

Raport tiin ific

privind implementarea proiectului

Solu ii pentru utilizarea energiei regenerabile din zona litoralului Românesc

ROMAR

în perioada ianuarie – decembrie 2019

În ceea de-a doua parte a implementării proiectului (E2) care s-a desfășurat în perioada menționată mai sus, s-au avut în vedere următoarele obiective specifice:

2.1 – Identificarea performanțelor individuale ale unor sisteme de extragere a energiei valurilor amplasate în Marea Neagră (Act 2.1).

2.2 – Identificarea unei configurații optime pentru o fermă de val care ar putea opera în Marea Neagră, în vederea creșterii performanței acestuia (Act 2.2).

2.3 – Pregătirea modelului SWAN (analiză valuri) și focalizarea acestuia pe zona de vest a Mării Negre (Act 2.3).

2.4 – Evaluarea impactului unor sisteme de extragere a energiei valurilor asupra câmpurilor de val locale specifice zonei costiere românești (Act 2.4).

2.5 – Diseminarea rezultatelor.

2.1. Identificarea performanțelor individuale ale unor sisteme de extragere a energiei valurilor amplasate în Marea Neagră

Energia valurilor reprezintă una din cele mai promițătoare surse regenerabile, capabil să acopere cererea de electricitate din apropierea zonelor costiere. Este cunoscut faptul că un procent semnificativ din populația pământului este strâns legat de aceste regiuni, fiind estimat că aproximativ 44% este concentrat în zone care nu depășesc 150 de km față de linia țărmului. În ceea ce privește energia valurilor, primul patent a fost înregistrat în anul 1799, de atunci fiind dezvoltate sute de concepte. Aproximativ 150 de proiecte (concepte sau prototipuri) sunt raportate la nivel global, dintre acestea aproximativ 50% fiind implementate în Europa.

În comparație cu progresele raportate de industria vântului din zonele marine, cu siguranță se poate spune că energia valurilor este un sector în dezvoltare, iar pentru a deveni competitiv este nevoie ca mai multe aspecte de natură tehnico-economică să fie rezolvate. La nivelul Uniunii Europene există interes pentru dezvoltarea acestui sector energetic, estimându-se că un proiect de succes ar trebui să fie raportat la un indice LCOE (Levelized Cost of Energy) având o valoare de 15 cenți/kWh până în 2030, care ar trebui să se reducă la 10 cenți/kWh (anul 2030).

Zonele aflate între liniile de latitudine 30° și 60° (ambele emisfere) prezintă cele mai bune resurse ale energiei valurilor, de preferat fiind cele aflate pe liniile costiere din partea de vest a continentelor sau insulelor. Se preconizează că puterea valurilor poate ajunge până la o cifră de 50 kW/m (valoare medie) în apropiere de Australia, Africa sau America de Sud, în comparație

cu 25 kW/m indicat pentru Madagascar (zona de nord). În ceea ce privește Marea Neagră, de-a lungul ultimilor ani au fost prezentate mai multe studii privind energia valurilor, o mare parte din acestea axându-se pe validarea unor modele numerice și prin caracterizarea resurselor marine din punct de vedere meteorologic. Dacă ne referim la energia regenerabilă din mediul marin, se pare că un proiect mixt vânt-val ar putea avea succes pentru regiunile aflate în cadrul mării semi-închise, așa cum este Marea Neagră.

Figura 1, prezintă primul studiu de caz, unde punctele de referință au fost grupate de-a lungul a trei linii de referință, și anume: A (nord), B (centru) și C (sud). De asemenea se are în vedere și evaluarea unor posibile corelații dintre resursele de val și distanța față de țărm, considerând mai multe distanțe față de țărm (5 km, 15 km și 30 km). Pentru acest studiu s-au folosit date de val provenind de la proiectul ERA-Interim, acestea fiind definite de o rezoluție spațială de circa $0.75^\circ \times 0.75^\circ$, care sunt raportate la intervalul de timp Ianuarie 1998 - August 2017 (20 de ani). Parametrii de val avuți în vedere sunt în primul rând înălțimea semnificativă de val (H_s în metri) și perioada de val (T_e în secunde).

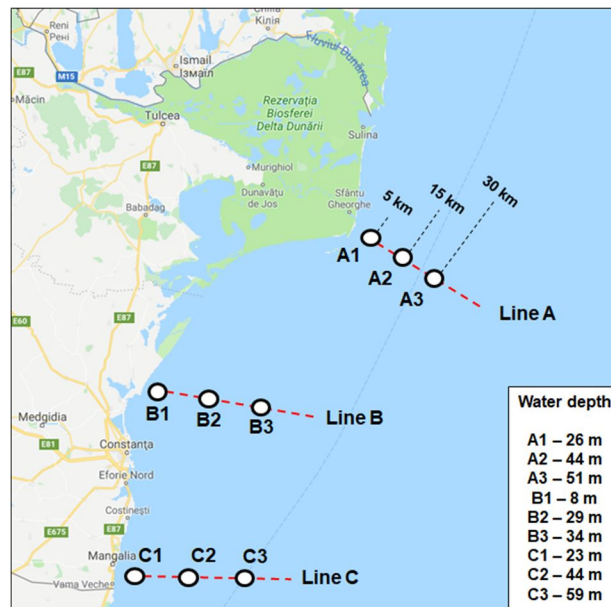


Figura 1. Zona în care sunt punctele de referință considerate pentru evaluare

Pentru un anumit punct, fluxul de energie al valurilor (notat cu J_{wave} în W/m) poate fi exprimat sub forma:

$$J_{wave} = \frac{\rho_{apa} g^2}{64f} T_e H_s^2, \quad (1)$$

unde: ρ_{apa} (kg/m^3) – densitatea apei de mare, iar g (m/s) – accelerația gravitațională.

Energia electrică care ar putea fi produsă de un sistem de extracție a energiei valurilor (WEC), se obține prin combinarea unei distribuții bivariante ($H_s \times T_e$) cu matricea de putere a fiecărui sistem WEC, după cum urmează:

$$P_E = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{n_T} \sum_{j=1}^{n_H} p_{ij} \cdot P_{ij}, \quad (2)$$

unde: p_{ij} reprezintă o distribuție (în %) a stării m și n pentru o anumită linie i și coloană j , iar P_{ij} este o valoare definită în matricea de putere pentru fiecare WEC în parte, considerând aceeași celulă (definită de linia i și coloana j).

Pentru studiul de fezabilitate, s-au considerat trei sisteme (Seabased, Pelamis și Wave Dragon), matricile lor de putere fiind prezentate în Figura 2. Prin folosirea acestor sisteme, se acoperă o gamă largă de puteri, care pornesc de la 15 kW și ajunge la un maxim de 7000 kW, raportat de sistemul Wave Dragon. După cum s-a precizat proiectele ce în vederea utilizării energiei valurilor pot să întâmpine mai multe probleme, astfel că anumite proiecte pot să nu mai fie operaționale. Este cazul proiectului Pelamis, care la acest moment este oprit, el fiind luat în considerare deoarece a reprezentat prima tentativă de asamblare a unei ferme de val (în apropiere de Portugalia).

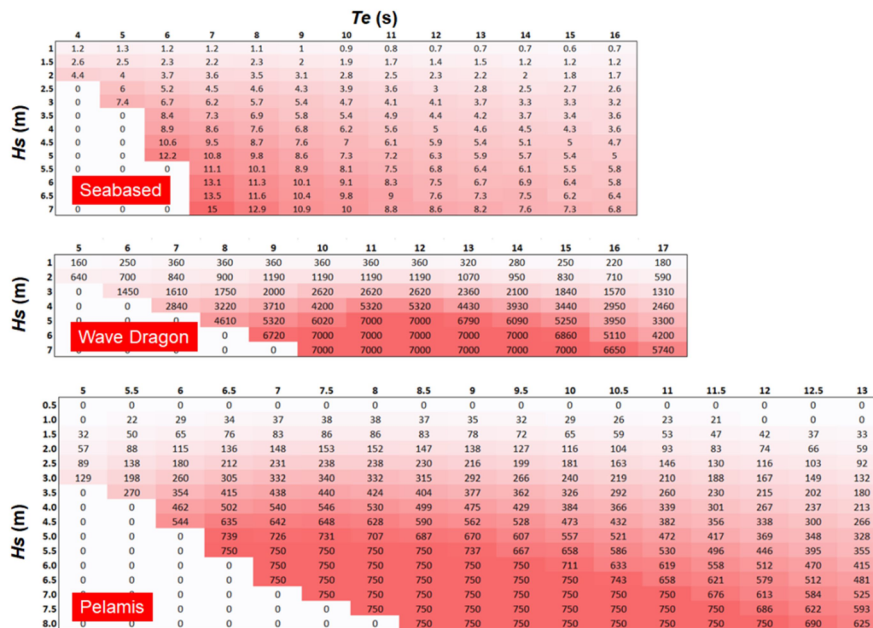


Figura 2. Matrici de putere raportate pentru trei sisteme de val, care includ Seabased – 15 kW (putere maximă), Pelamis – 750 kW și Wave Dragon – 7000 kW.

Una din metodele prin care se poate estima performanțele unui anumit sistem, constă în folosirea unui indicator denumit factor de capacitate (C_f), care se definește ca:

$$C_f = \frac{P_E}{R_P}, \quad (3)$$

unde: P_E este puterea electrică care poate fi generată de un sistem, iar R_P reprezintă puterea teoretică (optimă) la care ar putea să funcționeze un WEC, considerând valorile maxime prezentate în Figura 2.

O analiză detaliată a resurselor de val (indicată în kW/m) este prezentată în Figura 3, care include și perioada de iarnă (din Octombrie până în Martie). Pentru această zonă, se estimează că un maxim de 4.3 kW/m poate să fie raportat de grupul de puncte C în perioada de iarnă, în timp ce o valoare de 2.8 kW/m este specifică distribuției totale (toate valorile). Dacă considerăm punctul C1 ca referință se poate observa că variațiile în raport cu celelalte puncte (C2 și C3) sunt foarte mici, în figură fiind prezentate doar valorile pentru perioada totală (în procente). Variațiile raportate de grupul de puncte A par să fie mai importante,

înregistrându-se un maxim de 378% (A3 raportat la A1). Pe baza acestor rezultate se poate spune că punctul A1, pare cel mai potrivit pentru implementarea unei ferme de val, având în vedere că puterile de val variază între 0.09 kW/m (valori totale) și 0.14 kW/m (iarnă).

În ceea ce privește sistemele de extracție a energiei valurilor, în Figura 4 sunt prezentate performanțele sistemului Seabased, în cazul în care acesta ar funcționa în apropierea de zona costieră românească. Analizând aceste rezultate, cu siguranță se pot exclude grupul de puncte A, deoarece puterea raportată de sistem va fi apropiată de zero. În perioada de iarnă, se poate înregistra un maxim de 0.68 kW în apropiere de B3, care poate crește cu aproape 6.51% dacă luăm în considerare zonele din apropierea punctului B1 (raportat la sezonul de iarnă). Tot în sezonul de iarnă, se poate înregistra un maxim de 0.68 kW în apropiere de B3, această valoare crescând cu aproximativ 6.51% dacă ne raportăm la punctul B1. Pentru grupul de puncte C, valorile raportate nu depășesc 1 kW, fiind raportată o variație maximă de circa 5.04% pentru punctul de referință C3.

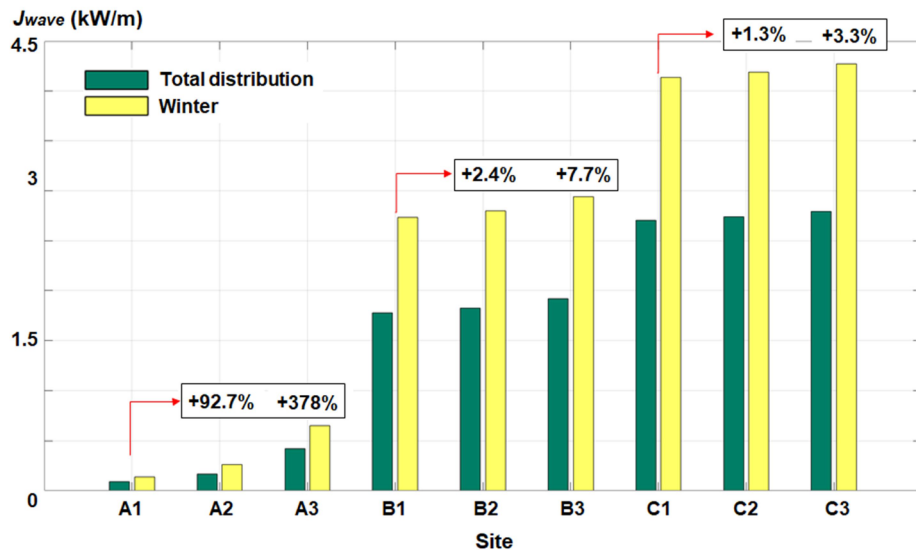


Figura 3. Distribuția energiei valurilor (valori medii) raportată la perioada totală și sezonul de iarnă. Procentele reprezintă variațiile valorilor în raport cu punctele aflate în apropierea grupului (A1, B1 și C1).

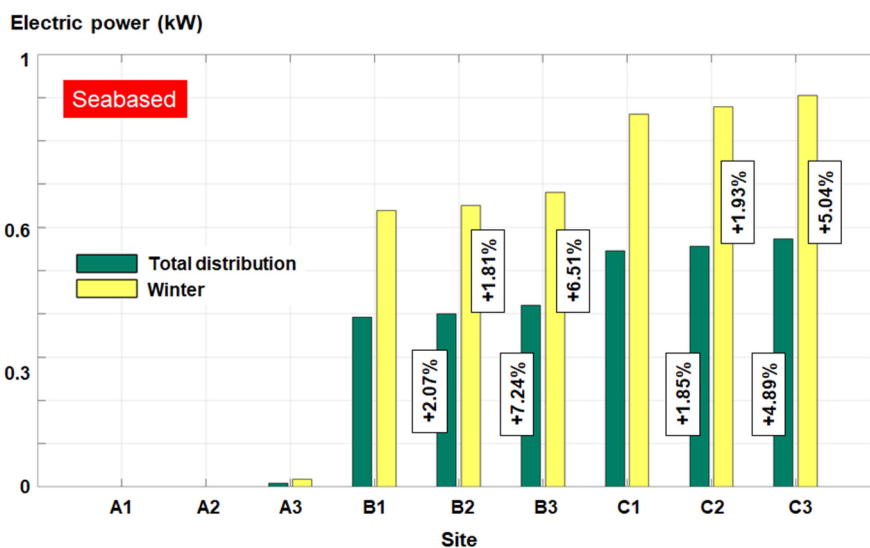


Figura 4. Sistemul Seabased - puterea obținută și variația acesteia.

O analiză mai detaliată a performanțelor sistemelor de val este prezentată în Figura 5, unde variația puterii este analizată la nivel lunar. În general, variațiile mai semnificative sunt raportate în perioada de vară, la care se adaugă și luna Noiembrie care prezintă valori mai semnificative. Pentru sistemul Seabased, o variație maximă de 14% poate să apară în Mai în apropierea punctului B3, în timp ce o valoare de 6.86% și 8.26% sunt raportate de punctul C3, în Iunie și respectiv Noiembrie. Pentru sistemul Pelamis, lunile Mai și August par să prezente cele mai mari fluctuații pentru punctul B3, o evoluție similară fiind observată în cazul punctului C3 pentru luna Iunie. Este important de menționat, că pentru acest sistem pot fi raportate valori negative (sau apropiate de zero). Valori negative sunt de asemenea înregistrate de sistemul Wave Dragon, un minim de 1.93% fiind atribuit punctului C3.

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Seabased	B2	1.707	2.373	1.894	1.063	5.249	1.431	2.859	5.512	2.627	1.773	1.088	1.654
	B3	6.527	6.09	8.187	8.292	14.06	8.854	10.71	11.1	6.986	5.382	5.567	5.169
	C2	1.928	2.339	1.934	0.6085	3.609	1.33	2.557	0.9701	1.763	0.7542	2.67	1.784
	C3	5.067	4.48	4.823	4.835	4.622	8.269	4.805	1.081	4.228	3.611	6.86	4.388
Pelamis	B2	4.488	4.275	4.951	4.168	16.94	0	12.64	15.34	8.191	3.642	6.425	4.746
	B3	13.75	13.71	14.76	15.05	31.9	12.21	23.24	32.53	18.99	13.14	18.9	14.87
	C2	1.861	1.156	0.436	-0.06	-2.042	5.231	1.231	2.141	1.282	0.3035	2.238	0.9771
	C3	4.389	1.79	1.51	0.832	-2.665	15.14	3.043	2.558	2.7	1.989	6.721	2.585
Wave Dragon	B2	4.591	7.051	6.527	6.31	25.75	3.69	5.768	18.88	13.82	5.365	9.587	5.77
	B3	12.8	13.68	14.94	13.15	32.34	31.38	16.97	30.51	20.28	13.67	17.89	15
	C2	1.606	1.611	0.846	-1.046	0.5747	1.174	1.019	0.7499	0.6258	-0.1946	1.782	0.7905
	C3	3.708	2.553	2.938	0.08165	-1.936	5.771	1.712	-0.4913	1.909	0.8662	6.214	0.9862

Figura 5. Variații lunare ale puterii sistemelor WEC considerând ca referință punctele aflate în apropierea rmului (A1, B1 și C1).

2.2 - Identificarea unei configurații optime pentru o fermă de val care ar putea opera în Marea Neagră

În acest moment există interes pentru dezvoltarea unor proiecte mixte vânt-val, cel mai probabil ca astfel de configurații ar putea fi considerate ca punct de pornire. Figura 6 prezintă structura unei ferme vânt-val care ar putea fi implementată în apropiere de Sardinia. Acest scenariu a fost construit, considerând ca bază structura unei ferme de vânt offshore, mai precis proiectul Kentish Flats, care include 30 de turbine Vestas V90-3.0. Pentru această grilă, distanța dintre turbine este de aproximativ 0.7 km (de-a lungul axei x și y), aceasta fiind stabilită considerând ca referință optimele diametre ale rotorilor.

Având în vedere mărimea zonei întinse, pentru acest studiu au fost considerate doar 24 de sisteme (6 x 4 sisteme). Diverse scenarii au fost considerate, fiecare dintre acestea implicând o fermă generică (definită ca o linie) care poate reține în jur de 25% din valorile care se apropie de fermă.

2.3 - Pregătirea modelului SWAN (analiză valuri) și focalizarea acestuia pe zona de vest a Mării Negre

Datele de vânt folosite în această secțiune sunt produse de Centrul Național de Predicție a Vremii (U.S. National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System

Reanalysis notat în continuare cu NCEP), acestea acoperind intervalul cuprins între 1987 și 2016 (30 ani). Setul de date este definit de o rezoluție spațială având în jur de 0.32 grade, fiind procesate opt valori pe zi care sunt raportate la un interval de trei ore (0-3-6-9-12-15-18-21 UTC). Aceste câmpuri de vânt sunt raportate la o înălțime de 10 m deasupra nivelului mării, astfel că viteza vântului va fi indicat prin U_{10} .

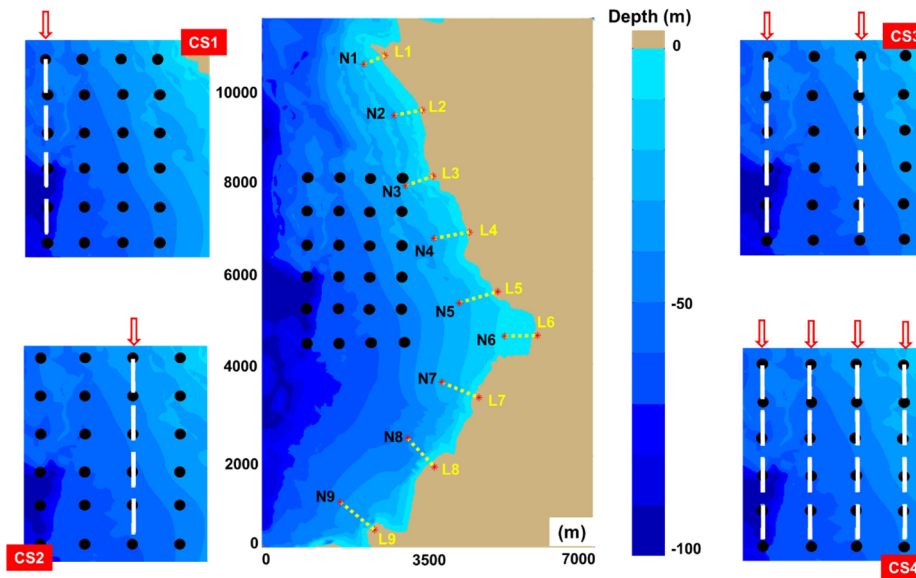


Figura 6. Domeniul de calcul al zonei întinse (hartă batimetrică), incluzând configurația fermei de vânt și principalele scenarii (CS1, CS2, CS3 și CS4).

În ceea ce privește condițiile de val, aceste informații au fost obținute prin implementarea modelului de val SWAN (Simulating WAVes Nearshore) în zona Mării Negre. Simulările au fost realizate considerând ca date de intrare câmpurile de vânt NCEP, obținându-se astfel date de val care acoperă același interval de timp (1987-2016), o rezoluție spațială de 0.08 grade, fiind definite de opt valori pe zi.

Figura 7 furnizează o primă perspectivă asupra distribuției valorilor H_s , luând în considerare doar câmpurile de valuri raportate în intervalul 1 m și respectiv 2.5 m. După cum era de așteptat, partea centrală a mării este definită de valori mai mari, existând de asemenea o separare clară între regiunea de vest și cea de est.

Condițiile de val din partea de vest prezintă valori mai ridicate, acest aspect fiind mai vizibil în cazul valurilor mai mari de 1 m/s, pentru acestea fiind indicat un maxim de 40%. Aceste valori scad pe măsură ce ne apropiem de linia țărmului, fiind observate distribuții care acoperă intervalul 20-28% pentru zona de vest sau maxime de 24% care definesc zona de est. Atunci când se consideră ca referință valoarea de 2.5 m, se observă că valorile sunt mult mai mici, fiind indicate câmpuri de valori în intervalul 4-6% în vest, în timp ce în zona de est valorile nu depășesc 2%.

O analiză mai detaliată a condițiilor de val este prezentată în Figura 8, considerând distribuția sezonieră a valurilor care depășesc 1 m. Patru sezoane principale au fost definite, după cum urmează :

- iarnă – Decembrie/Ianuarie/Februarie;
- prim vară – Martie/Aprilie/Mai;
- vară – Iunie/Iulie/August;
- toamnă – Septembrie/Octombrie/Noiembrie.

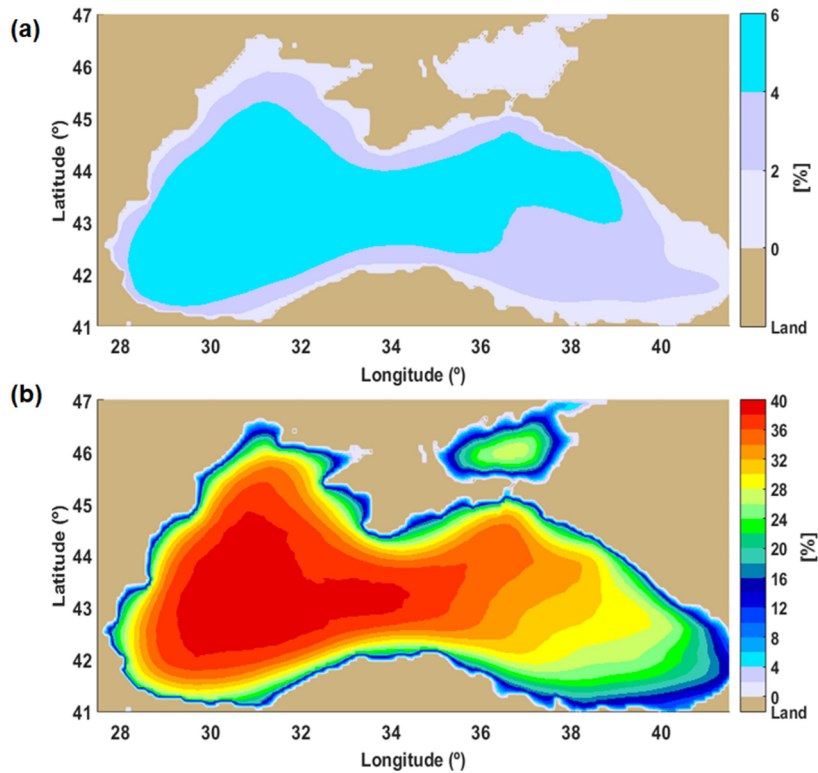


Figura 7. Distribu ia spa ial a în l imii de val semnificative (H_s), rezultat în urma a 30 de ani de simul ri SWAN (1987-2016). Rezultate raportate pentru: (a) $H_s > 2.5$ m (în %); (b) $H_s > 1$ m (în %).

În perioada de iarn , activit ile maritime pot fi restric ionate pentru maxim 60% din timp (în zonele de larg), fiind estimat un minim de 30% în cazul zonelor costiere din partea de sud-est. Valori semnificative pot fi înregistrate i în sezonul de toamn , atunci când în vestul M rii Negre pot exista restric ii din cauza vremii care variaz în intervalul 28-44%. Sezonul de var reprezint cea mai bun perioad din an în care se poate ini ia un proiect (ex: ferma de vânt), cum ar fi de exemplu în cazul regiunilor din apropierea Turciei (în sud-vest).

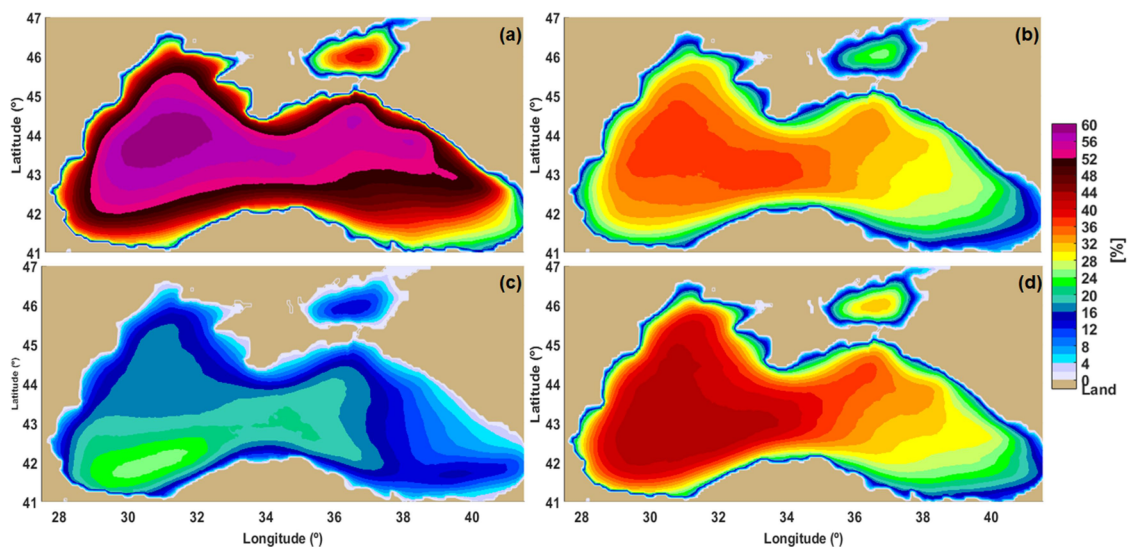


Figura 8. Distribu ia sezonier a parametrului H_s considerând valori mai mari de 1 m. Valorile sunt raportate pentru o perioad de 30-ani (1987-2016), unde: (a) iarn ; (b) prim var ; (c) var ; (d) toamn .

Dacă ne raportăm la condiții extreme, în Figura 9 este prezentată distribuția sezonieră considerând ca referință o valoare H_s egală cu 2.5 m. În sezonul de primăvară și vară, nu se înregistrează aproape nici o restricție din acest punct de vedere, în special în apropiere de linia țărmului. Sezonul de toamnă este definit de restricții care ajung până la 8% în zona de sud-vest, în timp ce în apropierea țărmului se observă un maxim de aproximativ 4%. Sezonul de iarnă evidențiază prezența a două zone concentrate (sud-vest și nord-est) unde se poate înregistra un maxim de 14%, cu mențiunea că pentru Marea Azov condițiile de mediu nu au nici o influență asupra operațiunilor maritime.

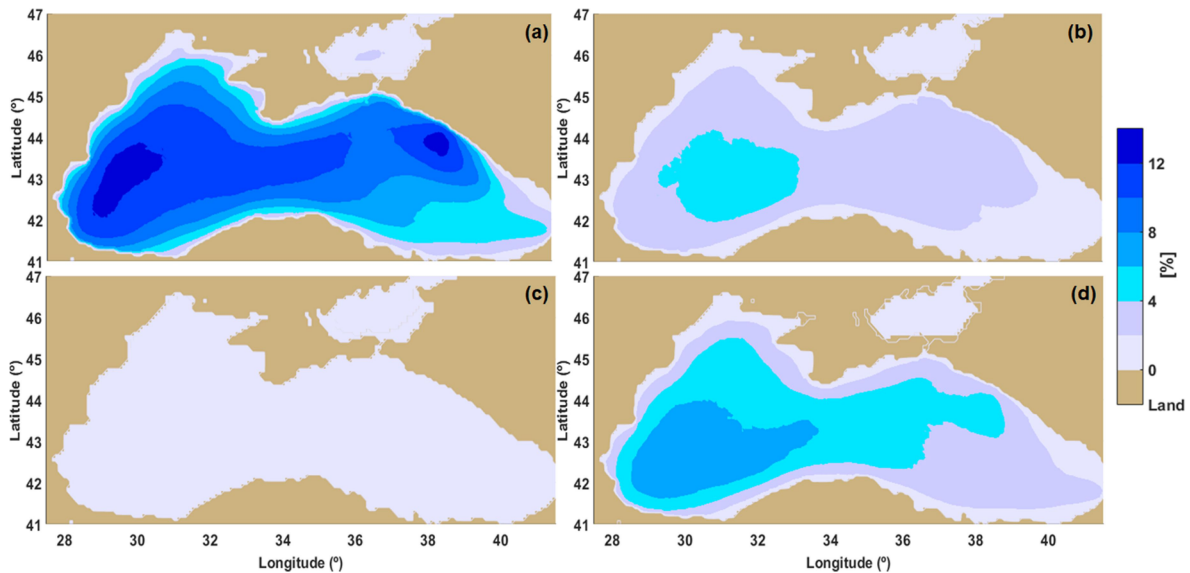


Figura 9. Distribuția sezonieră a valorilor H_s mai mari de 2.5 m considerând datele furnizate de modelul SWAN pentru 30 de ani de simulări (1987-2016), unde: (a) iarnă; (b) primăvară; (c) vară; (d) toamnă.

2.4 - Evaluarea impactului unor sisteme de extragere a energiei valurilor asupra câmpurilor de val locale specifice zonei costiere românești

Figura 10 prezintă evoluția condițiilor de val din sectorul Sfântul Gheorghe (Delta Dunării), în prezența unei ferme generice de val supusă acțiunii unor condiții extreme.

În apropiere de punctul de referință P1 (zona centrală – în fața fermei), se înregistrează o înălțime a valorilor H_s de circa 6 m. La contactul cu ferma de val, înălțimile de val pot scădea cu aproximativ 3 m în cazul scenariului T2 (absorbție 50%) sau să atingă un minim de 1.2 m dacă se are în vedere scenariul T4. După cum era de așteptat, efectul de ecranare este vizibil în zona aflată între linia țărmului și fermă, fiind direct influențat de direcția de propagare a valurilor. Spre exemplu, în cazul valurilor care se manifestă din sectorul de est, se observă o atenuare a valurilor cu circa 3.5 m la contactul cu ferma (scenariu T2) sau pot ajunge până la 0.4 m dacă ne raportăm la scenariul T4 (absorbție 100%). Din analiza profilurilor de val definite între punctele P1 și P3, se poate observa că valurile au tendința de a se regenera după contactul cu ferma de val.

Trecând de la zona de larg către țărm, în Figura 11 sunt prezentate variațiile (în %) ale parametrilor H_s și Dir , acestea fiind indicate de un grup de puncte NP, unde: NP1 se află în partea de sus, NP4 – zona de mijloc, NP7 – partea de jos. Valorile pozitive indică o atenuare a condițiilor, iar cele cu plus o tendință opusă. Din analiza rezultatelor H_s se observă că cea mai bună protecție costieră care poate fi asigurată de această configurație (fermă de val

paralel cu rmul) este asigurat împotriva valurilor din nord-est (10.06% - NP4/T4), în comparație cu valurile din sud-est unde un maxim de 4.35% este indicat pentru punctele NP2 și NP3 (zona superioară).

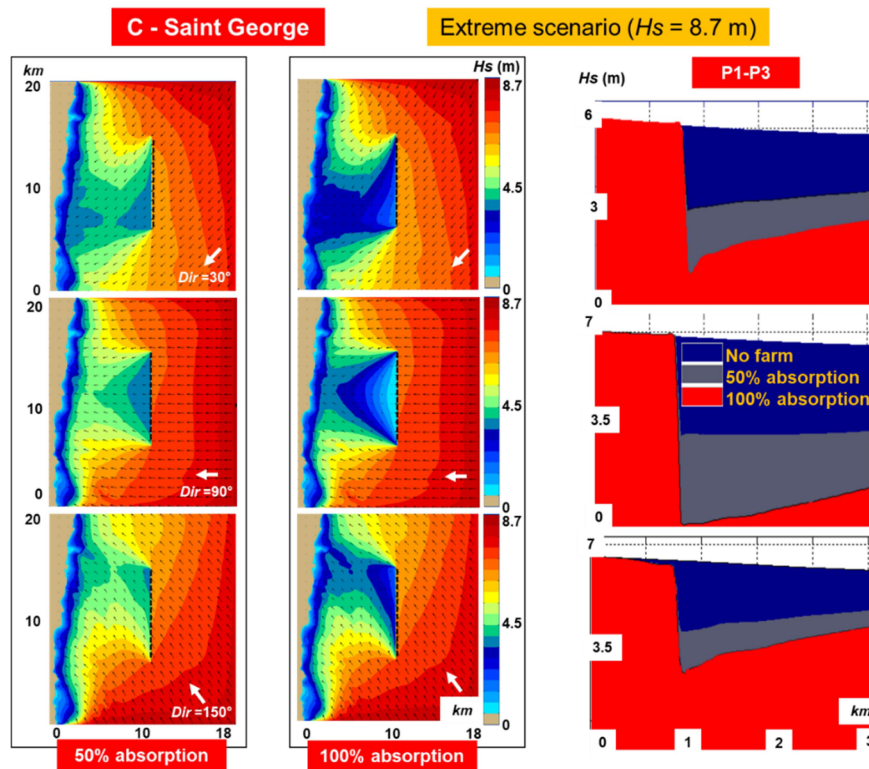


Figura 10. Sfântu Gheorghe (studiu de caz) – variația în lărimilor semnificative de val și a direcției valurilor, raportate la un eveniment extrem și diverse scenarii (direcție de val și proprietățile fermei).

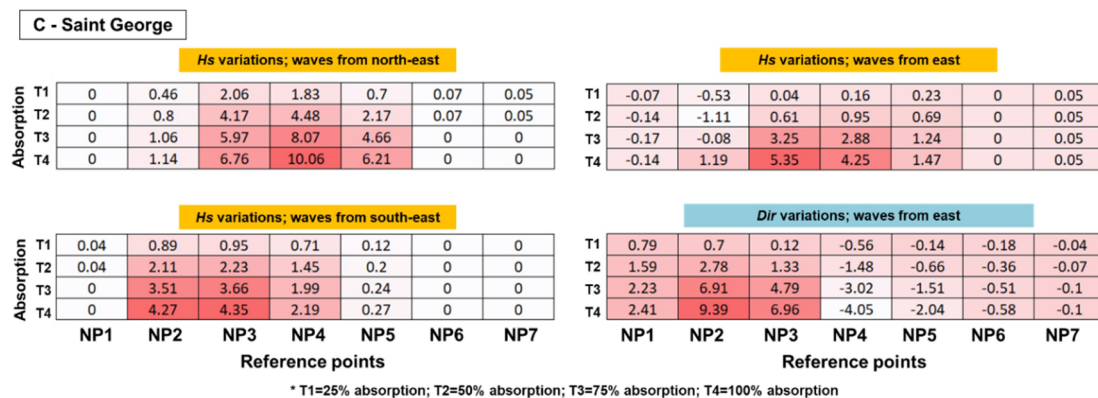


Figura 11. Sfântu Gheorghe (studiu de caz) – variația condițiilor de val (în %) corepunzător punctelor NP. Rezultatele sunt raportate la situația în care nu există nici o fermă de val și includ parametrii H_s și Dir (direcție val).

Din analiza parametrului Dir (Figura 11 - dreapta jos) care a fost raportat doar pentru valurile ce se propagă din est (90°), se observă două tendințe. Grupul de puncte NP1-NP3 (zona superioară) prezintă o atenuare a valorilor cu un maxim de 9.4%, în timp ce punctele NP4-NP7 înregistrează o creștere ce poate ajunge la 4%. Cu toate acestea, variațiile se atenuează pe măsură ce ne îndepărtăm din centrul către extremitățile zonei interioare.

2.5 Diseminare rezultatelor.

Publicații în jurnale internaționale (2)

1. **Onea F**, Rusu L, 2019. *Long-term analysis of the Black Sea weather windows*. J. Mar. Sci. Eng. 2019, 7, 303, (WOS, IF=1.732). <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/9/303>
2. **Onea F**, Rusu L, 2019. *A study on the wind energy potential in the Romanian coastal environment*. J. Mar. Sci. Eng. 2019, 7, 142, (WOS, IF=1.732). <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/5/142>

Participări la conferințe internaționale (5)

1. **Onea F**, Rusu L, 2019. *An overview of the Black Sea weather downtime*. IISES International Academic Conference, 23-26 Septembrie, 2019 Barcelona, Spania. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiQnLjmyOnLAhUB6aQKHWyOCRAQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.iises.net%2Fproceedings%2Finternational-academic-conference-barcelona%2Ftable-of-content%3Fcid%3D99%26iid%3D049%26rid%3D12126&usg=AOvVaw018Du9F_xPlw6lHZmcLNDC
2. **Onea F**, Rusu L, 2019. *Assessment of the Romanian onshore and offshore wind energy potential*. 2nd International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2019), 19-22 August, 2019 Munchen, Germania. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912201003>
3. Hobjila A, **Onea F**, Rusu L, 2019. *Assessment of the weather windows availability related to the Black Sea maritime operations*. CSSD-UDJG 2019, 13-14 Iunie 2019, Galați, România. <http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts-2019>
4. **Onea F**, Rusu L, 2019. *Offshore wind energy and the Romanian energy future*. 4th International Conference on Advances on Clean Energy Research (ICACER 2019), 5-7 Aprilie, 2019 Coimbra, Portugalia <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910301004>
5. **Onea F**, Rusu L, 2019. *Wave power variation near the Romanian coastal waters*. 4th International Conference on Advances on Clean Energy Research (ICACER 2019), 5-7 Aprilie, 2019 Coimbra, Portugalia <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910301006>

Stagii de pregătire și întâlniri anuale (2)

1. Stagiul de pregătire în energia valurilor - WECANet, 18-22 Martie 2019 în Varna, Bulgaria https://www.researchgate.net/profile/Florin_Onea/project/ROMANIAN-MARINE-RENEWABLE-SOLUTIONS-ROMAR/attachment/5cb8083e3843b01b9b9ad514/AS:748906392608769@1555564606778/download/Onea_Course+certificate.pdf?context=ProjectUpdatesLog
2. Întâlnire anuală – WECANet, 11-12 Februarie 2019 în Salonic, Grecia <https://www.wecanet.eu/meeting-thessaloniki>

* La conferința ICACER (lucrarea 5), autorul a primit premiul pentru cea mai bună prezentare <https://www.researchgate.net/project/ROMANIAN-MARINE-RENEWABLE-SOLUTIONS-ROMAR>

2.6 Concluzii

Pentru această etapă a proiectului (etapa 2) s-a urmărit realizarea a două articole ISI și prezentarea a cinci lucrări la conferințe, aceste obiective fiind îndeplinite în totalitate. În plus trebuie menționat că autorul a participat deja la un stadiu de pregătire din domeniul energiei valurilor, acesta fiind prevăzut de fapt în ultima etapă a proiectului (etapa 3). Analizând rezultatele obținute până acum, se observă că un procent semnificativ din rezultate se axează pe analiza condițiilor de vânt, în condițiile în care există un real interes pentru dezvoltarea unor ferme de vânt în cadrul unor bazine semi-închise.

Pentru următoarea etapă a proiectului, se are în vedere finalizarea studiilor ce țin de protecția costieră, atingerea obiectivelor rămase (1 articol ISI + 1 conferință internațională), încheierea proiectului (termen limită : 30.04.2020).

Buget (2019) 124.890,00 lei (approx. 26.180 EUR)

Dat
21 Noiembrie 2019

Director de proiect
Prof. univ. Dr. Ing. Florin Onea

