



# Ορθολογική χρήση ενέργειας σε κάμινους πολλαπλών δαπέδων (Herreshoff)

των Μ.Ν. Ζευγώλη και Ι.Α. Κοντού

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας από βιομηχανική κάμινο καυστικοποίησης μαγνησίτη, τύπου Herreshoff (κάμινο πολλαπλών δαπέδων). Για το σκοπό αυτό καταρτίστηκαν τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας της καμίνου. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τα υπάρχοντα δεδομένα λειτουργίας, τις επί τόπου μετρήσεις και τη βιβλιογραφία. Από την εργασία προέκυψε ότι υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας.

(i) Από την αισθητή θερμότητα των απαιριών της καμίνου. Η θερμότητα αυτή αποτελεί το 47% της εξερχόμενης ενέργειας. Με την τοποθέτηση εναλλάκτη θερμότητας τύπου αερίου-αερίου, είναι δυνατή η αξιοποίηση του 25% τουλάχιστον της αισθητής θερμότητας των απαιριών, για την προθέρμανση του αέρα καύσης του μαζούτ, το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στην κάμινο.

(ii) Με τη μείωση της περίσσειας του αέρα, πέρα από την απαιτούμενη για

πλήρη καύση του καυσίμου. Αυτό θα επιτευχθεί με την τοποθέτηση και λειτουργία αναλυτών αερίων CO, CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub>, και

(iii) Με τον περιορισμό των παραγόντων οι οποίοι αυξάνουν την κατανάλωση καυσίμου, όπως η υψηλή υγρασία στην τροφοδοσία, η αστάθεια του θερμοκρασιακού διαγράμματος και οι συχνές διακοπές λειτουργίας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στους παραπάνω τομείς θα συντελέσει στη μείωση των λειτουργικών δαπανών της καμίνου και στη βελτίωση του κόστους παραγωγής της καυστικής μαγνησίας.

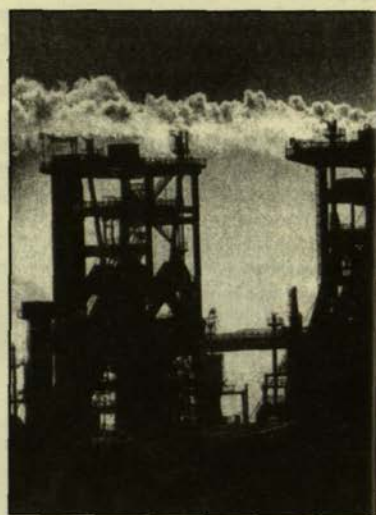
## Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση ενέργειας με την ορθολογική χρήση της διαθέσιμης ενέργειας, παρέχει σημαντικές δυνατότητες για βελτίωση της οικονομικής απόδοσης της βιομηχανίας και παράλληλα αποφέρει πρόσθετα οφέλη στην εθνική οικονομία εξαιτίας:

(α) της μείωσης του ρυθμού αύξησης της ενεργειακής ζήτησης, με αποτέλεσμα την ελάττωση των απαιτήσεων για επενδύσεις πάγιου εξοπλισμού στον πρωτογενή τομέα παραγωγής ενέργειας,

(β) της μείωσης του εισαγόμενου πετρελαίου με αντίστοιχη οικονομία συναλλάγματος, και

(γ) της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, από τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, τόσο στις μονάδες



ηλεκτροπαραγωγής όσο και στις υπόλοιπες χρήσεις.

Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων αυτών, ο τομέας της εξοικονόμησης ενέργειας παραμένει στο επίκεντρο της προσοχής σε εθνικό αλλά και Κοινωνικό επίπεδο. Σε Κοινωνικό επίπεδο έχουν προκηρυχθεί και πραγματοποιηθεί προγράμματα όπως το Joule, Valoren, Thermie κ.λπ. Σκοπός του Valoren ήταν η αξιοποίηση ενεργειακών πόρων περιορισμένης σημασίας σε Κοινωνικό επίπεδο, αλλά σημαντικών σε τοπικό και περιφερειακό, και η ορθολογικότερη αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας. Στα πλαίσια του

*Ο Μ.Ν. Ζευγώλης είναι αναπληρωτής καθηγητής και ο Ι. Α. Κοντός είναι Διπλ. Μηχ. και υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.*



προγράμματος αυτού εξετάσθηκε η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας σε κάμινο πολλαπλών δαπέδων, τύπου Herreshoff, η οποία χρησιμοποιείτο από την Α.Ε. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ, για καυστικοποίηση του μαγνησίτη.

Η Α.Ε. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ δραστηριοποιείται στην παραγωγή και διάθεση λευκόλιθου, καυστικής μαγνησίας, δίτυρης μαγνησίας, Magplot (δηλαδή, δίτυρης μαγνησίας ειδικής ποιότητας),

παραγωγή καυστικής μαγνησίας από συμπύκνωμα μαγνησίτη.

### Παραγωγική Διαδικασία

Η παραγωγική διαδικασία μας μονάδας όπως η εξεταζόμενη, περιλαμβάνει συνήθως τα παρακάτω στάδια:

- Εξόρυξη και εμπλουτισμός του μαγνησίτη
- Πύρωση του μαγνησίτη σε περιστροφικές καμίνους προς παραγωγή

Η κάμινος Herreshoff έχει τη μορφή φρεατώδους καμίνου, η οποία συμπληρώνεται από πολλαπλά ακίνητα δάπεδα και περιστρεφόμενο άξονα. Επάνω στον άξονα στηρίζονται βραχίονες για την ανάδευση και προώθηση του φορτίου. Το προϊόν της καμίνου, δηλαδή η καυστική μαγνησία, μπρικετοποιείται και τροφοδοτείται σε φρεατώδη κάμινο (shaft furnace) προς πύρωση στους 1700-1750° C. Στη θερμοκρασία αυτή συμβαίνει αλλοτροπική μεταβολή της καυστικής προς δίτυρη μαγνησία. Στον Πίνακα 1 δίνεται τυπική χημική ανάλυση της δίτυρης μαγνησίας τύπου Magplot. Το προϊόν Magplot αποτέλεσε καινοτομία της εταιρείας στον τομέα των πυρίμαχων.

δ) Παραγωγή πυρίμαχων πλίνθων και μαζών.

### Ισοζύγιο Μαζών

Το ισοζύγιο μαζών καταρτίσθηκε με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τις επί τόπου μετρήσεις και τα υπάρχοντα δεδομένα λειτουργίας της καμίνου Herreshoff. Οι υπολογισμοί αναφέρονται ανά ώρα λειτουργίας της καμίνου και βασίζονται στη γενική εξίσωση

ΒΑΡΟΣ αντιδρώντων = ΒΑΡΟΣ προϊόντων

Το ισοζύγιο μαζών εμφανίζεται στον Πίνακα 2, ενώ στον Πίνακα 3 δίνεται η ανάλυση των απαερίων της καμίνου.

Από τους πίνακες προκύπτει ότι το φορτίο της καμίνου αποτελείται κατά 44,4% από μαγνησίτη, ο οποίος όπως αναφέρθηκε προέρχεται από τη μονάδα επίπλευσης και έχει υποστεί μερική αφυδάτωση, το δε υπόλοιπο συνίσταται από το μαζούτ και τον «απαιτούμενο» αέρα καύσης. Το παραγόμενο προϊόν, δηλαδή η καυστική μαγνησία αποτελεί μόλις το 17,4% των προϊόντων της καμίνου, ενώ το υπόλοιπο αποτελούν τα απαέρια της καμίνου. Εξ άλλου, από την ανάλυση επί ξηρού των απαερίων προκύπτει ότι το 67% είναι άζωτο, που προέρχεται σχεδόν στο σύνολό του από τον εισερχόμενο αέρα στην κάμινο.

### Ισοζύγιο Ενέργειας

Το ισοζύγιο ενέργειας προκύπτει από το ισοζύγιο μαζών και τη γενική εξίσωση.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ εισερχόμενη = ΕΝΕΡΓΕΙΑ εξερχόμενη

Η εισερχόμενη ενέργεια διακρίνεται σε:

- Αισθητή θερμότητα της τροφοδοσίας
- Θερμότητα των εξώθερμων αντιδράσεων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΠΥΡΗΣ ΜΑΝΤΗΣΙΑΣ MAGFLOT

ΠΟΙΟΤΗΤΕΣ	MgO %	SiO <sub>2</sub> %	CaO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
MAGFLOT-SASp	7,8	0,35	1,4	0,35	0,05	< 0,01
MAGFLOT-SA	97,0	0,45	2,0	0,45	0,05	< 0,01
MAGFLOT-A	96,5	0,50	2,4	0,50	0,05	< 0,01
MAGFLOT-AI	96,0	0,65	2,8	0,50	0,05	< 0,01
MAGFLOT-AB	95,5	0,70	3,1	0,70	0,05	< 0,01

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΑΖΩΝ ΤΗΣ ΚΑΜΙΝΟΥ HERRESHOFF

ΑΝΤΙΑΔΡΩΝΤΑ	ΒΑΡΟΣ		ΠΡΟΙΟΝΤΑ	ΒΑΡΟΣ	
	T/H	%		T/H	%
Ξηρός Μαγνησίτης	33,6	36,4	MgO	6,5	17,4
Υγρασία τροφοδοσίας	3,0	8,0	CO <sub>2</sub>	11,0	29,4
Μαζούτ	1,3	3,5	H <sub>2</sub> O	4,4	11,8
Αέρας	19,5	52,1	SO <sub>2</sub>	0,1	0,2
			N <sub>2</sub>	15,0	40,1
			O <sub>2</sub>	0,4	1,1
ΣΥΝΟΛΟ	37,4	100,0		37,4	100,0

Σημ.: Στο παρόν ισοζύγιο μαζών, θεωρείται, ότι τα απαέρια της καμίνου δεν περιέχουν σκόνη, εξαιτίας έλλειψης στοιχείων λειτουργίας.

πυρίμαχων προϊόντων και χρωμίτη. Το σύνολο του παραγόμενου λευκόλιθου προορίζεται για παραγωγή δίτυρης και καυστικής μαγνησίας, καθώς και Magplot. Από την παραγωγή αυτή το 60%, περίπου, μετατρέπεται σε πυρίμαχα είδη.

Η εταιρεία ευρίσκεται υπό καθεστώς εκκαθάρισης από το Νοέμβριο 1991, και έχει σταματήσει η παραγωγική της δραστηριότητα. Ανεξάρτητα όμως από το καθεστώς λειτουργίας της συγκεκριμένης εταιρείας, η σκοπιμότητα εξοικονόμησης ενέργειας παραμένει επίκαιρη και επηρεάζει τη βιωσιμότητα κάθε τέτοιας βιομηχανίας.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας σε βιομηχανική κάμινο πολλαπλών δαπέδων (τύπου Herreshoff), κατά την

δίτυρης μαγνησίας

γ) Εμπλουτισμός με επίπλευση, των φτωχών κοιτασμάτων και των λεπτομερών κόνεων μαγνησίτη, οι οποίες συλλέγονται σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, προς παραγωγή του προϊόντος Magplot. Η ποιότητα αυτή είναι, όπως αναφέρθηκε, ειδική ποιότητα δίτυρης μαγνησίας, η οποία παράγεται από συμπύκνωμα λευκόλιθου ως εξής. Επίπλευση λειοτριβημένου λευκόλιθου ο οποίος μπορεί να περιέχει SiO<sub>2</sub> έως και 10-12%, περίπου, καθώς και των κόνεων, προς απομάκρυνση του μεγαλύτερου ποσοστού του SiO<sub>2</sub> και παραγωγή συμπυκνώματος με SiO<sub>2</sub> = 0,5 - 0,8%. Καυστικοποίηση του συμπυκνώματος σε κάμινο πολλαπλών δαπέδων (Herreshoff) με πύρωση στους 950-960° C.



ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΒΑΡΟΣ		ΟΓΚΟΣ			
	ΤΟΝΟΙ	%	Nm <sup>3</sup> επί φυσικού	% επί φυσικού	Nm <sup>3</sup> ξηρός	% επί ξηρού
CO <sub>2</sub> (διάσπασης)	7,1	23,0	5596	24,0	5596	31,3
CO <sub>2</sub> (καύσης)	3,9	12,6				
H <sub>2</sub> O (τροφοδοσίας)	3,0	9,7	5488	23,5	--	--
H <sub>2</sub> O (καύσης)	1,4	4,6				
SO <sub>2</sub> (καύσης)	0,1	0,3	32	0,1	32	0,2
N <sub>2</sub> (μαζούτ)	0,0	0,1				
N <sub>2</sub> (καύσης)	13,6	44,0	11969	51,2	11969	66,9
N <sub>2</sub> (περ. αέρα)	1,4	4,4				
O <sub>2</sub> (περ. αέρα)	0,4	1,3	289	1,2	289	1,6
ΣΥΝΟΛΟ	30,9	100,0	23374	100,0	17786	100,0

γ) Θερμότητα εισερχόμενη στο σύστημα απ' έξω, δηλαδή από την καύση του μαζούτ.

Στην περίπτωση της καμίνου Herreshoff η τροφοδοσία θεωρείται ότι γίνεται στη θερμοκρασία αναφοράς (25° C), οπότε η αισθητή θερμότητα της τροφοδοσίας είναι μηδέν. Ακόμη, δε συμβαίνουν εξώθερμες αντιδράσεις. Επομένως οι ανάγκες της καμίνου σε θερμότητα καλύπτονται αποκλειστικά από την καύση μαζούτ.

Η εξερχόμενη ενέργεια διακρίνεται σε:

- α) Θερμότητα ενδόθερμων αντιδράσεων
- β) Λανθάνουσα θερμότητα αλλοτροπικών μεταβολών
- γ) Αισθητή Θερμότητα προϊόντων
- δ) Θερμικές απώλειες

Στην περίπτωση της καμίνου Herreshoff η εξερχόμενη ενέργεια είναι:

- 1) Θερμότητα διάσπασης MgCO<sub>3</sub>
- 2) Αισθητή θερμότητα της φυσικής υγρασίας στην τροφοδοσία
- 3) Αισθητή θερμότητα του παραγόμενου MgO
- 4) Αισθητή θερμότητα του CO<sub>2</sub> από τη διάσπαση του MgCO<sub>3</sub>
- 5) Αισθητή θερμότητα των αερίων καύσης του μαζούτ
- 6) Αισθητή θερμότητα της περιόσεως αέρα
- 7) Θερμικές απώλειες της καμίνου από ακτινοβολία και μεταφορά

Με βάση το ισοζύγιο μαζών (Πίνακας 2) και τα θερμοδυναμικά δεδομένα των στοιχείων και ενώσεων (Πίνακας 4), υπολογίζεται το ισοζύγιο ενέργειας της καμίνου (Πίνακας 5).

Από το ισοζύγιο ενέργειας προκύπτει ότι το 35,6% της ενέργειας καταναλώνεται για τη διάσπαση του μαγνησίτη, ενώ το 46,8% περιέχεται στα απαέρια της καμίνου που προέρχονται από τη διάσπαση του μαγνησίτη και την καύση του μαζούτ. Εξ άλλου, ποσοστό 14% το οποίο προκύπτει ως διαφορά μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας και έχει χαρακτηριστεί ως «θερμικές απώλειες», οφείλεται όχι μόνο στις απώλειες της καμίνου από μεταφορά και ακτινοβολία, αλλά και σε άλλους παράγοντες όπως η αυξημένη υγρασία της τροφοδοσίας, η υπερβολική περίσσια αέρα καύσης και τυχόν λειτουργικά προβλήματα τα οποία συντελούν σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.

**Εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη θερμότητας**

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι θερμικές απώλειες στα απαέρια, αντιστοιχούν στο 46,8% της εξερχόμενης ενέργειας. Δηλαδή, πρόκειται για πολύ σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας. Για το λόγο αυτό εξετάζεται η σκοπιμότητα τοποθέτησης εναλλάκτη θερμότητας τύπου αερίου-αερίου μεταξύ κονιοθαλάμου και σακόφιλτρου, για την προθέρμανση του αέρα καύσης.

Για τους υπολογισμούς γίνονται αποδεκτά τα ακόλουθα:

- Θερμοκρασία απαερίων στην είσοδο του εναλλάκτη... 400° C
- Θερμοκρασία απαερίων στην έξοδο του εναλλάκτη... 150° C
- Θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του εναλλάκτη... 25° C

- Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του εναλλάκτη...340° C

Τα ξηρά απαέρια κατά τη διέλευσή τους από τον εναλλάκτη αποδίδουν θερμότητα κατά μέσο όρο ίση προς:

$$Q (\text{ξηρών απαερίων}) = [2570,9 \cdot 10^3 / (400 - 25)]$$

$$* (400 - 150) = 1714 \cdot 10^3 \text{ Kcal/h}$$

Οι υδρατμοί επίσης αποδίδουν

$$Q (\text{υδρατμών}) = B (\text{H}_2\text{O}) * \Delta H$$

όπου

$$\Delta H = 423 C_p (\text{H}_2\text{O}) dT$$

και

$$C_p (\text{H}_2\text{O}) = 7,17 + 0,00256T + 8000T^{-2}$$

απ' όπου προκύπτει:

$$Q (\text{υδρατμών}) = 526 \cdot 10^3 \text{ Kcal/h}$$

και

$$Q (\text{συνολικό}) = Q (\text{ξηρών απαερίων})$$

$$+ Q (\text{υδρατμών}) = 2237 \cdot 10^3 \text{ Kcal/h}$$

Αν η θερμική απόδοση του εναλλάκτη είναι 65%, η μάζα του αέρα καύσης που μπορεί να προθερμανθεί στους 340° C είναι:

$$B (\text{αέρα}) = (0,65 * Q) / (C_{\text{αέρα}} * \Delta T)$$

$$B (\text{αέρα}) = (0,65 * 2237 \cdot 10^3) /$$

$$/(0,254 * 315) = 18173 \text{ Kg/h}$$



	ΠΡΟΤΥΠΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ $\Delta H_{298}$ (kcal/mol)	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ $C_p$ (cal/mole · deg)		
		$C_p$ (cal/mole · deg)		
		a	$b \cdot 10^3$	$- c \cdot 10^{-5}$
C (γραφίτης)	--	0,026	9,31	0,35
S	--	6,40	--	--
O <sub>2</sub>	--	7,16	1,00	0,40
N <sub>2</sub>	--	6,66	1,02	--
Mg CO <sub>3</sub>	- 265,70	18,62	13,80	4,16
MgO	- 143,70	11,71	0,75	2,80
CO <sub>2</sub>	- 94,05	10,55	2,16	2,04
SO <sub>2</sub>	- 70,94	10,38	2,54	1,42
H <sub>2</sub> O (υ)	- 68,32	18,03	--	--
H <sub>2</sub> O (α)	- 57,80	7,17	2,56	0,08

Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο 93,2% της συνολικά εισαγόμενης ποσότητας αέρα στην κάμινο. Έτσι, εντός της καμίνου Herreshoff με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη αερίου-αερίου θα εισάγονται:

α) 18173kg/h αέρα θερμοκρασίας 340° C, και

β) 1334kg/h αέρα θερμοκρασίας 25° C  
Με τον τρόπο αυτό η κατανάλωση μαζούτ μειώνεται κατά

$$B (\text{μαζούτ}) = 0,65 \cdot 2237 \cdot 10^3 / 9600 = 151,5 \text{ Kg/h}$$

όπου 9600 είναι η ΑΘΔ του μαζούτ.

Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση της ειδικής κατανάλωσης μαζούτ κατά 23,3kg καυσίμου/T MgO. Το ετήσιο όφελος από τη χρήση του εναλλάκτη, για παραγωγή 40000 T καυστικής μαγνησίας και κόστος μαζούτ 30000 δρχ/T είναι της τάξης των 28 εκ. δραχμών (με τιμές 1990). Σημειώνεται ότι στους παραπάνω υπολογισμούς, τόσο οι θερμοκρασιακές διαφορές εισόδου-εξόδου του εναλλάκτη, όσο και η συνολική του θερμική απόδοση έχουν ληφθεί σημαντικά μειωμένες για λόγους ασφαλείας. Σημειώνεται επίσης ότι χρησιμοποιούνται παρόμοιοι εναλλάκτες από τη ΔΕΗ με υψηλότερη απόδοση.

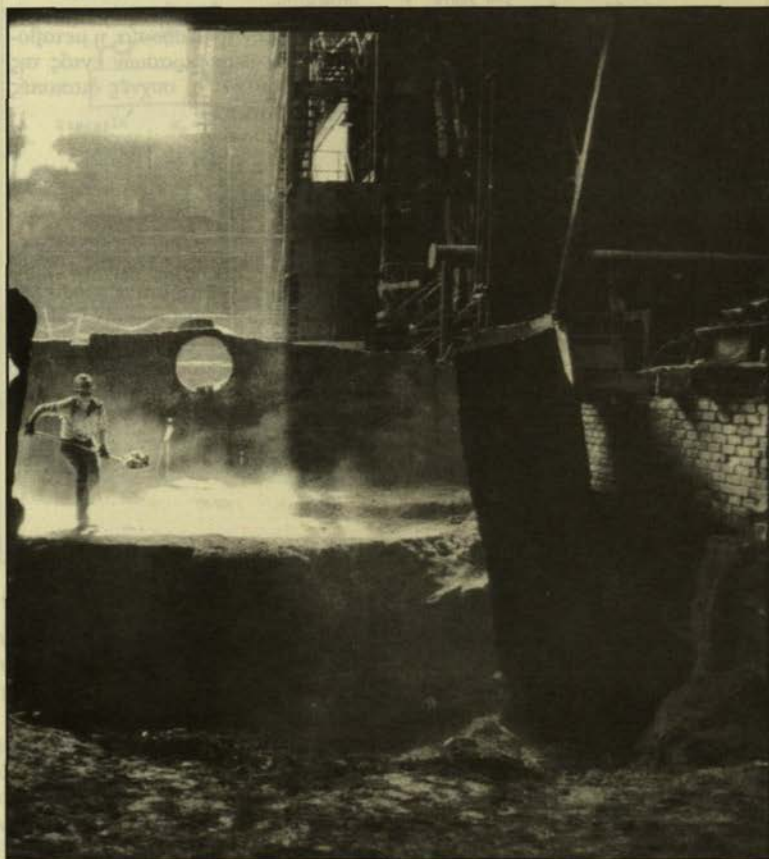
### Συμπεράσματα

1. Από την ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου της καμίνου Herreshoff προκύπτει ότι το 47%, περίπου, της καταναλισκόμενης ενέργειας αντιστοιχεί στην αισθη-

τή θερμότητα των απαερίων και χάνεται στην ατμόσφαιρα. Με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη θερμότητας τύπου αερίου-αερίου είναι δυνατή η προθέρμανση του μεγαλύτερου μέρους του απαιτούμενου αέρα καύσης, με αποτέλεσμα

τη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και την αύξηση της θερμικής απόδοσης της καμίνου.

2. Με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη θερμότητας - όπως οι χρησιμοποιούμενοι στους λιγνιτικούς σταθμούς της ΔΕΗ- και την παραδοχή ότι αξιοποιείται μόνο το 25%, περίπου, της αισθητής θερμότητας των απαερίων, το οικονομικό όφελος που προκύπτει είναι 28 εκ. δρχ. ετησίως (με τιμές 1990).
3. Η μείωση της κατανάλωσης του μαζούτ θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απαιτούμενης ποσότητας του εισερχόμενου αέρα στην κάμινο για την πραγματοποίηση των καύσεων, και επομένως θα δώσει τη δυνατότητα αύξησης της τροφοδοσίας της καμίνου κατά ένα ποσοστό της τάξης του 8%, περίπου.
4. Το 14% της καταναλισκόμενης ενέργειας, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως «θερμικές απώλειες», οφείλεται κυρίως στην περίσσεια αέρα πέραν της απαιτούμενης για την πλήρη καύση. Γι' αυτό επιβάλλεται ο συνεχής έλεγχος και παρακολού-





ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ			ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		
	x 10 <sup>3</sup> Kcal/h	%		x 10 <sup>3</sup> Kcal/h	%
Μαζούτ	12667,2	100,0	Διάσπαση MgCO <sub>3</sub>	4507,8	35,6
			Αισθητή θερμότητα προϊόντος (MgO)	461,1	3,6
			Αισθητή θερμότητα ξηρών απαερίων	2570,9	20,3
			Αισθητή θερμότητα υδρατμών	3350,1	26,5
			Θερμικές απώλειες	1777,3	14,0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>12667,2</b>	<b>100,0</b>		<b>12667,2</b>	<b>100,0</b>

θηση των απαερίων με τη βοήθεια αναλυτών CO<sub>2</sub>, CO και O<sub>2</sub>.

5. Η ομαλή λειτουργία της καμίνου η οποία επιτυγχάνεται με σταθερή ποιότητα και ποσότητα τροφοδοσίας και συνεχή ανάλυση των απαερίων, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των θερμικών απωλειών στο 5-6% αντί του 14%. Στην περίπτωση αυτή θα προκύψει εξοικονόμηση ενέργειας 1100 · 10<sup>3</sup> Kcal/h, η οποία αντιστοιχεί σε μείωση της ειδικής κατανάλωσης μαζούτ κατά 17,6 kg/T καυστικής μαγνησίας και ετήσια οικονομία 21 εκ. δρχ., περίπου.
6. Η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας με την τοποθέτηση εναλλάκτη θερμότητας στα απαέρια της καμίνου και με τη μείωση των θερμικών απωλειών της καμίνου, μπορεί να φθάσει το 20%, περίπου, της εισερχόμενης ενέργειας. Η αντίστοιχη οικονομία θα είναι της τάξης των 50 εκ. ετησίων.

### Προτάσεις

1. Προτείνεται η μελέτη και εγκατάσταση στην κάμινο Herreshoff εναλλάκτη θερμότητας τύπου αερίου-αερίου, μεταξύ κονιοθαλάμου και σακόφιλτρου, για την αξιοποίηση μέρους της αισθητής

θερμότητας των απαερίων. Η αξιοποίηση θα επιτευχθεί με την προθέρμανση του αέρα καύσης, ο οποίος εισέρχεται στην κάμινο.

2. Η τοποθέτηση και λειτουργία αναλυτών CO<sub>2</sub>, CO και O<sub>2</sub>, για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των απαερίων θα συντελέσει στη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (Kg καυσίμου/T δίπτυρης μαγνησίας).
3. Προτείνεται να μελετηθούν οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά την κατανάλωση καυσίμου, όπως η διακύμανση της υγρασίας στην τροφοδοσία, η μεταβολή των θερμοκρασιών εντός της καμίνου και οι συχνές διακοπές λειτουργίας.

### Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της παρούσας εργασίας, οι συγγραφείς επιθυμούν να εκφράσουν τις ευχαριστίες τους προς την επιτροπή του προγράμματος Valoren της ΕΟΚ και της ΕΛΕΒΜΕ, για τη χρηματοδότηση του παρόντος ερευνητικού προγράμματος και προς το Εθνικό Συμβούλιο Ενέργειας του ΥΒΕΤ για τη συνδρομή του κατά την εκτέλεση του έργου.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Zevgolis, M.N., Athanasakis, L.C., Agelidis, A.E. and Gaitanos, J.F.: «The recovery of Energy in Rotary Kilns». *Ορυκτός Πλούτος*, No 82, 1993.
2. Ζευγώλης, Μ.Ν., Κοντός Ι.Λ και Φωτεινόπουλος, Μ.: «Εξοικονόμηση ενέργειας σε μονάδα στο Μαντούδι» ΕΛΕΒΜΕ 1992.
3. Ζευγώλης, Μ.Ν. Αθανασάκης, Λ.Χ., Αγγελίδης, Α.Ε. και Γαϊάνος, Ι.Φ.: «Εξοικονόμηση ενέργειας στις περιστροφικές καμίνους της ΛΑΡΚΟ» ΕΛΕΒΜΕ 1990.
4. Μάντης, Π.: «Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανία, συμπεράσματα από την εμπειρία της ΕΛΕΒΜΕ ΑΕ» ΤΕΕ, Τεχνικά Χρονικά 9-10/89.
5. Τίκωφ, Γ.: «Εξοικονόμηση ενέργειας - Μια συνολική θεώρηση» Τεχνικά χρονικά 7-8/89.
6. Ευθυμιάδης, Α., Κωδωνάς, Δ. και Μαρίνος-Κουρής, Δ.: «Ορθολογική χρήση ενέργειας: Στόχοι, προβλήματα και προοπτικές» Τεχνικά Χρονικά 11-12/98.
7. Kubaschewski, O. and Alcock, C.B.: «Metallurgical Thermochemistry» 5th Edition, Pergamon Press, 1979.