

ANNALS OF "DUNAREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALATI  
MATHEMATICS, PHYSICS, THEORETICAL MECHANICS  
FASCICLE II, YEAR V(XXXVI) 2013, No. 2

## ASPECTS OF THE COASTAL HYDRO-GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES AT THE DANUBE RIVER MOUTHS

Razvan Mateescu<sup>1</sup>, Angela Ivan<sup>2</sup>, Ichinur Omer<sup>3</sup>, Dorin Butunoiu<sup>4</sup>

<sup>1</sup> National Institute for Marine Research and Development "Grigore Antipa", 300, Mamaia Blvd., 900356, Constanta, Romania, e-mail: razvan\_doru@yahoo.com

<sup>2</sup> Free Zone Galati, Romania

<sup>3</sup> Faculty of Civil Engineering, "Ovidius" University of Constanta, 22B Unirii Street, Constanta, Romania, e-mail: ichinur.omer@univ-ovidius.ro

<sup>4</sup> County Council Galati, 7 Eroilor Street, 800119, Galati, Romania

### Abstract

Prin utilizarea curentmetrelor cu efect Doppler si a celor electromagnetice au fost investigat campul curentilor in apropierea tarmului Deltei Dunarii. Măsurătorile s-au executat cu metode specifice echipamentelor de tip ECM si ADCP, in statii si respectiv pe profile, intr-o dispunere care sa permita investigarea parametrilor descriptivi ai elementelor dinamice ale valurilor: viteze, perioade, amplitudini, in adiacente gurilor de varsare a Dunarii din sectorul romanesc.

Regimul hidrologic al Dunării, determina in zonele adiacente gurilor de varsare, în situații de calm ale regimului marin, curenți orientati spre sud, avand intensitatea medie pe coloana de apa cuprinsa între 30 și 50cm/s. Limita de separare a curentilor pe coloana de apa in aceste zone, apare în stratul saltului de densitate a apei, inducand circulatiei maselor de apă puternice mișcări transversale, care se evidentiaza in reprezentarile grafice prin înclinarea transversala a izoliniilor de densitate, temperatură și salinitate, deosebit de puternica in zonele de varsare.

In plus, pentru apele costiere intens modificate din punct de vedere al interventiei antropice, sunt resimțite influentele orientării curentului general de la nord la sud, respectiv a orientarii liniei țărmului și curbelor batimetrice, care induc o asimetrie considerabilă în distribuția direcțiilor de propagare a valurilor și curenților în zonele de mică adâncime din apropierea malului, ceea ce induce valori semnificative ale curenților longitudinali aferenți predominanței acestor valuri incidente, care se propagă in 90% din cazuri pe cele cinci direcții cuprinse între nord-est și sud-est, avand magnitudini între cuporinse in intervalul 30 - 150cm/s cu efecte semnificative asupra dinamicii apelor costiere.

**Keywords:** coastal currents, hydrological river regime, marine hydrodynamics, sediment transport.

### 1. Introduction

Regimul curenților din zona marină românească prezinta in general un caracter nepermanent datorită direcției dominante vântului in Bazinul Nord-vestic al Marii Negre, dar și deversării fluviului Dunărea prin cele trei brațe principale ale sale, in cadrul determinat de curentul dominant al Marii Negre (curentul dominant Rim), care are o directie sudica in zona aferenta tarmului romaneasc, fiind indus de forței Coriolis la nivelul întregului bazin, precum si de stratificația transversală a maselor de apă foarte puternica si stabila in Marea Neagra.

Corelația curentilor de suprafata cu parametrii meteorologici de influenta, respectiv între viteza vântului și viteza curentului pentru diferite direcții de acțiune ale vântului, relava faptul ca preponderent curenții de suprafată se intensifică în funcție de viteza vântului dein directiile de nord și scad în intensitate atunci când direcția vântului se schimbă spre sud.

Curentii costieri si campul de valurile din apropierea coastei, ce reprezintă miscari foarte dinamice ale maselor de apă, iar investigarea componentelor lor atat transversale (direcția și viteza de propagare a valului, lungimea de undă), cat și longitudinale (perioada, înălțimea valului), prin

măsurătorile directe (mecanice, ultrasonice, electromagnetice) sau chiar vizuale, sunt deosebit de importante, atât pentru proiectarea navelor fluviale și maritime, cât mai ales pentru optimizarea tehnicii de operare a transportului nava în zonele gurilor de varsare fluviale.

Astfel, cunoașterea regimului hidrologic marin în diferite zone vulnerabile și/sau cu o dinamică deosebită, în zone adiacente Deltelor Dunării este primordială în stabilirea metodelor de conservare regionale, sectoriale și locale; existența unor obstacole naturale sau rezultate în urma intervenției omului influențează semnificativ curgerea, și implicit evoluția hidro-morfologică și comportarea proceselor hidromorfologice costiere.

În situațiile abordate în cadrul lucrării de față se va evidenția necesitatea investigației proceselor hidrodinamice în zone adiacente gurilor de varsare ale Dunării, precum și importanța măsurătorilor de teren în studiile de analiză și validare a modelelor numerice.

## 2. Methodology

Metodologia utilizată a inclus metodologia măsurătorilor de curenți și valuri precum și măsurători și investigații complexe hidromorfologice, vizuale.

Echipamentul utilizat la măsurători a fost curentmetru cu efect Doppler: ADCP RDI Teledyne WH600, curentmetru electromagnetic digital/ECM, model 808 Valeport, ambarcațiuni ușoare cu motor, sisteme de poziționare DGPS, perspectometru, soft specializat de colectare-procesare-management date hidro-morfologice.

S-a urmărit înregistrarea vitezelor orizontale și verticale pe profile transversale caracteristice în funcție de adâncime prin folosirea curentmetrului Doppler în diferite regimuri hidrologice ale Dunării, în vederea construirii unei imagini clare vs. influența penei de apă dulce asupra zonelor învecinate gurilor de varsare (curba de corelație între debit și aria influențată/cota apelor și debitul de apă scurs în diferite secțiuni, calcularea bilanțului hidric/cuantificarea parametrilor mișcării masei de apă în vecinătatea tarmului, etc); pentru înregistrarea vitezei absolute a curentului față de patul solid al mării, ADCP-urile sunt dotate cu un modul adițional specific, Bottom track/modul de urmărire a vitezei absolute față de fund. Datele de viteză/debit, adâncime, temperatură și poziția au fost colectate și prelucrate cu ajutorul soft-ului RDI Teledyne, WinRiver.

Datele de poziționare în teren au fost asigurate de un sistem DGPS Trimble GeoXH cu precizie decimetrică în varianta PPK (postprocesare), și au fost integrate de software-ul furnizat de RD Instruments, instalat pe un laptop. Astfel măsurătorile efectuate au vizat efectul variabilității naturale în apropierea obstacolelor marine, vs regimul modificat de prezența gurilor de varsare.

Datele ADCP/măsurătorile curenților/debitelor de curgere au fost prezentate ca seturi de vectori, profile de viteză, profile intensitate backscatter și date numerice/text, care au fost ulterior reprezentate ulterior în softuri dedicate cartografiei digitale – aferente pachetului de programe ArcGIS.

Datele colectate în teren au fost de tip cantitativ și calitativ. Cele cantitative s-au determinat cu aparatură oceanografică, fiind apoi codificate în format electronic și stocate în baza de date. Datele calitative au constat în observații vizuale, fotografii și înregistrări video.

Fluxul de date aferent sistemului de monitoring-modelare aplicat regimului de val și curent în costiere din zona coastei Deltei Dunării a inclus date meteo-hidrologice: precipitații, vânt, val și nivel, curenți/debite, etc, date de geomorfologie a plajelor adiacente zonelor de interes: ritmuri de retragere/inaintare ale liniei tarmului și date privind desfășurarea proceselor hidromorfologice.

La dimensionarea rețelei de măsurători hidrologice a fost urmărită înregistrarea proceselor hidrodinamice locale, în ariile de interes, iar frecvența de monitorizare a fost adaptată urmării variabilității proceselor la nivelul ciclului anual, și respectiv, pe sezoane, dar sî și cât posibil, la diferite evenimente hidrologice (unde de viitură, furtuni excepționale, etc).

Astfel, în funcție de disponibilitatea aparaturii și a mijloacelor de transport, precum și de starea vremii, sesiunile de măsurători hidrologice s-au întins bianual, dar și corespunzător pentru cele două sezoane, sezonul cald și sezonul rece.

Metodologia măsurătorilor de valuri

Deoarece a fost imposibila montarea unui ADCP pe fundul malos la gurile de varsare a Dunarii s-a optat pentru masuratori clasice asupra campului de valuri: masuratori cu perspectometrul naval. S-au mai măsurat și alte elemente specifice, cum ar fi viteza particulei elementare în val, lungimea valului sau elemente care însoțesc acest fenomen: parametrii descriptivi ai vântului.

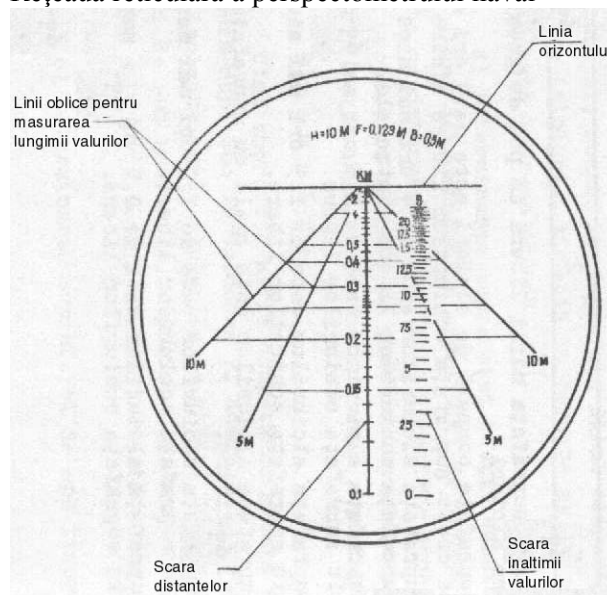
Măsurătorile s-au executat cu metode clasice, perspectometru și o geamandură, zilnic la trei ore distincte, 07.00 (08.00), 13.00 și 17.00 (18.00), însumând peste 40 de înregistrări, în domeniul de înaltime al valului observat sub 1.5m.

Geamandurile au fost reprezentate de geamandurile de senal la intrarea în canalul Sulina, instalate de o parte și de alta a șenalului (figura) în câmpul vizual al unui perspectometru instalat lângă Farul Sulina (fig. ).

Figura  
Perspectometru naval



Figura  
Rețeaua reticulară a perspectometrului naval



Măsurarea valurilor cu perspectometrul naval și gemandurile de semnalizare

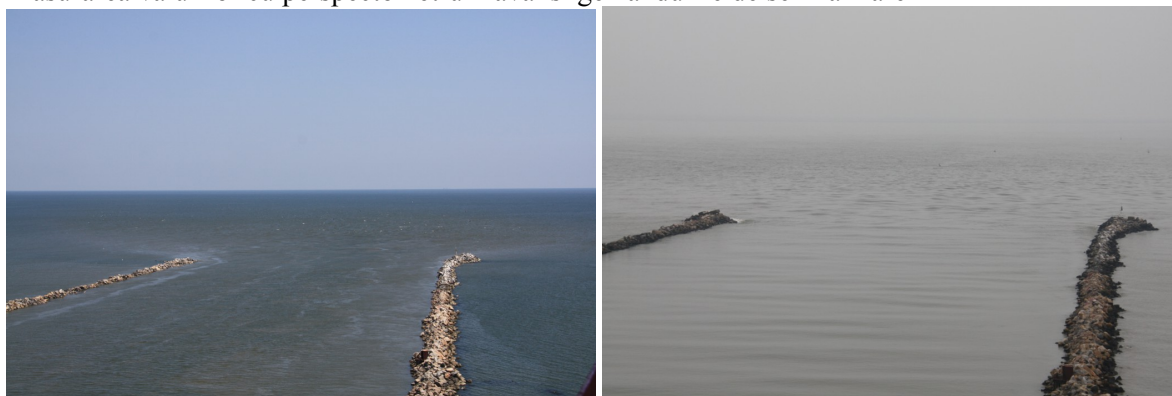


Fig Intrarea canalul Sulina – Amplasarea gemandurilor și a perspectometrului pentru urmărirea campului de valuri la gura de varsare, 30.06.2012. și 20.11.2010

### 3. EXPERIMENTAL. RESULTS AND DISCUSSION

Rezultatele obținute evidențiază caracterul neuniform al câmpului de curenților în zona de varsare a Dunarii, precum și existența unor gradienti importanți pe verticală, determinați atât de diferențele de viteză și de orientare a curgerii la diferite nivele de adancime.

Rezultatele prelucrării releva preponderența curenților orientați în lungul țărmului (aproximativ 80%), față de cei perpendiculari pe coastă (aproximativ 20% din total), iar vitezele medii sunt mai mari pentru curgerile în lungul țărmului (32cm/s) și mai reduse pentru cele normale la coastă (20cm/s).

Măsurători executate pe perioada verii nu au permis înregistrarea unor condiții hidrometeorologice variate, dar s-a remarcat o dominantă a curgerilor spre nord, cu ponderi de ordinul 45%-65%, din totalul datelor. Variabilitatea vitezelor măsurate la gura de varsare a canalului este considerabilă, ele reflectând modificările de direcție și viteza a vânturilor locale.

Astfel, pentru a avea o imagine mai bună asupra câmpului de curenti la gura de varsare, au fost efectuate profile cu ajutorul unui ADCP RDI WH600, atât transversal pe direcția canalului cât și transversal pe bara Sulina, observându-se stratificatia maselor de apa, respectiv a vitezelor in zona guri de varsare, si in ariile adiacente acestora.

Este de menționat faptul ca măsurătorile efectuate au furnizat date în concordanță cu prognozele INCDM, respectiv valorile calculate de modelul POM (Princeton Ocean Model) pentru curentii marini, atât pentru viteza, cât și pentru direcție.

(<http://www.rmri.ro/RMRI/Forecasts/ForecastsRO.php>)

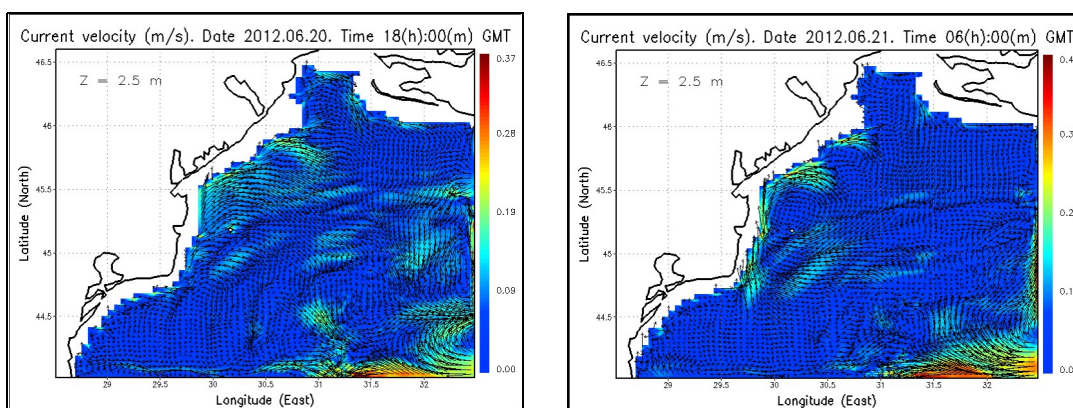


Fig. Circulația de la nord la sud a curentilor marini in perioada 20-21.06.2012

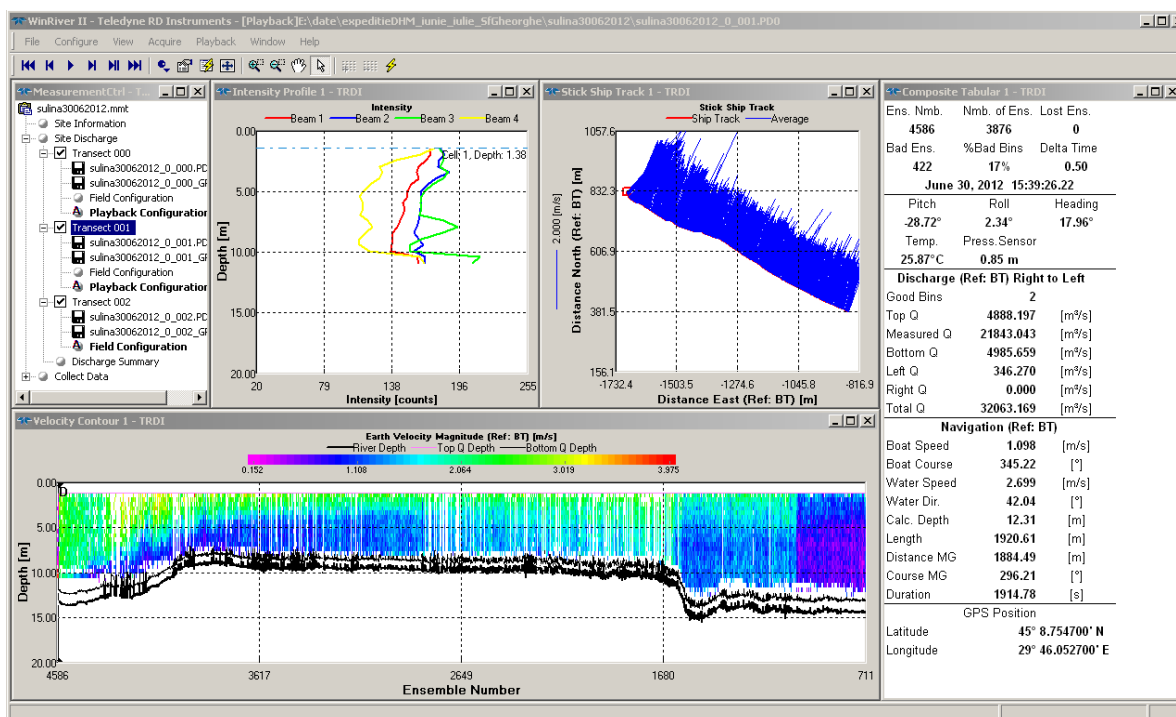


Fig11 Profil transversal pe bara Sulina – modificarea campului de curenti la gura de varsare a canalului Sulina, 30.06.2012

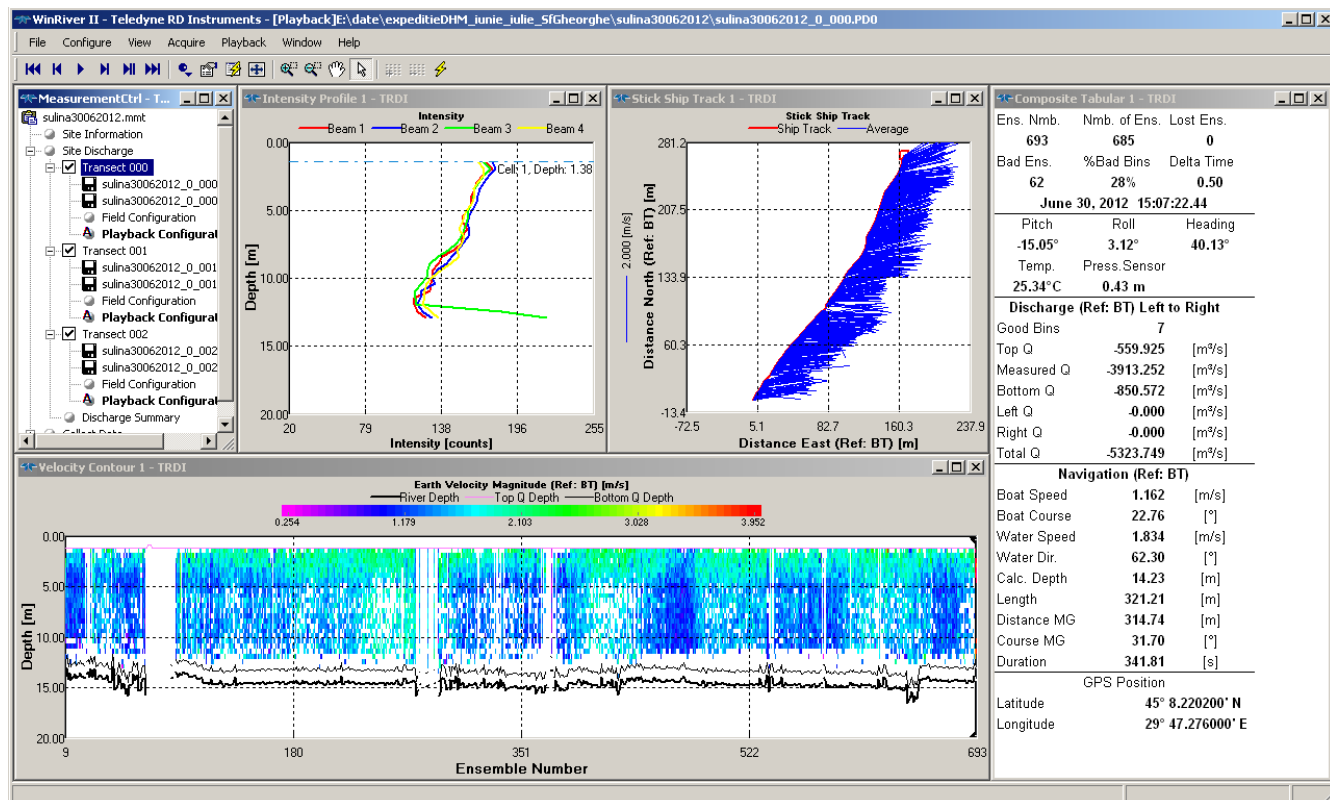


Fig12 Profil transversal pe gura de varsare a canalului Sulina, modificarea campului de curenti, 30.06.2012

In expeimentul de *Masurare a valurilor*, desfasurat la gura de varsare a bratului Sulina s-a folosit perspectometrul de tip GM-12, care are posibilitate măsurării: principalilor paramatrii de val (masurarea înălțimii, perioadei, vitezei și direcției de propagare a valurilor, precum și a distanțelor pe mare). Astfel, amplasamentul perspectometrului naval la farul din Sulina sau pe digul canalului a permis inregistrarea parametrilor de val in trei zone, corespunzand amplasamantului celor trei geamanduri de semnalizare, in intervalul de desfasurare a experimentelor.





Fig Digul sudic al canalului Sulina - geamanduri de semnalizare 28.06.2012

Posibilitățile tehnice ale aparatului, a permis măsurarea înălțimii valurilor cu o eroare de  $\pm 10\%$ , iar a distanțelor de  $\pm 5\%$  din valorile măsurate. S-a remarcat o intensificare progresivă a înălțimii câmpului de valuri în zona barei, la contactul cu curentul provenind de pe bratul Sulina, precum și o refracție corespunzătoare.

În același timp observații asupra răspunsului costier, au inclus procesele de propagare și transformare a valurilor în zona gurilor de varsare, de care este legat în mod decisiv de regimul de hidrologic al fluviilor. Astfel transportul de apă și sedimente indus de valuri a fost raportat la vitezele generate de valurile de frecvență înaltă și joasă, care are componente transversale și longitudinale vis-a-vis de orientarea tarmului atât în cazul valurilor nediferențiate cât și a celor diferențiate.

Astfel, s-au determinat în zone de varsare a fluviului în mare o intensificare a sedimentarilor induse de curenți datorită interacțiunii cu stratul limită determinat de valuri, dar și a celor de intensificare a tensiunii de forfecare pe fund și a disipării energiei valurilor.

În cazul gurilor Dunării, condițiile atât naturale cât și antropice în cazul Sulina și mai recent Bistroe, procesele de interacțiune val – curent au loc în combinație cu circulația orizontală a curenților deversati de apă dulce, conducând la apariția unor curenți longitudinali și curenți de rip, care produc pe tarm efecte foarte vizibile la scări mici de timp. În cazul curenților opuși sensului de propagare a valurilor, se produce o modificare asimetrică a vitezelor din apropierea suprafeței libere vis-a-vis de cele din straturile limită, ceea ce conduce la intensificarea câmpului de valuri, ceea ce determină o creștere a importanței a tensiunilor de forfecare, ceea ce determină antrenarea accentuată a particulelor de sediment și un transport net de sedimente indus în lungul țărmului, pe anumite traiecte de curenți.

Concomitent cu măsurătorile desfășurate în zona marină au fost efectuate măsurători GPS la interfața mare-uscat, fiind sesizată o modificare rapidă a poziției de tarm în special în zona de varsare, aflată atât sub influența mării cât și a regimului hidrologic al Dunării.

#### 4. Conclusions

Pentru scopurile lucrării prezente, efectuarea de măsurători în vecinătatea bratelor Deltei Dunării, a permis investigarea/validarea rezultatelor obținute pe model în special pentru direcția de propagare nord, precum și extrapolarea măsurătorilor pentru cazul, vânt de NE, situație caracterizată prin condiții de val puternice și vânt, reprezentând o situație înalt energetică, cea mai comună pentru zona Deltei Dunării.

În acest mod, studiul privind interacțiunea curenților asupra câmpului de valuri în zona Deltei Dunării cele trei situații semnificative de setare modelului numeric, respectiv de considerare a

parametrilor hidrologici marini, a fost susinut de masuratori in situ, care au permis evidentiarea elementelor regimului de val in apropierea tarmului, in zone de varsare cu sau fara campuri de curenti avand directie inversa sau perpendiculara directiei de propagare.

Analiza comparativa a rezultatelor obtinute prin simulări numerice asupra curentilor marini și costieri, precum și cele asupra transformării valurilor în sectorul Deltei Dunarii, si respectiv prin măsurători in situ, releva o complexitatea deosebita a proceselor hidrodinamice in veninatatea gurilor de varsare, precum si o necesitate abordarii complexe a demersurilor de numerice/teoretice, cât și a celor de măsurători și observații pe teren (in situ), in desfasurarea lor in în timp și spațiu.

Chiar daca pe ansamblul litoralului situatie reala este apropiata, in zonele gurilor de varsare se constata anumite discontinuitati ale regimului transportului sedimentar, obesrvandu-se anumite accentuări ale proceselor de depunere, si respectiv, de eroziune a tărmlui, incluzand relieful submarin, la nivel local si regional.

### Acknowledgements

This work was supported by a grant of the Romanian Ministry of National Education, CNCS – UEFISCDI PN-II-ID-PCE-2012-4-0089 (project DAMWAVE).

### References

1. Almazov, A., Bondar, C., Diaconu, C., Ghederim, V., Mihailov, V., Miță, P., Nichiforov, I., Rai, I., Rodionov, N., Stănescu, S., Stănescu, V., Vaghin, N., 1963. Hydrological monograph of the Danube's mouths, Romanian State Department of the Water.
2. Baschek, B., 2005. Wave-current interaction in tidal fronts, Proceedings of the 14th 'Aha Huliko'a Winter Workshop, Rogue Waves, Ed. P. Muller and C. Garrett.
3. Rusu, E., 2009. Wave energy assessments in the Black Sea, Journal of Marine Science and Technology 14(3), 359-372.
4. Rusu, E., 2010a. Modelling of wave-current interactions at the mouths of the Danube, Journal of Marine Science and Technology 15(2), 143-159.
5. Rusu, E., Ivan, A., 2010. Evaluation of the extreme waves at the entrance of the Danube Delta, Proceedings of the Tenth International Conference on Marine Sciences and Technologies - BLACKSEA2010, 7-9 October, Varna, Bulgaria, 331-
6. Rusu, L., 2010b. Application of numerical models to evaluate oil spills propagation in the coastal environment of the Black Sea, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 18(4), 288-295.
7. Rusu, L., Ivan, A., 2011. Modelarea proceselor hidrodinamice în zonele de deltă și estuar, Editura AGIR București, Colecția Studii și cercetări, 184 p.
121. Rusu L., Bernardino M., Guedes Soares C., 2011b. Modelling the influence of currents on wave propagation at the entrance of the Tagus estuary, Ocean Engineering 38, 1174-1183.
8. Ivan, A., Gasparotti, C., Rusu, E., 2012. Influence of the interactions between waves and currents on the navigation at the entrance of the Danube delta. Protection and Sustainable Management of the Black Sea Ecosystem, Special Issue. Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 13(3A), pp 1673-1682. <http://www.jepejournal.info/journal-content/vol13-no-3a>