

Raport științific

privind implementarea proiectului

Implementarea de metode de asimilare de date pentru a îmbunătăți predicția valurilor în zonele costiere românești ale Mării Negre – DAMWAVE

în perioada ianuarie 2016 – septembrie 2016

Etapa IV – perioada ianuarie 2016 – septembrie 2016

În cea de a patra etapă de implementare a proiectului (ultima etapă) desfășurată în perioada menționată, au fost urmărite obiectivele specifice proiectului:

- Definitivarea unei proceduri DA complexe care să fie asociată sistemului de predicție a valurilor din Marea Neagră, focalizat pe zona litoralului românesc
- Diseminarea ultimelor rezultate și concluzii

IV 1. Definitivarea unei proceduri DA complexe care să fie asociată sistemului de predicție a valurilor din Marea Neagră, focalizat pe zona litoralului românesc

IV 1.1 Data assimilation method based on the Kalman filter

În zilele noastre, a crescut interesul privind utilizarea filtrului Kalman pentru corectarea parametrilor de val prin asimilarea de date datorită eficienței demonstrate în aplicarea la scară locală. Aplicarea la scară extinsă continua să fie dificil de aplicat datorită complexității calculelor. Filtrul Kalman de ansamblu (ensemble Kalman filter - EnKF) este un algoritm secvențial utilizat pentru corectarea previziunilor furnizate de modele (în cazul de față fiind previziuni furnizate de modelul SWAN) prin aplicarea externă a filtrului.

Formularea generală a EnKF este definită următoarea ecuație:

$$\mathbf{x}_j^a = \mathbf{x}_j^b + \mathbf{K}_j (\mathbf{y}_j^o - H\mathbf{x}_j^b) \quad (1)$$

unde pentru un ansamblu j , \mathbf{x}_j^a este vectorul analiză, \mathbf{x}_j^b este vectorul de stare a predicției simulat de modelul SWAN, \mathbf{y}_j^o reprezintă vectorul observații ale acelorași parametrii, H este operatorul înainte care convertește o variabilă simulată de model într-o variabilă observată și \mathbf{K}_j matricea de câștig Kalman. Ansamblul DA a fost setat ca să conțină un număr constant de date, respectiv 15 valori, care sunt reînnoite cu noi previziuni simulate de SWAN la fiecare pas de timp, în timp ce datele vechi sunt eliminate.

Matricea de câștig Kalman este definită ca:

$$\mathbf{K}_j = \frac{\mathbf{C}_j \mathbf{H}^T}{(\mathbf{H} \mathbf{C}_j \mathbf{H}^T + \mathbf{R})} \quad (2)$$

unde \mathbf{R} reprezintă covarianța erorii observațiilor și \mathbf{C}_j este covarianța ansamblului.

Când predicțiile sunt de tip forecast există observații doar din trecut și în acest caz observațiile la momentul j din viitor sunt calculate cu următoarea relație:

$$\mathbf{y}_j^o = H\mathbf{x}_{j-1}^a \quad (3)$$

unde \mathbf{x}_{j-1}^a este calculate cu ecuația (7). Valoarea \mathbf{y}_j^o din ecuația (8) este utilizată pentru calcularea \mathbf{x}_j^a , urmată de un actualizarea datelor (analiză) în care observația la pasul j este acum disponibilă.

Algoritmul EnKF este utilizat pentru corectarea previziunilor realizate de sistemul de modelare la locația platformei Gloria (44.52°N/29.57°E). Evaluarea impactului produs de metodologia DA propusă aici s-a făcut prin analiza parametrilor statistici utilizați în mod current în modelarea valurilor (definiți anterior). O metodologie similară a fost aplicată în diverse locații din Marea Mediterană (Galanis et al., 2009) și pe coasta de vest a peninsulei iberice (Almeida et al., 2015). Algoritmul este aplicat pentru corecția parametrilor de val H_s și T_m .

Este bine cunoscut faptul că acest tip de algoritm are unele limitări în aplicare deoarece necesită ca măsurătorile să fie continui (fără date lipsă). În această aplicație au fost făcute unele aproximări pentru a completa eventualele măsurători lipsă. Astfel, măsurătoarea lipsă pentru un anumit moment de timp a fost înlocuită cu valoarea simulată pentru același moment. În Tabelul 1 sunt prezentate rezultatele statistice calculate în urma comparării parametrilor de val simulați de modelul SWAN (fără DA) și a celor corecțate în urma aplicării algoritmului EnKF (cu DA) cu măsurătorile. N reprezintă numărul de măsurători disponibile. Se observă că toți parametrii statistici au fost îmbunătățiți prin aplicarea DA. În cazul lui T_m îmbunătățirea este mai mare probabil datorită faptului că acest parametru de val prezintă mai multe erori de modelare în mările închise.

Tabelul 1. Rezultate statistice obținute pentru H_s și T_m simulate cu SWAN și cele obținute în urma aplicării algoritmului DA, comparate cu măsurătorile la platforma Gloria, perioada 1999-2007.

N= 12427	MedObs	MedSWAN	Bias	RMSE	SI	R	S	
H_s	0,99	0,92	-0,07	0,39	0,40	0,85	0,90	fără DA (SWAN)
(m)	0,99	0,96	-0,02	0,35	0,35	0,89	0,96	cu DA (SWAN-KF)
T_m	5,04	4,69	-0,36	1,63	0,32	0,39	0,94	fără DA (SWAN)
(s)	5,04	4,98	-0,06	1,30	0,26	0,56	0,99	cu DA (SWAN-KF)

Pentru o mai bună observare a evoluției în timp a corecțiilor aduse de aplicarea algoritmului EnKF, în Figura 1 sunt ilustrate comparațiile seriilor temporale dintre măsurătorile înregistrate la platforma Gloria și parametrii de val simulați de modelul SWAN și cei obținuți după aplicarea algoritmului DA (SWAN-KF). Din toată perioada de simulări a fost selectat doar un interval considerat mai reprezentativ (10.01.2004-25.02.2004) În acest interval de timp un număr semnificativ de furtuni, unele dintre ele chiar extreme, au fost observate în partea de vest a Mării Negre.

Putem observa cu ușurință că după aplicarea algoritmului EnKF ambii parametrii de val simulați de SWAN au fost corecțate. Acest lucru apare mai evident în cazul evenimentului extrem înregistrat în 23.01.2004, când rezultatele modelului SWAN au aratat o scădere mai rapidă a H_s și T_m , reducând astfel durata furtunii. Pe de altă parte, după aplicarea EnKF corelarea dintre măsurători și rezultatele modelului a devenit foarte bună.

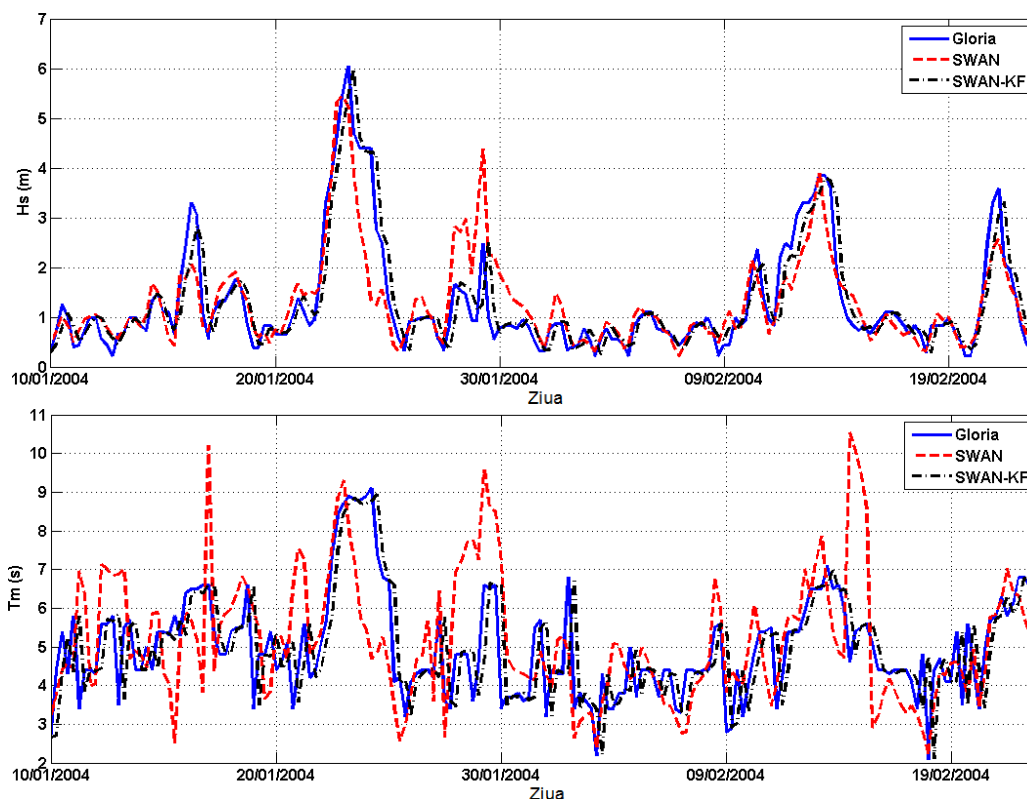


Figura 1. Serii temporale de H_s (figura de sus) și seriile de T_m (figura de jos), comparații între măsurătorile de la platforma Gloria și rezultatele simulărilor cu modelul SWAN, fără DA și după aplicarea KF.

După cum arată rezultatele, asimilarea observațiilor a redus erorile introduce în valorile estimate pentru parametrii de val. Metodologia aplicată în cadrul proiectului a demonstrat performanțe ridicate cu un cost redus de calcul. Rezultă că, metodologia propusă pare să fie eficientă și duce la creșterea preciziei predicțiilor valurilor în Marea Neagră. Mai multe detalii pot fi găsite în studiul Rusu (2016b).

IV 1.2 Asimilarea de date multi-parametri pentru predicția valurilor în zonele costiere

Procedura DA multi-parametri considerată pentru zona costieră a litoralului Românesc este implementată de Rusu și Răileanu (2016) și reprezintă o extindere a metodei aplicată inițial doar pentru H_s de Butunoiu și Rusu (2014). Metodologia aplicată ia în considerare utilizarea măsurătorilor in-situ realizate la unitatea de foraj Gloria, în scopul de a corecta predicțiile de val în domeniul de calcul corespunzător zonei costiere.

Într-o primă abordare, parametrii luați în considerare pentru asimilarea de date sunt H_s și T_p . Astfel, într-un punct F (situat pe frontiera domeniului de rezoluție înaltă) valoarea parametrului de val asimilată, corespunzătoare simulării pentru momentul (t), se calculează cu ajutorul relației următoare:

$$X_{Ft}^{(A)} = X_{Ft}^{(P)} + K(F, t)(\Delta X_{Mt}) \quad (4)$$

unde $X_{Ft}^{(P)}$ reprezintă valoarea parametrului de val simulată de model în punctul F , iar coeficientul $K(F, t)$ este raportul dintre valorile parametrilor simulate în punctul F și cele din punctul M (locația unde s-au realizat măsurătorile):

$$K(F, t) = \frac{X_{Ft}^{(P)}}{X_{Mt}^{(P)}}. \quad (5)$$

Diferența dintre valorile parametrilor de val măsurate și previziuni la locația unde s-au realizat măsurătorile este:

$$\Delta X_{Mt} = X_{Mt}^{(M)} - X_{Mt}^{(P)}. \quad (6)$$

Astfel, în ecuațiile (4), (5) și (6) superscriptul (A) indică valorile assimilate ale parametrilor de val, (P) previziunile și (M) măsurătorile. Subscriptul F indică punctul pe frontier, în timp ce M este punctul în care se realizează măsurătorile (în acest caz poziția platformei Gloria).

În această abordare, spectrul de val real este înlocuit cu un spectru teoretic echivalent de tip JONSWAP. Construcția spectrului teoretic se bazează pe patru parametri ai valurilor. Aceștia sunt: H_s , T_p (sau alternativ T_m), direcția medie a valului (DRI) și împrăștierea direcțională a valurilor (DSPR). Primii trei sunt parametri de val standard și definițiile lor pot fi găsite în literatura de specialitate, de exemplu, în manualul de utilizare al modelului SWAN. Împrăștierea direcțională a valurilor, sau deviația direcțională standard, reprezintă lățimea direcțională unilaterală a spectrului (în grade), definit și calculat în mod convențional pentru balizele pitch&roll (Kuik et al., 1988).

Astfel, abordarea propusă în cadrul proiectului consideră corectarea parametrilor menționați (H_s , T_p , DRI, DSPR) conform metodologiei definite mai sus și înlocuirea spectrelor de val din punctele de frontieră cu un spectru JONSWAP construit pe baza parametrilor de val corecți.

IV 1.3 Evaluarea impactului în spațiul geografic

Cu scopul de a evalua impactul produs în spațiul geografic de aplicarea schemei de asimilare, s-au realizat simulări în primele 6 luni ale anului 2006. Un studiu de caz corespunzător momentului 2006/01/19/h00 va fi prezentat în continuare. Diferențele dintre valorile măsurate și cele simulate la locația platformei Gloria sunt definite ca:

$$\Delta H_s = H_{sM}^{(M)} - H_{sM}^{(P)}, \quad \Delta T_p = T_{pM}^{(M)} - T_{pM}^{(P)}. \quad (7)$$

În acest caz, modelul supraestimează măsurătorile și rezultă următoarele valori pentru diferențele dintre parametrii de val măsurați și cei simulați $\Delta H_s = -0.69m$, $\Delta T_p = -2.41s$. În legătură cu acest studiu de caz, Figura 2 prezintă rezultatele modelului în aria țintă (câmpurile scalare de H_s și T_p), cu și fără asimilarea de date. Viteza medie a vântului și direcția lui sunt de asemenea indicate în figură. În această situație, valurile vin din sud, în timp ce direcția vântului este dinspre sud-vest, cu o viteză medie de 12 m/s. Mai multe studii de caz sunt prezentate în Rusu & Răileanu (2016).

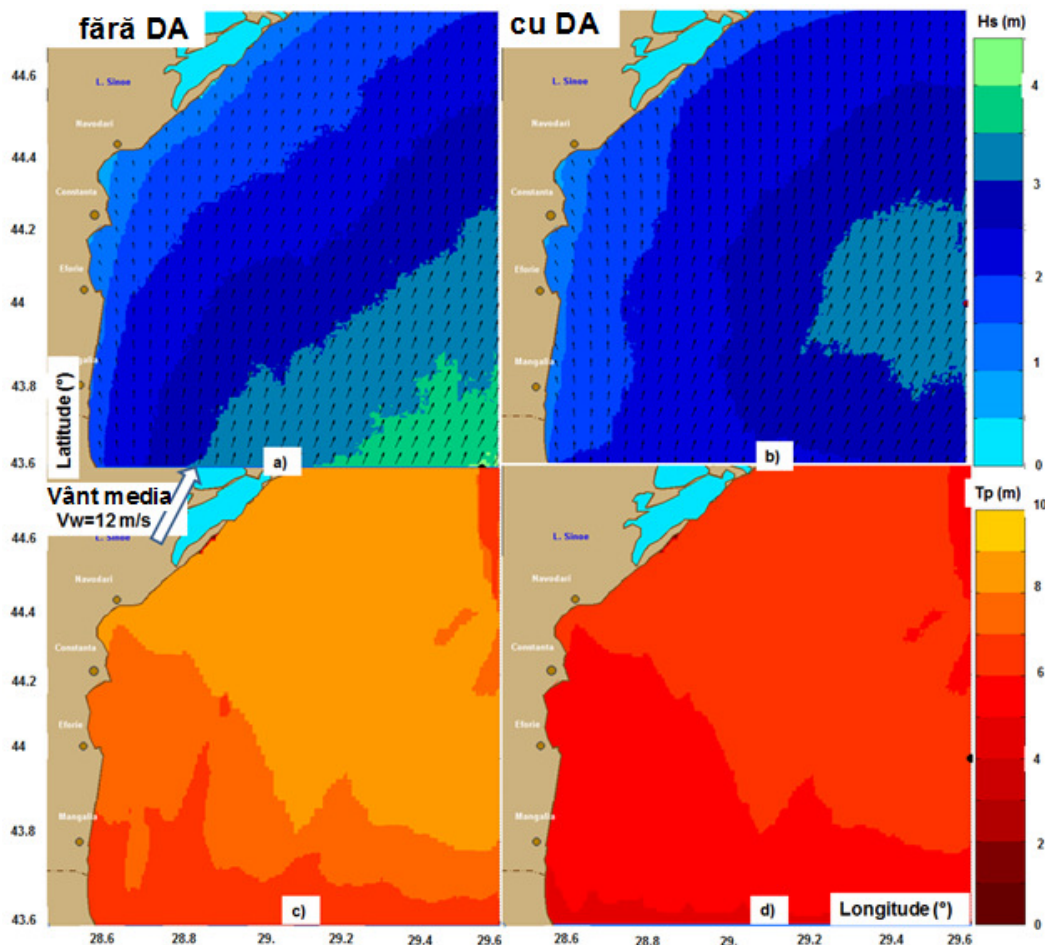


Figura 2. Rezultatele simulărilor în aria țintă, cu și fără DA, pentru momentul 2006/01/19/h00; modelul supraestimează parametrii de val H_s și T_p în raport cu măsurătorile înregistrate la Gloria. Câmpurile scalare de H_s și vectorii de val: a) cu DA; b) fără DA. Câmpurile scalare de T_p : c) fără DA; d) cu DA.

Comparații cu date de satelit

Pentru a evalua impactul produs de DA privind acuratețea predicțiilor de val, au fost realizate comparații cu măsurători realizate de sateliții care au traversat zona țintă în perioada de 6 luni considerată. Un exemplu este ilustrat în Figura 3 care prezintă traiectoriile sateliților în luna martie 2006 peste zona țintă. Figura 4 prezintă o comparație directă între H_s simulat (cu și fără DA) și măsurat corespunzătoare intervalului de 6 luni (2006/01/01-2006/07/01).

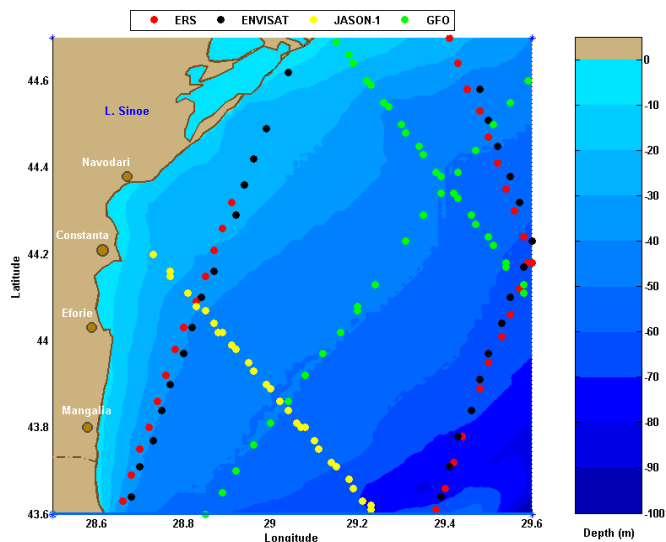


Figura 3. Martie 2006, traiectoriile sateliților peste aria țintă.

Rezultatele prezentate în figură arată că, în general, procesul de asimilare îmbunătățește predicțiile de val. Trebuie totuși remarcat că, există cazuri puține când DA nu a dus la îmbunătățirea rezultatelor. Cele mai multe dintre ele sunt la sfârșitul lunii ianuarie 2006, atunci când apar condiții extreme, cu variații mari ale înălțimii valurilor într-un interval de timp relativ scurt. Din această perspectivă, diferențele ar putea fi generate în acest caz de unele inadvertențe ale măsurătorilor. Rezultatele statistice prezentate în Tabelul 2 prezintă o îmbunătățire a tuturor parametrilor statistici în cazul simulărilor în care s-a considerat DA, în afară de S.

În Figura 5 sunt prezentate schemele DA care sunt aplicate atât la nivel global (bazinul Mării Negre), cât și la nivel local. Mai multe detalii și comparații între diverse metodologii propuse pot fi găsite și în Rusu (2016a) și Răileanu et al., (2016).

Tabelul 2. Rezultatele statistice pentru H_s în domeniul de rezoluție înaltă. Rezultatele modelului SWAN (cu și fără DA) comparate cu datele de satelit măsurate în perioada de 6 luni analizată, 2006/01/01-2006/07/01.

Parametrul	MedObs	MeanSWAN	Bias	MAE	RMSE	SI	R	S	N
H_s (m)	1,21	1,22	-0,01	0,28	0,38	0,32	0,88	1,04	612
H_{s-A} (m)	1,21	1,24	-0,03	0,26	0,33	0,27	0,92	1,07	612

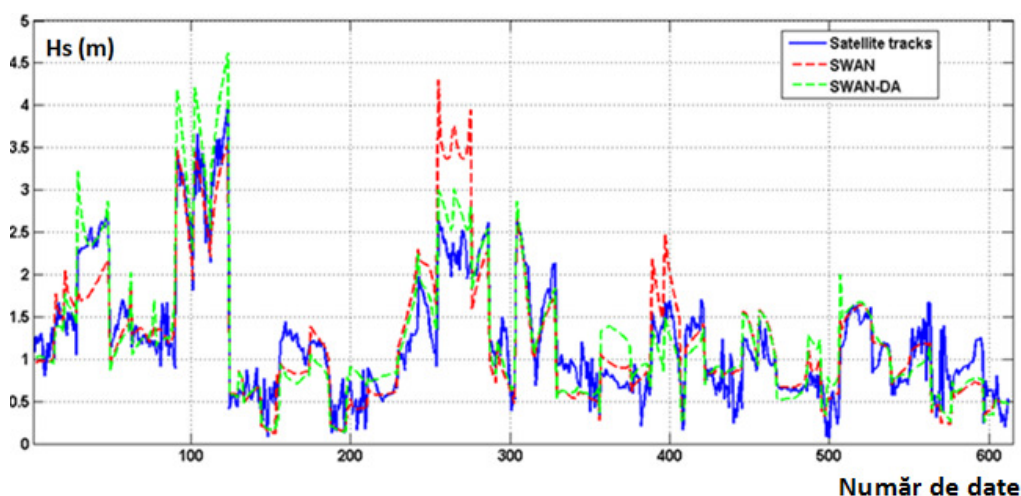


Figura 4. Comparații directe ale parametrului de val H_s , măsurători realizate de sateliți vs. SWAN cu DA și SWAN fără DA, corespunzătoare intervalului de 6 luni, 2006/01/01-2006/07/01.

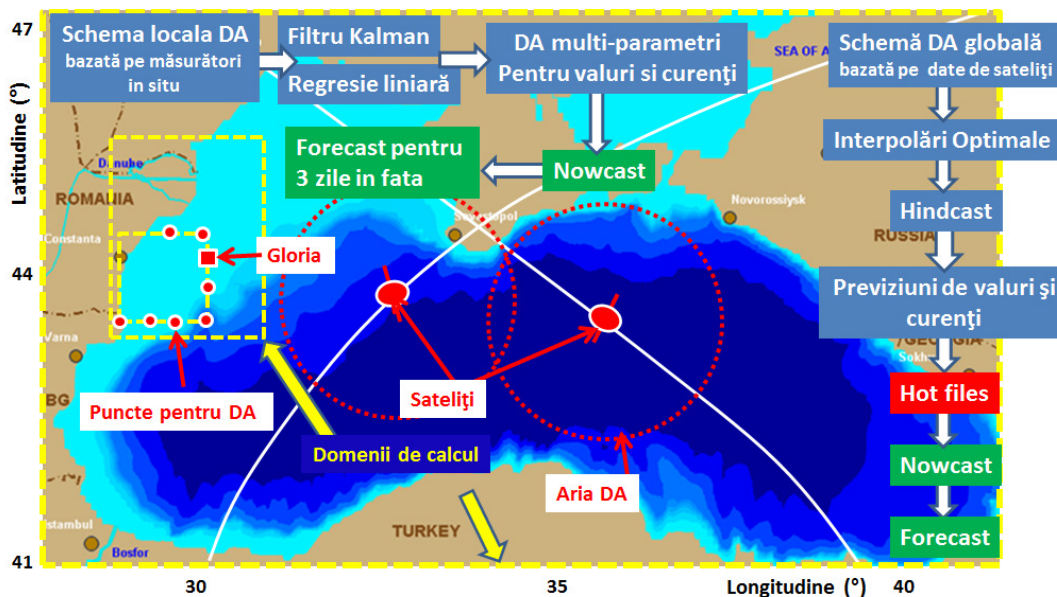


Figura 5. Schemele DA considerate pentru domeniile de calcul locale și pentru întreg bazinul.

IV 2. Concluzii privind atingerea obiectivelor din ultima etapă

În ultima etapă de implementare a proiectului se poate aprecia că s-au realizat toate obiectivele propuse pentru această etapă, cât și la nivelul întregului proiect, obiective care sunt incluse în planul de realizare al proiectului. Rezultatele obținute au fost diseminate prin diverse mijloace, o prezentare detaliată regasindu-se în următoarea secțiune.

IV 3. Diseminarea rezultatelor

Pe parcursul desfășurării proiectului membrii echipei de cercetare au colaborat permanent cu masteranzi, doctoranzi și cercetători postdoctoranzi. În urma acestor colaborări s-au realizat atât studii relaționate în mod direct cu tema proiectului, cât și în domenii conexe.

De asemenea, Profesorul Eugen Rusu (membru al echipei de cercetare) a fost conducătorul științific al tezei de doctorat cu tema: *Implementarea de metode de asimilare de date pentru îmbunătățirea predicției valorilor cu modele spectrale în bazinul Mării Negre* - drd. Ing. Alina Răileanu, membru al echipei de cercetare. Teza de doctorat a fost susținută în fața comisiei de îndrumare în data de 09.09.2016, susținerea publică fiind stabilită pentru data de 14.10.2016.

IV 3.1 Pregătirea de articole științifice, o monografie, prezentări și postere pentru diseminarea rezultatelor obținute

- Publicatii in reviste cotate ISI (6)

1. Rusu, L., Onea, F., 2016. The performance of some state-of-the-art wave energy converters in locations with the worldwide highest wave power, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.123> (IF=6,798)
2. Rusu, E., Raileanu, A., 2016. A multi parameter data assimilation approach for wave predictions in coastal areas, *Journal of Operational Oceanography* 9(1), 13-25. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1192013> (IF=1,263)
3. Rusu, E., Onea, F., 2016. Estimation of the wave energy conversion efficiency in the Atlantic Ocean close to the European islands, *Renewable Energy* 85, 687-703, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.042> (IF=3,404).
4. Rusu, E., Onea, F., 2016. Study on the influence of the distance to shore for a wave energy farm operating in the central part of the Portuguese nearshore, *Energy Conversion and Management* 114, 209-223, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.020> (IF=4,801).
5. Onea, F., Rusu E., 2016. Efficiency assessments for some state of the art wind turbines in the coastal environments of the Black and the Caspian seas, *Energy Exploration & Exploitation* 34 (2), 217-234. (IF=1,094). <http://eea.sagepub.com/cgi/reprint/0144598716629872v1.pdf?ijkey=XVTtflWsevdeozD&keytype=finite>
6. Onea, F., Rusu E., 2016. The expected efficiency and coastal impact of a hybrid energy farm operating in the Portuguese nearshore, *Energy* 97, 411-423, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216000128> (IF=4,292).
7. Onea, F., Deleanu, L., Rusu, L., Georgescu, C., 2016. Evaluation of the wind energy potential along the Mediterranean Sea coasts, *Energy Exploration & Exploitation* 34 (5), 766-792 <http://dx.doi.org/10.1177/0144598716659592> (IF=1,094).

- Publicatii in reviste internaționale (1)

8. Rusu, E., 2016. Reliability and applications of the numerical wave predictions in the Black Sea, *Frontiers in Marine Science*, Article 95, pp. 1-13. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2016.00095/abstract>

- Monografii (1)

9. Rusu, L., Răileanu, A., Onea, F., 2016. Asimilarea de date cu aplicații la predicția climatului de val în bazinul Mării Negre. Ed. Zigotto, Galați, 300p, ISBN 978-606-669-182-6 (editură acreditată CNCS).

-Lucrări prezentate la conferințe internaționale și publicate in volumele acestora (7)

10. Rusu, L., 2016. Assessment of the synergy between wind and wave power in the Black Sea based on a 15-year hindcast. In: *Proc. of 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES2016)*, 4-9 September, Lisbon, Portugal. <http://www.lisbon2016.sdewes.org/>
11. Rusu, L., 2016. Assessment of the renewable energy resources in the Romanian nearshore at the Black Sea, paper presented at *Int. Conference on Advances on Clean Energy Research (ICACER2016)*, 16-18 April, Bangkok, Thailand, <http://www.icacer.com/> received 'Best presentation award'.
12. Rusu E., 2016. Analysis of the Effect of a Marine Energy Farm to Protect a Biosphere Reserve, paper presented at *Int. Conference on Advances on Clean Energy Research (ICACER2016)*, 16-18 April, Bangkok, Thailand <http://www.icacer.com/>, and published in proceedings of MATEC Web of Conferences, Open Access proceedings in Materials science, Engineering and Chemistry, Vol. 62, 1-5 (indexată ISI). <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20166206004>
13. Rusu, L., 2016. Data assimilation method based on the Kalman filter associated with the wave modeling in the western Black Sea. In: *Proc. of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016) – Marine and Ocean Ecosystems*, June 28 - July 6, Albena, Bulgaria, Book3 Vol. 2, 727-734. <http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7936> (indexată ISI)
14. Raileanu, A., Rusu, L., Rusu, E., 2016. Data assimilation methods to improve the wave predictions in the Romanian coastal environment. In: *Proc. of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016) – Photogrammetry and Remote Sensing*, June 28 - July 6, Albena, Bulgaria, Book2 Vol. 2, 855-862. <http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article8396>
15. Răileanu, A, Onea, F., Rusu, E., 2016. *Spatial and seasonal variations of the environmental conditions along the Black Sea shipping routes*. In: *Proc. of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016) – Marine and Ocean Ecosystems*, June 28 - July 6, Albena, Bulgaria, Book3 Vol. 2, 829-836. <http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7983> (indexată ISI)
16. Onea, F., Răileanu, A., Rusu, E., 2016. *Evaluation of the wave energy potential in some locations where European offshore wind farms operate*. In: *Proc. of 3rd International Conference on Maritime Technology and Engineering (MARTECH2016) - Maritime Technology and Engineering 3*, Vol 2, 1119-1124, Taylor & Francis Group, London, 4 - 6 July, Lisbon, Portugal (ISI indexed)

-Publicații în reviste naționale indexate în baze de date internaționale (3)

17. Onea, F., Raileanu, A., Rusu, E., 2016. Analysis of the extreme wind and wave conditions in the Black Sea as reflected by the altimeter measurements, *Mechanical Testing and Diagnosis VI* (1), 5-12. http://www.om.ugal.ro/mtd/download/2016-1/1%20MTD_2016_Volume%201_One.pdf
18. Unga, R., Rusu, E., 2016. Study of the variability of wind energy resources in Romania, *Mechanical Testing and Diagnosis VI* (1), 20 -28. http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2016-1/3-MTD_2016_Volume%201_Unga.pdf
19. Onea, F., Rusu, E., 2016. Coastal protections provided by energy farms in the Romanian nearshore, *Mechanical Testing and Diagnosis VI* (2), 5-16. http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2016-2/1%20MTD_2016_Volume%202_One%20xx.pdf

-Participări la conferințe naționale și publicare în volumele acestora (2)

20. Rusu, E., 2016. Coastal Protection and Extraction of the Marine Energy in the Romanian Nearshore, invited lecture at *4th Edition of the Scientific Conference of the Doctoral Schools*, 'Dunarea de Jos' University of Galati (CSSD-UDJG2016), 2-3 June, Galati, Romania. http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf
21. Raileanu, A., Rusu, E., 2016. Advances in increasing the reliability of the wave predictions in the Black Sea by implementing data assimilation techniques, at *4th Edition of the Scientific Conference of the Doctoral Schools*, 'Dunarea de Jos' University of Galati, 2-3 June, Galati, Romania. http://www.cssd-udjg.ugal.ro/files/invitatie/Program_detaliat_al_conferintei_2016.pdf
<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts>

IV 3.2 Actualizarea continuă a site-ului prin care se diseminează principale rezultate obținute în cadrul proiectului DAMWAVE. <http://www.im.ugal.ro/DAMWAVE/index.htm>

În timpul desfășurării proiectului pagina web a proiectului a fost actualizată cu activitățile și publicațiile realizate în cadrul proiectului.

IV 4. Evaluarea diseminării rezultatelor

Pe parcursul desfășurării proiectului membrii echipei au diseminat rezultatele prin publicarea de articole în reviste internaționale și naționale, prin participări la conferințe internaționale și naționale unde au fost realizate prezentări orale sau postere, publicarea unei cărți la o editură acreditată CNCS, organizarea unui workshop (Impactul tehnicilor de asimilare de date asupra predicției valurilor în zonele costiere românești ale Mării Negre), precum și prin pagina web dedicată proiectului. O prezentare pe etape și total a publicațiilor este realizată în următorul tabel.

Etapa / Publicații	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV	Total
Reviste cotate ISI	1	4	6	7	18
Reviste internaționale	-	4	-	1	5
Reviste naționale indexate BDI	1	1	2	3	7
Monografii	-	-	-	1	1
Conferințe internaționale	12	7	18	7	44
Conferințe naționale	-	2	2	2	6
Total	14	18	28	21	81

Trebuie remarcat că 29,4 % din revistele cotate ISI în care s-au publicat rezultatele au factor de impact mai mare decât 4, iar 17,6% au factorul de impact în intervalul 2÷3. În reviste cu factor de impact în intervalul 1÷2 au fost publicate 26,5%, restul de 26,5% fiind reviste cu factor de impact mai mic decât 1. De asemenea, peste 50% din proceeding-urile conferințelor la care membrii echipei au participat sunt indexate ISI.

În final, putem considera că diseminarea rezultatelor a fost realizată cu succes. De remarcat că, multe din lucrările publicate au fost deja citate chiar și pe Web of Science.

Bibliografie

- Almeida, S., Rusu, L., Guedes Soares, C., 2015. Application of the Ensemble Kalman Filter to a high-resolution wave forecasting model for wave height forecast in coastal areas, *Maritime Technology and Engineering – Guedes Soares & Santos (Eds), CRC Press, Taylor & Francis Group, London, vol. 2, pp 1349-1354.*
- Butunoiu, D., Rusu, E., 2014. Wave modeling with data assimilation to support the navigation in the Black Sea close to the Romanian ports. In: *Proceeding of the International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE2014), 27-28 Noiembrie, Belgrad, Serbia.*
- Galanis, G., Emmanouil, G., Chu, P., Kallos, G., 2009. A new methodology for the extension of the impact of data assimilation on ocean wave prediction. *Ocean Dynamics* 59, 523-535.
- Kuik, A.J., van Vledder, G.Ph., L.H. Holthuijsen, 1988. A method for the routine analysis of pitch and roll buoy wave data. *J. Phys. Oceanogr.* (18), 1020-1034.
- Răileanu, A., Rusu, L., Rusu, E., 2016. Data assimilation methods to improve the wave predictions in the Romanian coastal environment. In: *Proc. of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016) – Photogrammetry and Remote Sensing, June 28 - July 6, Albena, Bulgaria, Book2 Vol. 2, 855-862.* <http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article8396>
- Rusu, E., 2016a. Reliability and applications of the numerical wave predictions in the Black Sea, *Frontiers in Marine Science*, Article 95, pp. 1-13. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2016.00095/abstract>
- Rusu, E., Raileanu, A., 2016. A multi parameter data assimilation approach for wave predictions in coastal areas, *Journal of Operational Oceanography* 9(1), 13-25. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1192013> (IF=1,263)

Rusu, L., 2015b. Wave modelling with data assimilation to evaluate the wave energy patterns in the Black Sea. In: *Proc. of 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2015)*, 16-25 June, Albena, Bulgaria, Vol. 4, pp. 597-606.

Rusu, L., 2016b. Data assimilation method based on the Kalman filter associated with the wave modeling in the western Black Sea. In: *Proc. of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016) – Marine and Ocean Ecosystems*, June 28 - July 6, Albena, Bulgaria, Book3 Vol. 2, 727-734. <http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7936> (indexată ISI)

Buget 2016: 174.853 lei

Project Director

Prof. dr.habil. ing. Liliana Celia Rusu

