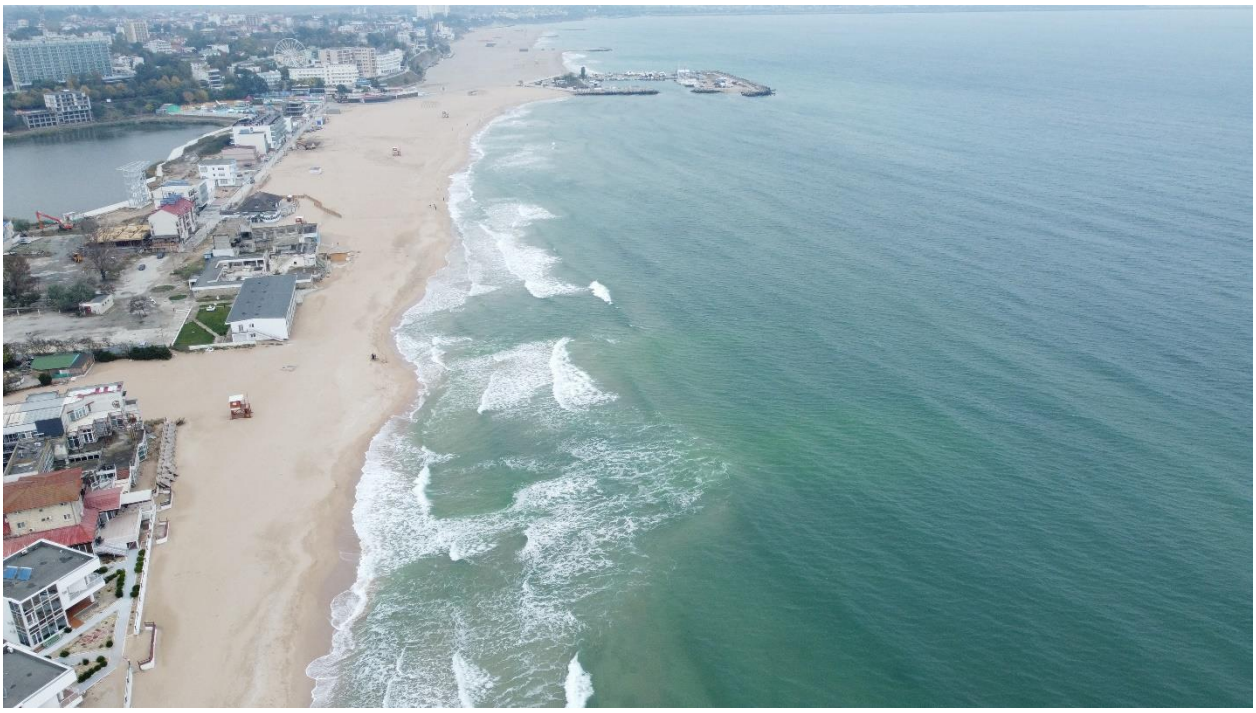
RAPORT ŞTIINŢIFIC FINAL

Proiect PN-III-P1-1.1-TE-2019-1444

Rip currents hazard on the Romanian Black Sea beaches: Need for action! (RORIP)



RORIP

https://ro-rip.unibuc.ro/

Introducere

Proiectul RORIP a integrat o paletă largă de activități de cercetare complexe în scopul radiografierii în premieră pentru bazinul Mării Negre a comportamentului și dinamicii curenților rip. Activitățile de cercetare au variat de la inventarierea plajelor afectate de prezența curenților rip și analiza complexă a dinamicii acestora pe plaja Eforie Nord pe baza imaginilor satelitare, a fluxurilor provenite din camere video și din drone și a măsurătorilor in situ morfo-și hidrodinamice în timpul experimentelor de teren până la modelarea numerică a dinamicii curenților rip și analiza cazurilor de înec, a intervențiilor salvamarilor și a gradului de conștientizare a publicului asupra pericolului generat de aceștia.

Toate obiectivele propuse în cadrul proiectului au fost realizate în totalitate. Principalele rezultate obținute sunt legate de:

- realizarea unei baze de date cu caracteristicile tuturor plajelor afectate de curenți rip, precum și cu tipologia acestora;
- dezvoltarea unor algoritmi de Deep Learning pentru detecția automată a prezenței curenților rip în imagini video;
- realizarea primelor experimente de teren din întregul bazin al Mării Negre legate de măsurarea dinamicii curenților rip și a factorilor de control ai acestora;
- implementarea unui model numeric de analiză și prognoză a parametrilor curenților rip pe plaja Eforie Nord;
- analiza datelor disponibile referitoare la cazurile de înec și intervențiile salvamarilor pe plaja Eforie Nord;
- realizarea primei broșuri din România de educare a utilizatorilor plajelor cu privire la pericolul reprezentat de curenții rip și la măsurile asociate de siguranță.

Rezultatele proiectului au fost diseminate prin articole științifice, participări la conferințe internaționale și naționale și prin intermediul mass-media. Aceste rezultate vor constitui fundamentul științific pentru dezvoltarea viitoarelor mijloace de informare (broșuri, panouri informative), a platformelor de predicție a hazardului/riscului generat de curenții rip și a sistemelor de avertizare timpurie pentru plajele turistice, în scopul creșterii gradului de conștientizare a publicului și a siguranței plajelor românești ale Mării Negre.

Mai jos sunt prezentate obiectivele proiectului și sunt detaliate principalele rezultate asociate acestor obiective.

Obiectiv 1 – Analiza tipologiei și comportamentului curenților rip de-a lungul țărmului sudic românesc al Mării Negre

1.1.Realizarea unui inventar și a unei baze de date cu plajele afectate de prezența curenților rip pe țărmul sudic românesc al Mării Negre

În cadrul țărmului sudic românesc al Mării Negre, delimitat la nord de Portul Midia și la sud de plaja Vama Veche, au fost identificate 34 de sectoare cu plaje turistice și a fost creată o bază de date cuprinzând informații legate de comportamentul morfo- și hidrodinamic al plajei, lățimea acesteia, dinamica multianuală a liniei țărmului, caracteristicile sedimentelor, parametrii valurilor (înălțime, perioadă, direcție), morfologia submersă (prezența/absența barelor submerse, tipologia acestora), tipuri de structuri de protecție costieră, tipurile de utilizare a plajei, istoricul alimentărilor cu sedimente, probleme legate de managementul sau de siguranța plajei.

Inventarierea curenților rip pentru perioada 2003 – 2022 de-a lungul celor 34 de sectoare de plajă s-a realizat prin identificarea tiparelor dinamice ale curenților rip (goluri în linia de spargere a valurilor, transport vizibil de sedimente în suspensie către larg etc.), bazată pe expert knowledge, pe imagini satelitare și aeriene (Figura 1), în 64 de momente temporale distincte. Pentru creșterea acurateței identificării curenților rip, au fost utilizate imagini satelitare de mare rezoluție din arhiva Google Earth, precum și seriile de ortofotoplanuri realizate începând cu anul 2005.

Figura 1. Exemplu de a) curent rip controlat batimetric pe plaja Eforie Nord (*30 Ianuarie 2011; imagine Google Earth*) și b) curent rip controlat de o barieră laterală pe plaja Eforie Sud (*22 Mai 2018; imagine preluată din dronă*).

În vederea analizei distribuției curenților rip în lungul țărmului și a identificării hot-spot-urilor de dezvoltarea a acestora, a fost realizat un indice non-dimensional de distribuție a curenților rip pe plajele sudice românești, care exprimă deopotrivă densitatea și frecvența acestora pe un anumit sector de plajă. Indicele este definit de următoarea formulă:

$$R_i = \{[0.7 \times ((N_r/N_{ir})/L)] + [0.3 \times (N_{ir}/N_i \times 100)]\} / 2$$

unde,

R_i – *Indicele de distribuție a curenților rip*

N_r – *numărul total de curenți rip identificați pe un anumit sector de plajă*

N_{ir} – *numărul total de imagini cu curenți rip identificate pe un anumit sector de plajă*

L – *lungimea sectorului de plajă analizat*

N_i – *numărul total de imagini disponibile/analizate pe un anumit sector de plajă*

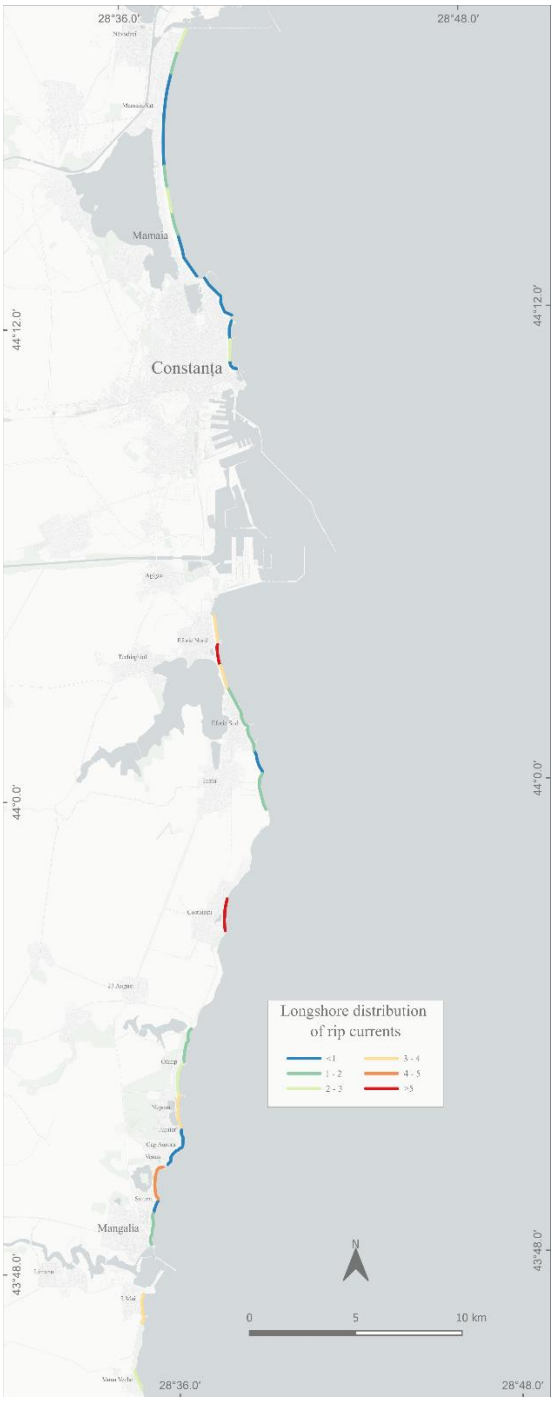


Figura 2. Indicele (densitate plus frecvență) de distribuție a curenților rip pe plajele sudice românești (pe baza imaginilor istorice Google Earth)

Indicele variază între 0 și 5.23, valorile de peste 3 indicând sectoarele cu cea mai mare densitate și frecvență a curenților rip (Figura 2). Din cele 34 de sectoare de plajă analizate (totalizând 40.3 km lungime), 18 sectoare (22.2 km lungime; 55% din total) sunt afectate frecvent de dezvoltarea curenților rip, iar alte 6 sectoare (7.5 km lungime; 19% din total) sunt afectate rareori de acest hazard.

Cei mai mulți curenți rip au fost identificați pe plajele intermediare care prezintă o morfologie 3D a barelor submerse (bare crescentice și transversale). Aceștia sunt controlați atât de factori batimetrici (morfologia submersă specifică), cât și de cei hidrodinamici (gradienți în spargerea valurilor), iar tipul dominant este reprezentat de curenții rip de tip canal, înguști, cu un șanț relativ adânc și viteze destul de mari (Figura 3). Ei se formează aproximativ în aceleași locații și depind de variațiile în lungul țărmului ale configurației morfologiei submerse.

Figura 3. Dezvoltarea curenților rip (A și B) și prezența morfologiei 3D a barelor submerse (C) pe plaja Eforie Nord (bariera litorală Techirghiol)

Un număr mai mic de curenți rip au fost identificați pe plajele constrânse lateral de prezența diferitelor tipuri de amenajări hidrotehnice și de protecție costieră (diguri transversale, diguri T etc.). Ei sunt controlați de limitele hidrodinamice impuse de aceste structuri rigide, iar tipul dominant este reprezentat de curenții rip deflectați (Figura 1b). Ei se formează în urma canalizării fluxului de apă către limitele laterale ale structurilor antropogenice.

Cea mai mare frecvență de apariție a curenților rip se înregistrează în sectoarele Eforie Nord și Costinești, cu valori ale indicelui R_i de peste 5. Cea mai mare densitate a curenților rip, care prezintă și cele mai mari intensități, se înregistrează pe bariera litorală Techirghiol, în cadrul stațiunii Eforie Nord, cu aproximativ 10 curenți dezvoltați pe un sector de 1 km în lungul țărmului între Tabăra Luminița și Portul Belona (Figura 3). Acest sector este asociat cu cel mai mare număr de decese prin înec și salvări în timpul sezonului estival în fiecare an de pe întreg țărmul românesc.

1.2. Analiza complexă a curenților rip la diferite scări temporale (zile – luni – ani) pe plaja Eforie Nord

Având în vedere caracterul de hot-spot al curenților rip și al intervențiilor și cazurilor de înec cauzate de aceștia, plaja Eforie Nord a fost aleasă ca arie de studiu pentru investigarea complexă a dinamicii acestora la diferite scări temporale. Acest lucru presupune utilizarea unor date și metode variate cuprinzând: imagini satelitare, camere video, experimente de teren cu diferite tipuri de măsurători etc.

Pentru acoperirea scărilor multi-anuală și decadală, a fost explorată posibilitatea extragerii automate a poziției curenților rip din imagini satelitare disponibile în mod gratuit, respectiv arhivele Sentinel-2 și Planet (Figura 4). Scopul principal este identificarea zonelor în care persistă tiparele care pot favoriza apariția curenților rip, plecând de la ipoteza că aceștia imprimă o reflectanță scăzută la suprafața apei în regiunea șanțului de scurgere (mărginite de zone cu reflectanță mare) prin două mecanisme: spargerea valurilor sau diferențele de adâncime în condiții fără val (zonele mai adânci vor apărea mai închise la culoare). Acestea pot semnaliza breșe în sistemul de bare, condiții propice pentru dezvoltarea unui curent către larg.

Pentru început, a fost testat în cadrul ariei de studiu algoritmul de extragere automată a poziției crestelor barelor submerse dezvoltat și aplicat cu succes pe țărmul Deltei Dunării - https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425719305759. Rezultatele nu au

fost satisfăcătoare, în ciuda eforturilor de calibrare a algoritmului pentru noua arie de studiu, din cauza rezoluției spațiale destul de mari (10 m) a imaginilor Sentinel 2, care nu este potrivită pentru identificarea unor elemente de dimensiunea curenților rip.

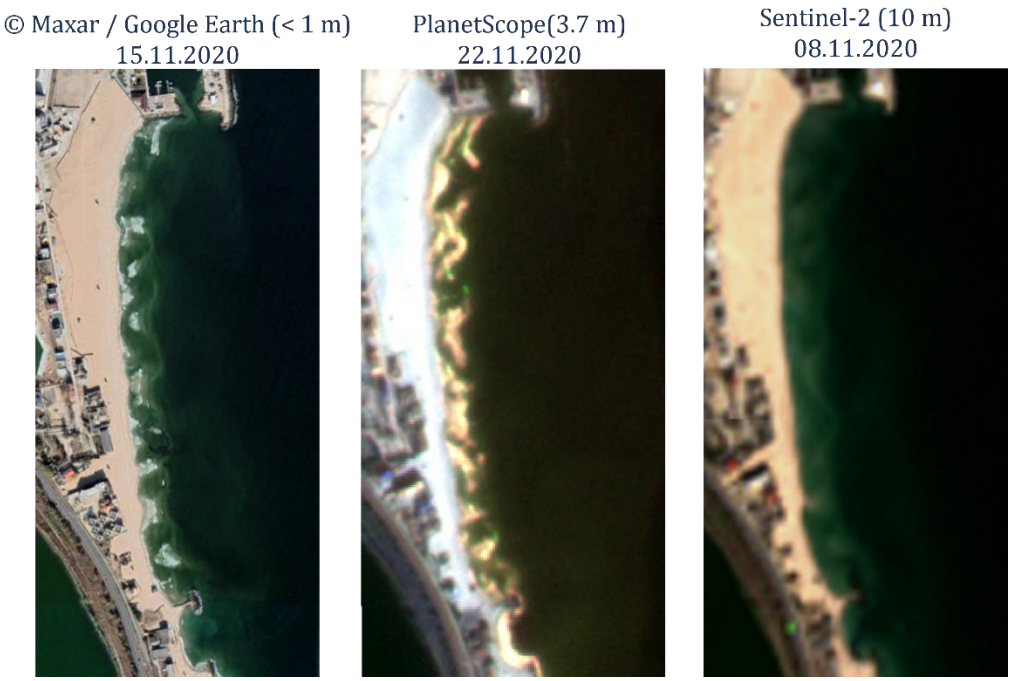


Figura 4. Exemple de imagini satelitare cu rezoluții spațiale diferite pe plaja Eforie Nord

Pasul următor a fost explorarea posibilităților de identificare a zonelor potențial afectate de curenții rip pe baza imaginilor satelitare oferite de constelația PlanetScope (Figura 5).

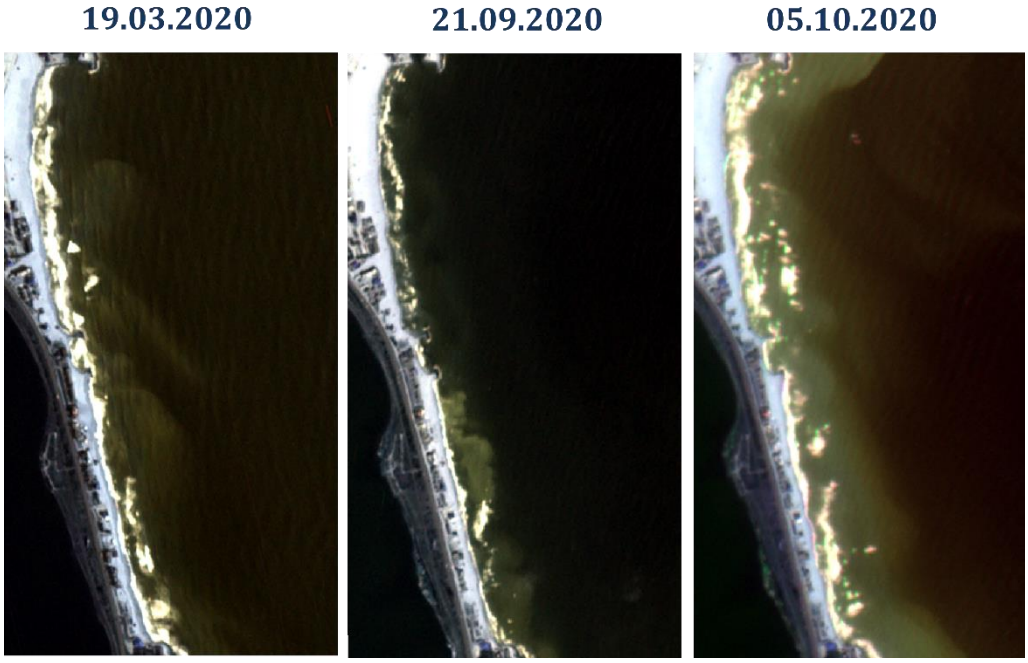


Figura 5. Exemple de scene satelitare Planet pe plaja Eforie Nord

Acestea sunt disponibile gratuit în scop educațional sau științific. Datorită numărului mare de senzori disponibili, frecvența de revizitare este zilnică (rezultă cel puțin o imagine pe zi, în condiții de nebulozitate zero). Rezoluția spațială de 3.7 m este adecvată, de asemenea, obiectivului urmărit.

A fost utilizată o serie temporală de imagini aferentă anului 2020 compusă din 186 de scene satelitare Planet neafectate de prezența norilor, fiecare având 4 benzi spectrale. Metodologia utilizată constă în mascarea pixelilor afectați de nori, umbre și alte efecte nedorite ale atmosferei (acest pas s-a realizat folosind stratul adițional furnizat de către producător referitor la aceste măști tematice); combinarea, pentru fiecare scenă în parte, a tuturor celor patru benzi spectrale (albastru, verde, roșu și infraroșu apropiat) în vederea augmentării semnalului (multiplicarea benzilor menționate); normalizarea produsului augmentat rezultat folosind ca puncte de referință pentru valorile de minim și maxim percentilele de 2%, respectiv 98%; medierea tuturor straturilor normalizate, pentru obținerea unui produs compozit caracteristic întregului an 2020.

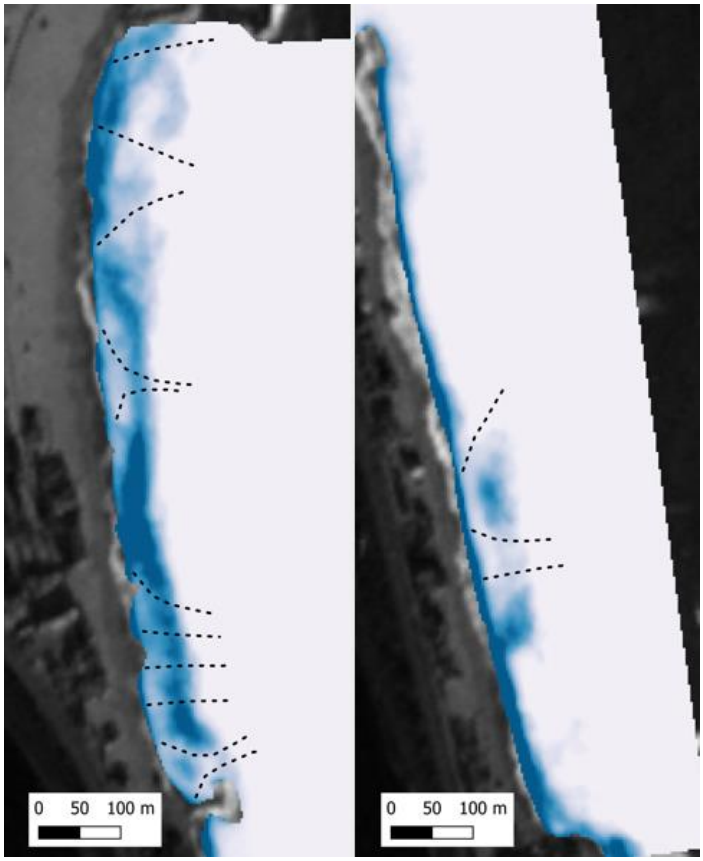


Figura 6. Identificarea zonelor în care persistă tiparele care pot favoriza apariția curenților rip (*marcate cu linie punctată*); *regiunile colorate în albastru indică o densitate crescută a momentelor de timp cu spargeri de valuri; cu cât nuanța de albastru este mai închisă, cu atât prezența spargerii valurilor este mai mare (constantă); zonele colorate în nuanțe deschise, spre alb, indică zone în care spargerea valurilor nu este prezentă sau apare sporadic*

O primă iterație a luat în calcul toate cele 186 de imagini disponibile. Rezultatul final scoate în evidență persistența unor anumite tipare ce pot fi asociate cu prezența curenților rip, însă acestea nu sunt foarte pregnante.

O a doua iterație a fost realizată luându-se în calcul doar imaginile achiziționate în momente de timp caracterizate de prezența valurilor și spargerea acestora în zona barelor și a țărmului. Astfel, din totalul celor 186 de imagini, pentru acest exercițiu s-a calificat un număr de 73 de scene. Rezultatul acestei abordări scoate în relief o serie de zone potențial a fi afectate de curenți rip la nivelul întregului an 2020 – zone nevralgice din acest punct de vedere (Figura 6). Se poate observa cum, în partea nordică a zonei de studiu, numărul acestora este superior în comparație cu sectorul sudic, unde doar trei astfel de regiuni pretabile curenților rip au fost identificate.

Rezultatele obținute demonstrează potențialul imaginilor Planet pentru utilizarea în scopul identificării tiparelor costiere care pot sugera prezența curenților rip.

Pentru analiza zilnică și sezonieră a dinamicii curenților rip, am utilizat arhiva de imagini extrase din fluxul video furnizat de camera amplasată în imediata vecinătate a plajei Eforie Nord și operată împreună cu colegii noștri de la INCDM Grigore Antipa din Constanța. Imaginile video din perioada aprilie 2021 – prezent din orice moment al zilei pe 6 areale/cadre predefinite de pe plaja Eforie Nord facilitează obținerea unor informații geospațiale legate de poziția liniei țărmului, morfologia submersă (poziția crestei barelor submerse) sau de dezvoltarea și dinamica curenților rip. Analiza fluxului video permite extragerea automată a poziției curenților rip prin clasificarea și detecția automată a dezvoltării acestora folosind algoritmi de Deep Learning și Object Detection ca ResNet și YOLOv5. Primul pas al analizei a constat în aplicarea acestor algoritmi pe seturi generale de date de training, unde am obținut rezultate excelente (93% clasificare, 95% detecție cu mAP@0.5). Al doilea pas a constat în aplicarea acestor modele pe imaginile furnizate de sistemul video amplasat la Eforie Nord, rezultatele nefiind, în primă fază, atât de bune. Aplicarea unor tehnici de pre-procesare a datelor și schimbarea nivelului de zoom al camerei în diferite cadre au condus la îmbunătățirea semnificativă a gradului de detecție automată a prezenței curenților rip în imagini (Figura 7– Andrei Dumitriu, Lucrare de disertație, 2021).

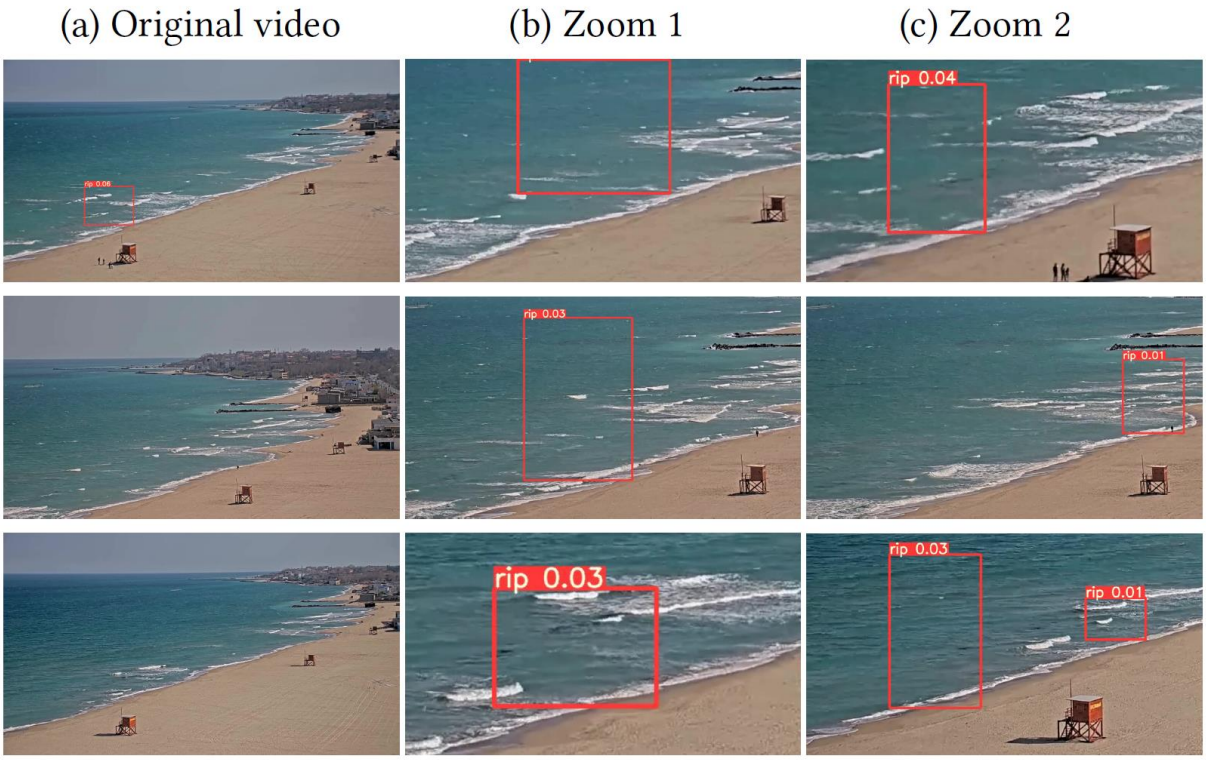


Figura 7. Aplicarea algoritmului YOLOv5x pe 3 fișiere video furnizate de sistemul de camere video, fiecare de câte 21 de secunde, selectate pentru prezența curenților rip. Coloana (a) prezintă un frame din fișierul video original, în timp ce coloanele (b) și (c) prezintă cadre zoomed in din același video (Andrei Dumitriu, Lucrare de disertație, 2021)

Diversificarea setului de date de training al algoritmilor prin includerea imaginilor preluate cu ajutorul dronei în timpul celor 2 experimente de teren organizate în cadrul proiectului a condus la creșterea eficienței algoritmilor în detecția automată a prezenței curenților rip în imagini și a permis evaluarea gradului de influență al diferiților parametri ai camerei asupra funcționării algoritmilor, în vederea optimizării acestora. Astfel, cea mai bună detecție a fost obținută pentru niveluri foarte mici de zoom, în condiții de orientare relativ orizontală a camerei și pentru unghiuri mici ale cadrului față de direcția de propagare a curentului. De asemenea, aplicarea algoritmilor direct pe fluxul video (și nu pe imagini derivate din acesta) a condus la îmbunătățirea semnificativă a rezultatelor (86% clasificare, 88% detecție cu mAP@0.5).

Obiectiv 2 – Monitorizarea dinamicii curenților rip la diferite scări temporale (de la minute la zile)

2.1. Experimente de teren pe plaja Eforie Nord

În perioada 11 – 21 octombrie 2021 și 9 – 20 mai 2022 au fost realizate 2 experimente de teren pe plaja Eforie Nord (sectorul de 1 km lungime cuprins între Tabăra Luminița și Portul Belona) în vederea măsurării și analizei dinamicii curenților rip în diferite condiții

hidrodinamice. Aceste experimente au cuprins măsurători de diferite tipuri: batimetrice (măsurarea topografiei submerse de la linia țărmului până la adâncimea de 10 m cu ajutorul unui sonar single-beam), topografice (configurația liniei țărmului și a plajei emerse cu ajutorul unui DGPS RTK), sedimentologice (prelevare de probe de sedimente de fund cu ajutorul unui bodengreifer, de sedimente de pe plaja emersă și măsurarea fluxului de sedimente în suspensie cu ajutorul unui OBS), hidrodinamice – valuri (măsurarea înălțimii și direcției valurilor cu ajutorul unei mini balize și a 4 senzori de presiune) și curenți (viteza și direcția curenților măsurată cu ajutorul a 3 curentometre tridimensionale), de dinamică a curenților rip (viteza și direcția acestora cu ajutorul unor mini-plutitoare pe care au fost montate GPS-uri de mare precizie) și legate de configurația acestora (tracking cu ajutorul dronelor al vopselei ecologice dispersate în apă) – Figura 8.

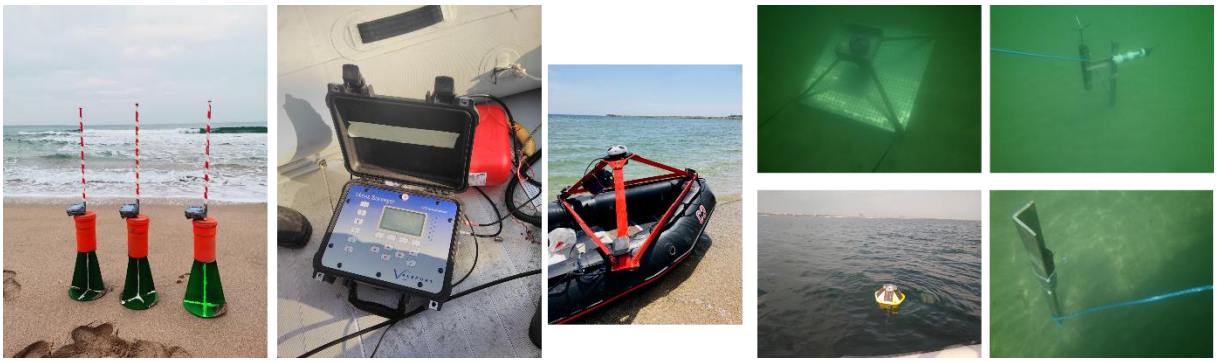


Figura 8. Echipamente de cercetare utilizate în timpul celor 2 experimente de teren

O imagine sugestivă (preluată cu ajutorului unei drone în data de 17 octombrie în intervalul orar 18:00 – 18:10) asupra configurației unui astfel de curent rip, scoasă în evidență de comportamentul vopselei ecologice, poate fi vizualizată la următorul link: https://ro-rip.unibuc.ro/rip-current-tracked-on-eforie-nord-beach/.

Tabelul 1. Caracteristicile circulației mini-plutitoarelor în timpul celor 3 lansări din 17 și 18 octombrie 2021 pe plaja Eforie Nord

Drifter	Data	Start	Sfârșit	Viteza medie (m/s)	Viteza max. (m/s)	Timp (min)	Distanța (m)	Hs	Perioada	Directie
D1	211017	120610	123151	0.39	1.09	3.45	80.77	0.55	4.00	75.00
D2	211017	120613	122717	0.22	1.65	11.35	152.70	0.55	4.00	75.00
D3	211017	180053	181547	0.39	1.20	3.85	90.35	0.50	4.50	75.00
D4	211017	175839	181556	0.33	1.57	6.03	120.84	0.50	4.50	75.00
D5	211017	175839	181419	0.34	1.39	6.32	128.13	0.50	4.50	75.00
D6	211018	111918	114249	0.31	0.95	4.95	90.80	0.36	3.60	72.00
D7	211018	111937	113838	0.38	1.30	2.83	64.14	0.36	3.60	72.00

Analiza traiectoriei mini-plutitoarelor (drifters) cu GPS de mare precizie în timpul celor 5 lansări din cadrul celor 2 experimente a permis măsurarea vitezei lagrangiene a apei și reliefarea tiparelor de circulație și a dinamicii curenților rip. În condiții hidrodinamice relativ scăzute (înălțimi semnificative medii ale valurilor în larg de 0.35 – 0.55 m, cu perioade medii cuprinse între 3.6 și 4.5 secunde, din direcție ENE, toate mini-plutitoarele au fost antrenate de curenți rip (Figura 9), experimentând fie un comportament de tip exit (adică au fost preluate de curenții rip și deplasate către larg în afara ariei de acțiune a acestora; cazurile D2 – D6 în Tabelul 1 și D2 în Figura 9), fie unul de tip circulatoriu (în care, după ce au avut un comportament de tip exit, au fost preluate în sistemul circulației și deplasate după un anumit timp către plajă; cazurile D1 și D7 în Tabelul 1 și D1 în Figura 9).

Distanțele parcurse au fost cuprinse între 175 și 325 m într-un interval de timp de 15 – 26 minute, atingând poziții maxime în larg situate la 150 m față de linia apei. Viteza curenților rip în timpul acestor măsurători a înregistrat valori medii cuprinse între 0.22 și 0.39 m/s, atingând valori maxime de peste 1.6 m/s (Tabelul 1).

Figura 9. Viteza și circulația curenților rip reliefată cu ajutorul mini-plutitoarelor (*17 octombrie 2021, intervalul orar 12:06 – 12:30*)

2.2. Monitorizarea curenților rip pe baza filmărilor din dronă

Având la dispoziție mai multe filmări realizate cu ajutorul unei drone multispectrale DJI Phantom 4 în timpul celor 2 experimente de teren, am explorat posibilitatea identificării și analizei mișcării curenților rip în cadrul fluxului video utilizând metoda Particle Image Velocimetry (PIV).

Metodologia PIV este la bază o abordare prin care se pot determina viteza si direcția particulelor unui fluid dintr-o secvență de imagini. Această metoda a fost dezvoltată pentru analizele efectuate în laborator pentru a determina modele de curgere din tuneluri hidrologice sau de vânt pe baza unor trasoare reflectorizante ce servesc ca markeri. În cazul acestui studiu

este propusă o tehnică de aplicare a metodei PIV pe imagini ce acoperă zona de spargere a valurilor. Pentru analiză, au fost alese două momente reprezentative din timpul celor 2 experimente de teren și anume 17 octombrie 2021 și 18 mai 2022.

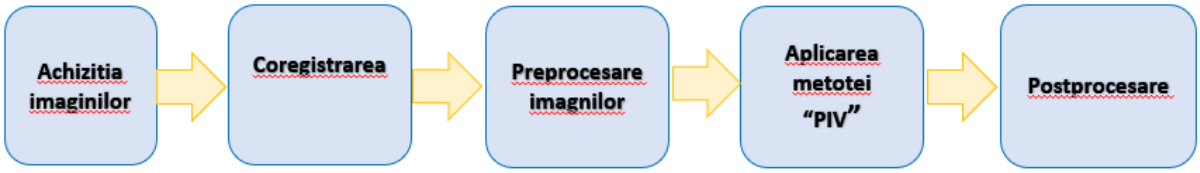


Figura 10. Schema de implementare a metodologiei pentru extragerea curentilor rip

Pentru a identifica curenții rip pe baza imaginilor aeriene (prin semnalarea diferențelor apărute între două imagini consecutive) au fost necesare mai multe etape (Figura 10):

- achiziția datelor;

- coregistrarea/alinierea imaginilor obținute cu ajutorul dronei în vederea identificării cât mai precise a elementele dinamice (valuri și curenți rip);

- preprocesarea imaginilor (crearea unei măști a zonelor care nu sunt de interes; filtrarea imaginilor folosind două filtre: Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Filter – fereastra de pixeli 50x50, care are ca scop îmbunătățirea contrastului local al imaginii, și Highpass – fereastra de pixeli 25x25, care minimizează influența informațiilor cu frecvență joasă din imagine; calcularea unei imagini medii; eliminarea zgomotului de fundal - din fiecare imagine a fost scăzută media intensității întregului sir de imagini; identificarea setărilor optime ale algoritmilor și aplicarea algoritmului FFT window deformation);

- aplicarea metodologiei PIV;

- postprocesarea: eliminarea vectorilor cu valori extreme pe baza histogramei și referențierea rezultatelor – pentru a putea determina vitezele de curgere, a fost aleasă o distanță de referință dintre două puncte cunoscute din teren.

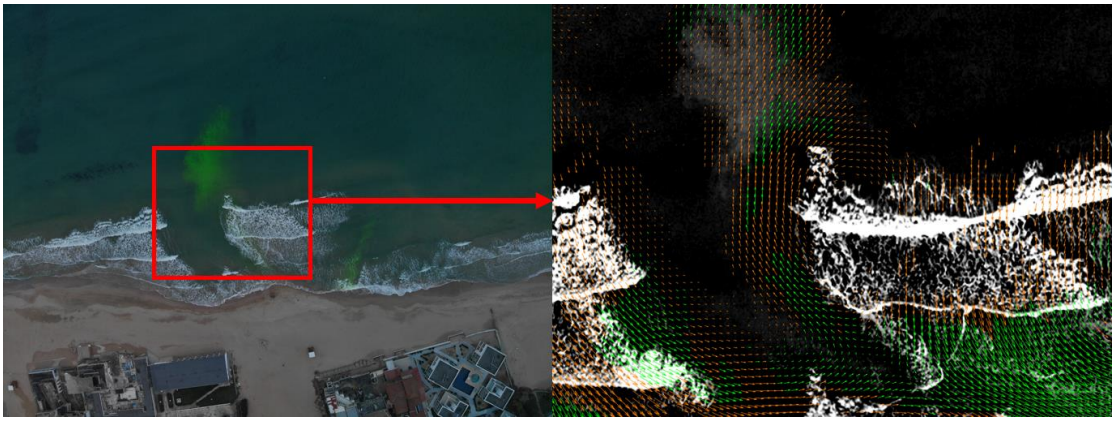


Figura 11. Rezultatele aplicării metodei PIV - Eforie Nord, 17 octombrie 2021

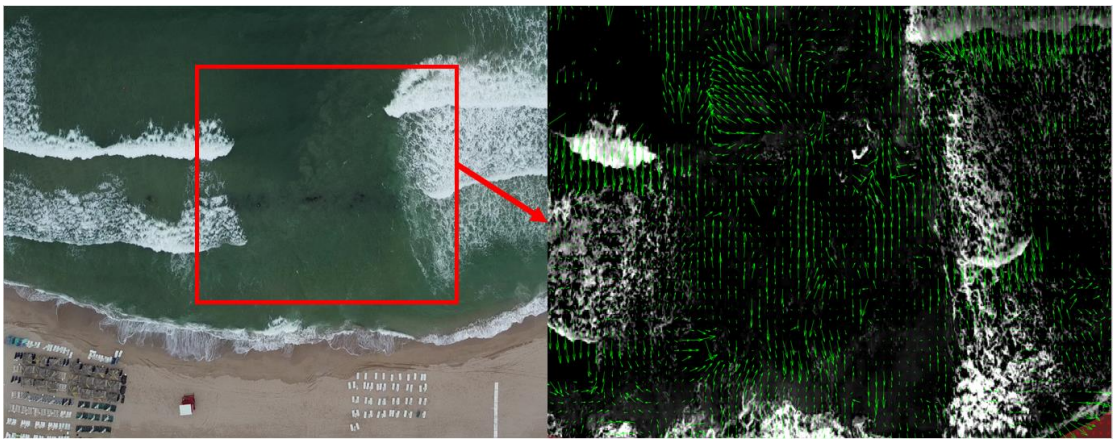


Figura 12. Rezultatele aplicării metodei PIV - Eforie Nord, 18 mai 2022

În cazul ambelor momente analizate, direcția de curgere a curenților rip (săgeți verzi, Figurile 11, 12) a fost identificată cu o acuratețe ridicată, iar vitezele medii de curgere înregistrate (0.3 – 0.5 m/s) sunt apropiate ca valoare cu cele monitorizate pe parcursul măsurătorilor în teren.

În cadrul acestui experiment, a fost demonstrată aplicabilitatea metodologiei propuse în două situații diferite, cea în care a fost utilizat un trasor (17 noiembrie 2021, Figura 11), respectiv în condiții naturale, curgerea fiind identificată pe baza sedimentelor în suspensie din coloana de apă (18 mai 2022, Figura 12).

Obiectiv 3 – Modelarea numerică a dinamicii curenților rip

3.1. Modelarea dinamicii curenților rip pentru diferite condiții hidrodinamice și configurații morfologice pe plaja Eforie Nord

În acest studiu a fost aplicat Delft3D, un model numeric bazat pe procese de ultimă generație pentru a simula hidrodinamica și dinamica valurilor pe Plaja Eforie. Modulul hidrodinamic (Delft3D-FLOW) se bazează pe ecuațiile tridimensionale incompresibile ale Navier-Stokes și este cuplat la modelul de valuri Simulating Waves Nearshore (SWAN) care calculează evoluția mediată pe fază a valurilor pe baza ecuației de echilibru a acțiunii valurilor. Procesele importante care sunt incluse sunt refracția valurilor peste adâncime și curent, disiparea, spargerea indusă de adâncime, interacțiuni neliniare val-val și difracția valurilor. Câmpul de valuri este apoi cuplat la modulul FLOW printr-o metodă „online” care asigură o cuplare dinamică. Delft3D a fost bine validat pentru simularea hidrodinamicii, transportului sedimentelor și schimbării morfologice, pe diverse scări de timp și pentru diferite medii, cum ar fi plaje, delte, lacuri, o flexibilitate care se datorează numărului mare de procese incluse în diferitele module.

În cadrul analizei noastre, a fost utilizată o grilă structurată cu celule care au rezoluția de 5x5 m în apropierea liniei țărmului și pe barele crescentice (Figura 13). Cuplarea modulului hidrodinamic cu modelul de valuri se face la fiecare oră.

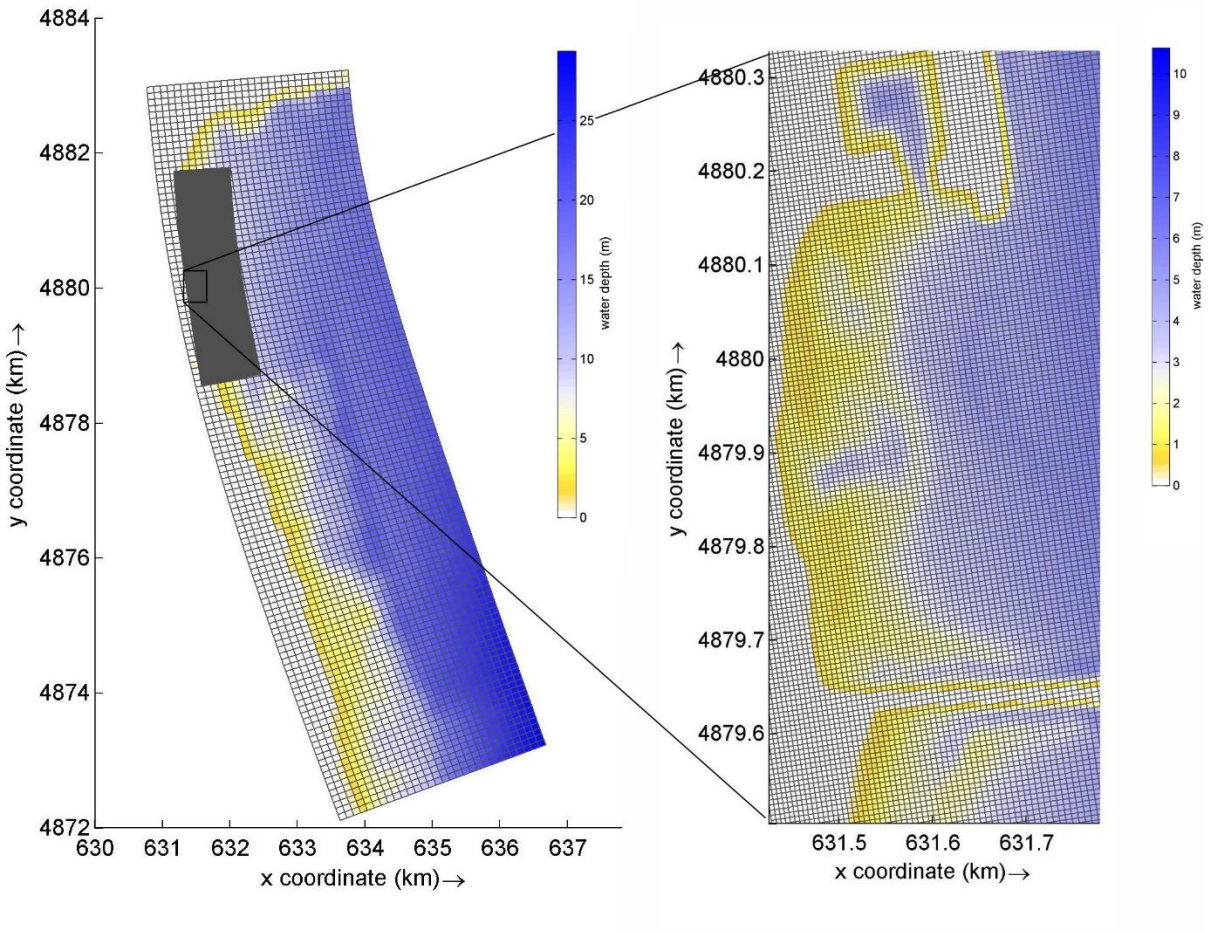


Figura 13. Grila structurată utilizată în cadrul scenariilor de modelare pe plaja Eforie Nord

Rezultatele preliminare ale modelării pentru diferite condiții hidrodinamice (Figura 14), pe baza configurației morfologice submerse din iulie 2004, au scos în evidență viteze ale curenților rip cuprinse între 0.25 – 0.35 m/s, cu valori maxime de aproximativ 0.5 m/s pentru viteze ale vântului de 15 m/s din sector NE (45º). Morfologia barelor submerse crescentice și transversale cu deschidere spre SE determină o sensibilitate a acestora la condițiile hidrodinamice din sector NE, conducând la o accelerare a curenților rip.

Ulterior, modelul numeric implementat pentru plaja Eforie Nord a fost calibrat și validat cu ajutorul datelor hidrodinamice (valuri și curenți), morfologice (batimetrie) și de dinamică a curenților rip (viteza și direcția acestora) colectate în timpul celor 2 experimente de teren descris la punctul anterior.

Au fost concepute apoi o serie de scenarii cuprinzând patru batimetrii diferite care reprezintă baza pe care au fost rulate 4 scenarii de val diferite (0.75m înălțime, 80°direcție;

0.75m, 150°; 1.25m, 80°; 1.25m, 150°). Două batimetrii au fost cartate de echipa noastră în octombrie 2021 și mai 2022, iar celelalte două (din 2016 și 2020) au fost derivate din imagini satelitare. Condițiile de val au fost selectate ținându-se cont de frecvența valurilor la baliza Spotter care a monitorizat caracteristicile valurilor la 3 km în larg față de plaja Eforie în anul 2022, și pe baza condițiilor hidrodinamice din timpul intervențiilor salvamarilor în zilele de 7-8 August 2022 (când s-au înregistrat mai multe decese prin înec pe mai multe plaje).

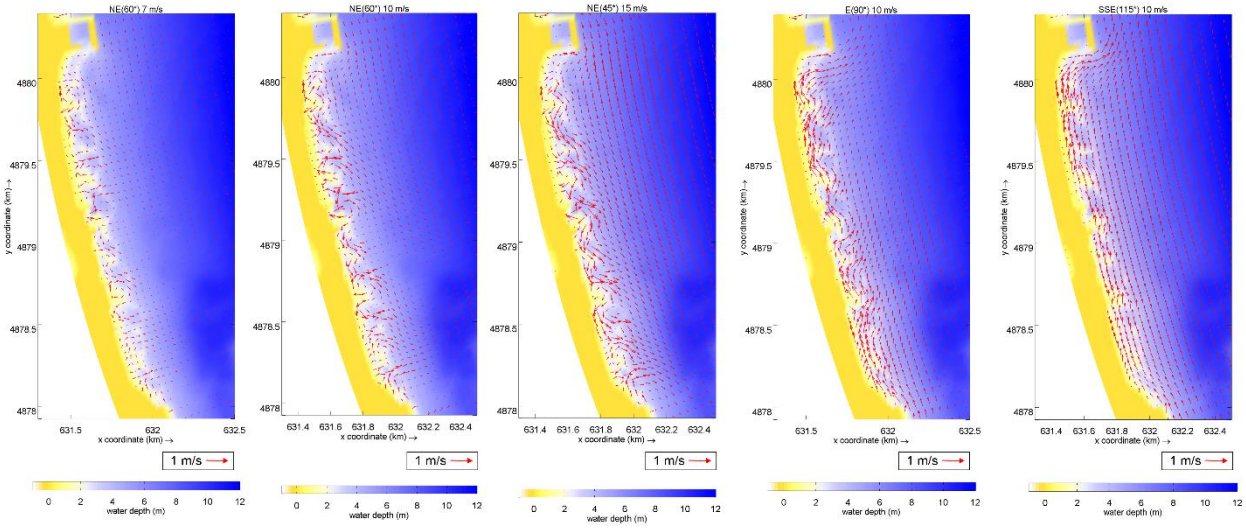


Figura 14. Rezultatele preliminare ale modelării vitezei și direcției curenților rip pentru diferite combinații de viteză și direcție ale vântului pe plaja Eforie Nord

Curenții rip se formează într-o strânsă legătură cu batimetria submersă. Configurația barelor crescentice submerse influențează puternic tiparele spațiale ale curenților, în timp ce înălțimea valurilor determină intensitatea curenților.

La valuri perpendiculare pe țărm (80°) în sectorul Sud Belona, se remarcă prezența curenților rip în toate configurațiile batimetrice analizate (Figura 15). O schimbare puternică în tiparul curenților are loc odată cu construirea digurilor care se pare că favorizează generarea unui curent rip major între portul Belona și digul sudic, cu viteze medii atingând 0.6 m/s, pentru Hs de 1.25 m, mai puternic decât în 2021 când curenții sunt mai numeroși, dar mai slabi ca intensitate (maxim 0.4 m/s) – Figura 15. Curenții rip se pot identifica și în 2020 și 2016, dar componenta mișcării apei în lungul țărmului este mai importantă, iar numărul curenților rip este mai redus. Aceștia sunt prezenți și pe valuri mai mici (0.75 m înălțime, 80°), în toate batimetriile analizate (Figura 15). Când valurile vin din sud-sud-est (150°), componenta mișcării apei în lungul țărmului este mai importantă și inhibă apariția curenților rip. Acest curent în lungul țărmului dezvoltă cele mai mari viteze susținute (>0.6 m/s), dar nu este periculos deoarece se deplasează paralel cu curbele batimetrice, la adâncimi relativ mari.

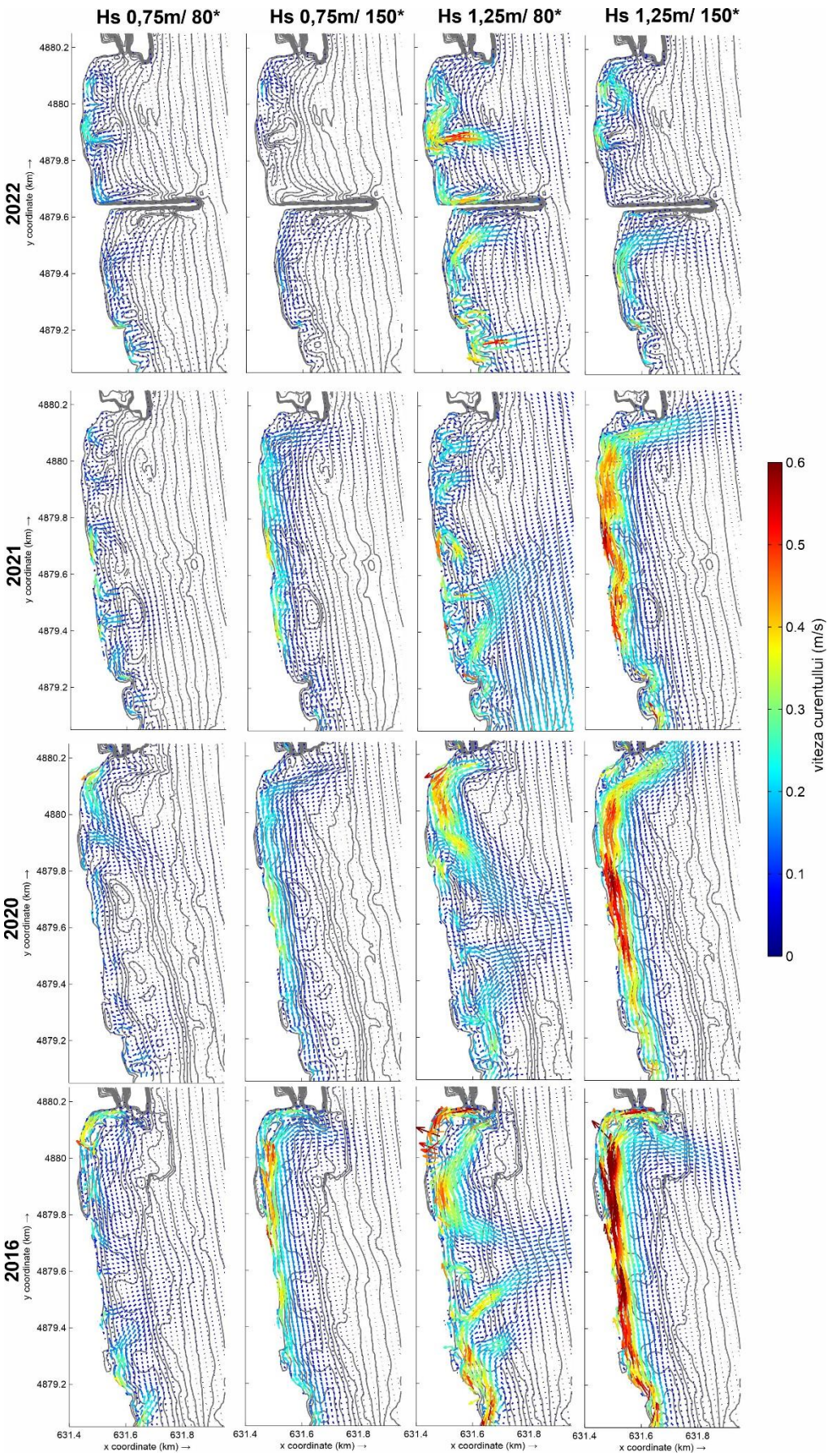


Figura 15. Modelarea DELFT3D a dinamicii curenților rip pe plaja Eforie Nord în diferite scenarii batimetrice și hidrodinamice

Fluxul de apă care se deplasează S-N spre portul Belona este deflectat spre larg de către port și formează un curent rip deflectat la ieșire, singurul prezent în 2021, 2020 și 2016.

Construcția digurilor a afectat puternic circulația curenților rip pe directie sudică (Figura 15). Curentul care traversa plaja de la S la N este acum încetinit, întrerupt, și transformat într-un curent rip deflectat la sud de dig. În bazinul cuprins între dig și Portul Belona, se formează doi curenți rip clasici care nu existau înainte pe aceste condiții, posibil mai periculoși decât curentul deflectat dezvoltat la sud de port. Dintre toate condițiile analizate, cel mai intens curent rip, perpendicular pe țărm, este identificat în configurația batimetrică de după construcția digurilor, pentru valuri de 1.25 m înălțime și direcție 80° (Figura 15); de aceea, este posibil ca prezența digurilor să crească riscurile asociate anumitor condiții hidrodinamice pe această plajă.

Obiectiv 4 – Evaluarea percepției riscurilor asociate curenților rip și implicațiile asupra siguranței plajelor

4.1. Analiza cazurilor de înec și a intervențiilor salvamarilor

Conform datelor Eurostat din anul 2017, România se află pe locul 4 în Uniunea Europeană cu o rată de mortalitate cauzată de înecul accidental de 5 cazuri/100.000 locuitori. În medie, aproximativ 30 oameni mor și alte câteva sute sunt salvați de la înec în fiecare an pe coasta românească a Mării Negre: 721 de salvări în 2020, 17 morți și 400 de salvări în 2019, 37 morți in 2018 (4 în Eforie Nord), 26 în 2017, 38 în 2016 (22 în Eforie Nord) și 30 în 2015.

Din discuțiile cu toate instituțiile identificate ca având atribuții în problematica intervențiilor în caz de înec pe coasta românească a Mării Negre (autorități publice locale, salvamari, ABADL, ISU, Serviciul Ambulanță), am ajuns la concluziile că nu există date centralizate privind cazurile de înec și intervențiile salvamarilor, că nu sunt raportate cauzele fiecărei intervenții sau salvări, că nu există concordanță între datele raportate de diferite instituții și că nu există un formular tip de raportare (așa cum se întâmplă în foarte multe state occidentale), care să conțină informații relevante despre fiecare intervenție a salvamarilor și care să fie centralizate de o instituție competentă în domeniu. Totuși, pe anumite plaje există tendințe de îmbunătățire a acestei situații prin raportări mai serioase ale tuturor intervențiilor salvamarilor. Un exemplu concludent în acest sens este reprezentat de S.C. Salvamar Service S.R.L., care asigură serviciile de salvamar în Eforie Nord și Eforie Sud, și care ne-a pus la dispoziție toate informațiile spațializate privind salvările acvatice în perioada sezonului estival pentru anii 2019, 2020 și 2021. Analiza acestor date (Figura 16) scoate în evidență o corelație foarte bună între locațiile în care s-au înregistrat cele mai multe salvări de la înec și zonele în

care se dezvoltă frecvent curenți rip. Astfel, numărul mediu anual de salvări de la înec în aceste areale este de aproximativ 30 (față de sub 10 în celelalte zone neafectate de acțiunea curenților rip), cu valori maxime de 79 salvări/an pe plaja Belona.

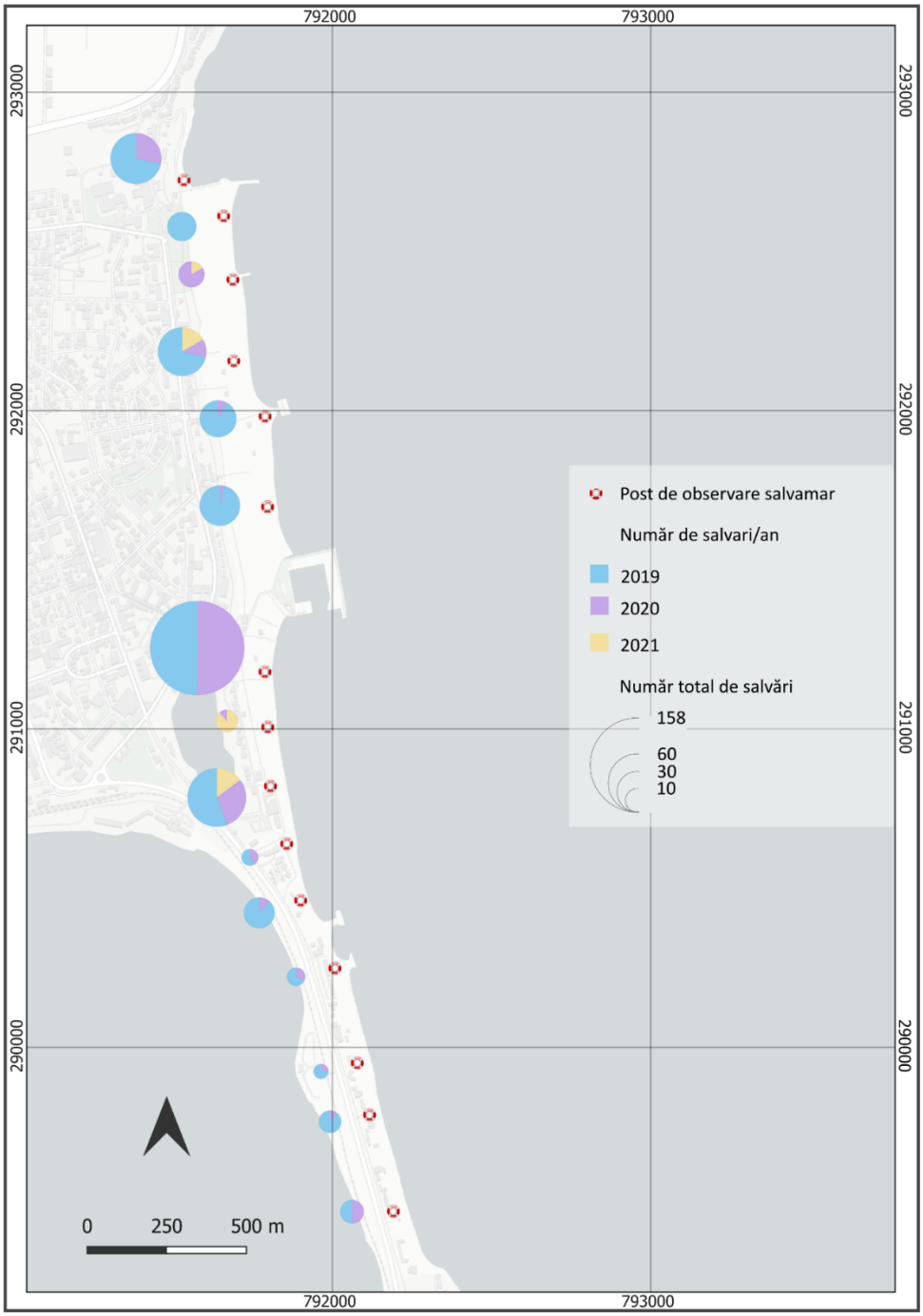


Figura 16. Numărul total anual de salvări acvatice în perioada sezonului estival pe plaja Eforie Nord în intervalul 2019-2021

4.2. Analiza gradului de conștientizare a publicului asupra pericolului generat de curenții rip

Acțiunile din cadrul acestei activități s-au axat pe realizarea de interviuri și chestionare cu principalii utilizatori și actori implicați în siguranța plajelor, plecând de la autorități publice locale și până la instituțiile identificate la punctul anterior (salvamari, ABADL, ISU). Părerea unanimă a celor intervievați este că gradul de conștientizare a persoanelor implicate în managementul și siguranța plajelor cu privire la existența și pericolul reprezentat de curenții rip este aproape zero. Singurele persoane care cunoșteau la un nivel limitat problematica acestor curenți sunt reprezentanții salvamarilor prin prisma interacțiunii directe cu aceștia și cu efectele lor asupra siguranței turiștilor. A fost exprimată necesitatea unor campanii de informare prin diferite mijloace media și de creare a unor panouri informative pe plajele cele mai afectate de prezența acestor curenți. În acest sens, am avut discuții cu reprezentanții firmei S.C. Salvamar Service S.R.L. pentru realizarea în viitor, ca studiu pilot, a unor panouri informative care să fie amplasate pe foișoarele de observație ale salvamarilor din stațiunea Eforie Nord.

În vederea evaluării gradului de conștientizare a publicului larg (turiștilor), am realizat un chestionar cu 30 întrebări care a fost diseminat online cu ajutorul mai multor agenții de turism către turiștii care au frecventat în ultimii 4 ani plajele românești ale Mării Negre. 136 de chestionare au fost completate în proporție de 100% și au fost analizate ulterior. Principalele concluzii reliefate din analiza acestora sunt legate de: gradul foarte mare de nesiguranță resimțit de turiști pe plajele din țara noastră (89% din respondenți); proporția foarte mică a persoanelor cu aptitudini (chiar și limitate) de înot; nivelul foarte scăzut de conștientizare a pericolului reprezentat de curenții rip (95% din respondenți); incapacitatea respondenților de a evalua corect zonele sigure de intrare în apă pe niște imagini prestabilite.

4.3. Organizare workshop

Vineri, 28 octombrie 2022, în intervalul orar 10 – 14, a fost organizată la Universitatea Ovidius din Constanța conferința finală a proiectului. Întâlnirea s-a dorit a fi un workshop și un forum de discuții cu scopul conștientizării pericolului reprezentat de curenții rip pe plajele românești ale Mării Negre. Membrii echipei proiectului au prezentat diferite aspecte legate de dinamica și circulația curenților rip, precum și implicațiile acestora asupra siguranței plajelor din România.

Având în vedere faptul că acțiunile de consultare a actorilor reprezintă o activitate foarte importantă pentru implicarea diferitelor grupuri țintă și care prezintă interese variate, la

întâlnire au fost invitați să participe reprezentanți ai administraţiei publice, presei locale și centrale şi ai instituţiilor din domeniile: Serviciul Salvamar, turism, managementul plajelor, protecţia mediului, mediul de afaceri, asociaţii de pescuit şi acvacultură, energie, securitate, universităţi şi institute de cercetare, ONG-uri.

Au participat fizic 20 de persoane și alte cca. 15 persoane online, reprezentanți ai autorităților publice (Ministerul Antreprenoriatului și Turismului, ABADL), salvamari (SC Salvamar Service SRL), medicină de urgență (SCJML Constanța), firme private (SC NAVTRON SRL), din mediul universitar (Universitatea din București și Universitatea Ovidius din Constanța), cercetare (INCDM Grigore Antipa, INCD GEOECOMAR) etc.

Evenimentul s-a bucurat de o acoperire foarte bună în mass-media, beneficiind de un comunicat de presă diseminat prin intermediul AGERPRESS și interviuri la TV (PRO TV) și radio (Radio România Actualități).

În cadrul workshop-ului a fost prezentată o Broșură sintetică de educare a utilizatorilor plajelor cu privire la pericolul reprezentat de curenții rip și la măsurile asociate de siguranță, care poate fi descărcată de pe site-ul proiectului de la următorul link: https://ro-rip.unibuc.ro/wp-content/uploads/2022/10/Curenti_Rip_Brosura_FINAL.pdf

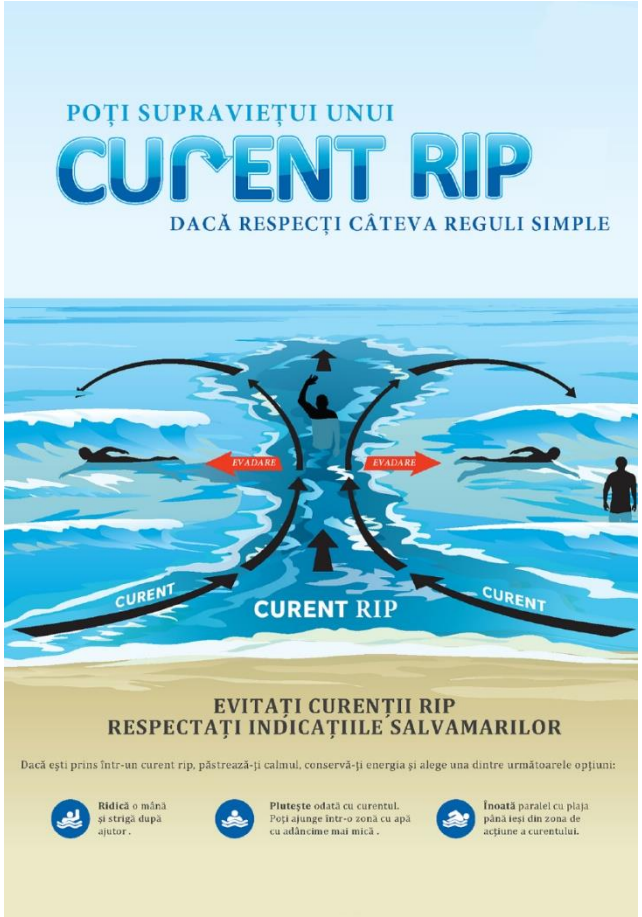


Figura 17. Extras din broșura dezvoltată în cadrul proiectului

DISEMINARE

Articole științifice

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R., *in preparation*. Rip currents presence on the microtidal, medium-wave energy beaches of the Romanian Black Sea coast. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

Tătui, F., Miron, F., Zăinescu, F., Mateescu, R., *in preparation*. Morphological imprint on rip currents development on a microtidal, medium-wave energy beach. *Geomorphology*.

Zăinescu, F., Tătui, F., Miron, F., Mateescu, R., *in preparation*. The influence of dikes on rip currents development and behaviour – insights from field measurements and numerical modelling. *Scientific Reports*.

Shellock, R.J., Cvitanovic, C., Mackay, M., McKinnon, M.C., Blythe, J., Kelly, R., van Putten, I.E., Tuohy, P., Bailey, M., Begossi, A., Crona, B., Fakoya, K.A., Ferreira, B.P., Ferrer, A.J.G., Frangoudes, K., Gobin, J., Goh, H.C., Haapasaari, P., Hardesty, B.D., Häussermann, V., Hoareau, K., Hornidge, A-K., Isaacs, M., Kraan, M., Li, Y., Liu, M., Lopes, P.F.M., Mlakar, M., Morrison, T.H., Oxenford, H.A., Pecl, G.T., Penca, J., Robinson, C., Selim, S., Skern-Mauritzen, M., Soejima, K., Soto, D., Spalding, A.K., Vadrot, A., **Văidianu, N.**, Webber, M., Wisz, M.S., 2022. Breaking down barriers: The identification of actions to promote gender equality in interdisciplinary marine research institutions, *One Earth*, 5 (6), 687-708, https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.05.006.

Gissi, E., Maes, F., Kyriazi, Z., Ruiz-Frau, A., Frazão Santos, C., Neumann, B., Quintela, A., Alves, F.L., Borg, S., Chen, W., da Luz Fernandes, M., Hadjimichael, M., Manea, E., Marques, M., Platjouw, F.M., Portman, M.E., Sousa, L.P., Bolognini, L., Flannery, W., Grati, F., Pita, C., **Văidianu, N.**, Stojanov, R., van Tatenhove, J., Micheli, F., Hornidge, A-K., Unger, S., 2022. Contributions of marine area-based management tools to the UN sustainable development goals, *Journal of Cleaner Production*, 330, 129910, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129910.

Gissi, E., Maes, F., Kyriazi, Z., Ruiz-Frau, A., Frazão Santos, C., Neumann, B., Quintela, A., Alves, F.L., Borg, S., Chen, W., da Luz Fernandes, M., Hadjimichael, M., Manea, E., Marques, M., Platjouw, F.M., Portman, M.E., Sousa, L.P., Bolognini, L., Flannery, W., Grati, F., Pita, C., **Văidianu, N.**, Stojanov, R., van Tatenhove, J., Micheli, F., Hornidge, A-K., Unger, S., 2022. Data about marine area-based management tools to assess their contribution to the UN sustainable development goals, *Data in Brief*, 40, 107704, https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107704.

Conferințe internaționale și naționale

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R. Rip currents dynamics on the Romanian Black Sea coast. *1st International Joint Conference MARBLUE 2022 – Blue Growth: Challenges and Opportunities for the Black Sea*, 26 – 28 octombrie 2022, Constanța, România, https://padlet.com/marblue/a47ql9ecy8dg17tp/wish/2336733070

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R. Rip currents on the Romanian Black Sea coast – distribution, characteristics and dynamics. *10th IAG International Conference on Geomorphology – Geomorphology and Global Change*, 12 – 16 septembrie 2022, Coimbra, Portugalia, https://meetingorganizer.copernicus.org/ICG2022/ICG2022-375.html, https://doi.org/10.5194/icg2022-375

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R. Rip currents dynamics on the Romanian Black Sea coast revealed by field experiments and numerical modelling. *37th Romanian Symposium on Geomorphology – Geomorphology under modern challenges: uncertainties and perspectives*, 15 – 19 iunie 2022, Sinaia, România. http://sng.geomorfologie.ro/wp-content/uploads/2022/06/SNG2022_DETAILED-PROGRAMME.pdf, Rezumat publicat în *Revista de Geomorfologie Special Issue 1/2022 – Proceedings of the 37th Romanian Symposium on Geomorphology*.

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R. RORIP1 – First field experiment of rip currents dynamics on the Black Sea coast. *EGU General Assembly 2022*, 23–27 mai 2022, Viena, Austria, https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU22/EGU22-10217.html, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-10217

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A., Mateescu, R. RORIP1 field experiment for rip currents dynamics on Eforie Nord beach. *The 2nd International Conference Geographical Sciences and Future of Earth*, 12 noiembrie 2021, București, România.

Tătui, F., Zăinescu, F., Miron, F., Vespremeanu-Stroe, A. Rip currents characteristics on the Southern Romanian Black Sea coast. *36th Romanian Symposium on Geomorphology – Geomorphology, one step further*, 22-26 septembrie 2021, Craiova, România.

Tătui, F., Zăinescu, F., Constantin, S., Vespremeanu-Stroe, A., Văidianu, N., Preoteasa, L. First insights into rip currents problematics on the Romanian Black Sea coast. *Coastal Dynamics 2021 Conference*, 28 iunie - 2 iulie 2021, Delft, Olanda. https://surfdrive.surf.nl/files/index.php/s/UmJnfKjaZ6Oyc8Y

Tătui, F., Zăinescu, F., Constantin, S., Vespremeanu-Stroe, A., Văidianu, N., Preoteasa, L. Need for rip currents hazard analysis and awareness on the Romanian Black Sea beaches. *The 2nd International Conference on Re-shaping Territories, Environment and Societies: New Challenges for Geography*, 20-21 noiembrie 2020, București, România.

Director Proiect,

Tătui Ion-Florin