



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**SISTEM PENTRU PROCESAREA, ANALIZA ȘI  
INTERPRETAREA DATELOR DE  
MONITORIZARE A ECOSISTEMELOR DE TIP  
RÂU**

**SYSTEM FOR PROCESSING, ANALYSIS AND  
INTERPRETATION OF RIVER ECOSYSTEM  
MONITORING DATA**

**Masterand: Păduraru Vadim**

**Conducător: Ababii Victor,  
conf.univ.,dr.**

**Chișinău – 2025**

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică**

**Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor**

**Admis la susținere**

**Șef departament:**

**Sudacevschi Viorica, conf. univ., dr.**

**„ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024**

**Sistem pentru procesarea, analiza și  
interpretarea datelor de monitorizare a  
ecosistemelor de tip râu.**

**Teză de master**

**Student: Păduraru Vadim**

**Conducător: Ababii Victor**

**Conf. Univ., dr.**

**Chișinău – 2025**

## **Declarație**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**  
**FACULTATEA CALCULATOARE, INFORMATICĂ ȘI MICROELECTRONICĂ**  
**DEPARTAMENTUL INFORMATICĂ ȘI INGINERIA SISTEMELOR**  
**CALCULATOARE ȘI REȚELE INFORMAȚIONALE**

**AVIZ**

la teza de master

**Titlul: Sistem pentru procesarea, analiza și interpretarea datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu.**

Studentul(a) Păduraru Vadim gr. CRI-231M

1. **Actualitatea temei:** Tematica tezei de master face parte din domeniul sistemelor de procesare, analiza și interpretarea datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu.
2. **Caracteristica tezei de master:** Teza de master constă într-o lucrare de proiectare a sistemelor destinate procesării, analizei și interpretării datelor de monitorizare. Sistemul propus se bazează pe transmiterea datelor de la dispozitivele echipate cu modul Wireless ESP32 către un server central, utilizând conexiunea Wi-Fi.
3. **Analiza prototipului:** În teza de master s-a efectuat o analiză complexă a metodelor și tehnicilor de monitorizare a datelor și a sistemelor bazate pe tehnologi IoT.
4. **Estimarea rezultatelor obținute:** Proiectul tezei de master se înscrie în aria de interes personală a masterandului. Rezultatele obținute din acest demers au fost deja implementate într-un sistem prototip, capabil să monitorizeze în timp real datele procesate și analizate.
5. **Corectitudinea materialului expus:** Materialul prezentat în teza de master este abordat la nivel de expert în ingineria sistemelor, integrând tehnologii moderne din domeniul sistemelor de calcul și al IoT.
6. **Calitatea materialului grafic:** Desenele, diagramele și figurile din textul tezei sunt elaborate prin utilizarea tehnologiilor moderne în domeniul comunicațiilor electronice, calculatoarelor și a sistemelor informaționale.
7. **Valoarea practică a tezei:** Implementarea tezei de master va permite vizualizarea datelor procesate și analizate de monitorizare a ecosistemelor de tip râu.
8. **Observații și recomandări:** Teza de master este elaborată cu aplicarea celor mai noi tehnici și tehnologii din domeniul sistemelor de calcul și a tehnologiei informaționale. Pentru viitor se recomandă o cercetare mai detaliată a acestei tematici și continuarea cercetărilor.

**Lucrarea în formă electronică corespunde originalului prezentat către susținere publică.**

9. **Caracteristica studentului și titlul conferit:** Pe parcursul elaborării tezei de master Dl **Păduraru Vadim** a dat dovadă de cunoștințe profunde în domeniul proiectării, programării și implementării sistemelor de procesare, analiza și interpretarea datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu . Dnul **Păduraru Vadim** merită titlul de magistru în știința **Calculatoare și Rețele Informaționale**. Teza de magistru este evaluată cu nota **10 ( zece )**.

Conducătorul tezei de magistru:

conf. univ. dr., V. Ababii

## ADNOTARE

La teza de master „Sistem pentru procesarea, analiza și interpretarea datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu.” a studentului Păduraru Vadim, grupa CRI-231M.

**Cuvinte cheie** : sistem, procesare, Arduino IDE, ESP32, analiza, interpretare, date de monitorizare, proiectare, bază de date, php, python.

Pentru realizarea sistemului, a fost necesară o analiză detaliată a altor soluții și sisteme similare, cu scopul de a dezvolta un prototip propriu capabil să îndeplinească cu succes toate sarcinile și obiectivele propuse. În contextul digitalizării și al evoluției tehnologice, se evidențiază importanța unui astfel de sistem, mai ales în lumina preocupării crescute pentru calitatea apei și protejarea ecosistemelor de tip râu.

Obiectivul lucrării de master constă în proiectarea și dezvoltarea unui sistem destinat procesării, analizei și interpretării datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu. La fundamentul acestui sistem se află un dispozitiv ESP32, capabil să se conecteze la rețele Wi-Fi și să transmită datele achiziționate către un server central, unde acestea vor fi procesate, analizate și interpretate. Pentru a testa conectivitatea și prelucrarea datelor, a fost dezvoltat un sistem demonstrativ care afișează informații despre starea conexiunii și datele trimise.

Procesul de testare a jucat un rol esențial în faza inițială, în care datele erau transmise și recepționate de serverul central. Ulterior, s-a trecut la etapa de procesare și verificare a datelor, urmând afișarea acestora pe o interfață web.

Scopul principal al acestei lucrări este de a oferi o soluție eficientă pentru procesarea, analiza și interpretarea datelor de monitorizare a ecosistemelor de tip râu, punând la dispoziția utilizatorilor informații relevante în timp real și notificări rapide în cazul apariției unor variații semnificative.

Structura tezei de master este organizată astfel: o introducere, urmată de trei capitole principale, concluzii finale, surse bibliografice și anexe. Această organizare reflectă întregul proces de dezvoltare și evaluare a sistemului propus pentru monitorizarea datelor specifice ecosistemelor de tip râu.

## ANNOTATION

In the master's thesis " System for Processing, Analysis and Interpretation of River Ecosystem Monitoring Data " conducted by student **Păduraru Vadim**, from the CRI-231M group

**Keywords:** system, processing, Arduino IDE, ESP32, analysis, interpretation, monitoring data, design, database, PHP, Python.

For the realization of the system, a detailed analysis of other existing solutions and similar systems was necessary, with the aim of developing a proprietary prototype capable of successfully fulfilling all proposed tasks and objectives. In the context of digitalization and technological evolution, the importance of such a system is highlighted, especially in light of the increased concern for water quality and the protection of river ecosystems.

The objective of the master's thesis is to design and develop a system intended for the processing, analysis, and interpretation of monitoring data from river ecosystems. At the foundation of this system lies an ESP32 device, capable of connecting to Wi-Fi networks and transmitting the acquired data to a central server, where it will be processed, analyzed, and interpreted. To test connectivity and data processing, a demonstrative system was developed that displays information about the connection status and the sent data.

The testing process played an essential role in the initial phase, during which data were transmitted and received by the central server. Subsequently, the process moved on to data processing and verification, followed by displaying the data on a web interface.

The main goal of this work is to offer an efficient solution for processing, analyzing, and interpreting river ecosystem monitoring data, providing users with relevant real-time information and swift notifications in the event of significant variations.

The structure of the master's thesis is organized as follows: an introduction, followed by three main chapters, final conclusions, bibliographic sources, and appendices. This organization reflects the entire process of developing and evaluating the proposed system for monitoring data specific to river ecosystems.

# Cuprins

<b>INTRODUCERE.....</b>	<b>9</b>
<b>1. ANALIZA DOMENIULUI DE STUDII.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Importanța monitorizării ecosistemelor de tip râu .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Tipuri de parametri de mediu relevanți.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Exemple de soluții existente și bune practici în monitorizarea râurilor .....</b>	<b>16</b>
1.3.1. Platforme instituționale și programe guvernamentale .....	16
1.3.2. Inițiative non-guvernamentale și comunitare .....	17
1.3.3. Tehnologii moderne și aplicații IoT .....	18
1.3.4. Standardizarea și validarea datelor .....	19
<b>1.4 Nevoia unei abordări integrate de colectare, prelucrare și analiză a datelor.....</b>	<b>20</b>
<b>2. TEHNOLOGII UTILIZATE .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Platforma hardware .....</b>	<b>25</b>
2.1.1 Microcontrolerul ESP32 .....	25
2.1.2 Tipuri de senzori folosiți în monitorizarea unui râu .....	26
2.1.3 Caracteristicile principale ale senzorilor și integrarea cu ESP32 .....	28
<b>2.2 Limbaje și medii de dezvoltare .....</b>	<b>29</b>
2.2.1 Mediul de dezvoltare Arduino IDE .....	29
2.2.2 PHP și dezvoltarea aplicației web .....	30
2.2.3 Python pentru procesare avansată și inteligență artificială.....	31
2.2.4 XAMPP și mediul de lucru integrat .....	32
2.4.5 Colaborare și versionare a codului .....	33
<b>2.3 Comunicarea și transferul datelor.....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Conectivitatea Wi-Fi.....	34
2.3.2 Protocoalele de transfer: HTTP vs. MQTT .....	35
2.3.3 Formatarea datelor și structura mesajelor .....	36
2.3.4 Considerații de securitate și criptare .....	37
2.2.5 Gestionarea traficului și fiabilitatea transmisiei.....	38
<b>2.4 Infrastructura de server și bază de date .....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Structurarea bazei de date MySQL .....	39
2.4.2 Fluxul de preluare și inserare a datelor.....	41
2.4.3 Considerații de performanță și backup .....	42

<b>2.4.4 Gândire orientată către viitor: containerizare și cloud</b> .....	43
<b>3. METODELE DE PRELUCRARE ȘI AFIȘARE A DATELOR</b> .....	45
3.1 Colectarea și validarea datelor .....	45
3.2 Stocarea și structurarea datelor .....	48
3.3 Analiza avansată a datelor.....	53
3.4 Prezentarea și vizualizarea rezultatelor .....	56
<b>CONCLUZII</b> .....	62
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	63



## INTRODUCERE

Monitorizarea calității apei și a parametrilor de mediu într-un ecosistem de tip râu reprezintă un pas esențial în înțelegerea și protejarea resurselor naturale. În ultimii ani, tot mai multe inițiative și proiecte și-au propus să dezvolte sisteme prin care să fie colectate, analizate și interpretate informații despre factori precum temperatura apei, nivelul de poluare, debitul sau pH-ul. Aceste date, obținute cu ajutorul unor mici dispozitive electronice instalate în zone cheie de-a lungul râului, permit specialiștilor să își formeze o imagine de ansamblu asupra sănătății ecosistemului și să intervină atunci când apar schimbări semnificative.

Teza de față propune realizarea unui sistem integrat, alcătuit din mai multe etape. În primul rând, se amplasează senzori în puncte strategice de-a lungul râului, pentru a obține o acoperire cât mai bună și a surprinde diverse condiții de mediu. Aceștia trimit informațiile colectate către o infrastructură de procesare, unde datele sunt centralizate și salvate, oferind apoi o bază solidă pentru analiză și raportare. În continuare, datele sunt prelucrate, organizate și verificate, pentru a elimina orice eventuale erori sau neconcordanțe. Această fază este crucială, deoarece datele curate și bine structurate fac posibilă observarea tendințelor și a modificărilor din mediul acvatic într-un mod mult mai clar.

Pentru a proiecta așa sistem, am făcut cunoștință cu studii anterioare, **ABABII V.; SUDACEVSCHI V.; BRANIȘTE R.; LUNGU I.; ROȘCA N.** Distributed Computing System for Monitoring of the River Aquatic Ecosystems.[19] și **BRANIȘTE, R.; MARUSIC, G.; SAVA, N.; ABABII, V. and CĂRBUNE, V.** Modeling the behavior of pollutants on the Dniester river in Olănești region.[24], care explică sistemul de monitorizare și modelul purtării poluanților în ecosistemul de tip râu.

Pe lângă partea de colectare și stocare a datelor, teza urmărește și crearea unor instrumente accesibile pentru vizualizare și interpretare. Astfel, rezultatele măsurătorilor pot fi afișate sub formă de tabele simple, ușor de urmărit, dar și sub formă de grafice detaliate, care oferă o perspectivă vizuală a variațiilor pe intervale de timp. În plus, integrarea unor hărți interactive permite localizarea precisă a fiecărui senzor și corelarea parametrilor măsurați cu specificul zonei respective. Prin acest mod, specialiștii și factorii de decizie pot identifica zonele vulnerabile, pot observa evoluția lor de-a lungul timpului și pot propune măsuri de îmbunătățire.

Mai mult, prin încorporarea unor metode avansate de analiză, sistemul are capacitatea de a semnala din timp eventualele anomalii. Orice abatere neobișnuită de la valorile normale (cum ar fi creșteri bruște ale nivelului de poluare) este astfel detectată și anunțată, ceea ce permite intervenții rapide. De asemenea, prin crearea și testarea unor modele predictive, se pot estima posibile evoluții ale parametrilor de mediu, oferind astfel un avantaj important în gestionarea resurselor și în planificarea măsurilor de conservare.

Această teză, în ansamblul său, propune o viziune modernă și dinamică asupra modului în care ne raportăm la mediul înconjurător. În loc să ne bazăm doar pe date ocazionale sau pe măsurători realizate la intervale mari de timp, sistemul asigură monitorizare continuă și acces la informații în timp real. Această abordare deschide calea către o gestionare mai eficientă a resurselor, către politici de mediu mai bine fundamentate și către un dialog constructiv între cercetători, autorități și comunitățile locale. În definitiv, prin îmbinarea tehnologiei cu responsabilitatea față de natură, putem contribui la protejarea râurilor, la menținerea echilibrului ecosistemelor și la asigurarea unui viitor sănătos pentru generațiile următoare.

# 1. ANALIZA DOMENIULUI DE STUDII

## 1.1 Importanța monitorizării ecosistemelor de tip râu

Monitorizarea ecosistemelor de tip râu reprezintă un subiect de interes major în contextul actual al schimbărilor climatice, al urbanizării rapide și al intensificării activităților antropice. Râurile îndeplinesc funcții critice pentru mediul înconjurător și pentru societate, furnizând apă potabilă, resurse pentru agricultură, industrie, energie, dar și adăpost pentru o multitudine de specii de floră și faună. În plus, ele constituie elemente-cheie în menținerea echilibrului hidrologic și ecologic la nivel local, regional și global. De aceea, înțelegerea dinamicii și a stării de sănătate a ecosistemelor acvatice este vitală pentru planificarea durabilă a resurselor și pentru luarea unor decizii informate cu privire la protecția mediului.

Un aspect esențial al importanței monitorizării râurilor îl reprezintă rolul acestora în menținerea biodiversității. Râurile oferă o diversitate de habitate – de la zone umede și lunci, până la prundișuri și pâraie montane – în care viețuiesc numeroase specii de microorganisme, plante, insecte, pești, amfibieni și mamifere. Starea de sănătate a unui râu poate fi corelată cu diversitatea biologică ce îl populează. Prin monitorizare constantă, se poate evalua nivelul de poluare, concentrația de oxigen, pH-ul și alți parametri de calitate a apei care influențează direct viața acvatică. De asemenea, se pot identifica din timp fenomene care pot afecta drastic biodiversitatea, precum eutrofizarea, creșterea excesivă a unor alge sau prezența speciilor invazive.

În plus, importanța apei din râuri în procesul de asigurare a resurselor de apă potabilă face ca monitorizarea parametrilor de calitate să fie absolut critică pentru sănătatea umană. În multe regiuni, sursa principală de apă potabilă este direct legată de cursurile de apă dulce. Orice modificare a parametrilor chimici sau biologici (de exemplu, prezența bacteriilor coliforme, nitrați, fosfați, metale grele) poate avea consecințe grave asupra siguranței populației. Prin urmare, monitorizarea continuă permite intervenții rapide în cazul unor episoade de poluare, astfel încât să se evite situațiile critice de sănătate publică și să se asigure un nivel optim de protecție a consumatorilor.

De asemenea, râurile joacă un rol esențial în dezvoltarea economică a unor regiuni, atât prin activitățile industriale și agricole, cât și prin potențialul lor turistic. În contextul industriilor care se bazează pe utilizarea apei (cum ar fi cea alimentară, textilă sau de rafinare), menținerea unei calități adecvate a apei este crucială pentru calitatea produselor și

pentru evitarea costurilor ridicate de purificare. În agricultură, apa de râu este folosită la irigații, iar contaminarea acesteia poate duce la scăderea recoltelor sau la produse neconforme cu standardele de siguranță alimentară. Prin monitorizare constantă, se pot identifica rapid sursele de poluare și se pot aplica măsuri adecvate de remediere.

Din perspectivă turistică, multe zone riverane oferă oportunități de agrement și recreere (pescuit, rafting, plimbări cu barca etc.), astfel încât menținerea unui râu curat și echilibrat devine un factor-cheie în atragerea vizitatorilor și în dezvoltarea sustenabilă a comunităților locale. În lipsa unui sistem eficient de monitorizare, calitatea apei poate scădea, activitățile turistice pot fi restricționate și, implicit, regiunea poate suferi din punct de vedere socio-economic.

Un alt motiv pentru care monitorizarea râurilor este importantă îl reprezintă factorii climatici. Schimbările climatice pot influența debitul, temperatura și regimul de precipitații al unui bazin hidrografic, ceea ce conduce la fenomene extreme precum secetele prelungite sau inundațiile devastatoare. Prin colectarea și analiza datelor privind nivelul apei, viteza de curgere, sedimentele și alți parametri relevanți, cercetătorii și autoritățile pot obține o perspectivă mai clară asupra riscurilor asociate. Astfel, decidenții pot adopta strategii mai eficiente de gestionare a resurselor de apă și de protecție a locuințelor, a infrastructurii și a mediului.

Mai mult decât atât, monitorizarea pe termen lung furnizează date istorice de o valoare inestimabilă, care pot fi folosite pentru studii de cercetare, modelări predictive sau evaluări de impact privind viitoarele proiecte de infrastructură. Proiectele de construcții mari (baraje, hidrocentrale, canale de deviere) necesită, în mod special, studii de impact asupra mediului extrem de detaliate, iar acuratețea acestor studii depinde într-o mare măsură de datele colectate în timp. Cu cât datele privind starea râului și a mediului înconjurător sunt mai complete și mai vechi, cu atât prognozele și recomandările pot fi mai bine fundamentate științific.

Din punct de vedere legislativ, în multe țări există reglementări stricte privind protecția și conservarea apelor de suprafață. Prin intermediul directivelor europene, de exemplu Directiva Cadru privind Apa (2000/60/CE)[1], statele membre sunt obligate să mențină sau să atingă o „stare ecologică bună” a apelor de suprafață. Atingerea acestui obiectiv implică monitorizarea continuă a unor parametri fizico-chimici și biologici

specificații de lege, precum și raportarea constantă a rezultatelor. În acest sens, monitorizarea devine nu doar un instrument științific și managerial, ci și o cerință legală, menită să contribuie la menținerea unui mediu sănătos.

Un alt aspect de luat în considerare este rolul educativ al monitorizării râurilor. Implicarea comunităților locale, a instituțiilor de învățământ și a voluntarilor în activități de monitorizare și protecție a râurilor poate genera o conștientizare mult mai mare a responsabilității față de mediu. Prin programe de voluntariat, workshop-uri, proiecte școlare sau universitare, datele colectate pot servi drept bază pentru diverse analize și studii. Astfel, cetățenii ajung să înțeleagă și să valorizeze importanța menținerii unui ecosistem riveran sănătos, devenind parte activă în protecția acestuia.

Nu în ultimul rând, tehnologia modernă face ca monitorizarea să fie mult mai accesibilă și mai eficientă decât în trecut. Dispozitive precum microcontrolerele ESP32 pot fi echipate cu senzori performanți pentru măsurarea calității apei (pH, turbiditate, conductivitate, oxigen dizolvat etc.), iar datele pot fi trimise în timp real pe servere și platforme cloud. Această abordare de tip Internet of Things (IoT) asigură obținerea unor volume mari de informații, care pot fi prelucrate rapid, generând alerte și rapoarte utile atât cercetătorilor, cât și autorităților locale sau naționale.

Prin urmare, monitorizarea ecosistemelor de tip râu se dovedește a fi un proces esențial în menținerea calității mediului, a sănătății publice, a dezvoltării economice durabile și a biodiversității. Efortul de a colecta, analiza și interpreta date provenite din astfel de ecosisteme oferă beneficii multiple – de la protecția resurselor de apă și a vieții acvatice, la prevenirea dezastrelor naturale și optimizarea consumului de apă. Fără un program de monitorizare adecvat și fără măsuri prompte de intervenție, calitatea ecosistemului și, implicit, sănătatea noastră, pot fi grav afectate. În condițiile în care presiunile antropice și cele climatice cresc, importanța monitorizării devine și mai mare, impunându-se metode inovatoare și colaborative pentru a asigura conservarea pe termen lung a râurilor și a tuturor serviciilor ecosistemice pe care acestea le furnizează.

## 1.2 Tipuri de parametri de mediu relevanți

Monitorizarea ecosistemelor de tip râu presupune colectarea și analiza unui set de parametri-cheie, care oferă indicii despre starea de sănătate a apei și, implicit, a florei și faunei asociate. Înțelegerea acestor parametri și a modului în care variază în timp și spațiu este esențială pentru evaluarea calității apei, identificarea surselor de poluare și adoptarea măsurilor necesare de protecție și conservare. În cele ce urmează, vom prezenta cei mai importanți parametri utilizați în monitorizarea râurilor, subliniind relevanța lor în ecosistemele acvatice.



**Figura 1.1.** Testarea nivelului pH.

**Temperatura** apei este un parametru fundamental, deoarece influențează direct procesele fizice, chimice și biologice dintr-un râu. Majoritatea organismelor acvatice au o toleranță limitată la variațiile de temperatură, iar schimbările bruște pot produce dezechilibre semnificative. De exemplu, peștii și alte vietăți acvatice își reglează metabolismul în funcție de temperatură, iar creșterile peste anumite valori pot duce la stres termic, reducerea nivelului de oxigen dizolvat sau chiar mortalitate în masă.

Impact asupra ecosistemului: o temperatură prea ridicată poate stimula înmulțirea algelor și a microorganismelor, ducând la eutrofizare, în timp ce o scădere drastică poate încetini procesele biologice și afecta biodiversitatea.

**pH-ul** (Potentia Hydrogenii) indică aciditatea sau alcalinitatea apei și este un parametru esențial pentru stabilitatea chimică a mediului acvatic. Deși majoritatea speciilor

acvatice se dezvoltă optim într-un interval cuprins între pH 6.5 și 8.5, unele ecosisteme pot avea valori naturale mai acide (râuri de munte) sau mai alcaline (zone carstice).

**Turbiditatea** se referă la măsura în care apa își pierde transparența din cauza particulelor în suspensie (sedimente, materii organice, microorganisme). Aceasta influențează cantitatea de lumină care pătrunde în coloana de apă și, implicit, procesele de fotosinteză ale algelor și plantelor acvatice.

**Oxigenul dizolvat (OD)** este unul dintre cei mai importanți parametri pentru viața acvatică. Majoritatea organismelor acvatice depind de oxigenul prezent în apă pentru respirație, iar nivelurile scăzute pot duce la situații de hipoxie sau chiar anoxie, cu efecte dramatice asupra peștilor și a altor organisme.

**Conductivitatea și salinitatea.** Conductivitatea măsoară capacitatea apei de a conduce electricitatea, fiind influențată de prezența sărurilor și a ionilor dizolvați (cloruri, sulfatați, carbonați). Salinitatea, strâns legată de conductivitate, indică concentrația totală de săruri și are o importanță deosebită în zonele unde apele dulci pot fi influențate de apă sărată (de ex., estuare) sau de deversări industriale.

**Nutrienți** (Nitrați, Nitriți, Fosfați). Concentrațiile de nutrienți (în special nitrați, nitriți și fosfați) sunt parametri importanți pentru determinarea gradului de fertilitate a apei și a riscului de eutrofizare. În mod natural, râurile conțin cantități reduse de nutrienți. Totuși, activitățile antropice (agricultura intensivă, deversări de ape uzate, fertilizanți chimici) pot duce la acumularea excesivă de nutrienți, favorizând creșterea algelor și a altor plante acvatice.

**Metale grele** (Plumb, Mercur, Cadmiu etc.). Metalele grele sunt deosebit de periculoase deoarece se pot bioacumula în organisme și pot produce efecte toxice pe termen lung. Chiar și la concentrații scăzute, metalele precum plumbul, mercurul sau cadmiul pot afecta funcțiile vitale ale organismelor acvatice și pot ajunge în lanțul trofic, generând riscuri pentru sănătatea umană.

**Bacterii și agenți patogeni** . Pe lângă parametrii fizico-chimici, analiza microbiologică a apei joacă un rol esențial în evaluarea riscului pentru sănătatea umană și

pentru ecosistem. Bacteriile coliforme (în special *Escherichia coli*) sunt indicatori frecvent utilizați pentru a evalua contaminarea cu materie fecală.

Fiecare dintre parametrii de mai sus oferă o piesă din puzzle-ul calității apei. Doar printr-o monitorizare integrată și prin corelarea acestor date se poate obține o imagine completă și fidelă a ecosistemului. De pildă, o turbiditate crescută asociată cu un pH moderat și o scădere bruscă a oxigenului dizolvat poate sugera un episod de poluare organică intensă. În schimb, un pH scăzut și un conținut ridicat de metale grele pot indica poluări industriale provenite din zonele miniere.

Monitorizarea trebuie să fie realizată atât pe termen scurt (pentru identificarea situațiilor de urgență, precum deversările accidentale), cât și pe termen lung (pentru obținerea trendurilor care arată dacă râul se află într-o stare de degradare progresivă sau se îndreaptă spre refacere). În plus, trebuie luate în considerare factorii climatici (precipitații, temperaturi extreme), pentru a înțelege mai bine dinamica naturală a râului și a deosebi fenomenele naturale de cele antropice.

### **1.3 Exemple de soluții existente și bune practici în monitorizarea râurilor**

Monitorizarea râurilor a devenit o prioritate pentru numeroase instituții, organizații non-guvernamentale și comunități locale, ca răspuns la nevoia de a asigura calitatea resurselor de apă și de a proteja biodiversitatea. În ultimii ani, datorită progreselor tehnologice și creșterii gradului de conștientizare publică, au apărut diverse proiecte și inițiative care facilitează colectarea, prelucrarea și interpretarea datelor referitoare la starea ecosistemelor acvatice. În cele ce urmează, vom explora câteva exemple de soluții existente, precum și bune practici care pot fi adoptate pentru monitorizarea eficientă a râurilor.

#### **1.3.1. Platforme instituționale și programe guvernamentale**

a) Rețeaua oficială de monitorizare. Multe țări dispun de rețele oficiale de monitorizare a râurilor, sub coordonarea agențiilor naționale de mediu și a celor responsabile cu gestionarea resurselor de apă. În România, de exemplu, Administrația Națională „Apele Române” (ANAR)[2] gestionează stații de monitorizare amplasate strategic, care furnizează informații despre debit, nivelul apei și parametrii de calitate (temperatură, pH, oxigen dizolvat, nutrienți etc.). Aceste date sunt colectate periodic și analizate în laboratoare



specializate, permițând autorităților să evalueze situația la nivel național și să raporteze în conformitate cu directivele europene, precum Directiva Cadru privind Apa (2000/60/CE).

b) Sisteme de avertizare timpurie. Pe lângă monitorizarea de rutină, anumite state au dezvoltat sisteme de avertizare timpurie pentru inundații, poluări accidentale sau secete prelungite. Aceste sisteme integrează date hidrologice (precipitații, debit, nivelul apei) cu date meteorologice și modele predictive, pentru a oferi previziuni cu privire la riscurile potențiale. Informațiile rezultate sunt transmise către autoritățile locale și naționale, care pot lua măsuri de prevenție, cum ar fi evacuarea zonelor expuse și închiderea temporară a captărilor de apă potabilă în cazul poluărilor chimice.

c) Centre de date publice. O bună practică întâlnită în multe state europene și nu numai este deschiderea accesului la datele colectate. Instituțiile pun la dispoziția publicului platforme online unde pot fi vizualizate și descărcate informații referitoare la calitatea apei, la evenimentele poluante și la parametri hidrologici. Această abordare transparentă stimulează implicarea societății civile, a cercetătorilor și a organizațiilor non-guvernamentale în procesul de analiză și protecție a resurselor de apă.

### 1.3.2. Inițiative non-guvernamentale și comunitare

a) Proiecte de citizen science. În ultimii ani, conceptul de citizen science a cunoscut o popularitate tot mai mare, fiind adoptat de numeroase ONG-uri și comunități locale. Astfel de proiecte implică voluntari (elevi, studenți, cetățeni) în colectarea datelor despre calitatea apei, biodiversitate și poluare, folosind seturi de testare simple, senzori portabili sau chiar aplicații mobile. Un exemplu notabil este programul GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment)[4], susținut de NASA și alte organizații internaționale, care încurajează implicarea școlilor în monitorizarea parametrilor de mediu, inclusiv a apei din râuri.

#### b) Monitorizarea făcută de ONG-uri de mediu

Organizațiile de mediu, precum World Wide Fund for Nature (WWF)[3], asociații de pescari sau grupuri locale de protecție a naturii, desfășoară adesea campanii proprii de monitorizare, concentrându-se pe parametri specifici (spre exemplu, concentrația de oxigen dizolvat în zonele cu populații de pești migratori). Aceste inițiative aduc un plus de date și pot ajuta la

completarea informațiilor oficiale, mai ales în zonele în care stațiile naționale de monitorizare sunt rare sau inexistente.

#### c) Programe educaționale și ateliere practice

O bună practică este implicarea directă a tinerilor în activități de monitorizare, prin organizarea de ateliere și laboratoare în aer liber. Aici se pot învăța tehnici de prelevare a probelor, de măsurare a unor parametri (pH, turbiditate, temperatură), precum și de interpretare inițială a rezultatelor. Astfel, generațiile tinere conștientizează importanța conservării biodiversității și devin mai responsabile în privința protecției mediului.

#### 1.3.3. Tehnologii moderne și aplicații IoT



**Figura 1.2.** Proiectul “Smart Water” de IBM.

#### a) Utilizarea microcontrolerelor și a senzorilor specializați

Evoluția microcontrolerelor (ESP32, Arduino, Raspberry Pi) și a senzorilor accesibili ca preț și ușor de integrat a revoluționat modul de monitorizare a râurilor. Dispozitivele IoT pot fi instalate în puncte strategice de-a lungul cursurilor de apă pentru a măsura permanent parametri precum temperatură, pH, oxigen dizolvat, turbiditate sau conductivitate. Datele sunt transmise în timp real către platforme cloud, unde pot fi vizualizate sub formă de grafice sau hărți interactive.

#### b) Sisteme de management al datelor (Data Management Systems – DMS)

O altă bună practică o reprezintă implementarea unor platforme software special concepute pentru gestionarea și analiza volumelor mari de date provenite de la senzorii

instalați. Astfel de sisteme, fie că sunt open-source (precum Grafana, InfluxDB, ThingsBoard) sau comerciale (precum Azure IoT, AWS IoT), permit stocarea securizată a informațiilor, crearea de analize avansate (de ex. machine learning pentru detectarea anomaliilor) și configurarea unor alerte automate în cazul depășirii limitelor impuse.

c) Metode de calibrare și întreținere a senzorilor.

Pentru a obține rezultate de înaltă acuratețe, senzorii trebuie calibrați periodic și supuși unor procese de mentenanță. În cazul senzorilor de pH și oxigen dizolvat, de exemplu, calibrările chimice (cu soluții tampon) trebuie efectuate la intervale regulate pentru a compensa derivatele de măsură. O bună practică este și protejarea senzorilor împotriva depunerilor de alge, sedimente sau crustacee (biofouling), care pot afecta acuratețea citirilor.

#### **1.3.4. Standardizarea și validarea datelor**

a) Protocoale de colectare și prelucrare. Unul dintre cele mai importante aspecte în asigurarea calității datelor este adoptarea unor protocoale standardizate pentru prelevarea și analiza probelor. De exemplu, Organizația Internațională pentru Standardizare (ISO) pune la dispoziție o serie de standarde (precum ISO 5667 pentru eșantionarea apei) care detaliază modul în care trebuie prelevate probele, echipamentele necesare, condițiile de transport și metodele de analiză în laborator. Respectarea acestor recomandări minimizează erorile și face rezultatele comparabile la nivel regional sau internațional.

b) Validarea rezultatelor cu analize de laborator. Chiar dacă se folosesc senzori în teren, datele obținute ar trebui verificate la intervale regulate prin comparație cu analizele de laborator (cross-validation). Prelevarea de probe și trimiterea acestora la un laborator acreditat reprezintă o bună practică pentru confirmarea preciziei senzorilor și pentru detectarea oricăror abateri sistematice.

c) Integrarea datelor și interoperabilitatea. În cazul proiectelor de anvergură, cu multiple surse de date (stații oficiale, senzori IoT, analize de laborator, voluntari), o practică benefică este folosirea unui format comun și a unor standarde de interoperabilitate (de exemplu, OGC SensorThings API). Prin adoptarea unor formate standard, datele pot fi centralizate și folosite mult mai ușor în aplicații cartografice (GIS), în cercetare sau în rapoartele oficiale.

## 1.4 Nevoia unei abordări integrate de colectare, prelucrare și analiză a datelor

Monitorizarea ecosistemelor de tip râu implică o serie de activități complexe, de la selectarea parametrilor relevanți și echipamentelor adecvate, până la interpretarea rezultatelor și luarea deciziilor de management. În acest context, o abordare integrată de colectare, prelucrare și analiză a datelor devine esențială pentru a obține o imagine completă și coerentă asupra stării unui râu. Această abordare presupune colaborarea dintre actori diverși (instituții guvernamentale, cercetători, ONG-uri, comunități locale), folosirea unei infrastructuri tehnologice moderne și adoptarea unor metodologii standardizate care să asigure calitatea și comparabilitatea datelor. În cele ce urmează, vom explora principalele motive pentru care o perspectivă integrată este crucială, precum și modurile în care poate fi realizată și valorificată eficient.

### Convergența multiplelor surse de date

Un râu poate fi influențat de numeroși factori: condiții geografice, climă, activități industriale și agricole, densitate a populației, grad de urbanizare și așa mai departe. Ca atare, datele colectate în mod punctual (de exemplu, doar din stații oficiale sau doar din campanii de voluntariat) pot oferi o imagine incompletă sau chiar înșelătoare.

- **Integrarea surselor oficiale și neoficiale:** abordarea integrată presupune coroborarea datelor provenite din stațiile guvernamentale de monitorizare cu cele colectate de proiecte independente, instituții academice sau inițiative de citizen science. Astfel, se pot umple „golurile” din monitorizarea spațială și temporală, obținându-se informații cu o rezoluție mai bună.
- **Diversitatea datelor:** un râu nu se evaluează doar după parametrii chimici (pH, turbiditate, concentrația de oxigen dizolvat), ci și după factori biologici (prezența speciilor bio-indicatoare, populațiile de pești), hidrologici (debit, nivel) și chiar date socio-economice (aprovizionarea cu apă potabilă, amplasarea fermelor, potențialul turistic). O abordare integrată reușește să pună laolaltă aceste informații, generând o analiză transversală, benefică în luarea deciziilor.

## Colectarea de date: standardizare și complementare

Pentru ca datele provenite din diverse surse să fie într-adevăr utile și comparabile, trebuie respectate anumite reguli de standardizare și un cadru metodologic comun.

- **Protocoale și ghiduri de eșantionare:** adoptarea unor standarde internaționale (ISO 5667 pentru prelevarea probelor de apă, de exemplu) asigură că parametrii fizico-chimici și biologici sunt mășurați în mod consecvent, iar diferențele de rezultate nu provin din metode de colectare eronate.
- **Calibrarea și întreținerea senzorilor:** în cazul utilizării platformelor IoT (de exemplu, module ESP32 cu senzori de temperatură, pH, turbiditate etc.), o bună practică este calibrarea periodică cu soluții tampon și protejarea senzorilor împotriva depunerilor de materie organică. Astfel, datele colectate pot fi utilizate în complementaritate cu cele de laborator, reducând erorile și asigurând un flux informațional coerent.
- **Instrumente de validare în teren:** campaniile periodice de inspecție (în care se prelevează probe și se fac analize de laborator) pot „valida” rezultatele colectate în mod continuu de senzorii automatizați. Acest proces de cross-checking este esențial pentru menținerea unui nivel înalt de încredere în datele publicate.

## Prelucrarea datelor: de la volum mare la informații relevante

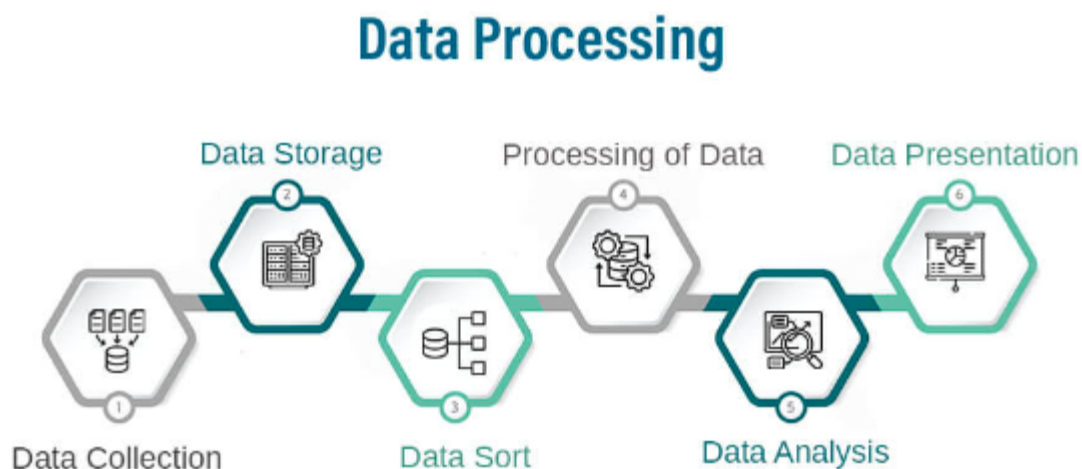


Figura 1.3. Procesarea datelor.

Odată colectate, datele necesită un proces atent de prelucrare, filtrare și analiză. În ultimii ani, volumele de date colectate au crescut semnificativ, datorită amplasării mai multor senzori și a digitalizării proceselor de monitorizare.

- **Utilizarea sistemelor de management al datelor (DMS):** platformele open-source (precum Grafana, InfluxDB, ThingsBoard) sau soluțiile comerciale (AWS IoT, Azure IoT) permit centralizarea, stocarea și vizualizarea datelor în timp real. Acest lucru facilitează identificarea rapidă a anomaliilor (de pildă, o creștere bruscă a temperaturii sau scăderea oxigenului dizolvat) și generarea de alerte automate către instituțiile responsabile.
- **Analiza statistică și modelarea predictivă:** datele brute, oricât de numeroase, nu sunt suficiente pentru înțelegerea profundă a evoluției ecosistemului. O abordare integrată include tehnici de statistică (de exemplu, analize de varianță, serii temporale) și modele matematice (cum ar fi modelele de dispersie a poluanților, simulări hidrologice) care pot anticipa efectele unor factori precum schimbările climatice sau urbanizarea intensă asupra râurilor.
- **Machine learning și inteligență artificială:** odată cu accesul la date istorice de calitate, algoritmi de machine learning pot fi antrenați pentru a recunoaște tipare și a prezice evenimente, cum ar fi episoade de poluare chimică, înflorirea excesivă a algelor (algal blooms) sau riscul de inundații. Acest tip de analiză avansată completează instrumentarul clasic și deschide calea către o gestionare mai proactivă a resurselor de apă.

### **Analiza integrată și suportul decizional**

Colectarea datelor din surse variate și prelucrarea lor prin metode avansate conduc, în mod ideal, la crearea unui cadru unitar de interpretare și la elaborarea unor rapoarte de sinteză. Aceste rapoarte devin instrumente centrale pentru factorii de decizie și pentru toți ceilalți actori implicați în managementul râurilor.

- **Hărți interactive și rapoarte personalizate:** prin intermediul interfețelor web moderne, datele pot fi prezentate sub formă de hărți tematice (de exemplu, un GIS integrat), grafice evolutive sau tabele sintetice. Decidenții politici sau managerii de

proiect pot primi dashboard-uri personalizate cu indicatorii cei mai relevanți pentru zona lor de interes.

- **Comunicarea transparentă a rezultatelor:** o altă dimensiune a abordării integrate se referă la diseminarea rezultatelor. Publicarea rapoartelor de mediu și a informațiilor referitoare la calitatea apei în format deschis (open data) poate crește încrederea publicului și poate stimula implicarea organizațiilor neguvernamentale, a mediului academic și a cetățenilor în eforturile de protecție a ecosistemelor acvatice.
- **Decizii informate în timp real:** un sistem integrat de monitorizare permite reacții rapide la evenimente de urgență, cum ar fi scurgeri chimice, poluări accidentale sau creșteri bruște ale debitului. Atunci când datele sunt centralizate și analizate automat, alertele pot fi transmise imediat către autoritățile responsabile, care pot lua măsuri de intervenție (închiderea temporară a captărilor de apă, avertizarea populației) într-un interval scurt de timp.

### **Colaborarea multidisciplinară și implicarea părților interesate**

Un alt element-cheie al abordării integrate este colaborarea între specialiști din domenii diferite: ecologi, hidrologi, chimiști, ingineri IT, experți în politici publice și nu numai. Fără o abordare multidisciplinară, datele colectate riscă să fie interpretate parțial, iar soluțiile propuse pot să nu țină cont de toate variabilele.

- **Platforme comune de cercetare și inovare:** universitățile pot colabora cu agențiile guvernamentale și cu sectorul privat în cadrul unor proiecte finanțate prin programe de cercetare (UE, naționale sau internaționale). Acest tip de parteneriat favorizează transferul de cunoștințe și dezvoltarea de noi tehnologii și metode de monitorizare.
- **Implicarea comunităților locale:** abordarea integrată presupune și consultarea periodică a comunităților riverane, care au adesea o experiență directă cu problemele râului. Aceste comunități pot furniza informații valoroase (de pildă, istoricul poluărilor sau observații privind schimbările de debit și sedimentare), iar implicarea lor în procesele de luare a deciziilor contribuie la acceptarea socială a măsurilor propuse.

- **Rolul ONG-urilor și al inițiativelor civice:** organizațiile neguvernamentale de mediu pot juca rolul de punte între autorități și cetățeni, asigurând o comunicare eficientă și transparentă. De asemenea, ele pot furniza resurse și expertiză suplimentară, derulând proiecte complementare sau cercetări axate pe aspecte specifice (de pildă, monitorizarea speciilor protejate).

### Provocări și perspective de viitor

Implementarea unei abordări integrate nu este lipsită de dificultăți.

- **Costuri și finanțare:** echipamentele de monitorizare (senzori, stații, aparatură de laborator), softurile de gestionare a datelor și pregătirea specialiștilor implică investiții semnificative. Găsirea unor scheme de finanțare sustenabile este o provocare constantă, mai ales în regiunile cu resurse limitate.
- **Managementul volumelor mari de date (Big Data):** odată cu amplasarea unui număr crescând de senzori, cantitatea de date generate se mărește exponențial. Stocarea, securitatea, procesarea și analiza acestor date necesită infrastructuri IT performante și competențe specializate.
- **Standarde și interoperabilitate:** pentru a putea integra date din surse diferite (stații oficiale, proiecte universitare, comunități locale), este nevoie de adoptarea unor formate comune și a unor protocoale standard. Fără interoperabilitate, datele rămân segmentate în silozuri, iar valoarea globală a monitorizării scade.
- **Adaptarea la schimbările climatice:** pe măsură ce fenomenele meteorologice extreme devin mai frecvente (inundații, secete, valuri de căldură), sistemele de monitorizare trebuie să poată colecta și analiza date într-un ritm și mai accelerat. Abordarea integrată își dovedește utilitatea în identificarea rapidă a zonelor de risc, în conturarea unor scenarii de adaptare și în stabilirea priorităților de acțiune.

Pe termen mediu și lung, tendința va fi spre o digitalizare tot mai avansată a monitorizării ecosistemelor acvatice și spre o implicare sporită a publicului larg prin aplicații mobile și platforme online. Astfel, se va crea un veritabil „eco-sistem de date” în care informația circulă fluid, beneficiind atât experților, cât și comunităților locale.



## 2. TEHNOLOGII UTILIZATE

### 2.1 Platforma hardware

Unul dintre pilonii de bază în monitorizarea parametrilor de mediu dintr-un ecosistem de tip râu îl reprezintă platforma hardware. Aceasta asigură atât captarea și măsurarea datelor esențiale (temperatură, pH, turbiditate etc.), cât și transmiterea lor către infrastructura software pentru stocare și analiză. În acest sens, microcontrolerul ESP32 a devenit o alegere populară datorită echilibrului dintre performanță, consum energetic și conectivitate wireless. Combinarea ESP32 cu o gamă diversă de senzori specializați oferă posibilitatea unei monitorizări robuste și flexibile, adaptate nevoilor proiectului.

#### 2.1.1 Microcontrolerul ESP32

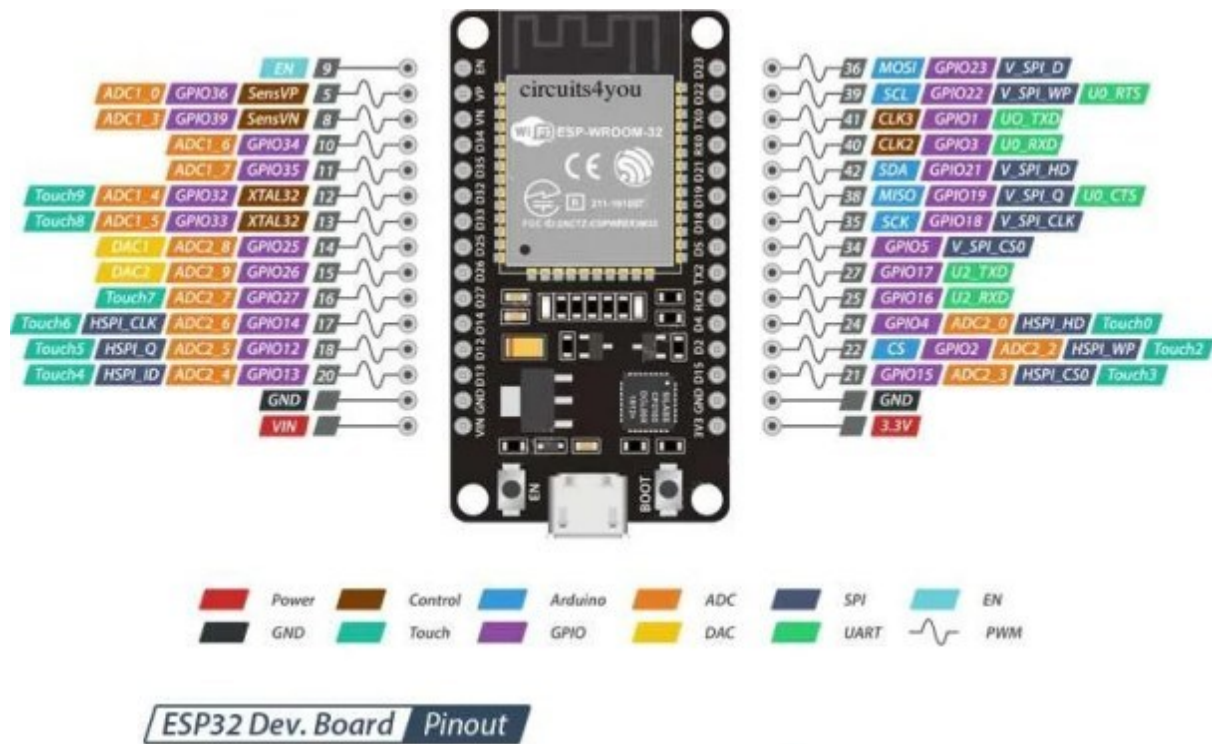


Figura 2.1. Amplasarea și funcțiile pinilor a unui microprocesor ESP32.

ESP32 este un microcontroler de ultimă generație, dezvoltat de Espressif, care încorporează o serie de caracteristici menite să faciliteze implementarea proiectelor IoT (Internet of Things). Printre principalele avantaje ale acestui dispozitiv se numără:

1. **Conectivitatea Wi-Fi și Bluetooth.** Una dintre cele mai atractive funcționalități ale ESP32 este conectivitatea dublă: acesta oferă atât rețea wireless (Wi-Fi 802.11b/g/n), cât și Bluetooth/BLE. Acest aspect simplifică foarte mult transmiterea datelor către

serverele de colectare, eliminând necesitatea unui gateway extern sau a altor soluții de comunicare mai complexe. Pentru un proiect de monitorizare a unui râu, conectivitatea directă prin Wi-Fi este deosebit de utilă acolo unde infrastructura de rețea este disponibilă, iar pentru zonele mai izolate se poate opta pentru module suplimentare sau antene externe.

2. **Putere de calcul și memorie.** ESP32 este echipat cu un procesor dual-core la frecvențe care pot atinge 240 MHz, alături de memorie RAM suficientă (de regulă, în jur de 520 KB SRAM) pentru a rula aplicații complexe. Acest lucru permite nu doar colectarea și transmiterea datelor, ci și preprocesarea lor, reducând astfel cantitatea de informație trimisă către server. În anumite scenarii, se pot implementa algoritmi de filtrare a zgomotului sau de detectare a anomaliilor direct pe microcontroler, realizându-se așa-numitul „edge computing”.
3. **Consum energetic ajustabil.** Fiind destinate aplicațiilor IoT, modulele ESP32 includ diferite moduri de alimentare, precum “light sleep” și “deep sleep”, pentru a reduce consumul energetic atunci când nu sunt necesare operații intense. Acest aspect poate fi extrem de important în cazul stațiilor de monitorizare alimentate de baterii sau panouri solare, în special dacă zona de amplasare nu dispune de o sursă de curent electric stabilă.
4. **Extensibilitate și suport software.** Comunitatea largă de dezvoltatori și resursele disponibile online (biblioteci, exemple de cod, tutoriale) fac ca ESP32 să fie foarte versatil. Este compatibil cu mediul de dezvoltare Arduino IDE, dar și cu alte platforme, precum PlatformIO sau Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF). Astfel, integrarea senzorilor, scrierea codului și depanarea devin mai accesibile, inclusiv pentru cei aflați la început de drum cu proiectele de monitorizare IoT.

### 2.1.2 Tipuri de senzori folosiți în monitorizarea unui râu

Pentru a obține o imagine cât mai completă asupra calității apei și a factorilor de mediu dintr-un râu, este necesar un set de senzori care să măsoare parametri cheie. Alegerea

senzorilor depinde de obiectivele specifice ale proiectului și de resursele disponibile, însă câteva dintre cele mai comune tipuri de senzori sunt:

1. **Senzor de temperatură.** Temperatura apei joacă un rol crucial în stabilirea echilibrului ecosistemului, influențând rata de metabolizare a organismelor acvatice și cantitatea de oxigen dizolvat. Senzorii de temperatură pot varia de la simpli termistori până la sonde digitale (precum DS18B20), care oferă o precizie ridicată și o calibrare ușoară.
2. **Senzor de pH.** Determinarea acidității sau alcalinității apei este esențială pentru identificarea eventualelor surse de poluare și pentru menținerea unui mediu propice dezvoltării vieții acvatice. Senzorii de pH sunt construiți în general dintr-un electrod de sticlă sensibil la schimbările ionilor de hidrogen din soluție. Aceștia necesită întreținere regulată și calibrare pentru a furniza valori corecte.
3. **Senzor de turbiditate.** Turbiditatea indică gradul de transparență a apei, fiind corelată cu prezența particulelor în suspensie (materie organică, nămol, microorganisme etc.). Un nivel crescut de turbiditate poate afecta plantele acvatice și poate semnală poluări sau fenomene de eroziune a malurilor. Pentru măsurători, se folosesc de obicei senzori optici care măsoară cantitatea de lumină dispersată de particulele din apă.
4. **Senzor de oxigen dizolvat (DO).** Conținutul de oxigen dizolvat este un indicator foarte important al sănătății unui ecosistem acvatic. Plantele, peștii și microorganismele depind de prezența oxigenului pentru a supraviețui. Senzorii DO pot fi de tip electrochimic sau optic, iar citirile lor ajută la evaluarea capacității de susținere a vieții și a stării generale a râului.
5. **Alți senzori potențiali.** În funcție de complexitatea proiectului, se pot adăuga senzori de conductivitate electrică (pentru a evalua concentrația de săruri), senzori de nivel al apei (cu ultrasunete sau presiune), senzori de calitate a aerului din proximitatea râului (pentru a urmări poluarea atmosferică) și chiar senzori de viteză a curentului de apă pentru a determina debitul.

### 2.1.3 Caracteristicile principale ale senzorilor și integrarea cu ESP32

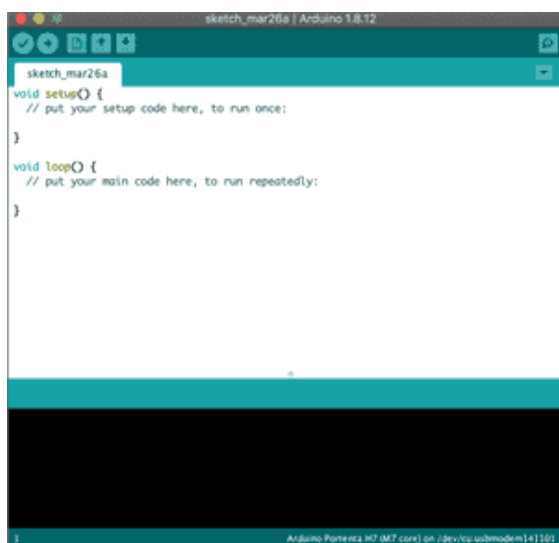
Pentru o bună integrare între ESP32 și senzori, este necesar să se țină cont de următoarele caracteristici:

1. **Interfață de comunicare.** Majoritatea senzorilor pot fi integrați fie prin comunicație digitală (I2C, SPI, One-Wire), fie prin semnale analogice. ESP32 dispune atât de pini digitali compatibili cu I2C și SPI, cât și de intrări analogice (ADC) pentru citirea valorilor analogice. Este însă esențial să se verifice voltajul necesar senzorului (3.3 V sau 5 V) și compatibilitatea cu microcontrolerul pentru a evita deteriorarea componentelor.
2. **Precizie și interval de măsurare.** Fiecare tip de senzor are un domeniu optim de funcționare și o anumită precizie. De exemplu, un senzor de pH poate măsura în gama 0–14, dar are nevoie de o calibrare frecventă. Un senzor de temperatură DS18B20 are o precizie tipică de  $\pm 0,5$  °C, iar un senzor de turbiditate poate avea praguri diferite de sensibilitate (NTU – Nephelometric Turbidity Units). Selectarea senzorilor cu intervale de măsurare adecvate și cu o precizie rezonabilă este esențială pentru a obține informații relevante.
3. **Rezistență la mediu și condiții de utilizare.** Într-un mediu precum cel al unui râu, senzorii sunt expuși la umiditate, coroziune, fluctuații de temperatură și posibila depunere de sedimente. Din acest motiv, este indicat să se utilizeze versiuni rezistente la apă (waterproof) sau să se monteze senzorii în carcase etanșe. Conectarea prin cabluri cu izolație corespunzătoare și protecția împotriva șocurilor mecanice sunt alte aspecte importante de avut în vedere.
4. **Întreținere și calibrare.** Pentru ca datele colectate să rămână fiabile în timp, unii senzori necesită operațiuni periodice de întreținere. De pildă, senzorii de pH au nevoie de soluții de calibrare la pH 4, pH 7 și pH 10, în funcție de recomandările producătorului. În plus, aceștia trebuie clățiți sau verificați la intervale de timp regulate pentru a preveni depunerile de minerale ori algelor pe suprafața electrodului.

## 2.2 Limbaje și medii de dezvoltare

Proiectul de monitorizare a ecosistemelor de tip râu implică diverse etape de lucru, de la scrierea codului pentru microcontroler, până la dezvoltarea aplicațiilor server-side și implementarea algoritmilor de analiză și inteligență artificială. Pentru fiecare dintre aceste componente, sunt folosite limbaje și medii de dezvoltare specifice, care asigură atât flexibilitatea, cât și performanța necesară.

### 2.2.1 Mediul de dezvoltare Arduino IDE



**Figura 2.2.** Interfața aplicației ArduinoIDE

Pentru programarea microcontrolerelor ESP32, o alegere populară este **Arduino IDE**[9], grație interfeței sale intuitive și a comunității extinse de utilizatori. Limbajul de programare folosit de Arduino IDE este, în esență, C/C++, cu un set de biblioteci special create pentru controlul și accesarea funcțiilor integrate ale plăcilor. În cazul unui proiect de monitorizare a parametrilor de mediu, Arduino IDE oferă următoarele avantaje:

1. **Biblioteci gata de utilizare pentru senzori.** Există numeroase biblioteci dezvoltate de comunitate pentru conectarea și citirea valorilor dintr-o mare varietate de senzori (pH, temperatură, turbiditate, etc.). Acest lucru reduce semnificativ timpul de implementare și simplifică procesul de integrare.
2. **Compatibilitate cu ESP32.** Deși Arduino IDE a fost creat inițial pentru plăcile Arduino, extinderea suportului către ESP32 permite programatorilor să folosească

aceleași funcții și metode familiare, să acceseze pinii de intrare-ieșire și să gestioneze conexiunea Wi-Fi, totul într-un mediu unitar.

3. **Sistem de gestionare a bibliotecilor.** Arduino IDE include un sistem de management al bibliotecilor (Library Manager), care ușurează instalarea, actualizarea și deinstalarea componentelor necesare pentru diferiți senzori sau module de comunicare.
4. **Serial Monitor și instrumente de depanare.** Arduino IDE oferă un Serial Monitor integrat, prin care se pot urmări datele transmise de placă în timp real, facilitând detectarea și rezolvarea erorilor de comunicare sau logică.

Deși nu este cel mai avansat mediu de dezvoltare existent, simplitatea Arduino IDE îl face ideal pentru inițierea rapidă a proiectului și dezvoltarea unui prototip funcțional. Odată stabilite bazele, se poate trece la soluții mai complexe, cum ar fi PlatformIO sau Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF), în cazul în care se dorește un control mai fin asupra procesului de compilare și încărcare a codului.

### 2.2.2 PHP și dezvoltarea aplicației web

Pentru partea de server și interfața web care afișează datele, limbajul **PHP**[11] joacă un rol esențial. PHP este de mulți ani una dintre cele mai folosite tehnologii server-side, având avantajul unei comunități uriașe și al integrării simple cu diverse baze de date (inclusiv MySQL)[10]. În contextul proiectului de monitorizare a unui ecosistem de tip râu, PHP contribuie la:

```
$api_key= $sensor = $location = $value1 = $value2 = $value3 = "";  
  
if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {  
    $api_key = test_input($_POST["api_key"]);  
    if($api_key == $api_key_value) {  
        $sensor = test_input($_POST["sensor"]);  
        $location = test_input($_POST["location"]);  
        $value1 = test_input($_POST["value1"]);  
        $value2 = test_input($_POST["value2"]);  
        $value3 = test_input($_POST["value3"]);  
  
        $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);  
        if ($conn->connect_error) {  
            die("Connection failed: " . $conn->connect_error);  
        }  
    }  
}
```

Figura 2.3. Segvența din codul de plasare a datelor în php.

1. **Colectarea și stocarea datelor.** Microcontrolerul ESP32 transmite informații către un server, unde un script PHP primește datele prin intermediul unor cereri HTTP (POST sau GET). Aceste date sunt apoi inserate în baza de date, fie direct, fie printr-un mecanism suplimentar de validare.
2. **Generarea dinamică a paginilor web.** Pentru a vizualiza parametrii colectați, scripturile PHP se ocupă de interogarea bazei de date și afișarea rezultatelor într-o formă accesibilă (tabele, grafice etc.). Astfel, orice utilizator care accesează pagina respectivă primește informațiile la zi despre starea râului.
3. **Interacțiuni și validare.** PHP poate gestiona inclusiv formulare și zone de administrare, unde utilizatorii (de exemplu, cercetătorii sau administratorii) pot modifica setări, pot adăuga noi senzori în sistem sau pot consulta rapoarte specifice. Se pot aplica mecanisme de autentificare și protecție pentru a asigura securitatea datelor.
4. **Extensibilitate și framework-uri.** Dacă proiectul crește în complexitate, PHP poate fi integrat cu framework-uri precum Laravel, Symfony sau CodeIgniter, oferind structuri mai clare de cod, suport pentru testare automată și arhitecturi mai scalabile.

### 2.2.3 Python pentru procesare avansată și inteligență artificială

O componentă importantă a proiectului o reprezintă **analiza datelor** și implementarea eventualelor modele predictive sau a algoritmilor de detectare a anomaliilor. În acest sens, **Python**[18] este limbajul preferat de numeroși cercetători, datorită ecosistemului său bogat de biblioteci științifice și de machine learning. Dintre cele mai cunoscute se pot menționa:

- **NumPy** și **Pandas** pentru manipularea și procesarea datelor;
- **Matplotlib**, **Seaborn** sau **Plotly** pentru vizualizare avansată;
- **scikit-learn**[17], **TensorFlow** sau **PyTorch** pentru antrenarea și rularea modelelor de machine learning.

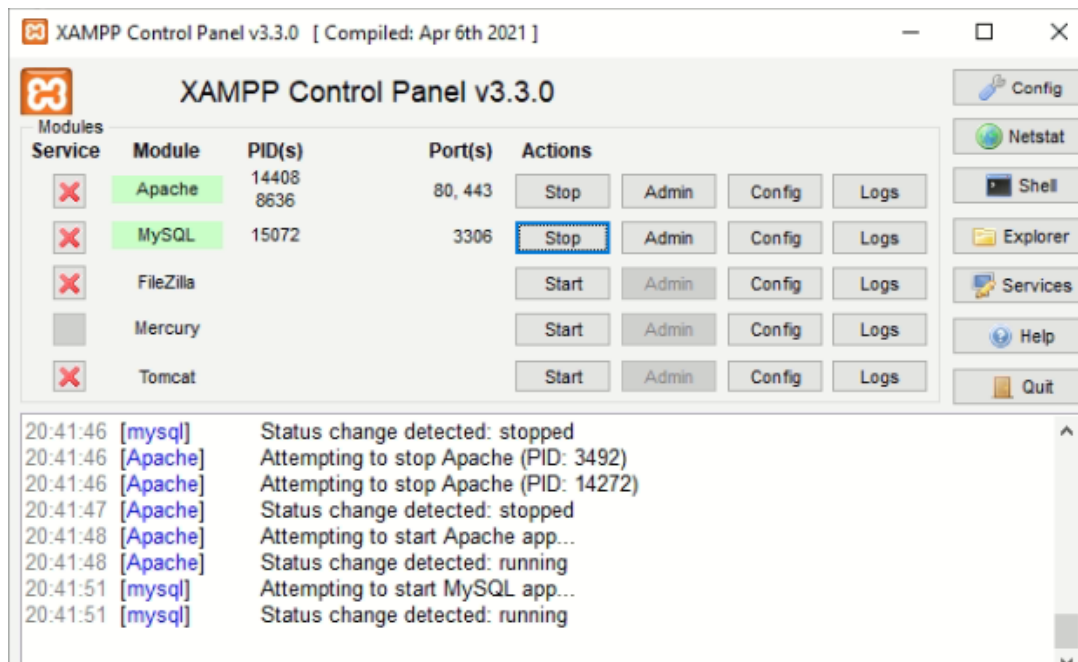
În contextul sistemului de monitorizare:

1. **Prelucrarea datelor colectate.** Scripturile Python pot extrage datele din baza de date și le pot curăța, eliminând valorile anormale sau lipsă și agregând informațiile pe intervale de timp, în funcție de necesități (minute, ore, zile). Acest pas este crucial pentru validarea setului de date și asigurarea calității analizelor.
2. **Detectarea anomaliilor.** Valorile care se abat semnificativ de la medie (de exemplu, scăderi bruște ale oxigenului dizolvat sau creșteri neobișnuite ale turbidității) pot fi semnalate prin algoritmi de tip Isolation Forest, AutoEncoder sau chiar prin simple praguri statistice. Python oferă instrumentele ideale pentru a construi și testa astfel de modele într-un mod relativ ușor.
3. **Predicții și modele de forecast.** Pe baza datelor istorice, proiectul poate include dezvoltarea unor modele de predicție pentru variația temperaturii sau a parametrilor de poluare. Astfel, factorii interesați (de exemplu, agențiile de mediu) pot identifica tendințe și pot lua decizii informate, având în vedere evoluțiile prognozate.
4. **Integrare cu alte servicii.** Un server Python (Flask, FastAPI sau Django) poate fi utilizat fie ca parte a infrastructurii principale, fie doar pentru funcții complementare (de exemplu, un microserviciu dedicat analizei datelor). Comunicarea cu aplicația PHP se poate realiza prin API-uri REST, JSON sau chiar prin inserarea directă a rezultatelor în baza de date.

#### 2.2.4 XAMPP și mediul de lucru integrat

Pentru a facilita dezvoltarea și testarea locală, mulți programatori aleg să instaleze pachetul **XAMPP**[12], care include:





**Figura 2.4.** Interfața aplicației XAMPP.

- **Apache:** serverul web care rulează aplicațiile PHP;
- **MySQL** (sau MariaDB): baza de date relațională pentru stocarea informațiilor;
- **PHP:** limbajul server-side;
- **phpMyAdmin:** interfață grafică de administrare a bazei de date.

Prin XAMPP, întreaga aplicație (codul scris în PHP, baza de date și paginile web) poate fi testată într-un singur mediu, înainte de a fi mutată pe un server de producție. Acest lucru scurtează semnificativ ciclurile de dezvoltare, permițând corectarea rapidă a problemelor și evaluarea noilor funcționalități.

#### 2.4.5 Colaborare și versionare a codului

Fiind un proiect care poate implica mai mulți dezvoltatori și cercetători, utilizarea unor sisteme de control al versiunilor, precum **Git**, devine esențială. Instrumente precum **GitHub** sau **GitLab** permit stocarea codului într-un depozit central, gestionarea ramurilor de dezvoltare (branches), revizuirea codului (pull requests) și urmărirea modificărilor în timp. Astfel, se reduce riscul suprascrierii muncii, iar colaborarea devine mai organizată.

## 2.3 Comunicarea și transferul datelor

Un element esențial în orice sistem de monitorizare a mediului este modul în care se realizează comunicarea dintre dispozitivele de măsurare și infrastructura de stocare și procesare a datelor. În cadrul proiectului de față, dispozitivele ESP32 colectează informații de la senzori (pH, temperatură, turbiditate etc.) și le trimit către un server central unde sunt salvate într-o bază de date și ulterior analizate. Alegerea protocoalelor și a modului de transfer are impact direct asupra fiabilității și eficienței sistemului, motiv pentru care este important să se acorde atenție aspectelor de latență, securitate și volum de date transmis.

### 2.3.1 Conectivitatea Wi-Fi

În majoritatea scenariilor, **ESP32** se bazează pe conectivitatea Wi-Fi integrată pentru a transmite date către server. Aceasta reprezintă una dintre cele mai simple și comune metode de conectare, datorită următoarelor avantaje:

1. **Răspândire largă.** Wi-Fi este disponibil în foarte multe locații, iar rețelele pot fi configurate rapid. În situațiile în care proiectul se desfășoară în zone urbane sau în proximitatea unor clădiri, folosirea routerelor Wi-Fi existente poate elimina costuri suplimentare.
2. **Viteză de transmisie.** Standardele Wi-Fi (802.11 b/g/n) oferă viteze ridicate, chiar dacă pentru un proiect de monitorizare a râurilor cerințele de lățime de bandă nu sunt foarte mari (datele de la senzori ocupă de regulă un volum redus).
3. **Integrare ușoară.** Codul scris pentru ESP32 în mediul Arduino IDE sau PlatformIO include deja biblioteci simplificate pentru conectarea la rețele Wi-Fi (ex. WiFi.h). Astfel, în doar câteva linii de cod, dispozitivul se poate asocia la o rețea și poate trimite date mai departe.

Totuși, atunci când se folosește o conexiune Wi-Fi, este necesară o configurare adecvată pentru a asigura stabilitatea și acoperirea semnalului. În cazul râurilor sau zonelor mai izolate, semnalul poate fi slab ori inexistent, ceea ce impune fie utilizarea unor antene externe și a unor routere mai puternice, fie soluții alternative de comunicație (de pildă, rețele mobile – 3G/4G/5G – sau tehnologii LPWAN, precum LoRaWAN).

### 2.3.2 Protocoalele de transfer: HTTP vs. MQTT

Odată stabilită conexiunea la rețea, trebuie decis protocolul prin care datele sunt efectiv trimise și primite de server. Cele mai populare variante pentru aplicațiile IoT rămân **HTTP** și **MQTT**, fiecare cu propriile avantaje și dezavantaje.

```
if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){
  WiFiClient client;
  HTTPClient http;
  http.begin(client, serverName);
  http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
  String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&sensor=" + sensorName
    + "&location=" + sensorLocation + "&value1=" + String(sensors.getTempCByIndex(0))
    + "&value2=" + String(sensors.getTempFByIndex(0)) + "";
  int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);
  if (httpResponseCode>0) {
    Serial.print("HTTP Response code: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
  }
  else {
    Serial.print("Error code: ");
    Serial.println(httpResponseCode);
  }
  http.end();
}
else {
  Serial.println("WiFi Disconnected");
}
```

**Figura 8.** Segvență din cod de trimitere a datelor prin protocolul HTTP.

#### 1. HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

- Este protocolul cel mai frecvent întâlnit în arhitectura web.
- Folosește metode precum POST sau GET pentru trimiterea datelor către un script de tip PHP sau alt limbaj server-side.
- Foarte simplu de implementat, deoarece majoritatea serverelor web sunt deja configurate să primească cereri HTTP.
- Poate fi însă considerat mai puțin eficient pentru aplicații IoT, deoarece fiecare cerere HTTP include overhead (anteturi, handshake etc.). Pentru proiectele cu volum mare de dispozitive sau pentru transmitere foarte frecventă de date, consumul de bandă și latența pot crește.
- Securitatea se poate asigura prin folosirea HTTPS (SSL/TLS), care criptează traficul și îl protejează împotriva interceptărilor.

## 2. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

- Este un protocol dezvoltat special pentru aplicații IoT, care adoptă o arhitectură „publish-subscribe”. Dispozitivele (clientii) trimit (publish) datele către un broker central, iar serverele interesate se pot abona (subscribe) la anumite topic-uri.
- Este proiectat pentru a fi ușor și rapid, cu overhead de date minim, ceea ce îl face adecvat rețelelor cu resurse limitate.
- Permite gestionarea unor conexiuni intermitente și reconectarea automată a dispozitivelor.
- Necesită instalarea și configurarea unui broker MQTT (precum Mosquitto), ceea ce adaugă un strat suplimentar de complexitate în comparație cu HTTP.

În proiectul de față, utilizarea **HTTP** poate fi un început bun datorită simplității sale și a faptului că multe servere web (inclusiv configurarea XAMPP locală) sunt pregătite să primească date printr-un script PHP. Pe măsură ce numărul de dispozitive crește și necesitățile devin mai stricte în ceea ce privește latența și consumul de date, trecerea la **MQTT** poate fi un pas firesc pentru îmbunătățirea performanței.

### 2.3.3 Formatarea datelor și structura mesajelor

Pentru a asigura compatibilitatea cu diverse platforme și aplicații, datele transmise de ESP32 către server trebuie structurate într-un mod clar. Printre formatele frecvent utilizate se numără:

#### 1. JSON (JavaScript Object Notation)

- Extrem de popular datorită lizibilității și a suportului în majoritatea limbajelor de programare.
- Permite transmiterea unui set de chei și valori (ex. {"sensor\_id": 1, "temperature": 20.5, "ph": 7.2}), ceea ce simplifică procesarea ulterioară pe server.
- Ușor de extins cu noi parametri, fără a modifica radical structura mesajelor.

## 2. XML (Extensible Markup Language)

- A fost, pentru o perioadă lungă, standardul pentru schimbul de date.
- Mai puțin utilizat în aplicații IoT moderne, fiind considerat uneori mai încărcat (overhead mai mare) decât JSON.

## 3. Format personalizat (de ex. CSV)

- În unele proiecte, datele se pot trimite sub formă de șiruri separate de virgule sau alte separatoare.
- Simplu de implementat, dar mai puțin standardizat, ceea ce poate cauza probleme de compatibilitate.

Indiferent de formatul ales, este esențial să se includă informații despre **timpul** și **locația** (dacă există coordonate GPS sau o identificare unică a locului de măsurare) în momentul recoltării datelor. Astfel, se asigură contextul necesar pentru corelarea măsurătorilor și pentru analiza temporală.

### 2.3.4 Considerații de securitate și criptare

Când vine vorba de date de mediu, uneori riscul de interceptare sau manipulare poate fi considerat mic în comparație cu datele financiare sau personale. Totuși, este important să nu se neglijeze complet **securitatea**:

#### 1. HTTPS / MQTT over TLS

- Atât HTTP cât și MQTT oferă versiuni securizate prin adăugarea unui strat TLS (Transport Layer Security).
- Acest lucru protejează integritatea și confidențialitatea datelor pe traseu, fiind deosebit de important în zone unde rețelele wireless sunt deschise și pot fi vulnerabile la atacuri.

#### 2. Autentificarea

- Asigurarea faptului că doar dispozitive autorizate pot transmite date către server este o altă cerință pentru a evita poluarea bazei de date cu informații false.
- Se va folosi chei API, token-uri temporare sau certificate digitale pentru a verifica identitatea fiecărui dispozitiv.

### 3. Actualizări de firmware

- ESP32 și bibliotecile software ar trebui menținute la zi pentru a înlătura eventualele vulnerabilități descoperite în timp.
- Dacă se implementează un sistem de over-the-air (OTA) update, acesta trebuie și el securizat cu parole sau criptare, pentru a preveni instalarea de firmware neautorizat.

#### 2.2.5 Gestionarea traficului și fiabilitatea transmisiei

Pe măsură ce numărul de senzori și frecvența măsurărilor cresc, pot apărea probleme legate de aglomerarea traficului. Pentru un singur modul ESP32, care trimite date o dată la câteva minute, încărcarea rețelei este de obicei neglijabilă. Însă, pentru un sistem extins, e necesar să se acorde atenție următoarelor aspecte:

##### 1. Frecvența de eșantionare

- Stabilirea unui interval optim pentru trimiterea datelor previne supraîncărcarea rețelei și a serverului.
- Dacă măsurătorile pH-ului sau ale temperaturii nu necesită actualizări la secundă, se poate opta pentru intervale de câteva minute sau chiar ore, în funcție de cerințele proiectului.

##### 2. Mecanisme de retry și buffer

- În cazul unor întreruperi temporare ale rețelei, modulul ESP32 ar trebui să aibă capacitatea de a stoca local datele și de a le retrimite ulterior.

- Această metodă previne pierderea definitivă a informațiilor valoroase și menține integritatea setului de date.

### 3. Load Balancing și scalabilitate

- Dacă proiectul se extinde și se dorește includerea a zeci sau sute de dispozitive, serverul central poate fi configurat să ruleze pe o arhitectură scalabilă (mai multe servere, containerizare cu Docker etc.).
- În cazul unui protocol precum MQTT, se poate scala prin configurarea unui cluster de brokeri MQTT și a unor baze de date distribuite.

## 2.4 Infrastructura de server și bază de date

Odată ce dispozitivele de teren (ESP32) sunt configurate și pot trimite date prin rețea, atenția se îndreaptă către infrastructura de server și modul în care informațiile colectate sunt stocate în baza de date. În acest stadiu, proiectul se bazează pe o arhitectură capabilă să primească, să valideze și să salveze datele într-un mod eficient și sigur. De asemenea, este important să existe resurse și mecanisme pentru gestionarea volumului de date pe termen lung, pentru a facilita ulterior analize statistice și rapoarte istorice.

### 2.4.1 Structurarea bazei de date MySQL

Pentru a fi sigur că datele sunt gestionate eficient și pot fi accesate rapid, trebuie să existe o schemă de bază de date bine gândită. În general, structura poate fi separată în mai multe tabele, în funcție de cerințele proiectului. Un model simplificat poate include:

#### 1. Tabelul sensors

- Conține informații despre fiecare senzor sau dispozitiv ESP32: un identificator unic (sensor\_id), tipul senzorului (pH, temperatură, turbiditate etc.), locația acestuia (coordonate GPS sau descrierea amplasamentului) și date administrative (stare activă/inactivă).
- Această abordare facilitează adăugarea de noi senzori în viitor fără să fie nevoie de restructurarea bazei de date.

## 2. Tabelul measurements

- Depozitează valorile citite efectiv de la senzori. Poate include câmpuri precum:
  - measurement\_id – cheia primară, auto-increment.
  - sensor\_id – relație externă către sensors.
  - value – valoarea măsurată (temperatură, pH etc.).
  - timestamp – momentul în care s-a făcut măsurătoarea.
- În funcție de nevoile proiectului, se pot adăuga și alte câmpuri (de exemplu, un câmp type pentru a indica ce parametru reprezintă acea valoare, dacă în același tabel se stochează mai multe tipuri de date).

## 3. Tabelul alerts

- Va fi folosit pentru înregistrarea anomaliilor sau a situațiilor în care parametrii depășesc pragurile acceptate.
- În plus, pot exista câmpuri care să indice dacă s-a trimis deja o notificare (prin e-mail, SMS etc.) și când anume.

## 4. Alte tabele de suport

- Dacă în proiect se utilizează un sistem de autentificare, pot exista tabele pentru utilizatori, roluri, permisiuni etc.
- Pentru un sistem avansat de raportare, pot exista tabele cu șabloane de rapoarte sau parametri stocați pentru generarea automată a rapoartelor periodice.

Prin definirea unor relații clare și utilizarea tipurilor de date potrivite (de exemplu, FLOAT sau DOUBLE pentru valorile senzoriale, DATETIME sau TIMESTAMP pentru momentele de măsurare), baza de date devine ușor de interogată. De asemenea, adăugarea de



indexuri pe coloana timestamp și, eventual, pe coloana sensor\_id poate crește semnificativ viteza de procesare a interogărilor în cazul în care volumul de date crește mult.

## **2.4.2 Fluxul de preluare și inserare a datelor**

Pentru funcționarea corectă a întregului sistem, trebuie definite clar pașii pe care datele îi parcurg din momentul în care sunt colectate de senzor și până când sunt disponibile pentru afișare și analiză. Un posibil flux este următorul:

### **1. Transmiterea datelor de către ESP32**

- Senzorul citește valoarea pH-ului, a temperaturii sau a altui parametru, o formatează (de pildă, în format JSON) și o trimite către server prin HTTP POST/GET sau printr-un request către un endpoint special (ex. <http://serverul-meu/api/data>).

### **2. Primirea și procesarea datelor prin PHP**

- Pe server rulează un script (un fișier .php) care citește informațiile transmise în corpul cererii.
- În această fază, datele pot fi validate: se verifică dacă vin de la un senzor valid, dacă valoarea numerică se încadrează în limitele așteptate și dacă formatul timpului este corect.
- În cazul în care datele sunt corupte sau incomplete, se returnează un mesaj de eroare.

### **3. Inserarea în tabelul measurements**

- Informațiile validate sunt scrise în baza de date MySQL.
- La nevoie, se pot rula proceduri stocate sau trigger-e (cod SQL automat) pentru a actualiza alte tabele (de exemplu, alerts în cazul depășirii pragurilor).

### **4. Confirmare și feedback**

- Serverul poate întoarce un răspuns către ESP32 (de tip JSON sau simplu HTTP 200 OK) care confirmă că datele au fost primite cu succes.
- În caz de eroare, se trimit mesaje corespunzătoare, iar modulul ESP32 poate decide să reîncerce trimiterea sau să notifice un operator.

Prin acest mecanism, datele ajung în siguranță în baza de date și sunt pregătite pentru următoarele etape de afișare și analiză. Mai mult, separarea clară a responsabilităților (ESP32 doar trimite, scriptul PHP doar primește și validează, MySQL doar stochează) face sistemul mai ușor de întreținut și de scalat.

### 2.4.3 Considerații de performanță și backup

Pe măsură ce sistemul evoluează și numărul de senzori se multiplică, iar frecvența de măsurare crește, pot apărea provocări legate de performanța serverului și a bazei de date. Pentru a evita blocajele și pierderea informațiilor, se recomandă:

#### 1. Optimizarea interogărilor SQL

- Utilizarea de indexuri pe coloanele folosite frecvent în operațiuni de filtrare sau sortare (de exemplu, `sensor_id`, `timestamp`).
- Acolo unde sunt necesare analize complexe, adoptarea unor soluții de tip **time-series database** (de ex. InfluxDB, TimescaleDB) poate crește semnificativ performanța.

#### 2. Tacticile de caching

- Dacă anumite rapoarte sau grafice sunt accesate des și nu se schimbă de la o secundă la alta, se pot utiliza mecanisme de caching (Redis sau memoria locală) pentru a reduce numărul de interogări către bază.

#### 3. Strategii de arhivare

- Datele foarte vechi pot fi mutate în tabele secundare sau arhivate pentru a păstra dimensiunea principală a bazei la un nivel rezonabil.

- Aceasta ajută la reducerea timpului de răspuns al interogărilor pentru datele curente și oferă, în același timp, posibilitatea de a păstra istoricul complet.

#### **4. Backup și restaurare**

- Este esențial să se implementeze un sistem de backup regulat al bazei de date, fie prin scripturi de export programate (de exemplu, un Cron Job care rulează zilnic noaptea), fie folosind soluții specializate.
- Testele de restaurare sunt la fel de importante, deoarece un backup devine inutil dacă nu poate fi folosit efectiv pentru a reface sistemul în cazul unui incident (pierderea datelor, corupere, atac cibernetic).

#### **2.4.4 Gândire orientată către viitor: containerizare și cloud**

Pentru început, rularea întregului sistem cu XAMPP pe un server local sau pe un computer de test poate fi suficientă. Totuși, odată ce proiectul se maturizează, există opțiunea de a migra infrastructura către soluții mai avansate și scalabile:

##### **1. Docker și containerizare**

- Prin folosirea Docker, se pot crea containere separate pentru fiecare serviciu (Apache, MySQL, Python pentru analiză etc.).
- Această abordare conferă portabilitate, reproducere rapidă a mediului de lucru și izolare a componentelor, facilitând depanarea și actualizările.

##### **2. Servicii cloud**

- Platforme precum AWS, Azure sau Google Cloud oferă servicii gestionate de baze de date (RDS, Cloud SQL etc.) și infrastructuri serverless.
- Aceasta permite scalare automată în funcție de volumul de date sau de numărul de cereri, evitând investiții costisitoare în hardware local.

##### **3. Microservicii**

- Pe măsură ce cerințele cresc, se poate împărți aplicația în module independente (microservicii): un serviciu care primește date, un serviciu care se ocupă de analiză, un serviciu care generează rapoarte etc.
- Prin acest mod, se reduce riscul apariției unui „punct unic de eșec” și se poate scala individual fiecare componentă.

## 3. METODELE DE PRELUCRARE ȘI AFIȘARE A DATELOR

### 3.1 Colectarea și validarea datelor

Un proces riguros de colectare și validare a datelor este esențial pentru un sistem care urmărește monitorizarea parametrilor de mediu dintr-un râu. Obținerea informațiilor fiabile presupune câțiva pași bine definiți, începând cu citirea valorilor de la senzori și continuând cu verificarea, filtrarea și confirmarea acestora înainte de stocare. În acest fel, datele devin o bază solidă pentru analizele și prognozele ulterioare, reflectând cu acuratețe situația din teren.

#### Principiile de bază pentru colectarea datelor

Pentru a proiecta un mecanism eficient de colectare a parametrilor de mediu, se au în vedere câteva principii:

1. **Identificarea parametrilor de interes.** Este necesară stabilirea clară a indicatorilor care urmează să fie măsurați (pH, temperatură, turbiditate etc.), întrucât alegerea senzorilor și frecvența măsurărilor depind direct de aceste obiective.
2. **Amplasarea strategică a senzorilor.** Senzorii trebuie montați în puncte reprezentative de-a lungul râului, luând în considerare factori precum surse potențiale de poluare, zone cu debit diferit sau locuri de referință ecologică. Această plasare corectă asigură o acoperire adecvată a variabilității spațiale.
3. **Stabilirea frecvenței de prelevare.** Intervalul de timp dintre măsurători se alege în funcție de dinamica parametrilor. Dacă anumite valori se pot modifica rapid (de exemplu, în urma unor precipitații abundente), senzorii trebuie să ofere date mai frecvent. În zonele relativ stabile, măsurătorile pot fi mai rare, optimizând consumul de energie și volumul de date transmis.
4. **Asigurarea întreținerii senzorilor.** Dispozitivele expuse la condiții variate (umiditate, particule, fluctuații de temperatură) necesită curățare periodică și calibrare pentru a menține precizia măsurărilor. Este recomandat un program de verificare, astfel încât să fie identificate rapid orice deviații semnificative de la valorile reale.

## Etapele fluxului de colectare

Într-un scenariu tipic, colectarea datelor urmează un flux bine organizat, care ajută la standardizarea procesului:

1. **Citirea valorilor de la senzori (pe ESP32).** Microcontrolerul citește parametrii de mediu la intervale predefinite. Aceste lecturi pot fi directe (o singură măsurătoare) sau pot fi mediate (mai multe citiri succesive, apoi calculul mediei pentru o valoare mai stabilă). În cazul senzorilor sensibili la fluctuații bruște, se poate implementa un mic algoritm care ignoră vârfurile anormale, repetând măsurătoarea dacă diferența față de valoarea anterioară depășește un anumit prag.
2. **Eventuală filtrare locală.** Pe microcontroler, se pot rula proceduri elementare de filtrare sau validare. De exemplu, dacă un senzor de pH raportează o valoare total ieșită din sfera așteptărilor (ex. pH 14 în mod repetat într-un interval scurt), pot fi declanșate re-verificări. Prin acest tip de „edge computing”, se economisesc atât resurse de rețea, cât și spațiu în baza de date.
3. **Transmiterea datelor către server.** După validarea inițială, ESP32 trimite valorile către un server central. Acest lucru se poate realiza prin HTTP, MQTT sau alt protocol adaptat nevoilor proiectului. De regulă, valorile sunt structurate în format JSON pentru a facilita parsarea și integrarea în aplicația de backend.

## Validarea datelor pe server

După primirea informațiilor de la dispozitive, serverul efectuează un control suplimentar, pentru a menține calitatea generală a setului de date:

1. **Verificarea formatului și a consistenței.** Se analizează pachetele de date primite pentru a vedea dacă includ toate câmpurile așteptate (ID de senzor, valoare măsurată, timestamp). Dacă apar discrepanțe (lipsește informații, nu se respectă formatul convenit, datele sunt trunchiate), se marchează eroarea și se trimite un răspuns corespunzător către dispozitiv.
2. **Confirmarea intervalelor de valori.** Se verifică dacă citirile se încadrează în limite rezonabile, pe baza cunoștințelor despre parametrii de mediu. Dacă un senzor de

temperatură dintr-un râu aflat la latitudini temperate raportează subit o valoare de -20 °C, iar condițiile meteo nu indică astfel de temperaturi, aceste date pot fi catalogate ca suspecte sau anormale.

3. **Compararea cu datele anterioare.** Se pot implementa metode de comparare a valorilor noi cu mediile sau mediile mobile ale ultimelor citiri. Abaterile excesive față de un trend normal poate indica fie un eveniment real semnificativ (poluare, viitură), fie o defecțiune a senzorului. Datele suspecte pot fi marcate pentru o inspecție suplimentară.
4. **Inserarea în baza de date.** După trecerea testelor de validare, valorile considerate valide sunt inserate în tabelul dedicat (ex. measurements). În anumite implementări, se pot folosi proceduri stocate sau trigger-e care, la identificarea unor situații critice, actualizează automat un tabel de tip alerts și inițiază mecanisme de notificare (e-mail, SMS).

### **Mecanisme suplimentare de filtrare**

Pentru a menține integritatea datelor, este utilă utilizarea unor instrumente suplimentare de filtrare și detecție a anomaliilor:

1. **Filtrare pe bază de praguri.** Pe baza experienței specialiștilor din domeniu, se pot stabili praguri fixe pentru diverși parametri. De exemplu, dacă nivelul de turbiditate depășește brusc un anumit nivel, valorile ulterioare din același interval trebuie analizate cu atenție, pentru a se face distincția între un fenomen natural (viitură) și o eroare de senzor.
2. **Algoritmi statistici.** Metodele de calcul al mediei și ale deviației standard pe un anumit interval oferă o referință pentru identificarea abaterilor foarte mari. Astfel, un parametru care sare în afara zonei de valori posibile poate fi semnalat drept potențială anomalie.
3. **Corelarea cu alți parametri.** Datele colectate pot fi analizate în context: spre exemplu, o creștere a temperaturii apei ar putea fi însoțită de scăderea concentrației de oxigen dizolvat. Dacă acest tip de relație nu este vizibil, se recomandă investigarea cauzelor (posibil senzor defect sau date incomplete).

## Rezultatele unei validări riguroase

Implementarea unui proces de colectare și validare atent conceput aduce beneficii semnificative:

- **Creșterea acurateții setului de date.** Erorile și informațiile corupte sunt detectate din timp, ceea ce asigură că analizele statistice și deciziile bazate pe date reflectă cât mai fidel situația reală din râu.
- **Identificarea rapidă a defecțiunilor.** Discrepanțele sistematice între măsurătorile raportate și valorile așteptate pot indica probleme tehnice. Prin semnalarea timpurie a anomaliilor, se pot planifica intervenții de întreținere sau verificare înainte să existe un impact major asupra datelor.
- **Eficiență în stocare și procesare.** Prin eliminarea sau marcarea valorilor foarte suspecte înainte de inserarea în baza de date, se reduce cantitatea de date inutile, simplificând operațiunile ulterioare de analiză și generare de rapoarte.

## 3.2 Stocarea și structurarea datelor

După validarea inițială a informațiilor colectate de la senzori, devine necesară organizarea lor într-o manieră care să permită regăsirea și prelucrarea ulterioară cât mai eficientă. De regulă, acest lucru se realizează prin intermediul unei baze de date, alese în funcție de specificul proiectului și de volumul estimat de date. Un sistem relațional, precum MySQL, reprezintă deseori o opțiune practică, mai ales atunci când aplicația care preia și afișează datele este dezvoltată în PHP sau alte limbaje de server-side cu biblioteci native pentru interacțiunea cu SQL.

### Alegerea tipului de bază de date

Înainte de a defini tabelurile și relațiile dintre ele, merită analizate câteva criterii care influențează alegerea sistemului de management al bazelor de date (SGBD):



1. **Volumul și tipul datelor.** Proiectele care colectează valori numerice (temperatură, pH, turbiditate) și le salvează în serii temporale se pot descurca foarte bine cu o bază de date relațională clasică, precum MySQL/MariaDB. În cazul unui număr foarte mare de senzori și al unor cerințe de prelucrare avansată a datelor în timp real, pot apărea avantaje semnificative la trecerea către o bază de date orientată pe serii de timp (InfluxDB, TimescaleDB) sau un sistem NoSQL (MongoDB).
2. **Integrarea cu alte componente.** Majoritatea platformelor web și mediilor de hosting includ deja suport nativ pentru MySQL, astfel că o soluție LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) sau XAMPP în variantele locale devine simplu de configurat. Pentru un mediu mai avansat, se pot folosi containere Docker, astfel încât fiecare serviciu (bază de date, server web, servicii de analiză) să fie separat și ușor de scalat.
3. **Performanța la scriere și citire.** Într-un proiect IoT, scrierea (insert) de date poate fi foarte frecventă, mai ales dacă fiecare senzor raportează la intervale scurte. Este util să se ia în calcul modul în care SGBD-ul gestionează tranzacțiile și cum sunt create indexurile, pentru a nu încetini inserarea sau citirea datelor.

## Definirea schemei de date

Showing rows 125 - 149 (2570 total, Query took 0.0002 seconds.)

```
SELECT * FROM `sensordata`
```

	id	sensor	location	value1	value2	value3	reading_time
<input type="checkbox"/>	126	DS18B20	Home	19.31	66.76		2025-01-09 20:05:45
<input type="checkbox"/>	127	DS18B20	Home	19.31	66.76		2025-01-09 20:05:50
<input type="checkbox"/>	128	DS18B20	Home	19.31	66.76		2025-01-09 20:05:55
<input type="checkbox"/>	129	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:01
<input type="checkbox"/>	130	DS18B20	Home	19.31	66.76		2025-01-09 20:06:06
<input type="checkbox"/>	131	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:11
<input type="checkbox"/>	132	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:17
<input type="checkbox"/>	133	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:22
<input type="checkbox"/>	134	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:27
<input type="checkbox"/>	135	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:32
<input type="checkbox"/>	136	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:38
<input type="checkbox"/>	137	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:43
<input type="checkbox"/>	138	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:48
<input type="checkbox"/>	139	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:53
<input type="checkbox"/>	140	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:06:59
<input type="checkbox"/>	141	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:07:04
<input type="checkbox"/>	142	DS18B20	Home	19.37	66.87		2025-01-09 20:07:09

Figura 3.1. Baza de date.

Pentru un sistem de monitorizare a apei, cele mai importante entități sunt, de obicei, „senzorii” și „măsurătorile”:

### 1. Tabelul sensors

- Conține informații despre fiecare punct de măsură: un identificator unic (ex. id), tipul de senzor (temperatură, pH, turbiditate), locația fizică (poate fi exprimată în coordonate GPS sau într-un format textual, de exemplu „km 12 al râului X”).
- Se pot include și câmpuri referitoare la data instalării, starea senzorului (activ/inactiv) sau informații suplimentare (producător, model etc.).
- Existența unui tabel dedicat senzorilor permite organizarea datelor și simplifică viitoarele modificări, cum ar fi adăugarea de senzori noi sau actualizarea metadatelor pentru cei existenți.

### 2. Tabelul measurements

- Depozitează valorile colectate de la senzori în timp. Un model uzual cuprinde câmpuri pentru:
  - id (cheie primară)
  - sensor (cheie externă care face legătura cu tabelul sensors)
  - reading\_time (momentul efectuării sau raportării măsurătorii)
  - value1/value2/value3 (valoarea numerică a parametrului măsurat)
  - location (pentru a ști din ce localitate vin datele)
- Cu ajutorul indexurilor (de exemplu, pe coloanele sensor\_id și timestamp), căutarea și sortarea datelor în funcție de senzor sau de interval de timp devin mult mai rapide.

### 3. Tabele suplimentare (opționale)

- **alerts:** stochează evenimente critice sau situații în care valorile depășesc pragurile normale. Poate avea un câmp pentru severitate, data generării alertei și un indicator dacă s-a trimis deja vreo notificare.
- **users:** dacă aplicația include o interfață web de administrare sau rapoarte personalizate, este util să existe un sistem de gestionare a conturilor.
- **logs:** dacă este necesară o evidență a activităților sistemului (erori, probleme de conexiune, actualizări de firmware), un tabel separat pentru jurnale poate fi de ajutor.

#### Procesul de inserare a datelor

Pentru a avea un flux clar și controlat, datele parcurg de obicei următorii pași:

1. **Conexiunea cu serverul de baze de date.** Scriptul de server (scris în PHP sau alt limbaj) deschide o conexiune cu SGBD-ul, utilizând datele de autentificare (nume de utilizator, parolă). În cazul configurațiilor locale gen XAMPP, datele implicite pot fi „root” fără parolă, însă, din motive de securitate, este mai bine să se creeze un cont dedicat cu privilegii limitate.
2. **Pregătirea și executarea inserării.** Valorile de la senzori sunt citite, validate, apoi inserate în tabelul measurements printr-o instrucțiune SQL, de exemplu:

#### Cod exemplu:

```
INSERT INTO measurements (sensor_id, timestamp, value)
```

```
VALUES (:sensor_id, :timestamp, :value);
```

Metodele parametrizate (prepared statements) sporesc securitatea, protejând împotriva atacurilor de tip SQL injection. În plus, se pot executa mai multe inserții în același timp (batch insert), dacă datele vin grupate, pentru a crește performanța.

3. **Confirmare și erori.** Scriptul verifică dacă instrucțiunea SQL a fost executată cu succes. În cazul unei erori (de exemplu, constrângeri de chei străine neîndeplinite sau

tip de date incorect), se poate trimite un răspuns specific către dispozitivul ESP32 sau către sistemul de logare.

## **Organizarea și menținerea datelor pe termen lung**

Pentru a preveni supraîncărcarea și pierderea performanțelor, există câteva măsuri care pot fi luate pe măsură ce volumul de date crește:

1. **Indexuri și optimizări.** Indexarea coloanelor folosite frecvent la filtrare (de exemplu, timestamp și sensor\_id) accelerează interogările de tipul „select \* from measurements where sensor\_id = X and timestamp > Y”. Crearea unor indexuri însă trebuie făcută cu atenție, deoarece fiecare index nou crește timpul necesar la inserare.
2. **Arhivarea datelor vechi.** În cazul în care doar ultimele 3-6 luni de date sunt necesare pentru analize curente, restul informațiilor pot fi mutate în tabele de arhivă sau baze de date separate. Această metodă eliberează spațiul din baza de date principală și îmbunătățește timpii de răspuns la căutările zilnice. Dacă devine nevoie de acces la istoricul complet, se pot interoga tabelele de arhivă sau se poate implementa un mecanism care să combine datele curente cu cele vechi.
3. **Backup și restaurare.** Proiectele de monitorizare ecologică pot acumula date cu valoare științifică și practică ridicată, astfel încât este esențial să existe un sistem de backup regulat al bazei de date. În plus, testarea procesului de restaurare confirmă că informațiile pot fi recuperate integral în caz de defecțiuni hardware sau atacuri informatice.
4. **Securitatea accesului.** Gestionarea cu atenție a drepturilor de acces (privilegii de citire și scriere) poate preveni modificarea neautorizată sau ștergerea accidentală a datelor. Este recomandat să se folosească conturi de utilizator separate pentru aplicația principală și pentru sarcinile administrative (de exemplu, instalare de plugin-uri, modificare structură), precum și acces limitat la nivel de IP, dacă este posibil.

## **Beneficiile unei structuri clare de date**

Aplicarea unei scheme ordonate și a unor proceduri eficiente de inserare și menținere a datelor oferă o serie de avantaje majore:

- **Acces rapid la informație.** Prin interogări bine optimizate, datele pot fi afișate în timp real pe panouri de monitorizare, permițând observarea tendințelor de moment și compararea cu istoricul recent.
- **Posibilități avansate de analiză.** O bază de date coerentă permite corelarea parametrilor colectați din diferite puncte de măsură și exportul facil către instrumente de analiză (Python, R, MATLAB). Astfel, se pot realiza studii aprofundate despre variațiile sezoniere, impactul poluării sau fenomene rare.
- **Scalabilitate și modularitate.** Pe măsură ce proiectul se extinde, noii senzori pot fi adăugați în tabelul sensors, iar volumele mărite de date pot fi gestionate prin proceduri clare de arhivare. Arhitectura rămâne robustă, fără a necesita reconstrucții radicale ale bazei de date.
- **Menținerea încrederii în calitatea datelor.** Prin gestionarea sistematică a erorilor de inserare și a măsurilor de siguranță, integritatea datelor rămâne la un nivel ridicat. Astfel, factorii de decizie și cercetătorii pot avea încredere în informațiile furnizate de sistem atunci când evaluează starea râului și planifică intervenții de mediu.

### 3.3 Analiza avansată a datelor

Odată ce datele colectate sunt validate și stocate într-o manieră structurată, devine posibilă aplicarea unor metode avansate de prelucrare și interpretare. Scopul acestor analize este de a oferi o perspectivă mai profundă asupra parametrilor de mediu și a variațiilor acestora, depășind simpla afișare a valorilor brute. În plus, există posibilitatea de a identifica tendințe, de a detecta anomalii sau de a construi modele predictive, astfel încât să se poată lua decizii mai informate și rapide în gestionarea ecosistemului de tip râu.

#### Identificarea anomaliilor în date

Una dintre cele mai utile abordări în analiza avansată este detectarea valorilor neobișnuite, care pot semnala apariția unor probleme în ecosistem. Într-un râu, anomaliile pot fi legate de creșteri bruște ale turbidității, variații anormale de pH sau de scăderea neașteptată

a concentrației de oxigen dizolvat. Pentru a realiza acest lucru, se pot avea în vedere mai multe metode:

1. **Reguli bazate pe praguri.** În funcție de experiența specialiștilor, se stabilesc intervale acceptabile pentru fiecare parametru (temperatură, pH etc.). Dacă noile valori depășesc sistematic aceste limite, datele se marchează drept anomalii și se generează alerte. Această metodă e ușor de implementat, dar necesită actualizarea periodică a pragurilor pe măsură ce se acumulează mai multe informații.
2. **Abordări statistice.** Se calculează indicatori precum media și deviația standard pe un interval de timp (de exemplu, ultimele 24 de ore sau ultima săptămână). Valorile care ies din gama  $\mu \pm k \cdot \sigma$  (unde  $\mu$  este media și  $\sigma$  este deviația standard) pot fi considerate suspecte. Metoda oferă mai multă flexibilitate decât pragurile fixe, deoarece se bazează pe comportamentul real al datelor.
3. **Algoritmi de tip Machine Learning.** Există modele specializate (Isolation Forest, Autoencoders, modele bazate pe clustering) care pot diferenția pattern-urile obișnuite de cele atipice, inclusiv când trendul valorilor evoluează treptat. Pentru a antrena astfel de algoritmi, sunt necesare seturi de date istorice relativ mari, din care se învață „normalitatea”, permițând ulterior semnalarea devierilor.

### Modele predictive și forecast

```
def preprocess_data(df):
    df['reading_time'] = pd.to_datetime(df['reading_time'], errors='coerce')
    numeric_cols = ['value1', 'value2', 'value3']
    for col in numeric_cols:
        df[col] = pd.to_numeric(df[col], errors='coerce')
    df.dropna(subset=['value1', 'value2', 'value3', 'reading_time'], inplace=True)
    features = df[['value1', 'value2', 'value3']]
    return df, features
```

Figura 3.2 Funcția de preprocesare a datelor primite.

Pe lângă identificarea anomaliilor, se pot utiliza tehnici de prognoză pentru a anticipa evoluția viitoare a parametrilor de mediu. Aceste modele se pot dovedi extrem de utile în contextul:

- **Prognozei variației de temperatură a apei**, care influențează metabolismul faunei și florei acvatice.
- **Estimării nivelului de oxigen dizolvat**, pentru a detecta din timp riscul unor episoade de mortalitate piscicolă.
- **Predictiei creșterii turbidității**, în special după evenimente de ploaie abundentă sau în zone cu risc de poluare.

Două direcții frecvent abordate în crearea unor astfel de modele:

1. **Metode clasice de tip ARIMA sau regresie.** Acestea tratează seria temporală ca pe un proces statistic, încercând să identifice pattern-uri lineare sau sezoniere. Sunt relativ ușor de implementat și interpretat, dar pot pierde din acuratețe când relațiile dintre parametri devin mai complexe.
2. **Rețele neuronale (RNN, LSTM).** Tehnicile de tip Recurrent Neural Networks sau Long Short-Term Memory sunt special concepute pentru date secvențiale și pot surprinde tendințe non-liniare. Necesită, totuși, un volum mai mare de date de antrenare și putere de calcul, însă pot oferi rezultate foarte bune în previziunea pe termen scurt și mediu a parametrilor de mediu.

### **Analiza corelațiilor între parametri**

Există situații în care simpla urmărire individuală a unui parametru nu furnizează suficient context. Pentru a înțelege mai bine relațiile dintre factorii care influențează ecosistemul, se poate efectua o analiză a corelațiilor:

1. **Corelații statistice simple (Pearson, Spearman).** Se calculează coeficienții de corelație între valorile a doi parametri (de exemplu, turbiditate și debitul apei). O valoare mare a coeficientului semnalează o legătură puternică, utilă pentru a prezice comportamentul unui parametru pe baza celuiilalt.
2. **Analiza multivariată.** Dacă se colectează simultan informații despre mai multe variabile (pH, temperatură, turbiditate, oxigen dizolvat etc.), se poate aplica o metodă multivariată (PCA – Analiza Componentelor Principale, de exemplu) pentru a găsi

relațiile subtile dintre factori. Acest lucru poate ajuta la reducerea dimensionalității și la scoaterea în evidență a celor mai influenți parametri.

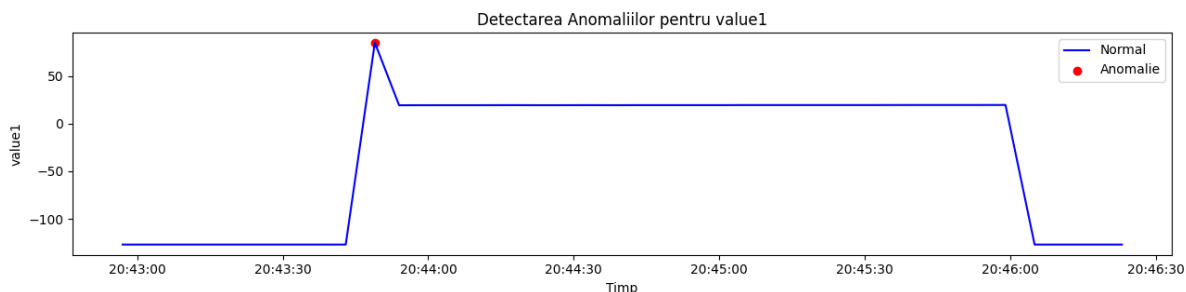


Figura 3.3. Detectarea anomaliilor.

### Integrarea în fluxul operațional

Rezultatele analizelor avansate își găsesc utilitatea în diverse momente ale procesului de monitorizare:

1. **Alertarea rapidă.** Dacă un algoritm detectează valori anormale (creștere bruscă a poluării), sistemul trimite notificări automate prin email sau SMS către personalul responsabil, pentru a investiga situația la fața locului.
2. **Rapoarte periodice.** Modelele predictive pot fi rulate zilnic, săptămânal sau lunar, generând proiecții ale stării râului. Aceste proiecții pot fi integrate în rapoarte mai extinse, care cuprind date statistice, observații despre trenduri și recomandări pentru intervenții.
3. **Decizii strategice.** Datele aprofundate și predicțiile pot susține argumente solide atunci când se planifică măsuri de conservare sau se stabilesc politici de mediu. De pildă, dacă se anticipează o creștere a temperaturii apei în perioada verii, pot fi inițiate acțiuni de protecție a speciilor sensibile la căldură.

### 3.4 Prezentarea și vizualizarea rezultatelor

După ce datele din ecosistemul de tip râu au fost colectate, validate, stocate și analizate, devine necesară afișarea lor într-o formă cât mai clară și ușor de interpretat. Instrumentele de vizualizare servesc la evidențierea trendurilor, la compararea diferiților parametri și la furnizarea unei imagini de ansamblu asupra stării râului. O prezentare reușită



presupune alegerea cu atenție a tipurilor de reprezentări grafice, integrarea unor elemente interactive și posibilitatea de filtrare a informațiilor, astfel încât cei care consultă sistemul să poată obține rapid datele de care au nevoie.

### Afișarea datelor în tabele

7030	DS18B20	Home	19.31	66.76	0	2025-01-09 22:19:07
7031	DS18B20	Home	19.31	66.76	0	2025-01-09 22:19:13
7032	DS18B20	Home	19.37	66.87	0	2025-01-09 22:19:18
7033	DS18B20	Home	19.37	66.87	0	2025-01-09 22:19:23
7034	DS18B20	Home	19.37	66.87	0	2025-01-09 22:19:28
7035	DS18B20	Home	19.37	66.87	0	2025-01-09 22:19:34
7036	DS18B20	Home	19.37	66.87	0	2025-01-09 22:19:39
7037	DHT	Oficiu	22.5	79	0	2025-01-10 13:24:18
7038	DHT	Oficiu	22.6	79	0	2025-01-10 13:24:24
7039	DHT	Oficiu	25.9	75	0	2025-01-10 13:28:28
7040	DHT	Oficiu	25.9	75	0	2025-01-10 13:28:34
7041	DHT	Oficiu	25.9	75	0	2025-01-10 13:28:39
7042	DHT	Oficiu	25.9	75	0	2025-01-10 13:28:44

Figura 3.4. Tabelul afișat pe pagina web.

O metodă simplă și directă de prezentare constă în afișarea valorilor în tabele. Această formă de organizare este utilă atunci când se doresc detalii punctuale:

1. **Tabel pentru valorile recente.** Se pot afișa ultimele măsurători primite de la fiecare senzor, alături de un timestamp și, eventual, de un indicator referitor la abaterea față de media istorică. Pentru un proiect cu multiple senzori, tabelele pot fi aranjate pe categorii (de exemplu, secțiuni distincte pentru temperatură, pH și turbiditate).
2. **Tabel pentru valorile istorice filtrate.** În funcție de nevoi, se pot pune la dispoziție opțiuni de filtrare (de exemplu, un interval de timp, un anumit senzor sau un anumit parametru). Rezultatele apar într-un tabel sortat după dată, astfel încât cei interesați să parcurgă cu ușurință datele mai vechi și să identifice momentele care prezintă interes.

3. **Indicatori de stare.** Tabelele pot include și iconițe de tip semafor (verde, galben, roșu) pentru a sublinia dacă valorile sunt în limite normale, ușor ridicate sau semnificativ peste pragurile stabilite. Această abordare ajută la detectarea rapidă a potențialelor probleme.

## Grafice și diagrame pentru tendințe

De multe ori, datele numerice capătă sens abia atunci când sunt reprezentate vizual pe un grafic. Astfel, devine mai ușor de observat un trend crescător sau descrescător, de corelat parametrii între ei și de semnalat eventuale anomalii.

1. **Grafic de tip linie (line chart).** Este una dintre cele mai frecvente reprezentări pentru seriile temporale. Valorile senzorilor (temperatura, pH, oxigen dizolvat) sunt punctate în funcție de timp, apoi unite pentru a evidenția evoluția. Uneori, se pot afișa simultan mai multe linii (câte una pentru fiecare senzor) pe același grafic, folosindu-se culori diferite.
2. **Grafic de tip bară (bar chart).** Util pentru a compara valorile medii pe intervale orare, zilnice sau săptămânale. O afișare sub formă de bare poate scoate în evidență diferențele mari dintre secțiuni temporale sau dintre punctele de măsurare.
3. **Histograme și boxplot-uri.** Metodele statistice de vizualizare, precum histogramele (pentru distribuția valorilor) și boxplot-urile (pentru evidențierea medianei, quartilelor și valorilor extreme), oferă o imagine de ansamblu asupra variabilității datelor și pot scoate în evidență outlier-ii.

### 4. Biblioteci populare pentru afișare:

**Chart.js**[16]: ușor de integrat în paginile web, cu un set complet de diagrame.

**D3.js**: foarte flexibil, dar necesită mai multe cunoștințe de JavaScript pentru personalizare.

**Highcharts**: oferă grafică interactivă și numeroase tipuri de reprezentări, cu licență gratuită pentru uz non-comercial.

## Hărți interactive

În cazul proiectelor care monitorizează parametri de mediu în diverse puncte de pe cursul unui râu, hărțile interactive pot facilita localizarea rapidă a senzorilor și corelarea valorilor cu zona geografică:

1. **Integrarea cu OpenStreetMap sau Google Maps.** Majoritatea implementărilor recurg la framework-uri precum Leaflet.js[15] (care folosește tile-urile OpenStreetMap) sau la Google Maps API. Fiecare punct de măsurare poate fi plasat pe hartă cu un marker, iar la clic sau hover, pot apărea informații despre valorile curente și istorice.
2. **Schimbarea culorii marker-elor.** Marker-ele colorate indică starea parametrilor: verde pentru valori normale, galben pentru valori de atenționare și roșu pentru posibile situații critice. Acest sistem de codare a culorilor permite identificarea imediată a zonelor problematice.
3. **Filtre și intervale de timp.** O hartă interactivă avansată oferă posibilitatea de a alege perioada pentru care se afișează datele, permițând astfel urmărirea evoluțiilor de la o zi la alta sau de la un sezon la altul. De asemenea, utilizatorii pot selecta tipul de parametru de interes, astfel încât harta să actualizeze în mod dinamic marker-ele și informațiile afișate.

## Dashboards și interfețe prietenoase

Într-o aplicație dedicată monitorizării râurilor, este esențial ca datele să fie accesibile nu doar specialiștilor tehnici, ci și altor factori interesați (decidenți, ecologi, public larg). Pentru a răspunde acestor nevoi:

1. **Dashboard de ansamblu.** Se poate construi o pagină principală care să includă indicatori cheie (temperatura medie, pH-ul mediu, numărul de alerte active) sub formă de carduri sau panouri ușor de interpretat. Graficele rezumative și hărțile pot fi aranjate astfel încât să ofere o sinteză rapidă a situației curente.

2. **Secțiuni detaliate.** Pentru utilizatorii care au nevoie de informații în profunzime, există opțiunea de a naviga către pagini dedicate unor anumiți parametri sau unor anumite zone de interes. Acolo, pot fi afișate grafice și date istorice, precum și analize specifice, de exemplu corelația dintre turbiditate și debitul râului în ultimele săptămâni.
3. **Interactivitate și feedback.** Acolo unde datele sunt actualizate frecvent, se poate adopta o metodă de refresh automat sau se pot implementa WebSockets pentru actualizare în timp real. În plus, unele grafice pot permite zoom și pan, astfel încât utilizatorii să poată aprofunda perioade sau detalii specifice.

## Export și raportare

Prezentarea rezultatelor poate fi completată de funcționalități de export și generare de rapoarte:

1. **Export în formate standard.** Pentru a facilita analizele ulterioare sau colaborarea cu alte instituții, se pot pune la dispoziție opțiuni de export în CSV, Excel sau PDF. Astfel, datele pot fi prelucrate suplimentar cu instrumente statistice sau pot fi incluse în documente oficiale.
2. **Rapoarte automate.** Un sistem de monitorizare poate genera automat rapoarte periodice (zilnice, săptămânale sau lunare), care să fie trimise prin email echipei interesate. Aceste rapoarte pot conține grafice sumare, alerte detectate și un scurt comentariu asupra principalelor tendințe.
3. **Notificări și alerte.** Pentru situațiile urgente, în care un parametru atinge valori critice, notificările prin SMS, email sau alte canale asigură reacții rapide. Rapoartele de alertă pot fi îmbunătățite cu recomandări inițiale (de exemplu, prelevări suplimentare de probe, verificarea senzorilor, anunțarea autorităților locale etc.).

## Beneficiile unei prezentări eficiente

Un sistem de vizualizare bine pus la punct aduce o serie de avantaje:

- **Decizii informate.** Graficele și hărțile interactive oferă o imagine de ansamblu asupra stării râului, permițând luarea unor decizii corecte și rapide în vederea protejării mediului.
- **Transparență și comunicare.** Afișarea datelor pe un portal web accesibil sprijină comunicarea cu diverse părți interesate (comunitatea locală, ONG-uri, agenții de mediu), crescând nivelul de conștientizare și colaborare.
- **Înțelegerea profundă a fenomenelor.** Prin corelarea datelor cu reprezentări vizuale, devine mai simplu să se distingă trendurile și să se investigheze potențialele cauze ale fluctuațiilor. Acest lucru poate duce la formularea de ipoteze și la inițierea unor studii suplimentare.
- **Scalabilitate și modularitate.** Interfața poate fi extinsă pe măsură ce apar noi senzori sau noi indicatori de mediu. Prin adăugarea de meniuri suplimentare și categorii de date, se asigură o organizare clară și se evită aglomerarea informațiilor.

## CONCLUZII

Sistemul de monitorizare a parametrilor de mediu într-un ecosistem de tip râu demonstrează cum pot fi integrate, într-o manieră unitară și coerentă, tehnologii variate pentru a obține o imagine de ansamblu și în timp real asupra calității apei și a factorilor care influențează viața acvatică. Prin utilizarea microcontrolerelor ESP32 și a unei game de senzori specializați (temperatură, pH, turbiditate, oxigen dizolvat etc.), valorile relevante sunt colectate și prelucrate inițial chiar pe dispozitiv, reducându-se volumul de date trimis spre server. Comunicarea prin Wi-Fi sau alte protocoale (HTTP, MQTT) asigură transportul rapid al informațiilor, în timp ce serverul, găzduit inițial într-un mediu precum XAMPP, gestionează inserarea în baza de date MySQL și pune la dispoziție o interfață web pentru afișarea rezultatelor.

O dată structurate, valorile senzorilor trec prin procese de analiză și validare (în special prin scripturi PHP și Python), ceea ce garantează acuratețea și relevanța lor. Etape precum detectarea anomaliilor și construirea de modele predictive (folosind algoritmi de machine learning) oferă perspective noi asupra parametrilor de mediu, semnalând din timp situațiile critice și estimând posibile evoluții în viitor. Rezultatele, prezentate în tabele, grafice și hărți interactive, oferă o imagine accesibilă și cuprinzătoare asupra stării ecosistemului, permițând utilizatorilor – fie că sunt specialiști în domeniul mediului, administrației locale sau membri ai comunităților riverane – să înțeleagă mai bine fenomenele care au loc în râu.

Prin proiectarea unui astfel de sistem, devine posibilă nu doar colectarea și stocarea datelor, ci și interpretarea lor în mod inteligent, contribuind la luarea de decizii bazate pe date reale și la implementarea de măsuri prompte de protecție. Totodată, soluția este gândită în mod scalabil, putând fi extinsă la alte ecosisteme de interes, la un număr mai mare de senzori sau la noi tipuri de analize. Astfel, această teză reprezintă un pas semnificativ către monitorizarea și conservarea sustenabilă a resurselor de apă, în beneficiul tuturor factorilor implicați – de la comunitățile locale, până la mediul academic și instituțiile responsabile de protejarea patrimoniului natural.

## BIBLIOGRAFIA

1. **European Commission. (2000).** Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy (EU Water Framework Directive). *Official Journal of the European Communities*, L 327/1.
2. **Administrația Națională „Apele Române” (ANAR). (2020).** *Raportul anual de monitorizare a calității apelor*. București, România. Disponibil la: [www.rowater.ro](http://www.rowater.ro)
3. **World Wide Fund for Nature (WWF). (2016).** *Living Rivers Report: Protecting and Restoring River Ecosystems*. Gland, Elveția. Disponibil la: [www.worldwildlife.org](http://www.worldwildlife.org)
4. **GLOBE Program. (2021).** *GLOBE eTraining Water Protocol*. NASA Earth Science Education. Disponibil la: [www.globe.gov](http://www.globe.gov)
5. **Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007).** *Analysing Ecological Data*. Springer, New York.
6. **Diacu, E. & Georgescu, L. P. (2011).** Some aspects regarding water pollution with heavy metals in Romania. *International Journal of Conservation Science*, 2(1), 49-56.
7. **Bartram, J. & Ballance, R. (Eds.). (1996).** *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. UNEP & WHO, E&FN Spon.
8. **Espressif Systems. (n.d.).** *ESP32 Series Datasheet*. Disponibil la: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>
9. **Arduino. (n.d.).** *Arduino IDE Documentation*. Disponibil la: <https://www.arduino.cc/en/Guide>
10. **MySQL. (n.d.).** *MySQL Reference Manual*. Disponibil la: <https://dev.mysql.com/doc/>
11. **PHP. (n.d.).** *PHP Manual*. Disponibil la: <https://www.php.net/docs.php>
12. **XAMPP. (n.d.).** *XAMPP Documentation*. Disponibil la: <https://www.apachefriends.org/docs/>
13. **IBM. (2017).** *Introduction to MQTT*. IBM Developer. Disponibil la: <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>
14. **InfluxData. (n.d.).** *InfluxDB Documentation*. Disponibil la: <https://docs.influxdata.com/influxdb/>
15. **Leaflet. (n.d.).** *Leaflet.js Documentation*. Disponibil la: <https://leafletjs.com/>

16. **Chart.js.** (n.d.). *Chart.js Documentation*. Disponibil la: <https://www.chartjs.org/docs/>
17. **scikit-learn.** (n.d.). *User Guide*. Disponibil la: [https://scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html)
18. **Python Software Foundation.** (n.d.). *Python Documentation*. Disponibil la: <https://docs.python.org/>
19. **ABABII V.; SUDACEVSCHI V.; BRANIȘTE R.; LUNGU I.; ROȘCA N.** Distributed Computing System for Monitoring of the River Aquatic Ecosystems. In: *Information Technologies and Automation - 2024 / Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Odessa, October 31 - November 1, 2024.* - Odessa, ONUT Publishing House, 2024, pp. 421-423. [<https://www.ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf>].
20. **LUNGU, I.; ROȘCA, N.; ABABII V.; SUDACEVSCHI V.** Critical Infrastructure Modelling based on Timed Petri Nets. In: *Information Technologies and Automation - 2024 / Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Odessa, October 31 - November 1, 2024.* - Odessa, ONUT Publishing House, 2024, pp. 40-42. [<https://www.ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Collection-of-abstracts-of-the-conference-ITIA-2024.pdf>].
21. **SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; TUTUNARU, V.; MUNTEANU, S.; BOROZAN, O.** Decision Making System for Smart Agriculture based on Fuzzy-Temporal Logics. In: *Conference Proceedings. Abstracts of the 19th International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building Field (OPROTEH-2024)*, 22-24 May, 2024, Bacau, Romania, pp. 133-134. [<https://oproteh.ub.ro/>].
22. **ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; CĂRBUNE, V.; BRANIȘTE, R. and CLIMA A.** Edge computing system for monitoring of the aquatic ecosystems. In: *Electronics, Communications and Computing (IC ECCO-2024): The conference program and abstract book: 13th intern. conf., Chișinău, 17-18 Oct. 2024.* Technical University of Moldova. Chișinău: Tehnica-UTM, 2024, pp. 205-206. ISBN 978-9975-64-480-8 (PDF). [<http://repository.utm.md/handle/5014/28820>].
23. **ROȘCA, N.; LUNGU, I.; SUDACEVSCHI, V. and ABABII, V.** Spatial-temporal modeling of critical infrastructure systems. In: *Electronics, Communications and*



Computing (IC ECCO-2024): The conference program and abstract book: 13th intern. conf., Chişinău, 17-18 Oct. 2024. Technical University of Moldova. Chişinău: Tehnica-UTM, 2024, pp. 159-160. ISBN 978-9975-64-480-8 (PDF). [<http://repository.utm.md/handle/5014/28795>].

24. **BRANIŞTE, R.; MARUSIC, G.; SAVA, N.; ABABII, V. and CĂRBUNE, V.** Modeling the behavior of pollutants on the Dniester river in Olăneşti region. In: Electronics, Communications and Computing (IC ECCO-2024): The conference program and abstract book: 13th intern. conf., Chişinău, 17-18 Oct. 2024. Technical University of Moldova. Chişinău: Tehnica-UTM, 2024, pp. 153-154. ISBN 978-9975-64-480-8 (PDF). [<http://repository.utm.md/handle/5014/28791>].
25. **MUNTEANU, S.** Utilizarea calculului biologic pentru modelarea și sinteza sistemelor de luare a deciziilor. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor = Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students, Universitatea Tehnică a Moldovei, 27-29 martie 2024. Chişinău, 2024, vol. 1, pp. 380-382. ISBN 978-9975-64-458-7, ISBN 978 9975-64-459-4 (Vol.1). [<http://repository.utm.md/handle/5014/28036>].