

# Evaluarea GEOMETOC a zonei de litoral folosind sistemele autonome fără echipaj

## *GEOMETOC Assessment of the Littoral Environment Using Maritime Unmanned Systems*

**Lt. cdor. drd. ing. Laurențiu-Florin CONSTANTINOIU\***  
**Capt.(N)(R).dr. ing. Lucian DUMITRACHE\*\***  
**Prof. univ. dr. ing. Eugen RUSU\*\*\***

\*Forțele Navale Române; Universitatea Națională de Apărare „Carol I”

e-mail: [florin.constantinoiu@navy.ro](mailto:florin.constantinoiu@navy.ro)

\*\*Academia Navală „Mircea cel Bătrân”

e-mail: [lucidumitrache@gmail.com](mailto:lucidumitrache@gmail.com)

\*\*\*Institutul Național de cercetare-dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM București)

e-mail: [evcrusu@gmail.com](mailto:evcrusu@gmail.com)

### Abstract

În operațiile navale, o înțelegere detaliată a mediului operațional este esențială pentru succesul misiunii. Articolul de față examinează principalele sisteme utilizate pentru evaluarea mediului costier, prezentând avantajele și constrângerile asociate acestor platforme și senzorilor lor. Acest studiu este derivat din observații privind utilizarea sistemelor autonome maritime fără pilot (MUS) în timpul unei serii de activități experimentale, desfășurate în cadrul exercițiului de experimentare operativă, cunoscut sub numele de Robotic Experimentation and Prototyping using Maritime Unmanned Systems (REPMUS), acoperind perioada 2021–2025. Acest exercițiu, recunoscut ca fiind cea mai mare inițiativă multinațională de experimentare, este organizat de Marina Portugheză, în colaborare cu Centrul NATO pentru Cercetare și Experimentare Marină (CMRE), cu Facultatea de Inginerie din Porto (FEUP) și cu Agenția Europeană de Apărare.

*In naval operations, a detailed understanding of the operational environment is essential for mission success. This article examines the main systems employed for environmental surveys and outlines the advantages and constraints associated with these platforms and their sensors. This study is derived from observations regarding the utilisation of MUS during a series of experimental activities conducted within the framework of the operational experimentation exercise known as the Robotic Experimentation and Prototyping using Maritime Unmanned Systems (REPMUS) series, covering the period from 2021 to 2025. This exercise, recognised as the largest multinational experimentation initiative, is organised by the Portuguese Navy in collaboration with NATO Center for Marine research and Experimentation (CMRE), Faculty of Porto (FEUP), and European Defence Agency.*

### Cuvinte-cheie:

geospațial; meteorologie; oceanografie; hidrografie; sisteme autonome fără pilot;  
monitorizare de mediu; operații navale.

### Keywords:

*Geospatial; Meteorology; Oceanography; Hydrography; Maritime Unmanned Systems;  
Environmental Assessment; Naval Operations.*

### Info articol

Primit: 5 noiembrie 2025; Evaluat: 27 noiembrie 2025; Acceptat: 3 decembrie 2025; Disponibil online: 9 ianuarie 2026

Citare: Constantinoiu, L.F., L. Dumitrache și E. Rusu 2025. „Evaluarea GEOMETOC a zonei de litoral folosind sistemele autonome fără echipaj”

*Buletinul Universității Naționale de Apărare „Carol I”* 14(4): 33-47. <https://doi.org/10.53477/2065-8281-25-26>

## 1. Introducere

Forțele armate desfășoară operații în diverse medii și regiuni geografice, bazându-se pe o înțelegere aprofundată atât a condițiilor fizice actuale, cât și a celor prognozate, pentru a spori eficiența senzorilor, armamentului și operațiunilor multidomeniu (Zakiev și Kozhakhmetov 2020).

Servind ca un element vital în procesul de luare a deciziilor, informațiile GEOMETOC (date, produse și servicii) oferă comandanților și echipelor de planificare o conștientizare critică a situației privind mediul fizic, permițându-le să anticipeze și să exploateze ferestrele optime pentru planificarea, executarea și susținerea operațiilor și misiunilor. Mai mult, un suport GEOMETOC precis, oportun, relevant, consecvent și de încredere este esențial pentru obținerea superiorității decizionale, asigurând utilizarea optimă a capabilităților militare în vederea desfășurării unor operațiuni sigure, eficiente și de succes (NATO 2018).

De asemenea, capacitatea de a menține un avantaj în procesul rapid de luare a deciziei depinde din ce în ce mai mult de disponibilitatea informațiilor de mediu exacte, detaliate și la timp. Un element fundamental al oricărei imagini operative, indiferent de operația militară sau de misiunea aliată, este înțelegerea cuprinzătoare a informațiilor de mediu ale Teatrului de Operații (TO), furnizate în formatul corect, la momentul potrivit.

Informațiile GEOMETOC cuprind date, produse și servicii geospațiale, meteorologice, hidrografice și oceanografice, care sunt esențiale pentru anticiparea sau identificarea ferestrelor optime de oportunitate pentru planificarea, executarea și susținerea operațiunilor. Aceste informații joacă, de asemenea, un rol critic în optimizarea desfășurării senzorilor, armelor, logisticii, echipamentelor și personalului, într-un mod care maximizează eficiența, siguranța și succesul misiunii. Informațiile GEOMETOC atât cele actuale, cât și cele prognozate contribuie semnificativ la crearea unei imagini operaționale comune îmbunătățite (COP) și oferă conștientizare situațională în timp real. Aceasta este esențială pentru îmbunătățirea procesului decizional al comandanților, precum și pentru a permite planificatorilor și operatorilor să exploateze, să planifice și să execute eficient operații militare.

Aceste medii operative au determinat NATO și națiunile să își consolideze capabilitățile, inclusiv în teatre nepermissive, și să dezvolte noi metode pentru a completa mijloacele militare convenționale, cum ar fi utilizarea sistemelor autonome fără echipaj uman.

Din perspectivă militară, principalul obiectiv al evaluării parametrilor GEOMETOC este obținerea unui avantaj tactic față de adversar prin valorificarea condițiilor de mediu terestru și maritim. Pentru a realiza acest lucru, este important să se cunoască în detaliu respectivele condiții și probabilitatea acestora de a varia în spațiu și timp. De asemenea, este esențială cunoașterea acestor condiții pentru influența asupra senzorilor și armamentului, precum și pe cele care ar putea fi folosite de adversar.

Evaluarea și valorificarea efectelor condițiilor GEOMETOC asupra capabilităților militare atât ale forțelor proprii, cât și ale adversarului, în toate domeniile operaționale — inclusiv aerian, terestru, maritim, spațial, cibernetic și electromagnetic – permit forțelor militare să asigure și să mențină superioritatea informațională, în detrimentul inamicului. Acest avantaj asimetric, oferit de condițiile METOC, ar trebui integrat și utilizat sistematic în toate funcțiile operaționale comune ([Joint Staff 2024](#)).

Evaluarea rapidă a mediului (REA) oferă informații de mediu forțelor care operează în ape litorale, în intervale de timp relevante din punct de vedere tactic. Colectarea datelor REA poate fi realizată folosind o gamă diversă de platforme și senzori, inclusiv cele care nu sunt proiectate special pentru REA, cum ar fi magnetometrele și camerele cu infraroșu termic. Acest proces poate varia de la o scanare hidrografică de bază, folosind o barcă pneumatică, până la utilizarea dronelor avansate, echipate cu senzori inovatori care colectează simultan informații de mediu și de monitorizare.

Sistemele autonome fără echipaj uman au devenit foarte populare în cercetarea mediului înconjurător atât în aplicații militare, cât și civile, datorită capacității lor de a fi utilizate în diverse domenii de activitate, precum operațiuni de culegere a datelor în zone greu accesibile, transportul obiectelor în zone critice, căutare și salvare, înregistrare video și fotografie aeriană, jurnalism, cercetare științifică, agricultură – pentru monitorizarea culturilor –, supravegherea parcurilor naționale și a faunei sălbatice, hidrografie, oceanografie, topografie, monitorizarea infrastructurii subacvatice critice ([Tănase\(Măxineanu\) și Scipanov 2025, 36-39](#)), controlul frontierelor, industrie și construcții pentru monitorizarea apeductelor și barajelor sau pentru inspecția liniilor electrice de înaltă tensiune.

Monitorizarea mediului a devenit o funcție-cheie a sistemelor fără echipaj uman, permițând cercetarea de rutină și continuă într-un mod eficient din punctul de vedere al costurilor și în timp real. Prin urmare, pașii pentru utilizarea MUS în monitorizarea mediului, care includ considerații tehnice, fundamente științifice și recomandări valoroase, sunt de o importanță critică.

Această cercetare se bazează pe rezultate experimentale, obținute în cadrul exercițiului multinațional portughez REPMUS, care facilitează colaborarea dintre comunități operaționale, mediul academic și industrie pentru a avansa și a evalua concepte inovatoare, interoperabilitatea și dezvoltările tehnologice în domeniul sistemelor maritime fără echipaj uman.

Grupul de lucru REA, unul dintre principalele grupuri implicate în organizarea exercițiului REPMUS, se află sub conducerea Centrului de Excelență NATO Maritime Geometoc. Această activitate experimentală s-a desfășurat în strânsă colaborare cu industria internațională și cu mediul academic portughez, având ca obiectiv evaluarea utilizării MUS pentru monitorizarea mediului în cadrul unui scenariu operativ militar.

## 2. Provocări pentru misiunile tradiționale de evaluare a mediului înconjurător

Metodele tradiționale de realizare a cercetărilor pentru Evaluarea Rapidă a Mediului (REA) se bazează pe utilizarea platformelor cu echipaj, precum submarine, nave, aeronave și elicoptere, precum și pe dislocarea personalului în teatrul de operații. Forțele speciale continuă să fie desemnate pentru misiuni de recunoaștere în zone dificile sau contestate. Totuși, abordarea convențională a REA implică un efort logistic și financiar considerabil, pe lângă expunerea personalului la riscuri în zone de conflict ([Leder și Leder 2018](#), 184-186).

Mai mult, navele convenționale prezintă o rezistență hidrodinamică ridicată, ceea ce limitează raza de acțiune și autonomia acestora, generând niveluri ridicate de zgomot care pot interfera semnificativ cu echipamentele de monitorizare de la bord ([Zaghi și alții 2016](#), 1563-1564).

În ceea ce privește utilizarea platformelor aeriene tradiționale pentru cercetările de mediu, această abordare a devenit semnificativ mai costisitoare, comparativ cu sondajele realizate cu drone și este tot mai puțin folosită, cu excepția cazurilor care implică suprafețe extinse sau regiuni cu condiții meteorologice nefavorabile, unde dronele aeriene nu pot opera.

## 3. Dezvoltări privind sistemele fără pilot în evaluarea mediului înconjurător

Sistemele maritime fără echipaj au devenit tot mai integrate în conflictele moderne, demonstrând un potențial semnificativ într-o gamă largă de funcții operative. Dezvoltarea capacităților autonome reprezintă o evoluție firească a inovației, NATO, partenerii săi și societatea civilă colaborând pentru integrarea acestor sisteme în operațiile militare.

Ca urmare, tehnologiile și conceptele care vizează utilizarea sistemelor fără pilot în sprijinul operațiilor Alianței continuă să prezinte provocări, prin care NATO îmbunătățește sistemele și platformele de luptă, crește eficiența tactică și operativă, reducând, totodată, riscurile pentru personal în teatrul de operații și costurile asociate.

Această evoluție a sistemelor autonome se datorează numeroaselor avantaje ale acestora, printre care acuratețea ridicată, eficiența din punctul de vedere al costurilor, ușurința în operare, adaptabilitatea la diferite tipuri de senzori, integrarea facilă cu diverse instrumente software și facilitarea procesării datelor prin intermediul tehnologiilor de Inteligență Artificială (AI) și Învățare Automată (ML) ([Slingsby și alții 2023](#), 3-4).

Metodologia utilizată pentru evaluarea sistemelor fără pilot s-a bazat pe criterii multiple, referitoare la caracteristicile platformei în sine, la senzorii folosiți și la datele colectate de aceste sisteme. În ceea ce privește evaluarea platformei, analiza s-a concentrat asupra unor factori, precum autonomia, stabilitatea, precizia și acuratețea

sistemului de poziționare, capacitatea de transport a sarcinii utile (senzorului), ușurința în utilizare și timpul necesar pentru instruirea minimă a operatorului. În ceea ce privește senzorii, evaluarea a vizat calitatea datelor colectate, precizia și acuratețea, viteza de colectare și de procesare a datelor, capacitatea de procesare în timp real, formatul datelor livrate și validarea produselor finale. Sistemele au fost evaluate în diverse scenarii, în funcție de capabilitățile lor – inclusiv ape puțin adânci și ape adânci, misiuni de lungă durată, comparativ cu misiuni scurte și rapide –, iar produsele rezultate au fost comparate cu datele obținute prin misiuni tradiționale cu echipaj uman. În plus, pentru a evalua interoperabilitatea sistemelor MUS, diferite platforme au fost desemnate să efectueze misiuni în cadrul aceluiași scenariu operativ. Această abordare a permis sistemelor să se completeze reciproc și a facilitat crearea unei imagini de ansamblu cuprinzătoare asupra mediului, folosind date colectate de pe platforme și senzori diferiți.

Sistemele maritime fără echipaj pot fi încadrate în trei categorii principale pentru misiuni navale, în funcție de mediul de operare: subacvatice, de suprafață și aeriene. Sistemele subacvatice pot fi, în general, împărțite în trei categorii: vehicule operate de la distanță (ROV), vehicule subacvatice autonome (AUV) și glidere. În ceea ce privește vehiculele de suprafață, acestea sunt denumite, în general, vehicule de suprafață fără echipaj (USV), iar cele aeriene, vehicule aeriene fără echipaj (UAV – doar platforma) sau sisteme aeriene fără echipaj (UAS – sistemul compus din platformă și senzori).

### **3.1. Sisteme autonome fără pilot subacvatice**

Condițiile subacvatice influențează semnificativ câmpul de luptă al războiului antisubmarin (ASW), unde funcționalitatea majorității armamentului și senzorilor depinde de propagarea sunetului prin apă. O înțelegere aprofundată a parametrilor oceanografici din mediul subacvatic este esențială pentru sprijinul oferit de o evaluare rapidă a mediului. Totuși, există o nevoie tot mai mare de o cunoaștere mai detaliată a factorilor oceanografici, deoarece operațiunile militare care implică platforme, arme și senzori avansați sunt din ce în ce mai influențate de condițiile de mediu în moduri care anterior nu au fost prevăzute.

În ultimii ani, vehiculele subacvatice autonome au fost considerate instrumentul preferat pentru anumite aplicații subacvatice. Totuși, odată cu acceptarea tot mai largă, utilizarea AUV-urilor a devenit, în prezent, o soluție bine stabilită în comunitatea cercetărilor subacvatice (Tena 2013).

Vehiculele subacvatice autonome au devenit instrumente indispensabile pentru inspecția structurilor offshore, datorită capacității lor de a transporta echipamente complexe, menținând, în același timp, costuri operaționale relativ reduse (Palomer, Ridao și Ribas 2019, 1333-1334).

În timpul operării vehiculelor subacvatice fără echipaj (UUV), sistemul de poziționare reprezintă o componentă esențială, asigurând atât eficiența operațională, cât și siguranța. Recent, pe fondul accentului tot mai mare pus pe creșterea gradului

de automatizare a UUV-urilor și pe optimizarea eficienței operaționale, sistemele de poziționare trebuie să ofere niveluri superioare de acuratețe, cu o marjă de eroare de mai puțin de 0,1 metri ([Yang, Zhizun și Jia 2022](#)).

Există o multitudine de senzori tipici utilizați de vehiculele subacvatice pentru sonde ale fundului mării sau pentru evaluări de mediu, precum:

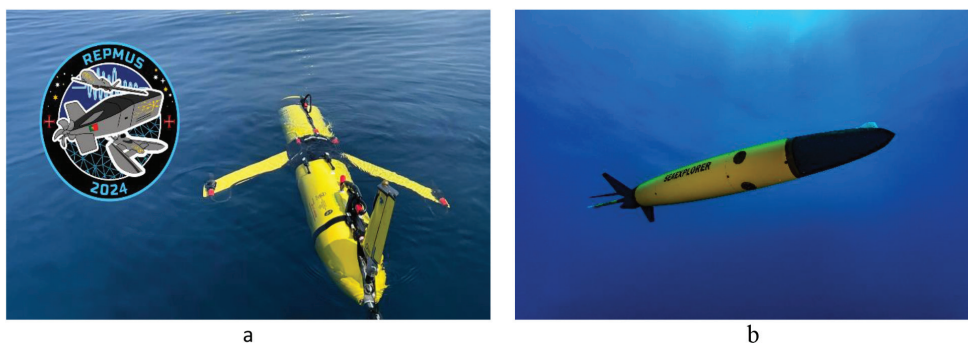
- sonare multifascicul (utilizate în mod obișnuit pentru furnizarea informațiilor batimetrice despre fundul mării și pentru detectarea obiectelor);
- sonare cu scanare laterală și sonare cu apertură sintetică (folosite pentru a obține imagini de înaltă fidelitate ale fundului mării, utilizate, în principal, pentru detectarea obiectelor, cum ar fi munițiile neexplodate și studiile geologice) ([Frey, Wehner și Keller 2021](#));
- magnetometre (utilizate pentru detectarea anomaliilor câmpului magnetic al fundului mării, adică pentru identificarea obiectelor feroase aflate pe sau sub fundul mării) ;
- camere fotografice, stereografice și video pentru identificarea obiectelor și a posibilelor mine marine ;
- senzori oceanografici, precum conductivitate, temperatură, adâncime (CTD) și sonde de măsurare a vitezei sunetului în apă.

Cu toate acestea, sistemele subacvatice autonome fără pilot continuă să se confrunte cu limitări în ceea ce privește capacitatea de a determina cu acuratețe poziția în timpul scufundării, deoarece se bazează, în principal, pe navigația inerțială ([Miller, Miller și Miller 2021](#)).

Deși există soluții contemporane pentru poziționarea subacvatică, utilizând balize subacvatice sau sisteme de releu, aceste platforme trebuie totuși să iasă la suprafață pentru a obține coordonate precise prin intermediul receptorilor Global Navigation Satellite System (GNSS). Această cerință le crește vizibilitatea și vulnerabilitatea în timpul operațiunilor acoperite.

În prezent, gliderule subacvatice sunt utilizate în mod curent de către mai multe națiuni, în principal pentru activități științifice sau guvernamentale legate de studiul vieții marine și al mediului subacvatic, precum și pentru activități societale cotidiene, cum ar fi monitorizarea și controlul pescăriilor. Marinele au început să experimenteze utilizarea gliderelor echipate cu hidrofoane în mod pasiv pentru a sprijini operațiunile ASW și supravegherea pe arii extinse, considerându-le potențiale soluții și multiplicatori de forță ([Constantinoiu, Quaresma și Rusu 2022](#), 12-15).

Aceste sisteme sunt, în general, considerate capabile să funcționeze optim pe perioade îndelungate, uneori atingând o operare continuă de două până la trei luni, oferind astfel o soluție de încredere la provocările operaționale existente prin integrarea senzorilor pasivi și a echipamentelor asociate.



**Fig. 1** Sisteme tip glider utilizate în cadrul exercițiilor REPMUS

Surse: a: <https://www.jasco.com/news/2024/repmus-24>,

b: <https://www.alseamar-alcen.com>

Lansarea și recuperarea gliderelor pot fi realizate cu ajutorul bărcilor mici cu carenă rigidă și gonflabilă (RHIB), organice unităților de suprafață. Au fost efectuate, de asemenea, teste pentru lansarea aeriană și recuperarea la suprafață. Aceste sisteme pot fi echipate cu hidrofoane unidirecționale sau omnidirecționale. De obicei, configurația unui glider include patru hidrofoane (amplasate în partea frontală, la aripi și la coadă), la distanțe mici între ele. Această configurație de tip *cruce* asigură o sensibilitate sporită și direcțiile probabile ale detecțiilor (Marine 2025).

Deși utilizarea de rutină a gliderelor în operațiunile ASW nu este încă stabilită, națiunile și institutele de cercetare continuă să evalueze potențialul acestora, iar industria dezvoltă noi capacități tehnice. Progresele în autonomie, în eficiență energetică, în stocarea de date, în capacitatea de calcul și în miniaturizarea senzorilor și sistemelor sunt de așteptat să influențeze funcționalitatea gliderelor. Aceste platforme ar putea sprijini platformele cu echipaj existente sau ar putea desfășura misiuni de supraveghere independent.

Totuși, glidererele prezintă anumite constrângeri operative care trebuie înțelese în detaliu pentru a permite o planificare eficientă a misiunilor. Viteza de operare a gliderelor nu depășește 1-1,5 noduri. Unele modele sunt echipate cu un mic motor electric pentru a crește viteza până la 3 noduri, pentru perioade scurte. În consecință, glidererele pot fi ineficiente în zone cu curenți puternici, iar o barieră de glidere ar funcționa mai degrabă ca o barieră pasivă semistatică decât ca una mobilă. Autonomia estimată a gliderelor poate ajunge la câteva luni de operare continuă, cu o autonomie redusă atunci când este necesară o viteză suplimentară.

Informațiile obținute de la glidere și sistemele autonome subacvatice au fost comparate cu datele provenite de la balize oceanografice fixe din zona de exercițiu, precum și cu datele colectate de navele de cercetare care operau în aceeași regiune. Rezultatele au fost remarcabile, întrucât datele furnizate de glidere au demonstrat o acuratețe și o precizie echivalentă cu cele ale sistemelor tradiționale.

**TABEL nr. 1.** Sisteme autonome fără pilot subacvatic, tipice pentru evaluarea mediului

Model	Tip senzor	Produse REA	Aplicații comune
ROV	Cameră optică	Imagini	Evaluare porturi Identificare obiecte Cercetare epave
	Senzori oceanografici (CTD etc.)	Informații oceanografice ale coloanei de apă	Monitorizare de mediu Informații din coloana de apă Prognoze antisubmarin
	Sonare hidrografice	Modelul digital al fundului mării Obiecte aflate pe fund sau în coloana de apă	Monitorizare de mediu Modelare digitală a fundului mării
	Senzori magnetici	Harta cu anomaliile magnetice	Deteția de epave și obiecte metalice
AUV	Sonar cu scanare laterală/apertură sintetică	Imaginea fundului mării	Deteția de contacte submerse
	Senzori oceanografici (ADCP,CTD etc.)	Viteza sunetului în apă Curenți subacvatici, informații biologice	Caracterizarea coloanei de apă, Monitorizare de mediu
	Sonar hidrografic	Modelul digital al fundului mării Obiecte aflate pe fund sau în coloana de apă	Monitorizare de mediu Modelare digitală a fundului mării
	Cameră optică	Imagini optice	Evaluare porturi Identificare obiecte Cercetare epave
	Hidrofoane	Hărți subacvatic de zgomot ambiental Deteția subacvatic de zgomot	Lupta antisubmarin Monitorizare mamifere Evaluarea mediului
Glider	Hidrofoane	Hărți subacvatic de zgomot ambiental Deteția subacvatic de zgomot	Lupta antisubmarin Monitorizare mamifere Evaluarea mediului
	Senzori oceanografici (ADCP,CTD, oxigen dizolvat etc.)	Viteza sunetului în apă, Curenți subacvatici, informații biologice	Caracterizarea coloanei de apă, Monitorizare de mediu

### 3.2. Sisteme autonome de suprafață pentru evaluarea mediului

În domeniul de luptă maritim, suprafața oceanului servește drept interfață între domeniul subacvatic și cel de deasupra apei. Această limită este utilizată de diverse sisteme cu echipaj și fără echipaj pentru monitorizarea și observarea la distanță a domeniilor respective.

Utilizarea vehiculelor de suprafață fără echipaj (USV) pentru cercetări de mediu a cunoscut o evoluție semnificativă în ultimii ani, datorită numeroaselor avantaje ale acestora. USV-urile au devenit metoda preferată pentru efectuarea sondajelor

în lacuri, porturi și ape închise, datorită dimensiunilor compacte, capacității de a integra senzori echivalenți cu cei utilizați pe navele cu echipaj și acurateței superioare de navigație, care asigură culegerea de date precise.

Mai mult, sunt disponibile, în prezent, mai multe sisteme de suprafață fără echipaj care pot lansa și recupera autonom sisteme subacvatice fără echipaj, permițând executarea unor misiuni diverse, precum războiul antisubmarin, contramăsuri împotriva minelor (MCM) și monitorizarea mediului. Un avantaj esențial al USV-urilor este capacitatea de a opera în ape puțin adânci și în zone restrânse, unde navele convenționale nu pot naviga, reducând astfel riscul pentru personal.

Principalele scenarii pentru folosirea vehiculelor de suprafață fără echipaj au inclus efectuarea de studii hidrografice atât în ape puțin adânci, cât și în ape adânci, evaluarea autonomiei și rezistenței sistemelor, precum și aprecierea acurateței și preciziei datelor colectate. Datele obținute din sondajele realizate au fost comparate cu datele de referință furnizate de Oficiul Hidrografic Portughez, colectate anterior exercițiului. Rezultatele au fost predominant pozitive, datorită senzorilor de ultimă generație, instalați pe platformele fără echipaj. Cu toate acestea, la unele USV-uri de dimensiuni reduse, s-au constatat erori ale datelor, în special în zonele offshore afectate de valuri și hulă, din cauza mișcării platformei. În schimb, USV-urile de dimensiuni mari au fost alocate pentru sondaje de lungă durată, cel mai lung având o durată de 72 de ore, cu monitorizarea datelor hidrografice în timp real, efectuată de la țărm.



**Fig. 2** Vehicule de suprafață utilizate în cadrul exercițiilor REPMUS

Surse: a: <https://www.maritimerobotics.com/news/maritime-robotics-showcases-sea-drone-capabilities-nato-repmus-2025>,  
b: <https://www.joint-forces.com/exercise-news/47080-repmus-21-nato-tests-unmanned-vehicles>

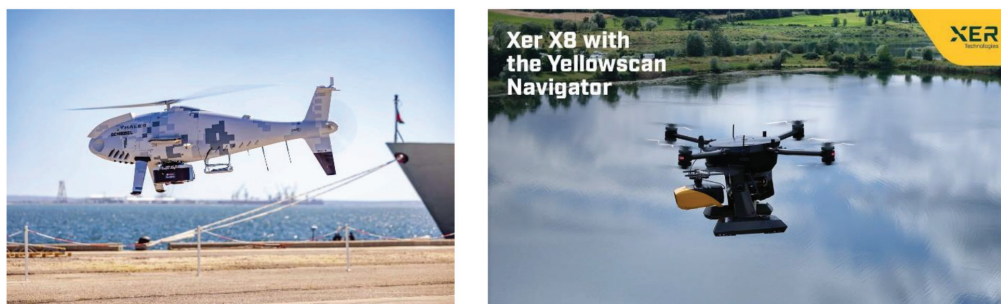
### **3.3. Sisteme autonome fără echipaj aeriene pentru monitorizare mediu**

În spațiul de luptă maritim, domeniul aerian este utilizat pentru diverse observații ale regiunilor cu apă puțin adâncă, ale zonei mareice și ale zonelor de uscat adiacente. Aceste activități sunt realizate, în principal, prin teledetecție, folosind senzori operați de vehicule aeriene fără echipaj (UAS). Aceste sisteme sunt utilizate frecvent pentru misiuni de informații, supraveghere și recunoaștere (ISR) și servesc ca relee de comunicații pentru sprijinirea funcțiilor de comandă, control și comunicații (C3). În domeniul maritim, integrarea UAS în forțele navale oferă avantaje semnificative, extinzând gama de capacități militare atât în domeniul de deasupra apei, cât și pe uscat.

**TABEL nr. 2.** USV-uri tipice pentru REA

Model	Senzori	Produce REA	Aplicații comune
USV	Sonar hidrografic	Modelul digital al fundului mării Obiecte aflate pe fund sau în coloana de apă	Monitorizare de mediu Modelare digitală a fundului mării
	Senzori oceanografici (CTD, fluorescență etc)	Viteza sunetului în apă Curenți subacvatici, informații biologice	Caracterizarea coloanei de apă Monitorizare de mediu
	Hidrofoane tractate	Hărți subacvatice de zgomot ambiental Detectii subacvatice de zgomot	Lupta antisubmarin Monitorizare mamifere Evaluarea mediului
	Sonar cu scanare laterală/apertură sintetică	Imagina fundului mării	Detectie de contacte submerse – pentru ape puțin adânci

UAS pot fi echipate cu o gamă largă de senzori. Pentru operațiunile ISR, senzorii tipici includ camere video de înaltă rezoluție și camere termice în infraroșu, însă sunt utilizați și senzori suplimentari pentru generarea de produse de informații geospațiale (GEOINT), precum imagini georeferențiate ortorectificate, modele digitale de elevație (DEM), modele batimetrice și hărți de clasificare a sedimentelor de pe fundul mării. Aceste sisteme sunt dotate cu camere fotogrammetrice, camere multispectrale și sisteme miniaturizate de detecție și măsurare a distanței cu laser (LiDAR), permițând analize complexe de mediu și geospațiale.



**Fig. 3** Sisteme autonome fără echipaj folosite în cadrul exercițiilor REPMUS

Source: a: <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/10/schiebel-camcopter-s-100-uas-demonstrates-multi-mission-capabilities-at-repmus-2024/>,  
 b: <https://www.joint-forces.com/exercise-news/47080-repmus-21-nato-tests-unmanned-vehicles>

Sistemele aeriene fără echipaj (UAS) împărtășesc mai multe limitări cu aeronavele cu echipaj, inclusiv dependența de legăturile de comunicații și date și susceptibilitatea la condiții atmosferice nefavorabile, precum vânt, turbulențe și formarea gheții.

Factori suplimentari, precum ceața, fumul, precipitațiile abundente, plafonul jos de nori, inversiunea termică, căldura extremă, altitudinea mare, umiditatea ridicată și starea mării, pot afecta, de asemenea, diverse componente ale UAS.

Toate componentele UAS sunt, într-o anumită măsură, influențate de condițiile

meteorologice și oceanografice (METOC). Aeronava în sine, împreună cu încărcătura utilă/senzorii și legătura de date sunt deosebit de vulnerabile, în timp ce alte sisteme pot fi, de regulă, protejate la sol sau la bordul navelor.

În cadrul seriei de exerciții REPMUS, mai multe UAS au fost evaluate pentru a determina performanța operațională, integrarea cu navele și unitățile navale, timpul necesar pentru procesarea datelor și gradul de îmbunătățire de la un an la altul. Sistemele au fost evaluate atât în cadrul studiilor batimetrice, cât și topografice. Pentru evaluările batimetrice, vehiculele aeriene fără pilot, echipate cu senzori LiDAR avansați au fost testate în diferite scenarii, pe baza mai multor parametri, inclusiv adâncimea de penetrare, acuratețea și precizia datelor, în comparație cu studiile tradiționale, realizate cu sonar tip multibeam. Rezultatele au fost comparabile, cu avantajul notabil că studiul realizat cu UAS a necesitat mai puțin de jumătate din timpul unui studiu convențional cu sonar multibeam. Totuși, unii senzori LiDAR experimentali au prezentat erori, care au fost, ulterior, corectate în etapa de postprocesare.

De exemplu, în apele cu transparență ridicată, precum cele ale Oceanului Atlantic, un sistem lidar topo-batimetric poate atinge adâncimi de penetrare de până la 30 de metri ([Constantinoiu și alții 2024, 12-15](#)), în timp ce, în Marea Neagră, același senzor este limitat, de obicei, la aproximativ 7–8 metri.

**TABEL nr. 3.** Sisteme aeriene fără echipaj tipice pentru evaluarea mediului

Model	Senzori	Produse REA	Aplicații comune
UAS	Cameră topografică	Modele digitale de teren și de suprafață	Supravegherea mediului înconjurător Cercetare topografică
	LiDAR	Modelul digital al fundului mării	Cercetare topografică și hidrografică
	Cameră optică și cu infraroșu	Imagini optice și cu infraroșu	Supraveghere Identificare contacte
	Cameră hiperspectrală	Modele digitale de teren Rugozitatea terenului	Supraveghere mediu terestru

#### 4. Informații de mediu pentru operații navale

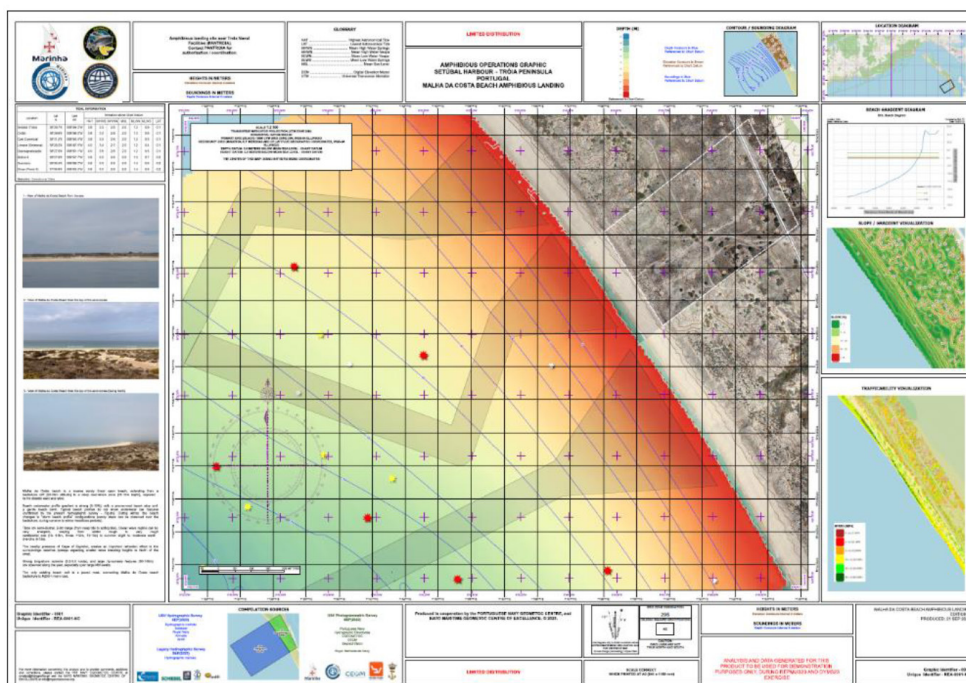
O gamă substanțială de produse de mediu poate fi generată prin utilizarea sistemelor maritime fără echipaj. În domeniul subacvatic, informațiile oceanografice sunt esențiale pentru comunitatea antisubmarin, deoarece permit determinarea condițiilor de propagare a sonarului și facilitează monitorizarea infrastructurii subacvatice critice.

În ceea ce privește domeniul de suprafață, hărțile batimetrice reprezintă principalul rezultat al USV-urilor, în timp ce în domeniul aerian, caracterizarea topografică a terenului are o importanță strategică.

Prin utilizarea sistemelor aeriene fără pilot, informațiile hidrografice și topografice pot fi colectate mult mai rapid decât prin metode tradiționale, menținând aceeași calitate a datelor și în medii nepermisive.

O provocare semnificativă în ultimii cinci ani a fost realizarea interoperabilității dintre sisteme, în special în ceea ce privește integrarea acestora în sistemele navale de Comandă și Control (C2) și diversitatea formatelor de date generate. Au fost înregistrate progrese importante în integrarea acestor sisteme la bordul navelor militare și în familiarizarea personalului militar cu utilizarea lor operațională. În ceea ce privește interoperabilitatea datelor, Centrul de Excelență NATO Geometoc a avut un rol esențial în promovarea adoptării formatelor standardizate pentru informațiile GEOMETOC — precum formatul netCDF, care este utilizat, în prezent, în cadrul NATO pentru schimbul de date de mediu.

Valoarea reală apare atunci când un produs, precum Graficul pentru Operațiuni Amfibii (AOG), integrează date provenite din toate categoriile de sisteme maritime fără echipaj – subacvatice, de suprafață și aeriene –, rezultând o resursă cuprinzătoare de informații de mediu. Acest produs complet este utilizat de Comandantul Operațiunii Amfibii pentru planificarea exercițiului de debarcare, oferind informații precise referitoare la terenul plajei, adâncimile apei, obstacol și condiții oceanografice.



**Fig. 4** AOG din cadrul exercițiului REPMUS23  
*Sursa:* NATO Maritime GEOMETOC Centre of Excellence)

## Concluzii

Pe măsură ce o operație navală se apropie de litoral, topografia fundului marin, apele puțin adânci, valurile și curenții devin elemente critice pentru susținerea deciziilor comandantului. Sistemele maritime fără echipaj sunt deosebit de valoroase pentru a fi utilizate în aceste zone, permițând cercetarea de la distanță a batimetriei litoralului și a curenților oceanici. Balizele de măsurare a valurilor și drifterele pot completa evaluarea mediului pentru a sprijini operațiunile amfibii și misiunile de contramăsuri împotriva minelor.

Tehnologiile emergente ne oferă oportunitatea de a răspunde provocărilor generate de noile metode de obținere a informațiilor de înaltă rezoluție. Totuși, nu putem trece cu vederea sau ignora limitările acestor sisteme și incertitudinile inerente din datele noastre de cercetare. Aceste tehnici ne permit să estimăm și să exploatăm incertitudinea datelor, generând noi produse și servicii GEOMETOC, îndeplinind, totodată, misiuni critice de menținere a siguranței navigației.

La utilizarea senzorilor bazați pe principiile transmiterii acustice (cercetare cu sonda unifascicol și multifascicol, sonare cu scanare laterală și sonare cu apertură sintetică), este esențial să se determine adâncimea aproximativă a zonei și să se definească clar obiectivele sondajului — fie că este vorba despre o evaluare pe suprafață extinsă sau o examinare detaliată a unei locații specifice. Aceste informații sunt critice pentru selectarea frecvențelor adecvate și configurarea optimă a altitudinii și adâncimii vehiculului, pentru a asigura rezultate de cea mai înaltă calitate.

Sistemele de sondaj de suprafață sunt utilizate frecvent în medii restrânse, precum porturi și zone de coastă, datorită pescajului redus și eficienței superioare, comparativ cu platformele cu echipaj. Totuși, acestea sunt susceptibile la condiții meteorologice nefavorabile și la provocări de comunicare.

Pentru a sprijini planificarea proiecției forței, de la mare la uscat, forțele navale pot utiliza UAS pentru a extinde aria de observare a mediului în zonele cu apă foarte puțin adâncă și pe țarm.

În cazul vehiculelor aeriene, selecția senzorilor este determinată de capacitățile platformei — cum ar fi capacitatea de transport, autonomia și nivelul de autonomie —, precum și de experiența pilotului și de specificul planului de zbor.

Este esențial ca, pe parcursul fiecărei operațiuni de evaluare a mediului, comandantul să se bazeze pe specialiști tehnici pentru a primi recomandări privind senzorii și platformele adecvate, astfel încât să fie îndeplinite obiectivele sondajului.

Utilizarea sistemelor fără echipaj în operațiunile navale nu mai reprezintă un concept al viitorului. Este imperativ să se dezvolte competențe în utilizarea eficientă a acestor sisteme, pentru a completa metodele tradiționale de monitorizare a mediului. O înțelegere aprofundată atât a avantajelor, cât și a limitărilor acestei tehnologii emergente este esențială, la fel ca și aplicarea sa în scenarii diverse, pentru

a reduce riscurile umane și a realiza evaluări rapide ale mediului. Conflictele recente, precum războiul din Ucraina, au demonstrat că aceste sisteme pot exercita un impact semnificativ asupra adversarilor și pot permite forțelor armate mai mici să contracareze puteri globale. Privind spre viitor, este crucială integrarea capacităților avansate de inteligență artificială în sistemele fără echipaj, pentru a facilita produse operaționale de mediu în timp real. Cu toate acestea, rămâne vitală păstrarea elementului uman, asigurându-se că deciziile finale privind evaluarea produselor și cursurile de acțiune aparțin operatorilor umani.

## Referințe

- Constantinoiu, Florin, Antonio Tavares, Rui Miguel Candido și Eugen Rusu.** 2024. "Innovative Maritime Uncrewed Systems and Satellite Solutions for Shallow Water Bathymetric Assessment." *Inventions, MDPI*, pag. 7-8. <https://doi.org/10.3390/inventions9010020>.
- Constantinoiu, Florin, Luis Quaresma și Eugen Rusu.** 2022. "Oceanographic environmental assessment using underwater gliders." *Journal of Marine Technology and Environment*, 12-15. <https://doi.org/10.53464/JMTE.02.2022.02>.
- Frey, Torsten, Daniel Wehner și Mareike Keller.** 2021. "Data quality factors for Marine UXO surveys." *Hydro International*, 14-17. <https://www.hydro-international.com/content/article/data-quality-factors-for-marine-uxo-surveys>.
- Joint Staff.** 2024. "Meteorological and Oceanographic Support." Washington, DC: Joint Staff, 4-6. <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Library/Instructions/CJCSI%203810.01G%20CH%201.pdf?utm>.
- Leder, N. și T. Duplančić Leder.** 2018. "Unmanned vehicle systems in hydrographic survey - new opportunities and challenges." *18th International Conference on Transport Science "Maritime, Transport and Logistics Science": Conference Proceedings*. Portoroz, Slovenia, 184-186.
- Marine, Teledyne.** 2025. "Slocum G3 Glider". <https://www.teledynemarine.com/en-us/products/SiteAssets/Webb%20Research/SlocumG3S%20Brochure%202025%20-%20digital.pdf>.
- Miller, Alexander, Boris Miller și Gregory Miller.** 2021. "Navigation of Underwater Drones and Integration of Acoustic Sensing with Onboard Inertial Navigation System." *Drones, MDPI*, pag. 2-3. <https://doi.org/10.3390/drones5030083>.
- NATO.** 2018. *MC Policy on Meteorological and Oceanographic Support to Allied Forces (MC 0594/2)*.
- Palomer, Albert, Pere Ridao și David Ribas.** 2019. "Inspection of an underwater structure using point-cloud SLAM with an AUV and a laser scanner." *Journal of Field Robotics* 36(8): 1333-1344. <https://doi.org/10.1002/rob.21907>.
- Slingsby, James, Beth Scott, Louise Kregting, Jason McIlvenny, Jared Wilson și Benjamin Williamson.** 2023. "A review of unmanned aerial vehicles usage as an environmental survey tool within tidal stream environments." *Journal of Marine Science and Engineering*, 3-4. <https://doi.org/10.3390/jmse11122298>.

- Tănase (Măxineanu), Lavinia Elena și Lucian Valeriu Scipanov.** 2025. „Supravegherea navală a infrastructurii critice maritime.” *Gândirea militară românească* 2: 36–39. DOI: [10.55535/GMR.2025.2.02](https://doi.org/10.55535/GMR.2025.2.02).
- Tena, Ioseba.** 2013. ”A View of the Autonomous Underwater Vehicle Market.” <https://www.hydro-international.com/content/article/autonomous-underwater-vehicles>.
- Yang, Hongbo, Xu Zhizun și Baozhu Jia.** 2022. ”An Underwater Position-ing System for UUVs Based on LiDAR Camera and Inertial Measurement Unit.” *Sensors*, 2-4. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/14/5418>.
- Zaghi, Stefano, Giulio Dubbioso, Riccardo Broglia și Roberto Muscari.** 2016. ”Hydrodynamic characterization of USV vessels with innovative SWATH configuration for coastal monitoring and low environmental impact.” *Transportation Research Procedia*, 1563-1564. <https://trimis.ec.europa.eu/system/files/project/documents/Hydrodynamic%20characterization%20of%20USV%20vessels%20with%20innovative%20SWATH%20configuration%20for%20coastal%20monitoring%20and%20low%20environmental%20impact.pdf>.
- Zakiev, Erlan și Serikhan Kozhakhmetov.** 2020. ”Application of Geoinformation Technology in the Armed Forces in the Republic of Kazakhstan.” *Military Technical Courier*, 613.

#### MULȚUMIRI

Ne exprimăm recunoștința față de Centrul de Excelență NATO MGEOMETOC pentru informațiile furnizate.

#### INFORMAȚII PRIVIND FINANȚAREA

N/A

#### DECLARAȚIE PRIVIND CONFLICTUL DE INTERESE

Autorii declară că nu există potențiale conflicte de interese în ceea ce privește cercetarea, autoratul și/sau publicarea acestui articol.

#### DECLARAȚIE PRIVIND DISPONIBILITATEA DATELOR

Datele care susțin concluziile acestui studiu sunt disponibile în mod deschis pe Internet.

#### DECLARAȚIE PRIVIND UTILIZAREA INTELIGENȚEI ARTIFICIALE (dacă este cazul)

Autorul confirmă că instrumentele de inteligență artificială, inclusiv modelele lingvistice, precum Copilot, au fost utilizate exclusiv pentru îmbunătățirea procesului de redactare, de creștere a lizibilității și de asistare în corectarea gramaticală și formatării. Toate conținuturile intelectuale, analizele și argumentele critice reprezintă rezultatul muncii originale a autorului. Instrumentele de inteligență artificială nu au fost folosite pentru a genera rezultate de cercetare sau pentru a substitui activitatea științifică independentă.