

Implementarea conceptului cibernetic în monitorizarea unui ecosistem acvatic

Tudor A. Rusu

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului, Cluj-Napoca, România. Autor corespondent: T. A. Rusu, Bd. Muncii, nr. 103-105, 400641 Cluj-Napoca, România.

Abstract: The implementation of a cybernetic concept in the monitoring of an aquatic ecosystem. Babadag Lake is part of the lagoon complex Razim-Sinoe which, together with Danube Delta, is part of Danube Delta Biosphere Reservation in the UNESCO frame. In this paper, some mathematical modeling processes were made concerning the water quality of Lake Babadag.

Key Words: Danube Delta, Babadag Lake, water pollution, ecosystem, Cybernetics.

Introducere. Bazele ciberneticii ca știință au fost puse de savantul american de origine germană Norbert Wiener care în 1948 a publicat lucrarea *Cybernetics, Control and Communication in the Animal and Machine* [2]. Este de menționat faptul că în lucrarea *La psychologie consonantique* publicată în 1938 de savantul român Stefan Odobleja (1902–1978) abordează o serie de probleme specifice reglării și comunicației în sistemele vii, astfel încât acesta poate fi considerat precursorul ciberneticii. Este important de relevat că Cibernetica afirmă similaritatea în ceea ce privește reglarea și comunicarea (la nivel conceptual) în toate categoriile de sisteme, fie antropice, fie naturale [1, 3].

Având în vedere că ne referim la un sistem, acesta reprezintă un număr de obiecte aflate în interacțiune cărora îi sunt specifice o anumită organizare și un anumit scop. Această definiție nu este unică, dar a fost preferată pentru nivelul său de generalitate. Caracterizarea unui sistem se poate face în maniera structurală sau informațională [3].

Pentru a înțelege mai bine modul în care am integrat sistemul cibernetic în studiul unui ecosistem, ne vom referi la un caz general de sistem cibernetic, a cărui structură este ilustrată în Figura 1. În contextul de obiectiv principal respectiv, monitorizarea procesului, reprezintă urmărirea unor succesiuni de transformări asociate evoluției spațio-temporale a diverselor substanțe, obiecte. Procesele fizice și chimice sunt de regulă însoțite de transferuri masice, energetice sau de impuls. Procesele care se desfășoară într-un ecosistem sunt cunoscute sub denumirea de procese bio-fizico-chimice.



Figura 1. Sistem de urmărire:

MI – monitorizare intrări; ME – monitorizare ieșiri.

Monitorizarea ieșirilor trebuie să ofere rezultate în conformitate cu niște obiective prestabilite, respectiv valoarea unor parametri calitativi prevăzuți în legislația referitoare

la calitatea apelor de suprafață. Dirijarea valorilor de ieșire din sistem este relativ greu de influențat, în vederea obținerii de rezultate conforme cu obiectivele prevăzute în legislație, dar se pot impune restricții sau modifica variabilele de intrare, fapt ce poate fi urmărit prin sistemul de monitorizare a datelor de intrare.

În realitate, datele de ieșire obținute prin sistemul de monitorizare a ieșirilor sunt influențate și de o serie de factori externi, aceștia îi vom numi perturbații. Acțiunea perturbațiilor va determina abaterea rezultatelor de la obiective fără posibilitate de corecție sau modificare a datelor de intrare, întrucât nu putem fi informați întotdeauna în legătură cu natura și amploarea perturbațiilor. Sistemul prezentat nu este un sistem cu reglare în sensul definiției prezentate la începutul capitolului, deoarece acesta nu are capacitatea de a restabili starea de referință. Dintre cele mai importante perturbații menționăm: variația temperaturii apei și a aerului, cantitatea de precipitații, debitul apelor din pânzele freatice, intensitatea vântului, influența razelor solare, deversări accidentale sau difuze de substanțe poluante.

În Figura 2 este prezentat sistemul general în care elaborarea comenzilor se face atât pe baza obiectivelor, cât și pe baza informațiilor referitoare la rezultate. Această legătură informațională referitoare la efect este cunoscută sub denumirea de conexiune inversă (feedback) și reprezintă un concept fundamental în cibernetică.

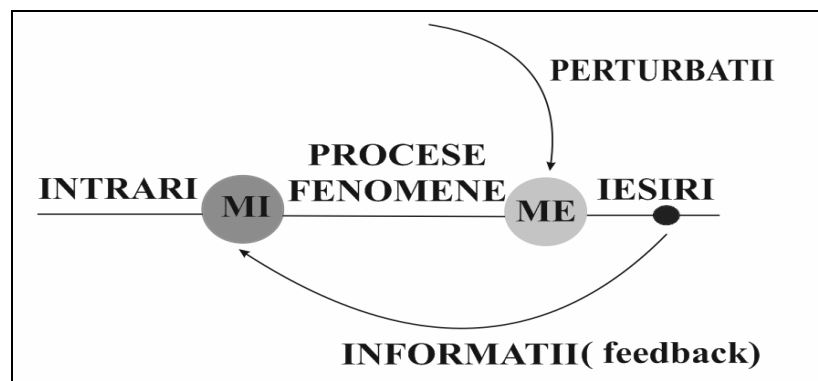


Figura 2. Sistem cu reglare (informare privind rezultatele):
MI – monitorizare intrări; ME – monitorizare ieșiri.

În condițiile în care obiectivele rămân neschimbate, respectiv nivelul calitativ al apei, comenzile care pot să ducă la modificarea parametrilor de calitate, vor fi actualizate numai în urma modificărilor rezultatelor ca urmare a acțiunii perturbațiilor. Va exista așadar un interval de timp relativ mare în care rezultatele nu vor mai fi conforme cu obiectivele, aspect ce constituie desigur un neajuns al modului de acțiune pe baza analizei efectului, respectiv, a rezultatelor.

Există și un semnificativ avantaj al acestui mod de acțiune și anume, rezultatele sunt corectate indiferent de perturbația care a produs abaterea acestora de la obiective. Un sistem cu reglare se poate obține și în situația în care actualizarea comenzilor la intrarea în sistem se face ca urmare a modificării perturbațiilor sau obiectivelor. Pentru acest mod de acțiune este necesară o legătură informațională de la perturbații la monitorizarea intrărilor (MI), legătura cunoscută sub denumirea de feedforward și este ilustrată în Figura 3.

În condițiile în care obiectivele rămân neschimbate, respectiv menținerea nivelului calitativ al apei, comenzile vor fi actualizate numai la modificarea perturbațiilor luate în considerare, astfel încât rezultatele să rămână nemodificate (respectiv, conforme cu obiectivele). În situația în care nu pot fi luate în considerare toate perturbațiile (sau nu sunt cunoscute) nu mai este posibilă elaborarea și aplicarea de comenzi în vederea corecției rezultatelor.

Acestui mod de acțiune îi oferă așadar avantajul menținerii rezultatelor la nivelul obiectivelor în condițiile modificării perturbațiilor considerate. Dacă precedentul mod de acțiune se baza pe urmărirea efectelor, acesta din urmă se bazează pe urmărirea cauzelor.

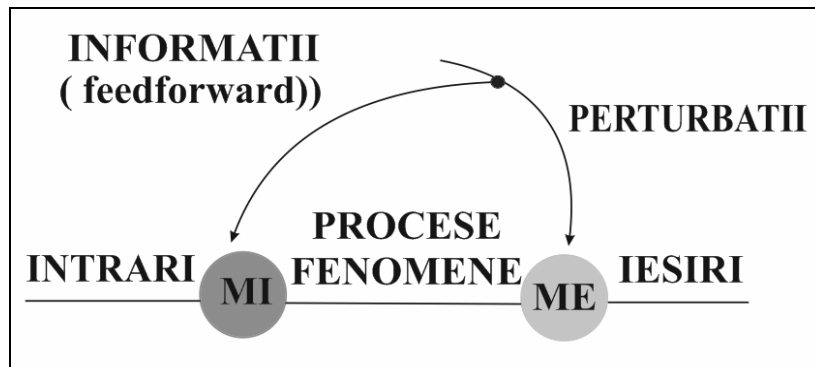


Figura 3. Sistem cu reglare (informare privind perturbațiile):
MI - monitorizare intrări; ME – monitorizare ieșiri.

Pentru a îmbina avantajele celor două moduri de acțiune și a îndepărta într-o importantă măsură dezavantajele acestora se pot utiliza sisteme cu acțiune mixtă (după cauză și efect), o asemenea structură fiind ilustrată în Figura 4.

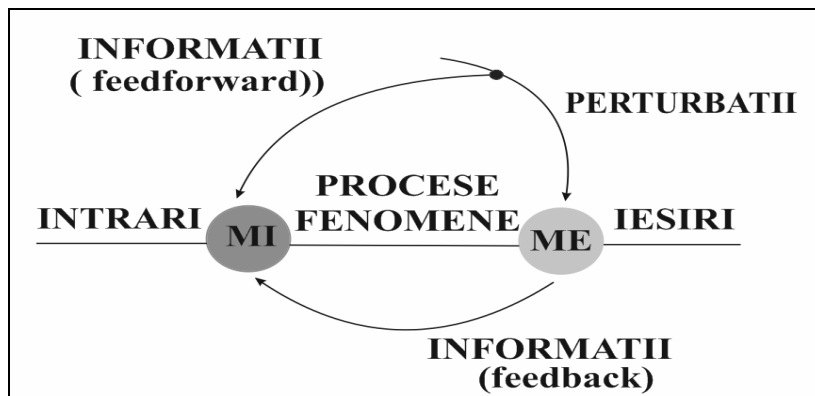


Figura 4. Sistem cu reglare (informare privind rezultatele și perturbațiile): MI – monitorizare intrări; ME – monitorizare ieșiri.

Modelarea cibernetică a sistemelor. Modelarea matematică reprezintă procedeul de exprimare cantitativă prin relații matematice a evoluției unui sistem. Ansamblul relațiilor obținute prin procesul de modelare constituie modelul matematic. Modelele matematice diferă de maniera de caracterizare a sistemului. Dacă sistemul este caracterizat prin mărimile de intrare și de ieșire (caracterizare informațională), atunci modelul reprezintă un grup de relații care leagă aceste mărimi.

Din punctul de vedere al conducerii sau monitorizării unui proces sau fenomen complex, mărimile de intrare specifice unui sistem pot fi divizate în comenzi și perturbații (Figura 5).

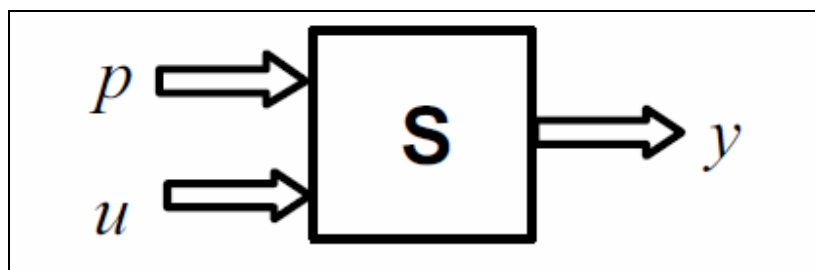


Figura 5. Mărimi asociate unui sistem de conducere:
 p – vector al mărimilor perturbatoare; u – vector al mărimilor de comandă; y – vector al variabilelor dependente.

Sistemul reprezentat în Figura 5 este multivariabil, fiecare din vectorii p , u , y având mai mult de o componentă (în cazul când acești vectori au câte o singură componentă sistemul este monovariabil).

După cum s-a mai arătat, sistemului îi pot fi asociate două regimuri și anume:

- regimul staționar caracterizat de invarianța în timp a mărimilor p , u , y ;
- regimul dinamic caracterizat de variația în timp a mărimilor p , u , y .

Pentru cele două regimuri se definesc două tipuri de modele și anume:

- modelul matematic staționar (MMS);
- modelul matematic dinamic (MMD).

Aplicarea unui model matematic dinamic la monitorizarea unui ecosistem acvatic. Atunci când se dorește monitorizarea unui sistem complex, fie și acvatic se pornește de la stabilirea parametrilor de bază ce trebuie urmăriți. În acest sens pentru un ecosistem acvatic complex, parametri ce trebuie urmăriți sunt o parte stabiliți pe baza condițiilor concrete din teren și o parte pe baza legislației. Pornind de la această realitate, parametru important este debitul de apă de la intrarea în sistem și debitul de apă la ieșirea din sistem. Din urmărirea acestor doi parametri se poate deduce variația volumului de apă din sistem, respectiv, adâncimea apei din ecosistem (lac).

Adâncimea apei este unul dintre cei mai importanți parametri, de care depinde însăși existența ecosistemului. Acești parametri sunt importanți și din punctul de vedere al posibilității urmării și modificării acestor parametri, respectiv, debitele de intrare și ieșire ale lacului, pentru a menține constant nivelul apei din ecosistem.

În continuare se prezintă un exemplu de deducere a MMD pentru procesul de acumulare a apei într-un spațiu închis, ce poate fi un lac artificial sau natural sau un vas oarecare de un anumit volum, procesul fiind prezentat în Figura 6.

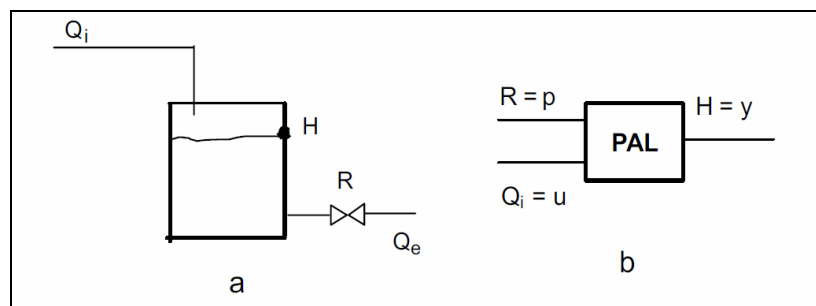


Figura 6. Procesul de acumulare a unui lichid într-un spațiu.

a – schema principală; b – schema de structură; Q_i , Q_e – debite de intrare, ieșire; R – rezistența hidraulică; H – nivelul curent; PAL – proces de acumulare lichid.

Ca ipoteză simplificatoare se face presupunerea că debitul de lichid care părăsește lacul, respectiv incinta, este proporțional cu nivelul lichidului din lac sau incintă, respectiv:

$$Q_e = k \cdot H$$

unde k este un coeficient de proporționalitate.

Atâta timp cât debitele Q_i și Q_e coincid, nivelul de lichid H din lac rămâne constant. Dacă egalitatea nu se mai respectă, volumul de lichid din lac sau incintă se va modifica cu ΔV , respectiv:

$$\Delta V = A \cdot \Delta H$$

unde ΔH reprezintă variația de nivel din lac, iar A este aria secțiunii transversale a incintei.

Pe de altă parte, variația de volum ΔV se poate exprima funcție de debite:

$$\Delta V = Q_i \Delta t - Q_e \Delta t$$

unde Δt este intervalul de timp în care volumul de lichid din lac sau incintă se modifică cu ΔV .

Din relațiile de mai sus rezultă :

$$A\Delta H = Q_i \Delta t - Q_e \Delta t, \text{ sau împărțind prin } \Delta t \quad A \frac{\Delta H}{\Delta t} = Q_i - Q_e$$

Considerând intervalul Δt foarte mic rezultă :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{dH}{dt}$$

$\Delta t \rightarrow 0$

Înlocuind în relația (41) se obține:

$$A \frac{dH}{dt} = Q_i - kH$$

$$\text{sau } \frac{A}{k} \cdot \frac{dH}{dt} + H = \frac{1}{k} Q_i$$

Notând $\frac{A}{k} = a$ și $\frac{1}{k} = b$ se obține:

$$a \cdot \frac{dH}{dt} + H = b \cdot Q_i$$

MMD obținut în relația de mai sus este reprezentat de o ecuație diferențială ordinară, liniară, neomogenă, cu coeficienți constanți. Coeficientul a al derivatei (exprimat în unități de timp) se numește constanta de timp, iar coeficientul b al termenului liber se numește coeficient de transfer.

În condițiile concrete ale unui ecosistem acvatic, a unui lac alimentat de un râu, luând în considerare următoarele date practice, în cazul de față, lacul Babadag se obține:

$$Q_i = 10 \text{ m}^3/\text{h}; H(0) = 1,5 \text{ m (valoare medie inițială)}, a = 2 \text{ minute}, b = 0,1 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h}).$$

Se ajunge la următoarea expresie pentru modelul matematic dinamic (MMD):

$$2 \frac{dH}{dt} + H = 0,1 \cdot 10$$

respectiv:

$$2 \cdot dh = (1 - H) \cdot dt$$

sau

$$\frac{dH}{1-H} = \frac{1}{2} \cdot dt$$

prin a cărei integrare se obține:

$$\int_0^H \frac{dH}{1-H} = \frac{1}{2} \int_0^t dt + C$$

unde C este o constantă care urmează a fi determinată.

Rezultă:

$$\ln(1-H) = \frac{1}{2}t + C$$

sau

$$1-H = e^{-\frac{1}{2}t-C} = e^{-C} \cdot e^{-\frac{1}{2}t}$$

de unde

$$H = 1 - e^{-C} \cdot e^{-\frac{1}{2}t}$$

Dar $H(0) = 1,5$ m, pe care îl înlocuim în relația de mai sus și se va obține următorul rezultat:

$$1 - e^{-c} = 1,5$$

respectiv:

$$e^{-c} = -0,5$$

Înlocuind acest rezultat în ecuația care definește caracteristica dinamică a nivelului lacului se ajunge la expresia:

$$H(t) = 1 + 0,5 \cdot e^{-\frac{1}{2}t}$$

Considerând mărimea H constantă în timp din modelul matematic dinamic se obține MMS, respectiv:

$$H = b \cdot Q_i$$

Relația ne permite determinarea influenței debitului de intrare Q_i asupra nivelului apei din lac, după cum urmează:

$$Q_i(0) = H(0) / b = 0,5 / 0,1 + 5 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Analizând această ecuație putem trage concluzia că pentru o variație bruscă a debitului, de exemplu de la 5 la 10 m^3/h , nivelul apei din lac are o variație exponențială în condițiile în care malurile se consideră verticale și impermeabile. Acest lucru este ilustrat în Figura 7.

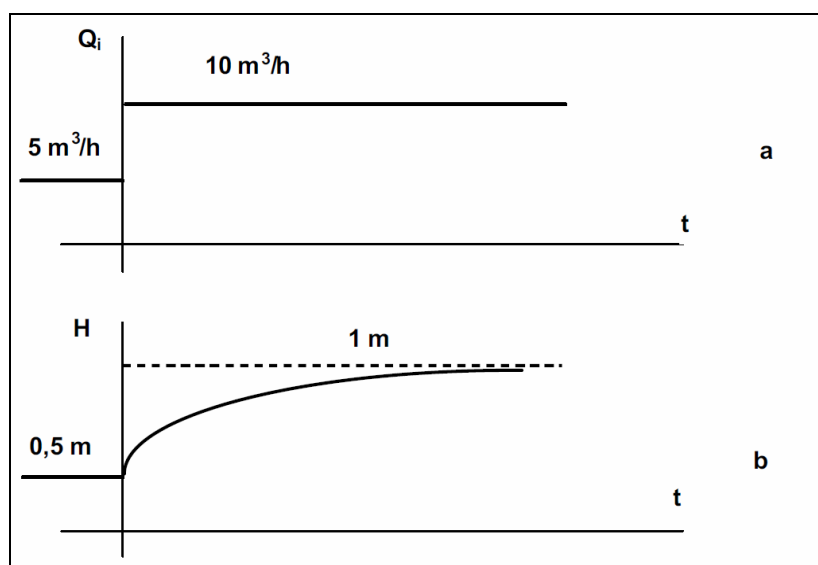


Figura 7. Caracteristica dinamică a procesului de acumulare a unui lichid: a – variația în timp a debitului de intrare; b – variația în timp a nivelului.

Alături de debitul apelor ce alimentează lacul, dar și de debitul de apă ce părăsește lacul, și care poate fi relativ ușor de monitorizat, în conformitate cu legislația apelor și o serie de substanțe afectează calitativ apele lacurilor, fapt ce poate perturba ecosistemul. După natura lor, substanțele ce poluează apele în general pot fi:

- de natură fizică (substanțe solide, substanțe radioactive, poluare termică);
- de natură chimică (hidrocarburi, derivați ai carbonului, sulfului, azotului, mase plastice, rășini sintetice, pesticide, compuși organici de sinteză, fluoruri, metale grele, oxizi ai metalelor, materii organice fermentabile, compuși chimici anorganici etc.);
- de natură biologică (dejecții organice, agenți patogeni, bacterii, virusuri etc.).

De aceea intrările trebuie monitorizate în vederea stabilirii unor măsuri în cazul în care se constată o tendință de înrăutățire a acesteia, rezultând o modificare a echilibrului cu implicații negative asupra echilibrului ecologic.

Într-un mediu lichid stările de echilibru sunt caracterizate de o distribuție spațială uniformă a fiecărei proprietăți a fluidului, astfel că fiecare element din interiorul acestuia se află într-un echilibru cu elementele înconjurătoare, de aceea atunci când în momentul inițial distribuția proprietăților nu este uniformă se va produce un schimb de proprietăți între elementele învecinate în direcția realizării uniformizării proprietăților din interiorul fluidului.

Dacă analizăm doar un parametru calitativ al apei, spre exemplu, particulele în suspensie și care de regulă se depun la intrarea în lac, funcție de viteza apei și funcție de densitatea particulei se poate discuta de sedimentarea acestora. Condițiile de sedimentare sunt cunoscute și nu vom intra în detalii.

La deversarea în lacuri a apelor purtătoare de diverse substanțe se produce o diluție a concentrației apei intrate, ca urmare a amestecului apei cu apa din lac și care teoretic are o concentrație extrem de mică în substanțele chimice.

Din punct de vedere al unui sistem cibernetic, structura compoziției apei din lac, procesul de intrare și ieșire a apei din ecosistem este influențat în mare măsură de o serie de perturbații, cum sunt precipitații, vânt, precum și de o serie de reacții acvaticice ce influențează compoziția chimică a ecosistemului.

În general reacțiile chimice din mediul acvatic sunt de trei tipuri:

- reacții de oxidare-reducere;

- reacții de tipul acid-bază;

- reacții complexe între compuși organici și compuși ai metalelor, numite și reacții de coordinație metalo-organice.

Aceste tipuri de reacții sunt de fapt cele ce determină în final compoziția chimică a apei. În cazul în care materia organică este absorbită în apă înainte de pătrunderea factorilor oxidanți, substanța organică rămâne în suspensie. În această situație reacția se va desfășura în final la fel ca o reacție clasică a unui proces heterogen.

La polul opus, în zona de profunzime, procesele care domină zona sunt cele de reducere, ca urmare a faptului că, în general, condițiile ambientale sunt anaerobe. În această zonă se produce un schimb de materiale cu sedimentele aflate pe fundul lacurilor.

În apele de profunzime continentale se găsesc componente reducătoare, ca de exemplu amoniacul (NH_4OH), hidrogen sulfurat (H_2S), ioni feroși și ioni de Mn. În schimb în zonele superficiale se concentrează în special oxidanți dizolvați, așa cum sunt de exemplu ionii de nitrați (NO_3), de sulfați (SO_4), carbonați (CO_3), precum și alți oxidanți în suspensie.

În cea mai mare parte a anului cele două zone: cea superficială și cea profundă nu se amestecă, ca urmare în primul rând a densității diferite a straturilor. Densitatea diferită se datorează expunerii solare a stratului superficial. Fenomenul se numește stratificare termică și practic constituie o barieră fizică de separare a straturilor.

Concluzii. Considerarea ecosistemului acvatic ca un sistem cibernetic este o problemă foarte complexă și implică un volum mare de măsurători și analize. Sistemul cibernetic din definiție trebuie să permită conducerea proceselor, respectiv influențarea parametrilor implicați în proces pentru a se ajunge la echilibru sau la o stare ideală sau optimă a ecosistemului.

Dacă o serie de parametri cum sunt debitele de intrare și ieșire pot fi urmăriti și influențați prin utilizarea unor stăvilare sau praguri prin care debitele se pot modifica, lipsa oxigenului din apă sau prezența unor compuși chimici în apă, care influențează în mod semnificativ calitatea ecosistemului, este o problemă mai complicată și rezolvarea ei necesită timp și investiții.

O mare problemă o ridică perturbații externe care nu sunt previzibile și care nu pot fi gestionate sau influențate. Nu putem anticipa sau previziona volumul și perioadele în care sunt precipitații. Dacă avem cantități însemnate de precipitații pe termen scurt înseamnă că vom avea un debit mărit la intrare, debit însoțit de cantități însemnate de aluviuni, respectiv, materiale în suspensie, care vor afecta ecosistemul și în acest caz deocamdată nu avem soluții de corectare sau influențare.

Alături de nivelul apei din ecosistem cantitatea de oxigen dizolvat în apă este un parametru extrem de important pentru buna funcționare a unui ecosistem. În acest caz putem monitoriza continuu cantitatea de oxigen dizolvat, dar nu putem influența decât în mică măsură creșterea cantității de oxigen. Desigur că plasare în ecosistem a unor sisteme de oxigenare a apei (elici semiacvatice), insufierea de aer etc., nu este o soluție, mai ales datorită costurilor ridicate ale energiei. Este totuși posibilă montarea de sisteme eoliene sau celule fotovoltaice pentru asigurarea energiei necesare pentru astfel de sisteme de aerare mai ales în cazul anotipurilor foarte calde, știind că gradul de dizolvare a oxigenului în apă este direct influențat de temperatura apei, respectiv, cu cât temperatura apei este mai ridicată, cu atât cantitatea de oxigen ce poate fi dizolvată în apă este tot mai mică.

Nu putem anticipa variația temperaturii decât aproximativ și nici nu o putem influența. Temperatura apei influențează și existența curenților de apă ascendenți care pot asigura transportul oxigenului dizolvat la fundul lacului. De asemenea temperatura apei, respectiv, radiația solară influențează evaporarea apei din lac, fapt de care trebuie ținut seama la stabilirea constantei de la formula de integrare pentru studiul variației adâncimii apei funcție de debite.

Trebuie menționat și faptul că lacul nu poate fi considerat ca un vas cu pereți verticali. Acest lucru complică foarte mult corelarea debitelor cu adâncimea pentru că în formula de calcul al volumului apei un parametru important este suprafața lacului, care teoretic în exemplificare am considerat-o constantă, dar în realitate ea este variabilă funcție de natura terenului și adâncimea apei.

Cele prezentate în aceste concluzii dovedesc complexitatea imensă a unui ecosistem avatic și faptul că este extrem de greu să putem influența numărul mare de parametri care caracterizează calitativ un ecosistem.

De asemenea, putem concluziona și faptul că un ecosistem acvatic este extrem de vulnerabil la influența activităților umane, dar și la condițiile meteorologice mereu în schimbare. Încălzirea globală la care asistăm din nefericire influențează negativ ecosistemele acvatice.

Bibliografie

- [1] Apostol P., 1969 Cibernetică, cunoaștere, acțiune. Editura Politică, București.
- [2] Bârlea S., 1975 Inițiere în cibernetica sistemelor industriale. Editura Tehnică, București.
- [3] Scarlat E., 2005 Cibernetica sistemelor macroeconomice reale. Editura Economică, ISBN 709-183-3.

Autori:

Tudor Andrei Rusu, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Ingineria Materialelor și a Mediului, Bd. Muncii, nr. 103-105, 400641 Cluj-Napoca, România

Cum se citează acest articol:

Rusu T. A., 2012 Implementarea conceptului cibernetic în monitorizarea unui eco-sistem acvatic. Ecoterra 31:97-104.