A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

DEPENDENȚA ENERGIEI ELECTRICE CONSUMATE DE CUPTORUL ELECTRIC CU ARC ÎN FUNCȚIE DE GREUTATEA ŞARJEI ELABORATE

Adrian Ioan TOMA

ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION FOR ELECTRIC ARC FURNACE DEPENDING TO THE WEIGHT CHARGE

This paper refers to the dependence about electrical power consumption for electric arc furnace and charge weight. A proper dosage of scrap reduces specific consumption of electricity.

Keywords: dependence, electric arc furnace, specific consumption
Cuvinte cheie: dependență, cuptor cu arc electric, consum specific

1. Introducere

În cazul cuptorului cu arc electric, de tip EBT se pune problema determinării dependenței consumului specific de energie electrică în funcție de greutatea şarjei, situație în care se fac măsurări şi determinări prin calcul a unor mărimi fizice într-un număr finit de puncte obținute experimental.

Pentru cazul cuptorului cu arc electric de 100 t, de tip EBT de la ArcelorMittal Hunedoara, cuptor utilizat la elaborarea oțelului, se consideră cunoscute două şiruri de numere reale Xi şi Yi cu $i \in [1,n]$ între care se presupune că există o dependență funcțională, adică există o funcție $Y_i \cong F(X_i)$ [2].

Cele două şiruri sunt reprezentate în tabelul 1, în care X este greutatea şarjei şi Y este consumul specific de energie electrică.

Tabelul 1

Nr. crt.	Nr. Şarjă	Nr. Bene	Greutate	Durată topire	Cons. En. El.	Cons. Sp.
		buc.	t	min	MWh	kWh/t
1	43.520	3	108,6	57	70,80	651,93
2	43.521	3	92,3	50	50,40	546,05
3	43.522	3	99,8	53	56,40	565,13
4	43.523	3	112,9	56	51,60	457,04
5	43.524	3	117,4	48	55,20	470,19
6	43.525	3	111,9	50	52,80	471,85
7	43.526	3	114,1	51	56,40	494,30
8	43.527	3	107,8	41	44,40	411,87
9	43.528	3	109,6	50	55,20	503,65
10	43.529	3	116,6	50	52,80	452,83
11	43.530	3	106,2	57	62,40	587,57
12	43.531	3	106.8	50	54,00	505,62
13	43.532	3	116,0	50	56,40	486,21
14	43.533	3	110,4	51	52,80	478,26
15	43.534	3	110,6	52	48,00	434,00
16	43.535	3	109,1	51	54,00	494,96
17	43.536	3	96,8	43	44,40	458,68
Medii aritmetice			108,64	50,59	54,00	498,24

Condițiile experimentale nu permit cunoaşterea funcției F: [a,b]→R în mod analitic încât să se cunoască valoarea în orice punct Xc din intervalul de definiție.

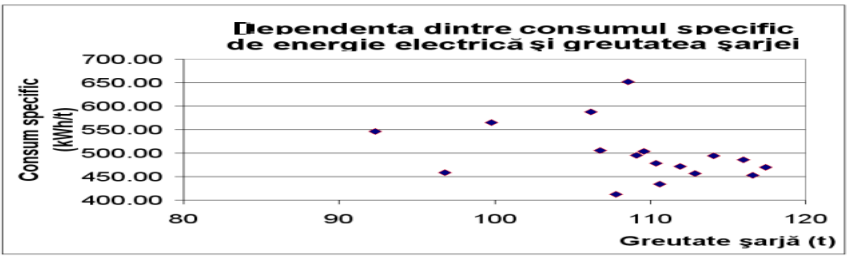

Fig .1 Dependența dintre consumul specific de energie electrică şi greutate

Cel mai cunoscut exemplu de regresie este dreapta de regresie cunoscută şi ca metoda celor mai mici pătrate pentru o dependență liniară între Xi şi Yi.

Dacă datele experimentale Xi şi Yi sunt considerate ca exacte, adică nu sunt afectate de erori, atunci punctele de coordonate (Xi, Yi) aparțin graficului funcției F şi procedeul de a găsi valoarea Yc poartă numele de interpolare dacă $Xc \in [a,b]$ pentru $\forall$ $c \in [1,n]$ sau extrapolare dacă $Xc \notin [a,b]$ [2].

2. Determinarea variabilei aleatoare greutate şarjă „X”

Variabila aleatoare „X” reprezintă greutatea unei şarje elaborată în cuptorul electric cu arc, tip EBT. Din ansamblul valorilor X_i una va fi cea mai mică, care se notează cu X_{min} = 92,3 iar alta va fi cea mai mare, X_{max} = 117,4. Restul valorilor pe care le poate lua variabila „X” sunt cuprinse în intervalul determinat de aceste două valori (X_{min}; X_{max}).

Intervalul de variație se împarte cu numărul „n” al sub-intervalelor care dau clasele [2].

$$\text{clasele} = \frac{I}{n} = \frac{177,4 - 92,3}{5} = 5,02 \qquad (1)$$

Fiecărei valori X_i a variabilei aleatoare „X”, i se asociază o valoare întreagă F_i care reprezintă numărul de indivizi ai populației N, valoare pe care se numeşte frecvență absolută a variabilei X_i.

Frecvența relativă a variabilei X_i :

$$f_i = \frac{F_i}{N} \qquad (2)$$

Dacă se ține cont de semnificația frecvențelor absolute F_i rezultă tabelul 2.

Tabelul 2

Clasele	**F_i, frecvența absolută**	**f_i, frecvența relativă**
92,30 – 97,32	1	0,059
97,32 – 102,34	2	0,118
102,34 – 107,36	2	0,118
107.36 – 112,38	7	0,412
112.38 – 117.40	5	0,294

Calculând media aritmetică a valorilor X_1, X_2, ..., X_n se obține mărimea M(X), care reprezintă valoarea medie a variabilelor aleatoare.

Valoarea medie a variabilelor aleatoare „X” este reprezentată în tabelul 3.

Tabelul 3

Clasele	92,3 97,3	97,3 102,3	102,3 107,4	107,4 112,4	112,4 117,4
Media clasei	94,81	99,83	104,85	109,87	114,89

Valoarea medie a variabilei aleatoare „X” este:

$$m_x = \frac{\overline{X_1}F_1 + \overline{X_2}F_2 + \overline{X_3}F_3 + \overline{X_4}F_4 + \overline{X_5}F_5}{N} = 108,7 \qquad (3)$$

Odată determinată această valoare medie se obține abaterea lui X de la medie şi distribuția acesteia (tabelul 4).

Tabelul 4

$\overline{X_1} - m_x$	$\overline{X_2} - m_x$	$\overline{X_3} - m_x$	$\overline{X_4} - m_x$	$\overline{X_5} - m_x$
f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
-13,88	-8,86	-3,84	1,18	6,20
0,059	0,118	0,118	0,412	0,294

Dispersia variabilei aleatoare *X* este:

$$D(X) = (\overline{X_1} - m_x)^2 f_1 + ... + (\overline{X_5} - m_x)^2 f_5 = 34,245 \qquad (4)$$

Abaterea medie pătratică a variabilei X:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = 5,852 \qquad (5)$$

3. Determinarea variabilei aleatoare consum specific “Y”

Variabila aleatoare „Y” reprezintă consumul specific de energie electrică la cuptorul cu arc electric, tip EBT. Din ansamblul valorilor Y_i una este cea mai mică, care se notează cu Y_{min} = 411,8 iar alta va fi cea mai mare, Y_{max} = 651,9. Restul valorilor pe care le poate lua variabila „Y” sunt cuprinse în intervalul determinat de aceste două valori (Y_{min}; Y_{max}) care se numeşte interval de variație al variabilei aleatoare „Y” [2].

Intervalul de variație se împarte cu numărul „n” al sub-intervalelor care dau clasele.

$$\text{clasele} = \frac{I}{n} = \frac{651,9 - 411,8}{5} = 48,01 \qquad (6)$$

Fiecărei valori Y_i a variabilei aleatoare „Y”, i se asociază o valoare întreagă F_i care reprezintă numărul de indivizi ai populației N, valoare care se numeşte frecvență absolută a variabilei Y_i.

Frecvența relativă a variabilei Y_i

$$f_i = \frac{F_i}{N} \qquad (7)$$

Dacă se ține cont de semnificația frecvențelor absolute F_i rezultă tabelul 5.

Tabelul 5

Clasele	**F_i, frecvența absolută**	**f_i, frecvența relativă**
603,92 – 651,93	1	0,059
555,91 – 603,92	2	0,118
507,90 – 555,91	1	0,059
459,88 – 507,90	8	0,471
411,87 – 459,8	5	0,294

Calculând media aritmetică a valorilor Y_1, Y_2, ..., Y_n se obține mărimea M(Y), care reprezintă valoarea medie a variabilelor aleatoare.

Valoarea medie a variabilelor aleatoare „Y" este reprezentată în tabelul 6.

Tabelul 6

Clasele	411,8 459,8	459,8 507,9	507,9 555,9	555,9 603,9	603,9 651,9
Media clasei	435,88	483,89	531,90	579,92	627,93

Valoarea medie a variabilei aleatoare „Y" este:

$$m_Y = \frac{\overline{Y_1}F_1 + \overline{Y_2}F_2 + \overline{Y_3}F_3 + \overline{Y_4}F_4 + \overline{Y_5}F_5}{N} = 492{,}36 \qquad (8)$$

Odată determinată această valoare medie se obține abaterea lui Y de la medie şi distribuția acesteia (tabelul 7).

Tabelul 7

$\overline{Y_1} - m_Y$	$\overline{Y_2} - m_Y$	$\overline{Y_3} - m_Y$	$\overline{Y_4} - m_y$	$\overline{Y_5} - m_y$
F_1	f_2	f_3	f_4	f_5
-56,48	-8,47	39,54	87,55	135,56
0,294	0,471	0,059	0,118	0,059

Dispersia variabilei aleatoare Y este:

$$D(Y) = (\overline{Y_1} - m_x)^2 f_1 + ... + (\overline{Y_5} - m_x)^2 f_5 = 3052{,}824 \qquad (9)$$

Abaterea medie pătratică a variabilei Y:

$$\sigma(Y) = \sqrt{D(Y)} = 55{,}252 \qquad (10)$$

4. Calculul mărimilor de corelație

Pentru rezolvarea acestei probleme care formează obiectul corelației se utilizează tabelul de corelație.

Corelația C(X,Y) dintre greutatea şarjei (X) şi consumul de energie electrică (Y) este prezentată în tabelul 8.

Tabelul 8

X $\overline{X_i}$ / Y $\overline{Y_j}$	92,3 –97,3 94,81	97,3-102,3 99,83	102,3-107,4 104,85	107,4-112,4 109,87	112,4-117,4 114,89	F_j^y
603,9-651,9 627,93	1	-	-	-	-	**1**
555,9-603,9 579,92	-	2	-	-	-	**2**
507,9-555,9 531,90	-	-	1	-	-	**1**
459,8-507,9 483,89	-	-	-	7	-	**8**
411,8-459,8 435,88	-	-	-	-	5	**5**
F_i^x	**1**	**2**	**2**	**7**	**5**	**17**

Cu ajutorul variabilelor m_x şi m_y precum şi cu ajutorul variabilelor aleatoare X, Y se determină variabilele aleatoare U şi V:

$$U \begin{bmatrix} U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 \\ f_1' & f_2' & f_2' & f_4' & f_5' \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$U \begin{bmatrix} -13,88 & -8,86 & -3,84 & 1,81 & 6,20 \\ 0,059 & 0,118 & 0,059 & 0,412 & 0,294 \end{bmatrix}$$

unde:

$$U_i = \overline{X_i} - m_x \text{ şi } f_i' = \frac{F_i^x}{N} \tag{12}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \\ f_1'' & f_2'' & f_3'' & f_4'' & f_5'' \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$V \begin{bmatrix} 135,56 & 87,55 & 39,54 & -8,47 & -56,49 \\ 0,059 & 0,118 & 0,059 & 0,471 & 0,294 \end{bmatrix}$$

unde:

$$V_j = \overline{Y_j} - m_y \quad \text{şi} \quad f_i'' = \frac{F_j^y}{N} \tag{14}$$

Calcularea corelației:

$$C(X;Y) = \frac{1}{F_i^u}(\sum V_j \cdot U_i \cdot F_j^v) = -316,08 \tag{15}$$

C(X;Y) ≠ 0, rezultă că există o corelație între cele două variabile, iar legea de dependență care le leagă este crescătoare C(X;Y) > 0.

Coeficientul de corelație este definit de următoarea egalitate:

$$R(X,Y) = \frac{C(X,Y)}{\sqrt{D(X) \cdot D(Y)}} = -0,98 \tag{16}$$

5. Stabilirea legii de dependență prin teoria regresiei

Pentru rezolvarea acestei probleme se utilizează dreapta de regresie. Această dreaptă este descrisă de ecuația:

$$Y - m_y = R(X;Y)\sqrt{\frac{D(Y)}{D(X)}}(\overline{X_i} - m_x) \tag{17}$$

unde: - m_y şi m_x sunt valorile medii ale variabilelor X şi respectiv Y;
- D(X), D(Y) - dispersiile variabilelor X şi Y. [1]

Ecuația dreptei de regresie:

$$Y = -9,23 + 1.195,562 \cdot X \tag{18}$$

S-a întocmit tabelul 9 cu valorile corespunzătoare valorilor X, obținute de ecuația dreptei de regresie.

Tabelul 9

X	94,81	99,83	104,85	109,87	114,89
Y	620,46	574,13	527,79	481,46	435,12

Reprezentarea grafică a acestei drepte de regresie este prezentată în figura 3.

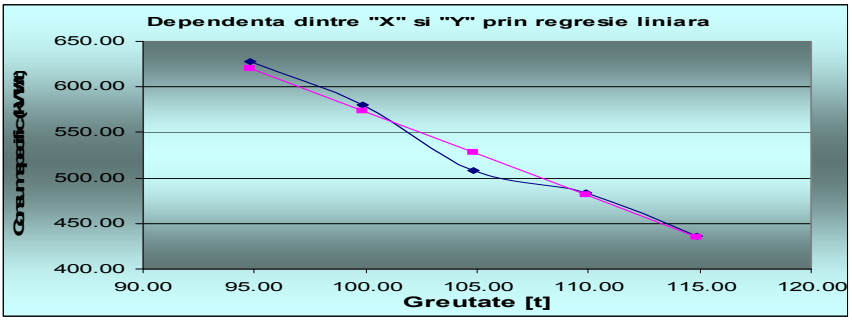

Fig. 2 Dependența dintre energia consumată şi greutatea şarjei

6. Concluzii

■ Consumul specific de energie electrică în cuptorul cu arc electric 100 t de tip EBT variază funcție de greutatea fierului vechi încărcat în cuptor, astfel la o greutatea mai mare, consumul specific este mai scăzut.

■ Având ca țintă reducerea consumului de energie electrică se impune dozarea cât mai exactă a fierului vechi încărcat. Pentru o funcționare economică trebuie să se țină cont pe lângă greutatea şarjei şi de dezavantajele unei încărcări mari de peste 110 t cum ar fi uzura excesivă a zidăriei respectiv un consum mai mare de electrozi [3].

■ Pe lângă greutatea şarjei, uzura zidăriei, consumul de electrozi, se ține cont şi de durata elaborării care creşte odată cu încărcarea crescută, de aceea nu se recomandă o încărcare mai mare de 110 t.

BIBLIOGRAFIE

[1] Veres, I., *Prelucrarea datelor experimentale*, curs UPET, Petroşani, 2008.
[2] Sârbu, R., *Utilizarea tehnologiei informației în cercetare*, curs UPET, Petroşani, 2008.
[3] * * * *Instrucțiuni de lucru, Oțelăria Electrică*, Cod IL-02, Rev.5, 2007.
[4] Mester, A., *Metode numerice şi statistice în prelucrarea datelor la calculator*, Universitatea Politehnica Bucureşti, 1977.

Drd.Ing. Adrian Ioan TOMA
S.C. ArcelorMittal Hunedoara S.A., membru AGIR
e-mail: adrian.toma@arcelormittal.com