



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSOANELOR VÂRSTNICE  
AMPOSDRU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OIPOSDRU



Universitatea  
POLITEHNICA  
din București

---

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/107/1.5/S/76909 – Valorificarea capitalului uman din cercetare prin burse doctorale (ValueDoc)

---



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Facultatea de Automatică și Calculatoare

Departamentul Ingineria Sistemelor

Nr. Decizie Senat ..... din .....

# Rezumatul Tezei de Doctorat

*Optimizarea aplicațiilor de timp real pentru operațiuni marine folosind  
soluții moderne de modelare și simulare*

*Optimizing Real-Time Applications for Marine Operations Using Modern  
Modeling and Simulation Methods*

**Autor:** Ing. Mitruț Corneliu CARAIVAN

**Conducător de doctorat:** Prof. Dr. Ing. Valentin SGÂRCIU

București 2013

## CUPRINS

---

<b>1. CAPITOLUL 1 INTRODUCERE .....</b>	<b>5</b>
1.1. Motivație .....	5
1.2. Descriere generală.....	5
1.3. Structura tezei .....	6
<b>2. CAPITOLUL 2 REȚELE DE SENZORI SUBACVATICI.....</b>	<b>7</b>
2.1. State-of-The-Art.....	7
2.2. Domenii de aplicabilitate .....	9
2.2.1. Aplicații științifice.....	9
2.2.2. Aplicații industriale.....	9
2.2.3. Aplicații militare .....	9
2.3. Dificultăți în dezvoltare .....	9
2.3.1. Soluții referitoare la alimentarea cu energie din surse regenerabile.....	11
2.3.2. Sfera de aplicabilitate.....	12
2.4. Problema comunicațiilor în mediul marin .....	12
2.4.1. Spectrul electromagnetic.....	12
2.4.2. Propagarea undelor acustice.....	13
2.4.3. Comunicația acustică .....	17
2.5. Modalitate de modelare matematică unitară .....	19
2.5.1. Definiția sistemului .....	19
2.5.2. Definiția actuatorului .....	20
2.5.3. Definiția senzorului.....	21
2.5.4. Identificarea parametrilor.....	23
2.5.5. Problema locației senzorilor.....	24
2.6. Arhitecturi pentru distribuția rețelelor de senzori .....	25
2.7. Modele simple de securitate a rețelelor, cerințele ale securității .....	26
2.8. <i>Concluzii capitol</i> .....	28
<b>3. CAPITOLUL 3 ECHIPAMENTE DE INVESTIGAȚIE SUBACVATICĂ.....</b>	<b>29</b>
3.1. Definiție .....	29
3.2. Scurt istoric .....	29
3.3. Generalități.....	29
3.4. Clasificări .....	31
3.4.1. Clasa I - ROV pentru Observație .....	31

3.4.2. Clasa II - OBSROV cu opțiuni de capacitate utilă.....	31
3.4.3. Clasa III - Vehicule capabile de muncă .....	31
3.4.4. Clasa IV - Vehicule trase cu vinciuri sau care se târâie.....	31
3.4.5. Clasa V - Prototipuri și vehicule în curs de dezvoltare.....	31
<b>3.5. Concluzii capitol</b> .....	<b>31</b>
<b>4. CAPITOLUL 4 SIMULATORUL VMAX REMOTELY OPERATED VEHICLES (ROV) UTILIZAT PENTRU MODELARE ȘI SIMULARE .....</b>	<b>32</b>
4.1. Generalități.....	32
4.2. Simulare vs. Realitate .....	33
4.3. Manipulatoare – Brațe robotizate.....	34
4.3.1. Schilling Robotics TITAN 4 (7-Functii).....	34
4.3.2. Schilling Robotics RigMaster (5-Functii).....	34
4.4. Controlul brațelor robotizate .....	34
4.5. Ierarhia fișierelor.....	35
4.6. Utilizarea simulatorului ROV în modelare și simulare.....	36
4.7. Concluzii capitol .....	38
<b>5. CAPITOLUL 5 SOLUȚII MODERNE DE MODELARE ȘI SIMULARE ÎN OPERAȚIUNI MARITIME.....</b>	<b>39</b>
5.1. Selectarea unui cadru modular comun .....	39
5.2. Tehnici pentru monitorizare subacvatică .....	40
5.3. Tipuri de construcții offshore.....	42
5.4. Modalitate de implementare senzorială perimetrală la o platformă marină.....	42
5.5. Scenarii de simulare .....	45
5.6. <b>Concluzii capitol</b> .....	<b>47</b>
<b>6. CAPITOLUL 6 CONCLUZII .....</b>	<b>48</b>
6.1. Concluzii generale și contribuții aduse .....	48
6.2. Dezvoltări ulterioare .....	51
<b>Anexa A. Acord GSP.....</b>	<b>52</b>
<b>Bibliografie selectivă .....</b>	<b>54</b>
<b>Listă Publicații.....</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURI

---

<b>Fig. 2.1.</b> Implementare posibilă a unei rețele subacvatice Safe-Nets cu senzori diferiți.....	10
<b>Fig. 2.2.</b> Diagrama presiunii sunetului .....	13
<b>Fig. 2.3.</b> Raport semnal – zgomot, funcție de frecvența pentru diferite distanțe de transmisie. ....	17
<b>Fig. 2.4.</b> Exemplu de comunicație wireless-acustică și prin satelit cu ajutorul unei balize autonome..	18
<b>Fig. 2.5.</b> Reprezentare grafică pentru suportul actuatorilor .....	20
<b>Fig. 2.6.</b> Suportul geometric și distribuția spațială a unui actuator .....	21
<b>Fig. 2.7.</b> Ilustrație a suportului senzorilor .....	22
<b>Fig. 2.8.</b> Conturul grafic al determinantului $M(x^1, x^2)$ vs. locațiile senzorilor ( $\Theta_1=0.1$ și $\Theta_2=1$ ) .....	25
<b>Fig. 2.9.</b> Arhitectură posibilă pentru distribuția senzorilor în apropierea unei platforme de foraj.....	26
<b>Fig. 3.1.</b> Sistem ROV cu TMS .....	30
<b>Fig. 4.1.</b> Manipulator Schilling Robotics TITAN-4 (7-Function).....	34
<b>Fig. 4.2.</b> Consola de comanda de la suprafață a brațului robotic TITAN-4 .....	34
<b>Fig. 4.3.</b> Imagine operare braț robotic TITAN-4 (7F).....	35
<b>Fig. 4.4.</b> Structura tipică a fișierelor în cadrul unui proiect.....	36
<b>Fig. 5.1.</b> Dispozitiv modular standardizat .....	39
<b>Fig. 5.2.</b> Dispozitiv subacvatic – sensor model 3D – tip 01 cablat .....	40
<b>Fig. 5.3.</b> Dispozitiv subacvatic – sensor model 3D – tip 02 wireless-acustic .....	40
<b>Fig. 5.4.</b> Dispozitiv subacvatic – sensor model 3D – tip 03 poluare.....	40
<b>Fig. 5.5.</b> Dispozitiv subacvatic – sensor model 3D – tip 04 biodiversitate .....	40
<b>Fig. 5.6.</b> Dispozitiv subacvatic – sensor model 3D – tip 05 supermodular.....	41
<b>Fig. 5.7.</b> Metodă grupare și implementare multiplă concomitentă.....	41
<b>Fig. 5.8.</b> Unealtă de tip “clește” modelată pentru prinderea senzorilor subacvatici.....	41
<b>Fig. 5.9.</b> Partile extreme babord și tribord ale platformei .....	43
<b>Fig. 5.10.</b> Pupa, zona sondei, cantilever tras înafară .....	43
<b>Fig. 5.11.</b> Prova, sub heliport .....	44
<b>Fig. 5.12.</b> Interiorul piciorului.....	44
<b>Fig. 5.13.</b> Planul general al platformei tip jack-up .....	45
<b>Fig. 5.14.</b> Folosirea manipulatorului Schilling Robotics 7-F în simulare .....	45
<b>Fig. 5.15.</b> Model PerrySlingsby Triton XLX în scenariu de simulare .....	46

# CAPITOLUL 1

## INTRODUCERE

### 1.1. MOTIVAȚIE

Dezastrul natural care a urmat exploziei platformei petroliere de foraj marin British Petroleum (BP) Deepwater Horizon în Golful Mexic a ridicat mai mult ca niciodată întrebări referitoare la siguranța operațiunilor întreprinse de către omenire în largul mărilor și oceanelor în căutarea petrolului și a gazelor naturale. Timp de 3 luni în anul 2010 aproape 5 milioane de barili de țiței au fost deversate în apele internaționale, aceasta fiind cea mai mare deversare accidentală din istoria forajului mondial. Acest fapt, împreună cu necesitatea sistemelor de instrumentație submarină la care se apelează din ce în ce mai des în industria forajului din domeniul offshore, în apropierea sondelor și în relație directă cu controlul acestora, a generat ideea implementării unui sistem de senzori polivalenți prin obligativitatea companiilor petroliere de a-și asigura sondele și operațiunile marine existente sau în curs de dezvoltare.

### 1.2. DESCRIERE GENERALĂ

Scopul acestui studiului este de a analiza perspectiva implementării unor rețele de senzori în jurul tuturor operațiunilor offshore (foraj petrol și gaze, construcții de parcuri eoliene pe mare, construcții de jacket-uri, conducte și cablaje submarine, etc), în ceea ce privește siguranța și tehnologiile folosite în special în apropierea platformelor continentale în vederea descoperirii și exploatarea în siguranță a resurselor de hidrocarburi, petrol și gaze naturale. Prin prisma ultimelor evenimente tragice la nivel internațional ("Mareea Neagră") căutăm soluții cât mai eficiente de prevenire a unor dezastru naturale. Studiul încearcă să determine posibile implementări ale unor rețele de senzori submarini în jurul platformelor petroliere de foraj și extracție, atât în zonele de exploatare cât și de prospecțiuni și cercetare, prin folosirea ROV-urilor (Remote Operated Vehicles - vehicule submarine comandate de la distanță, fără ocupanți), pentru început în Marea Neagră.

Mai mult, se caută beneficii alternative ale implementării unor astfel de rețele, astfel încât costurile să fie justificabile, iar necesitatea aplicării acestei metode să devină dezirabilă atât din punctul de vedere al companiilor petroliere - deci nu neapărat prin impunere sau obligativitate legală - cât prin dorința implementării datorită beneficiilor mutuale aduse, pentru că în final, beneficiarul îl reprezintă întreaga omenire. Aceste rețele de senzori polivalenți, denumite "Safe-Nets", ar putea detecta poluările și deversările la un stadiu incipient, ar putea monitoriza biodiversitatea marină sau care ar putea monitoriza activitatea seismică (sisteme de avertizare în avans pentru cutremure, tsunami, etc), totodată ar putea ajuta inițial, la instalare, companiile petroliere în cazul operațiunilor de instrumentații ale sondelor spre exemplu. Aceste operațiuni sunt folosite și pentru inspecții de rutină, dar și pentru rezolvarea unor probleme neprevăzute.

Aceste beneficii colaterale s-ar putea extinde până la viziunea unui "water-net" global, a unei rețele "internet wireless" pe apă, care s-ar putea dezvolta prin unirea tuturor "Safe-Net"-urilor implementate la început în jurul exploatărilor petroliere și apoi în jurul oricărui punct de interes din oceanul planetar. Așa cum internetul pe uscat s-a dezvoltat prin adăugarea în permanență a noi noduri de rețea, așa s-ar putea dezvolta și "water-net"-ul imaginar, prin unirea acestor balize, în condițiile unei cereri în creștere a folosirii spațiului vast al oceanelor și mărilor lumii, care, în fond, ocupă două treimi din suprafața globului.

Tematica tezei se regăsește la intersecția a patru mari domenii: exploatarea de resurse în domeniul offshore, în special petrol și gaze, cu referiri speciale către protecția și siguranța mediului precum și beneficii colaterale financiare; domeniul sistemelor submarine non-autonome robotizate – ROV, vehicule fără ocupanți subacvatice comandate de la distanță; simularea și modelarea obiectelor cu ajutorul instrumentelor software VMAX PerrySlingsby sau ale altor terți, precum și domeniul rețelelor cu sau fără fir, cu aplicabilitate asupra senzorilor de orice tip și a protocoalelor de comunicație folosite, în special în spațiul subacvatic.

### 1.3. STRUCTURA TEZEI

- **Capitolul 1** reprezintă introducerea în tematica tezei, oferind detalii despre contextul general al lucrării și obiectivele de îndeplinit.

- **Capitolul 2** realizează o sinteză a principalelor metodologii de dezvoltare și implementare a rețelelor de senzori subacvatice și a problemelor generate de amplasarea acestora în mediul marin. Sunt expuse și analizate domeniile de aplicabilitate pentru aceste dispozitive instrumentale subacvatice pentru a găsi prin polivalența aplicațiilor viitoare o justificare a costurilor foarte mari de implementare. Sunt prezentate deasemenea și dificultățile întâmpinate în dezvoltare, în privința mediului coroziv, a comunicațiilor în mediul marin și problemele generate de sursele de energie. Dacă facem excepție de costurile de dezvoltare și implementare, în acest capitol sunt reliefate progresele tehnologice care permit în ziua de astăzi implementarea acestor rețele, prezentând posibile soluții pentru fiecare dintre problemele enumerate mai sus. Capitolul descrie în detaliu soluții de ultimă generație în privința alimentării cu energie electrică din surse regenerabile pe mare, fiind prezentate proiecte științifice de care s-ar putea lega rețelele de dispozitive de instrumentație marină.

- **Capitolul 3** prezintă obiectele principale de interes cu ale căror modele virtuale se va lucra în cadrul simulatorului ROV VMAX PerrySlingsby pe parcursul capitolului 4. Sunt prezentate pe scurt definiții, generalități și clasificări principale, apoi sunt enumerate principalele tipuri de operațiuni în care vehiculele telecomandate subacvatice pot fi implicate. Totodată, pentru comprehensiunea ulterioară a necesității modelelor dezvoltate în cadrul simulatorului ROV, au fost selectate cele mai interesante scule și unelte folosite în conjuncție cu ROV-urile din ziua de astăzi.

- **Capitolul 4** poate fi considerat prin prisma a 2 etape principale: trecerea de la realitate la simulare prin modelarea obiectelor și validarea acestora în cadrul simulatorului care este

unul de tip “physics-based”; etapa 2, a identificărilor software din proiectele .Lua și înțelegerea ierarhiei tipice a fișierelor. Sunt prezentate totodată caracteristicile configurațiilor hardware și software ale simulatorului.

• **Capitolul 5** prezintă rezultatele experimentale obținute în cadrul tezei pentru optimizarea aplicațiilor de timp real pentru operațiuni marine prin soluții aduse în cadrul simulatorului ROV VMAX PerrySlingsby pentru implementarea rețelelor de senzori subacvatici Safe-Nets. Este explicată selectarea unui cadru modular comun și a necesității acestuia în realitate împreună cu modelarea efectivă a dispozitivelor modulare pe baza cadrului modular determinat, care vor putea servi drept container pentru diferiți senzori subacvatici.

• **Capitolul 6**, ultimul capitol al tezei, prezintă o sinteză a principalelor concluzii ale tezei împreună cu o sinteză a contribuțiilor aduse și un set de propuneri pentru dezvoltări ulterioare.

## **CAPITOLUL 2**

### **REȚELE DE SENZORI SUBACVATICI**

#### **2.1. STATE-OF-THE-ART**

Rețelele de senzori subacvatici vor reprezenta în viitorul apropiat infrastructura pe baza căreia se vor putea crea aplicații care vor permite monitorizarea acvaculturilor, a poluării în mediul marin, vor ajuta industria de exploatare a resurselor din domeniul offshore, vor facilita prospecțiunile geologice, navigația și colectarea de date din mările și oceanele lumii sau vor reprezenta pur și simplu părți componente din sisteme automate de prevenire a dezastrelor.

Transmisia datelor fără fir în mediul marin este una din tehnologiile care va permite dezvoltarea sistemelor de observație marină și implicit a rețelelor de senzori subacvatici. Rețelele de senzori wireless în mediul marin se prefigurează a fi următorul pas față de structurile cablate submarine pentru aplicațiile de sine-stătătoare sau pentru controlul vehiculelor de tip AUV (autonomous underwater vehicles - vehicule subacvatice autonome). În prezent se construiesc observatoare submarine de-a lungul cablurilor existente în ocean, care conțin senzori video, senzori seismici sau pentru monitorizarea forței și direcției curenților marini [3]. Rețelele de cabluri submarine suportă aceste puncte de acces într-un mod asemănător cu cel al rețelelor de telefonie mobilă și al stațiilor lor de re-emisie. O altă metodă de dezvoltare a acestor rețele o reprezintă vehiculele de tip ROV (Remote Operated Vehicles - vehicule subacvatice telecomandate). Acestea sunt conectate în permanență de o navă la suprafață printr-un cablu, însă au o rază de acțiune care se poate extinde până la câțiva kilometri, în adăție față de poziția curentă a navei-mamă. Un exemplu popular de tandem

ROV / AUV este cel al perechii de vehicule Alvin / Jason lansate la apă de către Institutul Oceanografic Woods Hole (WHOI) din S.U.A. în 1985 pentru a descoperi epava Titanicului. Aceste vehicule submarine au reprezentat instrumentele cu care s-au făcut primele descoperiri ale izvoarelor hidro-termale, surse de apă foarte fierbinte de pe fundul oceanelor, în jurul cărora s-au descoperit forme de viață total diferite față de ce se știa până la momentul respectiv (1970). Astfel, importanța acestor descoperiri poate fi comparată doar cu cea a misiunilor spațiale și în mod asemănător putem discuta și despre tehnologiile care le fac posibile. În ziua de astăzi atât tehnologia privind vehiculele, cât și cea referitoare la senzori, sunt destul de mature pentru a motiva ideea unor rețele de senzori subacvatici în mările și oceanele lumii [4].

Seaweb este un exemplu de rețea de senzori subacvatici de mari dimensiuni, dezvoltată pentru scopuri militare [5], de monitorizare și detecție a submarinelor. Un alt exemplu este consorțiul format din Massachusetts Institute of Technology (MIT) și Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation care a colectat date cu ajutorul unor rețele de senzori atât fixe, cât și mobili montați pe vehicule autonome, însă amplasarea rețelelor a fost relativ de scurtă durată, de ordinul zilelor, în apropierea coastelor Australiei [6]. Ocean Observatories Initiative reprezintă una dintre cele mai mari rețele submarine cablate, care elimină problema comunicațiilor acustice, precum și cea a sursei de alimentare, folosind cablurile, însă presupune pe termen lung niște investiții semnificative de mari, aprox. 153 milioane \$ [7] [8]. Primul cablu submarin de telefonie, TAT-1, conecta America de Nord de Europa în 1956. Primele cabluri submarine de telegraf funcționau deja de aproape 100 de ani. Capacitatea cablurilor trans-atlantice a crescut exponențial în următorii 50 de ani, atingând o capacitate de aproape 10Tbps în 2008 [9].

Prin acest studiu se dorește determinarea unor metode cât mai eficiente de implementare a unor astfel de rețele de senzori în jurul operațiunilor offshore, foraj, prospecțiuni geologice, precum și determinarea eventualelor obstacole și piedici de design pentru demararea acestui proces de implementare a unor noduri de rețea subacvatică. Pentru o mai bună observare a eventualelor probleme, se dezvoltă scenarii de simulare pentru plantarea senzorilor în jurul operațiunilor de construcții, mentenanță sau exploatare desfășurate în domeniul maritim folosind scripturi .lua în cadrul simulatorului VMAX PerrySlingsby Triton XLX XLR.

Folosim modele de ROV PerrySlingsby Triton XLS și XLR care sunt disponibile în bazinul Mării Negre. Deși vom încerca să identificăm imaginea de ansamblu la nivel global a unei astfel de rețele submarine, din considerente financiare ne putem gândi doar la o platformă test-bed mică și înainte de toate vom crea scenarii de simulare pe simulatorul VMAX ROV.

Totodată, se caută extinderea posibilităților aplicațiilor viitoare în domeniul marin folosind această infrastructură și studiul încearcă să caute beneficii colaterale ale implementării acestor rețele, toate ideile și aplicațiile posibile fiind prezentate cu scopul de a putea depăși unul dintre cele mai mari impedimente: costurile de dezvoltare. Dispozitivele subacvatice nu sunt ieftine și nici nu pot fi abandonate în cazul apariției vreunei erori și



trebuie recuperate. Acest fapt de sine-stătător poate fi considerat drept cea mai importantă trăsătură, cel puțin pentru moment, care diferențiază rețelele de senzori în domeniul marin de corespondențele lor din mediul terestru și care schimbă în mod fundamental paradigmele cunoscute ale dezvoltării rețelelor.

Beneficiile colaterale ale implementării rețelelor de senzori subacvatici s-ar putea extinde până la viziunea unui World-Wide-Offshore (WWO), al unui internet extins deasupra mărilor și oceanelor lumii, care s-ar putea dezvolta prin unirea tuturor rețelelor de senzori polivalenți implementate la început în jurul exploatărilor petroliere sau de-a lungul cablurilor submarine și apoi în jurul oricărui punct de interes din oceanul planetar. Așa cum după 1990 World-Wide-Web-ul a cunoscut o dezvoltare fără precedent prin adăugarea în permanență a noi noduri la rețeaua globală, în același mod s-ar putea dezvolta și "water-net"-ul imaginar, prin unirea acestor balize.

„Deși în acest moment nu există operațiuni care să implice în mod uzual rețelele subacvatice wireless, dezvoltarea acestora este iminentă” [10].

## 2.2. DOMENII DE APLICABILITATE

Două treimi din suprafața globului pământesc sunt acoperite de apă și așa cum istoria a dovedit-o, există o cerere în creștere constantă de utilizare a acestui spațiu, precum și idei noi de implementare a diferitelor scopuri. Una din cele mai recente este probabil transferarea unor cladiri întregi de servere pe mare - serverele de date ale companiei Google [11] care produc o amprentă de căldură vizibilă chiar din spațiu cu ajutorul sateliților. Aceste cladiri întregi cu servere se doresc a fi mutate în offshore pentru adoptarea unor soluții de racire folosind temperatura apei oceanului planetar, deoarece în prezent există o reală dificultate în privința menținerii unor limite de temperaturi de funcționare corecte în aceste clădiri, fiind o provocare atât din punct de vedere tehnic, cât și financiar. Energia consumată doar pentru menținerea acestor limite de funcționare, cât și cheltuielile aferente pentru aceste echipamente sunt din ce în ce mai mari. Mutând aceste activități digitale pe mare, necesitățile electrice ar putea fi satisfăcute spre exemplu de către convertoarele de energie marină Pelamis Wave Converters [12]. Aplicațiile rețelelor de senzori subacvatici intră în aceleași categorii ca și cele ale celor terestri:

### 2.2.1. APLICAȚII ȘTIINȚIFICE

### 2.2.2. APLICAȚII INDUSTRIALE

### 2.2.3. APLICAȚII MILITARE

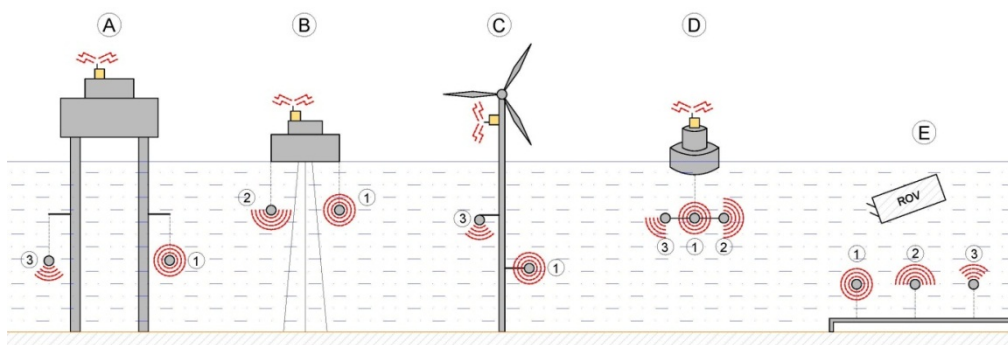
## 2.3. DIFICULTĂȚI ÎN DEZVOLTARE

Este instructiv să efectuăm o comparație între rețelele actuale de senzori terestre și practicile curente din mediul marin: rețelele de senzori wireless sau cablați de la țărm au dispuneri relativ dense, la cel mult câteva sute de metri distanță, folosesc comunicații pe rază scurtă, în timp ce rețelele de senzori marini, în special cele wireless-acustice, sunt foarte

rarefiate, având nodurile plasate chiar la kilometri distanță și transmit de obicei informația unei stații-bază, pe raze lungi și foarte lungi. Sub aspect financiar, dacă senzorii folosiți pe uscat sunt foarte ieftini, însă în privința nodurilor unei rețele wireless-acustice în domeniul marin putem ajunge și la valori de peste \$10.000 per nod. Se încearcă depășirea barierelor financiare prin sugerarea diferitelor domenii de aplicabilitate, precum și aplicarea design-ului și avantajele rețelelor terestre către cele subacvatice [16].

Mobilitatea și densitatea sunt cei doi parametri care diferă între tipurile de implementări ale rețelelor de senzori subacvatici. Există eforturi considerabile în sensul rețelelor de senzori subacvatici cablați, încă din 1950 de la sistemele militare de supraveghere acustică, până la recenta Inițiativa a Observatoarelor Oceanice [7]. Rețelele de senzori marini sunt de multe ori de tip „static”: noduri individuale legate de docuri sau balize ancorate de fundul mării. Alternativ, există senzori semi-mobili, care sunt legați de balize autonome, care au poziții relativ statice pe termen scurt sau mediu [17]. Noțiunea de „static” este ușor exagerată, deoarece pot exista probleme de conectivitate într-o astfel de rețea datorită unor mișcări la scară foarte mică (datorate curenților sau mișcărilor valurilor, chiar și în cazul ancorelor, acestea pot draga). Unele rețele de senzori pot fi considerate mobile, fiind atașate AUV-urilor sau chiar navelor. Mobilitatea este folositoare pentru maximizarea acoperirii suprafețelor de apă cu cât mai puțin hardware, însă în acest caz apar probleme legate de localizare și de menținerea unei conexiuni permanente la rețea.

Fig. 2.1 prezintă o posibilă implementare a rețelei de senzori subacvatici cu ajutorul unui vehicul telecomandat în jurul unor locații pre-existente de exploatare sau de transport a resurselor de hidrocarburi sau energii regenerabile pe mare. Dispozitivele de instrumentație subacvatică au fost echipate cu senzori diferiți: senzorii de tip 1 sunt echipați cu o camera video subacvatică și de aceea aria de acțiune este practic un trunchi de con cu originea în fanta sensorului CCD, în timp ce senzorii tip 2 și tip 3 au ariile de acțiune în jurul sferei sau doar într-o singură emisferă.



**Fig. 2.1.** Implementare posibilă a unei rețele subacvatice Safe-Nets cu senzori diferiți  
A) Platformă Jack-Up; B) Platformă semi-submersibilă; C) Centrală eoliană pe mare;  
D) Baliză autonomă; E) Vehicul de tip ROV

Până acum au existat mai multe încercări de a dezvolta rețele de senzori subacvatici, care să înregistreze diferite date pe parcursul imersiunii acestora, însă de fiecare dată senzorii erau recuperați din apă. Această metodă nu permite flexibilitatea necesară unei

monitorizări în timp real, fără a beneficia de informație decât la momentul recuperării din apă. Monitorizarea granițelor, monitorizarea seismică sau a poluării mediului necesită comunicații în timp real sau cu o latență relativ mică. Datele ocupă un anumit spațiu și nu pot fi stocate pe timp nedefinit, ele acumulându-se în timp și spațiul de stocare fiind limitat. Totodată, alimentarea cu energie electrică a senzorilor este o problemă, deoarece energia dată de baterii este limitată.

Putem concludiona că marile provocări ale studiului dezvoltării unei rețele globale de senzori multi-scop cu polivalențe în domeniul prospecțiunilor marine sunt: problema financiară, mediul ostil în care acționează, lățimea de bandă limitată în ceea ce privește comunicațiile și alimentarea cu energie electrică [19].

### 2.3.1. SOLUȚII REFERITOARE LA ALIMENTAREA CU ENERGIE DIN SURSE REGENERABILE

Valurile se formează datorită acțiunii vânturilor care suflă deasupra apei și se produc numai în zonele aflate la suprafața mării. Mărimea valurilor generate depinde de viteza vântului, durata sa, precum și lungimea de apă peste care suflă (lungimea de acțiune). Mișcarea apei rezultată posedă energie cinetică, ce poate fi exploatată de echipamente special concepute. Cele mai bogate resurse de valuri se produc în zone în care vânturile puternice au călătorit pe distanțe lungi. Din acest motiv, cele mai bogate resurse de valuri din Europa se regăsesc de-a lungul coastelor vestice care se aștern la limita unei zone lungi de acțiune (Oceanul Atlantic). Lângă coastă, energia valurilor descrește, datorită frecării cu patul mării, de aceea nivelul cel mai ridicat al energiei valurilor se înregistrează în apele adânci din larg [20]. Conform proiectului european Aquatic Renewable Energy Technologies (Aqua-RET), aflat sub egida programului Leonardo da Vinci din 2006, există mai multe tipuri de echipamente pentru captarea următoarelor tipuri de energii regenerabile:

#### 2.3.1.1. *Energia valurilor*

- a) Atenuator
- b) Punctele de absorbție axial simetrice
- c) Convertoarele oscilației de nivel al valului
- d) Coloana de apă oscilantă
- e) Dispozitive plasate în vârf
- f) Dispozitive de presiune diferențială submersibile

#### 2.3.1.2. *Energia curenților mareici*

#### 2.3.1.3. *Energia vântului în larg*

#### 2.3.1.4. *Energia curenților oceanici*

#### 2.3.1.5. *Energia termică a oceanelor*

### 2.3.2. SFERA DE APLICABILITATE

Toate aceste implementări sau posibile implementări de sisteme de captare și producere de energie electrică din surse regenerabile pe mare pot reprezenta totodată puncte de interes offshore pentru studiul nostru.

### 2.4. PROBLEMA COMUNICAȚIILOR ÎN MEDIUL MARIN

La suprafață, spectrul electromagnetic domină comunicațiile prin metode de transmisie radio sau optice care furnizează toate caracteristicile optime pentru comunicațiile de rază lungă. Mulți cercetători sunt în prezent implicați în dezvoltarea unor soluții de rețelistică wireless pe uscat, însă caracteristicile unice ale mediului de comunicație subacvatic fac inutile protocoalele de comunicații care se aplică pe țărâm, deoarece canalele, lățimea de bandă și latența foarte mare împiedică comunicațiile bidirecționale eficiente și sigure [31]. Se încearcă transpunerea avantajelor rețelelor de senzori wireless de pe uscat și pe mare, însă comunicațiile acustice nu se supun aceluiași reguli [16].

Undele radio care se propagă pe distanțe mari prin intermediul apei de mare necesită frecvențe joase și ultra joase de transmisie (30-300 Hz) și totodată presupun folosirea unor antene de dimensiuni și puteri mari. Undele optice nu suferă de aceeași atenuare din cauza apei, însă în cazul acestora apare problema difracției luminii. Transmisia unor astfel de semnale optice-luminoase necesită echipamente laser sofisticate de mare precizie [32]. Cât timp tehnologia laser care să permită transmisia unor fascicule înguste foarte exacte este încă perfectată, singura soluție pentru comunicații în mediul subacvatic unde cablarea este imposibilă sau neacceptabilă rămâne cea a undelor acustice.

#### 2.4.1. SPECTRUL ELECTROMAGNETIC

Atunci când electronii se află în mișcare, ei creează unde electromagnetice care se pot propaga în spațiu (chiar și în vid). Aceste unde au fost prezise de fizicianul britanic James Clerk Maxwell în 1865 și au fost produse și observate pentru prima dată de fizicianul Heinrich Hertz în 1887. Numărul de oscilații pe secundă este numit frecvență ( $f$ ) și este măsurată în Hz. Distanța dintre două maxime (sau minime) consecutive este numită lungime de undă notația universală fiind  $\lambda$  (lambda). Prin atașarea unei antene corespunzătoare unui circuit, undele electromagnetice pot fi difuzate eficient și interceptate de un receptor, aflat la o anumită distanță. Toate comunicațiile fără fir se bazează pe acest principiu.

În vid toate undele electromagnetice se transmit cu aceeași viteză, indiferent de frecvență. Această viteză, de obicei numită viteza luminii,  $c$ , este de aproximativ  $3 \times 10^{10}$  m/sec. În alte medii precum cuprul sau fibra optică, viteza scade la aproape 2/3 din această valoare și devine ușor dependentă de frecvență. Viteza luminii este viteza maximă care se poate atinge.

Relația fundamentală dintre  $f$ ,  $\lambda$  și  $c$  (în vid) este:

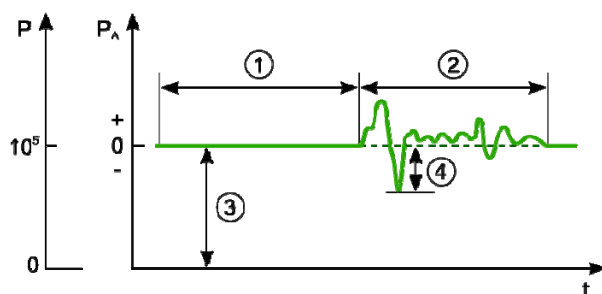
$$\lambda f = c \quad (2.1)$$

Domeniile corespunzătoare undelor radio, microundelor, undelor infraroșii și luminii vizibile din spectru pot fi folosite pentru transmiterea informației prin modularea amplitudinii, frecvenței, sau fazei undelor. Lumina ultravioletă, razele X și razele gama ar fi chiar mai performante datorită frecvenței lor mai înalte, dar ele sunt greu de produs și modulat, nu se propagă bine prin clădiri și sunt periculoase ființelor vii.

## 2.4.2. PROPAGAREA UNDELOR ACUSTICE

Acustica s-a dezvoltat inițial ca studiu al micilor unde de presiune în aer, care pot fi detectate de urechea umană: sunetele. Scopul acusticii s-a extins între timp către frecvențele mai înalte, peste 20kHz (ultrasunetele) și către frecvențele mai joase, sub 20Hz (infrasunetele). În ziua de azi sunt incluse deseori în domeniu și vibrațiile structurale. Totodată, percepția sunetului reprezintă o arie a cercetărilor acustice. În cele ce urmează, ne vom referi la acustică prin prisma definiției originale și cu referire la dinamica fluidelor – la propagarea prin aer sau apă. Una din problemele majore legate de dinamica fluidelor o reprezintă ecuațiile neliniare de mișcare, care implică faptul că nu există o soluție generală exactă pentru acestea. Acustica reprezintă primul ordin de aproximație în care efectele non-lineare sunt neglijate [34].

Undele acustice se propagă datorită compresibilității mediilor. Presiunea acustică sau presiunea sunetului reprezintă deviația locală a presiunii cauzată de o undă de sunet față de mediul înconjurător (e.g. în aer, presiunea atmosferică medie sau la echilibru). În aer, presiunea sunetului poate fi măsurată folosind un microfon, iar în apă, folosind un hidrofon. Unitatea în Sistemul Internațional pentru presiunea sunetului  $p$  este pascalul (Pa).



**Fig. 2.2.** Diagrama presiunii sunetului

1) echilibru; 2) sunet; 3) presiune atmosferică; 4) presiunea instantanee generată de sunet

Nivelul presiunii sunetului sau volumul sunetului reprezintă măsurarea logaritmică a presiunii efective a unui sunet față de o valoare de referință (2.2). Aceasta este măsurată în decibeli (dB) deasupra unui nivel de referință. În aer, referința standard este  $20\mu\text{Pa}$ , ceea ce reprezintă în mod uzual nivelul la care urechea umană poate distinge la o frecvență de 1kHz (sunetul unui țânțar care zboară la 3m distanță).

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} = 20 \log_{10} \frac{p_{rms}}{p_{ref}} \quad (2.2)$$

, unde  $p_{ref}$  este presiunea sunetului de referință și  $p_{rms}$  este presiunea sunetului de măsurat.

Astfel, în aer putem considera  $1 \text{ Pa} \approx 94 \text{ dB}$ , însă în apă în mod uzual se iau nivele de referință de ordinul a  $1 \mu\text{Pa}$ . Aceste referințe sunt definite în ANSI S1.1-1994 [35] [36].

Sursa emițătoare sau caracterul sonor	$p_{\text{rms}}$ [Pa]	Nivel sunet [dB]
Limita teoretică pentru distorsionarea sunetului la presiunea mediului normală de 1 atmosferă	101325	~194,094
Grenade de imobilizare	6.000-20.000	170-180
Pușcă calibrul .30-06 la 1m distanță	7265	171
Mitralieră M1 la 1m distanță	5023	168
Lansarea unei navete spațiale	~4000	~165
Limita durerii auditive	100	134
Vătămare auditivă pe termen scurt	20	~120
Avion la 100m distanță	6-200	110-140
Drujbă non-electrică la 1m distanță	6,3	110
Ciocan pneumatic la 1m distanță	2	~100
Vătămare auditivă prin expunere prelungită, repetată	0,6	~85
Zgomot produs de trafic pe o arteră principală	0,2-0,6	80-90
Automobil aflat în mișcare la 10m distanță	0,02-0,2	60-80
Volumul tipic al sonorului unui TV la 1m distanță	$2 \times 10^{-2}$	~60
Vorbire normală la 1m distanță	$2 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2}$	40-60
Zgomotul într-o încăpere obișnuită	$2 \times 10^{-4} - 6,32 \times 10^{-4}$	20-30
Respirația umană obișnuită	$6,32 \times 10^{-5}$	10
Limita auzului uman la 2 kHz	$2 \times 10^{-5}$	0

**Tabel 2.1.** Tabel de comparație între diferite nivele de presiune ale sunetului

În cazul în care există mai multe surse de sunet (e.g. noduri multiple de rețea care să emită acustic în același timp), pentru a însuma nivelele presiunilor exercitate de toate sursele emitente putem folosi formulele ( 2.3 ) și ( 2.4 ):

$$L_{\Sigma} = 10 \log_{10} \left( \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) \quad (2.3)$$

$$L_{\Sigma} = 10 \log_{10} \left( \left( \frac{p_1}{p_{\text{ref}}} \right)^2 + \left( \frac{p_2}{p_{\text{ref}}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{p_n}{p_{\text{ref}}} \right)^2 \right) \quad (2.4)$$

Din formula nivelului presiunii sunetului avem:

$$\left( \frac{p_l}{p_{\text{ref}}} \right)^2 = 10^{\frac{L_l}{10}}, \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

Din ( 2.4 ) și ( 2.5 ) rezultă:

$$L_{\Sigma} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad (2.6)$$

Totodată, pentru măsurarea sunetului produs de o sursă, se aplică legea distanței, însă presiunea exercitată de sunet nu scade invers proporțional cu pătratul distanței, ci este invers proporțional cu distanța însăși. Dacă avem presiunea  $p_1$  măsurată la o distanță  $r_1$ , atunci putem calcula  $p_2$  la o altă distanță  $r_2$  conform relației:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (2.7)$$

Particula unui fluid reprezintă un element de volum îndeajuns de mare pentru a conține miliarde de molecule astfel încât fluidul să poată fi considerat drept un mediu continuu, însă îndeajuns de mică pentru ca toate variabilele acustice să poată fi considerate (aproape) constante în întreg volumul elementului [36].

Variabilele acustice sunt dependente de timp și sunt definite în orice punct  $x$  al fluidului, adică pentru orice particulă de fluid:

- Viteza particulei:  $v = \frac{\partial \xi}{\partial t}$  (2.8)

, unde  $\xi = \xi(x, t)$  este deplasarea particulei de la poziția de echilibru.

- fluctuațiile de densitate:  $\bar{\rho} = \rho - \rho_0$  (2.9)

, unde  $\rho = \rho(x, t)$  este densitatea instantanee în orice punct, iar  $\rho_0$  este densitatea medie a fluidului în poziția de echilibru.

- presiunea acustică:  $\bar{p} = p - p_0$  (2.10)

, unde  $p = p(x, t)$  este presiunea instantanee în orice punct, iar  $p_0$  este presiunea constantă a fluidului în poziția de echilibru.

Ecuția de stare pentru un gaz perfect este:

$$p = r \cdot \rho \cdot T \quad (2.11)$$

, unde  $T$  este temperatura absolută,  $\rho$  este densitatea fluidului și  $r$  este o constantă care depinde de particularitățile fluidului.

Dacă restricționăm și procesul termodinamic atunci putem face următoarele simplificări:

Ecuția de stare pentru un proces izoterm este:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2.12)$$

Ecuția de stare pentru un proces adiabat (fără schimb de energie termică între particulele fluidului) este:

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^\gamma \quad (2.13)$$

, unde  $\gamma$  reprezintă raportul căldurilor specifice ( $\gamma = 1,4$  pentru aer).

În cazul propagării undelor acustice în fluide reale pentru următorul formalism matematic trebuie să facem următoarele presupuneri: forțele gravitaționale pot fi neglijate, astfel încât presiunea de echilibru și densitatea capătă valori uniforme ( $p_0$  și  $\rho_0$ ) în tot volumul fluidului; efectele disipative precum viscozitatea și conductibilitatea termică sunt neglijabile; mediul este omogen, izotrop și perfect elastic, iar viteza particulelor fluidului este mică (presupunerea amplitudinilor mici) [36].

Putem scrie o dezvoltare Taylor pentru relația dintre presiune și fluctuația densităților:

$$p = p_0 + \left[ \frac{\partial p}{\partial \rho} \right]_{\rho=p_0} (\rho - \rho_0) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial \rho^2} \right]_{\rho=p_0} (\rho - \rho_0)^2 + \dots \quad (2.14)$$

, unde derivatele parțiale sunt constante pentru procesul adiabat în jurul densității de echilibru a fluidului  $\rho_0$ .

Dacă fluctuațiile densității sunt mici, adică  $\bar{p} \ll \rho_0$ , atunci termenii de ordin mari pot fi reduși, iar ecuația de stare adiabată devine una liniară:

$$p - p_0 = K \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (2.15)$$

Presiunea exercitată de sunet  $p$  ( 2.17 ) este în relație directă cu deplasarea particulelor și cu amplitudinea  $\xi$  prin formula ( 2.16):

$$\xi = \frac{v}{2\pi f} = \frac{v}{\omega} = \frac{p}{Z\omega} = \frac{p}{2\pi f Z} \quad (2.16)$$

$$p = \rho c 2\pi f \xi = \rho c \omega \xi = Z \omega \xi = 2\pi f \xi Z = \frac{aZ}{\omega} = Zv = c\sqrt{\rho E} = \sqrt{\frac{P_{ac} Z}{A}} \quad (2.17)$$

, unde simbolurile împreună cu unitățile de măsură în S.I. sunt definite în **Tabel 2.2**:

Simbol	Unitate S.I.	Semnificație
$p$	Pascal	presiunea sunetului
$f$	Hertz	frecvența
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	densitatea mediului (constantă)
$c$	m / s	viteza sunetului (constantă)
$v$	m / s	viteza particulei
$\omega$	rad / s	viteza unghiulară
$\xi$	m	deplasarea particulei
$Z$	N*s / m <sup>3</sup>	impedanța acustică
$a$	m / s <sup>2</sup>	acelerația particulei
$I$	W / m <sup>2</sup>	intensitatea sunetului
$E$	W*s / m <sup>3</sup>	densitatea energiei sunetului
$P_{ac}$	Watt	puterea acustică
$A$	m <sup>2</sup>	aria

**Tabel 2.2.** Semnificații simboluri și unități S.I. acustice

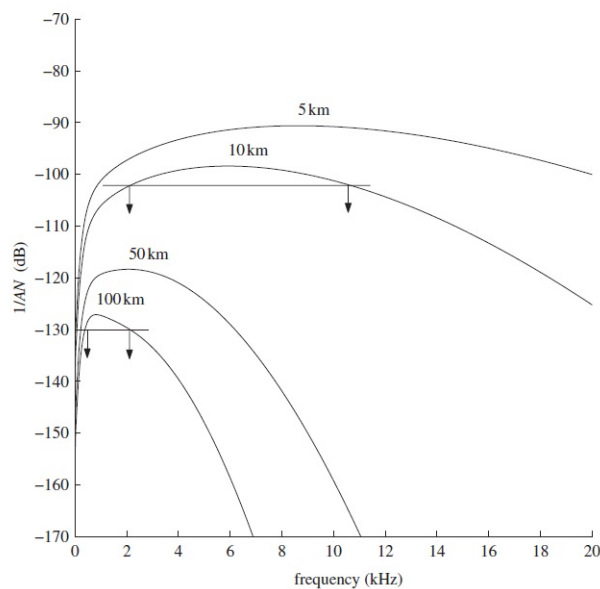
Propagarea undelor acustice în gama de frecvențe de interes pentru partea de comunicații poate fi descrisă pe mai multe nivele. Atenuarea fundamentală descrie pierderea puterii unui ton la o frecvență  $f$ , pe măsură ce traversează o distanță dată  $d$ . Primul nivel ia în calcul această pierdere fundamentală care apare pe distanța de transmisie  $d$ .

Al doilea nivel ia în calcul pierderea specifică locației, datorată reflexiilor și refracțiilor suprafața superioară, suprafața inferioară (suprafața apei - fundul mării) și totodată variația vitezei sunetului în raport cu adâncimea, rezultând astfel un model de predicție mai bun al unui anumit transmițător.



Al treilea nivel adresează schimbările aparent aleatorii ale puterii semnalului recepționat, considerând o medie într-o anumită perioadă de timp – aceste schimbări fiind datorate variațiilor lente ale mediului de propagare (spre ex.: mările).

Aceste fenomene sunt relevante pentru determinarea puterii de transmisie necesare pentru a realiza o comunicație cu succes. Se poate lua în considerare și un model separat care să adreseze variațiile rapide ale puterii instantanee a semnalului la orice moment de timp, la o scară mult mai mică. **Fig. 2.3** ilustrează efectul combinat al atenuării și al zgomotului în comunicațiile acustice evaluând  $A(d,f) N(f)$  în funcție de propagarea (ideală) a atenuării  $A(d,f)$  și în funcție de densitatea puterii spectrale tipică zgomotului de fond  $N(f)$ , care scade la 18dB pe decada [37] [38].



**Fig. 2.3.** Raport semnal – zgomot, funcție de frecvența pentru diferite distanțe de transmisie. Absorbția sunetului limitează banda care poate fi folosită pentru transmisie și devine dependentă de distanță

Această caracteristică descrie raportul semnal-zgomot (SNR) observat în jurul benzii de frecvență  $f$ . **Fig. 2.3** arată că frecvențele înalte sunt atenuate rapid pe distanțe lungi, forțând astfel marea majoritate a modemurilor care operează pe distanțe de kilometri în benzi de ordinul a maxim câțiva zeci de kHz, sugerând existența unei frecvențe optime pentru o anumită bandă de transmisie [39]. Totodată, reliefează faptul că banda disponibilă și implicit rata efectivă de transmisie se reduce pe măsura ce distanța [38]. Dezvoltarea rețelelor mari începe prin determinarea acestei frecvențe, alocând o anumită bandă în jurul ei.

### 2.4.3. COMUNICAȚIA ACUSTICĂ

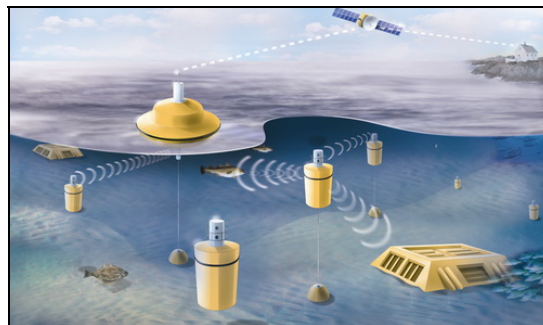
Sistemele subacvatice care necesită comunicații folosesc tehnologii acustice. Comunicațiile prin tehnologii complementare, precum cele menționate în [6] și [40] sau în radio-frecvență [41] sau chiar comunicații folosind proprietăți electrostatice [42] au fost propuse de-a lungul timpului pentru distanțe mici (de ordinul a câțiva metri). În acest spațiu

poate fi exploatată lățimea de bandă mare pe care o oferă, însă semnalele tind să se atenueze foarte rapid, distanța maximă fiind de maxim câțiva zeci de metri în cazul comunicațiilor optice, în condiții ideale.

Comunicațiile acustice oferă raze lungi de acțiune, însă sunt constrânse de 3 factori: banda limitată și dependența de distanță, propagare pe mai multe căi variabilă în timp și latență din propagarea sunetului. Împreună, aceste constrângeri formează un canal de comunicație de proastă calitate și cu latență mare, combinând toate aspectele negative cunoscute ale comunicațiilor [43].

Necesitatea comunicațiilor acustice wireless există în special în industria petrolieră offshore pentru echipamente telecomandate sub apă, în domenii precum prospecțiunile geologice marine sau monitorizarea poluării în diferite micro sisteme subacvatice, în colectarea datelor de la stații pe fundul oceanelor sau în transmisia vocii între scufundători. Comunicațiile wireless subacvatice pot fi realizate prin transmisii de unde acustice, iar acest domeniu care cândva era destinat exclusiv zonei militare, se extinde înspre partea aplicațiilor comerciale și industriale.

În ultimii ani s-au realizat progrese semnificative în dezvoltarea sistemelor de comunicație submarină, atât sub aspectul distanțelor operaționale, cât și în ceea ce privește cantitatea datelor transferate [47]: roboți care înlocuiesc cu succes scufundătorii sub platforme semi-submersibile, transmisii video de calitate înaltă de pe fundul oceanelor, comunicații la peste 1000km distanță cu o cadență de 100 biti/secundă [48]. Odată cu progresul tehnologiilor modemurilor acustice, cercetarea se îndreaptă spre comunicațiile acustice în cadrul unei rețele, ale căror paradigme au fost identificate pe parcursul ultimei decade, subliniind încă o dată diferențele fundamentale între propagarea undelor radio și propagarea sunetului.



**Fig. 2.4.** Exemplu de comunicație wireless-acustică și prin satelit cu ajutorul unei balize autonome

Propagarea pe mai multe direcții creează un ecou al semnalului care ajunge cu diferite latențe. Problema latenței ecoului este dependentă de locație și poate varia de la câteva milisecunde până la câteva sute de milisecunde. Pentru a evita aceste probleme, chiar și modemurile timpurii foloseau tehnici de modulație în frecvență. Deși aceste metode îngreunează comunicația, sunt preferate pentru robustețea comunicațiilor, în mod uzual la ordine de 100bps per >3-4km. Exemple de modemi comerciale: Telesonar series produs de către Teledyne-Benthos [49] sau prototipuri recent dezvoltate la WHOI [50].

## 2.5. MODALITATE DE MODELARE MATEMATICĂ UNITARĂ

În cele ce urmează introducem o clasă de sisteme care poate fi considerată în cadrul acestei dizertații, precum și definiții pentru configurații de senzori și actuatore la distanță. Sunt definite concepte importante pentru identificarea parametrilor și experimente de design. Această clasă pentru sisteme cu parametri distribuiți modelată cu ajutorul ecuațiilor diferențiale a fost preluată din studiul teoretic și practic [51] cu specificația că modelul realizat este specific dronelor aeriene care efectuează poze asupra teritoriului agricol din S.U.A. Aceste drone sunt folosite pentru corelarea datelor preluate de la stații de instrumentație aflate la sol, prin intermediul pozelor de înaltă rezoluție luate din aer și juxtapunerea acestora cu imagini din satelit, care au o rezoluție mai joasă. Sincronizarea datelor este necesară pentru eficientizarea procesului agricol și maximizarea recoltelor prin corelarea informațiilor meteo cu zone agricole exacte de pe teritoriul S.U.A. Modelul matematic propus de [51] presupune optimizarea punctelor de lansare ale dronelor, precum și a traiectoriilor acestora pentru acoperirea a cât mai mult teritoriu cu cât mai puține drone, respectiv hardware scump și greu de procurat. În cadrul acestui subcapitol se va încerca o analogie cu teritoriul maritim de interes prin sinonimia stațiilor fixe de instrumentație de la sol cu structurile offshore pre-existente unde se dorește implementarea senzorilor subacvatici “Safe-Nets”, de asemenea fixe. Totodată, senzorii mobili pot fi reprezentați de către vehicule de tip ROV sau AUV cu senzori de colectare de date pe ele sau de către balize plutitoare și elemente cu comportament asemănător acestora (capitolul 2, subcapitolele 2.3 și 2.4). Optimizarea adusă de acest model matematic poate fi introdusă în studiu prin extrapolare, făcând excepție de mediul înconjurător, ale cărui constante particulare nu au fost regăsite în studiu. Modelul poate suferi modificări în special în privința constantelor de mediu.

### 2.5.1. DEFINIȚIA SISTEMULUI

Considerăm o clasă de sisteme liniare cu parametri distribuiți, care pot fi descrisă prin următoarea ecuație de stare:

$$\begin{cases} \dot{y}(t) = Ay(t) + Bu(t), & 0 < t < T \\ y(0) = y_0 \end{cases} \quad (2.18)$$

, unde  $Y = L^2(\Omega)$  este spațiul stărilor, iar  $\Omega$  este un subspațiu limitat și mărginit al lui  $\mathbf{R}^n$  cu limită uniformă suficientă  $\Gamma = \partial\Omega$ . Domeniul  $\Omega$  reprezintă suportul geometric al sistemului considerat (2.18).  $A$  este operatorul liniar care descrie dinamica sistemului și care generează un semi-grup continuu în  $Y$ :  $(\Phi(t))_{t \geq 0}$ .  $B \in \mathcal{L}(U, Y)$  este intrarea  $U \rightarrow Y$ , iar  $u \in \mathcal{L}^2(0, T, U)$  este spațiul funcțiilor integrabile  $f: ]0, T[ \rightarrow U$  astfel încât funcția  $t \mapsto \|f(t)\|^p$  este integrabilă pe  $]0, T[$ .  $U$  este spațiu de controlabilitate Hilbert. Totodată, sistemul considerat are următoarea ecuație de ieșire:

$$z(t) = Cy(t) \quad (2.19)$$

, unde  $C \in \mathcal{L}(L^2(\Omega), Z)$  și  $Z$  formează spațiul de observație Hilbert. Astfel, putem adapta ecuația de stare (2.18) pentru definițiile sistemelor considerate pentru senzori, actuatore, controlabilitate și observabilitate.

În mod obișnuit, analiza sistemelor cu parametrii distribuiți este relativ abstractă în forma sa pur matematică. Încercăm însă să facem referire la toate caracteristicile sistemelor în relație cu variabilele de spațiu și aspectele geometrice ale intrărilor și ieșirilor sistemului, iar dintr-o perspectivă inginerască introducem conceptele de actuatori și senzori în cadrul sistemelor cu parametrii distribuiți. Cercetarea poate fi astfel dusa mai departe de operatorii  $A$ ,  $B$  și  $C$ , prin referire la distribuția spațială, locație, număr și tip de senzori.

Senzorii au avut întotdeauna un rol pasiv în observație, prin măsurătorile sistemului și evoluția în timp și spațiu a stării acestuia. Pe de altă parte, actuatorii furnizează o impunere, o acțiune asupra sistemului. Senzorii și actuatorii pot de diferite tipuri ficși sau mobili, cu zone de acțiune naturale diverse: punctuale, distribuite sau zonale. O noțiune importantă devine astfel cea de regiune a unui domeniu. Aceasta este definită în mod general ca un subdomeniu a lui  $\Omega$ . Astfel, în loc să evaluăm problema în spațiul total  $\Omega$ , ne putem concentra asupra unei sub-regiuni  $\omega \in \Omega$ , apoi putem extinde până la un punct  $\omega = \Omega$ . Astfel de metode pot permite generalizarea definițiilor și metodologiilor dezvoltate în lucrări deja existente în domeniul analizei și controlului sistemelor cu parametrii distribuiți. Introducem în continuare definițiile matematice ale actuatorilor și senzorilor.

### 2.5.2. DEFINIȚIA ACTUATORULUI

Fie  $\Omega$  un subspațiu limitat și mărginit al lui  $\mathbf{R}^n$  cu limită netedă suficientă  $\Gamma = \partial\Omega$ . Un actuator reprezintă un cuplu  $(D, g)$  unde  $D$  reprezintă suportul geometric al actuatorului,  $D = \text{supp}(g) \subset \Omega$ , iar  $g$  este distribuția lui spațială [51].

Actuatorul  $(D, g)$  este un actuator de zonă, dacă  $D$  este o subregiune nevidă a lui  $\Omega$ .  $(D, g)$  este un actuator punctiform dacă  $D$  este redus la un punct  $b \in \Omega$ , iar în acest caz avem  $g = \delta_b$  unde  $\delta_b$  este funcția Dirac concentrată în jurul lui  $b$ , notația actuatorului devenind  $(b, \delta_b)$ . Un actuator de zonă sau punctiform este un actuator limită dacă suportul său  $D \subset \Gamma$ . O reprezentare grafică pentru suportul actuatorilor este dată în Fig. 2.5:

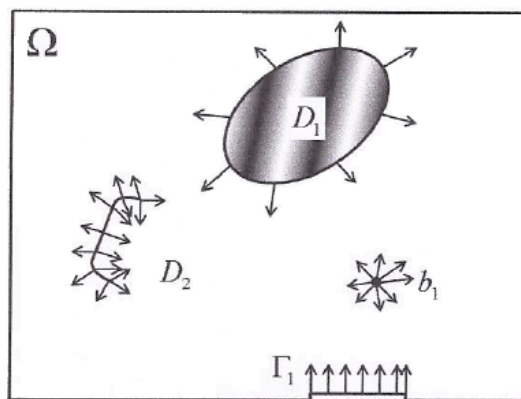


Fig. 2.5. Reprezentare grafică pentru suportul actuatorilor

În definiția anterioară se presupune că  $g \in L^2(D)$ , iar pentru o colecție de actuatori  $p: (D_i, g_i)_{1 \leq i \leq p}$  avem:

$$U = \mathbf{R}^p$$

$$B: \mathbb{R}^p \rightarrow L^2(\Omega) \quad (2.20)$$

$$u(t) \rightarrow Bu(t) = \sum_{i=1}^p g_i u_i(t)$$

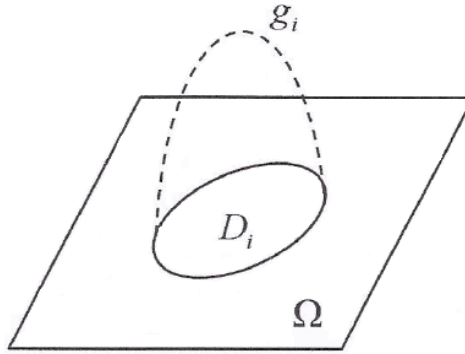
, unde  $u = (u_1, u_2, \dots, u_p)^T \in L^2(0, T, \mathbb{R}^p)$  și  $g_i \in L^2(D_i)$  cu  $D_i = \text{supp}(g_i) \subset \Omega$  pentru  $i = 1, \dots, p$  și  $D_i \cap D_j = \emptyset$  pentru  $i \neq j$ . Astfel,

$$B^* y = ((g_1, y), (g_2, y), \dots, (g_p, y))^T, \quad z \in L^2(\Omega) \quad (2.21)$$

, unde  $M^T$  este transpusa matricii  $M$  și grupurile  $\langle \cdot, \cdot \rangle = \langle \cdot, \cdot \rangle_Y$  reprezintă produsul interior în  $Y$ . Dacă  $\text{supp}(v) = D$ , pentru  $v \in Y$  avem:

$$\langle v, \cdot \rangle = \langle v, \cdot \rangle_{L^2(D)} \quad (2.22)$$

Dacă  $D$  nu depinde de timp, atunci actuatorul  $(D, g)$  se spune că este fix sau staționar. Altfel, este unul mobil și se notează prin grupul  $(D_t, g_t)$ , unde  $D(t)$  și  $g(t)$  sunt suportul geometric, respectiv distribuția spațială a actuatorului la momentul de timp  $t$ , conform ilustrației din **Fig. 2.6**:



**Fig. 2.6.** Suportul geometric și distribuția spațială a unui actuator

### 2.5.3. DEFINIȚIA SENZORULUI

Definiția unui senzor pentru sisteme cu parametrii distribuiți conform [52] este un cuplu  $(D, h)$ , unde  $D$  reprezintă suportul senzorului,  $D = \text{supp}(h) \subset \Omega$ , iar  $h$  este distribuția sa spațială.

O reprezentare grafică a suportului senzorilor este dată în **Fig. 2.7**:

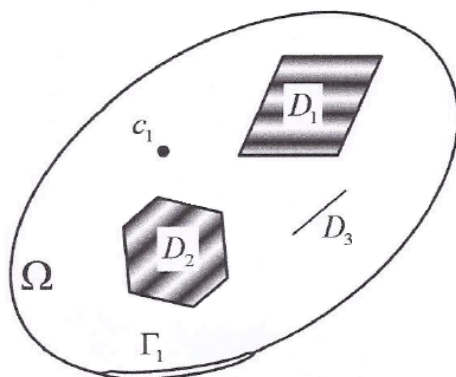


Fig. 2.7. Ilustrație a suportului senzorialor

Ca și în cazul actuatorilor, o presupunere de ordin general este ca  $h \in L^2(D)$ . În mod similar ca în paragraful anterior putem defini senzori zonali sau punctiformi, interiori sau la limită, ficși sau mobili. Dacă ieșirea sistemului este data prin intermediul a  $q$  senzori de zonă  $(D_i, h_i)_{1 \leq i \leq q}$  cu  $h_i \in L^2(D_i)$ ,  $D_i = \text{supp}(h_i) \subset \Omega$  pentru  $i = 1, \dots, q$  și  $D_i \cap D_j = \emptyset$  dacă  $i \neq j$  atunci pentru această zonă operatorul de ieșire  $C$  al sistemului cu parametrii distribuiți poate fi definit prin

$$C: L^2(\Omega) \rightarrow \mathbb{R}^p \quad (2.23)$$

$$y \rightarrow Cy = (\langle h_1, y \rangle, \langle h_2, y \rangle, \dots, \langle h_p, y \rangle)^T$$

, iar ieșirea este dată de:

$$z(t) = \begin{bmatrix} \langle h_1, y \rangle_{L^2(D_1)} \\ \vdots \\ \langle h_q, y \rangle_{L^2(D_q)} \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Un sensor  $(D, h)$  este un sensor de zonă dacă  $D$  este o subregiune nevidă a lui  $\Omega$ . Senzorul  $(D, h)$  este un sensor punctiform dacă  $D$  este limitat la un punct  $c \in \Omega$  și în acest caz  $h = \delta_c$  unde  $\delta_c$  este funcția Dirac concentrată în jurul lui  $c$ , notația sensorului devenind  $(c, \delta_c)$ . Dacă  $D \subset \Gamma = \partial\Omega$ , sensorul  $(D, h)$  este un sensor la granița sistemului, la „limită”. Dacă  $D$  nu este dependent de timp, atunci sensorul  $(D, h)$  este fix sau staționar, iar în caz contrar spunem că se mișcă, fiind un sensor de scanare mobil, care se notează cu perechea  $(D_t, h_t)$ . În cazul a  $q$  senzori ficși punctiformi localizați în  $(c_i)_{1 \leq i \leq q}$ , funcția de ieșire este un vector de dimensiune  $q$  dat de relația (2.25):

$$z(t) = \begin{bmatrix} y(t, c_1) \\ \vdots \\ y(t, c_q) \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

, unde  $c_i$  este poziția sensorului  $i$  și  $y(t, c_i)$  este starea sistemului în  $c_i$  la momentul de timp  $t$ .

În [51] se definesc totodată noțiunile observabilitate și controlabilitate locală.

#### 2.5.4. IDENTIFICAREA PARAMETRILOR

Problema identificării parametrilor prin natura cazului și dinamica sistemelor cu parametrii distribuiți este dificil de abordat considerând formalismul teoretic ( 2.18 ), de aceea se consideră o dezvoltare a sistemelor cu parametrii distribuiți folosind descrierea prin  $n$  ecuații diferențiale parțiale de forma [51]:

$$\mathcal{F}_1(x, t) \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \mathcal{F}_2(x, t, y(x, t), \nabla y(x, t), \nabla^2 y(x, t), \Theta) \quad (2.26)$$

, unde  $(x, t) \in \Omega \times T \subset \mathbf{R}^{d+1}$ , iar condițiile inițiale sunt:

$$\mathcal{B}(x, t, y) = 0, \quad (x, t) \in \partial\Omega \times T \quad (2.27)$$

$$\mathcal{N}(x, t, y) = 0, \quad (x, t) \in \Omega \times \{0\} \quad (2.28)$$

, unde:

- $\Omega \subset \mathbf{R}^n$  este un domeniu limitat din spațiu cu limită netedă suficientă  $\Gamma = \partial\Omega$
- $t$  este timpul instantaneu
- $T = [0, t_f]$  este un interval limitat de timp numit interval de observație
- $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$  este un punct din spațiu care aparține lui  $\bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma$
- $y = (y_1(x, t), y_2(x, t), \dots, y_n(x, t))$  este vectorul stărilor, iar  $\mathcal{F}_1, \mathcal{F}_2, \mathcal{B}, \mathcal{N}$  sunt funcții cunoscute.

Presupunem că sistemul de ecuații ( 2.26 )  $\rightarrow$  ( 2.28 ) are o soluție uniformă unică și observăm faptul ca sistemul conține un set de parametri  $\Theta$  ale căror valori aparțin de spațiul parametrilor  $\Theta_{ad}$ . Deși  $\Theta_{ad}$  poate avea diferite forme, presupunem că parametrii sunt constanți ( $\Theta \in \mathbf{R}^{mp}$ ). Setul de parametri necunoscuți  $\Theta$  trebuie sa fie determinat prin observațiile a  $N$  senzori mobili punctiformi peste orizontul observabil  $T$ . Definim  $x_j: T \rightarrow \Omega_{ad}$  ca fiind traiectoria celui de-al  $j$ -lea senzor, cu  $\Omega_{ad} \subset \Omega$  regiunea unde se pot face măsuratori [51]. Observațiile se presupun a fi de forma următoare:

$$z^j(t) = y(x^j(t), t) + \varepsilon(x^j(t), t), \quad t \in T, \quad j = 1, \dots, N \quad (2.29)$$

Colecția de măsurători  $z(t) = [z^1(t), z^2(t), \dots, z^N(t)]$  este un vector observabil  $N$ -dimensional și  $\varepsilon$  reprezintă măsurătoarea zgomotului, presupus a fi zgomot alb, Gaussian si spațial necorelat cu următoarele statistici:

$$E\{\varepsilon(x^j(t), t) \varepsilon(x^i(t'), t')\} = \sigma^2 \delta_{ij} \delta(t - t') \quad (2.30)$$

, unde  $\sigma^2$  reprezintă deviația standard a măsurătorii zgomotului, iar  $\delta(\cdot)$  și  $\delta_{ij}$  sunt funcțiile delta Dirac și respectiv, Kronecker [51].

Având sistemul de ecuații ( 2.26 )  $\rightarrow$  ( 2.28 ) problema identificării parametrilor este definită ținând cont de măsurătorile  $z(t)$  de-alungul traiectoriilor ( $x^j$ ), cu  $j = 1, \dots, N$ , obținând o estimare  $\hat{\Theta} \in \Theta_{ad}$  prin minimizare utilizând criteriul mediei celor mai mici pătrate [53] [54].

$$J(\Theta) = \frac{1}{2} \int_0^T \|z(t) - y(x, t, \Theta)\|^2 dt \quad (2.31)$$

, unde  $y(x, t, \Theta)$  este soluția sistemului ( 2.26 )  $\rightarrow$  ( 2.28 ) corespunzătoare unui set de parametri  $\Theta$  dați, iar  $\|\cdot\|$  reprezintă norma Euclidiană.

Valorile estimate ale parametrilor  $\Theta$  sunt influențate de către traiectoriile senzorilor  $x^j(t)$ , iar obiectivele sunt obținerea celor mai bune estimări ale sistemului de parametri. De aceea, decizia unor traiectorii bazate pe datele colectate ale măsurătorilor cantitative în corelație cu precizia dorită a parametrilor estimați este o soluție logică [51].

### 2.5.5. PROBLEMA LOCAȚIEI SENZORILOR

Matricea de Informație Fisher (FIM) definită de [55] este o unealtă binecunoscută în măsurarea performanțelor și obținerea celor mai bune măsurători și este folosită deseori în descrierea sistemelor concentrate în termeni de design experimental optim [56]. Inversa sa constituie o aproximare a covarianței matricei pentru estimarea parametrilor  $\Theta$  [57].

Fie următoarea definiție a experimentului:

$$s(t) = (x^1(t), \dots, x^N(t)), \quad \forall t \in T \quad (2.32)$$

Și fie  $n = \dim(s(t))$ . În astfel de circumstanțe, matricea FIM poate fi scrisă conform [58]:

$$M(s) = \sum_{j=1}^N \int_0^T g(x^j(t), t) g^T(x^j(t), t) dt \quad (2.33)$$

, unde  $g(x, t) = \nabla_{\Theta} y(x, t, \Theta) \big|_{\Theta = \Theta^0}$  este vectorul format din coeficienții senzorilor,  $\Theta^0$  fiind estimarea anterioară a vectorului de parametri necunoscuți  $\Theta$ . Prin alegerea lui  $s$  astfel încât să minimizeze funcția scalară  $\Psi(\cdot)$  a matricei FIM, se poate determina traiectoria optimă a senzorilor mobili [59].

Presupunerea necorelării spațiale între măsurătorile zgomotului poate duce la aglomerarea senzorilor, care poate fi o problemă serioasă în practică. Pentru a o ilustra folosim un exemplu din literatură [58]. Fie următoarea ecuație diferențială parțială parabolică:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \Theta_1 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2}, \quad x \in (0, \pi), \quad t \in (0, 1) \quad (2.34)$$

, având condițiile inițiale și de limită:

$$y(0, t) = y(\pi, t) = 0, \quad t \in (0, 1) \quad (2.35)$$

$$y(x, 0) = \Theta_2 y \sin(x), \quad x \in (0, \pi) \quad (2.36)$$

Cei doi parametri  $\Theta_1$  și  $\Theta_2$  sunt presupuși a fi constanți, însă necunoscuți. În mod adițional, presupunem că măsurătorile sunt luate de doi senzori statici ale căror locații sunt decise prin maximizarea determinantului FIM. Soluția analitică este:

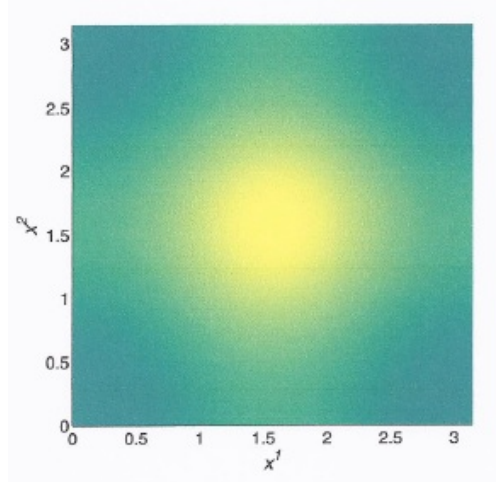
$$y(x, t) = \Theta_2 e^{-\Theta_1 t \sin^2(x)} \quad (2.37)$$

Presupunem că semnalul zgomotului static  $\sigma=1$  nu schimbă locația optimă a senzorilor, iar determinantul matricei este dat de relația :



$$\det(M(x^1, x^2)) = \frac{\Theta_2^2}{16\Theta_1^4} (-4\Theta_1^2 e^{-2\Theta_1} - 2e^{-2\Theta_1} + e^{-4\Theta_1} + 1) [2 - \cos^2(x_1) - \cos^2(x_2)]^2 \quad (2.38)$$

Rezultatele sunt prezentate în **Fig. 2.8** și se poate observa faptul că cea mai bună locație pentru senzori este în centrul intervalului  $(0, \pi)$ .



**Fig. 2.8.** Conturul grafic al determinantului  $M(x^1, x^2)$  vs. locațiile senzorilor ( $\Theta_1=0.1$  și  $\Theta_2=1$ )

Dependența locației optime a senzorilor de setul inițial de parametri  $\Theta$  este problematică, însă au fost dezvoltate teorii privind soluții robuste de design pentru minimizarea sau eliminarea aproape completă a acestei influențe [60].

## 2.6. ARHITECTURI PENTRU DISTRIBUȚIA REȚELELOR DE SENZORI

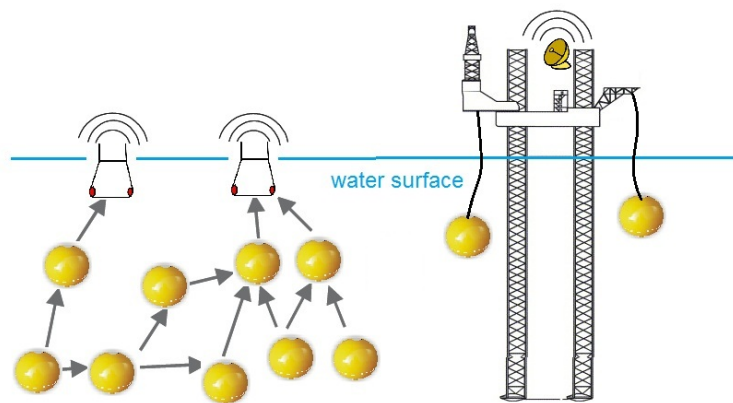
Scopul studiului [51] este de a sincroniza informațiile cartografice de înaltă rezoluție cu cele de joasă rezoluție oferite de sateliții din spațiul cosmic și de a colabora datele cu măsurători în puncte specifice de la sol, prin optimizarea punctelor de lansare ale dronelor și a traiectoriilor acestora pentru optimizarea acoperirii teritoriului agricol cu cât mai puțin hardware aerian. Prin analogie, putem particulariza această soluție pentru mediul acvatic de interes, pentru optimizarea punctelor de lansare ale senzorilor subacvatici, unde punctele fixe analoge punctelor de măsurători terestre sunt reprezentate de platformele și structurile offshore, dar în acest caz, bineînțeles, problemele sunt mult mai complexe ținând seama de proprietățile fizico-chimice ale mediului.

Nodurile acestei rețele subacvatice de senzori trebuie să aibe posibilități de auto-configurare, precum și auto-diagnosticare. Operarea senzorilor ca și noduri ale rețelei Safe-Net s-ar putea face prin schimburi reciproce de informații privind configurații, locații sau direcții de mișcare, iar acestea să fie transmise prin balize cu relele către țarm [61].

Au fost cercetate 2 tipuri de arhitecturi pentru aceste rețele. Prima, bi-dimensională, presupune senzori care să fie dispuși pe fundul mării, ancorați și care să efectueze sarcini de monitorizare în comun, spre exemplu în jurul unei sonde [5]. Aceștia ar putea monitoriza doar patul mării, nu și volumul de apă de deasupra. Cea de-a doua, o rețea 3D în care senzorii să fie ancorați atât pe sol, cât și ancorați sau nu în volumul de apă până la

suprafață, la diferite adâncimi, inclusiv pe toate structurile de tip jack-up, jacket, platforme semi-submersibile, ferme eoliene offshore sau conducte și cabluri submarine [62]. Acești senzori care s-ar afla la diferite altitudini deasupra profilului mării ar putea scana o zonă mai mare și întreg volumul de apă [63].

Astfel, optând pentru comunicații acustice, ar fi posibile implementări ale unor balize cu antene deasupra suprafeței apei, care să poată comunica clasic prin unde radio, iar o parte din rețeaua Safe-Net să beneficieze de conexiuni cablate. Aceste balize ar putea fi alimentate electric prin panouri solare, existând în prezent în curs de dezvoltare câteva modele de balize autonome [64]. Modelul propus însă încearcă pe cât posibil limitarea folosirii transmisiilor wireless acustice pentru evitarea latențelor în transmisia pachetelor de date.



**Fig. 2.9.** Arhitectură posibilă pentru distribuția senzorilor în apropierea unei platforme de foraj

Senzorii Safe-Net din jurul punctelor de interes offshore ar fi utilizați în scopuri multiple, având ca obiectiv comun monitorizarea mărilor și oceanelor și eventual extinderea capacității Internetului global spre mare.

## 2.7. MODELE SIMPLE DE SECURITATE A REȚELELOR, CERINȚELE ALE SECURITĂȚII

Ținând cont de faptul că datele transmise ar putea avea caracter confidențial (spre ex: prospecțiuni geologice în zone cu zăcăminte de petrol și gaze), enumerăm cerințele simple ale securității unei rețele [65]:

### 2.7.1.1. Disponibilitate

Disponibilitatea înseamnă că serviciile asigurate de nod sunt asigurate chiar dacă au loc atacuri. Nodurile trebuie să fie disponibile în orice moment.

### 2.7.1.2. Autenticitate

Autentificarea se traduce prin confirmarea că părțile participante la comunicație sunt veritabile și nu sunt impostori.

#### 2.7.1.3. *Confidențialitate*

Un intrus nu ar trebui să aibă acces la informațiile în tranzit între noduri. Pentru confidențialitate este necesară prevenirea nodurilor intermediare sau neautorizate care să înțeleagă pachetele care se transmit.

#### 2.7.1.4. *Integritate*

Integritatea constă în garanția că mesajul sau pachetul care este trimis nu a fost modificat în tranzit. Un mesaj poate fi corupt nu datorită atacurilor malițioase, ci mai ales datorită funcționării proaste a propagării radio. Există însă întotdeauna posibilitatea ca un adversar să modifice conținutul datelor.

#### 2.7.1.5. *Non-repudiare*

Non-repudiarea constă în imposibilitatea unui expeditor de a putea refuza trimiterea informațiilor și în mod asemănător - destinatarul nu poate refuza recepția. Acest lucru este folositor atunci când este nevoie de detectarea și izolarea nodurilor compromise. Orice nod care primește un mesaj eronat poate acuza expeditorul și poate convinge și alte noduri de nodul compromis.

#### 2.7.1.6. *Ordonare*

Update-urile primite de la ruter sunt ordonate, iar dacă acest lucru nu se întâmplă poate fi afectat algoritmul de rutare. Mesajul nu reflectă statutul real al rețelei și poate propaga informații false.

#### 2.7.1.7. *Atemporalitate*

Mesajele de update pot ajunge târziu și este posibil să nu reflecte stadiul legăturilor și ruterelor rețelei. Dacă un nod care distribuie informație între două componente ale rețelei este raportat ca fiind „căzut” atunci mari părți ale rețelei devin inaccesibile.

#### 2.7.1.8. *Izolare*

Izolarea necesită ca protocolul să fie capabil să identifice noduri „defectuoase” și să le claseze drept incapabile de a interfera în rutare. Protocolul de rutare ar trebui să fie imun la nodurile malițioase.

#### 2.7.1.9. *Autorizare*

Unui nod autorizat sau unui utilizator autorizat îi este emis un certificat imposibil de falsificat de către autoritatea de certificare. Aceste certificate conțin specificații în ceea ce privește privilegiile. Certificatele nu sunt folosite în protocolul de rutare al pachetelor și fiecare pachet poate face modificări în tabela de rutare.

#### 2.7.1.10. *Secretizarea locației*

Protocolul de rutare ar trebui să pastreze secretă locația nodurilor și structura rețelei.

#### 2.7.1.11. *Autostabilizare*

Orice protocol de rutare ar trebui să fie capabil să se recupereze după orice problemă într-un timp limitat fără intervenția umană.

#### 2.7.1.12. *Robustețe*

Un protocol de rutare trebuie să fie capabil să funcționeze corect chiar dacă nodurile participante în rutare bruiază intenționat această operațiune. Robustețea bizantină se poate interpreta ca o variantă mai strictă de autostabilizare ceea ce înseamnă că un protocol de rutare nu trebuie numai să se refacă în urma unui atac, ci în primul rând nu ar trebui să-și oprească funcționarea în timpul unui atac [66].

#### 2.7.1.13. *Anonimatul*

Nici un nod mobil nu ar trebui să dezvăluie date care să permită sustragerea de informații în legătură cu proprietarul sau utilizatorul curent.

### 2.8. **Concluzii capitol**

*Capitolul reprezintă o introducere în studiul rețelelor de senzori subacvatici și a problemelor generate de amplasarea acestora în mediul marin. Am analizat domeniile de aplicabilitate, precum și dificultățile întâmpinate în privința mediului coroziv, a comunicațiilor în mediu marin și problemele generate de sursele de energie. Exceptând costurile de dezvoltare, am reliefat progresele tehnologice care permit implementarea acestor rețele și am prezentat posibile soluții pentru fiecare problemă. În cazul soluțiilor de ultimă generație în privința alimentării cu energie electrică din surse regenerabile pe mare, am prezentat proiecte științifice de care s-ar putea lega rețelele de dispozitive de instrumentație marină.*

*În acest capitol am dat totodată definiții senzorilor și actuatorilor în cadrul sistemelor cu parametrii distribuiți. Am definit ecuații dinamice ale sistemului și descrieri matematice ale unui senzor. Pornind de la aceste definiții și de la conceptele de controlabilitate locală și observabilitate am oferit un formalism matematic adecvat pentru cadrul problemei locației optime a senzorilor prin estimarea parametrilor.*

## **CAPITOLUL 3**

### **ECHIPAMENTE DE INVESTIGAȚIE SUBACVATICĂ**

#### **3.1. DEFINIȚIE**

Un ROV este un sistem submarin non-autonom robotizat. Este un vehicul subacvatic telecomandat conceput special pentru activități subacvatice aflate în general la adâncime mare. Sunt lipsite de ocupanți și sunt în general foarte manevrabile, fiind operate de către o persoană aflată pe un vapor la suprafață.

#### **3.2. SCURT ISTORIC**

ROV-urile au fost produse inițial pe scară largă pentru operațiuni militare, dar s-au dezvoltat în continuare datorită explorărilor de petrol și gaze offshore. În anii 1950, marina militară Royală a Mării Britanii folosea "Cutlet" - un submersibil telecomandat pentru recuperarea torpilelor folosite la antrenamente.

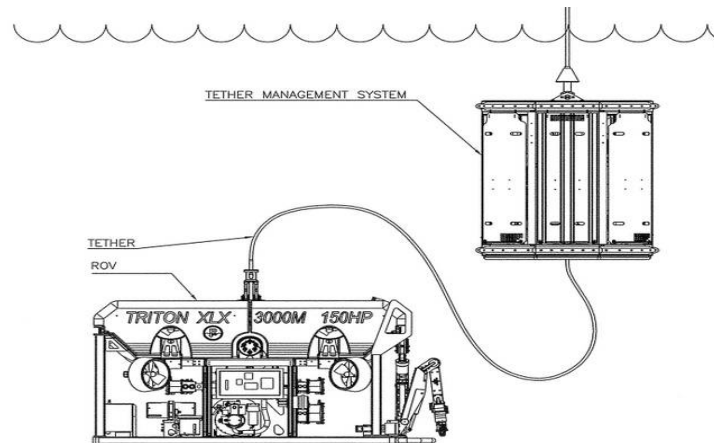
Marina militară a S.U.A. este considerată însă membrul fondator pentru bazele tehnologiilor ROV. În 1960 aceasta a pus în practică toate cunoștințele din acea perioadă în ceea ce s-a numit "Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle" (CURV). Acest vehicul de recuperare subacvatică controlat prin cablu avea capacități deosebite de lucru la mare adâncime și era folosit pentru recuperarea obiectelor de pe fundul oceanelor (spre exemplu: recuperarea bombei nucleare pierdute în Marea Mediterană după prabușirea avionului B-52 Palomares în 1966).

Primul ROV a fost introdus în industria de petrol și gaze offshore în același an, cu un patent pentru manipuloare subacvatice pentru sonde (MOBOT). În 1970 existau doar 3 sisteme ROV disponibile comercial, în timp ce în 1980 numărul acestora crescuse la 300. După 1980 ROV-urile disponibile în mod comercial au ajuns să depășească adâncimile maxim tangibile pentru scafandrii. În timpul crizei petrolului de la mijlocul anilor '80 dezvoltarea ROV a stagnat, însă după 1990 aceasta a cunoscut o dezvoltare fără precedent, ROV-urile fiind folosite în operațiuni submarine din ce în ce mai variate.

#### **3.3. GENERALITĂȚI**

Uneori pot fi denumite ROUV (Remotely Operated Underwater Vehicle = vehicule subacvatice comandate de la distanță) pentru a fi diferențiate de vehiculele comandate de la distanță care funcționează pe uscat sau în aer. Un ROV este alcătuit din

următoarele elemente principale: vehiculul în sine, pupitrul de comandă (aflat la suprafață, pe nava suport) și cablu ombilical de legătură (tether).



**Fig. 3.1.** Sistem ROV cu TMS

Multe ROV-uri dispun de un dispozitiv în plus, denumit Tether Management System (TMS) - dispozitiv pentru managementul cablului. Acesta este responsabil de manevrarea cablului, primind comenzi de eliberare sau de strângere a acestuia. Sistemul are grijă ca tetherul să fie strâns într-o ordine prestabilită pe toba de cablu. Totodată dispune de un mecanism de prindere și blocare a cârligului de pe acoperișul ROV-ului, de cele mai multe ori aceasta fiind principala problemă a piloților în condiții de mare nefavorabilă, deoarece ROV-ul nu poate fi recuperat din apă fără prinderea acestui cârlig în TMS. În condițiile mișcărilor datorate curenților și valurilor, precum și vizibilitate scăzută, prinderea ROV-ului în TMS poate deveni o adevărată provocare de îndemânare cu joystickul de control. Vehiculul în sine este format dintr-un cadru metalic, pe care sunt puse camere de televiziune subacvatice, sistem de iluminare, aparate de navigație și control, sistemul de propulsie, flotoare și dispozitivele de manevrare [67].

Folosirea balizelor acustice facilitează navigația prin poziționarea de mare precizie și urmărirea unui traseu prestabilit apriori operațiunilor. În unele cazuri un ROV poate fi plasat în apropierea unui obiect de pe fundul mării pentru a-i stabili cu precizie locația în vederea unor operațiuni următoare. Există un potențial pericol în folosirea acestor balize acustice datorită interferențelor care pot apărea (bruij, zgomot), în special dacă sunt mai multe nave care operează în aceeași arie sau dacă există proiecte de construcții la scară mare în derulare în apropiere. Frecvențele pentru aceste balize acustice ar trebui selectate în așa fel încât să se evite interferențele. În apa adâncă, distanța de operare poate deveni o problemă, în timp ce în apa mai puțin adâncă, unghiurile de operare sau urmărirea pot crea probleme. Cablul (tether-ul) și cordonul ombilical reprezintă legătura ROV-ului cu vasul gazdă. El reprezintă un grup de cabluri care transportă energia electrică necesară, precum și impulsurile reprezentând comenzi, semnale video, informații și date de la operator către ROV și în sens invers. În anumite cazuri, pentru operațiuni de mare putere, se folosesc în special conexiuni hidraulice înafara celor electrice [68]. În limba engleză se face diferența între cablu (tether) și cordon ombilical (umbilical cable): primul este cablul care este gestionat de către TMS (între TMS și

ROV), iar cel de-al doilea, cordonul ombilical, reprezintă legătura TMS-ului cu vaporul de la suprafață. De cele mai multe ori, tether-ul nu rezistă la greutatea ROV-ului în aer, astfel încât este obligatorie prinderea acestuia cu mecanismul TMS și abia apoi recuperarea acestuia din apă.

### 3.4. CLASIFICĂRI

În funcție de activitate, ROV-urile pot fi numai pentru observație sau cercetare și se numesc OBSROV (Observation Remotely Operated Vessel) sau pentru lucru subacvatic ca inspecții și expertize marine, intervenții speciale la platforme marine de foraj sau producție, operațiuni de construcții de conducte și cabluri submarine și se numesc WROV (Workclass Remotely Operated Vessels). Submarinele disponibile pentru acest studiu sunt din această clasă Workclass ROV.

Termenul ROV acoperă o gamă largă de echipamente și nici un vehicul nu poate fi descris ca fiind tipic. Nu numai că există foarte multe tipuri de design, dar același ROV poate fi modificat pentru a îndeplini diferite scopuri și poate intra în mai multe categorii. Caracteristica principală rămâne faptul că sunt lipsite de ocupanți.

Sistemele ROV moderne pot fi clasificate în funcție de: dimensiuni, adâncime operațională, cai putere disponibili la bord, tip de alimentare: numai-electrică sau electrico-hidraulică [70]. Un alt exemplu poate fi diferențierea între ROV-urile care sunt lansate printr-un sistem de "garaj" sau "cușcă" sau care dispun de un Tether Management System (TMS), față de cele care sunt lansate direct în apă.

3.4.1. CLASA I - ROV PENTRU OBSERVAȚIE

3.4.2. CLASA II - OBSROV CU OPȚIUNI DE CAPACITATE UTILĂ

3.4.3. CLASA III - VEHICULE CAPABILE DE MUNCĂ

3.4.4. CLASA IV - VEHICULE TRASE CU VINCIURI SAU CARE SE TÂRÂIE

3.4.5. CLASA V - PROTOTIPURI ȘI VEHICULE ÎN CURS DE DEZVOLTARE

### 3.5. *Concluzii capitol*

*În acest capitol am prezentat conform manualelor IMCA (cadrul legal pentru uzul ROV în cadrul companiilor ce activează în domeniul offshore) principalele tipuri de vehicule și operațiuni care se desfășoară în acest moment folosind submarinele telecomandate. Am efectuat o analiză în detaliu asupra echipamentelor de investigații submarine, cu aplecare asupra modului de realizare a diverselor tipuri de operațiuni, precum și a sistemelor auxiliare care deservește diverse scopuri. Totodată, în acest cadru legal, am prezentat prin câteva exemple condițiile pentru orice dispozitiv creat și legat de un ROV, în perspectiva modelării și utilizării acestor sisteme cu unelte care să permită eficientizarea implementării rețelelor de senzori subacvatici de interes.*

## **CAPITOLUL 4**

### **SIMULATORUL VMAX REMOTELY OPERATED VEHICLES (ROV) UTILIZAT PENTRU MODELARE ȘI SIMULARE**

#### **4.1. GENERALITĂȚI**

Simulatorul ROV VMAX Perry Slingsby este format din 2 componente principale: consola de comandă, care este identică cu cea de operare a sistemului real, nu există nici un fel de modificări pentru funcționalitatea acesteia în ceea ce privește simulatorul, ea putând fi montată și devenind funcțională chiar și pe sistemul real; iar a doua componentă, în lipsa unui submarin real chiar și în miniatură, locul acestuia este luat de un sistem de servere video și de calcul și proces, într-un rack legat de consola principală printr-un singur fir ethernet și 3 cabluri serial RS-232.

În mediul real, consola este legată printr-un cordon ombilical numit „tether” care conține un fascicul de fibre optice, comunicația realizându-se cu ajutorul mediaconvertoarelor aflate la ambele capete ale cordonului; atât pe submarin – în junction box-uri sub presiune cu ulei, pentru a rezista la presiunea exercitată de mediul marin înconjurător, cât și la suprafață, comunicația realizându-se în ambele sensuri cu accent deosebit asupra detecției și corecției oricăror erori de comunicație. Nu există loc pentru eroare în cadrul unui asemenea sistem, mediul de lucru făcând practic imposibil accesul uman în cazul unor defecțiuni. Întregul ansamblu a fost dezvoltat pentru doi utilizatori: pilotul și ajutorul acestuia, iar simulatorul permite existența celui de-al treilea actant – instructorul. În mod normal vizualizarea submarinului în afara camerelor de luat vederi montate pe acesta este practic imposibilă, însă sistemul permite supervisorului de la stația specială a acestuia, să vadă și să modifice orice fel de parametrii în timp real, pentru a vedea reacția studenților. Aceștia nu pot vedea, ca și în realitate, decât ceea ce le permite sistemul CCTV montat pe ROV, ecranele din față putând fi personalizate în funcție de preferințe. Totodată se pot salva profiluri pentru fiecare pilot în parte, în funcție de preferințele de vizualizare ale acestuia.

Simulatorul permite operarea în condiții extrem de variate de mediu, unele mergând aproape de limita imposibilului întâlnirii unor astfel de situații în realitate, totodată fiind posibilă și inserarea erorilor sau a defecțiunilor din mers. Bineînțeles acestea sunt limitate la erori recuperabile, ori defecțiuni care pot fi remediate de la suprafață. Din punct de vedere tehnic, sistemul conține partea de consolă cu un server principal însoțit de 2 servere pentru fiecare utilizator în parte, asociate câte unui touchscreen; un mediawall care permite împărțirea și personalizarea display-urilor din fața fiecărui actant, precum și o suită de UPS-uri care permit funcționarea și în cazul în care alimentarea cu energie electrică se întrerupe.



Asigurarea funcționării continue este absolut necesară, mai ales din punct de vedere al calibrărilor care nu pot fi efectuate decât de la suprafață.

Comenzile și setările se transmit cu ajutorul limbajului XML către serverul care simulează ROV-ul efectiv, iar răspunsul acestuia variază în funcție de necesitatea feedback-ului din partea celorlalte servere specializate pe procese distincte din rackul asociat. Sistemele computerizate sunt specializate fie pe partea de procesare video și grafică (legate direct către display-urile aferente), fie pe partea de analiză a dinamicii și fizicii proceselor (simulatorul fiind unul physics-based), fie pentru calcule și mediu.

Pe partea consolei, touchscreen-urile oferă posibilitatea configurării unor pagini utilizator, care împreună cu asignarea comenzilor în ordinea dorită, asigură funcționarea într-un mod cât mai eficient și totodată monitorizarea celor mai importante funcții, precum heading, viteză, adâncime, altitudine, lungime cordon ombilical, alimentare cu energie electrică, status presiune hidraulică, status comunicații între noduri și așa mai departe. Diferența menționată anterior între adâncime și altitudine poate fi un pic confuză, submarinul fiind echipat cu dispozitive care lansează fascicule (beam-uri) către suprafața fundului mării sau oceanului, timpul și orientarea întoarcerii acestor fascicule dând informații despre nivelul la care se situează ROV-ul față de fundul mării. Adâncimea este calculată în funcție de presiunea exercitată asupra traducătoarelor de presiune, fiind vorba de nivelul față de suprafața mării (cu valuri sau nu, acestea având o foarte mare influență mai ales la întoarcerea în TMS).

TMS-ul (Tether Management System) este de fapt cușca în care se înfășoară și desfășoară cablul ombilical, acesta fiind prevăzut la rândul său cu o cameră de luat vederi și cu un sistem de retragere și recuperare al cablului, totodată fiind locul de lansare la apă al ROV-ului, asigurând protecția necesară acestuia. Protecția în ceea ce privește cordonul ombilical, deoarece acesta se continuă din TMS către suprafață, însă este manșonat de un cablu extrem de rezistent, din oțel și kevlar, cablu care poate rezista forțelor de retracție în cazul recuperării din apă. Dacă greutatea în apă a întregului ansamblu nu depășește 3 tone, în momentul recuperării acestuia și ridicării la suprafață – în aer greutatea ajunge la 5.6 tone.

## 4.2. SIMULARE VS. REALITATE

Consola de comandă, joystick-urile, controllerul de comandă Master Arm 7-Function și interfața grafică de utilizare configurabilă de către utilizator sunt identice cu cele folosite în realitate pentru comanda submarinului ROV. În cazuri de extremă urgență, acestea pot fi luate efectiv și folosite ca și componente de rezervă pentru sistemul real, ne-existând nici un fel de probleme de compatibilitate.

Simularea intervine prin intermediul celor 8 calculatoare legate în rețea cu consolă prin 3 conexiuni ethernet, prin care se simulează impulsurile de răspuns pe care le-ar da ROV-ul în realitate. Diferența intervine în cazul sculelor și uneltelor care necesită alimentări electrice sau hidraulice separate, cu posibilitatea existenței în plus în cazul operațiunilor reale

ale unor transformatoare sau unități de putere hidraulică comandate, care în acest caz sunt simulate din punct de vedere software.

### 4.3. MANIPULATOARE – BRAȚE ROBOTIZATE

#### 4.3.1. SCHILLING ROBOTICS TITAN 4 (7-FUNCTII)

#### 4.3.2. SCHILLING ROBOTICS RIGMASTER (5-FUNCTII)

### 4.4. CONTROLUL BRAȚELOR ROBOTIZATE

Mișcarea joystick-ului Master Arm 7-Function Control este transmisă prin fibre optice aflate în interiorul tether-ului și apoi prin media convertoare situate pe ROV informația este transmisă manipulatorului Schilling Robotics TITAN-4. Orice comanda de mișcare înainte de a fi efectuată este verificată de erori prin algoritmi software. Mișcarea articulațiilor joystick-ului de la pupitrul de comanda aflat deasupra apei este replicată exact prin mișcarea brațului robotic manipulator aflat pe ROV sub apă. Această corelație dă efectiv dexteritatea și gradele de libertate necesare pentru a efectua sarcinile cele mai dificile.



**Fig. 4.1.** Manipulator Schilling Robotics TITAN-4 (7-Function)



**Fig. 4.2.** Consola de comanda de la suprafață a brațului robotic TITAN-4



---

**Fig. 4.3.** Imagine operare braț robotic TITAN-4 (7F)

#### 4.5. IERARHIA FIȘIERELOR

Ierarhia tipică a fișierelor în cadrul unui proiect în cadrul Simulatorului ROV VMAX-PerrySlingsby conține resurse (Resources) pentru scenarii și obiecte (Assets). Un scenariu de simulare complet conține scripturi .lua care sunt încărcate odată cu lansarea în execuție pe stația instructorului, programul preluând fiecare director din cadrul proiectului care conține date adiționale acestuia. Pentru crearea unui nou scenariu este nevoie de modelarea obiectelor în 3D Studio Max, apoi programarea efectivă folosind scripturi .lua.

Împărțirea programului în mai multe fișiere este necesară pentru distribuția pe fiecare server, iar fișierele se pot organiza în directoare care să aibe același nume (mai puțin extensia .lua). Directorul Assets poate conține scripturi și date care nu sunt specifice tuturor scenariilor. Pe lângă acesta există: Bathymetry, Components, Lua, Manipulators, TMS, Tooling și Vehicles [78].

Un listing al părților importante ale codului (open-source) și al modificărilor extensive aduse în cadrul fișierelor specifice scenariilor din Marea Neagră se regăsesc în Anexele B, C și D. Structura arborescentă ierarhică a directoarelor este prezentată în **Fig. 4.4**.

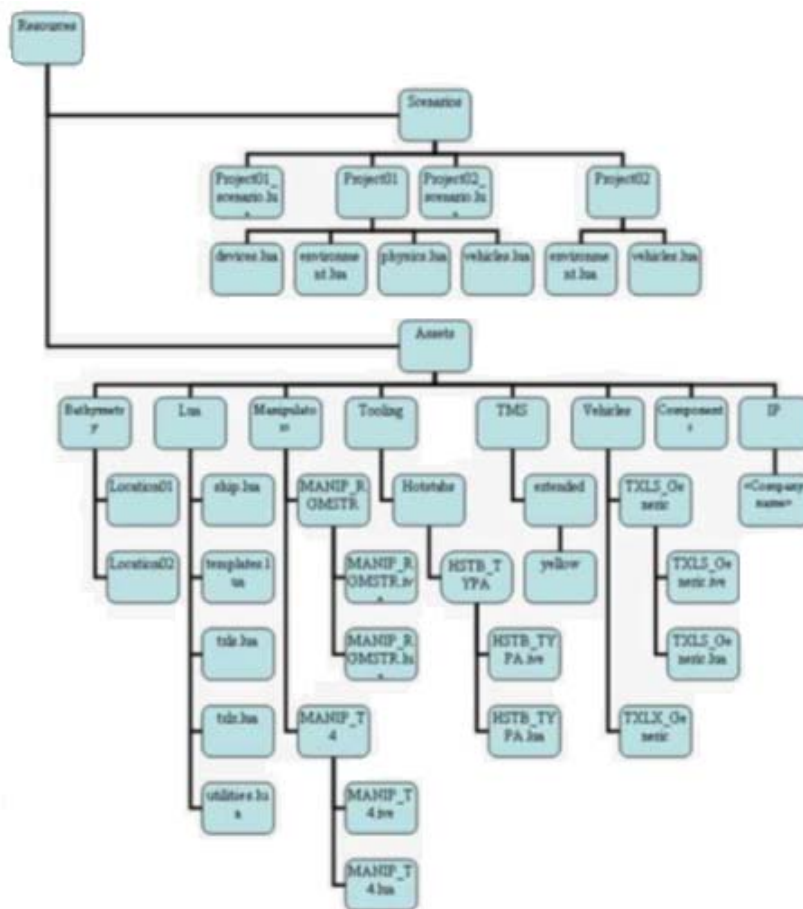


Fig. 4.4. Structura tipică a fișierelor în cadrul unui proiect

#### 4.6. UTILIZAREA SIMULATORULUI ROV ÎN MODELARE ȘI SIMULARE

Utilizarea simulatorului ROV pentru design-ul îmbunătățit al unor scenarii de simulare este un proces în două etape: modelarea 3D pentru obiecte și părți componente ale unui nou scenariu în programul 3D Studio Max, apoi programarea efectivă folosind scripturi .lua și integrarea obiectelor modelate în cadrul noului proiect - scenariu de simulare. Obiectele modelate pot varia în funcție de necesități și pot include orice tipuri de structuri subacvatice începând de la cele mai simple, până la cele mai complexe (e.g. prevenitoare cu bacuri submarine pentru sonde cu elemente acționabile), totul depinzând de abilitățile modelatorului.

Alterarea fișierelor sursă din cadrul proiectului de zbor clasic simplu a fost una de lungă durată fiind mare consumatoare de timp. Totodată, modelarea fundului Mării Negre a însemnat înțelegerea și modificarea structurii fișierelor legate din directorul "Assets/Bathymetry". Batimetria este știința măsurării adâncurilor oceanului pentru a determina topografia solului marin. Am modificat scenariul de bază în ceea ce privește caracteristicile solului mării, deoarece dorim să simulăm realitatea din Marea Neagră, al cărei pat de-a lungul liniei de coastă a României este unul mai nisipos decât mai la sud ca în cazul

vecinilor noștrii bulgari. Acest lucru poate afecta funcționarea thrusterelor ROV-urilor, cât și vizibilitatea în anumite momente, în care ne apropiem sau lovim vehiculul sau diverse obiecte ținute de manipuloare de fundul mării. Solul nisipos se datorează în special aluviunilor și sedimentelor aduse de Dunare prin partea de nord. Astfel, în momentul în care vehiculul ROV atinge fundul mării în scenariul de simulare, este vizibilă o colmatare puternică a nisipului și mълului care se ridică în volumul apei. Totodată, în cazul obiectelor, dacă acestea sunt “presate” cu ajutorul unuia dintre manipuloare, ele se vor îngropa mai adânc în nisip, până la punctul la care să nu mai fie vizibile, aceasta fiind exact situația din realitate în anumite cazuri. Prezentăm modificările de cod conform [79], cu specificația că liniile care încep cu simbolurile „-” reprezintă comentarii:

```
graphicAsset {
  assetID = "bathymetry",
  castShadow = true, -- umbra, poate avea valoarea false pentru teren foarte plat
  -- modelul terenului specific cazului nostru:
  --"assets/Bathymetry/TER_500m_v2.0/TERBLKSEA_500m_v1.0.ive",
  receiveShadow = true,
  scale = { 2, 2, 2 } -- specific acestui model particular
}
```

Am modificat fișierul pentru variabilele de mediu să arate în felul următor:

```
environment = {
  assembly = {
    -- diferite structuri din mediu, începând cu batimetria
    parts = {
      -- adaugăm batimetria bazându-ne pe matriță
      createFromTemplate(templates.bathymetry, {
        collisions = {
          -- primul item din vector reprezintă variabila pentru coliziuni
          -- geometria este creată automat din model
          {
            -- setăm aria peste care se întinde batimetria
            size = { 100, 100, 1 }, -- acest vector trebuie să fie specificat, altfel scenariul nu va funcționa
            -- blocându-se la momentul lansării
          }
        },
        -- setăm adâncimea batimetriei
        position = { 0, 0, REFERENCE_DEPTH - 20 }
      }
    ),
    constraints = { },
    selfCollide = true,
  },
  bathymetryPartName = "bathymetry",
  pickFilter = { "bathymetry" },
  currentDirectionTable = { 0 },
  currentSpeedTable = { 1 },
  depthTable = { 0 }
}
```

---

Un listing complet al celor mai importante dintre fișiere, împreună cu modificările comentate aferente acestora se regăsește Anexa B, în Anexa C și în Anexa D. Reamintim caracterul de sursă deschisă al scripturilor .Lua în vederea listării porțiunilor de cod comune scenariilor de bază.

#### 4.7. CONCLUZII CAPITOL

*În acest capitol am prezentat simulatorul ROV PerrySlingsby - VMAX U.S. cu toate caracteristicile sale și am creat premisele ipotezei implementării rețelelor de senzori subacvatici cu ajutorul vehiculelor de tip ROV și a brațelor robotice ale acestora. Prin flexibilitatea, robustetea, eficiența și dexteritatea manipuloarelor 5-F și 7-F și a modelului ROV folosit putem anticipa rezoluția multiplelor probleme care pot apărea în mediul subacvatic legate de fixarea dispozitivelor în poziții variate pe diferite structuri submarine. Acest capitol reprezintă baza incursiunii noastre în domeniul modelării și simulării cu ajutorul softului VMAX, în urma căreia s-a născut ideea cadrului modular comun pentru dispozitive senzoriale subacvatice (subcapitolul 5.1). Prin perspectiva modelului ROV simulat am realizat o parte din dificultățile implementării rețelelor de senzori “Safe-Nets” și am încercat soluții pentru rezolvarea diferitelor situații apărute în utilizare. Totodată, am identificat principalele directoare în cadrul structurii proiectelor simulatorului unde trebuie aduse modificări în cazul implementării unor noi unelte în diferite scenarii (Anexele B, C și D) și am exemplificat și explicat pas cu pas o porțiune din cod în care am modificat topografia solului marin.*

## CAPITOLUL 5

### SOLUȚII MODERNE DE MODELARE ȘI SIMULARE ÎN OPERAȚIUNI MARITIME

#### 5.1. SELECTAREA UNUI CADRU MODULAR COMUN

O privire de ansamblu asupra provocărilor de design și a posibilelor aplicații ale implementării unei rețele de senzori submarini în apropierea platformelor de foraj maritim sau în jurul construcțiilor offshore conduce la concluzia că pentru existența unei macro-rețele formată din mai multe noduri este necesară introducerea unui nou nod de tip standard. Această standardizare trebuie totuși să permită modularizarea în funcție de necesitățile fiecărei rețele de senzori subacvatici, în funcție de aria unde este implementată.

Astfel, am considerat în cadrul scenariilor de simulare un dispozitiv standard comun, modular, de forma sferică, după ce am analizat atât necesitățile de flotabilitate, cât și impactul asupra mediului. În funcție de nevoile de alimentare cu energie electrică și comunicație cu stația de la suprafață, existența cablului de legătură se poate face printr-o presetupă rezistentă la apă la unul dintre poli. În **Fig. 5.1** diametrele  $a$  și  $b$  pot fi egale sau  $a > b$ , iar  $c$  reprezintă diametrul cablului ombilical al sensorului, în cazul în care acesta nu este de tip wireless-acustic.



**Fig. 5.1.** Dispozitiv modular standardizat

Dispozitivul va putea acomoda o varietate de senzori, adaptați sertarelor interioare ale acestuia, punându-se accent pe modularitatea acestora. Astfel, cu același nod de rețea vor putea fi facilitate mai multe tipuri de aplicații, acest lucru fiind esențial în vederea justificării costurilor și îmbunătățirii dezirabilității financiare a unui proiect de implementare al Safe-Nets în mediul marin.

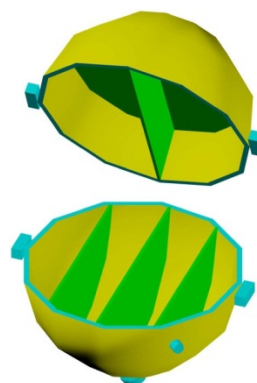
## 5.2. TEHNICI PENTRU MONITORIZARE SUBACVATICĂ

Ca rezultat al ideii unui cadru modular comun, standardizat, reglementat legislativ la nivel european sau mondial, am mers mai departe și am prevăzut diverse probleme care ar putea apărea în procesul real de implementare al rețelelor de senzori.

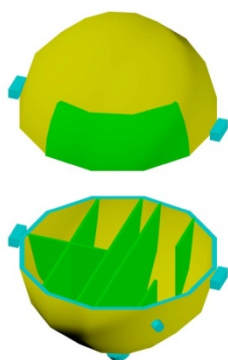
În Fig. 5.2, Fig. 5.3, Fig. 5.4, Fig. 5.5, Fig. 5.6 și Fig. 5.7 am modelat în 3D dispozitive subacvatic pentru senzori din rețeaua Safe-Net:



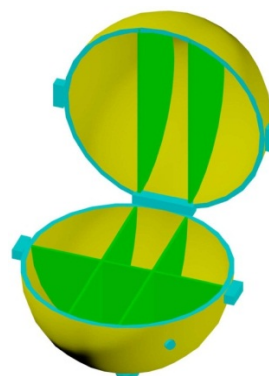
**Fig. 5.2.** Dispozitiv subacvatic – senzor model 3D – tip 01 cablat



**Fig. 5.3.** Dispozitiv subacvatic – senzor model 3D – tip 02 wireless-acustic

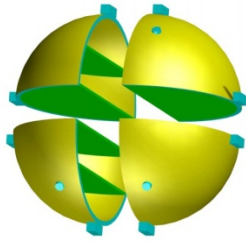


**Fig. 5.4.** Dispozitiv subacvatic – senzor model 3D – tip 03 poluare



**Fig. 5.5.** Dispozitiv subacvatic – senzor model 3D – tip 04 biodiversitate





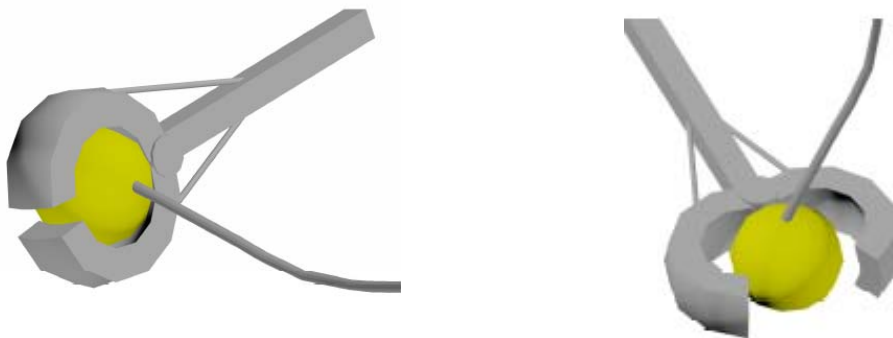
**Fig. 5.6.** Dispozitiv subacvatic – senzor model 3D – tip 05 supermodular



**Fig. 5.7.** Metodă grupare și implementare multiplă concomitentă

Senzorii modelați au suficiente “sertare” care să permită instalarea diferitelor module și componente electronice, ținând cont chiar și de considerente de management al cablurilor de conexiuni interioare (Fig. 5.4, sertarul din mijloc). Am ales un mecanism simplu de închidere, folosind cleme de o parte și alta, care permit sigilarea și asigurarea ermeticității dispozitivului. Emisferele de sus și de jos (N, S) se închid peste o garnitură de tip O-ring care în mod adițional poate fi lubrifiată cu fluide repelante, rezistente la apă. Tot în vederea prevenirii pătrunderii apei în interior, am dotat dispozitivele cu o valvă unidirecțională prin care se poate realiza vacuumarea interiorului și o presetupă pentru în cazul în care există cablu de legătură. Vacuumarea îmbunătățește rezistența la presiune și la pătrunderea apei.

În același cadru modular comun am desenat un senzor de detecție poluare, dotat cu o membrană sau un vizor pentru lamela sensibilă, așa cum poate fi observat în Fig. 5.4. Datorită dificultăților întâmpinate în validarea modelelor din cauza formei acestora și interacțiunilor fizice simulate cu cele două sisteme de manipuloare s-a născut ideea lansării la apă a mai mulți senzori concomitent, spre exemplu conectați la o baliză autonomă (Fig. 2.1), metoda de grupare și unire a acestora fiind ilustrată în Fig. 5.7.



**Fig. 5.8.** Unealtă de tip “clește” modelată pentru prinderea senzorilor subacvatici.

Totodată, a trebuit să modelăm și să creăm în cadrul simulatorului o nouă unealtă de tip clește care să permită instalarea cu mai multă ușurință a senzorilor modulari, ținând cont de sfericitatea acestora. În **Fig. 5.8** se poate observa că închiderea cleștelui nu afectează cablul de alimentare și comunicații, în cazul în care senzorul este cablat.

### 5.3. TIPURI DE CONSTRUCȚII OFFSHORE

Construcțiile offshore reprezintă instalații și structuri aflate în mediul marin, folosite de obicei pentru producția și transmisia de electricitate, petrol și gaze naturale sau pentru alte scopuri. Am luat în considerare cele mai întâlnite tipuri de construcții offshore, concentrându-ne asupra formelor geometrice și a structurilor metalice sau de beton aflate sub apă:

- platforme fixe;
- platforme de tip jack-up, de foraj sau producție petrol și gaze;
- jacket-uri cu platforme adiacente top-side;
- platforme plutitoare;
- semi-submersibile;
- nave de foraj;
- platforme cu picioare sub tensiune;
- platforme tip FPSO de producție, stocare și descărcare;
- capete de erupție sonde submarine;
- ferme de centrale eoliene pe mare;
- balize plutitoare autonome.

Prezentarea structurilor de tip offshore pentru care s-a optat în cadrul simulatorului (platformele fixe și de tip jack-up cu structura metalică tip “fagure” a picioarelor), precum și un studiu de caz concret de implementare perimetrală a senzorilor la o platformă marină au fost realizate în [80].

### 5.4. MODALITATE DE IMPLEMENTARE SENZORIALĂ PERIMETRALĂ LA O PLATFORMĂ MARINĂ

Căutarea unei soluții în privința optimizării problemei celei mai bune locații pentru implementarea senzorilor în jurul exploatarilor de petrol de gaze offshore, ne-au oferit oportunitatea unui studiu de caz concret pe platforma de tip jack-up GSP Jupiter. Acest studiu poate fi generalizat pe baza structurii de tip „fagure” a picioarelor platformei, foarte întâlnită în domeniul marin, pentru orice altă structură metalică subacvatică de același tip. Cele mai bune poziții în privința cablurilor senzorilor au fost determinate pe baza informațiilor de la fața locului, cu privire la orice interferențe care ar putea avea loc în timpul operațiunilor normale ce au loc în porțiunile respective ale platformei. Iată câteva exemple de locații identificate pe platformă:



**Fig. 5.9.** Parțile extreme babord și tribord ale platformei

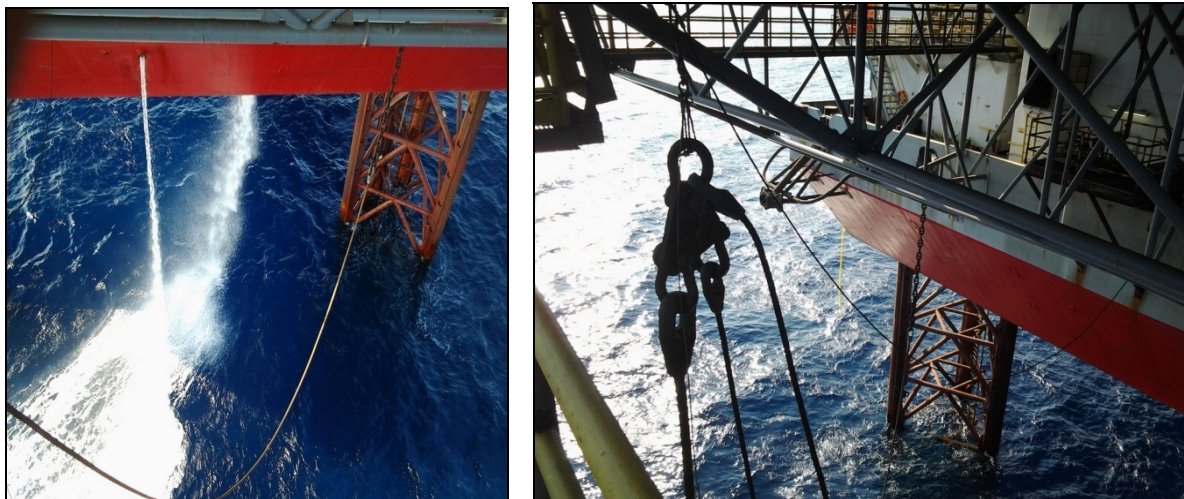
În **Fig. 5.9** există zone în special în partea din spatele macaralelor, aproape de picioarele platformei, unde există posibilitatea lansării senzorilor la apă și totodată cablarea acestora nu ar interfera cu activitățile obișnuite desfășurate pe platformă. Această locație este totodată probabil cea mai apropiată acceptabilă de zona principală de interes – zona 0 Ex, podul sondei. Sensorii ar putea fi lasați în apă pe tot parcursul operațiunilor în zonă, atât timp cât există o fixare ferma care să împiedice mișcarea și lovirea de picioarele platformei. Structurile de metal de sub căile de acces pot fi folosite pentru fixarea acestora.



**Fig. 5.10.** Pupa, zona sondei, cantilever tras înafară

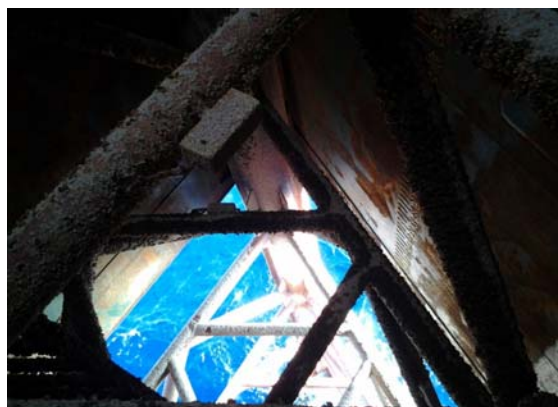
Prin translarea turlei și a cantileverului se dezvoltă zone importante în partea din spate a platformei. Această zonă este foarte apropiată de capul sondei și este totodată foarte restricționată, fiind considerată zona 0. Unul din beneficiile implementării rețelei de senzori ar fi posibilitatea practică a înlocuirii sau suplimentării sistemelor de instrumentație folosite în sondă. Există situații când sunt necesare camere video subacvatice pentru recuperarea unor piese sau pentru a avea o mai bună înțelegere asupra proceselor care au loc sub apă, în special la nivelul fundului mării. Astfel de operații sunt extrem de costisitoare atât din punct de

vedere financiar, cât și din punct de vedere al timpului alocat. Existența unui senzor optic din start în **Fig. 5.10** s-ar putea dovedi o unealtă extrem de folositoare în anumite situații, când operațiunile necesită un ochi în apă. Acest beneficiu colateral ar putea scuti timp și bani în condițiile unor operații de instrumentație detaliată.



**Fig. 5.11.** Prova, sub heliport

Partea de sub heliport din **Fig. 5.11** conferă o multitudine de locații în care noduri ale rețelei ar putea fi lansate la apă. Aterizarea și decolarea elicopterelor nu are nici un impact asupra zonei libere de sub heliport. Deși în mod obișnuit această zonă nu este un activă, în timpul mutărilor platformei nu ar putea fi posibil ca senzorii să ramână în apa, cel puțin nu în timpul operațiunilor de remorcare.



**Fig. 5.12.** Interiorul piciorului

În poziția din **Fig. 5.12** am analizat posibilitatea lansării manuale a senzorilor în interiorul structurii metalice a piciorului, astfel cablurile putând fi protejate. Cât timp platforma este pe poziție, picioarele nu efectuează nici o mișcare sus-jos, însă în cazul mutării platformei trebuie luată în considerare recuperarea senzorilor. Totodată, lungimea cablului de legătură poate depăși 100 metrii, deoarece înălțimea totală a unui picior este de 118,5 metrii.

Astfel, analizând toate posibilitățile de amplasare a senzorilor în planul platformei din **Fig. 5.13** putem concluziona că zona prova, sub heliport reprezintă zona ideală unde pot fi

lansați la apă senzorii rețelei subacvatice, cu excepția momentelor în care platforma se află în mișcare prin remorcare.

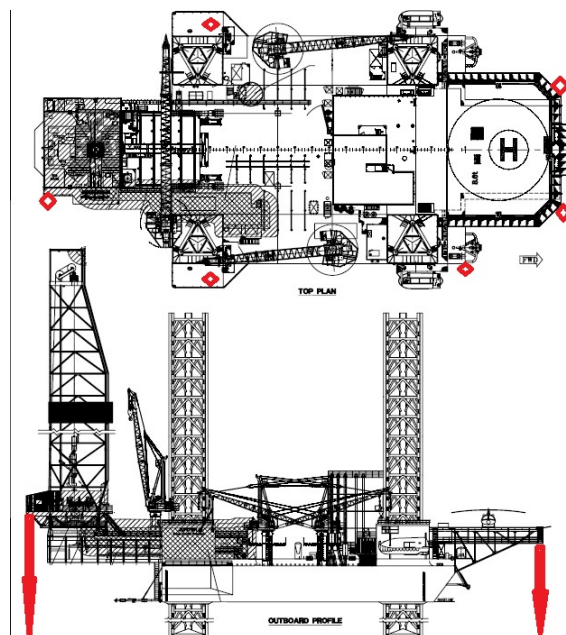


Fig. 5.13. Planul general al platformei tip jack-up

## 5.5. SCENARII DE SIMULARE

Cu cele 2 sisteme manipuloare prezentate în paragraful anterior, împreună cu uneltele specifice modelate după nevoile specifice cadrului comun, considerăm că orice tip de senzor poate fi instalat în apropierea platformelor marine de foraj și extractie sau în jurul oricărui operațiuni de tip offshore, care conțin structuri fixate pe fundul mării [81].

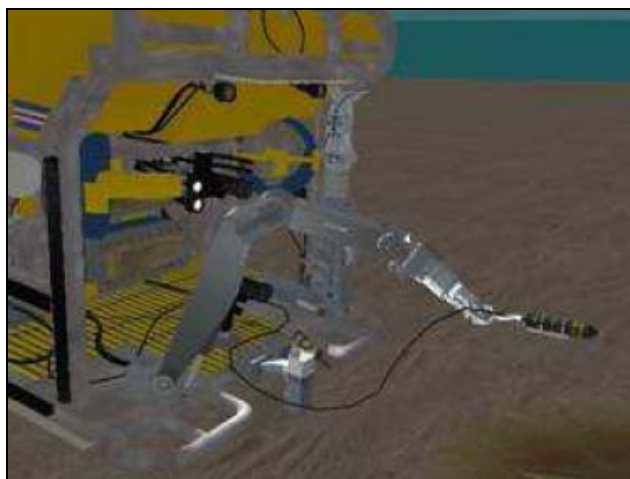
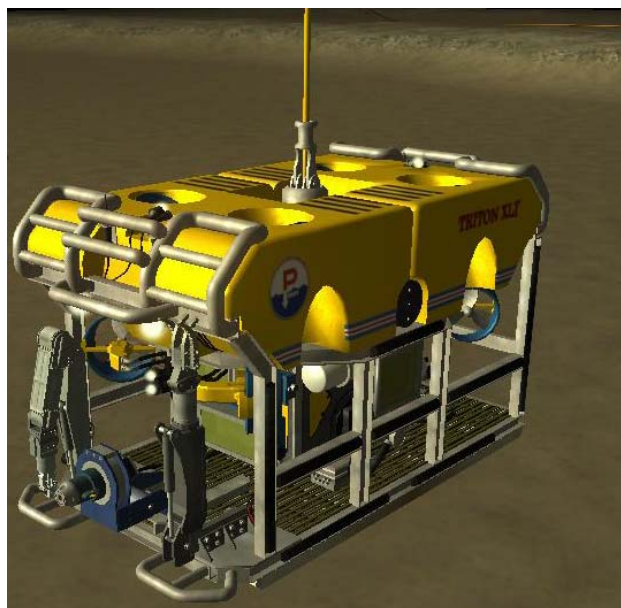


Fig. 5.14. Folosirea manipulatorului Schilling Robotics 7-F în simulare

Pentru a înțelege mai bine procesul instalării acestor rețele de senzori subacvatici "Safe-Nets", precum și pentru a putea observa eventualele probleme care pot apărea, dorim să folosim simulatorul VMAX - PerrySlingsby ROV, prin crearea unor scenarii de modelare și

simulare noi, prin care să dezvoltăm rețele Safe-Net în jurul operațiunilor de foraj lângă platforme de tip jack-up.



**Fig. 5.15.** Model PerrySlingsby Triton XLX în scenariu de simulare

Simulatorul VMAX reprezintă un pachet software și hardware care a fost creat cu intenția de a fi utilizat de către ingineri pentru a înțelege mai bine procesul design-ului anumitor piese sau proceduri și metodologii de montaj ale echipamentelor. Aceste scenarii care pot fi dezvoltate pot ajuta detalierea și concentrarea asupra anumitor detalii din aria de operațiuni, simulatorul fiind unul bazat pe interacțiunea fizică dintre obiectele modelate. Pentru crearea unui nou scenariu este nevoie de modelarea obiectelor în 3D Studio Max, apoi programarea efectivă folosind scripturi .lua. Am modificat adâncimea maximă a profilului, deoarece în realitate platformele de foraj de tip jack-up pot ajunge până la maxim 80-90m, înălțimea maximă a picioarelor fiind de 118,5m în cazul platformei GSP Jupiter spre exemplu.

Acest scenariu de baza, în care este prezentat zborul liber al unui ROV PerrySlingsby Triton XLX în aceste condiții, devine totodată baza de pornire pentru scenariul în care dorim să traducem necesitățile în ceea ce privește manipularea senzorilor, poziția tetherului printre aceștia (poziționarea în raport cu rețeaua de senzori înconjurătoare), precum și tehnicile de pilotaj necesare pentru implementarea acestora pe fundul mării în jurul zonei de operațiuni a unei platforme petroliere.

Putem crea modele de senzori și balize și le putem exporta pentru folosirea lor în scenariul de simulare, modelelor fiindu-le atașate de către programator mai multe caracteristici și parametri referitoare la geometria coliziunilor, controlul sau dinamica acestora în raport cu brațele manipuloare. Se definesc astfel interacțiunile și consecințele acestora. Nu trebuie să uităm faptul că ROV-ul este în permanență atașat de TMS (Tether Management System), iar acesta are dinamica sa proprie în raport cu starea mării, hula și curenții existenți.

---

Pilotul trebuie să respecte toate regulile și să fie atent la posibila torsadare a cablului ROV printre picioarele platformei, precum și la numărul maxim de rotații în jurul axei proprii, care nu trebuie să depășească mai mult de  $1440^{\circ}$  în aceeași direcție (în sensul acelor de ceasornic sau contrar acestora, deoarece mediul de transmisie din interiorul învelișului de kevlar al tether-ului – fibrele optice – se pot torsiona și rupe. În acest caz se poate pierde comunicația parțial sau complet cu tot ansamblul ROV, ceea ce poate duce la eșuarea acestuia.

## **5.6. Concluzii capitol**

*Rezultatele experimentale au avut în vedere două mari direcții: dezvoltarea modelelor 3D și testarea codului software pentru validarea acestora în cadrul simulatorului. Totodată am prezentat principalele probleme apărute în zona utilizării scenariilor modificate și a tuturor tipurilor de construcții offshore care ar trebui avute în vedere pentru o validare riguroasă a cadrului modular comun al dispozitivelor.*

*Rezultatele experimentale derivate din modificările aduse scenariilor de simulare din cadrul simulatorului ROV VMAX PerrySlingsby au continuat prin efectuarea unui studiu de caz în ceea ce privește amplasarea senzorilor în jurul unei platforme de tip jack-up.*

---

## CAPITOLUL 6 CONCLUZII

### 6.1. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ADUSE

Lumea în care evoluăm presupune înțelegerea și acumularea unei cantități imense de informație, care apoi necesită procesare. Rețelele de senzori subacvatici vor reprezenta în viitorul apropiat infrastructura pe baza căreia se vor putea crea aplicații care vor permite monitorizarea acvaculturilor, a poluării în mediul marin, vor ajuta industria de exploatare a resurselor din domeniul offshore, vor facilita prospecțiunile geologice, navigația și colectarea de date din mările și oceanele lumii sau vor reprezenta pur și simplu părți componente din sisteme automate de prevenire a dezastrelor. Optimizarea aplicațiilor de timp real pentru operațiuni marine prin soluții moderne de modelare și simulare reprezintă primul pas în dezvoltarea și implementarea unor rețele de senzori subacvatici, pe care i-am intitulat Safe-Nets, având în gând în special aplicațiile de monitorizare a poluării în mediul marin în zonele de exploatare a resurselor de petrol și gaze offshore și nu numai. Tehnologia a ajuns la un punct în care suportă în acest moment dezvoltarea și implementarea acestor rețele de senzori. Deși în acest moment nu există operațiuni de rutină care să implice în mod uzual rețelele subacvatice wireless, dezvoltarea acestora este iminentă, iar în privința faptului că aceste rețele de senzori ar putea colecta și aduce cantități imense de informație nu există nici un dubiu. Pentru atingerea obiectivelor tezei, în imposibilitatea susținerii financiare a unui test-bed corect prin fixarea unor dispozitive de instrumentație pe structuri marine din apele teritoriale ale României în cuprinsul Mării Negre am ajuns la soluția modelării și simulării a unor dispozitive polivalente validate în cadrul simulatorului ROV VMAX PerrySlingsby.

Am efectuat un studiu detaliat al rețelilor de senzori subacvatici și ultimelor dezvoltări în domeniu și a problemelor generate de amplasarea acestora în mediul marin. Am analizat domeniile de aplicabilitate, precum și dificultățile întâmpinate în privința mediului coroziv, a comunicațiilor în mediu marin și problemele generate de sursele de energie. Exceptând costurile de dezvoltare, am reliefat progresele tehnologice care permit implementarea acestor rețele și am prezentat posibile soluții pentru fiecare problemă.

În cazul soluțiilor de ultimă generație în privința alimentării cu energie electrică din surse regenerabile pe mare, am prezentat proiecte științifice de care s-ar putea lega rețelele de dispozitive de instrumentație marină. Am efectuat o analiză detaliată a echipamentelor de investigații submarine, în special asupra modului de realizare a diverselor tipuri de operațiuni și a sculelor și a sistemelor auxiliare care le deservesc.



Am formulat un model matematic cu ajutorul sistemelor cu parametrii distribuiți și a ecuațiilor diferențiale pe baza căruia pot exista dezvoltări ulterioare în cadrul problemei locației optimale a senzorilor pe cuprinsul mării. Prin analogie cu studiul [51] se poate spune că acest model matematic poate fi particularizat pentru cazul nostru din mediul acvatic, iar pentru optimizarea punctelor de lansare ale senzorilor subacvatici, unde punctele fixe sinonime cu cele ale punctelor de măsurători terestre sunt reprezentate de platformele și structurile offshore. În acest caz, în lipsa unor constante de mediu, problemele sunt mult mai complexe ținând seama de proprietățile fizico-chimice ale mediului acvatic.

În contextul utilizării vehiculelor de tip ROV, am descris principalele tipuri de sisteme telecomandate subacvatice non-autonome robotizate, operațiunile care se desfășoară în acest moment folosind aceste submarinele telecomandate și am făcut referire la cadrul legal european legat de siguranța și legislația în domeniul petrolier costier. Conform top 10 al companiilor după cele mai mari venituri realizate în anul fiscal 2010-2011, 7 dintre aceste companii sunt din industria petrolului și gazelor naturale. Veniturile cumulate au depășit 2,53 miliarde \$ dintr-un total calculat de 3,43 miliarde \$ [82], deci costurile implementării unor rețele Safe-Nets ar fi mici prin comparație. Astfel, aceste măsuri legislative ar putea impune companiilor petroliere să-și asigure sondele și operațiunile marine existente sau în curs de dezvoltare cu ajutorul unor dispozitive instrumentale care să fie capabile să transmită date telemetrice în timp real. Standardizarea și reglementarea legislativă a unui astfel de dispozitiv modular comun este de dorit deoarece necesitățile în termeni de fiabilitate și robustețe trebuie dovedite apriori lansării la apă a senzorilor. Prin caracterul puternic izolat al locațiilor offshore se ridică problemele de mentenanță și costuri de intervenție în cazul defecțiunilor. Totodată, în mediul de lucru offshore soluțiile modulare, ușor adaptabile și inter-compatibile sunt absolut necesare pentru buna desfășurare a operațiunilor. Condiții legate de fiabilitate, mentenanță, modularitate, la fel ca și cele privind protocoale de comunicații vor trebui reglementate înainte ca domeniul să capete avânt, iar beneficiile ulterioare cu siguranță nu vor întârzia să apară.

Principala contribuție adusă de teză este dezvoltarea unui cadru modular comun standardizat, ușor de folosit pentru mai multe tipuri de senzori subacvatici, dispozitivele devenind astfel polivalente, acest cadru permițând modularitatea componentelor electronice pentru diferiți senzori. Totodată, dezvoltarea de algoritmi pentru validarea modelului în cadrul simulatorului în vederea utilizării sistemelor de tip ROV pentru implementarea acestora în jurul tuturor structurilor offshore existente.

Rezultatele experimentale au avut în vedere două mari direcții: dezvoltarea modelelor 3D și testarea codului software pentru validarea acestora în cadrul simulatorului. Totodată am prezentat principalele probleme apărute în zona utilizării scenariilor modificate și a tuturor tipurilor de construcții offshore care ar trebui avute în vedere pentru o validare riguroasă a cadrului modular comun al dispozitivelor. Dispozitivele vor putea juca rolul de container pentru o varietate de senzori, care vor fi compatibili și adaptați sertarelor interioare ale acestuia, punându-se accent în special pe modularitatea acestora. Astfel, cu același nod de rețea vor putea fi facilitate mai multe tipuri de aplicații, acest lucru fiind esențial în vederea

justificării costurilor și îmbunătățirii dezirabilității financiare a unui proiect de implementare al Safe Nets în mediul marin.

Această lucrare prezintă o abordare a integrării unor rețele de senzori subacvatici și a unei structuri modulare comune propuse pentru aceste dispozitive polivalente, care să fie implementate în jurul operațiunilor de exploatare pe mare a resurselor de petrol și gaze, precum și în jurul altor structuri existente în domeniul marin costier. Studiul se concentrează asupra dispozitivelor senzoriale subacvatice denumite “Safe-Nets” dezvoltate prin intermediul simulatorului ROV VMAX Perry-Slingsby. Totodată, sunt analizate diverse aplicații de mediu pentru aceste dispozitive instrumentale subacvatice pentru a le justifica costurile și sunt prezentate dificultățile în dezvoltare și implementare cu ajutorul vehiculelor subacvatice telecomandate folosind scenarii de simulare și modelare pe simulatorul ROV. Se încearcă depășirea barierelor financiare prin sugerarea diferitelor domenii de aplicabilitate, precum și aplicarea avantajelor de design ale rețelelor terestre către cele subacvatice.

În cazul problemelor care apar în comunicațiile din mediul marin, modelul propus încearcă pe cât posibil limitarea folosirii transmisiilor wireless acustice pentru evitarea latențelor în transmisia pachetelor de date și a tuturor problemelor legate de protocoalele de comunicație acustice care sunt în curs de dezvoltare, e.g. [83]. Se propune folosirea cablajelor și legarea senzorilor de structurile marine deja existente, apoi folosirea comunicațiilor rapide prin satelit ale acestora, precum și a resurselor de energie electrică astfel încât în final să poată fi excluse nevoile unor baterii, acestea existând doar în cadrul unor sisteme de backup de alimentare cu energie. Dacă totuși comunicația de tip acustic nu poate fi evitată, căutăm soluții și protocoale de comunicații viabile, iar dezvoltarea unei rețele Safe Net va începe prin alocarea benzii acustice de interes.

Rezultatele experimentale derivate din modificările aduse scenariilor de simulare din cadrul simulatorului ROV VMAX PerrySlingsby au continuat prin efectuarea unui studiu de caz în ceea ce privește amplasarea senzorilor în jurul unei platforme de tip jack-up. S-au analizat diverse situații și conform planului platformei, precum și a operațiunilor curente desfășurate în fiecare locație luată în calcul, am concluzionat că zona ideală unde pot fi lansați la apă senzorii rețelei subacvatice, cu excepția momentelor în care platforma se afla în mișcare prin remorcare, este în zona prova, sub heliport.

Simularea permite oamenilor să experimenteze o întreagă varietate de situații realiste și să învețe din greșelile pe care le fac în astfel de situații, fără a pune în pericol viața umană și fără a provoca daune financiare prin deteriorarea bunurilor și echipamentelor. Tema se leagă în primul rând de siguranța personalului și necesitatea instruirii acestuia, apriori desfășurării operațiunilor pe mare – elemente vitale pentru buna desfășurare a obiectivelor propuse în cazul unor proiecte de mare avengură offshore: instalații de foraj, construcții tip jacket, construcții de conducte submarine (petrol/gaz), comunicații (fibre optice), construcții de parcuri eoliene pe mare, prospecțiuni geologice, prevenitoare cu bacuri submarine pentru sonde și alte operații care vor implica folosirea ROV – poate în viitor, implementarea de rețele “Safe-Nets” în jurul exploatărilor offshore.

## 6.2. DEZVOLTĂRI ULTERIOARE

Implementarea unor rețele de senzori cablați sau wireless-acustici în mediul subacvatic va reprezenta cu siguranță una din următoarele mari provocări ale comunității de cercetători și ingineri la nivel global. Luând în considerare experiența și cunoștințele acumulate pe parcursul acestei cercetări, propunem următoarele direcții de dezvoltare:

- Modelarea structurilor superficiale și de adâncime din cadrul mediului acvatic care urmează a fi monitorizate prin îmbinarea abordărilor geologice cu cele ale determinărilor experimentale de adâncime.

- Analogia cu studiului din S.U.A. din cadrul capitolului 2, în care se corelează informațiile de la puncte de măsurare la sol pentru terenuri agricole cu ajutorul dronelor aeriene prin optimizarea locației acestora pentru acoperirea a unui teritoriu cât mai mare cu hardware minim necesar poate funcționa până la un punct, în domeniul marin problemele fiind mult mai complexe ținând seama de proprietățile fizico-chimice fluctuante ale apei de mare (variații de salinitate, temperatura, curenți marini etc). Optimizarea punctelor de lansare ale senzorilor subacvatici va depinde puternic de structurile pre-existente pe mare și intenționez să îmi continui cercetările privind modelarea matematică a mediului acvatic ținând cont de particularitățile întâlnite în zonele de foraj petrol și gaze offshore.

- Dezvoltarea de algoritmi suplimentari în cadrul simulatorului ROV VMAX U.S. – PerrySlingsby U.K. pentru îmbunătățirea detaliilor referitoare la vizibilitatea în mediul marin, care ar trebui să aibă fluctuații în funcție de particularitățile reliefului subacvatic și în jurul structurilor offshore, precum și pentru existența mai multor tipuri de curenți care să influențeze performanțele și controlabilitatea sistemului robotic subacvatic non-autonom telecomandat. Existența valurilor și a curenților, precum și acțiunea acestora va trebui modelată atât asupra vehiculului ROV, cât și a tuturor obiectelor flotante de mici dimensiuni. Modelarea actuală este încă la un stadiu incipient în această privință.

- Totodată, sculele și uneltele care sunt modelate nu au capabilități de alimentare electrică sau hidraulică, în condițiile montării virtuale ale acestora pe sistemul ROV. Aceste scule sunt manevrate cu ajutorul celor două brațe robotice manipuloare existente, iar acestea ar trebui dezvoltate până la punctul la care ar putea înlocui unul din cele două manipuloare sau să poată fi instalate într-un alt spațiu intermediar. Sculele dezvoltate ar trebui să poată fi acționate într-un mod mult mai facil de către pilotul ROV.


- Modelarea cazurilor extreme în poziții pe structuri offshore care ar putea pune în pericol integritatea manipuloarelor sau a vehiculului ROV în sine, unul dintre exemplele elocvente în acest sens fiind încurcarea tether-ului într-un cârlig cu sau fără siguranță și scoaterea acestuia fără intervenția factorului uman, adică fără scufundători sau fără scoaterea ROV-ului la suprafață.

- Dezvoltarea în sensul comunicațiilor acustice și a protocoalelor de securizare ale rețelei, deoarece datele transmise ar putea avea caracter confidențial (prospecțiuni geologice în zone cu zăcăminte de petrol și gaze)

- Realizarea fizică a dispozitivelor subacvatice pe baza cadrului modular comun creat și găsirea mijloacelor financiare pentru realizarea unei platforme de test care să includă utilizarea cât mai multor tipuri de structuri offshore: platforme petroliere și jacket-uri de producție și foraj, ferme de centrale eoliene pe mare sau balize plutitoare autonome și implementarea efectivă a unei rețele cablate într-o primă etapă, cu extindere apoi a nodurilor wireless-acustice. Legarea rețelei la World Wide Web și transmiterea de flux video și de alte date telemetrice în timp real.

Se dorește patentarea unui produs finit ca realizare a acestei cercetări cu scopul de a testa piața și a oferi o opțiune viabilă pentru industria offshore în momentul în care obligativitatea legală sau necesitatea vor impune implementarea instrumentației de acest tip pe mare.

## **Anexa A. Acord GSP**

 <b>GRUP SERVICII PETROLIERE</b> member of UPETROM GROUP IMO number : 5211039	<b>GSP Form</b> <b>NOTIFICARE</b> <b>NOTIFICATION</b>	GSP-SIS-PRO-008-FRM-001	
		Revision:01	Date:19.10.2009
		Page 1 / 1	

Structura elaboratoare <i>Issuing Structure</i>	GSP Training Center
Nr. Inregistrare/data <i>Registration number/date</i>	575 / 06.12.2011
Subiect/ domeniu <i>Subject/ domain</i>	Operare Simulator ROV
Destinatar <i>Addressee</i>	Universitatea Politehnica Bucuresti

Prin prezenta se adeverește că Mitruț Caraivan, fost angajat al Grup Servicii Petroliere S.A., are acces la facilitățile Centrului de Instruire GSP din Dana 34, Constanța – Simulator Remote Operated Vehicles PerrySlingsby-VMAX in vederea elaborării tezei de doctorat.

Director GSP Training Center,  
**Dragos Teodorescu**



## Bibliografie selectivă

- [3] *V. Tunnicliffe, C. Barnes and R. Dewey*, Major advances in cabled ocean observatories in coastal and deep sea settings, IEEE/OES US/EU Baltic International Symposium, pp. 1-7, Tallinn, Estonia, 2008.
- [4] *M. Stojanovic*, Acoustic underwater communications, Encyclopedia of Telecommunications, John Wiley and Sons Publishing House, 2003.
- [5] *J. Proakis, J. Rice et al.*, Shallow water acoustic networks, IEEE Communications Magazine, pp. 114-119, 2001.
- [6] *I. Vasilescu et al.*, Data collection, storage and retrieval with an underwater sensor network, 3rd ACM SenSys Conference Proceedings, San Diego, CA, U.S.A., pp. 154-165, November 2005.
- [7] *P. Fairley*, Neptune rising, IEEE Spectrum Magazine #42, doi:10.1109/MSPEC.2005.1526903, pp. 38-45, 2005.
- [8] [Online] Ziare.com <http://www.ziare.com/mediu/incalzire-globala/ochiul-magic-din-adancul-oceanului-care-filmeaza-la-5-000-de-metri-adancime-1119136>, [Source Cited: 23.08.2013].
- [9] [Online] *Rob Hale*, Internet: Business Intelligence and Data Warehousing in Australian Higher Education, <http://blog.une.edu.au/robby/2009/08/22/underwater-internet/>, [Source Cited: 2009]
- [10] *John Heidemann, Milica Stojanovic and Michele Zorzi*, Underwater sensor networks: applications, advances and challenges, Philosophical Transactions of The Royal Society A, pp. 158-175, Royal Society Publishing, London, 2012.
- [11] [Online] *Larry Dignan*, Google's Data Centers, <http://www.zdnet.com/blog/btl/google-makes-waves-and-may-have-solved-the-data-center-conundrum/9937>; <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/09/06/google-planning-offshore-data-barges/>, [Source Cited: 2011].
- [12] [Online] *Rich Miller*, Google Planning Offshore Data Barges, <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/09/06/google-planning-offshore-data-barges/>. [Source Cited: 06.09.2008]
- [16] *John Heidemann, Yuan Li and Affan Syed*, Underwater Sensor Networking: Research Challenges and Potential Applications, USC Information Sciences Institute, USC/ISI Technical Report ISI-TR-2005-603, 2005.
- [17] *Adam Stuart Outlaw*, Computerization of an Autonomous Mobile Buoy, Florida Institute of Technology, Vol. Master thesis in Ocean Engineering, Melbourne, FL, U.S.A., 2007.
- [19] *Cui Hong-Jun et al.*, Challenges: Building Scalable and Distributed Underwater Wireless Sensor Networks (UWSNs) for Aquatic Applications, UCONN CSE Technical Report, UbiNet-TR05-02, 2005.
- [20] [Online] *Aquaret*, [www.aquaret.com](http://www.aquaret.com) [Source Cited: 2008].
- [31] *Dario Pompili, Tommaso Melodia and Ian F. Akyildiz*, A CDMA-Based Medium Access Control for Underwater Acoustic Sensor Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.8, 2009.
- [32] Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks. Melodia, Tommaso, Akyildiz, Ian F. and Pompili, Dario. 2004. ACM Sigbed Review, vol.1, no.2.
- [34] *S.W. Rienstra and A. Hirschberg*, An Introduction to Acoustics, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 2013.
- [35] *C.L. Morfey*, Dictionary of Acoustics, Academic Press, San Diego, 2010.

- 
- [36] *Tomas Zielinski, G. Fundamentals of Acoustics, Introductory Course on Multiphysics Modelling, Varsovia, Polonia, 2010.*
- [37] *R. Urick, Principles of underwater sound, McGraw Hill Publishing, New York, NY, U.S.A., 1983.*
- [38] *M. Stojanovic, On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel, ACM Mobile Computing Communications doi:10.1145/1347364.1347373, Rev.11, pp. 34-43, 2007.*
- [39] *Jack Wills, Wei Ye and John Heidemann, LowPower Acoustic Modem for Dense Underwater Sensor Networks, USC Information Sciences Institute, 2002.*
- [40] *N. Farr et al., An integrated underwater optical/acoustic communications system, IEEE Oceans Conference Proceedings, pp. 1-6, Sydney, Australia, May 2010.*
- [41] *U.M. Cella, R. Johnstone and N. Shuley, Electromagnetic wave wireless communication in shallow water coastal environment: theoretical analysis and experimental results, ACM 4<sup>th</sup> International Workshop on Underwater Networks (WUWNet) Proceedings, pp. 9:1-9:8, Berkeley, CA, U.S.A., November 2009.*
- [42] *J. Friedman et al., A biomimetic quasistatic electric field physical channel for underwater ocean networks, ACM 5<sup>th</sup> International Workshop on Underwater Networks (WUWNet) Proceedings, Woods Hole, MA, U.S.A., September 2010.*
- [43] *E. Sozer, M. Stojanovic and J. Proakis, Underwater acoustic networks, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 25, iss. 1, pp. 72-83, 2000.*
- [47] *Milica Stojanovic, Recent advances in high rate underwater acoustic communications, IEEE Journal Oceanic Engineering, pp. 125-136, 2006.*
- [48] *Frederic Mosca, Guillaume Matte and Takuya Shimura, Low-frequency source for very long-range underwater communication, Journal of Acoustical Society of America Express Letters, vol. 133, iss. 1, doi 10.1121/1.4773199, Melville, NY, U.S.A., 20 December 2012.*
- [49] *D. Green, Acoustic modems, navigation aids and networks for undersea operations, IEEE Oceans Conference Proceedings, pp. 1-6, Sydney, Australia, May 2010.*
- [50] *S. Singh et al., Acoustic communication performance of the WHOI micro-modem in sea trials of the Nereus vehicle to 11000m depth, IEEE Oceans Conference Proceedings, pp. 1-6, Biloxi, MS, U.S.A., March 2009.*
- [51] *Cristophe Tricaud, Optimal Sensing and Actuation Policies for Networked Mobile Agents in a Class of Cyber-Physical Systems, Utah State University, PhD Thesis, Logan, Utah, 2010.*
- [52] *A.J. Pritchard and Jai El, Sensors and actuators in distributed systems, International Journal of Control, vol. 46, iss. 4, A, pp. 1139-1153, 1991.*
- [53] *S. Omatu and J.H Seinfeld, Distributed Parameter Systems: Theory and Applications, Oxford Mathematical Monographs, Oxford University Press, New York, NY, U.S.A., 1998.*
- [54] *H.T. Banks and K. Kunisch, Boston Estimation Techniques for Distributed Parameter Systems, System & Control: Foundations & Applications, Birkhauser Publishing, MA, U.S.A., 1989.*
- [55] *E. Rafajowics, Optimum choice of moving sensor trajectories for distributed parameter system identification, International Journal of Control, vol. 43, iss. 5, pp. 1441-1451, 1986.*
- [56] *D. Ucinski, Optimal sensor location for parameter estimation of distributed processes, International Journal of Control, vol. 73, iss. 13, 2000.*

- 
- [57] *E. Walter and L. Pronzato*, Identification of Parametric Models from Experimental Data, Communications and Control Engineering, Springer Verlag Publishing, Berlin, 1997.
- [58] *D. Ucinski*, Optimal Measurement Methods for Distributed Parameter System Identification, CRC Press, Boca Raton, FL, S.U.A., 2005.
- [59] *N.Z. Sun*, Inverse Problems in Groundwater Modeling, Theory and Applications of Transport in Porous Media, Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, The Netherlands, 1994.
- [60] *Jun-Hong Cui*, Building Scalable Mobile Underwater Wireless Sensor Networks for Aquatic Applications, Storrs, Connecticut, Storrs, 2001.
- [61] *Dr. Ian F. Akyildiz, Tommaso Melodia and Dario Pompili*, Underwater acoustic sensor networks: research challenges, Ad Hoc Networks (Elsevier), vol. 3., pp. 257-259, 2005.
- [62] *Dario Pompili and Tommaso Melodia*, An Architecture for Ocean Bottom UnderWater Acoustic Sensor Networks (UWASN), Georgia, Atlanta.
- [63] *Dario Pompili, Ian F. Akyildiz and Tommaso Melodia*, Three-dimensional and two-dimensional deployment analysis for underwater acoustic sensor networks, Ad Hoc Networks (Elsevier), vol.7, iss .4, pp. 778-790, 2009.
- [64] *Carrilo Garcier et al.*, Autonomous Meteorological Buoy, Instrumentation Viewpoint Magazine, vol. 7, Winter, 2009.
- [65] *L. Bannon and K. Schmidt*, CSCW: Four Characteristics in Search of a Context, Studies in Computer Supported Cooperative Work, ISBN: 0-7923-1439-5, Amsterdam, 1991.
- [66] *C. Gomez, J. Paradells and J. Caballero*, Wireless Network Technologies and Solutions, F.V.E., 2010.
- [67] [Online] *Wikipedia*, Vehicul Subacvatic Controlat de la Distanta.  
[http://ro.wikipedia.org/wiki/Vehicul\\_subacvatic\\_controlat\\_de\\_la\\_distan%C8%9B%C4%83](http://ro.wikipedia.org/wiki/Vehicul_subacvatic_controlat_de_la_distan%C8%9B%C4%83), [Source Cited: 2013]
- [68] *International Marine Contractors Association*, Code of Practice for the Safe Use of Electricity Under Water, AODC 035, Rev.1, 1985.
- [70] *International Marine Contractors Association*, High Voltage Equipment - Safety Procedures for Working on ROVs, IMCA R 005, Rev.1, 2001.
- [78] *Bob Manavi*, VMAX Technologies Incorporate Help File, Houston, 77041-4014 Texas, USA, 2010.
- [79] *Mitrut Caraivan, Valentin Dache and Valentin Sgarciu*, Common Framework Model for Multi-purpose Underwater Data Collection Devices Deployed with Remotely Operated Vehicles, IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2013 Conference Proceedings, IEEE Catalog# CFP13803-CDR, ISBN: 978-1-4799-1427-2, Berlin, Germany, 2013.
- [80] *Mitrut Caraivan, Valentin Dache and Valentin Sgarciu*, Optimal Location for Underwater Data Collection Sensor Network Nodes Creating Multi-Purpose Safe-Nets Around Offshore Exploration Areas, 17th International Joint Conference on System Theory, Control and Computing, International Workshop on Systems Safety & Security for Automotive, Passengers & Goods Protection, IEEE IWSSS'2013 Conference Proceedings, IEEE Catalog number: CFP1336P-CDR, ISBN 978-1-4799-2228-4, ISBN 978-1-4799-2227-7, Sinaia, Romania, 2013.
- [81] *Mitrut Caraivan, Valentin Dache and Valentin Sgarciu*, Simulation Scenarios for Deploying Underwater Safe-Net Sensor Networks Using Remote Operated Vehicles: Offshore Exploration Constructions Models and Sensor Deployment Methods, 19<sup>th</sup> International Conference on Control



Systems and Computer Science Conference Proceedings, IEEE CSCS'19 BMS# CFP1372U-CDR, ISBN: 978-0-7695-4980-4, Bucuresti, Romania, 2013.

[82] [Online] *Wikipedia.org*, Wikipedia List of Companies by Revenue, [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_companies\\_by\\_revenue](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_companies_by_revenue), [Source Cited: 2011]

[83] *Dario Pompili, Tommaso Melodia and Ian F. Akyildiz*, A Resilient Routing Algorithm for Long-term Applications in Underwater Sensor Networks

## Listă Publicații

1. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Dache Valentin, Sgârciu Valentin - "*Common Framework Model for Multi-purpose Underwater Data Collection Devices Deployed with Remotely Operated Vehicles*" (Robotics & Automation in Computing and Communications edited volume following expanded paper invitation by publishing house River Publishers and IDAACS'2013 Berlin, Germany, ISBN to be established first quarter 2015)
2. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Sgârciu Valentin, Surugiu Ioan – "*Underwater Environment Monitoring Devices Integration with Virtual Scenarios in Remotely Operated Vehicles Simulator*" (U.P.B. Scientific Bulletin, Series , Vol. , Iss. , 2013, ISSN 1454-234x) (accepted article)
3. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Dache Valentin, Sgârciu Valentin – "*Optimal Location for Underwater Data Collection Sensor Network Nodes Creating Multi-Purpose «Safe-Nets» Around Offshore Exploration Areas*" (17<sup>th</sup> International Joint Conference on System Theory, Control and Computing, Sinaia, 11-13 October 2013, IWSSS IEEE CPP Conference Proceedings, IEEE Catalog number: CFP1336P-CDR, ISBN 978-1-4799-2228-4, ISBN 978-1-4799-2227-7)
4. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Dache Valentin, Sgârciu Valentin - "*Common Framework Model for Multi-purpose Underwater Data Collection Devices Deployed with Remotely Operated Vehicles*" (The 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, September 2013, Berlin, Germany – IDAACS'2013 IEEE Catalog number: CFP13803-CDR, ISBN:978-1-4799-1427-2)
5. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Surugiu Ioan, Sgârciu Valentin – "*A Survey on State-of-the-Art Design of Underwater Sensor Networks and Optimal Location Deployment around Offshore Structures*" (The 13th International Balkan Workshop on Applied Physics Proceedings, 4-6 July 2013, Constanța, Romania – RJP ISSN 1221-146X submitted article IBWAP ID#218-IBWAP2013)
6. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Dache Valentin, Sgârciu Valentin - "*Simulation Scenarios for Deploying Underwater Safe-Net Sensor Networks Using Remote Operated Vehicles Offshore Exploration Constructions Models and Sensor Deployment Methods*" (19<sup>th</sup> International Conference on Control Systems and Computer Science CSCS'19, Bucharest, May 2013 – BMS# CFP1372U-CDR, ISBN: 978-0-7695-4980-4)
7. **Caraivan Mitruț Corneliu** – "*Modern Solutions for Marine Operations Scenarios Simulation*" (Research Report at Politehnica University of Bucharest, Department of Industrial Automatic Control and Informatics, September 2012)
8. **Caraivan Mitruț Corneliu** – "*Optimizing and Securing Real-Time Applications for Marine Prospecting Operations*" (Research Report at Politehnica University of Bucharest, Department of Industrial Automatic Control and Informatics, September 2012)
9. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Dache Valentin, Sgârciu Valentin - "*Deploying Underwater Sensors Safe-Net in Offshore Drilling Operations Surrounding Areas Using Remote Operated Vehicles*" (Robot Services and Human-Robot Interaction - J532B track, 14<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'12, Bucharest, 23-25 mai 2012, SCOPUS IFAC PapersOnLine DOI 10.3182/20120523-3-RO-2023.00404, Page No. 871-876)

- 
10. Dache Valentin, **Caraivan Mitruț Corneliu**, Sgârțiu Valentin - "*Advanced Building Energy Management Systems, Optimize power consumption using IP Base Control Improved Power Grid Stability*" (Distributed Intelligence for Sustainable Manufacturing – I6JM8 track, 14<sup>th</sup> IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'12, Bucharest, 23-25 mai 2012, SCOPUS IFAC PapersOnLine DOI 10.3182/20120523-3-RO-2023.00426, Page No. 764-768)
  11. **Caraivan Mitruț Corneliu**, Mareș Valerica, Mareș Marius Daniel - "*C-Marketing Through IT&C*" (Present Global Issues International Conference Constanta 4<sup>th</sup> Edition, "Ovidius" University Annals Vol. X, Issue 1, pag. 894 - 899, Year 2010 – Sciences Series – B+ publication CNCSIS accredited and indexed in RePEc & DOAJ international databases, Editura Ovidius University Press, Constanța, 2010 – ISSN 1582 – 9383)
  12. Mareș Valerica, Mareș Marius Daniel, **Caraivan Mitruț Corneliu** — "*Strategic Leader and Information Systems*" (IECS 2011, Crises after the crisis. Inquiries from a national, european and global perspective, Sibiu, Romania, 19-20 May 2011, ISBN 978 – 606-12-0139-6, CNCSIS B+)
  13. Mareș Valerica, Mareș Marius Daniel, **Caraivan Mitruț Corneliu** - "Management by cost price calculations in agriculture" (Scientific Papers Series I, vol. XII(2), International Scientific Symposium University of Szeged, The College of Agriculture in Hódmezővásárhely 20-21 May 2010 Timișoara, ISSN 1453 – 1410, CNCSIS B)
  14. Mareș Valerica, **Caraivan Mitruț Corneliu**, Mareș Marius Daniel - "*The Informational Society During Global Crisis*" (Knowledge and Communication in the Globalization Era – Global Crisis and Social Development International Conference 1<sup>st</sup> Edition, Targu Jiu, 29-30 April 2010 – Letters and Social Sciences Series Annals of Constantin Brancusi University, Editura Targu-Jiu University Press, 2010, CNCSIS B+)
  15. Mareș V., **Caraivan Mitruț Corneliu**, Mareș M.D. - "*Projecting the Economic Impact of Strategic Development through Technology*" (Present Global Issues International Conference Constanta 4<sup>th</sup> Edition, "Ovidius" University Annals Vol. X, Issue 1, pag. 715 - 720, Year 2010 – Sciences Series –B+ publication CNCSIS accredited and indexed in RePEc & DOAJ international databases, Editura Ovidius University Press, Constanța, 2010 – ISSN 1582 – 9383)
  16. Mareș Marius Daniel, Mareș Valerica, **Caraivan Mitruț Corneliu**, Mihai Gabriel - "Tool for knowledge transfer in current strategic management" (Scientific communication session "Economic efficiency growth – Romanian economy recovery path", Spiru Haret University, București, 19 May 2010, CNCSIS B)

*Cărți:*

17. Tiberiu Coroescu, **Mitruț Corneliu Caraivan** – "*Bazele Roboticii și Sisteme Inteligente de Control al Proceselor – lucrări practice*" (Universitatea "Ovidius" Constanța, Editura Ovidius University Press, Constanța, 2013) (în curs de publicare)
18. Tiberiu Coroescu, **Mitruț Corneliu Caraivan** – "*Sisteme Electronice Industriale Wireless – îndrumar de laborator*" (Universitatea "Ovidius" Constanța, Editura Ovidius University Press, Constanța, 2013) (în curs de publicare)