

MODELAREA NUMERICĂ A PROCESELOR HIDROMORFOLOGICE, INSTRUMENT STIINȚIFIC AL INGINERIEI DE MEDIU

Aplicațiile acesteia la reconstrucția zonelor costiere deltaice cu sedimentare intensă

Ing. Elena VLĂSCLEANU¹, Ing. Dragoș NICULESCU¹,
Prof. dr. ing. Nicolae BUZBUCHI²

¹ INCDM „Grigore Antipa” – Constanța, ² Universitatea Maritimă – Constanța

REZUMAT. Eroziunea costieră este un fenomen cu implicații majore la coasta românească. Consecințele acestui fenomen se manifestă cu magnitudini diferite pe sectoare de țărm. Aspectele hidro-geomorfologice care se manifestă în zona de coastă, ocupă un loc aparte, atât prin specificitatea lor cât și prin implicațiile pe care le au asupra vieții și activităților umane, asupra biocenozelor din porțiunile aferente zonei de țărm. Estimarea creșterii și transformării valurilor de vânt în apropierea de țărm, stabilirea tendințelor actuale de evoluție ale liniei țărmului determinate de transportul regional de sedimente, precum și evaluarea impactului de mediu indus de dinamica cordoanelor de nisip în zonele aferente gurilor Dunării, pe baza unor modele numerice de proces, sunt componente care au rolul de a optimiza calitatea apelor stagnante, de a stabili condițiile de navigație și de a evalua direcția de evoluție naturală a golfurilor și plajelor litorale în urma diferitelor amenajări. Propagarea valurilor în zona din apropierea țărmului este influențată de topografia marină complexă, de curenții generați de vânt și valuri, de variațiile de nivel ale apei, dar și de existența structurilor costiere. Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin simulări numerice asupra curenților marini și costieri, precum și cele asupra transformării valurilor în sectoarele de țărm studiate, relevă o complexitate deosebită a proceselor hidrodinamice în vecinătatea gurilor de vărsare, precum și necesitatea unei abordări complexe a demersurilor numerice/experimentale.

Cuvinte cheie: modelare numerică, transport sedimentar, eroziune/depunere, management sedimentar regional, ICZM.

ABSTRACT. Coastal erosion is a phenomenon with major implications on the Romanian coast. The consequences of this phenomenon manifest different magnitudes on the shore sectors. The evolution of each shore sector is the result between erosion and accretion of sediment. In recent decades this phenomenon had a negative impact as a result of new conditions arising within preexisting natural environment. The hydro-geo-morphological coastal aspects have a special place, both by their specificity and their implications that they have on human life and activity, on the biotic communities of the related portions of the sea shore. The components that optimize the quality of stagnant water as well as establishing the navigation conditions within the natural evolution of bays and coastal beaches, in the wake of different offshore constructions include the following: estimation of wind wave growth and transformation near the shore, the assessment of actual tendencies of the shoreline evolution caused by regional sediment transport, environmental impact assessment induced by the dynamic sand cordons in the relevant areas to the Danube mouths that are based on numerical process models. The propagation of waves near the shore is induced by: complex seafloor topography, wind generated currents and waves, water level variation, the shape of the coast and its coastal structures. Comparative analysis of the results obtained by numerical simulation on the marine and coastal currents as well as the transformation of waves in the studied offshore sectors, revealed a highly complex hydrodynamic processes in the vicinity of the river mouths, as well as the need for a complex approach to the numerical/theoretical undertaking.

Keywords: numerical modeling, sediment transport, erosion/deposition, regional sediment management, ICZM.

1. INTRODUCERE

Odată cu dezvoltarea economică din ultimii ani a crescut și impactul negativ al acțiunii omului asupra mediului. Impactul antropic s-a manifestat cu magnitudini diferite asupra componentelor mediului, atât

la nivel local cât și la nivel regional având consecințe certe asupra modificărilor costiere și implicit asupra componentelor ecosistemului litoral.

Între procesele care au loc în zona litorală, aspectele hidro-geomorfologice costiere ocupă un loc aparte, atât prin specificitatea lor cât și prin implicațiile acestora asupra vieții și activității

umane, asupra biocenozei din porțiunile aferente zonei de țărm. Evoluția fiecărui sector de țărm este rezultatul bilanțului între aporturi și pierderi de material sedimentar în zona respectivă. În ultimele decenii acest bilanț s-a resimțit negativ ca urmare a unor condiții noi apărute în cadrul natural preexistent. Dacă în trecut s-a lucrat intens la amenajarea Deltei Dunării, în prezent se resimte o nevoie stringentă a reecologizării arealelor al căror flux natural a fost perturbat. O astfel de zonă este și Baia Musura.

2. MATERIAL ȘI METODĂ

Schimbările hidro-geomorfologice litorale, au fost abordate în special din perspectiva variabilității liniei țărmului pe baza aplicațiilor de modelare numerică, în arealul Musura-Sf. Gheorghe. Studiul a fost desfășurat pe baza modificărilor înregistrate de-a lungul țărmului în secțiunile sistemului bazei bornate litorale (extinse gradat de CSA, OGA și ulterior de A.N.A.R. – D.A.D.L.), punând în evidență tendințele actuale de evoluție ale țărmului. Au fost utilizate înregistrări ale poziției liniei țărmului prin măsurători GPS, pe litoralul RBDD.

Variația anuală a poziției liniei țărmului este un indicator important al managementului eficient al sedimentelor în zonele costiere. Studiul plajei emerse și al liniei țărmului, conține de asemenea, și o analiză a evoluției morfologice bazată pe implementarea sistemului software CEDAS, de analiză a stabilității plajelor litorale la acțiunea factorilor de mediu marin.

Astfel, după analiza evoluției proceselor costiere, sedimentologice și geomorfologice caracteristice zonei, a fost posibilă realizarea unui demers de modelare numerică asupra evoluției zonelor vulnerabile de coastă a Deltei Dunării. A fost realizat un studiu de caz pentru Golful Musura, pe baza unei aplicații numerice a modelului numeric al valurilor staționare STWAVE, cu rol important în dinamica maselor de apă și a transportului sedimentar. STWAVE utilizează o schemă de calcul numeric cu diferențe finite, extinsă pe o rețea carteziană de calcul și este bazat pe ecuația de echilibru a acțiunii valurilor, incluzând calcularea radiației gradientilor de tensiune, care pot fi generați de curenții induși de valuri și schimbările de nivel ale apei, precum și identificarea regiunilor de spargere/atenuare a valurilor.

Structura programului numeric. Modelul numeric STWAVE este inclus în pachetul de programe NEMOS (Nearshore Evolution Model System) al CEDAS (Coastal Engineering Design and Analysis System) constituind un pachet de programe comerciale ale CERC (Coastal Engineering Research Center), USA, programe deservite de interfețe grafice accesibile modului facil de utilizare. Principalele etape și proceduri pentru dezvoltarea aplicației nu-

merice amintite folosind modelul STWAVE au fost următoarele: selectarea domeniului și generarea rețelei de calcul a modelului; dezvoltarea seriilor de timp pentru valuri de larg; importul fișierelor în model și dezvoltarea analizelor statistice asupra câmpului de val înregistrat în larg; pre-procesarea fișierelor de intrare pentru modelul de val prin generarea spectrelor valurilor de intrare, filtrarea șirurilor de date pentru situații semnificative, de impact, ale valului incident; configurarea modelului de val, prin setarea modelului și a asociațiilor de fișiere de intrare pentru activarea diferitelor submodule; rularea modelului de simulare, reprezentarea și analiza rezultatelor.

Simulările numerice asupra propagării câmpului de valuri au permis o estimare a stării ecologice a zonelor costiere prioritare, transfrontaliere din baia Musura în următoarele decenii, pornind de la analiza posibilelor scenarii de evoluție, cu și fără extinderea sistemelor de protecție/management de sedimente, local și regional, în contextul complex al extinderii canalului de mare adâncime Bîstroe. A fost realizată și o evaluare în plan transversal a proceselor de sedimentare în partea dinspre mare a băii Musura.

2. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Evaluarea schimbărilor morfologice în zona costieră a Deltei Dunării, a relevat continuarea impactului antropic asupra proceselor hidromorfologice naturale prin extinderea lucrărilor hidrotehnice în teritoriu și pe coastă. Rezultatele analizei datelor satelitare asupra băii Musura în intervalul 1975 - 2013 indică o redistribuire a sedimentelor și o fracturare accentuată a cordonului de nisip care închide golful, datorită reducerii sursei de sediment.

Rețeaua de calcul este componenta cea mai importantă a celor mai multe aplicații numerice. Primul pas în construirea rețelei este obținerea datelor topobatimetrice pentru sectorul de tarm în care se urmărește desfășurarea aplicației. Pentru linia țărmului și batimetria întregului sector s-a folosit un set de date, în format ASCII: (x, y) și respectiv (x, y, z) la nivelul anului 2002. Schița batimetriei Băii Musura, în coordonate Stereo 70 / locale (3D - perspectivă) sunt reprezentate în figura 3.1.

Modelul furnizează informații referitoare la distribuția, perioadele valurilor propagate în interiorul corpului de apă al golfului Musura, precum și atenuarea valurilor (trecerea în domeniul valurilor scurte) pe exteriorul bazinului, în zonele în care se produce colmatarea maximă, precum și dezvoltarea explozivă a speciilor de *Trapa natans* (popular castane de mare/cornaci) pe suprafețele de apă liniștită puțin adâncă.

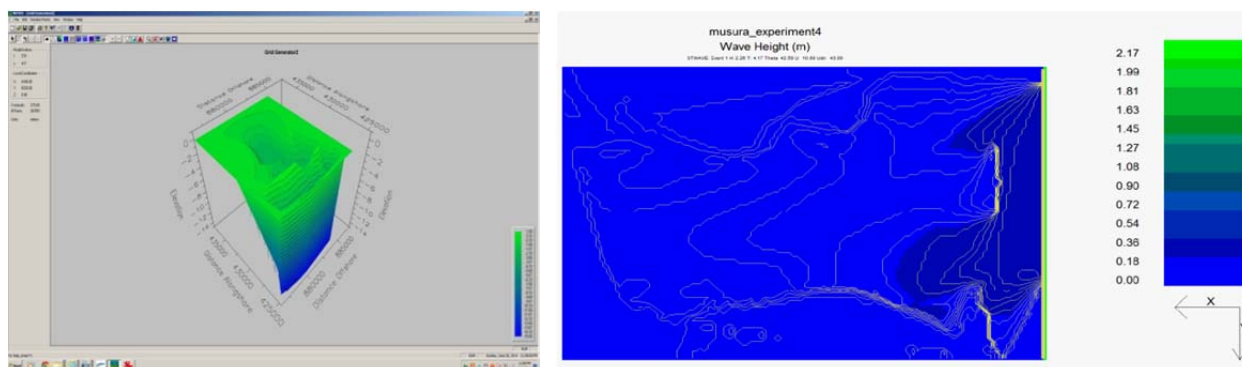


Fig. 3.1 Reprezentarea grafică a modelului geometric al STWAVE pentru cazul cel mai defavorabil al propagării valurilor de larg din direcția NE ($H_s = 2,26$ m, $T_p = 12,50$ s, $\theta = 42,59$). Contururile indică înălțimea valurilor propagate.

Reducerea suprafeței insulei datorită scăderii debitului solid, prin redistribuirea debitelor lichide între brațul Chilia, Stambulu Vechi și canalul Bîstroe, precum și prin îndepărtarea sursei de sediment, afectează suprafețele habitatelor de cuibărit, modificările induse având impact asupra avifaunei/risc maxim și faunei acvaticice/risc mediu. După terminarea lucrărilor la canalul Bîstroe, reducerea suprafeței cordonului de nisip reflectă reducerea ratei de transport sedimentar în sistem, ca efect al construirii

digului deflector care apară întrarea pe canal, determinată de redistribuirea debitelor pe brațele deltei secundare ale Chilieii. Cu toate acestea, problemele semnificative de mediu induse de factorul antropic în ultimii ani, în zona costieră românească și în particular în zona golfului Musura, au fost direct corelate cu colmatarea, fapt ce a dus mai ales în sezonul cald, la deteriorarea stării ecologice a maselor de apă stagnantă, aferente golfului, prin dezvoltarea explozivă a vegetației de *Trapa natans* (fig. 3.2).



Fig. 3.2 Golful Musura – dezvoltare explozivă a speciei *Trapa Natans*.

Impactul modificărilor hidro-morfologice din zona Golfului Musura. Variațiile hidrologice ale debitului Dunării, dar și variațiile nivelului mediu al mării influențează geomorfologia costieră a țărmului românesc nordic al Mării Negre. În condițiile hidrologice de primăvară, durata în care nivelurile medii maxime înregistrate la stația hidrologică marină Sulina sunt de peste +40 cm, este de cca.120 zile. În această perioadă în care se manifestă și furtunile de primăvară, specifice perioadei echinocțiului, plaja va fi inundată quasi-permanent, iar valurile deferlante vor înainta mult pe plajă, afectând dinamica depozitelor sedimentare neconsolidate. Evoluția anuală a debitului Dunării și a nivelului mării pe baza valorilor maxime lunare luate în calculul suprafețelor insulei Musura, precum și evoluția nivelurilor caracteristice în cursul anului pe baza valorilor medii lunare multi- anuale pot fi observate în figura 3.3.

Din determinările multianuale se cunoaște faptul că, pe termen lung, tendința evoluției nivelului la Marea Neagră este ascendentă, valoarea calculată fiind de 1,7 mm/an. Cresterea nivelului mării este un factor negativ, pentru că inundarea permanentă a zonelor joase, accelerează eroziunea costieră, fapt ce poate afecta suprafețele plajelor într-un mod ireversibil. Monitorizarea continuă a nivelului mediu al mării și a poziției liniei țărmului permite elaborarea măsurilor de contracarare necesare, specifice fiecărei situații particulare întâlnite de la un sector de țărm la altul, inclusiv la nivelul sectorului de țărm transfrontalier nordic, aferent zonei Musura - Sulina.

De asemenea, pe timpul furtunilor, regimul hidrologic marin, poate exercita o influență determinantă în zona litoralului nordic. Fenomenul de supra înălțare a nivelului mării determină, pe lângă apropierea de țărm a bazei de acțiune a valurilor, depășirea

MODELAREA NUMERICĂ A PROCESELOR HIDROMORFOLOGICE

și uneori chiar străpungerea perisipurilor. Orientarea curentului general de la nord la sud, respectiv orientarea liniei țărmului și a curbelor batimetrice, induc o asimetrie considerabilă în distribuția direcțiilor de propagare a valurilor și curenților în zonele de mică adâncime din apropierea malului. Astfel, reducerea fetch-urilor pentru vânturile de vest, precum și efectul refracției valurilor la apropierea de mal, determină creșterea valurilor să devină paralele cu linia țărmului. Sunt induse astfel valori semnificative ale curenților longitudinali aferenți acestor valuri incidente predominante, care se propagă în 90% din cazuri pe

cele cinci direcții cuprinse între nord-est și sud-est, având magnitudini cuprinse în intervalul 30-150 cm/s cu efecte semnificative asupra dinamicii apelor costiere și a sistemului costier pe ansamblu. Variabilitatea enunțată anterior este confirmată de imagini satelitare (fig. 3.4) în care se observă faptul că la un nivel mai ridicat al Mării Negre, atât bancurile de nisip submerse cât și insulele își diminuează suprafața. În tabelele 3.1 și 3.2. sesizarea enunțată este confirmată de un bilanț al suprafețelor acestora.

Măsurătorile GPS pentru sectorul românesc al insulei cordon confirmă reducerea în suprafața.

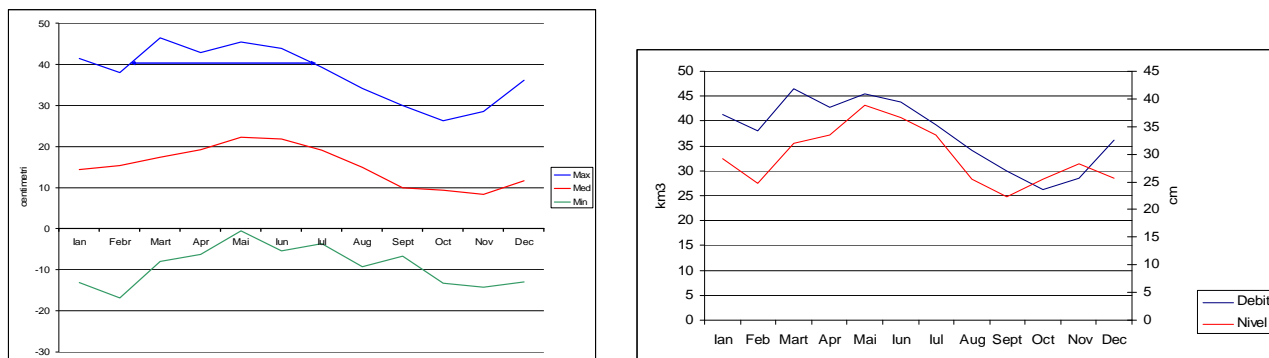


Fig. 3.3 Evoluția nivelurilor în cursul anului (medii lunare multianuale), și evoluția anuală a debitului Dunării și a nivelului mării (maxime lunare) luate în calculul suprafețelor insulei Musura.

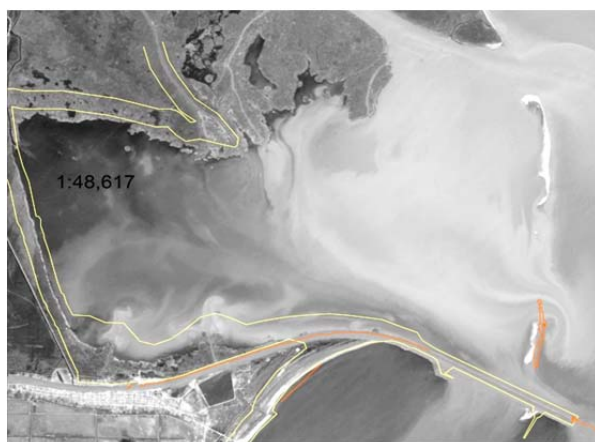


Fig. 3.4. Procese sedimentare în zona Brațului Chilia (Landsat8 (NASA)/08.05.2013).

Tabelul 3.1

An	Aria (S)	Perimetrul (P)	Lungimea liniei de țărm/unitate de arie (km/km ²)	Observatii/(surse)
2003	0.50	8.84	17.85	imagine satelitara
2013	0.29	8.19	28.28	masuratori GPS

Tabelul 3.2

An	Aria (S) (ha)	Perimetrul (P) (km)	Indice P/A (km/kmp)	Observații
2007	16.2	3.8	23.15	Vectorizare
2010	17.7	4.1	22.99	masuratori GPS
2011	11.7	3.5	30.20	masuratori GPS
2012	10.9	3.4	31.09	masuratori GPS
2013	9.5	2.2	22.96	masuratori GPS

4. CONCLUZII

La nivel anual, modificările linei țărmului în Baia Musura sunt induse de evenimente hidro-meteorologice, dar și de influențe transfrontaliere ce denotă intervenția antropică, precum este și canalul Bîstroe, fapt ce se prezintă ca o discontinuitate în șirul de date multianuale. Cordonul de nisip care transformă baia Musura într-o lagună marină, prezintă o situație relativ stabilă. Se poate estima că în viitor se vor menține deschiderile create, datorită pe de o parte deficitului de aport sedimentar dinspre nord, indus de blocarea șenalului canalului Bîstroe în zona digului de protecție, iar pe de altă parte datorită redistribuirii locale, induse de câmpul de difracție, și respectiv, de transmiterea valurilor în zona de vărsare a canalului Sulina. Starea de agitație a mării într-o regiune dată este determinată nu numai de regimul vânturilor, ci și de structura hidrodinamicii maselor de apă în vecinătatea țărmului, de configurația topografică a fundului mării, care este direct influențată de procesele de sedimentare rapidă din zonele de vărsare. Efectele ecologice notabile înregistrate în arealul cordoanelor litorale de nisip sunt în legătură cu zonele de cuibărit ale păsărilor, iar acest fapt ar trebui luat în considerare în măsurile care se vor implementa pentru renaturarea zonei costiere a Deltei Dunării.

Mulțumiri

Această lucrare a fost finanțată de grantul strategic al MEC/Ministerului Educației Naționale, CNCS -

UEFISCDI PN-II-PT-PCCA-2011-3.2 1427 (proiect ECOMAGIS, nr. 69/2012), PN-II-ID-PCE-2012-4-0089 (proiect DAMWAVE), precum și de ROSA/Agentia Spațială Română, program Star - Competiție C2-2013/Proiecte tip Centre de Competență în Tehnologii Spațiale, proiect nr. 58/2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] A.N. Apele Romane, Administrația Bazinală de Apă Dobrogea – Litoral, Master Plan „Protecția și reabilitarea zonei costiere”. Asistență tehnică pentru pregătirea de proiecte Axa Prioritară 5. Domeniul major de intervenție 2: Reducerea eroziunii costiere, realizat de Halcrow România S.R.L., decembrie 2011.
- [2] INCDM „Gr. Antipa”, 2012, Evaluarea Inițială A Mediului Marin – raport.
- [3] Mateescu R., Diaconeasa D., Spinu A., Malciu V., 2012, *Hydro-Geomorphological Processes in the Transitional Romanian Black Sea Coast, its Consequences on the Masterplan for Coastal Protection Implementation*, Journal of Ecology and Environment Protection, vol 13, (3A): 1777-1782, ISBN1311-5065, <http://www.jepe-journal.info/home>
- [4] Mateescu R., Malciu V. *Long-term sea level and shoreline variability along the Romanian Black Sea Coast*, Proceedings of the workshop on Understanding and Modeling the Black Sea Ecosystem in support of Marine Conventions and Environmental Policies – 2006, JRC, Ispra, Italy (EUR 22176 EN).
- [5] Panin N., 1996, *Impact of global changes on geo-environmental and coastal zone state of the Black Sea*, GEO – ECO – MARINA, vol. 1, București.
- [6] Panin N., 1997, *On the geomorphologic and the geologic evolution of the River Danube – Black Sea interaction zone*, GEO–ECO–MARINA, vol. 2, București.
- [7] Vespremeanu, E., (2004), *Geografia Marii Negre*, Editura Universității din București.

Despre autori

Ing. **Elena VLĂSCLEANU**, Ing. **Dragoș NICULESCU**
INCDM „Grigore Antipa” – Constanța

Angajați ai INCDM „Grigore Antipa”, departamentul Oceanografie, Inginerie Marină și Costieră, doctoranzi în domeniul Inginerie mecanică în cadrul Universității Maritime din Constanța și Universității „Dunărea de Jos” din Galați.

Prof. dr. ing. **Nicolae BUZBUCHI**
Universitatea Maritimă – Constanța

Profesor la Universitatea Maritimă din Constanța, Facultatea de Electromecanică, Departamentul de Științe inginerești în domeniul mecanic și mediu.