

**IMPACTUL STRATEGIEI EUROPENE DE
REDUCERE A EMISIILOR DE GAZE CU
EFECT DE SERĂ ASUPRA SECTORULUI
OȚELĂRIILOR ELECTRICE
DIN SIDERURGIA ROMÂNESCĂ**

**THE IMPACT OF THE EUROPEAN
STRATEGY FOR REDUCING THE
GREENHOUSE GAS EMISSIONS
ON THE ELECTRIC STEELMAKING SECTOR
IN THE ROMANIAN STEEL INDUSTRY**

Lavinia POPESCU¹, L. PĂUNESCU¹, Mihaela BĂLĂNESCU³, Gh. SURUGIU⁴

¹Institutul de Cercetări Metalurgice București

²Cermax 2000 Patents SRL București

³Universitatea Politehnica București

**⁴Inspecția de Stat pentru Controlul Cazanelor,
Recipientelor sub Presiune și Instalațiilor de Ridicat București**

Person contact: lucian.paunescu.cermax@gmail.com

REZUMAT / ABSTRACT

Lucrarea prezintă influența măsurilor de modernizare recomandate de Comisia Europeană asupra emisiilor de gaze cu efect de seră (în principal, CO₂) ale oțelăriilor electrice din siderurgia românească. Ansamblul de îmbunătățiri cu caracter tehnologic vizează intensificarea proceselor de topire a încărcăturii metalice prin reducerea duratei șarjei și a consumului specific de energie electrică, care, implicit, diminuează și emisiile de gaze cu efect de seră. Astfel, consumul specific de energie electrică se reduce de la 600-700 kWh/t oțel (corespunzător cuptoarelor nemodernizate) la 300 - 550 kWh/t oțel. Emisiile de CO₂ sunt 0,359 t CO₂/t oțel (la nivelul UE) și, respectiv, 0,3676 t CO₂/t oțel (pentru oțelăriile moderne din România de la ArcelorMittal Hunedoara, TMK Reșița și Tenaris Călărași). Comparativ cu emisiile de CO₂ ale cuptoarelor nemodernizate se obține o reducere semnificativă de 0,06 t CO₂/t oțel, reprezentând 14%.

The paper presents the influence of the modernization measures recommended by the European Commission on the greenhouse gas emissions (mainly CO₂) of the electric steelmaking plants in the Romanian steel industry. The all technological improvements have as objective to intensify the melting process of metal charge through the reduction of the charge duration and specific consumption of electricity, which, implicitly, diminish too the greenhouse gas emissions. Thus, the specific consumption of electricity is reduced from 600-700 kWh/t steel (corresponding to the non-modernized furnaces) to 300 - 550 kWh/t steel. The CO₂ emission is 0.359 t CO₂/t steel (at the EU level) and, respectively, 0.3676 t CO₂/t steel (for the Romanian advanced steelmaking plants, such as: ArcelorMittal Hunedoara, TMK Resita and Tenaris Calarasi. Comparatively with CO₂ emissions of the non-modernized furnaces, it should be emphasized a significant reduction of 0.06 t CO₂/t steel, representing around 14%.

Key words: emission, greenhouse gas, carbon dioxide, electricity, oxygen, specific consumption, electric arc furnace

1. INTRODUCERE

Schimbările climatice și, implicit, necesitatea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră (în principal, dioxid de carbon) au devenit probleme prioritare pentru România, în special, după ratificarea Protocolului de la Kyoto (prin Legea nr. 3/2001). Conform protocolului, România trebuie să-și reducă emisiile de gaze cu efect de seră cu 8% față de nivelul anului 1989. Cu atât mai

1. INTRODUCTION

The climate exchanges and, implicitly, the need of reduction of the greenhouse gas emissions (mainly, carbon dioxide) became priority problems for Romania, especially, after the ratification of Protocol in Kyoto (by the Law no. 3/2001). According to this protocol, Romania must to reduce the greenhouse gas emissions with 8% comparatively to the year

mult, după aderarea la Uniunea Europeană (la 1 ianuarie 2007), obligativitatea punerii în aplicare a Directivei 2003/ 87/ CE, referitoare la Schema Europeană de Comercializare a Emisiilor (EU-ETS), unităților industriale din România le revin responsabilități suplimentare față de cele deja existente.

Emisiile industriale de dioxid de carbon rezultă dintr-o multitudine de surse:

- emisii directe tehnologice, provenite din procese de fabricație non-energetice;
- emisii directe energetice, rezultate din arderea combustibililor fosili;
- emisii indirecte, datorate consumului unor surse de energie "curate" (cum este cazul energiei electrice), dar a căror producere necesită consumuri de combustibili fosili poluanți.

În general, reducerea emisiilor industriale de dioxid de carbon, principalul component al gazelor cu efect de seră, produse printr-un proces tehnologic sau printr-un proces de ardere, se poate realiza fie acționând asupra parametrilor de intrare în proces (cantități de materii prime, consumuri de combustibili, natura combustibililor, a sortimentelor de materii prime, conținut de carbon din materii prime și combustibili etc.), fie modificând procesul tehnologic sau de ardere existent, în sensul îmbunătățirii acestora pentru creșterea performanțelor tehnologice și energetice.

2. REDUCEREA EMISIILOR DE GAZE CU EFECT DE SERĂ PRIN MODERNIZĂRI TEHNOLOGICE ÎN CONCORDANȚĂ CU CELE MAI BUNE SOLUȚII DISPONIBILE LA NIVEL MONDIAL

Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, una din principalele preocupări ale Uniunii Europene în domeniul protecției mediului, este în strânsă dependență cu eficientizarea energetică a proceselor energotehnologice industriale. În acest moment, industria siderurgică, care este una dintre ramurile industriale caracterizate prin consumuri mari de combustibili fosili (gaz natural, gaze combustibile reziduale, păcură, cărbune etc.) are în vedere un ansamblu de măsuri tehnologice, care, prin aplicare, conduc la eficientizarea energetică a proceselor tehnologice în sensul diminuării consumurilor specifice de combustibili fosili și energie electrică (produsă preponderent tot prin consum de combustibil fosil).

În sectorul oțelăriilor electrice, care constituie obiectul lucrării de față, ansamblul de îmbunătățiri cu caracter tehnologic vizează, în principal, intensificarea proceselor de topire a încărcăturii metalice pentru reducerea duratei șarjei și a consumului specific de energie electrică, care, implicit, diminuează și emisiile de gaze cu efect de seră (emisii directe și indirecte).

1989 level. So much the move, after the adhering to the European Union (at January 1, 2007), the obligation to apply the Directive 2003/ 87/ CE, referring to the European Scheme of Emissions Commercialization (EU-ETS), the Romanian industrial units have supplementary responsibilities comparatively those already existing.

The industrial emissions of carbon dioxide result from numerous sources:

- *technological direct emissions, proceeded from non-energy manufacturing processes;*
- *energy direct emissions, resulted from the fossil fuel combustion;*
- *indirect emissions, due to the consumption of some "clean" energy sources (as electricity), but whose production requires consumptions of pollutants fossil fuels.*

Generally, the reduction of the industrial emissions of carbon dioxide, the main component of greenhouse gas, produced by a technological process or a combustion process, can be achieved either operating on parameters of process entering (amounts of raw materials, consumptions of fuels, fuels nature, raw materials assortments nature, content of carbon in raw materials and fuels etc.), or modifying the existing technological process or combustion process, for their improvement to increase the technological and energy performances.

2. THE REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS BY TECHNOLOGICAL MODERNIZATIONS ACCORDING TO THE BEST AVAILABLE SOLUTIONS AT THE WORLD LEVEL

The reduction of greenhouse gas emissions, one of the main concerns of the European Union in the environment protection area, is in a closely dependence with the energy efficiency of industrial energy technological processes. Now, the iron and steel industry is one of the industrial branches characterized by high consumptions of fossil fuels (natural gas, waste gaseous fuels, fuel oil, coal etc.), has in consideration an ensemble of technological measures, which, by application, leads to energy efficiency of technological processes in the direction of diminishing the specific consumptions of fossil fuels and electricity (preponderantly obtained by consumption of fossil fuel, too).

In the electric steelmaking sector, which constitutes the object of the present paper, the ensemble of technological improvements aims, mainly, to intensify the melting processes of metal charge through the reduction of the charge duration and specific consumption of electricity, which, implicitly, diminish, too, the greenhouse gas emissions (direct and indirect emissions).

Îmbunătățirile tehnologice aduse cuptoarelor electrice cu arc sunt bine cunoscute pe plan mondial și sunt aplicate într-un mod flexibil, în sensul că se pune accentul în mai mare sau mai mică măsură pe anumite componente ale ansamblului de îmbunătățiri tehnologice. Acestea diferă odată cu ofertele principalilor furnizori de echipamente pentru cuptoarele electrice cu arc.

În ansamblul lor, îmbunătățirile tehnologice, pe care le vom dezvolta în continuare, conduc în final la reducerea substanțială a consumurilor specifice de energie electrică (incluzând atât energia dezvoltată cu arcul electric, cât și energia electrică înmagazinată în oxigenul insuflat prin lance sau prin arzătoarele oxicom bustibile). Acest deziderat este în concordanță cu nevoile actuale de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră (în principal, emisii de CO₂), având în vedere faptul că energia electrică are înglobat un consum indirect de combustibil fosil (cărbune consumat în termocentrale) cu emisii de CO₂.

Principalele măsuri de îmbunătățire tehnologică a producerii oțelului în cuptoare electrice cu arc sunt:

- utilizarea de transformatoare de mare putere (UHP);
- pereții și bolta cuptorului răcite cu apă;
- injectarea de gaz inert prin vatra cuptorului;
- intensificarea topirii prin utilizarea arzătoarelor oxicom bustibile;
- îmbunătățirea transferului de căldură în cuptor prin spumarea zgurii;
- utilizarea cuptorului electric cu arc ca agregat numai pentru topire și folosirea metalurgiei secundare;
- controlul computerizat al proceselor din cuptor;
- sistemul de evacuare a oțelului pe la baza cuptorului, excentric (EBT);
- preîncălzirea șarjei înaintea introducerii în cuptor;
- post-combustia gazelor în incinta cuptorului;
- reducerea consumului de combustibil în procesele de încălzire în flux și uscarea-temperare a oalelor de turnare a oțelului prin recuperarea energetică a gazelor arse.

Utilizarea de transformatoare de mare putere constituie o măsură tehnologică aplicată pe plan mondial cu scopul principal de a reduce durata topirii încărcăturii metalice a cuptoarelor electrice cu arc. La funcționarea în UHP, energia specifică aparentă este furnizată cu un randament mediu de peste 0,7. Cuptoarele electrice cu arc care lucrează în acest regim sunt dotate cu transformatoare cu capacitatea de peste 700 kVA/t oțel. Economia de energie estimată este de 1 kVA/t oțel pentru fiecare creștere de putere a transformatorului de 1 MW.

Creșterea puterii transformatorului poate fi realizată prin instalarea unui nou transformator de mare putere în locul celui existent sau prin montarea în paralel de noi transformatoare.

The technological improvements of electric arc furnaces are well known worldwide and they are applied in a flexible way, in meaning that certain components of the ensemble of technological improvements are emphasized to a greater or lesser extent. These differ with the offers of the main providers of equipments for the electric arc furnaces. In their ensemble, the technological improvements, developed further down, lead at the end to the substantial reduction of the specific consumption of electricity including both the energy developed with electric arc and electricity stored in the oxygen instilled through lance or oxy fuel burners). This challenge is in agreement with the current needs to reduce the greenhouse gas emissions (mainly, CO₂ emissions), considering that the electricity have included an indirect consumption of fossil fuel (coal consumed in thermo-electric power stations) with CO₂ emissions.

The main measures of technological improvement of steel making in electric arc furnace are:

- *using of high power transformer (UHP);*
- *walls and vault of furnace cooled with water;*
- *injection of an inert gas through the furnace hearth;*
- *melting intensification by using the oxy fuel burners;*
- *improvement of heat transfer in furnace through the slag foaming;*
- *using of electric arc furnace as equipment only for melting and using the secondary metallurgy;*
- *computerized control of processes from furnace;*
- *system of eccentric evacuation of steel through the base of furnace (EBT);*
- *preheating of the charge before to load in furnace;*
- *post-combustion of gases inside the furnace;*
- *reduction of fuel consumption in processes of heating in flow and drying-tempering of steel ladles through energy recovery of waste gas.*

Using of high power transformer constitutes a technological measure applied worldwide with the main purpose to reduce the melting duration of metal charge in the electric arc furnaces. At the UHP operation the apparent specific energy is supplied with an average efficiency of over 0.7. The electric arc furnaces which work in this regime are equipped with transformers with capacity of over 700 kVA/t steel. The estimated energy economy is 1 kVA/t steel for each power increasing of the transformer of 1 MW.

The increasing of transformer power can be achieved by installation of a new high power transformer instead of the existing or assembling simultaneously of new transformers.

Datorită reducerii pierderilor de energie până la 4%, se pot obține economii la consumul specific de energie electrică al cuptorului care lucrează în regim UHP de circa 14 kWh/t oțel [1].

Utilizarea sistemului UHP la cuptoarele electrice cu arc a impus în mod obligatoriu, în ultimii 20 - 30 ani, folosirea **elementelor răcite cu apă la pereții și bolta cuptoarelor**.

Se cunosc două tipuri de răcire cu apă, unul în care se realizează vaporizarea apei (răcirea prin vaporizare) și altul, clasic, în care apa se află permanent în stare lichidă. Pentru protejarea elementelor răcite cu apă, în special atunci când nu este posibilă spumarea zgurii, este necesar un reglaj computerizat al procesului de topire, pentru prevenirea crăpării elementelor de răcire din cauza tensiunilor mecanice [1].

O tehnologie care îmbunătățește transferul de căldură în topitura metalică, precum și interacțiunea dintre zgură și metal, este **injectarea unui gaz inert (exemplu: argon) prin vatra cuptorului**. Prin această tehnologie crește cantitatea de metal lichid cu minim 5% și se obțin economii de energie electrică între 11 - 22 kWh/t oțel [1]. Cuptoarele care folosesc insuflarea oxigenului au suficientă turbulență, reducând nevoia injectării gazului inert.

Procedeele ox-combustibil este utilizat pe scară largă la cuptoarele electrice cu arc pentru intensificarea procesului de topire a încărcăturii metalice a cuptorului. Procedeele au rolul de a compensa neuniformitatea de temperatură din cuptor (datorită dezvoltării concentrate a căldurii în arcul electric), prin amplasarea arzătoarelor în dreptul zonelor reci, respectiv, în pereții cuptorului, bolta sau ușa de lucru. Aplicarea procedeei ox-combustibil are consecințe favorabile asupra productivității cuptorului (care crește cu 8 - 15%) și a consumului de energie electrică (care se reduce cu 10 - 12 kWh/t oțel) [2]. Combustibilii utilizați în cadrul procedeei ox-combustibil pot fi combustibili gazoși (gaz natural, gaze combustibile reziduale), lichizi grei (păcură, gudron), lichizi ușori (motorină, uleiuri, emulsii) sau solizi (praf de cărbune, praf de cocs). Pe plan mondial, procedeul ox-combustibil este foarte răspândit. Principalul furnizor de echipamente pentru aplicarea acestui procedeu la cuptoare electrice cu arc este compania Mannesmann Demag, combustibilii folosiți fiind gaz natural, gaze de proces, motorină, păcură, uleiuri, emulsii, praf de cărbune sau praf de cocs.

Una dintre măsurile tehnologice importante, care poate conduce la îmbunătățirea indicatorilor energetici și reducerea emisiilor de CO₂, este **utilizarea zgurii spumante în etapa finală a topirii în cuptorul electric** (după introducerea celei de-a doua bene și după formarea băii de metal lichid, pentru cuptoare care funcționează cu două bene) [3]. Spumarea zgurii se realizează prin insuflarea simultană, cu ajutorul a două lance, a oxigenului și prafului de cărbune.

Due to the reduction of energy losses up to 4%, can be obtained economies of specific consumption of electricity for the furnace which works in UHP regime of about 14 kWh/t steel [1].

Using of UHP system at the electric arc furnaces imposed obligatory, in the last 20 - 30 years, to use the water cooling elements at the furnace walls and vault. Two types of water cooling are known, one in which the vaporization of water is achieved (cooling by vaporization) and other, classical, in which the water is permanently in liquid state. To protect the water cooling elements, especially when is not possible to foam the slag, is necessary a computerized adjustment of melting process to prevent the cooling elements cracking owing to mechanical tensions [1].

A technology which improves the heat transfer in metal fusion, as well as the interaction between slag and metal, is injection of an inert gas (example: argon) through the furnace hearth. By this technology, the amount of liquid metal increases with minimum 5% and are obtained economies of electricity between 11 - 22 kWh/t steel [1]. The furnaces which use the instilling of oxygen have enough turbulence, reducing the need to inject the inert gas.

The oxy fuel procedure is widely used at the electric arc furnaces to intensify the melting process of metal charge of furnace. The procedure has the role to compensate for temperature non-uniformity in the furnace (due to concentrated development of heat in electric arc), by the emplacement of burners in front of cold areas, respectively, in the furnace walls, vault or working door.

Application of oxy fuel procedure has favorable consequences on the furnace productivity (which increases with 8 - 15%) and electricity consumption (which decreases with 10 - 12 kWh/t steel) [2]. The fuels used in oxy fuel procedure can be gaseous fuels (natural gas, waste gaseous fuels), hard liquid (oil fuel, tar), low liquid (Diesel oil, oils, emulsions) or solid (coal dust, coke dust). The oxy fuel procedure is very widespread in the world. The main provider of equipments for application of this procedure at the electric arc furnaces is Mannesmann Demag company, the fuel used being natural gas, process gases, Diesel oil, oil fuel, oils, emulsions, coal dust and coke dust.

One of the important technological measures, which can lead to improvement of energy indicators and reduction of CO₂ emissions, consist in using the foamed slag in the final stage of melting in electric furnace (after loading of the second bucket and after formation of the liquid metal bath, for furnaces which operate with two buckets) [3]. The slag foaming is achieved by simultaneous instilling, with two lances, of oxygen and coal dust. The inclination of oxygen

Înclinarea lăncii pentru oxigen este mai mare, astfel încât acesta să fie insuflat în baia metalică sau la interfața baie metalică-zgură, în timp ce înclinarea lăncii pentru praful de cărbune este mai mică, fiind corespunzătoare insuflării prafului în zgura produsă.

Utilizarea cuptorului electric cu arc numai ca agregat pentru topirea încărcăturii metalice constituie fundamentul tuturor tehnologiilor performante recomandate și aplicate la acest tip de cuptoare [3]. Astfel, toate fazele specifice elaborării clasice a oțelului în cuptor (ex: dezoxidarea sau alierea), precum și toate tratamentele la care este supus oțelul lichid, au loc în oala de turnare, în cadrul așa numitei metalurgii secundare. Această separare a proceselor de topire de restul proceselor metalurgice specifice conduce la o judicioasă și eficientă gospodărire a consumurilor energetice și, implicit, la o scădere a prețului de cost al oțelului turnat sub formă de semifabricate.

Ceea ce este important pentru protejarea mediului înconjurător de emisiile de CO₂, este faptul că utilizarea cuptorului electric cu arc numai ca agregat termotehnologic de topire, în paralel cu aplicarea tuturor tehnologiilor de intensificare a acestui proces în cuptor, conduce la obținerea unor performanțe deosebite în ceea ce privește consumul specific de energie electrică (adică consum indirect de cărbune la un nivel mult mai redus).

Controlul computerizat al proceselor din cuptorul electric cu arc a devenit necesar în ultimii ani, deoarece gospodărirea materiilor prime și a materialelor, a combustibililor și a energiei electrice, precum și organizarea fluxurilor până la turnarea continuă, în condiții de maximă eficiență, impun acest control. Sistemele de control computerizat eficiente permit o creștere a productivității, o reducere a consumurilor specifice de energie electrică și combustibili fosili și o reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, noxe și pulberi [1].

Sistemul de evacuare a oțelului pe la baza cuptorului este în prezent foarte răspândit în oțelăriile electrice, deoarece face posibilă reducerea cantității de zgură evacuată în oală în timpul deversării oțelului la finalul topirii. De asemenea, face posibilă reducerea duratei deversării oțelului în oală și reducerea pierderilor energetice [1].

Preîncălzirea încărcăturii metalice a cuptorului, prin folosirea căldurii fizice a gazelor arse, este o tehnologie care cunoaște o relativă răspândire în oțelării, datorită problemelor de spațiu, dificultăților de modificare a traseului gazelor și precauțiilor necesare legate de supraîncălzirea benelor [4].

Informațiile furnizate de literatura de specialitate evidențiază faptul că există instalații de preîncălzire a fierului vechi în benă până la 300-350°C, putându-se astfel economisi 20-50 kWh/t oțel sub formă de energie consumată cu arcul electric, cât și sub formă

lance is more, so that to be instilled this in the metal bath or on the interface metal bath-slag, while the inclination of lance for coal dust is lower, being adequate for dust instilling in the produced slag.

Using of the electric arc furnace only as equipment for melting of metal charge constitutes the foundation of all advanced technologies recommended and applied at this furnaces type [3]. Thus, all phases specific for classic elaboration of steel in furnace (ex: deoxidation or alloying), as well as all treatments of liquid steel, take place in the ladle, in so-called secondary metallurgy. This separation of melting processes of the rest specific metallurgical processes leads to a judicious and efficient management of energy consumptions and, implicitly, a decreasing of cost price of steel casted as semi-finished products.

What is important for protection of environment against the CO₂ emissions, is that the using of electric arc furnace only as technological equipment for melting, simultaneously with application of all enhancement technologies of this process in furnace, leads to remarkable performances related to the specific consumption of electricity (i.e. indirect consumption of coal at a much lower level).

The computerized control of processes from electric arc furnace became necessary in the last years, because the management of raw materials and materials, fuels and electricity, as well organization of flows until continuous casting, in conditions of maximum efficiency, impose this control. The efficient systems of computerized control allow an increasing of productivity, a decreasing of specific consumptions of electricity and fossil fuels and a reduction of greenhouse gas, pollutants and powders emissions [1].

The system of steel evacuation through the base of furnace is now very spreaded in the electric steel making plants, because makes possible the reduction of slag amount evacuated in ladle during steel discharge at the end of melting. Also, it makes possible the reduction of duration of steel discharge in ladle and the decreasing of energy losses [1].

Preheating of metal charge of furnace, by using of waste gas physical heat, is a technology which has a relative widespread in steelmaking plants, because the space problems, difficulties of modification the route of gases and necessary precautions related to overheating of buckets [4].

The data provided by literature emphasize that there are installations of scrap preheating in bucket up to 300-350°C, being able to save 20- 50 kWh/t steel as energy consumed by the electric arc and as fuel used at the oxy fuel burners.

de combustibil utilizat la arzătoarele oxi-combustibil. Nu pot fi neglijate nici **procedeele moderne și eficiente din punct de vedere energetic pentru încălzirea oalelor** aflate în flux sau a celor supuse uscării după înzidire totală sau parțială. Se cunosc trei modalități de eficientizare a acestor procese prin recuperarea căldurii fizice a gazelor arse captate din incinta oalei: preîncălzirea aerului de combustie în recuperatoare metalice clasice, în corpul arzătoarelor de tip recuperativ și, respectiv, în recuperatoarele ceramice de tip regenerativ ale arzătoarelor autoregenerative. Aerul de combustie al arzătoarelor poate fi preîncălzit în aceste condiții la temperaturi foarte ridicate (până la 600-650°C în cazul arzătoarelor recuperative [5] și până la peste 900°C în cazul arzătoarelor autoregenerative [6]), ambele tipuri de arzătoare fiind realizate după licența Hotwork din Marea Britanie. Utilizarea acestor arzătoare performante permite realizarea unor importante economii de combustibil fosil, contribuind la diminuarea emisiilor de CO₂.

Este de menționat contribuția Institutului de Cercetări Metalurgice București la realizarea unor arzătoare recuperative performante (cu recuperare energetică mixtă în arzător și capacul oalei de turnare), de capacități termice superioare celor existente pe piața internațională (peste 1000 kW) [7, 8], aplicate în oțelării electrice din România (Tenaris Călărași și Mechel Târgoviște).

Post-combustia monoxidului de carbon în incinta cuptorului constituie cronologic ultima și cea mai recentă etapă de modernizare pe plan mondial a cuptorului electric cu arc. Prin această măsură tehnologică se urmărește eliminarea pierderilor de căldură datorate pătrunderii necontrolate a aerului în incinta de lucru și controlul computerizat al oxidării carbonului din încărcătura metalică și al dioxidului de carbon generat prin insuflarea prafului de cărbune prin lancea supersonică. Se cunosc pe plan mondial mai multe procedee pentru realizarea post-combustiei: Alarc-PC (sau EAF) al companiei L'Air Liquide, Danarc (sau DC-EAF) al companiei Danieli Centromet Arc Furnace, K-ES aparținând companiei Voest-Alpine și procedeul IRSID. Prin aplicarea industrială a post-combustiei se obțin reduceri semnificative ale consumului de energie electrică de 5-15 kWh/t oțel, în condițiile unui consum suplimentar de oxigen de 5-13 Nm³/t oțel [9, 10].

Acest ansamblu de măsuri tehnologice de eficientizare energetică a funcționării cuptoarelor electrice cu arc, prezentat mai sus, a fost adoptat și recomandat de Comisia Europeană tuturor țărilor membre UE în vederea reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră. Aplicarea acestor modernizări în oțelăriile electrice europene a devenit astfel o necesitate, nu numai din punctul de vedere al eficienței economice a producerii oțelului, ci și din punctul de vedere al obligațiilor

*They can not be neglected neither **the modern and energy efficient processes for heating the ladles** that are in flux, nor those subject to drying after total or partial built. There are three ways to increase the efficiency of these processes by recovering the physical heat of waste gas captured from the ladle: preheating of combustion air in classic metal recuperators, in the body of recuperative type burners and, respectively, in the regenerative type ceramic recuperators of self-regenerative burners.*

The combustion air of the burners can be preheated in these conditions to very high temperatures (up to 600-650°C in the case of the recuperative burners [5] and up to over 900°C in the case of the self-regenerative burners [6], the two burner types being performed according to the British Hotwork licence.

The using of these advanced burners allows to obtain significant economies of fossil fuel, contributing to the diminishing of CO₂ emissions.

It should be mentioned the contribution of the Metallurgical Research Institute of Bucharest to achieving advanced recuperative burners (with a mixed energy recovery in burner and ladle lid), with thermal capacities superior to the existing on the international market (over 1000 kW) [7, 8], applied in Romanian electric steelmaking plants (Tenaris Calarasi and Mechel Targoviste).

Post-combustion of carbon monoxide inside the furnace constitutes chronologically the last and the latest stage of modernization worldwide of the electric arc furnace. By this technological measure it seeks to eliminate heat losses due to uncontrolled air penetration inside working and computerized control of carbon oxidation of metal charge and carbon dioxide generated by instilling of coal dust through supersonic lance. Worldwide, they are known more methods for carrying out the post-combustion: Alarc-PC (or EAF) of L'Air Liquide company, Danarc (or DC-EAF) of Danieli Centromet Arc Furnace company, K-ES belonging to Voest-Alpine company and the process IRSID. By the industrial application of post-combustion are obtained significant reduction of electricity consumption of 5-15 kWh/t steel, in the conditions of a supplementary consumption of oxygen of 5-13 Nm³/t steel [9, 10].

This ensemble of technological measures of energy efficiency of electric arc furnaces operation, presented above, was adopted and recommended by European Commission to all EU member countries to reduce the greenhouse gas emissions.

Thus, the application of these modernizations in the European electric steelmaking plants became a necessity not only as economical efficiency of electric steel making and as obligations imposed by the European Commission Directive relating to limitation

impuse de Directiva Comisiei Europene în legătură cu limitarea emisiilor de gaze cu efect de seră. Aplicarea celor mai bune tehnologii disponibile (BAT) se realizează într-un mod flexibil, fiecare companie siderurgică adoptând acel pachet de măsuri de modernizare, oferit de furnizorii de echipamente pentru oțelăriile electrice, care corespund condițiilor concrete din țara respectivă.

Schema unui cuptor electric cu arc performant furnizat de compania germană Mannesmann Demag [11] este prezentată în **Figura 1**.

of the greenhouse gas emissions. Application of the best available technologies (BAT) is achieved in a flexible way, each siderurgical company adopting those group of modernization measures, offered by the provider of equipments for steelmakings, which corresponds to the particular conditions from each respective country.

*The scheme of an advanced electric arc furnace provided by the German Mannesmann Demag company [11] is presented in **Figure 1**.*

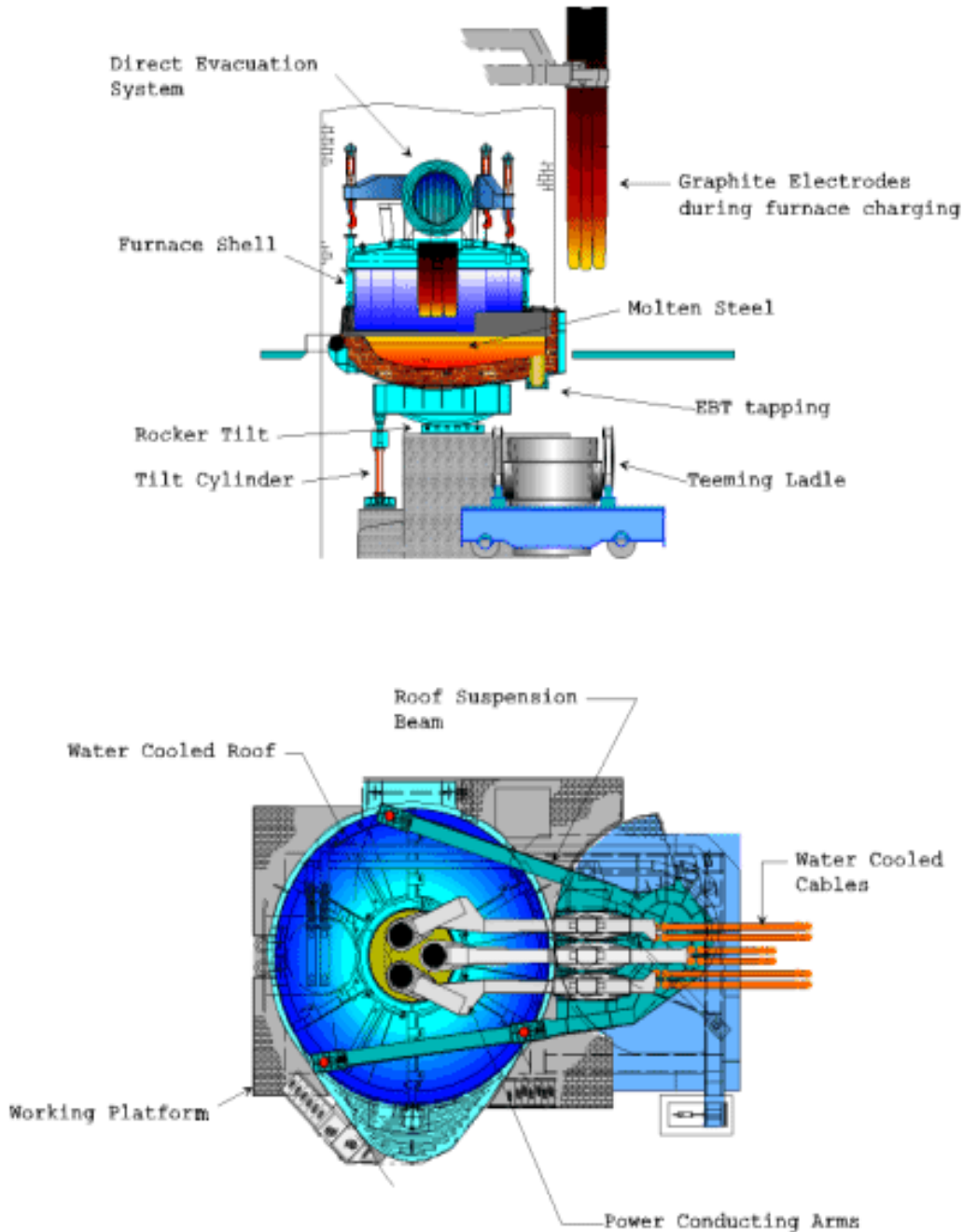


Fig. 1. Schema cuptorului electric cu arc performant tip Mannesmann Demag
The scheme of the advanced electric arc furnace Mannesmann Demag type [11]

3. EFECTE ECONOMICE ȘI IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI

Ansamblul de măsuri tehnologice de modernizare a sectorului oțelăriilor electrice, prezentat anterior, vizează, în principal, creșterea semnificativă a productivității cuptoarelor ca urmare a intensificării proceselor din cuptor (utilizarea arzătoarelor oxicom bustibil, utilizarea transformatoarelor de mare putere, injectarea argonului sau altor gaze inerte prin vatra cuptorului), eliminării pierderilor de energie (etanșarea și controlul computerizat al proceselor, post-combustia în incinta cuptorului, utilizarea cuptorului numai ca utilaj de topire, recuperarea căldurii gazelor arse și utilizarea acesteia la preîncălzirea aerului de combustie în instalațiile de uscare și încălzire a zidăriei oalelor de turnare) și îmbunătățirii transferului de căldură în cuptor (insuflarea prafului de cărbune și spumarea zgurii, preîncălzirea încărcăturii metalice a cuptorului). Intensificarea proceselor din cuptor impune măsuri tehnologice de modernizare cu rol de protejare a echipamentelor, cum este răcirea intensă, prin vaporizarea apei, a pereților și bolții cuptorului.

Aplicarea măsurilor de modernizare conduce la reducerea duratelor de topire și a consumurilor specifice de energie electrică. Prin cumularea tuturor efectelor economice datorate creșterii productivității, consumurile specifice de energie electrică s-au redus de la 600 – 700 kWh/t oțel (la cuptoare electrice cu arc nemodernizate) până la 300 – 550 kWh/t oțel (la cuptoare moderne din țările Uniunii Europene), cu o valoare medie de 425 kWh/t oțel, estimându-se posibilitatea reducerii consumului mediu până la 350 kWh/t oțel [12].

După cum s-a precizat mai sus, cuptorul electric cu arc performant este utilizat numai ca utilaj tehnologic de topire. Celelalte operații de tratare a oțelului, denumite metalurgie secundară, se desfășoară în instalații specifice. Consumul specific direct (în cazul instalațiilor LF) sau indirect (în cazul celorlalte instalații de tratament secundar al oțelului) de energie electrică este cuprins în intervalul 350 – 600 kWh/t oțel, cu o valoare medie adoptată de 475 kWh/t oțel.

Conform precizărilor anterioare, emisiile indirecte de CO₂ sunt cele datorate consumului unor surse de energie "curate", cum este cazul energiei electrice, dar a căror producere implică consumuri de combustibili fosili poluanți.

Conform [13], factorul de emisie al cărbunelui (hulă) ars în termocentrale pentru producerea energiei electrice este:

$$F = 0,1011 \text{ t CO}_2/\text{GJ}.$$

Relația de calcul a emisiilor indirecte de CO₂ provenind din utilizarea energiei electrice [14] este:

3. ECONOMICAL EFFECTS AND THE IMPACT ON ENVIRONMENT

The ensemble of technological measures of modernization of electric steelmaking sector, presented previously aims mainly, the significant increasing of furnaces productivity as result of intensification of processes in furnace (using of oxy fuel burners, using of high power transformer, injection of argon or other inert gases through the furnace hearth), elimination of energy losses (tightness and computerized control of processes, post-combustion inside the furnace, using of furnace only as melting equipment, waste gas heat recovery and its using to preheating combustion air in the drying and heating installations of ladles masonry) and improvement of the heat transfer in furnace (instilling of coal dust and slag foaming, preheating of metal charge of furnace). The intensification of processes in furnace imposes technological measures of modernization with role of protection of equipment, as intensive cooling, by water vaporization, of furnace walls and vault.

Application of modernization measures leads to reduction of melting durations and specific consumptions of electricity. By cumulating all economical effects due to productivity increasing, specific consumptions of electricity were reduced from 600 – 700 kWh/t steel (at the non-modernized electric arc furnaces) up to 300 – 550 kWh/t steel (at the modern furnaces in the EU countries), with an average value of 425 kWh/t steel, estimating possibility to reduce the average consumption up to 350 kWh/t steel [12].

As noted above, the advanced electric arc furnace is used only as melting technological equipment. The other operations of steel treatment, so called secondary metallurgy, are carried out in specific installations. The direct specific consumption (in the case of LF installations) or indirect consumption (in the case of other installations of steel secondary treatment) of electricity is in the range 350 – 600 kWh/t steel, with an adopted average value of 475 kWh/t steel.

As explained earlier, the indirect CO₂ emissions are due to the consumption of some "clean" energy sources, as electricity, but whose production involves consumptions of pollutant fossil fuels.

According to [13], the emission factor of burnt coal (pit coal) in thermo-electric power stations to produce electricity is:

$$F = 0.1011 \text{ t CO}_2/\text{GJ}.$$

The relationship of indirect CO₂ emissions resulted from the using of electricity [14] is:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ ind}} = 3600 \cdot (C_{\text{sce}} + C_{\text{sms}}) \cdot F \cdot 10^{-6}, \text{ t CO}_2/\text{t steel} \quad (1)$$

unde:

C_{scc} - consumul specific mediu de energie electrică în cuptorul electric cu arc, kWh/t oțel;

C_{sms} - consumul specific mediu de energie electrică în instalațiile de metalurgie secundară, kWh/t oțel;

F - factorul de emisie al huilei ($F = 0,1011 \text{ t CO}_2/\text{GJ}$).

Utilizând valoarea medie a consumului specific de energie electrică în cuptoare performante la nivelul Uniunii Europene ($C_{scc} = 425 \text{ kWh/t oțel}$) și valoarea medie a consumului specific de energie electrică în instalațiile de metalurgie secundară ($C_{sms} = 475 \text{ kWh/t oțel}$) rezultă următoarea cantitate de emisii indirecte de CO_2 :

$$E_{\text{CO}_2 \text{ ind}} = 3600 \cdot (425 + 475) \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.328 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

În cuptoarele performante din Uniunea Europeană consumul total de oxigen insuflat în cuptor prin arzătoarele oxo-combustibil și lancea supersonică are valori de 14,0 - 35,6 $\text{Nm}^3/\text{t oțel}$ (în cazul neutilizării post-combustiei) și, respectiv, de 32,0 - 56,0 $\text{Nm}^3/\text{t oțel}$ (în cazul utilizării și a post-combustiei) [15]. Consumul de oxigen contribuie la emisii indirecte de CO_2 , datorită faptului că fabricarea industrială a oxigenului implică un consum de energie electrică de 0,35 kWh/ Nm^3 oxigen. Unui consum specific mediu de oxigen de 44 $\text{Nm}^3/\text{t oțel}$ îi corespund emisii indirecte de CO_2 calculate cu relația:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ ind ox}} = 3600 \cdot 0.35 \cdot C_{\text{sox}} \cdot F \cdot 10^{-6}, \text{ t CO}_2/\text{t steel} \quad (2)$$

unde:

C_{sox} - consumul specific mediu de oxigen insuflat în cuptor, $\text{Nm}^3/\text{t oțel}$.

Deci:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ ind ox}} = 3600 \cdot 0.35 \cdot 44 \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.0056 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Emisiile directe tehnologice de CO_2 , rezultate în urma proceselor chimice din cuptorul electric cu arc, depind de compoziția chimică a încărcăturii metalice, consumurile specifice ale materialelor de adaos și combustibililor solizi sau gazoși, consumurile specifice de electrozi și oxigen ale fiecărui cuptor. În general, emisiile directe tehnologice de CO_2 ale cuptoarelor performante din UE (incluzând și emisiile rezultate în urma tratamentelor de metalurgie secundară) nu depășesc 0,01 t $\text{CO}_2/\text{t oțel}$.

Tot emisii directe de CO_2 specifice oțelărilor electrice sunt cele cu caracter energetic, produse în urma arderii gazului natural în instalațiile de uscare și, respectiv, de încălzire în flux a oalelor de turnare. Necesarul energetic pentru realizarea acestor operații tehnologice auxiliare este de 260 – 300 MJ/t oțel [5, 6], adică 7,3 – 8,5 $\text{Nm}^3/\text{t oțel}$, tinând seama de puterea calorifică a gazului natural de 35,5 MJ/ Nm^3 . Adoptând o valoare

where:

C_{scc} - average specific consumption of electricity in the electric arc furnace, kWh/t steel;

C_{sms} - average specific consumption of electricity in the secondary metallurgy installations, kWh/t steel;

F - emission factor of pit coal ($F = 0.1011 \text{ t CO}_2/\text{GJ}$).

Using the average value of specific consumption of electricity in advanced furnaces at the European Union level ($C_{scc} = 425 \text{ kWh/t steel}$) and the average value of specific consumption of electricity in secondary metallurgy installations ($C_{sms} = 475 \text{ kWh/t steel}$) results the following amount of indirect CO_2 emissions:

In the advanced furnaces in European Union the total consumption of oxygen instilled in furnace through oxy fuel burners and supersonic lance has values of 14.0 - 35.6 $\text{Nm}^3/\text{t steel}$ (without post-combustion) and, respectively, 32.0 - 56.0 $\text{Nm}^3/\text{t steel}$ (in the case of using post-combustion, too) [15]. The oxygen consumption contributes to indirect CO_2 emissions, due to that the industrial making of oxygen involves an electricity consumption of 0.35 kWh/ Nm^3 oxygen. For an average specific consumption of oxygen of 44 $\text{Nm}^3/\text{t steel}$ correspond indirect CO_2 emissions calculated with the relationship:

where:

C_{sox} - average specific consumption of oxygen instilled in furnace, $\text{Nm}^3/\text{t steel}$.

So:

The direct technological emissions of CO_2 , resulted from chemical processes in the electric arc furnace, depend on the chemical composition of metal charge, specific consumptions of additional materials and solid or gaseous fuels, specific consumptions of electrodes and oxygen of each furnace. Generally, the direct technological emissions of CO_2 of the advanced furnaces in EU (including, too, emissions resulted from the secondary metallurgy treatments) no exceed 0.01 t $\text{CO}_2/\text{t steel}$.

Also, direct CO_2 emissions specific to electric steel making plants are due to the energetic character, produced as result of natural gas combustion in installations of drying and, respectively, heating in flow of ladles. The energy outfit for carrying out of these additional technological operations is 260 - 300 MJ/t steel [5, 6], i.e. 7.3 - 8.5 $\text{Nm}^3/\text{t steel}$, taking into consideration the calorific power of natural gas of

medie de $7,9 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel și cunoscând că din arderea metanului cu oxigenul din aerul de combustie se obține $1 \text{ Nm}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3$ metan [16], rezultă că emisia medie de CO_2 este de $7,9 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel, adică:
 $7,9 \cdot 44 / 22,41 = 15,5 \text{ kg/t}$ oțel sau $0,0155 \text{ t/t}$ oțel.

Însumând emisiile directe de CO_2 rezultă:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ dir}} = 0.01 + 0.0155 = 0.0255 \text{ t/t steel}$$

Așadar, emisiile totale de CO_2 (indirect și directe) rezultate în oțelăriile electrice din UE sunt:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ tot}} = E_{\text{CO}_2 \text{ ind}} + E_{\text{CO}_2 \text{ ind ox}} + E_{\text{CO}_2 \text{ dir}}, \text{ t CO}_2/\text{t steel} \quad (3)$$

$$E_{\text{CO}_2 \text{ tot}} = 0.328 + 0.0056 + 0.0255 = 0.359 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Conform datelor furnizate într-un studiu finanțat de Comisia Europeană în 2015 [17], 1 tonă de oțel produs pe filiera electrică generează $0,4 \text{ t CO}_2$ emise în mediul înconjurător.

În situația actuală de criză, în siderurgia românească mai sunt în funcțiune cuptoare electrice cu arc performante (dotate cu arzătoare ox-combustibil) la ArcelorMittal Hunedoara, TMK Reșița și Tenaris Călărași. Consumurile specifice de energie electrică au valori de $420 - 510 \text{ kWh/t}$ oțel, la cuptoare și $450 - 500 \text{ kWh/t}$ oțel, la instalațiile de metalurgie secundară. Utilizând relația (1) și valorile medii $C_{\text{sce}} = 465 \text{ kWh/t}$ oțel și $C_{\text{sms}} = 475 \text{ kWh/t}$ oțel se pot calcula cantitățile de emisii indirecte de CO_2 .

$$E'_{\text{CO}_2 \text{ ind}} = 3600 \cdot (465 + 475) \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.342 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Cuptoarele performante din România nu utilizează post-combustia, consumul specific mediu de oxigen pentru insuflarea prafului de cărbune și pentru arzătoarele ox-combustibil fiind de $25 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel. Cu ajutorul relației (2) se pot calcula emisiile indirecte de CO_2 provenite din consumul oxigenului.

$$E'_{\text{CO}_2 \text{ ind ox}} = 3600 \cdot 0.35 \cdot 25 \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.003 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Deci, emisiile totale indirecte de CO_2 rezultate din oțelăriile electrice din siderurgia românească sunt:

$$E'_{\text{CO}_2 \text{ ind tot}} = 0.342 + 0.003 = 0.345 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Emisiile tehnologice directe de CO_2 ale cuptoarelor electrice cu arc performante din siderurgia românească au fost determinate prin calculul bilanțurilor de materiale de către Institutul de Cercetări Metalurgice București. Astfel, în cuptor, cantitatea de CO_2 care se regăsește în gazele arse evacuate este de $0,00147 \text{ t/t}$ oțel. Instalația LF produce $0,00623 \text{ t CO}_2/\text{t}$ oțel. Deci, emisiile tehnologice directe de CO_2 sunt:

35.5 MJ/Nm^3 . Adopting an average value of $7.9 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel and knowing that from the combustion of methane with oxygen from combustion air is obtained $1 \text{ Nm}^3\text{CO}_2/\text{Nm}^3$ methane [16], result that the average CO_2 emissions is of $7.9 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel, i.e.:

$$7.9 \cdot 44 / 22.41 = 15.5 \text{ kg/t steel or } 0.0155 \text{ t/t steel.}$$

Totalizing the direct CO_2 emissions results:

Therefore, the whole emissions of CO_2 (indirect and direct) resulted in the EU electric steel making plants are:

According to the data presented in a study financed by European Commission in 2015 [17], 1 tone of steel produced on electric way generates 0.4 t CO_2 exhausted in environment.

In the current situation of crisis, in the Romanian siderurgy operate advanced electric arc furnaces (equiped with oxy fuel burners) in ArcelorMittal Hunedoara, TMK Resita and Tenaris Calarasi. The specific consumptions of electricity have values of $420 - 510 \text{ kWh/t}$ steel, at furnaces and $450 - 500 \text{ kWh/t}$ steel, at the secondary metallurgy installations. Using the relationship (1) and the average values $C_{\text{sce}} = 465 \text{ kWh/t}$ steel and $C_{\text{sms}} = 475 \text{ kWh/t}$ steel, the amounts of indirect CO_2 emissions can be calculated.

The Romanian advanced furnaces do not used post-combustion, the average specific consumption of oxygen for instilling the coal dust and oxy fuel burners being $25 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel. With the relationship (2) the indirect CO_2 emissions resulted from the oxygen consumption can be calculated.

So, the whole indirect CO_2 emissions resulted from the electric steel making plants in Romanian siderurgy are

The direct technological emissions of CO_2 of the advanced electric arc furnaces in Romanian siderurgy were determined through calculus of material balances by the Metallurgical Research Institute of Bucharest. Thus, in furnace, the CO_2 amount which is found in the exhaust waste gas is 0.00147 t/t steel. The LF installation produces $0.00623 \text{ t CO}_2/\text{t}$ steel. So, the direct technological emissions of CO_2 are:

$0,00147 + 0,00623 = 0,0077$ t/t oțel.

Consumul de energie în instalațiile de uscare și, respectiv, încălzire a oalelor de turnare este, în medie, de 270 MJ/t oțel, adică $7,6 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel. Prin urmare, emisiile energetice directe de CO_2 este de $7,6 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel, adică $0,0149 \text{ t CO}_2/\text{t}$ oțel.

Deci, emisiile directe de CO_2 ale oțelărilor electrice din România sunt:

$$E'_{\text{CO}_2 \text{ dir}} = 0.0077 + 0.0149 = 0.0226 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Emisiile totale indirecte și directe de CO_2 ajung la următoarea valoare:

$$\begin{aligned} E'_{\text{CO}_2 \text{ tot}} &= E'_{\text{CO}_2 \text{ ind tot}} + E'_{\text{CO}_2 \text{ dir}}, \text{ t CO}_2/\text{t steel} \\ E'_{\text{CO}_2 \text{ tot}} &= 0.345 + 0.0226 = 0.3676 \text{ t CO}_2/\text{t steel} \end{aligned} \quad (4)$$

La o producție anuală de oțel electric (P_{an}) la nivelul industriei oțelului din România de 650.000 tone, cantitatea de emisii de CO_2 rezultate din sectorul oțelărilor electrice este:

$$\begin{aligned} E'_{\text{CO}_2 \text{ tot an}} &= E'_{\text{CO}_2 \text{ tot}} \cdot P_{\text{an}}, \text{ t CO}_2/\text{year} \\ E'_{\text{CO}_2 \text{ tot an}} &= 0.3676 \cdot 650000 = 238940 \text{ t CO}_2/\text{year} \end{aligned} \quad (5)$$

După cum s-a precizat anterior, consumul specific de energie electrică al cuptoarelor nemodernizate era, în medie, de 650 kWh/t oțel. Consumul de energie electrică în instalațiile de tratament secundar al oțelului este aproximativ nemodificat, adică circa 475 kWh/t oțel. Consumul de oxigen insuflat în cuptor era relativ mic, de maxim $5 \text{ Nm}^3/\text{t}$ oțel.

Așadar, emisiile indirecte de CO_2 , calculate cu relațiile (1) și (2), sunt:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO}_2 \text{ ind ref}} &= 3600 \cdot (650 + 475) \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.409 \text{ t CO}_2/\text{t steel} \\ E_{\text{CO}_2 \text{ ind ox ref}} &= 3600 \cdot 0.35 \cdot 5 \cdot 0.1011 \cdot 10^{-6} = 0.0006 \text{ t CO}_2/\text{t steel} \end{aligned}$$

Deci, totalul emisiilor indirecte de CO_2 este:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ ind tot ref}} = 0.409 + 0.0006 = 0.4096 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Pentru cuptoarele nemodernizate emisiile directe tehnologice aveau valori în jurul a $0,003 \text{ t CO}_2/\text{t}$ oțel, iar emisiile directe energetice erau aproximativ la valoarea actuală, adică $0,015 \text{ t CO}_2/\text{t}$ oțel, datorită contribuției cercetării românești. Deci, valoarea totală a emisiilor directe de CO_2 era:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ dir ref}} = 0.003 + 0.015 = 0.018 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

Rezultă că, în situația de referință, valoarea totală a emisiilor de CO_2 din sectorul oțelărilor electrice din România era:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ tot ref}} = 0.4096 + 0.018 = 0.4276 \text{ t CO}_2/\text{t steel}$$

$0.00147 + 0.00623 = 0.0077$ t/t steel.

The electricity consumption in the installations of drying and, respectively, heating of ladles is, on an average, of 270 MJ/t steel, i.e. $7.6 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel. Consequently, the direct energy emissions of CO_2 is $7.6 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel, i.e. $0.0149 \text{ t CO}_2/\text{t}$ steel.

Thus, the direct CO_2 emissions of steel making plants in Romania are:

The whole indirect and direct CO_2 emissions reach the following value:

For an annual production of electric steel (P_{an}) at the Romanian steel industry of 650,000 tones, the amount of CO_2 emissions resulted in the electric steelmaking sector is:

As noted above, the specific consumption of electricity of the non-modernized furnaces was, on an average, of 650 kWh/t steel. The electricity consumption in the steel secondary treatment installations is approximately unmodified, i. e. about 475 kWh/t steel. The oxygen consumption instilled in furnace was relatively low, of maximum $5 \text{ Nm}^3/\text{t}$ steel.

Therefore, the indirect CO_2 emissions, calculated with the relationships (1) and (2), are:

So, the whole indirect CO_2 emissions is:

For the non-modernized furnaces the direct technological emissions had values round about $0.003 \text{ t CO}_2/\text{t}$ steel and the direct energy emissions were approximatively at the current value, i. e. $0.015 \text{ t CO}_2/\text{t}$ steel, due to the contribution of Romanian research work. So, the whole value of direct CO_2 emissions was:

Result that, in the reference situation, the whole value of CO_2 emissions in the Romanian electric steel makings sector was:

Comparativ cu emisiile totale actuale din siderurgia românească de 0,3676 t CO₂/t oțel, calculate mai sus, rezultă că, prin ansamblul măsurilor de modernizare, s-a realizat o reducere a emisiilor de CO₂ cu: 0,4276 - 0,3676 = 0,06 t CO₂/t oțel, reprezentând 14%.

4. CONCLUZII

1. Prin ratificarea Protocolului de la Kyoto și aderarea la Uniunea Europeană, România trebuie să-și reducă emisiile de gaze cu efect de seră (în principal CO₂) cu 8% față de nivelul anului 1989 și să pună în aplicare prevederile Directivei 2003/87/CE a Comisiei Europene.
2. Emisiile industriale de CO₂ provin din procese de fabricație non-energetice sau din procesele de ardere ale combustibililor fosili, fiind considerate emisii directe, dar și din consumul unor surse de energie "curate" (cum este cazul energiei electrice), a căror producere implică consum de combustibili fosili poluanți, care constituie emisii indirecte.
3. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră este în strânsă dependență cu eficientizarea energetică a proceselor energo-tehnologice industriale.
4. În sectorul oțelăriilor electrice ansamblul de îmbunătățiri cu caracter tehnologic vizează, în principal, intensificarea proceselor de topire a încărcăturii metalice prin reducerea duratei șarjei și a consumului specific de energie electrică, care, implicit, diminuează și emisiile de gaze cu efect de seră.
5. Principalele măsuri de îmbunătățire tehnologică a producerii oțelului în cuptoare electrice cu arc sunt: funcționarea în regim UHP, pereți și boltă răcite cu apă, injectarea de gaze inerte prin vatra cuptorului, arzătoare oxi-combustibil, spumarea zgurii, utilizarea cuptorului numai ca utilaj pentru topire, controlul computerizat al proceselor din cuptor, evacuarea oțelului pe la baza cuptorului, preîncălzirea încărcăturii metalice, post-combustia gazelor în incinta cuptorului și utilizarea arzătoarelor recuperative sau autoregenerative în procesele de uscare și încălzire a zidăriei oalelor de turnare a oțelului.
6. Aplicarea măsurilor de îmbunătățire tehnologică recomandate de Comisia Europeană contribuie la reducerea consumului specific de energie electrică în cuptoarele electrice cu arc de la 600 - 700 kWh/t oțel (la cuptoare nemodernizate) la 300 - 550 kWh/t oțel și reducerea substanțială a duratei șarjelor.
7. La nivelul oțelăriilor electrice din Uniunea Europeană, emisiile de CO₂ au valoarea de 0,359 t CO₂/t oțel. Determinările și calculele efectuate

By comparison with the current whole emissions in the Romanian iron and steel industry of 0.3676 t CO₂/t steel, calculated above, results that by the ensemble of modernization measures was obtained a reduction of CO₂ emissions with:

0.4276 - 0.3676 = 0.06 t CO₂/t steel, representing 14%.

4. CONCLUSIONS

1. *By ratification of Protocol in Kyoto and adhering to the European Union, Romania must to reduce its greenhouse gas emissions (mainly, CO₂) with 8% comparatively to the year 1989 level and to apply the provisions of Directive 2003/87/CE of European Commission.*
2. *The industrial CO₂ emissions proceed from the non-energy making processes or combustion processes of fossil fuels, being considered direct emissions, but, also, from the consumption of some "clean" energy sources (as electricity), whose production involves consumption of pollutant fossil fuels, which constitute indirect emissions.*
3. *Reducing of greenhouse gas emissions is in a closely dependence with the energy efficiency of industrial energy technological processes.*
4. *In the electric steel makings sector the ensemble of technological improvements aims, mainly, the intensification of melting processes of metal charge by reduction of charge duration and specific consumption of electricity, which, implicitly, diminish, too, the greenhouse gas emissions.*
5. *The main measures of technological improvement of steel production in electric arc furnace are: operation in UHP regime, walls and vault cooled with water, injection of inert gas through the furnace hearth, oxy fuel burners, slag foaming, using of furnace only as melting equipment, computerized control of processes from furnace, steel evacuation through the bottom of furnace, preheating of the metal charge, post-combustion of gases inside the furnace and using of recuperative or self-regenerative burners in the processes of drying and heating of steel ladles masonry.*
6. *Application of the measures of technological improvement recommended by European Commission contributes to reducing of the electricity specific consumption in electric arc furnaces from 600 - 700 kWh/t steel (for non-modernized furnaces) to 300 - 550 kWh/t steel and substantial reduction of charges duration.*
7. *At the level of electric steelmaking plants of the European Union, CO₂ emissions have the value of 0.359 t CO₂/t steel. Determinations and calculus*

pentru oțelăriile electrice moderne din România indică o valoare totală a emisiilor de CO₂ de 0,3676 t CO₂/t oțel, adică circa 238.940 t CO₂/an.

8. Comparativ cu emisiile de CO₂ din sectorul oțelărilor electrice nemodernizate, calculate la 0,4276 t CO₂/t oțel, s-a realizat o reducere semnificativă a acestor emisii de 0,06 t CO₂/t oțel, reprezentând 14%.
9. Contribuția efectivă a cercetării românești de specialitate la modernizarea oțelărilor electrice din România este modestă, dar merită menționată aplicarea industrială a unor soluții proprii eficiente, la nivelul tehnicii mondiale, în domeniul arzătoarelor recuperative pentru uscarea și încălzirea zidăriei oalelor de turnare a oțelului, realizate de Institutul de Cercetări Metalurgice București.

carried out for the modern electric steelmaking plants in Romania indicate a whole value of CO₂ emissions of 0.3676 t CO₂/t steel, i. e. about 238,940 t CO₂/year.

8. *By comparison with the CO₂ emissions from the non-modernized electric steel makings sector, calculated at 0.4276 t CO₂/t steel, was obtained a significant reduction of these emissions of 0.06 t CO₂/t steel, representing 14%.*
9. *The effective contribution of Romanian specialized research to modernization of the electric steelmaking plants in Romania is modest, but it merits mentioned the industrial application of some own efficient solutions, at the world technique level, in area of recuperative burners for drying and heating of the steel ladles masonry, realized by the Metallurgical Research Institute of Bucharest.*

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] * * * - *Prevenirea și controlul integrat al poluării (IPPC), Documentul de referință asupra celor mai bune tehnici disponibile în producția de fontă și oțel*, Ministerul Mediului și Gospodării Apelor din România, Agenția Națională de Protecția Mediului, București, decembrie 2001.
- [2] **A. METZEN, G. BÜNEMANN, J. GREINACHER, W. ZHANG** - *Oxygen technology for highly efficient electric arc steelmaking*, MPT International no. 4, 2000.
- [3] **R. RAINER, M. AGUADO-MONSONET, S. ROUDIER** - *Best available techniques (BAT). Reference document for iron and steel production*, 2013.
<http://ec.europa.eu>
- [4] * * * - *Récupération et utilisation économique des sous-produits de l'industrie sidérurgique*, Commission Économique pour l'Europe, Nation Unies, New York, 1990.
- [5] * * * - *The energy savers*, Prospect Hotwork Development Ltd., 1978.
- [6] **P.J. L'HOMME** - *Les brûleurs régénératifs*, *Révue de Métallurgie - CIT*, no. 7/8, 1989.
- [7] **A. GABA** - *Instalație de ardere recuperativă pentru uscarea și preîncălzirea oalelor de turnare*, *Proceeding la Al V-lea Simpozion Mecatronică, Microtehnologii și Materiale Noi, Târgoviște*, 2007.
- [8] **L. PĂUNESCU, M. TUDOSESCU, P. POPESCU, T. POPESCU** - *Instalație pentru uscarea și încălzirea pereților oalelor de turnare*, *Brevet România nr. 101334*, 1989.
- [9] **L. PĂUNESCU, M. HRIȚAC, M.M. DESPA** - *Utilizarea procedeeului post-combustiei la cuptoarele electrice cu arc*, *Buletin Informativ Tehnico-Economic pentru Metalurgie, Societatea Română de Metalurgie*, pag. 41-45, ianuarie 2014.
- [10] **L. PĂUNESCU, Gh. SURUGIU, V. URSU** - *Condiții tehnologice de utilizare a post - combustiei la cuptoare electrice cu arc din siderurgia românească*, *Cercetări Metalurgice și de Noi Materiale*, vol. XXIII, nr. 2, pag. 1-14, 2015.
- [11] **J.A.T. JONES** - *Electric arc furnace steelmaking*.
<http://www.steel.org>

- [12] * * * - *Electric arc furnace*
<http://ietd.iipnetwork.org>
- [13] * * * - *Metodologie de stabilire a liniilor directe pentru monitorizarea și raportarea emisiilor de gaze cu efect de seră în conformitate cu Directiva 2003/87/CE, Decizia Comisiei Europene 2004/156/CE (RG1), octombrie 2008.*
- [14] **V. CENUȘĂ, H. PETCU** - *Producerea energiei electrice din combustibili fosili - Aplicații*, Editura BREN, București, 2005.
- [15] **C. EGENHOFER, L. SCHREFLER, F. GENOESE** - *The steel industry in the European Union: Composition and drivers of energy prices and costs*, CEPS Special Report no. 8, December 2013.
- [16] * * * - *Normativ privind întocmirea și analiza bilanșurilor energetice, PE 902/86, ICEMENERG, București, 1995 (reeditat).*
- [17] **D. CABORET, T. JANUSZKIEWICZ, A. MARTINEZ** - *Informarea și consultarea în privința eficientizării resurselor în siderurgia europeană*, Studiu finanțat de Comisia Europeană, aprilie 2015.