

CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA DEȘEURILOR PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE DIN INDUSTRIA METALURGICĂ

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul INGINERIA MATERIALELOR
de către

Ing. Darius-Alexandru Popescu

Conducător științific:	Prof.univ.dr.ing. Teodor Hepuț
Referenți științifici:	Prof.univ.dr.ing. Caius Panoiu
	Prof.univ.dr.ing. Ioan Ilca
	Prof.univ.dr.ing. Nicolae Constantin
	Prof.univ.dr.ing. Valeriu Ghica

Ziua susținerii tezei: 12.11.2018

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 2. Chimie | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 3. Energetică | 12. Ingineria sistemelor |
| 4. Ingineria Chimică | 13. Inginerie energetică |
| 5. Inginerie Civilă | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică | 15. Ingineria materialelor |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management |
| 8. Inginerie Industrială | 17. Arhitectură |
| 9. Inginerie Mecanică | 18. Inginerie civilă și instalații |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2018

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
Tel./fax 0256 403823
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

În cadrul programului de cercetare dezvoltat s-a efectuat un studiu amănunțit al posibilităților de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte cu conținut de fier, zinc, carbon etc., precum și a unor deșeuri bazice pulverulente și mărunte în industria metalurgică.

Valorificarea deșeurilor și reintroducerea lor în circuitul economic se impune în prezent mai mult ca oricând, mai ales în România, atât sub aspect economic, deoarece conduce la economie de materii prime pe de o parte, iar pe de altă parte din motive legate de protecția mediului.

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au fost orientate spre valorificarea deșeurilor feroase pulverulente rezultate pe fluxurile siderurgice în diferite faze a proceselor industriale, reprezintă o valoare intrinsecă, ce este determinată de conținutul feros care poate înlocui în mod corespunzător materia primă, respectiv minereul de fier sau fontă, în procesele siderurgice. Aceste deșeuri feroase pulverulente provin în cea mai mare parte din activitatea siderurgică și în general acestea rezultă din diferitele operații de epurare a gazelor evacuate și a apelor reziduale, fie sub formă uscată, fie sub formă de praf umed sau nămol din instalațiile de epurare umede.

În cadrul cercetărilor s-a experimentat valorificarea deșeurilor pulverulente și mărunte prin peletizare, brichetare și aglomerare, avându-se în vedere atât deșeurile depozitate, cât și cele rezultate frecvent pe fluxurile tehnologice.

Cercetările s-au efectuat pe două direcții, urmărindu-se determinarea posibilităților de:

- reciclare a zincului și fierului în metalurgia neferoasă și siderurgie;
- reciclarea prafului de la cuptoarele cu arc electric în siderurgie.

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

În primul rând doresc să îi mulțumesc conducătorului de doctorat, domnului Prof. dr. ing. Hepuț Teodor pentru îndrumarea de înalt nivel științific pe toată perioada elaborării tezei de doctorat, care a fost realizată și 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.

Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, doamnelor Prof. dr. ing. Socalici Ana Virginia, Conf. dr. ing. Ardelean Erika și domnului Prof. dr. ing. Ardelean Marius pentru informațiile furnizate privind efectuarea experimentărilor, prelucrarea datelor, interpretarea rezultatelor obținute, precum și sugestiilor referitoare la elaborarea unor lucrări științifice publicate fie în reviste de specialitate la nivel național și internațional, fie prezentate la diferite simpozioane organizate pe plan național / internațional.

Aduc mulțumiri și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management pentru buna colaborare pe toată durata elaborării tezei de doctorat.

Nu în ultimul rând, doresc să aduc mulțumiri conducerii Universității Politehnice Timișoara, Facultății de Inginerie din Hunedoara și a Departamentului de Inginerie și Management, pentru asigurarea cadrului propice pe toată durata elaborării tezei și, în final, mulțumesc familiei mele pentru susținere și încurajare pe tot parcursul acestui proiect.

Timișoara, Noiembrie 2018

Darius-Alexandru POPESCU

ACKNOWLEDGEMENTS

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.

POPESCU, Darius-Alexandru

Cercetări privind valorificarea deșeurilor pulverulente și mărunte din industria metalurgică

Teze de doctorat ale UPT, Seria 15, Nr. 30, Editura Politehnica, 2018, 238 pagini, 242 figuri, 127 tabele.

ISSN:2285-1720

ISSN-L:2285-1720

ISBN:978-606-35-0288-0

Cuvinte cheie:

Deșeuri, pulverulente, reciclare, zinc, siderurgie

Rezumat

Studiul posibilităților de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte cu conținut de fier, zinc, carbon etc., implică: valorificarea deșeurilor feroase pulverulente rezultate pe fluxurile siderurgice în diferite faze a proceselor industriale, ce este determinată de conținutul feros (fier legat chimic, uneori metalic) care poate înlocui în mod corespunzător materia primă, în procesele siderurgice.

În cadrul cercetărilor efectuate în laboratoarele Facultății de Inginerie Hunedoara s-a experimentat valorificarea deșeurilor pulverulente și mărunte prin peletizare, brichetare și aglomerare, avându-se în vedere atât deșeurile depozitate, cât și cele rezultate frecvent pe fluxurile tehnologice.

Cercetările s-au efectuat pe două direcții:

- reciclare a zincului și fierului în metalurgia neferoasă și siderurgie;
- reciclare a prafului de la cuptoarele cu arc electric în siderurgie;

CUPRINS

Lista figurilor	9
Lista tabelelor	16
Lista abrevierilor	19
CAPITOLUL 1 Plan de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor	21
1.1 Descrierea esențializată a obiectului cercetării	21
1.2 Strategia cercetării	23
1.3 Structura planului de cercetare	23
PARTEA I Analiza situației actuale a generării și valorificării deșeurilor	24
CAPITOLUL 2 Considerații generale privind deșeurile mărunte și pulverulente	25
2.1 Noțiuni de bază	25
2.2 Clasificarea deșeurilor	26
2.3 Reciclarea deșeurilor industriale nerecuperabile	27
CAPITOLUL 3 Deșeuri mărunte și pulverulente cu conținut de fier, zinc și carbon.....	31
3.1 Surse de deșeuri pulverulente și mărunte	31
3.2 Prezentare generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase	31
3.2.1 Praf și șlam de aglomerare-furnale și de oțelărie.....	35
3.2.1.1 Praf și șlam de aglomerare, peletizare și brichetare.....	35
3.2.1.2 Praf și șlam de furnale	37
3.2.1.3 Praf oțelărie Siemens – Martin	38
3.2.1.4 Praf de la oțelăriile electrice.....	39
3.2.1.5 Praful și șlamul de convertizor.....	42
3.2.1.6 Țunderul	43
3.2.1.7 Zgură de oțelărie	47
3.3 Prezentarea generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase.....	55
3.3.1 Industria neferoasă	55
3.3.1.1 Nămolul roșu (industria aluminiului)	55
3.3.1.2 Zgură ISP, material amestec și clincher Waelz (industria zincului)...	57
3.3.2 Cenușa de termocentrală (industria energetică)	57
3.3.3 Cenuși piritice (industria chimică)	58
3.3.4 Șlam de la acoperiri anticorozive	60
3.3.5 Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte	60
3.4 Concluzii	61
CAPITOLUL 4 Procedee și tehnologii de valorificare a deșeurilor mărunte	63
4.1 Considerații generale	63
4.2 Valorificarea prin peletizare	63
4.2.1 Producerea peletelor	63
4.2.2 Durificarea sau întărirea peletelor	64
4.2.2.1 Durificarea la cald (prin tratament termic).....	64
4.2.2.2 Durificarea peletelor cu liant la rece (autoîntărire)	65
4.2.3 Calitatea peletelor utilizate în încărcarea furnalelor.....	66
4.3 Valorificarea prin brichetare	68
4.3.1 Caracteristici generale	68
4.3.2 Caracteristicile fizice impuse brichetelor	68
4.3.3 Principiile și clasificarea metodelor de brichetare.....	68
4.3.4 Brichetare fără adaosuri liante	69
4.3.5 Brichetarea cu adaosuri liante	70
4.3.6 Brichetarea cu așchii de fontă.....	71
4.3.7 Pregătirea șarjei pentru brichetare	71
4.4 Valorificarea prin aglomerare.....	72
4.4.1 Considerații generale	72
4.4.2 Fazele procesului de aglomerare	72

4.5 Tehnologii de valorificare ale deșeurilor utilizate la nivel mondial.....	74
4.5.1 Considerații generale	74
4.5.2 Instalații utilizate pentru reciclarea deșeurilor	76
4.5.2.1 Reducerea peletelor în oțel lichid	77
4.5.2.2 Cuptor cu vatră rotativă	77
4.6 Instalații și echipamente folosite în cadrul cercetărilor și experimentărilor.....	79
4.7 Concluzii.....	83
PARTEA A II-A Cercetări și experimentări de procesare a deșeurilor mărunte.....	84
CAPITOLUL 5 Experimentări în fază de laborator privind valorificarea deșeurilor	85
5.1 Generalități	85
5.2 Fluxul tehnologic și tehnologia de producere a peletelor și brichetelor	86
5.3 Tehnologia stabilită pentru producerea peletelor	87
5.3.1 Experimentări de laborator privind producerea peletelor cu durificare	88
5.3.2 Analiza datelor	91
5.3.2.1 Corelația polinomială de gradul 2.....	92
5.3.2.2 Corelația polinomială de gradul 5.....	99
5.3.2.3 Corelația logaritmică	101
5.3.3 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute.....	103
5.4 Analiza spectografică a probelor.....	108
5.5 Tehnologia stabilită pentru producerea brichetelor.....	119
5.5.1 Realizarea brichetelor tubulare	119
5.5.2 Realizarea brichetelor multicave	123
5.5.3 Realizarea brichetelor pline cu diametru mic (până la 30mm).....	126
5.5.4 Realizarea brichetelor pline cu diametru mare (peste 30mm)	128
5.5.5 Experimentări de laborator privind producerea brichetelor.....	131
5.6 Experimentări și rezultate privind aglomerarea materialelor mărunte	133
5.6.1 Cadru experimental	133
5.6.2 Producerea aglomeratului în fază de laborator	134
5.6.3 Calitatea aglomeratului	134
5.6.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute.....	136
5.7 Instalație proiectată pentru recuperarea metalelor neferoase	137
5.8 Concluzii.....	141
CAPITOLUL 6 Procesarea peletelor cu conținut de fier și zinc.....	143
6.1 Producerea peletelor	143
6.2 Experimentări în fază de laborator cu pelete sortate granulometric.....	145
6.2.1 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete pe baia de oțel.....	145
6.2.2 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete pe baia de oțel.....	153
6.3 Experimentări în fază de laborator cu pelete nesortate granulometric.....	155
6.3.1 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete nesortate.....	155
6.3.2 Experimentări cu adaos de pelete nesortate granulometric	157
6.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute	157
6.5 Concluzii.....	158
CAPITOLUL 7 Cercetări privind valorificarea prafurilor siderurgice.....	161
7.1 Cercetări privind valorificarea prafurilor siderurgice prin brichetare.....	161
7.1.1 Considerații generale	161
7.1.2 Considerații privind caracteristicile calitative ale brichetelor	162
7.1.3 Valorificarea prin brichetare	163
7.1.3.1 Materiale. Caracteristici. Rețete de procesare.....	163
7.1.3.2 Producerea brichetelor.....	165
7.1.4 Prelucrarea datelor	165
7.1.4.1 Prelucrarea datelor în programul EXCEL	166
7.1.4.2 Analiza tehnologică a rezultatelor	170
7.1.5.1 Prelucrarea datelor în programul MATLAB.....	172
7.1.5.2 Analiza tehnologică a rezultatelor	186

7.2 Peletizarea prafului rezultat la epurarea gazelor la oțelăriile electrice	187
7.2.1 Considerații tehnologice	187
7.2.2 Caracteristicile componentelor șarjei de peletizare	187
7.2.2.1 Rețetele de producere a peletelor	188
7.2.2.2 Producerea peletelor	189
7.2.2.3 Durificarea peletelor prin ardere	189
7.2.2.4 Durificarea peletelor cu liant la rece (varianta tehnologică C)	191
7.2.2.5 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute	196
7.3 Cercetări privind valorificarea prafurilor siderurgice prin aglomerare	197
7.3.1 Considerații tehnologice	197
7.3.2 Calitatea aglomeratului	198
7.3.3 Experimentări și rezultate	198
7.3.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute	202
7.4 Concluzii	202
PARTEA A III-A Contributii originale. Directii de continuare. Concluzii finale	203
CAPITOLUL 8 Contributii originale. Directii de continuare. Concluzii finale	207
8.1 Contribuții originale	207
8.2 Direcții de continuare a cercetărilor	208
8.3 Concluzii finale	209
Diseminarea rezultatelor	213
Bibliografie	214
Anexe	219

Lista lucrărilor științifice

1. **D.A. Popescu**, T. Hepuț, V. Puțan, „Optimisation of the steel plant dust recycling process”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080009, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300094.
2. **D.A. Popescu**, L. Vilceanu, A. Socalici, „Analysis of the optimization possibilities to recover the powdery wastes containing iron and carbon”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080008, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300093.
3. **D.A. Popescu**, „Study on the quality of industrial waste deposited in ponds”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XII 2014- Fascicule 4, pp 315-321 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO
4. **D.A. Popescu**, „Research on the use of dust resulting from iron and steel processes”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XIII august 2015- Fascicule 3, pp 211-218 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO

Lista figurilor

- Figura 1.1** Valorificarea deșeurilor feroase pulverulente din pelete, brichete și aglomerate
- Figura 3.1** Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unei societăți siderurgice integrate
- Figura 3.2** Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate
- Figura 3.3** Conceptul de reciclare integrată a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate
- Figura 3.4** Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. (Bataga)
- Figura 3.5** Distribuția claselor granulometrice 10-100 μ m
- Figura 3.6** Distribuția claselor granulometrice 0-10 μ m
- Figura 3.7** Distribuția claselor granulometrice 0-10 μ m
- Figura 3.8** Schema unui electrofiltru cu trei zone de epurare
- Figura 3.9** Instalație de desprăfuire pe cale umedă (cuptor cu arc electric de 10 t)
- Figura 3.10** Schema sistemului de poluare a mediului prin intermediul CAE
- Figura 3.11** Iazul decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați S.A.
- Figura 3.12** Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald
- Figura 3.13** Schema unei instalații de deferizare a zgurii LD
- Figura 3.14** Schema de deferizare a zgurii de oțelărie
- Figura 3.15** Transportul zgurii lichide
- Figura 3.16** Instalații de primă mărunțire a zgurii
- Figura 3.17** Structura zgurii de oțelărie realizată în România
- Figura 3.18** Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A.
- Figura 3.19** Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A.
- Figura 3.20** Domenii de utilizare a zgurilor metalurgice
- Figura 3.21** Zonă depozitare nămol roșu Ungaria înainte și după ruperea digului
- Figura 3.22** Depozitul de cenușa Mintia
- Figura 3.23** Cenuși piritice
- Figura 3.24** Depozitul de cenușă piritică de la Valea Călugărească
- Figura 3.25** Iazurile de decantare steril tip siderită Teliuc
- Figura 4.1** Instalații pentru producerea peletelor
- Figura 4.2** Diagrama de durificare a peletelor
- Figura 4.3** Cuptor cu cuvă pentru durificarea peletelor
- Figura 4.4** Curbele izoterme din zona de durificare a peletelor în cuptorul cu cuvă
- Figura 4.5** Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor
- Figura 4.6** Schema de principiu a instalației de durificare a peletelor pe bandă circulară
- Figura 4.7** Variația în timp a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece cu liant
- Figura 4.8** Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora
- Figura 4.9** Schema metodelor de brichetare
- Figura 4.10** Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor

- Figura 4.11** Variația densității brichetelor pe înălțime la presare unilaterală (a) și bilaterală (b)
- Figura 4.12** Mașină de aglomerare cu bandă
- Figura 4.13** Schema de principiu a instalației de reducere a zincului
- Figura 4.14** Schema de principiu a unei instalații de recuperare a zincului pe baza unui cuptor cu vatră rotativă
- Figura 4.15** Echipamente și instalații utilizate
- Figura 4.16** Ciur vibrator
- Figura 4.17** Moară Kollergang
- Figura 4.18** Moară planetară cu bile PM100
- Figura 4.19** Moară cu rotor ZM 200
- Figura 4.20** Aparat de sitare Fritsch tip Analysette 3 Spartan
- Figura 4.21** Balanță de cântărire
- Figura 4.22** Tobă de omogenizare
- Figura 4.23** Peletizor tip taler
- Figura 4.24** Instalația de aglomerare
- Figura 4.25** Instalația de brichetare
- Figura 4.26** Etuva
- Figura 4.27** Cuptor de calcinare/topire L15/12/B180
- Figura 4.28** Cuptor de calcinare/topire LHT 02/17
- Figura 4.29** Cuptor cu rezistori
- Figura 4.30** Cuptor de topire prin inducție
- Figura 4.31** Cuptor de topire tip Tammann
- Figura 4.32** Mașina de încercări la compresiune
- Figura 5.1** Schema tehnologică de peletizare, brichetare și aglomerare
- Figura 5.2** Diagrama de reducere a peletelor
- Figura 5.3** Componenta rețetelor în vederea experimentării
- Figura 5.4** Pelete scoase din cuptor
- Figura 5.5** Pelete reduse și zincul recuperat
- Figura 5.6** Gradul de eliminare Zn în funcție de P.O. și M.A.
- Figura 5.7** Gradul de eliminare Zn în funcție de P.O. și grafit
- Figura 5.8** Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și M.A.
- Figura 5.9** Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și grafit
- Figura 5.10** Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și zgura LF
- Figura 5.11** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafit
- Figura 5.12** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și zgura LF
- Figura 5.13** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafit
- Figura 5.14** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și zgura LF
- Figura 5.15** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafit
- Figura 5.16** Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și zgura LF
- Figura 5.17** Cantitatea aleasă de P.O. și ISP
- Figura 5.18** Cantitatea aleasă de P.O. și M.A.
- Figura 5.19** Cantitatea aleasă de ISP și M.A.
- Figura 5.20** Cantitatea aleasă de P.O. și grafit
- Figura 5.21** Cantitatea aleasă de ISP și zgura LF
- Figura 5.22** Cantitatea aleasă de M.A. și zgura LF
- Figura 5.23** Microscop electronic de baleiaj – TESLA BS 301
- Figura 5.24** Diagrama compoziției chimice a probei 1, pelete crude
- Figura 5.25** Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 5000x
- Figura 5.26** Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 10000x
- Figura 5.27** Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 20000x

- Figura 5.28** Diagrama compoziției chimice a probei 1, durificată
Figura 5.29 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 2000x
Figura 5.30 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 2500x
Figura 5.31 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 5000x
Figura 5.32 Diagrama compoziției chimice a probei 2, pelete crude
Figura 5.33 Compoziția structurală a probei 2, pelete crude, mărită de 1000x
Figura 5.34 Compoziția structurală a probei 2, pelete crude, mărită de 4000x
Figura 5.35 Diagrama compoziției chimice a probei 2, durificată
Figura 5.36 Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 500x
Figura 5.37 Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 2000x
Figura 5.38 Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 5000x
Figura 5.39 Matrițe utilizate pentru realizarea brichetelor
Figura 5.40 Brichete rezultate
Figura 5.41 Piese componente ale matriței tubulare
Figura 5.42 Corp matrița tubulară (desen execuție planșa 1/16)
Figura 5.43 Placă de bază matriță tubulară (desen execuție planșa 2/16)
Figura 5.44 Tijă matriță tubulară (desen execuție planșa 3/16)
Figura 5.45 Piston matriță tubulară (desen execuție planșa 4/16)
Figura 5.46 Îmbinare placa de bază cu corpul matriței tubulare
Figura 5.47 Îmbinare placa de bază cu corpul matriței tubulare
Figura 5.48 Fixarea tijei matriței tubulare
Figura 5.49 Umplerea cu material a matriței
Figura 5.50 Compactarea cu ajutorul pistonului
Figura 5.51 Compactarea materialului
Figura 5.52 Bricheta tubulară rezultată
Figura 5.53 Piese matriță multicavă
Figura 5.54 Placă de bază matriță multicavă (desen execuție planșa 5/16)
Figura 5.55 Corp matriță multicavă (desen execuție planșa 6/16)
Figura 5.56 Tije matriță multicavă (desen execuție planșa 7/16)
Figura 5.57 Placă superioară matriță multicavă (desen execuție planșa 8/16)
Figura 5.58 Piesă presare matriță multicavă (desen execuție planșa 9/16)
Figura 5.59 Placă bază și corp matriță multicavă
Figura 5.60 Îmbinare placă bază și corp matriță multicavă
Figura 5.61 Introducerea tijelor în placa de bază
Figura 5.62 Introducerea tijelor în placa de bază
Figura 5.63 Umplerea cu material a matriței
Figura 5.64 Acoperirea cu placa superioară și pregătirea brichetei de presare
Figura 5.65 Compactarea materialului
Figura 5.66 Extragerea matriței
Figura 5.67 Bricheta rezultată
Figura 5.68 Piese matriță plină de diametrul mic
Figura 5.69 Placă de bază matrița plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 10/16)
Figura 5.70 Corp matriță plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 11/16)
Figura 5.71 Piston matriță plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 12/16)
Figura 5.72 Placă bază și corp matriță plină cu diametrul mic
Figura 5.73 Îmbinare placa de baza cu corpul matriței pline cu diametrul mic
Figura 5.74 Umplerea cu material a matriței pline cu diametrul mic
Figura 5.75 Pregătirea pentru compactare
Figura 5.76 Compactarea materialului cu ajutorul pistonului
Figura 5.77 Bricheta rezultată

- Figura 5.78** Placă bază matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 13/16)
- Figura 5.79** Corp matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 14/16)
- Figura 5.80** Piston presare matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 15/16)
- Figura 5.81** Piesa extracție matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 16/16)
- Figura 5.82** Placa de bază și corpul matriței pline cu diametrul mare
- Figura 5.83** Îmbinare placa de bază cu corpul matriței pline cu diametrul mare
- Figura 5.84** Umplerea cu material a matriței
- Figura 5.85** Pregătirea pentru compactare a brichetei
- Figura 5.86** Compactarea brichetei
- Figura 5.87** Extracția brichetei
- Figura 5.88** Bricheta rezultată
- Figura 5.89** Diagrama de durificare a brichetelor (T-temperatura de durificare, [$^{\circ}$ C]; t-timpul de durificare, [h])
- Figura 5.90** Brichete înainte de reducere
- Figura 5.91** Brichete după reducerea zincului
- Figura 5.92** Comparație între gradul de eliminare al Zn pentru pelete și brichete
- Figura 5.93** Aspecte din procesul de aglomerare: a) aprinderea șarjei; b) eliminare gaze cu oxid de zinc; c) aglomerat produs finit
- Figura 5.94** Hotă nouă preluare gaze până la hotă existentă
- Figura 5.95** Hotă nouă preluare gaze până la hotă existentă
- Figura 5.96** Hotă cu ușă de acces peste cuptor
- Figura 5.97** Extensie hotă
- Figura 5.98** Instalație pentru epurarea gazelor
- Figura 5.99** Partea superioară cu baza o placă gaurită pentru a realiza efectul de „perdea de apă”...
- Figura 5.100** Ușă de acces instalație
- Figura 5.101** Extensie instalație
- Figura 5.102** Nămolul rezultat în urma epurării gazelor
- Figura 6.1** Material feros pentru încărcătura cuptorului electric cu inducție
- Figura 6.2** Încălzirea cuptorului
- Figura 6.3** Formarea băii de oțel lichid
- Figura 6.4** Baia de oțel lichid văzută prin masca de sudură
- Figura 6.5** Adăugarea peletelor pe baia de oțelul lichid-Proba 1 (la 5 min după adaos)
- Figura 6.6** Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului Proba 2 (la 10 min după adaos)
- Figura 6.7** Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului Proba 3 (la 15 minute după adaos)
- Figura 6.8** Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului Proba 4 (la 20 minute după adaos)
- Figura 6.9** Prelevare probă de oțel lichid după reducerea zincului
- Figura 6.10** Probă de oțel solidificat
- Figura 6.11** Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C1)
- Figura 6.12** Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2)
- Figura 6.13** Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C3)

- Figura 6.14** Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2), prin amestecarea băii metalice
- Figura 6.15** Influența duratei de procesare a peletelor adăgate pe baia metalică asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2) clasa granulometrică 2-15mm
- Figura 6.16** Influența duratei de procesare a peletelor amestecate cu baia metalică asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2) clasa granulometrică 2-15mm
- Figura 7.1** Componenta rețetelor varianta A
- Figura 7.2** Componenta rețetelor varianta B
- Figura 7.3** Rf, Rs, Is funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale
- Figura 7.4** Rf, Rs, Is funcție de proporția de praf de oțelărie
- Figura 7.5** Rf, Rs, Is funcție de proporția de țunder
- Figura 7.6** Rf, Rs, Is funcție de proporția de bentonită
- Figura 7.7** Rf, Rs, Is funcție de proporția de var
- Figura 7.8** Rf, Rs, Is funcție de proporția de grafit
- Figura 7.9** Rf, Rs, Is funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale
- Figura 7.10** Rf, Rs, Is funcție de proporția de praf de oțelărie
- Figura 7.11** Rf, Rs, Is funcție de proporția de țunder
- Figura 7.12** Rf, Rs, Is funcție de proporția de zgură de oțelărie, fracția feroasă
- Figura 7.13** Rf, Rs, Is funcție de proporția de zgură de rafinare (LF)
- Figura 7.14** Rf, Rs, Is funcție de proporția de var
- Figura 7.15** Rf, Rs, Is funcție de proporția de praf de grafit
- Figura 7.16** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.17** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de praf aglomerare-furnale și țunder
- Figura 7.18** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de praf de aglomerare-furnale și praf de oțelărie
- Figura 7.19** Rezistența la fisurarea a brichetelor funcție de proporțiile de praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.20** Rezistența la fisurarea a brichetelor funcție de proporțiile de praf de aglomerare-furnale și țunder
- Figura 7.21** Rezistența la fisurarea a brichetelor funcție de proporțiile de aglomerare-furnale și praf de oțelărie
- Figura 7.22** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile proporțiile var și grafit
- Figura 7.23** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile bentonită și grafit
- Figura 7.24** Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile bentonită și var
- Figura 7.25** Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de proporțiile var și grafit
- Figura 7.26** Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de proporțiile bentonită și grafit
- Figura 7.27** Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de proporțiile bentonită și var
- Figura 7.28** Intervalul de sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile var și grafit
- Figura 7.29** Intervalul de sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de bentonită și grafit

- Figura 7.30** Intervalul de sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de bentonită și var
- Figura 7.31** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.32** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare-furnale și țunder
- Figura 7.33** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare –furnale și de oțelărie
- Figura 7.34** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.35** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare –furnale și țunder
- Figura 7.36** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare-furnale și de oțelărie
- Figura 7.37** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.38** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare și țunder
- Figura 7.39** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de aglomerare-furnale și oțelărie
- Figura 7.40** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură de oțelărie fracția feroasă și țunder
- Figura 7.41** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură de oțelărie fracția feroasă și țunder
- Figura 7.42** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile praf de oțelărie și țunder
- Figura 7.43** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile zgură de oțelărie fracție feroasă și țunder
- Figura 7.44** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile zgură de oțelărie fracție feroasă și praf de oțelărie
- Figura 7.45** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de țunder și praf de oțelărie
- Figura 7.46** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de țunder și zgura de oțelărie fracția feroasă
- Figura 7.47** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de țunder și zgura de oțelărie fracția feroasă și praf de oțelărie
- Figura 7.48** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de oțelărie și de țunder
- Figura 7.49** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de var și grafit
- Figura 7.50** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LF și grafit
- Figura 7.51** Rezistența la sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LF și grafit
- Figura 7.52** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de var și grafit
- Figura 7.53** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LF și praf de grafit
- Figura 7.54** Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LF și de praf

- Figura 7.55** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de var și de praf de grafit
- Figura 7.56** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LFși grafit
- Figura 7.57** Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LFși var
- Figura 7.58** Rezistența peletelor în funcție de diametru (varianta tehnologică-A)
- Figura 7.59** Rezistența peletelor în funcție de diametru (varianta tehnologică-B)
- Figura 7.60** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C11)
- Figura 7.61** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C12)
- Figura 7.62** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C21)
- Figura 7.63** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C22)
- Figura 7.64** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C31)
- Figura 7.65** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C32)
- Figura 7.66** Aspecte din procesul de aglomerare

Lista tabelelor

- Tabelul 3.1** Deșeuri provenite din sectorul siderurgic
- Tabelul 3.2** Distribuția granulometrică a deșeurilor pulverulente
- Tabelul 3.3** Analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și oțelărie pentru câteva centre siderurgice din România
- Tabelul 3.4** Granulometria șlamului de furnale
- Tabelul 3.5** Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara)
- Tabelul 3.6** Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2 S.C.ArcelorMittal Hunedoara)
- Tabelul 3.7** Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița
- Tabelul 3.8** Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu
- Tabelul 3.9** Rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate
- Tabelul 3.10** Compoziția chimică a prafului de convertizor (Galați)
- Tabelul 3.11** Compoziția chimică șlamului de convertizor (Galați)
- Tabelul 3.12** Deșeuri industriale generate la OE2-TC, ArcelorMittal Hunedoara S.A.
- Tabelul 3.13** Compoziția chimică a țunderului, [%]
- Tabelul 3.14** Deșeuri industriale generate de secția Laminoare
- Tabelul 3.15** Componenta țunderului de laminare
- Tabelul 3.16** Analiza chimică a deșeurilor tip țunder din industria siderurgică
- Tabelul 3.17** Caracteristicile zgurii procesate la C.S.H
- Tabelul 3.18** Compoziția granulometrică a zgurii de convertizor
- Tabelul 3.19** Sorturi de zgură rezultate în urma prelucrării
- Tabelul 3.20** Evaluarea haldelor de zgură din România
- Tabelul 3.21** Compoziția chimică a zgurii de pe halda Buituri – Hunedoara
- Tabelul 3.22** Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea
- Tabelul 3.23** Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Oradea
- Tabelul 3.24** Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea
- Tabelul 3.25** Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Tulcea
- Tabelul 3.26** Compoziția chimică a deșeurilor cu conținut de Fe și Zn rezultate din industria Zn
- Tabelul 3.27** Compoziția cenușilor de termocentrală
- Tabelul 3.28** Compoziția concentratului de cenușă de termocentrală
- Tabelul 3.29** Analiza granulometrică a concentratului de cenușă de termocentrală
- Tabelul 3.30** Compoziția chimică a cenușilor piritice
- Tabelul 3.31** Compoziția chimică a șlamului de la acoperiri anticorozive
- Tabelul 3.32** Compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor tip siderită
- Tabelul 5.1** Componenta rețetelor utilizate pentru realizarea peletelor, [%]
- Tabelul 5.2** Compoziția chimică a materialelor ce vor fi folosite pentru producerea peletelor, [%]
- Tabelul 5.3** Compoziția chimică a rețetelor pentru pelete și brichete din șarja crudă
- Tabelul 5.4** Compoziția chimică a peletelor după eliminarea Zn, [%]

- Tabelul 5.5** Randamentul de eliminare a zincului din pelete, [%]
Tabelul 5.6 Componenta rețetei utilizate pentru realizarea peletelor
Tabelul 5.7 Compoziția chimică a rețetei aleasă pentru pelete înainte de eliminarea Zn, șarjei de peletizare (pelete crude), [%]
Tabelul 5.8 Compoziția chimică a peletelor după reducerea Zn, [%]
Tabelul 5.9 Randamentul de eliminare al Zn (\square_{eZn}), [%]
Tabelul 5.10 Compoziția chimică a probei, pelete crude, [%]
Tabelul 5.11 Compoziția chimică a probei 1, pelete crude [g]
Tabelul 5.12 Compoziția chimică a probei 1 durificată, [%]
Tabelul 5.13 Compoziția chimică a probei 1 durificată, [g]
Tabelul 5.14 Compoziția chimică a probei 2, pelete crude, [%]
Tabelul 5.15 Compoziția chimică a probei 2, pelete crude, [g]
Tabelul 5.16 Compoziția chimică a probei 2 durificată, [%]
Tabelul 5.17 Compoziția chimică a probei 2 durificată, [g]
Tabelul 5.18 Compoziția chimică a rețetelor pentru brichete după eliminarea Zn
Tabelul 5.19 Comparație între gradul de eliminare Zn pentru pelete și brichete
Tabelul 5.20 Compoziția chimică a cocsului mărunț, [%]
Tabelul 5.21 Compoziția chimică a cenușii cocsului mărunț, [%]
Tabelul 5.22 Componenta rețetelor de aglomerare
Tabelul 5.23 Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea inițială)
Tabelul 5.24 Înălțimea stratului de aglomerat în faza inițială și finală (mm)
Tabelul 5.25 Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea finală)
Tabelul 5.26 Rezistența aglomeratului (fracția f0-5mm, [%])
Tabelul 5.27 Analiza chimică a apei recuperate
Tabelul 6.1 Compoziția chimică a oțelului S 235
Tabelul 6.2 Compoziția chimică a prafului de oțelărie utilizat, [%]
Tabelul 6.3 Compoziția chimică a bentonitei, [%]
Tabelul 6.4 Compoziția chimică a zgurei de rafinare LF, [%]
Tabelul 6.5 Componenta rețetelor, [%]
Tabelul 6.6 Compoziția chimică a peletelor anterior introducerii pe baia metalică
Tabelul 6.7 Compoziția granulometrică a peletelor
Tabelul 6.8 Structura încărcăturii și succesiunea șarjelor
Tabelul 6.9 Compoziția chimică a fluxului de zgură reductoare (pentru procesare în L.F.), [%]
Tabelul 6.10 Compoziția chimică și temperatura șarjelor de oțel înaintea adosului de pelete
Tabelul 6.11 Programul de prelevare a probelor
Tabelul 6.12 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.11)
Tabelul 6.13 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO
Tabelul 6.14 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.13)
Tabelul 6.15 Compoziția granulometrică a peletelor
Tabelul 6.16 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO
Tabelul 6.17 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.13)
Tabelul 6.18 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO
Tabelul 6.19 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.11)
Tabelul 7.1 Compoziția chimică a prafului de la aglomerare-furnale (după uscare)
Tabelul 7.2 Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică, [%]

- Tabelul 7.3** Compoziția chimică a ținderului, [%]
Tabelul 7.4 Compoziția chimică a zgurei de oțelărie fracția feroasă, [%]
Tabelul 7.5 Compoziția chimică a lianților, [%]
Tabelul 7.6 Compoziția granulometrică (μm) a materialelor pulverulente
Tabelul 7.7 Compoziția granulometrică a materialelor mărunte, [%]
Tabelul 7.8 Componenta rețetelor, [%]-Varianta A
Tabelul 7.9 Componenta rețetelor, [%]-Varianta B
Tabelul 7.10 Analiza chimică a rețetelor, [%]-Varianta A
Tabelul 7.11 Analiza chimică a rețetelor, [%]-Varianta B
Tabelul 7.12 Caracteristici calitative brichete - Varianta A
Tabelul 7.13 Caracteristici calitative brichete - Varianta B
Tabelul 7.14 Limite de variație propuse pentru componenți -Varianta A
Tabelul 7.15 Limite de variație propuse pentru componenți-Varianta B
Tabelul 7.16 Analiza suprafeței de corelație
Tabelul 7.17 Compoziția chimică a prafului de oțelărie, [%]
Tabelul 7.18 Compoziția chimică a bentonitei, [%]
Tabelul 7.19 Compoziția chimică a varului, [%]
Tabelul 7.20 Compoziția chimică a zgurei de rafinare LF, [%]
Tabelul 7.21 Compoziția chimică a cimentului, [%]
Tabelul 7.22 Componenta rețetelor, [%]
Tabelul 7.23 Componenta rețetelor, [%]
Tabelul 7.24 Componenta rețetelor, [%]
Tabelul 7.25 Compoziția chimică a peletelor crude, [%]
Tabelul 7.26 Compoziția chimică a peletelor durificate prin ardere (varianta A)
Tabelul 7.27 Compoziția chimică a peletelor durificate prin ardere (varianta B)
Tabelul 7.28 Rezistența la compresiune a peletelor Varianta tehnologică-A
Tabelul 7.29 Rezistența la compresiune a peletelor Varianta tehnologică-B
Tabelul 7.30 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică - A
Tabelul 7.31 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică - B
Tabelul 7.32 Rezistența la compresiune a peletelor (varianta tehnologică-C11)
Tabelul 7.33 Rezistența la compresiune a peletelor (varianta tehnologică-C12)
Tabelul 7.34 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C21)
Tabelul 7.35 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C22)
Tabelul 7.36 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C31)
Tabelul 7.37 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C32)
Tabelul 7.38 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică-C
Tabelul 7.39 Compoziția chimică a cocsului mărunț, [%]
Tabelul 7.40 Compoziția chimică a cenușii cocsului mărunț, [%]
Tabelul 7.41 Componenta șarjelor de aglomerare
Tabelul 7.42 Compoziția șarjei de aglomerare (stare inițială/șarja crudă). Varianta tehnologică A
Tabelul 7.43 Compoziția șarjei de aglomerare (stare inițială/șarja crudă). Varianta tehnologică B

- Tabelul 7.44** Compoziția șarjei de aglomerare (stare inițială/șarja crudă). Varianta tehnologică C
- Tabelul 7.45** Înălțimea stratului de aglomerat în faza inițială și finală (mm)
- Tabelul 7.46** Rezistența aglomeratului (fracția f0-5mm, [%])
- Tabelul 7.47** Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică A
- Tabelul 7.48** Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică B
- Tabelul 7.49** Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică C

Lista abrevierilor

O.S.M.	Oțelărie Siemens Martin
OE2-TC	Oțelăria Electrică numărul 2-Turnare Continuă
C.S.H.	Combinatul Siderurgic Hunedoara
CAE	Cuptor cu arc electric
LD	Convertizor Lincz-Donawitz
P.O.	Praf oțelărie
I.S.P.	Imperial Smelting Process
M.A.	Material amestec
zgură LF	Zgura Ladle Furnace (oala cuptor)
EBT	Excentric Bottom Tapping
ICEM	Institutul de Cercetari Metalurgice București
PMNC	procesarea minereurilor neferoase complexe
ICCPAM	Institut de Proiectare și Cercetare pentru Produse Plate și Acoperiri Metalice

1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

1.1. Descrierea esențializată a obiectului cercetării

Tema tezei de doctorat este de actualitate și se referă la realizarea unor studii și cercetări privind reciclarea deșeurilor mărunte și pulverulente, pentru a putea fi folosite în încărcătura cuptoarelor cu arc electric la elaborarea oțelului.

Deșeurile feroase pulverulente și mărunte rezultate în diferite faze a proceselor industriale (în majoritatea cazurilor siderurgice), reprezintă o valoare intrinsecă, ce este determinată de conținutul de fier (fier legat chimic și metalic) care poate înlocui în mod corespunzător materia primă, respectiv minereul de fier sau fonta, în procesele siderurgice. Aceste deșeuri feroase pulverulente provin în cea mai mare parte din activitatea siderurgică și, în general, acestea rezultă din diferitele operații de epurare a gazelor evacuate și a apelor reziduale, fie sub formă uscată (din instalațiile de epurare uscată), fie sub formă de praf umed sau nămol (din instalațiile de epurare umede). Deșeurile feroase mărunte, provin din procesele siderurgice (țunder și zgură de oțelărie-fracția feroasă), și din industria minieră – prepararea minereurilor sideritice (concentrat feros din deșeu sideritic) [1, 42]:

- deșeurile rezultate în urma diferitelor procese industriale, în special cele rezultate din procesele metalurgice, pot fi prelucrate prin aglomerare, peletizare și brichetare, acest lucru însemnând că pot fi utilizate la elaborarea fontei și oțelului;

- prin prelucrarea acestor deșeuri și transformarea lor sub formă de bucăți, corespunzătoare calitativ pentru a fi folosite ca materii prime sau auxiliare în industria siderurgică, suprafețele pe care acestea le ocupă în prezent pot fi redade cadrului natural, contribuind în acest fel la ecologizarea mediului;

- în procesele industriale, respectiv metalurgice și în mod deosebit siderurgice, pe lângă produsul principal, rezultă unul sau mai multe produse secundare, respectiv deșeuri, care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie [2, 42];

- pe plan mondial există mai multe procedee/tehnologii de valorificare a deșeurilor, o parte din acestea fiind analizate în prezenta teză;

- deșeurile feroase mărunte și pulverulente existente în zona industrială Hunedoara, Călan, Reșița și Oțelul Roșu, cele cu caracter bazic, precum și cele cu conținut de carbon, pot fi reintroduse în circuitul economic din siderurgie;

- deșeurile analizate pot fi procesate prin brichetare, aglomerare și peletizare;

- componența rețetelor se va stabili în funcție de disponibilul de deșeuri mărunte și pulverulente și de destinația materialului procesat; la oțelării respectiv furnale;

- în condițiile existente, datorită desfășurării diverselor procese industriale, consider că este necesar să se intensifice procesul de valorificare a acestor deșeuri, atât datorită faptului că reprezintă o sursă de fier, materie primă deficitară, cât și pe considerente de ordin tehnologic, și, nu în ultimul rând, de ordin ecologic.

Deșeurile feroase pulverulente din punct de vedere al granulației corespund foarte bine procesării prin peletizare, iar cele mărunte și pulverulente procesării prin aglomerare și brichetare [1].

Comportarea minereurilor de fier/deșeurilor feroase în procesul de brichetare, respectiv analiza calității brichetelor obținute a fost studiată de mulți

cercetători [1, 5, 10]. S-a studiat influența granulației și ponderii materialelor de diferite clase granulometrice din componența șarjei de brichetare, proporția de liant, adaosul de apă, tehnologia de durificare etc., asupra rezistenței la compresiune a brichetelor crude, respectiv durificate, precum și a gradului de reducere.

De asemenea s-a cercetat și experimentat în fază pilot influența structurii șarjei de brichetare asupra caracteristicilor acestora [5, 10, 18].

În cazul procesării minereurilor de fier prin brichetare, din studierea literaturii de specialitate am constatat importanța pentru procesul de reducere a vitezei de avansare a frontului de reducere din exterior spre interiorul brichetei, proces studiat mai mult pentru reducători gazoși (CO și H₂) mai puțin în cazul utilizării pentru reducere a carbonului sau C+CO+H₂ [42].

Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării poate fi reprezentat astfel:

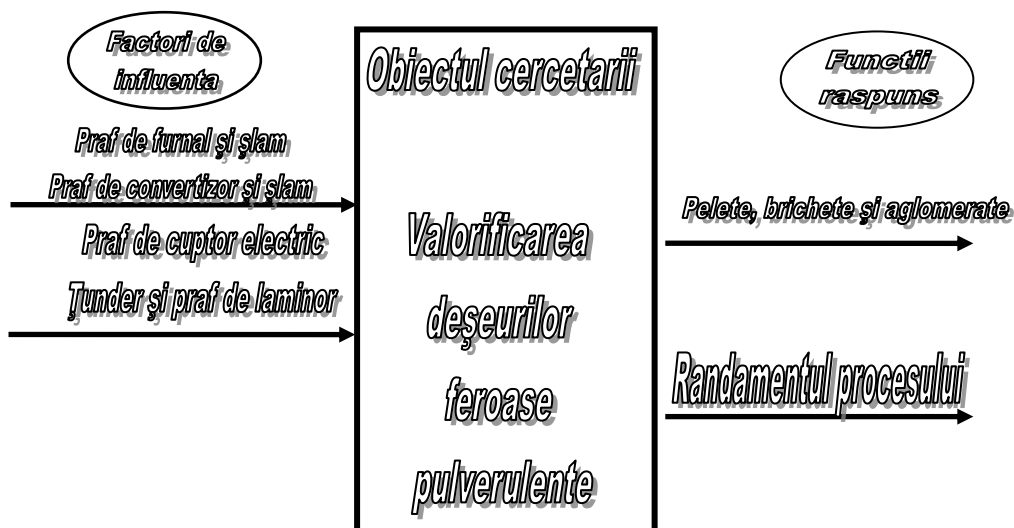


Fig. 1.1 Valorificarea deșeurilor feroase pulverulente din pelete, brichete și aglomerate

În cadrul programului de cercetare dezvoltat s-a efectuat un studiu amănunțit al posibilităților de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte cu conținut de fier, fier și carbon, fier și zinc precum și a unor deșeuri bazice pulverulente și mărunte în industria siderurgică [1, 2].

Valorificarea deșeurilor și reintroducerea lor în circuitul economic se impune în prezent mai mult ca oricând, mai ales în România, atât sub aspect economic, deoarece conduce la economie de materii prime (foarte important având în vedere rezervele de capital natural) pe de o parte, iar pe de altă parte, din motive legate de protecția mediului.

Cercetările care s-au efectuat în cadrul tezei de doctorat au fost orientate spre valorificarea deșeurilor feroase pulverulente rezultate pe fluxurile siderurgice (praf și șlam de la aglomerare, furnale, oțelării) și a celor mărunte (țunder și zgură de oțelărie fracția feroasă, concentrat de fier din deșeu sideritic), precum și a unor deșeuri bazice (praf de var și de dolomită rezultat de la epurarea gazelor, zgură de furnal, PMNC, praf I.S.P.etc.) [1, 2].

1.2. Strategia cercetării

Strategia de cercetare aplicată în vederea elaborării tezei de doctorat a constat în parcurgerea următoarelor etape:

- studiu bibliografic, din literatura de specialitate, prelucrarea informațiilor și corelarea acestora cu cele obținute din practica elaborării și turnării oțelului;
- cercetări privind reciclarea deșeurilor mărunte și pulverulente;
- cercetări și experimentări utilizând materialele mărunte și pulverulente reciclate sub formă de pelete, brichete și aglomerate;
- contribuții originale și dezvoltări ulterioare.

1.3. Structura planului de cercetare

Teza de doctorat este structurată pe 8 capitole, cuprinse în trei părți:

- **Capitolul 1.** Plan de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor.

Partea I Analiza situației actuale a generării și valorificării deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier:

- **Capitolul 2.** Considerații generale privind deșeurile mărunte și pulverulente.

- **Capitolul 3.** Deșeuri mărunte și pulverulente cu conținut de fier și carbon. Proveniență și caracteristici calitative zinc.

- **Capitolul 4.** Procedee și tehnologii de valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier zinc și carbon.

Partea a II-a Cercetări și experimentări de procesare a deșeurilor mărunte și pulverulente:

- **Capitolul 5.** Experimentări în faza de laborator privind procesarea deșeurilor mărunte și pulverulente prin peletizare, brichetare și aglomerare.

- **Capitolul 6.** Recuperarea zincului prin procesarea peletelor în cuptorul electric cu inducție.

- **Capitolul 7.** Cercetări privind valorificarea prafurilor rezultate din procesele siderurgice.

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

- **Capitolul 8.** Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții de continuare a cercetărilor.

- **Capitolul 9.** Anexe.

- **Bibliografie**

PARTEA I
**ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE A GENERĂRII
ȘI VALORIFICĂRII DEȘEURILOR MĂRUNTE
ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER
ȘI ZINC**

CAPITOLUL 2
**INFORMAȚII GENERALE PRIVIND DEȘEURILE
MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE**

CAPITOLUL 3
**DEȘEURI MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE
CU CONȚINUT DE FIER, ZINC ȘI CARBON.
PROVENIENȚĂ ȘI CARACTERISTICI CALITATIVE**

CAPITOLUL 4
**PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII
DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR
MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT
DE FIER, ZINC ȘI CARBON**

2. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND DEȘEURILE MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE

2.1. Noțiuni de bază

Deșeul reprezintă partea dintr-un material sau materie primă care este înlăturată în decursul unui proces tehnologic de prelucrare, în vederea realizării unui produs sau, ca urmare a unor activități umane, și care în general, nu se poate valorifica direct pentru realizarea aceluși produs sau în cazul activității respective [1, 10, 11].

Reciclarea presupune activitățile organizate, întreprinse în cadrul unor societăți, întreprinderi, etc., care au ca scop pe de o parte, utilizarea deșeurilor pentru obținerea unor produse, materii, materiale sau a energiei secundare, iar pe de altă parte, neutralizarea deșeurilor în vederea reducerii efectelor nocive, reducerea volumului ocupat de acestea și depozitarea în locuri special amenajate [1, 10, 11].

Instalația, este definită ca un sistem etnic, format în general din mai multe subsisteme destinat efectuării unei anumite funcții, operații sau proces [1, 10, 11].

Managementul deșeurilor ocupă un rol important în politica și strategia de dezvoltare economică și socială durabilă, în care calitatea mediului și conservarea resurselor naturale ocupă un loc central.

Deșeurile reprezintă nu numai o potențială sursă de poluare dar, în același timp, pot constitui și o sursă importantă de materii prime secundare cât și o sursă de energie.

Operațiunile de reciclare vizează două obiective fundamentale:

a) valorificarea totală sau parțială a deșeurilor prin realizarea unor produse sau materiale care să reintre în circuitul economic, precum și prin obținerea energiei secundare sau a unor combustibili;

b) neutralizarea deșeurilor sau a părților acestora care nu pot fi valorificate, în vederea reducerii la maximum a posibilităților de poluare a mediului în care acestea pot fi depozitate.

Cele două componente ale reciclării, valorificarea și neutralizarea, sunt strâns legate între ele, practic, în marea majoritate a operațiunilor de reciclare, fiind necesar a fi abordate împreună, în orice proces de acest gen rezultând reziduuri care trebuie depozitate [11].

În stadiul de dezvoltare incipient și mediu, deșeurile industriale erau în cantitate mică și erau constituite mai ales din deșeuri de prelucrare. În urmă cu câteva decenii, o categorie importantă de deșeuri era aceea rezultată din prelucrarea lemnului sau acelea provenite din prelucrarea plantelor. Caracteristica acestor deșeuri era aceea că, având o putere calorică relativ mare, puteau fi arse în instalații obișnuite; dacă nu erau arse, cantitatea lor fiind relativ mică și nu constituiau o problemă pentru depozitare. De asemenea, deșeurile nu constituiau o sursă majoră de poluare a atmosferei, apei sau solului, astfel încât nu reprezentau o problemă care să necesite rezolvare de ansamblu.

Trebuie menționat faptul că disponibilul mare de energie primară și costul redus al acesteia nu a favorizat apariția unei concepții economice în rezolvarea problemei reciclării deșeurilor [1, 3, 42].

Cu referire la deșeurile industriale chimice, înainte de dezvoltarea acestui sector, erau reduse cantitativ și puțin nocive, astfel încât puteau fi deversate în

emisarii naturali fără a deveni un pericol.

În condițiile actuale ale dezvoltării economice (industria, transporturile, construcția, agricultura) și a exploziei demografice, a existenței marilor aglomerări urbane, gestionarea corectă a deșeurilor devine o problemă prioritară datorită creșterii impresionante a volumului lor și a imposibilității distrugerii la locul de producere [1, 3, 42].

Reciclarea deșeurilor în epoca modernă nu se poate realiza fără existența unei puternice activități de concepere, cercetare și producere a unor instalații eficiente și performante, capabile să prelucreze un volum cât mai mare de deșuri, la un preț de cost cât mai mic.

Strategia modernă privind gospodăria deșeurilor include o ierarhizare a opțiunilor de management al acestora, în care primul accent este pus pe prevenirea producerii lor. Aceasta este urmată de promovarea acțiunilor de reciclare și de valorificare energetică și apoi de optimizare a metodelor de stocare finală a deșeurilor [1, 42].

Din punct de vedere al eficienței reciclării este recomandată separarea deșeurilor chiar la sursă, acordarea de priorități pentru traseul urmat de diferite deșuri și promovarea securității depunerii finale.

Într-o lume perfectă, toate deșeurile ar trebui să fie complet reciclate. Producătorii de deșuri ar trebui să fie capabili să prelucreze orice tip de deșeu fără a genera reziduuri. În realitate, în acest moment, nu toate deșeurile sunt reciclate 100%, ca rezultat a prelucrării lor generându-se deșuri reziduale. Aceste deșuri trebuie depozitate [1, 42].

În țările economic dezvoltate, menținerea și depozitarea deșeurilor ridică numeroase probleme economice, probleme ce trebuiesc soluționate în vederea reducerii cantității deșeurilor și reutilizarea acestora.

În timp ce majoritatea deșeurilor reziduale continuă să fie depozitate, se studiază intens posibilitatea găsirii unor procedee și tehnologii care să permită transformarea lor în deșuri reciclabile. Adevărata problemă nu este cea a taxelor de depozitare ci a responsabilităților cu privire la mediu. Se ridică problema cât timp de acum înainte se va mai dispune de spații de depozitare sigure [1, 42].

2.2. Clasificarea deșeurilor

A. După proveniență [1, 3, 42]:

1. Deșuri industriale provenite din procese tehnologice anorganice care sunt constituite în principal din: deșuri metalice noi sau vechi, deșuri chimice anorganice ca acizi, oxizi, baze și săruri;
2. Deșuri industriale provenite din procese tehnologice organice care sunt constituite din reziduuri din industria chimică organică;
3. Deșuri urbane care reprezintă totalitatea reziduurilor colectate din aglomerări urbane și cuprind: deșuri menajere, deșuri stradale rezultate în locuri publice, nămoluri de la epurarea apelor uzate orășenești;
4. Deșuri agricole și din industria alimentară;
5. Deșuri din construcții.

B. După posibilitățile de valorificare:

1. Deșeurile ce se pretează la o valorificare superioară (aceste deșuri pot fi introduse în procesele tehnologice de obținere a unor produse finite);

2. Deșeuri ce nu pot fi valorificate și care trebuie distruse sau neutralizate. Procedeele cele mai utilizate sunt cele termice, în unele cazuri cantitatea de căldură rezultată fiind folosită.

C. După compoziție:

1. Deșeuri organice de origine animală și vegetală;
2. Deșeuri minerale sau metalice;
3. Deșeuri provenite din transformări chimice;
4. Deșeuri radioactive.

2.3. Reciclarea deșeurilor industriale nerecuperabile

Prin deșeuri industriale nerecuperabile se înțeleg acele reziduuri din procesele tehnologice organice, care, la nivelul actual al dezvoltării tehnicii și tehnologiei, nu și-au găsit deocamdată nici o utilizare din cauza toxicității lor. Aceste deșeuri trebuie distruse, stocarea lor necesitând spații mari și reprezentând un pericol pentru mediu.

Cea mai utilizată metodă de distrugere a acestor deșeuri este incinerarea.

Principalele deșeuri industriale nerecuperabile sunt reprezentate de: reziduuri de la fabricarea mentoninei și a acidului acrilic, deșeurile de pe platformele petrochimice, deșeurile de la fabricarea solvenților clorurați, deșeurile cocsochimice.

La fabricarea mentoninei și a acidului acrilic se obțin următoarele tipuri de deșeuri:

- reziduuri de distilare de la coloana de rectificare a mentoninei → lichid vâscos cu putere calorică relativ mică, conținând în principal C, N, S și H;
- reziduuri de la purificarea mentoninei reprezentând cărbune activ îmbibat cu mentonină de carbonat de sodiu;
- reziduuri de distilare de la obținerea acidului acrilic → polimer cu densitatea de 1196kg/m^3 , puterea calorică mică și temperatura de solidificare de $+42^\circ\text{C}$;

Deșeurile industriale din industria petrochimică constau în principal din:

- șlam (amestec de apă cu particule fine de substanțe minerale) din rezervoarele de țigăi;
- șlam din rezervoarele de păcură și gudroane;
- șlam din rezervoarele de motorină;
- șlam din rezervoarele de benzină;
- nămoluri obținute la treptele de separare mecanică;
- gudroane acide apărute în procesul de rafinare a produselor petroliere și a celor de cocserie.

Cu toate că există o serie de studii și cercetări în ceea ce privește reciclarea acestor deșeuri [3, 7] în continuare aceste deșeuri nu și-au găsit nici o utilizare, în cea mai mare parte fiind depozitate în halde, ceea ce necesită o direcție de continuare a cercetărilor.

Gudroanele acide se prezintă sub forma unor lichide vâscoase cu incluziuni de materiale solide și conținut de acid sulfuric.

În scopul combaterii coroziunii provocate de H_2SO_4 liber, înainte de ardere gudroanele acide se neutralizează cu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sub agitare.

La rafinarea produselor petroliere și din cocserie mai apare ca deșeu solid pământul decolorant uzat, îmbibat cu produs petrolier care trebuie și el distrus prin

incinerare.

La obținerea solvenților clorurați în faza de recuperare a solvenților din reziduuri apare un deșeu industrial sub formă de reziduu de distilare, foarte lipicios, cu temperatura de solidificare +150°C, care are tendința de întărire pe conducte, singura soluție de a-l îndepărta fiind incinerarea.

Arderea are loc la 1200-1300°C în exces de oxigen rezultând pe lângă CO₁, H₂O și HCl [41], iar pentru reciclarea completă a acestora se propune trecerea gazelor printr-o coloană de CaO, CaCl₂.

Deșeurile feroase apar începând din 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.

Deșeurile feroase pulverulente provin în marea lor majoritate din instalațiile de epurare ale gazelor evacuate și a apelor industriale uzate rezultate din diferite procese tehnologice siderurgice, fiind o sursă de deșeuri feroase generată de acțiunea de evitare a poluării mediului înconjurător, a aerului și a apei. Această acțiune devine tot mai importantă și obligatorie având în vedere că industria siderurgică este una dintre cele mai poluante ramuri industriale [1, 42].

În apele uzate evacuate de la o serie de instalații de epurare a gazelor și din sectorul laminare, se găsesc de asemenea cantități importante de deșeuri prăfoase cu conținut de 60-70% Fe, care, raportate la o producția anuală de 1,1 milioane tone de oțel, totalizează o cantitate de peste 20000t/an (actualmente pentru ArcelorMittal Hunedoara cca. 7000t/an, corespunzător producției de cca 350000t/an) [3].

Deoarece această acțiune impusă de considerente sociale, devine obligatorie, generând investiții importante și cheltuieli de întreținere mari, se pune problema găsirii pe cât posibil și a unei eficiențe economice a acestei investiții. Această eficiență economică nu poate proveni decât din recuperarea materialelor prăfoase astfel produse.

În componența gazelor evacuate în atmosferă de secțiile uzinelor siderurgice, în medie circa 25% este reprezentată de particule mai mult sau mai puțin fine, din care o importantă proporție cu pulbere cu conținut feros. Astfel, la fiecare milion de tone de oțel produs rezultă anual între 25000-35000t de materiale feroase prăfoase (2,5%) cu conținut de fier între 40-60%, care trebuie captate din gazele evacuate în atmosferă [11].

Modernizarea tehnologiilor de elaborare a aliajelor metalice, pe lângă efectele pozitive, care constau de regulă în creșterea productivității agregatelor de elaborare, reducerea consumurilor energetice, de materiale auxiliare etc, apar de obicei și efecte negative constând în majoritatea cazurilor în creșterea cantităților de praf degajate din baia metalică și antrenarea lor în gazele de ardere sau cele rezultate ca urmare a suflării oxigenului în topitura metalică.

Prin tematica tezei de doctorat s-a avut în vedere efectuarea unor cercetări care să clarifice o serie de probleme legate de procesarea deșeurilor feroase pulverulente și mărunte sub formă de brichete.

În consecință, datorită necesității de a se ecologiza zonele în care sunt depuse aceste deșeuri rezultate în urma proceselor metalurgice și nu numai, precum și datorită conținutului acceptabil de fier din compoziție, se impune reciclarea acestor deșeuri feroase pulverulente și mărunte.

În cadrul tezei de doctorat, s-au efectuat cercetări privind procesarea deșeurilor feroase (precum și a celor cu conținut de fier și carbon pulverulente, respectiv cu oxizi bazici, fier și zinc pulverulente) sub formă de brichete, avându-se în vedere utilizarea alături de mai multe sortimente de deșeuri feroase pulverulente, și a celor mărunte, anume: zgura de oțelărie (fracției feroase), praf I.S.P și material amestec și concentrat feros din deșeu sideritic.

După cum se menționa mai sus, s-au efectuat o serie de cercetări care au avut în vedere, în cazul procesării deșeurilor sub formă de brichete, clarificarea următoarelor probleme tehnologice:

- capacitate de umectare a materialelor procesate;
- calitatea brichetelor crude funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația acestora, adaosul de apă și liant;
- calitatea brichetelor durificate funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația, adaosul de apă și liant și tehnologia de durificare;
- capacitatea de reducere a brichetelor funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația, adaosul de apă, liant, tehnologia de durificare;
- rezistența la fisurare a brichetelor funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația, adaosul de apă și liant, tehnologia de durificare;
- rezistența la strivire a brichetelor funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația, adaosul de apă și liant, tehnologia de durificare;

La toate experimentările s-a utilizat aparatură modernă pentru măsurarea parametrilor tehnologici și determinarea caracteristicilor calitative a produselor obținute, iar pentru prelucrarea datelor s-a utilizat tehnica modernă de calcul, cu utilizarea unor programe adecvate, scopul fiind obținerea unor corelații (exprimate analitic și grafic) între parametri calitativi și cei tehnologici [2].

3. DEȘEURI MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER, ZINC ȘI CARBON. PROVENIENȚĂ ȘI CARACTERISTICI CALITATIVE

3.1. Surse de deșeuri pulverulente și mărunte

În cadrul proceselor industriale, pe lângă produsul principal de fabricație rezultă și produse secundare și deșeuri.

În fluxul de producție al oțelului, agenții economici din siderurgie, generează deșeuri mărunte și pulverulente cu conținut de fier, de carbon și de fier și carbon în regim continuu în cantități apreciabile, proporționale cu producția realizată [15].

În practica producătorilor de oțel, pe plan mondial, deșeurile mărunte și pulverulente cu conținut de carbon, de fier, respectiv de fier și carbon, cunoscute sunt [1, 11]:

- praf de carbon;
- praf și șlam aglomerare;
- praf și șlam furnale;
- praf și șlam de convertizor;
- praf de oțelărie (Siemens Martin, acolo unde mai există depozitat);
- praf de electrofiltru de la oțelăria electrică;
- țunder și șlam de țunder;
- fracția feroasă din zgurile de oțelărie.

Dintre deșeurile feroase mărunte și pulverulente, care se pot folosi în industria siderurgică după o prelucrare prealabilă, obținute în cursul unor procese tehnologice din alte ramuri industriale, putem aminti:

a) nămolurile roșii, cu precauții privind elementele de Zn, Pb, Cu, As în industria aluminiului;

b) cenușile de pirită în industria chimică;

c) concentrat de fier din cenușile de termocentrală în industria energetică;

d) concentrat de fier din deșeu sideritic în industria minieră [1];

Cantitățile importante generate, impactul negativ asupra mediului și potențialul economic datorat componentei utile - Fe (dar uneori și alte elemente), au impus găsirea de soluții pentru reciclarea acestora. Caracteristicile fizico-chimice diferite ale acestora determină condiții diferite de procesare care au ca scop:

- reutilizarea fierului conținut;
- neutralizarea deșeurilor generate la o stare compatibilă cu mediul ambiant;
- utilizarea deșeurilor pentru realizarea sau înlocuirea de alte materiale, în special materialele de construcții [1, 30].

3.2. Prezentarea generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria siderurgică

În urma diferitelor etape de flux tehnologic din cadrul unei societăți siderurgice integrate, în afara produsului primar, sunt generate cantități apreciabile de materiale, denumite de regulă deșeuri, dar care, datorită posibilităților de

valorificare prin reciclare sau/și reutilizare, se pot încadra în categoria subproduselor. În funcție de condițiile specifice fiecărei unități siderurgice, precum și în funcție de cererea pe piața locală (variabilă în timp) a fiecărui material utilizabil, orice deșeu poate deveni subprodus și orice subprodus poate deveni deșeu (tabelul 3.1) [1, 30].

Tabelul 3.1 Deșeuri provenite din sectorul siderurgic [1, 14]

Nr.crt.	Denumire deșeu	% raportat la producție
Sectorul cocs-chimic		
1.	Praf de cărbune	7,19%
2.	Fuse*	4,90%
3.	Gudron acid	3,70%
4.	Șlam de gudron	1,00%
5.	Șlam de cocserie	0,90%
6.	Moloz	14,9%
7.	Praf de cocs	2,90%
Sectorul aglomerare – furnale		
1.	Praf aglomerare	1-2,5% din producția de aglomerat
2.	Praf + șlam furnal	1,1-3% din producția de fontă
3.	Cocs mărunț	< 0,5 mm de la fabricile de aglomerare
4.	Zgură furnal	25-30% din producția de fontă
Sectorul oțelărie – turnare continuă		
1.	Praf oțelărie	1-1,8% din producția de oțel
2.	Zgură oțelărie	15-20% din producția de oțel
3.	Țunder turnare continuă	2,8% din producția de oțel
Sectorul laminoare		
1.	Țunder și șlam de țunder	1,0 – 1,5% din producția de laminate
2.	Pilitură de oțel de polizare laminate	0,5% din producția de laminate polizate
3.	Șpan de la decojire de laminate	0,5% din producția de laminate decojite
Sectorul tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive		
1.	Șlam	0,1-0,5% din materialul procesat

* smoală petrolieră sau reziduuri de la decantarea gudronului rezultat la fabricarea cocsului

Din totalitatea deșeurilor generate în procesele siderurgice, prezentate în fig. 3.1, deșeurile pulverulente, potențiale subproduse, au ridicat probleme la valorificare, din cauză pe de o parte a compoziției granulometrice nesatisfăcătoare, și anume fracția fin dispersată fiind în cantitate mare, are influență negativă asupra calității mediului, iar pe de altă parte, din cauza prezenței de metale grele (Zn, Pb, Cu, Cd) în compoziția lor. În fig.3.2 sunt prezentate cantitățile de deșeuri pulverulente și mărunte raportate la tona de produs, datele fiind specifice siderurgiei mondiale [1, 14].

În tabelul 3.2 este prezentată distribuția granulometrică a acestor tipuri de deșeuri [1, 14].

Tabelul 3.2 Distribuția granulometrică a deșeurilor pulverulente [1]

Dimensiune μm	Aglomerare		Furnal		Convertizor		C.E.A		Laminor	
	praf	șlam	praf	șlam	praf	șlam	praf	șlam	țunder	șlam
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-
500	-	2	-	8	-	-	-	-	17	-
250	3	19	1	26	-	-	-	-	28	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
125	25	41	27	41	1	-	-	-	26	-
105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	35	24	14	20	2	-	-	-	13	7
44	21	10	6	4	5	-	-	-	6	5
<44	16	3	52	1	92	100	-	-	1	83

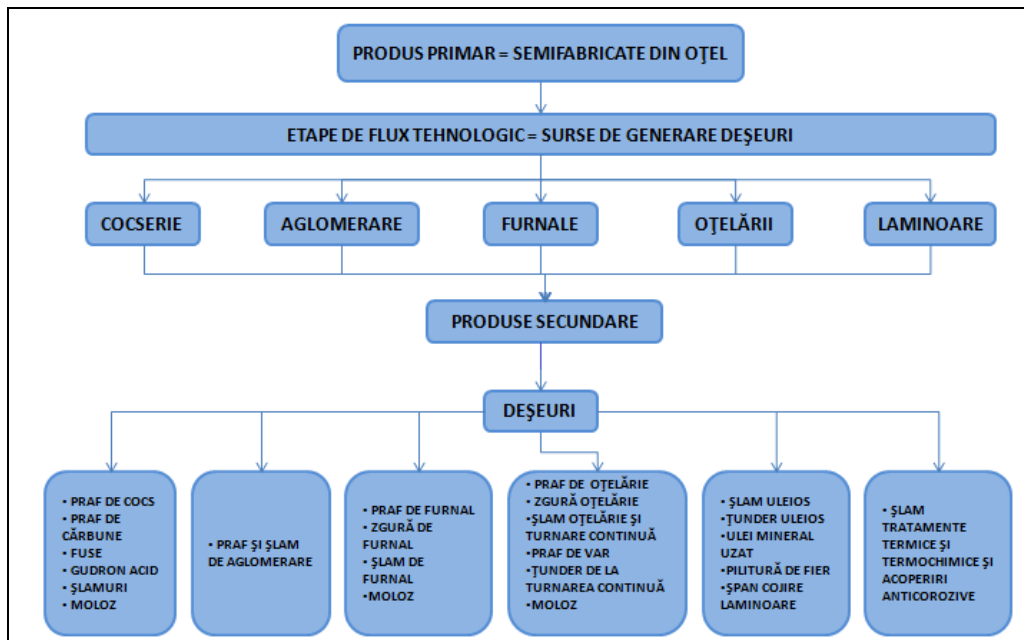


Fig.3.1 Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unei societăți siderurgice integrate [1,14]

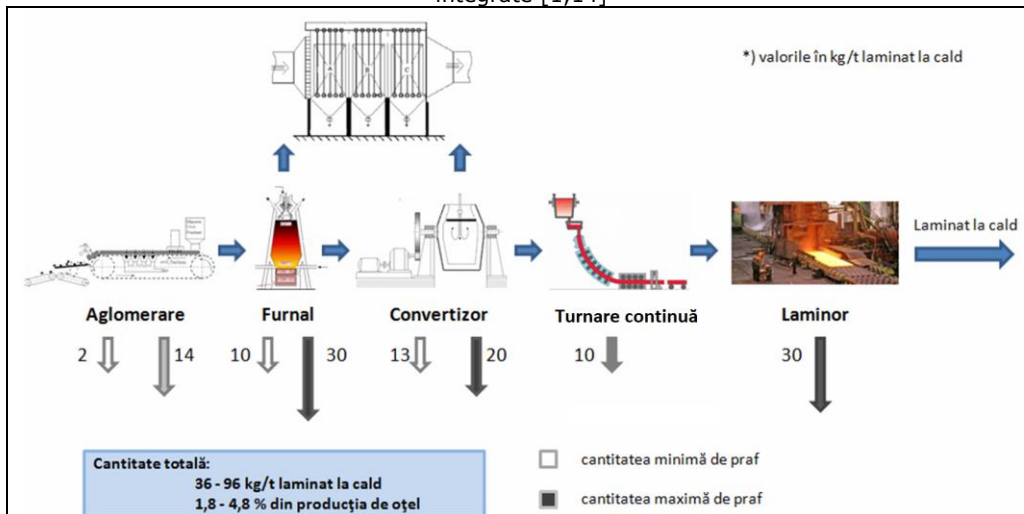


Fig.3.2 Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate [1,14]

În aceste condiții, pe plan mondial s-au dezvoltat diverse procedee pirometalurgice, hidrometalurgice și de altă natură pentru îndepărtarea metalelor neferoase prezente în această categorie de deșeuri, precum și pentru corecția compoziției granulometrice și recuperarea fierului conținut în ele [1, 14].

În prezent, pe plan mondial, se pune în mod deosebit problema valorificării prin reciclare a deșeurilor pulverulente și mărunte generate în siderurgie, propunându-se conceptul de reciclare integrată a acestora.

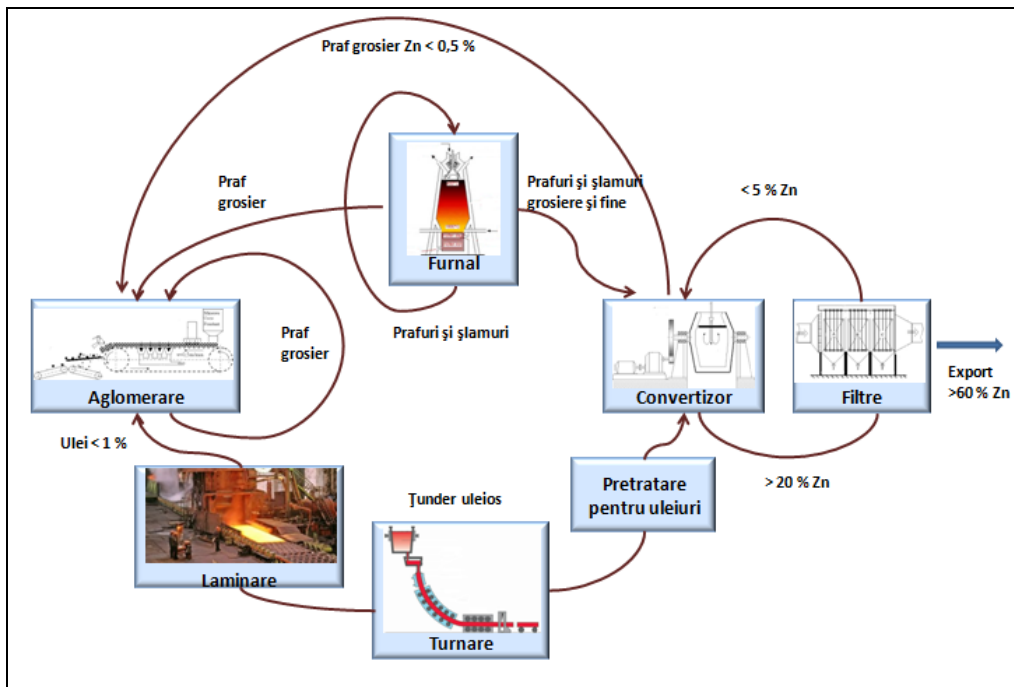


Fig.3.3 Conceptul de reciclare integrată a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate [1, 61]

Exemplificarea acestui concept este prezentată în fig.3.3, din care se poate observa că întreaga cantitate de prafuri, șlamuri și tunder, zgură de oțelărie - fracția feroasă, generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate se poate recicla în diferite etape de flux tehnologic [1, 4, 14].

Comparativ cu practica și tendințele manifestate pe plan mondial, industria siderurgică românească înregistrează rămânări în urmă atât în domeniul colectării, transportului și depozitării deșeurilor pulverulente, cât și în cel al tehnologiilor de valorificare prin reciclare sau reutilizare a acestora. În aceste condiții, s-a considerat necesară și oportună abordarea problemei de valorificare superioară a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unei societăți siderurgice integrate, valorificare realizabilă cu costuri minime [1].

Valorificarea superioară a deșeurilor siderurgice în general și a celor mărunte și pulverulente în particular, reprezintă o problemă importantă, deoarece transformarea lor în subproduse, deci în bunuri economice poate conduce la o exploatare rațională a resurselor de materii prime și energetice, asigurându-se astfel atât necesitățile societății umane, cât și protecția mediului înconjurător, problemă majoră la sfârșitul mileniului doi și începutul mileniului trei [1, 14, 30].

Se prezintă în continuare caracteristicile acestor deșeuri:

- analizele chimice realizate prin diferite metode cum ar fi chimia umedă și spectrofotometria cu raze X sau absorbție atomică [2];
- granulometria materialelor s-a realizat cu sisteme de sitare Retsch pentru cele cu ponderea granulometrică de 90% peste 20 – 30 μm ; pentru materialele mai fine s-a utilizat metoda DSL - difracția luminii la sedimentare în mediu apos, iar o

altă parte au fost efectuate cu ajutorul instalației de clasare de tip FRITSCH ANALYSETTE 22;

- determinarea unghiului de taluz natural al deșeurilor feroase a fost realizată prin metoda măsurării în toba rotativă.

- densitatea în vrac a materialelor s-a realizat conform standardelor curente;

- cinetica de umectare a materialelor s-a determinat cu o aparatură de laborator proprie care permite determinarea cantității totale de apă adsorbită și cinetica acestui proces, în cm^3 sau g apă/sec;

- analiza mineralogică și morfologică s-a realizat la microscopul electronic cu baleiaj HITACHI, model S-2600N, echipat cu spectrometru de raze X dispersiv în energie (EDX). Pentru investigarea la microscopul electronic cu baleiaj, cantități mici din probe au fost dispersate pe o folie adezivă conductoare din carbon și apoi au fost vizualizate la diferite ordine de mărire.

Toate aceste determinări sunt prezentate pentru deșeurile analizate [1, 3].

3.2.1. Praf și șlam de aglomerare-furnale și de oțelărie

Acest deșeu este acumulat în mai multe halde "istorice" din România și însumează o cantitate estimată la peste 8 milioane tone. Acesta provine din fracția fină din gazul de furnal și de la oțelăriile Siemens-Martin (în prezent scoase definitiv din funcțiune, dar există praf depozitat în hale industriale, la rândul lor dezafectate) și a convertizoarelor aflate în exploatare la Galați. Cantitățile generate anual sunt de aproximativ 50-70 mii tone.

Aceste depozite sunt în actuale și foste iazuri, în care acest șlam a fost deversat controlat deoarece recuperarea lui este foarte anevoioasă din cauza fineței foarte mari și a faptului că trebuia uscat. Totuși la S.C. ArcelorMittal Galați S.A. s-a reușit pe parcursul mai multor ani recuperarea unei fracții de 3000-7000 tone/an [1, 3, 4, 5, 15].

3.2.1.1 Praf și șlam de aglomerare, peletizare și brichetare

Pregătirea minereului pentru încărcătura furnalului cu toate operațiile aferente: manipulare în depozite, sortare, omogenizare, aglomerare, transport pe bandă, constituie o sursă importantă de praf feros. În acest flux de operații în care minereul de fier este manipulat la zi, în majoritatea cazurilor, eliminarea degajărilor de praf (ponderea minereurilor mărunte și a concentratelor fine devine din ce în ce mai importantă în structura producției de minereu pentru alimentarea furnalelor) nu se poate rezolva decât printr-o folosire cât mai atentă și corectă a utilajelor de manipulare și prin luarea unor măsuri locale. Instalațiile de captare a prafului se pot folosi doar la punctele de transbordare de pe circuitul benzilor transportoare, la instalațiile de concasare-sortare și în fabricile de aglomerare (sau peletizare și brichetare) [1, 5].

Instalațiile de pregătire a încărcăturii feroase a furnalului, sunt surse deosebit de importante de degajări de praf cu un conținut de fier de circa 30-40%. Astfel în 24h, la o instalație de aglomerare cu o capacitate de aglomerare anuală de un milion de tone, se elimină din proces între 12-18 milioane Nm^3 de gaze cu un conținut de praf de $3-6\text{g}/\text{Nm}^3$. Generarea de praf în procesul tehnologic de aglomerare se face în primul rând în zona benzii de aglomerare (zona de absorbție a aerului de combustie) și apoi în zona de ciuruire a aglomeratului cald sau rece și punctele de transbordare din circuitul transportoarelor cu bandă [1, 5, 25, 26].

Prin instalații de desprăfuire adecvate conținutul de praf al gazelor evacuate poate fi redus până la valori de $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ în condiții normale de funcționare. În

cazul utilizării unui filtru cu saci, emisiile de praf ating valori de 10-20mg/Nm³, adică se poate recupera peste 99% din cantitatea de praf inițială [1, 5, 20, 30].



Fig.3.4 Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. (Bataga) [1, 5]

În procesele de peletizare și brichetare îndepărtarea suspensiilor solide din gazele arse rezultate de la banda de sinterizare (durificare) se face cu ajutorul scrubelilor, a desulfurării semiuscate și desprăfuirii ulterioare. Conținutul de praf în gazele rezultate este de sub 200mg/Nm³, iar după epurare de sub 10mg/Nm³ [1, 33].

Tablelul 3.3 Analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și oțelărie pentru câteva centre siderurgice din România [1]

Component, [%]	Șlam grosier ArcelorMittal Galați	Șlam fin ArcelorMittal Galați	Șlam furnal ArcelorMittal Galați	Șlam Mălina Galați	Șlam Bataga Hunedoara	Praf furnal ArcelorMittal Galați	Șlam furnal Călan
SiO ₂	2,57	1,11	8,0	9,10	14,06	6,06	13,93
CaO	23,89	2,31	3,86	21,4	10,01	5,81	13,35
MgO	2,16	0,34	0,97	0,2	2,57	1,59	2,19
Al ₂ O ₃	0,19	0,11	0,93	0,0	6,44	2,04	4,5
MnO	1,21	4,32	0,55	0,6	0,96	0,29	0,48
Cr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	41,91	57,31	29,24	52,6	30,35	31,19	23,91
Cu	0,0076	0,0227	0,0077	0,0	0,0	0,0	0,017
Zn	0,447	1,464	2,343	0,0	4,79	0,1	0,47
Ni	0,0012	0,0032	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb	0,0078	0,2144	0,5812	0,0	0,0	0,0	0,07
Cd	0,0085	0,0041	0,0085	0,0	0,0	0,0	0,0
C	0,95	0,26	8,45	0,0	10,9	36,82	15,55
S	0,05	0,06	0,73	0,0	1,11	0,0	0,056
P	0,13	0,06	0,07	0,0	0,0	0,046	0,47
PC	0,0	0,0	28,74	3,4	0,0	0,0	0,0

Compoziția chimică a unor șlamuri rezultate în siderurgie este prezentată în tabelul 3.3. Parametrii pentru curba caracteristică a cineticii de umectare pentru șlamul de furnal sunt următorii:

- intervalul de măsurare = 0,10 – 601,48 [μm];
- rezoluția = 62 canale;
- absorbția = 13,00 [%];
- durata de măsurare = 50 [scanări] [1].

3.2.1.2 Praf și șlam de furnale

În cazul furnalelor, degajarea de gaze în cursul procesului de elaborare a fontei antrenează din materialele folosite ca încărcătură (încărcătură feroasă, calcar și cocs) particule solide, denumite praf de furnal. Conținutul de praf de furnal al gazelor evacuate este funcție de calitatea încărcăturii (proporția de material fin) și de regimul de funcționare al furnalului (la mersul cu presiune înaltă conținutul de praf din gaze scade în mod sensibil) [5, 17].

Folosindu-se un sistem de epurare în mai multe trepte, conținutul de praf de furnal din gazele evacuate se reduce la $0,01\text{g}/\text{Nm}^3$ față de $25\text{-}100\text{g}/\text{Nm}^3$ la evacuare, praful de furnal astfel recuperat fiind evaluat la cca. $30\text{ kg}/\text{t}$ de fontă (are un conținut de 40% Fe și 18-20% C). Având în vedere utilizarea gazului de furnal drept combustibil gazos pentru preîncălzirea cowperelor, se impune obligatoriu epurarea acestuia (deși este un combustibil cu putere calorică scăzută cca. $4\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ($1000\text{kcal}/\text{Nm}^3$), prin faptul că rezultă în cantitate apreciabilă ($1900\text{-}3100\text{Nm}^3/\text{t}$ fontă) este rentabilă utilizarea lui în scopul precizat anterior. Epurarea gazelor se realizează prin intermediul sacului de praf (epurarea brută) și sisteme tuburi Venturi și uneori cu electrofiltre (la epurarea fină) [1, 5, 18, 19, 27].

Distribuția granulometrică a șlamului de furnal are două zone bine definite care diferă esențial prin forma distribuției claselor. Pentru dimensiuni de $0\text{-}10\mu\text{m}$ modelul statistic al distribuției este unul de tip Log-Normal, iar distribuția dimensiunilor de la $10\text{-}100\mu\text{m}$ are forma din fig.3.5 [1, 30].

După imagine și distribuția culorilor, observăm că Fe, Mn, Al, K, Ca și Pb au o distribuție aproape uniformă, dar sunt și concentrări zonale în particule, cum ar fi ale Si și Zn [1, 2, 5]. Granulometria șlamului de furnale este prezentată în tab.3.4. Distribuția claselor granulometrice este prezentată în fig. 3.5, fig. 3.6 și fig. 3.7.

Tabelul 3.4 Granulometria șlamului de furnale [1]

Caracteristica	Valoarea	Date statistice	Valoarea
D – media aritmetică	24,721 μm	Varianța	226,912 μm^2
D – media geometrică	18,871 μm	Abaterea standard	4,971 μm
D – media pătratică	28,910 μm	Abaterea medie pătratică	11,382 μm
D – media armonică	9,109 μm	Coeficientul variației	20,112 %
Uniformitatea	0,50		
Asimetria	0,926		
Deschiderea	1,714		
Suprafața specifică	0,66 m^2/cm^3		
Factorul de formă	1,00		

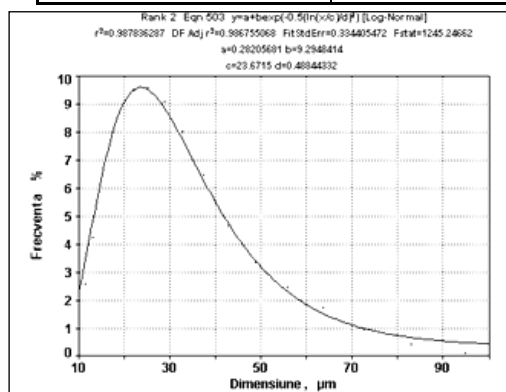


Fig.3.5 Distribuția claselor granulometrice 10-100 μm [1]

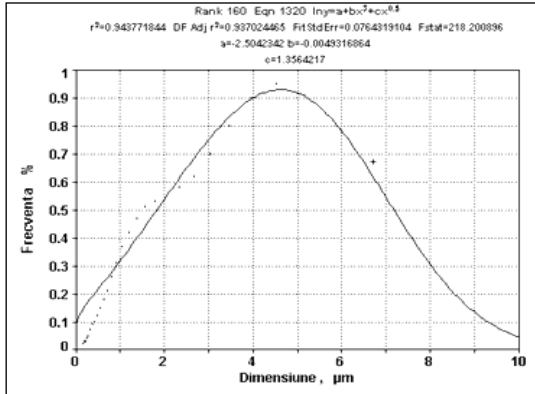


Fig.3.6 Distribuția claselor granulometrice 0-10 μ m [1]

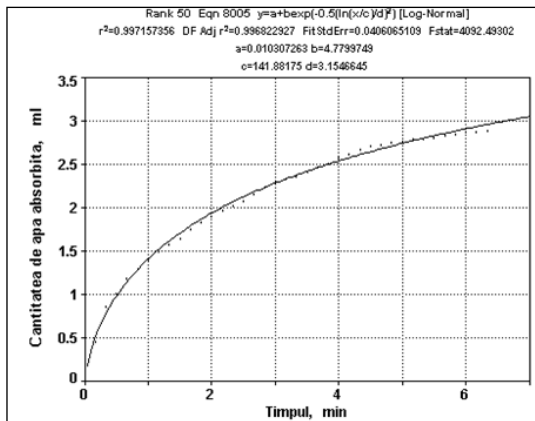


Fig.3.7 Distribuția claselor granulometrice 0-10 μ m [1]

Având în vedere că metoda spectrometrică aplicată are rezoluție geometrică de poziționare slabă pentru particule submicronice, rezultatele microcompoziționale obținute trebuie privite ca informative asupra ansamblului șlamului respectiv (un amestec omogen de particule submicronice de oxizi). Rezultatele determinărilor granulometrice arată faptul că diametrul mediu al particulelor în șlamul de furnal este de 24,721 μ m [1].

3.2.1.3 Praf oțelărie Siemens – Martin

La aceste oțelării, oxigenul s-a utilizat pentru intensificarea procesului de ardere a combustibililor (aer îmbogățit în oxigen până la 30%, suflat prin arzător și, pentru intensificarea procesului de oxidare, oxigen suflat prin lance). În cazul utilizării combinate a oxigenului, pentru o îmbogățire a aerului cu până la 30% oxigen, înainte de intrarea în camerele regeneratoare, gazele arse au un conținut de 30g praf/Nm³.

Cantitatea de praf în gaze a fost cu atât mai mare cu cât conținutul de carbon al băii a fost mai mare.

Normele de mediu nu admit mai mult de 80mg praf/Nm³, motiv pentru care s-a impus ca obligatorie desprăfuirea gazelor. Dintre cele patru oțelării Siemens-Martin (O.S.M.) care au funcționat în România (OSM I și OSM II la Hunedoara, una la Reșița și una la Oțelu Roșu, primele trei pe varianta fontă lichidă - fier vechi și

ultima pe fier vechi - fontă solidă) numai la OSM II Hunedoara s-a utilizat oxigen pentru intensificarea arderii și suflat prin lance pentru intensificarea oxidării [10, 14, 15, 16].

Desprăfuirea gazelor la OSM II Hunedoara s-a făcut cu electrofiltre, iar o parte din praful rezultat există și azi depozitat în spații închise (hale dezafectate de la laminoare). În tabelul 3.5 este prezentată compoziția chimică a prafului de la electrofiltru.

Tabelul 3.5 Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara) [3]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Altele
1.	58,50	3,49	84,56	2,24	0,57	2,12	0,83	4,23	0,97	0,36	0,55	0,18
2.	53,17	3,54	76,43	2,97	1,42	4,58	2,54	4,62	0,89	0,31	0,47	2,15
3.	54,03	3,16	78,17	3,53	1,18	5,68	2,46	3,71	0,63	0,36	0,33	0,84
4.	51,70	3,18	74,63	3,86	1,54	6,46	2,35	4,65	0,52	0,38	0,48	2,17
Media	54,35	3,34	78,45	3,15	1,18	4,71	2,05	4,30	0,75	0,35	0,46	1,33

Până la închiderea fluxului principal, cea mai mare parte a prafului de oțelărie s-a reciclat prin aglomerare, restul a fost depozitat și există și în prezent.

În cadrul cercetărilor ce se vor efectua s-a avut în vedere și testarea acestora în vederea reciclării [10, 19, 12].

Ca urmare a restructurării la C.S.H. (în prezent S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A.) fluxul primar s-a redus treptat din punct de vedere a capacităților de producție, astfel încât în 12 iunie 1999 a fost definitiv închis și dezafectat [3].

3.2.1.4 Praf de la oțelăriile electrice

Sursa principală de praf de electrofiltru pe fluxul de elaborare a oțelului într-o societate siderurgică integrată este de la desprăfuirea gazelor emise de aceste cuptoare. Din punct de vedere al compoziției chimice a acestui material se remarcă conținutul ridicat de zinc adus de fierul vechi [10].

Finețea mare a acestor prafuri și efectuarea a mai multe operații de manipulare, creează puncte de poluare a aerului cu efect sesizabil în timp asupra zonei limitrofe. În figurile 3.8 și 3.9 se prezintă schematic instalații de desprăfuire (uscate și umede) a prafului de oțelărie.

Din punct de vedere al micșorării poluării, problema esențială la cuptoarele cu arc electric este îmbunătățirea colectării prafului din gazele de proces, atât din cuptor cât și din zona de lucru, pentru îmbunătățirea condițiilor de muncă în zonele respective, și pentru respectarea limitelor impuse de legislația de protecție a muncii și a mediului înconjurător [18].

În figura 3.10 este prezentat schematic mecanismul de poluare a mediului prin intermediul cuptorului cu arc electric.

Cunoașterea compoziției chimice a acestor deșeuri este foarte importantă, de aceea un studiu asupra lor ne indică impactul depozitării acestora asupra mediului.

În tabelele 3.6.-3.8 sunt prezentate caracteristicile chimice ale prafului de electrofiltru de la Oțelăria Electrică nr. 2 de la ArcelorMittal Hunedoara, T.M.K. Reșița și MECHEL Oțelu Roșu.

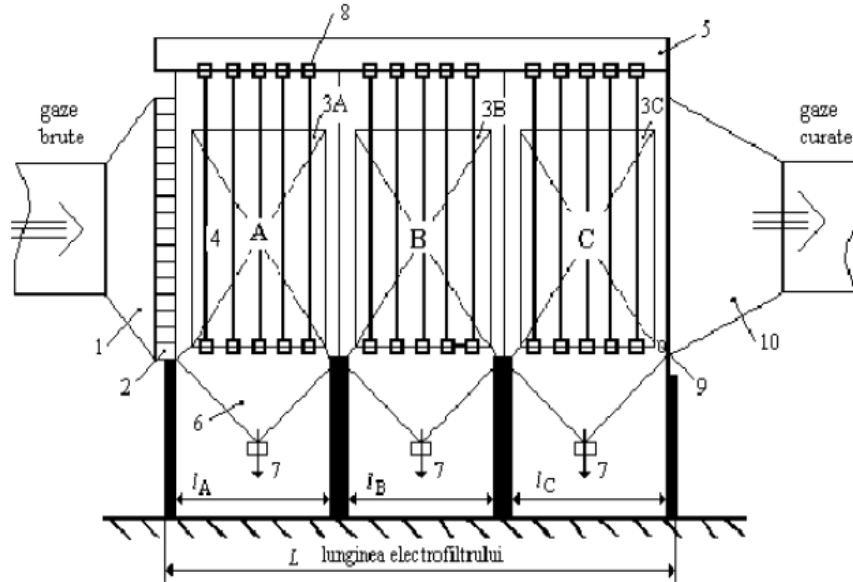


Fig.3.8 Schema unui electrofiltru cu trei zone de epurare
 1-pâlnie difuzoare, 2-dispozitiv de linștire și uniformizare a curgerii, 3-3A,3B,3C -electrozi de depunere grupați în trei tronsoane (A, B, C), 4-electrozi de ionizare, 5-cadre de întindere a barelor de ionizare, 6-buncăre, 7-evacuare cenușă, 8-izolatorii electrozilor de ionizare, 9-dispozitiv de scuturare a electrozilor, 10-confuzor de evacuare a gazelor [20]

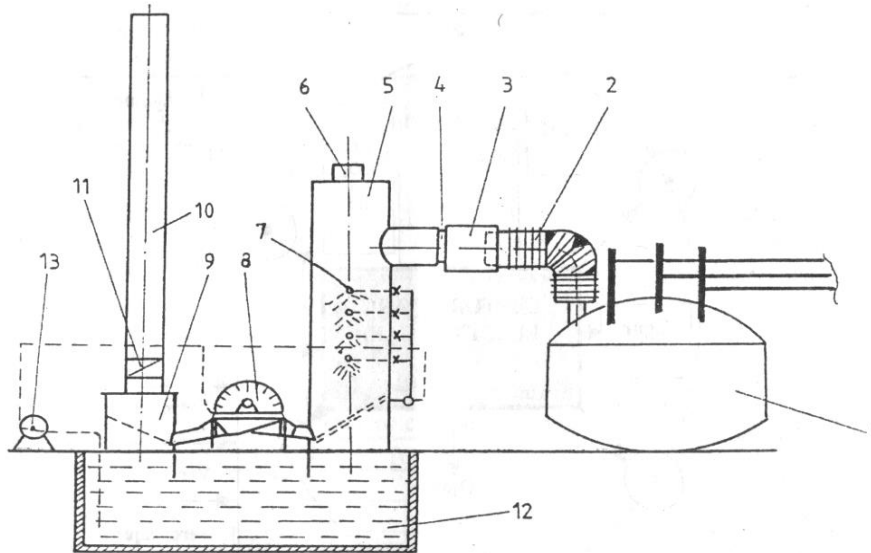


Fig.3.9 Instalație de desprăfuire pe cale umedă (cuptor cu arc electric de 10 t)
 1-cuptor cu arc electric; 2-conductă de aspirație; 3-manșon mobil; 4-fantă; 5-răcitor; 6-tubulară de siguranță; 7-duze pulverulente; 8-dezintegrator radial; 9-separator; 10-coș; 11-clapetă; 12-bazin; 13-pompă [18]

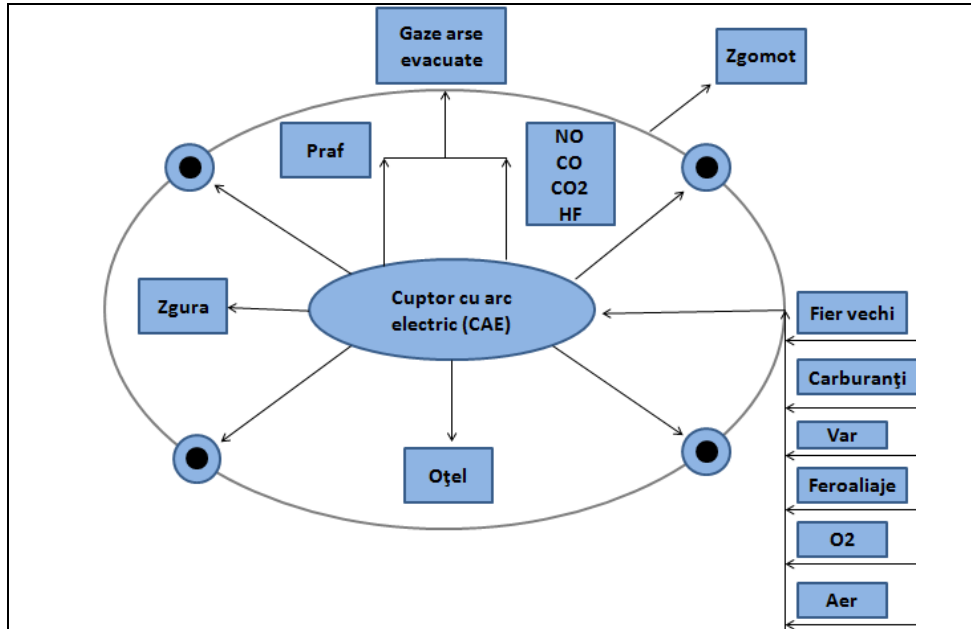


Fig.3.10 Schema sistemului de poluare a mediului prin intermediul CAE [18]

Tabelul 3.6 Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2, ArcelorMittal Hunedoara) [3]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
1.	57,01	2,43	83,54	2,11	0,64	1,83	0,84	4,18	0,84	0,25	1,03	2,53
2.	51,56	2,82	74,83	3,59	1,13	5,68	2,81	5,12	0,72	0,31	1,12	2,18
3.	49,43	3,24	71,11	3,88	1,29	6,15	1,88	4,9	0,68	0,34	1,46	5,71
4.	45,32	3,07	65,08	4,04	1,36	7,06	3,06	5,25	0,65	0,45	1,81	9,10
Media	50,83	2,89	73,64	3,41	1,11	5,18	2,15	4,86	0,72	0,34	1,36	4,88

Tabelul 3.7 Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița [10, 19]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
1.	39,32	3,26	53,64	4,34	0,35	8,42	2,95	3,43	0,32	0,28	16,81	6,2
2.	44,56	4,11	59,09	3,62	1,12	8,64	2,82	4,12	0,64	0,32	13,92	1,6
3.	47,32	4,89	62,26	4,45	1,22	6,54	2,87	4,67	0,65	0,39	11,75	0,31
4.	42,83	4,37	56,33	4,67	0,54	7,11	3,43	4,28	0,54	0,42	12,83	5,48
5.	41,77	3,61	51,47	3,64	1	7,89	4,15	5,56	0,82	0,35	11,28	10,23
Media	43,16	4,048	56,558	4,144	0,846	7,72	3,244	4,412	0,594	0,352	13,318	4,764

Tabelul 3.8 Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu [1, 19]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
1.	45,86	4,37	60,68	3,24	0,65	5,36	2,98	4,2	0,82	0,56	16,28	0,86
2.	43,57	3,99	57,98	3,79	1,01	6,37	3,88	4,12	0,74	0,48	16,92	0,72
3.	46,11	4,52	60,87	3,16	0,83	5,88	3,79	4,67	0,85	0,59	14,75	0,09
4.	42,87	3,74	60,13	3,21	0,57	5,03	3,82	4,28	0,78	0,61	16,95	0,88
5.	40,79	2,82	56,21	4,04	0,99	6,85	4,16	4,56	0,86	0,66	15,79	3,06
Media	43,84	3,888	59,174	3,488	0,81	5,898	3,726	4,366	0,81	0,58	16,138	1,122

În cadrul cercetărilor proprii s-a avut în vedere și testarea acestora în vederea reciclării [1, 5, 21, 61].

Deșeuri mărunte și pulverulente se pot obține și din recuperarea acestora din zgura cuptoarelor Martin. Prin spargerea mecanică și separarea magnetică se pot recupera bucăți de oțel cu granulație cuprinsă între 5-300mm. Zgura este apoi măcinată în mori cu bile cu curent de aer până la granulația de cel puțin 5mm și prin separare magnetică rezultă un concentrat feros (fracția feroasă din zgură) cu circa 45% Fe, în proporție de peste 20% din cantitatea totală de zgură. După separarea magnetică și ciuruire se separă fracția mărunță de cea pulverulentă [1, 2, 5, 24].

În tab.3.9 se prezintă rezultatele analizelor și a calculelor efectuate pentru elementele analizate [1, 5, 61].

Tabelul 3.9 Rezultatele analizelor și a calculelor efectuate [1]

	Sondaj 1 [%]	Sondaj 2 [%]	Medie [%]	Oxizi	Atom [g]	Mol	At/mol [%]	Greutate Gmol	[%]
Ca	5,14	6,57	5,85	CaO	40,08	56,08	71,47	8,185	5,803
Mn	1,97	3,25	2,61	MnO	54,938	70,94	77,44	3,37	2,389
Fe	73,91	67,25	70,58	Fe ₂ O ₃	55,847	159,69	69,94	100,915	71,557
Zn	13,51	13,12	13,31	ZnO	65,37	81,37	80,34	16,567	11,647
Al	0,99	0,72	0,85	Al ₂ O ₃	26,98	101,96	52,92	1,606	1,138
Si	3,00	2,68	2,84	SiO ₂	28,086	60,08	46,74	6,076	4,308
Pb	1,38	5,30	3,34	PbO	207,19	223,19	92,83	3,598	2,551
K	0,07	1,12	0,59	K ₂ O	39,102	94,204	83,01	0,7111	0,504
Total	99,97	100,01	99,97					141,28	99,997

3.2.1.5 Praful și șlamul de convertizor

Acest deșeu provine din fracția fină a gazelor de la oțelăriile cu convertizoare, aflate în exploatare la Galați și ridică probleme deosebite datorită temperaturii ridicate ale acestor gaze (o temperatură locală de 2400-2600°C), a necesității răcirii acestora înaintea desprăfuirii, a fineții particulelor de praf și naturii intermitente a procesului [1, 16, 20].

Prin operația de epurare, în gazele evacuate, conținutul de praf se reduce la mai puțin de 15mg/Nm³, praful obținut având în proporție de 80% o granulație de 0,8-0,05μm și conținând în jur de 60% Fe [10, 12]. Cantitățile generate anual sunt de aproximativ 50-70 mii tone, iar conținutul de Fe_{med}, de SiO₂ și CaO, asigură valori metalurgice medii, ceea ce îl face reciclabil în siderurgie.

Acest șlam a fost depozitat în iazuri (fig.3.11) (au fost deversate controlat) deoarece recuperarea lui este foarte anevoioasă din cauza fineții foarte mari și a faptului că trebuia uscat.

Dezavantajul procesării materialului este finețea mare (70% sub 50μm), ceea ce conduce la timpi îndelungați de decantare, uscare și manipulare greoaie, respectiv înrăutățirea procesului de aglomerare.

Compoziția chimică a prafului și șlamului de convertizor Galați este prezentată în tabelele 3.10 și 3.11.

Tabelul 3.10 Compoziția chimică a prafului de convertizor (Galați) [1]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Altele
1.	58,56	4,47	83,57	2,23	0,87	2,34	1,32	4,11	0,97	0,16	0,21	0,11
2.	54,16	3,53	77,42	2,91	1,34	4,62	1,94	4,23	0,89	0,22	0,27	1,15
3.	54,13	4,16	77,16	3,55	1,48	5,27	2,32	3,65	0,63	0,27	0,32	0,84
4.	5276	3,11	73,69	4,16	1,28	6,39	2,39	4,34	0,52	0,19	0,268	0,17
Media	54,35	3,34	78,45	3,15	1,18	4,71	2,05	4,30	0,75	0,35	0,46	1,33

Tabelul 3.11 Compoziția chimică șlamului de convertizor (Galați)[1]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Altele
1.	63,39	5,89	84,11	0,94	0,10	2,45	1,05	3,21	0,06	0,07	1,37	0,75
2.	62,92	5,75	83,25	1,04	0,10	2,61	1,23	4,12	0,06	0,05	1,45	0,66
3.	63,38	7,84	85,15	1,12	0,12	2,04	0,83	4,87	0,08	0,06	1,31	0,69
4.	61,41	6,45	81,55	1,18	0,11	2,78	1,11	4,65	0,07	0,06	1,28	0,76
Media	58,12	6,48	83,60	1,11	0,11	2,31	0,97	4,32	0,06	0,06	1,46	1,42

**Fig.3.11** Iazul decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați S.A. [10, 17]

3.2.1.6 Țunderul

Principalele surse de generare a țunderului pe fluxul de elaborare a oțelului sunt turnarea continuă și laminarele. Țunderul provenit din laminare prezintă cantități importante de ulei, prezența acestui component fiind singura limită privind utilizarea lui.

Importanța acestui deșeu este dată de:

- conținutul mare de fier, frecvent 60-72%;
- cantitate mică de steril;
- lipsa elementelor volatile sau celor dăunătoare oțelului Pb, Cu, Sn.

Gospodărirea apei pentru o mini-uzină siderurgică se face hidro-sectorial cu o gospodărie de apă care are ca sarcină alimentarea cu apă, pre-epurarea apelor uzate, recircularea apei pre-epurate, completarea cu apă proaspătă și evacuarea în rețeaua de canalizare a apelor uzate epurate [1].

Principalele surse de poluare a apei, într-o mini-uzină siderurgică care are în componență o oțelărie dotată cu cuptoare electrice, o secție de turnare continuă și laminare, sunt [1]:

- secția de turnare continuă a oțelului. Debitul mediu al acestor ape uzate este de circa 329,2m³/zi, iar concentrațiile de poluanți sunt: 50g/l substanțe uleioase, 40g/l suspensii solide și 14g/l metale;
- secția de laminare la cald. Debitul mediu al acestor ape uzate este de circa 1233m³/zi iar concentrațiile de poluanți sunt: 50g/l substanțe uleioase, 50g/l suspensii solide.

Pentru reducerea acestor poluanți, uzina este prevăzută cu un circuit de epurare pentru apele industriale uzate, care face parte din gospodăria de apă a platformei industriale (fig.3.12).

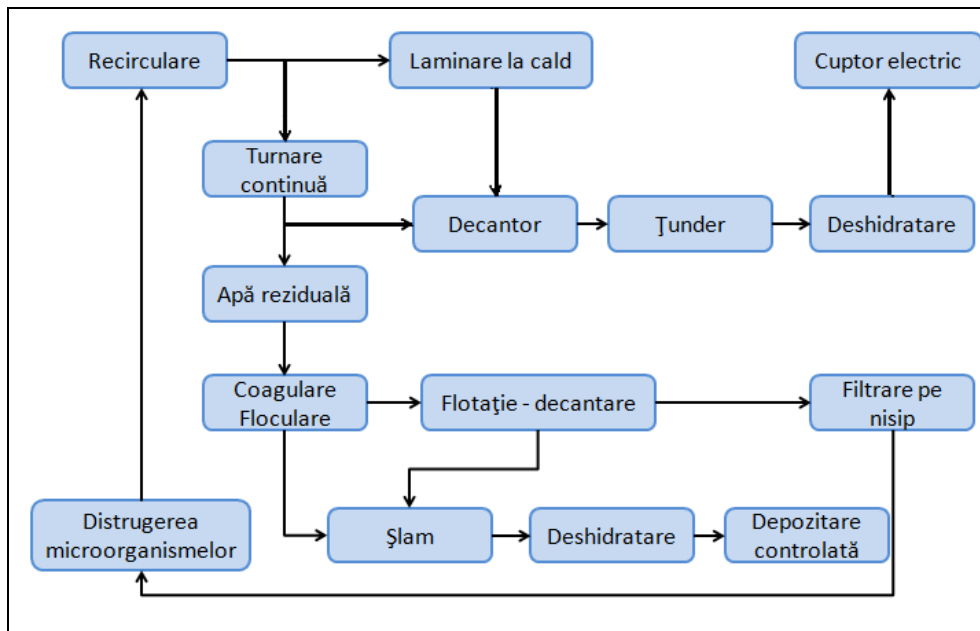


Fig.3.12 Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald [1]

Mașina de turnare continuă are un consum mare de apă, necesar la răcirea indirectă și directă a firului, și pentru instalațiile de tăiere a semifabricatelor produse [1, 5].

În sistemul de răcire directă, apele se impurifică puternic cu oxizi de fier (țunder), ulei, unsoari. Alături de poluarea datorată substanțelor menționate apare și fenomenul de poluare termică. Această apă este recirculată în proces, și în acest scop, este tratată avansat pentru a evita următoarele efecte negative:

- înfundarea duzelor de stropire cu suspensii solide și ulei;
- apariția depunerilor solide pe conductele de transport;
- dezvoltarea coloniilor de microorganisme în turnurile de răcire datorită prezenței uleiului vegetal.

Fluxul tehnologic de tratare a apelor de răcire directă cuprinde următoarea succesiune de operații [9, 31, 32]:

- coagulare-floculare în decantorul primar în prezența agenților chimici FeSO_4 , NaOH , Ca(OH)_2 și polielectrolit organic (PE);
- flotație și decantare în decantorul secundar;
- filtrare pe filtre de nisip;
- distrugerea microorganismelor cu agenți oxidanți (HOCl , NaOCl , ClO_2).

Randamentul de reținere a suspensiilor solide la acest circuit de epurare este de peste 99% pentru particule mai mici de $63\mu\text{m}$ și de 20-88% pentru cele cu diametrul cuprins între 31 și $63\mu\text{m}$. Pentru substanțele petroliere (uleiuri) randamentul este de 90%.

Apa astfel purificată se recirculă având o concentrație de suspensii solide mai mică de 10mg/l , iar de substanțe uleioase de sub 6mg/l , în cazul utilizării la cristalizorul instalației de turnare continuă a pulberilor lubrifiante, reducându-se

astfel considerabil impurificarea cu uleiuri.

Șlamul colectat din decantor se deshidratează și apoi se depozitează controlat, fiind un deșeu chimic [1, 5].

În secția de laminare la cald, aproximativ 50-70% din volumele de apă utilizată sunt impurificate cu oxid de fier (țunder) și produse petroliere (emulsii, uleiuri).

Procedeele de prelucrare la cald a semifabricatelor folosesc soluții de ulei și apă precum și apă de răcire. Așadar, apa se impurifică cu emulsii, ulei și cu țunderul căzut de pe suprafața laminatului.

Cantitatea de țunder, având dimensiuni de 0,1-50mm și forme variate, exprimată în % din cantitatea oțelului supus laminării este:

- 0,8-1,2% la laminoarele de profile mici și sârmă;
- 1,1-1,8% la laminoarele de profile mijlocii;
- 1,5-2,5% la laminoarele de profile grele;
- 2,2-5% la laminoarele degrosisoare.

Țunderul este format din amestecuri de oxizi de fier FeO (41%), Fe₃O₄ (30%), Fe₂O₃ (29%) și de 0,5 - 15% părți sterile (nisip, cărbuni, etc.) [1]. Țunderul uscat poate fi reintrodus în cuptorul electric, iar șlamul chimic este deshidratat și depozitat controlat. Astfel, într-o întreprindere siderurgică, sectorul de Laminoare constituie cea mai importantă sursă de poluare a apei, datorită particulelor de oxid de fier (țunder) și a uleiului în suspensie, rezultate în cursul diferitelor operații de răcire și curățire care au loc în procesul de laminare.

Conținutul de particule de oxid de fier (țunder) din apele reziduale de la laminoare variază între 1g/l în cazul laminoarelor de benzi la cald și tablă groasă și de 5g/l în cazul laminoarelor degrosisoare [1, 5].

Instalațiile de epurare asigură o reducere a conținutului de țunder până la 0,03g/l, obținându-se în medie, în cazul unei întreprinderi siderurgice, circa 20000t de material feros prăfos, cu un conținut de circa 70%Fe la 1000000t oțel.

Instalațiile de flamare în flux a semifabricatelor utilizate în prezent într-o proporție din ce în ce mai mare, în scopul asigurării calității de suprafață a acestor semifabricate, generează cantități importante de oxizi de fier care se pot recupera din apa folosită pentru îndepărtarea lor.

Ca urmare a extinderii turnării continue în industria siderurgică, a crescut și cantitatea de deșeuri rezultată, care include și șlamul de țunder, un deșeu care poate fi reintrodus în circuitul industrial.

O problemă, în ce privește depozitarea, o constituie țunderul rezultat pe fluxurile curente, respectiv cel deja depozitat. În funcție de societatea siderurgică sau miniuzină, din procesul tehnologic de laminare rezultă în mod curent țunder / cod deșeu 10.02.10 [1, 5].

În cadrul uzinei S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. colectarea deșeurilor industriale se face în funcție de starea lor fizică. Acestea se depozitează temporar în incinta societății și, periodic, se evacuează la haldă sau se valorifică total sau parțial (reciclare, comercializare). În tab.3.12 sunt prezentate tipurile de deșeuri industriale generate, cantitatea, starea fizică și modul de eliminare.

Activitățile desfășurate în cadrul Uzinei de Laminoare produc atât deșeuri industriale nemetalice cât și metalice. Colectarea acestor deșeuri se face în funcție de starea lor fizică: în containere, chible, bidoane sau rezervoare. Acestea se depozitează temporar în incinta societății și periodic se evacuează la halde sau se valorifică (reciclare, comercializare) [1].

Tabelul 3.12 Deșeuri industriale generate la OE2-TC, ArcelorMittal Hunedoara [1]

Nr. Crt	Denumire	UM	Cantitate anuală	Starea fizică	Mod de eliminare
1.	Ulei uzat	kg	1020	lichid vâscos	reciclare internă
2.	Azbest	t	21	solid	eliminare pe haldă
3.	Deșeu oțel	t	10223	solid	reciclare internă
4.	Fier vechi	t	38	solid	reciclare internă
5.	Moloz	t	1116	solid	eliminare pe haldă
6.	Țunder	t	1352	solid	depozitare SF2

Deșeurile metalice de natură feroasă rezultate sub forma de șutaje, țunder, șpan, capete de bară, etc. au o compoziție chimică similară cu a materialului din care provin. Aceste deșeuri se colectează în containere și chible, se depozitează temporar în depozitele uzinei pentru a fi apoi reciclate în procesele de elaborare fontă și oțel.

Țunderul are dimensiuni și forme variate, grosimi de 0,1-50mm, lungimi și lățimi de ordinul centimetrilor. În contact cu apa se fisurează și se sfărâmă în particule mici, ajungând și sub formă de praf fin. Țunderul cu granulație fină este antrenat de apă iar țunderul mare (grosier) se reține pe grătarele prevăzute la locul de cădere [1].

Țunderul și șlamul de țunder, rezultate din procesul de laminare, împreună cu pierderile de ulei, sunt preluate de apa de răcire directă și transportate în instalațiile de epurare aferente. Țunderul separat prin decantare, este scos cu graifere și depozitat pe platformele betonate adiacente decantoarelor, pentru scurgerea apei și uleiului acumulat. Analiza chimică este prezentată în tabelul 3.13.

Tabelul 3.13 Compoziția chimică a țunderului, [%] [1, 5]

FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți
63,0- 70,0	18,0- 30,0	0,8 - 1,5	1,0 - 3,5	0,1 - 0,40	0,3 - 0,5	(0,9 - 2,0	3,0- 4,0

În tab.3.14 sunt prezentate deșeurile principale, rezultate de la laminare.

Tabelul 3.14 Deșeuri industriale generate de secția Laminare [1]

Nr. crt.	Denumire	UM	Cantitate anuală	Mod de gestionare
1.	Deșeuri metalice	t	32093	Reciclare internă
2.	Ulei uzat	t	50	Reciclare internă
3.	Țunder	t	8150	Depozitare spațiu închis
4.	Azbest	t	10	Depozitare pe haldă
5.	Deșeuri refractare	t	1500	Depozitare pe haldă

Depozitul de țunder amenajat în hala Laminorului de Semifabricate 2-S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. este un depozit acoperit, cu platforma betonată, pe care se face depozitarea țunderului și a șlamului de țunder deshidratat. Suprafața depozitului este de 2400m², iar volumul de depozitare este de 5820m³. O componență orientativă a țunderului rezultat în procesul de laminare este prezentată în tab.3.15 [1].

Tabelul 3.15 Componența țunderului de laminare [1]

Componența țunderului, [%]	
Țunder uscat	94,40 (≈ 71% Fe _{tot})
Apă	3,00
Ulei	2,60

Compoziția țunderului variază în funcție de oțelul din care provine, și îl impun ca un material foarte important în balanța de Fe a oricărei uzine siderurgice. Din cauza friabilității ridicate este greu de definit o compoziție granulometrică pe fluxul de transport și manipulare. S.C. ArcelorMittal Galați S.A. a utilizat țunderul în procesul de aglomerare și direct în furnal, în perioada 2000-2001 s-au consumat pentru aglomerare 82427t iar pentru furnale 36092t [1, 3, 5].

Țunderul a fost consumat în cantități mici sau deloc în celelalte uzine siderurgice care nu dispun de flux de aglomerare a minereurilor de fier. Astfel, producătorii de țevi (Roman, Iași, Zalău,), de sârmă (ISCT Câmpia Turzii) îl haldează, ocupând suprafețe de teren foarte mari. Fostul Combinat Siderurgica Hunedoara, actualmente S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. a consumat țunderul propriu produs până în 1999, iar după închiderea definitivă a sectorului primar cocserie-aglomerare-furnale-oțelărie Siemens-Martin II și a laminoarelor degrositoare 1100 și 1300, a început de asemenea să-l haldeze [1, 3, 5].

Tabelul 3.16 Analiza chimică a deșeurilor tip țunder din industria siderurgică [1]

Deșeu feros	Compoziția chimică, [%]							
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Fe	W	Ulei
Țunder ArcelorMittal Galați – medie	1,76	0,63	0,3	0,99	0,484	72,32	-	-
Țunder ArcelorMittal Galați – Haldă	0,21	0,22	0,01	1,64	0,61	67,45	-	-
Țunder ArcelorMittal Hunedoara - TC	0,46	0,15	-	-	0,86	68,19	-	-
Țunder Oțelinox Târgoviște	0,87	0,36	0,11	-	0,80	67,77	-	-
Țunder ArcelorMittal Roman - țunder uleios	0,46	0,15	0,01	-	0,85	68,38	12-15	7-8
Țunder ArcelorMittal Roman - țunder uscat	0,41	0,12	-	-	0,87	68,26	-	-
Țunder TENARIS Silcotub Zalău	0,39	1,11	0,79	-	0,51	72,16	-	-

În tab.3.16 se prezintă compoziția chimică a mai multor surse de țunder din siderurgia națională. Acest procent este în medie de 1,5-2,5% dar în multe situații se depășește 10%, ceea ce face ca el să fie cunoscut sub numele de țunder uleios, astfel că utilizarea se va face numai într-o anumită proporție [1, 3, 5].

3.2.1.7 Zgură de oțelărie

În secolul XX, în mod deosebit în a doua jumătate, când marii producători de oțel, fontă, și feroaliaje s-au confruntat cu problema reală a depozitării cantităților foarte mari de zguri rezultate pe fluxurile tehnologice (ca urmare a creșterii producției de oțel), aceste materiale au intrat cu adevărat în atenția cercetătorilor, care au trebuit să găsească aplicații industriale ale zgurilor. Foarte rapid acest concept dat zgurelor, de material reciclabil, a fost schimbat. Astăzi, utilizarea zgurilor în sectoare industriale nu este doar o alternativă ci o alegere [1].

În România, ideea utilizării în domeniul industriale a zgurii de furnal se restrânge, din nefericire, la industria cimentului și în construcții.

Referitor la zgura de oțelărie, aceasta se utilizează (valorifică) în oțelării ca materie primă (partea feroasă) și în construcții sau agricultură (fracția neferoasă). Se cunosc combinatele siderurgice construite în România, la [10, 11]: Hunedoara, Reșița, Oțelu Roșu, Târgoviște, Câmpia Turzii, Călărași, Tulcea, Galați, Călan, Vlahița, producătoare de fontă, feroaliaje și oțel ca produse principale și în același timp de zguri siderurgice ca produse secundare. După 1990 toate aceste combinate au fost puternic restructurate și privatizate, din nefericire o privatizare mai puțin reușită. Studiile statistice [12, 14] au arătat că, luând ca an de referință anul 1945 până în 2008, producția în România, la toate oțelăriile funcționale, a crescut de la 125000 tone oțel (1945) la 14,4 milioane de tone oțel în 1984, când a înregistrat un

maxim. După intrarea României în Uniunea Europeană cota de oțel a fost stabilită la 7 milioane tone/an (sub 50% din maximul produs), dar din nefericire această limită nu a fost realizată niciodată, ci dimpotrivă producția anuală a fost mult mai mică, de exemplu în: 2007 – 6,2 mil. tone; 2008 – 5 mil. tone; 2009 – 2,7 mil. tone; 2010 – 3,7 mil. tone; 2011 – 3,8 mil.; 3,4 mil. tone în 2012 (2% din producția U.E. - 177mil. tone, 3,35milioane tone în 2015 și 3,4 milioane tone în 2016 producția mondială 1610 mil. tone).

Din datele prezentate, este evident că în perioada de preaderare și mai ales după aderare a României la Uniunea Europeană, industria, și mai ales cea siderurgică, a fost puternic restructurată.

Referitor la zgurile siderurgice, în mod deosebit cele de oțelărie, dacă luăm în calcul faptul că din 1945 până în prezent, în România, acest tip de zgură s-a utilizat în proporție foarte mică și considerând că se obțin în medie, 250kg de zgura/tona de oțel, până în prezent, datele statistice din aceeași sursă ne arată că producția totală de oțel în România este de 400 milioane de tone, iar cea de zgură de oțelărie ajunge la circa 100 milioane tone. Dacă mai adăugăm și "resursele" de zgură de furnal, am putea să apreciem cât de „bogați” suntem [1].

Problema valorificării zgurilor siderurgice a prezentat interes încă din secolul XVI, cunoscând o evoluție gradată, astfel încât în prezent gradul de valorificare pe plan mondial al zgurii de furnal este de 98%, al zgurii de convertizor de 80%, iar pentru cea de cuptor electric de 60%. Zgurile Martin, acolo unde mai există sub formă haldată, sunt procesate în vederea utilizării diverse (siderurgie, construcții, agricultură etc).

De menționat că în România sunt încă halde cu rezerve mari de zguri de oțelării Siemens-Martin (Hunedoara, Reșița și Oțelu Roșu), dar, ca un fapt pozitiv, acestea sunt în faza de valorificare intensă. Caracteristicile fizico-chimice și mecanice pe care zgurile siderurgice, după o prealabilă pregătire, le prezintă, au făcut posibilă utilizarea acestora în diferite domenii.

Zgurile reprezintă aproximativ 70% din deșeurile rezultate în cadrul sectorului siderurgic, de aceea, prelucrarea acestora în scopul obținerii de produse noi, utilizabile în alte ramuri ale economiei naționale, sau reciclarea zgurilor în diverse etape tehnologice din cadrul unei societăți siderurgice integrate reprezintă o problemă de strategie în politica de protecție a mediului în sectorul siderurgic. Astfel se poate realiza atât o protecție a resurselor naturale, cât și prevenirea poluării solului prin diminuarea accentuată a haldelor de zgură [1]. În zgurile de furnal conținutul de fier nu depășește de regulă 0,5%, iar în zgurile de oțelărie cca. 20% (din care 5-11% se află sub formă metalică, și care se poate separa magnetic).

Fracția neferoasă se utilizează în industria materialelor de construcții, la fabricarea cimentului Portland, a vatei minerale, ca agregate pentru terasamentul drumurilor, pentru beton asfalt, ca și balast pentru calea ferată și întărire terasamentului etc.

Zgurile de oțelărie sunt supuse procesării în vederea extragerii fracției feroase (fier metalic sub formă de stropi și scoarțe, precum și legat chimic sub formă de oxizi) în vederea reciclării acesteia la oțelării, furnale și aglomerare, iar fracția neferoasă la construcția autostrăzilor, drumurilor, a parcarilor, a digurilor, la condiționare sol (amendament calcaros) și fertilizare (îngrășământ, zgurele de la cuptoarele Siemens-Martin de la topire și de la convertizoarele cu oxigen care utilizează fonte fosforoase etc.) [1, 5].

Utilizarea zgurii de convertizor la furnal - pe lângă faptul că poate înlocui minereul de fier și de mangan, acestea contribuie și la micșorarea necesarului de calcar pentru formarea zgurii de furnal. Acest lucru a condus la creșterea

productivității furnalului și la micșorarea consumului de cocs.

Când sunt utilizate la aglomerare au ca efect economisirea materialelor ce conțin Fe și Mn, creșterea productivității mașinii de aglomerare, creșterea scoaterii de aglomerat și îmbunătățirea proprietăților lui de rezistență (micșorarea cotei de mărunț rezultate).

Problema prelucrării și valorificării zgurilor de oțelărie, în România, s-a studiat cu ani în urmă, direcțiile de cercetare fiind următoarele:

- în 1978 s-a început în Institutul de Cercetări Metalurgice în cadrul laboratorului Fonte, studierea posibilităților de recuperare, selectare și reintroducere în circuitul productiv al materialului feros, metalic și nemetalic, de la OLD3- S.C. SIDEX S.A. Galați, actualmente S.C. ArcelorMittal Galați S.A.;

- în perioada 1991-1992 ICCPAM Galați a propus și experimentat utilizarea zgurii LD (fracțiunea 0-10 mm) la furnal (50kg zgură/t fontă) și la aglomerare (35kg zgură/t aglomerat);

- la propunerile ICEM au fost experimentate de ICCPAM Galați și șarje la care să se recicleze zgura lichidă în convertizor, (păstrarea unei cote de 40% zgură finală) fierbinte și activă, care a avut efecte semnificative asupra mersului șarjei, dar soluția nu prezenta siguranță din punct de vedere al protecției muncii (risc de împrăscări la încărcarea fierului vechi);

- s-au făcut și experimentări de adaos a unei cote de zgură solidificată (10-15kg/t, față de 25-30kg/t, în Japonia) în șarja de convertizor, dar acestea nu s-au aplicat probabil din lipsa unei gestionări adecvate a zgurii solide sortată la IVZ (instalație de valorificare a zgurii) și retransportată la oțelărie [1, 35, 36, 37].

La C.S. Hunedoara s-a pus în funcțiune o instalație de procesare a zgurii de oțelărie în anul 1981, caracteristicile zgurii procesate fiind prezentate în tabelul 3.17.

Valorificarea zgurilor din halde - pe plan mondial, împreună cu progresele tehnologice au dus la o folosire mai rațională a materiilor prime introduse în procesele de producție, la utilizarea de tehnologii curate, ce au determinat minimizarea cantității de deșeuri generate [1, 2].

Tabelul 3.17 Caracteristicile zgurii procesate la C.S.H [1, 3]

Tip Zgură	Compoziția chimică a zgurii, [%]											B ⁴⁾
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _m	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	
N ¹⁾	19,62	10,96	6,98	6,5	18,46	6,34	7,04	32,6	9,26	0,49	0,13	1,77
P ²⁾	43,85	12,00	9,6	27,8	16,03	4,9	4,4	18,0	6,10	0,30	0,25	1,20
D ³⁾	13,4	11,47	3,18	2,31	20,17	7,93	6,47	32,9	11,5	0,51	0,23	1,63

1) zgură neprelucrată; 2) zgură prelucrată, fracția magnetică; 3) zgură deferizată; 4) bazicitatea

De asemenea, conștienți de faptul că depozitarea nu reprezintă o soluție rațională, ecologică, ea doar creând în principiu sarcini pentru viitor (taxele foarte ridicate pentru depozitare), marii producători de oțel au fost obligați să găsească soluții de utilizare într-o manieră ecologică a tuturor categoriilor de deșeuri.

Pe plan național, dispunerea deșeurilor pe halde s-a făcut necontrolat (ele amestecându-se din diverse surse de proveniență), iar o evidență calitativă și cantitativă a tipurilor de deșeuri din halde nu există, deoarece acestea sunt neamenajate, au taluz natural, sunt autoconsolidate prin cimentare naturală și expuse acțiunii agenților chimici și fizici (temperatură, precipitații, curenți de aer, radiații solare) care le depreciază permanent calitatea, valorificarea acestor halde fiind dificilă și complexă [1].

Necesitatea exploatării haldelor este determinată în primul rând de impactul

negativ asupra factorilor de mediu, efectul benefic al prelucrării deșeurilor din halde exprimându-se indirect prin:

- reducerea sau chiar eliminarea degajărilor de gaze și praf ce impurifică bazinul atmosferic și hidrografic;
- redarea în circuitul agricol a suprafețelor de pământ arabil, ocupate de halde;
- protejarea rezervelor de agregate naturale (granit, bazalt etc.) prin reducerea numărului de cariere din care se exploatează acestea, prin înlocuirea lor cu produse similare obținute din prelucrarea zgurilor metalurgice.

Ținând seama că în aceste halde se găsește încorporată o cantitate însemnată de fier sub formă metalică (între 3-10% din greutatea lor), recuperarea acestuia prin separare magnetică este o importantă sursă de economisire prin reducerea importului de materii prime [1].

La combinatul metalurgic Novolipețk din Ucraina, s-a elaborat o tehnologie ce permite prelucrarea haldelor cu două unități de prelucrare mobilă, una fiind destinată pentru prelucrarea zgurii de furnal, cealaltă pentru materialele amestecate existente în halde. Fiecare unitate este dotată cu: excavatoare, poduri rulante magnetice, utilaje de spargere hidraulice, buldozere. Prelucrarea zgurii din haldă cu ajutorul unei linii staționare de concasare sortare-separare magnetică, duce la obținerea a 200000t/an zgură deferizată, 54000t/an fier recuperat (fontă și oțel), 2000t/an materiale ce conțin carbon [1].

Pe plan național, la nivelul anului 2008 cantitatea de zgură existentă în halde depășea 200 milioane tone, iar conținutul acestor halde în fier metalic, prezent sub diverse forme, atinge valori de aproximativ 2 milioane tone. O explicație a nivelului scăzut de prelucrare a haldelor de zgură ar fi absența utilajelor specifice de concasare-sortare-separare magnetică.

În agregatele siderurgice ale societăților integrate se produc: fontă, oțeluri, oțeluri aliate și aliaje speciale iar ca produs secundar rezultă zgură de oțelărie 10-13% raportată la producția de oțel. Zgura de oțelărie este transportată în stare fluidă, la temperaturi de 1400°C în locuri special amenajate, sau la haldă.

Din literatura de specialitate [22, 26] rezultă că soluția adoptată pentru extragerea deșeurilor feroase din zgură este cea electromagnetică. Recuperarea fierului din zgura de oțelărie are o importanță economică mare, metalul recuperat reprezentând 2-4% din producția de metal lichid.

Stațiile de deferizare a zgurilor se pot grupa în doua categorii:

- stații de deferizare fără instalație proprie de concasare, măcinare;
- stații de deferizare cu agregate proprii de concasare, măcinare.

Stațiile de deferizare fără instalație proprie de concasare, măcinare sunt de complexitate mai redusă, ceea ce face să aibă o fiabilitate mai mare în funcționare și să necesite lucrări de întreținere mai puține și mai complexe. Dezavantajul unei astfel de stații constă în faptul că nu asigură o deferizare avansată a zgurii, deferizarea fiind în funcție de granulația zgurii introdusă în instalație; cu cât granulația este mai mică, se poate realiza un grad mai avansat de deferizare.

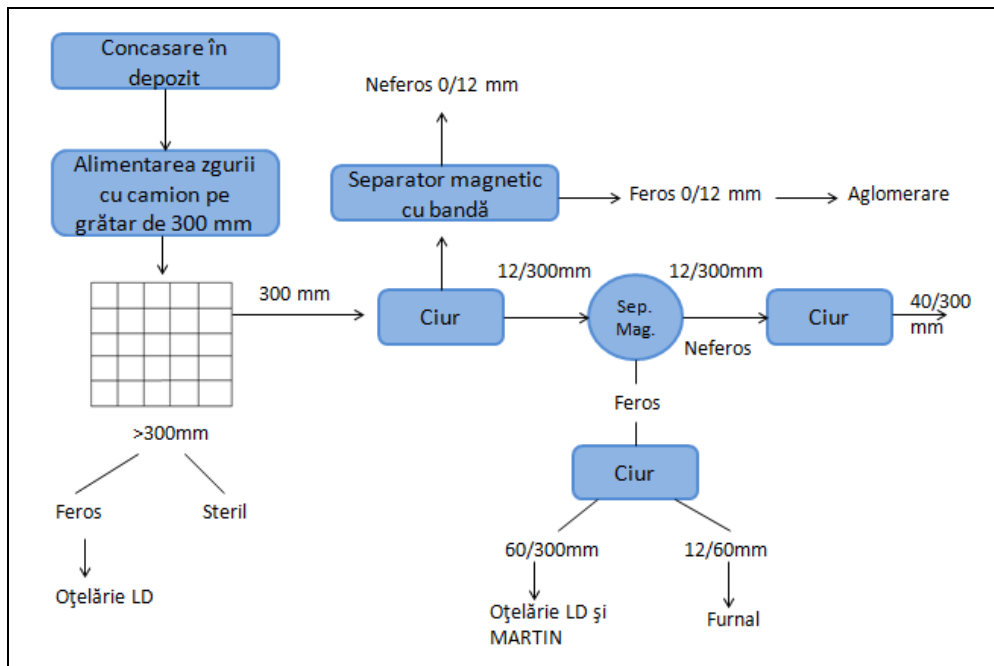


Fig.3.13 Schema unei instalații de deferizare a zgurii LD [1]

Schema unei astfel de instalații este reprezentată în fig.3.13, în care zgura de la o oțelărie cu convertizoare este deversată într-o groapă de răcire [1].

Se pot obține produse feroase de diferite granulații, care sunt folosite după cum urmează:

- fracția mai mare de 300mm se returnează la oțelăria LD și se folosește ca și fier vechi;
- fracția între 60-300mm se folosește la oțelăria LD;
- fracția între 12-60mm se folosește în încărcătura furnalelor;
- fracția între 0-12mm se folosește la aglomerare [1].

Analiza chimică pentru o zgură de convertizor are compoziția chimică medie: 28,84% Fe, 40,22% CaO, 12,31% SiO₂, 1,97% Al₂O₃, 4,56% MgO respectiv 4,56% MnO. Analiza granulometrică a zgurii de convertizor este prezentată în tabelul 3.18.

Tabelul 3.18 Compoziția granulometrică a zgurii de convertizor [1]

Fracții granulometrice, [mm]	> 14,5	> 10	> 8	> 4,2	> 3	> 1,6	> 1	> 0,8	> 0,63
Pondere pe fracție, [%]	22,2	21,5	25,03	10,73	8,23	5,21	3,1	2,1	1,9

În fig.3.14 se prezintă o altă instalație de deferizare folosită la Fairfiel-SUA [10], unde de asemenea concasarea zgurii se face separat și nu la stația de deferizare. Mărunțirea prealabilă a zgurii se face prin lovirea cu bila de oțel (soneta).

În Ucraina se află una dintre cele mai moderne și complexe instalații de prelucrare și valorificare a zgurilor de oțelărie. Instalația este capabilă să prelucreze 270t zgură/oră, în urma prelucrării rezultă 3 sorturi de zgură deferizată și 4 sorturi de zgură feroasă, acestea fiind prezentate în tab.3.19 [1].

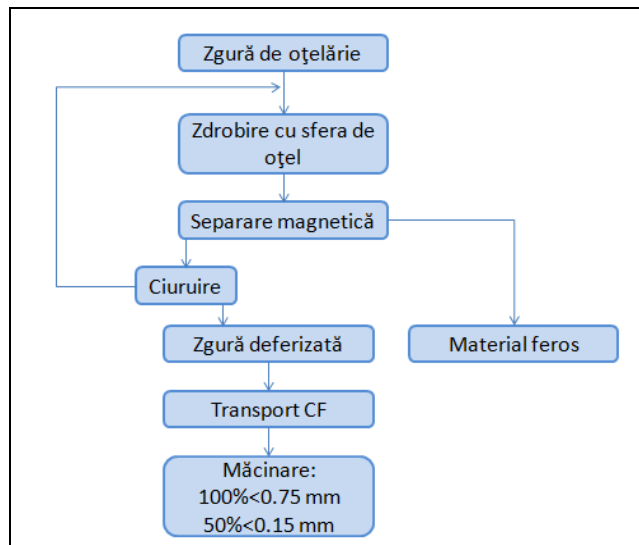


Fig.3.14 Schema de deferizare a zgurii de oțelărie [1]

Tabelul 3.19 Sorturi de zgură rezultate în urma prelucrării [1]

Sorturi	Clase granulometrice, [mm]			
Fractie deferizată	0-10	10-60	60-250	-
Fracție feroasă	0-10	10-60	60-250	peste 250



Fig.3.15 Transportul zgurii lichide [1]

În cazul când stațiile de deferizare și valorificare a zgurii sunt prevăzute cu instalații de mărunțire proprii, zgura se transportă în stare lichidă în vagoaneți special amenajați (oala de zgură montată pe aceștia - fig.3.15) [1].

O instalație de primă mărunțire a zgurii și deșeurilor, este formată dintr-o groapă aflată în apropierea instalației de elaborare a oțelului în care se răcește zgura lichidă; utilaje de sfărâmare a zgurii solidificate (sonete, sfere de oțel, tractor cu șenile); electromagneți pentru separarea părților metalice; utilajul de încărcare a zgurii separate de părțile evidente de metal în mijloacele de transport (fig.3.16) [1].



Fig.3.16 Instalații de primă mărunțire a zgurii [1]

Sorturile feroase se reîntorc în circuitul industrial în sectorul de procesare a oțelului iar cele deferizate, se utilizează în diferite sectoare de activitate: construcții de drumuri, construcții de cale ferată, construcții hidrotehnice, construcții civile, agricultură, industria cimentului, industria sticlei și industria materialelor refractare [1, 2, 3].

În România, până la restructurarea industriei siderurgice s-au produs anual; 1,2-1,4 milioane tone de zgură de oțelărie în următoarea structură (fig.3.17).

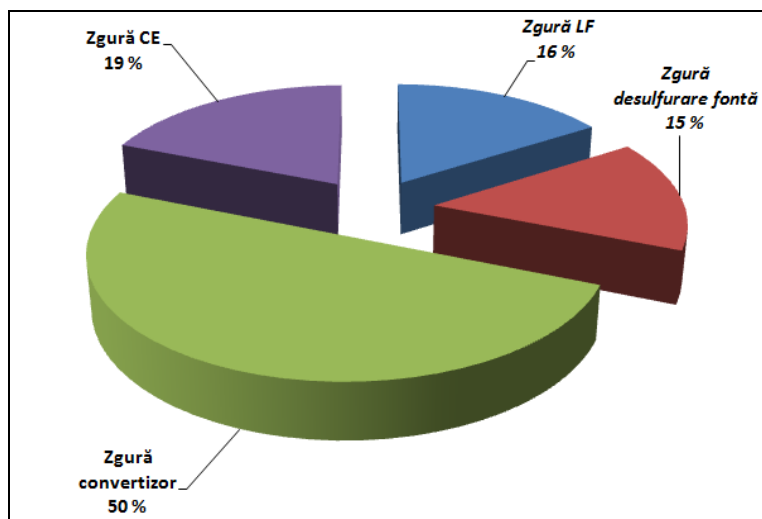


Fig.3.17 Structura zgurii de oțelărie realizată în România [1, 2]

De asemenea sunt șase halde cu zgură de oțelărie, acestea fiind prezentate în tab.3.20.

Tabelul 3.20 Evaluarea haldelor de zgură din România [1]

Nr. Crt.	Halda de zgură	Începutul haldării	Începutul valorificării	Zgură în haldă, mil. tone
1.	Reșița	1771	2006	70
2.	Hunedoara	1884	2007	100
3.	Galați	1968	2003	50
4.	Câmpia Turzii	1920	2002	1,5
5.	Târgoviște	1971	1998	5,0
6.	Oțelu Roșu	1857	1999	12
Total				238,5

Aceste halde sunt încă alimentate cu zgură provenită din trei oțelării active. În prezent există câteva firme care exploatează constant zgura din cele cinci halde (firma Alexander Mills Service pentru zgura de la Târgoviște, Câmpia Turzii și Reșița, firma DSU Duisburg pentru Galați și firma Slag Processing Service pentru halda de la Hunedoara) [1, 2, 3].

În zona Hunedoara-Călan, datorită existenței societăților siderurgice din aceste două centre, se află depozitate mari cantități de zgură. În fig.3.18 - 3.19 fiind prezentate haldele de zgură de la Călan, respectiv de la Hunedoara.



Fig.3.18 Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A. [1, 2]



Fig.3.19 Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. [1, 2]

Compoziția chimică a zgurii de la Buituri-Hunedoara procesată actualmente este prezentată în tab.3.21.

Tabelul 3.21 Compoziția chimică a zgurii de pe halda Buituri – Hunedoara [1]

Compoziția chimică, [%]										
Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{met}	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	SiO ₂
19,3	11,39	5,94	6,66	6,83	6,53	35,3	9,2	0,2	0,56	18,38

Pe baza evoluției cantităților de zgură procesate, a producției de oțel și a creșterii capacității de procesare, se estimează că în anul 2019 la Târgoviște, în anul 2020 la Câmpia Turzii și în 2026 la Galați, vor fi practic halde fără zgură (se va atinge obiectivul haldă cu zgură 0) [1, 2].

Cercetările intens efectuate în ultimii ani privind zgurile de oțelărie au demonstrat posibilitatea utilizării acestora în diferite domenii (fig.3.20) [1, 2].

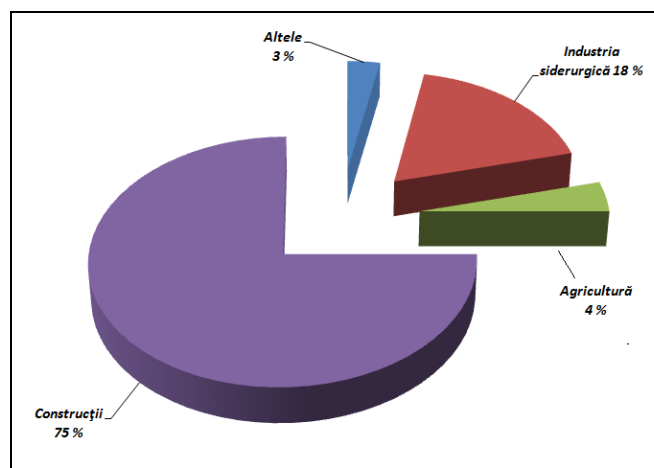


Fig.3.20 Domenii de utilizare a zgurilor metalurgice [1, 2]

Pe plan mondial se desfășoară o activitate intensă pentru găsirea soluțiilor de valorificare integrală a zgurilor de oțelărie. Folosirea acestora este determinată atât de considerente economice cât și ecologice, de protecția mediului înconjurător, urmărindu-se desființarea haldelor de zgură.

3.3 Prezentarea generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din alte industrii

3.3.1 Industria neferoasă

3.3.1.1 Nămolul roșu (industria aluminiului)

Obținerea aluminei calcinate are la bază procedeul Bayer, dezvoltat și patentat de către Karl Josef Bayer în 1888, care constă în dizolvarea conținutului de oxid de aluminiu din bauxită, cu leșie fierbinte, concentrată, la temperaturi și presiuni ridicate. Șlamul este un nămol mineral cu granulometrie foarte fină, cu aspect de gel, care colmatează cuveta haldei prin pătrunderea fracțiunii micronice, coloidale în interstițiile materialului de bază, astfel încât impactul asupra apelor subterane devine nesemnificativ, nemodificându-le calitatea, nici în condițiile acumulării unor cantități mari de șlam [13].

De regulă nămolul roșu se depozitează în iazuri menținându-se în stare permanent umedă, în caz contrar curenții de aer antrenează acest material pulverulent ducând la poluarea mediului. Iazurile trebuie foarte bine dimensionate și să existe un control al depozitării, în sensul de a nu se depăși cantitatea maximă care poate fi depozitată, deoarece ar exista pericolul ruperii digului, situație întâlnită în Ungaria (2010). La 4 octombrie, un dig al iazului uzinei de bauxită și aluminiu din Ajka, a cedat, inundând șapte sate învecinate [21]. În figura 3.21 este prezentată situația descrisă anterior.



Fig.3.21 Zonă depozitare nămol roșu Ungaria înainte și după ruperea digului [24]

O analiză chimică a acestui deșeu, rezultat de la Alumina Oradea, este prezentată în tabelul 3.22, analiza granulometrică în tabelul 3.23, pentru cel de la Tulcea în tabelul 3.24-3.25.

Tabelul 3.22 Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea [3]

Nr. crt	Compoziția chimică, [%]													
	Fe	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C ¹⁾	Pb	As	Altele ²⁾
1.	40,30	45,26	8,25	9,17	20,34	0,65	0,36	3,45	5,09	0,35	1,45	0,24	0,015	5,65
2.	41,45	45,84	9,33	9,25	22,75	0,74	0,43	3,89	5,32	0,52	1,08	0,25	0,012	0,426
3.	41,96	46,93	8,82	9,55	20,89	0,62	0,68	3,73	5,89	0,41	1,02	0,32	0,013	0,845
4.	42,79	47,88	8,98	9,89	21,76	0,55	0,42	4,46	4,01	0,42	1,25	0,29	0,011	0,124
Media	41,63	46,48	8,85	9,47	21,44	0,64	0,47	3,88	5,08	0,43	1,20	0,28	0,013	1,76

¹⁾Carbonul din carbonați; ²⁾Oxizi de Zn, V, Cu, Cd, Cr și Ni

Tabelul 3.23 Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Oradea [1]

Fracții granulometrice, [μm]	>12,63	>7,29	>4,21	>3,06	>2,75	>1,48	<11,48
Pondere pe fracție, [%]	31,33	11,29	11,96	8,45	5,64	4,66	29,77

Tabelul 3.24 Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea [10]

Nămol roșu	Compoziția chimică, [%]													
	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C	Cu	Zn	Pb	As
Analiza chimică	26,15	7,09	9,41	21,22	0,59	0,27	4,5	6,25	0,29	1,55	0,043	0,17	0,31	0,013

Tabelul 3.25 Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Tulcea [10]

Fracții granulometrice, μm	>12,63	>7,29	>4,21	>3,06	>2,75	>1,48	<11,48
Pondere pe fracție, %	29,26	10,63	12,24	8,51	5,85	4,79	28,27

3.3.1.2 Zgură ISP, material amestec și Clincher Waelz (industria zincului)

În tabelul 3.26 se prezintă compoziția chimică a unor deșeuri cu conținut de Fe și Zn rezultate în industria zincului.

Tabelul 3.26 Compoziția chimică a deșeurilor cu conținut de Fe și Zn rezultate din industria Zn [10]

Denumire material	Compoziția chimică, [%]									
	H ₂ O	Zn	Pb	Cd	Fe	Cu	Si	Ca	Al	S _{total}
Material amestec	5,29	8,57	4,11	0,02	24,14	0,64	4,98	4,34	0,89	1,94
Zgură ISP	1,65	10,34	1,86	-	26,47	0,45	8,24	8,58	1,18	1,15
Clincher Waelz	0,07	2,18	0,81	-	22,91	1,40	7,15	11,27	1,38	2,22

3.3.2 Cenușa de termocentrală (industria energetică)

Din sectorul energetic s-a avut în vedere cenușa de termocentrală, utilizabilă ca liant în procesul de peletizare și respectiv brichetare, care în plus conține fier și carbon. Cenușa de termocentrală rezultată în urma arderii combustibililor este depozitată în halde sau iazuri (figura 3.22, termocentrala Mintia), compoziția chimică fiind prezentată în tabelul 3.27.

**Fig.3.22** Depozitul de cenușa Mintia [3]

Cărbunii conțin întotdeauna o cantitate oarecare de impurități minerale, care formează în timpul arderii cenușa, conținutul de cenușă depinde de felul cărbunelui, condițiile de formare și metodele de extragere [1].

Concentratele din cenuși de termocentrală, obținute prin procesarea acestora pe mese de concentrare, sunt asemănătoare din punct de vedere a compoziției chimice cu alte deșeuri feroase prăfoase, sunt acide din punct de vedere

a indicelui de bazicitate și în comparație cu alte deșeuri, nu conțin elemente dăunătoare calității fontei și oțelului [25]. Se comportă foarte bine în procesul de peletizare, conținutul ridicat de oxid de aluminiu acționând ca un liant iar carbonul, ca un reducător în procesul de durificare prin ardere.

Tabelul 3.27 Compoziția cenușilor de termocentrală [10]

Nr. crt.	Compoziția chimică, [%]									
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O	C	Altele*
1.	51	8,76	1,83	17,12	9,12	7,08	0,75	0,36	4,16	0,95
2.	50,97	9,18	0,18	17,21	9,07	7,77	0,62	0,39	4,25	0,77
3.	50,21	8,79	0,61	17,87	8,96	7,69	1,12	0,22	4,09	0,39
4.	51,19	6,57	0,9	17,93	9,02	7,72	1,12	0,28	4,42	0,82
Media	50,84	8,33	0,88	17,53	9,04	7,57	0,90	0,31	4,23	0,73

* carbonați, sulfati și alți oxizi

Un domeniu important de utilizare a acestor cenuși îl constituie substituirea parțială a cimentului în betoane, mai ales la betoanele masive hidrotehnice și la cele pentru fundații (pe drumuri, piste de aeroport, etc).

Cenușile de termocentrală se utilizează pe plan local, ca adaos pentru blocuri de zidărie cu agregate naturale, betoane ușoare, prafuri pentru turnarea oțelului, etc. Cenușile de termocentrală reprezintă o sursă de materie primă pentru fabricarea prafurilor termoizolante și unguente la turnare oțelului atât sub formă de lingori, cât și semifabricate turnate continuu.

Compoziția chimică a concentratului de cenuși de termocentrală, obținut în urma operațiilor de preparare a cenușii de termocentrală, este prezentat în tab.3.28.

Analiza granulometrică a concentratului din cenușile de termocentrală rezultată în urma clasării acestuia este prezentată în tab.3.29 [1].

Tabelul 3.28 Compoziția concentratului de cenușă de termocentrală [1]

Compoziția chimică, [%]								
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Fe	Mn	P
11,89	51,96	8,85	13,39	7,31	3,85	46,71	1,15	0,028

Tabelul 3.29 Analiza granulometrică a concentratului de cenușă de termocentrală [1]

Fracția granulometrică [mm]	0,315-0,20	0,20-0,10	0,10-0,071	< 0,071
Conținut, [%]	0,02	54	33,4	12,58

3.3.3 Cenuși piritice (industria chimică)

Cenușile piritice au rezultat de la fabricile de producere a acidului sulfuric, care în România au avut următoarele locații: Valea Călugărească, Turnu Magurele (Romfosfochim), Năvodari, Făgăraș (Victoria) și Baia Mare (Phonix). Cantitățile depozitate sunt estimate la aproximativ 4,5 milioane tone. În fig.3.23 se prezintă o imagine a haldei de la Valea Călugărească [1].

Concentrația mare în Fe, de peste 50%, a făcut ca acest material să fie obiectul de studiu a mai multor cercetări cu scopul de fi reutilizat în siderurgie. Aplicația tehnologiei Kowa-Seiko de separare a metalelor neferoase prin prăjire clorurantă a permis fabricația de pelete feroase de bună calitate, care la un nivel de producție de circa 450000t/an, a fost consumat la furnalele de la Galați și Hunedoara. Aceste deșeuri conțin o mare cantitate de As care le face foarte restrictive în utilizarea pentru elaborarea oțelului [1, 26].

Practic în prezent mai există în funcțiune un singur furnal la S.C. ArcelorMittal Galați S.A., la Hunedoara cele 2 secții de furnale fiind complet dezafectate (demolate – cota 0).

Dacă se are în vedere reciclarea în furnale sau cubilouri care produc fonta de turnătorie, atunci aceste restricții dispar în mare parte, As rămânând principalul element care poate produce dificultăți [1, 23].

În ceea ce privește cenușile de pirită, subprodus obținut ca deșeu la fabricarea acidului sulfuric, acestea au fost în totalitate haldate, aspect care constituie un factor dominant de poluare a mediului în zonele respective.

De asemenea, conținutul de metale grele este peste limita uzuală admisă, la fonta de afânare fiind de 10 ori mai mare. Acidul sulfuric a reprezentat și continuă să reprezinte, alături de alte produse, un produs industrial deosebit de important, datorită multiplelor sale utilizări. Materiile prime pentru obținerea acidului sulfuric sunt sulful și compușii de sulf, concentratele miniere sulfuroase, în special pirită FeS_2 și dioxidul de sulf SO_2 rezultat ca produs secundar în diverse procese tehnologice [3].

La obținerea acidului sulfuric se utilizează, în principal, ca materie primă, concentrate de pirită care conțin în medie peste 40% S. Principalul dezavantaj al utilizării acestor materii prime îl constituie faptul că, la fiecare tonă de acid sulfuric obținută, rezultă circa 0,7 tone cenuși de pirită, deșeu care datorită impurităților pe care le conține are o utilizare limitată (în industria cimentului), cea mai mare parte fiind stocată în aer liber. Depozitarea deșeurilor de cenuși de pirită ridică o serie de probleme legate de scoaterea din circuitul agricol a unor suprafețe importante, pentru extinderea haldelor de depozitare, cheltuieli cu transportul și depozitarea cenușilor precum și întreținerea haldelor. În figura 3.23 și figura 3.24 se poate observa depozitarea cenușii de pirită, iar în tabelul 3.30 este prezentată compoziția chimică a cenușilor de la Valea Calugărească, Năvodari, Turnu Măgurele, Baia Mare și Făgăraș.

Efecte negative majore sunt datorate în special faptului că cenușile sunt ușor luate de vânt și afectează suprafețe foarte mari de teren care devin neproductive, pulberea fină creând un mediu puternic poluant în zonă, cu efecte dintre cele mai nedorite .



Fig.3.23 Cenuși piritice [26]



Fig.3.24 Depozitul de cenușă piritică de la Valea Călugărească [1]

Tabelul 3.30 Compoziția chimică a cenușilor piritice [10]

Compoziție /sursă	Compoziția chimică, [%]											
	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	As	Alcalii	Cu	Pb	Zn
Valea Calugarească	52,72	2,02	12,2	0,5	0,6	3,84	0,21	0,61	2,52	0,55	0,56	1,25
Năvodari	54,01	4,05	8,12	-	-	6,51	-	0,61	2,11	0,55	0,55	1,84
Turnu Măgurele	53,80	3,03	8,32	-	-	3,28	-	0,15	1,85	0,55	0,17	0,33
Baia Mare	47,52	0,75	15,6	-	-	0,89	-	0,22	1,65	0,86	0,28	0,25
Făgăraș	21,97	3,64	13,6	-	-	5,28	-	0,28	2,31	0,14	0,41	0,46

3.3.4 Șlam de la acoperiri anticorozive

Din procesele de tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive rezultă țunder și șlam. De la acoperirile anticorozive rezultă șlam care pe lângă fier conține și alte elemente, unele recuperabile în procesele de reciclare (tab.3.31). Caracteristic acestui material este forma de plachete subțiri cu un raport mare între dimensiunile dintr-un plan și cea de grosime [1, 5].

Tabelul 3.31 Compoziția chimică a șlamului de la acoperiri anticorozive [1, 5]

Șlam	Compoziția chimică, [%]							
	Fe ₂ O ₃ /Fe	MnO/Mn	P ₂ O ₅ /P	Cl	K ₂ O/K	Na ₂ O/Na	ZnO/Zn	CaO
1.	7,26/5,08	35,85/27,76	27,33/11,93	8,99	8,09/6,72	7,26/5,08	2,25/1,81	0,107
2.	6,07/4,25	31,34/24,27	19,47/8,49	9,56	24,83/20,61	0,12/0,09	6,32/5,07	0,132
3.	0,50/034	4,07/3,15	2,87/1,25	15,9	62,31/51,72	0,34/0,25	11,38/9,1	0,181

Densitatea în vrac a materialului este de aproximativ 1,7-2,1kg/dm³. Unghiul de taluz natural este de 36°.

3.3.5 Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria minieră

S-a avut în vedere sterilul rezultat de la fabricile de preparare a minereului de fier de tip siderită, precum și concentratul rezultat din concentrarea sterilului pe care îl vom numi concentrat de fier secundar sau concentrat secundar sideritic de fier [1, 6, 22].

Minereul de fier de tip siderită se supune în practică operației de prăjire pentru îndepărtarea dioxidului de carbon iar după aceea operației de concentrare magnetică. În timpul operației de prăjire carbonatul de fier se transformă în oxizi de fier astfel încât crește concentrația de fier în minereul prăjit, creștere care se accentuează prin concentrarea magnetică. Concentratul rezultat are un conținut de fier între 49-51% și este utilizat în șarjele de aglomerare. Sterilul rezultat se depozitează în iazuri [1, 6, 28].

Deoarece temperatura de disociere a carbonatului de fier este de 400°C

inferioară disocierii carbonaților de calciu (910°C), de magneziu (650°C) și respectiv carbonatului dublu de calciu și magneziu (750°C), aceștia nu disociază în procesul de prăjire. În tab.3.32 se prezintă compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor de tip siderită prin concentrare.

Tabelul 3.32 Compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor tip siderită [1]

Nr. Crt.	Material	Compoziția chimică, [%]							
		SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
1.	Deșeu iaz decantare	34,39	7,01	7,84	9,12	2,87	16,39	6,68	1,35
2.	Concentrat sideritic secundar	19,86	9,92	18,64	21,0	3,16	20,22	7,56	2,29
3.	Steril secundar	37,60	6,30	5,58	6,45	2,87	15,16	6,58	1,41

În zona Hunedoarei, în urma preparării minereului sideritic utilizat în procesarea aglomeratului, există trei iazuri de decantare cu deșeu sideritic la Teliuc (fig.3.25).



Fig.3.25 Iazurile de decantare steril tip siderită Teliuc [1, 6]

3.4 Concluzii

Din analiza tehnologică a datelor prezentate se pot concluziona următoarele:

- deșeuri feroase pulverulente și mărunte rezultă în cea mai mare parte din industria siderurgică, dar și din alte ramuri industriale, și anume: industria chimică (cenuși piritice), energetică (concentrat de fier din cenuși de termocentrală), minieră (concentrat sideritic secundar) și metalurgia neferoasă (nămol roșu de la fabricarea aluminei);
- deșeurile au conținut de fier diferit de la cca.30% (concentrat sideritic) până la peste 60% (țunderul, praful de oțelărie), provenite din industria siderurgică, și de multe ori, mai conțin și carbon;
- deșeurile cu conținut de fier provenite din metalurgia neferoasă au conținut de fier dar și Zn, Pb, Cd, As, etc.;
- cunoașterea caracteristicilor deșeurilor cu conținut de Fe, în mod deosebit compoziția chimică (cu scoaterea în evidență a elementelor nocive) și a compoziției granulometrice, permite alegerea variantei tehnologice de reciclare a acestora.

4. PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER, ZINC ȘI CARBON

4.1. Considerații generale

În țările cu industrie siderurgică dezvoltată, deșeurile feroase mărunte și pulverulente sunt valorificate în proporție de peste 90%, prin reintroducerea lor în circuitul siderurgic. Din studiul literaturii de specialitate rezultă că pentru valorificarea acestora se practică mai multe procedee și tehnologii, dintre care se consideră reprezentative următoarele [1, 10, 11]:

- **procedee clasice:** peletizare, brichetare și aglomerare;
- **procedee noi:** CARBOFER, Primus, Fasmel, Fastmelting, Hamborn [7, 8].

4.2 Valorificarea prin peletizare

4.2.1 Producerea peletelor

Peletizarea minereurilor de fier este cunoscută de multă vreme, primul brevet aparținând suedezului A.G. Anderson, încă din anul 1912. Cu toate că tehnica peletizării materialelor fine are un stagiul îndelungat de utilizare în diverse ramuri industriale, cum ar fi de exemplu industria cimentului, în domeniul preparării minereurilor de fier s-a aplicat abia din anul 1955 [7, 8].

Inițial, fabricarea și utilizarea peletelor s-a dezvoltat în S.U.A. și Canada. După anul 1964 a început să se extindă rapid în Europa și în special în Suedia și fosta U.R.S.S. În prezent, se află în funcțiune numeroase instalații care produc mari cantități de pelete și care sunt amplasate în America de Sud, America Centrală, Australia, Japonia, Ucraina, Africa de Vest etc. [7, 8, 29].

Dintre factorii care au impulsivat utilizarea curentă a peletelor în încărcătura furnalelor se menționează în primul rând necesitatea de a exploata zăcămintele de minereuri de fier care se supun în prealabil operațiilor de concentrare. Granulația fină a concentratelor de fier provoacă mari dificultăți în procesul de aglomerare pe bandă, cel mai eficient procedeu în acest caz fiind peletizarea.

Pe lângă aceste considerente peletizarea minereurilor de fier prezintă câteva avantaje esențiale, dintre care se menționează:

- forma rotundă a peletelor cât și uniformitatea lor granulometrică, având ca efect mărirea permeabilității încărcăturii, face posibilă intensificarea regimului de funcționare, printr-o mai bună repartizare a gazelor în furnal și creșterea gradului de reducere indirectă, cu consecințe asupra scăderii consumului specific de coals;
- conținutul de sulf în pelete mult mai mic decât în aglomerat (0,01% față de 0,10-0,15% S din aglomerat, acesta fiind adus în cea mai mare parte de coals);
- consumul specific de energie termică pentru producerea peletelor este mai mic cu cca. 50% față de același consum specific necesar pentru obținerea aglomeratului [7, 8].

Principalele etape, ale procesului tehnologic de producere a peletelor sunt:

- **pregătirea minereurilor**, etapă tehnologică în care se urmărește aducerea minereului, prin sfărâmare, granulare, măcinare și clasare, în stare pulverulentă, pentru a facilita operațiile legate de obținerea peletelor crude și de

durificare a acestora. Se are în vedere compoziția granulometrică și suprafața specifică a minereului preparat [10, 11, 25];

- **producerea peletelor crude**, este o etapă de bază a procesului tehnologic de peletizare, în care granulele fine de minereu, printr-o mișcare de rostogolire, se adună sub formă de sfere, rezistența peletei fiind dată de aderența granulelor datorită atât forțelor capilare, cât și de tensiunea superficială produsă de apă în porii peletei [7, 8].

Mărimea acestor forțe este influențată de numeroși factori: compoziția chimică a minereului, granulația și forma granulelor, cantitatea de apă adăugată și tipul lianților folosiți.

Din punct de vedere constructiv se disting trei procedee de peletizare a materialelor pulverulente: peletizare în taler (disc), în tambur cilindric (cea mai răspândită) și în tambur conic (fig.4.1). Înclinația tamburului este de $2-3,3^{\circ}$, iar lungimea nu depășește de 2-3,3 ori diametrul tamburului, capacitatea medie fiind de 2000t pelete/zi [7, 31].

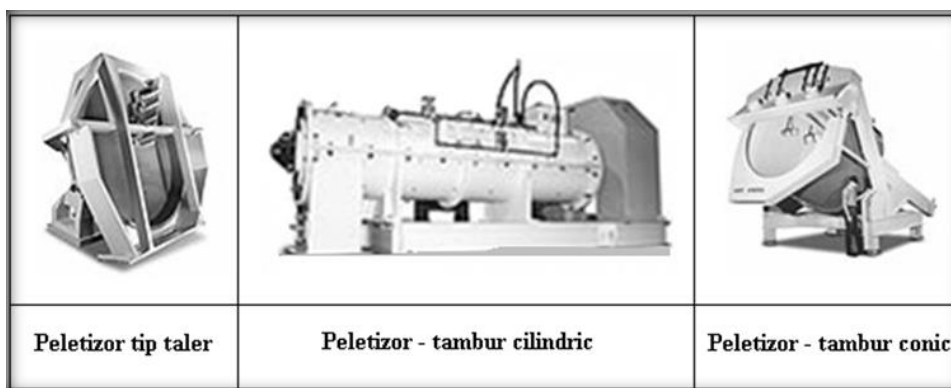


Fig.4.1 Instalații pentru producerea peletelor [7]

4.2.2 Durificarea sau întărirea peletelor

În practică, durificarea peletelor are loc la cald (prin tratament termic) și la rece (autoîntărire).

4.2.2.1 Durificarea la cald (prin tratament termic)

La procesul de durificare prin încălzire, temperatura ajunge până la 1350°C și, pe măsură ce se atinge o anumită temperatură, granulele mici de minereu încep să crească și să se unească, prin legături cristaline, în granule mari având un sistem de cristalizare caracteristic.

Procesul de durificare al peletelor prin tratament termic este influențat de următorii factori: compoziția chimico-mineralogică și granulația minereului, temperatura de ardere, durata de ardere și lianții utilizați [7, 8].

Temperatura are un rol deosebit în procesul de durificarea peletelor prin tratament termic, și, odată cu creșterea ei, se mărește și rezistența la compresiune. Această tendință se manifestă numai până la atingerea unei anumite temperaturi optime, după care o creștere în continuare a temperaturii provoacă dimpotrivă o micșorare a rezistenței la compresiune, deoarece în interiorul peletelor apare o topitură, care favorizează formarea unei zguri sticloase și care la răcire devine sfărâmicioasă [7, 8]:

Durificarea la cald peletelor se poate efectua în următoarele variante: cuptor cu cuvă (fig.4.3), cuptor rotativ (Grate-Klin) (fig.4.4), pe bandă dreaptă (fig.4.5) și pe bandă circulară (fig.4.6) [7, 8, 62]:

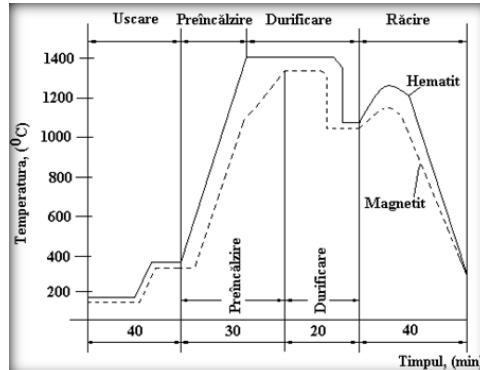


Fig.4.2 Diagrama de durificare a peletelor [7]

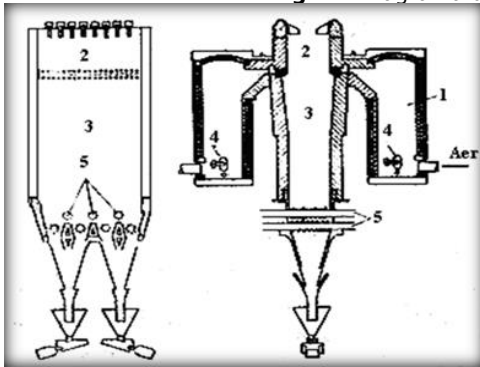


Fig.4.3 Cuptor cu cuvă pentru durificarea peletelor: 1-cameră de ardere, 2-zonă de încălzire, 3-zonă de răcire, 4-arzător, 5-cilindri dințați [7]

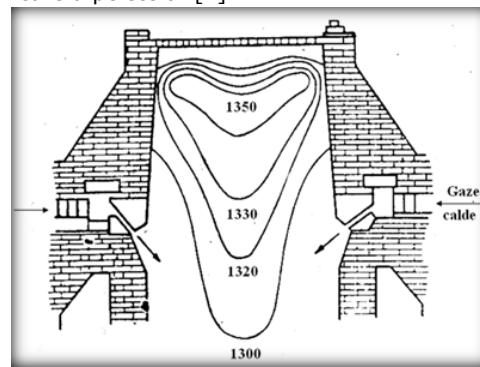


Fig.4.4 Curbele izoterme din zona de durificare a peletelor în cuptorul cu cuvă [7]

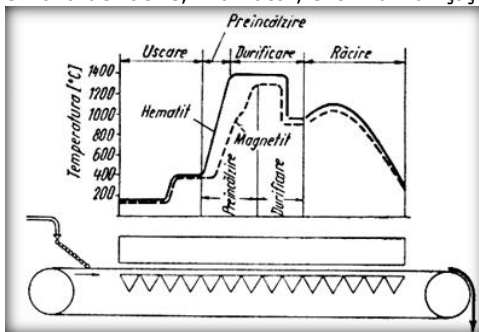


Fig.4.5 Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor [7]

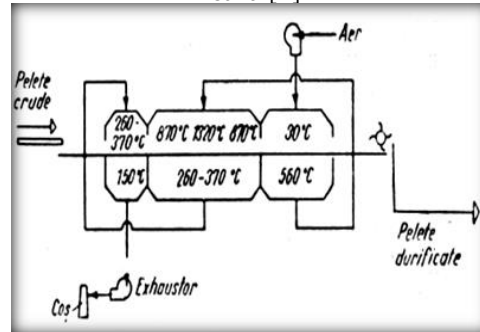


Fig.4.6 Schema de principiu a instalației de durificare a peletelor pe bandă circulară [7]

4.2.2.2 Durificarea peletelor cu liant la rece (autoîntărire)

Pentru reducerea cheltuielilor de investiții, a consumului specific de combustibil și pentru simplificarea procedurii de obținere a peletelor, au fost întreprinse numeroase cercetări, pe baza cărora s-au pus la punct noi procedee de durificare, fără tratament termic [7, 8].

Procedeul Grăncold de durificare a peletelor cu liant, a fost studiat și pus la punct în cadrul societății suedeze Gränges A.B. Caracteristic acestui procedeu este

utilizarea unui liant în proporție de 10% din greutatea minereului care se amestecă cu minereul înainte de peletizare. Liantul folosit se compune din: 60% ciment Portland și 40% zgură de furnal granulată (macinată la o granulație apropiată de a cimentului) sau zgură de la instalațiile de procesare în oală de exemplu LF. (toți cei trei lianți pot fi analizați pe diagrama ternară $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$). Pentru creșterea rezistenței la compresiune, se adaugă cocs petrol 3-5% din greutate, față de amestecul inițial cu liant [7, 8].

După producerea peletelor crude urmează procesul tehnologic de durificare prin autoîntărire, alcătuit din trei perioade, după cum este arătat în figura 4.7 [7, 8].

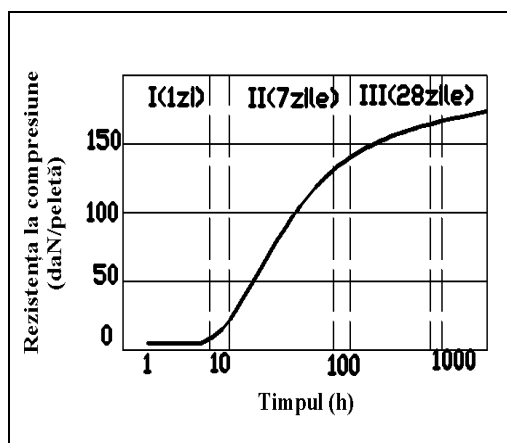


Fig.4.7 Variația în timp a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece cu liant: I-perioada de întărire latentă (1-2 zile); II-perioada de durificare secundară (3-6 zile); III-perioada de durificare finală (7-30 zile) [7, 8]

4.2.3 Calitatea peletelor utilizate în încărcătura furnalelor

Ținând seama de solicitările la care sunt supuse peletele în timpul transportului, de la instalația de peletizare până la furnal, precum și de influența temperaturii și a transformărilor care au loc în furnal, este necesar ca acestea să corespundă unor caracteristici calitative, și anume: compoziție chimică și granulometrică, rezistența la compresiune, rezistență la tobă, reductibilitate, indice de umflare liberă și porozitate.

Experimental s-a stabilit ca dimensiunea peletelor să fie cuprinsă între 9,5 și 25mm. De asemenea s-au considerat ca optime dimensiunile de 10-15mm, fracție care să reprezinte minimum 85% din întreaga cantitate de pelete analizată. Pierderea de presiune la trecerea unui volum constant de gaz prin stratul de pelete, crește odată cu micșorarea dimensiunii peletelor și dacă această dimensiune este mai mică de 6mm, aceasta crește foarte mult [7, 8].

Rezistența la compresiune, reprezintă un alt factor de apreciere calitativă a peletelor și se exprimă în daN/peletă. Rezistența la compresiune reprezintă o rezultată care depinde de compoziția mineralogică a materialului folosit, de finețea acestui material, de adaosul de liant, de condițiile de lucru aplicate și de dimensiunea peletelor. Pentru peletele cu un diametru cuprins între 10 și 12,5mm, rezistența minimă la compresiune trebuie să atingă 200daN/peletă [7].

Întrucât rezistența la compresiune nu caracterizează pe deplin comportarea peletelor în timpul transportului la furnal s-a mai adăugat și rezistența la tobă. Cu ajutorul acestei determinări se stabilește indicele de roadere (abraziune) și indicele

de sfărâmare. Un indice de sfărâmare de 6% și un indice de roadere de 5% sunt considerați drept corespunzători [7, 8].

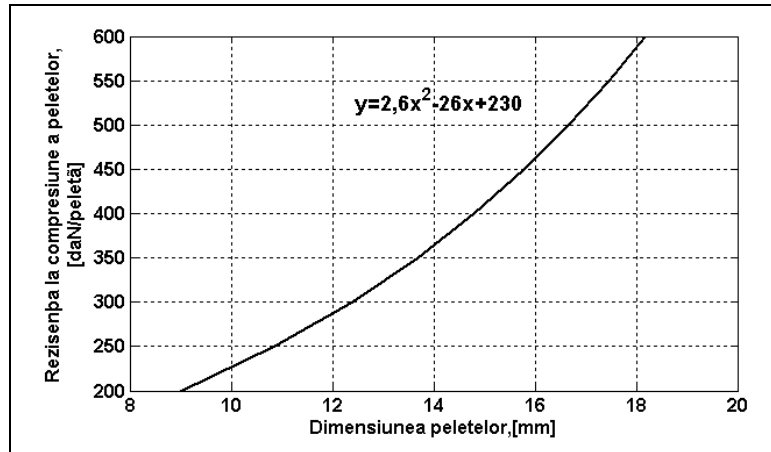


Fig.4.8 Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora [7]

De asemenea foarte importante sunt calitățile metalurgice ale peletelor, în cadrul cărora un rol de seamă îl joacă reductibilitatea (R). Această caracteristică poate fi determinată cu ajutorul mai multor metode. Se poate considera suficient de reprezentativă exprimarea reductibilității pe baza vitezei medii de reducere (dR/dt în %/min) obținută la atingerea unui grad de reducere de 40%. Se apreciază ca suficient de bună o reductibilitate de 0,70-0,80%/min la peletele acide și 1,20-1,30%/min pentru peletele bazice [7, 8].

O altă caracteristică în cadrul proprietăților îl reprezintă gradul de umflare evaluat pe baza indicelui de umflare liberă (%) și care reprezintă creșterea procentuală de volum a peletei față de volumul inițial.

În general, porozitatea la pelete variază între 20-30%. În perioada reducerii peletele suferă o serie de transformări mineralogice care provoacă umflarea lor, modificându-le rezistența la compresiune.

Din studiul metalografic efectuat asupra peletelor cu grad ridicat de umflare și care diminuează foarte mult rezistența la sfărâmare a materialului, a rezultat că acest fenomen se datorează zonei de trecere dintre miezul peletei neredus și restul (crusta) peletei aflată într-un stadiu avansat de reducere. Această zonă intermediară devine mai puțin densă, gradul de distrugere al compactității fiind dependent de conținutul de FeO [7, 8].

Conținutul de steril din minereu constituie un factor important de influență a variației gradului de umflare a peletelor în timpul reducerii. S-a observat, că în mod frecvent, peletele cu un conținut scăzut de steril prezintă o tendință ridicată de umflare în perioada de reducere. În procesul de durificare al peletelor prin tratament termic se pot forma faze de zgură, unele dintre acestea având rolul de a menține în stare compactă zona de legătură între miez și partea exterioară a peletei, umflarea peletei fiind cu atât mai mare cu cât cantitatea de zgură formată este mai mică [7, 8].

4.3 Valorificarea prin brichetare

4.3.1 Caracteristici generale

Brichetarea reprezintă procesul de transformare a minereurilor (concentratelor, deșeurilor feroase) fine și mărunte (cu granulație sub 8mm) în bucăți (brichete) de formă determinată (ovală, sferică, cilindrică, paralelipipedică, cubică sau prismă hexagonală) prin presare pe utilaje specializate, urmate de un proces de uscare-prăjire pentru creșterea caracteristicilor mecanice ale acestora [10, 11].

Transformarea în brichete a materialelor feroase mărunte și pulverulente, reprezintă în prezent o preocupare deosebită în procesul de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte rezultate în urma proceselor metalurgice, respectiv siderurgice. Metoda prezintă interes deosebit mai ales pentru societățile siderurgice de tip mini-mills. Rezultate foarte bune s-au obținut de firmele **Tyssen-Krupp Stahl** [8, 9, 32].

4.3.2 Caracteristicile fizice impuse brichetelor

În principal din punct de vedere fizic, brichetele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- rezistență în condiții variabile (să nu se deterioreze sub influența variației de căldură, frig sau umiditate);
- rezistență la temperaturi înalte (900°C);
- rezistență la apă;
- permeabilitate corespunzătoare la trecerea gazelor;
- rezistență mecanică și rezistență la mărunțire;
- rezistență în atmosferă la vapori încălziți;
- umiditate redusă (maxim 2%);
- greutate volumetrică mare [9].

4.3.3 Principiile și clasificarea metodelor de brichetare

În funcție de metodele de brichetare și de caracteristicile inițiale ale materialului supus brichetării, acestea se împart în două categorii:

- brichetare fără adaosuri liante;
- brichetare cu adaosuri liante: organice, respectiv anorganice.

În funcție de presiunile la care sunt supuse brichetele la realizare, pentru ambele procedee de brichetare, acestea pot fi obținute prin:

- brichetare la presiune joasă (50-100 daN/cm²);
- brichetare la presiune medie (150-750 daN/cm²);
- brichetare la presiune ridicată (peste 750 daN/cm²) [8].

În figura 4.9 se prezintă schematic diferitele metode de brichetare.

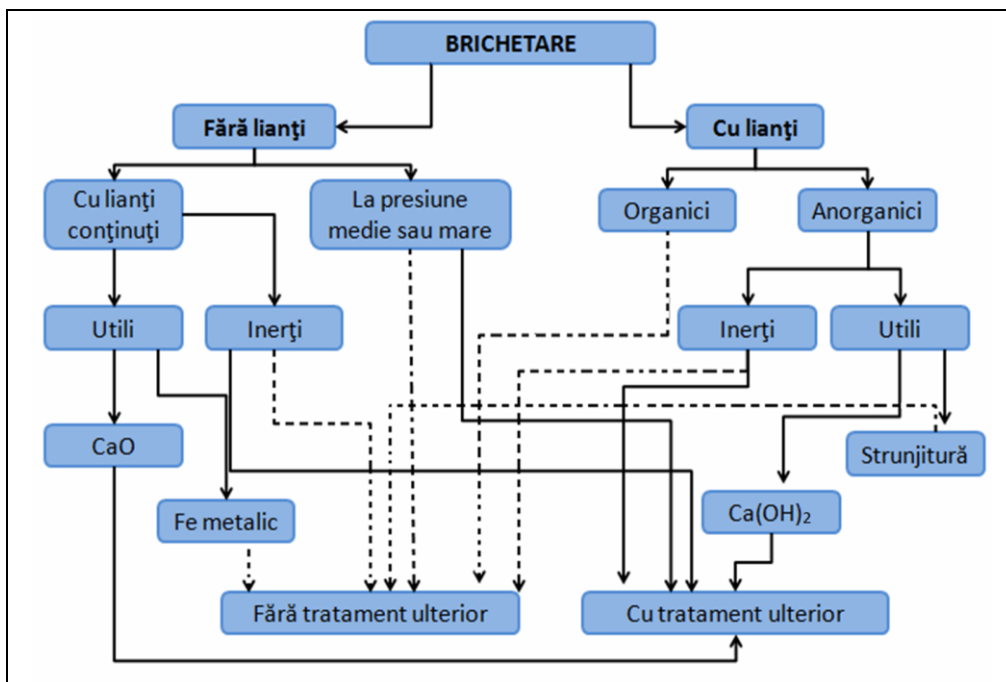


Fig.4.9 Schema metodelor de brichetare [9]

Pentru ca brichetarea să se poată desfășura, materialele supuse acestui proces este indicat să nu conțină fracții mai mari de 5mm (cel mult fracția 5-8mm până la 5%). Brichetele obținute prin diverse metode pot fi utilizate ca atare în procesele metalurgice fără tratament ulterior, sau este necesar pentru obținerea proprietăților corespunzătoare să fie supuse unor operații suplimentare (cu tratament ulterior: uscare, ardere etc.) [8, 10].

La brichetarea minereurilor și concentratelor fine de fier au importanță practică numai metodele fără tratament termic, cele cu tratament termic fiind neeconomice. Dintre acestea, se exclud metodele de brichetare cu lianți organici, cum ar fi smoala și gudronurile, deoarece la încărcarea unor asemenea brichete în furnal, rezistența brichetelor scade repede prin arderea lianților. În consecință, metodele de brichetare cu tendințe de utilizare sunt cele fără lianți și cele cu adaosuri de lianți anorganici [8, 9, 33].

4.3.4 Brichetare fără adaosuri liante

Aceste metode de brichetare (la presiune joasă, medie și ridicată) sunt cele mai simple și cele mai economice, deoarece ele se realizează numai prin presiune, de regulă fără nici un fel de adaos, putându-se obține brichete cu proprietăți superioare numai în cazul în care în minereu sunt prezente unele substanțe cu calitate de liant (argile, var sau fier metalic). Cum aceste substanțe lipsesc sau sunt în cantități mici se obțin brichete cu rezistență mică; drept urmare, pentru creșterea rezistenței, brichetele sunt supuse arderii în cuptoare tunel la temperaturi de 1200-1400°C, prin ardere producându-se o sinterizare parțială a minereului ceea ce face să crească mult rezistența, fig.4.10.

În prima zonă are loc uscarea la 150-200°C, în zona a doua prăjirea la 1200-1400°C, iar în ultima zonă brichetele sunt răcite [8, 9].

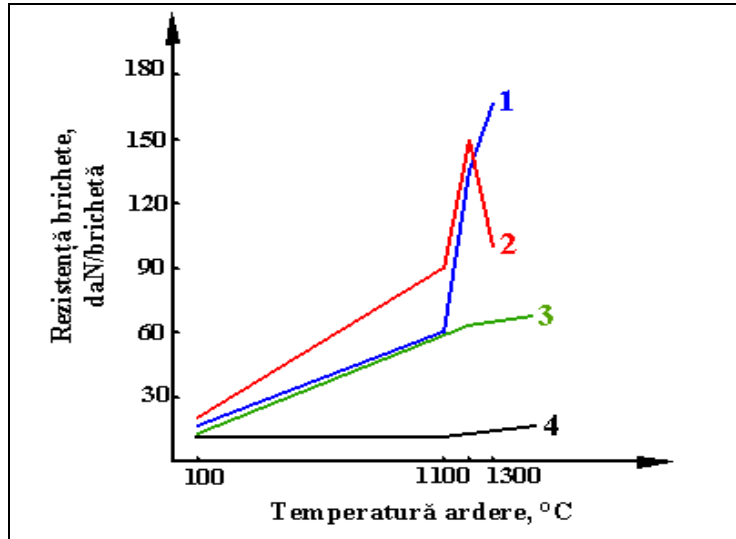


Fig.4.10 Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor:
1-minereu magnetic; 2-martit; 3-martit + 10% argilă; 4-minereu brun-roșcat [8]

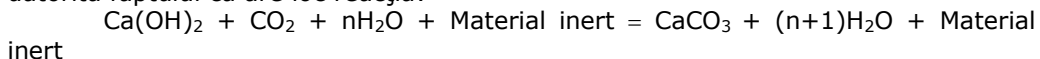
4.3.5 Brichetarea cu adaosuri liante

În cazul brichetării cu lianți anorganici, acești lianți se împart în două subgrupe :

- lianți inerti sau sterili (care conduc la o scădere a conținutului de fier, fiind uneori chiar dăunători prin compoziția lor) dintre care amintim: cimentul Portland, sticla solubilă, amestec de cuarț cu var stins, clorura de magneziu etc;
- lianții utili, din care amintim: varul și așchiile de fontă [8, 9].

Datorită proprietăților pe care le au, substanțele anorganice formează în timpul procesului de brichetare compuși chimici cu particulele substanței care se supune brichetării și aceste reacții conduc la legarea particulelor între ele, astfel încât brichetele rezultate să aibă proprietăți corespunzătoare proceselor metalurgice. Factorul care determină producerea acestor reacții este presiunea de lucru; în ceea ce privește viteza reacțiilor chimice o influență hotărâtoare o are proprietățile liantului, gradul de pregătire al șarjei, umiditatea, amestecul etc. [8, 9, 33].

Brichetarea cu hidroxid de calciu are loc după introducerea unui adaos de lapte de var care se amestecă bine cu șarja, consumându-se 5-10% var praf și 8-12% apă și se aplică o presiune specifică de lucru de 200-500daN/cm². Rezistența brichetelor se datorează atât forțelor de coeziune, ce apar în urma efectului de presare cât și în urma formării cristalelor de hidrat de calciu, care, prin evaporarea apei, cimentează particulele de minereu. Ulterior după absorbția CO₂ din aer și prin trecerea hidratului de calciu în carbonat de calciu rezistența brichetelor crește datorită faptului că are loc reacția:



Această reacție se produce încet și de aceea numai după un timp îndelungat de păstrare în aer, brichetele capătă rezistența necesară, însă brichetele pregătite după această metodă sunt stabile la apă, au o porozitate suficient de mare și sunt autofondante [9].

4.3.6 Brichetarea cu așchii de fontă

Constă în principal în amestecarea mărunțului de minereu (concentrat) cu cca. 10-15% așchii de fontă măcinată și pentru creșterea vitezei de formare a hidroxizilor de fier se adaugă sub formă de soluție 0,5-1% NaCl. Brichetele obținute și menținute timp de câteva zile în condiții speciale de temperatură și umiditate vor căpăta o rezistență mare datorită cimentării granulelor de minereu cu hidroxidul de fier ce se formează prin oxidarea așchiilor de fontă [9].

4.3.7 Pregătirea șarjei pentru brichetare

Șarja de minereu pregătită pentru brichetare, constă de obicei din minereu mărunț, cu granulometria cuprinsă între 0-5mm. În cazul brichetării concentratelor fine de fier sau a deșeurilor feroase pulverulente, rezistența brichetelor crește odată cu creșterea gradului de măcinare al concentratelor care se utilizează.

Pentru obținerea brichetelor, materia primă este supusă unei măcinări fine, care de obicei se face în mori cu bile sau bare, similare cu cele folosite la prepararea minereurilor. În vederea amestecului între minereu și adaosurile liante s-au folosit diferite tipuri de utilaje ca amestecătoarele cu racleți, cu unul sau două axe amestecătoare, în multe cazuri utilizându-se tobe de amestec cu șnec interior care se rotește în sens invers sensului de rotire al tobei [9].

Factorul de bază în procesul tehnologic de brichetare este valoarea presiunii specifice. S-a constatat că, la început, cu cât această presiune este mai mare, cu atât brichetele obținute sunt mai rezistente. Totuși, pentru fiecare tip de minereu sau concentrat în parte, mărimea presiunii specifice are o anumită valoare limită peste care nu se poate trece deoarece rezistența nu mai este influențată favorabil, ci dimpotrivă, duce la sfărâmarea piesei. În general, acest fenomen negativ are loc la o presiune de 2000daN/cm² [9, 38].

Presele utilizate în operațiile de brichetare sunt cu presiune unilaterală sau bilaterală. Rezultate mai bune, din punct de vedere al densității de presare pe înălțimea de încărcare a formei de brichetare, se obțin prin acțiune cu presă bilaterală. Variațiile densităților de presare în funcție de înălțime, la presare unilaterală și bilaterală, sunt prezentate în fig.4.11.

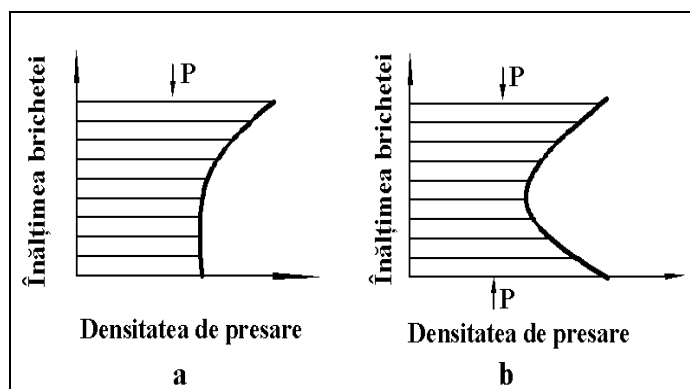


Fig.4.11 Variația densității brichetelor pe înălțime la presare unilaterală (a) și bilaterală (b) [9]

Din practică s-a stabilit că diferența de densitate în secțiune crește cu creșterea înălțimii brichetei. Timpul de menținere al brichetelor sub presiune, este

de asemenea un factor important în operația de brichetare.

De asemenea, pentru brichetare pot fi folosite mai multe tipuri de utilaje cu diferite productivități (prese cu valțuri, prese inelare etc.) [9, 34].

4.4 Valorificarea prin aglomerare

4.4.1 Considerații generale

Deoarece brichetarea nu a putut satisface, din punct de vedere calitativ și a productivității necesitățile producției de fontă, în urmă cu circa 75 de ani au început să se impună pentru transformarea minereurilor fine și mărunte în bucăți un alt procedeu numit aglomerare [8, 25].

Aglomerarea termică este procedeul cel mai răspândit de transformare în bucăți a concentratelor și minereurilor fine și mărunte, atât pentru siderurgie cât și pentru metalurgia neferoasă. Prin aglomerare se realizează și o concentrare în elemente utile, prin îndepărtarea compușilor sau elementelor volatile (S, CO₂, As) și se obțin produse mai ușor reductibile, datorită porozității lor. Aglomerarea este un proces fizico-chimic, dependent de [11, 25]:

- granulația materialelor: minereurile mărunte (respectiv deșeurile feroase mărunte) care sunt componentul principal al șarjei crude de aglomerare; din punct de vedere granulometric trebuie să fie în totalitate sub 8mm, chiar sub 6mm pentru minereurile de fier de tip magnetită, iar pentru fondanți și combustibili (cocs metalurgic mărunț) sub 3mm;
- umiditatea materialului variabilă între 5-18% în funcție de granulația, natura și proprietățile superficiale ale materialului;
- conținutul de materiale combustibile, cocs mărunț, praf de cocs, cărbuni, sulf, ce dau căldura pentru aglomerare, în funcție de granulația, umiditatea și natura materialului (în medie 3-10%).
- proprietățile fizico-chimice ale materialului influențează temperatura optimă de aglomerare, regimul de încălzire, natura transformărilor chimice.

Temperatura de aglomerare este cu 10-20% mai mică decât temperatura de topire. Pentru minereurile de fier (1200-1450°C), aglomerarea este favorizată de producerea unor compuși chimici cu puncte de fuziune scăzute, ca faialita (Fe₂SiO₄), cu punctul de topire 1209°C, eutecticele lui cu oxidul feros (1130°C și 1200°C), silicați și ferți de calciu, alți compuși ușor fuzibili. Consumul mediu de căldură pentru aglomerare este de 4185KJ/kg aglomerat [11, 25].

4.4.2 Fazele procesului de aglomerare

Acestea sunt: pregătirea șarjei (sfărâmare, clasare, dozarea și omogenizarea materialelor supuse aglomerării, încărcarea și repartizarea uniformă a șarjei crude pe mașina de aglomerare), uscarea și preîncălzirea șarjei, aglomerarea propriu-zisă, răcire și recristalizare, concasarea și clasarea volumetrică [11, 39].

Pregătirea șarjei de aglomerare. Pregătirea materialelor pentru aglomerare (sfărâmare și clasare volumetrică) constă în aducerea acestora la granulația cerută de procesul tehnologic, urmată de dozarea șarjei crude conform rețetei tehnologice [11, 12].

O fază tehnologică de importanță deosebită a procesului de aglomerare este omogenizarea șarjei, operație care se execută în tobele de omogenizare, pe parcursul căreia are loc și formarea (micropeletizarea) materialului fin [11, 12].

Uscarea și preîncălzirea șarjei. Pentru minereurile de fier, în prima fază are loc evaporarea apei, descompunerea carbonaților de fier, începerea descompunerii sulfurilor; în faza a doua are loc desulfurarea, descompunerea

carbonatului de calciu (calcarului) formarea compuşilor uşori fuzibili. Atmosfera reductoare a încălzirii datorită arderii combustibilului și formării oxidului de carbon determină reducerea Fe_2O_3 la Fe_3O_4 și a FeO până la fier metalic [11, 12].

Aglomerarea propriu-zisă. Proprietățile aglomeratului sunt determinate de procesele fizico-chimice din faza a doua a aglomerării.

Formarea faialitei este limitată la max. 15-20%, datorită reductibilității scăzute a aglomeratului; este necesară dozarea riguroasă a combustibilului și prezența CaO , ce determină formarea altor compuşii ușor fuzibili (feriți și silicați de calciu) [10, 11, 25].

Aglomeratele ușor fuzibile sau autofondante cu un indice de bazicitate de 0,9-1,2 asigură avantajele cunoscute procesului de topire și reducere din furnal.

Creșterea conținutului de faialită în aglomerat are influență pozitivă asupra rezistenței aglomeratului, dar, din considerente privind reductibilitatea, se limitează la cel mult 18%, de dorit să fie în limitele 12-14% [11, 12, 26].

În cazul minereurilor și concentratelor sulfuroase, procesele fizico-chimice sunt mai complexe, fiind dependente și de conținutul de sulf. Desulfurarea este avansată (90-95%), aglomeratele obținute având max. 0,5%, dar îndepărtarea As este mai puțin intensă (50-60%), datorită arseniaților de calciu stabili.

În proporție de peste 98% aglomerarea minereurilor are loc pe mașini de aglomerare cu bandă.

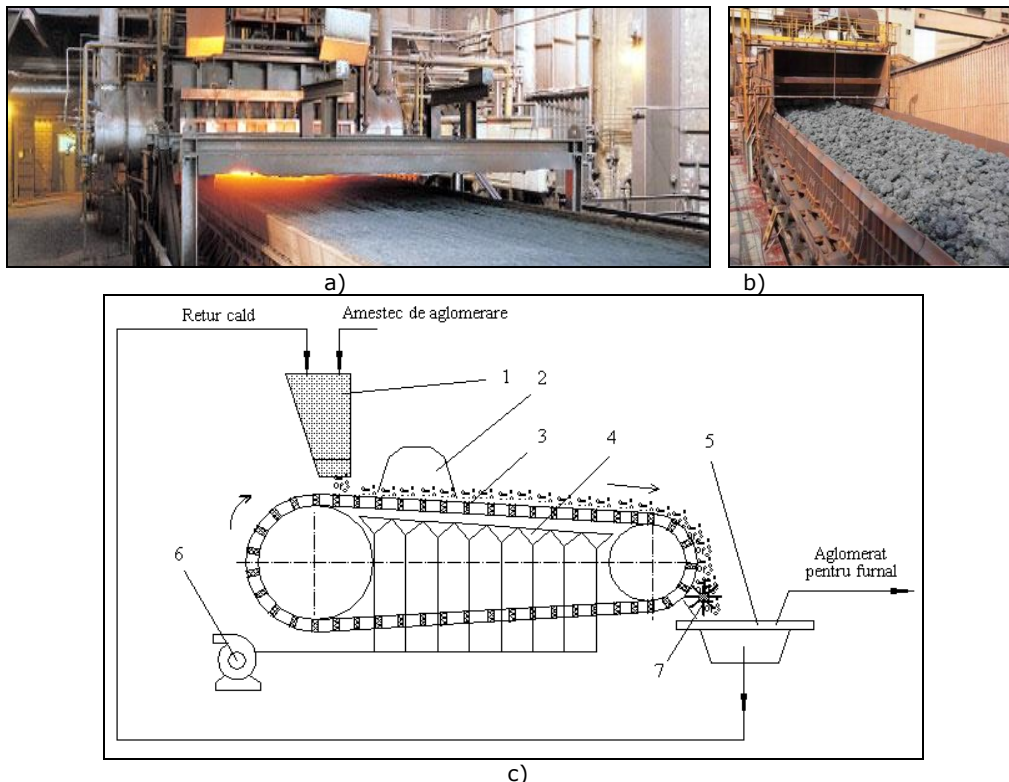


Fig.4.12 Mașină de aglomerare cu bandă: a - aprinderea și formarea aglomeratului; b - răcirea aglomeratului; c - schema mașinii de aglomerare. 1-dispozitiv de alimentare; 2-cuptor de aprindere; 3-banda de aglomerare; 4-guri de absorbție (camere de vacuum); 5-dispozitiv de clasare-depozitare; 6-exhaustor; 7-concasor [11]

Șarja crudă se încarcă pe banda de aglomerare într-un strat de 200...300mm. Când trece prin cuptorul de aprindere, combustibilul din stratul de deasupra se aprinde, iar datorită camerelor de absorbție, aerul se absoarbe prin stratul de pe bandă, făcând posibilă aprinderea cocsului din restul stratului. Prin arderea combustibilului se dezvoltă cantitatea de căldură necesară uscării, înmuierii și aglomerării (sinterizare sub acțiunea căldurii). În fig.4.12 se prezintă aspecte din procesul de aglomerare și o schemă a mașinii de aglomerare cu bandă [11, 12].

Răcirea aglomeratului. După ce cocsul a ars pe toată înălțimea stratului de amestec, trecerea mai departe a aerului prin aglomerat duce la răcirea acestuia. Pentru arderea completă a cocsului este necesară corelarea vitezei de înaintare a benzii cu lungimea acesteia și grosimea stratului de material. La capătul benzii, aglomeratul rezultat este supus operației de concasare și apoi clasat volumetric: refuzul (fracția >10mm) este trimis la furnal iar trecerea (fracția <10mm) constituie retur cald și este reintrodusă în șarja crudă (șarja de aglomerare) [11, 12].

4.5. Tehnologii de valorificare ale deșeurilor utilizate la nivel mondial

4.5.1 Considerații generale

Sursele secundare de metale se împart în două clase: deșeuri noi și deșeuri vechi. Prima clasă se referă la deșeurile metalice generate în timpul unui proces industrial, fie de la producătorii de metale, fie din fabricile ce utilizează metalele. Deoarece deșeurile noi se află în interiorul fabricii, calitatea (compoziția chimică) este în general bine cunoscută și omogenă, astfel că acest metal se poate reintroduce în ciclul de producție. Deșeurile vechi sau scoase din uz se referă la metalele colectate după utilizare în economie sub formă de infrastructuri vechi, echipamente industriale sau bunuri de consum. Aceste deșeuri sunt mai mult eterogene și adesea sunt formate din amestecuri de metale, aliaje și nemetale.

Metalele joacă un rol important în societatea modernă și au fost asociate încă din trecut de dezvoltarea industrială și îmbunătățirea standardelor de viață. Societatea poate utiliza ca surse de metale zăcămintele naturale precum și metalele înlăturate după utilizare [43, 44]. Materiile prime sunt transformate (procesate) prin diferite procese tehnologice, rezultând produse utile (produse finite). Acestea pot fi utilizate ca atare, sau pot constitui materiale refofosibile în alte procese tehnologice. Alături de produsele finite, în general, din procesele tehnologice se obțin și produse secundare sau subproduse cu diferite întrebuințări, precum și deșeuri [45, 46].

Mai mult, amestecarea acestora face recuperarea dificilă, reducând valoarea de pe piață a materialului reciclat cu fiecare ciclu de reciclare [43, 47]. Zincul, la fel ca și celelalte metale, este pe deplin reciclabil. El poate fi reciclat fără a-și pierde proprietățile fizice și chimice. În prezent, aproximativ 70% din zincul produs provine din zăcăminte și 30% din zinc reciclabil sau zinc secundar. Gradul de reciclare este în creștere o dată cu progresul tehnologiei de producție a zincului și odată cu dezvoltarea tehnologiilor de reciclare a zincului [43, 47, 48, 49]. Astăzi peste 80% din zincul disponibil pentru reciclare este recuperat și reciclat. Zincul este reciclat în toate etapele de producție și utilizare. De exemplu, din rebuturile ce apar în timpul procesului de galvanizare a tablelor din oțel, din rebuturile generate în timpul confecționării și instalării produselor și din produsele scoase din uz.

Cea mai mare cantitate de deșeuri cu zinc și cea mai valoroasă, fiind aproape integral reciclată, o constituie deșeurile din oțel acoperit cu zinc, astfel că odată cu reciclarea acestora se pot recupera și valorifica ambele metale originale, ce

pot fi reutilizate pentru a realiza viitoare contribuții la viața comunității.

Metalele pot fi separate prin procedee termice deoarece zincul este, în mod natural, mult mai volatil decât oțelul, acestea fiind retopite în cuptoare cu arc electric.

Temperatura ridicată în procesul de ardere cu arc electric are ca rezultat volatilizarea zincului și a unei părți din fier, ceea ce conduce la producerea unui praf fin ce poate conține zinc până la 30% în funcție de încărcătura din cuptor. Producătorii de zinc ce doresc să își diversifice sursele de materie brută pentru producerea zincului consideră praful provenit din cuptoarele cu arc electric ca o sursă alternativă valoroasă [43, 50, 51].

Totuși, în mod normal industria zincului utilizează materii brute ce au un conținut ridicat de zinc. Ca rezultat, praful provenit de la cuptoarele electrice suferă procese ulterioare înainte ca zincul să poată fi recuperat din acesta.

Cea mai frecvent utilizată metodă de tratare este cunoscută ca procesul Waelz și folosește un cuptor rotativ foarte mare [43, 47, 52-54]. La acest nivel, produsul poate fi utilizat ca material brut în unitățile primare de zinc unde acesta este dizolvat în diferite medii de unde apoi este recuperat prin diferite metode hidrometalurgice, sau la procesare într-un cuptor de topit zinc-plumb [55]. Această metodă de concentrare a zincului este foarte veche și avantajoasă și este utilizată la scară industrială. Cea mai bună capacitate a unei instalații de acest tip este de aproximativ 30000t/an de praf, echivalentul prafului obținut de la 3 cuptoare cu arc electric. Surse secundare de zinc includ de asemenea și alte fluxuri de deșeuri solide ce nu sunt considerate rebuturi tradiționale dar care conțin o concentrație semnificativă de metal ca de exemplu: zgură, cenușă de zinc, nămoluri provenite de la galvanizare etc. Spre deosebire de recuperarea rebuturilor tradiționale principale, în acest caz obiectivele constau în reducerea costurilor de depozitare și valorificarea metalelor utile din deșeurile voluminoase [43, 47, 55]. Mai multe tehnologii de separare chimică domină procesele industriale utilizate pentru a îndepărta sau recupera metalele din fluxurile de deșeuri industriale, dintre acestea procesele hidrometalurgice standard fiind foarte des utilizate pentru a îndepărta metalele din unele deșeuri industriale [43, 50, 55].

Principalii componenți ai prafulor sunt:

- oxizii metalici;
- materiale refractare provenite de la distrugerea zidăriei cuptorului;
- oxizi ai metalelor grele etc.

Reciclarea prafului din gazele arse, este necesară deoarece în compoziția acestuia se găsesc: oxid de fier (FeO), oxid de zinc (ZnO), oxid de plumb (PbO), oxid de mangan (MnO), oxid de magneziu (MgO), trioxid de crom (CrO_3), pentaoxid de fosfor (P_2O_5), oxid de cupru (CuO), trioxid de aluminiu (Al_2O_3) etc. [56, 57, 58].

Deci, în compoziția prafulor se găsesc o serie de oxizi, dintre care cei mai nocivi sunt oxizii metalelor grele. Pe lângă oxizii enumerați mai sus, în compoziția particulelor prăfoase provenite de la elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric se mai găsește și dioxidul de siliciu (SiO_2). Prezența acestuia se datorează distrugerii unei părți din zidăria refractară, în timpul proceselor care au loc în cuptor, la elaborarea oțelului. Prafurile rezultate la elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric sunt considerate a fi deșeuri periculoase, deoarece în compoziția acestora se găsesc următoarele elemente: cromul hexavalent (Cr^{6+}), plumbul și cadmiul.

Procedeele de reciclare a prafurilor provenite de la elaborarea oțelului pot fi grupate în:

- procedee pirometalurgice;
- procedee hidrometalurgice;
- procedee mixte, rezultate din combinarea procedeeelor pirometalurgice și hidrometalurgice.

Procedeele pirometalurgice presupun în principal parcurgerea următoarelor etape:

- topirea reducătoare;
- volatilizarea zincului, plumbului și cadmiului;
- concentrarea oxizilor sau a impurităților metalice;
- extracția fierului.

4.5.2 Instalații utilizate pentru reciclarea deșeurilor

Există patente realizate pentru recuperarea zincului și reducerea componentelor nocive din praful de oțelărie sau alte deșeuri, dintre care amintim introducerea aglomeratelor în oțel lichid și cuptorul cu vatră rotativă (Waelz) [19].

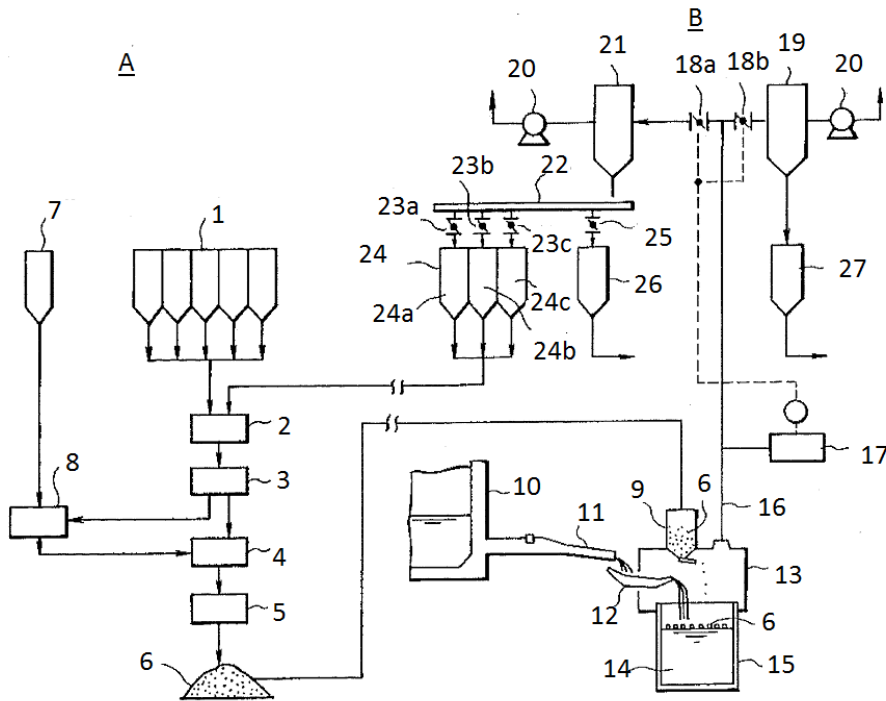


Fig.4.13 Schema de principiu a instalației de reducere a zincului

1-buncăre ce conțin praful oțelărie și material amestec; 2-malaxor; 3-buncăre colectare material amestecat; 4-uscător; 5-buncăre colectare pelete; 6-pelete; 7-buncăre grafit; 8-peletizor; 9-buncăre alimentare cu pelete; 10-cuptor; 11-pâlnie; 12-cuvă rotativă; 13-hotă colectare praful; 14-oțel lichid; 15-oală colectare oțel lichid și gaze arse; 17-analizator praful; 18-clapete închidere conducte; 19-colector praful general; 20-ventilator; 21-colector praful pentru recuperarea zincului; 22-transportor bandă; 23a,23b,23c-clapete pentru descărcarea prafului; 24a,24b,24c-buncăre praful recuperat; 25-clapetă praful recuperat reciclat; 26-buncăre praful recuperat reciclat

4.5.2.1 Reducerea peletelor în oțel lichid

Principiul de funcționare a instalației prezentate în figura 4.13 este următorul: praful de oțelărie, precum și materialul de amestec este stocat în buncărele 1, apoi acestea sunt amestecate, în malaxorul 2, urmând a fi depozitate în buncărul 3; peste acestea se adaugă grafit din buncărul 7 și sunt făcute pelete cu ajutorul peletizorului (8), ca apoi urmând a fi uscate (uscătorul 4) și depozitate (buncărul 5). Peletele rezultate urmează a fi puse într-un buncăr de alimentare cu pelete în cuptor (9), care vor fi turnate în oala (4) cu oțel lichid (14). Oțelul lichid fiind provenit din cuptor (10), se varsă în oala în care se vor pune aglomeratele printr-o cuvă rotativă (3). Colectarea prafului se face printr-o hotă (13), praful urmând a fi transportat către colectorul de praf (19), prin conducta de colectare gaze (16). Aspiratia prafului se face cu ajutorul unui ventilator (20). În urma analizării concentrației prafului (17), în funcție de componența acestuia, va fi considerat reciclat și colectat în buncăr (23), sau, dacă se dorește o separare mai atentă a acestuia, trecut prin banda de colectare (18), și în funcție de compoziția chimică, colectat și eliminat pentru utilizare în industrie (26), sau colectat în buncăre (24a, 24b, 24c), după ce a fost sortat pe granulații prin site și vane (23a, 23b, 23c) și retrecut prin procesul de peletizare.

4.5.2.2 Cuptor cu vatră rotativă

Cuptoarele cu vatră rotativă au fost folosite în industrie atât pentru tratamente termice, reciclarea deșeurilor, precum și pentru recuperarea metalelor la temperaturi înalte. Cuptorul cu vatră rotativă constă dintr-o vatră rotativă refractară plană în interiorul unei tunel circular, încălzit la temperaturi ridicate.

Tehnologia Waelz este un procedeu pirometalurgic care realizează volatilizarea unor metale neferoase ca: zinc, plumb, etc. prin reducere cu cărbune-cocs, urmată de oxidare în curent de aer la temperaturi corespunzătoare, în cuptoare rotative, obținându-se oxizi de metale neferoase, fără să genereze zgură lichidă. Procesul tehnologic se desfășură în două etape:

Etapa I. Pregătirea materiei prime și a șarjei

Asigură dozarea componentilor materiei prime (diferite sorturi de materie primă cu conținut de zinc aduse de pe halda de deșuri măcinate-concasate la dimensiunea de 16mm), agentul reducător (cocs care nu necesită măcinare - concasare) și materiale pentru formarea zgurii (nisip sau materiale bogate în SiO_2 care nu necesită măcinare-concasare) în funcție de natura chimică a materiei prime secundare folosită.

Etapa II. Cuptor rotativ Waelz este format din:

- instalația de dozare a șarjei solide;
- cuptorul rotativ Waelz;
- instalația de granulare-răcire a zgurii și sistemul închis de recirculare ape;
- unități de purificare a gazului (filtru cu saci și scrubber spălător Venturi).

Schema de funcționarea a unei instalații de recuperare a zincului pe baza unui cuptor cu vatră rotativă este prezentată în figura 4.14.

Deșeurile ce conțin Zn, Cd, Pb, As și alte elemente ce nu ar trebui să existe în produsul finit (oțel), sunt depozitate în buncărele de material. Buncărele alimentează într-o proporție stabilită (pentru realizarea unei reduceri maxime) moara cu bile, unde sunt adăugate material de legătură și apă. După realizarea amestecului, acestea sunt transportate în peletizor, pentru realizarea peletelor. Umiditatea peletelor este de 8-13%, de aceea peletele sunt introduse ulterior în uscător.

Peletele se așează pe vatră în mod uniform, dispuse pe unul sau două straturi. Arzătoarele situate în tavan dau căldura necesară pentru a aduce peletele la temperatură optimă pentru reducere. Peletele rămân în cuptor până se realizează un ciclu complet, de obicei 6 până la 12 minute, după care sunt descărcate, iar ciclul se reia. Ca rezultat oxizii de fier din pelete sunt reduși la oxizi inferiori, respectiv fier metallic, iar zincul este eliminat sub formă de gaze și vapori.

După reducere, peletele sunt descărcate printr-un melc de descărcare, putând fi reutilizat în cuptoarele de turnare, iar zincul este tratat în zona facilităților de tratament. Căldura gazelor este recuperată cu ajutorul unui boiler și schimbător de căldură, iar zincul din gaze este colectat ca și produs secundar [59, 60].

**Amestecarea, peletizarea
și uscarea materialului
(prafotelările, zgură)**

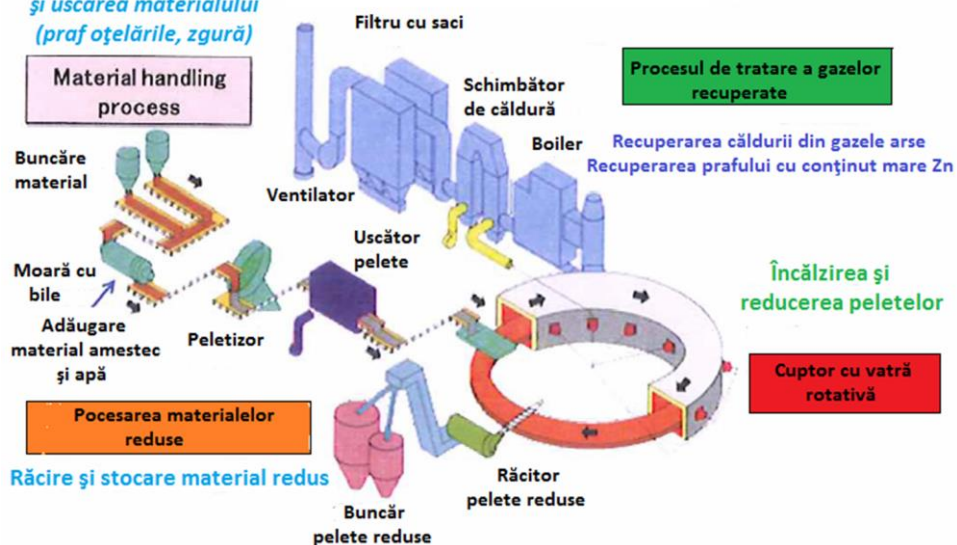


Fig.4.14 Schema de principiu a unei instalații de recuperare a zincului pe baza unui cuptor cu vatră rotativă

Importanța utilizării instalațiilor de reciclare a deșeurilor este următoarea:

- recuperarea prafulilor din gazele arse provenite de la elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric oferă posibilitatea diminuării impactului negativ asupra mediului înconjurător, prin reducerea cantității de particule prăfoase antrenate în microclimatul adiacent sectoarelor de elaborare a oțelului;
- diminuarea concentrațiilor de metale grele din compoziția prafulilor prezente în gazele arse, este posibilă prin selectarea încărcăturii utilizate;
- prin recuperarea și reciclarea prafulilor provenite de la elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric, se elimină o serie de probleme legate de depozitarea acestora. Un alt avantaj îl constituie posibilitatea realizării unor economii importante de materii prime, materiale secundare și energie;
- recuperarea prafului prezintă o importanță deosebită atât din punct de vedere economic cât și din punct de vedere al protecției mediului înconjurător.

4.6. Instalații și echipamente folosite în cadrul cercetărilor și experimentărilor în laborator

Determinarea caracteristicilor calitative a deșeurilor procesate în cadrul experimentărilor în fază de laborator, precum și a peletelor, brichetelor și aglomeratelor obținute, au fost efectuate în laboratoarele Facultății de Inginerie din Hunedoara/Universitatea Politehnica Timișoara, Institutul de Cercetare pentru Energii Regenerabile UPT, a S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. și Facultății de Știința și Inginerie Materialelor/Universitatea Politehnica București.

Pentru experimentări referitoare la producerea peletelor, brichetelor și aglomeratelor, s-au folosit instalațiile (echipamentele) prezentate în cele ce urmează.



Fig.4.15 Echipamente și instalații utilizate



Fig.4.16 Ciur vibrator



Fig.4.17 Moară Kollergang



Fig.4.18 Moară planetară cu bile PM100

Fig.4.19 Moară cu rotor ZM 200

Clasarea prin refuz se realizează pe site la care prima sită este cu ochiurile cele mai mari; trecerea de pe această sită va constitui alimentarea pentru a doua sită pe care se va obține din nou o trecere și un refuz și așa mai departe pentru sitele următoare ce vor avea ochiurile din ce în ce mai mici.

Inițial, materialul se supune clasării granulometrice pe site cu dimensiuni ale ochiurilor mai mari (se stabilesc tipurile sitelor în funcție de natura materialului inițial).

Măcinarea materialului granular se realizează într-o moară planetară cu bile sau într-o moară ultracentrifugală (în funcție de duritatea materialului granular supus măcinării), iar cantitatea de material granular supus operației de măcinare se stabilește în funcție de diametrul bilelor utilizate, știindu-se capacitatea recipientului de măcinare ca fiind de 500 ml.

Moara planetară cu bile PM 100 CM pulverizează și amestecă materiale cu duritate medie, până la cele extrem de dure, precum și materiale casante și fibroase. Este folosită atunci când cel mai înalt grad de finețe este necesar. Se poate efectua atât măcinare uscată, cât și umedă. Forțele centrifuge produse de rotație împing bilele de măcinare și proba pe peretele interior al incintelor de măcinare, unde are loc reducerea dimensiunilor, în principal prin presare și frecare.

Aparatele de sitare Fritsch sunt dimensionate astfel încât să răspundă tuturor cerințelor unui laborator. Aparatele vibratoare (pentru site pentru site de Ø 100, 200, 250, 300, 315, 350, 400, 450mm și 8, 12, 16, 18inch) sunt instrumente fiabile pentru sitare uscată, umedă și de micro-precizie, de la 0.05g la 15kg.

Instalația de laborator este alcătuită dintr-un platou vibrator pe care se așează sitele, care sunt rigidizate cu ajutorul unor curele, după cum se observă din figura 4.20. Vibrarea întregului ansamblu de site se realizează electromagnetic, putându-se regla amplitudinea de vibrația a acestora dar și timpul de funcționare a instalației. Se cântărește refuzul de pe fiecare sită, inclusiv de pe sita oarbă cu ajutorul balanței electronice.

ZM 200 este o moară centrifugală care dezvoltă o viteză de rotație foarte mare și este folosită pentru reducerea mărimii particulelor cu duritate medie sau a materialelor fibroase.

Dată fiind tehnica eficientă de reducere a dimensiunii, ZM 200 asigură o preparare delicată a probelor analitice într-un timp foarte scurt. Prezintă avantajul unei concasări fine și foarte rapidă a dimensiunii prin pre-măcinare și măcinare fină într-un singur ciclu de operare.



Fig.4.20 Aparat de sitare Fritsch tip Analysette 3 Spartan



Fig.4.21 Balanță de cântărire

Modele de balanță utilizate (figura 4.21) prezintă funcția încorporată de calibrare și reglare. Aceasta înseamnă ca balanța va realiza în mod automat calibrare și ulterior reglare oricând temperatura mediului se schimbă cu o anumită

valoare sau când s-a scurs un anumit interval de timp.



Fig.4.22 Tobă de omogenizare



Fig.4.23 Peletizor tip taler

Peletizarea se aplică numai minereurilor sau materialelor cu granulația sub 0,2mm; cele cu granulație mai mare de 0,2mm se supun anterior măcinării, până la obținerea fineței necesare.

În peletizor se introduce o cantitate bine stabilită de materiale și se face un adaos de apă pentru umezire, iar ca liant se folosește bentonită, var, cenușă de termocentrală. Peletizarea continuă până se obțin pelete cu diametrul între 2-15mm. De la fiecare încărcare se rețin câteva pelete crude pentru determinarea rezistenței la compresiune, restul fiind arse în cuptoare de calcinare, iar după răcire se vor determina caracteristicile fizico-mecanice.



Fig.4.24 Instalația de aglomerare



Fig.4.25 Instalația de brichetare

Producerea de aglomerat în cutia de aglomerare se face folosind diferite rețete de aglomerare. În funcție de tipul de minereuri sau deșeuri feroase existente și de caracteristicile dorite pentru aglomerat, se fac diverse dozări între componentele încărcăturii: minereuri de fier, deșeuri, cocs, fondanți, diferite adaosuri.

În cadrul experimentărilor după terminarea procesului de aglomerare, produsul, respectiv aglomeratul, se lasă în cutie pentru răcire cu aspirare de aer timp de 4-5min.), după care se evacuează din cutie și se supune clasării (pe ciurul vibrator), iar apoi se depozitează.

Instalațiile de brichetare, transformă deșeurile cu granulație sub 8mm, în bucăți de formă determinată (cilindrică, prismatică) prin presare.

Instalațiile prin care se execută brichetarea materialelor pot fi instalații de joasă presiune (până la 75N/mm²) și instalații de presiune înaltă (peste 75N/mm²).

Pentru valorificarea sub formă de brichete a deșeurilor mărunte și pulverulente, provenite din industriile siderurgice, energetice și miniere, s-a avut în vedere următoarele deșeuri: praf de oțelărie, praf aglomerare-furnale, material ISP, tunder (șlam de tunder), grafit, iar ca liant: zgură LF, var, bentonită.



Fig.4.26 Etuva



Fig.4.27 Cuptor de calcinare/topire L15/12 /B180



Fig.4.28 Cuptor de calcinare/topire LHT 02/17



Fig.4.29 Cuptor cu rezistori



Fig.4.30 Cuptor de topire prin inducție



Fig.4.31 Cuptor de topire tip Tammann



Fig.4.32 Mașina de încercări la compresiune

4.7 Concluzii

Analizând procedeele și tehnologiile de valorificare a deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier și carbon, prezintă interes următoarele concluzii:

- toate procedeele și tehnologiile prezentate pot fi aplicate pentru valorificarea deșeurilor și au fost utilizate în cadrul experimentărilor;
- alegerea procedeeului și tehnologiei de verificare trebuie să aibă în vedere atât caracteristicile deșeurilor, destinația produsului obținut și instalațiile de procesare existente în zona cu deșeuri, eficiența economică obținută;
- în prezent prezintă interes deosebit procedeele neconvenționale de reciclare a deșeurilor în vederea obținerii unui produs cu conținut ridicat de fier metalic;
- valorificarea deșeurilor prin procedeele clasice prezintă interes deoarece:
 - poate asigura, în funcție de tehnologia aplicată a unor produse cu oxizi de fier avansat reduși, praf bogat în zinc, procesabil prin tehnologii specifice metalurgiei neferoase;
 - prezintă interes deosebit, mai ales pentru unitățile siderurgice puternic restructurate, cu închiderea fluxului primar (cocserie - aglomerator - furnale - oțelărie Siemens-Martin) și cantități mari de deșeuri depozitate pe halde și iazuri.

PARTEA A II-A
**CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI DE PROCESARE
A DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE**

CAPITOLUL 5
**EXPERIMENTĂRI ÎN FAZĂ DE LABORATOR PRIVIND
VALORIFICAREA DEȘEURILOR MĂRUNTE
ȘI PULVERULENTE DIN INDUSTRIA METALURGICĂ**

CAPITOLUL 6
**PROCESAREA PELETTELOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI ZINC
PRIN PROCESAREA ÎN CUPTORUL ELECTRIC CU INDUCȚIE**

CAPITOLUL 7
**CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA PRAFURILOR
REZULTATE DIN PROCESELE SIDERURGICE**

5. EXPERIMENTĂRI ÎN FAZĂ DE LABORATOR PRIVIND VALORIFICAREA DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE DIN INDUSTRIA METALURGICĂ

5.1 Generalități

Soluțiile tehnologice experimentale, propuse în cadrul tezei de doctorat, au în vedere valorificarea materialelor secundare constând din deșeuri pulverulente și mărunte (de la S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. - praf de oțelărie, praf de aglomerare-furnale, praf de var, țunder, zgură de oțelărie fracția magnetică, zgură reducătoare LF, praf de grafit etc. și de la o societate de procesare a minereurilor neferoase complexe (PMNC), zgură ISP și material amestec.

Pentru a justifica necesitatea desfășurării cercetărilor experimentale propuse, trebuie menționat faptul că în România, fierul vechi a devenit materie primă deficitară, datorită liberalizării exporturilor și a creșterii prețului de achiziție a acestuia, în mod deosebit a celui de calitate superioară, pe de o parte, iar pe de altă parte condițiile impuse de Uniunea Europeană referitor la calitatea mediului [41].

Industria metalurgică românească înregistrează în prezent decalaje tehnologice în ceea ce privește procesele de valorificare a unor deșeuri pulverulente și mărunte specifice siderurgiei și metalurgiei neferoase în vederea extragerii fierului și unor metale neferoase, de exemplu zinc.

Pe plan mondial se valorifică circa 80% din deșeurile siderurgice pulverulente și mărunte, în timp ce în România, în momentul actual, se valorifică aproximativ 48% dintre acestea, restul fiind haldate (în cazul metalurgiei neferoase proporțiile sunt mai mici). Haldarea acestor deșeuri (mai ales celor provenite din metalurgia neferoasă) conduce atât la poluarea mediului ambiant prin degajări difuze ale compușilor nocivi, cât și la impurificarea apelor de suprafață și a pânzelor freatică, pe suprafețe care depășesc cu mult perimetrele de haldare [40].

Abordarea, rezolvarea și implementarea tehnologiilor propuse depind în mare măsură de:

- natura materialelor supuse procesării și anume a deșeurilor ca materiale secundare care trebuiesc valorificate prin reciclare;
- forma produsului finit, sub care sunt procesate aceste materiale.

În baza documentației din literatura de specialitate și pe baza experimentărilor și rezultatelor proprii, se consideră ca fiind fundamentate soluțiile tehnologice propuse, în vederea procesării acestor deșeuri ca materii prime în siderurgie și nu numai [1, 20, 42].

Cercetările s-au axat predominant pe valorificarea deșeurilor cu conținut de zinc și fier, scopul fiind determinarea randamentului de eliminare a zincului din deșeurile cu asemenea elemente procesate prin peletizare, brichetare și aglomerare, primele două procedee fiind cele mai convenabile din punct de vedere tehnico-economic pentru societățile siderurgice puternic restructurate cât și pentru alte societăți care produc cantități relativ mici de deșeuri până la circa 6000 tone pe an.

5.2 Fluxul tehnologic și tehnologia de producere a peletelor, brichetelor și aglomeratelor în fază de laborator

Procesarea deșeurilor mărunte și pulverulente reprezintă ansamblul de operații tehnologice prin care acestea sunt prelucrate în vederea utilizării lor în condițiile cerute de utilizator. Operațiile tehnologice sunt hotărâtoare în procesele de valorificare/reciclare a materialelor secundare – deșeuri pulverulente și mărunte.

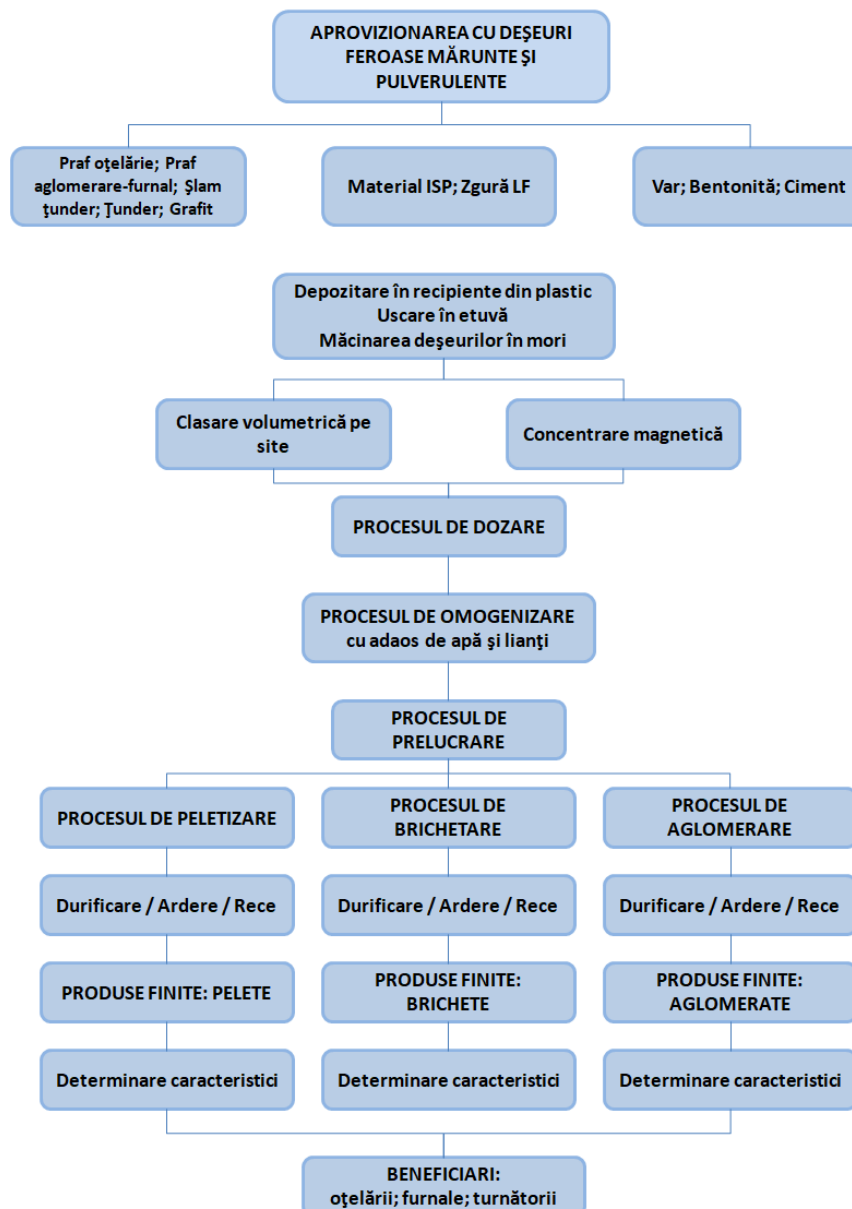


Fig.5.1 Schema tehnologică de peletizare, brichetare și aglomerare

Pentru efectuarea experimentărilor în bune condiții și obținerea unor pelete, brichete și aglomerate a căror caracteristici calitative să fie corect redade de cele ale materiilor prime utilizate, a fost stabilită următoarea schemă tehnologică aplicată pentru fiecare variantă experimentală (fig.5.1).

Principala linie de cercetare a avut în vedere valorificarea deșeurilor cu conținut de fier și zinc pentru eliminarea zincului.

A doua linie de cercetare poate fi considerată procesarea prafului de oțelărie și a țunderului în vederea recuperării fierului.

Bazate pe procese de reducere a materialelor oxidice, soluțiile tehnologice experimentate pe parcursul elaborării tezei, au avut în vedere valorificarea materialelor secundare, constând din deșeuri pulverulente și mărunte provenite din industria metalurgică (feroasă/siderurgia și neferoasă).

5.3 Tehnologia stabilită pentru producerea peletelor

Tehnologia stabilită pentru producerea peletelor cuprinde următoarele etape:

- Aprovizionarea cu deșeuri pulverulente și mărunte de la următoarele societăți: S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. și (PMNC);
- Depozitarea acestora a fost făcută în recipiente din material plastic;
- Uscarea deșeurilor a avut loc în etuvă, măcinarea bulgărilor din deșeuri pulverulente depozitate în iazuri în moara Kollergang, cu bile PM 100 și ZM 200;
- Materialele pulverulente au fost supuse clasării volumetrice folosind 8 site cu ochiuri de 125 μ m și mai mici, ajungând până la 25 μ m;
- Materialul cu granulație sub 125 μ m a fost depozitat în recipiente separate; în vederea utilizării la diferite rețete de peletizare, materialele cu granulație mare au fost introduse în moara Kollergang, iar cele cu granulație peste 125 μ m în moara cu bile și după măcinare s-au depozitat în silozuri (recipiente);
- După clasarea și depozitarea tuturor deșeurilor și materialelor necesare, acestea au fost dozate în funcție de rețeta utilizată și s-au introdus în instalația de omogenizare cu adăugarea lianților;
- Șarja crudă s-a peletizat cu ajutorul instalației de peletizare, ținând cont atât de cantitatea de material folosit cât și de cantitatea de apă necesară pentru a obține pelete;
- În urma procesului de peletizare, peletele s-au supus procesului de clasare folosindu-se site cu ochiuri având diametrul de 10mm; peletele cu diametrul mai mic de 10mm s-au reintrodus în procesul de peletizare sau în cel de obținere a aglomeratului.
- Peletele obținute s-au supus unor procese de durificare, inițial în atmosferă normală și ulterior în funcție de gradul de reducere dorit, în cuptoare cu rezistență, încălzite la 1150°C, timp de 3 ore, menținere 1 oră și răcire în cuptor, după o diagramă de încălzire - menținere - răcire stabilită pe baza experimentărilor proprii - rezultate, prezentate în figura 5.2.
- Peletele rezultate în urma procesului de reducere au fost apoi analizate chimic pentru a se vedea gradul de reducere al zincului precum și compoziția rezultată pentru a se stabili dacă pot fi reintroduse în procesul tehnologic.

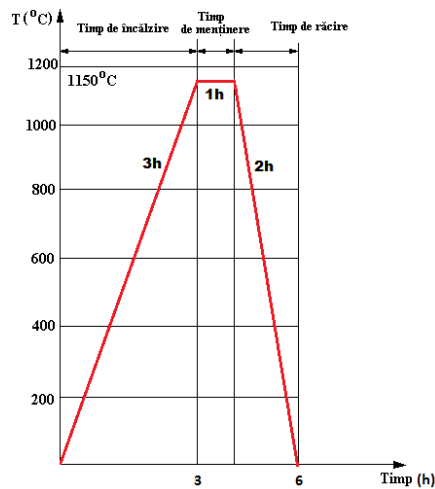


Fig.5.2 Diagrama de reducere a peletelor

5.3.1 Experimentări de laborator privind producerea peletelor cu durificare prin ardere

Pentru producerea peletelor, deșeurile utilizate, precum și rețetele de fabricare sunt prezentate în tabelul 5.1. De asemenea se prezintă, în același tabel, proporția de grafit utilizat ca reducător.

Peletele au fost produse cu respectarea tehnologiei prezentate anterior. Reducerea acestora s-a făcut conform diagramei prezentate, iar analiza chimică s-a determinat în cadrul S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A.

Tabelul 5.1 Componența rețetelor utilizate pentru realizarea peletelor, brichetelor și aglomeratelor, [%]

Nr. Crt.	*)Deșeurii utilizate	Componența rețetelor, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1.	P.O.	20	24	32	35	38	40	45	50	54	60
2.	I.S.P.	35	24	19	28	31	25	23	25	12	12
3.	M.A.	25	24	25	16	18	19	15	7	18	14
4.	G	13	16	14	13	9	11	8	10	11	10
5.	Zg LF	7	12	10	8	4	5	9	8	5	4
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*) P.O. – praful oțelărie; I.S.P. – material de la PMNC; M.A. – material amestec; G – grafit; Zg LF – zgura LF

În figura 5.3 se prezintă componența rețetelor sub formă grafică:

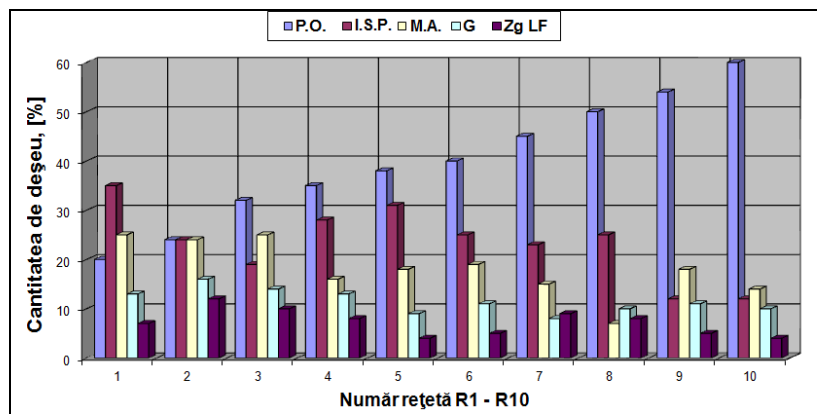


Fig.5.3 Componenta rețetelor în vederea experimentării

În tabelul 5.2 se prezintă compoziția chimică a componentelor folosite la producerea peletelor.

Tabelul 5.2 Compoziția chimică a materialelor ce vor fi folosite pentru producerea peletelor, [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
P.O.	43,11	7,29	19,6	6,59	1,74	2,66	3,33	3,03	0,30	0,33	3,2	8,73
M.A.	33,97	24,36	11,2	8,53	6,29	5,95	1,16	0,61	0,13	0,05	0,5	7,15
ISP	35,62	20,82	12,9	10,87	9,11	2,33	1,53	0,52	0,19	0,05	0,16	8,93

La acestea s-a adăugat grafit și zgură LF după proporțiile stabilite în rețete.

În tabelul 5.3 se prezintă compoziția chimică a rețetelor înainte de eliminarea zincului (introducerea acestora în cuptor), și realizarea reducerii zincului.

Tabelul 5.3 Compoziția chimică a rețetelor pentru pelete din șarja crudă, [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
R1	31,19	16,4	15,6	9,02	3,70	2,4	2,95	2,19	0,25	0,234	8,77	7,14
R2	28,76	11,1	11,4	14,5	6,81	1,9	3,09	1,92	0,73	0,171	13,0	6,48
R3	32,64	12,42	12,83	10,56	5,31	2,14	2,98	1,59	0,214	0,168	12,3	6,848
R4	33,60	9,39	13,19	11,48	4,79	2,08	3,15	1,67	0,193	0,21	13	7,25
R5	36,8	10,84	14,87	10,47	4,5	2,18	2,91	1,78	0,238	0,19	7,25	7,97
R6	35,91	9,08	14,47	10,48	4,02	2,13	3,05	1,88	0,202	0,227	10,6	7,95
R7	32,32	12,22	12,2	10,98	5,45	2,15	2,63	1,3	0,193	0,139	14	6,42
R8	35,49	8,64	15,15	10,11	4,25	1,98	3,08	2,03	0,229	0,221	11,1	7,74
R9	36,68	9,85	15,66	9,02	3,70	2,44	2,95	2,19	0,252	0,234	8,77	8,26
R10	35,3	6,72	17,22	6,72	2,2	2,44	3,04	4,03	0,24	0,297	12	9,79

După producerea peletelor, acestea au fost introduse în cuptor și încălzite până la o temperatură de 1150 °C, cu o viteză de 6 °C/min, menținute timp de 1 oră și răcite pentru 2 ore.



Fig.5.4 Pelete scoase din cuptor



În urma reducerii zincului, s-au obținut peletele a căror compoziție este prezentată în tabelul 5.4. Pe baza acestor analize s-a efectuat prelucrarea datelor în vederea obținerii unei rețete în care gradul de eliminare al zincului să fie cât mai mare.

Tabelul 5.4 Compoziția chimică a peletelor după eliminarea Zn, [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
R1	38,29	23,8	2,16	15,1	8,66	0,211	3,61	1,58	0,29	0,723	0,1	5,33
R2	36,70	22,2	0,9	15,6	9,79	0,039	3,96	1,75	0,74	1,04	0,7	6,31
R3	40,58	20,3	1,9	13,4	7,46	0,111	3,56	1,86	0,28	3,17	0,3	6,96
R4	36,15	22,1	1,6	16,0	9,64	0,174	4,24	1,91	0,33	0,247	0,0	7,45
R5	44,23	18,0	3,9	10,8	6,12	0,334	2,99	1,82	0,27	3,91	0,1	7,28
R6	36,74	21,4	2,0	14,9	8,85	0,226	4,39	2,16	0,35	0,327	0,3	8,14
R7	43,02	19,6	2,1	11,8	6,3	0,314	3,43	1,9	0,28	2,68	0,2	8,18
R8	48,95	14,81	1,12	9,57	5,58	0,070	3,10	2,18	0,27	6,78	0,3	7,24
R9	46,94	17,17	1,02	10,45	5,79	0,092	3,71	2,61	0,319	4,67	0,17	7,06
R10	36,42	20,34	1,76	15,44	7,52	0,365	5,06	3,08	0,455	0,545	0,19	8,82

Tabelul 5.5 Randamentul de eliminare a zincului din pelete, [%]

Nr. rețetă	R1	R2	R3	R4	R5	R5	R7	R8	R9	R10
η_{Zn} , [%]	86,20	91,37	85,04	87,26	85,16	85,76	90,20	90,52	93,49	89,78

$$\eta_{\text{Zn}} = (\text{Zn}_f / \text{Zn}_{\text{total}}) * 100$$

(5.1)

5.3.2 Analiza datelor

Datele obținute au fost prelucrate în programele de calcul Matlab în vederea obținerii unor corelații între principala caracteristică urmărită – gradul de eliminare a zincului - și proporția componentelor în rețetă .

Pentru stabilirea unor ecuații de corelație dublă între componentele cu Fe și Zn (mai precis PO, ISP și MA și gradul de eliminare a zincului), datele au fost prelucrate în programul de calcul Matlab, iar rezultatele sunt prezentate atât sub formă grafică cât și analitică.

Reprezentarea grafică cu ajutorul programului Matlab admite următoarele:

- ≡ Sunt analizate seturile de valori x, y și z pentru obținerea dependențelor $z = f(x,y)$;
- ≡ Variabila z este dependentă, iar variabilele x și y sunt independente;
- ≡ Sunt afișate datele statistice și graficele diferitelor ecuații posibile, în ordinea descrescătoare a coeficientului de determinare multiplă;
- ≡ Din mulțimea de ecuații se rețin doar cele care au valori acceptabile ale coeficientului de determinare multiplă;
- ≡ Sunt salvate valorile corelațiilor neliniare: Eroarea standard de estimare; Coeficientul de determinare multiplă R^2 ; Ecuația de regresie; Coeficienții ecuației de regresie;
- ≡ Sunt reprezentate grafic suprafețele $z = f(x,z)$.

În cadrul experimentărilor, prin analiza de regresie, s-a urmărit determinarea formei funcțiilor matematice care leagă variabilele dependente ale procesului tehnologic de variabilele independente, pe baza unor determinări experimentale, aceasta după ce s-a efectuat o analiză de corelație a acestor date.

Sub formă grafică se prezintă suprafața de regresie, care prezintă fie punct de maxim/punct de minim (forma unui paraboloid) sau punct staționar, deci suprafață tip șea. Pe baza curbelor de nivel se pot determina limitele de variație a parametrilor independenți (a factorilor de influență) asupra parametrului dependent, în speță a gradului de eliminare a zincului.

S-au determinat următoarele 3 tipuri de corelații:

a) polinomială de gradul 2;

$$z = a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot y^2 + a_3 \cdot x \cdot y + a_4 \cdot x + a_5 \cdot y + a_6,$$

b) polinomială de gradul 5;

$$z = a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2 + a_4 \cdot x^3 + a_5 \cdot y + a_6 \cdot y^2 + a_7 \cdot y^3 + a_8 \cdot y^4 + a_9 \cdot y^5;$$

c) logaritmică.

$$z = a_1 + a_2 \cdot \ln x + a_3 \cdot \ln x^2 + a_4 \cdot \ln x^3 + a_5 / y + a_6 / y^2 + a_7 / y^3 + a_8 / y^4 + a_9 / y^5;$$

z - parametrul dependent; x, y - parametrii independenți; $a_1, a_2, a_3, a_4,$

a_5, a_6, a_7, a_8, a_9 - coeficienți

Corelațiile prezentate sunt semnificative din punct de vedere a coeficientului de corelație multiplă cât și a reprezentării grafice, respectiv a sensului tehnologic, iar zonele hașurate prezintă interes tehnologic.

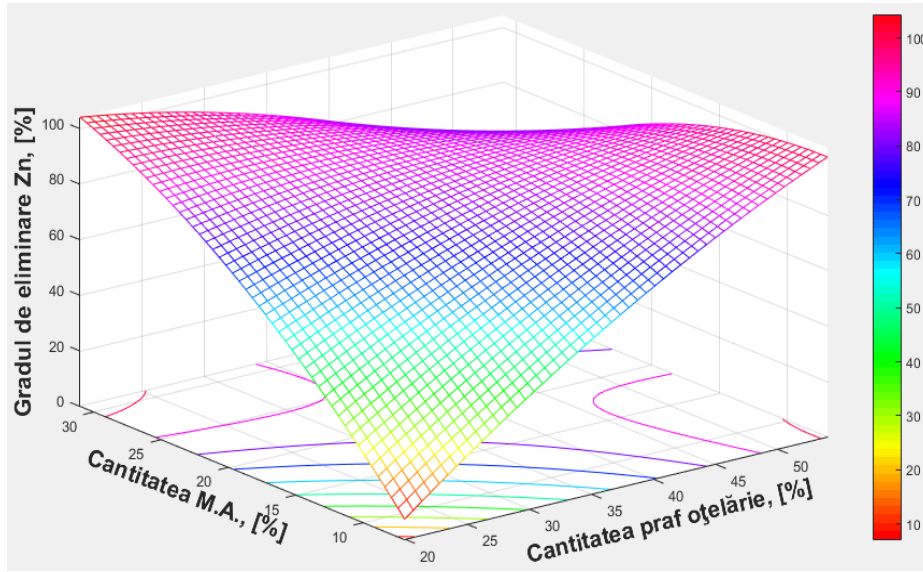
În reprezentările grafice se prezintă:

a) suprafața de corelație;

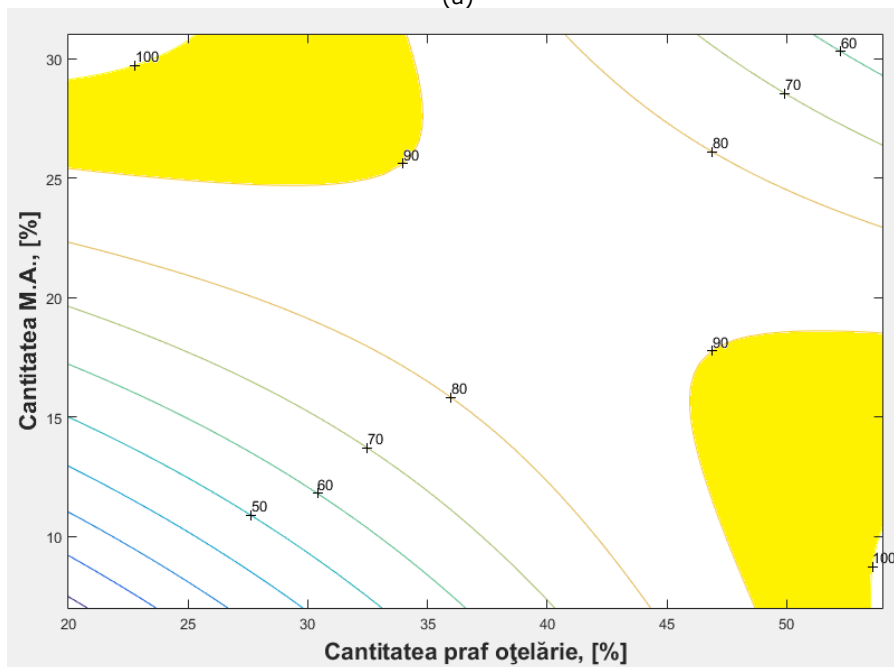
- b) curbe de nivel proiecție plană;
- c) curbe de nivel proiecție spațială.

5.3.2.1 Corelația polinomială de gradul 2:

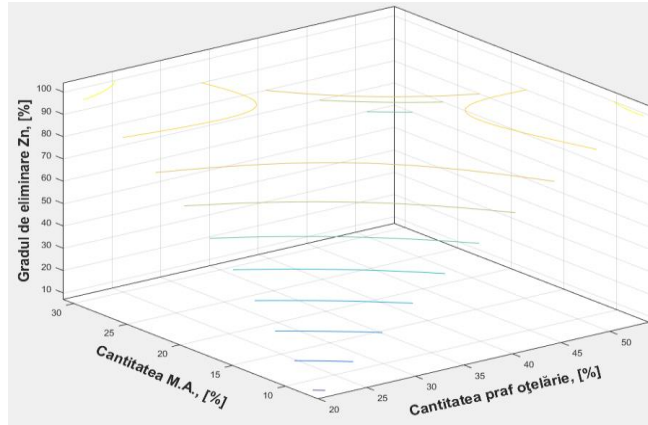
$$\eta_{e.Zn} = -0,0245(PO)^2 - 0,0822(MA)^2 - 0,1769(PO)(MA) + 5,8087(PO) + 10,7003(MA) - 143,3019; \text{ Coeficientul de corelație multiplă: } R^2 = 0,8229 \quad (5.2)$$



(a)



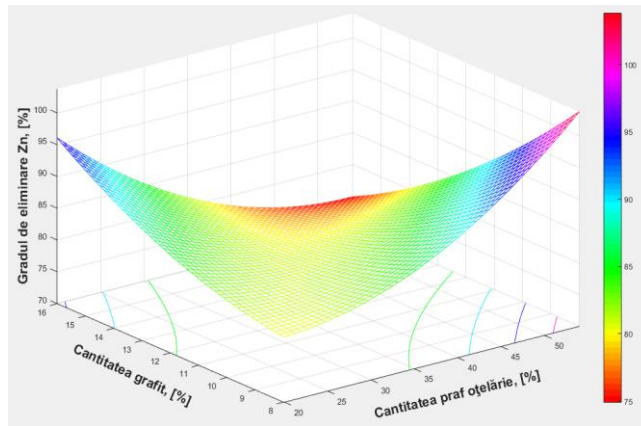
(b)



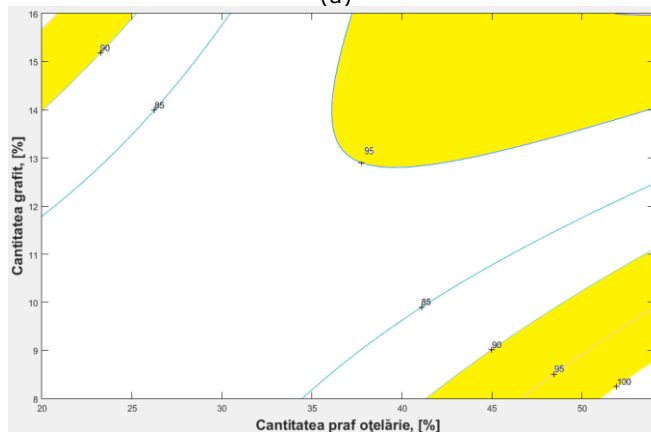
(c)

Fig.5.6 Gradul de eliminare Zn în funcție de P.O. și M.A.

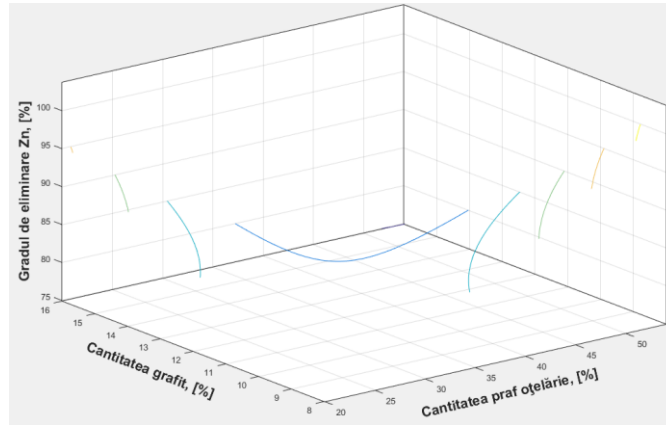
Ecuția de regresie: $\eta_{e,Zn} = 0,0186(PO)^2 + 0,1701(G)^2 - 0,1644(PO)(G) + 0,6357PO + 1,1862(G) + 0,0006$; Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,8179$ (5.3)



(a)



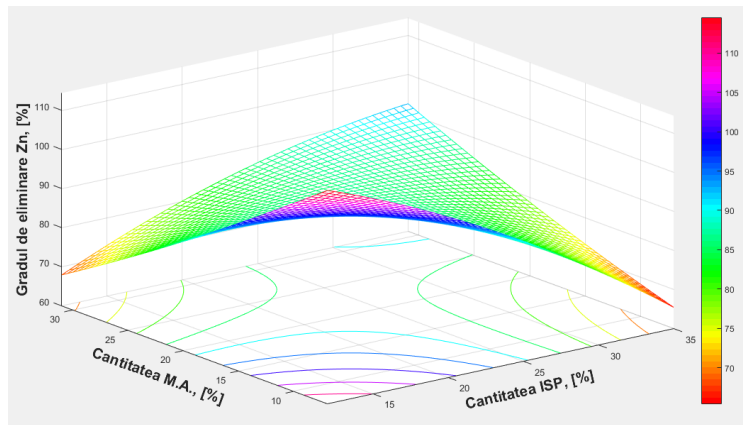
(b)



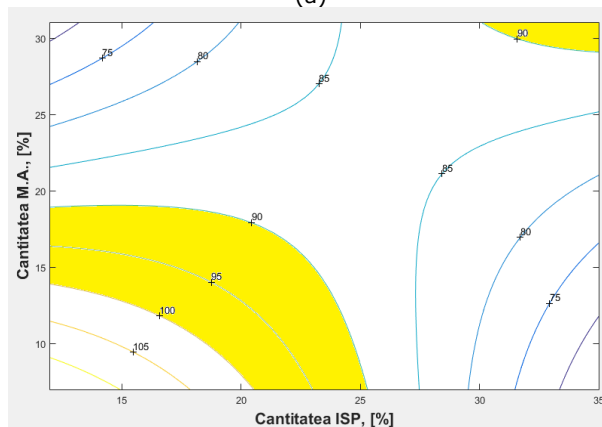
(c)

Fig.5.7 Gradul de eliminare Zn în funcție de P.O. și grafit

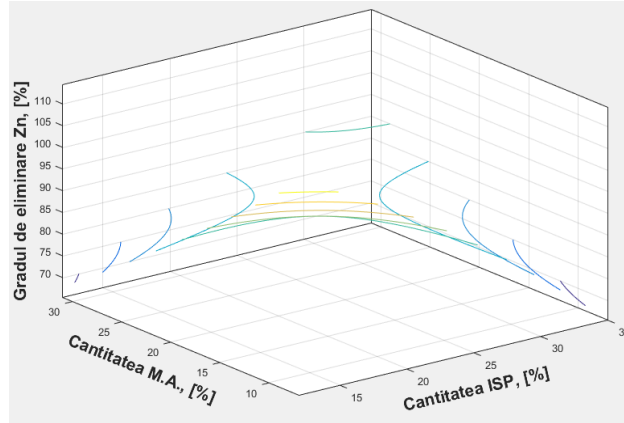
$$\eta_{e.Zn} = -0,0303(ISP)^2 + 0,0092(MA)^2 + 0,1334(ISP)(MA) - 1,6425(ISP) - 3,8894(MA) + 154,0921; \text{ Coeficientul de corelație multiplă: } R^2 = 0,5652. \quad (5.4)$$



(a)



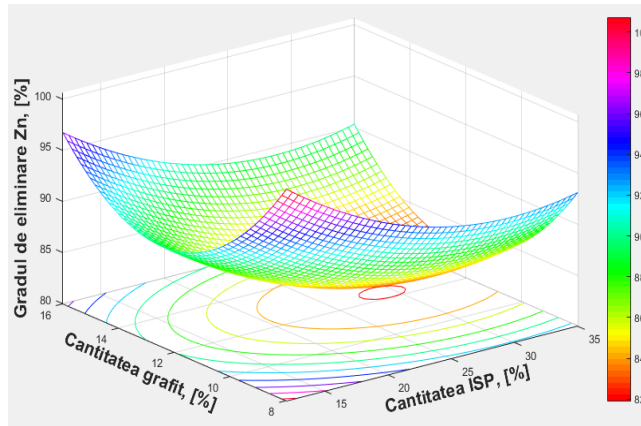
(b)



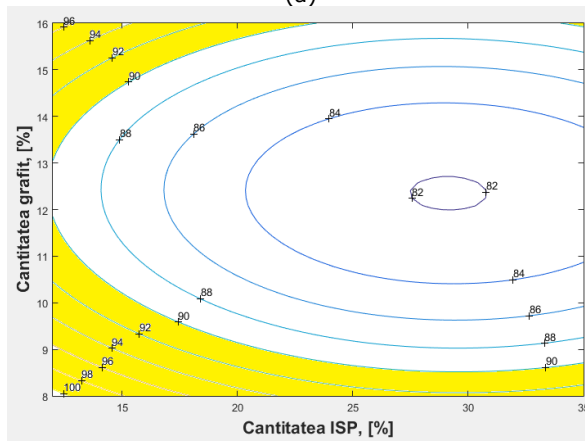
(c)

Fig.5.8 Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și M.A.

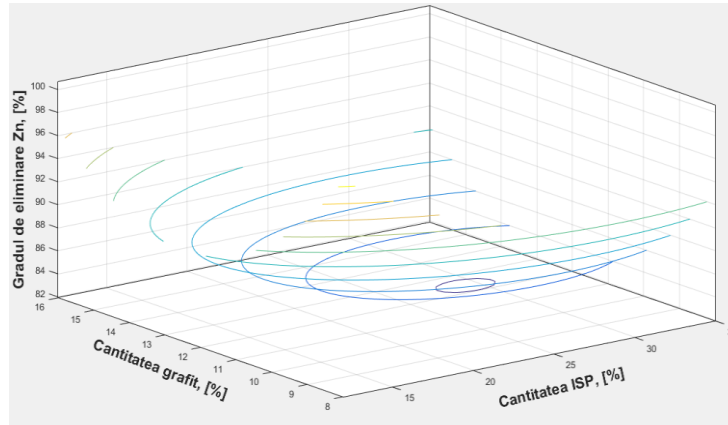
Ecuția de regresie: $\eta_{e.Zn}=0,0268(ISP)^2+0,5500(G)^2+0,0062(ISP)(G)-1,6394(ISP)-13,7669(G)+190,8265$; Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,6755$; (5.5)



(a)

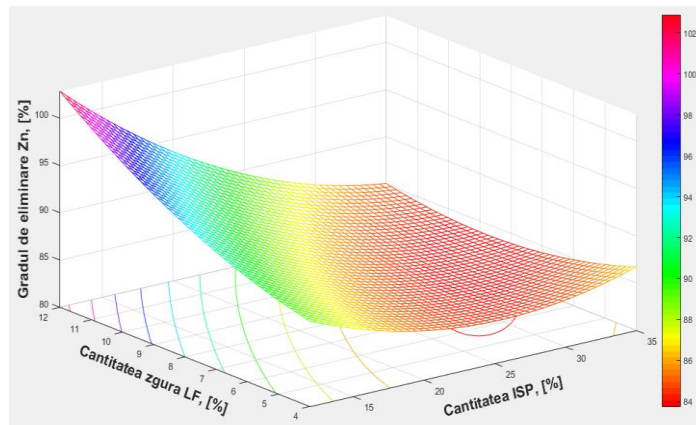


(b)

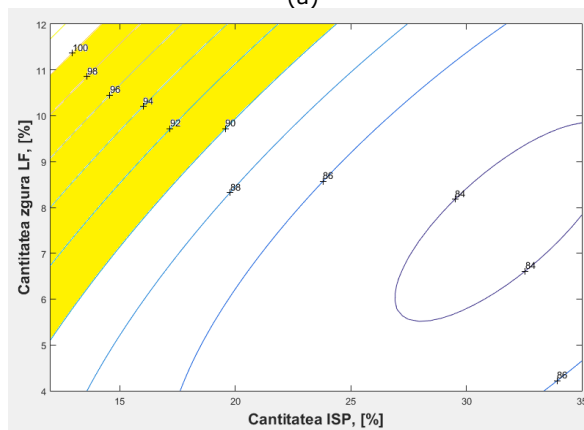


(c)

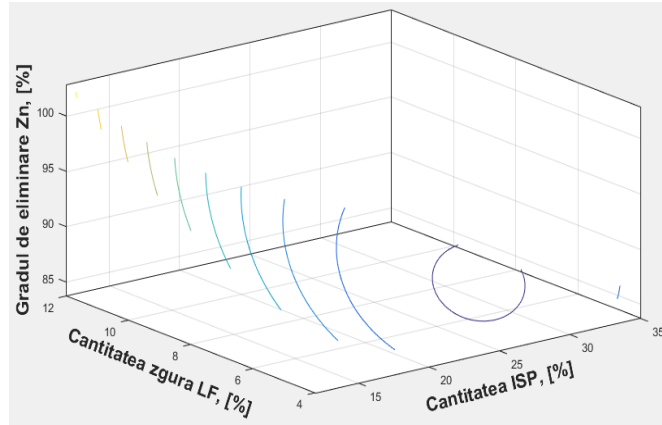
Fig.5.9 Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și grafite
 $\eta_{e.Zn}=0,0250(ISP)^2+0,1209(zgFL)^2-0,0841(ISP)(zgLF)-0,9403(ISP)+0,8050(zgLF)+$
 $+95,5615$; Coeficientul de corelație multiplă: $R^2 = 0,4744$ (5.6)



(a)



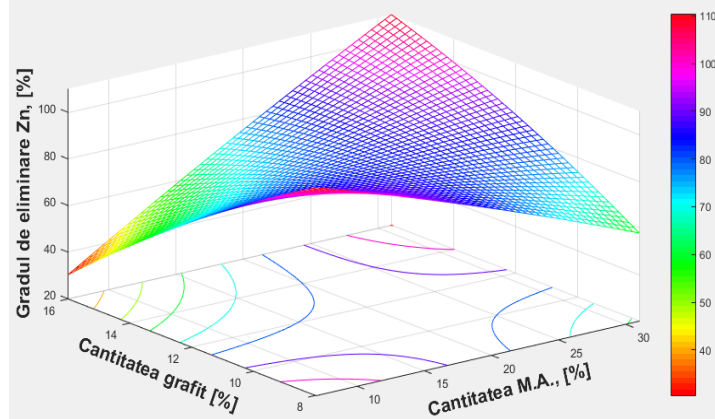
(b)



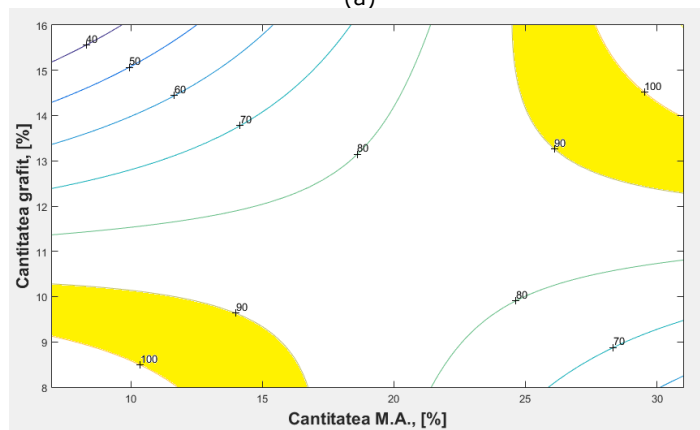
(c)

Fig.5.10 Gradul de eliminare Zn în funcție de ISP și zgura LF

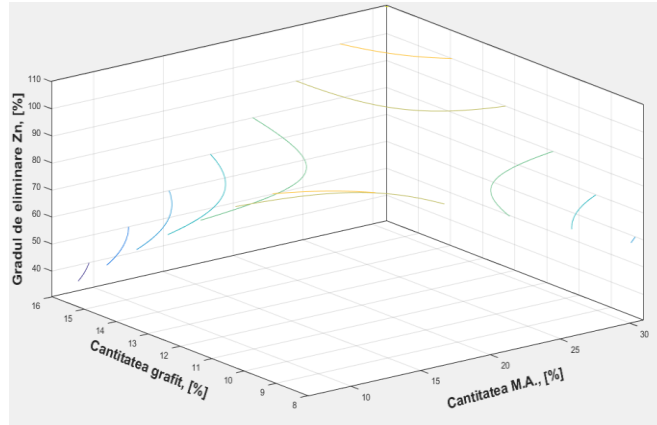
$$\eta_{e.Zn} = -0,0121(MA)^2 - 0,2547(G)^2 + 0,6818(MA)(G) - 7,1281(MA) - 8,4806(G) + 205,5322; \text{ Coeficientul de corelație multiplă: } R^2 = 0,8726; \quad (5.7)$$



(a)



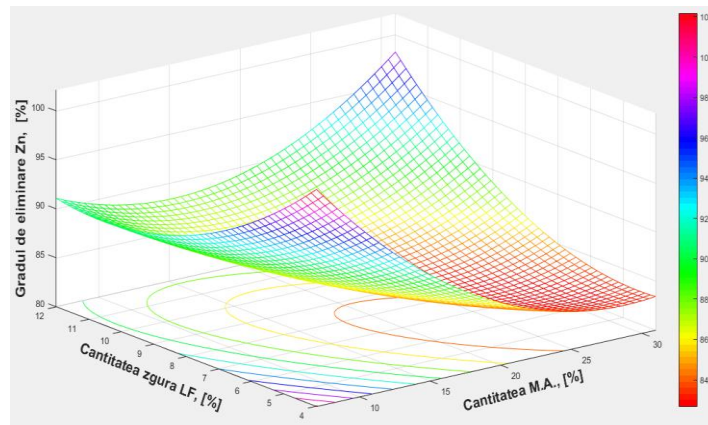
(b)



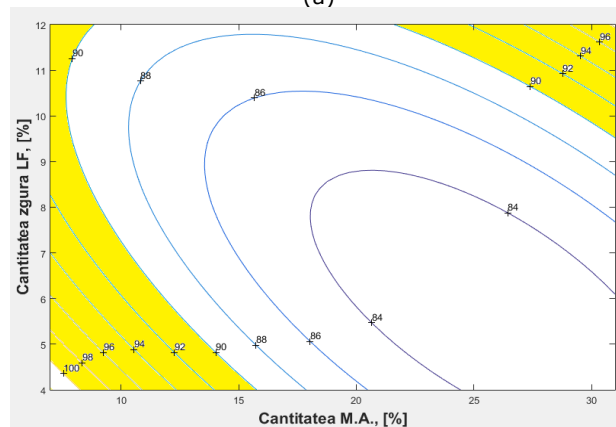
(c)

Fig.5.11 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafrit

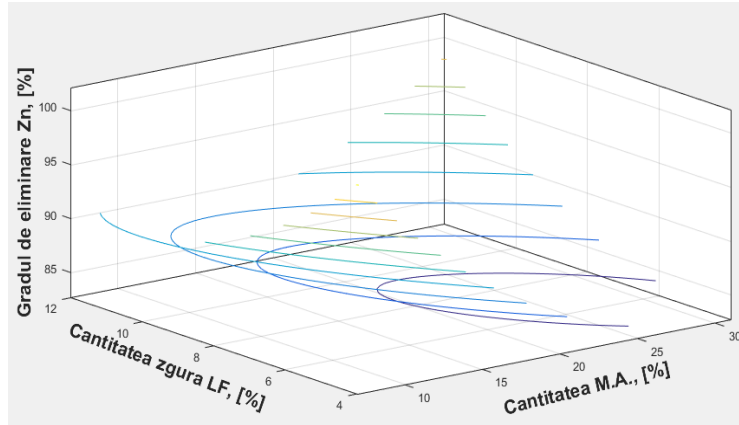
$$\eta_{e.Zn} = -0,0121(MA)^2 - 0,2547(G)^2 + 0,6818(MA)(G) - 7,1281(MA) - 8,4808(G) + 205,5322; \text{ Coeficientul de corelație: } R^2 = 0,8726; \quad (5.8)$$



(a)



(b)

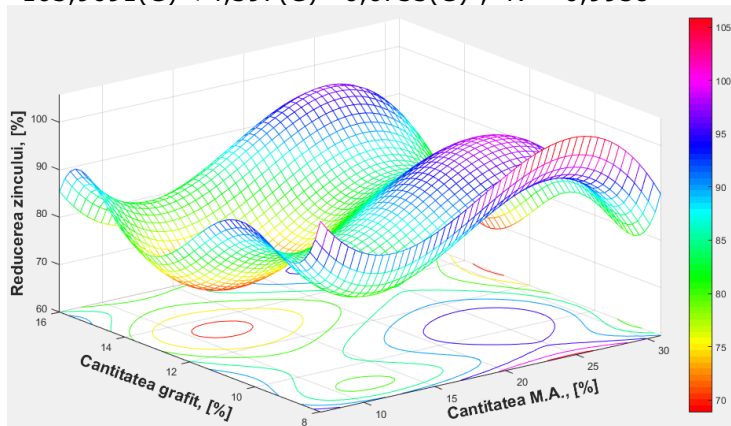


(c)

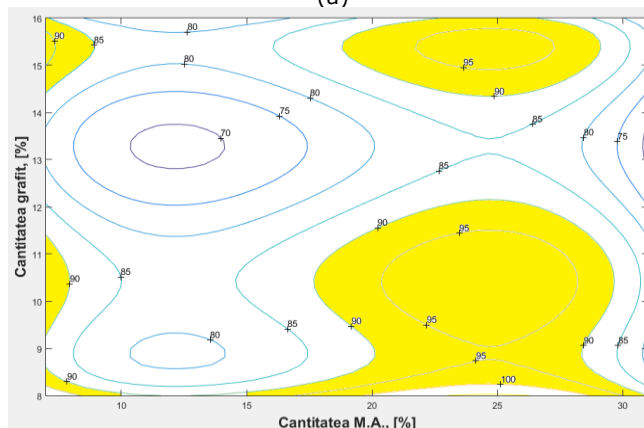
Fig.5.12 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și zgura LF

5.3.2.2 Corelația polinomială de gradul 5:

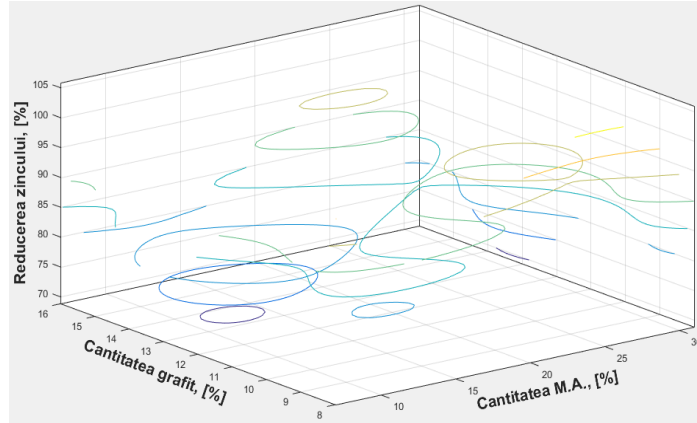
$$\eta_{e.Zn} = 1,5860 - 14,4891(MA) + 0,8893(MA)^2 - 0,0161(MA)^3 - 6,9454(G) + 1,2108(G)^2 - 103,9691(G)^3 + 4,397(G)^4 - 0,0733(G)^5; R^2 = 0,9958 \quad (5.9)$$



(a)



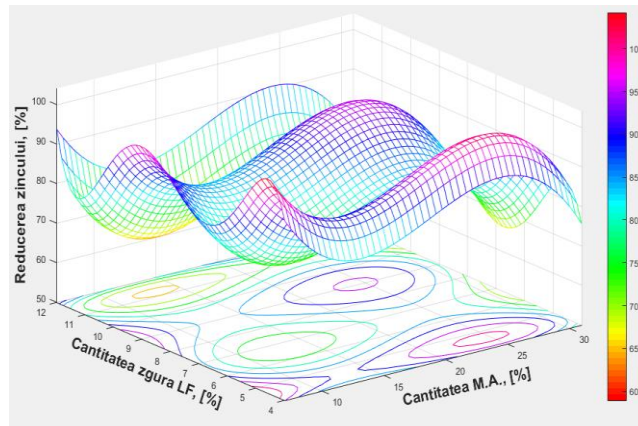
(b)



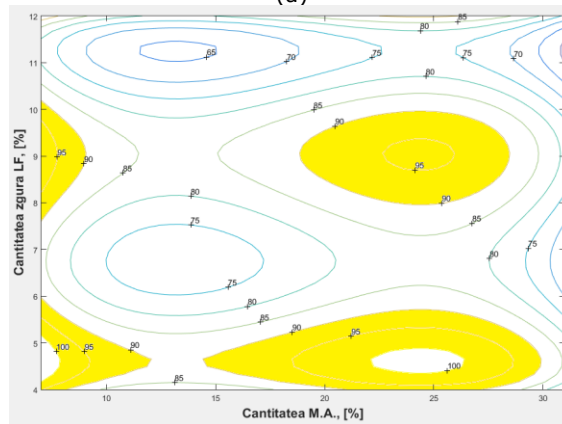
(c)

Fig.5.13 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafit

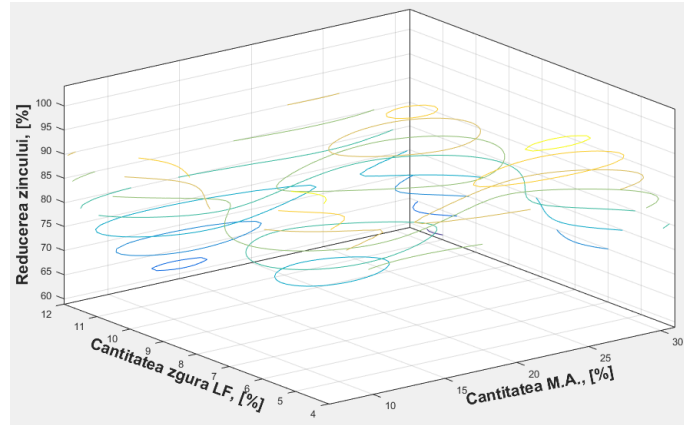
$$\eta_{e.Zn} = -2,2762 - 15,9204(MA) - 0,9301(MA)^2 - 0,0165(MA)^3 + 1,8009(zgLF) - 509,1964(zgLF)^2 + 69,106(zgLF)^3 - 4,516(zgLF)^4 + 0,1143(zgLF)^5; R^2 = 0,7668 \quad (5.10)$$



(a)



(b)

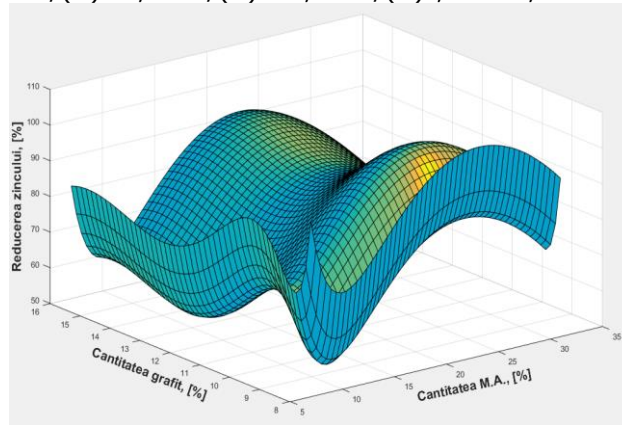


(c)

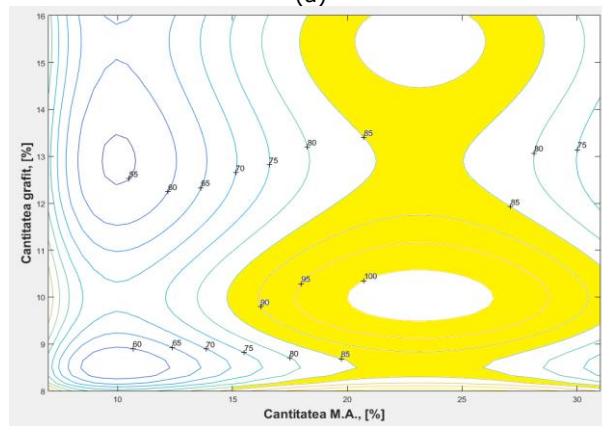
Fig.5.14 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A.- zgura LF

5.3.2.3 Corelația logaritmică:

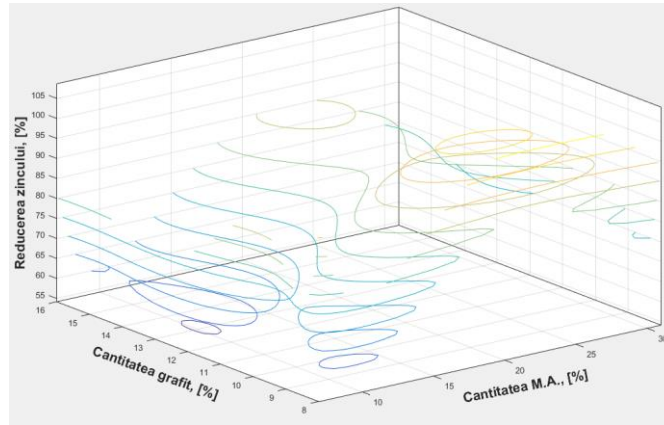
$$\eta_{e.Zn} = -1,0796 - 2,3317(\ln MA) + 877,3735(\ln MA)^2 - 107,4354(\ln MA)^3 + \frac{7,6757}{(G)} - \frac{1,7984}{(G)^2} - \frac{2,0701}{(G)^3} - \frac{1,1707}{(G)^4} + \frac{2,6032}{(G)^5}; R^2 = 0,9968 \quad (5.11)$$



(a)



(b)

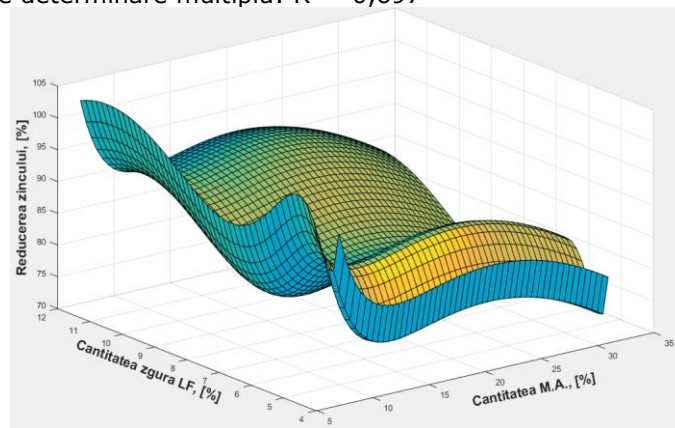


(c)

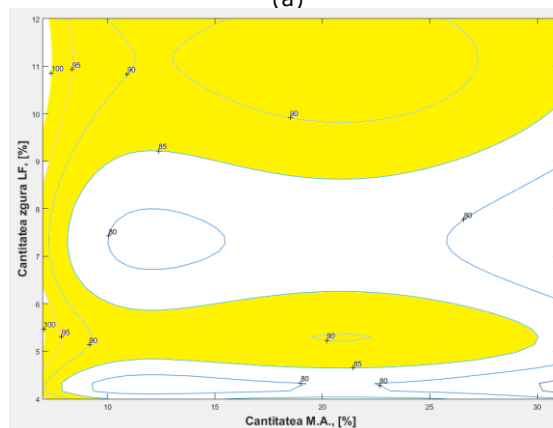
Fig.5.15 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și grafit

$$\eta_{e.Zn} = -246,5152 - 73,3801 \cdot \ln(\text{MA}) + 268,2560(\ln\text{MA})^2 - 32,3437(\ln\text{MA})^3 + 3,6748/(\text{zgLF}) - 5,1480/(\text{zgLF})^2 + 3,4347/(\text{zgLF})^3 - 1,0964/(\text{zgLF})^4 + 1,3478/(\text{zgLF})^5;$$

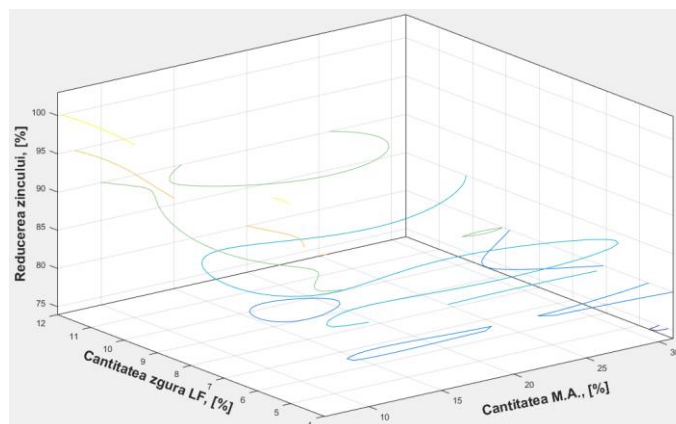
Coeficientul de determinare multiplu: $R^2 = 0,697$ (5.12)



(a)



(b)



(c)

Fig.5.16 Gradul de eliminare Zn în funcție de M.A. și zgura LF

5.3.3 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute Corelația polinomială de gradul 2

Suprafața de corelație prezentată grafic în fig.5.6 și analitic în relația (5.2), este de tip șea și prezintă punct staționar în intervalul tehnologic ($\eta_e = 87,5\%$ M.A. = 21% iar P.O. = 41,5%). Pentru obținerea unor valori ridicate ale η_e este necesar ca valorile componentelor cu Fe și Zn, respectiv P.O. și M.A. să se încadreze în intervalul hașurat (P.O. peste 46%, iar M.A. până la 18%).

În fig. 5.7 este prezentată grafic suprafața de corelație (analitic relația (5.3) de tip șea și prezintă punct staționar în intervalul tehnologic ($\eta_e = 82\%$, G = 11 % iar P.O. = 32%). Pentru obținerea unor valori ridicate ale η_e este necesar ca valorile componentelor cu Fe și Zn, respectiv P.O. și G, să se încadreze în intervalul hașurat (P.O. peste 41%, iar grafit în intervalul 8-11%). S-a ales valoare cantității de P.O. peste 41%, deoarece se urmărește reciclarea acestui deșeu.

Din prezentarea grafică a suprafeței de corelație în fig.5.8 (analitic ecuației de corelație 5.4) rezultă că aceasta are sens pentru concentrații de ISP, respectiv M.A., care să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat, de dorit între 90-100% (ISP până la 25%, M.A. până la 19%). Suprafața de corelație este de tip șea și prezintă punct staționar în intervalul tehnologic ($\eta_e = 87\%$, M.A.=22% iar ISP = 26%).

Corelația $\eta_e = f(\text{ISP}, G)$ exprimată analitic prin corelația (5.5) și grafic în figura 5.9, este de tip paraboloid și prezintă punct minim (în intervalul tehnologic ($\eta_e = 81,34\%$, G = 12,11% iar ISP = 29,81%). Din prezentarea grafică rezultă că aceasta are sens pentru concentrații de ISP până la 35%, iar grafitul cuprins între 8-11%, astfel încât să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat.

Suprafața de corelație prezentată grafic în figura 5.10 (analitic relația 5.6) este de tip șea și prezintă punct staționar în intervalul tehnologic ($\eta_e = 82\%$, zgura LF = 7,5%, iar ISP = 31%). Pentru obținerea unor valori ridicate ale η_e este

necesar ca valorile componentelor ISP și zgură LF să se încadreze în intervalul hașurat: zgura LF să fie cu valori cuprinse între 5-12%, iar ISP să aibă valori între 10-22%.

Suprafața de corelație prezentată grafic în figura 5.11 (analitic prin ecuația 5.7) este de tip șea cu punct staționar ($\eta_e = 92,13\%$, $G = 11,5\%$ și $M.A. = 22,18\%$).

Pentru obținerea unor valori ridicate ale η_e este necesar ca valorile componentelor M.A. și grafitul G să se încadreze în intervalul hașurat.

Practic suprafața de corelație prezentată în figura 5.12 (analitic ecuația 5.8) este de tip șea și prezintă punct staționar în intervalul tehnologic ($\eta_e = 82\%$, $M.A. = 26\%$ iar zgura LF=6%). Pentru obținerea unor valori ridicate ale η_e este necesar ca valorile componentelor M.A. și zgura LF să se încadreze în intervalul 8-12% M.A., respectiv 4-12% zgura LF.

Corelația polinomială de gradul 5

Corelația $\eta_e = f(M.A., G)$ prezentată grafic în figura 5.13 și analitic prin relația (5.9), este validată tehnologic pentru concentrații de M.A. cu valori cuprinse între 15-31%, iar cantitatea de grafit cu valori cuprinse între 8-16%, care să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat. Corelația prezintă puncte de minim și de maxim (2 de minim și 4 de maxim) în intervalul tehnologic ce pot fi utilizate pentru obținerea rețetelor. Evident proporțiile trebuie alese în zonele din jurul punctelor de maxim.

Din prezentarea grafică a corelației $\eta_e = f(M.A., LF)$ prezentată grafic în figura 5.14 și analitic prin relația (5.10), rezultă că aceasta are sens tehnologic pentru concentrații de M.A. și zgura LF cu valori care să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat. În cadrul intervalului hașurat se regăsesc un punct de maxim ($M.A. = 24\%$, $zgura LF = 4,5\%$), două puncte de minim ($M.A. = 13,5\%$, $zgura LF = 4,5\%$; $11,5\%$) și patru puncte staționare.

Din prezentarea grafică a corelației $\eta_e = f(M.A., G)$ - figura 5.15 și analitic cu relația (5.11), rezultă că aceasta are sens pentru concentrații de M.A. cu valori cuprinse între 15-30%, iar cantitatea de grafit cu valori cuprinse între 8-16%, care să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat. Corelația prezintă 2 puncte de maxim ($M.A. = 23\%$, $G = 9,5\%$, respectiv $15,5\%$) și un punct staționar ($M.A. = 23\%$; $G = 12,5\%$).

Din prezentarea grafică a corelației $\eta_e = f(M.A., zg.LF)$, figura 5.16 și analitic (cu relația 5.12) rezultă că aceasta are sens pentru concentrații de M.A. cu valori cuprinse între 8-31%, iar cantitatea de zgura LF cu valori cuprinse între 5-12%, care să asigure încadrarea pentru η_e situat în domeniul hașurat.

Analizând rezultatele obținute prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică rezultă că valorile pentru parametri urmăriți sunt în concordanță, astfel încât este de dorit să se stabilească parametri independenți după corelațiile polinomiale de gradul 2, urmărindu-se obținerea unui randament de eliminare a zincului peste 90%. Pentru realizarea acestui deziderat s-au analizat reprezentările grafice din fig.5.17 - fig.5.22.

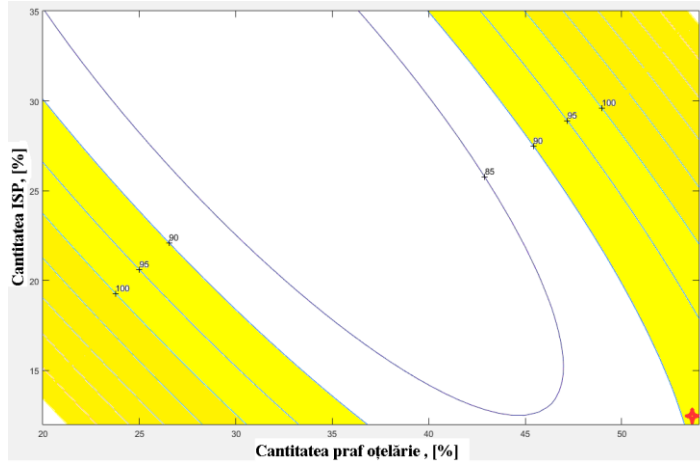


Fig.5.17 Cantitatea aleasă de P.O. și ISP

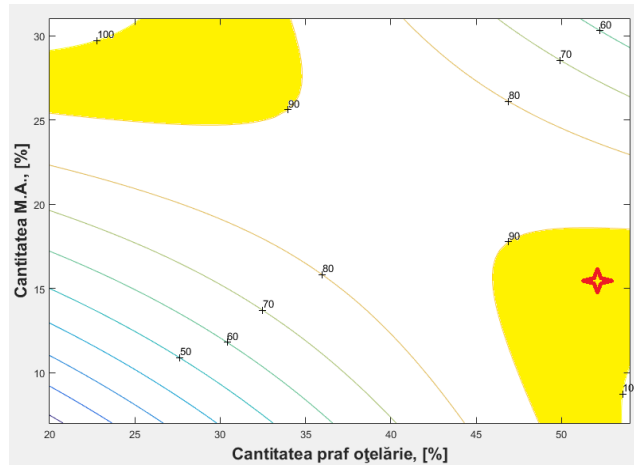


Fig.5.18 Cantitatea aleasă de P.O. și M.A.

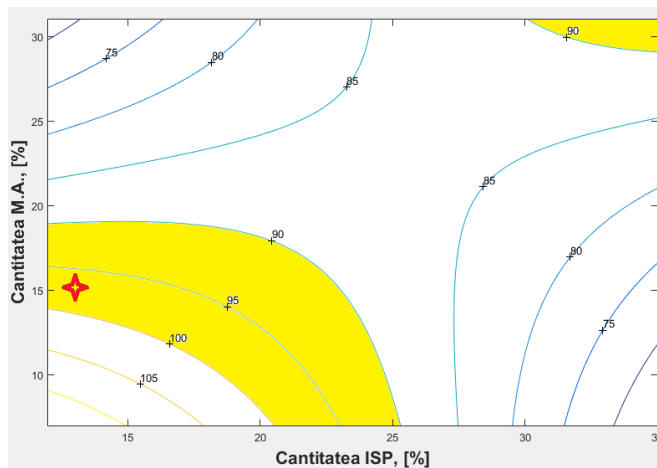


Fig.5.19 Cantitatea aleasă de ISP și M.A.

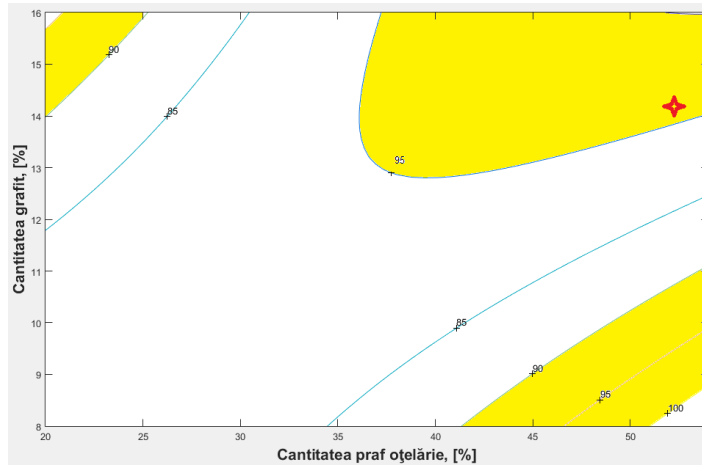


Fig.5.20 Cantitatea aleasă de P.O. și G

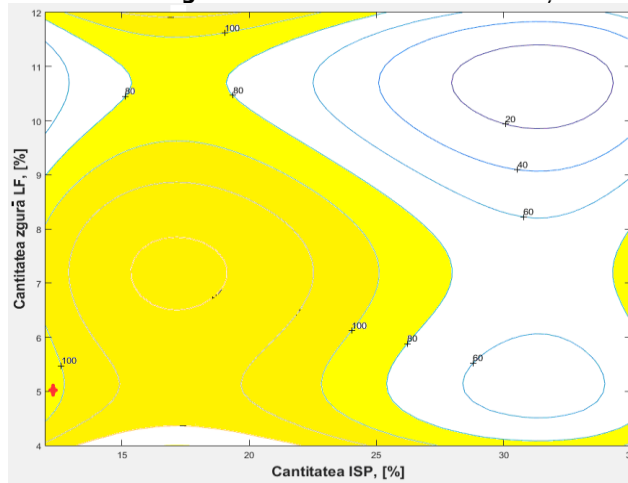


Fig.5.21 Cantitatea aleasă de ISP și zgură LF

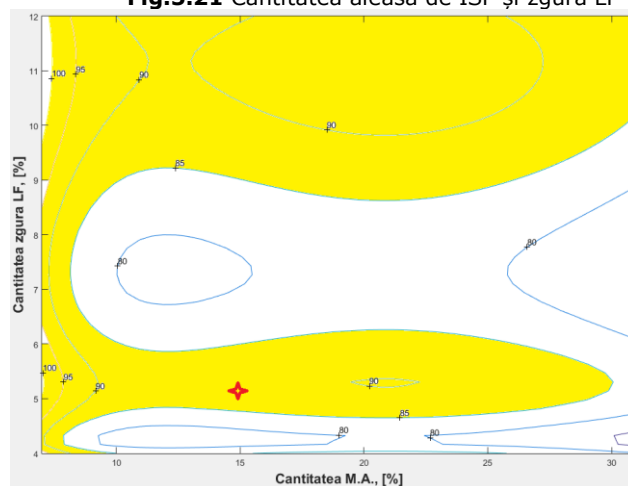


Fig.5.22 Cantitatea aleasă de M.A. și zgură LF

În urma analizei reprezentărilor grafice s-a ales o rețetă după corelația polinomială de gradul 2 (prezentată în tabelul 5.6), după punctele conform figurilor prezentate mai jos și s-a făcut o verificare a acestora cu rezultatele după eliminarea zincului prezentate în tabelul 5.7.

Tabelul 5.6 Componența rețetei utilizate pentru realizarea peletelor

Nr. Crt.	Deșeuri utilizate	Componența rețetei, [%]
		R
1.	P.O.	54
2.	ISP	12
3.	MA	15
4.	G	14
5.	Zgura LF	5

Tabelul 5.7 Compoziția chimică a rețetei aleasă pentru pelete înainte de eliminarea Zn, șarjei de peletizare (pelete crude), [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică a rețetei aleasă înainte de eliminarea zincului, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Carbo n	Alți oxizi
R	35,27	6,97	16,78	9,17	2,63	2,41	2,83	2,39	0,21	0,303	13	8,037

În urma realizării reducerii zincului pe baza rețetei prezentate mai sus, s-au făcut 20 de probe, iar datele rezultate după reducerea zincului sunt prezentate în tabelul 5.8.

Tabelul 5.8 Compoziția chimică a peletelor după reducerea Zn, [%]

Nr. probă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
P1	38,53	20,8	0,75	14,3	8,36	0,075	5,4	2,76	0,41	0,39	0,1	7,938
P2	42,3	18,8	0,45	14,4	7,55	0,054	5,1	2,76	0,37	0,34	0,1	7,568
P3	38,44	20,2	0,61	15,5	8,04	0,091	5,16	2,77	0,41	0,35	0,2	8,141
P4	41,59	19,1	0,46	14,6	7,55	0,067	5,17	2,78	0,38	0,33	0,1	7,737
P5	39,09	19,9	0,81	15,2	7,91	0,090	5,09	2,8	0,41	0,42	0,1	8,098
P6	42,08	19,0	0,49	14,2	7,48	0,051	5,11	2,8	0,38	0,36	0,1	7,770
P7	39,41	19,8	0,74	15,0	7,83	0,078	4,96	2,83	0,39	0,54	0,2	8,049
P8	42,43	18,7	0,49	14,2	7,35	0,063	5,12	2,84	0,39	0,37	0,0	7,820
P9	39,03	20,0	0,80	15,2	7,95	0,090	4,95	2,78	0,40	0,47	0,2	8,004
P10	40,91	19,5	0,58	14,6	7,64	0,126	5,01	2,74	0,40	0,35	0,1	7,878
P11	41,69	16,9	0,62	18,5	6,91	0,271	4,68	2,9	0,40	0,34	0,1	6,59
P12	42,56	18,1	0,71	13,6	7,35	0,105	4,97	2,85	0,39	0,34	0,2	8,679
P13	42,1	18,2	0,55	14,0	7,56	0,069	4,98	2,88	0,39	0,34	0,1	8,710
P14	43,45	17,4	0,46	13,6	7,09	0,063	4,99	2,88	0,38	0,34	0,1	9,189
P15	42,2	18,3	0,52	13,9	7,46	0,059	4,88	2,86	0,40	0,32	0,2	8,808
P16	42,55	17,9	0,4	13,2	7,36	0,059	4,86	2,73	0,37	0,33	0,2	9,804
P17	43,18	18,0	0,5	13,6	7,35	0,133	4,87	2,77	0,38	0,34	0,2	8,549
P18	42,53	18,4	0,5	14,1	7,53	0,066	4,83	2,88	0,40	0,34	0,2	8,174
P19	44,14	17,8	0,4	13,5	7,14	0,058	4,83	2,84	0,36	0,35	0,2	8,119
P20	41,91	18,6	0,5	14,0	7,67	0,0752	4,91	2,82	0,424	0,366	0,15	8,3808

Randamentul de eliminare al zincului este prezentat în tabelul 5.9. Se poate observa că s-a obținut un grad de reducere pentru toate probele cu valori cuprinse

între 95-97%.

Tabelul 5.9 Randamentul de eliminare al Zn (η_{ezn}), [%]

Nr. probă	η_{ezn} , [%]	Nr. probă	η_{ezn} , [%]
P1	95,49	P11	96,29
P2	97,31	P12	95,76
P3	96,32	P13	96,67
P4	97,22	P14	97,21
P5	95,13	P15	96,89
P6	97,06	P16	97,07
P7	95,57	P17	96,92
P8	97,06	P18	96,81
P9	95,23	P19	97,14
P10	96,54	P20	96,64

5.4 Analiza spectografică a probelor

În continuare se va prezenta analiza spectografică a probelor. Această analiză s-a făcut cu ajutorul microscopului electronic cu baleiaj, modelul TESLA BS 301.



Fig.5.23 Microscop electronic de baleiaj – TESLA BS 301

Caracteristicile acestui aparat sunt prezentate în continuare:

- Domeniu de utilizare: probe conductoare-sau/și probe care se examinează pregătite convențional (metalizate);
- Putere de rezoluție: 80Å;
- Mărire: 30 000X.

Studii posibile ce pot fi realizate cu acest aparat (dimensiunea maximă a probelor: 50x50 mm sau diametru de 50mm):

- Imagini de morfologie a suprafețelor (imagini de electroni secundari);
- Imagini de topografie a suprafețelor (imagini de electroni retroîmprăștiați);
- Imagini de contrast compozițional (imagini de electroni retroîmprăștiați);
- Analiza compozițională calitativă și cantitativă (punctiformă, pe o direcție sau pe o arie);
- Distribuția elementelor pe suprafața probelor.

Microscopia electronică de baleiaj (SEM) constituie o metodă de investigație care poate oferi informații relevante în legătură cu structura și starea suprafețelor materialelor.

Tehnicile uzuale de SEM permit obținerea unor informații referitoare la topografia suprafeței probei sau la natura atomilor (prin intermediul detectorului de electroni secundari, respectiv, al detectorului de electroni retroîmprăștiați) iar microscopul modern sunt completate cu dispozitive care permit identificarea elementelor chimice (de la Be la U) folosind spectroscopia de radiație X emisă de proba (EDX). Microscopia electronică de baleiaj este utilizată pe scară largă și datorită faptului că probele nu necesită o pregătire specială sau pot fi examinate fără a fi prelucrate.

Microscopul electronic *dual beam* permit și folosirea unui fascicul de ioni, alături de fasciculul de electroni. Microscopul electronic prin baleiaj pot analiza atât probe conductoare cât și probe neconductoare, în vid înaintat sau în vid slab.

Domeniile specifice de utilizare a microscopiei electronice de baleiaj sunt:

- analiza stării suprafeței (inclusiv a suprafețelor de rupere);
- evidențierea structurii microscopice fine (rezoluții de până la 2nm) ;
- caracterizarea calitativă și cantitativă a pulberilor și particulelor rezultate ca urmare a sintezei chimice;
- identificarea și caracterizarea straturilor epitaxiale;
- analiza calitativă și cantitativă a stării celulelor biologice într-o stare cât mai apropiată de cea *in-situ*;
- analiza compozițională calitativă și cantitativă (punctiformă, pe o direcție sau pe o anumită suprafață) ;
- măsurarea precisă a caracteristicilor foarte mici și obiecte (până la 5 nm);
- prelucrarea cu fascicul de ioni (tăiere, sudare) și vizualizarea cu fascicul de electroni (inclusiv prelucrarea probelor pentru microscopia electronică prin transmisie).

În continuare se prezintă analiza spectrografică a probelor șarjelor crude (peletelor crude) și durificate ale peletelor, în vederea analizării compoziției chimice ale acestora, pentru a vedea structura lor și dacă pot fi reutilizate în procesul tehnologic.

Tablul 5.10 Compoziția chimică a probei, pelete crude, [%]

Element	Compoziție, [%]	At, [%]	K-raport	Z	A	F
C	8,63	14,52	0,0201	1,0619	0,2197	1,0005
O	56,74	71,67	0,1539	1,0440	0,2598	1,0002
Mg	3,49	2,9	0,0065	1,0015	0,2850	1,0007
Al	1,58	1,18	0,0034	0,9720	0,2230	1,0009
Si	2,65	1,91	0,0074	1,0003	0,2770	1,0007

P	0,83	0,54	0,0027	0,9675	0,3312	1,0008
Pb	10,19	0,99	0,1029	0,6847	1,4742	1,0001
Cl	0,87	0,49	0,0031	0,9469	0,3737	1,0016
K	1,45	0,75	0,0072	0,9512	0,5219	1,0026
Ca	1,81	0,91	0,0103	0,9732	0,5834	1,0021
Mn	1,25	0,46	0,01	0,8705	0,9170	1,0023
Fe	7,92	2,87	0,0674	0,8870	0,9569	1,0035
Zn	2,58	0,8	0,0217	0,8592	0,9738	1,0072

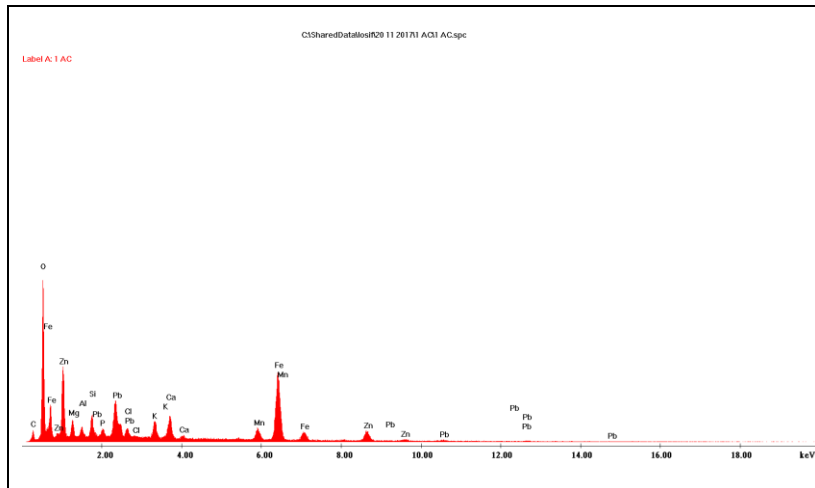


Fig.5.24 Diagrama compoziției chimice a probei 1, pelete crude

Tabelul 5.11 Compoziția chimică a probei 1, pelete crude [g]

Element	Greutate [g]
C	7,26
O	151,63
Mg	18,52
Al	11,18
Si	24,80
P	9,54
Pb	50,10
Cl	11,76
K	27,04
Ca	36,90
Mn	23,48
Fe	139,35
Zn	23,64

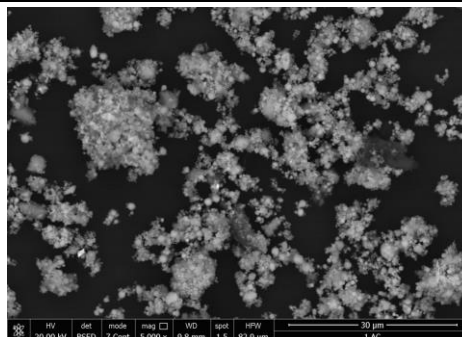


Fig.5.25 Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 5000x

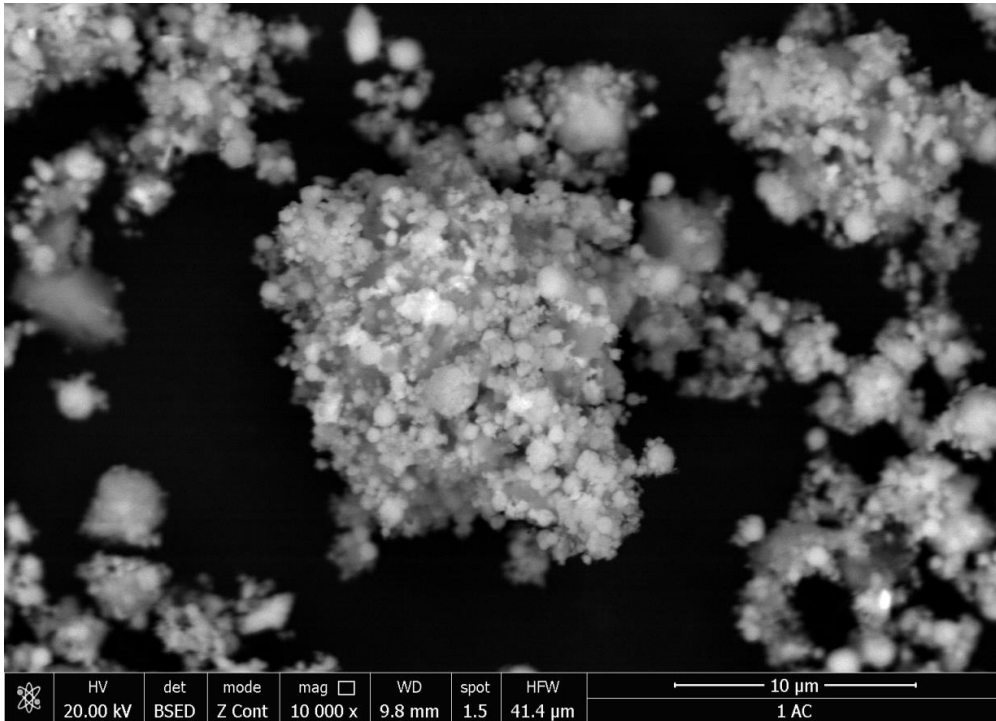


Fig.5.26 Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 10000x

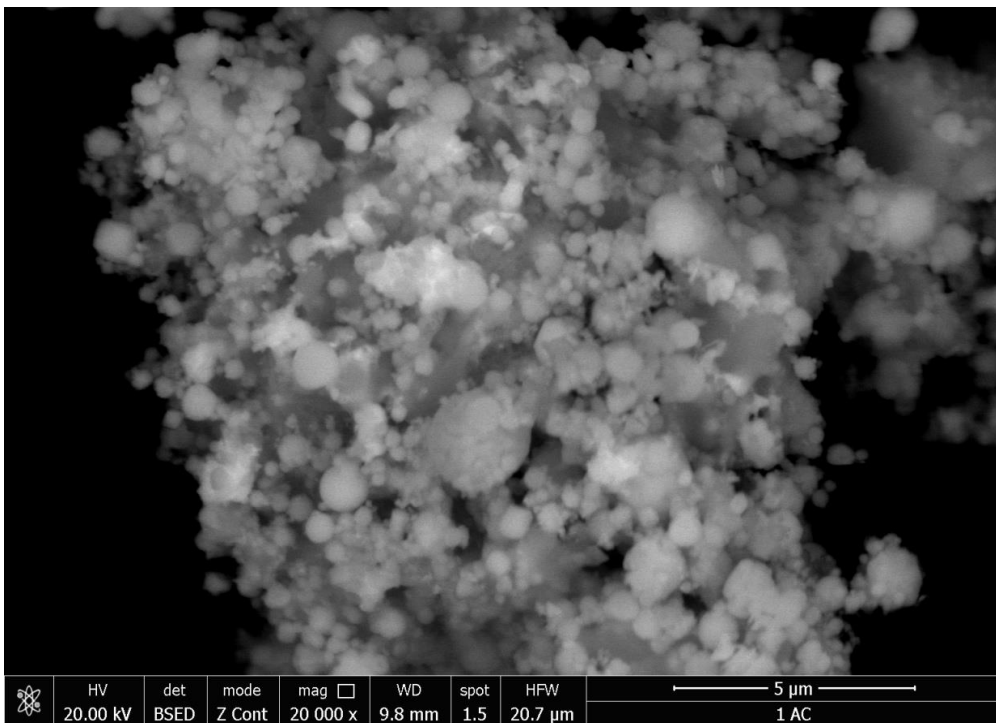


Fig.5.27 Compoziția structurală a probei 1, pelete crude, mărită de 20000x

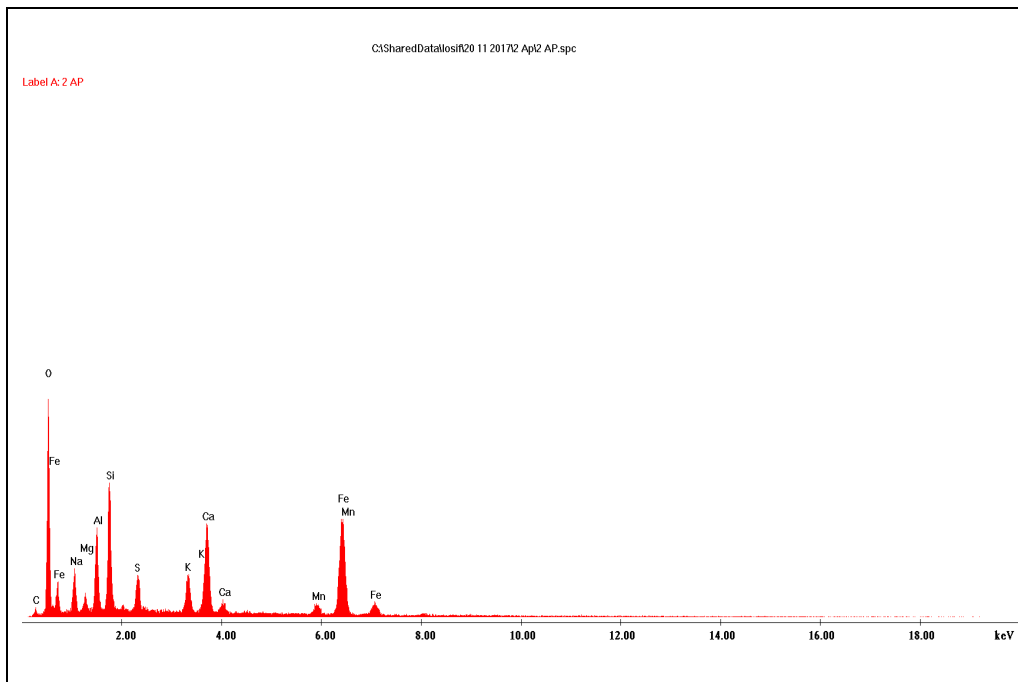


Fig.5.28 Diagrama compoziției chimice a probei 1, durificată

Tabelul 5.12 Compoziția chimică a probei 1 durificată, [%]

Element	Compoziție, [%]	At, [%]	K- raport	Z	A	F
C	5,59	9,18	0,0095	1,0478	0,1630	1,0005
O	51,19	63,14	0,1329	1,0302	0,2519	1,0004
Na	7,01	6,01	0,0118	0,9642	0,1745	1,0015
Mg	1,92	1,56	0,0038	0,9884	0,2015	1,0026
Al	7,38	5,40	0,0180	0,9594	0,2532	1,0028
Si	10,60	7,45	0,0288	0,9874	0,2746	1,0011
S	2,58	1,59	0,0088	0,9718	0,3491	1,0015
K	1,73	0,87	0,0103	0,9363	0,6308	1,0048
Ca	3,92	1,93	0,0265	0,9584	0,7053	1,0020
Mn	0,75	0,27	0,0063	0,8551	0,9869	1,0000
Fe	7,34	2,59	0,0650	0,8706	1,0175	1,0000

Tabelul 5.13 Compoziția chimică a probei 1, durificată, [g]

Element	Greutate [g]
C	1,05
O	39,82
Na	8,65
Mg	3,34
Al	17,82
Si	29,49
S	10,01
K	11,64
Ca	28,91
Mn	4,50
Fe	40,79

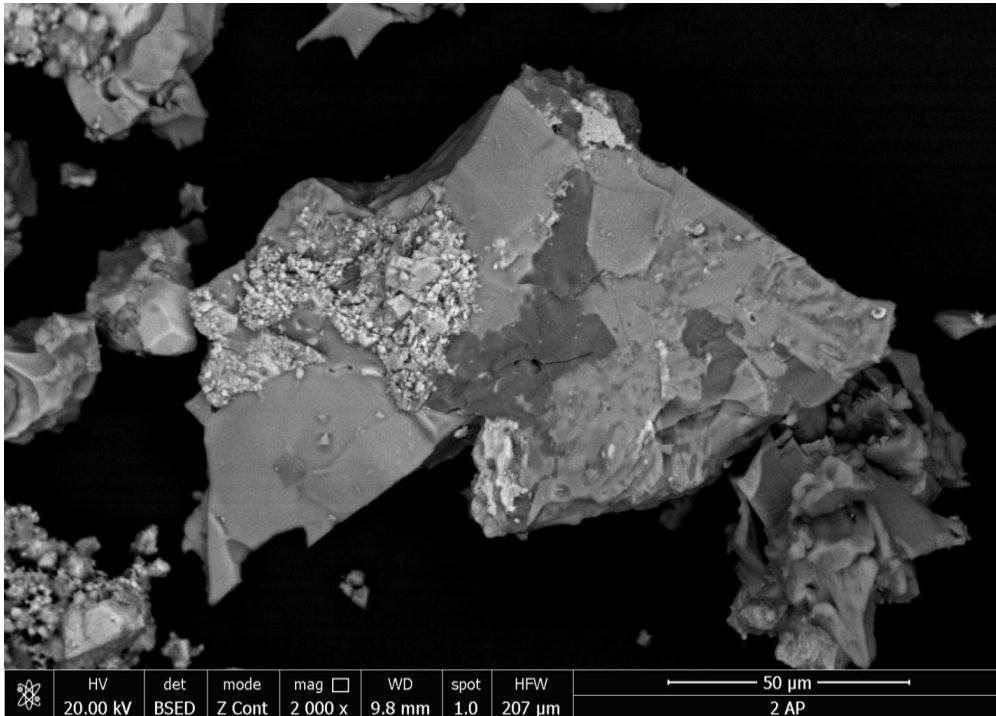


Fig.5.29 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 2000x

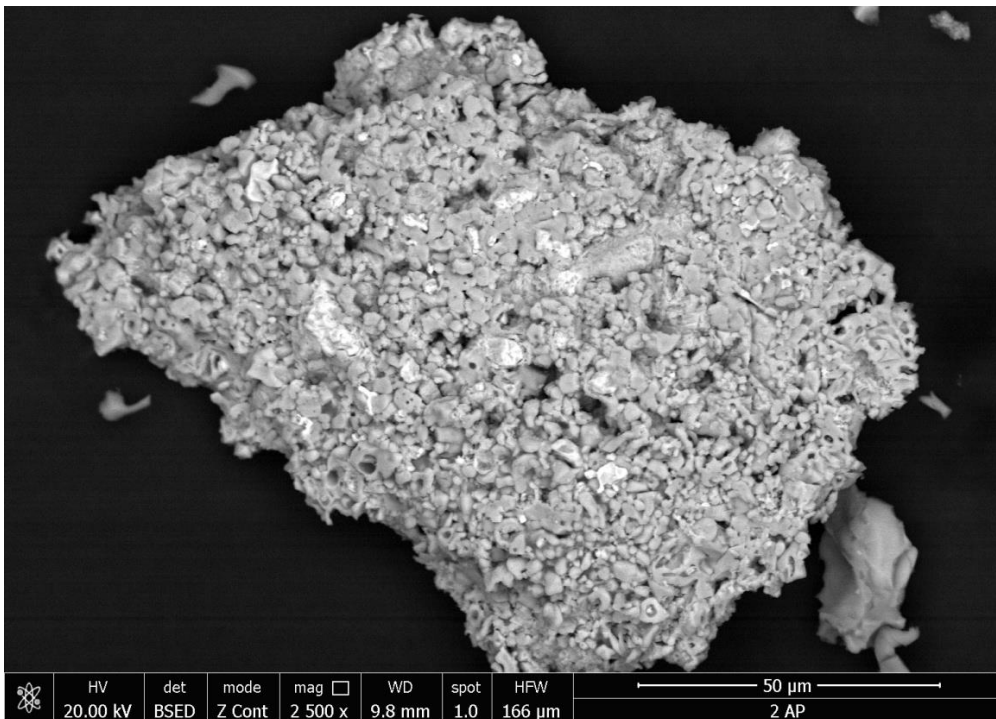


Fig.5.30 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 2500x

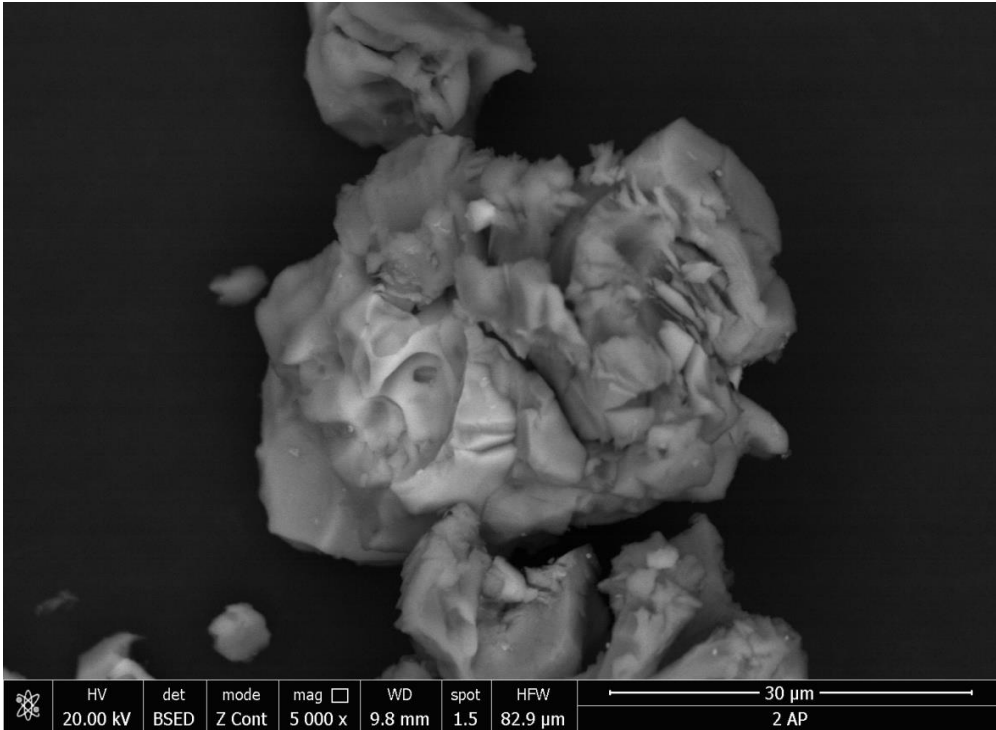


Fig.5.31 Compoziția structurală a probei 1, durificată, mărită de 5000x

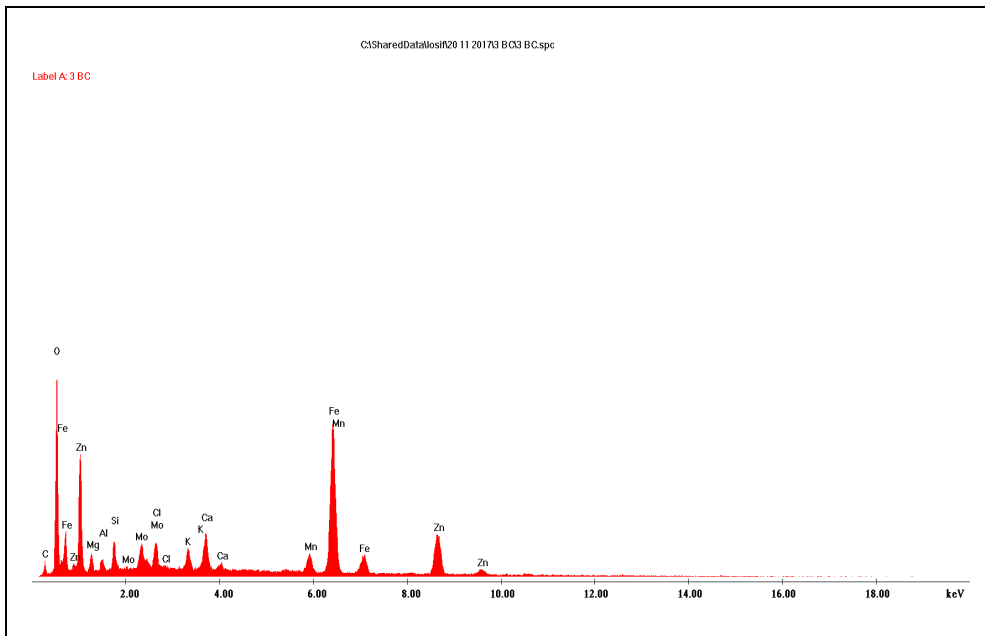


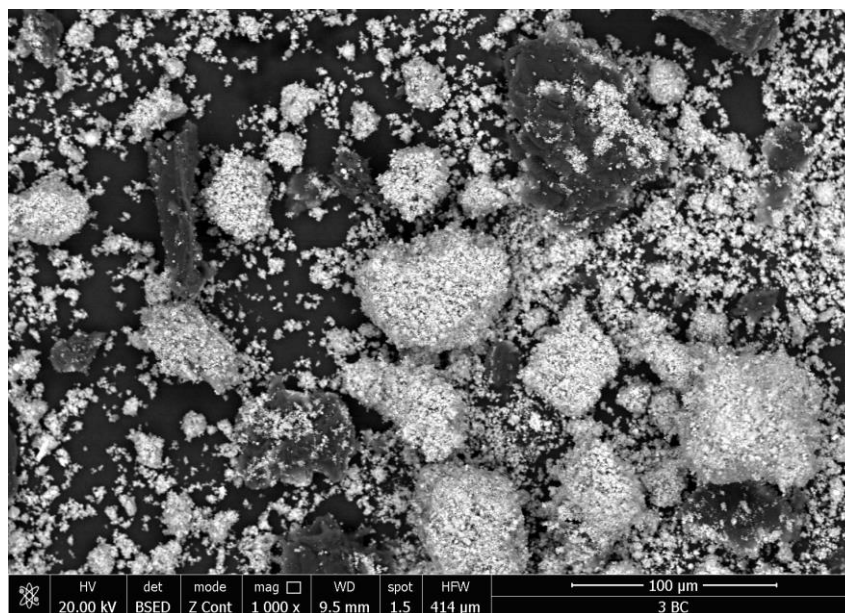
Fig.5.32 Diagrama compoziției chimice a probei 2, pelete crude

Tabelul 5.14 Compoziția chimică a probei 2, pelete crude, [%]

Element	Compoziție, [%]	At, [%]	K- raport	Z	A	F
C	8,70	15,07	0,0175	1,0648	0,1884	1,0005
O	51,47	66,98	0,1371	1,0468	0,2543	1,0004
Mg	3,04	2,60	0,0050	1,0042	0,1625	1,0009
Al	1,74	1,34	0,0034	0,9746	0,2007	1,0013
Si	3,07	2,28	0,0078	1,0030	0,2517	1,0014
Mo	3,75	0,81	0,0249	0,7952	0,8344	1,0013
Cl	1,91	1,12	0,0083	0,9474	0,4549	1,0020
K	1,10	0,59	0,0065	0,9529	0,6185	1,0040
Ca	1,89	0,98	0,0130	0,9752	0,7040	1,0042
Mn	1,50	0,57	0,0131	0,8711	0,9967	1,0051
Fe	12,90	4,81	0,1180	0,8872	1,0222	1,0079
Zn	8,92	2,84	0,0744	0,8577	0,9720	1,0000

Tabelul 5.15 Compoziția chimică a probei 2, pelete crude, [g]

Element	Greutate, [g]
C	1,32
O	28,61
Mg	2,96
Al	2,30
Si	5,37
Mo	4,62
Cl	6,35
K	4,82
Ca	9,20
Mn	5,93
Fe	47,00
Zn	15,49

**Fig.5.33** Compoziția structurală a probei 2, pelete crude, mărită de 1000x

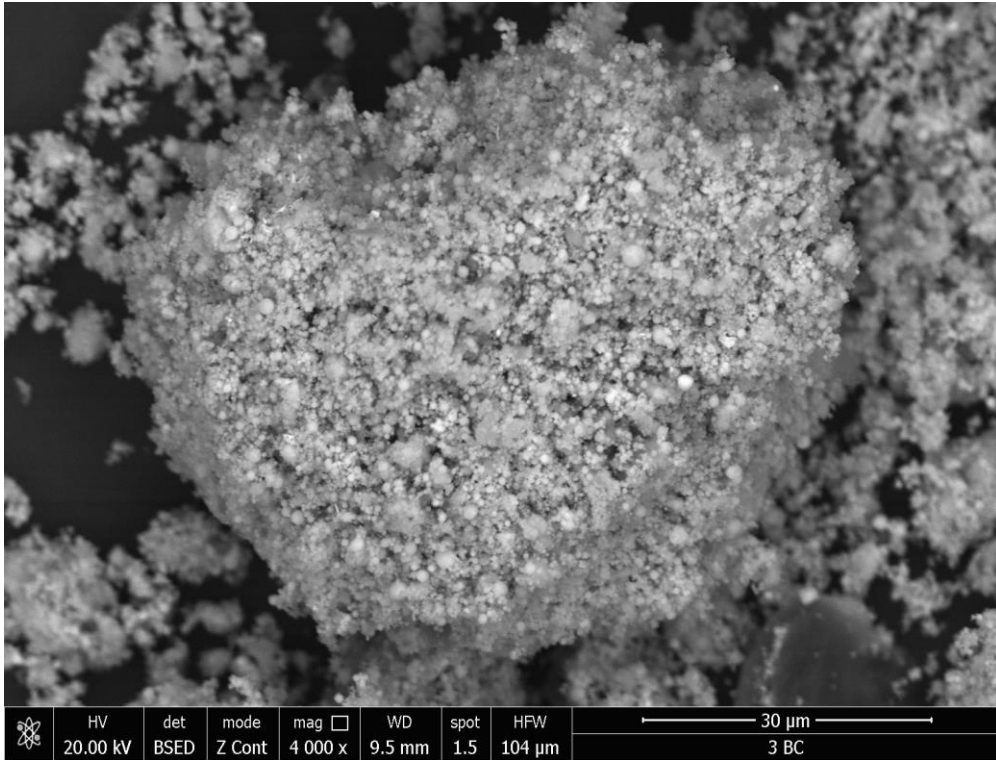


Fig.5.34 Compoziția structurală a probei 2, pelete crude, mărită de 4000x

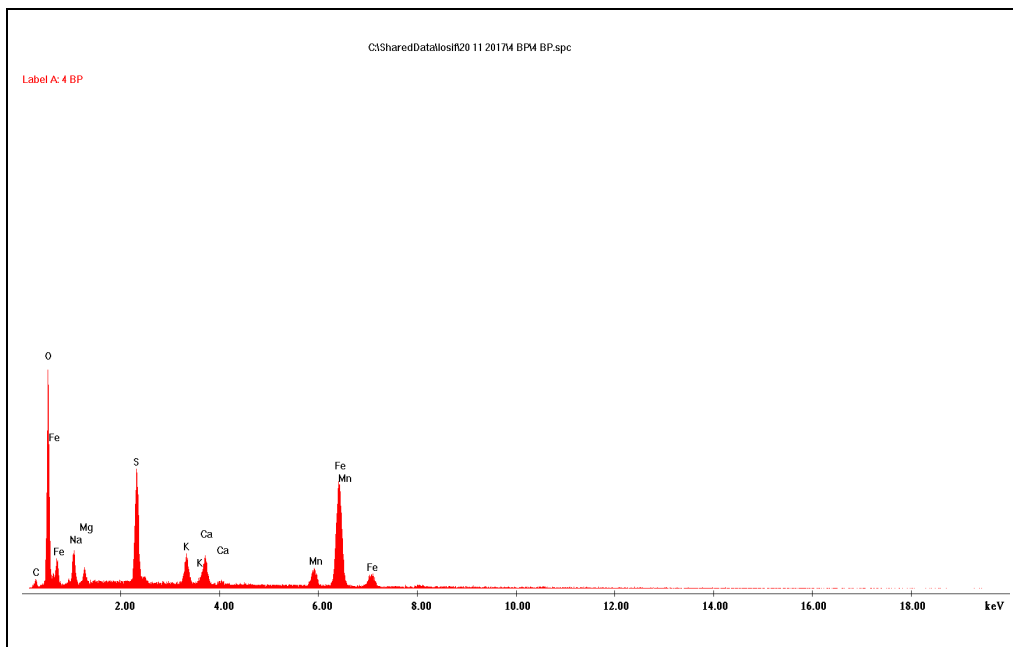


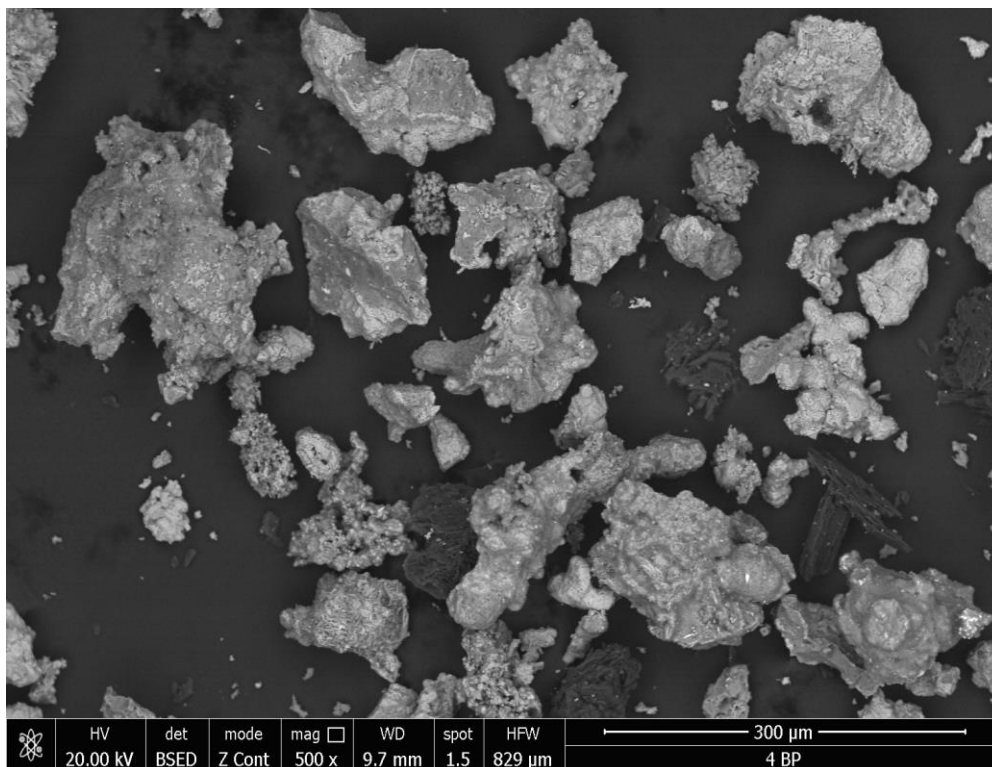
Fig.5.35 Diagrama compoziției chimice a probei 2, durificată

Tabelul 5.16 Compoziția chimică a probei 2, durificată, [%]

Element	Compoziție, [%]	At, [%]	K- raport	Z	A	F
C	6,42	10,23	0,0124	1,0469	0,1850	1,0006
O	57,94	69,34	0,1785	1,0293	0,2993	1,0004
Na	9,28	7,72	0,0138	0,9634	0,1541	1,0006
Mg	2,65	2,09	0,0046	0,9876	0,1739	1,0007
S	8,03	4,80	0,0373	0,9709	0,4771	1,0013
K	1,60	0,78	0,0104	0,9354	0,6926	1,0037
Ca	1,54	0,74	0,0113	0,9576	0,7643	1,0035
Mn	1,61	0,56	0,0142	0,8544	1,0356	1,0000
Fe	10,93	3,75	0,1004	0,8699	1,0556	1,0000

Tabelul 5.17 Compoziția chimică a probei 2, durificată, [g]

Element	Greutate, [g]
C	1,30
O	51,09
Na	9,60
Mg	3,75
S	39,70
K	10,89
Ca	11,38
Mn	9,25
Fe	57,35

**Fig.5.36** Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 500x

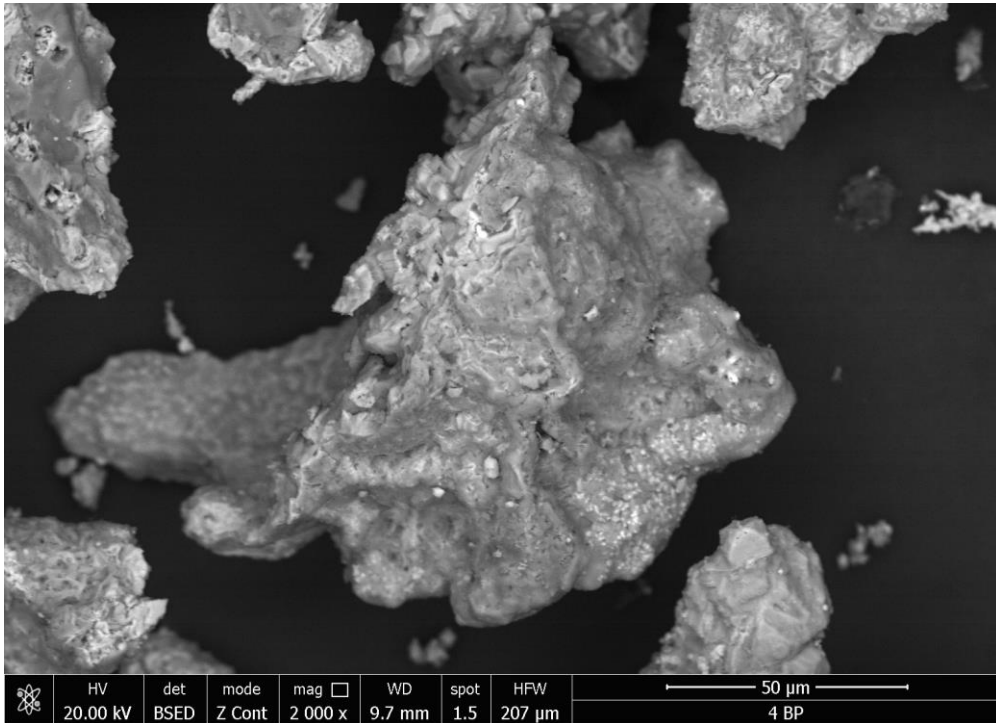


Fig.5.37 Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 2000x

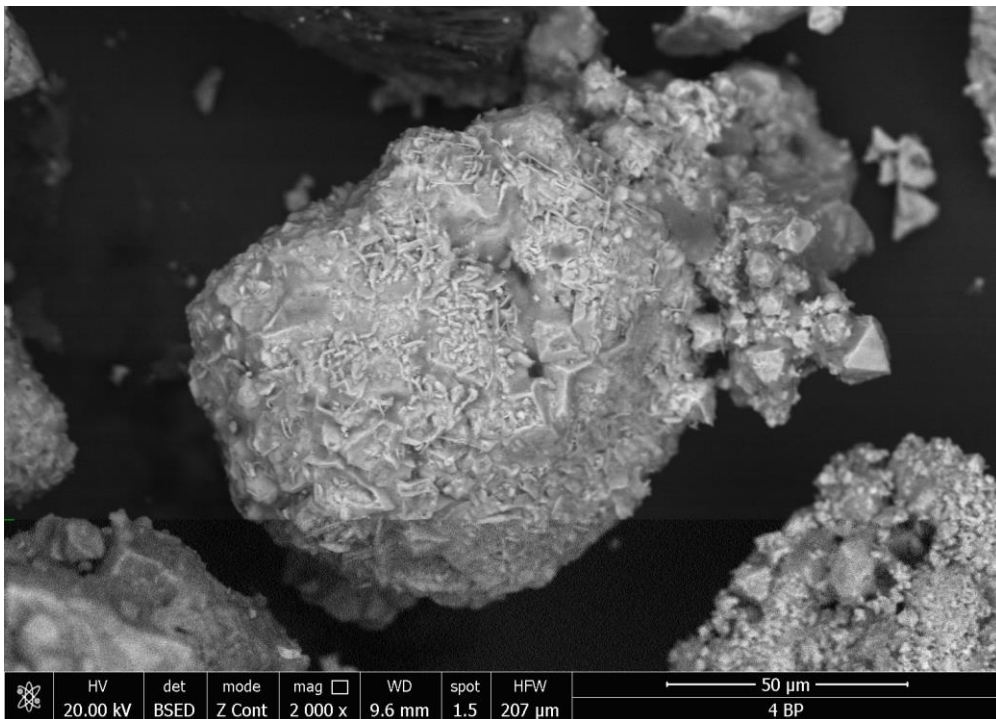


Fig.5.38 Compoziția structurală a probei 2, durificată, mărită de 5000x

5.5 Tehnologia stabilită pentru producerea brichetelor

Brichetarea prezintă avantajul că permite procesarea unei game largi de deșeuri mărunte și pulverulente, atât din punct de vedere al compoziției chimice (în primul rând al conținutului de fier), cât și granulometric.

Pentru zonele industriale, în mod deosebit cele cu profil siderurgic, supuse unor puternice restructurări economice, valorificarea prin brichetare, constituie o soluție tehnologică viabilă.

În fig.5.39 și fig.5.40 se va face prezentarea matrițelor și a brichetelor rezultate.



Fig.5.39 Matrițe utilizate pentru realizarea brichetelor



Fig.5.40 Brichete rezultate

5.5.1 Realizarea brichetelor tubulare

În figurile 5.41, 5.42, 5.43, 5.44, 5.45 sunt prezentate piesele utilizare pentru obținerea brichetelor tubulare.



Fig.5.41 Piese componente ale matriței tubulare

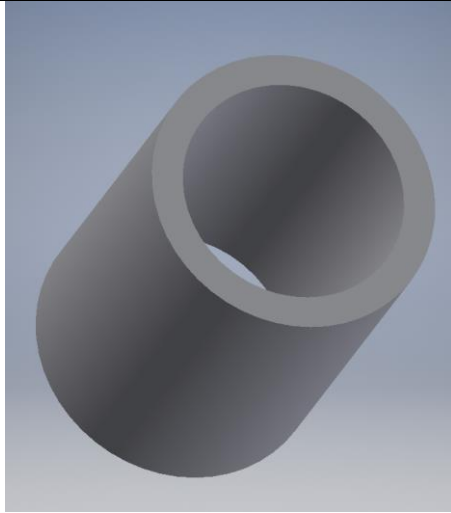


Fig.5.42 Corp matriță tubulară
(desen execuție planșa 1/16)

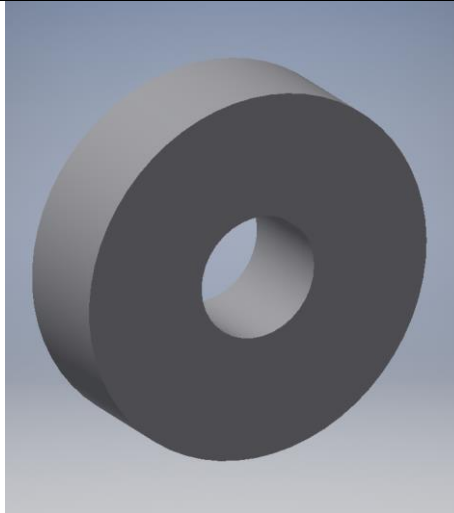


Fig.5.43 Placă de bază matriță tubulară (desen execuție planșa 2/16)

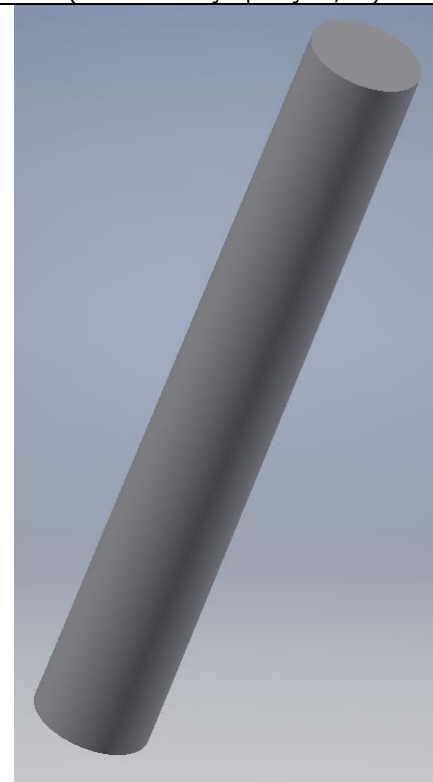


Fig.5.44 Tijă matriță tubulară
(desen execuție planșa 3/16)

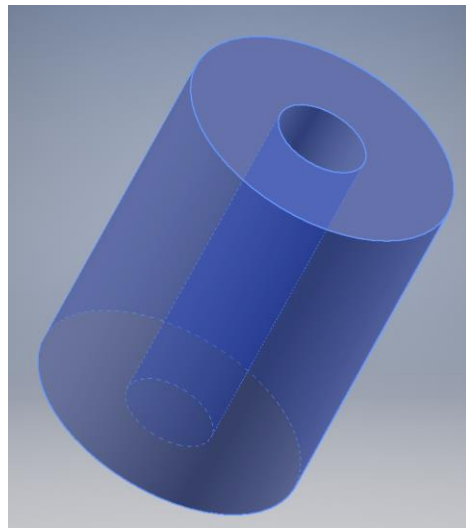


Fig.5.45 Piston matriță tubulară
(desen execuție planșa 4/16)

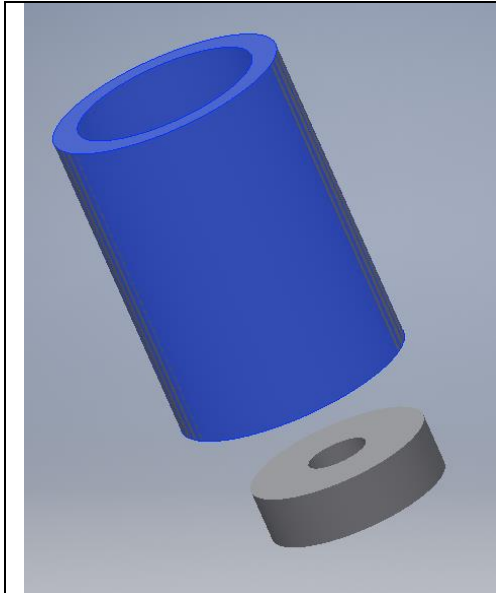


Fig.5.46 Îmbinare placa de bază cu corpul matriței tubulare

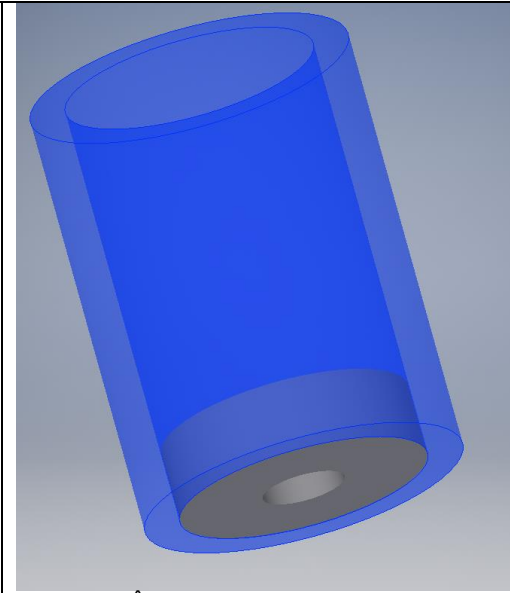


Fig.5.47 Îmbinare placa de bază cu corpul matriței tubulare

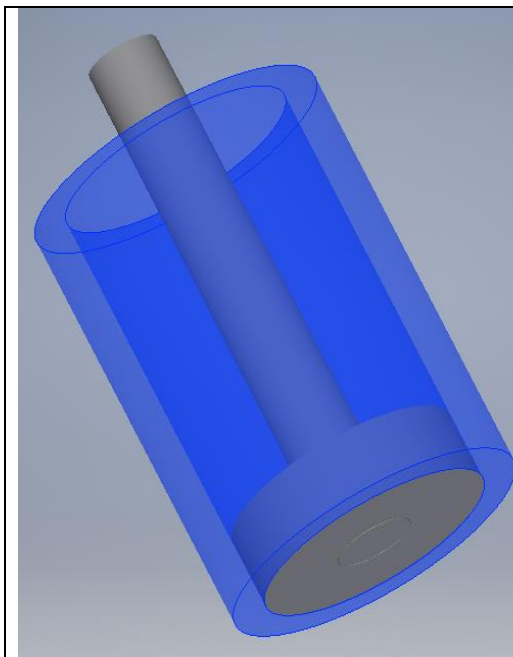
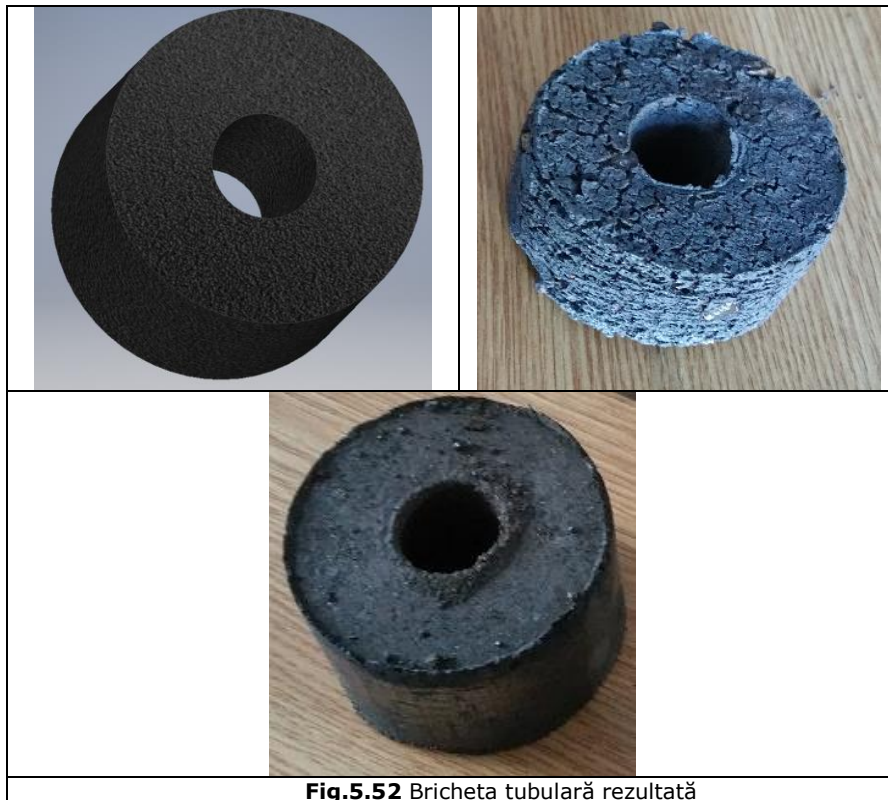
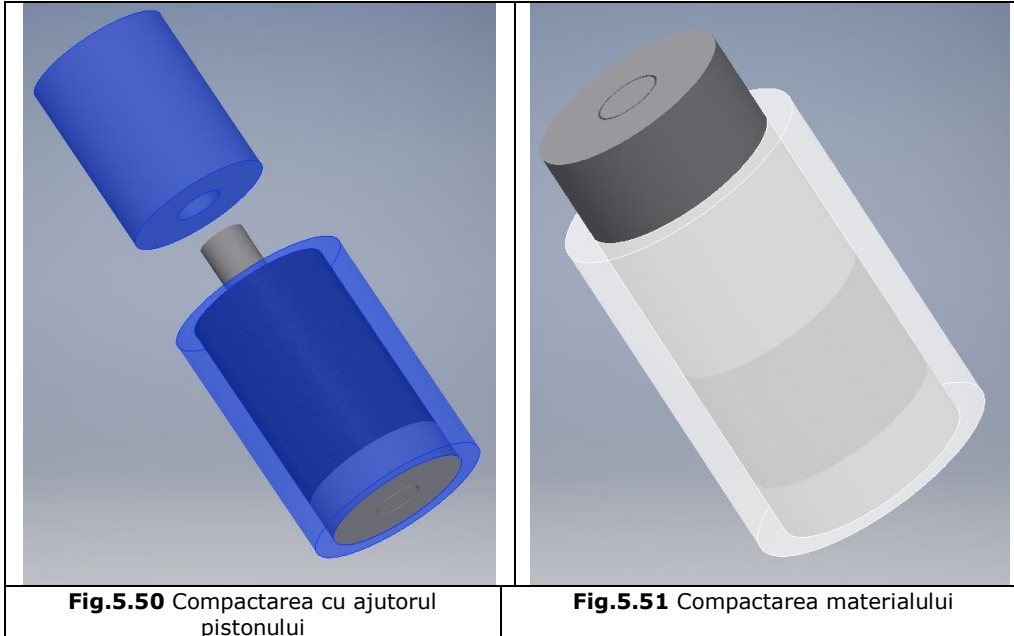


Fig.5.48 Fixarea tijei matriței tubulare



Fig.5.49 Umplerea cu material a matriței



Pentru realizarea brichetelor tubulare se execută următorii pași:

- se îmbină placa de bază cu corpul matriței tubulare (fig.5.46, 5.47);
- se fixează tija pe placa de bază, pentru a se face diametrul interior al brichetei (fig.5.48);
- se umple cu material corpul matriței (fig.5.49);
- se compactează materialul cu ajutorul pistonului (fig.5.50, 5.51);
- se extrag brichetele (fig.5.52).

5.5.2 Realizarea brichetelor multicave

Piese necesare realizării matrițelor multicave sunt prezentate în fig.5.53, fig.5.54, fig.5.55, fig.5.56, fig.5.57 și fig.5.58;

Pentru realizarea brichetelor tubulare se parcurg următoarele etape:

- se îmbină placa de bază cu corpul matriței tubulare (fig.5.59, 5.60);
- se fixează tije pe placa de bază, pentru a se face forma brichetei (fig. 5.61, fig.5.62);
- se umple cu material corpul matriței (fig.5.63);
- se realizează acoperirea cu placa superioară a matriței și pregătirea brichetei de presare (fig.5.64);
- se compactează materialul (fig.5.65);
- se realizează extragerea brichetei (fig.5.66);
- se prezintă brichetele realizate (fig.5.67).



Fig.5.53 Piese matriță multicavă

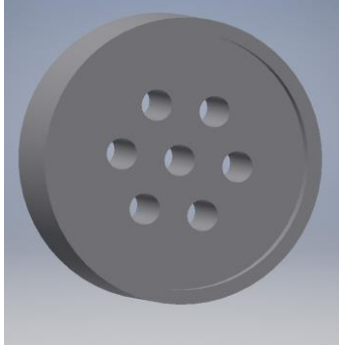


Fig.5.54 Placă de bază matriță multicavă
(desen execuție planșa 5/16)

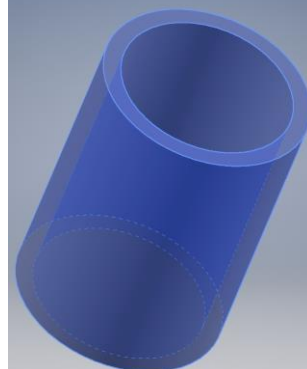


Fig.5.55 Corp matriță multicavă
(desen execuție planșa 6/16)

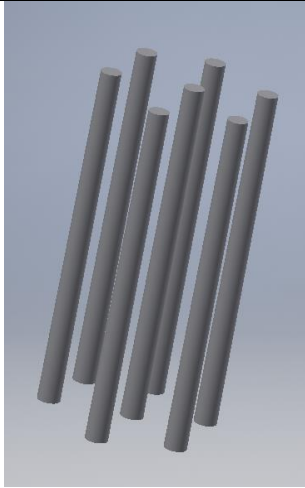


Fig.5.56 Tije matriță multicavă
(desen execuție planșa 7/16)

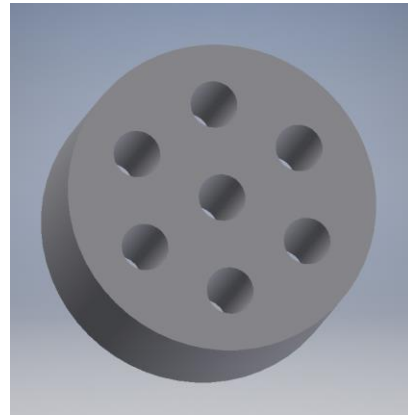


Fig.5.57 Placă superioară matriță multicavă
(desen execuție planșa 8/16)

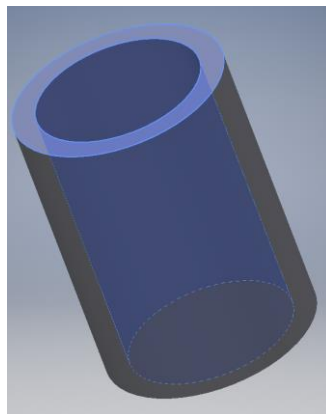


Fig.5.58 Piesă presare matriță multicavă (desen execuție planșa 9/16)

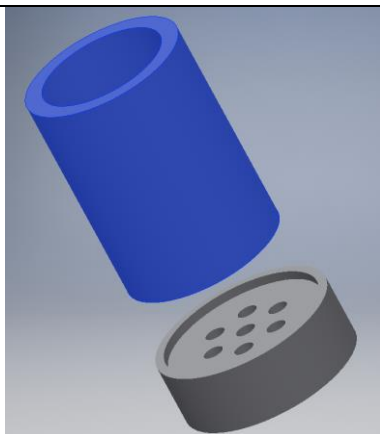


Fig.5.59 Placă bază și corp matriță multicavă

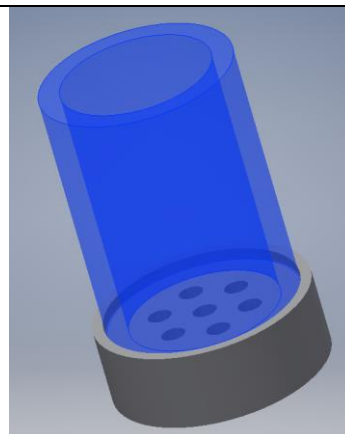


Fig.5.60 Îmbinare placă bază și corp matriță multicavă

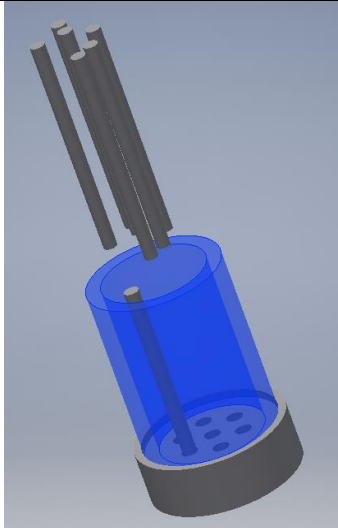


Fig.5.61 Introducerea tijelor în placa de bază

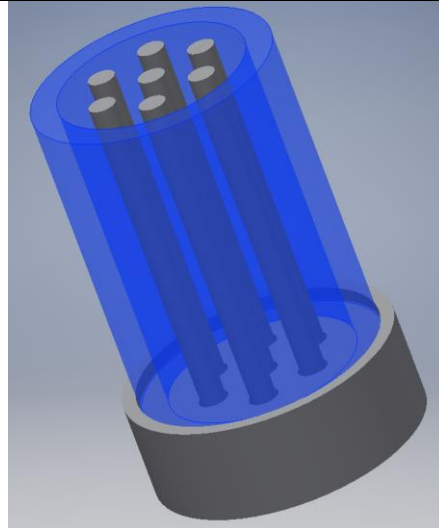


Fig.5.62 Introducerea tijelor în placa de bază

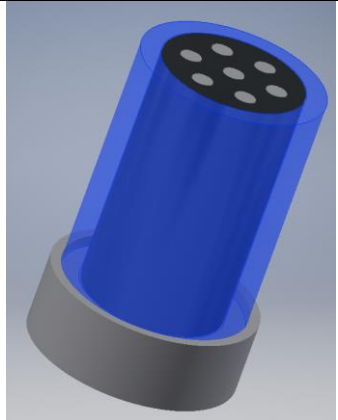


Fig.5.63 Umplerea cu material a matriței

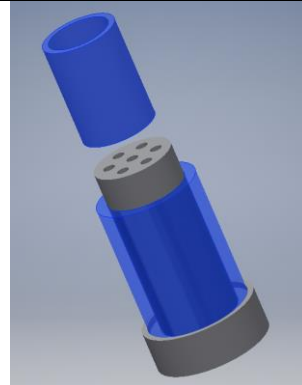


Fig.5.64 Acoperirea cu placa superioară și pregătirea brichetei de presare

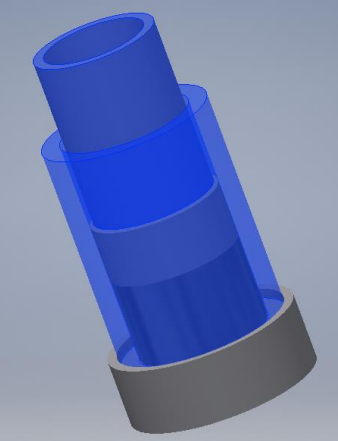


Fig.5.65 Compactarea materialului

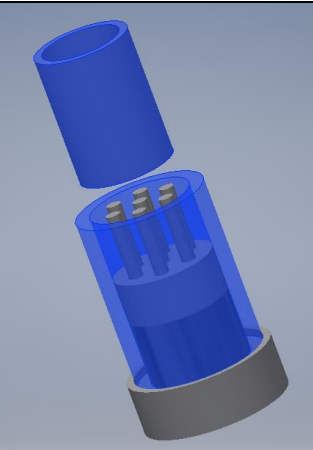


Fig.5.66 Extragerea matriței

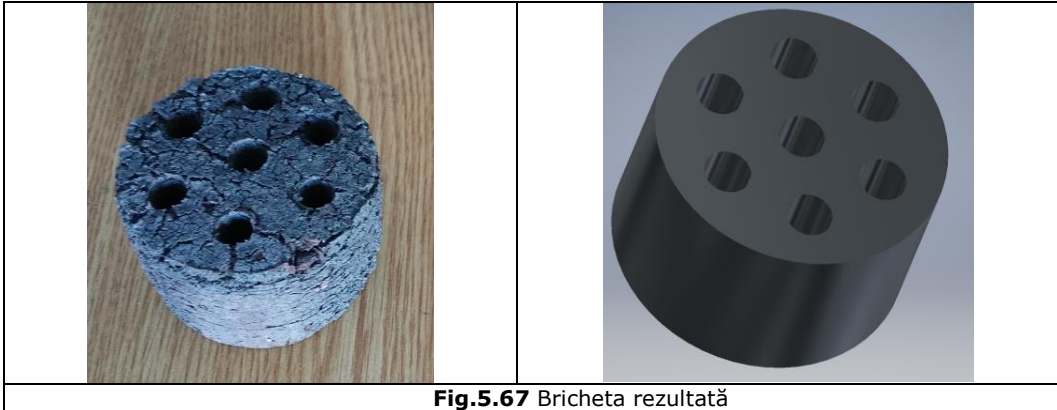


Fig.5.67 Bricheta rezultată

5.5.3 Realizarea brichetelor pline cu diametrul mic (până la 30mm)



Fig.5.68 Piese matriță plină de diametrul mic

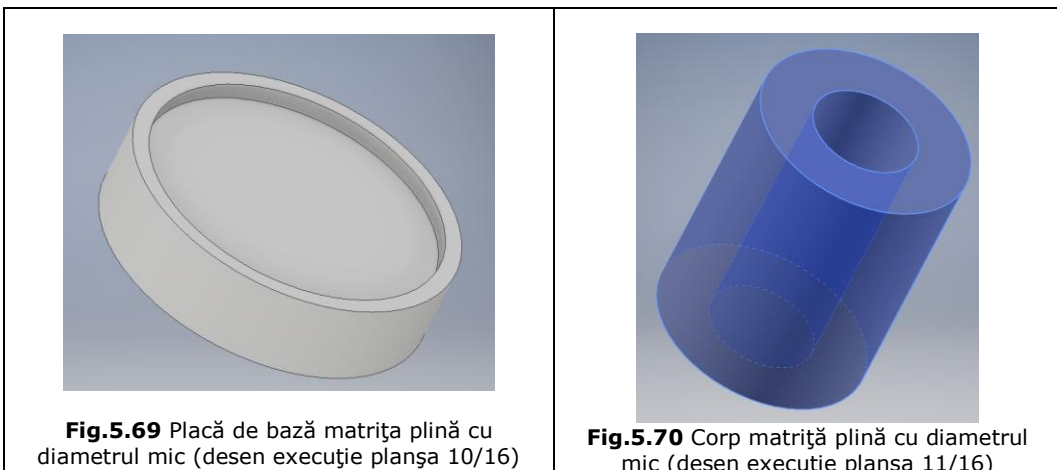


Fig.5.69 Placă de bază matriță plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 10/16)

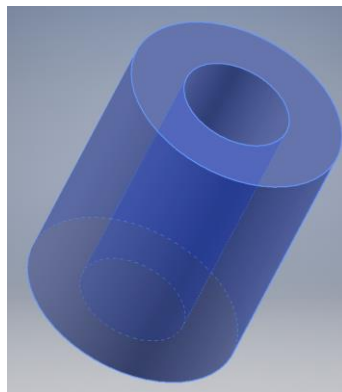


Fig.5.70 Corp matriță plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 11/16)

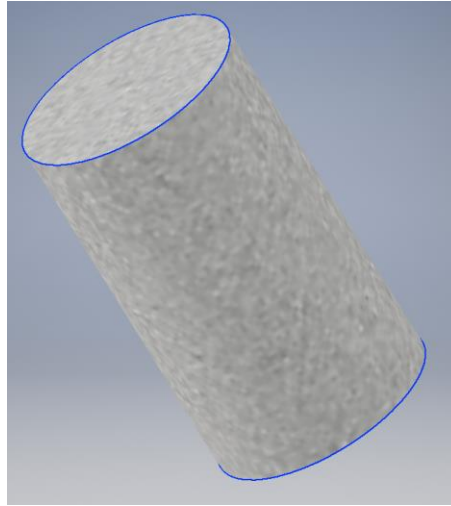


Fig.5.71 Piston matriță plină cu diametrul mic (desen execuție planșa 12/16)

Piesele necesare realizării matrițelor cu diametrul mic sunt prezentate în fig. 5.68, fig.5.69, fig.5.70 și fig.5.71.

Pentru realizarea brichetelor pline cu diametrul mic fluxul tehnologic este următorul:

- se îmbină placa de bază cu corpul matriței (fig.5.72, 5.73);
- se umple cu material corpul matriței (fig.5.74);
- se pregătește bricheta de compactare (fig.5.75);
- se compactează materialul (fig.5.76);
- se prezintă brichetele realizate (fig.5.77).

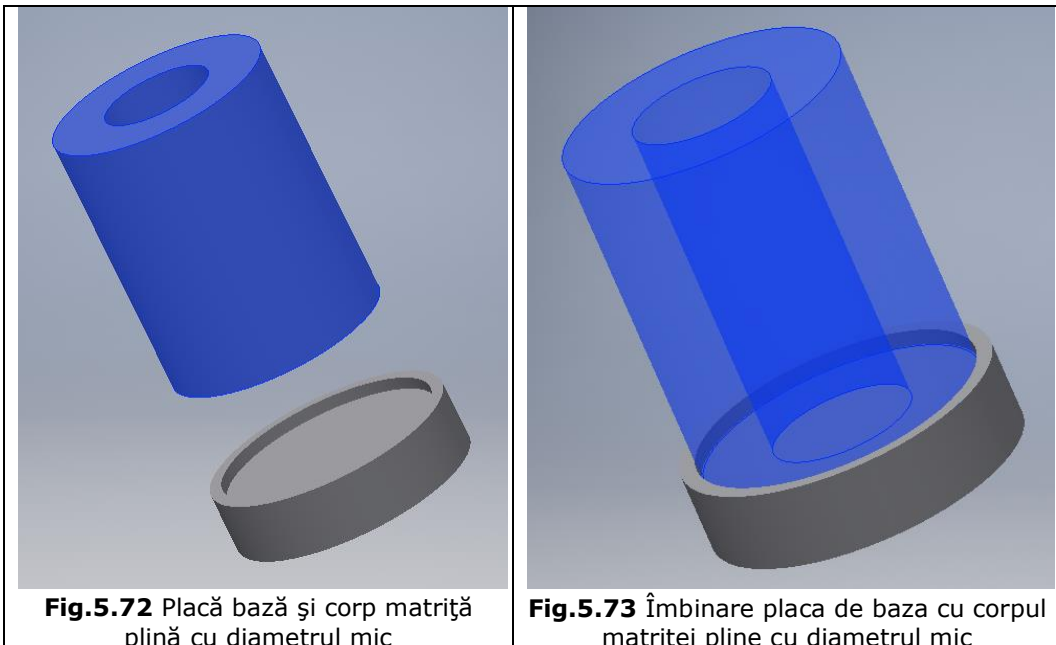


Fig.5.72 Placă bază și corp matriță plină cu diametrul mic

Fig.5.73 Îmbinare placa de baza cu corpul matriței pline cu diametrul mic

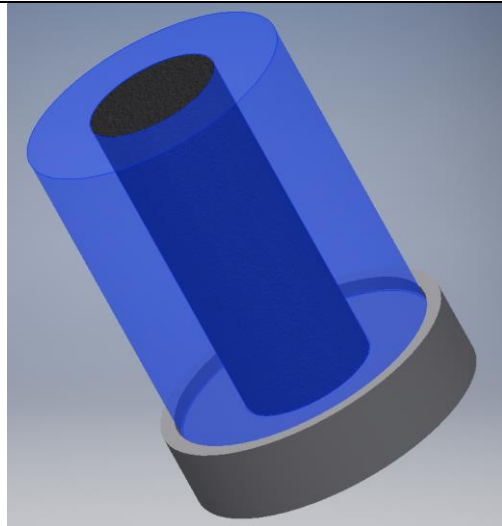


Fig.5.74 Umplerea cu material a matriței pline cu diametrul mic

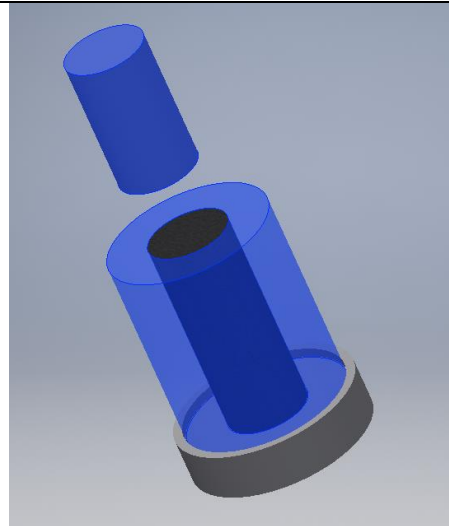


Fig.5.75 Pregătirea pentru compactare

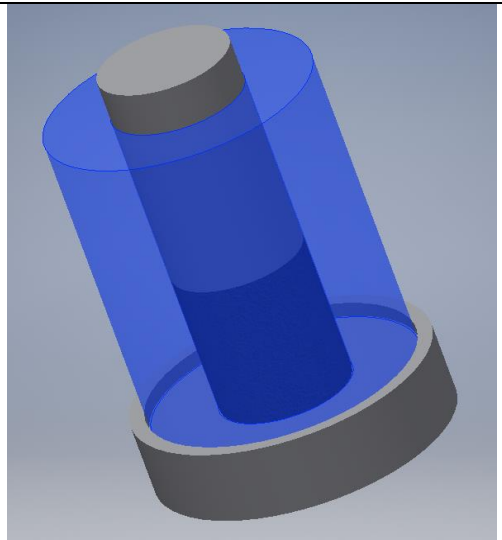


Fig.5.76 Compactarea materialului cu ajutorul pistonului

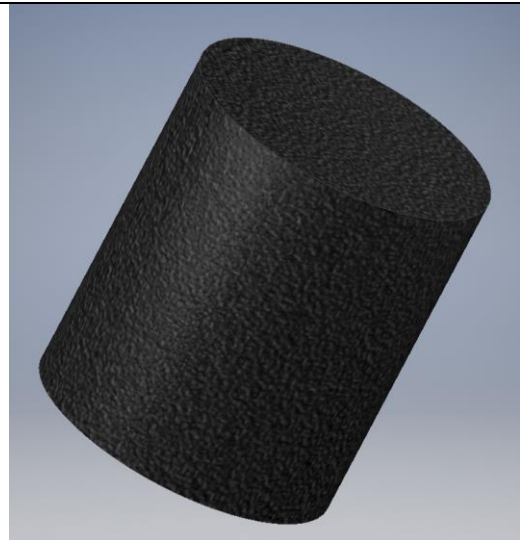


Fig.5.77 Bricheta rezultată

5.5.4 Realizarea brichetelor pline cu diametrul mare (peste 30mm)

Piese necesare realizării matrițelor cu diametrul mare sunt prezentate în fig.5.78, fig.5.79, fig.5.80, fig.5.81.

Pentru realizarea brichetelor pline cu diametrul mare etapele tehnologice sunt următoarele:

- se îmbină placa de bază cu corpul matriței (fig.5.82, 5.83);
- se umple cu material corpul matriței (fig.5.84);
- se pregătește bricheta de compactare (fig.5.85);
- se compactează materialul (fig.5.86);

- se realizează extragerea brichetei (fig.5.87);
- se prezintă brichetele realizate (fig.5.88).

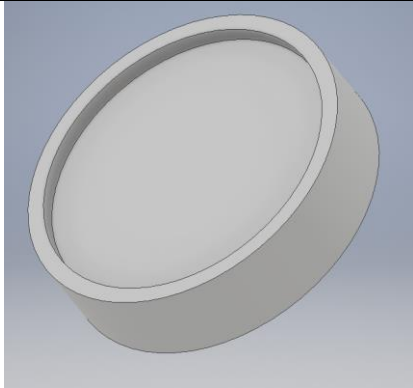


Fig.5.78 Placă bază matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 13/16)

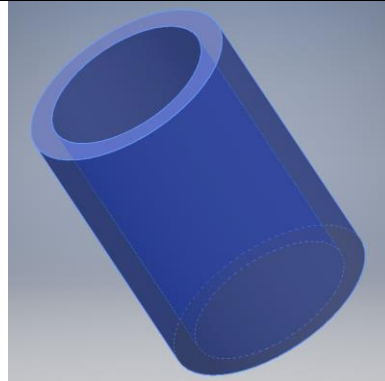


Fig.5.79 Corp matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 14/16)

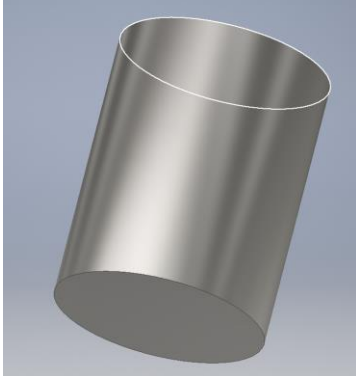


Fig.5.80 Piston presare matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 15/16)

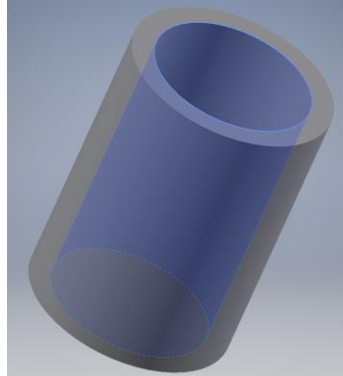


Fig.5.81 Piesa extracție matriță plină cu diametrul mare (desen execuție planșa 16/16)

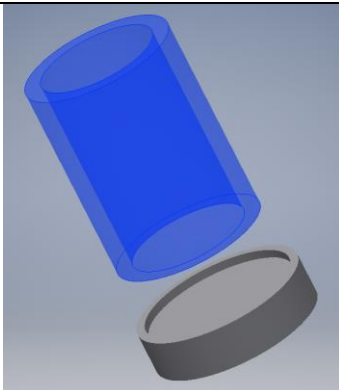


Fig.5.82 Placa de bază și corpul matriței pline cu diametrul mare

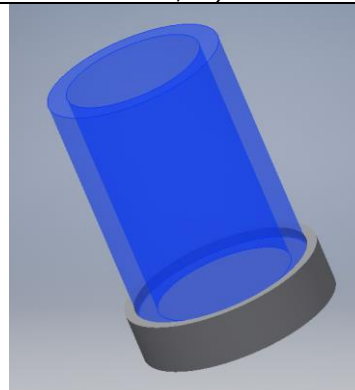


Fig.5.83 Îmbinare placa de bază cu corpul matriței pline cu diametrul mare

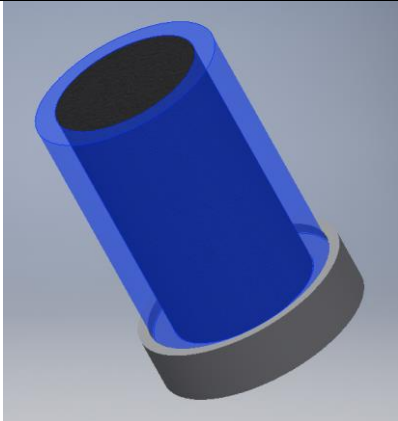


Fig.5.84 Umplerea cu material a matriței

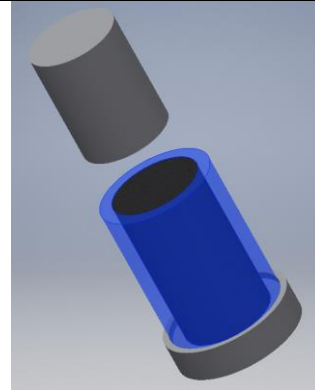


Fig.5.85 Pregătirea pentru compactare a brichetei

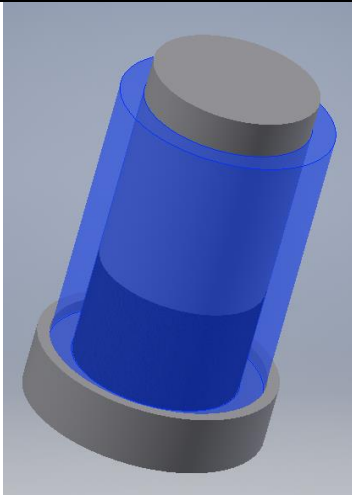


Fig.5.86 Compactarea brichetei

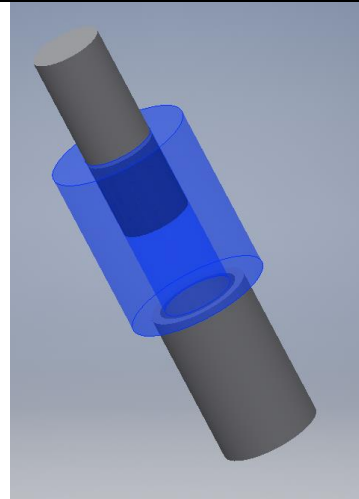


Fig.5.87 Extracția brichetei

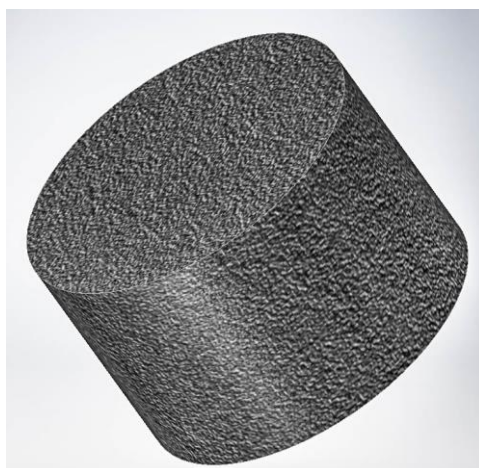


Fig.5.88 Bricheta rezultată

5.5.5 Experimentări de laborator privind producerea brichetelor

Producerea brichetelor, deșeurile utilizate, precum și rețetele de fabricare sunt prezentate în tabelul 5.1. De asemenea se prezintă, în același tabel, proporția de grafit utilizat ca reducător.

Brichetele au fost produse cu respectarea tehnologiei prezentate mai sus. Durificarea acestora s-a făcut conform diagramei prezentate, iar analizele compoziției au fost realizate în cadrul S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A..

Datele obținute au fost prelucrate în vederea determinării gradului de eliminare a zincului.

Brichetele au fost durificate după diagrama prezentată în fig.5.89 și au fost reduse după diagrama de reducere a peletelor.

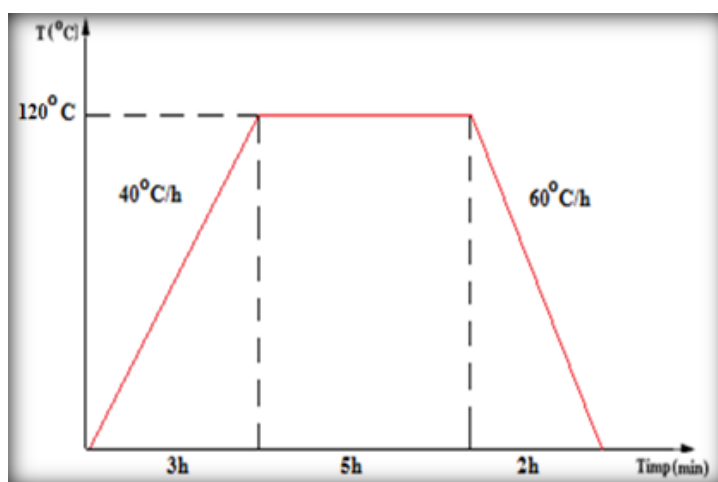


Fig 5.89 Diagrama de durificare a brichetelor
(T-temperatura de durificare, [°C]; t- timpul de durificare, [h])



Fig 5.90 Brichete înainte de reducere



Fig 5.91 Brichete după reducerea zincului

În tabelul 5.18 este prezentată compoziția chimică a brichetelor după eliminarea zincului, respectiv durificarea brichetelor conform diagramei prezentate mai sus.

Tabelul 5.18 Compoziția chimică a rețetelor pentru brichete după eliminarea Zn, [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Zn O	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	Mg O	Mn O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
R1	38,29	23,84	2,97	15,14	8,66	0,211	3,61	1,58	0,295	0,723	0,16	4,52
R2	36,70	22,20	3,04	15,69	9,79	0,0399	3,96	1,75	0,744	1,04	0,79	4,256
R3	40,58	20,30	2,54	13,48	7,46	0,111	3,56	1,86	0,285	3,17	0,31	6,34
R4	36,15	22,15	2,68	16,02	9,64	0,174	4,24	1,91	0,332	0,247	0,01	6,45
R5	44,23	18,07	4,51	10,87	6,12	0,334	2,99	1,82	0,279	3,91	0,11	6,76
R6	36,74	21,47	3,62	14,93	8,85	0,226	4,39	2,16	0,352	0,327	0,35	6,58
R7	43,02	19,6	3,82	11,85	6,3	0,314	3,43	1,9	0,287	2,68	0,28	6,52
R8	48,95	14,81	3,59	9,57	5,58	0,0706	3,10	2,18	0,278	6,78	0,32	4,77
R9	46,94	17,17	2,46	10,45	5,79	0,092	3,71	2,61	0,319	4,67	0,17	5,62
R10	36,42	20,34	2,06	15,44	7,52	0,365	5,06	3,08	0,455	0,545	0,19	8,52

În tabelul 5.19 este prezentată o comparație între gradul de eliminare Zn pentru pelete și brichete, iar în fig.5.92 este reprezentarea grafică a acestora.

Tabelul 5.19 Comparație între gradul de eliminare Zn pentru pelete și brichete, [%]

Nr. Crt.	Deșeuri utilizate	Grad eliminare Zn, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Pelete	86,21	91,36	85,03	87,26	73,34	85,76	82,29	92,61	93,48	89,77
2	Brichete	82,30	81,89	84,83	84,03	73,16	78,43	77,23	78,6	85,35	87,7



Fig.5.92 Comparație între gradul de eliminare al Zn pentru pelete și brichete

5.6 Experimentări și rezultate privind aglomerarea materialelor mărunte și pulverulente cu conținut de fier și zinc.

5.6.1 Cadru experimental

Experimentările s-au efectuat la laboratorul Baza energetică și de materii prime din cadrul FIH-UPT, pe instalația de aglomerare cu funcționare discontinuă prezentată în subcapitolul 4.6 (figura 4.24).

Experimentările au decurs în trei variante tehnologice (**A, B și C**) în cadrul fiecărei variante fiind experimentate o singură rețetă, pentru fiecare rețetă au fost produse 2 șarje, deci în total 6 șarje.

Compoziția chimică a componentelor șarjei de aglomerare (cu conținut de fier și zinc) este aceeași ca în cazul peletizării (tabelul 5.2)

La aglomerare s-a folosit cocs mărunț pentru a asigura necesarul de căldură desfășurării corespunzătoare a procesului de aglomerare și de carbon (C) la reducerea oxidilor de zinc, plumb și fier.

Compoziția chimică a cocsului mărunț și cenușii se prezintă în tabelele 5.20 și 5.21.

Tabelul 5.20 Compoziția chimică a cocsului mărunț, [%]

H ₂ O (W)	MV-materii volatile	A- cenușă	S	C _{fix}
12,44	2,18	13,47	1,89	70,02

Tabelul 5.21 Compoziția chimică a cenușii cocsului mărunț, [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	S	P
34,86	23,92	8,08	2,48	20,12	0,16	1,59	0,12

Participația componentelor șarjei de aglomerare se prezintă în tabelul 5.22.

Tabelul 5.22 Componenta rețetelor de aglomerare

Rețeta variantei	Componentă, [%]					
	PO	ISP	MA	Cocs mărunț	Zgură LF	Total
A	20	35	20	20	5	100
B	25	35	15	20	5	100
C	30	35	10	20	5	100

5.6.2 Producerea aglomeratului în fază de laborator

Odată stabilite rețetele de aglomerare, s-a trecut la dozarea șarjei, adică la cântărirea fiecărui sortiment de material conform rețetei și introduse în toba de amestec, unde au fost umectate pentru formarea micropeletelor. Dozarea a fost efectuată pentru o greutate a șarjei crude de 30kg. Adăosul de apă la formarea micropeletelor este de 7,0% din greutatea șarjei. Compoziția chimică a șarjei crude (inițială) este prezentată în tabelul 5.23.

În continuare șarja bine omogenizată și umectată, a fost introdusă în instalația de aglomerare, având în atenție ca să fie uniform repartizată și compactată, astfel încât se asigure aspirația uniformă a aerului prin stratul de aglomerat (arderea cocsului și căldura să se repartizeze uniform în masa de aglomerat), să se evite aspirația periferică sau prin canale a aerului. La 2 minute după aprinderea șarjei s-a rabatat capacul instalației și s-a continuat procesul de aglomerare propriu-zisă, durata acestuia luând în considerare și o răcire primară a fost de 50 minute, iar după 60 minute aglomeratul a fost evacuat din instalație, fiind lăsat în continuare 120 minute pentru răcire, după care a fost prelevată probă pentru determinarea compoziției chimice. Înălțimea stratului de aglomerat din instalație înainte și după terminarea procesului de peletizare se prezintă în tabelul 5.24.

Tabelul 5.24 Înălțimea stratului de aglomerat în faza inițială și finală, [mm]

Rețeta	AS1	AS2	BS1	BS2	CS1	CS2
H_i , mm	324	319	323	328	327	326
H_f , mm	281	276	291	289	288	286
$DH = H_i - H_f$	43	43	41	39	39	40

5.6.3 Calitatea aglomeratului

Compoziția chimică aglomeratului produs se prezintă în tabelul 5.25. De asemenea în tabelul 5.25 se prezintă și randamentul de eliminare a zincului (dezincare), a plumbului și a gradului de metalizare pentru fier.

Pentru determinarea rezistenței, aglomeratul a fost supus sortării granulometrice pentru a obține fracția peste 100mm. Valorile rezistenței aglomeratului sunt prezentate în tabelul 5.26.

Tabelul 5.26 Rezistența aglomeratului (fracția f_{0-5mm} , [%])

Șarja	AS1	AS2	BS1	BS2	CS1	CS2
f_{0-5mm} , [%]	20,88	21,45	21,76	22,08	23,16	22,89

Aspecte din timpul procesului de aglomerare se prezintă în fig.5.93.



Fig.5.93 Aspecte din procesul de aglomerare: a) aprinderea șarjei; b) eliminare gaze cu oxid de zinc; c) aglomerat produs finit

Tabelul 5.23 Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea inițială)

Rețetă/Șarjă	Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea inițială/șarja crudă), [%]													Total	
	Fe _t	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Cr ₂ O	C		Alte
AS1;AS2	20,11	28,72	14,29	10,74	9,39	6,05	2,54	1,92	2,05	0,16	0,05	0,05	14,83	9,21	100
BS1;BS2	20,42	29,17	13,45	11,16	9,62	5,82	2,35	2,02	1,88	0,17	0,053	0,11	14,96	9,29	100
CS1;CS2	20,81	29,71	12,58	10,25	9,89	6,99	2,21	2,13	1,73	0,18	0,052	0,13	15,12	9,38	100

Tabelul 5.25 Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea finală)

Rețet. Șarjă	Compoziția chimică a șarjei de aglomerare (starea finală/șarjă procesată), [%]													Total	η _{Zn} [%]	η _{Pb} [%]	G _{Fe} [%]		
	Fe _{total}	Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S					Cr ₂ O	Alte
AS1	32,76	19,71	9,39	7,92	20,56	0,23	13,73	8,65	0,42	2,72	2,65	0,21	0,07	0,12	13,61	100	97,86	83,46	60,16
AS2	32,88	19,98	9,12	7,79	20,43	0,18	13,91	8,72	0,41	2,68	2,66	0,22	0,07	0,12	13,61	100	98,33	83,86	60,76
BS1	33,96	20,12	9,41	7,95	20,15	0,21	13,59	8,65	0,45	2,29	2,76	0,21	0,06	0,14	13,99	100	98,12	80,85	59,25
BS2	33,95	20,13	9,39	7,98	20,14	0,21	13,74	8,63	0,44	2,28	2,68	0,22	0,06	0,13	13,97	100	98,12	80,86	59,29
CS1	33,83	20,45	9,46	8,02	20,79	0,21	13,64	8,72	0,42	2,26	2,34	0,19	0,06	0,11	13,33	100	97,95	80,99	60,45
CS2	33,34	20,42	9,39	8,07	20,25	0,22	13,85	8,67	0,39	2,31	2,41	0,21	0,06	0,11	13,64	100	97,85	82,35	61,25

5.6.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

În cadrul experimentărilor efectuate, aglomerarea sortimentelor de deșeuri feroase mărunte și pulverulente cu conținut de zinc, fier și plumb, a decurs corespunzător, nu au apărut probleme privind prepararea șarjei de aglomerare la omogenizarea, micropeletizare și umectarea șarjei.

După aprinderea șarjei procesul de aglomerare a decurs foarte bine, aspirația aerului a avut loc pe toată suprafața șarjei, mai precis nu s-a constatat o aspirație preferențială a aerului.

Analizând rezistența aglomeratului obținut, s-a constatat că din punct de vedere a acestui indicator de calitate la toate cele 6 șarje, acestea s-au încadrat în limitele prevăzute, având valori bine corelate cu indicele de bazicitate.

Gradul de metalizare pentru fier a fost destul de ridicat, ca urmare a adosului mai mare de cocs în componența șarjei (deoarece s-a urmărit o reducere avansată a oxizilor de fier).

Conținutul ridicat de carbon din componența șarjei de aglomerare a asigurat o reducere avansată a oxizilor de zinc și respectiv de eliminare a acestuia din încărcătură, randamentul de eliminare a zincului (dezincare) fiind cuprins în limitele 97-99%.

În cea ce privește plumbul prezent și el în șarja de aglomerare, randamentul de eliminare a acestuia a fost cuprins în limitele 80-84% (mai mic decât în cazul zincului).

Simultan cu reducerea oxizilor de zinc și plumb a avut loc și reducerea oxidului superior de fier la forma inferioară și respectiv metalică, gradul de metalizare fiind cuprins în limitele 59-62%.

Conținutul total de fier din aglomeratele produse a fost cuprins în limitele 32-34%, din care fier metalic 19-21%.

Procesarea prafurilor și materialelor mărunte cu conținut de zinc prin aglomerare conduce la recuperarea zincului în așa numitul "**praf de zinc**" precum și la îmbogățirea acestuia în zinc (la peste 42% Zn), ceea ce conduce la preciclarea acestuia prin metode specifice metalurgiei zincului.

Aglomeratul rezultat deși are conținut de fier relativ scăzut, în limitele cca.3% ar putea fi utilizat ca sortiment metalic în încărcătura cuptoarelor cu arc electric.

În prezent în România sunt probleme deosebite referitoare la reciclarea deșeurilor, în mod deosebit a celor pulverulente și mărunte provenite din industria metalurgică feroasă și neferoasă, existând două alternative, una din ele fiind depozitarea.

Dacă analizăm din punct de vedere metalurgic depozitarea (inertizarea) unor prafuri și materiale mărunte cu conținut de cca. 30% Fe și de până la 40% Zn, aceasta poate fi considerată nerațională. Lipsa unei legislații ecologice corespunzătoare, face însă ca depozitarea să apară acceptabilă economic.

Ca urmare a prescripțiilor ecologice din ce în ce mai severe în zona europeană (centrală în mod deosebit), se va ajunge cât de curând la înlăturarea deșeurilor (interzicerii depozitării).

Deci la toate variantele tehnologice, indiferent de rețeta utilizată procesul de procesare a deșeurilor experimentate a decurs bine.

5.7 Instalație proiectată pentru recuperarea metalelor neferoase

Pentru captarea gazelor s-a realizat o hotă din inox, pentru a face legătura de la cuptor până la hota existentă din laborator (fig.5.94, fig.5.95). Hota cuprinde partea ce acoperă cuptorul, prevăzută cu ușă de acces pentru introducerea și scoaterea probelor (fig.5.96) și extensia realizată din țeavă cu ușă de vizitare (fig.5.97).

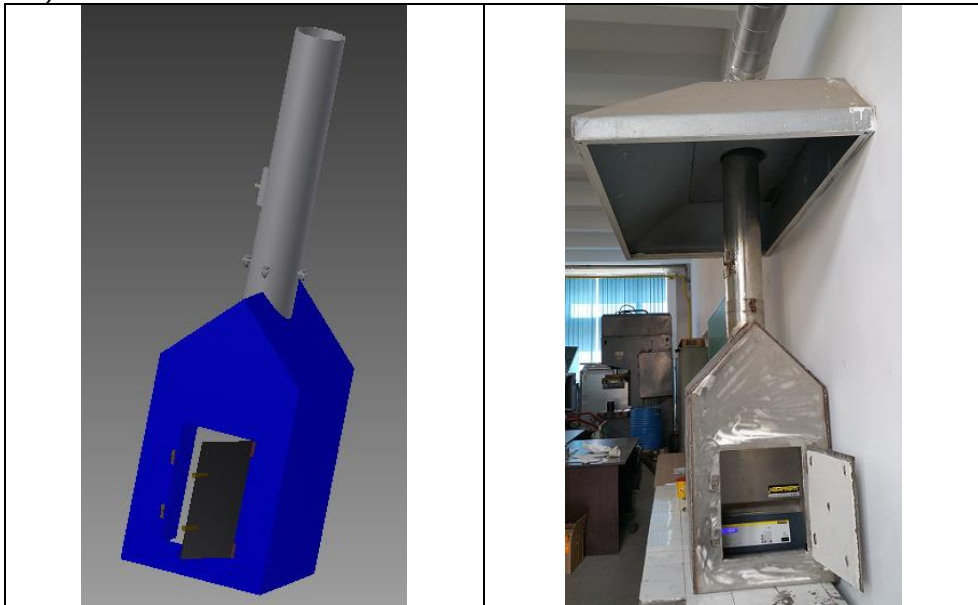


Fig.5.94 Hotă nouă preluare gaze până la hotă existentă

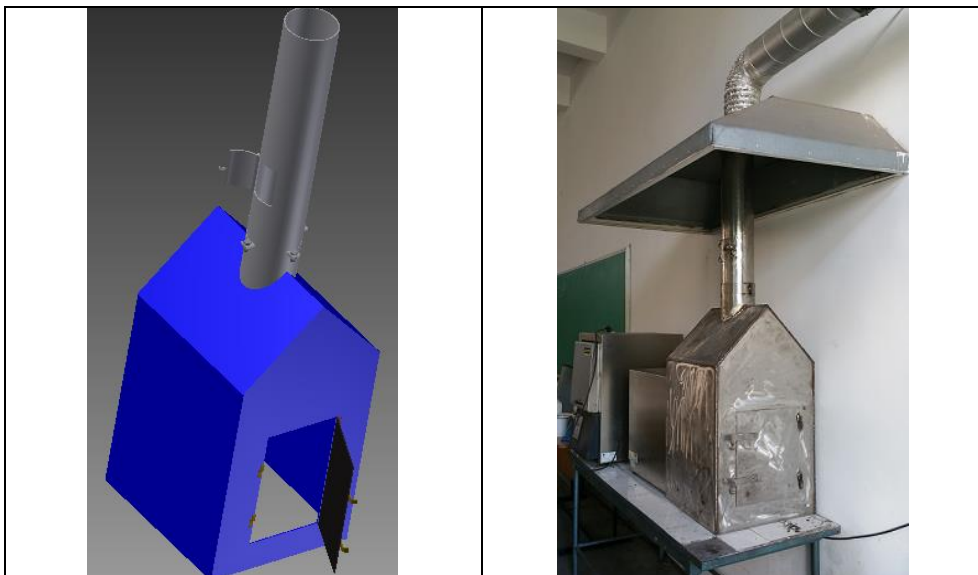


Fig.5.95 Hotă nouă preluare gaze până la hotă existentă

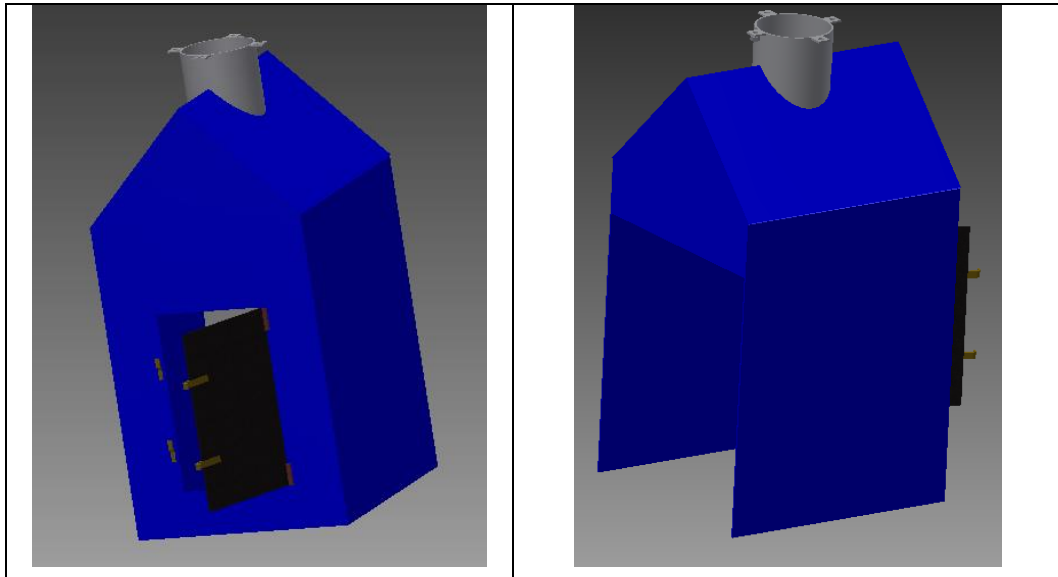


Fig.5.96 Hotă cu ușă de acces peste cuptor

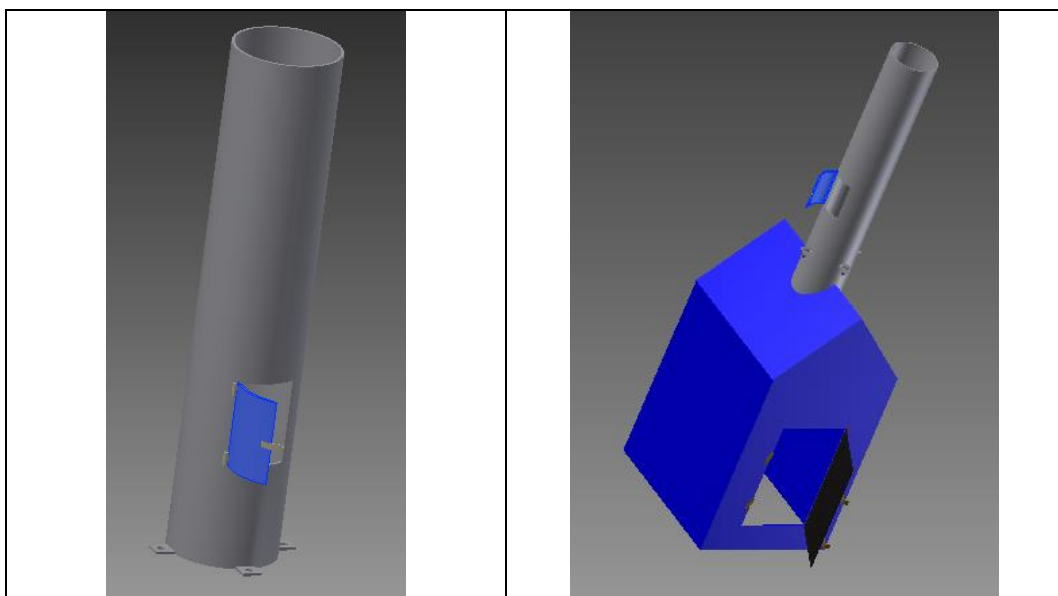


Fig.5.97 Extensie hotă

Pentru a nu elimina gazele nocive în aer, s-a realizat o instalație de umectare a gazelor, astfel conținutul acestora (Zn, Pb, Cd) devenind solid (fig.5.98). Gazele sunt aduse către instalație cu ajutorul unui ventilator montat, înainte de aceasta. Principiul de funcționare al instalației presupune "spălarea" gazelor, aceasta fiind posibilă prin camera superioară ce este plină cu apă de la instalația laboratorului, placă care are la bază o tablă găurită pentru a realiza stropirea în camera în care gazele sunt captate (fig.5.99).



Fig.5.98 Instalație pentru epurarea gazelor

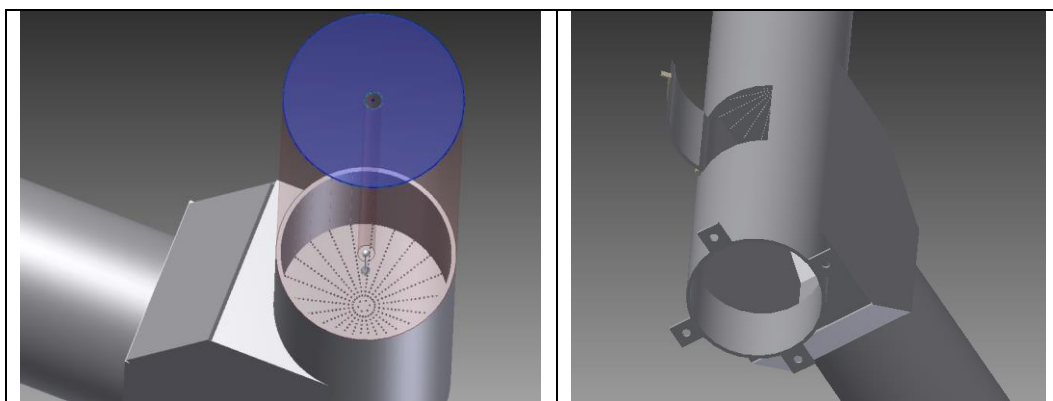


Fig.5.99 Partea superioară cu baza o placă gaurită pentru a realiza efectul de „perdea de apă”
 Pentru a curăța instalația, aceasta s-a prevăzut cu o ușa de acces (fig.5.100). Instalația fiind montată la înălțime, pentru a recupera apa s-a realizat o extensie a acesteia (fig.5.101).

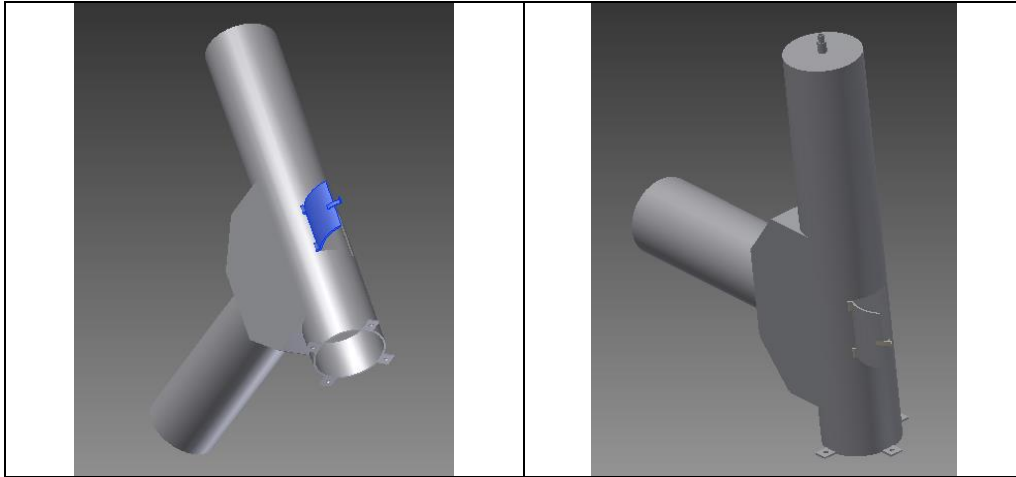


Fig.5.100 Ușă de acces instalație

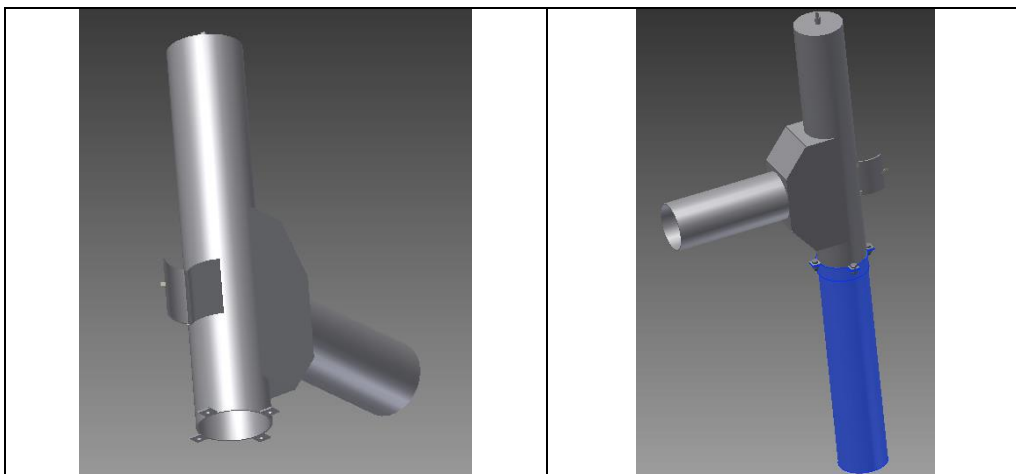


Fig.5.101 Extensie instalație

Apa ce a fost recuperată a fost analizată chimic. Datele sunt prezentate în tabelul 5.28.

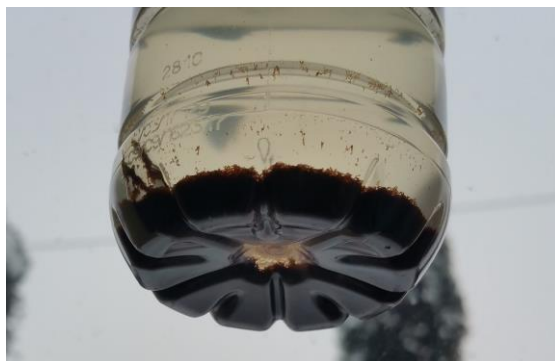


Fig.5.102 Nămolul rezultat în urma epurării gazelor

Tabelul 5.27 Analiza chimică a apei recuperate

Număr probă	Valoare Pb mg/l	Valoare Zn mg/l	Valoare Cd mg/l
1	0	0,438	0
2	5,629	5,051	0,147

*Metoda de încercare este conform SR ISO 8288/2001

Proba 1 este proba de apă potabilă

Proba 2 este proba de apă colectată după eliminarea și recuperarea zincului.

5.8 Concluzii

Încărcătura CAE este în proporție de 16% fier vechi ușor (procesat-balotat), 13% fier vechi, 37% deșeuri reziduale mici (grosime > 3mm), 25% deșeuri balotate cu grosime sub 3mm și 9% skull domestic (fier vechi/deșeu intern).

În ceea ce privesc scoarțele feroase care provin atât din exterior cât și din interior nu se cunoaște o compoziție chimică bine precizată. Se estimează că aceasta are un conținut de fier total 40-70%.

Referitor la produsele obținute din procesarea deșeurilor PF, PO, țunder, zgură feroasă, cu un conținut de fier total sub 50% (de regulă peste 30%), dar de compoziție chimică bine cunoscută se poate considera că pot fi luate în considerație ca un component în încărcătura CAE în proporție de 4-5% (sub formă de pelete, brichete, aglomerate).

Actualmente costurile depozitării prafului de oțelărie și a altor deșeuri ce conțin Zn, Pb, Cd, As sunt în continuă creștere, iar drepturile de depozitare vor fi curând limitate sau chiar interzise (interzicerea lor ar fi cea mai bună soluție), ceea ce va face obligatorie reciclarea oricărui deșeu ce poate fi valorificat. Pentru aceasta sunt necesare noi metode, sau îmbunătățirea celor existente pentru a recicla deșeurile și a recupera, refoșii tot ceea ce rezultă în urma procesului principal de producție.

La prelucrarea deșeurilor cu Fe-Zn (Zn 15-20%), recuperarea zincului în "praful de zinc" și procesarea în continuare prin tehnologii specifice metalurgiei neferoase, poate face posibilă procesarea în continuare a acestor materiale în vederea recuperării Fe.

6. PROCESAREA PELETELOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI ZINC PRIN PROCESAREA ÎN CUPTORUL ELECTRIC CU INDUCȚIE

6.1 Producerea peletelor

Recent, odată cu creșterea consumului de fier vechi în oțelării (în mod deosebit în cele electrice echipate cu cuptoare cu arc electric tip- EBT), tehnologiile de reciclare a prafului de oțelărie cu conținut de zinc trebuie obligatoriu să aibă în vedere o serie de măsuri referitoare la protecția mediului înconjurător. În acest sens au fost efectuate experimentări în fază de laborator, privind îndepărtarea zincului din pelete produse din praf de oțelărie cu conținut ridicat de zinc, prin încărcarea acestora în topitura (baia de oțel) unui cuptor cu inducție de capacitate 10kg.

Pentru formarea băii metalice s-au utilizat probe prelevate din baia metalică pentru determinarea compoziției chimice de la șarja de oțel marca S 235 (deci de compoziție chimică cunoscută) - fig.6.1.

Tabelul 6.1 Compoziția chimică a oțelului S 235

Compoziția chimică, [%]							
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
0,09 - 0,16	0,40 - 0,80	0,17 - 37	max 0,045	max 0,045	max 0,10	max 0,10	max 0,10



Fig.6.1 Material feros pentru încărcătura cuptorului electric cu inducție

Pentru obținerea peletelor experimentale s-a avut în vedere producerea a trei sortimente de pelete din prafuri de oțelărie electrică, după aceeași rețetă, dar pentru concentrații diferite de oxid de zinc în praf (calitatea: C1, C2 și C3), a cărei compoziție chimică se prezintă în tabelul 6.2. Ca liant s-a utilizat bentonita și zgura reducătoare L.F., compozițiile chimice fiind prezentate în tabelele 6.3 și 6.4.

Pentru toate cele trei calități de praf de oțelărie electrică s-a utilizat aceeași rețetă, cea prezentată în tabelul 6.5 și s-au produs 2 șarje de pelete pentru fiecare rețetă, 2kg/șarjă (capacitatea peletizorului), deci 4kg pentru fiecare calitate.

Pentru producerea peletelor, materialele utilizate au fost dozate, conform rețetei stabilite, avându-se în vedere obținerea amestecului în cantitate de 4kg pentru fiecare șarjă. În continuare materialul a fost omogenizat în instalația de omogenizare, după care în cantitate de 2,0kg a fost introdus în peletizor pentru obținerea peletelor. Pe durata formării peletelor șarja a fost în permanență umectată pentru a se asigura aderența particulelor de praf, liant și reducător. Peletizarea a fost corespunzătoare având în vedere adaosul de reducător.

După cum s-a precizat anterior, după încheierea procesului de peletizare peletele au fost uscate în aer liber și sortate granulometric.

După uscarea și sortarea granulometrică s-a obținut următoarea structură a claselor granulometrice, tabelul 6.7. Peletele cu granulație în afara limitelor menționate (sub 2mm și peste 15mm) nu au fost utilizate în cadrul experimentărilor.

După terminarea peletizării, peletele crude au fost lăsate pentru eliminarea umidității timp de 24 de ore, după care uscate în etuvă la 120°C timp de 36-48 ore și s-a determinat compoziția chimică a acestora (tabelul 6.6). Sortarea granulometrică s-a efectuat după uscarea peletelor.

Tabelul 6.2 Compoziția chimică a prafului de oțelărie utilizat, [%]

Calit. praf	Compoziția chimică, [%]											
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	C	Alți oxizi
C1	43,11	6,86	19,67	6,59	1,74	2,66	3,33	3,03	0,307	0,337	3,22	8,736
C2	40,05	6,41	24,82	6,48	1,54	2,22	3,23	3,01	0,305	0,303	2,81	7,122
C3	47,35	6,96	15,78	7,42	1,98	2,35	2,89	2,78	0,292	0,211	2,88	9,107

Tabelul 6.3 Compoziția chimică a bentonitei, [%]

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
2,16	73,94	11,56	1,84	1,44	1,87	3,95	3,24	100

Tabelul 6.4 Compoziția chimică a zgurei de rafinare LF, [%]

FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	TiO ₂	V ₂ O ₅	Total
0,035	0,326	14,32	20,87	55,08	8,21	0,29	0,034	1,01	0,05	0,11	100

Compoziția rețetelor se prezintă în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5 Compoziția rețetelor, [%]

Praf de oțelărie, [%]	Bentonită, [%]	Zgură LF, [%]	Reducător (grafit), [%]
80	2	5	13

Tabelul 6.6 Compoziția chimică a peletelor anterior introducerii pe baia metalică, [%]

Nr. rețetă	Compoziția chimică a peletelor în funcție de calitatea prafului de oțelărie, [%]											
	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C	Altele
C1	34,54	0,035	7,68	15,74	8,75	2,67	2,13	3,10	2,48	0,25	15,135	7,49
C2	33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71
C3	37,94	0,035	7,77	12,96	8,73	2,86	1,88	2,76	2,68	0,24	14,85	7,29

Tabelul 6.7 Compoziția granulometrică a peletelor

Calitate praf oțelărie	Clase granulometrice, [g/%]				
	< 2mm	2-5mm	5-10 mm	10-15mm	> 15mm
C1	321/ 8,03	1012/ 25,30	1370/ 34,25	1083/ 27,09	214/ 6,33
C2	307/ 8,24	1016/ 24,82	1350/ 33,76	1124/ 28,10	203/ 5,08
C3	302/ 7,55	1022/ 25,57	1390/ 34,76	1100/ 27,49	186/ 4,63

6.2 Experimentări în fază de laborator cu pelete sortate granulometric

6.2.1 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete pe baia de oțel

Pentru fiecare calitate de praf (C1; C2 și C3) au fost efectuate câte 3 experimente, câte unul pentru fiecare clasă granulometrică deci în total 9 pentru cele trei rețete.

Structura încărcăturii cuptorului electric cu inducție și succesiunea șarjelor se prezintă în tabelul 6.8. Pentru a reduce oxidarea băii metalice în timpul formării și încălzirii s-a introdus în încărcătură flux de zgură reducătoare (practic amestec reducător utilizat la instalațiile L.F. (tabelul 6.9) în cantitate de 300g/șarjă (în medie 3,75% din greutatea oțelului).

Tabelul 6.8 Structura încărcăturii și succesiunea șarjelor

Nr. crt	Sortim. încărc.	Calitate/șarjă								
		C1S1	C1S2	C1S3	C2S1	C2S2	C2S3	C3S1	C3S2	C3S3
1	Oțel	8000	8003	7996	08000	8001	8007	8001	7998	8010
2	Flux zg.	300	300	300	300	300	300	300	300	300
3	Pelete	400	400	400	400	400	400	400	400	400
-										
4	La șarjele C1S1; C2S1 și C3S1, adaos de pelete clasa granulometrică 2-5mm-sortiment S1									
-										
5	La șarjele C1S2; C2S5 și C3S8, adaos de pelete clasa granulometrică 5-10mm-sortiment S2									
-										
6	La șarjele C1S3; C2S6 și C3S9, adaos de pelete clasa granulometrică 10-15mm-sortiment S3									

La terminarea topirii încărcăturii fiecărei șarje s-a evacuat din cuptor zgura de la topire (în proporție de 90-95%), după care a fost măsurată temperatura băii metalice (cu pirometru cu radiație) și s-a prelevat probă de oțel (compoziția chimică se prezintă în tabelul 6.10). În timpul topirii s-a urmărit ca temperatura băii metalice să fie de 1560-1580°C. S-a considerat necesară evacuarea zgurei pentru a asigura un contact mai intens între pelete și oțelul lichid, pe de o parte iar pe de alta pentru o determinare mai precisă a randamentului de eliminare a zincului (de dezincare). Durata topirii încărcăturii metalice a fost în medie de 70min. (± 4 min.).

Tabelul 6.9 Compoziția chimică a fluxului de zgură reducătoare (pentru procesare în L.F.), [%]

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	S	TiO ₂	V ₂ O ₅
60,81	16,45	10,29	11,55	0,42	0,31	0,03	0,05	0,04	0,05
Granulația zgurei reducătoare (LF) a fost de: 0,5-2mm									

Tabelul 6.10 Compoziția chimică și temperatura șarjelor de oțel înaintea adăosului de pelete

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %								Temperat. °C
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	
1	0,10	0,56	0,31	0,022	0,002	0,04	0,03	0,02	1560
2	0,12	0,64	0,32	0,023	0,004	0,06	0,03	0,02	1565
3	0,11	0,61	0,28	0,025	0,004	0,06	0,03	0,02	1581
4	0,14	0,71	0,26	0,037	0,003	0,05	0,02	0,01	1568
5	0,14	0,52	0,33	0,026	0,003	0,08	0,04	0,02	1575
6	0,13	0,59	0,35	0,032	0,003	0,03	0,03	0,01	1576
7	0,12	0,62	0,27	0,022	0,002	0,03	0,03	0,03	1568
8	0,12	0,68	0,24	0,023	0,004	0,05	0,04	0,03	1580
9	0,13	0,52	0,34	0,031	0,002	0,04	0,04	0,03	1578

Adaosul de pelete s-a efectuat într-o singură repriză, imediat după măsurarea temperaturii și prelevarea probelor de oțel. Pe durata topirii peletelor, s-a urmărit vizual degajarea de "praf de zinc" (dezincarea, sub aspectul intensității). Pentru fiecare șarjă s-a prelevat din cuptor probă de zgură (în care au fost înglobate și pelete), la intervale de 5 minute pe toată durata degajării de praf și ultima probă când degajarea de praf nu a mai fost semnificativă.

Tabelul 6.11 Programul de prelevare a probelor

¹ PP mi n	Număr șarjă/codificarea probă								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	²⁾ 1P1C1S 1	2P1C1S 2	3P1C1S 3	4P1C2S 1	5P1C2S 2	6P1C2S 3	7P1C3S 1	8P1C3S 2	9P1C3S 3
10	1P2C1S1	2P2C1S 2	3P2C1S 3	4P2C2S 1	5P2C2S 2	6P2C2S 3	7P2C3S 1	8P2C3S 2	9P2C3S 3
15	1P3C1S1	2P3C1S 2	3P3C1S 3	4P3C2S 1	5P3C2S 2	6P3C2S 3	7P3C3S 1	8P3C3S 2	9P3C3S 3
20	1P4C1S1	2P4C1S 2	3P4C1S 3	4P4C2S 1	5P4C2S 2	6P4C2S 3	7P4C3S 1	8P4C3S 2	9P4C3S 3
22	-	-	-	-	-	-	-	-	9P5C3S 3
23	-	-	3P5C1S 3	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	6P5C2S 3	-	-	-
25	1P5C1S1	2P5C1S 2	-	4P5C2S 1	5P5C2S 2	-	7P5C3S 1	8P5C3S 2	-
27	-	-	-	-	5P6C2S 2	-	-	-	-
28	1P6C1S1	-	-	-	-	-	7P6C3S 1	-	-
30	-	-	-	4P6C2S 1	-	-	-	-	-

¹⁾PPmin- minutul prelevării probei; ²⁾ 1-număr șarjă; P1-proba numărul 1; C1-pelete din praf calitatea 1; S1-pelete sortiment 2-5mm; etc.

După adaosul de pelete s-a urmărit în permanență degajarea de praf de zinc și s-au prelevat probe conform programului prezentat în tabelul 6.11.

Pentru probele prelevate s-a determinat compoziția chimică a acestora, pe baza acestora s-a determinat evoluția în timp a conținutului de oxid de zinc din materialul procesat, rezultatele obținute fiind prezentate în tabelul 6.12.

Datele prezentate în tabelul 6.12 au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, rezultatele obținute fiind prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică (fig.6.11; 6.12 și 6.13).



Fig.6.2 Încălzirea cuptorului



Fig.6.3 Formarea băii de oțel lichid



Fig.6.4 Baia de oțel lichid văzută prin masca de sudură



Fig.6.5 Adăugarea peletelor pe baia de oțelul lichid-
Proba 1 (la 5 min după adaos)



Fig.6.6 Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului-
Proba 2 (la 10 min după adaos)



Fig.6.7 Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului
Proba 3 (la15 minute după adaos)



Fig.6.8 Gazele evacuate în urma reacției de reducere a zincului
Proba 4 (la 20 minute după adaos)



Fig.6.9 Prelevare probă de oțel lichid după reducerea zincului



Fig.6.10 Probă de oțel solidificat

Tabelul 6.12 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.11)

Număr Șar.-min	Cod probă	Compoziția chimică a probelor prelevate (pelete+zgură) din cuptor, [%]														
		Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C	alte	η _{r,Fe}	η _{e,Zn}	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0		34,54	0,035	7,68	15,74	8,75	2,67	2,13	3,10	2,48	0,25	15,135	7,49			
1-5	1P1C1S1	28,35	1,18	10,08	11,65	15,34	3,12	2,05	3,86	3,64	0,34	12,34	8,05			
1-10	1P2C1S1	21,38	2,21	13,13	7,35	21,32	4,87	1,78	4,58	3,98	0,39	9,21	9,81		98,66	
1-15	1P3C1S1	16,12	3,17	20,21	4,4	25,07	6,57	1,58	9,23	5,62	0,45	7,23	10,47			
1-20	1P4C1S1	8,25	4,61	27,67	3,29	34,89	7,98	1,43	8,72	6,48	0,53	4,11	10,23			
1-25	1P5C1S1	4,31	5,12	23,43	1,61	29,62	8,62	1,33	9,12	8,22	0,57	1,54	10,82			
1-28	1P6C1S1	3,81	6,07	25,21	0,21	29,62	7,45	1,22	8,76	7,13	0,61	0,13	10,76	81,78	98,66	
0		34,54	0,035	7,68	15,74	8,75	2,67	2,3	3,10	2,48	0,25	15,135	7,49			
2-5	2P1C1S2	27,64	1,18	11,08	10,23	16,67	3,21	2,03	3,89	3,21	0,34	12,34	8,05			
2-10	2P2C1S2	21,32	2,27	11,07	5,87	17,34	4,11	1,76	4,95	3,95	0,39	9,21	9,81			
2-15	2P3C1S2	15,41	3,33	14,67	2,75	24,56	4,78	1,55	5,87	4,85	0,45	7,23	10,47			
2-20	2P4C1S2	8,21	4,71	23,67	1,88	27,78	5,43	1,32	6,48	5,32	0,53	4,11	10,23			
2-25	2P5C1S2	4,28	5,11	26,03	1,15	25,87	5,98	1,24	7,24	5,66	0,57	3,98	10,82			
2-28	2P6C1S2	2,43	5,12	24,03	0,10	25,38	7,41	1,05	7,76	7,15	0,58	0,11	18,87	82,36	99,36	
0		34,54	0,035	7,68	15,74	8,75	2,67	2,13	3,10	2,48	0,25	15,135	7,49			
3-5	3P1C1S3	26,63	1,32	14,54	8,91	16,02	3,24	2,01	4,16	2,89	0,43	11,45	8,88			
3-10	3P2C1S3	19,38	2,32	17,89	5,02	20,24	5,89	1,66	4,96	3,73	0,45	9,03	9,34			
3-15	3P3C1S3	13,43	3,41	19,03	1,98	24,98	6,71	1,45	5,87	4,56	0,47	6,29	9,92			
3-20	3P4C1S3	8,29	4,21	25,43	0,65	26,92	6,65	1,31	6,73	5,32	0,53	3,21	10,31			
3-23	3P5C1S3	3,28	5,08	27,88	0,06	29,12	7,38	1,06	7,67	6,06	0,58	0,11	11,45	82,13	99,61	
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71			
4-5	4P1C2S1	26,21	1,43	11,32	16,75	12,21	3,21	1,61	4,12	3,26	0,36	10,23	8,12			
4-10	4P2C2S1	18,96	2,18	16,15	9,76	20,57	3,98	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18			
4-15	4P3C2S1	14,54	3,11	19,64	4,56	26,56	4,56	1,28	5,87	4,47	0,42	5,87	9,95			
4-20	4P4C2S1	8,58	3,98	23,87	3,06	27,01	5,09	1,31	6,74	5,06	0,44	3,54	10,26			
4-25	4P5C2S1	4,18	4,63	24,45	1,85	27,23	7,88	1,12	7,36	6,98	0,49	2,02	1,02			
4-30	4P6C2S1	2,21	5,02	26,32	0,15	29,87	8,23	0,89	7,78	7,16	0,53	0,08	10,89	81,16	99,25	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0																	
0		33,11	26,29	18,05	14,57	8,62	4,02	24,18	2,42	28,37	5,09	1,31	6,74	5,06	4,44	3,54	10,26
5-5	5P1C2S2	26,29	1,49	12,45	14,56	13,45	3,45	3,45	1,61	4,34	3,26	0,36	9,98	8,12			
5-10	5P2C2S2	18,05	2,18	16,67	7,53	23,65	3,98	1,42	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18			
5-15	5P3C2S2	14,57	3,21	18,98	3,67	26,56	4,56	1,28	1,28	5,87	4,47	0,42	5,65	9,95			
5-20	5P4C2S2	8,62	4,02	24,18	2,42	28,37	5,09	1,31	1,31	6,74	5,06	0,44	3,54	10,26			
5-25	5P5C2S2	4,34	4,56	25,11	0,81	27,23	7,88	1,12	1,12	7,36	6,98	0,49	2,02	11,34			
5-29	5P6C2S2	2,03	4,92	25,98	0,12	29,87	8,23	0,89	0,89	7,78	7,16	0,53	0,08	11,65	81,32	99,40	
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71			
6-5	6P1C2S3	26,04	1,28	14,88	12,71	13,45	3,45	1,61	1,61	4,34	3,26	0,36	9,98	8,12			
6-10	6P2C2S3	18,05	2,46	17,32	6,48	23,65	3,98	1,42	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18			
6-15	6P3C2S3	12,54	3,48	22,98	2,52	26,56	6,59	1,28	1,28	5,87	4,47	0,42	5,65	9,95			
6-20	6P4C2S3	6,55	4,19	24,76	1,81	28,37	6,09	1,31	1,31	6,23	5,78	0,44	3,54	10,26			
6-24	6P5C2S3	1,89	5,32	25,28	0,08	26,76	7,88	1,12	1,12	7,36	6,98	0,49	0,62	11,34	81,43	99,59	
0		37,94	0,035	7,77	12,96	8,73	2,86	1,88	1,88	2,76	2,68	0,24	14,85	7,29			
7-5	7P1C3S1	28,12	1,25	14,35	9,88	16,14	3,45	1,61	1,61	4,34	3,26	0,36	9,98	8,13			
7-10	7P2C3S1	12,13	2,67	21,95	5,76	23,65	3,98	1,42	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,19			
7-15	7P3C3S1	7,48	3,51	22,46	2,84	26,56	7,88	1,28	1,28	6,34	4,67	0,42	5,65	9,99			
7-20	7P4C3S1	3,52	4,17	24,79	1,05	28,37	7,35	1,31	1,31	7,86	6,88	0,44	3,54	10,27			
7-25	7P5C3S1	2,17	5,11	25,37	0,07	29,69	7,88	1,12	1,12	7,36	7,78	0,51	0,62	11,35	80,18	19,46	
0		37,94	0,035	7,77	12,96	8,73	2,86	1,88	1,88	2,76	2,68	0,24	14,85	7,29			
8-5	8P1C3S2	28,05	1,65	13,96	8,03	17,16	3,45	1,61	1,61	4,34	3,26	0,36	9,98	8,15			
8-10	8P2C3S2	12,22	2,71	21,54	4,11	23,65	5,54	1,42	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,72			
8-15	8P3C3S2	7,57	3,68	23,45	1,81	26,56	7,88	1,28	1,28	6,34	4,67	0,42	5,65	9,97			
8-20	8P4C3S2	3,44	4,18	24,38	0,66	28,89	7,35	1,31	1,31	7,86	6,88	0,44	3,54	10,29			
8-23	8P5C3S2	2,19	5,15	25,55	0,06	29,69	7,88	1,12	1,12	7,36	7,78	0,51	0,62	11,45	80,78	99,54	
0		37,94	0,035	7,77	12,96	8,73	2,86	1,88	1,88	2,76	2,68	0,24	14,85	7,29			
9-5	9P1C3S3	27,97	1,52	14,72	7,11	17,32	3,54	1,59	1,59	4,58	3,67	0,39	9,98	8,22			
9-10	9P2C3S3	12,33	2,65	19,34	3,2	23,65	5,54	1,42	1,42	6,97	6,58	0,38	8,01	9,82			
9-15	9P3C3S3	7,76	3,43	21,55	1,72	26,56	7,88	1,28	1,28	6,34	6,67	0,42	5,65	9,99			
9-20	9P4C3S3	3,61	4,05	24,65	0,48	28,89	7,35	1,31	1,31	7,86	6,88	0,44	3,54	10,29			
9-22	9P5C3S3	1,96	4,98	25,87	0,01	29,69	7,88	1,12	1,12	7,36	7,78	0,51	0,62	11,45	81,03	99,92	

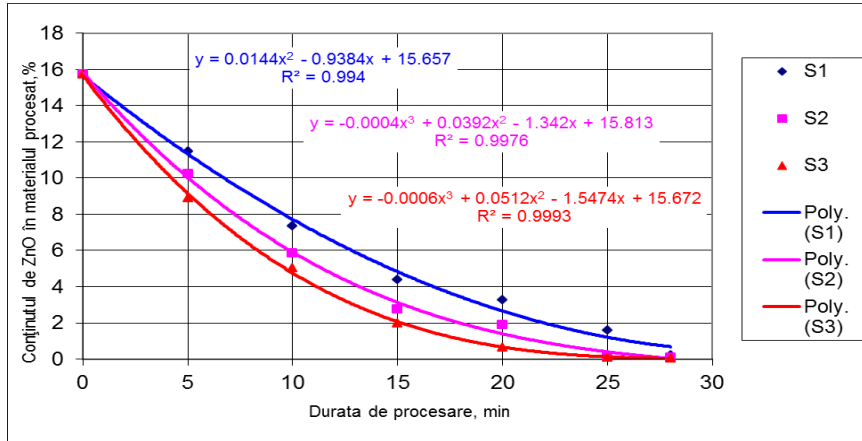


Fig.6.11 Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C1)

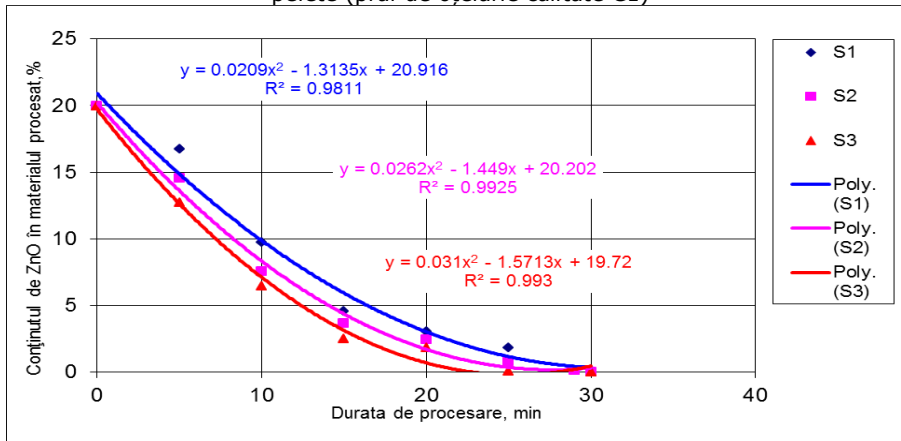


Fig.6.12 Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2)

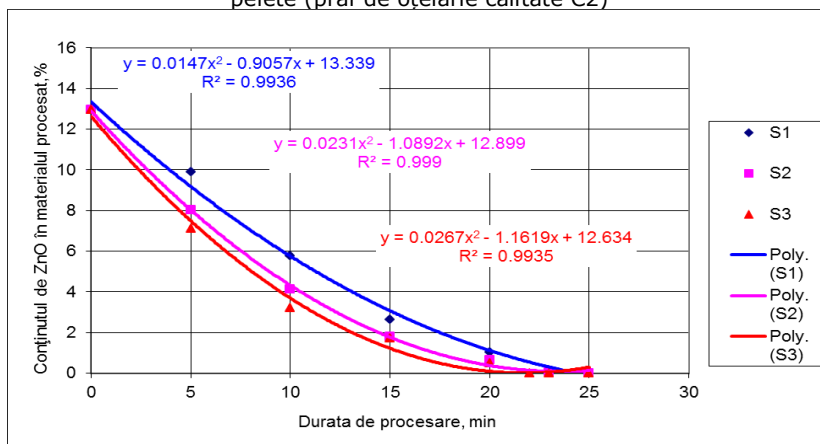


Fig.6.13 Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C3)

6.2.2 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete pe baia de oțel cu agitarea băii metalice

În cadrul acestei variante experimentale, s-a urmărit eliminarea zincului numai din pelete produse din praf de oțelărie, calitatea C2, respectiv pentru o parte din peletele rămase de la experimentele anterioare de la cuptorul cu inducție, pentru toate cele trei sorturi granulometrice (S1; S2 și S3).

Tabelul 6.13 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO

Prelevare probă, min	Cod probă/ conținut de ZnO, [%]		
	Șarja 1	Șarja 2	Șarja 3
0	AB-1P0C2S1 / 19,98	AB-2P0C2S2 / 19,98	AB-3P0C2S3 / 19,98
5	AB-1P1C2S1 / 10,28	AB-2P1C2S2 / 11,54	AB-3P1C2S3 / 12,67
10	AB-1P2C2S1 / 1,76	AB-2P2C2S2 / 2,32	AB-3P2C2S3 / 3,8
12	AB-1P3C2S1 / 0,03	AB-2P3C2S2 / 0,88	AB-3P3C2S3 / 1,06
14	-	AB-2P4C2S2 / 0,02	-
15	AB-1P4C2S1 / 0,01	AB-2P5C2S2 / 0,01	AB-3P4C2S3 / 0,01
	1580 °C	1584 °C	1585 °C

La aceste experimentări, ca și la cele anterioare s-a efectuat un adaos de 400 g de pelete din fiecare sortiment, respectiv la fiecare șarjă. Imediat după efectuarea adaosului s-a procedat la amestecarea băii metalice (amestecare manuală), oprindu-se numai pentru prelevarea probelor. Prin amestecarea băii se mărește foarte mult contactul dintre aceasta și pelete, deci se intensifică transferul de căldură și intensitate de eliminare a zincului (reducerea ZnO cu carbon și trecerea zincului în stare de vapori, reoxidarea și trecerea în praf).

În tabelul 6.13 se prezintă graficul de prelevare a probelor, temperatura băii în momentul adaosului de pelete și evoluția conținutului de zinc din zgură+pelete.

Datele obținute prezentate în tabelul 6.14 au fost (ca și în cazurile anterioare) prelucrate în programul EXCEL, rezultatele obținute fiind prezentate analitic și grafic în fig.6.14.

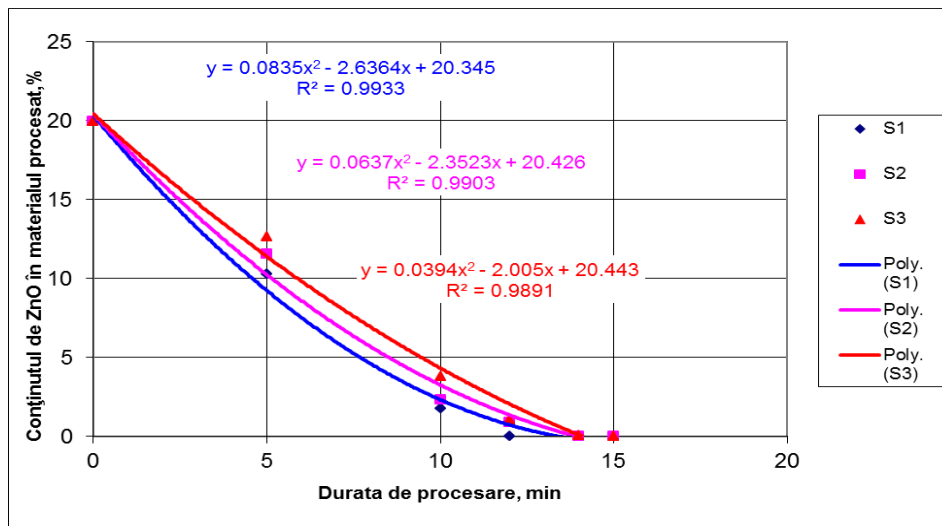


Fig.6.14 Influența duratei de procesare a peletelor asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2), prin amestecarea băii metalice

Tabelul 6.14 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.13)

Număr Șar.-min	Cod probă	Compoziția chimică a probelor prelevate (pelete+zgură) din cuptor, [%]														
		Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C	alte	η _{r-Fe}	η _{e-Zn}	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71			
1-5	1P0C2S1	21,23	1,22	17,34	10,28	18,34	3,21	1,61	4,12	3,26	0,36	10,23	8,12			
1-10	1P1C2S1	10,88	2,02	23,87	1,76	27,77	4,87	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18			
1-12	1P3C2S1	3,67	3,43	25,46	0,03	27,98	7,56	1,28	5,87	7,67	0,42	5,87	9,95			
1-14	1P4C2S1	2,32	4,01	25,65	0,01	29,78	8,87	1,31	7,74	8,18	0,44	0,04	10,26	81,12	99,99	
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71			
2-5	2P1C2S2	25,22	1,18	12,45	11,54	16,67	3,21	2,03	3,89	3,21	0,34	12,34	8,05			
2-10	2P2C2S2	21,32	2,27	18,34	2,32	20,45	5,32	1,76	4,95	3,95	0,39	9,21	9,81			
2-12	2P3C2S2	12,88	3,33	18,88	0,88	25,56	6,34	1,55	6,74	6,06	0,45	7,23	10,47			
2-14	2P4C2S2	2,66	4,71	25,55	0,02	27,78	7,89	1,32	7,59	5,32	0,53	4,11	11,98			
2-15	2P5C2S2	1,22	5,11	27,03	0,01	29,34	8,11	1,24	7,24	5,66	0,57	0,8	13,89	80,97	99,99	
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71			
3-5	3P1C2S3	27,91	1,23	19,23	12,67	20,21	3,45	1,61	4,34	3,26	0,36	9,98	8,12			
3-10	3P2C2S3	13,67	2,46	22,54	3,82	24,12	3,98	1,42	5,14	4,87	0,38	8,01	9,18			
3-12	3P3C2S3	6,75	3,67	22,76	3,81	26,56	6,59	1,28	6,89	5,48	0,42	5,65	9,95			
3-14	3P4C2S3	2,12	4,18	26,89	1,06	28,37	6,09	1,31	7,98	7,87	0,44	3,54	10,26			
3-15	3P5C2S3	1,89	5,32	27,34	0,01	28,99	7,88	1,12	7,36	6,98	0,49	0,62	11,34	81,03	99,99	

6.3 Experimentări în fază de laborator cu pelete nesortate granulometric

6.3.1 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete nesortate granulometric pe baia de oțel

În cadrul acestui experiment s-a urmărit procesarea peletelor (produse din praf calitate C2) cu granulația 2-15mm (nesortate pe 3 clase granulometrice) pentru eliminarea zincului (oxidului de zinc). Experimentările au decurs similar cu cele prezentate la subcapitolul 6.2.1. Adaosul de pelete a fost de 400g.

Compoziția granulometrică a peletelor se prezintă în tabelul 6.15.

Tabelul 6.15 Compoziția granulometrică a peletelor

Clasa granulometrică	2 – 5 mm	5 – 10 mm	10 – 15 mm
Proporția, [%]	20	51	29

În tabelul 6.16 se prezintă graficul de prelevare a probelor, temperatura băii în momentul adaosului de pelete și evoluția conținutului de zinc din zgură+pelete.

Datele obținute (tabelul 6.17) au fost (ca și în cazurile anterioare) prelucrate în programul EXCEL, rezultatele obținute fiind prezentate analitic și grafic în fig. 6.15.

Tabelul 6.16 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO

Min. prel. Prb.	0	5	10	15	20	25	30
Cod probă	P0C2NS	P1C2NS	P2C2NS	P3C2NS	P4C2NS	P5C2NS	P6C2NS
Conț. de ZnO, [%]	19,98	14,81	7,12	4,23	3,01	0,64	0,01

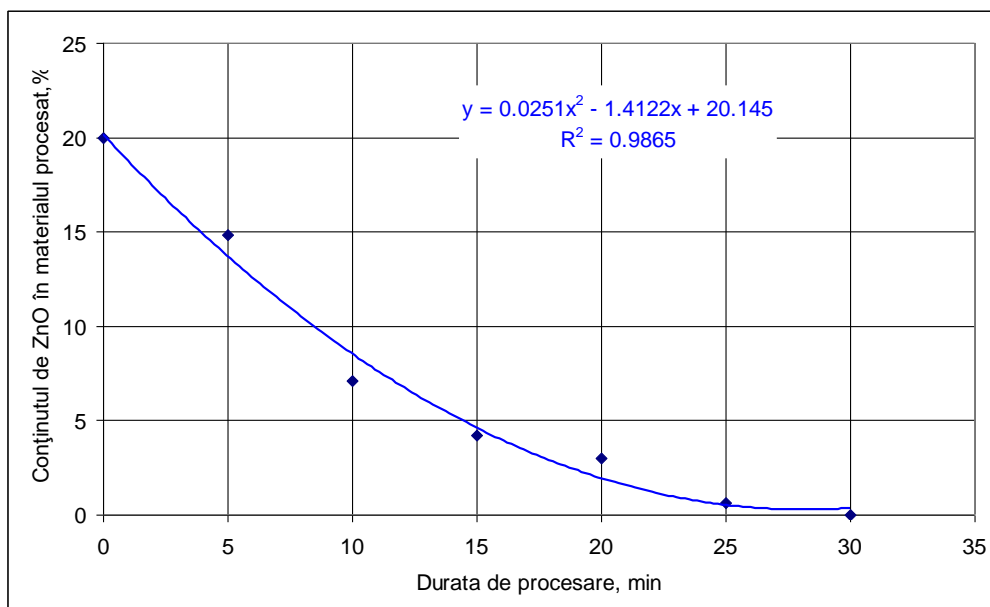


Fig.6.15 Influența duratei de procesare a peletelor adăgate pe baia metalică asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2) clasa granulometrică 2-15mm

Tabelul 6.17 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.13)

Număr Șar.-min	Cod probă	Compoziția chimică a probelor prelevate (pelete+zgură) din cuptor, [%]													
		Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C	alte	η _{r,Fe}	η _{r,Zn}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71		
1-5	P0C2NS	24,25	1,22	18,43	14,81	24,56	3,21	1,61	4,12	3,26	0,36	10,23	8,12		
1-10	P1C2NS	16,86	2,02	19,34	7,12	22,11	4,87	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18		
1-15	P2C2NS	11,67	3,43	23,32	4,23	23,12	7,56	1,28	5,87	7,67	0,42	5,87	9,95		
1-20	P4C2NS	6,32	3,65	25,65	3,01	28,45	8,87	1,31	7,74	8,18	0,44	0,04	10,26		
1-25	P5C2NS	3,21	3,98	27,76	0,64	29,83	8,43	1,31	7,91	7,91	0,34	0,02	10,34		
1-30	P6C2NS	1,87	4,23	28,45	0,01	30,11	8,76	1,3	8,01	6,98	0,56	0,02	10,35	81,98	99,99

Tabelul 6.19 Compoziția chimică a probelor prelevate pe parcursul experimentărilor (conform program tabelul 6.11)

Număr Șar.-min	Cod probă	Compoziția chimică a probelor prelevate (pelete+zgură) din cuptor, [%]													
		Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	ZnO	CaO	Al ₂ O ₃	PbO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	C	alte	η _{r,Fe}	η _{r,Zn}
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		33,11	0,035	7,33	19,98	8,80	2,51	1,78	3,22	2,49	0,25	14,785	5,71		
1-5	P0C2NS	27,88	1,21	19,23	8,78	21,89	3,21	1,61	4,12	3,26	0,36	9,23	8,12		
1-10	P1C2NS	13,46	2,41	22,54	4,51	24,12	4,87	1,42	4,97	3,95	0,38	8,01	9,18		
1-12	P2C2NS	6,78	3,63	22,76	2,12	25,65	7,56	1,28	5,87	7,67	0,42	5,87	9,95		
1-14	P4C2NS	2,22	4,08	26,89	0,06	29,78	8,87	1,31	7,74	8,18	0,44	0,04	10,26		
1-15	P5C2NS	1,56	4,21	27,34	0,01	29,83	8,43	1,31	7,91	7,91	0,34	0,02	10,34	82,11	99,99

6.3.2 Experimentări în fază de laborator cu adaos de pelete nesortate granulometric pe baia de oțel și amestecarea băii de oțel

Experimentările au decurs similar cu cele prezentate la subcapitolul 6.2.2., compoziția granulometrică a peletelor a fost cea prezentă în tabelul 6.15.

În tabelul 6.18 se prezintă graficul de prelevare a probelor, temperatura băii în momentul adaosului de pelete și evoluția conținutului de zinc din zgură+pelete.

Datele obținute (tabelul 6.19) au fost (ca și în cazurile anterioare) prelucrate în programul EXCEL, rezultatele obținute fiind prezentate analitic și grafic în fig. 6.16.

Tabelul 6.18 Programul de prelevare a probelor și evoluția conținutului de ZnO

Min.prel.Pb.	0	5	10	12	14	15
Cod probă	AB-P0C2NS	AB-P1C2NS	AB-P2C2NS	AB-P3C2NS	AB-P4C2NS	AB-P5C2NS
Cont. ZnO, [%]	19,98	8,78	4,51	2,12	0,06	0,01

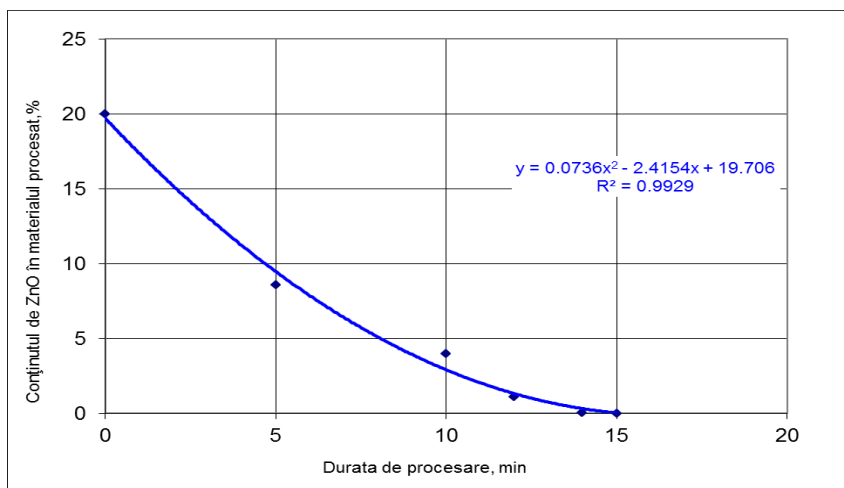


Fig.6.16 Influența duratei de procesare a peletelor amestecate cu baia metalică asupra reducerii conținutului de ZnO din pelete (praf de oțelărie calitate C2) clasa granulometrică 2-15mm

6.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

La analiza tehnologică a rezultatelor, s-a avut în vedere informațiile obținute în urma analizelor de laborator a probelor, aspectelor vizuale privind peletizarea și intensitatea degajărilor de praf de zinc. În total au fost experimentate 4 loturi/serii de pelete.

La prima serie de pelete (subcapitolul 6.2.1) la adaosul de pelete în baia de oțel (pentru fiecare calitate de pelete respectiv sortimente) ca urmare a acumulării de căldură de la baia metalică a avut loc procesul de reducere a oxidului de zinc, trecerea zincului sub formă de vapori și reoxidarea la forma oxid, formă sub care se găsește în așa numitul praf de zinc.

Din datele prezentate în tabelul 6.12 și în fig.6.11, 6.12 și 6.13 se constată că pe parcursul procesării are loc o reducere semnificativă a conținutului de zinc din peletele introduse (amestecul pelete+zgură). Indiferent de calitatea prafului utilizat (C1, C2 și C3) la producerea peletelor, degajarea mai intensă de praf de zinc, respectiv durata de degajare este mai intensă pentru sortimentul granulometric 10-15mm (sortiment S3).

Comparând evoluția cantității de zinc eliminată în cazul peletelor cu granulația 2-5mm cu cea pentru clasa 10-15mm se deduce că eliminarea zincului, dezincarea, este mai intensă în cazul peletelor mari. Pe cale de consecință pentru cele cu granulația intermediară 5-10mm, evoluția reducerii în timp se situează între celelate două extreme. Tehnologic, fenomenul menționat mai sus se explică prin faptul că peletele mari au contact suficient de mare cu baia de oțel, ceea ce asigură un transfer intens de căldură până la suprafața stratului de pelete (atât prin conductibilitate cât și prin radiație). Pe de altă parte, la utilizarea sortului de pelete cu granulație 2-5mm (pelete de dimensiuni mici), ca urmare a formării unui strat mai dens, mai compact, transferul de căldură a fost mai puțin intens (suprafața specifică de contact pelete-baie a fost mai redusă, precum și transmiterea de căldură prin radiație. Ca urmare a acestor diferențe semnificative, creșterea temperaturii stratului superior în cazul acestui sortiment se produce mai târziu, fapt confirmat de rezultatele obținute (tabelul 6.12 și fig.6.11., 6.12. și 6.13). De asemenea, trebuie menționat faptul că tehnologic, în cazul peletelor de dimensiuni mici (2-5mm) vaporii de zinc formați la interfața pelete-oțel lichid, sunt blocați spre partea superioară de stratul de pelete, rezultând o întârziere a degajării (a procesului de dezincare). Vaporii de zinc străbat stratul de pelete când presiunea acestora depășește rezistența stratului. Intensitatea degajărilor de zinc, depinde și de conținutul de zinc, fiind mai intensă la conținuturi ridicate așa după cum se constată în tabelul 6.12 și în figura 6.12 comparativ cu peletele cu conținut mai mic de zinc, chiar dacă procesul de dezincare durează mai mult cu cca. 15-20%.

La al doilea set de experimentări au fost folosite numai pelete obținute din praf de oțelărie calitatea C2, adaosul de pelete pe baia de oțel a fost efectuat ca în cazul anterior, dar imediat după adaos, ca urmare a amestecului dintre baie metalică și pelete, a avut loc un transfer puternic de căldură, ceea ce a determinat degajarea intensă de vapori. În acest caz degajarea a fost mai intensă în cazul peletelor cu granulație mică, suprafața de contact baie metalică-pelete a fost mai mare. Durata degajării prafului de zinc (dezincare) este de 14-15min., deci cu 50% mai mică comparativ cu adaosul pe baia metalică fără agitare (fig.6.12). Datele din tabelul 6.14 și fig.6.14 confirmă aceste afirmații.

La al treilea set de experimentări au fost folosite numai pelete obținute din praf de oțelărie calitatea C2 (ca și în cazul anterior), dar nesortate, cu granulație 2-15mm (compoziția granulometrică este prezentată în tabelul 6.15). Reducerea conținutului de zinc a fost evident mai mare decât la pelete mici, dar mai mică ca la cele mari. Acest rezultat se poate pune pe seama transferului de căldură intermediar între cel pentru sortimentul S1 și S3, astfel că durata procesului este mai apropiată de cea a peletelor din sortimentul S2 (fig.6.12). Datele din fig.6.15 confirmă aceste afirmații.

Setul 4 de experimentări poate fi considerată o combinație între cele efectuate la setul 2 și 3, deoarece s-au folosit pelete de aceeași calitate ca la setul 2 și aceleași condiții experimentale ca la setul 3. Durata îndepărtării este apropiată de cea obținută pentru sortimentul S2, fig.6.13. Datele din fig 6.15 confirmă aceste afirmații.

6.5 Concluzii

În urma analizei rezultatelor experimentale se pot concluziona următoarele:

- praful de oțelărie cu conținut de ZnO în limitele 12-20%, cu adaos de liant (2% bentonită și 5% zgură LF) și reducător (grafit) poate fi procesat sub formă de pelete în vederea recuperării zincului;

- procesarea peletelor prin adaos pe baia metalică de oțel din cuptorul cu inducție, permite trecerea zincului prin vaporizare și reoxidare în gaze și recuperarea lui prin operațiile de epurare a gazelor, urmată de prelucrarea în continuare prin tehnologii specifice metalurgiei zincului;
- pentru această variantă tehnologică de recuperare a zincului prin adaosul de pelete pe baia de oțel din cuptorul cu inducție se recomandă pelete cu granulație 2-15mm (compoziție granulometrică; 2-5-mm, 20%; 5-10mm, 50% și 10-15mm, 30%);
- agitarea băii metalice intensifică procesul de dezincare;
- gradul de eliminare a zincului din pelete (de reducere sau dezincare) a variat între 98-99,99%, nefiind diferență mare între calitatea peletelor din punct de vedere a conținutului de zinc;
- durata reducerii este mai mică în cazul peletelor cu granulație 10-15mm, comparativ cu cele cu granulație 2-5 mm;
- timpul de reducere astfel este mai mic cu aproape 50% în cazul în care se amestecă peletele cu baia metalică;
- grafitul, respectiv carbonul a avut rol de reducător nu numai asupra oxidului de zinc, pe care l-a redus până la urmă, ci și asupra oxizilor de fier.
- carbonul din pelete a reacționat și cu oxizii de fier, reducându-i avansat la forma metalică și FeO, gradul de reducere la forma metalică fiind cuprins între 80-82%;
- montarea unei instalații de captare și epurare a gazelor la cuptoarele care ar procesa asemenea pelete, asigură captarea zincului din praf și procesarea acestuia în continuare prin tehnologii specifice metalurgiei zincului;
- dacă se are în vedere și recuperarea fierului, precum și aspectele de ordin ecologic se poate considera că această variantă tehnologică prezintă importanță pentru industria metalurgică.

7. CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA PRAFURILOR REZULTATE DIN PROCESELE SIDERURGICE

7.1 Cercetări privind valorificarea deșeurilor rezultate din procesele siderurgice prin brichetare

7.1.1 Considerații generale

În experimentările efectuate s-a avut în vedere reciclarea deșeurilor feroase pulverulente praf de oțelărie și de aglomerare-furnale, iar ca material feros mărunț tunderul și zgură de oțelărie (concasată) fracția magnetică. Procesarea a avut în vedere obținerea brichetelor feroase autoreducătoare, motiv pentru care în componența rețetelor s-a făcut adaos de praf de grafit, iar ca liant var, bentonită și zgură LF. Calitatea brichetelor a fost apreciată prin caracteristicile mecanice, rezistență la fisurare, sfărâmare și intervalul de sfărâmare, considerați parametri dependenți. Ca parametri independenți s-au luat în considerare proporțiile componentelor în cadrul rețetelor. Datele obținute au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, iar corelațiile obținute au fost exprimate atât sub formă grafică cât și analitică. Rezultatele obținute au fost analizate din punct de vedere tehnologic și economic rezultând o serie de concluzii utile pentru practică.

Valorificarea superioară a deșeurilor siderurgice în general și a celor mărunte și pulverulente în particular, reprezintă o problemă importantă, deoarece transformarea lor în subproduse, deci în bunuri economice poate conduce la o exploatare rațională a resurselor de materii prime și energetice, asigurându-se astfel atât necesitățile societății umane, cât și protecția mediului înconjurător, problemă majoră la sfârșitul mileniului doi și începutul mileniului trei.

În cadrul experimentărilor efectuate s-a urmărit valorificarea deșeurilor menționate anterior, existente în zona Hunedoara, zonă siderurgică puternic restructurată economic după 1990. La fostul Combinat Siderurgic Hunedoara-CSH, actualmente S.C. ArcelorMittal S.A., fluxul primar cu cele 2 oțelării Siemens-Martin a fost complet dezafectat, la fel și fluxul Oțelărie Electrică (OE 1) - Laminor 800. Ca urmare nu au mai fost posibilități de valorificare a unor deșeuri ca praf de aglomerare-furnale, praf de oțelărie, tunder, parțial zgură de oțelărie fracția feroasă, astfel încât o parte au fost depozitate în halde, o parte au rămas în iazuri și temporar în hale dezafectate (situație întâlnită la toate societățile siderurgice restructurate).

De asemenea ca urmare a dezafectării în proporție de 100% (în 2013) a fostului combinat "Victoria" Călan (după 1991 "SIDERMET" Călan) au rămas cantități apreciabile de praf de aglomerare-furnale, care ar putea fi valorificat împreună cu cel de la Hunedoara având în vedere distanța de numai 10 km între cele două localități.

Intrarea României în Uniunea Europeană atrage după sine respectarea normelor referitoare la depozitare și valorificarea deșeurilor, în caz contrar se aplică sancțiuni financiare. Ca urmare, trebuie luate măsuri în acest sens, deci se pot justifica cercetările efectuate, cu atât mai mult cu cât rezultatele acestora pot fi aplicate la orice societate siderurgică care elaborează oțel sau fontă.

7.1.2 Considerații privind caracteristicile calitative ale brichetelor

Pentru evaluarea caracteristicilor calitative de rezistență la manipulare și transport ale brichetelor, s-au determinat prin experimentări trei caracteristici tehnologice:

- Rezistența la fisurare:

$$R_f = \frac{F_f}{A}, [kN/cm^2] \quad (7.1)$$

unde: F_f – forța de fisurare, [kN];

A – aria secțiunii eșantionului (brichetei), [cm²]

În cazul brichetelor studiate, brichete de formă cilindrică, relația de mai sus ia forma:

$$R_f = \frac{4 \cdot F_f}{\pi \cdot d^2}, [kN/cm^2] \quad (7.2)$$

Forța de fisurare F_f se consideră a fi forța la care apar primele fisuri detectate vizual. În urma unui număr destul de mare de încercări preliminare și pe baza datelor din literatura de specialitate [1, 2, 6] se consideră că această forță are valoarea înregistrată la $\tau = 2$ secunde.

- Rezistența la sfărâmare:

$$R_s = \frac{F_s}{A}, [kN/cm^2] \quad (7.3)$$

unde: F_s – forța de sfărâmare, [kN];

A – aria secțiunii eșantionului (brichetei), [cm²]

În cazul brichetelor studiate, brichete de formă cilindrică, relația de mai sus ia forma:

$$R_s = \frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot d^2}, [kN/cm^2] \quad (7.4)$$

Pe baza datelor din literatura de specialitate și a observațiilor preliminare am considerat că forța de sfărâmare să fie cea înregistrată la $\tau = 12$ secunde.

- Intervalul de sfărâmare:

$$\Delta R_{fs} = I_s = R_s - R_f, [kN/cm^2] \quad (7.5)$$

În ceea ce privește posibilitatea de utilizare prin reciclare, orice cercetare trebuie să relaționeze la valorile admisibile pentru rezistențele menționate mai sus.

În literatură [1, 3, 61] există informații referitoare la peletele destinate încărcării în furnal, produse care fac parte din aceeași categorie cu brichetele care fac obiectul cercetării.

Având în vedere faptul că brichetele destinate procesării în furnal suportă operații de manipulare multiple, în numeroase cazuri fiind transportate la distanțe mari (sute de kilometri) și luând în considerare datele din literatura de specialitate [1, 4, 8, 61], se consideră că în condițiile în care brichetele obținute vor fi utilizate în cadrul unei societăți de profil siderurgic, aflat la mică distanță de fabrica de brichetare, rezistența la fisurare trebuie să corespundă relației:

$$R_f > 0,2, [kN/cm^2] \quad (7.6)$$

Literatura de specialitate [1, 4, 61] pentru brichetele care au în componență praf de la oțelăria electrică (CAE) peste 70%, indică următoarea relație pentru rezistența la sfărâmare R_s :

$$R_s = (1,2-1,35)R_f, [kN/cm^2] \quad (7.7)$$

Evident, în cele ce urmează se va stabili o relație de corelație între aceste rezistențe pentru brichetele produse după rețetele proprii.

7.1.3 Valorificarea prin brichetare

7.1.3.1 Materiale. Caracteristici. Rețete de procesare

Pentru cercetările experimentale au fost produse brichete în două variante: Varianta A (rețeta A) și varianta B (rețeta B).

Compoziția chimică a deșeurilor (cu conținut de fier) utilizate se prezintă în tabelele 7.1 – 7.4, a lianților în tabelul 7.5.

În tabelul 7.6 se prezintă compoziția granulometrică a materialelor pulverulente, iar în tabelul 7.7 a celor mărunte.

Tabelul 7.1 Compoziția chimică a prafului de la aglomerare-furnale (după uscare), [%]

Compoziția chimică, [%]											
Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC
30,40	8,84	33,61	10,35	9,33	10,47	2,47	0,89	1,38	0,13	22,04	1,272

Tabelul 7.2 Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică, [%]

Compoziția chimică, [%]											
Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Alteile
53,67	2,98	73,37	3,49	1,07	5,11	2,34	4,80	0,74	0,34	0,84	4,918

Tabelul 7.3 Compoziția chimică a tunderului, [%]

Compoziția chimică, [%]								
Fe _{tot,med}	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți
74,70	63,0-70,0	18,0-30,0	0,8-1,5	1,0-3,5	0,1-0,40	0,3-0,5	0,9-2,0	3,0-4,0

Tabelul 7.4 Compoziția chimică a zgurei de oțelărie fracția feroasă, [%]

Compoziția chimică, [%]										
Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{met}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S
45,28	25,95	9,96	29,01	16,44	4,58	18,91	6,72	4,72	0,31	0,21

Tabelul 7.5 Compoziția chimică a lianților, [%]

Nr.crt.	Material	CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _t	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	P
1	Var	96,15	0,89	-	0,54	0,38	0,84	0,56	0,34	0,08	0,22
2	Bentonită*)	1,74	74,05	-	2,16	1,52	11,56	1,44	0,12	0,02	0,12
3	Zgură LF	52,07	14,36	0,03	0,326	0,25	15,82	0,21	8,21	1,08	0,02

*) Na₂O = 3,95; K₂O = 3,24

Tabelul 7.6 Compoziția granulometrică a materialelor pulverulente, [μm]

Nr.crt.	Material	<63	63-112	112-250	200-500	500-710	710-100	>1000
1	Praf aglom-furnale	45,14	20,81	13,11	7,94	6,82	2,92	3,19
2	Praf de oțelărie	60,25	12,21	7,84	7,31	6,28	6,11	0
3	Var	66,12	19,75	5,64	4,06	3,17	1,26	0
4	Bentonită	48,16	22,05	16,41	6,74	3,82	2,82	0
5	Praf de grafit	30,16	24,82	13,44	7,92	6,28	6,60	8,78

Tabelul 7.7 Compoziția granulometrică a materialelor mărunte, [%]

Nr.crt.	Material	<1mm	1-2 mm	2-5 mm	> 5mm
1	Tunder	15,26	27,74	47,16	9,84
2	Zgură de oțelărie, fracția magnetică	14,72	24,48	51,44	8,36

Compoziția rețetelor pentru cele două variante se prezintă în tabelele 7.8 varianta A și 7.9 varianta B, diferențiate prin proporțiile componentelor, și prin aceea că la ultima variantă se utilizează și zgură de oțelărie-fracția feroasă și bentonita este substituită de zgura de rafinare L.F.

Tabelul 7.8 Compoziția rețetelor, [%]-Varianta A

Nr. crt.	Componentă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf agl-furn	20	20	20	13	11	35	20	20	10	12
2	Praf oțelărie	22	25	20	22	20	20	32	20	25	20
3	Tunder	45	40	47	50	55	35	35	45	50	50
4	Bentonită	3	4	3	4	3	3	4	4	5	4
5	Var	4	4	5	4	4	3	3	4	3	6
6	Praf de grafit	6	7	5	7	7	4	5	7	7	8
TOTAL		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelul 7.9 Componența rețetelor, [%]-**Varianta B**

Nr. crt.	Componentă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf agl-furn	15	18	20	17	12	15	22	20	10	12
2	Praf oțelărie	17	15	16	18	20	20	24	20	22	20
3	Tunder	35	30	27	30	30	25	24	24	38	35
4	Zgură oțelărie f.m.	20	22	24	20	22	25	18	21	15	15
5	Zgură L.F.	3	4	3	4	3	3	4	4	5	4
6	Var	4	4	5	4	5	6	3	4	3	6
7	Praf de grafit	6	7	5	7	8	6	5	7	7	8
	TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelul 7.10 Analiza chimică a rețetelor, [%]-**Varianta A**

Nr. Crt.	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC	ZnO	Alți oxizi
R1	48,03	29,57	35,79	5,66	3,02	7,21	1,27	1,81	0,77	0,27	6,82	0,25	0,59	6,96
R2	46,31	26,64	36,59	6,44	3,11	7,37	1,33	1,89	0,74	0,29	6,71	0,25	0,57	8,07
R3	48,30	30,71	34,90	5,62	3,03	8,07	1,24	1,74	0,79	0,26	6,85	0,25	0,60	5,94
R4	49,26	31,96	34,89	5,74	2,54	6,51	1,13	1,81	0,72	0,27	5,55	0,17	0,64	8,08
R5	50,90	34,74	34,15	4,78	2,28	6,19	1,04	1,76	0,73	0,26	5,27	0,14	0,67	7,98
R6	44,83	24,80	36,51	7,01	4,27	7,70	1,54	1,72	0,88	0,26	9,53	0,45	0,49	4,86
R7	46,72	23,83	40,29	6,61	3,11	6,76	1,47	2,16	0,71	0,33	6,71	0,25	0,59	7,17
R8	46,97	29,51	34,35	6,33	3,11	7,13	1,24	1,71	0,77	0,26	6,76	0,25	0,58	8,01
R9	49,97	31,79	36,10	6,26	2,40	5,40	1,14	1,92	0,69	0,29	5,00	0,13	0,67	8,22
R10	47,89	31,82	33,10	5,58	2,44	8,22	1,07	1,71	0,70	0,26	5,27	0,15	0,62	9,05

Tabelul 7.11 Analiza chimică a rețetelor, [%]-**Varianta B**

Nr. Crt.	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{met}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC	ZnO	Alți oxizi
R1	44,42	25,34	29,53	5,80	6,34	3,42	11,70	2,53	2,59	0,67	0,28	5,19	0,19	0,46	5,97
R2	41,65	22,76	27,84	6,38	6,99	3,87	12,80	2,75	2,63	0,67	0,26	5,55	0,23	0,40	6,85
R3	41,52	21,40	28,59	6,96	7,39	3,97	13,88	2,87	2,68	0,67	0,28	5,88	0,25	0,38	4,79
R4	42,22	22,53	29,51	5,80	6,66	3,72	12,47	2,66	2,68	0,66	0,28	5,43	0,22	0,42	6,96
R5	42,51	22,38	29,50	6,38	6,41	3,21	12,87	2,65	2,74	0,60	0,29	4,43	0,15	0,44	7,94
R6	41,18	19,99	29,38	7,25	7,16	3,58	14,70	2,91	2,85	0,60	0,30	4,86	0,19	0,40	5,83
R7	42,21	19,29	33,67	5,22	6,97	4,08	11,95	2,76	2,83	0,69	0,31	6,43	0,28	0,42	5,08
R8	40,56	19,35	30,37	6,09	7,13	3,99	13,07	2,83	2,77	0,66	0,29	5,88	0,25	0,39	6,93
R9	45,76	26,25	31,87	4,35	5,49	3,12	10,58	2,36	2,75	0,65	0,30	4,40	0,13	0,53	7,21
R10	43,30	24,56	30,24	4,35	5,47	3,12	13,04	2,28	2,56	0,64	0,28	4,64	0,15	0,49	8,17

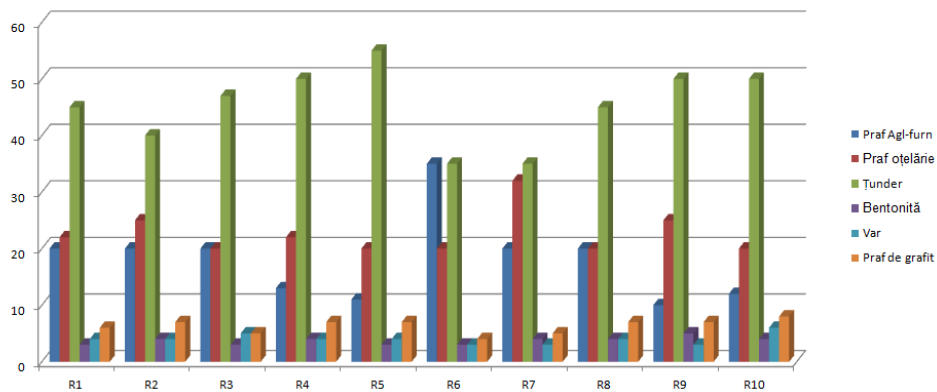


Fig.7.1 Componenta rețetelor varianta A

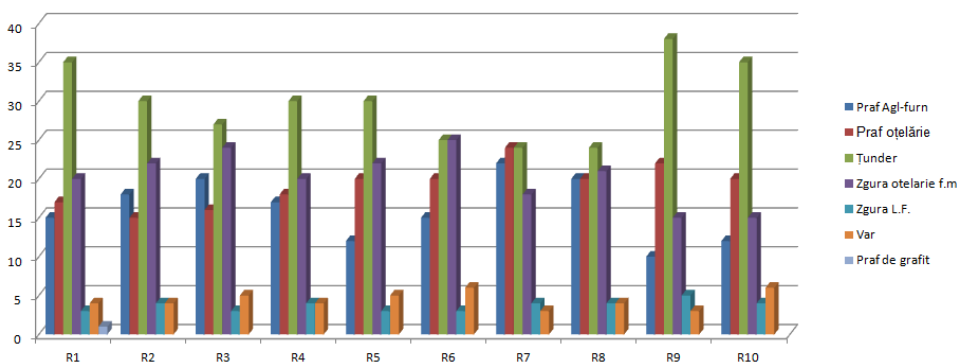


Fig.7.2 Componenta rețetelor varianta B

Evident, în cele ce urmează se va stabili o relație de corelație între aceste rezistențe pentru brichetele produse după rețetele proprii.

7.1.3.2 Producerea brichetelor

Pentru valorificarea sub formă de brichete a deșeurilor mărunte și pulverulente provenite din industria siderurgică: praf de la oțelăria electrică, praf (șlam) de la aglomerare-furnale, țunder (șlam de țunder), praf de grafit iar ca liant bentonită, var și zgură de oțelărie LF. Adaosul de apă este 100-120g/kg amestec.

Pentru fiecare rețetă s-a produs o șarjă de brichetare în greutate de 1,0 kg, astfel încât să fie posibilă obținerea unui număr de 3 brichete. După producere, brichetele au fost lăsate să se durifice în atmosferă timp de 20 de zile după care au fost supuse încercărilor pentru determinarea caracteristicilor de rezistență (tab.7.12 și 7.13).

7.1.4 Prelucrarea datelor

Datele obținute în urma experimentărilor au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL în vederea obținerii unor ecuații de corelație simplă și în MATLAB pentru obținerea ecuațiilor de corelație multiplă (dublă și triplă). De menționat că aceleași date pentru fiecare variantă, au fost prelucrate în ambele programe. Rezultatele obținute sunt prezentate în continuare sub formă analitică și grafică.

**7.1.4.1 Prelucrarea datelor în programul EXCEL
VARIANTA A**

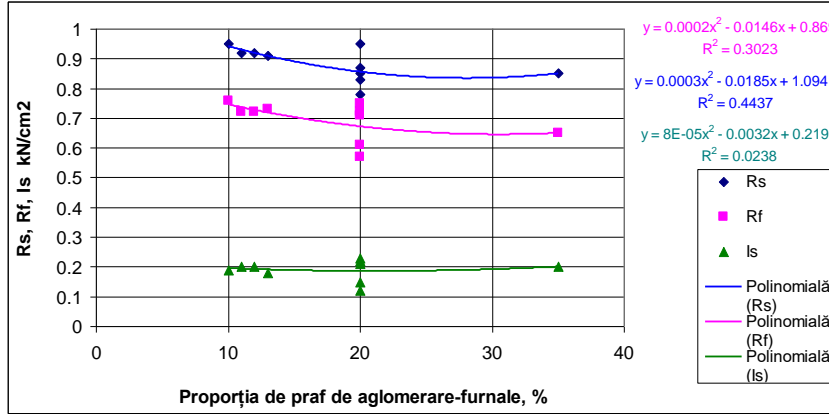


Fig.7.3 R_f , R_s , I_s funcție de propoția de praf de aglomerare-furnale

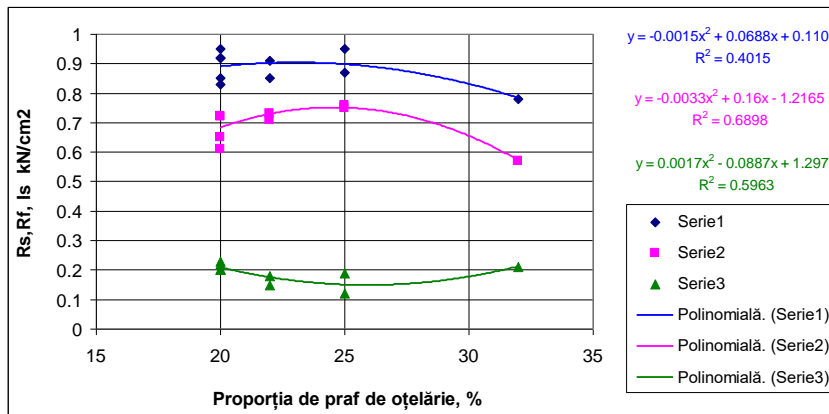


Fig.7.4 R_f , R_s , I_s funcție de propoția de praf de oțelărie

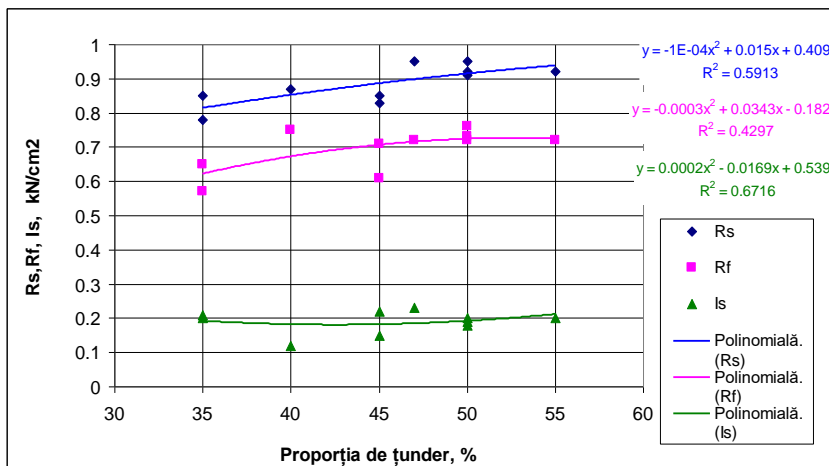


Fig.7.5 R_f , R_s , I_s funcție de propoția de țănder

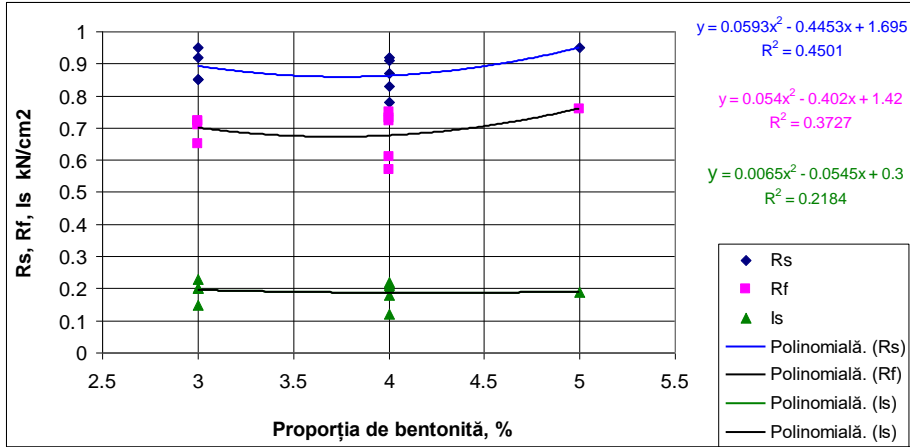


Fig.7.6 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de bentonită

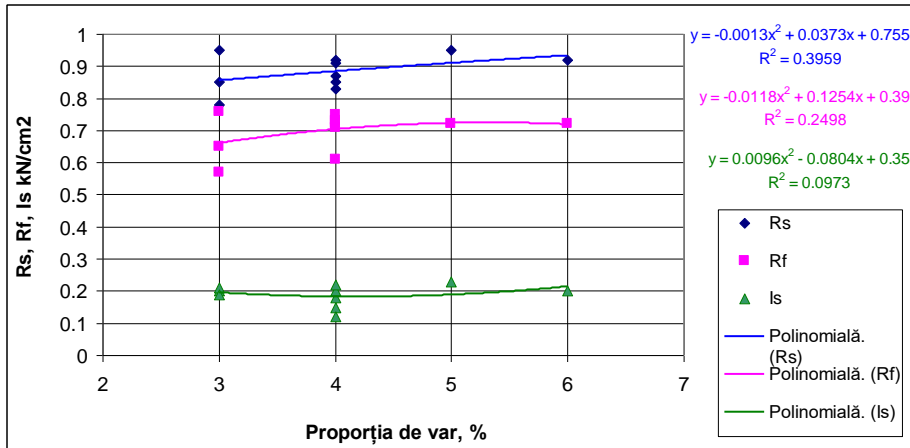


Fig.7.7 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de var

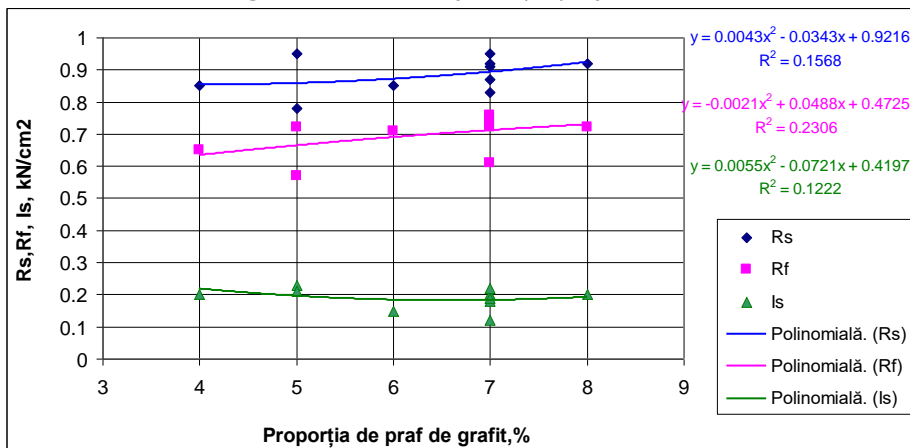


Fig.7.8 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de grafit

VARIANTA B

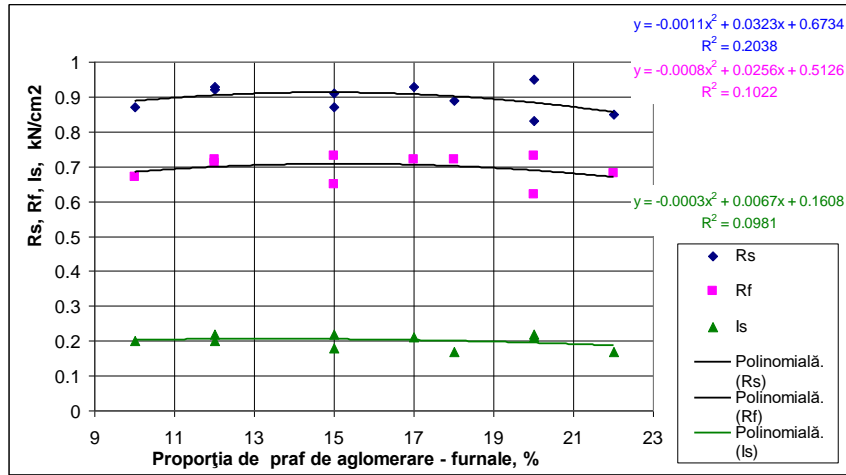


Fig.7.9 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale

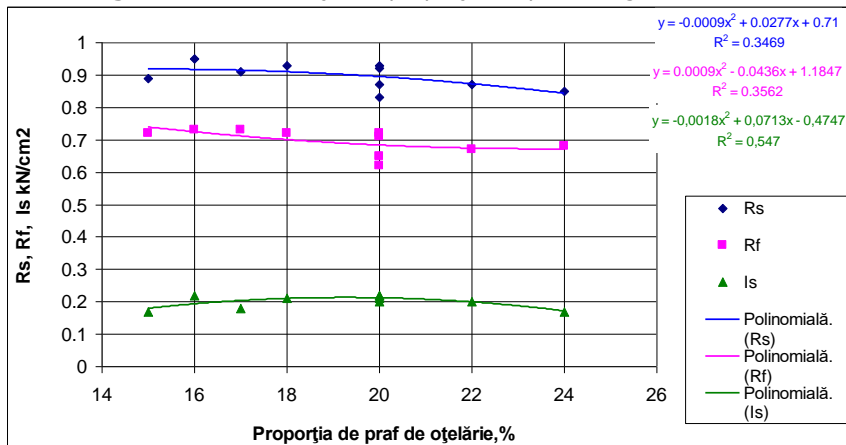


Fig.7.10 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de oțelărie

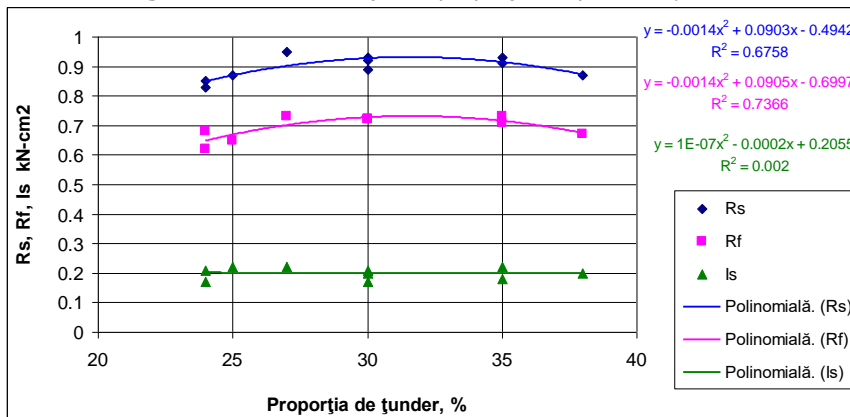


Fig.7.11 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de tunder

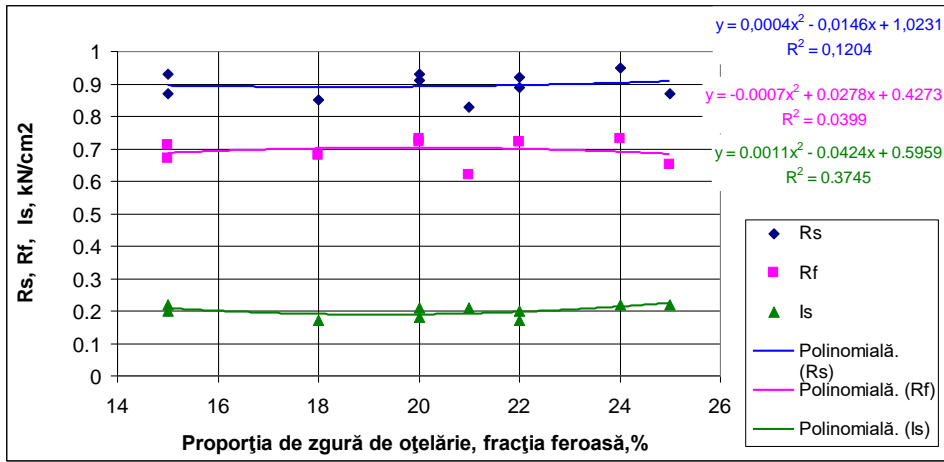


Fig.7.12 R_f, R_s, I_s funcție de proporția de zgură de oțelărie, fracția feroasă

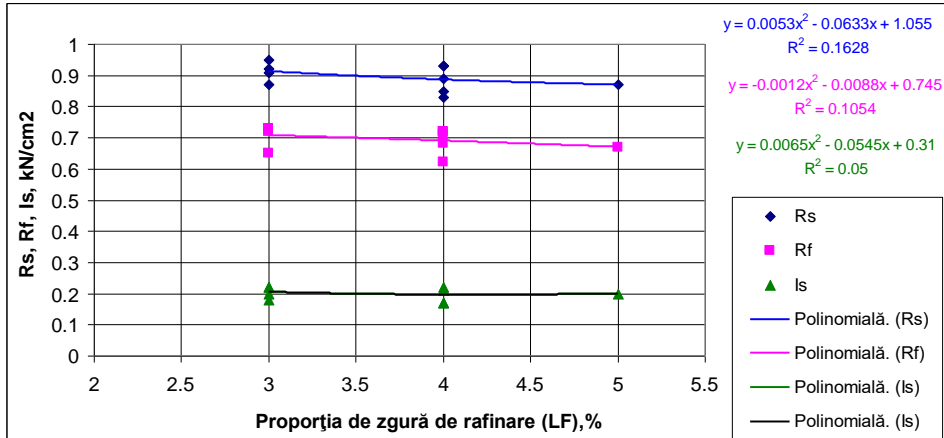


Fig.7.13 R_f, R_s, I_s funcție de proporția de zgură de rafinare (LF)

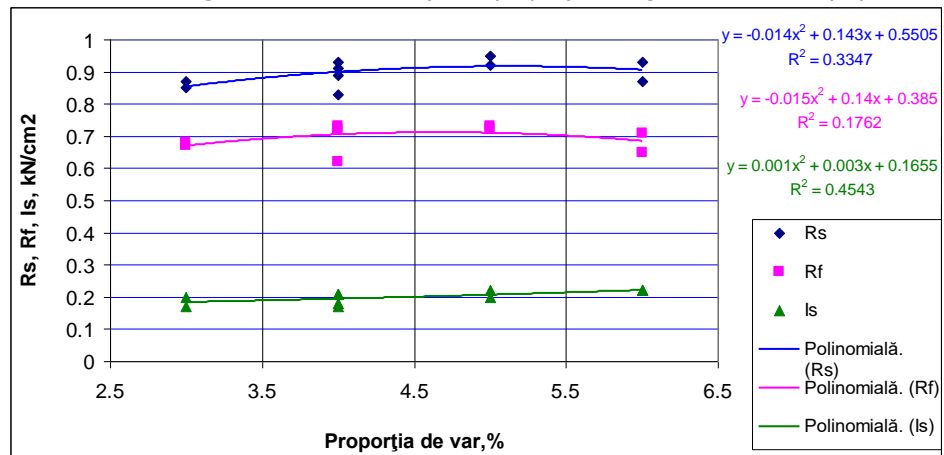
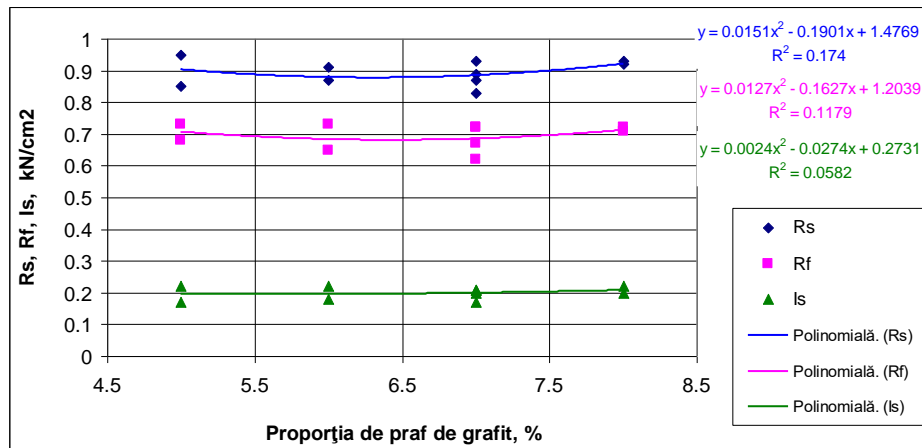


Fig.7.14 R_f, R_s, I_s funcție de proporția de var

Fig.7.15 R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de grafit

Tabelul 7.12 Caracteristici calitative brichete - Varianta A

Nr. șarjă	Caracteristici de rezistență, kN/cm^2			Proportia în componența rețetei, [%]					
	R_s	R_f	I_s	PAF	PO	T	B	V	G
1	0,91	0,73	0,18	20	22	45	3	4	6
2	0,89	0,72	0,17	20	25	40	4	4	7
3	0,95	0,73	0,22	20	20	47	3	5	5
4	0,93	0,72	0,21	13	22	50	4	4	7
5	0,92	0,72	0,2	11	20	55	3	4	7
6	0,87	0,65	0,22	35	20	35	3	3	4
7	0,85	0,68	0,17	20	32	35	4	3	5
8	0,83	0,62	0,21	20	20	45	4	4	7
9	0,87	0,67	0,2	10	25	50	5	3	7
10	0,93	0,71	0,22	12	20	50	4	6	8

Tabelul 7.13 Caracteristici calitative brichete - Varianta B

Nr. șarjă	Caracteristici de rezistență, kN/cm^2			Proportia în componența rețetei, [%]						
	R_s	R_f	I_s	PAF	PO	T	ZO-FM	ZG-LF	V	G
1	0,91	0,73	0,18	15	17	35	20	3	4	7
2	0,89	0,72	0,17	18	15	30	22	4	5	5
3	0,95	0,73	0,22	20	16	27	24	3	4	7
4	0,93	0,72	0,21	17	18	30	20	4	5	8
5	0,92	0,72	0,2	12	20	30	22	3	6	6
6	0,87	0,65	0,22	15	20	25	25	3	3	5
7	0,85	0,68	0,17	22	24	24	18	4	4	7
8	0,83	0,62	0,21	20	20	24	21	4	3	7
9	0,87	0,67	0,2	10	22	38	15	5	3	7
10	0,93	0,71	0,22	12	20	35	15	4	6	8

7.1.4.2 Analiza tehnologică a rezultatelor VARIANTA A

Din analiza corelațiilor obținute se poate considera că acestea sunt semnificative atât din punct de vedere a coeficientului de corelație, cât și ca sens tehnologic, astfel:

- din fig.7.3 se constată o reducere ușoară a valorilor pentru rezistențele R_s și R_f cu creșterea proporției de (PAF), în timp ce valorile pentru I_s variază nesemnificativ (se poate considera că aproximativ rămân constante); în aceste condiții se propune pentru proporția de (PAF) limitele 10 – 20% (în medie 15%);

- în fig.7.4 se observă că la o creștere a proporției de P.O. în intervalul 20-

25%, rezistența la sfărâmare rămâne constantă, crește rezistența la fisurare (atinge un maxim la 25%) și se reduc valorile pentru I_s (atinge minimumul la 25%); creșterea proporției (pentru P.O.) la peste 25% conduce la scăderea valorilor pentru cele două rezistențe și la creșterea celor pentru I_s ; în aceste condiții se propune pentru proporția de (P.O.) limitele 20-25% (în medie 23%);

- analizând corelațiile din fig.7.5 se constată că o creștere a proporției de tunder în componența șarjei de brichetare conduce la creșterea valorilor pentru R_s și R_f , în timp ce pentru I_s rămân aproape constante; în aceste condiții se pot considera pentru proporția de (T) limitele 45-50% (în medie 47%);

- referitor la proporția de bentonita (care a variat în limitele 4-5%) se constată din fig.7.6 că la o creștere în componența șarjei a proporției de bentonită are loc o scădere a valorilor pentru R_s și R_f după care în partea a doua are loc o creștere a acestora; referitor la I_s valorile pentru acesta rămân aproape constante, deci se pot considera pentru proporția de (B) limitele 3,0-5,0% (în medie 4,0%);

- din fig.7.7 se constată că o creștere a proporției de var din componența șarjei, determină o ușoară creștere a valorilor pentru R_s și R_f , iar pentru I_s variația este nesemnificativă; se poate considera pentru proporția de (V) limitele 4,0-6,0% (în medie 5,0%);

- analizând corelațiile din fig.7.8 rezultă că o creștere a adaosului de praf de grafit (reducător) conduce la o creștere a valorilor pentru R_s și R_f , în timp ce pentru I_s valorile diferă foarte puțin, curba de variație prezentând un minim de coordonate (6,555; 0,183); se poate considera pentru proporția de (G) limitele 5,0-7,0% (în medie 6,0%);

Tabelul 7.14 Limite de variație propuse pentru componente -**Varianta A**

Componente	(PAF)	(P.O.)	(T)	(B)	(V)	(G)
Limite de variație, [%]	10-20	20-25	45-50	3,0-5,0	4-6	5-7
Componentă propusă, [%]	15	23	47	4,0	5	6

VARIANTA B

Din analiza corelațiilor obținute, la fel ca și în cazul **variantei A** se poate considera că acestea sunt semnificative, astfel:

- din fig.7.9 se constată o variație mică a valorilor pentru rezistențele R_s , R_f și I_s cu creșterea proporției de (PAF); în timp ce valorile pentru I_s variază nesemnificativ (se poate considera că aproximativ rămân constante; în aceste condiții se propune pentru proporția de (PAF) limitele 11-19% (în medie 15%);

- în fig.7.10 se observă că o creștere a proporției de (P.O.) în intervalul studiat 15-24%, atât pentru R_s , cât și R_f are loc o scădere a valorilor acestora, iar pentru I_s în prima parte a intervalului de variație o creștere, după care în partea a doua o scădere pentru valorile acestuia; în aceste condiții se propune pentru proporția de (P.O.) limitele 15-20% (în medie 17%);

- analizând corelațiile din fig.7.11, se constată că la o creștere a proporției de tunder în componența șarjei de brichetare conduce la creșterea valorilor pentru R_s și R_f , prezintă un maxim pentru 32,5%, după care acestea scad, în timp ce pentru I_s rămân aproape constante; în aceste condiții se poate considera pentru proporția de (T) limitele 24-37% (în medie 30%);

- din fig.7.12 se constată că proporția de zgură de oțelărie fracția ferosă nu influențează semnificativ cele trei caracteristici R_s , R_f și I_s ; având în vedere și o serie de considerente economice și tehnologice se consideră intervalul de variație de 18-24% (în medie 20%);

- la această variantă bentonita a fost înlocuită cu zgură de rafinare LF (aparține ca și bentonita sistemului ternar $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$), și din fig.7.13 se

constată că o creștere a acestui component conduce la o ușoară scădere a valorilor pentru R_s și R_f , în timp ce pentru I_s se poate considera că influența este nesemnificativă; având în vedere considerente de ordin tehnologic și economic se consideră intervalul de variație 3,0-4,0 % (în medie 3,5%);

- din fig.7.14 se constată că o creștere a proporției de var din componența șarjei, determină o creștere a valorilor pentru R_s , R_f și I_s ; se poate considera pentru proporția de (V) limitele 3,5-5,5 % (în medie 5,0%);

- corelațiile din fig.7.15 conduc la concluzia că o creștere a adaosului de praf de grafit (reducător) conduce la o ușoară variație a valorilor pentru R_s , R_f și I_s ; se poate considera pentru proporția de (G) limitele 6,5-8,0% (în medie 7,0%);

Tabelul 7.15 Limite de variație propuse pentru componenți-Varianta B

Componenți	PAF	PO	T	ZO-FM	ZO-LF	V	G
Limite de variație , [%]	11-19	15-20	24-37	18-24	3,0-4,0	3,5-5,5	6,5-8,0
Componență propusă, [%]	16	18	30	20,5	3,5	5	7

7.1.5.1 Prelucrarea datelor în programul MATLAB

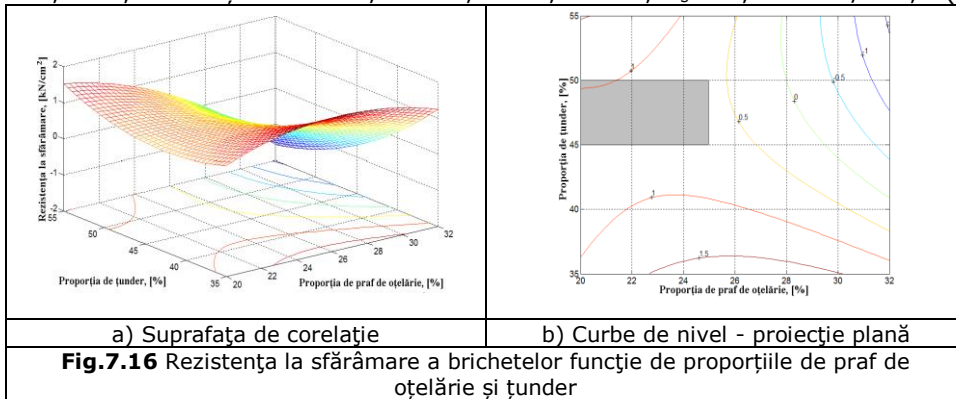
VARIANTA A

Ecuția triplă:

$$R_s = 0,0081(\text{PAF})^2 - 0,0150(\text{PO})^2 - 0,0050 (\text{T})^2 - 0,0090(\text{PAF})(\text{PO}) - 0,0148(\text{PAF})(\text{T}) - 0,0135(\text{PO})(\text{T}) - 0,7835(\text{PAF}) + 1,4293(\text{PO}) - 0,4296(\text{T}) + 2,2456; R^2 = 1,00; \quad (7.8)$$

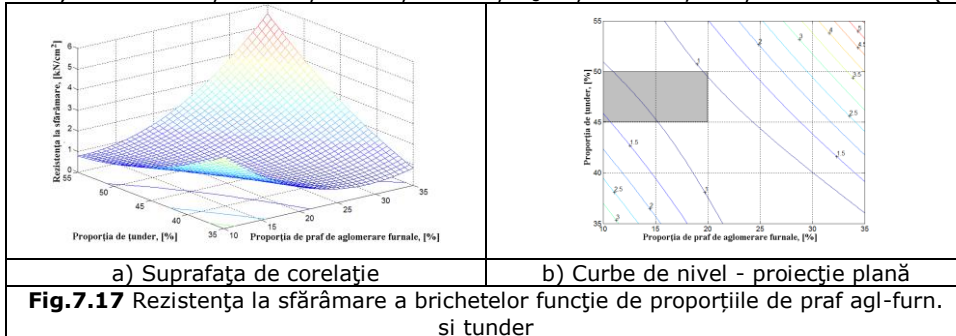
Ecuția dublă: $\text{PAF} = \text{PAF}_{\text{med}} = 18,1\%$;

$$R_s = -0,0150(\text{PO})^2 - 0,0050 (\text{T})^2 - 0,0135(\text{PO})(\text{T}) + 1,2658(\text{PO}) - 0,1616(\text{T}) - 9,2689; R^2 = 0,2249; \text{Punct șea: PO} = 21,7950\%; \text{T} = 45,2461\%; R_s = 0,8624 \text{ kN/cm}^2; \quad (7.9)$$

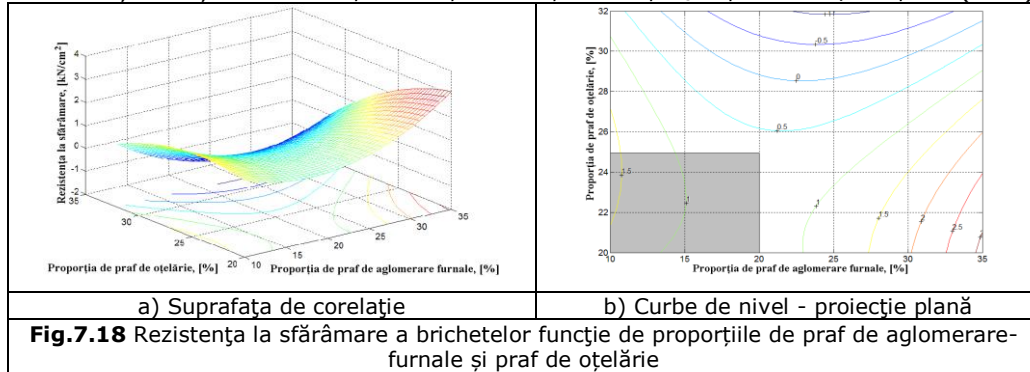


Ecuția dublă pentru $\text{PO} = \text{PO}_{\text{med}} = 22,6\%$; $R^2 = 0,2437$;

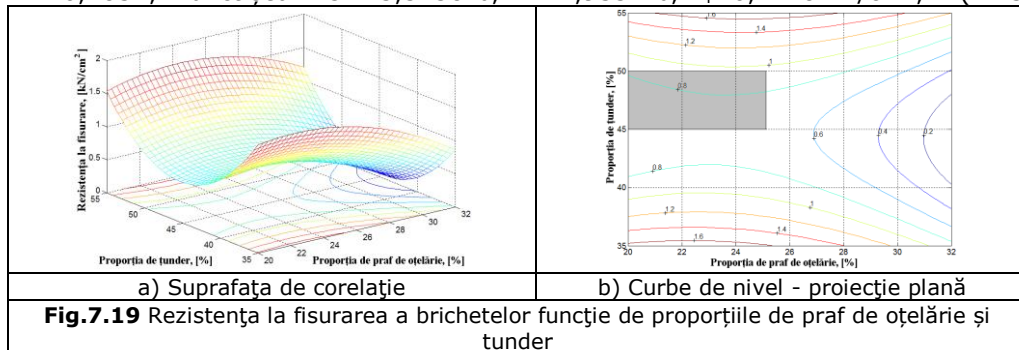
$$R_s = 0,0081(\text{PAF})^2 - 0,0050 (\text{T})^2 - 0,0148(\text{PAF})(\text{T}) - 0,9877(\text{PAF}) - 0,7345(\text{T}) + 26,891; \text{Punct șea: PAF} = 16,6235\%; \text{T} = 48,4883\%; R_s = 0,8527 \text{ kN/cm}^2; \quad (7.10)$$



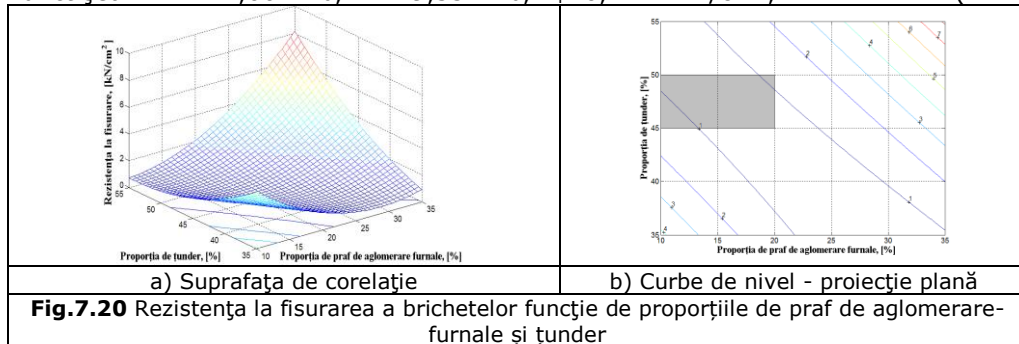
Ecuția dublă pentru $T=T_{med}=45,20\%$;
 $R_s = 0,0081(PAF)^2 - 0,0150(PO)^2 - 0,0090(PAF)(PO) - 0,0148(PAF) - 0,6178(PO) - 6,8601$; $R^2 = 0,3834 \text{ kN/cm}^2$;
 Punct staționar șea: $PAF=19,0228\%$; $PO=21,5377\%$; $R_s=0,8543 \text{ kN/cm}^2$; (7.11)



Corelația triplă:
 $R_f = 0,0106(PAF)^2 + 0,0086(PO)^2 + 0,0097(T)^2 + 0,0052(PAF)(PO) + 0,0214(PAF)(T) + 0,0018(PO)(T) - 1,4757(PAF) + 0,2267(PO) - 1,3049(T) - 40,8205$; $R=1.0000$; (7.12)
 Corelația dublă pentru $PAF=PAF_{med} = 18,10\%$;
 $R_f = -0,0086(PO)^2 + 0,0097(T)^2 + 0,00180(PO)(T) + 0,3210(PO) - 0,9172(T) + 17,5857$;
 $R^2 = 0,2854$; Punct șea: $PO=23,3138\%$; $T=44,9531\%$; $R_f=0,7118 \text{ kN/cm}^2$; (7.13)



Corelația dublă pentru: $PO=PO_{med} = 22,60\%$;
 $R_f = 0,0106(PAF)^2 + 0,0097(T)^2 + 0,0214(PAF)(T) - 1,3579(PAF) - 1,2635(T) + 41,5272$;
 $R^2=0,6449$;
 Punct șea: $PAF=14,0027\%$; $T= 49,5314\%$; $R_f=0,7274 \text{ kN/cm}^2$; (7.14)

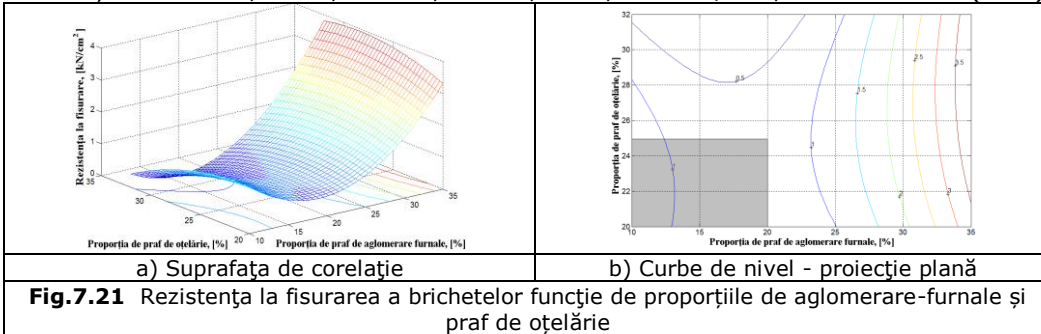


Corelația dublă pentru: $T=T_{med}=45,20\%$;

$$R_f = 0,0106(\text{PAF})^2 - 0,0086(\text{PO})^2 + 0,0052(\text{PAF})(\text{PO}) - 0,5075(\text{PAF}) + 0,3094(\text{PO}) + 1,7129(\text{T}) + 40,8205;$$

$$R^2 = 0,7382;$$

Punct șea: PAF=18,881%; PO=23,3665%; $R_f = 0,7125 \text{ kN/cm}^2;$ (7.15)

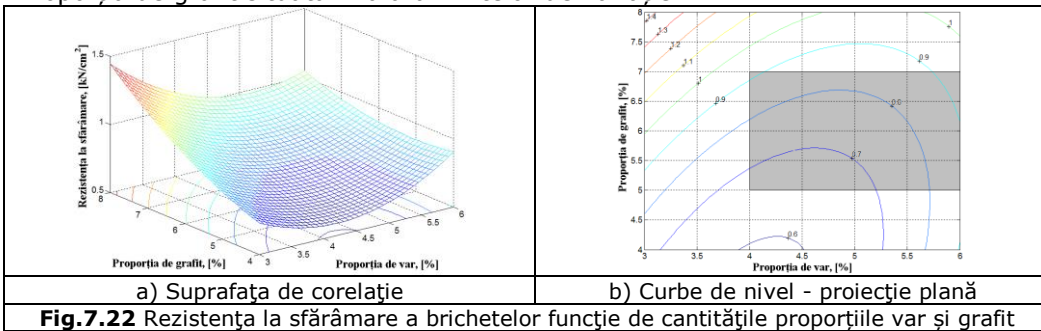


Corelația triplă:

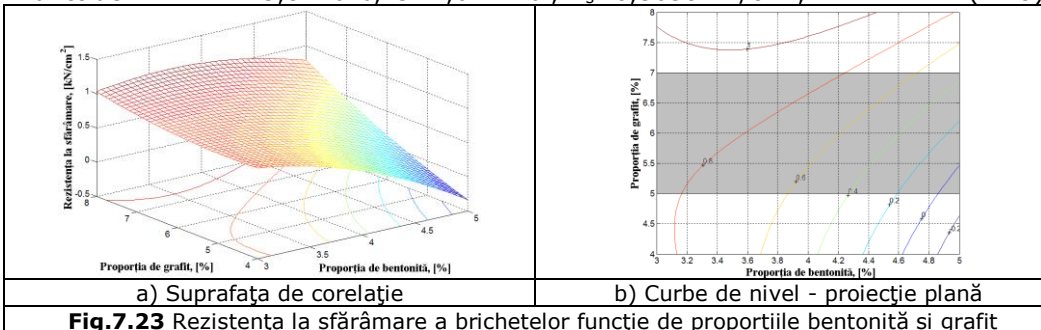
$$R_s = -0,1884(\text{B}^2) + 0,0983(\text{V}^2) + 0,0201(\text{G})^2 - 0,1721(\text{B})(\text{V}) + 0,1147(\text{B})(\text{T}) - 0,0478(\text{V})(\text{T}) + 1,15439(\text{B}) - 0,3446(\text{T});$$

$$R^2 = 0,9416;$$

Coeficient de corelație: $R^2 = 0,9416;$
 Corelație dublă pentru: $\text{B} = \text{B}_{\text{med}} = 3,70\%;$
 $R^2 = 0,3251;$
 $R_s = 0,0983(\text{V}^2) + 0,0201(\text{G})^2 - 0,0478(\text{V})(\text{G}) - 0,6367(\text{V}) + 0,0797(\text{G}) + 1,6921;$
 Punct de minim: $\text{V} = 3,8748; \text{T} = 2,6211\%; R_s = 0,5630 \text{ kN/cm}^2;$ (7.17)
 Proporția de grafit situată în afara limitelor de variație.



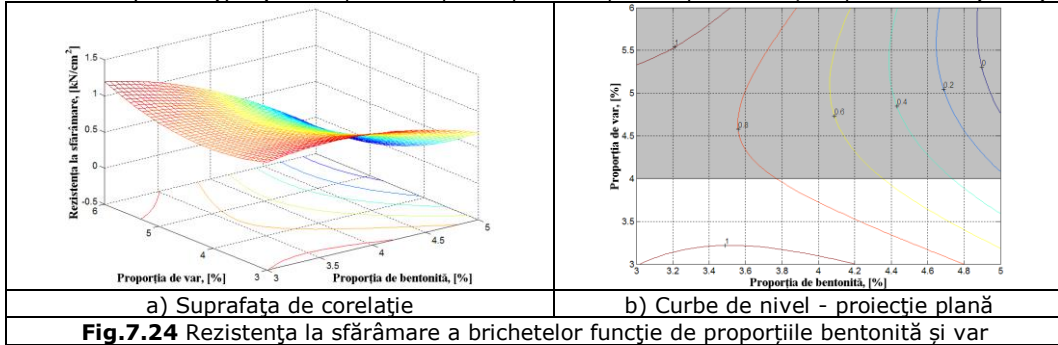
Corelație dublă pentru: $\text{V} = \text{V}_{\text{med}} = 4,0\%; R^2 = 0,4992;$
 $R_s = -0,1884(\text{B}^2) + 0,0201(\text{G})^2 + 0,1147(\text{B})(\text{G}) + 0,4660(\text{B}) - 0,5358(\text{G}) + 1,5734;$
 Punct de minim: $\text{B} = 3,8746\%; \text{G} = 2,6211\%; R_s = 0,5630 \text{ kN/cm}^2;$ (7.18)



Corelație dublă pentru: $\text{G} = \text{G}_{\text{med}} = 6,30\%; R^2 = 0,4577;$

$$R_s = -0,1884(B^2) + 0,983(V^2) - 0,1721(B)(V) + 1,8757(B) - 0,3012(V) - 1,3714;$$

Punct staționar (șea): $B=2,8319\%$; $V=5,2409\%$; $R_s=0,8291 \text{ kN/cm}^2$; (7.19)



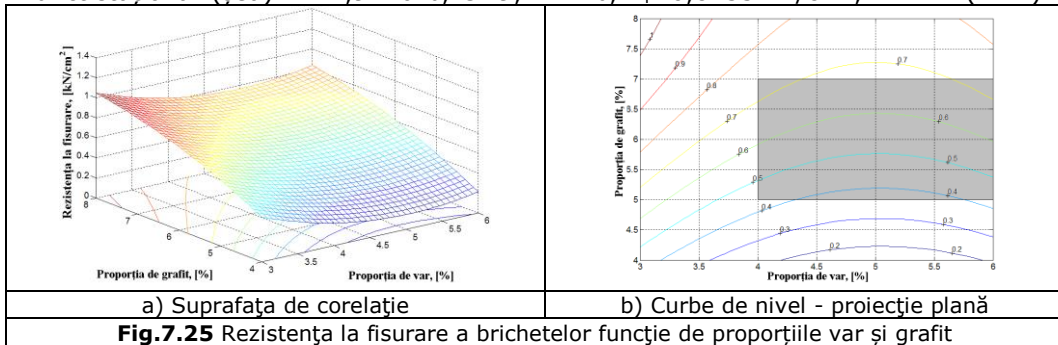
Corelația triplă:

$$R_f = -0,1945(B^2) + 0,0719(V^2) - 0,0207(G^2) - 0,1987(B)(V) + 0,17319(B)(G) + 0,00209(V)(G) + 0,9120(B) - 0,02480(G); R^2 = 0,8225;$$

Corelația dublă pentru: $B=B_{med}=3,70\%$; $R^2=0,2807$;

$$R_f = 0,0719(V^2) - 0,0207(G^2) + 0,0020(V)(G) - 0,7351(V) + 0,3926(G) + 0,7459;$$

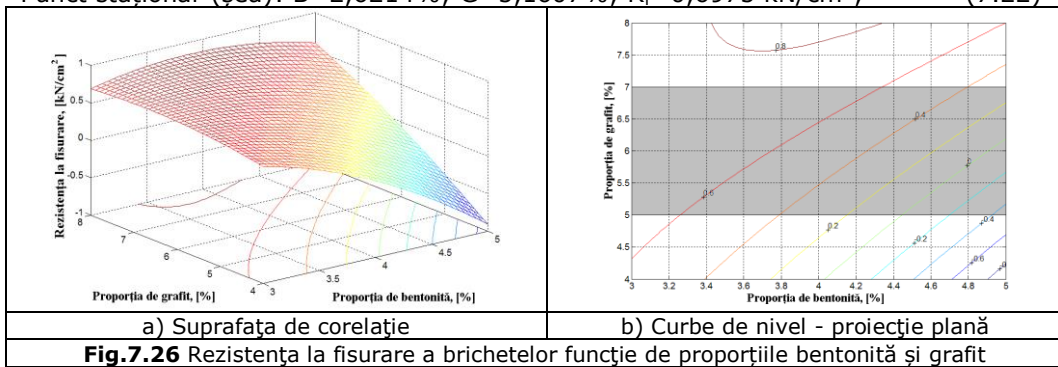
Punct staționar (șea): $V=4,9726\%$; $G=9,7112\%$; $R_f=0,8235 \text{ kN/cm}^2$; (7.21)



Corelația dublă pentru: $V=V_{med}=4,0\%$; $R^2=0,3113$;

$$R_f = -0,1945(B^2) - 0,0207(G^2) + 0,1731(B)(G) + 0,1263(B) - 0,2398(G) + 1,1508;$$

Punct staționar (șea): $B=2,6214\%$; $G=5,1607\%$; $R_f=0,6975 \text{ kN/cm}^2$; (7.22)



Corelația dublă pentru: $G=G_{med}=6,30\%$; $R^2=0,5215$;

$$R_f = -0,1945(B^2) + 0,0719(V^2) - 0,1987(B)(V) + 2,0117(B) + 0,0129(V) - 2,3853;$$

Punct staționar șea: $B=3,0591\%$; $V=4,1358\%$; $R_f=0,7183 \text{ kN/cm}^2$; (7.23)

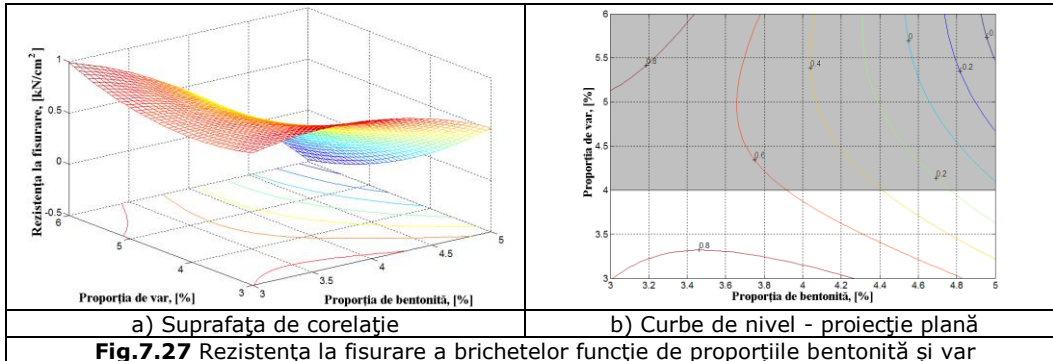


Fig.7.27 Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de proporțiile bentonită și var

Corelația triplă:

$$I_s = 0,0056(B^2) + 0,0237(V^2) + 0,0343(G^2) + 0,0184(B)(V) - 0,0503(B)(G) - 0,04159(B)(V) + 0,2123(B) - 0,0784; \quad R^2 = 0,6950; \quad (7.24)$$

Corelația dublă pentru: $B = B_{med} = 3,70\%$; $R^2 = 0,5042$;

$$I_s = 0,0237(V^2) + 0,0343(G^2) - 0,0415(V)(G) + 0,0682(V) - 0,2646(G) + 0,8628;$$

Punct de minim: $V = 4,1160\%$; $G = 6,3545\%$; $I_s = 0,1625 \text{ kN/cm}^2$; (7.25)

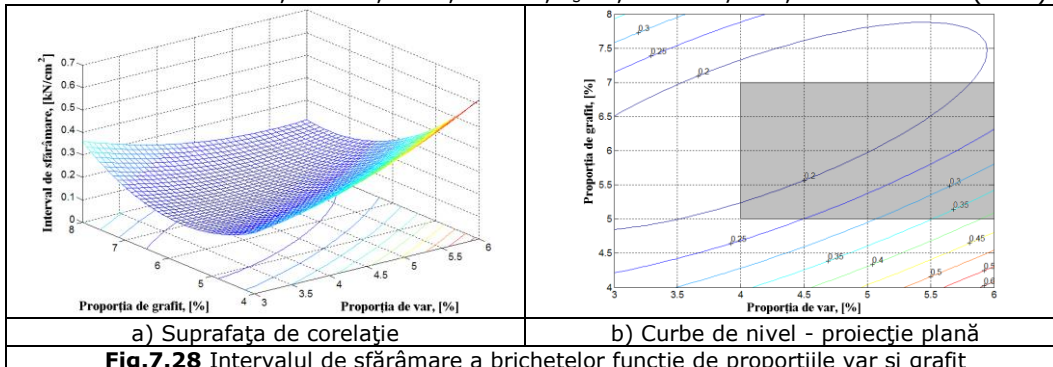


Fig.7.28 Intervalul de sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile var și grafit

Corelația dublă pentru : $V = V_{med} = 4,0\%$; $R^2 = 0,3373$;

$$I_s = 4,1521(B^2) + 0,0343(G^2) - 0,0503(B)(G) + 0,2860(B) - 0,2443(G) + 0,3797;$$

Punct staționar (șea): $B = 4,152\%$; $G = 6,615\%$; $I_s = 0,1652 \text{ kN/cm}^2$; (7.26)

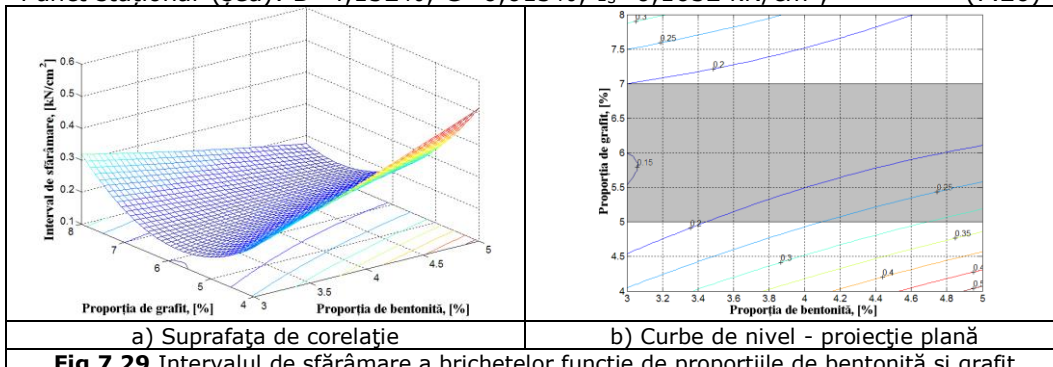


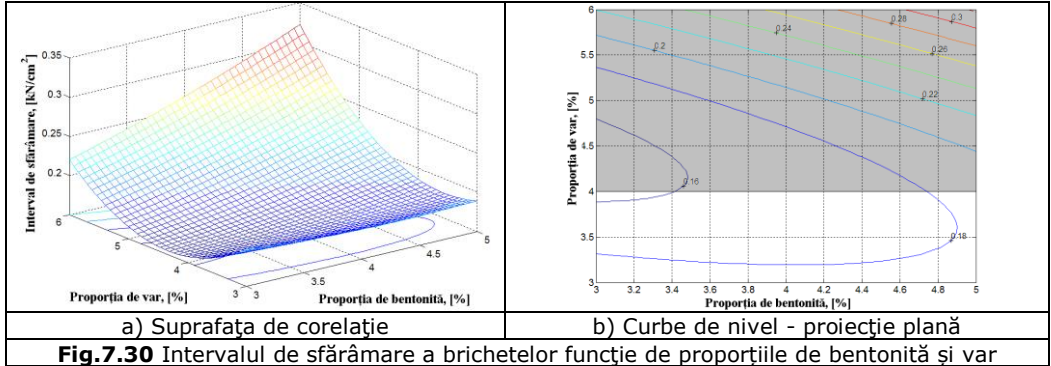
Fig.7.29 Intervalul de sfărâmare a brichetelor funcție de proporțiile de bentonită și grafit

Corelația dublă pentru: $G = G_{med} = 6,30\%$;

$$I_s = 0,0056(B^2) + 0,0237(V^2) + 0,0184(B)(V) - 0,1047(B) - 0,2613(V) + 0,8653;$$

$$R^2 = 0,2021;$$

Punct staționar (șea): $B = 0,7779\%$; $V = 5,2033\%$; $I_s = 0,1449 \text{ kN/cm}^2$; (7.27)



VARIANTA B

Corelația triplă:

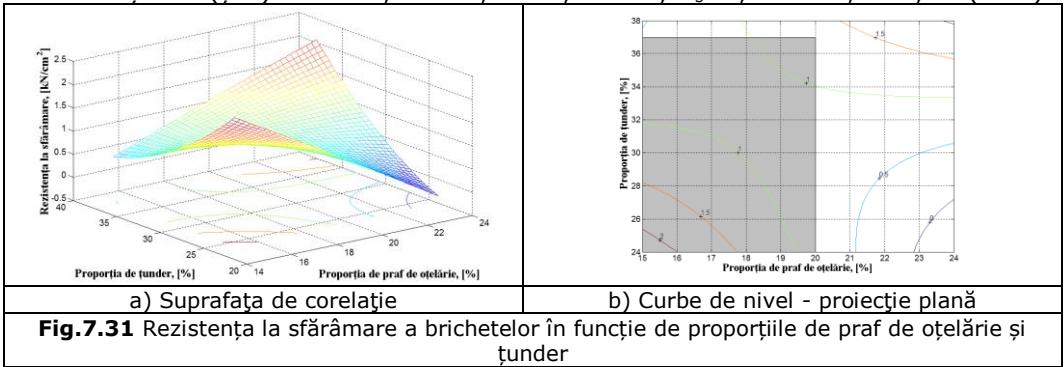
$$R_s = 0,0130(PAF)^2 - 0,0014(PO)^2 + 0,0057(T)^2 + 0,0455(PAF)(PO) + 0,0130(PAF)(T) + 0,0334(PO)(T) - 1,6935(PAF) - 1,7705(PO) - 1,1949(T) + 50,4028; \quad (7.28)$$

$$R^2 = 1,0000;$$

Corelația dublă pentru: $PAF = PAF_{med} = 16,10\%$; $R^2 = 0,4067$;

$$R_s = -0,0014(PO)^2 + 0,0057(T)^2 + 0,0334(PO)(T) - 1,0386(PO) - 0,9853(T) + 26,4981;$$

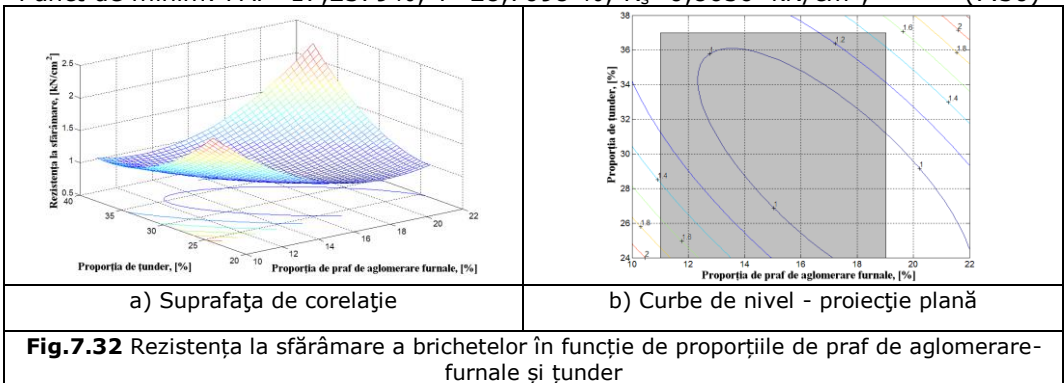
$$\text{Punct staționar (sea): } PO = 18,2922\%; T = 32,6483\%; R_s = 0,9141 \text{ kN/cm}^2; \quad (7.29)$$



Corelația dublă: $PO = PO_{med} = 19,20\%$; $R^2 = 0,6707$;

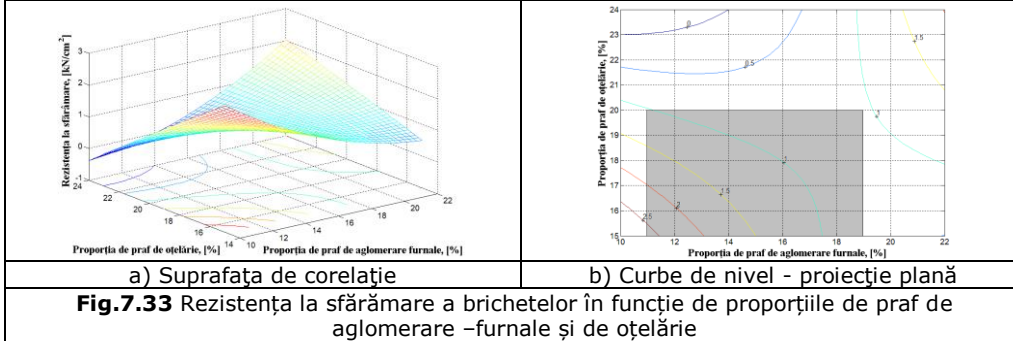
$$R_s = 0,0130(PAF)^2 + 0,0057(T)^2 + 0,0130(PAF)(T) - 0,8206(PAF) - 0,5534(T) + 26,4981;$$

$$\text{Punct de minim: } PAF = 17,2379\%; T = 28,7098\%; R_s = 0,8656 \text{ kN/cm}^2; \quad (7.30)$$



Corelația dublă pentru $T = T_{med} = 29,80\%$; $R^2 = 0,3161$;

$R_s=0,013(\text{PAF}^2)-0,0014(\text{PO}^2)+0,0455(\text{PAF})(\text{PO})-1,305(\text{PAF})-0,7749(\text{PO})+19,88$;
 Punct staționar (șea): $\text{PAF}=18,1964\%$; $\text{PO}=18,3412\%$; $R_s=0,8990\text{ kN/cm}^2$; (7.31)



Corelația triplă:

$$R_f=0,0085(\text{PAF}^2)-0,0004(\text{PO}^2)+0,0025(\text{T}^2)+0,0193(\text{PAF})(\text{PO})+0,0087(\text{PAF})(\text{T})+0,0140(\text{PO})(\text{T})-0,898(\text{PAF})-0,7495(\text{PO})-0,5469(\text{T})+23,495 ; \quad (7.32)$$

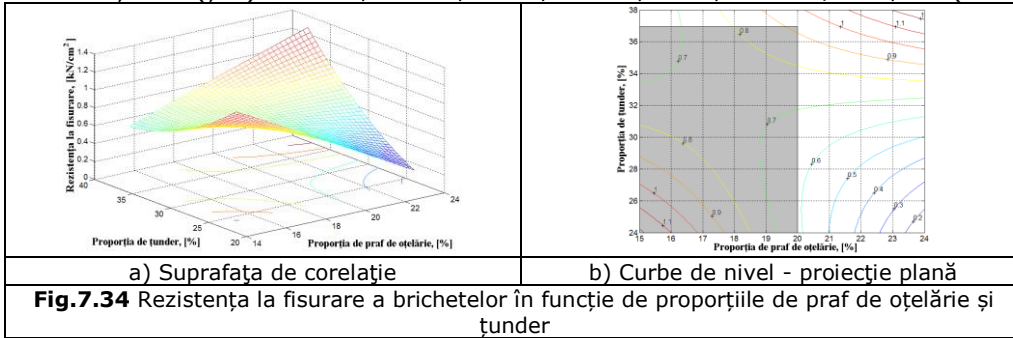
$$R^2=1,0000;$$

Corelația dublă pentru : $\text{PAF}=\text{PAF}_{\text{med}}=16,10\%$;

$$R^2=0,4125;$$

$$R_f=-0,0004(\text{PO}^2)+0,0025(\text{T}^2)+0,0140(\text{PO})(\text{T})-0,4395(\text{PO})-0,4075(\text{T})+11,2301 ;$$

$$\text{Punct staționar (șea): } \text{PO}=17,5690\% ; \text{T}=32,5860\% ; R_f=0,7296\text{ kN/cm}^2 ; \quad (7.33)$$

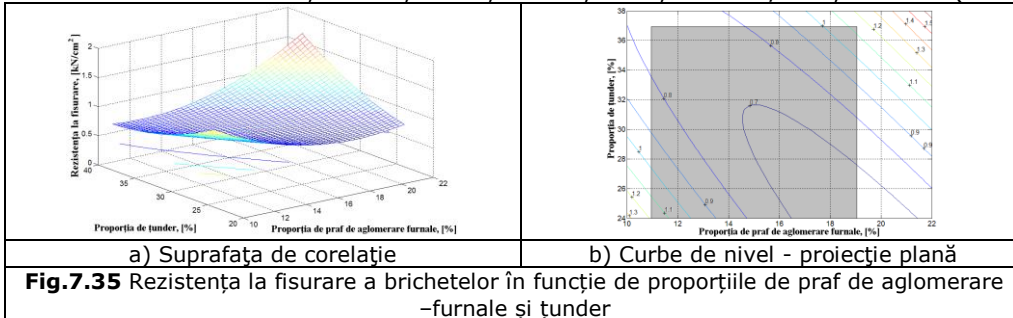


Corelația dublă pentru: $\text{PO}=\text{PO}_{\text{med}}=19,20\%$;

$$R_f=0,0085(\text{PAF}^2)+0,0025(\text{T}^2)+0,0087(\text{PAF})(\text{T})-0,5284(\text{PAF})-0,279(\text{T})+8,9466 ;$$

$$R^2=0,3110;$$

$$\text{Punct de minim: } \text{PAF}=23,2679\% ; \text{T}=15,5673\% ; R_f=0,6282\text{ kN/cm}^2 ; \quad (7.34)$$

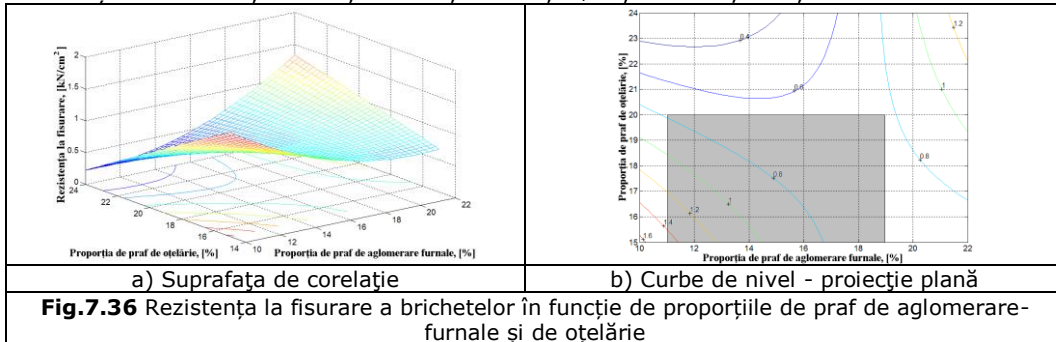


Corelația dublă $\text{T}=\text{T}_{\text{med}}=29,80\%$;

$$R_f=0,0085(\text{PAF}^2)-0,0004(\text{PO}^2)+0,0193(\text{PAF})(\text{PO})-0,6401(\text{PAF})-0,3337(\text{PO})+9,4117 ; \quad (7.35)$$

$R^2=0,4102$;

Punct șea: PAF=18,1086%; PO=17,3343%; $R_f=0,7239 \text{ kN/cm}^2$;



Corelația triplă:

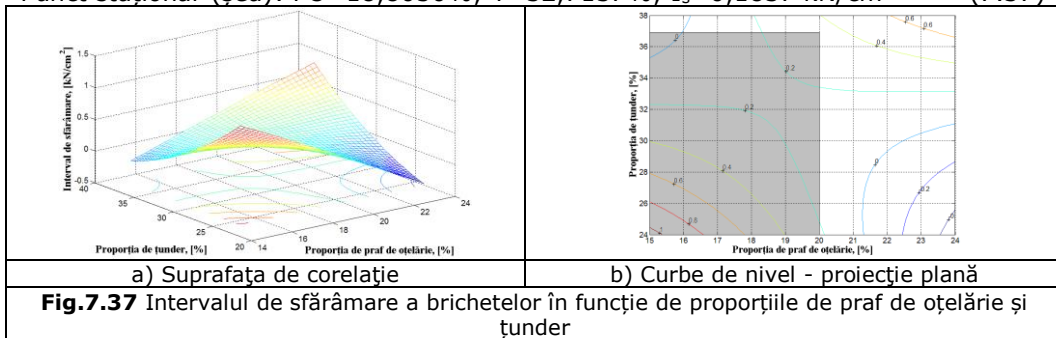
$$I_s = 0,0045(\text{PAF})^2 - 0,0010(\text{PO})^2 + 0,0032(\text{T})^2 + 0,0262(\text{PAF})(\text{PO}) + 0,0044(\text{PAF})(\text{T}) + 0,0195(\text{PO})(\text{T}) - 0,7955(\text{PAF}) - 1,021(\text{PO}) - 0,6480(\text{T}) + 26,9073; \quad (7.36)$$

$R^2 = 1,0000$;

Corelația dublă pentru: PAF = PAF_{med} = 16,10%; $R^2 = 0,4758$;

$$I_s = -0,0010(\text{PO})^2 + 0,0025(\text{T})^2 + 0,0195(\text{PO})(\text{T}) - 0,5990(\text{PO}) - 0,5778(\text{T}) + 15,2680; \quad (7.37)$$

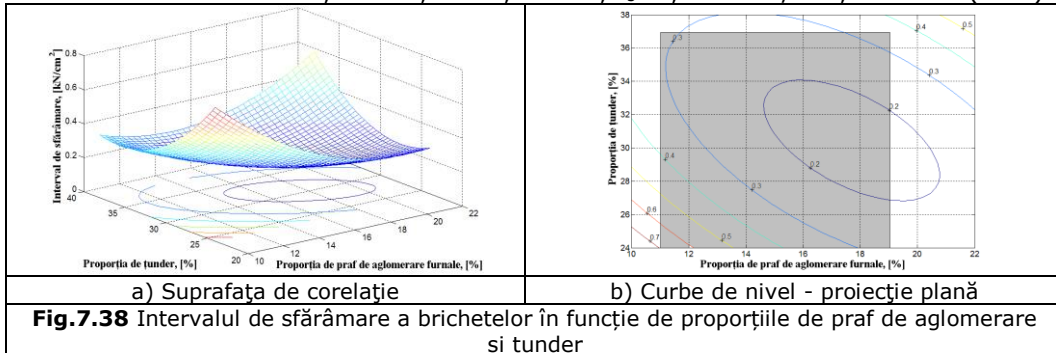
Punct staționar (șea): PO=18,8050%; T=32,7137%; $I_s=0,1837 \text{ kN/cm}^2$



Corelația dublă pentru: PO=PO_{med}=19,20%; $R^2=0,2693$;

$$I_s = 0,0045(\text{PAF})^2 + 0,0032(\text{T})^2 + 0,0044(\text{PAF})(\text{T}) - 0,2923(\text{PAF}) - 0,2744(\text{T}) + 6,9356; \quad (7.38)$$

Punct de minim: PAF=17,7000%; T=30,4506%; $I_s=0,1712 \text{ kN/cm}^2$;

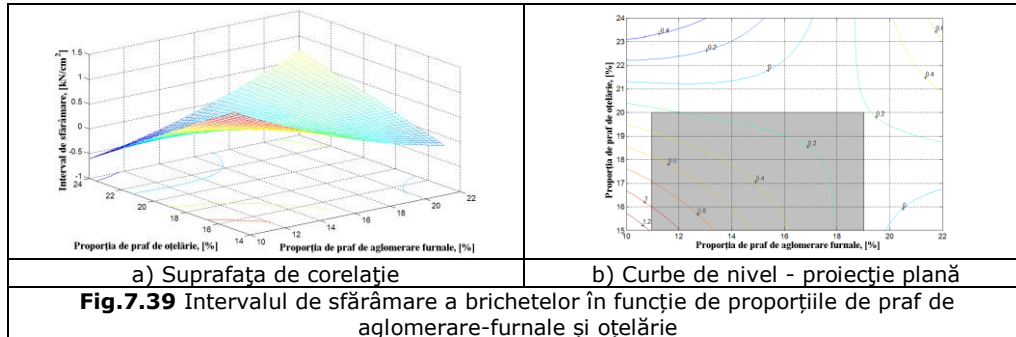


Ecuția dublă: T=T_{med}=29,80%;

$$I_s = 0,0045(\text{PAF})^2 - 0,0010(\text{PO})^2 + 0,0262(\text{PAF})(\text{PO}) - 0,665(\text{PAF}) - 0,441(\text{PO}) + 10,472; \quad (7.39)$$

$R^2=0,5613$;

Punct șea: PAF=18,2862%; PO=19,1066%; $I_s=0,1725 \text{ kN/cm}^2$;



Ecuția triplă :

$$R_s = -0,0099(PFF)^2 - 0,0045(PO)^2 - 0,0062(T)^2 - 0,0089(PFF)(PO) - 0,0183(PFF)(T) - 0,0085(PO)(T) + 1,0234(PFF) + 0,6181(PO) + 0,8625(T) - 27,0558; \quad (7.40)$$

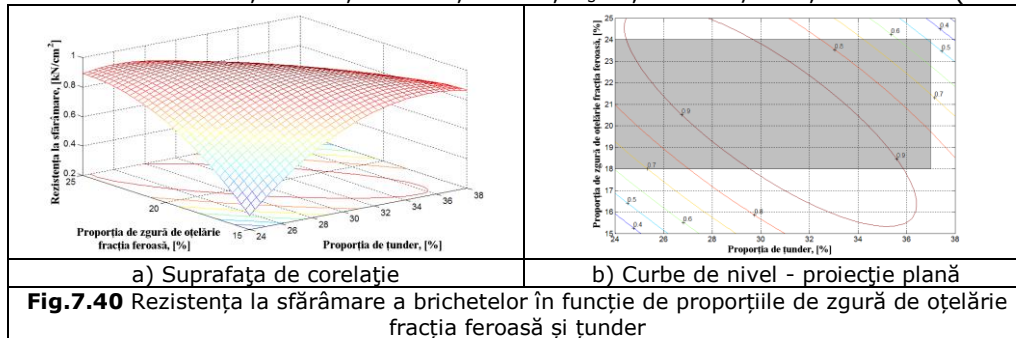
$R^2 = 1,0000;$

Ecuția dublă: $PO = PO_{med} = 19,20\% ;$

$$R_s = -0,0045 (PFF^2) - 0,0062(T^2) - 0,0085(PFF)(T) + 0,4474(PFF) - 0,5103(T) - 11,0619;$$

$R^2 = 0,6541;$

Punct maxim: $T = 30,4051\% ; PFF = 20,4581\% ; R_s = 0,9587 \text{ kN/cm}^2 ; \quad (7.41)$

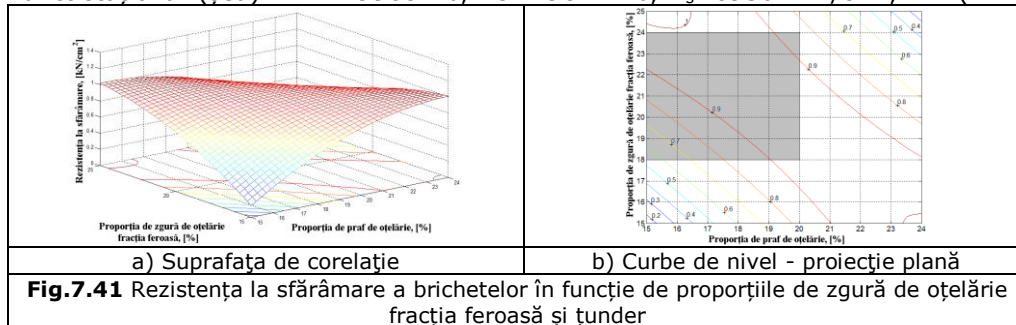


Ecuția dublă: $T = T_{med} = 29,80\% ;$

$$R_s = -0,0099(PFF^2) - 0,0062(PO^2) - 0,0183(PFF)(PO) + 0,7584(PFF) + 0,6104(PO) - 12,6423;$$

$R^2 = 0,9683 ;$

Punct staționar (șea): $PFF = 19,9084\% ; PO = 19,8212\% ; R_s = 0,9562 \text{ kN/cm}^2 ; \quad (7.42)$

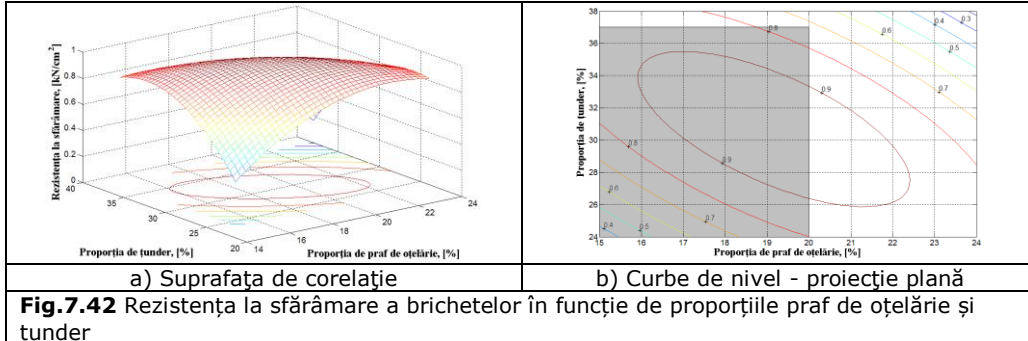


Ecuția dublă: $PFF = PFF_{med} = 20,20\% ;$

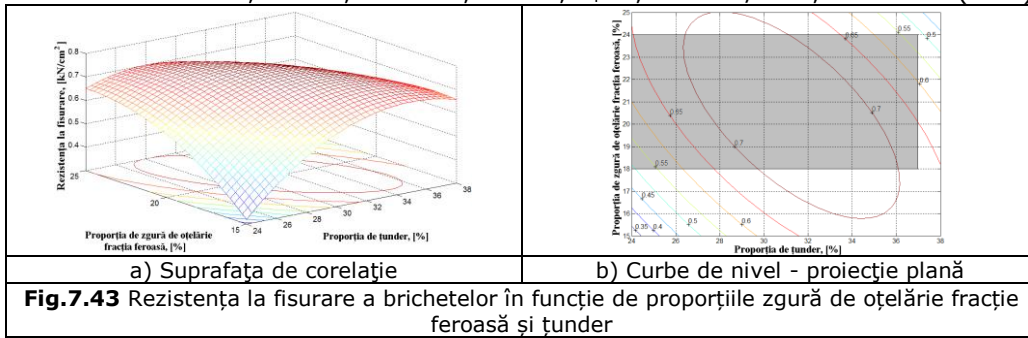
$$R_s = -0,0099(PO^2) - 0,0045(T^2) - 0,0089(PO)(T) + 0,6528(PO) + 0,4472(T) - 12,1568;$$

$R^2 = 0,2497;$

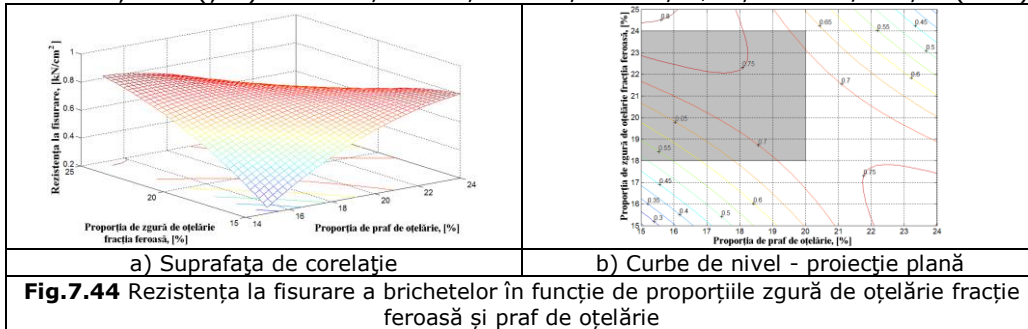
Punct maxim: $PO = 19,1605\% ; T = 30,6861\% ; R_s = 0,9562 \text{ kN/cm}^2 ; \quad (7.43)$



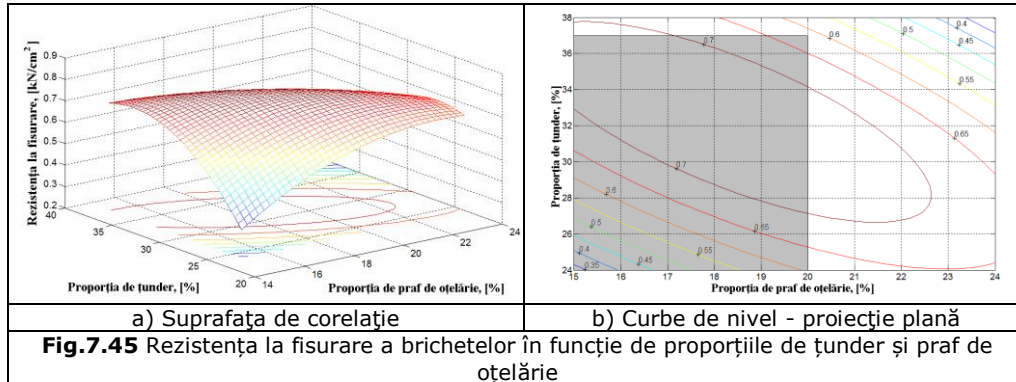
Ecuția triplă:
 $R_f = -0,0050(PFF)^2 - 0,0030(PO)^2 - 0,0034(T)^2 - 0,0057(PFF)(PO) - 0,0116(PFF)(T) - 0,0042(PO)(T) + 0,6007(PFF) + 0,3821(PO) + 0,4908(T) + 15,9485$; $R^2 = 1.0000$; (7.44)
 Ecuția dublă: $PO = PO_{med} = 19,20\%$; $R^2 = 0,6040$;
 $R_f = -0,0030(PFF^2) - 0,0034(T^2) - 0,0042(PFF)(T) + 0,2731(PFF) + 0,2684(T) - 6,2635$;
 Punct maxim: $T = 31,2499\%$; $PFF = 20,4035\%$; $R_f = 0,7419 \text{ kN/cm}^2$; (7.45)



Ecuția dublă: $T = T_{med} = 29,80\%$; $R^2 = 0,1205$;
 $R_f = -0,005(PFF^2) - 0,0034(PO^2) - 0,0116(PFF)(O) + 0,4316(PFF) + 0,367(PO) - 7,2374$;
 Punct staționar (șea): $PFF = 19,9919\%$; $PO = 19,9400\%$; $R_f = 0,7352 \text{ kN/cm}^2$; (7.46)



Corelația dublă: $PFF = PFF_{med} = 20,20\%$; $R^2 = 0,4280$;
 $R_f = -0,0050(PO^2) - 0,0030(T^2) - 0,0057(PO)(T) + 0,3667(PO) + 0,2981(T) - 7,4185$;
 Punct maxim: $PO = 18,3258 \%$; $T = 32,2139\%$; $R_f = 0,7436 \text{ kN/cm}^2$; (7.47)



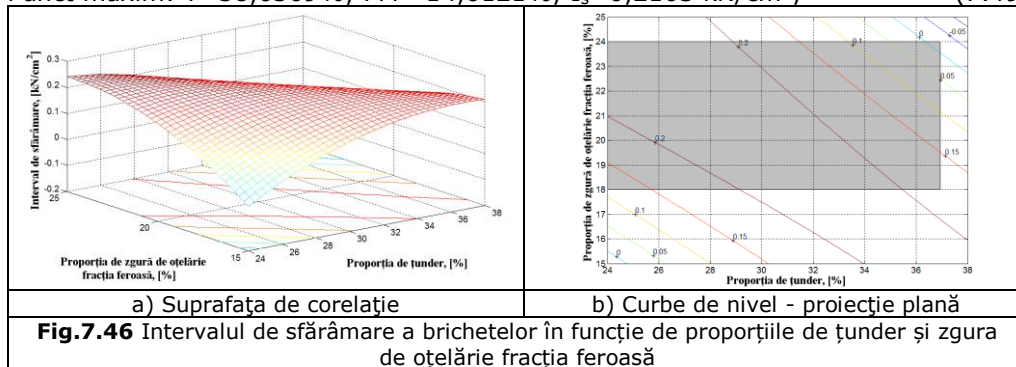
Corelația triplă :

$$I_s = -0,0049(PFF)^2 - 0,0015(PO)^2 - 0,0028(T)^2 - 0,0032(PFF)(PO) - 0,0068(PFF)(T) - 0,0043(PO)(T) + 0,4226(PO) + 0,2360(T) + 0,3717 - 11,1073; R^2 = 1,0000; \quad (7.48)$$

Corelația dublă: $PO = PO_{med} = 19,20\%$; $R^2 = 0,6867$;

$$I_s = -0,0015(PFF)^2 - 0,0028(T)^2 + 0,0043(PFF)(T) + 0,1743(PFF) - 0,2418(T) - 4,7984;$$

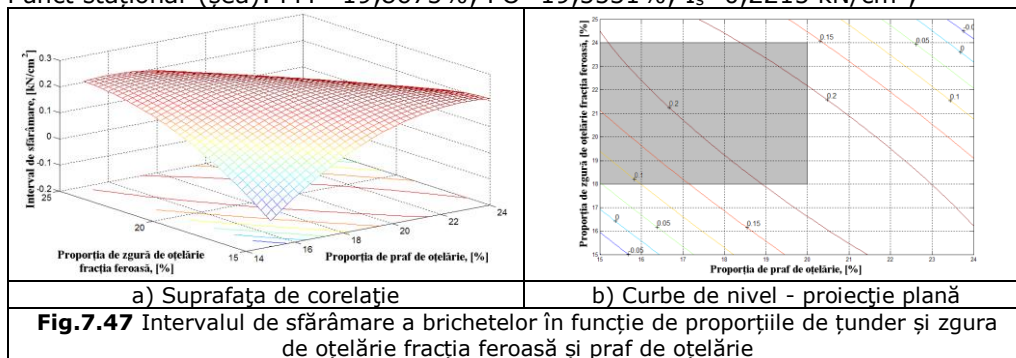
Punct maxim: $T = 38,0369\%$; $PFF = 14,0121\%$; $I_s = 0,2103 \text{ kN/cm}^2$; (7.49)



Corelația dublă: $T = T_{med} = 29,80\%$; $R^2 = 0,750$;

$$I_s = -0,0049(PFF)^2 - 0,0028(PO)^2 - 0,007(PFF)(PO) + 0,32(PFF) + 0,24(PO) - 5,41; \quad (7.50)$$

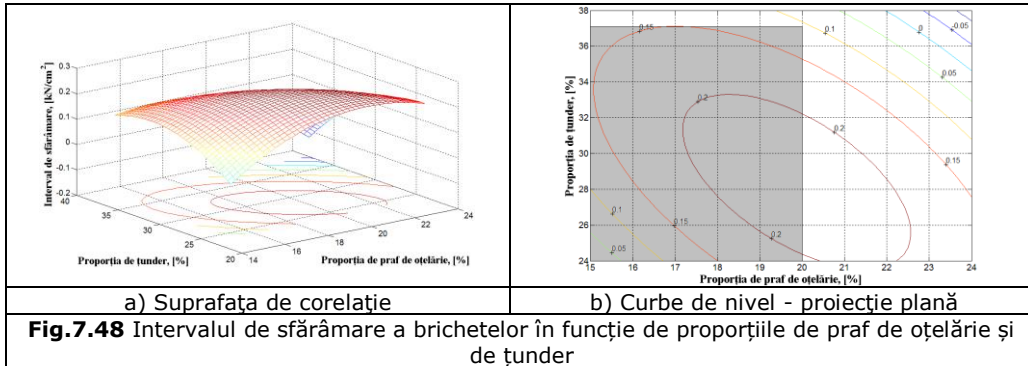
Punct staționar (șea): $PFF = 19,8675\%$; $PO = 19,5531\%$; $I_s = 0,2215 \text{ kN/cm}^2$;



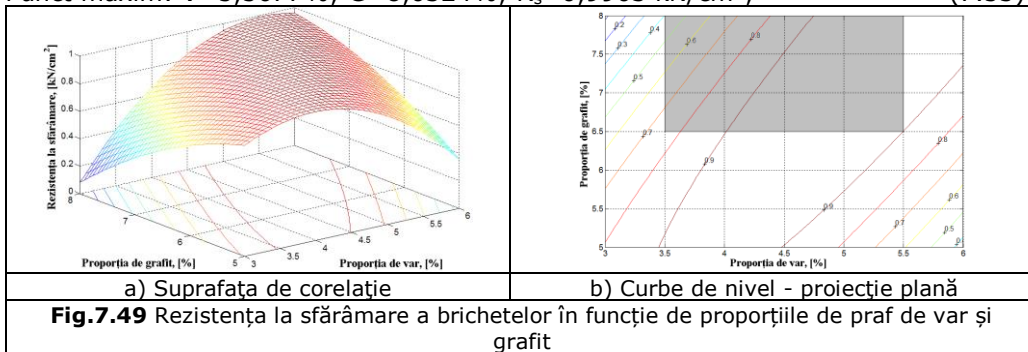
Corelația dublă: $PFF = PFF_{med} = 20,20\%$; $R^2 = 0,2091$;

$$I_s = -0,0049(PO)^2 - 0,0015(T)^2 - 0,0032(PO)(T) + 0,2860(PO) + 0,1491(T) - 4,7383;$$

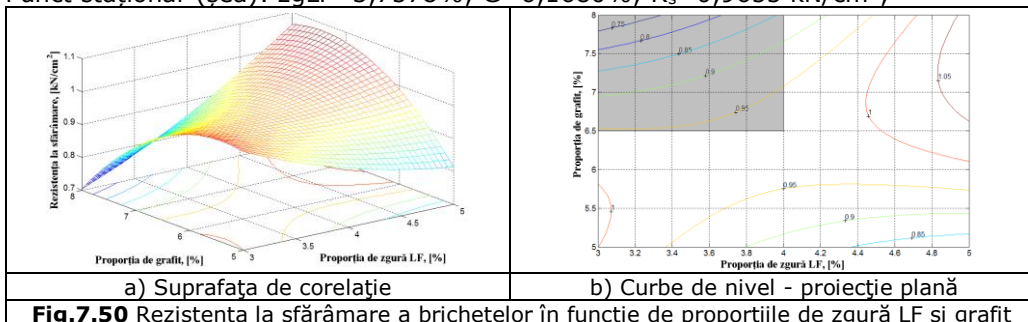
Punct șea: $PO = 19,8675\%$; $T = 28,4349\%$; $I_s = 0,2231 \text{ kN/cm}^2$; (7.51)



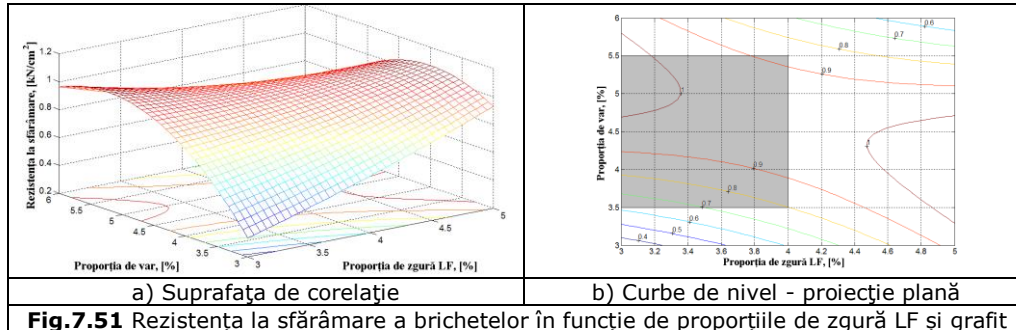
Corelația triplă :
 $R_s = 0,0273(zgLF)^2 - 0,1398(V)^2 - 0,0449(G^2) - 0,1741(zgLF)(V) + 0,0910(ZgLF)(G) + 0,1479(V)(G) + 1,0130(V) - 0,4386(G)$; $R^2 = 0,7964$; (7.52)
 Corelația dublă : $ZgLF = ZgLF_{med} = 3,70\%$; $R^2 = 0,3867$;
 $R_s = -0,1398 (V^2) - 0,0449(G^2) + 0,1479(V)(G) + 0,3688(V) - 0,1021(G) + 0,3735$;
 Punct maxim: $V = 5,5677\%$; $G = 8,0324\%$; $R_s = 0,9903 \text{ kN/cm}^2$; (7.53)



Corelația dublă: $V = V_{med} = 4,40\%$;
 $R_s = 0,0273(zgLF^2) - 0,0449(G^2) + 0,0910(zgLF)(G) - 0,7661(zgLF) + 0,2122(G) + 1,7505$;
 $R^2 = 0,1975$;
 Punct staționar (șea): $zgLF = 3,7578\%$; $G = 6,1680\%$; $R_s = 0,9655 \text{ kN/cm}^2$;



Corelația dublă pentru: $G = G_{med} = 6,60\%$;
 $R_s = 0,0273(zgLF^2) - 0,1398(V^2) - 0,1741(zgLF)(V) + 0,6003(zgLF) + 1,9893(V) - 4,851$;
 $R^2 = 0,2720$;
 Punct staționar (șea): $zgLF = 3,9163\%$; $V = 4,6753\%$; $R_s = 0,9746 \text{ kN/cm}^2$; (7.55)



Corelația triplă:

$$R_f = 0,0231(zgLF)^2 - 0,1324(V)^2 - 0,0479(G^2) - 0,1672(zgLF)(V) + 0,0881(zgLF)(G) + 0,8886(V) - 0,3931(G); \quad (7.56)$$

$$R^2 = 0,6994;$$

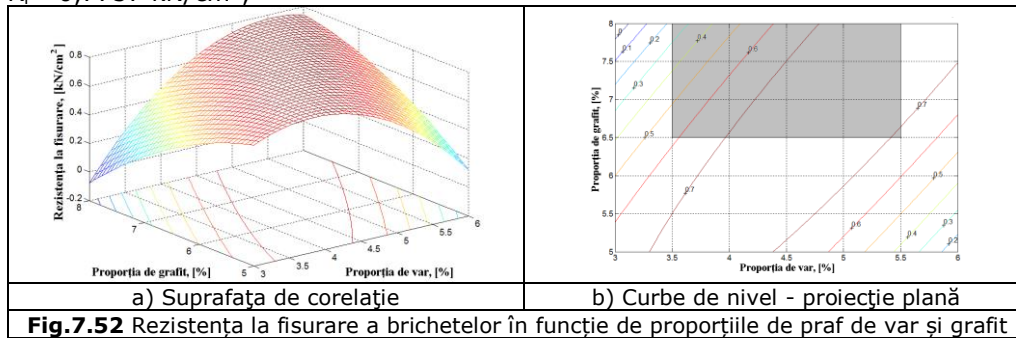
Corelația dublă: $zgLF = zgLF_{med} = 3,70\%$;

$$R_f = -0,1324 (V^2) - 0,0479(G^2) + 0,1496(V)(G) + 0,2698(V) - 0,0671(G) + 0,3162; \quad (7.57)$$

$$R^2 = 0,4443;$$

Punct maxim: $V = 5,2842\%$; $G = 7,5532\%$;

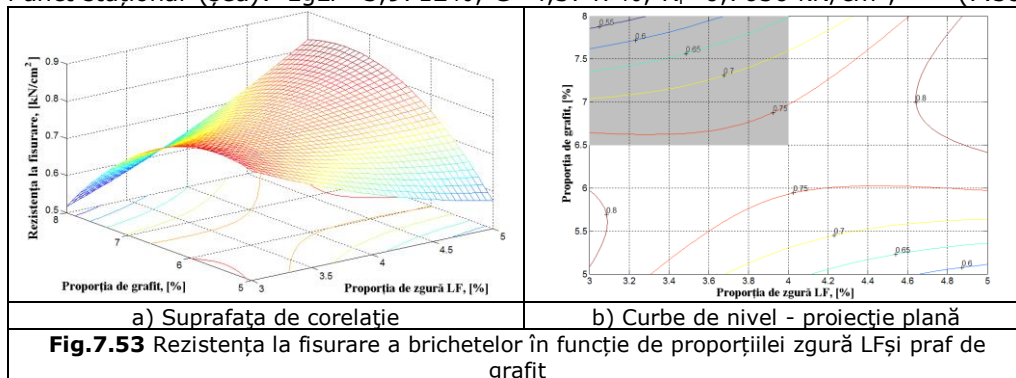
$$R_f = 0,7757 \text{ kN/cm}^2;$$



Corelația dublă: $V = V_{med} = 4,40\%$;

$$R_f = 0,0231(zgLF^2) - 0,0479(G^2) + 0,0881(zgLF)(G) - 0,7359(zgLF) + 0,2651(G) + 1,3456; \quad R^2 = 0,7230;$$

Punct staționar (șea): $zgLF = 3,9712\%$; $G = 4,5747\%$; $R_f = 0,7650 \text{ kN/cm}^2$; (7.58)

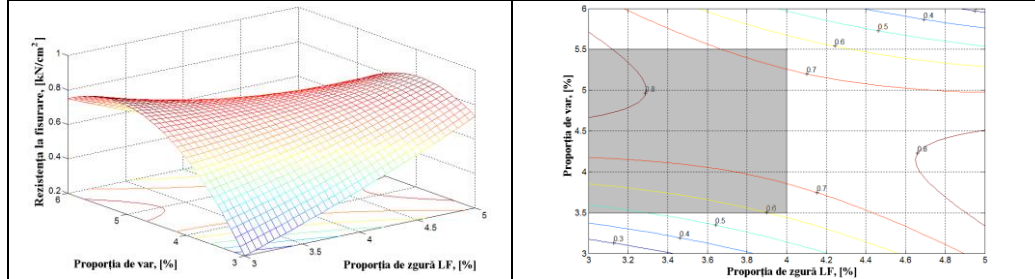


Corelația dublă pentru: $G=G_{med}=6,60\%$

$$R_f = 0,0231(zgLF^2) - 0,1324(V^2) - 0,1672(zgLF)(V) + 0,5818(zgLF) + 1,8760(V) - 4,6809;$$

$$R^2 = 0,2720 ;$$

Punct staționar (șea): $zgLF=3,9163\%$; $V=4,6753\%$; $R_f=0,9746 \text{ kN/cm}^2$; (7.59)



a) Suprafața de corelație

b) Curbe de nivel - proiecție plană

Fig.7.54 Rezistența la fisurare a brichetelor în funcție de proporțiile zgură LF și de praf

Corelația triplă :

$$I_s = 0,0042(zgLF)^2 - 0,0074(V)^2 + 0,0030(G^2) - 0,0069(zgLF)(V) - 0,0028(zgLF)(G) - 0,0017(V)(G) + 0,1245(V) - 0,0455(G);$$

$$R^2 = 0,8389;$$

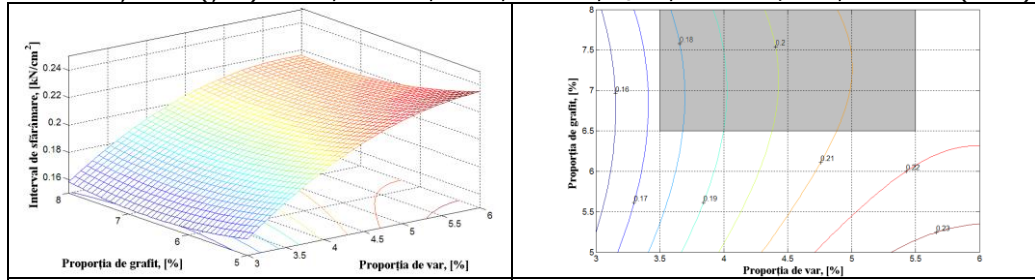
(7.60)

Corelația dublă pentru: $zgLF=zgLF_{med}=3,70\%$;

$$I_s = -0,0074(V^2) + 0,0030(G^2) - 0,0017(V)(G) + 0,0990(V) - 0,0350(G) + 0,0573 ;$$

$$R^2 = 0,6160;$$

Punct staționar (șea): $V=5,8557\%$; $G=7,5276\%$; $I_s=0,2155 \text{ kN/cm}^2$; (7.61)



a) Suprafața de corelație

b) Curbe de nivel - proiecție plană

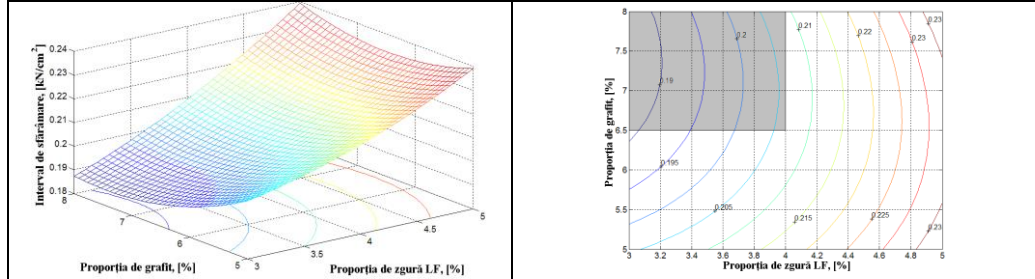
Fig.7.55 Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de praf de var și de praf de grafit

Corelația dublă: $V=V_{med}=4,40\%$;

$$I_s = 0,0042(zgLF^2) + 0,0030(G^2) + 0,0028(zgLF)(G) - 0,0302(zgLF) - 0,0529(G) + 0,4048;$$

$$R^2 = 0,1332;$$

Punct minim: $zgLF=0,7265\%$; $G=8,5300\%$; $I_s=0,1683 \text{ kN/cm}^2$; (7.62)



a) Suprafața de corelație

b) Curbe de nivel - proiecție plană

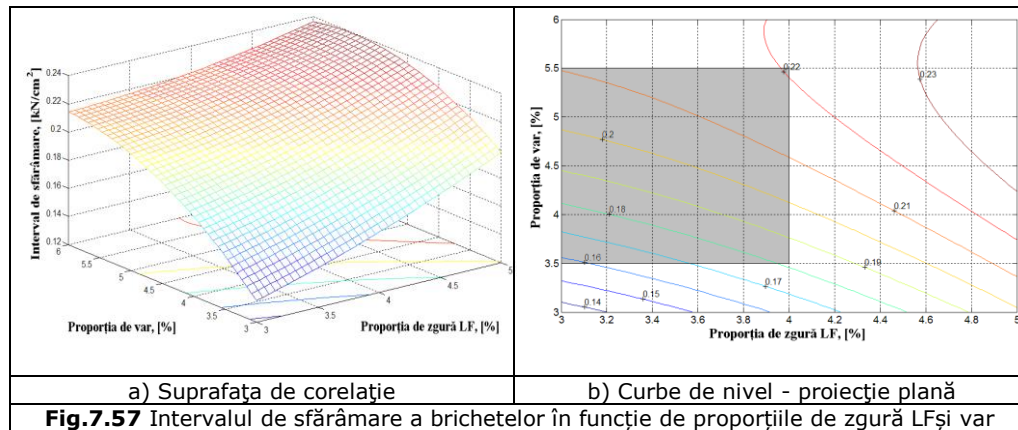
Fig.7.56 Intervalul de sfărâmare a brichetelor în funcție de proporțiile de zgură LF și grafit

Corelația dublă $G=G_{med} = 6,60\%$;

$I_s = 0,0042(zgLF^2) - 0,0074(V^2) - 0,0069(zgLF)(V) + 0,018(zgLF) + 0,1134(V) - 0,1704$;

$R = 0,7873$;

Punct staționar (șea): $zgLF = 2,9476\%$; $V = 6,3120\%$; $I_s = 0.2149 \text{ kN/cm}^2$; (7.63)



7.1.5.2 Analiza tehnologică a rezultatelor

Din analiza corelațiilor triple și duble obținute pentru cele două **variante A**, respectiv **B**, se poate considera că acestea sunt semnificative atât din punct de vedere a coeficientului de corelație, cât și ca sens tehnologic.

Sub formă analitică sunt prezentate atât corelațiile de gradul 3, cât și cele de gradul 2, dar grafic numai cele de gradul 2, cele de gradul 3 nu mai pot fi reprezentate în spațiul tridimensional (1 parametru dependent și 3 independenți).

Domeniile au fost stabilite pe baza limitelor de variație a parametrilor rezultați din corelațiile efectuate în programul EXCEL, astfel cunoscându-se valorile pentru parametrii independenți se poate determina valoarea parametrului dependent și invers.

De exemplu în figura 7.31 pentru 18% praf de oțelărie (PO) și 29,75% tunder (T) se obține pentru rezistența la sfărâmare $R_s = 1,0 \text{ kN/cm}^2$. Calculând în continuare participațiile celorlalte componente pe baza diagramelor de corelație, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 7.16.

Tabelul 7.16 Analiza suprafeței de corelație

Figura analizată	Participația în componența rețetei (rezultat din suprafața de corelație)						
	PAF	PO	T	ZO-FF	V	ZG-LF	G
7.31	-	18	29,85				
7.32	13,85	-	29,85				
7.40			29,85	21			
7.50						4	7
7.51					5,25	4	
Componență rețetă	13,85	18	29,85	21	5,35	4	7,25
TOTAL = 99,60%							

Ca urmare se poate constata că se poate stabili componența rețetelor pentru a obține valorile dorite pentru parametrii de calitate. Similar se poate analiza fiecare corelație.

7.2 Peletizarea prafului rezultat la epurarea gazelor la oțelăriile electrice

7.2.1 Considerații tehnologice

După cum a mai fost menționat în prezenta lucrare, actualmente pentru producerea oțelului, ca agregate de bază sunt convertizoarele cu oxigen și cuptoarele cu arc electric. Referitor la cuptoarele cu arc electric cca. 90% din oțelul elaborat prin acest procedeu provine din oțelăriile echipate cu cuptoare tip EBT (Excentric Bottom Tapping). Majoritatea acestor oțelării sunt echipate cu instalații de procesare a oțelului în oală cu aport de căldură (de tip LF), dar și de vidare fără aport de căldură (VD), dar și cu aport (VAD, VOD). Ca urmare o parte din fazele tehnologice sunt transferate din cuptor în oala de turnare (deoxidare, desulfurare, degazare, aliere), astfel încât aceste agregate, echipate cu transformatoare electrice de putere foarte mare, au devenit așa numite "mașini de topire". În timpul topirii se lucrează cu puterea maximă permisă și se suflă intens oxigen și material spumant prin lance. După terminarea topirii se face o afinare timp de 10-15min. cu suflare intensă de oxigen, după care se evacuează în oala de turnare și se continuă restul proceselor tehnologice în oală (LF și VD).

Ca urmare a folosirii intense a oxigenului în timpul topirii și afinării, se degajă cantități mari de praf, astfel încât epurarea gazelor este obligatorie. Praful (fumul brun) de oțelărie are influență foarte nocivă asupra mediului, negativă asupra populației umane, faunei, florei, poluează la nivel de aer, apă și sol. De asemenea contribuie în mare parte la corodarea construcțiilor, în mod deosebit a celor metalice.

În aceste condiții trebuie avute în vedere Normele Europene și Internaționale referitoare la mediu, precum și cele privind depozitarea deșeurilor. Normele Europene sunt foarte severe cu privire la depozitarea deșeurilor.

În țările cu industrie siderurgică dezvoltată, praful de oțelărie se valorifică prin reciclare, astfel încât poate fi considerat material secundar. Pe fluxul tehnologic de elaborare a oțelului în cuptoarele cu arc electric, tip EBT, este prevăzută și o instalație de peletizare pentru praful rezultat frecvent pe flux, dar cu toate acestea, în țară nu s-a practicat și nici în prezent nu se practică această operație tehnologică. Ca urmare, în aceste condiții praful, se depozitează fie în spații închise (hale dezafectate ca urmare a închiderii definitive a procesului de producție și scoaterii din uz a utilajelor, instalațiilor, echipamentelor etc.), fie în iazuri. În ambele cazuri problema este rezolvată doar temporar, cea mai eficientă soluție se consideră a fi punerea în funcțiune a instalației de peletizare și a unei tehnologii adecvate, cu condiția cel puțin a reciclării interne.

7.2.2 Caracteristicile componentelor șarjei de peletizare

Având în vedere aspectele prezentate anterior, s-a studiat și experimentat posibilitatea peletizării prafului de oțelărie direct pe fluxul tehnologic, fără alte adaosuri cu conținut de fier ci numai lianți și după caz reducători. Compoziția chimică a prafului de oțelărie se prezintă în tabelul 7.17 iar a materialelor utilizate ca lianți în tabelele 7.18-7.21.

Tabelul 7.17 Compoziția chimică a prafului de oțelărie, [%]

Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele	Total
58,892	2,62	79,82	2,84	1,18	4,16	0,86	4,14	0,72	0,28	1,46	1,92	100

Tabelul 7.18 Compoziția chimică a bentonitei, [%]

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
2,16	73,94	11,56	1,84	1,44	1,87	3,95	3,24	100

Tabelul 7.19 Compoziția chimică a varului, [%]

Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Total
0,54	1,32	1,84	94,15	1,131	0,54	0,22	0,09	100

Tabelul 7.20 Compoziția chimică a zgurei de rafinare LF, [%]

FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	TiO ₂	V ₂ O ₅	Total
0,035	0,326	14,32	20,87	55,08	8,21	0,29	0,034	1,01	0,05	0,11	100

Tabelul 7.21 Compoziția chimică a cimentului, [%]

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	Altele	Total
62,12	21,36	10,87	2,24	1,81	0,29	0,034	1,01	0,05	0,11	0,126	100

Experimentările au avut în vedere producerea peletelor după trei variante tehnologice (A, B și C), în fiecare caz fiind produse pelete după 3 rețete, astfel:

- în cazul variantei A s-a avut în vedere producerea peletelor metalizate, motiv pentru care în șarja de peletizare s-a introdus grafit;
- la varianta B s-a avut în vedere numai durificare la cald, nu și reducerea oxizilor;
- la ambele variante tehnologice pe lângă bentonita cu rol de liant s-a mai utilizat var și zgură de rafinare LF;
- la varianta C, alături de ciment utilizat ca liant, nu s-a utilizat zgură de furnal măcinată ci zgură de rafinare LF;
- s-a utilizat în toate cazurile zgura de rafinare, pentru a testa reciclarea acesteia în industria siderurgică.

Compoziția granulometrică a materialelor utilizate pentru producerea peletelor după tehnologia de durificare la cald varianta A și B, respectiv cu liant la rece (varianta C) sunt prezentate în tabelul 7.6.

7.2.2.1 Rețetele de producere a peletelor

În continuare se prezintă componența rețetelor pentru fiecare variantă tehnologică.

Varianta tehnologică - A

Tabelul 7.22 Componența rețetelor, [%]

Rețeta	Praf oțelărie	Praf grafit	Bentonită	Var	Zgură LF
A1	80	14	2	2	2
A2	78	14	2	2	4
A3	76	14	2	3	5

Varianta tehnologică - B

Tabelul 7.23 Componența rețetelor, [%]

Rețeta	Praf oțelărie	Bentonită	Var	Zgură LF
B1	94	2	2	2
B2	92	2	2	4
B3	90	2	3	5

Varianta tehnologică - C

Tabelul 7.24 Componența rețetelor, [%]

Rețeta	Praf oțelărie	Ciment	Zgură LF
C1	88	7	5
C2	90	6	4
C3	88	5	7

7.2.2.2 Producerea peletelor

Peletele au fost produse în aceleași condiții ca cele studiate în cadrul capitolului 5, cu deosebirea că în acest caz s-a utilizat un singur component feros și anume praful de oțelărie electrică. Pentru fiecare variantă greutatea șarjei de peletizare, incluzând toate componentele, a fost de 1,5kg. La terminarea peletizării din fiecare șarjă, la toate variantele tehnologice și rețetelor, a fost prelevată probă (proba crudă) pentru determinarea compoziției chimice (tabelul 7.25).

Tabelul 7.25 Compoziția chimică a peletelor crude, [%]

V-R	Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
A1	46,83	2,10	63,91	4,06	1,63	6,35	0,91	3,37	0,58	0,25	1,17	15,67
A2	45,67	2,05	62,33	4,29	2,02	7,37	1,05	3,29	0,57	0,26	1,14	15,64
A3	44,51	1,99	60,74	4,39	2,23	8,78	1,13	3,21	0,56	0,27	1,11	15,60
B1	55,03	2,46	75,09	4,46	1,79	6,93	1,02	3,95	0,68	0,29	1,37	1,95
B2	53,86	2,41	73,50	4,69	2,19	7,95	1,17	3,87	0,67	0,30	1,34	1,91
B3	52,70	2,36	71,91	4,79	2,39	9,36	1,25	3,79	0,66	0,31	1,31	1,87
C1	51,49	2,31	70,26	4,71	2,84	10,76	1,29	3,68	0,64	0,37	1,28	1,86
C2	52,66	2,36	71,85	4,41	2,55	9,67	1,21	3,76	0,65	0,35	1,31	1,87
C3	51,49	2,31	70,26	4,57	3,04	10,62	1,42	3,68	0,64	0,37	1,28	1,80

7.2.2.3 Durificarea peletelor prin ardere

Peletele produse după varianta A și B au fost durificate prin ardere în cuptorul calcinare/topire tip LHT 02/17 (fig.4.26) și cuptor cu rezistori (fig.4.27) cu respectarea diagramei de ardere (fig.5.2). Au fost durificate pelete din fiecare rețetă, nefiind efectuată o sortare dimensională a acestora înaintea procesului de durificare.

Din fiecare șarjă de pelete durificate prin ardere s-au prelevat probe pentru determinarea compoziției chimice și a rezistenței la compresiune.

În continuare se prezintă rezultatele obținute.

Tabelul 7.26 Compoziția chimică a peletelor durificate prin ardere (varianta A), [%]

V-R	¹⁾ Fe _{met.red.}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
A1	67,07	0,42	7,62	5,56	2,23	8,70	1,25	4,61	0,79	0,34	0,06	1,31
A2	66,06	0,34	6,98	5,74	2,29	8,96	1,29	4,75	0,81	0,35	0,06	1,36
A3	65,62	0,33	6,42	5,91	2,35	9,23	1,33	4,91	0,85	0,38	0,06	1,56

¹⁾Fierul rezultat din reducerea oxizilor de fier

Tabelul 7.27 Compoziția chimică a peletelor durificate prin ardere (varianta B), [%]

V-R	Fe _{total}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
B1	55,16	2,51	75,09	4,47	1,69	6,86	1,01	4,85	0,68	0,28	1,36	1,89
B2	53,35	2,43	73,51	4,63	2,17	7,91	1,16	3,87	0,67	0,30	1,35	1,91
B3	52,25	2,36	71,92	4,77	2,40	9,32	1,19	3,78	0,65	0,31	1,32	1,92

¹⁾Fierul din oxizi

Din analiza datelor prezentate în tabelul 7.26 se constată pentru varianta A, un grad ridicat de reducere a oxizilor de fier și de eliminare a zincului (Zn, de dezincare), astfel :

- Varianta A1** - $\eta_{Fe} = (Fe_{redus}/Fe_{total})100 = (67,07/72,73)100 = 92,22\%$;
 - $\eta_{e.zn} = (Zn_{redus}/Zn_{ZnO})100 = (0,89/0,94)100 = 94,69\%$;
Varianta A2 - $\eta_{Fe} = (Fe_{redus}/Fe_{total})100 = (66,06/71,21)100 = 92,76\%$;
 - $\eta_{e.zn} = (Zn_{redus}/Zn_{ZnO})100 = (0,87/0,92)100 = 94,56\%$;
Varianta A3 - $\eta_{Fe} = (Fe_{redus}/Fe_{total})100 = (65,62/70,37)100 = 93,32\%$;
 - $\eta_{e.zn} = (Zn_{redus}/Zn_{ZnO})100 = (0,85/0,29)100 = 95,51\%$;

Deci se poate observa că s-a obținut un material redus, mai precis pelete metalizate, utilizabile în încărcătura cuptoarelor cu arc electric.

Gradul de reducere cu carbon pentru oxizii de fier a fost cuprins între 92-94%, fiind semnificativă capacitatea de reducere a carbonului, la aceasta contribuind și faptul că atmosfera cuptorului a fost mai puțin oxidantă, deoarece pentru încălzire s-a făcut uz de energie electrică.

Referitor la oxidul de zinc și acesta a fost redus avansat, gradul de reducere fiind cuprins între 94-96%. Au fost constatate depuneri de zinc pe tăvile în care au fost introduse peletele pentru durificare (fig.5.6 și 5.7). Depunerea zincului sub formă de oxid s-a constatat după finalizarea procesului de ardere.

De asemenea peletele produse după varianta tehnologică B pot fi utilizate (material procesat reciclabil) în încărcătura cuptorului cu arc electric.

După durificare s-a determinat pentru ambele variante rezistența la compresiune la Laboratorul Rezistența Materialelor, la mașina de încercări la compresiune prezentată în lucrare (fig.4.32).

Determinările au fost făcute pentru pelete cu diametru: 10; 12; 14; 16; 18 și 20mm, câte trei determinări pentru fiecare diametru.

În continuare în tabelele 7.28 și 7.29 se prezintă rezultatele obținute.

Tabelul 7.28 Rezistența la compresiune a peletelor Varianta tehnologică-A, [daN/peletă]

Nr. Crt.	Diametrul [mm]	A1	A2	A3
1	10	191	198	195
2	10	195	206	202
3	10	192	203	198
4	12	242	253	250
5	12	253	261	258
6	12	244	257	239
7	14	268	276	270
8	14	274	288	280
9	14	265	276	270
10	11	282	305	298
11	16	306	312	300
12	16	295	309	300
13	18	305	317	302
14	18	320	333	324
15	18	296	315	316
16	20	342	353	345
17	20	354	370	360
18	20	347	358	350

Tabelul 7.29 Rezistența la compresiune a peletelor Varianta tehnologică-B, [daN/peletă]

Nr. Crt.	Diametrul [mm]	B1	B2	B3
1	10	170	170	190
2	10	165	165	177
3	10	160	190	185
4	12	185	200	200
5	12	190	210	205
6	12	200	205	205
7	14	200	216	222
8	14	205	220	225
9	14	208	213	222
10	16	215	215	236
11	16	225	222	235
12	16	224	219	226
13	18	230	230	248
14	18	235	235	240
15	18	235	236	245
16	20	240	245	250
17	20	250	251	255
18	20	245	249	255

În continuare se prezintă structura granulometrică a peletelor durificate prin ardere (variantele tehnologice A și B).

Tabelul 7.30 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică - A

Varianta/Rețeta	Clase granulometrice, [%]				
	Sub 5mm	5-10mm	10-15mm	15-20mm	Peste 20mm
A1	1,76	3,65	68,73	23,51	2,35
A2	1,33	3,26	70,22	22,87	2,32
A3	1,41	3,25	72,02	21,07	2,25

Tabelul 7.31 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică - B

Varianta/Rețeta	Clase granulometrice, [%]				
	Sub 5mm	5-10mm	10-15mm	15-20mm	Peste 20mm
B1	1,26	2,64	81,12	12,83	2,15
B2	1,24	2,88	81,50	12,49	1,89
B3	1,11	2,75	83,16	11,21	1,79

Datele obținute privind rezistența la compresiune a peletelor, în funcție de diametrul acestora, au fost prelucrat în programul de calcul EXCEL, stabilindu-se ecuații de corelație polinomială de gradul 2 pentru ambele variante (A și B), acestea fiind prezentate în cele ce urmează.

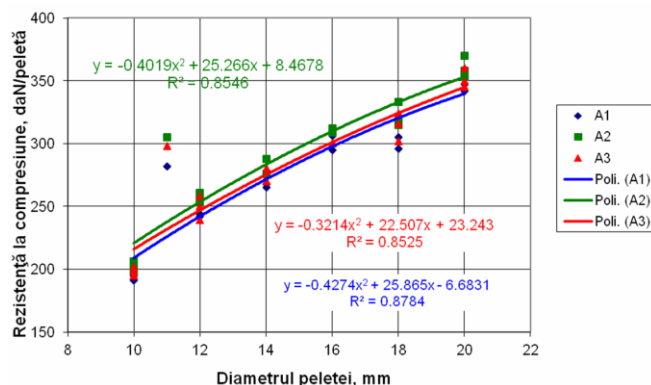


Fig.7.58 Rezistența peletelor în funcție de diametru (varianta tehnologică-A)

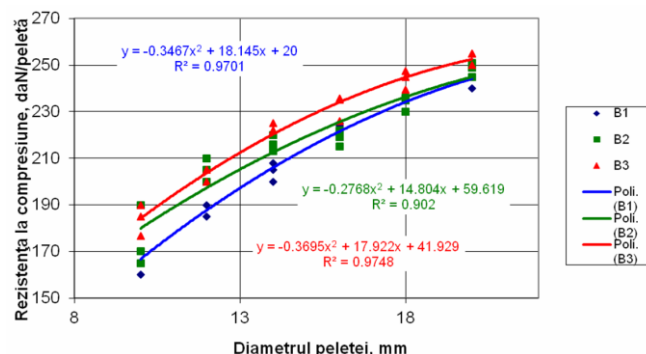


Fig.7.59 Rezistența peletelor în funcție de diametru (varianta tehnologică-B)

7.2.2.4 Durificarea peletelor cu liant la rece (varianta tehnologică C)

Peletele produse după această varianta tehnologică C, respectiv după fiecare rețetă, au fost durificate la rece după 2 subvariante, astfel:

- în cazul variantei C, peletele produse după rețetele C1, C2 și C3 au fost grupate în 2 serii notate:
- seria C11; C21 și C31, peletele au fost durificate în laborator pe durata a 28 de zile la o temperatură de 20-23°C;
- seria C12; C22 și C32, peletele au fost durificate în laborator 12 ore la o temperatură de 20-23°C, după care 300 de ore în etuvă la o temperatură de 40°C și 168 de ore la 60°C (în total 480);

Pe durata durificării la rece s-a urmărit evoluția în timp a durificării peletelor în funcție de diametrul acestora, respectiv s-a determinat rezistența la compresiune a peletelor în funcție de diametrul acestora. În fiecare caz au fost făcute trei determinări, luând în calcul valoarea medie (rotunjită).

Datele obținute sunt prezentate în tabelele 7.32 și 7.33 pentru varianta C1 (C11 și C12), tabelele 7.34 și 7.35 pentru varianta C2 (C21 și C22) și tabelele 7.36 și 7.37 pentru variantele C3 (C31 și C32).

Datele obținute privind rezistența la compresiune a peletelor, în funcție de

diametrul acestora și durata durificării au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, stabilindu-se ecuații de corelație polinomială de gradul 2 pentru toate cazurile din varianta C.

În continuare se prezintă rezultatele obținute.

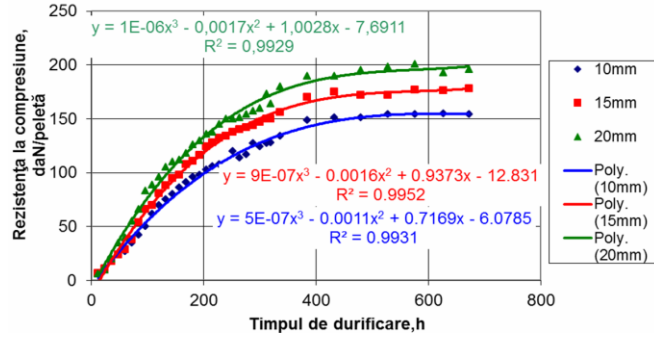


Fig.7.60 Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C11)

Tabelul 7.32 Rezistența la compresiune a peletelor (varianta tehnologică-C11)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	7	6	5
	24	13	11	12
	36	22	20	18
2	48	24	24	24
	60	28	36	30
3	72	35	47	50
	84	42	54	66
4	96	50	66	83
	108	62	70	89
5	120	70	81	96
	132	75	90	105
6	144	80	95	110
	156	86	101	112
7	168	91	108	118
	180	96	116	126
8	192	101	120	130
	204	108	125	136
9	216	112	129	138
	228	118	132	145
10	240	119	136	150
	252	128	138	152
11	264	121	140	155
	276	141	144	161
12	288	145	148	166
	300	130	151	165
13	312	133	156	171
	324	134	150	176
14	336	135	159	177
	384	145	168	186
16	384	145	168	186
18	432	147	173	194
20	480	155	176	198
22	528	165	178	202
24	576	168	183	203
26	624	170	186	204
28	672	171	186	206

Tabelul 7.33 Rezistența la compresiune a peletelor (varianta tehnologică-C12)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	9	8	7
	24	22	18	17
	36	23	22	20
2	48	30	28	26
	60	36	36	46
3	72	41	48	56
	84	47	52	67
4	96	57	68	85
	108	64	73	98
5	120	77	87	108
	132	84	90	119
6	144	87	95	128
	156	92	110	135
7	168	96	117	141
	180	111	123	148
8	192	118	125	161
	204	127	132	171
9	216	131	146	175
	228	132	155	178
10	240	134	165	178
	252	144	170	192
12	288	144	170	192
14	336	153	172	199
16	384	161	182	206
18	432	172	200	215
20	280	147	183	188

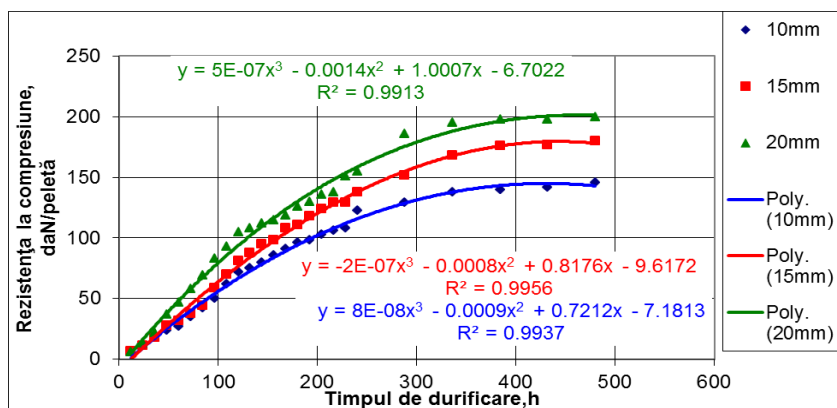


Fig.7.61 Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C12)

Tabelul 7.34 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C21)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	7	6	5
	24	13	11	12
2	36	22	20	18
	48	24	24	24
3	60	28	36	30
	72	35	47	50
4	84	42	54	66
	96	50	66	83
5	108	62	70	89
	120	70	81	96
6	132	75	90	105
	144	80	95	110
7	156	86	101	112
	168	91	108	118
8	180	96	116	126
	192	101	120	130
9	204	108	125	136
	216	112	129	138
10	228	118	132	145
	240	119	136	150
11	252	128	138	152
	264	121	140	155
12	276	141	144	161
	288	145	148	166
13	300	130	151	165
	312	133	156	171
14	324	134	150	176
	336	135	159	177
16	384	142	166	184
18	432	146	173	188
20	480	164	180	200
22	528	164	184	196
24	576	164	184	204
26	624	167	183	202
28	672	163	181	196

Tabelul 7.35 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C22)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	8	7	6
	24	16	15	12
2	36	38	37	32
	48	48	54	53
3	60	60	65	60
	72	64	74	68
4	84	76	92	90
	96	80	99	95
5	108	90	97	115
	120	110	108	120
6	132	105	125	136
	144	123	126	142
7	156	127	135	155
	168	135	150	168
8	180	140	153	174
	192	142	156	181
9	204	143	160	183
	216	145	164	186
10	228	150	166	182
	240	150	166	188
12	288	159	167	190
14	336	161	170	193
16	384	167	176	197
18	432	165	181	205
20	480	165	173	200

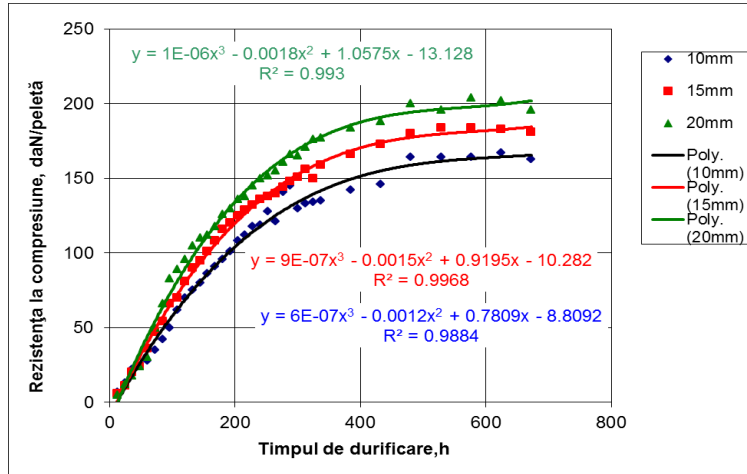


Fig.7.62 Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C21)

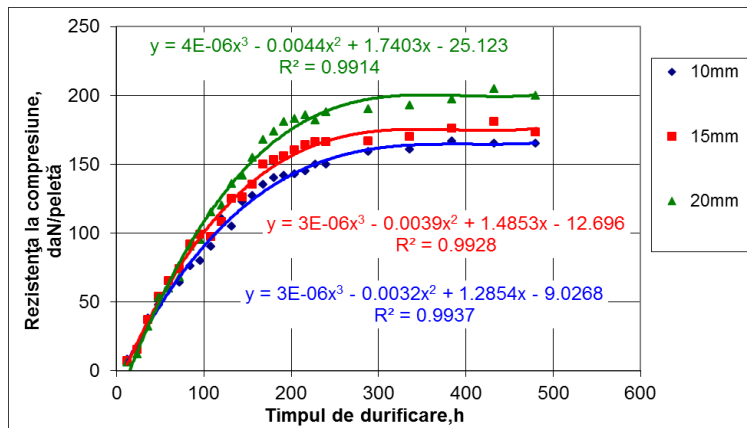


Fig.7.63 Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C22)

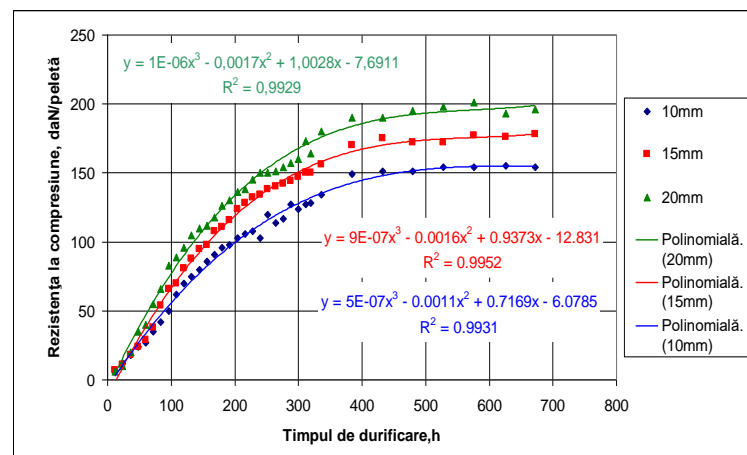


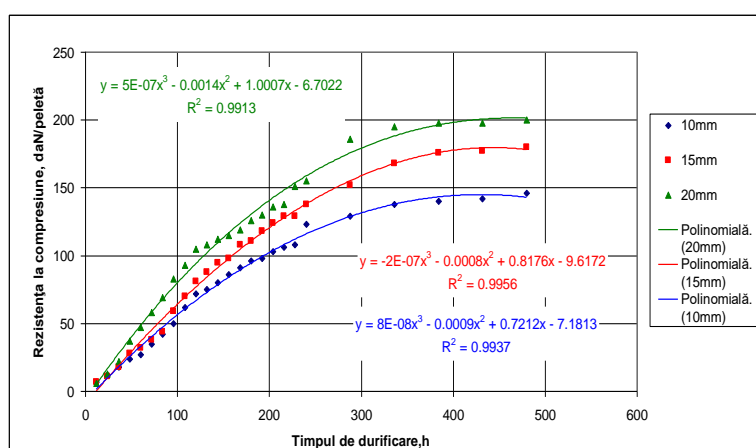
Fig.7.64 Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C31)

Tabelul 7.36 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C31)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	7	7	6
	24	12	11	10
2	36	18	18	20
	48	24	24	35
3	60	27	29	40
	72	35	38	55
4	84	42	54	66
	96	50	66	83
5	108	62	70	89
	120	70	81	96
6	132	75	88	105
	144	80	95	110
7	156	86	98	112
	168	91	108	118
8	180	96	111	126
	192	98	116	130
9	204	103	124	136
	216	106	128	138
10	228	108	132	145
	240	103	134	150
11	252	120	138	150
	264	114	140	151
12	276	117	142	154
	288	127	144	157
13	300	124	147	160
	312	127	150	173
14	324	128	150	164
	336	134	156	180
16	384	149	170	190
18	432	151	175	190
20	480	151	172	195
22	528	154	172	198
24	576	154	177	201
26	626	155	176	193
28	672	154	178	196

Tabelul 7.37 Rezistența la compresiune a peletelor durificate (varianta tehnologică-C32)

Zile	Durata [h]	Diametrul peletelor, [mm]		
		10	15	20
1	12	7	7	6
	24	12	11	13
2	36	18	18	22
	48	24	28	37
3	60	27	32	47
	72	35	38	58
4	84	42	44	69
	96	50	59	83
5	108	62	70	93
	120	72	81	105
6	132	75	88	108
	144	80	95	112
7	156	86	98	115
	168	91	108	119
8	180	96	111	126
	192	98	118	130
9	204	103	124	136
	216	106	129	138
10	228	108	129	142
	240	123	138	155
12	288	29	170	192
14	336	153	172	199
16	384	161	182	206
18	436	172	200	215
20	280	160	183	188

**Fig.7.65** Rezistența la compresiune a peletelor durificate la rece (varianta C32)

Tabelul 7.38 Compoziția granulometrică a peletelor durificate, varianta tehnologică-C

Varianta/Rețeta	Clase granulometrice, [%]				
	Sub 5mm	5-10mm	10-15mm	15-20mm	Peste 20mm
C11	1,33	3,22	75,04	17,47	2,94
C21	1,82	3,68	74,92	16,83	2,75
C31	1,91	3,62	74,63	16,93	2,91
C12	1,36	3,58	75,15	16,98	2,93
C22	1,59	3,94	75,52	16,06	2,89
C32	1,75	4,15	75,71	16,21	2,18

7.2.2.5 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experimentărilor efectuate, a informațiilor vizuale referitoare la procesul de peletizare se pot afirma următoarele:

- din punct de vedere al granulației, atât praful de oțelărie cât și celelalte componente ale șarjei de peletizare (în cazul celor trei variante - A, B și C) corespund cerințelor impuse pentru procesul de peletizare;
- praful de oțelărie are un conținut relativ ridicat de fier (58-59% Fe) prezent sub formă de oxizi (cca 95% sub formă de Fe_2O_3 și restul FeO);
- conținutul de zinc este relativ destul de scăzut (1,46% ZnO, respectiv 1,17% Zn și restul de 0,29% O), praful utilizat la experimentări a provenit de la șarje experimentale cu încărcătură metalică sortată și pregătită pentru șarjare;
- la toate variantele experimentale, procesul de peletizare a decurs corespunzător din punct de vedere tehnologic (peletele crude fiind corespunzătoare atât din punct de vedere al formei, cât și distribuției granulometrice);
- la varianta tehnologică **A** s-a constatat că datorită prezenței carbonului (sub formă de grafit) în timpul arderii peletelor în cuptorul electric cu rezistență a avut loc și procesul de reducere a oxizilor de fier și de zinc;
- în funcție de compoziția rețetelor gradul de reducere a oxizilor de fier a variat între 92-94% putând fi considerat foarte bun;
- gradul de reducere a zincului a fost cuprins între 94-96%;
- referitor la rezistența la compresiune, se constată că au fost obținute valori ridicate (tab.7.28 și fig.7.58) pentru această caracteristică; peletele fiind în stare redusă se constată o deformare (o aplatizare) înaintea fisurării;
- din punct de vedere a compoziției granulometrice (tab.7.30) se poate considera fără nici o rezervă că peletele pot fi utilizate în încărcătura agregatelor siderurgice (furnal, cuptor cu arc electric, respectiv convertizor cu oxigen);
- referitor la varianta tehnologică **B** procesul de durificare la cald, a decurs foarte bine, dovadă fiind valorile obținute pentru rezistența la compresiune și structura granulometrică (tab.7.29; fig.7.59 și tab.7.31);
- neavând în componența rețetelor reducător (grafit), pe durata durificării nu au avut loc procese de reducere a oxizilor;
- la fel ca și în cazul anterior peletele pot fi procesate fie în încărcătura furnalelor ca materie primă feroasă, fie la oțelării (cuptoare cu arc electric, convertizoare cu oxigen) ca material oxidant (substitute parțial minereul de fier);
- în cazul experimentărilor producerii peletelor după varianta **C** s-a avut în vedere durificarea peletelor la rece, acestea fiind produse ca și în cazurile anterioare tot după 3 rețete (C1; C2 și C3), componentele fiind aceleași pentru fiecare rețetă, diferind doar participațiile;
- durificarea la rece a decurs corespunzător în cazul fiecărei variante, respectiv serie și nu s-au constatat fisuri pe suprafața peletelor;
- referitor la compoziția granulometrică (tab.7.38) poate fi considerată

corespunzătoare atât pentru procesarea în furnal sau cuptoare cu arc electric;

- din punct de vedere al rezistenței la compresiune peletele sunt corespunzătoare, indiferent de rețetă și serie;
- din analiza corelațiilor datelor privind rezistența la compresiune a peletelor în funcție de durata durificării se constată o creștere a durtății în timp, fiind mai accentuată pentru peletele cu diametru de 10 și 15mm în primele 48-60 de ore după care creșterea este mai pronunțată pentru cele cu diametru de 25mm;
- din fig.7.60; 7.62 și 7.64 s-a constatat că după o menținere în aer de 240-260 ore (10-12 zile) rezistența la compresiune crește mai încet, menținându-se aproximativ constantă în intervalul 476-672 ore (24-28 zile);
- valorile mai mari pentru Rc s-au obținut la peletele produse după varianta/seria C11 200-220daN/peletă, la C21 și C31 180-200 daN/peletă (pelete cu diametru 20mm);
- în cazul durificării în etuvă se constată că în intervalul 150-300 ore, rezistența la compresiune crește moderat, după care până la 480 ore menținându-se aproximativ constantă:
- valorile pentru Rc produse după varianta/seria C12, C22 și C32 sunt foarte apropiate de cele produse după varianta/seria C11, C21 și C31.

În practică rolul etuvei poate fi îndeplinit de o cameră de durificare, racordată la traseul de evacuare a gazelor după filtrare (peletizorul este amplasat pe fluxul tehnologic de epurare a gazelor).

În concluzie se consideră că peletizarea, indiferent de variantă aplicată este o soluție tehnologică de reciclarea a prafului de oțelărie în procesul de elaborare a fontei și oțelului.

7.3 Cercetări privind valorificarea prafurilor rezultate din procesele siderurgice prin aglomerare

7.3.1 Considerații tehnologice

Cu toate că s-au extins procedeele de procesare a materiilor prime feroase prin brichetare, peletizare și o serie de procedee noi, procedeul de bază care asigură cel mai bine transformarea minereurilor (respectiv deșeurilor feroase) mărunte și fine în bulgări, combinat cu o pregătire termică bine concepută este aglomerarea.

Ca urmare a restructurării economice în industria siderurgică au rămas cantități mari de deșeuri feroase depozitate în halde și iazuri, care la ora actuală creează probleme deosebite din punct de vedere a protecției mediului.

În prezent în țară 5 centre siderurgice prevăzute în fluxul tehnologic cu furnale, 4 dintre acestea au fost dezafectate (practic din 19 furnale în funcțiune și 1 utilat în proporție de peste 86% mai există un furnal în funcțiune - Galați 1 din 6), ceea ce a redus foarte mult posibilitățile de procesare a deșeurilor mărunte și pulverulente prin aglomerare.

În sensul celor prezentate anterior, au fost efectuate cercetări pentru valorificarea deșeurilor prezentate în subcapitolul 7.1 prin aglomerare în instalații discontinue. Instalațiile discontinue prezintă avantajul că pot fi ușor amplasate la sursa de deșeuri, cheltuielile sunt mai mici și se adaptează mai ușor la funcționarea cu pauze mai mari (funcționare discontinuă în timp nu ca proces tehnologic). De dorit a se produce din deșeuri aglomerat cu grad ridicat de metalizare (aproiat de limita superioară), chiar dacă conținutul de fier este puțin sub 50% (este economic dacă se are în vedere penalizările cauzate de protecția mediului), pe de o parte, iar pe de altă parte sortimentul de încărcătură metalică "**scoarțe**" de multe ori are un conținut de fier (Fe_{total}) sub 50% .

7.3.2 Calitatea aglomeratului

Calitatea aglomeratului este influențată în mod direct de calitatea materiilor prime, de gradul de pregătire a acestora, componența șarjei și de desfășurarea tehnologică a procesului de aglomerare. Indicatorii în funcție de care se apreciază calitatea aglomeratului produs în cazul experimentărilor sunt:

- compoziția chimică și mineralogică;
- rezistența și granulația;
- reductibilitatea și porozitatea;
- conținutul de substanțe nocive.

Având în vedere că se experimentează producerea unor sortimente de aglomerat procesării în cuptoarele cu arc electric, s-a considerat că nu se impune determinarea compoziției mineralogice, reductibilității și porozității.

Determinarea rezistenței aglomeratului s-a efectuat la toba Micum.

7.3.3 Experimentări și rezultate

Experimentările au fost efectuate pe aceeași instalație ca cea prezentată la subcapitolul 5.3.

Experimentările au decurs în două variante tehnologice (**A, B și C**) în cadrul fiecărei variante fiind experimentate 2 rețete, pentru fiecare rețetă au fost produse 2 șarje, deci în total 6 șarje.

Compoziția chimică a componentelor șarjei de aglomerare este aceeași ca în cazul brichetării și anume: praf de furnal (tabelul 7.1); praf de oțelărie electrică (tabelul 7.2); țunder (tabelul 7.3); zgură de oțelărie fracția feroasă (tabelul 7.4) și zgură de rafinare LF (tabelul 7.5).

La aglomerare s-a folosit cocs mărunț și nu grafit ca în cazul brichetării.

Compoziția chimică a cocsului mărunț și cenușii se prezintă în tabelele 7.39 și 7.40.

Tabelul 7.39 Compoziția chimică a cocsului mărunț, [%]

H ₂ O (W)	MV-materii volatile	A- cenușă	S	C _{fix}
12,03	2,42	13,53	1,87	70,15

Tabelul 7.40 Compoziția chimică a cenușii cocsului mărunț, [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe	Mn	S	P
35,09	24,11	7,23	2,57	20,51	0,22	1,63	0,11

Compoziția rețetelor pentru fiecare variantă se prezintă în tabelul 7.41.

Tabelul 7.41 Componența șarjelor de aglomerare

Nr. Rețetă	Compoziții, [%]					
	Praf furnal	Praf oțelărie	Țunder	Zgură de oțelărie fracția feroasă	Cocs mărunț	Zgura reducătoare LF
Varianta tehnologică A						
R1A	10	30	40	-	15	5
R2A	5	25	50	-	15	5
Varianta tehnologică B						
R1B	10	30	20	20	15	5
R2B	10	30	30	10	15	5
Varianta tehnologică C						
R1C	-	30	50	-	15	5
R2C	-	40	40	-	15	5

Odată stabilite rețetele de aglomerare s-a trecut la dozarea șarjei, adică la cântărirea fiecărui sortment de material conform rețetei și omogenizarea în toba de amestec, unde au fost umectate pentru formarea micropetelelor. Dozarea a fost efectuată pentru o greutate a șarjei crude de 30kg. Adaosul de apă a fost de 7,0% din greutate. Compoziția chimică este prezentată în tabelele 7.42; 7.43 și 7.44.

În continuare șarja bine omogenizată și umectată, a fost introdusă în instalația de aglomerare, având în vedere ca să fie uniform repartizată și compactată, astfel încât să se asigure aspirația uniformă a aerului prin stratul de aglomerat (arderea cocsului și căldura să se repartizeze uniform în masa de aglomerat) să se evite aspirația periferică sau prin canale a aerului.

Înălțimea stratului de aglomerat din instalație înainte și după terminarea procesului de peletizare se prezintă în tabelul 7.45.

Tabelul 7.45 Înălțimea stratului de aglomerat în faza inițială și finală, [mm]

Rețeta	R1A	R2A	R1B	R2B	R1C	R2C
H _i	320	313	318	322	326	322
H _f	281	276	291	292	294	286

Durata procesului de aglomerare propriu-zisă și o răcire primară a fost de 50 minute, iar după 60 minute aglomeratul a fost evacuat din instalație, fiind lăsat în continuare 120 minute pentru răcire, după care a fost prelevată probă pentru determinarea compoziției chimice.

Pentru determinarea rezistenței, aglomeratul a fost supus sortării granulometrice pentru a obține fracția peste 10mm. Valorile rezistenței aglomeratului sunt prezentate în tabelul 7.46.

Tabelul 7.46 Rezistența aglomeratului (fracția f_{0-5mm}), [%]

1R1A	2R1A	1R2A	2R2A	1R1B	2R1B	1R2B	2R2B	1R1C	2R1C	1R2C	2R2C
22,71	22,23	23,54	23,12	21,18	21,98	20,67	20,58	19,34	18,76	18,97	19,65

Compoziția chimică a aglomeratului, indicele de bazicitate și gradul de metalizare se prezintă în tabelele 7.47; 7.48 și 7.49

Aspecte din timpul procesului de aglomerare se prezintă în fig.7.66.



Fig.7.66 Aspecte din procesul de aglomerare

Tabelul 7.42 Compoziția șarjei de aglomerare (stare inițială/șarja crudă). Varianta tehnologică A

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]													(CaO)/(SiO ₂)	
	*Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	C	PC		Alt comp.
1R1A	47,68	29,81	35,34	2,14	4,86	4,15	1,87	1,07	0,54	0,51	0,31	12,80	0,12	6,01	2,27
2R1A	47,68	29,81	35,34	2,14	4,86	4,15	1,87	1,07	0,54	0,51	0,31	12,80	0,12	6,01	2,27
1R2A	50,81	36,21	32,71	1,86	4,53	4,38	1,81	1,51	0,22	0,68	0,25	11,61	0,0,6	3,49	2,46
2R2A	50,81	36,21	32,71	1,86	4,53	4,38	1,81	1,51	0,22	0,68	0,25	11,61	0,0,6	3,49	2,46

*Fe_{tot} = Fe_{FeO}+Fe_{Fe₂O₃}**Tabelul 7.43** Compoziția șarjei de aglomerare (stare inițială/ șarja crudă). Varianta tehnologică B

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]													(CaO)/(SiO ₂)	
	*Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	C	PC		Alt comp.
1R1B	47,12	23,56	36,13	4,12	6,96	6,25	1,39	0,87	0,63	0,42	0,31	12,82	0,12	6,64	1,71
2R1B	47,12	23,56	36,13	4,12	6,96	6,25	1,39	0,87	0,63	0,42	0,31	12,82	0,12	6,64	1,71
1R2B	45,13	26,12	35,84	3,45	5,34	5,65	3,12	1,81	0,62	0,44	0,31	12,76	0,12	5,82	1,55
2R2B	45,13	26,12	35,84	3,45	5,34	5,65	3,12	1,81	0,62	0,44	0,31	12,76	0,12	5,82	1,55

*Fe_{tot} = Fe_{FeO}+Fe_{Fe₂O₃}**Tabelul 7.44** Compoziția șarjei de aglomerare (stare crudă/șarja crudă). Varianta tehnologică C

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]													(CaO)/(SiO ₂)	
	*Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	C	PC		Alt comp.
1R1B	52,33	34,99	36,25	2,87	4,13	2,37	1,89	1,65	0,52	0,46	0,31	12,34	-	3,02	1,44
2R1B	52,33	34,99	36,25	2,87	4,13	2,37	1,89	1,65	0,52	0,46	0,31	12,34	-	3,02	1,44
1R2B	56,32	28,21	47,43	2,24	3,88	2,36	1,23	1,64	0,55	0,43	0,26	12,81	-	2,11	1,73
2R2B	56,32	28,21	47,43	2,24	3,88	2,36	1,23	1,64	0,55	0,43	0,26	12,81	-	2,11	1,73

*Fe_{tot} = Fe_{FeO}+Fe_{Fe₂O₃}

Tabelul 7.47 Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică A

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]																CaO/SiO ₂	G _{met} [%]
	*Fe _{tot}	Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Pb	As	Alte			
IR1A	65,66	45,68	11,92	14,14	2,85	6,48	5,53	2,39	1,48	0,74	0,69	0,01	0,01	0,02	8,12	2,27	69,57	
2R1A	65,33	46,43	11,87	13,92	2,54	6,57	5,54	2,37	1,47	0,34	0,67	0,01	0,01	0,02	8,11	2,58	71,06	
IR2A	65,65	46,41	13,43	12,73	2,48	6,14	5,84	2,39	2,04	0,22	0,73	0,01	0,01	0,02	8,06	2,47	70,69	
2R2A	64,61	46,56	12,22	12,32	2,46	6,13	5,88	2,41	2,01	0,22	0,72	0,01	0,01	0,02	8,04	2,49	72,06	

*Fe_{tot} = Fe_{met} + Fe_{FeO} + Fe_{Fe2O3}**Tabelul 7.48** Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică B

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]																CaO/SiO ₂	G _{met} [%]
	*Fe _{tot}	Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Pb	As	Alte			
IR1B	65,01	48,09	12,28	13,19	5,51	8,26	8,34	1,86	1,16	0,83	0,57	0,01	0,01	0,02	8,15	1,50	73,84	
2R1B	64,88	46,79	12,04	12,93	5,52	8,31	8,35	1,89	1,17	0,85	0,58	0,01	0,01	0,02	8,16	1,51	72,21	
IR2B	60,96	42,65	12,11	12,84	4,65	7,14	7,54	4,16	2,43	0,82	0,52	0,01	0,01	0,02	6,11	1,59	69,96	
2R2B	60,36	41,64	12,92	12,54	4,63	7,13	7,57	4,17	2,41	0,82	0,55	0,01	0,01	0,02	7,80	1,59	68,98	

*Fe_{tot} = Fe_{met} + Fe_{FeO} + Fe_{Fe2O3}**Tabelul 7.49** Compoziția șarjei de aglomerare (stare finală/șarjă procesată). Varianta tehnologică C

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]																CaO/SiO ₂	G _{met} [%]
	*Fe _{tot}	Fe _{met}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Zn	Pb	As	Alte			
IR1B	64,87	47,75	11,12	13,08	3,83	5,91	3,18	2,54	2,22	0,69	0,62	0,01	0,01	0,02	4,21	1,54	73,71	
2R1B	65,13	46,97	11,65	13,15	3,88	5,87	3,19	2,55	2,21	0,67	0,65	0,01	0,01	0,02	4,17	1,51	72,12	
IR2B	68,12	48,43	10,15	16,81	2,97	5,18	3,16	1,76	2,18	0,73	0,57	0,01	0,01	0,02	3,11	1,74	71,12	
2R2B	68,54	48,84	10,76	16,63	3,04	5,24	3,16	1,71	2,19	0,71	0,59	0,01	0,01	0,02	3,12	1,72	71,26	

*Fe_{tot} = Fe_{met} + Fe_{FeO} + Fe_{Fe2O3}

7.3.4 Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

În cadrul experimentărilor efectuate, aglomerarea sortimentelor de deșeuri feroase mărunte și pulverulente a decurs corespunzător, nu au apărut probleme privind omogenizarea și umectarea șarjei.

După aprinderea șarjei procesul de aglomerare a decurs foarte bine, aspirația aerului având loc pe toată suprafața șarjei (mai precis nu s-a constatat o aspirație preferențială a aerului).

Analizând rezistența aglomeratului obținut, se constată că din punct de vedere a acestui indicator de calitate la toate cele 12 șarje, acestea se încadrează în limitele prevăzute, având valori bine corelate cu indicele de bazicitate.

Referitor la conținutul de elemente dăunătoare valorile acestora sunt mult sub limitele maxim admise.

Gradul de metalizare pentru fier a fost destul de ridicat, ca urmare a adaosului mai mare de cocs în componența șarjei (deoarece s-a urmărit o reducere avansată a oxizilor de fier).

Deci, la toate variantele tehnologice, indiferent de rețeta utilizată, procesul de procesare a deșeurilor experimentate a decurs bine.

Pentru fiecare rețetă s-a considerat necesară producerea a două șarje de aglomerat pentru compararea rezultatelor.

S-au ales cele trei variante care au în comun praful de oțelărie și țunderul, pentru ca în funcție de disponibilul de praful de oțelărie să poată fi aplicată cea mai convenabilă variantă.

În concluzie se poate considera că praful de oțelărie electrică poate fi foarte bine procesat prin aglomerare dacă se are în vedere combinarea cu țunder și zgură de oțelărie, fracția magnetică.

7.4 Concluzii

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul experimentărilor efectuate și prezentate în cadrul acestui capitol, pot fi scoase în evidență următoarele concluzii:

- ca urmare a restructurării puternice a economiei, în mod deosebit a industriei siderurgice din România, au rămas multe deșeuri feroase mărunte și pulverulente depozitate în halde și iazuri (uneori în spații dezafectate) cu implicații asupra mediului;
- pe ansamblu din acest sortiment de deșeuri se procesează cel mult 20% (de regulă zgura de oțelărie);
- în zonele Hunedoara, Călan, Oțelu Roșu și Reșița există rezerve mari de deșeuri feroase mărunte și pulverulente care pot fi beneficiare ale cercetărilor efectuate;
- în cadrul experimentărilor efectuate s-au avut în vedere soluțiile tehnologice de reciclare a deșeurilor utilizate în cadrul cercetărilor:
- cercetările au fost orientate spre valorificarea următoarelor deșeuri feroase: praf de aglomerare-furnale, praf de oțelărie electrică, țunder și zgură de oțelărie fracție feroasă;
- de asemenea în procesul tehnologic de procesare a acestor deșeuri au fost utilizate și materiale neferoase: bentonită, var, zgură de oțelărie tip LF, ca lianți și grafit ca reducător;
- s-a experimentat reciclarea prin brichetare, peletizare și aglomerare;
- **în cazul brichetării** s-au aplicat două variante tehnologice, la ambele ca deșeuri feroase au fost praful de aglomerare-furnale, praful de

- oțelărie electrică și tundărul și în plus la varianta B zgura de oțelărie fracția feroasă (magnetică);
- referitor la var ca liant și grafit ca reducător aceștia au fost utilizați la ambele variante, iar la **varianta A** s-a mai utilizat ca liant bentonita, aceasta fiind substituită la **varianta B** cu zgură de oțelărie L.F.;
- caracteristicile calitative referitoare la rezistența și compoziția chimică a brichetelor obținute (după ambele variante) sunt corespunzătoare utilizării acestora ca sortiment metalic în încărcătura cuptoarelor cu arc electric în proporție de 5-7% (pot fi echivalente cu scoarțele feroase);
- **în cazul procesării deșeurilor prin peletizare** au fost experimentate **trei variante tehnologice A, B și C**, în cadrul fiecărei variante (**A și B cu durificare prin ardere și C la rece**) fiind supuse experimentelor pelete produse după trei rețete;
- la toate cele trei variante s-a experimentat (în mod voit) un singur deșeu feros pulverulent și anume praful de oțelărie (de foarte bună calitate având în vedere conținutul de Fe și Zn), urmărind determinarea posibilităților de procesare a acestuia pe fluxul de desprăfuire a gazelor;
- la variantele A și B ca lianți s-a utilizat bentonita, varul și zgura LF, iar la varianta C ciment și zgură LF;
- după varianta A au fost produse pelete autoreducătoare și ca urmare a fost necesară introducerea reducătorului în componența peletelor, mai precis praful de grafit (agent reducător C);
- în cazul peletelor autoreducătoare (varianta A) s-a obținut pentru fier un grad de metalizare de 92-94%, iar pentru zinc un randament de eliminare de 94-96%;
- din punct de vedere al compoziției granulometrice și rezistenței la compresiune indiferent de varianta de procesare, peletele sunt corespunzătoare utilizării ca sortiment în încărcătura cuptoarelor cu arc electric;
- de asemenea, din punct de vedere al compoziției chimice și conținutului de elemente dăunătoare (Zn, Cu, Sn, As) peletele corespund utilizării ca sortiment feros în încărcătura cuptorului cu arc electric (de preferat varianta A);
- pentru durificare la varianta C se poate face uz de gazele rezultate din instalația de epurare (după epurare);
- **în cazul procesării deșeurilor prin aglomerare** procesarea acestora s-a făcut după trei **variante tehnologice A, B, și C**, după 2 rețete în cadrul fiecărei variante, la toate rețetele fiind făcut un adaos de cocs mărunț (o parte ca reducător) și zgură LF (o mai bună micropeletizare a prafurilor);
- din punct de vedere a deșeurilor feroase variantele A și B conțin aceleași deșeuri ca cele de la brichetare, iar varianta C numai praful de oțelărie și țunder, pentru a obține rezultate referitoare la două categorii de deșeuri rezultate frecvent pe fluxul oțelărie electrică-turnare continuă-laminoare.
- la toate experimentările, indiferent de variantă și rețetă procesul de aglomerare a decurs bine, aerul a fost uniform aspirat prin stratul de material și cedarea de căldură aglomeratului în formare a avut loc în mod corespunzător;
- gradul de metalizare pentru fier a variat în limitele 68-74% (varianta A 69,57-72,06%; varianta B 68,96-73,71% și la varianta C 71,26-

73,71%), deci se poate considera că procesul de aglomerare reducătoare a decurs foarte bine, din acest punct de vedere aglomeratul este de calitate bună;

- se poate considera că și din punct de vedere a rezistenței, compoziției chimice și conținutului de elemente dăunătoare aglomeratul este de calitate.

În concluzie procesarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente poate fi realizată prin oricare din cele trei procedee (brichetare, peletizare, aglomerare), alegerea trebuie făcută de procesator, care trebuie să aibă în vedere cererea de produse rezultate în urma procesării, aspectele de ordin economic și ecologic.

PARTEA A III-A
CONCLUZII FINALE.
CONTRIBUTII ORIGINALE.
DIRECTII DE CONTINUARE A CERCETARILOR

CAPITOLUL 8
CONCLUZII FINALE.
CONTRIBUȚII ORIGINALE.
DIRECȚII DE CONTINUARE
A CERCETĂRILOR

8. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR. CONCLUZII FINALE.

8.1 Contribuții originale

Pe baza studiului literaturii de specialitate, privitor la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate în fază de laborator, a analizei matematice și tehnologice a rezultatelor obținute, se pot considera ca și contribuții personale:

1. Realizarea unor sinteze tehnologice privind:

- sursele industriale de generare a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier/ (fier și carbon, fier și oxizi bazici), zinc, elemente de aliere a oțelurilor (Ni, Cr, Mn) din diferite ramuri industriale (siderurgie, metalurgie neferoase, industria minieră, chimică, energetică etc.);
- caracteristicile calitative a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte (compoziția chimică și granulometrică, densitate);
- procedee și tehnologii clasice și neconvenționale de valorificare prin reciclare în siderurgie a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte, în metalurgia neferoasă a deșeurilor cu zinc, respectiv a unor subproduse rezultate din reciclarea lor în alte domenii (materiale de construcții, autostrăzi, drumuri, parcuri, aeroporturi, agricultură etc);

2. Stabilirea sortimentelor de deșeuri pentru experimentări, determinarea compoziției chimice și granulometrice a acestora, a conținutului de componente nocive, precum și a tehnologiilor adecvate de procesare și în funcție de acestea stabilirea rețetelor utilizate;

3. Stabilirea tehnologiilor de procesare a deșeurilor cu conținut ridicat de zinc, praf de oțelărie electrică, zgură ISP (Imperial Smelting Proces) și material amestec; peletizare cu durificare prin ardere și la rece;

4. Stabilirea rețetelor de procesare prin peletizare, brichetare și aglomerare, procesarea deșeurilor și determinarea pentru fiecare tehnologie și rețetă a caracteristicilor calitative;

5. Prelucrarea datelor în programul de calcul Matlab cu scopul de a determina corelația dintre randamentul de eliminare a zincului (dezincare) și proporția componentelor șarjei de peletizare;

6. Stabilirea rețetei optime de peletizare care asigură un randament de dezincare de 95-98%;

7. Analiza structurii SEM și analiza compoziției chimice a peletelor crude și respectiv arse, analiza și compararea rezultatelor;

8. Proiectarea matrițelor pentru obținerea brichetelor de formă cilindrică, de diferite diametre și forme ale secțiunii transversale (pline, tubulare, multicave);

9. Producerea brichetelor după aceleași rețete ca în cazul peletizării, determinarea randamentului de eliminare a zincului și compararea rezultatelor obținute la peletizare;

10. Aglomerarea deșeurilor după un număr de trei rețete (participații diferite gradul de reducere a fierului și de metalizare a acestuia);

11. Procesarea prin peletizarea a prafului de oțelărie cu conținut de zinc de 15-25%, după un număr de 3 rețete (în funcție de conținutul de zinc), uscarea și sortarea acestora pe clase granulometrice: 0-2mm; 2-5mm; 5-10mm; 10-15mm și peste 15mm;

12. Determinarea pentru fiecare clasă granulometrică, 2-5mm; 5-10mm; 10-15mm (pelete sortate granulometric), 2-15mm (pelete nesortate granulometric) și fiecare rețetă, a evoluției pe durata tratamentului, a conținutului de oxid de zinc din peletele (pelete+zgură) existente pe baia de oțel din cuptorul cu inducție, în stare liniștită și agitată;

13. Prelucrarea datelor în programul de calcul EXCEL, reprezentarea analitică și grafică a rezultatelor obținute, precum și analiza tehnologică a acestora;

14. Determinarea în cazul fiecărei șarje a randamentului de dezincare, de reducere a fierului și analiza tehnologică a acestora;

15. Stabilirea tehnologiilor de procesare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte (praf aglomerare-furnale, praf de oțelărie, țunder și zgură de oțelărie fracția feroasă), din zonele tradițional siderurgice Hunedoara (Călan, Hunedoara) și Caraș Severin (Oțelu Roșu și Reșița);

16. Stabilirea rețetelor de brichetare, producerea brichetelor, determinarea caracteristicilor calitative de rezistență;

17. Prelucrarea datelor în programele de calcul EXCEL și MATLAB în vederea obținerii unor corelații simple și multiple între caracteristicile calitative și participațiile componentelor din rețete;

18. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute și stabilirea rețetelor optime;

19. Stabilirea rețetelor de peletizare, 2 cu durificare la cald și 1 cu durificare la rece, peletizarea, durificarea și sortarea granulometrică;

20. Determinarea rezistenței la compresiune în funcție de diametru, prelucrarea datelor în programul Excel, stabilirea corelației între acești parametri, prezentarea rezultatelor sub formă grafică și analitică și analiza tehnologică a rezultatelor;

21. Determinarea rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece în funcție de diametru și timpul de durificare, prelucrarea datelor în programul EXCEL, stabilirea corelației între acești parametri, prezentarea rezultatelor sub formă grafică, analitică și analiza tehnologică a rezultatelor și stabilirea rețetelor optime;

22. Stabilirea rețetelor de aglomerare (pentru aceleași sortimente feroase ca în cazul brichetării), aglomerarea propriu-zisă, determinarea caracteristicilor calitative (compoziție chimică, rezistență, grad de metalizare) și alegerea rețetelor optime.

8.2 Direcții de continuare a cercetărilor

Având în vedere rezultatele cercetărilor efectuate referitoare la tematica "*Tezei de Doctorat*", se poate considera că acestea prezintă interes deosebit pentru industria metalurgică/ siderurgică și nu numai, și pot continua pe viitor în următoarele direcții:

1. Determinarea celor mai eficiente procedee, tehnologii și rețete de valorificare a deșeurilor, în vederea obținerii unor produse cu grad de reducere acceptabil, pentru utilizarea ca și component în încărcătură metalică la elaborarea oțelurilor în cuptoare cu arc electric;

2. Conceperea unor instalații de epurare a „gazelor de zinc” și procesarea prafului rezultat prin tehnologii specifice metalurgiei neferoase;

3. Conceperea unor fluxuri tehnologice de procesare a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de Fe, (Fe+C) și (Fe+Zn), în variantele în care o instalație de desprăfuire poate deservi alternativ două instalații de procesare (avantaje economice- în primul rând investiție mai mică);

4. Aprofundarea analizei grafice și analitice a rezultatelor obținute prin

prelucrarea datelor tehnologice în programului Matlab, pentru determinarea unei rețete optime de reciclare a deșeurilor, program care poate de asemenea fi folosit și în alte domenii, astfel încât să ofere rezultate cât mai bune pentru soluționarea unei probleme;

5. Extinderea cercetărilor privind eficiența producerii peletelor și brichetelor din deșeuri feroase pulverulente cu conținut de elemente de aliere a oțelurilor, cu scopul reintroducerii lor în circuitul de producție.

8.3 Concluzii finale

Având în vedere cantitatea de deșeuri depozitate în halde și iazuri, varietatea privind compoziția chimică, granulația, conținutul de elemente dăunătoare, ulei, umiditate etc., precum și numărul acestora, s-a justificat pe deplin o cercetare privind reciclarea deșeurilor analizate în cadrul acestei teze de doctorat.

Pe baza studiului din literatura de specialitate și a rezultatelor experimentale proprii, privind valorificarea deșeurilor pulverulente și mărunte (provenite din surse diferite) cu conținut de fier, zinc și carbon, precum și oxizi bazici și amfoteri, pot fi formulate următoarele concluzii:

- în procesele industriale, pe lângă produsul principal cu destinație precizată, rezultă unul sau mai multe produse secundare (care la rândul lor sunt procesate pe diferite fluxuri tehnologice) și respectiv deșeuri care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie, precum și metalurgia neferoasă;
- din procesele metalurgice și în mod deosebit cele din metalurgia extractivă, care prelucrează cantități mari de minereuri și concentrate metalifere cu diferite conținuturi de steril, pe lângă produsul principal: aliaj feros, neferos sau metale neferoase, rezultă cantități apreciabile de zgură, praf și nămol/șlam de la epurarea gazelor și uneori a apelor industriale, considerate deșeuri, precum și subproduse (de exemplu gazul de furnal, gazul de cocserie considerați combustibili etc);
- în industria siderurgică extractivă, ca urmare a prelucrării unor cantități mari de minereuri și concentrate feroase pentru producerea fontei și feroaliajelor, materiale de bază pentru producerea oțelului, rezultă pe lângă produsele principale fontă, oțel și feroaliaje, cantități apreciabile de zgură, prafuri și șlamuri, considerate deșeuri feroase, care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie;
- în unitățile siderurgice care lucrează pe flux integrat (cocserie/ aglomerare/ furnale/ oțelării/ laminoare) rezultă următoarele deșeuri *pulverulente*: praf și șlam de la cocserie, praf și șlam de la aglomerare, furnale, praf și șlam de la oțelării, șlam de țunder de la laminare, pilitură de la polizarea laminatelor, etc.; *mărunte*: zgură, țunder de la turnarea continuă și laminoare, șpan de la decojirea laminatelor; *deșeuri de dimensiuni mari* (de regulă peste 10 mm): stropi, scoarțe, șutaje, produse rebutate etc.;
- deșeuri cu conținut de fier și carbon pulverulente și mărunte rezultă (după cum am menționat mai sus) în cea mai mare parte din *industria siderurgică*, dar și din alte ramuri industriale, și anume: *industria chimică* (cenuși piritice), *mecanică* (șlam/ nămol de la acoperiri metalice, respectiv de la protecție anticorozivă), *energetică* (concentrat de fier din cenuși de termocentrală), *minieră* (concentrat sideritic secundar) și *metalurgia*

- neferoasă* (nămol roșu de la fabricarea aluminei, zgură ISP, material amestec, Clincher Waelz de la elaborarea zincului etc.);
- unele deșeuri conțin și elemente dăunătoare calității produselor obținute prin reciclarea deșeurilor (As-nămolul roșu, Zn, Cu, Pb-cenușile piractice);
 - deșeurile au conținut de fier diferit de la cca. 30% (concentrat sideritic, deșeuri cu conținut de fier și zinc) până la peste 60% (țunderul, praful de oțelărie);
 - alături de tehnologiile clasice de procesare a deșeurilor pulverulente (peletizare, brichetare și aglomerare), care permit procesarea simultană a mai multor sortimente de deșeuri feroase, prezintă interes deosebit procedeele neconvenționale de reciclare a deșeurilor (de obicei un singur tip de deșeu) în vederea obținerii unui produs cu conținut ridicat de fier, elemente de aliere a oțelului, carbon zinc etc.
 - varietatea deșeurilor feroase existente în zonele Hunedoara, Călan, Oțelu Roșu și Reșița, atât din punct de vedere a compoziției granulometrice, cât și compoziției chimice, a condus la ideea de valorificare a acestora prin peletizare, brichetare și aglomerare, în vederea recuperării avansate a fierului și în anumite condiții a zincului;
 - rezultatele experimentărilor efectuate și a căror rezultate sunt prezentate în capitolul 5, au avut în vedere procesarea prin peletizare, brichetare și aglomerare, a unor deșeuri pulverulente și mărunte, bogate în zinc (praf de oțelărie electrică Zn~20%, zgura ISP (Imperial Smelting Proces) Zn~11% și material amestec Zn~13%) cu scopul recuperării zincului;
 - procesarea prin peletizare, cu producerea de pelete autoreducătoare după un număr de 10 rețete a condus la obținerea unui randament de eliminare a zincului (de dezincare) de 85-94%;
 - stabilirea unor relații de corelație între randamentul de eliminare a zincului și participațiile componentelor în rețete prin prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB, corelații prezentate analitic și grafic au permis stabilirea rețetei optime de peletizare pentru care randamentul de eliminare a zincului a fost cuprins în limitele 95-98%;
 - analiza SEM și EDX efectuată pentru pelete crude și durificate la cald (autoreducătoare) confirmă reducerea zincului și fierului din pelete;
 - prin procesarea deșeurilor sub formă de brichete (autoreducătoare), utilizând aceleași deșeuri ca în cazul peletizării, au fost obținute pentru randamentul de eliminare a zincului valori apropiate;
 - în cazul aglomeratelor produse după trei rețete s-a obținut, ca urmare a adaosului de cocs în proporție de 20% în șarja de aglomerare, un randament de eliminare pentru zinc de 97-99%, un grad de metalizare pentru fier de 59-62%, un conținut de Fe_{total} de 32-34% din care 19-21% Fe_{met};
 - experimentările efectuate privind procesarea prafurilor de oțelărie cu conținut ridicat de zinc (capitolul 6) pe fluxul peletizare, utilizate ca adaos pe baie metalică (cuptor cu inducție), au avut în vedere în primul rând recuperarea zincului și în al doilea rând a fierului;
 - au fost produse pelete în trei variante (cu adaos de grafit ca reducător), acestea diferind în funcție de calitatea prafului apreciată prin conținutul de fier și zinc;
 - randamentul de eliminare a zincului (98-99,99%) este influențat de granulația peletelor și de gradul de agitare a băii metalice;

- pe baza rezultatelor obținute prin prelucrarea datelor tehnologice se recomandă o compoziție granulometrică 2-15mm (în medie; 2-5mm, 20%; 5-10mm, 50% și 10-15mm, 30%);
- grafitul din componența peletelor a acționat ca reducător și pentru oxizii de fier, gradul de reducere la forma metalică fiind în limitele 80-82%;
- aplicarea industrială a acestei tehnologii impune racordarea instalației cu baie metalică la un sistem de epurare a gazelor, iar "praful de zinc" rezultat să fie procesat prin tehnologii specifice metalurgiei zincului;
- industrial, poate fi considerat ca o soluție foarte bună (practică), adaosul de pelete pe baia de fontă (în oala de fontă) la evacuare din furnal, sau pe baia de oțel în instalația LF (cu testarea proporției de adaos);
- după anul 1990, ca urmare a restructurării puternice a economiei, în mod deosebit a industriei siderurgice din România, în fostele combinate siderurgice, în prezent societăți comerciale cu capital străin, au rămas multe deșeuri feroase mărunte și pulverulente depozitate în halde și iazuri (uneori în spații dezafectate) cu implicații asupra mediului;
- prin cercetările efectuate și a căror rezultate sunt prezentate în capitolul 7, s-a avut în vedere stabilirea tehnologiilor de reciclare a deșeurilor feroase mărunte și pulverulente (praf de aglomerare-furnale, praf de oțelărie, țunder și zgură de oțelărie-fracția feroasă) existente în zonele siderurgice Hunedoara, Călan și Reșița, unde sunt rezerve mari de asemenea deșeuri;
- referitor la reciclarea prin brichetare, au fost experimentate 2 variante tehnologice, pentru fiecare variantă au fost produse brichete după un număr de 10 șarje, datele privind caracteristicile calitative și parametrii de influență fiind prelucrate în programele EXCEL și MATLAB; pe baza rezultatelor obținute fiind stabilite variantele optime de brichetare;
- experimentele efectuate privind reciclarea prafului de oțelărie prin peletizare au avut în vedere stabilirea / definitivarea stabilirea unor tehnologii care să asigure procesarea acestuia pe fluxul curent, mai ales că toate oțelăriile electrice din țară sunt prevăzute pe fluxul tehnologic cu instalații de peletizare;
- au fost experimentate un număr de trei rețete, la două durificarea s-a efectuat prin ardere (durificare cu reducere) și la una la rece, în toate cazurile caracteristicile calitative fiind corespunzătoare, permițând utilizarea acestora pe fluxurile de elaborare a oțelului (respectiv fontei);
- procesarea prin peletizare se poate face după oricare rețetă experimentată (din cele 3), atât pentru praful rezultat în mod curent, cât și pentru cel depozitat (în cazul în care mai există);
- la alegerea rețetei de peletizare trebuie avută în vedere destinația produsului obținut, pe de o parte, iar pe de altă parte fluxul de procesare a prafului (instalațiile de durificare);
- referitor la procesarea prin aglomerare s-a avut în vedere nu numai procesarea prafului de oțelărie (deșeu pulverulent) ci și a altor deșeuri (mărunte) rezultate în mod curent pe fluxul tehnologic din oțelării și anume, țunder și zgură (prin procesare prealabilă se extrage fracția feroasă), precum și a prafului de aglomerare-furnale din iazuri;
- rezultatele obținute în cadrul experimentărilor conduc la concluzia că deșeurile pot fi procesate prin aglomerare, aglomeratul obținut fiind corespunzător din punct de vedere calitativ;
- în funcție de sortimentele disponibile și instalațiile de procesare prealabilă se alege tehnologia/ rețeta de procesare;

- deoarece cercetările au fost orientate spre reciclarea deșeurilor acolo unde nu mai există flux siderurgic integrat, se consideră că din punct de vedere economic, este rentabilă procesarea în instalații discontinue, mai precis în cutii de aglomerare;
- în cadrul experimentărilor s-a avut în vedere și numai combinația praf de oțelărie cu țunder, două deșeuri rezultate în mod frecvent pe fluxurile neintegrate și care ridică probleme de ordin ecologic la depozitare.

În concluzie, procesarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente poate fi realizată prin oricare din cele trei procedee (brichetare, peletizare, aglomerare); alegerea este a procesatorului, care trebuie să aibă în vedere cererea de produse rezultate în urma procesării, aspectele de ordin economic și ecologic.

Diseminarea rezultatelor

1. **D.A. Popescu**, T. Hepuț, V. Puțan, „*Optimisation of the steel plant dust recycling process*”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080009, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300094.

2. **D.A. Popescu**, L. Vilceanu, A. Socalici, „*Analysis of the optimization possibilities to recover the powdery wastes containing iron and carbon*”, International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080008, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300093.

3. **D.A. Popescu**, „*Study on the quality of industrial waste deposited in ponds*”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XII 2014- Fascicule 4, pp 315-321 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO

4. **D.A. Popescu**, „*Research on the use of dust resulting from iron and steel processes*”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XIII august 2015- Fascicule 3, pp 211-218 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO

BIBLIOGRAFIE

1. T. Hepuț, A. Socalici, E. Ardelean, M. Ardelean, N. Constantin, R. Buzduga- „Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente”, Editura Politehnica Timișoara, 2011;
2. S. Șerban - Teză de doctorat: „Cercetări privind valorificarea deșeurilor cu conținut de fier și elemente pentru alierea oțelului”, Hunedoara, 2015;
3. T. Hepuț, A. Socalici, E. Ardelean - „Cercetări privind protecția mediului în industria siderurgică”, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom II, Fascicola 1, 2000,84;
4. V. Șerban, A. Nicolae, - „Bilanț de materiale – instrument de analiză a eficienței valorificării materialelor secundare”, Metalurgia nr.1, 2004, 130;
5. A. Nicolae, ș.a., „Dezvoltarea durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare”, Editura Printech, București, 2004;
6. L. Strungariu – Teză de doctorat: „Cercetări privind valorificarea subproduselor rezultate de la epurarea apelor industriale” , Hunedoara, 2013;
7. D. Dobrovici, O. Hătărăscu, I. Șoit-Vizante, A. Alexandrescu, - „Intensificarea proceselor din furnal”, Editura Tehnică, București, 1983;
8. O. Buzea, - „Îndrumător furnale” , Partea I, Materii prime;
9. M. Guran, I. Tripșa - „Noutăți în pregătirea minereurilor de fier pentru furnal”, Editura Tehnică, București, 1964;
10. N. Constantin – „Procedee neconvenționale de obținere a materialelor feroase”, Editura Printech 2002;
11. E. Popa, T. Hepuț, M. Ardelean - „Procese industriale”, Editura Politehnica Timișoara, 2012;
12. I. Borza, Gh. Popoiu, A. Ciocan, - „Tehnologia elaborării fontei”, Vol. I, Institutul Politehnic Traian Vuia, Institutul de Subingineri Hunedoara, 1984;
13. ***Contract cercetare nr.233/2006, titlul „Tehnologie integrată de obținere a unor surse ergo-tehnologice neconvenționale utilizate ca materii prime la elaborarea oțelului” , Programul Excelență - Proiect de cercetare-dezvoltare complex, Coordonator CEMS București, director proiect Prof.dr.ing. Constantin Nicolae;
14. Proiect de cercetare nr.31- 098/2007: „Prevention and fighting pollution in the steel making, energetic and mining industrial areas through the recycling of small-size and powdering wastes”, Program PN2 –Consortiu-CO: UPT-FIH Prof.dr.ing. T. Hepuț;
15. Al. Rău, I. Tripșa- „Metalurgia oțelului”, Editura Didactică și Pedagogică, București 1985;
16. I. Dragomir – „Teoria proceselor siderurgice”, Editura Didactică și Pedagogică București, 1985;
17. D. Dobrovici – „Metalurgia fontei”, Editura Tehnică, 1966;
18. N. Constantin – „Ingineria producerii fontei în furnal”, Editura PRINTECH -2002;
19. I. Butnariu, N. Constantin – „Integrated technology for obtaining composites by Arc electric applications With special purpose industrial equipment” – acronim MCDS.MedCI-PNCIDI-CEEX Program 2006-2008;
20. N. Constantin, M. Nicolae, V. Rucai - "Research regarding the physical and chemical characteristics of pre - reduced iron ores the analysis of the possibilities of their use in the iron and steel elaborating process." - Milano - Italia, International Conference"Prereduced products and Europe", 23 - 24 septembrie

- 1996, pag 230-239;
21. N. Constantin, M. Nicolae, B. Niculae - "Cercetări privind îmbunătățirea eficienței funcționale a electrofiltrelor din sectorul de aglomerare a minereurilor feroase"; Sibiu - Conferința internațională - I.C.E.H , 28 - 29 noiembrie 1996, pag 49-54
22. I. Butnariu, N. Constantin - „Processes and technologies în extractive metallurgy”, Technical Publishing, București,1995;
23. N. Constantin - „Cercetări privind proprietățile metalurgice ale aglomeratului feros obținut din cenuși de pirită”, contract nr. 4/1995, beneficiar I.C.E.M. - S.A. București;
24. N. Constantin - „Cercetări privind caracteristicilor prafurilor depuse pe electrozii din electrofiltrele de desprăfuire de la fabrica de aglomerare nr. 2 SIDEX-Galați”, contract nr. 46/1995, beneficiar ICPET-București;
25. N. Constantin - „Determinarea caracteristicilor metalurgice ale materialelor din amestecul de aglomerare utilizat la U.A.F. - SIDEX Galați” contract nr. 9/1996 beneficiar I.C.E.M. - S.A. București;
26. N. Constantin - „Cercetări experimentale asupra proprietăților fizico-chimice ale cenușilor de pirită și a prafului de electrofiltru rezultat din aglomerarea cenușilor de pirită” contract nr. 19/1996, beneficiar I.C.E.M. - S.A. București;
27. N. Constantin - „Cercetări privind recuperarea elementelor utile din prafurile ultrafine rezultate din procesele de epurare în sectoarele de aglomerare-furnale ale întreprinderilor metalurgice. Faza I-1996 cu titlul: "Cercetări privind caracteristicilor fizico-chimice ale deșeurilor prăfoase obținute la epurarea gazelor din sectoarele de aglomerare-furnale", contract nr.619/1996 , tema A8, beneficiar MCT-Comisia de reciclare;
28. I. Butnariu, ș.a. - „Procese și tehnologii în metalurgia extractivă”, Editura Tehnică, București , 1995;
29. N. Constantin, M. Nicolae, V. Geanta, I. Butnariu, G. Lepadatu - „Procese și tehnologii alternative în siderurgie” , Editura PRINTECH 2009;
30. O. Buzea - „Guide for blast furnaces”, Technical Publishing ,1994;
31. M. Hrițac - „Methodology for determining the compatibility of waste-processing technology to increase opportunities and level of recovery”. National Conference ROMAT 2006, 27 - 28 September, Bucharest, 2006;
32. M. Hrițac ș.a. - „Use of life cycle analysis for environmental pollution reduction on technological flow from SIDEX SA Galați “. ICEM study 2000-2001;
33. M. Ruică - Teză de doctorat: „Studii și cercetări privind posibilitățile tehnologice de reciclare a deșeurilor feroase oxidice industriale prin realizarea de brichete autoreducătoare și utilizarea acestora la elaborarea fontei”, Universitatea Politehnică București, 2012;
34. V. Oancea - Teză de doctorat: „Studii și cercetări experimentale privind ecologizarea obținerii fontei de primă fuziune prin micșorarea consumului de cost și îmbunătățirea randamentului proceselor de transfer de masă și energie din furnal” ,Universitatea Politehnică București, 2012;
35. T. Tanaka, Y. Kajiwaru, T. Inada și C. Yamagata - „Flow dynamics of granular materials in a blast furnace”, în Ironmaking Conference Proceedings, pag. 237-251, 1988;
36. S. Schwarzer - „Sedimentation and flow through porous media: simulating dynamically coupled discrete and continuum phases”, Phys Rev E 52:6461-6475, 1995;
37. T. Mikami, H. Kamiya și M. Horio - „Numerical simulation of cohesive powder behavior in a fluidized bed”, Chemical Engineering Science 53:1927-1940,

1998;

38. C. Constantin – Teză de doctorat: „Studii și cercetări privind posibilitățile de eficientizare a elaborării fontei de primă fuziune privind conducerea informatizată a proceselor din furnal”, Universitatea Politehnică București, 2012;

39. I. Butnariu, N. Constantin - Research contract CEEX X2C36/2006-2008;

40. O.V. Bold, G.A. Mărăcineanu – „Depozitarea, Tratarea și Reciclarea Deșeurilor și Materialelor”, Editura MATRIX ROM, București, 2004, ISBN 973-685-807-3;

41. M. Bejan, T. Rusu – „Tehnologii ecologice în sectoarele calde”, în: Standardizarea, nr. 8/august 2011, ISSN 1220-2061, pag. 27-32;

42. E. Crișan - Teză de doctorat: „Cercetări privind valorificarea în siderurgie a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și carbon”, Facultatea de Inginerie Hunedoara 2013;

43. L. Lupa - Teză de doctorat: „Studii privind recuperarea și valorificarea zincului din deșeuri provenite din procesul de zincare termică”, Editura Politehnica, 2007.

44. I. Wernick, N.J. Themelis – „Recycling metals for the environment”, Annual Review Energy and Environment, Vol. 23, 1998.

45. R. Pode, A. Iovi. – „Tehnologii ecologice. Tehnologii de valorificare a deșeurilor anorganice”, Editura Politehnica, Timișoara, 2002.

46. L.Lupa. A. Iovi, P. Negrea, A. Negrea, D. – „Zgură, Chem. Bull.”, Univ. Timișoara, 50(64), 2005, 155.

47. M. Rosenberg – „Zinc recycling – zinc coated steel”, International Zinc Association, 1999.

48. M.A. Rabah, A.S. El-Sayed – „Hydrometallurgy”, 37, 1995, 23.

49. Zinc in the environment – An introduction, International Zinc Association, www.zincworld.org, 1997.

50. N. Leclerc, E. Meux, J.M. – „Journal of Hazardous Materials”, B91, 2002, 257.

51. J. Konomi-Cho – „Dry removal method of zinc from blast furnace dry dust”, Sumitomo Metal Industries, New Technology, 1986.

52. B. Schwab, W.D. Schneider - „Zinc recycling via the imperial smelting technology – Latest developments and possibilities”, Recycling of Metals and Engineered Materials, The Minerals, Metals & Materials Society, 2000.

53. F. Hegewaldt – „Modelling for Saving Resources”, International Scientific Colloquium, Riga, May 17 – 18, 2001, 164.

54. B.A. Zeydabadi, D.Mowla, M.H. Shariat, J. F. Kalajahi – „Hydrometallurgy”, 47, 1997, 113.

55. Okada et al – „Method of treating dusts containing oxides”, USPTO 5.871.561, 16 Februarie, 1999.

56. A.D. Zunkel – „Recovering Zinc and Lead from Electric Arc Furnace Dust: A

Technology Status Report”, Recycling of Metals and Engineered Materials, TSM, 2000.

57. H. Ichikawa and H. Morishige - Nippon Steel Technical Report (2002) 86, p.35-38.

58. PMD News No. 8 (March, 2009), p.9-13.

59. A.J. Philipp - „Bilanțuri ecologice, Stahl und Eisen”, nr.6, 1999, 91.

60. M. Popescu - „Baze de date relaționale”, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2001.

61. D.A. Popescu, T. Heput, V. Puțan, „Optimisation of the steel plant dust

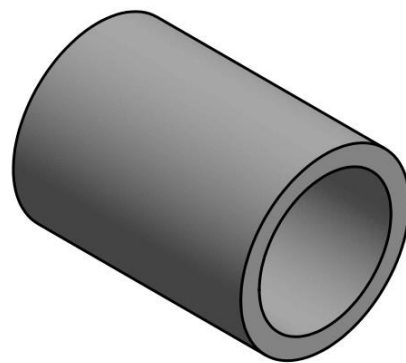
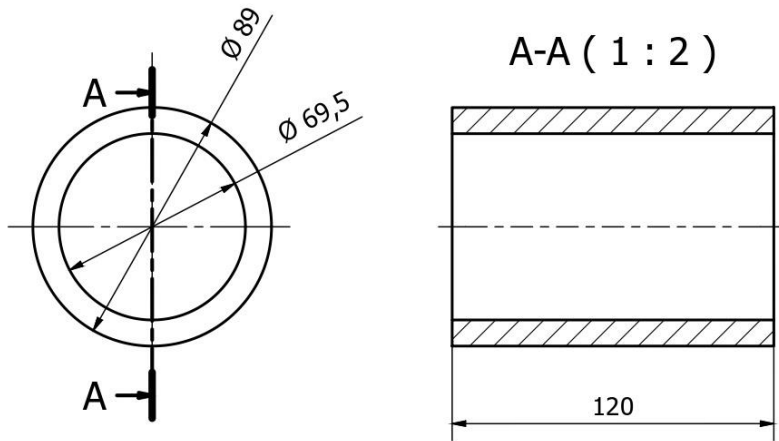
recycling process", International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080009, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300094.

62. D.A. Popescu, L. Vilceanu, A. Socalici, „Analysis of the optimization possibilities to recover the powdery wastes containing iron and carbon", International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM), 23-29 sep 2015, Rhodes, Grecia, book series: AIP Conference Proceedings, volume 1738, article number 080008, 2016, indexat ISI (DOI: 10.1063/1.4951844/0094-243X), WOS: 000380803300093.

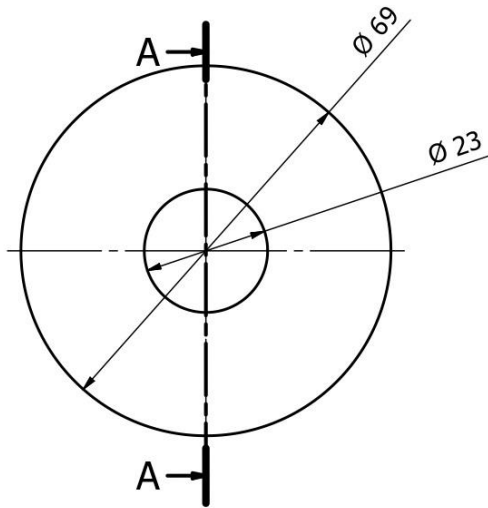
63. D.A. Popescu, „Study on the quality of industrial waste deposited in ponds", Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XII 2014- Fascicule 4, pp 315-321 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO

64. D.A. Popescu, „Research on the use of dust resulting from iron and steel processes", Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering, Tome XIII august 2015- Fascicule 3, pp 211-218 ISSN: 1584-2673, indexat Google Scholar, EBSCO

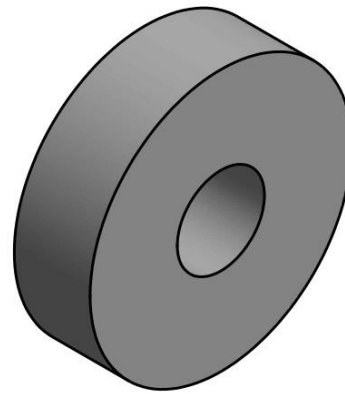
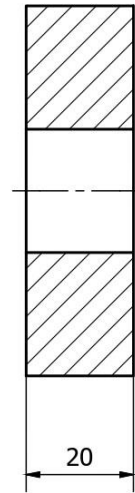
ANEXE



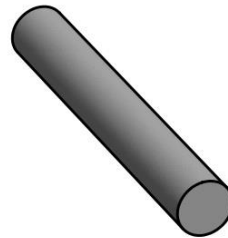
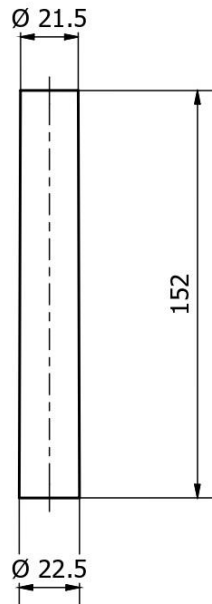
Proiectat	Popescu Darius				
Desenat	Popescu Darius			A4 (297x210)	
Verificat				Scara 1:2	
Aprobat			Data: 11.09.2015		1/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Corp matriță tubulară		





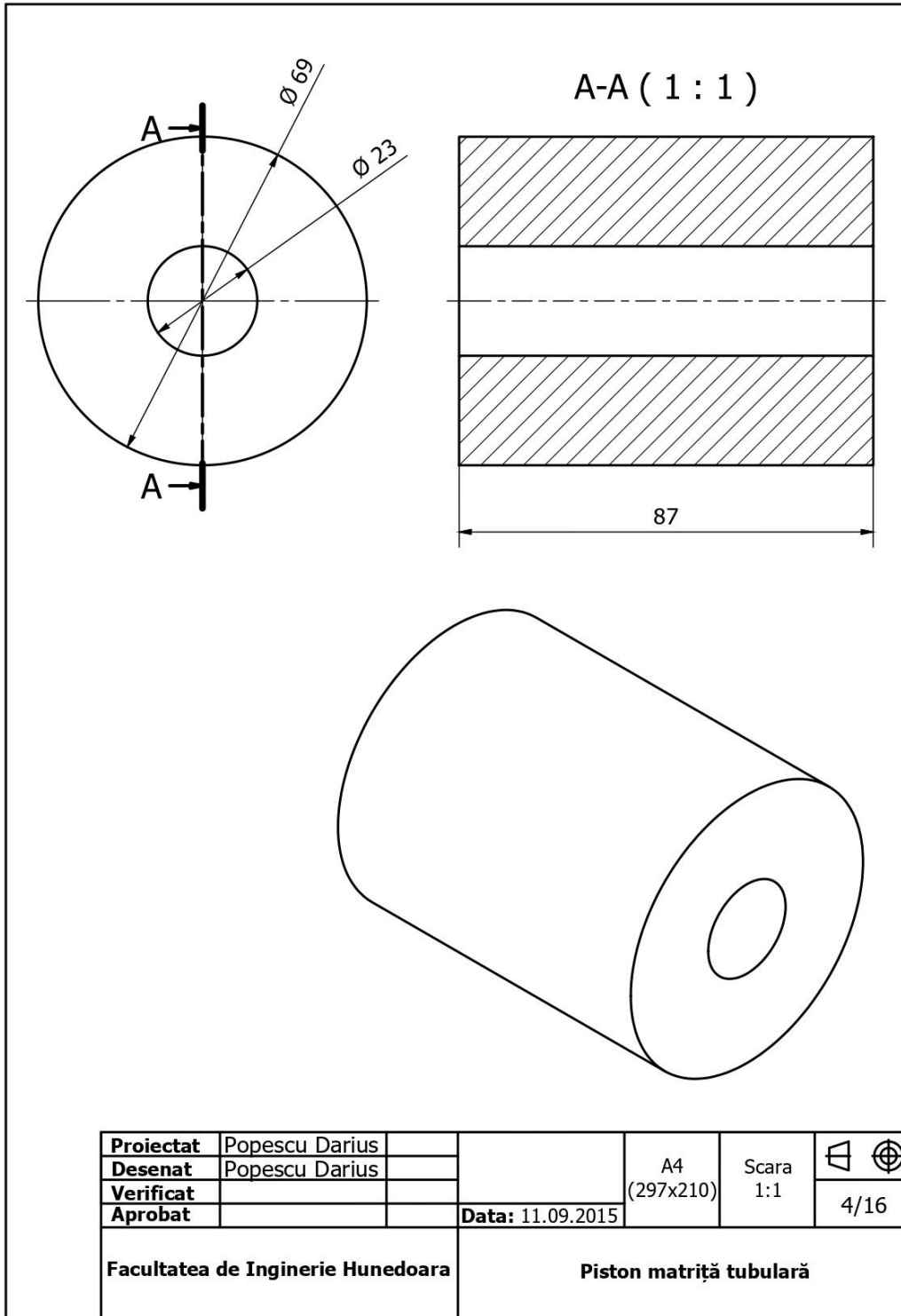
A-A (1 : 1)

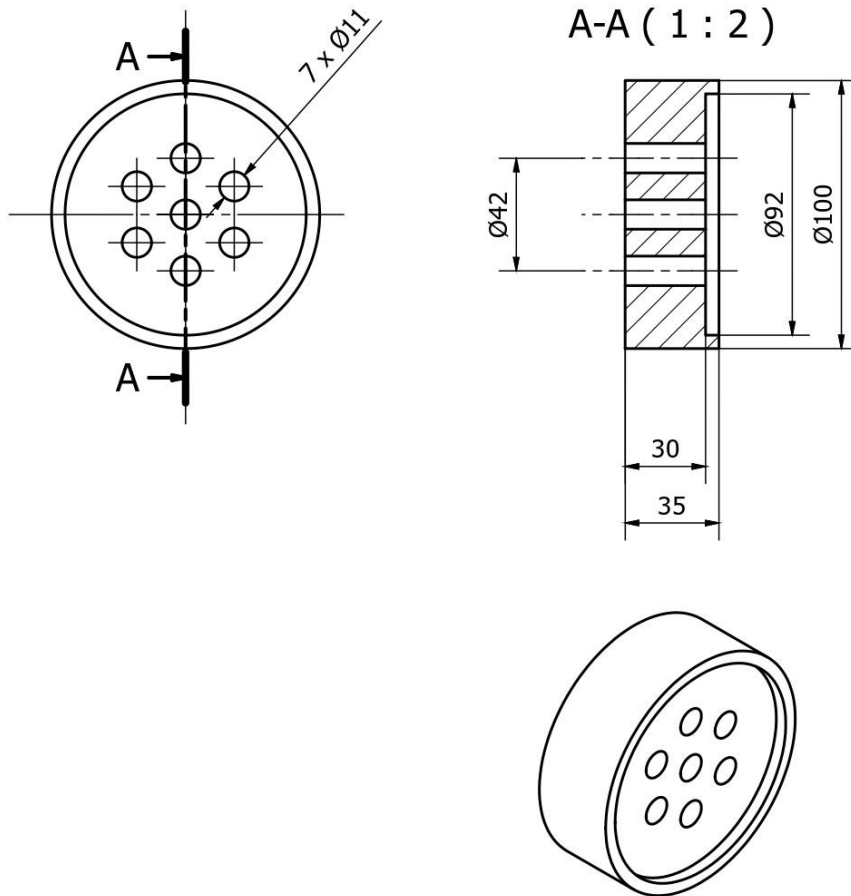


Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							
Aprobat				Data: 11.09.2015			2/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Placă de bază matriță tubulară			

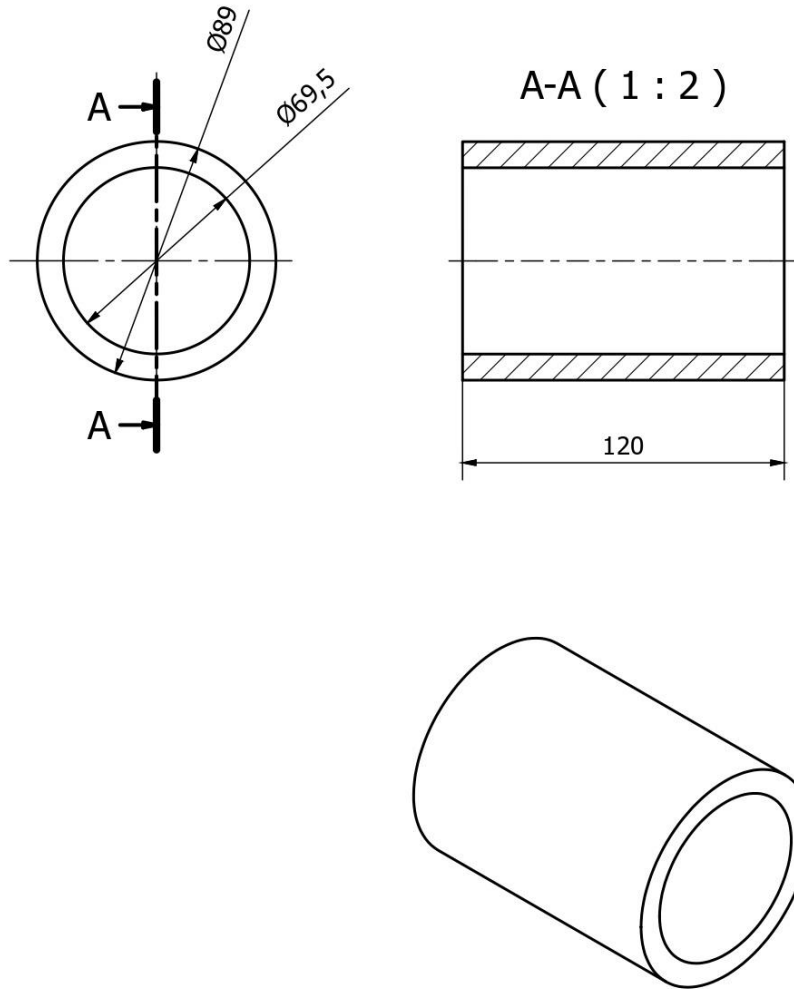


Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:2	 
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							
Aprobat				Data: 11.09.2015			3/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Tijă matriță tubulară			

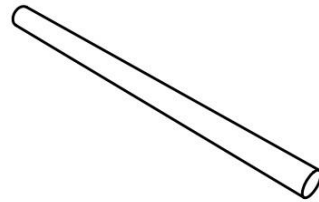
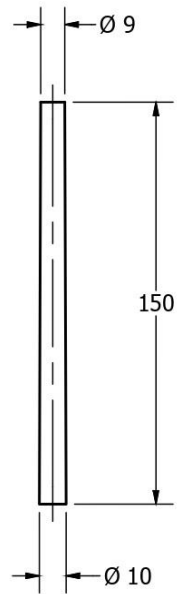




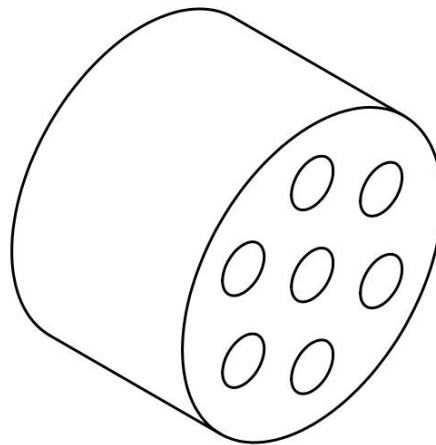
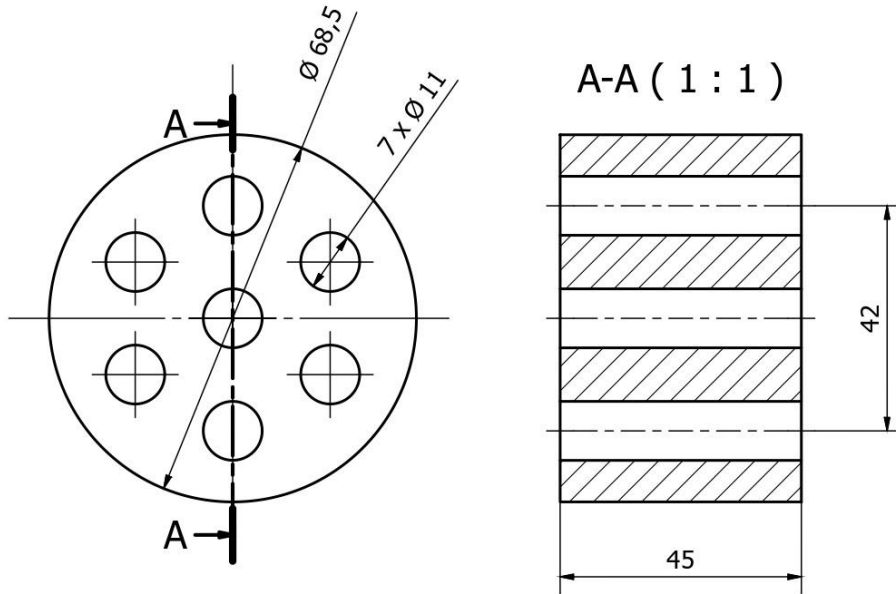
Proiectat	Popescu Darius				
Desenat	Popescu Darius			A4 (297x210)	
Verificat				Scara 1:2	
Aprobat			Data: 11.09.2015		5/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Placă de bază matrită multicavă		




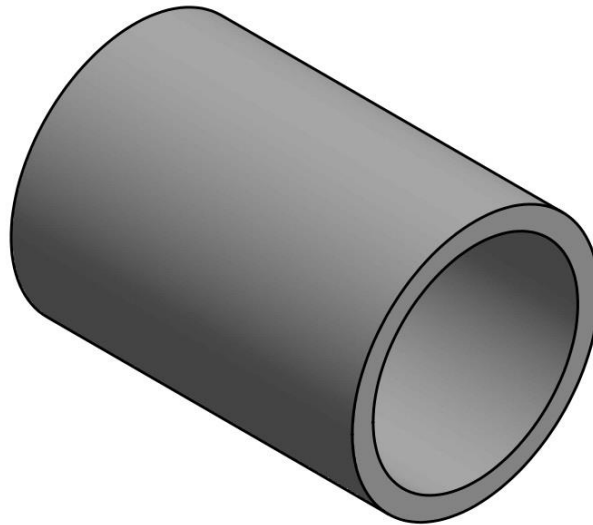
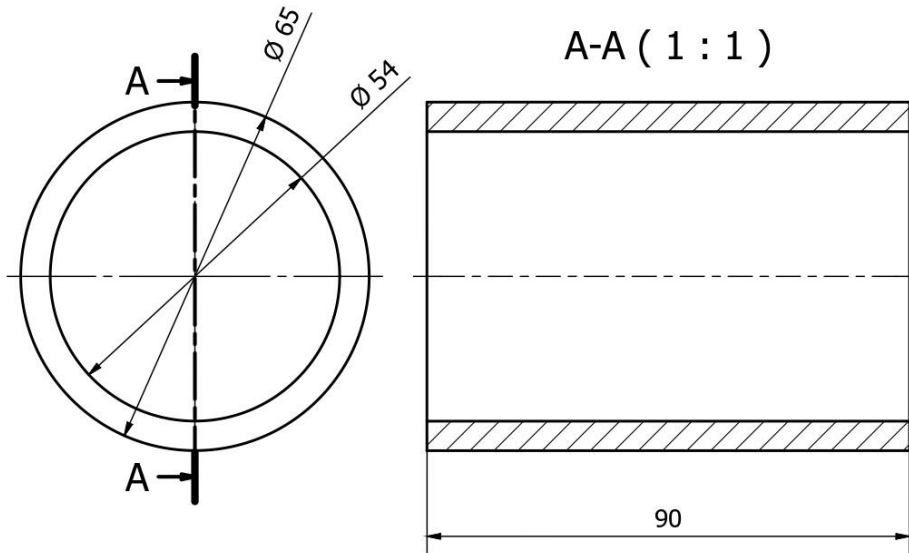
Proiectat	Popescu Darius				
Desenat	Popescu Darius			A4 (297x210)	
Verificat				Scara 1:2	
Aprobat			Data: 11.09.2015		6/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Corp matriță multicavă		





Proiectat	Popescu Darius					
Desenat	Popescu Darius					
Verificat						
Aprobat						
			Data: 11.09.2015	A4 (297x210)	Scara 1:2	7/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Tijă matriță tubulară			



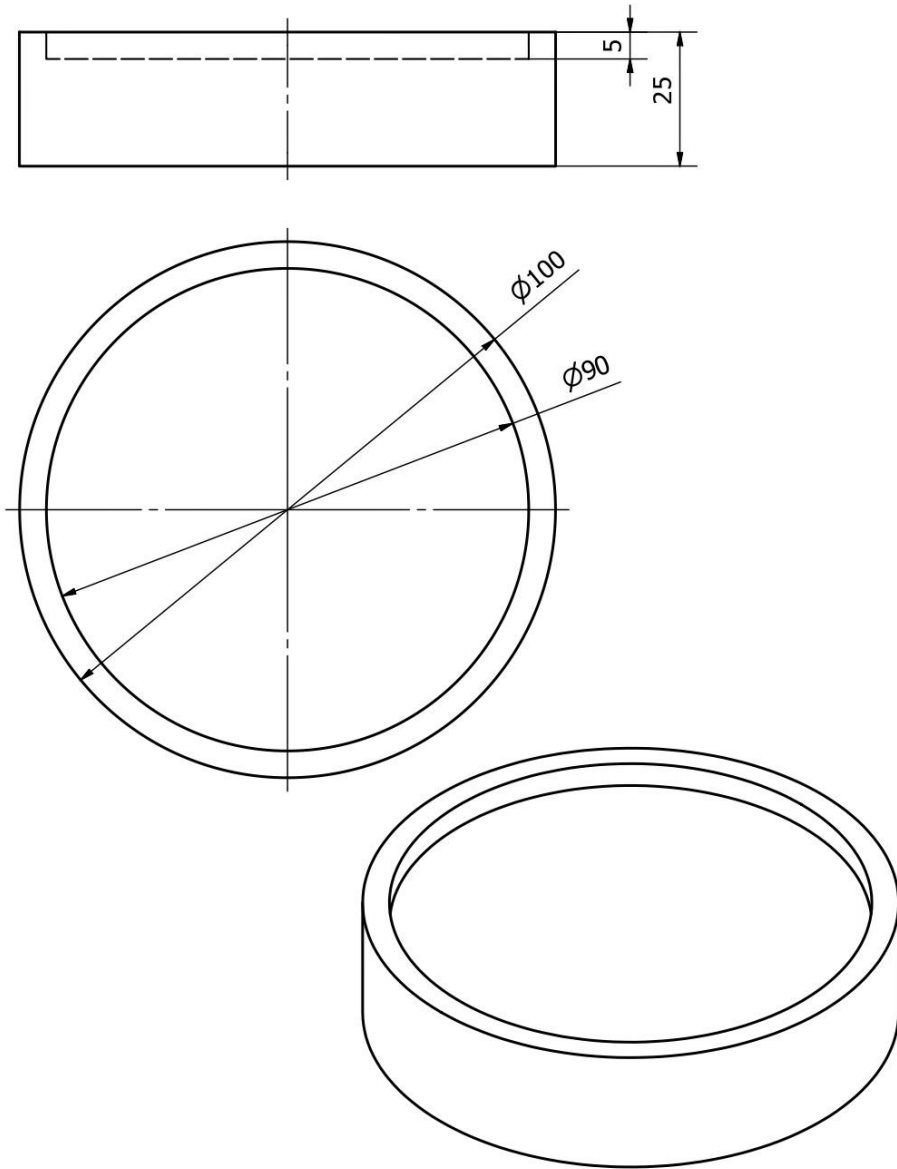
Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							
Aprobat				Data: 11.09.2015			8/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Placă superioară matriță multicavă			





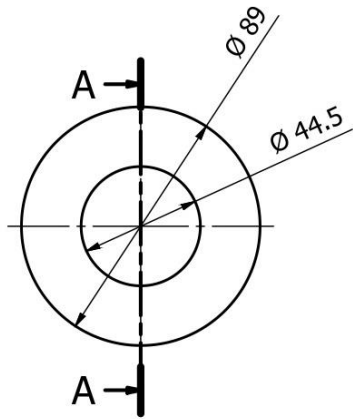
Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	 
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							
Aprobat				Data: 11.09.2015			9/16

Facultatea de Inginerie Hunedoara

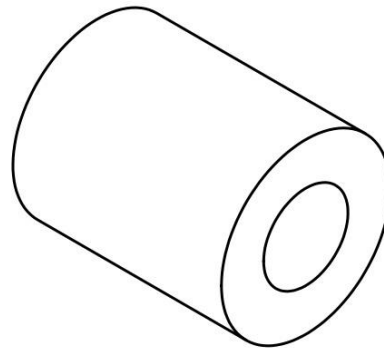
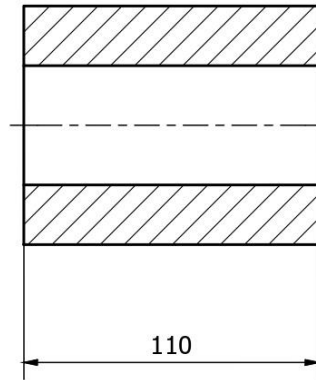
Piesă presare matriță multicavă





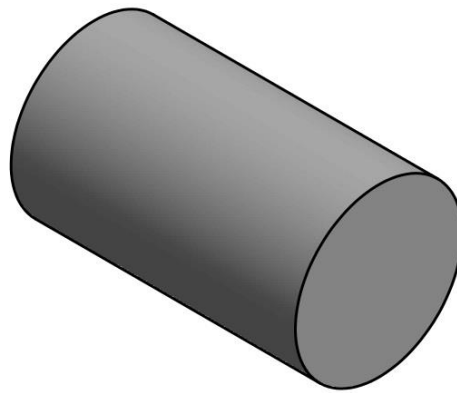
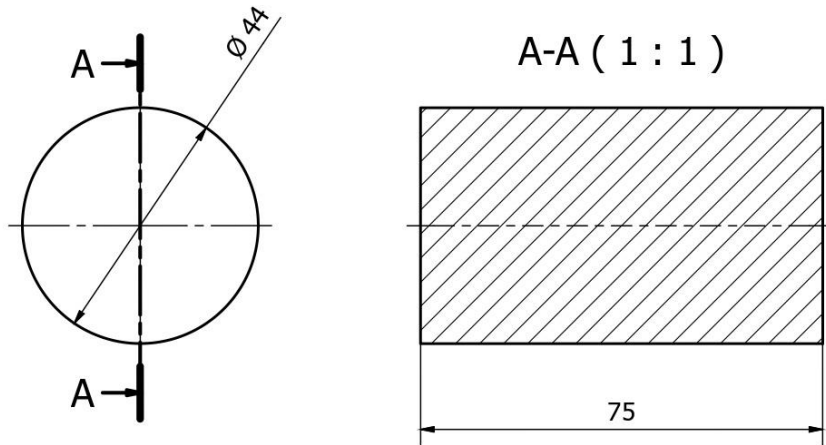
Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	 
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							10/16
Aprobat				Data: 11.09.2015			
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Placă de bază matriță plină cu diametrul mic			



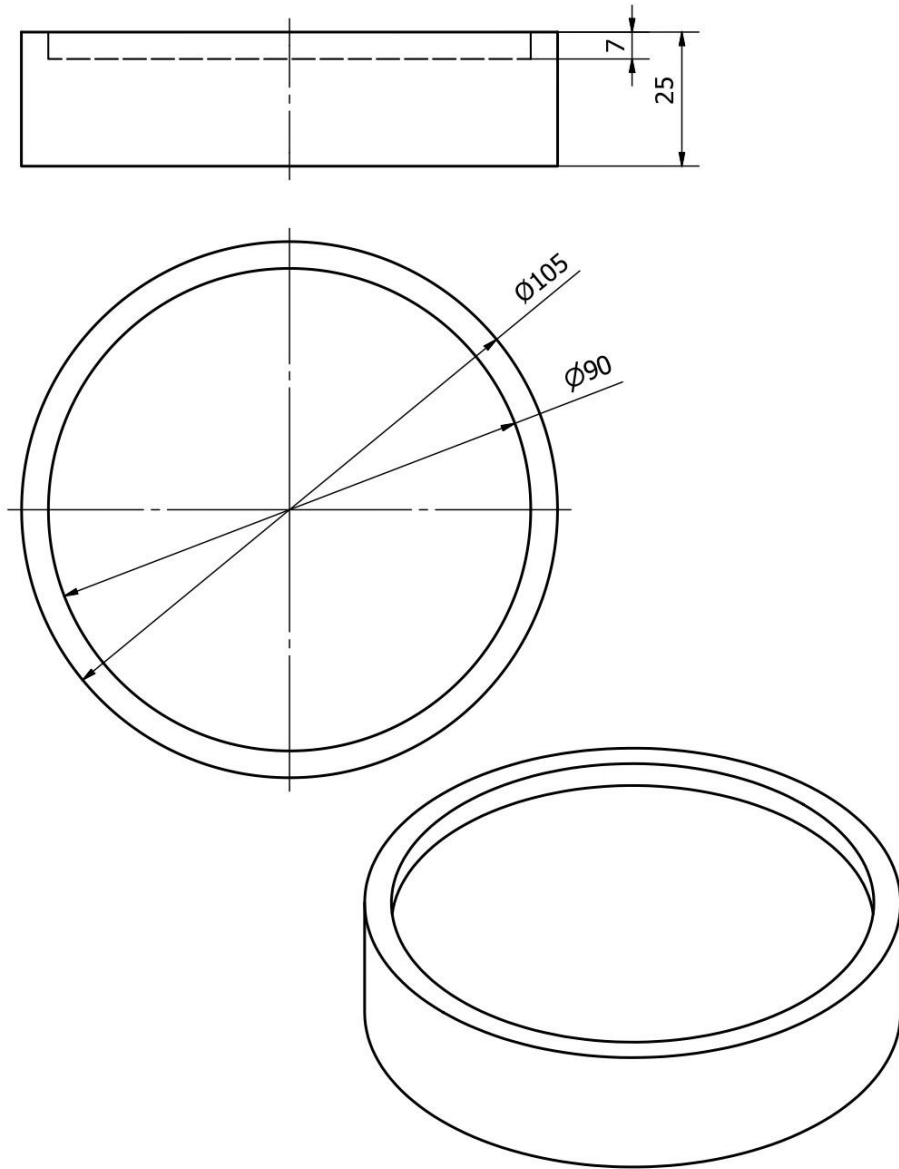
A-A (1 : 2)





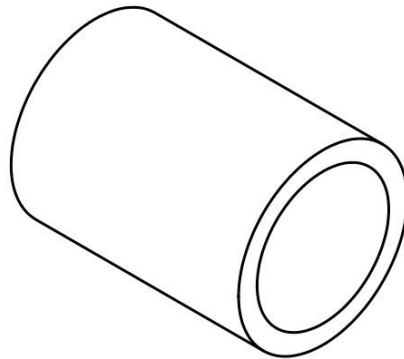
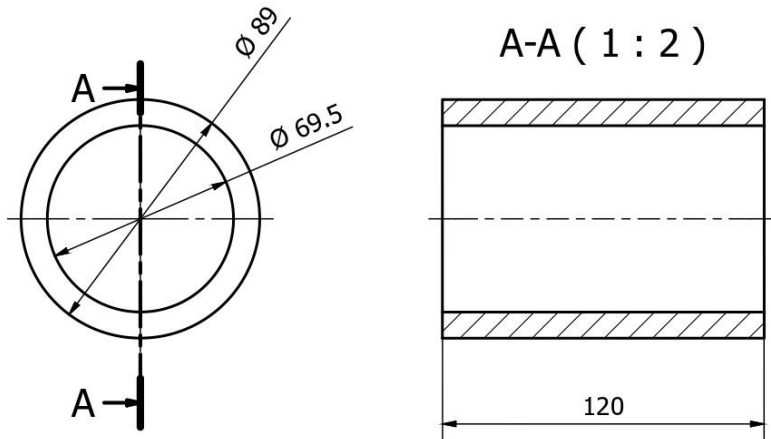
Proiectat	Popescu Darius				 
Desenat	Popescu Darius			A4 (297x210)	
Verificat				Scara 1:2	
Aprobat			Data: 11.09.2015		11/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Corp matriță plină cu diametrul mic		



Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							12/16
Aprobat				Data: 11.09.2015			
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Piston matriță plină cu diametrul mic			



Proiectat	Popescu Darius				A4 (297x210)	Scara 1:1	 
Desenat	Popescu Darius						
Verificat							13/16
Aprobat				Data: 11.09.2015			
Facultatea de Inginerie Hunedoara				Placă de bază matriță plină cu diametrul mare			



Proiectat	Popescu Darius				
Desenat	Popescu Darius			A4 (297x210)	
Verificat				Scara 1:2	
Aprobat			Data: 11.09.2015		14/16
Facultatea de Inginerie Hunedoara			Corp matriță plină cu diametrul mare		

