

**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

Ιωσήφ Κατσονεβάκης Διπλ. Χ.Μ. Enervac-Flutec Ltd

Ιωνία Θεσ/νίκης Τηλ: 031/783572 Fax 031/781824 E-mail: Flutec@Flutec.gr

Γιώργος Χασάπης Διπλ. Μ.Μ. Colora S.A

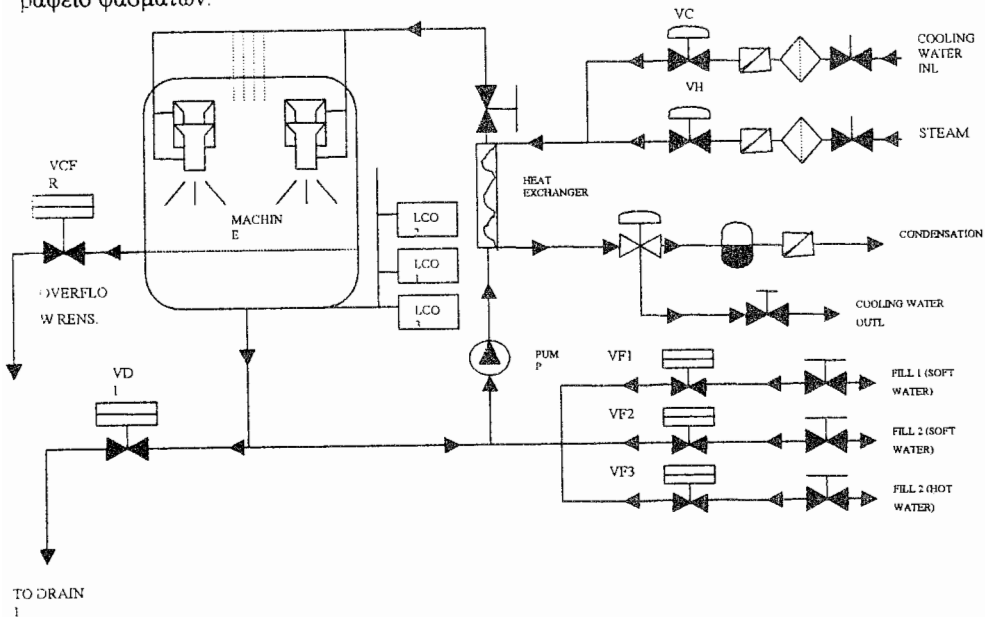
Θέρμη Θεσ/νίκης Τηλ. 031/463002 Fax 031/461063

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρουσίαση αυτή αφορά στην επισήμανση ορισμένων παραγόντων που επηρεάζουν σημαντικά την βελτιστοποιημένη ενσωμάτωση της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού στον κλάδο της Κλωστουφαντουργίας με την χρήση φυσικού αερίου.

1. ΓΕΝΙΚΑ

Η παραγωγική μονάδα που εξετάζεται στην παρούσα εισήγηση είναι ένα τυπικό βαφείο φασμάτων.



Σχ.1 Τυπική βαφική μηχανή (σχηματικό διάγραμμα)

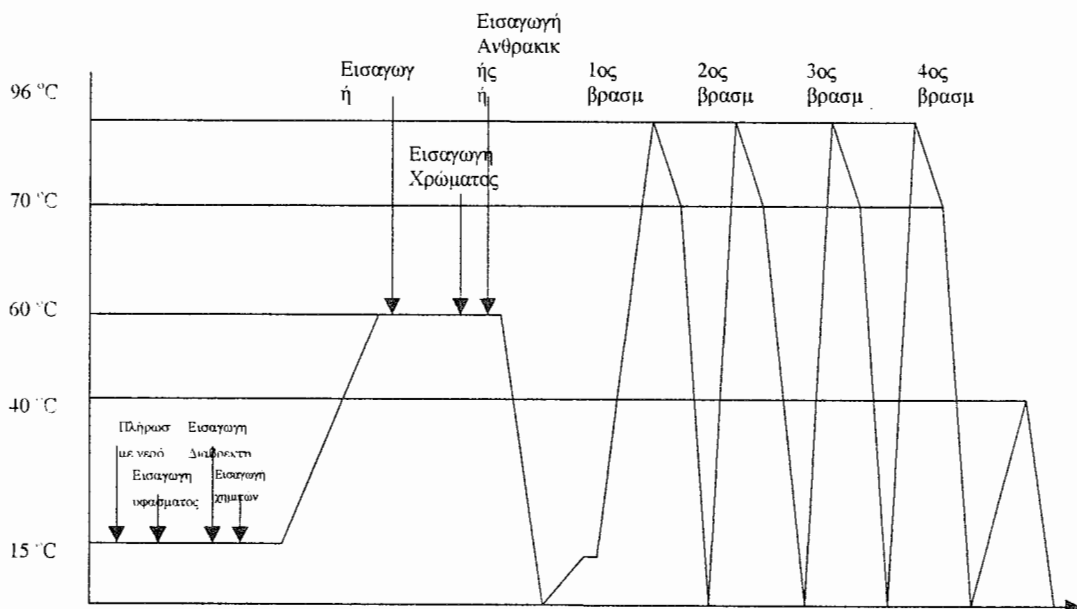
1.1 Βαφική μηχανή

Ο κύριος εξοπλισμός του βαφείου είναι η βαφική μηχανή. Υπάρχουν βαφικές μηχανές νημάτων και υφασμάτων όπως επίσης ατμοσφαιρικής πίεσης και υπερπίεσης.

Η βαφική μηχανή αποτελείται από ένα δοχείο όπου το προς βαφή υλικό (νήμα ή ύφασμα) έρχεται σε πλήρη και συνεχή επαφή με το υδατικό διάλυμα βαφής με την βοήθεια μιάς αντλίας ανακυκλοφορίας (βλ. σχ.1). Το διάλυμα αναρροφάται από τον πυθμένα με την αντλία ανακυκλοφορίας και μέσω ενός σωληνωτού εναλλάκτη απαναφεράζεται από την οροφή στο δοχείο. Με την χρήση εναλλακτικά ατμού ή κρύου νερού στον εναλλάκτη επιτυγχάνεται η θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα του διαλύματος βαφής. Η βαφική συνοδεύεται επίσης από κατάλληλες υποδοχές πλήρωσης με νερό, και εκκένωσης αποβλήτων με αυτόματες πνευματικές συνήθως βάννες. Ο εναλλάκτης της βαφικής διαθέτει επίσης κατάλληλες υποδοχές τροφοδοσίας ατμού και νερού και απομάκρυνσης νερού και συμπυκνώματος με αυτόματες βάννες. Όλες οι βάννες ελέγχονται από κατάλληλο προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC).

1.2 Κύκλος βαφής

Η διαδικασία της βαφής είναι μια “ενεργοβόρος” χημική διεργασία που



Σχ. 2 Τυπικός κύκλος ανεξίτηλης βαφής

πραγματοποιείται σε υδατικό περιβάλλον και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (συνήθως μέχρι 120 °C). Περιλαμβάνει σειρά φάσεων προεργασίας του υλικού (πλύσιμο, προλεύκανση κλπ), την φάση της βαφής και φάσεις μετεπεξεργασίας (σαπούνισμα, εξουδετέρωση). Το σύνολο αυτών των φάσεων ονομάζεται πρόγραμμα βαφής . Οι θερμοκρασιακές μεταβολές ενός τυπικού προγράμματος βαφής σαν συνάρτηση του χρόνου φαίνονται στο σχ. 2.

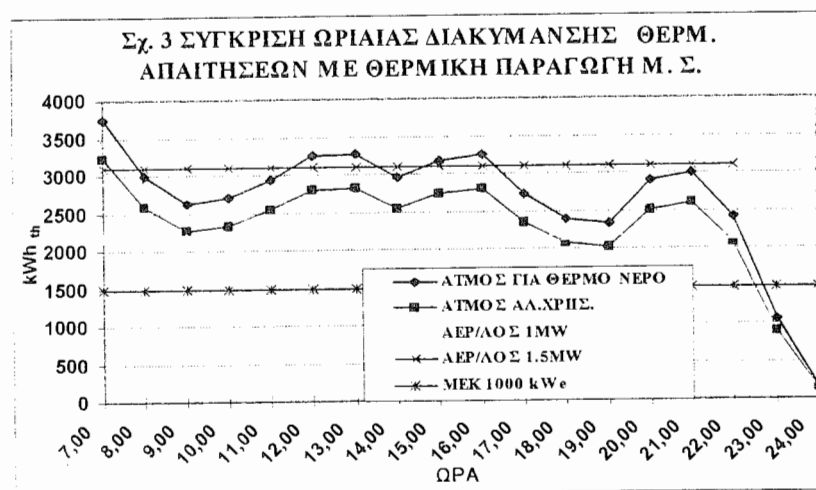
Το διάγραμμα του σχ. 2 είναι αυτό που ενδιαφέρει την ενεργειακή διαχείριση της παραγωγικής μονάδας. Ένας άλλος παράγων που προσδιορίζει την κατανάλωση ενέργειας και νερού, είναι η αναλογία υφάσματος/νερού που γενικά κυμαίνεται μεταξύ 1:12 και 1:8.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών προγράμματα βαφής που διαφοροποιούνται ανάλογα και με το είδος του υφάσματος ή νήματος.

1.3 Ενεργειακές καταναλώσεις

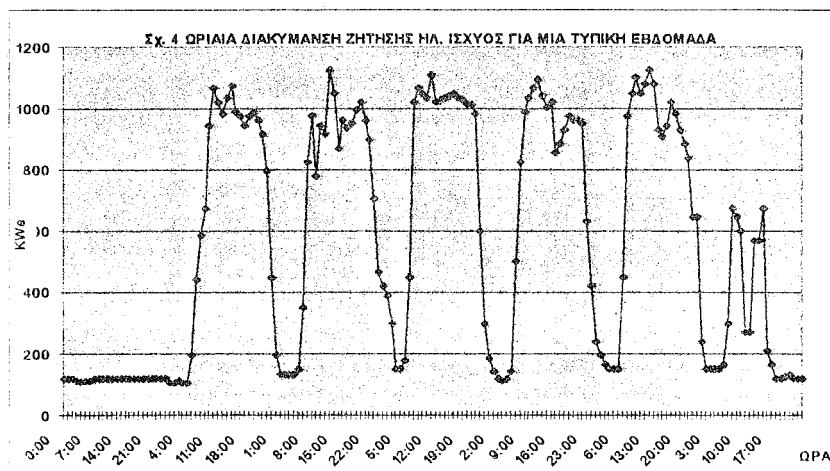
Η συχνότητα και η ποσότητα των διαφόρων βαφών προσδιορίζουν την διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης στην παραγωγική μονάδα.

Στο σχ. 3 φαίνεται μία τυπική διακύμανση θερμικών απαιτήσεων σε ωριαία βάση, για



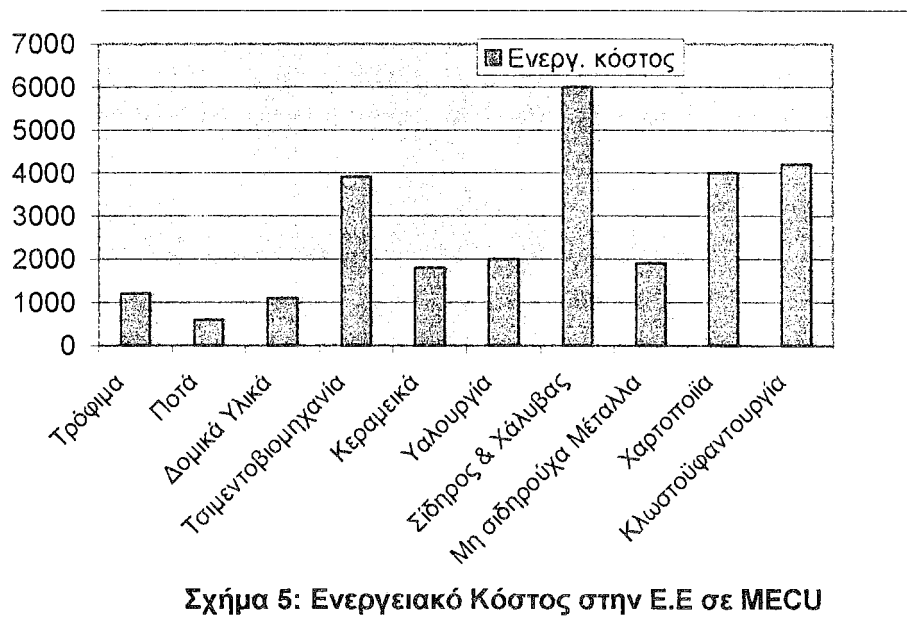
ατμό και θερμό νερό σε βαφείο με λειτουργία σε 2 βάρδιες. Είναι χαρακτηριστική η αιχμή της ζήτησης στο ξεκίνημα στην 1η βάρδια και η σταδιακή μείωση προς το τέλος της δεύτερης βάρδιας.

Στο σχ. 4 φαίνεται μία τυπική διακύμανση των ηλεκτρικών απαιτήσεων σε ωριαία βάση για το ίδιο βαφείο.



Η διερεύνηση εφαρμογής Συμπαράγωγής Ηλεκ/μού-Θερμότητας (ΣΗΘ), απαιτεί την ύπαρξη των παραπάνω στοιχείων για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που προσδιορίζει το επίπεδο ενεργειακής διαχείρισης στην

MECU



παραγωγική μονάδα είναι η ειδική ενεργειακή κατανάλωση ΕΕΚ

$$\text{ΕΕΚ} = \text{ενέργεια} / \text{Kg προϊόντος.}$$

Σε βαφεία με χαμηλό επίπεδο ενεργειακής διαχείρισης κυμαίνεται μεταξύ 7 και 13 kWh/kg ή και υψηλότερα. Σε βαφεία με υψηλό επίπεδο ενεργειακής διαχείρισης μπορεί να φθάσει μέχρι και 4.5 kWh/kg.

Στο σχ. 5 φαίνεται το συνολικό ενεργειακό κόστος για διάφορες κατηγορίες παραγωγικών μονάδων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οπως φαίνεται η κλωστοϋφαντουργία καταλαμβάνει την 2η θέση με το υψηλότερο κόστος. Επομένως η εφαρμογή ενεργειακής διαχείρισης και ειδικότερα της ΣΗΘ έχει ιδιαίτερη σημασία.

2. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.1 Συμπαραγωγή

Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος που μπορούν να παραχθούν από την χρήση καυσίμων για τις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας.

Η σημασία της ΣΗΘ σαν μεθόδου χρήσης καυσίμων, έγκειται στην αποδοτική χρήση της ενέργειας που προκύπτει κατά τις διεργασίες καύσης ή γενικότερα οξείδωση των καυσίμων (Fuel cells). Έτσι αντί να καταναλώσει κάποιος ένα kg καυσίμου σε ένα σταθμό ηλεκτροπαραγωγής απορρίπτοντας την ενέργεια στο περιβάλλον, χρησιμοποιεί την ενέργεια αυτή σε ωφέλιμες θερμικές χρήσεις. Έτσι έχουμε αποδοτικότερη χρήση του καυσίμου με την προϋπόθεση ότι αξιοποιούμε με μεγάλο βαθμό απόδοσης την ενέργεια που περιέχει το καύσιμο (εξέργεια + ανέργεια). Αυτό στην πράξη σημαίνει σημαντική εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου και αντίστοιχη μείωση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Απο τις διάφορες μεθόδους ΣΗΘ που υφίστανται στην πράξη, θα αναφερθούμε σε δύο που ενδεικνύονται για εφαρμογή σε βαφείο, πρωτίστως λόγω του είδους του καυσίμου που χρησιμοποιούν τα βαφεία (υγρά και αέρια καύσιμα) και με βάση τις σημερινές συνθήκες τεχνολογίας. Αυτές είναι με Μηχανή Εσωτ. Καύσης (ΜΕΚ) και με αεριοστρόβιλο (ΑΣ). Το τυπικό ενεργειακό ισοζύγιο αυτών των ΜΣ, σαν ποσοστό επί του καυσίμου που καταναλώνουν, δίδεται στον πίνακα 1.

Τύπος ΜΣ	Ηλ. Ισχύς	Θερμ. Ισχύς σε ατμό 10 bar	Θερμ. Ισχύς σε θερμό νερό 95 °C	Απώλειες	Σύνολο
ΜΕΚ	38	20	30	12	100
ΑΣ	27	55	-	18	100

Πιν. 1 Τυπικό ενεργειακό ισοζύγιο ΜΣ με ΜΕΚ και ΑΣ.

Προφανώς το ισοζύγιο αυτό εξαρτάται σημαντικά από διάφορους παράγοντες (μέγεθος μονάδας, θερμοκρασία περιβάλλοντος κ.λ.π)

Η θερμική ισχύς σε ατμό προέρχεται από τα απαέρια καύσης του καυσίμου, ενώ το θερμό νερό στην περίπτωση της ΜΕΚ, από το κύκλωμα νερού ψύξης των χιτωνίων και του συστήματος λίπανσης της ΜΕΚ.

Από τα στοιχεία του πιν. 1 προκύπτουν οι βασικές διαφορές των δύο μεθόδων.

⇒ Η ΜΕΚ αποδίδει περισσότερη ηλεκτρική ισχύ από τον ΑΣ.

⇒ Ένα σοβαρό ποσοστό της θερμικής ισχύος που παράγει η ΜΕΚ είναι χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης (νερό 95 °C).

Ορισμένες επιπλέον διαφορές των δύο μεθόδων που προκύπτουν από την εμπειρία της εφαρμογής τους είναι:

⇒ Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ΑΣ είναι μεγαλύτερο σε σχέση με την ΜΕΚ .

⇒ Η συντήρηση του ΑΣ μερικές φορές απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

⇒ Η ΜΕΚ διαθέτει μεγαλύτερη ευελιξία για προσαρμογή στις αυξομειώσεις της ζήτησης στην παραγωγική μονάδα που εξυπηρετεί.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία πρέπει να ληφθούν υπόψιν στην διαδικασία αξιολόγησης των δύο μεθόδων για συγκεκριμένη εφαρμογή .

2.2 Επεμβάσεις στην παραγωγική μονάδα για ενσωμάτωση της ΣΗΘ.

Για να καταστεί εφικτή η αξιοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ΜΣ, απαιτούνται, όπως είναι προφανές, ορισμένες επεμβάσεις στην παραγωγική μονάδα.

Η πρώτη και σημαντικότερη επέμβαση είναι το ενεργειακό “νοικοκύρεμα” με την καθιέρωση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης. Αυτό απλά σημαίνει την μείωση ή και μηδενισμό της σπατάλης ενέργειας οπουδήποτε στο υπο εξέταση βαφείο, και είναι σημαντικό διότι η εφαρμογή της ΣΗΘ δεν εξοικονομεί ενέργεια σε ένα βαφείο που σπαταλά ενέργεια. Θα απαιτηθεί πολύ μεγαλύτερη ΜΣ από ότι πραγματικά χρειάζεται και θα συνεχίσει να σπαταλά ενέργεια με τον ίδιο ρυθμό.

Το επόμενο στάδιο επεμβάσεων αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του βαφείου. Υπάρχει μία διαφοροποίηση των επεμβάσεων στην περίπτωση που το βαφείο είναι νέο από ότι σε ένα υφιστάμενο . Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στον μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας που έχει στις επιλογές του ο σχεδιαστής μηχανικός -επενδυτής στην περίπτωση

του νέου βαφείου, με συνέπεια την εξοικονόμηση κεφαλαίων. Για παράδειγμα υπάρχουν βαφικές μηχανές με πρόβλεψη λειτουργίας μαζί με ΜΣ. Η επιλογή τους διευκολύνει την εφαρμογή της ΣΗΘ και μειώνει τις απαραίτητες επεμβάσεις.

Το συνολικό κόστος αυτών των επεμβάσεων μαζί με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης της ΜΣ αποτελούν ένα βασικό παράγοντα αξιολόγησης για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος ΣΗΘ.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά στις κυριότερες επεμβάσεις του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του βαφείου.

2.2.1 Επεμβάσεις αξιοποίησης θερμικής ενέργειας.

- ♦ Για την χρήση του θερμού νερού στην βαφή, χρειάζεται ξεχωριστή υποδοχή τροφοδοσίας θερμού νερού με αυτόματη βάννα ON-OFF. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί τρίοδος αναλογική βάννα με κατάλληλο αισθητήριο θερμοκρασίας, οπότε οι γραμμές τροφοδοσίας κρύου και θερμού νερού συνδέονται σε μία υποδοχή της βαφικής. Και στις δύο περιπτώσεις χρειάζεται δυνατότητα ελέγχου της βάννας απο το PLC της βαφικής. Η δεύτερη περίπτωση είναι δαπανηρότερη αλλά επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας νερού τροφοδοσίας της βαφικής σε λιγότερο χρόνο. Οι περισσότερες βαφικές μηχανές τελευταίου τύπου περιλαμβάνουν τρίοδο βάννα ανάμιξης.
- ♦ Για την διανομή του θερμού νερού στις βαφικές απαιτείται ξεχωριστό δίκτυο σωληνώσεων με κατάλληλη θερμομόνωση και πιεστικό συγκρότημα τροφοδοσίας.
- ♦ Τις περισσότερες φορές υπάρχει διακύμανση της ζήτησης σε θερμό νερό με αιχμές, ενώ η παραγωγή του απο την ΜΣ είναι συνεχής. Έτσι απαιτείται η ύπαρξη δεξαμενής θερμού νερού με κατάλληλη θερμομόνωση. Εάν οι αιχμές δεν μπορούν να καλυφθούν απο την ΜΣ, χρησιμοποιείται ο εναλλάκτης της βαφικής με χρήση ατμού.
- ♦ Για την χρήση του παραγόμενου ατμού απο την ΜΣ, συνήθως το μόνο που απαιτείται είναι η παράλληλη σύνδεση του εναλλάκτη ατμού της ΜΣ με το υφιστάμενο σύστημα παραγωγής και διανομής ατμού του βαφείου. Ο ατμός της ΜΣ χρησιμοποιείται κατα προτεραιότητα και οι αιχμές καλύπτονται απο τον ατμολέβητα.

- ♦ Η λειτουργία συστήματος ενεργειακής παρακολούθησης στο βαφείο έχει μεγάλη σημασία για την ρύθμιση της παραγωγής και την μείωση των αιχμών ζήτησης.

2.2.2 Επεμβάσεις αξιοποίησης ηλεκτρικής ενέργειας.

- ♦ Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την ΜΣ είναι συνήθως για τα μεγέθη που ενδιαφέρουν τις Μ.Μ.Ε χαμηλής τάσης 380 V - 6000 V. Έτσι απαιτείται μετασχηματιστής ανύψωσης στην μέση τάση (συνήθως 15 - 20 kV) για παράλληλη σύνδεση με τον υποσταθμό της ΔΕΗ.
- ♦ Σε περίπτωση ύπαρξης περίσσειας ηλ. ενέργειας που θα πωλείται στην ΔΕΗ, χρειάζεται ένας αμφίδρομος μετρητής για την καταγραφή αγοραζόμενης και πωλούμενης ενέργειας.

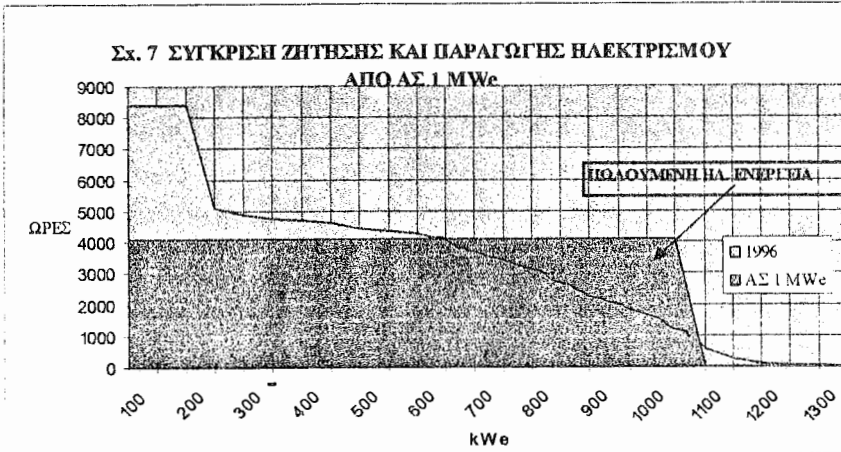
3. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΗΘ

Τα μετρημένα ή υπολογισμένα στοιχεία ζήτησης ενέργειας του βαφείου, συγκρίνονται με την ενεργειακή απόδοση ΜΣ διαφόρων κατασκευαστών που συλλέγονται από έρευνα της αγοράς (σχ.3). Η σύγκριση σε ωριαία βάση και η αθροιστική αναγωγή σε δωδεκαμηνια λειτουργία του βαφείου, συνήθως αρκεί για εξαγωγή ρεαλιστικών συμπερασμάτων. Το έλλειμμα θερμικής ενέργειας καλύπτεται με συμβατική χρήση καυσίμου (συνήθως ατμολέβητες) και η περίσσεια είτε διατίθεται σε τρίτους είτε απορρίπτεται στο περιβάλλον. Το τελευταίο ενδεχόμενο θα πρέπει προφανώς να αποφεύγεται, ακόμη και στην περίπτωση που δημιουργεί μεγαλύτερο οικονομικό όφελος. Παρομοίως το έλλειμμα ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από την ΔΕΗ και η περίσσεια πωλείται επίσης στην ΔΕΗ βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας.

Η σύγκριση γίνεται με ειδικά υπολογιστικά προγράμματα που επιτρέπουν την επεξεργασία μεγάλου αριθμού δεδομένων με ταχύτητα.

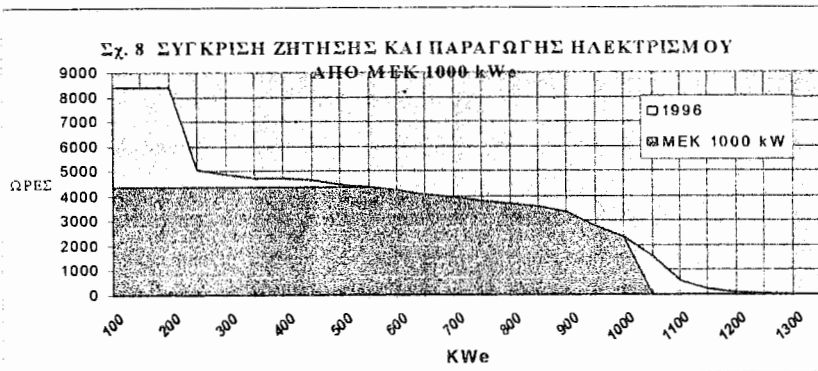
Μία γραφικού τύπου σύγκριση φαίνεται στο σχ. 3 όπου συγκρίνεται η απαίτηση σε ατμό με την παραγωγή από διάφορες ΜΣ

Στο σχ. 7 φαίνεται η αθροιστική αναγωγή σε δωδεκάμηνη λειτουργία για την ηλ. ενέργεια που απαιτείται και που παράγει ΜΣ με ΑΣ 1 MW_{el}, για περίπου 4000 hr λειτουργίας



ανά έτος (2 βάρδιες).

Στο σχ. 8 φαίνεται η αντίστοιχη περίπτωση για ΜΣ με ΜΕΚ 1 MW_{el}.

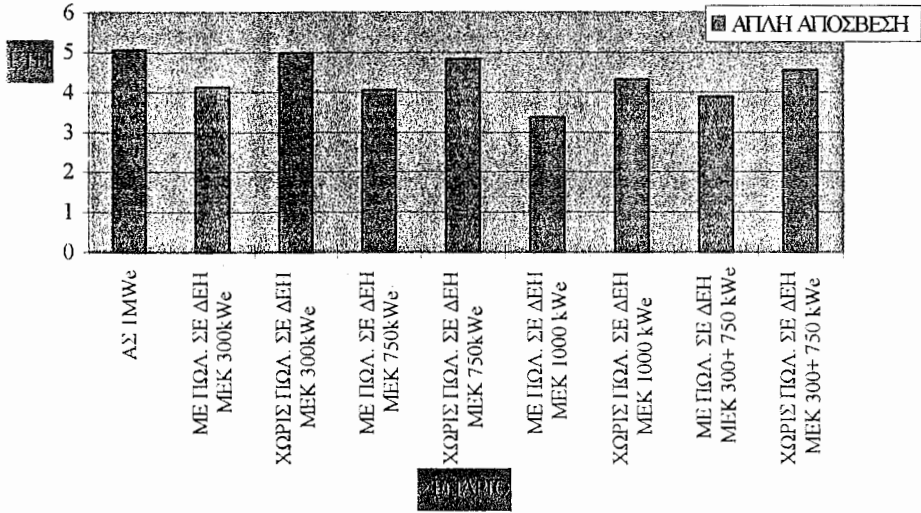


Με αυτόν τον τρόπο καταρτίζονται διαφορετικά σενάρια εφαρμογής ΣΗΘ στο συγκεκριμένο βαφείο, τα οποία ποσοτικοποιούνται απο πλευράς εξοικονόμησης σε δωδεκάμηνη βάση.

4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Τα σενάρια που επελέγησαν αξιολογούνται με οικονομικά κριτήρια συγκρίνοντας την ετήσια εξοικονόμηση που αποφέρουν (παρ. 3) με το συνολικό κόστος επεμβάσεων που απαιτούν για την εφαρμογή τους (παρ. 2.2). Συνήθη κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης είναι η απλή απόσβεση, αποπληθωρισμένη περίοδος επανείσπραξης, συνολική απόδοση σε 5 η 10 έτη κλπ.

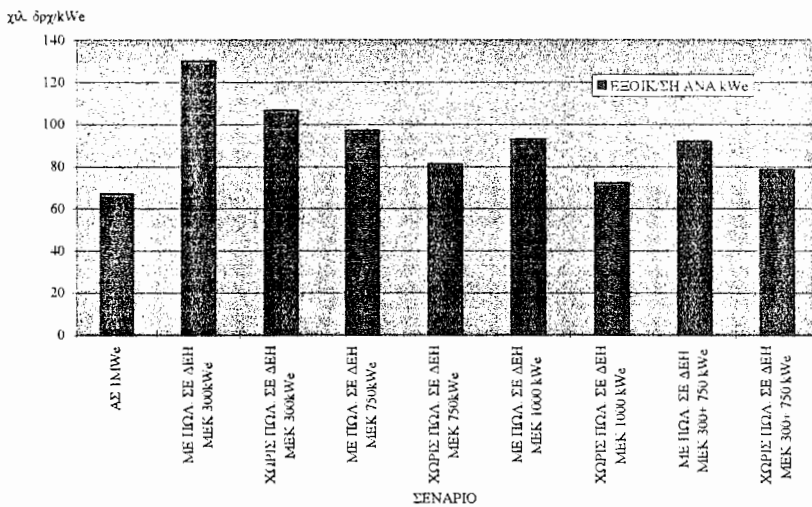
Σχ. 9 ΑΓΙΑΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Στα σχ. 9 και 10 δίδονται δύο παραδείγματα οικονομικής αξιολόγησης σεναρίων ΣΗΘ για ένα τυπικό βαφείο.

Απο την οικονομική αξιολόγηση γίνεται προεπιλογή ενός ή περισσοτέρων σεναρίων τα

Σχ. 10 ΕΤΗΣΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΗΛ. ΙΣΧΥΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



οποία ελέγχονται με βάση το γενικότερο επιχειρηματικό σχέδιο της παραγωγικής μονάδας, οπότε προκρίνεται το πλέον κατάλληλο για υλοποίηση.

5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το στάδιο της υλοποίησης της ΣΗΘ χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Ορισμένα ουσιώδη σημεία θίγονται παρακάτω:

- * Εξασφάλιση χρηματοδότησης (ίδια κεφάλαια, χρηματοδότηση τρίτων, προγράμματα επιχορήγησης).
- * Επιλογή προμηθευτή ΜΣ (αξιοπιστία, τελική τιμή, χρόνος παράδοσης, παρελκόμενος εξοπλισμός, δυνατότητα υποστήριξης μετά την πώληση, πρόγραμμα και κόστος ανταλλακτικών συντήρησης, βαθμός αυτομάτου λειτουργίας κλπ)
- * Επιλογή συμβούλου για την αναλυτική μελέτη εφαρμογής του έργου (detailed engineering).
- * Επιλογή προμηθευτών λοιπού εξοπλισμού και παρελκομένων της ΜΣ.
- * Επιλογή εργολάβου και υπεργολάβων.
- * Χρονικός προγραμματισμός έργου.
- * Επιλογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ΣΗΘ είναι μία μέθοδος καλλίτερης αξιοποίησης των συμβατικών καυσίμων, με δυνατότητα ευρείας εφαρμογής στην βιομηχανία επεξεργασίας υφασμάτων και σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Η επιλογή της βέλτιστης ΜΣ απαιτεί την ύπαρξη στοιχειώδους ενεργειακής διαχείρισης και μετρημένων διακυμάνσεων των ενεργειακών καταναλώσεων της βιομηχανίας για αντιπροσωπευτικό χρονικό διάστημα. Με τις παραπάνω προϋποθέσεις και με την συνεργασία έμπειρου συμβούλου είναι δυνατός ο προσδιορισμός της βέλτιστης ΜΣ και η αποτελεσματική ενσωμάτωσή της στην παραγωγική μονάδα.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας για την μερική οικονομική υποστήριξή της κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΜΕΤΑΔΟΣΙΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ. Εφαρμογές εις βιομηχανικές εφαρμογές. Μετάφρασις εκ του Γερμανικού VDI-WARMEATLAS. Επιμέλεια Κ.Ν. ΠΑΤΤΑ. Θεσ/νίκη 1983.
- [2] Gas Power Plants. Project Guide. WARTSILA SACM DIESEL. Aug. 1993
- [3] Guidance Notes for the Implementation of Small Scale Packaged Combined Heat and Power. Guide 1. Energy Efficiency Enquiries Bureau , ETSU, GB. Nov. 1995.
- [4] Συμπαράγωγη Θερμότητας & Ηλεκτρισμού. Φραγκόπουλος Χ.Α., Καρυδογιάννης Η.Π., Καραλής Ι.Κ., Έκδοση ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα 1994.