

**CERCETĂRI PRIVIND
GESTIONAREA
ȘI VALORIFICAREA DEȘEURILOR
MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE,
REZULTATE DIN INDUSTRIA
DE MATERIALE, ÎN CONTEXTUL
DEZVOLTĂRII DURABILE
A JUDEȚULUI HUNEDOARA**

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

Ing. Adela Susana Todoruț

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Teodor Hepuț
Prof.univ.dr.ing. Liviu Bereteu
Prof.univ.dr.ing Nicolae Constantin
C.S.I. dr.ing.Doru-Romulus Pascu
Prof.univ.dr.ing. Victor Budău

Ziua susținerii tezei: 07.02.2014

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 | 16. Inginerie și Management |

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

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

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 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 Hunedoara a Universității ``Politehnica`` din Timișoara.

Pe parcursul pregătirii tezei, am beneficiat de bursă atribuită prin proiectul de cercetare strategic ID 77265 cu titlul "Spre cariere de cercetare prin studii doctorale".

O parte din cercetările prezentate în teză au fost efectuate în timpul stagiului la Universitatea Tehnologică Luleå - Suedia, în perioada martie - mai 2013.

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

Doresc să mulțumesc conducătorului de doctorat Prof.dr.ing. Hepuț Teodor precum și doamnelor Conf.dr.ing. Socalici Virginia Ana, Conf.dr.ing Ardelean Erika Diana și Șef lucrări ing. Ardelean Marius, pentru susținerea și înțelegerea acordată. Sugestiile și discuțiile cu acest colectiv de îndrumare au condus la îmbunătățirea permanentă a redactării lucrării și la scrierea de articole științifice.

Aduc mulțumiri și echipei de cercetători condusă de domnul Prof. Bo Björkman și Asist. Prof. Hesham Ahmed, pentru îndrumarea și sprijinul acordat în cadrul stagiului de pregătire la Universitatea Tehnologică Luleå - Suedia.

Aduc mulțumiri și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management pentru asigurarea cadrului propice creat în vederea finalizării cu succes a lucrării și nu în ultimul rând mulțumesc familiei mele care m-a susținut și încurajat pe parcursul acestui proiect.

Timișoara, Februarie 2014

Adela Susana TODORUȚ

" Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul parțial din grantul strategic CPP107/DMI1.5/S/77265, în cadrul POSDRU România 2007-2013 cofinanțat de Fondul Social European " Investește în oameni" ".

TODORUȚ, Adela Susana

CERCETĂRI PRIVIND GESTIONAREA ȘI VALORIFICAREA DEȘEURILOR MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE, REZULTATE DIN INDUSTRIA DE MATERIALE, ÎN CONTEXTUL DEZVOLTĂRII DURABILE A JUDEȚULUI HUNEDOARA

Teze de doctorat ale UPT, Seria 11, Nr. 39, Editura Politehnica, 2013, 200 pagini, 167 figuri, 70 tabele.

ISSN:1842-7855

ISBN:978-606-554-767-4

Cuvinte cheie: valorificare, gestionare, deșeuri, produs finit, pelete, minereu.

Rezumat,

Scopul tezei de doctorat, constă în îmbunătățirea metodelor de valorificare a deșeurilor, prin peletizare. Experimentele s-au efectuat atât în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara cât și la Universitatea Tehnologică Luleå.

S-a urmărit valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente existente în județul Hunedoara (Călan, Hunedoara, Mintia, etc.) precum și celor din județele limitrofe (Caraș-Severin și Bihor). Am ales ca procedeu de valorificare peletizarea datorită compoziției granulometrice caracteristică deșeurilor. Peletele obținute în laborator au fost durificate la rece și la cald, determinându-se caracteristicile calitative ale acestora în funcție de componența rețetelor și anume: tipul deșeurilor folosite, proporția fracției fine, varierea umidității și liantului.

Teza conține un număr de 8 capitole, în 3 dintre acestea fiind relatate generalități din literatura de specialitate iar în cele 5 rămase sunt prezentate rezultatele obținute în timpul experimentelor, spre exemplu și un calcul economic comparativ pentru obținerea unei tone de oțel folosindu-se ca materie primă: 1. fier vechi 100 % și 2. fier vechi 70 % + pelete durificate 30 %.

Rezultatele obținute au fost prelucrate în programele de calcul Excel și Matlab, obținându-se corelații simple și duble, reprezentate analitic și grafic. Parametrii acestora fiind rezistența la compresiune (parametru dependent) și varierea parametrilor: proporția fracției fine, umiditate și liant (parametrii independenți). O altă determinare a acestor pelete a fost gradul de metalizare a acestora, în funcție de temperatura de durificare.

CUPRINS

	Pag.
1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRIILOR ȘI CERCETĂRIILOR.....	17
1.1. Considerații generale	17
1.2. Descrierea esențializată a obiectului cercetării	18
1.3. Structura planului de cercetare	19
1.4. Componentele principale ale planului de cercetare	21
1.5. Concluzii	23
PARTEA I. ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE A GENERĂRII DEȘEURILOR PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON ȘI A PROCEDURELOR DE VALORIFICARE (RECICLARE)	
2. DEȘEURILE MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER DIN INDUSTRIA DE MATERIALE	27
2.1. Surse de deșeuri cu conținut de fier și carbon	27
2.2. Prezentarea surselor de deșeuri	28
2.3. Deșeuri pulverulente	30
2.3.1. Praf și șlam de aglomerare – furnale	30
2.3.2. Praf de oțelărie	33
2.3.2.1. Praf de la oțelăriile Siemens –Martin	33
2.3.2.2. Praf de la oțelăriile electrice	34
2.3.2.3. Praful și șlamul de convertizor	36
2.3.3. Nămolul roșu	38
2.3.4. Cenușa de termocentrală	39
2.3.5. Cenuși piritice	40
2.4. Deșeuri mărunte	41
2.4.1. Țunderul	41
2.4.2. Zgură de oțelărie	44
2.4.3. Deșeu sideritic	46
2.4.4. Sterilul silicios	47
2.5. Concluzii	47
3. PROCEDURE ȘI TEHNOLOGII DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR REZULTATE DIN INDUSTRIA DE MATERIALE	49
3.1. Considerații generale	49
3.2. Valorificarea prin peletizare	49
3.2.1. Teoria formării peletelor	50
3.2.2. Tobele de formare a peletelor	51
3.2.3. Durificarea sau întărirea peletelor	55
3.2.3.1. Durificarea la cald (prin tratament termic)	55
3.2.3.2. Durificarea peletelor cu liant la rece (autoîntărire)	58
3.3. Calitatea peletelor utilizate la încărcarea furnalelor	58
3.4. Brichetarea	60
3.4.1. Caracteristici generale	60
3.4.2. Caracteristicile fizice impuse brichetelor	60
3.4.3. Principiile și clasificarea metodelor de brichetare	61
3.4.4. Brichetare fără adaosuri liante	61

3.4.5. Brichetarea cu adaosuri liante	62
3.5. Aglomerarea	63
3.5.1. Considerații tehnologice	63
3.5.2. Fazele procesului de aglomerare	63
3.5.2.1. Pregătirea șarjei de aglomerare	63
3.5.2.2. Uscarea și preîncălzirea șarjei	64
3.5.2.3. Aglomerarea propriu-zisă	64
3.5.2.4. Aglomerarea mașini de aglomerare cu bandă	64
3.5.2.5. Aglomerarea în cutii de aglomerare tip Greenwalt	65
3.6. Procedeeul Carbofer	65
3.7. Procedeeul Primus de reciclare a deșeurilor feroase din siderurgie	66
3.8. Procedeeul Hamborn	68
3.8.1. Considerații tehnologice	68
3.8.2. Procedeeul în cuptor-cuvă Hamborn	68
3.9. Alte domenii de utilizare a deșeurilor mărunte și pulverulente	70
3.10. Concluzii	71
PARTEA A-II-A. CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII DE PROCESARE PRIN PELETIZARE A DEȘEURILOR PULVERULENTE	
4. EXPERIMENTĂRI ÎN FAZĂ DE LABORATOR PRIVIND VALORIFICAREA PRIN PELETIZARE	75
4.1. Generalități	75
4.2. Instalații și echipamente folosite în cadrul experimentărilor	75
4.3. Caracteristicile deșeurilor utilizate în cadrul experimentărilor	83
4.4. Depozitarea	86
4.5. Concluzii	87
5. CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND PROCESAREA PRIN PELETIZARE A DEȘEURILOR PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON	89
5.1. Tehnologie de pelletizare în fază de laborator (de producere a peletelor în fază de laborator)	89
5.2. Experimentări de laborator în cadrul FIH privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta A	91
5.2.1. Experimentări privind peletele crude	91
5.2.1.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel ...	92
5.2.1.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Excel	100
5.2.1.3. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul de calcul Matlab	103
5.2.1.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab	106
5.2.1.5. Concluzii	107
5.2.2. Experimentări privind peletele durificate produse după varianta A .	107
5.2.2.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel ...	108
5.2.2.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Excel	115
5.2.2.3. Rezultate obținute în programul de calcul Matlab	116
5.2.2.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab	120
5.2.2.5. Concluzii	120

5.3. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta B ...	121
5.3.1. Producerea peletelor după varianta B	121
5.3.2. Rezultate obținute în cadrul experimentărilor efectuate în laboratorul „Furnace Lab” din cadrul Universității Tehnologice Luleå – Suedia	122
5.3.2.1. <i>Experimentări și rezultate</i>	122
5.3.2.2. <i>Concluzii</i>	123
5.3.3. Rezultate obținute în cadrul experimentărilor efectuate la Facultatea de Inginerie din Hunedoara, Universitatea „Politehnica” Timișoara	124
5.3.3.1. <i>Experimentări și rezultate</i>	124
5.3.3.2. <i>Concluzii</i>	127
5.4. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta C .	127
5.4.1. Producerea și durificarea peletelor după varianta C	127
5.4.2. Analiza XRD și SEM	128
5.4.2.1. <i>Analiza XRD</i>	128
5.4.2.2. <i>Analiza SEM</i>	130
5.4.2.3. <i>Concluzii</i>	134
5.4.3. Analiza SEM efectuate la Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor–Universitatea Politehnica din București	134
5.5. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor autofondante din deșeuri pulverulente după varianta D	134
5.5.1. Considerații tehnologice	134
5.5.2. Experimentări și rezultate privind producerea peletelor cu adaos de var și dolomită	136
5.5.2.1. <i>Producerea peletelor</i>	136
5.5.2.2. <i>Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel</i> ...	137
5.5.2.3. <i>Analiza tehnologică a rezultatelor obținute Excel</i>	147
5.5.2.4. <i>Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab</i> .	147
5.5.2.5. <i>Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab</i>	151
5.6. Topirea peletelor reduse	152
5.6.1. Compoziția chimică a peletelor	152
5.6.2. Topirea peletelor reduse în cuptorul Tamman	153
5.6.3. Topirea peletelor în cuptorul cu inducție	154
6. CERCETĂRI EFECTUATE LA UNIVESTITATEA TEHNOLOGICĂ LULEÅ PRIVIND VALORIFICAREA DEȘEURILOR PULVERULENTE	157
6.1. Studiu documentar privind rezultatele parțiale din cadrul proiectului "Reciclarea eficientă a pulberilor în cuptor cu vatră rotativă"	157
6.2. Experimentări și rezultate obținute la Universitate Tehnologică Luleå ...	161
6.2.1. <i>Concluzii</i>	166
7. CALCUL ECONOMIC PRIVIND EFICIENȚA FOLOSIRII PELETTELOR CA ÎNCĂRCĂTURĂ ÎN CUPTORUL ELECTRIC CU ARC	167

8. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	173
8.1. Concluzii finale	173
8.1.1. Concluzii finale generale	173
8.1.2. Pelete produse după varianta B	175
8.1.3. Pelete produse după varianta C	176
8.1.4. Pelete produse după varianta D	176
8.1.5. Experimente și rezultate comparative obținute în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara și Universitatea Tehnologică Lulea.....	177
8.2. Contribuții originale	178
8.3. Direcții de continuarea a cercetărilor	179
ANEXE	181
Anexă Capitolul V	181
Anexă Capitolul VI	190
Bibliografie	193

Listă de tabele

	pag.
Tabelul 1.1. Produse primare și derivate în siderurgie	22
Tabelul 2.1. Deșeuri provenite din sectorul siderurgic	28
Tabelul 2.2. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (după uscare)	30
Tabelul 2.3. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Arcelor Mittal Hunedoara	32
Tabelul 2.4. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Reșița	32
Tabelul 2.5. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Călan	33
Tabelul 2.6. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Galați	33
Tabelul 2.7. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara)	34
Tabelul 2.8. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2 S.C. ArcelorMittal Hunedoara)	36
Tabelul 2.9. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița	36
Tabelul 2.10. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu	36
Tabelul 2.11. Compoziția chimică a prafului de convertizor	37
Tabelul 2.12. Compoziția chimică șlamului de convertizor	37
Tabelul 2.13. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea	38
Tabelul 2.14. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Oradea	38
Tabelul 2.15. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea	39
Tabelul 2.16. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de AluminaTulcea	39
Tabelul 2.17. Compoziția cenușilor de termocentrală	40
Tabelul 2.18. Compoziția concentratului de fier din cenușă de termocentrală ...	40
Tabelul 2.19. Compoziția chimică a cenușilor piritice	41
Tabelul 2.20. Compoziția chimică a țunderului ArcelorMittal Hunedoara	43
Tabelul 2.21. Evaluarea haldelor de zgură din România	44
Tabelul 2.22. Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara	46
Tabelul 2.23. Compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor siderită	46
Tabelul 2.24. Compoziția chimică a sterilului silicios	47
Tabelul 3.1. Materiale de încărcare (de brichete) pentru cuptorul cu cuvă Hamborn	69
Tabelul 4.1. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale ArcelorMittal Hunedoara	84
Tabelul 4.2. Compoziția chimică a prafului de furnal ArcelorMittal Hunedoara .	84

Tabelul 4.3. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara)	84
Tabelul 4.4. – Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică	84
Tabelul 4.5. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea	84
Tabelul 4.6. Compoziția cenușilor de termocentrală Mintia-Deva	85
Tabelul 4.7. Compoziția chimică a ținderului	85
Tabelul 4.8. Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara	85
Tabelul 4.9. Compoziția concentratului din deșeu sideritic	85
Tabelul 4.10. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K.Reșița	85
Tabelul 4.11. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu	85
Tabelul 5.1. Componenta de bază a rețetelor	91
Tabelul 5.2. Rețete pentru pelete autoreducătoare	121
Tabelul 5.3. Parametri de ardere a peletelor	124
Tabelul 5.4. Gradul de metalizare pentru peletele autoreducătoare	127
Tabelul 5.5. Componenta rețetei de peletizare	128
Tabelul 5.6. Caracteristici pelete arse la 1200 °C	131
Tabelul 5.7. Caracteristici pelete arse la 1220 °C	132
Tabelul 5.8. Caracteristici pelete arse la 1230 °C	133
Tabelul 5.9. Rețete pentru pelete cu adaos de lianți bazici	137
Tabelul 5.10. Compoziția chimică a peletelor nereduse (crude)	152
Tabelul 5.11. Compoziția chimică a peletelor arse	152
Tabelul 5.12. Compoziția chimică a fontei	153
Tabelul 5.13. Compoziția chimică a zgurii	153
Tabelul 5.14. Bilanțul încărcăturii	153
Tabelul 5.15. Compoziția chimică a oțelului a terminarea topirii deșeurilor	154
Tabelul 5.16. Bilanțul încărcăturii	155
Tabelul 5.17. Compoziția chimică a oțelului	155
Tabelul 5.18. Compoziția chimică a zgurii	155
Tabelul 5.19. Bilanțul fierului	155
Tabelul 6.1. Componenta rețetelor	157
Tabelul 6.2. Analize chimice ale subproduselor	158
Tabelul 6.3. Analize chimice ale amestecurilor	159
Tabelul 6.4. Pierderea în greutate a amestecurilor	160
Tabelul 6.5. Componenta rețetei peletelor	161
Tabelul 6.6. Clasele granulometrice ale peletelor	161
Tabelul 6.7. Clase granulometrice ale peletelor	162
Tabelul 6.8. Clase granulometrice ale peletelor	162
Tabelul 6.9. Cântărirea peletelor	163
Tabelul 6.10. Pierderea în greutate a peletelor	164
Tabelul 7.1. Calcul economic – cost producere pelete crude	168
Tabelul 7.2. Calcul economic – cost producere pelete crude	169
Tabelul 7.3. Calcul economic – cost de producere a unei tone de oțel	170
Tabelul 7.4. Calcul economic – cost de producere a unei tone de oțel	171

Listă de figuri

	pag.
Figura 1.1. Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării	19
Figura 1.2. Circuitul și efectul poluării asupra omului și naturii	21
Figura 2.1. Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unui combinat siderurgic	29
Figura 2.2. Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic	29
Figura 2.3. Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal S.A. Hunedoara (Bataga)	31
Figura 2.4. Depozitul de șlam de aglomerare - furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. Sidermet S.A. Călan	31
Figura 2.5. Schema unui electrofiltru cu trei zone de epurare	34
Figura 2.6. Instalație de desprăfuire pe cale umedă (cuptor cu arc electric de 10 t)	35
Figura 2.7. Schema sistemului de poluare a mediului prin intermediul CAE	35
Figura 2.8. Iazul decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galati S.A	37
Figura 2.9. Zonă depozitare nămol roșu Ungaria înainte și după ruperea digului	39
Figura 2.10. Depozitul de cenușa Mintia	39
Figura 2.11. Cenuși piritice	41
Figura 2.12. Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald	43
Figura 2.14. Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A.	45
Figura 2.15. Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A.	45
Figura 2.16. Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A.	45
Figura 2.17. Halda Steril Teliuc	46
Figura 2.18. Carieră steril Teliuc	46
Figura 3.1. Legătura pendulării dintre sfere	51
Figura 3.2. Instalația tobei de format sfere	51
Figura 3.3. Formarea peletelor crude	52
Figura 3.4. Instalații pentru producerea peletelor	53
Figura 3.5. Schema mișcării materialelor în peletizor	54
Figura 3.6. Peletizor tip tambur cilindric	54
Figura 3.7. Peletizor conic	55
Figura 3.8. Cuptor cu cuvă pentru durificarea peletelor	56
Figura 3.9. Curbele izoterme din zona de durificare a peletelor în cuptorul cu cuvă	56
Figura 3.10. Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor	57
Figura 3.11. Schema de principiu a instalației de durificare a peletelor pe bandă circulară	57
Figura 3.12. Schema de principiu a procedurii Grăte-Klin, în cazul instalației de la Bong Range (Liberia)	57
Figura 3.13. Variația în timp a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la rece cu liant	58

Figura 3.14. Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora	59
Figura 3.15. Schema metodelor de brichetare	61
Figura 3.16. Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor	62
Figura 3.17. Mașină de aglomerare cu bandă	65
Figura 3.18. Cutie de aglomerare tip Greenwalt	65
Figura 3.19. Fluxul tehnologic de obținere și utilizare a Carboferului în cuptor electric cu arc	66
Figura 3.20. Tratarea deșeurilor din siderurgie prin procedeul „Primus”	68
Figura 3.21. Zgură de la halda ArceloMittal Hunedoara	71
Figura 3.22. Utilizarea zgurii	71
Figura 4.1. Ciur vibrator	76
Figura 4.2. Moară Kollergang	76
Figura 4.3. Moară planetară cu bile PM 100	77
Figura 4.4. Moară cu rotor ZM200	77
Figura 4.5. Aparat de sitare Fritsch tip Analysette 3 Spartan	78
Figura 4.6. Balanțe	78
Figura 4.7. Tobă de omogenizare	78
Figura 4.8. Peletizor tip taler	79
Figura 4.9. Instalație de aglomerare	79
Figura 4.10. Presă 400 kN	79
Figura 4.11. Presă hidraulică	80
Figura 4.12. Etuvă	80
Figura 4.13. Cuptoare de topire	81
Figura 4.14. Cuptor cu rezistori	81
Figura 4.15. Cuptor Tammann	82
Figura 4.16. Cuptor cu inducție	82
Figura 4.17. Mașina de încercare la compresiune	83
Figura 4.18. Clasarea granulometrică a prafului de furnal	86
Figura 4.19. Clasarea granulometrică a prafului de electrofiltru	86
Figura 4.20. Clasarea granulometrică a țunderului	86
Figura 4.21. Clasarea granulometrică a piliturii de fier	86
Figura 4.22. Clasarea granulometrică a nămolului roșu	86
Figura 4.23. Clasarea ganulometrică a sterilului	86
Figura 4.24. Recipiente de depozitare a deșeurilor	87
Figura 5.1. Diagrama de durificare a peletelor	90
Figura 5.2. Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor	90
Figura 5.3. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm	92
Figura 5.4. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm , adaos de apa 7 % - 8 %	93
Figura 5.5. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, adaos de apa 8,5 % - 9,5 %	93
Figura 5.6. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, adaos de apa 10 % - 11 %	94
Figura 5.7. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, adaos de apa 7 % - 11 %	94
Figura 5.8. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, pentru 1 % bentonită și diferite procente la adaosul de apă	95

Figura 5.9. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, pentru 0,5 % bentonită și diferite adaosuri de apă	95
Figura 5.10. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0,040 mm, pentru 0 % bentonită și diferite adaosuri de apă	96
Figura 5.11. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită	96
Figura 5.12. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 7,0 % - 8,5 %	97
Figura 5.13. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 8,5 % - 9,5 %	97
Figura 5.14. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 10 % -11 %	98
Figura 5.15. Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 40 % fracție sub 0,040 mm și diferite procente de apă	98
Figura 5.16. Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 65 % fracție sub 0,040 mm și diferite procente de apă	99
Figura 5.17. Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 84 % fracție sub 0,040 mm și diferite procente de apă	99
Figura 5.18. Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 98 % fracție sub 0,040 mm și diferite procente de apă	100
Figura 5.19. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 40 %	103
Figura 5.20. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 65 %	103
Figura 5.21. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 84 %	104
Figura 5.22. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 98 %	104
Figura 5.23. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de bentonită (%) și participația de fracție fină	105
Figura 5.24. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și participația de fracție fină	105
Figura 5.25. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040mm și adaosul de bentonită, pentru 7-11% apă	108
Figura 5.26. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040mm și adaosul de bentonită, pentru 7 - 8% apă	108
Figura 5.27. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040 mm și adaosul de bentonită, pentru 8,5% - 9,5% apă	109
Figura 5.28. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040 mm și adaosul de bentonită, pentru 10 - 11 % apă	109
Figura 5.29. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040mm, 0% bentonită și diferite adaosuri de apă (7-10%)	110

Figura 5.30. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040mm, 0,5% bentonită și diferite adaosuri de apă (7,5 -11%)	110
Figura 5.31. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040mm, 1% bentonită și diferite adaosuri de apă (8,5-11%)	111
Figura 5.32. Variația rezistenței la compresiune a peletelor arse în funcție de adaosul de bentonită și participația fracției cu granulație sub 0,040mm	111
Figura 5.33. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 7,0 - 8,0 %	112
Figura 5.34. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 8,5 - 9,5 %	112
Figura 5.35. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 10 - 11 %	113
Figura 5.36. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 40 % fracție sub 0.04 mm și diferite procente de apă și bentonită	113
Figura 5.37. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 65 % fracție sub 0.04 mm și diferite procente de apă și bentonită	114
Figura 5.38. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 84 % fracție sub 0.04 mm și diferite procente de apă și bentonită	114
Figura 5.39. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 98 % fracție sub 0.04 mm și diferite procente de apă și bentonită	115
Figura 5.40. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de fracție fină sub 40 μ m și procentul de apă	116
Figura 5.41. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de fracție fină sub 40 μ m și procentul de bentonită	117
Figura 5.42. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită	117
Figura 5.43. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μ m în proporție de 40%)	118
Figura 5.44. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μ m în proporție de 65%)	118
Figura 5.45. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μ m în proporție de 84%)	119
Figura 5.46. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μ m în proporție de 98%)	119
Figura 5.47. Pelete autoreducătoare	121
Figura 5.48. Diagrama de evoluție a temperaturii primei probe	122
Figura 5.49. Diagrama de evoluție a temperaturii celei de-a doua probe	123
Figura 5.50. Rezultate la analiza peletelor la aparatul XRD	123
Figura 5.51. Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP1	125
Figura 5.52. Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP2	125
Figura 5.53. Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP3	126
Figura 5.54. Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP4	126
Figura 5.55. Corelația între temperatura maximă de ardere și gradul de metalizare	127
Figura 5.56. Diagrama de încălzire la 1220 °C	128
Figura 5.57. Schema de funcționare a aparatului XRD	129
Figura 5.58. Interpretare XRD pentru pelete arse la 1200 °C	129
Figura 5.59. Interpretare XRD pentru pelete arse la 1220 °C	129
Figura 5.60. Interpretare XRD pentru pelete arse la 1230 °C	130

Figura 5.61. Pelete arse la 1200 °C	131
Figura 5.62. Pelete arse la 1220 °C	132
Figura 5.63. Pelete arse la 1230 °C	133
Figura 5.64. Influența adaosului de var asupra rezistenței la compresiune a peletelor	135
Figura 5.65. Structura unei pelete autofondante cu adaos de dolomită	136
Figura 5.66. Diagramă de ardere	137
Figura 5.67. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 1 %	138
Figura 5.68. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 0,5 %	138
Figura 5.69. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 0 %	139
Figura 5.70. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 1 %	139
Figura 5.71. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 0,5 %	140
Figura 5.72. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 0 %	140
Figura 5.73. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 1 %	141
Figura 5.74. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 0,5 %	141
Figura 5.75. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 0 %	142
Figura 5.76. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 1 %	142
Figura 5.77. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 0,5 %	143
Figura 5.78. Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 0 %	143
Figura 5.79. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de apă și var	144
Figura 5.80. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și var	144
Figura 5.81. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de apă și dolomită	145
Figura 5.82. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și dolomită	145
Figura 5.83. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de apă și var+dolomită	146
Figura 5.84. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și var+dolomită	146
Figura 5.85. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var și bentonită	147
Figura 5.86. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var și apă	148
Figura 5.87. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și apă	148
Figura 5.88. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de dolomită și bentonită	149
Figura 5.89. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de dolomită și apă	149

Figura 5.90. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și apă	150
Figura 5.91. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var+dolomită și bentonită	150
Figura 5.92. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var+dolomită și apă	151
Figura 5.93. Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și apă	151
Figura 6.1. Analiza XRD a subproduselor (difractogramă)	158
Figura 6.2. Analiza XRD a amestecului A4 (difractogramă)	159
Figura 6.3. Analiza TGA pentru amestecuri	160
Figura 6.4. Rezistența la compresiune înainte de tratamentul termic	163
Figura 6.5. Analiza XRD a peletelor cu 5 % praf de furnal	165
Figura 6.6. Analiza XRD a peletelor cu 20 % praf de furnal	165
Figura 6.7. Aspecte din timpul experimentului	165
Figura 6.8. Diagrama comparativă între cele două brichete (TGA)	166

CAPITOLUL I

PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

1.1. Considerații generale

În cadrul proceselor industriale, pe lângă produsul principal de fabricație rezultă produse secundare și deșeuri. În cadrul întreprinderilor industriale, pe fluxul de producție al oțelului, agenții economici din siderurgie, generează deșeuri pulverulente și mărunte cu conținut de fier, de carbon, elemente de aliere, fier și carbon, precum și oxizi cu caracter bazic/acid, în regim continuu în cantități apreciabile, proporționale cu producția realizată. Cantitățile importante generate, impactul negativ asupra mediului și potențialul economic datorat componentelor utile, au impus găsirea de soluții pentru reciclarea acestora.

Depozitarea necontrolată a deșeurilor, impactul negativ asupra mediului și deasemenea costul ridicat al materiilor prime, sunt câteva motive pentru care reciclarea reprezintă o necesitate. Reciclarea deșeurilor, de orice tip, este un proces economic cu efecte pe termen lung.

Este nevoie de capital redus și cheltuieli de funcționare reduse, consum mai puțin de energie și mediu în condiții de siguranță [1].

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.

Valorificarea superioară a deșeurilor siderurgice 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.

Pe plan mondial deșeurile pulverulente sunt procesate sub formă de pelete și valorificate în procesul de elaborare a fontei, iar dacă sunt supuse unui proces de reducere, pot fi utilizate cu rezultate foarte bune în încărcătura cuptoarelor electrice, și evident cu atât mai mult a furnalelor.

Aduse la forma de micropelite, pot fi valorificate în procesul de aglomerare, alături de deșeurile mărunte și evident de minereuri.

Atât deșeurile pulverulente cât și cele mărunte, pot fi valorificate cu rezultate bune sub formă de brichete. În cazul reintroducerii în circuitul de elaborare a oțelului a prafului de electrofiltru, în mod deosebit a celui provenit de la oțelăriile electrice, pe parcursul refolosirii, în funcție de calitatea încărcăturii se constată de exemplu o creștere a conținutului zinc, ceea ce face ca la un moment dat, acest praf să nu mai fie valorificat în siderurgie ci în metalurgia neferoasă.

De asemenea pe lângă deșeurile feroase care rezultă din industria metalurgică, se pot valorifica cu bune rezultate asemenea deșeuri și din alte ramuri

industriale de exemplu: cenușile piritice din industria chimică, concentratul de fier din cenuși de termocentrală, precum și deșeurile bazice, praf de var, dolomită, etc.

În concluzie deșeurile pulverulente și mărunte se pot valorifica în practica curentă în industria siderurgică și este necesar să fie continuate cercetările în vederea stabilirii celor mai performante procedee, tehnologii de valorificare, atât din punct de vedere economic cât și ecologic.

Găsirea soluțiilor performante din punct de vedere economic și ecologic pentru fluxurile tehnologice din industria siderurgică trebuie să permită un răspuns afirmativ la întrebarea "Este oțelul un material verde?"[2].

Deșeurile feroase pulverulente, rezultate din industria de materiale, din punct de vedere al granulației corespund procesării prin peletizare, iar cele mărunte și pulverulente prin aglomerare și brichetare.

De menționat că deșeurile mărunte supuse unui proces de măcinare pot fi procesate prin peletizare.

Comportarea minereurilor de fier/deșeurilor feroase în procesul de peletizare, respectiv analiza calității peletelor obținute a fost studiată de mulți cercetători [3]. În cercetările efectuate s-a studiat influența granulației și a ponderii materialelor de diferite clase granulometrice din componența șarjei de peletizare, proporția de liant, adaosul de apă, tehnologia de durificare etc., asupra rezistenței la compresiune a peletelor crude, respectiv durificate, precum și a gradului de reducere. În timpul reducerii acestor pelete am folosit ca și gaz protector N_2 .

În cazul procesării deșeurilor prin peletizare, în urma studierii literaturii de specialitate, rezultă importanța acestui proces datorită utilizării peletelor ca încărcătură în furnal.

Compoziția chimică a acestor pelete este foarte importantă pentru încărcătura furnalului, de asemenea forma acestora cât și dunitatea lor, de aceea studiul asupra acestor aspecte a dus la dezvoltarea temei de cercetare.

În cadrul temei de cercetare s-au studiat soluții de eliminare sau diminuare a cantităților de deșeurile (prin peletizare), din industria de materiale, ceea ce duce la o mai bună gestionare și valorificare a acestora.

1.2. Descrierea esențializată a obiectului cercetării

Preocuparea față de respectarea cerințelor legislative privind protecția mediului și necesitatea armonizării proceselor cu cerințele progresului economic, gestionării raționale a resurselor materiale și energetice, trebuie să conducă la valorificarea deșeurilor prin tehnologii, care să ofere atât din punct de vedere economic cât și ecologic, soluția optimă.

Pe fluxurile tehnologice de obținere a fontei și oțelului, rezultă deșeurile feroase pulverulente și mărunte, cu un conținut ridicat de Fe, (legat chimic, uneori metalic) și uneori și C care pot înlocui în mod corespunzător materia primă, respectiv minereul de fier sau fonta, în procesele siderurgice.

Pentru industrie, problema gestionării deșeurilor prin valorificare (recuperare și reciclare) reprezintă o prioritate ecologică și economică. Recuperarea include activitățile de colectare, transport, stocare, selecționare și prelucrare a anumitor deșeurile; aceste deșeurile pot fi reintroduse într-un flux tehnologic prin reciclare internă și/sau externă.

Deșeurile conțin substanțe generate de activitatea industrială în care se produc, iar eliminarea acestor deșeurile din ciclul productiv se realizează printr-o:

valorificare adecvată; prin recuperare și/sau depozitare în vederea reciclării și prin stabilizare/solidificare în vederea stocării în depozitele de deșeuri.

Deșeurile 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 pulverulente sunt prezente în toate cazurile în formă de oxizi [4].

Deșeurile feroase mărunte, rezultă din procesele siderurgice (zgură de oțelărie fracția feroasă și țunder), iar din industria minieră – prepararea minereurilor sideritice (concentrat feros din deșeu sideritic).

Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării se prezintă în figura 1.1.

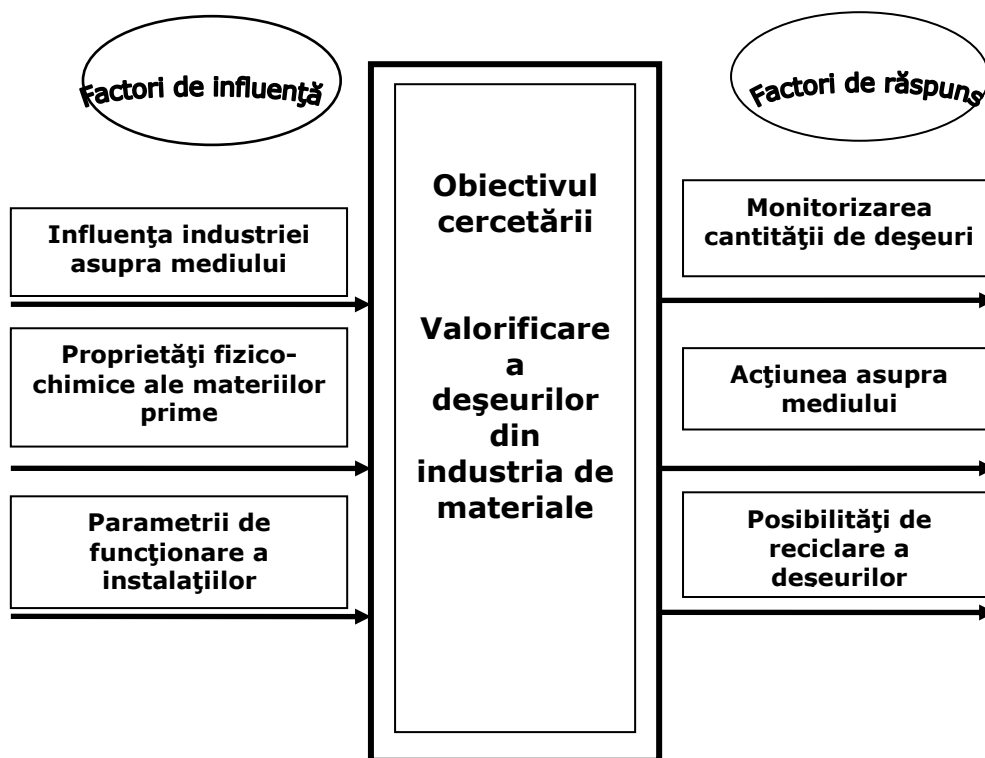


Fig. 1.1. Modelul intrări - ieșiri al obiectului cercetării

1.3. Structura planului de cercetare

În cadrul planului de cercetare dezvoltat s-a efectuat un studiu în amănunt al valorificării deșeurilor feroase pulverulente și mărunte cu conținut de fier, fier și carbon rezultate din industria de materiale.

În prezent, România își respectă cea mai mare parte a obligațiilor asumate prin Tratatul de Aderare la Uniunea Europeană, în ceea ce privește managementul deșeurilor, în condițiile în care pentru majoritatea obiectivelor au fost negociate

derogări de la termenele de aplicare. Chiar dacă, formal, autoritățile române sunt în grafic în ceea ce privește transpunerea la termen a acquis-ului comunitar privind managementul deșeurilor, și s-au făcut pași importanți până acum în acest domeniu, obiectivele comunitare sunt greu de atins, deoarece România înregistrează cantități foarte mari de deșeuri ce rămân negestionate conform cerințelor comunitare. Acest fapt constituie un punct slab al sectorului național de management al deșeurilor, ce poate fi valorificat, prin intermediul politicilor publice coerente și al investițiilor sustenabile, într-o oportunitate pentru mediul de afaceri și pentru piața muncii [5].

Valorificarea corectă a deșeurilor este foarte importantă, atât pentru procesul în sine, cât și pentru destinația produsului obținut în urma acestei valorificări.

Reintroducerea deșeurilor în circuitul de producție cât și cel economic, este un aspect foarte important, 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. Toate acestea trebuie aplicate respectând definiția dezvoltării durabile (dezvoltarea durabilă – urmărește satisfacerea nevoilor prezentului fără a compromite posibilitatea generațiilor următoare de a-și satisface nevoile).

Cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au fost orientate spre valorificarea deșeurilor feroase pulverulente (prin peletizare) 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 trei părți:

a) în partea a I-a se prezintă sintetizat studiu din literatura de specialitate făcând referire 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.

b) în partea a II-a, se prezintă cercetările proprii, precum:

- experimentări în fază de laborator privind procesarea deșeurilor pulverulente și mărunte, stabilirea unor parametri și corelații între caracteristicile peletelor, parametri independenți definiți prin componența rețetelor și compoziția chimică a acestora, precum și analiza tehnologică a rezultatelor obținute;

- experimentări privind reducerea peletelor în diferite condiții (de atmosferă, temperatură, etc);

- experimentări privind rezistența la compresiune a acestora;

- experimentări efectuate în cadrul Universității Tehnologice din Luleå;

- analiză tehnico-economică privind valorificarea deșeurilor prin peletizare;

c) partea a treia se prezintă:

- concluzii finale;

- contribuțiile originale;

- modul de implementare în practică a rezultatelor cercetării;

- direcții de continuare a cercetărilor.

1.4. Componentele principale ale planului de cercetare

În urma activităților industriale rezultă pe fluxurile tehnologice deșeuri, în cantități mari și care dacă sunt depozitate necontrolat în natură au acțiuni negative asupra acestora (aer, apă, sol, construcții civile, industriale și agricole, mijloace de transport și nu numai). Această acțiune negativă, duce la poluarea solului, contaminând solul cu metale grele ca Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr etc, rezidurile lor producând poluarea mediului înconjurător. Aceste componente odată ajunse în sol au acțiuni negative și asupra pânzei freatice. Apa subterană odată contaminată ajunge în râuri și lacuri afectând flora și fauna acestora precum și omul, prin consumul acesteia. Această depozitare necontrolată afectează și aerul, în cazul prafurilor și șlamurilor, datorită particulelor foarte fine care ajung în aer, mai apoi putând afecta flora, fauna și sănătatea populației din zona respectivă. În figura 1.2. este prezentat schematic circuitul și efectul poluării asupra omului și naturii.

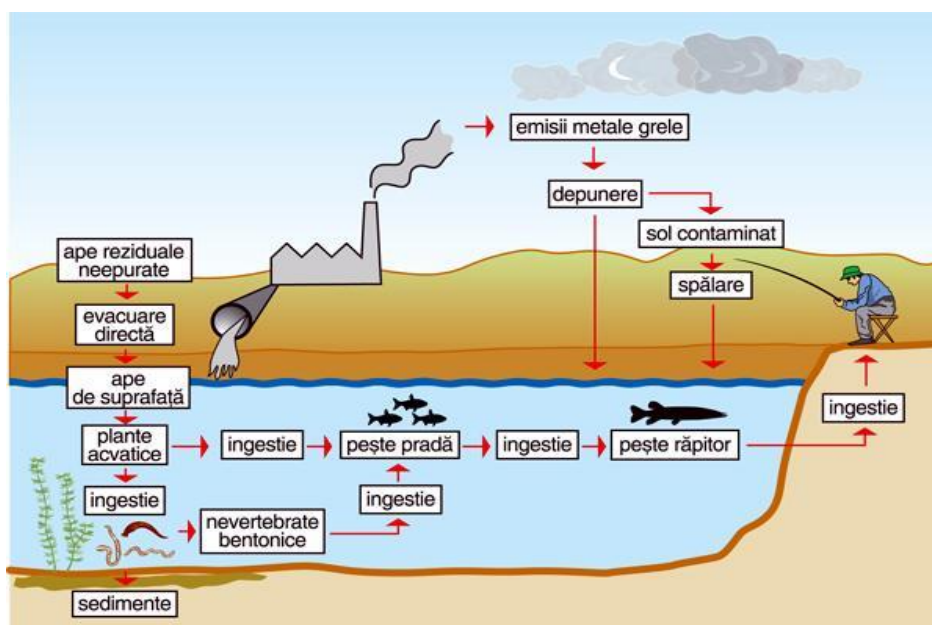


Fig. 1.2. Circuitul și efectul poluării asupra omului și naturii [6]

De asemenea aceste deșeuri pot afecta sănătatea muncitorilor care lucrează în cadrul întreprinderilor siderurgice, metalele grele în organism având un rol principal în declanșarea afecțiunilor cronice cum ar fi Morbus Crohn, leucemia limfatică, etc [7].

În cazul studiului s-au făcut experimentări în ceea ce privesc deșeurile pulverulente și mărunte rezultate din industria de materiale. 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. În apele uzate, evacuate de la o serie de instalații de epurare a gazelor și din sectorul laminare, se găsesc de asemenea cantități importante de deșeuri prăfoase cu conținut de 60-70% Fe, care raportate la o producția anuală de 1,0 milioane tone de oțel totalizează o cantitate de peste 20.000 t/an (actualmente pentru ArcelorMittal cca 7000 t/an).

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. În tabelul 1.2. sunt prezentate sub formă tabelară produsele primare și derivate rezultate în siderurgie.

Tabelul 1.1. Produse primare și derivate în siderurgie [8]

Sector de producție	Produse primare	Produse derivate
Aglomerare minereu	Aglomerat	Materiale pulverulente (MP) din instalații captare desprafuire gaze; retur sinter;
Furnale	Fonta	Zgura de furnal; MP de la instalația de captare a gazului de furnal-GF(inclusiv hala de turnare); Șlam , moloz refractar
Convertizor cu oxigen + turnare oțel	Șleb /blum/ țaglă	Împroșcări + antrenări de oțel; Scoarțe; Zgura desulfurantă;Zgura LD; Zgura LF;Zgura TC; MP de la instalații captare-desprafuire; Șlam;Tunder; Moloz refractar
Oțelărie electrică + Turnare	Blum/țaglă/ lingou	Antrenări de oțel; Scoarțe ;Zgura CEA; Zgura LF; Zgura TC; MP de la instalații captare-desprăfuire;Șlam;Tunder; Moloz refractar;
Laminare la cald	Profile/țevi/Tablă/ BLC	Materiale refofosibile feroase, rezultate în sectorul de laminare;Tunder de cuptor; Tunder de laminor (uleiat,ne-uleiat); MP de la instalații de captare; Zgura de la tăierea & recondiționarea suprafeței cu flama oxyacetilenica ; Produse de la polizare sau sablare ; Șlam cu tunder; Șlam de la instalații de tratare a apei; Refractare uzate.
Laminare la rece/tragere	BLR/Tablă/Produse trase	Materiale refofosibile feroase, rezultate în sector; MP de la instalații de captare; Șlam de la decapare;Tunder; Șlam de la instalații de tratare a apei.

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 [9]. Odată cu creșterea productivității au crescut și cantitățile de subproduse și deșeuri, atât sub formă de praf cât și sub formă mărunță. Datorită fineții prafurilor captate 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 obiectul tezei de doctorat, se are în vedere efectuarea de cercetări care să clarifice o serie de probleme legate de procesarea deșeurilor feroase pulverulente și mărunte sub formă de pelete. În cadrul tezei de doctorat, s-au

efectuat cercetări privind procesarea deșeurilor feroase (precum și a celor cu conținut de fier și carbon pulverulente, respectiv cu oxizi bazici) sub formă de pelete, avându-se în vedere utilizarea alături de mai multe sortimente de deșeuri feroase pulverulente, și a celor mărunte, anume: zgura de oțelărie (fracția feroasă), pilitură de fier de la polizarea laminatelor, țunder și concentrat feros din deșeu sideritic. Așa cum s-a specificat în cele de mai sus, s-au efectuat o serie de cercetări care au avut în vedere, în cazul procesării deșeurilor sub formă de pelete, clarificare următoarelor probleme tehnologice:

- capacitate de umectare a materialelor procesate;
 - calitatea peletelor crude în funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulația acestora, adaosul de apă și liant;
 - calitatea peletelor durificate în funcție de materiale procesate, compoziția chimică și granulație, adaosul de apă și liant și tehnologia de durificare;
 - capacitatea de reducere a peletelor în funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulație, adaosul de apă, liant, tehnologia de durificare;
 - rezistența la fisurare a peletelor în funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulație, adaosul de apă și liant, tehnologia de durificare;
 - rezistența la compresiune a peletelor funcție de materialele procesate, compoziția chimică și granulație, adaosul de apă și liant, tehnologia de durificare;
- influența N₂ asupra reductibilității peletelor în funcție de compoziția chimică și diametrul acestora.

În cadrul experimentărilor s-a utilizat aparatură modernă pentru măsurarea parametrilor tehnologici și determinarea caracteristicilor calitative a produselor obținute, iar pentru prelucrarea datelor s-a utilizat tehnică modernă de calcul, cu utilizarea unor programe adecvate, scopul fiind obținerea unor corelații (exprimate analitic și grafic) între parametrii 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/scară pilot a rezultatelor obținute.

1.5. Concluzii

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

- deșeurile rezultate în urma diferitelor procese tehnologice, în special cele rezultate din procesele metalurgice, pot fi prelucrate prin peletizare, brichetare și aglomerare, acest lucru însemnând că pot fi utilizate la elaborarea fontei și oțelului;
- prin prelucrarea și procesarea acestor deșeuri, precum 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 acestea pot fi redată înapoi peisajului înconjurător, contribuind în acest fel la ecologizarea mediului, precum și la extinderea bazei de materii prime;
- 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 a Județului Hunedoara (Hunedoara și Călan), precum și cele din Județul Caraș Severin (Reșița și Oțelul Roșu), se pot reintroduse în circuitul economic din siderurgie;
- deșeurile analizate pot fi procesate prin peletizare;

- componența rețetelor au fost stabilite în funcție de cantitatea de deșeuri pulverulente și mărunte existentă și care ridică probleme de poluare, precum și de destinația materialului procesat, oțelării respectiv furnale;
- în urma celor menționate, respectiv desfășurării diverselor procese industriale, consider ca fiind necesară o intensificare a proceselor de valorificare și gestionare a acestor deșeuri, atât datorită faptului că în compoziția lor există o sursă de fier, materie primă deficitară, cât și din punct de vedere tehnologic, economic și ecologic.

PARTEA I

ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE A GENERĂRII DEȘEURILOR PULVERULENTE ȘI MĂRUNTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON ȘI A PROCEDEELOR DE VALORIFICARE (RECICLARE)

CAPITOLUL II

DEȘEURILE MĂRUNTE ȘI PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER DIN INDUSTRIA DE MATERIALE

2.1. Surse de deșeuri cu conținut de fier și carbon

În practica producătorilor de fontă, feroaliaje și oțel, pe lângă produsul principal de fabricație, rezultă uneori produse secundare și întotdeauna și deșeuri, deșeurile mărunte și pulverulente, mărunte și de dimensiuni mari cu conținut de carbon, fier, elemente de aliere și uneori componente utili pentru formarea și corecția compoziției chimice a zgurii, praf de carbon.

Deșeurile semnalate sunt:

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

Din procesele tehnologice din alte ramuri industriale, rezultă de asemenea deșeuri pulverulente și mărunte cu conținut de fier, de carbon, oxid de calciu, de aluminiu, magneziu etc., și anume;

- nămolurile roșii, industria aluminiului;
- cenușile de pirită, industria chimică;
- concentrat de fier din cenuși de termocentrală, industria energetică;
- concentrat de fier din deșeu sideritic, industria minieră.

Cantitățile importante generate și depozitate pe halde și în iazuri, impactul negativ asupra mediului și potențialul economic datorat componentelor utile (în mod deosebit 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 [10].

2. 2. Prezentarea surselor de deșeuri

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) [10].

Tabelul 2.1. Deșeuri provenite din sectorul siderurgic [10]

Nr.crt.	Denumire deșeu	Procent 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.	Tunder turnare continuă	2,8% din producția de oțel
Sectorul laminoare		
1.	Tunder și șlam de tunder	1,0-1,5% din producția de laminate
2.	Pilitură de de oțel de polizare laminate	0,5% din producția de laminate polizate
3.	Șpan de la decojire de laminate	0,5% din de laminatele decojite
Sectorul tratamente termice, termochimice și acoperiri anticorozive		
1.	Șlam	0,5% din oțelul tratat

* smoală petrolieră sau reziduuri de la decantarea gudronului

Din totalitatea deșeurilor generate în procesele siderurgice, prezentate în tabelul 2.1 și schematic în figura 2.1, deșeurile pulverulente și mărunte cu conținut de fier, carbon și alte componente utile, potențiale subproduse, au ridicat anumite 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.

Pentru aprecierea procesului tehnologic prezintă importanță deosebită cunoașterea cantităților specifice de deșeuri (raportate la tona de produs, figura 2.2.)

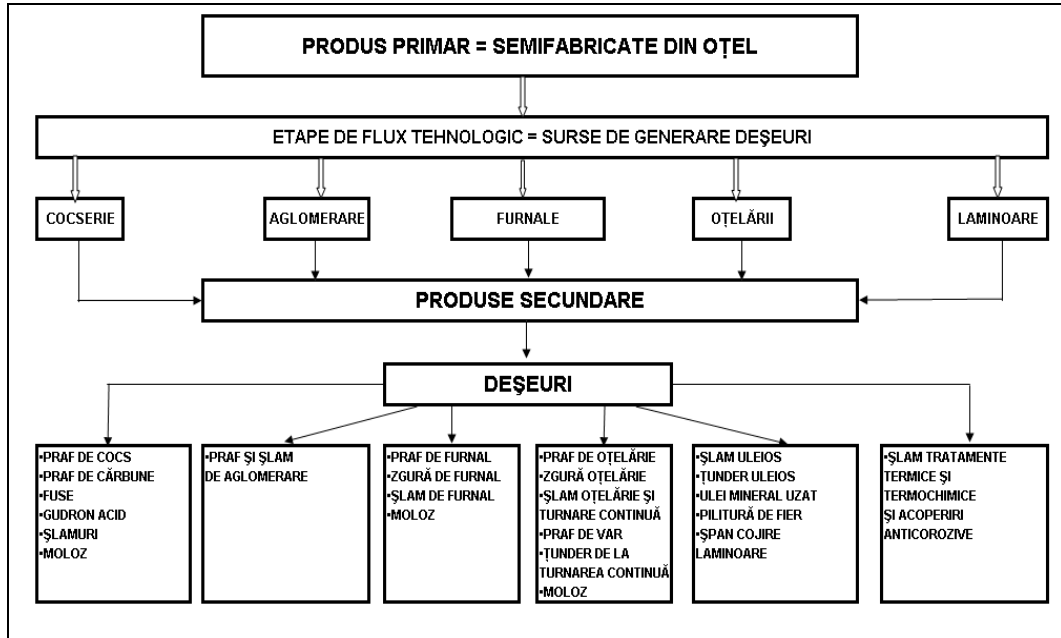


Fig. 2.1 Tipuri de deșeuri și sursele de generare a acestora în cadrul unui combinat siderurgic [10]

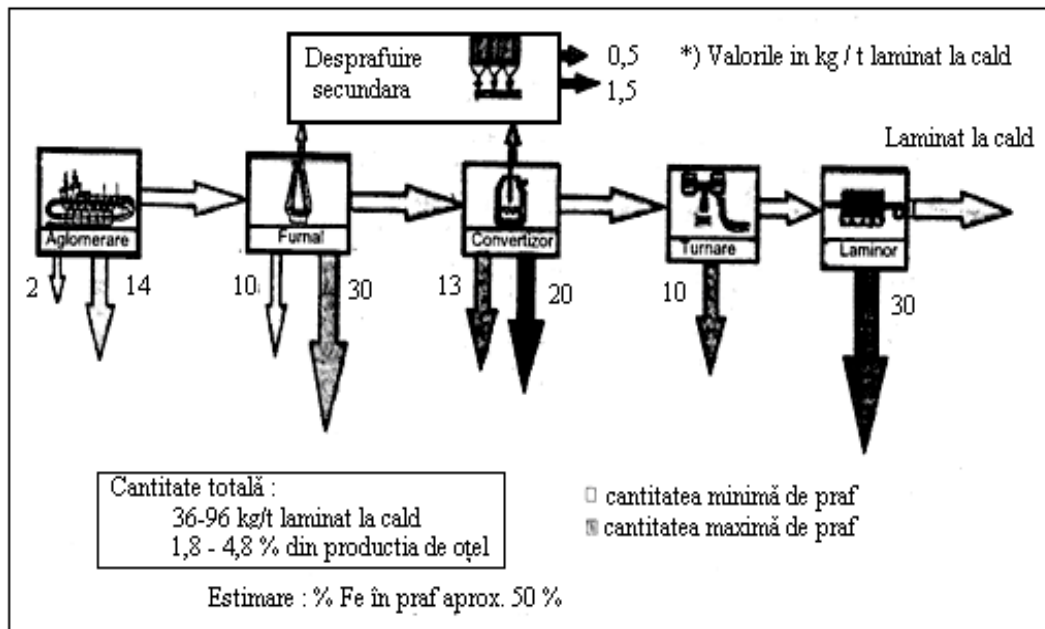


Fig. 2.2. Cantități specifice de deșeuri pulverulente generate în cadrul unui combinat siderurgic [10]

2.3. Deșuri pulverulente

2.3.1. Praf și șlam de aglomerare - furnale

Aglomerarea minereurilor de fier, dezvoltată inițial ca o tehnologie de valorificare a minereului mărunț rezultat de la concasare, a căpătat o pondere hotărâtoare în siderurgia mondială, prin utilizarea aglomeratului ca mijloc de intensificare termotehnică a transferului de masă și căldură, gaz-solid din furnal, ca urmare în primul rând a volumului de materiale încărcat pe tona de fontă și a reducerii efortului energetic, necesar disocierii fondantului. Rezultatele utilizării aglomeratului în proporție mai mare în încărcătura furnalului au condus la creșterea productivității acestuia și la reducerea consumului specific de cocs. Aglomeratul din minereu de fier are o rezistență mecanică la cald suficient de bună pentru solicitările din furnal, este ușor reductibil iar în condițiile unei sortări corecte (granulație între 6–50 mm) asigură o permeabilitate bună a coloanei de material. Toate aceste calități au determinat extinderea instalațiilor de aglomerare, pe toate continentele lumii, astfel încât ponderea aglomeratului în prezent depășește 90% restul de până la 100% revenind peletelor și o mică parte brichetelor [11].

În tabelul 2.2. este prezentată compoziția chimică a șlamului de aglomerare furnale după uscare.

Tabelul 2.2. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale (după uscare) [3]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	FeO _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC
1.	28,56	8,77	33,04	10,73	8,9	10,65	2,47	0,84	1,31	0,18	21,89	1,25
2.	28,91	9,6	32,6	10,3	9,38	10,51	2,36	0,85	1,37	0,12	22,44	1,36
3.	30,37	8,57	36,02	9,1	9,76	9,85	2,54	0,88	1,53	0,15	21,1	1,18
4.	29,08	9,3	33,21	10,42	9,54	10,46	2,49	1,03	1,36	0,11	22,5	1,23
Media	29,23	9,06	33,72	10,35	9,33	10,47	2,47	0,89	1,38	0,13	22,04	1,26

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 (pondera 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) [10,12].

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 24 h, la o instalație de aglomerare cu o capacitate de aglomerare anuală de un milion de tone, se elimină din proces între 12-18 milioane Nm³ de gaze cu un conținut de praf de 3-6g/Nm³. 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 [10,12].

Prin instalații de desprăfuire adecvate conținutul de praf al gazelor evacuate poate fi redus până la valori de $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ în condiții normale de funcționare. În cazul utilizării unui filtru cu saci, emisiile de praf ating valori de $10\text{-}20\text{mg}/\text{Nm}^3$, adică se poate recupera peste 99% din cantitatea de praf inițială [10,12].

Având în vedere cantitățile de praf se impune ca obligatoriu epurarea gazelor și reciclarea acestora în procesul tehnologic, iar în cazul în care nu se poate recicla întreaga cantitate, depozitarea se va face în iazuri acoperite în permanență de apă. Nu este de dorit această variantă deoarece se produce o anumită poluare la nivel de apă de suprafață și subterană, iar în cazul secării iazului, poluarea aerului.

Depozite de șlam de aglomerare – furnale se prezintă în figurile 2.3. și 2.4.



Fig. 2.3. Depozitul de șlam de aglomerare-furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. ArcelorMittal S.A. Hunedoara (Bataga) [10,12]



Fig. 2.4. Depozitul de șlam de aglomerare - furnale rezultat pe platforma industrială a S.C. Sidermet S.A. Călan [10,12]

Procesul de elaborare a fontei se desfășoară cu consum de căldură (proces endoterm), căldura necesară fiind asigurată în cea mai mare parte de cocsul metalurgic și într-o anumită măsură de combustibilii auxiliari insuflați în furnal, la nivelul gurilor de vânt (uneori și la baza cuvei) precum și de aerul preîncălzit (la temperaturi în media de 1350°C).

Arderea cocsului cu aerul cald are loc la nivelul gurilor de vânt, gazele rezultate străbat spațiul de lucru al furnalului, iar în circuitul lor spre gura furnalului produc un puternic schimb de căldură și masă cu încărcătură, dar în același timp antrenează și cantități importante de praf [13].

În fața gurilor de vânt cocsul arde la forma CO₂ iar în continuare gazele arse în circuitul ascendent asigură în continuare arderea cocsului astfel încât conținutul de CO+CO₂ = 42%, 55%, N₂ și restul alți componente.

Gazul de furnal are o putere calorică de cca. 4 MJ/m³N, dar pentru a putea fi utilizat obligatoriu trebuie să fie supus procesului de epurare. Praful respectiv șlamul rezultat în urma epurării reprezintă un deșeu cu conținut de fier și carbon reciclabil, prin aglomerare, peletizare sau brichetare [14].

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) [12].

Folosindu-se un sistem de epurare în mai multe trepte conținutul de praf de furnal din gazele evacuate se reduce la 0,01g/Nm³ față de 25-100g/Nm³ 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/Nm³ (1000kcal/Nm³), prin faptul că rezultă în cantitate apreciabilă (1900-3100Nm³/t fontă) este rentabilă utilizarea lui în scopul precizat mai anterior) [15].

Epurarea gazelor se realizează prin intermediul sacului de praf, epurarea brută și sisteme tuburi venturi și uneori cu electrofiltre [10,12].

În tabelele 2.3. -2.6. se prezintă compoziția chimică a prafului de furnal de la ArcelorMittal Hunedoara, Reșița, Călan și a șlamului de furnal Galați.

Tabelul 2.3. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) ArcelorMittal Hunedoara [3]

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	40,70	12,37	15,34	7,61	4,38	8,12	0,61	0,61	0,21	0,11	1,82
2.	39,42	41,73	13,12	16,46	6,03	4,21	7,86	1,61	0,66	0,32	0,12	0,02
3.	38,56	40,74	12,92	15,04	6,87	4,89	7,65	1,55	0,63	0,28	0,14	1,64
4.	38,76	40,35	13,47	14,39	9,04	4,66	7,52	0,78	0,64	0,27	0,16	1,20
Media	38,71	40,88	12,97	15,30	7,38	4,53	7,78	1,13	0,63	0,27	0,13	1,17

Tabelul 2.4. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Reșița

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	Altele
1.	37,28	41,12	12,37	14,68	7,67	4,38	8,23	0,61	0,58	0,26	0,14	1,92
2.	39,71	41,27	14,06	17,21	6,35	4,32	7,38	1,61	0,68	0,35	0,15	0,71
3.	38,62	39,88	12,96	16,11	6,91	4,65	7,85	1,55	0,74	0,27	0,13	1,34
4.	38,57	40,92	13,12	14,08	8,07	4,78	7,87	0,78	0,86	0,29	0,18	1,65
Media	38,83	40,81	13,97	15,48	7,27	4,51	7,82	1,14	0,70	0,29	0,15	1,14

Tabelul 2.5. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Călan [10]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	Altele
1.	37,18	39,98	12,37	14,26	7,34	4,17	8,39	0,72	0,63	0,22	0,10	1,73
2.	39,89	41,66	13,21	12,93	6,89	3,87	7,08	1,32	0,56	0,29	0,11	0,18
3.	39,17	41,21	12,27	13,17	6,46	3,58	6,78	1,26	0,73	0,28	0,17	1,53
4.	38,22	40,47	13,31	14,65	8,13	4,08	6,53	0,82	0,69	0,31	0,12	1,06
Media	38,64	40,84	13,63	14,06	7,24	4,05	7,31	1,05	0,65	0,27	0,13	1,14

Tabelul 2.6. Compoziția chimică a prafului de furnal (încărcătură aglomerat bazic) Galați

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	Altele
1.	31,89	32,61	12,13	36,21	6,08	2,56	6,12	1,76	0,45	0,21	0,06	0,12
2.	31,38	32,56	14,65	36,01	5,98	2,23	6,47	1,32	0,25	0,17	0,06	0,14
3.	30,59	31,59	13,89	34,65	6,13	2,35	5,25	1,67	0,28	0,20	0,05	0,12
4.	32,05	33,03	14,02	37,54	5,88	2,15	5,80	1,98	0,33	0,13	0,06	0,15
Media	31,48	32,45	13,67	36,12	6,02	2,32	5,91	1,68	0,33	0,18	0,06	0,13

2.3.2. Praf de oțelărie

Epurarea gazelor rezultate în cursul procesului de elaborare a oțelului ridică probleme deosebite datorită temperaturii ridicate ale acestor gaze (variabilă în funcție de procedeu și tehnologia de elaborare, de exemplu la convertizoarele cu oxigen până la 2400 – 2600 °C), a necesității răcirii acestora înaintea desprăfuirii, a fineței particulelor de praf și naturii intermitente a procesului [10,12].

Prin operația de epurare, în gazele evacuate conținutul de praf se reduce la mai puțin de 15mg/Nm³, praful obținut având în proporție de 80% o granulație de 0,8-0,05 μm și conținând în jur de 60% Fe [10,12].

2.3.2.1. Praf de la oțelăriile 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.

Normele de mediu nu admit mai mult de 80 mg praf/Nm³, motiv pentru care s-a impus ca obligatorie desprăfuirea gazelor. Dintre cele patru oțelării Siemens – Martin (O.S.M.) care au funcționat în România (OSM I și OSM II la Hunedoara, una la Reșița și una la 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 [10,16,17,18].

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 tabelul 2.7. este prezentată compoziția chimică a prafului de la electrofiltru .

Tabelul 2.7. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara) [3]

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

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

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

La Combinatul Siderurgic Hunedoara, a funcționat o oțelărie Siemens - Martin (O.S.M. II) cu cuptoare de capacitate 400t, cu folosirea oxigenului pentru intensificarea procesului metalurgic. Ca urmare a restructurării la C.S.H. (după 1990 S.C. Siderurgică 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 [3].

Praf de electrofiltru rezultă din mai multe surse, care diferă după zona sau agregatul care este dotat cu electrofiltre.

2.3.2.2. Praf de la oțelăriile electrice

Sursa principală de praf de electrofiltru pe fluxul de elaborare a oțelului într-un combinat siderurgic este de desprăfuire a gazelor ale cuptoarelor electrice cu arc de elaborare a oțelului. Caracteristica cea mai importantă a acestui material este conținutul ridicat de Zn [10].

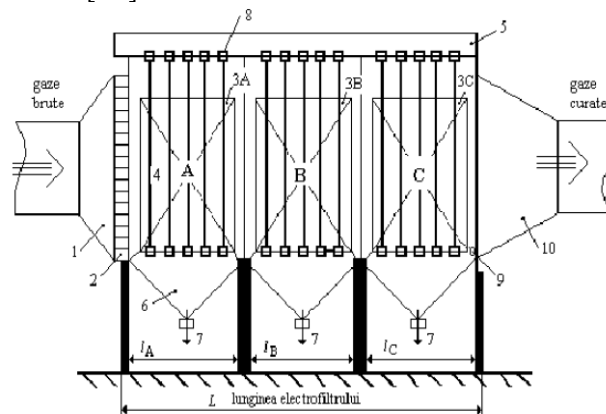


Fig. 2.5. Schema unui electrofiltru cu trei zone de epurare

1- pâlnie difuzoare, 2- dispozitiv de linștire și uniformizare a curgerii, 3-3A,3B,3C – electrozi de depunere grupați în trei tranșoane (A,B,C), 4- electrozi de ionizare, 5- cadre de întindere a barelor de ionizare, 6- buncăre, 7- evacuare cenușă, 8- izolatorii electrozilor de ionizare, 9- dispozitiv de scuturare a electrozilor, 10- confuzor de evacuare a gazelor [20]

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. În figurile 2.5. și 2.6. se prezintă schematic instalații de desprăfuire a prafului de oțelărie, uscate și umede.

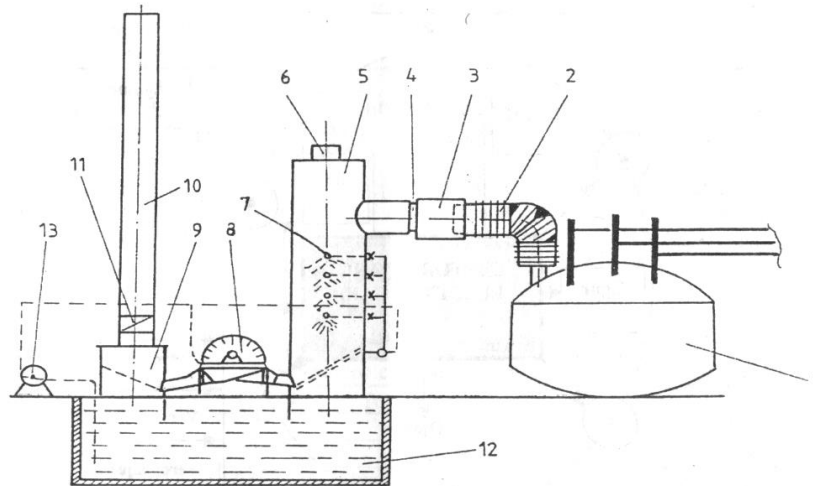


Fig. 2.6. Instalație de desprăfuire pe cale umedă (cuptor cu arc electric de 10 t)
1- cuptor cu arc electric; 2- conductă de aspirație; 3- manșon mobil; 4- fantă; 5- răcitor, 6- tubulară de siguranță; 7- duze pulverulente; 8- dezintegrator radial; 9- separator; 10- coș; 11- clapetă; 12- bazin; 13- pompă. [21]

Din punct de vedere al micșorării poluării, problema esențială la cuptoarele cu arc electric este îmbunătățirea colectării din gazele de proces, atât din cuptor cât și din zona de lucru, pentru îmbunătățirea condițiilor de muncă în zonele respective și pentru respectarea limitelor impuse de legislația de protecție a muncii și protecție a mediului înconjurător [21].

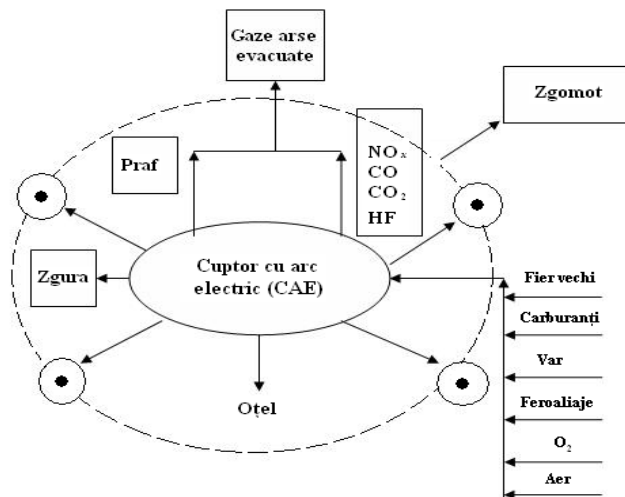


Fig. 2.7. Schema sistemului de poluare a mediului prin intermediul CAE [21]

Pentru ca emisiile poluante să nu ajungă în atmosfera haldelor de lucru și în mediul înconjurător, cuptoarele cu arc electric au trebuit să fie dotate cu echipamente eficiente de captare și epurare [21].

În figura 2.7. este prezentat schematic sistemul de poluare a mediului prin intermediul cuptorului electric cu arc.

Cunoașterea compoziției chimice ale acestor deșeuri este foarte important, de aceea un studiu asupra lor ne indică impactul depozitării acestora asupra mediului. În tabelul 2.8.-2.10 sunt prezentate caracteristicile chimice ale prafului de electrofiltru de la oțelăria Siemens - Martin Hunedoara și oțelăria electrica ArcelorMittal Hunedoara, T.M.K. Reșița și MECHEL Oțelul Roșu.

Tabelul 2.8. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică (O.E. 2 S.C. ArcelorMittal Hunedoara) [3]

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

Tabelul 2.9. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K. Reșița [10,22]

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	4,76

Tabelul 2.10. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu [1,22]

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	1,12

2.3.2.3. Praful și șlamul de convertizor

Acest deșeu provine din fracția fină a gazelor de la oțelăriile cu convertizoare, aflate în exploatare la Galați și ridică probleme deosebite datorită temperaturii ridicate ale acestor gaze (o temperatură locală de 2400–2600 °C), a necesității răcirii acestora înaintea desprăfuirii, a fineții particulelor de praf și naturii intermitente a procesului [1,18,23].

Prin operația de epurare, în gazele evacuate conținutul de praf se reduce la mai puțin de 15 mg/Nm^3 , praful obținut având în proporție de 80% o granulație de $0,8-0,05 \mu\text{m}$ și conținând în jur de 60 % Fe [10, 12], cantitățile generate anual sunt de aproximativ 50–70 mii tone, iar conținutul de fier mediu, de SiO_2 și CaO , asigură valori metalurgice medii, ceea ce îl face reciclabil în siderurgie.

Acest șlam a fost depozitat în iazuri (figura 2.8) (au fost deversate controlat) deoarece recuperarea lui este foarte anevoioasă din cauza fineței foarte mari și a faptului că trebuia uscat.

Dezavantajul procesării materialului este finețea mare 70 % sub $50 \mu\text{m}$, ceea ce conduce la timpi îndelungați de decantare, uscare și manipulare greoaie, înrăutățirea procesului de aglomerare.

Procedeele dezvoltate pentru procesarea șlamului se bazează pe decantarea în cascadă a suspensiei și filtrarea în vacuum sau deversarea în iazuri de decantare naturale.

Compoziția chimică a prafului și șlamului de convertizor Galați este prezentată în tabelele 2.11 și 2.12.

Tabelul 2.11. Compoziția chimică a prafului de convertizor (Galați)

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe_{tot}	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	P_2O_5	S	Zn	Altele
1.	58,56	4,47	83,57	2,23	0,87	2,34	1,32	4,11	0,97	0,16	0,21	0,11
2.	54,16	3,53	77,42	2,91	1,34	4,62	1,94	4,23	0,89	0,22	0,27	1,15
3.	54,13	4,16	77,16	3,55	1,48	5,27	2,32	3,65	0,63	0,27	0,32	0,84
4.	52,76	3,11	73,69	4,16	1,28	6,39	2,39	4,34	0,52	0,19	0,26	0,17
Media	54,35	3,34	78,45	3,15	1,18	4,71	2,05	4,30	0,75	0,35	0,46	1,33

Tabelul 2.12. Compoziția chimică șlamului de convertizor (Galați)

Nr. crt.	Compoziția chimică, %											
	Fe_{tot}	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	P_2O_5	S	Zn	Altele
1.	63,39	5,89	84,11	0,94	0,10	2,45	1,05	3,21	0,06	0,07	1,37	0,75
2.	62,92	5,75	83,25	1,04	0,10	2,61	1,23	4,12	0,06	0,05	1,45	0,66
3.	63,38	7,84	85,15	1,12	0,12	2,04	0,83	4,87	0,08	0,06	1,31	0,69
4.	61,41	6,45	81,55	1,18	0,11	2,78	1,11	4,65	0,07	0,06	1,28	0,76
Media	58,12	6,48	83,60	1,11	0,11	2,31	0,97	4,32	0,06	0,06	1,46	1,42



Fig. 2.8. Iaz decantor a șlamului de furnal și convertizor rezultat pe platforma industrială a combinatului S.C. ArcelorMittal Galați S.A. [10, 19]

2.3.3. Nămolul roșu

Obținerea aluminei calcinate are la bază procedeul Bayer, dezvoltat și patentat de către Karl Josef Bayer în 1888, care constă în dizolvarea conținutului de oxid de aluminiu din bauxită, cu leșie fierbinte, concentrată, la temperaturi și presiuni ridicate. Șlamul este un nămol mineral cu granulometrie foarte fină, cu aspect de gel, care colmatează cuveta haldei prin pătrunderea fracțiunii micronice, coloidale în interstițiile materialului de bază, astfel încât impactul asupra apelor subterane devine nesemnificativ, nemodificându-le calitatea nici în condițiile acumulării unor cantități mari de șlam [15].

De regulă nămolul roșu se depozitează în iazuri menținându-se în stare permanentă umedă, în caz contrar curenții de aer antrenează acest material pulverulent ducând la poluarea mediului. Iazurile trebuie foarte bine dimensionate și să existe un control al depozitării în sensul de a nu se depăși cantitatea maximă care poate fi depozitat deoarece ar exista pericolul ruperii digului, situație întâlnită în Ungaria-2010. La 4 octombrie, un dig al iazului uzinei de bauxită și aluminiu din Ajka, a cedat, inundând șapte sate învecinate [24].

Principalele procese tehnologice care formează fluxul de producție sunt următoarele: depozitul de bauxită, secția măcinare bauxită, depozitul de var și stația de preparare a laptelui de var, leșiere, diluare, desiliciere, îngroșare-spălare șlam, filtrare roșie, descompunere soluție de aluminat, clasare hidrat și filtrare albă, evaporare, filtrare și caustificare, calcinare hidrat, depozitare alumină la silozuri.

Conform acestui procedeu, bauxita fin măcinată este tratată în autoclave, la 4-6 atmosfere, cu sodă caustică concentrată, obținându-se aluminat de sodiu în soluție $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ [25].

Amestecul se filtrează, separându-se soluția de aluminat de sodiu de hidroxizii de fier și de combinațiile siliciului cu aluminatul de sodiu. După spălare cu apă, în scopul recuperării hidroxidului de sodiu antrenat, nămolul roșu este pompat, ca suspensie apoasă, în bazine de decantare. Sedimentul rezultat prin decantare poate atinge un conținut în faza solidă de 50-60 % [26].

O analiză chimică a acestui deșeu, rezultat de la alumina Oradea, este prezentată în tabelul 2.13., analiza granulometrică în tabelul 2.14 .

Tabelul 2.13 Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea [3]

Nr. crt	Compoziția chimică, %													
	Fe	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C ¹⁾	Pb	As	Alte ²⁾
1.	40,30	45,26	8,25	9,17	20,34	0,65	0,36	3,45	5,09	0,35	1,45	0,24	0,015	5,65
2.	41,45	45,84	9,33	9,25	22,75	0,74	0,43	3,89	5,32	0,52	1,08	0,25	0,012	0,42
3.	41,96	46,93	8,82	9,55	20,89	0,62	0,68	3,73	5,89	0,41	1,02	0,32	0,013	0,84
4.	42,79	47,88	8,98	9,89	21,76	0,55	0,42	4,46	4,01	0,42	1,25	0,29	0,011	0,12
Media	41,63	46,48	8,85	9,47	21,44	0,64	0,47	3,88	5,08	0,43	1,20	0,28	0,013	1,76

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

Tabelul 2.14. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Oradea [1]

Fracții granulometrice, μm	>12.63	>7.29	>4.21	>3.06	>2.75	>1.48	<11.48
Pondere pe fracție, %	31,33	11,29	11,96	8,45	5,64	4,66	29,77

Tabelul 2.15. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea de Alumina Tulcea [10]

Nămol roșu	Compoziția chimică, %													
	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C	Cu	Zn	Pb	As
Analiza chimică	26,15	7,09	9,41	21,22	0,59	0,27	4,5	6,25	0,29	1,55	0,04	0,17	0,31	0,013

Tabelul 2.16. Analiza granulometrică a nămolului roșu, întreprinderea de Alumina Tulcea [10]

Fracții granulometrice, μm	>12.63	>7.29	>4.21	>3.06	>2.75	>1.48	<11.48
Pondere pe fracție, %	29,26	10,63	12,24	8,51	5,85	4,79	28,27



Fig. 2.9. Zonă depozitare nămol roșu Ungaria înainte și după ruperea digului [27]

Pentru iazurile cu nămol roșu există riscul ruperii digului cum este cazul prezentat în figura 2.9.

2.3.4. Cenușa de termocentrală

Din sectorul energetic avem în vedere cenușa de termocentrală utilizabilă ca liant în procesul de peletizare și respectiv brichetare, în plus conține fier și carbon. Cenușa de termocentrală rezultată în urma arderii combustibililor este depozitată în halde sau iazuri (figura 2.10., termocentrala Mintia), compoziția chimică fiind prezentată în tabelul 2.17.



Fig. 2.10. Depozitul de cenușa Mintia [3]

Cărbunii conțin întotdeauna o cantitate oarecare de impurități minerale, care formează în timpul arderii cenușa. În urma arderii cărbunilor energetici la termocentrale rezultă o cantitate importantă de cenușă care trebuie depozitată, cu efecte negative asupra mediului.

Tabelul 2.17. Compoziția cenușilor de termocentrală [10]

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

* carbonați, sulfati și alți oxizi

Concentratele din cenuși de termocentrală sunt asemănătoare din punct de vedere a compoziției chimice cu alte deșeuri feroase prăfoase, sunt acide din punct de vedere a indicelui de bazicitate și în comparație cu alte deșeuri nu conțin elemente dăunătoare calității fontei și oțelului [28].

Tabelul 2.18 Compoziția concentratului de fier din cenușă de termocentrală [10]

Nr. crt.	Compoziția chimică, %									
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O	C	Altele*
1.	19,68	8,82	1,65	10,15	54,33	37,85	0,62	0,32	3,18	1,78
2.	21,03	9,21	1,12	11,25	55,02	37,51	0,66	0,29	3,67	0,14
3.	19,29	8,76	1,56	10,92	56,01	38,23	0,87	0,29	3,18	0,55
4.	21,08	8,87	1,38	10,11	55,39	36,86	0,70	0,28	3,29	0,97
Media	20,27	8,92	1,43	10,61	55,19	37,61	0,71	0,30	3,33	0,86

* carbonați, sulfati și alți oxizi

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

Cenușile volante de termocentrală se utilizează pe plan local, ca adaos pentru blocuri de zidărie cu agregate naturale, betoane ușoare.

2.3.5. Cenuși piritice

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

Concentrația mare în fier de peste 50 % a făcut ca acest material să fie obiectul de studiu a mai multor cercetări cu scopul de fi reutilizat în siderurgie. 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 arseniu care îl face foarte restrictiv în utilizarea pentru elaborarea oțelului.

De asemenea, conținutul de metale grele este peste limita uzuală admisă, la fonta de afânare este de 10 ori mai mare. Acidul sulfuric a reprezentat și continuă să reprezinte, alături de alte produse, un produs industrial deosebit de important, datorită multiplelor sale utilizări. Materiile prime pentru obținerea acidului sulfuric sunt sulful și compușii de sulf, concentratele miniere sulfuroase, în special pirita FeS₂ și dioxidul de sulf SO₂ rezultat ca produs secundar în diverse procese tehnologice [3].

La obținerea acidului sulfuric se utilizează, în principal, ca materie primă, concentrate de pirită care conțin în medie peste 40% sulf. Principalul dezavantaj al utilizării acestor materii prime îl constituie faptul că la fiecare tonă de acid sulfuric obținută rezultă circa 0,7 tone cenuși de pirită, deșeu, care, datorită impurităților pe care le conține are o utilizare limitată (în industria cimentului), cea mai mare parte fiind stocată în aer liber.

Depozitarea deșeurilor de cenuși de pirită ridică o serie de probleme legate de scoaterea din circuitul agricol a unor suprafețe importante, pentru extinderea haldelor de depozitare, cheltuieli cu transportul și depozitarea cenușilor precum și întreținerea haldelor.

În figura 2.11 se poate observa depozitarea cenușii de pirită, iar în tabelul 2.19 este prezentată compoziția chimică a cenușilor de la Valea Calugarească, Navodari, Turnu Magurele, Baia Mare și Făgăraș.



Fig. 2.11. Cenuși piritice [29]

Tabelul 2.19. Compoziția chimică a cenușilor piritice [10]

Compoziție /sursă	Compoziția chimică, %											
	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	As	Alcalii	Cu	Pb	Zn
Valea Calugarească	52.72	2	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

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

2.4. Deșeuri mărunte

2.4.1. Țunderul

Țunderul este stratul negru de oxid format pe suprafața unei piese de oțel în timpul încălzirii la temperaturi înalte, în special în procesele de laminare și forjare. 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.

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 :

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

- secția de laminare la cald; debitul mediu al acestor ape uzate este de circa 1233 m³/zi iar concentrațiile de poluanți sunt: 50 g/l substanțe uleioase, 50 g/l suspensii solide.

Mașina de turnare continuă are un consum mare de apă, necesar la răcirea indirectă și directă și pentru instalațiile de tăiere a semifabricatelor produse. 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 [30,31,32]:

- coagulare-floculare în decantorul primar în prezența agenților chimici FeSO₄, 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, ClO₂).

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

Apa astfel purificată se recirculă având o concentrație de suspensii solide mai mică de 10 mg/l, iar de substanțe uleioase de sub 6 mg/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 [10, 12].

În figura 2.12. este prezentat schematic circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald. 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.

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.

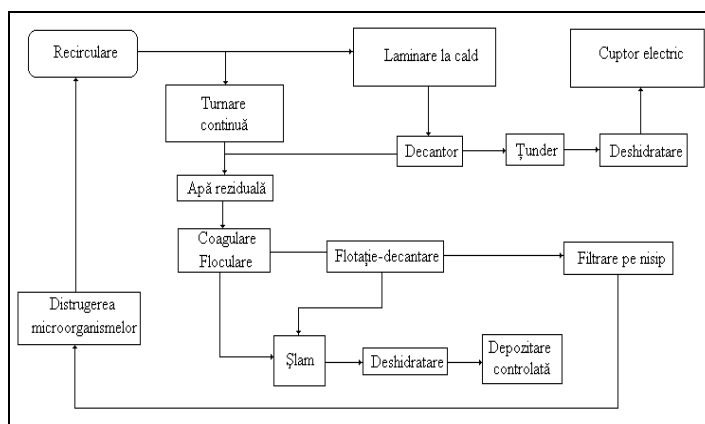


Fig. 2.12 Circuitul de epurare al apei reziduale de la secția de turnare continuă a oțelului și de laminare la cald [10]

Cantitatea de țunder, având dimensiuni de 0,1-50 mm și forme variate, exprimată în procente, 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.)

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 tabelul 2.1 sunt prezentate tipurile de deșeuri industriale generate, cantitatea, starea fizică și modul de eliminare [3].

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) [10]. În tabelul 2.20. este prezentată compoziția chimică a țunderului de la ArcelorMittal Hunedoara.

Compoziția țunderului variază funcție de oțelul din care provin, și îl impun ca un material foarte important în balanța de fier a oricărei uzine siderurgice. Din cauza fiabilității 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 furnalele 36.092 t [10,16,12].

Tabelul 2.20. Compoziția chimică a țunderului ArcelorMittal Hunedoara

Nr. crt.	Compoziția chimică, %								
	Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți
1.	68,60	66,57	26,27	0,83	1,73	0,14	0,41	0,92	3,01
2.	68,68	67,95	24,79	1,12	1,69	0,29	0,35	0,99	3,18
3.	68,42	69,30	22,81	1,38	1,95	0,35	0,29	0,67	3,39
4.	68,52	68,43	23,99	1,34	1,52	0,39	0,48	0,69	3,34
Media	68,56	68,06	24,47	1,17	1,72	0,29	0,38	0,82	3,23

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 [10,16,12].

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

2.4.2. 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.

O cantitate mare de subproduse oxidice sunt produse anual de industria siderurgică la nivel mondial. De departe volumul de zgură este cel mai mare, fiind generat de diferite etape de producție a oțelului. Pentru a evita depozitarea deșeurilor producătorii de oțel încearcă să proceseze zgura în resurse utile [33].

În România, ideea utilizării în domeniile industriale a zgurii de furnal se restrânge, din nefericire, la industria cimentului și în construcții. 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 [10].

În România sunt cinci halde cu zgură de oțelărie, acestea fiind prezentate în tabelul 2.10. 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) [10,19,16].

În zona Hunedoara-Călan, datorită existenței societăților siderurgice sunt depozitate o serie de deșeuri pe halde sau în iazuri.

Tabelul 2.21. Evaluarea haldelor de zgură din România [10]

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

În figura 2.14. și respectiv figurile 2.15, 2.16 se prezintă haldele de zgură de la Călan respectiv de la Hunedoara. De asemenea este prezentată și compoziția chimică a zgurii în tabelul 2.22.



Fig. 2.14 Halda de zgură a combinatului S.C. Sidermet Călan S.A. [10,19]



Fig. 2.15 Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. [10,19]



Fig. 2.16 Halda de zgură a combinatului S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A. [34]

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 [10,19].

Tabelul 2.22 Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara [10,22]

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.	44,65	12,17	10,07	28,30	16,05	4,39	4,09	18,68	6,28	0,31	0,27	1,17
2.	44,65	11,14	10,11	29,12	16,38	5,19	4,18	19,19	6,56	0,35	0,28	1,15
3.	45,12	11,15	9,78	29,60	16,09	4,48	4,86	18,57	7,04	0,38	0,29	1,17
4.	46,87	13,17	10,25	29,45	16,47	4,65	5,09	18,89	6,79	0,37	0,27	1,16
M	45,32	11,91	10,05	29,12	16,25	4,68	4,56	18,83	6,67	0,35	0,28	1,16

2.4.3. Deșeu sideritic

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 sarjele de aglomerare. Temperatura de disociere a carbonatului de fier este de 400 °C, inferioară carbonaților de calciu (910 °C), de magneziu (650 °C) și respectiv carbonatul dublu de calciu și magneziu (750 °C) aceștia nu disociază în procesul de prăjire. În figura 2.17 este prezentată imaginea din satelit a haldei de la Teliuc, iar în figura 2.18 este prezentată o imagine mai detaliată a acestei halde.



Fig. 2.17 Halda Steril Teliuc [3]



Fig. 2.18 Carieră steril Teliuc [35]

Tabelul 2.23 Compoziția chimică a deșeurilor de la prepararea minereurilor siderită [10]

Nr. crt.	Material	Compoziție chimică %							
		SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
1.	Deșeu iaz decantare	34,41	7,09	7,76	9,18	2,89	16,31	6,62	1,38
2.	Concentrat sideritic secundar	19,83	9,96	18,69	21,08	3,18	20,28	7,59	2,21
3.	Steril secundar	37,65	6,8	5,56	6,39	2,82	15,17	6,50	1,49

În tabelul 2.23 se vor prezenta compozițiile chimice a deșeurilor de la prepararea minereurilor de tip siderită prin concentrare. În zona Hunedoarei, în urma preparării minereului sideritic utilizat în procesarea aglomeratului, există trei iazuri de decantare cu deșeu sideritic la Teliuc. Caracteristicile sterilului sunt date de minereul din care provine și de finețea de măcinare determinate de procesul de

preparare, uneori fiind posibil ca unele caracteristici ale sterilului să fie înrăutățite de adaosurile din procesul de preparare.

Este inevitabilă apariția unei variații în timp a caracteristicilor sterilului. În aceeași problemă a caracteristicilor materialelor de care depinde starea depozitului de steril se încadrează și evoluția în timp a însușirilor materialului.

2.4.4. Sterilul silicios

Acest deșeu rezultă de la exploatarea cărbunilor din bazinele carbonifere prin operația de flotație a cărbunilor în urma căreia se separă fracția mai grea și este eliminat având carbon mic. Materialul se prezintă ca un pietriș cu granulație relativă mare 35–40 mm. 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.

Acesta este acumulat în haldele de lângă marile exploatări carbonifere și cantitatea totală este estimată la 150–200 milioane tone. 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.

Materialul este inert față de mediu dar acoperă suprafețe foarte mari de teren. Compoziția chimică a acestui deșeu este prezentată în tabelul 2.24.

Materialul s-a utilizat cu diferite ocazii chiar la furnale ca adaos de component acid și anumite conjuncturi nefavorabile privind baza de materii prime sau pentru elaborarea unor fonte speciale. Cantitatea consumată la Galați a fost de 38.000 tone și la Călan de 1230 tone.

Tabelul 2.24. Compoziția chimică a sterilului silicios

Compoziția chimică, %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	Sulfuri	PC
77,79	5,28	8,63	0,81	0,39	0,08	0,13	1,52	1,19	0,01	4,13

2.5. Concluzii

Din analiza caracteristicilor calitative (compoziție chimică și granulometrică) a deșeurilor, genezei acestora și cantităților existente (depozitate, respectiv rezultate în mod curente pe fluxuri tehnologice), pot fi concluzionate 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);

- în județul Hunedoara, respectiv în zone de Vest (Hunedoara, Călan, Oțelu Roșu și Reșița) și Nord - Vest există cantități mari de deșeuri feroase (o mare parte depozitate) și cantități mai mici rezultă și în prezent din procesele tehnologice;

- deșeurile analizate au conținut de fier diferit de la la 21,08 % (concentrat sideritic) până la 68,56 % (țunderul);

- pe lângă fier elementul principal, unele deșeuri au și un conținut ridicat de carbon de 14,06 – 36,12 % (praful de furnal), precum și componenți cu caracter

bazic ($\text{CaO} = 20,28\%$ și $\text{MgO} = 7,59\%$ din concentratul sideritic secundar) sau cu caracter fluidificator ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 21,44\%$ din nămolul roșu și $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17,53\%$ din cenușile de termocentrală), aceștia fiind utili în procesul de reciclare (liant și fluidificator);

- pentru corecția bazicității se poate utiliza și deșeurul silicios cu conținut de $77,79\%$ SiO_2 și $\text{Fe} = 6,03\%$;

- unele deșeurile conțin și elemente dăunătoare ($\text{As} = 0,013\%$ – nămolul roșu ; $\text{As} = 9,22\%$; $\text{S} = 5,28\%$ $\text{Zn} = 0,25\%$; $\text{Cu} = 0,80\%$ și $\text{Pb} = 9,28\%$ – 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 a acestora precum și cantitățile existente, cele rezultate în mod curent din proesele tehnologice precum și destinația produsului rezultat.

CAPITOLUL III

PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII DE VALORIFICARE A DEȘEURILOR REZULTATE DIN INDUSTRIA DE MATERIALE

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.

3.2. Valorificarea prin peletizare

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 [11,37].

Procesul peletizării se bazează în principiu pe formarea unor sfere crude prin rostogolirea unui minereu fin măcinat sau a unui concentrat la care se adaugă betonită împreună cu o cantitate limită de apă [38].

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, acestea putând fi întâlnite în America de Sud, America Centrală, Australia, Japonia, Ucraina și Africa de Vest [11,37,39].

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 [3].

Eforturile de îmbunătățire a performanțelor furnalelor, a crescut tot mai mult cerința pentru materialele mai bogate în fier [40].

Ca atare, peletizarea s-a dezvoltat propriu-zis pentru a furniza un produs cu conținut de fier de ~ 65%. Concentratele de magnetită din care erau inițial făcute peletele erau prea fine pentru a putea fi considerate ca șarjă pentru

furnale deoarece aceste materiale pot duce la niște probleme și anume: consum mare de combustibil și debit specific scăzut, dacă se încearcă sinterizarea lor. Astăzi peletele se obțin nu numai din concentrate de magnetită dar și din concentrate de hematită, minereuri naturale, magnetita artificială și reziduuri de pirită [38].

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 [11,37].

3.2.1. Teoria formării peletelor

În 1944 Firth demonstrează că peletele produse prin rostogolirea minereurilor de fier umidificate într-o tobă se obțin densități ce se pot realiza numai la compactarea pudrelor prin aplicarea unor presiuni foarte mari adică de ordinul mai multor MN/m². El arată că aceste presiuni se generează la suprafața peletei unde câteva particule (sau elemente de suprafață) au preluat greutatea întregii sfere [41].

În 1950 Tigerschiold și Ilmoni resping această concepție de arie de contact ca fiind singurul mijloc de a dezvolta rezistența peletelor. Deși Tigerschiold și Ilmoni sunt de acord că acțiunea de rulare are fără îndoială un efect de compresie asupra peletelor, ei consideră totuși că probabil cel mai important factor, este tensiunea superficială a apei adăugate, tensiunea ce acționează ca o forță de compresie [38].

În sprijinul celor afirmate de ei este faptul că prafurile uscate nu formează sfere de rulare, iar sferile crude imersate în apă, se pot dezintegra destul de repede [38].

În 1958 Newitt și Conway-Jones au cercetat teoria formării peletelor și au acordat o deosebită atenție sistemelor apă-particule ce apar în procesul de formare a acestora. Bazat pe lucrările lui Haines și Fisher în domeniul mecanicii solurilor, ei identifică trei stări ale sistemului apă-particule:

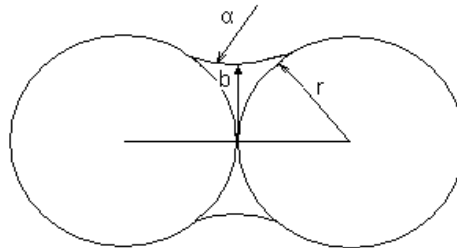
1. Starea pendulară când apa este prezentă în punctele de contact ale graunțelor și tensiunea superficială ține particulele împreună.
2. Starea funiculară când unii pori sunt complet ocupați de apă;
3. Starea capilară când toți porii sunt plini dar suprafața nu este acoperită de o peliculă de apă coerentă [38].

Aceste trei faze sunt prezente în timpul fabricării peletelor brute. Forța de tensiune superficială în coeziunea pendulară este redată de :

$$F = \frac{2^\alpha r^\alpha}{1 + \text{tg}\Phi/2} \quad (3.1)$$

Unde, F- presiunea în punctul de contact ;
 α - tensiunea superficială a lichidului ;

Φ - semiunghiul subîntins de menisc (figura 3.1.);
 r - raza particulelor sferice ;



b - este baza inelului de lichid pelicular

Fig. 3.1. Legătura pendulării dintre sfere (carte scanată)

3.2.2. Tobele de formare a peletelor

Circuitul tobei de formare a peletelor este arătat în figura 3.2. El constă dintr-o toă rotativă în esență un înveliș cilindric înclinat cu raportul lungime diametru, $L/D = 2,5 - 3,5$, având dimensiunile potrivite cu debitul necesar. Materia primă se introduce la intrarea tobei unde se suflă jeturile de apă.

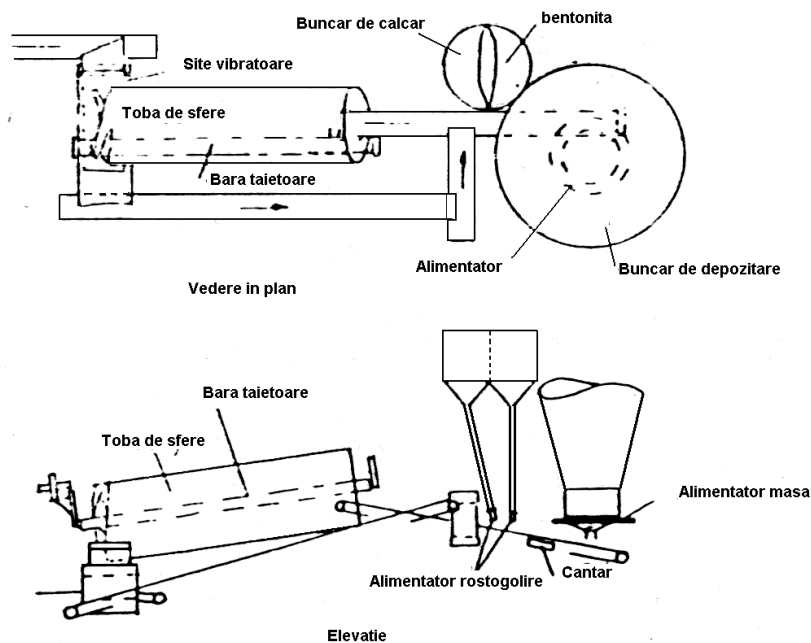


Fig. 3.2. Instalația tobei de format sfere

Creșterea peletelor are loc în toă, dar spre deosebire de disc nu are loc nici o clasificare și produsul trebuie cernut pentru a elimina tot ce este dimensiune și sub

dimensiune. Ambele materiale se reciclează în punctul de adăugare la materiile prime, materialele peste dimensiune fiind măcinate. Tobele sunt prevăzute cu raclete care să evite aglomerarea materialului pe suprafața învelisului.

Deși tobele sunt acționate la pante foarte mici adică la un unghi de 6 grade cu orizontală, este bine să se prevadă un inel de reținere, la ieșirea alimentării, pentru ca materialul să nu revină (prin pierderile care le produce).

Timpul de menținere în toba se exprimă prin :

$$T = \frac{0.037(\alpha + 24)L}{nDS} \quad \text{în care :} \quad (3.2)$$

T - este timpul de ședere (min.)

L - lungimea tobei (pic)

D - diametriul tobei (pic)

n - turația (rot/min).

S - panta tobei (incl/foot)

α - unghiul de repaus al materialului.

Ideal este să se poată acționa toba în același mod ca și discul în care timpul de creștere a peletei este egal cu timpul de staționare dat de greutatea materialului transformat în pelete în toabă împărțit la debitul de alimentare a materiilor. Când toba lucrează cu turația optimă, materialul introdus în toba aflată în rotație alunecă până ce se adaugă mai mult material și începe acțiunea de rostogolire (rulare-figura 3.3) [38].

Rezistența peletelor crude este dată de însumarea presiunilor capilare pe care le creează apa de amestec, deci de tensiunea superficială a peletei, însă este direct proporțională cu dimensiunile și numărul porilor care depind la rândul lor de natura materialului și de gradul de măcinare a acestuia.

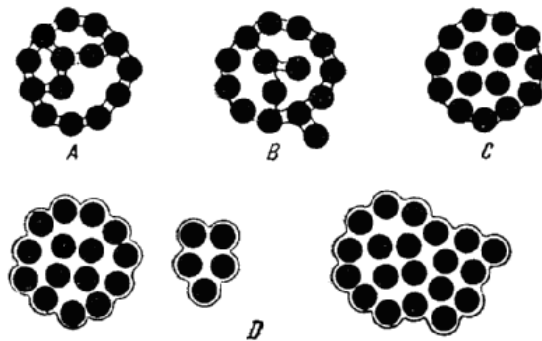


Fig. 3.3. Formarea peletelor crude [11]

S-a constatat că, materiile prime cu suprafață neregulată au o mare capacitate de umezire, printre acestea enumerându-se cenușile piritice, limonitele, sideritele [42].

În procesul tehnologic de producere a peletelor sunt respectate câteva etape:

- **pregătirea minereurilor**, etapă tehnologică în care se urmărește aducerea minereului, prin sfărâmare și clasare, în stare pulverulentă, pentru a facilita operațiile legate de obținere a peletelor crude și de durificare a 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 [11,37]. Dintre factorii care au impulsivat utilizarea curentă a peletelor în încărcătura furnalelor se menționează în primul rând necesitatea de a exploata zăcăminte de minereuri de fier care se supun în prealabil operațiilor de concentrare [3].

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

Din punct de vedere constructiv se disting trei procedee de peletizare a materialelor pulverulente: peletizare în taler (disc), în tambur cilindric (cea mai răspândită) și în tambur conic. Înclinația tamburului este de 2-3,3 grade, iar lungimea nu depășește de 2-3,3 ori diametrul tamburului [11,31].

Instalații pentru producerea peletelor crude (figura 3.4.):

- peletizorul tip taler;
- peletizorul tip tambur cilindric;
- peletizorul tip tambur conic.

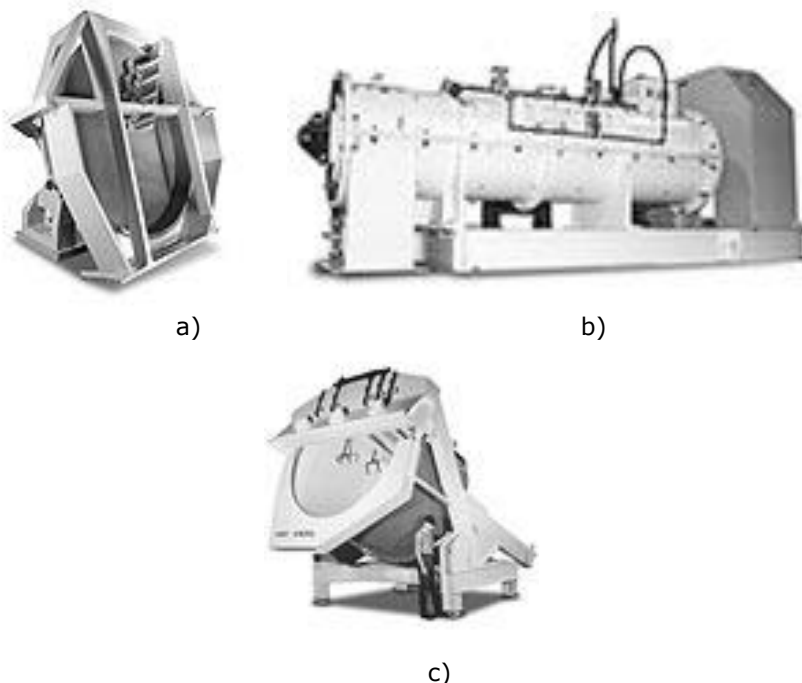


Fig. 3.4. Instalații pentru producerea peletelor
a) peletizor tip taler b) peletizor - tambur cilindric c) peletizor - tambur conic

a) Peletizorul cu taler

Constă dintr-un disc care are prevăzut un perete lateral și care se rotește acționat de un mecanism motor-reductor. Discul are posibilitatea înclinării de la poziția orizontală până la 45°, în timpul funcționării, în funcție de natura materiilor prime alegându-se înclinarea dorită (figura 3.5.).

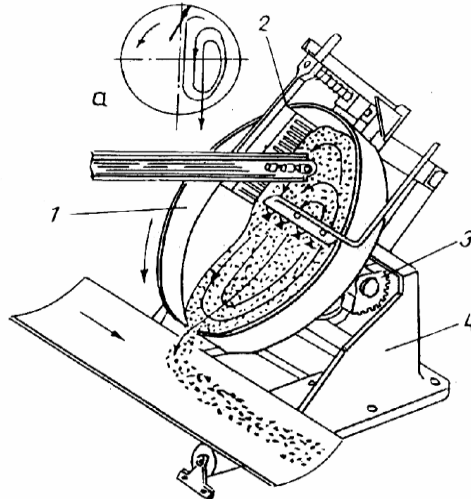


Fig. 3.5. Schema mișcării materialelor în peletizor [42]:
1 – taler; 2 – răzuitor; 3 – mecanism de înclinare; 4 – cadru

b) Peletizorul tip tambur cilindric (toba de peletizare)

Industrial, peletizarea se realizează în cilindrii de peletizare, conform figurii 3.6.

Toba de peletizare este compusă dintr-o carcasă cilindrică, înclinată sub un unghi cuprins între 2-3,5°, având raportul $L/D = 2,5-3,5$. Toba are două bandaje de sprijin, rezemând pe două rânduri de role, din care două role sunt de acționare. Pe interior, spre partea de alimentare, este montată conducta de alimentare cu apă, cu pulverizatoarele și instalația de răzuit materialul lipit pe pereți.

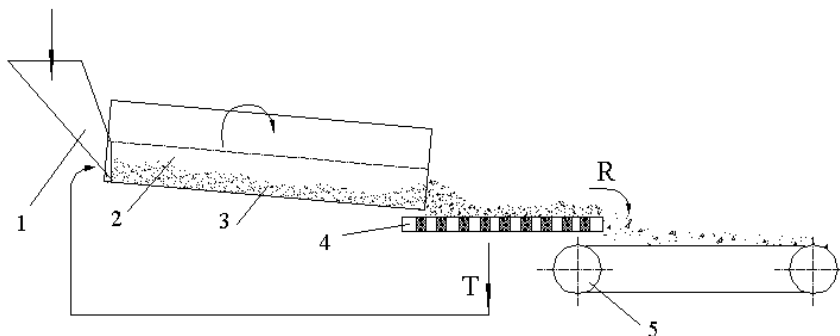


Fig. 3.6. Peletizor tip tambur cilindric [42]:
1- buncăr de alimentare; 2 - cilindrul de peletizare; 3 - minereu;
4 - instalație de clasare; 5 - bandă transportoare.

c) Peletizorul tip tambur conic

Granulatorul conic (figura 3.7.) pentru producerea peletelor se compune dintr-o ceașcă conică confecționată din fontă sau oțel, care funcționează înclinat față de orizontală la unghiuri care pot fi reglate în funcție de proprietățile materiilor prime utilizate. Diametrul peletizorului: 5m.

Productivitatea: 3-25 t/m² în funcție de diametru, natura și mărimea materialelor.

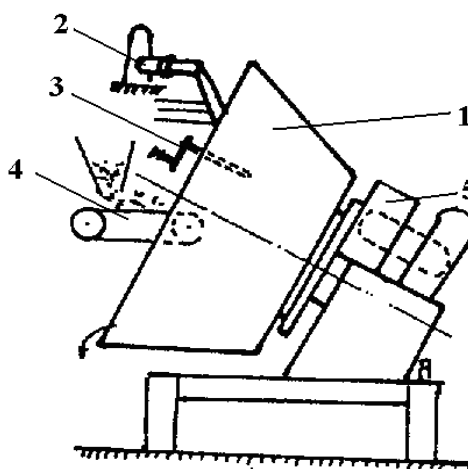


Fig. 3.7. Peletizor conic [42]

1 – peletizor; 2 – răzuitor; 3 – stropitor; 4 – alimentare amestec; 5 – dispozitiv antrenare

3.2.3. Durificarea sau întărirea peletelor

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

3.2.3.1. 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 [11, 37].

Temperatura are 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 zgure sticloase și care la răcire devine sfărâncioasă .

Durificarea la cald a peletelor se poate efectua în următoarele variante: cuptor cu cuvă (figura 3.8 , izotermele figura 3.9), pe bandă dreaptă (figura 3.10.), pe bandă circulară (figura 3.11.), pe bandă și cuptor rotativ (Grate - Klin) (figura 3.12.) [11, 37].

În momentul de față durificarea peletelor pe bandă dreaptă constituie cea mai răspândită metodă, ea permițând tratamentul oricărui tip de minereu [11].

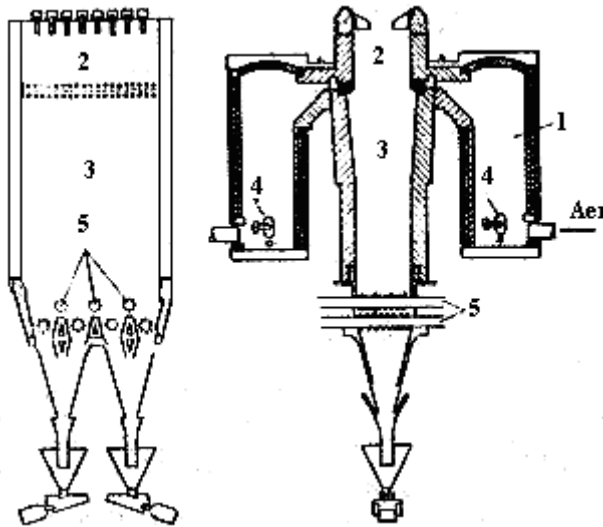


Fig. 3.8. Cuptor cu cuvă pentru durificarea peletelor
1- cameră de ardere, 2- zonă de încălzire, 3- zonă de răcire, 4- arzător, 5- cilindri dințați [11]

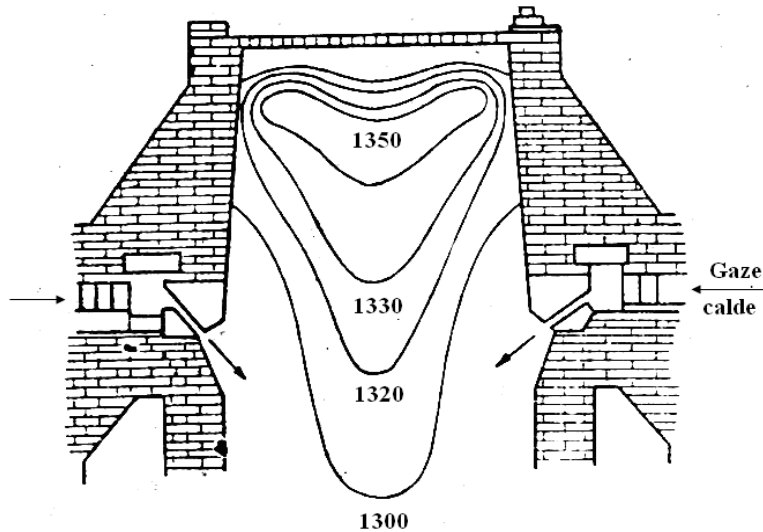


Fig. 3.9. Curbele izoterme din zona de durificare a peletelor în cuptorul cu cuvă [11]

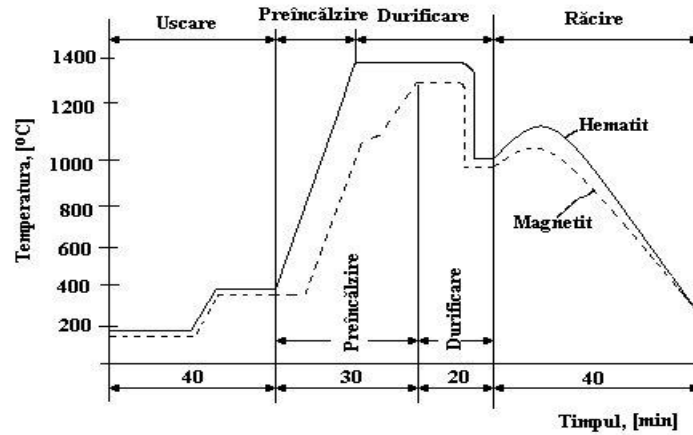


Fig. 3.10. Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor [11]

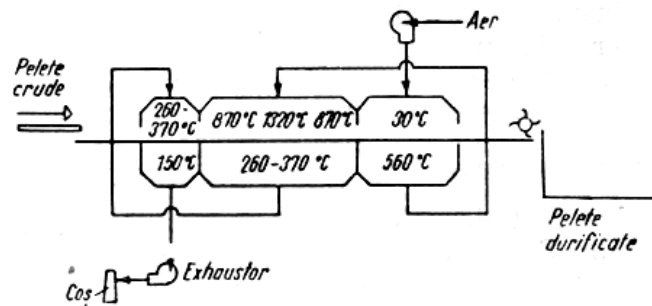


Fig. 3.11. Schema de principiu a instalației de durificare a peletelor pe bandă circulară [11]

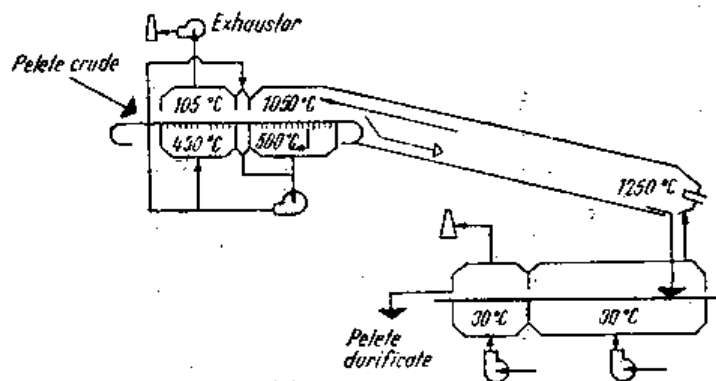


Fig. 3.12 Schema de principiu a procedului Grăte-Klin, în cazul instalației de la Bong Range (Liberia) [11]

Pe parcursul procesului de ardere a peletelor, oxizii conținuți în materialele componente vor forma o zgură. Procesele de reducere a minereului de fier pot fi clasificate în două grupe în funcție de tipul de reductor: pe bază de gaze naturale sau de cărbune. Procesul pe bază de cărbune este folosit pe scară largă, deoarece furnalul are un grad ridicat de utilizare [43].

Procesele de auto-reducere sunt în curs de dezvoltare din ce în ce mai mult în ceea ce privește peletele [44]. În procesul de autoreducere, reductorul aflat în compoziția aglomeratului sau a peletei, reactorul este mult mai compact și nu este necesară utilizarea de combustibili speciali, cum ar fi cocsul metalic care este scump. Acesta a motivat dezvoltarea de noi tehnologii de fabricare a fontei bazat pe auto-reducere, în scopul de a produce fier metalic ca o alternativă la tehnicile tradiționale [45].

3.2.3.2. Durificarea peletelor cu liant la rece (autoîntărire)

Pentru reducerea cheltuielilor de investiții, a consumului specific de combustibil și pentru simplificarea procedurii de obținere a peletelor, au fost întreprinse numeroase cercetări, pe baza cărora s-au pus la punct noi procedee de durificare, fără tratament termic [11,37].

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 compresie, se adaugă 3-5% din greutate, față de amestecul inițial cu liant, cocs de petrol [11,37].

După producerea peletelor crude urmează procesul tehnologic de durificare prin autoîntărire, alcătuit din trei perioade, după cum este arătat în figura 3.13 [11,37].

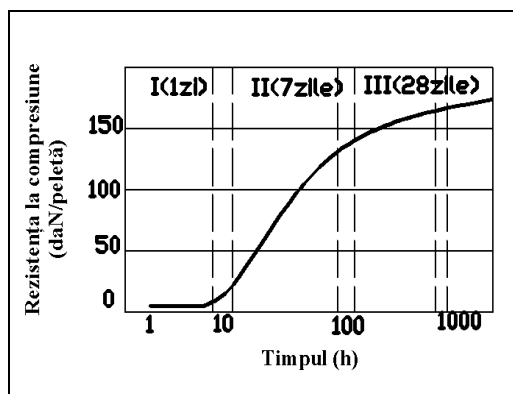


Fig. 3.13. Variația în timp a rezistenței la compresie a peletelor durificate la rece cu liant: I - perioada de întărire latentă (1-2 zile); II - perioada de durificare secundară (3 - 6 zile); III - perioada de durificare finală 7 -30 zile) [11,37].

3.3. 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: compoziție chimică și granulometrică, rezistența la compresiune, la tobă, reductibilitate, indice de umflare liberă și porozitate [46]. Calitatea peletelor, în general, este influențată de natura minereului sau concentratului, tipul și cantitatea fluxurilor și tratamentul lor ulterior pentru a produce pelete [47].

Plasticitatea este de asemenea o proprietate importantă a peletelor crude în timpul formării acestora [48].

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 [11,37].

Rezistența la compresiune, reprezintă un alt factor de apreciere calitativă a peletelor și se exprimă în daN/peletă. Rezistența la compresiune reprezintă o rezultată care depinde de compoziția mineralogică a materialului folosit, de finețea acestui material, de adaosul 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 fie 200 daN/peletă, figura 3.14. [11].

Rezistența la compresiune a peletelor crude este oarecum influențată de plasticitatea peletelor crude. Este necesar un anumit grad de plasticitate pentru a susține rata de creștere a peletelor crude. Dacă plasticitatea crește, rezistența la compresiune a peletelor umede descrește. Cantitatea de umiditate este necesară pentru a crea un anumit grad de plasticitate care depinde de proprietățile particulelor și de distribuția lor [49].

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 roaderie (abraziune) și indicele de sfărâmare. Un indice de sfărâmare de 6% și un indice de roaderie de 5% sunt considerați drept corespunzători [11,37].

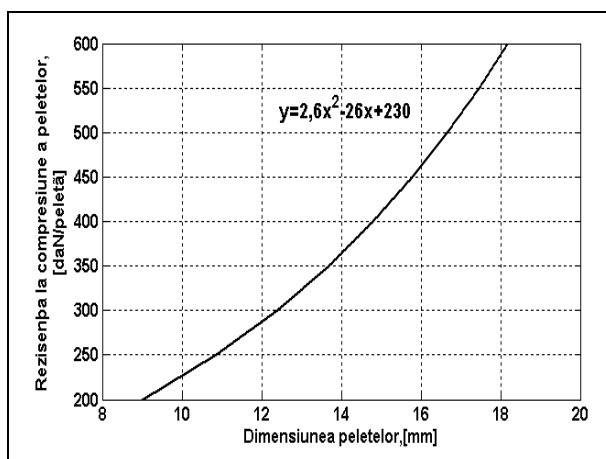


Fig. 3.14. Corelația dintre dimensiunea peletelor și rezistența la compresiune admisibilă a acestora [11]

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 [11,37]. 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 [41].

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 [11,37].

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 [11,37].

3.4. Brichetarea

3.4.1. 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 [50].

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 [30,37,32].

3.4.2. 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.

3.4.3. 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 ($50 - 100 \text{ daN/cm}^2$);
- brichetare la presiune medie ($150 - 750 \text{ daN/cm}^2$);
- brichetare la presiune ridicată (peste 750 daN/cm^2) [37].

În figura 3.15. se prezintă schematic diferitele metode de brichetare.

La brichetarea minereurilor și concentratelor fine de fier au importanță practică numai metodele fără tratament termic, cele cu tratament termic fiind neeconomice [51]. 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 [30,37,52].

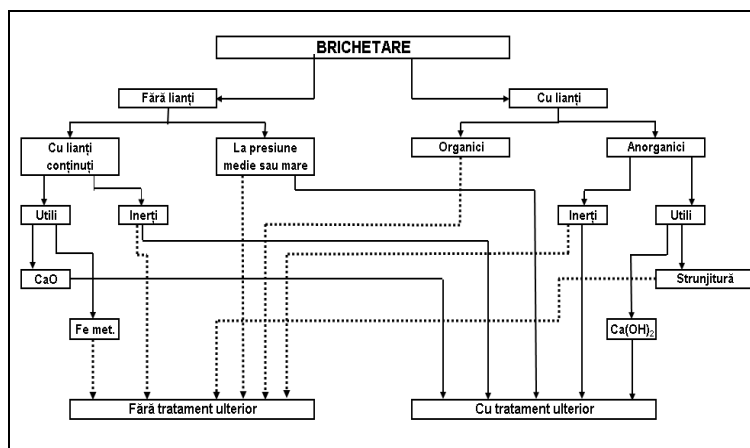


Fig. 3.15. Schema metodelor de brichetare [30]

3.4.4. 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 calități de liant (argile, var sau fier metalic) [53]. 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, figura 3.16.

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 [30,37].

3.4.5. Brichetarea cu adaosuri liante

Brichetele obținute prin procesul de obținere cu lianți organici, cum ar fi smoala sau gudroanele nu se folosesc la încărcarea în furnal deoarece rezistența brichetelor scade repede prin arderea lianților [54].

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 [30,37].

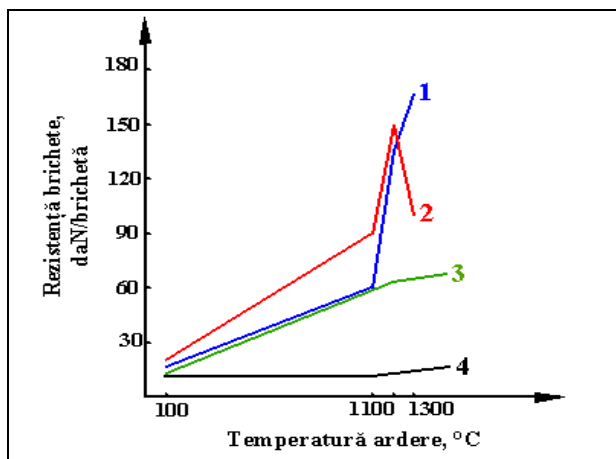


Fig. 3.16. Influența temperaturii asupra rezistenței brichetelor
1 - minereu magnezic; 2 - martit; 3 - martit + 10% argilă; 4 - minereu brun - roșcat [37]

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. [30,37,52].

3.5. Aglomerarea

3.5.1. Considerații tehnologice

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 [55].

În practica curentă se urmărește a se obține productivitate sporită la instalațiile de aglomerare, dar în același timp și aglomerat cu caracteristici calitative superioare și pe cât posibil cu consumuri energetice reduse [56].

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 [57].

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 ferți de calciu, alți compuși ușor fuzibili. Consumul mediu de căldură pentru aglomerare este de 4185KJ/kg aglomerat [58,59].

3.5.2. Fazele procesului de aglomerare

Procesul de aglomerare cuprinde următoarele faze: pregătirea șarjei (sfărâmare, clasare, dozarea și omogenizarea materialelor supuse aglomerării, încărcarea și repartizarea uniformă a șarjei crude pe mașina de aglomerare), uscarea și preîncălzirea șarjei, aglomerarea propriu-zisă, răcire și recristalizare, concasarea și clasarea volumetrică [58].

3.5.2.1. Pregătirea șarjei de aglomerare

Pregătirea materialelor pentru aglomerare (sfărâmare și clasare volumetrică) constă în aducerea acestora la granulația cerută de procesul tehnologic, urmată dozarea șarjei crude conform rețetei tehnologice [58]. O fază

tehnologică de importanță deosebită a procesului de aglomerare este omogenizarea șarjei, operație care se execută în tobele de omogenizare, pe parcursul căreia are loc și formarea micropelletizării materialului fin [58].

3.5.2.2. 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 ușor fuzibili. Atmosfera reducătoare a încărcăturii datorită arderii combustibilului și formării oxidului de carbon determină reducerea Fe_2O_3 la Fe_3O_4 și a FeO până la fier metalic [58].

3.5.2.3. 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). 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 influența pozitivă asupra rezistenței aglomeratului, dar din considerente privind reductibilitatea se limitează la cel mult 18%, de dorit să fie în limitele 12 – 14% [58]. În cazul minereurilor și concentratelor sulfuroase, procesele fizico-chimice sunt mai complexe, fiind dependente și de conținutul de sulf. Desulfurarea este avansată (90 – 95%), aglomeratele obținute având max. 0,5%, dar dezarsenierea este mai puțin intensă (50 – 60%), datorită arseniaților de calciu stabili.

În proporție de peste 98% aglomerarea minereurilor are loc pe instalații cu funcționare continuă (mașini de aglomerare cu bandă) și restul pe instalații cu funcționare discontinuă (cutii de aglomerare tip Greenwalt)

3.5.2.4. Aglomerarea 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 3.17 se prezintă aspecte din procesul de aglomerare și o schemă a mașinii de aglomerare cu bandă [58].

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 concasarea 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) [58].

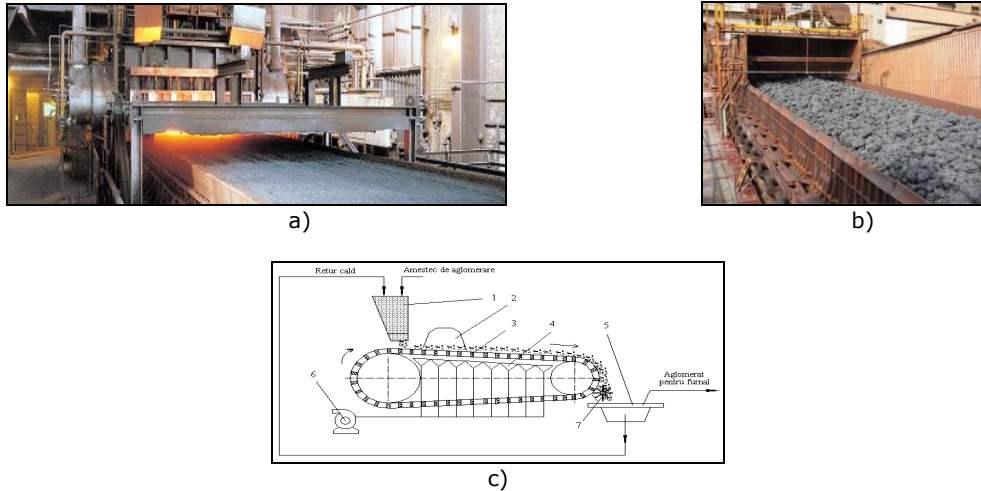


Fig. 3.17. Mașină de aglomerare cu bandă: a) aprinderea și formarea aglomeratului; b- răcirea aglomeratului; c- schema mașinii de aglomerare. 1-dispozitiv de alimentare; 2-cuptor de aprindere; 3-banda de aglomerare; 4-guri de absorbție (camere de vacuum); 5-dispozitiv de clasare-depozitare; 6-exhaustor; 7-concasor [58].

3.5.2.5. Aglomerarea în cutii de aglomerare tip Greenwalt

La acest tip de instalații (figura 3.18) încărcarea materialului pentru aglomerare se face pe deasupra cutiei într-un strat de 200 – 300mm. După încărcare are loc aprinderea încărcăturii, concomitent cu creșterea depresiei sub grătarele instalației. Cutiile de aglomerare au formă dreptunghilară sau circulară. Aprinderea șarjei se face cu ajutorul unui cuptor de aprindere care se deplasează deasupra cutiilor, timpul de aprindere fiind de 1-2 minute.

Procedeul discontinuu prezintă avantajul unor cheltuieli de investiții mai reduse, precum și fabricație și întreținere

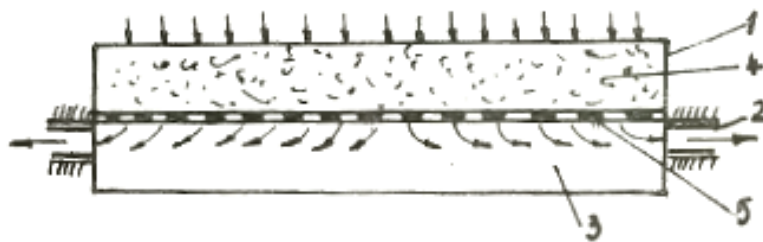


Fig. 3.18 Cutie de aglomerare tip Greenwalt
1- cutie metalică, 2- axe rotire și exhaustare, 3- cameră de aspirație,
4- amestec aglomerare, 5- grătare metalice

3.6. Procedeul 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 [60].

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 [18,61].

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 [3].

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 800 t.fontă/zi. Proporțiile de amestecuri insuflate au fost de [14]:

- varianta I - 5% Carbofer + 95% praf de cărbune;
- varianta II - 10% Carbofer + 90% praf de cărbune [18].

În figura de mai jos (figura 3.19) este prezentat fluxul tehnologic de de obținere și utilizare a Carbofer-ului în cuptor electric cu arc.

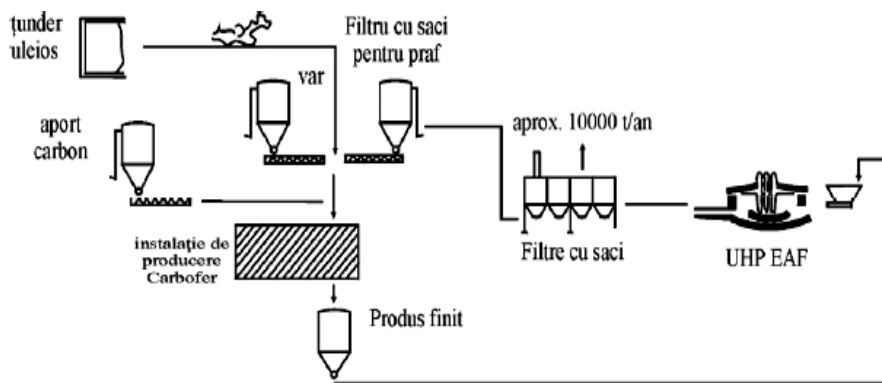


Fig. 3.19. Fluxul tehnologic de obținere și utilizare a Carbofer-ului în cuptor electric cu arc [62]

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 [12,22].

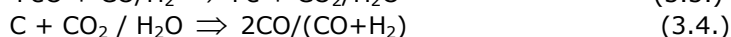
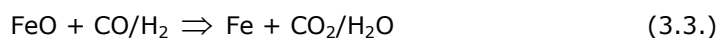
3.7. Procedeele Primus de reciclare a deșeurilor feroase din siderurgie

Un procedeu nou pentru reciclarea deșeurilor feroase din siderurgie este procedeu denumit „Primus”, dezvoltat de Paul Wurth S.A. [55] 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 [55,63].

În figura 3.20 se prezintă schema tratării deșeurilor din siderurgie prin procedeul „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) [55].

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 [55].

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 [55].

Cuptorul etajat și numărul etajelor sunt variabile și se adaptează la cerințele materialului [3]. 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.

Există o variantă a procedeuului „Primus” special dezvoltată pentru tratarea prafulilor 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 [3].

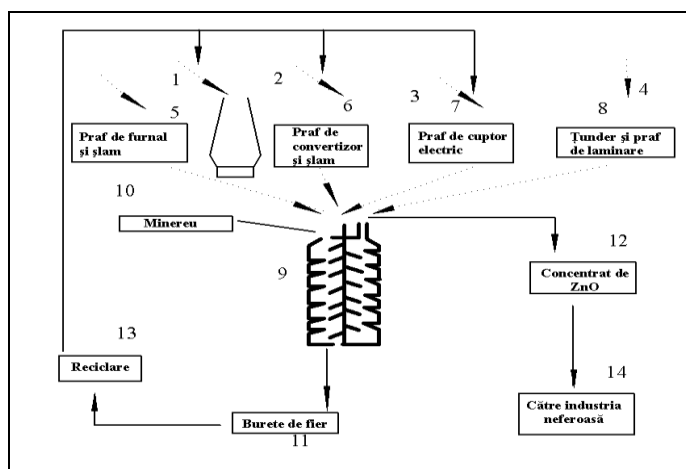


Fig. 3.20 . Tratarea deșeurilor din siderurgie prin procedeul „Primus”

1. – furnal; 2.– convertizor cu oxigen;3. – cuptor electric cu arc;4. – laminar;
5. – praful de furnal și șlam;6. – praful de convertizor și șlam;7. – praful de la cuptorul electric;8. – țunder și șlam de la laminare;9. – Primus;10. – minerul de fier;11. – burete de fier / concentrat de fier; 12. – concentrat de oxid de zinc;13. – reciclare;14.– către industria neferoasă [55].

3.8. Procedeul Hamborn

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 [55,3].

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 [55,3].

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 [3].

3.8.2. Procedeul în cuptor –cuvă Hamborn

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 [55, 65]:

- 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 procedeeului constă în omogenizarea avansată a șarjei de brichetare (particule de oxid de fier și ca reducător se folosește 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 [65]. 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 min [3].

Pentru testarea procedeeului 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 Schachtofen GbR" [57].

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 3.1 Materiale de încărcare (de brichete) pentru cuptorul cu cuvă Hamborn [3]

Deșeuri la TKS AG	Cantitate [t/an]	Procent [%]
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 56mm. 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.

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 50.000 t de fontă din deșeurii 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 procedurii.

În afară de aceasta, se pot prelucra "urși" și alte resturi metalice cu conținuturi nedefinite de fier și în bucăți până la 600 mm, 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 [3]. 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 [3].

3.9. Alte domenii de utilizare a deșeurilor mărunte și pulverulente

Reciclarea deșeurilor a intrat în istoria tehnologiei prin modul în care civilizațiile antice au reutilizat, în construcții, materiale de zidarie (cărămizi, piatră, mortar) din dărâmături. În timpurile noastre ingineria, ca știință, cu toate atributele, inclusiv exactitatea, a dezvoltat un sistem de prescripții tehnice și standarde care reglementează recuperarea și reciclarea deșeurilor (figura 3.21 și 3.22) [66].

Condițiile impuse de reglementările tehnice au descurajat, într-o oarecare măsură reutilizarea. O alternativă a reutilizării este depozitarea deșeurilor, care tinde să crească la un nivel inacceptabil, în raport cu necesitatea conservării echilibrului ecologic. Cu toate acestea, în concordanță cu parametri de performanță practicabili, definiți în normele și standardele pentru deșeurile reutilizabile și pentru produsele care le înglobează. În domeniul construcțiilor s-au dezvoltat tehnologii care folosesc de mult timp "deșeurii" granulare (zguri, cenuși de termocentrală ș.a.) inerte ecologic, drept substituenți de materii prime tradiționale [67].

La Halda de Zgură de la combinatul ArcelorMittal Galați exista, în urmă cu câțiva ani, un „munte” de 68.000.000 tone de zgură, ce se întindea pe 120-150 ha și avea înălțimea unui bloc cu 20 de etaje. Între timp, geografia locului a început să se schimbe, pentru că după privatizarea combinatului, a fost începută exploatarea haldei, pentru recuperarea bucăților de fier.

O cantitate de 5 milioane de tone de zgură este suficientă pentru construcția a 350 kilometri de autostradă, deci o utilizare a zgurii de furnal este la construcția autostrăzii [68]. Alt aspect pozitiv este acela că zgura este un material integral reciclabil: din zgura brută de oțelărie se extrage o parte feroasă, care se reintroduce în fluxul de fabricație al oțelului și o parte minerală care se poate valorifica în formă de agregate (piatra spartă) pentru domeniul construcțiilor [69].



Fig. 3.21. Zgură de la halda ArcelorMittal [69]



Fig. 3.22. Utilizarea zgurii [70]

Reciclarea prafului generat în cuptorul electric cu arc (EAF) din operațiunile din oțel inoxidabil este o parte critică a producției mai curată. Se estimează că producția din oțel inoxidabil în Taiwan este de aproximativ 1,2 milioane de tone /an, și mai mult de 24 000 de tone de praf oșel inoxidabil care se produc anual [71]. Acesta poate fi folosit împreună cu cenușa de termocentrală ca întăritor în industria ceramicii. Utilizarea cenușii prezintă importante implicații economice și de protecția mediului. Se cunoaște că o tonă de cenușă utilizată pentru înlocuirea a o tonă de ciment duce la o economie de un baril de petrol. Utilizările cenușii sunt următoarele : obținerea de ciment și betoane, producerea cărămizilor, a agregatelor ușoare și a materialelor refractare, aditivi pentru industria ceramică, ca bază pentru șosele și căi ferate, trotuare, material de umplutură în activitățile de minerit și amendament pentru sol [72]. O mare parte din cenușă este utilizată în industria construcțiilor, dar există în câmpuri cantități depozitate pe sol. În România, anual rezultă cantități mari de cenușă, deoarece sistemul energetic este supradimensionat și se utilizează combustibili inferiori [73].

3.10. Concluzii

Din analiza procedeeleor și tehnologiilor de valorificarea deșeurilor mărunte și pulverulente cu conținut de fier, fier și carbon, fier și oxizii bazici (CaO și MgO), recum și fier și SiO₂, se poate considera că prezintă interes următoarele concluzii:

- toate procedeele și tehnologiile prezentate pot fi aplicate pentru valorificarea deșeurilor (în mod deosebit din Județul Hunedoara, dar și din alte unități industriale din zona de Vest și Nord-Vest) care vor fi utilizate în cadrul experimentărilor;

- la alegerea procedeeului și tehnologiei de valorificare, trebuie obligatoriu să se aibă în vedere atât caracteristicile deșeurilor, cantitatea de deșeu disponibilă, respectiv rezultată pe fluxurile tehnologice, posibilitatea procesării concomitente a mai multor deșeuri ultimul rând (șarjă de procesare complexă) astfel încât să existe un flux continuu de procesare și nu în ultimul rând destinația produsului obținut

(posibil de utilizat în zona respectivă) precum 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 aglomerare, brichetare și peletizare, poate asigura în funcție de tehnologia aplicată a unor produse cu oxizi de fier avansat reduși;

- valorificarea deșeurilor prin peletizare, se consideră că prezintă interes deosebit, mai ales pentru unitățile siderurgice puternic restructurate, cu fluxurile tehnologice deșeuri feroase pulverulente.

- în cercetările efectuate și experimentările efectuate s-a avut în vedere valorificarea deșeurilor pulverulente prin peletizare.

PARTEA A II-A

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII DE PROCESARE PRIN PELETIZARE A DEȘEURILOR PULVERULENTE

CAPITOLUL IV

EXPERIMENTĂRI ÎN FAZĂ DE LABORATOR PRIVIND VALORIFICAREA PRIN PELETIZARE

4.1. Generalități

În prezent pe plan mondial se pune în mod deosebit problema valorificării prin reciclare a deșeurilor pulverulente generate în siderurgie, propunându-se conceptul de reciclare integrală a acestora [10].

Granulația fină a concentratelor de fier provoacă mari dificultăți în procesul de aglomerare pe bandă, singurul procedeu care s-a dovedit eficace în acest caz este peletizarea. Pe lângă aceste considerente peletizarea minereurilor de fier prezintă câteva avantaje esențiale :

- 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 și intensificării schimbului de căldură și masă; 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 calorică pentru producerea peletelor mai mic cu cca 50%, față de același consum specific necesar pentru obținerea aglomeratului [74].

Principalele etape a procesului de peletizare sunt :

- pregătirea minereurilor;
- producerea peletelor crude;
- durificarea sau întărirea peletelor [74].

Procesul peletizării este recunoscut ca o metodă de pregătire a unui material de calitate superioară pentru alimentarea furnalului, ceea ce a condus la creșterea producției peletelor [38].

4.2. Instalații și echipamente folosite în cadrul experimentelor

Deșeurile, pentru a putea fi procesate, trebuie să urmeze o serie de prelucrări. Subprodusele obținute din procesarea acestora, având în compoziție fier și carbon, și anume aglomerat, pelete și brichete, 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) [75].

Este necesar 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 vedere extragerii fierului. Experimentările

privind producerea peletelor 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 Politehnică din Timișoara. Pentru experimentări referitoare la producerea peletelor am folosit următoarele instalații (echipamente):

a) **ciur vibrator cu clasare prin refuz** (figura 4.1), cu următoarele caracteristici:

- număr maxim de site/fracții granulometrice 7/8;
- capacitate de clasare 125 kg/h;
- dimensiunile ochiurilor cuprinse în intervalul 1-100 mm, respectiv (1, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 25, 40, 50, 60, 80, 100 mm).



Fig. 4.1. Ciur vibrator

b) **moară Kollergang** (figura 4.2), capacitate de măcinare 50 kg/h;



Fig. 4.2. Moară Kollergang

c) **moara planetară cu bile PM 100** (figura 4.3.) cu următoarele caracteristici:

- mărime inițială particulă : < 4 mm;
- mărime finală particulă: < 1 μ m sau < 0,1 μ m la măcinare coloidală;
- cantitatea ce poate fi măcinată: max. 220 ml;
- mărime incintă de măcinare: 500 ml;
- timp de măcinare reglabil digital in intervalul: 1 sec – 99 min;



Fig. 4.3. Moară planetară cu bile PM 100

d) moara cu rotor ZM200 (figura 4.4.) cu următoarele caracteristici:

- principiul de funcționare : impact si forfecare;
- mărime inițială particula: < 10 mm;
- mărime finală particulă: < 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 oțel inox placat cu Wolfram;
- capacitate: 900 ml cu casetă;



Fig. 4.4. Moară cu rotor ZM200

e) aparat de sitare Fritsch tip Analysette 3 Spartan (figura 4.5) 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: 50 W.



Fig. 4.5. Aparat de sitare Fritsch tip Analysette 3 Spartan [42]

f) balanță SARTORIUS CP2202S-OCE (figura 4.6.a) având caracteristicile:

- cantitatea minimă de măsurare: 0,5 g;
- cantitatea maximă de măsurare: 2200 g;
- precizie: 0,01g.



a)



b)

Fig. 4.6. Balanțe - a) balanță SARTORIUS CP2202S-OCE;
b) balanță KERN ECE 50K50

g) balanță KERN ECE 50K50 (figura 4.6.b) având caracteristicile:

- cantitatea minimă de măsurare: 50 g;
- cantitatea maximă de măsurare: 50 kg;
- precizie: 50 g.

h) tobă omogenizare (figura 4.7) cu capacitate 200 kg/h;



Fig. 4.7. Tobă de omogenizare

i) peletizor – (figura 4.8) cu următoarele caracteristici:

- diametru taler 97 cm
- înălțime taler 9 cm
- unghi de înclinare 45
- capacitate- 66474 cm³
- rotații/min 8



Fig. 4.8. Peletizor tip taler

j) instalație pentru producerea aglomeratului- (figura 4.9) cu următoarele caracteristici:

- diametru 43 cm
- înălțime 72 cm
- capacitate 78803 cm³



Fig. 4.9. Instalație de aglomerare

i) presă cu forța de presare maxim 400 kN (figura 4.10);



Fig. 4.10. Presă 400 kn

j) presă cu forță de presare maxim 50 tf (figura 4.11);



Fig. 4.11. Presă hidraulică [76]

k) etuvă (figura 4.12) având următoarele caracteristici :

- temperatura maximă : 220°C;
- capacitatea: 20 kg/h;



Fig. 4.12. Etuvă

l) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model L15/12/B180 (figura 4.13.a) cu următoarele caracteristici:

- putere: 3,6kW;
- temperatură maximă : 1200°C, respectiv 1700°C;



Fig. 4.13. Cuptoare de topire –a) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model L15/12/B180;
b) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model LHT 02/17

m) cuptor de topire (calcinare) Nabertherm model LHT 02/17 (figura 4.12.b) cu următoarele caracteristici:

- putere: 3 kW;
- temperatură maximă: 1700°C;

n) cuptor cu rezistori (figura 4.14), cu următoarele caracteristici:

- putere 220 V;
- intensitate 30 A;
- temperatura maximă: 1100 °C;
- capacitate: 17x12x45 cm³;



Fig. 4.14. Cuptor cu rezistori

o) cuptor Tammann (fig.4.15), cu următoarele caracteristici:

- capacitate. 3 kg fontă/oțel;
- tensiune 40 V;
- intensitate 300 A;
- trepte reglare brută 6;
- trepte reglare fină 8;



Fig. 4.15 Cuptor Tammann

p) cuptor cu inducție (figura 4.16), **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;



Fig. 4.16 Cuptor cu inducție

q) mașina universală de încercări mecanice (figura 4.17), **având trei domenii:**

- domeniul I: 0 – 500 daN;
- domeniul II: 500 – 1250 daN;
- domeniul III: 1250 – 2500 daN;



Fig. 4.17 Mașina de încercare la compresiune

4.3. Caracteristicile deșeurilor utilizate în cadrul experimentelor

Având în vedere procesul de valorificare ales pentru experimentările din această lucrare, și anume procesul de peletizare, trebuie să se țină cont de anumite aspecte pentru ca deșeurile să poată fi procesate corect. Una dintre cele mai importante caracteristici ale acestora este clasa granulometrică a pulberilor folosite la experimentări.

Deșeurile au fost alese în funcție de cantitatea acestora existentă în județul

Hunedoara, acțiunea negativă asupra mediului (aer, apă, sol) precum și compoziția chimică și granulometrică a acestora. S-a avut în vedere ca cel puțin 90% din componența materialelor procesate prin peletizare să provină din județul Hunedoara, restul de max. 10% din județele Caraș-Severin și Bihor.

Am considerat că prezintă interes folosirea în rețetele de peletizare și a deșeurilor provenite din județul Caraș-Severin, respectiv Reșița și Oradea, în ambele cazuri s-a avut în vedere praful de oțelărie electrică, deșeu existent și la Hunedoara (Cele trei centre siderurgice Hunedoara, Reșița și Oțelu Roșu au cantități apreciabile de deșeuri mărunte și pulverulente nevalorificate). Având în vedere conținutul de fier și oxid de aluminiu (liant și component fluidificator pentru zgură) precum și accidentul din Ungaria (Kolontar), posibilitatea reciclării acestuia prin peletizare se consideră că prezintă interes pentru cei ce gestionează aceste depozite.

Deșeurile folosite în procesul de peletizare trebuie să aibă o granulație fină pentru a se putea forma peletele. Pentru peletele obținute în cadrul experimentărilor s-au folosit deșeuri pulverulente sitate, clasele granulometrice ale acestora fiind prezentate în diagramele 4.18-4.21. De menționat este faptul că o parte din acestea au fost măcinate: nămolul roșu (datorită depozitării se prezintă sub formă de bulgări), steril de Teliuc, ținutul, pilitura de fier și fracția feroasă a zgurii de oțelărie și clasate volumetric.

Creșterea fineții atrage după sine micșorarea porozității peletelor, cu consecințe negative asupra reactivității precum și înrăutățește porozitatea peletei. Rezultă că supramăcinarea trebuie evitată atât pentru considerentele arătate mai sus, în plus, cheltuielile mari cu supramăcinarea ar fi inutile. Forma și rugozitatea particulelor asigură modul de distribuire a lor ca dimensiuni și gradul de compactare al materialului în cadrul peletei [37]. În urma proceselor de măcinare și sitare a deșeurilor s-au stabilit rețete pentru fiecare experimentare. Alegerea deșeurilor s-a făcut în funcție de compoziția chimică și mineralogică a acestora. S-au urmărit

obținerea peletelor variind cantitatea de deșeu foarte fin (granulația < 90 μm), conținutul de liant cât și cantitatea de apă folosită.

Liantul a fost folosit pentru creșterea rezistenței peletelor, în experimentările de laborator folosindu-se bentonita și varul. În practică se mai folosesc drept lianți CaCl_2 și CaCl [37]. Rezistența peletelor este o caracteristică foarte importantă pentru calitatea peletelor, care trebuie respectată atât în cazul peletelor crude având în vedere manevrarea și transportul lor până la instalațiile de prăjire, cât și a peletelor durificate la manevrare și transport de la producător la consumator.

În cadrul cercetărilor și experimentărilor am urmărit să stabilesc o serie de corelații între caracteristicile calitative a peletelor, definite de rezistența la compresiune a peletelor crude, rezistența la fisurare, la sfărâmare și intervalul de sfărâmare pentru peletele durificate, considerații ca parametri dependenți și parametri independenți definiți de componența rețetelor și compoziția chimică a acestora. Determinarea caracteristicilor calitative a deșeurilor procesate în cadrul experimentărilor în fază de laborator, precum și a peletelor obținute, au fost efectuată în laboratoarele Facultății de Inginerie din Hunedoara – Universitatea "Politehnica" din Timișoara, a societății ArcelorMittal S.A. Hunedoara și Facultății de Știința și Inginerie Materialelor - Universitatea "Politehnica" din București.

Caracteristicile calitative a deșeurilor utilizate, a lianților și a altor adaosuri se prezintă în tabelele și figurile ce urmează. În tabelele 4.1.- 4.11. se prezintă compoziția chimică medie a fiecărui deșeu utilizat în cadrul experimentărilor. Analizele chimice au fost efectuate în laboratoarele de chimie a Facultății de Inginerie Hunedoara și ArcelorMittal Hunedoara.

Tabelul 4.1. Compoziția chimică a șlamului de la aglomerare – furnale ArcelorMittal Hunedoara

Compoziția chimică, %											
Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P	C	PC
31,34	8,58	35,25	9,2	9,69	9,9	2,55	0,87	1,55	0,13	21,2	1,08

Tabelul 4.2. Compoziția chimică a prafului de furnal ArcelorMittal Hunedoara

Compoziția chimică, %											
Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	S	P	Altele
41,79	41,68	13,39	17,34	8,69	6,29	9,13	0,72	0,62	0,2	0,11	1,83

Tabelul 4.3. Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru (O.S.M. II Hunedoara)

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
54,66	3,23	74,51	3,8	1,6	6,44	2,31	4,6	0,57	0,31	0,52	2,11

Tabelul 4.4. – Compoziția chimică a prafului de la electrofiltru oțelărie electrică

Compoziția chimică, %											
Fe _{tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	ZnO	Altele
52,08	3,2	70,85	3,8	1,3	6,03	1,92	5,2	0,71	0,36	1,42	5,21

Tabelul 4.5. Analiza chimică a nămolului roșu de la întreprinderea Alumina Oradea

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	Pb	As	Altele
43,51	47,86	8,98	9,92	21,7	0,64	0,5	4,35	4,01	0,4	1,27	0,24	0,013	0,12

Tabelul 4.6. Compoziția cenușilor de termocentrală Mintia-Deva

Compoziția chimică, %									
SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O	C	Altele*
50,87	8,01	1,72	17,12	9,03	7,08	0,7	0,36	4,16	0,95

Tabelul 4.7. Compoziția chimică a țănderului

Compoziția chimică, %									
Fe _t	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Alți	
70,16	66,57	26,27	0,8	1,76	0,17	0,46	0,95	3,02	

Tabelul 4.8. Compoziția zgurii fracție feroasă de la oțelărie ArcelorMittal Hunedoara

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	
44,81	12,17	10,07	28,30	17,05	3,35	4,13	18,75	6,21	0,30	0,28	1,17

Tabelul 4.9. Compoziția concentratului din deșeu sideritic

Compoziția chimică, %							
SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
19,66	9,4	18,48	20,15	3,04	20,22	7,02	2,03

Tabelul 4.10. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică T.M.K.Reșița

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
43,16	4,04	56,55	4,144	0,846	7,72	3,244	4,412	0,594	0,352	13,31	4,764

Tabelul 4.11. Compoziția chimică a prafului de electrofiltru oțelărie electrică MECHEL Oțelul Roșu

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
45,86	4,37	60,68	3,2	0,65	5,4	2,98	4,2	0,8	0,58	16,28	0,86

S-au făcut experimentări în ceea ce privește clasa granulometrică a prafului de furnal, prafului de electrofiltru, țănderului (provenit de la Arcelor Mital Hunedoara), nămolului roșu (provenit de la Centrade Oradea) și piliturii de fier, sitându-se câte 10 kg din aceste tipuri de deșeuri. Au fost folosite 8 site cu diametrul ochiului cuprins între 125 μm și 25 μm în cazul prafului de furnal, prafului de electrofiltru, nămolului roșu și a sterilului de Teliuc (acesta fiind separat mai întâi de partea neutilă). Pentru țănder s-au folosit 4 site datorită compoziției granulometrice mărunte (450 μm, 315 μm, 250 μm, 180 μm), iar pilitura de fier a fost sitată folosind 5 site (125 μm, 112 μm, 90 μm, 63 μm, 56 μm). În figurile 4.18. - 4.23 se prezintă structura granulometrică, determinarile au fost efectuate în laboratorul de Baza energetică și de materii prime, din cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara.

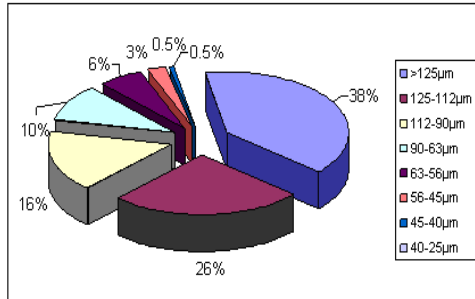


Fig. 4.18. Clasarea granulometrică a prafului de furnal

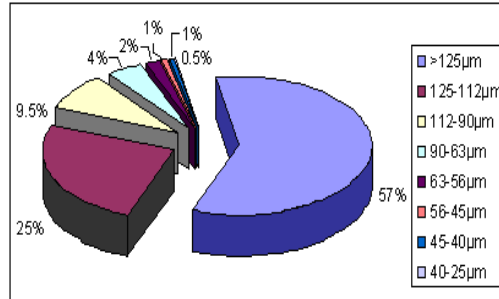


Fig. 4.19 Clasarea granulometrică a prafului de electrofiltru

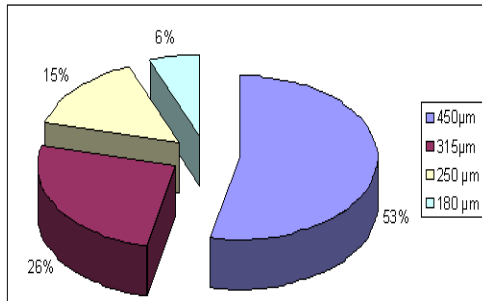


Fig. 4.20. Clasarea granulometrică a tunderului

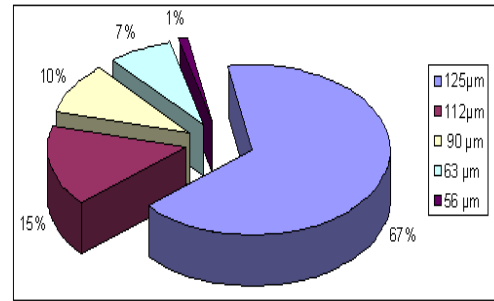


Fig. 4.21. Clasarea granulometrică a piliturii de fier

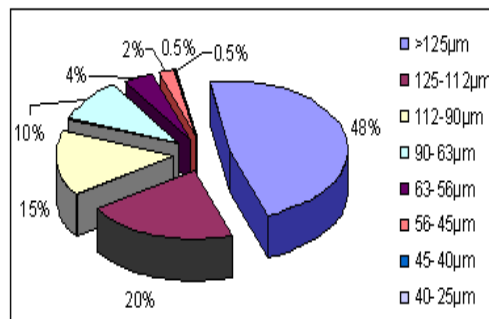


Fig. 4.22. Clasarea granulometrică a nămolului roşu

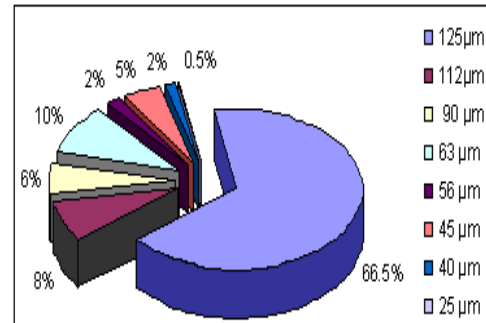


Fig. 4.23. Clasarea granulometrică a sterilului

4.4. Depozitarea

Pentru buna desfășurare a procesului de producere a pletelor atât în practica curentă cât și în laborator (pentru cercetare) este necesar ca la aprovizionarea cu materiile prime/deșeuri, acestea să fie depozitate în spații bine delimitate astfel încât să nu se producă amestecarea lor și nici impurificarea acestora cu resturi de pământ, beton, materiale refractare etc.

În condițiile de laborator a fost asigurată depozitarea deșeurilor în recipiente de plastic, atât înainte de procesare (măcinare, clasare volumetrică) în vederea peletizării, cât și după această procesare, menționându-se denumirea deșeurii și a

caracteristicilor calitative. De asemenea s-a asigurat depozitarea peletelor obținute în cutii de tablă. În figura 4.24. se prezintă recipientele pentru depozitare.



Fig. 4.24. Recipiente de depozitare a deșeurilor

4.5. Concluzii

Din analiza caracteristicilor instalațiilor și echipamentelor, precum și a deșeurilor utilizate în cadrul experimentărilor rezultă următoarele concluzii:

- instalațiile și echipamentele existente în cadrul laboratoarelor Facultății de Inginerie din Hunedoara permit producerea peletelor din deșeuri feroase pulverulente și mărunte printr-o măcinare prealabilă;
- aparatura existentă permite determinarea în cea mai mare parte a caracteristicilor calitative, pentru o altă parte utilizându-se aparatură de la Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor – Universitatea “Politehnica” din București și la S.C. ArcelorMittal S.A. Hunedoara;
- deșeurile pulverulente selectate pentru experimentări provin în majoritate din zona Hunedoara, cu excepția prafului de la TMK Reșița și nămolului roșu de la Oradea;
- compoziția chimică și granulometrică, precum și conținutul de elemente dăunătoare, permite procesarea deșeurilor prin peletizare.

CAPITOLUL V

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND PROCESAREA PRIN PELETIZARE A DEȘEURILOR PULVERULENTE CU CONȚINUT DE FIER ȘI CARBON

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

5.1. Tehnologie de peletizare în fază de laborator (de producere a peletelor în fază de laborator)

Tehnologia propusă pentru experimentări cuprinde următoarele etape:

1. Aprovizionarea cu deșeuri pulverulente și mărunte de la următoarele societăți: S.C. ArcelorMittal S.A. Hunedoara, Eco-Sid Hunedoara, Exploatarea minieră Teliuc, Termocentrala Mintia – Deva, S.C. Sidermet S.A. Călan din județul Hunedoara și Ductil Steel Oțelu Roșu, TMK S.A. Reșița, jud Caraș –Severin, Cemtrade S.A. Oradea, jud Bihor.

2. Depozitarea acestora în recipiente din material plastic (figura 4.18) având în vedere cerințele tehnologice și de lucru prezentate la punctul 4.4.

3. Uscarea deșeurilor în etuvă, măcinarea deșeurilor mărunte (țunder, deșeului sideritic, nămolului roșu și a fracției feroase a zgurii de oțelărie), în morile Kollergang, cu bile PM 100 și ZM 200.

4. Țunderul se clasează volumetric pe site cu dimensiunea ochiurilor cuprinse între 450 μm și 180 μm , refuzul > 450 μm și < 1000 μm se macină în moara Kollergang, se clasează din nou și se depozitează în recipiente.

5. Deșeul sideritic se concentrează magnetic rezultând partea utilă denumită în cadrul cercetărilor concentrat din deșeu sideritic și parte nemagnetică denumită deșeu sideritic secundar (utilizat cu rezultate foarte bune la producerea cimentului sau construcția de drumuri și autostrăzi), ambele fracții se depozitează în recipiente etichetate. Nămolul roșu prelevat din iaz (desecat) se prezintă atât sub formă pulverulentă cât și sub formă de bulgări de diferite dimensiuni mai mult sau mai puțin întăriți. Pentru a putea fi utilizat în procesul de peletizare se macină în moara Kollergang se sitează la dimensiunile stabilite și returul se reintroduce la măcinat.

6. Zgura de oțelărie, cu granulație până la 20 mm, se clasează în două fracții granulometrice, clasa mai mică decât 10 mm și cea între 10 și 20 se macină separat după care se clasează pe sita cu ochiuri de 0,1 mm, fracția fină se introduce la peletizare, iar fracția sub 3 mm se procesează prin aglomerare. Returul (fracția mai mare de 3 mm) se reintroduce la măcinat.

7. Materialele pulverulente se supun clasării volumetrice folosind 8 site cu ochiuri de 125 μm și mai mici, ajungând până la 25 μm , materialul cu granulație sub 125 μm se depozitează în recipiente separate în vederea utilizării la diferite rețete de peletizare, materialele cu granulație mare sunt introduse în moara Kollergang și iar cel cu granulație peste 125 μm se introduce moara cu bile, după măcinare se depozitează în silozuri (recipiente).

8. 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. Șarja crudă se peletizează cu ajutorul instalației de peletizare, ținând cont atât de cantitatea de material folosit cât și de cantitatea de apă necesară pentru a obține pelete.

9. În urma procesului de peletizare, peletele sunt supuse procesului de clasare folosindu-se site cu ochiuri având diametrul de 10 mm; peletele cu diametrul mai mic de 10 mm sunt reintroduse în procesul de peletizare sau cel de obținere a aglomeratului. Se selectează pelete cu diametrul 15 mm, pentru determinarea rezistenței la compresiune. Peletele obținute sunt supuse unor procese de durificare, inițial în atmosferă normală 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. Peletele obținute sunt supuse procesului de uscare, inițial în atmosferă 1-2 zile (în funcție de umiditatea acesteia), după care în cuptor la 120 $^{\circ}\text{C}$, conform diagramei de uscare prezentată în figura 5.1.

În cadrul experimentărilor în fază de laborator, s-a avut în vedere obținerea peletelor după mai multe rețete, materialele utilizate fiind deșeurile pulverulente

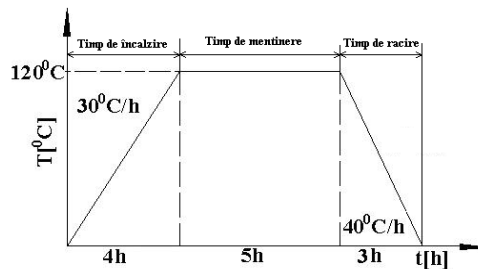


Fig. 5.1. Diagrama de durificare a peletelor (T-temperatura de durificare, $^{\circ}\text{C}$; t- timpul de durificare,[h])

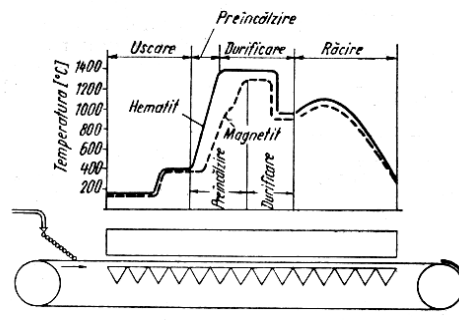


Fig. 5.2. Variația temperaturii pe lungimea unei benzi drepte de durificare a peletelor [11]

În cercetările efectuate s-a urmărit stabilirea unor corelații între caracteristicile calitative a peletelor și caracteristicile materialelor utilizate precum și componența rețetelor. În continuare se prezintă rezultatele obținute pentru fiecare variantă și rețetă.

5.2. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta A

În cadrul acestei variante am urmărit influența adaosului de bentonită și apă asupra calității peletelor crude și durificate (în mod deosebit rezistența la compresie).

Deșeurile pentru producerea peletelor au fost cele prezentate în tabelul 5.1., de asemenea în tabel sunt prezentate cele 4 rețete de bază, din fiecare producându-se mai multe loturi de pelete (27/rețetă).

Tabelul 5.1. Componența de bază a rețetelor

Nr.rețetă	[%] fr. sub 0,04mm	Componență rețete, [%]						[%] apă	
		P.OSM ^{1*}	P.OE ^{2*}	Ș.AF ^{3*}	Ș.T ^{4*}	NR ^{5*}	Bentonită		
1	RA.	40	15	54-55	10	10	10	0-1	7-11
2	RB	65	15	54-55	10	10	10	0-1	7-11
3	RC	84	15	54-55	10	10	10	0-1	7-11
4	RD	99	15	54-55	10	10	10	0-1	7-11

^{1*} Praf oțelărie Siemens-Martin (OSM-II) ; ^{2*} Praf oțelărie electrică (OE) ; ^{3*} Șlam aglomerare furnale; ^{4*} Șlam Tunder; ^{5*} Nămol Roșu; ^{1*, 2*, 3*, 4*} deșeuri Arcelor- Mittal Hunedoara; ^{5*} deșeu Fabrica de Alumină Oradea

Cele 4 rețete sunt stabilite în funcție de proporția în amestec a fracției cu granulația mai mică de 0,040 mm, în rest proporția de deșeuri este aceeași cu excepția prafului de oțelărie electrică care variază cel mult cu 1 % și a bentonitei care de asemenea variază cu cel mult 1 %. Pentru fiecare rețetă adaosul de apă a fost cuprins între 7-11 % (tabelul 5.1, Anexă).

În cadrul acestor experimentări s-a urmărit determinarea adaosurilor optime de bentonită și apă în vederea obținerii unor pelete cu rezistență la compresie cât mai mare, pentru fiecare participație în șarja de peletizarea a fracției mărunte cu granulație sub 0,040 mm [77].

5.2.1. Experimentări privind peletele crude

Din fiecare lot de pelete au fost alese un număr de 10 pelete cu diametrul 14-15 mm pentru care s-a determinat rezistența la compresie (peletele obținute în stare crudă au fost lăsate o zi în atmosferă normală pentru uscare după care au fost supuse clasării).

Rezistența peletelor în stare crudă a fost determinată în laboratorul de Baza Energetică și de Materii Prime a Facultății de Inginerie din Hunedoara, utilizând instalația din figura 4.11.

Rezistența la compresie a fost considerată parametru dependent și procent din fracția granulometrică sub 0,040 mm, procentul de bentonită și de apă ca parametri independenți.

Aceste date au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL și MATLAB în vederea obținerii unor ecuații de corelație pe baza cărora se pot stabili rețetele optime de procesare. În continuare se prezintă corelațiile obținute atât sunt formă grafică cât și analitică.

În funcție de acești factori s-au produs pelete după 108 rețete, 2 șarje/rețetă din fiecare șarjă determinându-se rezistența la compresiune a peletei crude pentru 10 pelete, luând în considerare valorile medii.

5.2.1.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel

În vederea stabilirii unor ecuații de corelație simplă (utile pentru cercetare și practica curentă), datele obținute în cadrul experimentărilor au fost prelucrate în programul de calcul Excel.

Ca urmare a unor prelucrări în vederea obținerii corelațiilor liniare, polinomiale de gradul 2-5, exponențiale, logaritmice s-a considerat că atât din punct de vedere a valorilor pentru coeficienții de corelație, cât și a formei corelației, s-au stabilit ecuații de corelație de formă polinomială de gradul 2.

Corelațiile obținute sunt prezentate în continuare, atât sub formă analitică (cu menționarea coeficientului de regresie pentru fiecare corelație) cât și sub formă grafică.

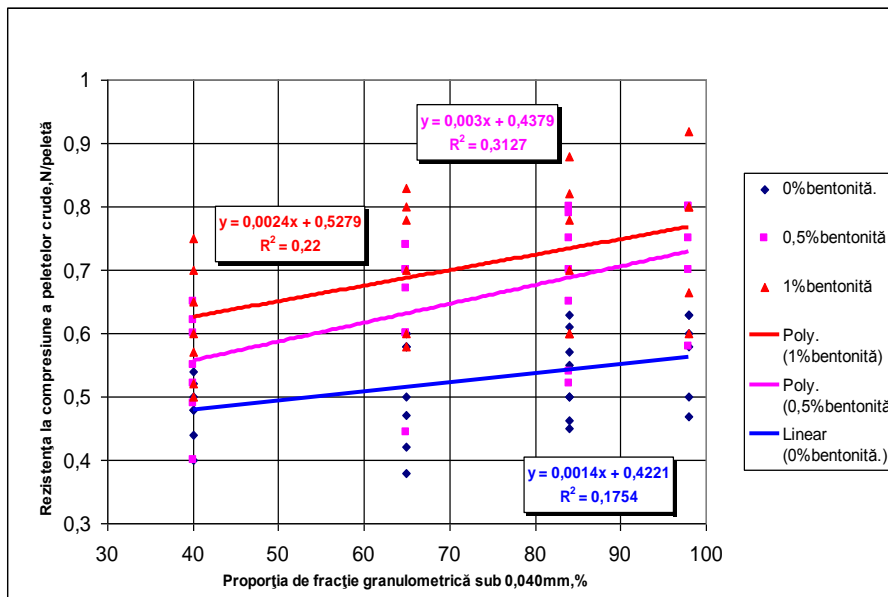


Fig. 5.3. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm

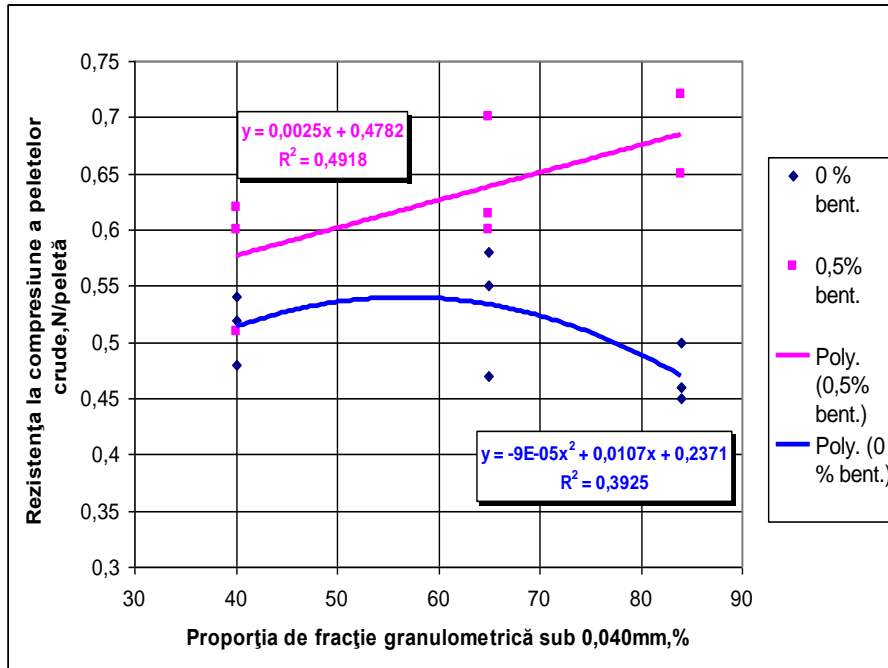


Fig. 5.4. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm , adaos de apa 7-8 %

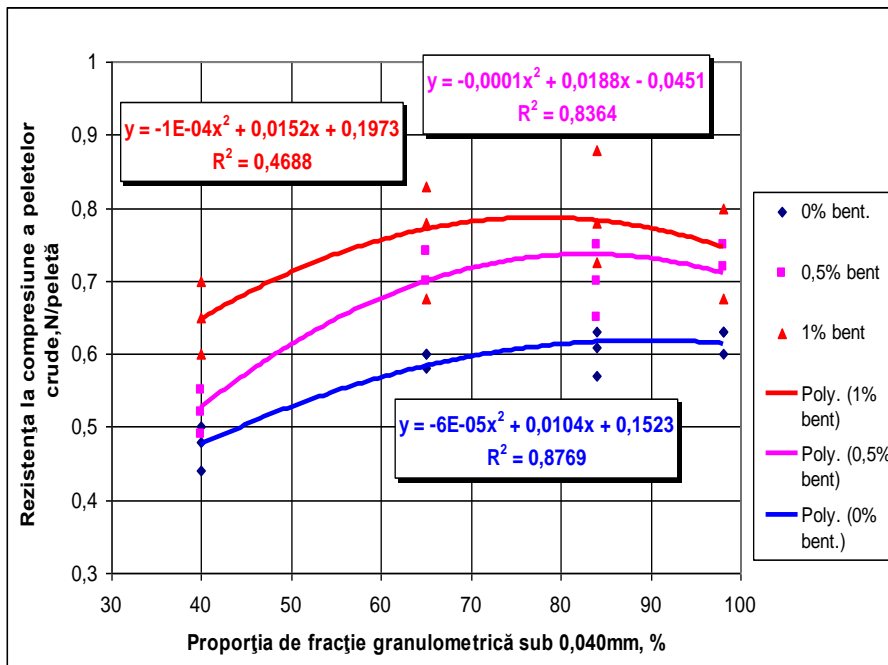


Fig. 5.5. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, adaos de apa 8,5 – 9,5 %

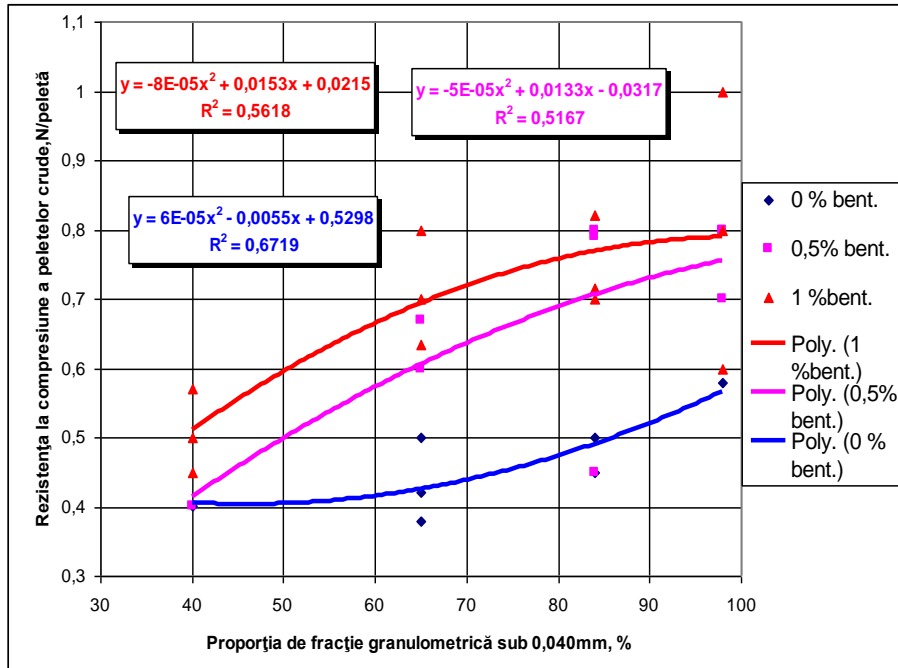


Fig. 5.6. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, adaos de apă 10 – 11 %

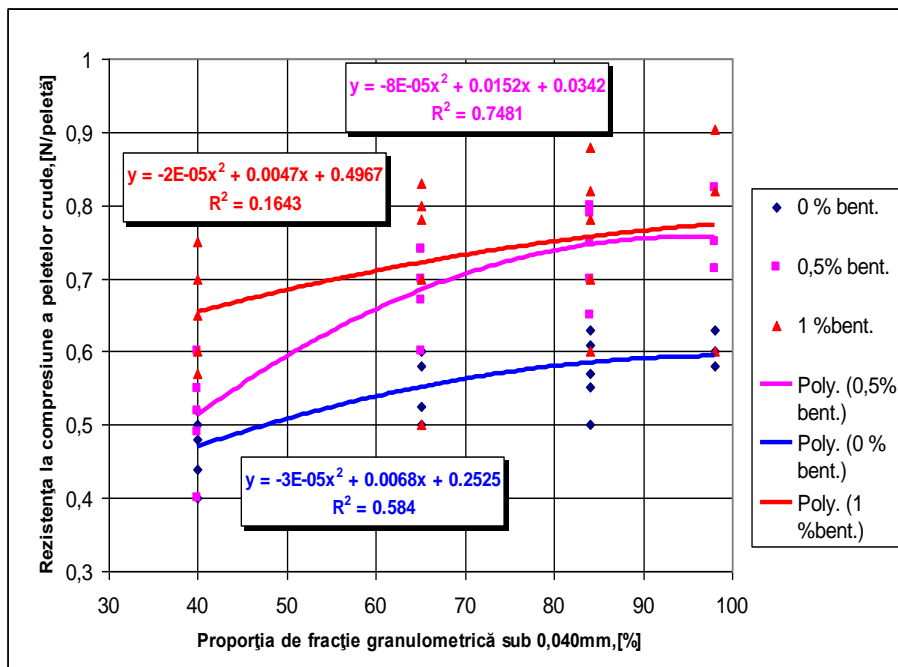


Fig. 5.7. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, adaos de apă 7 – 11 %

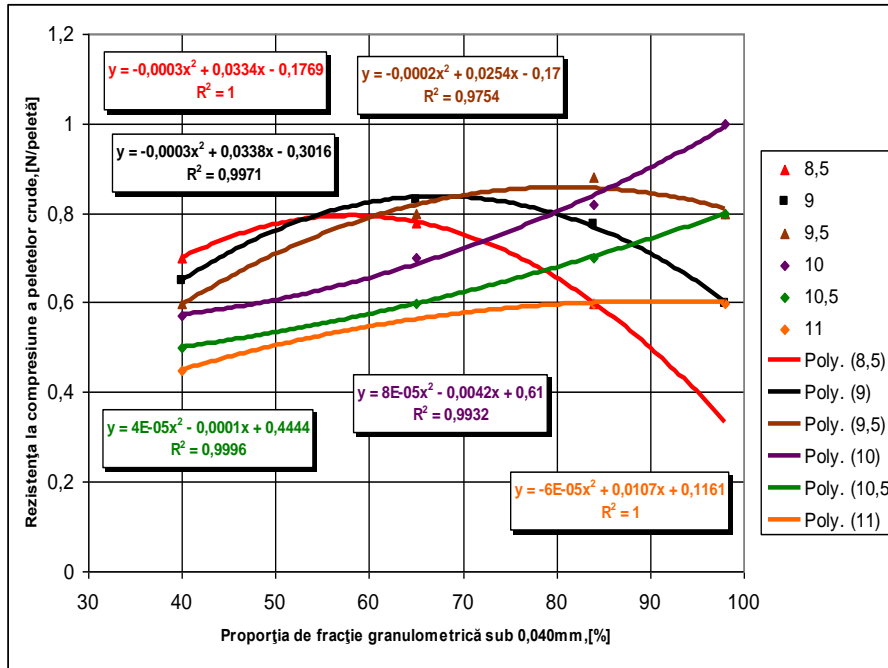


Fig. 5.8 Variația rezistenței la compresie în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, pentru 1% bentonită și diferite procente la adaosul de apă

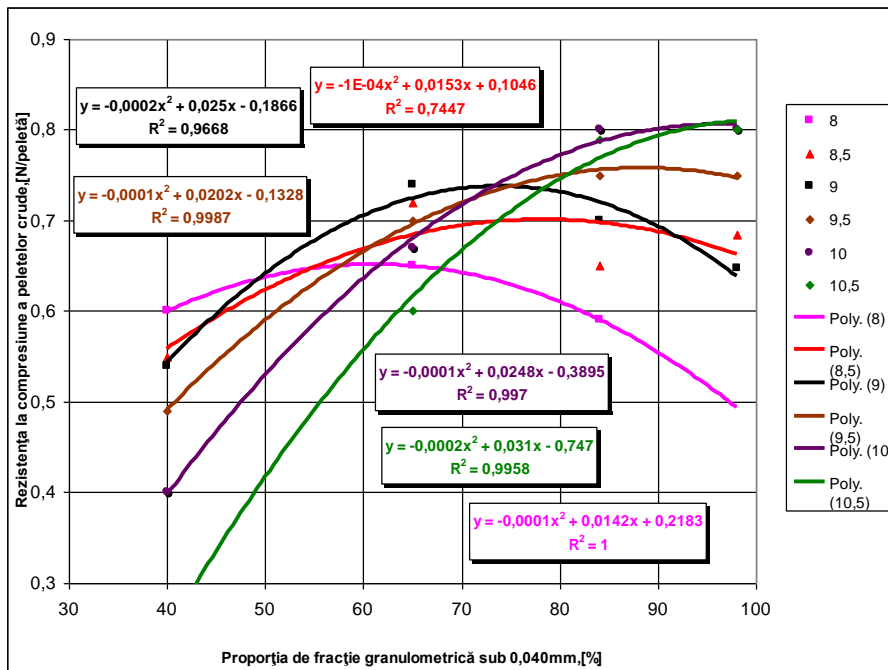


Fig. 5.9. Variația rezistenței la compresie în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, pentru 0.5 % bentonită și diferite adaosuri de apă

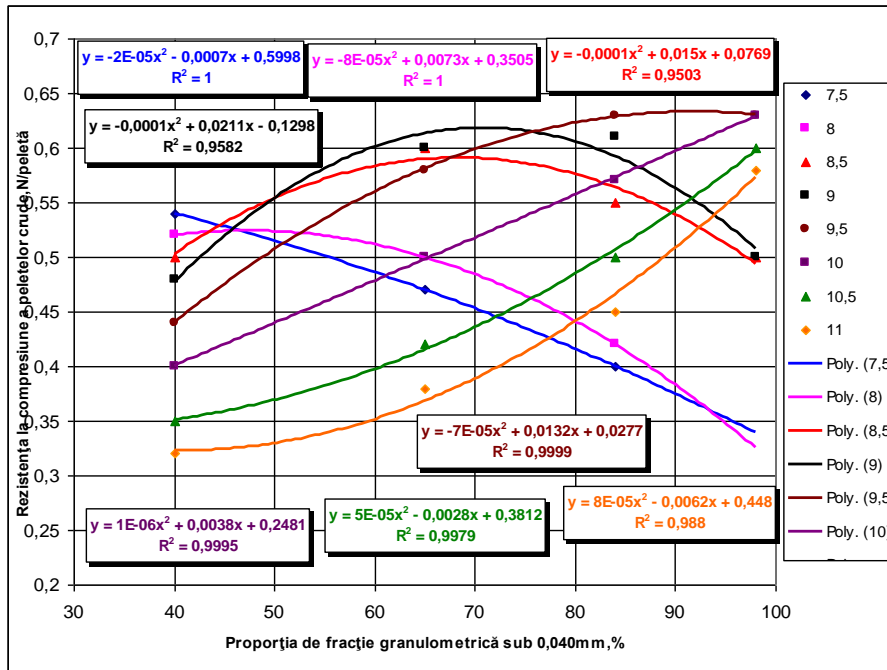


Fig. 5.10. Variația rezistenței la compresiune în funcție de procentul de fracție granulometrică sub 0.040 mm, pentru 0 % bentonită și diferite adaosuri de apă

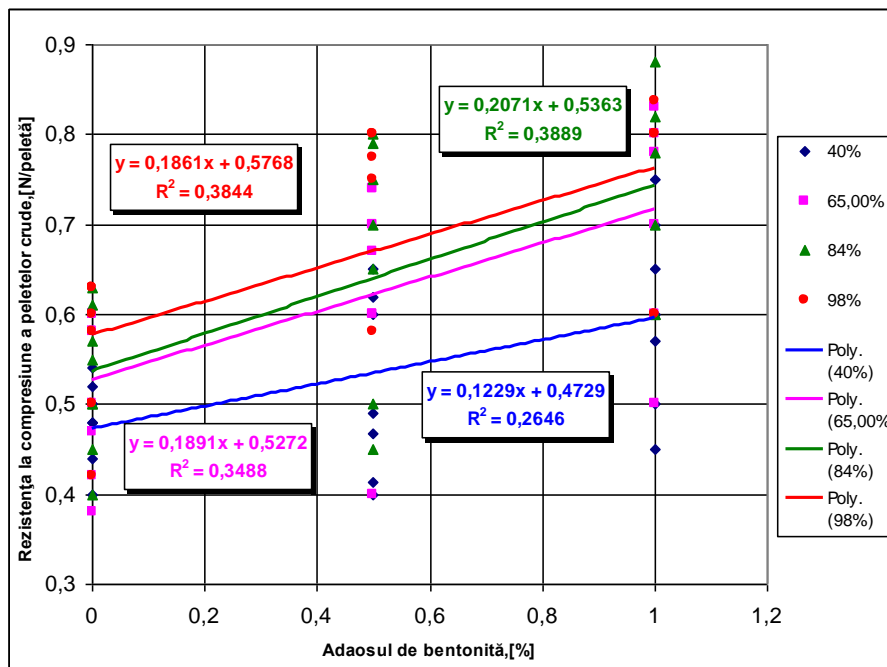


Fig. 5.11. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită

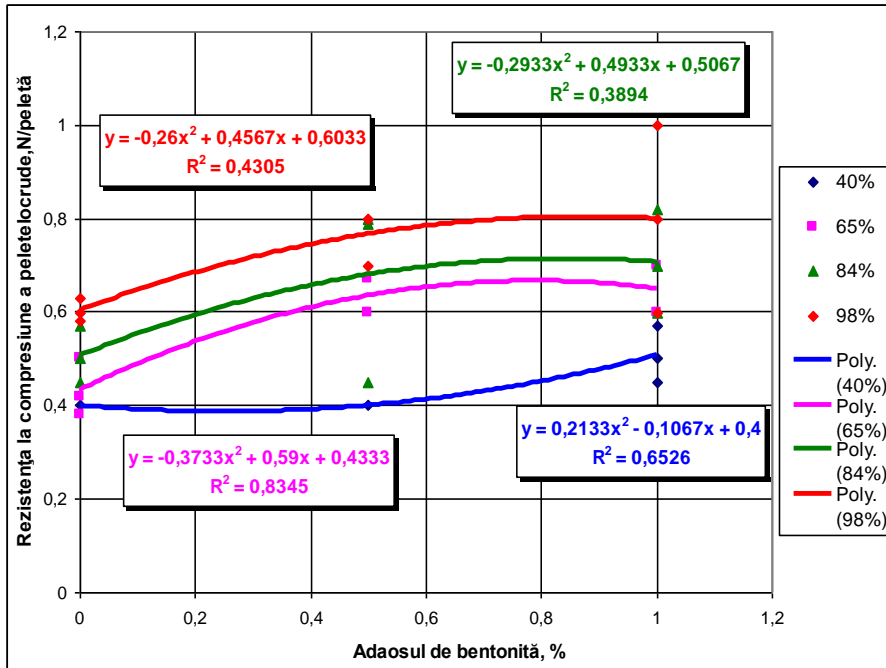


Fig. 5.12. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 7,0-8,5 %

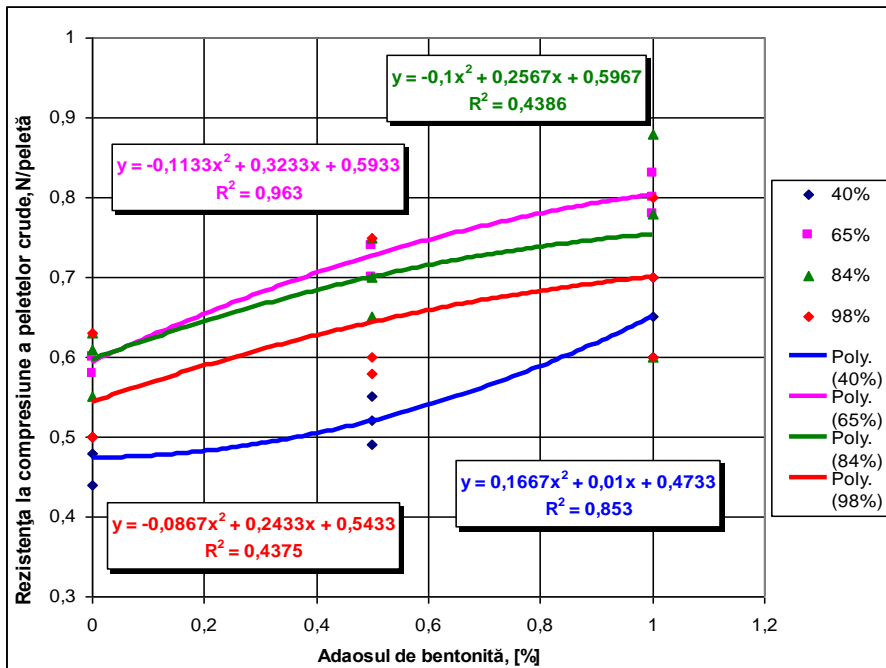


Fig. 5.13. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 8,5 -9,5 %

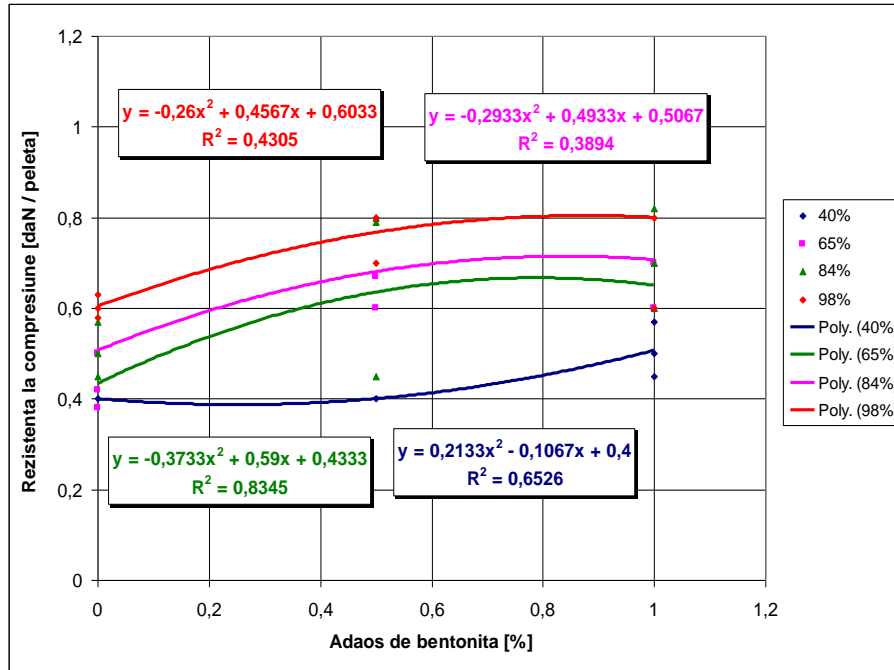


Fig. 5.14. Variația rezistenței la compresiune în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosul de apă de 10 -11 %

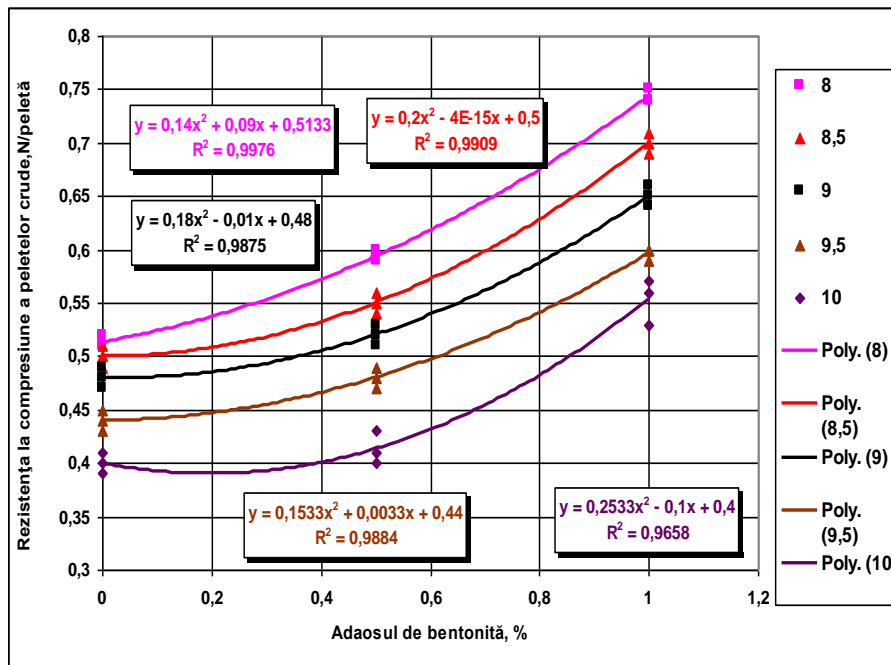


Fig. 5.15 Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 40 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă

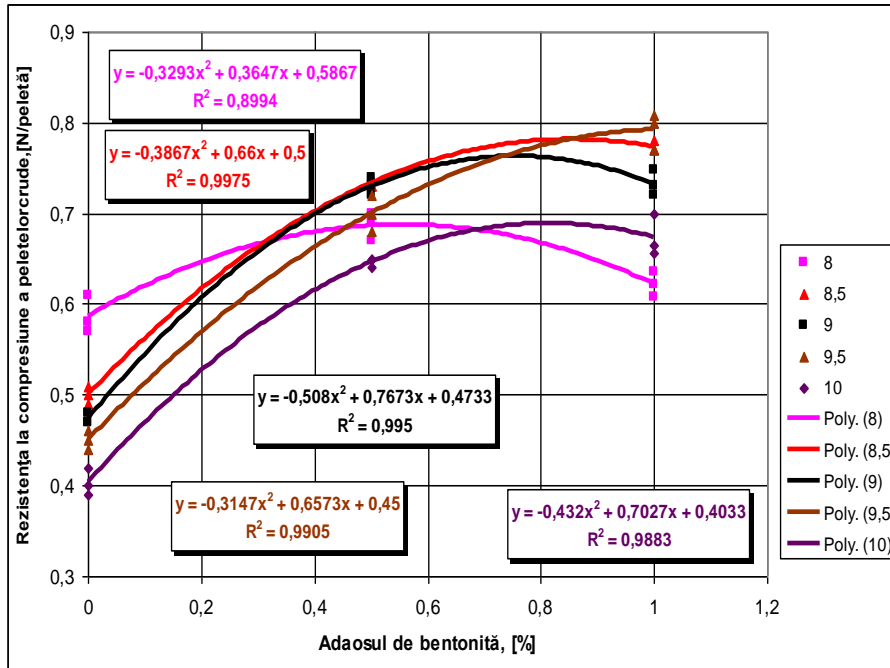


Fig. 5.16 Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 65 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă

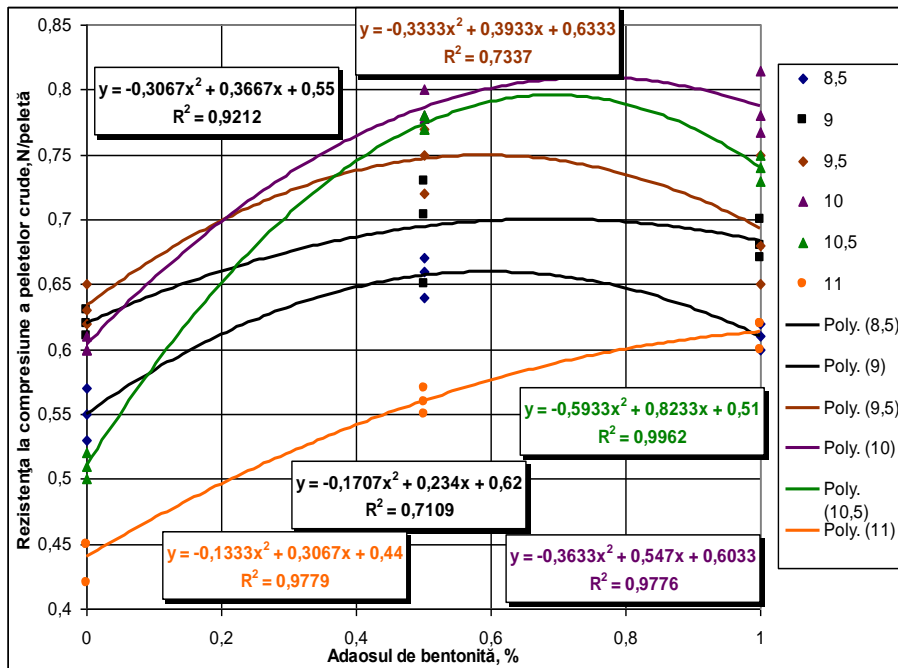


Fig. 5.17. Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 84 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă

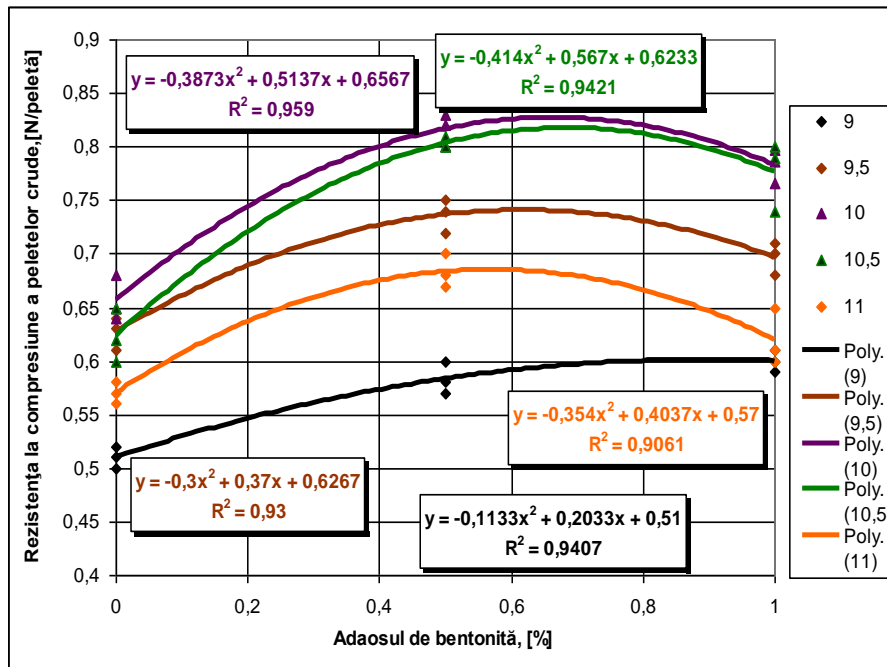


Fig. 5.18 Variația rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru 98 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă

5.2.1.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Excel

Din datele prezentate în figura 5.3. rezultă că o dată cu creșterea proporției fracției cu granulație sub 0,040 mm cresc valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude, indiferent de adaosul de apă și bentonită, creșterea fiind mai pronunțată pentru adaos mai mare de bentonită.

La adaos de 7-8 % apă indiferent de adaosul de bentonită valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude scade cu creșterea proporției fracției cu granulație sub 0,040 mm; scăderea se explică din punct de vedere tehnologic prin neasigurarea unei cantități suficiente de apă pentru material cu fracție fină spre valori ridicate (figura 5.4).

Analizând datele prezentate în figura 5.5. rezultă că pentru un adaos de apă de 8,5-9,5 %, o creștere a proporției fracției granulometrice cu granulație sub 0,040 mm, conduce la creșterea rezistenței la compresiune a peletelor crude indiferent de adaosul de bentonită, până la cca. 80 % fracție fină, după care rămâne aproximativ constantă. Cele mai mari valori se obțin pentru adaos de 1 % bentonită.

Datele prezentate în figura 5.6., scot în evidență faptul că pentru adaosuri de apă de 10-11 % valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude cresc odată cu creșterea proporției fracției fine, indiferent de adaosul de bentonită, ceea ce conduce la concluzia că se poate pe baza datelor din diagrame stabilirea valorilor optime pentru adaosul de apă și bentonită în funcție de calitatea materialelor procesate prin peletizare; valori superioare se obțin pentru adaos de liant de 1 %.

Analizând datele prezentate în figura 5.7. se constată că pentru adaosuri de apă de 7-11 % valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude cresc odată cu creșterea proporției fracției fine, indiferent de adaosul de bentonită, valori superioare se obțin pentru adaos de liant de 1 %.

În urma analizei datelor prezentate în figura 5.8., rezultă următoarele observații de deosebită utilitate pentru practică, și anume:

- pentru adaos de 1 % bentonită și apă 10-11 % valorile rezistenței la compresiune a peletelor crude cresc odată cu creșterea procentului de fracție sub 0,040 mm, valori superioare obținându-se pentru 10 % apă;

- pentru valori ale umidității de 9,0 % și 9,5 % are loc o creștere a valorilor pentru rezistența la compresiune, până la o proporție de 70 %, respectiv 75 % a fracției fine, după care are loc o ușoară scădere a valorilor, o dată cu creșterea procentului de fracție fine;

- referitor la adaosul de 8,5 % umiditate se constată o creștere a rezistenței la compresiune până la cca. 55 % fracție mărunță, după care se constată o scădere semnificativă;

- din punct de vedere tehnologic scăderile pentru valorile rezistenței la compresiune, se pot explica prin cantitate insuficientă de apă pentru valori ridicate de fracție fină.

Din figura 5.9. rezultă la fel ca la analiza precedentă, rezultă o serie de concluzii cu aplicabilitate practică, și anume:

- pentru adaos de bentonită 0,5 % și adaos de apă de 9,5 % – 10,5 % umiditate valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude cresc, odată cu creșterea procentului de fracție fină, mai ales pentru 10 % și 10,5 % apă;

- pentru adaosuri de 8,5 % și 9,5 % apă, valorile rezistenței la compresiune cresc până la cca. 75 % fracție mărunță, respectiv 75 %, după care există o ușoară scădere;

- pentru adaos de 8% apă, rezistența la compresiune crește cu creșterea proporției fracției fine până la 55 %, după care urmează o scădere semnificativă;

- la fel ca și în cazul anterior, tehnologic trebuie corelată creșterea proporției de fracție mărunță cu necesarul de apă.

Analizând rezultatele prezentate în figura 5.10 se constată că la fel ca la analizele precedente o serie de concluzii cu aplicabilitate practică, și anume:

- pentru adaosuri de 0 % bentonită, și adaosuri de apă de 9,5-11 % apă valorile pentru rezistența la compresiune cresc o dată cu creșterea procentului de fracție fină, creșterea fiind mai pronunțată pentru 9,5 % apă;

- pentru 8,5 % și 9,0 % adaos de apă, valorile rezistenței la compresiune cresc până la cca 70% proporție fracție mărunță, după care continuă să scadă, fapt ce trebuie corelat cu insuficiența umidității;

- pentru adaos de umiditate de 7,5 % și 8 % valorile rezistenței la compresiune scad o dată cu creșterea procentului de fracție mărunță (fină) ceea ce se poate explica prin adaosul insuficient de apă.

Din figura 5.11. rezultă că o dată cu creșterea adaosului de bentonită, neluând în seamă adaosul de apă, are loc o creștere a rezistenței la compresiune a peletelor crude. Creșterea este mai puțin intensă pentru proporția de fracție fină (fracția sub 0,040 mm) de 40 %, iar pentru celelalte proporții creșterile fiind foarte apropiate. Tehnologic, explicația constă în faptul că, o creștere a adaosului de bentonită o dată cu creșterea a procentului de fracție fină, are loc un proces mai intens de liere, confirmat prin rezistența la compresiune.

În cazul adaosului de apă în limitele 7-8,0 % se constată că o dată cu creșterea adaosului de bentonită, crește și rezistența la compresiune a peletelor

crude, conform datelor din figura 5.12. Creșterea este mai puțin intensă în cazul participației fracției fine de 40 %, și mai intens pentru participațiile de 65 % și 84 %. Analiza tehnologică este similară cu cea prezentată pentru datele din figura anterioară.

Datele prezentate în figura 5.13. conduc la concluzia că în cazul adaosului de apă în limitele 8,5-9,5 %, o dată cu creșterea adaosului de bentonită, crește și rezistența la compresiune a peletelor crude. Creșterea este mai intensă în cazul participației fracției fine de 65 %, urmată de participațiile de 84 % și 98 %. Cea mai puțin intensă este creșterea pentru participația fracției fine de 40 %. Tehnologic aceste creșteri se explică prin faptul că în primul caz există o foarte bună corelație între adaosul de bentonită, apă și procentul de fracție fină. În celelalte două cazuri procentul de fracție fină fiind mai mare necesită un adaos mai mare de bentonită pentru liere și evident de apă, iar pentru participația de 40 % se poate că are loc o creștere normală a rezistenței la compresiune.

Rezultatele prezentate în figura 5.14. arată că în cazul adaosului de apă în limitele 10-11 % se constată că o dată cu creșterea adaosului de bentonită, crește și rezistența la compresiune a peletelor crude. Creșterea este proporțională pentru fiecare din participațiile de fracție fină, în ordinea : 65 %, 84 %, 98 % până la cca. 0,8 % bentonită după care rămâne constantă, în timp ce pentru participația de 40 % până la cca. 0,6 % rămâne constantă după care crește. Rezultatele obținute arată că din punct de vedere tehnologic există o foarte bună corelație între adaosurile de apă și bentonită cu participațiile de fracție fină.

Din figura 5.15. rezultă că pentru participarea fracției fine de 40 % se obțin rezultate bune din punct de vedere al rezistenței la compresiune pentru adaosuri de apă de 8-8,5 %, rezistența la compresiune crește cu creșterea adaosului de bentonită, creșterea este mai puțin intensă pentru adaosuri mai mari de apă. Valori mai mici pentru rezistența la compresiune a peletelor crude la adaosuri de apă spre limita superioară (10-11%), se poate atribui unui adaos prea mare de apă pentru o pondere a fracției fine de numai 40%.

Analizând datele din figura 5.16. rezultă că pentru participarea fracției fine de 65 % creșterea rezistenței la compresiunea a peletelor crude cu creșterea adaosului de bentonită, pentru diferite adaosuri de apă este mult mai bine corelată decât în cazul anterior. Cea mai reprezentativă corelație se obține pentru adaos de apă de 9,5 %, rezistența la compresiune crește după o curbă polinomială de gradul 2 odată cu creșterea adaosului de bentonită.

Din figura 5.17. rezultă de asemenea o serie de concluzii interesante, mai ales comparativ cu cele anterioare și anume: pentru participarea fracției fine de 94 % creșterea rezistenței la compresiunea a peletelor crude cu creșterea adaosului de bentonită, pentru diferite adaosuri de apă variază în limite mai mari decât în situația anterioară. Cele mai bune rezultate se obțin pentru adaosuri de apă de 10-10,5 % și adaosuri de până la 0,8 % bentonită.

În figura 5.18. sunt prezentate corelațiile pentru procesarea materialelor cu participația fracției fine de 98 %. Se constată și în acest caz, ca și în cel prezentat anterior că cele mai bune valori pentru rezistența la compresiune se obțin pentru adaosuri de apă de 10-10,5 % și adaosuri de bentonită de cca 0,8 %.

Pentru adaosuri mai mici de apă, creșterea este mai mică și numai până la 0,6 % bentonită, după care o creștere a proporției de bentonită scade ca urmare a faptului că nu există suficientă apă pentru umectarea corespunzătoare a materialului.

5.2.1.3. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul de calcul Matlab

Pentru stabilirea unor ecuații de corelație dublă între factori tehnologici și rezistența la compresiune a peletelor în stare crudă, datele au fost prelucrate în programul de calcul Matlab, iar rezultatele sunt prezentate atât sub formă grafică cât și analitică. Sub formă grafică se prezintă suprafața de regresie (**a**- în figură), care prezintă fie punct de maxim/punct de minim, deci este de forma unui paraboloid sau punct staționar, deci suprafață tip șea.

Pe baza curbelor de nivel (**b** în figură) se pot determina limitele de variație a parametrilor independenți (a factorilor de influență) asupra parametrului dependent, în speță a rezistenței la compresiune a peletelor în stare crudă.

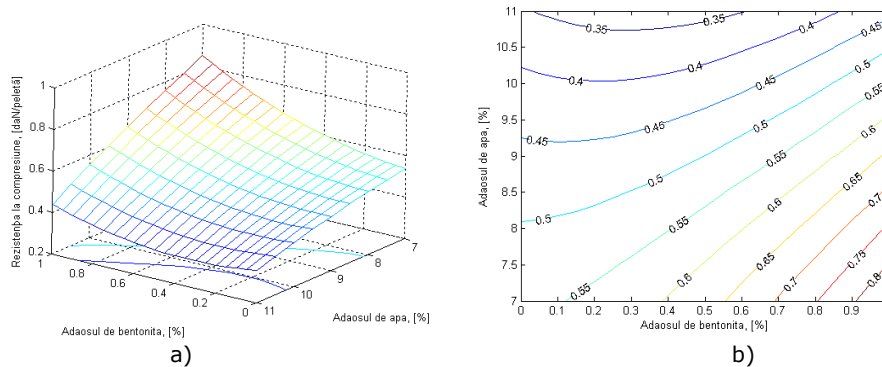


Fig. 5.19. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 40%

$$z = 0.5532 + 0.4656 \cdot x + 0.0255 \cdot y + (-0.0564) \cdot x \cdot y + 0.2385 \cdot x^2 \cdot y^2 + (-0.0040) \cdot b \cdot (6) \cdot y^2 \quad (5.1.)$$

x – adaosul de bentonită, % ; y – adaosul de apă, % ; z – rezistența la compresiune daN/peletă

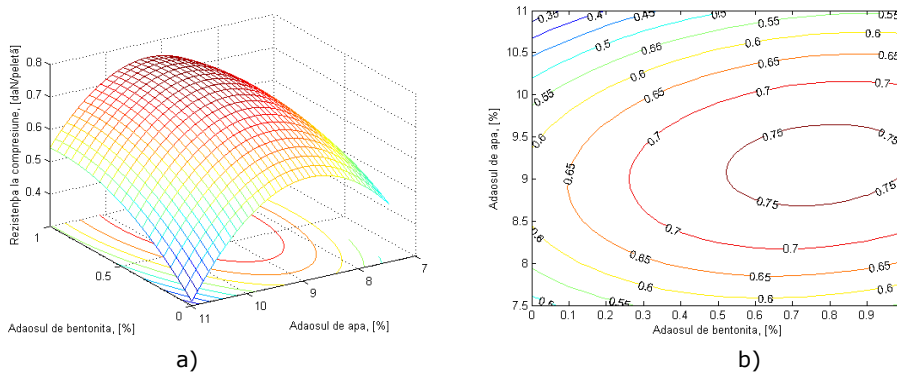
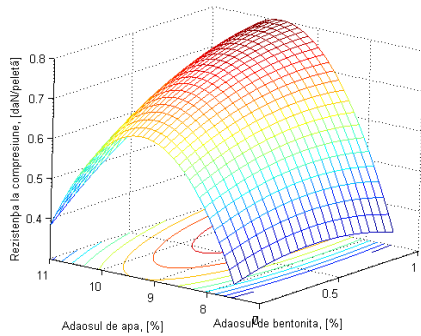


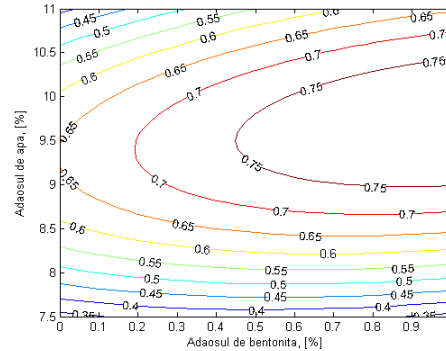
Fig. 5.20. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 65%

$$z = -4.8154 + (-0.0210) \cdot x + 1.2197 \cdot z + 0.0467 \cdot x \cdot y + (-0.2658) \cdot x^2 + (-0.0685) \cdot z^2 \quad (5.2.)$$

x –adaosul de bentonită, % ; y – adaosul de apă ,% ; z – rezistența la compresiune daN/peletă



a)

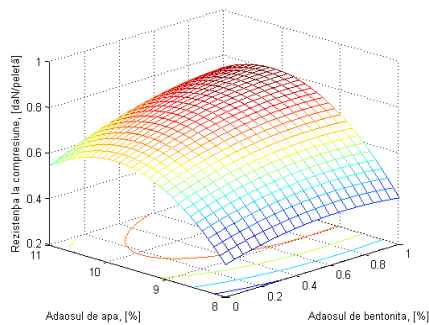


b)

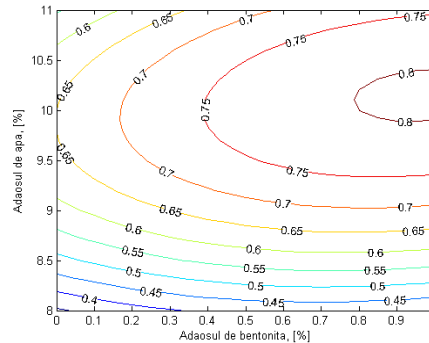
Fig. 5.21. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 84%

$$z = -7.6210 + (-0.4093) \cdot x + 1.7741 \cdot y + 0.0737 \cdot x \cdot y + (-0.1441) \cdot x^2 - 0.0951 \cdot y^2 \quad (5.3.)$$

x –adaosul de bentonită, % ; y – adaosul de apă ,% ; z – rezistența la compresiune daN/peletă



a)



b)

Fig. 5.22. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și de bentonită (%), pentru participația fracției fine de 98%

$$z = -7.8340 + (-0.1396) \cdot x + 1.7161 \cdot x \cdot y + 0.0463 \cdot x \cdot y + (-0.1702) \cdot x^2 + (-0.0868) \cdot y^2 \quad (5.4.)$$

x –adaosul de bentonită, % ; y – adaosul de apă ,% ; z – rezistența la compresiune daN/peletă

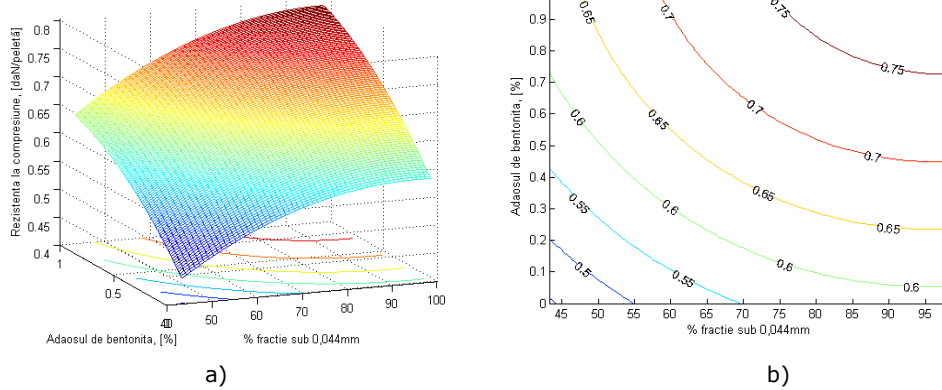


Fig. 5.23. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de bentonită (%) și participția de fracție fină

$$z = 0.1161 + 0.0098 \cdot x + 0.2782 \cdot y + 0.0003 \cdot x \cdot y + (-0.0001) \cdot x^2 + (-0.1100) \cdot y^2 \quad (5.5.)$$

x = % fracția sub 0,04mm ; y -adaosul de bentonită, % ; z - rezistența la compresiune daN/peletă

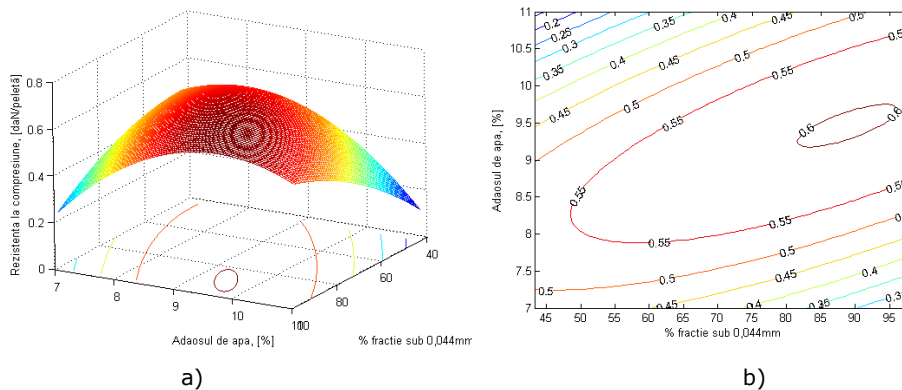


Fig. 5.24. Rezistența la compresiune a peletelor crude în funcție de adaosul de apă (%) și participția de fracție fină

$$z = -1.8957 + (-0.0139) \cdot x + 0.6580 \cdot y + 0.0029 \cdot x \cdot y + (-0.0001) \cdot x^2 + (-0.0482) \cdot y^2 \quad (5.6.)$$

x = % fracția sub 0,04 mm ; y -adaosul de bentonită, % ; z - rezistența la compresiune daN/peletă

5.2.1.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab

În figura 5.19. – 5.24. este prezentată influența adaosului de bentonită și apă asupra rezistenței la compresiune a peletelor crude, pentru diferite participații în șarja de peletizare a materialului cu granulație fină (sub 0,040 mm) și anume : 40 % ; 65 % ; 84 % și 98 %. Sub formă analitică aceste dependențe se prezintă sub forma unor ecuații polinomiale de gradul II, iar grafic sub forma unor suprafețe de regresie. Pentru fiecare corelație se prezintă suprafața de corelație și proiecția pe plan orizontal al curbelor de nivel.

Din prezentare curbelor de nivel în figura 5.19. rezultă că o dată cu creșterea adaosului de bentonită, la adaosuri de apă spre limita inferioară, se obțin pelete cu valori pentru rezistența la compresiune spre limita superioară, peste 0,65 daN/peletă.

La adaosuri mici de bentonită și mari de apă, se obțin pelete cu rezistență la compresiune pentru peletele crude spre valori mici, situate spre limita inferioară (sub 0,30-0,40 daN/peletă).

Ca urmare pentru obținerea de pelete care să aibă în stare crudă o rezistență bună la compresiune, când participația fracției fine în șarja de peletizare de 40 %, adaosul de apă trebuie să fie de 7-8 % și cel de bentonită de 0,5-1 %.

În acest caz există o bună corelație tehnologică între cei trei factori independenți : adaosul de apă, % ; adaosul de bentonită, % și participației fracției fine.

Analizând datele prezentate în figura 5.20, pentru participarea în șarja de peletizare a fracției fine de 65% se observă următoarele :

- curbele de nivel au contur închis, astfel încât pentru limite mari de variație se pot obține valori bine definite ale rezistenței la compresiune ;
- pentru a obține pelete cu rezistența la compresiune în stare crudă peste 0,7daN/peletă, valorile pentru adaosurile de bentonită și apă trebuie să varieze astfel încât, valorile acestora să fie cuprinse în interiorul conturului delimitat de curba de nivel de 0,7.

Situația este similară și pentru proporțiile de fracție fină de 84 % (figura 5.21) și respectiv 98 % (figura 5.22.), cu observația că domeniile de variație pentru valori de 0,7 daN/peletă pentru rezistența la compresiune, se extind spre adaosuri mai mici de bentonită și mai mari de apă, fapt explicabil din punct de vedere tehnologic prin creșterea suprafeței specifice o dată cu micșorarea granulației.

În figura 5.23. se prezintă grafic și analitic variația rezistenței la compresiune a peletelor în stare crudă în funcție de adaosul de bentonită și proporția de fracție fină din șarja de peletizare.

Se poate observa din proiecția curbelor de nivel pe plan orizontal că o dată cu creșterea adaosului de bentonită și a proporției de fracție fină, cresc și valorile pentru rezistența la compresiune. În funcție de valoarea rezistenței la compresiune pe care dorim să o obținem și de proporția de fracție fină din șarja de peletizare alegem adaosul de bentonită. De exemplu pentru a obține în cazul unei șarje cu 90 % fracție fină, pelete cu rezistența la compresiune 0,7daN/peletă adaosul de bentonită trebuie să fie minim 0,72 %.

În figura 5.24 se prezintă grafic și analitic variația rezistenței la compresiune a peletelor în stare crudă în funcție de adaosul de apă și proporția de fracție fină din șarja de peletizare. Se poate observa din proiecția curbelor de nivel pe plan orizontal că o dată cu creșterea proporției de fracție fină, cresc și valorile

pentru rezistența la compresiune. În funcție de valoarea rezistenței la compresiune pe care dorim să o obținem și de proporția de fracție fină din șarja de peletizare alegem adaosul de apă. De exemplu pentru o obține în cazul unei șarje cu 90 % fracție fină, pelete cu rezistența la compresiune 0,55 daN/peletă adaosul de apă trebuie să fie cuprins în limitele 8,5 -10,5 %. Pentru a obține în cazul unei șarje cu 70 % fracție fină, pelete cu rezistența la compresiune 0,55 daN/peletă adaosul de apă trebuie să fie cuprins în limitele 8,0-9,75 %.

5.2.1.5. Concluzii

Pe baza observațiilor practice de la producerea peletelor după rețetele propuse și din comparația valorilor de rezistență la compresiune a peletelor crude cu cele prezentate în literatura de specialitate [11,37], rezultă că deșeurile utilizate în cadrul experimentărilor se comportă foarte bine în procesul de peletizare, deci pot fi valorificate după acest procedeu;

- corelațiile obținute între parametrii independenți și parametrul dependent definit de rezistența la compresiune a peletelor crude, atât cele în programul Excel (corelații simple), cât și în Matlab (corelații duble), având în vedere valorile coeficientului de corelație R, sunt semnificative, ceea ce scoate în evidență importanța pentru practică cunoașterea acestor influențe;

- creșterea proporției de fracție fină în șarja de peletizare, impune o creștere a adaosului de bentonită; pentru adaos de bentonită 0,9-1,0 % și de apă la 10-10,5 % pentru material cu fracție cu peste 84 % fracție fină (sub 40 μm) se obțin pentru rezistența la compresiune valori cuprinse între 0,60-0,80 daN/peletă.

- diagramele obținute în programul Matlab, mai precis proiecția în planul orizontal a curbelor de nivel, permit alegerea valorilor pentru parametrii independenți (proporția de fracție fină, adaosul de bentonită și de apă), astfel încât să se obțină pentru parametrul dependent (rezistența la compresiune a peletelor crude) valoarea dorită. Din analiza corelațiilor obținute rezultă faptul ca deșeurile folosite în experimentări pot fi procesate prin peletizare, ceea ce asigură ecologizarea mediului prin reintroducerea în circuitul economic a acestora, evident cu reducerea consumului de materii prime extrase din subteran și redarea cadrului natural a unor suprafețe agricole.

5.2.2. Experimentări privind peletele durificate produse după varianta A

Peletele crude (obținute în cadrul experimentărilor prezentate la începutul subcapitolului 5.2) au fost supuse operației de uscare și durificare conform diagramelor prezentate în figura 5.1. și figura 5.2. Uscarea s-a făcut în etuvă, figura 4.12, iar durificarea în cuptorul cu rezistență figura 4.13.b.

După durificare din fiecare lot de pelete au fost alese 3 pelete cu diametrul 12-15 mm pentru care s-a determinat rezistența la compresiune utilizând presa hidraulică, figura 4.11. Deșeurile pentru producerea peletelor au fost cele prezentate în tabelul 5.1., de asemenea în tabel sunt prezentate cele 4 rețete de bază, din fiecare producându-se mai multe loturi de pelete (27/rețetă). În vederea obținerii unor relații de corelație între rezistența la compresiune și caracteristicile amestecului supus peletizării, datele obținute au fost prelucrate în programul de calcul Excel (corelații simple) și respectiv Matlab (corelații multiple). În continuare sunt prezentate rezultatele obținute.

5.2.2.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel

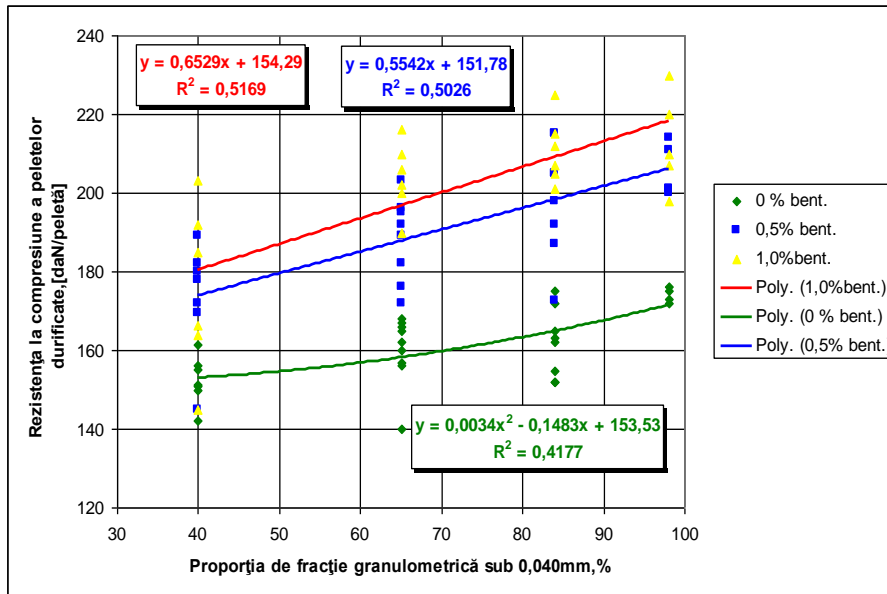


Fig. 5.25. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participarea fracției cu granulație sub 0,040mm și adaosul de bentonită, pentru 7-11% apă

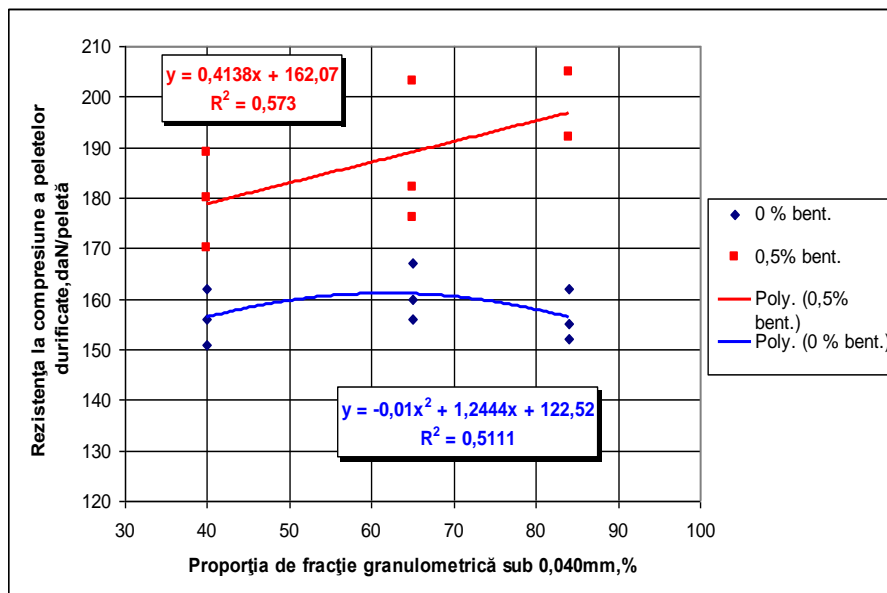


Fig. 5.26. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participarea fracției cu granulație sub 0,040mm și adaosul de bentonită, pentru 7 - 8% apă

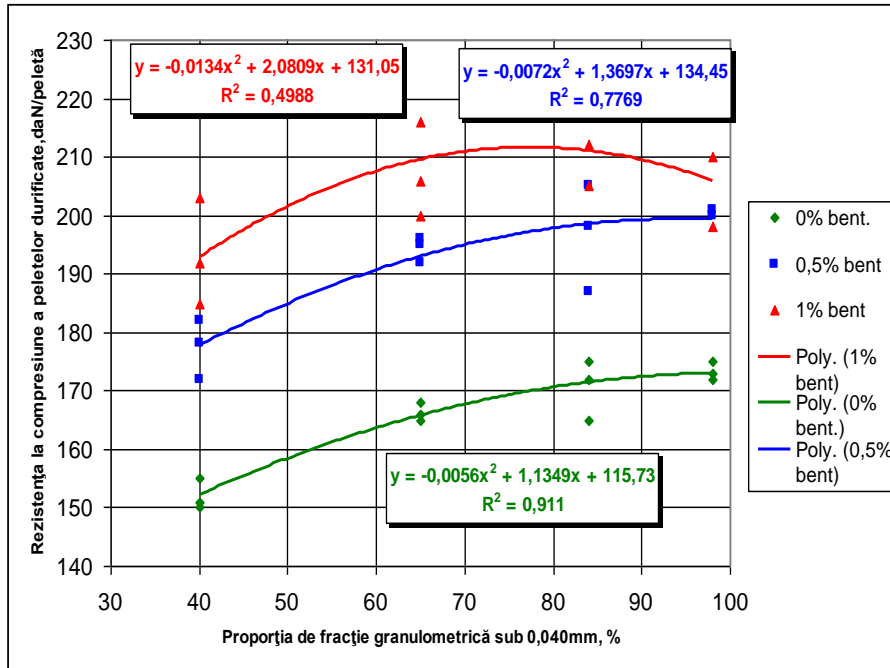


Fig. 5.27. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040 mm și adaosul de bentonită, pentru 8,5-9,5% apă

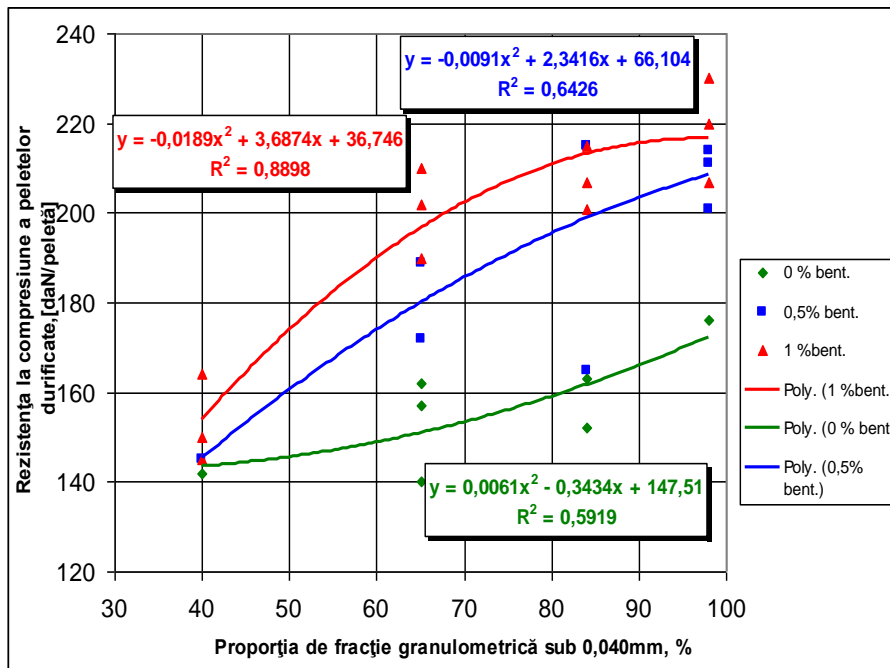


Fig. 5.28. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participația fracției cu granulație sub 0,040 mm și adaosul de bentonită, pentru 10-11 % apă.

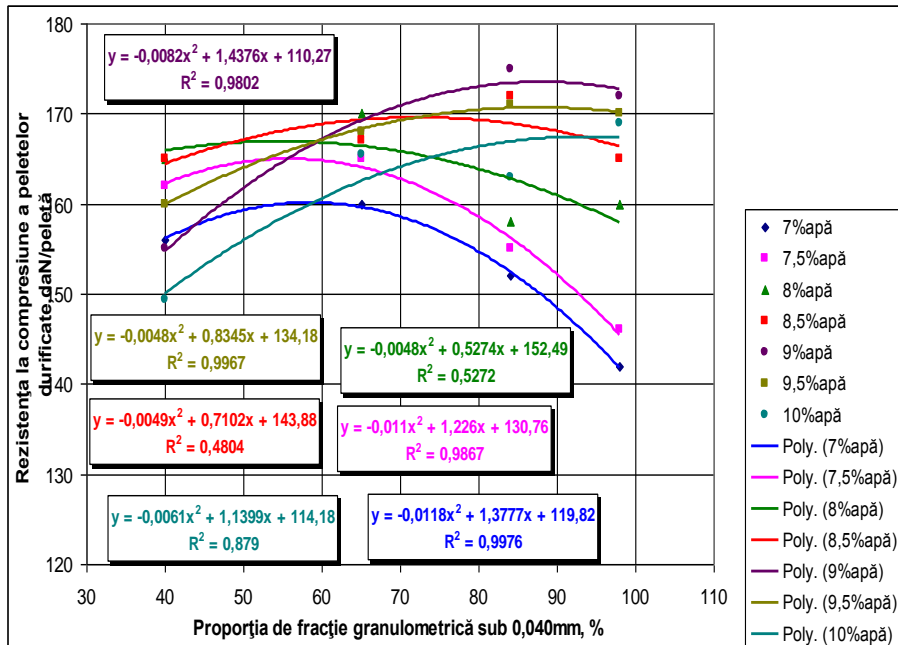


Fig. 5.29. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participarea fracției cu granulație sub 0,040 mm, 0 % bentonită și diferite adaosuri de apă (7-10 %)

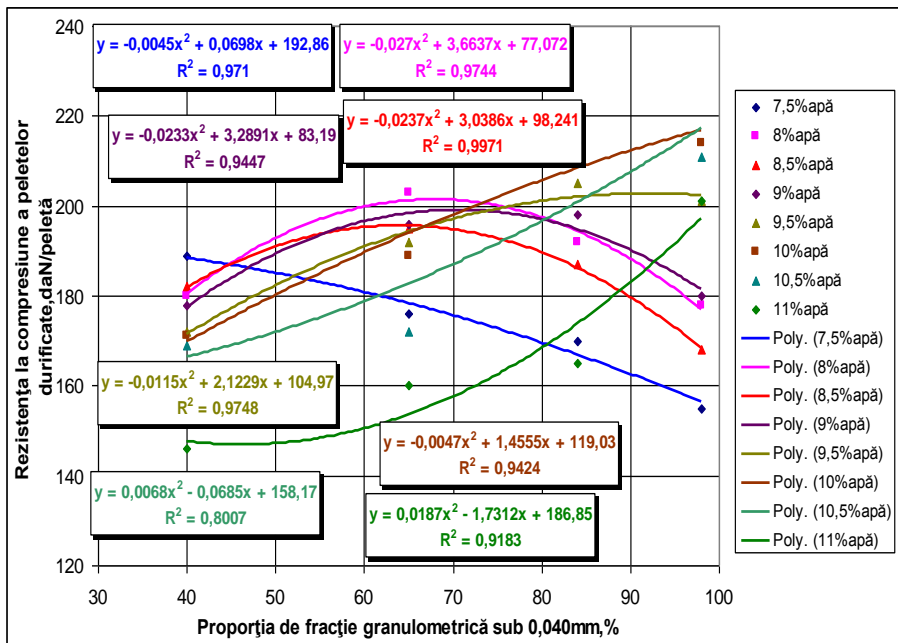


Fig. 5.30. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participarea fracției cu granulație sub 0,040 mm, 0,5 % bentonită și diferite adaosuri de apă (7,5 - 11 %)

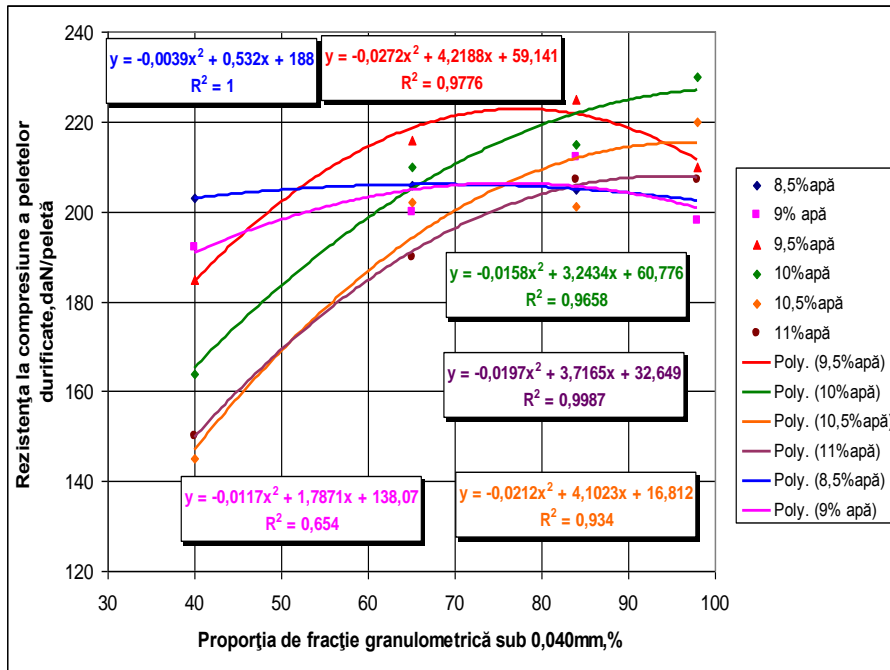


Fig. 5.31. Variația rezistenței la compresiune a peletelor durificate în funcție de participarea fracției cu granulatie sub 0,040 mm, 1 % bentonită și diferite adaosuri de apă (8,5-11 %)

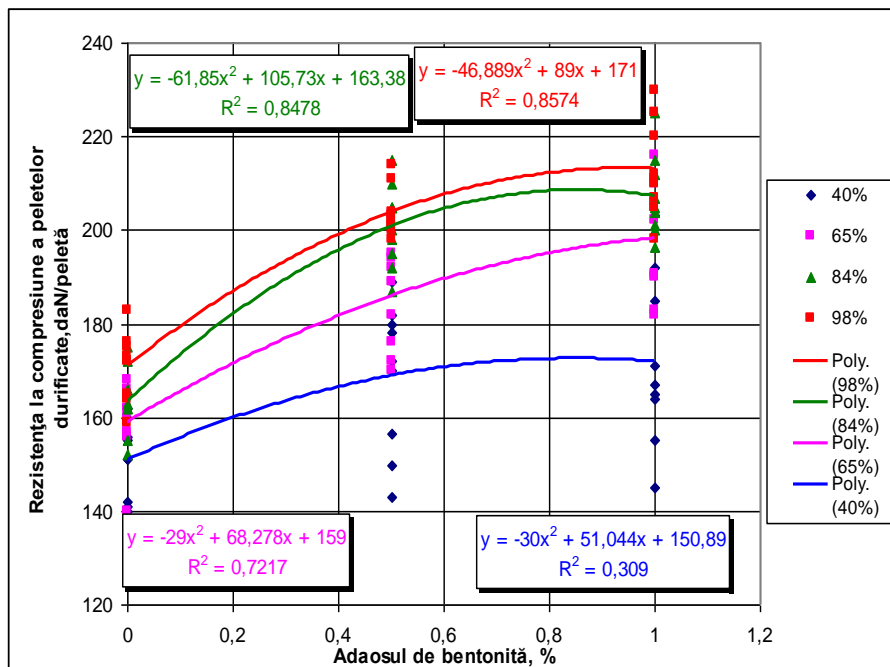


Fig. 5.32. Variația rezistenței la compresiune a peletelor arse în funcție de adaosul de bentonită și participarea fracției cu granulatie sub 0,040 mm.

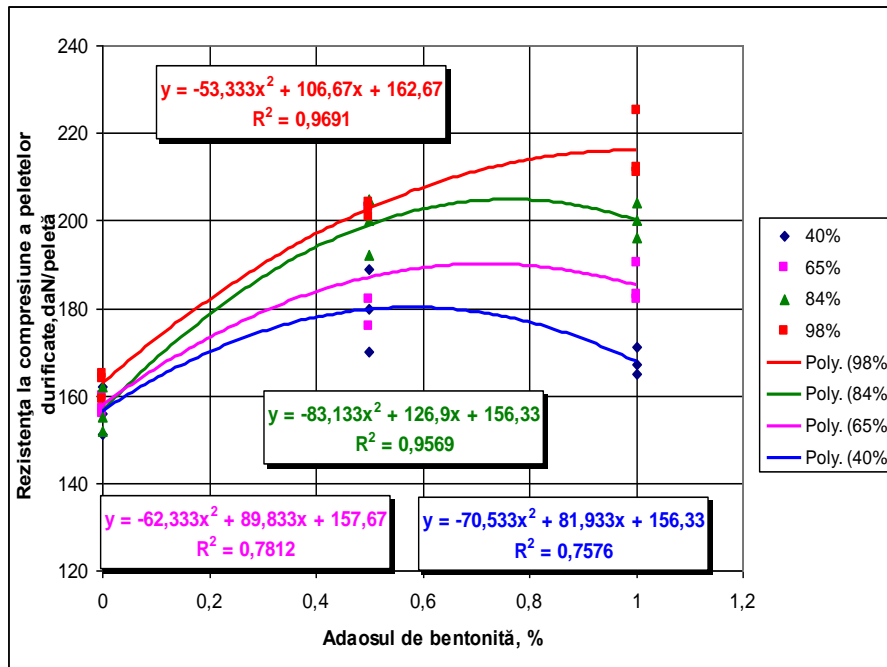


Fig. 5.33. Variația rezistenței la compresie a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 7,0-8,0 %

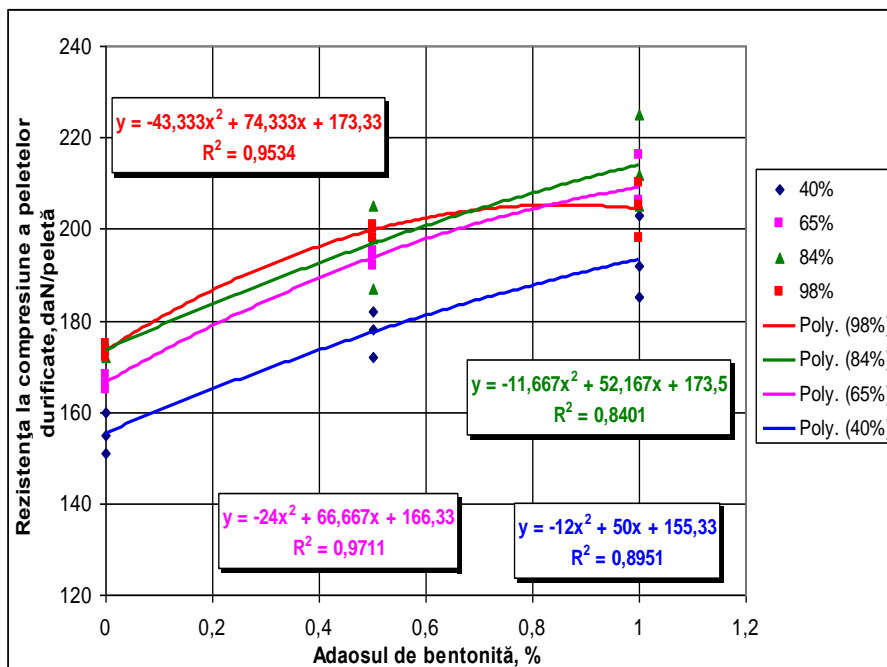


Fig. 5.34. Variația rezistenței la compresie a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 8,5-9,5 %

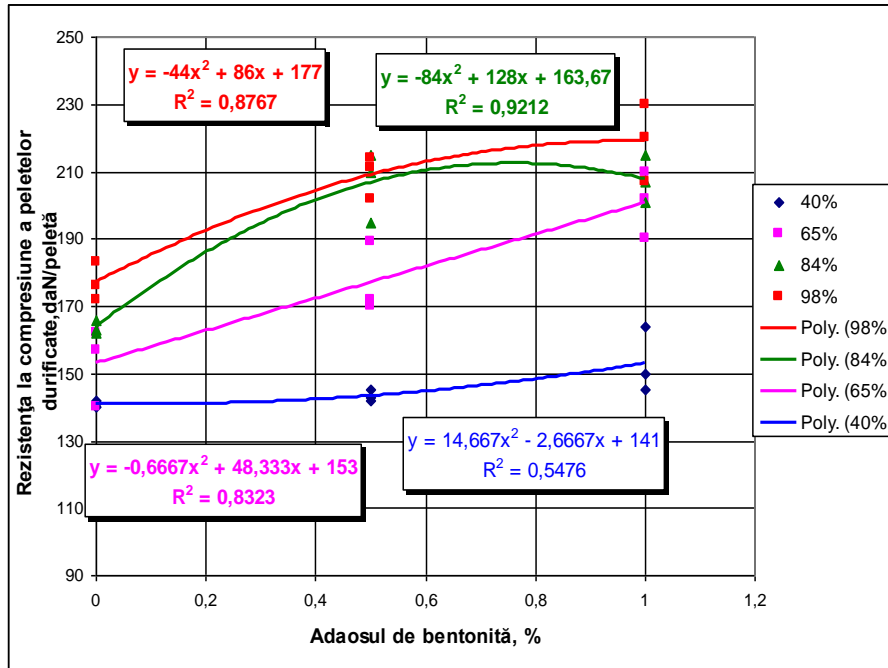


Fig. 5.35. Variația rezistenței la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaos de apă de 10-11 %

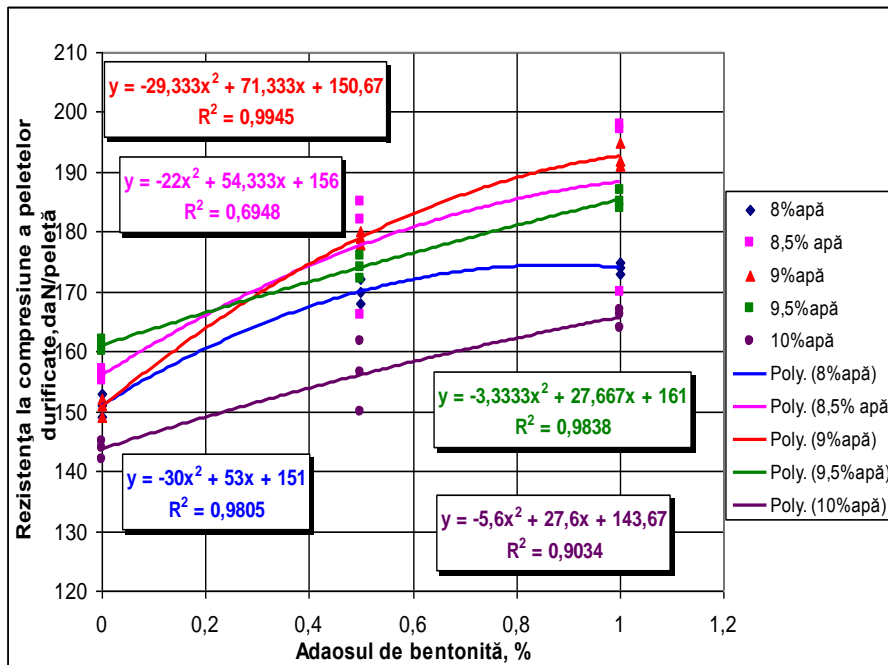


Fig. 5.36. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 40 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă și bentonită

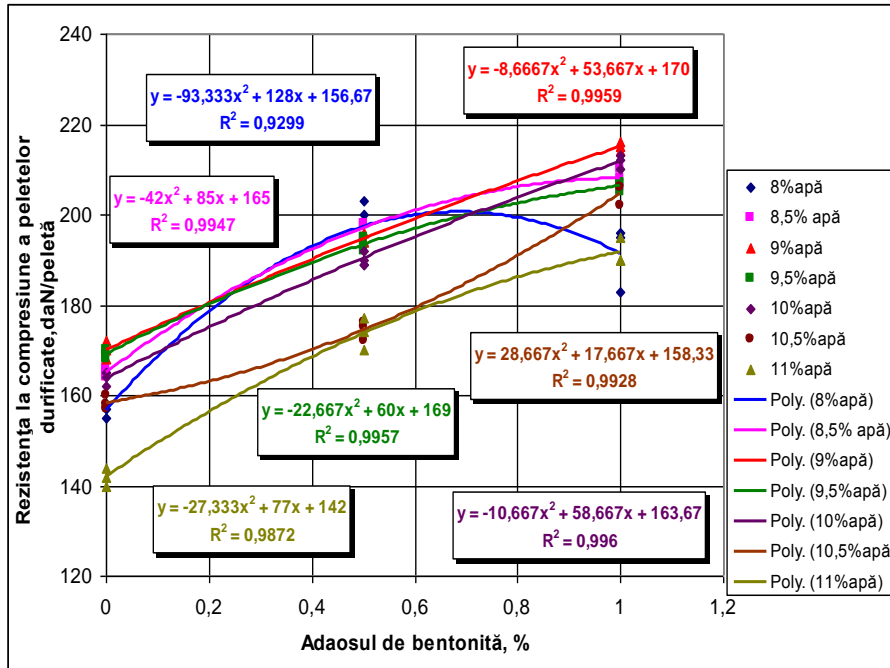


Fig. 5.37. Variatia rezistenței la compresiune a peletelor pentru 65 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă și bentonită

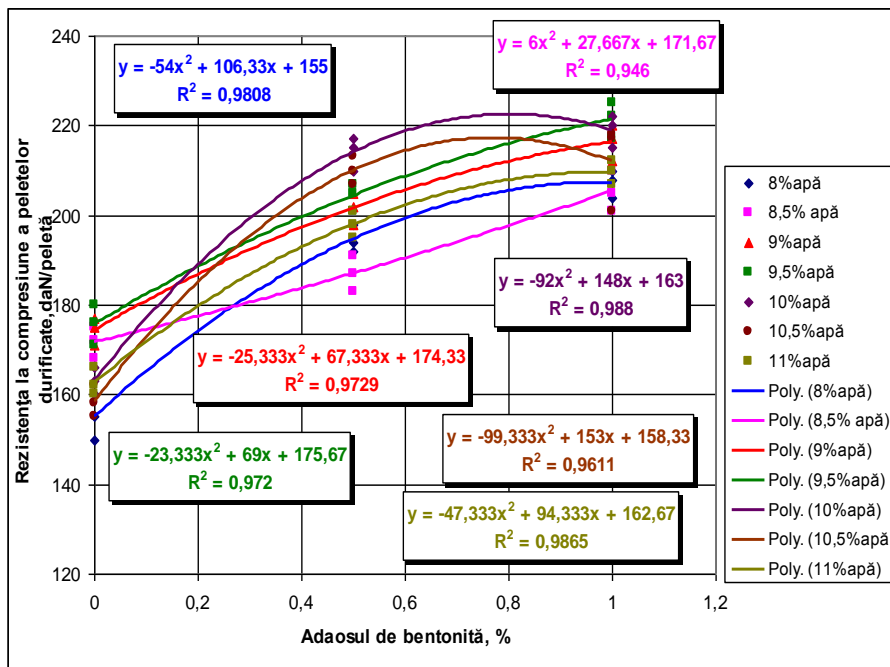


Fig. 5.38. Variatia rezistenței la compresiune a peletelor pentru 84 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă și bentonită

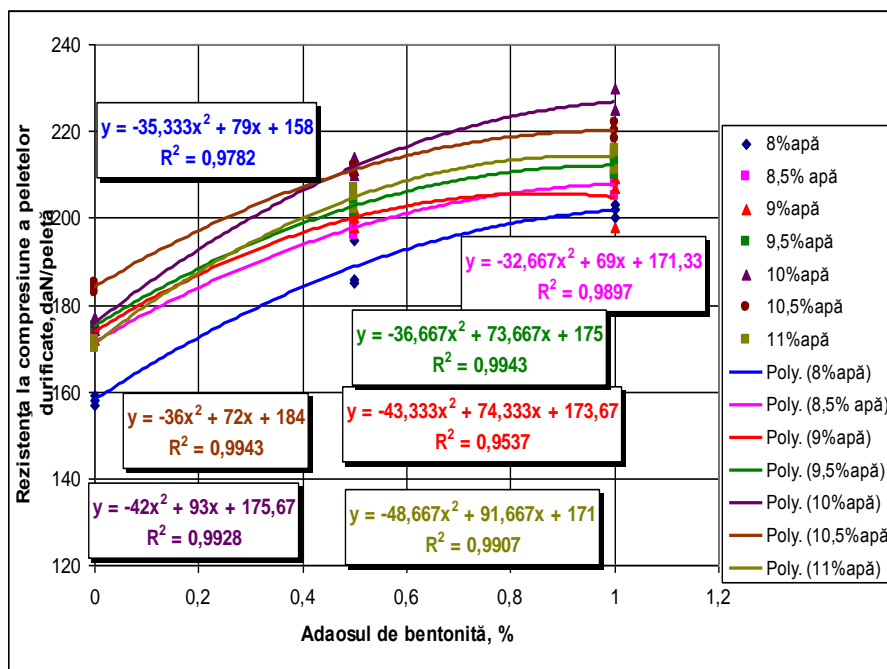


Fig. 5.39. Variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 98 % fracție sub 0.040 mm și diferite procente de apă și bentonită

5.2.2.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Excel

În figura 5.25. rezistența la compresiune crește odată cu creșterea proporției de fracție granulometrică, în toate cele trei cazuri de adaos de bentonită 0 %, 0,5 %, 1 %, cea mai mare valoare a acestora fiind înregistrată pentru proporție de clasă granulometrică de 90-100 % și bentonită 1 %.

În figura 5.26 rezistența la compresiune crește în cazul adaosului de bentonită de 0,5 %, iar în cazul figura 5.27 aceasta înregistrează o valoare maximă în cazul celor 3 adaosuri de bentonită în intervalul 60-90 % proporție de fracție granulometrică sub 40 μm. Pentru un adaos de apă de 10-11 %, o valoare maximă a rezistenței la compresiune se înregistrează pentru un adaos de fracție granulometrică sub 40 μm de cca. 0,80-0,1% (figura 5.28).

Pentru 0 % bentonită și diferite adaosuri de apă (7-10 %) rezistența la compresiune înregistrează valori maxime (figura 5.29) pentru un adaos de fracție granulometrică de 80-90 % iar procentul de apă fiind cuprins între 8,5-9,5 %. Valoarea maximă pentru această încercare fiind înregistrată la un adaos de apă de 9%.

Pentru 0,5 % bentonită și diferite adaosuri de apă (7,5-11%) rezistența la compresiune are valori maxime în cazul unui adaos de apă cuprins între 9,5-10,5 % și fracție granulometrică sub 40 μm 80-95 % (figura 5.30). Pentru adaosuri de apă de 7,5-9 % valoarea maximă a rezistenței la compresiune este înregistrată la adaosuri de 60-80 % fracție granulometrică sub 40 μm.

La 1 % bentonită și diferite adaosuri de apă (8,5-11 %), în toate aceste cazuri de adaos de apă rezistența la compresiune atinge valori maxime pentru intervalul de adaos de fracție granulometrică sub 40 μm (figura 5.31) de 70-90 %.

Rezistenței la compresiune a peletelor arse în funcție de adaosul de bentonită și participația fracției cu granulație sub 40 μm atinge valori maxime pentru un adaos de bentonită cuprins în intervalul 0,5-1 % (figura 5.32), valoarea cea mai semnificativă fiind pentru un adaos de 98 % fracție granulometrică sub 40 μm . Similar este și pentru rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosuri de apă de 7,0-8,0 % și 10-11 % (figura 5.33, figura 5.35). Rezistența la compresiune a peletelor în funcție de adaosul de bentonită, pentru adaosuri de apă de 8,5-9,5 % are o valoare maximă în cazul peletelor cu 84% fracție granulometrică sub 40 μm și bentonită 0,7-1 % (figura 5.34).

Pentru rezistența la compresiune a peletelor cu 40 % fracție sub 40 μm și diferite procente de apă și bentonită (figura 5.36) valori maxime se pot observa pentru adaosuri de apă de 8,5-9,5 % pentru adaosuri de bentonită de 0,6-1 %.

Pentru 65 % fracție sub 40 μm și diferite procente de apă și bentonită (figura 5.37) valori maxime se obțin pentru aceleași intervale de procent de bentonită dar procentul de apă fiind de 9 %. Rezistența la compresiune a peletelor pentru 84 % fracție sub 40 μm și diferite procente de apă și bentonită atinge valori maxime, ca și în cazurile precedente, la un adaos de bentonită de 0,6-1 %, procentul de apă fiind de 10 % (figura 5.38), explicația fiind valabilă și pentru variația rezistenței la compresiune a peletelor pentru 98 % fracție sub 40 μm și diferite procente de apă și bentonită (figura 5.39).

5.2.2.3. Rezultate obținute în programul de calcul Matlab

Pentru stabilirea unor ecuații de corelație între rezistența de compresiune a peletelor arse în funcție de factori tehnologici de influență, au fost prelucrate datele în programul de calcul Matlab, rezultatele fiind prezentate atât sub formă grafică cât și analitică.

Pe baza curbelor de nivel se pot determina limitele de variație a parametrilor independenți (a factorilor de influență) asupra parametrului dependent, în speță a rezistenței la compresiune a peletelor arse.

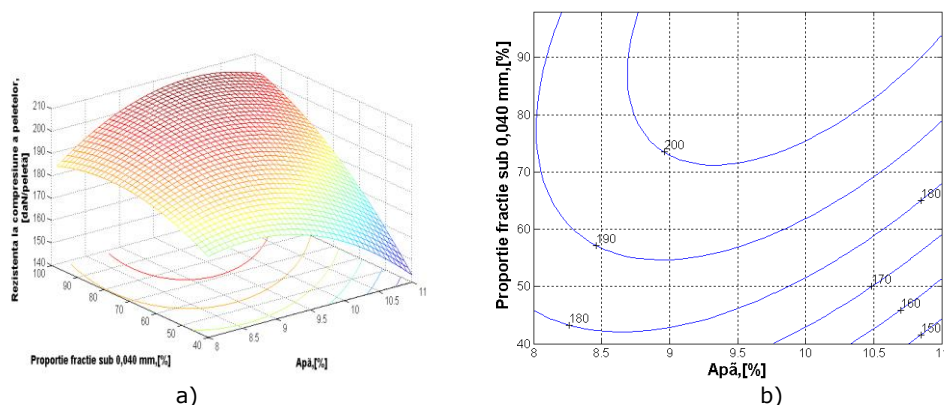


Fig. 5.40. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de fracție fină sub 40 μm și procentul de apă

Pe baza curbelor de nivel se pot determina limitele de variație a parametrilor independenți (a factorilor de influență) asupra parametrului dependent, în speță a rezistenței la compresiune a peletelor durificate la cald.

Corelație triplă de gradul 2:

$$v = (-34,03) \cdot x^2 + (6,05) \cdot y^2 + 0,009 \cdot z^2 + 2,52 \cdot x \cdot y + 0,19 \cdot x \cdot z + 0,28 \cdot x + 36,95 \cdot y + 91,45 \cdot z + (-0,84); \quad R^2 = 0,9864 \quad (5.7.)$$

Corelație dublă de ordinul 2

$$v = (-6,05) \cdot y^2 + (-0,009) \cdot z^2 + 0,28 \cdot y \cdot z + 92,72 \cdot y + (-0,74) \cdot z + (-223,52); \quad R^2 = 0,9223 \quad (5.8.)$$

v- rezistența la compresiune, [da/peletă]; x- bentonita, [%]; y- apa, [%]; z- fracția mărunță sub 40 μm

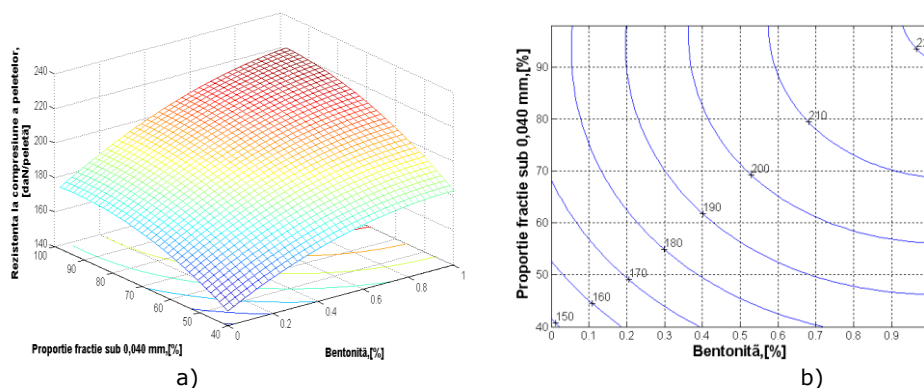


Fig. 5.41. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de fracție fină sub 40 μm și procentul de bentonită

$$v = (-34,06) \cdot x^2 + (-0,009) \cdot y^2 + 0,19 \cdot x \cdot y + 60,74 \cdot x + 1,83 \cdot z + 91,01; \quad R^2 = 0,897 \quad (5.9.)$$

v- rezistența la compresiune, [da/peletă]; x- bentonita, [%]; y- apa, [%]; z- fracția mărunță sub 40 μm

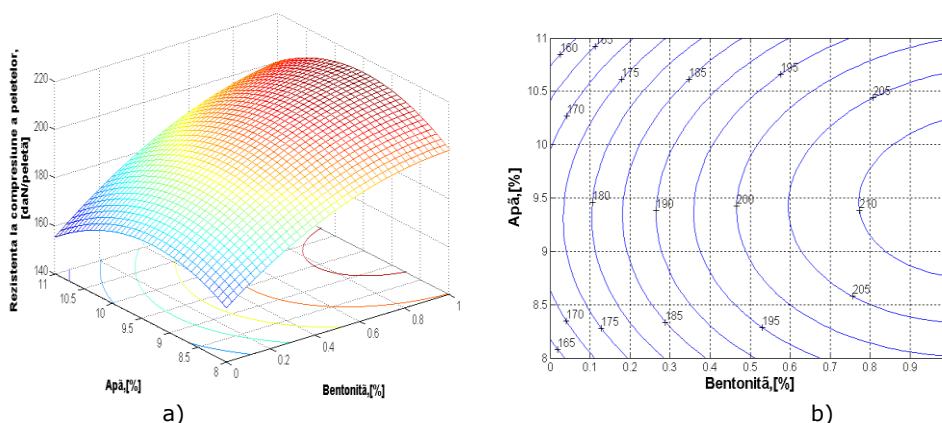


Fig. 5.42. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită

$$v = (-34,03) \cdot x^2 + (-6,05) \cdot y^2 + 2,52 \cdot x \cdot y + 51,06 \cdot x + 112,5 \cdot y + (-350,31);$$

$$R^2 = 0,9046 \quad (5.10.)$$

v- rezistența la compresiune,[da/peletă]; x- bentonita,[%]; y- apa,[%]; z- fracția mărunță sub 40 μm

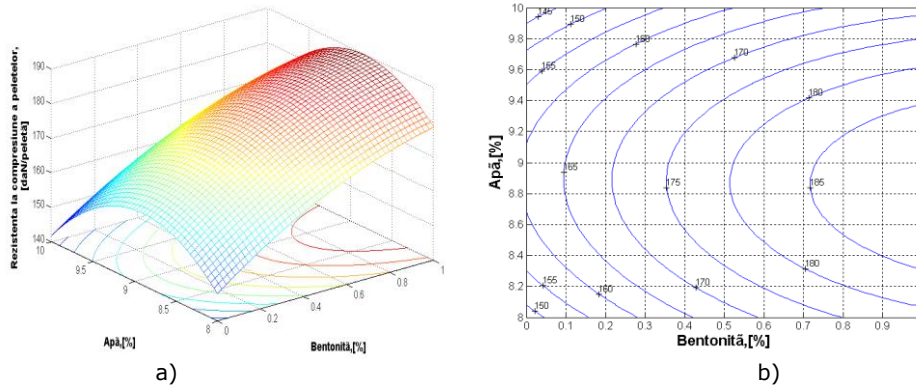


Fig. 5.43. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 40 %)

$$Z = 1.0e+0,03 \cdot (-0,017) \cdot x^2 + 1.0e+0,03 \cdot (-0,015) \cdot y^2 + 1.0e+0,03 \cdot (0,001) \cdot x \cdot y$$

$$+ 1.0e+0,03 \cdot (0,06) \cdot x + 1.0e+0,03 \cdot (0,28) \cdot y + 1.0e+0,03 \cdot (-1,09);$$

$$R^2 = 0,9124 \quad (5.11.)$$

v- rezistența la compresiune,[da/peletă]; x- bentonita,[%]; y- apa,[%]; z- fracția mărunță sub 40 μm = 40 %

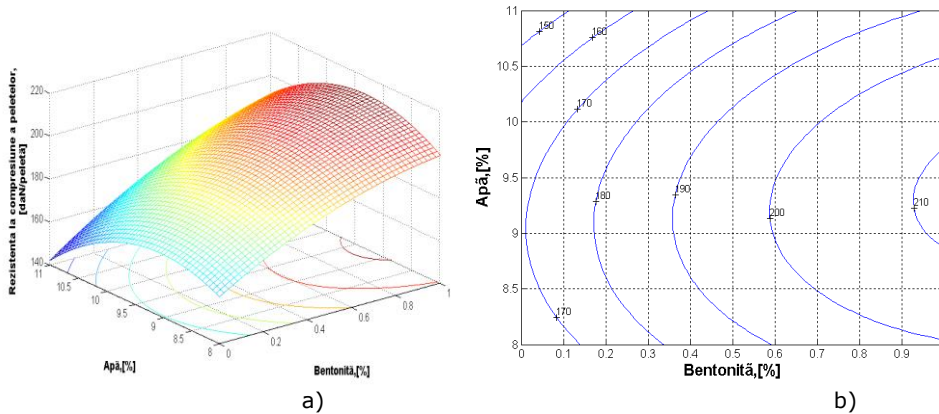


Fig. 5.44. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 65 %)

$$Z = (-25,18) \cdot x^2 + (-7,06) \cdot y^2 + 3,96 \cdot x \cdot y + 30,97 \cdot x + 127,61 \cdot y + (-407,10);$$

$$R^2 = 0,963 \quad (5.12)$$

v- rezistența la compresiune,[da/peletă]; x- bentonita,[%]; y- apa,[%]; z- fracția mărunță sub 40 μm = 65 %

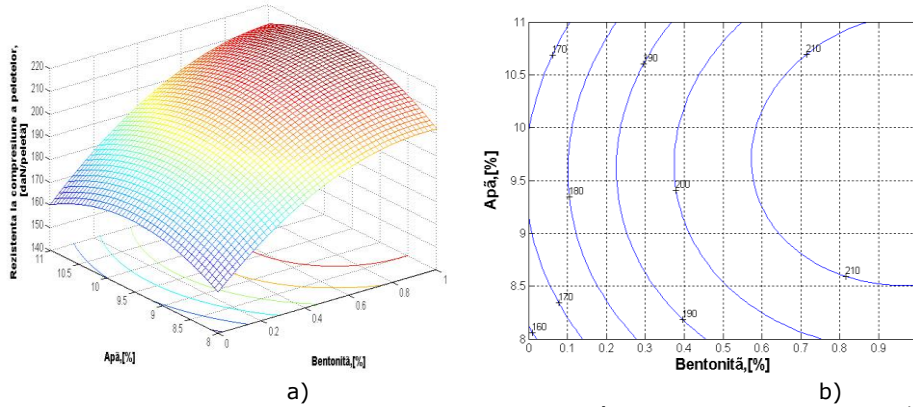


Fig. 5.45. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40μm în proporție de 84%)

$$Z = (-48,45) \cdot x^2 + (-5,23) \cdot y^2 + 2,56 \cdot x \cdot y + 71,52 \cdot x + 100,09 \cdot y + (-307,45); \quad (5.13)$$

$$R^2 = 0,957$$

v- rezistența la compresiune,[da/peletă]; x- bentonita,[%]; y- apa,[%]; z- fracția mărunță sub 40 μm = 84 %

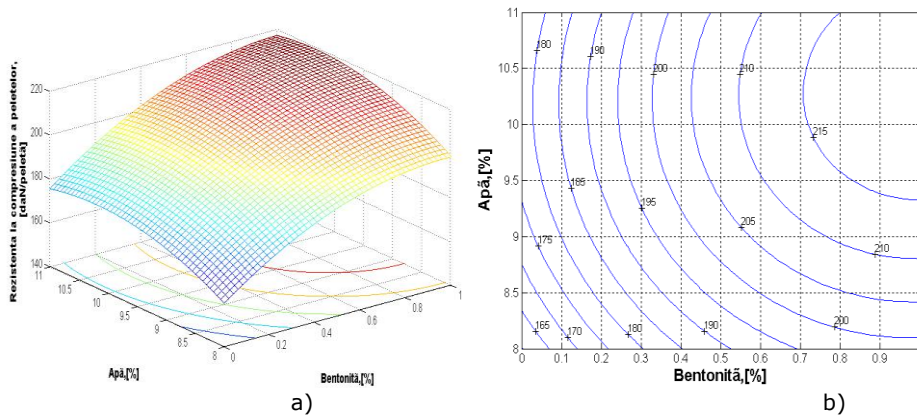


Fig. 5.46. Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40μm în proporție de 99%)

$$Z = (-40,09) \cdot x^2 + (-3,79) \cdot y^2 + 1,05 \cdot x \cdot y + 70,24 \cdot x + 77,22 \cdot y + (-215,33); \quad (5.14)$$

$$R^2 = 0,972$$

v- rezistența la compresiune,[da/peletă]; x- bentonita,[%]; y- apa,[%]; z- fracția mărunță sub 40 μm = 98 %

5.2.2.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab

În figura 5.40 se prezintă grafic și analitic variația rezistenței la compresiune a peletelor arse în funcție de adaosul de apă și proporția de fracție fină sub 40 μm din șarja de peletizare. Se poate observa din proiecția curbilor de nivel pe plan orizontal că valoarea maximă a rezistenței la compresiune se înregistrează pentru un procent de 8,5-9 % apă și fracție fină sub 40 μm 70-80 %. Odată cu creșterea proporției de fracție fină, cresc și valorile pentru rezistența la compresiune. În funcție de valoarea rezistenței la compresiune pe care dorim să o obținem și de proporția de fracție fină din șarja de peletizare alegem adaosul de apă.

Rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de fracție fină sub 40 μm și procentul de bentonită este prezentată în figura 5.41, observându-se din proiecțiile curbilor de nivel pe plan orizontal că rezistența la compresiune crește odată cu creșterea proporției de bentonită. Astfel pentru o proporție de 80 % fracție fină sub 40 μm rezistența la compresiune atinge valoare maximă la un adaos de bentonită de 0,7 %.

Pentru rezistența la compresiune a peletelor arse, în funcție de proporția de apă și bentonită (figura 5.42) se poate observa că aceasta este dependentă de procentul de bentonită adăugat. Odată cu creșterea procentului de bentonită crește și rezistența la compresiune. Aceeași explicație este valabilă și în cazul determinării rezistenței la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 40%) prezentată în figura 5.43.

În figura 5.44 este prezentată rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 65 %) unde se pot observa din proiecțiile curbilor de nivel pe plan orizontal că pentru a se obține o valoare maximă a rezistenței procentul de bentonită trebuie să crească, astfel pentru intervalul de apă 9-9,5 % procentul de bentonită trebuie să fie cuprins între 9,5-1 %, pentru o valoare maximă.

Pentru ca rezistența la compresiune a peletelor arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 85 %) să aibă valoare maximă pentru intervalul de apă 8,5-11 % adaosul de bentonită trebuie să fie cuprins între 0,5-1 % (figura 5.45).

Din proiecțiile curbilor de nivel pe plan orizontal, pentru peletele arse în funcție de proporția de apă și bentonită (fracție fină sub 40 μm în proporție de 98 %) prezentate în figura 5.46 rezultă că valoare maximă se atinge pentru un interval de adaos de apă între 9-11 % și bentonită 0,7-1 %.

5.2.2.5. Concluzii

Pe baza analiza rezultatelor obținute ca urmare a prelucrării datelor în programele Excel și Matlab, pot fi scoase în evidență următoarele concluzii:

- din comparația valorilor rezistenței la compresiune a peletelor durificate cu cele prezentate în literatura de specialitate [11,37], rezultă ca deșeurile utilizate în cadrul experimentărilor asigură obținerea unor pelete utilizabile în încărcătura cuptoarelor pentru elaborarea fontei, respectiv oțelului dacă acestea sunt în prealabil reduse (metalizate).

- pentru peletele durificate prin ardere, la fel ca și în cazul peletelor crude, corelațiile obținute între parametri independenți și parametrul dependent definit de rezistența la compresiune, atât cele în programul Excel, cât și în Matlab, având în

vedere valorile coeficientului de corelație R , sunt semnificative, ceea ce scoate în evidență importanța pentru practică pentru cunoașterea acestor influențe;

- limitele de variație a parametrilor independenți pentru obținerea peletelor durificate cu valori superioare pentru rezistență la compresiune se păstrează aceleași ca și în cazul peletelor crude;

- cercetările efectuate permit valorificarea prin peletizare a mai multor sortimente de deșeuri pulverulente, acestea putând fi componente a unei sau mai multe rețete de procesare.

5.3. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta B

5.3.1. Producerea peletelor după varianta B

În cadrul acestei variante s-au produs pelete autoreducătoare în cadrul laboratorului de Baza Energetică și Materii Prime de la Facultatea de Inginerie Hunedoara, utilizând următoarele 3 rețete prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Rețete pentru pelete autoreducătoare

Nr. rețetă	Componenti %/sursă			
	Praf de furnal	Praf de oțelărie electrică		Bentonită
	AM-Hunedoara	AM- Hunedoara	TMK -Reșița	Gura-Sada Hunedoara
1	97	-	-	3
2	86	7	4	3
3	75	15	7	3

S-au produs în total 7,5 kg de pelete din cinci șarje (1,5 kg/șarjă), pentru rețeta 1, și câte 6 kg pentru fiecare din rețetele 2 și 3 (4 șarje pentru fiecare rețetă., 1,5 kg/șarjă). Peletele obținute sunt prezentate în figura 5.47.



Fig. 5.47 Pelete autoreducătoare

Aceste pelete au fost uscate natural timp de 30 zile, urmând apoi determinarea rezistenței la compresiune. Determinarea rezistenței la compresiune s-a făcut pe un lot de 15 pelete (3 pelete din fiecare șarjă), de diametru 15 mm, pentru fiecare rețetă. Valoarea medie a rezistenței la compresiune a peletelor a fost

de 18,32 daN/peletă pentru rețeta 1; 21,33 daN/peletă pentru rețeta 2 și de 24,12 daN/peletă pentru rețeta 3. Determinările de rezistență au fost efectuate la Facultatea de Inginerie din Hunedoara- laboratorul de Baza Energetică și de Materii Prime. În continuare o parte din experimentări privind peletele produse după rețeta 1 s-au efectuat în cadrul laboratorului `` Furnace lab `` din cadrul Universității Tehnologice Luleå – Suedia, unde s-a urmărit procesul de reducere a acestora în furnal, în atmosferă normală și N_2 și o altă parte la Laboratorul Baza Energetică și de Materii Prime Hunedoara

5.3.2. Rezultate obținute în cadrul experimentărilor efectuate în laboratorul „Furnace lab.” din cadrul Universității Tehnologice Luleå – Suedia

5.3.2.1. Experimentări și rezultate

Din cele 7,5 kg de pelete autoreducătoare produse după rețeta 1 la Facultatea de Inginerie din Hunedoara, 1,5 kg au fost duse pentru experimentări în cadrul laboratorului `` Furnace lab `` din cadrul Universității Tehnologice Luleå – Suedia.

În vederea efectuării experimentărilor s-au stabilit condițiile de lucru precum și diagrama de încălzire, acestea fiind următoarele:

- cântărirea peletelor;
- introducerea acestora în creuzete, respectiv în furnal (cuptor);
- temperatura maximă de ardere 1150 °C;
- durata menținerii la temperatura de 1150 °C 1 oră;
- viteza de încălzire fiind de 7 °C/min în atmosferă de N_2 (probe 1) și obișnuită (probe 2);
- debitul de azot a fost de 5 l/min, pe tot parcursul experimentului (inclusiv răcirea probelor).

Fiecare probă introdusă în cuptorul vertical a fost pusă în creuzete, iar în interiorul creuzetului fiind introdus un termocuplu, temperatura acestuia fiind înregistrată frecvent la 15 min. În figurile 5.48 și 5.49 sunt prezentate sub formă de diagramă.

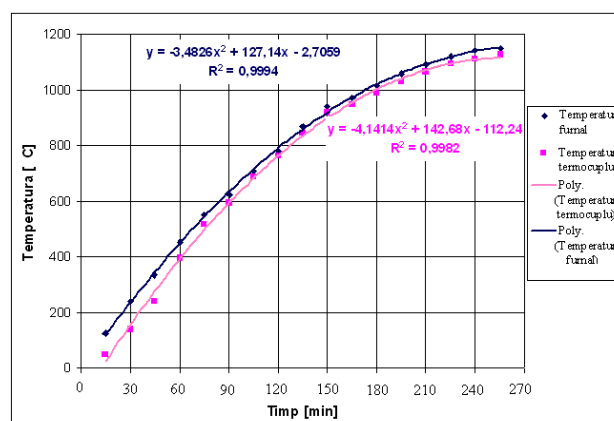


Fig. 5.48 Diagrama de evoluție a temperaturii primei probe

evoluția în timp a temperaturii furnalului și peletelor din creuzet termocuplului, celor două probe. În urma arderii primei probe s-a obținut o pierdere a masei peletelor de 26 %.

Pentru a doua probă s-au respectat aceleași condiții exceptând atmosfera de ardere, aceasta fiind normală ne mai utilizând N_2 . În urma acestui experiment s-a obținut o pierdere de masă de 23,33 %.

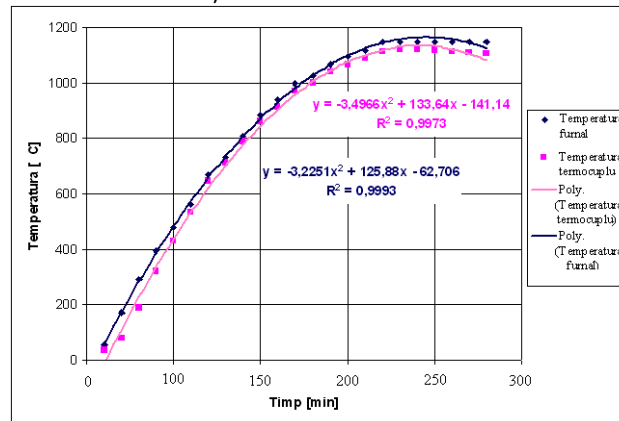


Fig. 5.49 Diagrama de evoluție a temperaturii celei de-a doua probe

În continuare aceste probe au fost analizate la aparatul XRD, rezultatele fiind prezentate în figura 5.50. P1 reprezentând peletele arse în atmosferă de N_2 , iar P2 pelete arse în atmosferă normală.

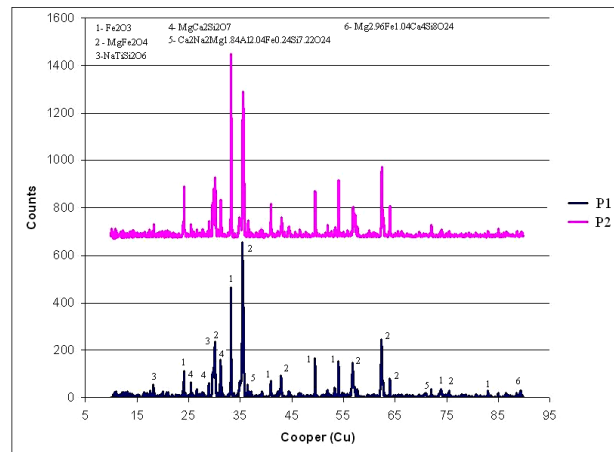


Fig. 5.50. Rezultate la analiza peletelor la aparatul XRD

5.3.2.2. Concluzii

În urma acestui experiment rezultă că următoarele concluzii:

- gradul de reducere între cele două probe este aproape nesemnificativ;
- concentrația de Fe_2O_3 (magnetită) este mai mare în cazul celei de-a

doua

probe, iar concentrația de $MgFe_2O_4$ în cazul primei probe decât în cazul celei de-a doua;

- calitatea peletelor a fost influențată direct de compoziția chimică și mineralogică a componentelor rețetei;

- condițiile de lucru au dus la formarea de Fe_2O_3 ;

- oxidarea particulelor de magnetită începe la temperaturi mai mici de 400 °C, iar în acest proces de conversie, punctele de hematită vor forma puncte de legătură între punctele de magnetită [78];

- fiecare concentrat de magnetită are propriile caracteristici fizico-chimice care rezultă din mulțimea de impurități a minereului și a liantului folosit; de asemenea condițiile de întărire variază de la instalație la instalație, unele furnale funcționând la sarcini încărcături mixte [78].

5.3.3. Rezultate obținute în cadrul experimentărilor efectuate la Facultatea de Inginerie din Hunedoara, Universitatea „Politehnica Timișoara

5.3.3.1. Experimentări și rezultate

Din cele 7,5 kg de pelete autoreducătoare produse la Facultatea de Inginerie din Hunedoara după rețeta 1, 6 kg au fost supuse durificării prin ardere (la fel ca și peletele produse după rețetele 2 și 3) și utilizării în încărcătura cuptoarelor de elaborare aliaje feroase. În vederea efectuării experimentărilor s-au stabilit condițiile de lucru precum și diagrama de încălzire, acestea fiind următoarele:

- cântărirea peletelor (câte 2 kg de pelete pentru fiecare variantă de ardere);

- introducerea acestora în creuzete, respectiv în furnal (cuptor);

Tabelul 5.3 Parametri de ardere a peletelor

Nr. rețetă	Temperatura maximă de ardere				Viteza de încălzire: - - 6 °C/min până la temperatura 800°C; - 7°C/min , 800°C - 1100°C ; - 8°C/min , 1100°C -1300°C
	1150 °C	1200 °C	1250 °C	1300 °C	
	Codificare probe				
1	1 - PP1	1 - PP2	1 - PP3	1 - PP4	
2	2 - PP1	2 - PP2	2 - PP3	2 - PP4	
3	3 - PP1	3 - PP2	3 - PP3	3 - PP4	
	Durata de menținere le temperatura maximă: 40 de minute:		Durata de menținere le temperatura maximă: 20 de minute:		

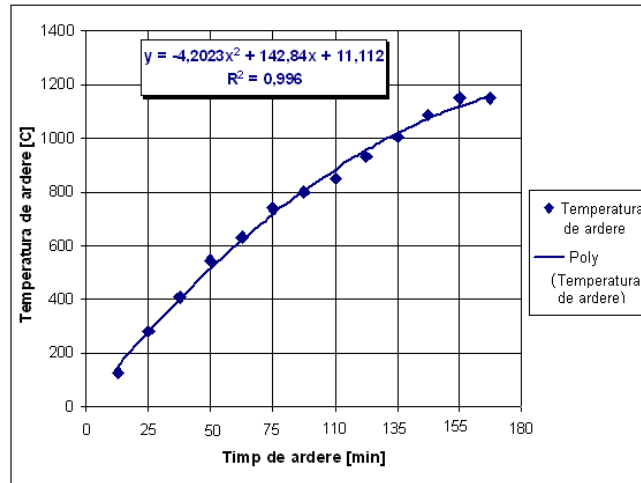


Fig. 5.51 Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP1

În figurile 5.51 - 5.54 sunt prezentate sub formă de diagramă evoluția în timp a temperaturii peletelor (cuptorului) pentru cele patru cazuri studiate la rețeta 1 (pentru rețetele 2 și 3 diagramele sunt similare). Pentru fiecare lot de pelete s-a determinat gradul de reducere, valorile acestuia fiind prezentate în tabelul 5.4 și în figura 5.55.

În lucrările experimentale se determină de cele mai multe ori (prin analiză chimică) gradul de reducere în procente (gm), acesta fiind egal cu raportul dintre conținutul metalului redus și conținutul lui total [36].

$$\eta_r = \frac{\%Me_{\text{reduc}}}{\%Me_{\text{total}}} 100 \quad [\%] \quad (5.15)$$

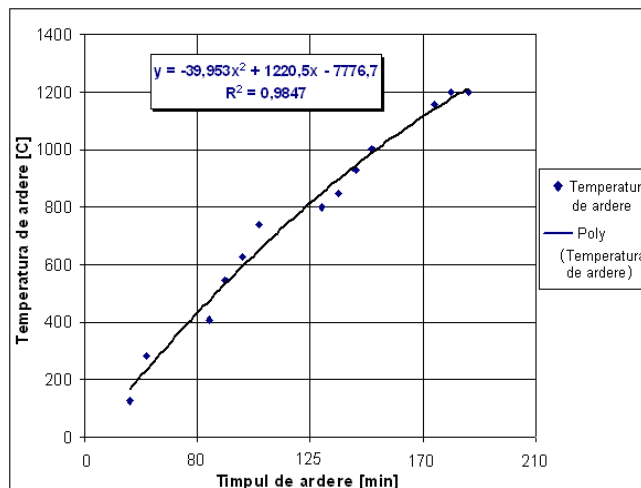


Fig. 5.52 Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP2

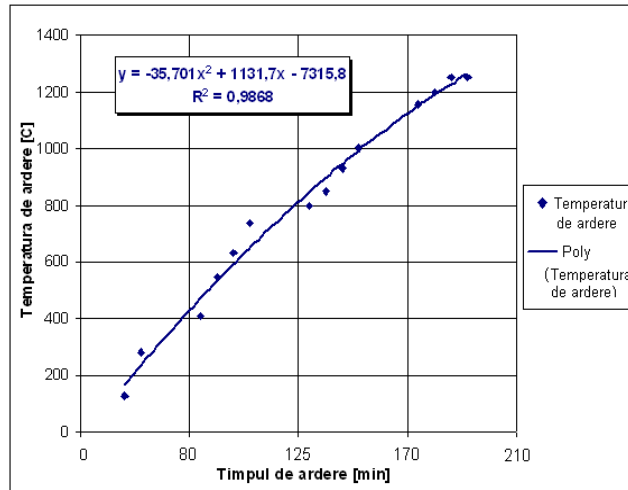


Fig. 5.53 Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP3

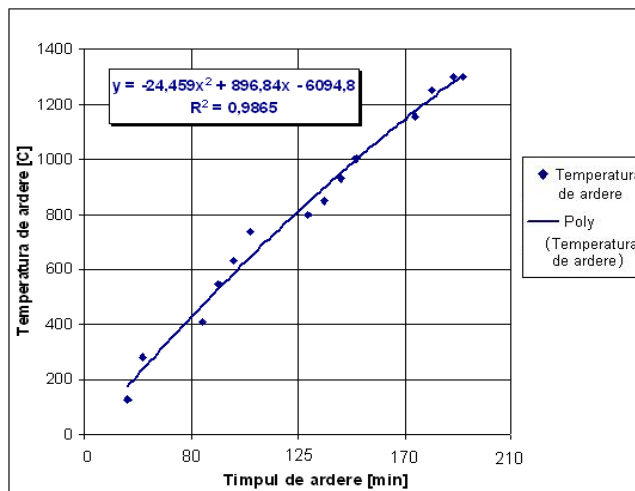


Fig. 5.54 Diagrama de evoluție a temperaturii pentru proba PP4

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 (5.15) este de 94 – 96 % [11,36].

$$\eta_r = \frac{G_0 - G_\tau}{G_{O_2}} = \frac{\Delta G_{O_2}}{G_{O_2}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.16)$$

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.

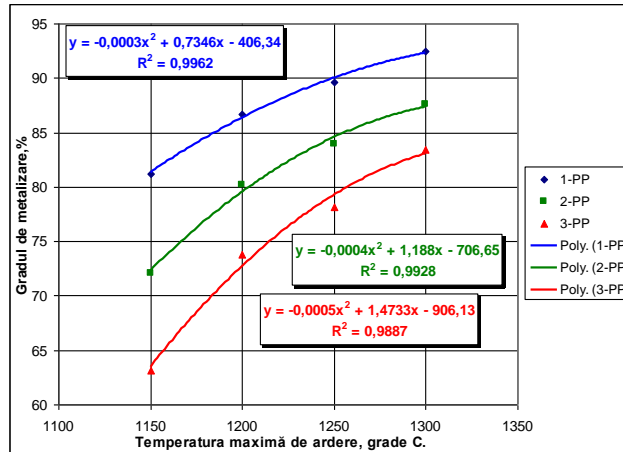


Fig. 5.55 Corelația între temperatura maximă de ardere și gradul de metalizare

Tabelul 5.4. Gradul de metalizare pentru peletele autoreducătoare

Cod probă	Grad de metalizare [%]	Cod probă	Grad de metalizare [%]	Cod probă	Grad de metalizare [%]
1 - PP1	81,24	2 - PP1	71,28	3 - PP1	63,10
1 - PP2	86,71	2 - PP2	80,22	3 - PP2	73,80
1 - PP3	89,67	2 - PP3	83,93	3 - PP3	78,21
1 - PP4	92,43	2 - PP4	87,56	3 - PP4	83,42
Conținutul de carbon: $C_{1-PP} = 16,82\%$; $C_{2-PP} = 14,92\%$; $C_{3-PP} = 13,01\%$					

5.3.3.2. Concluzii

În urma acestui experiment rezultă următoarele concluzii:

- gradul de reducere a peletelor este dependent de conținutul de carbon a peletelor, determinat la rândul său de proporția de praf de furnal (evident și de conținutul de carbon a acestuia);
- indiferent de conținutul de carbon a peletelor (de rețeta utilizată) gradul de reducere crește cu creșterea temperaturii maxime de ardere;
- indiferent de temperatura maximă de ardere, gradul de reducere crește cu creșterea conținutului de carbon, pentru o temperatură aleasă;
- având în vedere valorile coeficienților de corelație pentru corelațiile prezentate în figura 5.4 se consideră că ecuațiile de corelație sunt semnificative;
- deșeurile experimentate pot fi procesate prin peletizare.

5.4. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor din deșeuri pulverulente după varianta C

5.4.1. Producerea și durificarea peletelor după varianta C

În cadrul acestei variante s-au produs pelete după tehnologia prezentată în subcapitolul 5.1., pe baza rețetelor prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Componenta rețetei de peletizare

Nr. rețetă	Componenti %/sursă				
	Praf de furnal	Praf de oțelărie	Nămol roșu	Cenușă de termocentrală	Bentonită
	A.M. Hunedoara		Cemtrade Oradea	Mintia	Gura-Sada Hd
1	45	40	10	2	3
2	36	22	38	2	2

Peletele au fost durificate prin ardere la temperaturi diferite de ardere și anume: 1200 °C, 1220 °C, 1230 °C.

În figura 5.56 este prezentată diagrama de încălzire a peletelor la temperatura de 1220 °C.

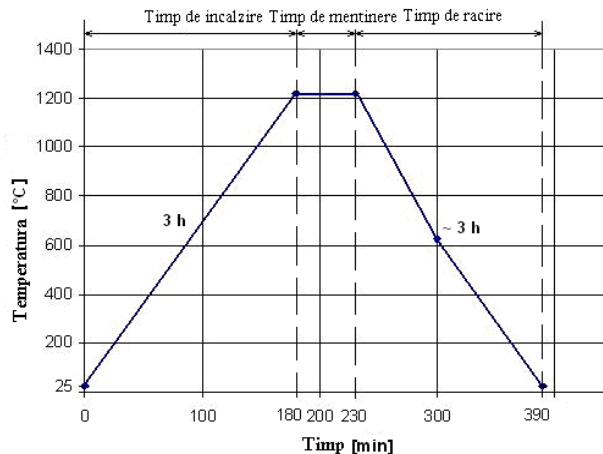


Fig. 5.56 Diagrama de încălzire la 1220 °C

Peletele produse după cele rețete au urmat aceeași diagramă de încălzire și în celelalte două cazuri, exceptând temperatura de menținere a acestora în cuptor. Peletele au fost durificate prin ardere în cuptorul prezentat în figura 4.12.b

5.4.2. Analiza XRD și SEM

Peletele au fost supuse spre analizare XRD și SEM în cadrul laboratoarelor de la Universitatea Tehnologică Luleå, Suedia.

5.4.2.1. Analiza XRD

O parte din peletele au fost măcinate cu ajutorul unei mori cu discuri. Pentru a se putea determina compoziția chimică cu ajutorul metodei XRD probele trebuie să aibă finețe sub 60 μm. După măcinare probele au fost pregătite sub formă de minibrichete și introduse în aparatul de analiză XRD (figura 5.1A).

În figura 5.57 este prezentat schematic modul de funcționare a aparatului XRD. Razele X sunt transmise dintr-un tub, printr-un colimator spre proba,

informația fiind preluată de către alt colimator și transmisă detectorului, urmând înregistrarea acestora la nivel de computer.

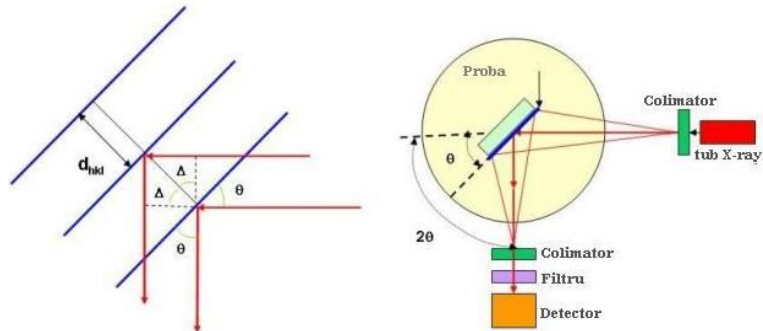


Fig. 5.57 Schema de funcționare a aparatului XRD [79]

Rezultatele au fost înregistrate computerizat, fiind prezentate în figura 5.58 – 5.60

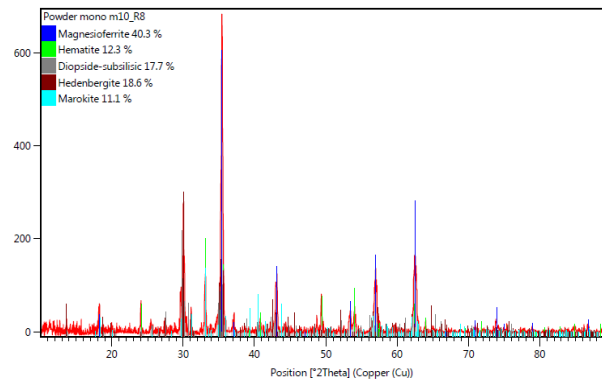


Fig. 5.58 Interpretare XRD pentru pelete arse la 1200 °C

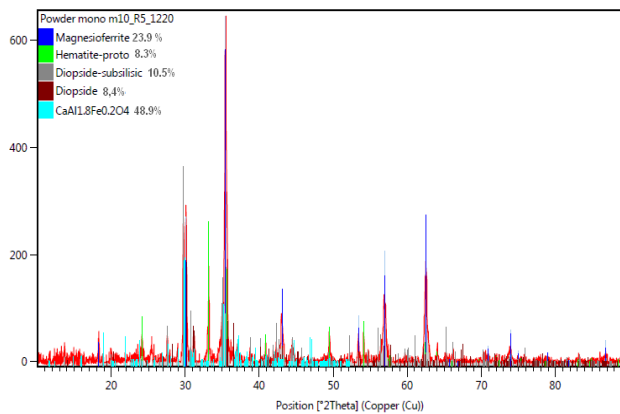


Fig. 5.59 Interpretare XRD pentru pelete arse la 1220 °C

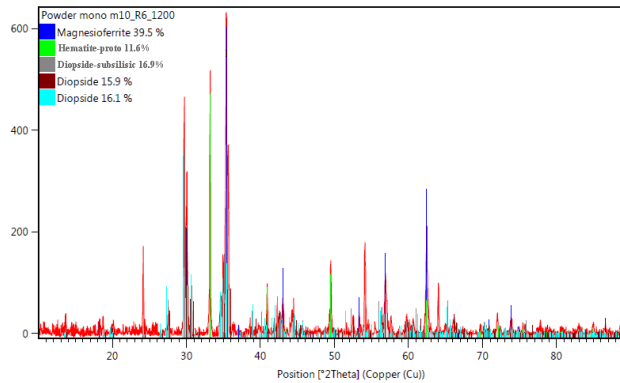


Fig. 5.60 Interpretare XRD pentru pelete arse la 1230 °C

În urma acestor analize se poate observa existența magnesioferritei și hematitei în cele trei cazuri.

5.4.2.2. Analiza SEM

Pentru analizele SEM peletele au fost pregătite folosind rășini epoxidice. Probele au fost puse în recipiente speciale și lăsate timp de 30 min în atmosferă de vid, mai apoi 48 de ore în atmosferă normală pentru a se putea întări (figura 5.3).A).

După obținerea probelor acestea au fost supuse procesului de șlefuire cu discuri de diferite granulații, apoi fiind dezinfectate cu etanol și uscate (figura 5.4.A).

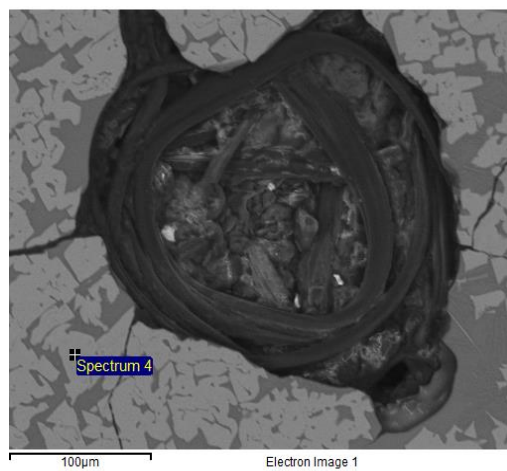
În urma acestui proces probele au fost pregătite pentru analizele SEM. Acestea au fost introduse în microscopul electronic cuplat cu un spectrometru cu dispersie după energii de tip EDAX.

Rezultatele sunt concretizate prin obținerea unor imagini morfo-compoziționale (electroni secundari) și spectre EDS cu rezultate cantitative adiacente.

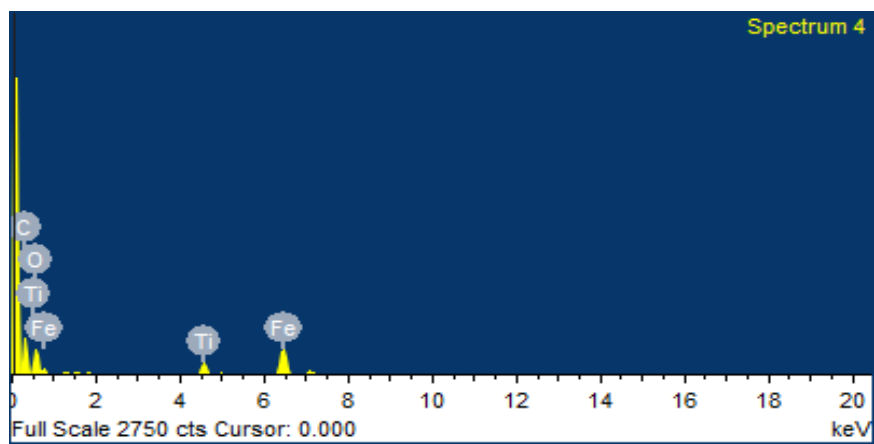
Se vor prezenta imaginile de la microscopul electronic, precum și elementele existente pentru fiecare caz în parte (figura 5.61-5.63).

Tabelul 5.6 Caracteristici Pelete arse la 1200 °C

Element	Masa [%]	Atomic %	Formula
C	21.66	29.91	CO ₂
Ti	2.77	0.96	TiO ₂
Fe	12.46	3.70	FeO
O	63.12	65.43	
Total	100.00		



(a)

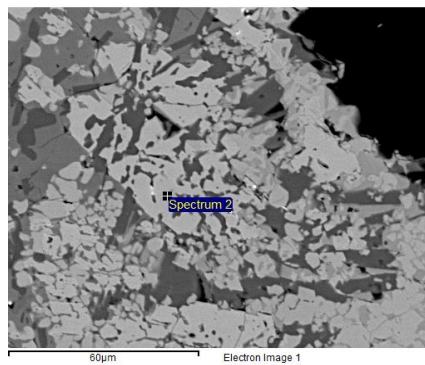


(b)

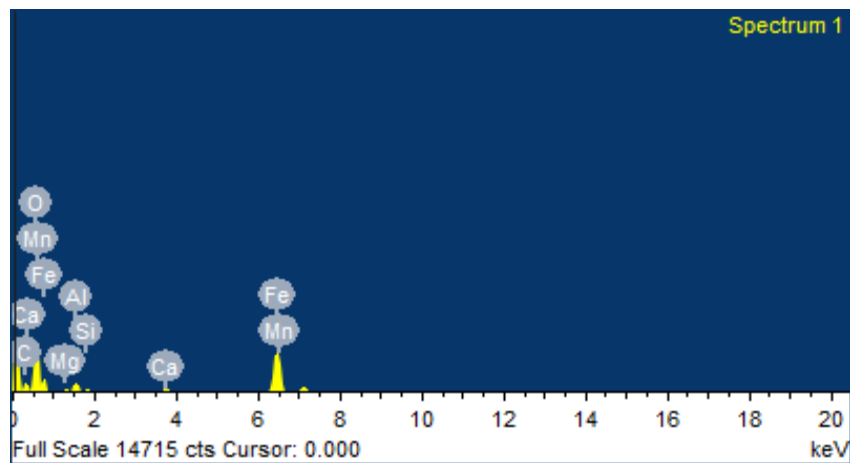
Fig. 5.61. Pelete arse la 1200 °C; imagini la microscopul electronic (a) și elemente existente (b)

Tabelul 5.7. Caracteristici Pelete arse la 1220 °C

Element	Masa [%]	Atomic [%]	Formula
C	13.83	23.25	CO ₂
Mg	0.58	0.48	MgO
Al	2.14	1.60	Al ₂ O ₃
Si	0.26	0.19	SiO ₂
Ca	0.45	0.23	CaO
Mn	0.80	0.29	MnO
Fe	32.73	11.83	FeO
O	49.21	62.12	
Total	100.00		



(a)

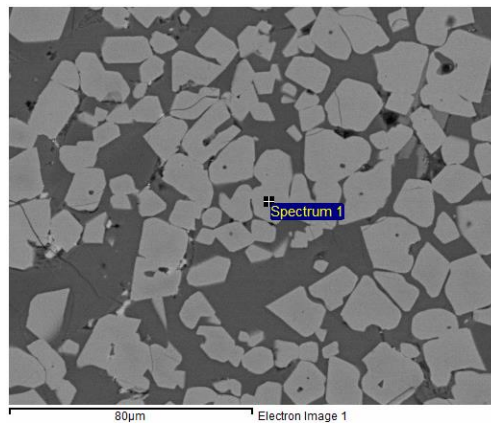


(b)

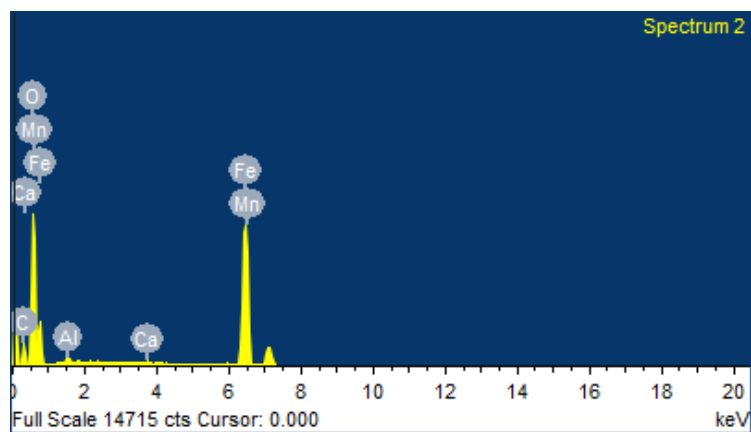
Fig. 5.62. Plelete arse la 1220 °C; imagini la microscopul electronic (a) și elemente existente (b)

Tabelul 5.8 Caracteristici pelete arse la 1230 °C

Element	Masa [%]	Atomic %	Formula
C	11.62	21.41	CO ₂
Al	0.39	0.32	Al ₂ O ₃
Ca	0.25	0.14	CaO
Mn	0.48	0.19	MnO
Fe	43.30	17.15	FeO
O	43.96	60.79	
Totals	100.00		



(a)



b)

Fig. 5.63. Pelete arse la 1230 °C; imagini la microscopul electronic (a) și elemente existente (b)

5.4.2.3. Concluzii

În urma analizelor XRD se observă existența magnezioferitei și hematitei în cele trei cazuri variind foarte puțin procentul acestora, de la o proba la alta, ceea ce ne indică faptul că o diferență mică de temperatură de ardere este aproape nesemnificativă în cadrul acestor analize.

Pentru analizele SEM (Scanning electron microscope) s-a ales pentru câte un spectrum pentru analiză, din fiecare probă, în urma căruia se poate observa analiza din punct de vedere chimic a acestor pelete. În toate cele trei cazuri componenta Fe este prezentă sub formă de oxizi.

5.4.3. Analiza SEM efectuate la Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor -Universitatea Politehnica din București

Într-o primă etapă pentru peletele produse după rețeta numărul 2 s-a determinat rezistența la compresiune și s-au stabilit ecuații de corelație între acest parametru, temperatura de ardere și diametru, rezultatele obținute fiind prezentate în literatura de specialitate [80].

În etapa a doua a cercetărilor s-au efectuat determinări SEM la UPBB Facultatea De Știința și Ingineria Materialelor. Rezultatele obținute sunt prezentate în ANEXA, figurile 5.4 A-5.12 A și tabelele 5.5.A -5.8.A.

În urma analizei PIC-urilor precum și compozițiilor chimice efectuate rezultă componenta Fe, care apare sub formă de oxizi în toate cele 4 cazuri analizate.

Analizând mai îndeaproape rezultatele din ANEXĂ și ținând cont de temperatura de ardere a peletelor precum și de timpul de menținere a acestora în cuptor există mici diferențe în ceea ce privește diferențele între oxizii de fier pentru cele 4 cazuri.

5.5. Experimentări de laborator în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara privind producerea peletelor autofondante din deșeuri pulverulente după varianta D

5.5.1. Considerații tehnologice

Din prezentările anterioare rezultă că unul din principalii parametri calitativi ai peletelor este rezistența la compresiune, parametru influențat de tipul și granulația minereului supus peletizării, adaosurile cu rol de liant și de apă, precum și de metoda de durificare, respectiv parametri tehnologici ai acesteia.

Unele adaosuri introduse în șarja de peletizare pot avea o influență pozitivă asupra creșterii rezistenței la compresiune a peletelor durificate. Astfel de materiale formează în timpul tratamentului de durificare o zgură rezistentă care contribuie la legarea granulelor de minereu de fier/deșeu feros [87].

Folosind anumite materiale de adaos, concomitent cu procesul de durificare se pot forma combinații chimice între oxidul de fier și oxidul de calciu, cu formare de silicați de calciu și de fier [11].

Utilizarea adaosurilor pentru ridicarea rezistenței la compresiune a peletelor trebuie să se facă într-o anumită proporție optimă [88].

După datele din literatura de specialitate se observă că rezistența la compresiune crește până la adaos de var în intervalul 2,5 – 3 %, în funcție de calitate minereurilor de fier (2,5 % pentru minereu tip hematită cu 62,5 % Fe și 3 % pentru minereu de fier tip magnetită cu 63,5 % Fe), după care scade.

Micșorarea rezistenței la compresiune a peletelor atunci când conținutul de var depășește limita de 3 % se datorește formării unei zguri fragile și sfărâmbitoase (figura 5.64).

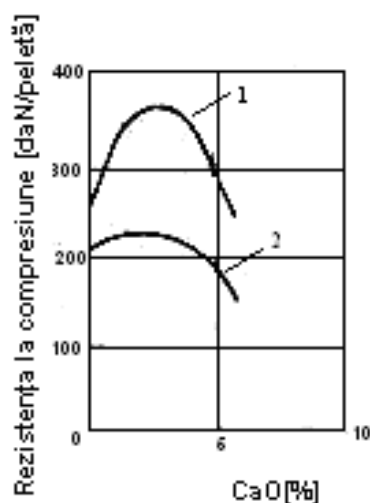


Fig. 5.64. Influența adaosului de var asupra rezistenței la compresiune a peletelor (1-magnetit cu 63,5 % Fe, 2-hematit cu 62,5 % Fe) [11]

Din datele prezentate în literatura de specialitate rezultă că peletele au o rezistență bună la sfărâmare atât la temperaturi joase cât și la temperaturi înalte, atunci când indicele de bazicitate este menținut între 0,9 și 1,8 [11].

La un adaos de CaO în exces, astfel ca indicele de bazicitate să depășească 1,8, are loc formarea biferitului de calciu, $\text{CaO}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_2$, care în condiții de reducere la temperaturi joase, devine sfărâmicios [11].

În cazul înlocuirii varului cu dolomită, formarea biferitului de calciu este în mare măsură evitată datorită micșorării conținutului de CaO.

Oxidul de calciu, împreună cu dioxidul de siliciu din sterilul minereului/deșeului feros contribuie la formarea silicaților de calciu (CaOSiO_2 și 2CaOSiO_2), care asigură o comportare bună a peletelor în procesul de reducere la temperaturi joase [89].

Micșorându-se indicele de bazicitate sub limita de 0,9 % datorită scăderii conținutului de CaO rezultă silicați de natură sticloasă care sunt foarte sensibili la sfărâmare, la temperaturi înalte [11].

Referitor la influența oxidului de magneziu, în compoziția peletelor autofondante trebuie menționat în primul rând faptul că acest oxid prezintă o temperatură de topire foarte ridicată în comparație cu temperatura de durificare a peletelor [90].

Ca urmare, MgO difuzează în rețeaua de magnetită, formând, în faza solidă, la marginea grăunților de magnetită un compus magnezio-magnetitic numit magnezioferit, $(Mg, Fe) Fe_2O_3$, care îndeplinește rolul unui liant foarte puternic având în același timp și o bună stabilitate la oxidare (figura 5.65).

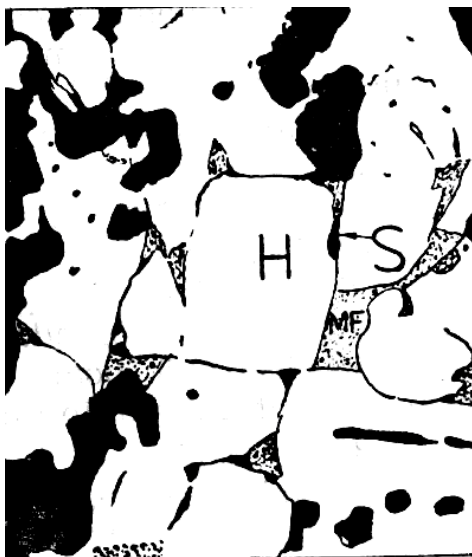


Fig. 5.65 Structura unei pelete autofondante cu adaos de dolomită (H-hematită, M-magnetită, MF-magnezioferit, S- silicați (900;1))[11]

Datorită acestei calități, în timpul tratamentului termic de durificare, hematita rămâne în mare parte netransformată în magnetită [91]. Din același motiv, la temperaturi scăzute din zona superioară a furnalului nu mai are loc transformarea hematitei în magnetită, motiv pentru care peletele prezintă o bună rezistență la sfărâmare, în aceste condiții [11].

În plus, MgO mărește temperatura de înmuiere sub sarcină și de topire a peletelor [11].

5.5.2. Experimentări și rezultate privind producerea peletelor cu adaos de var și dolomită

5.5.2.1. Producerea peletelor

În cadrul acestei variante s-a cercetat posibilitatea obținerii din deșeuri feroase pulverulente a peletelor cu: adaoas de var, de dolomită și (var+dolomită).

Rețeta de bază este prezentată în tabelul 5.9. Adaosul de apă a fost de 8 %, 9 %, 10 % și 11 %. Rețetele pentru loturile de pelete produse după rețetel celor trei serii, sunt prezentate în tabelele 5.2 A - 5.4 A, împreună cu valorile pentru rezistența la compresiune.

Ca și în cazul celorlalte trei variante și în cazul acestei variante s-au produs pelete după tehnologia prezentată în subcapitolul 5.1., diagrama de ardere fiind cea prezentată în figura 5.66 cu observația că temperatura maximă de ardere a fost de 1300 °C.

Tabelul 5.9. Rețete pentru pelete cu adaos de lianți bazici

Seria Nr	Componenti, %					
	Praf de oțelărie	¹⁾ Praf de furnal	²⁾ Bentonită	³⁾ Var	⁴⁾ Dolomită	⁵⁾ (Var+dolomită)
I	80	18,5 - 13 %	0 - 1,0 %	1,5 - 6,0 %	-	-
II	80	18,5 - 13 %	0 - 1,0 %	1,5 - 6,0 %	1,5 - 6,0 %	-
III	80	18,5 - 13 %	0 - 1,0 %	1,5 - 6,0 %	-	1,5 - 6,0 %

¹⁾Praf de furnal = 100 - (praf de oțelărie+bentonită +var/(dolomită/var+dolomită));
²⁾ Bentonită = 0%/0,5%/1,0%; ³⁾Var = 1,5%/3,0%/4,5%/6,0%
⁴⁾Dolomită = 1,5%/3,0%/4,5%/6,0%;
⁵⁾Var+Dolomită = (0,75+0,75)% / (1,5+1,5)% / (2,25+2,25)%/ (3,0+3,0)%

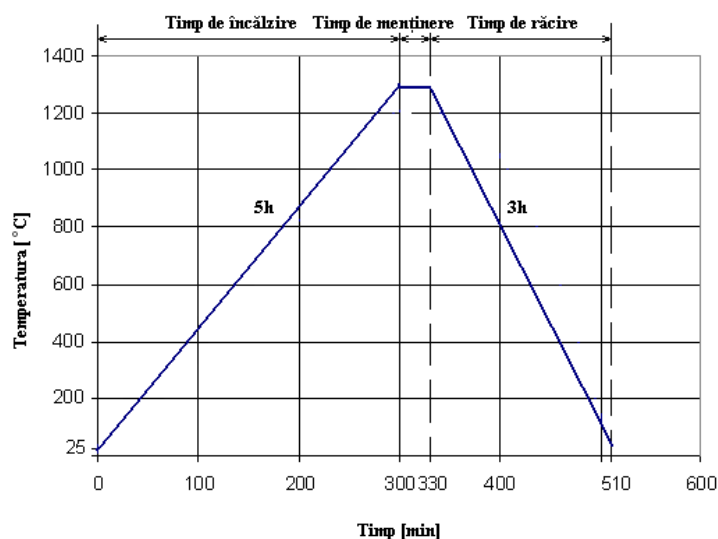


Fig. 5.66 Diagramă de ardere a peletelor

De menționat faptul că în funcție de conținutul de SiO_2 adus de cele două componente feroase, se pot rezulta și pelete autofondante.

5.5.2.2. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel

În programul Excel s-au obținut corelații între rezistența la compresiune în funcție de adaosurile liante cu caracter bazic, pentru diferite adaosuri de bentonită și apă.

Corelațiile sunt prezentate atât sub formă grafică, cât și analitică.

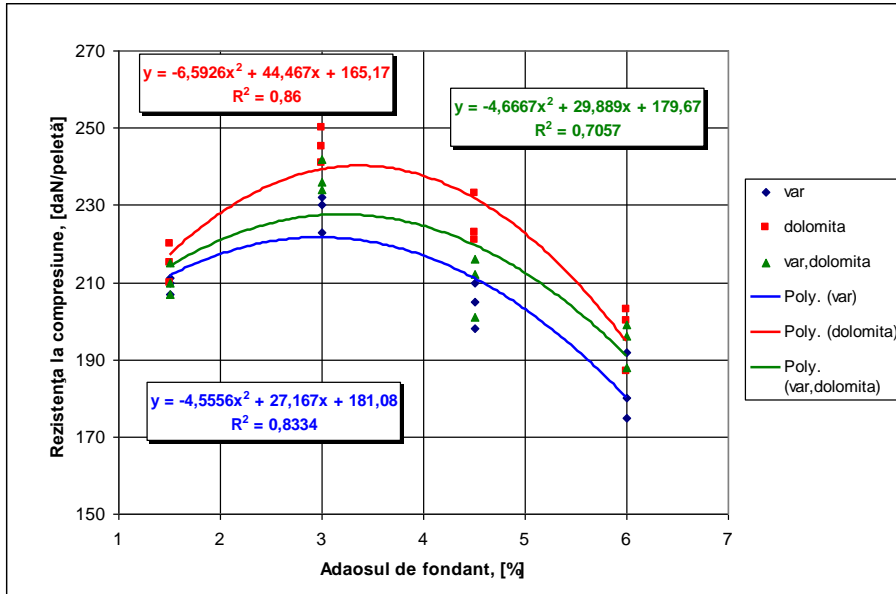


Fig. 5.67 Variția rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 1 %

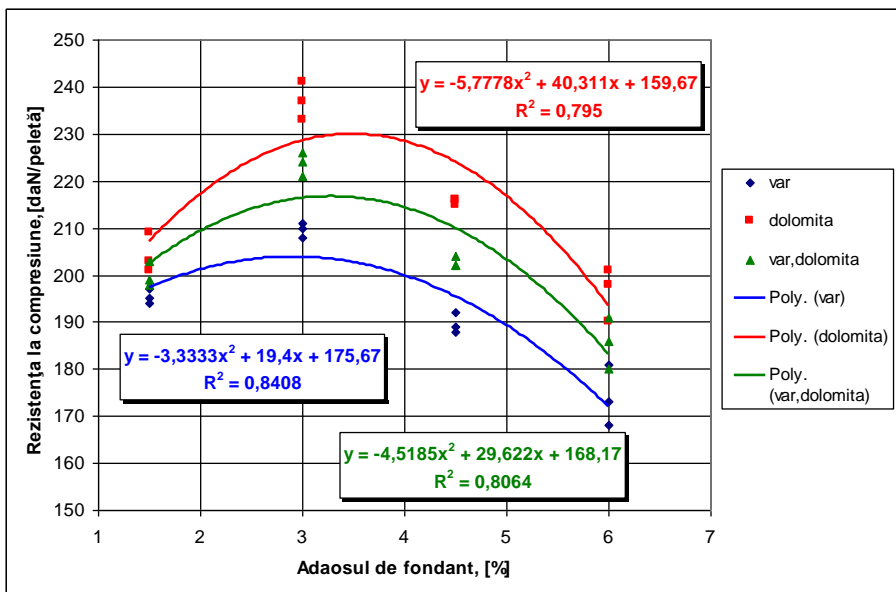


Fig. 5.68 Variția rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 0,5 %

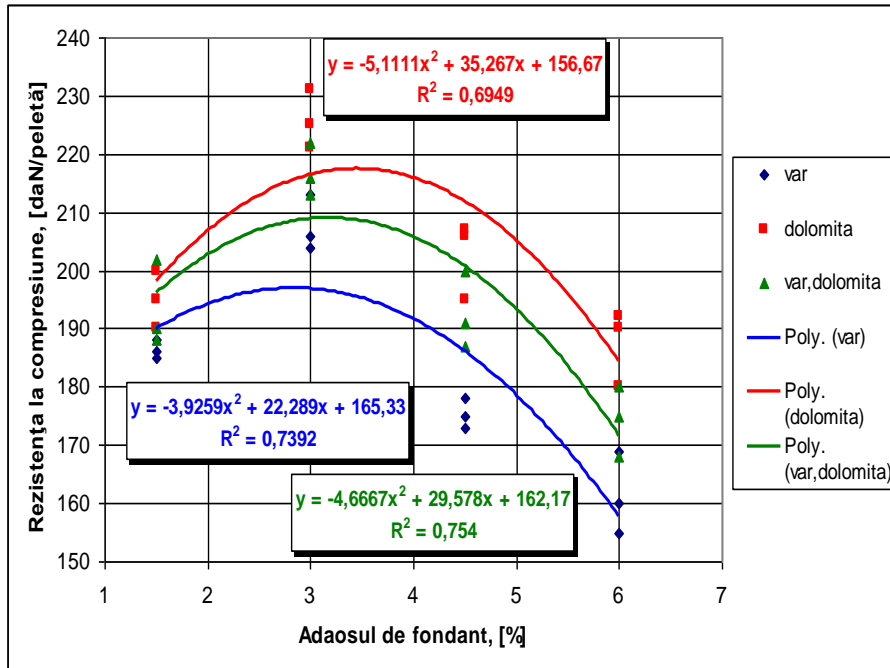


Fig. 5.69 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 8 % apă și bentonită 0 %

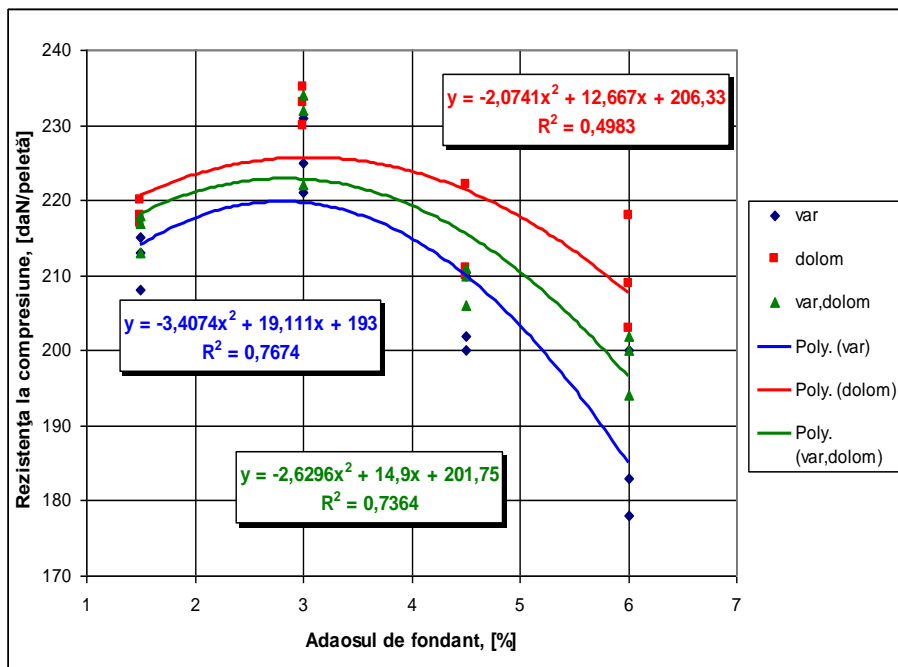


Fig. 5.70 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 1 %

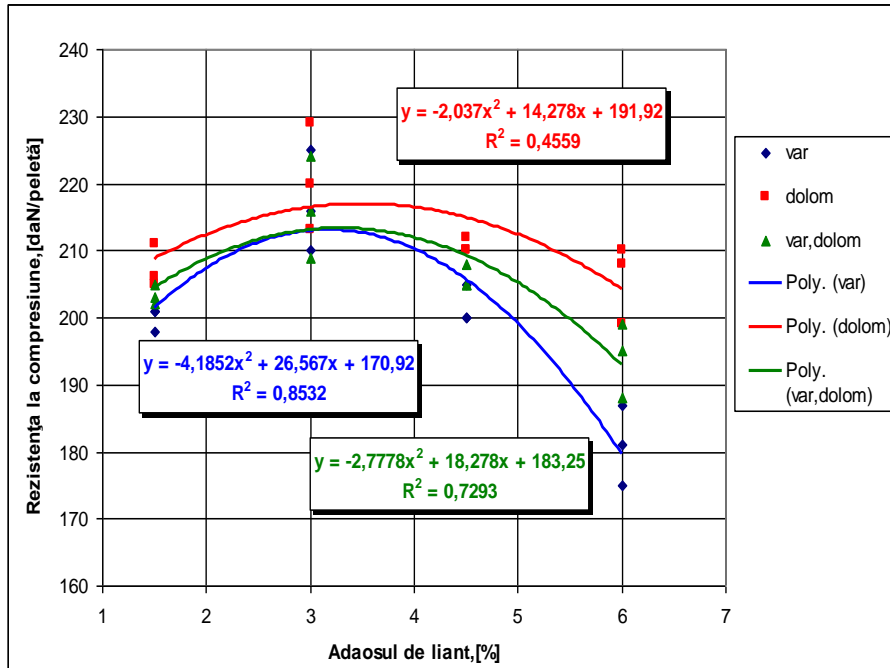


Fig. 5.71 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 0,5 %

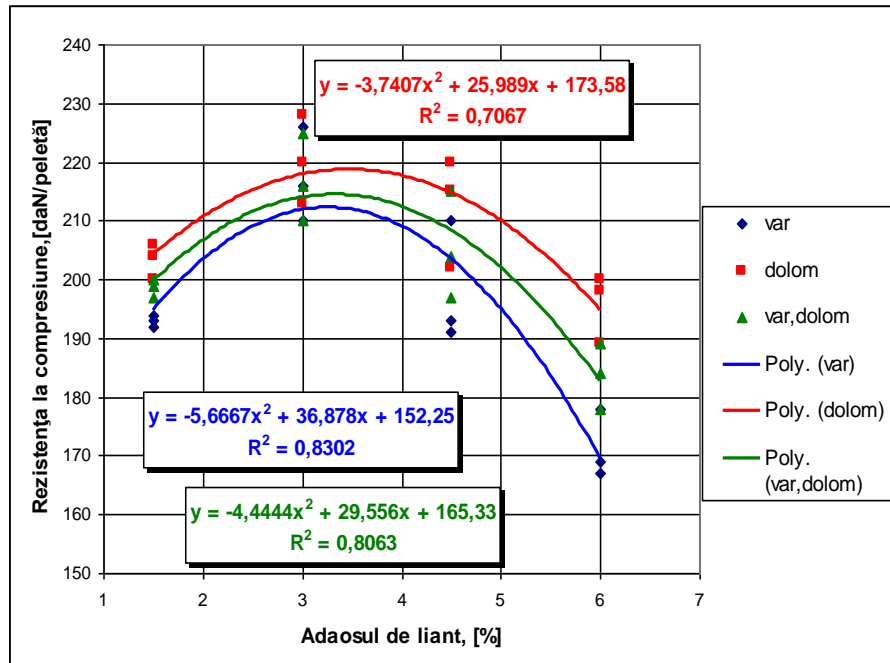


Fig. 5.72 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 9 % apă și bentonită 0 %

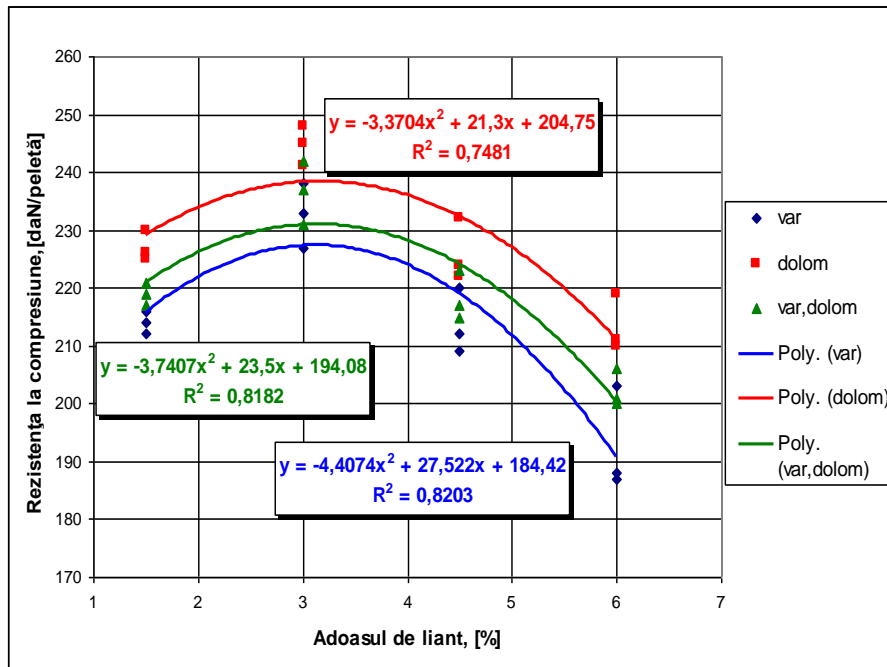


Fig. 5.73 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 1 %

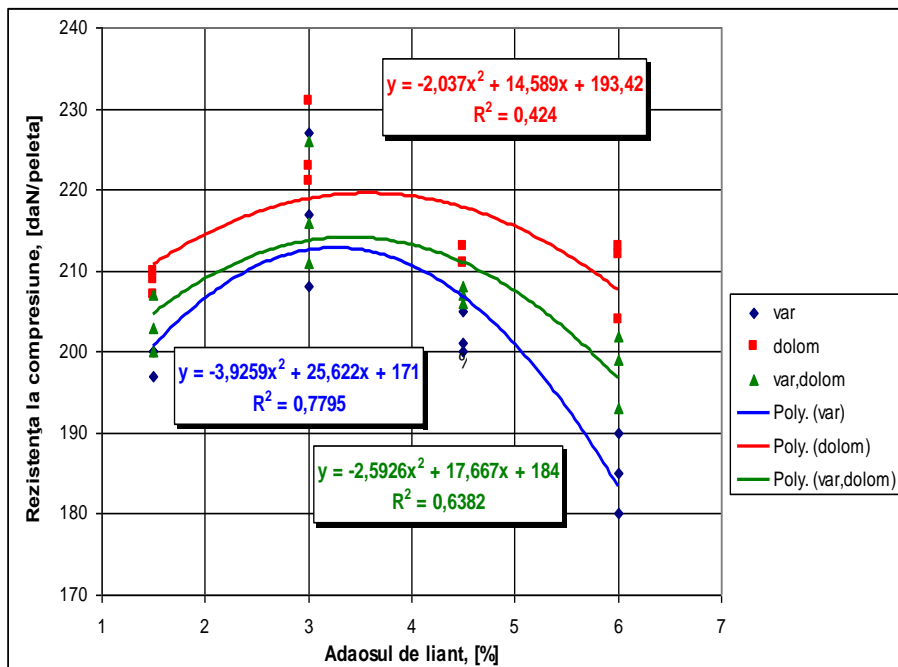


Fig. 5.74 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 0,5 %

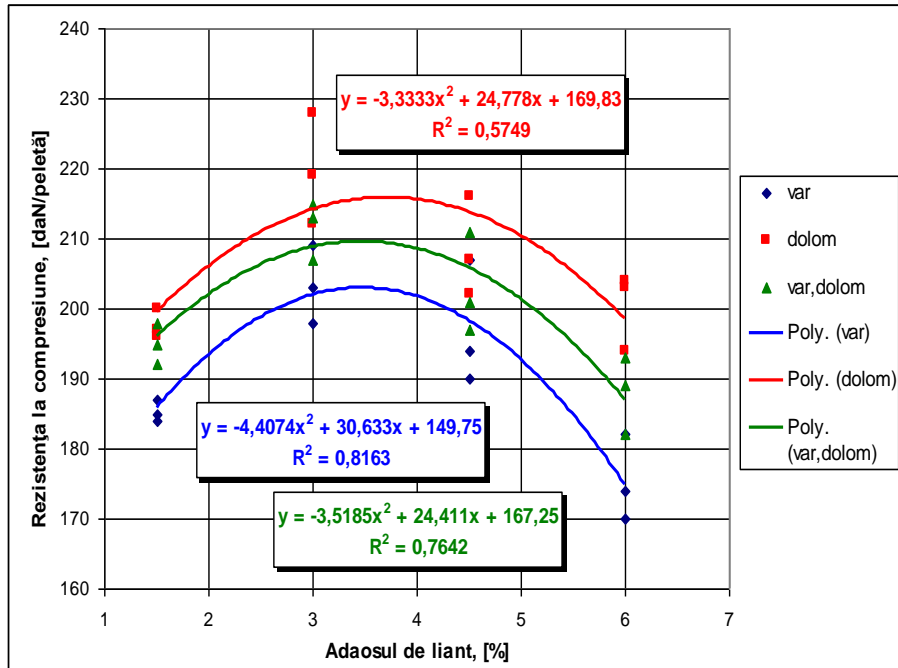


Fig. 5.75 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 10 % apă și bentonită 0 %

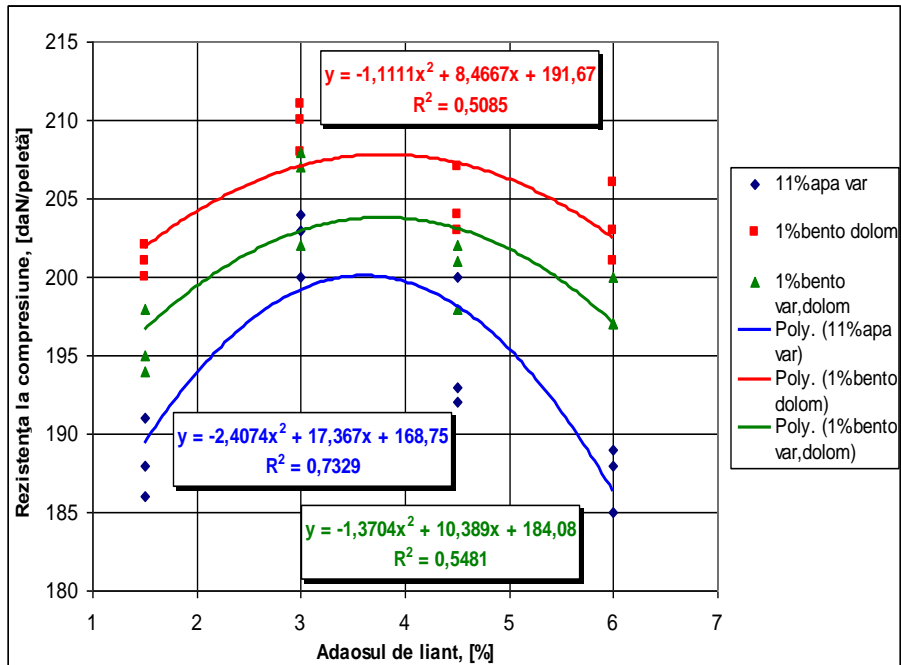


Fig. 5.76 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 1 %

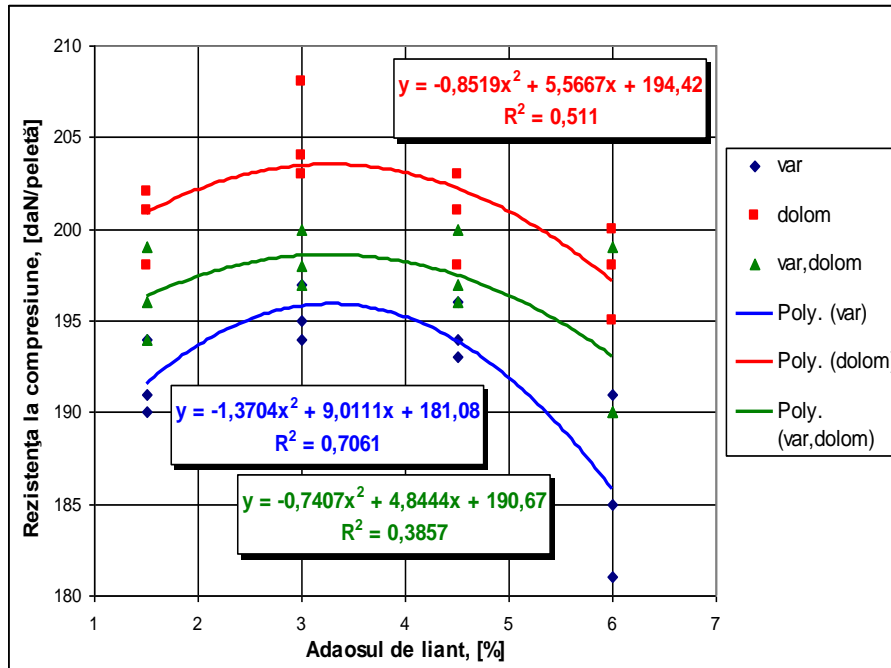


Fig. 5.77 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 0,5 %

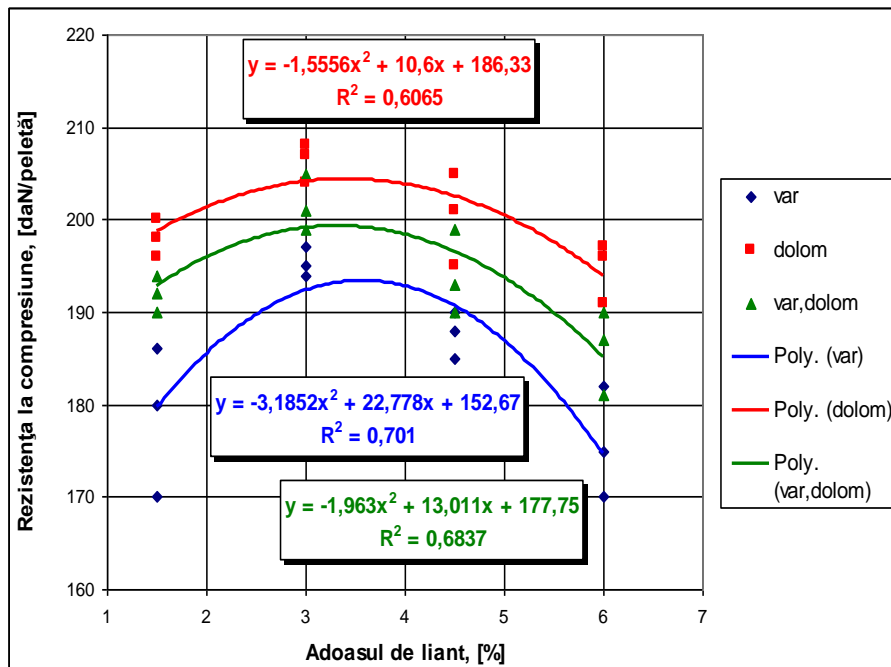


Fig. 5.78 Variația rezistenței la compresiune a peletelor cu 11 % apă și bentonită 0 %

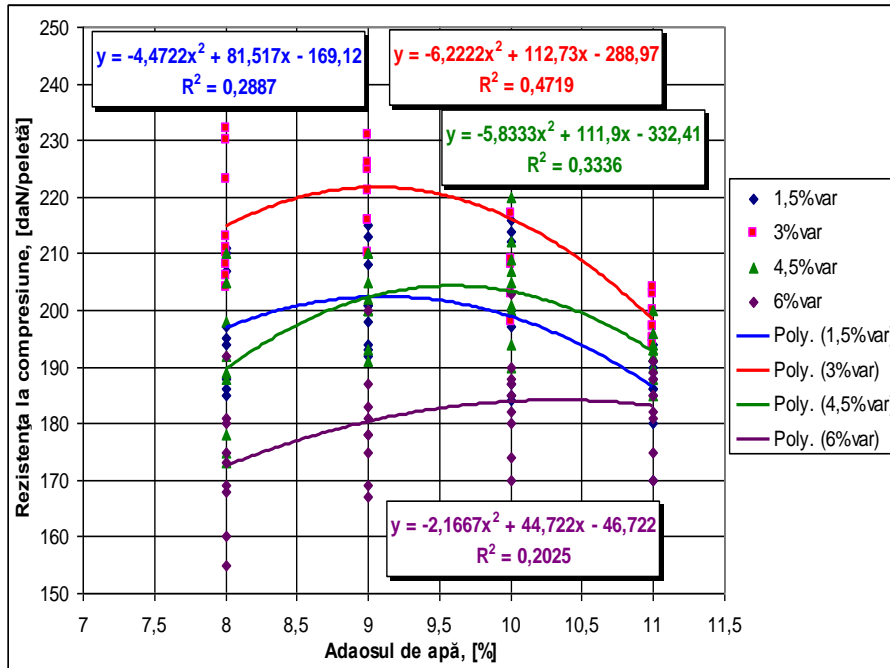


Fig. 5.79 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de apă și var

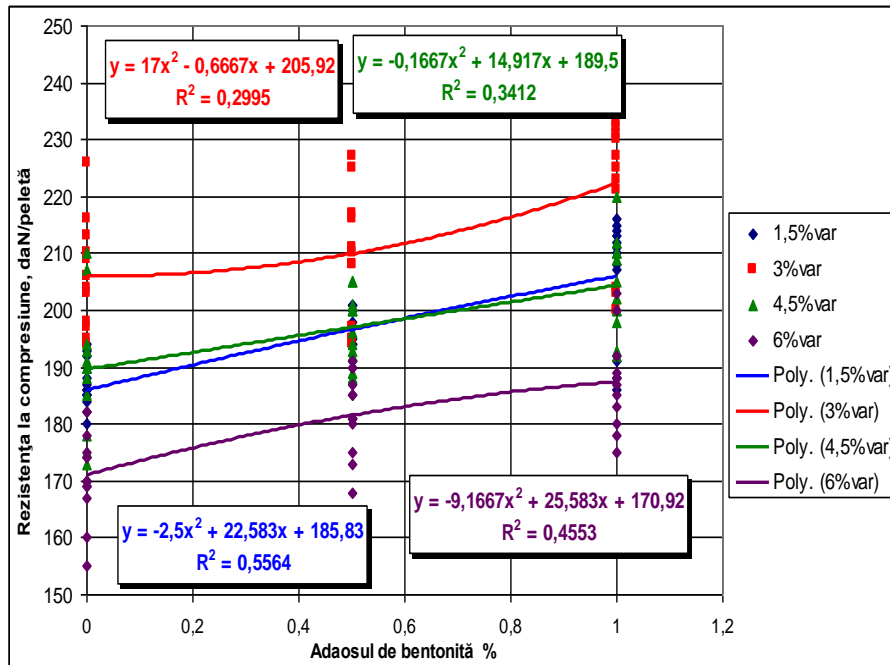


Fig. 5.80 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și var

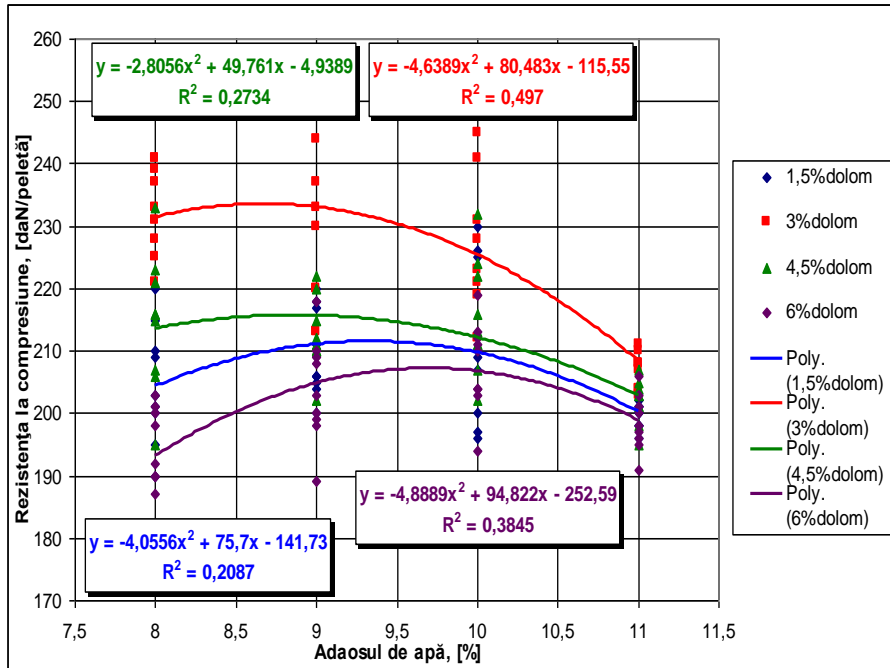


Fig. 5.81 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de apă și dolomită

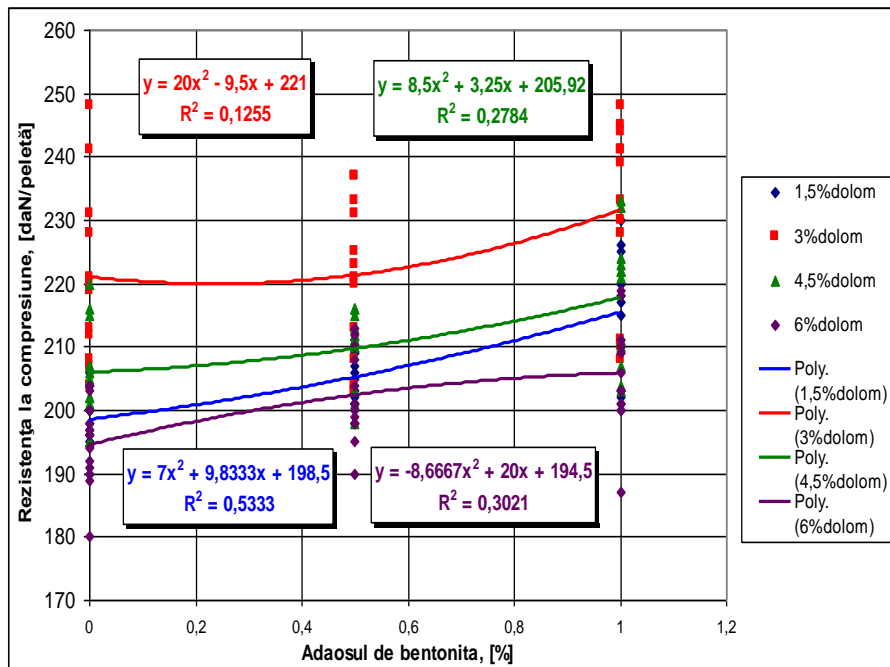


Fig. 5.82 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de bentonită și dolomită

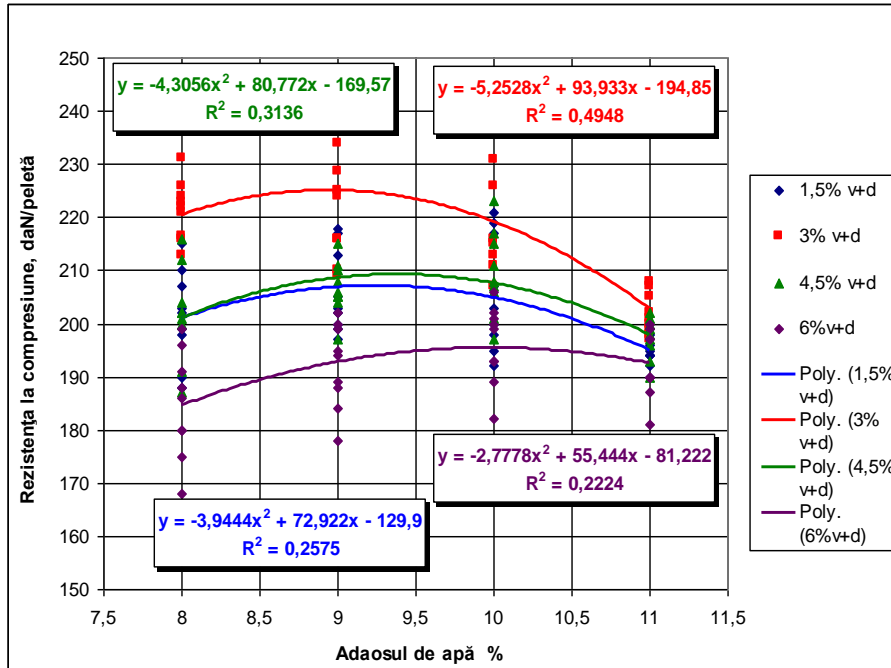


Fig. 5.83 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de apă și var+dolomită

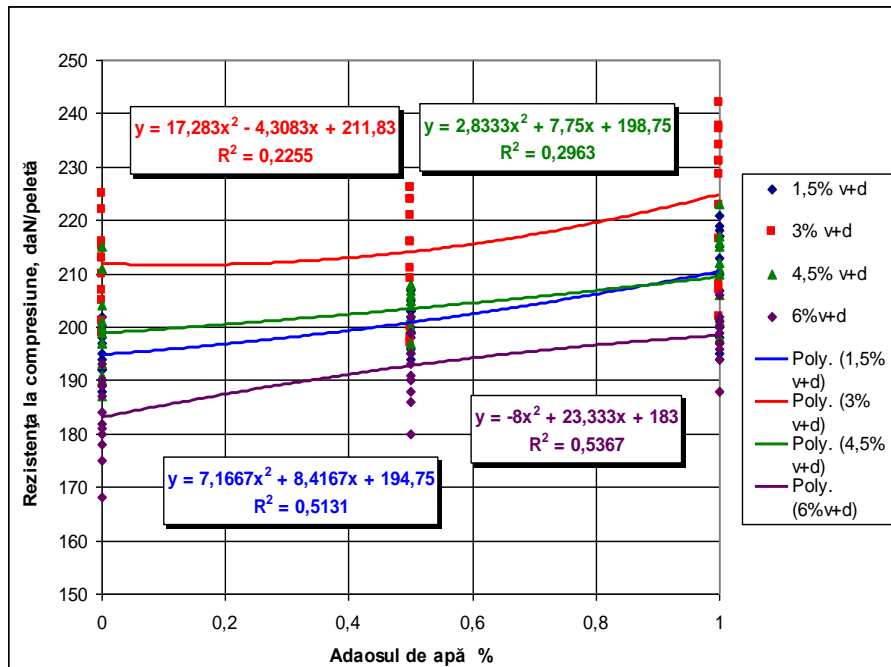


Fig. 5.84 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de bentonită și var+dolomită

5.5.2.3. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute Excel

Analiza tehnologică are la bază corelațiile obținute în programul Excel și prezentate atât analitic cât și grafic în figura 5.67 – 5.84.

Pe baza corelațiilor prezentate atât analitic, cât și grafic se poate prezenta o analiză tehnologică a acestora, astfel:

- analiza corelațiilor prezentate în figura 5.67 - 5.78, rezultă că indiferent de adaosul de bauxită și apă, valorile pentru rezistența la compresiune cresc, pentru fiecare tip de adaos bazic (var, dolomită, var+dolomită; creșterea este mai accentuată pentru adaosul de dolomită, urmat de cel de var+dolomită (în părți egale) și valorile cele mai mici pentru adaosul de var;
- valorile rezistenței la compresiune cresc o dată cu creșterea proporției de adaos bazic, atingându-se un maxim pentru un adaos de 3,5 % dolomită, 3,20 % (var+dolomită) și de 3,0 % pentru var; explicația tehnologică se regăsește în subcapitolul 5.4.1;
- în tabelul 5.2. Anexă se prezintă coordonatele punctelor de maxim;
- valorile cele mai ridicate pentru rezistența la compresiune se obțin la adaosuri de 1% bentonită și adaos de apă de 9 % și 10 %;
- din figurile 5.73; 5.75 și 5.77 rezultă că indiferent de adaosul bazic și de apă, cele mai ridicate valori pentru rezistența la compresiune se obțin pentru adaos bazic în limitele 3,0 – 3,5 % și de apă de 9,0 -10,0 %;
- valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor cresc în ordinea următoarelor adaosuri: var, var+dolomită și dolomită;
- din reprezentările prezentate în figurile 5.80; 5.82 și 5.84 reiese foarte bine în evidență faptul că o dată cu creșterea adaosului de bentonită, valorile pentru rezistența la compresiune cresc atingându-se un maxim pentru 1,0 % bentonită, indiferent de adaosul de apă și tipul adaosului bazic; cele mai bune valori se obțin pentru adaos bazic în limitele 3,0 – 3,5 %.

5.5.2.4. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab

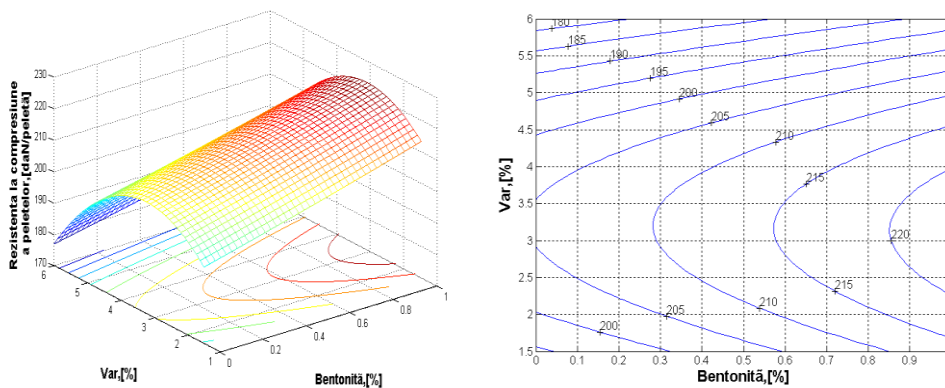


Fig. 5.85 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var și bentonită

$$v = 1.2917 \cdot y^2 + (-3.7315) \cdot z^2 + (-0.8389) \cdot y \cdot z + 18.7500 \cdot y + 24.1148 \cdot z - 166.4219$$

$$R^2 = 1(0.8139)$$

$$(5.17)$$

v-rezistența la compresiune [daN/peletă], x=adaosul de apă [%], y= adaosul de bentonită [%], z= adaosul de var [%]

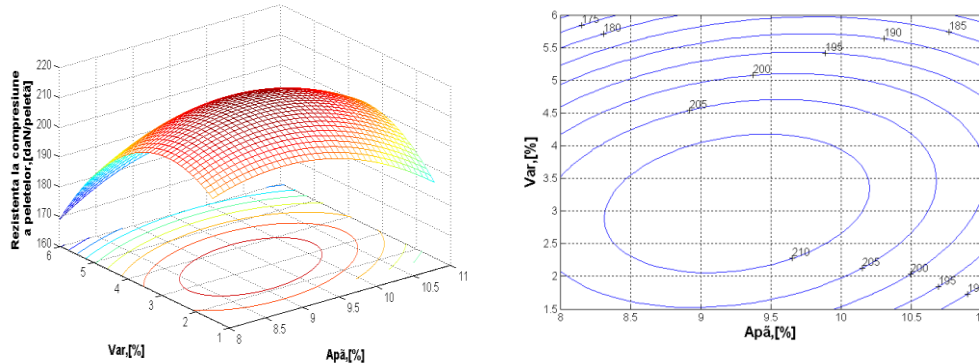


Fig. 5.86 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var și apă

$$v = -4.6736 \cdot x^2 + (-3.7315) \cdot z^2 + 1.8393 \cdot x \cdot z + 80.8208 \cdot x + 6.2224 \cdot z - 169.8847$$

$$R^2 = 1(0.7828)$$

$$(5.18)$$

v-rezistența la compresiune [daN/peletă], x=adaosul de apă [%], y= adaosul de bentonită [%], z= adaosul de var [%]

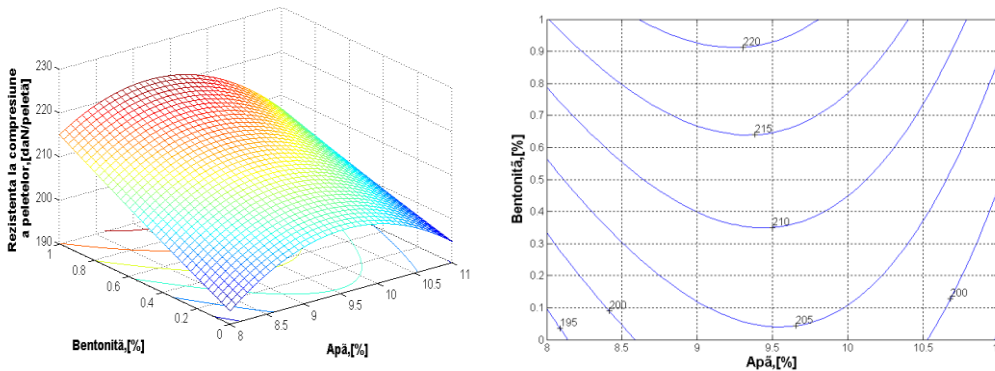


Fig. 5.87 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și apă

$$v = -4.6736 \cdot x^2 + 1.2917 \cdot y^2 + (-3.2750) \cdot x \cdot y + 89.3556 \cdot x + 46.7167 \cdot y - 222.7059$$

$$R^2 = 1(0.5335)$$

$$(5.19)$$

v-rezistența la compresiune [daN/peletă], x=adaosul de apă [%], y= adaosul de bentonită [%], z= adaosul de var [%]

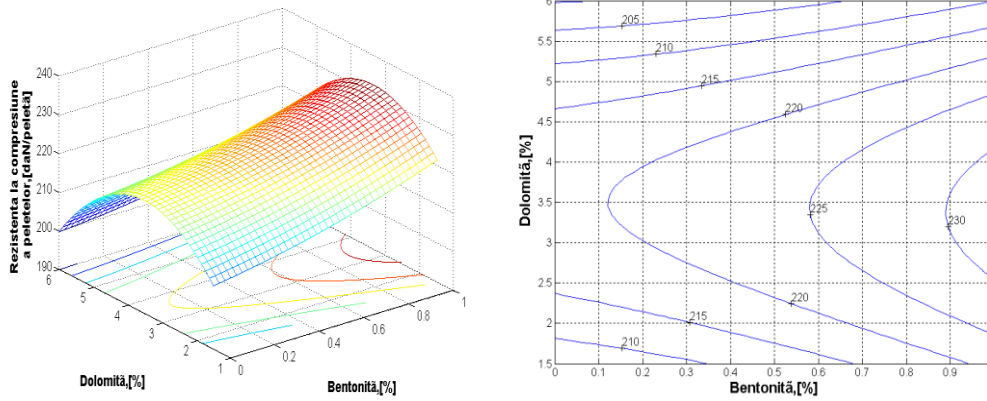


Fig. 5.88 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de dolomită și bentonită

$$v = 6.7083 \cdot y^2 + (-3.1605) \cdot z^2 + (-1.0167) \cdot y \cdot z + 9.7083 \cdot y + 22.2231 \cdot z + 180.0972$$

$$R2 = 1(0.6904)$$

(5.20)

v = rezistența la compresiune [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

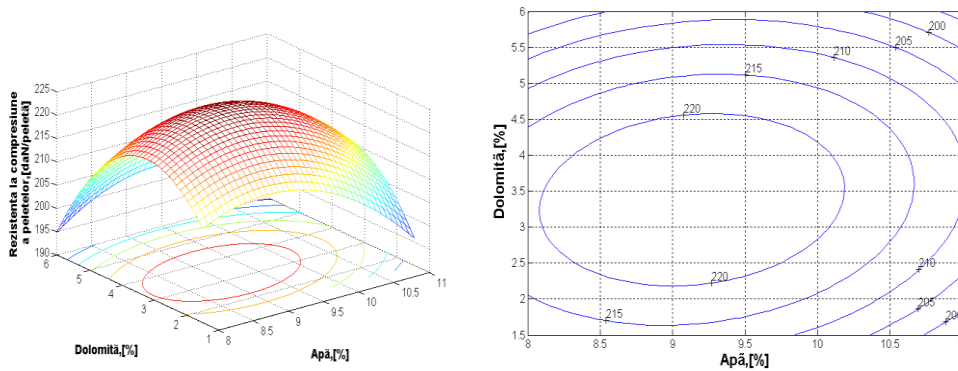


Fig. 5.89 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de dolomită și apă

$$v = -4.0972 \cdot x^2 + (-3.1605) \cdot z^2 + 0.9319 \cdot x \cdot z + 71.6972 \cdot x + 12.8622 \cdot z - 124.7208$$

$$R2 = 1(0.6945)$$

(5.21)

v = rezistența la compresiune [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

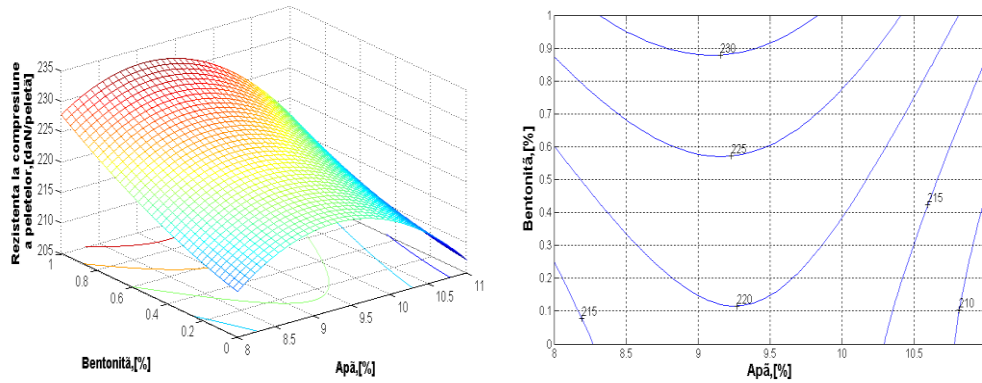


Fig. 5.90 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de bentonită și apă

$$v = -4.0972 \cdot x^2 + 6.7083 \cdot y^2 + (-1.7250) \cdot x \cdot y + 76.0542 \cdot x + 22.2833 \cdot y - 133.7507$$

$$R^2 = 1(0.5335)$$

(5.22)

v = rezistența la compresie [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

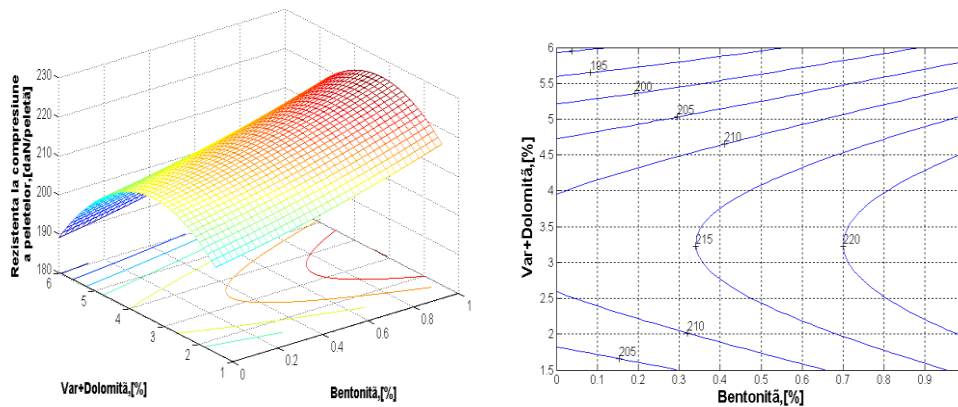


Fig. 5.91 Rezistența la compresie în funcție de adaosul de var+dolomită și bentonită

$$v = 4.75 \cdot y^2 + (-3.0401) \cdot z^2 + (-0.2) \cdot y \cdot z + 9.5833 \cdot y + 19.9102 \cdot z + 178.8177$$

$$R^2 = 1(0.7736)$$

(5.23)

v = rezistența la compresie [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

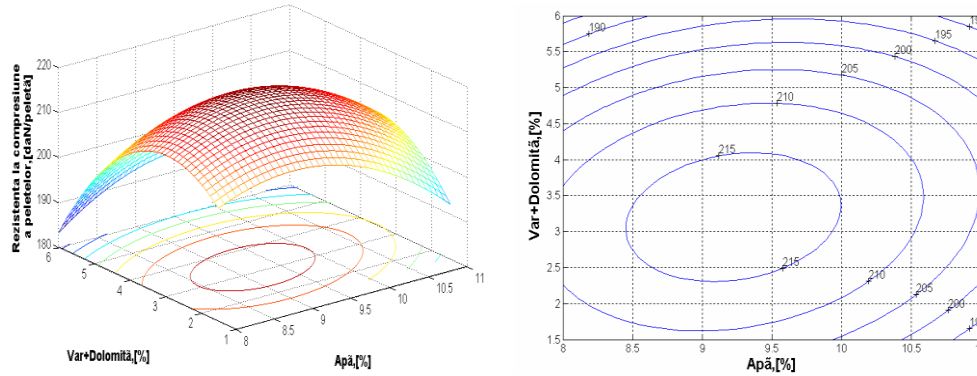


Fig. 5.92 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de var+dolomită și apă

$$v = -4.0764 \cdot x^2 + (-3.0401) \cdot z^2 + 1.2570 \cdot x \cdot z + 71.1847 \cdot x + 7.8683 \cdot z - 123.5639$$

$$R^2 = 1(0.7512)$$

(5.24)

v = rezistența la compresiune [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

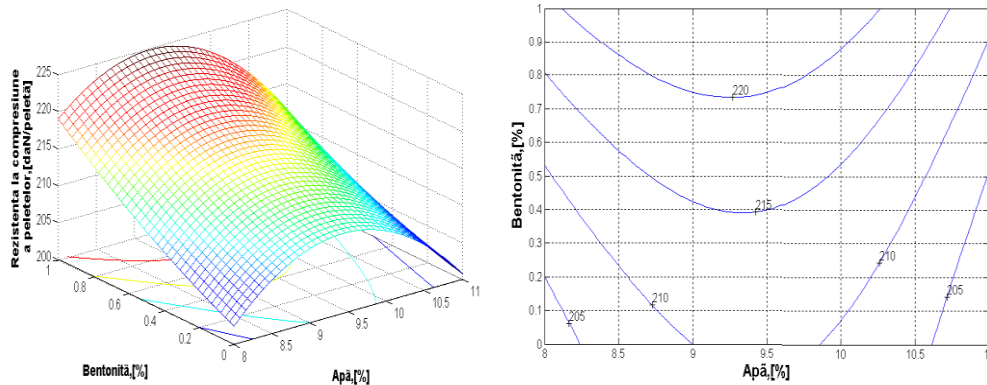


Fig. 5.93 Rezistența la compresiune în funcție de adaosul de bentonită și apă

$$v = -4.0764 \cdot x^2 + 4.75 \cdot y^2 + (-1.9167) \cdot x \cdot y + 76.8569 \cdot x + 27.0417 \cdot y - 151.5177$$

$$R^2 = 1(0.5468)$$

(5.25)

v = rezistența la compresiune [daN/peletă]; x = adaosul de apă [%], y = adaosul de bentonită [%], z = adaosul de dolomită [%]

5.5.2.5. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab

Rezultatele obținute în programul de calcul Matlab confirmă pe cele obținute în programul Excel.

Analizând corelațiile duble prezentate sub formă grafică rezultă următoarele:

- adaosul de bentonită indiferent de adaosul de fondant (var,var+dolomită)

conduce la creșterea rezistenței la compresiune.

De dorit este ca adaosul de dolomită să fie cuprins în limitele 0,6-1 %; Adaosul de fondant, indiferent de adaosul de bentonită conduce la creșterea rezistenței la compresiune până la în medie de 3 %, indicat fiind ca adaosul să fie cuprins între 2,5-3,5 % (figurile 5.85;5.88;5.91);

- suprafețele prezentate în figurile 5.86;5.89;5.92 prezintă punct de maxim după

cum urmează :

- pentru figura 5.86 procentul de var 3,15 % iar cel de apă 9,21 %;
- pentru figura 5.89 procentul de dolomită 3,16 % iar cel de apă 9,24 %;

- pentru figura 5.92 procentul de var+dolomită 3,25% iar cel de apă 9,25%;

- din analiza suprafețelor de corelație prezentate în figurile 5.87;5.90 și 5.93 se observă că acestea prezintă punct de maxim ,dar situat în afara intervalului analizat;

- pentru același conținut de apă indiferent de calitatea fondantului rezistența la compresiune crește cu creșterea adaosului de bentonită; pentru același adaos de bentonită rezistența la compresiune atinge valori maxime între 8,25 %-10,25 % apă.

În concluzie se poate considera pentru adaosuri următoarele limite optime : fondant 2,50 - 3,50 %; bentonită 0,60 – 1,0 % și apă 8,5-10,5 %.

5.6. Topirea peletelor reduse

5.6.1.Compoziția chimică a peletelor

Peletele produse conform rețetelor de la varianta B și durificate după diagrama 5.66 , au fost supuse procesului de topire, o parte în cuptorul Tamman și o altă parte în cuptorul cu inducție.

Compoziția chimică a peletelor nereduse (nearse) se prezintă în tabelul nr.5.10. și în tabelul 5.11 a peletelor arse:

Tabelul 5.10.Compoziția chimică a peletelor nereduse (crude)

Nr. rețetă	Compoziția chimică, %											
	Fe _t	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Zn
1	36,31	47,77	12,99	16,92	7,75	6,47	5,92	0,85	0,72	0,11	0,04	0,11
2	36,30	47,56	12,97	15,50	7,96	5,18	5,64	0,87	0,75	0,11	0,04	0,38
3	36,65	48,09	13,32	13,05	7,68	5,92	6,22	0,91	0,78	0,12	0,04	0,57

Tabelul 5.11 Compoziția chimică a peletelor arse

Nr. rețetă	Compoziția chimică, %											
	Fe _t	Fe ₂ O ₃	FeO	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P	S	Zn
1	51,20	0,37	2,14	1,86	11,75	9,32	9,88	1,25	1,27	0,17	0,03	0,11
2	51,48	0,31	2,02	1,45	11,09	9,03	9,34	1,24	1,25	0,13	0,03	0,12
3	51,06	0,32	2,87	1,11	11,33	8,99	9,32	1,25	1,27	0,16	0,03	0,11

5.6.2. Topirea peletelor reduse în cuptorul Tamman

Creuzetul cuptorului Tamman are o capacitate de 3 kg fontă, astfel încât având în vedere conținutul de fier din pelete și greutatea specifică a acestora, precum și a zgurii formate, în creuzet au fost încărcate pe măsura topirii 2,5 kg pelete.

Pentru a obține o zgură cu raport de bazicitate I_B de 1,15-1,30 am făcut un adaos de var de 30 – 40 g/șarjă și 10 g/șarjă bauxită.

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 40 g/șarjă. Au fost elaborate un număr de 3 șarje, câte una pentru fiecare rețetă.

Durata topirii unei șarje a fost de 35-40 min., iar la terminarea acesteia s-a turnat topitura metalică (fonta) și zgura în forme de grafit. În tabelele nr. 5.12 și 5.13 se prezintă compoziția fontei obținute și a zgurei.

S-a determinat greutatea fontei și a zgurii, după care s-a determinat scoaterea (tabelul 5.14).

Tabelul 5.12 Compoziția chimică a fontei

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
1	3,92	0,82	0,81	0,14	0,05	94,26
2	3,83	0,81	0,76	0,15	0,05	94,40
3	3,68	0,76	0,71	0,15	0,05	94,66

Tabelul 5.13 Compoziția chimică a zgurii

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %							CaO/SiO ₂
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	S	
1	45,28	36,06	8,47	5,12	1,13	0,91	1,88	1,26
2	44,54	36,43	9,21	6,42	0,98	0,81	1,71	1,22
3	44,12	37,02	9,66	7,22	0,87	0,83	1,75	1,19

Tabelul 5.14. Bilanțul încărcăturii

Nr. șarjă	Componenta încărcăturii, kg					Scoaterea [%]
	Pelete	Adoas formare zgură	Total încărcătură	Fontă	Zgură	
1	2,53	0,45	2,575	1,35	1,225	53,05
2	2,54	0,45	2,585	1,37	1,215	53,83
3	2,51	0,45	2,555	1,40	1,155	55,01

Din datele prezentate mai sus, rezultă că prin topirea peletelor reduse în cuptoare în care sunt create condiții pentru dizolvarea carbonului se poate obține fontă.

Zgura rezultată din topirea sterilului din pelete și adaosul de var, corespunde din punct de vedere al compoziției chimice zgurii bazice de furnal. Nivelul pentru scoatere se încadrează în limitele obținute la elaborarea fontei în cuptoare verticale.

Consider că și în cazul procesării peletelor în cuva Hamborn acestea sunt supuse în principiu unor asemenea operații tehnologice.

5.6.3. Topirea peletelor în cuptorul cu inducție

Experimentările s-au efectuat la un cuptor cu inducție de capacitate 10 kg (fontă /oțel), cu volumul creuzetului de 1,5 dm³ (creuzet nou) și căptușeală bazică (magnezită).

Pe parcursul utilizării volumul creuzetului se reduce, ca urmare a depunerii unor resturi de topitură (aliaj metalic și zgură).

În cadrul experimentărilor pentru formarea băii metalice am utilizat deșeu de oțel (probe de la analiză laborator) în cantitate de 4,5 kg șarjă și 3,5 kg pelete/șarjă, iar pentru corecția compoziției chimice a zgurii un adaos format din: 0,30 kg var/șarjă, 0,15 kg bauxită/șarjă și 0,15 kg fluorură (amestec care asigură o temperatură de topire a zgurii relativ scăzută, ceea ce este de importanță deosebită pentru cuptorul cu inducție).

Au fost elaborate ca și în cazul cuptorului Tamman un număr de 3 șarje.

S-a încărcat în prima fază în cuptor deșeurile din oțel iar când acestea au fost topite s-a încălzit baia timp de 5 min, după care s-a prelevat probă de oțel pentru determinarea compoziției chimice (tabelul 5.15), după care se adaugă în continuare peletele metalizate și adaosurile pentru formarea și corecția compoziției chimice a zgurii.

Adaosurile pe pelete metalizate și materiale pentru formarea zgurii se fac pe măsura topirii lor.

Încărcătura din oțel fiind curată, practic cantitatea de zgură rezultată este ne semnificativă (după terminarea topirii oțelului în medie am extras în medie 170 g de zgură). Când s-a apreciat că topirea este terminată, s-a măsurat temperatura și s-a prelevat probă din topitura metalică pentru determinarea compoziției chimice (tabelul 5.16.). După o încălzire de 5 min. s-a continuat încărcarea peletelor, asigurând o continuitate a adaosului. Concomitent cu adaosul peletelor s-a adăugat și materialele pentru formarea și corecția compoziției chimice a zgurii.

Tabelul 5.15 Compoziția chimică a oțelului la terminarea topirii deșeurilor

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
1	0,46	0,63	0,31	0,042	0,034	98,524
2	0,44	0,68	0,29	0,031	0,032	98,514
3	0,45	0,65	0,31	0,037	0,032	98,521

De menționat 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.

După răcire acestea au fost cântărite, împreună cu zgura extrasă, în vederea efectuării bilanțului de materiale (tabelul 5.16) și de asemenea s-a determinat compoziția chimică a oțelului (tabelul 5.17) și a zgurii (tabelul 5.18). Pe baza compozițiilor chimice a oțelului și zgurii s-a determinat gradul de recuperare a fierului (tabelul 5.19).

În continuare se prezintă bilanțul încărcăturii și rezultatele analizelor de laborator, referitoare la probele finale de oțel și zgură, precum și a calculelor tehnologice.

Tabelul 5.16. Bilanțul încărcăturii

Nr crt	Încărcătura, kg					Topituri, kg					Gaze praf kg
	Deșeu oțel	Pelete reduse	¹⁾ Adoas I	²⁾ Adoas II	Total	oțel I	Zgură I	oțel II	Zgură II	³⁾ Tot. topit.	
1	4,45	3,53	0,62	0,11	8,71	4,27	0,18	6,02	1,47	7,67	0,1
2	4,52	3,51	0,60	0,10	8,73	4,35	0,16	6,10	1,41	7,68	0,2
3	4,51	3,48	0,57	0,11	8,62	4,43	0,17	6,02	1,67	7,86	0,1

1) var + fluorină+bauxită; 2) siliciomangan+aluminii; 3) oțel II+zgura I + zgura II.

Tabelul 5.17 Compoziția chimică a oțelului

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
1	0,48	0,60	0,32	0,045	0,035	98,13
2	0,45	0,71	0,28	0,038	0,034	97,96
3	0,47	0,66	0,33	0,041	0,035	98,07

Tabelul 5.18 Compoziția chimică a zgurii

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %										CaO/SiO ₂
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	S		
1	51,41	22,45	8,42	7,02	4,21	2,52	0,83	2,23	1,01		2,29
2	51,79	21,54	8,41	7,08	4,87	2,22	0,83	2,14	1,11		2,21
3	52,14	22,05	8,56	7,05	4,05	2,09	0,85	2,15	1,06		2,36

Tabelul 5.19 Bilanțul fierului

Nr. șarjă	Fier, kg					$\eta_{rec.Fe}$, %
	¹⁾ Fe. F. I.	²⁾ Fe. F. II.	Fe. O.II. – Fe.O.I	Fe.pelete	Fe.zgură	
1	4,207	5,908	1,701	1,731	0,028	95,13
2	4,292	5,982	1,691	1,722	0,027	94,571
3	4,368	5,906	1,638	1,675	0,031	96,522

- 1) Cantitatea de fier din oțel înaintea adaosului de pelete metalizate;
- 2) Cantitatea de fier din oțel la 5 min. după adaosul de pelete (la evacuare);

$$\eta_{rec.Fe} = \frac{Fe_{F.II} - Fe_{F.I}}{Fe_{Pelete}} \cdot 100 \quad (5.26)$$

unde:

$\eta_{rec.Fe}$ - gradul de recuperare a fierului din pelete;

$Fe_{F.I}$ - cantitatea de fier din oțel înaintea adaosului de pelete;

$Fe_{F.II}$ - cantitatea de fier din oțel la 5 min. după adaosul de pelete

Din datele prezentate mai sus, rezultă că peletele autoreducătoare produse din deșeuri pulverulente cu conținut de fier/fier și carbon prin ardere pot fi metalizate, ceea ce permite utilizarea acestora ca și component în încărcătura cuptoarelor pentru elaborarea oțelurilor în vedere conținutul de steril și indicele de bazicitate a acestuia (puțin sub 1,0).

CAPITOLUL VI

CERCETĂRI EFECTUATE LA UNIVESTITATEA TEHNOLOGICĂ LULEĂ PRIVIND VALORIFICAREA DEȘEURILOR PULVERULENTE

6.1. Studiu documentar privind rezultatele parțiale din cadrul proiectului " Reciclarea eficientă a pulberilor în cuptor cu vatră rotativă "

În tematica stagiului efectuat la Universitatea Tehnologică Luleå din Suedia am făcut parte dintr-o echipă de cercetare care, în cadrul proiectului " Reciclarea eficientă a pulberilor în cuptor cu vatră rotativă " unde s-au efectuat mai multe experimentări printre care și "Residual materials for production of self-reducing agglomerates". Materialele alese în acest experiment au fost praful și șlamul de furnal și praful și șlamul de oțelărie. S-au efectuat 4 amestecuri/rețete, prezentate în tabelul 6.1.:

Tabelul 6.1. Componența rețetelor

Nr. rețetă	Componența rețetelor, %			
	Praf de furnal	Șlam de furnal	Praf de oțelărie	Șlam de oțelărie
1	0	40	2	58
2	5	38	1,9	55,1
3	10	36	1,8	52,2
4	20	32	1,6	46,4

Pentru caracterizarea subproduselor alese s-a utilizat procedeele (metodele) TG/DTA și XRD. Difractometria de raze X oferă o soluție completă pentru caracterizarea cristalină a probelor cele mai diverse.

TGA (analiza termogravimetrică) este o tehnică de analiză termică ce constă în măsurarea schimbărilor masei unei probe odată cu creșterea temperaturii, într-o atmosferă controlată. Analiza termogravimetrică oferă informații complementare și suplimentare analizei diferențiale de baleiaj (DSC). Instrumentul utilizat în analiza termogravimetrică constă într-o micro-balanța înconjurată de un cuptor încălzit electric, prevăzut cu un termocuplu care să monitorizeze temperatura. Proba este introdusă într-un creuzet deschis (în general din platină) tarat ce este atașat de microbalanță [81].

În tabelul 6.2. sunt prezentate analizele chimice ale materialelor folosite. Ca o caracteristică comună a acestor materiale (deșeuri) este conținutul de fier cuprins între limitele 32-46 %.

Tabelul 6.2. Analize chimice ale subproduselor

Componente/ Materiale	Șlam de furnal	Șlam de oțelărie	Praf de oțelărie	Praf de furnal*
C	27,6	2,2	0,6	49,08
Fe	21,5	45,6	44,3	19,65
Fe _m	0,7	8,03	0	0
Fe ₂ O ₃	42,8	18,8	57	25,28
Fe ₃ O ₄	3,5	33,4	6,1	2,79
CaO	8,9	21,7	19,6	9,13
SiO ₂	5,7	1,4	2,6	5,81
MnO	0,2	0,9	4,8	0,4
MgO	1,5	3,4	4	0,37
Al ₂ O ₃	2,5	0,2	0,7	0,37
Na ₂ O	0,1	0	0,7	2,28
K ₂ O	0,2	0,1	0,3	0,33
ZnO	0,8	0,2	0,6	0
S	0,29	0,01	0,28	0,56
C/O	2,7	0,2	0	5,89

*calculat

În figura 6.1. este prezentată analiza XRD a subproduselor șlamului de oțelărie, șlamului de furnal și prafului de oțelărie.

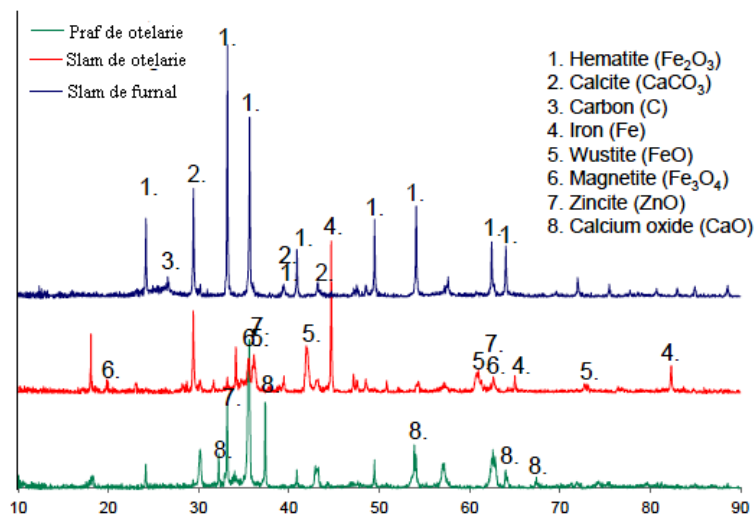


Fig. 6.1. Analiza XRD a subproduselor (difractogramă)

De aici rezultă CaCO_3 este prezent în șlamul de oțelărie și șlamului de furnal, CaO în șlamului de furnal. S-au urmărit deasemenea caracterizarea amestecurilor prezentate mai sus, folosind TG/DTA și XRD. În tabelul 6.3. sunt prezentate analizele chimice ale amestecurilor produse după cele 4 rețete.

Tabelul 6.3. Analize chimice ale amestecurilor

Componente/ Amestec	A1	A2	A3	A4
C	12,3	14,1	16	19,7
Fe	40,3	39,3	38,3	36,2
Fe _m	5,1	4,9	4,6	4,1
Fe ₂ O ₃	29,2	29,1	29,1	29
Fe ₃ O ₄	20,9	19,9	18,8	16,7
CaO	16,5	16,2	15,8	15
SiO ₂	3,1	3,3	3,4	3,7
MgO	2,7	2,6	2,5	2,4
MnO	0,7	0,7	0,7	0,6
Al ₂ O ₃	1,1	1,2	1,2	1,3
K ₂ O	0,1	0,1	0,1	0,2
ZnO	0,5	0,5	0,5	0,5
S	0,1	0,1	0,2	0,2
C/O	1,1	1,3	1,5	2

Compozițiile chimice ale amestecurilor sunt aproximativ aceleași, făcând excepție conținuturile de: carbon, [%] C = 12,3 - 19,7; fier [%] Fe = 36,2 - 40,3 (s-a luat în calcul fierul metalic și cel adus de oxizi de fier) și raportul C/O = 1,1 - 2,0 (s-a luat în considerare conținutul de oxigen adus de oxizi de fier - Fe₂O₃ și Fe₃O₄).

În figura 6.2. este prezentată analiza XRD a amestecului A4 neredus, redus după analiza TGA și întrerupt la temperatura de 500 °C.

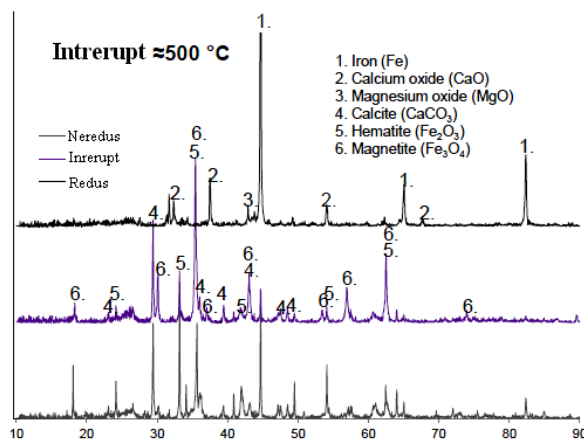


Fig. 6.2 Analiza XRD a amestecului A4 (difractogramă) [81]

Se observă mici diferențe în compoziția mineralogică a amestecurilor înainte și după analiza TGA. A fost indicată prezența CaCO₃ în cazul amestecului neredus, iar după TGA - CaO. Întreruperea încălzirii amestecului A 4 arată că reducerea hematitei a început în jurul acestei temperaturi. În urma analizei TGA a amestecurilor cu 0 %, 5 %, 10 % și 20 % praf de furnal se poate observa o scădere în greutate a acestora odată cu creșterea temperaturii.

Interpretarea acestor analize pot fi observate în tabelul 6.4. și diagrama 6.3.

Tabelul 6.4. Pierderea în greutate a amestecurilor

Amestec	Pierdere de masă la ~ 500°C	Pierdere de masă la ~ 800°C	Pierdere de masă la ~ 1000°C-1200°C	Total masă pierdută [%]
A1	3,1	7,9	23,9	34,9
A2	2,8	8,0	23,9	34,7
A3	2,8	7,5	22,4	32,7
A4	2,7	6,5	21,8	31,0

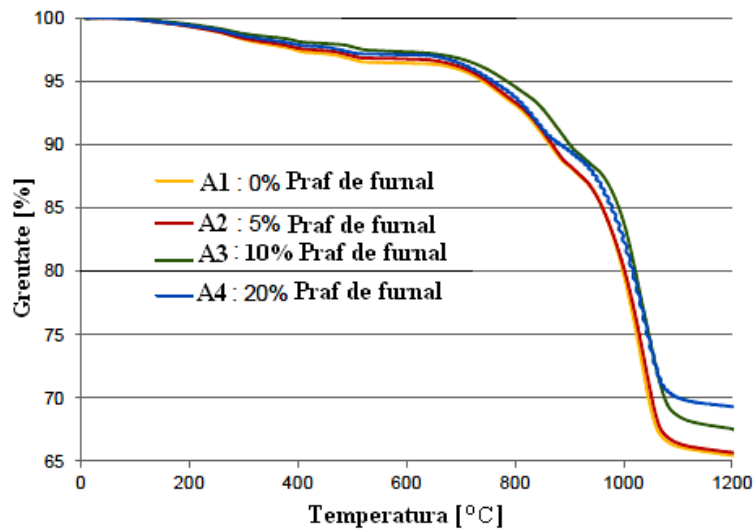


Fig. 6.3. Analiza TGA pentru amestecuri

Cea mai mare scădere în greutate o are amestecul A1 cu 0% praf de furnal [81].

Din studiul realizat, rezultă o serie de concluzii de importanță deosebită pentru experimentări, și anume:

- rezultatele indică mici diferențe în timpul reducerii amestecurilor după o încălzire la 1200°C, potrivit analizelor TGA și XRD. Încălzirea amestecurilor A1 – A4 indică o pierdere mică de greutate până la temperatura de 800 °C și o pierdere mai intensă de la temperaturi superioare acesteia, până la temperatura de 1050–1100 °C, iar la încălziri de până la 1200 °C pierderea în greutate este nesemnificativă.

- reducerea propriu-zisă începe înainte de atingerea temperaturii de 500 °C. Nu au fost găsiți oxizi de fier după tratamentul termic potrivit analizelor XRD, indicând un grad mare de reducere. Potrivit acestor rezultate, amestecurile pot fi alcătuite fără limite ale conținutului de praf de furnal și cantitatea de C/O ≥ 1 , raport care asigură reducerea oxizilor de fier.

- menționez că nu am participat la aceste experimentări, dar au constituit un studiu documentar obligatoriu pentru a putea participa la cercetările în desfășurare din cadrul proiectului alături de echipa de cercetare.

În continuare sunt prezentate cercetările și rezultatele obținute, ca urmare a participării în echipa de cercetare.

6.2. Experimentări și rezultate obținute la Universitate Tehnologică Luleå

Experimentările efectuate au avut drept scop determinarea rezistenței la compresiune a peletelor înainte și după arderea lor în furnal, precum și determinări XRD, SEM și TGA. Au fost produse pelete după două rețete în cadrul SSAB-Luleå, cu 5 % și 20 % praf de furnal, în tabelul 6.5. fiind prezentată componența acestora, masa totală uscată a peletelor precum și umiditatea existentă. Se menționează că peletele s-au obținut după rețetele utilizate pentru amestecurile A2 și A4 (Tabelul 6.1.).

Tabelul 6.5. Componența rețetei peletelor

	Masă totală uscată cu ciment (Kg)	% Masă uscată Sub-produs	Șlam de furnal		Șlam de oțelărie		Praf de furnal		Praf de oțelărie		Ciment Masă uscată (Kg)
			%	Masă uscată (Kg)	%	Masă uscată (Kg)	%	Masă uscată (Kg)	%	Masă uscată (Kg)	
Pelete											
5% PF	40	95%	38	14,44	55,10	20,94	5	1,90	1,90	0,72	2,00
20% PF	40	95%	32	12,16	46,40	17,63	20	7,6	1,60	0,61	2,00
Masa totală (uscată)Kg			26,6		39,0		9,5		1,33		4,0
Umiditate			37%		37%		0%		0%		0%
Masa totală (umed)Kg			42,2		61,2		9,5		1,3		4,0

* PF – Praful de furnal

Aceste pelete au fost sortate în cadrul SSAB-Luleå, pe 6 clase granulometrice cuprinse între < 6.3 mm și < 16 mm (tabelul 6.6.).

Tabelul 6.6. Clasele granulometrice ale peletelor

5 % Praful de furnal			20 % Praful de furnal		
mm	g	%	mm	g	%
16	1207	4,29	16	5077	12,43
16-12,5	4331	15,39	16-12,5	11558	28,30
12,5-10	14659	52,08	12,5-10	19214	47,05
10-9	6813	24,21	10-9	3970	9,72
9-6,3	863	3,07	9-6,3	481	1,18
<6,3	272	0,97	<6,3	540	1,32
Total	28145		Total	40840	
12,5-9	21472		12,5-9	23184	

Pentru experimentări au fost selectate câte trei pelete din fiecare rețetă și clasă granulometrică pentru a determina rezistența la compresiune (în funcție de diametru), în total fiind prezentate 30 determinări în acest sens.

Rezultatele sunt prezentate în tabelele 6.7 și 6.8, iar în figura 6.4. se prezintă grafic rezistența la compresiune pentru ambele rețete.

Tabelul 6.7. Clase granulometrice ale peletelor

5% Praf de furnal			
Clasă granulometrică [mm]	Masă [g]	Diametrul [mm]	Rezistența la compresiune [daN/peletă]
6,3-9	0,61	6,85	6,71
	0,92	8,95	8,77
	0,72	8,36	8,19
9-10	1,41	10,6	10,39
	0,9	9,27	9,08
	1,25	10,16	9,96
10-12,5	1,24	11,95	11,71
	2,2	12,75	12,50
	1,8	11,37	11,14
12,5-16	3,6	15	14,70
	2,86	13,44	13,17
	2,43	12,35	12,10
<16	4,56	18,10	17,74
	5,5	18,20	17,84
	5,23	19,05	18,67

Tabelul 6.8. Clase granulometrice ale peletelor

5% Praf de furnal			
Clasă granulometrică [mm]	Masă [g]	Diametrul [mm]	Rezistența la compresiune [daN/peletă]
6,3-9	0,75	7,14	13,24
	0,91	9,35	10,10
	0,80	8,49	18,52
9-10	0,90	9,00	13,24
	1,21	11,65	9,18
	1,29	11,00	17,24
10-12,5	1,78	12,30	20,70
	1,65	11,20	15,25
	1,22	10,00	21,30
12,5-16	3,80	15,59	36,01
	3,61	16,00	16,11
	3,88	16,64	37,63
<16	7,37	16,60	36,00
	7,89	19,90	36,73
	6,16	16,45	34,14

În continuare s-au selectat cinci probe de pelete crude, a câte 3 pelete fiecare, din clasa granulometrică 10-12,5 cm. Probele au fost cântărite înainte de introducerea acestora în cuptor pentru a urmări gradul de reducere. În tabelul 6.9. se prezintă rezultatele cântăririi peletelor.

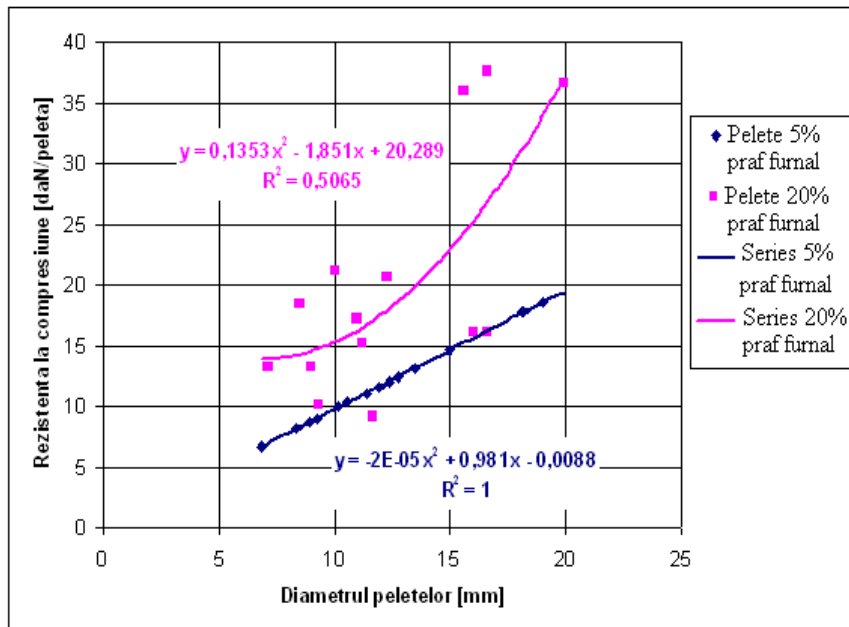


Fig. 6.4. Rezistența la compresiune înainte de tratamentul termic

Tabelul 6.9. Cântărirea peletelor

Praf de furnal [%]	Proba	Creuzet fără pelete	Creuzet cu pelete	Masa peletelor
		Masa [g]		
20%	I	12,77	18,13	5,36
	II	13,60	17,84	4,24
	III	14,99	19,07	4,08
	IV	13,71	18,16	4,45
	V	15,67	20,60	4,93
5%	I	14,58	19,80	5,22
	II	15,19	19,87	4,68
	III	14,55	19,30	4,75
	IV	13,72	18,51	4,79
	V	12,44	16,90	4,46

Peletele pregătite pentru introducerea acestora în furnal sunt prezentate în figura 6.5. Peletele pregătite pentru introducerea acestora în furnal sunt prezentate în figura 6.1.A.

Creuzetele au fost legate cu ajutorul unor sârme pentru a putea fi introduse în cuptorul vertical, prezentat în figura 6.2.A. Cuptorul a fost programat, figura 6.3.A, la o temperatură de 1100 °C, viteza de încălzire fiind 15 °C/min.

Temperaturile de ardere în cazul acestor probe au fost alese ca fiind : 560 °C, 800 °C, 950 °C, 1100 °C ultima probă fiind menținută tot la temperatura de 1100 °C timp de o oră.

Probele au fost introduse în furnal pentru ardere, în același timp totodată s-a mai introdus un termocuplu pentru a monitoriza temperatura din interior. Această temperatură fiind monitorizată computerizat.

S-a stabilit ca atmosfera de ardere a peletelor să fie de N_2 , după introducerea probelor în furnal, acesta fiind conectat de la un panou de monitorizare gaze, prezentat în figura 6.4.A.

Cuptorul a fost programat la o viteză de încălzire a peletelor de $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, iar fluxul de gaz $5\text{ l}/\text{min } N_2$.

Prima probă a fost menținută în furnal până la temperatura de $560\text{ }^\circ\text{C}$, apoi fiind scoasă la suprafața gurii cuptorului și lăsată în continuare în atmosfera de N_2 .

Următoarele probe au fost menținute în cuptor până la $800\text{ }^\circ\text{C}$, $950\text{ }^\circ\text{C}$, $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ultima fiind menținută la $1100\text{ }^\circ\text{C}$ timp de o oră. Toate probele au fost menținute în atmosferă de N_2 până la răcirea cuptorului.

După scoaterea din cuptor probele au fost cântărite în vederea calculării pierderii în greutate a peletelor, datele fiind prezentate în tabelul 6.10.

Tabelul 6.10. Pierderea în greutate a peletelor

Praf de furnal [%]	Proba	Temperatura [$^\circ\text{C}$]	Masa peletelor cu creuzet	Masa peletelor	Masa pierdută
			Masa [g]		
20%	I	560	17,23	4,46	0,90
	II	800	16,98	3,38	0,86
	III	950	17,73	2,77	1,31
	IV	1100	16,35	2,63	1,82
	V	1100+	18,56	2,88	2,05
5%	I	560	18,77	4,18	1,04
	II	800	18,75	3,56	1,12
	III	950	17,55	2,97	1,78
	IV	1100	16,44	2,71	1,88
	V	1100+	15,03	2,58	2,08

În urma determinării rezistenței la compresiune se poate observa că acesta scade odată cu creșterea temperaturii de ardere.

Următoarea determinare pentru pelete a fost X-ray Diffraction, peletele fiind măcinate foarte fin putându-se obține brichete de dimensiuni mici ($L=10\text{ mm}$, $h=2\text{ mm}$) pentru a putea fi analizate.

În același timp s-au făcut astfel de analize și pentru pelete crude, rezultatul analizelor fiind prezentat în figurile 6.5 și 6.6.

Pentru analiza termogravimetrică (TGA) s-a selectat câte o peletă din fiecare rețetă, acestea fiind supuse procesului de uscare la temperatura de $50\text{ }^\circ\text{C}$ timp de 24 ore.

În urma procesului de uscare peletele au fost cântărite (figura 6.12) și mai apoi strivite cu un mojar, până la obținerea unei granulații foarte fine. Din praful obținut s-a obținut o mini-brichetă cu ajutorul unei prese de dimensiuni mici (figura 6.13), bricheta fiind prezentată în figura 6.7.A.

Analizele au fost înregistrate computerizat, datele putând fi prelucrate în programul de calcul Excel.

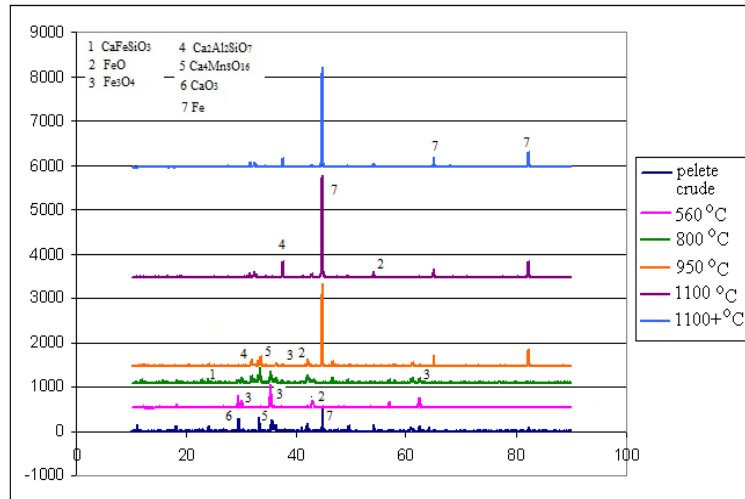


Fig. 6.5. Analiza XRD a peletelor cu 5 % praf de furnal

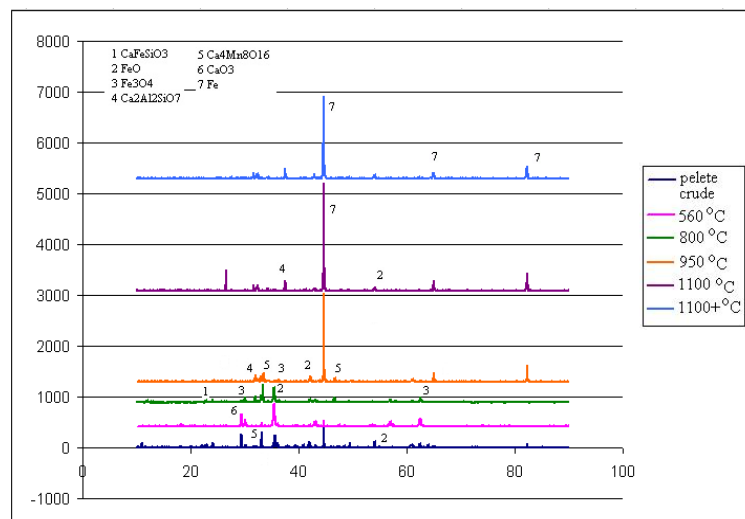


Fig. 6.6. Analiza XRD a peletelor cu 20 % praf de furnal

Pentru peletele cu 5 % praf de furnal s-a putut observa că temperatura la care au apărut deformări ale brichetei obținute, este de 849 °C, 1246 °C fiind temperatura la care volumul brichetei începe să scadă iar 1254 °C fiind temperatura de topire. În figura 6.7. sunt prezentate aspecte din timpul experimentului.

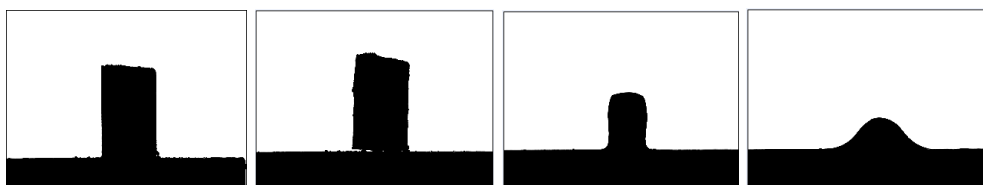


Fig. 6.7. Aspecte din timpul experimentului

În cazul experimentului cu 20 % conținut praf de furnal temperatura la care au apărut deformări ale brichetei este 891 °C, temperatura la care volumul brichetei începe să scadă 1243 °C iar temperatura de topire fiind 1251 °C. În figura 6.16. sunt prezentate cele două brichete experimentate TGA.

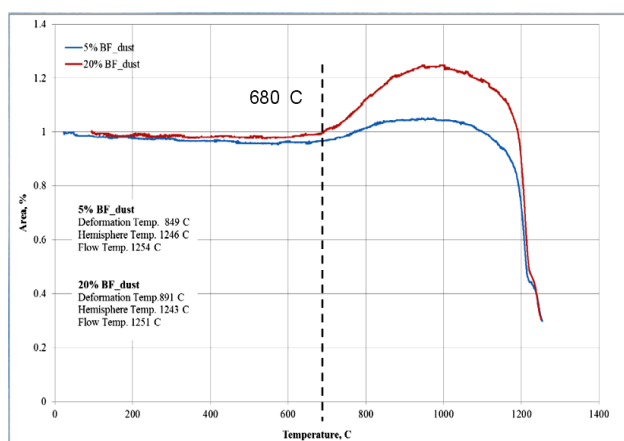


Fig. 6.8. Diagrama comparativă între cele două brichete (TGA)

Se poate observa ca volumul brichetei cu 20 % conținut praf de furnal are o creștere mai mare, decât cea cu un conținut de 5 % praf de furnal.

6.2.1. Concluzii

În urma analizei tehnologice a experimentărilor efectuate și a rezultatelor obținute, pot fi concluzionate următoarele:

- rezistenței la compresiune a peletelor crude crește odată cu creșterea diametrului peletei;
- pierderea în greutate a peletelor, în cazul ambelor rețete crește odată cu creșterea temperaturii de ardere;
- se poate observa că în ambele cazuri Fe apare la temperaturi de 950 °C și mai mari;
- hematita, magnetita și fierul metalic au fost fazele dominante ale peletelor crude;
- picurile de fier metalic dispar în jurul temperaturii de 800 °C, de asemenea picurile de oxid de calciu apar la temperatura de 950 °C;
- în cazul peletelor cu 5 % praf de furnal temperatura la care începe deformarea peletei este mai mică decât în cazul peletelor cu adaos 20 % praf de furnal;
- temperatura la care volumul minibrichetei începe să scadă în cazul adaosului de 5 % este mai mare decât pentru adaosul de 20 %, la fel manifestându-se și temperatura de topire.

CAPITOLUL VII

CALCUL ECONOMIC PRIVIND EFICIENȚA FOLOSIRII PELETELOR CA ÎNCĂRCĂTURĂ ÎN CUPTORUL ELECTRIC CU ARC

Primele cantități de fier obținute din minereuri, prin intervenția omului, datează cu 2.000 de ani î.Hr. Abia în anul 1754 se construiește primul cuptor în care se obține fier liber de cărbune – oțelul [92]. Adevăratul părinte al oțelului a fost Henry Bessemer, a cărui invenție, realizată în 1856, a constituit o adevărată revoluție în metalurgie. El obținea oțelul maleabil suflând aer printr-un tub de argilă în cuptorul de argilă care conținea fontă topită [83].

Oțelul reciclat salvează până la 74 % din energia necesară producerii oțelului din materii prime. Reciclarea unei tone de oțel înseamnă economisirea unei tone și jumătate de minereu de fier, a unei jumătăți de tone de coals [93]. Reciclarea unei tone de oțel reduce cu 86% emisiile de gaze în aer și cu 76 % poluarea apei [84]. Pe baza acestor considerente de reciclare și folosire a deșeurilor ca materii prime pentru obținerea oțelului s-a făcut un calcul economic pentru a se putea sublinia importanța economică și ecologică a reciclării.

Calculul economic este problema fundamentală pentru înțelegerea tuturor problemelor numite îndeobște economice [94]. Astfel, calculabilitatea acțiunii umane transcede sfera alocării factorilor de producție, pentru a deveni, din perspectiva misesiană, motorul evoluției societății [85].

Calculul economic se efectuează pentru obținerea unei tone de oțel din pelete supuse tratamentului termic și materii prime (fier vechi) folosind cuptorul cu arc electric. Calculul are patru componente:

- 1 Calcul de obținere a peletelor crude,
- 2 Calculul de obținere a peletelor supuse tratamentului termic,
- 3 Calcul de obținerea a unei tone de oțel din materii prime (fier vechi 100 %),
- 4 Calcul de obținere a unei tone de oțel din pelete și materii prime (pelete 30 % și fier vechi 70 %).

Pentru realizarea acestui calcul trebuie avut în vedere costul tuturor materialelor care intră în fluxurile tehnologice precum și amortizarea instalațiilor. După cum s-a menționat anterior calculul se va face pentru materiale folosite pentru a produce o tonă de oțel. La producerea unei tone de oțel, în cazul componentei numărul 4, unde peletele sunt în procent de 30 % trebuie să se țină cont de cantitatea necesară de pelete pentru a calcula componenta numărul 1. În acest caz pentru obținerea unei tone de oțel avem nevoie de 340 kg pelete, deci supuse tratamentului termic 380 kg pelete crude. Ca și componentă a rețetei peletelor intră deșeurile pulverulente precum : praf de furnal 25 %, praf de oțelărie 60%, nămol roșu 5 %, var 2 %, bentonită 2 % și șlam de țunder 6 %, deșeurile utilizate și în experimentările din capitolul V. Acest calcul a fost gândit atât din punct de vedere al dezvoltării durabile cât și din punct de vedere economic, ținându-se cont de costul

ridicat al materiilor prime utilizate în industria de materiale și cantitățile de deșeuri depozitate pe sol.

Tabelul 7.1. Calcul economic – cost producere pelete crude

Denumire	U/M	Pelete crude		
		CANTITATE	PRET UNITAR [euro]	VALOARE euro
0	1	2	3	4
MATERIAL				
praf de furnal*	kg	25,00	0	0,00
praf de otelarie*	kg	228,00	0	0,00
namol rosu*	kg	19,00	0	0,00
var	kg	7,60	0,2	1,52
bentonita*	kg	7,60	0	0,00
slam de tunder*	kg	22,80	0	0,00
apa industriala	m3	0,04	0,3	0,01
energie electrica	Kwh	3,80	0,07	0,27
TOTAL MATERIAL				1,80
MANOPERA				
Muncitor calificat (otelar)	ore	1,50	3,4	5,10
Total manopera directa				5,10
CAS	%	20,80		1,06
SOMAJ	%	0,50		0,03
SANATATE	%	5,20		0,27
FOND DE ACCIDENTE (CAEN)	%	0,28		0,01
FOND GARANTAREA CREANTE	%	0,25		0,01
FOND COMCEDII	%	0,85		0,04
TOTAL MANOPERA				6,52
UTILAJ				
Peletizor	ore	1,50	1,71	2,57
TOTAL UTILAJ				2,57
TRANSPORT				
Basculanta - transport materiale	to	1,10	1	1,10
TOTAL TRANSPORT				1,10
TOTAL CHELTUIELI DIRECTE				11,98
CHELTUIELI INDIRECTE	%	10,00		1,20
PROFIT	%	5,00		0,66
TOTAL GENERAL				13,84
TVA	%	24,00		3,32
TOTAL CU TVA				17,16

Pentru calculul obținerii peletelor crude de specificat este faptul că producătorii nu percep costuri pentru deșeuri deoarece depozitarea în afara unității necesită cheltuieli, rezultând cost zero reutilizării acestora ca materie primă pentru pelete. În urma calculului economic comparativ pentru producția unei tone de oțel numai din materii prime și cea de-a doua variantă folosind 30 % pelete supuse tratamentului reiese că este mult mai eficientă varianta refolosirii deșeurilor ca materie primă, chiar și în proporție de 30 %.

Astfel pentru obținerea unei tone de oțel din materii prime 100 % costul este de 467 euro în timp ce pentru obținerea unei tone de oțel folosind 30 % pelete supuse tratamentului termic costul fiind de 401 euro. În urma acestui rezultat condițiile economice sunt îndeplinite datorită costului mai scăzut variantei în care au fost folosite peletele ca sursă de materie primă [95]. Rezultatele acestor calcule economice fiind prezentate în tabelele 7.1.A-7.4.A.

Tabelul 7.2. Calcul economic – cost producere pelete crude

Denumire	U/M	pelete arse		
		CANTITATE	PRET UNITAR [euro]	VALOARE euro
MATERIAL				
Pelete crude	kg	380,00	0,0451579	17,16
Energie electrica	Kwh	4,00	0,07	0,28
TOTAL MATERIAL				17,44
MANOPERA				
0	1	2	3	4
Muncitor calificat (otelar)	ore	1,00	3,4	3,40
Total manopera directa				3,40
CAS	%	20,80		0,71
SOMAJ	%	0,50		0,02
SANATATE	%	5,20		0,18
FOND DE ACCIDENTE (CAEN)	%	0,28		0,01
FOND GARANTAREA CREANTE	%	0,25		0,01
FOND COMCEDII	%	0,85		0,03
TOTAL MANOPERA				4,35
UTILAJ				
Cuptor pentru tratament termic	ore	1,00	1,5	1,50
TOTAL UTILAJ				1,50
TRANSPORT				
Basculanta - transport materiale	to	1,10	1	1,10
TOTAL TRANSPORT				1,10
TOTAL CHELTUIELI DIRECTE				24,39
CHELTUIELI INDIRECTE	%	10,00		2,44
PROFIT	%	5,00		1,34
TOTAL GENERAL				28,17
TVA	%	24,00		6,76
TOTAL CU TVA				34,93

Conceptul de *dezvoltare durabilă* desemnează totalitatea formelor și metodelor de dezvoltare socio-economică care se axează în primul rând pe asigurarea unui echilibru între aspectele sociale, economice și ecologice și elementele capitalului natural [86], se poate spune că odată cu folosirea deșeurilor ca materii prime pentru obținerea fontei și oțelului, cantitățile de deșeuri pot dispărea în timp de pe platformele acoperite de acestea [96].

Tabelul 7.3. Calcul economic – cost de producere a unei tone de oțel

Denumire	U/M	Materie primă - fier vechi 100%		
		CANTITATE	PRET	VALOARE
			UNITAR [euro]	euro
0	1	2	3	4
MATERIAL				
Fier vechi	KG	1072,00	0,22	235,84
Pelete				
var	KG	31,00	0,11	3,41
energie electrica	Kwh	445,00	0,07	31,15
gaz natural	m3			
oxigen	m3	5,30	1,30	6,89
carbon	kg	0,10	0,07	0,01
apa industriala	m3	0,02	0,30	0,01
refractari	kg	3,50	1,50	5,25
electrozi	kg	2,10	2,20	4,62
TOTAL MATERIAL				287,17
MANOPERA				
Muncitor calificat (otelar)	ore	8,00	3,40	27,20
Total manopera directa				27,20
CAS	%	20,80		5,66
SOMAJ	%	0,50		0,14
SANATATE	%	5,20		1,41
FOND DE ACCIDENTE (CAEN)	%	0,28		0,08
FOND GARANTAREA CREANTE	%	0,25		0,07
FOND CONCEDII MEDICALE	%	0,85		0,23
TOTAL MANOPERA				34,78
UTILAJ				
0	1	2	3	4
Cuptor electric cu arc	ore	12,00	0,20	2,40
TOTAL UTILAJ				2,40
TRANSPORT				
Basculanta - transport fier vechi	to	1,10	1,00	1,10
TOTAL TRANSPORT				1,10
TOTAL CHELTUIELI DIRECTE				325,46
CHELTUIELI INDIRECTE	%	10,00		32,55
PROFIT	%	5,00		17,90
TOTAL GENERAL				375,90
TVA	%	24,00		90,22
TOTAL CU TVA				466,12

Tabelul 7.4. Calcul economic – cost de producere a unei tone de oțel

Denumire	U/M	Materie Primă-Pelete 30%, fier vechi 70%		
		CANTITATE	PRET UNITAR [euro]	VALOARE euro
MATERIAL				
Fier vechi	KG	750,00	0,22	165,00
Pelete		340,00	0,10	34,68
var	KG	50,00	0,11	5,50
energie electrica	Kwh	510,00	0,07	35,70
gaz natural	m3	0,10	0,29	0,03
oxigen	m3	16,00	1,30	20,80
carbon	kg	3,00	0,07	0,21
apa industriala	m3	0,02	0,30	0,01
refractari	kg	3,70	1,50	5,55
electrozi	kg	2,40	2,20	5,28
TOTAL MATERIAL				272,76
MANOPERA				
Muncitor calificat (otelar)	ore	1,50	3,40	5,10
Total manopera directa				5,10
CAS	%	20,80		1,06
SOMAJ	%	0,50		0,03
SANATATE	%	5,20		0,27
FOND DE ACCIDENTE (CAEN)	%	0,28		0,01
FOND GARANTAREA CREANTE	%	0,25		0,01
FOND CONCEDII MEDICALE	%	0,85		0,04
TOTAL MANOPERA				6,52
UTILAJ				
Cuptor electric cu arc	ore	1,50	0,20	0,30
TOTAL UTILAJ				0,30
TRANSPORT				
Basculanta - transport fier vechi	to	1,10	1,00	1,10
TOTAL TRANSPORT				1,10
TOTAL CHELTUIELI DIRECTE				
				280,68
CHELTUIELI INDIRECTE	%	10,00		28,07
PROFIT	%	5,00		15,44
TOTAL GENERAL				324,18
TVA	%	24,00		77,80
TOTAL CU TVA				401,99

Dezvoltarea durabilă a fost gândită ca o soluție la criza ecologică determinată de intensa exploatare industrială a resurselor și degradarea continuă a mediului și caută în primul rând prezervarea calității mediului înconjurător [97].

Problemele globale ale mediului au început să devină predominante și au creat necesitatea inițierii unor acțiuni suplimentare pentru creșterea conștientizării publice, care să determine comunitatea internațională să ia în timp util măsuri funcționale, atât pe plan internațional cât și național [97]. Politica dezvoltării durabile face ca schimbarea să fie absolut necesară.

Dezvoltarea durabilă vorbește despre viitor. Fiecare acțiune a noastră influențează evoluția planetei de acum încolo. În 1000 de ani, oamenii, animalele și plantele vor avea nevoie de o planetă sănătoasă și cu destule resurse pentru a trăi.

Astfel, când facem anumite lucruri astăzi, trebuie să conștientizăm și să planificăm un viitor durabil [98].

CAPITOLUL VIII

CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

8.1. Concluzii finale

Din punct de vedere a cantităților de deșeuri depozitate în halde și iazuri, precum și a numărului acestora, județul Hunedoara se situează pe primul loc din țară, ca urmare este pe deplin justificată o cercetare privind reciclarea acestora.

8.1.1. Concluzii finale generale

Pe baza studiului literaturii de specialitate și a rezultatelor experimentale proprii, privind valorificarea deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier/fier și carbon, respectiv oxizi bazici și amfoteri, pot fi formulate următoarele concluzii finale:

- în procesele industriale pe lângă produsul principal cu destinați precizată, rezultă unul sau mai multe produse secundare (care la rândul lor sunt procesate pe diferite fluxuri tehnologice) și respectiv deșeuri;
- în procesele metalurgice și în mod deosebit cele din metalurgia extractivă care prelucrează cantități mari de minereuri și concentrate metalifere cu diferite conținuturi de steril, pe lângă produsul principal aliaj feros, neferos sau metale neferoase, rezultă cantități apreciabile de zgură, praf și nămol rezultate de la epurarea gazelor, considerate deșeuri, precum și subproduse (de exemplu gazul de furnal);
- în industria siderurgică extractivă ca urmare a prelucrării unor cantități mari de minereuri și concentrate feroase pentru producerea fontei și feroaliajelor, materiale de bază pentru producerea oțelului, rezultă pe lângă produsele principale fontă, oțel și feroaliaje, cantități apreciabile de zgură, prafuri și șlamuri, considerate deșeuri feroase, care din punct de vedere calitativ pot fi reciclate în siderurgie;
- în unitățile siderurgice care lucrează pe flux integrat (cocserie-aglomerare – furnale – oțelării – laminoare) rezultă următoarele deșeuri:
 - pulverulente: praf și șlam de la cocserie, praf și șlam de la aglomerare, furnale și praf și de la oțelării, șlam de tunder de la laminare, pilitură de la polizarea laminatelor, șlam de la acoperiri metalice etc;
 - mărunte: zgură, tunder de la turnarea continuă și laminoare, șpan de la decojirea laminatelor;
 - deșeuri de dimensiuni mari (de regulă peste 10mm): stropi, scoarțe, șutaje, produse rebutate etc;
 - deșeuri feroase pulverulente și mărunte rezultă (după cum am menționat

mai sus) în cea mai mare parte din industria siderurgică, dar și din alte ramuri industriale, și anume: industria chimică (cenuși piritice), energetică (concentrat de fier din cenuși de termocentrală), minieră (concentrat sideritic secundar) și metalurgia neferoasă (nămol roșu de la fabricarea aluminei, iazurile cu steril de la Zlatna, Iacobeni, Valea Tarnișoara, Tarnița etc);

- deșeurile rezultate din industria siderurgică au un conținut de elemente chimice utile cum ar fi Fe, C (18-22% în praful de furnal), precum și CaO și MgO (oxizi caracter bazic), Al_2O_3 (amfoter), acești trei oxizi influențează semnificativ caracteristicile zgurii;

- unele deșeuri conțin și elemente dăunătoare (As-nămolul roșu, Zn, Cu, Pb-cenușile piritice) calității produselor obținute prin reciclarea deșeurilor.

- deșeurile au conținut de fier diferit de la cca.30% (concentrat sideritic) până la peste 60 % (țunderul, praful de oțelărie);

- din punct de vedere al compoziției chimice și granulometrice deșeurile pot fi valorificate prin reciclare, iar alegerea tehnologiei de procesare trebuie să aibă în vedere toate caracteristicile calitative ale acestora, destinația produsului obținut și instalațiile de procesare existente în zona de deșeuri.

- alături de tehnologiile clasice de procesare a deșeurilor pulverulente (peletizare, brichetare și aglomerare) care permit procesarea simultană a mai multor sortimente de deșeuri feroase, prezintă interes deosebit procedeele neconvenționale de reciclare a deșeurilor (de obicei un singur tip de deșeu) în vederea obținerii unui produs cu conținut ridicat de fier metalic.

- varietatea deșeurilor feroase existente în zonele Hunedoara, Călan, Oțelu Roșu și Reșița, atât din punct de vedere a compoziției granulometrice, cât și compoziției chimice, a condus la ideea de valorificare acestora prin peletizare;

- pentru efectuarea experimentărilor în bune condiții și obținerea unor pelete a căror caracteristici calitative să fie corect redade de cele ale materiilor prime utilizate, a fost stabilită o tehnologie de producere a peletelor aplicabilă pentru fiecare din cele patru variante experimentale;

- corelațiile obținute între parametrii independenți și parametrul dependent definit de rezistența la compresiune a peletelor crude, atât cele în programul Excel (corelații simple), cât și în Matlab (corelații duble), având în vedere valorile coeficientului de corelație R, sunt semnificative, ceea ce scoate în evidență importanța pentru practică cunoașterea acestor influențe;

- din rezultatele obținute ca urmare a prelucrării datelor în programele de calcul Excel rezultă că:

- o dată cu creșterea proporției fracției cu granulație sub 0,040 mm cresc valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude, indiferent de adaosul de apă și bentonită, creșterea fiind mai pronunțată pentru adaos mai mare de bentonită.

- pentru adaosuri de apă de 7-11 % (limitele de variație luate în calcul în experimentările efectuate), valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor crude cresc odată cu creșterea proporției fracției fine, indiferent de adaosul de bentonită, valori superioare se obțin pentru adaos de liant de 1 %; pentru participarea fracției fine de 40 % se obțin rezultate bune din punct de vedere al rezistenței la compresiune pentru adaosuri de apă de 8-8,5 %, aceasta crescând cu creșterea adaosului de bentonită, creșterea este mai puțin intensă pentru adaosuri mai mari de apă;

- pentru participarea fracției fine de 65 % creșterea rezistenței la compresiunea a peletelor crude cu creșterea adaosului de bentonită, pentru

diferite adaosuri de apă, cea mai reprezentativă corelație se obține pentru adaos de apă de 9,5 %;

- pentru participarea fracției fine de 94 % creșterea rezistenței la compresiunea a peletelor crude cu creșterea adaosului de bentonită, pentru diferite adaosuri de apă variază în limite mai mari decât în situația anterioară, cele mai bune rezultate se obținându-se pentru adaosuri de apă de 10-10,5 % și adaosuri de până la 0,8 % bentonită;

- pentru procesarea materialelor cu participația fracției fine de 98 %. Se constată și în acest caz, ca și în cel prezentat anterior că cele mai bune valori pentru rezistența la compresiune se obțin pentru adaosuri de apă de 10-10,5 % și adaosuri de bentonită de cca 0,8 %.

- diagramele obținute în programul Matlab, mai precis proiecția în planul orizontal a curbelor de nivel, permit alegerea valorilor pentru parametri independenți (proporția de fracție fină, adaosul de bentonită și de apă), astfel încât să se obțină pentru parametrul dependent (rezistența la compresiune a peletelor crude) valoarea dorită.

- din analiza corelațiilor obținute rezultă faptul ca deșeurile folosite în experimentări pot fi procesate prin peletizare, ceea ce asigură ecologizarea mediului prin reintroducerea în circuitul economic a acestora, evident cu reducerea consumului de materii prime extrase din subteran și redarea cadrului natural a unor suprafețe agricole.

- în cazul peletelor durificate prin ardere, la fel ca și în cazul peletelor crude, corelațiile obținute între parametri independenți și parametrul dependent definit de rezistența la compresiune, atât cele în programul Excel, cât și în Matlab, sunt semnificative, având în vedere valorile coeficientului de corelație R;

- limitele de variație a parametrilor independenți pentru obținerea peletelor durificate cu valori superioare pentru rezistență la compresiune se păstrează aceleași ca și în cazul peletelor crude;

- cercetările efectuate permit valorificarea prin peletizare a mai multor sortimente de deșeuri pulverulente, acestea putând fi componente a unei sau mai multor rețete de procesare.

8.1.2. Pelete produse după varianta B

- diferența dintre valorile pentru gradul de reducere între cele două probe (redușe în atmosferă de azot, respectiv obișnuită) este aproape nesemnificativ;

- concentrația de Fe_2O_3 (hematită) este mai mare în cazul celei de-a doua probe, iar concentrația de MgFe_2O_4 în cazul primei probe;

- calitatea peletelor a fost influențată direct de compoziția chimică și mineralogică a componentelor rețetei;

- condițiile de lucru au dus la formarea de Fe_2O_3 ; oxidarea particulelor de magnetită începe la temperaturi mai mici de 400 °C, iar în acest proces de conversie, punctele de hematită formează puncte de legătură între punctele de magnetită;

- gradul de reducere a peletelor este dependent de conținutul de carbon a peletelor, determinat la rândul său de proporția de praf de furnal (evident și de conținutul de carbon a acestuia) și indiferent de conținutul de carbon a peletelor, acesta crește cu creșterea temperaturii maxime de ardere; indiferent de temperatura maximă de ardere, gradul de reducere crește cu creșterea conținutului de carbon, pentru o temperatură aleasă; deșeurile experimentate variante în cadrul acestei pot fi procesate prin peletizare.

8.1.3. Pelete produse după varianta C

În urma analizelor XRD se observă existența magnezioferitei și hematitei în cele trei cazuri variind foarte puțin procentul acestora, de la o proba la alta, ceea ce ne indică faptul că o diferență mică de temperatură de ardere este aproape nesemnificativă în cadrul acestor analize. Pentru analizele SEM (Scanning electron microscope) s-a ales pentru câte un spectru pentru analiză, din fiecare probă, în urma căruia se poate observa analiza din punct de vedere chimic a acestor pelete. În toate cele trei cazuri componenta Fe este prezentă sub formă de oxizi.

8.1.4. Pelete produse după varianta D

- valorile rezistenței la compresiune cresc o dată cu creșterea proporției de adaos bazic, atingându-se un maxim pentru un adaos de 3,5 % dolomită, 3,20 % (var+dolomită) și de 3,0 % pentru var;

- în tabelul 5.2.A se prezintă coordonatele punctelor de maxim;

- valorile cele mai ridicate pentru rezistența la compresiune se obțin la adaosuri de 1% bentonită și adaos de apă de 9 % și 10 %;

- indiferent de adaosul bazic și de apă, cele mai ridicate valori pentru rezistența la compresiune se obțin pentru adaos bazic în limitele 3,0 – 3,5 % și de apă de 9,0 -10,0 %;

- valorile pentru rezistența la compresiune a peletelor cresc în ordinea următoarelor adaosuri: var, var+dolomită și dolomită;

- o dată cu creșterea adaosului de bentonită, valorile pentru rezistența la compresiune cresc atingându-se un maxim pentru 1,0 % bentonită, indiferent de adaosul de apă și tipul adaosului bazic; cele mai bune valori se obțin pentru adaos bazic în limitele 3,0 -3,5 %; prelucrarea datelor în programul Matlab a permis obținerea ecuațiilor de

corelație duble și a suprafețelor de corelație din analiza cărora rezultă limitele optime de variație pentru adaosuri, și anume: fondant 2,50 - 3,50 %; bentonită 0,60 – 1,0 % și apă 8,5-10,5 %.

- prin topirea peletelor reduse în cuptoare în care sunt create condiții pentru dizolvarea carbonului se poate obține fontă, zgura rezultată din topirea sterilului din pelete și adaosul de var, corespunde din punct de vedere al compoziției chimice zgurii bazice de furnal; nivelul pentru scoaterea de metal se încadrează în limitele obținute la elaborarea fontei în cuptoare verticale.

- peletele autoreducătoare produse din deșeuri pulverulente cu conținut de fier/fier și carbon prin ardere pot fi metalizate, ceea ce permite utilizarea acestora ca și component în încărcătura cuptoarelor pentru elaborarea oțelurilor.

În urma analizei tehnologice a experimentărilor efectuate și a rezultatelor obținute, pot fi concluzionate următoarele:

- rezistenței la compresiune a peletelor crude crește odată cu creșterea diametrului peletei; pierderea în greutate a peletelor, în cazul ambelor rețete crește odată cu creșterea temperaturii de ardere; se poate observa că în ambele cazuri Fe apare la temperaturi de 950 °C și mai mari; hematita, magnetita și fierul metalic au fost fazele dominante ale peletelor crude;

- picurile de fier metalic dispar în jurul temperaturii de 800 °C, de asemenea picurile de oxid de calciu apar la temperatura de 950 °C;

- în cazul peletelor cu 5 % praf de furnal temperatura la care începe deformarea peletei este mai mică decât în cazul peletelor cu adaos 20 % praf de furnal;

- temperatura la care volumul minibrichetei începe să scadă în cazul adaosului de 5 % este mai mare decât pentru adaosul de 20 %, la fel manifestându-se și temperatura de topire. În urma calculului economic comparativ pentru producția unei tone de oțel numai din materii prime și cea de-a doua variantă folosind 30 % pelete supuse tratamentului reiese că este mult mai eficientă varianta refolosirii deșeurilor ca materie primă, chiar și în proporție de 30 %. Astfel pentru obținerea unei tone de oțel din materii prime 100 % costul este de 467 euro în timp ce pentru obținerea unei tone de oțel folosind 30 % pelete supuse tratamentului termic costul fiind de 437 euro. În urma acestui rezultat condițiile economice sunt îndeplinite datorită costului mai scăzut variantei în care au fost folosite peletele ca sursă de materie primă.

8.1.5. Experimente și rezultate comparative obținute în cadrul Facultății de Inginerie Hunedoara și Universitatea Tehnologică Luleå

Referitor la determinările efectuate atât în cadrul Facultății Hunedoara, cât și în cadrul stagiului la Universitatea Tehnologică Luleå (Suedia), putem spune că am folosit același tip de deșeuri în componența peletelor, diferind doar compoziția chimică a acestora.

Determinările efectuate la Facultatea de Inginerie Hunedoara, au avut drept scop respectarea condițiilor impuse peletelor pentru a putea fi folosite ca materie primă în furnale, în special a rezistenței la compresiune.

Având în vedere importanța acestui parametru, s-au ales rețete pentru producerea peletelor, variindu-se proporția de umiditate, liant, deșeuri, fracție granulometrică (pentru peletele crude) precum și temperatura de durificare (pentru peletele durificate la cald). În urma acestor determinări s-au obținut rezultate care s-au prelucrat matematic în Excel și Matlab, obținându-se corelații simple și duble.

Prelucrarea datelor permite alegerea corectă a intervalelor de variație a parametrilor independenți, pentru a obține valori cât mai mari pentru rezistența la compresiune.

Experimentele desfășurate în stagiul s-au bazat de asemenea pe determinarea rezistenței la compresiune a peletelor (cu conținut de praf de furnal de 5 % și 20 %) cât și pe determinări XRD și TGA, pentru peletele durificate la diferite temperaturi sub acțiunea N_2 în timpul reducerii.

Rezistența la compresiune s-a determinat în funcție de diametrul peletei, ținându-se cont și de greutatea acesteia. Peletele cântărite înainte și după durificare, au permis determinarea masei pierdute în timpul reducerii, aceasta crescând odată cu creșterea temperaturii.

În urma determinării XRD s-a observat că în ambele cazuri (5 % și 20 % conținut praf de furnal) Fe apare la temperaturi de 950 °C și mai mari.

În cadrul determinărilor TGA a reieșit ca pentru peletele cu 5 % praf de furnal temperatura la care începe deformarea peletei este mai mică decât în cazul peletelor cu adaos 20 % praf de furnal.

Experimentele ajută la o mai bună monitorizare a factorilor care pot influența compoziția peletelor, precum și stabilirea altor rețete de pelete.

Determinările efectuate în cadrul Facultății Hunedoara cât și în cadrul Universității Tehnologice Luleå (Suedia), se încadrează în tema tezei de doctorat.

8.2. Contribuții originale

Pe baza studiului literaturii de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate în fază de laborator, a analizei matematice și tehnologice a rezultatelor obținute, consider că mi-am adus următoarele contribuții personale:

1. Realizarea a unor sinteze tehnologice privind:
 - sursele de proveniență a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier/(fier și carbon, fier și oxizi bazici) din diferite ramuri industriale (siderurgie, metalurgie neferoase, industria minieră, chimică, energetică etc); caracteristicile calitative a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte (compoziția chimică și granulometrică); procedee și tehnologii clasice și neconvenționale de valorificare prin reciclare în siderurgie a deșeurilor feroase pulverulente și mărunte;
2. Stabilirea sortimentelor de deșeuri pentru experimentări, determinarea compoziției chimice și granulometrice a acestora, precum și a tehnologiei de peletizare și a rețetelor;
3. Producerea peletelor din diferite deșeuri după patru variante, funcție de sortimente de deșeuri reciclate, adaosurile de lianți, apă și finețea granulometrică și mai multe rețete pentru fiecare variantă, astfel:
 - pentru varianta A - 4 rețete de bază și 108 derivate din acestea;
 - pentru varianta A - 3 rețete;
 - pentru varianta C - 2 rețete;
 - pentru varianta D - 3 rețete de bază și 108 derivate din acestea;
4. Determinarea rezistenței la compresiune pentru peletele crude și arse (pelete obișuite, produse curent în procesul de preparare a minereurilor și concentratelor) și stabilirea prin prelucrarea datelor în programele de calcul Excel și Matlab a unor relațiilor de corelație dintre parametri independenți și parametrul dependent;
5. Analiza matematică și tehnologică a ecuațiilor de corelație între rezistența la compresiune și proporția de material cu granulație de sub 0,04mm, a adaosului de liant și apă, atât pentru pelete în stare crudă cât și arsă;
6. Stabilirea componenței optime a rețetelor pentru deșeurile supuse experimentărilor, confirmarea faptului că asemenea deșeuri pot fi valorificate simultan prin peletizare
7. Obținerea peletelor autoreducătoare cu componentul de bază praful de furnal și determinarea gradului de reducere în funcție de componentele din șarja de peletizare și temperatura maximă de ardere;
8. Pregătirea probelor pentru analiză și interpretarea rezultatelor;
9. Producerea peletelor autofondante pe baza adaosului de component cu oxizi bazici (CaO, MgO), respectiv var și dolomită în diferite proporții;
10. Determinarea componenței optime a rețetelor pentru producerea peletelor autofondante, pe baza analizei matematice și tehnologice a corelațiilor obținute între rezistența la compresiune, proporția de fondanți, de bentonită și apă;
11. Efectuarea diagramelor de interpretare a rezultatelor XRD, a schemei de funcționare a furnalului, determinarea rezistenței la compresiune, stabilirea diagramelor pentru tratamentul termic al peletelor ;
12. Calculul economic de reintroducere a peletelor în circuitul de producție;
13. Calcul comparativ de utilizare a materiilor prime ca încărcătură în cuptorul electric cu arc și folosirea în procent de 30% a peletelor ca material primar pentru

14. Reintroducerea în circuitul economic a unor sortimente de încărcătură feroase cu avantaje de ordin economic și ecologic.

8.3. Direcții de continuarea a cercetărilor

Trecând în agendă rezultatele cercetărilor efectuate referitoare la "Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente din industria de materiale", consider că acestea prezintă interes deosebit pentru industria siderurgică și pot continua pe viitor în următoarele direcții:

1. Extinderea cercetărilor privind eficiența producerii peletelor din deșeuri feroase pulverulente, cu scopul reintroducerii lor în circuitul de producție;
2. Orientarea spre experimentări privind obținerea peletelor din concentrate ale deșeurilor cu conținut de fier (concentrat steril, concentrat cenușă termocentrală) depozitate în diferite iazuri, precum și varierea tipurilor de lianți;
3. Determinării 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 încărcătura la elaborarea oțelurilor în cuptoare cu arc electric;
4. Cercetări privind obținerea peletelor cu un conținut cât mai ridicat de fier și carbon, precum și a celor cu un adaos de material reducător;
5. Dezvoltarea cercetărilor privind reciclarea din deșeurile pulverulente și mărunte, pe lângă fier și a altor metale, precum: mangan, crom, nichel, cobalt etc și reintroducerea lor în circuitul economic de producție respectând conceptul de dezvoltare durabilă.

ANEXE

ANEXĂ la Capitolul 5

Tabelul 5.1.A. Componenta rețetelor (varianta A)

Nr.rețetă		% fr.sub 0,04mm	Componentă rețete, %						% apă
0	1		2	3	4	5	6	7	
1	RA.11	40,0	15	54	10	10	10	1	7
2	RB 11	65,0	15	54	10	10	10	1	7
3	RC 11	44,0	15	54	10	10	10	1	7
4	RD 11	98,0	15	54	10	10	10	1	7
5	RA.12	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7
6	RB 12	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7
7	RC 12	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7
8	RD 12	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7
9	RA.13	40,0	15	55	10	10	10	0,0	7
10	RB 13	65,0	15	55	10	10	10	0,0	7
11	RC 13	94,0	15	55	10	10	10	0,0	7
12	RD 13	98,0	15	55	10	10	10	0,0	7
13	RA.21	40,0	15	54	10	10	10	1	7,5
14	RB 21	65,0	15	54	10	10	10	1	7,5
15	RC 21	84,0	15	54	10	10	10	1	7,5
16	RD 21	98,0	15	54	10	10	10	1	7,5
17	RA.22	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7,5
18	RB 22	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7,5
19	RC 22	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7,5
20	RD 22	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	7,5
21	RA.23	40,0	15	55	10	10	10	0,0	7,5
22	RB 23	65,0	15	55	10	10	10	0,0	7,5
23	RC 23	84,0	15	55	10	10	10	0,0	7,5
24	RD 23	98,0	15	55	10	10	10	0,0	7,5
25	RA.31	40,0	15	54	10	10	10	1	8
26	RB 31	65,0	15	54	10	10	10	1	8
27	RC 31	84,0	15	54	10	10	10	1	8
28	RD 31	99,0	15	54	10	10	10	1	8
29	RA.32	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8
30	RB 32	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8
31	RC 32	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8
32	RD 32	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8
33	RA.33	40,0	15	55	10	10	10	0,0	8
34	RB 33	65,0	15	55	10	10	10	0,0	8
35	RC 33	84,0	15	55	10	10	10	0,0	8
36	RD 33	98,0	15	55	10	10	10	0,0	8
37	RA.41	40,0	15	54	10	10	10	1	8,5
38	RB 41	65,0	15	54	10	10	10	1	8,5
39	RC 41	94,0	15	54	10	10	10	1	8,5
40	RD 41	98,0	15	54	10	10	10	1	8,5
41	RA.42	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8,5
42	RB 42	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8,5
43	RC 42	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8,5

44	RD 42	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	8,5
45	RA.43	40,0	15	55	10	10	10	0,0	8,5
46	RB 43	65,0	15	55	10	10	10	0,0	8,5
47	RC 43	84,0	15	55	10	10	10	0,0	8,5
48	RD 43	98,0	15	55	10	10	10	0,0	8,5
49	RA.51	40,0	15	54	10	10	10	1	9
50	RB 51	65,0	15	54	10	10	10	1	9
51	RC 51	84,0	15	54	10	10	10	1	9
52	RD 51	98,0	15	54	10	10	10	1	9
53	RA.52	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9
54	RB 52	57,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9
55	RC 52	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9
56	RD 52	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9
57	RA.53	40,0	15	55	10	10	10	0,0	9
58	RB 53	65,0	15	55	10	10	10	0,0	9
59	RC 53	84,0	15	55	10	10	10	0,0	9
60	RD 53	98,0	15	55	10	10	10	0,0	9
61	RA.36	40,0	15	54	10	10	10	1	9,5
61	RB 61	65,0	15	54	10	10	10	1	9,5
63	RC 61	84,0	15	54	10	10	10	1	9,5
64	RD 61	98,0	15	54	10	10	10	1	9,5
65	RA.62	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9,5
66	RB 62	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9,5
67	RC 62	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9,5
68	RD 62	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	9,5
69	RA.63	40,0	15	55	10	10	10	0,0	9,5
70	RB 63	65,0	15	55	10	10	10	0,0	9,5
71	RC 63	84,0	15	55	10	10	10	0,0	9,5
72	RD 63	98,0	15	55	10	10	10	0,0	9,5
73	RA.71	40,0	15	54	10	10	10	1	10
74	RB 71	65,0	15	54	10	10	10	1	10
75	RC 71	84,0	15	54	10	10	10	1	10
76	RD 71	98,0	15	54	10	10	10	1	10
77	RA.72	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10
78	RB 72	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10
79	RC 72	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10
80	RD 72	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10
81	RA.73	40,0	15	55	10	10	10	0,0	10
82	RB 73	65,0	15	55	10	10	10	0,0	10
83	RC 73	84,0	15	55	10	10	10	0,0	10
84	RD 73	98,0	15	55	10	10	10	0,0	10
85	RA.81	40,0	15	54	10	10	10	1	10,5
86	RB 81	65,0	15	54	10	10	10	1	10,5
87	RC 81	84,0	15	54	10	10	10	1	10,5
88	RD 81	98,0	15	54	10	10	10	1	10,5
89	RA.82	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10,5
90	RB 82	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10,5
91	RC 82	84,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10,5
92	RD 82	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	10,5
93	RA.83	40,0	15	55	10	10	10	0,0	10,5
94	RB 83	65,0	15	55	10	10	10	0,0	10,5
95	RC 83	84,0	15	55	10	10	10	0,0	10,5
96	RD 83	98,0	15	55	10	10	10	0,0	10,5
97	RA.91	40,0	15	54	10	10	10	1	11
98	RB 91	65,0	15	54	10	10	10	1	11

99	RC 91	84,0	15	54	10	10	10	1	11
100	RD 91	98,0	15	54	10	10	10	1	11
101	RA.92	40,0	15	54,5	10	10	10	0,5	11
102	RB 92	65,0	15	54,5	10	10	10	0,5	11
103	RC 92	94,0	15	54,5	10	10	10	0,5	11
104	RD 92	98,0	15	54,5	10	10	10	0,5	11
105	RA.93	43,0	15	55	10	10	10	0,0	11
106	RB 93	65,0	15	55	10	10	10	0,0	11
107	RC 93	84,0	15	55	10	10	10	0,0	11
108	RD 93	98,0	15	55	10	10	10	0,0	11

^{1*} Praf oțelărie Siemens-Martin (OSM-II) ; ^{2*} Praf oțelărie electrică (OE) ; ^{3*} Șlam aglomerare furnale; ^{4*}Șlam țundăr; ^{5*}Nămol Roșu; ^{1*, 2*, 3*, 4*} deșeuri Arcelor- Mittal Hunedoara; ^{5*} deșeu Fabrica de Alumină Oradea

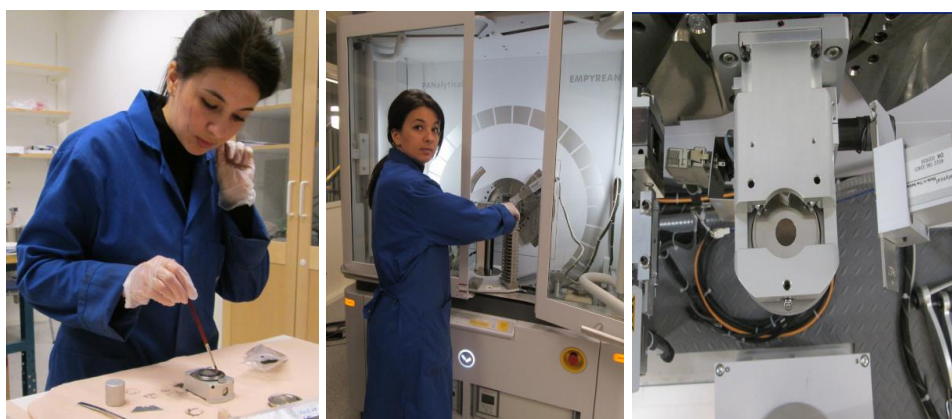


Fig. 5.1.A Aspecte din timpul pregătirii peletelor pentru analiza XRD

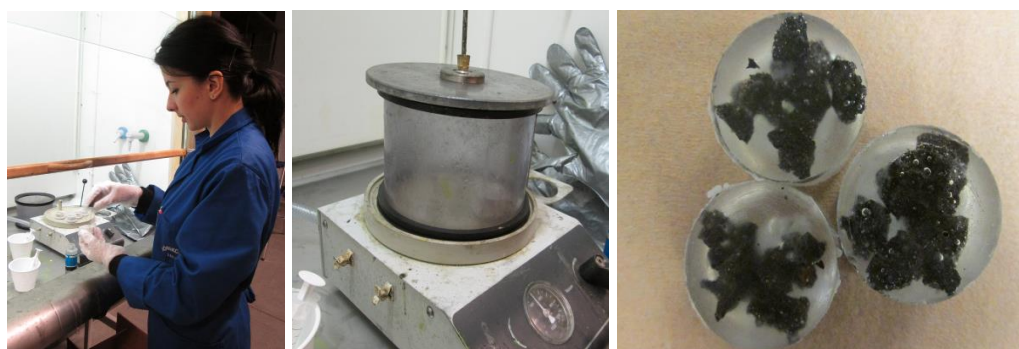


Fig .5.2.A Pregătirea probelor cu rășini epoxidice

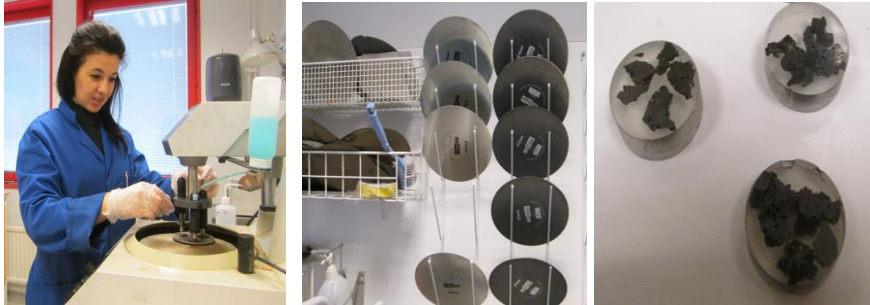


Fig.5.3.A Șlefuirea probelor

Tabelul 5.2. A. Componenta rețetelor cu fondant var (variante D)

Nr.crt	Adaos	Adaos	Rezistența	la compresiune, daN/peletă		
	apă	bentonita	adaos de var			
	%	%	1,5%var	3%var	4,5%var	6%var
0	1	2	3	4	5	6
1	8	1	207	223	205	192
2	8	1	210	230	198	180
3	8	1	211	232	210	175
4	8	0,5	194	210	189	181
5	8	0,5	195	208	188	173
6	8	0,5	197	211	192	168
7	8	0	186	206	173	169
8	8	0	185	204	175	160
9	8	0	188	213	178	155
10	9	1	208	225	210	200
11	9	1	213	231	200	183
12	9	1	215	221	202	178
13	9	0,5	201	210	200	187
14	9	0,5	198	216	205	181
15	9	0,5	201	225	200	175
16	9	0	192	226	210	178
17	9	0	193	210	193	169
18	9	0	194	216	191	167
19	10	1	212	227	212	203
20	10	1	214	233	209	187
21	10	1	216	238	220	188
22	10	0,5	200	208	200	190
23	10	0,5	197	217	201	185
24	10	0,5	200	227	205	180
25	10	0	184	198	207	182
26	10	0	185	203	194	174
27	10	0	187	209	190	170

28	11	1	188	200	200	188
29	11	1	186	203	193	185
30	11	1	191	204	192	189
31	11	0,5	194	197	196	191
32	11	0,5	191	194	194	185
33	11	0,5	190	195	193	181
34	11	0	186	197	188	182
35	11	0	180	195	190	175
36	11	0	170	194	185	170

Tabelul 5.3. A. Componenta rețetelor cu fondant dolomită (varianta D)

Nr.crt	Adaos	Adaos	Rezistența la compresiune, daN/peletă			
	apă	bentonita	adaos de dolomita			
	%	%	1,5%	3%	4,5%	6%
0	1	2	3	4	5	6
1	8	1	210	228	233	187
2	8	1	215	241	223	203
3	8	1	220	239	221	200
4	8	0,5	201	225	216	201
5	8	0,5	203	237	216	198
6	8	0,5	209	233	215	190
7	8	0	190	241	207	190
8	8	0	195	221	206	192
9	8	0	200	231	195	180
10	9	1	217	230	211	203
11	9	1	220	233	222	218
12	9	1	218	244	210	209
13	9	0,5	205	213	210	210
14	9	0,5	206	220	212	208
15	9	0,5	211	237	210	199
16	9	0	200	248	220	200
17	9	0	206	213	215	198
18	9	0	204	220	202	189
19	10	1	225	241	224	210
20	10	1	226	245	222	219
21	10	1	230	248	232	211
22	10	0,5	210	221	211	213
23	10	0,5	207	223	213	212
24	10	0,5	209	231	211	204
25	10	0	196	228	216	204
26	10	0	197	212	207	203
27	10	0	200	219	202	194

28	11	1	202	208	203	201
29	11	1	200	210	207	206
30	11	1	201	211	204	203
31	11	0,5	198	208	203	200
32	11	0,5	202	204	201	195
33	11	0,5	201	203	198	198
34	11	0	200	207	205	197
35	11	0	198	204	195	196
36	11	0	196	208	201	191

Tabelul 5.4. A. Componenta rețetelor cu fondant dolomită (varianta D)

Nr.crt	Adaos	Adaos	Rezistența	la compresiune, daN/peletă		
	apă	bentonită	Adaos	de var+dolomită		
	%	%	1,5% v+d	3% v+d	4,5% v+d	6%v+d
0	1	2	3	4	5	6
1	8	1	207	216	212	199
2	8	1	210	231	201	196
3	8	1	215	222	216	188
4	8	0,5	198	224	202	191
5	8	0,5	199	221	202	186
6	8	0,5	203	226	204	180
7	8	0	188	216	200	180
8	8	0	190	213	191	175
9	8	0	202	222	187	168
10	9	1	213	229	210	202
11	9	1	218	237	211	200
12	9	1	217	234	206	194
13	9	0,5	202	209	205	199
14	9	0,5	203	216	208	195
15	9	0,5	205	224	205	188
16	9	0	197	225	215	189
17	9	0	200	210	204	184
18	9	0	199	216	197	178
19	10	1	217	231	217	206
20	10	1	219	237	215	201
21	10	1	221	242	223	200
22	10	0,5	207	211	206	202
23	10	0,5	200	216	207	199
24	10	0,5	203	226	208	193
25	10	0	192	213	211	193
26	10	0	195	207	201	189
27	10	0	198	215	197	182

28	11	1	195	202	201	197
29	11	1	194	207	202	200
30	11	1	198	208	198	197
31	11	0,5	194	200	200	199
32	11	0,5	196	198	197	190
33	11	0,5	199	197	196	190
34	11	0	194	205	199	190
35	11	0	192	199	193	187
36	11	0	190	201	190	181



Fig. 5.4.A. Imagine a microscopului electronic

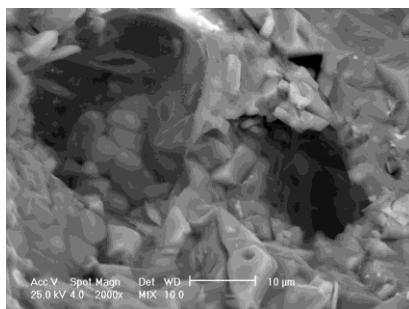


Fig. 5.5 A Imagine 2000x pelete arse la 1220°C

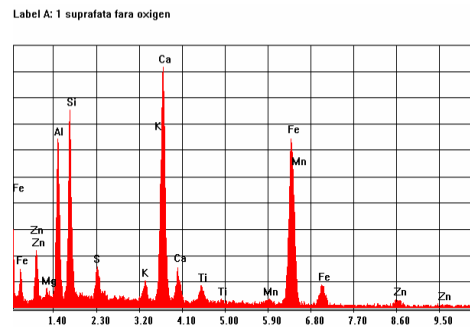


Fig. 5.6 A Imagine SEM

Tabelul 5.5 A Oxizi

Element	Wt %	Mol %
MgO	1.72	3.48
Al ₂ O ₃	18.02	14.42
SiO ₂	22.57	30.65
SO ₃	4.24	4.32
K ₂ O	1.13	0.98
CaO	17.76	25.84
TiO ₂	2.15	2.2
MnO	0.88	1.02
Fe ₂ O ₃	29.49	15.06
ZnO	2.03	2.04
Total	100	100

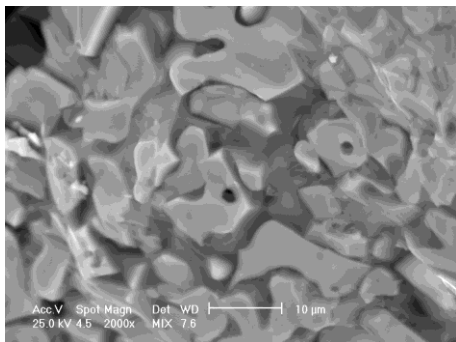


Fig. 5.7. A Imagine 2000x pelete arse la 1220 °C

Label A: 2 suprafata fara oxigen

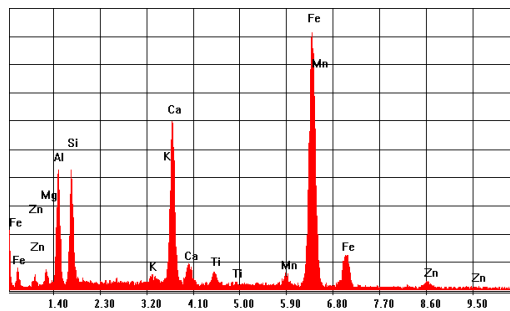
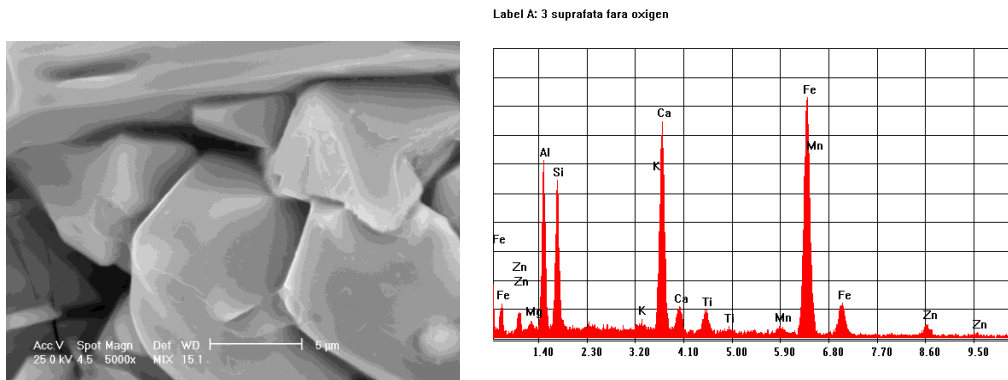


Fig. 5.8. A Imagine SEM

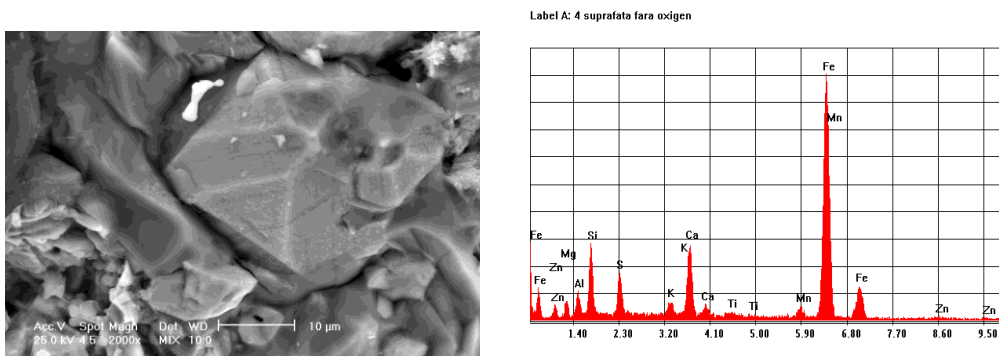
Tabelul 5.6 A Oxizi

Element	Wt %	Mol %
MgO	2.63	6.03
Al ₂ O ₃	15.53	14.07
SiO ₂	15.73	24.17
K ₂ O	0.62	0.61
CaO	12.74	20.99
TiO ₂	1.72	1.98
MnO	1.78	2.32
Fe ₂ O ₃	46.81	27.07
ZnO	2.44	2.77
Total	100	100



Tabelul 5.7 A Oxizi

Element	Wt %	Mol %
MgO	1.74	3.78
Al ₂ O ₃	18.7	16.09
SiO ₂	18.58	27.13
K ₂ O	0.61	0.57
CaO	14.79	23.15
TiO ₂	2.73	2.99
MnO	1.28	1.58
Fe ₂ O ₃	38.07	20.92
ZnO	3.5	3.77



Tabelul 5.8 A Oxizi

Element	Wt %	Mol %
MgO	4.14	10.02
Al ₂ O ₃	4.86	4.64
SiO ₂	12.91	20.94
SO ₃	7.74	9.42
K ₂ O	1.3	1.34
CaO	7.61	13.23
TiO ₂	0.82	1
MnO	2.21	3.04
Fe ₂ O ₃	57.24	34.95
ZnO	1.19	1.42
Total	100	100

ANEXĂ Capitolul VI

Fig. 6.1. A Probe de pelete



Fig. 6.2.A Pelete



Fig. 6.3.A. Programarea cuptorului vertical

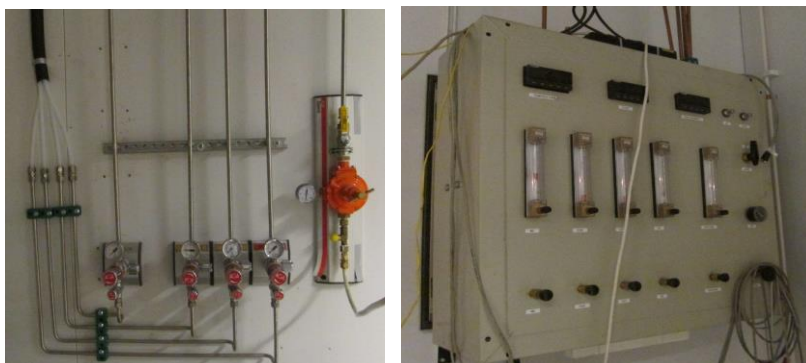


Fig. 6.4 A. Panou pentru monitorizare gaze



Fig. 6.5. A. Cântărirea peletei

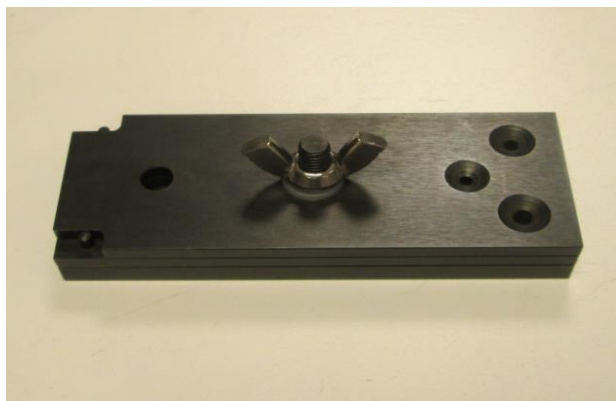


Fig. 6.6. A. Mini presă pentru brichete



Fig. 6.7. A. Introducerea brichetei în microscopul cu încălzire

BIBLIOGRAFIE

1. Dwarapudi, S., Tathavadkar, V., Chenna Rao, B., Kumar, T. K. S., Tamal, K. G., Denys, M., Development of Cold Bonded Chromite Pellets for Ferrochrome Production in Submerged Arc Furnace, *ISIJ International*, Vol. 53 (2013), No. 1, pp. 9-17.
- 2.*** <http://biblioteca.regielive.ro/cursuri/ecologie/tehnologii-de-prelucare-si-valorificare-a-deeurilor-metalice-164466.html>
3. Crișan, E., Cercetări privind valorificarea în siderurgie a deșeurilor pulverulente și mărunte cu conținut de fier și carbon, teză de doctorat, 2013, Facultatea de Inginerie Hunedoara.
4. **Todorut, A.S.**, Socalici, A., Recovery of powdery waste results from technological flows in siderurgy, *International Journal Of Systems Applications, Engineering & Development* Issue 3, Volume 6, 2012, pp.251- 258.
5. ***<http://www.salvatidelta.ro/RaportReciclare.pdf>
6. ***<http://www.google.ro/imgres>
7. ***http://quibono.net/metalele_grele_toxic.html
8. ***http://reciclare.minind.ro/4_2_Fierul_Vechi_Deseu-Sub_produș-Produș-%20nota_UNIROMSIDER_20042011.pdf
9. Philipp, A.J, Bilanțuri ecologice, *Stahl und Eisen*, nr.6, 1999, pp. 91.
10. Hepuț,T., Socalici, A., Ardelean E., Ardelean M., Constantin N., Buzduga R., Valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente, Timișoara, Editura Politehnica, 2011, pp. 8-200.
11. Dobrovici, D., Hătărăscu, O., Șoit-Vizante, I., Alexandrescu, A., Banu, Șt. – Intensificarea proceselor din furnal, București, Editura Tehnică, 1983, pp.100-290.
12. Nicolae, A.,ș.a., Dezvoltarea durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare, București, Editura Printech, 2004, pp. 20-60.
13. Fei, W., Liang-Shih, F., Gas-Solid Fluidization In A Microfluidic Channel, Ohio, The 13th International Conference on Fluidization - New Paradigm in Fluidization Engineering, 2010, pp. 1-8.
14. Petrache, R., Studii și cercetări privind valorificarea deșeurilor feroase fine în condiții ecologice prin tehnologii neconventionale, teză doctorat, 2011, Universitatea Tehnica București.

- 15.** Zhou YC, Wright BD, Yang RY, Xu BH and Yu AB, Rolling friction in the Dynamic simulation of sand pile formation, Elsevier, Physica A 269, 1999, pp.536-553.
- 16.** Hepuț, T., Socalici, A., Ardelean, E., Cercetări privind protecția mediului în industria siderurgică, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tom II, Fascicola 1, 2000, pp. 84-90.
- 17.** Șerban, V., Nicolae, A., Bilanț de materiale – instrument de analiză a eficienței valorificării materialelor secundare, Metalurgia nr.1, 2004, pp. 130-137
- 18.** Nicolae, A., ș.a., Dezvoltarea durabilă în siderurgie prin valorificarea materialelor secundare, București, Editura Printech, 2004, pp.15-50.
- 19.** Philipp, A.J., Bilanțuri ecologice, Stahl und Eisen, nr.6, 1999, pp. 91-98.
- 20.** ***<http://www.spms.pub.ro/fisiere/ef.pdf>
- 21.** Avram, N.,s.a., Conducerea optimă a cuptoarelor cu arc electric, București, Editura Fair Partners, 2002, pp.20-60;
- 22.** Hepuț, T., Prevention and fighting pollution in the steel making, energetic and mining industrial areas through the recycling of small-size and powdering wastes, Proiect de cercetare nr.31- 098/2007, Program PN2 – Consorțiu : UPT UPB - CCPPR-Alba Iulia; coordonator UPT-Facultatea de Inginerie din Hunedoara.
- 23.** Rău, Al., Tripșa, I., Metalurgia oțelului, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983, pp.18-33.
- 24.*****<http://www.ziare.com/europa/ungaria/noua-amenintare-cu-poluare-cu-noroi-rosu-in-vestul-ungariei-1050255>
- 25.** Buzea ,O. -"Guide for blast furnaces", Galați, Technical Publishing, 1994.
- 26.** Butnariu, I., ș.a. - Procese și tehnologii în metalurgia extractivă. Editura Tehnică, București ,1995, pp.20-60.
27. ***<http://www.google.ro/search?q=namol+rosu+ungaria>
- 28.** P.A. Cundall and O.D.L. Stack: Geotechnique, 1979, vol. 29 (1), pp. 47-65.
- 29.** ***<http://www.ziarulprahova.ro/stiri/economie/9944/otrava-fara-stapan>
- 30.** Guran, M., Tripșa, I., Noutăți în pregătirea minereurilor de fier pentru furnal, București, Editura Tehnică, 1964, pp. 25-55
- 31.** 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.
- 32.** Hrițac, M., ș.a. "Use of life cycle analysis for environmental pollution reduction on technological flow from SIDEX SA Galati ". ICEM study 2000- 2001.

33. Engström, F., Adolfsson, D., Samuelsson, C., Sandström, Å., Björkman, B., A study of the solubility of pure slag minerals, *Minerals Engineering*, Volume 41, February 2013, pp. 46–52.
34. ***<http://www.romanalibera.ro/actualitate/locale/hunedoara-amenintata-de-halda-de-zgura-160021.html>
35. ***<http://www.google.ro/search?q=Carier%C4%83+steril+Teliuc>
36. Tripșa, I., Dragomir, I., *Teoria proceselor siderurgice*, București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1972, pp. 26-47.
37. Buzea, O. – *Îndrumător furnale, Partea I, Materii prime*, Combinatul Siderurgic Galați, 1995.
38. Hătăărăscu, O., *Peletizarea minereurilor de fier și utilizarea peletelor la elaborarea fontei în furnal. Procedee noi și tendințe*, I.D.T. București 1972 .
39. Constantin, N., Nicolae, M., Geanta, V., Butnariu, I., Lepadatu, G., *Procese și tehnologii alternative în siderurgie*, București, Editura PRINTECH 2009, pp. 21-45.
40. Socalici, A., Heput, T., Ardelean, E., Ardelean, M., *Ferrous waste processing by pelletizing, briquetting and mechanically mixed*, *International Journal Of Energy And Environment* Volume 5, 2011 Issue 4.
41. Rhodes, M.J., Wang, X.S., Nguyen, M., Stewart, P., Liffman, K., *Use of discrete element method simulation in studying fluidization characteristics: influence of interparticle force*, *Chemical Engineering Science* 56, 2001, pp. 69–76.
42. Socalici, A., Benea L., **Todoruț, A.**, Strugariu, L., *Ingineria mediului-Teme experimentale*, Ed. Politehnica Timișoara, 2013, pp. 10-40.
43. Nogueira, A.E.A., Mourão, M. B., Takano, C., Santos, D. M. dos., *Effect of slag composition on iron nuggets formation from carbon composite pellets*, *Mat. Res. [online]*, 2010, vol.13, n.2, ISSN 1516-1439.
44. Meissner, S., Kobayashi, I., Tanigak, Y., Tacke, K., *Reduction and melting model of carbon composite ore pellets*, *Iron making and Steelmaking*, 2003; 30 (2), pp. 170- 176.
45. D´Abreu J.C.D., Martins, K.M., Noldin, Jr. J.H.Y., *The iron morphology of self-reducing briquettes*, In *Proceedings of Fourth Japan, Brazil Symposium on dust processing-energy-environment in metallurgical industries*, 2002, São Paulo, Brasil, Universidade de São Paulo, 2002, pp. 89-101.
46. **Todoruț, A.S.**, *Analiza privind gestionarea și valorificarea deșeurilor feroase mărunte și pulverulente*, Raport de cercetare nr.1, Facultatea de Inginerie Hunedoara, 2011.
47. Srinivas, D., TK Sandeep, K., Vilas, T., Mark, B. D., Bhattacharjee, D., Venugopal, R., *Quality and microstructure of hematite pellets with magnesite as*

fluxing agent, Beijing, Asia Steel conference, Sep. 24-26, 2012, China, Conference proceedings, V 133, pp.26-32.

48. Forsmo, S.P.E. , . Apelqvist, A.J. , Björkman , B.M.T. , Samskog, P.-O. , Binding mechanism in wet iron ore green pellets with a bentonite binder – Powder Technology-vol 169, ISSUE 3, 2006, pp. 147-158.

49. Influence of Green Pellet Properties on Pelletizing of Magnetite Iron Ore, Seija Forsmo, Doctoral Thesis, ISSN: 1402-1544, Luleå University of Technology.

50. Xu, B.H., Yu, A.B., Chew, S.J., Zulli, P., Numerical simulation of the gas- solid flow in a bed with lateral gas blasting, Powder Technology 109, 2000, pp. 13-26.

51. Fruehan, R.J., Astier, J.E., Steffen, R., Status of Direct Reduction and Smelting in the Year 2000, prezentata la al IV –lea Congres al metalurgiei, Paris, France, pp. 19 – 22.

52. Feng, Y.Q., Xu, B.H., Zhang, S.J., Yu, A.B., Zulli, P., Size segregation of particle mixtures in a gas-fluidized bed, in 7th Int Conf On Bulk Materials Storage, Handling and Transportation, Newcastle, Australia, 2001, pp. 377- 385.

53. Butnariu, I., Constantin, N., Research contract CEEX X2C36/2006-2008.

54. 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).

55. Constantin, N., Procedee neconvenționale de obținere a materialelor feroase, București, Ed. Printech, 2002, ISBN-973-652-682-8, pp.20-140;

56. *Todoruț, A.*, Strugariu, L. M., Hepuț, T., Socalici, A.V., Ardelean, E., Research to improving the micropelleting process on agglomerated technological flow , Annals Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering, Tome IX, 2011, Fascicule 3 (ISSN 1584-2678)

57. Xu, B.H., Yu, A.B., Zulli, P., The effect of interparticle forces on powder fluidization behaviour, in Powders and Grains 2001, Ed by Kishino Y, AA , Balkema Publishers, 2001, pp 577-580.

58. Popa, E., Hepuț, T., Ardelean, M., Procese industriale, Timișoara, Editura Politehnica, 2012, pp. 32-55.

59. 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.

60. Jones, J., The future of Hot Metal Use in EAF Steelmaking, Atlanta, Georgia, USA, 5 – 7 iunie, 2000.

61. Ciocan, A., Valorificarea deșeurilor marunte și pulverulente generate în siderurgie, Ed. Grupul Editorial National, București, 2003, pp.10-30

62. ***<http://ro.scribd.com/doc/127360014/PARTEA-1-pdf>
63. Fruehan, R. J., Future iron making in North America, Toronto, Ontario, Canada, 1998, pp. 10-29.
64. Xu, B.H., Yu, A.B., Chew, S.J., 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, 1999, pp. 267-272.
65. Steinmetz, E., Stadiul actual si dezvoltare a procedelor de reducere directa si de reducere cu topirea minereurilor de fier, Documentatie M.I.N., nr.1., 1987.
66. Tripşa, I., Oprea, F., Dragomir, I., Bazele teoretice ale metalurgiei extractive, Bucureşti, Ed. Tehnică, 1967, pp. 22-52.
67. ***<http://facultate.regielive.ro/licente/metalurgie-si-siderurgie/valorificarea-superioara-a-zgurilor-din-siderurgie-prin-obtinerea-unui-liant-hidraulic-de-tip-cimentoid-96259.html>
68. ***<http://www.romanalibera.ro/actualitate/locale/zgura-de-la-halda-arcelormittal-ar-ieftini-4-000-km-de-autostrada-305268.html>
69. ***<http://www.dsu.ro/ro/environmentimpact.pdf>
70. ***<http://www.google.ro/search?hl=ro&q=zgura+de+furnal&zguria+la+autostrazi>
71. Moldovan, P., Tehnologii metalurgice, EDP. Bucuresti, 1979, pp. 20-50.
72. **Todoruţ, A.S.**, Ardelean, E., Socalici, A., Hepuţ, T., Miloştean, D., Recycling Of Waste Resulted From Steel Semifinished Products Grinding In Siderurgy, International UAB-BENA Conference Environmental Engineering and Sustainable development Alba Iulia, România, Publishing House, ISBN: 987-606-613-002-8, 2011, pp. 63.
73. ***<http://solacolu.chim.upb.ro/BarbutaHarjaBabor.pdf>
74. **Todoruţ, A.**, Cercetări și experimentări în fază de laborator privind valorificarea deșeurilor feroase prin peletizare` ` Raport de cercetare numărul 2- Facultatea de Inginerie Hunedoara, 2013.
75. J. K. Wright si I., F., Tailor: „Trecere in revista a proceselor recente în tehnologiile de obținere a fontei”, In: Minerals Engineering, Anglia, nr. 7,11, 1991.
76. **Todoruţ, A.**, Hepuţ, T., Broadening Of Raw Materials in the Steel Industry, by Recycling Wastes, International Conference on Energy, Environmental and Chemical Engineering, 28-29 November, Paris, France, electronic ISSN 2010-3778, ISSUE 71, 2012, pp.1466-1472.

- 77. Todoruț, A.S.,** Hepuș, T., Socalici, A., Research and Experiments on the Influence Of Technological Factors On the Quality of Raw Pellets, *Metalurgia Internațional*, 2013, ISSN 1582-2214, No. 7, pp. 282- 289.
- 78.** Semberg, P. Interaction between iron oxides and the additives olivine, quartzite and calcite in magnetite pellets, teză de doctorat, 2013, Luleå University of Technology.
- 79.***** www.google.ro/images
- 80. Todoruț, A.S.,** Socalici, A., Recovery of Powdery Ferrous Waste through Pelleting, The 3th International Conference on Energy, Environmental, Devices, Systems, Communication, Computers- Rovaniemi, Finland, April 18-20, 2012, ISSN: 2227-4588, pp. 134-139.
- 81.** ***<http://ro.scribd.com/doc/96070828/Tga>
- 82.** Energy efficient recycling of in-plant fines in rotary hearth furnace (RHF), No of project JK21068, Luleå University of Technology.
- 83.** ***<http://www.lumeatacurata.ro/ce-reciclam/otel.html>
- 84.** ***<http://www.lumeatacurata.ro/ce-reciclam/otel.html>
- 85.** ***<http://mises.ro/files/04docDianaCostea.pdf>
- 86.** ***http://ro.wikipedia.org/wiki/Dezvoltare_durabil%C4%83
- 87.** Dragomir, I., Teoria proceselor siderurgice, Ed.Didactica și Pedagogică, 1985, pp. 23-56.
- 88.** Borza, I., Popoiu, Gh., Tehnologia elaborării fontei, vol. 1, Timișoara, Ed. Politehnica Timișoara, 2006, pp. 15-48.
- 89.** Platon, V., ș.a., Dezvoltarea durabilă și reciclarea materialelor, Academia Română, Institutul Național de Cercetări Economice, Institutul de Economie Națională, ISBN 973-618-094-8, București, 2006, pp. 12-40.
- 90.** Popescu, V.I., Popescu, C., Geneza și evoluția metalurgiei feroase în România, București, Ed. Semne, 2012, pp. 50-60.
- 91.** Lăzăroi, Gh., Dispersia particulelor poluante, București, Ed. AGIR, 2006, pp.30-55.
- 92.** Bold, O. V., Mărăcineanu, G., Managementul Deșeurilor solide urbane și industriale, București, Ed. Matrix Rom, 2003, pp. 26-60.
- 93.** Banu, A., Radovici, O.M., Elemente de Ingineria și Protecția Mediului, București, Ed.Tehnică, 2007, pp. 16-42.

-
- 94.** Roșu, L., Maftai, C., Legislația Mediului, Curs Universitar, Vol.I, Legislația orizontală, București, Ed. Matrix Rom, 2007, pp. 30-45.
- 95.** Avram, N., Teoria proceselor de generare a poluanților, București, Ed. Printech, 2006, pp. 23-46.
- 96.** Ardelean, E., Ardelean, M., Socalici, A., Hepuț, T., Researches in laboratory Phases regarding to capitalization of ferrous pulverous waste in pellets, National Conference of Metallurgy and Materials Science, Bucharest, September 25-26, Romania, Romat, 2008.
- 97.** *** http://www.mmediu.ro/dezvoltare_durabila/dezvoltare_durabila.htm
- 98.** *** http://www.ceasulcuc.ro/mediu/2_Dezvoltarea%20durabila/