

Denumirea Programului Nucleu: Cercetări multidisciplinare în domeniul agriculturii digitale pentru competitivitate economică și dezvoltare durabilă, în contextul schimbărilor climatice SUSTAIN – DIGI -AGRI

Denumirea obiectivului O1: Cercetarea științifică și digitalizarea proceselor din agricultură și industrie alimentară, dezvoltarea de noi tehnologii, instrumente și echipamente tehnice pentru producția de bioresurse compatibile și competitive cu aria europeană de cercetare specifică conceptelor de AGRICULTURĂ 4.0

Domeniul și subdomeniile de specializare inteligentă/politici publice cărora li se adresează propunerea de proiect: domeniu bioeconomie (subdomeniu - Adaptarea sectorului de zootehnie, medicină veterinară, pescuit, acvacultură și sericicultură, la provocările secolului XXI)

Denumire proiect:

**PN 23 04 01 03 SISTEM INTELIGENT (ROBOT) SUBACVATIC PENTRU PROTECȚIA
VIEȚII, SĂNĂTĂȚII ȘI A MEDIULUI DE DEZVOLTARE**

Contract: 9N/01.01.2023

Perioada de derulare: 2023-2026

Responsabil proiect: dr. ing. CUJBESCU Dan

Telefon/e-mail: 0212693269; 0740272076 / dcujbescu@yahoo.com

Rezultate estimate:

Obiective măsurabile	Indicatori	An	Buc
Studiu tehnologic privind sistemele existente de inspecție subacvatică conform conceptului de Acvacultură 4.0	Studiu tehnologic	2023	1
Studiu tehnologic privind echipamentele/metodele existente privind determinarea calității apei	Studiu tehnologic	2023	1
Documentație de execuție model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole	Plan tehnic	2024	1
Realizare model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic	Model funcțional	2025	1
Experimentarea model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator	Raport experimentare	2025	1
Experimentarea model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacole	Raport experimentare	2025	1
Validarea experimentală a modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic definitivat constructiv în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacole	Raport experimentare	2026	1

Demonstrarea privind utilitatea și funcționalitatea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic	Raport de demonstrare	2026	1
Ghid de bune practici	Ghid	2026	1
Diseminarea pe scară largă a rezultatelor	Articole indexate ISI	2023-2026	4
	Articole BDI	2023-2026	16
	Cerere de brevet	2024	1
	Pliant	2026	1
	Postere	2026	2
	Fișă tehnică	2026	1
	Pagină web	2023	1

Obiectivul principal al proiectului este reprezentat de crearea unui model funcțional de sistem inteligent subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole, în vederea analizei și monitorizării factorilor de influență ai sănătății materialului piscicol: temperatură, pH, gaze dizolvate (cum ar fi oxigenul, dioxidul de carbon, azotul, etc. esențiale pentru sănătatea și bunăstarea peștilor), monitorizarea furajelor dintr-un bazin piscicol.

Fazele de derulare ale proiectului:

Faza 1 / 2023: Documentare privind utilizarea echipamentelor inteligente și fără pilot în acvacultură. Documentație de execuție model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole - parțial

Obiectivul fazei 1 a constat în realizarea a două studii tehnologice privind sistemele existente de inspecție subacvatică conform conceptului de Acvacultură 4.0 și echipamentele / metodele existente privind determinarea calității apei.

Acvacultura este ramura agriculturii ce are ca scop creșterea de animale și plante acvatice în vederea comercializării, având în vedere toate formele de creștere sau cultivare de organisme acvatice, utilizând tehnici destinate creșterii producției organismelor în cauză dincolo de capacitatea naturală a mediului, organismele acvatice respective rămânând proprietatea persoanei fizice sau juridice pe întreaga perioadă a creșterii și cultivării acestora, până la data încheierii recoltării [1, 2].

Deși acvacultura are numeroase beneficii, producția și consumul de produse de acvacultură în Uniunea Europeană (UE) nu au crescut în același ritm ca în alte părți ale lumii. În prezent, doar 25% din consumul total de pește și de fructe de mare al unui cetățean mediu din UE provine din acvacultură. În plus, producția de acvacultură din UE acoperă doar 10% din consumul de pește și de fructe de mare din UE și reprezintă mai puțin de 2% din producția mondială. De asemenea, aproximativ 70% din producția de acvacultură din UE este concentrată în patru state membre, iar crustaceele și moluștele reprezintă mai mult de jumătate din volumul total, pe când peștii marini și cei de apă dulce reprezintă fiecare aproximativ 20% din volumul total. În UE, cele mai cultivate specii sunt midii, păstrăv, doradă, stridii, biban-de-mare, crap și scoici [3].

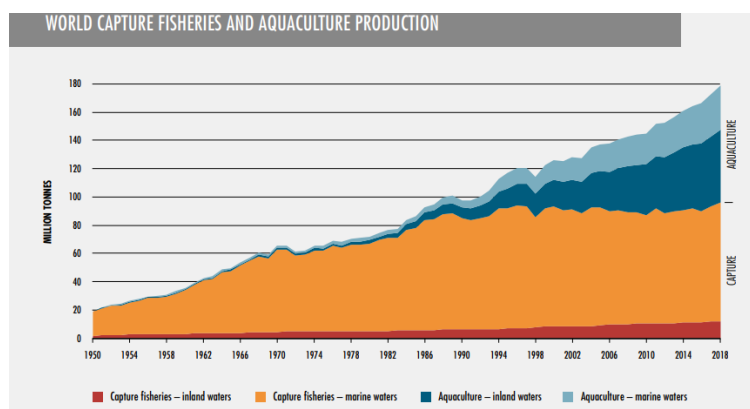


Fig.1. Producția globală de pește 1950-2018. Sursa: FAO, [4]

Planul Strategic Național Multianual pentru Acvacultură pentru perioada 2022 - 2030 reprezintă un document strategic ce stabilește direcțiile de acțiune pentru dezvoltarea pe termen mediu a sectorului de acvacultură. Acest plan are la baza strategia sectorului din perioada 2014 - 2020, actualizată și propune un set de obiective, direcții și acțiuni, în contextul trasat de starea actuală a sectorului.

Cadrul legislativ pe care se sprijină sectorul de acvacultură este reprezentat atât de legislația europeană, cât și de legislația națională:

- REGULAMENTUL (UE) NR. 1380/2013 AL PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI AL CONSILIULUI din 11 decembrie 2013 privind politica comună în domeniul pescuitului, de modificare a Regulamentelor (CE) nr. 1954/2003 și (CE) nr. 1224/2009 ale Consiliului și de abrogare a Regulamentelor (CE) nr. 2371/2002 și (CE) nr. 639/2004 ale Consiliului și a Deciziei 2004/585/CE a Consiliului.

- REGULAMENTUL (UE) NR. 508/2014 AL PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI AL CONSILIULUI din 15 mai 2014 privind Fondul european pentru pescuit și afaceri maritime și de abrogare a Regulamentelor (CE) nr. 2328/2003, (CE) nr. 861/2006, (CE) nr. 1198/2006 și (CE) nr. 791/2007 ale Consiliului și a Regulamentului (UE) nr. 1255/2011 al Parlamentului European și al Consiliului PARLAMENTUL EUROPEAN ȘI CONSILIUL UNIUNII EUROPENE.

- REGULAMENTUL (UE) 2021/1139 AL PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI AL CONSILIULUI din 7 iulie 2021 de instituire a Fondului european pentru afaceri maritime, pescuit și acvacultura și de modificare a Regulamentului (UE) 2017/1004.

- REGULAMENTUL (UE) 2018/848 AL PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI AL CONSILIULUI din 30 mai 2018 privind producția ecologică și etichetarea produselor ecologice și de abrogare a Regulamentului (CE) nr. 834/2007 al Consiliului.

- REGULAMENTUL (UE) 2020/1693 AL PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI AL CONSILIULUI din 11 noiembrie 2020 de modificare a Regulamentului (UE) 2018/848 privind producția ecologică și etichetarea produselor ecologice în ceea ce privește data de aplicare a acestuia în anumite alte date menționate în regulamentul respectiv.

- REGULAMENTUL (CE) NR. 708/2007 AL CONSILIULUI din 11 iunie 2007 privind utilizarea în acvacultură a speciilor exotice și a speciilor absente la nivel local.

- REGULAMENTUL (UE) NR. 717/2014 AL COMISIEI din 27 iunie 2014 privind aplicarea articolelor 107 și 108 din Tratatul privind funcționarea Uniunii Europene, a ajutoarelor de minimis în sectorul pescuitului și acvaculturii.

- OUG nr. 23/2008 privind pescuitul și acvacultura, aprobată cu modificări și completări de Legea nr. 317/2009, cu modificările și completările ulterioare.

➤ LEGE nr. 336 din 21 decembrie 2018 privind aprobarea Programului pentru stimularea angajării tinerilor în sectoarele agriculturii, acvaculturii și industria alimentară.

➤ ORDIN nr. 332 din 24 mai 2008 privind înscrierea unităților de producție din acvacultură în Registrul unităților de acvacultură și eliberarea licenței de acvacultură.

Comisia Europeană a introdus termenul "Acvacultura 4.0" în apelul său de acțiune pentru inovație Horizon 2020 din octombrie 2017. În acest apel, accentul a fost pus pe aplicarea tehnologiilor Industriei 4.0, cum ar fi Internetul Obiectelor (IoT) și inteligența artificială (AI), în aspecte legate de dezvoltarea programelor durabile de reproducere inteligentă și a metodelor de hrănire pentru acvacultură. Conceptul de "Acvacultura 4.0" poate fi extins și la strategiile de gestionare a pescuitului care includ colectarea și schimbul de date între nodurile conectate și procesele de calcul în timp real în cloud [5,6].

Dezvoltarea rapidă a tehnologiilor inteligente și fără pilot a fost aplicată în diverse domenii, inclusiv acvacultură. Tehnologiile inteligente și fără pilot creează noi oportunități și provocări pentru producția bioresurselor acvacole.

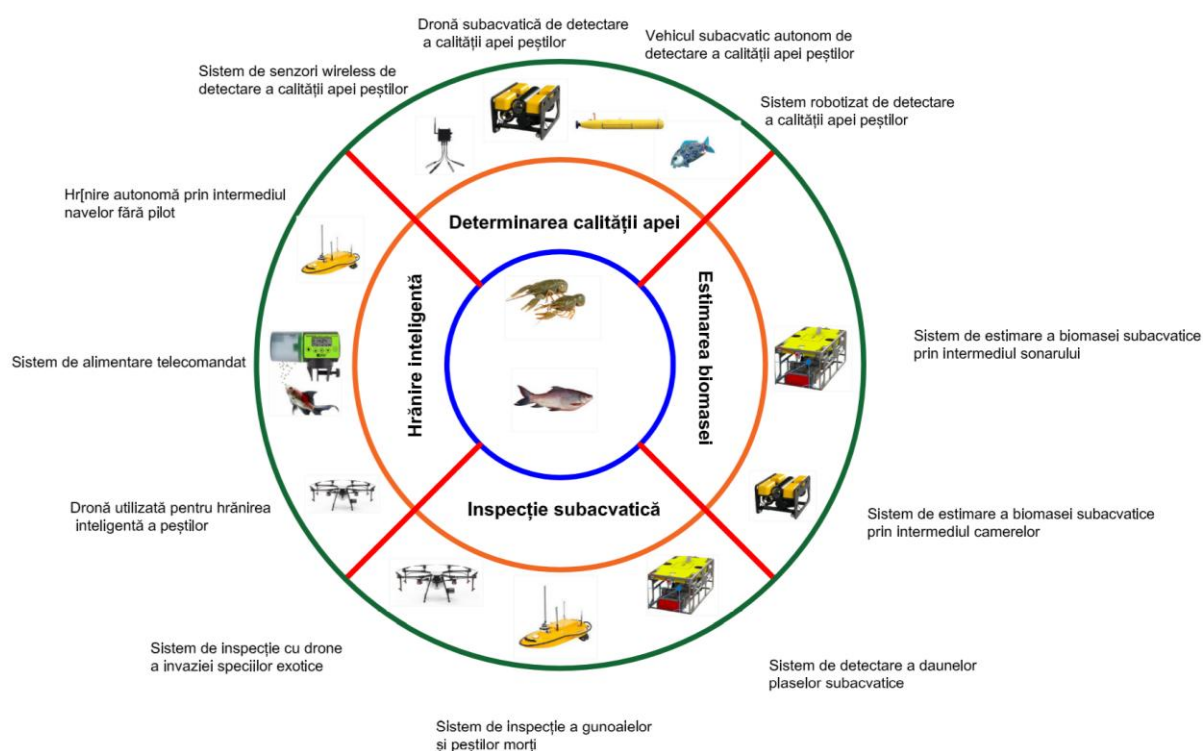


Fig.2. Principiul utilizării echipamentelor inteligente și fără pilot în acvacultura de precizie

În acvacultură, echipamentele inteligente fără pilot sunt utilizate pentru a îmbunătăți eficiența și siguranța operațiunilor, pentru a reduce costurile și pentru a minimiza impactul asupra mediului. Acestea pot fi clasificate în funcție de funcțiile lor specifice, astfel:

- *Roboți de inspecție subacvatică*
- *Vehicule subacvatice autonome (AUV)*
- *Roboți de hrănire automată*
- *Sisteme de monitorizare a calității apei*
- *Sisteme de control al mediului*
- *Vehiculele subacvatice (UV - underwater vehicle)*

În prezent, două tipuri principale de vehicule robotice, vehiculele operate la distanță (ROV - remotely operated vehicles) și vehiculele subacvatice autonome (AUV - autonomous underwater vehicles), sunt utilizate pentru a înlocui oamenii în timpul activităților subacvatice adânci pentru scopuri comerciale, militare și științifice [7-10].

Cercetările experimentale subacvatice desfășurate în mediul marin depind de utilizarea vehiculelor subacvatice cu operator (MUV) pentru deplasarea oamenilor de știință în vederea efectuării de observații directe, analize și evaluări ale fundului oceanului pentru realizarea cercetărilor experimentale. Capacitatea de observare și măsurare în situ, precum și luarea deciziilor de către operatorul uman de la bord fac din vehiculul subacvatic cu echipaj (MUV) una dintre cele mai eficiente platforme pentru observarea și prelevarea de probe din adâncurile mării [11-13].

Utilizarea vehiculelor subacvatice cu operator uman la bord (MUV - manned underwater vehicles) implică riscul vieții umane, ceea ce impune utilizarea vehiculelor subacvatice autonome (AUV-uri) și vehiculele subacvatice operate de la distanță (ROV-uri) pentru explorarea mediilor subacvatice extreme, în vederea evitării expunerii la riscuri a operatorilor umani.

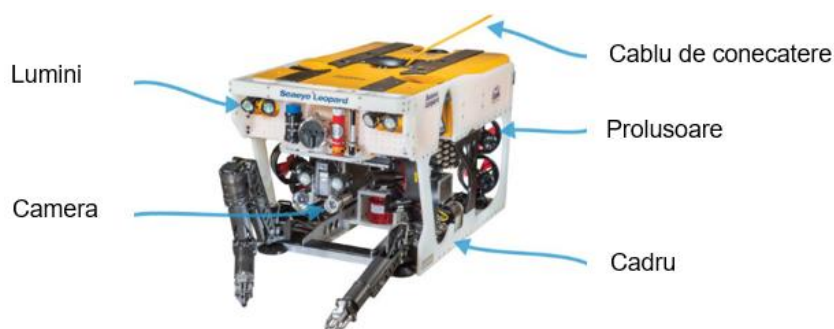


Fig.3. Componentele unui sistem ROV, [14]

Caracteristicile ideale ale unui sistem ROV sunt [15]:

- diametru minim al cablului (de exemplu, un singur fir de fibră optică neizolată)
- sistemul să fie alimentat de la suprafață, având o durată nelimitată de funcționare (spre deosebire de funcționarea pe baterie cu o putere limitată disponibilă)
- foarte mic ca dimensiune (pentru a putea lucra în și în jurul structurilor)
- să aibă un canal extrem de rapid de transmitere a datelor pentru fluxul de senzori.

AUV-urile (vehicule subacvatice autonome) vin într-o varietate de forme și dimensiuni, cu diferite opțiuni pentru mijloacele de propulsie, în funcție de misiunile orientate către aplicații specifice pentru care sunt necesare. Deși unele AUV-uri au o configurație complexă, majoritatea au forma unui torpile [16].

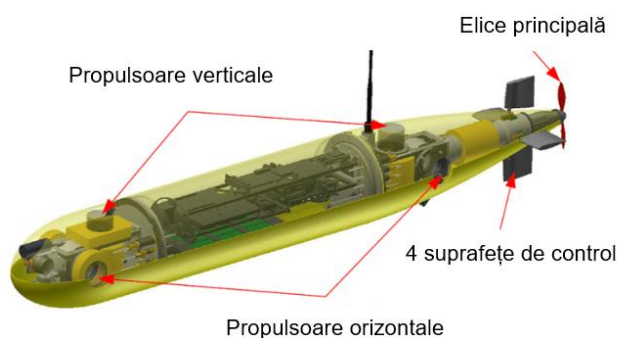


Fig.4. Delphin2 AUV, [17]

Odată cu extinderea continuă a acvaculturii, metodele contemporane de acvacultură au fost obligate să supraproducă, ceea ce a dus la accelerarea dezechilibrului mediului acvatic, apariția frecventă a bolilor la pești și scăderea calității produselor acvatice. Mai mult, din cauza faptului că profilul de vârstă medie al lucrătorilor agricoli în multe părți ale lumii este unul înaintat, producția piscicolă se va confrunta cu problema lipsei de forță de muncă, iar metodele de acvacultură au nevoie urgentă de schimbare. Tehnologia informației moderne a pătruns treptat în diverse domenii ale agriculturii, iar conceptul de fermă inteligentă pentru pești a început să prindă contur. Fermă inteligentă pentru pești încearcă să abordeze metode precise de creștere a oxigenului, optimizarea hrănirii, reducerea incidențelor de boli și recoltarea precisă prin ideea de "înlocuire a omului cu mașina", astfel încât să elibereze complet forța de muncă și să realizeze o acvacultură verde și durabilă [18].

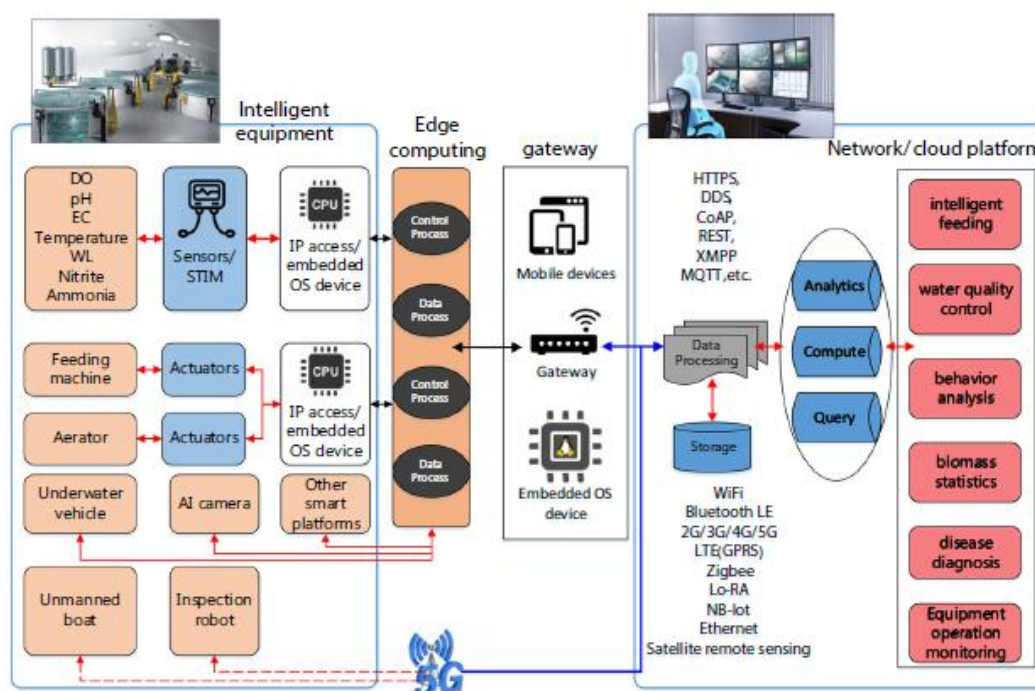


Fig.5. Concept de ecosistem IoT într-o fermă piscicolă inteligentă, [18]

În prezent, metodele de distribuție a hranei în acvacultură se bazează în principal pe condițiile de creștere ale peștilor, neexistând o distribuție precisă a hranei, ceea ce facilitează subalimentarea peștilor, risipa de hrană (se estimează că printre diferitele costuri ale acvaculturii, costul hranei peștilor reprezintă până la 80% din costul total), precum și poluarea apei. Mașinile existente de distribuție a hranei nu dispun de un mecanism de feedback pentru situația hrănirii peștilor. Transmiterea rezultatelor evaluării efectului hrănirii cu momeli către un sistem de control va ajuta la ajustarea cantității de hrană în timp real, cerințele de hrană fiind determinate de raportul dintre masa corpului sau lungimea corpului peștilor [18].

Sistemele de hrănire automată au fost larg utilizate în acvacultura industrială cu recirculare, inclusiv sistemele de hrănire automată cu control centralizat, precum și sistemele robotice de hrănire automată. Sistemele de hrănire automată în unele țări dezvoltate precum Norvegia, Japonia și Statele Unite a intrat în stadiul de aplicare, obținându-se rezultate semnificative [19].

Acvacultura constă într-un ansamblu de activități, cunoștințe și tehnici pentru creșterea plantelor și a unor specii de animale acvatice. Monitorizarea continuă a parametrilor fizici,

chimici și biologici ai apei din iazuri nu numai că ajută la prognozarea și controlul condițiilor negative din acvacultură, dar și la prevenirea deteriorării mediului și colapsului procesului de producție. Monitorizarea variabilelor fizice și chimice cum ar fi oxigenul, temperatura și pH-ul în apă este vitală pentru menținerea condițiilor adecvate și evitarea situațiilor nedorite care ar putea duce la funcționarea necorespunzătoare a sistemelor de acvacultură.

Datorită dezvoltării și îmbunătățirii electronicii, microelectronicii, sistemelor digitale, microcontrolerelor, telecomunicațiilor și tehnologiilor informației, se poate observa dezvoltarea rapidă a sistemelor de informații și a aplicațiilor mobile pentru controlul și supervizarea sistemelor din acvacultură (Acvacultură 4.0). În această eră a tehnologiei mobile și a interconectivității dispozitivelor, se dezvoltă conceptul de Internet of Things (IoT), care constă în interconectarea și comunicarea cu obiecte. Acest lucru furnizează un serviciu inteligent, prin combinarea internetului cu o rețea de senzori. Pe scurt, este o cercetare interdisciplinară care implică nu doar oameni, ci și obiecte conectate [20-24].

Temperatura, transparența, turbiditatea, culoarea apei, dioxidul de carbon, pH-ul, alcalinitatea, duritatea, amoniacul, nitritul, productivitatea primară, cererea biochimică de oxigen (BOD), populația de plancton și productivitatea primară, etc. toate joacă un rol în producția de pește. Nu pot fi subestimate atunci când vine vorba de menținerea unui mediu acvatic sănătos și producția de organisme adecvate hrănirii peștelui în iazuri pentru îmbunătățirea producției de pește. Prin urmare acești factori de mediu trebuie controlați și reglementați corespunzător în favoarea supraviețuirii și creșterii peștelui la potențialul lor maxim [25].

Gradul de căldură sau frig în corpul organismului acvatic, fie în apă, fie pe uscat, este cunoscut sub denumirea de temperatură. Deși peștii sunt animale cu sânge rece, temperatura corpului lor fluctuează în funcție de mediul înconjurător, influențând metabolismul și fiziologia și afectând productivitatea peștelui.

Turbiditatea reprezintă capacitatea apei de a transmite lumina într-un mod care inhibă penetrarea luminii și limitează fotosinteza și este rezultatul mai multor factori, inclusiv particulele de argilă suspendate, distribuția organismelor de plancton, materia organică particulată și pigmentii generați de descompunerea materiei organice [25].

Culoarea apei este vizibilă cu ochiul liber, iar culoarea unui obiect este determinată de lungimile de undă ale luminii vizibile pe care le reflectă. Cauzele schimbărilor de culoare ale apei includ prezența de plancton, densitatea mare a peștilor, minerale, fertilizatori organici și anorganici, înfloriri alge etc [25].

Aerul atmosferic și planctonul fotosintetic reprezintă surse importante de oxigen în apă. Pierderea de oxigen în apă duce la hrănirea redusă și inaniția peștilor, scăderea creșterii și creșterea mortalității acestora, fie direct, fie indirect. Creșterea, supraviețuirea, distribuția, comportamentul și fiziologia peștilor, creveților și altor specii acvatice sunt toate afectate de nivelul de oxigen dizolvat [25-27].

Cantitatea totală de oxigen dizolvat utilizată de microorganisme în timpul biodegradării materiilor organice, cum ar fi particulele alimentare sau apele uzate, este măsurată prin BOD [25].

Principala sursă a căii de carbon în natură este dioxidul de carbon liber, un gaz foarte solubil în apă, produs de activitățile respiratorii ale animalelor, care poate exista în apă sub formă de bicarbonat sau carbonați în formă dizolvată sau legată în crusta terestră, calcar și recife de corali. Când acidul carbonic este dizolvat în apă se produce reducerea pH-ului oricărui sistem, în special cel cu capacitate redusă de tamponare, iar această scădere a pH-ului poate fi dăunătoare speciilor acvatice [25].

Logaritmul negativ al concentrației de ioni de hidrogen este utilizat pentru a estima pH-ul. Cantitatea de dioxid de carbon, un gaz acid, are un impact semnificativ asupra pH-ului cursurilor de apă naturale. pH-ul sanguin obișnuit al peștilor este de 7,4, cu toate că o variație minoră în acest interval, uneori cuprinsă între 7,0 și 8,5, este mai ideală și favorabilă pentru dezvoltarea creșterii și activităților reproductive ale peștilor. Peștii pot resimți stresul în apă cu un pH cuprins între 4,0 și 6,5 și între 9,0 și 11,0, iar probabilitatea de deces a peștilor este aproape sigură la un pH mai mic de 4,0 sau chiar mai mare de 11,0 [25, 28].

Capacitatea apei de a absorbi schimbări de pH este cunoscută sub numele de alcalinitate și reprezintă o măsură a concentrației totale a bazelor în apa iazului, incluzând carbonații, bicarbonații, hidroxizii, fosfații și alte substanțe chimice în apă. Dacă alcalinitatea este insuficientă, totuși, înseamnă că o cantitate mică de acid poate produce o schimbare semnificativă în pH-ul nostru [25, 29, 30].

Duritatea se referă la cantitatea de elemente alcalino-pămâtoase precum calciul și magneziul, precum și la mulți alți ioni, inclusiv aluminiu, fier, mangan, stronțiu, zinc și ioni de hidrogen, într-un corp acvatic [25].

Conductivitatea este o măsură a conținutului total de ioni din apă. Producția primară (bogăție chimică) și, prin urmare, producția de pește pot fi măsurate utilizând conductivitatea. Conductivitatea apei depinde de concentrațiile ionilor (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , și PO_4^{3-}), temperatură și fluctuațiile substanțelor dizolvate [25, 31, 32].

Metodele tradiționale de monitorizare a calității apei, presupun colectarea de mostre de apă, ce sunt transportate la un laborator chimic pentru a analiza substanțele periculoase. Pe de altă parte, întreținerea procesului de măsurare și control este manuală și influențată de experiența persoanei care realizează analizele.

Implementarea colectării de date în timp real într-un mod sigur, robust, ușor de gestionat și cu costuri reduse, fără conexiuni prin cablu pe distanțe lungi, rămâne o problemă în dezvoltarea monitorizării informațiilor în acvacultură. Tehnologia modernă de detectare și control al mediului în acvacultură atinge niveluri ridicate de calitate și randament, îmbunătățind condițiile de mediu de bază și reprezentând una dintre principalele modalități de promovare a producției de pește prin aplicarea integrată a bioingineriei și tehnologiei computerizate [34-36].

Rețeaua de senzori fără fir (WSN) reprezintă o tehnologie nouă și importantă, cu un potențial mare de îmbunătățire a aplicațiilor curente în acvacultura intensivă. În contrast cu senzorii cu fir, obstacolul a constat în dezvoltarea unui hardware capabil să transmită date în condiții dificile și în dezvoltarea surselor de energie cu cost redus și pe termen lung pentru nodurile senzorilor. Costul relativ scăzut al dispozitivelor permite instalarea nodurilor care pot reprezenta în mod corespunzător variabilitatea prezentă în mediu [37, 38].

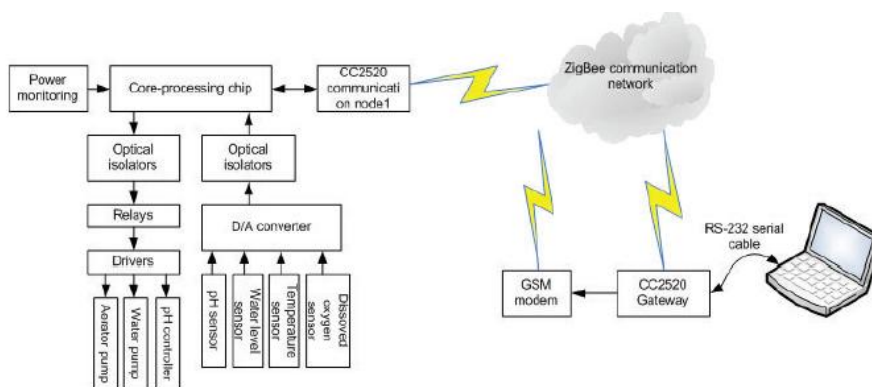


Fig.6. Exemplu de rețea de senzori fără fir (WSN), [34]

Estimarea biomasei piscicole reprezintă o practică esențială în domeniul acvaculturii de precizie, obținerea regulată a informațiilor referitoare la biomasa piscicolă a fost identificată ca o necesitate urgentă, având în vedere obiectivul optimizării hrănirii zilnice, controlului densității peștilor și, în cele din urmă, determinării momentului optim pentru recoltare. Cu toate acestea, estimarea biomasei piscicole fără intervenție umană prezintă provocări semnificative, deoarece peștii sunt sensibili și se deplasează liber într-un mediu în care vizibilitatea, iluminarea și stabilitatea sunt greu de controlat.

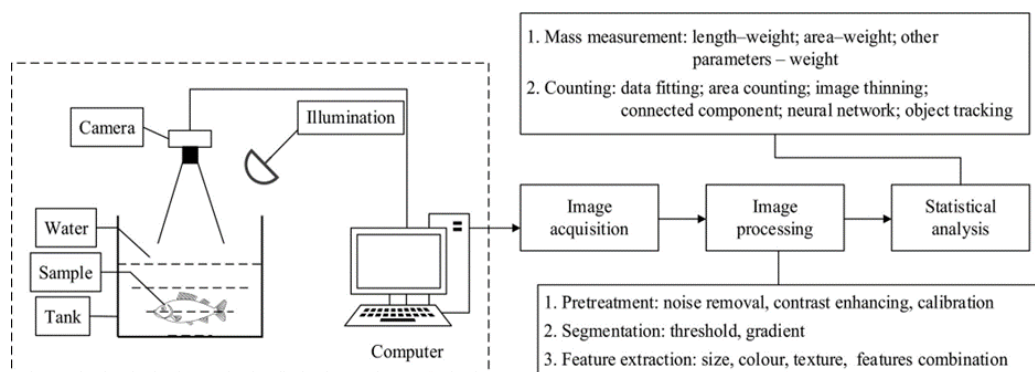


Fig.7. Exemplu de sistem machine vision bazat pe lumină vizibilă pentru evaluarea biomasei peștilor, [39]

Faza 2 / 2024: Documentație de execuție model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole - final. Execuție model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic

Obiectivul fazei 2. Obiectivul acestei faze a constat în definitivarea documentației de execuție a modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole. De asemenea, în această etapă s-a început execuția modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic, în final etapa s-a finalizat prin depunerea unei cereri de brevet.

În urma efectuării studiilor tehnologice asupra sistemelor actuale de inspecție subacvatică, în conformitate cu conceptul Acvacultură 4.0, și asupra echipamentelor și metodelor disponibile pentru determinarea calității apei, s-a decis adoptarea unui sistem ROV (vehicul operat la distanță - clasa de observație). Această soluție se bazează pe principiile de proiectare a sistemelor inteligente subacvatice de monitorizare și va permite monitorizarea și analiza factorilor care influențează sănătatea materialului piscicol, cum ar fi temperatura, pH-ul, și gazele dizolvate (oxigen, dioxid de carbon etc.), esențiale pentru sănătatea și bunăstarea peștilor, precum și monitorizarea furajelor într-un bazin piscicol, ținând cont și de avantajele sistemelor ROV (remotely operated vehicles):

- realizarea monitorizării detaliate a mediului acvatic, ceea ce permite o vizualizare detaliată a condițiilor de mediu din fermele acvatice, incluzând analiza calității apei, gradul de transparență, temperatura și nivelul de oxigen;
- realizarea unei supravegheri constante 24/7, ceea ce permite detectarea în timp util a schimbărilor nefavorabile în mediul acvatic sau în starea organismelor acvatice;
- realizarea unei gestionări precise a hrănirii materialului piscicol, sistemul ROV putând fi utilizat pentru distribuirea precisă a hranei în zonele țintă, evitând risipa de hrană,

reducând impactul asupra mediului și menținând un mediu de creștere optim pentru organismele acvatice;

- realizarea colectării de date în timp real (cum ar fi date de mediu, informații despre starea sănătății organismelor acvatice și alți parametri relevanți);
- reducerea riscului uman: sistemul ROV elimină necesitatea expunerii umane directe în medii acvatice periculoase sau în condiții meteorologice adverse. Acest lucru nu doar reduce riscul de accidente, ci și asigură o monitorizare mai constantă și eficientă.

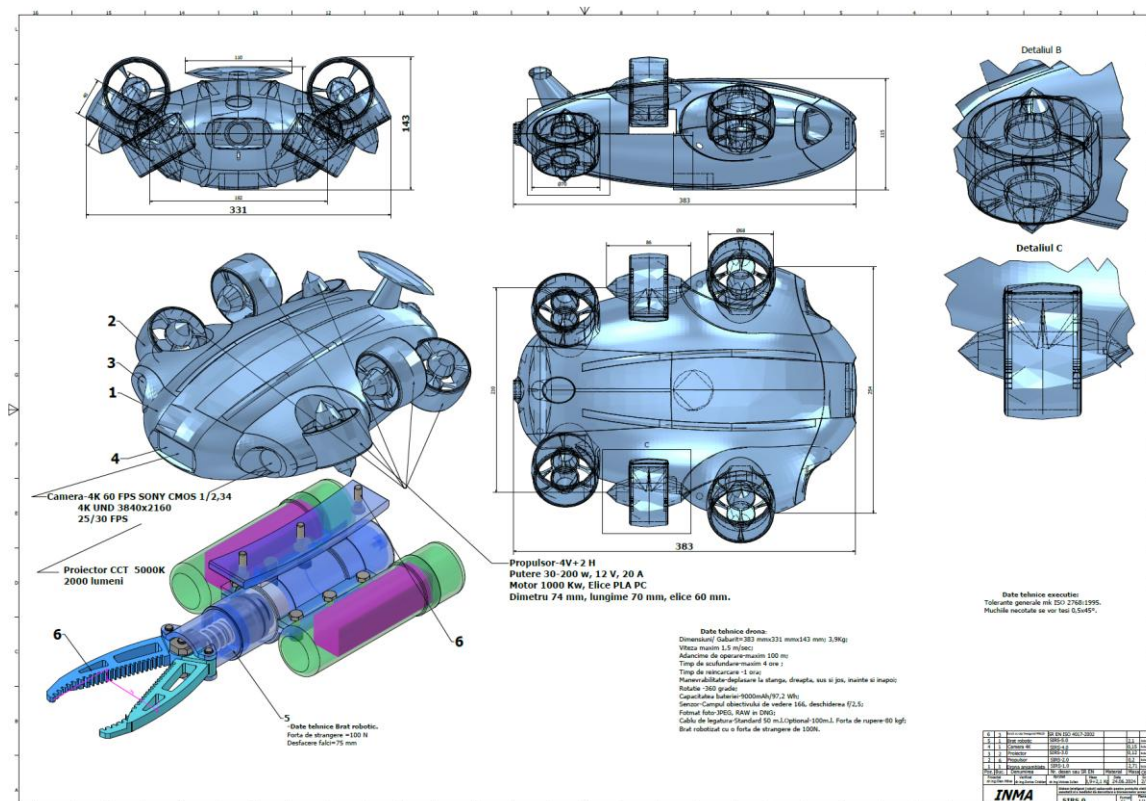


Fig. 8. Sistem inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0

Părțile componente ale modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS-0 sunt: cadrul care oferă o structură pentru montarea propulsoarelor, camerei video, luminilor, cablului de conectare și altor componente ale sistemului SIRS - 0; 6 propulsoare pentru a manevra vehiculul; camera video; 2 proiectoare care asigură iluminarea camerei sub apă; cablul de conectare care asigură transportul de energie electrică și/sau semnale la suprafață, astfel încât pilotul să poată controla vehiculul și să vadă camera și comenzile pentru pilot.

Dimensiunile de gabarit ale sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0 sunt: 383 mm x 331 mm x 143 mm.

Dimensiunile de gabarit ale unui propulsor al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0 sunt: 74 mm x 70 mm x 60 mm.

În figura 9 este prezentată vederea din lateral a unui propulsor al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0.

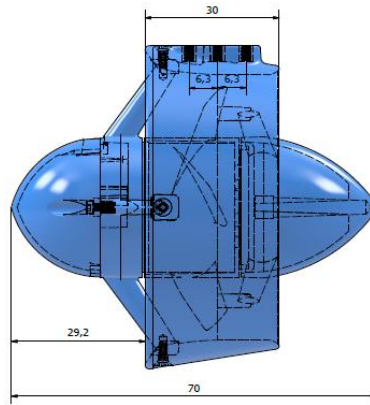


Fig. 9. Vedere din lateral a unui propulsor al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0

În figura de mai jos este prezentată vederea din spate a elicei unui propulsor al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0.

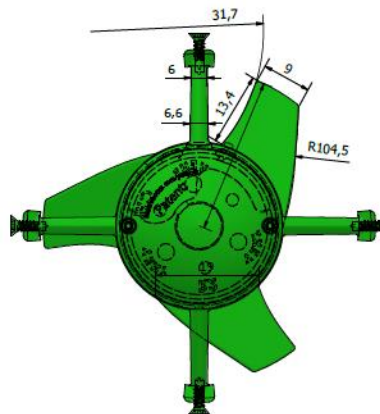


Fig. 10. Vedere din spate a elicei unui propulsor al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0

Modelul funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS-0 are prevăzut un braț robotic alcătuit dintr-o construcție mecanică care se montează pe partea inferioară a sistemului SIRS - 0 și care are două degete de prindere care sunt acționate de un electromagnet pentru faza de strângere și de un arc elicoidal pentru ca acestea să fie desfăcute permanent, ale cărei componente sunt prezentate în figura 11.

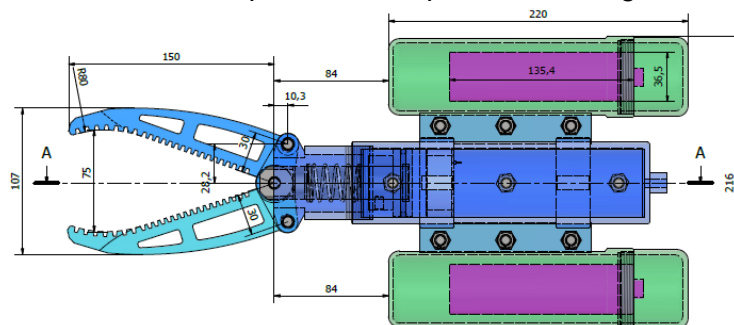


Fig. 11. Vedere de sus a brațului robotic al sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacole SIRS - 0

Robotica subacvatică este un domeniu complex, ce necesită integrarea și adaptarea unor tehnologii variate pentru a asigura performanța și fiabilitatea sistemelor robotice în medii acvatice adesea ostile și imprevizibile. Sistemele inteligente subacvatice sunt dotate cu o gamă extinsă de tehnologii care le permit să îndeplinească diverse sarcini, cum ar fi navigația autonomă, percepția mediului, comunicarea la distanță și manipularea obiectelor. Printre tehnologiile utilizate se numără: sisteme de senzori avansați; sisteme de propulsie și control al mișcării; tehnologii de inteligență artificială și procesare a datelor; sisteme de navigație și poziționare; comunicare acustică și de date; structuri și materiale rezistente la presiune.

În domeniul roboticii subacvatice, inteligența artificială (IA) și controlul autonom joacă un rol crucial în îmbunătățirea performanțelor sistemelor robotice, permițându-le acestora să opereze eficient și să ia decizii în medii subacvatice complexe. Modelele de IA aplicate în controlul roboților subacvatici sunt esențiale pentru adaptarea acestora la condiții imprevizibile, pentru optimizarea navigației și manipulării, precum și pentru îmbunătățirea capacității de percepție și decizie. Aceste modele sunt dezvoltate pentru a răspunde necesităților specifice ale mediului subacvatic, cum ar fi turbulențele apei, curenții marini, variabilitatea iluminării și dificultatea perceperii obiectelor într-un spațiu tridimensional.

1. Algoritmi de învățare automată și învățare profundă

Unul dintre cele mai utilizate tipuri de modele de IA în robotică subacvatică este învățarea automată (machine learning) și, în mod specific, învățarea profundă (deep learning). Aceste tehnici permit roboților să își îmbunătățească performanțele prin analizarea datelor colectate în timpul misiunilor. Algoritmii de învățare automată, în special rețelele neuronale convoluționale (CNN), sunt utilizate pentru procesarea imaginilor și identificarea obiectelor subacvatice, cum ar fi structuri naturale sau artificiale, faună marină sau echipamente subacvatice. În plus, algoritmii de învățare prin întărire (reinforcement learning) permit robotului să învețe să ia decizii autonome, adaptându-se continuu la mediu și îmbunătățindu-și comportamentele în funcție de feedback-ul primit.

2. Planificarea traiectoriei și navigația autonomă

Modelele de control autonom în robotică subacvatică includ tehnici avansate de planificare a traiectoriei, care sunt esențiale pentru navigația eficientă a robotului în medii dinamice. Aceste modele permit robotului să aleagă rute optime, evitând obstacolele și luând în considerare condițiile variabile, cum ar fi curenții și schimbările de adâncime. Algoritmi precum A*, Rapidly-exploring Random Tree (RRT) sau algoritmi de optimizare a traiectoriei bazate pe modele probabilistice sunt frecvent utilizați pentru a planifica rute sigure și eficiente pentru roboți, chiar și în medii subacvatice complexe. Mai mult, modelele de control predictiv bazat pe modele (MPC) sunt aplicate pentru a ajusta traiectoria în timp real, pe măsură ce robotul colectează noi informații despre mediul înconjurător.

3. Algoritmi de control adaptiv și robust

Pentru ca un robot subacvatic să opereze autonom în condiții variabile și imprevizibile, este necesar un sistem de control robust și adaptiv. Modelele de control adaptiv ajustează parametrii controlului în funcție de schimbările de mediu, cum ar fi curenții de apă, temperatura, adâncimea și presiunea. Aceste sisteme sunt proiectate pentru a răspunde eficient la incertitudini și perturbări externe. Un exemplu de astfel de tehnică este controlul adaptiv bazat pe model (Model-based Adaptive Control), care permite robotului să își ajusteze constant comportamentul pe baza unui model matematic al dinamicii sale, oferind o performanță optimă în condiții variabile.

4. Tehnici de percepție și procesare a senzorilor

Un alt aspect esențial al controlului autonom în robotică subacvatică este percepția mediului prin intermediul senzorilor. Modelele de IA ajută la integrarea și procesarea datelor provenite

de la diferite surse senzoriale, cum ar fi camerele, sonarele, LIDAR-ul și senzorii de adâncime, pentru a construi o reprezentare coerentă a mediului subacvatic. Algoritmi de fuziune a senzorilor (sensor fusion) sunt utilizați pentru a combina informațiile provenite de la multiple tipuri de senzori, îmbunătățind astfel precizia percepției și navigației robotului. De asemenea, tehnicile de procesare a imaginii și de viziune computerizată permit identificarea și urmărirea obiectelor în medii cu vizibilitate limitată, oferind robotului un avantaj în sarcini precum recunoașterea structurilor subacvatice sau detectarea obstacolelor.

5. Colaborare între roboți subacvatici (sisteme multi-robot)

În unele aplicații avansate, cum ar fi explorarea extinsă a mediilor subacvatice sau efectuarea unor intervenții de salvare, mai mulți roboți subacvatici pot lucra împreună într-un sistem multi-robot. Modelele de IA permit coordonarea acestora pentru a îndeplini sarcini complexe, prin partajarea datelor și a informațiilor de navigație. Algoritmii de planificare colaborativă și control distribuit permit roboților să colaboreze eficient, să evite coliziunile între ei și să îndeplinească sarcini complexe de manipulare și explorare. Aceste sisteme sunt extrem de utile în misiuni de cercetare extinsă sau în zone periculoase, unde prezența umană ar fi riscantă.

În vederea realizării execuției modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale-au desfășurat următoarele activități:

- Analiza proiectului de execuție privind componența, schema funcțională și identificarea principalelor materii prime și materiale ale modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale;

- Întocmirea documentației tehnologice de execuție (fișe tehnologice, consumuri de materiale);

- Întocmirea documentației tehnologice de montaj;
- Identificarea potențialilor furnizori de materii prime și materiale;
- Aprovizionarea cu materii prime și materiale;
- Execuția reperelor conform desenelor de execuție;
- Montajul și controlul final;
- Conservarea și depozitarea;
- Asistența și consultanța tehnică la realizarea activităților de execuție a reperelor, subansamblurilor și ansamblurilor principale și la montajul final al modelului funcțional.

Rezultatele planificate au fost concretizate prin realizarea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale, simbolizat SIRS - 0, iar cele referitoare la cheltuieli în conformitate cu devizul și centralizatorul de cheltuieli, în conformitate cu Planul de realizare.

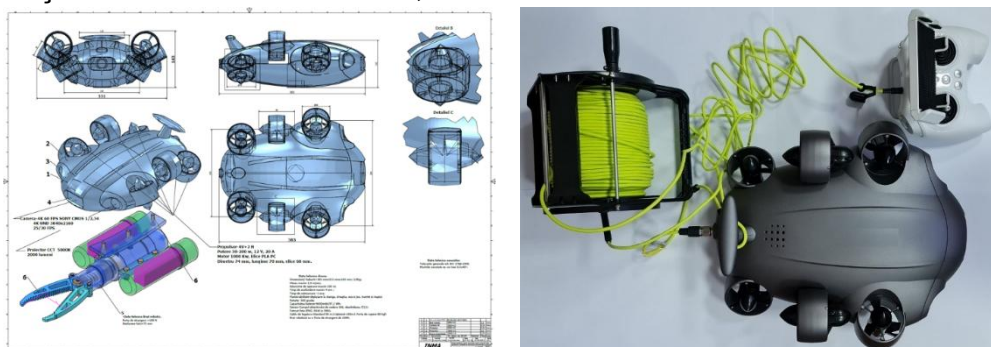


Fig. 12. Model funcțional de sistem inteligent subacvatic (robot) pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale SIRS – 0

Modelul funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale are următoarele părți componente și caracteristici:

- ROV cu următoarele părți componente:
 - cadrul care oferă o structură pentru montarea propulsoarelor;
 - 6 motoare propulsoare;



Fig. 13. Motor propulsor ROV – MF SIRS -0

- cameră 4K UHD;
- 2 proiectoare LED 3000 lumeni care asigură iluminarea camerei sub apă;



Fig. 14. Proiector LED ROV – MF SIRS -0

- orificii de aerisire;
- braț robotic;
- aripa spate.

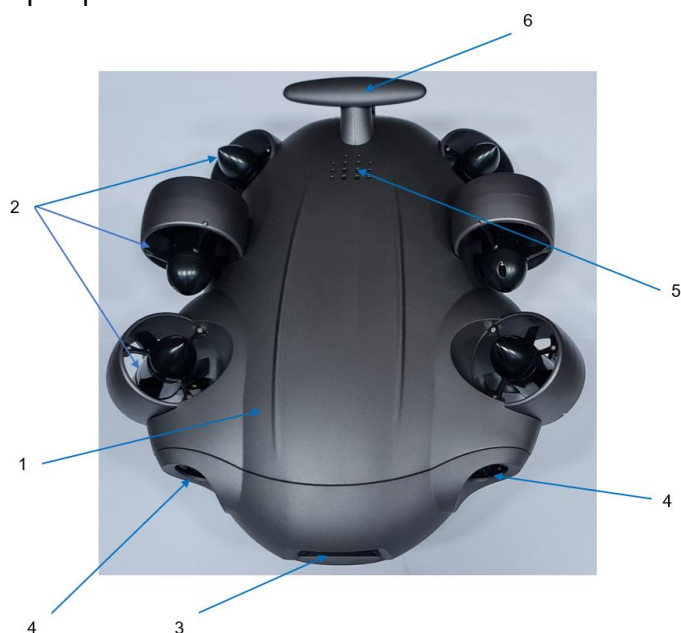


Fig. 15. ROV – MF SIRS -0 (vedere de sus)

1 – cadru; 2 – motoare propulsoare; 3 – cameră 4K; 4 – proiectoare LED;
5 – orificii de aerisire; 6 – aripă spate



Fig. 16. ROV – MF SIRS -0 (vedere din față - lateral)

1 – proiector LED; 2 – cameră 4K; 3 – motoare propulsoare; 4 – braț robotic

Tabel 1. Caracteristicile ROV MF– SIRS - 0

Dimensiuni	383 x 331 x 143 mm
Masa	4,6 kg
Adâncimea maximă de scufundare	100 m
Manevrabilitate	6 grade de libertate: deplasare la: stânga/ dreapta, sus / jos, înainte / înapoi
Mișcări de rotație	360°. Tangaj (Pitch), Girare (Yaw), Ruliu (Roll)
Stabilitatea orientării	$\pm 1,0^\circ$
Menținerea adâncimii	$\pm 0,01$ m
Temperatura de operare	-10 – 60 °C
Capacitatea bateriei	14.400 mAh / 155,52 Wh
Timpul de funcționare	1,5 ore împotriva unui curent de 1 m/s 6 ore în apă calmă (fără curent)
Timp de încărcare	1 oră (încărcare rapidă)

- Cablul de conectare cu următoarele părți componente:
- tambur;
 - mâner pentru tambur;
 - sistem pentru gestionarea și reglarea cablului de legătură (tether) între o unitate de control și ROV (Remotely Operated Vehicle);
 - mufă de conectare pentru cablul de legătură (tether) la ROV;
 - mufă de conectare utilizată pentru a transmite semnale de control între ROV și unitatea de control de la distanță.



Fig. 17. Cablul de conectare MF – SIRS - 0

1 – ROV; 2 – mufă de conectare unitatea de control; 3 – unitatea de control de la distanță;
4 – mufă de conectare ROV; 5 – tambur; 6 – cablul de legătură (tether); 7 – sistem pentru gestionarea și reglarea cablului de legătură; 8 – mâner tambur

- Unitatea de control de la distanță cu următoarele părți componente:
 - buton de PORNIT/OPRIT;
 - buton de menținerea adâncimii;
 - buton Blocare/Deblocare;
 - maneta stânga de control;
 - maneta dreapta de control;
 - suport dispozitiv inteligent.

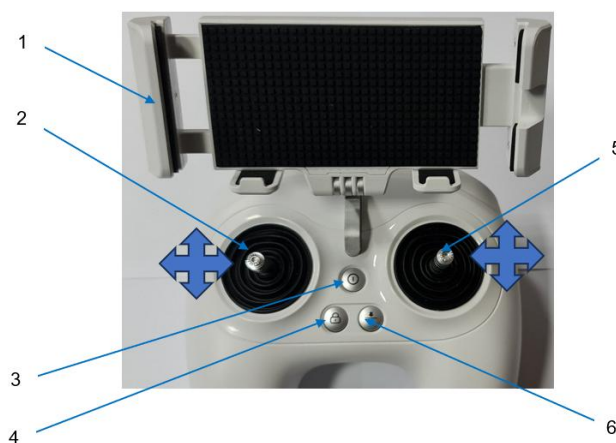


Fig. 18. Unitatea de control a MF – SIRS - 0

1 – suport dispozitiv inteligent; 2 – maneta stânga de control; 3 – buton de PORNIT/OPRIT;
4 – buton Blocare/Deblocare; 5 – maneta dreapta de control; 6 – buton de menținere a adâncimii

Faza 3 / 2025: Experimentarea model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic pentru protecția vieții, sănătății și a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale. Definitivare constructivă model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic

Obiectivul fazei 3. În această fază, a fost realizată experimentarea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu condiții de laborator. De asemenea modelul funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic va fi testat în vederea analizei și monitorizării factorilor de influență ai sănătății materialului piscicol dintr-un bazin piscicol. Se va realiza definitivarea constructivă a modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic.

Metodologie specifică de experimentare model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator

Prezenta metodologie se aplică pentru testarea funcțională, operațională și tehnologică a modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic utilizat pentru monitorizarea materialului piscicol, în mediu acvatic controlat de laborator, în vederea utilizării ulterioare în acvacultura de precizie.

Pentru testarea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator, sunt necesare următoarele echipamente care fac parte din procesul tehnologic: ROV cu următoarele părți componente: cadrul care oferă o structură pentru montarea propulsoarelor; 6 motoare propulsoare; cameră 4K UHD; 2 proiectoare LED 3000 lumeni care asigură iluminarea camerei sub apă; orificii de aerisire; braț robotic; aripa spate.



Fig.19. Schema de comunicație a modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator

Documente de referință: documentație tehnică ROV; documentație tehnică cablu de conectare; documentație tehnică unitatea de control de la distanță; FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries – Secțiunea 9 privind dezvoltarea acvaculturii; Regulamentul CE nr. 853/2004 – Igienă pentru produse de origine animală; SR EN 60529:1995/A2:2015/AC:2019 – Grade de protecție asigurate prin carcase (Cod IP); SR EN ISO 13628-8:2007 – Vehicule telecomandate (ROV) pentru interfața cu sistemele de producție scufundate; ISO 13628-6:2006 – Sisteme de control subacvatice (design și operare); ISO 22867:2011 – Vibrații transmise prin echipamente mecanice; Directiva 2006/42/CE a Parlamentului European privind echipamentele tehnice (Mașini); Regulamentul (UE) 2016/679 (GDPR) – privind colectarea și procesarea imaginilor și datelor în ferme acvatice (aplicabil dacă sunt implicați operatori umani sau date sensibile); Ordinul MADR nr. 22/2020 – privind normele de practică în acvacultură durabilă; ISO 22000:2018 – Sisteme de management al siguranței alimentelor; STAS 13042/1-91 - Mașini agricole. Metode de determinare a parametrilor constructivi; IEEE 802.11 – Comunicație WiFi; Regulament (UE) 2016/679 (GDPR) – pentru prelucrarea imaginilor video.

Reguli de lucru.

Înainte de începerea experimentărilor cu ROV-ul în mediu acvatic controlat de laborator, este obligatorie pregătirea sistemului și verificarea funcțională a tuturor componentelor, conform următoarelor etape: se verifică integritatea fizică a carcasei ROV-ului și a elicei (absența fisurilor, colmatărilor sau corpurilor străine); se verifică dacă sistemul este alimentat și bateria este complet încărcată; se verifică racordarea cablului de comunicație ombilical între controller și ROV; se testează conexiunea WiFi între controller și aplicația mobilă dedicată; se verifică funcționarea butoanelor de control (Power, Lock/Unlock, etc.); se verifică dacă LED-urile indicatoare semnalizează funcționarea normală; se verifică dacă toate șuruburile și elementele mecanice sunt bine strânse; se efectuează rotația elicei manual (cu sistemul scos din apă), pentru a verifica absența blocajelor sau frecărilor; se asigură curățenia opticii camerei și a senzorilor giroscopici; se verifică dacă în aplicația de control sunt disponibile opțiunile de calibrare, navigație și înregistrare media.

După finalizarea verificărilor preliminare și a calibrărilor, se trece la procesul propriu-zis de testare funcțională a ROV-ului: se introduce vehiculul subacvatic în bazinul de testare, la o adâncime controlată de minimum 0,5 m; se activează din aplicație modul de stabilizare „Depth Hold”, pentru menținerea automată a adâncimii setate; se inițiază comenzile de navigație pe axele X, Y și Z, prin joystickul controllerului sau din interfața aplicației mobile; se activează înregistrarea video și captură de imagini în diferite unghiuri și traiectorii; se monitorizează răspunsul sistemului la variații de sarcină, direcție și schimbări de iluminare; se urmărește comportamentul general al echipamentului (zgomot anormal, instabilitate, erori software); se simulează traiectorii rectilinii, circulare și manevre de evitare a obstacolelor; se colectează date media și senzoriale în mod continuu pentru minim 10 minute; după încheierea testului, ROV-ul este extras din apă și clătit cu apă dulce.

Se întocmește raportul de experimentări pe baza datelor înregistrate în timpul experimentărilor.

Metodologie specifică de experimentare model funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacoale

Prezenta metodologie se aplică în domeniul acvaculturii de precizie, în special în ferme piscicole intensive, unde este necesară integrarea tehnologiilor robotice autonome pentru monitorizarea, inspecția și optimizarea proceselor de creștere a bioresurselor acvatice (pești, crustacee etc.).

Pentru testarea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacoale, sunt necesare următoarele echipamente ce fac parte din procesul tehnologic: Sistemul ROV (Remotely Operated Vehicle), cameră video de înaltă rezoluție (4K UHD), 2 proiectoare LED 3000 lumeni, senzori de poziționare și de stabilizare automată, orificii de aerisire; braț robotic; aripa spate; cablul de conectare; unitatea de control de la distanță (telecomanda). Scopul utilizării acestui sistem constă în: monitorizarea comportamentului piscicol în timp real (mișcare, hrănire, distribuție în bazin);

deteția anomaliilor sau a semnelor timpurii de boală/stres; verificarea vizuală a echipamentelor subacvatice (plase, fundul bazinului, alimentatoare automate); evaluarea distribuției biomasei și a zonelor de agregare a peștilor.

Metodologia este aplicabilă în bazine de testare și producție cu volum între 10–500 m³, în regim semi-automat sau autonom, fiind compatibilă cu infrastructura existentă din sistemele piscicole intensive (bazine betonate, lacuri compartimentate, cuști flotante).

Înainte de începerea experimentărilor cu ROV-ul în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacoale, este obligatorie pregătirea sistemului și verificarea funcțională a tuturor componentelor, conform următoarelor etape:

➤ Încărcarea echipamentelor modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic:



Fig.20. Mufa ROV-ului



Fig. 21. Mufa alimentatorului

➤ Încărcarea telecomenzii (unitatea de control de la distanță): culoarea ledului central al telecomenzii indică nivelul de încărcare al bateriilor ROV-ului: roșu – nivelul de încărcare: <30%; galben – nivelul de încărcare: 30 – 70%; alb – nivelul de încărcare: 100%.



Fig.22. Telecomandă încărcată 100%

➤ Conectarea componentelor sistemului inteligent (robot) subacvatic:



Fig.23. Conectarea mufei ROV-ului cu mufa cablului de legătură (tether)

➤ Se conectează telecomanda cu cablul de legătură (tether)



Fig. 24. Conectarea mufei cablului de legătură (tether) cu mufa de telecomenzii

Realizarea experimentărilor cu ROV-ul în mediu acvatic de creștere intensivă a bioresurselor acvacole, presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Pornirea modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic: se apasă butonul de ON/OFF timp de 5 sec pentru pornirea ROV-ului și a telecomenzii. Cele 3 butoane ale telecomenzii se vor aprinde alternativ în sensul acelor de ceasornic până când vor rămâne aprinse doar butoanele ON/OFF și LOCK;
- Pentru realizarea scufundării ROV-ului se parcurg următoarele etape: se verifică integritatea fizică a carcasei ROV-ului și a elicei (absența fisurilor, colmatărilor sau corpurilor străine); se verifică dacă sistemul este alimentat și bateria este complet încărcată; se verifică racordarea cablului de comunicație ombilical între controller și ROV; se testează conexiunea WiFi între controller și aplicația mobilă dedicată; se verifică funcționarea butoanelor de control (Power, Lock/Unlock, etc.); se verifică dacă LED-urile indicatoare semnalizează funcționarea normală; se verifică dacă toate șuruburile și elementele mecanice sunt bine strânse; se efectuează rotația elicei manual (cu sistemul scos din apă), se realizează calibrarea giroscopică înainte de utilizarea ROV-ului prin plasarea acestuia în plan orizontal și vertical; se realizează calibrarea senzorului magnetometric.

Se realizează: Determinarea parametrilor constructivi: lungime, lăţime, înălţime; Determinarea masei ROV-ului; Determinarea frecvenţelor de rotaţie; Verificări funcţionale preliminare în regim static (fără activare propulsie); Determinări privind testarea funcţională a sistemului inteligent (ROV) în mediu de creştere intensivă acvatică. Se întocmeşte raportul de experimentări pe baza datelor înregistrate în timpul experimentărilor.

Raport de experimentare model funcţional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator

Încercarea modelului funcţional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator s-a efectuat în conformitate cu metodologia de experimentarea şi/sau reglementărilor în vigoare menţionate la fiecare determinare: documentaţie tehnică ROV; documentaţie tehnică cablu de conectare; documentaţie tehnică unitatea de control de la distanţă; FAO Code of Conduct for Responsible Fisheries – Secţiunea 9 privind dezvoltarea acvaculturii; Regulamentul CE nr. 853/2004 – Igienă pentru produse de origine animală; R EN 60529:1995/A2:2015/AC:2019 – Grade de protecţie asigurate prin carcase (Cod IP); SR EN ISO 13628-8:2007 – Vehicule telecomandate (ROV) pentru interfaţa cu sistemele de producţie scufundate; ISO 13628-6:2006 – Sisteme de control subacvatice (design şi operare); ISO 22867:2011 – Vibraţii transmise prin echipamente mecanice; Directiva 2006/42/CE a Parlamentului European privind echipamentele tehnice (Maşini); Regulamentul (UE) 2016/679 (GDPR) – privind colectarea şi procesarea imaginilor şi datelor în ferme acvatice (aplicabil dacă sunt implicaţi operatori umani sau date sensibile); Ordinul MADR nr. 22/2020 – privind normele de practică în acvacultură durabilă; ISO 22000:2018 – Sisteme de management al siguranţei alimentelor; STAS 13042/1-91 - Maşini agricole. Metode de determinare a parametrilor constructivi; SR EN 61310-2:2008 Securitatea maşinilor. Indicare, marcare şi manevrare. Partea 2: Cerinţe pentru marcare; IEEE 802.11 – Comunicaţie WiFi; Regulament (UE) 2016/679 (GDPR) – pentru prelucrarea imaginilor video.

Încercarea modelului funcţional de sistem inteligent (robot) subacvatic în mediu acvatic controlat de laborator s-a desfăşurat în Laboratorul de Acvacultură (<https://eertis.eu/erlb-2300-000w-5441>) din cadrul Institutului Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Maşini şi Instalaţii destinate Agriculturii şi Industriei Alimentare (INMA) – Bucureşti, bd. Ion Ionescu de la Brad, nr. 6, sector 1, Bucureşti.



Fig. 25. Aspecte din timpul testării sistemului inteligent subacvatic (robot) pentru protecţia vieţii, sănătăţii şi a mediului de dezvoltare a bioresurselor acvacoale SIRS - 0

Rezultatele cercetărilor experimentale ale modelului funcțional de sistem inteligent (robot) subacvatic SIRS - 0 în mediu acvatic controlat de laborator sunt prezentate sintetic în cele 3 fișe de măsurători de mai jos.

FIȘĂ MĂSURĂRI (FM - 1)
Caracteristici constructive

Nr. crt.	Caracteristica	U.M.	Valoarea caracteristicii determinată la încercări				Observații
			P.I	P.II	P.III	Media	
1.	Lungime ROV	mm	450	448	452	450	Conform specificațiilor tehnice (± 2 mm toleranță)
2.	Lățime ROV	mm	280	281	279	280	Include protecțiile elice față
3.	Înălțime ROV	mm	250	249	251	250	Măsurată fără antenă/suplimente modulare
4.	Masa ROV	kg	5.2	5.1	5.3	5.2	Cu acumulatori 98Wh integrați
5.	Turație elice față	rot/min	4200	4150	4220	4190	Motor principal, direcționare frontală
6.	Turație elice laterală	rot/min	1682	1677	1681	1680	Motor secundar de stabilizare laterală
7.	Turație elice spate	rot/min	1688	1691	1694	1691	Motor auxiliar pentru recul sau frânare
8.	Temperatură motor	(°C)	38.1	37.5	38.2	37.9	După funcționare 20 min, apă 19°C
9.	Timp de încărcare	h	1.5	1.6	1.4	1.5	La sursă de 5V, 3A (fast charging activat)

FIȘĂ MĂSURĂRI (FM - 2)
Parametri la funcționarea în regim static (fără activare propulsie)

Nr. crt.	Caracteristica	U.M.	Valoarea parametrilor determinați la încercări				Observații
			P.I	P.II	P.III	Media	
1.	Timp inițializare sistem	sec	12.1	11.9	12.3	12.1	Inclus LED secvențial și calibrare inițială
2.	Stabilitate la 1 m adâncime	cm	3.4	3.1	3.5	3.33	Oscilații minore, în limitele acceptate
3.	Răspuns la comandă	ms	145	148	147	146.7	Timp răspuns sub 200 ms → satisfăcător
4.	Precizie traiectorie față/spate	cm	4.2	3.9	4.0	4.03	Determinată prin marcaj laser pe fundul bazinului
5.	Calibrare senzori	-	OK	OK	OK	OK	Autocalibrare finalizată fără erori
6.	Durată operare	min	21	22	20	21	În apă la 1,2 m adâncime, mod continuu video ON
7.	Video captat	-	DA	DA	DA	DA	Captură 1080p, 25 fps stabilizat

FIȘĂ MĂSURĂRI (FM - 3)
Imersiune și control avansat

Nr. crt.	Caracteristica	U.M.	Valoarea parametrilor determinați la încercări				Observații
			P.I	P.II	P.III	Media	
1.	Stabilitate adâncime în modul „depth”	cm	2.5	2.7	2.6	2.6	Fluctuații minime, fără corecție manuală
2.	Navigație diagonală	cm dev	3.2	3.5	3.3	3.33	Derivă corectată prin modul gyro
3.	Captură imagine în mișcare	-	DA	DA	DA	DA	Focalizare automată menținută la toate vitezele
4.	Scurgeri / infiltrări	-	NU	NU	NU	NU	Carcasă etanșă, testată până la 2 m presiune
5.	Temperatura apei	°C	19.3	19.1	19.2	19.2	Temperatură constantă în bazin cu recirculare

Bibliografie

- [1]. Acvacultură - Wikipedia.
- [2]. Articolul 3 litera (d) din Regulamentul (CE) nr. 1198/2006 al Consiliului din 27 iulie 2006 privind Fondul european pentru pescuit (JO L 223, 15.8.2006, p. 1).
- [3]. Overview of EU aquaculture (fish farming) (europa.eu).
- [4]. Aquaculture 4.0 – Intelligent Fish Farming – Dialog Innovation Foundry
- [5]. <https://www.innovationnewsnetwork.com/aquaculture-4-0/596/>
- [6]. https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_DT-BG-04-2018-2019
- [7]. McFarlane JR. Tethered and untethered vehicles: the future is in the past. In: Fortier L, El-Hawary F, editors. OCEANS 2008. Proceedings; 2008 Sep 15–18; Quebec City, Canada. Washington, DC: IEEE Computer Society; 2008.
- [8]. Meinecke G, Albiez J, Joyeux S, Ratmeyer V, Renken J. OROCOS based control software of the new developed MARUM hybrid-ROV for under-ice applications. In: Wernli B, Hardy K, editors. OCEANS 2013 – San Diego. Proceedings; 2013 Sep 23–26; San Diego, CA, USA. Washington, DC: IEEE Computer Society; 2013.
- [9]. Meinecke G, Ratmeyer V, Renken J. HYBRID-ROV – development of a new underwater vehicle for high-risk areas. In: Wiltshire JC, Hilton AC, editors. OCEANS 2011. Proceedings; 2011 Sep 19–22; Waikoloa, HI, USA. Washington, DC: IEEE Computer Society; 2011.
- [10]. Nakajoh H, Osawa H, Miyazaki T, Hirata K, Sawa T, Utsugi H. Development of work class ROV applied for submarine resource exploration in JAMSTEC. In: Kang CG, editor. OCEANS 2012 – Yeosu. Proceedings; 2012 May 21–24; Yeosu, South Korea. Washington, DC: IEEE Computer Society; 2012.
- [11]. Lutz RA, Falkowski PG. A dive to Challenger Deep. *Science*, 2012, 336 (6079), pag. 301–302.
- [12]. Kohnen W. Manned research submersibles: state of technology 2004/2005. *Marine Technol Soc J*. 2005, 39 (3), pag. 122–127.
- [13]. Bergman E. Manned submersibles translating the ocean sciences for a global audience. In: Toll R, Bushnell M, editors. OCEANS 2012. Proceedings; 2012 Oct 14–19; Hampton Roads, VA, USA. Washington, DC: IEEE Computer Society; 2012.
- [14]. <https://bluerobotics.com/learn/what-is-an-rov/>
- [15]. Christ RD, Wernli Sr RL. The ROV Manual: A User Guide for Observation-Class Remotely Operated Vehicles, Butterworth-Heinemann, 2007.
- [16]. Xiang X., Niu Z., Lapiereb L., Zuoa M. Hybrid underwater robotic vehicles: the state-of-the-art and future trends. *HKIE Transactions*, 2015, Vol. 22, No. 2, pag. 103–116, <http://dx.doi.org/10.1080/1023697X.2015.1038322>.
- [17]. Tanakitkorn K., Philip W., Turnock S. R., Phillips A. B. Depth Control for an Over-Actuated, Hover-Capable Autonomous Underwater Vehicle with Experimental Verification, *Mechatronics*. in Press. 10.1016/j.mechatronics.2016.11.006.
- [18]. Wang C., Li Z., Wang T., Xu X., Zhang X., Li D. Intelligent fish farm—the future of aquaculture, *Aquaculture International* 2021, 29, pag. 2681–2711, <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00773-8>.
- [19]. Wang T., Xu X., Wang C., Li Z., Li D. From smart farming towards unmanned farms: a new mode of agricultural production. *Agriculture*, 2021, 11:145. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020145>.
- [20]. Acvacultură - Wikipedia.
- [21]. Encinas C., Ruiz E., Cortez J., Espinoza A. Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture, *Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, Chicago, IL, USA, 2017, pag. 1-7, doi: 10.1109/WTS.2017.7943540, 2017
- [22]. Ferreira N. C., Bonetti C., Seiffert W. Q. Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. *Aquaculture*, 318(3), pag. 425-433, 2011
- [23]. Chuanzhen S. Applications of Wireless Sensor Network in the Field of Production and Distribution. In 2015 8th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), pag. 225-227, IEEE, 2015
- [24]. Akhmetov B., Altimov M. Data Collection and Analysis Using the Mobile Application for Environmental Monitoring. *Procedia Computer Science*, 56, pag. 532-537, 2015
- [25]. Sung W. T., Chen J. H., Huang D. C., Ju Y. H. Multisensors realtime data fusion optimization for IOT systems. In 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pag. 2299-2304, IEEE, 2014
- [26]. Verma D. K., Singh S., Maurya N., Kumar P., Jayaswal R. Important Water Quality Parameters in Aquaculture: An Overview. *Agriculture and Environment*. 3. pag. 24-29, 2022
- [27]. Bhatnagar A. and Garg S. K. Causative factors of fish mortality in still water fish ponds under sub-tropical conditions. *Aquaculture*, 1(2), pag.91-96, 2000
- [28]. Solis, N. B. The Biology and Culture of *Penaeus Monodon*, Department Papers. SEAFDEC Aquaculture Department, Tigbauan, Boilo Philippines, pag. 3-36, 1988
- [29]. Boyd C. E. Water Quality in Warmwater Fish Ponds, Agriculture Experiment Station, Auburn, Alabama, pag. 359, 1979
- [30]. Stumm W. Morgan J. J. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, *Aquatic chemistry*. 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, pag. 780. Volume 3, No 6, 2013
- [31]. Cook R. B., Kelly C. A., Schindler D. W., Turner M. A. Mechanisms of hydrogen ion neutralization in an experimentally acidified lake. *Limnology and oceanography*, 31(1), pag.134-148, 1986
- [32]. Ogbiebu A. E., Victor, R. Hydrological studies of water bodies in the okomu forest reserves (sanctuary) in Southern Nigeria, *Physico-chemical hydrology, Tropical Freshwater Biology*, 4, pag 83-100, 1995
- [33]. Abowei J. F. N. Salinity, dissolved oxygen, pH and surface water temperature conditions in Nkoro River, Niger Delta, Nigeria. *Advance journal of food science and technology*, 2(1), pag.36-40, 2010
- [34]. Simbeye D. S., Yang S. F. Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks, *JOURNAL OF NETWORKS*, Vol. 9, no. 4, pag. 840-849, 2014
- [35]. Lee S., Ibey B. L., Coté G. L., Pishko M. V., Measurement of pH and dissolved oxygen within cell culture media using a hydrogel microarray sensor, *Sensors and Actuators B*, 128, pag. 388–398, 2008
- [36]. Wang Y., Qi C., Pan H. Design of Remote Monitoring System for Aquaculture Cages Based on 3G Networks and ARM-Android Embedded System, *Procedia Engineering*, 29, pag.79–83, 2012
- [37]. Stankovic, J. When sensor and actuator networks cover the world, *ETRI Journal*, 30(5), pag. 627-633, 2008
- [38]. Ruiz-Garcia L., Lunadei L., Barreiro P., Robla J. I. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends, *Sensors*, 9(6), pag. 4728-4750, 2009
- [39]. Li D., Hao Y., Duan Y. Nonintrusive methods for biomass estimation in aquaculture with emphasis on fish: a review, *Reviews in Aquaculture*, 1–2, pag. 1-22, doi: 10.1111/raq.12388, 2019