

CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA ÎN SIDERURGIE A DEȘEURILOR PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

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

Ing. Eugen Mihai Crișan

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Teodor Hepuț
Prof.univ.dr.ing. Nicolae Constantin
Prof.univ.dr.ing. Petre Stelian Niță
Prof.univ.dr.ing. Victor Budău

Ziua susținerii tezei: 26.04.2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

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

Universitatea „Politehnica” din 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, 2013

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” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Știința și Ingineria Materialelor din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara a Universității „Politehnica” din Timișoara.

Cu ocazia definitivării lucrării doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, m-au sprijinit și mi-au împărtășit cunoștințele profesionale.

În primul rând doresc să adresez mulțumiri conducătorului științific, domnului Prof.dr.ing. Hepuț Teodor, pentru sugestiile și sfaturile pline de profesionalism și pentru încrederea acordată pe durata elaborării tezei.

Doresc să mulțumesc doamnelor Conf.dr.ing. Lucia Vîlceanu, Conf.dr.ing. Ana Virginia Socalici, Erika Diana Ardelean pentru îndrumarea acordată. Sugestiile și discuțiile avute cu acest colectiv de îndrumare a condus la pe de o parte la îmbunătățirea redactării prezentei lucrării, iar pe de altă parte la elaborarea de articole științifice prezentate la diferite sesiuni de comunicări și în reviste de specialitate.

Cu această ocazie aduc multe mulțumiri domnului Prof.univ.dr. Makşay Ștefan pentru sprijinul acordat la prelucrarea matematică a datelor experimentale, și domnului Șef.lucr.dr. ing. Puțan Vasile pentru sprijinul acordat la redactarea prezentei lucrări.

De asemenea mulțumesc și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management pentru sfaturile primite, conducerii Facultății pentru asigurarea bunelor condiții de elaborare a prezentei lucrării.

În final aduc mulțumiri familiei mele pentru înțelegerea, răbdarea și ajutorul de care au dat dovadă pe durata stagiului doctoral.

Timișoara, aprilie 2013

Eugen CRIȘAN

CRIȘAN, Eugen Mihai

CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA ÎN SIDERURGIE A DEȘEURILOR PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

Teze de doctorat ale UPT, Seria 11, Nr. 36, Editura Politehnica, 2013, 228 pagini, 231 figuri, 95 tabele.

ISSN:1842-7855

ISBN:978-606-554-660-8

Cuvinte cheie: praf de oțelărie, reducere, praf de furnal. nămol roșu, tunder, rezistență fisurare, rezistență sfărâmare, interval de sfărâmare.

Rezumat,

Scopul tezei de doctorat, constă în determinarea posibilităților de valorificare în industria siderurgică a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și carbon. S-au ales pentru experimentări următoarele deșeuri: praf de furnal, praf de oțelărie Siemens Martin și electrică, țunder, șlam de tunder, nămol roșu, zgură de oțelărie, (fracția feroasă), concentrat din deșeu sideritic și din cenușă de termocentrală. S-au avut în vedere în principal deșeurile rezultate din industria siderurgică și din alte ramuri industriale (minieră, metalurgia neferoasă, energetică etc) și în mod deosebit cele existente în zona de vest a României (Hunedoara, Călan, Oțelul Roșu, Reșița). S-a ales ca variantă tehnologică de valorificare a deșeurilor brichetarea. S-au produs brichete în fază de laborator și pe baza rezultatelor obținute la determinările calitative s-au stabilit ecuații de corelații simple și multiple între acestea și principalii componenți ai rețetelor. De asemenea s-au stabilit posibilitățile de creștere ale suprafeței specifice de reacție prin producerea brichetelor cu cavități. Prezenta teză conține un număr de 8 capitole din care 6 sunt producție proprie a autorului, și 2 reprezintă o sinteză a informațiilor din literatura de specialitate, referitor la proveniența și calitatea deșeurilor, respectiv la procedeele și tehnologiile de valorificare a acestora. Teza de doctorat se încheie cu capitolul 8 în care se prezintă concluziile finale, contribuțiile personale, și direcțiile de continuare a cercetărilor.

CUPRINS

	Pag.
Cap.1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRII ȘI CERCETĂRII	17
1.1. Descrierea esențializată a obiectului cercetării	17
1.2. Structura planului de cercetare	18
1.3. Componentele principale ale planului de cercetare	19
1.4. Concluzii	21
PARTEA I. ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE A GENERĂRII ȘI PROCESĂRII DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON	23
Cap.2. DEȘEURI MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON. PROVENIENȚĂ ȘI CARACTERISTICI CALITATIVE	25
2.1. Surse de deșeuri pulverulente și mărunte	25
2.2. Prezentare generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria siderurgică	25
2.2.1. Praf și șlam de aglomerare-furnale și de oțelărie	29
2.2.2. Țunderul	41
2.2.3. Șlam de la acoperiri anticorozive	46
2.2.4. Zgură de oțelărie	48
2.3. Prezentare generală a caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din afara industriei siderurgice	60
2.3.1. Nămolul roșu	60
2.3.2. Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria energetică	61
2.3.3. Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria chimică	62
2.3.4. Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria minieră	64
2.4. Concluzii	65
Cap. 3. PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII DE VALORIFICAREA DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON	67
3.1. Considerații generale	67
3.2 Valorificarea prin peletizare	67
3.2.1. Producerea peletelor	67
3.2.2. Durificarea sau întărirea peletelor	68
3.2.3. Calitatea peletelor utilizate la încărcarea furnalelor	69
3.3. Brichetarea	71
3.3.1. Caracteristici generale	71
3.3.2. Caracteristicile fizice impuse brichetelor	71
3.3.3. Principiile și clasificarea metodelor de brichetare	71
3.3.4. Brichetare fără adaosuri liante	72
3.3.5. Brichetarea cu adaosuri liante	72
3.3.6. Brichetarea cu așchii de fontă	73
3.3.7. Pregătirea șarjei pentru brichetare	74

3.4. Aglomerarea	75
3.4.1. Considerații generale	75
3.4.2. Fazele procesului de aglomerare	75
3.5. Procedeele Carbofer	77
3.6. Procedeele Primus de reciclare a deșeurilor feroase din siderurgie	79
3.7. Procedeele Fastmet și Fastmelt	81
3.7.1. Considerații tehnologice	81
3.7.2. Descrierea procesului FASTMET	82
3.7.3. Descrierea procedeeului FASTMELT	83
3.8. Procedeele Hamborn	86
3.8.1. Considerații tehnologice	86
3.8.2. Procedeele în cuptor cuvă Hamborn	86
3.8.3. Rezultate experimentale	87
3.9. Concluzii	88
PARTEA A-II-A. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PROPRII DE PROCESARE PRIN BRICHETARE ȘI REDUCERE DIRECTĂ A DEȘEURILOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON	89
Cap.4. CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DIMENSIONALE A BRICHETELOR CU SUPRAFAȚĂ DE REACȚIE MĂRITĂ ...	91
4.1. Considerații tehnice	91
4.2. Caracteristici dimensionale a brichetelor cu suprafață de reacție mărită	91
4.2.1. Brichete compacte	92
4.2.2. Brichetă cu cavități	96
4.2.2.1 Bricheta tubulară	96
4.2.2.2 Bricheta multicavă	99
4.2.2.3 Bricheta tubulară cu cavități	105
4.3. Concluzii	111
Cap.5. CARACTERISTICILE CALITATIVE ALE DEȘEURILOR UTILIZATE ÎN CADRUL EXPERIMENTĂRIILOR	113
5.1. Considerații generale	113
5.2. Compoziția chimică	113
5.3. Caracteristici fizice	119
5.4. Praful de electrofiltru de la oțelăriile electrice echipate cu cuptoare cu arc electric	120
5.5. Concluzii	127
Cap.6. CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND PROCESAREA PRIN BRICHETARE A DEȘEURILOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON	129
6.1. Instalații și echipamente folosite în cadrul experimentărilor	129
6.2. Fluxul tehnologic și tehnologia de producere a brichetelor în fază de laborator	131
6.3. Experimentări de laborator privind producerea brichetelor din deșeuri mărunte și pulverulente	133
6.3.1 Producerea brichetelor	135
6.3.2. Rezultatele privind prelucrarea datelor în programul de calcul EXCELL ...	140
6.3.3. Prelucrarea datelor în programul MATLAB	151

6.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute	169
6.5. Concluzii	170
Cap. 7. CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA BRICHETELOR OBȚINUTE DIN DEȘEURI PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON .	171
7.1. Considerații tehnologice	171
7.2. Experimentări și rezultate obținute în fază de laborator, privind reducerea brichetelor cu suprafață de reacție mărită	175
7.2.1. Experimentări în fază de laborator	175
7.2.2. Rezultate obținute	180
7.2.3. Analiza tehnologică a rezultatelor	184
7.3.Reducerea brichetelor în condiții de temperatură variabilă și topirea brichetelor reduse	184
7.3.1.Producerea și reducerea brichetelor autoreducătoare	184
7.3.2. Topirea brichetelor reduse în cuptorul Tamman	185
7.3.3. Topirea brichetelor reduse în cuptorul cu inducție	186
7.3.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la procesarea brichetelor în cuptorul Tamman și cuptorul cu inducție	189
7.4.Concluzii	189
PARTEA A-III-A. CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE ȘI EVIDENȚIEREA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE PENTRU REZOLVAREA TEMEI DE DOCTORAT	191
Cap. 8. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR	193
8.1. Concluzii finale	193
8.2. Contribuții originale	196
8.3. Direcții de continuarea a cercetărilor	197
DISEMINARE REZULTATE	200
ANEXE	201
Anexă Capitolul 4	201
Anexă Capitolul 6	206
Anexă Capitolul 7	220
Bibliografie	221

Listă de tabele

Tabelul 2.1. Deșeuri provenite din sectorul siderurgic [1]	pag. 26
Tabelul 2.2. Distribuția granulometrică a deșeurilor pulverulente[1]	28
Tabelul 2.4. Analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și oțelărie pentru câteva centre siderurgice din România [1]	32
Tabelul 2.5. Granulometria șlamului de furnale [1]	33
Tabelul 2.6. Rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate [1]	35
Tabelul 2.7. Deșeuri industriale generate la OE2-TC, ArcelorMittal Hunedoara S.A. [1]	43
Tabelul 2.8. Compoziția chimică a țunderului, % [1, 5]	44
Tabelul 2.9. Deșeuri industriale generate de secția Laminoare [1]	44
Tabelul 2.10. Componenta țunderului de laminare [1]	45
Tabelul 2.11. Compoziția chimică a țunderului [1]	45
Tabelul 2.12. Analiza chimică a deșeurilor tip țunder din industria siderurgică [1]	45
Tabelul 2.13. Compoziția chimică a șlamului de la acoperiri anticorozive [1, 5]	46
Tabelul 2.14. Caracteristicile zgurii procesate la C.S.H [1, 3]	49
Tabelul 2.15. Sorturi de zgură rezultate în urma prelucrării [1]	52
Tabelul 2.16. Evaluarea haldelor de zgură din România [1]	54
Tabelul 2.17. Compoziția chimică și granulometrică a zgurii de convertizor [1]	55
Tabelul 2.18. Compoziția chimică a zgurii de pe halda Buituri – Hunedoara [1]	56
Tabelul 2.19. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea [1]	60
Tabelul 2.20. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Tulcea [1]	61
Tabelul 2.21. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Oradea [1]	61
Tabelul 2.22. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Oradea [1]	61
Tabelul 2.23. Compoziția cenușilor de termocentrală [1]	62
Tabelul 2.24. Compoziția concentratului de cenușă de termocentrală [1]	62

Tabelul 2.25. Analiza granulometrică concentratului de cenușă de termocentrală [1]	62
Tabelul 2.26. Compoziția chimică a cenușilor piritice [1]	63
Tabelul 2.27. Compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor tip siderită [1]	64
Tabelul 3.1. Modificările intervenite în exploatarea furnalului la insuflarea unei cantități de 1 tonă amestec praf de cărbune + Carbofer [15]	78
Tabelul 3.2. Proporțiile deșeurilor în componența CARBOFER-ului [5]	79
Tabelul 3.3. Rezultatele testelor pentru producerea FASTIRON [10]	84
Tabelul 3.4. Materiale de încărcare (procesate sub formă de brichete) pentru cuptorul cu cuvă Hamborn [86, 87]	87
Tabelul 4.1. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul n	94
Tabelul 4.2. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul m	97
Tabelul 4.3. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul p	99
Tabelul 4.4. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul q	106
Tabelul 5.1. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) [1, 16]	113
Tabelul 5.2. Compoziția chimică a prafului de aglomerator (aglomerat bazic) [1, 16]	114
Tabelul 5.3. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (înainte de uscare) [1, 16]	114
Tabelul 5.4. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (după uscare) [1, 16]	114
Tabelul 5.5. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelăria Siemens-Martin (O.S.M. II Hunedoara) [1, 16]	114
Tabelul 5.6. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2 S.C. ArcelorMittal Hunedoara[1, 16])	115
Tabelul 5.7. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița [1, 16]	115
Tabelul 5.8. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu [1, 16]	115
Tabelul 5.9. Compoziția chimică a izerului ArcelorMittal Hunedoara[1, 16]	115
Tabelul 5.10. Compoziția chimică a șlamului de izer ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]	116
Tabelul 5.11. Compoziția chimică a deșeurilor sideritice[1, 16]	116
Tabelul 5.12. Compoziția chimică a concentratului sideritic secundar [1, 16]	116
Tabelul 5.13. Compoziția chimică a deșeurilor sideritice secundar [1, 16]	116
Tabelul 5.14. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea [1]	117
Tabelul 5.15. Compoziția cenușilor de termocentrală [1]	117
Tabelul 5.16. Compoziția concentratului de fier din cenușă de termocentrală [1]	117
Tabelul 5.17. Compoziția zgurii de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]	117
Tabelul 5.18. Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]	118
Tabelul 5.19. Compoziția zgurii fracție deferizată de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1,16]	118
Tabelul 5.20. Compoziția chimică a adaosurilor utilizate la liere [16]	118
Tabelul 5.21. Compoziția granulometrică a materialelor[1]	119
Tabelul 5.22. Analiza granulometrică concentratului de cenușă de termocentrală [1]	119

Tabelul 5.23. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de alumina Oradea	119
Tabelul 5.24. Analiza granulometrică a ținderului, concentrat sideritic secundar și zgură de oțelărie fracția feroasă	120
Tabelul 5.25. Granulometria prafului de electrofiltru EBT de la TMK Reșița S. [1,16]	121
Tabelul 5.26. Caracteristicile cineticii capacității de umectare ale deșeurilor feroase [1]	121
Tabelul 5.27. Rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate [1, 16]	125
Tabelul 5.28. Compoziția fazelor posibile de amestec ale oxizilor de Zn și Fe [1]	126
Tabelul 6.1. Componența rețetelor, [%], [98]	135
Tabelul 6.2. Compoziția chimică a rețetelor, [%]	136
Tabelul 6.3. Componența rețetelor, [%], [99]	136
Tabelul 6.4. Compoziția chimică a rețetelor, [%]	137
Tabelul 6.5. Componența rețetelor, [%], [91]	137
Tabelul 6.6. Compoziția chimică a rețetelor, [%]	138
Tabelul 6.7. Componența rețetelor, [%], [92]	138
Tabelul 6.8. Compoziția chimică a rețetelor, [%]	139
Tabelul 6.9. Componența rețetelor, [%], [97]	139
Tabelul 6.10. Compoziția chimică a rețetelor, [%]	140
Tabelul 7.1. Componența brichetelor supuse proceselor de reducere	176
Tabelul 7.2. Compoziția chimică brichetelor supuse proceselor de reducere	177
Tabelul 7.3. Numărul de brichete produse și experimentate în funcție de tipul acestora și de rețetă utilizat	177
Tabelul 7.4. Simbolizarea brichetelor (Rețeta I - tip : 1; 2; 3.) în funcție de timpul de menținere	177
Tabelul 7.5. Simbolizarea brichetelor (Rețeta I - tip 4; 5; 3.) în funcție de timpul de menținere	178
Tabelul 7.6. Simbolizarea brichetelor (Rețeta II - tip : 1; 4; 5; 6.) în funcție de timpul de menținere	178
Tabelul 7.7. Simbolizarea brichetelor (Rețeta III - tip 1; 4; 5; 6.) în funcție de timpul de menținere	178
Tabelul 7.8. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta 1 (tip 1; 2; 3.)	179
Tabelul 7.9. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta 1 (tip 4; 5; 6.)	179
Tabelul 7.10. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta II (tip 1; 4; 5; 6.)	180
Tabelul 7.11. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta III (tip 1; 4; 5; 6.)	180
Tabelul 7.12. Gradul de metalizare a brichetelor supuse reducerii	180
Tabelul 7.13. Componența brichetelor	185
Tabelul 7.14. Compoziția chimică brichetelor supuse proceselor de reducere	185
Tabelul 7.15. Compoziția chimică a fontei	186
Tabelul 7.16. Compoziția chimică a zgurii	186
Tabelul 7.17. Componența încărcăturii cuptorului electric cu inducție	186
Tabelul 7.18. Compoziția chimică a fontei	187
Tabelul 7.19. Bilanțul încărcăturii	188
Tabelul 7.20. Compoziția chimică a fontei	188
Tabelul 7.21. Compoziția chimică a zgurii	188

Listă de figuri

	pag.
Fig.2.1. Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unui combinat siderurgic [1]	27
Fig.2.2. Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic [1]	27
Fig. 2.3. Conceptul de reciclare integrată a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic [1, 2]	28
Fig.2.4. Iazul decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați S.A. [1, 2]	31
Fig.2.5. Depozitul de șlam de aglomerare de furnal rezultat pe platforma industrială a Combinatului S.C. Sidermet S.A. Călan [1, 2]	31
Fig.2.6. Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. (Bataga) [1, 5]	32
Fig.2.7. Distribuția claselor granulometrice 10-100 μm [1]	34
Fig.2.8. Distribuția claselor granulometrice 0-10 μm [1]	34
Fig.2.9. Distribuția claselor granulometrice 0-10 μm [1]	35
Fig.2.10. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 200 [1]	36
Fig.2.11. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 3000 [1]	36
Fig.2.12. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 4000 [1]	37
Fig.2.13. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 5000 [1]	37
Fig.2.14. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 6000 [1]	37
Fig.2.15. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Mn, Ca, K, Si, Zn [1]	38
Fig.2.16. Imagini de distribuție de raze X - Fe [1]	38
Fig.2.17. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]	38
Fig.2.18. Imaginea șlamului de furnal la mărime x 1000 [1]	39
Fig.2.19. Imaginea șlamului de furnal la mărime x 4000 [1]	39
Fig.2.20. Imagini de distribuție de raze X – Fe, Zn, Si, Ca, K, Pb, Al, Mn [1]	39
Fig.2.21. Imagini de distribuție de raze X – Zn [1]	40
Fig.2.22. Imagini de distribuție de raze X – Fe, Zn, Si, Ca, K, Pb, Al, Mn [1]	40
Fig.2.23. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]	40
Fig.2.24. Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald [1]	42
Fig.2.25. Distribuția granulometrică a țunderului, sursa Hunedoara [1]	47
Fig.2.26. Cinetica de absorbție a apei a țunderului, sursa Hunedoara [1]	47
Fig.2.27. Schema unei instalații de deferizare a zgurii LD [1]	51
Fig.2.28. Schema de deferizare a zgurii de oțelărie [1]	52
Fig.2.29. Transportul zgurii lichide [1]	53
Fig.2.30. Instalații de primă mărunțire a zgurii [1]	53
Fig.2.31. Structura zgurii de oțelărie realizată în România [1, 2]	54
Fig.2.32. Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați [1, 2]	55

Fig.2.33. Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A. [1, 2]	55
Fig.2.34. Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. [1, 2]	56
Fig.2.35. Domenii de utilizare a zgurilor metalurgice [1, 2]	57
Fig.2.36. Amplasarea firmei SLAG PROCESSING SERVICE S.A. pe halda de zgură Buituri Hunedoara [1]	58
Fig.2.37. Procesul de prelucrare a zgurii la firma SLAG PROCESSING SERVICE S.A. [1]	58
Fig.2.38. Instalația de concasare – deferitizare - sortare, tip UTN 300 COBRA ED 7015 [1]	59
Fig.2.39. Sorturile granulometrice obținute în urma prelucrării zgurii [1]	59
Fig.2.40. Iazul decantor al combinatului S.C. ALUMINA S.A.Tulcea [1]	60
Fig. 2.41. Depozitele de zgura - cenușa Mintia Deva [1]	62
Fig.2.42. Depozitul de cenușă piritică de la Valea Călugărească [1]	63
Fig.2.43. Iazurile de decantare steril tip siderită Teliuc [1, 6]	64
Fig.3.1. Variația în timp a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece cu liant	69
Fig.3.2. Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora [7]	70
Fig.3.3. Schema metodelor de brichetare [9]	72
Fig.3.4. Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor: 1 – minereu magnezic; 2 – martit; 3 – martit + 10% argilă; 4 – minereu brun – roșcat. [8]	73
Fig.3.5. Variația densității brichetelor pe înălțime la presare unilaterală (a) și bilaterală (b) [9]	74
Fig. 3.6. Mașină de aglomerare cu bandă [11]	76
Fig.3.7. Tratarea deșeurilor din siderurgie prin procedeul „Primus”	80
Fig.3.8. Procedeul Fastmet, Uzina Kobe Steel Kakogawa Works [13, 14]	81
Fig.3.9. Procesul FASTMET, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel[13, 14]	83
Fig. 3.10. Procedeul FASTMELT, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel[13, 14]	85
Fig. 4.1 Schema avansării frontului de reacție	92
Fig. 4.2. Bricheta compactă	92
Fig. 4.3. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul n (H/D)	94
Fig. 4.4. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul n (H/D)	95
Fig. 4.5. Dependența raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul n (H/D)	95
Fig. 4.6. Dependența raportului $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul n (H/D)	95
Fig.4.7. Brichetă tubulară	96
Fig. 4.8. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul m (R/R_i)	97
Fig. 4.9. Dependența coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul m (R/R_i)	98
Fig. 4.10. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul m (R/R_i)	98
Fig. 4.11. Dependența raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul m (R/R_i)	98
Fig. 4.12. Dependența raportului $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul m (R/R_i)	99
Fig. 4.13 Brichetă multicavă	101
Fig. 4.14. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	101
Fig. 4.15. Dependența coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	102
Fig. 4.16. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	102
Fig. 4.17. Dependența raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	102
Fig. 4.18. Dependența $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități k	103

Fig. 4.19 Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței totale S_t în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	103
Fig. 4.20. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	104
Fig. 4.21. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	104
Fig. 4.22. Corelația dublă a raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	104
Fig. 4.23. Corelația dublă $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)	105
Fig.4.24. Bricheta tubulară cu cavități	105
Fig. 4.25. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	108
Fig. 4.26. Dependența coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k) cu $R_i = R/2n$	108
Fig. 4.27. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	108
Fig. 4.28. Dependența raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	109
Fig. 4.29. Dependența $((S_t-S)/S) \cdot 100$ funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	109
Fig. 4.30. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței totale S_t în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	110
Fig. 4.31. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	110
Fig. 4.32. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	110
Fig. 4.33. Corelația dublă a raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități k	111
Fig. 4.34. Corelația dublă $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)	111
Fig.5.1. Distribuția granulometrică a prafului de electrofiltru [1]	122
Fig.5.2. Cinetica umectării prafului de electrofiltru de la TMK Reșița [1]	122
Fig.5.3. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 1000 [1]	123
Fig.5.4. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 2000 [1]	123
Fig.5.5. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 3000 [1]	123
Fig.5.6. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 5000 [1]	124
Fig.5.7. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 7000 [1]	124
Fig.5.8. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Zn, Mn, Cl, Ca, K, Pb și Si [1]	124
Fig.5.9. Imagini de distribuție de raze X - Fe [1]	125
Fig.5.10. Imagini de distribuție de raze X - Zn [1]	125
Fig.5.11. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]	126
Fig.6.1. Schema tehnologică pentru brichetare	132
Fig.6.2. Diagrama de durificare a brichetelor	133
Fig. 6.3. Componenta rețetelor	136
Fig.6.4. Componenta rețetelor	137
Fig.6.5. Componenta rețetelor	138
Fig.6.6. Componenta rețetelor	139
Fig.6.7. Componenta rețetelor	140
Fig.6.8. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de oțelărie	141
Fig.6.9. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale	141
Fig.6.10. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de țunder	141
Fig.6.11. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de bentonită	142
Fig.6.12. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de grafit	142
Fig.6.13. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	142
Fig.6.14. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	143
Fig. 6.15. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de oțelărie	143
Fig.6.16. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale	143

Fig.6.17. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de țunder	144
Fig.6.18. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de var	144
Fig.6.19. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de grafit	144
Fig. 6.20. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	145
Fig. 6.21. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	145
Fig.6.22. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale	145
Fig. 6.23. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de oțelărie	146
Fig.6.24. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de bentonită	146
Fig.6.25. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de var	146
Fig.6.26. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	147
Fig.6.27. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	147
Fig.6.28. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de oțelărie	147
Fig.6.29. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale	148
Fig.6.30. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de ciment	148
Fig.6.31. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	148
Fig.6.32. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	149
Fig.6.33. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de oțelărie	149
Fig.6.34. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de țunder	149
Fig.6.35. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de ciment	150
Fig.6.36. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	150
Fig.6.37. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare	150
Fig.6.38. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnale (PF) și țunder (T) [98]	151
Fig.6.39. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [98]	151
Fig.6.40. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF) [98]	152
Fig.6.41. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T) [98]	152
Fig.6.42. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [98]	153
Fig.6.43. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [98]	153
Fig.6.44. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (t) [98]	154
Fig.6.45. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [98]	154
Fig.6.46. Intervalul de sfărâmare al brichetelor a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [98]	154
Fig.6.47. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnale (PF) și țunder (T) [99]	155
Fig.6.48. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [99]	155
Fig.6.49. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF) [99]	156
Fig.6.50. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T) [99]	156
Fig.6.51. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [99]	157
Fig.6.52. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [99]	157
Fig.6.53. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T) [99]	157
Fig.6.54. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [99]	158
Fig.6.55. Intervalul de sfărâmare al brichetelor a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [99]	158
Fig.6.56. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de	158

praf de oțelărie (PO) și bentonită (B) [91]	
Fig.6.57. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnal (PF) și bentonită (B) [91]	159
Fig.6.58. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF) [91]	159
Fig.6.59. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și bentonită (B) [91]	160
Fig.6.60. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și bentonită (B) [91]	160
Fig.6.61. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [91]	160
Fig.6.62. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și bentonită (B) [91]	161
Fig.6.63. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și bentonită (B) [91]	161
Fig.6.64. Intervalul de sfărâmare al brichetelor a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [91]	162
Fig.6.65. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și var (V) [92]	162
Fig.6.66. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnal (PO) și var (V) [92]	162
Fig.6.67. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare-furnal (PF) [92]	163
Fig.6.68. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și var (V) [92]	163
Fig.6.69. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V) [92]	164
Fig.6.70. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [92]	164
Fig.6.71. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și var (V) [92]	164
Fig.6.72. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V) [92]	165
Fig.6.73. Intervalul de sfărâmare al brichetelor a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF) [92]	165
Fig.6.74 Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și var (V) [97]	166
Fig.6.75. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V) [97]	166
Fig.6.76. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [97]	166
Fig.6.77. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și var (V) [97]	167
Fig.6.78. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V) [97]	167
Fig.6.79. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [97]	168
Fig.6.80. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de țunder (T) și (V) var [97]	168
Fig.6.81. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V) [97]	168
Fig.6.82. Intervalul de sfărâmare al brichetelor a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T) [97]	169
Fig.7.1. Schema dezvoltării unei reacții topochimice [7]	171
Fig.7.2. Schema de reducere	172
Fig.7.3. Cinetica relațiilor topochimice: a-variația gradului de transformare funcție de timp; b-viteza de transformare funcție de timp [7, 18]	172
Fig.7.4. Reducerea în succesiune temporală (a) și spațială (zonală) a hematitei (b), [20]	173

Fig.7.5. Schema dezvoltării unei reacții topochimice: a-brichetă tubulară; b-brichetă multicavă; c-brichetă tubulară multicavă	176
Fig. 7.6. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta I , corelații exprimate prin funcție logaritmică)	182
Fig. 7.7. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta I, corelații exprimate prin funcție liniară)	182
Fig. 7.8. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta II , corelații exprimate prin funcție logaritmică)	182
Fig. 7.9. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta II , corelații exprimate prin funcție liniară)	183
Fig. 7.10. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta III, corelații exprimate prin funcție logaritmică)	183
Fig. 7.11. Variația gradului de metalizare în funcție de timp ($T = 1150^{\circ}\text{C}$ –brichete produse după rețeta III , corelații exprimate prin funcție liniară)	183

1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

Exploatarea zăcămintelor de minereuri de fier care se supun în prealabil operațiilor de concentrare, conduce la obținerea concentratelor de fier cu granulația fină, ceea ce provoacă dificultăți în procesul de aglomerare pe bandă, putându-se prelucra prin acest procedeu 10-15% concentrat, mai eficace în acest caz fiind peletizarea, și în anumite condiții brichetarea.

Deșeurile feroase pulverulente din punct de vedere al granulației corespund concentratelor, astfel încât pot fi procesate foarte bine prin peletizare, iar cele mărunte și pulverulente prin aglomerare și brichetare.

Comportarea minereurilor de fier/deșeurilor feroase în procesul de brichetare, respectiv analiza calității brichetelor obținute a fost studiată de mulți cercetători. 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 structura șarjei de brichetare asupra caracteristicilor acestora.

În cazul procesării minereurilor de fier prin brichetare, prin 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 H_2) mai puțin în cazul utilizării pentru reducere a carbonului sau $\text{C}+\text{CO}+\text{H}_2$. Vom cerceta avansarea frontului de reducere atât din exterior cât și din interior, utilizând ca agenți de reducere carbonul, oxidul de carbon și hidrogenul.

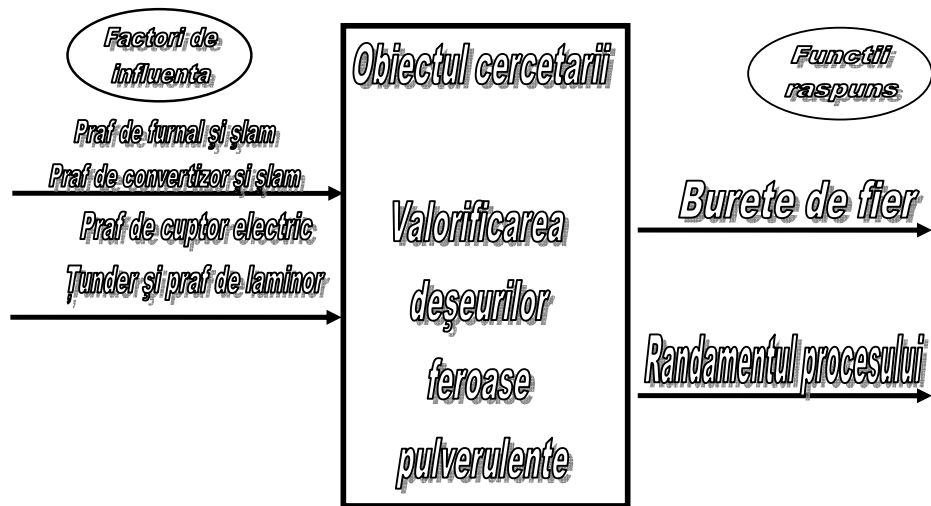
Consider că rezultatele obținute vor prezenta interes pentru cercetători și specialiști din producție.

1.1 Descrierea esențializată a obiectului cercetării

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 feros (fier legat chimic, uneori 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)

Preocupările producătorilor de oțel cu privire la managementul oțelărilor și mai ales la problema reziduurilor, devin în mod cert probleme deosebite care se vor amplifica ulterior, valorificarea acestora devenind practic o necesitate.

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



1.2. Structura planului de cercetare

În cadrul programului de cercetare dezvoltat se va efectua un studiu amănunțit al posibilităților de valorificare a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte cu conținut de fier, fier și carbon precum și a unor deșeuri bazice pulverulente și mărunte în industria siderurgică

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 se vor efectua în cadrul tezei de doctorat vor fi orientate spre valorificarea deșeurilor feroase pulverulente rezultate pe fluxurile siderurgice (praf și șlam de la aglomerare, furnale, oțelării, șlam de țunder), de la procesarea bauxitei (nămolul roșu), 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 etc.)

Teza de doctorat este structurată pe două părți:

a).partea a I-a, în care am prezentat în sinteză un studiu din literatura de specialitate referitor la tematica lucrării de doctorat, și anume:

- sursele de deșeuri feroase pulverulente și mărunte, principalele caracteristici tehnologice, precum și stadiul de valorificare a acestora pe plan național și internațional;

- procedeele și tehnologiile de procesare a deșeurilor prezentate mai sus.

b).partea a II-a, în care am prezentat cercetările proprii, și anume:

- determinarea posibilităților de creștere a suprafeței specifice de reacție și stabilirea unor corelații între suprafața specifică a brichetei și dimensiunile acesteia în variantele:

b1) menținerea constantă a volumului brichetei și variația raportului între înălțime și diametru (H/D);

b2) menținerea constantă a înălțimii și diametrului brichetei și formarea în interiorul acestora a unor cavități.

- experimentări în fază de laborator privind procesarea deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier/fier+carbon prin brichetare; stabilirea unor corelații între caracteristicile brichetelor considerați parametri dependenți și parametri independenți definiți prin componența rețetelor și compoziția chimică a acestora și analiza tehnologică a rezultatelor obținute;

- experimentări în fază pilot privind reducerea brichetelor și utilizarea acestora ca și component în încărcătura metalică la elaborarea aliajelor feroase și analiza tehnologică a rezultatelor obținute;

- analiza tehnico-economică privind valorificarea deșeurilor prin brichetare;
- concluzii finale, contribuțiile originale și modul de implementare a acestora în practică.

1.3. Componentele principale ale planului de cercetare

În urma activităților tehnologice care au loc în majoritatea proceselor industriale, rezultă pe lângă produsul principal și unul sau mai multe produse secundare, respectiv deșeuri.

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

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.

În apele uzate, evacuate de la o serie de instalații de epurare a gazelor și din sectorul laminoare, se găsesc de asemenea cantități importante de deșeuri prăfoase cu conținut de 60-70% Fe, care raportate la o producția anuală de 1,0 milioane tone de oțel totalizează o cantitate de peste 20.000 t/an (actualmente pentru ArcelorMittal cca. 7000 t/an).

Deoarece această acțiune este 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 25.000-35.000 t de materiale feroase prăfoase (2,5%) cu conținut de fier între 40-60%, care trebuie captate din gazele evacuate în atmosferă.

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.

Referitor la tehnologiile de elaborare a oțelurilor, acestea au fost mult studiate pe parcursul anilor, una din cele mai însemnate realizări fiind utilizarea oxigenului gazos pentru intensificarea proceselor de topire și oxidare, reușindu-se pe lângă o îmbunătățire semnificativă a calității oțelului, și o creștere a productivității și reducerea consumurilor energetice.

Introducerea tehnologiei de suflare a oxigenului în baia metalică a cuptoarelor Siemens-Martin, a permis prelungirea duratei de exploatare a acestora, după intrarea în funcțiune a oțelărilor cu convertizoare cu oxigen L.D (în prezent cuptoarele Siemens-Martin bazice sunt scoase definitiv din funcțiune).

Utilizarea intensă a oxigenului la convertizoarelor cu oxigen, automatizarea și conducerea cu calculatoare a proceselor de elaborare și turnare, a condus la creșterea productivității și extinderii gamei de oțeluri cu conținut scăzut și foarte scăzut de carbon.

Referitor la introducerea tehnologiei de suflare a oxigenului în baia metalică a cuptoarelor electrice cu arc, urmată de introducerea în oțelăriile electrice a cuptoarelor tip U.H.P și mai ales a cuptoarelor E.B.T., echipate cu transformatoare de putere mare și foarte mare, a condus la creșterea productivității și la extinderea gamei de oțeluri .

Menționez că extinderea pe plan mondial în ultimii 50 de ani, aproape în toate oțelăriile a așa numitei „Metalurgii în Oală”, a produs o adevărată revoluție tehnică în procesul de elaborare a oțelului.

În toate cazurile prezentate mai sus, ca urmare a aplicării acestor tehnologii în practica de elaborare a oțelului, au determinat o creștere semnificativă a cantității de praf, antrenat de către gazele tehnologice care părăsesc agregatul de procesare a oțelului lichid, ceea ce a impus ca obligatorie epurarea gazelor evacuate cu captarea și depozitarea prafului rezultat.

Având în vedere finețea prafului captat la epurare gazelor, depozitarea acestora ridică probleme deosebite referitoare la protecția mediului, astfel încât aproape toate societățile siderurgice care dețin asemenea deșeuri, caută soluții de reintroducerea acestora în circuitul siderurgic.

Prin tematica tezei de doctorat se are 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, se vor efectua cercetări privind procesarea deșeurilor feroase (precum și a celor cu conținut de fier și carbon pulverulente, respective cu oxizi bazici) 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), șpan, țunder și concentrat feros din deșeu sideritic.

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

- capacitatea 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;

De asemenea se va studia evoluția frontului de reducere în interiorul brichetelor, atât pentru brichete cu adaos de carbon cât și fără adaos de carbon, precum și pentru brichete cu suprafață mărită la contactul cu gazele reducătoare (brichete tubulare și multicave).

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

Prin rezultatele obținute, consider că vor fi clarificate o parte din problemele menționate, iar valabilitatea acestora se va demonstra și prin verificarea industrială a rezultatelor obținute.

1.4. Concluzii

Alegerea temei de doctorat în domeniul cercetării este justificată de ipotezele prezentate în cadrul capitolului și generează următoarele concluzii emise de către autor:

- 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 deșuri și transformarea lor sub formă de bucăți, corespunzătoare calitativ pentru a fi folosite ca materii prime sau auxiliare în industria siderurgică, suprafețele ocupate în prezent de ele pot fi redat înapoi naturii, 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 deșuri, care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie;
- 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;**

- componența rețetelor se va stabili în funcție de disponibilul de deșeuri mărunte și pulverulente și de destinația materialului procesat, 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.

PARTEA I

ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE A GENERĂRII ȘI PROCESĂRII DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

2. DEȘURI MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON. PROVENIENȚĂ ȘI CARACTERISTICI CALITATIVE

2.1. Surse de deșuri pulverulente și mărunte

În cadrul proceselor industriale pe lângă produsul principal de fabricație rezultă uneori produse secundare și deșuri.

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

În practica producătorilor de oțel, pe plan mondial, deșeurile mărunte și pulverulente cu conținut de carbon, de fier, respectiv de fier și carbon, semnalate sunt:

- praf de carbon
- praf și șlam aglomerare;
- praf și șlam furnale;
- praf și șlam de convertizor;
- praf de oțelărie (Siemens Martin);
- praf de electrofiltru de la oțelăria electrică;
- țunder și șlam de țunder;
- șlam de la tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive;
- fracția feroasă din zgurile de oțelărie.

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

- a) industria aluminiului - nămolurile roșii;
- b) industria chimică - cenușile de pirită;
- c) industria energetică - concentrat de fier din cenuși de termocentrală;
- d) industria minieră - concentrat de fier din deșeu sideritic.

Cantitățile importante generate, impactul negativ asupra mediului și potențialul economic datorat componentei utile - Fe, 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;
- readucerea deșeurilor generate la o stare compatibilă cu mediul ambiant;
- utilizarea deșeurilor pentru realizarea de alte materiale în special materiale de construcții [1, 34].

2.2. Prezentare 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, 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 2.1)[1, 34].

Tabelul 2.1. Deșeuri provenite din sectorul siderurgic [1]

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	
2.	Pilitură de oțel de polizare laminate	
3.	Șpan de la decojire de laminate	
Sectorul tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive		
1.	Șlam	

* smoală petrolieră sau reziduuri de la decantarea gudronului

Din totalitatea deșeurilor generate în procesele siderurgice, prezentate în figura 2.1, deșeurile pulverulente, potențiale subproduse, au ridicat probleme la valorificare datorită pe de o parte, compoziției granulometrice nesatisfăcătoare, și anume fracția fin dispersată fiind în cantitate mare, are influență negativă asupra calității mediului, iar pe de altă parte, datorită prezenței de metale grele (Zn, Pb, Cu, Cd) în compoziția lor. În fig.2.2 sunt prezentate cantitățile de deșeuri pulverulente și mărunte raportate la tona de produs, datele fiind specifice siderurgiei mondiale [1, 16].

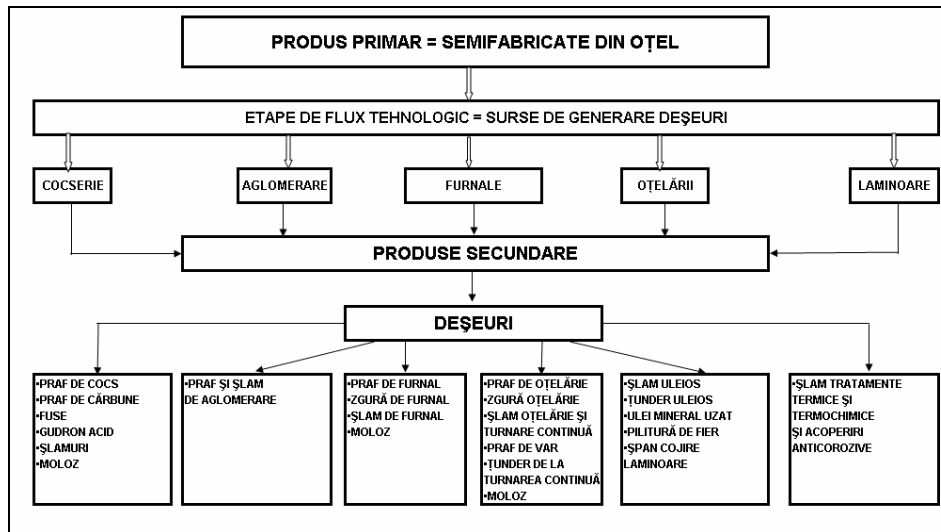


Fig.2.1. Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unui combinat siderurgic [1]

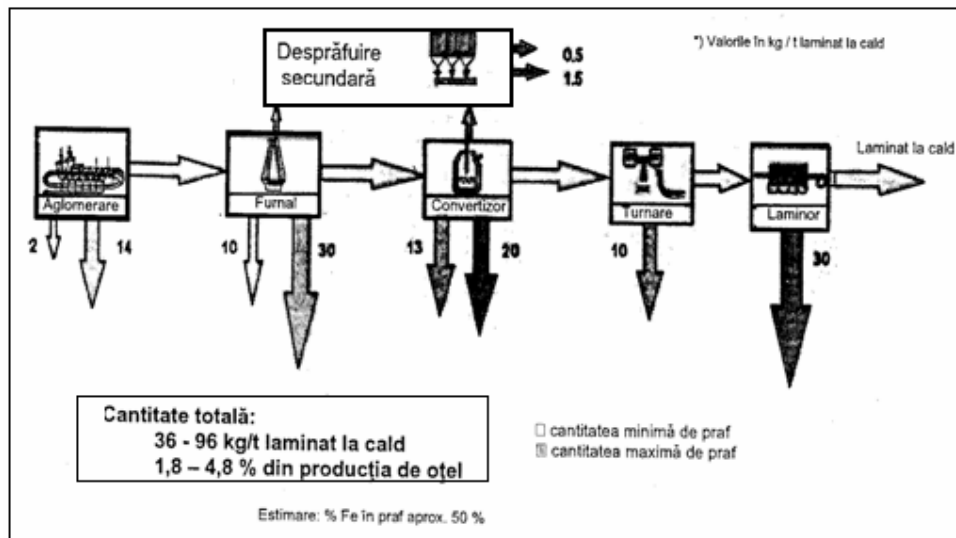


Fig.2.2. Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic [1]

În tabelul 2.2 este prezentată distribuția granulometrică a acestor tipuri de deșeuri, iar în tabelul 2.3 sunt prezentate compozițiile chimice ale acestora [1].

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 el [1].

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. Exemplificarea acestui concept este prezentată în fig.2.3, din care se poate observa că întreaga cantitate de prafuri, șlamuri și țunder, zgură de oțelărie - fracția feroasă, generate în cadrul unui combinat siderurgic se reciclează în diferite etape de flux tehnologic [1, 4, 16].

Tabelul 2.2. Distribuția granulometrică a deșeurilor pulverulente[1]

Dimensiune μm	Aglomerare		Furnal		Convertizor		C.E.A		Laminor	
	praf	șlam	praf	șlam	praf	șlam	praf	țunder	șlam	
1.000	-	-	-	-	-	-	-	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	

Comparativ cu practica și tendințele manifestate pe plan mondial, industria siderurgică românească înregistrează rămăneri 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, am considerat necesară și oportună abordarea problemei de valorificare superioară a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic, valorificare realizabilă cu costuri minime [1].

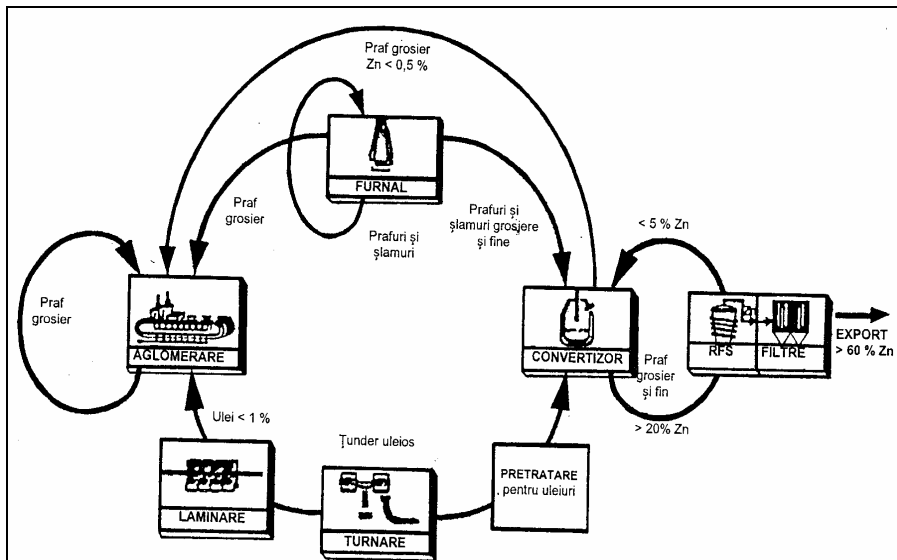


Fig. 2.3. Conceptul de reciclare integrată a deșeurilor pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic [1, 2]

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, 16, 34].

Se prezintă în continuare caracteristicile acestor deșeuri:

- analizele chimice s-au realizat prin diferite metode cum ar fi chimia umedă și spectrofotometria cu raze X sau absorbție atomică .
- 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 determinat 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 (EDAX). 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].

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

Acest deșeu este acumulat în mai multe halde "istorice" din România și cumulează 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 (figurile 2.4 - 2.6) 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, 17].

2.2.1.1. Praf și șlam de aglomerare. Pregătirea minereului pentru încărcătura furnalului cu toate operațiile aferente: manipulare în depozite, concasare, sortare, omogenizare, aglomerare, transport pe bandă, constituie o sursă importantă de praf feros. În acest lanț 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 3-6g/ 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, 28, 29].

Prin instalații de desprăfuire adecvate conținutul de praf al gazelor evacuate poate fi redus până la valori de 50mg/ Nm^3 în condiții normale de funcționare. În cazul utilizării unui filtru cu saci, emisiile de praf ating valori de 10-20mg/ Nm^3 , adică se poate recupera peste 99% din cantitatea de praf inițială [1, 5, 23, 34].

În procesele de peletizare și brichetare îndepărtarea suspensiilor solide, SO_2 , HCl și HF din gazele arse rezultate de la banda de sinterizare (durificare) se face cu ajutorul scrubelilor, desulfurării semiuscate și desprăfuirii ulterioare. Conținutul de praf în gazele rezultate este de sub 200mg/ Nm^3 , iar după epurare de sub 10mg/ Nm^3 [1, 88].

2.2.1.2. 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 (proportia 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, 19].

Folosindu-se un sistem de epurare în mai multe trepte conținutul de praf de furnal din gazele evacuate se reduce la 0,01g/ Nm^3 față de 25-100g/ Nm^3 la evacuare, praful de furnal astfel recuperat, evaluat la cca.30kg/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. 4MJ/ Nm^3 (1000kcal/ Nm^3), prin faptul că rezultă în cantitate apreciabilă (1900-3100 Nm^3 /t fontă) este rentabilă utilizarea lui în scopul precizat mai anterior). Epurarea gazelor se realizează prin intermediul sacului de praf, epurarea brută și sisteme tuburi Venturi și uneori cu electrofiltre [1, 5, 21, 22, 30].

2.2.1.3. Oțelăriile cu convertizoare cu oxigen. Epurarea gazelor rezultate în cursul procesului de elaborare a oțelului în convertizoarele LD ridică probleme deosebite datorită temperaturii ridicate ale acestor gaze (o temperatură locală de 2400 – 2600 °C), a necesității răcirii acestora înaintea desprăfuirii, a fineței particulelor de praf și naturii intermitente a procesului [1, 5, 17].

Prin operația de epurare, în gazele evacuate conținutul de praf se reduce la mai puțin de 15mg/ Nm^3 , praful obținut având în proporție de 80% o granulație de 0,8-0,05 μm și conținând în jur de 60% Fe [1, 5].

2.2.1.4. Oțelării 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 era cu atât mai mare cu cât conținutul de carbon al băii este mai mare.

Norme 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 care au funcționat în România (OSM I și OSM II la Hunedoara, una la Reșița și una la Oțelul 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 [1, 3, 4, 5, 32].



Fig.2.4. Iazul decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galati S.A. [1, 2]



Fig.2.5. Depozitul de șlam de aglomerare de furnal rezultat pe platforma industrială a Combinatului S.C. Sidermet S.A. Călan [1, 2]

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 de la laminoare).

În cadrul cercetărilor ce se vor efectua se are în vedere și testarea acestora în vederea reciclării [1, 2, 5, 24].



Fig.2.6. Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. (Bataga) [1, 5]

Tabelul 2.4. Analiza chimică a șlamului de aglomerare-furnale și oțelărie pentru câteva centre siderurgice din România [1]

Component, %	Șlam grosier Arcelor Mittal Galați	Șlam fin Arcelor Mittal Galați	Șlam furnal Arcelor Mittal Galați	Șlam Mălina Galați	Șlam Bataga Hunedoara	Praf furnal Arcelor Mittal 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

Deșeuri mărunte și pulverulente se pot obține și din recuperarea acestora din zgura cuptoarelor Martin. Prin zdrobire mecanică și separare magnetică se pot recupera bucăți de oțel cu granulație cuprinsă între 5-300 mm. Zgura este apoi

măcinată în mori cu bile cu curent de aer până la granulația de cel puțin 5 mm și prin separare magnetică rezultă un concentrat feros (fracția feroasă din zgură) 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, 27].

Compoziția chimică a unor șlamuri rezultate în siderurgie este prezentată în tabelul 2.4. Granulometria șlamului de furnale este prezentată în tabelul 2.5. Distribuția claselor granulometrice este prezentată în figurile 2.7 și 2.8. În figura 2.9 este reprezentată curba caracteristică a cineticii de umectare pentru șlamul de furnal, parametrii fiind următorii:

- intervalul de măsurare = 0,10 – 601,48 [μm];
- rezoluția = 62 canale (9 mm/ 228 mm);
- absorbția = 13,00 %;
- durata de măsurare = 50 [scanări] [1].

Tabelul 2.5. Granulometria șlamului de furnale [1]

Caracteristica		Date statistice	
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		

Distribuția granulometrică a șlamului de furnal are două zone bine definite care diferă esențial prin forma distribuției claselor. Pentru dimensiuni de 10 – 100 μm modelul statistic al distribuției este unul de tip Log-Normal, iar distribuția dimensiunilor de la 0 – 10 μm are forma din figura 2.8 [1, 34].

Morfologie și mineralogie pentru probă de șlam de convertizor OLD-1. Proba constă din particule de formă aproape sferică de dimensiuni submicronice. Morfologia probei este prezentată în imaginile de microscopie electronică cu baleiaj: imagini de electroni secundari (SEI) – figurile 2.10-2.14, iar distribuția de raze X – figurile 2.15-2.16 [1, 34].

Spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 2.17. Acesta arată faptul că proba conține următoarele elemente: Fe, Zn, K, Si, Mn, Ca.

Morfologie și mineralogie pentru probă de șlam de furnale. În figurile 2.19 și 2.20 prezentăm aspecte morfologice corespunzătoare probelor de șlam de furnal. Particulele au dimensiuni și forme diferite, unele ușor rotunjite, altele poliedrice.

Prin analiza în raze-X se prezintă distribuția elementelor în particulele componente ale probei (figurile 2.20-2.22) [1, 2, 5].

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].

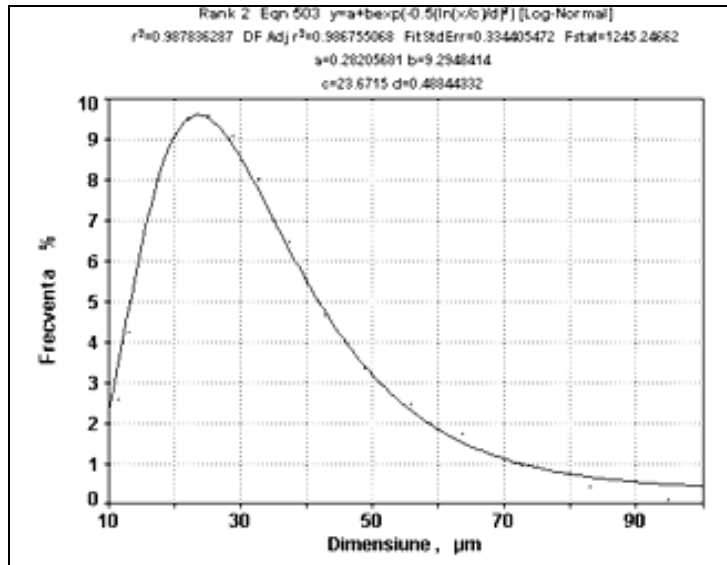


Fig.2.7.
 Distribuția
 claselor
 granulometrice
 10-100 μm [1]

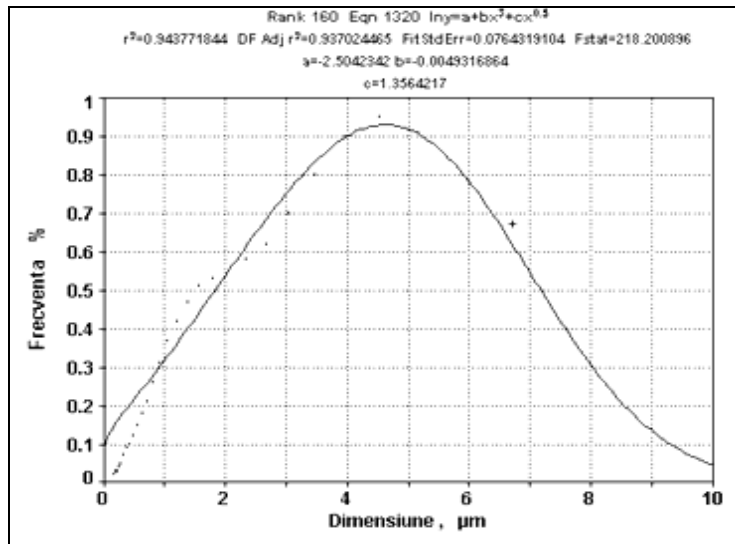


Fig.2.8.
 Distribuția
 claselor
 granulometrice
 0-10 μm [1]

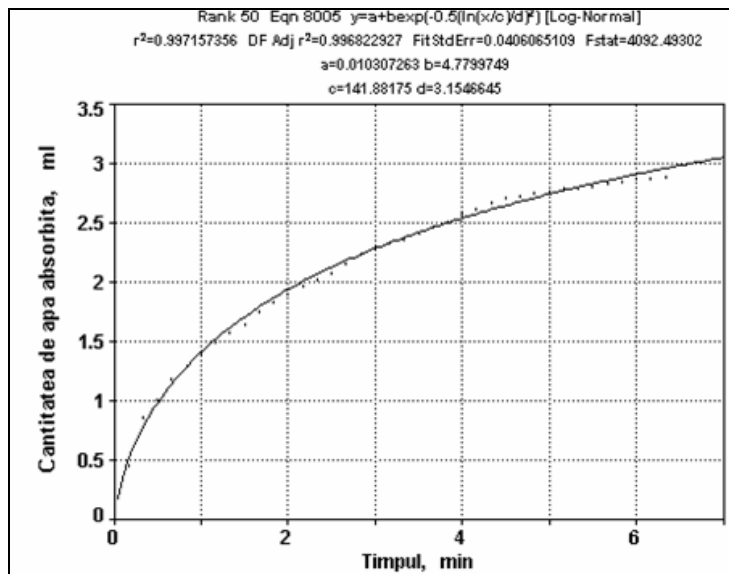


Fig.2.9. Curba caracteristică a cineticii de umectare pentru șlamul de furnal [1]

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 μm [1].

Spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 2.23.

S-au efectuat câteva sondaje privind concentrația unor elemente chimice pentru a calcula rapoartele dintre constituenții principali ai oxizilor. Pe baza acestor sondaje de analize punctuale, vom încerca să stabilim cu aproximație fazele compuse, care predomină în structura mineralogică formată. Oxizii prezenți în particulele analizate sunt: ZnO - Fe₂O₃ - CaO - SiO₂ - MnO - Al₂O₃ - PbO.

În tab.2.6 prezentăm rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate pentru elementele analizate[1, 2, 5].

Tabelul 2.6. Rezultatele sondajelor 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

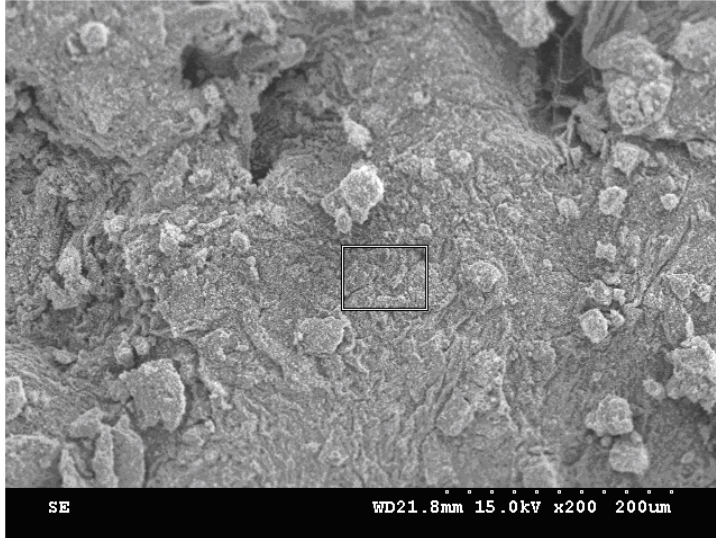


Fig.2.10. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 200 [1]

În cazul șlamului de furnal analizat, judecând după analiza medie ale particulelor, putem prezenta o formă complexă de faze (spinel) care are un raport Zn/Fe similar:

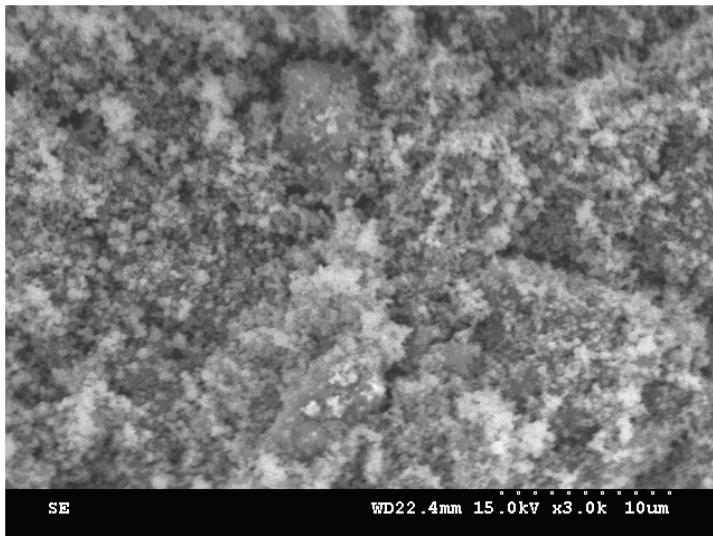
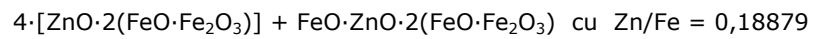


Fig.2.11. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 3000 [1]

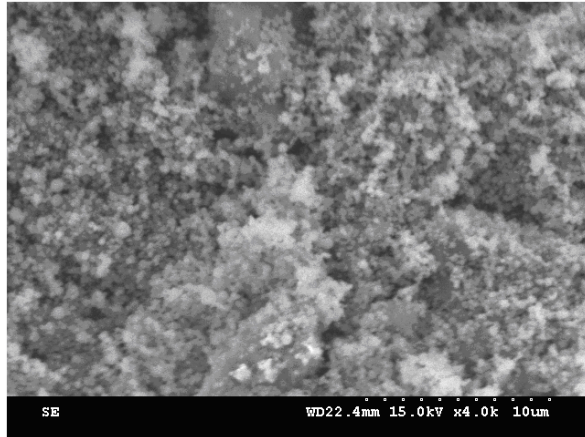


Fig.2.12. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 4000 [1]

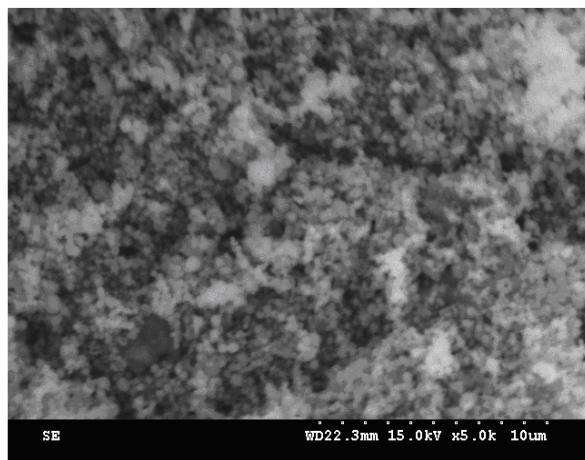


Fig.2.13. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 5000 [1]

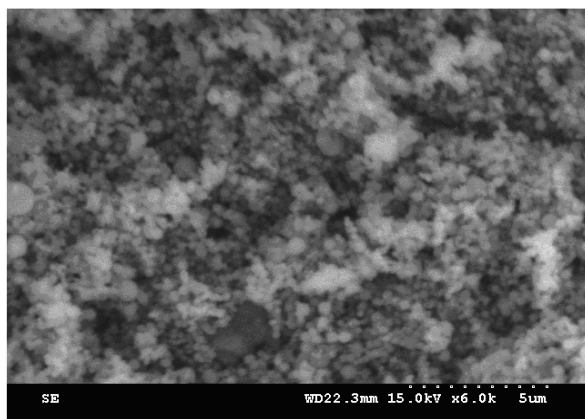


Fig.2.14. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 6000 [1]

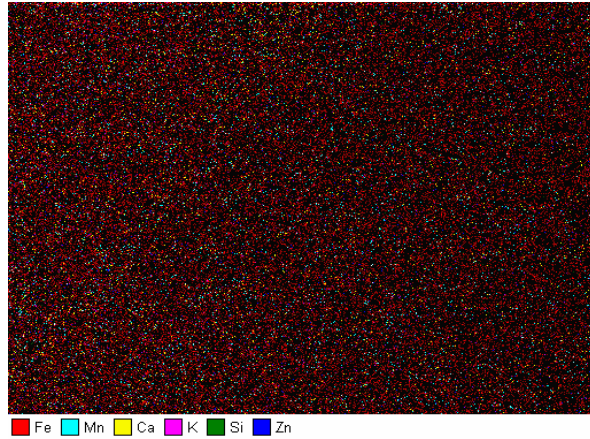


Fig.2.15. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Mn, Ca, K, Si, Zn [1]

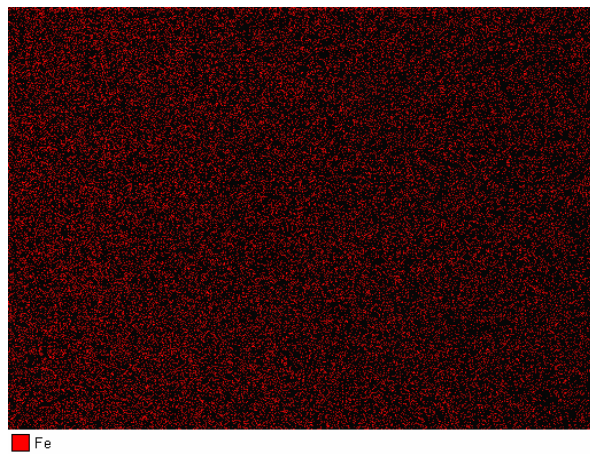


Fig.2.16. Imagini de distribuție de raze X - Fe [1]

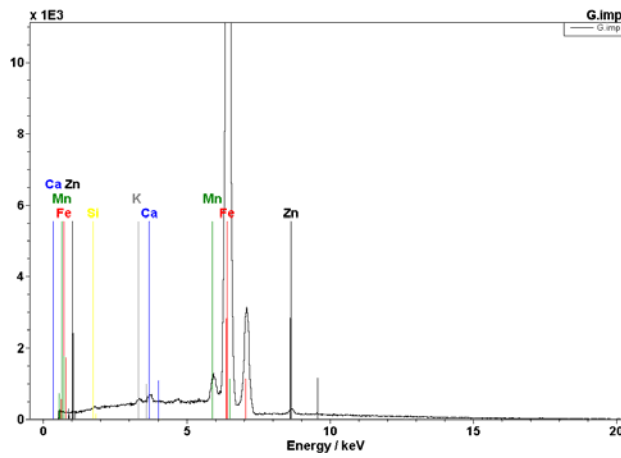


Fig.2.17. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]

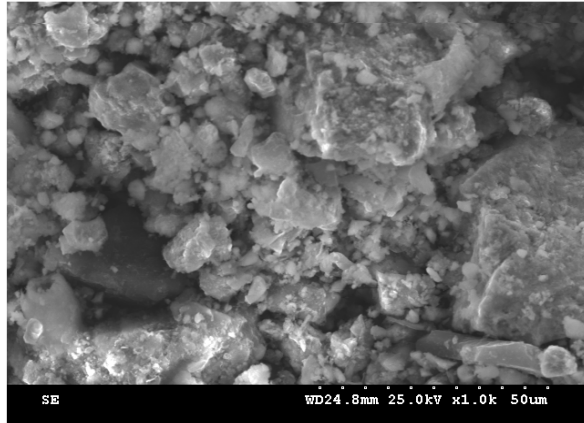


Fig.2.18. Imaginea șlamului de furnal la mărime x 1000 [1]

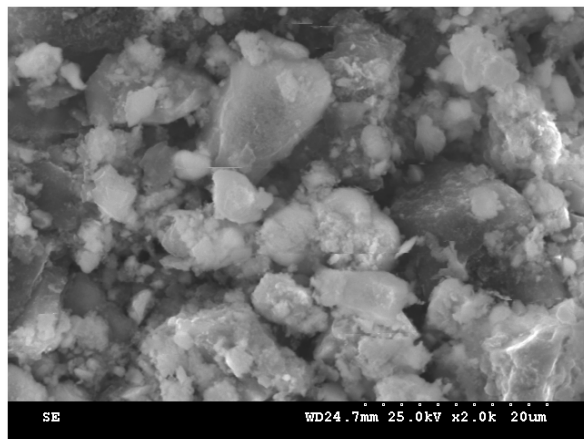


Fig.2.19. Imaginea șlamului de furnal la mărime x 4000 [1]

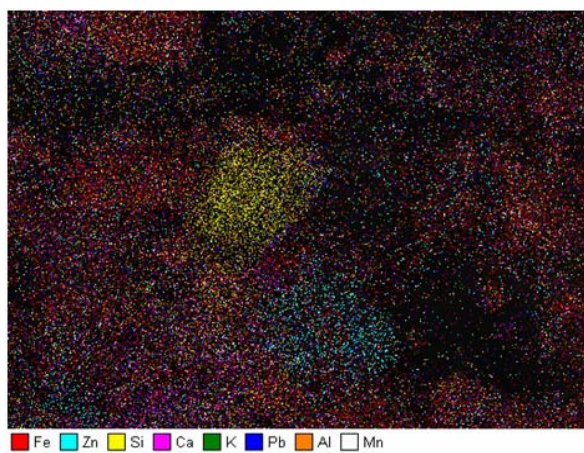


Fig.2.20. Imagini de distribuție de raze X – Fe, Zn, Si, Ca, K, Pb, Al, Mn [1]

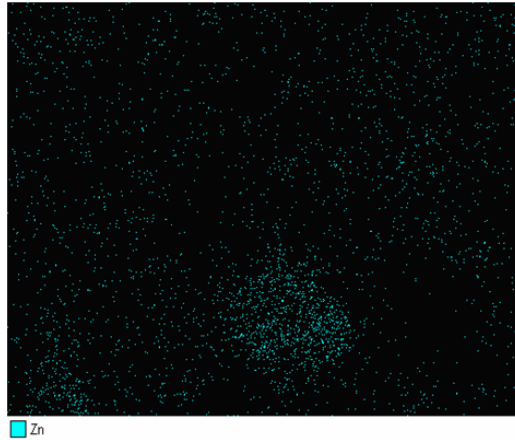


Fig.2.21. Imagini de distribuție de raze X – Zn [1]

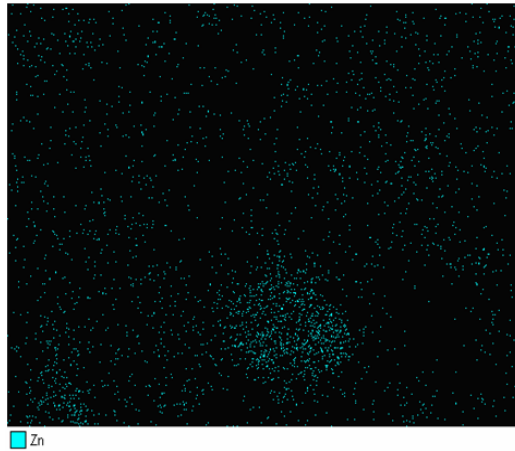


Fig.2.22. Imagini de distribuție de raze X – Fe, Zn, Si, Ca, K, Pb, Al, Mn [1]

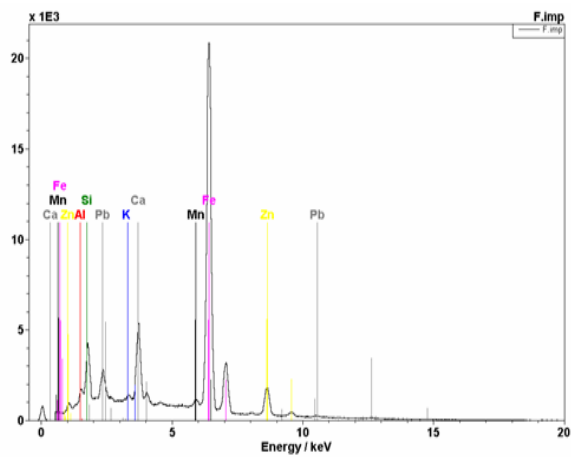


Fig.2.23. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]

Acest praf este foarte fin, majoritatea particulelor având formă sferică. Au fost identificate complexe de faze $ZnFe_2O_4$ (Franklinit), ZnO (Zincit) și Fe_3O_4 (magnetit) combinate [1].

2.2.1.5. Praful de electrofiltru cuprinde mai multe surse care diferă după zona sau agregatul care este dotat cu electrofiltre.

Sursa principală de praf de electrofiltru pe fluxul de elaborare a oțelului într-o societate siderurgică este desprăfuirea gazelor ale cuptoarelor electrice de elaborare a oțelului. Din punct de vedere al compoziției chimice deșeurile sunt compatibile fluxului de producere a fontei, excepție făcând praful de la cuptoarele electrice datorită concentrației mari de Zn, între 3-27%. În mare parte acestea sunt reciclate dar finețea granulelor împiedică o reciclare completă.

Praful de electrofiltru este, prin excelență foarte fin, cca. 90% sub 60 μm .

Finețea materialelor impune limitarea reciclării prin metoda clasică de aglomerare. În schimb granulația se pretează pentru peletizarea acestuia. Această caracteristică a determinat realizarea de fluxuri de prelucrare a prafului și peletizarea „in – situ„ a acestuia dar pentru pelete nu s-au găsit încă soluții tehnice acceptabile pentru procesare în România [1, 5, 24, 27].

2.2.2. Țunderul

Principalele surse de generare a țunderului pe fluxul de elaborare a oțelului sunt turnarea continuă și laminoarele. În special țunderul provenit din laminare prezintă cantități importante de ulei.

Prezența acestui component este singura limită privind utilizarea lui.

Importanța acestui deșeu este dată de:

- conținutul mare de fier, peste 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 gospodărire 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[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 laminoare, 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 1233 m³/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 (figura 2.24).

Mașina de turnare continuă are un consum mare de apă, necesar la răcirea indirectă și directă 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, ursori. 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, 35, 36]:

- 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 microni și de 20-88% pentru cele cu diametrul cuprins între 31 și 63 microni. 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 lubrefiante, reducându-se astfel considerabil impurificarea cu uleiuri.

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

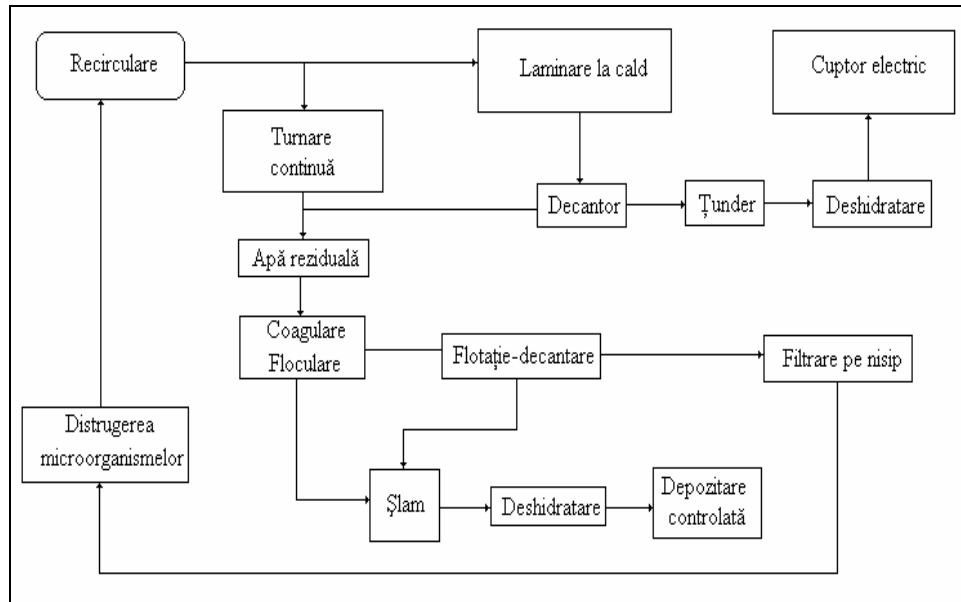


Fig.2.24. Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald [1]

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 FeO și Fe₂O₃ 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 20.000t de material feros prăfos, cu un conținut de circa 70%Fe la 1.000.000t oțel.

Instalațiile de flamare în flux a semifabricatelor adoptate 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 în 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. Se depozitează temporar în incinta societății și periodic se evacuează la haldă sau se valorifică total sau parțial (reciclare, comercializare). În tab.2.7 sunt prezentate tipurile de deșeuri industriale generate, cantitatea, starea fizică și modul de eliminare.

Tabelul 2.7. Deșeuri industriale generate la OE2-TC, ArcelorMittal Hunedoara S.A. [1]

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

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. Se depozitează temporar în incinta societății și periodic se evacuează la halde sau se valorifică (reciclare, comercializare) [1].

Deșeurile metalice de natura feroasă rezultă sub forma de sutaje, țunder, span, 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 fonta și oțel.

Țunderul este un deșeu specific procesului de laminare și este constituit în principal din oxizi de fier care se desprind și cad de pe lingou în timpul încălzirii, manipulării și prelucrării acestora. Țunderul are dimensiuni și forme variate, grosimi de 0,1 - 50,0mm, 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 decantarelor, pentru scurgerea apei și uleiului acumulat.

Analiza chimică a țunderului este prezentată în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8. 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 - 0,4	0,3 - 0,5	0,9 - 2,0	3,0- 4,0

În tabelul 2.9 sunt prezentate deșeurile principale, rezultate de la laminoare.

Tabelul 2.9. Deșeuri industriale generate de secția Laminoare [1]

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

Depozitul de țunder amenajat în hala Laminorului de Semifabricate 2 – S.C. ArcelorMittal S.A:Hunedoara este un depozit acoperit, cu platforma betonată, pe care se face depozitarea țunderului și a șlamului de țunder deshidratat. Suprafața depozitului este de 2400 m², iar volumul de depozitare este de 5820 m³. O componență orientativă a țunderului rezultat în procesul de laminare este prezentată în tabelul 2.10 [1].

În tabelul 2.11 se prezintă compoziția chimică a țunderului.

Tabelul 2.10. Componența țunderului de laminare [1]

Componența țunderului, %	
Țunder uscat	94,40 ($\approx 71\% \text{ Fe}_{\text{tot}}$)
Apă	3,00
Ulei	2,60

Tabelul 2.11. Compoziția chimică a țunderului [1]

Material	Compoziția chimică, [%]				
	Fe₂O₃	FeO	MnO	SiO₂	Alți oxizi
Țunder	86,53	7,38	0,89	0,51	4,69

Compoziția țunderului variază funcție de oțelul din care provin, 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. De exemplu Combinatul Siderurgic de la Galați, a utilizat țunderul în procesul de aglomerare și direct în furnal, în perioada 2000 – 2001 s-au consumat pentru aglomerare 82.427 t, iar pentru furnale 36.092 t [1, 3, 5].

Tabelul 2.12. Analiza chimică a deșeurilor tip țunder din industria siderurgică [1]

Deșeu feros	Compoziția chimică, %							
	SiO₂	CaO	MgO	Al₂O₃	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	-	-

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 ArcelorMittal S.A. Hunedoara a consumat țunderul propriu

produs până în 1999, iar după închiderea definitivă a sectorului primar cocserie-aglomerare – furnale – oțelărie Siemens-Martin II și a laminorului degrosisor 1300, a început de asemenea să-l haldeze [1, 3, 5].

Țunderul reprezintă în medie 3- 4 % din producția totală de oțel.

În tabelul 2.12 se prezintă compoziția chimică a mai multe surse de țunder din siderurgia națională. Una din problemele cele mai importante care apare la acest material este prezența în cantități semnificative a uleiurilor și vaselinei care provin de pe liniile de laminare rezultat din lagărele elementelor mecanice în mișcare. 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. Prezența uleiului face ca aceste materiale foarte valoroase pentru recircularea pe fluxul siderurgic în mare parte să nu fie utilizate numai într-o anumită proporție [1, 3, 5].

Diagrama de distribuție a țunderului din zona siderurgică Hunedoara este prezentată în figura 2.25.

2.2.3. Șlam de la acoperiri anticorozive

Din procesele de tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive rezultă țundăr și șlam. De la acoperirile anticorozive rezultă șlam care pe lângă fier conține și alte elemente, unele recuperabile în procesele de reciclare (tab.2.13) de manipulare la care este supus și în care suferă transformări importante datorită fragilității mari. Caracteristic acestui material este forma de plachete subțiri cu un raport mare între dimensiunile dintr-un plan și cea de grosime [1, 5].

În diagrama din fig.2.26 este prezentată curba caracteristică a cineticii de adsorbție a apei pentru materialul măcinat la o granulație medie de 70μm.

Tabelul 2.13. 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 - 2,1 kg/dm³. Unghiul de taluz natural este de 36°. Din punct de vedere mineralogic țunderul este constituit de regulă în proporții de circa 72 - 75 % Fe₃O₄ (magnetite), 22 - 25 % de Fe₂O₃ (hematită) [1, 5].

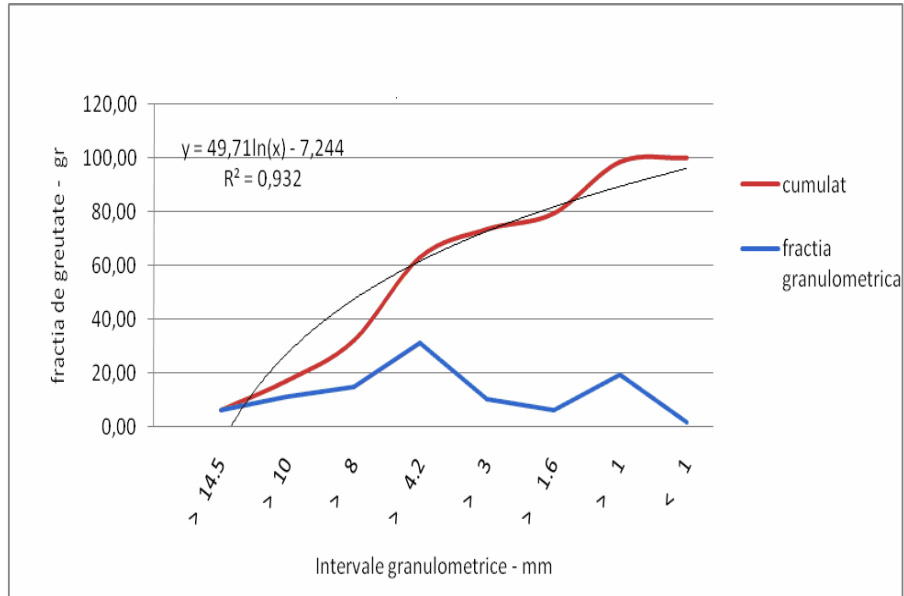


Fig.2.25. Distribuția granulometrică a țănderului, sursa Hunedoara [1]

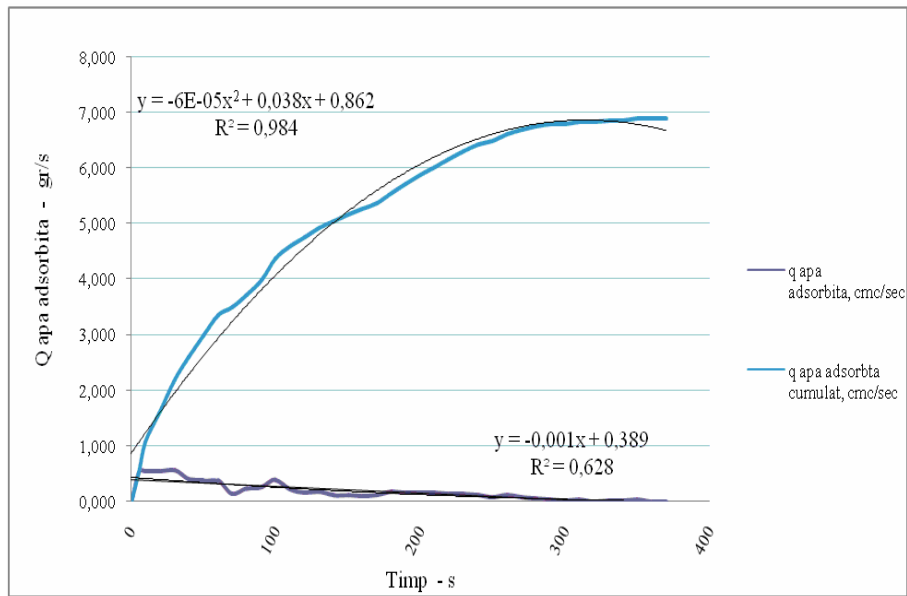


Fig.2.26. Cinetica de adsorbție a apei a țănderului, sursa Hunedoara [1]

2.2.4. Zgură de oțelărie

În secolul XX, când marii producători de oțel și fontă s-au confruntat cu problema reală a depozitării cantităților uriașe de zguri rezultate în industria metalurgică, aceste materiale au intrat cu adevărat în atenția cercetătorilor, care au trebuit să găsească aplicații industriale ale zgurilor. Foarte rapid acest concept dat zgurilor 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 domeniile industriale a zgurii de furnal se restrânge, din nefericire, la industria cimentului și în construcții. Se cunosc cu certitudine combinatele siderurgice construite în România, la [10, 11]: Hunedoara, Reșița, Oțelul Roșu, Târgoviște, Câmpia Turzii, Călărași, Tulcea, Galați, Călan, Roman, cert este ca mare parte din aceste combinate siderurgice, după 1990 au fost restructurate și privatizate, iar dintre acestea sunt funcționale o altă parte. 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 125.000 tone otel (1945) la 14,4 milioane de tone oțel în 1984, când a înregistrat un maxim. Dacă luăm în calcul faptul că din 1945 până în prezent, în România, zgura de oțelărie s-a utilizat în proporție foarte mică și considerând că se obțin în medie, 250 Kg de zgura/tona de oțel, până în prezent datele statistice din aceeași sursă ne arată ca producția totală de oțel în România este de 400 milioane de tone, iar cea de zgura 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 și de 80%, iar pentru cea de cuptor electric de 60%. Zgurele Martin acolo unde mai există sub formă haldată sunt procesate în vederea utilizării diverse.

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 unui combinat integrat reprezintă o problemă de strategie în politică 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 lor în fier nu depășește de regulă 0,5%, iar în zgurile de oțelărie cca. 20% (din care 5-11% se află sub formă metalică, și se poate separa magnetic).

Zgura de furnal se utilizează în industria materialelor de construcții, la fabricarea cimentului Portland, vată minerală, agregate pentru terasamentul drumurilor, agregate pentru beton asfalt, balast pentru calea ferată și întărire terasamentului etc

Zgurile de oțelărie sunt supuse procesării în vederea extragerii fracției feroase, în vederea reciclării acesteia la oțelării, furnale și aglomerare, iar fracția neferoasă la construcția autostrăzilor, drumurilor, parcuri, diguri, condiționare sol (amendament calcaros) și fertilizare (îngrășământ, în mod deosebit zgurile bogate în fosfor) etc. [1, 5].

Utilizarea zgurii de convertizor la furnal. Pe lângă faptul că ele pot înlocui minereul de fier și de mangan, acestea contribuie și la micșorarea necesarului de calcar pentru formarea zgurii de furnal. Utilizarea acestor zguri la furnal, înlocuind parțial materialele de încărcătură cu bazicitate redusă (ce conțin Fe și Mn puțin) 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 mașini 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 S.A Galați;

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

- s-au făcut și experimentări de adaos a unei cote de zgură solidificată (10-15 kg/t, față de 25-30 kg/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 și retransportată la oțelărie[1].

La C.S. Hunedoara s-a pus în funcțiune o instalație de procesare a zgurii de oțelărie în anul 1981, caracteristicile zgurii procesate se prezintă în tabelul 2.14.

Tabelul 2.14. 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	
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
P²⁾	43,85	12,00	9,6	27,8	16,03	4,9	4,4	18,0	6,10	0,30	0,25	1,20
D³⁾	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 zgurii.

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

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.

Conceptul de - haldă zero - reprezintă un scop abstract, scopul realist fiind acela de minimizare continuă a haldelor existente prin găsirea unor tehnologii de valorificare a deșeurilor neprelucrate în prezent.

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 ele 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 incorporată o cantitate însemnată de fier sub formă metalică (între 3-10% din greutatea lor), recuperarea acesteia prin separare magnetică ar fi 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, obținerea a 200.000 t/an zgură deferizată, 54.000 t/an fier recuperat (fontă și oțel), 2.000 t/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.

Problema valorificării acestor halde se pune cu stringență datorită restricțiilor ce vor fi impuse producătorilor de oțel prin legea mediului și dificultăților în obținerea de noi terenuri pentru halde [1].

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.

Desigur, principalul obiect urmărit în valorificarea zgurilor de oțelărie, este acela al recuperării metalului antrenat mecanic în zgură și al deșeurilor metalice rezultate din diferite sectoare ale uzinelor metalurgice ce sunt amestecate cu zgura din halde [1].

Din literatura de specialitate 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, cea 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.

Schema unei astfel de instalații este reprezentată în figura 2.27, în care zgura de la o oțelărie cu convertizoare este deversată într-o groapă de răcire [1].

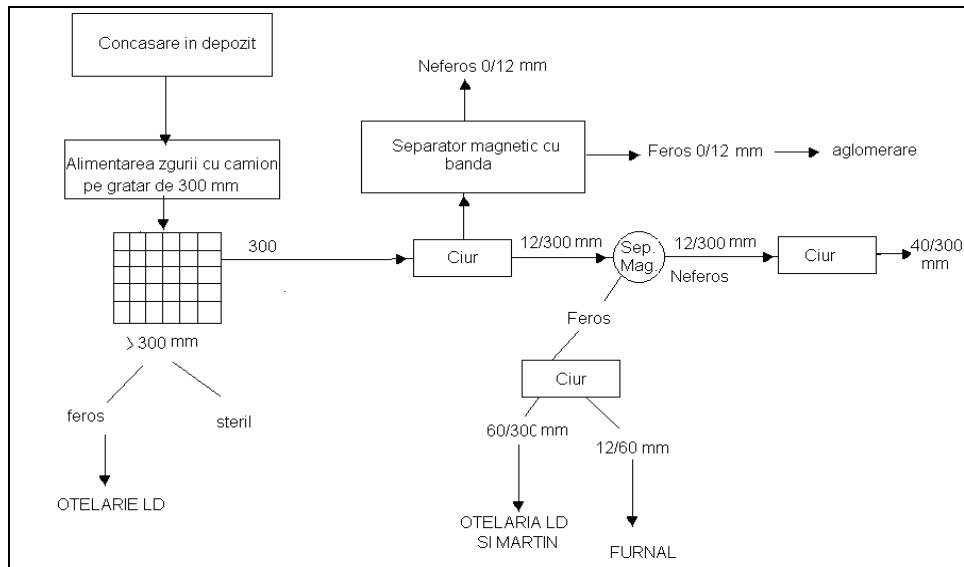


Fig.2.27. Schema unei instalații de deferizare a zgurii LD [1]

După răcire zgura se sfărâmă și se transportă cu mijloace auto la stația de deferizare. Se pot obține produse feroase de diferite granulații, care sunt folosite după cum urmează:

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

Materialul feros extras cu această instalație reprezintă 15% din greutatea materialului cu care a fost alimentată stația. Granulația zgurii deferizate este în funcție de gradul de sfărâmare a materialului.

În figura 2.28 se prezintă o altă instalație de deferizare folosită la Fairfield-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 sfera de oțel.

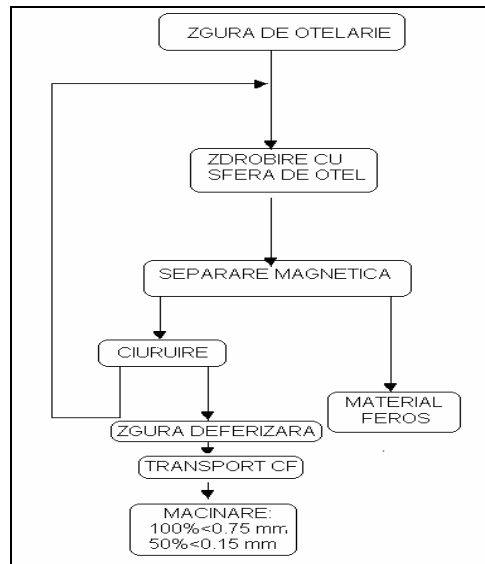


Fig.2.28. Schema de deferizare a zgurii de oțelărie [1]

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 (figura 2.29) [1].

În principiu 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 (figura 2.30) [1].

În Ucraina se află una dintre cele mai moderne și complexe instalații de prelucrare și valorificare a zgurilor de oțelărie. Instalația este capabilă să prelucereze 270 t zgura/ora, în urma prelucrării rezultă 3 sorturi de zgura deferizată și 4 sorturi de zgură feroasă, acestea fiind prezentate în tabelul 2.15 [1].

Tabelul 2.15. Sorturi de zgură rezultate în urma prelucrării [1]

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

În funcție de specificul zonei sorturile feroase se reîntorc în circuitul industrial în sectorul de procesare a oțelului iar cele neferoase se utilizează în diferite sectoare de activitate: construcții de drumuri, construcții de cale ferată, construcții hidrotehnice, construcții civile, agricultura, industria cimentului, industria sticlei și industria materialelor refractare [1, 2, 3].



Fig.2.29. Transportul zgurii lichide [1]



Fig.2.30. Instalații de primă mărunțire a zgurii [1]

De asemenea, o instalație de procesare cu capacitate de 150 tone/oră este în funcțiune în Lublijana. În urma procesării zgurii de oțelărie rezultă fracții feroase și deferizate (0 - 2 mm, 2 - 4mm, 4 - 8mm, 8 -11 mm).

În România se produc anual 1,2 - 1,4 milioane tone de zgură de oțelărie în următoarea structură (figura 2.31), și există o tendință de creștere.

În România sunt cinci halde cu zgură de oțelărie, acestea fiind prezentate în tabelul 2.16.

Aceste halde sunt încă alimentate cu zgură provenită din cinci 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 figura 2.32 este prezentată halda de zgură a Arcelor Mittal S.A. Galați estimată la un total de 50-75 mil. tone. În zona Hunedoara – Călan, datorită existenței societăților siderurgice din aceste două centre, se află depozitate o serie de deșeuri pe halde sau în iazuri. În fig.2.33 - 2.34 se prezintă haldele de zgură de la Călan respectiv de la Hunedoara.

Analiza chimică pentru o zgură de convertizor este prezentată în tabelul 2.17.

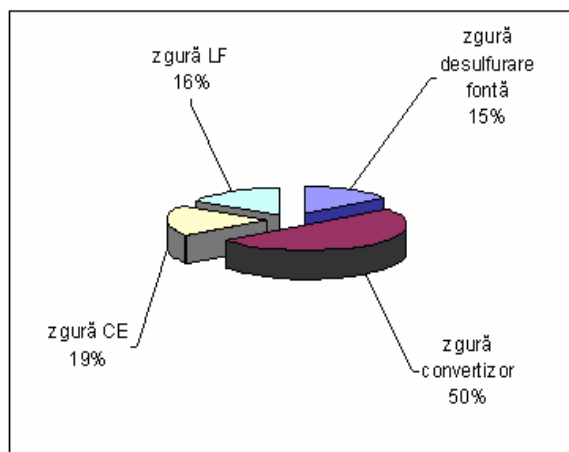


Fig.2.31. Structura zgurii de oțelărie realizată în România [1, 2]

Tabelul 2.16. 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	xx	xx	xx
Total				226,5

Tabelul 2.17. Compoziția chimică și granulometrică a zgurii de convertizor [1]

Tip analiză	Compoziție chimică și granulometrică								
	%Fe	%CaO	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%MgO	%MnO			
Analiza chimică	28.84	40.22	12.31	1.97	4.56	4.56			
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

**Fig.2.32.** Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați [1, 2]**Fig.2.33.** Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A. [1, 2]



Fig.2.34. 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 tabelul 2.18.

Tabelul 2.18. 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 2015 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].

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.

Cercetările intense efectuate în ultimii ani privind zgurile de oțelărie au demonstrat posibilitatea utilizării acestora în diferite domenii (figura 2.35).

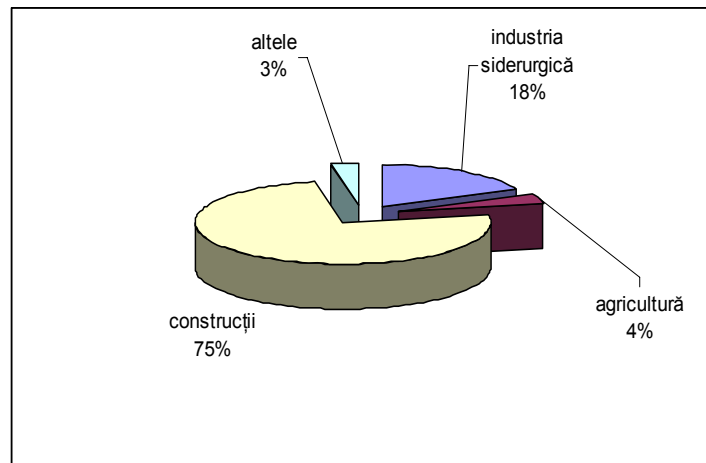


Fig.2.35. Domenii de utilizare a zgurilor metalurgice [1, 2]

Având în vedere cantitatea mare de zgură depozitată în zona Hunedoara (halda veche de zgură și halda nouă de zgură de la Buituri) în ultimii cinci ani au existat preocupări intense în această direcție și la Hunedoara. Astfel, pe halda de zgură Buituri se află câteva firme care procesează și valorifică zgură [1, 2].

O firmă cu rezultate bune în procesarea zgurii de oțelărie este SLAG PROCESSING SERVICE S.A., a fost înființată în anul 2004 și reprezintă un parteneriat între CLOOS S.A. LUXEMBOURG și acționari români.

Membru fondator al EUROSLAG (European Slag Association), CLOSS S.A. este posesorul unui patrimoniu de competență unic în Europa, dobândit în 100 de ani de activitate [1].

Amplasarea firmei SLAG PROCESSING SERVICE S.A. pe halda de zgură Buituri este prezentată în figura 2.36.

Halda de depozitare Buituri este situată în perimetrul administrativ al Municipiului Hunedoara, județul Hunedoara. Amplasamentul depozitului are o suprafață de circa 80 ha, cu o cota maximă de haldare de aproximativ 340 m, însemnând o rezerva de exploatare de aproape 100 milioane de tone.

Procesul de prelucrare a zgurii (figura 2.37) se derulează prin intermediul unei instalații mobile complexe de concasare – deferizare - sortare, tip UTN 300 COBRA ED 7015 (fig.2.38). Capacitatea de producție este de circa 300 t/h [1].

Clasele - sorturile granulometrice care se obțin în urma operațiilor de procesare-sortare sunt următoarele: 0 - 4mm; 4 - 8mm; 8 - 16mm; 16 - 31,5mm; 31,5 - 63mm; 0 - 63 mm, în conformitate cu prevederile normativelor europene armonizate.



Fig.2.36. Amplasarea firmei SLAG PROCESSING SERVICE S.A. pe halda de zgură Buituri Hunedoara [1]



Fig.2.37. Procesul de prelucrare a zgurii la firma SLAG PROCESSING SERVICE S.A. [1]

Sorturile granulometrice obținute sunt prezentate în figura 2.39.

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. Cercetările intense efectuate în ultimii ani privind zgurile de oțelărie au demonstrat posibilitatea utilizării acestora în diferite domenii ca: industria siderurgică, construcții și agricultură [1].



Fig.2.38. Instalația de concasare – deferitizare - sortare, tip UTN 300 COBRA ED 7015 [1]

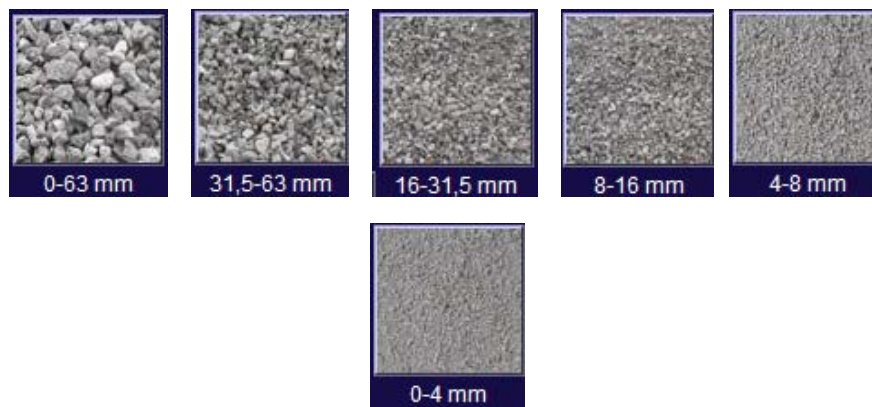


Fig.2.39. Sorturile granulometrice obținute în urma prelucrării zgurii [1]

2. 3. Prezentare generală a caracteristicilor calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din afara industriei siderurgice

2.3.1. Nămolul roșu

Nămolul roșu este un material pulverulent fin rezultat de la extragerea aluminei din bauxitele roșii prin procedeul Bayer. În România au fost construite două uzine pentru extragerea aluminei la Oradea și Tulcea, aceasta din urmă funcționând și acum. Reziduul rezultat de la aceste uzine – nămolul roșu este amplasat în două bazine impermeabile de 23 și, respectiv 7,5 milioane tone și deocamdată nu are nici o soluție de procesare. În figura 2.40 este prezentat iazul decantor al combinatului S.C. ALUMINA Tulcea S.A. [1, 2, 3].

Analiza chimică și granulometrică a nămolului roșu de la ALUMINA Tulcea este dată în tabelele 2.19 și 2.20. și a celui de la Cemtrade Oradea în tabelele 2.21 și 2.22. Din aceasta reiese conținutul relativ mic de fier dar și un conținut important de alumină. Distribuția granulometrică oferă un spectru de granulații cu 90% sub 12 μ m și cel puțin 20% sub 1 μ m, ceea ce îl recomandă ca un material care se pelletizează foarte bine, mai ales având în vedere și conținutul ridicat de alumină. Din aceleași considerente poate fi folosit și la procesarea deșeurilor prin brichetare [1, 2].



Fig.2.40. Iazul decantor al combinatului S.C. ALUMINA S.A.Tulcea [1]

Tabelul 2.19. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea [1]

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 2.20. Analiza granulometrică a nămolului roșu, de la întreprinderea de Alumina Tulcea [1]

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

Tabelul 2.21. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Cemtrade Oradea [1]

Nămol roșu	Compoziția chimică, %													
	Fe	CaO	SiO₂	Al₂O₃	MgO	MnO	TiO₂	Na₂O	K₂O	C	Cu	Zn	Pb	As
Analiza chimică	29,37	8,21	9,12	20,31	0,61	0,33	3,43	5,06	0,31	1,42	0,039	0,16	0,22	0,011

Tabelul 2.22. Analiza granulometrică a nămolului roșu, de la întreprinderea Cemtrade 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

2.3.2. Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria energetică

Din sectorul energetic avem în vedere cenușa de termocentrală utilizabilă ca liant în procesul de peletizare și respectiv brichetare, în plus care conține fier și carbon.

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].

În urma arderii cărbunilor energetici la termocentrale rezultă o cantitate importantă de cenușă care trebuie depozitată, cu efecte negative asupra poluării.

Cenușa de termocentrală rezultată în urma arderii combustibililor (figura 2.41), de la Termocentrala Mintia Deva, are compoziția chimică prezentată în tab.2.23.

Compoziția chimică a concentratului de cenuși de termocentrală, obținut în urma operațiilor de preparare a cenușii de termocentrală, este prezentat în tabelul 2.24.

Analiza granulometrică a concentratului din cenușile de termocentrală rezultată în urma clasării acestuia este prezentată în tabelul 2.25 [1].

Concentratele din cenuși de termocentrală sunt asemănătoare din punct de vedere a compoziției chimice cu alte deșeurii feroase prăfoase, sunt acide din punct de vedere a indicelui de bazicitate și în comparație cu alte deșeurii nu conțin elemente dăunătoare calității fontei și oțelului [1].



Fig. 2.41. Depozitele de zgura - cenușa Mintia Deva [1]

Tabelul 2.23. Compoziția cenușilor de termocentrală [1]

Compoziția chimică, [%]								
SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
47,08	6,72	1,82	23,06	20,12	0,5	0,20	0,20	0,30

Tabelul 2.24. 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 2.25. Analiza granulometrică 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

2.3.3. Caracteristici calitative ale deșeurilor feroase mărunte și pulverulente rezultate din industria chimică

Cenuși piritice. Acest material rezultă de la fabricile de producere a acidului sulfuric, care în România au avut următoarele locații: Valea Calugărească, Turnu Magurele (Romfosfochim), Năvodari, Făgăraș (Victoria) și Baia Mare (Phonix). Cantitățile sunt estimate la aproximativ 4,5 milioane tone. În fig.1.56 se prezintă o imagine a haldei de la Valea Calugărească [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 pelețe feroase de bună calitate care la un nivel de producție de circa 450.000 t/an a fost consumat la furnalele de la Galați și Hunedoara. Actualmente aceste deșeuri nu sunt exploatate din cauza scăderii consumului la furnale și eliminarea lor din baza de materii prime. Acestea conțin o mare cantitate de As care îl face foarte restrictiv în utilizarea pentru elaborarea oțelului.

De asemenea, conținutul de metale grele este peste limita uzuală admisă la fonta de afinare, fiind de 10 ori mai mare. Dacă se are în vedere reciclarea prin furnale sau cubilouri care produc fonta de turnătorie atunci aceste restricții dispar în mare parte, totuși As rămânând principalul element care poate produce dificultăți [1,26].

Analiza chimică a acestor deșeuri este dată în tabelul 2.26.

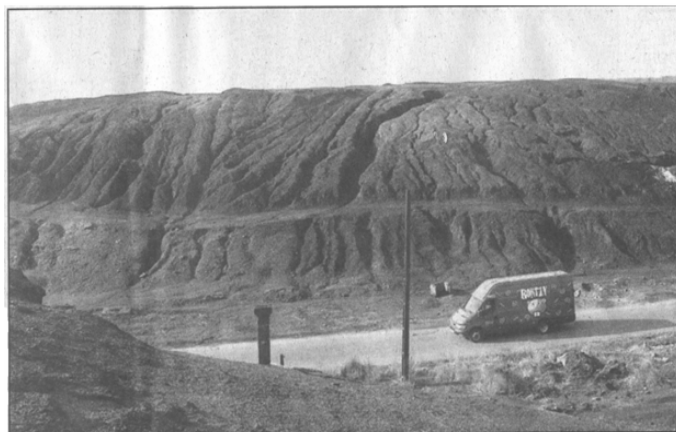


Fig.2.42. Depozitul de cenușă piritică de la Valea Călugărească [1]

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 clorurată a permis fabricația de pelete feroase de bună calitate care la un nivel de producție de circa 450.000 t/an a fost consumat la furnalele de la Galați și Hunedoara. Actualmente aceste deșeuri nu sunt exploatate din cauza scăderii consumului la furnale și eliminarea lor din baza de materii prime. Acestea conțin o mare cantitate de As care îl face foarte restrictiv în utilizarea pentru elaborarea oțelului [1, 29].

De asemenea, conținutul de metale grele este peste limita uzuală admisă la fonta de afinare de 10 ori mai mare. Dacă se are în vedere reciclarea prin furnale sau cubilouri care produc fonta de turnătorie atunci aceste restricții dispar în mare parte, totuși As rămânând principalul element care poate produce dificultăți [1,34].

Analiza chimică a acestor deșeuri este dată în tab.2.26.

Tabelul 2.26. Compoziția chimică a cenușilor piritice [1]

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	12,2	0,5	0,6	3,8	0,2	0,6	2,5	0,5	0,5	1,2
Navodari	54	4	8	-	-	6	-	0,6	2,1	0,55	0,5	1,8
Turnu Magurele	53,8	3,03	8,3	-	-	3,28	-	0,15	1,8	0,55	0,17	0,33
Baia Mare	47,52	0,7	15,6	-	-	0,89	-	0,22	1,65	0,8	0,28	0,25
Făgăraș	21,97	3,64	13,6	-	-	5,28	-	0,28	2,31	0,14	0,41	0,46

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

În cadrul cercetărilor s-a avut în vedere 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 concentrate secundar sideritic de fier [1, 6, 25].

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, 31].

În tabelul 2.27 se prezintă compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor de tip siderită prin concentrare.

Tabelul 2.27. 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

Deoarece temperatura de disociere a carbonatului de fier este de 400°C, inferioară 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. Vom numi concentratul rezultat din procesarea sterilului concentrat sideritic secundar iar sterilul rezultat steril secundar (după datele de care dispunem ar putea fi utilizabil la construcția de drumuri, parcuri, industria materialelor de construcții) [1,6,34].



Fig.2.43. Iazurile de decantare steril tip siderită Teliuc [1, 6]

În zona Hunedoarei, în urma preparării minereului sideritic utilizat în procesarea aglomeratului, există trei iazuri de decantare cu deșeu sideritic la Teliuc (figura 2.43).

2.4. 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);
- pe lângă fier, ca element principal, unele deșeuri au și un conținut ridicat de carbon de 18 -22% (praful de furnal), precum și componenți cu caracter bazic (CaO și MgO din concentratul sideritic secundar) sau cu caracter fluidificator (Al_2O_3 din nămolul roșu), aceștia fiind utili în procesul de reciclare;
- unele deșeurile conțin și elemente dăunătoare (As – nămolul roșu, Zn, Cu, Pb –cenușile piritice) calității produselor obținute prin reciclarea deșeurilor, ca urmare trebuie luate măsuri de precauție la reciclarea acestora;
- din punct de vedere a compoziției chimice și granulometrice deșeurile pot fi valorificate prin reciclare, alegerea tehnologiei trebuie să aibă în vedere toate caracteristicile calitative ale acestora.

3. PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

3.1. 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 am considerat reprezentative următoarele procedee:

- **procedee clasice:** peletizarea, brichetarea și aglomerarea;
- **procedee noi:** CARBOFER, Primus, Fasmel, Fastmelting, Hamborn [1, 7]

3.2. Valorificarea prin peletizare

3.2.1. 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 se aplică 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 și Africa de Vest [7, 8, 33].

Dintre factorii care au impulsionat 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 efecte 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 cocs;
- conținutul de sulf în pelete mult mai mic decât în aglomerat (0,01% față de 0,10-0,15% S din aglomerat);
- 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 și clasare, în stare pulverulentă, pentru a facilita operațiile legate de obținerea peletelor crude și de durificarea acestora. Se are în vedere compoziția granulometrică și suprafața specifică a minereului preparat.

- **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].

Mărirea 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 teler (disc), în tambur cilindric (cea mai răspândită) și în tambur conic. Înclinația tamburului este de 2-3,3°, iar lungimea nu depășește de 2-3,3 ori diametrul tamburului, capacitatea medie fiind de 2000 t pelete /zi [7, 35].

3.2.2. Durificarea sau întărirea peletelor

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

Durificarea la cald (prin tratament termic). La procesul de durificare prin încălzire se utilizează temperaturi 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 joacă un rol deosebit în procesul de durificarea peletelor prin tratament termic și o dată 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

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

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 și se amestecă cu minereul înainte de peletizare. Liantul folosit se compune din: 60% ciment Portland și 40% zgură de furnal granulată. Pentru creșterea rezistenței la compresiune, se adaugă 3-5% din greutate, față de amestecul inițial cu liant, cocs de petrol [7, 8].

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

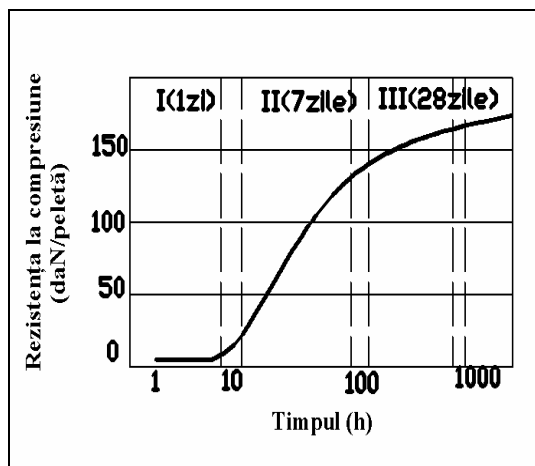


Fig. 3.1. Variația în timp a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece cu liant: I - perioada de întărire latentă (1-2 zile); II - perioada de durificare secundară (3 – 6 zile); III- perioada de durificare finală 7 -30 zile) [7, 8]

3.2.3. Calitatea peletelor utilizate la încărcarea 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: compoziția chimică și granulometrică, rezistența la compresiune, la tobă, reductibilitate, indice de umflare liberă și porozitate.

Experimental s-a stabilit ca dimensiunea peletelor să fie cuprinsă între 9,5 și 25 mm. De asemenea s-au considerat ca optime dimensiunile de 10-15 mm, 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 6 mm 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 rezultantă care depinde de compoziția mineralogică a materialului folosit, de finețea acestui material, de adaosul liant, de condițiile de lucru aplicate și de dimensiunea peletelor. Pentru pelete cu un diametru cuprins între 10 și 12,5 mm rezistența minimă la compresiune trebuie să atingă 200 daN/peletă [7].

Întrucât rezistența la compresiune nu caracterizează pe deplin comportarea peletelor în timpul transportului și în 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].

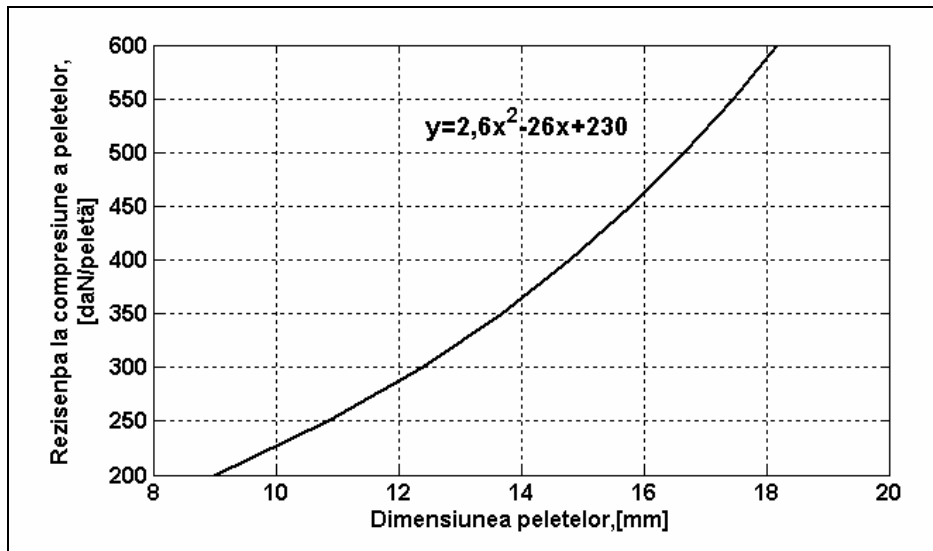


Fig. 3.2. Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora [7]

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. Considerăm 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 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 datorește zonei de trecere dintre miezul peletei neredus și marginea 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 influențare 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, deci umflarea peletei este cu atât mai mare cu cât cantitatea de zgură formată este mai mică [7, 8].

3.3. Brichetarea

3.3.1. 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 sau paralelipipedică) prin presare pe utilaje specializate, urmate de un proces de uscare – prăjire pentru creșterea caracteristicilor mecanice ale acestora.

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, 36].

3.3.2. 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 (max. 2%);
- greutate volumetrică mare [9].

3.3.3. 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 procedeele 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 3.3. se prezintă schematic diferitele metode de brichetare.

Pentru ca brichetarea să se poată desfășura, materialele supuse acestui proces este indicat să nu conțină fracții mai mari de 5 mm (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 necesare să fie supuse unor operații suplimentare (cu tratament ulterior: uscare, ardere, aburire în autoclave etc). 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, 87, 88].

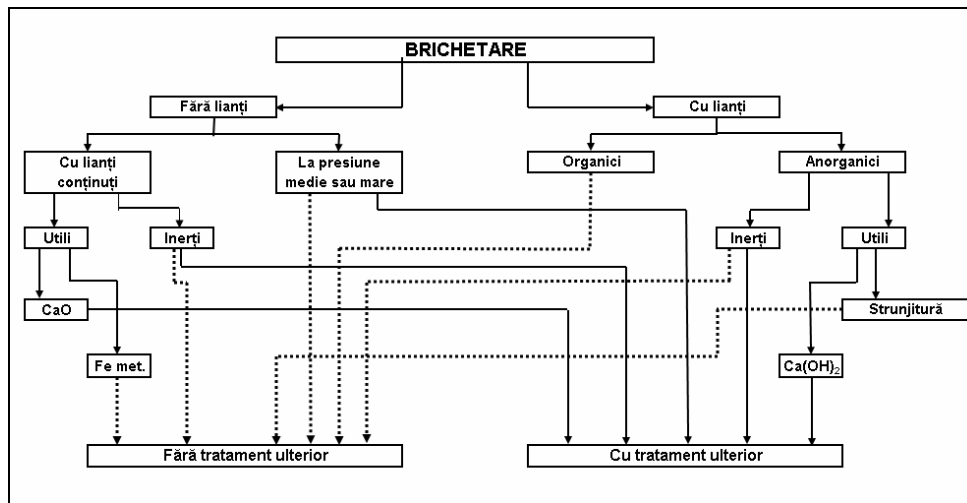


Fig.3.3. Schema metodelor de brichetare [9]

3.3.4. 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, situația fiind prezentată în figura 3.4.

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].

3.3.5. Brichetarea cu adaosuri liante

Brichetele obținute prin brichetare cu lianți organici, cum ar fi smoala sau gudroanele nu se folosesc la încărcarea în furnal deoarece rezistența brichetelor scade repede prin arderea lianților.

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, clorură de magneziu etc.
- lianții utili din care amintim: varul și așchiile de fontă [8, 9].

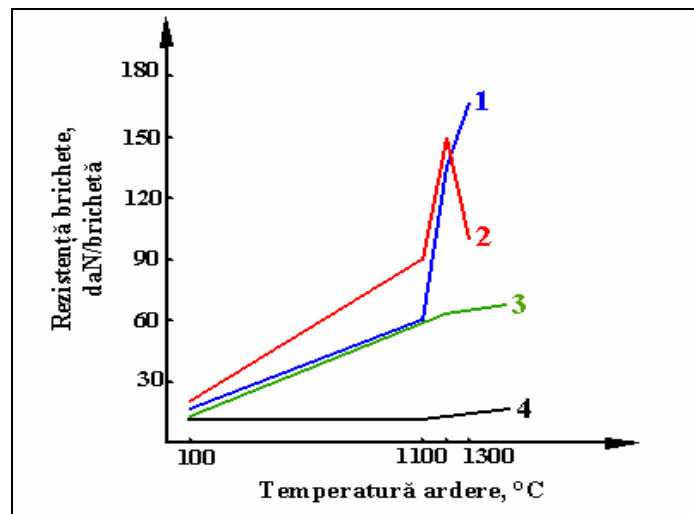
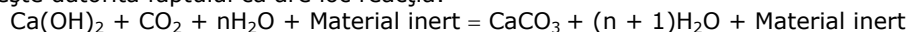


Fig. 3.4. Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor:
1 – minereu magnezic; 2 – martit; 3 – martit + 10% argilă; 4 – minereu brun – roșcat. [8]

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, iar în ceea ce privește viteza reacțiilor chimice o influență hotărâtoare o au proprietățile liantului, gradul de pregătire al șarjei, umiditatea, amestecul etc. [8, 9, 88].

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 – 500 daN/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].

3.3.6. Brichetarea cu așchii de fontă

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, 89].

3.3.7. Pregătirea șarjei pentru brichetare

Șarja de minereu pregătită pentru brichetare, constă de obicei din minereu mărunț, cu granulometria cuprinsă între 0-5 mm. 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 șnecc interior care se rotește în sens invers sensului de rotire al tobei, ca în figura de mai jos [9].

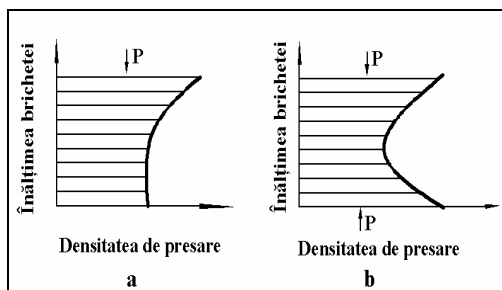


Fig.3.5. Variația densității brichetelor pe înălțime la presare unilaterială (a) și bilaterială (b) [9]

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 2000 daN/cm² [9, 89].

Presele utilizate în operațiile de brichetare sunt cu presiune unilaterială sau bilaterială. 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 bilaterială.

Variațiile densităților de presare în funcție de înălțime, la presare unilaterială și bilaterială, sunt prezentate în figura 3.5.

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, 83,84].

3.4. Aglomerarea

3.4.1. 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.

Aglomerarea termică este procedeu 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:

- 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 mărunț) sub 3 mm;

- 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 feriți de calciu, alți compuși ușor fuzibili. Consumul mediu de căldură pentru aglomerare este de 4185 KJ/kg aglomerat [11, 28].

3.4.2. Fazele procesului de aglomerare

Fazele procesului de aglomerare sunt: pregătirea șarjei (sfărâmarea, clasarea, 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, 37].

Pregătirea șarjei de aglomerare. Pregătirea materialelor pentru aglomerare (sfărâmarea 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 micropelletizarea 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, iar în faza a doua are loc desulfurarea, descompunerea

carbonatului de calciu (calcarului) formarea compușilor ușori fuzibili. Atmosfera reducătoare 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.

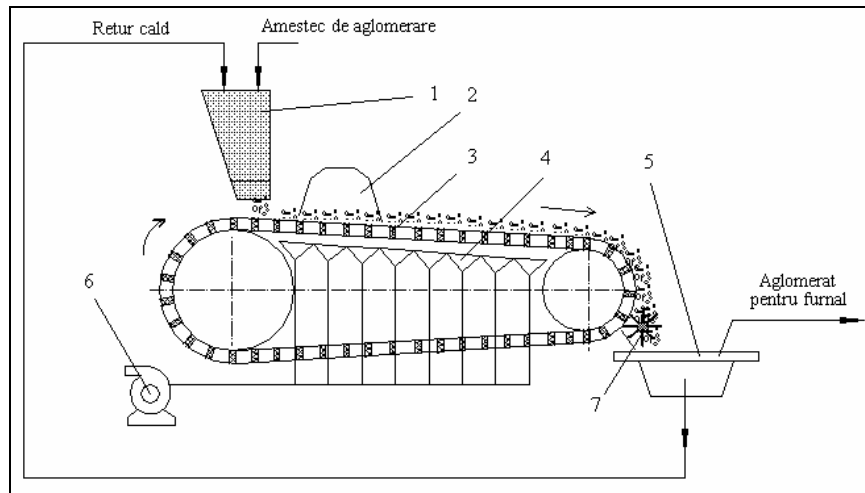
Formarea faialitei este limitată la max. 15 – 20%, datorită reductibilității scăzute a aglomeratului; este necesară dozarea riguroasă a combustibilului și prezența CaO , ce determină formarea altor compuși ușor fuzibili (feriți și silicați de calciu).



a)



b)



c)

Fig. 3.6. 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].

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, 29].

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% sulf, dar dezarsenirea 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.

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 gurilor 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 figura 3.6 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 de pe banda de **aglomerare și clasarea volumetrică**. 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].

3.5. Procedul Carbofer

Procesarea simultană a deșeurilor pulverulente cu conținut de fier și a deșeurilor pulverulente cu conținut de carbon în vederea obținerii unui produs apt a fi utilizat în diverse etape de flux tehnologic a condus la dezvoltarea procedurii de obținere a unui produs denumit carbofer.

Carboferul este un amestec mecanic obținut din diferite deșeuri pulverulente (țunder, șlam de laminare, șlam uleios de la laminare, praf de furnal, praf de var, praf de cărbune și cenuși cu conținut ridicat de carbon, etc.) în compoziția cărora elemente ca fier, calciu, carbon ș.a., utile diferitelor procese care se desfășoară în agregatele siderurgice se găsesc în proporții suficiente valorificării acestora [5, 38].

Cercetători ai Institutului de Fonte și Oțeluri din Freiberg au propus în urma unor experimentări de laborator ca produsul denumit Carbofer să fie insuflat la gurile de vânt ale furnalelor în amestec cu praf de cărbune.

Primele experimentări de insuflare a Carbofer-ului în amestec cu praf de cărbune au avut loc în anul 1992 la Maxhütte, Unterwellenborn, la furnalul nr. 2, volum util de 500m³ și o capacitate de 800t_{fontă}/zi. Proporțiile de amestecuri insuflate au fost de:

- varianta I - 5% Carbofer + 95% praf de cărbune;
- varianta II - 10% Carbofer + 90% praf de cărbune [5].

Cantitatea de amestec a variat între 97 și 123 kg/t_{fontă}, insuflându-se în total 225 t de amestec praf de cărbune și Carbofer, experimentările desfășurându-se pe o perioadă de 103,5 ore. În aceste condiții, calitatea fontei nu a fost influențată în sens negativ iar parametrii de funcționare ai furnalului s-au menținut relativ în același limite ca în perioada unei funcționări obișnuite.

Rezultate pozitive au condus la ideea unor experimentări începând cu anul 1983 (de insuflare a Carbofer-ului prin gurile de vânt ale furnalului fără amestec de praf de cărbune la EKO Stahl GmbH (2,4 -37,8kg Carbofer/t_{fontă}).

În tabelul 3.1 sunt prezentate modificările apărute în bilanțul de materiale care au loc la insuflarea unei tone de amestec praf de cărbune + Carbofer.

Experimentările de insuflare s-au efectuat la furnalul nr. 6 cu un volum util de 711m^3 și o capacitate de $1350\text{ t}_{\text{fontă}}/\text{zi}$, desfășurându-se pe o perioadă de 82 ore, fiind insuflate mai mult de 170 t Carbofer. În timpul experimentărilor nu s-au constatat modificări esențiale în ceea ce privește compoziția chimică a fontei și respectiv a zgurii. Aceste experimentări au fost continuate, astfel încât în anul 1997, la același furnal s-au efectuat experimentări de insuflare a CARBOFER-ului în diverse proporții, și anume: 50, 100, 150kg/ $\text{t}_{\text{fontă}}$ [10, 15].

Tabelul 3.1. Modificările intervenite în exploatarea furnalului la insuflarea unei cantități de 1 tonă amestec praf de cărbune + Carbofer [15]

Cantitate insuflată		Modificări intervenite	
1 tonă amestec din care:		Producție fontă	nemodificată
Cărbune	905 kg	Consum de cocs	+ 14,4 kg
Carbofer	95 kg	Cantitate de aer insuflat	+ 1.242 Nm ³
		Consum de păcură	- 577 kg
		Cantitate de zgură	+ 548 kg

Prezența fierului și a carbonului în compoziția produsului Carbofer precum și flexibilitatea procedurii de a obține diverse compoziții chimice ale acestuia au condus la ideea că, Carbofer-ul poate fi insuflat și în alte agregate metalurgice, cum ar fi:

- cuptor cu arc electric - pentru înlocuirea agenților de spumare obișnuiți, obținându-se zgură spumantă;
- cubilou;
- cuptoare rotative;
- cuptoare cu inducție;
- convertizor cu oxigen - ca material de răcire în șarja de convertizor sau brichetat și încărcat în convertizor ca înlocuitor al fierului vechi [10, 15].

Pornind de la această idee, precum și datorită necesității diminuării haldelor existente și posibilității recuperării fierului din anumite deșeuri pulverulente, în Marea Britanie, la Co-Steel Sheerness, produsul Carbofer a fost utilizat ca agent de spumare a zgurii într-un cuptor electric cu arc UHP cu capacitatea de 100t. Utilizarea acestuia nu a avut impact negativ în operarea cuptorului și nici asupra calității oțelului. De asemenea nu s-a constatat o modificare a factorilor de mediu comparativ cu perioada de referință [5].

Produsul Carbofer a fost obținut din țunder și șlam de laminare, praf de cuptor electric, praf cu conținut ridicat de carbon și praf de var ars.

Proporțiile acestor deșeuri în componența Carbofer-ului sunt prezentate în tabelul 3.2.

Rezultatele experimentărilor au demonstrat că efectele injectării Carbofer-ului variază funcție de calitatea fierului vechi utilizat la elaborare, de condițiile de lucru ale cuptorului precum și de marca de oțel produsă, acestea fiind:

- recuperarea a 40 ÷ 80% din fierul prezent în materialul injectat;
- modificări nesemnificative ale calității oțelului și a zgurii;

- diminuarea cantităților de deșeuri pulverulente generate în procesele siderurgice;
- îmbogățirea prafului de cuptor electric în Zn de la 20% la 28%, în Pb de la 1,8% la 3,8% precum și o scădere a conținutului de Fe de la 51% la 37% [5].

 Tabelul 3.2. Proporțiile deșeurilor în componența CARBOFER-ului [5]

Deșeu	%
Țunder + șlam de laminare	30 ÷ 75
Praf de cuptor electric	10 ÷ 50
Praf cu conținut ridicat de carbon	10 ÷ 30
Praf de var	3 ÷ 5

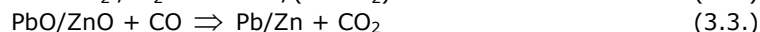
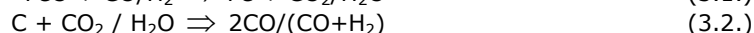
Utilizarea Carbofer-ului ca înlocuitor al agenților uzuali de spumare a zgurii la cuptorul electric cu arc are atât un avantaj ecologic cât și unul economic. Avantajul ecologic este redat de diminuarea semnificativă a poluării mediului și anume prin creșterea gradului de valorificare a deșeurilor pulverulente precum și prin reducerea spațiilor de depozitare a acestor deșeuri. Avantajul economic constă în transferul imediat al costurilor pentru depozitarea deșeurilor, în Marea Britanie acestea fiind între 30 ÷ 57 £/t_{deșeu} depozitat, către alte destinații [5].

3.6. Procedul Primus de reciclare a deșeurilor feroase din siderurgie

Un procedeu nou pentru reciclarea deșeurilor feroase din siderurgie este procedeu numit „Primus”, dezvoltat de Paul Wurth S.A., și care utilizează tehnica cuptorului etajat, evitându-se astfel pregătirea prealabilă a materialului de încărcare, mod de lucru ce permite, de exemplu introducerea directă a șlamurilor. Condiția de economicitate este posibilă în acest caz, datorită alegerii reducătorului, fiind vorba de cărbuni ieftini [10].

În figura 3.7 se prezintă schema tratării deșeurilor din siderurgie prin procedeu „Primus”. În instalația „Primus” se pot prelucra minereuri, amestec de minereuri și deșeuri feroase sau numai deșeuri feroase (țunder de la laminare, șlam de țunder, praf de la cuptorul electric, șlam de la furnal și convertizor) [10].

În cazul procedeuului „Primus”, cuptorul etajat funcționează atât ca agregat de uscare, cât și ca cuptor de reducere, iar după un proiect realizat de Paul Wurth S.A. se pot obține temperaturi până la 1100°C, astfel încât cuptorul poate fi folosit și la procesele metalurgice, în acesta având loc următoarele reacții chimice:



În cazul procedeuului „Primus”, cuptorul etajat funcționează atât ca agregat de uscare, cât și ca cuptor de reducere. După un proiect realizat de Paul Wurth S.A. se vor putea obține temperaturi până la 1100°C, astfel încât cuptorul poate fi folosit și la procesele metalurgice [10].

În acest mod este posibil, la reducerea oxizilor de fier (minereu țunder) ca gazele rezultate din proces să fie ulterior arse integral în cuptor datorită gradului înalt de postcombustie și a temperaturilor din proces comparativ mici (1100°C), acest procedeu fiind caracterizat printr-o folosire eficientă a energiei.

Buretele de fier „Primus” este mărunț și poate fi transportat pneumatic, iar gazele arse se evacuează de la ultimul etaj, iar cea mai mare parte din particulele de praf antrenate sunt captate de ciclon și returnate în cuptor. Epurarea finală a gazelor este adaptată condițiilor de proces și cerințelor de protecție a mediului ambiant [10].

Cuptorul etajat și numărul etajelor sunt variabile și se adaptează la cerințele materialului. Introducerea materialelor se face la etajul superior, cărbunii sau alte adaosuri pot fi de asemenea introduse pe etajul superior, dar și la alte etaje dacă condițiile procesului o cer, ulterior produsul final (buretele de fier) este evacuat din cuptor și răcit. În schema tehnologică anterioară sunt prevăzute următoarele etape:

- postcombustie;
- recuperarea căldurii;
- răcire;
- separarea prafului [10].

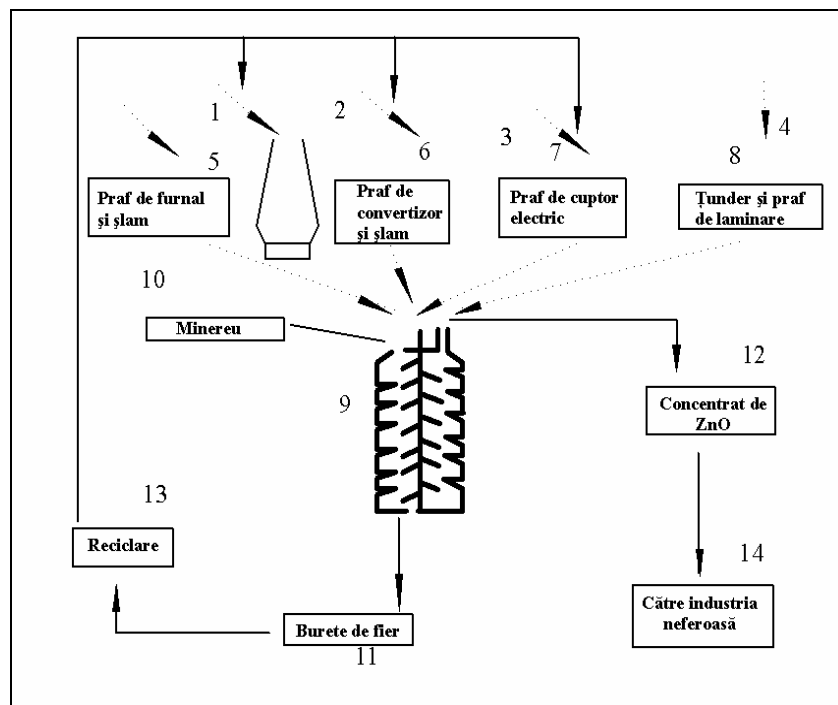


Fig.3.7. Tratarea deșeurilor din siderurgie prin procedeul „Primus”

1 – furnal; 2 – convertizor cu oxigen; 3 – cuptor electric cu arc; 4 – laminor;
5 – praf de furnal și șlam; 6 – praf de convertizor și șlam; 7 – praf de la cuptorul electric;
8 – tunder și șlam de la laminoare; 9 – Primus; 10 – minereu de fier; 11. – burete de fier /
concentrat de fier; 12 – concentrat de oxid de zinc; 13 – reciclare; 14– către industria
neferoasă [10].

Există o variantă a procedurii „ Primus” special dezvoltată pentru tratarea prafulor de la cuptorul electric cu arc, având drept scop creșterea conținutului de Zn separat la valori peste 90%.

Aceasta se poate obține prin separarea vaporizării plumbului alcaliilor și clorului de vaporizarea zincului. Praful este încălzit la 950 – 1050°C, în condiții oxidante, înainte de adăugarea reducătorului, în această fază volatilizându-se combinațiile alcaliilor, plumbului și clorului, această fracțiune este aspirată și separată într-un filtru și după ce s-a terminat această primă etapă are loc adăugarea reducătorului și reducerea/vaporizarea zincului în zona inferioară a cuptorului și deoarece gazele arse având conținut de oxid de zinc din treapta de reducere sunt aspirate într-o a doua linie de epurare și se obține concentratul de ZnO [10].

3.7. Procedeele Fastmet și Fastmelt

3.7.1. Considerații tehnologice

Procedeele Fastmet și Fastmelt au fost dezvoltate de Midrex și Kobe Steel cu scopul de a permite producătorilor de oțel să rezolve problema reziduurilor cu conținut de fier, respectiv a celor cu fier și carbon (figura 3.8).

Procesul FASTMET transformă reziduurile oțelărilor cu sau fără adăugarea minereului de fier, în metal feros într-un **cuptor cu creuzet circular** (RHF) folosind carbonul ca reducător, produsul rezultat fiind burete de fier rece, burete de fier fierbinte sau HBI [10].

Procesul FASTMELT folosește RHF FASTMELT pentru a produce burete de fier care alimentează apoi un cuptor electric cunoscut ca „furnal electric producător de fier”, realizat de EMC INTERNATIONAL, o companie ce produce fier de înaltă calitate denumit FASTIRON [10].



Fig.3.8. Procedeele Fastmet, Uzina Kobe Steel Kakogawa Works [13, 14]

Pentru prelucrarea deșeurilor la oțelării uzinele FASTMET și FASTMELT asigură următoarele beneficii:

- reciclarea deșeurilor care conțin fier / fier și carbon;
- recuperarea fierului valoros pentru producția de oțel;

- sursă economicoasă de metal incandescent pentru a suplini producția cuptorului sau producția de oțel EAF;
- posibila reducere a consumului de cocs;

De asemenea procesele FASTMET și FASTMELT protejează mediul, singurele reziduuri solide fiind zgura și praful de la instalațiile de epurare a gazelor și cenușa. Zgura este asemănătoare zgurei de cuptor și este tratată în același fel. Cenușa și praful de la instalațiile de epurare a gazelor pot fi valorificate în metalurgia neferoasă pentru conținutul de ZnO, și de asemenea orice alte resturi de deșeuri solide sunt reciclate.

Deșeurile nu sunt descărcate în apă și emisiile de gaze în aer, sunt controlate în limitele impuse de organizațiile de mediu, folosind echipamentul de control necesar, emisiile de dioxid de carbon fiind minimalizate datorită combinației unice de tehnologii RHF și EIF [10].

3.7.2. Descrierea procesului FASTMET

Acest proces transformă minereurile de oxid și/ sau deșeurile de la oțelării în metal feros folosind ca reducător, dacă este necesar cărbune pulverizat, sau alt material conținând carbon. Produsul final, poate fi brichetat fierbinte, descărcat ca burete de fier fierbinte în containere de transfer, se poate de asemenea răci, sau se încarcă direct într-un topitor pentru producerea FASTIRON – ului.

În operațiile în care materialul de alimentare primar este materialul neprelucrat, reducătorii de bază sunt peletizați și uscați înainte de a fi trimis în RHF, unde materialele se introduc într-un singur strat [10].

Dacă deșeurile din oțelării sunt materiale de alimentare primare, deșeurile vor fi brichetate, deoarece prin brichetare se oferă o mai mare flexibilitate în utilizarea materialelor reziduale și elimină necesitatea de măcinare/mărunțire a materialului de alimentare. Brichetele sunt plasate în creuzet într-un singur strat. În timpul rotirii creuzetului materialele de alimentare sunt încălzite până la 1280 – 1340° C, oxidul de fier fiind redus la metal feros. Reducerea oxidului de fier este realizată de carbonul care reacționează cu materialele care conțin fier pentru a forma metal feros [10].

Timpul de procesare în creuzet, este în general, de 6 – 10 min și variază în funcție de materialul care este procesat, mărimea materialului de alimentare și de alți factori, în acest timp 85 – 95% din oxidul de fier este transformat în metal feros. Modul de reducere rapidă obținut prin procesul FASTMET se datorează temperaturii mari de reducere, transferului mare de căldură și contactului apropiat al carbonului din interiorul materialului de alimentare cu oxidul de fier [10].

Gazele arse eliminate de RHF sunt arse în totalitate și înăbușite parțial de aparatul de control al gazelor. Aparatele pentru recuperarea căldurii folosesc energia termică din gazele arse pentru a încălzi înainte aerul de combustie pentru injectoarele RHF. Gazele arse sunt mai departe purificate printr-un epurator de gaze cu SO₂, determinat de regulamentele de mediu. De asemenea, metalizarea materialului redus direct poate fi modificată [10].

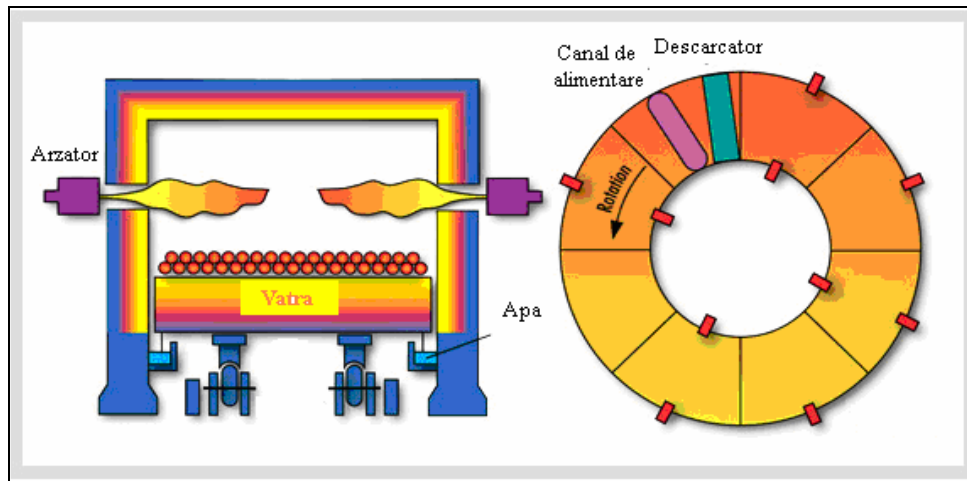


Fig.3.9. Procesul FASTMET, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel [13, 14]

FASTMET oferă micilor producători o altă posibilitate de a rezolva problema deșeurilor mai ieftin. O uzină FASTMET localizată în apropierea unei societăți siderurgice poate transforma deșeurile în două produse esențiale, buretele de fier pentru alimentarea cuptorului de topire și ZnO pentru comercializare la cei care-l prelucrează, ceea ce era o responsabilitate devenind foarte profitabil, respectiv costul mare al îndepărtării deșeurilor fiind eliminat și astfel o sursă de fier necostisitor devenind disponibil. Deci ca atare avem:

- generarea de cantități mici de material feros de-a lungul procesului are ca rezultat o cantitate mare de Zn, și o cantitate foarte mică de fier la cea de a doua prelucrare a deșeurilor;
- metalizarea puternică și înlăturarea Zn, reciclează produsul de Fe redus în EAF;
- nici un fel de deșeu nu se aruncă;
- tratamentul la temperatură mare descompune dioxine;
- deșeurile (praful de zinc) pot fi prelucrate ieftin și devin un produs.

3.7.3. Descrierea procedurii FASTMELT

Procesul FASTMELT transformă buretele de fier FASTMET într-un metal fierbinte de calitate superioară, cunoscut ca FASTIRON lichid. Buretele de fier este descărcat din FASTMET RHF și introdus prin gravitație în topitorul EIF.

Materialul redus rezultat din procesul FASTMET este burete de fier foarte metalizat (80 – 90% metalizare). EIF este o poziție fixă, un cuptor de topire care conține trei electrozi de grafit, proiectați special pentru topirea buretelui de fier FASTMET fierbinte. Electrozii sunt din grafit și se pot introduce în timpul funcționării., buretele de fier fiind încărcat în continuu și topit, EIF fiind stabil și având un boltă fixă [10].

În cuptorul de topire o mare parte a sulfului este înlăturată în timpul încălzirii, oxidul de siliciu din steril și cenușa de cărbune pot fi de asemenea reduse, asigurând controlul nivelului de siliciu în FASTIRON. Conținutul de carbon poate

varia, prin reglarea adaosului de carbon din materialul de alimentare la RHF. Feroaliaje ca ferosiliciu și feromanganul se pot adăuga în cuptorul de topire dacă este necesar. Cuptoarele cu arc scufundat (SAF) au proprietăți că pot să topească oxizii de fier și să producă topitură metalică cu 3,5 până la 4% C. Cuptoarele SAF sunt alimentate printr-un orificiu cu material feros și carbon, repartizat ca o încărcătură deasupra stratului de zgură în perimetrul cuptorului[10].

Diferențele dintre buretele de fier FASTMET și materialele tradiționale de încărcătură SAF sunt semnificative, ajungând la concluzia că procesul tipic SAF nu poate asigura metoda cea mai eficientă de a produce metal topit din produsul FASTMET. Topitorul FASTMET (EIF) a fost astfel creat bazându-se pe proprietățile buretelui de fier FASTMET, cu un grad specific de topire relativ mare și analiza vizată pentru produsul topit. Conceptul operațional pentru EIF include caracteristici ale EAF ale SAF și pe cele care sunt în mod obișnuit identificate cu cuptorul, acesta fiind numit „cuptor electric pentru producerea fierului” (EIF), fiind conceput pentru a satisface următoarele obiective:

- topirea eficientă a buretelui de fier FASTMET;
- îndepărtarea sterilului;
- reducerea FeO rezidual la Fe;
- desulfurarea;
- operațiuni continue [10].

La Centrul Tehnic Mildrex au fost făcute teste pentru a confirma faptul că reacțiile procesului pot fi controlate, obiectivul fiind de a dovedi că folosirea unei combinații de deșeuri și materiale de minereuri oxidice pentru alimentare, nivelurile carbonului, siliciului și sulfului din produsele obținute se pot controla.

Etapele testării procesului FASTMELT cu materiale reziduale (deșeuri) ce conțin fier / fier și carbon sunt prezentate mai jos:

- carburarea fierului topit până la saturația teoretică a fost obținută ușor;
- o termochimie similară celei din cuptor, adică reducerea SiO₂ și MnO incluse în metalul topit;
- producția de fier era mare deoarece zgura, în mod obișnuit conținea mai puțin de 2% FeO în timpul topirii și uneori mai puțin de 1% (zgură reducătoare).

Tabelul 3.3. Rezultatele testelor pentru producerea FASTIRON [10]

Analiza cărbunelui pulverizat folosit ca reducător	
Carbon fix	71,14%
Substanțe volatile	22,59%
Cenușă	6,27%
Sulfurat	0,77%
Kcal/Kg	8,175
Compoziția oțelului fierbinte	
[%C]	4,54
[%Si]	0,47
[%Mn]	0,107
[%S]	0,013
[%P]	0,036
Temperatura, °F	2650 - 2750

Conținutul de sulf mai mic de 0,03% era normal (zgură reducătoare). Raporturile de repartiție între zgură și topitura au atins deseori valori de 100 sau mai mult chiar și atunci când zgura are valențe mici. Astfel la nivele mici ale sulfului cresc folosirea topiturii metalice FASTIRON în producția de oțel superior.

Uzinele FASTMET și FASTMELT pot fi concepute pentru a răspunde la solicitări de la 50.000 până la mai mult de 1.000.000 de tone pe an [10].

Procesele FASTMET / FASTMELT pentru prelucrarea deșeurilor folosesc o schemă tehnologică similară celei folosite pentru prelucrarea minereului de fier brut cu două diferențe semnificative:

a) în cazul deșeurilor, materialele brute sunt brichetate și asigură flexibilitate în privința compoziției chimice și dimensiunilor particulei;

b) datorită zincului și a altor metale valoroase care sunt incluse în deșeurile rezultate de la oțelării, este important să se asigure un mijloc pentru recuperarea cu succes și comercializarea produselor derivate, lucru realizabil în procesul FASTMELT prin utilizarea sistemului de epurare a gazelor. Praful recuperat bogat în zinc (80 – 90%) este comercializat [10].

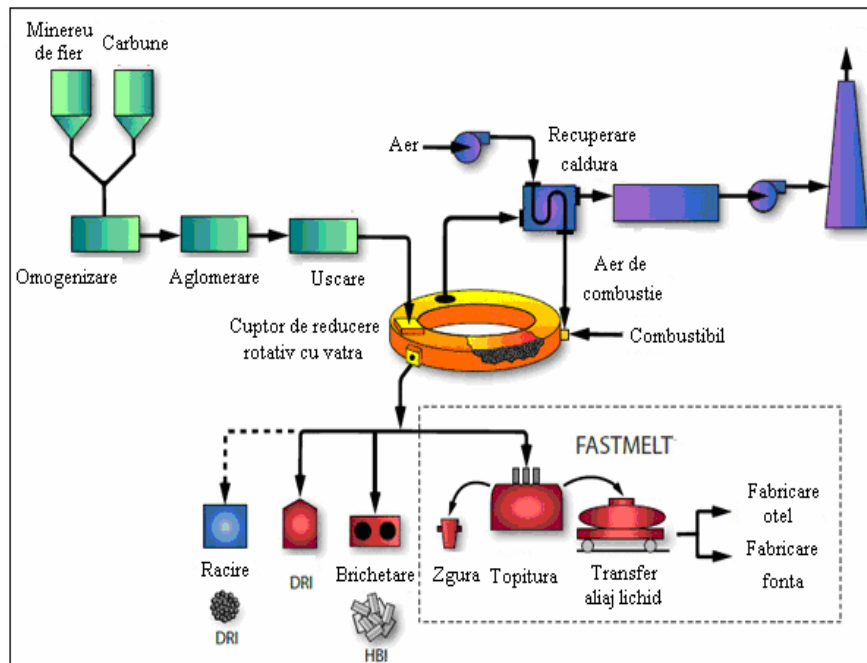


Fig. 3.10. Procedeele FASTMELT, dezvoltat de Midrex Technologies and Kobe Steel [13, 14]

Uzinele de prelucrare a deșeurilor, FASTMET, pot fi concepute pentru a produce ori pelete metalizate ori brichete spre a fi folosite în cuptoare pentru creșterea producției de oțel lichid, ele putând fi încărcate încinse în benele transportoare sau încărcate direct în cuptoarele electrice cu arc.

Cea mai bună soluție de a produce FASTIRON este o uzină FASTMELT. Această opțiune înfățișează un cuptor de topire special construit care are ca principale funcții:

- topirea buretelui de fier;
- îndepărtarea zgurei;
- reducerea FeO rezidual în Fe;
- desulfurarea dacă este necesar [10].

Cuptorul este în primul rând conceput ca un topitor pentru că FASTMET produce un burete de fier metalizat uniform, FASTIRON putând fi adaptat astfel încât să se realizeze compoziția dorită.

Caracteristicile chimice tipice pentru produsul FASTIRON sunt: C = 3,0 – 5,0%; Si = 0,2 – 0,6%; Mn = 0,6 – 1,2%; S < 0,03%; P < 0,05%; Temperatura = 2640 – 2820°C [10].

Pentru uzinele care fac parte din același concern, o uzină FASTMELT poate asigura costuri eficiente ale fierului lichid care permit o creștere a producției de fier și posibilitatea de a opri (opri în conservare) un cuptor sau un furnal. Pentru un producător de oțel, FASTIRON poate asigura o sursă economică de materie primă, cu un grad ridicat de puritate a metalelor care mărește productivitatea cuptorului [10].

3.8. Procedeele Hamburg

3.8.1 Considerații tehnologice

În bilanțurile deșeurilor din industria siderurgică, această cantitate nu se observă deoarece cea mai mare parte a acestor materiale pot fi readuse direct în procesele de producție. Rata de reciclare pentru această grupă de deșeuri este ridicată, cca. 96%, restul de 4% reprezintă molozuri nereciclabile depozitate la haldă. Din cantitatea totală, cca. 14% se poate valorifica în exterior, în principal prafuri de la epurarea gazelor de la furnale, aglomerare și oțelării [85, 86].

Valorificarea deșeurilor feroase în exterior reprezintă pentru industria siderurgică o povară financiară. Pe această piață a *materiilor prime secundare*, prețurile sunt stabilite de către utilizatori. Pentru a evita această dependență industria siderurgică a dezvoltat tehnologii proprii de preparare sau a participat la asemenea proiecte [85, 86].

De exemplu, pentru șlamul rezultat de la epurarea gazului de furnal a fost preconizată o instalație de tratare în pat fluidizat cu recirculație. Într-un proiect pilot la Thyssen-Krupp Stahl (TKS) s-a dovedit că acest procedeu va fi convenabil atât pentru șlamul de furnal cât și pentru șlamul cu țunder. Costurile însă sunt prea mari în comparație cu prețul pieței, la valorificarea externă [85, 86].

3.8.2. Procedeele în cuptor – cuvă Hamburg

După o comparare a tuturor tehnologiilor disponibile, TKS a ales în 1997 procedeul care utilizează cuptorul cu cuvă. Prafurile și șlamurile feroase urmează a fi reduse, cu obținerea de fontă. Se încarcă aglomerate (brichete) obținute la rece din materiale menționate cu adaosuri de carbon. Motivele pentru alegerea acestei tehnologii au fost [85, 86]:

- procedeul folosește o tehnologie apropiată de cea din furnal;
- costuri de investiție mai mici decât la alte procedee;
- flexibilitate în producție;
- se produce fontă, zgură și gaz, care pot fi utilizate într-o uzină integrată fără dificultăți;

- posibilitatea de a prelua deșeurile metalice cum sunt "urșii" de oțelărie, sau particule magnetice din zgurile metalurgice.

Caracteristica principală a procedurii constă în omogenizarea avansată a șarjei de brichetare (particule de oxid de fier și de reducător – aici cocs mărunț) astfel încât să rezulte o suprafață de reacție mare. La cca. 1000 °C are loc prin reacția Bell-Boudouard între particulele învecinate de oxid de fier și de cocs mărunț reducerea până la fierul metalic. La testările de laborator, brichetele supuse experimentărilor au fost metalizate complet în câteva minute. În cuptorul cu cuvă încărcătura străbate spațiul cuptorului în cca. 20 minute [85, 86].

Pentru testarea procedurii pe perioade mai lungi de timp, a fost construit un cuptor cu cuvă proprie de o mărime care să permită o testare economică. Toate experimentările s-au efectuat în cadrul societății TKS-AG. Pentru aceasta TKS-AG împreună cu partenerii săi au înființat sectorul "Hamborne Schachtoven GbR". Proiectul a fost finanțat cu mijloacele "Thermo-Program"-lui Comisiei Europene. Cuptorul a fost dimensionat pentru o producție de fontă de 15t/h și o încărcătură constând din până 100% brichete. Aceasta corespunde aproximativ resursei TKS-AG de deșeuri feroase utilizate.

Tabelul 3.4. Materiale de încărcare (procesate sub formă de brichete) pentru cuptorul cu cuvă Hamborn [85, 86]

Deșeuri la TKS_AG		
Prafuri de oțelărie	179 200t/an	47%
Țunder uleios	44 300t/an	12%
Șlamul de la furnal	21 500t/an	5%
Total TKS	244 500t/an	64%
Deșeuri de la Krupp-Mannesmann		
Șlamuri de oțelărie	106 400t/an	28%
Diferite prafuri și șlamuri	31 100t/an	8%
Total KM	137 500t/an	36%
Total încărcătură	382 000t/an	100%

În paralel cu construcția instalației a fost optimizată fabricația brichetelor. După numeroase încercări s-a ajuns la două formate de "brichete hexagonale", cu grosimea de 100, respectiv 56 mm. Deșeurile feroase, prafuri fine de oxizi, șlam de furnale și șlam de țunder, au fost amestecate cu cocs mărunț și lianți, după care au fost presate sub formă de brichete. După un timp de întărire de 5 zile, brichetele au fost încărcate în cuptorul – cuvă. Conținutul de fier al acestora a fost de peste 50%. Încărcătura se compune din brichete, fier vechi, cocs și adaosuri pentru a se asigura formarea unei zguri cu bazicitate corespunzătoare.

3.8.3. Rezultate experimentale

Cuptorul – cuvă Hamborn a intrat în exploatare în iulie 1999. După ce au depășit principalele probleme legate de funcționarea instalațiilor, a fost optimizată calitatea materialului refractar din punct de vedere al durabilității.

Într-o primă campanie de lucru, au fost produse aproximativ 50.000t de fontă din deșeuri feroase și au fost prelucrate peste 5000 t brichete. S-a putut constata că proporția brichetelor în raport cu alte materiale feroase are o influență slabă asupra calității fontei și zgurei. În cursul experimentărilor, cota de brichete a

putut fi crescută de la 10% până la 70% din încărcătura metalică, fără înrăutățirea funcționării cuptorului. La o cotă de 70%, respectiv 21t brichete/h, în încărcătură (total încărcătură metalică 30t/h), cuptorul a realizat producții de 15 t fontă /h și 5 tone zgură/h. A fost astfel dovedită funcționarea economică a procedului. În afară de aceasta, se pot prelucra "urși" și alte resturi metalice cu conținuturi nedefinite de fier și în bucăți până la 600mm, scoarțe de oțel și zgură, precum și zgură de oțelărie fracția feroasă, obținându-se fontă cu analiză chimică și temperatură corespunzătoare pentru a putea fi utilizată la oțelărie [85, 86].

Cuptorul - cuvă este foarte flexibil în legătură cu treapta intermediară a procesării brichetelor, unde pot intra materiale în proporții foarte diferite. Se analizează și varianta insuflării directe, prin lance a unor prafuri, variantă care urmează a fi experimentată mai târziu.

Din punct de vedere al lui TKS-AG, prin funcționarea cuptorului cuvă au fost realizate trei scopuri importante:

- deșeurile feroase pot fi valorificate 100%;
- resturile feroase cum sunt "urși" pot fi prelucrate intern cu obținerea de fontă;
- valorificarea externă a deșeurilor feroase (cca.14%) va fi evitată în foarte mare măsură, iar costurile actuale de valorificare externă, vor scădea sensibil [85, 86].

3.9. Concluzii

Analizând procedee și tehnologiile de valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier și carbon consider că prezintă interes următoarele concluzii:

- toate procedeele și tehnologiile prezentate pot fi aplicate pentru valorificarea deșeurilor care vor fi utilizate în cadrul experimentărilor;
- alegerea procedului și tehnologiei de valorificare trebuie să aibă în vedere atât caracteristicile deșeurilor, destinația produsului obținut și instalațiile de procesare existente în zona cu deșeuri;
- 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, poate asigura în funcție de tehnologia aplicată, obținerea unor produse cu oxizi de fier avansat reduși;
- valorificarea deșeurilor prin brichetare, prezintă interes deosebit, mai ales pentru unitățile siderurgice puternic restructurate, cu închiderea fluxului primar (cocserie – aglomerator – furnale - oțelării) și cantități mari de deșeuri depozitate pe halde și în iazuri.

PARTEA A-II-A

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PROPRII DE PROCESARE PRIN BRICHETARE ȘI REDUCERE DIRECTĂ A DEȘEURILOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

4. CERCETĂRI PRIVIND DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DIMENSIONALE ALE BRICHETELOR CU SUPRAFAȚĂ DE REACȚIE MĂRITĂ

4.1. Considerații tehnice

Pentru procesul de reducere al minereurilor, aglomeratelor, peletelor și brichetelor, pe lângă structura mineralogică, compoziția chimică, porozitatea, temperatura de lucru, compoziția fazei gazoase, o importanță deosebită o are și suprafața specifică a frontului de reacție (cm^2 suprafață brichetă/ cm^3 volum brichetă).

Având în vedere eforturile la care sunt supuse brichetele în timpul manipulării, transportului și depozitării, cea mai adecvată formă a acestora este cea sferică sau ovoidă, dar pentru procesul de reducere prezintă dezavantajul valorilor scăzute pentru suprafața specifică a frontului de reacție. Din punct de vedere al suprafeței specifice (respectiv valori acesteia) ar fi indicate brichetele de formă cubică sau paralelipipedică, dar prezintă dezavantajul unei degradări mai avansate în timpul manipulării.

Brichetele de formă cilindrică și hexagonală, din punct de vedere atât al mărimii specifice a suprafeței de reacție, cât și al degradării în timpul manipulării se situează între cele două cazuri prezentate.

În cercetările efectuate s-au avut în vedere brichetele cilindrice, întâlnite destul de des în procesul de valorificare al deșeurilor feroase și pulverulente.

Pentru brichetele cilindrice, suprafața specifică a frontului de reacție este minimă în cazul în care $H = D$ [17], unde:

D- diametrul brichetei (cilindrului)

H- înălțimea brichetei (generatoarea cilindrului).

În cele ce urmează se prezintă dependența dintre raportul H/D și suprafața specifică de reacție. Pentru a crește suprafața frontului de reacție, respectiv a scădea durata reducerii, s-a avut în vedere producerea brichetelor cilindrice pentru care:

- raportul $H/D \neq 1$;

- $H = D$, cu interiorul brichetei prevăzut cu una sau mai multe cavități, generatoarea acestora fiind paralelă cu cea brichetei.

4.2. Caracteristici dimensionale a brichetelor cu suprafață de reacție mărită

Pentru a crește suprafața specifică de reacție, s-a considerat ca brichetă de referință, acea bricheta pentru care pentru $H = D$.

Referitor la obținerea brichetelor cu suprafață de reacție sporită, din punct de vedere a caracteristicilor dimensionale s-au analizat două variante, și anume:

1) **brichete compacte** cu menținerea constantă a volumului și variația raportului H/D astfel încât acesta să fie diferit de 1;

2) **brichete cu cavitați**, cu menținerea constantă a diametrului și înălțimii, deci $H/D=1$, dar cu variația volumului brichetei (materialului conținut în brichetă), prin practicarea unor cavități în volumul acesteia.

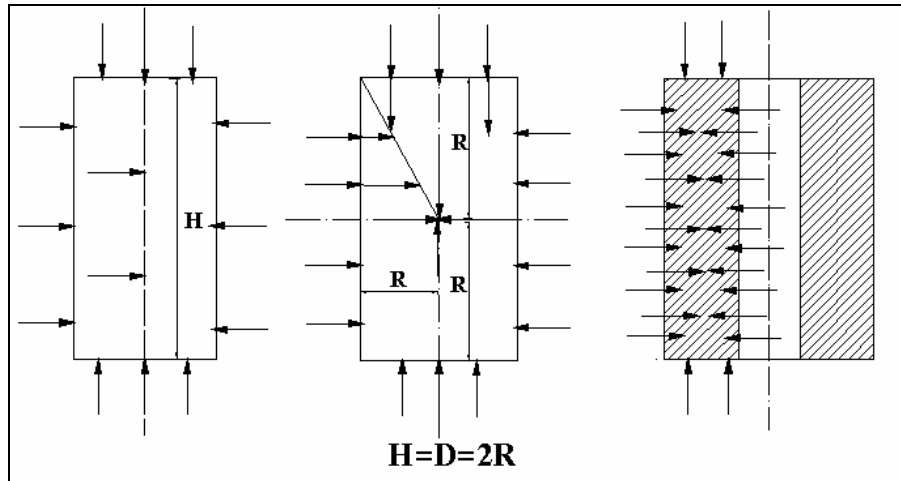


Fig. 4.1. Schema avansării frontului de reacție

4.2.1. Brichete compacte. În cadrul cercetărilor efectuate s-au considerat ca și brichete compacte, acele brichetele care nu au nici un orificiu practicat în corpul lor și s-a efectuat inițial calculul pentru bricheta de referință la care avem:

$$H = D = 2R \quad (4.1)$$

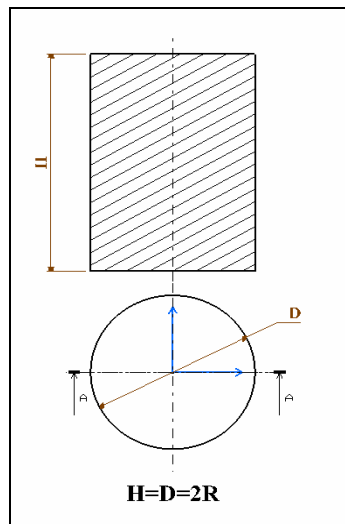


Fig. 4.2. Bricheta compactă

- aria totală S_t [cm²] este dată de relația:

$$S_t = 2 \frac{\pi D^2}{4} + \pi D(H + D) = \frac{\pi D^2}{2} + 2\pi D^2 = \frac{3}{2} \pi D^2 = \frac{3}{2} \pi \cdot 4R^2 = 6\pi R^2 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (4.2)$$

Volumul brichetei V [cm³] este dat de relația:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = \frac{\pi D^3}{4} = \frac{8\pi R^3}{4} = 2\pi R^3 \text{ [cm}^3\text{]} \quad (4.3)$$

- suprafața specifică S_s [cm²/cm³] este dată de relația:

$$S_s = \frac{\frac{3}{2} \pi D^2}{\frac{\pi D^3}{4}} = \frac{6}{D} = \frac{6}{2R} = \frac{3}{R} \text{ [cm}^2\text{/cm}^3\text{]} \quad (4.4)$$

În continuare se consideră $H_i \neq D_i$, însă volumul brichetelor rămâne constant. Ca urmare considerăm următoarele:

$$\frac{H_i}{D_i} = n \Rightarrow H_i = nD_i \quad (4.5)$$

Volumul fiind constant avem:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi D_i^2}{4} H_i \Rightarrow \frac{\pi D^3}{4} = \frac{\pi n D_i^3}{4} \Rightarrow D^3 = n D_i^3 \Rightarrow D_i = \frac{D}{\sqrt[3]{n}} \quad (4.6)$$

$$H_i = n \frac{D}{\sqrt[3]{n}} \quad (4.7)$$

$$D_i = \frac{D}{\sqrt[3]{n}} \quad (4.8)$$

Suprafața totală a brichetei S_{ti} [m²] este dată de relația:

$$S_{ti} = \frac{\pi D^2}{(\sqrt[3]{n})^2} \left[\frac{2n+1}{2} \right] = \frac{4\pi R^2}{(\sqrt[3]{n})^2} \left[\frac{2n+1}{2} \right] = \pi R^2 \cdot S_t \quad (4.9)$$

unde S_t este coeficientul de multiplicare al suprafeței totale S_{ti} .

Suprafața specifică a brichetei S_{si} [cm²/cm³] este dată de relația:

$$S_{si} = \frac{S_{ti}}{V_i} = \frac{\frac{\pi D^2}{(\sqrt[3]{n})^2} \left[\frac{2n+1}{2} \right]}{\frac{\pi D^3}{4}} = \frac{2(2n+1)}{D(\sqrt[3]{n})^2} = \frac{(2n+1)}{R(\sqrt[3]{n})^2} = \frac{1}{R} \cdot S_s \quad (4.10)$$

unde S_s este coeficientul de multiplicare al suprafeței specifice S_{si}

Pentru $H/D \neq 1$ suprafața specifică crește pentru același volum al brichetei.. Evident, din condițiile de rezistență la manevrare nu este indicat ca $H/D > 2$ și din motive similare $H/D < 0,5$.

Tabelul 4.1. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul n

Nr. crt.	n	Di	Hi	S _t	S _s	S(·nR ²)	St/S	[(S _t -S)/S]·100 [%]
1.	0,5	0,666667	0,629961	6,349604	3,174802	6	1,058267	5,826737
2.	0,6	0,555556	0,711379	6,185173	3,092586	6	1,030862	3,086215
3.	0,7	0,47619	0,788374	6,088485	3,044242	6	1,014747	1,474743
4.	0,8	0,416667	0,861774	6,034065	3,017033	6	1,005678	0,567758
5.	0,9	0,37037	0,93217	6,00749	3,003745	6	1,001248	0,124825
6.	1	0,333333	1	6	3	6	1	0
7.	1,1	0,30303	1,065602	6,005993	3,002997	6	1,000999	0,09989
8.	1,2	0,277778	1,129243	6,021732	3,010866	6	1,003622	0,362198
9.	1,3	0,25641	1,191138	6,044638	3,022319	6	1,00744	0,743958
10.	1,4	0,238095	1,251465	6,072883	3,036441	6	1,012147	1,214714
11.	1,5	0,222222	1,310371	6,105143	3,052571	6	1,017524	1,752377
12.	1,6	0,208333	1,367981	6,140437	3,070219	6	1,023406	2,340621
13.	1,7	0,196078	1,424402	6,178031	3,089015	6	1,029672	2,967177
14.	1,8	0,185185	1,479727	6,217362	3,108681	6	1,036227	3,622701
15.	1,9	0,175439	1,534037	6,257999	3,129	6	1,043	4,299986
16.	2	0,166667	1,587401	6,299605	3,149803	6	1,049934	4,993421

Datele prezentate în tabelul 4.1, date rezultate pe baza relațiilor 4.1 - 4.10, au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, corelațiile obținute fiind prezentate atât grafic cât și analitic. Corelațiile sunt funcții polinomiale de gradul 2 și 3, reprezentative din punct de vedere a coeficienților de corelație.

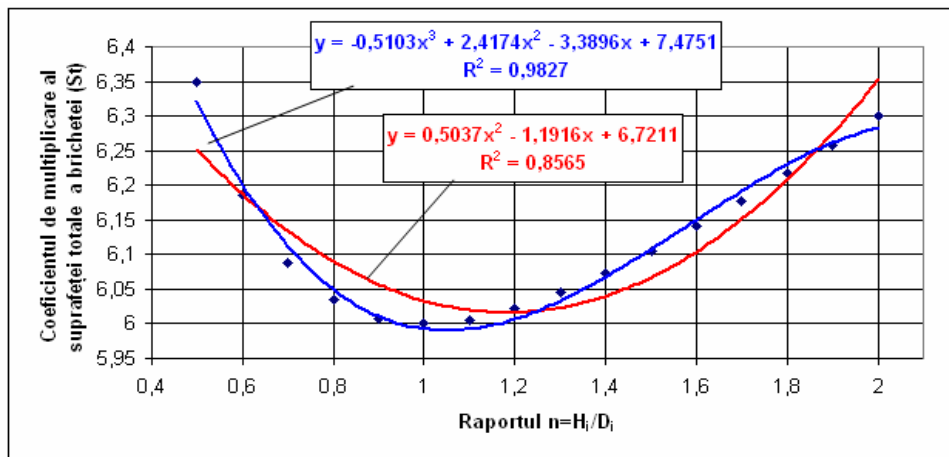


Fig. 4.3. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul n (H/D)

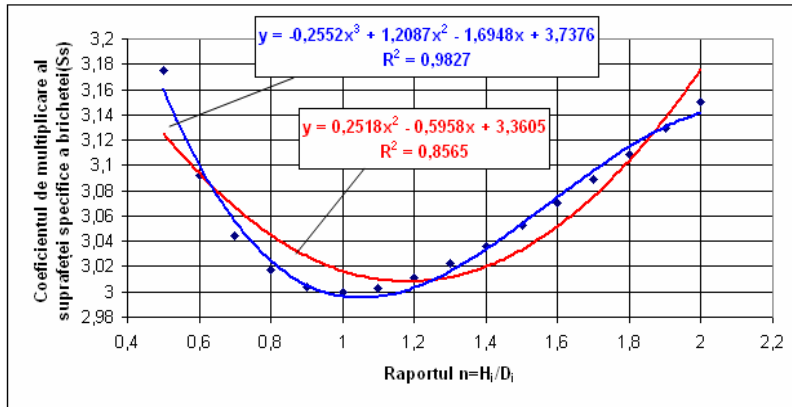


Fig. 4.4. Dependenta coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul n (H/D)

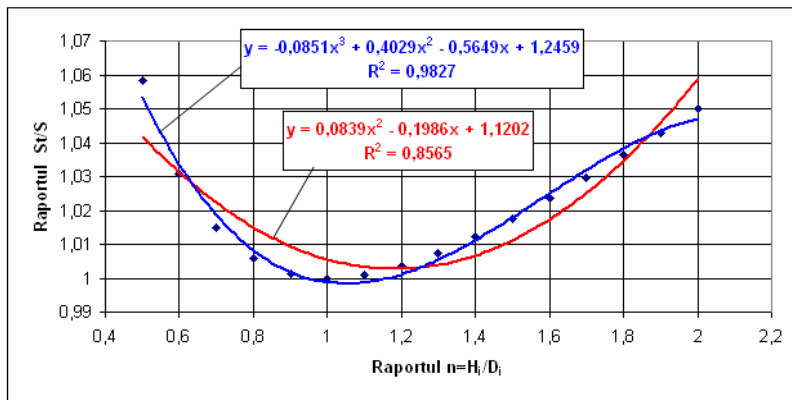


Fig. 4.5. Dependenta raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul n (H/D)

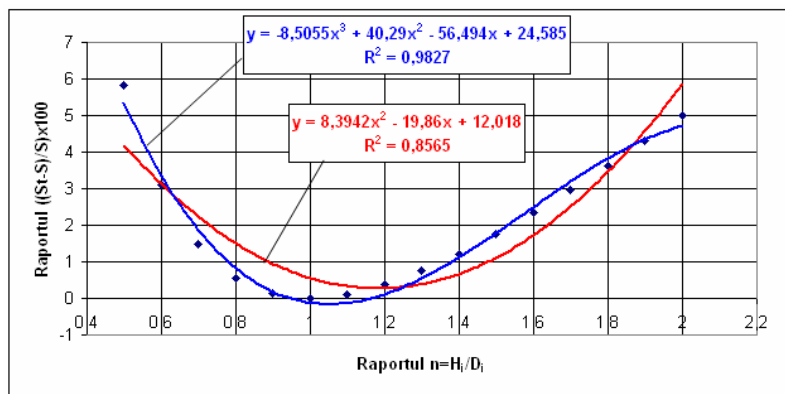


Fig. 4.6. Dependenta raportului $((S_t - S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul n (H/D)

4.2.2. Brichetă cu cavitați

Prin formarea de cavități în brichete (una centrală sau mai multe) se obține o creștere a suprafeței frontului de reacție, respectiv a suprafeței specifice de reacție.

4.2.2.1. Bricheta tubulară

Pentru bricheta de referință la care $H=D=2R$ aria totală S_{ti} , volumul V_i și suprafața specifică S_{si} sunt date de relațiile (4.2.), (4.3) și (4.4).

În cazul brichetei tubulare la care $H=D=2R$ și $R_i=R/m$ avem:

- aria totală S_{ti} [cm²] este dată de relația:

$$S_{ti} = 6\pi R^2 - 2\pi R_i^2 + 2\pi R_i H = 6\pi R^2 - \frac{2\pi R^2}{m^2} + \frac{4\pi R^2}{m} = 2\pi R^2 \cdot \frac{3m^2 + 2m - 1}{m^2} = \pi R^2 \cdot S_t \quad (4.11)$$

unde S_t este coeficientul de multiplicare al suprafeței totale S_{ti} .

-volumul V_i [cm³] este dat de relația:

$$V_i = 2\pi R^3 - 2\pi R R_i^2 = 2\pi R^3 - \frac{2\pi R^3}{m^2} = 2\pi R^3 \cdot \frac{m^2 - 1}{m^2} = \pi R^3 \cdot V \quad (4.12)$$

unde V este coeficientul de multiplicare al volumului V_i .

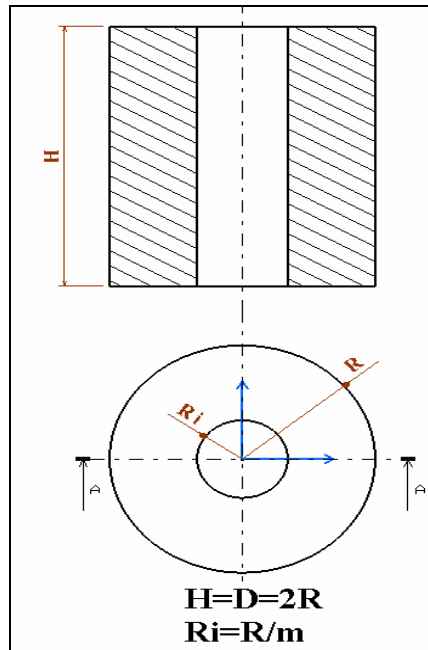


Fig.4.7. Brichetă tubulară

-suprafața specifică S_{si} [cm²/cm³] este dată de relația:

$$S_{si} = \frac{S_t}{V} = \frac{3m^2 + 2m - 1}{R(m^2 - 1)} = \frac{1}{R} \cdot S_s \quad (4.13)$$

unde S_s este coeficientul de multiplicare al suprafeței specifice

Din considerente de ordin tehnic, mai precis de rezistență la sfărâmare, se consideră ca m să fie situat în intervalul [2, 4].

Tabelul 4.2. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul m

Nr. crt.	n	S_t	V	S_s	$S(\cdot nR^2)$	S_t/S	$[(S_t-S)/S] \cdot 100$ [%]
1.	2	7,5	1,5	5	6	1,25	25
2.	2,25	7,382716	1,604938	4,6	6	1,230453	23,04527
3.	2,5	7,28	1,68	4,333333	6	1,213333	21,33333
4.	2,75	7,190083	1,735537	4,142857	6	1,198347	19,83471
5.	3	7,111111	1,777778	4	6	1,185185	18,51852
6.	3,25	7,04142	1,810651	3,888889	6	1,17357	17,357
7.	3,5	6,979592	1,836735	3,8	6	1,163265	16,32653
8.	3,75	6,924444	1,857778	3,727273	6	1,154074	15,40741
9.	4	6,875	1,875	3,666667	6	1,145833	14,58333

La fel ca și în cazul brichetelor compacte și în cazul brichetelor tubulare, datele prezentate în tabelul 4.2, date rezultate pe baza relațiilor 4.1. - 4.4. și 4.11. - 4.13. au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, corelațiile obținute fiind prezentate atât grafic cât și analitic. Corelațiile sunt funcții polinomiale de gradul 1 și 2, reprezentative din punct de vedere a coeficienților de corelație, aceștia având valori de peste 0,95 mai mari decât în cazul anterior.

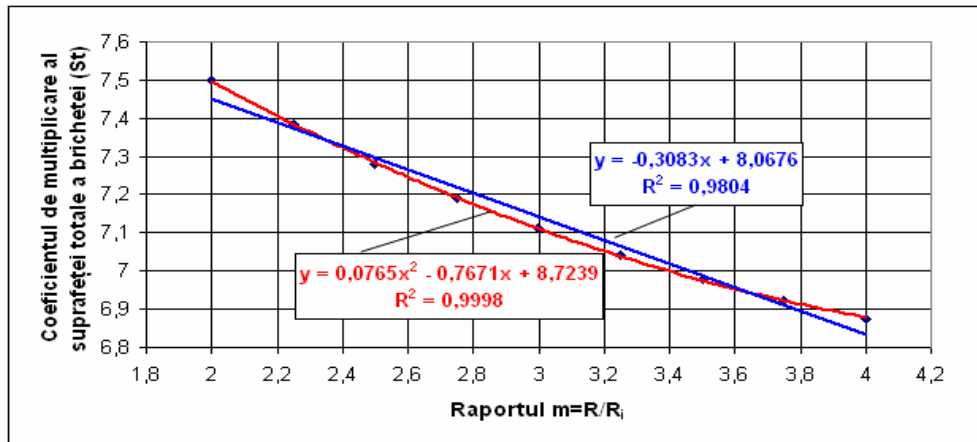


Fig. 4.8. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul m (R/R_i)

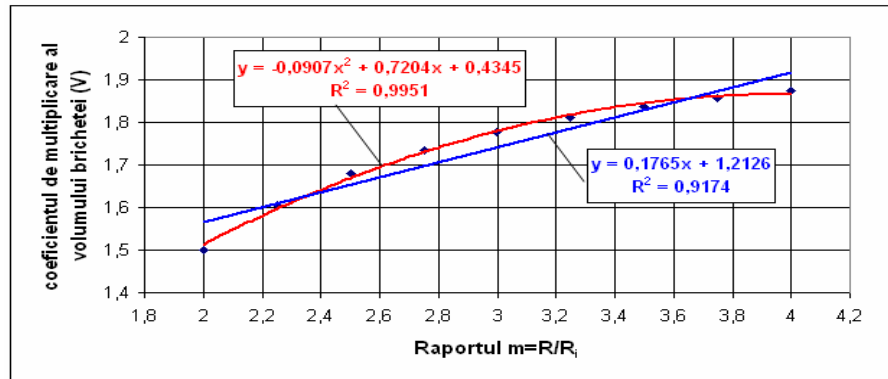


Fig. 4.9. Dependenta coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în functie de raportul m (R/R_i)

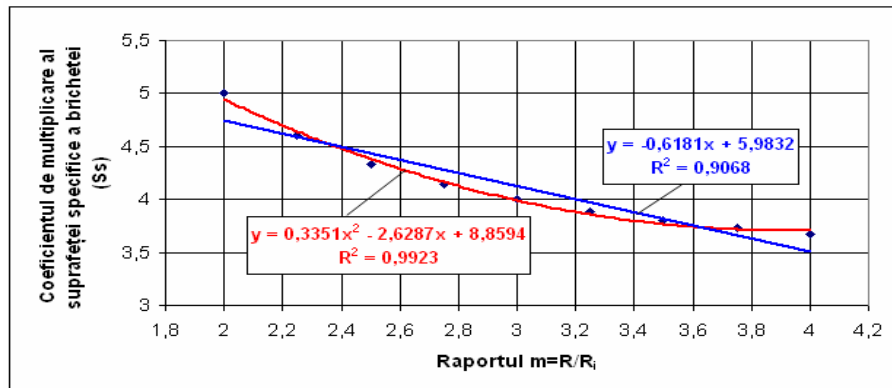


Fig. 4.10. Dependenta coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice a brichetei (S_s) în functie de raportul m (R/R_i)

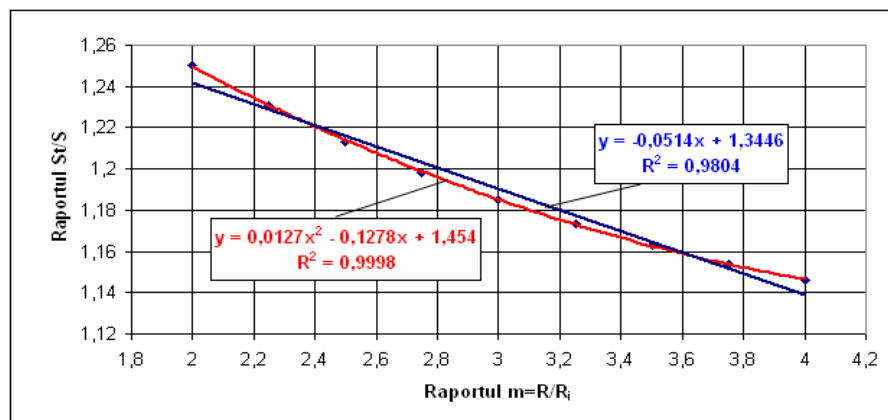


Fig. 4.11. Dependenta raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_v/S) în functie de raportul m (R/R_i)

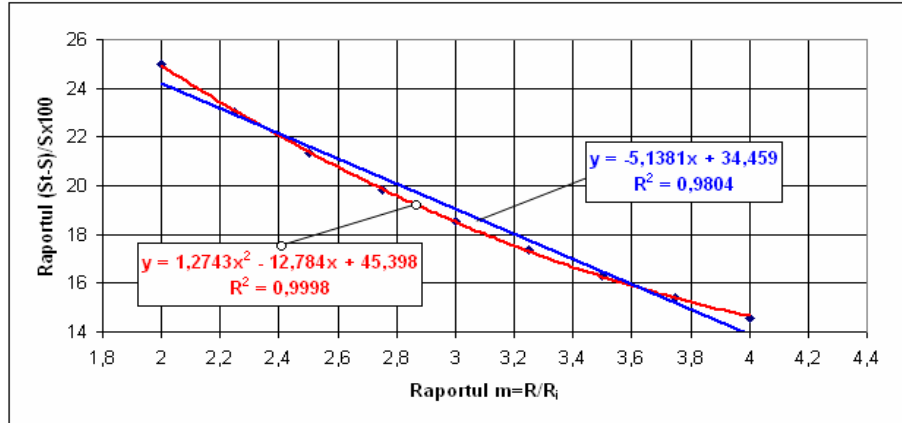


Fig. 4.12. Dependența raportului $((S_t-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul $m (R/R_i)$

4.2.2.2. Bricheta multicavă

În cazul brichetei multicave la care $H=D=2R$, $R_i=R/p$ pentru k orificii avem:

-suprafața totală S_{ti} [cm²] este dată de relația:

$$S_{ti} = 6\pi R^2 - 2\pi R_i^2 k + k \cdot 2\pi R_i \cdot 2R = 6\pi R^2 - \frac{2\pi k R^2}{p^2} + \frac{4\pi k R^2}{p} = 2\pi R^2 \frac{3p^2 + 2pk - k}{p^2} = \pi R \cdot S_t \quad (4.14)$$

unde S_t este coeficientul de multiplicare al suprafeței totale S_t .

-volumul brichetei V_i [cm³] este dat de relația:

$$V_i = 2\pi R^3 - 2\pi k R R_i^2 = 2\pi R^3 - \frac{2kR^3}{p^2} = 2\pi R^3 \frac{p^2 - k}{p^2} = \pi R^3 \cdot V \quad (4.15)$$

unde V este coeficientul de multiplicare al volumului V_i .

Tabelul 4.3. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul p

Nr. crt.	n	k	S_t	V	S_s	S ($\cdot \pi R^2$)	S_t/S	$[(S_t-S)/S] \cdot 100$ [%]
1.	3	5	11,55556	0,888889	13	6	1,925926	92,593
2.	3	6	12,66667	0,666667	19	6	2,111111	111,11
3.	3	7	13,77778	0,444444	31	6	2,296296	129,63
4.	3	8	14,88889	0,222222	67	6	2,481481	148,15
5.	3,1	9	15,73985	0,126951	123,9836	6	2,623309	162,33
6.	3,25	5	11,2071	1,053254	10,64045	6	1,86785	86,785
7.	3,25	6	12,24852	0,863905	14,17808	6	2,04142	104,14
8.	3,25	7	13,28994	0,674556	19,70175	6	2,21499	121,5
9.	3,25	8	14,33136	0,485207	29,53659	6	2,38856	138,86
10.	3,25	9	15,37278	0,295858	51,96	6	2,56213	156,21

Tabelul 4.3. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul p (continuare)

Nr. crt.	n	k	S_t	V	S_s	S ($\cdot nR^2$)	S_t/S	$[(S_t-S)/S] \cdot 100$ [%]
11.	3,5	5	10,89796	1,183673	9,206897	6	1,816327	81,633
12.	3,5	6	11,87755	1,020408	11,64	6	1,979592	97,959
13.	3,5	7	12,85714	0,857143	15	6	2,142857	114,29
14.	3,5	8	13,83673	0,693878	19,94118	6	2,306122	130,61
15.	3,5	9	14,81633	0,530612	27,92308	6	2,469388	146,94
16.	3,75	5	10,62222	1,288889	8,241379	6	1,77037	77,037
17.	3,75	6	11,54667	1,146667	10,06977	6	1,924444	92,444
18.	3,75	7	12,47111	1,004444	12,41593	6	2,078519	107,85
19.	3,75	8	13,39556	0,862222	15,53608	6	2,232593	123,26
20.	3,75	9	14,32	0,72	19,88889	6	2,386667	138,67
21.	4	5	10,375	1,375	7,545455	6	1,729167	72,917
22.	4	6	11,25	1,25	9	6	1,875	87,5
23.	4	7	12,125	1,125	10,77778	6	2,020833	102,08
24.	4	8	13	1	13	6	2,166667	116,67
25.	4	9	13,875	0,875	15,85714	6	2,3125	131,25
26.	4,25	5	10,15225	1,446367	7,019139	6	1,692042	69,204
27.	4,25	6	10,9827	1,33564	8,222798	6	1,83045	83,045
28.	4,25	7	11,81315	1,224913	9,644068	6	1,968858	96,886
29.	4,25	8	12,6436	1,114187	11,34783	6	2,107266	110,73
30.	4,25	9	13,47405	1,00346	13,42759	6	2,245675	124,57
31.	4,5	5	9,950617	1,506173	6,606557	6	1,658436	65,844
32.	4,5	6	10,74074	1,407407	7,631579	6	1,790123	79,012
33.	4,5	7	11,53086	1,308642	8,811321	6	1,921811	92,181
34.	4,5	8	12,32099	1,209877	10,18367	6	2,053498	105,35
35.	4,5	9	13,11111	1,111111	11,8	6	2,185185	118,52
36.	4,75	5	9,767313	1,556787	6,274021	6	1,627886	62,789
37.	4,75	6	10,52078	1,468144	7,166038	6	1,753463	75,346
38.	4,75	7	11,27424	1,379501	8,172691	6	1,87904	87,904
39.	4,75	8	12,0277	1,290859	9,317597	6	2,004617	100,46
40.	4,75	9	12,78116	1,202216	10,63134	6	2,130194	113,02
41.	5	5	9,6	1,6	6	6	1,6	60
42.	5	6	10,32	1,52	6,789474	6	1,72	72
43.	5	7	11,04	1,44	7,666667	6	1,84	84
44.	5	8	11,76	1,36	8,647059	6	1,96	96
45.	5	9	12,48	1,28	9,75	6	2,08	108

- suprafața specifică S_{si} [cm^2/cm^3] este dată de relația:

$$S_{Si} = \frac{S_t}{V} = \frac{3p^2 + 2pk - k}{R(p^2 - k)} = \frac{1}{R} \cdot S_s \quad (4.16)$$

unde S_s este coeficientul de multiplicare al suprafeței specifice S_s .

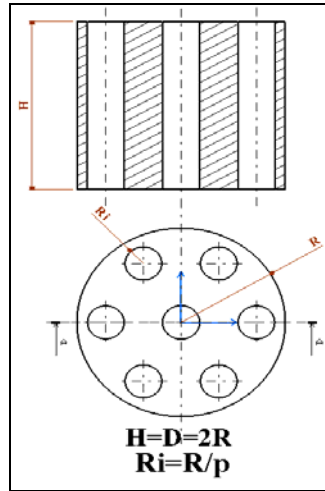


Fig. 4.13. Brichetă multicavă

La fel ca și în cazul brichetelor compacte, a celor tubulare, și în cazul brichetelor multicave datele prezentate în tabelul 4.3, date rezultate pe baza relațiilor 4.1. - 4.4. și 4.14. - 4.16. au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, corelațiile obținute fiind prezentate atât grafic cât și analitic. Corelațiile obținute în programul EXCEL sunt funcții polinomiale de gradul 1 și 2, precum și funcția putere reprezentative din punct de vedere a coeficienților de corelație. Corelațiile obținute în programul EXCEL sunt exprimate în funcție de parametrul p ($p = R/R_i$) pentru un număr de cavități k ($k = 5, 6, 7, 8, 9$).

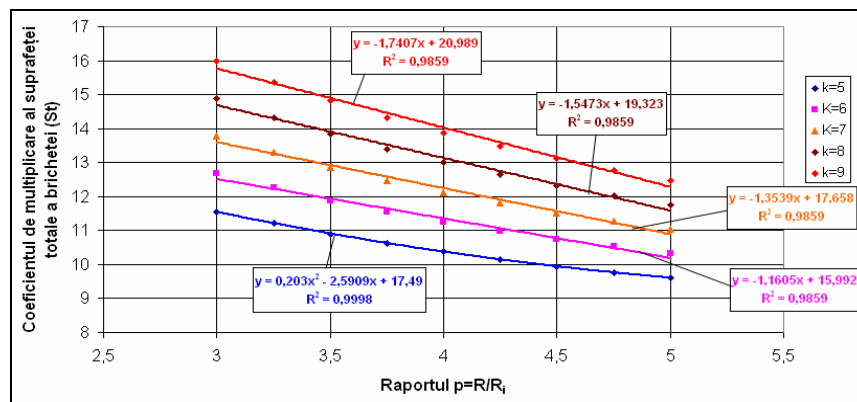


Fig. 4.14. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

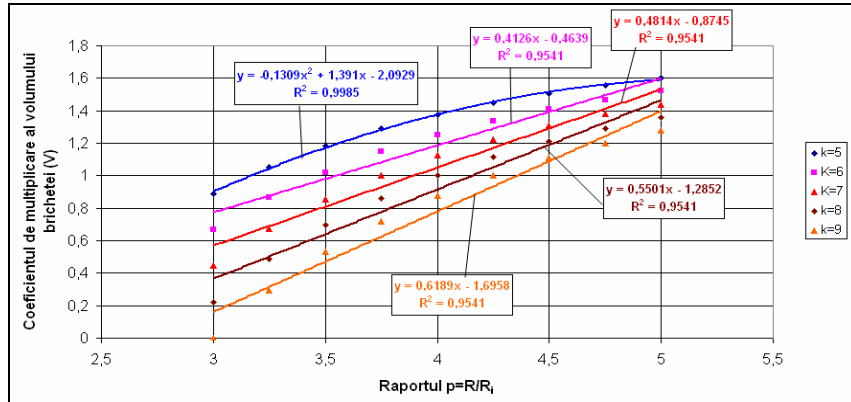


Fig. 4.15. Dependența coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

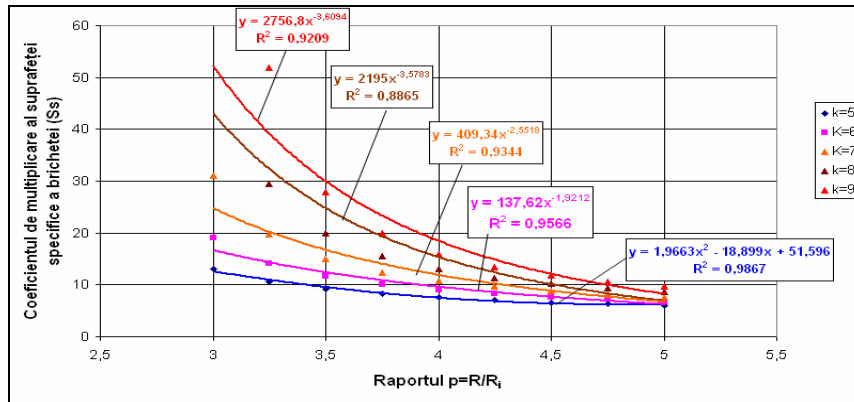


Fig. 4.16. Dependența coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

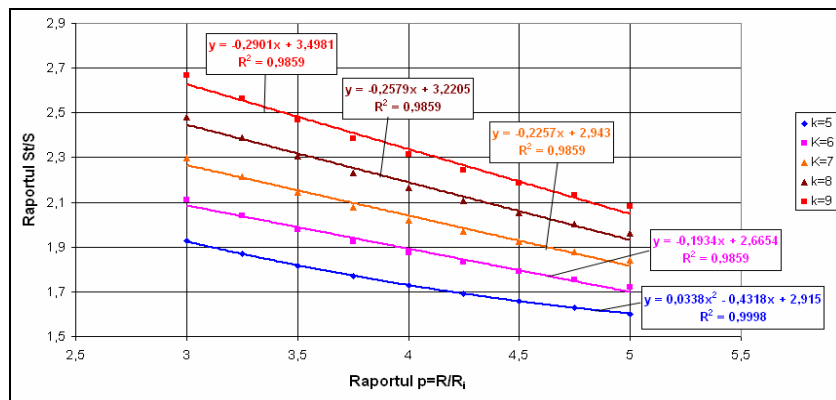


Fig. 4.17. Dependența raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_s/S) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

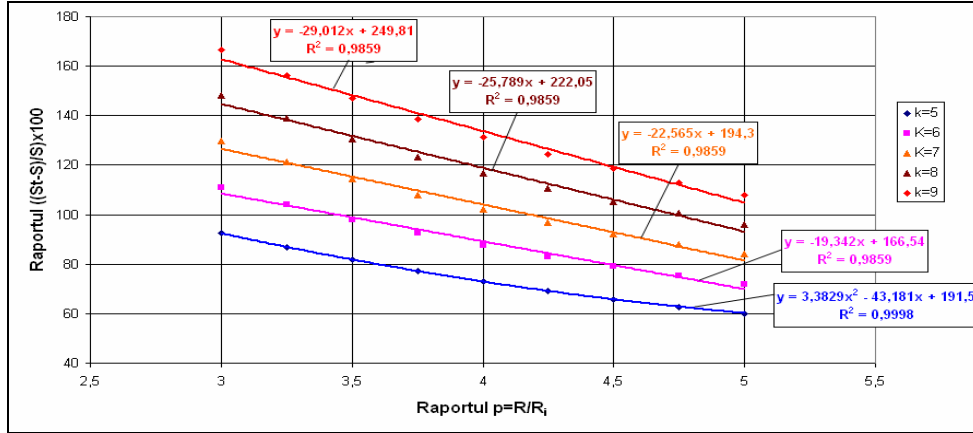


Fig. 4.18. Dependența $((St-S)/S) \cdot 100$ funcție de raportul $p (R/R_i)$ și numărul de cavități k

Pentru corelația dublă caracteristicile dimensionale au fost considerate ca parametri dependenți și ca parametri independenți au fost considerați $p (p = R/R_i)$ și numărul de cavități k . Analiza tehnologică a suprafețelor de corelație confirmă valabilitatea corelațiilor obținute în programul EXCEL.

$$S_t = 0,2842p^2 - 0,1934pk - 2,2735p + 1,6654k + 10,4287; R = 0,9254 \quad (4.17)$$

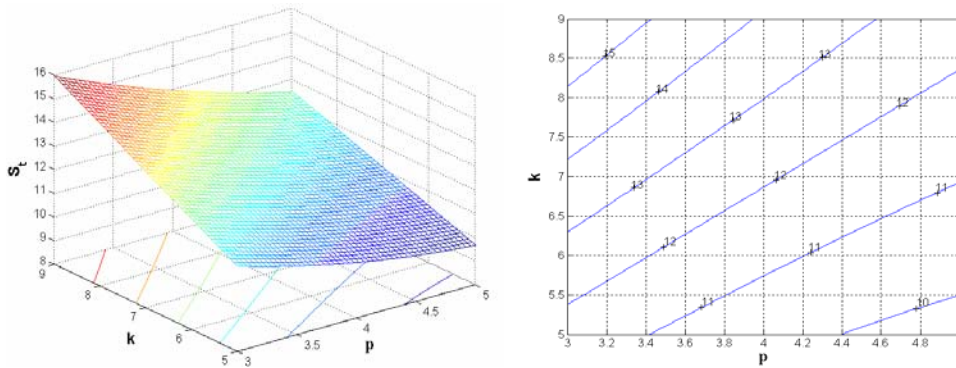


Fig. 4.19 Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței totale S_t în funcție de raportul $p (R/R_i)$ și numărul de cavități (k)

$$V = -0,1832p^2 + 0,0688pk + 1,4659p - 0,4107k - 0,8552; R = 0,9306 \quad (4.18)$$

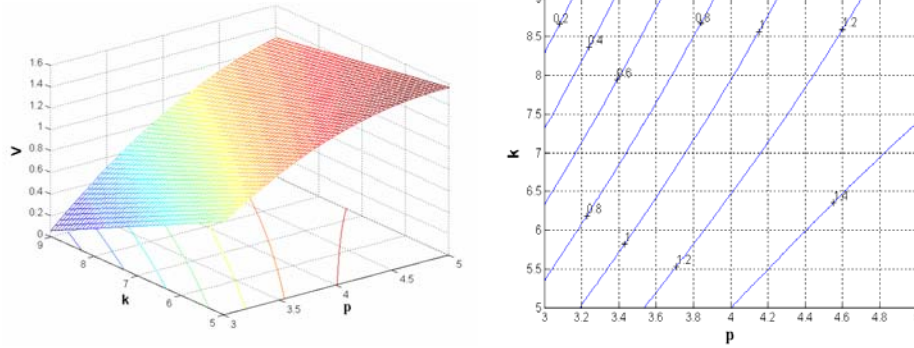


Fig. 4.20. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$S_s = 13,7499p^2 - 0,0370k^2 - 7,6939pk - 73,4458p + 37,7343k + 38,3308; R = 0,9289 \quad (4.19)$$

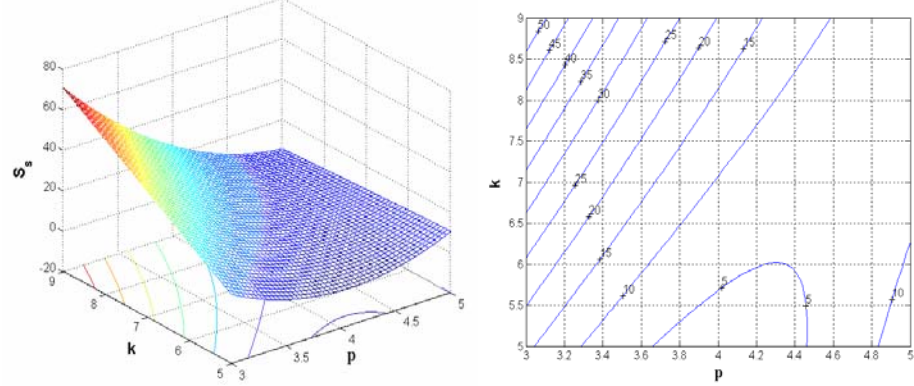


Fig. 4.21. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$S_t/S = 0,0456p^2 - 0,0008k^2 - 0,0312pk - 0,3726p + 0,2850k + 1,7004; R = 0,9312 \quad (4.20)$$

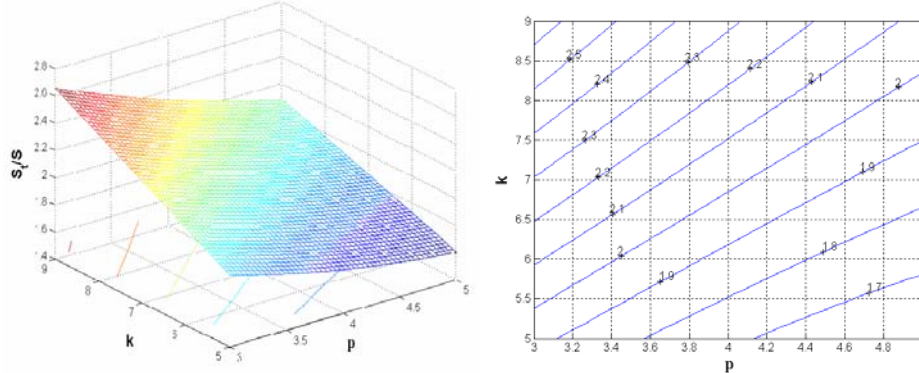


Fig. 4.22. Corelația dublă a raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul p (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$\begin{aligned} (St-S)/S \cdot 100 &= 4,5625p^2 - 0,0751k^2 - 3,1241pk - 37,2771p + 28,4915k + 70,0933; \\ R &= 0,9865; \end{aligned} \quad (4.21)$$

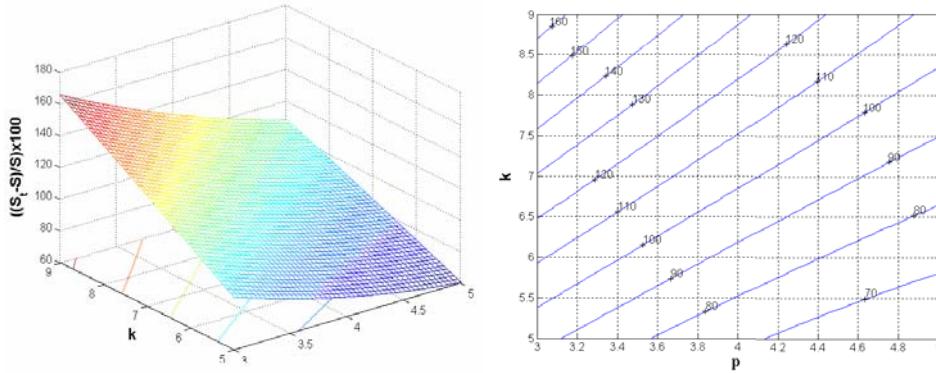


Fig. 4.23. Corelația dublă $((St-S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul $p (R/R_i)$ și numărul de cavități (k)

4.2.2.3. Bricheta tubulară cu cavități

Pentru o brichetă cavă având $R_i=R/q$ și $R'_i=R/2q$ în care sunt practicate un număr k cavități cu raza R'_i avem următoarele caracteristici dimensionale:

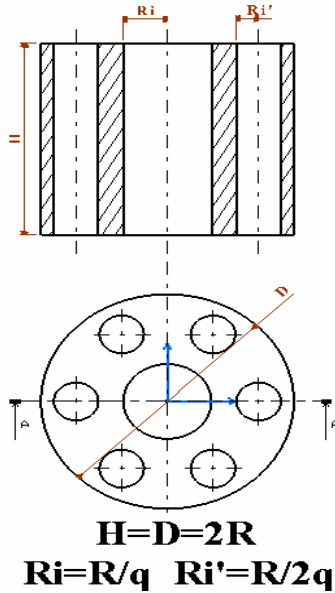


Fig.4.24. Bricheta tubulară cu cavități

- suprafața totală $S_{ti}[\text{cm}^2]$ este dată de relația:

$$S_{i_i} = 6\pi R^2 - 2\pi R_i^2 + 2\pi R_i \cdot 2R - 2\pi R_i^2 \cdot k + 2\pi R_j \cdot 2R \cdot k = 6\pi R^2 - \frac{2\pi R^2}{q^2} + \frac{4\pi R^2}{q} - \frac{2\pi R^2}{4q^2} \cdot k + \frac{4\pi R^2}{2q} \cdot k = 2\pi R^2 \cdot \frac{12q^2 + 8q - 4 + 4qk - k}{4q^2} = \pi R^2 \cdot S_t \quad (4.22)$$

unde S_t este coeficientul de multiplicare al suprafeței totale S_t ,
- volumul brichetei V [cm^3] este dat de relația:

$$V_i = 2\pi R^3 - \frac{2\pi R^3}{q^2} - k \cdot \frac{2\pi R^3}{4q^2} = 2\pi R^3 \cdot \frac{4q^2 - k - 4}{4q^2} = \pi R^3 \cdot V \quad (4.23)$$

unde V este coeficientul de multiplicare al volumului V_i ,
- suprafața specifică S_s [cm^2/cm^3] este dată de relația:

$$S_{s_i} = \frac{12q^2 + 8q + 4qk - k - 4}{R(4q^2 - k - 4)} = \frac{1}{R} \cdot S_s \quad (4.24)$$

unde S_s este coeficientul de multiplicare al suprafeței specifice S_s .

La fel ca și în cazul brichetelor compacte, tubulare, și multicave și în cazul brichetelor tubulare cu cavități, datele prezentate în tabelul 4.4, date rezultate pe baza relațiilor 4.1. - 4.4. și 4.22. - 4.24. au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, corelațiile obținute fiind prezentate atât grafic cât și analitic. Corelațiile obținute în programul EXCEL sunt funcții polinomiale de gradul 1 și 2, reprezentative din punct de vedere a coeficienților de corelație (valorile acestora fiind mai mari de 0,95). Corelațiile sunt exprimate în funcție de parametrul q ($q = R/R_i$) pentru un număr de cavități k ($k = 5,6,7,8,9$), cavități cu raza $R_i' = R/2q$.

Tabelul 4.4. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul q

Nr. crt.	n	k	S_t	V	S_s	S ($\cdot nR^2$)	S_t/S	$[(S_t-S)/S] \cdot 100$ [%]
1.	3	5	10,16667	1,5	6,777778	6	1,694444444	69,44444
2.	3	6	10,77778	1,444444	7,461538	6	1,796296296	79,62963
3.	3	7	11,38889	1,388889	8,2	6	1,898148148	89,81481
4.	3	8	12	1,333333	9	6	2	100
5.	3	9	12,61111	1,277778	9,869565	6	2,101851852	110,1852
6.	3,25	5	9,881657	1,573964	6,278195	6	1,646942801	64,69428
7.	3,25	6	10,4497	1,526627	6,844961	6	1,741617357	74,16174
8.	3,25	7	11,01775	1,47929	7,448	6	1,836291913	83,62919
9.	3,25	8	11,5858	1,431953	8,090909	6	1,930966469	93,09665
10.	3,25	9	12,15385	1,384615	8,777778	6	2,025641026	102,5641
11.	3,5	5	9,632653	1,632653	5,9	6	1,605442177	60,54422
12.	3,5	6	10,16327	1,591837	6,384615	6	1,693877551	69,38776
13.	3,5	7	10,69388	1,55102	6,894737	6	1,782312925	78,23129
14.	3,5	8	11,22449	1,510204	7,432432	6	1,870748299	87,07483
15.	3,5	9	11,7551	1,469388	8	6	1,959183673	95,91837
16.	3,75	5	9,413333	1,68	5,603175	6	1,568888889	56,88889

Tabelul 4.4. Valori suprafețe specifice funcție de coeficientul q (continuare)

Nr. crt.	n	k	S_t	V	S_s	S ($\cdot nR^2$)	S_t/S	$[(S_t-S)/S] \cdot 100$ [%]
17.	3,75	6	9,911111	1,644444	6,027027	6	1,651851852	65,18519
18.	3,75	7	10,40889	1,608889	6,469613	6	1,734814815	73,48148
19.	3,75	8	10,90667	1,573333	6,932203	6	1,817777778	81,77778
20.	3,75	9	11,40444	1,537778	7,416185	6	1,900740741	90,07407
21.	4	5	9,21875	1,71875	5,363636	6	1,536458333	53,64583
22.	4	6	9,6875	1,6875	5,740741	6	1,614583333	61,45833
23.	4	7	10,15625	1,65625	6,132075	6	1,692708333	69,27083
24.	4	8	10,625	1,625	6,538462	6	1,770833333	77,08333
25.	4	9	11,09375	1,59375	6,960784	6	1,848958333	84,89583
26.	4,25	5	9,044983	1,750865	5,166008	6	1,507497116	50,74971
27.	4,25	6	9,487889	1,723183	5,506024	6	1,581314879	58,13149
28.	4,25	7	9,930796	1,695502	5,857143	6	1,655132641	65,51326
29.	4,25	8	10,3737	1,66782	6,219917	6	1,728950404	72,89504
30.	4,25	9	10,81661	1,640138	6,594937	6	1,802768166	80,27682
31.	4,5	5	8,888889	1,777778	5	6	1,481481481	48,14815
32.	4,5	6	9,308642	1,753086	5,309859	6	1,551440329	55,14403
33.	4,5	7	9,728395	1,728395	5,628571	6	1,621399177	62,13992
34.	4,5	8	10,14815	1,703704	5,956522	6	1,691358025	69,1358
35.	4,5	9	10,5679	1,679012	6,294118	6	1,761316872	76,13169
36.	4,75	5	8,747922	1,800554	4,858462	6	1,457987073	45,79871
37.	4,75	6	9,146814	1,778393	5,143302	6	1,524469067	52,44691
38.	4,75	7	9,545706	1,756233	5,435331	6	1,590951062	59,09511
39.	4,75	8	9,944598	1,734072	5,734824	6	1,657433056	65,74331
40.	4,75	9	10,34349	1,711911	6,042071	6	1,723915051	72,39151
41.	5	5	8,62	1,82	4,736264	6	1,436666667	43,66667
42.	5	6	9	1,8	5	6	1,5	50
43.	5	7	9,38	1,78	5,269663	6	1,563333333	56,33333
44.	5	8	9,76	1,76	5,545455	6	1,626666667	62,66667
45.	5	9	10,14	1,74	5,827586	6	1,69	69

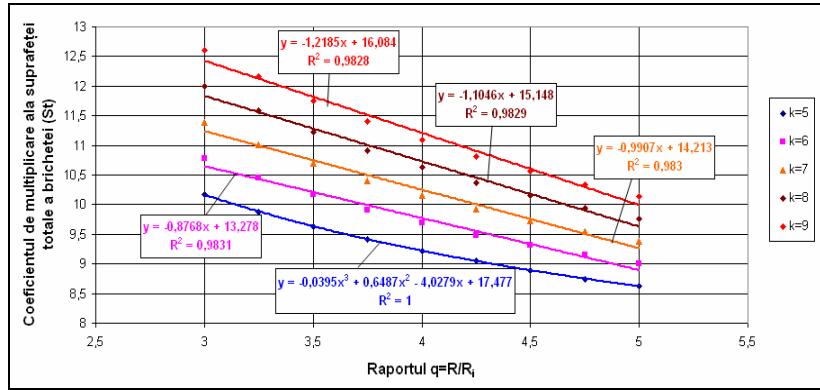


Fig. 4.25. Dependenta coeficientului de multiplicare al suprafeței totale a brichetei (S_t) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

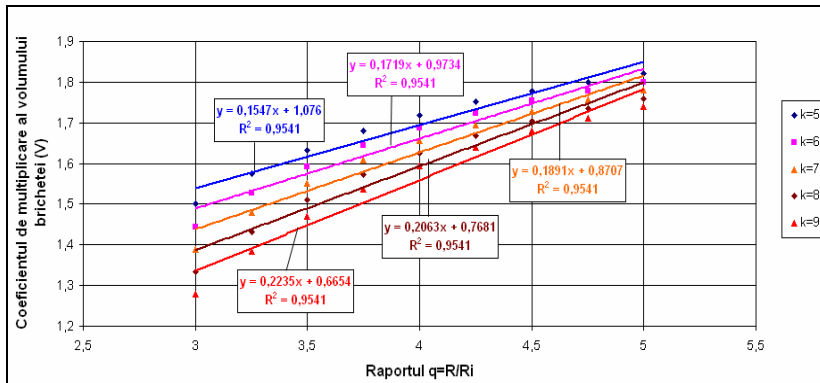


Fig. 4.26. Dependenta coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k) cu $R_i = R/2n$

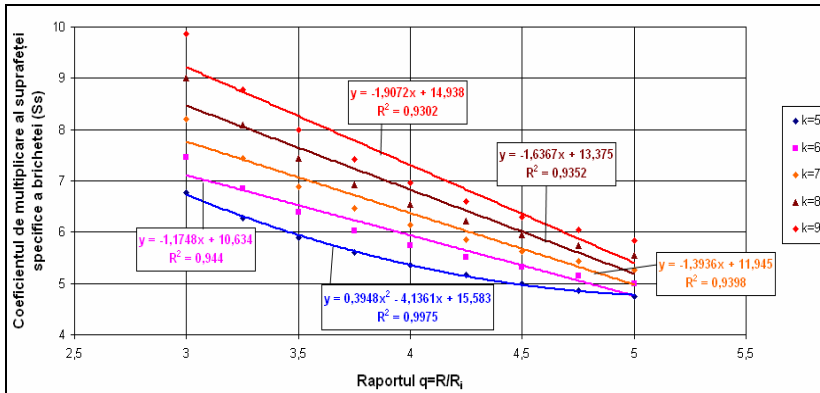


Fig. 4.27. Dependenta coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice a brichetei (S_s) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

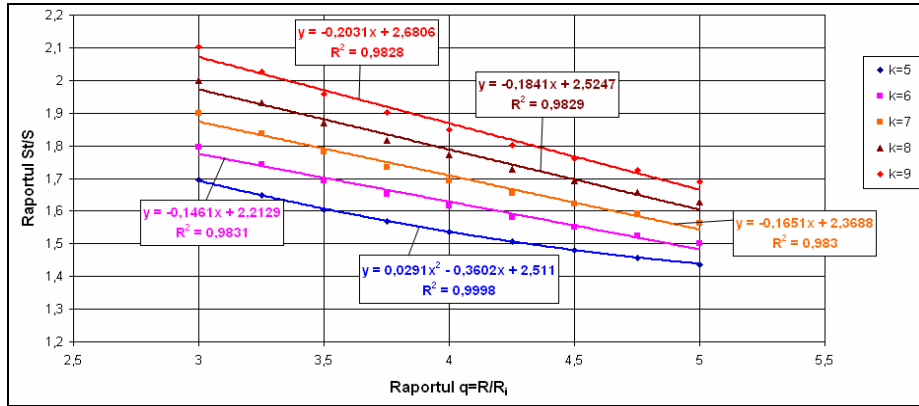


Fig. 4.28. Dependenta raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

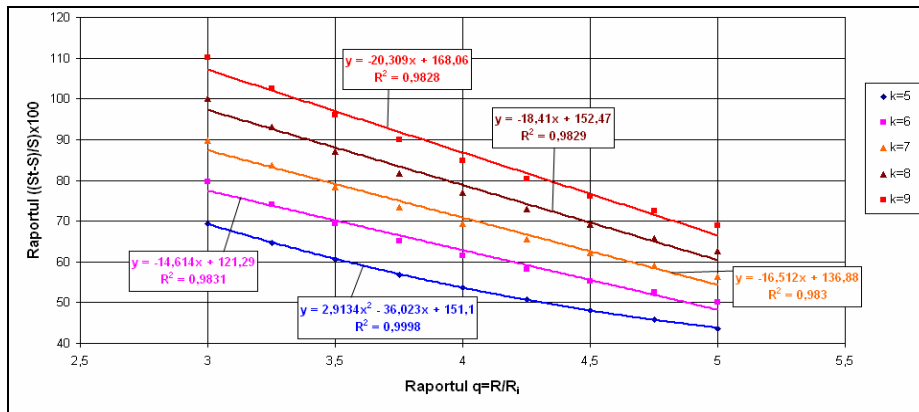


Fig. 4.29. Dependenta $((S_t - S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

Pentru corelația dublă caracteristicile dimensionale au fost considerate ca parametri dependenți și ca parametri independenți au fost considerați q ($q = R/R_i$) și numărul de cavități k . Ca și în cazul anterior analiza tehnologică a suprafețelor de corelație confirmă valabilitatea corelațiilor obținute în programul EXCEL.

$$S_t = 0,2282q^2 - 0,1155qk - 2,0210q + 0,9488k + 11,1832; R = 0,9198; \quad (4.25)$$

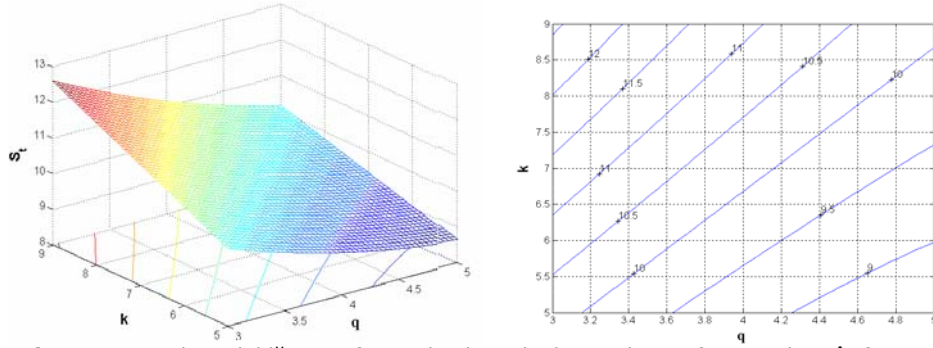


Fig. 4.30. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței totale (S_t) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$V = -0,0718q^2 + 0,0178qk + 0,6459q - 0,1068k + 0,4717; R = 0,9247; \quad (4.26)$$

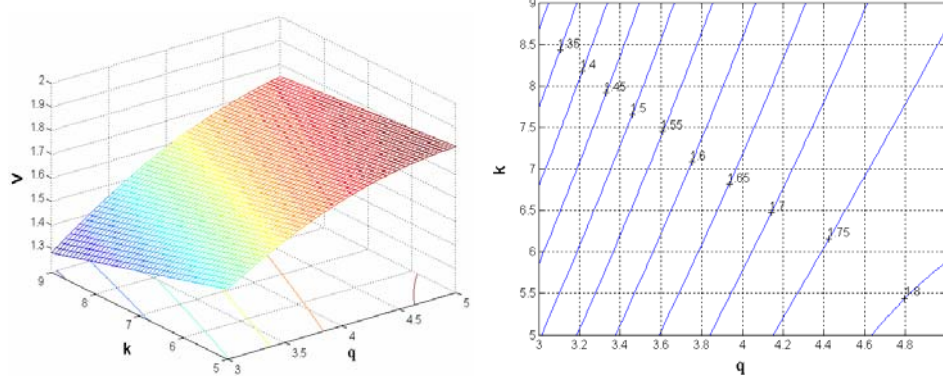


Fig. 4.31. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al volumului brichetei (V) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$S_s = 0,6217q^2 + 0,0138k^2 - 0,2497qk - 4,7184q + 1,2863k + 12,3550; R = 0,9219 \quad (4.27)$$

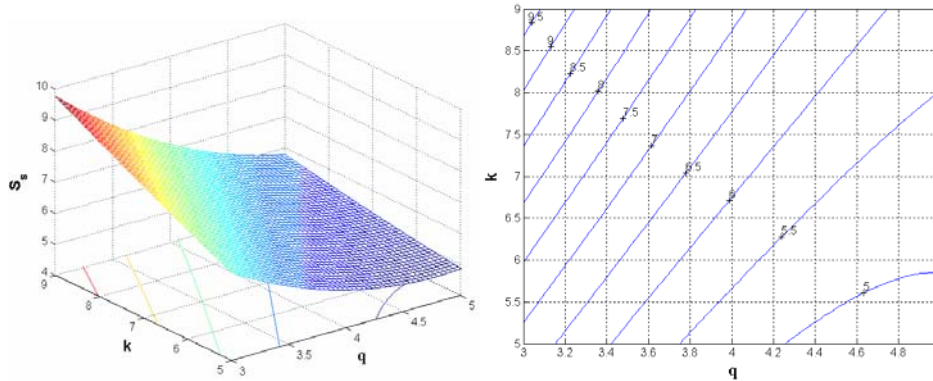


Fig. 4.32. Corelația dublă a coeficientului de multiplicare al suprafeței specifice (S_s) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

$$S_t/S = 0,0380q^2 - 0,0193qk - 0,3367q + 0,1581k + 1,863; R = 0,9317 \quad (4.28)$$

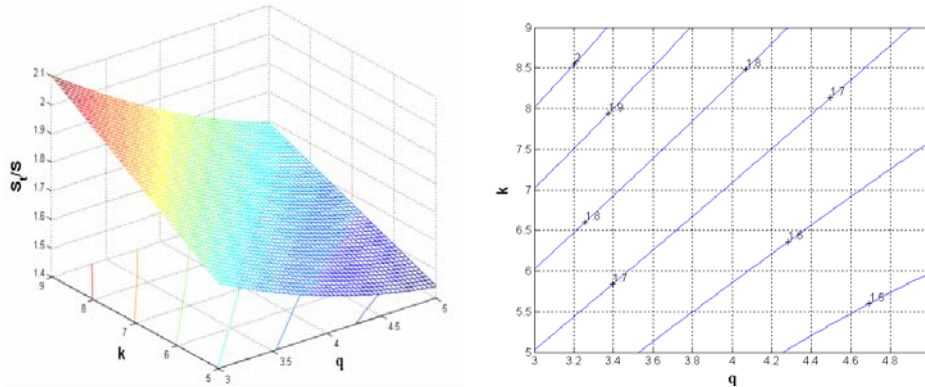


Fig. 4.33. Corelația dublă a raportului suprafață totală/ suprafață totală brichetă de referință (S_t/S) în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități k

$$((S_t - S)/S) \cdot 100 = 3,8033q^2 - 1,9259qk - 33,6853q + 15,8140k + 86,3876; R = 0,9115 \quad (4.29)$$

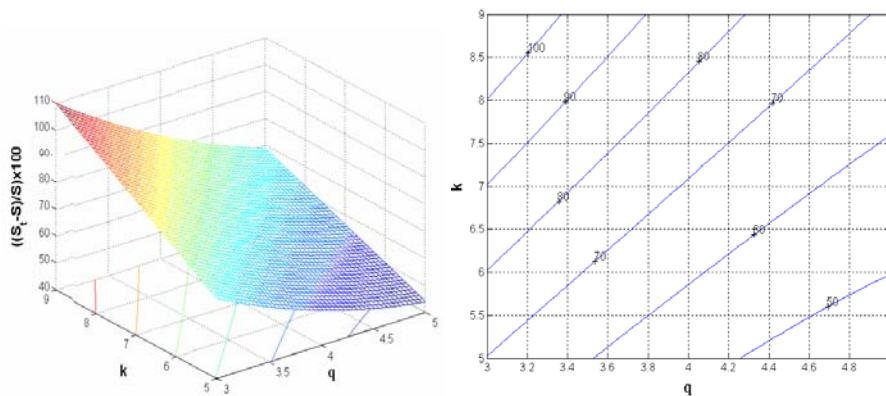


Fig. 4.34. Corelația dublă $((S_t - S)/S) \cdot 100$ în funcție de raportul q (R/R_i) și numărul de cavități (k)

4.3. Concluzii

Din analiza rezultatelor cercetărilor efectuate, prezentate în acest capitol, pot fi scoase în evidență următoarele concluzii:

- există posibilități practice de mărire a suprafeței specifice de reacție, și ca urmare și a vitezei de reducere;
- soluția de producere a brichetelor compacte cu raportul $H/D \neq 1$, conduce la o creștere a suprafeței de reacție cu până la 5,83% pentru $n = 0,5$ și de 5% pentru $n = 2$, luând ca referință bricheta cu $H/D = 1$;
- din punct de vedere tehnico-economic, consider că soluția prezentată mai este indicată pentru minereuri/deșeuri ușor și mediu reductibile;

- realizarea brichetelor cu cavități conduce la o creștere mai semnificativă a suprafeței frontului de reacție comparativ cu bricheta de referință la care $H/D = 1$;
- în cazul brichetelor tubulare creșterea suprafeței specifice de reacție este cuprinsă în intervalul 23,05 – 14,58% pentru raportul $m = R/R_i = 2 - 4$;
- în cazul brichetelor multicave creșterea suprafeței specifice de reacție este determinată de raportul $p = R/R_i$ și de numărul de cavități, fiind cuprinsă în intervalul 60% (pentru $p = 5$ și $k = 5$) și 156,21% pentru raportul $p = 3,25$ și $k = 9$; de menționat că s-au luat în studiu $p \in [3 - 5]$ și $k = 5, 6, 7, 8, 9$;
- în cazul brichetelor tubulare multicave creșterea suprafeței specifice de reacție este determinată de raportul $q = R/R_i$ (R_i fiind raza cavității centrale) și de numărul de cavități din volumul acestora (raza acestor cavități $R_i = R/2q$), fiind cuprinsă în intervalul 43,66 % (pentru $q = 5$ și $k = 5$) și 102,56% pentru raportul $n = 3,25$ și $k = 9$; de menționat că s-au luat în studiu $q \in [3 - 5]$ și $k = 5, 6, 7, 8, 9$;
- analizând datele prezentate mai sus, se constată o creștere mult mai intensă a suprafeței specifice de reacție în cazul producerii brichetelor cu cavități (cu H și D același ca la bricheta de referință), comparativ cu brichetele cu $H/D \neq 1$ (cu același volum ca bricheta de referință pentru care $H = D$);
- corelațiile prezentate grafic și analitic, atât cele obținute în programul EXCEL, cât și în MATLAB permit alegerea dorită pentru caracteristicile dimensionale și în cazul brichetelor cave a numărului de cavități;
- pentru deșeurile cu reductibilitate medie consider ca o soluție foarte bună brichetarea acestora sub formă de brichete tubulare, mai ales că din punct de vedere tehnic instalația este mai simplă decât în cazul celor cu mai multe cavități;
- pentru deșeurile cu reductibilitate redusă, se consideră că pentru creșterea suprafeței specifice de reacție, soluțiile constau în brichetarea deșeurilor / minereurilor sub formă de brichete multicave sau tubulare multicave, chiar dacă instalațiile de brichetare din punct de vedere constructiv și funcțional sunt mai complexe decât în cazul variantelor prezentate anterior.

5. CARACTERISTICILE CALITATIVE ALE DEȘEURILOR UTILIZATE ÎN CADRUL EXPERIMENTĂRILOR

5.1. Considerații generale

Caracteristicile calitative a produselor obținute din procesarea (reciclarea) deșeurilor cu conținut de fier/fier și carbon sunt în foarte mare măsură influențate de caracteristicile chimice și fizice a acestora.

Pentru obținerea unor rezultate cât mai reprezentative, având în vedere influența semnificativă a compoziției chimice asupra calității pe de o parte, iar pe de altă parte a rentabilității eficienței prelucrării și reciclării produselor (pelete, brichete, aglomerat) în siderurgie, s-a considerat în cercetările efectuate că pentru faza de laborator o determinare a compoziției chimice pentru 5 probe de material (evident același sortiment) este reprezentativă pentru calitatea produsului obținut .

În continuare se prezintă compoziția chimică a deșeurilor utilizate în cadrul experimentărilor în fază de laborator pentru producerea brichetelor (pline, tubulare și multicave).

5.2. Compoziția chimică

Compoziția chimică a deșeurilor utilizate este prezentată în tabelele care urmează:

Tabelul 5.1. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	S	P	Altele
1.	38,11	40,71	12,36	15,34	7,61	4,38	8,12	0,61	0,61	0,21	0,11	1,82
2.	39,42	41,71	13,14	16,46	6,03	4,21	7,86	1,61	0,66	0,32	0,12	0,02
3.	38,56	40,73	12,93	15,04	6,87	4,89	7,65	1,55	0,63	0,28	0,14	1,64
4.	39,88	41,83	13,62	18,56	5,68	4,08	6,14	1,63	0,71	0,24	0,12	1,25
5.	38,76	40,37	13,45	14,39	9,04	4,66	7,52	0,78	0,64	0,27	0,16	1,2
M	38,946	41,07	13,1	15,958	7,046	4,444	7,458	1,236	0,65	0,264	0,13	1,186

La Combinatul Siderurgic Hunedoara, a funcționat o oțelărie Siemens-Martin (O.S.M. II) cu cuptoare de capacitate 400 t, cu folosirea oxigenului pentru intensificarea procesului metalurgic. Ca urmare a restructurării la C.S.H. (după 1990 S.C. Siderurgica S.A Hunedoara și din 2005 ArcelorMittal) fluxul primar s-a redus treptat din punct de vedere a capacităților de producție, astfel încât în iunie 1999 a fost definitiv închis și dezafectat [1, 16].

Tabelul 5.2. Compoziția chimică a prafului de aglomerator (aglomerat bazic) [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	S	P	Altele
1.	38,11	40,71	12,36	3,37	6,63	1,39	10,11	1,89	0,45	0,28	0,13	22,68
2.	39,42	41,71	13,14	4,41	7,02	1,82	9,89	2,36	0,46	0,31	0,11	18,77
3.	38,56	40,73	12,93	4,04	6,88	1,89	11,76	5,55	0,32	0,28	0,13	15,49
4.	39,88	41,83	13,62	3,58	6,66	2,06	11,14	1,93	0,41	0,26	0,15	18,36
5.	38,76	40,37	13,45	4,38	7,04	1,76	9,52	2,48	0,47	0,25	0,14	20,14
Media	38,946	41,07	13,1	3,956	6,846	1,784	10,484	2,842	0,422	0,276	0,132	19,088

Tabelul 5.3. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (înainte de uscare) [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC
1.	23,99	7,00	26,50	8,50	7,20	8,60	1,95	0,70	1,05	0,12	17,50	20,88
2.	23,93	7,20	26,18	8,30	7,50	8,45	1,84	0,67	1,10	0,09	18,02	20,65
3.	25,25	6,90	28,40	7,93	7,92	7,94	2,04	0,68	1,23	0,14	16,95	19,87
4.	24,16	7,50	26,18	8,30	7,41	8,36	1,96	0,84	1,09	0,08	17,79	20,49
5.	24,70	7,10	27,40	8,45	7,35	8,59	2,12	0,69	1,04	0,11	18,04	19,11
Media	24,41	7,14	26,93	8,30	7,48	8,39	1,98	0,72	1,10	0,11	17,66	20,2

Tabelul 5.4. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (după uscare) [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC
1.	29,94	8,73	33,07	10,61	8,98	10,73	2,43	0,87	1,31	0,15	21,84	1,27
2.	29,83	8,95	32,67	10,36	9,36	10,54	2,30	0,84	1,37	0,11	22,49	1,37
3.	31,43	8,51	35,44	9,90	9,88	9,91	2,55	0,85	1,53	0,17	21,15	1,19
4.	30,11	9,32	32,67	10,36	9,25	10,43	2,45	1,05	1,36	0,10	22,20	1,22
5.	30,67	8,66	34,19	10,54	9,17	10,72	2,65	0,86	1,30	0,14	22,51	1,31
Media	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 5.5. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelăria Siemens-Martin (O.S.M. II Hunedoara) [1, 16]

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.	61,88	3,47	84,54	2,20	0,57	2,14	0,86	4,25	0,92	0,32	0,54	0,19
2.	56,26	3,57	76,40	2,95	1,42	4,57	2,57	4,65	0,88	0,35	0,45	2,19
3.	57,15	3,15	78,14	3,55	1,18	5,63	2,44	3,70	0,68	0,33	0,37	0,83
4.	54,71	3,20	74,60	3,80	1,54	6,48	2,30	4,60	0,55	0,30	0,45	2,18
5.	57,28	3,78	77,63	3,84	1,49	4,75	2,84	3,78	0,55	0,32	0,56	0,46
Media	57,45	3,43	78,26	3,27	1,24	4,71	2,20	4,20	0,72	0,32	0,47	1,17

Având în vedere proporția de fontă lichidă utilizată în încărcătură (de peste 50%) și faptul că de regulă s-au elaborat oțeluri nealiate, compoziția chimică a prafului este cuprinsă în limite mai restrânse comparativ cu a celui de la oțelăria electrică, conținând totodată o cantitate mai redusă de metale neferoase. Am considerat că un asemenea deșeu cu conținut ridicat de fier poate fi supus operației de brichetare alături de alte deșeuri feroase [1, 16].

Tabelul 5.6. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2 S.C. ArcelorMittal Hunedoara[1, 16])

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.	60,32	2,40	83,50	2,18	0,62	1,82	0,86	4,18	0,84	0,28	1,01	2,52
2.	54,54	2,80	74,80	3,62	1,12	5,64	2,82	5,12	0,72	0,30	1,14	2,15
3.	52,29	3,20	71,15	3,94	1,28	6,12	1,85	4,90	0,68	0,37	1,45	5,76
4.	47,89	3,04	65,04	4,05	1,34	7,08	3,04	5,25	0,65	0,40	1,87	9,16
5.	53,33	3,45	72,35	3,64	1,00	4,89	3,15	4,56	0,82	0,35	1,65	5,00
Media	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 5.7. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița [1, 16]

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 5.8. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu [1, 16]

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

Tabelul 5.9. Compoziția chimică a Țunderului ArcelorMittal Hunedoara[1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %									
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți	
1.	69,62	66,56	26,21	0,88	1,76	0,18	0,43	0,96	3,02	
2.	69,61	67,89	24,76	1,02	1,66	0,23	0,37	0,92	3,15	
3.	69,36	69,34	22,82	1,33	1,93	0,31	0,26	0,65	3,36	
4.	65,92	64,85	27,65	1,12	1,28	0,2	0,46	0,77	3,73	
5.	66,61	68,47	23,94	1,32	1,54	0,34	0,41	0,62	3,37	
Media	68,224	67,422	25,076	1,134	1,634	0,252	0,386	0,784	3,326	

Deșeu sideritic (compoziția chimică prezentată în tabelul 5.11. rezultat din concentrarea magnetică a minereului sideritic prăjit, s-a supus unei noi operații de concentrare magnetică, compoziția chimică a concentratului sideritic secundar și a deșeurii sideritic secundar obținute din deșeu sideritic sunt prezentate în tabelele 5.12-5.13.

Tabelul 5.10. Compoziția chimică a șlamului de țunder
ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %								
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți
1.	71,666	69,12	25,58	1,18	1,42	0,23	0,37	1,12	0,98
2.	71,49489	68,45	26,08	1,23	1,41	0,27	0,42	1,24	0,9
3.	71,42256	67,34	27,21	1,35	1,24	0,2	0,26	1,34	1,06
4.	71,19156	68,33	25,78	1,32	1,67	0,22	0,21	1,43	1,04
5.	71,498	68,94	25,54	1,28	1,54	0,24	0,33	1,25	0,88
Media	71,4546	68,436	26,038	1,272	1,456	0,232	0,318	1,276	0,972

Tabelul 5.11. Compoziția chimică a deșeurilor sideritice [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %								
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Altele*
1.	10,90	7	7,8	35,02	2,84	16,54	6,68	1,3	22,82
2.	11,20	7,25	7,94	34,8	3,04	17,03	6,55	1,42	21,97
3.	11,11	7,05	8,04	34,91	3	16,85	7,03	1,38	21,74
4.	10,40	6,85	7,24	33,89	2,68	16,57	6,75	1,41	24,61
5.	10,16	6,4	7,4	35,22	3,07	17,04	6,9	1,33	22,64
Media	10,75	6,91	7,68	34,77	2,93	16,81	6,78	1,37	22,76

*oxizi de Ti, Na, K și CO₂ din carbonați de calciu și magneziu

Tabelul 5.12. Compoziția chimică a concentratului sideritic secundar [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %								
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Altele*
1.	20,85	10,02	18,65	20,99	3,15	20,25	7,55	2,4	16,99
2.	21,17	9,85	19,3	19,85	3,12	21,25	7,32	2,3	17,01
3.	21,61	10,3	19,42	19,62	3,42	20,84	7,2	2,1	17,1
4.	20,91	10,08	18,67	18,9	3,08	20,66	7,58	2	19,03
5.	20,20	9,56	18,23	20,01	3,19	21,03	7,45	2,4	18,13
Media	20,95	9,96	18,85	19,87	3,19	20,81	7,42	2,24	17,652

*oxizi de Ti, Na, K și CO₂ din carbonați de calciu și magneziu

Tabelul 5.13. Compoziția chimică a deșeurii sideritice secundar [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %								
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Altele*
1.	8,80	6,31	5,57	37,98	2,12	15,21	6,69	1,42	15,9
2.	8,81	6,44	5,43	38,82	2,34	15,28	6,57	1,33	14,98
3.	9,68	7,03	6,02	36,52	3,01	14,83	6,22	2,02	14,67
4.	9,03	6,08	6,16	38,09	3,08	15,63	7,21	2,04	12,68
5.	9,71	6,57	6,25	38,09	2,59	15,76	7,06	1,84	12,13
Media	9,206	6,486	5,886	37,9	2,628	15,342	6,75	1,73	14,072

* oxizi de Ti, Na, K și CO₂ din carbonați de calciu și magneziu

În cadrul cercetării, s-a considerat că un asemenea deșeu cu conținut ridicat de fier poate fi supus operației de brichetare alături de alte deșeuri feroase [1, 16].

Deșeul sideritic secundar poate fi utilizat ca material de umplutură la construcția de drumuri și autostrăzi.

Tabelul 5.14. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Cemtrade Oradea [1]

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.	31,37	45,29	8,21	9,12	20,31	0,61	0,33	3,43	5,06	0,31	1,42	0,22	0,011	5,679
2.	32,12	45,89	9,34	9,27	22,76	0,76	0,49	3,88	5,33	0,54	1,05	0,25	0,013	0,427
3.	31,89	45,56	9,18	10,02	21,39	0,82	0,39	4,12	4,98	0,42	1,21	0,19	0,009	1,711
4.	32,87	46,96	8,87	9,54	20,93	0,69	0,67	3,78	5,87	0,39	1,09	0,34	0,012	0,858
5.	33,48	47,83	8,93	9,86	21,81	0,56	0,45	4,44	4,04	0,48	1,2	0,27	0,01	0,12
M	32,346	46,306	8,906	9,562	21,44	0,688	0,466	3,93	5,324	0,428	1,218	0,254	0,011	1,759

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

Tabelul 5.15. Compoziția cenușilor de termocentrală [1]

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.	50,08	8,72	1,82	17,06	9,12	7,04	0,79	0,31	4,1	0,96
2.	50,87	9,12	0,14	17,19	9,07	7,75	0,61	0,32	4,21	0,72
3.	50,23	8,81	0,67	17,88	8,96	7,68	1,08	0,27	4,04	0,38
4.	51,18	6,54	0,97	17,97	9,02	7,74	1,03	0,22	4,45	0,88
5.	50,96	8,86	0,54	18,04	8,34	7,27	0,97	0,25	4,28	0,49
Media	50,664	8,41	0,828	17,628	8,902	7,496	0,896	0,274	4,216	0,686

* carbonați, sulfatați și alți oxizi

Tabelul 5.16. Compoziția concentratului de fier din cenușă de termocentrală [1]

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.	19,67	8,72	1,62	10,11	54,12	37,88	0,59	0,28	3,13	1,76
2.	20,11	9,12	1,08	11,19	55,07	37,55	0,45	0,27	3,61	0,1
3.	19,21	8,81	1,45	10,88	55,96	38,17	0,84	0,23	3,12	0,5
4.	20,19	8,54	1,66	10,26	55,02	37,51	0,83	0,2	3,32	0,73
5.	21,05	8,86	1,45	10,04	55,34	36,88	0,76	0,21	3,22	0,93
Media	20,046	8,81	1,452	10,838	55,102	38,57	0,694	0,238	3,28	0,804

* carbonați, sulfatați și alți oxizi

Tabelul 5.17 Compoziția zgurii de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică a zgurii, %											B
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _m	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	
1.	19,62	10,96	6,98	6,21	18,46	6,34	7,04	32,64	9,26	0,49	0,13	1,77
2.	18,94	11,23	7,04	6,28	17,98	7,12	7,13	33,12	8,65	0,51	0,13	1,84
3.	20,02	11,56	6,78	6,28	19,21	6,48	7,89	33,54	9,11	0,43	0,12	1,75
4.	19,76	12,13	6,24	5,05	18,92	6,55	8,01	32,87	8,76	0,45	0,11	1,74
5.	22,25	11,52	6,76	8,56	19,34	6,11	7,77	33,11	8,98	0,56	0,14	1,71
M	20,118	11,48	6,76	6,476	18,782	6,52	7,568	33,056	8,952	0,488	0,126	1,762

Concentratul de fier din cenuși de termocentrală s-a obținut prin supunerea cenușii de la termocentrala Mintia unei operații de concentrare pe mese de concentrare.

Tabelul 5.18. Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1, 16]

Nr. crt.	Compoziția chimică a zgurii, %											B
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _m	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	
1.	44,63	12,05	9,98	28,27	16,03	4,33	4,04	18,62	6,22	0,29	0,23	1,16
2.	44,74	11,12	10,04	29,04	16,31	5,12	4,13	19,11	6,55	0,31	0,24	1,17
3.	45,02	11,05	9,78	29,58	16,02	4,41	4,88	18,59	7,08	0,33	0,22	1,16
4.	46,76	13,11	10,24	29,42	16,43	4,66	5,05	18,89	6,77	0,34	0,25	1,15
5.	45,25	12,44	9,76	28,74	17,41	5,06	4,79	19,33	6,99	0,28	0,26	1,11
M	45,28	11,954	9,96	29,01	16,44	4,716	4,578	18,908	6,722	0,31	0,24	1,15

Tabelul 5.19. Compoziția zgurii fracție deferizată de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [1,16]

Nr. crt.	Compoziția chimică a zgurii, %											B
	Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _m	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	
1.	13,4	11,47	3,18	2,31	21,17	7,93	6,47	32,91	11,52	0,59	0,31	1,55
2.	11,23	10,31	2,43	2,52	20,76	8,04	6,26	33,25	11,23	0,65	0,28	1,61
3.	10,34	10,21	1,91	1,06	22,31	7,56	7,23	32,56	12,08	0,66	0,35	1,46
4.	11,02	9,98	1,94	1,98	20,98	6,93	6,88	33,1	10,98	0,72	0,27	1,58
5.	12,38	10,97	2,66	2,01	21,55	6,41	6,35	33,76	11,77	0,76	0,26	1,57
M	11,674	10,588	2,424	1,976	21,354	7,374	6,638	33,116	11,516	0,676	0,294	1,554

Au fost supuse operației de procesare zguri de la oțelăria Siemens Martin, de pe halda de zgură Buituri de la Hunedoara. Frația feroasă cu granulație sub 5mm este utilizabilă la producerea brichetelor, iar cea cu granulație peste 2mm poate fi supusă procesului de măcinare pentru a fi adusă la granulația necesară procesului de brichetare. Frația deferizată este utilizabilă în construcția de drumuri și autostrăzi, precum și în agricultură ca amendament bazic.

Compoziția chimică a adaosurilor pentru lierea materialelor utilizate la obținerea brichetelor se prezintă în tabelul 5.20.

Tabelul 5.20. Compoziția chimică a adaosurilor utilizate la liere [16]

Nr. Crt.	Material	Compoziție chimică, %										
		CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{tot}	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	P	CaS
1	Praf de var	96,3	0,7	-	0,5	0,35	0,45	1,15	0,25	0,1	0,2	-
2	Zgură de furnal	40,52	40,3	0,33	-	0,25	8,25	7,17	1,11	-	-	2,07
3	Bentonită ¹⁾	1,5-2	68-75		1,0-2,5		10-12	0,2-1,5	-	-	-	-

1) Na₂O =2,8 -4,5% ; K₂O =3,2 - 4,5% ;

Referitor la praful de grafit, acesta conține: C=99% și cenușă =1%

5.3. Caracteristici fizice

Compoziția granulometrică a materialelor utilizate este prezentată în tabelul 5.21.

Tabelul 5.21. Compoziția granulometrică a materialelor[1]

Denumire material	Clase granulometrice, [%]						
	< 63μm	63-100 μm	100-250 μm	250-500 μm	500-710 μm	710-1000 μm	> 1000 μm
Praf electrofiltru oțelărie Siemens Martin	55,12	12,11	10,45	8,07	7,41	6,84	0
Praf electrofiltru oțelărie electrică Hunedoara	60,11	10,28	8,43	7,52	6,81	6,85	0
Șlam aglomerare	46,26	18,31	15,65	8,12	6,45	3,21	2
Concentrat din deșeu sideritic	42,16	21,18	12,48	10,13	6,42	4,29	3,34
Nămol roșu Oradea	54,17	15,82	12,13	7,41	7,36	3,18	0
Praf de var	65,21	19,71	5,82	4,13	3,10	2,03	0
Praf de dolomită	56,11	25,6	7,41	5,11	3,06	2,71	0
Fluorină măcinată	13,45	23,15	20,31	17,26	8,41	7,15	10,27
Zgură de furnal	31,14	25,12	15,36	12,13	8,46	6,89	0,9
Bentonită	47,12	23,25	15,41	7,02	4,08	3,12	0
Praf de cărbune	32,62	26,43	12,36	7,84	6,51	5,41	8,83

Tabelul 5.22. Analiza granulometrică 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

Tabelul 5.23. Analiza granulometrică a nămolului roșu, de la întreprinderea Cemtrade Oradea

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 5.24. Analiza granulometrică a Țunderului, concentrat sideritic secundar și zgură de oțelărie fracția feroasă

Material	Frații granulometrice, %			
	> 5mm	5 – 2 mm	2 -1mm	< 1mm
Țunder	60,34	17,16	13,77	8,73
Concentrat sideritic secundar	-	26,12	60,49	13,39
Zgură de oțelărie concasată, fracție feroasă	21,45	42,34	22,47	15,74

5.4. Praful de electrofiltru de la oțelăriile electrice echipate cu cuptoare cu arc electric

Sursa principală de praf de electrofiltru pe fluxul de elaborare a oțelului într-o societate siderurgică este desprăfuirea gazelor cuptoarelor electrice de elaborare a oțelului. Din punct de vedere al compoziției chimice deșeurile sunt compatibile fluxului de producere a fontei, excepție făcând praful de la cuptoarele electrice datorită concentrației mari de Zn 3-27%. În mare parte acestea sunt reciclate dar finețea granulelor împiedică o reciclare completă [1, 16].

Praful de electrofiltru este prin excelență foarte fin, în proporție de 90% fiind sub 60 μm .

Finețea materialelor impune limitarea reciclării prin metoda clasică de aglomerare. În schimb granulația se pretează pentru peletizarea, respectiv brichetarea acestuia. Această caracteristică a determinat realizarea de fluxuri de prelucrare a prafului și peletizarea „in situ”, a acestuia dar pentru pelete nu s-au găsit încă soluții tehnice acceptabile pentru procesare în România. Uzinele siderurgice care nu dispun de posibilitatea procesării prin aglomerare îl depozitează, exemplul S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A., Mechel Câmpia Turzii S.A., Mechel Târgoviște S.A., Mechel Oțelu Roșu S.A și TMK S.A. Reșița. În majoritatea uzinelor este era prelucrat prin fluxul de aglomerare. Până la dezafectarea fluxului primar (cocserie – aglomerare- furnale –oțelărie Siemens-Martin – laminoare Blooming) de la Hunedoara praful de oțelărie era procesat (nu în totalitate) pe fluxul de aglomerare, astfel încât în prezent nu numai la Hunedoara ci și la alte societăți ale căror oțelării sunt echipate cu cuptoare cu arc electric, acest deșeu este în prezent depozitat în hale dezafectate. Ca urmare a normelor de mediu pentru acest sortiment de deșeu se impune găsirea unor soluții de reciclare în siderurgie [1, 16, 24].

Finețea mare a acestora și existența a mai multor operații de manipulare creează puncte de poluare a aerului cu efect sesizabil în timp asupra zonei limitrofe. Măsurători efectuate la o distanță de 1 – 3 km de o uzină siderurgică au indicat depuneri de praf din diverse procese siderurgice de ordinul a 3 - 8 kg /m² acumulate pe o perioadă de 5 ani [1, 16].

Analiza chimică a mai multor surse de praf de electrofiltru care rezultă de la elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu arc sunt prezentate în capitolul 2. Caracteristica cea mai importantă a acestui material este conținutul ridicat de Zn. Deși în fierul vechi folosit la elaborarea oțelului sunt conținuturi reduse provenite în general din impurități, praful este recirculat de mai multe ori astfel încât în final conținutul de zinc poate ajunge la 15 – 25 % când nu mai poate fi recirculat în condiții tehnice avantajoase și de regulă este depozitat sau trimis în industria neferoasă pentru prelucrare.

La praful de oțelărie unghiul de taluz natural este 35°. Granulometria prafului de electrofiltru EBT de la Combinatul S.C. TMK Reșița S.A. se prezintă în tabelul 5.25.

Parametri:

- intervalul de măsurare = 0,16 - 23,74 [μm];
- rezoluția = 31 canale (9 mm);
- absorbția = 11,0 %;
- durata de măsurare = 50 [scanări] [1,16].

Reprezentarea grafică a distribuției granulometrice este dată în figura 5.1.

Densitatea în vrac a materialului este de 0,96 kg/ dm³. Caracteristica de umectare a materialului este prezentată în tabelul 5.26 și curba caracteristică în figura 5.2. Cinetica umectării probelor din deșeuri feroase a fost determinată prin metoda clasică a absorbției apei în coloana de material.

Morfologia probei este relevată în imaginile de microscopie electronică cu baleiaj: imagini de electroni secundari (SEI) – figurile 5.3. - 5.7. iar distribuția de raze X în figurile 5.8 - 5.10. Proba constă din particule de formă aproape sferică, cu distribuție dimensională diversă, predominând particulele submicronice. Spectrul de raze-X dispersiv în energie (EDAX) are forma din figura 5.11 [1, 16, 27].

Tabelul 5.25. Granulometria prafului de electrofiltru EBT de la TMK Reșița S. [1,16]

Caracteristica		Date statistice	
D – media aritmetică	0,583 μm	Varianța	0,595 μm^2
D – media geometrică	0,477 μm	Abaterea standard	0,763 μm
D – media pătratică	0,964 μm	Abaterea medie pătratică	0,273 μm
D – media armonică	0,410 μm	Coefficientul variației	131,006 %
Uniformitatea	0,53		
Asimetria	15,048		
Deschiderea	1,418		
Suprafața specifică	14,62 m^2/cm^3		
Factorul de formă	1,00		

Tabelul 5.26. Caracteristicile cineticii capacității de umectare ale deșeurilor feroase [1]

Nr. crt.	Praf de la	Volum cm^3	Masa probei, g	Masa în vrac g/cm^3	Densitatea g/cm^3	Porozitate strat %	Timp umectare min	Capacitate de umectare g/g	Presiune capilară MPa
1	TMK-R*	3,486	1,8	1,114	3,562	85,50	2,17	0,12	$1,421 \cdot 10^{-5}$
2	TMK -R	6,497	3,7	1,114	3,562	84,01	6,50	0,461	$9,325 \cdot 10^{-5}$
3	TMK -R	5,228	2,78	1,114	3,562	85,07	-	-	-
4	AMHD*	-	2,42	3,93	3,93	-	**)	**)	**)

*) TMK Reșița; ArcelorMITTAL Hunedoara

***) Materialul prezintă o anomalie privind capacitatea de umectare, comportându-se ca un material hidrofob, cu viteză extrem de scăzută de absorbție $10^{-3}\text{g}/\text{min}$.

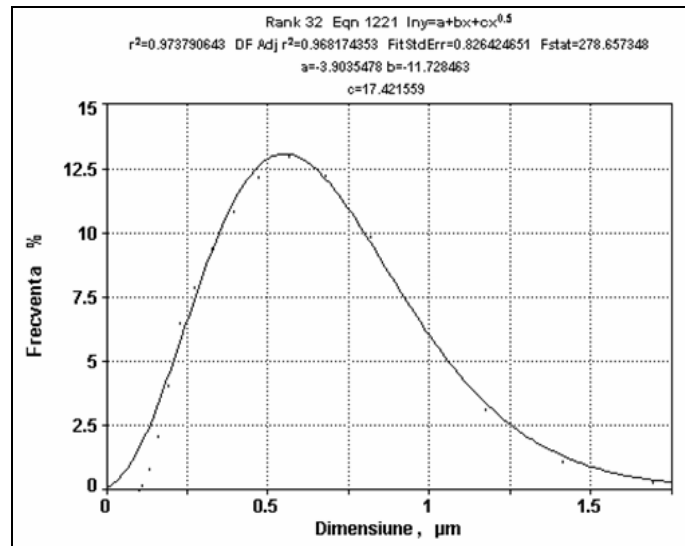


Fig. 5.1. Distribuția granulometrică a prafului de electrofiltru [1]

Spectrul de raze X arată faptul că proba conține următoarele elemente: Fe, Zn, Pb, K, Si, Mn, Ca, Cu, Cl și Cr. Menționăm că spectrometrul EDAX utilizat nu poate detecta elementele ușoare (de exemplu: oxigen, hidrogen etc.).

S-au efectuat câteva sondaje privind concentrația unor elemente chimice pentru a calcula rapoartele dintre constituenții principali ai oxizilor. Pe baza acestor sondaje de analize punctuale, se stabilesc cu aproximație fazele compuse, care predomină în structura mineralogică formată. Oxizii prezenți în particulele analizate sunt: $ZnO-Fe_2O_3-CaO-SiO_2-MnO-Al_2O_3-PbO$.

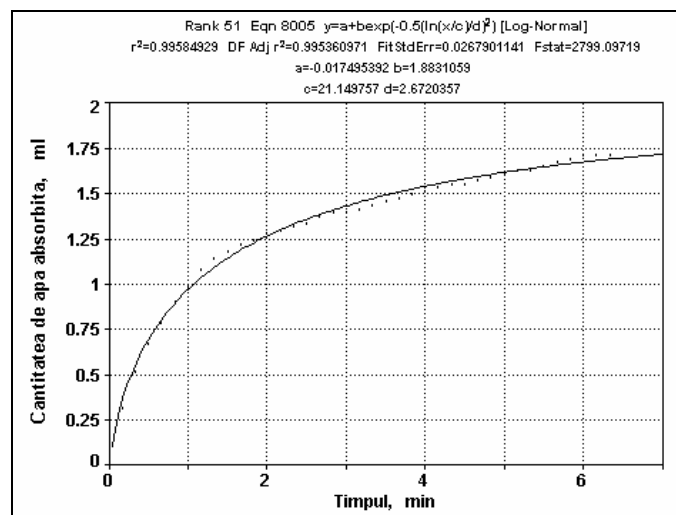


Fig. 5.2. Cinetica umectării prafului de electrofiltru de la TMK Reșița [1]

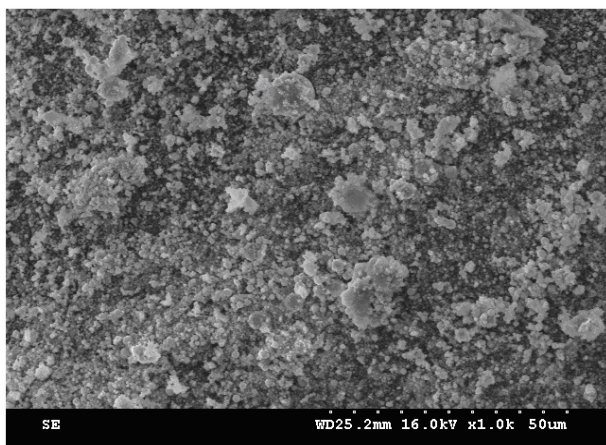


Fig.5.3. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 1000 [1]

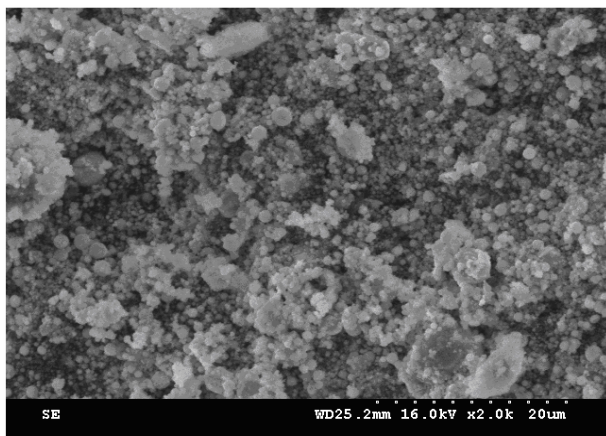


Fig.5.4. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 2000 [1]

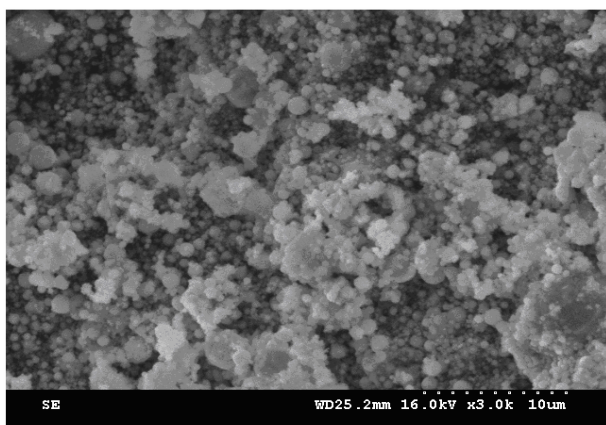


Fig.5.5. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 3000 [1]

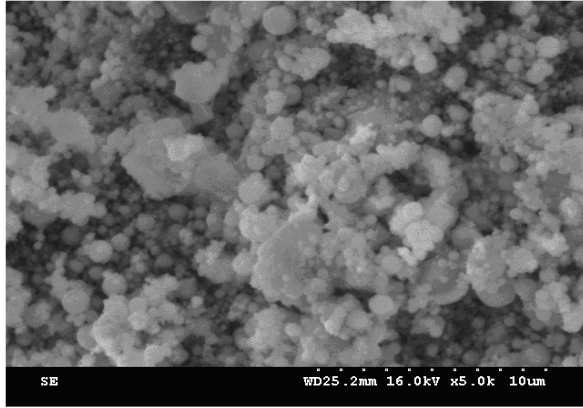


Fig.5.6. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 5000 [1]

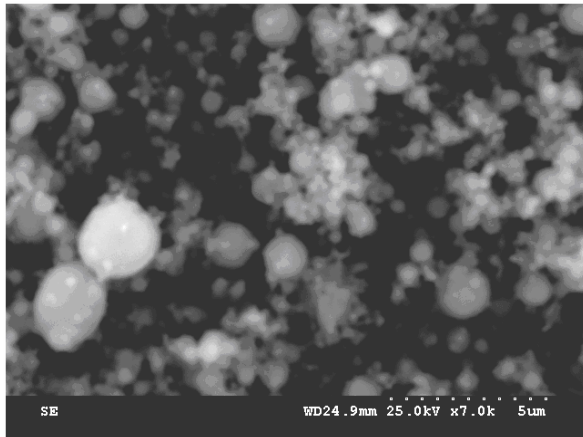


Fig.5.7. Imagini de microscopie electronică cu baleiaj (SEI), x 7000 [1]

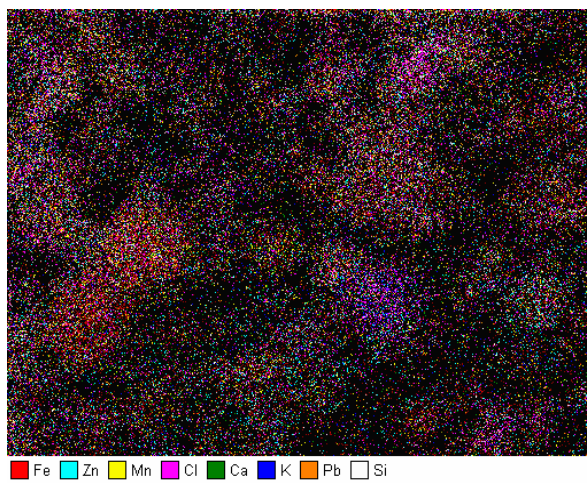


Fig.5.8. Imagini de distribuție de raze X - Fe, Zn, Mn, Cl, Ca, K, Pb și Si [1]

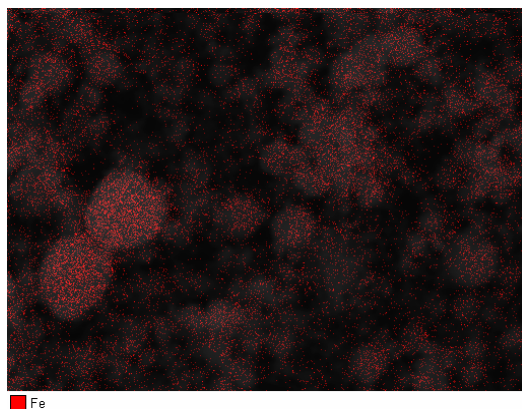


Fig.5.9. Imagini de distribuție de raze X – Fe [1]

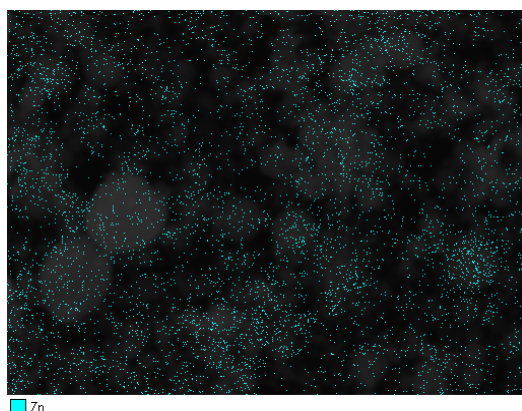


Fig.5.10. Imagini de distribuție de raze X – Zn [1]

În tabelul 5.27. prezentăm rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate pentru elementele analizate.

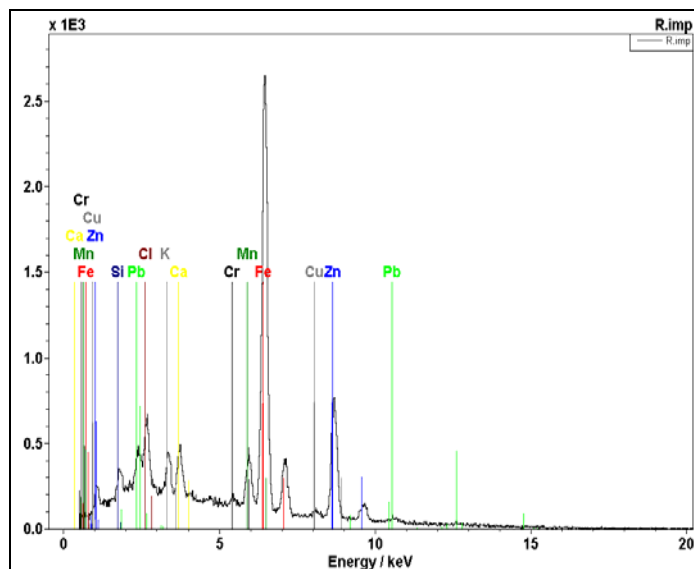
Tabelul 5.27. Rezultatele sondajelor și a calculelor efectuate [1, 16]

Element	Sondaj 1 %	Sondaj 2 %	Medie %	Oxizi	Atom gram	Mol	At/mol %	Greutate g/mol	%
Ca	4,59	4,23	4,410	CaO	40,08	56,08	71,47	6,17	4,62
Cr	1,61	1,65	1,630	Cr ₂ O ₃	51,996	151,99	68,42	2,38	1,78
Mn	5,87	6,40	6,135	MnO	54,938	70,94	77,44	8,26	6,19
Fe	45,80	45,27	45,535	Fe ₂ O ₃	55,847	159,69	69,94	65,10	48,78
Cu	1,85	2,52	2,185	Cu	63,54	-	-	2,52	1,89
Zn	25,89	25,68	25,785	ZnO	65,37	81,37	80,34	32,09	24,04
Si	1,50	1,27	1,385	SiO ₂	28,086	60,08	46,74	2,96	2,22
Pb	7,29	7,44	7,365	PbO	207,19	223,19	92,83	7,93	5,94
Cl	3,26	3,23	3,245	Cl	35,453	-	-	3,26	2,44
K	2,34	2,29	2,315	K ₂ O	39,102	94,204	83,01	2,79	2,09
Total	100,00	99,98	99,98	-	-	-	-	133,46	99,99

Raportul valorilor medii ale metalelor de bază Zn și Fe este: Zn/Fe = 0,5662

Tabelul 5.28. Compoziția fazelor posibile de amestec ale oxizilor de Zn și Fe [1]

Faza	Masa moleculară	Ponderea fazelor	Raportul metalelor
FeO	71,847	100% FeO	
FeO•ZnO	153,217	53,107%ZnO; 46,893%FeO	Zn/Fe= 1,17; Zincit
ZnO•Fe₂O₃	241,06	33,755%ZnO; 66,245%Fe ₂ O ₃	Zn/Fe=0,585; Franklinit
ZnO•2Fe₂O₃	400,075	20,304% ZnO; 79,696% Fe ₂ O ₃	Zn/Fe= 0,292; Spinel
ZnO•Fe₃O₄	312,911	26,004% ZnO; 73,996% Fe ₃ O ₄	Zn/Fe= 0,390
ZnO•2Fe₃O₄	544,492	14,945% ZnO; 85,056% Fe ₃ O ₄	Zn/Fe= 0,195
FeO•ZnO•2(FeO•Fe₂O₃)	616,299	13,203%ZnO; 11,658%FeO; 75,139%Fe ₃ O ₄ ; sau 13,203%ZnO; 34,974%FeO; 52,823%Fe ₂ O ₃ ;	Zn/Fe= 0,167

**Fig.5.11.** Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) [1]

Comparând rapoartele Zn/Fe putem spune că în cazul prafului de electrofiltru de la S.C. TMK Reșița S.A. forma principală mineralogică este Franklinitul (ZnOFe_2O_3).

5.5. Concluzii

Din analiza deșeurilor din punct de vedere a provenienței și caracteristicilor calitative a acestora rezultă următoarele concluzii:

- deșeurile selectate pentru experimentări provin în majoritate din zona Hunedoara, cu excepția prafului de la TMK Reșița și nămolului roșu de la Cemtrade Oradea;

- compoziția chimică și granulometrică, precum și conținutul de elemente dăunătoare, permite procesarea deșeurilor prin brichetare;

- în cadrul experimentărilor se vor valorifica atât deșeuri rezultate frecvent pe fluxurile tehnologice curente (în cazul zonei Hunedoara praful de oțelărie electrică și tunderul de la turnarea continuă și laminoare – ArcelorMittal), cât și a celor existente ca urmare a unor fluxuri dezafectate (preparare siderită – cocserie - aglomerare-furnale –oțelărie Siemens – Martin).

6. CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND PROCESAREA PRIN BRICHETARE A DEȘEURILOR CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

6.1. Instalații și echipamente folosite în cadrul experimentărilor

Subprodusele obținute prin reciclarea deșeurilor cu conținut de fier și carbon, și anume aglomerat, pelete și brichete, în timpul proceselor de valorificare în vederea extragerii fierului, sunt supuse operațiilor de manipulare (încărcare, descărcare, dozare etc.) și transport (uneori la distanțe destul de mari față de unitățile producătoare, aici având în vedere în mod deosebit peletele și brichetele). Referitor la aglomerat, toate unitățile siderurgice care lucrează pe flux primar (cocserie - aglomerator - furnale-oțelării cu convertizoare cu oxigen și turnare continuă – laminoare) își produc aglomeratul necesar procesului tehnologic ceea ce asigură reciclarea în medie a 5% din deșeurile pulverulente. Există tendința de producere de aceleași unități și a peletelor și a brichetelor.

Se impune ca peletele și brichetele să aibă o anumită rezistență în timpul operațiilor de manipulare și transport, o mărunțire a acestora ar conduce la neîndeplinirea condițiilor de procesare în vederea extragerii fierului.

Pentru valorificarea deșeurilor cu conținut de fier și carbon am ales ca proces tehnologic brichetarea. În sensul celor prezentate, în cadrul cercetărilor și experimentărilor am urmărit să stabilesc o serie de corelații între caracteristicile calitative a brichetelor, definite de rezistența la fisurare, rezistența la sfărâmare și intervalul de sfărâmare, considerați ca parametri dependenți și parametri independenți definiți de componența rețetelor și compoziția chimică a acestora.

Experimentările privind producerea brichetelor au fost efectuate în cadrul laboratoarelor de Baza Energetică și de Materii Prime, Topituri Metalice și de Chimie din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara, Universitatea Politehnica din Timișoara. Pentru experimentări referitoare la producerea brichetelor am folosit următoarele instalații (echipamente):

- a) ciur vibrator cu clasare prin refuz**, cu următoarele caracteristici:
 - este prevăzut cu 7 site (8 fracții granulometrice);
 - capacitate de clasare 125kg/h;
 - se dispune de site cu dimensiunile ochiurilor cuprinse în intervalul 1-100 mm, respectiv (1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 25, 40, 50, 60, 80, 100 mm).
- b) moară Kolergang**, capacitate de măcinare 50 kg/h;
- c) moara planetara cu bile PM 100** cu următoarele caracteristici:
 - mărime inițială particulă : < 4 mm;
 - mărime finală particulă: < 1μm sau < 0,1 μm la măcinare coloidală;
 - cantitatea ce poate fi măcinată: max. 220 ml;
 - număr posturi de măcinare: 1;
 - mărime incintă de măcinare: 500 ml;
 - timp de măcinare reglabil digital in intervalul: 1 sec – 99 min;
- d) moara cu rotor ZM200** cu următoarele caracteristici:
 - principiul de funcționare : impact si forfecare;
 - mărime inițială particula: < 10 mm;

- mărime finală particula: < 40 μm ;
 - volum probă: 300 ml cu caseta standard;
 - turație rotor: 6.000 – 18.000 rot/min, reglaj continuu;
 - viteza periferică rotor: 31 – 93 m/s;
 - diametrul rotorului: 99 mm;
 - materiale de execuție pentru elementele de măcinare otel inox placat cu Wolfram;
 - capacitate: 900 ml cu caseta;
- e) aparat de sitare Fritsch** tip Analysette 3 Spartan cu următoarele caracteristici:
- nr. maxim de site în funcțiune: 6;
 - clase granulometrice 7, având site cu ochiuri cuprinse între 25 -500 μm respectiv (25, 40, 63, 112, 180, 250, 315, 450, 500 μm);
 - putere: 50W.
- f) balanță SARTORIUS CP2202S-OCE** având caracteristicile:
- cantitatea minimă de măsurare: 0,5g;
 - cantitatea maximă de măsurare: 2200g;
 - Precizie: 0,01g.
- g) balanță KERN ECE 50K50** având caracteristicile:
- cantitatea minimă de măsurare: 50 g;
 - cantitatea maximă de măsurare: 50 kg;
 - precizie: 50 g.
- h) tobă omogenizare** cu capacitate 200kg/h:
- i) presă cu forță de presare** maxim 65tf.
- j) presă cu forță de presare** maxim 50 tf.
- k) etuvă** având următoarele caracteristici :
- temperatura maximă :220 $^{\circ}\text{C}$;
 - capacitatea: 20 kg/h..
- l) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model L15/12/B180** cu următoarele caracteristici:
- putere: 3,6kW;
 - temperatură maximă : 1200 $^{\circ}\text{C}$.
- m) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model LHT 02/17** cu următoarele caracteristici:
- - putere: 3kW;
 - - temperatură maximă: 1750 $^{\circ}\text{C}$;
- n) cuptor cu tratamente termic cu rezistori,** cu următoarele caracteristici:
- temperatura maximă: 1100 $^{\circ}\text{C}$;
 - capacitate: 17x12x45cm;
- o) cuptor Tammann** cu următoarele caracteristici:
- capacitate 3kg fontă/otel;
 - tensiune 40 V;
 - intensitate 300 A;
 - trepte reglare brută 6;
 - trepte reglare fină 8.
- p) cuptor cu inducție** cu următoarele caracteristici:
- capacitate 10 kg;
 - diametru creuzet 97 mm;
 - înălțime creuzet 220 mm;

- frecvența curentului 100 KHz;
 - puterea transformatorului 150 KVA;
 - tensiunea primar 500 V;
 - tensiunea în secundar 167 V;
 - tensiunea variabilă 100/83/50 V;
 - puterea la înaltă frecvență 50 kW;
 - durata topirii 50 -60 min;
 - căptușeală bazică – magnezită.
- q) mașina universală de încercări mecanice** având trei domenii:
- domeniul I: 0 – 500 daN;
 - domeniul II: 500 – 1250 daN;
 - domeniul III: 1250 – 2500 daN.

6.2. Fluxul tehnologic și tehnologia de producere a brichetelor în fază de laborator

Fluxul tehnologic de producere a brichetelor în fază de laborator, materiile prime și auxiliare utilizate (evident se face referire și la caracteristicile calitative) fiind cele prezentate în capitolul anterior.

Menționez că pentru determinarea compoziției chimice a deșeurilor am utilizat și laboratoarele societății ArcelorMittal S.A. Hunedoara și Facultății de Știința și Inginerie Materialelor- Universitatea "Politehnica din București".

Pentru efectuarea experimentărilor în bune condiții și obținerea unor brichete a căror caracteristici calitative să fie corect redade de cele ale materiilor prime utilizate, a fost stabilită o tehnologie de producere a brichetelor aplicabilă pentru fiecare variantă experimentată.

Tehnologia stabilită pentru producerea brichetelor cuprinde următoarele etape:

- 1.** Aprovizionarea cu deșeuri pulverulente și mărunte de la următoarele societăți: ArcelorMittal S.A. Hunedoara, Eco-Sid Hunedoara, TMK S.A. Reșița, Mechel S.A. Oțelul Roșu, Cemtrade S.A. Oradea; Exploatarea minieră Teliuc și Termocentrala Mintia Deva.
- 2.** Depozitarea în recipiente cu menționarea denumirii deșeurilor și a caracteristicilor calitative (compoziție chimică și fracție granulometrică);
- 3.** Uscarea deșeurilor în etuvă, cuptoare cu rezistență electrică sau cu flacără (numai dacă este necesară);
- 4.** Măcinarea zgurii de oțelărie și țunderului (deșeuri mărunte);
- 5.** Concentrarea magnetică și extragerea fracției feroase;

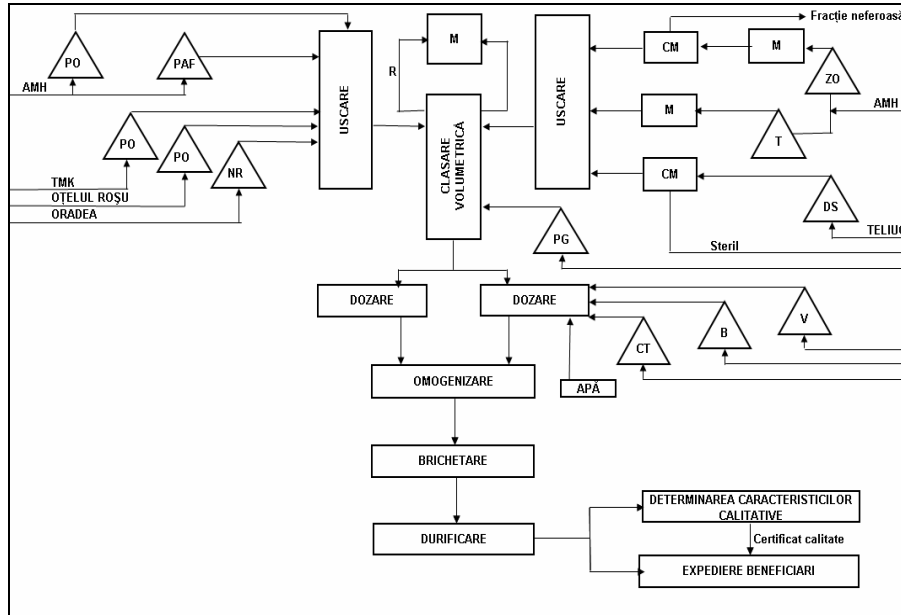


Fig. 6.1. Schema tehnologică pentru brichetare

6. Clasarea fracției feroase din zgura de oțelărie pe ciurul vibrator cu site cu ochiuri de 5mm, 2mm, 1mm și depozitarea materialului din fiecare fracție granulometrică în recipiente separate în vederea introducerii în șarja de brichetare conform rețetei stabilite. Fracțiile feroase cu granulație mai mare de 5 mm sunt trecute la măcinare în moara Kolergang, după care sunt din nou supuse operației de clasare;
7. Depozitarea fracției neferoase în recipiente și expediere pentru utilizare în construcții sau agricultură;
8. Clasarea ținătorului pe ciurul vibrator pe site cu ochiuri de 2 mm și 1 mm și depozitarea materialului din fiecare clasă granulometrică în recipiente separate. Fracția cu granulație mai mare de 2mm este trecută la măcinare în moara cu bile după care se depozitează în recipiente cu fracție 1 -2 mm și sub 1 mm;
9. Concentrarea magnetică a deșeurii sideritice și clasarea fracției feroase pe site cu ochiuri de 2mm și 1mm, depozitarea în recipiente separate;
10. Depozitarea fracției neferoase (steril 2) în recipiente separate și expedierea în vederea utilizării în construcții.
11. Celelalte materiale pulverulente se supun clasării volumetrice pe sita cu ochiuri de 1mm, materialul cu granulație sub 1mm se depozitează în recipiente separate în vederea utilizării la diferite rețete de brichetare, iar cel cu granulație peste 1mm se introduce în moara cu bile și după măcinare se depozitează în silozuri.
12. După clasarea și depozitarea tuturor deșeurilor și materialelor necesare se dozează materialele în funcție de rețeta utilizată și se introduc în instalația de omogenizare cu adăugarea lianților;

13. Șarja crudă se brichetează pe presa pe care inițial s-a montat matrița, tipul acestei fiind ales în funcție de tipul de brichetă dorit (cilindrică plină, tubulară și multicavă);
14. Brichetele obținute sunt supuse unor procese de durificare, inițial în aer și ulterior în funcție de gradul de reducere dorit în cuptoare cu rezistență după o diagramă de încălzire - menținere - răcire stabilită pe baza datelor din literatură și a experimentărilor proprii - rezultate. Brichetele obținute sunt supuse procesului de uscare, inițial în atmosferă 1-2 zile (în funcție de umiditatea acesteia), după care în cuptor la 120°C , conform diagramei de uscare prezentată în figura 6.2 (s-a ales acest mod de uscare pentru a se evita apariția fisurilor);
15. brichetele astfel obținute au fost supuse la încercări de compresiune în vederea determinării rezistenței la fisurare, sfărâmare și a intervalului de sfărâmare.

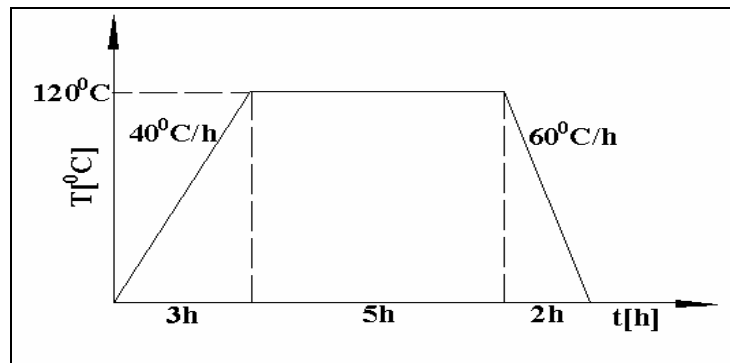


Fig.6.2. Diagrama de durificare a brichetelor
(T -temperatura de durificare, $^{\circ}\text{C}$; t - timpul de durificare, $[\text{h}]$)

6.3. Experimentări de laborator privind producere brichetelor din deșeuri mărunte și pulverulente

Brichetarea reprezintă procesul de transformare a materialelor mărunte și pulverulente (minereuri, deșeuri cu granulație sub 2mm) în bucăți de formă determinată (cilindrice, prismatice) prin presare.

În cele de urmează, se prezintă rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul proiectului, referitoare la rezistența brichetelor din materiale reciclabile, cercetări efectuate pentru a cunoaște:

- modificarea rezistențelor brichetelor în funcție de ponderea în rețeta de preparare a acestora a particulelor de praf de oțelărie (CAE), țunder de laminare, șlam de la aglomerare-furnale, var, bentonită, etc.;
- influența asupra rezistențelor a unor compuși chimici din materialele valorificate prin brichetare.

Pentru evaluarea caracteristicilor calitative de rezistență la manipulare și transport ale brichetelor, s-au determinat prin experimentări trei caracteristici tehnologice:

- Rezistența la fisurare:

$$R_f = \frac{F_f}{A}, [kN/cm^2] \quad (6.1)$$

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:

$$R_f = \frac{4 \cdot F_f}{\pi \cdot d^2}, [kN/cm^2] \quad (6.2)$$

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, 67] se consideră că această forță are valoarea înregistrată la $\tau = 2$ secunde.

- Rezistența la sfărâmare:

$$R_s = \frac{F_s}{A}, [kN/cm^2] \quad (6.3)$$

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:

$$R_s = \frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot d^2}, [kN/cm^2] \quad (6.4)$$

Pe baza datelor din literatura de specialitate [67] și a observațiilor preliminare s-a considerat că forța de sfărâmare să fie cea înregistrată la $\tau = 12$ secunde.

- Intervalul de sfărâmare:

$$\Delta R_{fs} = I_s = R_s - R_f, [kN/cm^2] \quad (6.5)$$

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, 2, 3, 67] 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, 2, 6, 67], 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:

$$R_f > 0,2, [kN/cm^2] \quad (6.6)$$

Literatura de specialitate [1, 2, 6, 67] pentru brichetele care au în componență praf de la oțelăria electrică (PO) peste 70%, indică următoarea relație pentru rezistența la sfărâmare R_s :

$$R_s = (1,2-1,35) R_f, [kN/cm^2] \quad (6.7)$$

Evident, în cele ce urmează se va stabili o relație de corelație între aceste rezistențe pentru brichetele produse după rețetele proprii.

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 la oțelăria electrică, praf (șlam) de la aglomerare-furnale, țunder (șlam de țunder) iar ca și liant: var, bentonită, ciment.

În cadrul cercetărilor în fază de laborator, s-au produs brichete într-un număr de 5 variante (A, B, C, D, E) câte 10 rețete/ pe variantă, de dimensiuni: diametru $d = 45\text{mm}$ și înălțime $h = 50 - 60\text{mm}$:

Datele sunt prezentate sub formă tabelară și grafică, astfel:

- componența rețetelor: **varianta A** - tabelul 6.1. și figura 6.3; **varianta B** - tabelul 6.3. și figura 6.4; **varianta C** - tabelul 6.5. și figura 6.5; **varianta D** - tabelul 6.7. și figura 6.6; **varianta E** - tabelul 6.9. și figura 6.7;

- compoziția chimică: **varianta A** - tabelul 6.2; **varianta B** - tabelul 6.4; **varianta C**-tabelul 6.6; **varianta E**-tabelul 6.8; **varianta E**- tabelul 6.10.

Pentru fiecare rețetă s-a produs o șarjă de brichetare în greutate de 1,5 kg, astfel încât să fie posibilă obținerea unui număr de 5 brichete.

După producere brichetele au durificate după diagrama din figura 6.2., după care au fost supuse încercărilor pentru determinarea caracteristicilor calitative.

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 (triplă și dublă). Aceleași date au fost prelucrate în ambele programe, iar corelațiile obținute au fost prezentate atât sub formă analitică cât și grafică. În continuare se prezintă datele referitoare la producerea brichetelor.

6.3.1 Producerea brichetelor

6.3.1.1. Varianta A

Tabelul 6.1. Componența rețetelor, [%], [84, 98]

Nr. crt.	Deșeuri utilizate	Componența rețetelor, seria I, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf de la aglomerare-furnale	25	30	35	35	40	45	50	55	60	65
2	Praf oțelărie	50	40	35	30	25	20	24	19	15	10
3	Țunder	14	19	19	25	25	25	15	15	13	13
4	Bentonita	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5
5	Var	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	Praf grafit	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2

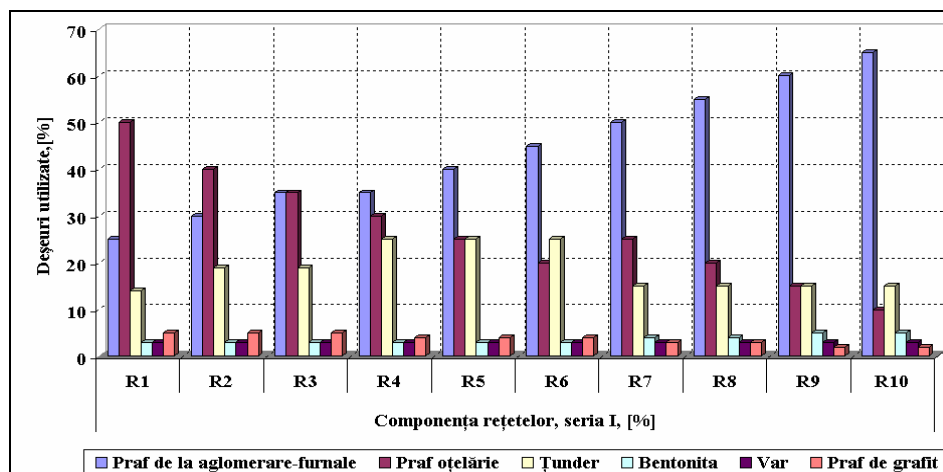


Fig. 6.3. Componența rețetelor, [84]

Tabelul 6.2. Compoziția chimică a rețetelor, [%], [84]

Rețeta nr.	Compoziția chimică a rețetelor, seria I, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
R1	5,02	3,60	63,81	0,18	0,28	14,33	2,33	5,36	0,67	2,60	1,84
R2	5,34	4,17	60,45	0,15	0,33	15,21	2,66	5,73	0,76	2,22	2,98
R3	5,70	4,44	57,27	0,14	0,39	16,10	3,00	6,13	0,85	2,03	2,95
R4	5,65	4,81	57,96	0,13	0,39	15,12	2,98	7,11	0,84	1,85	3,16
R5	9,01	5,09	54,78	0,12	0,44	16,00	3,33	9,51	0,94	1,66	3,13
R6	8,37	5,36	51,60	0,11	0,50	15,89	3,67	9,91	1,03	1,47	4,10
R7	7,51	5,06	48,79	0,13	0,56	15,79	4,16	7,39	1,15	1,64	4,83
R8	9,86	5,34	45,61	0,12	0,61	16,68	4,50	9,79	1,25	1,45	5,80
R9	9,93	5,61	42,45	0,11	0,67	15,58	4,96	8,95	1,36	1,26	5,85
R10	9,28	5,89	43,27	0,10	0,72	15,47	5,30	8,93	1,95	1,06	5,82

6.3.1.2. Varianta B

Tabelul 6.3. Componența rețetelor, [%], [84, 99]

Nr. crt.	Deșeuri utilizate	Componența rețetelor, seria II, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf de la aglomerare-furnale	20	32,5	30	25	16	20	41,5	50	60	24
2	Praf oțelărie	45	32,5	30	35	35	40	41,5	34	24	60
3	Țunder	24	24	24	24	30	22	0	0	0	0
4	Bentonita	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	Var	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
6	Praf grafit	0	0	5	5	7	6	5	4	4	4

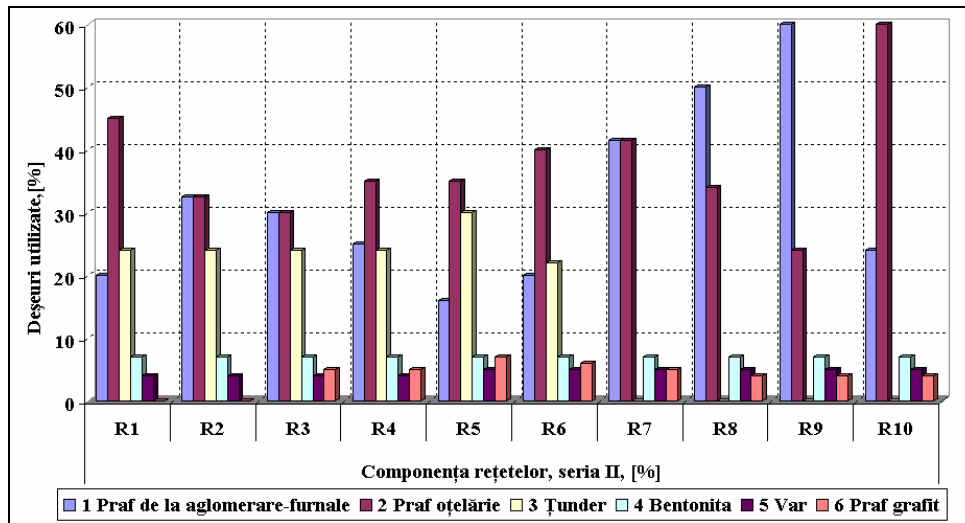


Fig.6.4. Compoziția rețetelor, [84]

Tabelul 6.4. Compoziția chimică a rețetelor, [%],[84]

Rețeta nr.	Compoziția chimică a rețetelor, seria II, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
R1	7,40	3,90	66,70	0,16	0,22	3,54	2,43	6,03	0,64	2,43	6,55
R2	8,30	4,60	58,76	0,13	0,36	5,75	3,29	7,03	0,87	1,94	8,97
R3	8,10	4,38	55,85	0,12	0,33	10,21	3,14	6,82	0,82	1,81	8,41
R4	7,75	4,10	59,02	0,13	0,28	9,33	2,80	6,42	0,73	2,00	7,44
R5	7,05	3,90	61,84	0,12	0,18	9,69	2,18	6,63	0,56	2,00	5,85
R6	7,40	3,68	60,48	0,14	0,22	9,42	2,47	6,99	0,65	2,18	6,38
R7	9,10	3,61	48,48	0,17	0,46	12,25	3,99	8,80	1,08	2,21	9,85
R8	9,71	4,09	43,97	0,16	0,56	12,77	4,57	9,48	1,24	1,93	11,51
R9	10,43	4,65	37,62	0,14	0,67	14,54	5,26	10,28	1,43	1,54	13,45
R10	7,85	2,65	60,51	0,21	0,27	8,17	2,79	7,41	0,76	2,93	6,47

6.3.1.3. Varianta C

Tabelul 6.5. Compoziția rețetelor, [%], [84, 91]

Nr. crt.	Deșeuri utilizate	Compoziția rețetelor, seria III, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf de la aglomerare-furnale	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
2	Praf oțelărie	60,5	61,5	62,5	63,5	64,5	65,5	66,5	67,5	68,5	69,5
3	Țunder	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	Bentonita	7	7	7	7	6,5	6,5	6,5	6	6	6
5	Var	4	4	4	4	4,5	4,5	4,5	5	5	5
6	Praf de grafit	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

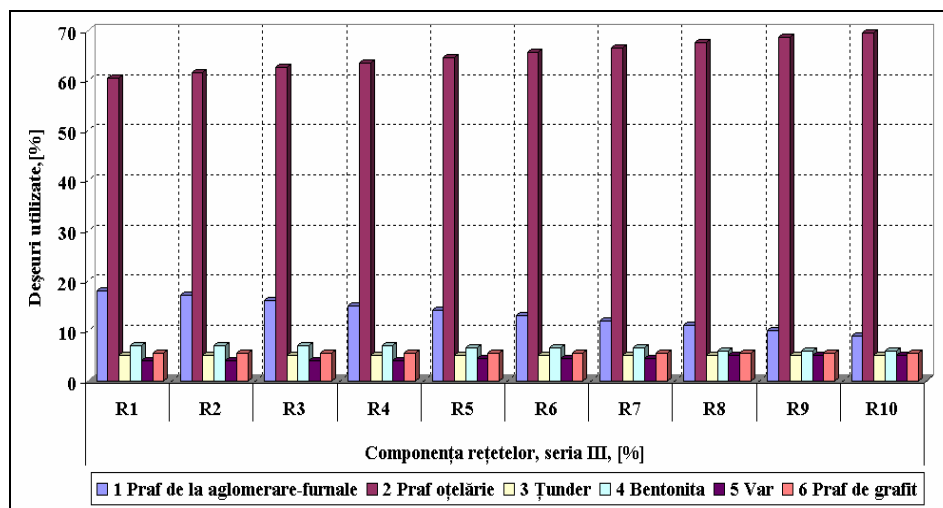


Fig.6.5. Componența rețetelor, [84]

Tabelul 6.6. Compoziția chimică a rețetelor, [%],[84]

Rețeta nr.	Compoziția chimică a rețetelor, seria III, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
R1	7,38	2,60	63,69	0,20	0,20	8,58	2,37	5,95	0,62	2,95	5,46
R2	7,31	2,54	64,33	0,20	0,19	8,40	2,30	5,87	0,60	2,99	5,27
R3	7,24	2,49	64,96	0,21	0,18	8,22	2,23	5,79	0,59	3,03	5,07
R4	7,17	2,43	65,60	0,21	0,17	8,05	2,16	5,71	0,57	3,07	4,88
R5	6,74	2,38	66,23	0,21	0,16	7,87	2,03	6,09	0,55	3,11	4,64
R6	6,67	2,32	66,86	0,21	0,14	7,69	1,96	6,01	0,53	3,15	4,45
R7	6,60	2,27	67,50	0,21	0,13	7,51	1,90	5,93	0,51	3,18	4,25
R8	6,18	2,21	68,13	0,21	0,12	7,34	1,77	6,31	0,49	3,22	4,02
R9	6,10	2,16	68,76	0,22	0,11	7,16	1,70	6,23	0,47	3,26	3,83
R10	6,03	2,10	69,40	0,22	0,10	6,98	1,63	6,15	0,45	3,30	3,63

6.3.1.4. Varianta D

Tabelul 6.7. Componența rețetelor, [%], [84, 92]

Nr. crt.	Deșeuri utilizate	Componența rețetelor, seria IV, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf de la aglomerare-furnale	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
2	Praf oțelărie	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
3	Țunder	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	Var	4	4	4	3	3	3	5	5	5	5
5	Ciment	7	7	7	8	8	8	6	6	6	6

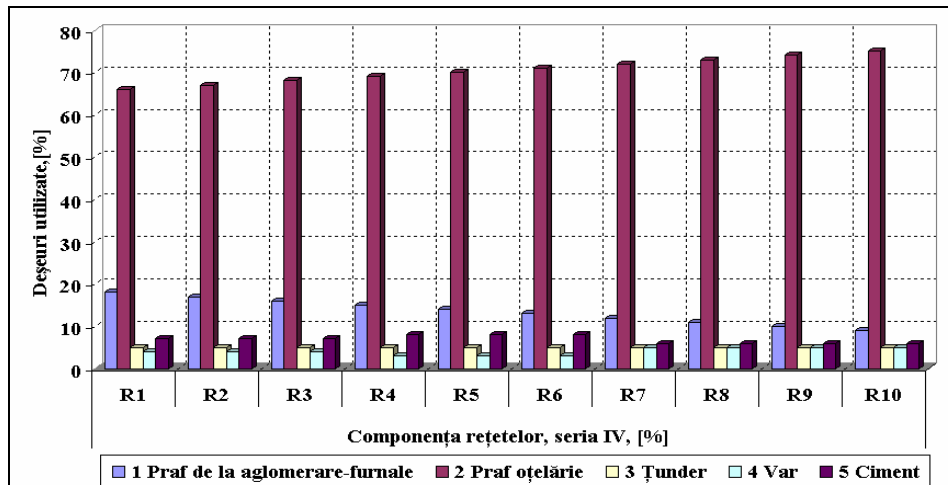


Fig.6.6. Componența rețetelor, [84]

Tabelul 6.8. Compoziția chimică a rețetelor, [%],[84]

Rețeta nr.	Compoziția chimică a rețetelor, seria IV, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
R1	4,15	2,69	68,53	0,22	0,20	3,19	3,56	8,82	0,51	3,20	4,94
R2	4,07	2,63	69,16	0,22	0,19	3,01	3,49	8,74	0,50	3,24	4,75
R3	4,00	2,58	69,80	0,22	0,18	2,83	3,43	8,66	0,48	3,28	4,55
R4	4,17	2,52	70,43	0,22	0,17	2,66	3,65	8,06	0,45	3,31	4,35
R5	4,10	2,46	71,07	0,23	0,16	2,48	3,58	7,98	0,43	3,35	4,16
R6	4,03	2,41	71,70	0,23	0,14	2,30	3,52	7,90	0,41	3,39	3,97
R7	3,47	2,35	72,35	0,23	0,13	2,12	2,86	8,85	0,42	3,44	3,78
R8	3,40	2,30	72,98	0,23	0,12	1,95	2,79	8,77	0,40	3,48	3,58
R9	3,33	2,24	73,62	0,23	0,11	1,77	2,72	8,69	0,38	3,51	3,39
R10	3,26	2,19	74,25	0,23	0,10	1,59	2,65	8,61	0,36	3,55	3,20

6.3.1.5. Varianta E

Tabelul 6.9. Componența rețetelor, [%], [84, 97]

Nr. crt.	Deșeuri utilizate	Componența rețetelor, seria V, [%]									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	Praf de la aglomerare-furnale	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
2	Praf oțelărie	22	20,5	19	17,5	16	14,5	13	11,5	10	8,5
3	Țunder	60	61,5	63	64,5	66	67,5	69	70,5	72	73,5
4	Var	4	4	4	3	3	5	5	5	3	3
5	Ciment	7	7	7	8	8	6	6	6	8	8

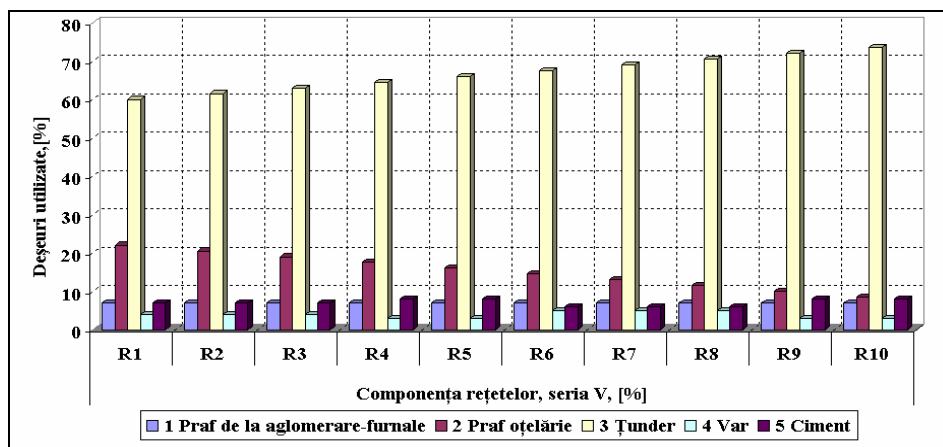


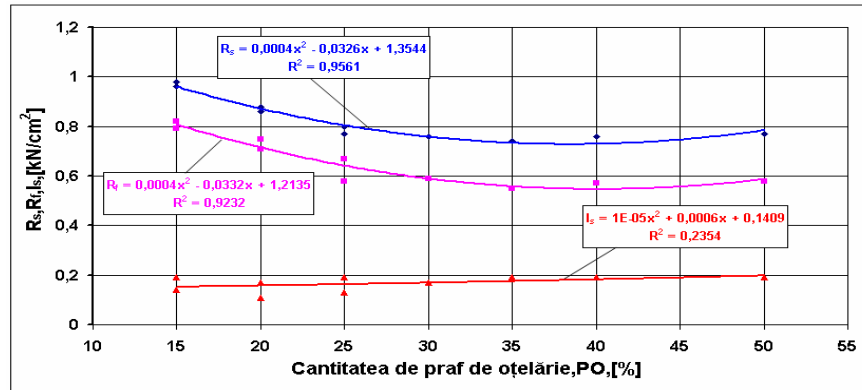
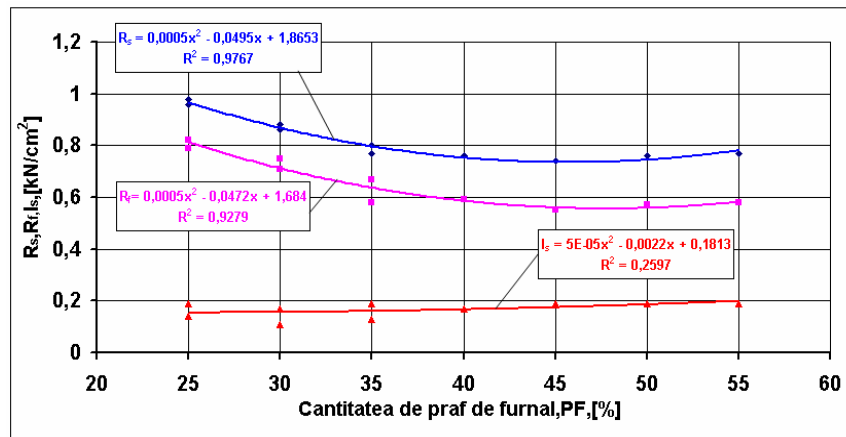
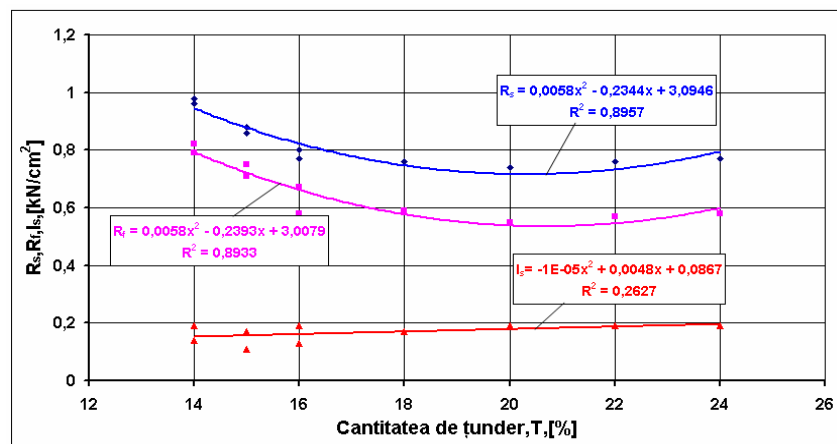
Fig.6.7. Compoziția rețetelor, [84]

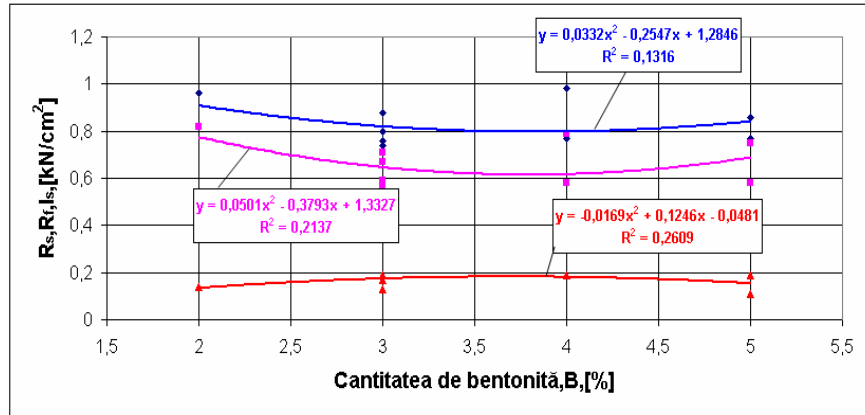
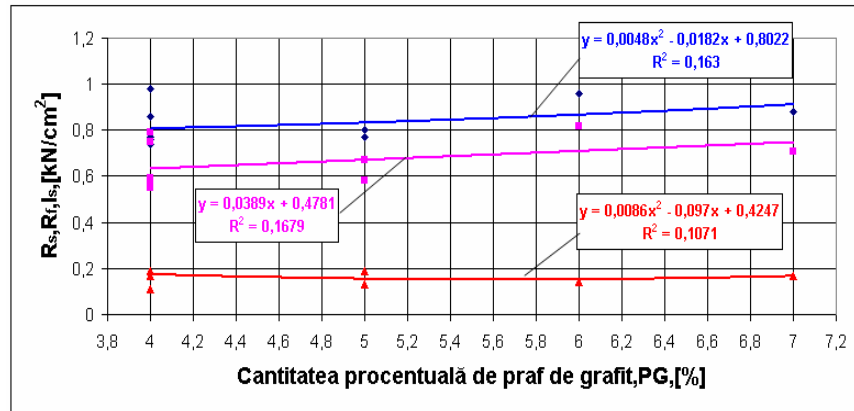
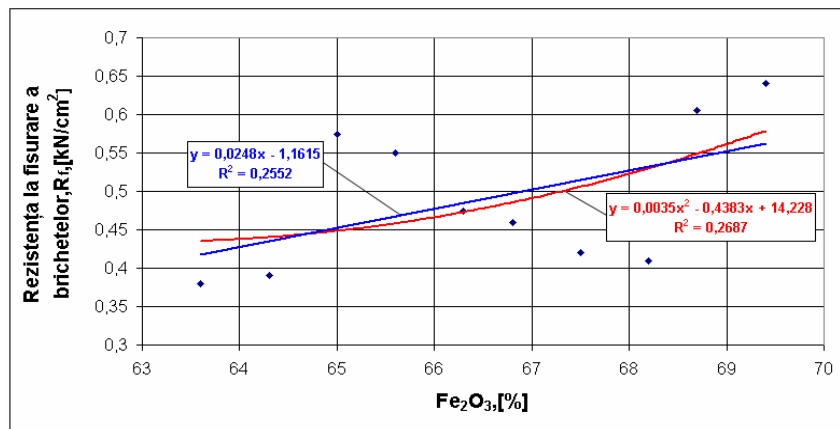
Tabelul 6.10. Compoziția chimică a rețetelor, [%],[84]

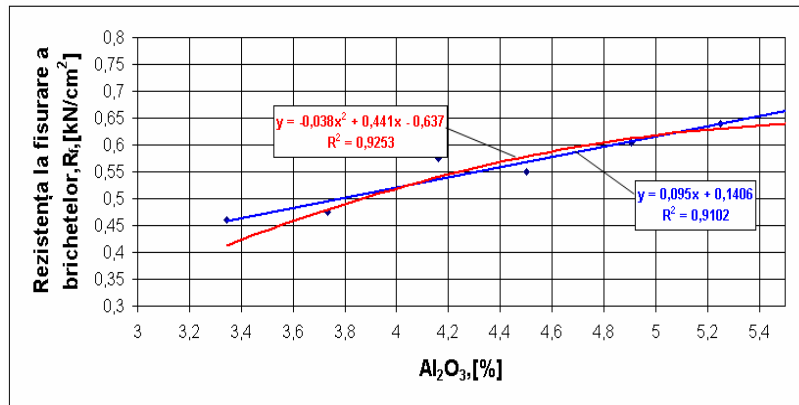
Rețeta nr.	Compoziția chimică a rețetelor, seria V, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
R1	2,95	5,27	73,60	0,07	0,08	1,24	2,67	7,69	0,23	1,60	4,60
R2	2,94	5,36	73,54	0,07	0,08	1,24	2,67	7,68	0,22	1,55	4,65
R3	2,93	5,45	73,49	0,06	0,08	1,24	2,66	7,68	0,22	1,49	4,70
R4	3,16	5,53	73,43	0,06	0,08	1,24	2,95	7,16	0,21	1,43	4,74
R5	3,15	5,62	73,38	0,06	0,08	1,24	2,95	7,15	0,20	1,38	4,79
R6	2,65	5,71	73,34	0,05	0,08	1,24	2,36	8,17	0,23	1,33	4,85
R7	2,64	5,79	73,29	0,05	0,08	1,24	2,35	8,16	0,23	1,28	4,90
R8	2,63	5,88	73,23	0,04	0,08	1,24	2,35	8,16	0,22	1,22	4,94
R9	3,10	5,97	73,17	0,04	0,08	1,24	2,94	7,12	0,20	1,16	4,99
R10	3,09	6,06	73,12	0,03	0,08	1,24	2,93	7,12	0,19	1,10	5,04

6.3.2. Rezultatele privind prelucrarea datelor în programul de calcul EXCEL

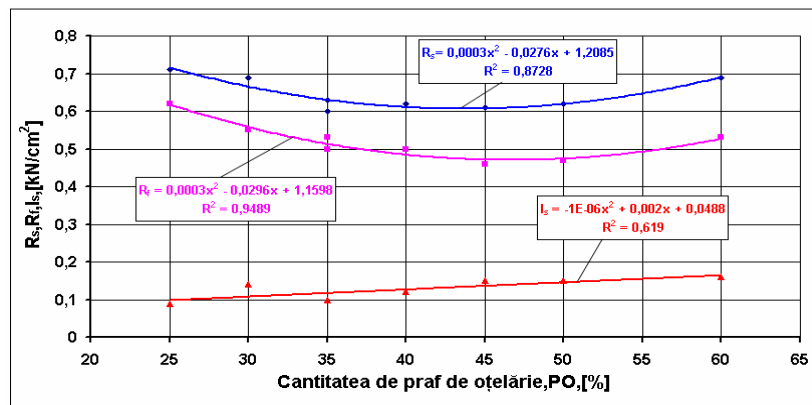
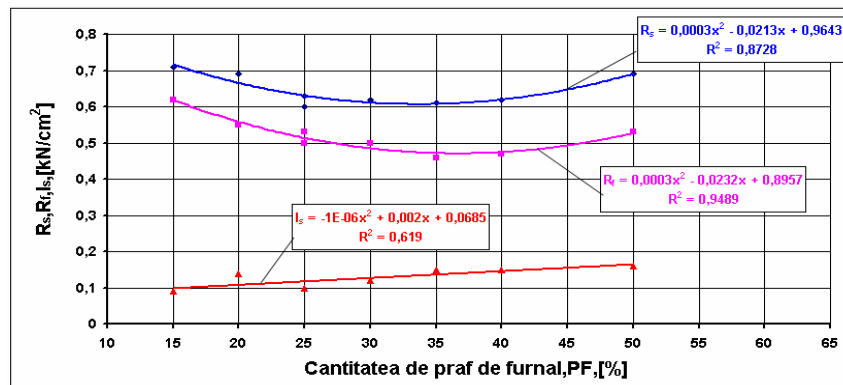
6.3.2.1. Varianta A

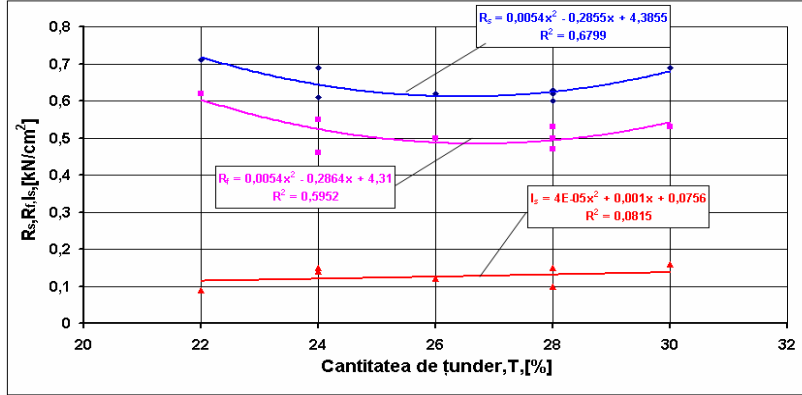
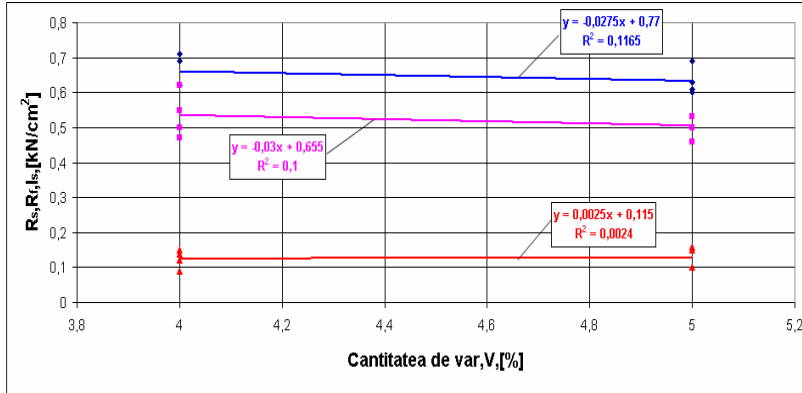
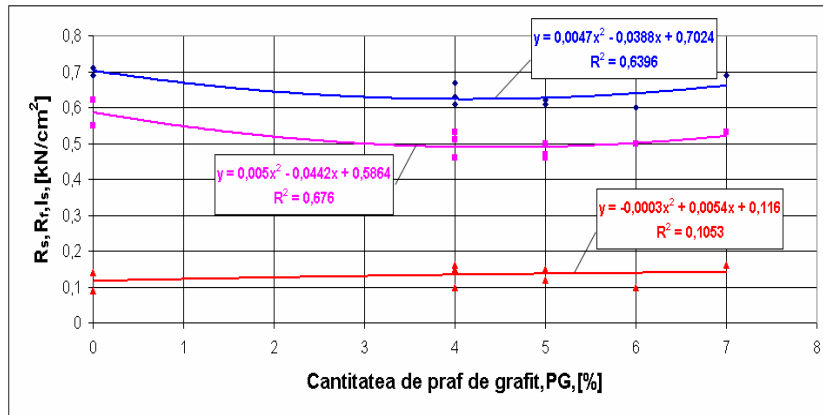
Fig.6.8. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de oțelărieFig.6.9. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnaleFig.6.10. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de țunder

Fig.6.11. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de bentonităFig.6.12. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de grafitFig.6.13. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

Fig. 6.14. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

6.3.2.2. Varianta B

Fig. 6.15. R_f , R_s , I_s , funcție de proporția de praf de oțelărieFig. 6.16. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale

Fig.6.17. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de țunderFig.6.18. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de varFig.6.19. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de grafit

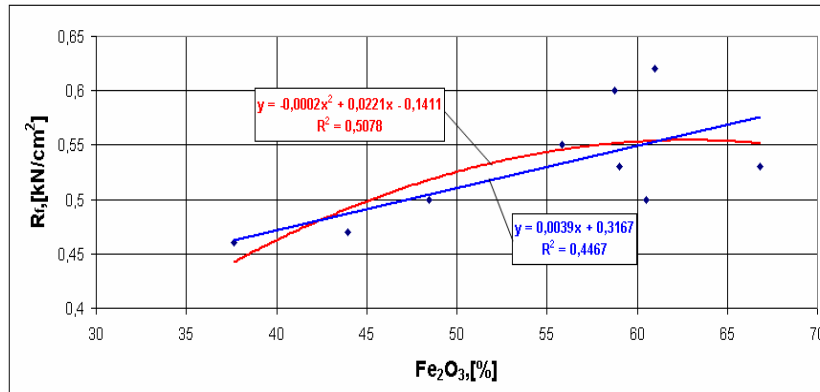


Fig. 6.20. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

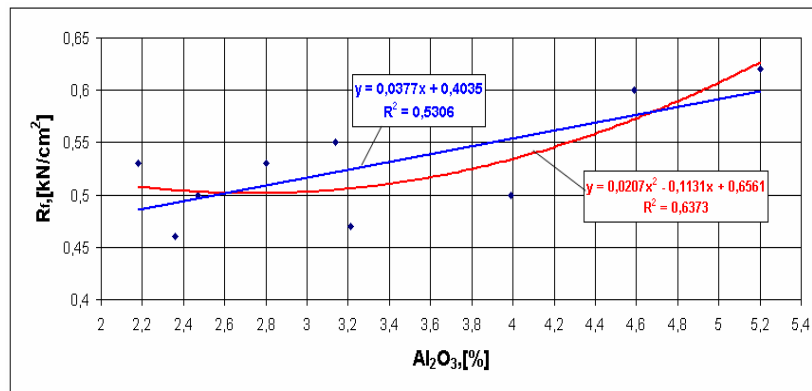


Fig. 6.21. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

6.3.2.3. Varianta C

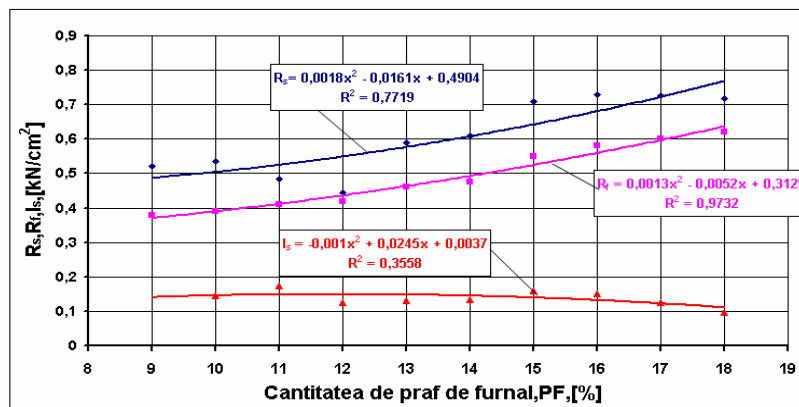
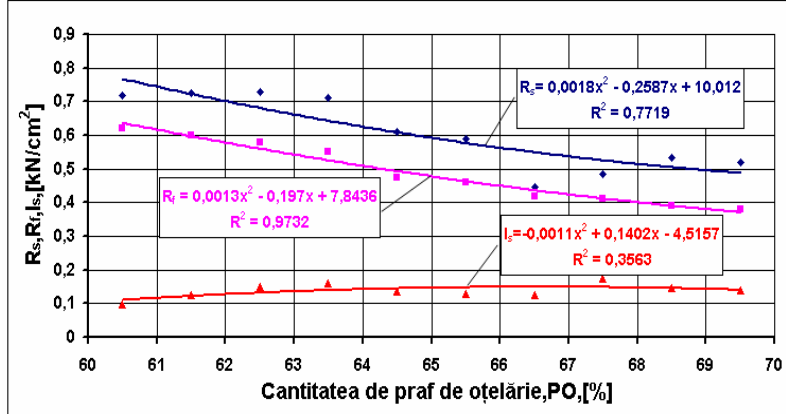
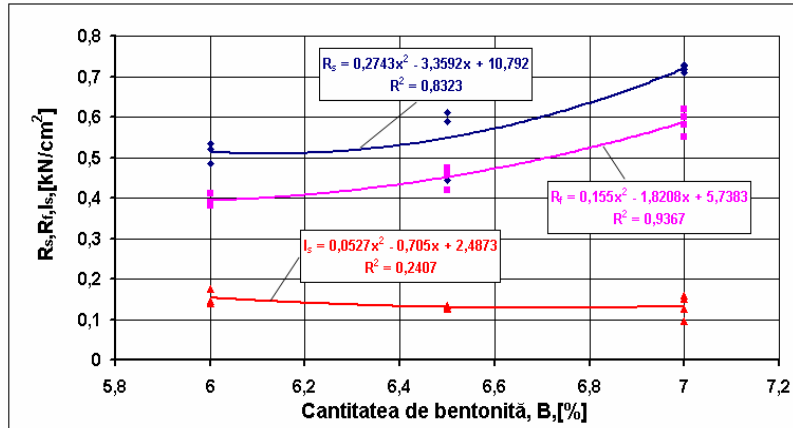
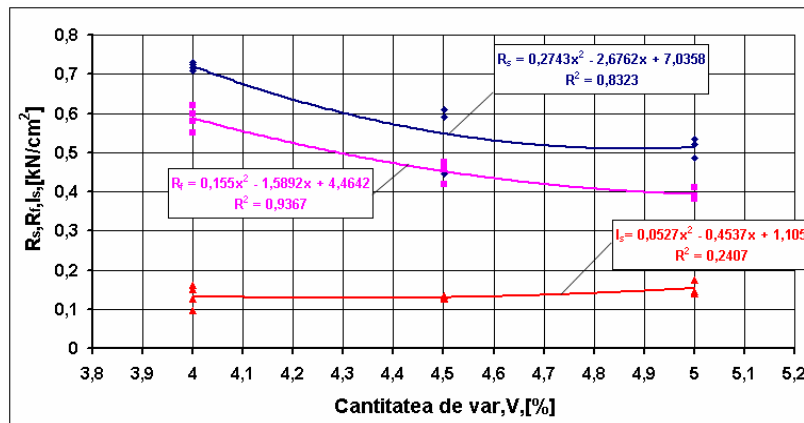
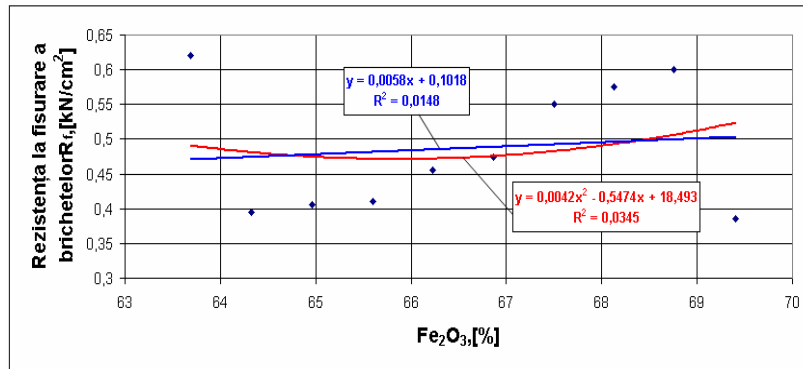
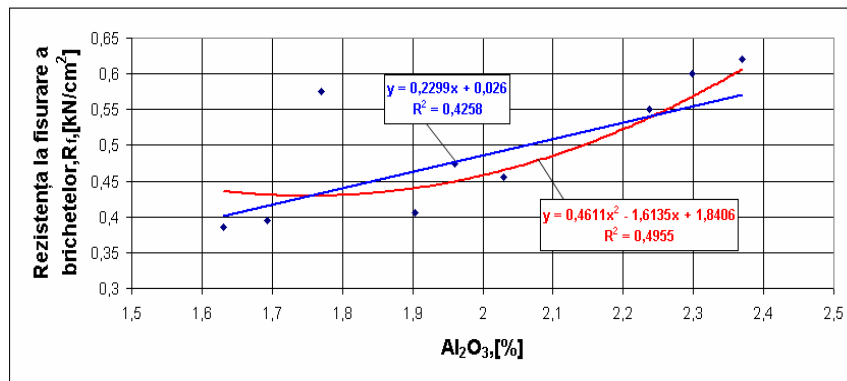
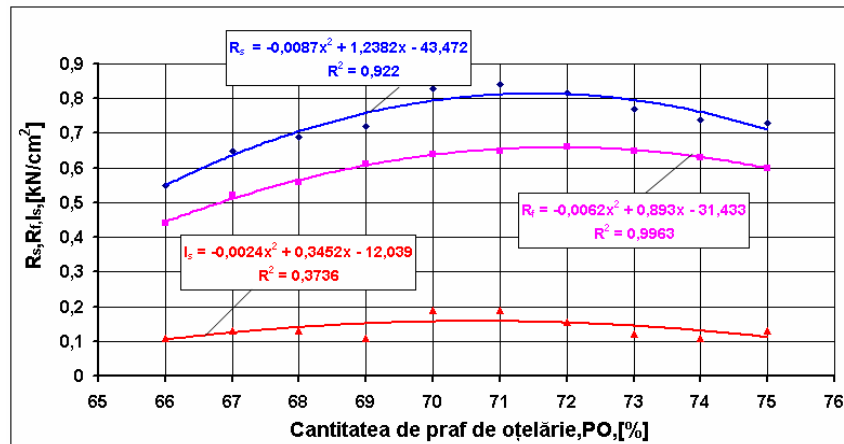


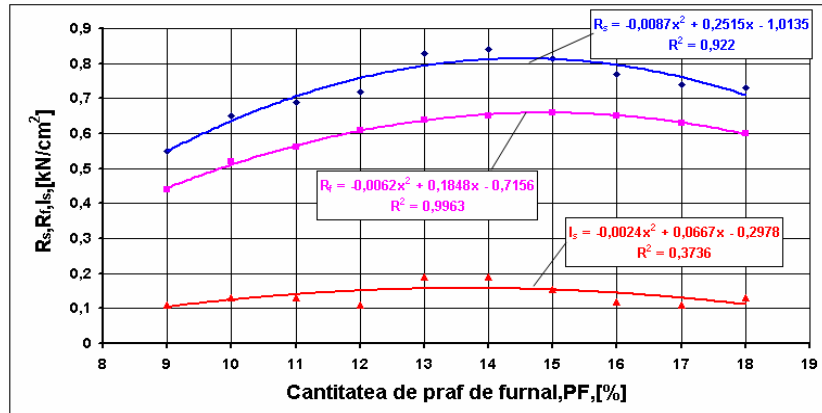
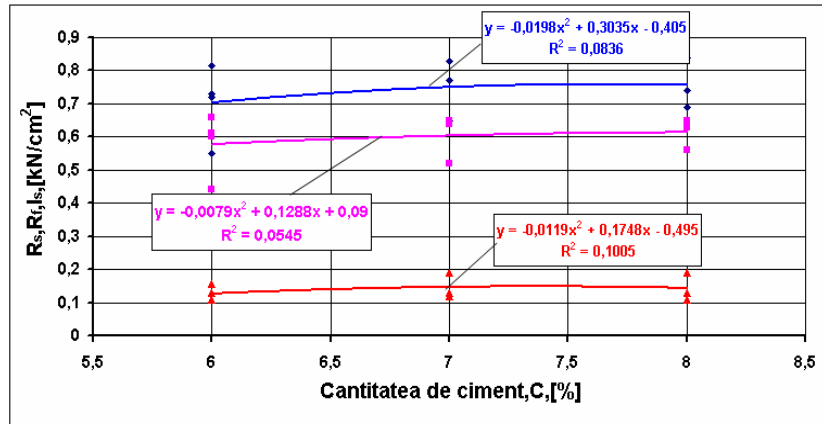
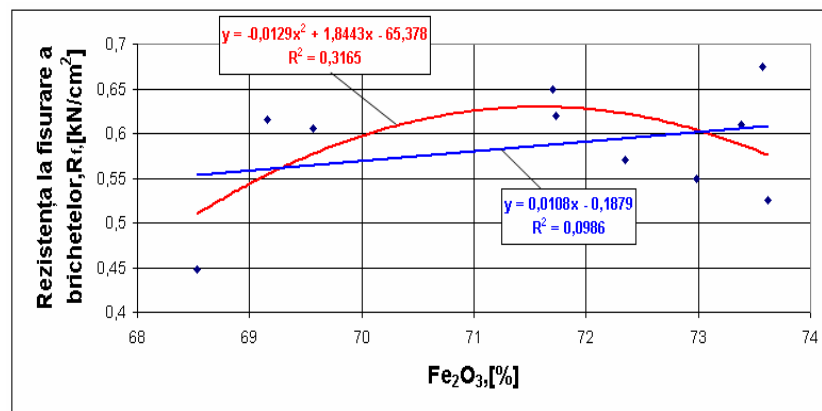
Fig.6.22. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnale

Fig. 6.23. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praș de oțelărieFig. 6.24. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de bentonităFig. 6.25. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de var

Fig.6.26. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurareFig.6.27. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

6.3.2.4. Varianta D

Fig.6.28. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de oțelărie

Fig. 6.29. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de praf de aglomerare-furnaleFig.6.30. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de cimentFig.6.31. Influența proporției de Fe₂O₃ asupra rezistenței la fisurare a brichetelor, R_f, [kN/cm²]

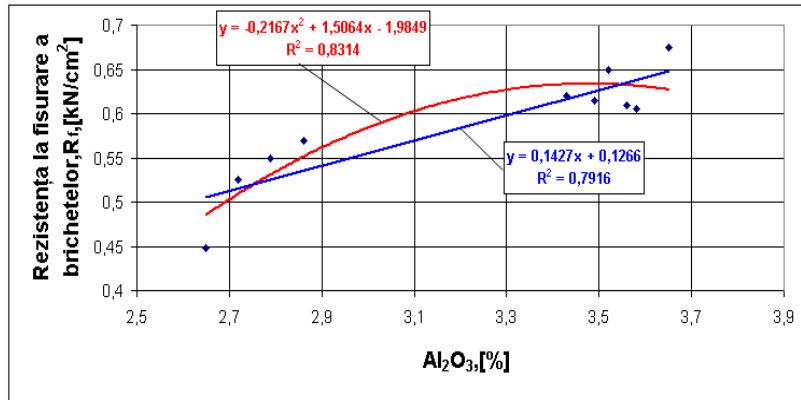


Fig.6.32. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

6.3.2.4. Varianta E

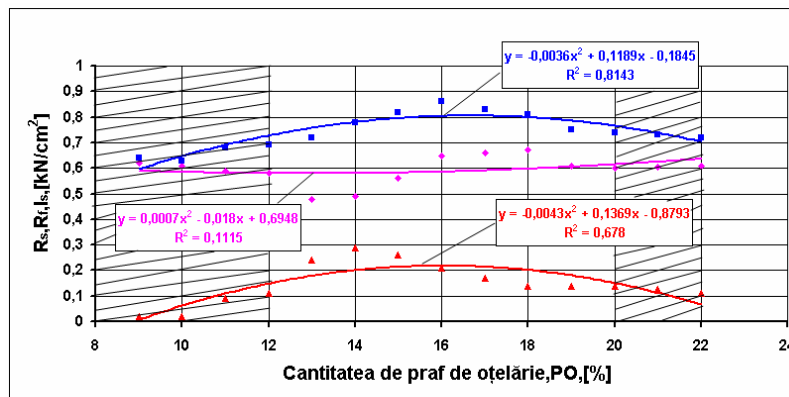


Fig.6.33. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de praf de oțelărie

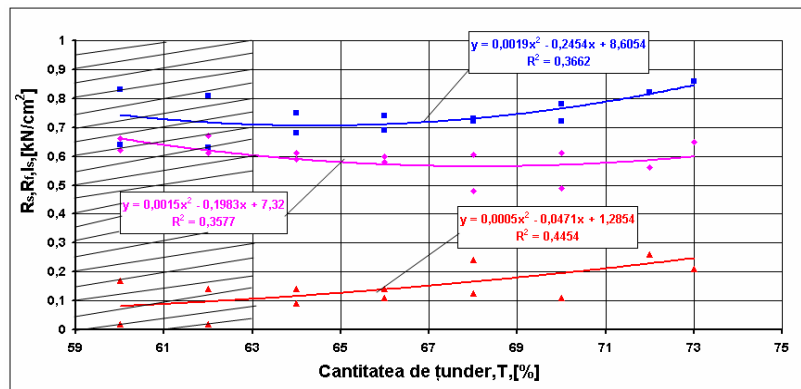
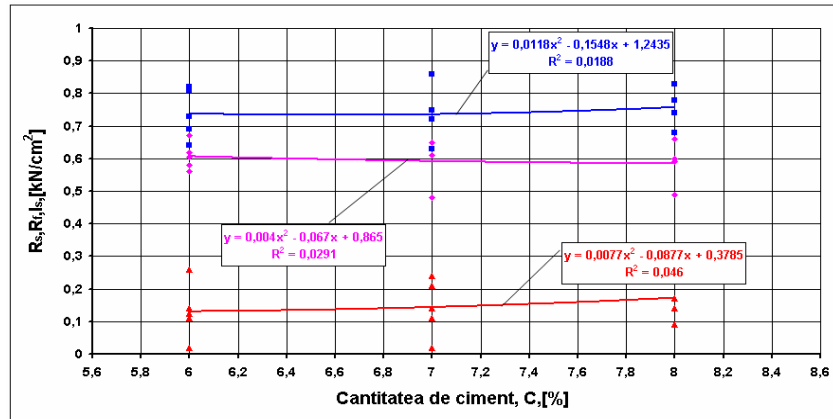
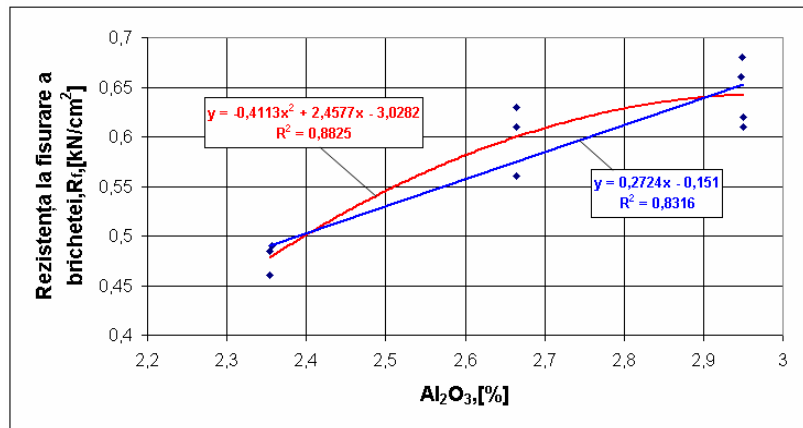
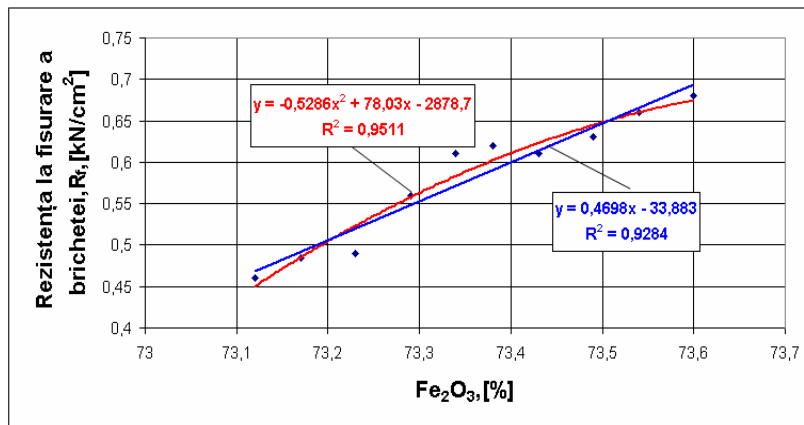


Fig.6.34. R_f , R_s , I_s funcție de proporția de ținder

Fig.6.35. R_f, R_s, I_s funcție de proporția de cimentFig.6.36. Influența proporției de Al_2O_3 asupra rezistenței la fisurareFig.6.37. Influența proporției de Fe_2O_3 asupra rezistenței la fisurare

6.3.3. Prelucrarea datelor în programul MATLAB

6.3.3.1. Varianta A

Rezistența la sfărâmare R_s este dată de relația:

$$R_s = 0,0003(PO)^2 - 0,0004(PF)^2 + 0,0073(T)^2 + 0,0004(PO)(PF) - 0,0024(PO)(T) + 0,0001(PF)(T) + 0,0149(PO) + 0,0241(PF) - 0,2470(T) + 2,5680 \quad (6.8)$$

Pentru $PO_{med} = 29,375\%$ rezultă:

$$R_s = -0,0004(PF)^2 + 0,0073(T)^2 + 0,0001(PF)(T) + 0,0357(PF) - 0,03171(T) + 3,2851; \quad (6.9)$$

Pentru $PF_{med} = 43,125\%$, avem:

$$R_s = -0,0003(PO)^2 + 0,0073(T)^2 + 0,0024(PO)(T) + 0,0319(PO) - 0,212(T) + 3,6065 \quad (6.10)$$

Pentru $T_{med} = 19,25\%$ avem:

$$R_s = -0,0003(PO)^2 - 0,0004(PF)^2 + 0,0004(PO)(PF) + 0,039(PO) - 0,039(PF) - 2,1875 \quad (6.11)$$

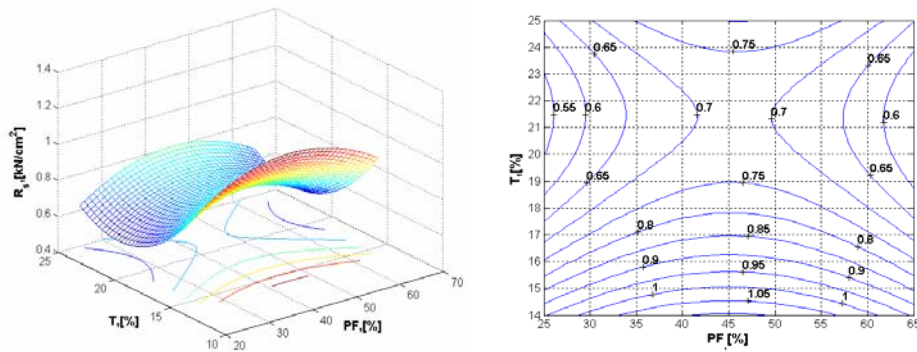


Fig.6.38. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnale (PF) și țunder (T), [84, 98]

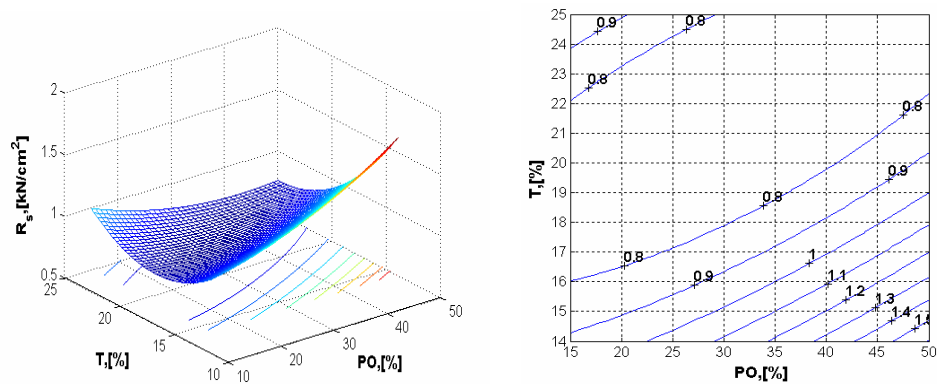


Fig.6.39. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 98]

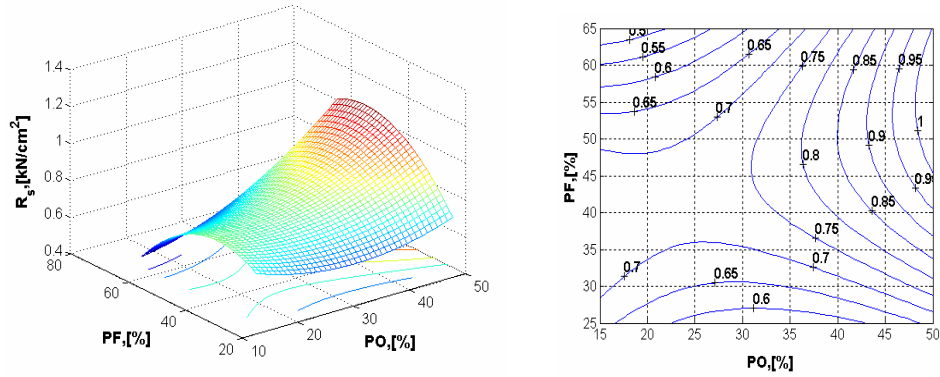


Fig.6.40. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF), [84, 98]

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = 0,0004(PO)^2 - 0,0005(PF)^2 + 0,0093(T)^2 + 0,0005(PO)(PF) - 0,0029(PO)(T) + 0,0002(PF)(T) + 0,0203(PO) + 0,0293(PF) - 0,3236(T) + 2,9856; \quad (6.12)$$

Pentru $PO_{med} = 29,375\%$ avem:

$$R_f = 0,0005(PF)^2 + 0,0093(T)^2 + 0,0002(PF)(T) + 0,0426(PF) + 0,2398(T) + 3,5832 \quad (6.13)$$

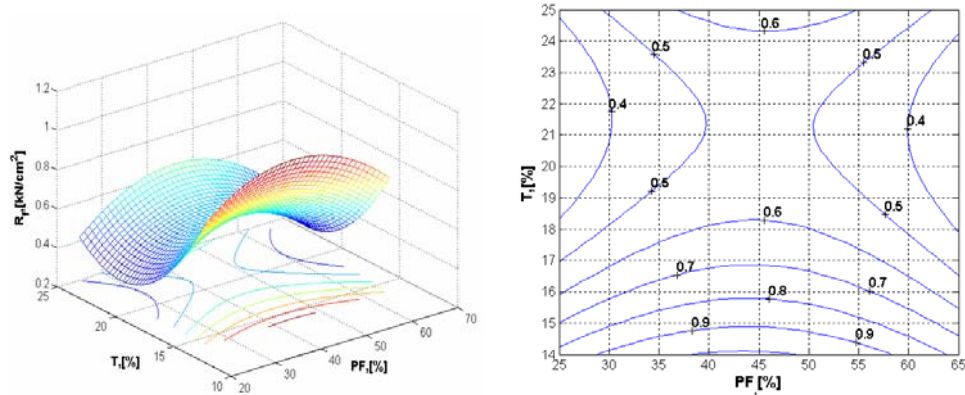


Fig.6.41. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T), [84, 98]

Pentru $PF_{med} = 43,125\%$, avem:

$$R_f = 0,0004(PO)^2 + 0,0093(T)^2 - 0,0029(PO)(T) + 0,0418(PO) - 0,315(T) + 3,3193 \quad (6.14)$$

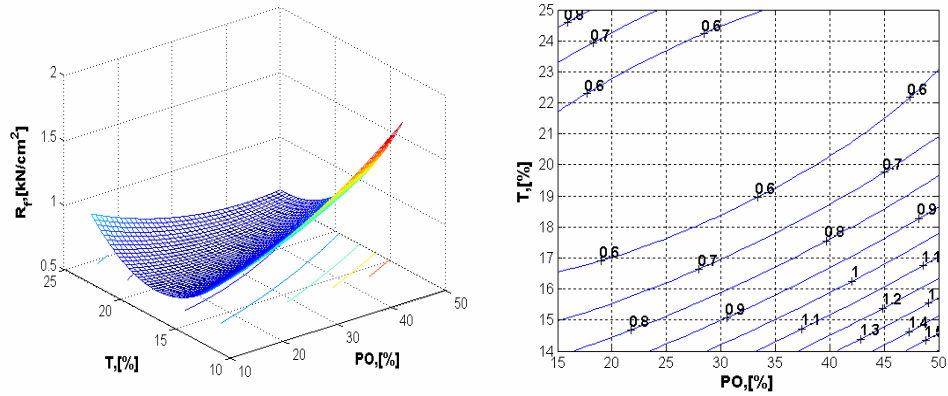


Fig.6.42. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 98]

Pentru $T_{med}=19,25\%$ avem:

$$R_f = 0,0004(PO)^2 - 0,0005(PF)^2 + 0,0005(PO)(PF) - 0,0335(PO) + 0,0331(PF) + 5,8089 \quad (6.15)$$

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0,0001(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 - 0,0008(T)^2 + 0,0002(PO)(PF) - 0,0003(PO)(T) - 0,0017(PF) - 0,0061(PF) + 0,0474(T) - 0,2171; \quad (6.16)$$

Pentru $PO_{med}=29,375\%$ avem:

$$I_s = 0,0001(PF)^2 - 0,0008(T)^2 - 0,0149(PF) + 0,0532(T) - 0,3532; \quad (6.17)$$

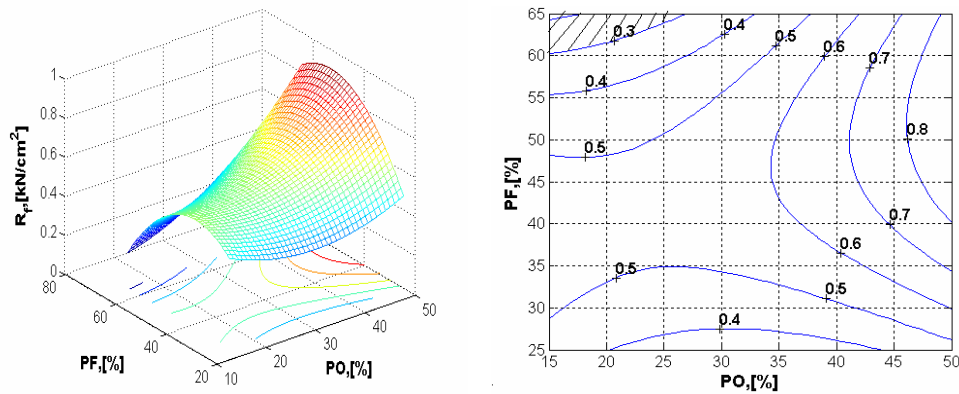


Fig.6.43. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 98]

Pentru $PF_{med}=43,125\%$, avem:

$$I_s = -0,0001(PO)^2 - 0,0008(T)^2 + 0,0002(PO)*(T) - 0,0017(PO) + 0,0216(T) + 0,666; \quad (6.18)$$

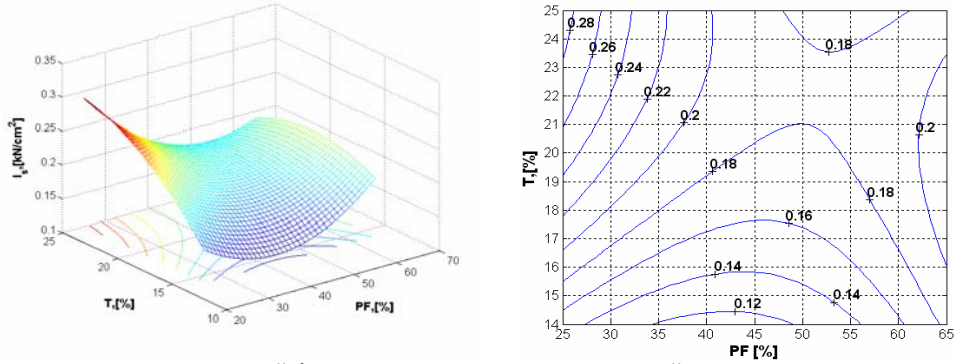


Fig.6.44. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T), [84, 98]

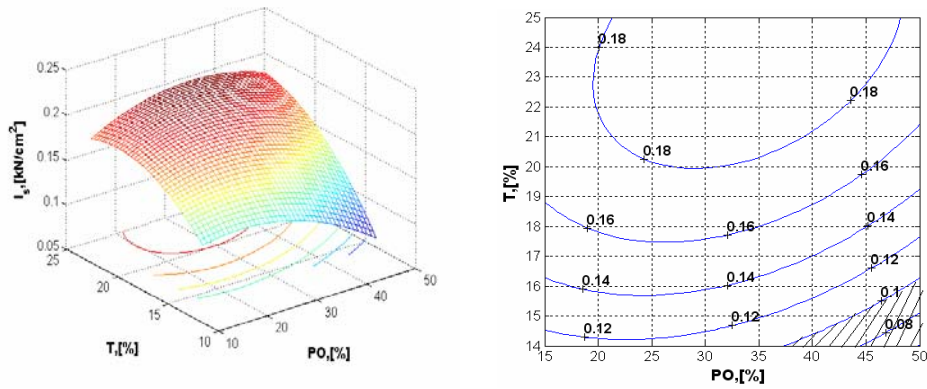


Fig.6.45.Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 98]

Pentru \$T_{med}=19,25\%\$ avem:

$$I_s = -0,0001(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 + 0,0021(PO) - 0,0118(PF) + 0,3989 \tag{6.19}$$

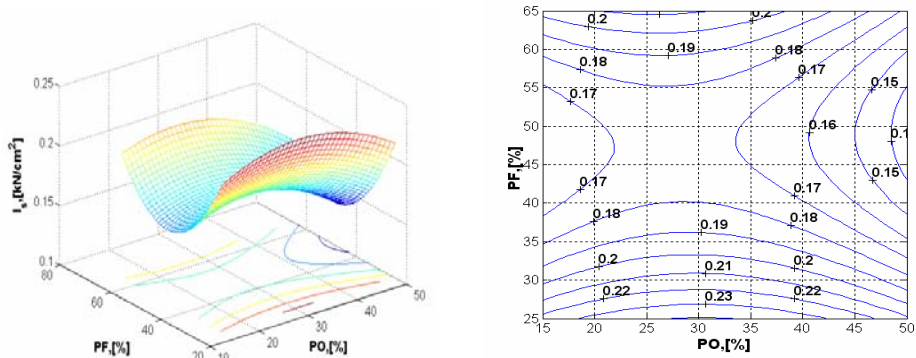


Fig.6.46.Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 98]

6.3.3.2. Varianta B

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = 0,0012(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 + 0,0025(T)^2 + 0,0001(PO)(PF) - 0,0064(PO)(T) - 0,0001(PF)(T) + 0,0934(PO) \quad (6.20)$$

Pentru $PO_{med} = 40\%$ avem:

$$R_s = 0,0001(PF)^2 + 0,0025(T)^2 - 0,0001(PF)(T) - 0,0039(PF) - 0,2563(T) + 5,6692 \quad (6.21)$$

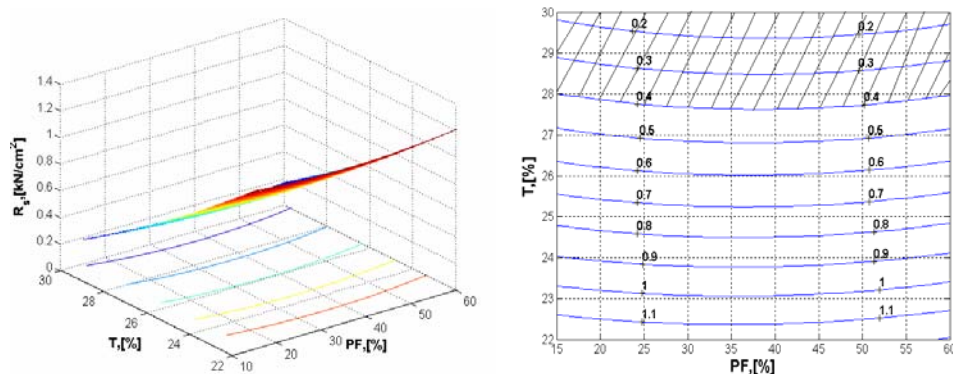


Fig.6.47. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnale (PF) și țunder (T), [84, 99]

Pentru $PF_{med} = 33,4375\%$, avem:

$$R_s = 0,0012(PO)^2 + 0,0025(T)^2 - 0,0064(PO)(T) + 0,0969(PO) - 0,0029(T) - 0,1770 \quad (6.22)$$

Pentru $T_{med} = 25,75\%$ avem:

$$R_s = 0,0012(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 + 0,0001(PO)(PF) - 0,0616(PO) - 0,0104(PF) + 0,0652 \quad (6.23)$$

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = 0,000(PO)^2 - 0,0001(PF)^2 + 0,0012(T)^2 - 0,0001(PO)(PF) - 0,0051(PO)(T) + 0,0009(PF)(T) + 0,0895(PO) - 0,0125(PF) \quad (6.24)$$

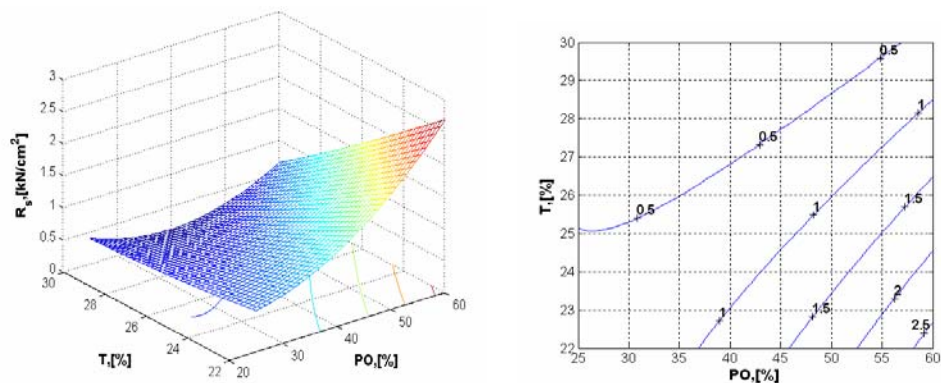


Fig.6.48. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 99]

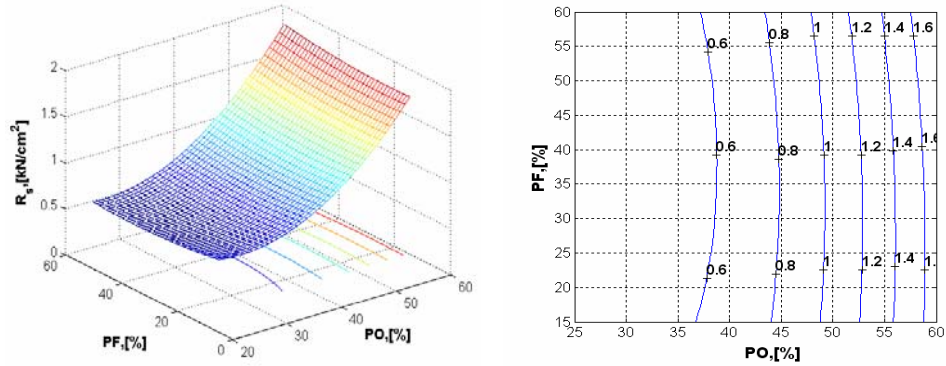


Fig.6.49. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF), [84, 99]

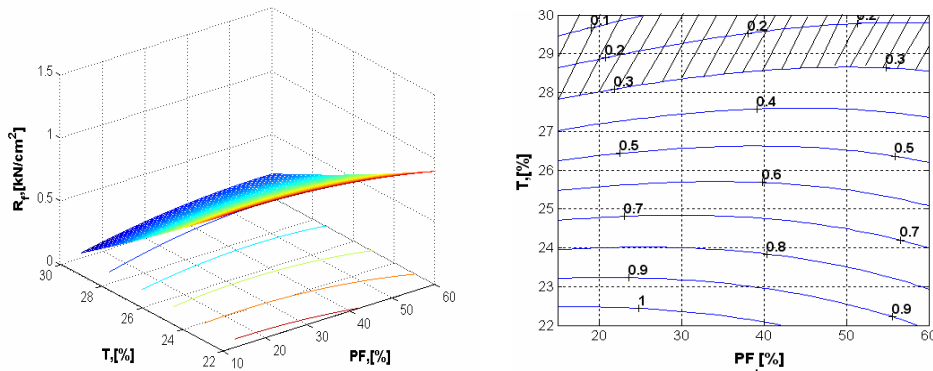


Fig.6.50. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T), [84, 99]

Pentru $PO_{med}=40\%$, avem:

$$R_f = -0,0001(PF)^2 + 0,0012(T)^2 + 0,0009(PF)(T) - 0,0175(PF) - 0,2041(T) + 4,9649 \quad (6.25)$$

Pentru $PF_{med}=33,4375\%$, avem:

$$R_f = 0,0009(PO)^2 + 0,0012(T)^2 - 0,0051(PO)(T) + 0,0854(PO) + 0,0301(T) - 0,4203 \quad (6.26)$$

și pentru $T_{med}=25,75\%$ avem:

$$R_f = 0,0009(PO)^2 - 0,0001(PF)^2 - 0,0001(PO)(PF) - 0,0419(PO) + 0,0107(PF) + 0,0305 \quad (6.27)$$

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0,0003(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 + 0,0001(PO)(PF) + 0,0008(PO)(T) - 0,0003(PF)(T) - 0,0062(PO) - 0,0002(PF) \quad (6.28)$$

Pentru $PO_{med}=40\%$, avem:

$$I_s = 0,0001(PF)^2 - 0,0003(PF)(T) + 0,0049(PF) + 0,0033(T) - 0,3509 \quad (6.29)$$

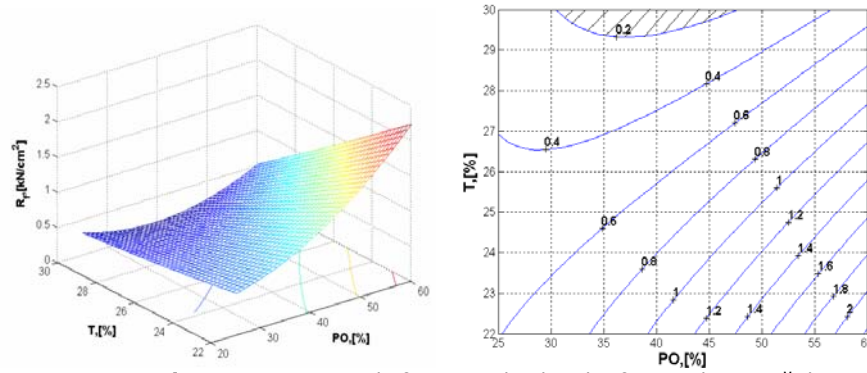


Fig.6.51. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 99]

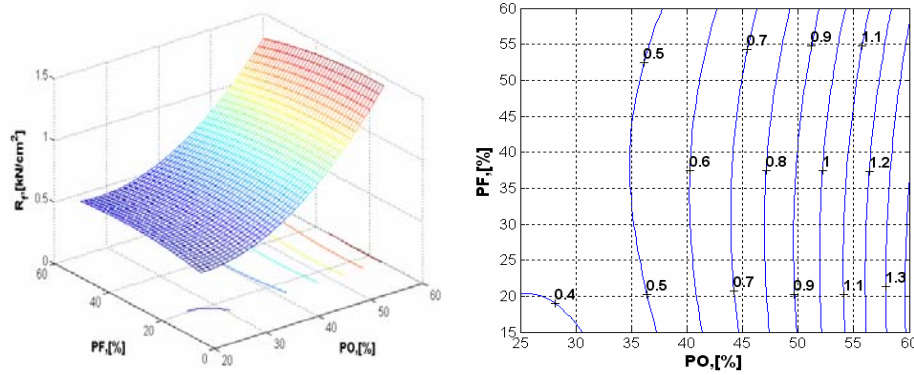


Fig.6.52. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 99]

Pentru $PF_{med}=33,4375\%$, avem:

$$I_s = -0,0003(PO)^2 + 0,0008(PF)(T) - 0,0019(PO) - 0,0104(T) - 0,0033 \quad (6.30)$$

și pentru $T_{med}=25,75\%$ avem:

$$I_s = -0,0003(PO)^2 + 0,0001(PF)^2 + 0,0001(PO)(PF) + 0,0151(PO) - 0,0082(PF) \quad (6.31)$$

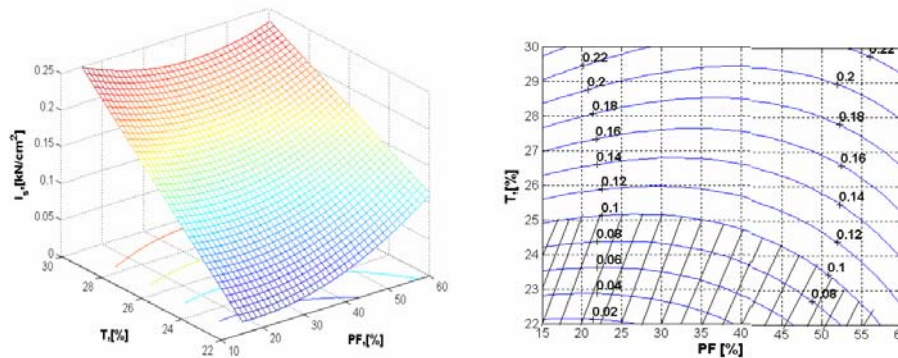


Fig.6.53. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și țunder (T), [84, 99]

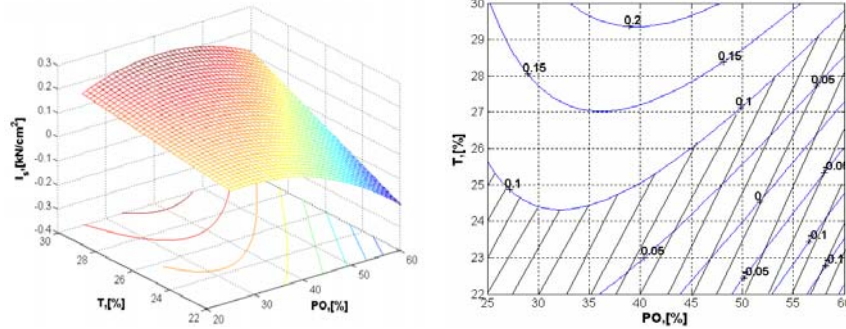


Fig.6.54. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 99]

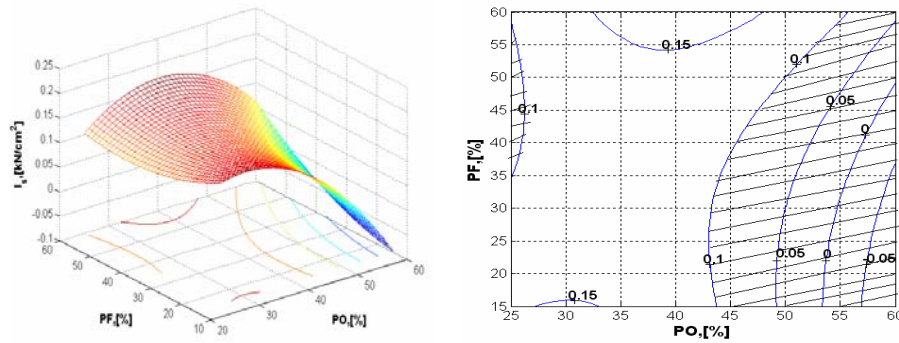


Fig.6.55. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 99]

6.3.3.3. Varianta C

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0,0503(\text{PF})^2 - 0,0020(\text{PO})^2 - 0,8985(\text{B})^2 - 0,0245(\text{PF})(\text{PO}) + 0,4524(\text{PF})(\text{B}) + 0,0894(\text{PO})(\text{B}) \quad (6.32)$$

Pentru $\text{PF}_{\text{med}} = 13,5\%$ avem:

$$R_s = -9,1592 - 0,0020(\text{PO})^2 - 0,8985(\text{B})^2 - 0,3302(\text{PO}) + 6,1068(\text{B}) + 0,0894(\text{PO})(\text{B}) \quad (6.33)$$

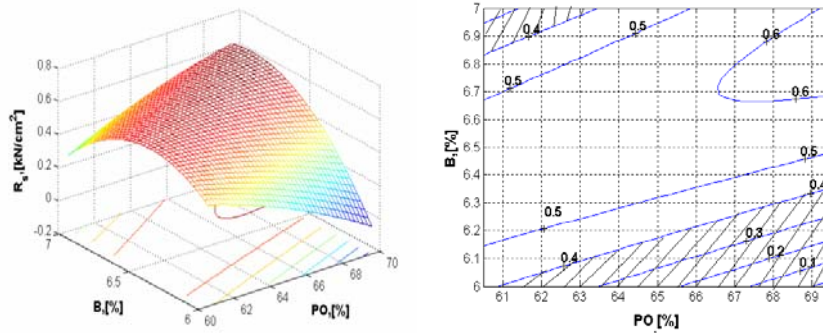


Fig.6.56. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și bentonită (B), [84, 91]

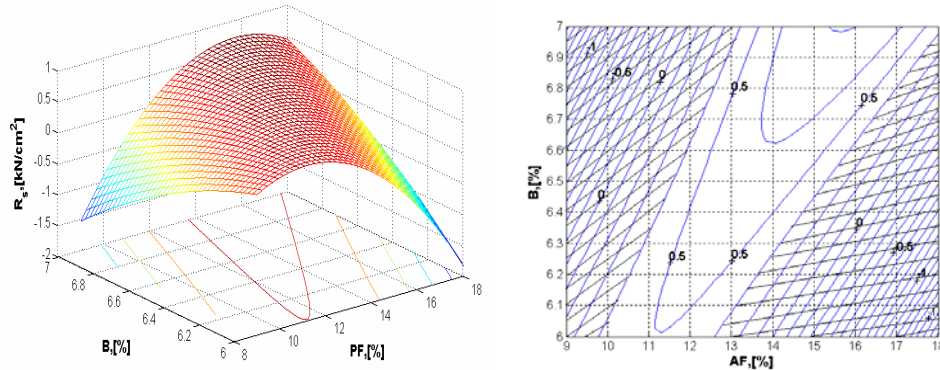


Fig.6.57. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnal (PF) și bentonită (B), [84, 91]

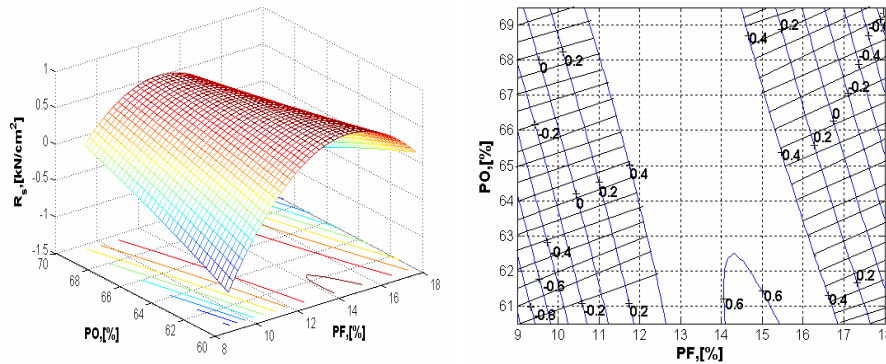


Fig.6.58. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF), [84, 91]

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$R_s = -0,0503(PF)^2 - 0,8985 - 8,3037(B)^2 - 1,5900(PF) + 0,4524(PF)(B) + 5,8107(B) \quad (6.34)$$

Pentru $B_{med}=6,55\%$ avem:

$$R_s = -0,0503(PF)^2 - 0,0020(PO)^2 - 38,5487 - 0,0245(PF)(PO) + 2,9629(PF) + 0,5855(PO) \quad (6.35)$$

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = -0,0066(PF)^2 + 0,0002(PO)^2 - 0,0625(B)^2 - 0,0026(PF)(PO) + 0,0569(PF)(B) + 0,0018(PO)(B) \quad (6.36)$$

Pentru $PF_{med}=13,5\%$, avem:

$$R_f = -1,1972 + 0,0001(PO)^2 - 0,0625(B)^2 - 0,0356(PO) + 0,7682(B) + 0,0018(PO)(B) \quad (6.37)$$

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$R_f = -0,0066(PF)^2 + 0,8446 - 0,0625(B)^2 - 0,1713(PF) + 0,0569(PF)(B) + 0,1193(B) \quad (6.38)$$

Pentru $B_{med}=6,55\%$ avem:

$$R_f = -0,0066(PF)^2 + 0,0001(PO)^2 - 2,6800 - 0,0026(PF)(PO) + 0,3727(PF) + 0,0120(PO) \quad (6.39)$$

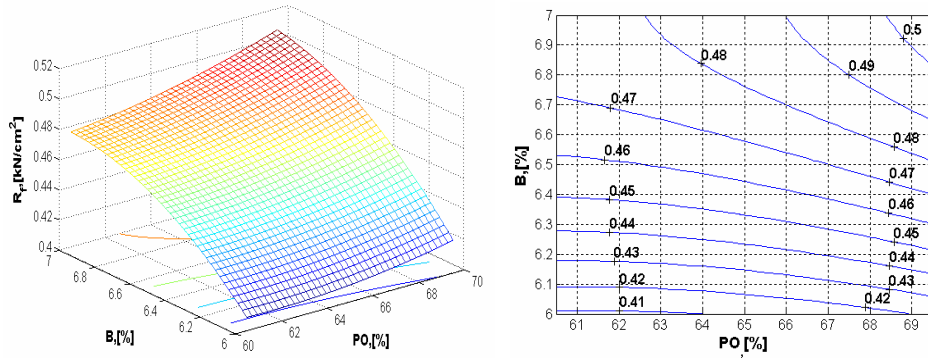


Fig.6.59. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și bentonită (B), [84, 91]

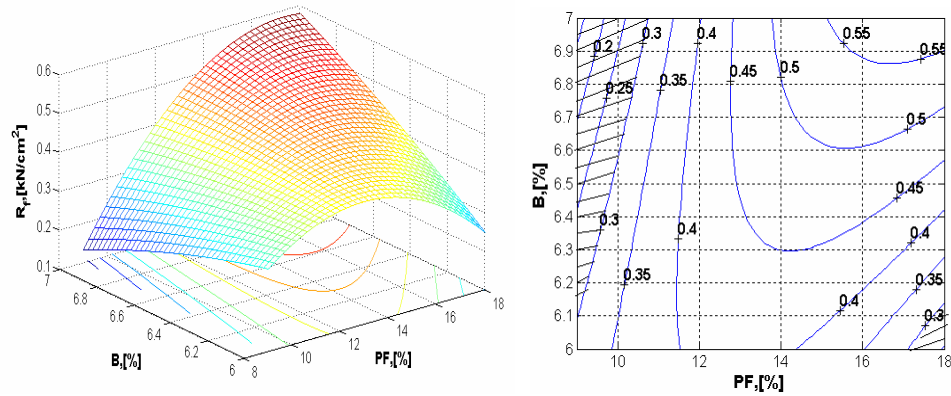


Fig.6.60. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și bentonită (B), [84, 91]

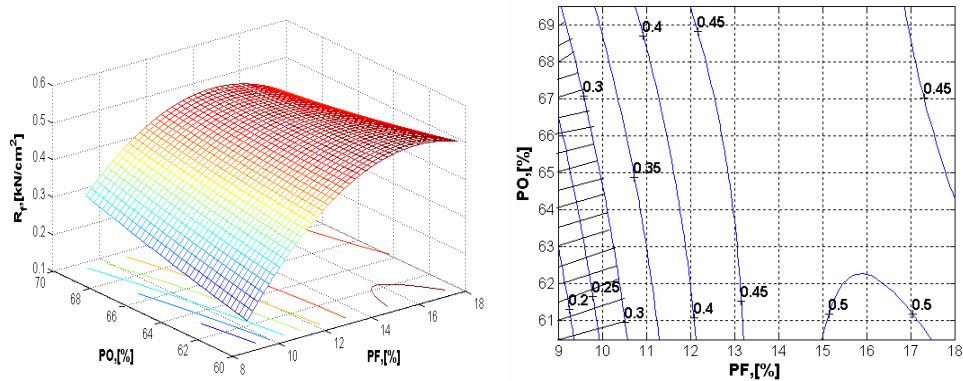


Fig.6.61. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 91]

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = 0,0001(PF)^2 + 0,0013(PO)^2 + 0,2068(B)^2 + 0,0040(PF)(PO) - 0,0398(PF)(B) - 0,0334(PO)(B) \quad (6.40)$$

Pentru $PF_{med}=13,5\%$, avem:

$$I_s = 0,0175 + 0,0013(PO)^2 + 0,2068(B)^2 + 0,0538(PO) - 0,5367(B) - 0,0334(PO)(B) \quad (6.41)$$

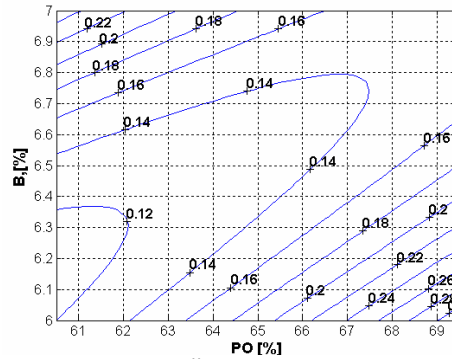
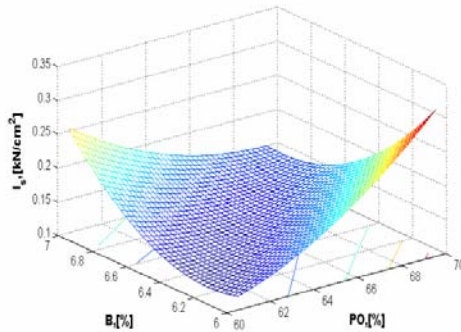


Fig.6.62. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și bentonită (B), [84, 91]

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$I_s = 0,00009(PF)^2 + 5,4653 + 0,2068(B)^2 + 0,2591(PF) - 0,0398(PF)(B) - 2,1690B \quad (6.42)$$

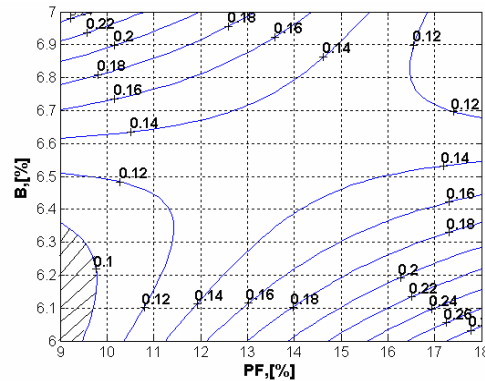
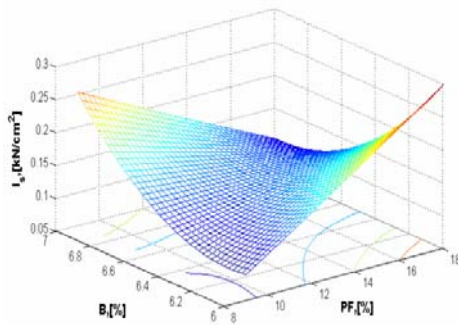


Fig.6.63. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și bentonită (B), [84, 91]

Pentru $B_{med}=6,55\%$ avem:

$$I_s = 0,00009(PF)^2 + 0,0013(PO)^2 + 8,8725 + 0,0040(PF)(EP) - 0,2604(PF) - 0,2186(PO) \quad (6.43)$$

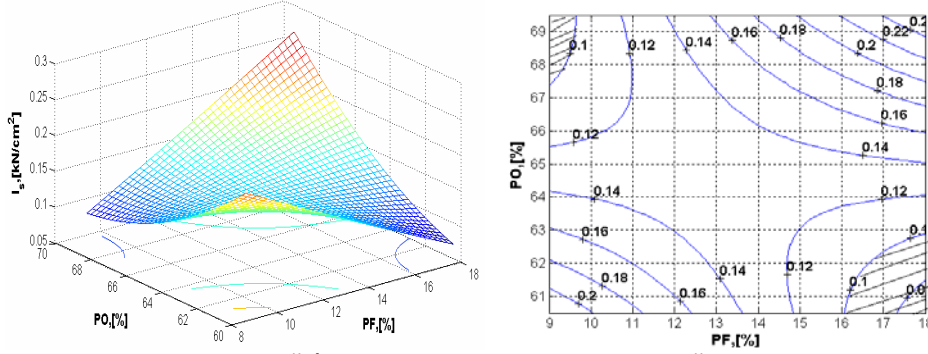


Fig.6.64. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 91]

6.3.3.4. Varianta D

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0,0005(PO)^2 - 0,0151(PF)^2 - 0,0552(V)^2 + 0,0057(PO)(PF) + 0,0071(PO) - 0,0047(PF)(V) \quad (6.44)$$

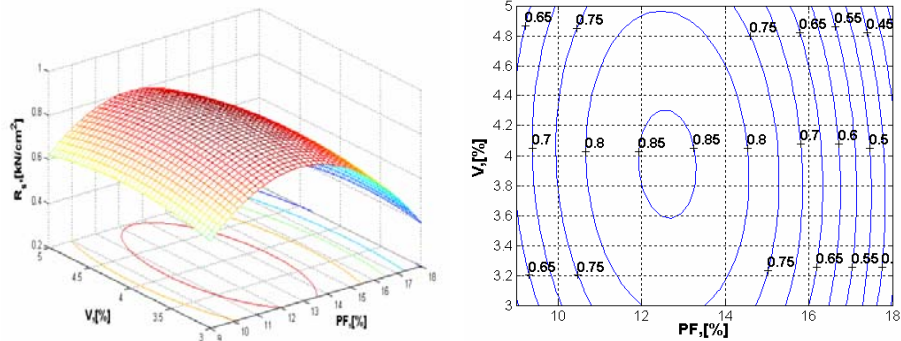


Fig.6.65. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și var (V), [84, 92]

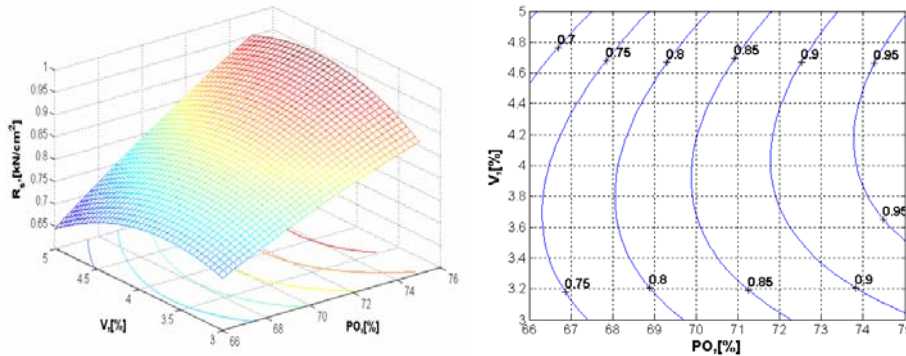


Fig.6.66. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnal (PO) și var (V), [84, 92]

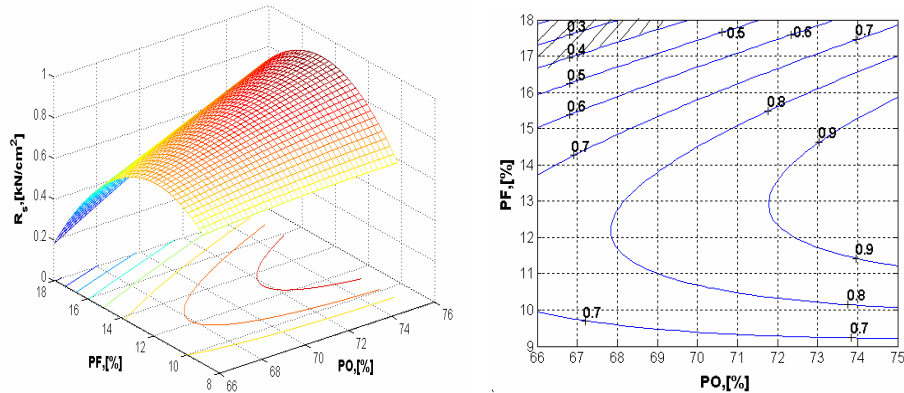


Fig.6.67. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare-furnal (PF), [84, 92]

Pentru $PO_{med} = 70,0435\%$ avem:

$$R_s = -2,6425 - 0,0151(PF)^2 - 0,0552(V)^2 + 0,4001(PF) + 0,4947(V) - 0,0047(PF)(V) \quad (6.45)$$

Pentru $PF_{med} = 13,0435\%$, avem:

$$R_s = -0,0005(PO)^2 - 2,5723 - 0,0552(V)^2 + 0,0745(PO) + 0,0071(PO)(V) - 0,0611(V) \quad (6.46)$$

Pentru $V_{med} = 4,087\%$ avem:

$$R_s = -0,0005(PO)^2 - 0,0151(PF)^2 - 0,9224 + 0,0057(PO)(PF) + 0,0289(PO) - 0,0191(PF) \quad (6.47)$$

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = -0,0003(PO)^2 - 0,0103(PF)^2 - 0,0451(V)^2 + 0,0035(PO)(PF) + 0,0045(PO)(V) + 0,0028(PF)(V) \quad (6.48)$$

Pentru $PO_{med} = 70,0435\%$, avem:

$$R_f = -1,4335 - 0,0103(PF)^2 - 0,0451(V)^2 + 0,2447(PF) + 0,3121(V) + 0,0028(PF)(V) \quad (6.49)$$

Pentru $PF_{med} = 13,0435\%$, avem:

$$R_f = -0,0002(PO)^2 - 1,7523 - 0,0451(V)^2 + 0,0456(PO) + 0,0045(PO)(V) + 0,0359(V) \quad (6.50)$$

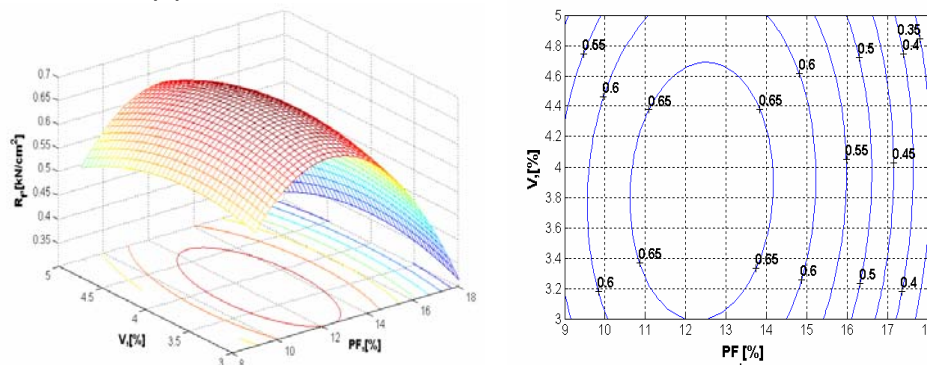


Fig.6.68. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și var (V), [84, 92]

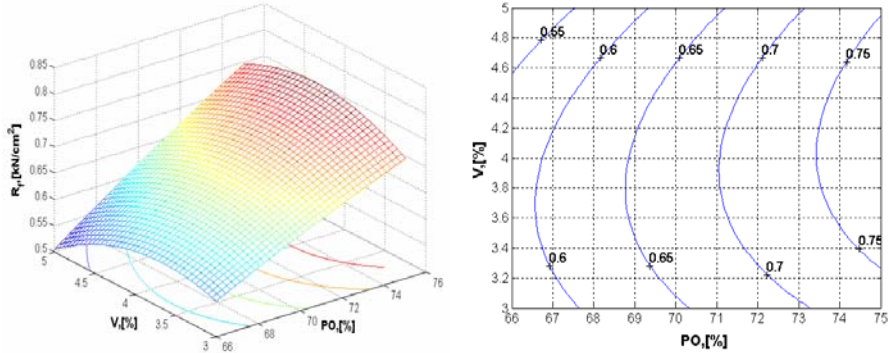


Fig.6.69. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 92]

și pentru $V_{med}=4,087\%$ avem:

$$R_f = -0,00024(PO)^2 - 0,0103(PF)^2 - 0,7531 + 0,0035(PO)(PF) + 0,0182(PO) + 0,0113(PF) \quad (6.51)$$

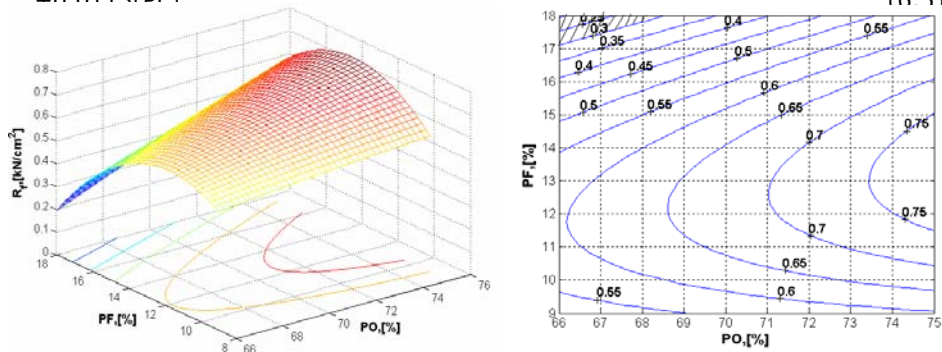


Fig.6.70. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 92]

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0,0002(PO)^2 - 0,0044(PF)^2 - 0,0093(V)^2 + 0,0018(PO)(PF) + 0,0016(PO)(V) - 0,0027(PF)(V) \quad (6.52)$$

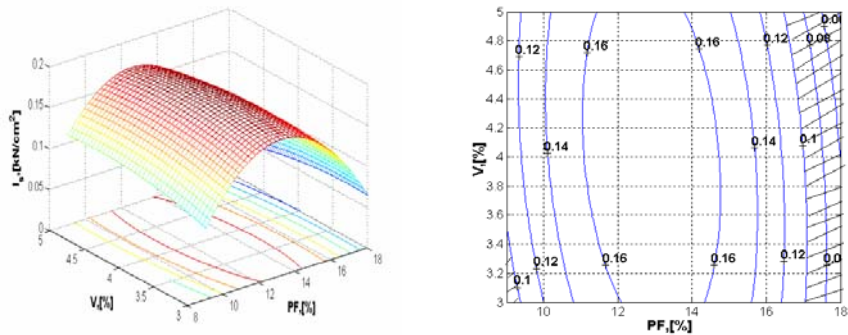


Fig.6.71. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și var (V), [84, 92]

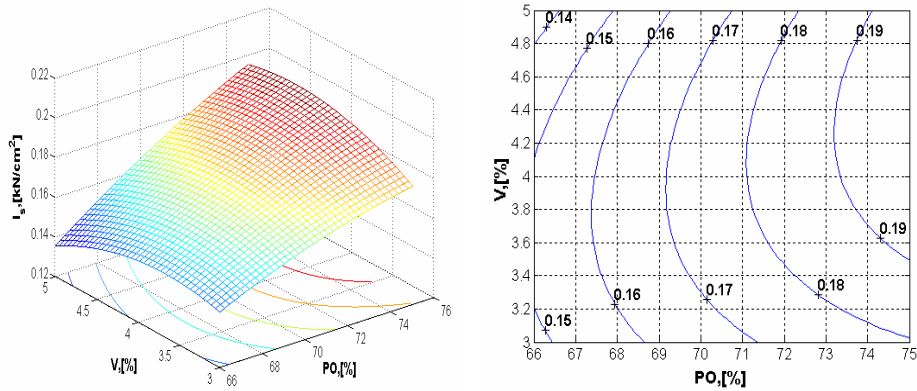


Fig.6.72. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 92]

Pentru $PO_{med}=70,0435\%$, avem:

$$I_s = -0,8513 - 0,0044(PF)^2 - 0,0093(V)^2 + 0,1251(PF) + 0,1089(V) - 0,0027(PF)(V) \quad (6.53)$$

Pentru $PF_{med}=13,0435\%$, avem:

$$I_s = -0,0001(PO)^2 - 0,7547 - 0,0093(V)^2 + 0,0233(PO) + 0,0016(PO)(V) - 0,0346(V) \quad (6.54)$$

și pentru $V_{med}=4,087\%$ avem:

$$I_s = -0,0001(PO)^2 - 0,0044(PF)^2 - 0,1552 + 0,0018(PO)(PF) + 0,0064(PO) - 0,0109(PF) \quad (6.55)$$

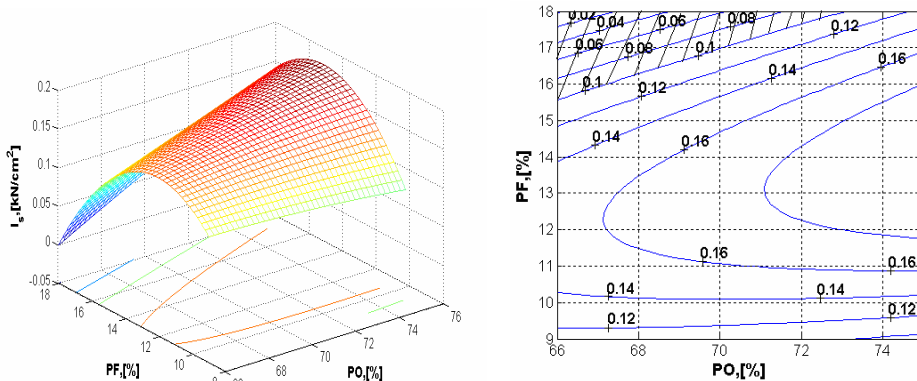


Fig.6.73. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 92]

6.3.3.5. Varianta E

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0,0003(PO)^2 - 0,0001(T)^2 + 0,0794(V)^2 - 0,0006(PO)(T) + 0,0061(PO)(V) - 0,0014(T)(V) + 0,0353(PO) + 0,0270(T) - 0,5941(V) + 0,7289 \quad (6.56)$$

Pentru $PO_{med}=14,84\%$ avem:

$$R_s = 1,1840 - 0,0001(T)^2 + 0,0794(V)^2 + 0,0177(T) - 0,5040(V) - 0,0014(T)(V) \quad (6.57)$$

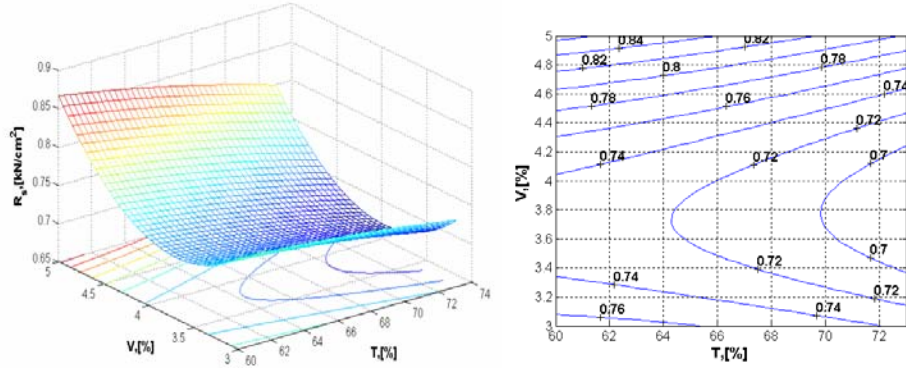


Fig.6.74 Rezistența la sfărâmarea brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și var (V), [84, 97]

Pentru $T_{med}=66,6\%$ avem:

$$R_s = -0,0003(PO)^2 + 1,9946 + 0,0794(V)^2 - 0,0065(PO) + 0,0061(PO)(V) - 0,6856(V) \tag{6.58}$$

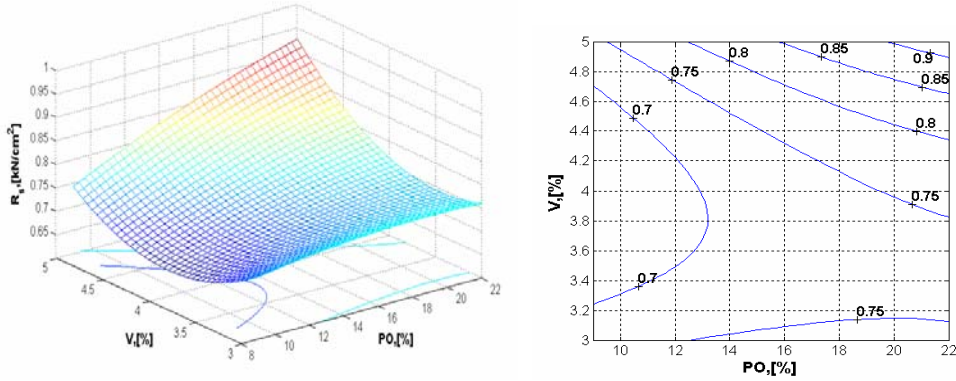


Fig.6.75. Rezistența la sfărâmarea brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 97]

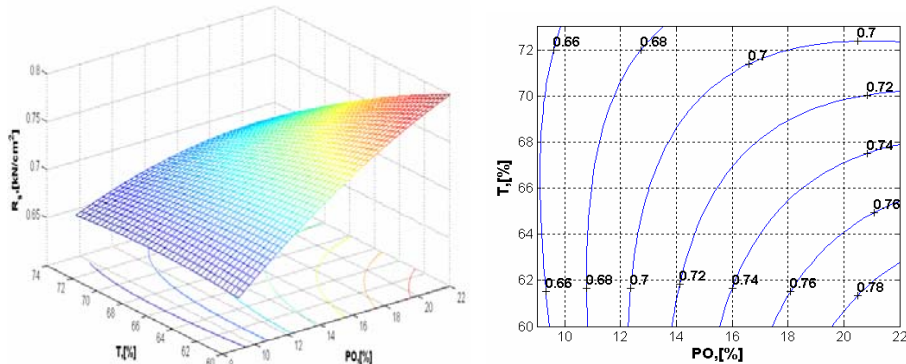


Fig.6.76. Rezistența la sfărâmarea a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 97]

și pentru $V_{med}=3,84\%$ avem:

$$R_s = -0,0003(PO)^2 - 0,0001(T)^2 - 0,3814 - 0,0006(PO)(T) + 0,0586(PO) + 0,0218(T) \quad (6.59)$$

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = 0,0013(PO)^2 + 0,0003(T)^2 + 0,0122(V)^2 - 0,0008(PO)(T) - 0,0005(PO)(V) - 0,0017(T)(V) + 0,0204(PO) - 0,0209(T) + 0,0251(V) + 1,0545 \quad (6.60)$$

Pentru $PO_{med}=14,84\%$ avem:

$$R_f = 1,6488 + 0,0002(T)^2 + 0,0122(V)^2 - 0,0333(T) + 0,0178(V) - 0,0017(T)(V) \quad (6.61)$$

Pentru $V_{med}=3,84\%$ avem:

$$R_f = 0,0013(PO)^2 + 0,0002(T)^2 + 1,3305 - 0,0008(PO)(T) + 0,0186(PO) - 0,0274(T) \quad (6.62)$$

Pentru $T_{med}=66,6\%$, avem:

$$R_f = 0,0013(PO)^2 + 0,9723 + 0,0122(V)^2 - 0,0355(PO) - 0,0004(PO)(V) - 0,0890(V) \quad (6.63)$$

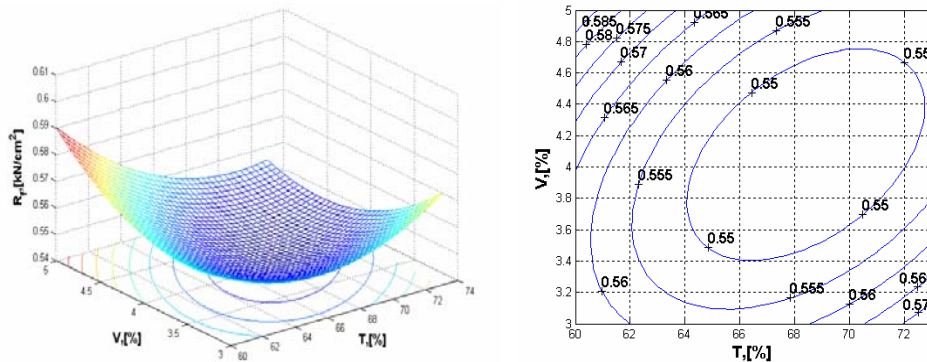


Fig.6.77. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și var (V), [84, 97]

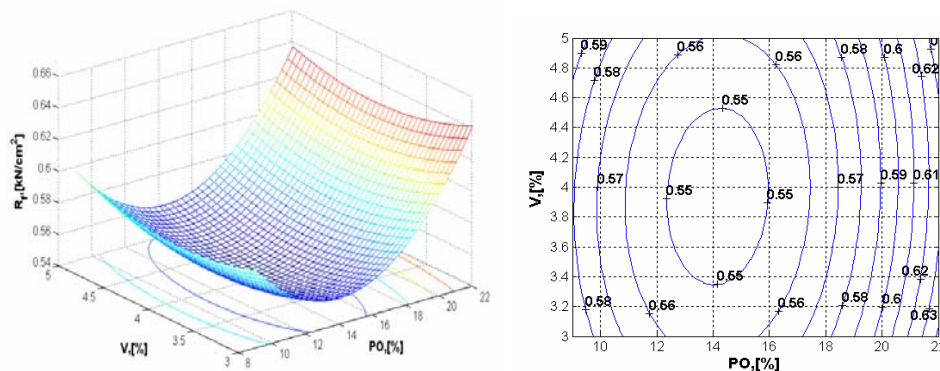


Fig.6.78. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 97]

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = 0,0019(PO)^2 - 0,0002(T)^2 + 0,0617(V)^2 + 0,0059(PO)(V) + 0,0003(T)(V) + 0,0365(PO) + 0,0232(T) - 0,5645(V) + 0,2193 \quad (6.64)$$

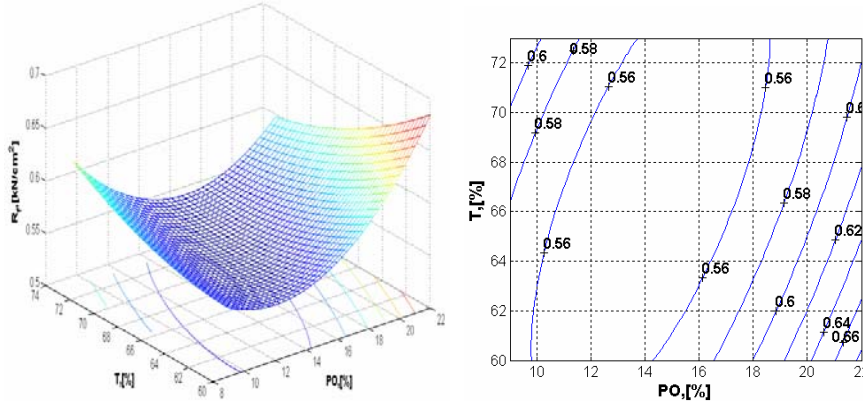


Fig.6.79. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 97]

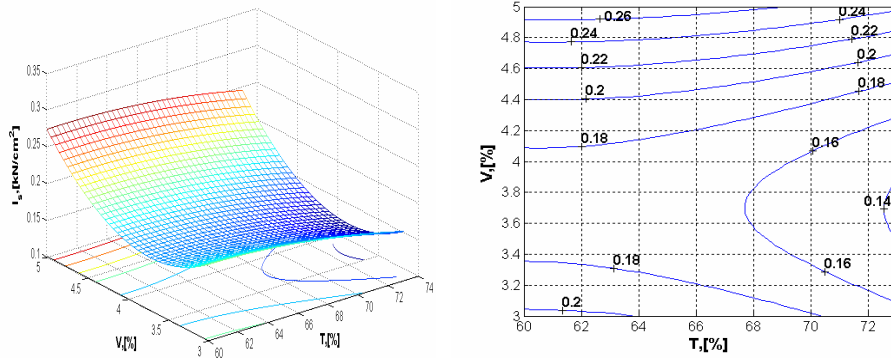


Fig.6.80. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de țunder (T) și var (V), [84, 97]

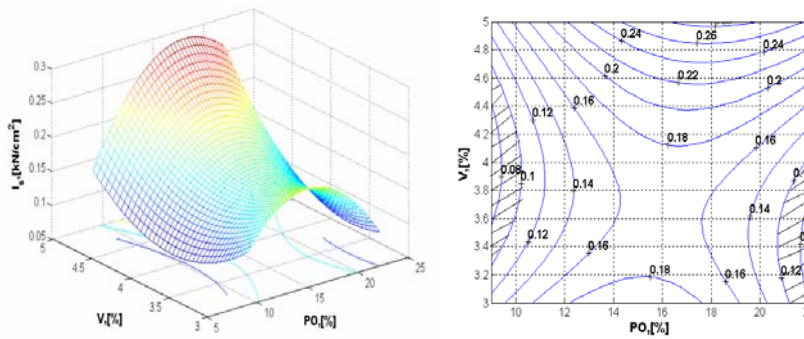


Fig.6.81. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 97]

Pentru $PO_{med}=14,84\%$, avem:

$$I_s = 0,3485 - 0,0002(T)^2 + 0,0617(V)^2 + 0,0237(T) - 0,4776(V) + 0,0003(T)(V) \quad (6,65)$$

Pentru $T_{med}=66,6\%$, avem:

$$I_s = -0,00139(PO)^2 + 0,8538 + 0,0617(V)^2 + 0,0384(PO) + 0,0059(PO)(V) - 0,5444(V) \quad (6,66)$$

Pentru $V_{med}=3,84\%$ avem:

$$I_s = -0,0019(PO)^2 - 0,0002(V)^2 - 1,0380 + 0,00002(PO)(V) + 0,059(PO) + 0,0244(V) \quad (6,67)$$

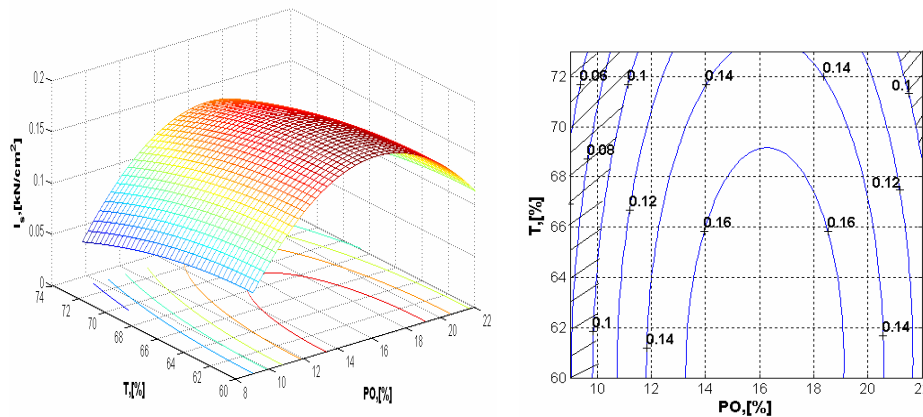


Fig.6.82. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 97]

6.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Pentru o bună comportare în procesul de manipulare și transport, literatura de specialitate menționează în cadrul capitolului indică pentru rezistența la fisurare $R_f > 0,2 \text{ kN/cm}^2$ și pentru rezistența la sfărâmare $R_s > 0,3 \text{ kN/cm}^2$. În aceste condiții intervalul de sfărâmare este $I_s = \Delta R_{fs} = (0,2 - 0,35)R_f = (0,04 - 0,075) \text{ kN/cm}^2$.

În analiza rezultatelor obținute, s-a considerat că pentru o siguranță mai mare în procesul de transport și manipulare a brichetelor să se impună pentru caracteristicile de rezistență valorile: $R_f \geq 0,3 \text{ kN/cm}^2$, pentru $R_s \geq 0,4 \text{ kN/cm}^2$, și pentru $I_s \geq 0,1 \text{ kN/cm}^2$.

Având în vedere că am produs brichete după 5 rețete, între acestea existând o diferență între participația componentelor cu conținut de fier/ fier și carbon, analiza tehnologică se prezintă separat pentru fiecare rețetă, având în vedere atât rezultatele obținute în programul de calcul EXCEL cât și în MATLAB.

Din corelațiile obținute în programul de calcul EXCEL rezultă, pentru **variantele A, B, C și D**, că limitele de variație existente asigură pentru caracteristicile R_f , R_s și I_s valori mai mari decât cele impuse ca limită inferioară.

Pentru **variantele E**, analizând corelațiile prezentate în figurile 6.33. și 6.34. rezultă că pentru a obține pentru caracteristicile R_f , R_s și I_s valori mai mari decât cele impuse ca limită inferioară, praful de oțelărie trebuie să fie cuprins în limitele 12-20% și țunderul 63 - 74% (domeniile nehașurate).

Valorile rezultate pentru coeficienții de corelație confirmă valabilitatea corelațiilor obținute.

Referitor la corelațiile duble în majoritatea cazurilor pentru limitele de variație a componentelor încărcăturii, valorile pentru caracteristicile de rezistență sunt superioare limitelor impuse.

Domeniile în care aceste nu se încadrează sunt hașurate, valorile pentru parametrii independenți trebuie astfel să varieze astfel încât valorile pentru caracteristicile de rezistență să fie situate mereu în domeniul nehașurat. De exemplu din datele prezentate în figura 6.53. pentru conținutul de praf de furnal de 25% conținutul de țunder trebuie să fie de minim 25%. O creștere a conținutului de praf de furnal, permite scăderea proporției de țunder (pentru 45,5% praf de furnal, proporția de țunder poate scădea până la 24%). Similar se analizează și celelalte corelații.

6.5. Concluzii

În urma celor prezentate mai sus au rezultat următoarele concluzii:

- 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;
- deșeurile feroase mărunte și pulverulente existente în regiune de Vest a României, deci și în zona industrială Hunedoara, cele cu caracter bazic, precum și cele cu conținut de carbon, pot fi reintroduse în circuitul economic din siderurgie;
- rezultatele obținute în cadrul experimentărilor, conduc la concluzia că deșeurile analizate pot fi procesate prin brichetare (cu obținerea pentru caracteristicile de rezistență mecanică a unor valori superioare celor minime pentru acest procedeu), acest procedeu permițând valorificarea deșeurilor cu limite de variație mari din punct de vedere granulometric (de dorit sub 2mm);
- componența rețetelor se va stabili în funcție de disponibilul de deșeuri mărunte și pulverulente și de destinația materialului procesat, la oțelării respectiv la furnale;
- în condițiile existente pe plan local, ca urmare a unei puternice restructurări economice, au rămas o cantitate mare de deșeuri feroase pulverulente și mărunte, astfel încât se consideră 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;
- rezultatele cercetărilor efectuate demonstrează că atât deșeurile rezultate în mod curent pe fluxurile tehnologice, cât și cele depozitate în iazuri și la halde pot fi valorificate prin brichetare.

7. CERCETĂRI PRIVIND REDUCEREA BRICHETELOR OBȚINUTE DIN DEȘURI PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

7.1. Considerații tehnologice

Reducerea oxizilor de fier are loc pe cale directă cu carbon și indirectă cu oxid de carbon și hidrogen. În practica curentă, frecvent se întâlnește situația în care reducerea este combinată, adică atât cu carbon (reducător solid) cât și cu reducători gazoși (oxid de carbon și hidrogen).

Cercetările sistematice au dovedit că reacțiile de reducere cu reducători gazoși sunt reacții topochemice, particularitatea transformării, fiind existența a două faze cristaline, cu suprafață de separare (suprafața frontului de reacție), care are rol de suprafață de reacție (figura 7.1.) [7].

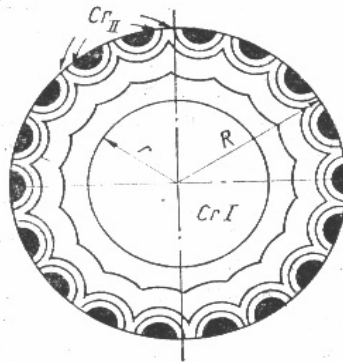


Fig.7.1. Schema dezvoltării unei reacții topochemice [7]:
Cr. I –substanța cristalină inițială;
Cr. II – produsul cristalin al reacției

Procesul de reducere are un caracter autocatalitic, realizându-se, prin intermediul fenomenelor de adsorbție, conform schemei prezentate în figura 7.2.

Ca în orice proces catalitic eterogen, inițial are loc transferul agentului reducător din interiorul fazei gazoase la suprafața materialului supus reducerii, urmată de difuzia acestuia la interfața MeO – Me. După adsorbție, are loc reacția chimică cu refacerea rețelei cristaline a noii faze, fie de oxid inferior, fie metalică și desorbția spre exterior a produselor de reacție (oxizi reducătorilor) [7].

Mecanismul de reducere prezentat scoate în evidență rolul important al proceselor de adsorbție-desorbție, pe de o parte, și pe de altă parte, transformarea rețelei cristaline. Această transformare care este rezultatul reacției chimice propriuzise, ca și adsorbția-desorbția sunt procese topochemice, **depinzând de suprafața de separație a celor două faze: solidă (oxidul superior/oxid inferior sau metal) și gazoasă, respectiv a fazei metalice și oxid inferior – oxid superior** [7].

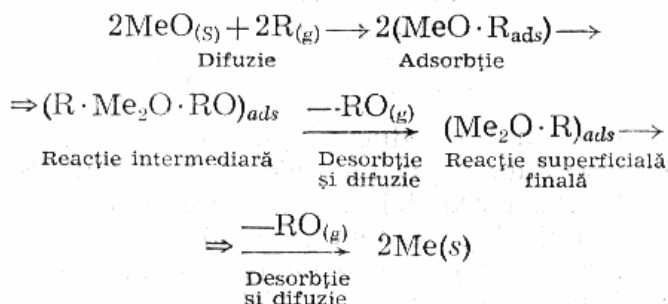


Fig. 7.2. Schema de reducere

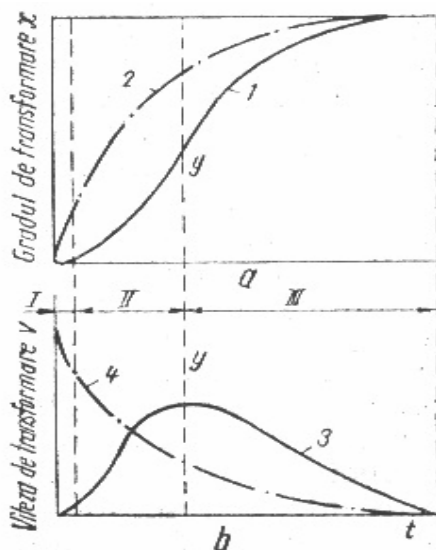


Fig.7.3. Cinetica relațiilor topochimice: a-variația gradului de transformare funcție de timp; b-viteza de transformare funcție de timp [7, 18]:
 a - variația gradului de transformare funcție de timp; 1 - caz general; 2- temperatura și compoziția fazei gazoase constante;
 b - viteza de reducere;
 I - perioada de incubație; II - perioada autocatalitică; III - perioada frontului mediu a reacției. 3 - variația vitezei de transformare; 4 - reducerea suprafeței interfazice a fazei inițiale
 y - timpul după care se atinge viteza maximă de reducere

După datele din literatura de specialitate [7, 18, 20] procesul de reducere cuprinde trei perioade: **perioada de incubație, perioada autocatalitică și perioada frontului mediu al reacției.**

Perioada de incubație (figura 7.3.b.), este reprezentată de perioada inițială a procesului de reducere, care se caracterizează prin faptul că viteza reacției de reducere este de obicei atât de mică, încât practic nu poate fi sesizată prin metodele obișnuite. În această perioadă, moleculele gazului reducător adsorbite la suprafața materialului supus reducerii, încep să reacționeze cu oxidul în așa numitele centre active, formând în acest mod primii germeni de fază nouă (oxid inferior, sau metal). Centrii activi se formează de regulă în zonele mai slab legate, respectiv în zonele cu defecte cristaline [7, 18, 20].

Perioada autocatalitică, se dezvoltă în continuarea perioadei de incubație și se caracterizează prin faptul că viteza procesului crește continuu, ajungând la un maxim - perioada a II-a, (figura 7.3.b.) - ca urmare a formării și dezvoltării suprafeței interfazice, creșterea acestuia accelerând reacțiile de reducere.

Maximul vitezei procesului de reducere se obține atunci când suprafața interfazică de reparație atinge valoarea maximă. Suprafața interfazică de separare a celor două faze are rolul de suprafață de reacție (suprafața frontului de reacție) și în aceste condiții dezvoltarea reacției se manifestă prin deplasarea limitei între cele două faze, în urma distrugerii rețelei cristaline a oxidului inițial și construirea (formarea) rețelei cristaline a noului produs solid rezultat din reacția de reducere [7, 18, 20].

Perioada frontului mediu al reacției (fig.7.3.b), perioada a III-a procesului de reducere, se caracterizează prin faptul că zonele de reacție apărute la diverși germeni se contopesc într-una singură (moment în care începe această perioadă), a cărei suprafață de separație (suprafața interfazică) se micșorează continuu, pe măsură ce se desfășoară procesul de reducere. Ca urmare a reducerii suprafeței de separație, viteza procesului disținește. Procesul de evoluție a noii suprafețe este prezentat în figura 7.1. prin semicercuri cu raze din ce în ce mai mari (fronturi de reacție separate - izolate). În momentul când se produce contopirea tuturor fronturilor de reacție (separate sau izolate), viteza de reacție atinge valoarea maximă și perioada autocatalitică încetează [7].

Pe această cale s-a pus în evidență faptul că în procesul de reducere se respectă principiul succesiunii transformărilor (figura 7.4), după care oxizii superiori se reduc la oxizi inferiori (din ce în ce mai săraci în oxigen) și abia apoi se obține metalul, cu condiția ca toți oxizii intermediari să fie stabili în condițiile date (temperatură și presiune) [18].

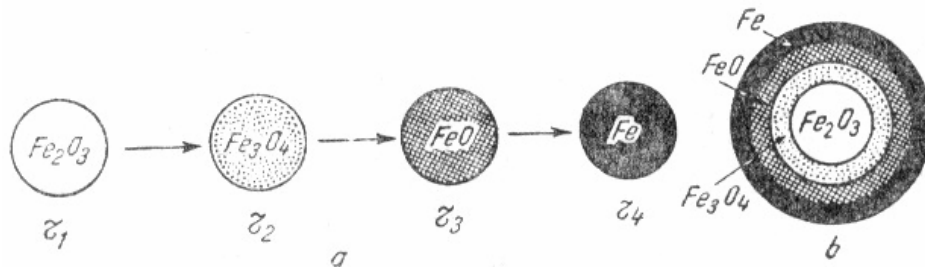


Fig.7.4. Reducerea în succesiune temporală (a) și spațială (zonală) a hematitei (b), [20]

De menționat că succesiunile reale a proceselor de reducere a oxizilor pot fi determinate cu ajutorul diagramelor de echilibru Me -O.

Studiul mineralogic al bucăților de minereu parțial reduse arată că fiecare oxid stabil în condițiile date își creează zona sa concentrică, situată în vecinătatea zonelor oxizilor vecini în șirul stabilității. Astfel, în centrul bucăților de minereu de fier parțial reduse la temperaturi mai înalte de 570°C se găsește zona oxidului Fe_2O_3 , învelită, înconjurată de zona oxidului Fe_3O_4 , care la rândul ei are în exterior zona oxidului FeO ; stratul superficial este reprezentat de zona fierului metalic rezultat din procesele de reducere (figura 7.4.b). Pe măsură ce procesul de reducere avansează, zonele cu oxid se retrag din ce în ce mai mult spre interior spre centrul bucății de minereu, după care dispar în succesiunea care s-a desfășurat întregul proces [18].

Germenii fazei cristaline noi apar în centrul activi existenți pe suprafața bucății de minereu sub forma diferitelor defecte sau nesimetrii ale rețelei vechi. Germenul fazei noi este tridimensional în cazul când rețeaua cristalină a acesteia este mult diferită ca dimensiune și orientare de rețeaua cristalină a fazei vechi., formarea lui având loc cu consumuri mari de energie. În cazul în care între rețelele

cristaline ale fazei vechi și noi există concordanță dimensională și de orientare, germele fazei noi este bidimensional, și ca urmare faza nouă germinează pe suprafața celei vechi cu consum energetic mai mic decât în cazul anterior [7, 18, 20].

În cazul oxizilor de fier există o bună concordanță dimensională și de orientare între rețelele cristaline, toate acestea fiind cubice, cu excepția rețelei Fe_2O_3 – α care este romboedrică. Ca urmare aceasta explică necesitatea apariției peliculei intermediare de Fe_2O_3 – γ , cât și ușurința celorlalte transformări cristaline Fe_2O_3 – $\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

Viteza procesului de reducere este determinată de **mărimea suprafeței interfaciale**, de viteza proceselor de difuziune (caracterizată prin coeficientul de difuziune D , a gazului reducător și de **grosimea echivalentă a stratului prin care are loc difuzia, x**), precum și de viteza de transformare cristalochimică propriu-zisă (caracterizată prin constanta vitezei de reacție, k). În funcție de raportul între valorile k și D/x , procesul de reducere se desfășoară în regim cinetic $k \ll (D/x)$, în regim de difuziune, sau în regim intermediar $k \approx (D/x)$ [18].

Din datele prezentate în literatura de specialitate [7, 18, 20] rezultă că în regim intermediar, variația vitezei de reducere și a vitezei de înaintare a suprafeței de reacție în funcție de presiunile reducătorului și a oxidului său, de coeficientul lor de difuziune, de forma și dimensiunile bucăților de minereu este mult mai complexă decât în regim cinetic sau în cel de difuziune. Pe baza cercetărilor experimentale [7, 18, 20] s-a putut stabili influența principalilor factori asupra vitezei de reducere, și anume:

- creșterea dimensiunilor bucăților de minereu deplasează procesul de reducere în regim de difuzie, iar micșorarea acestora deplasează procesul în regim cinetic;
- cu cât porozitatea bucăților este mai mare cu atât reductibilitatea este mai bună;
- reductibilitatea minereurilor crește de asemenea cu capacitatea lor de a absorbi reducătorul gazos și de a reacționa cu acesta;
- creșterea temperaturii, ca și creșterea concentrației de reducător în faza gazoasă, determină mărirea apreciabilă a vitezei de reducere;
- viteza procesului de reducere crește și cu viteza curentului de gaze reducătoare, deoarece aceasta determină reducerea grosimii stratului laminar de gaze în jurul bucăților de minereu, ceea ce ușurează difuzia reducătorului spre suprafața oxidului.

În lucrările experimentale se determină de cele mai multe (prin analiză chimică) gradul de reducere în procente (g), acesta fiind egal cu raportul dintre conținutul metalului redus și conținutul lui total [20].

$$\eta_r = \frac{\%Me_{redus}}{\%Me_{total}} 100 \quad [\%] \quad (7.1.)$$

Evident gradul de reducere a minereului calculat astfel, crește cu timpul, ajungând teoretic la 100%, dar pentru aceasta este nevoie de un timp îndelungat $/z/$, ceea ce nu se justifică din punct de vedere economic.

De exemplu la producerea buretelui de fier prin reducerea cu reducători gazoși, gradul de reducere calculat cu relația (7.1.) este de 94 – 96% [7, 18].

$$\eta_r = \frac{G_0 - G_\tau}{G_{O_2}} = \frac{\Delta G_{O_2}}{G_{O_2}} 100 \quad [\%] \quad (7.2)$$

unde: G_0 - greutatea inițială a probei de minereu;
 G_τ - greutatea probei la un moment dat;
 G_{O_2} - cantitatea de oxigen în proba neredusă.

7.2. Experimentări și rezultate obținute în fază de laborator, privind reducerea brichetelor cu suprafață de reacție mărită

7.2.1. Experimentări în fază de laborator

Din prezentările anterioare rezultă că procesul de reducere, respectiv viteza de reducere (g Me/min. – de la oxid la metal, sau g MeO/min. – de la oxid superior la oxid inferior) este determinată și de suprafața frontului de reacție, mai precis de suprafața specifică cm^2 suprafață / cm^3 volum material supus reducerii și de viteza de înaintare a acesteia spre interiorul materialului supus reducerii.

Cercetările au urmărit determinarea gradului de reducere pentru fier (Fe) după relația (7.1), pentru brichete cu caracteristici dimensionale diferite, dar de aceeași componență, deci produse după aceeași rețetă. Brichetele sunt de formă:

- cilindrică compactă figura 4.2 (produse în variantele $H = D = 70\text{mm}$, $D < H = 85\text{mm}$ și $D > H = 55$; H și D înălțimea și diametrul brichetelor),
- cilindrică în interiorul lor fiind prevăzute diferite cavități, astfel: brichetă tubulară, multicavă și tubulară cu cavități (figura 4.2A -4.7.A).

În figura 7.1. se prezintă dezvoltarea unei reacții topochimice pentru brichete compacte și în figura 7.5. pentru cele cu cavități.

Brichetele de forma menționată mai sus, produse din diferite deșeură feroase, baza fiind praful de aglomerare-furnale și de oțelărie, liantul bentonita și varul, și agentul reducător solid carbonul din grafit și praful de furnal, sunt prezentate în figura 7.2.A.

Pentru reducere s-au utilizat cuptoare de încălzire cu rezistență electrică, temperatură de încălzire de până la 1200°C - **cuptor Nabertherm model L15/12/B180, respectiv până la 1750°C - Nabertherm model LHT 02/17** (Anexa figurile 6.35.A și 6.36.A).

Pentru a menține în cuptor o atmosferă reducătoare, cu reducător gazos oxid de carbon rezultat din arderea incompletă carbonului, între probele introduse în cuptor am introdus și un număr de patru creuzete de grafit încărcate cu cocs mărunț (dimensiuni creuzet - diametru 60mm și înălțimea de 80mm).

Suplimentar s-au mai introdus încă două creuzete de grafit încărcate cu cocs mărunț (GRAFIT +K) și două brichete pentru a asigura o încălzire uniformă pentru restul brichetelor (au fost introduse în fața interioară a ușii și nu au fost considerate ca brichete experimentale).

În acest mod s-a căutat să fie realizată în cuptor o atmosferă apropiată de cea din agregatele de reducere din practica curentă. Pentru efectuarea experimentărilor au fost produse brichete după rețetele din tabelul 7.1, și a căror compoziție chimică se prezintă în tabelul 7.2.

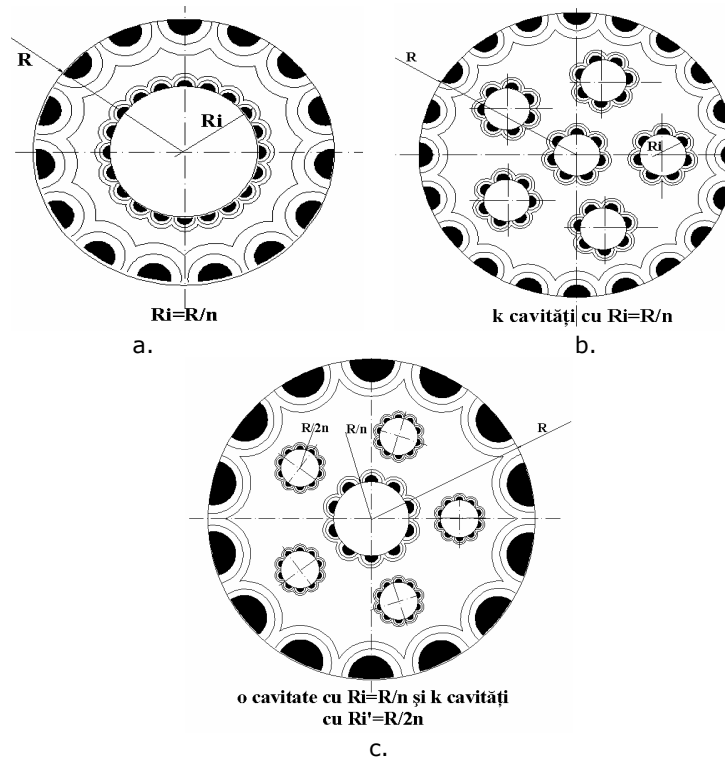


Fig. 7.5. Schema dezvoltării unei reacții topochimice: a-brichetă tubulară; b-brichetă multicavă; c-brichetă tubulară cu cavități

Tabelul 7.1. Componenta brichetelor supuse proceselor de reducere

Nr. crt.	Component, %		Nr.rețetă / component		
			I	II	III
1.	Praf aglomerare – furnal		30	15	20
2.	Praf de oțelărie	OSM II Hunedoara	20	-	-
		OE II Hunedoara	20	65	-
		Oțelărie Reșița	-	-	20
		Oțelărie Oțelul Roșu	-	-	20
3.	Țunder		-	-	5
4.	Șlam țunder		8	5	-
5.	Nămol roșu		2	-	5
6.	Concentrat sideritic Teliuc		-	-	5
7.	Concentrat cenuși termocentrală		-	-	5
8.	Zgură oțelărie Fr-Fe (fracția feroasă)		-	-	5
9.	Praf grafit		10	3	5
10.	Bentonită		7	7	7
11.	Var		3	5	3
TOTAL			100	100	100

Tabelul 7.2. Compoziția chimică brichetelor supuse proceselor de reducere

Nr. rețetă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]										
	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	alți oxizi
I	7,567	4,937	52,599	0,129	0,489	15,617	3,689	7,881	1,08	1,724	4,046
II	8,309	3,956	55,323	0,148	0,355	9,567	3,292	7,589	0,878	2,097	8,488
III	6,742	2,35	66,546	0,21	0,15	7,78	2,005	6,004	0,538	3,126	4,55

Numărul de brichete produse și supuse experimentărilor, în funcție de tipul acestora, precum și de rețeta utilizată se prezintă în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3. Numărul de brichete produse și experimentate în funcție de tipul acestora și de rețetă utilizat

Nr. crt.	Tip de brichetă	Caracteristici dimensionale	Nr. rețetă/nr. de brichete			Total
			I	II	III	
1	Compactă	H = D	4	3	3	10
2	Compactă	H > D	4	-	-	4
3	Compactă	H < D	4	-	-	4
4	Tubulară	r = R/3	4	3	3	10
5	Multicavă	r = R/p	4	3	3	10
6	Tubulară multicavă	r = R/q; r = R/2q	4	3	3	10
7	TOTAL		24	12	12	48

Tabelul 7.4. Simbolizarea brichetelor (Rețeta I - tip : 1; 2; 3.) în funcție de timpul de menținere

Nr. crt.	Brichete tip: (conform tabelului 7.3.)			Total	Timpul de menținere, min
	(1); H= D	(2); H< D	(3); H>D		
1	I.1/A	I.2 / A	I. 3 / A	3	A - 30
2	I.1/B	I.2 / B	I. 3 / B	3	B - 60
3	I.1/C	I.2 / C	I. 3 / C	3	C - 90
4	I.1/D	I.2 / D	I. 3 / D	3	D - 120
Total	4	4	4	12	-

Simbolizarea brichetelor în funcție de rețeta de fabricație, tipul dimensional și durata de menținere la temperatura la temperatura $T = 1150^{\circ}\text{C}$, se prezintă în tabelele 7.4. - 7.7.

Tabelul 7.5. Simbolizarea brichetelor (Rețeta I - tip 4; 5; 3.) în funcție de timpul de menținere

Nr. crt.	Brichete tip: (conform tabelului 7.3.)			Total	Timpul de menținere, min
	(4); Tubulară	(5); Multicavă	(6); Tubulară cu cavități		
1	I.4/A	I.5 / A	I. 6 / A	3	A - 30
2	I.4/B	I.5 / B	I. 6 / B	3	B - 60
3	I.4/C	I.5 / C	I. 6 / C	3	C - 90
4	I.4/D	I.5 / D	I. 6 / D	3	D - 120
Total	4	4	4	12	-

Tabelul 7.6. Simbolizarea brichetelor (Rețeta II - tip : 1; 4; 5; 6.) în funcție de timpul de menținere

Nr. crt.	Brichete tip: (conform tabelului 7.3.)				Total brichete	Timpul de menținere, min
	1); H = D	(4); Tubulară	(5); Multicavă	(6); Tubulară cu cavități		
1	II.1 / E	II.4 / E	II.5 / E	II.6 / E	4	E - 40
2	II.1 / F	II.4 / F	II.5 / F	II.6 / F	4	F - 80
3	II.1 / G	II.4 / G	II.5 / G	II.6 / G	4	G - 120
Total	3	3	3	3	12	-

Tabelul 7.7. Simbolizarea brichetelor (Rețeta III - tip 1; 4; 5; 6.) în funcție de timpul de menținere

Nr. crt.	Brichete tip: (conform tabelului 7.3.)				Total brichete	Timpul de menținere, min
	1); H = D	(4); Tubulară	(5); Multicavă	(6); Tubulară cu cavități		
1	III.1 / E	III.4 / E	III.5 / E	III.6 / E	4	E - 40
2	III.1 / F	III.4 / F	III.5 / F	III.6 / F	4	F - 80
3	III.1 / G	III.4 / G	III.5 / G	III.6 / G	4	G - 120
Total	3	3	3	3	12	-

Distribuția brichetelor în cuptor este prezentată în tabelele 7.8; 7.9; 7.10 și 7.11.

Tabelul 7.8. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta 1 (tip 1; 2; 3.)

Y-GRAFIT+K	X-I.1/C	Y-GRAFIT+K	X-I.1/A	ZP	UȘA
X-I.2 / D	X-I.2 /C	X-I.2 / B	X-I.2 /A	Y-GRAFIT+K	
X-I.3 / D	X-I.3 /C	X-I.3 / B	X-I.3 /A	Y-GRAFIT+K	
Y-GRAFIT+K	X-I.1 / D	Y-GRAFIT+K	X-I.1 / B	ZP	

Tabelul 7.9. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta 1 (tip 4; 5; 6.)

Y-GRAFIT+K	X-I.4/C	Y-GRAFIT+K	X-I.4/A	ZP	UȘA
X-I.5 / D	X-I.5 /C	X-I.5 / B	X-I.5 /A	Y-GRAFIT+K	
X-I.6 / D	X-I.6 /C	X-I.6 / B	X-I.6 /A	Y-GRAFIT+K	
Y-GRAFIT+K	X-I.4 / D	Y-GRAFIT+K	X-I.4 / B	ZP	

Cuptorul a fost încălzit până la temperatura de 700°C, după care s-au introdus brichetele (tabelul 7.8), conform datelor prezentate în tabelele de mai sus. S-a continuat încălzirea cuptorului cu o viteză de încălzire de 250°C/h, și evident a brichetelor până la temperatura de 1150°C, și s-a menținut la această temperatură 30 min, după care brichetele (cu simbolul I/A) au fost scoase din cuptor și răcite în atmosferă de argon până la temperatura ambiantă.

După o menținere de încă 30 de minute, s-a scos al doilea lot de brichete (I/B), procedând în continuare similar ca la primul lot. După o menținere în continuare un timp de 30 min se scoate lotul 3 (I/C) și după încă 30 min lotul 4 (I/D-ultimul lot). Pentru toate brichetele răcirea s-a efectuat în atmosferă de argon.

Modul de lucru aplicat pentru brichetele produse după rețeta I (- tip 1, 2 și 3) s-a aplicat și pentru brichetele (tabelul 7.9.) produse rețeta I (- tip: 4; 5 și 6)

Același mod de lucru s-a aplicat și pentru brichetele produse după rețetele II și III, cu observația că pentru ambele timpuri de menținere au fost de 40 min., 80 min. și 120 min.

Primul lot de brichete II/E, respectiv III/E au fost scoase din cuptor după 40 min, al doilea lot II/F, respectiv III/F după 80 de min. iar al treilea lot II/G, respectiv III/G după 120 min. (distribuția brichetelor în cuptor se prezintă în tabelele 7.10. și 7.11)

De asemenea răcirea s-a făcut ca și la brichetele produse după rețeta I.

Tabelul 7.10. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta II (tip 1; 4; 5; 6.)

					UȘA
Y-GRAFIT+K	X - II.1/G	YGRAFIT+K	X - II.1/E	ZP	
X-II.5 / G	X-II.5 / F	X-II.1 / F	X- II.4 /E	Y-GRAFIT+K	
X-II.6 / G	X-II.6 / F	X-II.4 / F	X- II.5 /E	Y-GRAFIT+K	
Y-GRAFIT+K	X-II.4 / G	YGRAFIT+K	X- II. 6 /E	ZP	

Tabelul 7.11. Distribuția brichetelor în cuptor Rețeta III (tip 1; 4; 5; 6.)

					UȘA
Y-GRAFIT+K	X - III.1/G	Y-GRAFIT+K	X - III.1/E	ZP	
X-III.5 / G	X-III.5 / F	X-III.1 / F	X- III.4 /E	Y-GRAFIT+K	
X-III.6 / G	X-III.6 / F	X-III.4 / F	X- III.5 /E	Y-GRAFIT+K	
Y-GRAFIT+K	X-III.4/ G	Y-GRAFIT+K	X-III. 6 /E	ZP	

7.2.2. Rezultate obținute

Pentru toate brichetele reduse s-a determinat gradul de metalizare, rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 7.12.

Tabelul 7.12. Gradul de metalizare a brichetelor supuse reducerii

Nr. Crt.	Simbol brichetă	Tip brichetă	Durata menținerii, min.	Gradul de metalizare G_M
0	1	2	3	4
REȚETA I				
1	I.1/A	Compactă; H=D	30	19,06
2	I.2/A	Compactă; H< D	30	21,12
3	I.3/A	Compactă; H>D	30	22,96
4	I.1/B	Compactă; H=D	60	39,03
5	I.2/B	Compactă; H< D	60	42,16
6	I.3/B	Compactă; H>D	60	43,93
7	I.1/C	Compactă; H=D	90	63,88
8	I.2/C	Compactă; H< D	90	66,11
9	I.3/C	Compactă; H>D	90	69,05
10.	I.1/D	Compactă; H=D	120	78,87
11	I.2/D	Compactă; H< D	120	86,07
12	I.3/D	Compactă; H>D	120	87,13
13	I.4/A	Tubulară	30	32,02

Tabelul 7.12. (Continuare)

0	1	2	3	4
14	I.5/A	Multicavă	30	34,91
15	I.6/A	Tubulară cu cavități	30	40,92
16	I.4/B	Tubulară	60	54,17
17	I.5/B	Multicavă	60	58,87
18	I.6/B	Tubulară cu cavități	60	64,11
19	I.4/C	Tubulară	90	82,51
20	I.5/C	Multicavă	90	85,98
21	I.6/C	Tubulară cu cavități	90	89,09
22	I.4/D	Tubulară	120	89,51
23	I.5/D	Multicavă	120	91,16
24	I.6/D	Tubulară cu cavități	120	94,11
REȚETA II				
25	II.1/E	Compactă; H=D	40	20
26	II.4/E	Tubulară	40	22
27	II.5/E	Multicavă	40	26
28	II.6/E	Tubulară cu cavități	40	30
29	II.1/F	Compactă; H=D	80	40
30	II.4/F	Tubulară	80	45
31	II.5/F	Multicavă	80	50
32	II.6/F	Tubulară cu cavități	80	55
33	II.1/G	Compactă; H=D	120	62
34	II.4/G	Tubulară	120	68
35	II.5/G	Multicavă	120	71
36	II.6/G	Tubulară cu cavități	120	75
REȚETA III				
37	III.1/E	Compactă; H=D	40	19
38	III.4/E	Tubulară	40	25
39	III.5/E	Multicavă	40	30
40	III.6/E	Tubulară cu cavități	40	35
41	III.1/F	Compactă; H=D	80	45
42	III.4/F	Tubulară	80	48
43	III.5/F	Multicavă	80	53
44	III.6/F	Tubulară cu cavități	80	55
45	III.1/G	Compactă; H=D	120	58
46	III.4/G	Tubulară	120	63
47	III.5/G	Multicavă	120	66
48	III.6/G	Tubulară cu cavități	120	70

Datele obținute pe baza experimentărilor și analizelor de laborator au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL pentru a determina ecuații de corelație referitoare la variația gradului de metalizare în funcție de timp.

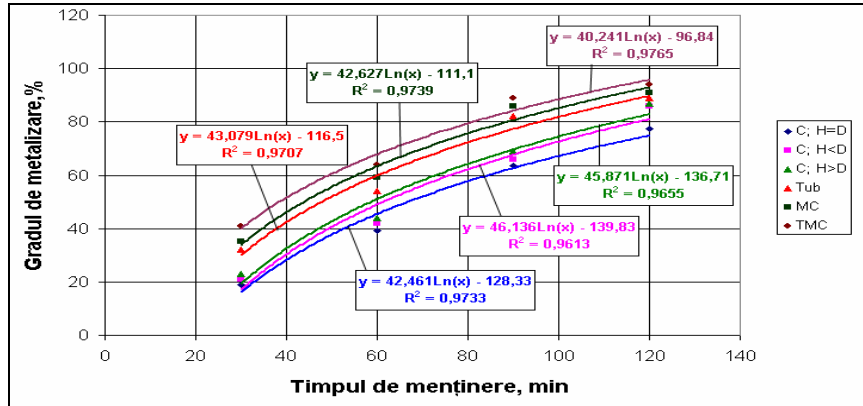


Fig. 7.6. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T =1150°C -brichete produse după rețeta I , corelații exprimate prin funcție logaritmică)

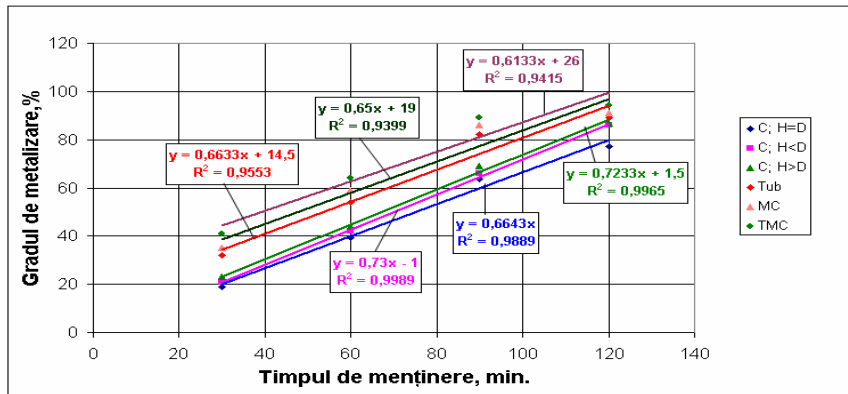


Fig. 7.7. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T =1150°C -brichete produse după rețeta I, corelații exprimate prin funcție liniară)

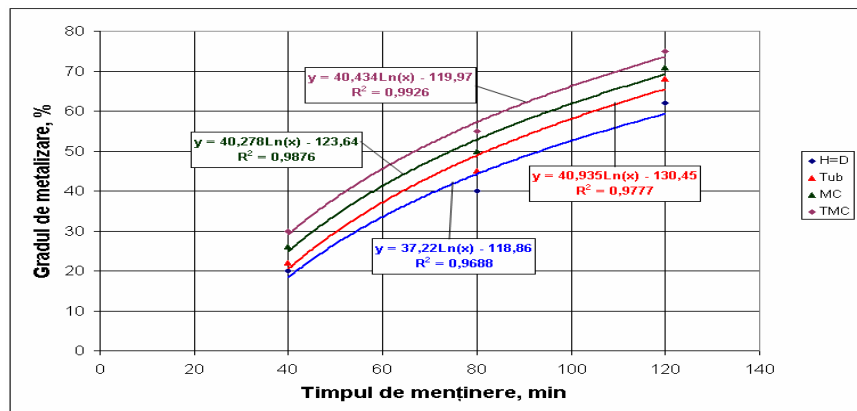


Fig. 7.8. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T =1150°C -brichete produse după rețeta II , corelații exprimate prin funcție logaritmică)

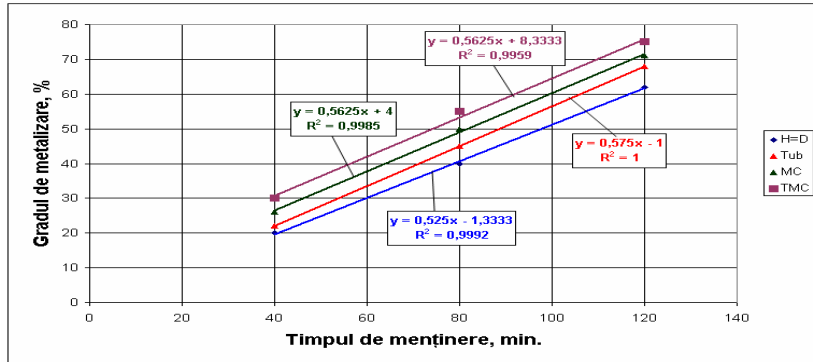


Fig. 7.9. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T = 1150°C -brichete produse după rețeta II , corelații exprimate prin funcție liniară)

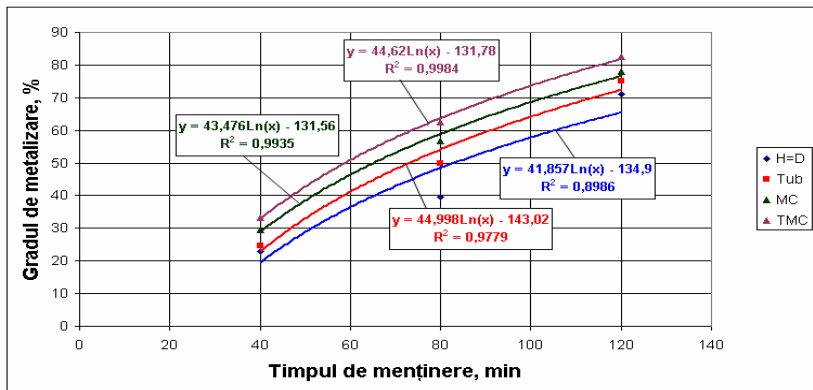


Fig. 7.10. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T = 1150°C -brichete produse după rețeta III, corelații exprimate prin funcție logaritmică)

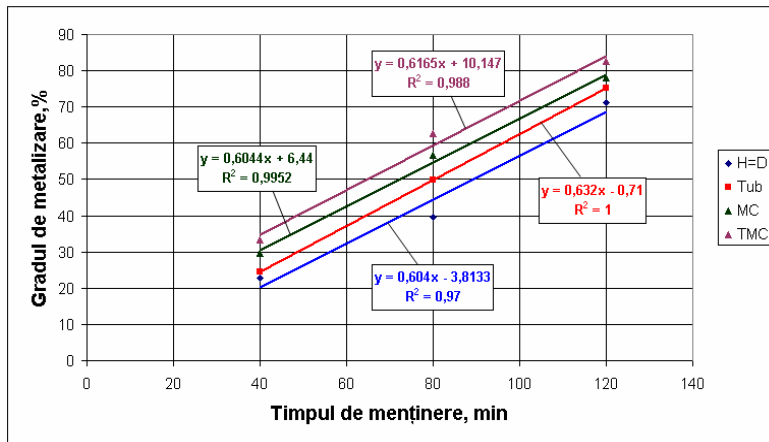


Fig. 7.11. Variația gradului de metalizare în funcție de timp (T = 1150°C -brichete produse după rețeta III , corelații exprimate prin funcție liniară)

7.2.3. Analiza tehnologică a rezultatelor

Din analiza tehnologică a rezultatelor obținute, mai precis a evaluării gradului de metalizare în funcție de caracteristicile dimensionale a brichetelor și rețetelor utilizate s-a constatat următoarele:

- creșterea timpului de menținere la temperatură constantă în atmosferă reducătoare determină creșterea gradului de metalizare
- indiferent de rețetele utilizate cele mai bune valori pentru gradul de metalizare, se obțin în cazul brichetelor tubulare cu cavități, urmate de cele multicave și tubulare; cele mai mici valori se obțin pentru brichetele compacte la care $H = D$;
- se constată o bună concordanță între gradul de metalizare și suprafața specifică de reacție (cele mai mari valori se obțin la brichetele tubulare cu cavități, și cele mai mici la brichetele compacte la care $H = D$);
- corelațiile exprimate prin funcție logaritmică reprezintă foarte bine tendința de evoluție a gradului de metalizare în timp, mai precis stabilirea timpului necesar pentru a se atinge valori foarte apropiate de 100%;
- corelațiile exprimate prin funcții liniare (polinomială de gradul I) reprezintă foarte bine ca și în cazul exprimării prin funcție logaritmică legătura între parametrii analizați, mai puțin tendința spre valori apropiate de 100%;
- în cazul rețetei I se obțin cele mai bune valori pentru gradul de metalizare, fapt explicabil pe de o parte prin conținutul de carbon din compoziția chimică, și pe de altă parte prin granulometria materialului din rețetă (tabelele 5.21 și 5.23);
- în cazul rețetei nr. II valorile gradului de metalizare sunt mai mici decât cele obținute la rețetele I și III, chiar dacă materialul foarte fin (praf de oțelărie) este în proporție de 65%, dar conținutul de C este de numai 6% (praf de furnal și praf de grafit);
- gradul de metalizare pentru brichetele produse după rețeta III a fost mai mic decât cele pentru rețetele I, fapt explicabil prin conținutul de C mai mic, dar mai mare decât în cazul rețetei II;
- rezultatele obținute la rețeta III permit utilizarea în componența brichetelor și a materialelor cu granulație mai mare decât a materialelor pulverulente, dar sub 2mm (de exemplu zgura de oțelărie – fracția feroasă)

7.3. Reducerea brichetelor în condiții de temperatură variabilă și topirea brichetelor reduse

În cadrul acestor experimentări, am efectuat reducerea brichetelor pe un interval de temperatură de 500 -1300°C, pe o durată de 22 de minute (durată medie). Am încercat ca aceste experimentări, să se desfășoare într-un cadru apropiat în mod deosebit de cel din cuva Hamborn, și într-o anumită măsură și de cel din procedeul FASMET

7.3.1. Producerea și reducerea brichetelor autoreducătoare

Brichetele au fost produse după rețeta I modificată (tabelul 7.13. prezintă componența și tabelul 7.14 compoziția chimică), în sensul că s-a redus adaosul de bentonită de la 7% la 4%, de var de la 3% la 2,5% și a crescut cel de praf de grafit

la 10% la 13,5%, pentru a avea siguranță mai mare privind reducerea fierului prin intermediul carbonului, respectiv de a obține un grad de metalizare de minim 90%.

Referitor la sortimentele feroase care au intrat în componența rețetelor, acestea au fost selecționate astfel încât să aibă cel mai mare conținut de fier (de exemplu pentru praful de oțelărie electrică s-a ales lotul 1, tabelul 5.6, la fel am procedat și pentru celelalte sortimente de deșeuri feroase).

Tabelul 7.13. Componența brichetelor

Nr. Rețetă	Praf			Țunder	Nămol roșu	Praf grafit	Bentonită	Var	Total
	Furnal	OSM II	OE2						
I-modif.	30	20	20	8	2	13,5	4	2,5	100

Tabelul 7.14. Compoziția chimică brichetelor supuse proceselor de reducere

Nr. Rețetă	Compoziția chimică a rețetelor, [%]										
	FeO	Fe ₂ O ₃	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P ₂ O ₅	alți oxizi
I-modif.	10,402	52,951	19,09	6,421	2,432	5,81	0,58	1,224	0,489	0,129	1,026

Pentru încălzire am utilizat 2 cuptoare cu rezistență pentru a reduce în o anumită perioadă de timp mai multe brichete, pe de o parte, iar pe de altă parte de a asigura încărcarea cuptorului de topire cu brichete calde (proaspăt reduse) În primul cuptor (se poate încălzi până la temperatura de max. 1200°C) a avut loc încălzirea de la temperatura de 650 °C la 1050 °C și în al doilea cuptor de la 1050 °C la 1300 °C (se poate încălzi până la temperatura de max. 1700°C). După o încălzire până la 1050°C timp de 15-16min., brichetele sunt scoase și introduse în al doilea cuptor unde se continuă încălzirea timp de 6-7 min. până la temperatura de 1250 - 1300°C.

În primul cuptor pot fi încălzite concomitent 24 de brichete și în cel de al doilea 4 brichete. Durata acestor operații având în vedere și timpi de introducere și scoatere a brichetelor (inclusiv transferul dintr-un cuptor în altul pentru 40 de brichete a fost de 115 min., inclusiv în cuptorul Tamman. Prin sondaj s-a determinat gradul de metalizare pentru un număr de 4 brichete media acestuia fiind de 93,48%, acesta fiind luat în considerare pentru calculele tehnologice ulterioare.

7.3.2. Topirea brichetelor reduse în cuptorul Tamman

Brichetele în stare caldă au fost introduse în cuptorul Tamman în vederea topirii. Creuzetul cuptorului Tamman are o capacitate de 3kg fontă, astfel încât având în vedere conținutul de fier din brichete și greutatea specifică a acestora în creuzet au fost încărcate pe măsura topirii 2,75kg brichete. Pentru a obține o zgură cu raport de bazicitate $I_B = \text{CaO/SiO}_2 = 1,15-1,30$ am făcut un adaos de var de 30 - 40g.

Deoarece topirea a avut loc în creuzet de grafit, procesul de carburare (cu carbon din grafit) conduce la o uzură avansată a acestuia am efectuat și un adaos de cocs în creuzet de 40g/șarjă.

În cadrul experimentărilor efectuate s-au elaborat un număr de 3 șarje, în tabelele 7.15 și 7.16 se prezintă compoziția chimică a fontei obținute și a zgurei.

Durata topirii unei șarje este de 30 -35 de min. la terminarea acesteia se toarnă topitura metalică (fonta) și zgura în forme de grafit. S-a determinat greutatea fontei și a zgurii, scoaterea de metal fiind prezentată în tabelul 7.15.

Tabelul 7.15. Compoziția chimică a fontei

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %						Scoaterea, %
	C	Mn	Si	P	S	Fe	
1	3,68	0,78	0,67	0,14	0,06	93,77	49,13
2	3,95	0,88	0,79	0,16	0,05	94,17	48,41
3	3,84	0,92	0,72	0,16	0,05	94,31	48,09

Tabelul 7.16. Compoziția chimică a zgurii

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %							CaO/SiO ₂
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	S	
1	43,21	36,74	8,42	5,82	0,97	0,81	1,81	1,18
2	42,98	35,84	9,10	6,12	0,87	0,75	1,56	1,20
3	44,34	36,05	9,56	8,05	0,91	0,96	1,83	1,23

Din datele prezentate mai sus, rezultă că prin topirea brichetelor reduse în cuptoare în care sunt create condiții pentru dizolvarea carbonului se poate obține fontă.

Zgura rezultată din topirea sterilului din brichete și adaosul de var, corespunde din punct de vedere al compoziției chimice zgurii bazice de furnal.

Ca urmare se poate considera că și în cazul procesării brichetelor în cuva Hamborn, acestea vor fi supuse în principiu aceluiași proces fizico-chimic.

7.3.3. Topirea brichetelor în cuptorul cu inducție

În acest caz experimentările s-au efectuat la un cuptor cu inducție de capacitate 10 kg (fontă/oțel), cu volumul băii metalice de 1,45 dm³ (s-a luat în considerare pentru topitura metalică greutatea specifică egală cu 6,9 kg/dm³ și pentru zgura lichidă de 3 kg/dm³). În cadrul cercetărilor s-a considerat că fonta lichidă ocupă cca. 60% din volumul creuzetului, diferența revenind zgurei rezultată din reducerea și topirea brichetelor.

Au fost elaborate un număr de 4 șarje, în toate cazurile încărcătura metalică a avut 2 componente metalice (tabelul 7.17) și anume: 5 kg fontă solidă (probe de la analiza chimică de laborator) + (2,46 - 3,0) kg brichete + 0,130 kg var (pentru a asigura o bazicitate CaO/SiO₂ ≥ 1,15) + 0,100 kg fluorura de calciu (pentru a crește fluiditatea zgurii).

Tabelul 7.17. Componenta încărcăturii cuptorului electric cu inducție

Nr. șarjă	Componenta șarjei, kg				Total, kg	Tip brichetă
	fontă	brichete	Var	Fluorină		
1	5	3,5	0,13	0,10	8,73	Reduse rețeta I modificată tab. 7.13.
2	5	3,0	0,15	0,12	8,27	Nereduse rețeta I modificată tab. 7.13
3	5	3,5	0,13	0,10	8,73	Reduse rețeta I tab. 7.1.
4	5	3,5	0,15	0,10	8,75	Reduse rețeta III tabelul 7.1.

După cum am menționat mai sus, la fiecare șarjă s-a încărcat în cuptor o parte din fontă solidă, după care s-a cuplat cuptorul, și pe măsura topirii s-a introdus toată cantitatea de fontă. Încărcătura fiind curată, practic cantitatea de zgură rezultată este nesemnificativă (după terminarea topirii fontei în medie s-au extras 215 g de zgură). Când s-a apreciat că topirea este terminată, a fost măsurată temperatura și s-a prelevat probă din topitura metalică pentru determinarea compoziției chimice (tabelul 7.18.). După o încălzire de 5 min., s-a continuat încărcarea brichetelor, asigurându-se astfel o continuitate a adaosului. Concomitent cu adaosul brichetelor s-au făcut adaosurile de var și fluorină pentru corecția compoziției chimice a zgurii.

Tabelul 7.18. Compoziția chimică a fontei

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
1	4,03	0,96	0,77	0,14	0,06	94,04
2	3,95	0,84	0,79	0,16	0,08	94,18
3	3,92	0,86	0,82	0,16	0,07	94,17
4	4,05	0,97	0,74	0,14	0,08	94,02

Menționez că toate materialele înainte de încărcarea în cuptor au fost cântărite. După terminarea topirii întregii încărcături s-a menținut topitura în cuptor 5 minute pentru omogenizare termică și pentru fluidificarea zgurii, după care atât topitura metalică cât și zgura se toarnă "cochile" de grafit, iar după răcire au fost cântărite împreună cu zgura extrasă, în vederea efectuării bilanțului de materiale.

De asemenea pentru determinarea gradului de recuperare a fierului am determinat compoziția chimică a fontei și zgurii pentru determinarea gradului de asimilare a fierului

Pe durata adaosului am constatat următoarele:

Șarjă nr.1

- adaosul de brichete de formă tubulară, cu un grad de metalizare de 93,48% a fost în cantitate de 2,46 Kg brichete, adăugate pe măsura topirii,
- forma tubulară și porozitatea brichetelor metalizate a favorizat topirea acestora în timp relativ scurt 9 min.

Șarjă nr.2

- adaosul de brichete de formă tubulară, autoreducătoare dar nesupuse inițial procesului de reducere a fost în cantitate de 3,00 kg, adăugate pe măsura topirii,
- forma tubulară a brichetelor a permis încălzirea rapidă a acestora, ceea ce asigură dezvoltarea intensă a reacțiilor de reducere cu carbon, dovadă fiind flăcările degajate la suprafața băii metalice, formate ca urmare a arderii oxidului de carbon rezultat din reacțiile de reducere.
- durata topirii brichetelor a fost de 13 min.

Șarjă nr.3

- adaosul de brichete cu cavități, produse după rețeta 1, cu grad de metalizare cuprins în limitele 54% la max. 94%, a fost în cantitate de 2,57kg;
- la fel ca în cazurile anterioare, cavitățile existente în brichete (tubulare, multicave și tubulare cu cavități) au favorizat topirea acestora în timp 12 min;
- deoarece gradul de reducere a variat în limite mari, au variat și degajările de oxid de carbon ca urmare a reducerii oxizilor de fier din brichete cu

carbon (brichetele) pentru a asigura un timp mai mare pentru reducere s-au introdus brichetele în ordinea creșterii gradului de reducere;

Șarjă nr.4

- la aceasta șarjă s-a încărcat în cuptor brichete produse după rețeta III, având gradul de metalizare cuprins în limitele de 30 – 70%, în cantitate de 2,50 kg;

- comparativ cu brichetele utilizate la șarjele anterioare, brichete care au avut în componență 5 sortimente de deșeuri cu conținut de fier, toate sub formă pulverulentă, cele produse după rețeta III au în componență 8 sortimente de deșeuri cu conținut de fier, 6 sub formă pulverulentă și 2 sub formă mărunță (concentrat de fier din deșeu sideritic și fracția feroasă din zgura de oțelărie);

- brichetele ca în cazul șarjelor precedente au fost adăugate în ordinea creșterii gradului de metalizare;

- având în vedere variația gradului de reducere, practic am topit brichete prereduse ca urmare a adaosului de carbon la producerea acestora;

- pentru o reducere mai avansată a brichetelor în cursul topirii (a oxizilor de fier), pe durata adaosului s-a introdus pe baia metalică ferosiliciu și grafit sub formă de praf în cantitate de 200g (50+150);

- am efectuat un amestec al zgurii și amestecului reducător cu baia de fontă pentru a crește temperatura zgurei și a intensifica procesul de reducere.

În continuare se prezintă bilanțul încărcăturii și rezultatele analizelor de laborator, referitoare la probele finale de fontă și zgură, precum și a calculelor tehnologice.

Tabelul 7.19. Bilanțul încărcăturii

Nr. crt.	Încăcătura, kg				Topituri, kg					Gaze praf kg	
	Fontă	Brichete	¹⁾ Adaos I	²⁾ Adaos II	Total	Fontă I	Zgură I	Fontă II	Zgură II		³⁾ Tot. topit.
1	5,0	2,46	0,230	-	7,69	4,786	0,214	5,791	1,57	7,575	0,12
2	5,0	3,0	0,230	-	8,23	4,797	0,203	5,707	1,31	7,22	0,41
3	5,0	2,57	0,230	-	7,80	4,765	0,235	5,71	1,71	7,66	0,14
4	5,0	2,50	0,230	0,200	7,93	4,790	0,210	5,84	1,69	7,74	0,19

1)var + fluorină; 2)ferosiliciu și grafit praf; 3) fontă+zgura I + zgura II.

Tabelul 7.20. Compoziția chimică a fontei

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
1	3,27	0,71	0,66	0,12	0,05	95,29
2	2,65	0,42	0,54	0,13	0,08	96,18
3	3,12	0,61	0,63	0,13	0,06	95,45
4	2,86	0,76	0,59	0,12	0,07	95,60

Tabelul 7.21. Compoziția chimică a zgurii

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %							CaO/SiO ₂
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	S	
1	41,01	34,24	8,42	5,82	0,97	0,81	1,81	1,19
2	31,18	25,04	8,10	6,12	27,17	0,75	1,56	1,25
3	40,34	32,05	9,56	7,05	8,91	0,96	1,83	1,23
4	36,81	31,42	9,83	8,16	6,36	0,84	1,21	1,17

Tabelul 7.22. Bilanțul fierului

Nr. șarjă	Fier, kg					$\eta_{rec.Fe}$ %
	¹⁾ Fe. F. I.	²⁾ Fe. F. II.	Fe. F.I. – Fe.F.II	Fe.Brichete	Fe.zgură	
1	4,5	5,518	1,018	1,104	0,086	92,21
2	4,518	5,489	0,971	1,346	0,375	72,13
3	4,487	5,45	0,963	1,153	0,190	83,521
4	4,504	5,583	1,079	1,24	0,161	87,016

¹⁾.Cantitatea de fier din fontă înaintea adaosului de brichete;

²⁾.Cantitatea de fier din fontă la 5 min. după adaosul de brichete;

$$\eta_{rec.Fe} = \frac{Fe.F.II. - Fe.F.I}{Fe.Brichete} \cdot 100 \quad (7.3)$$

unde:

$\eta_{rec.Fe}$ - gradul de recuperare a fierului din brichete;

Fe. F. I.- cantitatea de fier din fontă înaintea adaosul de brichete;

Fe. F. II.- Cantitatea de fier din fontă la 5 min. după adaosului de brichete.

7.3.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la procesarea brichetelor în cuptorul Tamman și cuptorul cu inducție

Analizând din punct de vedere tehnologic rezultatele obținute s-a constatat următoarele:

- prin topirea brichetelor reduse în cuptoare în care în care sunt create condiții dizolvarea carbonului în baia metalică, se poate obține fontă;

- zgura rezultata din topirea sterilului din brichete și a adaosului de var, este fluidă, are conținut scăzut de FeO și din punct de vedere al compoziției chimice corespunde zgurii de furnal;

- la topirea brichetelor în cuptorul cu inducție în care anterior s-a format o baie de fontă, se obțin valori diferite pentru randamentul de recuperare a fierului;

- cele mai bune valori pentru randamentul de recuperare al fierului s-au obținut pentru brichetele cu grad mare de metalizare, fapt explicabil prin faptul că din topirea acestora zgura rezultată a avut putere redusă de oxidare, pe de o parte, iar pe de altă parte zgura are fluiditate redusă;

- valoarea cea mai redusă pentru gradul de recuperare a fierului s-a obținut la topirea brichetelor nesupuse inițial reducerii, situație determinată de fluiditatea redusă a zgurii, care rezultă din topirea brichetelor;

- adaosul de amestec reducător în cuptor în timpul topirii brichetelor conduce la creșterea gradului de recuperare a fierului.

7.4. Concluzii

Din cercetările efectuate în cadrul acestui capitol rezultă următoarele concluzii:

- creșterea timpului de menținere a brichetelor la temperatură constantă, în atmosferă reducătoare, determină creșterea gradului de reducere;

- referitor la gradul de metalizare cele mai bune valori se obțin la utilizarea brichetelor tubulare cu cavități, indiferent de rețeta de brichetare utilizată;

- în toate cazurile se constată o bună concordanță între gradul de metalizare, suprafața specifică de reacție și timpul de menținere în atmosferă reducătoare;
- rezultatele obținute confirmă posibilitatea utilizării în componența brichetelor a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și carbon;
- procesarea brichetelor în cuptoare de topire cu atmosferă reducătoare (cuptor Tamman) și încărcătură cu cocs permite obținerea fontei;
- procesarea brichetelor în cuptorul cu inducție asigură un grad de recuperare a fierului peste 70%, dar utilizarea acestora în cuptoare electrice cu arc, mai ales în calitate de CARBOFER ar conduce la un grad de recuperare peste 90% (s-a avut în vedere fluiditatea zgurei, mai mare decât la cuptorul cu inducție).
- având în vedere varietatea mare a deșeurilor, atât din punct de vedere al compoziției chimice cât și granulometrice, precum și deșeurile de dimensiuni peste limita celor mărunte, dar aduse la dimensiuni sub 250mm, se poate considera viabilă soluția tehnologică de procesare în cuva Hamborn.

PARTEA A-III-A

**CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE ȘI
EVIDENȚIEREA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE
PENTRU REZOLVAREA TEMEI DE DOCTORAT**

8. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

8.1. Concluzii finale

Din efectuarea studiului literaturii de specialitate și a rezultatelor experimentale privind valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier/fier și carbon, rezultă următoarele concluzii finale:

- în procesele industriale, respectiv metalurgice și în mod deosebit siderurgice, pe lângă produsul principal (fontă, oțel și feroaliaje), rezultă unul sau mai multe produse secundare, respectiv deșeuri feroase, care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie;

- din industria siderurgică rezultă următoarele deșeuri pulverulente: praf și șlam de la cocserie, praf și șlam de la aglomerare și furnale, praf și șlam de la oțelării, șlam de țunder de la laminare, șlam de la acoperiri metalice etc.;

- ca deșeuri feroase mărunte cele mai semnificative sunt: țunderul de la laminare și turnarea continuă, zgura de oțelărie - fracția feroasă, pilitură de la polizarea laminatelor etc.;

- deșeuri feroase pulverulente și mărunte rezultă (după cum s-a menționat mai sus) 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);

- pe lângă fier, ca elementul principal, unele deșeuri au și un conținut ridicat de carbon de 18 -22% (praful de furnal), precum și componenți cu caracter bazic (CaO și MgO din concentratul sideritic secundar) sau cu caracter fluidificator (Al_2O_3 din nămolul roșu), aceștia fiind utili în procesul de reciclare;

- unele deșeuri conțin și elemente dăunătoare (As - nămolul roșu, Zn, Cu, Pb - cenușile piritice) calității produselor obținute prin reciclarea deșeurilor, ca urmare trebuie luate măsuri de precauție la reciclarea acestora;

- deșeurile feroase mărunte și pulverulente existente în zona de vest a României (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;

- din punct de vedere a compoziției chimice și granulometrice deșeurile pot fi valorificate prin reciclare, alegerea tehnologiei trebuie să aibă în vedere toate caracteristicile calitative a acestora.

- alegerea procedului și tehnologiei de valorificare, trebuie să aibă în vedere atât caracteristicile deșeurilor, destinația produsului obținut și instalațiile de procesare existente în zona cu deșeuri;

- în prezent prezintă interes deosebit procedeele neconvenționale de reciclare a deșeurilor în vederea obținerii unui produs cu conținut ridicat de fier metalic;

- pe plan mondial există mai multe procedee / tehnologii de valorificare a deșeurilor, o parte din acestea fiind analizate în prezenta teză;
- valorificarea deșeurilor prin procedeele clasice poate asigura în funcție de tehnologia aplicată obținerea unor produse cu oxizi de fier avansat reduși, produse reciclabile fie în încărcătura cuptoarelor de reducere, fie în cea a cuptoarelor electrice cu arc;
- în condițiile existente, datorită desfășurării diverselor procese industriale, se consideră că este necesar să se intensifice procesul de valorificare a acestor deșeuri, atât din considerente economice 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.
- gama variată de deșeuri 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 valorificării acestora prin brichetare;
- brichetele obținute în procesul de valorificare, sunt supuse în continuarea ciclului tehnologic unor procese de reducere;
- procesele de reducere sunt influențate de o serie de factori tehnologici, unul dintre aceștia fiind suprafața specifică de reacție;
- în procesul de producere a brichetelor există posibilități practice de mărire a suprafeței specifice de reacție, și ca urmare și a vitezei de reducere;
- soluția de producere a brichetelor compacte cu raportul $n = H/D \neq 1$, conduce la o creștere a suprafeței de reacție cu până la 5,83% pentru $n = 0,5$ și de 5% pentru $n = 2$, luând ca referință bricheta cu $n = H/D = 1$;
- din punct de vedere tehnico-economic, soluția prezentată mai sus este indicată pentru minereuri/deșeuri ușor și mediu reductibile;
- realizarea brichetelor cu cavități conduce la o creștere mai semnificativă a suprafeței specifice de reacție, comparativ cu bricheta de referință la care $n = H/D = 1$;
- pentru brichetele tubulare creșterea suprafeței specifice de reacție este cuprinsă în intervalul 23,05 - 14,58% pentru raportul $m = R/R_i = 2 - 4$;
- în cazul brichetelor multicave creșterea suprafeței specifice de reacție este determinată de raportul $p = R/R_i$ și de numărul de cavități (k), fiind cuprinsă în intervalul 60% (pentru $p = 5$ și $k = 5$) și 156,21% pentru raportul $p = 3,25$ și $k = 9$; de menționat că am luat în studiu $p \in [3 - 5]$ și $k = 5, 6, 7, 8, 9$;
- la brichetele tubulare cu cavități creșterea suprafeței specifice de reacție, este determinată de raportul $q = R/R_i$ (R_i fiind raza cavității centrale) și de numărul de cavități (k) din volumul acestora (raza acestor cavități $R_i' = R/2n$), fiind cuprinsă în intervalul 43,66 % (pentru $q = 5$ și $k = 5$) și 102,56% pentru raportul $q = 3,25$ și $k = 9$; de menționat că în studiu s-au considerat $q \in [3 - 5]$ și $k = 5, 6, 7, 8, 9$;
- creșterea suprafeței specifice de reacție, este mult mai intensă în cazul producerii brichetelor tubulare cu cavități (cu H și D același ca la bricheta de referință), comparativ cu brichetele cu $H/D \neq 1$ (cu același volum ca bricheta de referință pentru care $H = D$);
- corelațiile prezentate grafic și analitic atât cele obținute în programul EXCEL, cât și în MATLAB permit alegerea dorită pentru caracteristicile dimensionale, și în cazul brichetelor cave a numărului de cavități;
- pentru deșeurile cu reductibilitate medie, o soluție foarte bună este brichetarea acestora sub formă de brichete tubulare, mai ales că din punct de vedere tehnic instalația este mai simplă decât în cazul celor cu mai multe cavități;

- pentru deșeurile cu reductibilitate redusă, pentru creșterea suprafeței specifice de reacție, soluțiile constau în brichetarea deșeurilor / minereurilor sub formă de brichete multicave sau tubulare cu cavități, chiar dacă instalațiile de brichetare din punct de vedere constructiv și funcțional sunt mai complexe decât în cazul variantelor prezentate anterior;
- deșeurile selectate pentru experimentări provin în majoritate din zona Hunedoara, cu excepția prafului de la TMK Reșița și Oțelul Roșu (numai pentru anumite rețete), precum și nămolului roșu de la Cemtrade Oradea;
- compoziția chimică și granulometrică, precum și conținutul de elemente dăunătoare, permit procesarea deșeurilor prin brichetare, funcție și de aceste criterii fiind stabilite componența rețetelor ;
- în cadrul experimentărilor s-au valorificat atât deșuri rezultate frecvent pe fluxurile tehnologice curente (în cazul zonei Hunedoara praful de oțelărie electrică și ținutul de la turnarea continuă și laminoare – ArcelorMittal), cât și a celor existente ca urmare a unor fluxuri dezafectate (preparare siderită – cocserie - aglomerare-furnale –oțelărie Siemens – Martin).
- în prima parte a experimentărilor s-au produs brichete cilindrice compacte după 5 variante de lucru cu un număr de 10 rețete pe variantă;
- pentru brichetele obținute s-au determinat caracteristicile de rezistență, în vederea stabilirii unor corelații între acestea și participația componentelor în rețeta de brichetare;
- datele obținute în cadrul experimentărilor, au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB în vederea determinării corelațiilor simple, respectiv multiple, între caracteristicile de rezistență și participația componentelor în șarja de brichetare;
- din corelațiile obținute în programul de calcul EXCELL, rezultă că pentru **variantele A, B, C și D**, limitele de variație existente asigură pentru caracteristicile R_f , R_s și I_s valori mai mari decât cele impuse ca limită inferioară; pentru **varianta E**, analizând corelațiile prezentate în figurile 6.33. și 6.34. rezultă că pentru a obține pentru caracteristicile R_f , R_s și I_s valori mai mari decât cele impuse ca limită inferioară, praful de oțelărie trebuie să fie cuprins în limitele 12-20% și ținutul 63 – 74% (domeniile nehașurate).
- referitor la corelațiile duble în majoritatea cazurilor pentru limitele de variație a componentelor încărcăturii, valorile pentru caracteristicile de rezistență sunt superioare limitelor impuse;
- din analiza tehnologică a rezultatelor obținute, rezultă că deșeurile selectate pentru experimentări pot fi procesate sub formă de brichete, acestea corespunzând din punct de vedere calitativ;
- în partea a doua a experimentărilor, s-au produs brichete autoreducătoare (compacte, tubulare, multicave, tubulare cu cavități) pentru determinarea gradului de metalizare utilizând un număr de trei rețete;
- ca urmare a reducerii brichetelor și determinării gradului de metalizare s-au determinat corelații între gradul de metalizare și timpul de menținere (pentru fiecare rețetă și tip de brichetă);
- pe baza corelațiilor obținute și a considerentelor de ordin tehnologic și de fabricație a rețetelor, s-a considerat că pentru minereurile feroase sunt indicate brichetele tubulare;
- procesarea brichetelor în cuptoare de topire cu atmosferă reducătoare (cuptor Tamman) și încărcătură cu cocs permite obținerea fontei;
- procesarea brichetelor în cuptorul cu inducție asigură un grad de recuperare a fierului peste 70%, dar utilizarea acestora în cuptoare electrice cu arc,

mai ales în calitate de CARBOFER ar conduce la un grad de recuperare peste 90% (s-a avut în vedere fluiditatea zgurii, mai mare decât la cuptorul cu inducție);

- pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate și prezentate în lucrare, rezultă că deșeurile existente în partea de vest a României, de o mare diversitate din punct de vedere al compoziției chimice și granulometrice (pulverulente și mărunte), pot fi procesate prin brichetare și reintroduse în circuitul siderurgic;

- pentru recuperarea fierului din brichete s-a considerat viabilă soluția tehnologică de procesare în cuva Hamborn, aceasta permițând utilizarea în încărcătură și a deșeurilor de dimensiuni peste limita celor mărunte, dar aduse la dimensiuni sub 250 mm.

8.2. Contribuții originale

La efectuarea studiului din literatura de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate în fază de laborator, a analizei tehnologice a rezultatelor obținute și a verificării industriale a acestora, consider că mi-am adus următoarele contribuții personale:

1. Realizarea pe baza studiului literaturii de specialitate cu referire la valorificarea deșeurilor feroase pulverulente și mărunte, a unor sinteze privind:

- sursele de proveniență a deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier/(fier și carbon) din diferite ramuri industriale;

- caracteristicile calitative a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte (compoziția chimică și granulometrică);

- procedee și tehnologii de valorificare prin reciclare în siderurgie a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte;

2. Stabilirea unor posibilități de creștere a suprafeței specifice de reducere pentru brichete compacte și brichete cu cavități;

3. Determinarea unor corelații între parametrii de reducere a brichetelor și diferite caracteristici dimensionale a acestora, pentru:

- brichete compacte;

- brichete tubulare;

- brichete multicave;

- brichete tubulare cu cavități

4. Producerea brichetelor din diferite deșeuri după cinci variante funcție de principalele trei sortimente de deșeuri reciclate și 10 rețete pentru fiecare variantă;

5. Determinarea caracteristicilor de rezistență a brichetelor și stabilirea unor ecuații de corelație simplă (în programul de calcul EXCEL) și multiplă (în programul de calcul MATLAB), între aceste caracteristici și participația componentelor în structura brichetelor;

6. Stabilirea pe baza corelațiilor simple și multiple a limitelor de variație pentru componenții rețetelor de brichetare, în vederea obținerii unor limite mari de variație mari pentru intervalul de sfărâmare;

7. Producerea brichetelor autoreducătoare (după 3 rețete, cu conținut diferit de carbon) compacte cu caracteristici dimensionale diferite, mai precis raportul $H/D = 1$; $H/D > 1$ și $H/D < 1$, în toate cazurile volumul fiind constant;

8. Producerea brichetelor autoreducătoare (după 3 rețete, cu conținut diferit de carbon) cu cavități – tubulare, multicave și tubulare cu cavități – în toate cazurile brichetele având același diametru și aceeași înălțime;

9. Determinarea gradului de metalizare a brichetelor în funcție de rețeta de procesare și timpul de menținere la temperatura de 1150°C;

10. Stabilirea ecuațiilor de corelație între gradul de metalizare și timpul de menținere;

11. Stabilirea tipului optim de brichete în funcție de caracteristicile dimensionale și a rețetei de fabricație în funcție de deșeurile disponibile.

12. Stabilirea randamentului de recuperare a fierului din brichete pe baza procesării acestora în cuptorul Tamman și electric cu inducție și recomandarea procesării acestora în cuva Hamborn.

13. Reintroducerea în circuitul economic a unor sortimente de încărcătură feroase cu avantaje de ordin tehnico - economic și ecologic

8.3. Direcții de continuarea a cercetărilor

Având în vedere rezultatele cercetărilor efectuate referitoare la "Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente", consider că acestea prezintă interes deosebit pentru industria siderurgică, și pot continua pe viitor în următoarele direcții:

1. Extinderea cercetărilor privind eficiența producerii brichetelor cu suprafață specifică de reacție mărită, în mod deosebit a celor cu cavități, și influența acestora asupra proceselor de reducere atât pentru oxizi feroși, cât și pentru cei neferoși;

2. Stabilirea adaosului optim de reducători solizi în componența rețetelor pentru producerea brichetelor autoreducătoare, în vederea obținerii unui grad de reducere de peste 90%;

3. Producerea brichetelor avansat reduse, produse din mai multe sortimente de deșeuri cu granulație până la 2mm, existente în zonele siderurgice puternic restructurate;

4. 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 la elaborarea oțelurilor în cuptoare cu arc electric.

DISEMINARE REZULTATE

[1] **E. Crișan**, L. Vîlceanu, V. Puțan, M. Ardelean, "Experiments regarding to crushing and fissuring resistance for briquettes from various type of pulverous ferrous waste", *Metalurgia International*, București, România, 17(10), pp.80-87, 2012, ISSN 1582-2214, **revistă indexată ISI**.

[2] **E. Crișan**, L. Vîlceanu, M. Ardelean, V. Puțan, "Research regarding of the compression behavior for ferrous briquettes", *Technical Gazette*, Nr.4(20), 2013, Croația, acceptată pentru publicare, ISSN 1330-3651, **revistă indexată ISI**.

[3] **E. Crișan**, T. Heput, "Research and experiments on the cumulative influence of technological factors on the quality of raw pellet", *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Tome VIII, Fascicule 3, 2010, pp. 231-235, ISSN 1584 – 2673, **revistă indexată BDI (CNCSIS B+)**.

[4] **E. Crișan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, "Research on quality of pellets, *International Journal of Energy and Environment*", Issue 1, Volume 6, 2012, **revistă indexată BDI (COMPENDEX)**.

[5] **E. Crișan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, "Research on the influence of binders with basic data base on compressive strength of pellets", *Proceedings of the 4th International Conference on MANUFACTURING ENGINEERING, QUALITY and PRODUCTION SYSTEMS, MEQAPS'11*, September 15-17, 2011, Barcelona, Spania, pp.165-169, 2011. ISSN: 1792-4693, ISBN: 978-1-61804-031-2, **Proceedings BDI (SCOPUS)**.

[6] A. Todoruț, T. Heput, A. Socalici, M. Flori, **E. Crișan**, "Research on expansion of the steel base materials", *Proceedings of the 4th International Conference on ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL SCIENCE AND ENGINEERING, EG'11*, September 15-17, 2011, Barcelona, Spania, pp.112-117, 2011. ISSN: 1792-4693, ISBN: 978-1-61804-032-9, **Proceedings BDI (SCOPUS)**.

[7] **E. Crișan**, L. Vîlceanu, M. Ardelean, V. Puțan, "Recycling waste from the steel industry", *Proceeding of 3 the 3rd International Conference on Energy, Environment Devices Systems, Communications, Computers (INEE'12), Mathematical Modelling and Simulation in Applied Science*, Rovaniemi, Finland, April 18-20, 2012, pp.148-153, ISBN: 978-1-61804-086-2, în curs de indexare – *Proceedings BDI*.

[8] **E. Crișan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, "Research in the laboratory phase of processing ferrous waste by briquetting" *International U.A.B. – B.E.N.A. Conference Environmental Engineering And Sustainable Development ALBA IULIA, ROMANIA, Publishing House, MAY 26-27th, 2011* ISBN:976-606-613-002-8.

[9] **E. Crișan**, L. Strugariu, A. Todoruț, V. Petroesc, "Research on Recycling of Waste to Achieve Prereduse Briquettes", *The 4th International*

Conference on Advanced Materials and Structures, 27-28 October, Timișoara, România, 2011, No.50, ISBN: 987-606-554-374-4.

[10] T. Heput, **E. Crișan**, A. Socalici, E Ardelean, M. Ardelean, **Cerere de Brevet de Invenție** nr. A 2012 00130/28.02.2012 OSIM – Brichetă cilindrică multicavă produsă din deșeuri feroase pulverulente și mărunte cu granulație sub 2 mm.

[11] **E.Crișan** - Raport de cercetare nr.1 – *Cercetări privind reciclarea în siderurgie a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și fier-carbon.*

[12] **E.Crișan** - Raport de cercetare nr.2– *Cercetări și experimentări în fază de laborator privind brichetarea deșeurilor feroase pulverulente și mărunte.*

ANEXE

Anexă Capitolul 4

4.1.A. Bricheta compactă

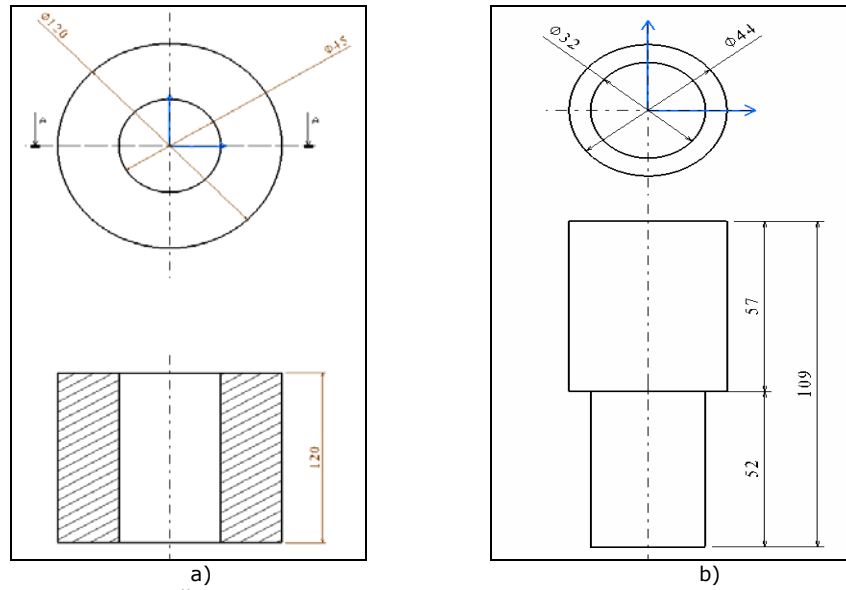


Fig.4.1.A. Matriță pentru brichete compacte: a) corpul matriței; b) pistonul matriței

4.2.A. Bricheta tubulară

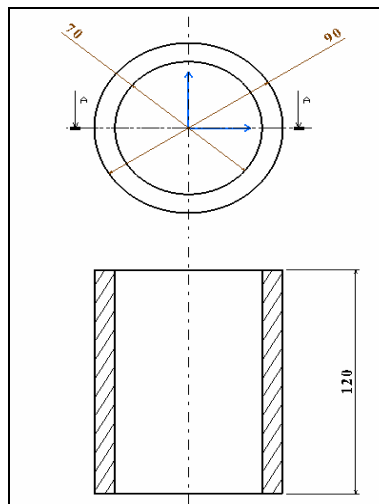


Fig.4.2.A. Corpul matriței pentru brichete tubulare

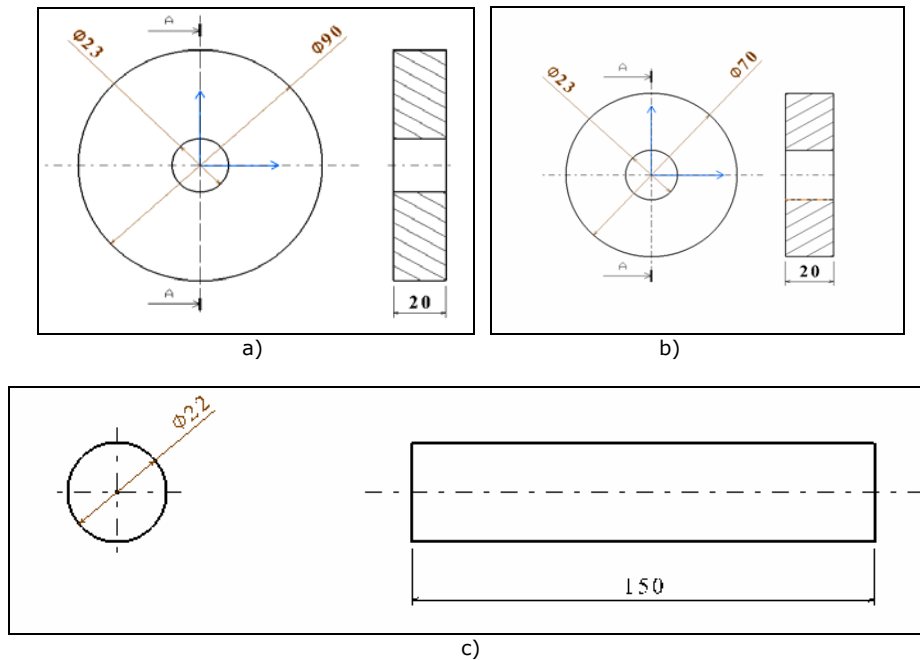


Fig.4.3.A. Matriță pentru brichete tubulare: a) partea inferioară a matriței; b) partea superioară a matriței; c) pistonul matriței

4.3.A. Brichetă multicavă

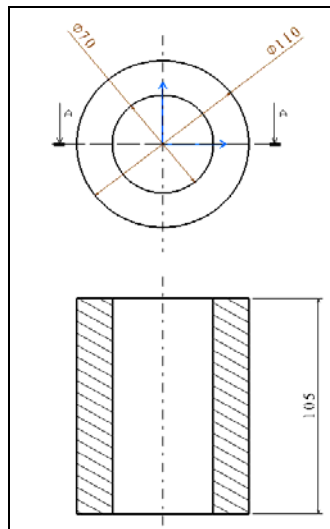
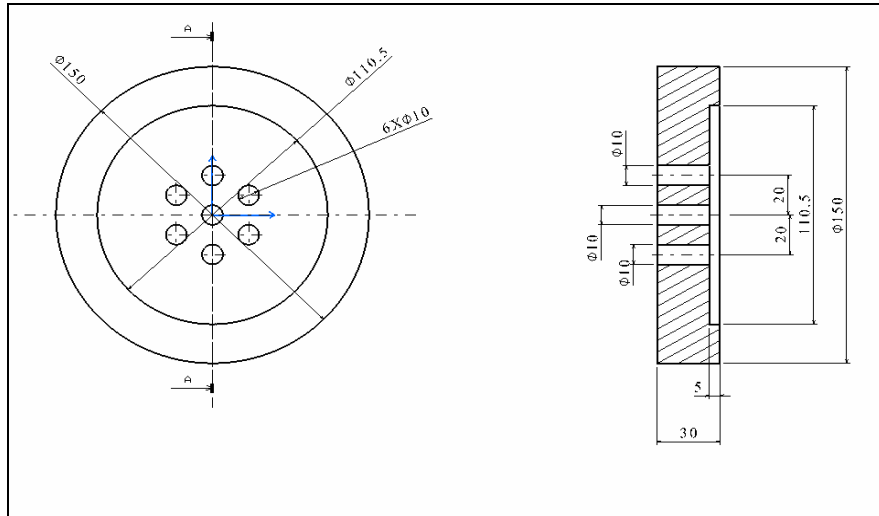
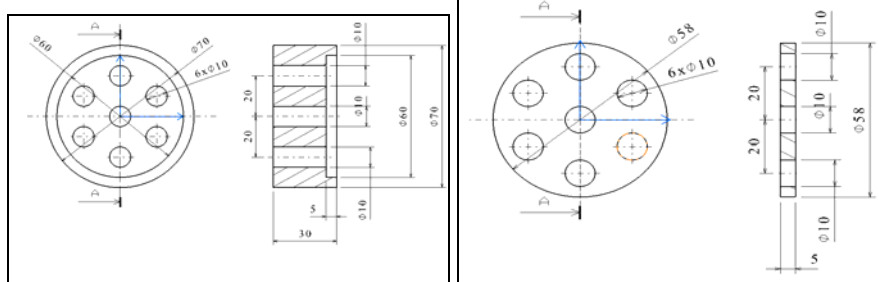


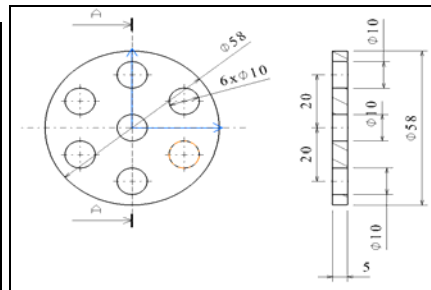
Fig.4.4.A. Corpul matriței pentru brichete multicave



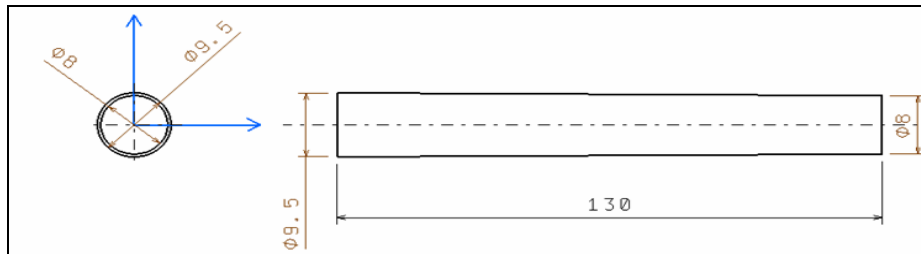
a)



b)



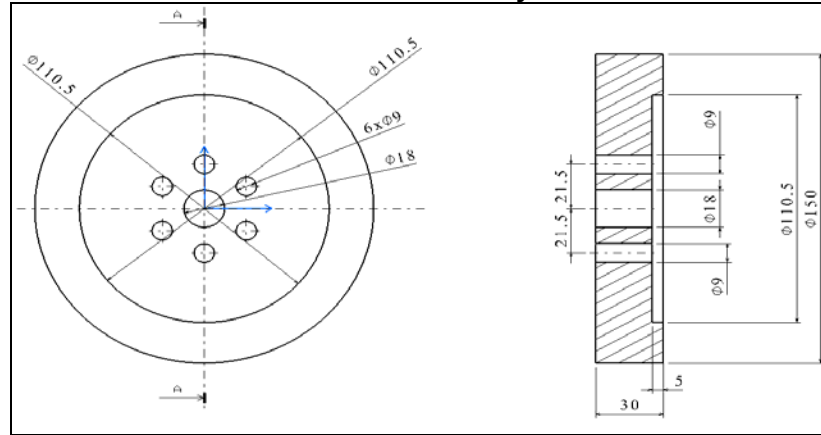
c)



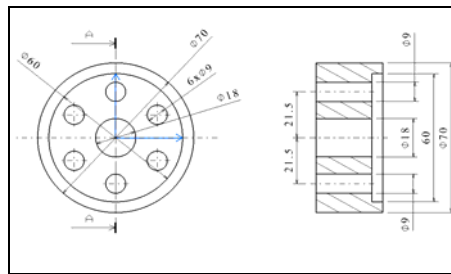
d)

Fig.4.5.A. Matriță pentru brichete multicave: a).parte inferioară matriță;b).parte superioară matriță;c). inel fixare pistoane;d).piston matriță (7 buc);e).corpul matriței

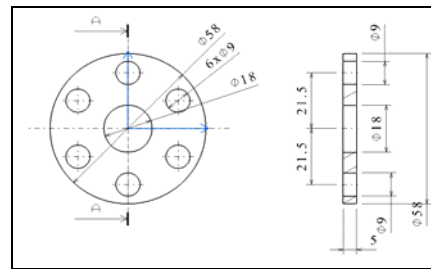
4.4.A. Brichetă tubulară cu cavitați



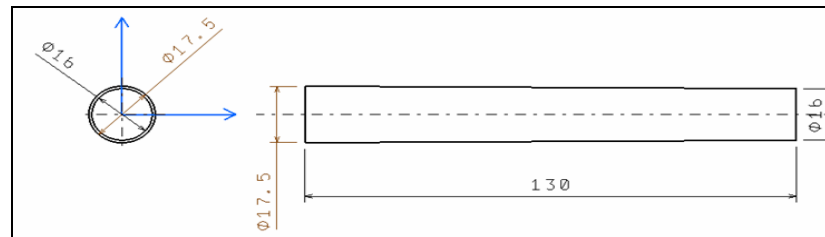
a)



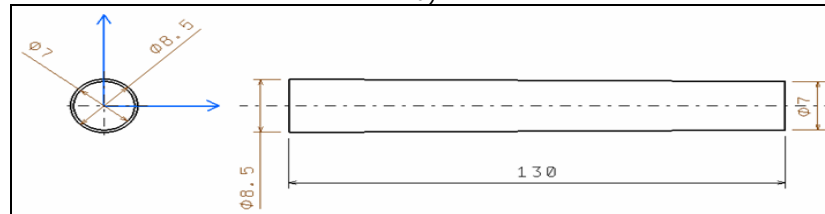
b)



c)



d)



e)

Fig.4.6.A. Matriță pentru brichete tubulare cu cavitați: a) parte inferioară matriță; b) parte superioară matriță; c) inel fixare pistoane; d) piston matriță (1 buc); e) piston matriță (6 buc)

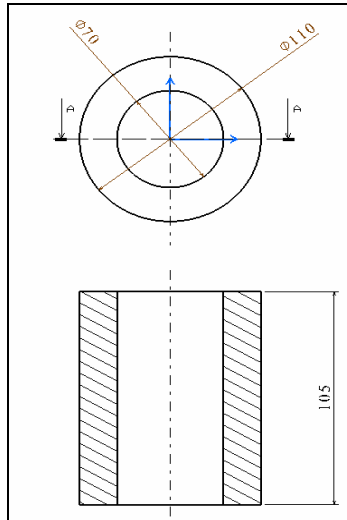


Fig.4.7.A. Corpul matriței pentru brichete tubulare cu cavități



a)

b)

Fig.4.8.A. Dispozitive folosite pentru producerea brichetelor multicave și tubulare cu cavități: a) matriță pentru brichete tubulare cu cavități; b) matriță pentru brichete multicave



Fig.4.9.A. Presă pentru producerea brichetelor.

Anexă Capitolul 6



Fig.6.1.A. Instalatie vibratorie pentru clasare Analysette 3 Spartan



Fig.6.2.A. Balanță KERN ECE 50K50



Fig.6.3.A. Moara cu rotor ZM200



Fig.6.4.A. Moara planetara cu bile PM100



Fig.6.5.A. Cuptor Nabertherm model LHT 02/17



Fig.6.6.A. Cuptor Nabertherm model L15/12/B180



Fig.6.7.A. Cuptor cu inducție



Fig. 6.8.A. Mașina de încercare la compresiune

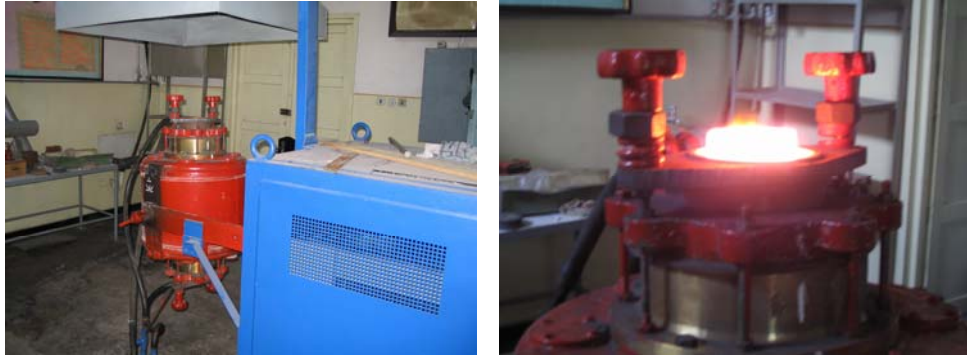
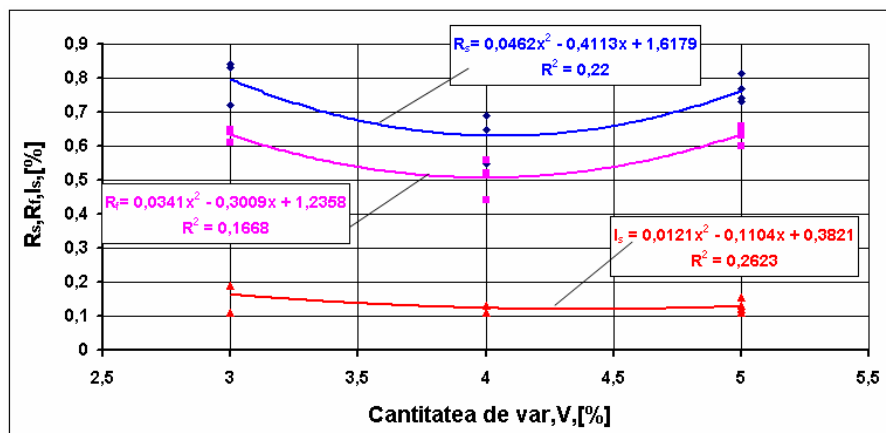


Fig.6.9.A. Cuptor Tamman



Fig.6.10.A. Brichete folosite pentru încercări mecanice

Fig.6.11.A. R_s, R_r, I_s funcție de proporția de var (varianta D)

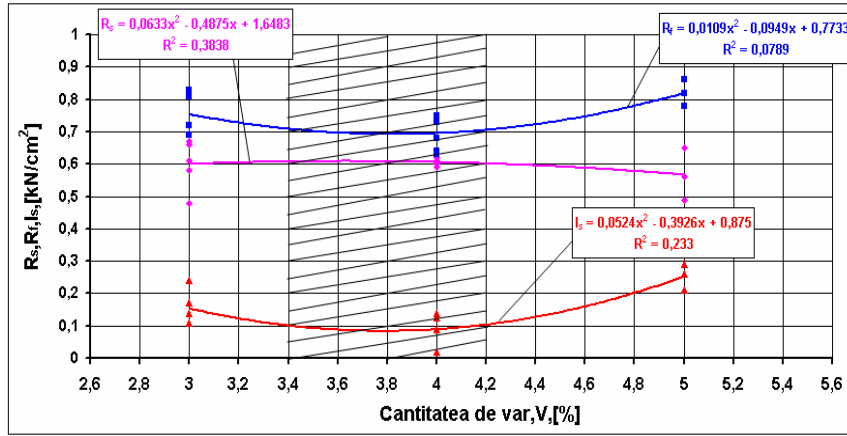


Fig.6.12.A. R_s, R_r, I_s funcție de proporția de var (varianta E)

VARIANTA C

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0,0045(PF)^2 - 0,0071(PO)^2 - 0,8985(V)^2 + 0,0162(PF)(PO) - 0,2005(PF)(V) + 0,1624(PO)(V) \quad (6.1.A)$$

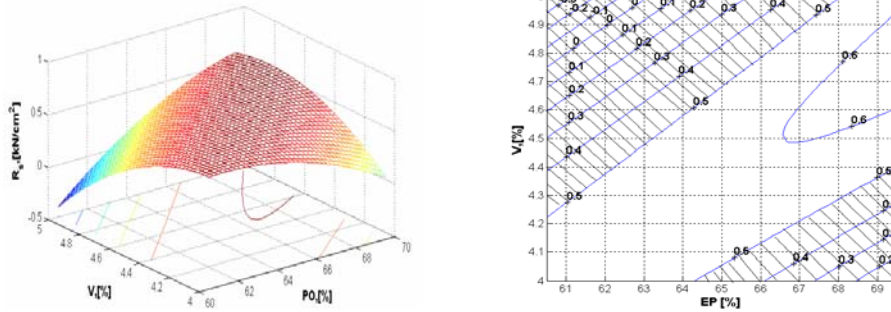


Fig.6.13.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 91]

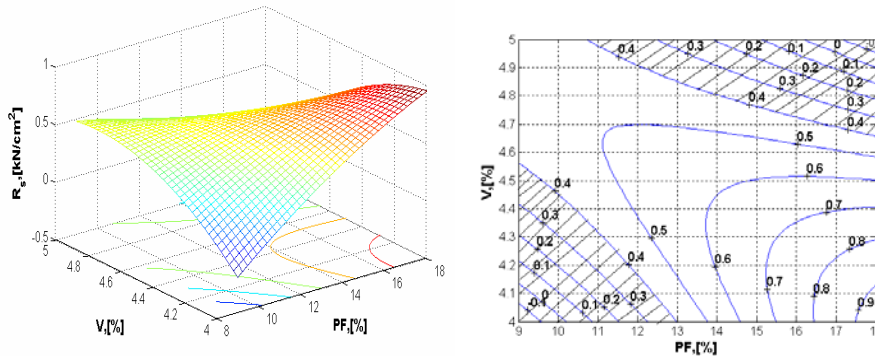


Fig.6.14.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare-furnal (PO) și var (V), [84, 91]

Pentru $PF_{med}=13,5\%$ avem:

$$R_s = -0.8223 - 0.0071(PO)^2 - 0.8985(V)^2 + 0.2182(PO) - 2.7073(V) + 0.1624(PO)(V) \quad (6.2.A)$$

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$R_s = -0.0045(PF)^2 - 29.9202 - 0.8985(V)^2 + 1.0508(PF) - 0.2005(PF)(V) + 10.5572(V) \quad (6.3.A)$$

și pentru $V_{med}=4,45\%$ avem:

$$R_s = -0.0045(PF)^2 - 0.0071(PO)^2 - 17.7929 + 0.0162(PF)(PO) - 0.8924(PF) + 0.7228(PO) \quad (6.4.A)$$

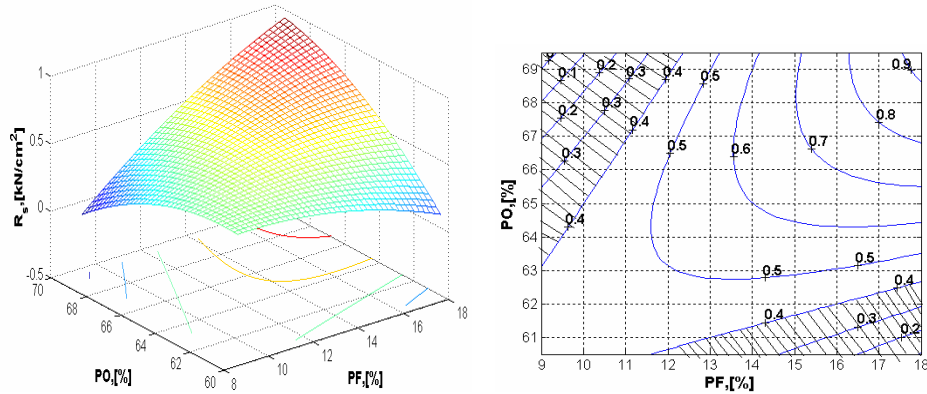


Fig. 6.15.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF), [84, 91]

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = 0.0002(PF)^2 - 0.0008(PO)^2 - 0.0625(V)^2 + 0.0031(PF)(PO) - 0.0394(PF)(V) + 0.0157(PO)(V) \quad (6.5.A)$$

Pentru $PF_{med}=13,5\%$, avem:

$$R_f = 0.0324 - 0.0007(PO)^2 - 0.0625(V)^2 + 0.0424(PO) - 0.5318(V) + 0.0157(PO)(V) \quad (6.6.A)$$

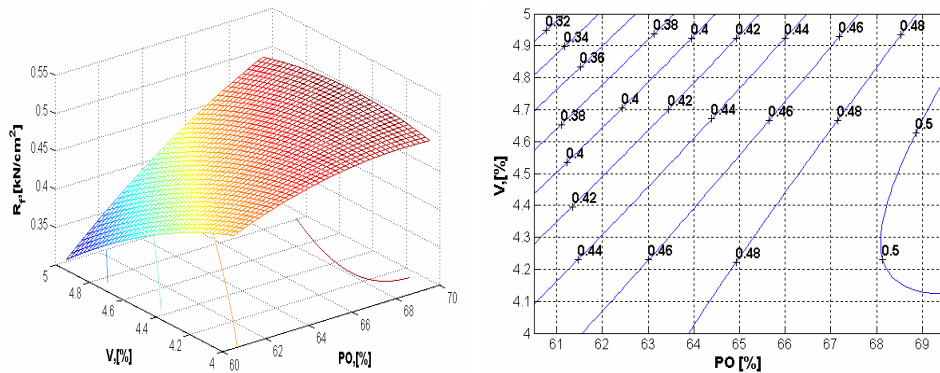


Fig.6.16.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 91]

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$R_f = 0.0001(PF)^2 - 3.2507 - 0.0625(V)^2 + 0.2042(PF) - 0.0394(PF)(V) + 1.0186(V) \quad (6.7.A)$$

și pentru $V_{med}=4,45\%$ avem:

$$R_f = 0.0004(PF)^2 - 0.0007(PO)^2 - 1.2370 + 0.0031(PF)(PO) - 0.1753(PF) + 0.0697(PO) \quad (6.8.A)$$

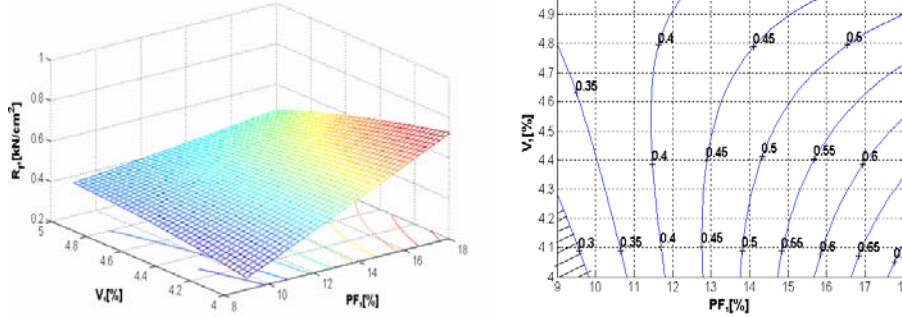


Fig.6.17.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și var (V), [84, 91]

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0.0014(PF)^2 + 0.0007(PO)^2 + 0.2068(V)^2 + 0.0019(PF)(PO) - 0.0182(PF)(V) - 0.0246(PO)(V) \quad (6.9.A)$$

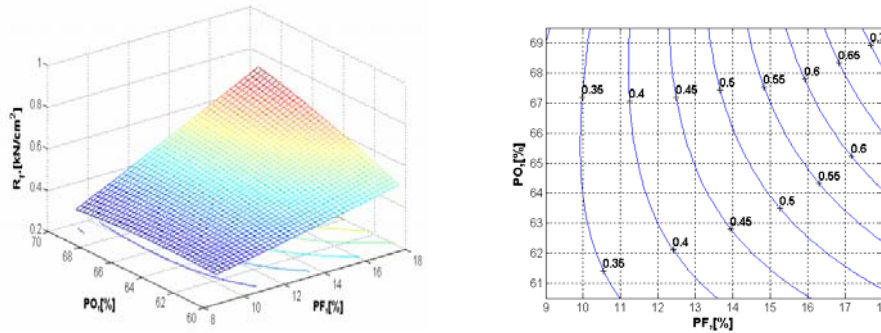


Fig.6.18.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 91]

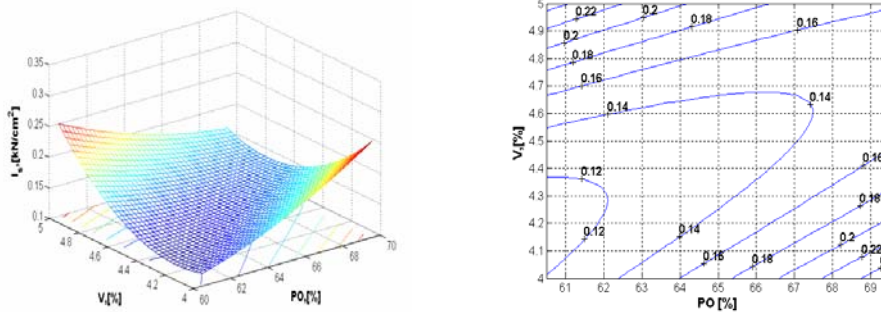


Fig.6.19.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și var (V), [84, 91]

Pentru $PF_{med}=13,5\%$, avem:

$$I_s = -0.2578 + 0.0006(PO)^2 + 0.2068(V)^2 + 0.0251(PO) - 0.2457(V) - 0.0246(PO)(V) \quad (6.10.A)$$

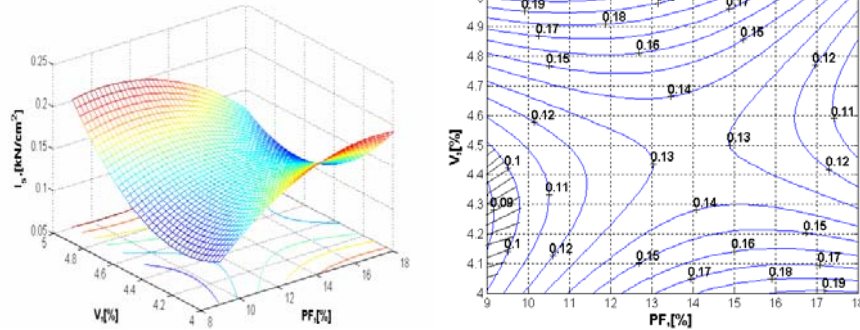


Fig.6.20.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnale (PF) și var (V), [84, 91]

Pentru $PO_{med}=65\%$, avem:

$$I_s = -0.0014(PF)^2 + 2.8662 + 0.2068(V)^2 + 0.1210(PF) - 0.0182(PF)(V) - 1.5983(V) \quad (6.11.A)$$

și pentru $V_{med}=4,45\%$ avem:

$$I_s = -0.0014(PF)^2 + 0.0006(PO)^2 + 4.0953 + 4.0953(PF)(PO) - 0.0810(PF) - 0.1094(PO) \quad (6.12.A)$$

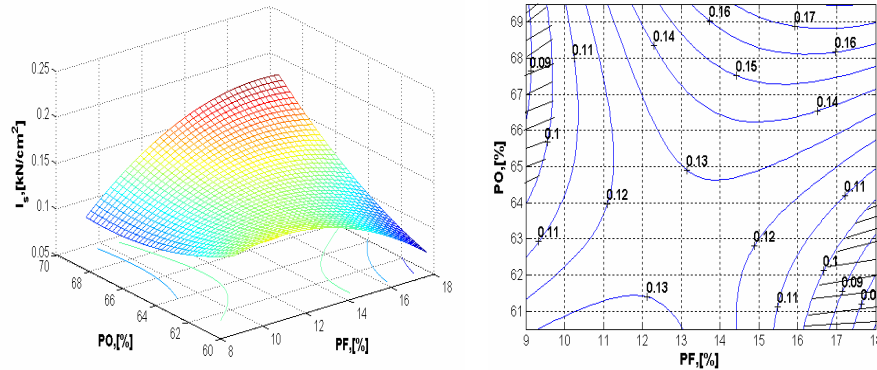


Fig.6.21.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 91]

VARIANTA D

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0.0004(PO)^2 - 0.0139(PF)^2 - 0.0038(C)^2 + 0.0053(PO)(PF) + 0.0016(PO)(C) - 0.0046(PF)(C) \quad (6.13.A)$$

Pentru $PO_{med}=70,0435\%$ avem:

$$R_s = -0.0139(PF)^2 - 0.0038(C)^2 - 0.0046(PF)(C) + 0.3736(PF) + 0.1153(C) - 1.8946 \quad (6.14.A)$$

Pentru $PF_{med}=13,0435\%$, avem:

$$R_s = -0.0004(PO)^2 - 0.0038(C)^2 + 0.0016(PO)(C) + 0.0696(PO) - 0.0601(C) - 2.3643 \quad (6.15.A)$$

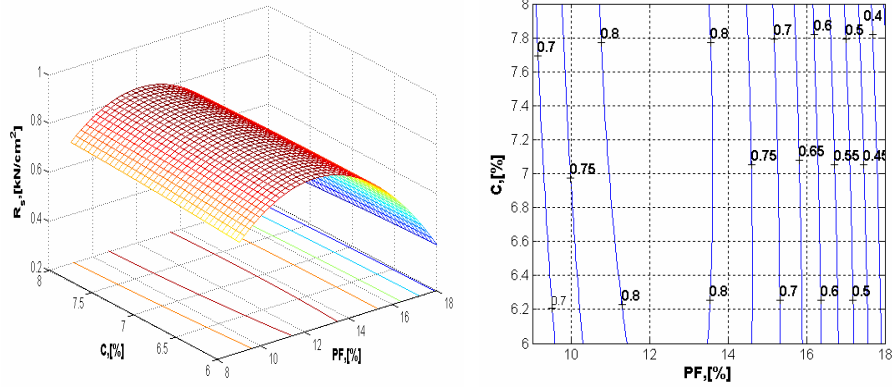


Fig.6.22.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și ciment (C), [84, 92]

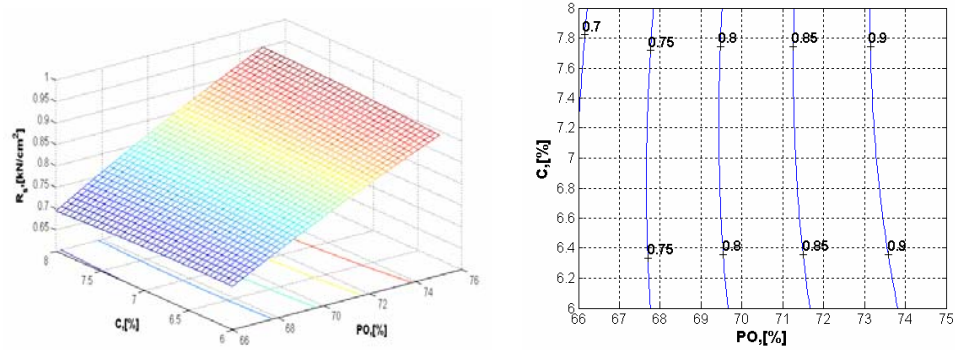


Fig.6.23.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 92]

și pentru $C_{med}=6.9565\%$ avem:

$$R_s = -0.0139(PF)^2 - 0.0004(PO)^2 + 0.0053(PF)(PO) - 0.0320(PF) + 0.0115(PO) - 0.1817 \quad (6.16.A)$$

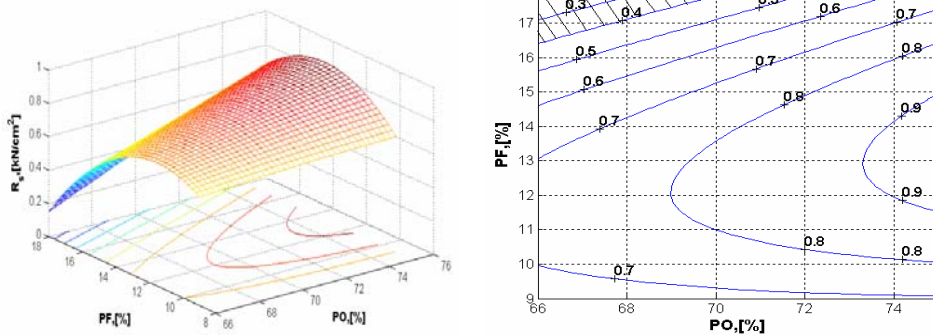


Fig.6.24.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de aglomerare furnal (PF), [84, 92]

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = -0.0094(AF)^2 - 0.0003(EP)^2 - 0.0071(C)^2 + 0.0037(AF)(EP) - 0.0045(AF)(C) + 0.0023(EP)(C) \quad (6.17.A)$$

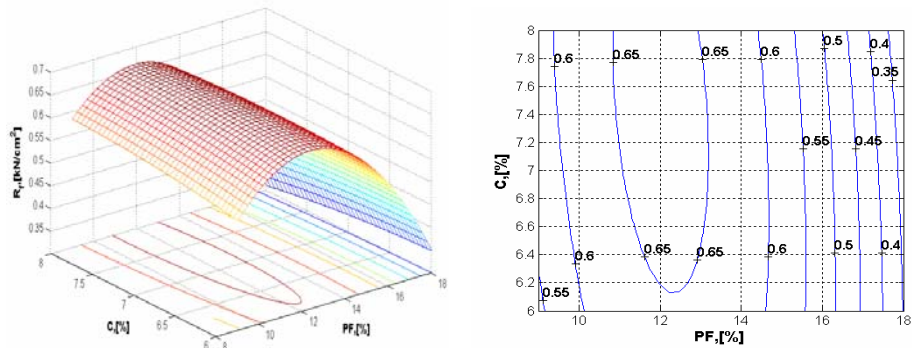


Fig.6.25.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și ciment (C), [84, 92]

Pentru $PO_{med} = 70.0435\%$, avem:

$$R_f = -0.0094(PF)^2 - 0.0071(C)^2 - 0.0045(PF)(C) + 0.2605(PF) + 0.1603(C) - 1.5024 \quad (6.18.A)$$

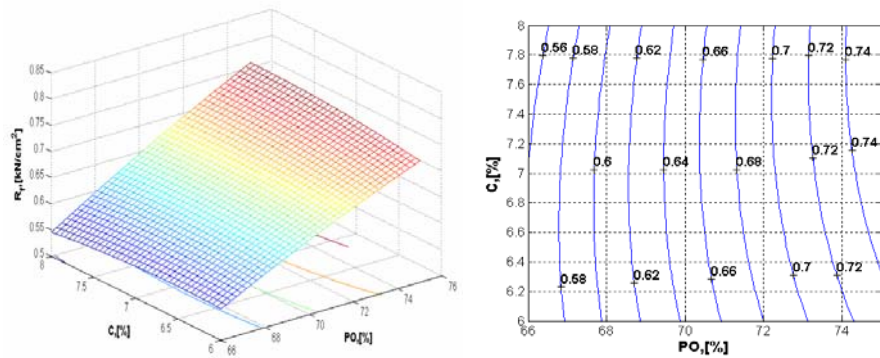


Fig.6.26.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 92]

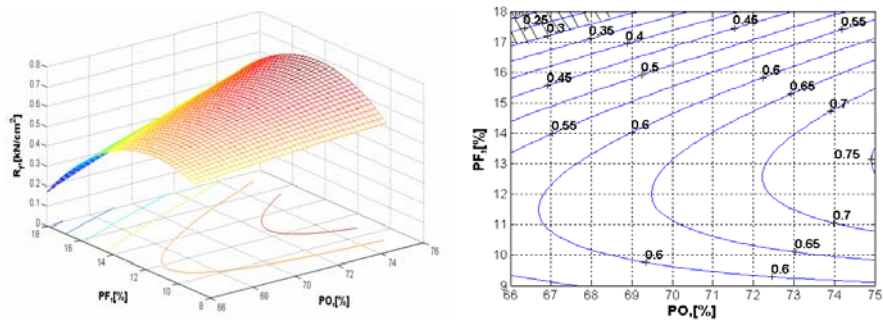


Fig.6.27.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 92]

Pentru $PF_{med}=13.0435$ avem:

$$R_f = -0.0003(PO)^2 - 0.0071(C)^2 + 0.0023(PO)(C) + 0.0485(PO) - 0.0584(C) - 1.6068 \quad (6.19.A)$$

și pentru $C_{med}=6.9565\%$ avem:

$$R_f = -0.0094(PF)^2 - 0.0003(PO)^2 + 0.0037(PF)(PO) - 0.0311(PF) + 0.0159(PO) - 0.3443 \quad (6.20.A)$$

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0.0044(PF)^2 - 0.0001(PO)^2 - 0.0005(C)^2 + 0.0017(PF)(PO) - 0.0015(PF)(C) + 0.0004(PO)(C) \quad (6.21.A)$$

Pentru $PO_{med}=70.0435\%$, avem:

$$I_s = -0.0044(PF)^2 - 0.0005(C)^2 - 0.0015(PF)(C) + 0.1208(PF) + 0.0256(C) - 0.6846 \quad (6.22.A)$$

Pentru $PF_{med}=13.0435\%$, avem:

$$I_s = -0.0001(PO)^2 - 0.0005(C)^2 + 0.0004(PO)(C) + 0.0225(PO) - 0.0191(C) - 0.7435 \quad (6.23.A)$$

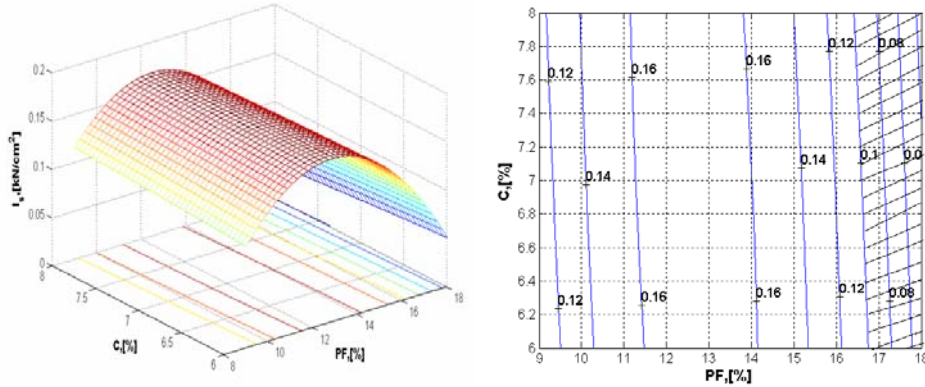


Fig.6.28.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de aglomerare furnal (PF) și ciment (C), [84, 92]

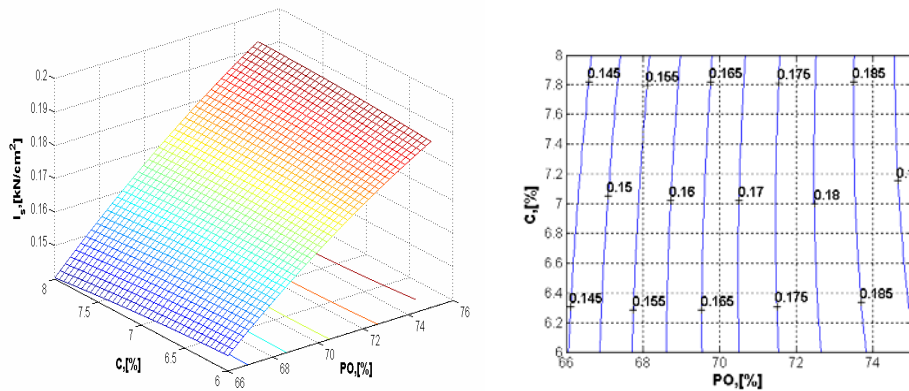


Fig.6.29.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 92]

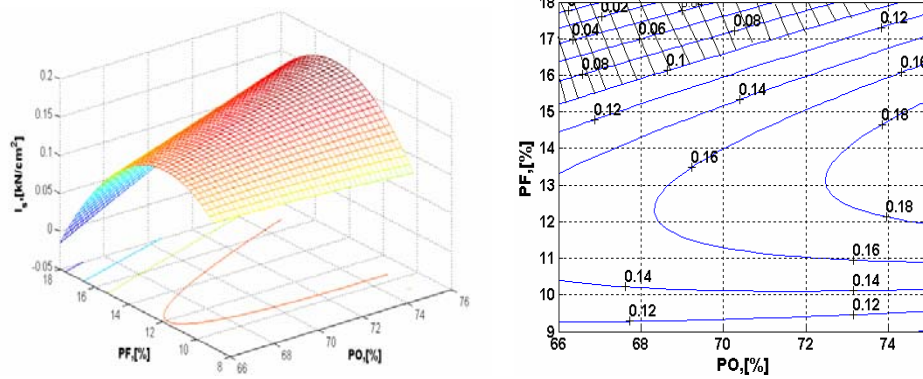


Fig.6.30. A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și praf de furnal (PF), [84, 92]

și pentru $C_{med}=6.9565\%$ avem:

$$I_s = -0.0044(PF)^2 - 0.0001(PO)^2 + 0.0017(PF)(PO) - 0.0102(PF) + 0.0025(PO) - 0.0246 \quad (6.24.A)$$

VARIANTA E

Rezistența la sfărâmare R_s a brichetelor este dată de relația:

$$R_s = -0.0010(PO)^2 + 0.0006(T)^2 - 0.0200(C)^2 - 0.0010(PO)(T) + 0.0006(PO)(C) - 0.0031(T)(C) + 0.0937(PO) - 0.0445(T) + 0.4872(C) - 0.1705 \quad (6.25.A)$$

Pentru $PO_{med}=14.84\%$ avem:

$$R_s = 0.0006(T)^2 - 0.02(C)^2 - 0.0031(T)(C) - 0.059(T) + 0.4954(C) + 1,0084 \quad (6.26.A)$$

Pentru $T_{med}=66,6\%$ avem:

$$R_s = -0.001(PO)^2 - 0.02(C)^2 + 0.0006(PO)(C) + 0.872(PO) + 0.2813(C) - 0,4909 \quad (6.27.A)$$

și pentru $C_{med}=6.96\%$ avem:

$$R_s = -0.001(PO)^2 + 0.0006(T)^2 - 0.001(EP)(T) + 0.0976(PO) - 0.066(T) + 2.2495 \quad (6.28.A)$$

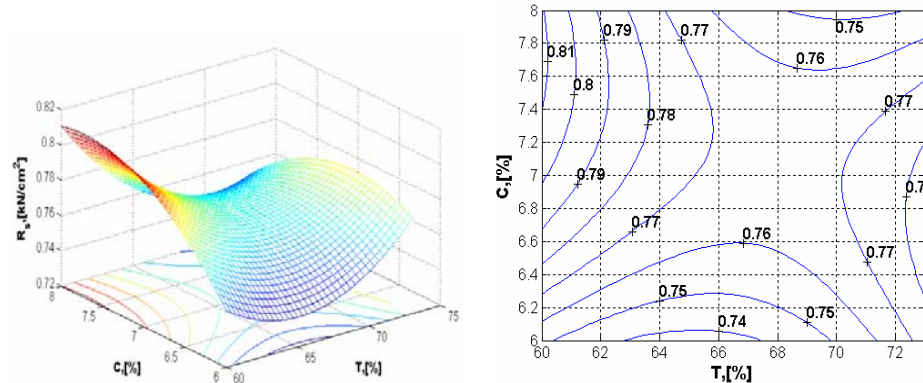


Fig.6.31.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și ciment (C), [84, 97]

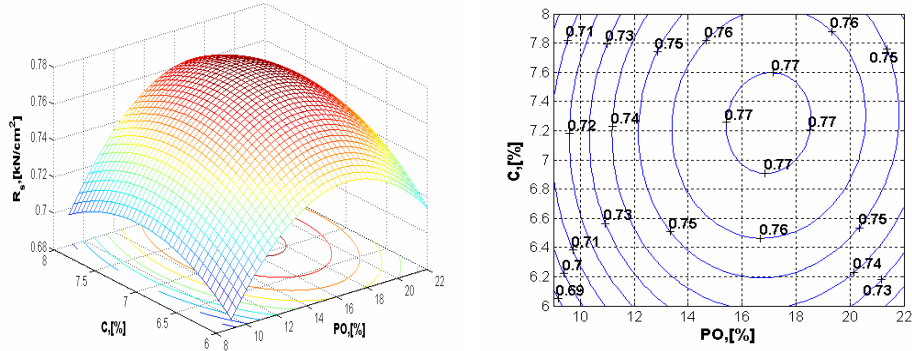


Fig.6.32.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 97]

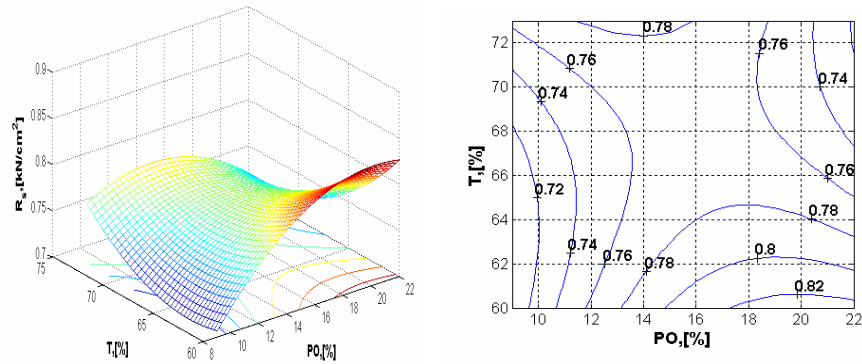


Fig.6.33.A. Rezistența la sfărâmare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 97]

Rezistența la fisurare R_f a brichetelor este dată de relația:

$$R_f = 0.0013(PO)^2 + 0.0004(T)^2 + 0.0123(C)^2 - 0.0006(PO)(T) - 0.0014(PO)(C) + 0.0010(T)(C) + 0.0106(PO) - 0.0503(T) - 0.2191(C) + 2.9058 \quad (6.29.A)$$

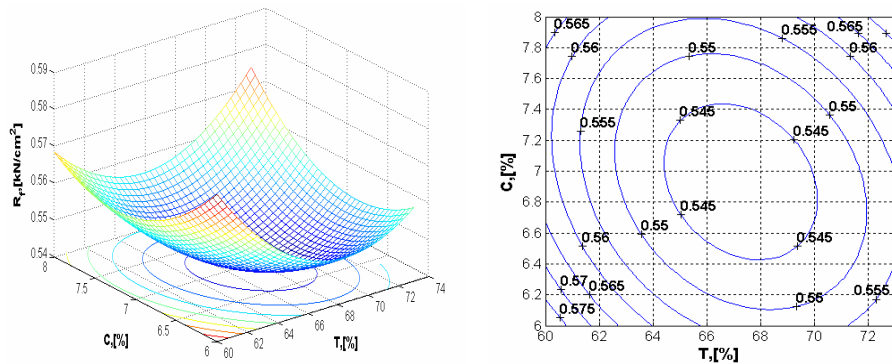


Fig.6.34.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de țunder (T) și ciment (C), [84, 97]

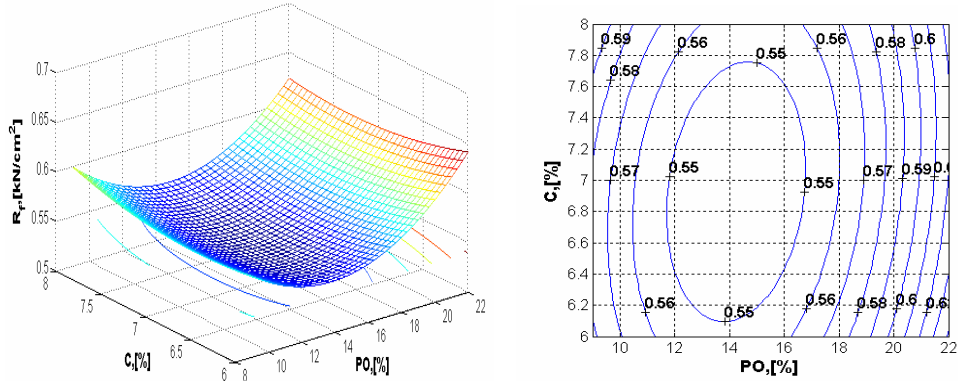


Fig.6.35.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 97]

Pentru $PO_{med} = 14.84\%$, avem:

$$R_f = 0.0004(T)^2 + 0.0123(C)^2 + 0.0010(T)(C) - 0.0589(T) - 0.2393(C) - 3.3531 \quad (6.30.A)$$

Pentru $T_{med} = 66,6\%$ avem:

$$R_f = 0.0013(PO)^2 + 0.0123(C)^2 + 0.0014(PO)(C) - 0.0281(PO) - 0.1508(C) - 1.2640 \quad (6.31.A)$$

și pentru $C_{med} = 6.96\%$ avem:

$$R_f = 0.0013(PO)^2 + 0.0004(T)^2 - 0.0006(PO)(T) + 0.0011(PO) - 0.0432(T) + 1.9762 \quad (6.32.A)$$

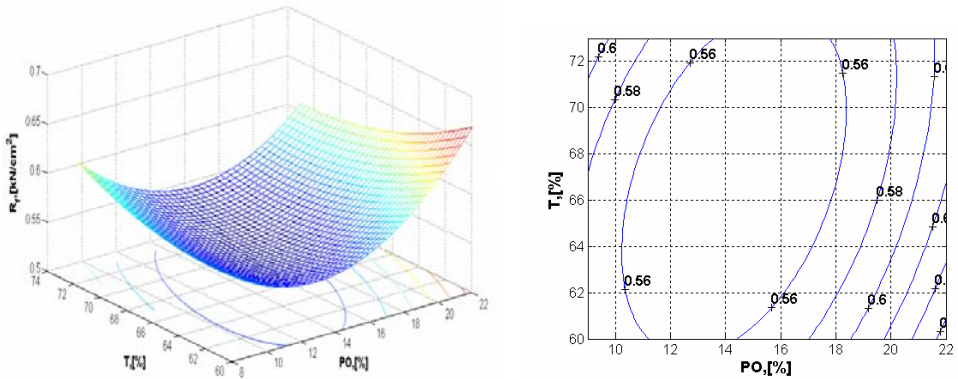


Fig.6.36.A. Rezistența la fisurare a brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și țunder (T), [84, 97]

Intervalul de sfărâmare I_s a brichetelor este dat de relația:

$$I_s = -0.0025(PO)^2 + 0.0004(T)^2 - 0.0341(C)^2 - 0.0005(PO)(T) + 0.0007(PO)(C) - 0.0038(T)(C) + 0.1048(PO) - 0.0229(T) + 0.7243(C) - 2.3500 \quad (6.33.A)$$

Pentru $PO_{med} = 14.84\%$ avem:

$$I_s = 0.0004(T)^2 - 0.0341(C)^2 - 0.0038(T)(C) - 0.0304(T) + 0.7347(C) - 1.3453 \quad (6.34.A)$$

Pentru $T_{med} = 66,6\%$, avem:

$$I_s = -0.0025(PO)^2 - 0.0341(C)^2 + 0.0007(PO)(C) + 0.0712(PO) + 0.4742(C) - 2.0108 \quad (6.35.A)$$

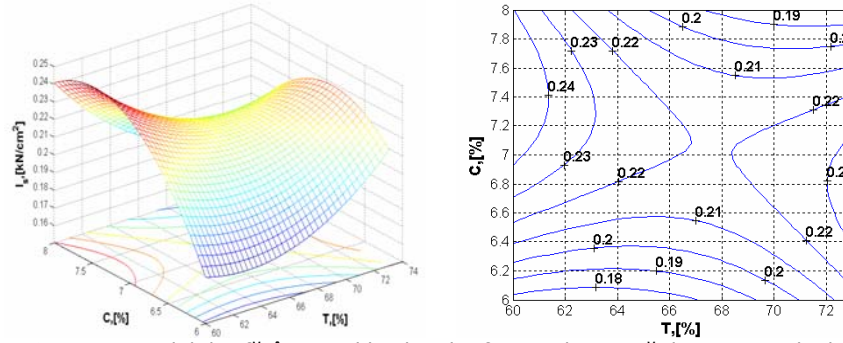


Fig.6.37.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de ținder (T) și ciment (C), [84, 97]

și pentru $C_{med}=6.96\%$ avem:

$$I_s = -0.0025(PO)^2 + 0.0004(T)^2 - 0.0005(PO)(T) + 0.1097(PO) - 0.049(T) + 1,0395 \quad (6.36.A)$$

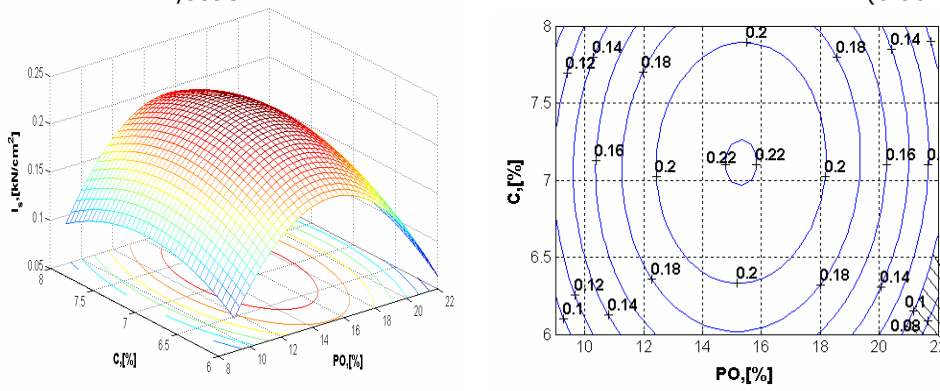


Fig.6.38.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ciment (C), [84, 97]

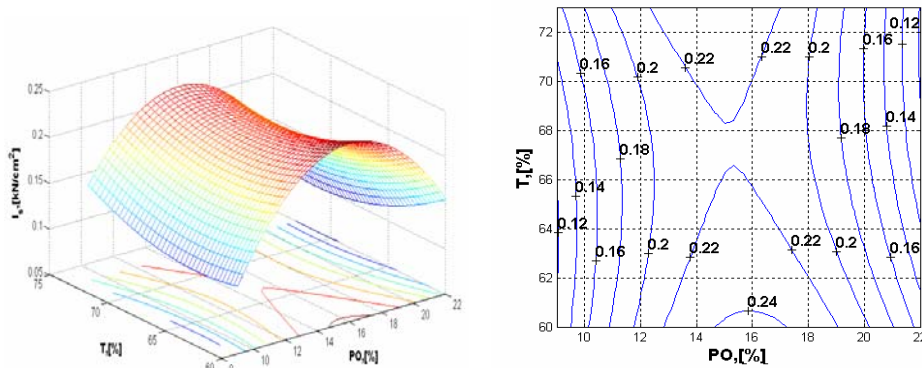
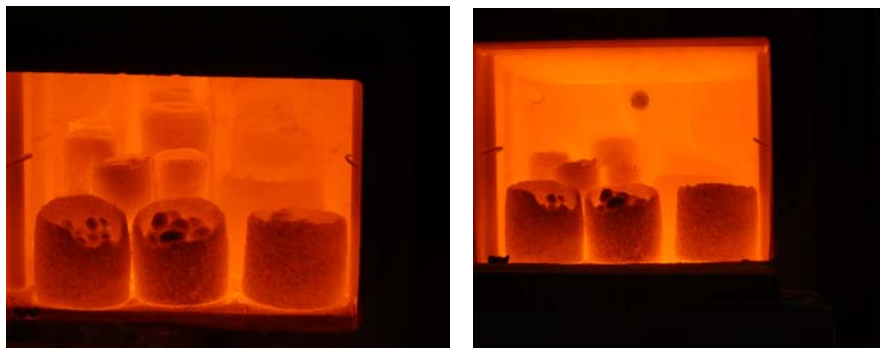


Fig.6.39.A. Intervalul de sfărâmare al brichetelor funcție de cantitățile procentuale de praf de oțelărie (PO) și ținder (T), [84, 97]

Anexă Capitolul 7

a)



b)

Fig.7.1.A. Brichete introduse în cuptorul de calcinare:
a) înainte procesului de reducere; b) după procesul de reducere



Fig.7.2.A. Brichete rezultate în urma experimentărilor

BIBLIOGRAFIE

1. Hepuț, T., Socalici, A., Ardelean E., Ardelean M., Constantin N., Buzduga R.- Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente, Editura politehnica Timișoara, 2011
2. Philipp, A.J.- Bilanțuri ecologice, Stahl und Eisen, nr.6, 1999,91
3. Hepuț, T., Socalici, A., Ardelean, E.- Cercetări privind protecția mediului în industria siderurgică, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom II, Fascicola 1, 2000,84
4. Șerban, V., Nicolae, A.- Bilanț de materiale – instrument de analiză a eficienței valorificării materialelor secundare, Metalurgia nr.1, 2004, 130
5. Nicolae, A., ș.a., Dezvoltarea durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare, București, Editura Printech, 2004
6. Șerban, V., Nicolae, A. – Bilanț de materiale- instrument de analiză a eficienței valorificării materialelor secundare, Metalurgia, nr.1, 2004,13.
7. Dobrovici, D., Hătărăscu, O., Șoit-Vizante, I., Alexandrescu, A., Banu, Șt. – Intensificarea proceselor din furnal, Editura Tehnică, București, 1983
8. Buzea, O. – Îndrumător furnale, Partea I, Materii prime
9. Guran, M., Tripsa, I.- Noutăți în pregătirea minereurilor de fier pentru furnal, Editura Tehnică, București, 1964
10. Constantin, N. – Procedee neconvenționale de obținere a materialelor feroase, Editura Printech 2002
11. Popa, E., Hepuț, T., Ardelean, M. – Procese industriale, Editura Politehnica Timișoara, 2012
12. Borza, I., Popoiu Gh., Ciocan A., - Tehnologia elaborării fontei, Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara/Institutul de Subingineri Hunedoara, 1983-1984
13. ***<http://ietd.iipnetwork.org/content/fastmet%C2%A9-fastmelt%C2%A9>
14. ***http://www.midrex.com/handler.cfm/cat_id/182/section/global
15. ***Contract cercetare nr.233/2006, titlul Tehnologie integrată de obținere a unor surse energo-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
16. 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 – Consorțiu –CO: UPT – FIH Prof.dr.ing. Teodor Hepuț
17. Rău, Al., Tripsa, I., – Metalurgia oțelului, Editura Didactică și Pedagogică, București 1983
18. Dragomir, I. – Teoria proceselor siderurgice, Editura Didactică și Pedagogică București, 1985
19. Dobrovici, D.- Metalurgia fontei, Editura Tehnică, 1966
20. Tripsa, I., Dragomir, I – Teoria proceselor siderurgice, Editura Didactică și Pedagogică București, 1972
21. Constantin, N. - Ingineria producerii fontei în furnal , Editura PRINTECH -2002
22. Butnariu, I., Constantin, N.- Integrated technology for obtaining composites by Arc electric applications With special purpose industrial equipment – acronim MCDS.MedCI-PNCIDI-CEEX Program 2006-2008.

- 23.** Constantin, N., Nicolae, M., Rucai, V. : "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
- 24.** Constantin, N., Nicolae M., Niculae B.: "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
- 25.** Butnariu, I., Constantin, N.- Processes and technologies în extractive metallurgy. Technical Publishing, Bucharest, 1995.
- 26.** Constantin, N. - Cercetări privind proprietățile metalurgice ale aglomeratului feros obținut din cenuși de pirită. Contract nr. 4/1995, beneficiar I.C.E.M. - S.A. București.
- 27.** Constantin, N. - 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.
- 28.** Constantin N. - 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.
- 29.** Constantin N. - 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.
- 30.** Constantin N. - 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.
- 31.** Butnariu, I., ș.a. - Procese și tehnologii în metalurgia extractivă. Editura Tehnică, București, 1995.
- 32.** Butnariu, I. ș.a. - Tehnologii speciale de elaborare și rafinare a oțelurilor. Editura U.P.B., București, 1993.
- 33.** Constantin, N., - Nicolae, M., Geanta, V., Butnariu, I., Lepadatu, G. - Procese și tehnologii alternative în siderurgie, Editura PRINTECH 2009;
- 34.** Buzea, O. - "Guide for blast furnaces". Technical Publishing, 1994.
- 35.** Hrițac, M.: "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.
- 36.** Hrițac, M., ș.a. "Use of life cycle analysis for environmental pollution reduction on technological flow from SIDEX SA Galati ". ICEM study 2000-2001.
- 37.** Butnariu, I., Constantin, N. - Research contract CEEX X2C36/2006-2008.
- 38.** Ciocan, A. Valorificarea deșeurilor marunte și pulverulente generate în siderurgie, Ed. Grupul Editorial National 2003;
- 39.** K. Katayama, S. Wakabayashi, T. Inada, K. Takatani, and H. Yamaoka: Tetsu-to-Hagane', 1997, vol. 83 (2), pp. 91-96.
- 40.** K. Nozawa, T. Kamijo, and M. Shimizu: Tetsu-to-Hagane', 1995, vol. 81 (9), pp. 882-87.
- 41.** P.A. Cundall and O.D.L. Stack: Geotechnique, 1979, vol. 29 (1), pp. 47-65.
- 42.** Geldart D, Types of gas fluidization. Powder Technology 7:285-292 (1973).
- 43.**[44] Davidson JF, Clift R and Harrison D, Fluidization, 2nd edn, Academic Press, London (1985).

- 44.** Seville JPK, Simons SJR, Broadbent CJ, Martin TW, Parker DJ and Beynon TD, Particle velocities in gas-fluidised beds, in *Fluidization VIII*, Engineering Foundation, New York. pp 319–326 (1995).
- 45.** Anderson TB and Jackson R, A fluid mechanical description of fluidized beds. Equations of motion. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals* 6:527–539 (1967).
- 46.** Pritchett JW, Blake TR and Garg SK, A numerical model of gas fluidized beds. *A IChE Symposium Series* 176:134–148 (1978).
- 47.** Gidaspow D, *Multiphase Flow and Fluidization: Continuum and Kinetic Theory Descriptions*, Academic Press, San Diego (1994).
- 48.** Kuipers JAM and van Swaaij WPM, Application of computa- Transition between fixed, expanded and fluidised beds identified in the relationship between the effective contact force and superficial gas velocity.
- 49.** Arastoopour H, Numerical simulation and experimental analysis of gas/solid flow systems. *Powder Technology* 119:59–67 (2001).
- 50.** Jaeger HM, Nagel SR and Behringer RP, Granular solids, liquids, and gases. *Reviews of Modern Physics* 68:1259–1273 (1996).
- 51.** Hu HH, Direct simulation of flows of solid–liquid mixtures. *International Journal of Multiphase Flow* 22:335–352 (1996).
- 52.** Pan T-W, Joseph DD, Bai R, Glowinski R and Sarin V, Fluidization of 1204 spheres: simulation and experiment. *Journal of Fluid Mechanics* 451:169–191 (2002).
- 53.** Glowinski R, Pan T-W, Hesla TI, Joseph DD and Periaux J, A distributed Lagrange multiplier/fictitious domain method for the simulation of flow around moving rigid bodies: application to particulate flow. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 184:241–267 (2000).
- 54.** Singh P, Joseph DD, Hesla TI, Glowinski R and Pan T-W, A distributed Lagrange multiplier/fictitious domain method for viscoelastic particulate flows. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 91:165–188 (2000).
- 55.** Tsuji Y, Kawaguchi T and Tanaka T, Discrete particle simulation of two-dimensional fluidized bed. *Powder Technology* 77:79–87 (1993).
- 56.** Hoomans BPB, Kuipers JAM, Briels WJ and van Swaaij WPM, Discrete particle simulation of bubble and slug formation in a two-dimensional gas-fluidised bed: a hard-sphere approach. *Chemical Engineering Science* 51:99–118 (1996).
- 57.** Xu BHand Yu AB, Numerical simulation of the gas–solid flow in a fluidized bed by combining discrete particle method with computational fluid dynamics. *Chemical Engineering Science* 52:2785–2809 (1997).
- 58.** Cundall PA and Strack ODL, A discrete numerical model for granular assemblies. *Ge´otechnique* 29:47–65 (1979).
- 59.** Thornton C (ed), *Numerical Simulation of Discrete Particle Systems*, Powder Technology 209: a special issue containing many relevant papers (2000).
- 60.** Kishino Y (ed), *Powders and Grains* (a conference proceeding containing many papers on the physics of granular matter), AA Balkema Publishers, Lisse, The Netherlands (2001).
- 61.** Allen MP and Tildesley DJ, *Computer Simulations of Liquids*, Clarendon Press, Oxford (1987).
- 62.** Crowe CT, Sharma MP and Stock DE, The particle-source-in cell (PSI-CELL) model for gas-droplet flow. *Trans ASME J Fluid Eng* 99:325–332 (1977).

- 63.** Tanaka T, Yonemura S, Kiribayashi K and Tsuji Y, Cluster formation and particle-induced instability in gas–solid flows predicted by the DSMC method. *JSME Int. J (B)—Fluids Thermal Eng* 9:239–245 (1996).
- 64.** Tanaka T, Kajiwara Y, Inada T and Yamagata C, Flow dynamics of granular materials in a blast furnace, in *Ironmaking Conference Proceedings*, pp 237–251 (1988).
- 65.** Schwarzer S, Sedimentation and flow through porous media: simulating dynamically coupled discrete and continuum phases. *Phys Rev E* 52:6461–6475 (1995).
- 66.** Mikami T, Kamiya H and Horio M, Numerical simulation of cohesive powder behavior in a fluidized bed. *Chemical Engineering Science* 53:1927–1940 (1998).
- 67.** Parpală, I – Teză de doctorat: Studii și cercetări pentru consolidarea unui plan de învățământ în domeniul ecometalurgiei, Universitatea Politehnica București, 2007
- 68.** Xu BH, Yu AB, Chew SJ and Zulli P, Computer simulation of the gas–solid flow under the effect of capillary force, in *2nd Int Conf on CFD in Minerals & Process Industries*, Melbourne, Australia. pp 267–272 (1999).
- 69.** Yuu S, Umekage T and Johno Y, Numerical simulation of air and particle motions in bubbling fluidized bed of small particles. *Powder Technology* 110:158–168 (2000).
- 70.** Kuwagi K, Mikami T and Horio M, Numerical simulation of metallic solid bridging particles in a fluidized bed at high temperature. *Powder Technology* 109:27–40 (2000).
- 71.** Xu BH, Yu AB, Chew SJ and Zulli P, Numerical simulation of the gas–solid flow in a bed with lateral gas blasting. *Powder Technology* 109:13–26 (2000).
- 72.** Rhodes MJ, Wang XS, Nguyen M, Stewart P and Liffman K, Use of discrete element method simulation in studying fluidization characteristics: influence of interparticle force. *Chemical Engineering Science* 56:69–76 (2001).
- 73.** Xu BH, Yu AB and Zulli P, The effect of interparticle forces on powder fluidization behaviour, in *Powders and Grains 2001*, Ed by Kishino Y, AA Balkema Publishers. pp 577–580 (2001).
- 74.** Xu BHand Yu AB, Microdynamic analysis of bed expansion and stability of gas fluidisation. (submitted) (2001).
- 75.** Zhou YC, Wright BD, Yang RY, Xu BH and Yu AB, Rolling friction in the dynamic simulation of sandpile formation. *Physica A* 269:536–553 (1999).
- 76.** Visser J, An invited review: van der Waals’ and other cohesive forces affecting powder fluidization. *Powder Technology* 58:1–10 (1989).
- 77.** Sraelachvili JN, *Intermolecular and Surface Forces*, 2nd edn, Academic Press, London (1991).
- 78.** Yang RY, Zou RP and Yu AB, Computer simulation of the packing of fine particles. *Physical Review E* 62:3900–3908 (2000).
- 79.** Stewart R, Bridgwater J, Zhou YC and Yu AB, Simulated and measured flow of granules in a bladed mixer—a detailed comparison. *Chemical Engineering Science* 56:5457–5471 (2001).
- 80.** Omori Y (Ed), *Blast Furnace Phenomena and Modelling*, Elsevier Applied Science, London (1987).
- 81.** Flint PJ and Burgess JM, A fundamental study of raceway size in two dimensions. *Metall Trans B* 23:267–283 (1992).
- 82.** MacDonald JF and Bridgwater J, Void formation in stationary and moving beds. *Chem Eng Sci* 52:667–691 (1997).

- 83. E.Crișan** - Raport de cercetare nr.1- *Cercetări privind reciclarea în siderurgie a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și fier-carbon*
- 84. E.Crișan** - Raport de cercetare nr.2 - *Cercetări și experimentări în fază de laborator privind brichetarea deșeurilor feroase pulverulente și mărunte*
- 85.*****<http://www.rwe.com/web/cms/en/1757534/rwe-generation-se/locations/germany/duisburg-hamborn-cogeneration-plant/>
- 86.***** <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/de/>
- 87.** Ruică, M. - 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
- 88.** Constantin, C. - 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
- 89.** Oancea, V. - 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
- 90.** T. Heput, **E. Crișan**, A. Socalici, E. Ardelean, M. Ardelean, **Cerere de Brevet de Invenție** nr. A 2012 00130/28.02.2012 OSIM - Brichetă cilindrică multicavă produsă din deșeurii feroase pulverulente și mărunte cu granulație sub 2 mm.
- 91. E. Crișan**, L. Vilceanu, V. Puțan, M. Ardelean, "Experiments regarding to crushing and fissuring resistance for briquettes from various type of pulverous ferrous waste", *Metalurgia International*, București, România, 17(10), pp.80-87, 2012, ISSN 1582-2214, **revistă indexată ISI**.
- 92. E. Crișan**, L. Vilceanu, M. Ardelean, V. Puțan, "Research regarding of the compression behavior for ferrous briquettes", *Technical Gazette*, Nr.4(20), 2013, Croația, acceptată pentru publicare, ISSN 1330-3651, **revistă indexată ISI**.
- 93. E. Crișan**, T. Heput, "Research and experiments on the cumulative influence of technological factors on the quality of raw pellet", *Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, Tome VIII, Fascicule 3, 2010, pp. 231-235, ISSN 1584 - 2673, **revistă indexată BDI (CNCSIS B+)**.
- 94. E. Crișan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, "Research on quality of pellets, *International Journal of Energy and Environment*", Issue 1, Volume 6, 2012, **revistă indexată BDI (COMPENDEX)**.
- 95. E. Crișan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, "Research on the influence of binders with basic data base on compressive strength of pellets", *Proceedings of the 4th International Conference on MANUFACTURING ENGINEERING, QUALITY and PRODUCTION SYSTEMS, MEQAPS'11*, September 15-17, 2011, Barcelona, Spania, pp.165-169, 2011. ISSN: 1792-4693, ISBN: 978-1-61804-031-2, **Proceedings BDI (SCOPUS)**.
- 96.** A. Todoruț, T. Heput, A. Socalici, M. Flori, **E. Crișan**, "Research on expansion of the steel base materials", *Proceedings of the 4th International Conference on ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL SCIENCE AND ENGINEERING, EG'11*, September 15-17, 2011, Barcelona, Spania, pp.112-117, 2011. ISSN: 1792-4693, ISBN: 978-1-61804-032-9, **Proceedings BDI (SCOPUS)**.
- 97. E. Crișan**, L. Vilceanu, M. Ardelean, V. Puțan, "Recycling waste from the steel industry", *Proceeding of 3 the 3rd International Conference on Energy, Environment Devices Systems, Communications, Computers (INEE'12)*, Mathematical Modelling and Simulation in Applied Science, Rovaniemi, Finland, April 18-20, 2012, pp.148-153, ISBN: 978-1-61804-086-2, în curs de indexare - Proceedings BDI.

- 98. E. Crişan**, M. Ardelean, L. Vilceanu, T. Heput, *“Research in the laboratory phase of processing ferrous waste by briquetting”* International U.A.B. – B.E.N.A. Conference Environmental Engineering And Sustainable Development ALBA IULIA, ROMANIA, Publishing House, MAY 26-27th, 2011 ISBN:976-606-613-002-8.
- 99. E. Crişan**, L. Strugariu, A. Todorut, V. Petroesc, *“Research on Recycling of Waste to Achieve Prereduse Briquettes”*, The 4th International Conference on Advanced Materials and Structures, 27-28 October, Timișoara, România, 2011, No.50, ISBN: 987-606-554-374-4.