

EMERG I

Energie
Mediu
Economie
Resurse
Globalizare



EMERG

Energie • Mediu • Economie
• Resurse • Globalizare

Vol. I

Prefață:

Acad. Gleb Drăgan

Autori:

Prof. dr. ing. Ioan Jelev

Prof. dr. ing. Florin Teodor Tănăsescu

Dr. ing. Aurel Mitu

Dr. ec. Ștefan Răgălie

Dr. ing. Jean Constantinescu

Prof. dr. ing. Aureliu Leca

Dr. ing. Gheorghe Manea

Prof. dr. ing. Virgil Mușatescu

Prof. dr. ing. Nicolae Drăgulănescu

Dr. ing. Valerius Mihail Stanciu

Dr. ing. Petre Terzi

Dr. ing. Mircea Cârdu

Dr. ing. Malvina Baica

Dr. ing. Dumitru Chisăliță



Editura AGIR
București, 2005

1. INTRODUCERE.....	235
2. EFECTUL DE SERĂ AL GAZELOR POLUANTE EMISE ÎN ATMOSFERĂ DE INSTALAȚIILE ENERGETICE	237
3. IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR AL ET ȘI, RESPECTIV, ES ALE GAZELOR POLUANTE EMISE DE IE	239
4. EMISIA ECHIVALENTĂ SPECIFICĂ SINTETICĂ RAPORTATĂ LA VALORILE ADMISIBILE PENTRU EMISII	243
5. CONCLUZII.....	246
BIBLIOGRAFIE.....	247

O ABORDARE GLOBALĂ ENERGO-ECOLOGICĂ ȘI SINTETICĂ A PROBLEMEI EMISIILOR DE GAZE POLUANTE ALE CENTRALELOR TERMoeLECTRICE

Dr. ing. Mircea CĂRDU*, Prof. dr. ing. Malvina BAICA**

În lucrare se propune un nou mod de abordare a problemei emisiilor de gaze poluante ale centralelor termoelectrice, potrivit căruia, pe lângă luarea în considerare a valorilor emisiilor respective, trebuie să se țină seama și de raportul între aceste valori și energia utilă (electrică și termică) produsă în procesul din care rezultă emisiile în cauză. Pentru simplificarea tratării acestei probleme și, mai ales, a comparației valorilor reale ale emisiilor cu valorile admise de Normele europene în materie, se apelează la noțiunile de dioxid de carbon echivalent și emisie specifică, dezvoltate de autori în lucrări anterioare sau utilizate în literatura de specialitate. În același scop, în prezenta lucrare a fost introdusă noțiunea de emisie echivalentă specifică sintetică. Se are în vedere atât efectul toxic al gazelor poluante cât și efectul de seră al acestora și sunt analizate situațiile caracterizate prin diverse valori ale ponderii admise pentru efectul de seră în raport cu ambele efecte privite în mod sinergic. Modul de abordare a problemei emisiilor de gaze poluante ale centralelor termoelectrice, menționat mai sus, poate fi considerat ca având un caracter global energo-ecologic și, de asemenea, un caracter sintetic. Se fac propuneri de limitare (superioară) a emisei echivalente specifice sintetice pentru unele cazuri întâlnite în mod frecvent în România.

In this paper is proposed a new approach manner of thermopower plants gaseous pollutant emissions problem, so as besides having in view the respective emissions values, must take into account also the ratio between these values and the useful energy (electric and thermal) produced in the process from which result the emissions. To simplify this problem and, mainly, that of real emissions values comparison with the accepted values according the specific European Norms, we appeal to the notion of Equivalent carbon dioxide and Specific emission developed in previous papers or utilized in specialized literature. In same purpose, in this paper was introduced the notion of Equivalent specific synthetic emission. We have in view the toxic effect of pollutant gases and greenhouse effect of these ones and were analyzed the situations characterized by various values of the admitted rate for greenhouse effect related to both effects in synergically view. The above mentioned approach of problem of thermopower plants pollutant gas emission, can be considered having a global energy-ecologic character and also a synthetic character. We have made proposals for limiting (as maximum values) of Equivalent specific synthetic emissions for some specific cases frequently occurred in Romania.

* SC HERBING SRL. București.

** Universitatea Wisconsin. Whitewater (WI). SUA.

Rezultatele analizei privind relația între cantitățile de CO și respectiv NO_x conținute în gazele de ardere, în cazul unei combustii incomplete (când se produce CO), au fost date în lucrarea [10].

O analiză completă a unei CTE din punct de vedere al emisiilor de gaze poluante, după opinia noastră nu poate fi efectuată numai pe baza mărimilor menționate mai sus, în care emisiile exprimate în unități masice sunt raportate la unitatea de volum de gaze de ardere. Pentru a adânci analiza respectivă s-a introdus noțiunea de „factor de emisie”, notat cu e [11], care exprimă raportul dintre emisiile notate de noi cu (CO₂), (SO₂) și (NO_x) și puterea calorifică inferioară Q_i [kJ/kgc] – kgc = kilogram de combustibil – a combustibilului utilizat. Dacă ținem seama că volumul de gaze de ardere poate fi exprimat în funcție de cantitatea de combustibil [Nm³/kgc], factorul de emisie are ca dimensiune [kg/kJ] – kg = kilogram de gaz poluant emis. În lucrările [3 și 4], pentru factorul de emisie, referitor la (CO₂)_e, s-a folosit noțiunea de „indicator de poluare”, notat cu Π_g.

Valoarea factorului de emisie indicat mai sus ne dă indicații asupra „calității ecologice” a combustibilului utilizat. Prin introducerea în analiză a noțiunii de factor de emisie, în aceasta se utilizează un al treilea principiu, și anume „Principiul globalizării energo-ecologice”.

Este evident că factorul de emisie este cu atât mai mare și deci combustibilul este cu atât mai „inferior” din punct de vedere energo-ecologic, cu cât emisiile gazoase poluante (CO₂), (SO₂) și (NO_x) au valori mai mari și cu cât puterea calorifică a combustibilului Q_i este mai redusă [7].

Cu ajutorul factorilor de emisie se pot depista „virtuți” energo-ecologice ale unor combustibili care în mod curent sunt considerați „inferiori” (de exemplu, lignitul cu conținut redus de S), în comparație cu alții, considerați „superiori” (de exemplu, huila sau chiar păcura, cu conținut ridicat de S).

Se știe că problema alegerii combustibilului, mai ales în România, nu este exclusiv de competența „proprietarului” CTE, ci constituie un element de strategie a statului, influențat, la rândul lui, de posibilitățile de procurare (local sau import), de prețul la un moment dat și în perspectivă, de conjunctura politică, de constrângerile de ordin ecologic etc.

Factorii de emisie, la rândul lor, nu pot însă să ne ofere elemente de analiză de ordin mai general, din care să rezulte nivelul tehnic al instalației energetice (IE) sau al CTE care produce gaze poluante; ne referim la tehnologia aplicată pentru procesul de producere a energiei, modul de exploatare etc., care influențează randamentul IE, precum și la măsurile luate pentru reducerea la minim a emisiilor gazoase poluante.

Un indicator general, în a cărui valoare se reflectă toate aceste elemente, îl constituie „emisia specifică raportată la energia livrată” [4]. Această mărime are dimensiunea [kg/kWh]. Prin utilizarea indicatorului respectiv se pot pune foarte clar în evidență elementele asupra cărora proprietarul IE poate interveni, în sensul realizării sau îmbunătățirii acesteia pentru ca ea să aibă performanțe optime, atât din punct de vedere energetic cât și din punct de vedere ecologic. În acest fel, analiza capătă un caracter sintetic. Principiul aplicat pentru a se realiza acest lucru l-am numit „Principiul sintezei”.

O analiză de acest fel poate fi făcută și prin luarea în considerare a unei „eficiențe energo-ecologice”. Această mărime este de aceeași factură cu randamentul unei IE (η), care se referă exclusiv la performanțele energetice ale instalației în cauză.

Noțiunea de eficiență energo-ecologică, simbolizată prin ε , a fost propusă în lucrările [3 și 4]. Pentru ca ε să aibă, ca și η , valori cuprinse între 0 (zero) și 1 (unu), au fost propuse formule empirice corespunzătoare. În [4], formula respectivă a fost bazată pe emisiile provenite din arderea a doi combustibili virtuali: sulful (S), a cărui ardere ar conduce la $\varepsilon = 0$ pentru orice valoare a lui η , și hidrogenul (H), a cărui ardere conduce la $\varepsilon = 1$, chiar pentru valori foarte mici, dar mai mari decât zero ale lui η . Este de notat că H va deveni din ce în ce mai mult un combustibil real, fiind ideal din punct de vedere ecologic [9].

Revenind la problema dioxidului de carbon echivalent (CO_2) prezentat la începutul capitoului, menționăm din nou că această mărime, exprimată prin relația (1), se referă exclusiv la caracterul toxic al emisiilor gazoase ale IE. Caracterul poluant mai general al acestor emisii cuprinde și un aspect cărui în prezent i se acordă o importanță din ce în ce mai mare. Este vorba de „efectul de seră” al emisiilor de gaze poluante.

În cele ce urmează se vor propune modalități de analiză, într-o manieră sintetică, a problemei emisiilor de gaze poluante ale IE, prin luarea în considerare atât a efectului toxic (ET) cât și a efectului de seră (ES) al acestora.

2. EFECTUL DE SERĂ AL GAZELOR POLUANTE EMISE ÎN ATMOSFERĂ DE INSTALAȚIILE ENERGETICE

Fenomenele meteorologice cu totul deosebite care s-au petrecut la scară planetară în ultimii ani și mai ales în a doua jumătate a anului 2005 au alertat întreaga omenire în legătură cu pericolul pe care îl reprezintă, pentru însăși existența ei, încălzirea globală care, prin evoluția ei foarte rapidă, a primit accente de-a dreptul apocaliptice.

Este destul să ne gândim la temperaturile neobișnuit de mari care au apărut în timpul verii, în Europa de Vest, în ultimii ani, precum și la inundațiile catastrofale din întreaga Europă și cu deosebire la cele din România, în anul 2005, pentru a ne da seama că problemei încălzirii globale trebuie să i se acorde o prioritate de ordin vital în strategiile de dezvoltare ale tuturor statelor lumii. Această problemă, prin esența ei, reprezintă una de interes general, internațional, și deci ei trebuie să i se acorde o importanță cu totul deosebită, în contextul „globalizării” care a început și a cărei dezvoltare este iminentă, în continuare.

Fenomenele datorate încălzirii terestre globale (secetă alternată în timp și spațiu cu inundații) îmbracă și forme extreme, catastrofale, cum au fost, în anul 2005, uraganele „Rita”, care a atins partea de sud-est a Statelor Unite și Cuba, și „Damrey”, care a atins teritoriul Chinei. Înaintea acestora și-au făcut simțită prezența uraganul „Katrina”, care, prin efectele sale, nu are precedent și, în consecință, a fost declarat drept „istoric”. Cele două uragane care au afectat teritoriul Statelor Unite s-au năpustit cu o intensitate fără precedent asupra statelor Alabama, Louisiana și

Mississipi; tocmai pentru aceste zone au fost prevăzute, cu câțiva ani în urmă, situații legate de schimbările climatice, care să le facă de nelocuit. Astfel, în [19] se arată că „dacă în viitorul apropiat la scară istorică, nivelul oceanului terestru va crește cu 1 m, anumite zone foarte populate vor deveni de nelocuit, de exemplu: Coasta Floridei, o mare parte din Louisiana, Delta Nilului și Bangladesh”. Cel puțin în ceea ce privește inundarea orașului New Orleans (din statul Louisiana), în mod sigur uraganul Katrina a provocat o creștere foarte mare a nivelului apei în zona în care fluviul Mississipi se varsă în Golful Mexic, din Oceanul Atlantic.

Nu la mult timp după uraganul „Damrey”, din nou asupra continentului american s-a abătut puternicul uragan „Stan”. Acesta a provocat, de asemenea, inundații fără precedent pe teritoriul Americii Centrale, mai ales în Guatemala. Șirul unor astfel de uragane părea să nu se mai termine în toamna anului 2005, prin trecerea peste teritoriile Cubei, Mexicului și ale peninsulei Florida a uraganului „Wilma”...

Toate aceste fenomene constituie semnale alarmante în legătură cu faptul că viteza de creștere a temperaturii la nivelul întregului glob este mult mai mare decât cea prevăzută în perioada anterioară. Astfel, pe baza unor studii de specialitate făcute nu cu mulți ani în urmă, s-a estimat că temperatura medie a atmosferei terestre va crește, în următorii 100 de ani, cu 2 °C [21]. Acest fenomen ar conduce la o creștere cu 30 cm (!) a nivelului oceanului planetar [12].

Potrivit părerii unor specialiști, o creștere a temperaturii globale a atmosferei cu 0,6...0,7 °C „ar putea produce o basculare de la actuala stare de echilibru climatic la o instabilitate periculoasă” [12]. Alte păreri în legătură cu această problemă sunt mai optimiste, considerându-se că bascularea aceasta s-ar produce la o creștere a temperaturii respective cu 1...3 °C. Recent, studiile efectuate la Institutul „Max Planck” din Germania au ajuns la concluzia că dacă influența activității umane asupra încălzirii climei nu se va diminua în mod substanțial, la sfârșitul acestui veac temperatura medie la suprafața pământului va fi mai mare decât cea de acum, cu 4,5 °C. Aceasta reprezintă o perspectivă probabilă foarte sumbră, știut fiind că această temperatură a crescut în ultimii 10 ani cu 0,7 °C.

Creșterea temperaturii globale are și efecte ce pot conduce la crearea unui cerc vicios, care să accelereze fenomenul respectiv. Astfel, încălzirea pământurilor mlăștinoase și topirea calotei glaciare arctice vor favoriza degajarea gazului metan conținut în ele, or se știe că acest gaz, la rândul lui, este caracterizat și prin provocarea efectului de seră [13]. Pe de altă parte, se cunoaște acum că suprafața acestei calote glaciare a scăzut cu 8% în ultimii 10 ani.

Cu toată dorința de a nu ne pierde optimismul în ceea ce privește viitorul omenirii, privit în contextul încălzirii globale terestre, nu putem să nu observăm că schimbările climatice au luat un curs dramatic într-o perioadă de timp mult mai scurtă decât a fost prevăzut în cele mai pesimiste scenarii privind prognozele în acest domeniu.

Se știe că în efectul de seră datorat totalității factorilor care contribuie la producerea lui, ponderea emisiilor de CO₂ rezultate din producerea, transportul și utilizarea energiei reprezintă 70%. Celelalte emisii legate de procesele amintite (în marea majoritate cele de NO_x) reprezintă încă (10-15)% [21]. Din acest punct de vedere apare evidentă necesitatea de a se analiza cu mai multă atenție decât până

în prezent efectul de seră (ES) al emisiilor gazoase poluante ale IE, schimbându-se chiar accentul, după părerea noastră, de la efectul toxic (ET) al acestora către ES al lor, așa cum se va vedea în continuare.

După cum s-a arătat mai înainte, unul dintre gazele cu ES este gazul metan. Se știe că din această categorie mai fac parte compușii organici volatili, vaporii de apă, CO_2 și NO_x . Ultimele trei gaze din cele enumerate constituie componente ale amestecului de gaze poluante emise de IE. În privința ES al vaporilor de apă oamenii de știință încă nu sunt puși de acord [13]. Unii susțin ideea că ES depinde foarte mult de natura norilor care se formează din vaporii de apă. Norii „Cumulus”, care împiedică trecerea razelor solare înspre suprafața terestră, contribuie la încetinirea procesului de încălzire a atmosferei terestre, pe când norii „Cirrus” favorizează captarea unei cantități mai mari de căldură care se transmite atmosferei.

În aceste condiții, ne-am concentrat atenția asupra CO_2 și NO_x și în [6] s-a propus următoarea relație pentru „dioxidul de carbon echivalent”, privit de data aceasta din punctul de vedere al ES:

$$(\text{CO}_2)_E = (\text{CO}_2) + 114 \cdot (\text{NO}_x) \quad (2)$$

În acest caz s-a ales simbolizarea $(\text{CO}_2)_E$, pentru a deosebi această mărime de $(\text{CO}_2)_e$ prin care s-a simbolizat dioxidul de carbon echivalent privit din punctul de vedere al ET al emisiilor gazoase poluante. $(\text{CO}_2)_e$ este dat de formula (1). Similar celor arătate în legătură cu relația (1), în relația (2) conținutul de NO_x în gazele de ardere – notat cu (NO_x) – este înmulțit cu coeficientul 114, întrucât, pe baza unor date de care s-a dispus la vremea respectivă, s-a apreciat că ES al NO_x este de 114 mai puternic decât cel al aceleiași cantități de CO_2 .

Deosebirea esențială între relația (1), care se referă la ET, și relația (2), care se referă la ES, constă în faptul că în relația (1) apare SO_2 , cu o pondere importantă în valoarea lui $(\text{CO}_2)_e$, în timp ce în relația (2) lipsește emisia (SO_2). Se știe că SO_2 nu este un gaz cu ES, ba mai mult, există teorii, susținute științific, potrivit cărora particulele oxizilor de sulf reflectă razele provenite de la soare, împiedicând într-animată măsură încălzirea atmosferei [13].

În capitolul următor vom analiza magnitudinea impactului emisiilor gazoase poluante asupra mediului înconjurător (atmosferei terestre) în condițiile considerării acțiunii lor sinergice, sub aspectul celor două efecte amintite (ET și ES).

3. IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR AL ET ȘI, RESPECTIV, ES ALE GAZELOR POLUANTE EMISE DE IE

În literatura de specialitate mai recentă [18] este avut în vedere un ES mai puternic al NO_x în raport cu ES al CO_2 decât am considerat noi inițial, astfel încât vom lua în considerare o altă relație între acestea decât cea exprimată matematic prin relația (2), și anume:

$$(\text{CO}_2)_E = (\text{CO}_2) + 310 \cdot (\text{NO}_x) \quad (3)$$

În cele ce urmează vom avea deci în vedere relațiile (1) și (3).

Pentru a putea opera mai ușor cu noțiunile folosite în continuare, vom apela la relațiile (1) și (3) procedând la transformarea lor în relații între factorii de emisie notați cu e , conform celor menționate la cap. 1. Astfel, în locul mărimilor (CO_2), (SO_2), (NO_x) și (CO_2)_e, vor apărea mărimile e_{co} , e_{so} , e_{no} și e_e . Această transformare este simplă dacă înmulțim toți termenii relațiilor (1) și (3) cu raportul (V_g/Q_i), unde V_g reprezintă volumul de gaze arse rezultat din arderea unui kg (respectiv a unui Nm^3) de combustibil, iar Q_i este puterea calorifică inferioară a combustibilului. Dimensiunea mărimii V_g este [Nm^3/kgc], în cazul combustibililor solizi și lichizi, și, respectiv, [$\text{Nm}^3/\text{Nm}^3\text{c}$], în cazul combustibililor gazoși. Dimensiunea mărimii Q_i este [kJ/kgc], în cazul combustibililor solizi, și, respectiv, [$\text{kJ}/\text{Nm}^3\text{c}$], în cazul combustibililor gazoși.

În acest fel, dimensiunea factorilor de emisie care vor rezulta este [kg/kJ]; unitatea de masă (kg) se referă la cantitatea de emisii poluante.

Din relațiile (1) și (3) derivă următoarele două relații:

– pentru situația în care se are în vedere ET al emisiilor:

$$e_e = e_{co} + 700 \cdot e_{so} + 1000 \cdot e_{no} \quad (4)$$

– pentru situația în care se are în vedere ES al emisiilor:

$$e_E = e_{co} + 310 \cdot e_{no} \quad (5)$$

Factorii de emisie e din relațiile de mai sus se referă la emisiile de dioxid de carbon (e_{co}), oxizi de sulf (e_{so}) și oxizi de azot (e_{no}). În cazul considerării ET al emisiilor, prin e_e a fost simbolizat „factorul de emisie echivalent”, prin similitudine cu „dioxidul de carbon echivalent” – (CO_2)_e. În mod analog, în cazul considerării ES al emisiilor, factorul de emisie echivalent a fost simbolizat prin e_E .

O analiză de genul celei pe care ne-am propus-o, cu un caracter estimativ și general, se poate face pe baza unor valori, la rândul lor estimative, ale factorilor de emisie. Aceste valori se diferențiază în funcție de natura combustibililor utilizați, care, din acest punct de vedere, se pot împărți în următoarele categorii: lignit, huilă, păcură, gaz natural.

Orientându-ne după valorile generale indicate în literatură [11], precum și după cele rezultate în urma unor măsurători efectuate în România [15], am admis pentru factorii de emisie e_{co} și e_{no} valorile menționate în tabelul 2. Calculul valorilor factorului de emisie e_{so} s-a făcut cu următoarea formulă [11]:

$$e_{so} = (m_s/s/Q_i) \cdot (1-r) \quad (6)$$

în care: $m_s = M_{so}/M_s$; r este gradul de reținere al oxizilor de sulf în zgură și cenușă, și are următoarele valori: $r = 0,2$, pentru lignit, $r = 0,05$, pentru huilă și $r = 0$, pentru păcură și gaze. La rândul lor, M_{so} [kg/kmol] este greutatea moleculară a SO_2 , M_s este greutatea moleculară a sulfului (S), iar $s = S/100$, unde S este conținutul de sulf, în %, în combustibil. În relația (6) au fost introduse valorile medii pentru conținutul de sulf în combustibil și pentru puterea calorifică inferioară, menționate în tabelul 1. De asemenea, în acest tabel se mai găsesc și valorile medii ale volumului de gaze arse V_g corespunzătoare pentru 1 kgc, respectiv pentru 1 Nm^3c

(în cazul gazului natural), preluate din [17], pentru combustibilii avuți în vedere. Cu aceste valori au fost calculate valorile raportului V_g/Q_i , care se găsesc în ultima rubrică a tabelului, valori necesare pentru calculele efectuate în capitolul următor.

Tabelul 1

Caracteristici ale combustibililor și gazelor rezultate din arderea acestora

Nr. crt.	Combustibilul	S [%]	Caracteristicile combustibilului		
			Q_i	V_g	$10^4 \cdot (V_g/Q_i)$
1	Lignit	1,66*	8000 [kJ/kgc]	3,353 [Nm ³ /kgc]	4,191 [Nm ³ /kJ]
2	Huică	1,41**	13000** [kJ/kgc]	4,417 [Nm ³ /kgc]	3,400 [Nm ³ /kJ]
3	Păcură	3,00/1,00	42600 [kJ/kgc]	11,308 [Nm ³ /kgc]	2,654 [Nm ³ /kJ]
4	Gaz natural	–	35700 [kJ/Nm ³ c]	9,983 [Nm ³ /Nm ³ c]	2,796 [Nm ³ /kJ]

*Valoare medie, luând în considerare ligniții din bazinele miniere Rovinari, Comănești și Mehedinti [5, 8].

** Valoare medie, luând în considerare huilele din bazinele miniere Deva și Doicești-Șotânga [5].

Tabelul 2

Valorile factorilor de emisie pentru combustibilii: lignit, huică, păcură, gaz natural

	Combustibilul				
	Lignit	Huică	Păcură		Gaz natural
			S = 3%	S = 1%	
$10^6 \cdot e_{CO}$	105	90	72	72	60
$10^6 \cdot e_{SO}$	3,32	2,06	1,377	0,459	*
$10^6 \cdot e_{NO}$	0,24	0,43	0,245	0,245	0,15

*Gazul natural din România nu conține sulf.

În lucrările anterioare menționate [3, 4], am insistat asupra ET al emisiilor gazoase poluante, făcându-se o raportare, sub acest aspect, a emisiilor respective la valorile admisibile pentru acestea și recomandându-se soluții pentru încadrarea emisiilor reale în valorile admisibile

[5]. ES al emisiilor a fost tratat mai puțin [6] și nu ne-am pus problema acestora raportat la valorile admisibile pentru ele, în special pentru motivul că oxizii de sulf nu au ES, dar au un destul de puternic ET. Pentru acest motiv, toate Normele cu privire la valorile admisibile pentru emisiile gazoase poluante ale IE se referă în mod specific la SO₂ (pe lângă NO_x).

Pe baza celor arătate în cap. 2 considerăm absolut necesară creșterea ponderii ES al emisiilor gazoase poluante în analiza ecologică a IE. Pentru acest motiv vom renunța la luarea în considerare a relației (4) în exclusivitate și vom proceda la implicarea în analiză, într-o măsură cât se poate de importantă, a relației (5). Cu alte cuvinte, trebuie avută în vedere acțiunea sinergică, atât cu ET cât și cu ES, a emisiilor gazoase poluante.

Este evident că acordarea unei anumite ponderi a ES în acțiunea sinergică respectivă este subiectivă și, pentru o primă abordare a acestei probleme, propunem

„calea de mijloc”. În această lumină, făcând deci o medie între factorul de emisie e_e dat de relația [4], și factorul de emisie e_m , dat de relația (5), rezultă factorul de emisie e_m pe care îl numim „mediu” și este dat de relația:

$$e_m = e_{co} + 350 \cdot e_{so} + 655 \cdot e_{no} \quad (7)$$

Dacă notăm termenul $(350 \cdot e_{so})$ cu ξ_{so} și termenul $(655 \cdot e_{no})$ cu ξ_{no} , vom avea:

$$e_m = e_{co} + \xi_{so} + \xi_{no} \quad (8)$$

Revenind la relația (4) și notând termenul $(700 \cdot e_{so})$ cu ζ_{so} și termenul $(1000 \cdot e_{no})$ cu ζ_{no} , această relație devine:

$$e_e = e_{co} + \zeta_{so} + \zeta_{no} \quad (9)$$

Pentru a vedea în ce măsură se schimbă ponderea termenilor (CO_2), (SO_2) și (NO_x) în valoarea totală a mărimii $(CO_2)_e$ prin trecerea de la operarea cu relațiile (4), respectiv (9) la operarea cu relațiile (7), respectiv (8), s-au efectuat calcule pentru rapoartele e_{co}/e_e , ζ_{so}/e_e , ζ_{no}/e_e și pentru rapoartele e_{co}/e_m , ξ_{so}/e_m , ξ_{no}/e_m , folosind valorile factorilor de emisie e din tabelul 1. Au rezultat valorile cuprinse în tabelul 3.

Tabelul 3

Valorile rapoartelor care indică ponderea factorilor de emisie e în factorul de emisie echivalent e_e , respectiv în factorul de emisie mediu e_m

Nr. crt.	Combustibilul	Emisia de referință					
		CO_2		SO_2		NO_x	
		e_{co}/e_e	e_{co}/e_m	ζ_{so}/e_e	ξ_{so}/e_m	ζ_{no}/e_e	ξ_{no}/e_m
1	Lignit	0,039	0,074	0,871	0,816	0,090	0,110
2	Huile	0,053	0,082	0,729	0,660	0,218	0,258
3	Păcură ($S = 3\%$)	0,056	0,101	0,752	0,675	0,192	0,224
4	Păcură ($S = 1\%$)	0,113	0,184	0,502	0,408	0,385	0,408
5	Gaz natural	0,286	0,380	0	0	0,714	0,620

Analizând datele din tabelul 3, rezultă că în noua noastră viziune, prin care se acordă importanță sporită ES al emisiilor gazoase poluante, în valorile emisiilor specifice crește în primul rând ponderea emisiilor de CO_2 . În cazul combustibililor solizi și lichizi (nr. 1...4), crește, de asemenea, și ponderea emisiilor de NO_x și scade, după cum este logic, ponderea emisiilor de SO_2 . În cazul gazului natural apare singura situație în care creșterea ponderii emisiilor de CO_2 este însoțită de o scădere a ponderii emisiilor de NO_x .

Se desprinde de aici concluzia că, dacă în viziunea anterioară, în care se acorda importanță exclusiv ET al emisiilor și când, în consecință, se punea accent deosebit pe dotarea IE cu instalații de desulfurare [5], în noua viziune trebuie acordată o atenție sporită instalațiilor de denoxare și, din ce în ce mai mult, instalațiilor de denoxare secundară.

Un punct de vedere pe care vrem să-l subliniem în mod deosebit constă în faptul că reducerea emisiilor de CO_2 va trebui să constituie una dintre sarcinile primordiale ale proprietarilor de IE.

4. EMISIA ECHIVALENTĂ SPECIFICĂ SINTETICĂ RAPORTATĂ LA VALORILE ADMISIBILE PENTRU EMISII

Încă din Capitolul 1 ne-am exprimat punctul de vedere potrivit căruia cea mai completă și concludentă analiză a funcționării IE, sub aspectul impactului ecologic asupra atmosferei terestre, o reprezintă luarea în considerare a „emisiei specifice raportate la energia livrată”.

Energia livrată de o IE sau CTE poate avea forma fie numai de energie electrică, fie de energie electrică și termică, în cazul unei IE cu cogenerare (IEC) sau al unei CTE cu cogenerare (CTEC).

Dacă ne referim la 1 kg de combustibil, energia livrată este dată de produsul ($\eta \cdot Q_i$), unde η reprezintă randamentul general al IE sau CTE (respectiv IEC sau CTEC). În spiritul prezentei lucrări, prin „energie livrată” înțelegem energia electrică și, după caz, și termică la interfața dintre IE și rețelele de transport ale acestor forme de energie înspre Sistemului Energetic Național sau consumatorul direct (în cazul energiei electrice) și, după caz, magistrala sistemului de termoficare (în cazul cogenerării). Cu alte cuvinte, în valoarea lui η se reflectă toate consumurile energetice proprii ale IE sau CTE, cum ar fi cele legate de pregătirea și alimentarea cu combustibil, circulația apei de răcire, evacuarea zgurii și cenușii etc.

Domeniile de valori ale lui η în funcție de caracterul IE (tehnologia energetică aplicată) și combustibilul adecvat acestuia au fost luate din literatură [4, 14] și sunt redate în tabelul 4. Pentru indicarea combustibililor s-au folosit numerele curente ale acestora din tabelele 1 și 3.

Tabelul 4

Valorile randamentului general η

Categoria IE	Domeniul de valori pentru η	Valoarea medie pentru η	Combustibilul adecvat
A. Cu turbină cu abur (TA) cu condensatie	0,30...0,40	0,35 1...5	
B. Cu TA cu prize și/sau contrapresiune (IEC) (cu cogenerare)	0,75...0,85	0,80	1...5
C. Ciclu combinat gaze-abur, cu TA cu condensatie	0,45...0,60	0,52	5*
D. Ciclu combinat gaze-abur, cu cogenerare	0,85...0,90	0,87	5*

*Nu au fost avute în vedere cazuri speciale, când se pot folosi și combustibilii 1...4 (tehnologii fără aplicare largă la scară industrială: ciclu combinat cu gazeificare integrată a cărbunelui, cazane ASFC sub presiune).

Întrucât Q_i din produsul ($\eta \cdot Q_i$) a intervenit în relațiile (1) și (3) în vederea obținerii relațiilor (4) și (5) pentru factorii de emisie e , rezultă că energia specifică raportată la energia livrată se obține făcând raportul (e/η).

Menționăm din nou că, din motivele expuse anterior, ne-am fixat asupra relației (7) pentru emisia specifică e_m . Cu această mărime vom opera în continuare.

Pentru a cuprinde în raportul (e/η) toate caracterile pe care i le-am atribuit până acum (echivalent, global, energo-ecologic și sintetic), l-am numit „emisia echivalentă specifică sintetică” și îl simbolizăm prin E_s . Caracterul „sintetic” este atribuit mărimii E_s datorită faptului că aceasta are la bază acțiunea sinergică a emisiilor, prin cele două efecte ale lor, și anume ET și ES.

Vom avea deci:

$$E_s = e_m/\eta \quad (10)$$

Se pune problema comparării lui E_s cu valori admisibile pentru această mărime.

Pentru a rezolva această problemă facem apel la Normele europene în materie [20], care au fost oficializate în România prin Hotărârea Guvernamentală 541/2003.

Se știe că în Normele amintite se indică valori (în mg/Nm^3) admisibile pentru emisiile de SO_2 și NO_x , adică pentru mărimile (SO_2) și (NO_x) din relațiile (1), (2) și (3), în funcție de natura combustibilului, puterea termică [MW_t] a IE și unele situații specifice, în care poate fi încadrată IE în cauză. Vom nota aceste valori admisibile cu $(\text{SO}_2)_a$ și $(\text{NO}_x)_a$.

Pentru a ajunge la valorile admisibile ale factorilor de emisie corespunzători, înmulțim valorile admisibile ale emisiilor cu raportul (V_g/Q_i) – vezi tabelul 1 – așa cum am procedat pentru obținerea relațiilor (4) și (5).

Dacă ne referim la relația (7), vom avea:

$$e_{ma} = (e_{co}) + 350 \cdot (e_{so})_a + 655 \cdot (e_{no})_a \quad (11)$$

unde

$$(e_{so})_a = (V_g/Q_i) \cdot (\text{SO}_2)_a \quad (12)$$

$$(e_{no})_a = (V_g/Q_i) \cdot (\text{NO}_x)_a \quad (13)$$

Întrucât pentru (CO_2) nu sunt fixate prin Norme valori admisibile, vom opera, în cele ce urmează, cu valori de referință ale acestei emisii și deci ale factorului de emisie e_{co} , pe care o notăm $(e_{co})_r$.

Pentru analiza estimativă pe care ne-am propus-o, valorile de referință $(e_{co})_r$ pot fi chiar cele menționate în tabelul 2 pentru e_{co} .

Pe baza relației (10) vom avea:

$$E_{s_a} = e_{m_a}/\eta_r \quad (14)$$

Pentru randamentul general, admitem ca valoare de referință $\eta_r = 0,35$, care poate constitui un „element de pornire” – vezi tabelul 4 – în analiza pe care ne-am propus-o.

Întrucât, în expunerea anterioară, dimensiunea pentru factorii de emisie este [kg/kJ], în baza relației (14), dimensiunea este aceeași. Pentru a exprima pe E_{s_a} în dimensiunea [kg/kWh] adesea utilizată în literatură, se aplică următoarea relație de conversie:

$$E_{s_a} [\text{kg}/\text{kWh}] = 3600 \cdot E_{s_a} [\text{kg}/\text{kJ}] \quad (15)$$

În același mod se pot converti și valorile factorilor de emisie e .

Este de menționat că valorile pentru e_{co} , de exemplu, prezentate în tabelul 2, exprimate în [kg/kWh], coincid întocmai cu cele menționate în literatură [2, 16].

Având în vedere cele arătate mai sus, pentru IE cu puterea termică mai mare de 500 MW, categorie din care fac parte majoritatea IE importante din România, pe baza valorilor pentru $(SO_2)_a$ și $(NO_x)_a$, extrase din [20] și inserate în tabelul 5, a valorilor pentru $(CO_2)_r$, și η , menționate mai sus și a valorilor pentru V_g/Q , din tabelul 1, au fost calculate valorile pentru E_{so} , care au fost, de asemenea, inserate în tabelul 5.

Tot în tabelul 5 sunt cuprinse, pentru comparație, și valorile pentru E_s , calculate pentru $\eta_r = 0,35$, precum și pentru valoarea lui η corespunzătoare categoriei celei mai „avansate” de IE, pentru combustibilul dat.

Tabelul 5

Valori admisibile și reale ale emisei echivalente specifice sintetice

		Combustibilul				
		1. Lignit	2. Huilă	3. Păcură (S = 3%)	4. Păcură (S = 1%)	5. Gaz natural
Emisia admisibilă [kg/Nm ³] [20]	$10^6 \cdot (SO_2)$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,035
	$10^6 \cdot (NO_x)$	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2
$10^3 \cdot E_{so}$ [kg/kWh]		2,128	1,728	1,17	1,17	0,442
$10^3 \cdot E_s$ [kg/kWh]	$\eta_r = 0,35$	14,65	11,24	7,34	4,04	1,62
	η^*	6,40	4,92	3,21	1,72	0,654
E_s/E_{so}	$\eta_r = 0,35$	6,884	6,500	6,270	3,450	3,670
	η^*	3,700	2,840	2,740	1,470	1,480

*Valoarea medie a randamentului general pentru IE cu valori maxime ale acestuia – tabelul 4.

În urma analizei datelor cuprinse în tabelul 5, rezultă că E_s are valori mult mai mari decât valorile admisibile (E_{so}) și cu atât mai mari cu cât combustibilul utilizat este de calitate energo-ecologică mai slabă. Astfel, în cazul randamentului general de referință $\eta_r = 0,35$, pentru lignit, E_s este de circa 7 ori mai mare decât E_{so} . Raportul respectiv scade progresiv de la lignit până la păcură cu S = 1%, în care caz el are valoarea de circa 3,5. În acest fel, principalele categorii de combustibili se clasifică, din punct de vedere energo-ecologic, de la cea mai slabă (lignit) înspre cea mai bună, care s-a dovedit a fi păcura, cu S = 1% (nr. crt. 4). În mod interesant, această categorie de păcură se dovedește a fi un combustibil mai bun, din acest punct de vedere, decât gazul natural (nr. crt. 5).

Este evident că pentru asemenea valori mari ale raportului E_s/E_{so} trebuie luate măsuri foarte serioase pentru reținerea gazelor poluante, SO_2 și NO_x , prin tehnologii de desulfurare și denoxare aplicate în prezent pe scară largă, dar și pentru reținerea sau „reciclarea” CO_2 , prin sisteme care preocupă din ce în ce mai mult, în prezent, cercuri largi de specialiști.

Prin modul de abordare a problemelor de sinteză energetică și ecologică

până la valorile admisibile E_{sa} . Astfel, în tabelul 5 se observă că la valori mari ale lui η (explicate sub asterisc), valorile raportului E_j/E_{sa} devin mult mai reduse și, în consecință, reducerea emisiilor poluante până la valorile admisibile devine mult mai ușoară și deci cu implicarea unor costuri reduse sau, în unele cazuri, mult mai reduse, ca de exemplu în cazul combustibililor 4 și 5.

Problema metodelor și instalațiilor pentru reducerea emisiilor gazoase poluante reprezintă, în sine, un capitol amplu în termoeenergetica actuală și nu ne-am propus să o tratăm în prezenta lucrare.

Este de observat că, spre deosebire de metodele de analiză ecologică a funcționării IE, aplicate în prezent și bazate pe valori admisibile numai pentru SO_2 și NO_x , în abordarea noastră se au în vedere și emisiile de CO_2 . Valori admisibile pentru acesta sunt cuprinse în „dioxidul de carbon echivalent”, despre care s-au dat explicații în capitolele anterioare.

Oricum, considerăm că acest mod de limitare a emisiilor de CO_2 este mult mai obiectiv decât acordarea unor „alocații” care se preconizează a se aplica în România începând cu anul 2006 [2]. „Alocațiile”, și în alte domenii, incumbă un grad ridicat de subiectivitate.

În final dorim să subliniem faptul că analiza pe care am efectuat-o are un caracter estimativ, fiind făcută cu referire la categorii mari de combustibili și de instalații energetice (IE) – vezi tabelul 4.

Modelul matematic aplicat însă în prezenta lucrare poate fi foarte bine aplicat și în cazuri concrete, privind combustibilul și categoria IE. Pentru o astfel de situație se procedează la calcule de detaliu pentru emisii, așa cum s-a procedat, de exemplu, în lucrările [3 și 4].

5. CONCLUZII

Din cele arătate în capitolele anterioare se pot desprinde următoarele concluzii mai importante:

- Spre deosebire de unele lucrări anterioare, în care a fost considerat primordial efectul toxic (ET) al emisiilor gazoase poluante ale centralelor termoelectrice (CTE) sau ale instalațiilor energetice (IE) care intră în componența acestora, în prezenta lucrare se pune accent, în aceeași măsură, și pe efectul de seră (ES) al acestora.
- Emisia echivalentă specifică sintetică (E_s) reprezintă criteriul cel mai complet și echitabil de analiză energo-ecologică a unei IE sau a unei CTE.

Caracterul de completitudine îl conferă faptul că prin el se ține seama de toate emisiile gazoase poluante, deci și de CO_2 , nu numai de SO_2 și NO_x , aspect foarte important, mai ales în lumina celor arătate la pct. 5.1 de mai sus.

Caracterul echitabil al criteriului rezidă în cuprinderea în expresia lui a randamentului general al IE sau CTE. Astfel, proprietarii acestor instalații sunt stimulați să se preocupe, pe lângă reducerea directă a emisiilor, și de reducerea lor pe calea creșterii randamentului general η . Avantajele care ar trebui să li se confere proprietarilor de astfel de instalații, cu preocupări pentru creșterea valorilor lui η .

sunt îndreptățite și de alte efecte ale unor demersuri de acest gen, pe lângă reducerea emisiilor raportate la energia livrată. Este vorba de reducerea în sine a consumurilor de combustibili, fapt deosebit de important în procesul de stabilire a unor strategii energetice bazate pe conceptul de dezvoltare durabilă.

Această abordare are la bază constatarea că încălzirea climei se produce, în ultima perioadă, într-un ritm mult mai rapid decât se preconiza în cele mai pesimiste prognoze anterioare în domeniu. Încălzirea respectivă se datorește, în bună măsură, impactului crescut al „gazelor de seră” care, în cazul IE, sunt CO₂ și NO_x.

Având la bază conceptul E_s , pot fi elaborate Norme pentru valori admisibile, în consecință. Pentru cazurile cu aplicabilitatea cea mai largă în România, în lucrare au fost propuse astfel de valori.

Notă. Elaborarea prezentei lucrări a fost finanțată parțial de Universitatea Wisconsin, Whitewater (WI), SUA.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Apăteanu E., *Poluarea și efectul de seră*. În: „Știință și Tehnică”, ianuarie, 1997.
- [2] Bălășoiu C., Alecu S., *Locul energiei electrice produse pe bază de lignit în contextul evoluției prețului combustibililor și constrângerilor de mediu*, Masa rotundă „Performanța centralelor electrice”, organizată de CNR-CME, București, 30.06.2005.
- [3] Cărdu M., Baica M., *Regarding a global methodology to estimate the energy-ecologic efficiency of thermo-power plants*. Energy Conversion and Management (ECM), 1999, 40(1) pp. 71-87.
- [4] Cărdu M., Baica M., *Regarding a new variant methodology to estimate globally the ecologic impact of thermo-power plants*. ECM, 1999, 40(1), pp. 1569-1575.
- [5] Cărdu M., Baica M., *Regarding the energy-ecologic efficiency of desulphurization and denox systems and installations in thermo-power plants*. ECM, 41 (2000), pp. 1155-1164.
- [6] Cărdu M., Baica M., *Regarding the greenhouse gas emissions of thermo-power plants*, ECM, 43 (2002), pp. 2135-2144.
- [7] Cărdu M., Baica M., *The relation between atmospheric pollution due to thermo-power plants and the characteristics of their fuels*. ECM 44 (2003), pp. 1419-1431.
- [8] Cărdu M., Baica M., *About the ecological aspects of dual fuel combustion in thermo-power plants*. ECM, 44 (2003), pp. 1773-1786.
- [9] Cărdu M., Baica M., *The hydrogen – ideal energy vector from the ecological point of view*. Simpozionul „Omul și mediul”. Ediția III-a, 8 noiembrie 2004, Editura Politehnica Timișoara.
- [10] Cărdu M., Baica M., *Regarding the relation between NO_x content and CO content in thermo-power plants flue gases*. ECM 46 (2005), pp. 47-59.
- [11] Ionel I., Ungureanu C., *Termoenergetica și mediul*, Editura Tehnică, București, 1996.
- [12] Jeleu I., *Pot fi prevenite și controlate inundațiile ?*. În: „Univers ingineresc” Nr. 16, 16-31 aug. 2005.
- [13] Kiseleff B., *Clima globului și efectul de seră*. În: „Milenium” (supliment al ziarului „România liberă”), nr. 20 (87), 17-23 mai 2001.
- [14] Marcu I., *Competitivitatea pe piața de energie electrică a tehnologiilor de producere a energiei electrice pe gaze naturale și/sau păcură în conjunctura creșterii prețului petrolului și implicit a gazelor naturale*. Masa rotundă. CNR-CME, 30.06.2005.
- [15] Țuțuianu O., Simion N., *Determinarea, pe bază de măsurători, a factorilor de emisie pentru SO₂, NO_x și CO₂ la cazanele centralelor termoelectrice din România*. În: „Energetica”, Vol. 49, Nr. 5, 2001, pag. 211-214.
- [16] Țuțuianu O., *Indicatori de mediu la cogenerare*. În: „Energetica”, 6, iunie 2005, pag. 215-218.

- [17] Ungureanu C., *Generatoare de abur pentru instalații energetice clasice și nucleare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
- [18] Victor D. G., *Climate of Doubt*, În: „The Sciences”, New York Academy of Sciences, Spring, 2001.
- [19] * * * *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC), March 2001*, În: „Newsweek”, April 2001.
- [20] * * * *Directive 2001/80/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants*.
- [21] * * * *Energie pentru lumea de mâine. Să acționăm acum !*, Declarația CME 2000, Editura Academiei Române, Editura AGIR, București, 2002.