

## **Raport științific**

*privind implementarea proiectului*

### **Evaluarea efectelor produse de schimbările climatice asupra condițiilor de val din Marea Neagră - ACCWA**

*în perioada iulie – decembrie 2017*

În prima etapă de implementare a proiectului desfășurată în perioada menționată, au fost urmărite obiectivele specifice proiectului:

1. Evaluarea câmpurilor de vânt furnizate de modelele climatice regionale
2. Simularea condițiilor de val pentru perioada de 'control' (1976-2005)
3. Analiza climatului de val din Marea Neagră
4. Diseminarea rezultatelor

#### **1. Evaluarea câmpurilor de vânt furnizate de modelele climatice regionale**

##### **1.1 Analiza câmpurilor de vânt și stabilirea perioadelor pentru simulările climatului de val din Marea Neagră**

În cadrul experimentului EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014; Kotlarski et al., 2014; a se vedea <http://www.euro-cordex.net/>), sucursala europeană a CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment), sunt furnizate în domeniul public (Jones et al., 2011; Giorgi & Gutowski, 2015) câmpuri de vânt de rezoluție înaltă. Modelele climatice regionale (RCM - Regional Climate Models) au un rol important în realizarea de simulări numerice cu modele de valuri deoarece oferă proiecții cu mult mai multe detalii și o reprezentare mai precisă a evenimentelor extreme localizate. Aceste câmpuri de vânt cu o rezoluție de  $0,11^\circ$  (EUR-11,  $\sim 12,5$  km) sunt luate în considerare în acest proiect. Câmpurile de vânt sunt distribuite gratuit prin arhivele Earth System Grid Federation (ESGF), fiind disponibile predicții până în anul 2100.

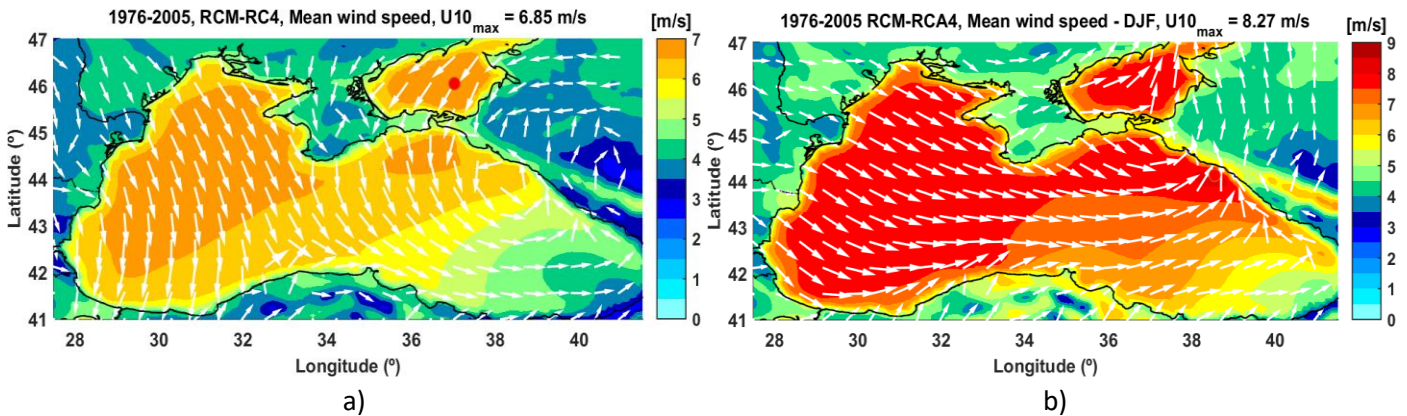
Pornind de la faptul că sunt disponibile diverse proiecții viitoare ale climatului de vânt, realizate cu diferite modele RCM, primul obiectiv a fost de a evalua ce câmpuri de vânt simulate cu același RCM (forțat de același GCM - Global Climate Model) sunt disponibile atât în trecutul recent (numită și perioadă de 'control'), cât și pentru proiecțiile viitoare, considerând cele două scenarii care vor fi analizate în proiect, respectiv RCP4.5 and RCP8.5 (RCP - Representative Concentration Pathways descrise în Moss et al., 2010). Câmpurile de vânt utilizate în simulările numerice cu modelul de valuri trebuie să aibă pe lângă o rezoluție spațială cât mai ridicată, și o frecvență temporală cât mai mare. Pe baza acestor criterii au fost analizate câmpurile de vânt disponibile în cadrul programului EURO-CORDEX.

Din analiza efectuată s-a constatat că simulările realizate de SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez) cu modelul RCA4 (Rossby Centre regional climate model) îndeplinesc criteriile stabilite. Acest model a fost rulat cu diverse condiții de frontieră furnizate de 9 modele GCM (Strandberg et al., 2014). La aceste modele, sensibilitatea climatică definită ca răspuns climatic tranzitoriu (transient climate response - TCR) variază între  $1,3$  și  $2,5^\circ\text{C}$  în momentul dublării  $\text{CO}_2$ . Având în vedere că modelul EC-EARTH (Hazeleger et al., 2010) folosește o valoare medie de  $2^\circ\text{C}$ , fiind totodată unul din modelele cele mai utilizate și care acoperă o perioadă extinsă pentru toate RPC, s-a decis ca pentru simulările realizate cu modelul de valuri să se utilizeze câmpurile de vânt produse de modelul RCA4 forțat cu ICHEC-EC-EARTH (EC-EARTH rulat la Irish Centre for High-End Computing – ICHEC).

Câmpurile de vânt (la 10 m deasupra nivelului mării) descărcate din arhiva EURO-CORDEX acoperă întregul continent European, inclusiv bazinul Mării Negre. Datele sunt disponibile în format NetCDF (Network Common Data Form), dar pentru generarea fișierului grilă de vânt utilizat ca input în simulările cu modelul de valuri este necesară conversia lor în format ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Așa cum a fost menționat, datele au o rezoluție spațială de  $0,11^\circ$  (EUR-11,  $\sim 12,5$  km) și o rezoluție temporală de 6 ore.

Astfel, datele descărcate sunt câmpuri de vânt produse cu modelul climatic regional RCA4, forțat cu modelul global EC-EARTH, și acoperă o perioadă de 30 ani din trecut (1976-2005) numită perioadă de 'control'. Acestea reprezintă date istorice. Următoarele date acoperă 30 ani din viitorul apropiat (2021-2050) și încă 30 ani pentru viitor (2071-2100). Câmpurile de vânt din viitor sunt pentru ambele scenarii. În plus față de ce a fost menționat în propunerea de proiect, s-au descărcat și date de evaluare pentru 30 ani din trecutul apropiat, acestea fiind câmpuri de vânt simulate cu RCA4 forțat cu date de reanaliză de la ERA-Interim care pot fi utilizate pentru evaluarea modelului RCM. Toate aceste informațiile procesate sunt păstrate în baza de date a proiectului ACCWA.

În Figura 1 sunt prezentate imagini care prezintă valorile medii ale câmpurilor de vânt simulate de modelul RCA4 calculate pentru perioada 1976-2004, precum și pentru perioada de iarnă.

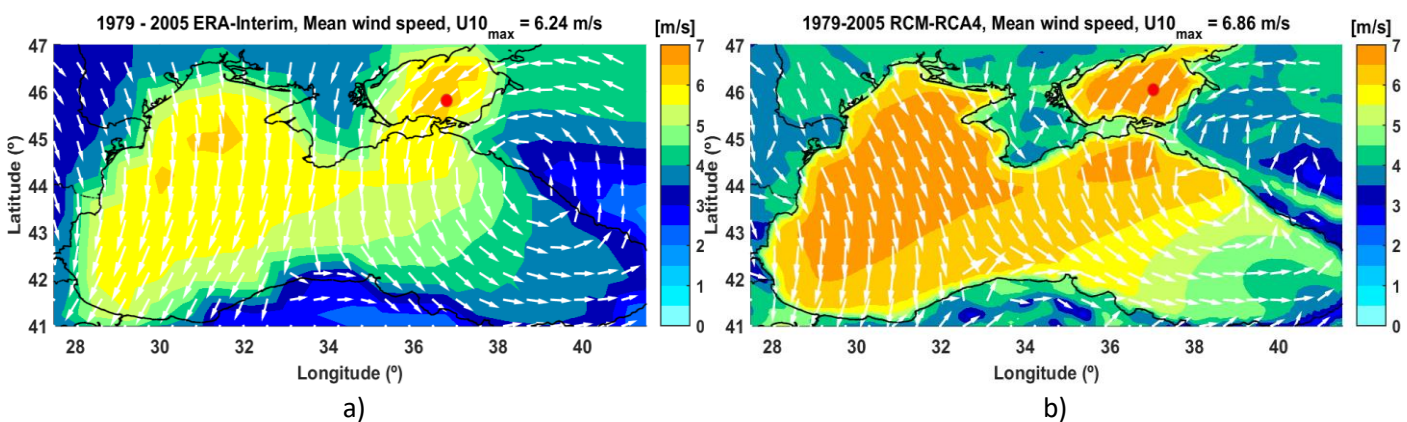


**Figura 1.** Media câmpurilor de vânt simulate de modelul RCA4 calculate pentru perioada de 'control' 1976-2005: a) media a tuturor datelor; b) media datelor din perioada de iarnă (DJF).

## 1.2 Comparatii cu alte baze de date

Pentru perioada de 'control' 1976-2005, există disponibile și date de reanaliză care acoperă diverse perioade. Înainte de începerea simulărilor cu modelul de valuri au fost realizate comparații între valorile medii ale câmpurilor de vânt simulate de modelul RCA4 și cele existente în baze de date care conțin seturi de date de reanaliză utilizate în mod frecvent în modelarea valurilor de tip hindcast, și anume ERA-Interim ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) și NCEP-CFSR (United States National Centers for Environmental Prediction, Climate Forecast System Reanalysis).

Datele ERA-Interim sunt disponibile începând cu anul 1979 până în prezent, și au o rezoluție spațială de  $0,75^\circ$ , iar cea temporală este de 6 ore. Pentru ca ambele modele să acopere aceeași perioadă de timp, a fost calculată media câmpurilor de vânt peste bazinul Mării Negre în perioada 1979-2005, valorile acestor medii fiind ilustrate în Figura 2.

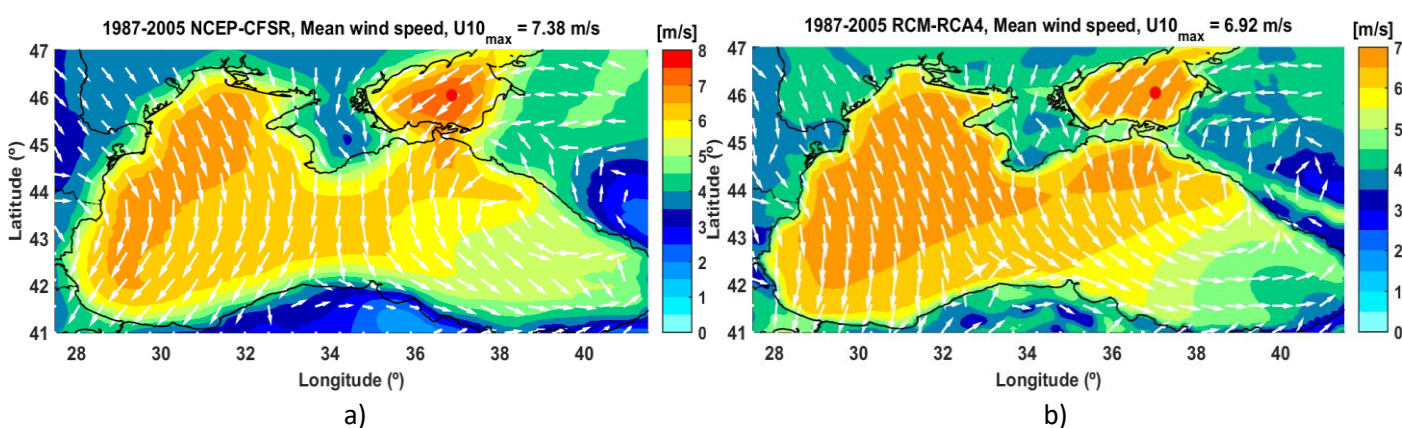


**Figura 2.** Media câmpurilor de vânt ERA-Interim (a) și cele simulate de modelul RCA4 (b) calculate pentru perioada 1979-2005.

Din comparațiile spațiale din Figura 2 s-a observat că în general media vitezelor de vânt simulate de RCA4 sunt mai mari cu aproximativ 0,5 m/s până la 1 m/s. Pe de altă parte, este cunoscut faptul că datele de reanaliză de la ECMWF sunt în general mai mici, mai ales în condiții extreme.

În cadrul proiectului de cercetare exploratorie 'DAMWAVE - Implementarea de metode de asimilare de date pentru a îmbunătăți predicția valurilor în zonele costiere românești ale Mării Negre' (coordonat de același director de proiect) a fost inițiată realizarea unei baze de date, extinsă și după finalizarea proiectului în anul 2016, care acoperă în prezent o perioadă de 30 de ani (1987-2016) și conține date de vânt de la NCEP-CFSR procesate într-un format accesibil pentru analize/vizualizări rapide și simulări ale parametrilor de val din Marea Neagră. S-au realizat comparații între valorile medii ale câmpurilor de vânt NCEP-CFSR și RCA4 pentru perioada 1987-2005. Datele de la NCEP-CFSR au o rezoluție spațială de  $0,312^{\circ} \times 0,312^{\circ}$  și temporală de 3 ore.

În Figura 3 sunt prezentate hărțile celor două câmpuri, observându-se că în bazinul Mării Negre valorile medii ale vitezei vântului calculate pe baza informațiilor din cele două surse diferite sunt apropiate. De asemenea, distribuția spațială prezintă o structură asemănătoare. Este de remarcat că datele de la NCEP-CFSR prezintă valori mai ridicate peste Marea Azov. Valorile medii ale vitezei vântului simulate de RCA4 situate în intervalul 6-7 m/s se regăsesc pe o suprafață mai extinsă în vestul bazinului, comparat cu cele de la NCEP-CFSR. Se observă o ușoară modificare a direcției vântului, în special în zona de sud a părții vestice a bazinului Mării Negre.



**Figura 3.** Media câmpurilor de vânt NCEP-CFSR (a) și cele simulate de modelul RCA4 (b) calculate pentru perioada 1987-2005.

## 2. Simularea condițiilor de val pentru perioada de 'control' (1976-2005)

Condițiile de val din perioada de 'control' (1976-2005) au fost simulate cu modelul SWAN (Simulating Waves Nearshore, Booij et al., 1999), forțat cu câmpurile de vânt simulate de modelul RCA4. De menționat că modelul SWAN a fost calibrat și validat pe perioade extinse în cadrul proiectului DAMWAVE. Utilizând aceleași setări ale modelului SWAN, precum și același domeniu de calcul (Tabelul 1), s-au realizat simulări pentru întreaga perioadă de 'control'.

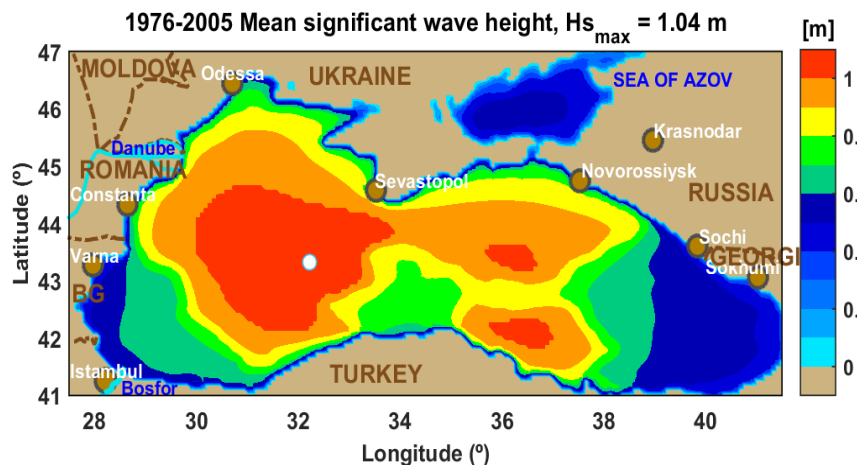
**Tabelul 1.** Caracteristicile domeniului de calcul și setările utilizate în simulările cu modelul SWAN.

Grila de calcul	Rezoluția spațială $\Delta x \times \Delta y$	$\Delta t$ (min)	Nr frecvențe	Nr direcții	Nr puncte grilă $n_{gx} \times n_{gy} = n_p$	Origine (long/lat)
Bazinul Mării Negre	$0,08^{\circ} \times 0,08^{\circ}$	10 (nestaționar)	30	36	$176 \times 76 = 13376$	27,5 E / 41,0 N

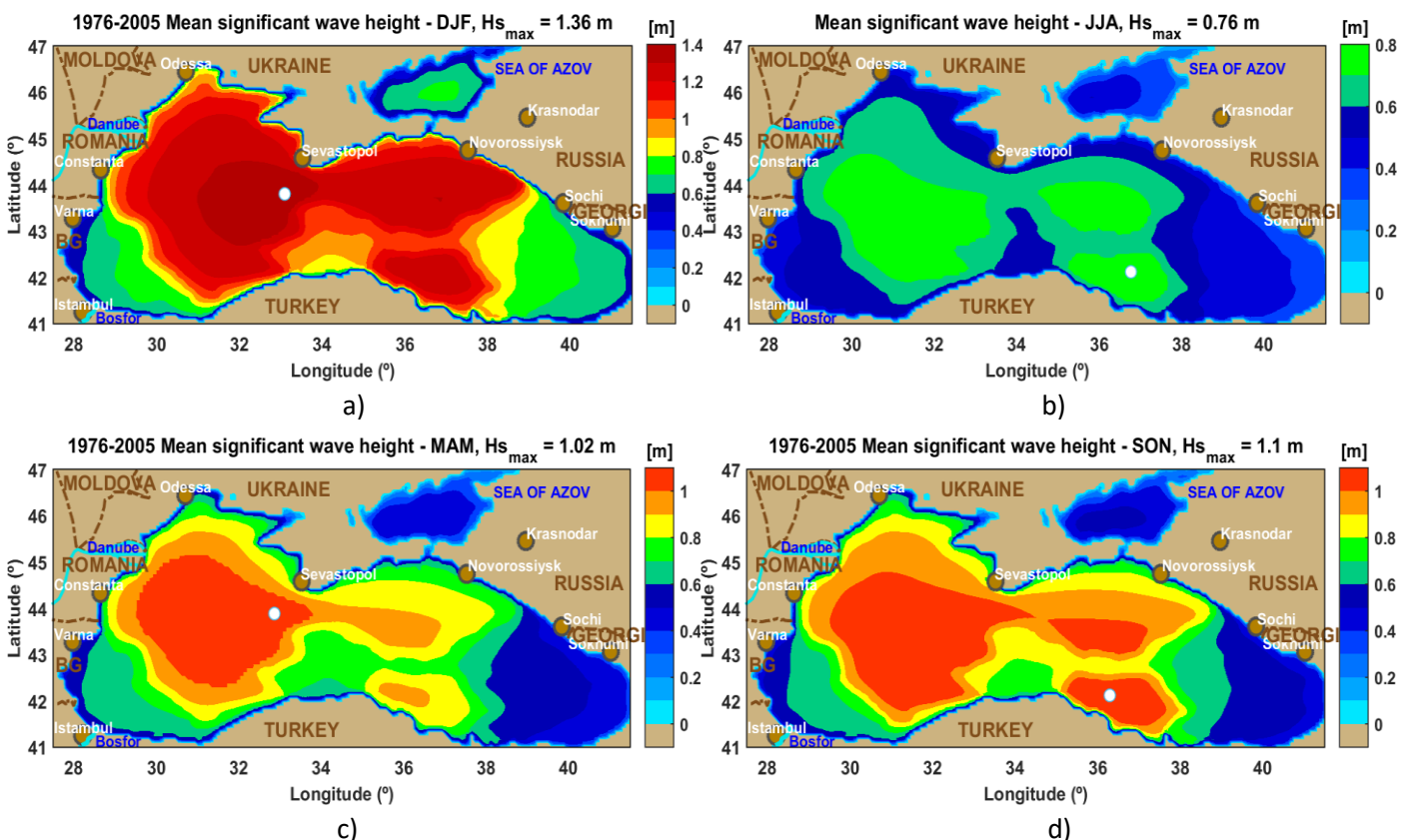
Având în vedere că simulările pentru 30 ani trebuiau realizate într-o perioadă relativ scurtă (4 luni), trebuie menționat efortul depus pentru optimizarea procesării tuturor datelor de vânt utilizate ca *input* în modelul SWAN. Inițial simulările s-au realizat pe 2 workstations aflate în dotare, dar numai simulările cu modelul SWAN pentru un an durau în medie 34 ore. După achiziționarea noilor sisteme de calcul performante (finalul lunii octombrie), durata medie de calcul pentru un an s-a redus aproape de 4 ori, ceea ce ne-a permis finalizarea simulărilor și procesarea datelor de *output* în prima etapă de derulare a proiectului.

În toate punctele grilei de calcul au fost generate valorile principalilor parametri de val cum ar fi înălțimea semnificativă ( $H_s$ ), perioada medie ( $T_m$ ), perioada vârfului spectral ( $T_p$ ), direcția medie ( $Dir$ ), energia transportată de val ( $E_{tr}$ ) și direcția de transport a energiei ( $D_{tr}$ ). Pe baza acestor date s-au calculat mediile climatologice corespunzând întregului bazin al Mării Negre pentru: totalitatea datelor, anotimpuri și luni. Toate datele rezultate au o rezoluție spațială de  $0,08^\circ$  și temporală de 3 ore.

În Figura 4 este prezentată distribuția spațială a valorilor medii ale  $H_s$  calculate pe baza tuturor datelor rezultate din simulările cu modelul SWAN, iar în Figura 5 au fost calculate aceleași câmpuri distribuite pe anotimpuri. Informația necesară pentru calcularea mediilor sezonale a fost extrasă din totalul de date urmând partiția sezonală: iarnă – DJF (decembrie-ianuarie-februarie), primăvara – MAM (martie-aprilie-mai), vara – JJA (iunie-iulie-august) și toamna – SON (septembrie-octombrie-noiembrie). În Figura 5 sunt prezentate distribuțiile spațiale pentru fiecare anotimp.

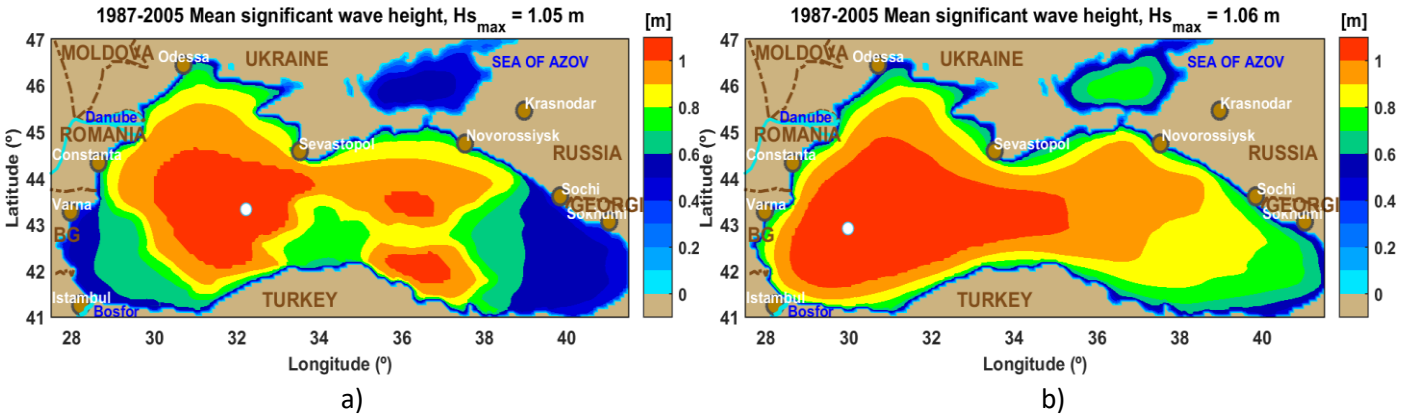


**Figura 4.** Câmpuri de înălțimi semnificative, valori medii pentru intervalul de timp (1976-2005) rezultate din simulările cu modelul de valori SWAN forțat cu vântul provenit de la RCA4.



**Figura 5.** Câmpuri de înălțimi semnificative, valori medii pentru intervalul de timp (1976-2005) rezultate din simulările cu modelul de valori SWAN forțat cu vântul provenit de la RCA4. a) iarna, b) primăvara, c) vara, d) iarna.

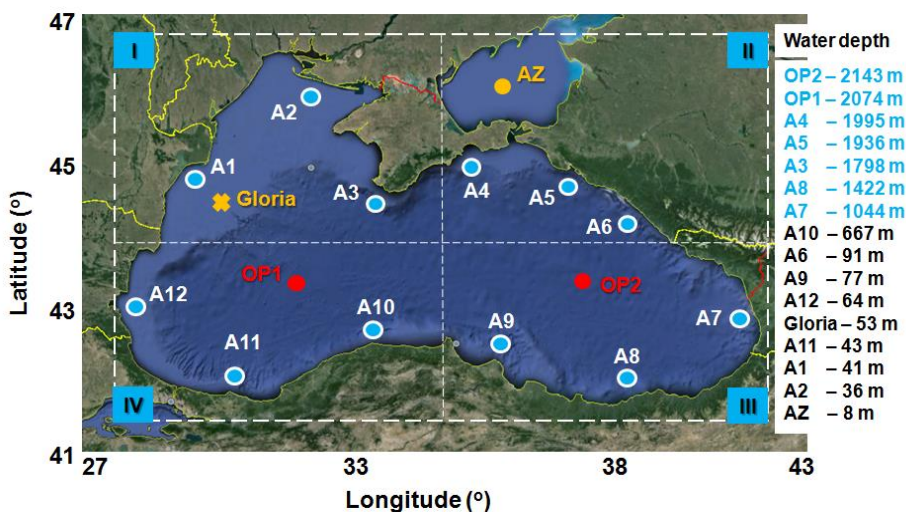
În perioada 1987-2005 se regăesc informații privind condițiile de val din Marea Neagră atât în baza de date DAMWAVE, cât și simulările realizate considerând date de vânt simulate de modelul climatic RCA4. Pentru această perioadă s-au calculat distribuțiile spațiale ale valorilor medii ale  $H_s$  (Figura 6). Valorile maxime ale  $H_s$  sunt foarte apropiate, dar totuși în distribuția spațială apar diferențe. Acestea probabil se datorează diferențelor care apăreau în direcția vântului. Bazinul Mării Negre fiind închis și deci cu un *fetch* limitat pentru dezvoltarea valurilor (comparat cu marile ocean), influența vântului asupra valurilor generate este mai mare. Analize suplimentare vor fi necesare, probabil simulări cu modelul SWAN forțat cu câmpuri de vânt de evaluare disponibile în perioada 1980-2009 (câmpuri de vânt simulate cu modelul climatic RCA4 forțat cu date de reanaliză de la ERA-Interim) vor putea clarifica mai bine aceste modificări din distribuția spațială a câmpurilor de  $H_s$ .



**Figura 6.** Câmpuri de înălțimi semnificative, valori medii pentru intervalul de timp (1987-2005) rezultate din simulările cu modelul de valuri SWAN forțat cu vântul provenit de la: a) modelul climatic RCA4; b) date de reanaliză de la NCEP-CFSR.

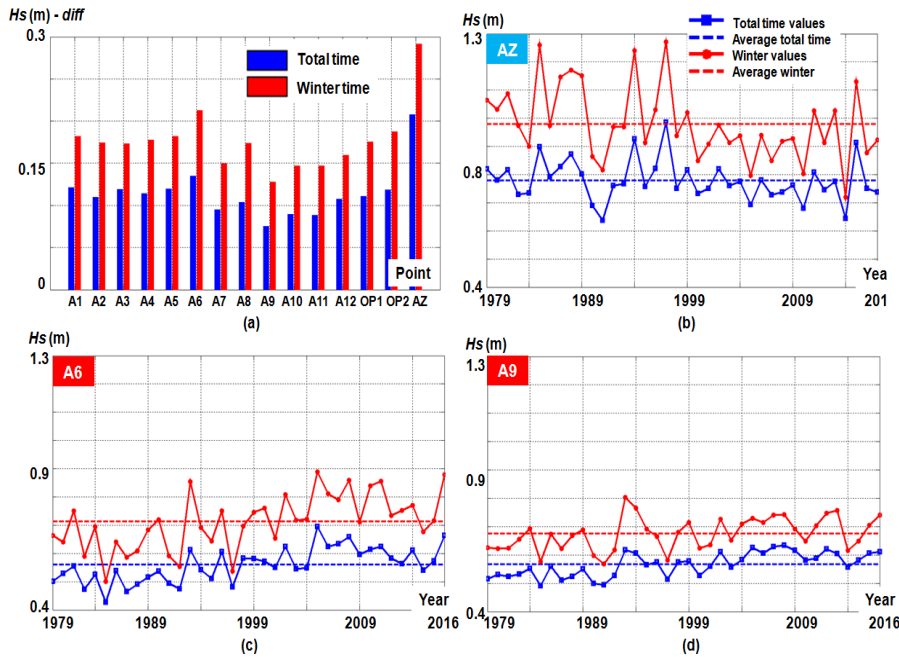
### 3. Analiza climatului de val din Marea Neagră

În cadrul proiectului au fost realizate mai multe analize ale climatului de val din Marea Neagră folosind date din mai multe surse. Astfel, o evaluare pe termen lung a climatului de val din Marea Neagră a fost realizată de Onea & Rusu (2017). Figura 7 prezintă harta Mării Negre și totodată punctele de referință considerate în analiză. Acestea sunt împărțite egal în cele 4 sectoare notate cu I, II, III și IV. Evaluarea condițiilor de val din apropierea țărmurilor este posibilă prin grupul de puncte A (A1, A2, ..., A12). În punctul Gloria din apropierea litoralului Românesc se află o platformă de foraj marin (44°31'N/29°34'E) unde există măsurători *in-situ* pentru intervalul 2003-2009. Pentru a identifica variația condițiilor de val în zonele offshore, au fost alese și două puncta de referință (OP1 și OP2) situate în partea vestică și estică a bazinului.



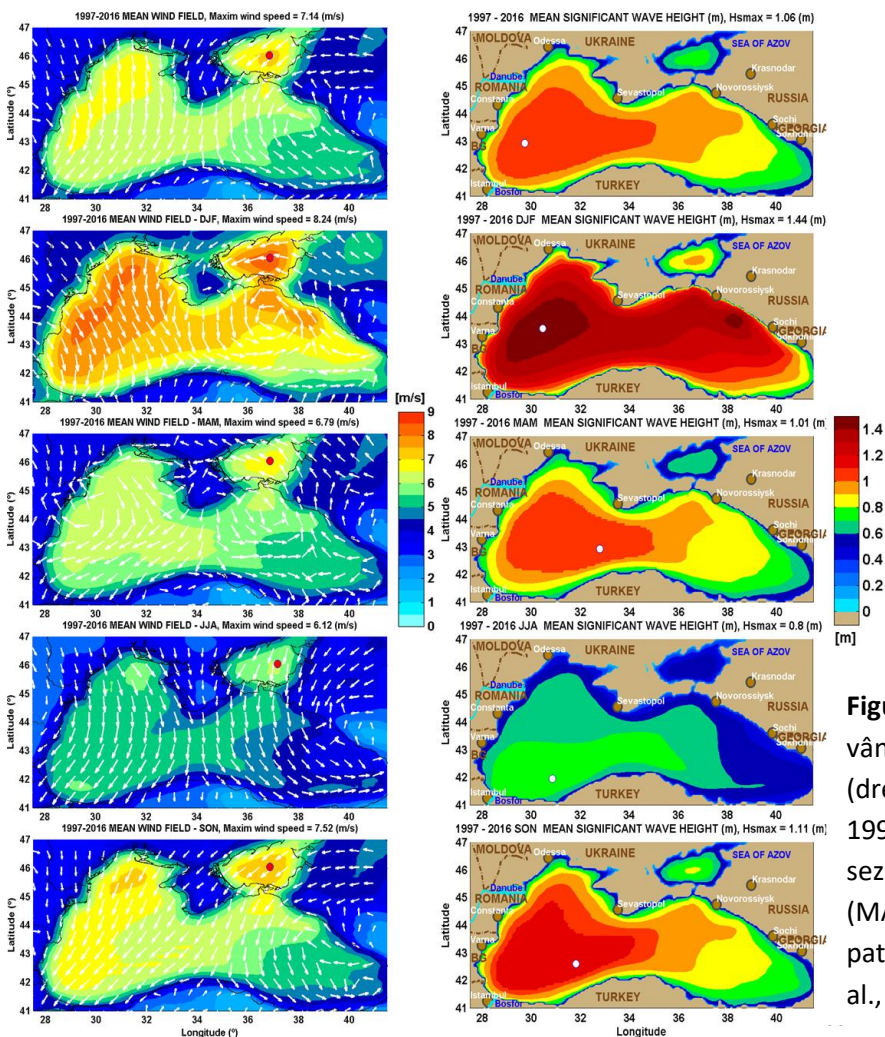
**Figura 7.** Locația punctelor de referință considerate în bazinul Mării Negre. Figura a fost procesată pe baza informațiilor de pe Google Earth (2017), iar valorile adâncimii apei corespund valorilor existente în baza de date NOAA (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/bathymetry/>), (Onea & Rusu, 2017).

Pentru evaluarea pe termen lung a climatului de val din marea Neagră, una din sursele considerate a fost reprezentată de 38 de ani de date de la ECMWF (1979-2016). Figura 8 ilustrează distribuția valorilor medii raportate la o scară inter-anuală, pentru datele totale cât și pentru perioada de iarnă. În Figura 8a sunt prezentate diferențele dintre valorile anuale maxime și minime corespunzătoare intervalului 1979-2016.



**Figura 8.** Distribuția inter-anuală a valorilor medii calculate pe baza datelor de la ECMWF din intervalul 1979-2016. a) valorile normalizate dintre variația maximă și valoarea medie; b), c) și d) variațiile anuale calculate pentru toată perioada și pentru iarnă considerând doar punctele (Onea & Rusu, 2017).

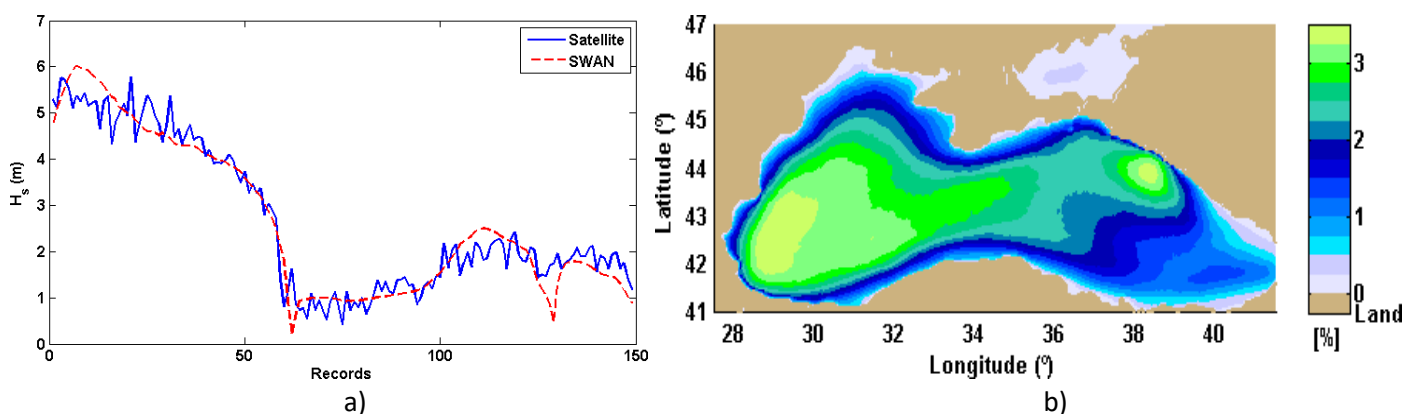
O analiză spațială a climatului de vânt și val pentru perioada 1997-2016 a fost realizată în cadrul proiectului, folosind datele disponibile în baza de date DAMWAVE (Rusu et al., 2017). Rezultatele sunt prezentate în Figura 9.



**Figura 9.** Distribuția spațială a vitezei medii a vântului (stânga) și câmpurile medii de  $H_s$  (dreapta) pentru o perioadă de 20 de ani 1997-2016 (prima linie), și pentru fiecare sezon: iarna (DJF) – linia a doua, primăvara (MAM) – linia a treia, vara (JJA) – linia a patra, toamna (SON) – ultima linie (Rusu et al., 2017).

Un alt aspect important care a fost evaluat este acuratețea cu care modelele spectrale de valuri (așa cum este nodulul SWAN) simulează evenimentele extreme din Marea Neagră (Rusu, 2007). Prin comparații directe ale rezultatelor simulărilor cu măsurătorile realizate de sateliți s-a obținut o perspectivă la întreaga scară geografică a bazinului Mării Negre.

În Figura 10a este prezentată comparația directă între  $H_s$  simulat de SWAN și măsurătorile realizate cu sateliți în zilele de 22-23 decembrie 1999 când în bazinul Mării Negre a avut loc un eveniment extrem (valori  $H_s$  mai mari de 4 m). Se observă o corelare bună între valorile măsurate și simulate, chiar dacă măsurătorile prezintă o mai mare variabilitate care nu a fost reflectată în întregime de rezultatele simulărilor. Pe de altă parte, valorile extreme au fost simulate cu o acuratețe rezonabilă. De asemenea, a fost identificată distribuția geografică a condițiilor de furtună din Marea Neagră din perioada 1997-2016 (Figura 10b), prin calcularea procentajului de valuri caracterizate prin  $H_s$  mai mare ca 3 m pentru toate datele, urmată de o analiză pentru fiecare sezon și lună a anului. Zona de vest a bazinului Mării Negre este în general caracterizată de valori mai ridicate ale lui  $H_s$ .



**Figura 10.** a) Comparații directe între valorile  $H_s$  simulate cu modelul SWAN și cele măsurate de sateliți de-a lungul segmentelor de traiectorii care traversează Marea Neagră în perioada 22-23 Decembrie 1999; b) Distribuția geografică a condițiilor de furtună în procentaje ( $H_s$  mai mari de 3 m), rezultate pe baza a 20 de ani de simulări (1997-2016).

#### 4. Diseminarea rezultatelor

##### 4.1 Pregătirea de articole științifice, prezentări și postere pentru diseminarea rezultatelor obținute

###### - Publicatii in reviste cotate ISI (2)

1. Onea, F., Rusu, L., 2017. A long-term assessment of the Black Sea wave climate. *Sustainability* 9(10), 1875. (IF = 1,789) <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1875> <http://dx.doi.org/10.3390/su9101875>
2. Rusu, L., Ganea, D., Mereuță, E. (2017). A joint evaluation of wave and wind energy resources in the Black Sea based on 20-year hindcast information. *Energy Exploration & Exploitation*, 17 pag, in press. (IF = 0,963) <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0144598717736389> -

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

3. Anton, C., Rusu, E., Mateescu, R., 2017, "An Analysis of the Coastal Risks in the Romanian Nearshore", *Journal of Mechanical Testing and Diagnosis*, ISSN 2247-9635, 2017(VII), Volume 1, pp. 18-27, [http://www.om.ugal.ro/mtd/download/2017-1/V2-2%20MTD\\_2017\\_Volume%201\\_Rusu%20xx.pdf](http://www.om.ugal.ro/mtd/download/2017-1/V2-2%20MTD_2017_Volume%201_Rusu%20xx.pdf)
4. Rață, V., Gasparotti, C., Rusu, L., 2017, "The Importance of the Reduction of Air Pollution in the Black Sea Basin", *Journal of Mechanical Testing and Diagnosis*, ISSN 2247-9635, 2017 (VII), Volume 2, pp. 5-15, [http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2017-2/1\\_MTD\\_Volume%202\\_2017%20Rata%20Rusu.pdf](http://www.im.ugal.ro/mtd/download/2017-2/1_MTD_Volume%202_2017%20Rata%20Rusu.pdf)
5. Anton, C., Carmen Gasparotti, Răileanu, A., Rusu, E., 2017. Towards an Integrated Management and Planning in the Romanian Black Sea Coastal Zones. *Acta Universitatis Danubius. Œconomica*, Vol. 13, no 5, pp 59-71. <http://journals.univ-danubius.ro/index.php/oeconomica/article/viewFile/4381/4208>

###### -Lucrări prezentate la conferințe internaționale și publicate în volumele acestora (2)

6. Rusu, L., 2017. Evaluation of the accuracy of the spectral models in predicting the storm events in the Black Sea. Presented at the 17th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean - IMAM 2017, Lisbon, Portugal, 9 - 11 October 2017, published in *Developments in Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources – Guedes Soares & Teixeira (Eds)* ), Taylor & Francis Group, London, Vol. 2, 1105-1117. (ISI – indexed) <http://www.imamhomepage.org/imam2017/>  
<https://www.routledge.com/Developments-in-Maritime-Transportation-and-Harvesting-of-Sea-Resources/Guedes-Soares-Teixeira/p/book/9780815379935>
7. Vlăsceanu, E., Buzbuchi, N., Rusu, E., "Application of Numerical Hydrodynamic Models in the Study of Waves and Currents in Romanian Black Sea Area", The International Symposium "Protection of the Black Sea Ecosystem and Sustainable Management of Maritime Activities - PROMARE 2017", 8th Edition, 7-9 September 2017, Constanța, România - [Poster](#)

#### **4.2 Realizarea și actualizarea continuă a site-ului prin care se diseminează principalele rezultate obținute în cadrul proiectului ACCWA.**

A fost realizată pagina web a proiectului <http://www.im.ugal.ro/ACCWA/>. Pe parcursul desfășurării proiectului pagina a fost și va fi actualizată cu activitățile și publicațiile realizate.

#### **5. Concluzii**

În final se poate aprecia că s-a reușit atingerea integrală a obiectivelor propuse pentru această etapă. Au fost realizate toate activitățile incluse în planul de realizare.

#### **Bibliografie**

- Booij, N., Ris, R. C., & Holthuijsen, L. H. (1999). A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104, C4: 7649-7666.
- Giorgi, F., & Gutowski Jr, W. J. (2015). Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 467-490.
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Ștefănescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J.M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A.M.L., Christensen, J.H., van den Hurk, B., Jimenez, P., Jones, C., Kållberg, P., Koenigk, T., McGrath, R., Miranda, P., Van Noije, T., Palmer, T., Parodi, J.A., Schmith, T., Selten, F., Storelvmo, T., Sterl, A., Tapamo, H., Vancoppenolle, M., Viterbo, P. Willén, U. (2010). EC-Earth: A seamless Earth-system prediction approach in action, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1357-1363.
- Jones, C., Giorgi, F., & Asrar, G. (2011). The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX; An international downscaling link to CMIP5. *CLIVAR Exchanges*, 56, International CLIVAR Project Office, Southampton, United Kingdom, 34-40.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
- Strandberg, G. Barring, L. Hansson, U. Jansson, C. Jones, C. Kjellström, E. et al., (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4, *Reports Meteorology and Climatology*, 116, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige.

#### **Buget 2017: 241.450 lei**

Director proiect

Prof. dr. habil. ing. Liliana Celia Rusu