

## SISTEM COMPLEX PENTRU MANAGEMENTUL MEDIULUI, BAZAT PE SIMULARE

dr. ing. Florin Stănciulescu

Institutul Național de Cercetare –Dezvoltare în Informatică - ICI, București

sflorin@u3.ici.ro

**Rezumat:** Se prezintă un sistem complex pentru managementul mediului, bazat pe simulare, folosind un calculator personal. Lucrarea pune în evidență arhitectura sistemului, modulele componente și interacțiunile dintre acestea. La baza procesului de simulare se află o bibliotecă de modele matematico-euristice de simulare și control pentru ecologie și protecția mediului. Sistemul aflat în curs de experimentare poate, este capabil să asigure informarea populației privind riscurile unor calamități

**Cuvinte cheie:** sistem complex, management, simulare, control, mediu.

### 1. Principii de management al mediului

Omul trăiește permanent într-un mediu în care este expus unei mari diversități de situații mai mult sau mai puțin periculoase, generate de numeroși factori. Manifestările extreme ale fenomenelor naturale cum sunt: furtunile, inundațiile, seceta, alunecările de teren, cutremurele puternice și altele, la care se adaugă accidentele tehnologice (poluarea gravă, de pildă) și situațiile conflictuale, pot să aibă influență directă asupra vieții fiecărei persoane și asupra societății în ansamblu. Numai cunoașterea precisă a acestor fenomene, numite calamități și/sau dezastre (denumite de geografi și hazarde), permite luarea celor mai adecvate măsuri atât pentru atenuarea efectelor, cât și a celor pentru reconstrucția regiunilor afectate. Reducerea efectelor acestor dezastre implică studierea interdisciplinară a hazardelor, vulnerabilității și riscului ca și informarea și educarea populației. În acest domeniu, informatica este chemată să contribuie.

În contextul de față, *hazardul* reprezintă probabilitatea de apariție, într-o anumită perioadă, a unui fenomen potențial dăunător pentru om și pentru mediul înconjurător. Deci, hazardul este un fenomen natural sau antropogen, dăunător omului, ale cărui consecințe sunt datorate depășirii măsurilor de siguranță pe care orice societate și le impune. Hazardele naturale reprezintă o formă de interacțiune dintre om și mediul înconjurător, în cadrul căreia sunt depășite anumite praguri de adaptare ale societății. Pentru producerea lor, este necesară prezența societății omenești. Dacă o avalanșă se produce în Antarctica, aceasta este numai un fenomen natural. Dacă același fenomen este înregistrat în Munții Făgăraș, spre exemplu, unde este afectată o cabană sau o șosea, suntem în prezența unui hazard natural.

*Vulnerabilitatea* pune în evidență cât de mult sunt expuși omul și bunurile sale în fața diferitelor hazarde, indică nivelul pagubelor pe care poate să le producă un anumit fenomen și se exprimă pe o scară cuprinsă între 0 și 1, cifra 1 exprimând distrugerea totală a bunurilor și pierderile totale de vieți omenești din arealul afectat. Distrugerea mediului determină o creștere a vulnerabilității. Spre exemplu, despăduririle determină o intensificare a eroziunii și alunecărilor, producerea unor viituri mai rapide și mai puternice și o creștere a vulnerabilității așezărilor și căilor de comunicații.

*Riscul* este definit ca fiind probabilitatea de expunere a omului și a bunurilor create de acesta la acțiunea unui anumit hazard de o anumită mărime. Riscul reprezintă nivelul probabil de pierderi de vieți omenești, numărul de răniți, pagubele produse proprietăților și activităților economice de un anumit fenomen natural sau grup de fenomene, într-un anumit loc și într-o anumită perioadă. Elementele la risc sunt reprezentate de populație, de proprietăți, căi de comunicație, activități economice etc., expuse riscului într-un anumit areal.

Riscul poate să fie exprimat matematic, ca fiind produsul dintre hazard, elementele de risc și vulnerabilitate:

$$R = H \cdot E \cdot V$$

în care

R = risc, H = hazard, E = elemente expuse la risc, V = vulnerabilitate.

Rezultă că riscul este în funcție de mărimea hazardului, de totalitatea grupurilor de oameni și bunurile acestora și de vulnerabilitatea acestora. Pe baza acestei formule, se pot face calcule pentru evaluarea pagubelor produse de diferite fenomene naturale sau tehnologice.

#### *Definirea managementului ecosistemului*

Nu mai puțin de optsprezece agenții federale din USA au elaborat definirea managementului mediului. Lucrări similare au fost întocmite de o varietate de state și de manageri locali, organizații nonguvernamentale și corporații implicate în managementul resurselor naturale. Managementul ecosistemului trebuie să includă următoarele:

1. durabilitate pe termen lung;
1. scopuri clare, operaționale;
2. modele ecologice solide și înțelegerea lor;
3. complexitate și conectivitate;
4. recunoașterea caracterului dinamic al ecosistemelor;
5. context și măsurători;
6. oamenii ca fiind o componentă a ecosistemului;
7. adaptabilitatea și responsabilitatea.

Datorită specificului său, managementul mediului diferă de alte tipuri de management, de cel industrial, de exemplu. De aceea, el trebuie făcut respectând câteva principii generale, dar specifice managementului mediului, a căror respectare asigură rezultatele scontate. Pornim de la faptul că societatea umană este un subsistem al mediului/ecosferei, ca atare, este integrată în ecosferă, și nu se poate sustrage legilor globale ale acesteia. Între societatea umană și ecosferă se produce un permanent schimb de materie, de energie și de informație. Adică, populațiile umane participând la activitatea celor mai diferite ecosisteme naturale, îndeplinesc funcțiile oricărei populații, adică participă la transferul materiei, energiei și informației. Prin urmare, managementul mediului trebuie astfel făcut încât să protejeze sănătatea populației și nevoile materiale ale acesteia, iar, atunci când apare o situație conflictuală între interesele omului și cele ale naturii, să aleagă cel mai bun compromis între acestea.

Un prim principiu al managementului mediului este *principiul menținerii echilibrului ecologic*, care poate fi definit ca fiind menținerea tuturor mărimilor de stare ale mediului (factorii de mediu) în limitele admisibile, date de către experți. În general, aceste mărimi au tendința de a ieși din intervalele de variație dorite de către experți, producând deteriorări - uneori ireversibile - ale mediului. De aceea, menținerea echilibrului ecologic trebuie considerată ca fiind un principiu de bază al managementului mediului.

Un al doilea principiu al managementului mediului este *principiul conservării biodiversității mediului*. Aceasta presupune conservarea atât a genofondului, cât și a ecofondului. Prin *genofond* înțelegem întreaga diversitate și bogăție a informației genetice a speciilor și a populațiilor care intră în alcătuirea biosferei, incluzând și populațiile umane. Prin *ecofond* înțelegem diversitate și bogăție ale structurilor, ale proceselor și ale interacțiunilor care asigură intrările, transformările, acumulările și ieșirile din ecosistem și, deci, transferul energetic, material și informațional al biosferei. Dispariția unei specii *dintr-un* ecosistem, reducerea sau sporirea numărului ei dincolo de limitele oscilațiilor numerice normale, precum și introducerea unor noi specii într-un ecosistem constituit, ca și schimbarea unor factori ai biotopului (clima, poluarea etc.); toate aceste schimbări duc la transformarea atât a ecofondului, cât și a genofondului. Ca urmare, conservarea biodiversității, cel puțin în intervalele dorite de către experți constituie un alt principiu al managementului mediului.

Un al treilea principiu al managementului mediului este *principiul exploatarii raționale a resurselor mediului*. Extragerea, de cele mai multe ori excesivă, a resurselor din ecosistemele naturale, datorită empirismului, necunoașterii legilor (sub aspect calitativ și, mai ales, cantitativ) de funcționare a ecosistemelor respective. Deci, utilizarea nerațională a resurselor. În același timp, se manifestă tendința de a exploata resursele pentru satisfacerea maximală a intereselor de moment, și nu se ține seama de necesitatea aceluiași resurse pentru generațiile viitoare. Ca urmare, exploatarea rațională a resurselor mediului constituie un alt principiu al managementului mediului.

Un al patrulea principiu al managementului mediului este *principiul reducerii gradului de poluare al mediului sub limita admisibilă*. Poluarea afectează toate cele trei componente ale mediului: acvatică, terestră și atmosferă. Poluarea mediului acvatic se datorează atât dispersiei poluanților chimici industriali (ex. clor, compusi ai clorului, cianuri etc) în apă, precum și datorită eutrofizării. Eutrofizarea este o formă a poluării ecosistemelor, mai ales a apelor continentale stătătoare, prin introducerea a unor cantități excesive de nutrienți, ca urmare a activității umane. În ultima vreme, procesul s-a extins și a început să afecteze și unele bazine maritime. Poluarea solului se datorează, în principal, depunerii pe sol de reziduuri industriale (provenite din uzine, centrale termo-electrice, minerit etc), dar și din reziduurile menajere. Producerea de deșeuri greu reciclabile sau nereciclabile pe cale naturală - deci, tendința de linearizare a transferului materiei. Principali poluanți chimici ai atmosferei rezultă în cea mai mare măsură din combustii industriale. Printre aceste produse sunt SO<sub>2</sub>, oxizi de azot NO<sub>x</sub>, hidrocarburi, CO și plumb, fără a uita pulberile industriale (praful de cărbune etc). O altă sursă de poluare a atmosferei este cea datorată traficului urban. Ca urmare, reducerea gradului de poluare a mediului sub limita admisibilă constituie un alt principiu al managementului mediului.

Evaluarea riscului reprezintă baza pentru un sistem efectiv de prevenire la orice nivel de responsabilitate. Ea identifică posibile apariții ale dezastrelor și stabilește gradul pericolului local sau al vulnerabilității la condiții primejdioase. Această informație este esențială pentru luarea deciziilor și transformă informații de prevenire în acțiuni de prevenire.

Timpul necesar predicției pentru prevenirea timpurie a hazardelor meteorologice și hidrologice ocupă o perioadă de timp variată, cuprinsă într-o gamă de la mai puțin de o oră până la zile. Predicții folositoare despre comportarea sistemelor de mediu, ca de exemplu, a uraganelor și a furtunilor tropicale, pot fi furnizate cu câteva zile înainte. Predicția acestor sisteme și fenomenele asociate cu ele sunt bazate pe cunoșterea dinamicii atmosferei și a termodinamicii, în general, exprimată prin modele de predicție numerice. Predicțiile hazardelor hidrologice asociate sunt, de asemenea, bazate pe modelarea cu calculatorul. Seceta evoluează relativ ușor în comparație cu alte hazarde și poate dura luni și ani, făcând dificilă, dacă nu imposibilă, predicția sfârșitului. În cazurile de secetă, este dificil să punem în aplicare mai multe acțiuni de remediere și toate măsurile care pot fi luate sunt, deseori, specifice locului și cazului respectiv. Beneficiile de pe urma unor predicții precise sunt enorme.

Principalele calamități care afectează țara noastră sunt:

#### *Poluarea gravă a aerului, apei și a solului*

Poluarea reprezintă o modificare mai mult sau mai puțin dăunătoare pentru om și/sau pentru speciile din ecosistemele naturale și/sau artificiale, a factorilor de mediu (abiotic, biologic), ca rezultat al introducerii în mediu a poluanților care reprezintă deșeurile ale activității umane. În general, are loc o deteriorare a ecosistemelor prin poluare. Poluanții pot fi: gaze (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO etc), pulberi, particule, praf și altele, pesticide, hidrocarburi, metale grele (mercur, plumb, zinc, cadmiu), îngrășăminte chimice, dar și praf, scame, reziduri etc. Așadar, o gamă foarte largă de substanțe, chimice mai ales, poluează atmosfera, apele și solul. Poluarea poate fi asociată procesului de difuzie a poluanților chimici industriali în atmosferă și procesului de dispersie a poluanților chimici industriali în apă și în sol. Deși fenomenele și procesele de poluare sunt de o mare diversitate și complexitate, se pot desprinde unele caracteristici generale ale poluării:

- fiind consecința activității umane, poluarea crește (se intensifică și devine mai complexă) datorită creșterii numerice a omenirii, datorită creșterii necesităților umane, în ritm mai accelerat decât al creșterii numerice, datorită dezvoltării de noi tehnologii;
- după datele existente, caracterul creșterii poluării este exponențial, ca de altfel și a factorilor care o generează;
- în prezent, nu cunoaștem cu exactitate limitele admisibile ale poluării (pentru securitatea omului, a ecosistemelor majore și a ecosferei) deoarece nu cunoaștem capacitatea de suport a ecosistemelor și cu atât mai puțin a ecosferei;
- există o tendință de subestimare a efectelor nocive ale poluării, a stabilirii măsurilor de control, ca și a limitelor admisibile; deși cauzele acestei tendințe sunt multiple (costul ridicat, ignoranța), cea mai importantă dintre ele pare a consta în faptul că, de cele mai multe ori, există un decalaj între pătrunderea poluanților în mediu și efectele lor ecologice; acest decalaj se datorează modului de desfășurare a proceselor ecologice (circuitele geochimice, biogeochimice, concentrarea unor poluanți în lungul lanțurilor trofice etc., circulația aerului, apei); lipsa unor efecte imediate a deversării unor poluanți (ex pesticide, îngrășăminte, gaze în atmosferă, metale grele, radionuclizi etc.) și ignorarea proceselor ecologice care determină amânarea momentului apariției acestor efecte, creează impresia falsă a caracterului inofensiv al factorilor respectivi.

Poluarea se poate datora și unei calamități naturale, ca de exemplu, în cazul în care aceasta favorizează pătrunderea unei mase mari de poluant în apă (vezi cazul deversării de cianuri din iazul minei Borșa în apele Someșului), sol sau aer.

#### *Inundațiile*

Urișe pierderi economice și sociale se datorează inundațiilor în bazinele râurilor și în regiunile de coastă, supuse la furtuni, iar vulnerabilitatea crește în paralel cu dezvoltarea economică. Inundațiile continuă să ucidă un număr mare de oameni, în special în țările în curs de dezvoltare, deși jertfele au scăzut semnificativ datorită avansărilor în prevenirea timpurie, împreună cu planurile de evacuare în zonele sigure. În viitor, schimbarea climei poate aduce probleme mai frecvente prin creșterea nivelului apei mării, având drept rezultat revărsarea peste maluri.

Progrese substanțiale au fost făcute în pregătirile împotriva inundațiilor, sistemele de prevenire timpurie și organizarea evacuărilor. În lume, managementul terenurilor adânci și al apei este în creștere și este folosit la scăderea inundațiilor și la reducerea vulnerabilității la ele. Structurile de protecție împotriva inundațiilor furnizează reale beneficii, dar pot crește vulnerabilitatea încurajând acțiuni neraționale. În timpul inundațiilor, cea mai mare contribuție a guvernelor este de a da oamenilor posibilitatea de a-și salva viețile avertizându-i și facilitându-le evacuarea în zone sigure.

Pentru viitor, evaluarea riscului este foarte importantă în reducerea efectelor inundațiilor. Aceasta justifică nevoia pentru continuarea cercetării și întărirea eforturilor pentru îmbunătățirea sistemelor de prevenire timpurie și a altor aspecte ale reducerii efectelor inundațiilor. Măsurătorile structurale, utilizarea pământului și abordarea planificării lui, sistemele de previziune și de prevenire, construirea de porturi sigure și inițiativele de educație și

de conștientizare a populației, joacă un rol vital în realizarea acestor obiective. În țările în curs de dezvoltare, sunt necesare investiții împotriva inundațiilor.

#### *Seceta prelungită*

Seceta este un rezultat al variației climei, serios accentuată de factorii umani, ca de exemplu, creșterea populației, activități nepotrivite în agricultură și silvicultură sau războiul. Impacturile secetei aspre sunt bine cunoscute - migrarea populațiilor și animalelor, criza de mâncare, apă, energie și alte necesități de bază, degradarea mediului și dezastruoase înfometări, fenomen ce necesită mobilizarea unor mari eforturi internaționale. Țările în curs de dezvoltare, în particular Africa, sunt, în continuare, vulnerabile și limitate în posibilitatea de a implementa măsuri de reducere scumpe și măsuri de pregătire.

În majoritatea țărilor dezvoltate, reducerea vulnerabilității secetei a fost subliniată prin aplicații ale capacităților științifice și tehnice. Măsurile relatate includ folosirea înregistrărilor climei din alți ani și cunoștințe științifice și tehnice, ca de exemplu, evaluarea riscului și planificarea folosirii pământului, selectarea practicilor agricole proprii, realizarea unor planuri de siguranță și alte măsuri de prevenire a dezastrilor. Aceste abordări sunt furnizate și țărilor în curs de dezvoltare prin inițiative ca înființarea Drought Monitoring Centres. Centrul din Nairobi, de exemplu, a obținut rezultate apreciabile în monitorizarea secetei, prezicerea vremii și capacitatea de construcție în regiunile din estul Africii. Aceste rezultate sunt răspândite repede și folosite în managementul resurselor agricole și al apei și formează o componentă importantă a sistemelor de prevenire timpurie pentru siguranța hranei în subregiuni.

În secolul actual, o creștere a vulnerabilității secetei poate fi așteptată ca un rezultat al dezvoltării și al creșterii populației. Încălzirea climei poate crește posibilitatea apariției secetei. Este foarte important ca o prioritate mare să fie acordată programelor pentru reducerea vulnerabilității secetei globale și regionale. Drought Monitoring Centres trebuie să fie întărit, iar posibilitățile de modelare - sporite împreună cu îmbunătățirea transferului de date în timp real.

#### *Alunecările de teren*

Alunecările de teren apar în toate regiunile lumii, când bucățile de piatră, pământ alunecă ca rezultat al furtunilor, cutremurelor, erupțiilor vulcanice sau activităților oamenilor. Ele apar, de obicei, în mod neprevăzut, distrugând construcții și case, întrerupând rețeaua electrică, apa, gazele, distrugând liniile de cale ferată și stricând drumurile. Alunecările de teren din 1997 și 1998 din America Centrală au cauzat pagube foarte mari și pierderea tragică a mii de vieți omenești în comunitățile vulnerabile.

Reducerea impactului alunecărilor de teren necesită evaluarea hazardului și vulnerabilității și implementarea managementului riscului, a strategiilor de conștientizare a publicului, planificarea și realizarea reglării, cât și construirea de coduri și standarde. Alunecările de teren, căderea de materiale și șuvoaiele de noroi sunt deseori cauzate de lipsa managementului permițând operațiuni care necesită exploatarea nerațională ale pământului pe terenuri cu o stabilitate nesigură, de exemplu, în munți, canioane și regiuni de coastă.

Un progres important a fost realizat de experții geologi în a identifica zonele vulnerabile la alunecări de teren și de a furniza informații în vederea prevenirii timpurii a alunecărilor de teren, cât și sfaturi în luarea măsurilor, ca de exemplu, evacuarea. Folosirea zonelor de pământ numai după studierea lor și cu un design adecvat pot împușina problemele apărute datorită alunecărilor de teren. Alte măsuri de micșorare a dezastrilor cauzate de alunecările de teren prevăd plantarea zonelor aflate în pantă, instalarea unor conducte flexibile pentru a evita scurgerile de apă sau de gaz și construirea canalelor pentru a redirecționa scurgerile.

Pe viitor, reducerea dezastrilor cauzate de alunecările de teren și noroi în lume necesită accentuarea evaluării riscului și a managementului riscului, cu ajutorul unei înțelegeri științifice mai profunde a factorilor care cauzează alunecările de teren, dezvoltarea și implementarea măsurilor care vor reduce vulnerabilitatea acestor riscuri.

#### *Incendii spontane*

Incendiile spontane implică cheltuieli foarte mari, suportate de comunități și guverne, iar efectele focurilor întinse sunt, în general, simțite mulți ani. Focurile puternice au ca rezultat pagube ale vegetației, așezărilor umane și industriei, împreună cu închiderea drumurilor, căilor ferate și aeroporturilor, evacuarea oamenilor, rănirea sau moartea animalelor domestice, cât și pierderea vieților oamenilor. Ele pot, de asemenea, crea importante probleme regionale cum s-a întâmplat în anul 1994 când focul a distrus 5 milioane de hectare de arbuști, plantații și păduri în Indonezia, generând o ceață deasă care a afectat Malaesia, Singapore și Brunei Darussalam. Vizibilitatea a fost redusă la mai puțin de 500 de metri, întrerupând transportul aerian, cauzând scăderea calității aerului, iritații ale ochilor și probleme respiratorii.

Localizarea timpurie a incendiilor mari permite luarea măsurilor de prevenire sau scădere a efectelor. Ca un rezultat al cercetărilor realizate pe o perioadă de mai multe decenii, tehnicile care există acum, pentru estimarea

probabilității apariției incendiilor, se bazează pe condițiile meteorologice. Prezicerea incendiilor mari, făcută cu o zi sau două în avans, are o mare importanță pentru posibilitatea de a lua măsuri de prevenire ca închiderea pădurilor, anunțarea personalului specializat pentru stingerea incendiilor și alarmarea populației. În timpul incendiilor, prezicerea vânturilor, precipitațiilor și umidității în locurile cu incendii permite echipelor de stingere a incendiilor să anticipeze deplasările incendiului și comportarea sa și crește eficiența și reduce costurile.

Realizarea sistemelor de prevenire timpurie a incendiilor mari și predicțiile pe termen scurt a comportării incendiilor sunt dependente de existența rețelelor adecvate de observare și de telecomunicație în zonele afectate și buna instruire a specialiștilor meteorologi. Stabilirea unei strânse legături între National Meteorological Services și agențiile responsabile de incendiile în păduri și realizarea educării publicului și campanii de prevenire sunt, de asemenea, esențiale în prevenirea incendiilor, pregătirea și reducerea a efectelor. Eforturile viitoare de reducere a dezastrelor produse de incendii trebuie să se focalizeze pe dezvoltarea infrastructurilor de observare și de comunicare, expertiza specializată, legături între agenții, campanii de prevenire a publicului și facilitarea transferului și implementării tehnicilor de evaluare a riscului.

#### *Doborâturile de vânt*

Vânturile neperiodice au importante efecte de perturbație a ecosistemelor și a vieții multor specii, acționând ca factor limitativ. Furtunile foarte puternice, uraganele pot avea efecte catastrofale asupra ecosistemelor forestiere, doborând păduri pe suprafețe întinse, distrugând o bună parte a faunei și schimbând dezvoltarea firească a ecosistemului. În țara noastră, sunt cunoscute astfel de fenomene, un exemplu fiind cele care au afectat pădurile de fag din Maramureș, producând însemnate pagube materiale.

În acest context, este ușor de înțeles de ce doborâturile de vânt sunt considerate atât din punct de vedere ecologic, cât și al protecției mediului, ca fiind o calamitate naturală, iar prevenirea lor timpurie ca fiind benefică pentru om și ecosisteme.

#### *Avalanșele*

Avalanșele sunt dezastre des întâlnite în multe dintre țările muntoase. Ele cauzează multe pierderi de vieți, ca de exemplu cele 75 de nenorociri înregistrate în Alpii Europeni în perioada ianuarie-februarie 1999. Distrugerea produsă de o avalanșă poate fi destul de importantă, ea atingând un miliard de franci elvețieni în Elveția, în timpul iernii trecute de exemplu. În întreaga lume, vulnerabilitatea avalanșelor va continua să crească în timp ce distracțiile de iarnă se desfășoară în regiunile muntoase.

Măsurile de prevenire pe termen lung, de a reduce vulnerabilitatea avalanșelor, includ realizarea unei hărți a riscului, planificarea utilizării pământului, protejarea pădurilor și instalarea unor structuri de siguranță.

Măsurile de prevenire pe termen scurt includ prezicerea avalanșelor, articole care avertizează posibilitatea apariției avalanșelor, folosirea zăpezii artificiale, închiderea drumurilor. Unele guverne deja investesc mult în măsuri de protecție împotriva avalanșelor datorită marilor pagube produse. Cu mai mult de 50 de ani în urmă, de exemplu, aproape 1.5 milioane de franci elvețieni au fost investiți în structuri de prevenire în Elveția, cât și în resurse folositoare prezicerii avalanșelor și protecției pădurilor.

Pe viitor, implementarea evaluării riscului apariției avalanșelor și a managementului avalanșelor va fi fundamental pentru reducerea vulnerabilității. În timp ce aceste abordări există, deja, în câteva locuri din unele țări, ele trebuie extinse și la alte regiuni vulnerabile. Pentru a îmbunătăți aplicarea lor, este nevoie de aprofundarea studiului proceselor fizice ale zăpezii, îmbunătățirea prezicerii avalanșelor și tehnicilor de realizare a hărților hazardelor și sporirea metodelor de management al riscului.

#### *Cutremurele de pământ*

Cutremurele de pământ sunt cauzate de o bruscă exercitare a unor forțe care deplasează plăcile tectonice pe o scară mare, care se exercită pe suprafața pământului. Ele pot, de asemenea, fi cauzate de deplasări ale rocilor în interiorul vulcanilor. Pentru cutremure mari, alunecările pot atinge zeci de metri cu o ruptură de câteva sute de kilometri. Alunecările bruște transmit unde seismice în toate direcțiile, unde care clatină suprafața pământului atunci când o ating. Cutremurele apar destul de frecvent. În medie, într-un an, sunt câteva cutremure de magnitudine 8, de ordinul a zeci având o magnitudine 7 și aproape 100 - de magnitudine 6. Trebuie notat că magnitudinea unui cutremur este măsura energiei eliberată de sursă, în timp ce efectele cutremurelor sunt măsurate pe o scară de intensitate și, în general, scad în valoare din exterior către sursă. Sunt diferite scale de magnitudine, bazate pe amplitudinea diferitelor tipuri de unde seismice.

De obicei, cutremurele mari sunt precedate de fenomene, ca de exemplu, cutremure mai mici sau chiar mari, deformări ale suprafeței pământului, anomalii în chimia și curgerea apelor, și variații ale câmpurilor magnetice și electrice. Chiar dacă aceste fenomene sunt specifice pentru un cutremur mare și pot fi folosite pentru prezicere, ele au reprezentat un subiect de o mare importanță în cercetare, în particular, din anii '70 când au fost numeroase

cazuri în China și Uniunea Sovietică. Există un însemnat număr de scrieri despre predicția cutremurelor; aici, vor fi date numai câteva referințe.

Cutremurele de pământ sunt printre cele mai distructive dezastre naturale care afectează pământul. Peste 1.6 milioane de oameni au murit în cutremure în secolul 20 și au avut loc imense pierderi economice. Cutremurul moderat din 1995 (6.9 pe scara Richter) din Kobe, Japonia, a produs pierderi economice atingând recordul de peste 140 bilioane de dolari! Gradul de distrugere al unui cutremur este, în general, raportat la magnitudinea lui, la calitatea clădirilor și a structurilor, la natura solului și la efectele secundare ca de exemplu focuri, alunecări de teren care au o importanță semnificativă. În 1960, datorită unui cutremur de magnitudinea 5.9 au murit 12.500 de oameni în Agadir, Marocan, unde casele tradiționale de piatră erau situate pe sedimente consolidate. Contrastând cu acesta, un cutremur cu magnitudinea 6 din Canada în 1988 nu a cauzat morți pentru că locuințele erau din lemn cu acoperișuri relativ ușoare. Din nefericire, vulnerabilitatea la cutremure - în lume - crește rapid, ca rezultat al defectelor în proiectarea, așezarea și designul construcțiilor. Seismologii consideră că un cutremur foarte puternic (mai mare de 8 pe scara Richter) va apărea eventual în zone cu populație mare, evenimente multe, producând posibile pierderi de 2000 de miliarde de dolari. Acesta este un apel pentru cei responsabili cu managementul riscului.

Cutremurele vor continua să apară, în particular, la limita plăcilor tectonice, dar nu se poate prezice exact unde și nici ce magnitudine vor avea. În câteva regiuni, sisteme de alarmare timpurie a cutremurelor sunt posibile pentru undele seismice ale cutremurelor aflate la distanță și aceste sisteme au fost implementate în câteva localități. Eficacitatea lor depinde de seismograf și de comunicarea computerelor pentru a răspândi informația înainte de apariția undelor de suprafață (între câteva secunde și un minut sau mai mult).

În viitor, fiecare dolar cheltuit pentru reducere este estimat că salvează 10 dolari din costurile pentru recuperare și reconstrucții, subliniind, în continuare, rolul economic al reducerii pagubelor cutremurelor. Informațiile de bază, științifice și tehnice, necesare pentru a caracteriza cutremurele și vulnerabilitatea populației sunt acum disponibile în toate țările. Un nivel general de seismicitate poate fi prevăzut pentru următorii zeci de ani până la mii de ani și aproape toate țările au hărți regionale seismice.

De ce acele cutremure au apărut în acele zone, și nu în altele, este larg explicat în teoria plăcilor tectonice. Deseori, aceste cutremure apar acolo unde aceste plăci tectonice se întâlnesc sau se ciocnesc. Mișcările acestor plăci dau naștere la forțe care cauzează cutremurele. De asemenea, cutremurele pot fi cauzate de apariția magmei în asociere cu erupțiile vulcanice. Este nevoie de timp ca forțele care cauzează cutremurele să acționeze așa că un eveniment seismic poate dura decenii sau chiar secole, aceasta depinzând de caracteristicile zonei, pot urma după un șoc puternic. Acest concept a fost folosit pentru realizarea unei predicții pe termen lung, un cutremur putând apare imediat după un șoc puternic. Astfel, o zonă care este activă, dar care nu a avut un cutremur mare o perioadă lungă de timp este considerată "overdue" (inactivă).

În toate aceste cazuri de calamități și/sau dezastre, este utilă atât existența unei biblioteci de modele de simulare și control a proceselor de poluare și de diminuare a efectelor totdeauna nocive ale acestora, cât și a unor instrumente de alarmare atât a autorităților, cât și a populației, privind calamitățile naturale.

Este util să specificăm, din capul locului, faptul că managementul mediului este supus unei duble restricții: asigurarea protecției mediului și dezvoltarea economică. Prima cere reducerea drastică a impactului antropic (dezvoltare economică limitată, deci mai puține locuri de muncă și reducerea drastică a poluării mediului). Cea de a doua implică o creștere economică, o creștere de locuri de muncă, dar și creșterea impactului antropic asupra mediului prin poluarea mediului (aerului, apei și solului) și exploatarea resurselor naturale.

Soluția a fost găsită cu ajutorul sintagmei *dezvoltare durabilă*, care se poate defini ca fiind o dezvoltare economică ce asigură concomitent și protecția mediului. În ultimul timp, problema a căpătat valențe noi prin conștientizarea faptului că efectul de încălzire globală, care are urmări nocive asupra globului pământesc, și implicit, asupra populației, este urmarea poluării atmosferei cu poluanți chimici industriali și proveniți din mijloace de transport.

La fel de importantă este problema calamităților naturale, care afectează grav sistemele acvatice, terestre și atmosfera și, implicit, populația. O enumerare oarecum ierarhizată a acestora (ținând seama de: gravitate, frecvența ridicată, nivelul pagubelor materiale și impactul social) a fost făcută anterior. Simpla enumerare a acestor fenomene naturale, cu impact major asupra populației și a economiei naționale (mai ales prin pagubele materiale cauzate) ne îndreptățesc să afirmăm că existența unui *Sistem complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul*, este de mare actualitate. Nu putem să nu reamintim faptul că, numai în ultimii ani, România a fost confruntată cu calamități naturale, deosebit de grave: inundațiile frecvente din ultimii ani, din unele zone (Bihor, Mureș, Maramureș, Suceava etc.), seceta prelungită care afectează zone întinse din sudul țării, poluarea gravă a apei unor râuri ca Tisa, Prut și Jiu cu poluanți chimici

industriali (cianuri, cloruri etc.), poluarea gravă a atmosferei cu poluanți chimici industriali sau emiși de mijloacele de transport, alunecări de teren în zona montană, incendii spontane și altele.

Deoarece mai sus am utilizat conceptul de ecosistem care joacă un rol central în ecologie și protecția mediului, vom defini acest concept.

*Ce este un ecosistem?* Un ecosistem este definit ca fiind "o unitate explicită spațială a Pământului care include toate organismele și toate componentele mediului abiotic în limitele sale" (Likens 1992). Deși noțiunea de ecosistem este atribuită lui Sir Arthur Tansley (1935), conceptele de bază a organizării ierarhice a indivizilor, populațiile și comunitățile și conexiunile dintre mediile biotice și abiotice sunt scrise de Mobius (1877), Forbes (1887), Cowles (1898), Clements (1916), și alții. E. P. Odum și H.T. Odum au introdus conceptul de ecosistem în sfera științei ecologice.

Cunoașterea funcționării ecosistemului include intrări, ieșiri, ciclul materialelor și energiei ca și interacțiunea organismelor; cei care se ocupă de știința ecosistemelor considerând că definirea limitelor ecosistemelor este operațională pentru a monitoriza mai ușor ecosistemele și pentru a studia procesele care au loc aici. Procesele ecosistemului includ: fluxul hidrologic, productivitatea biologică, ciclul biochimic și menținerea diversității biologice (biodiversitatea).

Mai mult de un secol de cercetare ecologică și management al resurselor naturale ne-a demonstrat că ecosistemele sunt mult mai complexe și dificil de urmărit decât s-a crezut la acel timp de către agențiile de management al resurselor. Cu o înțelegere limitată a importanței biodiversității și complexității în sistemele ecologice, managementul a fost, în general, bazat pe ideea că putem simplifica structura și compoziția ecosistemului pentru a obține o producție mare a bunurilor, ca de exemplu lemn, pește, culturi agricole.

Funcțiile ecosistemului depind de structura, diversitatea și integritatea sa. În timp ce interesul cercetătorilor poate fi focalizat pe un subset relativ mic de organisme și procese din ecosistem, complexitatea unor astfel de sisteme este critică pentru durabilitatea lor. De aceea, menținerea diversității biologice este o componentă a planurilor managementului ecosistemului. Diversitatea biologică este varietatea vieții și proceselor ei, incluzând varietatea de organisme vii și diferențierile genetice dintre ele, ca și varietatea de habitaturi, ecosisteme și peisaje în care apar. Incluzerea în această definiție a diversității biologice este o recunoaștere a importanței structurilor biotice derivate.

Legăturile trofice ilustrează legăturile dintre dinamica populației și procesele ecosistemului. Marile schimbări în populațiile de pești pot altera ierbivorele, planctivorele, cât și rata ciclului nutrienților în lacuri. Diversitatea biologică (biodiversitatea) este centrul productivității și durabilității ecosistemelor pământului. Organismele, structurile biologice și procesele sunt mijloace prin care elementele fizice ale ecosistemului sunt transformate în bunuri și servicii de care omnia depinde. Exemple despre rolul biodiversității în funcționarea ecosistemelor includ referințe la: (1) procese esențiale, (2) rezistența ecosistemului și acoperirea perturbărilor (3) adaptabilitatea la schimbările pe termen lung în condițiile de mediu. Fotosinteza este la baza productivității primare - captarea energiei și convertirea ei în structuri organice - pe pământ. Alt rol critic al organismelor este descompunerea - descompunerea substanțelor organice în elemente fizice, incluzând nutrienți minerali și energie. Organismele creează structuri care interacționează cu alte lumi fizice și produc medii pentru alte organisme care conduc la alte procese. Complexitatea biotică are influențe importante în ciclul hidrologic, prin condensare, evaporare și în procesele geomorfice, ca de exemplu eroziunea.

O subliniere a rolului pe care speciile îl joacă în ecosistem poate conduce la întrebarea "de câte specii este nevoie pentru a menține procesele ecosistemului?" implicația fiind că noi putem face un management durabil pentru un număr sau un set de specii. Această întrebare presupune că: (1) noi știm totul despre procesele sau rolurile individuale, care sunt incluse în funcționarea ecosistemului (2) speciile dintr-un ecosistem sunt similare cu categoriile de job-uri dintr-o fabrică și este un raport de unu la unu între specii și procesele specifice; (3) ecosistemele nu se schimbă în sensul că influența pe care speciile o au reprezintă rolul cheie. Aceste presupuneri nu sunt întâlnite în unele ecosisteme. Trebuie, așadar, să recunoaștem importanța diversității interacțiunilor speciilor care stau la baza funcționării ecosistemului și rolul pe care diversitatea îl joacă în menținerea proceselor în cazul variațiilor complexe de mediu, în spațiu și timp.

Complexitatea structurală și diversitatea ecosistemelor influențează direct modelul proceselor multor ecosisteme, ca și furnizarea habitatului pentru organisme care mențin procesele importante. Complexitatea structurală în pădurile naturale include arbori de mărimi diferite, componente și specii diferite, arbori uscați, resturi de lemn și trunchiuri de copaci, ca și niveluri de bolte și găuri. Această complexitate structurală este critică pentru furnizarea habitatului unice pentru multe organisme care au nevoie de un habitat anume. Câteva din aceste organisme îndeplinesc funcțiile cheie ale ecosistemului. De exemplu, lichenii care cresc în păduri, convertesc nitrogenul atmosferic în forme necesare biologic. Complexitatea structurală a pădurilor este importantă în menținerea și reglarea proceselor, ca de exemplu cele referitoare la ciclul hidrologic.

Trecând acum la problema *difuzării publice a informațiilor privind mediul* să subliniem faptul că aceasta este legată de managementul mediului. Reluând exemplele date mai sus privind calamitățile naturale, care au afectat și afectează țara noastră, putem arăta că un astfel de sistem poate preveni o serie de pierderi de vieți omenești și pagubele materiale prin:

- evaluarea riscului unor inundații, alarmarea factorilor interesați și difuzarea publică a informațiilor va salva vieți omenești și va reduce pagubele materiale;
- evaluarea riscului unei secete prelungite, alarmarea factorilor interesați și difuzarea publică a informațiilor reduce mult pagubele cauzate de seceta în agricultură, zootehnic ș.a., prin luarea unor măsuri preventive;
- evaluarea riscului unei poluări cu poluanți chimici industriali a apei unui (unor) râu(ri), alarmarea timpurie a decidentului și difuzarea publică a informațiilor, va salva vieți omenești și reduce pierderile economice (prin diminuarea cantităților de pește pierdut);
- evaluarea riscului unei poluări cu poluanți chimici industriali a atmosferei unor orașe, alarmarea timpurie a decidentului și difuzarea publică a informațiilor, reduce mult riscul îmbolnăvirii populației din cauza noxelor;
- evaluarea riscului unei alunecări de teren, alarmarea timpurie a acestei calamități și difuzarea publică a informațiilor, conduce la salvarea de vieți omenești și la diminuarea pagubelor materiale.

Același lucru se poate spune și despre incendiile spontane ca și despre alte calamități naturale ca: avalanșele, înghețuri, grindina, cutremurele și altele.

Un sistem complex de management și informare publică privind riscurile unor calamități naturale trebuie să asigure evaluarea și managementul riscului de mediu prin parcurgerea următorilor pași:

*Identificarea hazardului*, care implică strângerea și evaluarea datelor și cunoștințelor privind afecțiunile și pagubele care pot fi produse de o anumită calamitate naturală. Când e vorba, de exemplu, de poluarea aerului, apei și solului cu poluanți chimici industriali sau alte noxe, se pune problema evaluării gradului de toxicitate, de câte ori este depășită limita de admisibilitate, cât de mare este efectul asupra populației.

*Evaluarea efectelor* implică descrierea cantitativă a relației dintre durata fenomenului/ calamității naturale și întinderea efectelor acesteia. Dacă ne referim la exemplul anterior privind poluarea aceasta înseamnă descrierea cantitativă a relației dintre durata procesului de poluare și mărimea zonei afectate.

*Evaluarea populației afectate* înseamnă descrierea și evaluarea populației afectate, sau în termenii exemplului de mai sus care anume segment al populației va fi afectat de efectele poluării, zona, mărimea populației.

*Caracterizarea riscului* înseamnă integrarea datelor și analizelor rezultate din cei trei pași anteriori pentru a determina probabilitatea ca populația să fie afectată, spre exemplu de toxicitatea noxelor emise în timpul procesului de poluare.

## 2. Arhitectura sistemului de management al mediului și informare publică privind apariția unor calamități naturale

Ca urmare a analizei efectuate în fazele premergătoare ale cercetării s-a stabilit structura din Figura 1 a sistemului de management al mediului și informare publică privind apariția unor calamități naturale, care are în structura sa o serie de module menite să asigure funcționalitatea sistemului și a obiectivelor acestuia. Subliniem faptul că această arhitectură joacă un rol esențial în realizarea sistemului complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul și realizarea ei constituie obiectivul final al temei. Ea va trebui analizată și însușită de către toți participanții la realizarea Obiectivului VI, care vor regăsi în ea intrările pe care modulele proiectate de către ei le vor primi de la celelalte module, precum și ieșirile pe care aceste module trebuie să le furnizeze la rândul lor.

O scurtă descriere a modulelor componente ale sistemului complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul este următoarea:

### *Sistem de monitoring al datelor de mediu*

Sistemul complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul este prevăzut cu un sistem de monitoring al datelor de mediu. Acest modul permite cătirea valorilor parametrilor supraveghiați la nivelul unei stații de măsurare, efectuarea rapoartelor periodice asupra măsurătorilor efectuate și transmiterea datelor către nivelul ierarhic superior din cadrul sistemului informatic distribuit de supraveghere a sistemului. Subsistemul on-line are ca valori de intrare parametrii ale căror valori trebuie măsurate la un moment dat. Acești parametri sunt indicați de către canalele de măsurare din interfețele de proces pe care sunt conectate echipamentele de măsurare folosite pentru cătirea valorilor fiecărui parametru în parte. Odată determinate aceste canale de măsurare, sunt preluate și valorile măsurate ale parametrilor corespunzători.



### *Sistem de achiziționare manuală a unor parametri de mediu (masuratori)*

Sistemul de monitoring al datelor de mediu asigură achiziționarea datelor de mediu pentru o serie de mărimi standard (cum sunt: temperatura aerului, apei și solului, umiditatea aerului și solului, presiunea atmosferică, intensitatea radiației solare, viteza vântului, debitele de apă ale râurilor, nivelul apei în lacuri și râuri, pH-ul apei și solului și altele). În schimb există date referitoare la alți factori de mediu care nu pot fi achiziționate automat, cu ajutorul unui sistem de monitoring. Pentru a le distinge le vom numi parametri de mediu. În această categorie intră acele mărimi de mediu a caror complexitate nu permite o măsurare directă, cu ajutorul unor aparate de măsură, senzori și/sau traductoare. Exemple care ne stau la îndemână sunt: mărimile de stare cu caracter biologic (biomasa unor specii de plante și/sau animale macroscopice, fitoplanctonul, zooplanctonul etc., numărul de exemplare dintr-o populație de plante și/sau animale *dintr-un* areal etc.), biochimic (procesul de fotosinteză, pierderile biologice etc.), sau fizico-chimic (concentrațiile de diferiți poluanți chimici industriali în aer, apă, sol). Toate acestea vor fi măsurate manual și/sau evaluate prin diferite metode specifice, prin prelevarea de probe din mediu și analize de laborator.

### *Baza de date pentru mediu*

O componentă importantă a sistemului complex de management al mediului și difuzarea publică a informațiilor privind mediul este baza de date, care furnizează informații de baza cerute de orice sistem de luare a deciziilor. În principiu în realizarea acestui sistem ne bazăm pe:

- *Baza de date a MAPM*, realizată cu ajutorul produsului-program MS-Access și care este în curs de încărcare cu date de mediu. În prezent sunt introduse date privind concentrațiile de poluanți chimici industriali în atmosferă, urmând a se trece și la introducerea datelor privind poluarea apelor și solului, biodiversitatea și altele. În plus se are în vedere trecerea la o nouă versiune a bazei de date a MAPM folosind produsul-program ORACLE;
- *Baza de date BD-SIM*, realizată de către un colectiv de la UTCB - Universitatea Tehnică de Construcții, București - a cărui proiectare și construire a început în 1991 și este implementată în 41 de agenții pentru protecția mediului la nivelul țării și la nivelele regionale și centrale ale Ministerului Apei, Pădurilor și Mediul Înconjurător. BD-SIM a fost proiectat și dezvoltat ca o bază de date ierarhică și distribuită. Arhitectura BD-SIM a fost realizată luând în considerare structura sistemului informațional și distribuția geografică. BD-SIM este realizat din baze de date pentru fiecare componenta principală (subsistem) al sistemului: aer, apă, sol, fauna și flora și o componenta pentru radioactivitate.

### *Baza de cunoștințe pentru mediu*

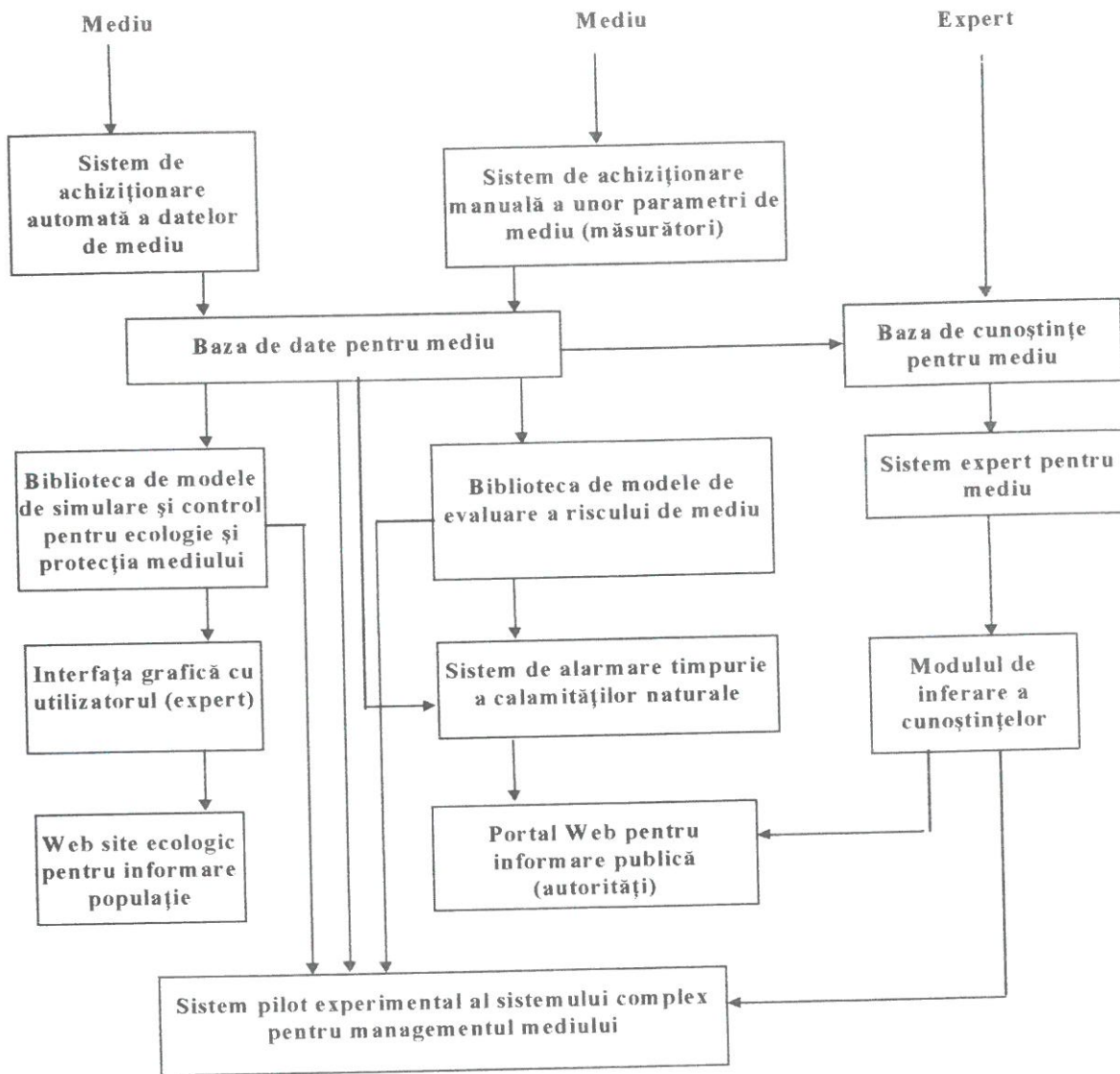
Baza de cunoștințe pentru mediu va include cunoștințe preluate de la experți (ecologi, chimiști, fizicieni, ingineri ș.a.), cunoștințe pe care le putem clasifica astfel:

- cunoștințe despre sistemele ecologice, biodiversitate, echilibru ecologic etc.;
- cunoștințe despre protecția mediului, legislație, metode și tehnici etc.

Aceste cunoștințe pot fi obținute din cărți, manuale, proceedings ale unor conferințe de specialitate etc., dar cele mai relevante sunt cunoștințele rezultate din experiența dobândită de către experți (ecologi, chimiști, fizicieni, ingineri ș.a.), în domenii de expertiză bine determinate, cum ar fi: ecosisteme acvatice, ecosisteme terestre, poluarea apei, poluarea solului, poluarea aerului ș.a. Cunoștințele respective vor constitui materia primă pentru elaborarea de cunoștințe structurate care vor fi incluse în baza de cunoștințe sub formă de reguli (în sensul teoriei sistemelor bazate pe cunoștințe) pentru a fi utilizate în cadrul sistemului expert pentru protecția mediului. Pentru realizarea bazei de cunoștințe se recomandă utilizarea unui limbaj de programare logică, cum ar fi: (Turbo)Prolog, Clips, Lisp și altele.

### *Biblioteca de modele de simulare și control al mediului*

Sistemul complex pentru managementul mediului va fi dotat cu o bibliotecă de modele de simulare și control pentru ecologie (biodiversitate) și protecția mediului, având componente pentru toate cele trei medii: acvatic, terestru și atmosferă. Biblioteca de modele de simulare și control al mediului atmosferic include modele de simulare și control al difuziei poluanților chimici industriali în atmosferă, cum sunt: dioxidul de sulf - SO<sub>2</sub>, dioxidul de azot - NO<sub>2</sub>, monoxidul de carbon - CO, particule (pulberi) de metale grele, de carbune, ciment etc. Biblioteca de modele de simulare și control al mediului acvatic include modele de simulare și control al proceselor hidrologice, ale biodiversității și ale dispersiei poluanților chimici industriali în apă, cum sunt: clorul și compușii săi, cianuri etc. Biblioteca de modele de simulare și control al mediului terestru include modele de simulare și control al biodiversității și ale dispersiei poluanților chimici industriali în sol, cum sunt: metale grele (mercur, cadmiu, cupru, zinc etc).



**Figura 1. Arhitectura Sistemului de Management al Mediului și Difuzarea Publică a Informațiilor privind Mediul**

*Biblioteca de modele de evaluare a riscului de mediu*

În acest paragraf, sunt avansate unele principii generale pentru realizarea unui sistem de modele de evaluare a riscului de apariție a unor calamități naturale și a urmărilor acestora. Identificarea și analiza riscului ca și conceptele conexe, au fost definite în literatura de specialitate. Problema este de a aplica aceste definiții și concepte în analiza riscului apariției unor calamități naturale și în elaborarea de modele de evaluare a riscului.

În primul rând vom sublinia faptul că aceste modele vor fi în principal modele probabiliste, care vor calcula probabilitatea apariției unor calamități naturale și a urmărilor acestora. Vor fi deasemenea studiate și modele bazate pe rețele neuronale. În al doilea rând vom sublinia faptul că aceste modele de evaluare a riscului apariției unor calamități naturale nu vor constitui singurele elemente de fundamentare a deciziei de alarmare timpurie a autorităților competente, ci vor fi coroborate cu alte elemente ca de exemplu ieșirea din limitele admisibile a unor factori și parametri de stare ai mediului etc. Dintre abordările posibile subliniem următoarele: abordarea bazată pe probabilități (teoria probabilităților), abordarea bazată pe statistica (analiza Bayesiană), abordarea bazată pe entropie (entropia Shannon), abordarea bazată pe sisteme vagi (sisteme fuzzy), abordarea bazată pe sisteme neuronale (neural systems). Este posibilă și evaluarea de modele de evaluare a riscului bazate pe combinații ale acestora.

*Sistem expert pentru mediu. Modulul de inferare cunoștințe*

În primul rând vom sublinia faptul că sistemul expert pentru mediu trebuie să includă în structura sa module care să-i permită: achiziționarea rapidă și preluarea corectă a cunoștințelor de la expert, validarea cunoștințelor, inferarea cunoștințelor și obținerea de noi cunoștințe, interfața grafică cu utilizatorul.

În al doilea rând, deoarece este destinat să asiste fundamentarea deciziei în sistemele complexe pentru managementul mediului și difuzarea publică a informațiilor privind mediul, acest sistem expert va trebui să asigure această asistență pe trei direcții: comportare, decizie și control. Ca urmare regulile de producție (în sensul sistemelor bazate pe cunoștințe) utilizate trebuie să acopere cel puțin gama următoare:

- *reguli de comportare*, care descriu comportarea mărimilor de stare ale mediului la variația factorilor și/sau parametrilor mediului;
- *reguli de control*, care descriu starea sistemului de mediu după aplicarea unei comenzi/ mărime de control
- *reguli de decizie*, capabile să furnizeze mărimile de comandă cu care să se acționeze în cazul în care unii factori și/sau parametri de mediu ies din intervalele de variație stabilite de către experți.

În al treilea rând vom sublinia faptul că acest sistem are o strânsă legătură cu baza de date, baza de cunoștințe, bibliotecile de modele de simulare și control pentru managementul mediului și pentru evaluarea riscului apariției unor calamități naturale, dar și cu sistemul de alarmare timpurie. Ca urmare el va trebui să furnizeze acestui ultim modul elementele necesare pentru declanșarea unei prealarme sau a unei alarme propriuzise.

În al patrulea dar nu ultimul rând sistemul expert trebuie să contribuie la rezolvarea unor probleme complexe, cum ar fi prezervarea echilibrului ecologic, conservarea bio-diversității, diminuarea drastică a poluării apei, solului și aerului și exploatarea rațională a resurselor naturale.

#### *Interfața grafică cu utilizatorul (expert)*

Sistemul complex de management al mediului dispune de o interfață grafică cu utilizatorul care va permite acestuia o bună vizualizare a rezultatelor de simulare și control. În principal această interfață a fost realizată până în prezent cu ajutorul produsului de firma Mathcad. În viitor se are în vedere realizarea de astfel de interfețe cu ajutorul limbajului de programare Vizual C ++, care prezintă multe facilități pentru realizarea de astfel de interfețe.

#### *Sistem de alarmare timpurie a calamităților naturale*

Acest modul are un rol important în alertarea atât a autorităților cât și a populației în cazul apariției unor calamități, în special a celor naturale. În primul rând sistemul de alarmare timpurie a calamităților naturale trebuie să aibe două componente:

- componenta de *prealarmare*, dedicată alarmării ieșirii din limitele admise de normele în vigoare a unor factori de mediu, i.e. a unor mărimi de stare caracteristice, eventual pe o perioadă de timp; un exemplu ar fi următorul: dacă temperatura aerului depășește 37 °C o singură zi se va da prealarma;
- componenta de *alarmare*, dedicată alarmării ieșirii din limitele admise de normele în vigoare a tuturor factorilor de mediu, i.e. a tuturor mărimilor de stare caracteristice, eventual pe o perioadă de timp; un exemplu ar fi următorul: dacă temperatura aerului depășește 37 °C o mai multe zile la rând se va da alarma. Acest modul va trebui să aibe interacțiuni cu paginile web pentru alarmarea autorităților.

#### *Portal Web*

Spre deosebire de aliniatul următor în care se descrie un Web site ecologic pentru informarea populației, în acest paragraf se descrie un *Portal Web* pentru accesarea de la distanță a unor module cum sunt: modelele din bibliotecile de module de simulare și control, modelele de evaluare a riscului de mediu ș.a., dar și informarea autorităților, în cazul apariției unui risc de mediu, sau în cazul în care există riscul apariției unor calamități naturale. Autoritățile la care ne referim sunt: ministerele, administrația locală (prefecturile și primăriile), serviciul de informații, armata, poliția, pompierii, apărarea locală etc.

O definiție a unui Portal este următoarea: acesta este o pagină Web care servește ca punct de intrare pentru navigatorii pe *World Wide Web*, cu precizarea că portal-urile cele mai cunoscute sunt proiectate pentru a optimiza compatibilitatea lor cu unul sau mai multe motoare de căutare de pagini Web. Multe portal-uri oferă servicii ca: e-mail, găzduirea de pagini Web, ori căutarea de informații filtrate "with the costs of these services being underwritten by advertising. Loosely synonymous with Web-page search engine".

Unul din cele mai cunoscute motoare de căutare este cel elaborat de către firma *Google* (din Silicon Valey, USA) și se numește *Google search engine*, un motor de căutare puternic, cu peste 3 miliarde de pagini Web indexate până în prezent. Acest motor de căutare are capacități de autocăutare, ceea ce îl face de două ori mai performant.

Un *Portal Web* mai poate fi definit ca un punct de intrare sau un site de pornire pentru World-Wide Web, combinând un amestec de conținuturi și de servicii care să furnizeze o bază pentru ghidarea ușoară a utilizatorului prin Web. Două tipuri de portal sunt mai cunoscute și anume *Portal Vertical*, mai potrivit pentru un anumit tip de aplicație, de pildă educația, sau *Portal Orizontal*, mai potrivit pentru aplicații diverse. Exemple de Portal Web cunoscute sunt AOL, Excâte, InfoSeek, MSN Internet Start, Netscape Neicenter, CNet Snap și Yahoo.

Prin intermediul modulului Portal, sistemul complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul, poate accesa oricare din subsistemele, modulele sau aplicațiile incluse în

sistem. Astfel, pentru a accesa un anumit model din *Biblioteca de modele de simulare și control* al proceselor de mediu, Portal trebuie să acceseze biblioteca, apoi acea secțiune a bibliotecii în care se află modelul și abia apoi să acceseze modelul respectiv. Precizăm faptul că biblioteca este constituită pe 3 secțiuni: modele de simulare și control al proceselor din mediul acvatic, modele de simulare și control al proceselor din mediul terestru, modele de simulare și control al proceselor din mediul atmosferic.

#### *Web site ecologic pentru populație*

Una dintre aplicațiile sistemelor telematice este realizarea de web site-uri pentru ecologie și protecția mediului cu accesare de la distanță, mai exact, de web site-uri pentru ecologie și protecția mediului. Până în prezent, s-a reușit realizarea a trei astfel de web site-uri și anume [?]:

- *un web site pentru ecologie și protecția mediului în Orașul București*, a cărui importanță, din punct de vedere ecologic, economic și turistic, nu mai trebuie subliniată, în plus, acesta fiind și capitala țării. Acest web site va include o hartă a Orașului București, pe care vor figura mai multe zone distincte, despre care se vor putea obține informații utile despre concentrațiile diferiților poluanți chimici industriali în atmosferă (cum ar fi dioxidul de sulf, dioxidul de azot, acetat de etil, toluen, monoxidul de carbon, pulberi de metale grele, cărbune etc);
- *un web site pentru ecologie și protecția mediului în ecosistemul Delta Dunării*, a cărui importanță din punct de vedere ecologic, economic și turistic nu mai trebuie subliniată. În plus, acest ecosistem este de mai mulți ani inclus printre Rezervațiile Biosferei. Acest web site va include o hartă a Deltei Dunării, care va evidenția principalele ecosisteme, rezervațiile precum și fauna, flora și date cu caracter ecologic și de mediu;
- *un web site pentru ecologie și protecția mediului în ecosistemul Litoralului Mării Negre*, a cărui importanță din punct de vedere ecologic, economic și turistic, de asemenea, nu mai trebuie subliniată. Acest web site va include o hartă a Litoralului Mării Negre, care va evidenția principalele caracteristici ecologice și geografice, precum și fauna, flora și date cu caracter ecologic și de mediu.

Consultarea acestor web site-uri de către populația care are sau va avea acces la Internet, se va dovedi benefică în timp, atât pentru informarea unui important segment al populației asupra stării ecologice a mediului, cât și pentru justificarea modului cum sunt cheltuite fondurile alocate cercetării. Pentru realizarea acestor web site-uri s-a utilizat programul de firmă Front Page, produs al firmei MicroSoft, care dispune de facilități în acest sens.

Evident că liste web site-urilor pentru ecologie și protecția mediului este mult mai mare și va fi amplificată în viitor. În ceea ce privesc experimentele reale, referitoare la realizarea de web site-uri pentru ecologie și protecția mediului, care se impun într-o astfel de cercetare științifică și valorificarea rezultatelor de cercetare, avem în vedere realizarea, din anul 2000, a unor astfel de sisteme, fie pentru mediu acvatic, în Delta Dunării (cu colaborarea ICPDD-Tulcea), sau pe litoralul Mării Negre (cu colaborarea IRCM, Constanța) fie pentru supravegherea calității aerului în orașul București (cu colaborarea ICIM- București), sub rezerva existenței fondurilor de investiții necesare.

#### *Sistem pilot experimental al sistemului complex pentru managementul mediului*

Acest sistem pilot va permite experimentarea tuturor realizărilor și, mai ales, va permite cercetătorilor și proiectanților de sisteme de management al mediului și de difuzare publică a informațiilor privind mediul, să aibă o reacție privind rezultatul muncii lor și sugestii venite de la potențialii utilizatori pentru îmbunătățirea soluțiilor.

### **3. Biblioteca de modele de simulare și control pentru ecologie și protecția mediului**

#### **3.1. Structura bibliotecii de modele**

Biblioteca de modele de simulare numerică pentru ecologie și protecția mediului este constituită pe trei secțiuni, corespunzător celor trei medii: atmosferic, terestru și acvatic. Figura 2 prezintă structura bibliotecii, cu cele trei secțiuni.

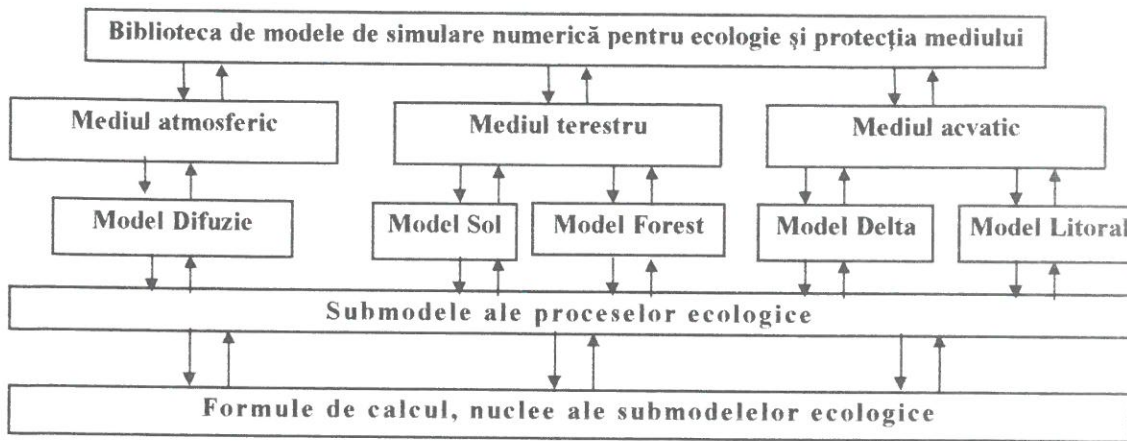


Figura 2. Structura bibliotecii de modele de simulare numerică și control pentru ecologie și protecția mediului

Modelul *Difuzie* include, în realitate, o multitudine de modele de simulare numerică a procesului de difuzie a poluanților chimici industriali (gaze, pulberi, praf etc) în atmosferă.

Modelul *Sol* include, de asemenea, o multitudine de modele de simulare numerică, descriind complexe procese hidro-bio-fizico-chimice care au loc în sol.

Modelul *Forest* include, la rândul său, modele de simulare numerică, atât a biodiversității, cât și a complexelor procese de fotosinteză și a celor din sol.

Modelul *Litoral*, compus la rândul său din numeroase modele de simulare numerică, descrie complexe probleme hidro-bio-fizico-chimice și biodiversitatea sistemului.

Modelul *Delta* este cel mai complex, fiind constituit din numeroase modele de simulare numerică, atât a biodiversității, cât și a complexelor procese hidrologice, bio-chimice și bio-fizice.

Deși cele trei medii amintite au caracteristici și funcțiuni distincte, din punct de vedere al modelului de simulare numerică am găsit o similitudine, aceea că procesele care au loc pot fi modelate cu ajutorul modelului matematico-euristic. De aceea, modulul corespunzător al sistemului complex pentru managementul mediului va fi dezvoltat, deoarece el stă la baza sistemului. În informatica aplicată, în ecologie și protecția mediului, s-au dezvoltat în ultimii ani modele de simulare numerică a proceselor care au loc în sistemele ecologice și de protecție a mediului. Noi vom dezvolta *modelul matematico-euristic* [1-4], care s-a dovedit foarte util în simularea și controlul sistemelor de mare complexitate, printre care se numără și sistemele naturale, sistemele ecologice și de protecție a mediului.

### 3.2. Modelul matematico-euristic

Modelul matematico-euristic este un model hibrid, compus din mai multe modele, de naturi diferite, interconectate.

*Modelul de simulare numerică a proceselor continue*

Acest model este reprezentat printr-un set de ecuații diferențiale neliniare sau cu derivate parțiale, acestea din urmă putând fi aduse tot la forma unui sistem diferențial standard:

$$\dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + f_i(x_i, a_i) + v_i(x), \quad (1)$$

$$x_i(0) = x_{i0} \quad (2)$$

$$v_i(x) = \sum_{j=1, j \neq i}^n g_{ij}(x_j) \quad (3)$$

$$x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, \quad (i = 1, 2, k, \dots, n) \quad (4)$$

unde:  $x_i, v_i: R^n \rightarrow R$ ,  $u_i: R^m \rightarrow R$ ;  $A_i, B_i$  sunt matrici de stare și control,  $f_i$ -o funcție vectorială, descriind neliniaritățile din proces. Dubla inegalitate (4) interpretează dorința expertului ca starea  $x_i$  să aparțină intervalului de suboptimalitate  $[x_{i\min}, x_{i\max}]$

*Modelul de simulare numerică a proceselor cu timp discret*

Modelul de simulare numerică a proceselor cu timp discret al unui sistem complex este un set de ecuații nonliniare cu timp discret, rezultate din discretizarea modelului de simulare continuu:

$$x_i(k+1) = A_i x_i(k) + B_i u_i(k) + f_i(x_i(k), \alpha_i) + v_i(x(k)) \quad (5)$$

incluzând și relațiile (2)-(4);  $k$  ia valori din mulțimea de valori discrete  $\{k_0, k_1, \dots, k_i, \dots, k_f\}$ .

*Modelul de simulare numerică a proceselor cu evenimente discrete*

Modelul matematico-euristic include și un model de simulare numerică cu evenimente discrete, a cărui formă standard este un set de ecuații diferențiale booleene:

$$X_i(k+1) = F_i(X_1(k), X_2(k), \dots, X_n(k), U_1(k), U_2(k), \dots, U_m(k)) \quad (6)$$

$$Y_j(k+1) = G_j(X_1(k), X_2(k), \dots, X_n(k), U_1(k), U_2(k), \dots, U_m(k)) \quad (7)$$

unde  $X_i$  și  $Y_j$  iau valori din mulțimea booleană  $\{0,1\}$ ,  $F_i$  este funcția de stare cu evenimente discrete, iar  $G_j$  este funcția de ieșire cu evenimente discrete. Ambele funcții  $F_i$  și  $G_j$  sunt funcții booleene. Fie  $x_i(t)$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) stările sistemului continuu simulat; presupunem că variabila  $t$  este discretizată în aceeași manieră ca și  $T$ . Putem defini variabilele cu evenimente discrete:

$$X_i(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_i(t) \in [x_{i\min}, x_{i\max}] \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (8)$$

$$U_j(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } u_i(t) \rightarrow x_i(t+1) \in [x_{i\min}, x_{i\max}] \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (9)$$

unde  $[x_{i\min}, x_{i\max}]$  este așa numitul interval de suboptimalitate al lui  $x_i(t)$  stabilit de către expert.

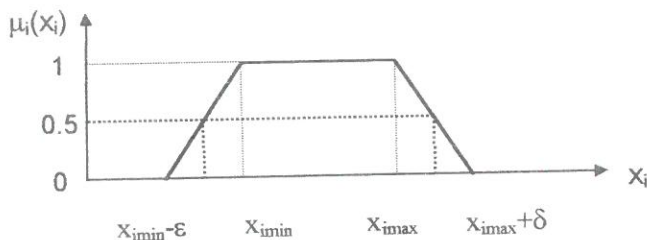
*Modelul de control bazat pe cunoștințe fuzzy*

Problema de control este de a menține variabilele de stare  $x_i(k)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $k = 0, 1, \dots, k_f$  în intervalele de (sub)optimalitate  $[x_{i\min}, x_{i\max}]$ . Nodelul de control este un model fuzzy. Variabilele de stare  $x_i(k)$  aparțin unuia din intervalele date în tabelul 1, ca și  $dx_i(k) = x_i(k) - x_i(k-1)$ :

**Tabloul 1. Valorile calitative ale variabilelor de stare și derivatelor acestora**

| Interval $x_i$  | $< x_{i\min} - \varepsilon$ | $[x_{i\min} - \varepsilon, x_{i\min}]$ | $[x_{i\min}, x_{i\max}]$ | $(x_{i\max}, x_{i\max} + \delta]$ | $> x_{i\max} + \delta$ |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| $x_i$           | VS                          | S                                      | O                        | L                                 | VL                     |
| Interval $dx_i$ | $< -\alpha$                 | $[-\alpha, 0)$                         | 0                        | $(0, \beta]$                      | $> \beta$              |
| $dx_i$          | -L                          | -S                                     | Z                        | S                                 | L                      |

unde: VS = Very Small, S = Small, O = (sub) Optimal, L = Large, VL = Very Large, Z = Zero, sunt valori calitative (în sensul teoriei mulțimilor fuzzy). Variabilele de stare  $x_i$  aparțin mulțimii:  $\mathcal{X} = \{VS, S, O, L, VL\}$ , în timp ce derivatele aparțin mulțimii:  $d\mathcal{X} = \{-L, -S, Z, S, L\}$ . Calculul funcției de apartenență  $\mu_i(x_i)$  se face utilizând reprezentarea trapezoidală, din figura 3.



**Figura 3. Reprezentarea trapezoidală a funcției de apartenență**

Din figura 3, putem deduce:

$$\mu_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_i \in [x_{i \min}, x_{i \max}] \\ 0, & \text{if } x_i < x_{i \min} - \varepsilon, \text{ or } x_i > x_{i \max} + \delta, \\ \frac{1}{\varepsilon} x_i - \frac{x_{i \min} - \varepsilon}{\varepsilon}, & \text{if } x_i \in [x_{i \min} - \varepsilon, x_{i \min}] \\ \frac{-1}{\delta} x_i + \frac{x_{i \max} + \delta}{\delta}, & \text{if } x_i \in (x_{i \max}, x_{i \max} + \delta] \end{cases} \quad (13)$$

Formula de calcul a noii variabile de control,  $u_i(k+1)$ , capabilă de a reintroduce variabila de stare  $x_i(k)$  în intervalul de (sub)optimalitate este:

$$u_i(k+1) = u_i(k) + K_{ui} \Delta u_i(k) \quad (14)$$

unde  $\Delta u_i(k)$  este un increment care se calculează după formula de calcul

$$\Delta u_i(k) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(x_i) \cdot u_i(k)}{\sum_{i=1}^n \mu_i(x_i)}, (i=1,2..n) \quad (15)$$

Rezultă mulțimea regulilor de control al unui sistem complex, bazată pe cunoștințe fuzzy:

$$\langle \text{Dacă } (x_i(k) \text{ este } \chi_i) \wedge (dx_i(k) \text{ este } d\chi_i), \text{ atunci legea de control este } \langle u_i(k+1) = u_i(k) + K_{ui} \Delta u_i(k) \rangle, \quad (16)$$

( $i = 1, 2, \dots, n$ )

Subliniem faptul că numărul de reguli de control fuzzy este  $25n$ .

Utilizând forma generală a regulilor de control fuzzy dată de (16), Tabloul 1 și coeficienții  $K_{ui}$  (dați de către expert), ca și incrementul  $\Delta u_i(k)$  calculat cu formula (15) se generează automat regulile de control fuzzy. Pentru fiecare variabilă de stare  $x_i(k)$  se obțin 25 reguli de control fuzzy și, în total,  $25n$  reguli ( $i=1,2,\dots,n$ ).

Mulțimea celor 25 de reguli de control fuzzy ale variabilei de stare  $x_i(k)$  este:

$\langle \text{If } (x_i(k) \text{ is VS}) \wedge (dx_i(k) \text{ is -L}), \text{ Then the new control law is: } \langle u_i(k+1) = u_i(k) + K_{11} \Delta u_i(k) \rangle,$

$\langle \text{If } (x_i(k) \text{ is VS}) \wedge (dx_i(k) \text{ is -S}), \text{ Then the new control law is: } \langle u_i(k+1) = u_i(k) + K_{21} \Delta u_i(k) \rangle,$

.

$\langle \text{If } (x_i(k) \text{ is VL}) \wedge (dx_i(k) \text{ is L}), \text{ Then the new control law is: } \langle u_i(k+1) = u_i(k) + K_{55} \Delta u_i(k) \rangle,$

Mulțimea de reguli de control fuzzy pentru  $x_i(k)$  poate fi privită ca fiind generatorul tuturor regulilor de control fuzzy, pentru  $i=1,2,\dots,n$ .

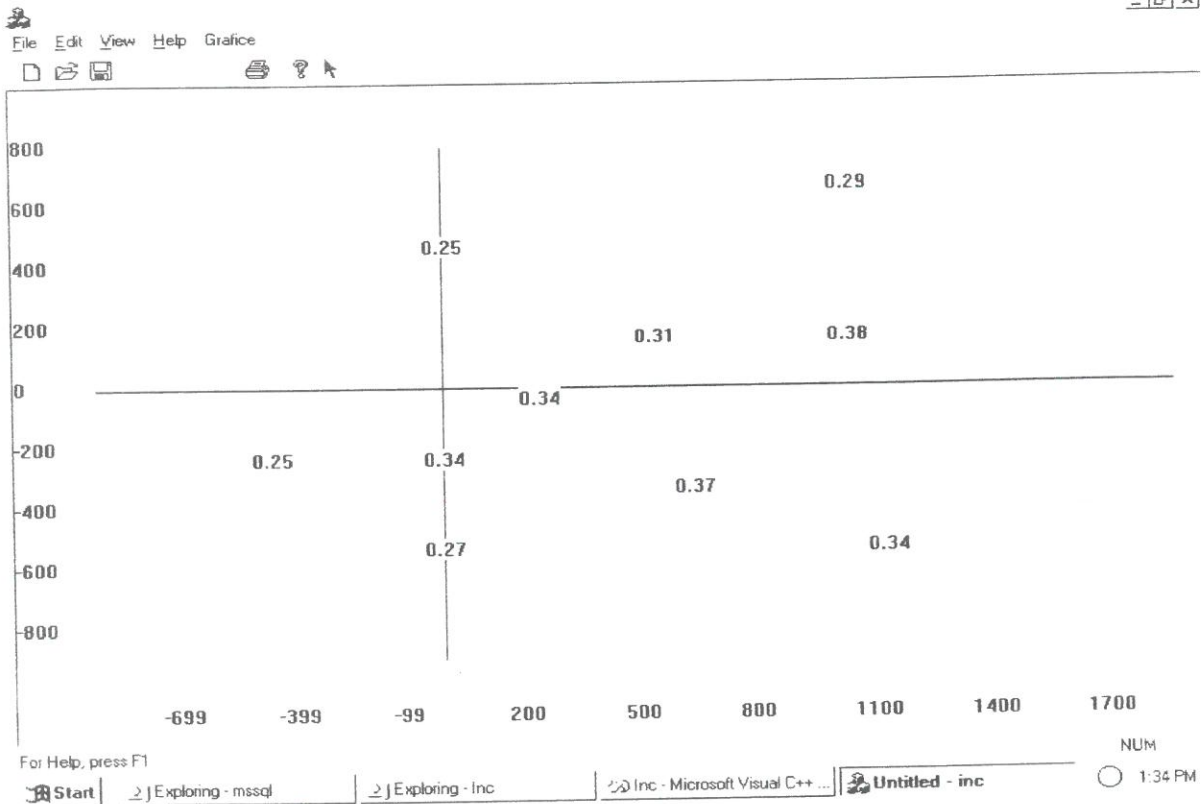
*Remarcă.* Subliniem faptul că modelul matematic al procesului controlat și modelul de control fuzzy nu sunt a priori automat compatibile, în sensul că modelul de control asigură reintroducerea variabilelor de stare în intervalele de suboptimalitate, atunci când ele ies din aceste intervale. Pentru a asigura compatibilitatea acestor două feluri de modele, a fost elaborat o teoremă de compatibilitate [6].

#### 4. Rezultate de simulare

Cu ajutorul modelelor de simulare numerică, existente în Biblioteca de modele de simulare și control pentru ecologie și protecția mediului, s-au obținut rezultate de simulare a unor procese care interesează în cel mai înalt grad sistemele ecologice și protecția mediului.

*Simularea numerică a difuziei poluanților chimici industriali în atmosferă (orașul București)*

Cu ajutorul unui model matematico-euristic, care include un model gaussian de simulare numerică a dispersiei poluanților chimici industriali în atmosferă, un model cu evenimente discrete și un model de control fuzzy, s-a simulat procesul de difuzie a mai multor poluanți, datorat mai multor surse de poluare, situate pe o platformă industrială în orașul București [3], [4]. Rezultatele obținute pentru  $SO_2$  sunt prezentate în figura 4.

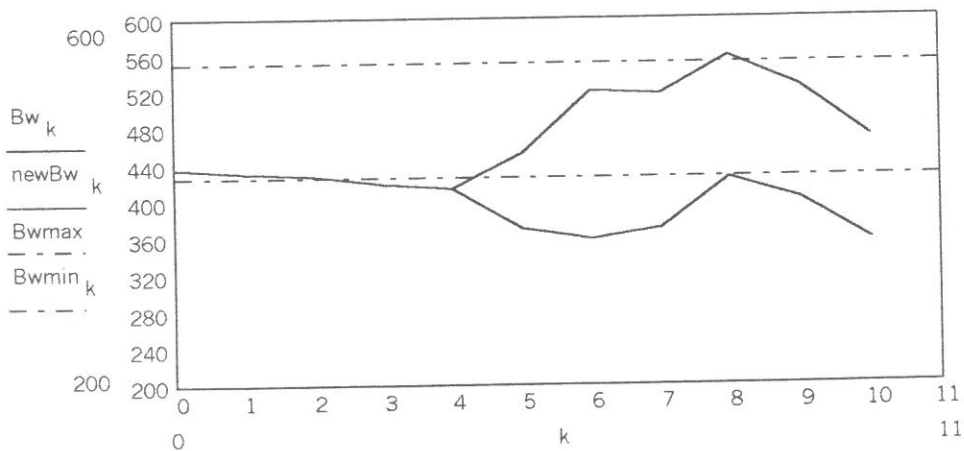


**Figura 4. Simularea numerică a procesului de dispersie a poluantului SO<sub>2</sub> datorată la 10 surse de poluare**

Rezultatele de simulare, confirmate de măsurători, au permis fundamentarea unor măsuri de reducere a concentrației poluantului în zona, ca de exemplu, înălțarea coșului de evacuare a gazelor, reducerea timpului de emisie, utilizarea de filtre și altele.

*Simularea numerică a proceselor într-un ecosistem forestier (din Munții Bucegi)*

Cu ajutorul unui model matematico-euristic, de simulare numerică, incluzind modele de simulare numerică a sistemului sol, modele de simulare numerică a procesului de fotosinteză, modele de simulare numerică a biodiversității și un model de control fuzzy o biomasei, s-au obținut rezultate de simulare ca cele din figura 5.



**Figura 5. Simularea numerică a dinamicii biomasei lemnoase (în t/ha) în ecosistemul forstier din Munții Bucegi:**

- după o calamitate naturală (curba inferioară)
- după intervenția antropică (curba superioară)

Figura 5 pune în evidență efectele calamității naturale (secetă, doborâtură de vânt) și posibila exploatare nerațională, dar și efectele benefice ale intervenției antropice (reîmpădurire, exploatare rațională).



### Simularea numerică a proceselor într-un ecosistem deltaic (Delta Dunării)

Simularea numerică s-a efectuat cu ajutorul unui model matematico-euristic, care include un model hidrologic, modele ale proceselor bio-chimice și bio-fizice, un model al biodiversității și un model de control fuzzy al factorului de îmborsărire al apei. Figura 6 prezintă rezultate de simulare a debitelor de apă, pe canalele de intrare din Dunăre în 6 lacuri dintr-o depresiune lacustră. Se observă pe grafice dacă, în anumite perioade de timp, debitele depășesc anumite valori, existând pericolul de inundație. În asemenea cazuri, intră în funcțiune sistemul de alarmare.

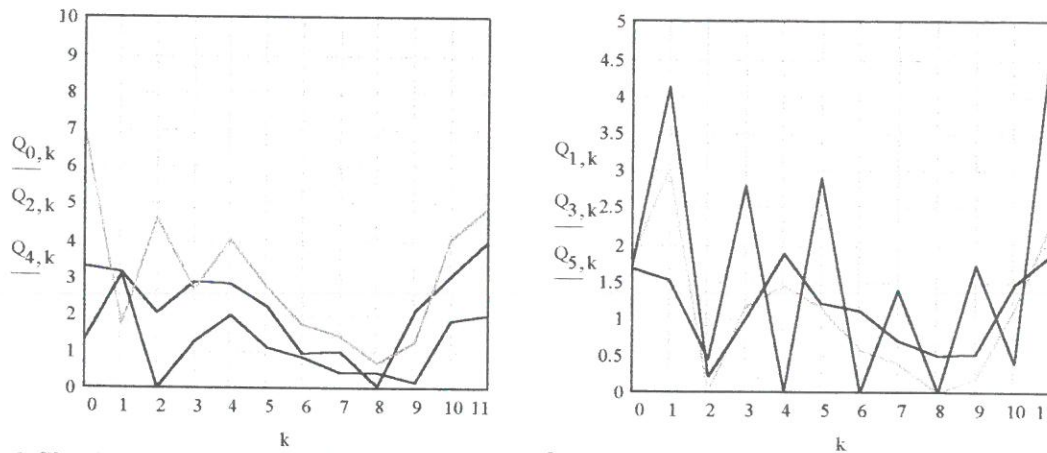


Figura 6. Simularea numerică a debitelor de apă (în  $m^3/sec$ ) pe canalele de intrare din Dunăre în lacurile unei depresiuni lacustre

### Simularea numerică a unei populații de păsări ihtiofage (populația de cormoran din Delta Dunării)

Populațiile de păsări ihtiofage din Delta Dunării (cormoran, pelican etc) reprezintă o componentă importantă a ecosistemului atât prin rolul lor de sanitari ai deltei, cât și prin valoarea turistică. În același timp, un număr prea mare de specimene poate duce la scăderea biomasei piscicole, cu consecințe economice nedorite. Modelul matematico-euristic al populației de cormoran permite menținerea, în limitele de suboptimalitate, dorite de către experți, a acestui număr, așa cum se vede în graficele din figura 7.

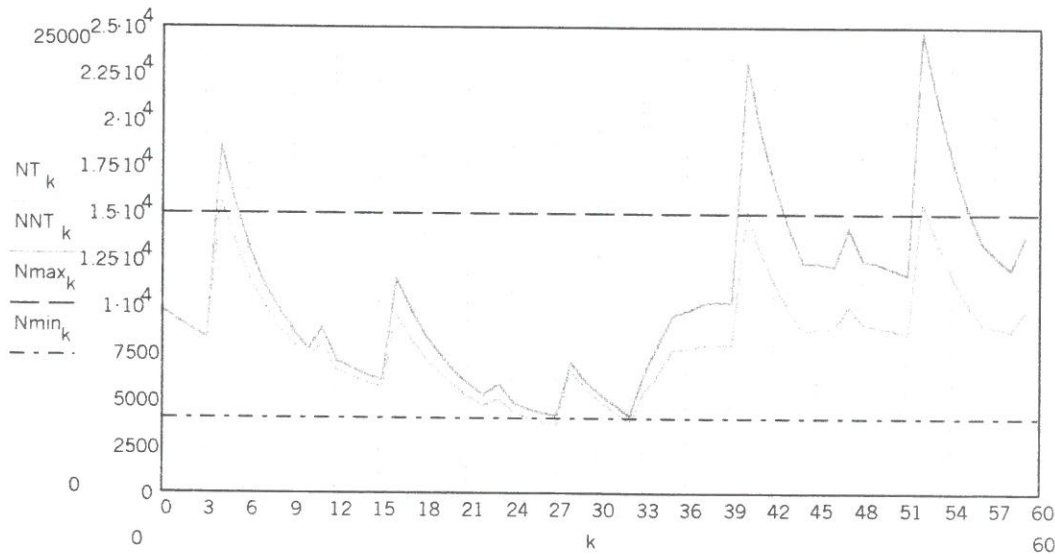


Figura 7. Simularea numerică a dinamicii populației de cormoran din Delta Dunării:

- evoluția naturală (curba superioară)
- evoluția controlată de om (curba inferioară)

Simularea pe un interval de 60 de luni, prezentată în figura 7, arată că, în urma intervenției antropice, populația se menține în limitele de suboptimalitate.

## Concluzii

Motivația realizării unui sistem complex, pentru managementul mediului și difuzare publică a informațiilor privind mediul, are un dublu suport:

- asistarea managerilor care iau decizii în domeniul mediului de către un sistem complex, pentru managementul mediului, care să permită luarea de decizii științific fundamentate, bazate pe principii derivate din ecologie; dintre principiile generale pentru protecția mediului, derivate din ecologie, amintim: prezervarea echilibrului ecologic, conservarea biodiversității (genofondului și a ecofondului), diminuarea drastică a gradului de poluare a apei, solului și a aerului, exploatarea rațională a resurselor naturale ale ecosistemelor mediului; principiile de abordare a unui sistem complex pentru managementul mediului și pentru difuzarea publică a informațiilor privind mediul sunt, de asemenea, prezentate;
- în plus, este nevoie de existența unui sistem de difuzare publică a informațiilor privind mediul către populație și a unui sistem de alarmare timpurie a autorităților, în cazul apariției unor calamități naturale (inundații, secetă prelungită, alunecări de teren, avalanșe, poluarea gravă a aerului, apei și a solului și alte calamități naturale).

Arhitectura sistemului complex, pentru managementul mediului și difuzarea publică a informațiilor privind mediul, este prezentată în figura 1. Această arhitectură, departe de a fi rigidă, este atât modulară, cât și flexibilă; ea va fi îmbunătățită pe măsură ce utilitatea unor noi module se va dovedi necesară.

O contribuție importantă pentru realizarea sistemului complex pentru managementul mediului și difuzare publică a informațiilor privind mediul, o constituie *integrarea subsistemelor (modulelor componente) în cadrul sistemului complex de management al mediului*. În acest context, arhitectura sistemului complex pentru managementul mediului și difuzare publică a informațiilor privind mediul, pune în evidență modulele componente și interacțiunea dintre acestea. În descrierea succintă a modulelor, se avansează unele idei pe care le considerăm utile pentru cei care vor elabora aceste module. Ne referim, în principal, la elaborarea unui sistem de modele matematice, de simulare și control pentru evaluarea riscului de mediu, de apariție a unor calamități naturale (inundații, alunecări de teren, secetă etc) și a urmărilor acestora, la elaborarea unui sistem de alarmare timpurie a apariției unor calamități naturale, la elaborarea unui sistem în tehnologie Internet, destinat gestiunii informațiilor privind evoluția factorilor de mediu, la elaborarea unui sistem expert pentru managementul mediului și, în final, la elaborarea de sisteme pilot pentru managementul mediului și difuzarea publică a informațiilor privind mediul.

## Bibliografie

1. STĂNCIULESCU, FL.: Dinamica sistemelor mari. Aplicații în industrie, energetică, ecologie și socio-economie. Editura Academiei R.S.R., București, 1982.
2. STĂNCIULESCU, FL. Simulation and Control of Environmental Systems Using a Mathematical-Heuristic Model & Algorithm. An application to the Danube Delta. În: Environmental Modelling & Software, Vol. 12, No. 2-3, 1997, pp. 211-218.
3. STĂNCIULESCU, FL.: An Expert System for Large Complex Ecological Problem Solving and Environmental Protection. În: Proc. 1999 Western MultiConference-International Conference on Mission Earth, San Francisco, 1999, pp. 114-119.
4. STĂNCIULESCU, FL.: Fuzzy Expert System for Large Complex Environmental Problem-solving. În: Studies in Informatics and Control, Vol. 8, No. 4, December 1999, pp. 259-272.
5. STĂNCIULESCU, FL., V. POPA, MINA BOBOC, CLARA NICHEL.. O nouă Bibliotecă de Modele de Simulare și Control Aplicații în Ecologie și Protecția Mediului. În: Revista Română de Informatică și Automatică, 1999, vol. 9, nr. 2, pp. 51-63.
6. STĂNCIULESCU, FL.: Mathematical-heuristic Modelling and its Application in High Complexity Systems Simulation. Advanced Tutorial. În: Proc. Eurosim' 2001 Simulation Congress, Delft, The Netherlands, 2001(on CD).

*Mulțumiri.* Autorul mulțumește pe această cale tuturor persoanelor care au contribuit la realizarea lucrărilor de cercetare, legate de Obiectivul VI privind mediul înconjurător și, în special, dr. ing. Florin Hartescu, dr. ing. Liviu Badea, dr. ec. mat. Gabriela Florescu, drd. mat. Zoe Constanta Rădulescu și drd. ing. Vladimir Florian.