

1. Introducere	2
2. Despre sisteme și Teoria Generală a Sistemelor	3
2.1. Despre sisteme	3
2.2. Teoria Generală a Sistemelor (TGS). O privire spre Geostiințe.	5
2.3. Mărimi de stare pentru caracterizarea sistemelor. Exergia. Emergia.	7
3. Despre geosisteme	11
3.1. Definiția geosistemului	11
3.2. Legi ale geosistemelor	12
3.3. Geosistemul Litosferă și interacțiunile lui cu celelalte geosisteme	14
4. Analiza exergetică a ciclului de viață (A.Em.C.V.) și modelul NEOLITOS	21
4.1. Introducere în A.Em.C.V.	21
4.2. Analiza și modelul NEOLITOS	22
4.3. Prezentarea aplicației informatice NEOLITOS	28
5. Modelul exergetic al Litosferei	28
5.1. Model calitativ exergetic pentru evaluarea interacțiunilor Antroposferei, Hidrosferei și Atmosferei cu Litosfera	28
5.2. Interacțiunea exergetică dintre Antroposferă și Litosfera	37
5.3. Managementul litosferei prin aplicația NEOLITOS	43
6. Aplicația NEOLITOS la ingineria geologică a depozitelor de deșeuri	43
6.1. Deșeurile și exergia	43
6.2. Ecuația exergetică a unui depozit suprateran de deșeuri	44
6.3. Corelarea ecuației exergetice cu matricea de interacțiuni pentru cazul unui depozit suprateran de deșeuri	46
6.4. Analiza Neolitos pentru un depozit suprateran de deșeuri	46
7. Studiul de caz: Haldele de cenușă de termocentrală din zona Sânpetru-Brașov	51
7.1. Date generale	51
7.2. Descrierea geologică a depozitului	51
7.3. Analiza Neolitos a haldelor de cenușă Sânpetru-Brașov	54
7.4. Hărți exergetice ale depozitului	55
7.5. Interpretarea rezultatelor	56
8. Concluzii și perspective	57
8.1. Concluzii	57
8.2. Perspective	60
9. Bibliografie	61

10. Material Grafic _____ **buc.**

Planșe foto	9
Hărți și profile geologice	4
Modelul exergetic al Litosferei & hărți exergetice	4
Tabele de calcul & buletine de analiză	28

1. Introducere

Prezenta lucrare, care se încadrează într-o zonă de graniță a Geoștiințelor, mai exact în domeniul Geologiei Mediului, își propune să prezinte și să coreleze informații din următoarele domenii ale Științei:

- Teoria Generală a Sistemelor (T.G.S.);
- Analiza Exergetică a Sistemelor;
- Analiza Ciclului de Viață (A.C.V.) și Analiza Emergetică a Ciclului de Viață (A.Em.C.V.);
- A.Em.C.V. aplicată în domeniul Geologiei Mediului, mai exact în ingineria geologică a depozitelor de deșeuri minerale.

Structurată în opt capitole, ea definește (utilizând cunoștințele aparținând domeniilor precizate mai sus), dezvoltă și folosește următoarele noțiuni:

- **geosistemul**
- **ecuația exergetică a unui sistem** și a mediului său
- **matricea interacțiunilor** (M.I.) între sistem și componentele sale de mediu;
- **modelul exergetic structural al Litosferei** având componentele sistemice:
 - o $SL_1 \equiv$ stratul litosferic al vegetației;
 - o $SL_2 \equiv$ stratul litosferic geotehnic;
 - o $SL_3 \equiv$ stratul litosferic al resurselor naturale;
 - o $SL_4 \equiv$ stratul litosferic pur.
- **modelul de evaluare a interacțiunilor** (elementele matriciale aparținând M.I.) dintre componentele modelului structural al Litosferei inclusiv **procedeul de normare a valorilor exergetice de calcul** a fenomenelor geologice analizate
- calcule exergetice ale unor fenomene geologice cum ar fi alunecările de teren, cutremurele, mișcările geodinamice sau erupțiile vulcanice;
- aplicațiile A.C.V. și A.Em.C.V. la modelul exergetic al Litosferei și care alcătuiesc un tip de analiză exergetică a geosistemelor (structuri geologice aflate în interacțiune cu celelalte geosfere) numită **Analiza Neolitos** (A.N.) prin introducerea următorilor parametri de stare: ● **indicele evoluției emergetice** notat cu $INDICE_{EE}$; ● **indicele evoluției exergetice**, respectiv $INDICE_{EX}$; ● **indicele de stres** sau $INDICE_S$; ● **indicele geo-antropic**, respectiv $INDICE_{GA}$.
- **modelul exergetic al unui depozit suprateran de deșeuri minerale**;
- analiza celor două modele și studiul de caz reprezentat de haldele de cenușă de termocentrală aflate în amplasamentul Sânpetru-Brașov. Hărțile exergetice și emergetice echivalente cu reprezentările spațiale ale indicilor definiți prin Analiza Neolitos vor fi interpretate în corelație cu situația geologică a depozitelor de deșeuri minerale. A fost folosită o rețea de calcul pătratică cu latura de 200 de m alcătuită din 96 de noduri (intersecția a 8 profile orientate N-S cu 12 profile orientate E-V) în care a fost aplicată **Analiza Neolitos punctuală (A.N.P.) parțială** pentru etapa de dezvoltare a depozitului (de construcție emergetică negativă) și **A.N.P. totală** pentru etapa de conservare (stagnare) a depozitului caracterizată prin activitatea de poluare a mediului depozitului alcătuit din componentele Atm , SL_1 & SL_2 .

În finalul acestui capitol introductiv, putem afirma că elementele de noutate ale lucrării prezentate, constau din: ● **abordarea exergetică-emergetică a fenomenelor și structurilor geologice**; ● în etapa a doua s-a trecut la **adaptarea metodologiei A.C.V. și A.Em.C.V. pentru caracterizarea comportamentală a modelului structural al Litosferei**. ● în etapa a treia, pragmatică, pe baza celor dezvoltate în etapele anterioare au fost **caracterizate exergetic-emergetic obiectele geologice-antropice (geotehnice) cele mai simple, reprezentate de depozitele de deșeuri minerale supraterane**.

2.Despre sisteme și Teoria Generală a Sistemelor

2.1. Despre sisteme

Noul dicționar de neologisme al Academiei Române, ediția 1997 definește sistemul ca „*un ansamblu de elemente (principii, reguli, forțe, etc.) aflate într-o relație structurală, de interdependență și interacțiune reciprocă, formând un tot organizat*”.

Prezentarea cronologică a noțiunii de sistem, îl plasează pe savantul-biolog **Ludwing von Bertalanffy** pe prima poziție, în anul 1956. În accepțiunea sa, sistemul este „*un complex de elemente aflate în interacțiune*”. Tot el împarte sistemele în „închise”, cele care nu primesc sau cedează substanță (se admite un posibil schimb energetic) și „deschise” când prin ele intră și ies continuu substanță și energie.[5] În același an, 1956, **A. Hall** și **R. Fagen** dădeau o altă definiție sistemului spunând că reprezintă „*o mulțime de obiecte împreună cu relațiile dintre ele și cu atributele lor*”. Pe baza celor afirmate ei au făcut o altă clasificare decât cea a lui Bertalanffy, astfel sistemele pot fi integrale și sumative. Un sistem este integral dacă modificarea unei părți componente atrage după sine modificarea tuturor părților componente iar unul este sumativ dacă schimbarea unei părți depinde numai de partea respectivă.[5]

În lucrarea „*Principiile sistemelor*”, **J.W. Forrester** (1973) clasifică sistemele în deschise (conform descrierii Bertalanffy) și cu conexiune inversă (cu feed-back). El afirma că un sistem deschis „nu este conștient de propriile realizări” sau „este caracterizat de ieșiri care răspund intrărilor în sistem, dar ieșirile sunt izolate de intrări și nu au nici o influență asupra acestora”. Despre sistemul cu conexiune inversă (cu reacție sau feed-back), pe care-l echivala cu unul „inchis” (în accepțiunea lui Bertalanffy) spunea că „este influențat de propria-i comportare trecută. [9] El are o structură sub formă de buclă închisă, care folosește rezultatele acțiunii trecute a sistemului pentru a comanda acțiunea viitoare.”

De la prima definiție și până astăzi cunoștințele despre sisteme au provenit din domenii diferite, cu particularitățile lor, contribuind la cea ce astăzi numim **Teoria Generală a Sistemelor** (T.G.S.). Bazele s-au pus între deceniile 4 & 7 prin studiile cibernetice ale lui **Norbert Wiener** care definea Cibernetica prin „*știință a controlului și a comunicării la om și mecanisme*”. Alți cercetători care au contribuit la forma de astăzi a T.G.S. cu lucrările lor reprezentative, sunt următorii: ● teoria sistemelor generale ale lui **Ludwig von Bertalanffy** (*General Systems Theory*, New York 1968); ● bazele demersului sistemic construit de **C. West Churchmann** (*The Design of Inquiring Systems*, New York 1971); ● Forrester în lucrarea deja amintită [9]; ● **M.D.Mesarovic** (*Theory of Hierarchical, Multilevel Systems*, New York 1970).

Fiecare sistem are următoarea alcătuire: ● intrările sistemului; ● structura (caracteristica) sistemului; ● ieșirile sistemului.

Sistemele au următoarele proprietăți și calități (attribute) [26]: ● dimensiunea (proprietatea $I=P1$); ● istoria sistemului ($P2$); ● ritmul sistemului ($P3$). Este dependent de structura sistemului; ● ambientul sistemului ($P4$); ● integralitatea ($P5$) (A. Hall și R. Fagen); ● caracterul informațional al sistemului ($P6$); ● reflectarea sistemului ($P7$); ● autoreglarea. Este în legătură cu altă calitate a sistemelor numită echilibru ($P8$); ● echilibrul ($P9$); ● ierarhizarea. Este în strânsă legătura cu proprietatea sistemului numită complexitate ($P10$);

Clasificările sistemelor după criterii care au la bază proprietățile mai sus menționate sunt următoarele:

- $P1$ (dimensiunea) → sisteme microscopice cu dimensiuni de ordinul 10^{-10} m studiate de **Fizica cuantică**, sisteme propriu-zise (metrice) studiate de **Fizica clasică-newtoniană** și sisteme macroscopice studiate de **Fizica statistică** definite de „legea numerelor mari” adică ansambluri cu

peste 10^{25} atomi. Referitor la acțiunile și interacțiunile dintre elemente și dimensiunea fizică a sistemului se observă o relație de inversproporționalitate. [11]

- **P2 & P3** → sistem cu funcționare permanentă și sistem cu funcționare periodică.
- **P4** → sistem izolat, ideal fără schimb energetic sau de materie cu ambientul, sistem închis care efectuează doar schimb energetic cu exteriorul și sistem deschis care are schimb energetic, material și informațional cu exteriorul sistemului;
- **P5** → sistem integral și sistem sumativ [5];
- **P8** → sistem cu conexiune inversă negativă și sistem cu conexiune inversă pozitivă [9];
- **P3** → sistem liniar și sistem neliniar. În [13] sistemele liniare sunt definite prin următoarele ecuații matriciale, după cum urmează:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{E}\mathbf{v} \text{ (unde } \mathbf{x} \text{ reprezintă derivata } dx/dt)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

$$\mathbf{z} = \mathbf{D}\mathbf{x}$$

unde \mathbf{x} , \mathbf{y} , \mathbf{z} , \mathbf{u} , \mathbf{v} sunt *vectori ale unor spații liniare euclidiene finit dimensionale* iar A , B , C , D , E reprezintă *matrici constante dimensionate corespunzător* cu următoarele semnificații:

\mathbf{x} =starea sistemului la momentul T_i și care reprezintă *intrarea sistemului* pentru momentul T_{i+1} ;

\mathbf{u} =comanda sistemului;

\mathbf{v} =perturbația;

\mathbf{y} =mărimea măsurată sau ieșirea; iar

\mathbf{z} =mărimea de calitate sau *caracteristica sistemului*.

Dacă sistemul are starea inițială egală cu cea finală spunem că el este unul staționar.

($dx/dt=0$). Dacă cele două stări nu sunt egale spunem că sistemul este în dezechilibru sau este dinamic ($dx/dt \neq 0$). În [3] sistemele neliniare au ecuația de stare cel puțin de gradul doi, astfel că derivata funcției de stare în raport cu timpul de ordinul 2 este diferită de 0. Elementele neliniare îndeplinesc câteva condiții informaționale, astfel:

- **orientarea** de la intrare (cauze) spre ieșire (efecte) și se exprimă prin sensul de parcurgere al informației;

- **polaritatea** impune că neliniaritățile să redea la ieșire nu numai valoric informația aplicată la intrare ci și semnul;

- **univocitatea** presupune că unei mărimi (valori) de intrare bine determinată îi corespunde o mărime de ieșire (valoare) și numai una.

Sistemele neliniare pot fi staționare (invariante) în timp și nestaționare (dinamice) sau variabile în timp. Caracteristicile statice ale neliniarităților în care informația se transmite instantaneu de la intrări spre ieșiri determină *elementele statice fără memorie*. Elementele neliniare la care transferul de informație de la intrări spre ieșiri nu se face instantaneu, ci are o evoluție în timp care depinde de variația în timp a marimilor de intrare și de dinamica lor proprie se numesc *elemente dinamice cu memorie* iar caracteristicile lor caracteristici dinamice.

- **P10** → sistem și sistem de mare complexitate.

Clasificarea sistemelor se mai poate face având la bază mai multe criterii, dintre care amintim:

A) raportarea la om, un criteriu care împarte sistemele în **naturale (A1)** și **antropice (A2)**. Putem scrie formal:

$$\text{Sistem natural} = A1 \quad (2.1.3.1.)$$

$$\text{Sistem antropic} = A2 \quad (2.1.3.2.)$$

B) în funcție de criteriul domeniul de acțiune prin care înțelegem natura interrelațiilor și legile de interacțiune dintre subsisteme) pentru cele naturale (A1) avem clasificarea:

- **sisteme abiotice (fizico-chimice)**, fără viață (B1) și
- **biotice sau bioecologice**, cele cu viață (B2).

Putem defini următoarele sisteme:

Sistem natural abiotic = A1B1 (2.1.3.3.)

Sistem natural biotic = A1B2 (2.1.3.4.)

Criteriul B aplicat celor antropice (A2) determină următoarea clasificare și echivalențe:

- *sistem social* (legi sociale, **B3**) = A2B3 (2.1.3.5.)
- *sistem economic* (aplicația **B4**) = A2B4 (2.1.3.6.)
- *sistem tehnologic* (**B5**) echivalent cu A2B5 (2.1.3.7.)
- *sistem științific* (aplicația a șasea a criteriului B, **B6**) = A2B6 (2.1.3.8.)
- *sistem de producție* (**B7**) = A2B7 (2.1.3.9.)
- *sistem educațional* (aplicația **B8**) = A2B8 (2.1.3.10.)
- *sistem de sănătate* (**B9**) = A2B9, etc. (2.1.3.11.)

C) criteriul dimensiunii sistemului aplicat clasificărilor anterioare produce următoarea grupare a sistemelor:

- *sistem local* (aplicația întâia a criteriului C, respectiv **C1**);
- *sistem regional* (**C2**). Pentru sistemele antropice în special sensul regional poate însemna județean, național sau chiar continental;
- *sistem global* (**C3**).

Pentru sistemele naturale, cele care în principal fac obiectul prezentării de față putem defini următoarele tipuri de sisteme:

1. *sisteme naturale abiotice locale* = A1B1C1 (2.1.3.12)
2. *sisteme naturale abiotice regionale* = A1B1C2 (2.1.3.13)
3. *sisteme naturale abiotice globale* = A1B1C3 (2.1.3.14)
4. *sisteme naturale biotice locale* = A1B2C1 (2.1.3.15)
5. *sisteme naturale biotice regionale* = A1B2C2 (2.1.3.16)
6. *sisteme naturale biotice globale* = A1B2C3 (2.1.3.17)

Descrierea sistemului de mare complexitate [26] arată următoarele: • este compus dintr-o *mulțime de subsisteme*; • *dimensiunea sistemului* exprimată ca dimensiunea vectorului de stare, depășește o anumită limită (*este mare*); • *structura de interacțiune* dintre subsisteme are un înalt *grad de complexitate*; • *procesele (subsistemele)* implicate în sistem sunt *neliniare*; • *comportarea sistemului* în ansamblu cade *sub incidența principiului de incertitudine*.

Principiul de incertitudine în sistemele de mare complexitate a fost enunțat [26] astfel „starea *X*, a unui subsistem al unui sistem mare, compus din *n* subsisteme interconectate, și interacțiunea sa, cu celelalte *n-1* subsisteme pot fi simultan determinate numai până la un anumit grad de acuratețe”. Complexitatea sistemului este și ea o sursă a incertitudinii. Modelul reprezintă un concept științific folosit de mult timp și care prin apariția calculatorului, mai ales a PC-ului, a suferit mutații conceptuale majore. El urmărește studierea fenomenelor, proceselor, prin simulare. Prin *model de simulare* [26] (al unui sistem, proces, fenomen) se înțelege reprezentarea prin formalism matematic și/sau procedee euristice a proprietăților esențiale ale unui sistem inclusiv a cunoașterii acestuia într-o formă utilizabilă în simulare.

2.2. Teoria Generală a Sistemelor (TGS). O privire spre Științele Geonomice.

Teoria Generală a Sistemelor (*T.G.S.*), în forma și conținutul ei de astăzi, a parcurs timp de 6-7 decenii un drum jalonat de „împrumuturi de informații, metode de lucru și modele” din diverse domenii ale cunoașterii umane. Prin excelență ea reprezintă un produs interdisciplinar despre sisteme și „organizarea” lor.

În esență putem spune despre TGS că este o disciplină care poate studia și/sau descrie orice grup de „obiecte (≡ sisteme) care conlucrează la producerea unui rezultat. În capitoul anterior, explicând evoluția noțiunii de sistem, am amintit câțiva cercetători care au îmbogățit semantic conceptul de sistem și teorie a lor.

Cibernetica, Teoria Catastrofelor, Teoria Haosului, Teoria Complexității au avut un țel comun, respectiv să explice că sistemele complexe reprezintă mulțimi mari de părți (subsisteme) aflate în conexiune și interacțiune între ele. Automatul celular (Cellular automata (CA)), rețelele neurale (neural networks (NN)), inteligența artificială (artificial intelligence (AI)) și viața artificială (artificial life (ALife)) reprezintă domenii de aplicare a TGS care nu încearcă să descrie un singur sistem complex și universal aplicabil. În momentul maturizării conceptuale a procesului cunoașterii prin dezvoltarea celei de a treia componentă, respectiv TGS, putem afirma că sistemul cunoașterii poate fi simulat și studiat printr-un model matematic-euristic al unui sistem complex. Acum cunoașterea umană poate fi asimilată cu un sistem complex aproximat printr-un model hibrid de simulare (matematic-euristic) în care cele trei componente (newtonian, statistic și sistemic) vor coexista permanent iar prin dialectica dezvoltării este asigurat caracterul perpetuu al procesului.

Pentru a explica demersul nostru este important și necesar să creionăm raporturile T.G.S. cu Științele Geomice. De la începuturi, cercetătorii care s-au aplecat pentru înțelegerea Terrei, au fost conștienți de complexitatea fenomenelor observate. Aveau de a face cu sisteme complexe (în sens modern și actual) pentru care era greu de a găsi reprezentări și cuantificări de tip newtonian. Poate de aceea modelele și teoriile despre Pământ s-au născut mai greu. Colaborarea dintre cercetători, observația și diferitele interpretări reprezentau „evenimente discrete” în continuul proces al cunoașterii geomice. Sinergismul era vital și a funcționat. Numai după utilizarea PC-ului în modelarea sistemelor complexe ale Pământului și interpretarea unui volum uriaș de date primare pot să apară modele numerice de simulare și aproximare a fenomenelor geomice.

Un posibil punct de plecare ar putea fi discursul de recepție al *acad. Liviu Constantinescu* în sesiunea publică de primire în Academia Română cu titlul „*Sinergismul în Cercetările Geomice*”. [8] Profesorul L. Constantinescu spunea în deschidere: „*În domeniul științelor Pământului au fost în trecutul mai îndepărtat unele manifestări cu caracter revoluționar relativ modest, ca cele legate de afirmarea actualismului — Lyell, sau de disputa dintre neptunieni — Werner și plutonieni — Hutton, privind formarea rocilor. Dar o adevărată mare manifestare revoluționară, caracterizată nu doar prin lupta dintre concepții de importanță relativ limitată pentru procesul de cunoaștere însuși și prin impunerea uneia dintre ele, ci prin modificări esențiale și radicale ale întregului cadru conceptual existent ca și ale etapelor desfășurării cercetărilor s-a produs în zilele noastre, mai precis în anii '60, adică în deceniul al șaptelea al acestui secol. Ea s-a încheiat prin integrarea coordonată a întregului ansamblu de fapte cunoscute până acum în geștiințe, prin descoperirea de altele noi, ca și prin interpretarea lor coerentă în acest cadru și prin prevederea de situații nebănuite, confirmate de observații, fiind afectate mai mult sau mai puțin — mai curând mai mult — toate disciplinele care au ca obiect structura și fenomenologia Pământului. Această revoluție din cadrul geștiințelor nu este legată în particular de numele unei anumite sau al unor anumitor personalități, deși se pot cita câteva cazuri de persoane cu merite deosebite pentru o fază sau alta, pentru o performanță sau alta ori pentru anumite rezultate ale cercetărilor încheiate cu formularea noii teorii geotectonice, cunoscută sub numele de tectonica plăcilor sau tectonica globală. Noul sistem de cunoștințe privind dinamica porțiunilor de suprafață ale „Pământului solid” se bazează pe principalele rezultate ale unor ample cercetări extinse la întregul Glob terestru, prin impresionante eforturi multi și interdisciplinare, susținute de echipamente și tehnici de primă mână, într-o colaborare strânsă, determinată mai curând de necesități interne de cunoaștere și înțelegere a faptelor decât de coordonări externe, deși nici acestea n-au lipsit în cadrul unor mari*

programe științifice internaționale, începând cu activitățile „Anului Geofizic Internațional” și continuând cu „Proiectul Mantalei Superioare” până la „Programul Interunional al Litosferei”. [8]

Dezvoltând, autorul afirma în continuare „**Sinergismul în cercetările geonomice este tocmai această cooperare multi- și, mai ales, interdisciplinară, pornită chiar de la începutul procesului de investigare și desfășurată pe întregul lui parcurs, cu frecvente sugestii reciproce de repetări (adesea cu anumite adaptări) sau accentuări ale unor operațiuni specifice, aplicate unor obiective date și în etape spațiale/temporale de interes comun deosebit pentru unul sau altul dintre parteneri sau pentru amândoi. Conceput ca utilizare în paralel a unor agenți de investigare diferiți, urmărind același scop final, sinergismul există și în alte domenii — și nu numai în cercetare ci și în aplicații, de exemplu în medicină, unde apare ca aplicarea în paralel a mai multor mijloace terapeutice în tratamentul unor anumite afecțiuni — și este totdeauna caracterizat ca finalitate prin obținerea unui rezultat total mai mare decât suma rezultatelor parțiale ce ar fi fost obținute prin utilizarea izolată a fiecărui agent în parte.**” [8]

Astăzi Științele Geonomice trebuie să răspundă unei problematici cu o complexitate crescândă derivată fie din diversitatea problemelor care trebuiesc rezolvate, fie din interconectarea accentuată a sistemelor geonomice urmare a procesului de globalizare. Abordarea calitativă propusă de fenomenologia sistemică a TGS, este mai „eficientă” prin rezultatele obținute decât o abordare numerică rezultată prin studierea unui model complex cu ajutorul PC-ului. În această cursă contra cronometru (factorul timp în procesul globalizării poluării și a schimbărilor climatice este fundamental) pentru obținerea unei eficiențe pragmatice și a unui raport optim *resurse cheltuite/venituri realizate* este de așteptat recurgerea tot mai frecventă la *metodele statistice și sistemice* în Științele Geonomice. Este momentul și sunt acumulate informațiile necesare trecerii la această etapă. Gestiunea Pământului (Litosferei în principal aflată în conexiune cu celelalte geosfere) într-un proces continuu de consum (numărul de locuitori crește în ritm susținut și deci implicit crește suprafața scoarței terestre antropizată, crește consumul de resurse naturale neregenerabile în același timp cu creșterea gradului de poluare) impune noțiunea de **management al litosferei** prin prisma conceptului de *dezvoltare durabilă*. Studiile pe care **J. Forrester** le publica în *Dinamica Industrială (Industrial Dynamics)* și care-și propuneau eficientizarea organizațiilor economice devin actuale. Ele pot fi aplicate Pământului echivalat cu cea mai complicată întreprindere imaginată și realizată de oameni și pot fi chemate să răspundă la întrebarea „**Cum poate omul să consume cât mai puțină scoarță terestră producând un impact de mediu cât mai mic asupra planetei și având maximul de beneficiu în planul dezvoltării sale ?**”

Într-un *proces de dezvoltare durabilă a scoarței antropizate*, omul fiind prin excelență o ființă „gravitațională” consumatoare de litosferă, trebuiesc luate în calcul noțiuni ca: ● **hazard și risc natural** asociat fenomenelor geonomice destructive cum ar fi cutremurele, vulcanii, valurile tsunami, alunecările de teren, curgerile de noroi și avalanșele de zăpadă, sau inundațiile; ● **consumul (ireversibil) de resurse naturale neregenerabile**, în care putem include pe lângă cele tradiționale energetice și resurse ca solul, scoarța pentru implementarea de noi activități necesare unei lumi în expansiune; ● **deșeurile** fie cele menajere, industriale sau cele provenite din construcții și demolări, periculoase, nepericuloase sau inerte ca „produse” consumatoare de scoarță terestră.

2.3. Mărimi de stare pentru caracterizarea sistemelor. Exergia. Emergia

Punctul de plecare al demersului nostru este acela că legile fundamentale necesare pentru modelarea și evaluarea sistemelor complexe pleacă de la premisa inițială care-l *tratează ca un sistem termodinamic* pentru a cărui explicitare folosește aparatul fizico-matematic al respectivei discipline fizice, respectiv

Termodinamica. Aceasta lucrează cu noțiuni fundamentale ca: *energie (conceptul I= C1), entropie(C2), exergie(C3), anergie(C4) și emergie (C5).*

C1) Conceptul de energie a fost introdus în fizică de către **I. Newton** prin cele două forme numite cinetică (de mișcare) și potențială (de poziție în câmpul gravitațional) la jumătatea secolului al XVII-lea. Conceptul unificat de energie își face loc în fizică la mijlocul secolului al XIX-lea (1850). Astăzi deși este un concept familiar, intuitiv este destul de greu de definit. Energia reprezintă o mărime scalară care nu poate fi observată direct dar poate fi pusă în evidență și măsurată indirect. Pentru a defini energia în sens termodinamic trebuie să pornim de la definirea temperaturii și a echilibrului termic. **Principiul 0 al termodinamicii** afirmă „*Dacă două corpuri A și B sunt în echilibru termic cu un al treilea corp C (termometru), atunci A și B sunt în echilibru termic unul cu altul*”. O altă formulare spune că „*există o mărime scalară numită temperatură, care reprezintă o proprietate a tuturor sistemelor termodinamice (în stări de echilibru), astfel încât egalitatea temperaturilor este o condiție necesară și suficientă pentru echilibrul termic*”.

Termodinamica lucrează cu noțiunea de *căldură ca expresie a energiei*. Căldura este ceea ce se transferă între un sistem și mediul său înconjurător ca rezultat al diferențelor de temperatură. **Primul principiu al termodinamicii** spune următoarele: *dacă Q este energia furnizată sistemului (intrarea sistemului) prin transferul (schimbul) de căldură și W este energia cedată de sistem (ieșirea sistemului) prin efectuarea de lucru mecanic iar ΔU reprezintă variația energiei interne a sistemului fiind egală cu diferența dintre ΔU = U_f - U_i (starea finală f și cea inițială i). Are loc egalitatea*

$$U_f - U_i = \Delta U = Q - W \quad (2.3.1)$$

și care arată că *variația energiei interne a unui sistem este independentă de modul cum sistemul a trecut din starea inițială i în starea finală f*. O reformulare a primului principiu poate fi și următoarea „*Orice sistem termodinamic într-o stare de echilibru posedă o variabilă de stare numită energie internă U a cărei variație dU într-un proces diferențial este dată de ecuația (2.3.1)*”. **Acest principiu al termodinamicii se aplică oricărui sistem complex din natură.**

Al doilea principiu al termodinamicii reprezintă o generalizare a experienței dobândite de om în studiul mașinilor termice. A fost definită mărimea scalară de randament termic, η, astfel

$$\eta = W/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1 \leq 1 \quad (2.3.2.)$$

în care **Q₁** reprezintă căldura primită de sistem iar **Q₂** cea cedată de sistem mediului înconjurător (ambientul) sistemului și care arată că nu toată energia primită de un sistem termodinamic poate fi transformată 100% în lucru mecanic. **Kelvin** împreună cu **Planck** au enunțat astfel principiul al doilea al termodinamicii: „*o transformare al cărui unic rezultat final este de a transforma în lucru mecanic căldura absorbită de la o sursă care se află la aceeași temperatură este imposibilă*”.

Tot legat de energie putem pune condițiile care deosebesc *procesele reversibile* de cele *irreversibile* [4]. Un sistem termodinamic primește energia **Q₁** sub formă de căldură trecând quasistatic din starea A în B printr-o infinitate de stări intermediare executând un lucru mecanic asupra mediului egal cu **W₁**. Să considerăm acum procesul termodinamic invers trecând prin aceleași stări intermediare. Asupra sistemului se efectuează un lucru mecanic **W₂** iar sistemul cedează mediului înconjurător al sistemului energia sub formă de căldură **Q₂**. Dacă sunt îndeplinite condițiile:

$$Q_1 = - Q_2 \quad \text{și} \quad W_1 = - W_2, \quad (2.3.3.)$$

atunci *procesul termodinamic este reversibil*. Dacă egalitățile de mai sus nu sunt îndeplinite atunci *procesul termodinamic este ireversibil*.

C2) Dacă **principiul 0 al termodinamicii** consacră noțiunea de temperatură (**T**) iar **principiul I** pe cel de energie internă (**U**), **principiul II** explică noțiunea de entropie (**S**). Principiul al II-lea al termodinamicii

se aplică doar proceselor ireversibile pentru că numai astfel de procese au un sens natural de desfășurare. Fie un proces reversibil elementar prin care un sistem termodinamic complex primește la temperatura T căldura elementară dQ . Atunci putem defini o funcție de stare S numită entropie care satisface ecuația diferențială

$$dS = dQ / T \quad (2.3.4.)$$

Entropia este de fapt măsura dezordinii din sistem. Cu cât este mai joasă entropia cu atât mai multă căldură poate fi convertită în lucru mecanic util. *Lucrul mecanic în sine poate fi considerat și ca o energie având asociată o entropie nouă*. Entropia este o mărime sumativă. Putem scrie că entropia mediului ambiant este suma entropiei sistemului termodinamic și a entropiei mediului

$$dS_{\text{mediu ambiant}} = dS + dS_{\text{mediu}} \quad (2.3.7.)$$

Presupunem că transferul energetic sub formă de căldură între sistem și mediul său este un proces reversibil. Notăm cu q_0 căldura primită de mediu de la sistem și q_1 căldura primită de sistemul termodinamic. Din relația de conservare a energiei rezultă egalitatea $q_0 + q_1 = 0$. Rezultă că variația elementară de entropie a mediului este:

$$\Delta S_{\text{mediu ambiant}} = \Delta S - q_1/T \quad (2.3.8.)$$

Din (2.3.8.) rezultă că variația entropiei mediului ambiant se poate exprima prin mărimile termodinamice ale sistemului considerat. *Energia devine căldură imediat ce apare dezordinea. Dezordinea devine căldură imediat ce devine energetică*. Principiul al II-lea al termodinamicii în domeniu statistic ne arată că sensul în care au loc procesele naturale, către entropie mai mare, este determinat de legile probabilității, către o stare mai probabilă. *Astfel starea de echilibru este starea de entropie maximă din punct de vedere termodinamic și este starea cea mai probabilă din punct de vedere statistic*.

C3) Denumirea mărimii fizice exergie vine de la extractable energy însemnând energie liberă a sistemului care poate fi utilizată. În 1889, francezul **M. Gouy** a propus introducerea termenului termodinamic **Energie Utilisable**. *Necesitatea introducerii acestei mărimi termodinamice era de a arăta că întotdeauna o parte din capacitatea potențială a sistemului termodinamic de a efectua lucru mecanic se pierde într-un proces real care este unul ireversibil*. În anul 1956, **Z. Rant** propune cuvântul **exergy**. Pentru a defini matematic exergia [4], propunem următorul raționament:

- fie un proces reversibil ce evoluează din starea A în starea B. Lucrul mecanic W_{rev} care poate fi efectuat de sistem este întotdeauna mai mare decât W_{irev} care reprezintă lucrul mecanic efectuat de același sistem în ipoteza sistem ireversibil care evoluează între aceleași stări A și B;
- diferența între cele două lucruri mecanice corespunzătoare ipotezelor *reversibil și ireversibil* se numește ireversibilitate și caracterizează procesele ireversibile:

$$I = W_{\text{rev}} - W_{\text{irev}} \quad (2.3.14.)$$

Ireversibilitatea I este o măsură a lucrului mecanic pierdut într-un proces ireversibil.

- **Teorema Gouy-Stodola** (*Gouy* 1889 & *Stodola* 1898) sau teorema lucrului mecanic pierdut într-un proces ireversibil arată că acesta (lucrul mecanic pierdut) este direct proporțional cu entropia generată, astfel: $I = T_0 S_{\text{gen}}$ (2.3.15.)

în care T_0 este temperatura mediului iar S_{gen} reprezintă entropia generată în procesul ireversibil.

- notând exergia cu X putem spune că exergia pierdută poate măsura ireversibilitatea unui proces sau: $I = X_{\text{pierdută}}$ (2.3.16.)

Teorema Gouy-Stodola este o relație între *exergia pierdută sau distrusă și entropia generată* în univers. Într-un sistem exergia distrusă este egală cu produsul dintre temperatura mediului înconjurător și entropia generată.

Exergia este o măsură a calității energiei mai precis a energiei care poate fi transformată în lucrul mecanic și care poate produce o schimbare a stării materiale a sistemului. Despre diferitele procese care au loc în natură și funcția lor asociată de exergie putem afirma următoarele [4]:

1. pentru starea de referință exergia este 0;
2. funcția exergiei asociată cu energia cinetică (a unui corp în mișcare) este egală chiar cu energia cinetică, nu depinde de presiunea și temperatura mediului;
3. funcția exergiei asociată cu energia potențială este egală chiar cu energia potențială indiferent de presiunea și temperatura mediului;
4. exergia unui sistem închis (în sistem nu intră și nu ies fluxuri) este:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{U}-\mathbf{U}_0) + \mathbf{p}_0(\mathbf{V}-\mathbf{V}_0) - \mathbf{T}_0(\mathbf{S}-\mathbf{S}_0) \quad (2.3.17)$$

iar când au loc fluxuri de masă m relația (2.3.17) devine

$$\mathbf{X} = (\mathbf{U}-\mathbf{U}_0) + \mathbf{p}_0(\mathbf{V}-\mathbf{V}_0) - \mathbf{T}_0(\mathbf{S}-\mathbf{S}_0) + m\mathbf{v}^2/2 + m\mathbf{g}z \quad (2.3.18)$$

5. termenul chimic în funcția exergiei unei substanțe este produsul cu semn schimbat între potențialul chimic al substanței respective și numărul de moli din substanța respectivă prezentă în sistemul termodinamic. Alegerea convențională pentru temperatura de referință este $T_0 = 298,15$ K iar presiunea de referință $p_0 = 101325$ Pa.

6. pentru exergia asociată unei cantități de căldură Q putem scrie

$$\mathbf{X} = Q (1 - T_0/T) \quad (2.3.19.)$$

7. ecuația bilanțului exergetic este dată de relația

$$\mathbf{X}_{\text{intrare}} - \mathbf{X}_{\text{consumată}} = \mathbf{X}_{\text{stocată}} + \mathbf{X}_{\text{ieșire}} \quad (2.3.20.)$$

Fie un sistem S și mediul său ambient M . Presupunem că mediul acționează asupra sistemului printr-un flux exergetic \mathbf{X}_{M_i} . Acesta produce o schimbare (proces ireversibil) în sistem după care aruncă în mediul înconjurător o altă cantitate de exergie \mathbf{X}_{M_f} . Scriem ecuația bilanțului exergetic pentru sistemul analizat, folosind ecuația (2.3.16.), ipoteza de lucru “exergia consumată de sistem prin procesele ireversibile este egală cu exergia pierdută de sistem” și grupând termenii putem scrie :

$$\mathbf{X}_{M_i} - \mathbf{X}_{M_f} = \mathbf{I}_S + \mathbf{X}_{S/\text{stocată}} \quad (2.3.21.)$$

care ne arată că *variația de exergie a mediului ambient, când trimite un flux exergetic asupra unui sistem inclus în acel mediu, este egală cu suma dintre ireversibilitatea fenomenelor produse în sistem și exergia stocată de sistem.*

C4) Pentru a defini *caracterul conservativ al energiei* dar și *posibilitatea de alterare a calității acesteia* putem afirma că energia se subdivide în două părți, mai exact în **exergie** și **anergie**. Putem scrie ecuația:

$$\mathbf{Energia} = \mathbf{anergia} + \mathbf{exergia} \quad (2.3.22.)$$

în care *anergia este acea parte a energiei care nu mai poate fi transformată în lucrul mecanic util.* Chiar și în procesele naturale, fără intervenție a omului, se poate genera anergie. **Folke Gunter** propune o metaforă pentru exprimarea energiei, anergie și exergie, care poate deveni regulă mnemonică [4], astfel:

$$\mathbf{Energia} \text{ (tubul cu pastă de dinți)} = \mathbf{exergia} \text{ (pasta de dinți)} + \mathbf{anergia} \text{ (tubul propriu-zis)}$$

C5) Un concept legat de anergie este acela de **emergie**. Pentru prima dată [4], în anii optzeci, doi cercetători, respectiv **H.T. Odum** și **David M. Scienceman** definesc și folosesc în lucrările lor termenul de emergie. Primul (Odum) considera emergia ca *energie sechestrată (sequestered energy)* iar cel de al doilea ca *memoria energiei (energy memory)*. Pentru prima dată a fost folosită noțiunea de emergie cu sensul de energie înmagazinată (**EMbodied enERGY = emergy**) în teoriile dezvoltate de **Ecologia Sistemelor și Analiza Energetică** începând cu anul 1983. Unitățile de măsură pentru ea au fost adoptate *emjoule* și *emcaloria*. Se notează cu **Em**.

Definiția actuală a emergiei este că ea reprezintă lucrul mecanic (energia în sens larg) efectuat anterior pentru a face un produs sau un serviciu. Se definește ca o măsură a energiei folosite în trecut. Definiția ei matematică pleacă de la cea a puterii exergiei (\mathbf{X}) definită ca variația acesteia în unitatea de timp, respectiv

$$\mathbf{P}_X = d\mathbf{X}/dt \quad (2.3.23)$$

Acum putem defini energia ca suma energiei consumate până la momentul t_0 care la limită înseamnă

$$E_m = \int (t = -\infty \text{ până la } t_0) (P_X dt) \quad (2.3.24)$$

Definim puterea energiei (*empower*) ca fiind fluxul de energie în unitatea de timp. Expresia matematică este:

$$P_{Em} = dE_m / dt \quad (2.3.25)$$

Considerat ca un principiu, *maximul puterii energiei* a fost propus ca un corolar al principiului puterii maxime și este destinat să descrie *legea organizării evoluției*. Principiul puterii maxime a energiei (empower) este în general considerat a fi cel de al patrulea principiu al termodinamicii (Lotka-Odum) pentru că este validat în practică de o întreagă clasă de sisteme fizice și biologice. În anul 2000, H.T. & E.C. Odum defineau acest principiu prin „*În procesele de autoorganizare, sistemele își dezvoltă acele părți, procese și relații pentru maximizarea puterii energiei*”. În concluzie putem afirma că *energia reprezintă cea mai mare parte a energiei și descrie cel mai bine sistemele antropice care la o analiză energetică arată că acestea au un conținut energetic cel mai ridicat (aproape de 100%)*. Pentru un sistem antropic ecuația de conservare a energiei (2.3.22), printr-o aproximare care nu ne duce departe de realitatea înconjurătoare prin care **anergie=energie**, poate fi rescrisă prin:

$$E = E_m + X \quad (2.3.26.)$$

Această ecuație a conservării energiei sistemelor antropice sau antropizate va fi folosită în cadrul acestei lucrări. Rescriem ecuația (2.3.21.) și $X_{PA/sto} = 0$ atunci rezultă

$$\Delta X_M - I_{PN} - X_{PN/sto} = \Delta E_{mPA} \quad (2.3.28)$$

Ecuația ultimă arată că *variația energetică a mediului unui sistem antropic (ΔX_M) din care se îndepărtează ireversibilitatea părții naturale (I_{PN}) și exergia stocată aici ($X_{PN/sto}$) este egală numeric cu variația energetică a părții antropice (ΔE_{mPA})*.

3. Despre geosisteme

3.1. Definiția geosistemului

Din antichitatea clasică ne-a rămas moștenire prefixul GEO (ge la vechii greci și apoi în franceză géo), element component al multor cuvinte legate de Pământul oamenilor.

Globalizarea ca efect al societății informaționale dar și a creșterii interconectivității subsistemelor Terrei au determinat mutații semantice importante ale prefixului GEO. Dacă la începutul secolului al XX-lea prefixul geo împreună cu științele pe care le denumea făceau referire mai mult la scoarța terestră, astăzi el mai mult are un înțeles global, interdisciplinar în care sferile Pământului sunt privite în interacțiune. În acest sens apare oportună definirea noțiunii de GEOSISTEM.

Astfel definim geosistemul ca un sistem de mare complexitate aplicat unui spațiu terestru care poate include toate sferile Pământului: Atmosferă, Hidrosferă, Litosferă, Biosferă și Antroposferă, dar minimal, cel puțin una. [11] În sensul expunerii prezente, introducem următoarea ipoteză de lucru:

sistem de mare complexitate \equiv geosistem.

În acest sens putem afirma că geosistemele sunt guvernate de aceleași principii ca cele ale sistemelor de mare complexitate [26], respectiv: • *principiul de incertitudine*; • *principiul de risc*; • *principiul stabilității*; • *principiul controlabilității*; • *principiul abordării specifice prin modelarea hibridă matematico-euristică*.

Geosistemele se pot clasifica [11] astfel: • de ordinul întâi cum ar fi sistemele: *Litosfera, Atmosfera, Hidrosfera, Biosfera* sau *Antroposfera*; • de ordinul doi sau *geosisteme* (propriu-zise) pot fi locale,

regionale, continentale sau geosistemul global; • de ordinul trei sau *suprageosisteme* și anume: sistemul solar, galaxia și universul..

Oricare geosistem (de ordinul II ≡ sistem de mare complexitate), maxim poate avea patru componente principale [20], definite și explicitate mai jos după cum urmează: • Componenta abiotică sau fizico-chimică (C.F.C.) cuprinde Litosfera, Atmosfera și Hidrosfera reprezentând geosisteme naturale de ordinul I. • Componenta biotică sau bio-ecologică (C.B.E.) cuprinzând Ecosfera (Biosfera + părți ale celorlalte sfere ale Pământului care adăpostesc viața). • Componenta antropologică socio-culturală (C.A.S.C.) cuprinzând Antroposfera socio-culturală. • Componenta antropologică economico-reziduală (C.A.E.R.) care cuprinde Antroposfera economică și reziduală.

Pentru a defini complexitatea mare a interacțiunilor din cadrul geosistemului de ordinul II prezentat anterior, se poate construi matricea interrelațiilor componentelor (interacțiunilor subsistemelor) cu semnificația că un element oarecare A_{ij} al acestei matrici *reprezintă influența elementului i asupra elementului j*.

O astfel de matrice al unui geosistem de ordinul II cu toate cele patru componente (sistem antropic sau atropizat), explicitat, ar arăta după cum urmează:

C.F.C.→C.F.C. Proprietatea de reflexivitate	C.F.C.→C.B.E. <i>Influența mediului abiotic asupra celui biotic</i>	C.F.C.→C.A.S.C. <i>Influența mediului abiotic asupra Antroposferei socio-culturale</i>	C.F.C.→C.A.E.R. <i>Influența mediului abiotic asupra celui economic și rezidual</i>
C.B.E.→C.F.C. <i>Influența mediului biotic asupra celui abiotic</i>	C.B.E.→C.B.E. Proprietatea de Reflexivitate	C.B.E.→C.A.S.C. <i>Influența mediului Biotic asupra Antroposferei socio-culturale</i>	C.B.E.→C.A.E.R. <i>Influența mediului biotic asupra celui economic și rezidual</i>
C.A.S.C.→C.F.C. <i>Influența antroposferei socio-culturale asupra mediului abiotic</i>	C.A.S.C.→C.B.E. <i>Influența antroposferei socio-culturale asupra mediului biotic</i>	C.A.S.C.→C.A.S.C. Proprietatea de Reflexivitate	C.A.S.C.→C.A.E.R. <i>Influența antroposferei socio-culturale asupra mediului economic și rezidual</i>
C.A.E.R.→C.F.C. <i>Influența mediului economic și rezidual asupra celui abiotic</i>	C.A.E.R.→C.B.E. <i>Influența mediului economic și rezidual asupra celui biotic</i>	C.A.E.R.→C.A.S.C. <i>Influența mediului economic și rezidual asupra antroposferei socio-culturală</i>	C.A.E.R.→C.A.E.R. Proprietatea de reflexivitate

3.2. Legi ale geosistemelor

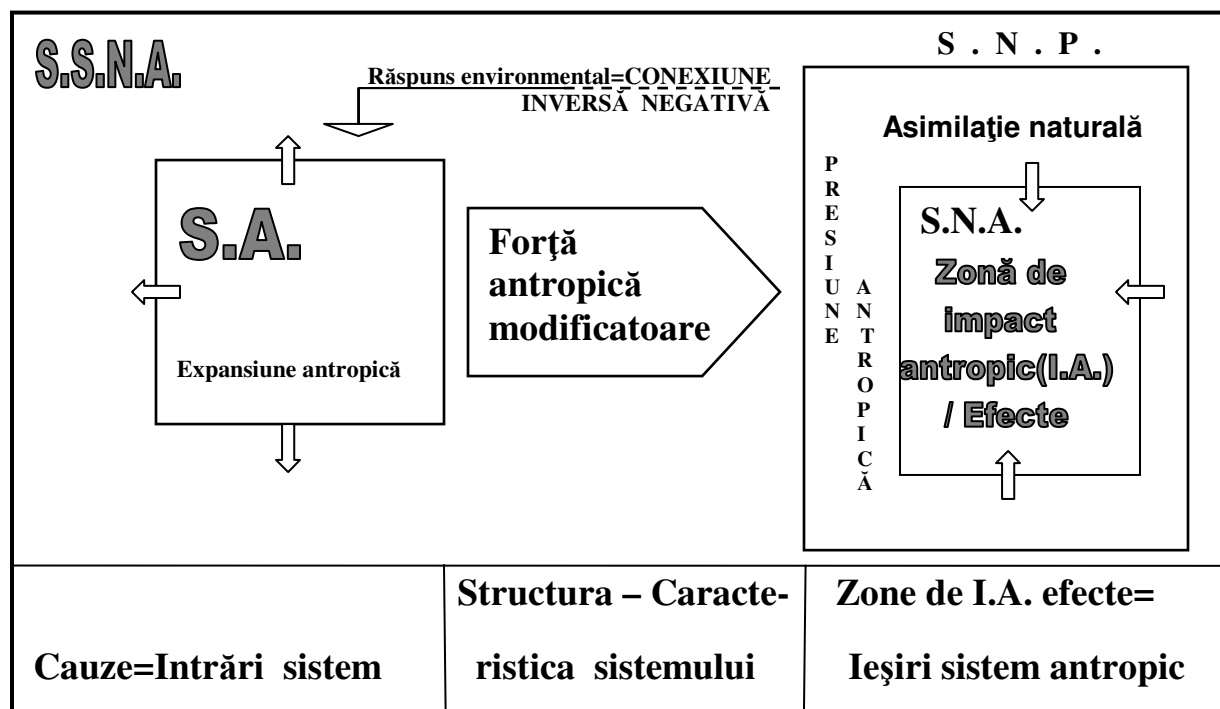
Legile care vor fi folosite pentru modelarea și evaluarea geosistemelor (în sens general, de ordinul I sau II), le clasificăm în:

- *legi de poziție* (A);
- *legi fundamentale* (B).

A) Legile de poziție, în sensul criteriului raportării la om (criteriul A de clasificare, cap 2), au scopul de a explica raporturile dintre sistemele naturale și cele antropice în alcătuirea geosistemelor. Pentru prezentarea lor, adoptăm următoarele notații și convenții:

- **S.N.** = sistem natural (în sensul capitolului precedent, maxim două componente cu matricea de interrelații de $2 \times 2 = 4$ elemente);
- **S.A.** = sistem antropic (are cel puțin trei componente, cu matricea de interrelații de minim $3 \times 3 = 9$ elemente);
- **S.N.A.** = sistem natural antropizat (are dimensiunea până acolo unde se manifestă impacturile antropice indirecte = efecte ale antroposferei parțiale sau globale);
- **S.S.N.A.** = suprasistem natural antropizat adică sistemul natural ierarhic superior care „simte” influența sistemului antropic conținut. Din punct de vedere al conținutului semantic se apropie cel mai bine de conceptul de geosistem (de ordinul II) ca urmare a faptului că toate componentele „naturale” (C.F.C. & C.B.E.) simt impacturile indirecte (de cele mai multe ori directe) ale antroposferei (componentele C.A.S.C. & C.A.E.R.);
- **S.N.P.** = sistem natural pur (propriu-zis) în sensul că nu este afectat de om, greu de identificat având în vedere acțiunea globalizatoare a acestuia (a omului);
- **S.N.A.(-)** = sistem natural antropizat negativ definit până acolo unde se manifestă impacturile indirecte negative;
- **S.N.A.(+)** = sistemul natural antropizat pozitiv (protejat) guvernat de principii de protecția mediului, conservarea biodiversității, etc;
- **S.A.P.** = sistemul antropic pur (propriu-zis)

Schema bloc [11] a unui geosistem (suprasistem natural antropizat) este următoarea:



Putem defini următoarele legi de poziție (spațiale) ale geosistemelor:

(3.2.1) **S.A. \subset S.S.N.A. \equiv legea incluziunii sistemelor antropice în suprasistemele naturale antropizate**

\equiv un proces guvernat de infinitul mare al conexiunii inverse pozitive. Întotdeauna va exista un suprasistem natural antropizat care să includă (\subset) sistemul antropic

(3.2.2) **S.A. = (S.A.P.) U (S.N.A.) ≡ ecuația sistemelor antropice.**

Oricare sistem antropic are o și componentă naturală (în general suportul fizic al sistemului)

(3.2.3) **S.S.N.A. = (S.N.P.) U (S.A.P.) ≡ ecuația generală a geosistemelor**

Întotdeauna într-un suprasistem natural antropizat sau geosistem II, va exista o componentă naturală pură „neatinsă” de om. Pe zi ce trece acest deziderat tinde spre o utopie datorită globalizării. Completează

(3.2.1).

(3.2.4) **$\lim_{S.A.P. \rightarrow S.S.N.A.} (S.S.N.A. - S.A.P.) = S.N.P. \rightarrow 0 \equiv$ legea dezvoltării antropice**

$S.A.P. \rightarrow S.S.N.A.$

Este guvernată de un proces asimptotic de tipul conexiunii inverse negative, respectiv infinitul mic.

Pe de altă parte dezvoltarea antropică reprezintă un proces de creștere, infinitul mare, reprezentând o conexiune inversă pozitivă.

(3.2.5) **$\lim_{S.A.P. \rightarrow S.S.N.} (S.A. - S.A.P.) = S.N.A. \rightarrow 0 \equiv$ legea consumului antropic de mediu**

$S.A.P. \rightarrow S.S.N.$

(legea poluării).

Este complementară cu (3.2.4) și asociată cu (3.2.2.).

B) **Legile fundamentale exacte** pentru modelarea și evaluarea geosistemelor sunt furnizate de:

- procese și fenomene fizico-chimice descrise de Științele Geonomice;
- procese și fenomene biologice și fizico-chimice descrise de Științele Vieții;
- procese și fenomene sociale și culturale descrise de Științele despre Om;
- procese și fenomene economice descrise de Științele Economice și asociate Economiei.

3.3. Geosistemul Litosferă și interacțiunile lui cu celelalte geosisteme

Subiectul acestei lucrări este de a studia Litosfera = L (în sensul conceptului rezultat din „Proiectul Mantalei Superioare“, aproximativ 100 km grosime medie și a cărei influență directă maximă ca adâncime asupra oamenilor, este exercitată prin cutremurele subcrustale și erupțiile vulcanice) în relație cu celelalte geosfere ale Pământului, în special cu Atmosfera (Atm), Hidrosfera (H) și Antroposfera (A). Aceste învelișuri ale Pământului reprezintă pentru Litosferă „mediul ei ambiant“ și care prin fenomenele „exogene“ (raportate la Litosferă și care reprezintă intrări ale sistemului complex) produc schimbări majore ireversibile în structura (sens sistemic) ei. Fenomenele exogene asociate celor trei geosfere, care pot fi permanente, periodice sau excepționale (pentru acestea din urmă sunt necesare definirea noțiunilor de hazard și risc natural), sunt următoarele:

1. Asociate Atmosferei ($Atm \rightarrow$):

a. Precipitațiile atmosferice cu fenomenele implicite de eroziune și sedimentare și manifestările extreme de inundații cu reprezentarea $Atm \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow A$;

b. Dinamica aerului cu fenomenele implicite de eroziune și sedimentare eoliană și manifestările extreme ale uraganelor și tornadelor cu reprezentarea $Atm \rightarrow L \rightarrow A$

2. Asociate Hidrosferei ($H \rightarrow$): Fenomenele de eroziune și sedimentare în procesul de circulație a apei în natură cu reprezentarea $H \rightarrow L \rightarrow A$;

3. Asociate Antroposferei ($A \rightarrow$). Definim următoarele componente ale Antroposferei: • A_1 = Antroposfera vegetației; • A_2 = Antroposfera investițională (geotehnică); • A_3 = Antroposfera resurselor naturale.

Definim următoarele acțiuni prin:

a. În procesul dezvoltării umane (a Antroposferei) prin poluarea rezultată din exercitarea activităților agricole și forestiere cu reprezentarea $A_1 \rightarrow L$

- b. În procesul dezvoltării umane (a Antroposferei) prin implementarea unor activități supraterane cu funcție rezidențială, funcție economică (industrială, agricolă, energetică, de transport, etc), cariere de substanțe minerale utile, halde industriale și de deșeuri municipale, funcție socială, etc, (prin realizarea unor construcții de la cele mai simple până la acumulările artificiale de apă ale amenajărilor hidroelectrice) care folosesc Litosfera (mai exact scoarța terestră) ca strat de bază, de fundare a acestora (domeniul Geotehnicii și al Geologiei Inginerești), cu reprezentarea $A_2 \rightarrow L$;
- c. În procesul dezvoltării umane (a Antroposferei) prin implementarea unor activități subterane de exploatare a resurselor minerale (petrol, cărbuni, gaze naturale, minereuri feroase și neferoase, etc.) cu reprezentarea $A_3 \rightarrow L$

4. În contextul afirmațiilor de mai sus trebuie să detaliem și influența Litosferei asupra Antroposferei ($L \rightarrow A$). Aceste fenomene care de cele mai multe ori sunt distructive (sunt asociate noțiunilor de risc și hazard natural) le putem asocia unor sisteme complexe (\equiv geosisteme) care acționează asupra antroposferei și vom adopta următoarea convenție de notare și reprezentare logico-formală:

- Cutremurele de pământ prin $L^1 \rightarrow A$;
- Alunecările de teren, curgerile de noroi, avalanșele, prin $L^2 \rightarrow A$;
- Erupțiile vulcanice prin $L^3 \rightarrow A$;
- Fenomenele geodinamice prin $L^4 \rightarrow A$;

În cuprinsul acestei lucrări ne vom ocupa de studiul interacțiunilor precizate la punctele 3 & 4. Pentru dezvoltarea capitolului care urmează, vom folosi „legile fundamentale exacte” cu descriere matematică și care permit modele de calcul (simulare numerică continuă sau discretă necesară realizării modelului unui sistem de mare complexitate \equiv geosistem) ale exergiei geosistemelor.

În cuprinsul lucrării noastre ne vom referi la litosferă ca la un sistem stratificat cu următoarea compoziție și convenție de notare și referire:

- stratul litosferic al vegetației, notat cu SL_1 , care reprezintă solul ca resursă naturală sau depozitar al poluării antropice. Grosimea estimată la 1-2 m;
- stratul litosferic geotehnic, notat cu SL_2 , care reprezintă acea parte a litosferei folosită ca fundament pentru construcțiile omului în procesul dezvoltării antropice. Îl estimăm la o grosime de maximum 100 m. Este în strânsă legătură cu noțiuni ca: teren de fundare sau deșeuri în sens general și în special din construcții și demolări (C & D) sau din exploatarea miniere sau energetice;
- stratul litosferic al resurselor naturale, respectiv SL_3 , și care privește acea parte a litosferei care suferă impactul activității umane de exploatare a resurselor naturale (petrol, cărbune, minereuri, etc). Grosimea medie estimată este de cca 10 km;
- stratul litosferic pur, respectiv SL_4 , nealterat de om și care doar el exercită influențe asupra antroposferei prin cutremure, erupții vulcanice sau fenomene geodinamice. Grosimea medie estimată la 100 km (150 km). Pentru a descrie relațiile acestor patru învelișuri putem folosi o relație împrumutată din teoria mulțimilor, respectiv:

$$(SL_1) \text{ inclus în } (SL_2) \text{ inclus în } (SL_3) \text{ inclus în } (SL_4)$$

În acest capitol vom analiza exergetic acțiunea următoarelor fenomene naturale asupra geosistemelor antropice:

- Cutremurele de pământ prin $SL^1_4 \rightarrow A$, pentru care facem aproximarea, că în general discutăm de cutremure subcrustale (mai ales cazul României), că sursa poate fi considerată în exteriorul geosistemului (distanță foarte mare dintre focar și marginea geosistemului). Modelul de calcul pleacă de la egalitatea exergiei cutremurului cu cea a energiei cinetice a undelor seismice;

- Alunecările de teren, curgerile de noroi, avalanșele, prin $SL^2_2 \rightarrow A$. Modelul de calcul pleacă de la egalitatea exergiei fenomenului de curgere cu cea a energiei potențiale transformată în energie cinetică;
- Erupțiile vulcanice prin $SL^3_4 \rightarrow A$. Modelul de calcul pleacă de la egalitatea exergiei erupției vulcanice cu cea a energiei calorice (căldurii) absorbită de geosistemul antropic pentru cazul vulcanilor bazici sau energie calorică și energie cinetică în cazul erupțiilor acide (explozive);
- Fenomenele geodinamice prin $SL^4_4 \rightarrow A$. Având în vedere desfășurarea lor lentă și deplasările relativ mici componenta cinetică poate fi considerată minoră și putem face afirmația că „modelul de calcul pleacă de la egalitatea exergiei fenomenului geodinamic cu cea a energiei potențiale“.

În formularea de mai sus subscriptul reprezintă învelișul litosferei iar semnificația superscriptului este următoarea: $1 \equiv$ cutremur; $2 \equiv$ alunecare de teren, curgere de noroi, avalanșă; $3 \equiv$ vulcan; $4 \equiv$ fenomen geodinamic.

Pentru calculele exergetice ale acestor fenomene naturale ale Litosferei asupra geosistemelor antropice folosim ecuația (2.3.21)

$$\mathbf{X}_{Mi} - \mathbf{X}_{Mf} = \mathbf{I} + \mathbf{X}_{stocată}$$

care ne arată că variația de exergie a mediului ambiant, când trimite un flux exergetic asupra unui sistem inclus în acel mediu, este egală cu suma dintre ireversibilitatea fenomenelor produse în sistem și exergia stocată de sistem.

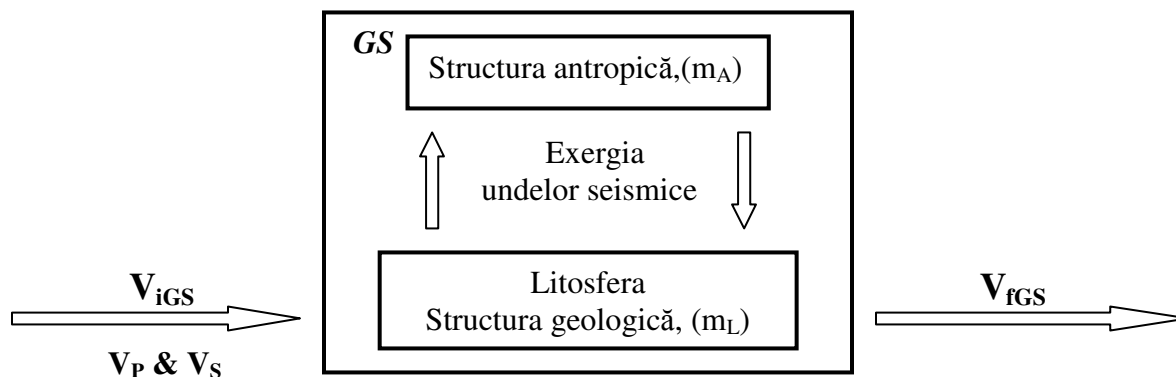
Pentru a descrie geosistemele antropice care le putem echivala cu sisteme naturale care au suferit procese ireversibile de antropizare (I_{antro} = ireversibilitatea antropică) prin activitate economică (generic vorbind) creatoare de entropie (S_{ec}) [5] și/sau energie (E_m) și aplicând teorema lui Gouy-Stodola, ecuațiile 2.3.15 & 2.3.16 putem scrie ecuația de definire a unui geosistem antropic:

$$\mathbf{I}_{PA} = T_0 S_{ec} = \mathbf{X}_{pierdută \text{ prin antropizare}} \quad (3.3.1.1.)$$

Care ne explică că ireversibilitatea antropică realizată prin pierderea exergetică din timpul proceselor în general economice (cu sensul de activitate umană transformatoare a naturii) este egală cu entropia rezultată în cadrul aceluiași fenomen economice înmulțită cu temperatura mediului geosistemului.

Împreună cu ecuația (2.3.28) din capitolul precedent, respectiv: $\Delta \mathbf{X}_M - \mathbf{I}_{PN} - \mathbf{X}_{PN/sto} = \Delta \mathbf{E}_{mPA}$ acestea reprezintă ecuațiile de definire ale unui sistem antropic (antropizat) și care vor fi utilizate în studiul acțiunilor și efectelor cutremurelor de pământ, alunecărilor de teren, erupțiilor vulcanice și fenomenelor geodinamice asupra omului.

Pentru calculul exergetic al unui cutremur propunem modelul de mai jos:



în care semnificațiile sunt V_{iGS} reprezintă viteza undelor seismice la intrarea în geosistem definită de cele două tipuri de unde, respectiv cele primare, longitudinale V_P , de compresiune și cele transversale V_S de forfecare, V_{fGS} reprezintă viteza de ieșire a undelor seismice din geosistem, m_A & m_L reprezintă masele structurii antropice (părții construite) și ale litosferei care însumate dau masa totală a geosistemului. Aplicând ecuația 2.3.21. și 2.3.28 (și considerând că partea naturală a geosistemului $PN \equiv L$, respectiv litosfera) pentru un geosistem având modelul de mai sus putem scrie:

$$(m_L + m_A)(V_{iGS}^2 - V_{fGS}^2)/2 - I_L - X_{L/sto} = \Delta E_{m_A} \quad (3.3.1.2.)$$

care ne arată că variația exergetică a mediului geosistemului în timpul cutremurului, exprimată ca energia cinetică a undelor seismice din care îndepărtăm ireversibilitatea litosferei geosistemului produsă de seism dar și exergia acumulată în scoartă în timpul desfășurării fenomenului, este egală în valoare cu variația emergetică a părții antropice a geosistemului (E_{m_A}).

Prin prelucrări ulterioare rezultă:

$$E_{m_{AS}} = I_L + X_{L/sto} - (m_L + m_A)(V_{iGS}^2 - V_{fGS}^2)/2 \quad (3.3.1.6.)$$

care exprimă energia părții antropice produsă de seism ca fiind egală în valoare cu suma dintre ireversibilitatea litosferei geosistemului antropic și exergia acumulată în timpul seismului în același substrat natural din care se deduce (se scade) variația energiei cinetice a geosistemului la momentele înainte și post seism.

De ecuația (3.3.1.2.) sunt legate (cum vom vedea în continuare) și noțiunile de **hazard** și **risc seismic**. Pentru a da acestor mărimi exprimarea lor energetică plecăm de la definiția acestora folosită în „Metodologia de elaborare a hărților de hazard seismic local pentru localități urbane (H.S.L.L.U.)”, respectiv normativul MP – 026/2004. [30]

Hazardul seismic (H) este o funcție $P(Y>y)$ care descrie probabilitatea ca într-un loc dat (M) și într-un interval de timp (T), valoarea unui parametru Y (care poate fi: intensitatea macro seismică, accelerația, viteza sau deplasarea solului) să depășească valoarea dată (y) ca efect al producerii unui cutremur (indiferent unde s-ar afla focarul acestuia). Putem particulariza pentru intensitatea seismică.

Vulnerabilitatea seismică (V) este exprimată prin raportul dintre valoarea pierderilor înregistrate, ca urmare a distrugerilor produse de un cutremur și valoarea totală (economică și socială) anterioară seismului. Această mărime poate fi exprimată prin energia părții antropice astfel putem scrie că vulnerabilitatea are expresia

$$V = E_{m_{AS}} / E_{m_{AaS}} \quad (3.3.1.7.)$$

și bazându-ne pe relația (3.3.1.6.) putem să o definim în funcție de intrările (masa geosistemului, viteza undelor seismice V_{iGS}) și ieșirile (V_{fGS} reprezentând viteza undelor la ieșirea din geosistem, ireversibilitatea litosferei produsă de seism I_L și exergia stocată de partea naturală-geologică a geosistemului $X_{L/sto}$) din geosistemul antropic, respectiv:

$$V = [I_L + X_{L/sto} - (m_L + m_A)(V_{iGS}^2 - V_{fGS}^2)/2] / E_{m_{AaS}} \quad (3.3.1.8.)$$

Riscul seismic specific (r_s) reprezintă probabilitatea ca într-un loc dat să se producă, într-un interval de timp dat, un procent dat de pierderi din valoarea totală (economică și socială), ca efect al unui cutremur ce ar produce, în acel loc, efecte caracterizate de valori ale parametrilor considerați (intensitatea, accelerația, viteza de deplasare a solului) mai mari decât o anumită valoare.

Exprimarea matematică a riscului seismic specific este: $r(s) = H \times V$ (3.3.1.9.)

Riscul seismic (R) reprezintă probabilitatea de a se produce o pagubă calculată ($V_{tot} = E_{m_{calculată}}$) într-un punct în care riscul seismic specific este r_s , deci: $R = r_s \times E_{m_{calculată}}$ (3.3.1.10.)

Rezultă că putem exprima riscul seismic (R) cu ajutorul hazardului seismic (H) și al vulnerabilității (V): $R = H \times [I_L + X_{L/sto} - (m_L + m_A)(V_{iGS}^2 - V_{fGS}^2)/2] / E_{m_{AaS}} \times E_{m_{calculată}}$ (3.3.1.11.)

Analiza relației de mai sus arată următoarele interdependențe între riscul seismic R substratul natural al geosistemului antropic L (litosfera în sens generic) și partea antropică:

1. cu cât ireversibilitatea litosferei este mai mare și exergia acumulată aici în timpul seismului crește cu atât riscul seismic este mai mare;
2. riscul seismic și hazardul seismic sunt mărimi direct proporționale. Hazardul seismic este un parametru care depinde în principal de structura geologică regională, majoră (poziția față de focarul seismului, unitățile geologice majore, sistemul tectonic activ, etc) și în secundar de condițiile geologice și tectonice ale litosferei care reprezintă substratul natural al geosistemului antropic;
3. riscul seismic și emergiența părții antropice anteseism sunt mărimi invers proporționale, mai ales dacă crearea acestei emergiențe ($E_{m_{As}}$) a avut la bază principiile proiectării antiseismice;

Pentru dezvoltarea modelului exergetic al unei alunecări de teren facem următoarele notații: ● compartimentul inferior al alunecării (al curgerii de noroi sau avalanșei) sau compartimentul static, **CS**, definit ca zona 1; ● planul de alunecare, **PA**, definit ca zona 2; ● compartimentul superior al alunecării (al curgerii de noroi sau avalanșei) sau compartimentul dinamic, **CD**, definit ca zona 3; ● E_p reprezintă energia potențială (de poziție), E_c reprezintă energia cinetică (de mișcare) iar U reprezintă energia internă.

Dacă vom considera sistemul alunecării de teren (curgere de noroi sau avalanșă) compus din cele trei zone ca fiind un sistem care nu schimbă energie sau materie cu exteriorul și aplicăm principiul conservării energiei, putem afirma că energia anterioară fenomenului (expresia 1 = energia potențială a CD (E_{pCD}) + energia internă inițială a PA (U_{PAi})) este egală cu energia post fenomen (expresia 2 = energia cinetică a CD (E_{cCD}) + energia internă finală a PA (U_{PAf})), respectiv

$$(1) = E_{pCD} + U_{PAi} = E_{cCD} + U_{PAf} = (2) \quad (3.3.1.12.)$$

Ecuția de mai sus ne arată că transformarea energiei potențiale a compartimentului dinamic într-una cinetică este egală cu variația energiei interne a zonei planului de alunecare.

Pentru a defini ecuația exergetică a fenomenului plecăm de la ecuația exergetică a unui sistem în funcție de mediul său (2.3.21.) și prin prelucrări devine $-\Delta U_{PA} = I_{CD} + X_{CDsto}$ (3.3.1.14.)

și care arată că variația de energie internă a planului de alunecare (termenul stâng al ecuației) este egală în valoare cu ireversibilitatea acestei zone produsă în timpul fenomenului de alunecare la care se adaugă exergia stocată în aceeași zonă.

Pentru a realiza calculul exergetic al unei erupții vulcanice considerăm vulcanul ca fiind geosistemul iar zona înconjurătoare, ca „mediul“ său. În acest caz o erupție vulcanică raportată la geosistemul vulcan este un proces exogen. Vulcanul cedează mediului său înconjurător energia cinetică și calorică a magmei (lavei). Energia cinetică se transmite sub două forme, respectiv: ● cea legată de fenomenul de ascensiune a magmei care poate induce seisme sau declanșa alunecări de teren; ● cea legată de fenomenul dinamic (curgere) al lavei pe versanți sau cea legată de piroclastitele care lovesc mediul înconjurător al vulcanului (care poate fi asemănată cu o aruncare într-un câmp gravitațional în care are loc fenomenul de transformare (simbolizat prin \rightarrow) $E_c \rightarrow E_p \rightarrow E_c$).

Pentru a face calculul exergetic al unei erupții vulcanice introducem notațiile cu următoarele semnificații: ● m_M = masa magmei care din rezervor prin mișcare ascensională ajunge la suprafață producând fenomene ireversibile mediului geosistemului vulcan; ● V_L = viteza de intrare a lavei în crater; ● H_L = înălțimea de la care energia potențială a lavei începe transformarea în energie cinetică fie este înălțimea de aruncare ptr. erupțiile acide sau cota conului vulcanului ptr. erupțiile bazice fluide; ● ΔU_V = energia internă a vulcanului; ● Q_L = cantitatea de căldură a lavei care va fi cedată mediului înconjurător; ● ΔU_C = energia internă a coșului vulcanului; ● E_{CM} = energia cinetică a lavei cedată mediului înconjurător al vulcanului sub forma unor unde de tip seismic care pot induce seisme sau alunecări de teren prin fenomenul de lichefiere sau pur și simplu de deplasare a compartimentelor de

scoarță; • E_{CL} = energia cinetică a lavei la intrarea în crater (ieșirea din zona coșului vulcanic); • E_{PL} = energia potențială maximă a lavei în zona în care începe transformarea în energie cinetică.

Ecuția energetică a vulcanului poate fi scrisă astfel:

$$\Delta U_V = \Delta U_C + E_{CM} + E_{PL} + E_{CL} + Q_L \quad (3.3.1.15)$$

pentru care avem două cazuri, respectiv:

- erupție acidă, explozivă cu $E_{PL} \neq 0$;
- erupție bazică fluidă cu $E_{PL} = 0$ și o curgere cu o energie cinetică care presupune o viteză inițială, respectiv V_L .

După calcule au rezultat egalitățile:

$$\Delta U_C + E_{CM(PN)} + E_{PL(PN)} + E_{CL(PN)} + Q_L(PN) - I_{PN} - X_{PN/sto} = \underline{TERMENUL_{PN}} \quad (3.3.1.18a)$$

$$\Delta E_{mPA} - (E_{CM(PA)} + E_{PL(PA)} + E_{CL(PA)} + Q_L(PA)) = \underline{TERMENUL_{PA}} \quad (3.3.1.18b)$$

$$\underline{TERMENUL_{PN}} = \underline{TERMENUL_{PA}} \quad (3.3.1.18c)$$

Sistemul de ecuații de mai sus arată că variația energetică a părții antropice a geosistemului este proporțională cu energia internă a rezervorului magmatic eliberată în mediul înconjurător al vulcanului din care face parte și geosistemul antropic considerat.

Prin fenomen geodinamic în sensul acestui capitol și al prezentării înțelegem fenomenele de deplasare a plăcilor tectonice și fenomenele dinamice legate de izostazie. Construcția exergetică a unui fenomen geodinamic pleacă de la ecuația (2.3.21.) care definește variația exergetică a „mediului” unui sistem ca fiind egală cu ireversibilitatea produsă în sistem în timpul variației exergetice cumulată cu exergia stocată de sistem și ecuația 2.3.28 care arată că pentru un geosistem antropic care conține o parte naturală (PN) și una antropică (PA) și care propriul său mediu putem scrie

$$\Delta X_M - I_{PN} - X_{PN/sto} = \Delta E_{mPA}$$

în care ΔE_{mPA} reprezintă variația energiei părții antropice în timpul fenomenului exergetic, în cazul acesta în timpul fenomenului geodinamic. Datorită fenomenelor geodinamice (în sensul prezentării noastre) care au o întindere mult mai mare decât cea a geosistemelor analizate putem considera ca un caz „aproape general” că sursa exergetică se află în afara geosistemului sau mai exact aparține mediului acestuia. „Mediul” unui geosistem, în timpul unui fenomen geodinamic, poate acționa asupra acestuia, prin intermediul variației energiei potențiale, cinetice și interne a căror conținut exergetic este reprezentat chiar de aceste energii. În acest sens putem scrie:

$$\Delta X_M = \Delta U_M + \Delta E_{CM} + \Delta E_{PM} \quad (3.3.1.19)$$

și grupând termenii cu indicele PN ecuația 2.3.28 se poate rescrie prin:

$$\Delta U_M + \Delta E_{CM} + \Delta E_{PM} - (I_{PN} + X_{PN/sto}) = \Delta E_{mPA} \quad (3.3.1.20)$$

care ne exprimă variația energetică a părții antropice a geosistemului (daunele produse) ca fiind numeric egală cu diferența dintre variația exergetică a mediului geosistemului unde se află sursa de energie și conținutul exergetic ($I_{PN} + X_{PN/sto}$) al părții naturale a geosistemului.

În capitolul precedent defineam impactul Antroposferei asupra geosistemelor prin următoarele tipuri de acțiuni:

1. prin poluarea rezultată din exercitarea activităților economice cu reprezentarea $A_1 \rightarrow SL_1$
2. implementarea unor activități supraterane cu funcție rezidențială, funcție economică (industrială, agricolă, energetică, de transport, etc), cariere de substanțe minerale utile, halde industriale și de deșeuri municipale, funcție socială, etc, (prin realizarea unor construcții de la cele mai simple până la acumulările artificiale de apă ale amenajărilor hidroelectrice) care folosesc Litosfera ca strat de bază, de fundare a acestora (domeniul Geotehnicii și al Geologiei Inginerești), cu reprezentarea $A_2 \rightarrow SL_2$

3. implementarea unor activități subterane de exploatare a resurselor minerale (petrol, cărbuni, gaze naturale, minereuri feroase și neferoase, etc.) cu reprezentarea $A_3 \rightarrow SL_3$

În toate aceste cazuri pentru a „măsura” impactul antropic asupra mediului natural și în special în cazul nostru asupra „părții naturale” (PN) a geosistemului apelăm la metodologia „analizei ciclului de viață” (A.C.V. sau în engleză L.C.A. reprezentând abrevierile de la Life Cycle Analysis). Standardele internaționale (seria ISO 14000) care tratează strict această problematică sunt următoarele:

- **ISO 14040:** Principiile și cadrul
- **ISO 14041:** Definirea obiectivului și a câmpului de studiu și analiză a inventarului
- **ISO 14042:** Evaluarea impactului ciclului de viață
- **ISO 14043:** Interpretarea ciclului de viață
- **ISO 14048:** Norma internațională a formatului de documente A.C.V.

Analiza Ciclului de Viață „măsoară” impactul asupra mediului al unui produs începând de la utilizarea resurselor naturale care nu se reînnoiesc (SL_3), apoi poluarea rezultată din procesele de fabricație (SL_1) și folosire a produsului, reciclarea și tratarea lui ca deșeu (SL_1 & SL_2). [4] Modelul european de A.C.V. (European LCA) folosește datele privind totalul emisiilor, modul de utilizare a resurselor și folosirea terenului ca date de intrare în Eco-indicatorul 99. A.C.V.-ul lucrează cu trei categorii de impact ambiental: • impact global; • impact regional; • impact local.

În ultimul timp a câștigat teren Analiza Exergetică a Ciclului de Viață (A.E.C.V. sau în engleză *Exergetic Life-Cycle Analysis* \equiv E.L.C.A.) și care își propune dezvoltarea produselor cu emisie exergetică zero sau mai corect minimă. Analiza exergetică are la bază primele două principii ale termodinamicii. În timp ce bilanțul energetic arată transferul de energie într-un sistem sau proces analiza exergetică își propune să identifice „degradarea energiei” sau mai exact să identifice zonele cu pierderi reale energetice ale subiectului cercetat.

Printre primii care au folosit conceptul de analiză exergetică au fost Finnveden și Östlund (1996) care au elaborat metodologii pentru calcularea conținutului exergetic al unui kg de resursă abiotică în stare solidă. A.E.C.V. își propune determinarea distrugerilor de exergie în timpul de viață al produsului (activității unui serviciu). Cumularea distrugerii de exergie în ciclul de viață al produsului reprezintă o măsură a ireversibilității ciclului de viață al produsului (serviciului, activității).

În cadrul A.E.C.V. un termen des întâlnit este cel de **eco-eficiență** (E.E.) și care este în strânsă legătură cu „dezvoltarea durabilă” sau cu termenul de „sustenabilitate”. În raportul *Changing Course* [4] E.E. este definită ca „adăugarea de valoare la un bun sau serviciu folosindu-se resurse mai puține și introducând mai puțină poluare în mediu”.

Termenul de eco-eficiență completat cu cel de „producție mai curată” au determinat apariția „ecologiei industriale” (E.I.) care era definită în publicațiile de specialitate (The Journal of Industrial Ecology) ca fiind „un domeniu științific în care se examinează de manieră sistematică la scară locală, regională și globală fluxurile de materiale și energie, împreună cu utilizările lor în produse, procese industriale, sectoare industriale și în economiile diverselor țări”.

După primii pași făcuți în „termodinamica ciclului de viață al produsului” oamenii au simțit nevoie să detalieze calitățile și fenomenologia consumului energetic la realizarea unui produs. Era nevoie de „istoria termodinamică a produsului” sau detaliat cum au fost consumate resursele materiale și energetice pentru realizarea produsului. Astfel s-a născut **Analiza Exergetică a Ciclului de Viață** (A.Em.C.V. sau în

engleză Em.L.C.A.) a produsului și a apărut o nouă ramură a cercetării ecologice denumită Ecologie Industrială prin care termenul de proces industrial are înțelesul de proces antropic.

4. Analiza energetică a ciclului de viață (A.Em.C.V.) și modelul NEOLITOS

4.1. Introducere în A.Em.C.V.

Analiza ciclului de viață (A.C.V., respectiv în engleză L.C.A. abrevierea de la *Life Cycle Analysis*) reprezintă o metodologie de determinare a impactului produselor și serviciilor (în sens general a proceselor antropice) asupra mediului ambiant.

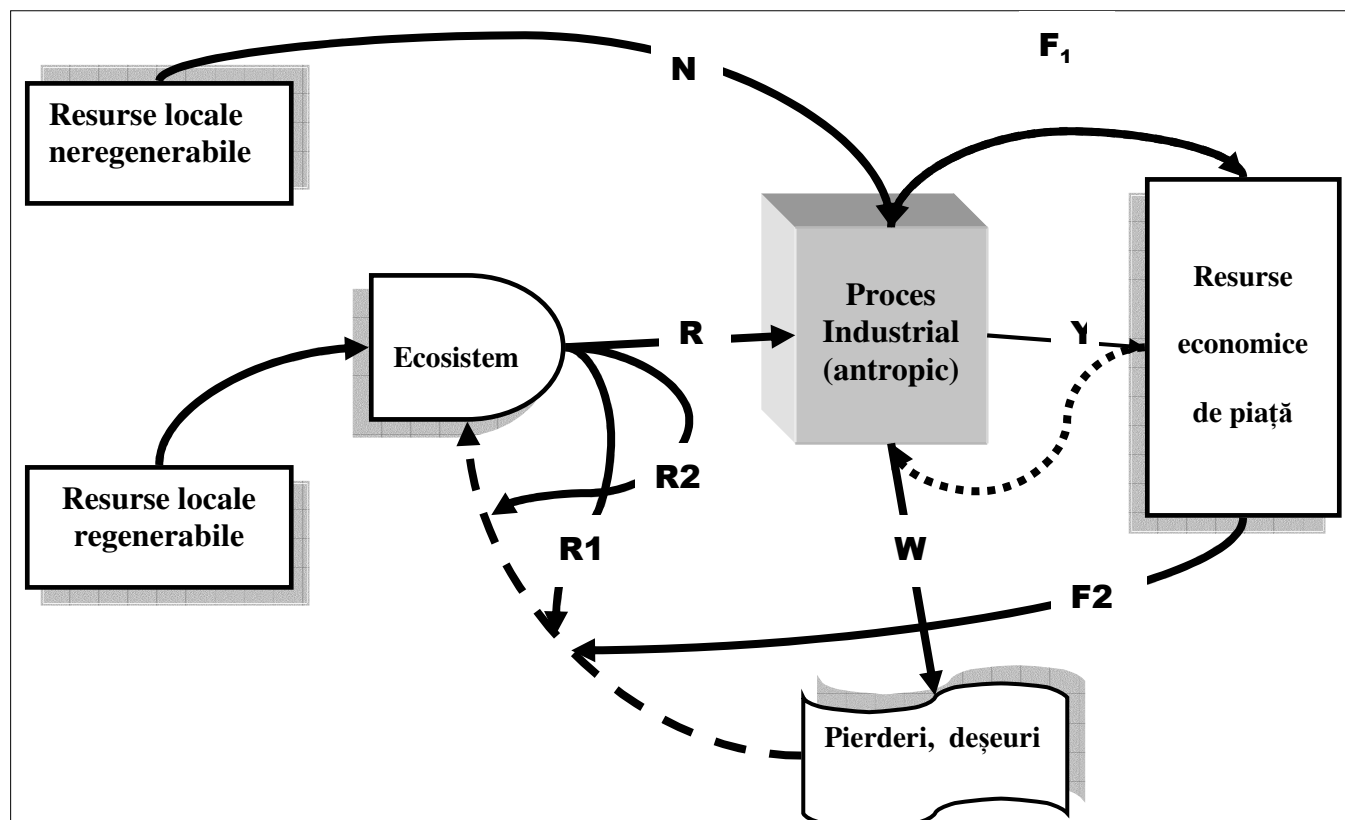
Prima analiză A.C.V. [4] a fost făcută de Harry E. Teastley jr. (1969) la comanda companiei Coca Cola. Acest studiu nu a fost publicat integral ci doar un scurt rezumat în anul 1976 în *Science Magazin*.

Esența metodei A.C.V. este că ea realizează o contabilizare ambientală.

Prin dezvoltarea A.C.V. s-a impus și principiul eco-eficienței. Ulterior a fost introdusă noțiunea de energie încorporată (*embodied energy*) numită mai târziu energie (*emergy*). Prin folosirea energiei ca mărime de stare a unui sistem se poate studia istoria termodinamică a lui. Analiza Energetică a Ciclului de Viață (A.Em.C.V. și Em.L.C.A. în engleză) reprezintă o combinație a părților complementare ale A.C.V. și ale analizei energetice.

Facem următoarele notații [4]:

- F_1 & F_2 reprezentând fluxuri economice (intrări în procesul antropic);
- N reprezintă resursele neregenerabile folosite (intrări în procesul antropic);
- R_1 & R_2 reprezintă resursele regenerabile folosite (intrări în procesul antropic);
- W ("wastes") reprezintă pierderi, deșuri rezultate în urma derulării procesului antropic (ieșiri din sistem);
- Y ("yield") reprezintă producția de bunuri sau servicii rezultate din procesul antropic.



Sursa: *Mediul ambiant și exergia*, Ed. Academiei 2005

Parametrii de lucru ai A.Em.C.V. cu ecuațiile lor de definiție sunt următorii:

1. **energia netă**, echivalent cu profitul într-un proces economic (antropic) și definit prin:

$$\mathbf{Em}_{\text{net}} = \mathbf{Y} - \mathbf{F}_1 \quad (4.1.)$$

2. **indicele de producție emergetică** ($\mathbf{EYR} = \text{Emergy Yield Ratio}$) definit prin:

$$\mathbf{EYR} = \mathbf{Y}/\mathbf{F}_1 \quad (4.2.)$$

3. **fracțiunea de încărcare ambientală** ($\mathbf{ELR} = \text{Environmental Loading Ratio}$) definit prin:

$$\mathbf{ELR} = (\mathbf{F}_1 + \mathbf{N})/\mathbf{R}_1 \quad (4.3.)$$

și care reprezintă un indicator al stresului provocat mediului la scară locală.

4. **indicele de sustenabilitate** (Sustainability Index = \mathbf{SI}) definit prin:

$$\mathbf{SI} = \mathbf{EYR}/\mathbf{ELR} \quad (4.4.)$$

cu semnificația că un proces este mai eficient și mai curat (eco-eficiență) cu cât există o producție emergetică mai mare pentru un stres al mediului cât mai mic.

4.2. Analiza și modelul NEOLITOS

Analiza și modelul Neolitos folosesc calculul exergetic și emergetic aplicat la sisteme în general naturale (și/sau antropice) și au ca punct de plecare ecuația bilanțului exergetic aplicat unui sistem “scufundat” în mediul său. (ecuația 2.3.21.) și folosesc principiile Analizei Ciclului de Viață (în special parametrii de definiție ai A.Em.C.V.)

Fie un sistem S, mediul său M și un proces (fenomen) care acționează asupra sistemului S notat cu P. Facem următoarele notații: • $\Delta\mathbf{X}_M$ reprezintă fluxul exergetic care acționează asupra sistemului S; • \mathbf{I}_{SP} = ireversibilitatea sistemului S produsă de procesul (fenomenul) P; • $\mathbf{X}_{SP/STO}$ = exergia stocată de sistem în urma acțiunii P; • \mathbf{Em}_{Si} = energia sistemului S în stare inițială, înainte de începerea acțiunii P; • \mathbf{Em}_{Sf} = energia sistemului S în stare finală, după încheierea acțiunii P;

Analiza Neolitos o percepem ca un algoritm de calcul de rangul 2 și o notăm cu $\mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{S}, \mathbf{M})$ sau prin $\mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{I}, \mathbf{I})$. Ea presupune stabilirea ecuației exergetice a modelului și calcularea a patru parametrii de stare numiți indici, detaliați mai jos. În concluzie Analiza Neolitos presupune cinci operații de calcul (OC) notate cu indici de la 1 la 5.

Pentru aproximarea $\mathbf{I}_{SP} = \Delta\mathbf{Em}_S = \mathbf{Em}_{Sf} - \mathbf{Em}_{Si}$, care se poate aplica sistemelor antropice dar și celor naturale caracterizate de materie densă cum ar fi cele ale litosferei, scriem ecuația exergetică (2.3.21.), respectiv:

$$\Delta\mathbf{X}_M = \mathbf{I}_{SP} + \mathbf{X}_{SP/STO}$$

Pe care o vom denumi operația de calcul nr. 1 și o vom nota ca indice OC1, sau $\mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{S}, \mathbf{M})_{\text{OC1}}$. Astfel putem scrie:

$$(\Delta\mathbf{X}_M = \mathbf{I}_{SP} + \mathbf{X}_{SP/STO}) \equiv \mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{S}, \mathbf{M})_{\text{OC1}}$$

Pentru notațiile de mai sus, definim următorii parametri pentru descrierea comportamentală exergetică-emergetică a unui sistem pe care în continuare o vom denumi ca Analiza Neolitos:

- 1) **indicele evoluției emergetice** (\mathbf{INDICE}_{EE}) ca raport între energia finală a lui S și cea inițială, respectiv:

$$\mathbf{INDICE}_{EE} = \mathbf{Em}_{Sf} / \mathbf{Em}_{Si} \quad (4.5.)$$

Reprezintă $\mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{S}, \mathbf{M})_{\text{OC2}}$.

- 2) **Indicele evoluției exergetice** (\mathbf{INDICE}_{EX}) definit ca raportul dintre fluxul exergetic de intrare în sistem, respectiv $\Delta\mathbf{X}_M = \mathbf{X}_{Mf} - \mathbf{X}_{Mi}$ care generează fenomenul (procesul) P și exergia stocată ($\mathbf{X}_{SP/STO}$) în urma acțiunii mai sus precizată. Ecuația se scrie:

$$\mathbf{INDICE}_{EX} = \Delta\mathbf{X}_M / \mathbf{X}_{SP/STO} \quad (4.6.)$$

Reprezintă $\mathbf{ALG}_{\text{CALC}}(\mathbf{S}, \mathbf{M})_{\text{OC3}}$.

3) **indicele de stres** ($INDICE_S$) ca raport între exergia stocată în sistem, respectiv $X_{SP/STO}$, rezultată în urma acțiunii procesului (fenomenului) P și energia finală a sistemului, Em_{sf} . Astfel scriem ecuația de definire: $INDICE_S = X_{SP/STO} / Em_{sf}$ (4.7.)
 Reprezintă $ALG_{CALC}(S, M)_{OC4}$.

4) **indicele geo-antropic** ($INDICE_{GA}$) echivalentul indicelui de sustenabilitate (S.I.) al A.C.V. (definit prin 4.4.) și care este caracteristic proceselor antropice, este egal cu raportul dintre indicele evoluției energiei unui sistem supus unui proces P și indicele de stres produs de aceeași acțiune. Putem scrie: $INDICE_{GA} = INDICE_{EE} / INDICE_S$ (4.8.)
 Folosind ecuațiile (4.5.), (4.6.), (4.7.), (4.8.), prin calcule matematice se poate scrie ecuația care leagă indicele evoluției energiei, indicele evoluției exergiei, indicele de stres și indicele geo-antropic prin relația: $(INDICE_{EE} - 1) / (INDICE_{EX} - 1) = INDICE_S^2 \times INDICE_{GA}$ (4.9.)
 Reprezintă $ALG_{CALC}(S, M)_{OC5}$.

Cazul prezentat în acest capitol reprezintă un model primar (sau submodel), de tipul sistem – mediu, respectiv (S+M) și îl vom numi **submodel de rangul 2**, (1S+1M).

Analiza Neolitos se poate clasifica, în funcție de dimensiunile sistemului supus analizei pe care-l vom denumi în continuare **subsistem de calcul**, în: • **analiză punctuală** când se aplică unui sistem cu o singură dimensiune; • **analiză în suprafață** când se aplică unui sistem bidimensional, respectiv o suprafață; • **analiza în volum** când se aplică unui sistem tridimensional.

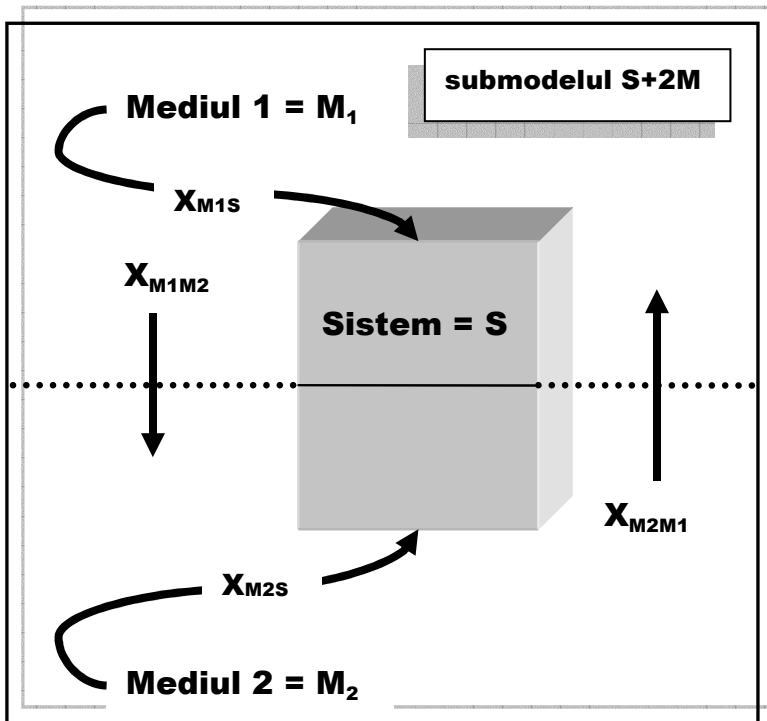
Pentru definirea modelului Neolitos vom folosi parametrii și ecuațiile descrise în capitolul precedent pentru următoarele situații pe care le vom denumi submodelele Neolitos: • submodelul compus dintr-un sistem aflat în două medii ($S+2M$) cu luarea în calcul a interacțiunii dintre medii (A); • submodelul compus din două sisteme aflate într-un mediu ($2S+M$) cu luarea în calcul a interacțiunii dintre sisteme (B); • submodelul compus din două sisteme aflate în două medii ($2S+2M$) cu luarea în calcul a interacțiunilor dintre sisteme și dintre medii (C); • submodelul general compus din m sisteme aflate în n medii ($mS+nM$) cu luarea în calcul a interacțiunilor dintre sisteme și dintre medii (D).

Pentru fiecare caz în parte va fi prezentată schema bloc de funcționare cu indicarea fluxurilor energetice și ecuația exergetică a submodelului respectiv. Indicii compuși de stare ai submodelelor ($INDICE_{EE}$, $INDICE_{EX}$, $INDICE_S$, $INDICE_{GA}$) nu vor fi calculați datorită complexității calculelor și vor face obiectul unor cercetări ulterioare prin utilizarea calculatorului electronic.

Prin **algoritmul de reducere** (notat cu $ALG_{RED}(m, n)$) se înțelege succesiunea de operații aplicate unui model general alcătuit din m sisteme și n medii, respectiv **model de rang (m+n)**, pentru a fi adus la un submodel cunoscut și studiat de rang inferior.

A) Algoritmul pentru [un sistem – două medii] = (S+2M)

Este un algoritm de reducere de rangul 3 pe care-l notăm cu $ALG_{RED}(1, 2)$. Schema bloc a submodelului de rang 3 ($m=1$ & $n=2$) este cea de mai jos:



Prin calcule succesive se ajunge la relația:

$$I_{SM\Sigma} + X_{SM\Sigma/STO} = \sum_{(k=1 \div 2)} I_{SMk} + \sum_{(k=1 \div 2)} X_{SMk/STO} - \text{INTERACT}(M_k) \quad (4.10.)$$

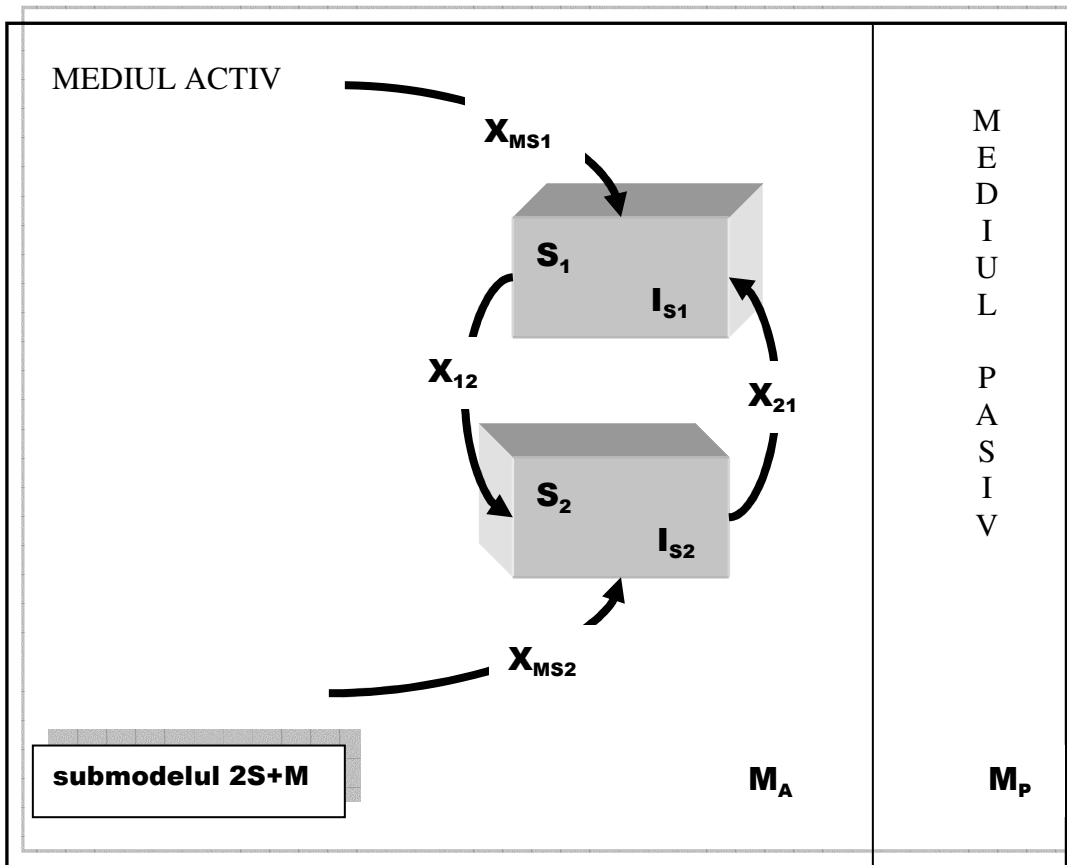
Explicat în cuvinte ecuația de mai sus înseamnă următoarele: Ireversibilitatea sistemului ($I_{SM\Sigma}$) și exergia internă rezultată și stocată de acesta ($X_{SM\Sigma/STO}$) în timpul acțiunii mediului sumă ($M\Sigma$), este egală cu suma ireversibilităților individuale (I_{SMk}) rezultate din acțiunea fiecărui mediu asupra sistemului la care se adaugă suma exergiilor individuale stocate de sistem $X_{SMk/STO}$ și care este diminuată (consum datorat schimbului exergetic dintre medii care nu mai afectează sistemul) cu exergia interacțiunii dintre mediile individuale notată cu $\text{INTERACT}(M_k)$ și care are valoarea de

$$\text{INTERACT}(M_k) = X_{M1M2} + X_{M2M1} \quad (4.10.1.)$$

Facem precizarea că în definiția de mai sus atributul de *individual* asociat unui mediu are înțelesul că doar un mediu acționează asupra sistemului celălalt fiind considerat ca suspendat. Fiind stabilită ecuația exergetică a modelului ($S, M\Sigma$), model de rang 2, inferior celui de plecare, se poate trece la celelalte operații de calcul ai parametrilor de stare ai modelului, respectiv: ► $\text{ALG}_{\text{CALC}}(S, M\Sigma)_{OC2}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_{EE}); ► $\text{ALG}_{\text{CALC}}(S, M\Sigma)_{OC3}$ ptr. determinarea indicelui evoluției exergetice, (INDICE_{EX}); ► $\text{ALG}_{\text{CALC}}(S, M\Sigma)_{OC4}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_S); ► $\text{ALG}_{\text{CALC}}(S, M\Sigma)_{OC5}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_{GA}).

B) Algoritmul pentru [două sisteme – un mediu] = (2S+M)

Este un algoritm de reducere de rangul 3 pe care-l notăm cu $\text{ALG}_{\text{RED}}(2, 1)$. Schema bloc a submodelului de rang 3 ($m=2$ & $n=1$) este cea de mai jos:



Prin calcule succesive se ajunge la relația:

$$I_{S\Sigma} + X_{S\Sigma/STO} = \sum(k=1 \div 2) I_{S_k} + \sum(k=1 \div 2) X_{S_k/STO} - \text{INTERACT}(S_k) \quad (4.11.)$$

Semnificația ecuației de mai sus este următoarea: Ireversibilitatea sistemului sumă echivalent ($I_{S\Sigma}$) și exergia internă rezultată și stocată de acesta ($X_{S\Sigma/STO}$) în timpul acțiunii mediului (M), este egală cu suma ireversibilităților individuale (I_{S_k}) ale mediului asupra sistemelor individuale la care se adaugă suma exergiilor stocate de aceleași sisteme $X_{S_k/STO}$ și care este diminuată (consum datorat schimbului exergetic dintre sisteme) cu exergia interacțiunii dintre sistemele individuale notată cu INTERACT (S_k) și care are valoarea de

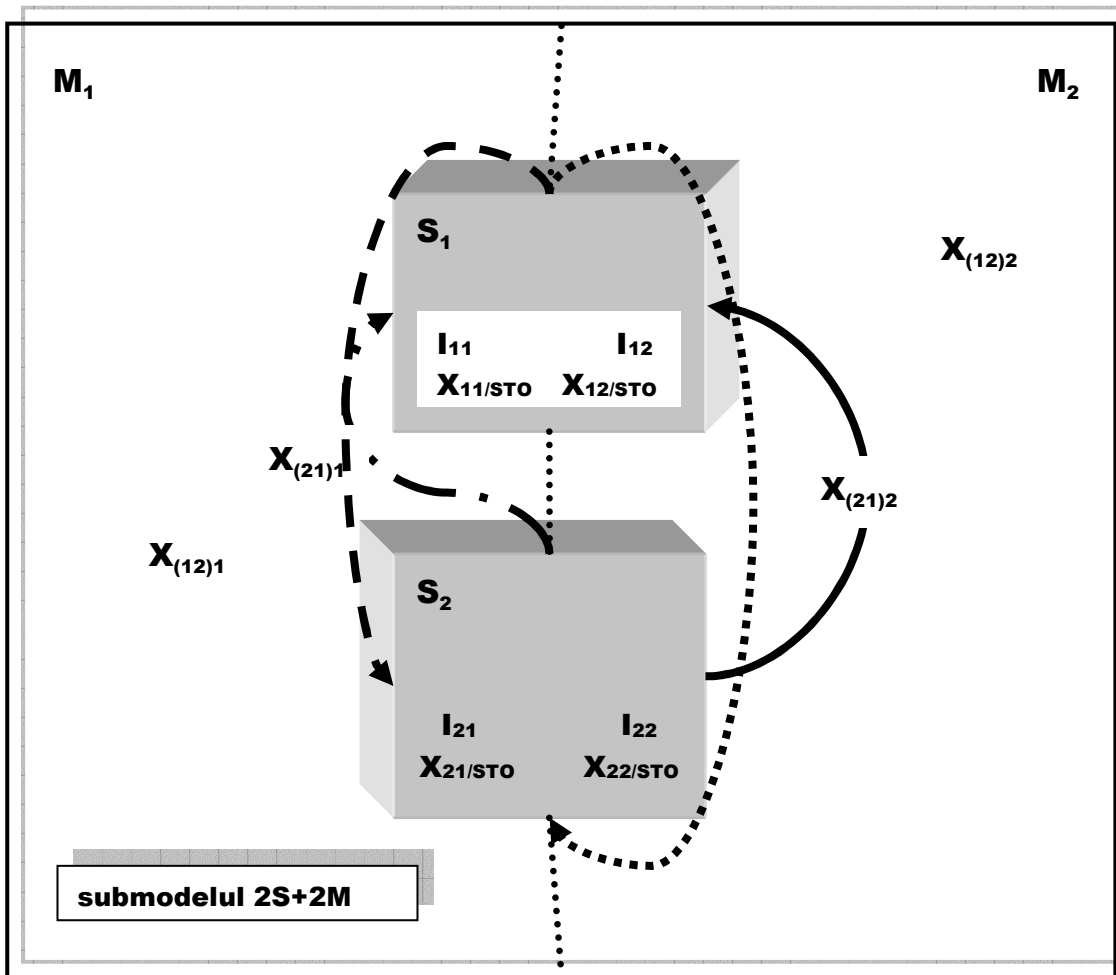
$$\text{INTERACT}(S_k) = X_{12} + X_{21} \quad (4.11.1.)$$

Facem precizarea că în definiția de mai sus atributul de *individual* asociat unui sistem are înțelesul că doar un sistem primește acțiunea mediului celălalt sistem fiind considerat în așteptare (stand by). Fiind stabilită ecuația exergetică a modelului ($S\Sigma, M$), model de rang 2, inferior celui de plecare, se poate trece la celelalte operații de calcul ai parametrilor de stare ai modelului, respectiv:

- ▶ $ALG_{CALC}(S\Sigma, M)_{OC2}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_{EE}$);
- ▶ $ALG_{CALC}(S\Sigma, M)_{OC3}$ ptr. determinarea indicelui evoluției exergetice, ($INDICE_{EX}$);
- ▶ $ALG_{CALC}(S\Sigma, M)_{OC4}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_S$);
- ▶ $ALG_{CALC}(S\Sigma, M)_{OC5}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_{GA}$);

C) Algoritmul pentru [două sisteme – două medii] = (2S+2M)

Este un algoritm de reducere de rangul 4 pe care-l notăm cu $ALG_{RED}(2, 2)$. Schema bloc a *submodelului de rang 4* ($m=2$ & $n=2$) este cea de mai jos: ▶ Pentru a reduce acest submodel la submodelul de rang inferior, respectiv 3 sau ($2S+M\Sigma$) se va aplica $ALG_{RED}(2, 2 \rightarrow 1)$ prin care cele două medii active (emisie de fluxuri exergetice) asupra celor două sisteme (S_k) sunt înlocuite de un mediu



echivalent numit mediul sumă și notat cu M_{Σ} astfel că putem scrie: $ALG_{RED}(2, 2 \rightarrow 1) \equiv ALG_{RED}(S_k, M_{\Sigma})$ și pentru care stabilim următorul tipar comportamental: în starea inițială (momentul t_0) nu există interacțiuni între medii, și reprezintă prima operație de aproximare $ALG_{RED}(S_k, M_{\Sigma})_{OA1}$. Urmează: ► $ALG_{CALC}(S_k, M_{\Sigma})_{OC1}$ respectiv definirea ecuației exergetice pentru un model de ragul 3 descris prin $(2S, M_{\Sigma})$ sau formal și echivalent (S_k, M_{Σ}) . Urmează pachetul de operații de calcul:

- $ALG_{CALC}(S_k, M_{\Sigma})_{OC2}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_{EE});
- $ALG_{CALC}(S_k, M_{\Sigma})_{OC3}$ ptr. determinarea indicelui evoluției exergetice, (INDICE_{EX});
- $ALG_{CALC}(S_k, M_{\Sigma})_{OC4}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_S);
- $ALG_{CALC}(S_k, M_{\Sigma})_{OC5}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, (INDICE_{GA});

► Pentru a reduce acest submodel de rang 3 (S_k, M_{Σ}) (k are valoarea 2) la submodelul de rang inferior, respectiv 2 sau $(S_{\Sigma} + M_{\Sigma})$ se va aplica $ALG_{RED}(2 \rightarrow 1, 1)$ prin care cele două sisteme active (S_k) sunt înlocuite de un sistem echivalent numit sistemul sumă și notat cu S_{Σ} astfel că putem scrie:

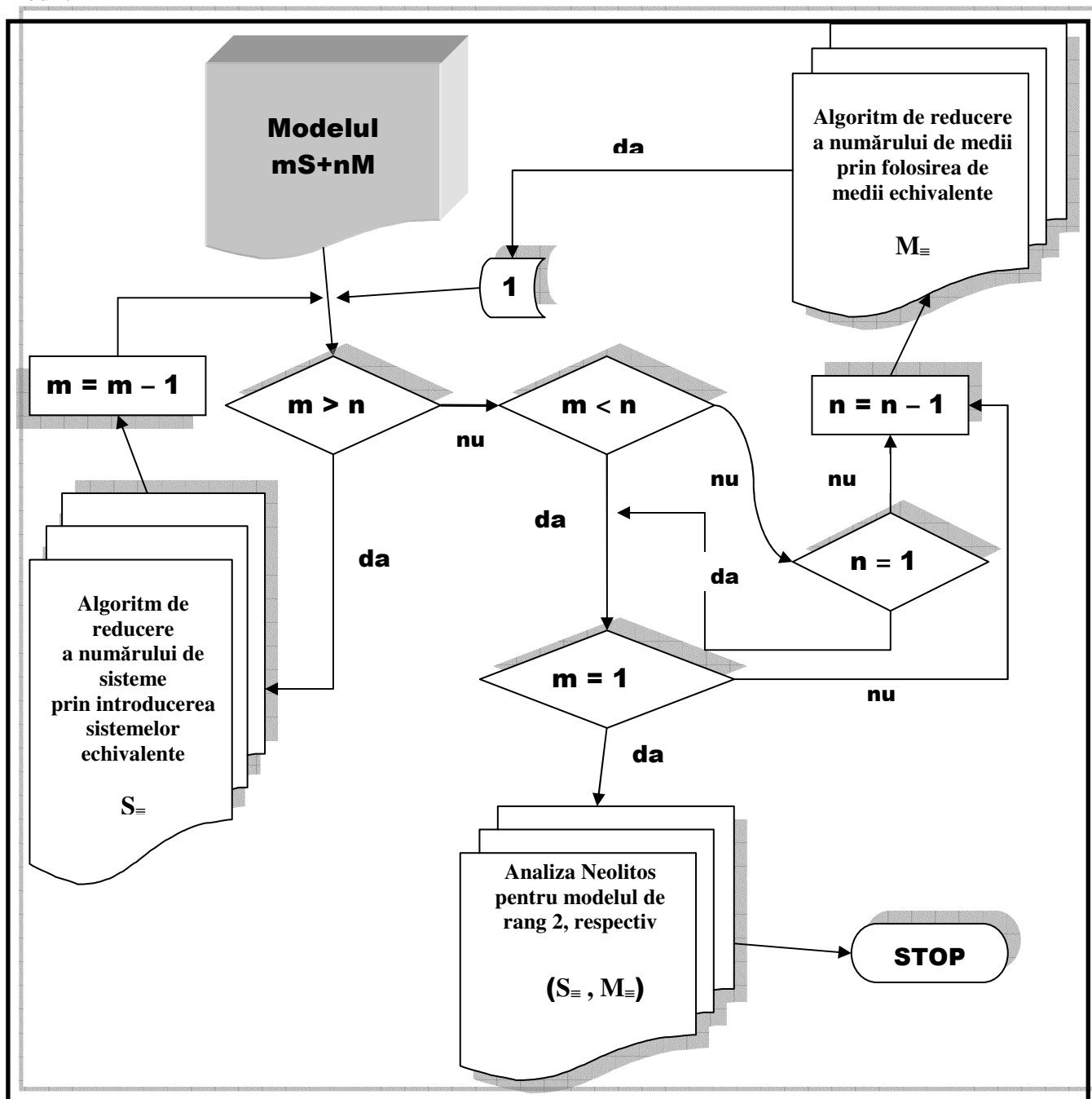
$$ALG_{RED}(2 \rightarrow 1, 1) \equiv ALG_{RED}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})$$

și pentru care stabilim următoarele: în starea inițială (momentul t_0) nu există interacțiuni între cele două sisteme, respectiv putem scrie: $(X_{M_{\Sigma}S_{\Sigma}i} = X_{M_{\Sigma}S_{1i}} + X_{M_{\Sigma}S_{2i}}) \equiv ALG_{RED}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OA1}$ în care indice OA1 are înțelesul de operația de aproximare nr. 1. iar $X_{M_{\Sigma}S_{1i}}$ reprezintă intrarea exergetică a mediului sumă echivalent în stare inițială asupra lui S_1 . Cu aceste notații efectuam operația de calcul nr. 1 de deducere a ecuației exergetice a sistemului echivalent sumă notat cu S_{Σ} de mediul echivalent M_{Σ} . Urmează: ► $ALG_{CALC}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OC1}$ respectiv definirea ecuației exergetice pentru un model de ragul 2 descris prin (S_{Σ}, M_{Σ}) . Urmează pachetul de operații de calcul: ► $ALG_{CALC}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OC2}$ ptr.

determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_{EE}$); ► $ALG_{CALC}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OC3}$ ptr. determinarea indicelui evoluției exergetice, ($INDICE_{EX}$); ► $ALG_{CALC}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OC4}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_S$); ► $ALG_{CALC}(S_{\Sigma}, M_{\Sigma})_{OC5}$ ptr. determinarea indicelui evoluției emergetice, ($INDICE_{GA}$). Prin efectuarea acestei succesiuni de operații de aproximare și de calcul are loc transformarea modelului ($2S+2M$) de rang 4 într-un model de rangul 2, respectiv (S_{Σ}, M_{Σ}) , mai precis de tipul (S, M) și realizarea analizei Neolitos pentru acest model echivalent.

D) Algoritmul pentru [m sisteme – n medii] = (mS+nM)

Acest caz general presupune parcurgerea algoritmului de reducere precizat în schema logică bloc de mai jos și care folosește următoarele definiții: • S_{\equiv} = sistemul echivalent obținut în urma aplicărilor succesive ale algoritmilor de reducere; • M_{\equiv} = mediul echivalent obținut în urma aplicărilor succesive ale algoritmilor de reducere; • $ALG_{CALC}(m, n)$ reprezintă o A.N. pentru un model alcătuit din m sisteme și n medii.



4.3. Idei pentru realizarea aplicației informatice NEOLITOS

NEOLITOS este o aplicație informatică și de management al Litosferei (în sensul prezentării de față), funcționează online și îndeplinește următoarele funcțiuni: • să creeze o bază de date legislative (legi, normative și standaturi) cu caracter public din domeniul geostiintelor tehnice și ale protecției mediului; • să presteze servicii de furnizare de date geologice specifice pe bază de comandă în secțiunea de birou virtual; • să creeze o bază de date geologice și de mediu (foraje, probe, interpretări ale materialului primar, etc) parțial publică și în cea mai mare parte privată (deschisă numai utilizatorilor specializați). Aplicația permite realizarea unui site web (partea publică) și a unei părți în cea mai mare parte privată (acces cu user și parolă) care se suprapune pe sistemul de administrare al aplicației Neolitos.

5. Modelul exergetic al Litosferei

5.1 Model calitativ exergetic pentru evaluarea interacțiunilor Antroposferei, Hidrosferei și Atmosferei cu Litosfera

Pentru a evalua interacțiunile geosferelor Pământului cu geosistemul Litosferă introducem mărimea **intensitatea acțiunii**, notată cu **I** și definim următoarele clase de variabile (parametri) de intrare:

- **distanța** Va fi notată cu **D**. D & I sunt mărimi invers proporționale care pot fi descrise formal prin $I = k/D$ unde k este o constantă;
- **intensitatea sursei** (a cauzei), notată cu **IS**. Poate avea exprimări diverse cum ar fi: magnitudinea unui cutremur, indicele de explozivitate al erupției unui vulcan ($V.E.I. = Volcanic Explosivity Index$), viteza medie multianuală a vântului sau numărul de zile cu îngheț-dezgeț la sol. Cea mai bună exprimare ar reprezenta-o determinarea cantității de exergie cedată geosistemului. I & IS sunt mărimi proporționale sau $I = k \times IS$;
- **structura internă** a geosistemului sau contextul (situația) geologic specific, local, propriu geosistemului, notată cu **SI**. Se referă la geosistem. Exprimarea formală de dependență a intensității acțiunii de structura internă a geosistemului este prin $I = f(SI)$ pentru a arăta că este vorba de mai mulți parametri de intrare care aparțin acestei clase;
- **structura internă - regională** sau contextul geologic regional în care se încadrează (aparține) geosistemul. Se referă la Litosfera înconjurătoare a geosistemului (mediul său în sensul prezentărilor anterioare). Va fi notată cu **SIR**. $I = f(SIR)$;
- **mediul – local** și reprezintă mediul geosistemului la nivelul Hidrosferei (H), Antroposferei (A) și Atmosferei (Atm). Va fi notată cu **ML**. Formal scriem $I = f(ML)$;
- **mediul – regional** și reprezintă mediul mai larg (regional) al geosistemului la nivelul Hidrosferei (H), Antroposferei (A) și Atmosferei (Atm). Va fi notată cu **MR**. Formal putem scriem $I = f(MR)$;
- **tipul acțiunii** (timpul de manifestare sau/și frecvența de manifestare) care poate fi permanentă, periodică și excepțională. Va fi notată cu **TA**. I & TA au o dependență de directă proporționalitate;
- **caracterul cumulativ al acțiunii**, notat cu **CCA**, arată dacă interacțiunea are ca rezultat acumularea de exergie în geosistem și care poate declanșa alte interacțiuni reprezentând ptr. acestea o variabilă de intrare. De exemplu cutremurele care pot declanșa alunecări de teren. Poate avea exprimare procentuală, respectiv cât din exergia de început a fenomenului se poate acumula (stoca). Are semn arătând tipul de fenomene generate interpretate din perspectivă umană, astfel că (+) înseamnă benefic omului iar (-) dăunător acestuia. CCA & I reprezintă mărimi direct proporționale, respectiv există o probabilitate mult mai mare ca fenomenele puternice să producă ulterior alte acțiuni prin mecanismul de acumulare

exergetică în timpul fenomenului principal decât cele mai slabe. Formal putem exprima prin $I = k \times CCA$;

- **spațiul acțiunii**, notat cu **SA**, reprezintă spațiul în care acțiunea se manifestă. Se poate exprima ca procent din volumul geosistemului în care efectele acțiunii sunt prezente. I & **SA** sunt mărimi proporționale sau formal putem scrie $I = k \times SA$;
- **ireversibilitatea acțiunii**, notată cu **IA**, și exprimă dacă acțiunea a generat suficientă exergie pentru a produce fenomene ireversibile sau să genereze energie negativă specifică fenomenelor distructive. Poate avea exprimare procentuală, respectiv cât din exergia fenomenului produce ireversibilitate sau generează energie negativă. Are semn, arătând tipul de fenomene generate interpretate din perspectivă umană, astfel că (+) înseamnă benefic omului echivalent cu reversibil iar (-) dăunător acestuia respectiv ireversibil. IA & I reprezintă mărimi direct proporționale respectiv există o probabilitate mult mai mare ca fenomenele puternice (energetice) să producă ireversibilități sau generare de energie negativă decât cele mai slabe. Formal putem exprima prin $I = k \times IA$

Fiecare interacțiune dintre două componente ale geosistemului Litosferă va fi evaluată în funcție de parametri de intrare prezentați mai sus. Algoritm de evaluare are câteva principii, respectiv:

- ▶ parametrii D & IS au expresie numerică;
- ▶ parametrii SI , SIR , ML & MR sunt complecși și depind de mai multe variabile de intrare care presupune mai întâi o stabilire și o ierarhizare a acestora (variabilelor de intrare) la nivelul expertului;
- ▶ pentru fiecare evaluare se va lucra cu cel puțin trei modele;
- ▶ sunt interacțiuni în care clasa variabilelor ML și MR nu sunt relevante. În acele cazuri importanța claselor SI & SIR se va dubla ajungând la 200% pentru a nu dezechilibra sistemul de evaluare.
- ▶ regula algebrică a semnelor nu se aplică astfel că un semn negativ este suficient pentru a exprima semnul negativ al interacțiunii;
- ▶ cele nouă clase de variabile de intrare, respectiv D , I , SI , SIR , MEL , MER , CCA , SA & IA vor fi evaluate de experți pe 6 paliere a contribuției procentuale la interacțiune.
- ▶ mărimea care sintetizează contribuția fiecărei clase de variabile la evaluarea interacțiunii se numește indicele de interacțiune (I_I) a cărui expresie matematică este produsul valorilor procentuale obținute prin aplicarea grilei din tabelul de mai sus. Exprimarea prin produsul acestor valori este rezultatul asimilării lor cu niște probabilități și se cunoaște faptul că probabilitatea a două evenimente (cauze) A & B simultane, este egală cu produsul probabilităților individuale de producere, respectiv

$p(A \text{ și } B) = p(A) \times p(B)$. Astfel putem scrie:

$$I_I = IS / D \times f(SI) \times f(SIR) \times f(ML) \times f(MR) \times TA \times (\text{semn } CCA) \times SA \times (\text{semn } IA) \quad (5.1.)$$

Notăm $f(SI) \times f(SIR) \times f(ML) \times f(MR) = f(G \& M)$ unde ($G \& M$) înseamnă geosistemul și mediul său astfel că ecuația precedentă devine

$$I_I = IS / D \times f(G \& M) \times TA \times (\text{semn } CCA) \times SA \times (\text{semn } IA) \quad (5.2.)$$

Pentru determinarea indicelui de interacțiune I_I , clasele de variabile definite mai sus vor fi exprimate prin valori normale, respectiv raportate la cel mai distructiv fenomen care a avut (și poate avea) loc pe teritoriul României, respectiv cutremurele de pământ, de tip vrâncean. Argumentația pleacă de la dorința de a avea un I_I **subunitar** astfel că următoarele clase de variabile vor fi raportate la elementele unui cutremur de gradul 7 pe scara Richter: D (distanța), IS (intensitatea sursei), SA (spațiul acțiunii) & IA (ireversibilitatea acțiunii).

„Metodologia de elaborare a hărților de hazard seismic local pentru localitățile urbane”, normativul MP 026–2004, [30] descrie zona seismogenă Vrancea prin: • aria epicentrală de 2100 kmp; • există regularități în producerea cutremurelor; • persistența la scară globală a focarelor aproximativ în același

loc; • înalta rată a seismicității (4-5 seisme într-un secol); • afectează aproximativ 50% din teritoriul României; • apariția, în general, a șocurilor principale ca dubleți.

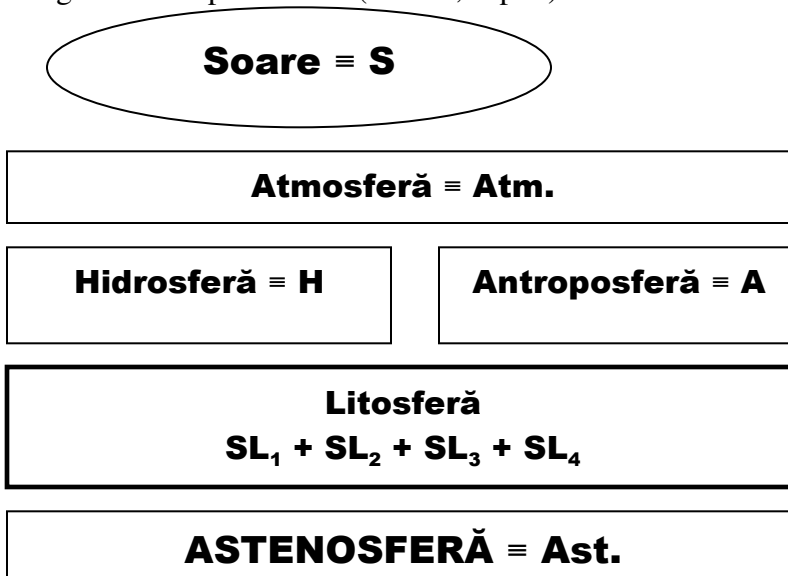
Catalogul cutremurelor românești ROMPLUS (Oncescu & alții, 2000) integrat catalogului european Eurobull consemnează cca 7500 de cutremure crustale și subcrustale în perioada 984-2002 iar pentru secolul XX, cu magnitudinea de peste 6.5 (M_{GR}), următoarele seisme:

Cutremurul	I_{MAX} (MSK)	ΔI	M_{GR}	Adâncime Focar, h (km)	Energie Richter-Gutenberg $E = 10^{(11.8 + 1.5 M)}$ (ergi)
22 octombrie 1940	VII _{1/2}	VII - III	6.5	125	3.54×10^{21}
10 noiembrie 1940	IX _{1/2}	IX - VI	7.4	135	7.94×10^{22}
4 martie 1977	IX	VIII _{3/4} - VI	7.2	109	3.98×10^{22}
30 august 1986	VIII _{1/2}	VIII - III	7.0	144	2.0×10^{22}
30 mai 1990	VIII	VIII - III	6.7	91	7.08×10^{21}

Însumând toată energia celor 5 seisme cu magnitudinea de peste 6.5 grade care au avut loc în secolul XX, și raportând-o la 50% din suprafața țării rezultă un *coeficient energetic seismic* de $CE_{seism} = 12.64 \times 10^{10} \text{ J/kmp}$ pe care-l vom considera valoarea de normare pentru parametrul IS.

Caracterul cumulativ al acțiunii pentru seism este maximă și corespunde ptr. următoarele tipuri de fenomene: • alunecări de teren, • activări sau accelerări de fenomene geodinamice, • tsunami, • activări de falii pe care ulterior se pot produce erupții vulcanice, • accidente ecologice (centrale nucleare, baraje hidroelectrice, magistrale de gaz, combinate chimice, construcții importante, etc).

Ea va fi considerată 1 (100%) iar pentru restul interacțiunilor această variabilă va avea exprimare procentuală, respectiv $CCA = n/5$ unde *n reprezintă numărul de fenomene induse*. *Coeficientul de interacțiune al unui astfel de cutremur cu un geosistem va fi considerat având valoarea 1*. Celelalte interacțiuni vor fi raportate procentual (normare) la acest fenomen, astfel că valoarea I_1 va fi cuprinsă în intervalul (-1, 1). Fie modelul de mai jos care aproximează relația litosferei cu: soarele, celelalte geosfere ale planetei, respectiv Hidrosfera (H), Antroposfera (A) & Atmosfera (Atm) și cu Astenosfera (Ast.) reprezentând mediul „inferior” al lui L, în special al componentei L_4 . Considerând sistemul ca fiind litosfera ($SL_1 + SL_2 + SL_3 + SL_4$) iar mediul său alcătuit din Componentele enumerate mai sus scriem ecuația exergetică corespunzătoare (2.3.21., cap. 2):



$$\mathbf{X}_{(S+H+Atm+PA+Ast).i} - \mathbf{X}_{(S+H+Atm+PA+Ast)f} = \mathbf{I}_L + \mathbf{X}_{L/STO} \quad (5.3.)$$

În această ecuație (5.3.) facem următoarele notații cu semnificațiile respective: • $\mathbf{X}_{Si} - \mathbf{X}_{Sf} = \Delta \mathbf{X}_S$, variația exergetică reprezentând fluxul exergetic solar transmis Pământului pe care-l vom denumi generic cazul S; • $\mathbf{X}_{Hi} - \mathbf{X}_{Hf} = \Delta \mathbf{X}_H$, variația exergetică la nivelul Hidrosferei pe care o vom detalia sub titlul cazul H; • $\mathbf{X}_{Atmi} - \mathbf{X}_{Atmf} = \Delta \mathbf{X}_{Atm}$, variația exergetică la nivelul Atmosferei (cazul Atm); • $\mathbf{X}_{PAi} - \mathbf{X}_{PAf} = \Delta \mathbf{X}_{PA}$, variația exergetică la nivelul Antroposferei sau părții antropice (P.A.) detaliat în cazul PA. • $\mathbf{X}_{Asti} - \mathbf{X}_{Astf} = \Delta \mathbf{X}_{Ast}$, variația exergetică la nivelul Astenosferei (cazul Ast);

Definim următoarele matrici cu precizarea că noțiunile cauză și efect din denumirea matricilor are sensul redat mai jos prin reprezentarea logică – formală: **cauză** → **efect** cu mențiunea că semnul → are înțelesul de acțiune “de la” “la”.

Matricea coloană a componentelor cauză, respective $\mathbf{C}_c(\mathbf{k},1)$ cu $k = \text{numărul de linii} = 12 = \text{numărul de componente analizate în schema exergetică a litosferei}$. Elementul matricial este echivalent cu o componentă care conține o cauză a unei interacțiuni exergetice în modelul analizat al litosferei.

Matricea are următoarele componente cauză cu precizarea că (m) = componentă – mediu și (s) = componentă – sistem:

Element matricial \mathbf{C}_c	Componenta	Simbol	Raportarea la Litosferă
(1)	(2)	(3)	(4)
$\mathbf{C}_c(1,1)$	Soare	S	(m)
$\mathbf{C}_c(2,1)$	Atmosferă	Atm	(m)
$\mathbf{C}_c(3,1)$	Hidrosferă	H	(m)
$\mathbf{C}_c(4,1)$	Stratul litosferic al vegetației	SL ₁	(s)
$\mathbf{C}_c(5,1)$	Stratul litosferic geotehnic	SL ₂	(s)
$\mathbf{C}_c(6,1)$	Stratul litosferic al resurselor naturale	SL ₃	(s)
$\mathbf{C}_c(7,1)$	Stratul litosferic pur (litosfera propriu-zisă)	SL ₄	(s)
$\mathbf{C}_c(8,1)$	Antroposfera vegetației	A ₁	(m)
$\mathbf{C}_c(9,1)$	Antroposfera geotehnică	A ₂	(m)
$\mathbf{C}_c(10,1)$	Antroposfera resurselor naturale	A ₃	(m)
$\mathbf{C}_c(11,1)$	Antroposfera reziduală (deșeuri)	A ₄	(m)
$\mathbf{C}_c(12,1)$	Astenosferă	Ast	(m)

Semnificația coloanei (4) din tabelul de mai sus este următoarea: • (m) reprezintă un mediu (exterior) al sistemului studiat, respectiv Litosfera; • (s) reprezintă un (sub)sistem al Litosferei.

Matricea linie a componentelor efect, respective $\mathbf{C}_{ef}(1,\mathbf{m})$ cu $m = \text{numărul de coloane} = 12 = \text{numărul de componente analizate în schema exergetică a litosferei și care reprezintă componenta care conține efectul unei interacțiuni exergetice în modelul analizat}$. Matricea pătratică cu dimensiunile (12,12) reprezintă **matricea interacțiunilor** (MI) cu următoarea semnificație a indicilor: elementul (X,Y) aparținând MI reprezintă acțiunea directă ireversibilă notată prin → (produce ireversibilitate definită prin ecuația exergetică a unui sistem în funcție de mediul său) a componentei (X,1) aparținând matricii componentelor cauză ($\mathbf{C}_c = \text{matrice coloană}$) asupra elementului (1,Y) aparținând matricii linie a componentelor efect. Formal putem scrie:

$$\mathbf{MI}(X,Y) = \mathbf{C}_c(X,1) \rightarrow \mathbf{C}_{ef}(1,Y) \quad (5.4)$$

Facem următoarele notații în matricea interacțiunilor: ● PN = proces natural; ● PA = proces antropic.
● 0 = “fără interacțiune”; ● semnul → = “ interacțiune nestudiată în prezenta lucrare”.

Cu notațiile de mai sus scriem matricea interacțiunilor sistemului exergetic al litosferei care reprezintă o matrice pătrată cu dimensiunile MI (12,12), în care fiecare element respectă relația (5.4) și care este prezentată în paginile următoare. Explicarea elementelor matricii MI se va face în capitolul următor.

Detalierea relațiilor Litosferei cu toate componentele cauză aparținând Soarelui, Hidrosferei, Atmosferei, Astenosferei și Antroposferei, prezentate pe cazuri și elemente matriciale MI, este următoarea:

► Cazul S

Soarele prin acțiunile sale cele mai importante, respectiv flux de căldură și atracția exercitată asupra planetei Pământ, contribuie substanțial la modificările exergetice ale sistemelor terestre componente ale modelului analizat în lucrare. Fluxurile exergetice principale, corespunzătoare acțiunilor menționate mai sus, reprezintă exergie care poate fi exprimată prin: ● energie termică (cantitate de căldură) pentru fluxul radiativ solar; ● energie potențială pentru atracția solară gravitațională pentru care putem scrie următoarea relație cauzală-fenomenologică:

SOARE → Mișcare de revoluție → PĂMÂNT → Mișcare de rotație → $g \equiv E_p \equiv$ greutate (5.5)

MI(1,2) reprezintă acțiunea Soarelui asupra Atmosferei al cărui flux exergetic reprezintă căldura cedată de stea. învelișului terestru, reprezentând principala cauză genetică a climei. În același timp, clima ca verigă principală în circuitul apei în natură, reprezintă un factor de acțiune (modelare) asupra straturilor litosferice SL₁ & SL₂;

MI(1,3) reprezintă acțiunea Soarelui asupra Hidrosferei al cărui flux exergetic reprezintă căldura cedată de stea, învelișului terestru, reprezentând cauza principală a fenomenului de evaporare a apei din oceane, mări, lacuri și ape curgătoare, respectiv veriga care încheie circuitul apei în natură. În același timp datorită densității mult mai mare a acestui geoînveliș în comparație cu densitatea Atmosferei (densitatea aerului la nivelul mării și la 20 de grade Celsius este de 1.2 kg/mc prin comparație cu cea a apei de 1000 kg/mc, respectiv densitatea apei este de 800 de ori mai mare decât cea a aerului) Hidrosfera exercită un flux exergetic exprimat prin energia potențială a apei (în condiții hidrodinamice se transformă și în energie cinetică) și reprezintă un factor de acțiune (modelare) asupra straturilor litosferice SL₁ & SL₂ prin fenomenele de eroziune, transport și sedimentare;

MI(1,4) reprezintă acțiunea Soarelui asupra stratului litosferic al vegetației, exprimată printr-un flux exergetic solar și reprezintă căldura și lumina cedată de astru învelișului bio-vegetal terestru. Această energie solară reprezintă principala cauză în dezvoltarea vegetației pe glob.

Prin elementele **MI(1,5)**, **MI(1,6)** și **MI(1,7)** înțelegem acțiunile indirecte (relația cauzală (5.5) exprimate prin greutatea (exergie sub formă unei energii potențiale) stratului elevat al litosferei asupra stratului aflat sub el, respectiv: SL₁ → SL₂ ; SL₂ → SL₃ și SL₃ → SL₄

► Cazul Atm

Variația exergetică a Atmosferei este generată de fenomene permanente (acțiuni permanente ale Atmosferei = A.P.Atm) care aparțin **Climei** definită ca un ansamblu de fenomene meteorologice repetabile, predictibile și care exprimă un comportament mediu al unei zone a Litosferei și de fenomene excepționale (acțiuni excepționale ale Atmosferei = A.E.Atm.) cum ar fi uraganele și inundațiile.

1. Acțiuni permanente ale Atmosferei (**A.P.Atm.** →):

- a. Acțiuni directe asupra litosferei, respectiv **componenta permanentă a MI(2,4) & MI(2,5)** prin:
 - i. formarea eoliană a rocilor.
 - ii. Dintre fenomenele naturale cu risc care se încadrează aici amintim formarea loessurilor.
 - iii. acțiunea de îngheț-dezghet
2. **componenta excepțională a MI(2,4) & MI(2,5)** prin acțiuni excepționale ale Atmosferei (**A.E.Atm.** →) reprezentate prin:
 - a. Acțiuni directe, respectiv uraganele și tornadele, notate cu **AEAtm₁**.
 - b. Acțiuni indirecte asupra Litosferei prin intermediul Hidrosferei, respectiv Inundațiile. Acestea prin transformarea energiei lor potențiale în energie cinetică la suprafața planetei alimentează Hidrosfera care interacționează cu Litosfera prin interacțiunile **MI(3,4) & MI(3,5)**.

► Cazul H

Variația exergetică a Hidrosferei este generată de fenomene permanente (acțiuni permanente ale Hidrosferei = A.P.H.) care fac parte din circuitul apei în natură și de fenomene excepționale (acțiuni excepționale ale Hidrosferei = A.E.H.) cum ar fi tsunami provocat de cutremure sau erupții vulcanice (subacvatice sau terestre) sau furtuni (energia valurilor) în timpul uraganelor (fenomene meteorologice excepționale legate de dinamica Atm). Acest flux exergetic al Hidrosferei se transmite doar părții superficiale a litosferei reprezentată de straturile SL₁ & SL₂ și corespunde interacțiunilor cuprinse în elementele matriciale **MI(3,4) & MI(3,5)**.

4. **componenta permanentă** a acestor elemente sunt rezultatul acțiunilor permanente ale Hidrosferei (**A.P.H.** →), respectiv următoarele:
 - a. eroziunea pe care o notăm cu **APH₁** în care exergia exprimată prin energia cinetică a apei este consumată de litosferă (modificarea energiei interne a acesteia), în sensul prezentării de față, a energiei interne a învelișurilor SL₁ (stratul litosferic al vegetației) și SL₂ (stratul litosferic geotehnic);
 - b. transportul materialului mineral notat cu **APH₂** în care exergia exprimată prin energia potențială a sistemului (apă+material mineral) se transformă în energie cinetică.
 - c. sedimentarea materialului mineral, fenomen notat cu **APH₃** în care exergia exprimată prin energia cinetică și potențială a sistemului (apă+material mineral) se transformă în energie internă a rocilor sedimentare rezultate și care aparțin SL₁ + SL₂.

Cele trei fenomene se înlănțuiesc astfel că ieșirea exergetică a unuia reprezintă intrarea exergetică a următorului. Consumul exergetic al întregului fenomen poate fi bine aproximat de emergia (consum exergetic între două momente reflectat de transformări ireversibile) fenomenului definit în principal de un transfer exergetic al variației energiei potențiale într-o variație a energiei interne (U) a litosferei (mai exact SL₁ & SL₂)

5. **componenta excepțională** a elementelor **MI(3,4) & MI(3,5)** reprezintă rezultatul acțiunilor excepționale ale Hidrosferei (**A.E.H.** →) care sunt următoarele:
 - a. inundația reprezentând un fenomen excepțional notat cu **AEH₁**. Modelul exergetic este reprezentat de transferul exergiei exprimate prin energia cinetică a apei asupra SL₁ + SL₂ (cele două învelișuri vor fi denumite generic litosferă) cu două tipuri de efecte:
 - i. fenomenul de eroziune în general pentru o litosferă naturală sau antropizată. Se adaugă subscriptul SL₁SL₂, astfel că va fi notat cu **AEH₁SL₁SL₂**;

- ii. fenomenul de dezastru natural sau pagube umane și materiale pentru cazul unei litosfere antropice reflectate prin crearea de energie negativă (distrugere) și va fi notat cu AEH_{IPA} .
- b. tsunami (AEH_2) care poate fi de origine seismică (L^1 în sensul prezentărilor anterioare) și care va fi notat cu AEH_{2L1} sau de origine vulcanică (erupție subacvatică sau L^3) notat cu AEH_{2L3} în care exergia sub forma unei energii cinetice a unui fenomen excepțional este cedată Hidrosferei care-și modifică energia internă prin nașterea unor unde excepționale exprimate prin valuri gigantice.
- c. furtunile generate de dinamica excepțională a Atmosferei (uragane) și care va fi notat cu AEH_3 .

► Cazul A

Sub această titlatură înțelegem acțiunea antroposferei prin cele patru componente precizate mai sus (A_1 = antroposfera vegetației, A_2 = A. geotehnică, A_3 = A. resurselor naturale și A_4 = antroposfera reziduală a deșeurilor) asupra straturilor componente ale Litosferei. În continuare vom prezenta principalele acțiuni exergetice dintre antroposferă și litosferă urmând ca într-un capitol viitor să reluăm și să detaliem calculele exergetice.

Aceste acțiuni ale Antroposferei, corespunzând elementelor matriciale ale matricei de interacțiune, în funcție de cauză și efect, se clasifică în:

- a. **MI(8,4)** reprezintă acțiunea A_1 asupra stratului SL_1 și în esență constă din transformarea exergiei chimice a litosferei vegetației și a exergiei solare în masă vegetală (producție agricolă și silvică) care poate fi asimilată unei emergii pozitive (efect pozitiv asupra antroposferei). Exergia stocată în SL_1 este una de tip chimic și reprezintă „poluarea” substanțelor chimice (îngrășăminte) folosite în producție (sens general).
- b. **MI(9,4)** reprezintă poluarea datorată activităților în desfășurare, și presupune transferul exergetic exprimat sub forma energiei unui potențial chimic al poluanților către stratul litosferic al vegetației (SL_1). Reprezintă o primă etapă dintr-un proces mai amplu al cărui rezultat final este alterarea factorilor de mediu necesari dezvoltării vieții pe Pământ. Deasemeni acțiunea $A_2 \rightarrow SL_1$ mai poate însemna și consumul de „sol vegetal” (ireversibilitate a SL_1) în timpul procesului de adaptare geotehnică a construcției (ca spațiu de implementare a unei noi activități) la stratul litosferic geotehnic SL_2 .
- c. **MI(9,5)** reprezintă consumul de “litosferă“ în cazul dezvoltării unei activități noi, în timpul implementării ei și are modelul exergetic prin care se consumă exergie (de fapt echivalentă cu generarea de energie pozitivă pentru că este folosită la dezvoltarea umană prin producția de bunuri și servicii în general) pentru a genera modificările învelișului SL_2 în timpul implementării unei noi activități în spațiul natural. Se produc modificări la nivelul următoarelor categorii de energie: potențială, energie internă și energie. Modificarea exergetică a SL_2 reprezintă o ireversibilitate a respectivului strat al litosferei (\equiv condiții de fundare) dar și cu o exergie stocată în SL_2 pe care o percepem ca modificare a energiei interne datorată tensiunilor introduse în terenul de fundare de sarcinile fundamentale ale construcției.
- d. **MI(10,4), MI(10,5) & MI(10,6)** reprezintă modificările exergetice ireversibile ale straturilor SL_1 , SL_2 & SL_3 în timpul procesului de exploatare a resurselor naturale și are modelul prin care are loc un transfer exergetic către SL_3 (stratul litosferic al resurselor naturale, RN) exprimat prin următoarele modificări energetice: • modificarea energiei interne din zona de zăcământ reprezentând un proces ireversibil; • modificarea energiei potențiale a minereului prin scoaterea lui la suprafață; • consum exergetic pentru

extragerea substanței utile (SU); • crearea de energie cu un grad înalt grad de stocare exergetică în SU care va fi folosită în procesul de producție; • consum și modificare a energiei interne (U) la nivelul SL_1 & SL_2 din zona de acces la zăcământ.

- e. **MI(11,4) & MI(11,5)** reprezintă acțiunea antroposferei reziduale A_4 asupra SL_1 & SL_2 în procesul de **gestionare a deșeurilor**, și are modelul exergetic prin care o cantitate de energie negativă (în sensul că se va consuma exergie pentru neutralizarea „produselor“ reziduale numite deșeuri) rezultată în timpul generării de energie pozitivă (crearea de bunuri și servicii) este transferată litosferei (sens generic) prin următoarele forme energetice: energie negativă, energia potențială a deșeurilor care solicită SL_1 & SL_2 , energia potențialului chimic al substanțelor poluante conținute de deșeuri, etc.

La nivelul Antroposferei identificăm și acțiuni excepționale, ($A_2 \rightarrow SL_1 \equiv MI(9,4)$; $A_2 \rightarrow SL_2 \equiv MI(9,5)$) pe care le clasificăm în:

- f. **accidentele ecologice antropice**,
g. **protecția mediului în special a ariilor protejate**.

► Cazul Ast.

Astenosfera reprezentând mediul (m) stratului SL_4 = stratul litosferic pur sau litosfera propriu-zisă acționează asupra acestui strat, reprezentând elementul **MI(12,7)**, prin: • transfer termic reprezentând exergie sub formă de cantitate de căldură cedată (Q); • flux exergetic reprezentând energie cinetică a curenților de convecție care au ca rezultat dinamica globală a plăcilor tectonice.

► Cazul L

În acest subcapitol vom analiza acțiunile interne dintre straturilor litosferice SL_1 ; SL_2 ; SL_3 & SL_4 și acțiunile acestora cu mediile lor, respectiv antroposfera și astenosfera. Clasificarea acestor acțiuni este următoarea:

- **MI(4,5)** reprezintă acțiunea $SL_1 \rightarrow SL_2$;
- MI(4,8)** reprezintă acțiunea $SL_1 \rightarrow A_1$;
- **MI(4,11)** reprezintă interacțiunea $SL_1 \rightarrow A_4$;
- **MI(5,3)** reprezintă interacțiunea $SL_2 \rightarrow H$;
- **MI(5,6)** reprezintă interacțiunea $SL_2 \rightarrow SL_3$ cu exprimarea exergetică prin: • variație a energiei interne ca urmare a greutateii stratului acoperitor SL_2 , • exergie chimică a substanțelor stocate în stratul SL_2 și care prin acțiunea apelor subterane pot trece în partea superficială a SL_3 ;
- **MI(5,8)** reprezintă interacțiunea $SL_2 \rightarrow A_1$.
- **MI(5,9) & MI(5,10)** reprezintă interacțiunile $SL_2 \rightarrow A_2$ & $SL_2 \rightarrow A_3$;
- **MI(5,11)** reprezintă interacțiunea $SL_2 \rightarrow A_4$ și are aceeași exprimare ca **MI(4,11)**;
- **MI(6,7)** reprezintă interacțiunea $SL_3 \rightarrow SL_4$ cu exprimarea exergetică prin: • variație a energiei interne ca urmare a greutateii stratului acoperitor SL_3 , • exergie chimică a substanțelor stocate în stratul SL_3 și care prin diferite fenomene geologice de transfer pot trece în partea superficială a stratului litosferic SL_4 ;
- **MI(6,10)** reprezintă acțiunea $SL_3 \rightarrow A_3$;
- **MI(6,11)** reprezintă interacțiunea $SL_3 \rightarrow A_4$;
- **MI(7,4)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow SL_1$
- **MI(7,5)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow SL_2$.
- MI(7,6)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow SL_3$.
- **MI(7,8)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow A_1$.
- **MI(7,9)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow A_2$.
- **MI(7,10)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow A_3$.

- **MI(7,11)** reprezintă interacțiunea $SL_4 \rightarrow A_4$

Exemplele de calcul exergetic ale unor interacțiuni ale Litosferei sunt următoarele:

► **Elementele MI(3,4) & MI(3,5)**

Fenomenul de eroziune reprezintă o acțiune permanentă a Hidrosferei (C_C (1,3)) asupra litosferei superficiale (SL_1 & partea superficială a SL_2) cu ecuația exergetică:

$$(\Delta E_p + \Delta E_c)_H = I_{L_1+L_2} + X_{(L_1+L_2)/STO} \quad (5.6)$$

prin care termenul $I_{L_1+L_2}$ reprezintă ireversibilitatea straturilor litosferice SL_1 & SL_2 și care este egală cu modificarea energiei interne a rocilor celor două sisteme produsă de fenomenul de dezagregare fizico-mecanică, fenomen generat de dinamica Hidrosferei.

A) Fenomenul de eroziune

Aplicând modelul de evaluare a unei interacțiuni (capitolul 5.1), Calculăm indicele de interacțiune pentru 1 kmp din bazinul de eroziune al Oltului din sectorul Făgăraș-Avrig folosind relația (5.1 & 5.2) respectiv

$$I_I = 4.97 \times 1 \times (-) \times 0.2 \times 2 \times 10^{-6} \times (-) \times 1 = \underline{\underline{1.99 \times 10^{-6}}} \text{ în care } IS_{\text{normată}} = 4.97$$

B) Fenomenul de transport

Plecând de la premiza că *exergia fenomenului de transport* exprimată printr-o energie cinetică, este reprezentată de energia de ieșire a fenomenului de eroziune, putem să aproximăm ca ordinul de mărime al indicelui de interacțiune I_I pentru *transportul sedimentelor* este comparabil cu cel de la punctul precedent, respectiv

$$I_{I-\text{transport}} = 1.99 \times 10^{-6}$$

C) Fenomenul de sedimentare

Plecând de la premiza că exergia fenomenului de sedimentare exprimată printr-o variație a energiei de potențial și internă, este reprezentată de energia de ieșire a fenomenului de transport, putem să aproximăm ca ordinul de mărime al indicelui de interacțiune I_I pentru *sedimentare* este comparabil cu cel de la punctul precedent, respectiv $I_{I-\text{sedimentare}} = 1.99 \times 10^{-6}$

► **Elementul MI(6,7), compresiunea SL_4 datorată sarcinii geologice a straturilor litosferice acoperitoare**

Acest element al matricei de interacțiune (MI) corespunde interacțiunii dintre $SL_3 \rightarrow SL_4$ și în principal corespunde greutateii stratului litosferic SL_3 care produce o creștere a energiei interne U a stratului SL_4 . Calculăm indicele de interacțiune I_I pentru cazul compresiunii exercitate de 1 kmp de litosferă compusă din ($SL_1 + SL_2 + SL_3$) folosind relațiile 5.1 & 5.2 și considerând $D=1$ (distanța față de sursa exergetică, pentru cazul că sursa este în interiorul sistemului analizat) obținem:

$$I_I = IS \times f(G \& M) \times TA \times (\text{semn CCA}) \times SA \times (\text{semn IA}) = 9.49 \times 10^{-4} \times 1 \times (-0.2) \times 0.1 \times (-1) = 18.98 \times 10^{-6}$$

► **Elementul MI(5,5), cazul pentru o alunecare de teren**

Acest element al matricei de interacțiune (MI) corespunde interacțiunii dintre $SL_2 \rightarrow SL_2$, respectiv intern stratului litosferic SL_2 reprezentând o alunecare de teren și în principal corespunde modificării energiei potențiale E_p a stratului de deasupra planului de alunecare care se transformă în energie cinetică (deplasare) și variație a energiei interne a rocilor aflate în zona planului de alunecare. Calculăm indicele de interacțiune I_I pentru cazul alunecării de teren cu suprafața de 1 kmp de litosferă compusă din ($SL_1 + SL_2$ (parțial)) folosind relațiile 5.1 & 5.2 și considerând $D=1$ (distanța față de sursa exergetică, pentru cazul că sursa este în interiorul sistemului analizat) obținem:

$$I_I = IS \times f(G \& M) \times TA \times (\text{semn CCA}) \times SA \times (\text{semn IA}) = 7.293 \times 10^{-4} \times 8.219 \times 10^{-4} \times (-0.2) \times 10^{-4} \times (-1) = 11.99 \times 10^{-12}$$

► **Elementele MI(7,4), MI(7,5) & MI(7,6), cazul unui cutremur cu magnitudinea M_{GR} de 7 grade Richter, aflat la 100 km de epicentru iar focarul aflat la 100 km adâncime și care declanșează o alunecare de teren**

Aceste elemente al matricei de interacțiune (MI) corespunde interacțiunilor dintre $SL_4 \rightarrow SL_1$, $SL_4 \rightarrow SL_2$ & $SL_4 \rightarrow SL_3$, respectiv energia cinetică a undelor seismice reprezintă variația exergetică a unui kmp de litosferă până în zona medie (a vegetației, geotehnică & a resurselor naturale, respectiv pe o adâncime de 10 km).

Calculăm indicele de interacțiune I_I pentru cazul alunecării de teren cu suprafața de 1 kmp de litosferă compusă din ($SL_1 + SL_2$ (parțial)) folosind relațiile 5.1 & 5.2 și considerând $D=1$ (distanța față de sursa exergetică, pentru cazul că sursa este în interiorul sistemului analizat) obținem:

$$I_I = IS/D \times f(G \& M) \times TA \times (\text{semn CCA}) \times SA \times (\text{semn IA}) = 1.578 \times 10^4 / (1.4142 \times 10^5) \times 3.805 \times 10^{-8} \times (-0.4) \times 10^{-1} \times (-1) = 1.6983 \times 10^{-10} \text{ (varianta la 100 km de epicentru)}$$

$$I_I = IS \times f(G \& M) \times TA \times (\text{semn CCA}) \times SA \times (\text{semn IA}) = 1.578 \times 10^4 \times 3.805 \times 10^{-8} \times (-0.4) \times 10^{-1} \times (-1) = 2.402 \times 10^{-5} \text{ (varianta sistemul în epicentru)}$$

Fluxul exergetic proiectat de un seism cu $M_{GR} = 7$ cu focarul la adâncimea de 100 km asupra unui strat litosferic gros de 10 km ($SL_1 + SL_2 + SL_3$) este de 100.000 de ori mai puternic în cazul zonei epicentrale față de cazul situării la distanța de 100 km de epicentru.

Prezentăm sintetic calculele exergetice ale unor interacțiuni ale Litosferei (sens generic) în tabelul de mai jos:

Nr. crt	Elementul matricial MI	Descriere	Valoarea indicelui de interacțiune I_I	Observații
1	MI(3,4) + MI(3,5)	eroziunea, transportul și sedimentarea	$I_I = 1.99 \times 10^{-6}$	Med = $0.105 \times I_{IE}$
2	MI(6,7)	Compresiunea SL_4 cauzată de sarcina geologică	$I_I = 18.98 \times 10^{-6}$	acțiune etalon = $I_{IE} = 1$
3	MI(5,5)	Alunecare de teren	$I_I = 11.99 \times 10^{-12}$	Min = $6.32 \times 10^{-7} \times I_{IE}$
4	MI(7,4) + I(7,5)+MI(7,6)	Seism cu $M_{GR} = 7$, $D = 100$ km	$I_I = 1.6983 \times 10^{-10}$	Med = $8.95 \times 10^{-5} \times I_{IE}$
5	MI(7,4) + I(7,5)+MI(7,6)	Seism cu $M_{GR} = 7$, epicentru	$I_I = 2.402 \times 10^{-5}$	Max = $1.266 \times I_{IE}$

Interpretarea rezultatelor arată următoarele:

1. **cele mai energetice (exergetice) fenomene sunt cutremurele de pământ;**
2. **fenomenele de eroziune-transport-sedimentare sunt slabe și superficiale;**
3. **alunecarea de teren este cel mai slab fenomen dintre cele analizate și este unul superficial.**

5.2. Interacțiunea exergetică dintre Antroposferă și Litosferă

Componenta SL_1 a fost denumită anterior ca stratul litosferic al vegetației și în termenii limbajului uzual cuprinde solul. Solul reprezintă un sistem fizic dispers alcătuit dintr-un amestec de roci, ioni minerali și materie organică. Transformitatea solului (raportul dintre emergie și energia liberă, iar dacă se raportează la emergie solară se măsoară în sej/J) este de cca. **74.000 sej/J**. Transformitatea produselor agricole obținute prin folosirea solului (stratului litosferic al vegetației $\equiv SL_1$) ca resursă naturală este cuprinsă în palierul **$2 \times 10^4 - 2 \times 10^5$ sej/J** [4].

Solurile au în componere trei tipuri de elemente, respectiv:

- **minerale** cu diferite compoziții și dimensiuni ale particulelor;
- **material organic** alcătuit din resturi de plante și organisme animale moarte;
- **spații deschise** între primele două tipuri de elemente care pot fi umplute cu apă sau aer.

Solurile au un comportament dinamic înțelegând prin aceasta că proprietățile acestora se schimbă pe parcursul timpului. Proprietățile solului [14] sunt în funcție de factorii care intervin în procesul continuu al formării acestuia, respectiv:

- **materialul parental** = „părintele solului” = roca mamă care poate fi o rocă de bază, una legată de activitatea de versant (eroziune + transport + sedimentare, respectiv deluvii, coluvii, proluvii și aluvii), una legată de activitatea ghețarilor de tipul morenelor, una de tipul loessurilor legată de activitatea eoliană ori de activitatea vulcanică, respectiv roci vulcanogen-sedimentare. **Exergia solului măsoară contrastul cu roca mamă, respectiv gradul de transformare al acestei roci în procesul de formare al solului definit ca stratul litosferic al vegetației (SL₁). În acest sens specialiștii consideră exergia rocii mamă ca fiind de referință și egală cu zero.**

- **climatul** definit în principal prin variațiile periodice-sezoniere sau excepționale de temperatură, umiditate și precipitații. Acești factori induc fenomene fizice și chimice în SL₁ care contribuie decisiv la formarea solului.

- **organismele** prin care înțelegem toate plantele și animalele care trăiesc în sol sau pe suprafața lui, inclusiv oamenii. Reprezintă aportul la elementul component nr. 2 al solului, respectiv materialul organic.

- **geomorfologia** înțelegând forma fizică a lui SL₁ care determină fenomene importante ale formării solului cum ar fi circulația apei (elementul component 3) sau topomicroclimatul.

- **timpul** știut fiind că procesul de formare al solului este unul dinamic (comportament temporal) dar și continuu.

Solul prezintă o structură stratificată cu următoarea alcătuire [4]: ● **orizontul A** ≡ **primul orizont mineral** care poate fi de la câțiva cm pe versant (geosistem cu activitățile de eroziune și transport intense) până la 1 m grosime în zona de stepă. Este stratul component cu cel mai mare contrast față de roca mamă, deci cu exergia cea mai mare (X_A). În engleză este denumit **topsoil** ≡ sol din cel mai bun și reprezintă un **indicator ambiental strategic** numit „Amprantă Ecologică” (*Ecological Footprint*); ● **orizontul B** ≡ zona de acumulare a coloizilor (argile și compuși humici) și a bazelor din sol și este **rezultatul transformării profunde a materialului parental prin procese fizice și chimice**. Putem scrie inegalitatea

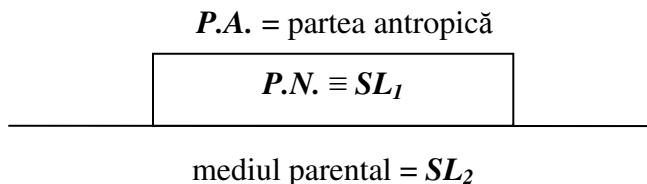
$$X_A > X_B \quad (5.10)$$

în care X_B reprezintă exergia orizontului B. ● **orizontul C** ≡ orizontul cel mai asemănător cu materialul parental, **rezultat doar din desfășurarea proceselor fizice de sfărâmare parțială a mineralelor**. Poate fi scrisă inegalitatea

$$X_A > X_B > X_C > X_{\text{materialul parental}} = 0 \quad (5.11)$$

în care X_C reprezintă exergia orizontului C.

Fie geosistemul din figura de mai jos:



în care P.A. reprezintă partea antropică iar P.N. reprezintă partea naturală (vezi capitolul 2) cu ipoteza importantă de lucru că schimbul exergetic cel mai important este între P.A. și P.N. și nu între SL₂ și SL₁ (care poate fi neglijat, în consens cu inegalitatea 5.11.).

Scriem ecuația (2.3.21.) considerând sistemul $\equiv SL_1 \equiv P.N.$ și mediul sistemului ca fiind P.A. (SL_2 deși ar reprezenta o parte a mediului conform ipotezei de lucru, este ignorat).

$$X_{PAi} - X_{PAf} = I_{SL1} + X_{SL1/sto} \quad (5.12)$$

în care termenul $X_{PAi} - X_{PAf} = \Delta X_{PA} =$ exergia părții antropice aflată în contact direct cu stratul litosferic al vegetației care este egală valoric cu **emergia sistemelor de vegetație** = Em_{SV}

iar termenul I_{SL1} reprezentând ireversibilitatea acestui strat al litosferei care poate fi exprimată prin exergia potențialului chimic al substanțelor introduse în sol de activitatea antropică (în sens general activitatea de poluare a solului, notată anterior cu $A_1 =$ antroposfera 1) și care este valoric egală cu emergia (exergia consumată) pentru extragerea și îndepărtarea acelor substanțe chimice (activitatea de „spălare” a solurilor sau de depoluare, reecologizare, etc) fiind notată cu Em_C sau emergia chimică.

Făcând înlocuirile în ecuația (5.12.) rezultă următoarele:

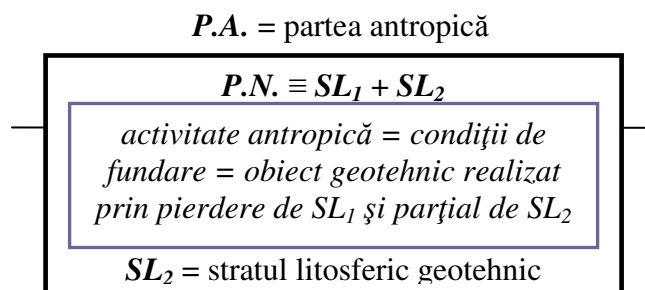
$$Em_{SV} - Em_C = X_{SL1/sto} \quad (5.13)$$

pe care o putem numi ecuația exergetică a solului și care are următoarele semnificații:

- termenul $X_{SL1/sto}$ sau exergia stocată în sol necesară pentru reluarea procesului de vegetație și a celui continuu de formare a solului;
- termenii Em_{SV} și $X_{SL1/sto}$ sunt **direct proporționali**, respectiv cu cât mai intense sunt procesele de vegetație (Em_{SV} crește) cu atât procesele de formare a solului și de continuare a producției vegetale sunt mai puternice ($X_{SL1/sto}$ crește);
- termenii Em_C și $X_{SL1/sto}$ sunt **invers proporționali**, respectiv cu cât mai intense sunt procesele de poluare (Em_C crește) cu atât procesele de formare a solului și de continuare a producției vegetale sunt mai diminuate ($X_{SL1/sto}$ scade).

Prin stratul litosferic geotehnic (SL_2) înțelegem acea parte a litosferei (în sensul prezentei lucrări) care este folosită de om pentru dezvoltarea sa presupunând în primul rând o abordare geotehnică (geologică inginerească în sens mai larg) pentru implementarea activităților antropice specifice omeniirii (în principal condiții de fundare). Termenul A_2 reprezintă antroposfera geotehnică (investițională) care exercită un impact în timpul procesului dezvoltării umane asupra SL_2 (vezi capitolele precedente) și în care acest strat (SL_2) reprezintă „suportul fizic” al expansiunii umane. [7]

Fie geosistemul de mai jos și raporturile sale dintre componente. Sistemul este reprezentat de SL_2 iar mediul său de P.A. + SL_1 semnul plus însemnând reuniunea din teoria mulțimilor.



Întroducerea unei activități în mediul natural ($P.N. = SL_1 + SL_2$) se face prin **pierderile locale ale „stratului litosferic al vegetației”** (legate de atingerea adâncimii de îngheț și fundarea pe terenul geologic) și ale **„părții superficiale a SL_2 ”** pentru atingerea condițiilor de fundare specifice, respectiv adâncimea de fundare D_f și a capacității portante a terenului de fundare în concordanță cu utilitatea construcției (valoarea economică, respectiv emergia economică a acesteia).

Aplicăm ecuația (2.3.21.) la geosistemul SL_2 cu mediul său precizat mai sus și rezultă o primă formă a ecuației

$$\mathbf{X}_{(PA+SL_1)i} - \mathbf{X}_{(PA+SL_1)f} = \mathbf{I}_{SL_2} + \mathbf{X}_{SL_2/sto} \quad (5.14)$$

În această ecuație ne interesează termenul \mathbf{I}_{SL_2} care reprezintă ireversibilitatea stratului litosferic geotehnic în procesul de implementare a unei activități antropice în mediul natural echivalent cu impactul antroposferei asupra acestui strat „conceptual” definit în lucrare.

Ireversibilitatea SL_2 este definită prin modificarea energiei potențiale a stratului \mathbf{E}_{P-SL_2} ca urmare a îndepărtării locale a materialului mineral pentru realizarea condițiilor de fundare, prin transportul acestui mineral definit prin energia activității de transport notată cu \mathbf{E}_{m-T-SL_2} și prin ireversibilitatea propriu-zisă, semnificativă notată cu $\mathbf{I}_{SL_2impact}$ care ne interesează și care exprimă impactul antroposferei asupra SL_2 . Deci putem scrie ecuația ireversibilității SL_2 ca o sumă a termenilor definiți mai sus, respectiv:

$$\mathbf{I}_{SL_2} = \mathbf{E}_{P-SL_2} + \mathbf{E}_{m-T-SL_2} + \mathbf{I}_{SL_2impact} \quad (5.15)$$

Pentru termenul \mathbf{E}_{m-T-SL_2} facem precizarea că poate fi diminuat dacă materialul mineral rezultat din adaptarea SL_2 la condițiile de fundare ale obiectului geotehnic este tratat ca deșeuri din construcții și demolări (C & D), respectiv prin faptul că energia economică a acestor deșeuri pot amortiza parțial cheltuielile de transport ale acestuia în afara amplasamentului. Atunci termenul \mathbf{E}_{m-T-SL_2} se înlocuiește cu $\mathbf{E}_{m-T-SL_2} - \mathbf{E}_{mC\&D}$.

Termenul stâng al ecuației (5.14.) se transformă în $\mathbf{E}_{mPA} - \mathbf{E}_{mSV}$ în care prima mărime reprezintă energia părții antropice iar cel de al doilea energia sistemelor de vegetație aflate pe amplasamentul obiectului geotehnic. Semnul negativ al celui de al doilea termen arată pierderea unei cantități de energie cauzată de îndepărtarea solului care prin consum energetic ar fi produs vegetație.

Termenul energiei părții antropice \mathbf{E}_{mPA} are mai multe componente sumative și anume: • $\mathbf{E}_{mU} =$ energia utilă reprezentând valoarea economică de întrebuințare a obiectului geotehnic; • $\mathbf{E}_{mINV} =$ energia pentru realizarea investiției. Are semnul minus arătând faptul că este un consum; • $\mathbf{E}_{mFNR} =$ energia fenomenelor naturale cu risc (F.N.R.) și care reprezintă consumul energetic suplimentar pentru adaptarea obiectului geotehnic la fenomenele care își au locul în SL_2 , SL_3 & SL_4 cum ar fi alunecările de teren, seismele, fenomenele geodinamice sau erupțiile vulcanice. Este în funcție de structura geologică (în sens cât mai general, notată cu S.G.) și putem scrie că

$$\mathbf{E}_{mFNR} = f(\mathbf{S.G.}) \quad (5.16.)$$

sau împrumutând instrumentele calculului diferențial

$$\lim_{\mathbf{SG} \rightarrow 0} \mathbf{E}_{mFNR} \rightarrow 0$$

respectiv o structură geologică simplă ($\mathbf{S.G.} \rightarrow 0$) presupune o energie de adaptare la FNR cât mai mică. \mathbf{E}_{mFNR} este inclusă în termenul \mathbf{E}_{mINV} reprezentând o investiție suplimentară pentru S.G. complexe. Astfel putem scrie $\mathbf{E}_{mINV} = \mathbf{E}_{mINV0} + \mathbf{E}_{mFNR}$ în care \mathbf{E}_{mINV0} reprezintă energia investițională pentru o structură geologică „inertă” ca și comportament (efect) asupra obiectului geotehnic.

Cu notațiile introduse și folosind ecuațiile (5.14 & 5.15.) și grupând termenii rezultă:

$$\mathbf{I}_{SL_2impact} + \mathbf{X}_{SL_2/sto} = [\mathbf{E}_{mU} + \mathbf{E}_{mC\&D}] - [\mathbf{E}_{mINV} + \mathbf{E}_{mSV} + \mathbf{E}_{P-SL_2} + \mathbf{E}_{m-T-SL_2}] \quad (5.17.)$$

În ecuația de mai sus facem următoarele notații:

$\mathbf{T}_+ = [\mathbf{E}_{mU} + \mathbf{E}_{mC\&D}] =$ termenul de câștig sau de „*profit social*” al activității;

$\mathbf{T}_- = [\mathbf{E}_{mINV0} + \mathbf{E}_{mSV} + \mathbf{E}_{P-SL_2} + \mathbf{E}_{m-T-SL_2}] =$ termenul investițional de *consum material și de mediu*;

$T_{SG} = [Em_{FNR}]$ = termenul dependent de structura geologică (complexitatea definită în capitolul 2 și de hazardul FNR) \equiv consumul de resurse pentru adaptarea obiectului geotehnic la S.G.

Rescriem ecuația (5.17.) care devine

$$I_{SL2impact} + X_{SL2/sto} = T_+ - T_- - T_{SG} \quad (5.18.)$$

Termenul stâng al ecuației reprezintă modificările exergetice, petrecute în timpul implantării unei activități, (prin intermediul unui obiect geotehnic) ale stratului litosferic geotehnic (SL_2), dar și acumularea de exergie în acest strat al litosferei care în momentul depășirii stadiului de echilibru natural pot genera fenomene naturale ireversibile.

Ideea centrală a ecuației (5.18.) este că cu cât se încearcă maximizarea profitului social cu cheltuieli investiționale cât mai mici (de exemplu componenta care depinde de mediul natural și deci implicit de structura geologică) cu atât impactul antropic asupra L_2 este mai mare.

Un punct important al acestui capitol ar putea fi depozitele de deșuri (D.D.) care reprezintă obiecte geotehnice inerte față de mediul înconjurător de aceea implică condiții de fundare specifice în care SL_2 nu poate fi tratat doar ca suport pe care stă acesta (D.D.) ci într-un context mai larg în care noțiuni ca sistem & condiții hidrogeologice, barieră naturală argiloasă în patul DD, nivelul precipitațiilor și geomorfologia SL_2 sunt importante. Dezvoltarea acestui subiect pe baza ecuațiilor acestui capitol va fi făcută ulterior în capitolul „Ingineria geologică a depozitelor de deșuri”.

Acest capitol se va ocupa de impactul activității antropice de exploatare a resurselor naturale supraterane și mai ales subterane A_3 asupra stratului litosferic al resurselor naturale SL_3 estimată până la adâncimea maximă de 10 km în interiorul litosferei.

Conceptul de resursă naturală în decursul istoriei omenirii și-a îmbogățit conținutul semantic. Dacă la începuturi el însemna doar substanță minerală utilă (S.M.U.) astăzi exploatarea resurselor naturale poate fi reprezentată de [4] [21]:

- extracția din depozite (combustibili fosili și minereuri);
- extracția din fonduri (apele subterane, materiale minerale folosite ca materiale de construcții sau în procesul tehnologic al altor industrii);
- extracția din curenți sau fluxuri (energia solară, eoliană, geotermală și hidraulică a apelor curgătoare).

Primele două tipuri de resurse naturale fac obiectul de studiu al acestei lucrări.

De resursele naturale (R.N.) în managementul economic ambiental sunt legate două concepte importante, respectiv: ● **productivitatea resurselor** = P.I.B./ Energia folosită la producerea lui exprimată în MJ; ● **eficiența resurselor** = valoarea adăugată pentru fiecare unitate de resursă materială sau energetică folosită în procesul dezvoltării umane.

În modul de tratare a acestui subiect distingem două modalități de tratare:

- **una globală** în care importante sunt marimi ca:
 - raritatea și abundența resurselor naturale;
 - timpul de epuizare a unei resurse.
- **alta locală**, strict aplicată care presupune evaluarea impactului antropic asupra SL_3 dacă într-un geosistem există o R.N.

A) Are în vedere modelele geochimice și geofizice ale Pământului.

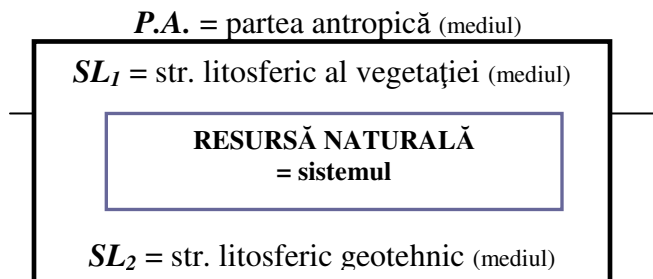
B) Abordarea locală în care tratăm cazul existenței unei resurse naturale într-un geosistem, presupune două situații, respectiv:

1. resursa naturală este la suprafață, R.N. aparține $SL_1 + SL_2$;
2. resursa naturală este subterană, respectiv R.N. aparține SL_3 .

Detalierea acestor două cazuri este prezentată în continuare, după cum urmează:

Cazul 1

Modelul calcului exergetic pleacă de la ipoteza că sistemul îl reprezintă resursa naturală (zăcămintul acesteia) iar mediul ei este alcătuit din P.A., SL_1 & SL_2 . Reprezentarea schematică este cea din figura de mai jos:



Aplicând ecuația 2.3.21. rezultă

$$X_{(PA+SL1+SL2)i} - X_{(PA+SL1+SL2)f} = I_{RN} + X_{RN/STO} \tag{5.19.}$$

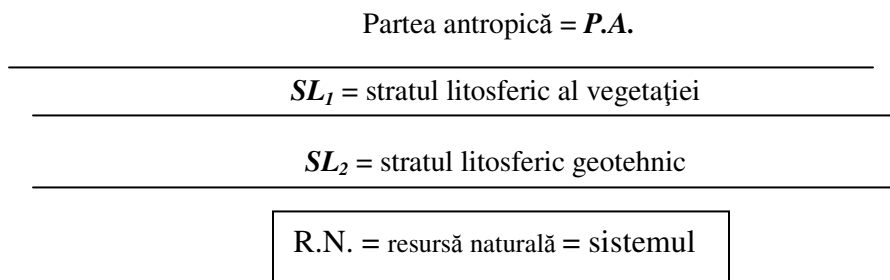
Făcând înlocuirile care rezultă din ecuațiile 5.20. & 5.21. și explicitând termenul $X_{RN/STO}$ rezultă ecuația:

$$X_{RN/STO} = E_{mPA} + E_{mSV} + E_{mSL2} - E_{Pex} - U_{RN} - E_{mSU} \tag{5.22.}$$

și care exprimă exergia stocată de resursa minerală naturală care printr-un proces de producție definit printr-o eficiență economică dar și una de utilizare a ei (randament) se transformă în energia produselor sau serviciilor.

Cazul 2

Modelul resursei naturale subterane, în sensul că aparține SL_3 este cel redat în figura de mai jos:



$SL_3 =$ stratul litosferic al resurselor naturale

În procesul de exploatare a R.N. sunt afectate P.A., și SL_1 & SL_2 astfel că toate acestea reprezintă mediul sistemului. Scriind ecuația 2.3.21. pentru această situație, rezultă ecuația

$$X_{(PA+SL1+SL2+SL3)i} - X_{(PA+SL1+SL2+SL3)f} = I_{RN} + X_{RN/STO} \tag{5.23.}$$

Folosind aceleași notații și raționamente ca în cazul 1, rezultă ecuația

$$X_{RN/STO} = E_{mPA} + E_{mSV} + E_{mSL2} + E_{mSL3} - E_{Pex} - U_{RN} - E_{mSU} \tag{5.24.}$$

în care termenul Em_{SL3} care definește emergia stratului litosferic al resurselor naturale rezultată din consumul exergetic ($X_{SL3i} - X_{SL3f} = \Delta X_{SL3}$) la nivelul acestui „înveliș” în timpul extracției resursei.

Termenul stâng al ecuației $X_{RN/STO}$ (la fel ca în ecuația 5.22.) exprimă exergia stocată de resursa minerală naturală și care printr-un proces de producție definit printr-o eficiență economică dar și una de utilizare a ei se transformă în emergia produselor și/sau serviciilor.

5.3. Managementul litosferei prin aplicația NEOLITOS

Aplicația informatică Neolitos, prin caracteristicile sale operaționale pe care le are, prin principiile de gestionare și prelucrare a geoinformațiilor, reprezintă un instrument eficient de management al Litosferei. Perspectiva cea mai importantă a aplicației Neolitos este aceea că analizează Litosfera ca un sistem integrat mediului folosind metode specifice ale managementului de mediu cum ar fi Analiza Ciclului de Viață, Analiza Emergetică a Ciclului de Viață, Principiile Dezvoltării Durabile sau conceptele sistemelor de management de mediu dezvoltate în standardul SR EN ISO 14001.

Reluam câteva din caracteristicile operaționale prezentate în capitolul 4 și le detaliem după cum urmează:

- aplicația își propune să creeze o bază de date legislative; • aplicația permite interogarea specialiștilor prin folosirea formularelor de prestări de servicii specifice, respectiv rezolvarea profesionistă a următoarelor tipuri de probleme:

- a. raportarea unui incident de mediu.
- b. servicii de proiectare geotehnică.
- c. evaluarea și gestionarea deșeurilor C & D rezultate dintr-o activitate investițională.
- d. aplicația își propune să furnizeze geoinformații

- aplicația își propune să creeze o bază de date specializate cu conținut geologic și de mediu (foraje, probe, interpretări ale materialului primar, etc) parțial publică și în cea mai mare parte privată (deschisă numai utilizatorilor specializați). Baza de date (B.D.) este gândită ca un sistem cu conexiune inversă pozitivă. Partea “privată” a aplicației Neolitos, propuse, și care cuprinde următoarele componente operaționale:

- sistemul de administrare informatică a aplicației; • baza de date specializate detaliată anterior; • sistemul de programe specializate pentru calculul exergetic, pentru calculele necesare Analizei Neolitos și utilitare pentru diferite prelucrări grafice-geometrice, matematice și statistice, va reprezenta un loc de întâlnire a specialiștilor din Geoștiințe care printr-un schimb continuu de geoinformații, poate avea un caracter sinergetic benefic dezvoltării cunoașterii umane.

6. Aplicația NEOLITOS la ingineria geologică a depozitelor de deșuri

6.1. Deșeurile și exergia

Fie un proces de producție notat cu (PP) al unui produs sau serviciu notat cu (P) și care este considerat a fi sistemul iar restul mediul înconjurător M . Scriem ecuația exergetică a sistemului (2.3.21.), respectiv:

$$X_{Mf} - X_{Mi} = I_{PP} + X_{PP/STO} \quad (6.1.)$$

unde indicele i & f reprezintă stările inițială și finală ale mediului. Notăm termenul stâng al ecuației cu ΔX_M și facem aproximarea $\Delta X_M = \Delta X_{PP} + \Delta X_R$ în care ΔX_{PP} reprezintă variația exergetică în procesul de producție iar ΔX_R variația exergetică necesară producerii resurselor regenerabile și neregenerabile folosite în (PP). Ireversibilitatea PP este dată de suma ireversibilităților reprezentate de produse (I_P) și ireversibilitatea „reziduală” (I_{rezid}) rezultată în timpul procesului de producție și pe tot ciclul de viață al produsului, pe care o definim ca fiind suma ireversibilităților rezultate în următoarele faze ale produsului:

- poluarea din timpul procesului de producție, notată cu I_{pol-PP} ; • poluarea rezultată în timpul exploataării

produsului (ciclul de viață) notată cu I_{CV} ; • poluarea rezultată în *timpul “morții” produsului* (\equiv *deșeu*) notată cu $I_{deșeu}$. Efectuând înlocuirile în ecuația (6.1.) rezultă:

$$\Delta X_{PP} + \Delta X_R = Em_p + Em_{poluant-PP} + Em_{CV} + Em_{deșeu} + X_{PP/STO} \quad (6.5.)$$

Un echivalent caloric al poluantului ar reprezenta cantitatea de căldură care este în mod inevitabil produsă în mediu atunci când are loc operația de depoluare.

În general în continuarea expunerii prin deșeu înțelegem un deșeu de natură minerală rezultat fie în timpul funcționării antroposferei în general (\equiv A_2 extinsă respectiv antroposfera activităților) cu reprezentarea formală a interacțiunilor $A_2 \rightarrow (SL_1 + SL_2)$ sau în timpul exploatării resurselor naturale cu reprezentarea formală $A_3 \rightarrow (SL_1 + SL_2 + SL_3)$ (\equiv A_3 antroposfera resurselor naturale) în care simbolurile sunt cele folosite în capitolul 5 despre “Modelul exergetic al Litosferei”.

În general, în baza ecuațiilor (6.2.), (6.3.), (6.4.) și (6.5.) variația exergetică consumată pentru neutralizarea produselor (efectelor) secundare poate fi exprimată prin:

► pentru poluanți exergia exprimată sub forma unui potențial chimic

► pentru deșeuri:

- exergia exprimată sub forma unui potențial chimic pentru poluanții rezultați din funcționarea depozitului de deșeuri;
- exergia fenomenelor naturale care au loc în timpul interacțiunii depozitului de deșeuri ($A_4 \equiv$ antroposfera reziduală) cu sistemele care alcătuiesc „mediul” acestuia (pentru depozit suprateran în principal SL_1 & SL_2 și subteran $SL_1 + SL_2 + SL_3$)

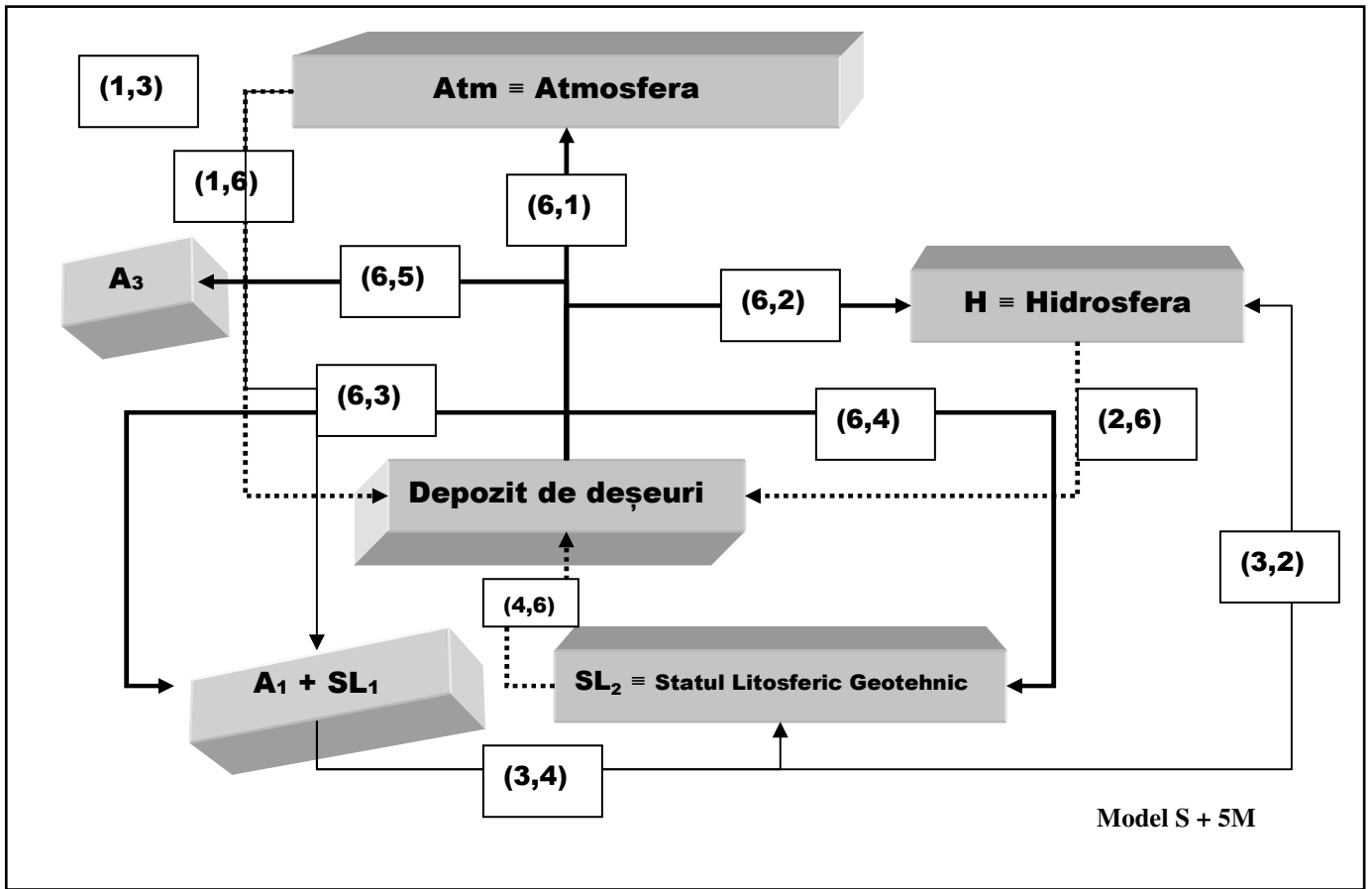
Depoluarea care încearcă să „refacă” (să neutralizeze) aceste învelișuri nu reprezintă alt ceva decât exergia consumată în generarea unei alte ireversibilități, egală cu o emergie pozitivă în sensul interpretării antropice și care este definită (egală) de exergia consumată pentru îndepărtarea poluantului. Exergia chimică a unei substanțe reprezintă produsul cu semn schimbat între potențialul chimic al substanței respective și numărul de moli din substanța respectivă aflată în sistemul termodinamic analizat.

6.2. Ecuația exergetică a unui depozit suprateran de deșeuri

În „ciclul de viață” al unui depozit suprateran de deșeuri minerale distingem următoarele etape de funcționare: • etapa de dezvoltare, • etapa de stagnare (conservare) a depozitului, • etapa de închidere a depozitului, • etapa post închidere a depozitului. În cadrul acestui capitol vom analiza următoarele situații:

1. emergie depozitului în etapa de dezvoltare (reprezintă Analiza Neolitos 1 abreviată prin *ANI*);
2. cazul unui depozit aflat în etapa de stagnare (conservare) (*AN2*).

Pentru stabilirea ecuației exergetice a unui depozit suprateran de deșeuri vom folosi ipoteza în care procesul de gestionare a depozitului este procesul antropic analizat, respectiv vom detalia mai mult termenul fizico-chimic al ecuației (6.5.). Fie depozitul de deșeuri considerat a fi sistemul iar arealul înconjurător mediul acestuia. Depozitul pe care-l vom analiza exergetic este unul de tip neconform. Păstrând notațiile capitolului 5, putem spune că în general mediul sistemului este compus din: • - ($A_1 + SL_1$) sau antroposfera vegetației + statul litosferic al vegetației; • *Atm*; • *H* sau hidrosfera; • SL_2 sau stratul litosferic geotehnic. • A_3 sau antroposfera resurselor naturale. În final putem concluziona că modelul unui depozit suprateran de deșeuri este de tipul $S + 5M$, respectiv un sistem și 5 medii. Mediile ($A_1 + SL_1$), A_3 și SL_2 sunt medii care reprezintă “patul” depozitului iar mediile *Atm* și *H* reprezintă “acoperișul” depozitului.



Matricea interacțiunilor între componentele cauză ($C_c(k,1) \equiv$ matrice coloană cu 6 linii (S+5M)) și componentele efect ($C_{ef}(1,k) \equiv$ matrice linie cu 6 coloane (S+5M)) este o matrice pătratică cu dimensiunile de 6 x 6 elemente și care păstrează simbolurile folosite în capitolul 5, precedent, în principal însemnând $MI(k,j) \equiv C_c(k,1) \rightarrow C_{ef}(1,j)$ unde k și j au valori până la 6.

C_{ef}		Atm	H	$A_1 + SL_1$	SL_2	A_3	depozit
	C_c						
	Atm	→	→	$MI(1,3)$	0	0	$MI(1,6)$
	H	→	→	→	0	0	$MI(2,6)$
	$A_1 + SL_1$	→	$MI(3,2)$	→	$MI(3,4)$	0	0
	SL_2	0	→	→	→	0	$MI(4,6)$
	A_3	0	0	0	0	→	0
	depozit	$MI(6,1)$	$MI(6,2)$	$MI(6,3)$	$MI(6,4)$	$MI(6,5)$	→

Legenda simbolurilor din matricea MI este următoarea: ● - 0 înseamnă lipsa interacțiunii; ● → înseamnă interacțiune care nu este descrisă în prezenta lucrare.

Pentru a simplifica matricea MI și a obține o ecuație exergetică în care interacțiunile componente să poată fi evaluate, propunem mai mulți pași de simplificare și aproximare rezultând următoarele:

$$\Delta X_M = I_{dep - Atm} + I_{dep - SL_1} + I_{dep - SL_2} + X_{dep - Atm/STO} + X_{dep - SL_1/STO} + X_{dep - SL_2/STO} - X_{SL_1,SL_2} - X_{SL_2,SL_1} - X_{Atm,(SL_1+SL_2)} - X_{(SL_1+SL_2),Atm} \quad (6.9.)$$

și care reprezintă ecuația exergetică a depozitului suprateran de deșeuri minerale aflat în etapa de stagnare (conservare).

6.3. Corelarea ecuației exergetice cu matricea de interacțiuni pentru cazul unui depozit suprateran de deșeuri minerale

Mai întâi se studiază cazul cel mai simplu al unui sistem (*S*) aflat într-un mediu (*M*). Matricea interacțiunilor MI cu dimensiunile 2 x 2 elemente este cea de mai jos:

C_{ef}		<i>M</i>	<i>S</i>
	C_c		
	<i>M</i>	→	MI(1,2)
	<i>S</i>	MI(2,1)	MI(2,2)

Considerând ecuația exergetică care leagă sistemul de mediul său, respectiv: $\Delta X_M = I_S + X_{S/STO}$ și păstrând semnificațiile termenilor specificate în capitolele anterioare putem scrie $X_{S/STO} \equiv \mathbf{MI(2,1)} + \mathbf{MI(2,2)}$ iar ecuația exergetică a sistemului și a mediului, folosind elementele matricii de interacțiune, se rescrie: $\mathbf{MI(1,2)} = I_S + X_{S/STO} = I_S + \mathbf{MI(2,1)} + \mathbf{MI(2,2)}$ (6.10)

Folosind relația (6.10) care se aplică fiecărei componente a mediului (*Atm*, *SL₁* & *SL₂*) și înlocuind în relația (6.9.) rezultă următoarele:

$$\Delta X_M = I_{dep} + X_{dep/STO} = \mathbf{MI_I(1,4)} + \mathbf{MI_I(2,4)} + \mathbf{MI_I(3,4)} - \mathbf{MI_{(I+E)}(2,3)} - \mathbf{MI_E(1,2)} \quad (6.11)$$

care exprimă legătura dintre ecuația exergetică a depozitului de deșeuri minerale și matricea de interacțiune, respectiv fluxul exergetic global al mediului depozitului alcătuit din atmosferă (*Atm*), stratul litosferic al vegetației (*SL₁*) și stratul litosferic geotehnic (*SL₂*), care produce o ireversibilitate depozitului (*I_{dep}*) și o stocare a exergiei (*X_{dep/STO}*), este egal cu suma acțiunilor exergetice individuale (elementele matriciale $\mathbf{MI_I(1,4)}$, $\mathbf{MI_I(2,4)}$ & $\mathbf{MI_I(3,4)}$) din care se scade exergia consumată cu interacțiunile dintre componentele mediului (elementele matriciale $\mathbf{MI_{(I+E)}(2,3)}$ & $\mathbf{MI_E(1,2)}$ luate în considerare în studiul nostru).

În general între depozitul de deșeuri și mediul său având alcătuirea prezentată mai sus au loc interacțiuni care se desfășoară în câmpul gravitației în care pozițiile dintre componente sunt determinante. Cu aceste aproximări, ecuația (6.11.) devine:

$$\Delta X_M = \mathbf{MI_I(1,4)} - \mathbf{MI_{(I+E)}(2,3)} - \mathbf{MI_E(1,2)} = I_{dep} + X_{dep/STO} \quad (6.11.1)$$

pe care o vom numi ecuația exergetică simplificată a depozitului de deșeuri minerale.

6.4. Analiza Neolitos pentru un depozit suprateran de deșeuri în etapele sale de dezvoltare și stagnare-conservare

Pentru a realiza o analiză de tip Neolitos unui depozit de deșeuri minerale aflat într-una din etapele precizate anterior, vom aplica următorul algoritm:

- ▶ alegem suprafața de analiză
- ▶ alegem rețeaua de analiză
- ▶ într-un nod (definit ca intersecție dintre un profil transversal (P.T.) și unul longitudinal (P.L.)) al rețelei aplicăm Analiza Neolitos (AN) punctuală

- ▶ **reprezentăm spațial valorile indicilor AN** sub forma unor hărți exergetice ale depozitului, corespunzătoare pentru fiecare indice și/sau fiecare etapă a ciclului de viață al depozitului de deșeuri minerale;
- ▶ **interpretăm aceste hărți** fie prin urmărirea „evoluziei” unui indice al Analizei Neolitos în timpul întregului ciclu de viață al depozitului (\equiv *interpretare secvențială a unei componente AN*) sau urmărind „evoluția” exergetică a sistemului (\equiv depozit) într-o anumită etapă (\equiv *interpretare complexă* (toate componentele AN) *de etapă*).

Așa cum aminteam la începutul capitolului precedent (6.3.) în etapa de dezvoltare componenta energetică cea mai importantă a sistemului analizat reprezentat de depozitul de deșeuri minerale aflat într-un mediu natural este energia acestuia. În acest sens ANI este dată de o analiză parțială, doar a componentei emergetice reprezentată de indicele de evoluție emergetică, respectiv INDICE_{EE}, între momentul inițial (momentul zero al etapei de dezvoltare, înainte de începerea depozitării deșeurilor minerale) și cel final (terminarea dezvoltării depozitului). Reprezentarea spațială a mărimii INDICE_{EE} pe care putem să o numim **hartă a evoluției emergetice** va fi interpretată și se pot trage concluzii în ce privește corelarea cu volumetria corpului de depozit de deșeuri minerale.

Pentru calcularea mărimii INDICE_{EE} introducem următorii parametri ai depozitului de deșeuri minerale:

- - h_{dep} = grosimea depozitului în punctul de aplicare a ANI;
- ρ_{dep} = densitatea materialului mineral aparținând corpului depozitului, din zona analizată;
- m_{min} = masa materialului mineral considerată în volumul analizat (prismă pătratică cu latura bazei de 0.1 m (se apropie de volumul unui foraj geologic de prospecțiune) și înălțimea de h_{dep}) și care este definită prin relația clasică din Fizică, respectiv $m_{min} = V \times \rho_{dep}$ sau cu aproximațiile precizate mai sus $m_{min} = 0.01 h_{dep} \times \rho_{dep}$ (kg);
- ΔC_i = depășirea concentrației componente poluante „i” a pragului admisibil (reglementat prin acte normative), respectiv $\Delta C_i = C_i - C_{prag}$;
- m_{i-mol} = masa molară a componente poluante I;
- X_{i-chim} = exergia chimică a componente poluante I;
- Em_{Ep} = *energia exprimată printr-o energie potențială* de forma “*mgh*” echivalentă cu o sarcină geologică concentrată în centrul de greutate aflat la înălțimea $h/2$, și care produce compresiunea structurii geologice (abreviată prin indice SG (s_G) aflată sub depozit);
- Em_{chim} = energia chimică a poluanților conținuți în materialul mineral al depozitului și care este egală cu suma energiilor chimice ale tuturor componentelor (se folosește ipoteza că substanțele chimice poluante nu interacționează între ele). Putem scrie relația energiei chimice a “n” componente poluante conținute de materialul mineral al depozitului de deșeuri:

$$Em_{chim} = m_{min} \times (\sum(\text{după } i \text{ până la } n) \Delta C_i / m_{i-mol} \times X_{i-chim}) \quad (6.12)$$

- h_{ref} = adâncimea planului de referință față de care raportăm energia (exprimată prin energie potențială) măsurată de la cota terenului natural (C.T.N.) până la plan. Planul de referință se află plasat în SL₂ iar straturile cuprinse între el și CTN reprezintă structura geologică;
- ρ_{SG} = densitatea medie a structurii geologice, poate fi exprimată ca medie ponderată prin grosimile de straturi care alcătuiesc această structură.

Cu notațiile de mai sus putem explicita indicele de evoluție emergetică a depozitului de deșeuri aflat în perioada de dezvoltare (analiza neolitos se aplică între momentul inițial de începere a depozitării, respectiv $h_{dep} = 0$ și un moment care poate fi final sau intermediar dar care este definit de h_{dep}) prin:

$$INDICE_{EE} = 1 - h_{dep} \times \rho_{dep} \times [5h_{dep} + (\sum(\text{după } i \text{ până la } n) \Delta C_i / m_{i-mol} \times X_{i-chim})] / (5h_{ref}^2 \times \rho_{SG}) \quad (6.13)$$

Analiza matematică a parametrului INDICE_{EE} arată următoarele:

- este dependent de geometria depozitului prin variabila h_{dep} reprezentând grosimea acestuia dar și de compoziția chimică a deșeurilor minerale prin variabilele ΔC_i definite ca depășiri ale pragurilor admisibile de concentrație ale substanțelor poluante “n”;
- are valoarea unu pentru un mediu nealterat (depozitul nu există, respectiv $h_{dep} = 0$);
- este subunitar pentru un mediu alterat de prezența depozitului de deșeuri ($h_{dep} \neq 0$).

În concluzia acestui capitol putem spune că reprezentarea spațială a parametrului indicele de evoluție emergetică (INDICE_{EE}) aparținând Analizei Neolitos, numită și **hartă evoluției emergetice**, va conține

anomalii de minim în zonele de poluare a mediului având semnificația unui consum energetic pentru înlăturarea efectelor nocive.

Așa cum aminteam la începutul cap. (6.2.) **etapa de stagnare-conservare** a depozitului corespunde etapei post proces generator de deșeuri minerale, în care principala acțiune este cea de poluare a mediului înconjurător.

Cea mai importantă componentă energetică a “mediului” (Atm, SL₁ & SL₂) sistemului considerat reprezentat de depozitul de deșeuri minerale, este dată de **acțiunea atmosferei asupra depozitului** și care produce o “ireversibilitate” sistemului prin: ● acțiunile precipitațiilor (transfer chimic poluant spre SL₁ & SL₂); ● acțiunea dinamică a aerului (vânt) prin dispersia materialului mineral “fin & uscat” și care poluează zona adiacentă a depozitului (SL₁). Ecuația (6.5.) conține doar termenul fizico-chimic. Pentru această etapă aparținând ciclului de viață al depozitului se va face o AN completă și punctuală în nodurile rețelei de evaluare, fiind calculați toți indicii de analiză, respectiv parametrii: **INDICE_{EE}**, **INDICE_{EX}**, **INDICE_S** și **INDICE_{GA}**.

Momentele de analiză sunt următoarele: ● **cel inițial (indice i) este reprezentat de momentul terminării etapei de dezvoltare** a depozitului și corespunde valorii **max(h_{dep})**; ● **cel “final” (indice f) este reprezentat de un moment intermediar al etapei de stagnare-conservare** (îndeplinește condiția (h_{f-dep} < max (h_{dep}) ca urmare a fenomenului de transport eolian și de tasare a depozitului sub acțiunea sarcinii geologice a materialului mineral al deșeurilor) sau chiar poate avea “**semnificația de final al etapei de stagnare-conservare**” care coincide cu cel inițial al etapei de închidere a depozitului.

Indicele de evoluție energetică INDICE_{EE}, rezultă:

$$\text{INDICE}_{EE} = 1 + (\text{Em}_{eol} + \text{Em}_{dizolv})/\text{Em}_{dep-i} \quad (6.15.)$$

care ne arată că reprezentarea spațială a indicelui de evoluție energetică se prezintă ca o anomalie de maxim în zona depozitului prin faptul că are loc o reducere a energiei negative. **În relația precedentă avem egalitatea dintre Em_{dep-f} a etapei de dezvoltare a depozitului cu Em_{dep-i} din etapa de conservare (stagnare) a lui (depozitului de deșeuri minerale).**

Pentru a defini termenul legat de activitatea eoliană asupra depozitului folosim principiul în care exergia exprimată sub forma unei energii cinetice a volumului de aer aflat în contact cu depozitul este cedată materialului mineral care în funcție de granulometria acestuia (diametrele particulelor minerale furnizate de curba granulometrică) este deplasat față de corpul depozitului. **Mișcarea materialului mineral este una în câmp gravitațional cu viteză inițială.** Viteza inițială sau cea de dislocare (inițiere a transportului eolian) este dată de relația lui Bagnold (1941) definită prin [25]:

$$v_t = A_t ((\rho_{dep} - \rho_{aer}) \times g \times D / \rho_{aer})^{1/2} \quad (6.16.)$$

cu următoarele semnificații: ● **A_t** coeficient adimensional cu valoarea **0.118**; ● **ρ_{dep}** = densitatea materialului mineral cu valoarea de **2.65 g/cm³**; ● **ρ_{aer}** = densitatea aerului cu valoarea de **0.00122 g/cm³**; ● **g** = accelerația gravitațională cu valoarea de **9.81 m/s²**; ● **D** = diametrul particulelor minerale furnizat de curba granulometrică.

Facem notația **α = A_t ((ρ_{dep} - ρ_{aer}) × g / ρ_{aer})^{1/2}** și calculând expresia cu valorile precizate mai sus rezultă **α = 17.22** iar viteza de dislocare se poate scrie ca fiind: **v_t = α × D^{1/2} = 17.22 D^{1/2}**

Folosind intervalele granulometrice de definiție a materialelor minerale coezive și necoezive, definind diametrul mediu D_m ca centru al acestor intervale, și înlocuind în relația de mai sus, s-au calculat vitezele de dislocare (de inițiere a transportului) eoliană, prezentate în tabelul de mai jos:

Tip material mineral	Interval granulometric	Diametrul mediu D_m (mm)	Viteza de transport (de dislocare eoliană) v_t	Observații
argilă	< 0.005 mm	0.0025	0.027 m/s	0.09 km/h
praf	$0.005 < D < 0.05$ mm	0.0275	0.09 m/s	0.3 km/h
nisip	$0.05 < D < 2$ mm	1.25	0.6 m/s	2.16 km/h

Notând cu v_{eol} ca fiind viteza aerului înconjurător depozitului, dacă este îndeplinită condiția: $v_{eol} > v_t$ atunci are loc fenomenul de transport eolian.

Principiul de bază pentru determinarea energiei chimice pierdute prin transport eolian are la bază egalarea exergiei exprimate prin energia cinetică a vântului într-un interval determinat de timp (între stările inițială și finală a A.N.) cu suma dintre energia cinetică de smulgere a materialului mineral și energia de transport a lui.

Facem notația E_t = energia de transport care este o sumă: • a energiei cinetice definită de viteza inițială egală cu viteza de dislocare eoliană v_t (6.16.); • a energiei potențiale a materialului mineral aflat la cota h_{dep} = înălțimea depozitului de deșuri; • a energiei cinetice cedată de vânt materialului dislocat. Această energie de transport este egală cu lucrul mecanic efectuat de forța de greutate $G = m_{min} \times g$ (în care g = accelerația gravitațională = 9.81 m/s^2) pe distanța de transport d_t în intervalul de timp Δt .

Matematic cele de mai sus se exprimă prin ecuația: $d_t = 1/g \times (v_t^2 + \sum v_i^2) + h_{dep}$ (6.17.)

în care v_i reprezintă viteza medie a vântului în intervalul de timp i (t_i) aparținând intervalului analizat $\Delta t = \sum t_i$. La limită se poate înlocui suma cu o integrală a pătratului vitezei v_i dacă se cunoaște (se modelează) legea de variație a vitezei vântului în funcție de timp.

Introducând noțiunea de viteză medie a vântului notată cu v_{m-eol} ca o medie aritmetică a vitezelor instantanee determinate într-un interval de timp (medie anuală sau multianuală) Δt și considerând că materialul mineral este compus din argilă (exprimat prin $(\%)_{arg}$ evidențiat în curba granulometrică), praf, respectiv $(\%)_{praf}$ și nisip ($(\%)_{nisip}$) putem scrie că:

$1/2 \times m_{eol} \times v_{m-eol}^2 \times \Delta t = E_{t-arg}(m_{arg}, \Delta t_{arg}) + E_{t-praf}(m_{praf}, \Delta t_{praf}) + E_{t-nisip}(m_{nisip}, \Delta t_{nisip})$ (6.18.)

în care funcția $E_{t-arg}(m_{arg}, \Delta t_{arg})$ de exemplu reprezintă energia de transport a materialului argilos având masa $m_{arg} = m_{min} \times (\%)_{arg}$ iar Δt_{arg} reprezintă intervalul de timp în care vântul având o viteză $v_{eol} > v_{t-arg} = 0.027 \text{ m/s}$ asigură o deplasare a materialului mineral în conformitate cu ecuația (6.17).

Ecuația (6.18.) îndeplinește și condiția: $\Delta t = \Delta t_{arg} + \Delta t_{praf} + \Delta t_{nisip}$. Conform ecuației (6.14.1.) pentru determinarea variației energiei negative a depozitului de deșuri minerale aflat în etapa de conservare trebuie explicitat termenul $E_{m-dizolv}$ care în esență conține pierderea de exergie chimică a poluanților conținuți în deșuri prin fenomenul de dizolvare în apa subterană, de infiltrație în corpul depozitului și migrarea acestora spre SL_1 (\equiv stratul litosferic superficial al vegetației).

Fie n componenți poluanți conținuți în deșuri și C_i reprezentând concentrațiile acestora din apele subterane. Fiecare componentă i caracterizată de o exergie chimică X_{i-chim} , are definit un prag al concentrației (C_{i-prag}) a cărui depășire provoacă poluarea mediului. Energia chimică a unei componente poluante i este definită prin $E_{m_i-chim} = (C_i - C_{i-prag}) \times X_{i-chim}$

Fie mărimile V = volumul de material mineral și V_{al} reprezentând volumul golurilor materialului mineral umplut cu apă liberă (poate circula cu o viteză, rezultată din Legea Darcy pentru o curgere laminară verticală de sus în jos și pentru un gradient hidraulic $I_H = 1$, $v = K$ în care K = coeficientul de permeabilitate și care în funcție de diametrul eficace al granulelor minerale, d_{10} , are valoarea

$$K = 100 \times d_{10}^2$$

Definim **porozitatea eficace** ca fiind raportul $n_{ef} = V_{al} / V \times 100$, rezultând că volumul de apă înmagazinat în corpul depozitului de deșeuri minerale este: $V_{al} = n_{ef} \times V / 100$

Cu aceste precizări putem scrie că energia chimică a depozitului diminuată prin fenomenele de dizolvare și migrare spre SL_1 este egală cu: $Em_{dizolv} = n_{ef} \times V / 100 (\sum(\text{după } i)(C_i - C_{i-prag}) \times X_{i-chim})$ (6.19.)

Pentru definirea indicelui de evoluție exergetică $INDICE_{EX}$ trebuie să determinăm următorii parametri de intrare:

- ΔX_M respectiv variația exergetică a mediului depozitului care cu o aproximație bună poate fi considerată a fi egală cu acțiunile aparținând matricei pătratică (4 x 4) de interacțiuni $MI(Atm, SL_1, SL_2, Dep)$ conform ecuației (6.11.1) $\Delta X_M = MI_1(1,4) - MI_{(1+E)}(2,3) - MI_E(1,2) = I_{dep} + X_{dep/STO}$

- $X_{dep/STO}$ reprezentând exergia stocată în depozit în urma acțiunii principale a atmosferei.

Din definiția (4.6) pentru indicele evoluției exergetice și prin înlocuiri succesive rezultă că:

$$INDICE_{EX} = 1 + I_{dep} / X_{dep/STO} \quad (6.20.)$$

și care ne arată că evaluarea termenului $X_{dep/STO}$ permite calcularea acestui indice aparținând Analizei Neolitos, restul termenilor ecuației fiind determinați în paginile de mai sus.

Termenul $X_{dep/STO}$ are în principal două componente:

1. capacitatea corpului de depozit de deșeuri minerale de a înmagazina apele rezultate din precipitații (este funcție de porozitatea structurii geo-antropice) care prin fenomenul de dizolvare a poluanților conținuți de deșeuri și prin migrarea lor spre SL_1 & SL_2 pot reduce exergia chimică negativă a acestora. Definind porozitatea ca raportul dintre volumul golurilor dintre particulele minerale și volumul materialului mineral, respectiv $n = V_{gol} / V \times 100$ și prin analogie cu (6.19.) rezultă că $X_{chim-dizolv} = n \times V / 100 (\sum(\text{după } i)(C_i - C_{i-prag}) \times X_{i-chim})$ (6.21.)

2. capacitatea depozitului de a influența mediul său prin fenomenul de transport eolian și care este în funcție de coeziunea materialului mineral al deșeurilor. O vom nota cu $X_{chim-eol}$. Astfel putem scrie că $X_{dep/STO} = X_{chim-dizolv} + X_{chim-eol}$ iar indicele de evoluție exergetică poate fi aflat din relația:

$$INDICE_{EX} = 1 + (Em_{dep-i} + Em_{eol} + Em_{dizolv}) / (X_{chim-dizolv} + X_{chim-eol}) \quad (6.22.)$$

Indicele de stres, $INDICE_S$, definit ca o măsură a evaluării impactului depozitului asupra mediului său este determinat din ecuația: $INDICE_S = X_{dep/STO} / Em_{dep-f}$ sau explicitând din:

$$INDICE_S = (X_{chim-dizolv} + X_{chim-eol}) / (Em_{dep-i} + Em_{eol} + Em_{dizolv}) \quad (6.23.)$$

Ultimul parametru al Analizei Neolitos este indicele geo-antropic definit ca raportul dintre indicele de evoluție emergetic și indicele de stres și care are relația detaliată de calcul următoarea:

$$INDICE_{GA} = Em_{dep-i} / (X_{chim-dizolv} + X_{chim-eol}) \quad (6.24.)$$

Aplicarea Analizei Neolitos punctuală și totală (se determină toți cei patru indici exergetici de stare definiți prin ecuațiile (6.15.), (6.22.), (6.23.) & (6.24.)) în nodurile rețelei rectangulare de evaluare, permite întocmirea hărților exergetice-emergetice ale corpului geo-antropic analizat reprezentat de depozitul de deșeuri minerale și interpretarea lor pentru o cuantificare a impacturilor negative asupra

mediului. Acest lucru permite un management de calitate al Litosferei considerat a fi “fundamentul” dezvoltării omului (Antroposferei) mai ales din perspectiva principiului unei dezvoltări durabile.

7 Studiul de caz: Haldele de cenușă de termocentrală din zona Sânpetru-Brașov

7.1. Date generale

CET (Centrala Electrică și de Termoficare) Brașov a fost înființată la 1 ianuarie 1986, având ca principal profil de activitate producerea combinată de energie electrică și termică pe bază de lignit și gaze naturale. Structura CET Brașov a fost aprobată în anul 1983 pentru 2 turboagregate de 50MW cu două prize reglabile și 3 cazane cu aburi cu circulație naturală, de 420 t/h abur, cu funcționare pe lignit inferior (88%) și flacăra cu suport gaze naturale (12%). Cenușa rezultată din arderea lignitului era transportată și depozitată în două halde aflate pe amplasamentul Sânpetru folosind un sistem de transport hidrodinamic. Cele două halde sunt situate la nord de comuna Sânpetru și la baza versantului vestic al Dealului Lempeș. Aceste depozite sunt încadrate în clasa depozitelor industriale nepericuloase și inerte și se află în Anexa 5 a HG. 349/21 aprilie 2005 privind depozitarea deșeurilor. În conformitate cu acest act normativ (tabelul 5.6) sistemul de depozitare este alcătuit din: ● Halda Sud cu suprafața de 31.5 ha la cca 300 m de comuna Sânpetru; ● Halda Nord cu suprafața de 21 ha spre comuna Bod.

Depozitarea pe aceste halde a fost sistată (parțial, doar pe Halda Nord) la 31 decembrie 2006 (conform HG 349/2005), ele intrând în faza de stagnare-conservare urmând să fie închise conform și apoi monitorizate în faza de postînchidere.

Haldele Sânpetru reprezintă depozite neconforme de deșuri minerale nepericuloase și inerte care din punctul de vedere al geologiei mediului [17], [18] prin prisma datelor preliminare dar și prin prisma cerințelor generale de amplasare a unui astfel de depozit (anexa 2 din HG 349/2005) se descriu astfel:

- depozite de deșuri minerale fără barieră naturală în “patul” depozitului și fără “acoperiș” impermeabil;
- amplasamentul haldelor este într-un sistem hidrogeologic activ care a fost influențat de apa folosită la transportul și sedimentarea cenușei de termocentrală;
- Halda Sud este plasată la o distanță mult prea mică (300 m) față de comuna Sânpetru și care nu respectă reglementările de mediu (minimum 1000 m). Aceasta reprezintă o cauză majoră în declanșarea unor incidente de mediu;
- Cenușa de termocentrală din partea superioară a haldelor, în special fracțiunea argiloasă-prăfoasă (diametrul particulelor < 0.05 mm) este antrenată de vânt [32] care pentru zona Sânpetru-Brașov are direcția dominantă N-S (dinspre halde spre comuna Sânpetru) cu o medie multianuală a numărului de zile cu vânt de 39.2 zile (cca 60% din media Carpaților Meridionali) și produce creșterea cantității de suspensii minerale în aer peste limitele admisibile.
- Haldele sunt plasate în imediata apropiere (la baza versantului vestic, la mai puțin de 1000 m) a Dealului Lempeș care cuprinde și arii naturale protejate (rezervațiile botanice Dealul Cetății - Lempeș și Mlaștina Hărman), reprezentând un pericol pentru aceste areale.

7.2. Descrierea geologică a depozitului

Cercetările geologice zonale mai vechi [31] indică existența unei zone aluviale, orientată N-S, dezvoltată la izvoarele unui curs de apă (cca 5 km) care se varsă în râul Olt (zona cotului mare din tronsonul Hărman-Bod).

Ramura dreaptă, estică, a acestui bazin hidrografic, este reprezentată de versantul vestic al Dealului Lempes, “o insulă” cretacică (albian-vraconian) ivită în pleistocenul Țării Bârsei. Roca de bază a dealului este reprezentată de conglomerate masive, polimictice de tipul Postăvaru-Bucegi peste care stau depozite deluvial-coluviale mai tinere.

Ramura stângă, vestică a zonei aluviale, este reprezentată de o formațiune pleistocen-mediu de tipul fluviatil-lacustre alcătuită din argile, nisipuri și pietrișuri și care reprezintă o formă pozitivă de relief cu o energie medie de peste 10 m.

Între cele două ramuri, se dezvoltă **zona aluvială a acestui afluent stânga al Oltului**, alcătuită din roci sedimentare necoezive și grosiere, cu un comportament de straturi permeabile și care reprezintă principala componentă a sistemului hidrogeologic.

Pentru conturarea modelului geologic al zonei au fost executate următoarele lucrări de prospecțiune:

- cinci foraje geologice (notate FG) dispuse pe două profile (geologice și notate pe hartă cu PG5 & PG6) transversale pe structura geologică. Astfel:
 - o **profilul PG5**, orientat E-V este alcătuit din forajele geologice: FG1 în deluviul versantului vestic al Dealului Lempes (ramura dreaptă), FG2 în zona de ax a zonei aluviale și FG3 în zona formațiunii fluviatil-lacustre pleistocene (ramura stângă). Se află în zona centrală-mediană a structurii geologice, între cele două halde;
 - o **profilul PG6**, orientat NE-SV, la sud de halda cea mai apropiată de comuna Sânpetru (Halda Sud) și este compus din forajele geologice FG4 în zona de ax a zonei aluviale și FG5 la baza versantului vestic al Dealului Lempes, în zona coluvială.
- trei foraje pe Halda Sud, notate cu FGA1, FGA2 & FGA3 (foraje în structura geo+antropică) care au străpuns depozitul de cenușă de termocentrală (în care s-au recoltat probe pentru analizele chimice și geotehnice necesare caracterizării deșeurilor minerale) și oferă informații geologice ale patului depozitului respectiv. Prin FGA1 și FGA3 am definit **profilul geologic & antropic** PGA1 transversal pe depozit și structura geologică a amplasamentului și care este orientat NE-SV iar prin FGA1 și FGA2 am definit **profilul geologic & antropic** PGA2, longitudinal pe depozit și structura geologică, care este orientat N-S.
- cinci foraje pe Halda Nord, notate cu FGA4, FGA5, FGA6, FGA7 & FGA8 care au străpuns depozitul de cenușă de termocentrală și oferă informații geologice ale patului depozitului respectiv. Prin FGA6 și FGA8 am definit **profilul geologic & antropic** PGA3, transversal pe depozit și structura geologică a amplasamentului și care este orientat NE-SV iar prin FGA5, FGA6 și FGA7 am definit **profilul geologic & antropic** PGA4 orientat aproximativ N-S. Acesta reprezintă un profil longitudinal al structurii geologice a amplasamentului și al depozitului.

Amplasamentul haldelor este situat într-un sistem hidrografic (zona de izvoare) activ, plasat la baza versantului vestic al Dealului Lempes. Situația reliefului înaintea anului 1988, când a început depozitarea hidrodinamică a cenușei de termocentrală (perioada de probă a cazanelor), arată existența a trei cursuri de apă, orientate aproximativ S-N dispuse ca un evantai cu confluența la nord (cca 100 m) de actualul colț al Haldei Nord.

Cursul median (corespunzător axului zonei aluviale de vârstă holocen superior), cel mai important din punctul de vedere al debitelor de apă a fost obturat de cele două halde. Ramura stângă a evantaiului hidrografic, în prezent curge pe latura vestică-nord-vestică a Haldei Nord iar ramura dreaptă în prezent curge pe laturile estice (dinspre versantul vestic al Lempeșului) ale haldelor, fiind canalizat.

Acest sistem hidrografic după anul 1988 a fost barat de cele două depozite de deșeuri minerale care au fost plasate chiar în axul longitudinal al zonei aluviale dezvoltată între cele două forme de relief pozitive

reprezentate de versantul vestic al Lempeșului (conglomerate masive polimictice de vârstă albian-fracconian) și formațiunea fluviatil-lacustră pleistocen-mediu. Sistemul hidrografic a fost influențat de următoarele condiții hidrogeologice ale amplasamentului haldelor:

- ramura dreaptă a zonei aluvială alcătuită din deluviile versantului vestic al Lempeșului este cea mai importantă sursă de ape subterane. Observațiile nivelului apei în forajul FG1 (NI = 3.3 m) arată comportamentul ascensional al acesteia, astfel a fost măsurată o ridicare a nivelului cu 0.2 m în 15 minute și cu 1.2 m în 90 de minute. Infiltrațiile de apă sunt găzduite de episoadele mai grosiere (nisipuri și/cu pietrișuri) ale deluviilor dezvoltate pe conglomeratele cretacice de Postăvaru-Bucegi și care mulează paleorelieful conglomeratic. Aceste straturi permeabile comunică cu zonele permeabile ale zonei aluviale. Variația energiei de relief este descrescătoare pe direcția E-V;
- ramura stângă a bazinului hidrografic, corespunzătoare zonei coezive de vârstă pleistocen mediu, are un aport doar la nivelul apelor pluviale de suprafață. Lucrările de prospecțiune din această zonă (FG3) nu au interceptat apa subterană;
- zona aluvială, mediană aflată între cele două structuri geologice prezentate mai sus este caracterizată de o curgere subterană a apelor de la sud spre nord. Toate forajele din zonă (cele opt de pe halde dar și cele geologice FG2, FG3, FG4 & FG5) au interceptat apa subterană în intervalul de adâncime de 2-3.5 m măsurat față de cotele previzionate ale reliefului natural la nivelul anului 1988 (momentul construcției depozitelor). În zona Haldei Sud gradientul hidraulic longitudinal este de 0.3 m pe o distanță de 475 m (F1 – F2) corespunzând unei curgeri sub un unghi mai mic de un grad, respectiv câteva minute. În zona Haldei Nord gradientul hidraulic longitudinal este de 0.4 m pentru o distanță orizontală de 150 m (F5-F6) corespunzând unei curgeri sub un unghi mai mic de un grad, respectiv 10 minute.
- datorită obturării cursurilor de apă de către halde (în special cursul mediu poziționat chiar în axul zonei aluviale) s-au dezvoltat între cele două halde (vezi zona PG5) trei zone de băltire a apelor care în principal sub alimentate din izvoare de fund iar în secundar (mai ales cea dreaptă poziționată la baza versantului) din apele pluviale;
- în timpul transportului și sedimentării hidrodinamice a cenușii de termocentrală apa folosită “a trecut” prin corpul depozitului (care s-a comportat ca un material permeabil, respectiv un nisip) alimentând suplimentar sistemul hidrogeologic al amplasamentului

Corpul haldelor care se comportă ca un uriaș burete nu a eliminat apa antropică folosită la transportul și sedimentarea hidrodinamică a cenușii de termocentrală astfel că ea a fost întâlnită în cele două depozite după cum urmează: ● Halda Sud cu N_{NHA} (nivelul hidrostatic antropic) la adâncimi cuprinse între 3.2 – 3.5 m de la cota terenului antropic, respectiv partea superioară a haldei; ● Halda Nord cu N_{NHA} la adâncimi cuprinse între 4.1 m și 4.7 m de la cota terenului antropic.

Pentru prezenta lucrare au fost recoltate și analizate granulometric următoarele probe: ● 16 din corpurile depozitelor de deșeuri, respectiv 6 probe din Halda Sud și 10 probe din Halda Nord; ● 7 probe din patul haldelor sau din zonele superficiale ale structurii geologice. Rezultatele sunt prezentate în buletinele de analiză anexate în partea grafică a lucrării.

Concentrația elementelor chimice analizate sunt prezentate în buletinele de analiză anexate în continuare iar elementele care exced pragurile stabilite în normativele (O.MAPPM 756/1997) privind ecologia solului și depășirile procentuale sunt cele prezentate sintetic în tabelul de mai jos:

elementul	compus	Prag O.MAPPM 756/1997	Valoare medie	Observații
Ni	Ni ⁺²	75	100.46	depășire cu 33.95%
Cr	K ₂ Cr ₂ O ₇	100	106.88	depășire
U	UO ₃ H ₂ O	5 *	9.07	depășire
Th	ThO ₂	14*	20.18	depășire
S	FeS ₂	1000	2825	depășire

* [24]

7.3. Analiza Neolitos a haldelor de cenușă Sânpetru-Brasov

Analiza Neolitos (A.N.) aplicată amplasamentului haldelor Sânpetru – Brașov presupune calcularea indicelui evoluției emergetice și a indicelui de stres în intervalul de timp al anilor 1988 – 2008, care corespunde etapei de dezvoltare a depozitelor de deșuri minerale reprezentate de cenușa de termocentrală aparținând CET Brașov. Pentru aplicarea A.N. amplasamentul haldelor și zonele adiacente a fost acoperită de o rețea de evaluare compusă din 12 profile transversale orientate E – V începând de la nord spre sud și 8 profile longitudinale orientate N – S și numerotate de la vest spre est. În cele 96 de noduri ale rețelei notate pe hărți cu PE (n, m), respectiv punct de evaluare (n, m) unde n reprezintă numărul profilului transversal iar m reprezintă numărul profilului longitudinal, au fost calculați indicii evoluției emergetice $INDICE_{EE}$ și indicii de stres $INDICE_S$, reprezentați în sistem 2D și prin interpolare cu ajutorul calculatorului s-au obținut hărțile emergetice și de stres ale haldelor Sânpetru – Brașov.

În timpul dezvoltării haldelor evoluția emergetică este exprimată prin: ● energia chimică (aplicarea relației 6.12.) a substanțelor chimice poluante care depășesc pragurile de alertă prevăzute de normativele care definesc poluarea solului; ● energia exprimată de energia potențială a deșeurilor minerale (aplicarea relației 6.12.1.) care exercită o forță de compresiune asupra structurii geologice aflată în patul haldelor; ● energia sistemelor de vegetație prin schimbarea destinației terenului de la agricol la silvic (pășune). Energia finală este mai mică decât cea inițială a structurii geologice a amplasamentului (înainte de începerea depozitării) având explicația prin faptul că se exercită acțiuni negative asupra mediului deci este nevoie de energie pozitivă pentru îndepărtarea efectelor generate de dezvoltarea depozitelor de deșuri. Indicele evoluției emergetice, respectiv $INDICE_{EE}$, este exprimat prin raportul dintre energia finală a sistemului și cea inițială (cap. 4), respectiv $INDICE_{EE} = Em_{sf} / Em_{si}$. În primă fază a fost calculată energia chimică a elementelor poluante analizate chimic. Calculul a fost făcut pentru un volum de 0.01 mc echivalent aproximativ cu un foraj cu diametrul de 0.1 m și lungimea de 1 m pentru toate cele 8 foraje geologice și antropice (FGA1 – FGA8). Aceste valori etalon au fost multiplicare cu grosimea depozitului determinată în forajele FGA obținându-se valori globale reprezentative pe foraje care au fost folosite la calcularea energiei chimice în nodurile rețelei de evaluare. Valorile etalon ale energiei chimice calculate, prezentate pe foraje, sunt următoarele:

Nr. crt.	Forajul	Energia chimică (kJ)	Observații
1	FGA1	172662.1	Halda Sud
2	FGA2	102360.2	Halda Sud
3	FGA3	192419.4	Halda Sud
4	FGA4	85713.9	Halda Nord
5	FGA5	85441.9	Halda Nord
6	FGA6	90622.8	Halda Nord
7	FGA7	54525.4	Halda Nord
8	FGA8	46097.3	Halda Nord

Contribuția cea mai mare la aceste valori ale energiei chimice (Em_{CHIM}) o au concentrațiile de *nicel* pentru care s-a identificat o depășire medie a pragului admisibil de 33.95% și concentrația *sulfului* cu o depășire medie de 182.5%.

Pentru calculul energiei sistemelor de vegetație (Em_{SV}) agricole a fost comparat prețul unui kg de grâu cu cel al unui kwh (echivalent energetic) iar pentru cele silvice (pășuni și pădure) a fost folosită echivalența $Em_{agr} = 20 Em_{silv}$.

Folosind pentru energia exprimată printr-o energie potențială (Em_{EP}) care produce o compresiune a straturilor geologice din patul depozitului, densitatea de 1400 kg/mc pentru cenușa de termocentrală (în stare umedă, pentru strarea uscată $\rho = 700$ kg/mc) s-au obținut pentru cele trei componente, care diminuează energia inițială a mediului rezultând energia finală, valori cu următoarele ordine de mărime:

$$10^{18}Em_{SV} = 10^6Em_{EP} = Em_{CHIM}$$

Din aceste considerente la calcularea indicelui de evoluție emergetică în nodurile rețelei de evaluare (PE) au fost folosite doar valorile Em_{CHIM} , restul având contribuții de 10^{-4} dintr-un %, mult prea mici pentru a putea fi reprezentate și interpolate pe hartă.

Calcululele întregii rețele de evaluare și valorile obținute sunt prezentate sintetic în tabelul de mai jos.

Indicele de stres, respectiv $INDICES$, parametru de calcul al Analizei Neolitos care exprimă efectul sistemului (al haldelor de cenușă) asupra mediului este definit, conform relației (4.7.) aplicată situației studiate prin:

$$INDICES = X_{AA/STO} / Em_{dep-f} \quad (7.1.)$$

în care $X_{AA/STO}$ reprezintă energia potențială a apei antropice (indice AA) stocată în depozit datorită porozității materialului mineral. Folosind relația (4.7.1.) ecuația (7.1) se poate rescrie ca:

$$INDICES = X_{AA/STO} / (INDICE_{EE} \times Em_{dep-i}) \quad (7.1.1.)$$

și care permite obținerea hărții de stres din datele hărții emergetice (reprezentarea bidimensională a $INDICE_{EE}$) dacă se evaluează porozitatea deșeurilor minerale.

Notând cu H_{DEP} grosimea depozitului în metri în punctul de evaluare considerat, cu H_{NHA} cu nivelul apei antropice în corpul depozitului și cu n porozitatea, prin calcule succesive pentru o coloană de material mineral cu secțiunea 0.1×0.1 mp, se obține o expresie pentru exergia (în jouli) stocată în depozit de forma:

$$X_{AA/STO} = n (H_{DEP} - H_{NHA})^2 \quad (7.2.)$$

Considerând energia inițială a zonei supusă evaluării, înainte de începerea depozitării cenușii de termocentrală, ca o constantă putem calcula indicele de stres prin relația:

$$INDICES = n (H_{DEP} - H_{NHA})^2 / INDICE_{EE} \quad (7.3.)$$

Rezultatele calcululelor indicelui de stres, $INDICES$, pentru cele 96 de noduri ale rețelei de evaluare definite prin coordonate topografice X, Y, Z în proiecție Stereo 70, sunt prezentate în tabelul sintetic de mai jos.

7.4. Hărți exergetice ale depozitului

Pentru întocmirea hărților specifice Analizei Neolitos a fost folosită o rețea de evaluare care acoperă o suprafață de 308 ha cu latura rețelei de 200 m. Rețeaua cuprinde 96 de noduri în care au fost calculați indicele evoluției emergetice ($INDICE_{EE}$) și indicele de stres ($INDICES$) pentru o perioadă de timp cuprinsă între momentul începerii construirii haldelor de cenușă (1988) și momentul sistării depozitării (1 ianuarie 2007).

Reprezentarea bidimensională a $INDICE_{EE}$ (parametru al Analizei Neolitos) o vom numi în continuare harta energetică iar reprezentarea bidimensională a parametrului de calcul $INDICE_S$ o vom numi harta de stres. O descriere sumară a hărților, obținute prin interpolarea automată cu ajutorul calculatorului folosind programul specializat AUTOCAD – LAND, este dată în continuare, hărțile fiind prezentate în partea grafică a lucrărilor iar interpretarea lor în capitolul următor.

► **Harta energetică**

Cuprinde valori în intervalul 1 și – 4.43 cu două anomalii de minim centrate pe cele două halde cu valori absolute calculate de – 2.21 în punctul de evaluare PE(3,5) pentru Halda Nord și minimul de – 4.43 în punctul de evaluare PE(9,3) pentru Halda Sud.

► **Harta de stres**

Cuprinde valori în intervalul 0 și – 10.39 cu două anomalii de minim centrate pe cele două halde cu valori absolute calculate de – 10.39 în punctul de evaluare PE(4,5) pentru Halda Nord și minimul de – 4.96 în punctul de evaluare PE(9,3) pentru Halda Sud.

7.5. Interpretarea rezultatelor

Rezultatele Analizei Neolitos (A.N.) aplicată amplasamentului haldelor de cenușă de termicentrală din zona Sânpetru – Brașov, vor fi prezentate separat pentru fiecare hartă, după cum urmează:

► **Harta energetică**

În esență această hartă exprimă construcția unui relief poluant (conține elemente chimice care depășesc pragurile admisibile din natură) alcătuit din două forme pozitive de relief. Interpretarea rezultatelor indică următoarele:

- s-au identificat trei zone de valori ale $INDICE_{EE}$, astfel:
 - valori pozitive, respectiv 1, pentru punctele în care destinația terenului în starea inițială și cea finală este aceeași. Corespund punctelor de evaluare cu situația:
 - agricol → agricol ;
 - silvic → silvic.
 - valori nule pentru punctele de evaluare în care a avut loc transformarea agricol → silvic în sensul că prin dezvoltarea depozitelor de deșeuri minerale terenul agricol din imediata apropiere a haldelor a fost scos din circuitul economic specific;
 - valori negative anormale corespunzătoare haldelor de deșeuri sau zonelor adiacente imediate în care prin transport eolian cenușa de termocentrală a fost depusă reprezentând zone cu impact negativ direct.
- există o anomalie de minim a parametrului $INDICE_{EE}$ centrată pe Halda Nord cu minimul absolut cu valoarea de – 2.21, având o formă care prezintă o corelare bună spre foarte bună cu forma haldei;
- există o anomalie de minim a indicelui de evoluție energetică centrată pe Halda Sud cu minimul absolut cu valoarea de – 4.43, având o formă care prezintă o corelare bună spre foarte bună cu forma respectivei halde;
- între cele două halde generatoare de anomalii ale indicelui evoluției energetice există o zonă de trecere cu valori nule având semnificația faptului că zona respectivă nu a mai fost cultivată trecând ca destinație în regimul silvic;
- între zonele cu valori nule ale $INDICE_{EE}$ și anomaliile propriu-zise, există zone cu valori negative mici care prezintă caracteristica “că înfășoară anomaliile” reprezentând zonele de impact negativ direct cauzat de transportul eolian al materialului mineral (mai ales fracțiunea argiloasă

și prăfoasă), fenomen intensificat după momentul sistării depozitării când s-a produs fenomenul uscării părții superioare a haldelor. (mai intens la Halda Nord).

► *Harta de stres*

În esență această hartă exprimă stresul provocat mediului prin construcția unui relief poluant (conține elemente chimice care depășesc pragurile admisibile din natură) alcătuit din două forme pozitive de relief în care se află stocată apă antropică care va fi eliminată natural în timp și care poate provoca alterarea apelor subterane cantonate în sistemul hidrogeologic activ existent înainte de amplasarea haldelor.

Interpretarea rezultatelor indică următoarele:

- s-au identificat două zone de valori ale $INDICE_S$, astfel:
 - o valori nule pentru punctele de evaluare în care apa antropică folosită la transportul hidrodinamic și sedimentarea cenușii de termocentrală nu a fost semnalată. Putem afirma că aceste puncte de evaluare care nu aparțin haldelor au aceste valori;
 - o valori negative anormale corespunzătoare haldelor de deșeuri sau zonelor adiacente imediate în care prin transport eolian cenușa de termocentrală a fost depusă reprezentând zone cu impact negativ direct.
- există o anomalie de minim a parametrului $INDICE_S$ centrată pe Halda Nord cu minimul absolut cu valoarea de -10.39 , având o formă care prezintă o corelare bună spre foarte bună cu forma haldei;
- există o anomalie de minim a indicelui de stres centrată pe Halda Sud cu minimul absolut cu valoarea de -4.96 , având o formă care prezintă o corelare bună spre foarte bună cu forma respectivei halde;
- între cele două halde generatoare de anomalii ale indicelui de stres există o zonă de trecere cu valori nule având semnificația faptului că zona respectivă este inertă în ce privește stresul provocat mediului neavând apă antropică stocată;
- între zonele cu valori nule ale $INDICE_S$ și anomaliile propriu-zise, există zone cu valori negative mici care prezintă caracteristica "că înfășoară anomaliile" reprezentând zonele de impact negativ direct cauzat de transportul eolian al materialului mineral (mai ales fracțiunea argilooasă și prăfoasă), fenomen intensificat după momentul sistării depozitării când s-a produs fenomenul uscării părții superioare a haldelor. (mai intens la Halda Nord) și care conțin poluanți dar nu au stocată apă antropică.

8 Concluzii și perspective

8.1. Concluzii

Am plecat la drum cu gândul de a încerca un alt punct de vedere asupra geosistemelor. În bagajul de start al demersului nostru am folosit cunoștințe din domeniile Geoștiințelor, mai exact din domeniul Geologiei și al Geofizicii completate cu informații aparținând următoarelor domenii ale Cunoașterii:

- Teoria Generală a Sistemelor (sistem, sistem complex sau mediul sistemului)
- Termodinamica (energie, exergie, emergie)
- Analiza Exergetică a Sistemelor (legea ireversibilității sistemelor, bilanțul exergetic);
- Analiza Ciclului de Viață (A.C.V.) și Analiza Emergetică a Ciclului de Viață (A.Em.C.V.) (indicele de producție emergetică sau *Emergy Yield Ratio* (EYR), fracțiunea de încărcare ambientală sau *Environmental Loading Ratio* (ELR) sau indicele de sustenabilitate SI (sustainability Index) definit ca raport al celor două mărimi anterioare).

Ideea centrală a lucrării este de adaptare a metodei A.Em.C.V. la Geoștiințe, prin ***găsirea unui set de parametri de stare care să caracterizeze geosistemele*** și de a ne verifica apoi demersul teoretic printr-o aplicație practică la cazul unui geosistem antropocentric reprezentat de un depozit de deșeuri minerale constituit din două halde de cenușă de termocentrală aflate pe amplasamentul Sânpetru – Brașov.

Așa cum spuneam anterior, *contribuția noastră principală a fost legată de ideea folosirii A.Em.C.V. în domeniul Geoștiințelor pentru explicitarea și rezolvarea unor probleme din domeniul Geologiei Mediului.*

Sinteza propunerilor noastre teoretice, structurate pe capitolele prezentei lucrări, este următoarea:

- *ecuația exergetică a unui sistem* care ne arată că *variația de exergie a mediului ambiant, când trimite un flux exergetic (acționează) asupra unui sistem inclus în acel mediu, este egală cu suma dintre ireversibilitatea fenomenelor produse în sistem și exergia stocată în sistem* (cap. 2.3.);
- *definirea componentelor geosistemului*, respectiv fizico-chimică, biologică, socio-culturală și economico-reziduală (cap.3.1.) și definirea matricei interacțiunilor dintre componente (M.I.);
- *legile de poziție ale geosistemelor* folosind noțiuni din Teoria Mulțimilor și din Analiza Matematică (limite) (cap. 3.2.);
- *modele exergetice ale unor acțiuni ale Litosferei* (cap. 3.3.1.), respectiv *cutremur de pământ* (3.3.1.1.), *alunecare de teren* (3.3.1.2.), *erupție vulcanică* (3.3.1.3.) și *fenomen geodinamic* (3.3.1.4.);
- *Analiza Neolitos* (noua scoarță modificată antropocentric) (cap. 4.2.1.) prin introducerea următorilor parametri pentru caracterizarea stării Litosferei definită ca geosistem:
 - o *indicele de evoluție emergetică* ($INDICE_{EE}$) definit ca raport dintre energia finală a sistemului și cea inițială (asemănător cu indicele de producție emergetică EYR din A.Em.C.V.);
 - o *indicele de evoluție a exergiei* ($INDICE_{EX}$) definit ca raportul dintre variația exergetică care acționează asupra Litosferei (între stările finală și inițială) și exergia stocată în sistem (Litosferă), rezultată din acțiunea primului termen;
 - o *indicele de stres* ($INDICE_{S}$) ca raport dintre exergia stocată în sistem rezultată dintr-o acțiune a mediului său și energia finală a sistemului (definită ca energia inițială la care se adaugă ireversibilitatea sistemului produsă de acțiune) (asemănător cu fracțiunea de încărcare ambientală ELR aparținând A.Em.C.V.);
 - o *indicele geo-antropic* ($INDICE_{GA}$) definit ca raportul dintre indicele de evoluție emergetică și indicele de stres (asemănător cu indicele de sustenabilitate SI aparținând A.Em.C.V.);
- *Modelul Neolitos* (cap. 4.2.2.) care a însemnat explicitarea ecuației exergetice pentru mai multe modele, respectiv:
 - o *un sistem și două medii* (model de rangul 3);
 - o *două sisteme și un mediu*; (rang 3)
 - o *două sisteme și două medii* (model de rangul 4);
 - o *cazul general m sisteme și n medii* pentru care a fost propus un algoritm de reducere a rangului modelului (m+n);
- *Aplicația Neolitos*, aplicație informatică pentru construirea și gestionarea unei baze de date specializate pe principiile Analizei Neolitos;
- *construirea unui model calitativ exergetic pentru evaluarea interacțiunilor Antroposferei, Hidrosferei și Atmosferei cu Litosfera* (cap. 5.1.);
- *modelul exergetic structural al Litosferei* (cap. 5.2.1.);
- *exemple de calcul exergetic ale unor interacțiuni ale Litosferei* (cap. 5.2.2.);

- interacțiunea exergetică dintre Antroposferă și Litosferă prin:
 - o impactul Antroposferei asupra Stratului Litosferic al Vegetației (componenta SL₁ aparținând modelului exergetic structural al Litosferei) în capitolul (5.3.1.);
 - o impactul antropoc asupra Stratului Litosferic Geotehnic (SL₂) (cap. 5.3.2.);
 - o impactul antropoc asupra Stratului Litosferic al Resurselor Naturale (SL₃) (cap. 5.3.3.);
- posibilități de management ale Litosferei prin folosirea aplicației informatice Neolitos (cap. 5.4.);
- aplicarea Analizei și Modelului Neolitos la domeniul Geologiei Mediului prin:
 - o descrierea ecuației exergetice a unui depozit suprateran de deșeuri minerale (cap. 6.2);
 - o corelarea ecuației exergetice cu matricea de interacțiuni pentru cazul unui depozit suprateran de deșeuri minerale (cap. 6.3.);
 - o Analiza Neolitos aplicată unui depozit suprateran de deșeuri minerale în etapele sale de dezvoltare și conservare (cap. 6.4.).

Verificarea demersului nostru teoretic a fost făcută prin aplicarea Analizei Neolitos asupra haldelor de cenușă de termocentrală aflate pe amplasamentul Sânpetru – Brașov (cap.7.). Aceste halde însumând peste 50 de ha, aflate în faza de stagnare-conservare, (sistarea depozitării a fost făcută la data de 1 ianuarie 2007) reprezintă un relief antropoc poluant (cu o energie de relief considerabilă, de peste 20 m față de culoarul dezvoltat între formațiunea pleistocenă a Țării Bârsei și conglomeratul cretacic al Dealului Lempes) care a fost studiat din punct de vedere geologic (13 foraje de cercetare), chimic (23 de analize chimice ale elementelor principale și secundare conținute în cenușa de termocentrală, în apa antropocă aflată în corpul depozitului dar și în apa freatică a zonei amplasamentului) dar și exergetic. Aplicarea Analizei Neolitos a avut ca rezultat final construirea hărților emergetice (reprezentarea bidimensională X-Y, în coordonate Stereo 70, a parametrului exergetic INDICE_{EE}) și de stres (reprezentare spațială a parametrului INDICE_S) ale amplasamentului analizat și interpretarea rezultatelor.

S-a ales analizarea acestui corp geologic a cărui formă era cunoscută, pentru a studia corelarea dintre volumetria depozitului de deșeuri minerale și anomaliile exergetice exprimate prin hărțile emergetice și de stres amintite mai sus, observându-se o corelare foarte bună între ele.

Din cunoștința noastră, sunt primele hărți exergetice de acest gen care evidențiază un corp geo antropoc.

Ca o concluzie generală a lucrării noastre putem identifica:

- rezultate la nivel teoretic prin folosirea exergetiei în Geologie, care s-au structurat într-o metodă de analiză a sistemelor (mai exact a geosistemelor) pe care am intitulat-o Analiza și Modelul Neolitos;
- rezultate practice, generate de aplicarea conceptelor teoretice structurate în Analiza Neolitos la studiul de caz ales, prin construirea primelor hărți exergetice (emergetică și de stres) ale unui corp geoantropic.

Abordarea exergetică a Geologiei este importantă pentru că permite o “privire globală” asupra Litosferei (în acord cu tendințele “contradictorii” (în aparență) accentuate, de globalizare și specializare, ale Cunoașterii). Harta emergetică a depozitului de deșeuri minerale este o sinteză spațială a trei componente emergetice total diferite aparținând unor domenii precum:

- *Economia* prin energia sistemelor de vegetație;
- *Fizica* prin energia reliefului antropoc exprimată prin energia potențială care exercită o forță de compresiune a structurii geologice a patului depozitului;
- *Chimia* prin energia chimică a elementelor poluante (ce depășesc pragul admisibil) conținute în cenușa de termocentrală.

8.2. Perspective

Punctul nostru de vedere exprimat prin prezenta lucrare, pe care-l putem numi unul exergetic, în Geologia Mediului, se constituie ca o metodă de analiză și gestiune a mediului geologic și care poate fi dezvoltată în viitor.

Să facem o recapitulare a problemelor de mediu generate de haldele de cenușă de termocentrală situate pe amplasamentul Sânpetru – Brașov dar și o proiecție în viitor, privind utilizarea cunoștințelor cuprinse în lucrare pentru reecologizarea zonei:

- 1) probleme de mediu:
 - a. scoaterea de teren din circuitul agricol;
 - b. construirea unui relief antropoc poluant;
 - c. afectarea sistemului hidrografic (bararea unui curs de apă) și hidrogeologic (deșeurile încadrate granulometric în categoria nisipuri reprezentând straturi permeabile au permis accesul apei antropice folosită la transportul și sedimentarea hidrodinamică, afectând sistemul apelor subterane din zonă) al amplasamentului;
 - d. incidente de mediu cu mediul rezidențial al comunei Sânpetru prin transportul eolian al fracțiunii argiloase și prăfoase conținute de cenușa de termocentrală, fenomen cu tendință de creștere în perioada actuală de stagnare-conservare a depozitului când partea superioară a haldelor este uscată.
- 2) Reecologizarea amplasamentului printr-o **abordarea clasică** presupune acoperirea depozitului de cenușă de termocentrală, reprezentând un depozit de deșeuri industriale nepericuloase și inerte, cu o structură alcătuită din:
 - i. strat mineral de egalizare;
 - ii. geomembrană din polietilenă de înaltă densitate;
 - iii. strat mineral de protecție a membranei;
 - iv. sol vegetal pentru stratul de recultivare.
- 3) Reecologizarea amplasamentului prin **abordarea exergetică** presupune următoarele:
 - i. analiza exergetică a amplasamentului și a zonelor adiacente cu evidențierea unei activități complementare cu cea de închidere a haldelor de cenușă de termocentrală, respectiv generarea de deșeuri minerale din construcții în timpul execuțiilor gropilor de fundații ale imobilelor care se construiesc.
 - ii. Zona de dezvoltare a Brașovului este spre nord, spre Țara Bârsei respectiv spre comuna Sânpetru. O casă etalon de 100 mp pe nivel, având adâncimea de fundare mai mare decât adâncimea de îngheț (1.1 m) produce cel puțin 50 mc de material excavat (umplutură, sol vegetal, roci coezive de tipul prafuri și argile și roci necoezive de tipul pietrișuri și nisipuri) reprezentând o masă minerală de cel puțin 100 t (le putem denumi **deșeuri geotehnice**). Costurile de depozitare în structurile ecologice specializate, depozite municipale, sunt de peste 1000 euro (depozitarea unei tone de deșeuri costă aproximativ 50 lei). La un ritm de construcție echivalat cu realizarea a 1000 case anual, identificăm costuri de peste 1 milion de euro numai pentru depozitarea deșeurilor geotehnice;
 - iii. gestionarea exergetică a deșeurilor geotehnice (pe fracțiuni granulometrice pentru obținerea unor permeabilități diferite și în funcție de gradul de contaminare) rezultate din construcții, permite realizarea celor patru funcțiuni descrise la punctul 2 (abordarea clasică a reecologizării). **Propunem o precizare a deșeurilor geotehnice încă din faza de proiectare specifică.** Acest lucru ar reprezenta un prim pas pentru un management exergetic eficient al Litoferei, pe care specialistul în Geologie (Geologie Inginerească, Geotehnică sau Geologie a Mediului) trebuie să-l

facă. Pe scurt cheltuielile de reecologizare aproape devin nule prin folosirea deșeurilor geotehnice la închiderea depozitului;

- iv. în final dacă am face bilanțul realizărilor, am putea spune că:
1. putem realiza închiderea haldelor cu cheltuieli minime (aproape nule);
 2. putem rezolva problema depozitării deșeurilor geotehnice fără cheltuieli;
 3. putem reduce impactul negativ al Antroposferei asupra Litosferei (SL₂ & SL₃) prin faptul că materialul mineral care ar fi necesar la reecologizarea clasică nu mai este identificat ca resursă care trebuie exploatată, reprezentând o rezolvare în spiritul dezvoltării durabile, sustenabile.

Analiza, Modelul și Aplicația Neolitos, perfecționate în viitor prin cercetări ulterioare, pot să îndeplinească cu succes următoarele funcții:

- metodă de modelare a interacțiunilor dintre Antroposferă și Litosferă în procesul de elaborare a studiilor de impact necesare promovărilor de investiții ;
- metodă de evaluare a impactului antropocentric asupra sistemelor (geosistemelor) naturale sau antropizate în procesul de corectare a funcționării lor;
- metodă de management a activităților cu impact asupra componentelor litosferice. (în special Aplicația Informatică Neolitos).

Bibliografie

1. Airinei Ștefan, *Pământul ca planetă*, Editura Albatros, București 1982;
2. Băncilă Ion & alții, *Geologie inginerească vol I+2*, Editura Tehnică, București 1982;
3. Belea Constantin, *Teoria sistemelor*, vol II, sisteme neliniare, Editura Didactică și Pedagogică, 1985;
4. Bică Marin & Filipaș Titus, *Mediul ambiant și exergia*, Editura Academiei, București 2005;
5. Bonis Ioji, *Sistem-informație*, în Sisteme în Științele Naturii, p.153-167, Ed. Academiei, București 1979;
6. Botez C. Mihai & Mariana Celac, *Sistemele spațiului amenajat*, Editura Științifică și Enciclopedică, București 1980;
7. Chamchine A. V. & alții, *Exergy indicators of environmental Quality*, University of Central Lancashire;
8. Constantinescu Liviu, *Sinergismul în cercetările geonomice*, discurs de recepție în Academia Română, București, aprilie 1992;
9. Forrester Jay W., *Principiile sistemelor*, Ed. Tehnică, București 1979;
10. Hermann A. Weston, *Quantifying global exergy resources*, articol internet www.elsevier.com ;
11. Iacomir Mihail, *Despre geosisteme*, comunicare la simpozionul Environment & Progress, Agnita 2005
12. Ionescu Sisești Ileana, *Structuri de sistem-o metodă de analiză*, în Sisteme în Științele Sociale p.99-105, Ed. Academiei, București 1977;
13. Ionescu Vlad, *Teoria sistemelor*, vol. I, sisteme liniare, Editura Didactică și Pedagogică, București 1985;

14. Lupașcu Gheorghe & alții, *Știința și ecologia solului*, Editura Universității “Al. I. Cuza” Iași 1998;
15. Marcu Florin, *Noul dicționar de neologisme*, Editura Academiei, București 1997;
16. Marius Albu & Constantin Pene, *Mecanica fluidelor pentru ingineria geologică*, curs Facultatea de Geologie și Geofizică București, Editura Universității București 1997;
17. Mărunțeanu Cristian, *Urbanism și mediul geologic*, curs Facultatea de Geologie și Geofizică București, Editura Universității București 1994 ;
18. Mărunțeanu Cristian, Mihaela Stănciuc, *Ingineria geologică a depozitelor de deșeuri*, curs Facultatea de Geologie și Geofizică București, Editura Universității București 2001;
19. Montelongo – Luna M. Juan & alții, *An Open Source Exergy Calculator Tool*, Chemical & Petroleum Engineering Department, University of Calgary;
20. Muntean Liviu, *Studii de impact*, curs 2004, Facultatea de Știința Mediului, U.B.B. Cluj Napoca;
21. Ngueyen X. Hong & alții, *Total exergy loss as an indicator for resource scarcity in LCIA*, Institute of Industrial Science, University of Tokyo ;
22. Pascu Ursu & alții, *Protejarea aerului atmosferic*, Editura tehnică București 1978;
23. Roegen Georgescu Nicholas, *Legea entropiei și procesul economic*, Editura politică, București 1979;
24. Sahama G.Th. & Rankama K., *Geochimie*, Editura Tehnică, București 1970
25. Sinclair H. R. Jr, *Soil data for Wind Erosion Prediction System*, articol internet;
26. Stănciulescu Florin, *Modelarea sistemelor de mare complexitate*, Editura Tehnică, București 2003;
27. Szargut Jan & Wojciech, Valero Alicia & Antonio, *Towards an International Reference Environment of Chemical Exergy*, Elsevier-Science, articol internet; octombrie 2005
28. Vasilescu Adrian, *Aspecte ale tratării sistemice în modelarea sistemelor teritoriale*, în Sisteme în Științele Sociale p.89-97, Ed. Academiei, București 1977.
29. Wall Goran, *Conditions and tools in the design of energy conversion and management systems of a sustainable society*, articol internet www.elsevier.com ;
30. Colectiv de autori, *Metodologie de elaborare a hărților de hazard seismic local pentru localități urbane*, MP 026 - 2004
31. Colectiv de autori, *Harta geologică scara 1:50000, Foaia Bod 95, L-35-76-C*, Institutul de Geologie și Geofizică, București 1987
32. Colectiv de autori, *România Mediul și Rețeaua Electrică de Transport, Atlas Geografic*, Editura Academiei Române, București 2002
33. USACE (U.S. Army Corps of Engineers) Publications, EM 1110 -2-1100/Part III/cap. 4, *Wind Blown Sediment Transport*, april 2002, internet: <http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/>
34. Stanciu Anghel & Lungu Irina, *Fundații*, Editura Tehnică, București 2006

Alte lucrări:

35. Anastasiu Nicolae, Grigorescu Dan, Mutihac Vasile & Popescu C. Gheorghe, **Dicționar de Geologie**, Editura Didactică și Pedagogică R.A. ediția a II a, București 2007
36. Arad Susana, Arad Victor & Chindriș Gheorghe, **Geotehnica Mediului**, Editura Polidava, Petroșani 2000
37. Bliss D. James & alții, **Statistical, economic and other tools for assessing natural aggregate**, Bulletin of Engineering Geology, Springer 2005
38. Devlin John F., Marios Sophocleous, **The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability**, Hydrogeology Journal, Springer 2005
39. Dincer Ibrahim & Yunus A. Cengel, **Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering**, www.mdpi.org/entropy
40. Dordea Manuela, Nicolae Coman, **Ecologie umană**, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca 2005
41. Duma Sigismund, **Geoecologie**, Editura Dacia, Cluj Napoca 2000
42. Finnveden Goran & Moberg Asa, **Environmental Accounts and Material Flow Analysis and other Environmental Systems Analysis Tools**, Environmental Strategies Research Group and Department of Systems Ecology, Stockholm University, articol internet
43. Florea N. Mircea, **Alunecări de teren și taluze**, Editura Tehnică, București 1979
44. Grecu Florina, **Hazarde și riscuri naturale**, Editura Universitară, București 2004
45. Hancock G. R., **The use of landscape evolution models in mining rehabilitation design**, Environmental Geology, Springer 2004
46. Hau Jorge L. & Bhavik R. Bakshi, **Expanding Exergy Analysis to Account for Ecosystem Products and Services**, Department of Chemical Engineering, The Ohio State University, articol internet
47. Hau Jorge L. & Bhavik R. Bakshi, **Life Cycle Environmental and Economic Analysis for Engineering Decision Making - A Hybrid Exergetic Approach**, Department of Chemical Engineering, The Ohio State University, articol internet
48. Hau Jorge L. & Bhavik R. Bakshi, **Promise and Problems of Emergy Analysis**, Department of Chemical Engineering, The Ohio State University, articol internet
49. Ianoș Ioan, **Sisteme teritoriale**, Editura Tehnică, București 2000
50. Ielenicz Mihai & colectiv de autori, **Dicționar de Geografie Fizică**, Editura Corint, București 1999
51. Ielenicz Mihai, **Geomorfologie**, Editura Universitară, București 2005
52. Ionescu Cicerone, **Managementul Mediului**, Editura Economică, București 2005
53. Lăzăroiu Gheorghe, **Impactul CTE asupra mediului**, Editura Politehnica Press, București 2005

54. Logan Kenneth G. , *The Truncated Discovery Process Model*, Natural Resources Research, Springer 2005
55. Lupea Alfa Xenia & alții, *Fundamente de chimia mediului*, Editura Didactică și Pedagogică RA, București 2008
56. Marchidanu Eugeniu, *Geologie pentru ingineri constructori*, Editura Tehnică, București 2005
57. Miliareisis George , Nikos Sabatakakis, George Koukis, *Terrain Pattern Recognition and Spatial Decision Making for Regional Slope Stability Studies*, Natural Resources Research, Springer 2005
58. Mutihac Vasile, Stratulat Maria Iuliana, Fechet Roxana Magdalena, *Geologia României*, Editura Didactică și Pedagogică R.A., București 2004
59. Oprean Constantin, Suci Octavian, *Managementul calității mediului*, Editura Academiei Române, București 2003
60. Pârvu Constantin & colectiv de autori, *Dicționar enciclopedic de mediu, 2 volume*, Regia Autonomă Monitorul Oficial, București 2005
61. Pretty Jules & alții, *Waste Management*, Editura Academiei Române, București 2003
62. Roberts Neil & alții, *Schimbările majore ale mediului*, Editura All, București 2002
63. Ross Martin, Michel Parent, Ren Lefebvre, *3D geologic framework models for regional hydrogeology and land-use management: a case study from a Quaternary basin of southwestern Quebec, Canada*, Hydrogeology Journal, Springer 2005
64. Rush D. Robinett, III, David G. Wilson, Alfred W. Reed, *Exergy Sustainability for Complex Systems*, Sandia National Laboratories, New Mexico, articol internet
65. Sciubba Enrico, *Using Exergy to evaluate Environmental Externalities*, Dept. of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Roma, articol internet
66. Silvan Andrei, Boboc Iustin George, *Dicționar Englez Român de Geotehnică și Fundații, Geologie, Hidrogeologie, Geofizică, Foraj, Minerit*, GEOTEC, Institutul de Studii Geotehnice și Geofizice, București 1997
67. Simion V., *Întroducere în fizica mediului*, Editura Presa Universitară Clujană, Cluj Napoca 2001
68. Stugren Bogdan & alții, *Probleme moderne de ecologie*, Editura științifică și enciclopedică, București 1982
69. Colectiv de autori, *Multi criteria analysis for the identification of waste disposal areas*, Kluwer Academic Publishers, Olanda 2004, articol internet
70. Colectiv de autori, *Experimental and numerical study of pollution process in an aquifer in relation to a garbage dump field*, Environmental Geology, Springer 2005
71. Colectiv de autori, *Experimental and modelling approaches for the assessment of chemical impacts of leachate migration from landfills: A case study of a site on Triassic sandstone aquifer in UK East Midlands*, Geotechnical and Geological Engineering, Springer 2005