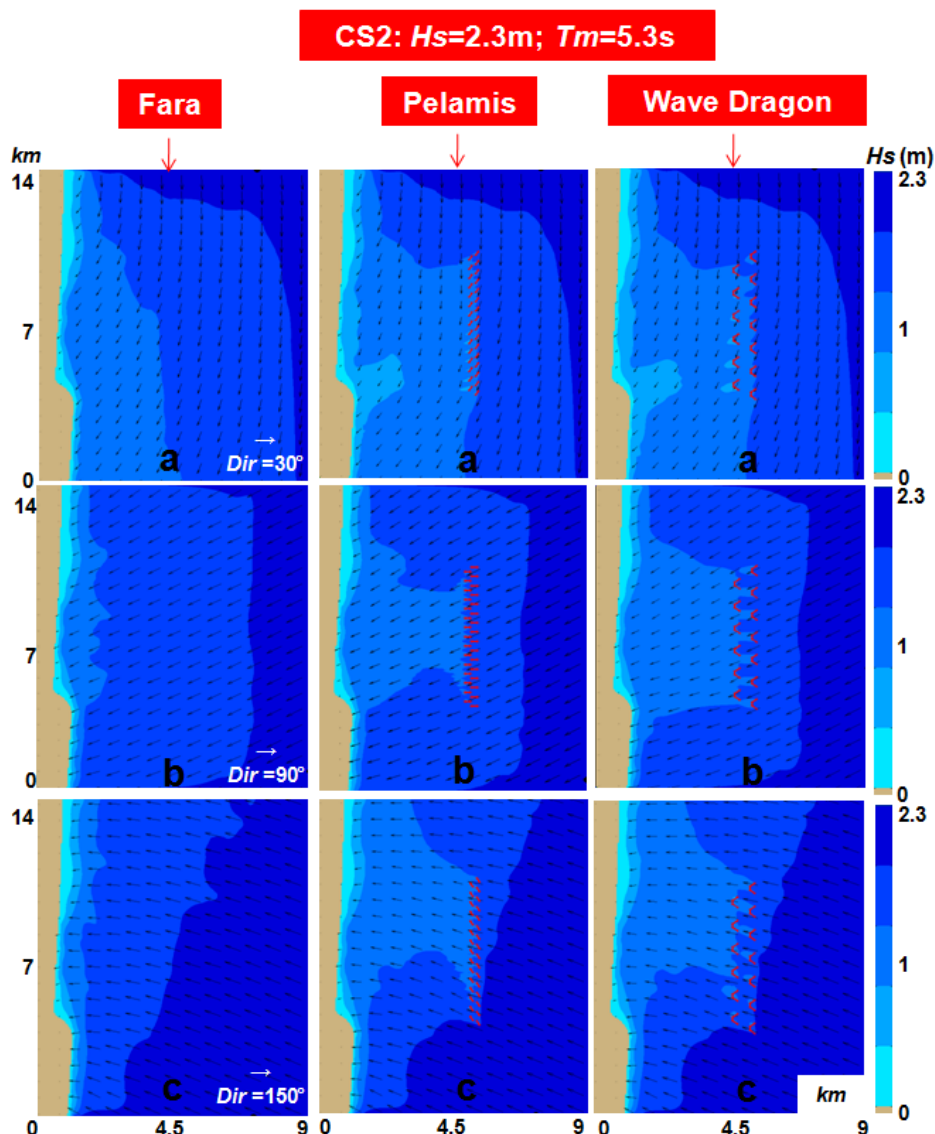


Figura 5.26. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS2, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

Analizând valurile din est, se observă că efectul de ecranare apare chiar și în cazul fermei Pelamis, dar pe aproape 70% din lungimea acesteia, în timp ce, în cazul fermei Pelamis, acest fenomen se manifestă pe toată zona cuprinsă între fermă și țărm.

Figura 5.27 prezintă distribuția valurilor H_s pentru cazul CS3. În absența fermelor de val, se observă o varietate de câmpuri de valuri, distribuite paralel cu linia țărmului, care cresc ca intensitate către zona offshore. Pentru valurile din nord-est, se observă că, în apropierea țărmului,

există o influență minimă a sistemelor WEC în timp ce, în spatele celei de-a doua linii de sisteme WEC, se manifestă prezența a două câmpuri de valuri care prezintă valori în intervalul 2.6-2.7 m (în extremitățile fermelor WEC) și 2.1-2.4 m (mijlocul fermelor WEC).

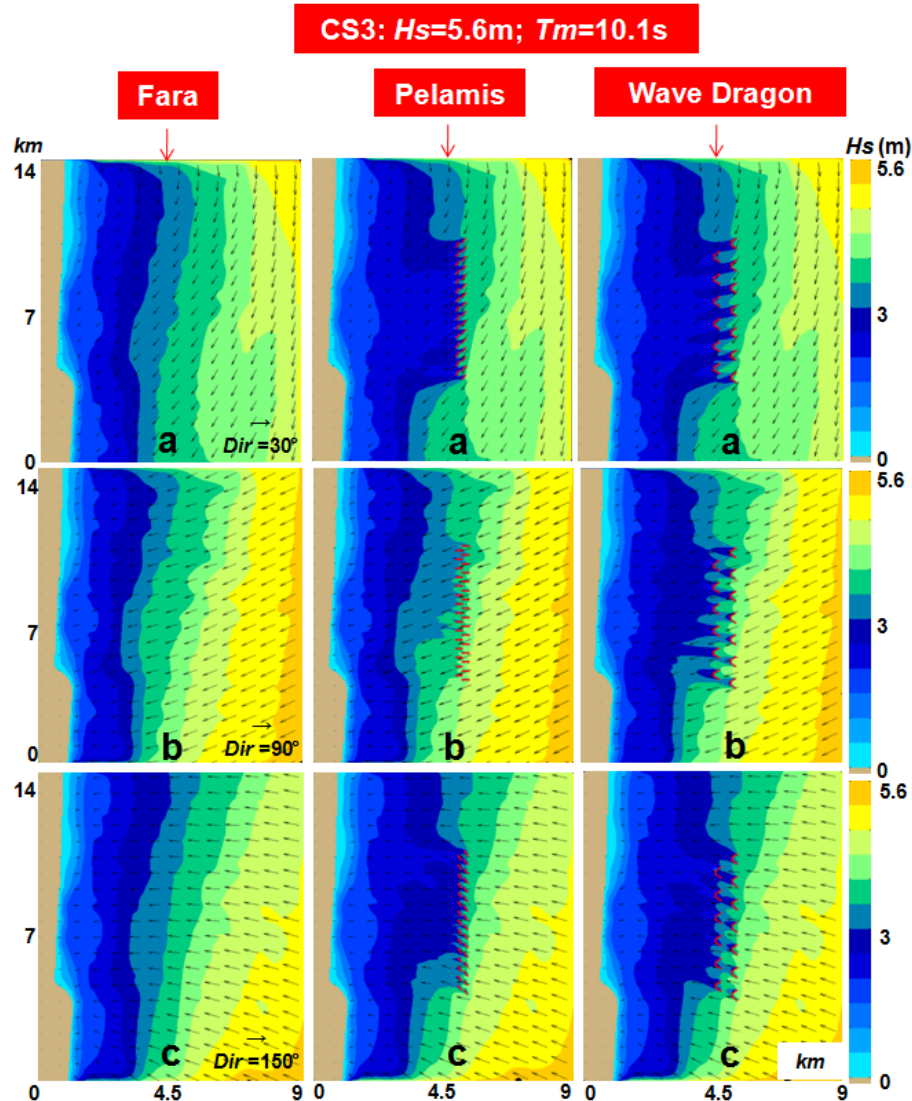


Figura 5.27. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS3, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

În cazul valurilor din est, în spatele fermei Pelamis (centru și sus) se dezvoltă un câmp de valuri ce prezintă valori în intervalul 3.1-3.5 m, în timp ce, pentru ferma Wave Dragon, în imediata apropiere, se pot întâlni valuri din intervalul 2.5-2.7 m. Atunci când valurile se propagă din sud-est în spatele celor două ferme, pot apărea câmpuri de valuri cu valori în intervalul 2.6-2.9 m și 2.1-2.4 m, cu mențiunea că, în partea inferioară a fermei Pelamis, se pot înregistra local și înălțimi de val de circa 3.2 m.

5.2.3 Mangalia

Din simulările SWAN, realizate pentru zona costieră românească (ianuarie 1999-decembrie 2008), s-au extras date privind parametrii de val pentru sectorul Mangalia, mai precis pentru punctul S3 ($28^\circ 84'E/43^\circ 90'N$) aflat, de asemenea, în zona offshore. Considerând evoluția

caracteristicilor H_s și T_m din Figura 5.28, se poate observa că aceștia prezintă valori apropiate de cele indicate pentru sectorul Mamaia. Pentru parametrul H_s , se poate preciza faptul că, în cazul valorilor extreme, se înregistrează un maxim de 5.7 m în ianuarie precum și o valoare de 5.2 m în noiembrie, în timp ce valori mai mici se pot manifesta în iunie (2.15 m) și august (2.5 m).

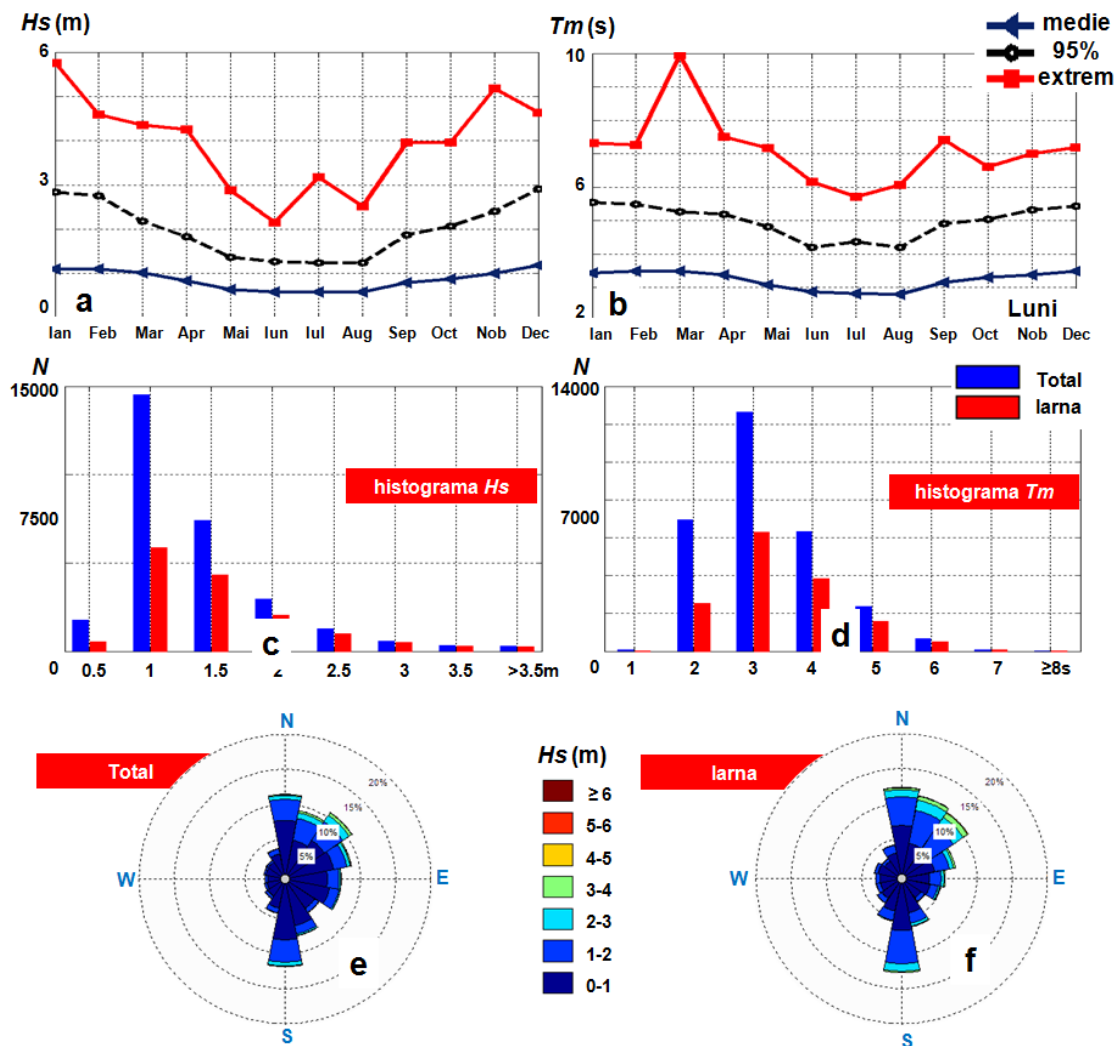


Figura 5.28. Analiza statistică a parametrilor de val furnizată de punctul S3 ($28^{\circ}84'E/43^{\circ}90'N$). Date raportate la intervalul de timp ianuarie 1999-decembrie 2008, unde: a) și b) evoluția lunară a parametrilor H_s și T_m raportată pentru valori medii, percentila 95 (95%) și maxime; c) și d) histograme H_s și T_m corespunzătoare perioadei totale și sezonului de iarnă; e) și f) distribuția pe direcții a înălțimilor semnificative de val (total și iarnă)

La fel ca și în cazul anterior, au fost considerate cele trei direcții de val: nord-est, est și sud-est. Pe baza rezultatelor menționate anterior, trei studii de caz au fost avute în vedere:

- CS1: $H_s=0.9$ m; $T_m= 3.2$ s - condiții de val medii;
- CS2: $H_s=2.3$ m; $T_m= 5.4$ s - condiții de val medii spre energetice;
- CS3: $H_s=5.7$ m; $T_m=10.0$ s - condiții extreme.

În Figura 5.29 sunt prezentate configurațiile fermei Pelamis (12 sisteme) și fermei Wave Dragon (5 sisteme) pentru zona Mangalia [58], în care sistemele Pelamis sunt prezentate pentru situația în care valurile se propagă din sud-est. La fel ca și în cazurile anterioare s-a folosit punctul P1 pentru a identifica evoluția valurilor din fața fermelor de val, în timp ce grupul de puncte P2-P4 a fost folosit pentru a identifica variația parametrilor de val din spatele fermelor WEC (în special punctul P3).

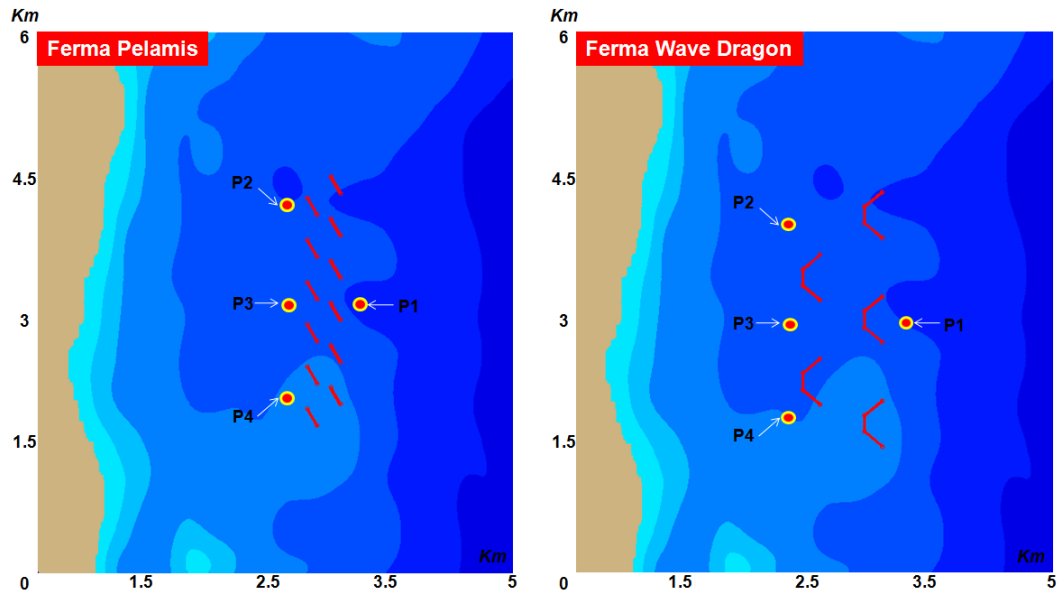


Figura 5.29. Configurarea fermei de val Pelamis (12 de sisteme) și Wave Dragon (5 sisteme) pentru zona Mangalia

Evoluția în spațiul geografic a înălțimilor de val H_s pentru studiul de caz CS1 este prezentată în Figura 5.30. În absența fermelor de val, se observă că zona țintă este dominată de un singur câmp de valuri ce înregistrează un maxim de 0.9 m în zona offshore și un minim de 0.5 m în apropierea țărmului. Pentru valurile din nord-est, se observă o extindere către larg a câmpului de valuri din zona țărmului (apă puțin adâncă – 4 m) în timp ce, în spatele sistemelor Pelamis și Wave Dragon, se pot înregistra înălțimi de val de 0.4-0.5 m.

În cazul valurilor din est, deși ferma Pelamis pare a nu avea nici o influență asupra valurilor, ce intră în zona țintă, se observă totuși o reducere a înălțimilor de val de la 0.76 m (din fața fermei) până la o valoare de 0.6 m (în spatele fermei). Pentru ferma Wave Dragon, cel de-al doilea șir de sisteme are un impact mai mare asupra înălțimilor de val, înregistrându-se valori de 0.45 m. Influența sistemelor WEC asupra valurilor din sud-est este similară cu cea din cazul nord-est, cu mențiunea că variații mai mari ale înălțimilor de val se înregistrează în partea superioară a fermelor de val.

Figura 5.31 prezintă distribuția câmpurilor de valuri în prezența fermelor WEC pentru studiul de caz CS2. În zona țintă, se pot observa două câmpuri de valuri distincte, cel situat în zona offshore indicând valori în intervalul 2-2.3 m în timp ce, în apropierea țărmului, cel de-al doilea câmp prezintă valori cuprinse între 1.56 m și 1.97 m. Pentru valurile din est, se observă în partea inferioară a zonei țintă prezența unor înălțimi de val ce prezintă valori apropiate de 2 m.

Influența fermei Pelamis asupra valurilor din nord-est și sud-est duce la retragerea câmpului de valuri din zona offshore precum și la consolidarea unui câmp de valuri din zona țărmului, ce poate atinge valori maxime de 1.5 m. În spatele acestor sisteme WEC, se pot dezvolta valuri cu înălțimi de circa 1.35 m atât după prima cât și după a doua linie de sisteme Pelamis. Pentru aceleași condiții de val (valuri NE și valuri SE), se observă că influența sistemelor Wave Dragon este mai importantă contribuind la extinderea câmpului de valuri din apropierea țărmului până în dreptul celei de-a doua linii de sisteme WEC (spre țărm) în timp ce, în spatele celorlate sisteme WEC, se pot întâlni valuri cu înălțimi de 1.34-1.4 m.

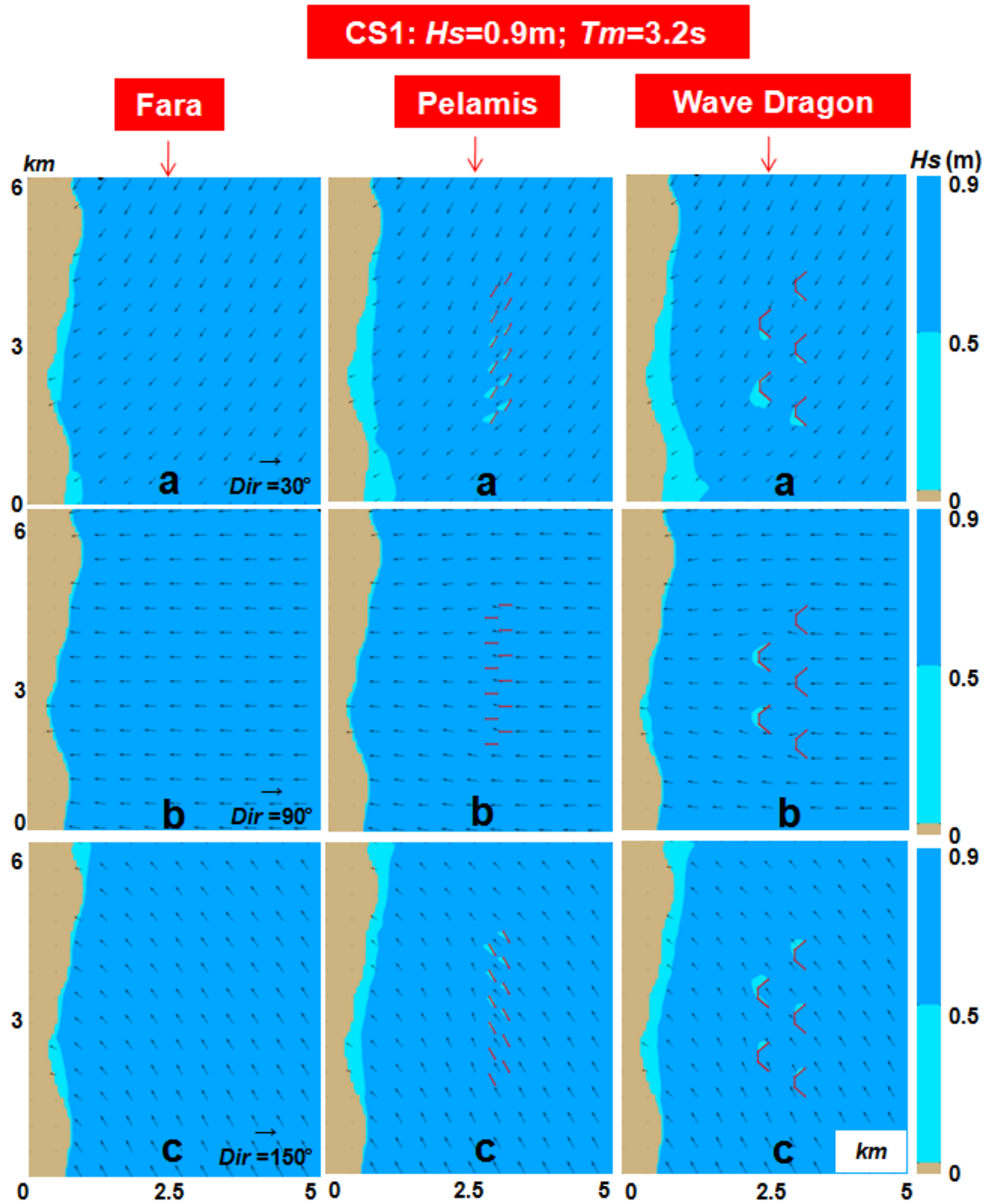


Figura 5.30. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS1, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

În cazul valurilor din est, ferma Pelamis poate contribui la reducerea înălțimilor de val de la 2 m (în fața fermei) până la 1.7 m, în spatele fermei, fără a pune în evidență prezența unor câmpuri de val locale în spatele sistemelor WEC. Pentru ferma Wave Dragon, se observă o evoluție similară, cu mențiunea că cea de-a doua linie de sisteme WEC contribuie la apariția unor câmpuri de valuri, cu înălțimi de 1.3-1.4 m, în timp ce, în spatele primei linii de sisteme WEC, se pot întâlni înălțimi de val de circa 1.4 m.

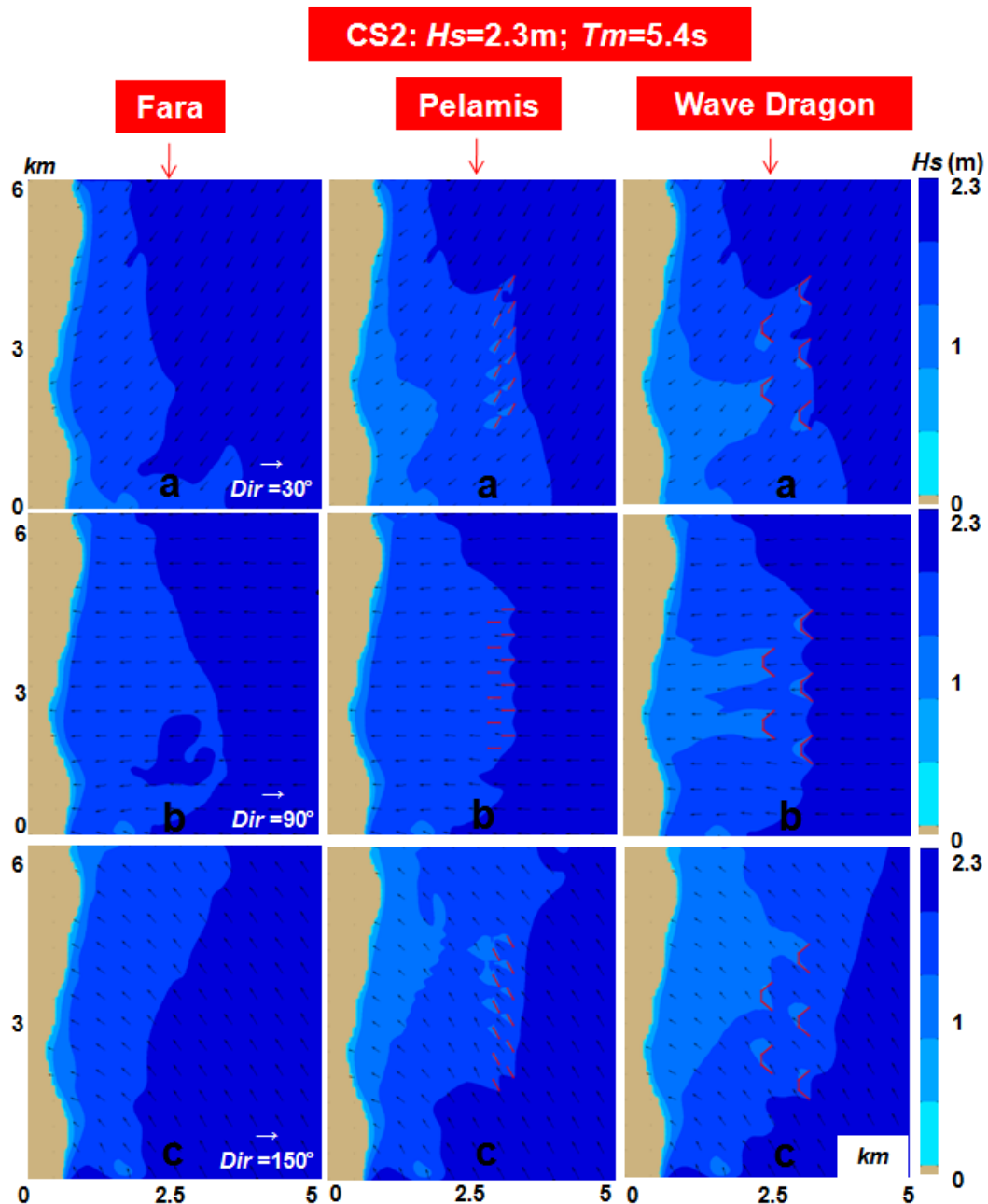


Figura 5.31. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS2, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

În Figura 5.32 sunt prezentate câmpurile de val din zona țintă corespunzătoare cazului CS3. Considerând valurile din nord-est, se observă că, în partea superioară a fermelor WEC, se poate întâlni un câmp local de valuri ce înregistrează valori în intervalul 3.6-3.8 m, în timp ce în partea centrală, domină valurile de 3.2 m. În partea inferioară se dezvoltă un câmp de valuri cu valori de 2.6-2.9 m, care se poate extinde până în apropiere de ultima linie de sisteme Wave Dragon. Local, în spatele sistemelor Pelamis și Wave Dragon, se pot înregistra valuri ce prezintă valori în intervalul 2.3-2.5 m.

Pentru valurile din est, ferma Pelamis contribuie la apariția în zona centrală a unui câmp de valuri dominant cu valori de 4-4.2 m, în timp ce, în partea inferioară a fermei, se pot întâlni și valuri cu înălțimi cuprinse între 3.5 m și 3.6 m. În partea superioară a fermei Wave Dragon, se observă valuri de 3.7 m, în timp ce, în partea centrală, în spatele celei de-a doua linii de sisteme WEC, valurile cu înălțimi de 3.2 m și 3.3 m pot fi considerate a fi dominante.

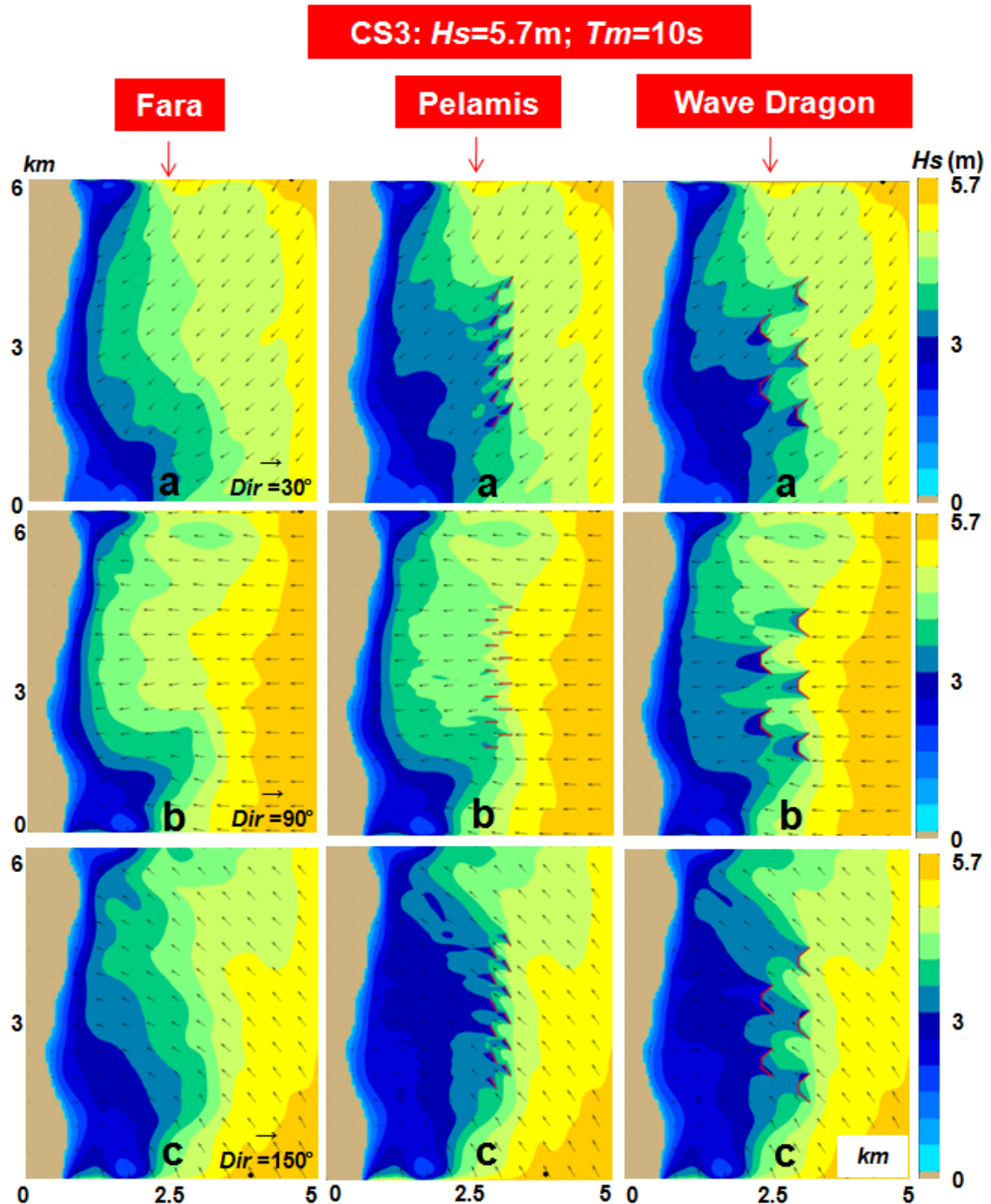


Figura 5.32. Evaluarea în spațiul geografic a influenței fermei Pelamis și Wave Dragon pentru studiul de caz CS3, considerând: a) valuri NE (30°); b) valuri E (90°); c) valuri SE (150°)

În cazul valurilor din sud-est, prezența sistemelor WEC duce la apariția a trei câmpuri de valuri dominante între fermele de val și țărm. Primul, situat în imediata apropiere a fermelor de val, prezintă valori în intervalul 3-3.3m, al doilea se manifestă în zona centrală și este caracterizat de înălțimi de val cuprinse între 2.5m și 2.8m, în timp ce, câmpul de valuri din apropierea țărmului (în partea inferioară) înregistrează înălțimi H_s de circa 2.2m-2.5m.

Capitolul 6

REZULTATE EXPERIMENTALE RECENTE PRIVIND MĂSURAREA CURENȚILOR ÎN ZONELE COSTIERE ROMÂNEȘTI

Tehnicile de măsurarea a curenților din zona litorală sunt tehnici directe și estimări indirecte care folosesc relația geostrofică (între presiunile orizontale și curenții orizontali). Măsurătorile directe pot fi: mecanice, cu morișca hidrometrică sau flotori în derivă, lestați la diferite adâncimi; electromagnetice, relizate cu ajutorul curențmetrelor electromagnetice; sau măsurători sonice, realizate pe baza efectului Doppler.

Măsurătorile de curenți dau o imagine punctuală sau pe profil asupra energiei totale a maselor de apă marină/costieră, care odată ajunsă în zona adâncimilor mici, este transferată particulelor de sedimente, producând transportul acestora atât longitudinal, cât și transversal pe țărm, respectiv fenomenele de eroziune, acumulare și redistribuire a depozitelor de sedimente.

6.1 Măsurătorile de curenți în zona litoralului românesc

6.1.1 Decrierea aparaturii

Instrumentele de **măsurare sonică a vitezei apei tip ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)** pot măsura viteze ale curentului de până la 20 m/s și 255 de celule de măsurare, pe coloana de apă, reușind să înregistreze viteza fluidului pe fiecare componentă: în plan orizontal după direcția x (U) și direcția y (V); dar și pe verticală (W).

Fișierele furnizate de ADCP sunt prelucrate în etapa de post-procesare a datelor, în care prin mediere se elimină secvențele nerelevante pentru analiza distribuției curenților pe toată colana de apă și pe tot profilul realizat. Programul folosit la procesarea datelor, Win ADCP, este un program furnizat de producător (RDI) pentru desfășurarea procesului de conversie și filtrare, respectiv management al datelor și reprezentări acestora. Aparatul ADCP folosit este de tip RDI Teledyne, WorkHorse Sentinel 600kHz, adaptat pentru măsurători costiere, având bandă îngustă pe toate cele 4 vibratoare.

Specificațiile tehnice ale ADCP-ului WH Sentinel 600 KHz sunt asemănătoare cu ale profilatoarelor Doppler având adâncimea de operare situată în intervalul 10 – 100 m, la o rezoluție verticală a celulei de mediere a vitezei pe colana de apă începând de la 0.5 m și ajungând la 8 m. De asemenea, trebuie precizat că deviația standard este de 2.0 -12.9 cm/s.

Acuratețea vitezei pe profile este măsurată cu magnitudinea de 0.3% din viteza apei, respectiv ± 0.3 cm/s și o rezoluție a vitezei de 0.1 cm/s, pe un domeniu de măsurare a vitezei de 5 – 20 m/s (maximum) și un număr de celule de măsurare de 1–128 (25 utilizate) la o rată de măsurare de 1-2 Hz, Intensitatea semnalului acustic produs de cele 4 vibratoare prezintă o rezoluție verticală în funcție de mărimea celulei pe coloana de apă, pe un domeniu dinamic de 80 dB și o precizie de \pm

1.5 dB, la un unghi al fascicolului sonor de 20°, și o busolă (de tip electromagnetic, calibrată în teren), având o acuratețe de $\pm 2 - 5^\circ$, o precizie de $\pm 0.5^\circ - 5^\circ$ și o rezoluție de 0.01° , care îi permite și detectarea înclinației în domeniul unghiular de $\pm 15^\circ$ cu o acuratețe de $\pm 0.5^\circ$ și o rezoluție de 0.01° . Aparatul prezintă un senzor standard de temperatură montat pe zona emițătoare, în domeniu $-55/45^\circ\text{C}$, cu o precizie de $\pm 0.4^\circ\text{C}$ și o rezoluție de 0.01° , acesta fiind folosit pentru temperaturi cuprinse între -55° și 45°C .



Figura 6.1. Imagine subacvatică a curentmetrului montat lateral de barca

Specificațiile tehnice ale **curentmetrului electromagnetic Midas 808-400**, produs de firma Valeport, utilizat la măsurători în stații fixe ale vitezei curentului, pentru un interval de eșantionare/măsurare de 1 secundă, într-un domeniu de magnitudine a vitezei de 0.05 – 5 m/s și acuratețe de ± 5 mm/s, la o rezoluție de 0.001 m/s. Direcția este furnizată de o busolă electromagnetică internă care are o precizie de măsurare de $\pm 1\%$, o rezoluție de 0.01° , iar orizontul de adâncime dat de un senzor de presiune cu o acuratețe de $\pm 0.1\%$, rezoluție de măsurare a presiunii de 0.005% și un interval de măsurare continuu.



Figura 6.2. Curentmetru Midas 808-400

Pentru măsurarea structurii verticale a curgerii în zonele litorale, s-au selectat (în trei campanii) un profil orientat perpendicular pe țărm, pornind din zona de surf (circa 2 m adâncime) până în zona adâncimilor mari 15 m, atât nordică cât și în zona sudică litorală.

Cele trei zone considerate pentru măsurători sunt:

- zona gurilor Dunării - Sf. Gheorghe;
- zona de cap stâncos Cap Tuzla;
- zona litoralului Vama Veche.

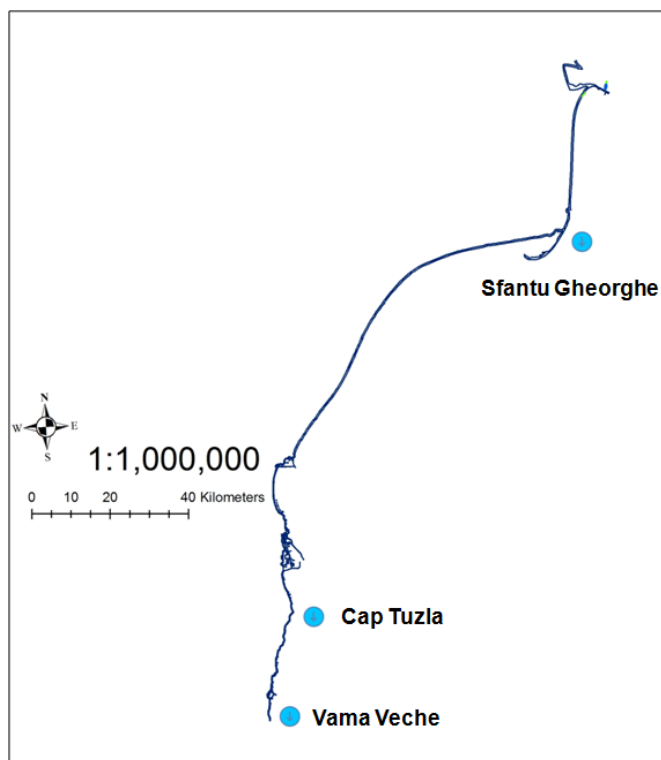


Figura 6.3. Sectoare considerate pentru măsurarea curenților costieri (litorali) din cadrul experimentelor

În aceste trei zone, pentru investigarea circulației specifice zonei de mică adâncime și a traseelor de circulație litorala au fost efectuate măsurători cu caracter sezonier atât pe profile cât și în stații hidrometrice punctuale, în continuarea profilelor, pentru validarea funcționării corecte a sistemelor de modelare asupra circulației costiere și transportului sedimentar, fiind necesară efectuarea unui număr de măsurători pentru realizarea unei imagini clare asupra extinderii pe verticala și orizontală a vitezelor specifice zonei litorale.

6.2 Măsurători asupra curenților litorali (Anul 2013)

6.2.1 Măsurători dinamice cu ADCP RDI WH600

Au fost înregistrați curenți marini pe profile în imediata vecinătate a țărmului natural, neafectat de construcții costiere, aferent zonei de vărsare a brațului Sf. Gheorghe, Cap Tuzla și Vama Veche, în vederea determinării dinamicii și variabilității spațiale și temporale a circulației costiere naturale și neperturbate de existența obstacolelor marine, precum și pentru cartarea curenților litorali, în apropierea coastei și compararea acestor valori cu cele din cadrul modelelor de circulație prezentate în această lucrare.

Măsurătorile realizate în zona Sf. Gheorghe, au fost executate pe perioada verii și au permis înregistrarea unor condiții hidrometeorologice specifice regimului cald, remarcându-se o dominanță a curgerilor spre sud, în timp ce vitezele măsurate la gurile de vărsare ale canalului prezintă o variabilitate considerabilă reflectând modificările de direcție și viteză ale vânturilor locale.

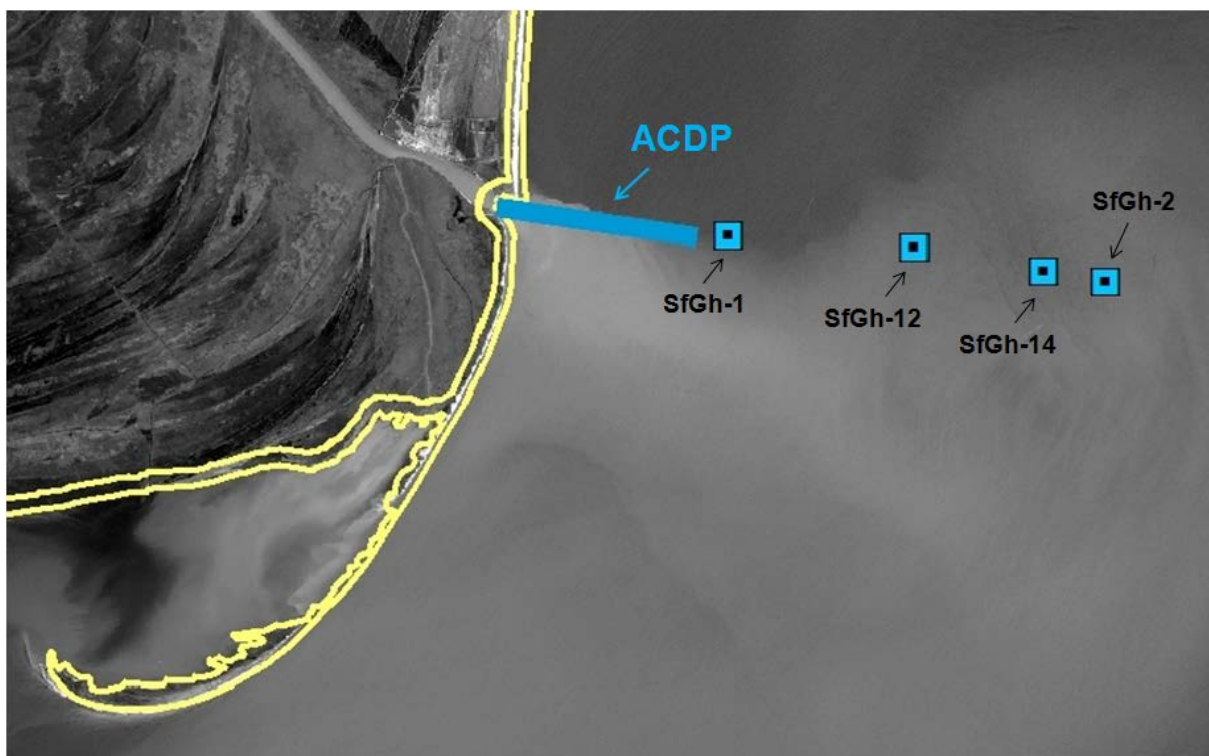


Figura 6.4. Măsurători de curenți - în zona de vărsare a brațului Sf. Gheorghe (în fundal: imagine Landsat 8/pancromatic/08.05.2013)

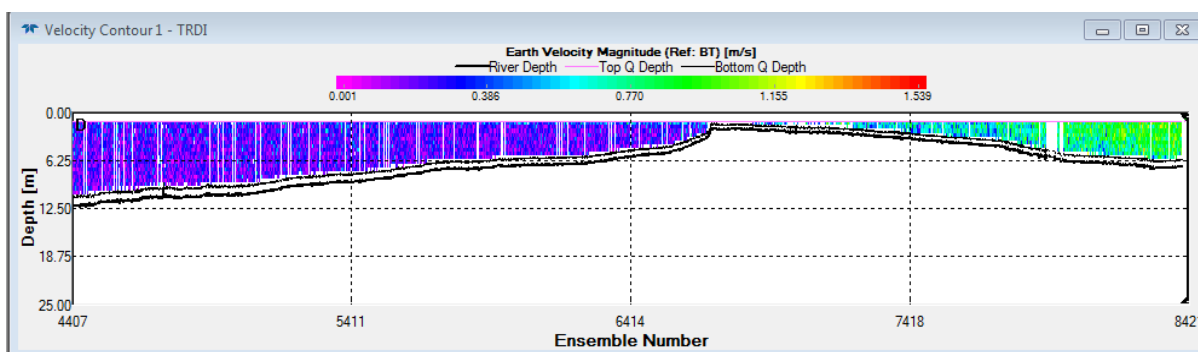


Figura 6.5. Profilul curenților realizat transversal pe bara brațului Sfântu Gheorghe

Se observă variația vitezelor de curent precum și formațiunea geomorfologică pe care o realizează. Rezultatele obținute in situ evidențiază caracterul neuniform al curenților în zona de vărsare a brațului Sf. Gheorghe, precum și existența unor gradienti semnificativi pe axa orizontală a profilului, determinați atât de diferențele de viteză ale apei de amestec, cât și de orientarea curgerii la diferite distanțe de mal în raport cu nivelele de adâncime.

Distribuția vitezelor pe profil relevă preponderența curenților orientați longitudinali la țărm (aproximativ 80%), față de cei transversali (aproximativ 20%), precum și variația magnitudinii vitezelor medii, care sunt mai mari pentru curgerile în lungul țărmului (30-45 cm/s) și mai reduse pentru cele normale la coastă (20-40 cm/s). Astfel, măsurătorile asupra câmpului de curenți la gura de vărsare, efectuate pe profil transversal cu ajutorul ADCP-ului RDI WH600, au înregistrat stratificația maselor de apă în ariile adiacente acestuia.

Măsurătorile realizate cu curentmetrul electromagnetic în continuarea profilelor transversale pe mal relevă o stabilizare a câmpului de curenți. În ceea ce privește măsurătorile realizate în zona Cap Tuzla, acestea relevă o intensificare a câmpului de curenți în zonele de promontoriu natural.

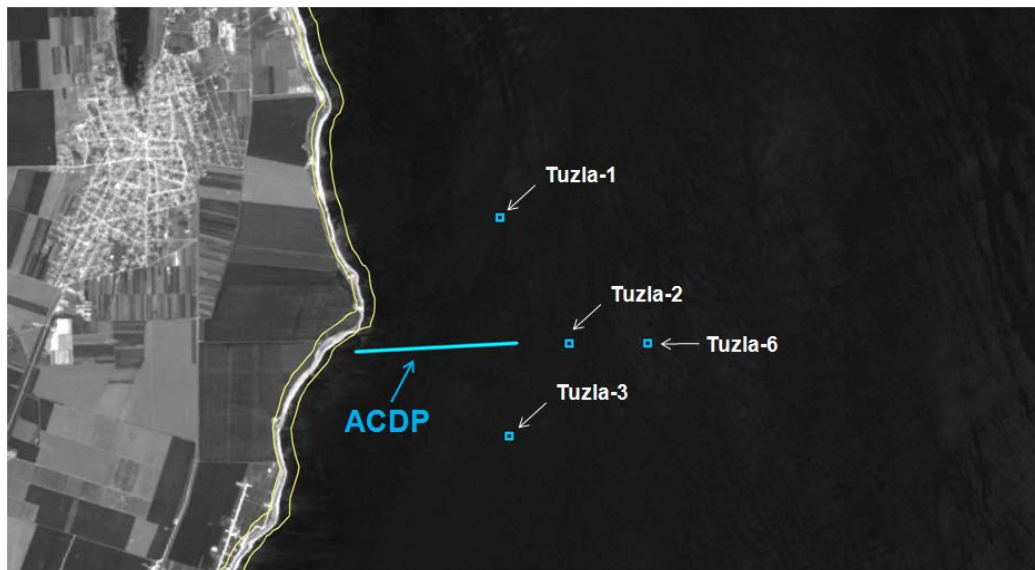


Figura 6.6. Măsurători de curenți - în zona Capului Tuzla (în fundal: imagine Landsat 8/pancromatic/08.05.2013)

Dată fiind direcția predominantă a liniei țărmului de la nord la sud și predominanța vânturilor de sud-est, în perioada în care s-au efectuat măsurătorile, valoarea medie a curenților marini înregistrați nu a depășit 25 cm/s, cu direcții variabile determinate de gradientii batimetrice locali, respectiv configurația fundului mării în secțiunea în care s-au realizat măsurătorile. Astfel, în zonele de cap/promontoriu natural și în special în zonele de modificare rapidă a pantei submerse, curenții au prezentat dezvoltări de până la 75 cm/s, fapt relevat și de diagrama medie de împrăștiere (backscattering), respectiv intensitatea semnalului acustic, precum și cea de corelație.

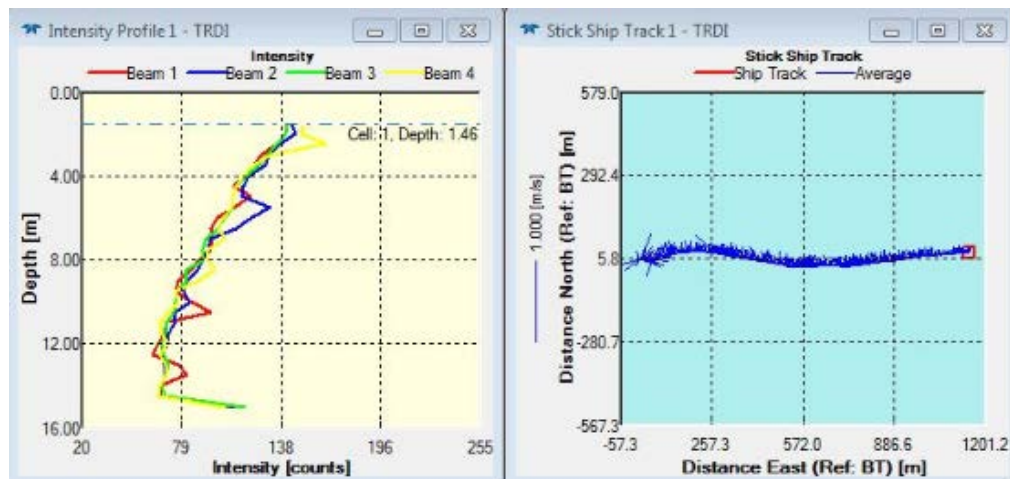


Figura 6.7. Traiectoria măsurătorii și profilul intensității semnalelor acustice în punctul de larg (capul Tuzla)

Măsurătorile de teren realizate în zona Vama Veche au urmărit influența patului solid al mării asupra curenților costieri care induc și controlează curenții litorali, precum și influența obstacolelor marine asupra câmpurilor de curenți.

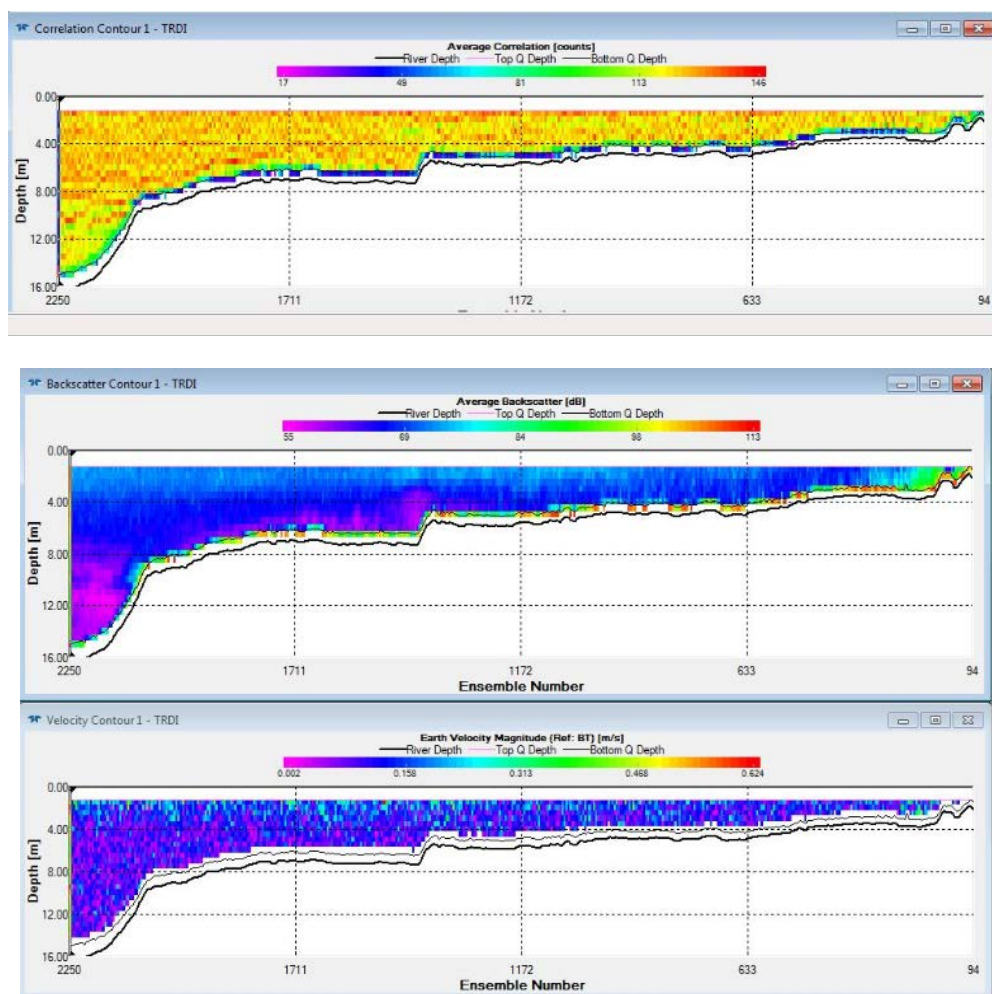


Figura 6.8. Profilul împrăștierii semnalului acustic și profilul vitezei curenților realizat transversal în zona Capul Tuzla

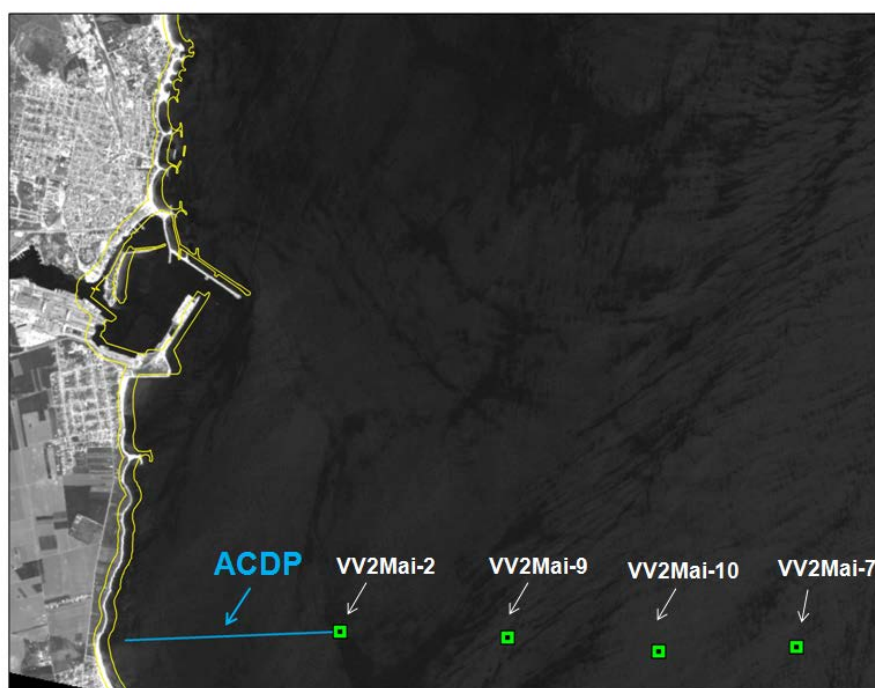


Figura 6.9. Măsurători de curenți - în zona Vama Veche (în fundal: imagine Landsat 8/pancromatic/08.05.2013)

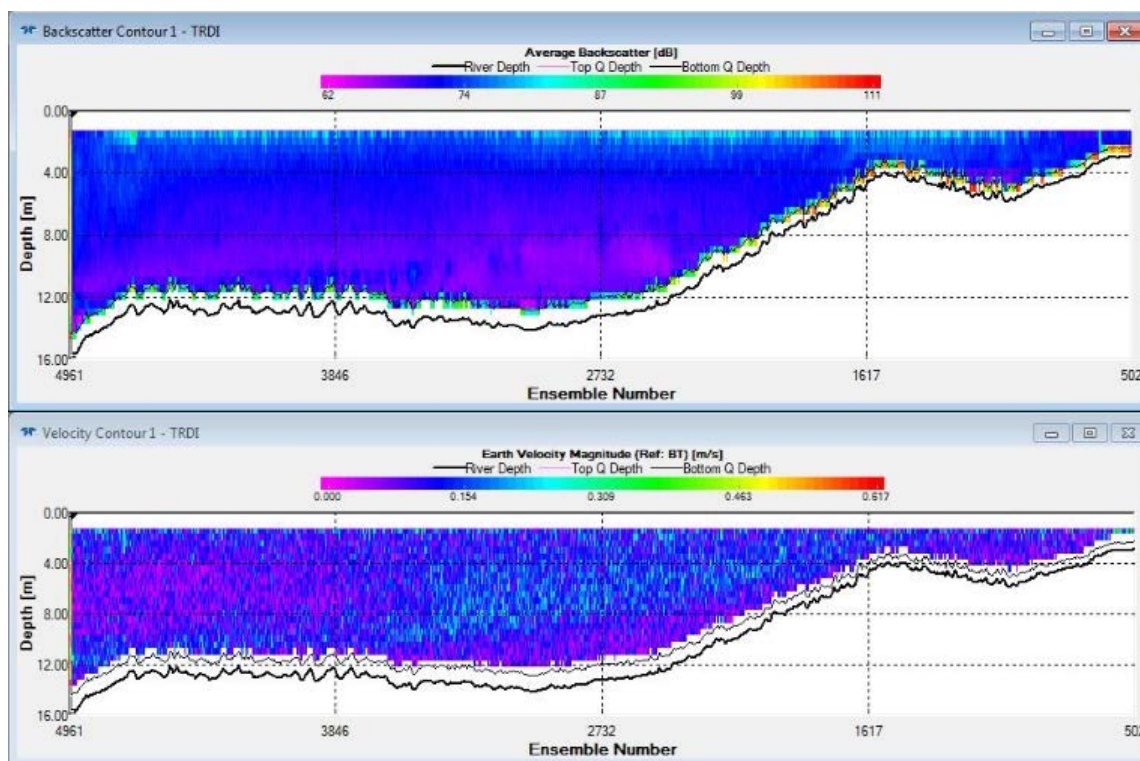


Figura 6.10. Profilul împrăștierii semnalului acustic și profilul vitezei curenților realizat transversal în zona Vama Veche

Chiar dacă condițiile meteo-hidrologice defavorabile (de ceață), nu au fost corespunzătoare desfășurării unor sesiuni de măsurători dinamice ale curenților, au fost efectuate în zona extremității sudice a litoralului românesc profile transversale de curenți până la adâncimea de 16 m și stații fixe/punctuale în continuarea profilului, până la o distanță de circa 2-4 mile nautice de mal.

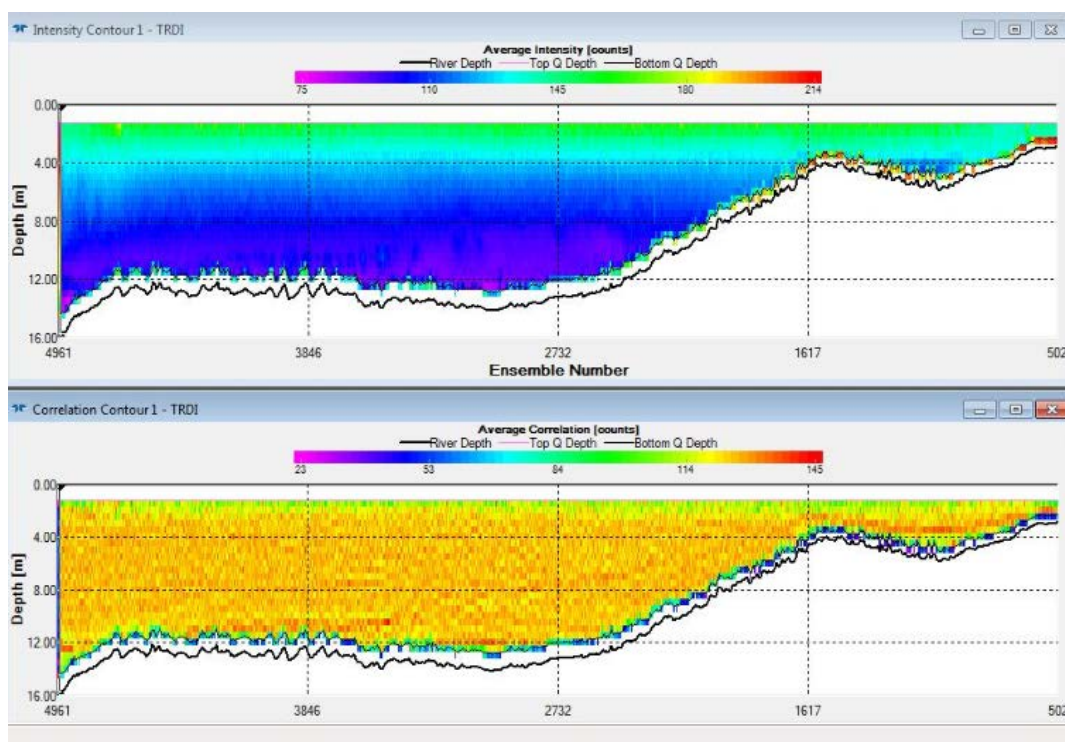


Figura 6.11. Profilul transversal al intensității semnalului acustic și al corelației în sectorul Vama Veche

Analiza datelor obținute relevă în general, o intensitate și o variabilitate crescută a curenților în zona adiacente digurilor din incinta porturilor/obstacole marine/promontorii naturale, precum și uniformitate acestora în zonele costiere în special în spațiul sectoarelor de țărm natural. Curentul longitudinal inclus în zona de surf și respectiv, în ariile din imediata apropiere a țărmului, pentru domeniul de adâncime de 2-5 m, a fost mai puțin intens având valori măsurate între 10 și 32 cm/s.

6.2.2 Măsurători realizate cu ajutorul stațiilor fixe (curentmetrul Midas 808-400)

În Figura 6.12 sunt prezentate câteva imagini din timpul testelor experimentale la care a luat parte și autorul acestei lucrări. După cum s-a menționat anterior măsurătorile corespund anului 2013, sunt realizate cu ajutorul curentmetrului Midas 808-400 pentru cele trei zone costiere: Sfântu Gheorghe, Cap Tuzla și Vama Veche. Pentru fiecare zonă s-au considerat câte patru puncte de referință, pozițiile acestora fiind prezentate în Figurile 6.4, 6.6 și 6.9, iar mai multe detalii despre acestea și despre măsurătorile obținute fiind furnizate în Tabelul 6.1.



Figura 6.12. Pregătirea aparaturii de măsurare și calibrarea curentmetrului Midas 808-400

Din acest tabel, se poate observa că stațiile de măsurare au fost alese pentru diverse adâncimi ale apei, acestea variind între 27 m și 40 m pentru sectorul Sfântul Gheorghe, în timp ce pentru zona Vama Veche se înregistrează un minim de 11 m și un maxim de 45 m. Măsurătorile sunt raportate pentru perioada de vară, în special pentru lunile iunie, iulie și august. De asemenea, trebuie precizat faptul că sectoarele Sfântul Gheorghe și Vama Veche au fost deja considerate pentru simulările numerice, astfel că aceste măsurători in situ pot fi folosite pentru identificarea acurateții rezultatelor obținute.

În Figura 6.13 este prezentată evoluția înălțimilor de val în cele patru puncte de referință din sectorul Sfântu Gheorghe. Aceste valori au fost calculate în funcție de componentele după x și y, rezultate în urma măsurătorilor in situ.

Tabloul 6.1 Caracteristicile punctelor de referință considerate pentru măsurătorile cu stația fixă Midas 808-400

Număr stație	Data	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Adâncime apă (m)
Sfântu Gheorghe				
SfGh-1	09.08.2011	44° 50'980"	29° 40'401"	27
SfGh-2	09.08.2011	44° 51'043"	29° 50'354"	39.2
SfGh-12	16.08.2011	44° 52'934"	29° 45'041"	37.4
SfGh-14	16.08.2011	44° 5'137"	29° 46'197"	39.7
Cap Tuzla				
Tuzla-1	29.06.2011	43° 58'177"	28° 41'090"	22.4
Tuzla-2	29.06.2011	43° 59'141"	28° 42'991"	33
Tuzla-3	2.07.2011	44° 00'457"	28° 41'255"	30
Tuzla-6	16.07.2011	44° 00'240"	28° 42'839"	31
Vama Veche – 2 Mai				
VV2Mai-2	07.07.2011	43° 47'289"	28° 37'902"	21
VV2Mai-7	11.07.2011	43° 45'847"	28° 43'659"	44
VV2Mai-9	12.07.2011	43° 45'021"	28° 43'571"	45
VV2Mai-10	15.07.2011	43° 47'309"	28° 36'102"	11

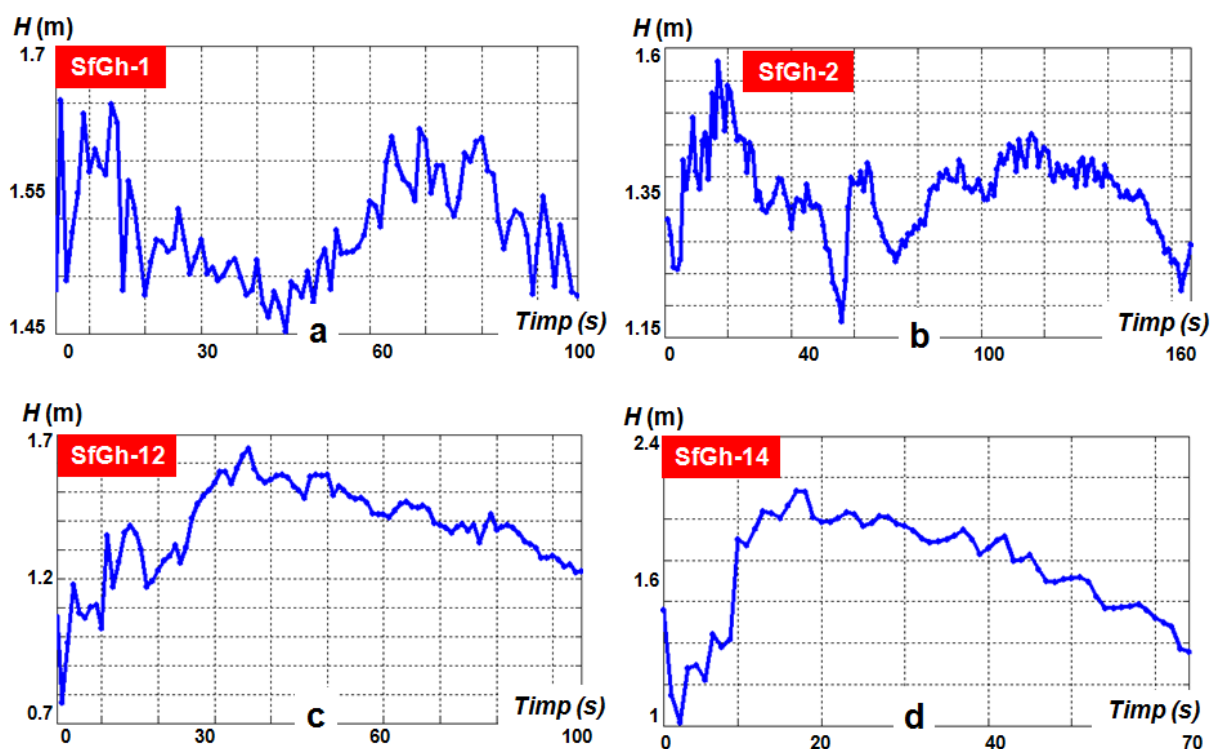


Figura 6.13. Evoluția înălțimilor de val în cele patru puncte de referință specifice sectorului Sfântu Gheorghe

Din analiza parametrilor de val pentru aceste puncte se observă următoarele valori: SfGh-1 - 1.01 m / 1.52 m / 1.65 m (minim / medie / maxim); SfGh-2 - 1.17 m / 1.37 m / 1.57 m; SfGh-12 - 0.77 m / 1.37 m / 1.65 m; SfGh-14 - 1.01 m / 1.75 m / 2.13 m.

Evoluția curenților litorali din zona Sfântu Gheorghe este prezentată în Figura 6.14 pe bază măsurătorilor in situ. Sunt prezentați atât curenții transversali (C_{vx}) cât și cei longitudinali (C_{vy}), valorile negative indicând faptul că aceștia se propagă în sens negativ axelor de referință. Rezultatele sunt raportate în funcție de profilele de adâncime, măsurătorile pornind de la suprafața apei (0 m) ajungând până la fundul apei.

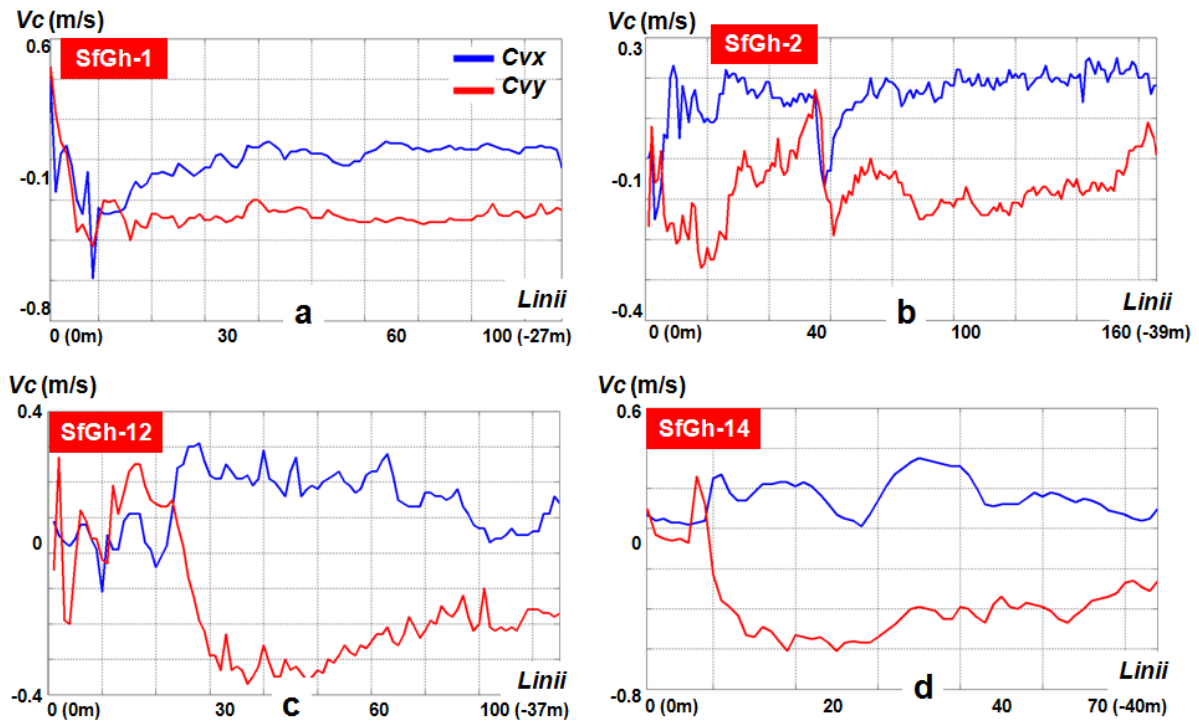


Figura 6.14. Evoluția curenților transversali (C_{vx}) și longitudinali (C_{vy}) în cele 4 puncte de referință din zona Sfântu Gheorghe. Valorile sunt raportate pe profile de adâncime de la suprafața apei (0m) și până la fundul apei

La fel, ca și în cazul măsurătorilor dinamice, se observă valori mai mari pentru curenții longitudinali, ceea ce indică faptul că în această zonă transportul sedimentelor de-a lungul țărmului este mai intens, fapt confirmat și de evoluția insulei Sahalin. Având în vedere că această lucrare se axează pe evaluarea curenților longitudinali, în continuare se vor evidenția principalele caracteristici ale acestora.

Atunci când curenții longitudinali se propagă din nord către sud se observă următoarele valori maxime: SfGh-1 (0.43 m/s); SfGh-2 (0.27 m/s); SfGh-12 (0.37 m/s); SfGh-14 (0.61 m/s). Atunci când curenții se propagă din sens opus se pot manifesta următoarele valori maxime: SfGh-1 (0.46 m/s); SfGh-2 (0.27 m/s); SfGh-12 (0.27 m/s); SfGh-14 (0.33 m/s).

Trecând la sectorul Tuzla, în Figura 6.15 este prezentată evoluția înălțimilor de val din care se pot menționa următoarele valori medii: Tuzla-1 (1.07 m); Tuzla-2 (1.30 m); Tuzla-3 (1.26 m); Tuzla-6 (1.29 m). Stațiile Tuzla-2 și Tuzla-3 situate la o adâncime a apei de circa 30 m prezintă valori maxime ce pot ajunge la 1.51-1.57 m, în timp ce stația Tuzla-1 indică un maxim de 1.28 m.

În ceea ce privește curenții longitudinali (Figura 6.16) punctele de control prezintă o variație a valorilor între: -0.29 m/s și 0.07 m/s (Tuzla-1); -0.36 m/s și 0.08 m/s (Tuzla-2); -0.39 m/s și 0.19 m/s (Tuzla-3); -0.32 m/s și -0.04 m/s (Tuzla-6).

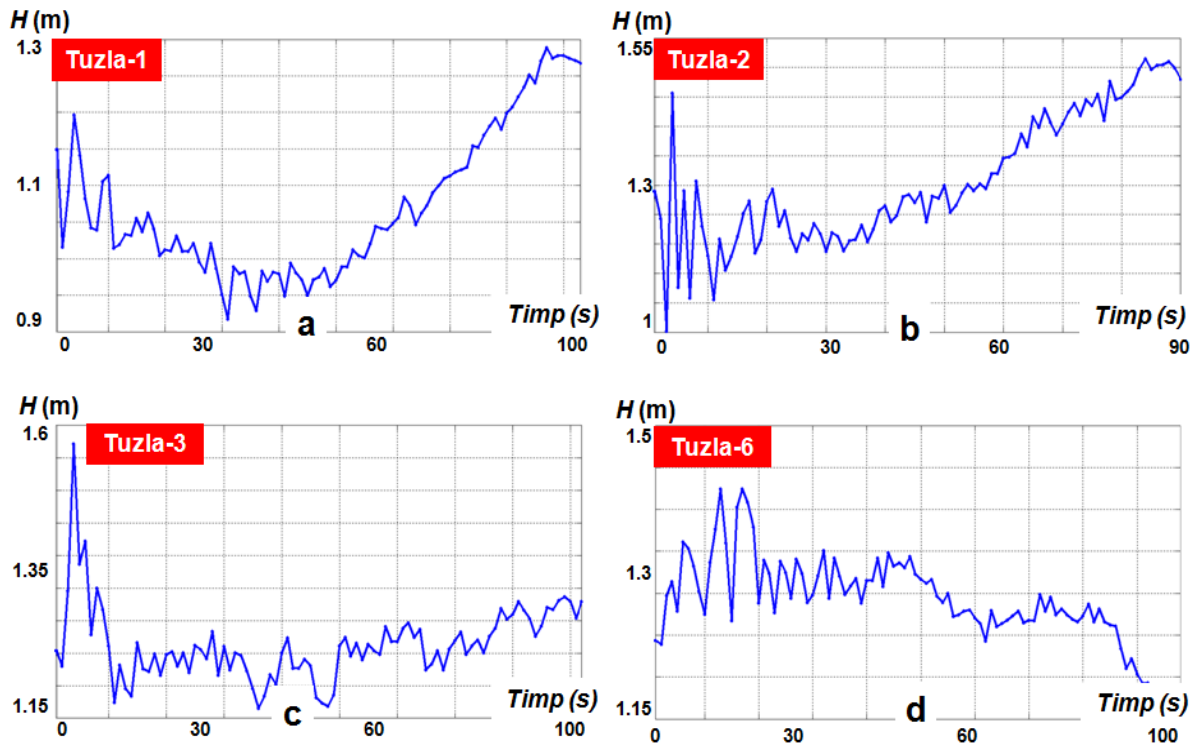


Figura 6.15. Evoluția înălțimilor de val în cele patru puncte de referință din sectorul Tuzla

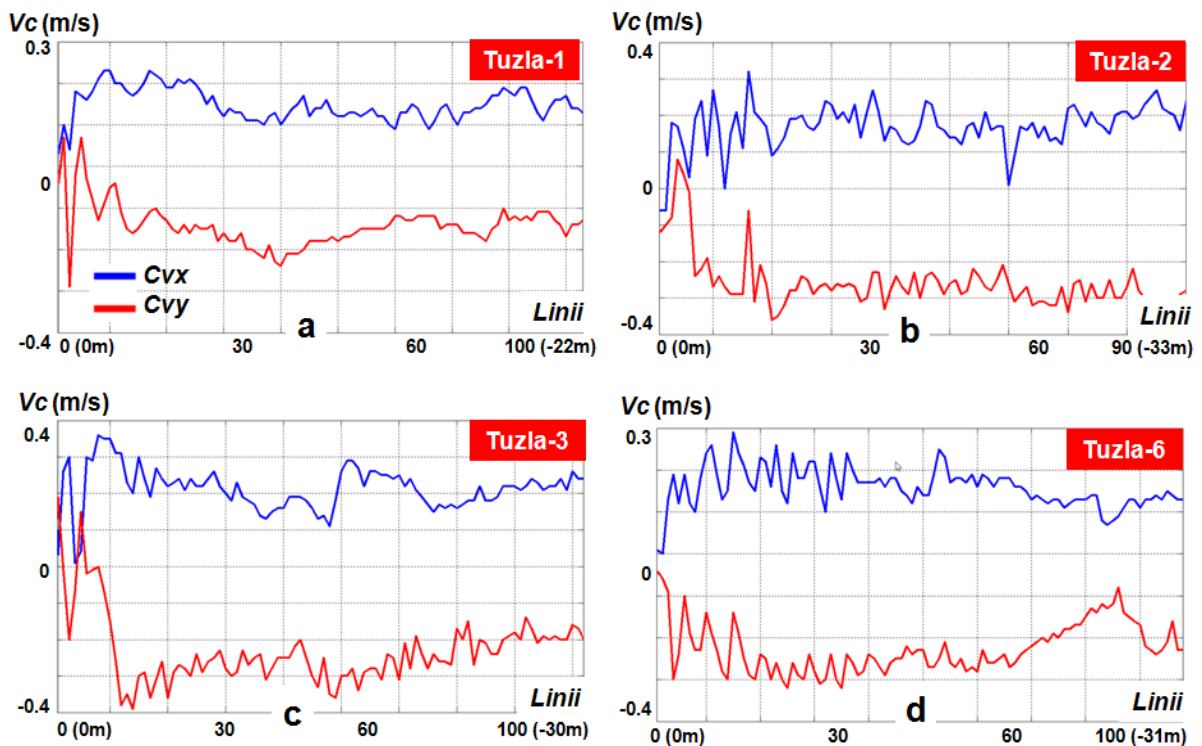


Figura 6.16. Evoluția curenților transversali (C_{vx}) și longitudinali (C_{vy}) în cele 4 puncte de referință din sectorul Tuzla

În ceea ce privește sectorul Vama Veche măsurătorile in situ corespunzătoare înălțimilor de val și curenților litorali sunt prezentate în Figurile 6.17 și 6.18. Pentru această sesiune de măsurători valorile pot prezenta valori în intervalul: 0.99-1.47m (VV2Mai-2); 0.99-1.69 m (VV2Mai-7); 0.85-1.61 m (VV2Mai-9); 0.52-1.24 m (VV2Mai-10). Curenții longitudinali prezintă următoarea variație pe adâncime: -0.44 m/s și 0.34 m/s (VV2Mai-2); -0.37 m/s și 0.32 m/s (VV2Mai-7); -0.44

m/s și 0.66 m/s (VV2Mai-9); -0.36 m/s și 0.39 m/s (VV2Mai-10), cu mențiunea că punctul VV2Mai-7 prezintă valori mai mari în apropiere de fundul mării.

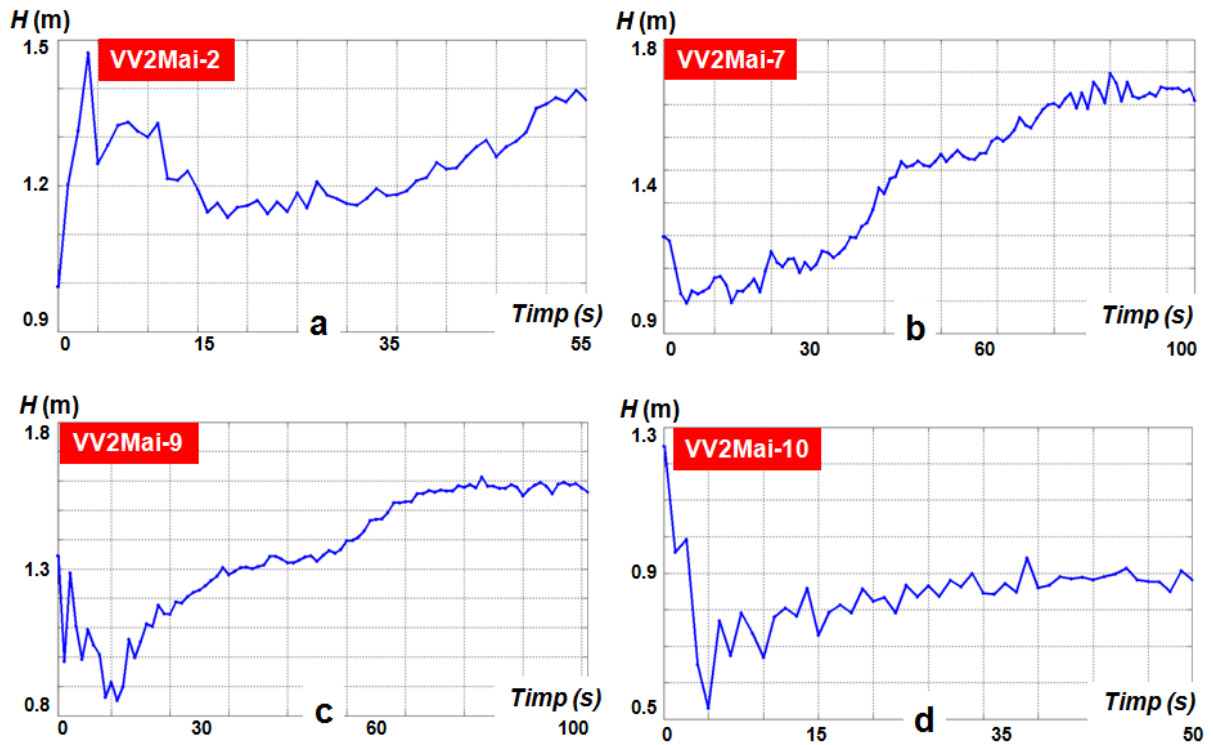


Figura 6.17. Evoluția înălțimilor de val în cele patru puncte de referință din sectorul Vama Veche - 2 Mai

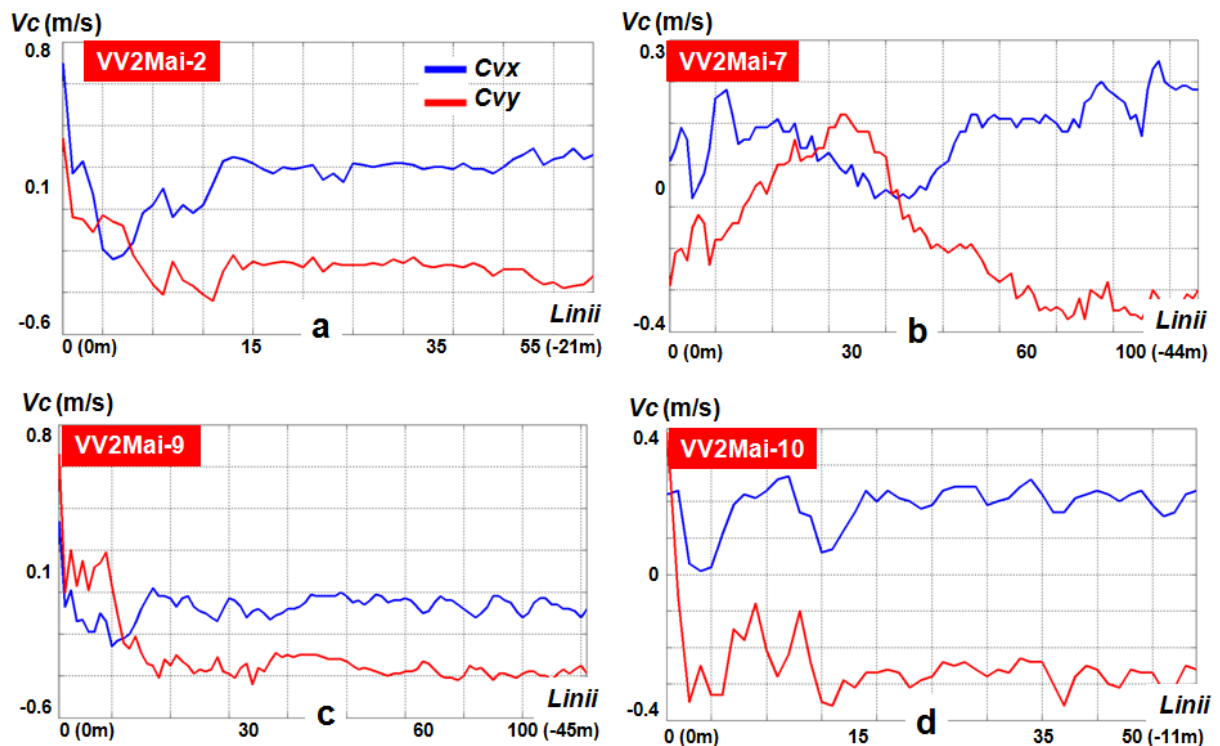


Figura 6.18. Evoluția curenților transversali (C_{vx}) și longitudinali (C_{vy}) în cele 4 puncte de referință din zona Vama Veche - 2 Mai

6.3 Comparații ale măsurătorilor in situ cu cele furnizate de modelele numerice (curenți longitudinali)

6.3.1 Sfântu Gheorghe

Dintre datele in situ se vor lua în considerare măsurătorile furnizate de stațiile fixe. Pentru a putea corela aceste măsurători cu valorile obținute din simulările numerice, se va folosi, ca și punct de reper, valorile medii ale înălțimilor de val (din măsurătorile in situ). Din analiza celor patru puncte de control se observă că valorile medii ale înălțimilor de val variază între 1.37 m și 1.75 m, acestea fiind măsurători reale în comparație cu înălțimile de val din simulările SWAN care sunt înălțimi semnificative de val (H_s). Pentru această zonă aceste înălțimi sunt mai apropiate ca valoare de studiul de caz CS1 (ferma generică) unde s-a folosit ca și date de intrare o înălțime de val de 1.3 m.

Din analiza valorilor maxime ale curenților longitudinali (C_{vy}) de-a lungul celor șapte linii de referință (L1-L7) se observă situații în care există o bună corelație între măsurătorile in situ și simulările numerice chiar dacă există diferențe în ceea ce privește adâncimea apei sau profilele de adâncime la care sunt raportate măsurătorile in situ.

Astfel dacă considerăm valorile maxime ale curenților care se propagă din nord-est (valori negative) și valorile similare ale curenților rezultați din simulările numerice (Tabel 5.7) se observă că punctul de referință SfGh-1 care are o valoare maximă 0.43 m/s este apropiat ca valoare de cea raportată pentru liniile L3, L4, L5 și L7. Punctul SfGh-2 (0.27 m/s) indică o valoare similară cu maximele indicate de liniile L2 și L6 în timp ce punctul SfGh-12 (0.37 m/s) prezintă o valoare identică cu cea din zona liniei L5 și apropiată de cea raportată pentru linia L4. Dintre măsurătorile in situ punctul de referință SfGh-14 (0.61 m/s) înregistrează un maxim care însă nu se apropie ca valoare de cel indicat de-a lungul liniei L1 (1.03 m/s).

Analizând valorile din sud-est se observă o bună corelație pentru: SfGh-1 (0.46 m/s) cu L5 și L4; SfGh-14 (0.33 m/s) cu liniile L2 și L6.

6.3.2 Mangalia

Curenții longitudinali din sectorul Mangalia (simulări numerice) vor fi comparații cu cei din zona Vama Veche (măsurători in situ) deoarece cele două zone sunt oarecum apropiate și prezintă caracteristici de batimetrie și ale țărmului similare. Având în vedere că măsurătorile de val (in situ) ale celor 4 puncte indică valori medii ale înălțimilor de val în intervalul 0.84 m și 1.36 m s-au folosit pentru comparație curenții longitudinali asociați studiului de caz CS1 (ferma generică). De această dată se poate observa că valorile maxime indicate de simulările numerice (Tabelul 5.19) prezintă valori mult mai mari decât cele furnizate de măsurătorile in situ atât pentru curenții generați de valurile din nord-est cât și pentru valurile din sud-est.

În schimb, dacă analizăm profilele transversale ale curenților, pe baza datelor furnizate de liniile L1, L4 și L7 (Figura 5.37) se pot trage următoarele concluzii:

a) pentru curenții generați de valurile din nord-est valorile maxime înregistrate de măsurătorile in situ ar putea fi întâlnite pentru: L1 - în apropiere de țărm sau la o distanță de 170 m de țărm; L4 - în apropiere de țărm sau la o distanță de 90 m de țărm; L7 - la o distanță de 25 m de țărm.

b) pentru curenții generați de valurile din sud-est se pot observa astfel de valori în apropiere de țărm pentru liniile L1 și L4, precum și în zona de larg pentru linia L7.

Capitolul 7

CONSIDERAȚII FINALE

7.1 Discuții asupra studiilor realizate

Monitorizarea și protecția zonelor costiere au devenit în ultimele decade probleme de importanță crescândă. Aceasta, în primul rând, datorită dezvoltării economice cu impact tot mai accentuat în aceste zone care impune o mai bună cunoaștere a fenomenelor și proceselor costiere. În același timp, modificările climatice globale induc uneori schimbări importante în dinamica litoralului ceea ce necesită un studiu și o cunoaștere continuă și amănunțită. În contextul general al dezvoltării globale, Marea Neagră a devenit un important coridor de transport al energiei dinspre est spre vest, inducând o creștere accentuată a activităților socio-economice în zona litoralului românesc. Aici se poate menționa cu siguranță și aderarea României la Uniunea Europeană, fapt ce contribuie la creșterea economică și dezvoltarea zonelor costiere.

În partea introductivă a tezei, s-au prezentat aspecte teoretice care țin de fenomenele costiere asociate zonelor cu apă puțin adâncă, cum ar fi propagarea și spargerea valurilor, precum și generarea curenților costieri sub acțiunea valurilor. Aceste noțiuni sunt necesare pentru a putea înțelege procesele care apar în zona de surf și care contribuie direct la modelarea liniei țărmului prin intermediul proceselor de eroziune și acreție, precum și pentru a înțelege aparatul matematic folosit de modelele numerice pentru a simula aceste procese.

Având ca obiectiv fundamental dezvoltarea unei metodologii, care să permită estimarea rapidă și corectă a curenților costieri care se formează în zona litoralului românesc [148], cercetările prezentate în acest lucrare se axează în principal pe problema validării predicțiilor sistemului ISSM, prin comparații cu modelul SHORECIRC, dar și cu date măsurate prin metode lagrangiene sau euleriene.

Patru zone costiere cu caracteristici foarte diferite au fost considerate pentru aceste comparații. Prima este o zonă costieră deschisă aparținând litoralului continental portughez, care are o bară longitudinală, dar care poate fi tratată prin prisma paradigmei 1D. Cea de-a doua este un golf la o insulă din Marea Mediterană, unde panta și contururile sunt destul de line, dar se observă o curbura evidentă a liniilor batimetrice de contur. Această a doua adresă nu îndeplinește condițiile paradigmei 1D. Cea de-a treia zonă se referă, de asemenea, la o insulă din Marea Mediterană (este vorba de zona Porto Ferro din Sardinia), unde contururile batimetrice sunt curbe și prezintă neregularități semnificative. În sfârșit, cea de-a patra zonă considerată este localizată în sudul litoralului românesc al Mării Negre (aria Mangalia); aici liniile de contur batimetrice sunt relativ paralele și au o formă șerpuitoare; în acest caz nu există o bară longitudinală, precum în primul studiu de caz, dar batimetria prezintă totuși neregularități puțin mai mari, fără a fi însă comparabile cu cele din cazul al treilea.

Se poate observa că rezultatele furnizate de modelul SWAN sunt în general acceptabile, devenind însă mai puțin precise pe măsură ce batimetria devine mai complicată. Erorile mai mari date de modelul SWAN, în ceea ce privește direcțiile valurilor (care se observă mai ales în cel de-

al doilea studiu de caz), se datorează probabil în principal la trei factori: a) batimetriile din apropierea zonei de surf au fost destul de neomogene și uneori au fost goluri în date cauzate de interpolare; b) a fost o bună corelare larg-țărâm între datele privind înălțimea semnificativă a aparatelor de măsurat, în timp ce corelarea direcțiilor valurilor este mult mai slabă; c) a fost utilizată o rezoluție insuficientă în spațiul geografic pentru modelul de val. Din acest motiv au fost realizate teste adiționale utilizând diverse rezoluții în direcția de avansare a valurilor (50 m, 25 m și 10 m), care însă au indicat faptul că o rezoluție a grilei de 10 metri nu este în general viabilă pentru simulări cu modelul SWAN.

Modelul SHORECIRC a fost utilizat ca o referință pe tot parcursul acestei lucrări. Așa cum s-a văzut, modulul de circulație al modelului SHORECIRC are puține restricții și poate fi considerat un model precis pentru o largă varietate de zone costiere. Cea mai severă limitare se referă la aproximarea efortului turbulent, care este reprezentată printr-un model destul de simplu. Cel mai mare dezavantaj al modelului SHORECIRC este acela că modulul de circulație lucrează în domeniul timpului și, deci, este greoi din punct de vedere al calcului. Pe de altă parte însă, calculele circulației costiere arată cel mai adesea faptul că, și atunci când forțarea este constantă sau variază ușor, caracteristicile curgerii pot fi puternic nestaționare (iar valurile tăietoare și curenții transversali sunt exemple concludente în acest sens) și, în consecință, un model în domeniul timpului ar trebui în mod firesc să furnizeze rezultate mai apropiate de realitate.

Instabilitățile numerice care apar sunt, în general, datorate variațiilor puternice și nerealiste în profilurile verticale ale vitezelor. Acestea pot fi evitate prin creșterea vâscozității turbulente în cadrul parametrizării modelului, dar trebuie totuși menționat că acest lucru nu a funcționat pentru al treilea studiu de caz. SHORECIRC poate fi, așadar, considerat ca un model destul de precis, iar cele mai multe imprecizii se datorează mai ales modului în care sunt aproximați termenii individuali.

Pentru a lua în considerare interacțiunile dintre valuri și curenți, forțarea dată de valuri este reînnoită la fiecare 5 perioade ale valurilor (aproximativ 200 pași de timp). Aceasta necesită de fiecare dată o simulare cu modelul REFDIF1, deși acest model (REFDIF1) este un model parabolic "de unghi larg", care permite variații substanțiale ale direcției valului în domeniul de calcul. Din cauza presupunerii de pantă lină, reflexia mișcării valurilor datorată pantelor mai abrupte și obstacolelor, nu poate fi reprezentată. Mai mult chiar, mișcarea valurilor se presupune că are o direcție dominantă (aproximarea parabolică), ceea ce se întâmplă în realitate destul de rar.

În cel de-al treilea studiu de caz, SHORECIRC are probleme în simulările în modul 3D. Din acest motiv, simulările din acel studiu de caz, s-au făcut utilizând modul 2D al modelului. Această versiune a fost totuși îmbunătățită prin includerea unui termen suplimentar în efortul de radiație modificat, care conduce la creșterea amestecului lateral în comparație cu modelele 2D standard. În această versiune 2D a modelului SHORECIRC, este necesar totuși să se crească substanțial vâscozitatea turbulentă pentru a compensa termenul dispersiv lipsă și a se obține rezultate rezonabile.

Așa cum era de așteptat, în aplicațiile costiere cu linii batimetrice de contur paralele (1D), vitezele curenților longitudinali obținute cu sistemele ISSM și SHORECIRC au fost destul de apropiate. Totuși această observație este valabilă pentru unghiuri relativ mici între direcția de înaintare a valurilor și normala la lina coastei. Pentru unghiuri mai mari de 15 grade, ISSM conduce la rezultate nerealiste. În aplicații, cum a fost al doilea studiu de caz, când liniile de contur ale batimetriei variază ușor dar sunt curbe, rezultatele date de sistemul ISSM au fost în general similare cu cele date de SHORECIRC.

În cazul batimetriilor cu variații 3D considerabile, utilizarea modelelor 1D devine neadecvată. Acest lucru este ilustrat în cel de-al treilea studiu de caz, când ISSM nu poate estima corect viteza curenților longitudinali. Trebuie totuși menționat că, în acest caz deosebit de complicat, și

rezultatele date de modelele 2D sunt destul de chestionabile, în timp ce modul 3D al modelului SHORECIRC nu a putut conduce la soluții stabile din punct de vedere numeric.

În ceea ce privește litoralul românesc, cel de-al patrulea studiu de caz, prezintă o batimetrie specifică zonelor aparținând coastei vestice a Mării Negre și deci, se poate aprecia că buna concordanță dintre rezultatele celor două sisteme de predicție a curenților costieri este încurajatoare pentru folosirea sistemului ISSM (totuși cu anumite restricții cum ar fi de exemplu unghiul de avans al valurilor față de normala la linia coastei) în zone extinse pentru estimarea operațională a acestor curenți.

Referitor la cele două sisteme discutate în această lucrare, se mai pot face și următoarele aprecieri. Pentru că implementarea modelului SHORECIRC, într-o zonă specifică, necesită o pregătire îndelungată pentru o acordare corespunzătoare a parametrilor modelului, se poate trage concluzia că, deși, SHORECIRC poate furniza rezultate rezonabile în multe aplicații costiere, modelul a fost realizat mai mult pentru studii teoretice decât pentru folosirea sa operațională. Modelul ISSM poate fi implementat extrem de ușor și dă rezultate acceptabile pentru o gamă largă de zone costiere și condiții de valuri incidente. Rezultatele au arătat faptul că sistemul ISSM nu poate fi utilizat cu succes atunci când gradientii variației batimetrice sunt puternici și aceasta este, de fapt, cea mai importantă limitare a modelului.

În Capitolul 4 s-a realizat o descriere generală a litoralului românesc precum și o analiză a evoluției liniei țărmului din cadrul principalelor sectoare de țărm. Se poate afirma că la ora actuală litoralul românesc se află într-un proces continuu de degradare având în vedere că o mare parte din lucrările hidrotehnice efectuate în perioada 1897-1990 nu mai sunt funcționale, la acest lucru adăugându-se și faptul că, odată cu pornirea complexului energetic Porțile de Fier și modernizarea principalelor zone portuare, fluxul de sedimente dunărene, s-a redus considerabil. În contextul dezvoltării sistemelor de extracție a energiei valurilor și a lucrărilor de reabilitare a litoralului românesc în perioada 2014-2041, se poate afirma că implementarea unor ferme de val în zona românească pare o alternativă viabilă dacă avem în vedere că majoritatea soluțiilor propuse se axează pe limitarea efectelor eroziunii costiere (ex: epiuri, înnisipări artificiale) și nu pe extragerea energiei valurilor, care reprezintă unul din principalii factori.

Din analiza măsurătorilor prezentate în literatura de specialitate [127] s-a pus în evidență faptul că în zona costieră românească vitezele curenților pot depăși frecvent 15 cm/s, acest lucru fiind suficient pentru dizlocarea particulelor de sedimente și implicit la favorizarea proceselor de eroziune și de relocare a depozitelor de aluviuni.

Impactul fermelor WEC asupra valurilor și curenților costieri din zona litoralului românesc a fost realizat pentru trei zone țintă: Sfântu Gheorghe, Mamaia și Mangalia. Acestea au fost alese pe baza faptului că sunt situate în cele două unități principale (nord și sud) care prezintă caracteristici naturale diferite, în timp ce sectorul Mamaia poate fi considerat ca și un sector de tranziție între acestea. În elaborarea studiilor de caz s-au considerat două scenarii principale, după cum urmează: a) fermă generică + măsurători in situ platformă Gloria; b) ferme Pelamis și Wave Dragon + date simulate cu modelul SWAN.

Pentru primul scenariu, capacitatea de absorbție a fermei a fost ajustată gradual de la situația când nu există nicio fermă (transmisie totală) până la o absorbție totală a valurilor (caz ideal) în timp ce, raportat la zonele de studiu, lungimea fermelor a fost ajustată pentru fiecare domeniu de calcul în parte: Sfântu Gheorghe – 9 km; Mamaia – 6 km; Mangalia – 2 km. Influența fermelor de val este direct proporțională cu intensitatea valurilor care intră în zona țintă și care poate duce chiar la reducerea cu circa 50% a înălțimilor de val din zona offshore pentru cazul de transmisie T5, în special pentru perioada de iarnă (caracteristici de val medii și extreme). După cum era de așteptat efectul de ecranare, produs de ferma generică, depinde în mare parte de direcția din care se propagă valurile, la acestea adăugându-se și caracteristicile batimetrice ale domeniului de calcul (ex: orientarea izoliniilor de batimetrie).

În ceea ce privește modificările care apar în apropierea țărmului (indicate de punctele NP) se observă că ferma generică are un impact mai mare asupra condițiilor de val medii ($H_s=3.9$ m; $T_m=7.2$ s) în comparație cu cele extreme ($H_s=8.7$ m; $T_m=9.4$ s) unde se pare că efectele disipative asociate zonelor cu apă puțin adâncă devin dominante, indiferent de direcția din care se propagă valurile.

Orientarea în spațiul geografic și poziționarea fermei WEC paralel cu linia țărmului pare a fi o soluție adecvată pentru zona costieră deoarece nu împiedică transportul sedimentelor de-a lungul țărmului în cazul curenților longitudinali generați de valurile din nord-est și sud-est care nu prezintă modificări majore față de valorile inițiale. Este important de precizat că acești curenții longitudinali rezultă în urma acțiunii valurilor care se apropie la un unghi ascuțit de linia țărmului, astfel că, pentru valurile, care se propagă din est, curenții longitudinali sunt evaluați mai degrabă în raport cu orientarea locală a sectoarelor de țărm (în care se află liniile de referință). Un caz particular îl constituie sectorul Mamaia, unde linia țărmului este orientată la circa 32° față de axa y (direcție nord).

Referitor la simulările pe termen mediu în care s-au folosit sistemele Pelamis și Wave Dragon și date obținute din simulările SWAN (ianuarie 1999 - decembrie 2008), se poate preciza faptul că valorile statistice obținute sunt mai mici decât cele raportate pentru stația Gloria. Acest lucru se datorează faptului că această stație este situată mai în larg, valurile nefiind influențate de scăderea adâncimii apei, în timp ce pentru simulările numerice s-au activat diverși parametri specifici zonelor cu apă puțin adâncă, cum ar fi interacțiunea între valuri sau frecarea acestora cu fundul mării. Studiile de caz s-au axat, de asemenea, pe cele trei zone țintă, sistemele WEC fiind dispuse pe două linii, iar fermele de val fiind caracterizate de o lungime și poziționare similară cu cea din cazul fermelor generice.

Sistemul Wave Dragon are un impact mai mare asupra câmpurilor de valuri decât sistemul Pelamis datorită faptului că acesta este un sistem de tip terminator care prezintă o deschidere a reflectoarelor de val semnificativă (300 m). Efectul de ecranare, generat de sistemele Pelamis, este mai semnificativ în cazul valurilor din nord-est și sud-est și pentru caracteristici de val medii sau extreme, atunci când, prin orientarea lor, ferma WEC se comportă ca un dig sparge-val. În ceea ce privește valurile din est, acestea se propagă printre sistemele WEC fără a înregistra modificări majore în spațiul geografic. La impactul valurilor cu ferma Wave Dragon se observă mai clar prezența celei de-a doua linii de sisteme WEC în comparație cu ferma Pelamis. Parametrii de val raportați în apropierea țărmului prezintă variații foarte mici pentru ambele sisteme WEC, în special pentru înălțimea semnificativă de val H_s și perioada de val T_m , în timp ce modificări mai semnificative sunt raportate pentru direcția valurilor care indică faptul că, în prezența fermelor Pelamis și Wave Dragon, valurile se pot roti în zonele țintă, modificând astfel și tendințele de eroziune costieră.

Partea practică a tezei s-a axat pe efectuarea unor serii de măsurători (dinamice și statice) a condițiilor de val și curenților costieri din zona litoralului românesc folosind sistemele de măsurare de tip ADCP RDI WH600 și MIDAS 808-400 [149]. Zonele considerate pentru sesiunile de măsurători sunt următoarele: a) gurile Dunării - Sf. Gheorghe; b) Cap Tuzla; c) litoral Vama Veche.

În zona de mică adâncime pe sectorul sudic, au fost efectuate, în simultaneitate, și înregistrări ale direcției și vitezei curenților prin folosirea ADCP-urilor RDI WH600, obținându-se astfel profile de curenți transversale pe țărm, dar și măsurători în stații fixe punctuale.

Rezultatele obținute au pus în evidență caracterul tridimensional neuniform al câmpului curenților din zona de mică adâncime, evidențiind existența unor gradienti importanți pe direcția verticală, determinați atât de diferențele de viteză cât și de gradientii batimetrice care există în orientarea curgerii la diferite nivele, în special în zonele de rupere de pantă caracteristice litoralului sudic, cu fund stâncos din sectorul la sud de Capul Tuzla până la Vama Veche. Astfel,

variabilitatea vitezelor înregistrate de curenți este considerabilă, reflectând modificările rapide ale direcției și vitezei vânturilor locale.

În vederea studierii caracteristicilor câmpului curenților în zona cu adâncimi mici (2-15 m) din imediata apropiere a țărmului, în perioada sezonului cald (primăvară - vară), experimentele in situ, realizate cu ajutorul curentmetrelor electromagnetice și ADCP-urilor (în regim static și dinamic), au furnizat date și informații necesare pentru validarea modelelor de circulație și ale celor de transport sedimentar asociate.

Pentru stratul de suprafață (0-2.5 m în adâncime), măsurătorile realizate asupra vitezelor curenților costieri și marini verifică valorile calculate pe model. Deși, impactul asupra coastei este important în sud, pe litoralul deltaic s-au evidențiat anumite convergențe și intensificări ale câmpului de curenți în zona Sfântu Gheorghe - Insula Sacalin. Datele și informațiile rezultate în urma măsurătorilor au fost determinante pentru validarea prognozelor realizate pe model, conducând la evaluări cantitative asupra modurilor de generare a curenților litorali și respectiv a proceselor de eroziune/depunere. Rezultatele obținute pe model 3D, în stratul de suprafață, evidențiază un bun acord cantitativ cu rezultatele măsurătorilor pentru valori reale ale parametrilor hidrodinamici, respectiv includerea vectorilor curenților în domeniul valorilor medii de fond 0-0.35 cm/s (pentru domeniul de mică adâncime: 2-15 m).

Având în vedere rezultatele prezentate în această teză, se poate concluziona că sistemul ISSM poate fi folosit cu succes în evaluarea parametrilor de val și a curenților longitudinali din zonele costiere (în general) și respectiv din zona românească. În ceea ce privește protecția litoralului românesc pe termen mediu și lung, se poate afirma că în contextul dezvoltării sistemelor de extracție a valurilor, fermele WEC pot reprezenta o alternativă viabilă la soluțiile hidrotehnice avute în vedere la ora actuală.

7.2 Contribuții personale

Se poate spune că principalele elemente de originalitate ale tezei constau în implementarea sistemului ISSM pentru întreaga zonă a litoralului românesc precum și în elaborarea unor studii de caz care se axează pe evaluarea impactului unor ferme WEC (generice, Pelamis sau Wave Dragon) asupra câmpurilor de valuri și a curenților longitudinali din această zonă, în vederea îmbunătățirii protecției costiere.

Studiile teoretice și practice prezentate în cadrul acestei lucrări s-au desfășurat pe mai multe direcții de cercetare care pot fi grupate astfel:

a) Documentare și procesarea datelor din literatura de specialitate

- a1) identificarea elementelor teoretice relevante ce țin de fenomenele specifice mediului marin precum și pe o analiză în detaliu a sistemelor de modelare SHORECIRC și ISSM;
- a2) evaluarea dinamicii costiere din zona litoralului românesc, punându-se accent pe starea actuală a sistemelor de protecție, pe măsurile propuse pe termen mediu și lung precum și pe evoluția liniei țărmului pentru diverse celule sedimentare. De asemenea, pe baza legii lui Bruun, s-au pus în evidență tendințele de eroziune costieră luând în considerare o eventuală creștere a nivelului mării.

b) Studii de caz considerând sistemele de modelare SHORECIRC și ISSM

- b1) elaborarea studiului de caz 1 - simularea curenților costieri din partea centrală a coastei continentale portugheze (la sud de orașul portughez Figueira da Foz) cu ajutorul modelului

SHORECIRC și compararea rezultatelor obținute cu valorile furnizate de sistemul ADCP și de seturile de plutitori;

b2) elaborarea studiului de caz 2 - compararea celor două sisteme de predicție a curenților costieri pentru zona Campese Bay, situată în insula Giglio din Marea Mediterană și compararea rezultatelor cu măsurătorile furnizate de dispozitivele Nortek;

b3) elaborarea studiului de caz 3 - compararea celor două sisteme de modelare pentru zona Porto Ferro, localizată pe coasta de nord a Sardiniei (lângă orașul Alghero) și compararea rezultatelor cu măsurătorile furnizate de dispozitivele Nortek;

b4) elaborarea studiului de caz 4 - evaluarea valurilor și curenților din zona costieră românească cu ajutorul celor două sisteme de modelare.

c) Procesare și analiza datelor de val provenind de la măsurători in situ sau simulări SWAN

c1) procesarea măsurătorilor de val in situ specifice platformei de foraj Gloria, considerând date raportate pentru o perioadă de 7 ani (ianuarie 2003 - decembrie 2009);

c2) simularea numerică a condițiilor de val din întreg bazinul Mării Negre pentru intervalului de timp ianuarie 1999 - decembrie 2008 cu ajutorul modelului SWAN. S-au folosit ca și date de intrare condițiile de vânt furnizate de NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis).

c3) focalizarea sistemului de modelare SWAN pe zona litoralului românesc și reluarea simulărilor numerice (de la punctul c2) pentru acest domeniu de calcul pentru a putea evalua mai în detaliu câmpurile de valuri locale prin introducerea în cadrul simulărilor a unor procese disipative asociate zonelor cu apă puțin adâncă (ex: frecarea cu fundul mării).

c4) prelucrarea statistică a principalilor parametri de val rezultați din simulările SWAN pentru zona Sfântu Gheorghe (S1 - 30°05'E/44°77'N) considerând intervalul de timp ianuarie 1999 - decembrie 2008;

c5) prelucrarea statistică a principalilor parametri de val rezultați din simulările SWAN pentru zona Mamaia (S2 - 29°30'E/44°31'N) considerând intervalul de timp: ianuarie 1999 - decembrie 2008;

c6) prelucrarea statistică a principalilor parametri de val rezultați din simulările SWAN pentru zona Mangalia (S3 - 28°84'E/43°90'N) considerând intervalul de timp: ianuarie 1999 - decembrie 2008.

d) Studii de caz privind influența fermelor WEC asupra valurilor și curenților longitudinali din zona litoralului românesc

d1) procesarea datelor de batimetrie din zona Sfântu Gheorghe;

d2) procesarea datelor de batimetrie din zona Mamaia

d3) extragerea și procesarea datelor de batimetrie din zona Mangalia;

• *Influența fermelor WEC asupra câmpurilor locale de valuri*

d4) evaluarea impactului unei fermei generice asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Sfântu Gheorghe;

- d5) evaluarea impactului unei fermei generice asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mamaia;
- d6) evaluarea impactului unei fermei generice asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mangalia;
- d7) evaluarea impactului unei fermei Pelamis (46 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Sfântu Gheorghe;
- d8) evaluarea impactului unei fermei Wave Dragon (18 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Sfântu Gheorghe;
- d9) evaluarea impactului unei fermei Pelamis (31 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mamaia;
- d10) evaluarea impactului unei fermei Wave Dragon (13 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mamaia;
- d11) evaluarea impactului unei fermei Pelamis (12 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mangalia;
- d12) evaluarea impactului unei fermei Wave Dragon (5 sisteme) asupra condițiilor de val (în spațiul geografic și spectral) din zona Mangalia;
- *Influența fermelor WEC asupra curenților longitudinali*
 - d13) analiza impactului unei fermei generice asupra curenților longitudinali din zona Sfântu Gheorghe;
 - d14) analiza impactului unei fermei generice asupra curenților longitudinali din zona Mangalia;
 - d15) analiza impactului unei fermei generice asupra curenților longitudinali din zona Mamaia;
 - d16) analiza impactului unei fermei Pelamis asupra curenților longitudinali din sectorul Sfântu Gheorghe;
 - d17) analiza impactului unei fermei Wave Dragon asupra curenților longitudinali din sectorul Sfântu Gheorghe;
 - d18) analiza impactului unei fermei Pelamis asupra curenților longitudinali din sectorul Mamaia;
 - d19) analiza impactului unei fermei Wave Dragon asupra curenților longitudinali din sectorul Mamaia;
 - d20) analiza impactului unei fermei Pelamis asupra curenților longitudinali din sectorul Mangalia;
 - d21) analiza impactului unei fermei Wave Dragon asupra curenților longitudinali din sectorul Mangalia;
- e) Măsurători experimentale ale valurilor și ale curenților costieri din zona litoralului românesc
 - e1) măsurarea curenților costieri (în regim dinamic) din sectorul Sfântu Gheorghe cu ajutorul sistemului ADCP RDI WH600;

- e2) măsurarea curenților costieri (în regim dinamic) din sectorul Tuzla cu ajutorul sistemului ADCP RDI WH600;
- e3) măsurarea curenților costieri (în regim dinamic) din sectorul Vama Veche cu ajutorul sistemului ADCP RDI WH600;
- e4) măsurarea valurilor și curenților costieri (în regim static) din sectorul Sfântu Gheorghe cu ajutorul sistemului MIDAS 808-400. Datele sunt raportate pentru luna august 2011 și au fost realizate în patru puncte de referință: SfGh-1, SfGh-2, SfGh-12 și SfGh-14;
- e5) măsurarea valurilor și curenților costieri (în regim static) din sectorul Tuzla cu ajutorul sistemului MIDAS 808-400. Datele sunt raportate pentru lunile iunie și iulie 2011, și au fost realizate în patru puncte de referință: Tuzla-1, Tuzla-2, Tuzla-3 și Tuzla-6;
- e6) măsurarea valurilor și curenților costieri (în regim static) din sectorul Vama Veche cu ajutorul sistemului MIDAS 808-400. Datele sunt raportate pentru lunile iunie și iulie 2011, și au fost realizate în patru puncte de referință: VV2Mai-2, VV2Mai-7, VV2Mai-9 și VV2Mai-10.

- Diseminarea rezultatelor

Cercetările efectuate au fost valorificate prin intermediul a 17 lucrări științifice publicate în jurnale ISI, reviste indexate în baze de date internaționale sau în conferințe internaționale. Dintre acestea cele mai valoroase lucrări pot fi considerate: a) cartea *Modelarea curenților costieri* publicată în cadrul editurii Universității Dunărea de Jos; b) articolul publicat în *Energy* (*IF: 4.16/2014*); c) articolul publicat în jurnalul *JEPE* (*IF: 0.35/2014*); d) articolul publicat în *International Journal of Geosciences* (cotat ISI); d) cele două lucrări prezentate la conferința *International Multidisciplinary Scientific GeoConferences* (indexată ISI). Multe dintre rezultatele obținute în această teză au fost incluse în cadrul proiectului *Data Assimilation Methods for improving the WAVE predictions in the Romanian nearshore of the Black Sea - DAMWAVE* (PN-II-IDPCE-2012-4-0089).

7.3 Direcții pentru cercetări viitoare

Lucrarea de față s-a axat în mod special pe implementarea unui sistem rapid de evaluare a valurilor și curenților costieri precum și pe elaborarea unor studii de caz ce analizează influența unor ferme de val pentru zona costieră românească. Având în vedere complexitatea temei abordate și dinamica fenomenelor costiere și marine din zona litoralului românesc al Mării Negre mai multe direcții de cercetare pot fi avute în vedere pentru cercetările viitoare. Ținând cont că o mare parte din cercetările curente s-au axat pe modelarea numerică a proceselor costiere în acest sens se pot sugera următoarele direcții:

- Cu toate că sistemul ISSM a fost validat pentru mai multe zone costiere, un prim pas ar consta în validarea și calibrarea acestuia pentru întreg litoralul românesc, considerând măsurători in situ.
- Implementarea unui sistem bazat pe modele numeric cu asimilare de date care să monitorizeze în timp real evoluția valurilor și curenților din întreaga zonă costieră românească, considerând ca date de intrare măsurători in situ sau de satelit din această zonă. Printr-un astfel de sistem se poate identifica cu acuratețe sectoarele de țărâm în care predomină sau se va înregistra o accentuare a eroziunii costiere în special în cazul unor episoade de furtună.

- Simulările numerice viitoare ar trebui să includă și structurile costiere (portuare, jetele, etc) care există în apropierea țărmului pentru a putea identifica influența acestora asupra curenților longitudinali și, implicit, asupra fluxului de sedimente.
- Realizarea unor studii de caz prin care să se identifice tendințele de evoluție a liniei țărmului pe termen mediu și lung.
- Având în vedere că vântul are un rol important în formarea curenților costieri, în simulările viitoare ar trebui inclus și acest parametru pentru a putea identifica eventualele diferențe care ar putea exista, în raport cu rezultatele prezentate în această teză.
- De identificat configurația liniei țărmului considerând o eventuală creștere a vitezei curențului.
- Elaborarea unor studii de caz în care estimarea proceselor costiere să se facă având în vedere o eventuală creștere a nivelului apei. În această situație o mai bună protecție costieră ar putea fi asigurată de un sistem plutitor (ex: Pelamis sau Wave Dragon) care s-ar menține la suprafața apei și nu ar fi influențat de eventualele modificări ale adâncimii apei, cum ar fi de exemplu pentru o structură sparge-val.
- Realizarea unor studii de caz în care să se ajusteze distanța dintre țărm și fermele de val pentru a putea identifica impactul acestora asupra valurilor și asupra curenților longitudinali din zonă.
- Elaborarea unor studii de caz în care fermele WEC să fie aliniate transversal sau la un anumit unghi față de linia țărmului pentru a putea compara rezultatele obținute cu cele din cazul sistemelor WEC, aliniate paralel cu țărmul.
- Evaluarea valurilor și curenților costieri considerând și alte structuri din mediul marin, cum ar fi cele din cadrul fermelor eoliene offshore sau digurile sparge-val.
- Compararea soluțiilor clasice de protecție a țărmului (ex: diguri) cu diverse sisteme WEC pentru a putea identifica viabilitatea unor astfel de proiecte. Aceste studii se pot realiza luând în considerare factori ce țin de: raport preț-calitate, eficiență, comportare la condiții extreme, eroziunea structurilor și uzura echipamentelor, perioada de amortizare a investițiilor.
- Identificarea eventualelor efecte de tip *domino* în care, prin protecția unor sectoare de țărm cu ajutorul unor sisteme WEC (sau de alt tip), se pot modifica procesele de eroziune sau de transport de sedimente din zonele de țărm alăturate.

LISTA DE LUCRĂRI

A - PUBLICAȚII ÎN JURNALE COTATE ISI

1. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Coastal impact assessment of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Energy, Volume 72, 1 august 2014, pag. 652-670, (I.F: **4.16 / 2014**) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214006604>
2. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*, Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), Volume 15 (2), pag. 597-605, (I.F: **0.35 / 2014**)
<http://www.jepe-journal.info/vol-15-no-2-2014>
3. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Studies concerning the influence of the wave farms on the nearshore processes*. International Journal of Geosciences 5 (7), pag. 728-738.
<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=47121>

B – PUBLICAȚII ÎN JURNALE INTERNAȚIONALE INDEXATE BDI

4. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E. *The coastal impact of the WEC arrays operating in the coastal environment of the Black Sea*. Marine Engineering Frontiers, 2 (2), 16-23,
<http://www.seipub.org/mef/paperInfo.aspx?ID=16614>

C - CARTE

5. Rusu E, **Zanopol AT**, 2009. *Modelarea curenților costieri*, Galati University Press, 211 p.

D - LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE INTERNAȚIONALE

6. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Longshore currents evaluation along the romanian Black Sea coast*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 17 - 26 June 2014 Albena, Bulgaria (**indexată ISI**).
<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-deadline-2/sgem-deadline-6>
7. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Wave farms influence on the Mangalia nearshore wave pattern*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 17 - 26 June 2014 Albena, Bulgaria (**indexată ISI**).
<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-deadline-2/sgem-deadline-6>
8. Rusu E, **Zanopol AT**, 2014. *Modelling the coastal processes at the mouths of the Danube River in the Black Sea*. Poster la European Goscience Union General Assembly (EGU), 2014 Viena, Austria, 27 aprilie - 2 mai 2014.
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-2154.pdf>
9. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Poster la International Conference AQUALIRES 2014: New tools for sustainable management of aquatic living resources, 17-18 January 2014, Bucharest Romania. <http://aqualires.incdpm.ro/images/AGENDA.pdf>

10. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2013. *The wave field conditions in the presence of a hybrid wave-wind farm located in the Romanian nearshore*. The International Symposium: "Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Third Millennium Imperative", Sixth Edition, 31 October 2013, Constanta, Romania.
http://www.blacksea-commission.org/Downloads/BS-GES-2013-Conference_Program_18.10.pdf

E - PUBLICAȚII ÎN JURNALE INDEXATE ÎN BAZE DE DATE INTERNAȚIONALE

11. **Zanopol AT**, Onea F, 2014. *Coastal Impact of a Wave Dragon Farm Operating in the Mamaia Sector*. Lucrare prezentată la Conferința Scolilor Doctorale din UDJ Galați, <http://www.cssd-udjg.ugal.ro> și acceptată spre publicare în Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI).
12. **Zanopol AT**, Onea F, Raileanu A, 2014. *Coastal impact simulation of a Wave Dragon farm operating in the nearshore of Mangalia*. Constanta Maritime University Annals - An XV, Vol. 21-2014, Sect. I, pag. 65-70.
13. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu L, 2014. *Experimental results to evaluate the wave and currents conditions in the Romanian nearshore*. Constanta Maritime University Annals - An XV, Vol. 21-2014, Sect. I, pag. 71-78.
14. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu L, 2014. *Evolution of the Romanian nearshore currents under the influence of WEC farms*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Mechanical Testing and Diagnosis – acceptată spre publicare.
15. **Zanopol AT**, Onea F, 2013. *Coastal influence of a Pelamis wave farm operating in the nearshore of Mamaia*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Mechanical Testing and Diagnosis, 3, 5-14, <http://www.om.ugal.ro/Mtd/issue2013-3.htm>
16. **Zanopol AT**, Onea F, 2013. *Assesment of the wind energy potential from the Black Sea area with satellite data*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI), 2, 185-191, http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2013/Annals%202013%20volume%20II.htm
17. Rusu E, **Zanopol AT**, Bernardino M, 2009. *A Simplified Model for the Nearshore Currents. Data*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle X, Applied Mechanics, Issue 1, 13-26. <http://www.mrm.ugal.ro/AnnalsAbstracts/2009/LL-2.pdf>

BIBLIOGRAFIE

- [1] F. P. Shepard, D. L. Inman, *Nearshore water circulation related to bottom topography and wave refraction*, Transactions American Geophys, 2 (1950) 196-212;
- [2] E. Rusu, **A. T. Zanopol**, 2009. *Modelarea curenților costieri*, Galati University Press, 211p;
- [3] CERC, *Shore Protection Manual*. Coastal Engineer Research Center, U.S. Army Corps of Engrs. Washington D.C.: U.S. Govt. Printing Office, (1984);
- [4] P. J. Visser, Laboratory measurements of uniform longshore currents. Coastal Engng. 15 (1991) 563-593;
- [5] A. J. Bowen, *The generation of longshore currents on a plane beach*. J. Marine Res. 27 (1969) 206-215;
- [6] M.S. Longuet-Higgins, *Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 1*. J. Geophys. Res, 75(33) (1970) 6778-6789;
- [7] M. S. Longuet-Higgins, *Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 2*. J. Geophys. Res, 75(33) (1970) 6790-6801;
- [8] E. B. Thornton, *Variation of longshore current across the surf zone*. In Proc. 12th Int. Conf. Coastal Engng, Washington, 1 (1970) 306-316;
- [9] C. J. Galvin, *Breaker type classifications of three laboratory beaches*. Journal of Geophysical Research 73 (1968) 3651-3659;
- [10] A. J. Bowen, *Rip currents. 1-theoretical investigations*. J. Geophys. Res. 74(23) (1969) 5467-5478;
- [11] U. Putrevu, I. A. Svendsen, *A mixing mechanism in the nearshore region*. In Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Engng, Venice, Vol. 3 (1992) 2758-2771;
- [12] I. A. Svendsen, U. Putrevu, *Nearshore mixing and dispersion*. Proc. R. Soc. Lond, 4(445), (1994) 561-576;
- [13] N. Kobayashi, E. A. Karjadi, B. D. Johnson, *Dispersion effects on longshore currents in surf zones*. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engng. 123(h) (1997) 240-248;
- [14] C. C. Mei, P. L. F. Liu, *Effects of topography on the circulation in and near the surf zone - linear theory*. Estuarine and Coastal Marine Science, 5 (1977) 25-37;
- [15] C.-H. Wu, P. L.-F. Liu, *Effects of nonlinear inertial forces on nearshore currents*. Coastal Engng. 8 (1984) 15-32;
- [16] U. Putrevu, J. Oltman-Shay, I. A. Svendsen, *Effect of a longshore nonuniformities on longshore current predictions*. J. Geophys. Res, 100 (C8) (1995) 16119-16130;
- [17] F. E. R. Sancho, I. A. Svendsen, A. R. Van Dongeren, U. Putrevu, *Longshore nonuniformities of nearshore currents*. In Coastal Dynamics'95, Gdansk, (1995) 425-436;
- [18] R. A. Dalrymple. *Rip currents and their causes*. In Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engng, Hamburg, 2 (1978) 1414-1427;

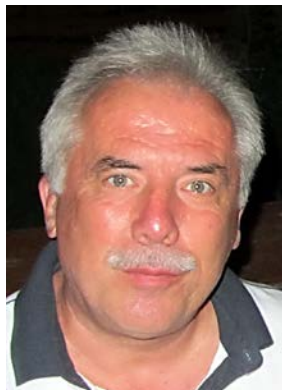
- [19] I.A. Svendsen, K. Haas, Q. Zhao, *Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC*, version 2.0. Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 U.S.A. (2002);
- [20] T.R. Mettlach, M.D. Earle, Y.L. Hsu, *Software Design Document for the Navy Standard Surf Model, Version 3.2*. Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, Mississippi, (2002)187;
- [21] E. Rusu, D.C. Conley, E.F. Coelho, *A Hybrid Framework for Predicting Waves and Longshore Currents*. Journal of Marine Systems, 69 (2008) 59–73;
- [22] N. Booij, R.C. Ris, L.H. Holthuijsen, *A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation*. J. Geophys. Res. 104 (C4) (1999) 7649-7666;
- [23] J. A. Battjes, *Modeling of turbulence in the surf zone*. In Proc. Symp. on Modelling Techniques, San Francisco, (1975) 1050-1061;
- [24] Y.L. Hsu, T.R. Mettlach, M.D. Earle, *Improvement and Validation of the Navy Longshore Current Model*. NRL Formal Report, NRL/FR/7320-00-9927, (2000);
- [25] R. Silva, A. Jorge da Silva, E. Rusu, F. Oliveira, S. Larangeiro, R. Taborda, *Evaluation of the Longshore Current for a Sector of the Portuguese West Coast: Application of Different Methodologies*. Coastal Engineering, World Scientific Pub Co Inc 2005, Vol. II (2004) 1455-1467;
- [26] F. Gomes, L. B. Pacheco, J. Silva, R. Silva, E. Rusu, *Using GIS In The Evaluation Of The Wave Induced Circulation In The Portuguese Nearshore*. EGS General Assembly, Nice, France, (2004).
- [27] R.M. Mărgineanu, A. M. B. Apostu, O. G. Dului, C. Varlam, V. Pătrașcu, *Fondul radioactiv în zona de coastă a Mării Negre*. AKADEMOS, 1 (24): (2012) 97-100;
- [28] P. Barter, *Causes and Responses to Romania's Coastal Erosion Issues*. Coasts, Marine Structures and Breakwaters. 18-20 September 2013, Edinburgh, UK;
- [29] N. Panin, *Danube Delta: Geology, Sedimentology, Evolution*. Ass. Sedimentologistes Francais 65, Fontainbleau (1998);
- [30] N. Panin, *Global changes, sea level rise and the Danube Delta: risks and response*. Geo-Eco-Marina 1999; 4, 19-29. Bucharest, Romania;
- [31] A. Stanica, S. Dan, G. Ungureanu, *Coastal changes at the Sulina mouth of the Danube River as a result of human activities*. Marine Pollution Bulletin, 55(10) (2007) 555-563;
- [32] Halcrow, *Raport diagnostic al zonei costiere. Implementarea structurii adecvate de prevenire a riscurilor naturale în zonele cele mai expuse la risc. Domeniul major de interventie 2 - Reducerea eroziunii costiere*, Iulie (2011);
- [33] M. Golumbeanu, S. Nicolaev, M. Costache, R. Mateescu, T. Zaharia, L. Alexandrov, *Integrated coastal zone management in Romania. Reporting for sustainability*, (2013) 301-306;
- [34] Eco Smart Management, *Raport de mediu plan integrat de dezvoltare al polului național de creștere*. Constanța (2009);
- [35] Halcrow, *Raport diagnostic al zonei costiere. Implementarea structurii adecvate de prevenire a riscurilor naturale în zonele cele mai expuse la risc. Domeniul major de interventie 2 - Reducerea eroziunii costiere*, Iunie (2011);

- [36] Ministerul Mediului și Pădurilor, *Aviz de mediu pentru Master Plan intitulat "Protecția și Reabilitarea zonei costiere"*. Iunie (2012);
- [37] Administrația Bazinală de Apă Dobrogea – Litoral. *Planul de management al Fluviului Dunărea, Deltei Dunării, Spațiului Hidrografic Dobrogea și Apelor Costiere*, (2010);
- [38] C. Bondar, *Hydro morphological balance of the Danube River Channel on the Sector between Bazias (km 1072.2) and Danube Delta Inlet (km 80.5)*. International Expert Conference on 'The Safety of Navigation and Environmental Security in a Transboundary Context in the Black Sea Basin', Odesa, Ukraine, 24–26 June 2008;
- [39] C. Bondar, *Date privind evidențierea schimbărilor climatice și a impacturilor antropice produse asupra regimului hidrologic și morfologic al Dunării, Deltei Dunării și a Mării Negre*. Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor. Conferința științifică Jubiliară, 28-30 Septembrie 2010;
- [40] EUROSION: Case Study: Danube Delta (Romania) (<http://databases.euccd.de/plugins/projectsdb/project.php?show=388>) (accesat în Ianuarie 2014);
- [41] Halcrow Romania, *Master Plan: Protecția și reabilitarea zonei costiere (Versiunea V8). Asistență tehnică pentru pregătirea de proiecte, Reducerea eroziunii costiere*, (2012);
- [42] E. Rusu E, **A.T. Zanopol**. *Modelling the coastal processes at the mouths of the Danube River in the Black Sea*. Poster la European Geoscience Union General Assembly (EGU), 2014 Viena, Austria, 27 aprilie - 2 mai 2014;
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-2154.pdf>
- [43] **A. T. Zanopol**, F. Onea, E. Rusu E. *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Poster la International Conference AQUALIRES 2014: New tools for sustainable management of aquatic living resources, 17-18 January 2014, Bucharest Romania; <http://aqualires.incdpm.ro/images/AGENDA.pdf>
- [44] **A. T. Zanopol**, F. Onea, E. Rusu. *The wave field conditions in the presence of a hybrid wave-wind farm located in the Romanian nearshore*. The International Symposium: "Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Third Millennium Imperative", Sixth Edition, 31 October 2013, Constanta, Romania; http://www.blacksea-commission.org/Downloads/BS-GES-2013-Conference_Program_18.10.pdf
- [45] **A. T. Zanopol**, F. Onea. *Assesment of the wind energy potential from the Black Sea area with satellite data*. Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI), 2 (2013) 185-191;
http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2013/Annals%202013%20volume%20II.htm 1
- [46] **A. T. Zanopol**, F. Onea, E. Rusu, *Coastal impact assessment of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Energy, Volume 72, 1 august 2014, pag. 652-670 (**I.F.: 4.16 / 2014**) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214006604>
- [47] Z. Demirbilek, C. L. Vincent, *Water Wave Mechanics*, Coastal Engineering Manual (EM 1110-2-1100), Chapter II-1, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC, USA, (2002);
- [48] L. Giosan, H. Bokuniewicz, N. Panin, I. Postolache, *Longshore sediment transport pattern along the Romanian Danube Delta coast*. Journal of Coastal Research, 15(4) (1999) 859-871;

- [49] **A. T. Zanopol**, F. Onea F, E. Rusu, *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*, Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), 2014, Volume 15 (2), pag. 597-605, (I.F.: 0.35 / 2014); <http://www.iepe-journal.info/vol-15-no-2-2014>
- [50] **A.T. Zanopol**, F. Onea, E. Rusu, *Longshore curenets evaluation along the romanian Black Sea coast*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 17 - 26 June 2014 Albena, Bulgaria, 2014. (indexată ISI); <http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-deadline-2/sgem-deadline-6>
- [51] **A.T. Zanopol**, F. Onea, E. Rusu. *The coastal impact of the WEC arrays operating in the coastal environment of the Black Sea*. Ocean Systems Engineering Marine Engineering Frontiers, 2 (2), 16-23, <http://www.seipub.org/mef/paperInfo.aspx?ID=16614>
- [52] <http://www.pelamiswave.com/> (accesat în Ianuarie 2014);
- [53] I. Le Crom, A. Brito-Melo, A. Sarmiento, *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, (2008);
- [54] S. Diaconu, E. Rusu, *The environmental impact of a Wave Dragon array operating in the Black Sea*. Marine Renewable Energies: Perspectives and Implications for Marine Ecosystems, (2013) 1-20;
- [55] **A.T. Zanopol**, F. Onea, *Coastal influence of a Pelamis wave farm operating in the nearshore of Mamaia*. Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Mechanical Testing and Diagnosis, 3 (2013) 5-14; <http://www.om.ugal.ro/Mtd/issue2013-3.htm>
- [56] **A.T. Zanopol**, F. Onea, *Coastal Impact of a Wave Dragon Farm Operating in the Mamaia Sector*. Poster la Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din UDJ Galați (CSSD-UDJG 2014), 15-16 mai 2014, Galați, România. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/>
- [57] **A.T. Zanopol**, F. Onea, *Coastal Impact of a Wave Dragon Farm Operating in the Mamaia Sector*. Annals of “Dunarea De Jos” University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI) – **acceptată spre publicare** (2014);
- [58] **A.T. Zanopol**, F. Onea, A. Raileanu, *Coastal impact simulation of a Wave Dragon farm operating in the nearshore of Mangalia*. Constanta Maritime University Annals - An XV, Vol. 21-2014, Sect. I, pag. 65-70.



Curriculum vitae Europass



Informații personale

Nume / Prenume **ZANOPOL D. Tănase**
Adresă str. Arhipelag, nr. 3, bl. GORUN, ap. 32, 800055, Galați, ROMÂNIA
Telefoane serviciu: +40 236 303333; mobil: +40 740 687823
Fax +40 236 303333
E-mail andrei.zanopol@gmail.com

Naționalitate Română

Data nașterii 21-12-1957

Sex Masculin

Domeniul ocupațional în prezent

Cabinet de Lichidator „ZANOPOL și Asociații” / activitate coordonatoare
Societate Civilă de Mediatori „ZANOPOL și Asociații” / activitate coordonatoare
Cabinet de Avocatură „ZANOPOL și Asociații” / activitate coordonatoare

Experiența profesională

2007 - in prezent mediator coordonator SCM „ZANOPOL și Asociații”
2005 - 2007 director „CONSULT MANAGER” Galați
2003 - 2005 director „PRIMROM SERVICE” Galați
1996 - 2003 director „PRIMA PAGINA” Galați
1994 - 1996 inginer „OMEGA PRESS” București
1992 - 1994 inginer „ELVILA” București
1990 - 1992 inginer „ICMRS-Intr. Constr. Montaj Repar. Siderugice” Galați
1986 - 1990 inginer „ACH-Antrepriza Construcții Hidrotehnice ARGES” Pitești

Educație și formare

1979 - 1986 Universitatea din Galați, Facultatea de Mecanică, TCM ingineri/zi
1973 - 1978 Liceul Industrial Nr. 2 Galați, Construcții navale
1964 - 1972 Școala Generală Nr. 7 Galați

Calificarea / diploma obținută

Inginer TCM

Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite

Acționări hidropneumatice

Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare

Universitatea din Galați

Aptitudini și competențe personale

Limba maternă

Română

Limba străine cunoscute

Autoevaluare

Nivel european (*)

Înțelegere				Vorbire				Scriere	
Ascultare		Citire		Participare la conversație		Discurs oral		Exprimare scrisă	
B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent
B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent
B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent

Engleză**Franceză****Italiană**(*) *Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine*

Competențe și abilități sociale

Lucru în echipă.

Abilitate bună de adaptare la medii multiculturale.

Capacități bune de comunicare.

Competențe și aptitudini organizatorice

În diferite funcții de conducere am condus colective formate din 20 până la 200 de membri.

În prezent, coordonez o echipă de cca. 20 de membri (avocati, lichidatori, mediatori, economiști, evaluatori, etc.).

Competențe și aptitudini tehnice

Sunt absolvent în domeniul ingineriei, deci am acumulat de-a lungul timpului competențe considerabile în diverse arii ale tehnicii.

Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului

Foarte bune competențe în Microsoft Office Tools (Word, Excel și PowerPoint).

Bune competențe în utilizarea softurilor grafice (Paint Shop Pro, Photo Shop, Corel).

Alte competențe și aptitudini

Am o capacitate foarte mare de concentrare și de a sesiza aspectele esențiale.

Permis de conducere

Categorii B

Informații suplimentare

LISTA DE PUBLICAȚII

A - PUBLICAȚII ÎN JURNALE COTATE ISI

1. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Coastal impact assessment of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Energy, Volume 72, 1 august 2014, pag. 652-670, **(I.F.: 4.16 / 2014)**
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214006604>
2. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*, Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), Volume 15 (2), pag. 597-605, **(I.F.: 0.35 / 2014)**
<http://www.jepe-journal.info/vol-15-no-2-2014>
3. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Studies concerning the influence of the wave farms on the nearshore processes*. International Journal of Geosciences 5 (7), pag. 728-738.
<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=47121>

B – PUBLICAȚII ÎN JURNALE INTERNAȚIONALE INDEXATE BDI

4. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E. *The coastal impact of the WEC arrays operating in the coastal environment of the Black Sea*. Marine Engineering Frontiers, 2 (2), 16-23,
<http://www.seipub.org/mef/paperInfo.aspx?ID=16614>

C – CARTE

5. Rusu E, **Zanopol AT**, 2009. *Modelarea curenților costieri*, Galati University Press, 211 p.

D - LUCRĂRI PREZENTATE LA CONFERINȚE INTERNAȚIONALE

6. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Longshore currents evaluation along the romanian Black Sea coast*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 17 - 26 June 2014 Albena, Bulgaria (**indexată ISI**).
<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-deadline-2/sgem-deadline-6>
7. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Wave farms influence on the Mangalia nearshore wave pattern*. International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, 17 - 26 June 2014 Albena, Bulgaria (**indexată ISI**).
<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-deadline-2/sgem-deadline-6>
8. Rusu E, **Zanopol AT**, 2014. *Modelling the coastal processes at the mouths of the Danube River in the Black Sea*. Poster la European Geoscience Union General Assembly (EGU), 2014 Viena, Austria, 27 aprilie - 2 mai 2014.
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-2154.pdf>
9. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2014. *Evaluation of the coastal Influence of a generic wave farm operating in the Romanian nearshore*. Poster la International Conference AQUALIRES 2014: New tools for sustainable management of aquatic living resources, 17-18 January 2014, Bucharest, Romania.
<http://aqualires.incdpm.ro/images/AGENDA.pdf>

10. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu E, 2013. *The wave field conditions in the presence of a hybrid wave-wind farm located in the Romanian nearshore*. The International Symposium: "Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Third Millennium Imperative", Sixth Edition, 31 October 2013, Constanta, Romania.
http://www.blacksea-commission.org/Downloads/BS-GES-2013-Conference_Program_18.10.pdf

E - PUBLICAȚII ÎN JURNALE INDEXATE ÎN BAZE DE DATE INTERNAȚIONALE

11. **Zanopol AT**, Onea F, 2014. *Coastal Impact of a Wave Dragon Farm Operating in the Mamaia Sector*. Lucrare prezentată la Conferința Scolilor Doctorale din UDJ Galați, <http://www.cssd-udjg.ugal.ro> și acceptată spre publicare în Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI).
12. **Zanopol AT**, Onea F, Raileanu A, 2014. *Coastal impact simulation of a Wave Dragon farm operating in the nearshore of Mangalia*. Constanta Maritime University Annals - An XV, Vol. 21-2014, Sect. I, pag. 65-70.
13. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu L, 2014. *Experimental results to evaluate the wave and currents conditions in the Romanian nearshore*. Constanta Maritime University Annals - An XV, Vol. 21-2014, Sect. I, pag. 71-78.
14. **Zanopol AT**, Onea F, Rusu L, 2014. *Evolution of the Romanian nearshore currents under the influence of WEC farms*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați, Mechanical Testing and Diagnosis – acceptată spre publicare.
15. **Zanopol AT**, Onea F, 2013. *Coastal influence of a Pelamis wave farm operating in the nearshore of Mamaia*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați, Mechanical Testing and Diagnosis, 3, 5-14, <http://www.om.ugal.ro/Mtd/issue2013-3.htm>
16. **Zanopol AT**, Onea F, 2013. *Assesment of the wind energy potential from the Black Sea area with satellite data*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, YEAR V(XXXVI), 2, 185-191, http://www.phys.ugal.ro/Annals_Fascicle_2/Year2013/Annals%202013%20volume%201.htm
17. Rusu E, **Zanopol AT**, Bernardino M, 2009. *A Simplified Model for the Nearshore Currents. Data*. Annals of "Dunarea de Jos" University of Galați, Fascicle X, Applied Mechanics, Issue 1, 13-26. <http://www.mrm.ugal.ro/AnnalsAbstracts/2009/LL-2.pdf>

august 2014

ZANOPOL D. Tănase