

## **Εγκατάσταση και βελτιστοποίηση λειτουργίας μονάδας συμπαραγωγής σε Βιομηχανία Τροφίμων**

Ηλίας Σωφρόνης, Μηχ/γος Μηχ/κος, Ph.D. Thelcon ΕΠΕ ([www.thelcon.gr](http://www.thelcon.gr))

Κουμανούδης Νικόλαος, Τεχνικός Διευθυντής Μονάδας Γιαούρτης ΔΕΛΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΑΕ  
([nikkou@vivartia.com](mailto:nikkou@vivartia.com))

Μπεράτης Νίκος, Τεχνικός Διευθυντής, Μονάδας Χυμών ΔΕΛΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΑΕ  
([nikmpe@vivartia.com](mailto:nikmpe@vivartia.com))

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και χρήσιμης θερμότητας από μία διεργασία. Μονάδες ΣΗΘ παράγουν το 11% του ηλεκτρισμού σε Ευρωπαϊκό επίπεδο ενώ στην Ελλάδα το αντίστοιχο ποσοστό είναι 1.5-2%. Η ΣΗΘ έχει μεγάλες δυνατότητες περαιτέρω εφαρμογής στην ΕΚ και ιδιαίτερα στην Ελλάδα όπου η εφαρμογή της αντιμετωπίζει μεγάλα εμπόδια και δυσκολίες. Για το λόγο αυτό εκδόθηκε Οδηγία προώθησης της τεχνολογίας στα κράτη μέλη (2004/8/ΕΚ), η οποία ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο ( Ν. 3734/2009). Υπάρχει και αριθμός άλλων Ευρωπαϊκών Οδηγιών, όπως της Ενεργειακής Αποδοτικότητας των Κτιρίων, των Ενεργειακών Υπηρεσιών, οι οποίες εναρμονίζονται στις εθνικές νομοθεσίες και αναμένεται να βοηθήσουν στην εξάπλωση της συμπαραγωγής.

Η εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας έχει πολλαπλά οφέλη

- Οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς σε προστασία του περιβάλλοντος
- Με τη σωστή λειτουργία και ευνοϊκά τιμολόγια οδηγεί σε εξοικονόμηση χρημάτων
- Αυξάνει την σταθερότητα του ηλεκτρικού συστήματος

Στην Ελλάδα η τεχνολογία δεν έχει εφαρμοστεί με ιδιαίτερη επιτυχία. Υπάρχει περιορισμένος αριθμός εγκατεστημένων μονάδων ενώ υπάρχουν μονάδες που έχουν αναστείλει τη λειτουργία για οικονομικούς λόγους. Οι κυριότερες αιτίες της μειωμένης λειτουργίας είναι

- ❖ Το θεσμικό πλαίσιο αδειοδότησης
- ❖ Τα τιμολόγια ηλεκτρικού και φυσικού αερίου
- ❖ Το μεσογειακό κλίμα με τις μεγάλες περιόδους χωρίς ζήτηση θερμικής ενέργειας

Υπάρχει μία προσπάθεια αναστροφής του κλίματος τον τελευταίο χρόνο με ορισμό ευνοϊκών τιμολογίων για τη ΣΗΘ και βελτίωση της αδειοδοτικής διαδικασίας. Η επιτυχία της προσπάθειας αυτής θα φανεί στο μέλλον.

Η βιομηχανία τροφίμων αποτελεί ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό πεδίο για την εγκατάσταση μονάδων ΣΗΘ. Στην πλειονότητα των βιομηχανιών του κλάδου, υπάρχουν ταυτόχρονες ανάγκες για ηλεκτρισμό και θέρμανση ή/και ψύξη καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής των τροφίμων.

Η παρούσα εργασία περιγράφει μονάδα συμπαραγωγής 2 ΜWe η οποία εγκαταστάθηκε στο εργοστάσιο γιαούρτης της εταιρείας ΔΕΛΤΑ ΑΒΕΕΤ στον Αγ. Στέφανο Αττικής.

## Αδειοδοτική διαδικασία

Το στάδιο αυτό θα έπρεπε να είναι σύντομο (όπως προβλέπεται από τους Νόμους) και να ασχολείται με την ουσία των περιβαλλοντικών και ενεργειακών της συμπαραγωγής. Έχει εντούτοις εξελιχθεί σε ιδιαίτερα χρονοβόρο και επίπονο, σε μία διαδικασία η οποία ουσιαστικά αποτρέπει τις επενδύσεις ΣΗΘ.

Για την απόκτηση άδειας λειτουργίας της μονάδας στη ΔΕΛΤΑ απαιτήθηκαν 8 έτη από την αίτηση για την πρώτη άδειας Παραγωγής. Τα δύο έτη οφείλονταν σε αναμονή για έγκριση πρότασης που είχε γίνει στα πλαίσια του ΕΠΑΝ και αλλαγή του ονόματος της ΔΕΛΤΑ. Τα υπόλοιπα 6 χρόνια απαιτήθηκαν για την απόκτηση των απαραίτητων αδειών, οι οποίες φέρουν τις υπογραφές 5 διαφορετικών Υπουργών και Υφυπουργών.

Η αίτηση για την πρώτη άδεια Παραγωγής, με πλήρη στοιχεία για την προς εγκατάσταση μονάδα, τα οποία ουδέποτε άλλαξαν στην πορεία, κατατέθηκε το 2002. Έκτοτε χρειάστηκε να γνωμοδοτήσει για την έκδοση των αδειών ένας μεγάλος αριθμός υπάλληλων διαφόρων φορέων της Δημόσιας Διοίκησης, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις δεν είχαν (και δεν μπορούσαν να έχουν) ιδιαίτερες γνώσεις για το θέμα όπως Ιατροί, Δασοπόνοι, Κτηνίατροι κλπ.

Περιληπτικά τα κύρια στάδια στη διαδικασία αδειοδότησης είναι ως εξής

- 9/02 Πρώτη αίτηση για άδεια Παραγωγής.
- 5/03 Έκδοση Άδειας Παραγωγής (ΥΠΑΝ).
- 1/04 Όροι σύνδεσης με ΔΕΗ
- 10/04 Έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΥΠΕΧΩΔΕ).
- 11/04 Άδεια εγκατάστασης.
- 5/07 Αλλαγή επωνυμίας σε Vivartia (ΡΑΕ)
- 1/08-6/09 Εγκατάσταση μονάδας ΣΗΘ (σχεδιασμός, διαγωνισμοί, κατασκευή)
- 7/09 Προσωρινή παραλαβή ΣΗΘ σε δοκιμαστική λειτουργία (ΕΛΑΝΕΤ)
- 8/09 Έκδοση νέας άδειας εγκατάστασης εγκατεστημένης μονάδας (λήξη της προηγούμενης).
- 12/09 Μετατροπή άδειας Παραγωγής για ΣΗΘΥΑ (αλλαγή σχετικού νόμου).
- 4/10 Άδεια λειτουργίας
- 5/10 Σύμβαση πώλησης ηλεκτρισμού με ΔΕΗ και αρχή λειτουργίας

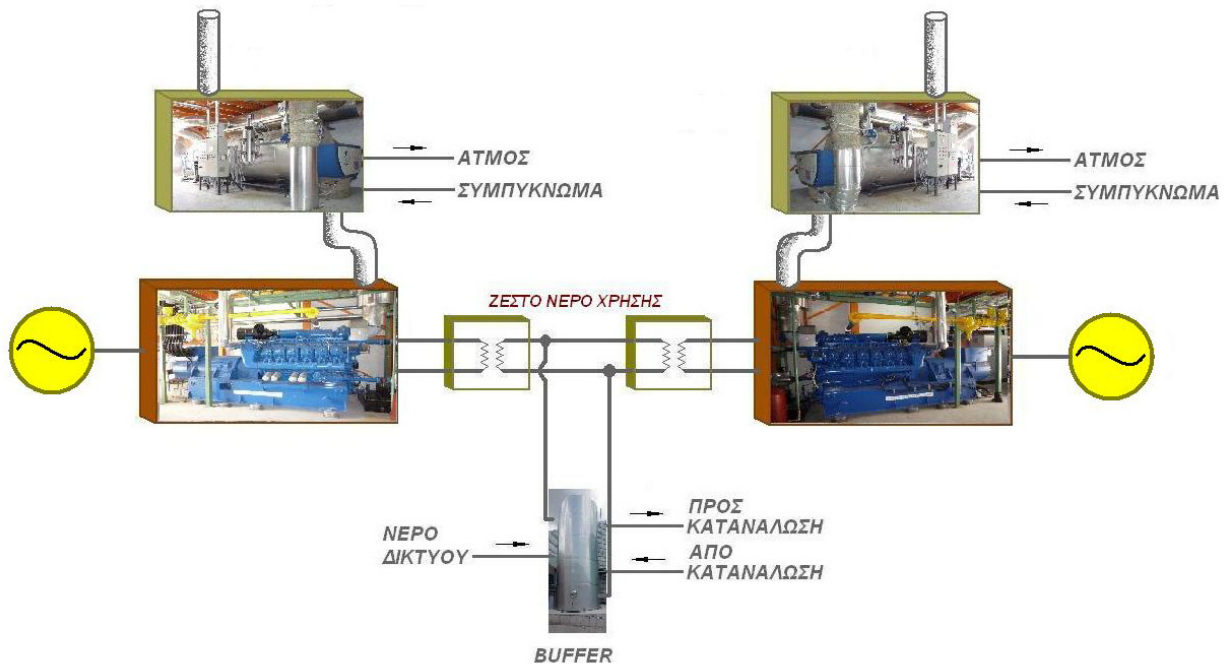
Τα προαναφερόμενα είναι τα κύρια στάδια εκτέλεσης του έργου. Υπάρχουν βέβαια και στάδια μικρότερης σημασίας πχ. γνωμοδοτήσεις από τη Νομαρχία καθώς και σειρά προσπαθειών, όπως η μεταφορά εγγράφων από Υπηρεσία σε Υπηρεσία για να επιταχυνθούν οι διαδικασίες, τα οποία δεν αναφέρονται. Η διαδικασία αδειοδότησης διήρκεσε περισσότερο από 8 έτη. Το πραγματικό τεχνικό έργο διήρκεσε 1 ½ έτος.

Είναι προφανές ότι αν η ΔΕΛΤΑ γνώριζε εξαρχής τον απαιτούμενο χρόνο και την προσπάθεια για την παραπάνω διαδικασία δεν θα είχε προχωρήσει στην εγκατάσταση μονάδας ΣΗΘ. Επενδύσεις με τόσο μεγάλο χρονικό ορίζοντα, δεν είναι ελκυστικές αφενός λόγω του υπέρογκου κόστους αδειοδότησης και αφετέρου λόγω της αδυναμίας πρόβλεψης των οικονομικών παραμέτρων (πχ. τιμών ενέργειας) για τόσο μεγάλα χρονικά διαστήματα.

### Σχεδιασμός της μονάδας ΣΗΘ

Πριν την εγκατάσταση της μονάδας, το εργοστάσιο της ΔΕΛΤΑ χρησιμοποιούσε, για την κάλυψη των θερμικών αναγκών, 2 ατμολέβητες παραγωγής 10 τόνων ατμού/ώρα σε πίεση 9 bar. Ο ατμός όδευε προς την κατανάλωση όπου μικρό μέρος χρησιμοποιούταν για διεργασίες όπου απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλο μέρος του ατμού υποβιβαζόταν σε Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX).

Η μονάδα συμπαραγωγής διαστασιολογήθηκε πρωτίστως για την κάλυψη των θερμικών αναγκών και δευτερευόντως για την κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης. Η επιλογή ψύξης με απορρόφηση (τριπαραγωγή) δεν υιοθετήθηκε διότι οδηγούσε σε αυξημένο κόστος εγκατάστασης χωρίς προφανή οικονομικά οφέλη. Έχοντας σαν στόχο τη μεγαλύτερη δυνατή ευελιξία, η μονάδα ΣΗΘ αποτελείται από δύο παλινδρομικές μηχανές 1 MWe εκάστη, από τις οποίες εκτός του ηλεκτρισμού παράγεται ZNX και Ατμός.



**Σχ. 1 Απλοποιημένο Σχηματικό Διάγραμμα Συμπαραγωγής 2 x 1 MWe**

Ζεστό νερό Χρήσης παράγεται από τα νερά ψύξης της μηχανής. Για ομαλή λειτουργία εγκαταστάθηκε δοχείο αδρανείας (buffer tank) χωρητικότητας 100 m<sup>3</sup>. Η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο αποτελεί κριτήριο λειτουργίας του σταθμού ΣΗΘ.

Ατμός παράγεται με ατμολέβητες ανάκτησης θερμότητας, από τα καυσαέρια των μηχανών ΜΕΚ. Οι ανάγκες χρήσης του εργοστάσιου ορίζουν ελάχιστη πίεση ατμού τα 8 bar. Οι υφιστάμενοι ατμολέβητες συμπληρώνουν τυχόν ανάγκες για περισσότερο ατμό από αυτόν που μπορούν να παράξει το σύστημα ΣΗΘ.

Ο ηλεκτρισμός παράγεται σε χαμηλή τάση. Τοποθετήθηκαν μετασχηματιστές για μετατροπή σε μέση τάση ώστε να τροφοδοτεί τη βιομηχανική μονάδα από το ίδιο σημείο με την παροχή του εθνικού δικτύου ηλεκτροδότησης.

### **Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης της μονάδας ΣΗΘ**

Η λειτουργία των βασικών υποσυστημάτων της μονάδας (μηχανές, γεννήτριες, ΛΑΘ) ελέγχεται από εξειδικευμένους ελεγκτές (PLC) των κατασκευαστών του εξοπλισμού.

Η ενεργειακή αξιολόγηση και η επακόλουθη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας γίνεται με τη χρήση συστήματος καταγραφής και ελέγχου τύπου SyRENA (System for Remote Energy Analysis). Το σύστημα αυτό καταγράφει παραμέτρους λειτουργίας της μονάδας και ελέγχει υποσυστήματα μη κρίσιμα για την ασφάλεια λειτουργίας του σταθμού ΣΗΘ, όπως τη στάθμη του νερού στο θερμοδοχείο και τη λειτουργία περιφερειακών βανών. Οι καταγραφόμενες παράμετροι λειτουργίας είναι οι απαιτούμενες για τον υπολογισμό του ενεργειακού ισοζυγίου της μονάδας, όπως θερμοκρασίες, πιέσεις, ροή νερού, παροχή ΦΑ και παραγόμενος ηλεκτρισμός. Το ενεργειακό ισοζύγιο της μονάδας δίνεται από

$$E_{\text{καυσίμου}} = W_{\text{ηλεκ}} + Q_{\text{ZNX}} + Q_{\text{Ατμός}} + Q_{\text{Απωλειών}} \quad (1)$$

όπου

E η ενέργεια από την καύση του καυσίμου (θερμογόνο ικανότητα)

W ο παραγόμενος ηλεκτρισμός

Q η θερμότητα νερού, ατμού ή απωλειών

Από τα παραπάνω μεγέθη, η ενέργεια του καυσίμου υπολογίζεται από την μετρούμενη κατανάλωση του κανονικοποιημένου όγκου (Nm<sup>3</sup>) καυσίμου και την θερμογόνο δύναμη που ανακοινώνει η ΔΕΠΑ ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ενώ ο παραγόμενος ηλεκτρισμός από εγκατεστημένους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμότητα που αποδίδεται στο νερό και τον ατμό υπολογίζεται από

$$Q_{\text{ZNX}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{Ατμός}} = \dot{m} \cdot \Delta h$$

όπου

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

Η θερμότητα που προσδίδεται στο νερό ( $Q_{\text{ZNX}}$ ) υπολογίζεται από την μετρούμενη ροή νερού στον εναλλάκτη της κάθε μηχανής ( $\dot{V}$ ) και μετρήσεις των θερμοκρασιών εισόδου – εξόδου του

νερού ( $\Delta T$ ). Οι τιμές για τις μεταβλητές ειδικής θερμότητας ( $c_p$ ) και η πυκνότητας νερού ( $\rho$ ) λαμβάνονται από πίνακες θερμοδυναμικής.

Η θερμότητα που αποδίδεται στον ατμό ( $Q_{\text{Ατμός}}$ ) υπολογίζεται από την μετρούμενη ροή και θερμοκρασία συμπυκνωμάτων προς τον ατμολέβητα ανάκτησης θερμότητας και την μετρούμενη πίεση εξόδου κορεσμένου ατμού από τον ατμολέβητα. Να σημειωθεί ότι η απευθείας μέτρηση ενθαλπίας ( $h$ ) ατμού δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω μεγάλου κόστους των σχετικών οργάνων.

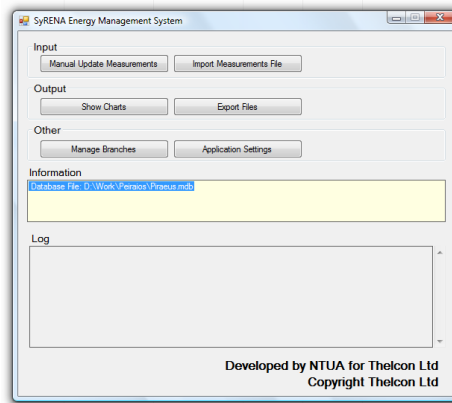
Τέλος οι απώλειες θερμότητας υπολογίζονται αφού έχουν υπολογιστεί όλες οι άλλες μεταβλητές της εξίσωσης (1). Στόχος, φυσικά είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Το ενεργειακό ισοζύγιο των υφισταμένων ατμολεβήτων δίνεται από

$$E_{\text{καυσίμου}} = Q_{\text{Ατμός}} + Q_{\text{Απωλειών}} \quad (2)$$

Για την επεξήγηση των συμβόλων της εξίσωσης (2) ισχύουν οι αντίστοιχες σχέσεις που δόθηκαν για την εξίσωση (1).

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής αποδοτικότητας της συμπαραγωγής που δίνεται από την Εξίσωση (1) και των ατμολεβήτων από την Εξίσωση (2), λαμβάνονται μετρήσεις πρωτογενών στοιχείων σε συνεχή βάση. Οι μετρήσεις αυτές ολοκληρώνονται και αποθηκεύονται από το σύστημα καταγραφής και ελέγχου ανά 15' ή 30'. Η ενεργειακή αποδοτικότητα υπολογίζεται με επεξεργασία των αποθηκευμένων μετρήσεων, με χρήση λογισμικού του συστήματος.



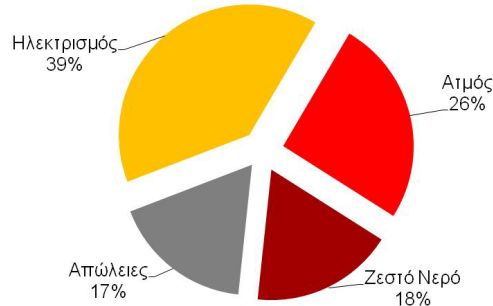
**Σχ. 2 Λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων καταγραφής**

### **Βελτιστοποίηση λειτουργίας**

Στόχος της εγκατάστασης μονάδων συμπαραγωγής είναι η εξοικονόμηση χρημάτων για τον χρήστη μέσω της εξοικονόμησης καυσίμου. Η εξοικονόμηση λειτουργικών εξόδων θα πρέπει να οδηγεί σε απόσβεση της επένδυσης σε αποδεκτό χρονικό διάστημα. Γενικότερος στόχος είναι φυσικά, η προστασία του περιβάλλοντος.

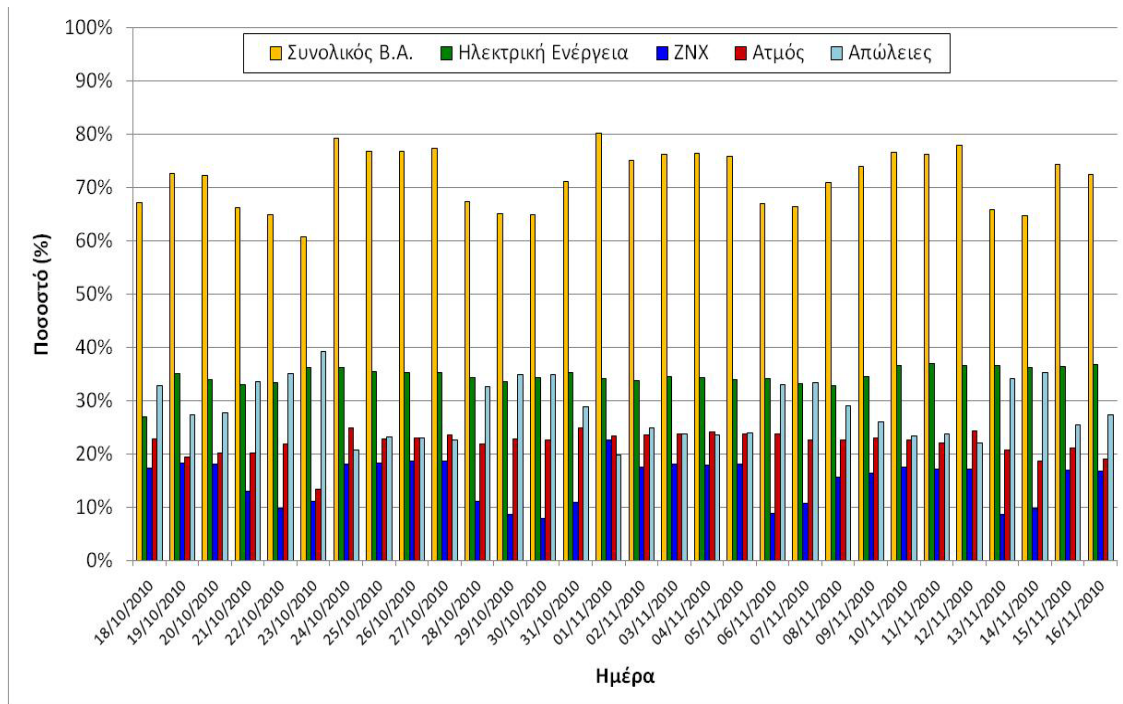
Η βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας της μονάδας ΣΗΘ επιτυγχάνεται όταν μεγιστοποιείται η ποσότητα θερμότητας που δίνεται για ΖΝΧ και ατμό. Στη συγκεκριμένη

εγκατάσταση η λειτουργία της μηχανής οδηγείται από την ανάγκη για ZNX. Κριτήριο για τη λειτουργία των μονάδων ΣΗΘ είναι το επίπεδο θερμοκρασίας του ZNX στο θερμοδοχείο (buffer) του Σχήματος 1. Η πίεση ατμοπαραγωγής έχει κρατηθεί στο χαμηλότερο δυνατόν επίπεδο για την κάλυψη των αναγκών της βιομηχανικής παραγωγής.



**Γράφημα 1. Τυπική ημερήσια απόδοση μονάδας**

Έχοντας σαν στόχο την βαθύτερη κατανόηση της αποδοτικότητας της μονάδας ΣΗΘ, αποφασίστηκε να λειτουργήσει η μηχανή 1 αδιάλειπτα επί 1 μήνα. Η μηχανή 2 ακολουθούσε το θερμικό φορτίο. Να σημειωθεί ότι η βιομηχανική μονάδα λειτουργεί σε 24ωρη βάση 5 ημέρες την εβδομάδα, και τα απογεύματα των Κυριακών γίνονται καθαρισμοί και αποστειρώσεις. Η αποδοτικότητα της μονάδας 1 δίνεται στο Γράφημα 2.



**Γράφημα 2. Ημερήσια αποδοτικότητα μηχανής 1. Αρχική λειτουργία.**

Το γράφημα 2 χρησιμοποιείται σε αναλύσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της ΣΗΘ, τόσο από ενεργειακή όσο και από οικονομική άποψη. Κατά τις παραγωγικές ημέρες της εβδομάδας, η συνολική αποδοτικότητα της μηχανής ΣΗΘ, κυμαίνεται στο εύρος 75-80 %. Κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακο με σημαντικά μειωμένες ανάγκες για θερμική ενέργεια η αποδοτικότητα της μονάδας ΣΗΘ μειώνεται σε επίπεδα κάτω του 70%.

Με δεδομένο το τιμολόγιο της βιομηχανικής μονάδας (B1B) και την χρέωση ισχύος (κάτι ανάλογο ισχύει με πολλά τιμολόγια της ΔΕΗ) θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στον χρόνο λειτουργίας των μονάδων ΣΗΘ. Η ΔΕΗ μετρά την ζήτηση ισχύος ανά 15' και χρεώνει τον χρήστη με την μέγιστη μηνιαία ζήτηση. Μία μονάδα ΣΗΘ της τάξεως του 1 MW μειώνει ισόποσα την ζήτηση ισχύος από το δίκτυο. Αν η μονάδα ΣΗΘ λοιπόν σταματήσει να λειτουργεί σε ώρες αιχμής έστω και για 15' τον μήνα, θα προκύψει (με τα ισχύοντα τιμολόγια) οικονομική επιβάρυνση του χρήστη κατά περίπου 6.060 ευρώ για την καλοκαιρινή περίοδο (Ιουν – Σεπ.) και 2.650 ευρώ κατά το υπόλοιπο του έτους. Τυχόν επισκευές, θα πρέπει λοιπόν να γίνονται με μία εκ των μονάδων σε πλήρη λειτουργία, ή αν είναι σημαντικού μεγέθους μέσα στον ίδιο μήνα τιμολόγησης.

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη σχέση τιμών ηλεκτρισμού και καυσίμου (φυσικού αερίου). Οι τιμές που ίσχυαν κατά την αρχή της λειτουργίας της ΣΗΘ (2010) ήταν 120 €/MWh για την πώληση ηλεκτρισμού και 33.5 €/MWh για το καύσιμο. Η λειτουργία της μονάδας ήταν αρχικά οικονομικά αποδοτική. Μετά από 1.5 έτη η τιμή του ΦΑ είχε αυξηθεί κατά 80%. Η λειτουργία της μονάδας συμπαραγωγής έγινε οικονομικά ασύμφορη. Η μονάδα ΣΗΘ διέκοψε τη λειτουργία της και από τον Σεπτ. 2011 γίνεται προσπάθεια αλλαγής του χαρακτηρισμού σε “Ανεξάρτητο Παραγωγό”, με πώληση όλου του παραγόμενου ηλεκτρισμού στο δίκτυο, ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμη.

### **Συμπεράσματα**

Αναλύθηκε η διαδικασία εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία μονάδας 2 MWe συμπαραγωγής σε βιομηχανία τροφίμων.

Τα βασικότερα προβλήματα διείσδυσης της τεχνολογίας ΣΗΘ στην Ελλάδα αφορούν την διαδικασία αδειοδότησης και τα τιμολόγια ηλεκτρισμού και καυσίμων. Τους τελευταίους μήνες παρατηρείται μία προσπάθεια επίλυσης των προβλημάτων, η επιτυχία της οποίας θα κριθεί στην πράξη. Τα τεχνικά προβλήματα της λειτουργίας της ΣΗΘ επιλύονται σχετικά εύκολα και σε μικρό χρονικό διάστημα.

Η λειτουργία της ΣΗΘ, καθώς και των συστημάτων τα οποία αντικαθιστά, θα πρέπει να παρακολουθείται και να καταγράφεται από εξειδικευμένο ενεργειακό εξοπλισμό σε συνεχή βάση, αφού τα μηνιαία τιμολόγια δεν θεωρούνται αρκετά. Επεξεργασία των καταγραφών και η ανάλυση των αποτελεσμάτων από έμπειρους τεχνικούς οδηγεί σε βελτιστοποίηση λειτουργίας των μονάδων ΣΗΘ. Η βέλτιστη λειτουργία, αφορά τόσο την ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και την εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους και διαφέρει στις διάφορες εγκαταστάσεις.

### **Βιβλιογραφία**

«Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», TOTEE 2010.  
<http://www.thelcon.gr/pdfs/SyRENA.pdf>