POLUAREA TERMICĂ A MEDIULUI – O PROVOCARE PENTRU EDUCAȚIE

Alexandru CHISACOF (Prof. Dr. Ing)
Universitatea POLITEHNICA Bucureşti,
Catedra de Termotehnică, Maşini Termice şi Frigorifice
Spl. Independenței nr. 313, RO-060042, Sector 6,
e-mail: achisacof@clicknet.ro

Rezumat : Sistemele industriale de diferite tipuri trebuie sa satisfacă criteriile economice precum şi restricțiile impuse de mediu. Aceste scopuri pot fi atinse prin realizarea unei eficiențe ridicate de folosire a energiei şi materiilor prime, cuplată cu recuperarea materialelor refolosibile ceea ce are drept consecință minimizarea risipei. Pe de altă parte, factorii fizico-chimici ai mediului se modifică datorită evacuărilor de fluide care posedă un anumit potențial termic şi chimic, ceea ce conduce la accentuarea poluării termice şi a efectului de seră, fenomene care generează comportamente neobişnuite ale climei şi a populațiilor.

Lucrarea prezintă conceptul de poluare termică legat de fluxurile de energie şi materii evacuate în mediu. Sunt prezentate contribuțiile savanților români Simion Mehedinți şi Nicolae Georgescu Roegen la conceptul de poluare termică. Sunt arătate cauzele poluării termice a mediului fie direct, prin efluenți proveniți de la procesele antropice, fie indirect prin efectul de seră, precum şi consecințele asupra omului, florei şi faunei.

Concluziile pun în evidența măsurile care se impun a fi luate în viitorul imediat privind adaptarea şi actualizarea cursurilor şi programelor analitice universitare, precum şi pentru orientarea cercetările ştiințifice spre a concepe şi realiza produse şi servicii cu poluare cumulată redusă, pe toată durata ciclului lor de viață.

ABSTRACT. The industrial plants of various types must satisfy the economic criteria and the environmental restrictions. These goals may be attained by the high efficiency use of the energy and raw materials together with the recovery of the reusable resources, which have as consequence the waste minimization. On the other hand, the physico-chemicals factors of the environment change due of the released fluids having a certain thermal and chemical potential, which lead to the escalation of the thermal pollution and of the greenhouse effect. These phenomena may generate the unknown behaviour of the clime and of the populations.

The paper presents the thermal pollution concept in connection with the energy and material fluxes ejected in the environment. The huge contributions of the Rumanian erudite scientists Simion Mehedinți and Nicolae Georgescu Roegen to the thermal pollution are displayed. The thermal pollution due of the antropic processes and its consequences on the flora and on the faun are mentioned. Due to this approach, a new vision on the technologies must be a priority for education in general, and for teaching in the schools of engineers in special. The scientific research should be guided toward the eco-design for the products and services taking into consideration the reduction of the pollution cumulated during the life cycle of them.

Cuvinte cheie: poluarea termică, efectul de seră; concepție ecologică, principiul IV al termodinamicii.
Keywords: thermal pollution; greenhouse effect; eco-design; forth law of thermodynamics.

1. INTRODUCERE

Evacuarea căldurii în mediu ambiant, în special în mediile acvatice, constituie o formă de poluare fizică, care prin modificarea temperaturii poate provoca serioase perturbații în flora şi fauna subacvatică. Majoritatea surselor de poluare termică se consideră a fi constituite de sistemele de răcire ale centralele electrice clasice şi nucleare, industria chimică, metalurgică şi transportul naval [1]. Evaluările privind creşterea temperaturii apei râurilor şi fluviilor, în aval de centralele electrice menționate, se limitează 10 grade. Chiar şi în aceste condiții modificările structurale subacvatice sunt notabile. Apa de ploaie cauzează şi ea poluare termică în procesul de curgere fiind expusă radiației solare. De asemenea despăduririle provoacă încălzirea solurilor, care sunt expuse direct radiației solare ([2], [3], [4]). Din punct de vedere fizic această creştere de temperatură conduce la reducerea concentrației de gaze din apă (O_2, CO_2, N_2 şi altele), acidificarea apelor, evaporarea unei cantități importante de lichid, deci umidificarea atmosferei şi creşterea efectului de seră.

Creşterea temperaturii mediului modifică caracteristicile fizice, chimice şi biologice ale acestuia. Astfel reacțiile metabolice sunt accelerate până la un anumit prag critic, după care devin mai lente. Adeseori efectele termice sunt mai subtile, precum gradul de letalitate care cu toată lentoarea sa are consecințe privind reproducția animalelor, durata lor de viață, modificarea comportamentului, chiar eliminarea unor specii. Din punct de vedere fizico-chimic creşterea temperaturii mediului provoacă : modificarea constantei vitezei de reacție; deplasarea echilibrului carbonat-bicarbonat şi amoniac – amoniu prin creşterea cantității de amoniac, care este un produs toxic. În general, la temperaturi mai ridicate sensibilitatea organismelor la substanțe toxice creşte. Pe de altă parte consumul de oxigen la vertebrate sporeşte substanțial. Astfel, pentru fauna subacvatică cererea biologică de oxigen se dublează la o creştere a temperaturii apei cu 10 grade. Pe de altă parte, la temperaturi ridicate ale apei scade concentrația de oxigen, deci deficitul acestuia se măreşte, ceea ce implică apariția fenomenului de asfixiere. Modificarea temperaturii mediului provoacă un stress pe ansamblul terestru viu, stress care are efecte subletale asupra organismelor precum : metabolismul, sporul populației, alimentația şi digestia, respectiv letale : durata de viață, starea de sănătate. Ca efecte indirecte ale temperaturii se desprind : disponibilitatea hranei, migrația, amplitudinea mişcărilor sociale.

După cum se constată omul şi energia constituie un binom indestructibil (*des amants terribles* Jean Marc Jancovici , Président de X-Environnement [5]), Dezvoltarea economico-socială este legată de consumul de energie, astfel puterea atribuită în medie unui om se situează astăzi la cca. 2,5 kW. Repartiția consumului de energie pentru o casă de familie este prezentată în figura 1. Din această figură putem considera că "sclavii " timpurilor moderne sunt : motoarele termice şi electrice, iluminatul, confortul termic (încălzire, climatizare), distracțiile ….

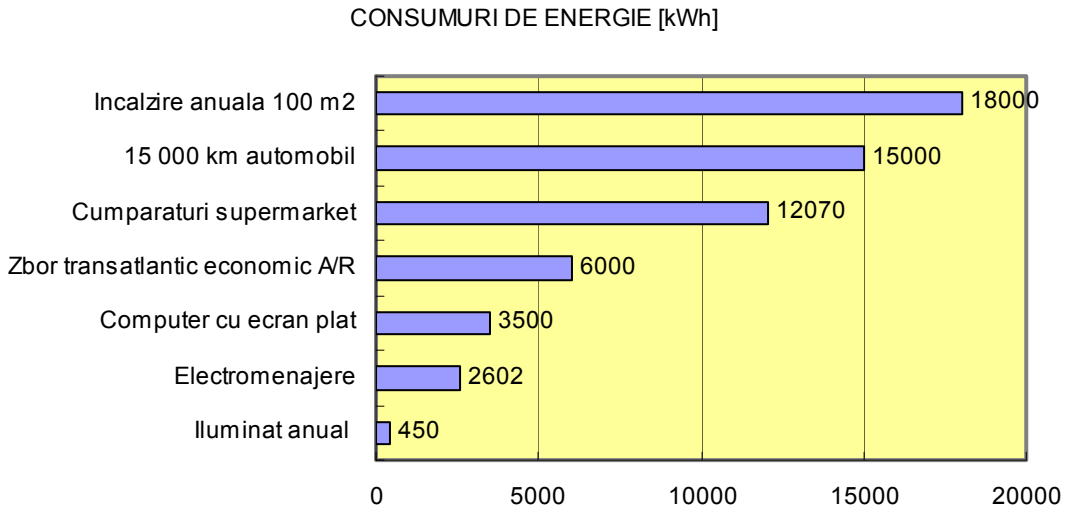


Fig. 1 Consumurile de energie electrică pe tipuri de activități
(Surse : Olivier Sidler, 1999 (éclairage et électroménager), Williams/Kluwer, 2004, CEREN, ADEME)

2. POLUAREA TERMICĂ CUMULATĂ

Natura, în ansamblul ei, nu pune la dispoziție noastră o energie gata de utilizat. Energiile pe care le folosim sunt obținute de la sursele primare de energie pe baza unor sisteme de conversie. Numai plantele ştiu să convertească în mod natural energia. Astfel energiile folosite de om sunt obținute ca finalitate a unui proces de transformare, fiind energii finale, sursa lor fiind constituită din energia primară disponibilă în natură. Gradul de conversie al enegiei primare este totdeauna subunitar, diferența constituind pierderile acumulate de biosfera. Această energie pierdută, adesea imposibil de utilizat, provoacă poluarea mediului, una din componentele majore ale acesteia fiind reprezentată de poluarea termică.

Majoritatea definițiilor consideră poluarea termică ca o creştere sau reducere a temperaturii apei urmare a acțiunii omului, acțiune ce are ca efect modificarea vieții subacvatice. Poluarea termică a apelor este de natură difuză în sensul propagării căldurii între straturile de fluid. Acest mod de a definii poluarea termică este

limitativ deoarece nu ia în considerarea complexul sol - apă - aer, schimburile de căldură convective şi radiative dintre ele. Mai mult este neglijată principala sursă de căldură extraterestră şi anume căldura primită de Terra prin radiație de la Soare, căldură ce difuzează prin toate straturile menționate. Pe de altă parte nu se ține seama de fluxurile convective şi radiative de căldură evacuate de suprafața Pământului către spațiul extraplanetar. Solubilitatea oxigenului se reduce atunci când temperatura apei creşte. Astfel, pentru apa de mare ea scade de la 10,1 mg/l pentru temperatura de 10°C la 8,4 mg/l la 20°C. Pentru bioxid de carbon situația este asemănătoare, astfel solubilitatea acestui gaz se reduce de la 2,3 mg/l pentru o temperatură de 10°C, la 1,5 mg/l pentru o temperatura de 20°C. Se constată că pe măsură ce temperatura creşte ambele gaze sunt evacuate către atmosferă ceea ce amplifică efectul de seră şi creşte asfixierea mediului acvatic.

Figura 2 prezintă bilanțul radiativ al Terrei. Pe această figură se pot identifica fracțiile din radiația solară incidentă absorbite sau emise de sistemul atmosferă - suprafața terestră. Radiația provenită de la Soare traversează păturile atmosferice înainte de a cădea pe sol sau pe alte obiecte. Atmosfera este constituită din componenți care se pot afla în diferite stări de agregare, componenți împrăştiați în mod neuniform. Acest mediu atmosferic, funcție de fracția componenților şi de stările de agregare în care se află, dau transparență sau opacitate sistemului respectiv. Particulele solide care influențează puternic proprietățile radiative ale mediului se menționează funinginea şi praful. Atât particulele solide cât şi cele lichide aflate în suspensie, numite şi aerosoli, au ca efect împrăştierea radiației solare [7].

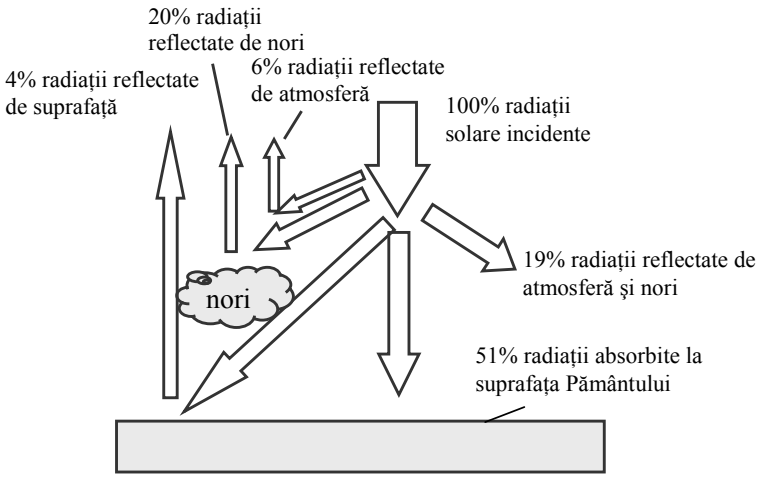


Fig. 2 Bilanțul radiativ al planetei Pământ

Astfel, din radiația solară de la limita superioară a atmosferei G_0, care cade normal pe suprafața Pământului, numai o parte G_S ajunge suprafața sa. Valoarea de calcul a emisiei solare este, G_0=1373 W/m^2, iar temperatura efectivă a suprafeței Soarelui este considerată T_S=5780 K. Această temperatură a fost determinată din bilanțul energetic Soare –Pământ, în care Soarele se consideră corp negru absolut. Datorită acestor fenomene de absorbție/emisie a radiațiilor incidente de către gaze şi particule, fluxul unitar de energie solară care atinge suprafața Terrei poate fi apreciat la cca. 350 W/m^2 în zilele senine, valoarea fiind mai redusă în zilele cu nori. Domeniul de lungime de undă a radiațiilor solare se situează între 0,3 şi 2,5 μm. Pe figura 3 sunt prezentate efectele aerosolilor, gazelor şi prafului asupra emisiei solare în zona cuprinsă între limita superioară a atmosferei şi suprafața Pământului

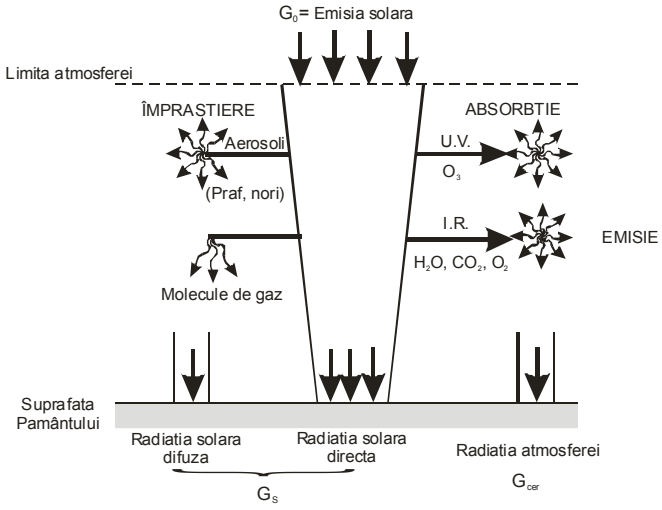


Fig. 3 Absorbția, şi împrăştierea radiației solare în atmosferă

Radiația atmosferică este determinată de radiația solară care se manifestă la lungimi de undă reduse (curba din stânga fig. 4 a), radiație care cade pe Terra. Această radiație incidentă este compensată de radiația emisă de Pământ în domeniul infraroşu, cu lungimi de undă mari (curba din dreapta din fig. 4 a).

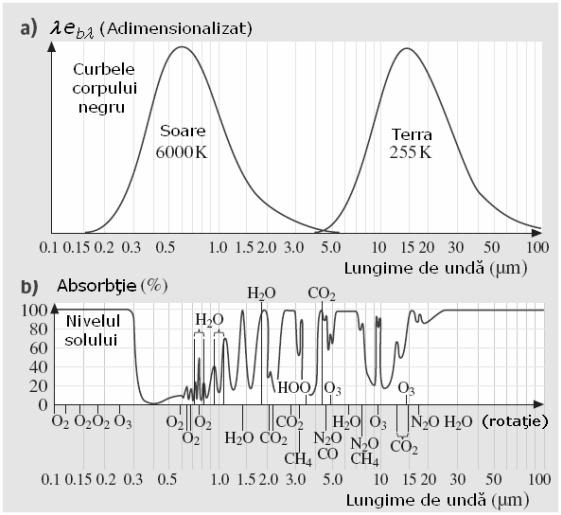


Fig. 4 Transferul radiativ din atmosferă
a) curbele de radiația solară incidenta (stânga), respectivă de radiație emisă de Terra (dreapta) ;

b) absorbția radiație de gaze la nivelul solului

Echilibrul termic este dat de ecuația de bilanț:

$$\frac{G_s(1-A_S)}{4} = e(1-A_{atm})\sigma T_T^4 G_D \qquad (1)$$

în care : G_S reprezintă fluxul de energie solară unitar care cade normal pe suprafața Pământului şi este considerat constant ; A_S constituie *albedo* adică *fracția de radiație solară reflectată de suprafața terestră* A_S ; *e* reprezintă emisivitatea în infraroşu a Terrei, *e*=0,96 ; A_{atm} denumit şi *albedo atmosferic* care corespunde lungimilor de undă mari, este A_{atm}= 0,34; cifra 4 de la numitor se bazează pe considerente geometrice ; T_T. reprezintă temperatura medie la suprafața Pământului considerată de 286K. Albedo atmosferei A_{atm}, este responsabil pentru efectul de seră. Daca acesta ar fi zero atunci temperatura la suprafața Terrei ar fi 255K, adică mult mai frig decât temperatura medie înregistrată. Datorită valorii A_{atm}= 0,34 a *albedo din atmosferă* temperatura medie de pe suprafața terestră se situează la circa 286 K. Valoarea dată mai sus pentru *albedo* atmosferic se datorează acțiunii cumulate a gazelor cu efect de seră H_2O, CO_2, CH_4, O_3, N_2O, SF_6 şi altele, a vaporilor de freoni, vaporilor de diluanți, a aerosolilor, a particulelor de praf. Pe figura 4 b) sunt date

proprietățile de absorbție ale gazelor la nivelul solului pe banda de lungimi de undă (0,1 – 100) μm. Din această figură se observă că fiecare component gazos are spectrul sau specific. Datorită modului de combinare a spectrelor gazelor, se constată că pe intervalul de lungimi de undă cuprins între (8 – 14) μm, numai o fracție redusă din radiația emisă de atmosfera este absorbită. Aceste efecte cumulate ale poluării termice din ape, sol şi aer au condus la evoluția creşterii temperaturii medii a emisferei nordice pusă în evidența de Raportul din 2007 a Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (fig. 5 [8]).

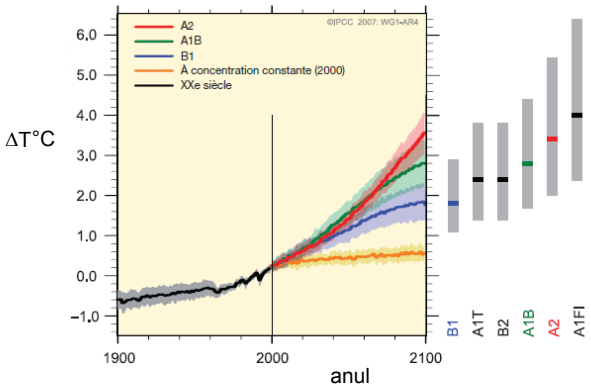


Fig. 5. Evoluția creşterii medie de temperatură în emisfera nordică raportată la anul 2000 (IPCC 2007)

Pentru a menține actuala concentrație de CO_2 din atmosferă trebuie redusă emisia acestui gaz la jumătate pentru fiecare om al planetei (la 500 kg echivalent carbon pe an). Acest scop care pare a fi departe, dar care trebuie atins rapid, face ca în principal tinerii de toate profesile şi în special inginerii, să facă eforturi mari pentru a concepe şi realiza tehnologii şi produse ecologice, poate radical-avangardiste !

3. CONTRIBUȚII ROMÂNEŞTI NOTABILE LA STUDIUL CLIMEI ŞI MEDIULUI

Simion Mehedinți în Ethnos ([11] p. 12), arată influența prezenței omului asupra mediului : "Alături de răspândirea cosmopolită, de număr, omul ocupă un loc excepțional şi prin energia cu care a intervenit şi intervine în modificarea planetei :

a) să începem cu atmosfera. S-ar părea că față de imensitatea oceanului de aer şi de mobilitatea lui, ființa omenească nu poate modifica mai cu nimic acest înveliş planetar. Totuşi acțiunea omenească se simte chiar şi asupra atmosferei. Astfel compoziția aerului poate fi schimbată în ceea ce priveşte elementele gazoase care formează amestecul numit *aer atmosferic.*
b) e lucru cunoscut că CO_2 joacă un rol foarte însemnat, deoarece împiedică răcirea prea repede a pământului prin iradiere. …Dacă s-ar îndoi cantitatea de CO_2, temperatura medie s-ar urca cu vreo 4 grade, ceea ce ar aduce întinderea vegetației până la Pol. …."
c) o altă urmare a intervenției omului este schimbarea *temperaturii* nu numai indirect prin arderea combustibililor necesari industriei, ci şi prin actul respirației, omul poate preschimba compoziția învelişului gazos al planetei. Un individ timp de un an produce 250-300 kg acid carbonic…. Dacă numărul oamenilor va creşte cu mai multe miliarde, *simplul act al respirării* va avea o influența considerabilă asupra *compoziției atmosferei*. " (S. Mehedinți, Ethnos pag. 13).

Se poate observa gândirea robustă şi amplă a acestui savant, care încă din anii 1940 evalua evoluția climatică pe care o resimțim astăzi, evoluție confirmată de studiile care au stat la baza raportului IPCC 2007.

Un model al sistemului complex denumit *mediu* a fost propus în raportul Environmental Decision Making [6], subsistemele sale fiind : eticul, atmosfera, energia, ecologia, instituțiile, sănătatea şi riscurile. În acest context se cuvine a fi inclusă şi contribuția lui Nicolae Georgescu-Roegen care consideră ca "procesul economic nu este decât o extensie a evoluției biologice, deci problemele economice trebuiesc privite din acest unghi" ([12], [13]. Savantul continua cu faptul că "termodinamica şi biologia sunt lumini indispensabile pentru a clarifica procesul economic, termodinamica deoarece ne demonstrează că resursele naturale se epuizează în mod irevocabil, biologia deoarece ne relevă adevărata natură a procesului economic". Din studiul lui Georgescu Roegen rezultă conceptul de *descreştere economică,* numită de uni astăzi "*descreştere durabilă*"! Luând ca bază principiile termodinamicii el asociază fluxurilor economice fluxul de materii şi energie. Aceste fluxuri se transformă prin procese sau cicluri de conversie în materii şi energii *pozitive*, adică utilizate de om, şi materii şi energii *negative, neutilizabile,* care sunt evacuate în mediu. Prin această abordare se ia în considerare analiza creşterii demografice şi a consumului de resurse, a eticii fața de mediu şi a ghidării modului de gândire pentru noile tehnologii, ele trebuind să fie cât mai eficiente energetic şi cât mai curate.



Simion MEHEDINTI



Nicolae GEORGESCU ROEGEN

Abordarea făcută de Georgescu Roegen se bazează pe energia neta raportată la sursă. În continuare savantul precizează că prin extracție se obține atât materie netă negativă precum şi energie netă negativă.

Pentru planeta TERRA, privită ca un sistem, prin extracția de masă cu energia sa legată, se diminuează potențialul său. Energia netă ar fi în acest caz diferența între energia brută conținută de materia extrasă şi energia echivalentă consumată pentru extracție (raportată la energia primară). Se consideră ca această energie primară ar fi consumată pentru a produce o altă formă de energie. Sistemul de conversie produce şi el *energie negativa* si *deşeuri*.

De foarte multe ori rezultatele analizelor de impact al unui proces sau produs sunt cuantificate economic. De exemplu, câți euro pe tona de CO_2 deversat, sau câți euro costa procesul de purificarea la unității cantitate de sol sau apă. Aceste evaluări economice se bazează pe valorile momentane şi conjuncturale, legate fiind în special de accesul la resurse. Se poate spune că efectul poluant al unei tone de o anumită substanța sau a unității unui anumit tip de energie variază de la o dată la alta ? Sau, costurile necesare reducerii componentului evacuat în mediu şi a energiei aferente sunt în corelație absolută cu reducerea riscurilor care ar fi fost induse? Aici entropia poate să constituie un concept fundamental, care prin generalitatea ei l-a condus pe Georgescu Roegen la enunțul celei de-al IV principiu al termodinamicii sub forma :

Intr-un sistem izolat entropia materiei tinde către un maxim.

Pentru a reconcilia dogma energetică şi a materiei Georgescu-Roegen, încă din 1971 [12], face distincția între materia utilizabilă, care este supusă unor procese de conversie naturale sau artificiale, şi materia neutilizabilă reprezentată de masa dispersată fără posibilitatea de a fi adunată şi folosită ca materie utilizabilă. Acelaşi principiu se aplică şi energiei. Încă din 1851 Lord Kelvin [13], făcea afirmația următoare asupra energiei disipate sub formă de căldură : "*aceste particule sunt irevocabil pierdute pentru noi, deci risipite, dacă ele nu sunt anihilate"*. Prin adoptarea acestei *propoziții* Georgescu-Roegen dă formularea următoare celui de-al patrulea principiu al termodinamicii :

In orice sistem izolat, materia utilizabilă se degradează irevocabil în materie neutilizabilă.

Concluzia care se degajă din acest principiu este că materia şi energia sunt supuse la o degradare entropică. Trebuie să constatăm că nu există o formulă generală a entropiei pentru materie şi energie. Energia ca flux imaterial poate fi convertit dintr-o formă în alta. În schimb materia, prin heterogenitatea şi prin proprietățile ei, nu poate fi convertită în alta, numai combinațiile cu alte specii pot conduce la materiale noi.

În aceasta situație cum poate fi evaluată eficiența de conversie a materiei şi energiei? Conceptele introduse de termodinamică precum : sistem, ciclu, regenerare, parametri intensivi, transport de energie şi masă de tip convectiv, conducto-difuziv, sau prin unde electromagnetice (radiativ), durata de viața, dezechilibru, variabilitate de temperatură, compoziție, sunt utilizate în cuantificarea fenomenelor fizico-

chimice care au loc în mediu. Aceste concepte ştiinţifice menţionate sunt folosite în mod complementar cu noţiunile de bază din biologie, ecologie, ştiinţe economico-sociale ([14], [15], [16]). Pe această bază interdisciplinară pot fi abordate şi problemele particulare ale unor fenomene care au loc în mediu. Astfel, studiul lor trebuie privit în interdependenţa relaţională cu mediul. Acest mod de abordare se prezintă în lucrarea de faţa pentru poluarea termică, poluare care nu poate caracteriza numai modificarea temperaturii apelor.

Elementele fundamentale aferente abordării termodinamice, aplicabile poluării termice a mediului, sunt :

- energie, materie, echilibru ;
- legile conservării masei, speciei şi energiei;
- legile transferului complex de căldură şi masă, atât simultan cât şi cumulat;
- evoluţia creşterii şi descreşterii, a degradării substanţei şi energiei în raport cu mediul, pusă în evidenţa de al IV principiu al termodinamicii enunţat de N. Georgescu Roegen;
- eficienţa ecologică şi conceptul de produs verde realizat prin ecoproducţie, ca rezultat al dezvoltării durabile;
- minimizarea riscurilor şi prejudicilor cauzate de accidente.

4. CONCLUZII

Poluarea termică prin originea şi prin efectele ei trebuie considerată ca fiind un concept global aplicabil în comun hidrosferei, atmosferei şi litosferei. Una din sursele majore ale poluării termice o constituie *energia şi materia negativă* rezultată din activităţile entropice şi care sunt disipate în mediu.

Gestionarea resurselor primare trebuie privită în corelaţie cu impactul fizico – chimic asupra mediului. Teoria *creşterii* trebuie raportată la *descreşterea fizică* a potenţialului de resurse al TERREI, şi corelată cu *descreşterea* potenţialului de regenerare a atmosferei şi hidrosferei. Astfel, deversările în ambient trebuiesc reduse şi controlate, pentru a păstra echilibrul compoziţional şi termic al ansamblului terestru. În acest mod viteza de creşterea entropiei ansamblului poate fi diminuată.

Risipa de materie si energie care ajunge inevitabil în mediu, ce are ca efect reducerea potenţialului TERREI, iar pe de alta parte se diminuează şi potenţialul de absorbţie a diferitelor componente în mediu, atingându-se starea de saturaţie care este din păcate stabilă.

Elementele prezentate mai sus ne pot ghida către o actualizare a programei de studiu precum şi adecvarea conţinutului cursurilor la fiecare profil. Prin această actualizare se prezintă studenţilor noţiuni metode şi instrumente moderne pentru a poziţiona mai bine un produs cu un ciclu de viaţă specific, astfel încât impactul său asupra mediului să fie cât mai redus. ([16], [17], [18], [19], [20]). Eficienţa unui produs sau a unei tehnologii trebuie evaluată pe toată perioada ciclului de viaţă

Cercetarea şi introducerea noilor tehnologii şi produse trebuie sa producă o disipare cât mai redusă de reziduuri în mediu (energie si materie nerecuperabilă). Pregătirea inginerului pe probleme legate de mediu, specifică fiecărei ramuri, trebuie să se concentreze asupra cauzelor identificate care provoacă poluarea acestuia şi în consecinţa să fie astfel concepută încât să prezinte studenţilor sisteme de producţie şi produse cu un grad ecologic ridicat.

Bibliografie

1. **Rubin, E. S.,** Engineering and Environment, Mc Graw Hill, NY, 2001**.**
2. **Sciama, Y.,** Climat, l'équilibre est rompu, Science et Vie, Février 2006, pp.48-68.
3. **Ducroux, R., Jean-Baptiste, P**.., L'Effet de Serre*,* CNRS Edition Paris, 2004, pp. 68-76.
4. **Le Treut, H., Jancovici, J. H**., *L'effet de serre*, 2005, Flamarion, Paris, pp. 14-22.
5. **Jancovici, J. H**., L'homme et l'énergie, des amants terribles, Roceedings Énergie et environnement, Paris, Septembre 2004.
6. *** Environmental Decision Making, Science and Technology, Rapport Grant Number 9653194. NSF, Carnegie Mellon University, 2003.
7. **Marinescu,M., Chisacof, A., Răducanu, P.**, Transfer de Căldură şi Masă, Politehnica Press, 2009.
8. *** IPCC, Rapport, 2007 Rapport spécial du GIEC et du GETE, *Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire*, 2007.
9. **Mehedinţi, S.**, Terra, Ed. Naţională, S. Ciornei, Bucarest, Vol I, 1930, pp. 479-483, Vol II, 1932,

10. **Mehedinți, S.** Premize şi Concluzii la Terra, Academia Română, LXXII, 1946, Bucureşti.
11. **Mehedinți, S.,** Ethnos, Terra, 2008, Focşani, Romania.
12. **Georgescu-Roegen, N**., The Entropy law and the Economic Process, 1971, Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts.
13. **Georgescu-Roegen, N**., La décroissance (1979), 2e édition, édition électronique, Paris: Éditions Sang de la Terre, 1995.
14. **Chisacof, A.,** Sciences Thermiques et analyse du Cycle de Vie des Produits, Proceedings COFRET06, Timisoara, Roumanie, 2006;
15. **Chisacof, A.,** Approche de l'analyse de l'environnement par les concepts des sciences thermiques, Proceedings COFRET08, Nantes, France.
16. *** Conférences internationales de l'éducation. 46ème session. 2001. Atelier 5 : Progrès scientifiques et enseignement des sciences : connaissances de base, interdisciplinarité et problèmes éthiques. Genève. 5-8/09/2001.
17. **Giordan, A., Pellaud, F**. *Etat de l'enseignement des sciences.* Actes du Conseil de l'Europe, mars 1999.
18. **Jaumotte, A.L**., Un exemple d'adaptations nécessaires : la politique et l'enseignement de l'énergétique dans les pays en voie de dévéloppement, pp. 201-212, Rapport AUPELF-UREF, Bruxelles, 1998**.**
19. **Jolliet, O., Cretaz, P.,** Analyse Environnementale du Cycle de Vie, EPFL, Lausanne, Suisse, 2004, pp. 14-18.
20. **Rosselot, K. and Allen, D**., Life cycle concepts, Product stewardship and Green Engineering, in Green Engineering, (ed. Allen. D. and Shonnard, D.), Prentice Hall PTR, 2001, pp. 419-455.