

“Cercetări privind influența structurii încărcăturii metalice asupra reducerii consumurilor specifice și a gradului de poluare la oțelăriile electrice”

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Ingineria Materialelor

autor ing. PĂCURAR (DÎMPU) Cristina-Daniela

conducător științific **Prof.univ.dr.ing. HEPUȚ Teodor**

Luna iulie anul 2019

Introducere

În cadrul programului de cercetare dezvoltat s-a efectuat un studiu amănunțit asupra procesului de elaborare a oțelului în funcție de structura încărcăturii, gradul de pregătire și compoziția chimică a încărcăturii metalice. Acest studiu s-a realizat în vederea optimizării consumurilor specifice, a calității oțelului elaborat în cuptorul cu arc electric cât și posibilitatea diminuării a impactului asupra factorilor de mediu și a sănătății populației prin reducerea emisiile de carbon, a prafului ce se propagă în atmosferă precum și a zgomotului produs în timpul proceselor tehnologice, ca urmare a complexității instalațiilor și a materiilor prime utilizate pe fluxul tehnologic.

Industria siderurgică se confruntă cu dificultatea de a fi competitivă pe piață și continuă să reprezinte o pondere considerabilă a emisiilor de carbon în atmosferă, iar necesitatea de a continua să satisfacă cerințele tot mai severe a consumatorilor de oțel cât și a populației conduce la nevoia de identificare a unor îmbunătățiri tehnologice noi, dar și posibilitatea implementării acestora în unitățile de producție care au ca scop reducerea costurilor energetice, a costurilor cu materia primă utilizată în producția de oțel, a emisiilor de gaze și praf degajate în atmosferă, precum și reciclarea prafului rezultat de la instalațiile de epurare.

Având în vedere cele prezentate, cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au fost orientate în direcția îmbunătățirii procesului de elaborare a oțelului într-un cuptor cu arc electric de tip EBT, urmărind structura încărcăturii metalice gradul de pregătire al acesteia și influența acestor factori asupra unor consumuri specifice (consum de metal, scoaterea de oțel lichid, electrozi, energie electrică) scoaterea de oțel lichid, compoziția prafulor depuse pe sol și zgomotul produs de arcele electrice formate între electrozi și încărcătură.

Cu ocazia definitivării tezei de doctorat, doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, sprijinit și împărtășit cunoștințe profesionale.

Capitolul 1

Industria siderurgică europeană se confruntă cu efectele simultane ale cererii reduse și ale supracapacității pe o piață a oțelului globalizată, precum și cu prețurile ridicate ale energiei electrice, ceea ce înseamnă că industria siderurgică trebuie să investească în tehnologii noi pentru a se adapta la economia ecologică și pentru a fabrica produse inovatoare.

În ceea ce privește cererea de oțel, construcția de centrale electrice, inclusiv de parcuri eoliene construite terestru sau în largul mării, transportul de energie, sectorul locuințelor și al transportului vor continua să ofere noi oportunități pentru produsele din oțel inovatoare. În ceea ce privește producția de oțel inovarea este în continuare un element cheie pentru elaborarea de noi produse și dezvoltarea de noi piețe.

Planul de desfasurare a experimentarilor si cercetarilor, pornind de la factorii de influenta, calitatea structurii incarcaturii metalice a cuptorului cu arc electric, gradul de pregatire a incarcaturii metalice, structura adaosurilor, avand ca obiectul cercetarii reducerea consumului de metal, electrozi si energie la cuptorul cu arc electric si a poluarii mediului ambiant obtinut ca factorii de raspuns, scoaterea de oțel lichid, consum specific de electrozi, consum specific de energie si parametrii de poluare a mediului.

Scopul tezei de doctorat este în strânsă legătură cu nevoile actuale din domeniul siderurgiei, pe plan european acest sector aflându-se astăzi într-o continuă schimbare din cauza crizei economice la nivel mondial, ceea ce a condus la o scădere a activității de producție cât și a cererii de oțel [1/13].

Tema tezei de doctorat studiază influența structurii și calității încărcăturii cuptoarelor cu arc electric de putere foarte mare asupra scoaterii de oțel lichid, a consumurilor specifice de energie și electrozi, reducerea gradului de poluare (chimică și sonoră) a mediului ambiant.

Cercetările prevăzute în planul tezei de doctorat s-au efectuat la o oțelărie electrică echipată cu un cuptor cu arc electric tip E.B.T de capacitate de 100 tone, instalații de procesare a oțelului în afara cuptorului, de tip L.F. și V.D, și mașina de turnare continuă MTC cu cinci fire.

Obiectivele cercetării sunt strâns legate de tematica tezei de doctorat, acela de a dezvolta procese de îmbunătățire a calității oțelului elaborat în cuptorul cu arc electric și optimizarea consumurilor specifice pe întreg fluxul tehnologic.

Teza de doctorat este structurată pe 10 capitole, cuprinse în trei părți :

Capitolul 1. Plan de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor.

Partea I Sinteză din literatura de specialitate privind încărcătura cuptorului cu arc electric.

Capitolul 2. Studiu din literatura de specialitate privind încărcătura metalică utilizată la elaborarea oțelului.

Capitolul 3. Pregătirea încărcăturii metalice.

Partea a II-a Cercetări și rezultate experimentale privind influența structurii (componentei) încărcăturii cuptoarelor cu arc electric asupra consumurilor specifice de metal, energie, electrozi și a poluării mediului.

Capitolul 4. Cercetări privind influența structurii încărcăturii asupra scoaterii de metal.

Capitolul 5. Cercetări privind influența structurii încărcăturii metalice asupra consumului specific de electrozi.

Capitolul 6. Cercetări privind influența încărcăturii metalice asupra consumului specific de energie electrică.

Capitolul 7. Poluarea solului în incinta oțelăriilor electrice și analiza depunerilor pe sol a pulberilor rezultate din gazele de la oțelăriile cu cuptoare cu arc electric.

Capitolul 8. Cercetări privind poluarea sonoră a mediului în arealul oțelăriilor electrice.

Capitolul 9. Verificarea industrială a rezultatelor cercetării efectuate.

Partea a III-a Concluzii finale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor.

Capitolul 10. Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții de continuare a cercetărilor.

Anexe.

Pentru realizarea temei propuse, s-au efectuat studii și cercetări experimentale la nivel industrial, modelări și prelucrări matematice în vederea determinării celei mai bune structuri (sortimentale) a încărcăturii metalice și a celor mai reprezentativi parametri de influență asupra eficientizării procesului de producție, în vederea scăderii consumurilor specifice de metal, energie, electrozi și poluarea mediului înconjurător. Scopul a fost acela de a stabili modalitățile de influențare a acestor parametri, în vederea obținerii unui oțel de calitate în condițiile actuale ale pieței, pentru o eficiență tehnico-economică și ecologică avansată.

În **capitolul 2** se prezintă studiu din literatura de specialitate privind structura și calitatea încărcăturii metalice utilizate la elaborarea oțelului în cuptoarele cu arc electric. Instalația (cuptorul EBT) este formată dintr-un cuptor electric trifazat, care funcționează pe principiul încălzirii directe a băii metalice, prin intermediul arcului electric.

Cuptorul electric cu arc, ca urmare a perfecționărilor aduse din punct de vedere constructiv și tehnologic (tip EBT) este preferat la elaborarea oțelului pe flux neintegrat care urmează a fi turnat continuu. Se are astfel în vedere că se pot elabora atât oțeluri carbon obișnuite sau oțeluri slab aliate, cât și oțeluri înalt aliate, aceste cuptoare construindu-se în limite foarte largi de capacitate. De regula se lucrează în flux cu LF și VD sau VAD și VOD pentru oțeluri înalt aliate cu o instalație LF (Ladle furnace - cuptor oala), VD (vid degazare) și VAD (vid arc de gazare), VOD (vid oxigen de carburare). În imagine se poate vedea cuptorul electric cu arc de tip EBT și elementele de bază din care este alcătuit.

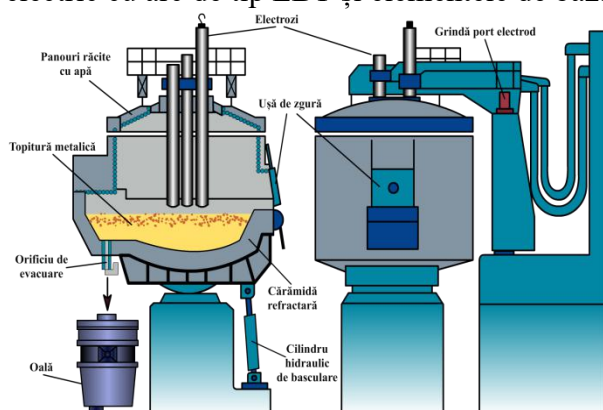


Figura 2.1 Cuptorul cu arc electric de tip EBT [2/43, 3/44]

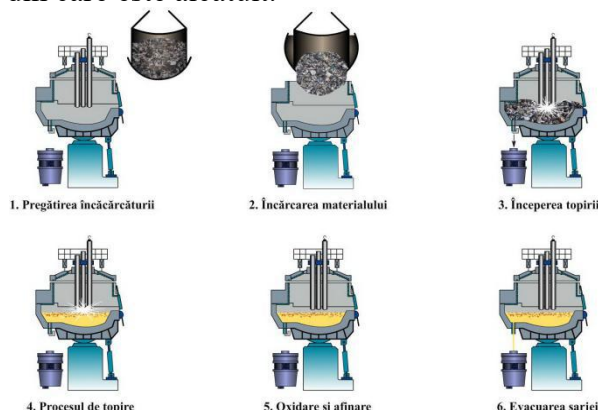


Figura 2.2. Procesele de elaborare a oțelului în cuptorul electric cu arc de tip E.B.T.

Fazele de elaborare a oțelului sunt prezentate în figura 2.2: ajustare, încărcare, topire, oxidare, evacuare.

Cuptorul cu arc electric de tip EBT este alimentat la tensiunea de 33.0 [kV] din Stația SRA OE, fiind un cuptor de topit de tip oală cu o capacitate de 100 [t] și un consum de energie electrică estimat de 500-610 [kWh/t de oțel topit]. Cuptorul este căptușit cu cărămidă refractară (magnezită), fiind deci un cuptor bazic.

În principiu fluxul tehnologic constă din pregătirea încărcăturii metalice a cuptorului cu arc electric care este compusă preponderent din fier vechi pregătit anterior, încărcarea cuptorului prin partea superioară cu benă de tip Greifer manipulate cu un pod rulant de 125tf, topirea încărcăturii, oxidarea, afinarea și evacuarea.

Procesele de elaborare în cuptorul electric E.B.T. sunt **încărcarea** cuptorului cu arc electric cu fier vechi care se face în mod mecanizat cu ajutorul benelor. **La pregătirea** și alcătuirea încărcăturii trebuie să se țină seama de scopul propus (calitatea oțelului elaborat) și în același timp, în funcție de conjunctura economică, de disponibilitățile de moment privind materiile prime. **Durata topirii** este determinată de gradul de pregătire a încărcăturii, de compactarea încărcăturii, de puterea transformatorului și de conducerea topirii. **Afinarea** reprezintă perioada în care este continuat procesul de oxidare al elementelor însoțitoare din baia metalică reprezentativă fiind oxidarea carbonului. **Evacuarea** se realizează imediat ce compoziția chimică și temperatura sunt satisfăcătoare, prin deschiderea orificiului de turnare.

În practica elaborării oțelului se întâlnesc frecvent 2 fluxuri de elaborare a oțelului, unul este fluxul integrat și fluxul în miniuzine. Fluxul integrat se folosește în oțelăriile cu convertizoare și fluxul neintegrat în miniuzine.

Pe fluxul integrat se pornește de la minereurile de fier și cărbuni cocsificabil, cărbunii se prelucrează la cocserie de unde rezultă cocs ca agent termic, minereul de fier se aglomerează și

rezultă aglomerat ca materie primă pentru furnal care se încarcă în furnal de unde rezultă fonta lichidă care se încarcă în convertizorul cu oxigen. În medie se încarcă fonta lichidă 80% și restul fier vechi de unde rezultă oțel lichid care se evacuează în oală care este supus tratamentului secundar în LF (uneori și VD) și apoi se toarnă continuu sub formă de semifabricate sau laminate.

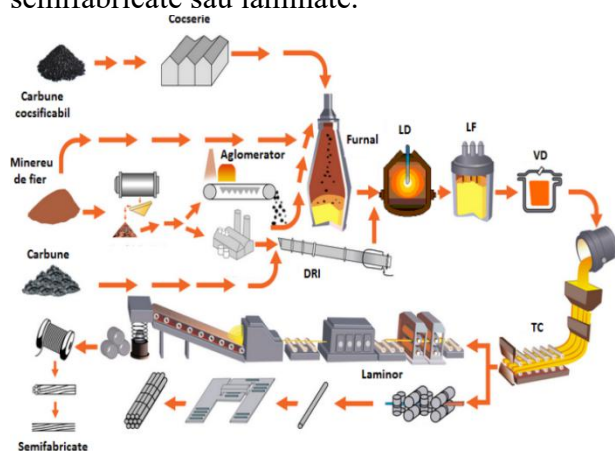


Figura 2.4. Flux integrat de producere a oțelului [4/6]

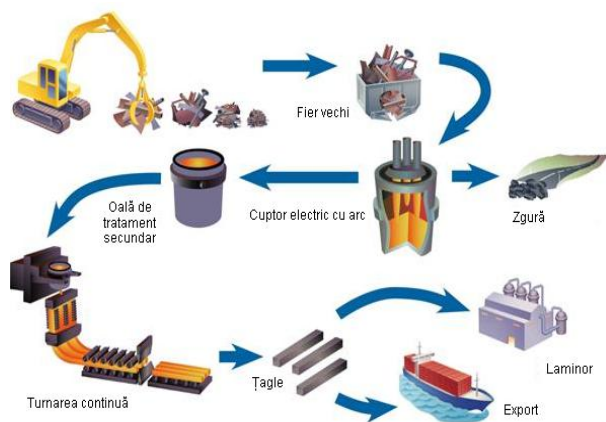


Figura 2.5. Flux tehnologic în mini-uzine de producere a oțelului [5/7]

De menționat că până la scoaterea definitivă din funcțiune a oțelariilor Siemens Martin majoritatea au funcționat în flux integrat OSM1(100t)-5 cuptoare și OSM2(460t)Hd-8 cuptoare, OSM Reșița (250t)-5 cuptoare.

Se prezintă un flux integrat care în sinteza înseamnă că materia primă o reprezintă minereurile de fier și cărbunii cocsificabili și produsul finit este laminat și semifabricate.

În ultimul timp, pentru unii producători de oțel fonta a devenit materie primă și pentru cuptorul cu arc electric, care de regulă este amplasat în flux mini-uzine.

Oțelul este reciclabil în întregime fără o pierdere a calității. Produsele derivate rezultate în urma producției de oțel (de exemplu: zgura) sunt valorificate aproape în totalitate. Prin urmare, din perspectiva inițiativei emblematice privind eficiența utilizării resurselor din cadrul Strategiei Europa 2020, industria siderurgică este bine poziționată pentru a beneficia de o orientare care privilegiază abordarea bazată pe Analiza Ciclului de Viață (ACV), pe creșterea ratelor de reciclare și pe o mai bună utilizare a produselor derivate [6/9,7/18,8/19].

Fabricarea oțelului din deșeuri metalice în comparație cu cea din minereu de fier reduce necesarul de energie cu circa 75% și economisește aproximativ 90% din materiile prime necesare în procesul de producție [9/17].

Oțelul și fonta, folosite ca materiale în atâtea domenii industriale, au proprietatea, de a putea fi recuperate din produsele fabricate, după utilizarea acestora, indiferent de perioada de timp corespunzătoare vieții produselor respective.

Deșeurile feroase apar deci începând cu domeniul industriei siderurgice în care se elaborează fonta și oțelul, trecând prin toată diversitatea de ramuri industriale în care produsele siderurgice sunt prelucrate (construcții de mașini, etc.) sau utilizate ca atare (în construcții, căi ferate, etc.) și terminând cu recuperarea părții feroase din mijloacele fixe casate și din deșeurile menajere.

Capitolul 3 cuprinde partea de pregătire a încărcăturii metalice.

Reciclarea deșeurilor este o activitate industrială de o importanță majoră și utilă pentru foarte multe sectoare economice. Procesele de colectare și valorificare a deșeurilor, reprezintă o etapă importantă în dezvoltarea multor state puternic industrializate, de aceea foarte multe sectoare industriale își adaptează liniile și procesele tehnologice pentru introducerea în fluxul tehnologic a materiilor prime secundare, rezultate din procesul de reciclare a deșeurilor, reușind astfel să își optimizeze cheltuiala cu materia primă și obținând un cost de producție economic.

Pe plan mondial, țările cu industrie metalurgică dezvoltată își asigură materia primă în proporție de 40 – 45% din deșeuri și metale vechi.

Pentru a se putea efectua operațiile de pregătire a fierului vechi și a deșeurilor provenite din materiale metalice, depozitele oțelărilor se dimensionează și se dotează cu instalații moderne de pregătire/procesare (instalații de tăiere cu flacără, foarfeci, prese, zdrobitoare, mori de măcinat Shredder, instalații criogenice, etc.) [10/35,11/49].

Operația de sortare este necesară deoarece permite eliminarea metalelor neferoase nocive (cuprul, staniul, plumbul, zinc etc.), cât și sortarea pe tipuri de sortimente de oțel care datorită conținutului de elemente sunt utile în unele sortimente, dar care pot fi și dăunătoare în altele.

Pregătirea dimensională prin tăierea bucăților lungi sau plate de deșeuri se realizează în scopul obținerii unor dimensiuni care să permită fie manipularea mai ușoară, fie adaptarea dimensiunilor la necesitățile impuse de utilizarea lor (diametrul gurii convertizorului, respectiv diametrul benei cuptorului cu arc electric).



Figura 3.5. Foarfecă ghilotină mecanică



Figura 3.6. Foarfecă hidraulică

Tăierea cu foarfecă ghilotină se poate grupa în mai multe clase funcție de forța de tăiere (3000 la 20.000kN). Un inconvenient major al mărunțirii cu foarfecă ghilotină a fierului vechi ușor, de exemplu cel provenit de la caroseriile auto, îl reprezintă masa volumetrică scăzută obținută pentru materialul tocat (800–900kg/m³).

Foarfecă hidraulică sunt de înaltă productivitate și sunt destinate tăierii tablei de grosime mare și profile de mare dimensiune. Există dispozitive de prindere a piesei care este supusă tăierii, benă de încărcare basculantă, cutie de prelucrare a materialului tăiat, toate acestea fiind părți componente a piesei de tăiat



Figura 3.8. Presa de balotat fier vechi ușor



Figura 3.9. Instalație de brichetare așchii metalice

Balotarea deșeurilor ușoare feroase se face cu prese hidraulice. Frecvent utilizate sunt presele de 4000kN și 10.000kN cu care se pot obține pachete/baloți cu greutatea specifică de 1000-3000kg/balot, având în vedere masa volumică foarte redusă a acestor deșeuri în stare nepregătită, presele hidraulice sunt prevăzute cu cuve de alimentare de mari dimensiuni.

Așchiile mărunte pot fi utilizate ca atare sau pot fi brichetate cu ajutorul utilajelor de presare la cald având productivități de 1,5-2,5 t/h. Brichetele astfel realizate au o masă de 2-40 kg/buc., în funcție de tipul utilajului și o masă volumică de cca. 5000 kg/m³ și se pot utiliza în bune condiții în încărcătura cuptoarelor cu arc electric.

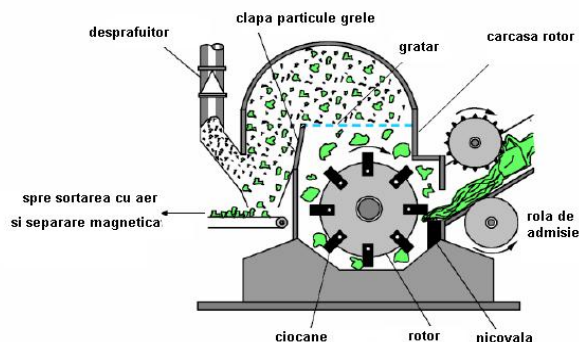


Figura 3.14. Moara tocătoare cu ciocane pentru vehicule scoase din uz [12/57,13/58]



Figura 3.13. Macara mobilă pentru reciclarea automobilelor care se deplasează la locația beneficiarului

Transportul la bazele de prelucrare a autovehiculelor casate și în special a carcaselor acestora (voluminoase și ușoare) solicită în mod neeconomic vehiculele de transport. În acest sens s-au realizat utilaje de presare mobile care se deplasează la punctele de colectare și printr-o operație de aplatizare formează, din carcasele auto, pachete de mari dimensiuni care permit o încărcare mai eficientă în vehiculele de transport, contribuind astfel la reducerea cheltuielilor de transport.

Metoda Shredder figura 3.14 - conform acestei tehnologii caroseriile auto rezultate după îndepărtarea motorului, radiatorului, cauciucurilor, rezervorului de benzină și a transmisiei, sunt trecute printr-o moară cu ciocane care se macina.

Fragmentele obținute trec peste un separator magnetic, părțile din metale neferoase putând fi colectate separat. Fragmentele din oțel sunt trecute în continuare printr-un cuptor în care sunt arse impuritățile din materiale neferoase. De la această instalație se poate obține, după prelucrare un material feros cu o masă volumică de până la 1500 kg/m³ și cu un conținut de elemente de impurificare sub limitele prevăzute de normele pentru utilizarea deșeurilor în oțelării. În etapa actuală deșeurile feroase sunt avansat pregătite din punct de vedere dimensional.

Utilajele de pregătire sunt de mare productivitate, o parte sunt amplasate în depozitele de materiale feroase, iar o parte sunt mobile - în special cele pentru procesarea VSU (vehicule scoase din uz).

În România este necesară dotarea bazelor de procesare cu instalații criogenice pentru procesarea materialelor metalice

În depozitele de fier vechi este necesar dezvoltarea unui flux complex în vederea sortării avansate a fierului vechi aliat.

Capitolul 4 cuprinde Cercetări și experimentări privind influența structurii asupra scoaterii de metal.

Având în vedere cele prezentate anterior, pentru analiza structurii încărcăturii s-au urmărit un număr de 98 de șarje de oțel elaborate la o oțelărie electrică, echipată cu un cuptor cu arc electric tip EBT, cu o instalație de procesare în oala LF (Ladle-Furnace) și o instalație de turnare continuă cu 5 fire, semifabricatele turnate fiind blumuri, țagle și profile rotunde.

În continuare sunt prezentate grafic rezultatele obținute, pe baza cărora s-a efectuat o analiză tehnologică a cercetării efectuate.

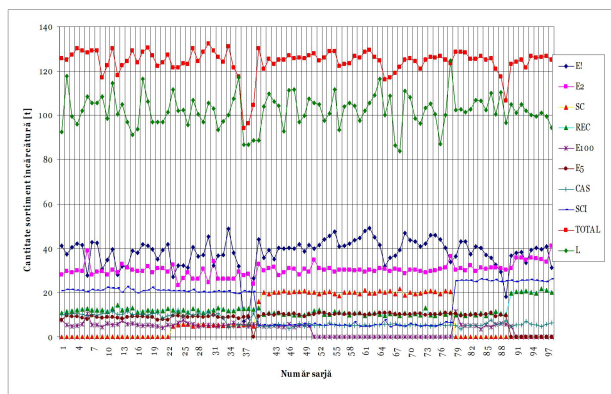


Fig.4.1. Variația componenței încărcăturii cuptorului electric cu arc (tip EBT)

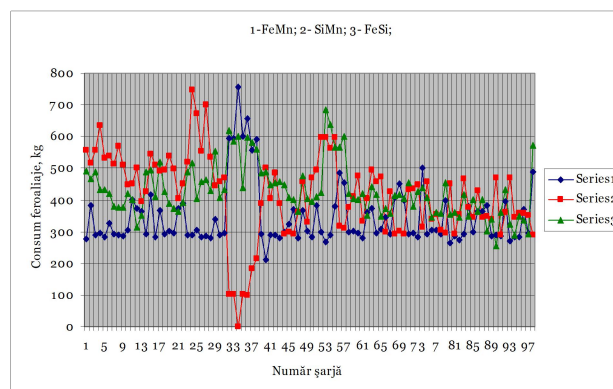


Fig.4.2. Variația cantităților de feroaliaje la evacuarea din cuptor

Din analiza tehnologică a diagramelor prezentate rezultă următoarele aspecte tehnologice:

- în ceea ce privește componența încărcăturii metalice, ponderea mare în total încărcătură metalică o are fierul vechi calitatea E1 și E3 (figura 4.1 și figura 4.2), media acestora fiind de 38%, respectiv 30%; variația cantităților de fier vechi în mod deosebit E1 și într-o anumită măsură și E3 se regăsește în variația încărcăturii totale și a scoaterii;
- din analiza datelor din figura 4.7, se poate constata, că sunt posibilități reale de reducere a duratei de funcționare a cuptorului sub tensiune, durata maximă fiind de 65min, minimă 46min și 56min valoarea medie; o reducere a duratei sub tensiune, conduce și la reducerea consumului specific de energie electrică și electrozi;
- analiza duratelor principalelor etape tehnologice (figura 4.7) scoate clar în evidență, posibilitatea reducerii duratei operațiilor tehnologice, iar creșterea gradului de procesare a fierului vechi permite realizarea acestor cerințe;

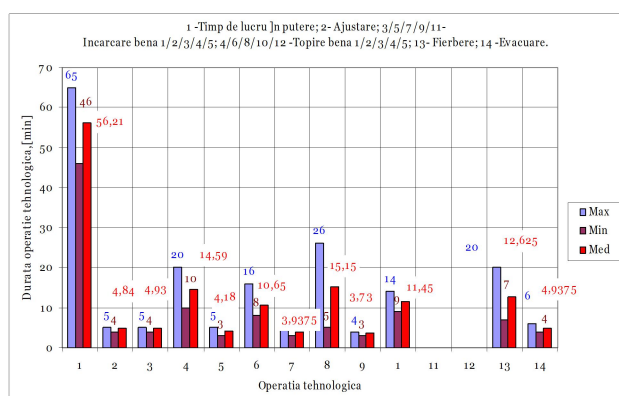


Fig.4.7. Limitele de variație a etapelor tehnologice

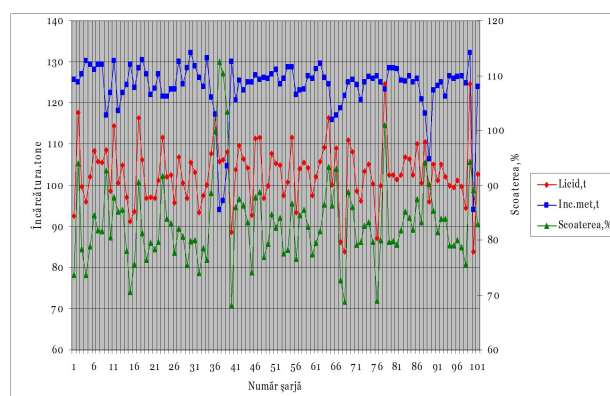
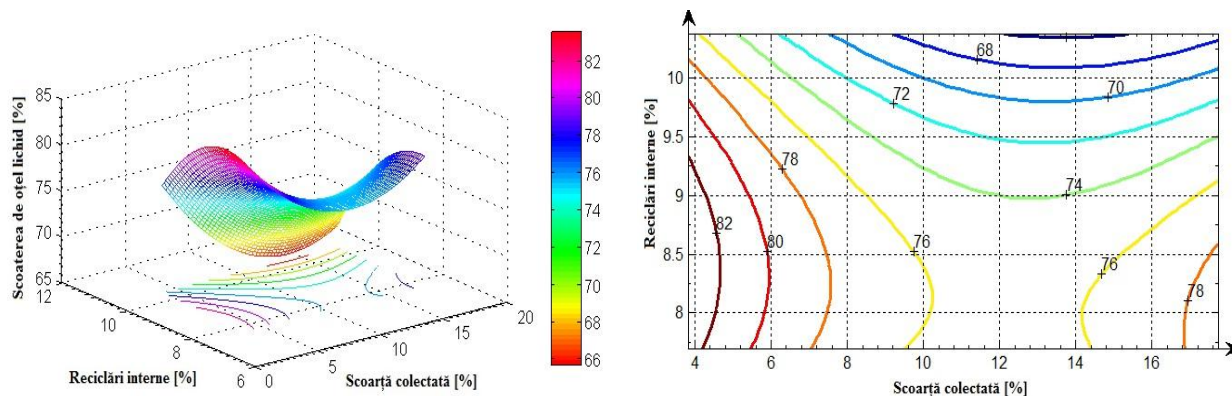


Fig.4.8. Variația greutateii încărcăturii metalice, oțelului lichid și scoaterii

-din datele prezentate în figura 4.8, rezultă variații foarte mari pentru greutatea încărcăturii metalice, a oțelului lichid și a scoaterii de oțel lichid, cauza principală fiind calitatea încărcăturii metalice, respectiv proporția de component nemetalic din sortimentul metalic al încărcăturii.

Prelucrarea datelor în programul MATLAB

În cadrul cercetărilor efectuate s-a avut în vedere pe lângă stabilirea unor corelații simple între scoaterea de oțel lichid și proporția diferitelor sortimente metalice în sarcă. În vederea stabilirii unor corelații duble, datele au fost prelucrate după 3 tipuri de corelații.

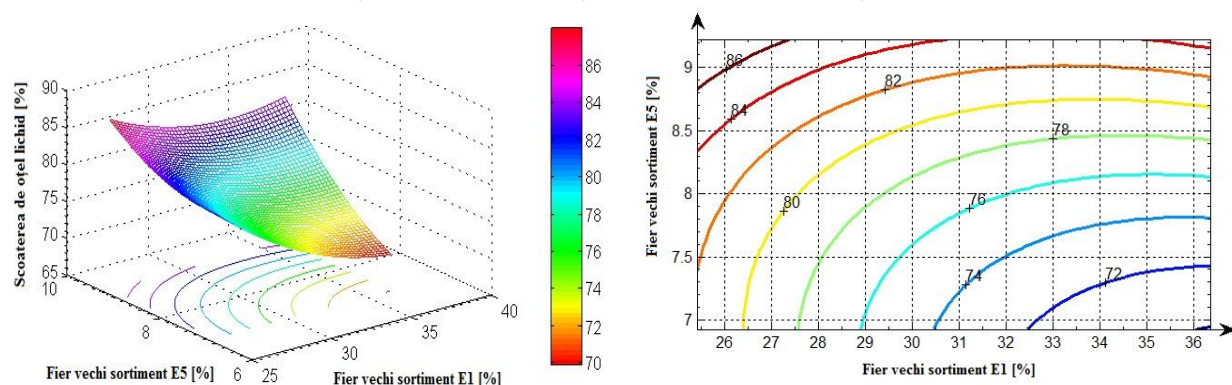


a) suprafața de corelație

b) curbe de nivel-proiecție plană

$$a_1=0.1104051; a_2=-1.7666965; a_3=-0.1475965; a_4=-1.5058424; a_5=30.243078; \\ a_6=-36.973579; D=-0.8019941; H=0.22081024; R^2=0.5159873;$$

Fig.4.27. Corelația scoatere =f(scoarță feroasă colectată/comerț, reciclări interne)



a) suprafața de corelație

b) curbe de nivel-proiecție plană

$$a_1=0.0788109; a_2=1.269789; a_3=0.34081517; a_4=-8.3174359; a_5=-26.4914911; \\ a_6=304.8916763; D=0.28413797; H=0.1576218; R^2=0.5272306;$$

Fig.4.28. Corelația: Scoaterea =f(fier vechi sortiment E1, fier vechi sortiment E5)

În fig.4.28. se prezintă faptul că în funcție de proporția de sortiment E1 și E5 se poate determina scoaterea de oțel lichid de exemplu la un procent de 33% sort E1 și fier vechi sort E5 de 8,5% se obține o scoatere de cca 78%. O creștere ușoară a consumului de fier vechi E5 poate conduce la o creștere a scoaterii de până la 80%.

Cuptorul cu arc electric tip EBT, este agregatul cel mai indicat pentru procesarea fierului vechi în vederea obținerii oțelului, atât sub aspectul calității încărcăturii cât și a numărului de sortimente introduse în încărcătură.

Structura încărcăturii poate varia în limite mari din punct de vedere sortimental, cu condiția ca acesta să fie avansat pregătit [14/69].

Variația în limite mari a greutății încărcăturii metalice a fost determinată ca urmare a variației ponderii diferitelor sortimente de fier vechi.

structura sortimentală a fierului vechi nu conduce la depășirea conținutului de elemente reziduale, care să conducă la declasarea șarjelor.

Calitatea fierului vechi, în mod deosebit a scoarțelor provenite atât din interior cât și din exterior se reflectă în nivelul scoaterii.

În practica curentă calitatea încărcăturii este determinată și de considerente economice, acestea fiind făcute în funcție de marca de oțel elaborată, diferind evident de la o oțelărie la alta.

În **capitolul 5** cercetări privind influența structurii încărcăturii metalice asupra consumului specific de electrozi.

Electrozii reprezintă ultima componentă a circuitului secundar a instalației electrice de

la cuptoarele cu arc electric, ei conduc curentul electric alternativ de la capetele de prindere până la încărcătură, acesta trebuind să se repartizeze cât mai uniform pe secțiunea electrodului, ceea ce depinde de caracteristicile și de diametrul acestuia.

Caracteristicile electrozilor depind de proprietățile chimice și fizice ale materialelor din care sunt confecționați și de metoda de fabricație. În prezent, pentru fabricația electrozilor se utilizează ca materii prime cocs metalurgic, antracit, cocs petrol, materiale cu conținut mic de cenușă și care se prepară prin concasare, încălzire la 1200°C în cuptor rotativ în atmosferă reducătoare, măcinare și sortare granulometrică.

O influență însemnată asupra consumului specific de electrozi, îl are structura încărcăturii metalice, calitatea și gradul de pregătire a acesteia, precum și modul de conducere a procesului tehnologic. În acest sens, s-a urmărit pentru un număr de 98 de șarje parametrii menționați anterior. Prin utilizarea unei încărcături curate, fără fier vechi avansat ruginit și scoarte cu grad redus de pregătire, precum și raport corespunzător între cantitățile de fier vechi greu, mijlociu și ușor, va conduce la creșterea scoaterii de oțel lichid, respectiv la reducerea consumului specific de energie electrică și de electrozi.

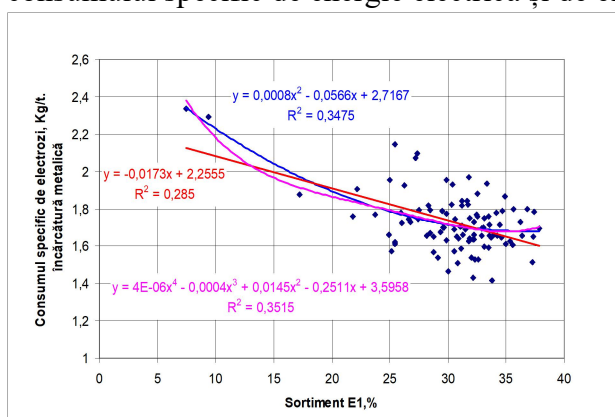


Figura 5.1. Corelația $C_{s.ez.} = f(\%E_1)$

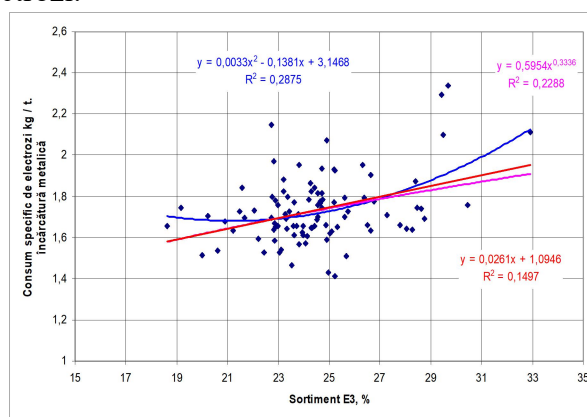
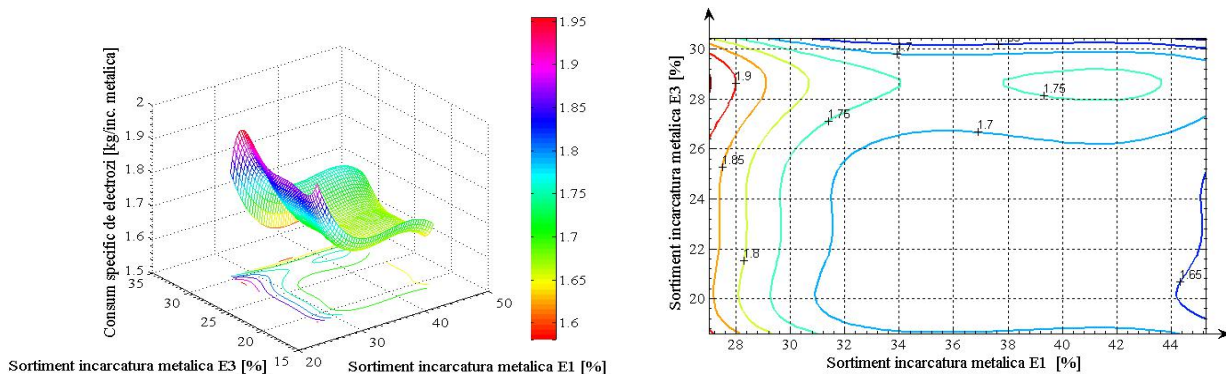


Figura 5.2. Corelația $C_{s.ez.} = f(\%E_3)$

Pe baza analizei rezultatelor obținute, exprimate atât sub formă analitică cât și grafică rezultă că structura încărcăturii, respectiv proporția sortimentelor feroase influențează consumul specific de electrozi (kg/t încărcătură metalică). Din figura 5.1. rezultă o scădere a consumului specific de electrozi odată cu creșterea sortimentului feros E1 ajungând până la valori apropiate de 1,4 kg/tonă. Scăderea este bine redată după corelații polinomiale de gradul 2 și 3.

În sensul menționat, datele obținute privind structura încărcăturii metalice, au fost corelate cu consumul specific de electrozi și prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB.



a) suprafață de corelație

b) curbe de nivel, proiecție plană

$D = -1012.93818$; $H = 713.39064$; $r_2 = 0.39419$; $a_1 = 356.6953$; $a_2 = -0.70994$; $a_3 = 0.01853$; $a_4 = -0.00016$; $a_5 = -73.74388$; $a_6 = 6.25543$; $a_7 = -0.26397$; $a_8 = 0.00554$; $a_9 = -4.6264e-05$;

Figura 5.8. Corelația multiplă $C_{s.ez.} = f(\%E_1, \%E_3)$;

Ecuatie tip 1

Corelațiile obținute reprezintă o posibilitate de urmărire a influenței structurii încărcăturii metalice asupra consumului specific de electrod. În fiecare diagramă sunt prezentate curbele de nivel (proiecția plană), respectiv domeniile de variație pentru consumul specific de electrozi (suprafața cuprinsă între două curbe de nivel). De exemplu analizând datele din figura 5.8 se poate observa la o proporție de 32-45% sortiment de fier vechi E1 și 21-26% fier vechi E3 se poate obține un consum specific de electrozi sub 1,7kg/t, iar la o creștere a proporției de fier vechi E3 la 30%, acest parametru crește la 1,75kg/t încărcătură metalică.

Rezultate foarte apropiate se obțin și în cazul prelucrării acelorași date după ecuațiile de tip 2 și 3, ceea ce confirmă viabilitatea acestor corelații.

Din analiza rezultatelor cercetărilor efectuate și a observațiilor obținute pe durata urmăririi șarjelor rezultă o serie de concluzii și anume:

Consumul specific de electrozi este în mare măsură influențat de structura încărcăturii metalice și de stare de prezentare și pregătire a acestora.

Pe baza reprezentărilor grafice a corelațiilor obținute în programul de calcul Excel și Matlab au putut fi stabilite proporțiile componentelor încărcăturii metalice pentru a obține un consum specific de electrozi sub 1,75 kg/tonă de încărcătură metalică (1,4-1,75) cât mai apropiat de cel prevăzut.

În urma analizei reprezentărilor grafice, pentru obținerea unui consum specific de electrozi sub 1,75kg/tonă de încărcătură metalică se recomandă următoarea componență a structurii metalice: E1 32-45%, E3 21-26%, E5 și E100 sub 8%, scoarțe sub 20% și casări sub 10%.

Cercetările pot fi îmbunătățite prin raportarea consumului specific de electrozi la oțelul lichid.

În cercetările efectuate la **capitolul 6** se prezintă cercetări privind influența încărcăturii metalice asupra consumului de energie electrică s-a avut în vedere analiza structurii încărcăturii cuptoarelor cu arc electric asupra consumului specific de energie electrică (kWh/t oțel lichid). Datele urmărite la un număr de 98 șarje, au avut în vedere participția în încărcătură a fiecărui sortiment de "fier vechi", acestea fiind considerate parametri independenți și consumul de energie electrică, considerat parametru dependent.

Prin prelucrarea datelor în programele de calcul EXCEL și MATLAB s-au obținut corelații între parametri analizați, rezultatele fiind prezentate analitic și grafic. Pe baza analizei corelațiilor se alege structura optimă a încărcăturii (în condiții date de aprovizionare) în vederea obținerii unui consum de energie acceptabil din punct de vedere tehnico-economic[15/70,16/71].

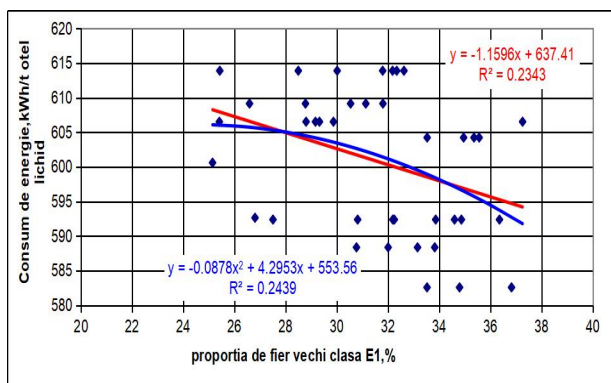


Figura 6.1. Variația consumului specific de energie în funcție de proporția de sortiment de fier vechi E1

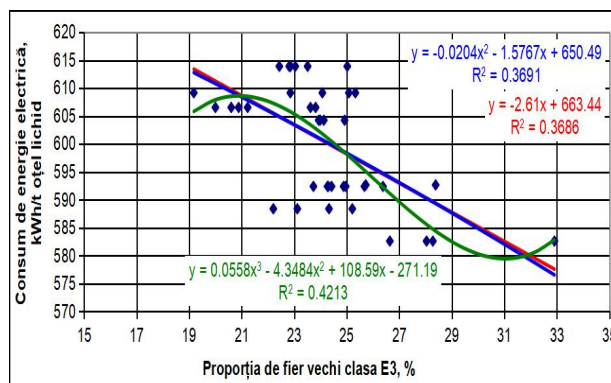


Figura 6.2. Variația consumului specific de energie în funcție de proporția de sortiment de fier vechi E3

Din analiza tehnologică a corelațiilor obținute în programul EXCEL și în mod deosebit exprimate sub formă grafică rezultă următoarele concluzii:

- principalele componente feroase din încărcătura metalică, sortiment E1, sortiment E3, scoarțe feroase din comerț și sortiment feros E5 (figurile 6.1; 6.2) prin care se asigură 65-87% din totalul șarjei, prin creșterea proporției lor se obține o reducere a consumului specific de energie electrică [69,70,71];

La prelucrarea datelor în programul MATLAB au fost luați în calcul următorii parametri:

Dependent:- V - consumul specific de energie electrică, kWh/t. oțel lichid;

Independenți:- x - proporția de sortiment feros E1,%;

- y - proporția de sortiment feros E3,%;

- z - proporția de sortiment reciclat,%;

- t - proporția de sortiment casă,%.

Au fost obținute ecuații de corelație triplă (forma generală relația 6.1.), din care prin precizările menționate în capitolul 4 au derivate ecuațiile duble, reprezentate în spațiul tridimensional.

Corelația triplă $v=f(x,y,z)$, forma generală:

$$v=a_1x^2+a_2y^2+a_3z^2+a_4xy+a_5xz+ayz+a_7x+a_8y+a_9z+a_{10} \quad (6.1)$$

$$v=0.0649x^2-0.0070y^2-0.2979z^2-0.1385xy+0.7140xz+0.4754yz-7.2570x-1.5564y-23.1133z+839.8026 \quad (6.2.)$$

$$R^2=0.7576$$

Corelații duble:

$$V=f(y,z,x_{med}=38,32\%)=-0.0070y^2-0.2979z^2+0,4754yz-5,9156y-0,6399z+675.706; \quad (6.3)$$

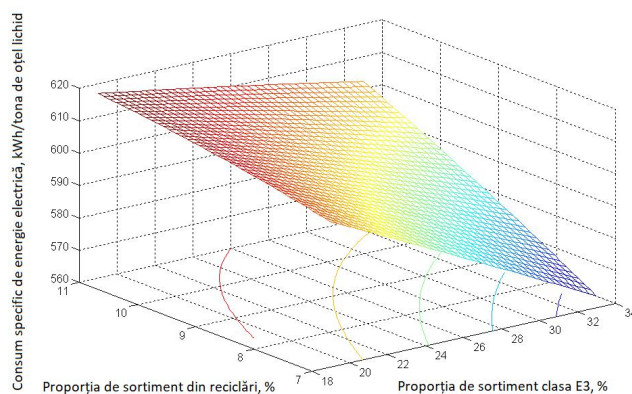
Coeficient de corelație: $R^2=0.7015$;

Punct staționar, punct de șa de coordonate:

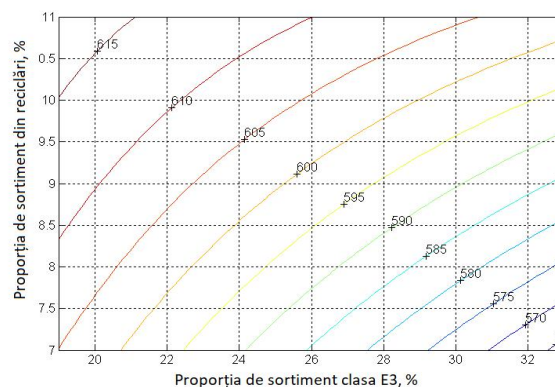
y=sortiment feros E3=17.5943%

z=sortiment feros reciclat=12.9636

v= consum specific de energie electrică = 619.5180kWh/t oțel lichid



a) suprafața de corelație;



b) curbe de nivel-proiecție în plan

Figura 6.11. Corelația consumul specific de energie electrică = F(sortiment E3, reciclări)

$$v=f(x,z,y=y_{med}=23,35\%) = 0.0649x^2-0.2979z^2+0.7140xz-10.6121x-11.5972z+797.9796 \quad (6.4)$$

Coeficient de corelație: $R^2 = 0.6003$

Punct staționar, punct sea de coordonate:

x- sortiment feros =E1=24,8709%;

z=sortiment feros reciclat=10.3399 %;

v=consumul specific de energie electrică=606,0567kWh/toțel lichid;

Rezultatele obținute în programul de calcul MATLAB sunt foarte bine corelate cu cele obținute în EXCEL și permit o determinare/corelare/alegere în limite mai bine corelate pentru

sortimentele feroase din încărcătură, de exemplu: în figura 6.11 pentru stabilirea proporțiilor de E1 și E3 în vederea obținerii unui consum specific de energie electrică sub 600kWh/tona de oțel lichid, mai precis în limitele 590-595 kWh/tona de oțel lichid.

În același mod pot fi analizate și alte domenii din diagramele (corelațiile) prezentate.

În **capitolul 7** se prezintă aspecte privind poluarea solului în incinta oțelăriilor electrice și analiza depunerilor pe sol a pulberilor rezultate din gazele de la oțelăriile cu cuptoare cu arc electric.

Poluarea mediului reprezintă o realitate a zilelor noastre, ea întâlnindu-se atât în zonele industriale cât și la nivelul așezărilor urbane (în măsură mai mică în mediul rural). Dacă poluarea naturală nu poate fi prevăzută și în acest context, doar într-o mică măsură poate fi controlată, poluarea artificială este indusă de activitatea umană (indiferent de tipul activității întreprinse) și depinde doar de noi limitarea efectelor sesizate la nivel aer – apă – sol.

Poluarea reprezintă contaminarea mediului înconjurător cu materiale care interferează cu sănătatea umană, calitatea vieții sau funcția naturală a ecosistemelor (organismele vii și mediul în care trăiesc, biotop).

În funcție de natura poluantului, poluarea poate fi fizică, chimică sau biologică [17/74,18/75].

Modernizarea industriei siderurgice a avut în permanență în vedere reducerea gradului de poluare a mediului.

Cantitățile mari de praf evacuate în siderurgie pot fi exemplificate prin situația în uzinele de elaborarea oțelului (oțelării), unde în procesele tehnologice de elaborare a oțelului se formează 10-15kg praf/t oțel la convertizoarele cu oxigen și 15-25kg/t praf/t oțel la cuptoarele cu arc electric (CAE) .

În cazul elaborării oțelului în cuptoarele cu arc electric se întâlnesc toate mecanismele de producere a prafului metalurgic, astfel:

- volatilizarea sub formă de particule foarte fierbinți, ca de exemplu la contactul arc electric - topitură sau jet de oxigen - topitură;
- proiectări mecanice de topitură metalică la contactul arc electric - topitură sau jet de oxigen - topitură;
- proiectări (antrenări) de picături lichide de către bulele oxidul de carbon {CO}, care ca urmare a fierberii intense a băii metalice se ridică de la vatră la suprafața acesteia, ies în atmosfera agregatului antrenând picături de oțel;
- emisia directă de particule solide la introducerea unei încărcături solide peste baia metalică sau la contactul băii metalice cu diferite jeturi de materiale pulverulente.

De menționat, că față de cele prezentate anterior, trebuie adăugate modificările suferite de praf pe traseul captare – epurare – evacuare: schimbări fizice (transformări de fază, aglomerări) și transformări chimice (reacții între fazele transportate). Ca urmare se poate deduce că în procesul de elaborare a oțelului (ca și în cazul elaborării altor aliaje metalice) nu se are în vedere doar un "praf mecanic" ci de un sistem dispers complex datorită provenienței (multitudine de surse, inclusive unele datorate operaționalizării tehnologiilor), compozițiilor, dimensiunilor, structurilor mineralogice, granulometrice etc. Într-un asemenea context se poate considera ca avem de-a face cu **praf tehnologic** .

În prezentul capitol se analizează componența pulberilor depuse în diferite puncte în arealul (în vecinătatea) cuptorului electric cu arc (EAF) tip EBT de capacitate 100 tone. Depunerile au avut loc după ieșirea gazelor din instalația de epurare, de menționat că nu au fost cazuri de nefuncționare a instalațiilor de desprăfuire pe durate de peste 90min, dar au fost cazuri de funcționare neconforme și o poluare accidentală datorată aprinderii sacilor filtranți (sacii de praf).

Aceste tipuri de cuptoare fiind echipate cu transformatoare de putere foarte mare, sunt indicate pentru utilizarea intensivă pe durata topirii, iar afinarea (reducerea carbonului din

oțelul topit) de regulă are durată scurtă 10-15 minute.

Pentru intensificarea procesului de topire se utilizează oxigen atât pentru arzătoare cât și pentru lănci. Ca urmare a suflării oxigenului în baia metalică, temperatura băii crește, ceea ce conduce la formarea fumului brun care conține oxizi ai metalelor existente în încărcătura agregatului (parțial unele metale se oxidează și trec în fumul brun).

În cadrul cercetărilor s-au urmărit depunerile de pulberi în 7 puncte de colectare/prelevare, situate la diferite distanțe de sursa de generare (Cuptorul cu arc electric EBT) tabelul 7.1.

Tabelul 7.1 Poziția față de sursa de poluare a punctelor de prelevare probe sol

Nr.crt	Poziția post prelevare probă	Distanța de la sursa de poluare, [m]
1-S6	Limita incinta poarta intrare OE2	150 m NV
2-S7	La sud de depozitul de fier vechi descoperit	100 m
3-S8	La nord de secția OE2 lângă GA-TC	100 m
4-S9	La est de OE2 în vecinătatea LS3 (sârmă)	150 m
5- S10	La est de platfora LPU (profile ușoare)	2000 m
6- S11	La vestul platformei Laminor LPG	1500 m
7- S12	Limita incinta poarta Laminoare	500 m S

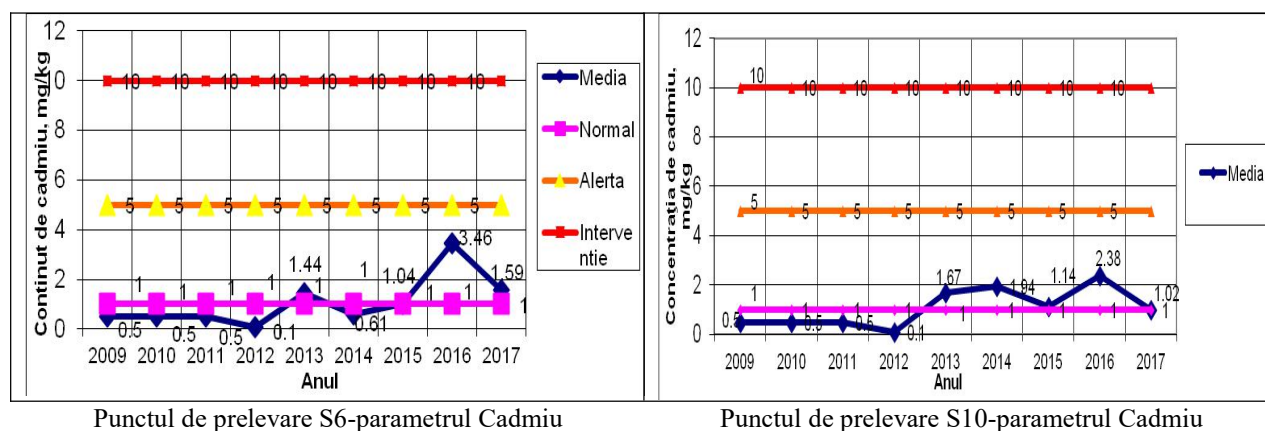
Tabelul 7.2 Valorile limită a conținutului de poluanți

Element	Concentrație mg/kg							
	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	HCP
Valoare normală	1	30	20	100	20	900	20	-
Valoare alertă	5	300	250	700	250	2000	200	1000
Valoare intervenție	10	600	500	1500	1000	4000	500	2000

Cercetarea a fost efectuată pe baza datelor obținute din analiza chimică a probelor prelevate pentru o perioadă de 9 ani (2009-2017), cu luarea în considerare pentru fiecare component urmărit și la fiecare punct de prelevare a valorilor anuale. În continuare se prezintă sub formă grafică analiza variației conținutului pentru fiecare element urmărit și punct de colectare, acestea fiind însoțite și de analiza tehnologică.



S-au urmărit conținuturile următoarelor metale (din prafurile depuse pe sol prelevate din anumite puncte) Cd, Cr, Cu, Zn, Mn, Ni, și pentru hidrocarburi petroliere HCP. Punctele din care sau prelevat probe sunt situate la diferite distanțe de sursa generatoare.



Referitor la conținutul de cadmiu nu s-a depășit valoarea de alertă, doar în patru cazuri au fost valori peste cele normale (1mg/kg) și anume: în anul 2013 s-a înregistrat valoarea de 1,44mg/kg, în anul 2015 s-a înregistrat valoarea 1,04mg/kg, în anul 2016 s-a înregistrat valoarea de 3,46mg/kg, iar în anul 2017 s-a înregistrat valoarea de 1,59mg/kg.

Referitor la acest parametru situația este similară cu cea prezentată pentru punctul de prelevare S6.

Analizând rezultatele cercetării efectuate rezultă următoarele concluzii:

- punctele de colectare și prelevare a probelor au fost bine alese având în vedere amplasarea sursei de generare a poluării, a distanțelor față de sursă cât și orientarea acestora din punct de vedere al curenților de aer;
- componentele analizate au fost bine stabilite având în vedere structura încărcăturii cuptorului (partea metalică și nemetalică), precum și folosirea intensă a oxigenului atât pentru arzătoare cât și pentru baie metalică (intensificare proceselor de oxidare);
- există o corelație între elementele metalice din probele analizate și cele din structura încărcăturii metalice de exemplu pentru crom, mangan, zinc, etc.;
- se poate considera că există preocupare pentru o bună pregătire a încărcăturii metalice în sensul că este avansat recuperat din deșuri cuprul (avantaje economice foarte mari) și într-o mare măsură și plumbul (ar putea crește gradul de recuperare);
- de asemenea a existat o bună sortare a fierului vechi din punct de vedere al gradului de aliere (explicat prin conținuturile reduse de crom și nichel);
- referitor la zinc se poate considera ca s-a îmbunătățit foarte mult pregătirea încărcăturii metalice (sortare-dozare), dar procesul de sortare trebuie continuat;
- referitor la poluarea cu hidrocarburi petroliere (HCP), aceasta a fost foarte puțin influențată de procesele tehnologice, și mai mult de procesele de restructurare economică (mai ales prin dezafectarea completă a unor fluxuri tehnologice) a fostului combinat siderurgic;
- de menționat că din observațiile vizuale referitoare la structura încărcăturii deșeurile de aluminiu sunt recuperate în proporție de 98-100%.

Capitolul 8 cuprinde Cercetări privind poluarea sonoră a mediului în zona oțelărilor electrice.

Poluarea acustică denumită și **poluare fonică** sau **poluare sonoră**, este o componentă a poluării mediului, produsă de zgomote [65,66,67].

Zgomotul este definit ca un complex de sunete fără un caracter periodic, cu insurgență dezagreabilă aleatoare, care afectează starea psihologică și biologică a oamenilor și a altor organisme din natură. Caracteristicile fizice sau obiective ale zgomotului privesc tăria

sau intensitatea sonoră, durata și frecvența. Intensitatea este caracterul cel mai important care depinde de trăsăturile sursei, de distanță și posibilitățile de transmitere sau multiplicare. Ea se măsoară în decibeli (dB) sau foni [19/65].

S-a admis că cifra 80 pe scara de decibeli, sau pe scara de foni, reprezintă pragul la care intensitatea sunetului devine nocivă. Expunerea excesivă la zgomot intens și pe perioade lungi de timp determină surditatea [19/65].

În studiile de poluare acustică, pentru determinarea aproape a oricărui tip de zgomot, în mod special pentru domeniile industriale, protecția mediului și zgomot aeroportuar, se utilizează sonometrele care măsoară nivelul de presiune acustică. Cu ajutorul acestora, prin măsurări repetate, se poate obține o hartă de zgomot a unei localități sau zone [65, 66, 67].

Sursele de poluare acustică în mediul industrial sunt: compresoarele și turbocompresoarele, ventilatoarele și turbosuflantele, instalațiile de ventilare, conductele prin care se vehiculează fluide cu viteze mari, pompele și electropompele, centrale termoelectrice, ventilatoare, generatoarele de energie electrică, compresoarele cu piston pentru furnizarea aerului comprimat, arzătoarele de la cazanele de abur, cuptoarele industriale, cuptoarele cu arc electric, utilajele de deformare plastică, utilajele pentru prelucrarea deșeurilor metalice (sonete, zdrobitare, spargere prin dinamitare, mori cu ciocane), utilajele pentru producerea confecțiilor metalice etc.

Tabelul 8.1 Poziția locațiilor de determinare a intensității zgomotului

Nr. crt.	Poziția post determinare zgomot	Distanța de la sursa de poluare, m poziția,N,S,E,V,NV.Sv.....
1	Limita incinta poarta OE2 oțelărie	150 m
4	Limita incinta zona instalației de desprăfuire	150 m
5	Limita incinta poarta intrare Laminoare	500 m
6	Limita incinta lângă stația de reglare presiune gaz	750 m SE
7	Limita incinta pâraul PETAC	2500 m S
8	Limita incinta lângă Atelierul de Recondiționare Cilindri	2000 m SE

Zgomot Valoare Admisibilă 65 dB (A)

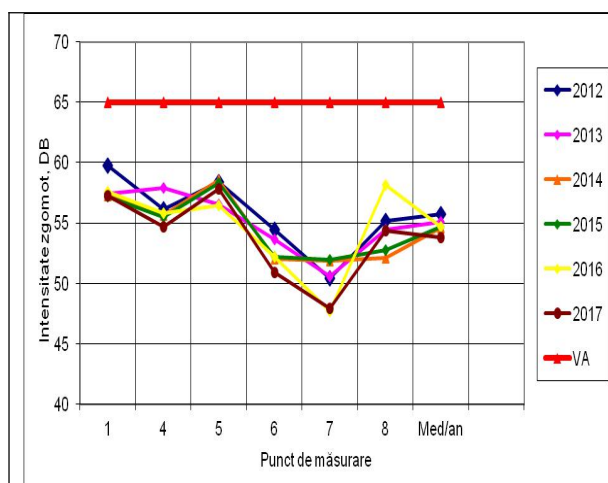


Fig.8.7. Variația valorilor medii în punctele de măsurare pe perioada 2012-2017

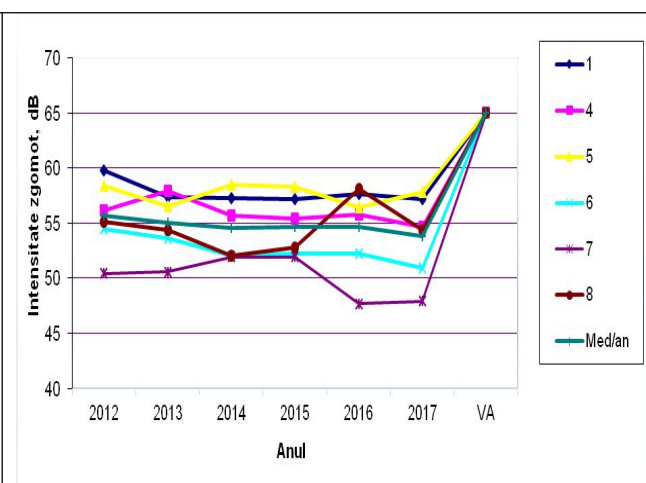


Fig.8.8. Variația valorilor medii pe perioada urmărită 2012-2017 la punctele de determinare



Procesele din industria siderurgică respectiv cele de elaborare-turnare și laminare a oțelului pe lângă faptul că generează o intensă poluare cu suspensii solide și gaze, generează și o poluare sonoră.

În aceste condiții, unitățile siderurgice dotate cu cuptoare cu arc electrice, în mod deosebit cele echipate cu transformatoare de mare putere (lucrează în regim UHP și SHP) generează cea mai mare poluare sonoră.

Cercetările aferente elaborării prezentei teze de doctorat au avut în vedere determinarea analiza intensității zgomotului din arealul unei oțelării electrice echipată cu cuptor cu arc electric (tip EBT) de capacitate 100 tone și instalații de procesare în oală (LF și VD). Oțelul elaborat a fost turnat sub formă semifabricate pe o instalație de turnare continuă cu cinci fire.

Cercetările efectuate au avut în vedere determinarea intensității zgomotului în diferite puncte (locații), în număr de 6, din arealul oțelăriei electrice (unele corespunzătoare celor pentru determinarea poluării chimice la nivelul solului). Poziționarea acestor locații având ca reper sursa de zgomot sunt prezentate în tabelul 8.1

Analizând datele din figura 8.7 se constată că cele mai mari valori medii pe perioada urmărită s-au obținut în cazul punctului S1 și cele mai mici pentru punctul S7, acestea fiind cuprinse între 48-60dB. Cele mai mici medii anuale au fost în anul 2017 și cele mai mari în anul 2012, situația fiind explicabilă tehnologic prin îmbunătățirea atât a gradului de pregătire a încărcăturii cât și a funcționării în condiții mai bune a sistemului de etanșare a carcasei cuptorului cu arc electric.

Din figura 8.8. se constată că în nici un an și în nici un punct nu s-a depășit valoarea medie anuală peste 60dB, iar ele fiind peste 50 dB cu excepția punctului 7 unde a fost de 47,5dB în anii 2016 și 2017.

Din analiza valorilor intensității zgomotului determinată în diferite puncte (8) a structurii încărcăturii metalice și a gradului de pregătire a încărcăturii și distanța de amplasare față de sursa de generare rezultă următoarele concluzii:

- gradul de pregătire și structura încărcăturii metalice, ordinea introducerii și repartizării încărcăturii metalice și nemetalice în benă, regimul electric al cuptorului, în mod deosebit pe durata topirii, influențează intensitatea zgomotului;
- cu cât sursa de măsurare a intensității zgomotului este amplasată la distanță mai mare față de sursa de generare, intensitatea zgomotului se reduce;

- cuptoarele electrice cu arc tip EBT, fiind prevăzute cu sisteme de ecranare fonică, o bună funcționare a acestora (în primul rând continuă) reduc substanțial intensitatea zgomotului;
 -intensitatea zgomotului este influențată și de construcțiile existente între punctul de măsurare și sursa de generare, mai ales dacă acestea nu sunt generatoare de zgomot (situație existentă în cazul analizat, practic acestea sunt hale industriale dezafectate, unele partial, altele complet), precum și a unor “perdele vegetale” (pe diferite suprafețe și de diferite înălțimi).

În **capitolul 9** se prezintă verificarea industrială a rezultatelor cercetării efectuate.

Prin verificarea industrială a rezultatelor cercetării s-a urmărit utilizarea unei încărcături de bună calitate atât din punct de vedere a componenței, conținut de materiale nemetalice, metale neferoase și avansat pregătit din punct de vedere a șarjării (adus la dimensiuni convenabile șarjării: cel greu spart, cel mijlociu tăiat, și cel ușor balotat). Verificarea a fost făcută pentru 6 șarje, din care la 5 cu încărcătură de calitate îmbunătățită, în ponderea sortimentelor a scăzut proporția de scoarțe, în mod deosebit cele interne, sortimentul casări și reciclări interne, crescând în schimb proporția sortimentelor E1 și E3. La șarja 6 s-a utilizat pentru comparație o încărcătură cu o proporție semnificativ mai redusă a sortimentelor E1 și E3, constante sortimentele E5 și E100 și mărită proporția pentru celelalte componente.

Componența încărcăturii, cu referire atât la cea metalică, cât și nemetalică (materiale pentru formarea zgurei, carburarea băii, dezoxidarea băii, etc.) durata operațiilor tehnologice sunt prezentate în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1. Structura încărcăturii (metalice și nemetalice)

Nr. șarjă Exper.	Structura încărcăturii metalice																		Oțel lichid	Scoat. metal
	E1		E3		E5		E100		SC.C		SC.I		REC. int.		Casări		TOTAL		t	%
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39,5	29,04	36,4	31,14	6,1	5,22	5,4	4,62	6,4	5,47	7,5	6,42	9,3	7,96	5,5	4,71	116,9	100	106,7	91,22
2	40,3	33,75	35,2	29,48	6,4	5,36	5,3	4,44	7,8	6,53	8,4	7,04	10,6	8,91	6,4	5,36	119,4	100	108,7	91,04
3	38,7	31,13	37,7	30,48	6,1	4,93	5,6	4,53	8,2	6,63	8,2	6,63	10,4	8,41	6,8	5,50	123,7	100	111,2	89,89
4	37,8	30,78	40,3	32,80	6,3	5,15	5,2	4,15	8,7	7,11	8,1	6,42	9,8	8,01	7,2	5,58	122,4	100	109,7	89,63
5	41,6	34,35	34,5	28,49	6,2	5,12	5,1	4,21	9,3	7,68	8,2	6,77	8,5	7,02	7,7	6,36	121,1	100	110,1	90,92
6	28,8	22,62	28,7	22,62	7,9	6,21	6,5	5,11	10,1	7,87	21,6	16,91	11,9	9,34	11,8	9,34	127,3	100	108,6	85,32

SC.C –scoarțe din comerț; SC.I – scoarțe interne; Reciclări interne

Nr. Șarjă Exper.	Încărcătură metalică			Materiale auxiliare											Operații tehnologice			
	Feroaliaje			Fondanți				Carburant			Gaz injector/lance			C _{SEE}	Durata operaț. Tehnol.			
	FeMn	SiMn	FeSi	Var	TopexCa	Topex	MS	Cocs	Gra.L	C.inj.L	O ₂ .ij	O ₂ L	CH ₄	.	A+Î	T.	A+E	Tot
0	21	22	23	34	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	Kg	m..c.	m.c.	m.c.	kWh/t	min	min	min	min
1	354	435	356	3100	480	220	615	900	125	675	2535	426	435	552	11	41	25	67
2	376	427	423	3250	462	235	586	900	136	634	2450	438	413	561	13	44	23	80
3	492	465	457	3650	415	325	564	900	156	765	2765	469	498	573	12	46	24	82
4	465	438	412	3545	480	345	548	890	138	754	3258	523	476	586	12	45	25	82
5	376	476	464	3780	445	310	574	900	138	675	3125	512	465	574	11	43	24	68
6	546	542	512	4250	510	395	664	920	150	858	3565	652	564	602	15	48	25	88

Gra.L- grafit injectat in baie prin lance; C.inj.L-carbon injectat in baie prin lance; O₂. ij. Consum oxigen la injectoare; O₂ L-consum oxigen la lance; CH₄- consum gaz metan injectoare; A+Î –durata ajustare +încărcare; T-durata topire; A+E durata afinare +evacuare; T- durata totală a șarjei; C_{SEE} –consum specific de energie electrică kWh/tona oțel lichid;

Ca și în cazul celor 98 de șarje analizate în capitolele 4-8, elaborarea și turnarea au fost făcute la aceeași oțelărie, același agregat, mai precis respectând același flux tehnologic și aceleași instrucțiuni tehnologice.

Pentru efectuarea experimentărilor menționate, pregătirea încărcăturii pentru cele 6 șarje a fost din timp pregătită, și programate la toate cele 6 șarje aceeași marcă de oțel, lucru realizabil prin faptul că experimentările au avut în vedere nu numai verificarea rezultatelor, ci și preocuparea unității siderurgice pentru îmbunătățirea procesului de elaborare sub aspect tehnologic, economic și ecologic (în sensul creșterii scoaterii de metal, consumului de energie electrică și de electrozi, a gradului de poluare, precum și a cheltuielilor de fabricație).

Analizând datele din tabelul 9.1 referitoare la structura încărcăturii metalice se constată următoarele:

- pentru șarjele 1-5, la care încărcătura este compusă din sortimente feroase de calitate bună și foarte bună, avansat pregătite, scoaterea de metal a fost cuprinsă între 89-95%;
- pentru aceleași șarje, consumul specific de energie electrică a fost cuprins între 550-590 kWh/t oțel lichid, explicațiile tehnologice fiind similare cu cele prezentate anterior, importanță foarte mare având și faptul că încărcătura fiind avansat pregătită, a permis încărcarea cuptorului din 3 bene, ceea ce a redus pierderile de căldură cauzate de rabaterea bolții, pe de o parte, iar pe de altă parte reducerea duratei topirii, deci și a șarjei;
- lucrând cu o încărcătură avansat pregătită pentru șarjare, transformatorul poate fi utilizat spre limita puterii maxime, ceea ce conduce la reducerea duratei șarjei, respectiv la creșterea productivității;
- în cazul șarjei nr.6 la care încărcătura a fost de calitate bună/ acceptabilă, scoaterea a fost de 80,52% și consumul specific de energie electrică de 602kWh/t oțel lichid;
- pentru ceilalți parametri tehnologici nu există diferențe semnificative;
- în concluzie rezultatele cercetărilor efectuate se confirmă.

În **capitolul 10** se prezintă concluzii finale, contribuții originale, direcții de continuare a cercetărilor și diseminarea rezultatelor.

Din analiza studiilor și cercetărilor efectuate la nivel industriale, ies în evidență o serie de concluzii finale, astfel:

- 1) În prezent pe plan național, societățile siderurgice sunt echipate cu convertizoare cu oxigen, cuptoare cu arc electric, instalații de procesare în oală (LF și VD), instalații de turnare continuă și, după caz, diferite tipuri de laminoare, instalații de deformare plastică la cald și rece;
 - 2) Oțelării care funcționează cu convertizoare cu oxigen este doar una singură și anume societate SC ARCELORMITTAL Galați, iar oțelării echipate cu cuptoare cu arc electric în următoarele societăți: SC ARCELORMITTAL Hunedoara, S.C. TMK Reșița; COS Târgoviște;
 - 3) Prezentarea bine documentată a sortimentelor feroase care compun șarja, atât din punct de vedere calitativ cât și a tehnologiilor de procesare, încărcătura fiind formată dintr-un număr relativ mare de componenți, funcție de posibilitățile de aprovizionare, de prețul de cost, de starea de pregătire în vederea șarjării, de conținutul de metale neferose și de materiale nemetalice;
 - 4) Sunt bine documentate referirile la valorificarea deșeurilor din componente electrice și electronice, precum și a autovehiculelor scoase din uz, mai ales că dezvoltarea tehnicii a condus și conduce și în viitor la creșterea cantitativă a deșeurilor metalice (feroase) din aceste surse;
 - 5) Referitor la utilizarea materialelor prereduse (burete de fier RDI și HBI, pelete metalizate, aglomerat metalizat), acestea sunt bine prezentate, atât sub aspect tehnico-economic cât și din punct de vedere a protecției mediului;
 - 6) De asemenea, în sinteză, sunt bine prezentate utilajele și tehnologiile de procesare a
-

- deșeurilor metalice în vederea șarjării;
- 7) Din analiza structurii încărcăturii metalice pentru un număr de 98 de șarje elaborate în cuptorul cu arc electric tip EBT, a rezultat că aceasta a avut în componență un număr de 8 sortimente metalice, cu participație în limite mari, dar acceptabile din punct de vedere tehnologic și economic;
 - 8) Pondere mare în încărcătură au avut sortimentele E1 și E3; destul de apropiată a fost și ponderea pentru scoarțele feroase externe (provenite din comerț) de calitate bună (condiții severe la recepție);
 - 9) Un aport însemnat a reprezentat și proporția de scoarțe interne, atât în cazul celor rezultate în mod frecvent pe fluxul tehnologic de elaborare-turnare, cât și a celor provenite de la procesarea zgurei de pe haldă, cu observația că primul sortiment de scoarțe este mult mai curat (în medie cantități mici de material nemetalic) comparativ cu celălalt (cu proporții mari de zgură, refractare, pământ etc) care uneori are sub 50%Fe (confirmat prin mai multe testări);
 - 10) Nu au ridicat probleme deosebite sortimentele de fier E5 și E100;
 - 11) În ceea ce privește sortimentele provenite din reciclări și casări, chiar dacă acestea sunt în proporții relativ mici, se acordă atenție deosebită în special celui provenit din casări (conținut de metale neferose și elemente de aliere);
 - 12) Feroaliajele sunt utilizate în limitele tehnologice;
 - 13) Referitor la materialele auxiliare (fondanți și fluidificatori) de menționat faptul că se utilizează var, var dolomit, topex, topexCa, în limitele uzuale aplicabile la tehnologiile actuale;
 - 14) Utilizarea arzătoarelor oxigaz a condus la reducerea duratei șarjei, iar adaosul de carbon (praf de cărbune) și oxigen a condus la o bună spumare a zgurei, cu efectele binecunoscute;
 - 15) Scoaterea de metal a variat în limite foarte mari, cauzele fiind: numărul mare de sortimente feroase, variația proporțiilor acestora în componența șarjei, calitatea acestora, gradul de pregătire în vederea șarjării;
 - 16) Prelucrarea datelor în programul de calcul EXCEL și MATLAB au permis stabilirea unor corelații exprimate atât analitic, cât și grafic și anume: simple (polinomiale de gradul 1-4, exponențiale și putere) în primul caz și duble, exprimate analitic după trei tipuri de ecuații (polinomiale gradul 2 și 5, respectiv combinația polinomială-logaritmică) și grafic (suprafețe de regresie și curbe de nivel) pentru al doilea caz;
 - 17) Pe baza corelațiilor obținute a fost stabilită structura optimă a încărcăturii, aceasta putând fi corectată oricând, funcție de disponibilul de material feros;
 - 18) Consumul specific de electrozi este unul din principalii indicatori pentru procesul de elaborare a oțelului la cuptoarele cu arc electric, în acest caz acesta fiind corelat cu structura încărcăturii metalice; datele obținute au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB obținându-se corelații simple și duble, exprimate analitic și grafic, pe baza acestora fiind analizat indicatorul urmărit;
 - 19) Pentru orice proces tehnologic se are în vedere consumul specific de energie, fiind atent analizate posibilitățile de micșorare a acestuia; ca urmare, și în cadrul tezei de doctorat s-a urmărit stabilirea posibilităților de reducere a consumului specific de energie electrică (kWh/t. oțel lichid);
 - 20) În analiza efectuată, au fost luați în considerare ca factori de influență asupra consumului specific de energie electrică: structura încărcăturii (sortimente de încărcătură feroasă), greutatea șarjei și numărul de încărcături/bene, ultimul factor fiind bine corelat cu gradul de pregătire a fierului vechi pentru șarjare;
 - 21) Datele prelevate pentru analiza tehnologică au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, corelațiile simple și duble exprimate analitic și grafic, pe baza acestora fiind scoase în evidență posibilitățile de reducere a consumului specific de energie
-

- electrică;
- 22) Având în vedere poluarea generată de activitățile industriale și, în mod deosebit a celor din siderurgie, a fost analizată poluarea solului cu praf de oțelărie electrică în arealul acesteia;
 - 23) Aprecierea poluării a fost evaluată pe baza compoziției chimice, raportarea componentelor fiind exprimată în mg/kg praf; conținutul pentru fiecare component este corelat cu structura încărcăturii, amplasarea punctelor de colectare, “barierele” între punctele de colectare și sursa de poluare, condițiile meteorologice etc;
 - 24) În analiza efectuată s-a avut în vedere valorile normale, de alertă și de intervenție; de menționat ca în puține cazuri au fost depășite valorile de alertă și mult mai puțin cele de intervenție, putând fi considerate cazuri izolate;
 - 25) Determinările au fost efectuate pentru probe colectate în 7 puncte, pentru fiecare material colectat fiind determinat conținutul pentru 8 componente depuși pe durata a 7 ani;
 - 26) Pe lângă poluarea chimică, frecvent, multe ramuri industriale produc o poluare sonoră a mediului, situație existentă în cazul oțelăriilor electrice echipate cu cuptoare cu arc electric (tip EBT în regim SHP); determinarea zgomotului s-a efectuat în 6 puncte în arealul oțelăriei, pe o durată de 5 ani, limita admisibilă fiind de 65dB, nefiind depășită în nici o situație;
 - 27) Rezultatele obținute la verificare/ valorificarea industrială a rezultatelor cercetărilor efectuate confirmă valabilitatea acestora.

Contribuții originale

Pe baza studiului literaturii de specialitate, cu referire la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate la nivel de fază industrială, a analizei tehnologice, a rezultatelor obținute și a verificării industriale a acestora, pot fi considerate ca și contribuții personale următoarele:

- 1) Realizarea pe baza studiului literaturii de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat a sintezelor:
 - procedee și tehnologii actuale de elaborare și turnare a oțelului;
 - materiale feroase utilizate în procesul de elaborare a oțelului, proveniență, caracteristici calitative, clasificare, metode de pregătire, etc.;
 - tehnologii și utilaje de procesare mecanică a deșeurilor metalice;
 - extinderea gamei de materii prime și auxiliare utilizate în metalurgie/ siderurgie;
 - 2) Analiza structurii încărcăturii cuptorului cu arc electric tip EBT, de capacitate 100t, din punct de vedere a sortimentelor feroase, a feroaliajelor folosite, a carburantului și oxigenului utilizat (pentru 98 de șarje);
 - 3) Stabilirea, pe baza prelucrării datelor industriale în programele de calcul EXCEL și MATLAB, a structurii optime a încărcăturii metalice (funcție și de condițiile de aprovizionare) în vederea creșterii scoaterii de metal;
 - 4) Recomandarea corelării structurii încărcăturii metalice cu disponibilul de material feros (funcție de condițiile de aprovizionare, preț de cost, posibilități de pregătire în vederea șarjării, etc.);
 - 5) Analiza consumului specific de electrozi în funcție de structura încărcăturii (comparația cu cea optimă);
 - 6) Stabilirea corelațiilor de dependență dintre consumul specific de energie electrică, sortimentele de încărcătură metalică, greutate șarjei și numărul de încărcări (comparație cu cea optimă);
 - 7) Motivarea/ justificarea utilizării în încărcătura metalică a unor sortimente cu conținut de metal mai redus prin corelarea cu normele de mediu și preț de cost;
 - 8) Motivarea necesității pregătirii avansate a încărcăturii din punct de vedere a componentelor nemetalice, sortare după gradul de aliere, dimensiuni și grad de aliere;
 - 9) Determinarea compoziției chimice (8 componente) a prafului de oțelărie depus în 7
-

puncte de colectare (pe perioada 2012-2017) și corelarea acestora cu structura încărcăturii metalice, factori/ parametri tehnologici, poziționarea punctelor/ surselor de colectare/ depunere față de sursa de generare, condițiile meteorologice, obstacole între cele 2 poziții; în cadrul analizei efectuate s-a avut în vedere limitele normale, de alertă și intervenții;

- 10) Determinarea în 6 puncte a nivelului de zgomot și corelarea acestuia cu încărcătura, gradul de pregătire, amplasament, obstacole/ obstrucție, încasetarea cuptorului (valoarea admisibilă pentru intensitatea zgomotului 65dB);
- 11) Verificarea industrială a rezultatelor cercetării, respectiv structura sortimentală a încărcăturii, ceea ce a confirmat valabilitatea acestora, și anume: sortiment E100-4-6%; scoarțe feroase din comerț 10-20%; scoarțe interne 10-20%; reciclări interne 8-10%; casări 4-6%.

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate privind tematica tezei de doctorat, se poate considera că prezintă interes deosebit pentru industria metalurgică/ siderurgică și nu numai, continuarea cercetărilor în următoarele direcții:

1. Procesarea la societățile siderurgice producătoare de oțel, a subproduselor țunder, praf de oțelărie și zgură de oțelărie (fracție feroasă), sub formă de produse metalizate (avansat reduse) aglomerat, brichete și pelete, funcție de cantitățile disponibile și introducerea acestora în componența încărcăturilor metalice (furnale, convertizoare cu oxigen, cuptoare cu arc electric etc);

2. Valorificarea zgurilor reducătoare (LF și VD) în:

- procesele siderurgice de aglomerare, brichetare și peletizare (fondant și liant);
- industria cimentului și materialelor refractare;
- amendament bazic în agricultură.

3. Reciclarea în metalurgie a deșeurilor rezultate din dezmembrarea DEEE (deșeuri din echipamente electrice și electronice);

4. Valorificarea superioară a materialelor rezultate din dezmembrarea vehiculelor scoase din uz (VSU), în industria metalurgică (cu acordarea unei atenții sporite privind sortarea acestora după gradul de aliere), chimică, materiale de construcții;

5. Valorificarea avansată a sterilului rezultat din industria metalurgică (feroasă și neferoasă), minieră (cărboni, minereuri, minerale, etc.), chimică, energetică etc., depozitat în halde și iazuri.

DISIMINARE REZULTATE

- **C. D. Păcurar**, T. Hepuț, E. Crișan, “The influence of the structure of the metal load removal from liquid steel in electric arc furnaces”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, SEP 23-29, Rhodes, Grece, AIP Conference Proceedings, Volume 1738, Article Number 080007, 2016 indexat ISI, (DOI: 10.1063/1.4951842, WOS:000380803300092).
 - **C. D. Păcurar**, T. Hepuț, M. Ardelean, “Optimizing the structure of metal load in order to reduce electricity consumption in the production of steel”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, SEP 23-29, Rhodes, Grece, AIP Conference Proceedings, Volume 1738, Article Number 080006, 2016 indexat ISI, (DOI: 10.1063/1.4951841, WOS:000380803300091).
 - **C. D. Păcurar**, T. Hepuț “Mathematical modeling on the load metal of the electric arc furnace”, Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering Hunedoara, vol.9, no.4, pp147-152, 2016 (**EBSCO**).
 - **C. D. Păcurar**, “Analysis of the EAF metal charge structure”, Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering Hunedoara, vol.8, no.2, pp.93-97, 2015 (**EBSCO**).
 - **C. D. Păcurar**, “Analysis of the EAF metal charge structure of removal of liquid steel to
-

electric ovens EBT type”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, vol.13, no.3, pp.113-118, 2015 (**EBSCO**).

- **C. D. Păcurar**, F. Bucur “Monitorizarea factorilor de mediu într-o uzină siderurgică”, HD-48-STUD, Hunedoara, Romania, May 2018.
- **C. D. Păcurar**, “Analiza consumurilor de electrozi la elaborarea oțelului în cuptoarele electrice cu arc”, HD-47-STUD, Hunedoara, Romania, May 2017.

Mențiuni

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul parțial din grantul strategic POSDRU/159/1.5/S/134378 al Ministerului Educației Naționale din România, cofinanțat de Fondul Social European - Investiția în oameni, în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1/13]. Eurofer Economic and Steel Market Outlook
 - [2/43]. Cercetare, instrucțiuni tehnologice de elaborare, S.C. ARCELOR MITTAL S.A. Hunedoara, 2009.
 - [3/44]. Drăgoi, F., Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelurile elaborate și tratate pe fluxul tehnologic E.B.T. – LF, teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2012.
 - [4/6]. Moya J.A., Pardo N.,- „The potential for improvements in energy efficiency and CO2 emissions in the EU27 iron and steel industry under different payback periods” (Potențialul de îmbunătățire a eficienței energetice și de reducere a emisiilor de CO2 în industria fierului și oțelului din UE-27 în diferite perioade de amortizare), Journal of Cleaner Production (august 2013).
 - [5/7]. Ecorys, Study on European Energy-Intensive Industries – The usefulness of Estimating Sectoral Price Elasticities (Studiul Ecorys privind industriile mari consumatoare de energie din Europa-Utilitatea estimării elasticității prețurilor sectoriale).
 - [6/9]. Strategia Europa 2020, Strasbourg [COM(2011)21].
 - [7/18]. Directiva 2009/125/CE.
 - [8/19]. Comisia Europeană,- “Plan de acțiune pentru o industrie siderurgică competitivă și durabilă în Europa”, Strasbourg 11.6.2013(COM2013).
 - [9/17]. US Environmental Protection Agency SUA.
 - [10/35]. DEEE, C11, Ministerul Economiei și Finanțelor-Direcția Reciclarea Materialelor; Deșeurile de echipamente electrice și electronice - o problemă de mare actualitate, dar și de mare viitor;
 - [11/49]. Drăgoi, F. (2012). Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelul elaborat și tratate pe fluxul tehnologic EBT –TC, PhD Thesis, Politehnica Timișoara.
 - [12/57]. <http://www.granutech.com/>
 - [13/58]. Reciclarea autovehiculelor scoase din uz, metode, tehnici, concluzii.- Universitatea Petro-Gaze Ploiesti 2013.
 - [14/69]. Păcurar, C.D., T. Hepuș, E. Crișan, “The influence of the structure of the metal load removal from liquid steel in electric arc furnaces”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, SEP 23-29, Rhodes, Grece, AIP Conference Proceedings, Volume 1738, Article Number 080007, 2016 indexat ISI, (DOI: 10.1063/1.4951842, WOS:000380803300092).
 - [15/70]. Păcurar, C.D., T. Hepuș, M. Ardelean, “Optimizing the structure of metal load in order to reduce electricity consumption in the production of steel”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2015, SEP 23-29, Rhodes, Grece,
-

AIP Conference Proceedings, Volume 1738, Article Number 080006, 2016 indexat ISI, (DOI: 10.1063/1.4951841, WOS:000380803300091)

[16/71]. Păcurar, C.D., T. Hepuț “Mathematical modeling on the load metal of the electric arc furnace”, Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering Hunedoara, vol.9, no.4, pp147-152, 2016 (**EBSCO**)

[17/74]. Păcurar, C.D., F. Bucur “Monitorizarea factorilor de mediu într-o uzină siderurgică”, HD-48-STUD, Hunedoara, Romania, May 2018.

[18/75]. Păcurar, C.D., “Analiza consumurilor de electrozi la elaborarea oțelului în cuptoarele electrice cu arc”, HD-47-STUD, Hunedoara, Romania, May 2017.

[19/65]. <http://www.fih.upt.ro/simpozion/pdf-files/HD-44-STUD.Program2014.pdf>
