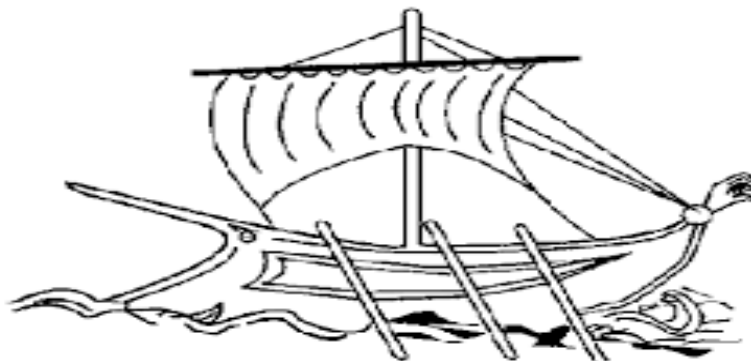


ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***"Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από μονάδα
ΣΗΘΥΑ του ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ"***

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

Σιδηρόπουλος Ευστάθιος Α.Μ. 41246

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. Γεώργιος Αλέξης

ΑΘΗΝΑ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	3
1.1.Α' ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ.....	4
1.2. Β' ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ	5
1.3.ΕΝΤΡΟΠΙΑ.....	6
1.4. ΚΥΚΛΟΣ ΟΤΤΟ	7
1.5. ΚΥΚΛΟΣ DIESEL	8
1.6. ΑΠΛΟΣ ΚΥΚΛΟΣ BRAYTON.....	9
1.7. ΑΠΛΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE	10
1.8. ΚΥΚΛΟΣ STIRLING - PHILIPS.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΣΗΘΥΑ).....	12
2.1. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	13
2.2. ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΗΘΥΑ.....	14
2.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΗΘΥΑ	14
2.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	14
2.3.2 ΚΑΥΣΙΜΑ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	15
2.4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	17
2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	19
2.6.. ΤΙΜΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΙΣ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ	20
2.7. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘΥΑ	23
2.7.1 ΤΙΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	23
2.7.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΘ.....	25
2.7.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ..	26
2.7.4 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΗΘ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΜΟΝΑΔΑ ΣΗΘΥΑ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ	29
3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘΥΑ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ	30
3.2. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	35
3.3. ΖΗΤΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΤΟΥ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ	36
3.4. ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ ΤΟΥ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘΥΑ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ	45
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της εργασίας είναι η παρουσίαση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης του ιδρύματος ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ καθώς και η τιμολόγηση της. Σκοπός είναι να επισημανθούν οι τεχνολογίες που βρίσκουν εφαρμογή στη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, καθώς η συμπαραγωγή δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά μια εφαρμογή τεχνολογιών με στόχο την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα συμπαραγωγής εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που θα χανόταν στο περιβάλλον κατά τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνοντας συνολική ενεργειακή απόδοση μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων.

Αναλυτικότερα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η επισήμανση βασικών αρχών της θερμοδυναμικής, δίνοντας ορισμούς και παρουσιάζοντας τις εφαρμογές της, καθώς και η αναφορά βασικών κύκλων παραγωγής έργου (π.χ. κύκλοι Otto, Diesel κ.τ.λ.). Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται, αναλυτικά οι τεχνολογίες συστημάτων συμπαραγωγής που υφίστανται καθώς και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση της καύσης. Εν συνεχεία στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά της μονάδας ΣΗΘΥΑ του ιδρύματος και αναφέρεται αν πληροί τις ανάγκες ζήτησης ενέργειας. Επιπλέον, αναλύεται ο αυτοματισμός της εγκατάστασης, πώς υπολογίζεται η απόδοση και οι τιμές κατανάλωσης ισχύος τα οποία καταγράφονται σε υπολογιστή. Στο τέταρτο κεφάλαιο φαίνεται η τιμολόγηση της μονάδας ΣΗΘΥΑ του ιδρύματος, δηλαδή θα υπολογιστεί η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια και πώς υπολογίζεται το κόστος της. Στο τέλος αναγράφονται όλα τα χρήσιμα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ.

ABSTRACT

The aim of the work is to present the high-efficiency cogeneration of heat and power of PIRAEUS UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES and its pricing. The Purpose is to be highlighted the technologies that they find fit to the high-efficiency cogeneration of heat and power, as the cogeneration isn't a specific technology but it's an application of many technologies aiming the exploitation of thermal energy of the exhaust gases during combustion for the production of electricity. Cogeneration systems exploit the heat which would be lost to the environment during conventional power generation, achieving overall energy efficiency greater than that of individual systems.

Analyzing with more details, in the first chapter refer to the main principles of thermodynamics, giving definitions and presenting its applications, as well as reference to basic production cycles (for example Otto, Diesel etc.). In the second chapter analytically refer the existing technologies systems of cogeneration and the using fuel used to carry out the combustion. Then in the third chapter, are presented in detail the characteristics of the CHP unit of the institution and indicates whether it meets the demand for energy demand. Furthermore, analyzed the installation's automation, how performance and power consumption values is calculated which are recorded on a computer. In the fourth chapter is depicted the CHP unit's pricing of the institution that is the total energy consumed and how it's cost will be calculated . Finally, all useful conclusions and observations for CHP units are given.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1. Α' ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ([1],[2])

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος γνωστός και ως αρχή διατήρησης της ενέργειας, χρησιμοποιείται για τη μελέτη διαφόρων μορφών ενέργειας καθώς και για τη μελέτη ενεργειακών αλληλεπιδράσεων. Ορίζει πως η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας παρά μόνο να αλλάξει μορφές (π.χ. Από Μηχανική Ενέργεια να μετατραπεί σε Ηλεκτρική). Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος χωρίζεται σε ανοιχτό και κλειστό σύστημα (όγκος ελέγχου). Για το κλειστό σύστημα θεωρείται πως η μάζα είναι σταθερή συναρτήσει του χρόνου, ενώ για το ανοιχτό σύστημα μεταβάλλεται και σε σταθεροποιημένη ροή η παροχή μάζας είναι σταθερή. Η εξίσωση που περιγράφει τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο είναι η ακόλουθη:

$$\text{Για κλειστό σύστημα } Q_{12} - W_{12} = m[(u_2 - u_1) + K.E. + \Delta.E.]$$

$$\text{Για ανοιχτό σύστημα } \dot{Q}_{12} - \dot{W}_{12} = \dot{m}[(h_2 - h_1) + K.E. + \Delta.E.] \text{ όπου:}$$

Q_{12} : Θερμότητα διεργασίας $1 \rightarrow 2$ (kJ)

\dot{Q}_{12} : Θερμική ισχύς (kW)

W_{12} : Έργο (kJ)

\dot{W}_{12} : Ισχύς έργου (kW)

m : Μάζα Συστήματος (kg)

\dot{m} : Παροχή μάζας συστήματος (kg/s)

$u_2 - u_1$: Μεταβολή Εσωτερικής Ενέργειας (kJ/kg)

$h_2 - h_1$: Μεταβολή Ενθαλπίας (kJ/kg)

$K.E.$: Μεταβολή Κινητικής Ενέργειας (kJ/kg)

$\Delta.E.$: Μεταβολή Δυναμικής Ενέργειας (kJ/kg)

Οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να τροποποιηθούν με τα ειδικά μεγέθη με μονάδες (kJ/kg).

$$\text{Για κλειστό σύστημα } q_{12} - w_{12} = (u_2 - u_1) + K.E. + \Delta.E.$$

$$\text{Για ανοιχτό σύστημα } q_{12} - w_{12} = (h_2 - h_1) + K.E. + \Delta.E.$$

1.2. Β' ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ([1],[2],[14])

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος ασχολείται με την ποιότητα της ενέργειας. Αναφέρει πως σε οποιαδήποτε θερμική μηχανή για παραγωγή έργου υπάρχουν περιορισμοί αναφορικά με την συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων και παρουσιάζεται σαν αρνητικός νόμος, που συσχετίζει τα φαινόμενα σε συνάρτηση με τη διεύθυνση μεταφοράς τους. Οπότε ορίζεται και ένας βαθμός απόδοσης για τις θερμικές μηχανές. Ο βαθμός απόδοσης αναφέρει κατά πόσο είναι ικανή η θερμική μηχανή να παράγει το μέγιστο δυνατό έργο με τις ελάχιστες απώλειες. Ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης είναι του κύκλου Carnot. Επιπλέον, ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος υποδηλώνει πως σε οποιαδήποτε ψυκτική μηχανή απαιτείται κατανάλωση έργου για μεταφορά θερμότητας από ένα ψυχρό δοχείο σε κάποιο θερμότερο για παραγωγή ψύξης, σε αντίθεση δε με τις θερμικές μηχανές ορίζεται ένας συντελεστής συμπεριφοράς. Ο συντελεστής συμπεριφοράς σχετίζεται με το πόσο καταναλισκόμενο έργο απαιτείται για την απαιτούμενη ικανότητα της ψυκτικής μηχανής. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος μπορεί να περιγραφεί από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Για Θερμική Μηχανή: } \eta = \frac{W_{\text{net}}}{Q_H}$$

$$\text{Για Ψυκτική Μηχανή: } \text{COP} = \frac{Q_L}{W}$$

η : Βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής

Q_H : Προσφερόμενη θερμότητα (kJ)

W_{net} : Καθαρό έργο το οποίο παράγεται από τη θερμική μηχανή (kJ)

COP: Συντελεστής συμπεριφοράς ψυκτικής μηχανής

Q_L : Ψυκτική ικανότητα (kJ)

W: Καταναλισκόμενο έργο που απαιτείται για την παραγωγή ψύξης (kJ)

1.3. ΕΝΤΡΟΠΙΑ ([1],[2])

Η εντροπία είναι κάπως αφηρημένη σαν έννοια και δεν είναι εύκολο να δοθεί φυσική περιγραφή, χωρίς να ληφθεί υπόψη η μικροσκοπική κατάσταση του συστήματος. Η έννοια της εντροπίας κατανοείται μέσω της μελέτης διαφόρων εφαρμογών. Σε αντίθεση με την ενέργεια, η εντροπία είναι μια αφηρημένη ιδιότητα όποτε δεν υπάρχει κάποια αρχή διατήρησης της εντροπίας. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος μπορεί να παρουσιαστεί είτε από την πρόσδοση θερμότητας (αύξηση εντροπίας), είτε με την απόρριψη θερμότητας (μείωση εντροπίας). Στην περίπτωση που έχουμε αδιαβατική διεργασία αυτό δεν σημαίνει ότι έχουμε απαραίτητα και ισεντροπική, αυτό θα ίσχυε αν η παραπάνω διεργασία ήταν και αντιστρεπτή. Γενικά σε μια κυκλική διεργασία, αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή ισχύει πάντα η ανισότητα του Clausius. Η ανισότητα Clausius ορίζεται ως $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$, όπου η ανισότητα ισχύει για μη αντιστρεπτούς κύκλους και η ισότητα για αντιστρεπτούς. Η εντροπία που παράγεται είναι πάντα θετική ή 0 και ισχύει σε μια μη αντιστρεπτή διεργασία $1 \rightarrow 2$ ότι: $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ αυτό αποτελεί την αρχή της αύξησης της εντροπίας.

1.4. ΚΥΚΛΟΣ ΟΤΤΟ ([1])

Ο κύκλος Otto είναι ο ιδανικός κύκλος για παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, όπου η ανάφλεξη γίνεται με σπινθήρα. Οι περισσότερες μηχανές που ακολουθούν τον κύκλο Otto είναι τετράχρονες όπου το έμβολο εκτελεί τέσσερις διαδρομές για έναν πλήρη κύκλο. Η πρώτη είναι η διεργασία εισαγωγής (αναρρόφηση μίγματος αέρα-καυσίμου) από την βαλβίδα εισαγωγής, ακολουθεί η διεργασία συμπίεσης και η καύση θεωρείται ότι γίνεται σε στιγμιαίο χρόνο στο τέλος της συμπίεσης, έπειτα το συμπιεσμένο μίγμα εκτονώνεται παράγοντας έργο και τέλος τα καυσαέρια που παράχθηκαν από την καύση εξέρχονται από την βαλβίδα εξαγωγής στην τελευταία διαδρομή του εμβόλου. Υπάρχουν και οι δίχρονες μηχανές Otto οι οποίες αντίστοιχα το έμβολο εκτελεί δύο διαδρομές για έναν πλήρη κύκλο και χωρίζεται σε διαδρομή ισχύος και διαδρομή συμπίεσης. Οι μηχανές που ακολουθούν τον κύκλο Otto είναι γνωστές και ως βενζινοκινητήρες, όμως υπάρχουν και μηχανές που χρησιμοποιούν άλλο καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο) που χρησιμοποιούν τον κύκλο Otto. Οι διεργασίες του κύκλου Otto (τετράχρονου) είναι οι ακόλουθες:

Συμπίεση: Διεργασία $A \rightarrow B$: Αδιαβατική

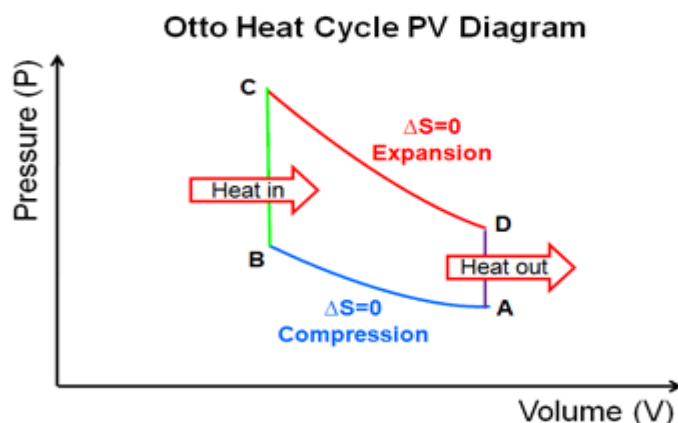
Καύση: Διεργασία $B \rightarrow C$: Ισόχωρη

Εκτόνωση: Διεργασία $C \rightarrow D$: Αδιαβατική

Εξαγωγή: Διεργασία $D \rightarrow A$: Ισόχωρη

Αποδεικνύεται ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Otto περιγράφεται από τη σχέση: $\eta = \frac{1}{r^{\gamma-1}}$ όπου:

$$r: \text{Λόγος συμπίεσης } r = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_D}{V_C}$$



Σχήμα 1: Διάγραμμα P-V κύκλου Otto [3]

1.5. ΚΥΚΛΟΣ DIESEL ([1])

Ο κύκλος Diesel είναι ο ιδανικός κύκλος για παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, όπου η ανάφλεξη γίνεται χωρίς σπινθήρα αλλά μέσω της συμπίεσης αυξάνει η θερμοκρασία όπου το μίγμα αυταναφλέγεται. Είναι παρόμοια η λειτουργία του κύκλου Diesel μ' αυτή του Otto με τη διαφορά ότι η καύση θεωρείται ότι γίνεται υπό σταθερή πίεση. Ακόμα σε αντίθεση με τον κύκλο Otto κατά την διάρκεια της εισαγωγής δεν αναρροφάται μίγμα αέρα-καυσίμου στον θάλαμο καύσης αλλά καθαρός αέρας. Προς το τέλος της συμπίεσης το καύσιμο εισέρχεται μέσω ψεκασμού και λόγω υψηλής πίεσης το καύσιμο αυταναφλέγεται. Οι συνηθέστερες μηχανές που ακολουθούν τον κύκλο Diesel είναι τετράχρονοι. Οι διεργασίες του κύκλου Diesel (τετράχρονου) είναι οι ακόλουθες:

Εισαγωγή: Διεργασίας $o \rightarrow a$: Ισόθλιπτη

Συμπίεση: Διεργασίας $a \rightarrow b$: Αδιαβατική

Καύση: Διεργασία $b \rightarrow c$ Ισόθλιπτη

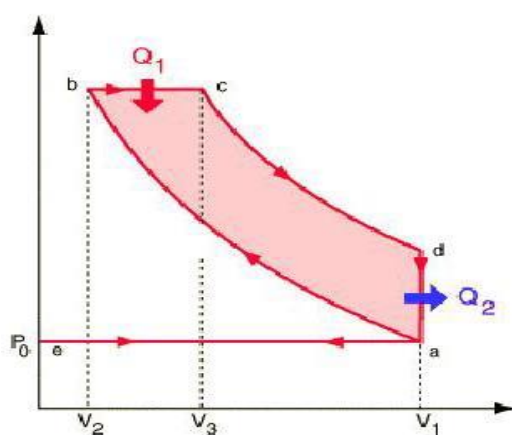
Εκτόνωση: Διεργασίας $c \rightarrow d$: Αδιαβατική

Εξαγωγή: Διεργασίας $d \rightarrow a$: Ισόχωρη

Αποδεικνύεται ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Diesel περιγράφεται από τη σχέση: $\eta = 1 - \frac{r_c^\gamma - 1}{\gamma r^{\gamma-1} (r_c - 1)}$ όπου:

r : Λόγος συμπίεσης $r = \frac{V_a}{V_b}$

r_c : Λόγος αποκοπής $r_c = \frac{V_c}{V_b}$



Σχήμα 2: Διάγραμμα P-V κύκλου Diesel [4]

1.6. ΑΠΛΟΣ ΚΥΚΛΟΣ BRAYTON ([1])

Ο απλός κύκλος Brayton γνωστός και ως κύκλος αεροστροβίλων στον οποίο οι διεργασίες συμπίεσης και εκτόνωσης πραγματοποιούνται σε περιστροφικές μηχανές σε αντίθεση με τις παλινδρομικές μηχανές. Συνήθως οι αεροστρόβιλοι είναι ανοιχτού τύπου. Τέτοιου τύπου αεροστρόβιλοι αναρροφούν αέρα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες μέσω του συμπιεστή αυξάνοντας ισηντροπικά την πίεση του. Έπειτα ο αέρας εισέρχεται στον θάλαμο καύσης στον οποίο καίγεται το καύσιμο υπό σταθερή πίεση και παράγονται καυσαέρια υψηλής ενθαλπίας. Εν συνεχεία τα καυσαέρια εκτονώνονται στο στρόβιλο όπου παράγεται έργο και τελικά αυτά απορρίπτονται στο περιβάλλον. Ο κλειστού τύπου αεροστρόβιλος είναι παρόμοιος με τον ανοιχτού τύπου με την διαφορά ότι προστίθεται ένας εναλλάκτης θερμότητας άρα μια επιπλέον διεργασία. Επίσης μία σημαντική διαφορά είναι ότι ο κλειστού τύπου αεροστρόβιλος δεν έχει επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι διεργασίες του απλού κύκλου Brayton (κλειστού τύπου) είναι οι ακόλουθες:

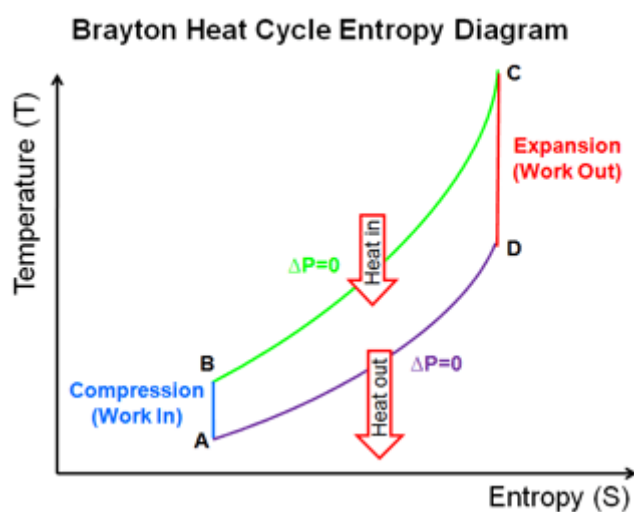
Αναρρόφηση-Συμπίεση: Διεργασίας $A \rightarrow B$: Ισηντροπική (Συμπιεστής)

Καύση: Διεργασίας $B \rightarrow C$: Ισόθλιπτη (Θάλαμος καύσης)

Εκτόνωση: Διεργασίας $C \rightarrow D$: Ισηντροπική (Στρόβιλος)

Απόρριψη θερμότητας: Διεργασίας $D \rightarrow A$: Ισόθλιπτη (Εναλλάκτης θερμότητας)

Αποδεικνύεται ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Brayton περιγράφεται από τη σχέση: $\eta = 1 - r^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$, όπου: $r = \frac{P_H}{P_L}$



Σχήμα 3: Διάγραμμα T-s κύκλου Brayton [4]

1.7. ΑΠΛΟΣ ΚΥΚΛΟΣ RANKINE ([1])

Ο απλός κύκλος Rankine γνωστός και ως κύκλος ατμοστροβίλων, η λειτουργία του θυμίζει αυτή του κύκλου Brayton με την διαφορά ότι το εργαζόμενο μέσο είναι το νερό. Στην αρχή του κύκλου κεκορεσμένο (κατάσταση 1) νερό χαμηλής πίεσης εισέρχεται στην αντλία της εγκατάστασης όπου αυξάνεται ισεντροπικά στην πίεση λειτουργίας του λέβητα και γίνεται υπόψυκτο νερό υψηλής πίεσης (κατάσταση 2). Έπειτα το συμπιεσμένο υγρό εισέρχεται στον λέβητα και αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού υπό σταθερή πίεση μέχρι που γίνεται υπέρθερμος ατμός (κατάσταση 3). Εν συνεχεία ο ατμός εκτονώνεται στο στρόβιλο ισεντροπικά παράγοντας έργο, περιστρέφοντας τον άξονα που συνδέεται π.χ. με μια γεννήτρια. Η εκτόνωση γίνεται μέχρι την χαμηλή πίεση όπου το εργαζόμενο μέσο καταλήγει μίγμα υγρού και ατμού υψηλής ποιότητας (κατάσταση 4). Στο τέλος του κύκλου το μίγμα υδρατμού εισέρχεται σε ένα συμπυκνωτή όπου απορρίπτεται θερμότητα στο περιβάλλον υπό σταθερή πίεση μέχρι το εργαζόμενο μέσο να φτάσει την κατάσταση του κεκορεσμένου υγρού. Οι διεργασίες του απλού κύκλου Rankine είναι οι ακόλουθες:

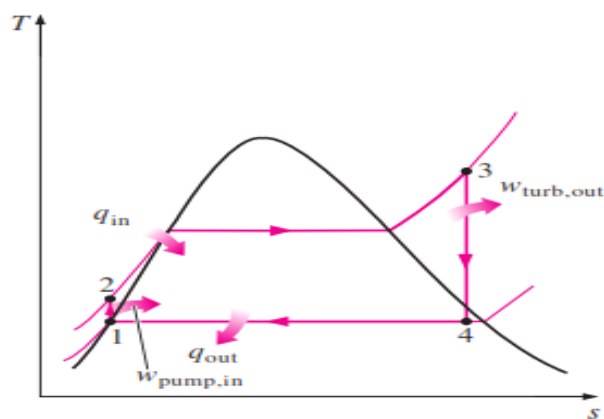
Αναρρόφηση-Συμπίεση: Διεργασίας $1 \rightarrow 2$: Ισεντροπική (Αντλία)

Πρόσδοση θερμότητας: Διεργασίας $2 \rightarrow 3$: Ισόθλιπτη (Λέβητας)

Εκτόνωση: Διεργασίας $3 \rightarrow 4$: Ισεντροπική (Στρόβιλος)

Απόρριψη θερμότητας: Διεργασίας $4 \rightarrow 1$: Ισόθλιπτη (Συμπυκνωτής)

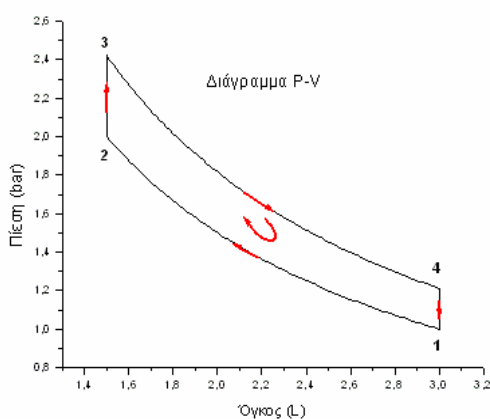
Αποδεικνύεται ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine περιγράφεται από τη σχέση: $\eta = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2}$



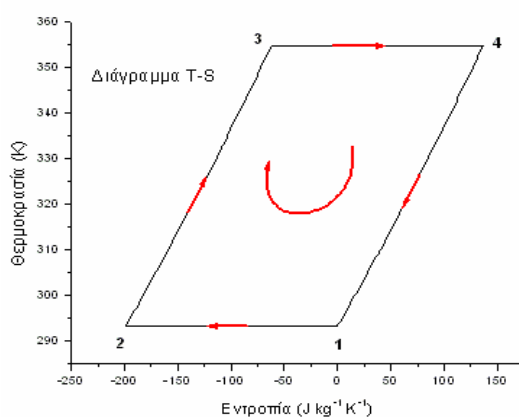
Σχήμα 4: Διάγραμμα T-s κύκλου Rankine [1]

1.8. ΚΥΚΛΟΣ STIRLING - PHILIPS ([2])

Ο κύκλος Stirling είναι παρόμοιος με τον κύκλο Carnot μόνο που αντί για τις δύο ισεντροπικές διεργασίες έχει δύο ισόχωρες, επινοήθηκε από τον Dr. Robert Stirling. Ο κύκλος Stirling είναι μία κλειστή μηχανή αερίου, παράγει έργο με θέρμανση και ψύξη τις ίδιες μάζας αερίου και δεν ανταλλάσει αέριο ούτε με την ψυχρή ούτε με την θερμή πηγή, αλλά μόνο θερμότητα. Υπάρχει και ο αντίστοιχος αντίστροφος κύκλος Stirling για την παραγωγή ψύξης (ψυκτική μηχανή). Στην αρχή του κύκλου (για θερμική μηχανή) (Διεργασία $1 \rightarrow 2$) το εργαζόμενο μέσο εκτελεί ισοθερμοκρασιακή συμπίεση, εν συνεχεία ακολουθεί η καύση υπό σταθερό όγκο (Διεργασία $2 \rightarrow 3$). Αφού ολοκληρωθεί η πρόσδοση θερμότητας το εργαζόμενο μέσο εκτονώνεται ισοθερμοκρασιακά παράγοντας μηχανικό έργο (Διεργασία $3 \rightarrow 4$) και τέλος ακολουθεί η απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον υπό σταθερό όγκο (Διεργασία $4 \rightarrow 1$) ολοκληρώνοντας έτσι έναν κύκλο λειτουργίας.



Σχήμα 5: Διάγραμμα P-V κύκλου Stirling [10]



Σχήμα 6: Διάγραμμα T-s κύκλου Stirling [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ([6])

ΣΗΘ ή απλά συμπαραγωγή (CHP), είναι η παραγωγή δύο ή περισσότερων μορφών χρήσιμης ενέργειας στο πλαίσιο μίας μόνο διαδικασίας. Στις περισσότερες εφαρμογές ΣΗΘ, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική. Η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και η θερμική χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ατμού, θερμού αέρα ή νερού. Το κύριο πλεονέκτημα της ΣΗΘ είναι η καλύτερη αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου σε σύγκριση είτε με τις απλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις που παράγουν ατμό ή θερμό νερό για τις ανάγκες κάποιου σταδίου της παραγωγικής τους διαδικασίας (process heat) και οι οποίες αγοράζουν το ρεύμα που χρειάζονται από προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ρεύματος και μόνο. Αν και στις εφαρμογές ΣΗΘ γίνεται συνήθως πρώτα η παραγωγή θερμότητας, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρισμού και ατμού (ή χρήσιμης θερμικής ενέργειας σε άλλη μορφή) με διαφορετική σειρά και σε διάφορες αναλογίες. Γενικά, ανάλογα με το αν η βιομηχανική μονάδα έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε θερμότητα ή σε ρεύμα μπορεί να παράγεται πρώτα ηλεκτρισμός και η θερμότητα που αλλιώς θα αποβαλλόταν να αξιοποιείται στην συνέχεια για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού χρήσιμου σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας (topping-cycle-systems), είτε το αντίστροφο, δηλαδή να παράγεται πρώτα θερμότητα και δευτερευόντως, από το περίσσειμά της, να παράγεται ρεύμα (bottoming-cycle-systems). Αφαιρετικά, τα συστήματα συμπαραγωγής αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, έναν 'κινητήρα' για την οδήγηση μιας γεννήτριας (συνήθως αμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος ή σε μικρότερες εφαρμογές εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης), την ίδια τη γεννήτρια, και έναν μηχανισμό ανάκτησης θερμότητας. Η πίεση του ανταγωνισμού για μείωση του κόστους παραγωγής έχει στρέψει αρκετές βιομηχανικές μονάδες προς την κατεύθυνση αυτή, αφού η συμπαραγωγή όπου και όταν εφαρμοστεί σωστά, κατόπιν προσεκτικού σχεδιασμού και μελέτης όλων των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των συνολικών εξόδων για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας. Επιπλέον με την συμπαραγωγή μπορεί να μειωθεί η εξάρτηση του εργοστασίου από το δίκτυο, ή με άλλα λόγια μπορεί να διασφαλιστεί σε ένα μεγάλο βαθμό η αδιάλειπτη και ποιοτική εξυπηρέτηση ενός στρατηγικής σημασίας τμήματος του φορτίου του. Η βιομηχανία επεξεργασίας Βιομάζας ή γενικότερα μονάδες που παράγουν απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως Βιομάζα, έχουν άλλο ένα πλεονέκτημα εκτός από τα δύο παραπάνω: μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο τα ίδια τους τα απόβλητα μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος λειτουργίας τους. Επιπλέον υπάρχουν οι γνωστές δυνατότητες χρηματοδοτήσεων και εξασφάλισης εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο κάτω από το ευνοϊκό νομικό καθεστώς που διέπει την ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ - για όποιες απ' αυτές μπορούν να παράγουν περίσσεια ρεύματος.

2.2. ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΗΘΥΑ ([6],[7])

Στην Ελληνική Νομοθεσία (Ν.3734/2009, αρθ.3), με τον όρο «Αποδοτικότητα Συμπαραγωγής» εννοείται το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή χρήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ή και μηχανικής ενέργειας. Αντίστοιχα, με τον όρο «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας» (ΣΗΘΥΑ) εννοείται η συμπαραγωγή με αποδοτικότητα τουλάχιστον 10%, καθώς και η συμπαραγωγή από μονάδες μικρής (≤ 1 MWe) και πολύ μικρής (≤ 50 kWe) κλίμακας που εξασφαλίζει την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανεξαρτήτως αποδοτικότητας. «Τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για χωριστή παραγωγή»: Ο βαθμός απόδοσης της χωριστής παραγωγής θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία αποσκοπεί να υποκαταστήσει η διεργασία συμπαραγωγής. «Λειτουργικά δεδομένα ΣΗΘ»: Τα ονομαστικά δεδομένα του κατασκευαστή για νέες μονάδες κατά τη φάση σχεδίασης και εγκατάστασης. Για λειτουργούσες μονάδες νοούνται τα δεδομένα που καταγράφονται όταν η μονάδα λειτουργεί σε μέγιστο συμπαραγωγικό φορτίο. «Μονάδα ΣΗΘ συμπαγούς τύπου»: Η μονάδα ΣΗΘ, στην οποία όλα τα κύρια και περιφερειακά εξαρτήματα βρίσκονται εντός σταθερού περιβλήματος που περιλαμβάνει και την ακουστική μόνωση. «Παραγωγή από συμπαραγωγή»: Το άθροισμα της ηλεκτρικής και μηχανικής ενέργειας και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας που παράγονται από τη συμπαραγωγή. «Εγγύηση Προέλευσης από ΣΗΘΥΑ»: Η πιστοποίηση από τον φορέα έκδοσης εγγυήσεων προέλευσης, ότι η ηλεκτρική ενέργεια, στην οποία αφορά, έχει παραχθεί από συμπαραγωγή υψηλής αποδοτικότητας. «Σύστημα Εγγυήσεων Προέλευσης ΣΗΘΥΑ»: Οι κανόνες που θεσπίζονται και οι διαδικασίες που ορίζονται με το κεφάλαιο αυτό, καθώς και με τις ειδικότερες κανονιστικές πράξεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του. «Αυτόνομος σταθμός συμπαραγωγής»: Ο σταθμός συμπαραγωγής που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή και δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.

2.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΗΘΥΑ ([6],[8],[13])

2.3.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ [6]

Για τη Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών. Όλα τα συστήματα ΣΗΘ αποτελούνται πάντα από μία ηλεκτρογεννήτρια και ένα σύστημα ανάκτησης της θερμότητας. Οι τεχνολογίες που σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως είναι όπως αναφέρεται στο άρθρο 4 από την Ελληνική Νομοθεσία (Ν.3734/2009):

- α) Συνδυασμένος κύκλος αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας
- β) Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης
- γ) Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης – απομάστευσης
- δ) Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας
- ε) Παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης
- στ) Μικροστρόβιλος
- ζ) Μηχανές Stirling
- η) Κυψέλη καυσίμου
- θ) Ατμομηχανή
- ι) Οργανικός κύκλος Rankine
- ια) Οποιοσδήποτε άλλος τύπος τεχνολογίας ή συνδυασμός τύπων τεχνολογιών που εμπίπτει στον ορισμό της συμπαραγωγής.

Οι τεχνολογίες οι οποίες αναφέρονται παραπάνω είναι άμεσα διαθέσιμες, ώριμες και αξιόπιστες. Εκτός από τις παρακάτω οι οποίες εμφανίστηκαν στην αγορά τα τελευταία χρόνια ή είναι πιθανό να διατεθούν σύντομα:

- στ) Μικροστρόβιλοι
- η) Κυψέλες καυσίμου
- ζ) Μηχανές Stirling

Τα συστήματα ΣΗΘ είναι διαφόρων μεγεθών και με εύρους ηλεκτρικής ισχύος, από 5 kW (μικρές μηχανές για μια μονοκατοικία) μέχρι 500 MW (συστήματα τηλεθέρμανσης / τηλεψύξης ή βιομηχανικά συστήματα).

2.3.2. ΚΑΥΣΙΜΑ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ [6],[8],[13]

Τα συστήματα Συμπαραγωγής μπορούν να τροφοδοτηθούν, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, με διάφορα καύσιμα:

- i) ορυκτά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο, υγρά καύσιμα και άνθρακας
- ii) βιοαέριο, από οργανικά απορρίμματα ή από εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών
- iii) βιομάζα, όπως αγροτικά και δασικά υπολείμματα ή από ενεργειακές καλλιέργειες

Το καύσιμο, όμως, που σήμερα κυριαρχεί, για οικονομικούς, περιβαλλοντικούς λόγους (ποιότητα καύσης) αλλά και λόγω υψηλής θερμογόνου δύναμης είναι το Φυσικό Αέριο. Στις κυψέλες καυσίμου τα καύσιμα δεν καίγονται, αλλά αναμορφώνονται για να παραχθεί ενέργεια, μέσω της συντελούμενης χημικής αντίδρασης. Παρακάτω αναλύονται με περισσότερες λεπτομέρειες, για κάθε είδους τεχνολογία, τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.

α) Θερμικές μηχανές

i) Συμπαγωγή με ατμοστρόβιλο: Χρησιμοποιείται άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, ξύλα, απόβλητα, τύρφη και πυρηνικά καύσιμα. Ο ατμός είναι το μέσο με το οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.

ii) Συμπαγωγή με αεριοστρόβιλο: Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι τα μόνα κατάλληλα καύσιμα. Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας είναι τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης.

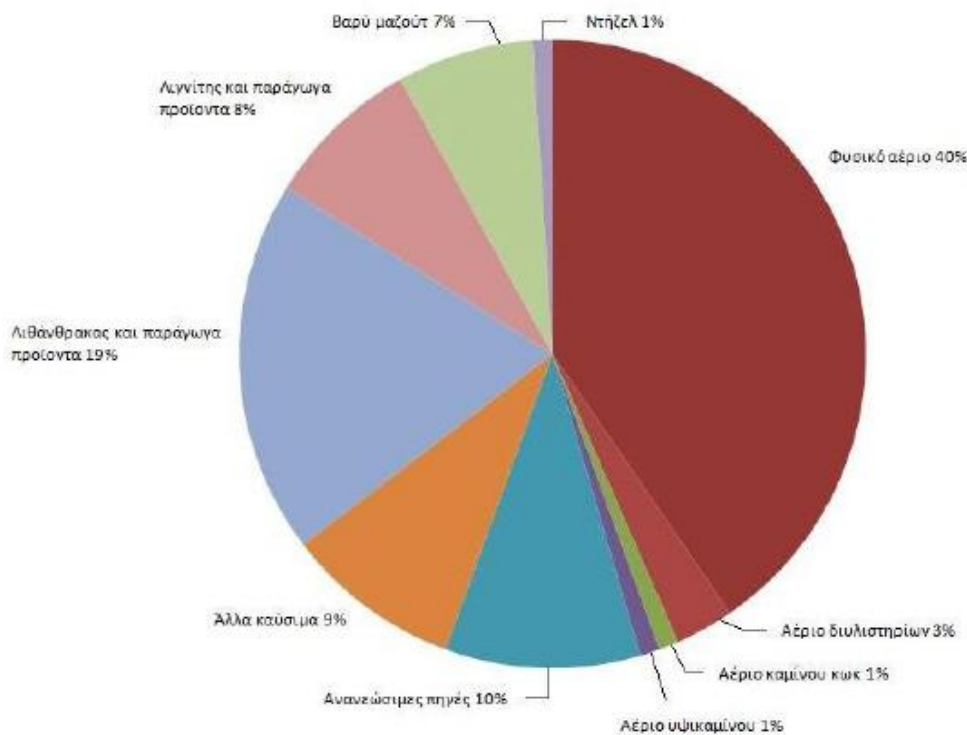
iii) Συμπαγωγή με συνδυασμένο κύκλο: Η υψηλή θερμότητα και περιεκτικότητα σε οξυγόνο των καυσαερίων του αεριοστροβίλου χρησιμοποιούνται σε μια δεύτερη διεργασία με έναν ατμοστρόβιλο.

β) Μηχανές εσωτερικής καύσης

Συμπαγωγή με παλινδρομική μηχανή: Η χημικά δεσμευμένη ενέργεια του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου diesel, για παράδειγμα, μετασχηματίζεται άμεσα με την καύση σε μηχανική ενέργεια.

Καύσιμο	Θερμογόνος Δύναμη		Ρύποι %		
	Ανωτέρα (MJ/kg)	Κατωτέρα (MJ/kg)	S (Θείο)	H ₂ O (Νερό)	IT (Τέφρα)
C (Ανθρακας)	30,6 MJ/kg	29,7 MJ/kg	1,2	10,0	8,0
Υπολείμματα ξύλου	15,8 MJ/kg	14,4 MJ/kg	0,4	15,0	Ίχνος
Μαζούτ	41,2 MJ/lt	38,9 MJ/lt	2,0	0,3	0,04
Βενζίνη	38,3 MJ/lt	36,0 MJ/lt	0,15	0,05	0,01
Φυσικό Αέριο	38,0 MJ/m ³	34,2 MJ/m ³	-	Ίχνος	-
Βιοαέριο	20,0 MJ/m ³	18,0 MJ/m ³	Ίχνος	Ίχνος	-
Αέρια Ορυχείων	21,0 MJ/m ³	18,9 MJ/m ³	Ίχνος	5,0	-

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά & ιδιότητες επιλεγμένων καυσίμων [8]



Πηγή: COGEN Europe

Σχήμα 7: Αναπαράσταση ποσοστού καυσίμων για μονάδες ΣΗΘΥΑ

2.4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ([7])

Σύμφωνα με την Νομοθεσία (Ν.3734/2009, αρθ.5), η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω.

α) Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή προσδιορίζονται με βάση την αναμενόμενη ή πραγματική λειτουργία της μονάδας κάτω από κανονικές συνθήκες χρήσης. Για τις μονάδες συμπαραγωγής πολύ μικρής κλίμακας ο υπολογισμός μπορεί να βασίζεται σε πιστοποιημένες τιμές.

β) Η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή θεωρείται ίση με την ολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας μετρούμενη στους ακροδέκτες των κύριων γεννητριών: (i) σε μονάδες συμπαραγωγής τύπου ατμοστροβίλων αντίθλιψης, αεριοστροβίλων με ανάκτηση θερμότητας, παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης, μικροστροβίλων, κυψελών καυσίμου και μηχανών Stirling με ολικό ετήσιο βαθμό απόδοσης τουλάχιστον ίσο με 75%, (ii) σε μονάδες συμπαραγωγής τύπου συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας και ατμοστροβίλου

συμπύκνωσης – απομάστευσης με ολικό ετήσιο βαθμό απόδοσης τουλάχιστον ίσο με 80%.

γ) Σε μονάδες συμπαραγωγής τύπου ατμοστροβίλου αντίθλιψης, αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας, παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσης, μικροστροβίλου και μηχανών Stirling όπου η περίπτωση δεν ισχύει τότε η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή υπολογίζεται με την ακόλουθη σχέση:

$$E_{CHP} = H_{CHP} * C$$

όπου: E_{CHP} : είναι η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, H_{CHP} : είναι η χρήσιμη θερμική ενέργεια από συμπαραγωγή, στην οποία δεν περιλαμβάνεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από χωριστούς λέβητες ή από παροχέτευση ατμού από τον ατμολέβητα πριν από τον ατμοστρόβιλο, C ή PHR : είναι ο λόγος ηλεκτρικής προς τη χρήσιμη θερμική ενέργεια από συμπαραγωγή.

δ) Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας από συμπαραγωγή βασίζεται στον πραγματικό λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια. Εάν ο πραγματικός λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια μιας μονάδας συμπαραγωγής δεν είναι γνωστός, μπορούν να χρησιμοποιούνται, ιδιαίτερα για στατιστικούς λόγους, οι ακόλουθες πρότυπες τιμές για τις μονάδες τύπου συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας, ατμοστροβίλου αντίθλιψης, ατμοστροβίλου συμπύκνωσης – απομάστευσης, αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας, παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης με την προϋπόθεση ότι η υπολογιζόμενη με τον τρόπο αυτόν ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή είναι ίση ή μικρότερη με την ολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται για κάθε τύπου μονάδας συμπαραγωγής η πρότυπη τιμή του λόγου ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια.

Τύπος μονάδας	Πρότυπος λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια (C)
Συνδυασμένος κύκλος αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας	0,95
Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης	0,45
Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης – απομάστευσης	0,45
Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας	0,55
Παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	0,75

Πίνακας 2: Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια σε συνδυασμό με τον τύπο μονάδας ΣΗΘΥΑ [7]

ε) Εάν ένα μέρος του ενεργειακού περιεχομένου του καυσίμου που χρησιμοποιείται στη διεργασία συμπαραγωγής ανακτάται σε χημικά προϊόντα και ανακυκλώνεται, το μέρος αυτό αφαιρείται από την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου πριν από

τον υπολογισμό του ολικού βαθμού απόδοσης που χρησιμοποιείται στα εδάφια ατμοστροβίλου αντίθλιψης, ατμοστροβίλου συμπύκνωσης – απομάστευσης,

στ) Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός καυσίμου υπολογίζεται με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητά του. Όλοι οι βαθμοί απόδοσης που προβλέπονται στο παρόν κεφάλαιο υπολογίζονται με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα των καυσίμων.

2.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ([7])

Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας συμπαραγωγής λαμβάνονται ιδιαίτερος υπόψη τα εξής:

α) η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, β) η χρήσιμη θερμική ενέργεια από συμπαραγωγή, γ) ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας. Η αποδοτικότητα συμπαραγωγής υπολογίζεται ως ακολούθως: 1) Για τις μονάδες συμπαραγωγής ορίζονται οι ακόλουθοι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης.

$$\text{Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης: } \eta_e = \frac{E_c}{F_c}$$

$$\text{Θερμικός βαθμός απόδοσης: } \eta_h = \frac{H_{\text{CHP}}}{F_c}$$

$$\text{Ολικός βαθμός απόδοσης: } \eta = \eta_e + \eta_h$$

όπου:

E_c : ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τη μονάδα συμπαραγωγής

H_{CHP} : χρήσιμη θερμική ενέργεια που προέρχεται από συμπαραγωγή

F_c : ενέργεια καυσίμου που καταναλώθηκε κατά τη διαδικασία για την παραγωγή των E_c και H_{CHP}

2) Η αποδοτικότητα της συμπαραγωγής εκφράζεται από το λόγο εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{PESR} = \frac{F_E + F_H - F_C}{F_E + F_H}$$

όπου:

PESR είναι ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας

F_E είναι η ενέργεια του καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας E_C

F_H είναι η ενέργεια του καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή της θερμικής ενέργειας H_{CHP}

3) Ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις τιμές αναφοράς όπως ορίζονται στην παράγραφο 3 του άρθρου 6 του Ν.3734-2009, υπολογίζεται με τη σχέση:

$$PESR = \frac{1}{\frac{\eta_e \cdot \eta_h}{\eta_{er} + \eta_{hr}}}$$

όπου:

η_{er} είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

η_{hr} είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας

Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας των περιπτώσεων συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου με ανάκτηση θερμότητας αμμοστροβίλου αντίθλιψης και αμμοστροβίλου συμπύκνωσης – απομάστευσης εάν μια μονάδα συμπαραγωγής παράγει και μηχανική ενέργεια, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας προσαυξάνεται κατά μια πρόσθετη ποσότητα που αντιστοιχεί σε ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ισοδύναμη της μηχανικής ενέργειας.

2.6. ΤΙΜΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ ([6])

Με την αναπροσαρμογή των τιμολογίων του άρθρου 5 του Ν.3851/2010/ΦΕΚ.Α'85, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού χρήσης ΑΠΕ - εκτός Φωτοβολταϊκών - ή μέσω ΣΗΘΥΑ ή από υβριδικό σταθμό και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, τιμολογείται σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (€/MWh) σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,85	99,45

Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος ≤ 50 kW	250
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται από υπεράκτιες εγκαταστάσεις (άρθ.42, §20, Ν.4030/25-11-2011/ΦΕΚ.Α'249)	108,30 (***)
Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από μΥΗΣ με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 15 MWe	87,85
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85
Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (Ν.3175/2003, Α'207, αρθ.2, §1στ)	150
Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (Ν.3175/2003, Α'207, αρθ.2, §1στ)	99,45
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ > 1 MW και ≤ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≥ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150

Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2 MW	120	
Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ > 2 MW	99,45	
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 3 MW	220	
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ > 3 MW	200	
Λοιπές ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)	87,85	99,45
Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) (**)	87,85 x ΣΡ (*)	99,45 x ΣΡ (*)

Πίνακας 3: Τιμή ενέργειας ανάλογα τον προέλευση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [7]

(*) ΣΡ: Συντελεστής Ρήτρας Φυσικού Αερίου όπως ορίζεται στον Ν.3851. Στην περίπτωση της αξιοποίησης των καυσαερίων για γεωργικούς σκοπούς (π.χ. θερμοκήπια), ο συντελεστής ΣΡ μπορεί να προσαυξάνεται με απόφαση της ΡΑΕ μέχρι 20%.

Στην περίπτωση αυτή, ο Παραγωγός υποχρεούται να υποβάλει στο ΛΑΓΗΕ σχετική βεβαίωση από πιστοποιημένο φορέα.

(**) Το υπόλοιπο μέρος της παραχθείσας ενέργειας που δεν χαρακτηρίζεται ΣΗΘΥΑ θα τιμολογείται με την μέση Οριακή Τιμή Συστήματος σταθμισμένη ως προς τη συνολική παραγωγή του αντίστοιχου μήνα όπως τα μεγέθη αυτά ορίζονται στον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (άρθ. 4, ΥΑ ΥΠΙΑΝ Δ5-ΗΛ/Γ/Φ1/749, ΦΕΚ Β' 889/22.3.2012)

(***) Για έργα με εκκρεμείς αιτήσεις για Άδεια Παραγωγής κατά την έναρξη ισχύος του άρθ.42,§20 του Ν.4030/2011. Πρόκειται για Τιμή Βάσης που μπορεί να προσαυξάνεται και να αναπροσαρμόζεται. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, κατόπιν γνώμης της ΡΑΕ, η οποία εκδίδεται πριν την υπογραφή της οικείας σύμβασης πώλησης, είναι δυνατόν η ανωτέρω τιμή να προσαυξάνεται, για κάθε σταθμό ξεχωριστά, έως και 30% της τιμής βάσης. Η γνώμη της ΡΑΕ λαμβάνει υπόψη ιδίως τα στοιχεία κόστους επένδυσης τα οποία παρατίθενται αναλυτικά σε τεχνοοικονομική μελέτη που υποβάλλει ο κάτοχος της άδειας παραγωγής του σταθμού για την τεκμηρίωση της αναγκαιότητας του αιτούμενου ποσοστού προσαύξησης.

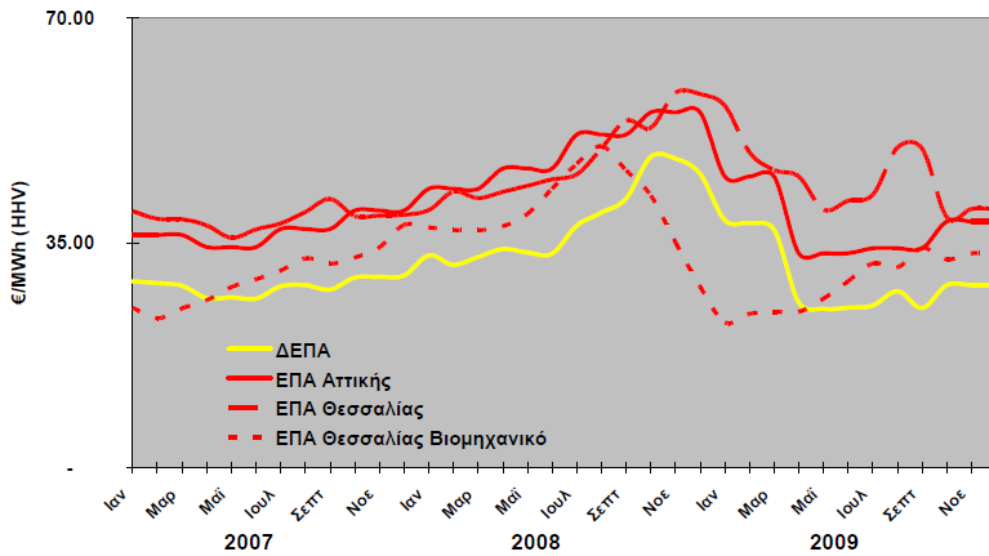
Σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 5 του Ν.3851/2010, οι τιμές του παραπάνω πίνακα (πλην φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών σταθμών) προσαυξάνονται κατά 15% ως 20% ανάλογα με την περίπτωση, εφόσον έχουν υλοποιηθεί χωρίς την χρήση δημόσιας επιχορήγησης. Στην περίπτωση μονάδων ΣΗΘΥΑ, η προσαύξηση κατά 15% εφαρμόζεται μόνο στο σταθερό σκέλος της τιμολόγησης.

2.7.ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΗΘΥΑ ([11])

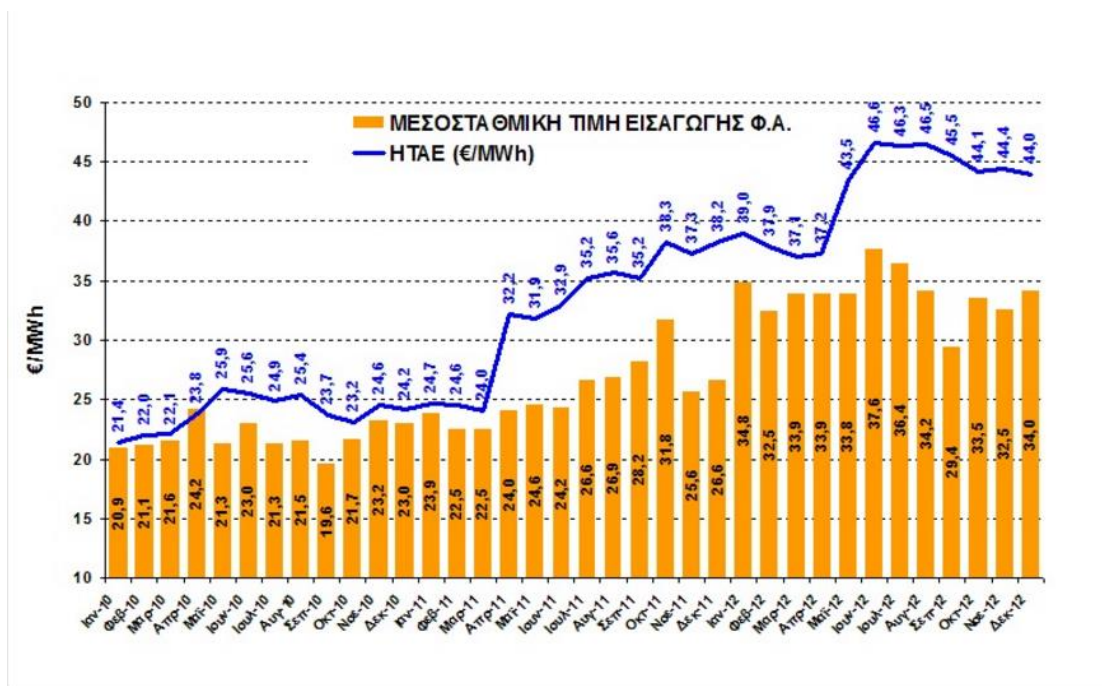
Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται εάν η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με ΣΗΘΥΑ, σύμφωνα με το Ν.3468/2006, είναι επαρκής για την λειτουργική βιωσιμότητα εγκαταστάσεων ΣΗΘ, με βάση τα ιστορικά στοιχεία της τριετίας 2007-2009.

2.7.1. ΤΙΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μηνιαία εξέλιξη των προσφερόμενων τιμολογίων για Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) από τις τρεις Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) και τη ΔΕΠΑ κατά τη διάρκεια της τριετίας 2007-2009. Από το διάγραμμα γίνονται αμέσως αντιληπτά τα ακόλουθα. Οι τιμές των καυσίμων παρουσίασαν σημαντική μεταβλητότητα κατά την περασμένη τριετία, με εύρος τιμών που ξεπέρασε το 100% της κατώτατης τιμής 36μήνου. Τα προσφερόμενα τιμολόγια για ΣΗΘ από τις τρεις Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ), και τη ΔΕΠΑ παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους σε μηνιαία βάση.



Σχήμα 8: Διάγραμμα διακύμανσης τιμών φυσικού αερίου από 2007 έως 2009 [11]



Σχήμα 9: Διάγραμμα διακύμανσης τιμών φυσικού αερίου από 2010 έως 2012

[12]

2.7.2. ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΗΘ

Το μεταβλητό κόστος παραγωγής τυπικής μονάδας ΣΗΘ προκύπτει θεωρητικά από την ακόλουθη σχέση, εφόσον είναι γνωστά, η τιμή του καυσίμου, τα χαρακτηριστικά απόδοσης της μονάδας και τα χαρακτηριστικά απόδοσης λεβητοστασίου για τον προσδιορισμό της αξίας της παραγόμενης θερμότητας.

$$VC_{CHP} = \frac{NG_C}{\eta_e} \left[1 - \frac{\eta_{tot} - \eta_e}{\eta_{th}} \right] + OM_C$$

όπου:

NG_C : Τιμή καυσίμου σε €/MWh

OM_C : Μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης: Λαμβάνεται = 10 €/MWh_e

η_e : Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ($\eta_e = 39\%$ συνήθως)

η_{tot} : Συνολικός βαθμός απόδοσης ($\eta_{tot} = 79\%$ συνήθως)

η_{th} : Θεωρητικός βαθμός απόδοσης του λέβητα ($\eta_{th} = 90\%$ συνήθως)

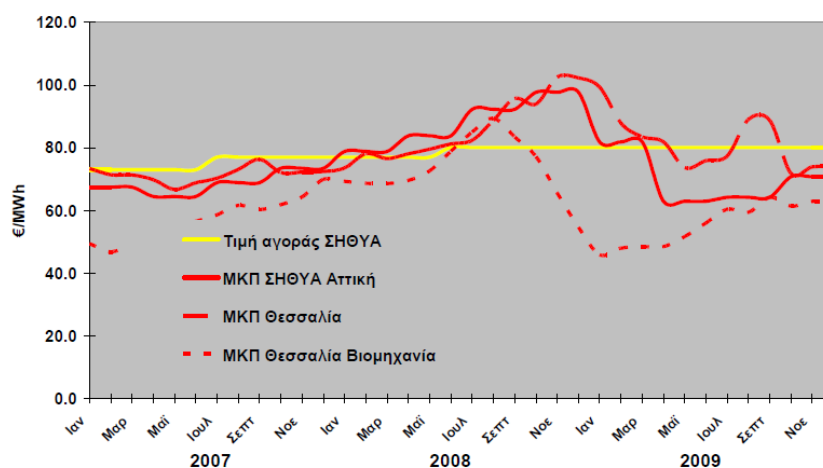
Στοιχειώδης υπολογισμός για μία τυπική τιμή φυσικού αερίου όπως φαίνεται στην σχήμα 9.

Έστω $NG_C = 35 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$, η παραπάνω σχέση που δίνεται από την PAE [12], το μεταβλητό κόστος παραγωγής ΣΗΘ θα είναι:

$$VC_{CHP} = \frac{NG_C}{\eta_e} \left[1 - \frac{\eta_{tot} - \eta_e}{\eta_{th}} \right] + OM_C \Rightarrow$$

$$VC_{CHP} = \frac{35}{0,39} \left[1 - \frac{0,79 - 0,39}{0,9} \right] + 10 \Rightarrow VC_{CHP} = 59,858 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

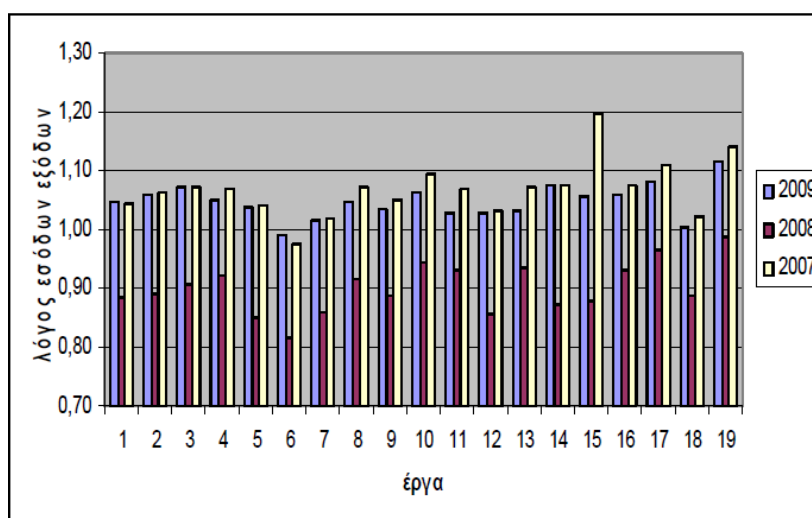
Με βάση τις ιστορικές τιμές φυσικού αερίου από το 2007 έως 2009, υπολογίστηκε το μεταβλητό κόστος παραγωγής πρότυπης μονάδας ΣΗΘ με τα χαρακτηριστικά των συνηθισμένων τιμών βαθμών απόδοσης καθώς και με βάση την κατωτέρα θερμογόνο δύναμη του καυσίμου. Το κόστος παραγωγής για τρία διαφορετικά τιμολόγια των ΕΠΑ απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



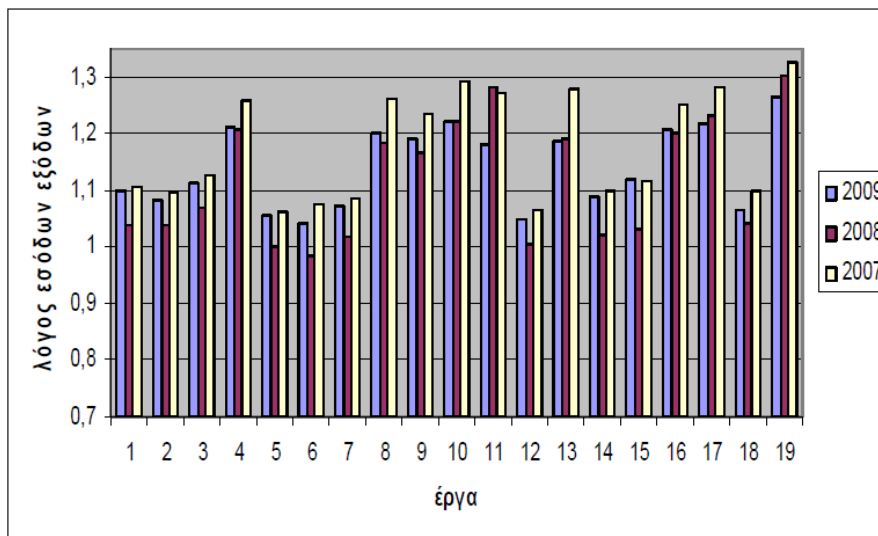
Σχήμα 10: Διάγραμμα κόστους παραγωγής πρότυπης μονάδας ΣΗΘ από 2007 έως 2009. [11]

2.7.3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα στοιχεία που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εξαχθούν για το κάθε έργο συντελεστές τιμολόγησης, οι οποίοι να εξασφαλίζουν ελάχιστη λειτουργική βιωσιμότητα. Τέλος, με βάση την φόρμουλα τιμολόγησης που προσδιορίστηκε στο πλαίσιο της παρούσης, υπολογίστηκε η σχέση κόστους – οφέλους, εκφρασμένη σε €/tn CO₂ που αποφεύγεται λόγω της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας που επιτυγχάνεται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ΣΗΘΥΑ. Παρακάτω φαίνονται στοιχεία της βιωσιμότητας που έκανε η ΡΑΕ την τριετία 2007-2009.



Σχήμα 11: Διάγραμμα λόγου εσόδων – εξόδων συναρτήσει 19 έργων σύμφωνα με την αρχική τιμολόγηση ΣΗΘ από 2007 έως 2009. [11]



Σχήμα 12: Διάγραμμα λόγου εσόδων – εξόδων συναρτήσει 19 έργων σύμφωνα με την τελική τιμολόγηση ΣΗΘ από 2007 έως 2009. [11]

Παρατήρηση: Οι τιμές των λόγων εσόδων – εξόδων με βάση το ισχύον καθεστώς τιμολόγησης της ενέργειας που παράγεται με ΣΗΘΥΑ για κάθε ένα από τα 19 έργα κατά το 2007, το 2008 και το 2009 αποτυπώνονται στο σχήμα 11. Παρατηρούμε ότι όλα τα έργα ήταν ζημιογόνα κατά τη λειτουργία τους μέσα στο 2008. Αναδεικνύεται η ανάγκη θέσπισης ενός διαφορετικού τρόπου τιμολόγησης πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται ώστε οι μονάδες συμπαραγωγής να είναι βιώσιμες οικονομικά, ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλών τιμών των καυσίμων. Στο σχήμα 12 παρουσιάζονται οι λόγοι λειτουργικών εσόδων-εξόδων των έργων για τα τρία έτη με βάση την προτεινόμενη νέα τιμολόγηση.

2.7.4. ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΗΘ

Από έλεγχο βιωσιμότητας που έγινε με βάση ισοζύγιο έργων που έχουν υποβληθεί στη ΡΑΕ για την χορήγηση άδειας παραγωγής (βλ. Πίνακα 1), προέκυψε ότι όλα τα έργα θα ήταν λειτουργικά ζημιογόνα κατά το 2008 (βλ. 2.7.3 Διερεύνηση τιμολόγησης μονάδων ΣΗΘΥΑ). Από τα παραπάνω συνάγεται η ανάγκη θέσπισης ενός νέου τρόπου τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με ΣΗΘΥΑ όπως έγινε και φαίνεται στα σχήματα 11 και 12, ώστε η λειτουργία των μονάδων συμπαραγωγής να είναι βιώσιμη οικονομικά, ιδιαίτερα σε περιόδους υψηλών τιμών των καυσίμων.

A/A	Ισχύς (MW)	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh)	Παραγωγή Ωφέλιμης Θερμότητας (MWh)	PESR (%)	PES (MJ)	Εκπομπή CO ₂ που αποφεύχθηκε (tn)
1	0,24	1,972	2,703	17,5	4	250,000
2	1,02	7,792	8,478	20,1	18	1,036
3	0,58	4,826	5,116	20,7	12	655
4	2,01	11,552	10,434	19,0	24	1,343
5	1,1	8,753	7,419	18,9	18	1,006
6	0,34	1,088	1,589	11,1	2	90,000
7	0,14	1,116	1,457	15,6	2	124,000
8	4,80	30,643	24,369	19,2	62	3,452
9	4,80	34,560	24,003	17,6	61	3,427
10	6,40	36,469	30,263	21,0	79	4,458
11	4,05	24,697	23,306	19,7	54	3,013
12	1,06	8,496	8,355	18,2	18	985,000
13	4,87	24,758	22,582	20,0	54	3,029
14	1,17	9,820	8,482	19,4	20	1,110
15	0,49	2,822	4,149	19,1	7	404,000
16	2,04	12,105	12,952	19,7	28	1,571
17	16,02	105,412	111,543	21,5	261	14,621
18	0,07	470,000	640,000	17,7	1	62,000
19	13,00	82,343	77,724	25,2	232	13,025
Συν.	33,5	205542	178556	18	957	53,662

Πίνακας 4: Ισοζύγια και αποδοτικότητα υπό ανάπτυξη και εν λειτουργία έργων ΣΗΘ [11]

όπου:

PESR: Λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας

PES: Ποσότητα εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘΥΑ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ ([9])

Η μονάδα ΣΗΘΥΑ του ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ λειτουργεί με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης βάση του κύκλου Otto (καύση διαμέσου σπινθήρα) χρησιμοποιώντας για καύσιμο φυσικό αέριο. Ο προϋπολογισμός της μονάδας ανέρχεται στα 1200000 €. Το συγκρότημα ΣΗΘΥΑ παράγει ψύξη με απορρόφηση για το καλοκαίρι και θέρμανση για το χειμώνα. Επιπλέον τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τις εγκαταστάσεις του ιδρύματος. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τη μονάδα, η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια επιστρέφει στο δίκτυο διαφορετικά σε περίπτωση που εμφανίζεται έλλειμμα τότε η μονάδα ζητάει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για να καλύψει τη κατανάλωση. Η μονάδα αποτελείται από τα εξής βασικά μηχανήματα:

- 1) Εμβολοφόρο μηχανή εσωτερικής καύσης Caterpillar Energy Solution GmbH μοντέλο TCG2016V12C
- 2) Ηλεκτρογεννήτρια Marelli μοντέλο MJB-400 LC4, 400V, 50Hz
- 3) Μονάδα απορρόφησης Dalian Sanyo Refrigeration CO, LTD μοντέλο 16LJ-24
- 4) Πύργοι Ψύξης MIT PME-4104-E-K19
- 5) Πλακοειδείς εναλλάκτες Alfa Laval TL 10

Ο βοηθητικός εξοπλισμός της μονάδας έχει τα παρακάτω

- 1) Εναλλάκτης ανάκτησης θερμότητας από νερό ψύξης κινητήρα (χιτώνια, λάδι)
- 2) Εναλλάκτης ανάκτησης θερμότητας από νερό ψύξης υπερπλήρωση
- 3) Εναλλάκτης ανάκτησης θερμότητας από καυσαέρια κινητήρα
- 4) Διάταξη παράκαμψης καυσαερίων στο περιβάλλον
- 5) Δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας (16 m³)
- 6) Καταλύτης για μείωση εκπομπής ρύπων
- 7) Σύστημα αυτοματισμού ΣΗΘ για απομακρυσμένη διασύνδεση
- 8) Σύστημα ελέγχου του βοηθητικού εξοπλισμού

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται τα διάφορα συστήματα της μονάδας ΣΗΘΥΑ.



Εικόνα 1: Ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος [9]



Εικόνα 2: Μονάδα απορρόφησης



Εικόνα 3: Πύργοι ψύξης



Εικόνα 4: Δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού



Εικόνα 5: Κεντρικός εναλλάκτης θερμού νερού



Εικόνα 6: Εναλλάκτης θερμού νερού στην ΤΥ



Εικόνα 7: Εναλλάκτης θερμού νερού στην ΣΔΟ



Εικόνα 8: Μετασχηματιστής 800 kVA



Εικόνα 9: Μετρητής παροχής φυσικού αερίου



Εικόνα 10: Control panel (Σύστημα πυρανίχνευσης)



Εικόνα 11: Σύστημα CO₂ (Σύστημα πυρανίχνευσης)



Εικόνα 12: Μονάδα αποσκλήρυνσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά όλου του συγκροτήματος της ΣΗΘΥΑ αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	600
Θερμική Ισχύς (kW)	658
Ψυκτική Ισχύς (kW)	844
Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης (%)	41,9
Θερμικός Βαθμός Απόδοσης (%)	46,0
Ολικός Βαθμός Απόδοσης (%)	87,9
Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας (%)	> 10

Η μονάδα λειτουργεί υπό τις παρακάτω συνθήκες:

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Κατανάλωση φυσικού αερίου	1433 kW
Μείωση πίεσης φυσικού αερίου από	2 bar σε 150 mbar
Εκπομπές NO _x	500 mg/Nm ³
Εκπομπές CO	300 mg/Nm ³
Εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων (HC)	40 mg/Nm ³
Στάθμη θορύβου	55 dB (σε απόσταση 10 m)
Θερμοκρασία καυσαερίων μετά τον εναλλάκτη (βάση καμινάδας)	120°C
Θερμοκρασία νερού προς θέρμανση	90°C

3.2. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Η μονάδα διαθέτει κατάλληλο σύστημα για αυτόματη λειτουργία επιτρέποντας και την δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης. Η εγκατάσταση αυτοματοποιεί την υδραυλική και την ηλεκτρική λειτουργία του συστήματος. Στον αυτοματισμό της λειτουργίας τις καθημερινές η παραγωγή ανά ώρα ρυθμίζεται στα 600 kW από τις 7⁰⁰ πμ έως τις 5⁰⁰ μμ, μετά τις 5⁰⁰ μμ και μέχρι τις 9⁰⁰ μμ στα 450 kW ενώ στις υπόλοιπες ώρες στα 240 kW (ΣΕΝΑΡΙΟ Α'), τα Σαββατοκύριακα και τις αργίες ρυθμίζεται στα 240 kW όλο το 24ωρο (ΣΕΝΑΡΙΟ Β'). Τα εν λόγω σενάρια λειτουργίας της εγκατάστασης βεβαίως μπορούν να αλλάξουν και να προσαρμοστούν ανάλογα με τις λειτουργικές ανάγκες του Ιδρύματος. Σε περίπτωση μη λειτουργίας ενός συστήματος (π.χ. εμπλοκή έναρξης) τα υπόλοιπα συστήματα θα λάβουν το μήνυμα εμπλοκής και ή θα σταματήσουν να λειτουργούν διαδοχικά ή θα συνεχίσουν τη λειτουργία τους, ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες. Επιπλέον, υπάρχουν τρία επίπεδα ασφάλειας λειτουργίας στο πρόγραμμα του αυτοματισμού:

- 1) Πρώτο επίπεδο: Φαίνονται οι οθόνες με τα διαγράμματα υδραυλικής και ηλεκτρικής λειτουργίας.
- 2) Δεύτερο επίπεδο: Υπάρχει η δυνατότητα επέμβασης σε πιστοποιημένους χειριστές της μονάδας.
- 3) Τρίτο επίπεδο: Μπορεί να γίνει χειρισμός των διακοπών μέσης και χαμηλής τάσης και αλλαγή του τρόπου λειτουργίας από θερινή σε χειμερινή.

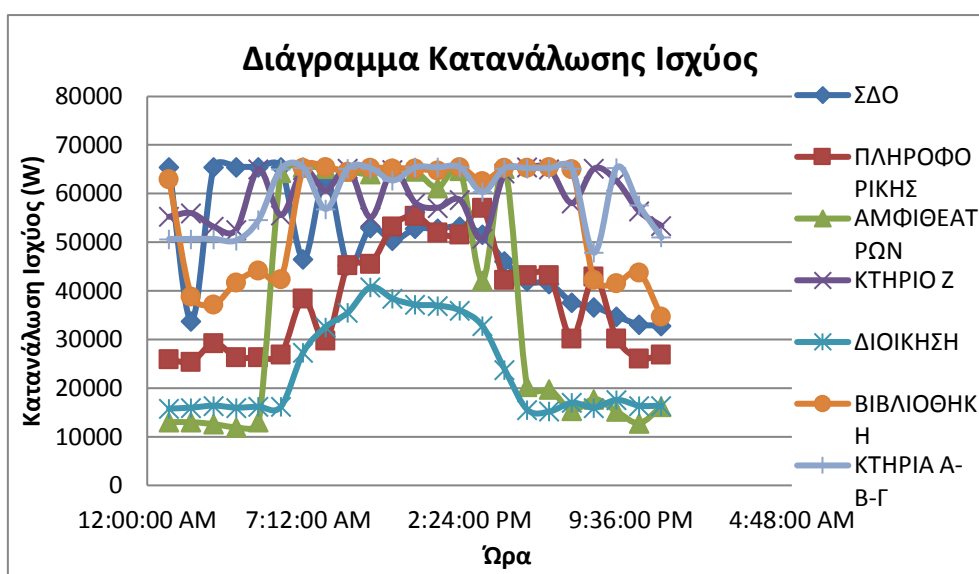
3.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Στη μονάδα υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης της ισχύος που καταναλώνει κάθε εγκατάσταση του ιδρύματος ξεχωριστά, έτσι ώστε να υπάρχει μια εικόνα για τη ζήτηση της ισχύος ανάλογα τις εγκαταστάσεις και η συνολική εικόνα του ιδρύματος. Παρακάτω φαίνεται η κατανάλωση της ισχύος σε πίνακα και διάγραμμα μιας καθημερινής μέρας μέσα στο μήνα Οκτώβριο (2016) καθώς και ένα Σάββατο και μία Κυριακή.

Πίνακες μετρήσεων και διαγράμματα για κάθε περίπτωση ημέρας

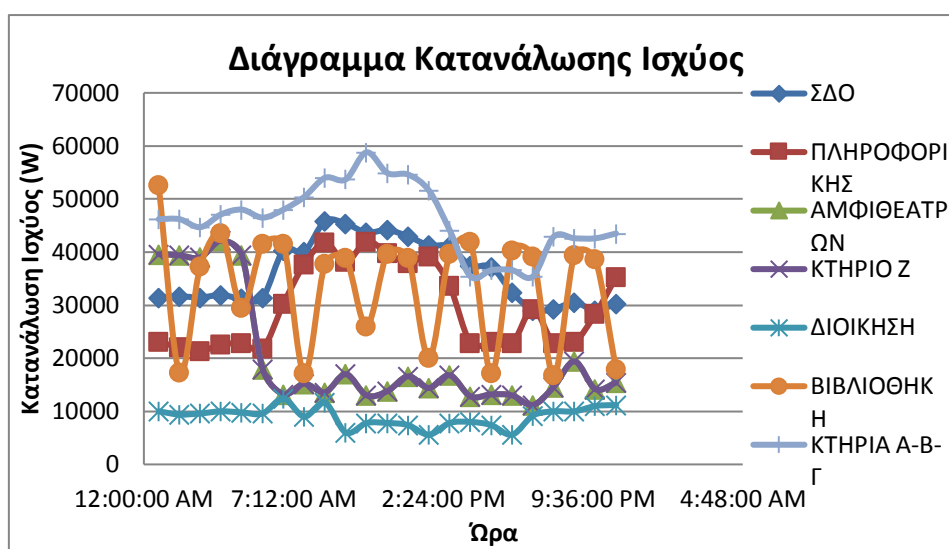
Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα μια καθημερινή ημέρα για κάθε εγκατάσταση

ΩΡΑ	ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ						
	ΣΛΟ (W)	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ (W)	ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΩΝ (W)	ΚΤΙΡΙΟ Ζ (W)	ΔΙΟΙΚΗΣΗ (W)	ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ (W)	ΚΤΙΡΙΑ Α-Β-Γ (W)
00:58:38	65520	25920	13000	55264	15800	63000	50700
01:58:37	33840	25440	13000	56000	16000	38880	50700
02:58:37	65520	29280	12600	53200	16400	37200	50700
03:58:36	65520	26400	12000	52600	16000	41760	50400
04:58:36	65520	26400	13000	65000	16200	44160	54600
05:58:35	65520	26880	64400	55600	16200	42480	65100
06:58:35	46560	38400	65528	64928	27400	65280	65400
07:58:34	63360	29760	65264	60664	32600	65520	56864
08:58:34	45360	45360	64600	65264	35600	64560	65264
09:58:33	53040	45600	64064	55128	40800	65400	65264
10:58:33	50400	53280	65200	64928	38400	65160	62728
11:58:33	52800	55440	64600	58128	37200	65160	65428
12:58:32	52800	52080	61200	57128	37000	64800	65428
13:58:32	53280	51600	64800	58728	36000	65520	65428
14:58:31	51600	57120	42200	50728	32800	62640	60328
15:58:31	46080	42240	65200	64264	23800	65280	65264
16:58:30	42000	43240	20400	65464	15600	65400	65264
17:58:30	41520	43200	19800	65064	15200	65520	65264
18:58:29	37680	30240	15400	58064	17000	65040	65264
19:58:29	36720	42960	17800	65200	16000	42240	47864
20:58:28	34800	30240	15200	62600	17600	41640	65400
21:58:28	33120	26160	12800	56400	16400	43800	57600
22:58:27	32880	26880	16200	53400	16400	34680	51000
23:42:34	32160	26400	16600	54400	17600	42360	52800



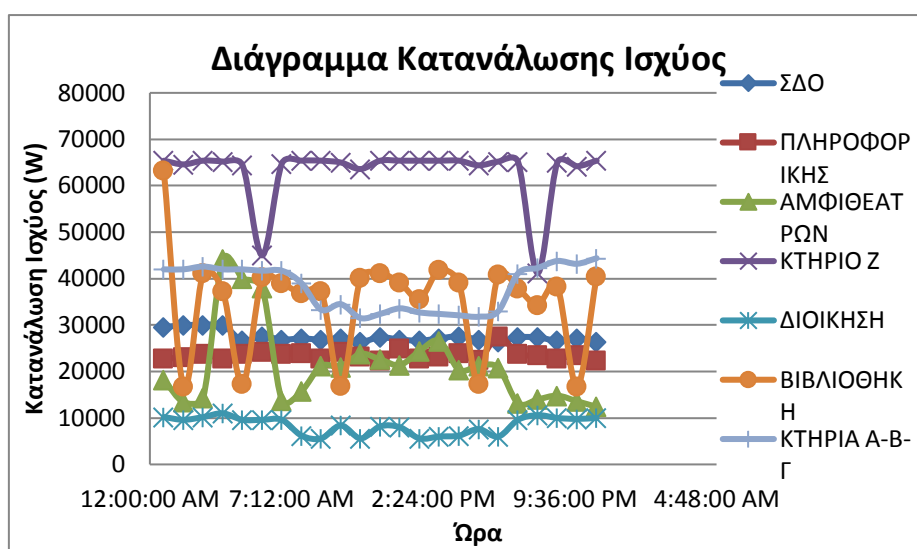
Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα ένα Σάββατο για κάθε εγκατάσταση

ΩΡΑ	ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ						
	ΣΔΟ (W)	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ (W)	ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΩΝ (W)	ΚΤΙΡΙΟ Ζ (W)	ΔΙΟΙΚΗΣΗ (W)	ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ (W)	ΚΤΙΡΙΑ Α-Β-Γ (W)
00:42:44	31440	23040	39600	65400	10000	52560	46200
01:42:44	31680	22080	39400	65000	9400	17280	46200
02:42:43	31440	21360	39000	65000	9600	37320	44700
03:42:43	31920	22560	42200	65200	10000	43560	47100
04:42:42	31200	22800	39400	64800	9800	29520	48000
05:42:42	31440	21840	18000	65200	9600	41520	46500
06:42:42	40320	30240	13200	65400	12400	41520	48000
07:42:41	40080	37680	15200	64800	9000	17160	50400
08:42:41	45840	41760	13600	61200	11600	37800	54000
09:42:40	45360	38160	17000	53600	6000	38880	53700
10:42:40	43680	42000	13000	52800	7800	26040	58800
11:42:39	44160	39840	13800	55200	7800	39720	54900
12:42:39	42960	37920	16600	64000	7400	38880	54600
13:42:39	41280	39120	14400	62600	5600	20040	51600
14:42:38	41040	33600	16800	50800	7800	39720	44100
15:42:38	37440	22800	12800	64000	8000	42000	35400
16:42:37	37200	23040	13200	65400	7400	17160	36600
17:42:37	32400	22800	13000	65200	5600	40320	36600
18:42:36	29040	29280	11200	64800	9200	39120	35400
19:42:36	29280	22800	14600	65200	10000	16800	42900
20:42:36	30480	23040	19400	64000	10000	39480	42600
21:42:35	29040	28320	14200	65000	11000	38640	42600
22:42:35	30240	35280	15400	64200	11200	17880	43500
23:42:24	39760	22320	13400	65400	9600	38280	42600



Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα μια Κυριακή για κάθε εγκατάσταση

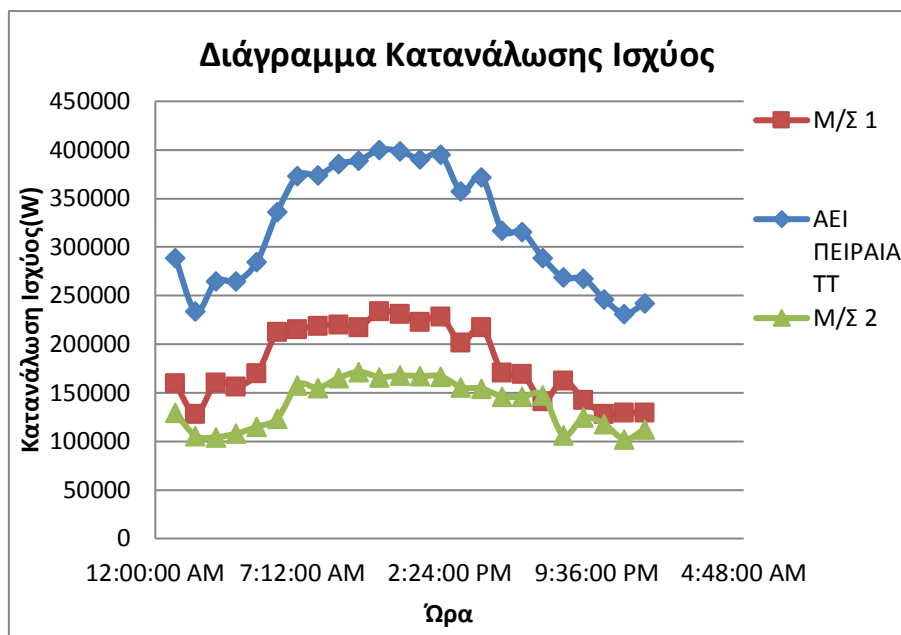
ΩΡΑ	ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ						
	ΣΔΟ (W)	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ (W)	ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΩΝ (W)	ΚΤΙΡΙΟ Ζ (W)	ΔΙΟΙΚΗΣΗ (W)	ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ (W)	ΚΤΙΡΙΑ Α-Β-Γ (W)
00:42:34	29520	22800	18200	65400	10200	63240	42000
01:42:34	30000	23040	13400	64600	9600	16800	42000
02:42:33	30000	23760	14400	65400	10200	41160	42600
03:42:33	30000	22800	44200	65200	11000	37320	42000
04:42:32	26640	23760	40000	64400	9600	17280	42000
05:42:32	27600	24240	38000	45000	9600	40320	41700
06:42:32	26880	23760	13800	64800	9600	39000	41700
07:42:31	27120	24000	15800	65400	6200	36840	39000
08:42:31	26880	22800	21200	65400	5600	37320	33300
09:42:30	27120	24240	21000	65000	8400	16920	34500
10:42:30	26400	23280	23800	63600	5600	40200	31500
11:42:29	27360	22320	22600	65400	8200	41160	32400
12:42:29	26880	24960	21400	65400	8000	39120	33600
13:42:29	26640	22800	24400	65400	5600	35640	32700
14:42:28	27120	23280	26600	65400	6000	41880	32400
15:42:28	27600	24000	20400	65400	6200	39120	32100
16:42:37	26880	22560	21200	64400	7600	17280	31800
17:42:37	26400	27600	20800	65200	6000	40920	33000
18:42:26	27360	23760	13200	65200	9600	37920	41100
19:42:26	27360	23520	14000	41200	10600	34320	42300
20:42:26	26640	22800	14800	65000	10000	38280	43800
21:42:25	27120	23520	13600	64200	9800	16800	43200
22:42:25	26400	22320	12400	65400	10000	40440	44400
23:42:24	27360	24000	46600	65400	10800	39840	41400



Παρατήρηση: Στους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα φαίνεται η κατανάλωση ισχύος ανά ώρα για κάθε ημέρα και για κάθε εγκατάσταση του ιδρύματος ξεχωριστά. Δυστυχώς όμως δεν είναι ευδιάκριτες οι καμπύλες της κατανάλωσης ισχύος για κάθε εγκατάσταση τουλάχιστον πάνω σε ένα διάγραμμα κατανάλωσης ισχύος. Γνωρίζοντας ότι η εγκατάσταση έχει δύο μετασχηματιστές εκ των οποίων, ο πρώτος Μ/Σ αναφέρεται στις εγκαταστάσεις ΣΔΟ, Πληροφορική, Αμφιθέατρα και Κτήριο Ζ και ο δεύτερος αντίστοιχα στις Διοίκηση, Βιβλιοθήκη και Κτήρια Α-Β-Γ τότε μπορούμε να φτιάξουμε τους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα τα τους.

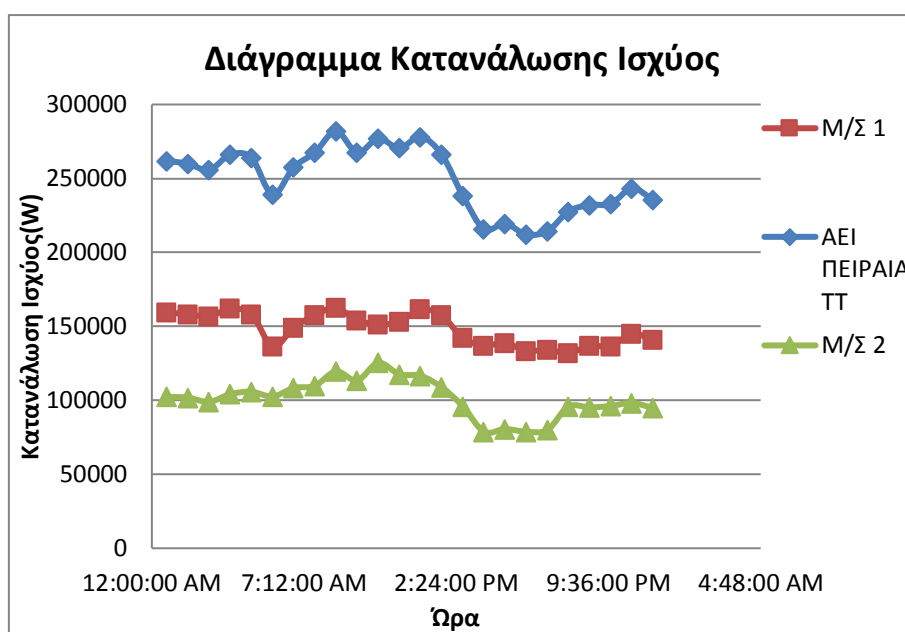
Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα την καθημερινή στους μετασχηματιστές και για όλο το ίδρυμα

ΩΡΑ	Μ/Σ 1 (W)	Μ/Σ 2 (W)	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ (W)
0:58:38	159704	129500	289204
1:58:37	128280	105580	233860
2:58:37	160600	104300	264900
3:58:36	156520	108160	264680
4:58:36	169920	114960	284880
5:58:35	212400	123780	336180
6:58:35	215416	158080	373496
7:58:34	219048	154984	374032
8:58:34	220584	165424	386008
9:58:33	217832	171464	389296
10:58:33	233808	166288	400096
11:58:33	230968	167788	398756
12:58:32	223208	167228	390436
13:58:32	228408	166948	395356
14:58:31	201648	155768	357416
15:58:31	217784	154344	372128
16:58:30	171104	146264	317368
17:58:30	169584	145984	315568
18:58:29	141384	147304	288688
19:58:29	162680	106104	268784
20:58:28	142840	124640	267480
21:58:28	128480	117800	246280
22:58:27	129360	102080	231440
23:58:27	129560	112760	242320



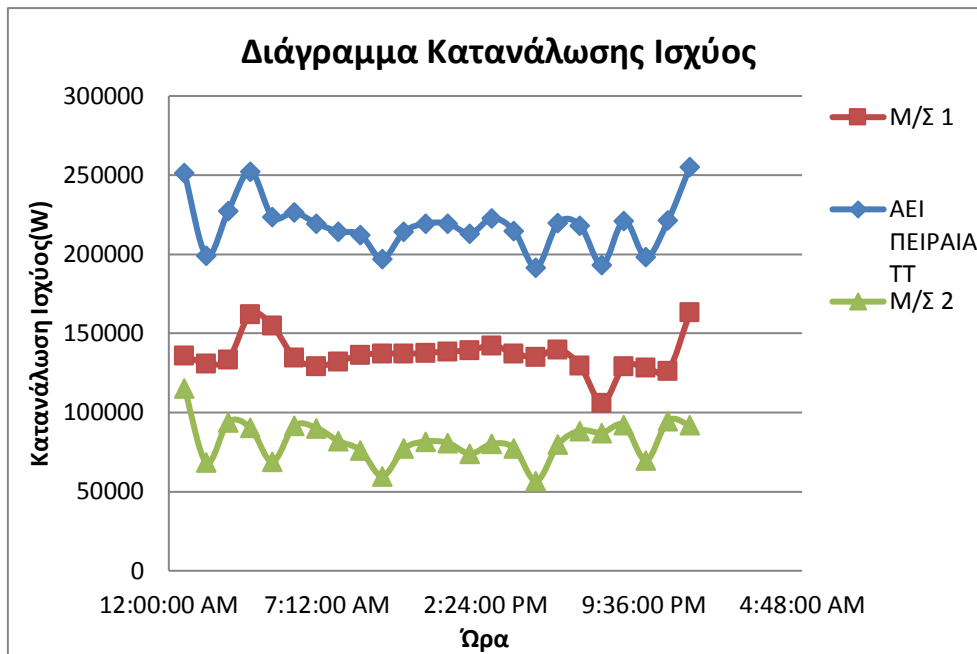
Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα το Σάββατο στους μετασχηματιστές και για όλο το ίδρυμα

ΩΡΑ	M/Σ 1 (W)	M/Σ 2 (W)	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ (W)
0:42:44	159480	102400	261880
1:42:44	158160	101800	259960
2:42:43	156800	99000	255800
3:42:43	161880	104200	266080
4:42:42	158200	105800	264000
5:42:42	136480	102600	239080
6:42:42	149160	108400	257560
7:42:41	157760	109800	267560
8:42:41	162400	119600	282000
9:42:40	154120	113400	267520
10:42:40	151480	125400	276880
11:42:39	153000	117600	270600
12:42:39	161480	116600	278080
13:42:39	157400	108800	266200
14:42:38	142240	96000	238240
15:42:38	137040	78800	215840
16:42:37	138840	80600	219440
17:42:37	133400	78800	212200
18:42:36	134320	80000	214320
19:42:36	131880	95800	227680
20:42:36	136920	95200	232120
21:42:35	136560	96200	232760
22:42:35	145120	98200	243320
23:42:34	140880	94800	235680



Πίνακας & διάγραμμα ζήτησης ισχύος ανά ώρα την Κυριακή στους μετασηματιστές και για όλο το ίδρυμα

ΩΡΑ	Μ/Σ 1 (W)	Μ/Σ 2 (W)	ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ (W)
0:42:34	135920	115440	251360
1:42:34	131040	68400	199440
2:42:33	133560	93960	227520
3:42:33	162200	90320	252520
4:42:32	154800	68880	223680
5:42:32	134840	91620	226460
6:42:32	129240	90300	219540
7:42:31	132320	82040	214360
8:42:31	136280	76220	212500
9:42:30	137360	59820	197180
10:42:30	137080	77300	214380
11:42:29	137680	81760	219440
12:42:29	138640	80720	219360
13:42:29	139240	73940	213180
14:42:28	142400	80280	222680
15:42:28	137400	77420	214820
16:42:37	135040	56680	191720
17:42:37	140000	79920	219920
18:42:26	129520	88620	218140
19:42:26	106080	87220	193300
20:42:26	129240	92080	221320
21:42:25	128440	69800	198240
22:42:25	126520	94840	221360
23:42:24	163360	92040	255400



Παρατήρηση: Στα τελευταία διαγράμματα που προέκυψαν έχουμε καλύτερη εικόνα για την ζήτηση ισχύος του ιδρύματος. Επίσης παρατηρείται ότι η κατανάλωση ενέργειας του Μ/Σ 1 είναι σημαντικά υψηλότερη στη διάρκεια της ημέρας απ' αυτήν του Μ/Σ 2.

3.4. ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΗΘ ΤΟΥ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ

Στον υπολογιστή του συστήματος καταγράφονται τα στοιχεία κατανάλωσης φυσικού αερίου ανά ημέρα ($Q_{\Phi\text{Aερ}}$ σε m^3/h) και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ($E_{\eta\lambda}$) σε kWh τα οποία υπολογίζονται από τον αυτοματισμό της μονάδας. Ανάλογα την περίοδο του έτους (χειμερινή ή θερινή περίοδος) οι μετρήσεις των θερμιδομετρητών (ΜΘΕ) (μέτρηση θερμικής ενέργειας) ή (ΜΨΕ) (μέτρηση ψυκτικής ενέργειας) αντιστοίχως. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ΣΗΘ ανά ημέρα θα είναι:

$$\text{Χειμερινή περίοδος: } \eta_{\chi} = \frac{(E_{\eta\lambda} + \text{ΜΘΕ})}{Q_{\Phi\text{Aερ}}} \cdot 0,0935$$

$$\text{Θερινή περίοδος: } \eta_{\theta} = \frac{(E_{\eta\lambda} + \text{ΜΨΕ})}{Q_{\Phi\text{Aερ}}} \cdot 0,0935$$

όπου:

0,0935: Καιόμενη ποσότητα φυσικού αερίου σε m^3/kWh που απαιτείται για την παραγωγή 1 kWh.

Στο τέλος κάθε μήνα αθροίζονται οι καταναλώσεις του φυσικού αερίου ($Q_{\Phi\text{Aερmy}}$), της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ($E_{\eta\lambda my}$) και οι μετρήσεις θερμιδομετρητών των (ΜΘΕ_{my} ή ΜΨΕ_{my}) (όπου $m=1\dots 12$ και $y=1\dots$ χρόνος λειτουργίας μονάδας) που προέκυψαν για κάθε μέρα. Την 1^η Ιανουαρίου του επόμενου χρόνου υπολογίζονται οι ετήσιοι βαθμοί απόδοσης είτε θερμικοί (η_{th}) είτε ηλεκτρικοί (η_{e}) και απ' αυτούς προκύπτει ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (PESR):

$$\text{Ηλεκτρικός Β.Α.: } \eta_{\text{e}} = \frac{E_{\eta\lambda}}{Q_{\Phi\text{Aερ}}} \cdot 0,0935$$

$$\text{Θερμικός Β.Α.: } \eta_{\text{th}} = \frac{\text{ΜΕ}}{Q_{\Phi\text{Aερ}}} \cdot 0,0935$$

$$\text{Λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας: } \text{PESR} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_{\text{e}}}{0,4857} + \frac{\eta_{\text{th}}}{0,9}}$$

Οι παραπάνω βαθμοί απόδοσης θα εμφανίζονται στον υπολογιστή του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Τιμολόγηση Μονάδας ΣΗΘΥΑ ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η τιμολόγηση της μονάδας του ιδρύματος, δηλαδή θα κοστολογηθεί με σχετική ακρίβεια τιμή της παραγωγής της kWh του καιόμενου φυσικού αερίου και των άλλων δαπανών.

Θεωρώντας τα παρακάτω δεδομένα μπορεί να γίνει η τιμολόγηση της συμπαραγωγής του ιδρύματος για την περίοδο Σεπτέμβριος 2016 έως Σεπτέμβριος 2017. Επίσης το μήνα Αύγουστο η συμπαραγωγή είναι εκτός λειτουργίας:

$$\text{Τιμή φυσικού αερίου: } Z = 35 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \Rightarrow Z = 0,0341 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Καταναλισκόμενη ισχύς συμπαραγωγής: } N = 137,83 + 12,94 * \eta$$

Όπου η : Ποσοστό φορτίου λειτουργίας της ονομαστικό φορτίο επί %

Για εργάσιμη ημέρα της ώρες (07:00-17:00) $\Rightarrow \eta = 100 \%$

Για εργάσιμη ημέρα της ώρες (17:00-21:00) $\Rightarrow \eta = 75 \%$

Για εργάσιμη ημέρα της ώρες (21:00-07:00) και αργίες όλο το 24ωρο $\Rightarrow \eta = 40 \%$

Από τη σχέση της καταναλισκόμενης ενέργειας της συμπαραγωγής προκύπτουν οι συνολικές θεωρητικές μηνιαίες τιμές ενέργειας. Της η μέση παραγόμενη ισχύς της συμπαραγωγής και η απαίτηση σε φυσικό αέριο που προέκυψαν για το διάστημα Σεπτέμβριος 2016 έως Σεπτέμβριος 2017 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας / Έτος	Μηνιαία Ενέργεια (kWh)	Μηνιαίο Κόστος (€)	Παραγόμενη Ισχύς Συμπαραγωγής (kW)	Απαίτηση Καιόμενου Φ.Α. (m ³)
Σεπτέμβριος 2016	692536,6	23615,50	961,856	64752,172
Οκτώβριος 2016	688209,9	23467,96	925,013	64347,626
Νοέμβριος 2016	682508,1	23273,53	947,928	63814,507
Δεκέμβριος 2016	658124,4	22442,04	884,576	61534,631
Ιανουάριος 2017	658124,4	22442,04	884,576	61534,631
Φεβρουάριος 2017	637137,0	21726,37	948,121	59572,310
Μάρτιος 2017	725735,9	24747,59	975,451	67856,307
Απρίλιος 2017	575429,6	19622,15	799,208	53802,668
Μάιος 2017	715383,9	24394,59	961,538	66888,395
Ιούνιος 2017	699653,6	23858,19	971,741	65417,612
Ιούλιος 2017	487639,9	16628,52	655,430	45594,331
Σεπτέμβριος 2017	682508,1	23273,53	947,928	63814,507
Σύνολο (Ετήσια)	7902991,4	269492,01	904,646	738929,696

Υποδειγματικός υπολογισμός μηνιαίου κόστους (Σεπτέμβριος 2016):

$$M.K. = Z * E_{MHN} \Rightarrow M.K. = 0,0341 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 692536,6 \text{ kWh} \Rightarrow \\ \Rightarrow M.K. = 23615,50 \text{ €}$$

Η ετήσια ενέργεια είναι: $E_{OL} = 7902991,4 \text{ kWh}$

Άρα το ετήσιο κόστος προκύπτει: $E.K. = Z * E_{MHN} \Rightarrow$

$$E.K. = 0,0341 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 7902991,4 \text{ kWh} \Rightarrow E.K. = 269492,01 \text{ €}$$

Η μέση μηνιαία παραγόμενη ισχύς της συμπαραγωγής είναι (Σεπτέμβριος 2016):

$$\bar{N}_1 = \frac{E_1}{\Delta t_1} \Rightarrow \bar{N}_1 = \frac{692536,6}{30 * 24 * 3600} \Rightarrow \bar{N}_1 = 961,856 \text{ kW}$$

Εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας της συμπαραγωγής: $\Delta t = 31449600 \text{ sec}$

Η μέση ετήσια παραγόμενη ισχύς της συμπαραγωγής είναι:

$$\bar{N} = \frac{E_{OL}}{\Delta t} \Rightarrow \bar{N}_1 = \frac{7902991,4}{31449600} \Rightarrow \bar{N}_1 = 904,646 \text{ kW}$$

Απαιτούμενο καιόμενο φυσικό αέριο για την ετήσια παραγωγή ενέργειας:

$$Q_{OL} = E_{OL} * 0,0935 \Rightarrow Q_{OL} = 7902991,4 * 0,0935 \Rightarrow Q_{OL} = 738929,696$$

Κ.Σ.: Κόστος συντήρησης (περίπου 40000 Ευρώ/έτος) και

Κ.Λ.: Κόστος λαδιού (2000 Ευρώ/έτος)

Το Συνολικό Ετήσιο Κόστος (Σ.Κ) εκτιμάται πως θα είναι:

$$\Sigma.K. = E.K. + K.\Sigma + K.\Lambda. \Rightarrow \Sigma.K. = 269492,01 + 40000 + 2000 \Rightarrow$$

$$\Sigma.K. = 311492,01 \text{ €}$$

Παρατήρηση: Το τελικό κόστος της kWh που παράγεται από τη ΣΗΘΥΑ είναι 0,03941 €/kWh.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Τις καθημερινές η μονάδα παράγει 600 kW (το 100% της ονομαστική ισχύος της μηχανής) όπου προκύπτει περίσσεια ενέργειας τις ώρες αιχμής (07:00-17:00) και τις ώρες 17:00-21:00 παράγει 450 kW (το 75% της ονομαστική ισχύος της μηχανής) δηλαδή επιστροφή στο δίκτυο της ΔΕΗ σαν άεργος ισχύς. Όμως τις υπόλοιπες ώρες παρατηρείται έλλειμμα ενέργειας το οποίο οδηγεί σε κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο.
2. Τα σαββατοκύριακα και τις αργίες η μονάδα παράγει 240kW (το 40% της ονομαστική ισχύος της μηχανής) σταθερά σε όλο το 24ωρο. Σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε κυρίως έλλειμμα οπότε το ίδρυμα καταναλώνει ενέργεια κυρίως από το δίκτυο, σύμφωνα με τις μετρήσεις ισχύος οι οποίες λήφθηκαν από την μονάδα.
3. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να γίνεται κάποιου είδους ισολογισμός με το δίκτυο της ΔΕΗ
4. Λόγω υψηλού σχετικά θερμικού βαθμού απόδοσης η ικανότητα της μονάδας για κλιματισμό στους χώρους του ιδρύματος είναι επαρκής, είτε για ψύξη τη θερινή περίοδο, είτε για θέρμανση την χειμερινή περίοδο.
5. Ο ολικός βαθμός απόδοσης της μονάδας (άθροισμα ηλεκτρικού και θερμικού βαθμού απόδοσης 87,9 %) είναι ικανοποιητικός για μια τυπική μονάδα ΣΗΘ
6. Το συνολικό ετήσιο κόστος της συμπαραγωγής εκτιμάται στα 311492,01 € συμπεριλαμβανομένου του κόστους του καιόμενου φυσικού αερίου, κόστους συντήρησης και του κόστους λαδιού.

Βιβλιογραφίες

- [1] Yunus A. Çengel και Michael A. Boles, *ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ*, Εκδόσεις Τζιόλας, (2013)
- [2] Γ. Κ. Αλέξης, *Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ, Θεωρία & Ασκήσεις*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, (2007)
- [3] <http://www.chimicamo.org/chimica-fisica/ciclo-otto.html>
- [4] http://www.dimec.unisa.it/leonardo_new/it/thermodynamics.php
- [5] http://www.mpoweruk.com/heat_engines.htm
- [6] <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/sithya-mikro-symparagogi/>
- [7] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ
ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3734/2009 Τεύχος Α
- [8] Ευρωπαϊκή Επιτροπή *Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας* Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφορών
- [9] MWM Energy. Efficiency. Environment. *Τεχνική Περιγραφή Ηλεκτροπαραγωγικού Ζεύγους TCG2016V12C*
- [10] <https://www.google.gr/search?q=διάγραμμα+κύκλου+stirling>
- [11] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (2010) *Ανάλυση επιλογών για τον επανασχεδιασμό της τιμολόγησης της ενέργειας που παράγεται με ΣΗΘΥΑ από μονάδες με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ έως 35 MW*
- [12] http://www.rae.gr/site/categories_new/about_rae/factsheets/2013/gen/26032013cs_p
- [13] <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE7.pdf>
- [14] ΠΑΝ. Κ. ΝΙΚΑ, *ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Τόμος Ι, Συνοπτική Θεωρία & Ασκήσεις*, Αθήνα 1981