



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
του  
Χρήστου Μείντάνη

Κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε θερμοκήπια



Επιβλέπων Καθηγητής:  
Εμμ. Κακαράς

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Εμμανουήλ Κακαρά, που με ενέπνευσε ώστε να επιλέξω διπλωματική εργασία στον τομέα θερμότητας και στην οποία μπόρεσα να αξιοποιήσω τις γνώσεις που αποκόμισα μέσα από τα μαθήματά του. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καρέλλα ο οποίος μου παρείχε πολύτιμες πληροφορίες καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Χωρίς την πολύτιμη βοήθειά του, η υλοποίηση αυτής της διπλωματικής δε θα ήταν εφικτή.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την υπομονή, την αμέριστη συμπαράσταση και την αγάπη της. Τέλος, δεν μπορώ να ξεχάσω τους φίλους μου για τη βοήθεια και τη στήριξή τους σε όλη τη φοιτητική μου πορεία, καθώς και όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Μεϊντάνης Χρήστος

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

## Πρόλογος

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η σύντομη παρουσίαση των βασικών μερών από τα οποία αποτελείται μια σύγχρονη μονάδα θερμοκηπίου καθώς και η μελέτη των μονάδων από την ενεργειακή σκοπιά. Με τον τρόπο αυτό θα είναι σε θέση ο αναγνώστης να κατανοήσει πως εφαρμόζονται οι μηχανολογικές γνώσεις στο χώρο των θερμοκηπίων, μία άλλωστε καθαρά μηχανολογική κατασκευή. Αναλυτικότερα, θα υπάρχει λεπτομερής καταγραφή των ενεργειακών καταναλώσεων μίας μονάδας, τόσο θερμικών όσο και ηλεκτρικών, και τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει εκμετάλλευση αυτών προς όφελος του παραγωγού, χρηματικό και περιβαλλοντολογικό. Επιπλέον, θα γίνει μελέτη εισαγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο θερμοκήπιο κυρίως με τη χρήση της βιομάζας ως καύσιμο αλλά και με την εφαρμογή μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας για βελτιστοποίηση του ενεργειακού και του οικονομικού οφέλους. Στόχος της μελέτης δεν είναι να παραμείνει σε θεωρητικό αλλά να διευρυνθεί και σε πρακτικό επίπεδο. Για το λόγο αυτό, η μελέτη θα βασιστεί σε παραδείγματα μέσα από τα οποία θα εξεταστούν διάφορες περιπτώσεις και συγκεκριμένα πέντε τυπικοί λέβητες που χρησιμοποιούνται σε ένα θερμοκήπιο. Εξαιτίας του πλήθους των παραγόντων που υπεισέρχονται κατά την κατασκευή και λειτουργία ενός θερμοκηπίου, η μοντελοποίηση των ενεργειακών αναγκών είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, έως αδύνατη και γι αυτό κάθε παράδειγμα θα εξετάζεται ξεχωριστά και θα γενικεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Τέλος, θα γίνει περιγραφή μιας ήδη εγκατεστημένης μονάδας συμπαραγωγής, η οποία βρίσκεται σε λειτουργία εδώ και πέντε έτη και θα αναλυθούν τα οφέλη και οι δυσκολίες που προκύπτουν

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	1
2. Συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης.....	2
2.1 Στατιστικά στοιχεία .....	2
2.2 Είδη και τρόποι θέρμανσης.....	5
2.2.1 Αερολέβητες πετρελαίου- αερίου- στερεών καυσίμων .....	5
2.2.2 Κεντρική θέρμανση (επιδαπέδιο σύστημα).....	6
2.2.3 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης .....	11
2.3 Απαιτούμενη ισχύς του συστήματος θέρμανσης .....	20
2.3.1 Παράδειγμα υπολογισμού:.....	22
2.4 Συστήματα Ψύξης – Εξαερισμού.....	27
2.4.1. Παράδειγμα υπολογισμού:.....	30
2.4.2 Ηλιακή ψύξη.....	32
3. Συμπαράγωγή.....	37
3.1 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας .....	37
3.2 Τεχνολογίες συμπαράγωγής .....	39
3.3 Μηχανές Stirling .....	40
4. Οικονομική Αξιολόγηση .....	45
4.1 Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value): .....	45
4.2 Καθαρή παρούσα αξία για μη περιοδικές ροές xNPV .....	46
4.3 Απόδοση κεφαλαίου ή εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return) .....	47
4.4 Απόδοση κεφαλαίου για μη τακτά χρονικά διαστήματα xIRR .....	47
5. Πειραματικό μέρος-Μελέτη μονάδων .....	49
5.1 Μελέτη 1: Εγκατάσταση μονάδας συμπαράγωγής με καύσιμο βιομάζα με τη χρήση συμβατικών λεβήτων στερεού καυσίμου .....	49
5.1.2 Οικονομική Αξιολόγηση .....	64
5.1.3 Συμπεράσματα .....	78
5.1.4 Περιβαλλοντική Ανάλυση .....	81
5.2 Μελέτη 2: Αντικατάσταση παλαιού λέβητα μαζούτ με νέο βιομάζας .....	88
5.2.1 Κατασκευή του προγράμματος Fortran, για τον υπολογισμό των γεωμετρικών και ενεργειακών χαρακτηριστικών ενός λέβητα βιομάζας (καύσιμο ξύλο).....	89
5.2.2 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για πέντε τυπικούς λέβητες θερμοκηπίων. 96	
5.2.3 Οικονομική ανάλυση.....	100
5.2.4 Συμπεράσματα .....	106

5.2.5 Περιβαλλοντική Ανάλυση .....	111
5.3 Παράδειγμα εγκατεστημένης μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας 5MW σε θερμοκήπιο έκτασης 100 στρεμμάτων. ....	114
5.3.1 Εισαγωγή .....	114
5.3.2 Υδροπονική καλλιέργεια .....	114
5.3.3 Εμπλουτισμός των φυτών με διοξείδιο του άνθρακα .....	116
5.3.4.Περιγραφή της εγκατάστασης .....	119
5.3.5 Λειτουργία και προβλήματα της εγκατάστασης.....	126
5.3.6 Προτάσεις για επίλυση των προβλημάτων και μελλοντικές βελτιώσεις .....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I.....	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II.....	133
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III.....	135
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV .....	138
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V .....	141
Βιβλιογραφία .....	142

## **1. Εισαγωγή**

Η γεωργική παραγωγή εξαρτάται από παράγοντες που σχετίζονται όχι μόνο με τις ιδιότητες του φυτού που καλλιεργείται αλλά και με ασταθείς και αβέβαιης εξέλιξης μετεωρολογικούς παράγοντες. Παράγοντες όπως η ακτινοβολία, η θερμότητα, η υγρασία, η τοποθεσία κ.α. καθορίζουν, ηθελημένα και μη, την παραγωγή ενός φυτού είτε αυτό είναι τρώφιμο (κηπευτικά και φρούτα) είτε καλλωπιστικό (φυτά γλαστρικά και δρεπτά άνθη). Για να επιτευχθεί αξιόπιστος χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, μεγιστοποίηση αυτής καθώς και βελτιστοποίηση των παραγόμενων προϊόντων απαιτείται η ρύθμιση των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Με το θερμοκήπιο περιορίζεται το μέγεθος του ελεύθερου χώρου, ώστε να είναι σε θέση να ρυθμιστούν οι παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Επειδή η γεωργική παραγωγή θεωρείται οικονομική δραστηριότητα, κύριο μέλημα του παραγωγού και του κατασκευαστή είναι ο καθορισμός αυτών των παραγόντων με οικονομικά αποδεκτό τρόπο. Η παραγωγή που γίνεται σε ένα σύγχρονο θερμοκήπιο έχει σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά της βιομηχανικής παραγωγής, αφού η καλλιέργεια των φυτών παρέχει τη δυνατότητα της προγραμματισμένης και με προβλέψιμα αποτελέσματα παραγωγής, ενώ η εξέλιξη των φυτών εξαρτάται πλέον από τους χειρισμούς του ανθρώπινου παράγοντα.

Η ρύθμιση όμως όλων των παραμέτρων έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον κόστη που προέρχονται από την καταναλισκόμενη ενέργεια, εργασία και κατανάλωση άλλων πόρων, κυρίως ενεργειακών. Σε γενικές γραμμές, αν η παραγωγή γίνεται σωστά, τότε το επιπλέον κόστος υπερκαλύπτεται από τον ευνοϊκό χρόνο παραγωγής, την αυξημένη παραγωγή, την καλύτερη ποιότητα καθώς και λοιπά ενεργειακά οφέλη. Οι σωστές επιλογές και η σωστή οργάνωση απαιτούν συνδυασμό γνώσης και εμπειρίας από πολλούς τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Η επιστημονική έρευνα προσανατολίζεται τη σημερινή εποχή στη λύση των προβλημάτων που αφορούν τα υλικά, την κατασκευή και τον εξοπλισμό με στόχο την αύξηση της φυτικής παραγωγής, τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος, τη βελτίωση του οικονομικού αποτελέσματος της παραγωγικής διαδικασίας στο θερμοκήπιο, τη μικρότερη όχληση του φυσικού περιβάλλοντος και την προστασία της ανθρώπινης υγείας από την παραγωγική διαδικασία στο θερμοκήπιο. Ταυτόχρονα, προσπάθειες γίνονται στον ενεργειακό τομέα ώστε η λειτουργία του θερμοκηπίου να είναι ανεξάρτητη από συμβατικά καύσιμα και να εισαχθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε αυτό το χώρο, αλλά ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται ρυπογόνες μορφές ενέργειας, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο να είναι όσο το δυνατόν ασθενέστερες.

## 2. Συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης

### 2.1 Στατιστικά στοιχεία

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003, η παγκόσμια έκταση των θερμοκηπίων είναι 15.000.000 στρέμματα ή περίπου 2m<sup>2</sup>/κάτοικο. Αναλυτικά οι εκτάσεις αυτές διαμοιράζονται σε: (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Κίνα: 12.500.000 στρέμματα ή 83.3% της παγκόσμιας κάλυψης, κυρίως με απλές πλαστικές κατασκευές.

Ευρωπαϊκή Ένωση: 1.200.000 στρέμματα ή 8% των παγκόσμιων εκτάσεων.

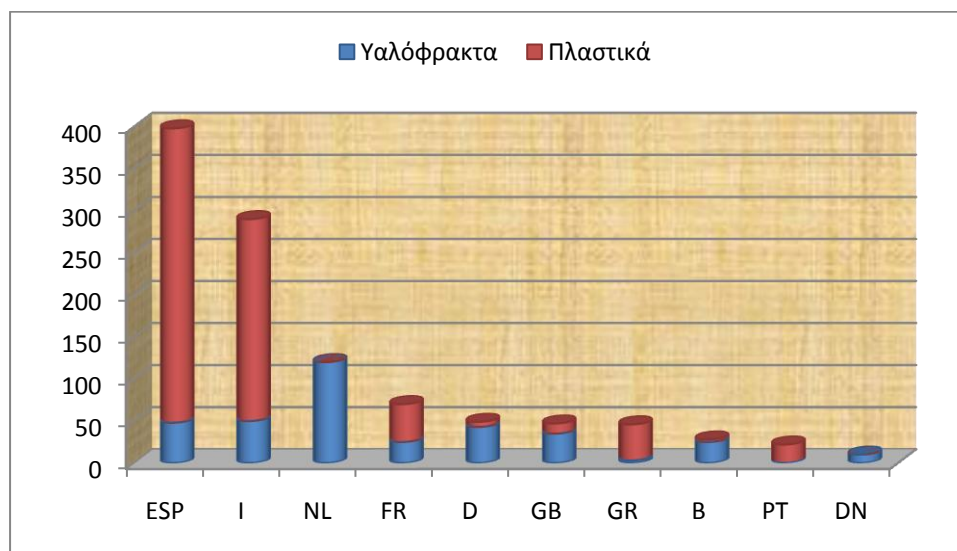
Ιαπωνία: 450.000 στρέμματα ή 3% των θερμοκηπίων παγκοσμίως.

Σε σχέση με το συνολικό αριθμό θερμοκηπίων παγκοσμίως (εκτός της Κίνας) οι μονάδες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλύπτουν το 48%, από τα οποία τα υαλόφρακτα θερμοκήπια αποτελούν το 62% των υαλόφρακτων θερμοκηπίων του κόσμου και τα πλαστικά το 43% των πλαστικών του κόσμου.

Όσον αφορά τα υαλόφρακτα θερμοκήπια, την πρώτη θέση κατέχει η Ολλανδία με 33% του συνόλου και ακολουθούν η Ιταλία, η Ισπανία, η Γερμανία και οι υπόλοιπες χώρες με μικρότερα ποσοστά.

Στο χώρο των πλαστικών, την πρωτιά κατέχει η Ισπανία με 59% του συνόλου και ακολουθεί η Ιταλία, η Γαλλία, η Ελλάδα και οι άλλες χώρες με μικρότερα ποσοστά.

Τα δεδομένα παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω γράφημα.



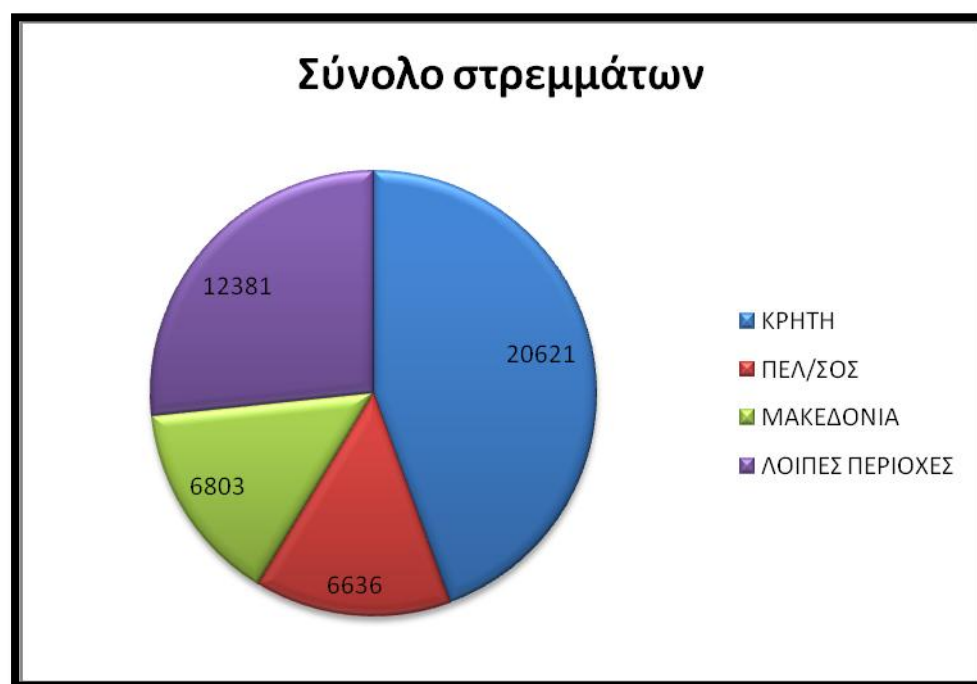
Διάγραμμα 1: Εκτάσεις θερμοκηπίων στην Ευρώπη (χιλ. στρέμματα) (Μαυρογιαννόπουλος, 2005) (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

### Οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα:

Στη χώρα μας οι πρώτες εγκαταστάσεις δημιουργήθηκαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για την παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωση τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που οδήγησαν στην εξάπλωση των θερμοκηπιακών μονάδων στη χώρα μας είναι οι εδαφοκλιματικές συνθήκες καθώς και το ήπιο κλίμα που επικρατεί σε πολλές περιοχές και ευνοεί την παραγωγή αγροτικών προϊόντων ακόμα και με πολύ απλές κατασκευές. Ταυτόχρονα, η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εγχώρια αγορά αλλά και η πολιτική του κράτους, που ενθάρρυνε οικονομικά τη δημιουργία μονάδων, συντέλεσαν στην σταδιακή αύξηση της παραγωγής νέων μονάδων κυρίως κατά την περίοδο μεταξύ 1980-1995.

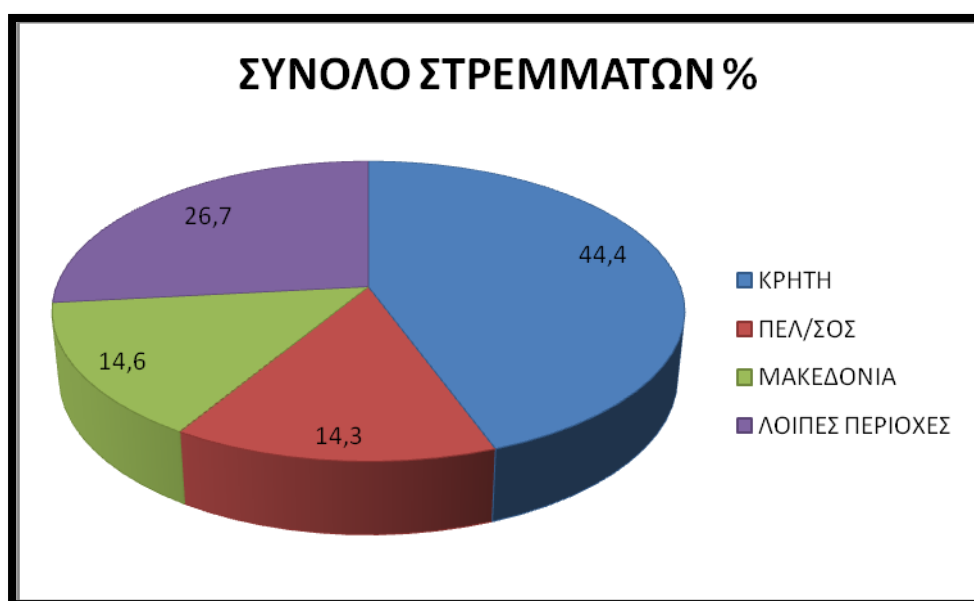
Στα διαγράμματα που ακολουθούν δίνονται και οι αντίστοιχοι αριθμοί για τις εκτάσεις στην Ελλάδα:



Διάγραμμα 2: Εκτάσεις θερμοκηπίων στην Ελλάδα ( στρέμματα) (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)



Και σε αντίστοιχα ποσοστά:



Διάγραμμα 3: Εκτάσεις θερμοκηπίων στην Ελλάδα (ποσοστά%) (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

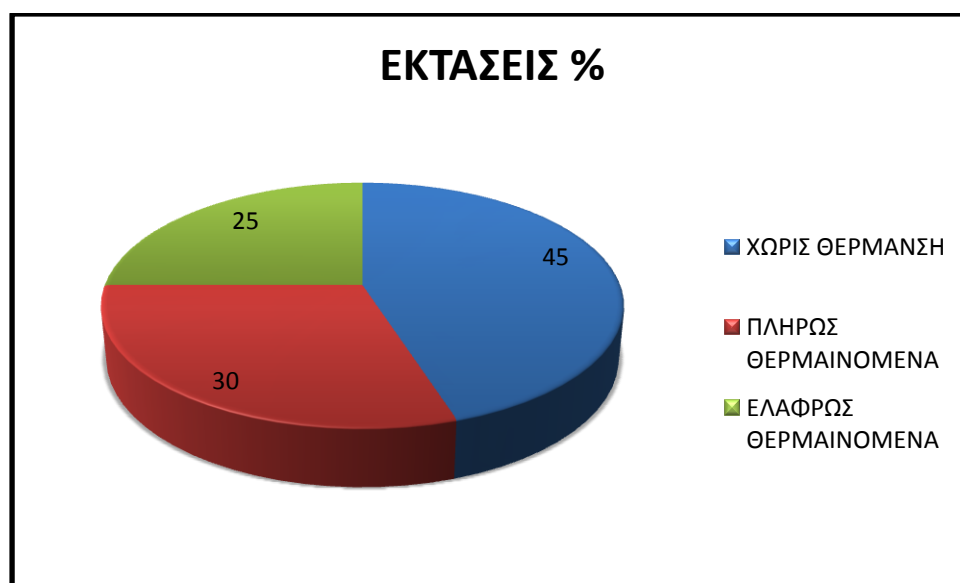
Στη χώρα μας υπάρχουν εγκατεστημένα περίπου 46.000 στρέμματα από τα οποία τα 43.000 στρέμματα αφορούν πλαστικές κατασκευές και τα 3.000 υαλόφρακτες.

Όσον αφορά την κατάταξη των θερμοκηπίων σε σχέση με το αν και πόσο αυτά διαθέτουν κάποιο είδος θέρμανσης από τους πίνακες του Υπουργείου Γεωργίας αντλούμε τα παρακάτω στοιχεία.

ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΜΕ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΑ	220	800	1020
ΓΑΡΥΦΑΛΛΑ	400	280	680
ΓΛΑΣΤΡΙΚΑ	320	900	1220
ΑΓΓΟΥΡΙΑ	7050	2650	9700
ΝΤΟΜΑΤΕΣ	20850	6700	27550
ΦΡΑΟΥΛΕΣ	1870	0	1870
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	7800	2800	10600
ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΑ	710	215	925

Πίνακας 1: Κατάταξη θερμοκηπίων (στρέμματα) με βάση το είδος καλλιέργειας στον Ελλαδικό χώρο (Μαυρογιαννόπουλος, 2005) (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

Και με τη μορφή διαγράμματος:



Διάγραμμα 4: Κατάταξη θερμοκηπίων ανάλογα με τη θέρμανση- Ελλάδα. (Υπουργείο Γεωργίας, 2003) (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

## 2.2 Είδη και τρόποι θέρμανσης

### 2.2.1 Αερολέβητες πετρελαίου- αερίου- στερεών καυσίμων

Τα αερόθερμα αερίων καυσίμων διαθέτουν λέβητα με ενσωματωμένο καυστήρα ο οποίος μπορεί να έχει, είτε ανοιχτό θάλαμο καύσης (με φλόγιστρα), είτε χωρίς. Σε όσα διαθέτουν ανοιχτό θάλαμο καύσης, κυρίως σε μικρές μονάδες, ο απαιτούμενος αέρας προέρχεται από τον αέρα του θερμοκηπίου και τα καυσαέρια απελευθερώνονται στον ίδιο χώρο. Κατά τη διάρκεια της ημέρας που λειτουργεί η φωτοσύνθεση και εφόσον το καύσιμο είναι καθαρό, τα φυτά επωφελούνται από το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στο χώρο. Τη νύχτα όμως η μείωση της ποσότητας του οξυγόνου έχει σημαντικά αρνητικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της καύσης και στην καθαρότητα του αέρα στον εσωτερικό χώρο της μονάδας. Σε όσα διαθέτουν κλειστό θάλαμο καύσης, ο αναγκαίος αέρας διοχετεύεται με αεραγωγό και τα καυσαέρια απάγονται στον εξωτερικό χώρο. Τα αερόθερμα αυτά αποτελούνται κυρίως από τρία μέρη, το δοχείο καύσης με τον καυστήρα, τον εναλλάκτη θερμότητας και τον ανεμιστήρα κυκλοφορίας του αέρα. Η καπνοδόχος βγαίνει ακριβώς επάνω από το θερμοκήπιο και θα πρέπει να διαθέτει αρκετό μήκος ώστε να μην επιστρέφει ο καπνός στο εσωτερικό. Κατά τη λειτουργία τους καίγεται το καύσιμο στο θάλαμο καύσης για να παραχθεί θερμότητα η οποία θερμαίνει τον εισαγόμενο αέρα, ο οποίος αφού θερμανθεί εισάγεται στο χώρο του θερμοκηπίου. Η λειτουργία των αερόθερμων ρυθμίζεται είτε χειροκίνητα, είτε μέσω θερμοστάτη που τοποθετείται σε κατάλληλη θέση στο θερμοκήπιο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά κυρίως τις πρώτες μέρες της χειμερινής περιόδου για προθέρμανση του χώρου, εξαιτίας του πολύ μεγάλου κόστους λειτουργίας ως μονάδες βάσης.



Εικόνα 1: Αερολέβητας πετρελαίου σε πλαστικό θερμοκήπιο ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

### 2.2.2 Κεντρική θέρμανση (επιδαπέδιο σύστημα)

Στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης χρησιμοποιείται συνήθως λέβητας θέρμανσης ζεστού νερού ή ατμού και δίκτυο σωληνώσεων. Στο λεβητοστάσιο, το οποίο κατασκευάζεται στο άκρο του θερμοκηπίου τοποθετείται λέβητας μαζί με καυστήρα (για υγρά και αέρια καύσιμα) και κολλεκτέρ. Από το κολλεκτέρ ξεκινούν συνήθως δύο ανεξάρτητοι κλάδοι τροφοδοσίας, ένας για τις σωληνώσεις και ένας για τα αερόθερμα. Οι σωληνώσεις διανομής της θερμότητας στο χώρο λειτουργούν ως εναλλάκτες νερού – αέρα ή ατμού – αέρα αντίστοιχα και είναι συνήθως μεταλλικοί σωλήνες μεγάλου μήκους που διατρέχουν το θερμοκήπιο και δημιουργούν μια μεγάλη επιφάνεια απόδοσης της θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Επίσης δημιουργούνται και αναμονές για μελλοντικούς κλάδους σε περίπτωση προσθήκης νέων εγκαταστάσεων θέρμανσης ή νέων θερμοκηπιακών μονάδων. Κάθε κλάδος λειτουργεί ξεχωριστά με δικούς του κυκλοφορητές και ηλεκτροβάννες για μεγαλύτερη αυτονομία της μονάδας. Το σύστημα αυτό, εάν σχεδιαστεί σωστά έχει το πλεονέκτημα την ικανοποιητικής θέρμανσης του αέρα και του εδάφους του θερμοκηπίου, παρουσιάζει όμως μεγαλύτερη θερμική αδράνεια από τα αερόθερμα καθώς και μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης. Ο λέβητας αποφεύγεται να τοποθετείται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου γιατί λόγω της σκόνης και της υγρασίας, παρουσιάζεται σύντομα φθορά λόγω διάβρωσης. Οι λέβητες ατμού παρουσιάζουν συγκριτικά δύο βασικά πλεονεκτήματα, όπως μεγαλύτερη απόδοση λόγω μικρότερων απωλειών και χρήση του παραγόμενου ατμού για απολύμανση του εδάφους

και των φυτών. Βέβαια, παρουσιάζουν και υψηλότερο κόστος αγοράς ενώ για τη συντήρησή τους απαιτείται ειδικός τεχνικός. Εντός του λεβητοστασίου υπάρχει και το δοχείο προθερμάνσεως του καυσίμου, κυρίως όταν το καύσιμο είναι μαζούτ.



Εικόνα 2: Λέβητας πετρελαίου 700KW και καυστήρας τοποθετημένοι στο λεβητοστάσιο ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr)) (Πυρκάλ)

Το λεβητοστάσιο σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει: (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

- Αυτοματισμούς και συστήματα ασφαλείας
- Τους λέβητες, οι οποίοι εκλέγονται με βάση τις θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης, το είδος του καυσίμου και το είδος της καλλιέργειας.
- Τον καυστήρα σε περίπτωση που καίγονται αέρια και υγρά καύσιμα
- Το σύστημα προσαγωγής αέρα στο σύστημα καύσης
- Την καπνοδόχο που απάγει τα καυσαέρια και επηρεάζει το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης
- Τον κυκλοφορητή και τους συλλέκτες αναχώρησης και επιστροφής που εξασφαλίζουν τη ροή του φορέα θερμότητας προς τους χώρους και την επιστροφή του στο λέβητα.
- Τις σωληνώσεις μεταφοράς
- Το σύστημα ασφαλείας που περιλαμβάνει κλειστό ή ανοικτό δοχείο διαστολής, διάταξη συμπλήρωσης του λέβητα με νερό, βαλβίδες ασφαλείας και διάφορες βάνες αναμείξεως.
- Σύστημα καθαρισμού του νερού πλήρωσης του λέβητα από τα άλατα ώστε να μην υπάρχουν μειώσεις στην απόδοση του λόγω επικαθίσεων.



Εικόνα 3: Άποψη ενός τμήματος του λεβητοστασίου

#### Σύστημα διανομής της θερμότητας στο χώρο: (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Στο σύστημα διανομής με σωληνώσεις θερμού νερού η μετάδοση θερμότητας γίνεται με συναγωγή και ακτινοβολία κατά ίσο περίπου ποσοστό. Μετά τη θέρμανση του αέρα με συναγωγή από τους σωλήνες, ο θερμός αέρας συγκεντρώνεται στην οροφή του θερμοκηπίου όπου ψύχεται καθώς έρχεται σε επαφή με το χαμηλότερης θερμοκρασίας εξωτερικό κάλυμμα, αυξάνει το ειδικό του βάρος και κατέρχεται, επαναθερμαίνεται και συνεχίζει τον κύκλο. Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για τη διανομή της θερμότητας στη περιφέρεια του θερμοκηπίου είναι μαύροι σιδηροσωλήνες διαμέτρου 5cm (2") με μήκος συνήθως μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μήκους της περιμέτρου του θερμοκηπίου. Οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών ώστε να μην εμποδίζουν την κυκλοφορία στο εσωτερικό, ενώ οι κεντρικές σωληνώσεις καθώς και αυτές της επιστροφής του νερού τοποθετούνται στην περιφέρεια του θερμοκηπίου και από αυτές γίνεται η διανομή με μικρότερες προς το κέντρο της μονάδας. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί οι απώλειες στην περιφέρεια είναι μεγαλύτερες από αυτές στο κέντρο και πρέπει να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη θερμοκρασία στο χώρο. Ταυτόχρονα αποφεύγεται η τοποθέτηση όλων των σωλήνων περιμετρικά γιατί τα ρεύματα του αέρα που δημιουργούνται από τις ψυχρές επιφάνειες της οροφής προκαλούν κατά τόπους ψυχρές ζώνες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

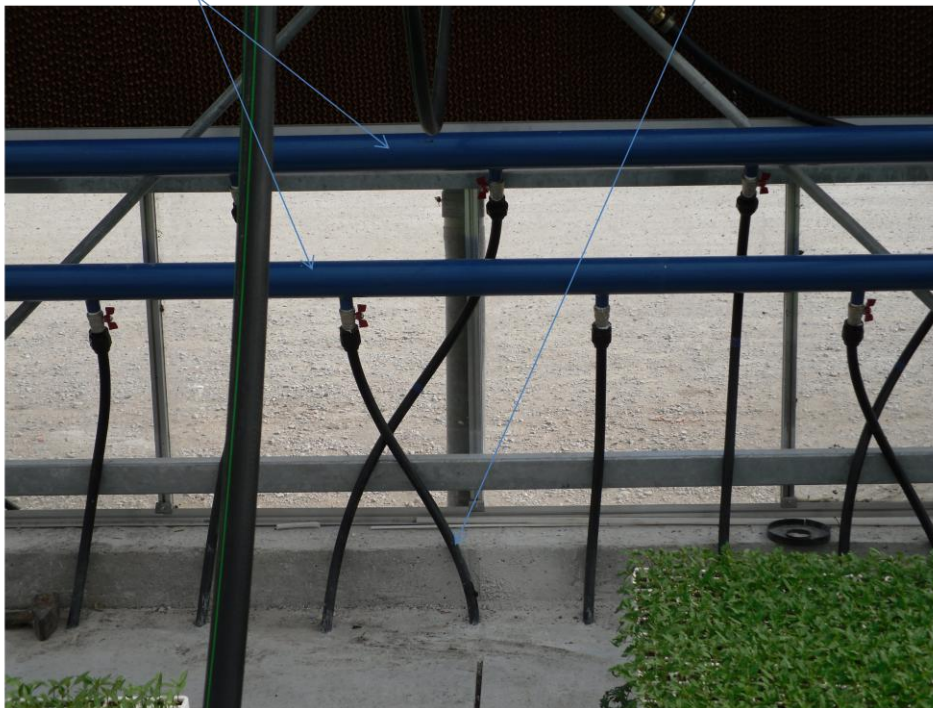
Στο μικτό σύστημα απόδοσης θερμότητας τοποθετούνται αερόθερμα (αξονικά) ζεστού νερού σε κρεμαστή θέση εναλλάξ, δεξιά-αριστερά τα οποία προκαλούν ανάδευση του αέρα στο χώρο, πετυχαίνοντας τη δημιουργία πιο ομοιόμορφων συνθηκών στο εσωτερικό, περιορίζουν τη δημιουργία συμπύκνωσης υδρατμών επάνω στα φυτά και τέλος ευνοούν τη δημιουργία υδρατμών επάνω στο κάλυμμα μειώνοντας την υγρασία.. Τα αερόθερμα που χρησιμοποιούνται έχουν δυναμικότητα περίπου 45.000 kcal/hr. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))



Εικόνα 4: Αξονικό αερόθερμο κρεμασμένο από την οροφή του θερμοκηπίου ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

Ένας επιπλέον τρόπος διανομής των σωληνώσεων στο εσωτερικό είναι η τοποθέτηση τους μέσα σε τσιμεντένιο πάτωμα (εικόνα 5). Το θερμαινόμενο τσιμεντένιο πάτωμα γίνεται από σκυρόδεμα ή πορώδες σκυρόδεμα πάχους περίπου 9-10cm, μέσα στο οποίο έχουν τοποθετηθεί σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου 16-20mm σε αποστάσεις 30cm. Στη περίπτωση αυτή περίπου το 55-60% της θερμότητας αποδίδεται με ακτινοβολία από το πάτωμα και η υπόλοιπη με συναγωγή. Το σύστημα αυτό εμφανίζει μεγαλύτερη θερμική απόδοση από το κλασικό σύστημα τοποθέτησης των σωλήνων στο χώμα του θερμοκηπίου, απόδοση που μπορεί να βελτιωθεί αν το τσιμέντο πλημμυριστεί με νερό, το οποίο θα απορροφήσει μέρος της θερμότητας και θα την αποδώσει με κάποια χρονική καθυστέρηση αυξάνοντας έτσι το χρόνο και την ποιότητα της θέρμανσης.

Κεντρικοί σωλήνες διανομής Δευτερεύοντες σωλήνες τοποθετημένοι σε τσιμεντένιο πάτωμα



Εικόνα 5: Διανομή των σωληνώσεων θέρμανσης σε τσιμεντένιο πάτωμα

Σε περιπτώσεις όπου η καλλιέργεια δεν γίνεται στο έδαφος του θερμοκηπίου αλλά σε ειδικά σχεδιασμένα τραπέζια, τότε για να ελαττωθούν οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον αλλά και για να θερμανθούν στη ρίζα τα φυτά, επιλέγεται η τοποθέτηση των δευτερευόντων σωλήνων μέσα στο ειδικά διαμορφωμένο τραπέζι (πατάρι) όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Οι κεντρικοί σωλήνες διανομής και επιστροφής του νερού παραμένουν τοποθετημένοι περιμετρικά του θερμοκηπίου για ελαχιστοποίηση των απωλειών όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 6: Τοποθέτηση των δευτερευόντων σωλήνων μέσα στο ειδικά διαμορφωμένο πατάρι για θέρμανση των φυτών στη ρίζα και ελαχιστοποίηση των απωλειών.

### 2.2.3 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης

#### **A) Ηλιακά συστήματα** (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Το θερμοκήπιο από την ίδια του την κατασκευή αποτελεί ένα παθητικό σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Γενικά για να γίνει δυνατή η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και κατά τη διάρκεια της νύχτας θα πρέπει πρώτα να εξασφαλιστούν:

- α) Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας (μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα)
- β) η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας
- γ) η εγκατάσταση ενός συστήματος διανομής της θερμότητας στο χώρο

Για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως τα παρακάτω μέσα:

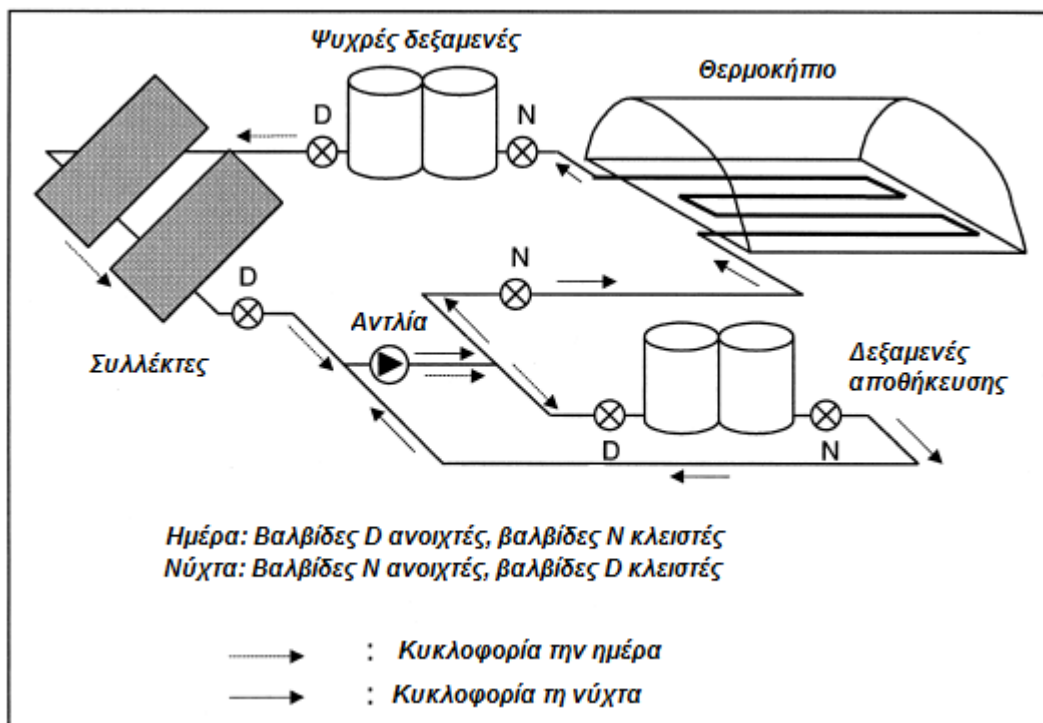
1. Ξεχωριστοί ηλιακοί συλλέκτες που τοποθετούνται έξω από το θερμοκήπιο
2. Ηλιακοί συλλέκτες που αποτελούν στοιχεία της κατασκευής του θερμοκηπίου, όπως για παράδειγμα θερμοκήπιο με διπλό τοίχωμα, στο εσωτερικό του οποίου κυκλοφορεί διάλυμα που απορροφά την υπέρυθη μόνο ακτινοβολία και θερμαίνεται



3. Το ίδιο το θερμοκήπιο, με την αποθήκευση της περίσσειας θερμότητας που συχνά έχει κατά τη διάρκεια της ημέρας και την οποία αποθηκεύει σε υλικά όπως πέτρες, χαλίκια, υλικά αλλαγής φάσης, ηλιακές λίμνες κ.α.

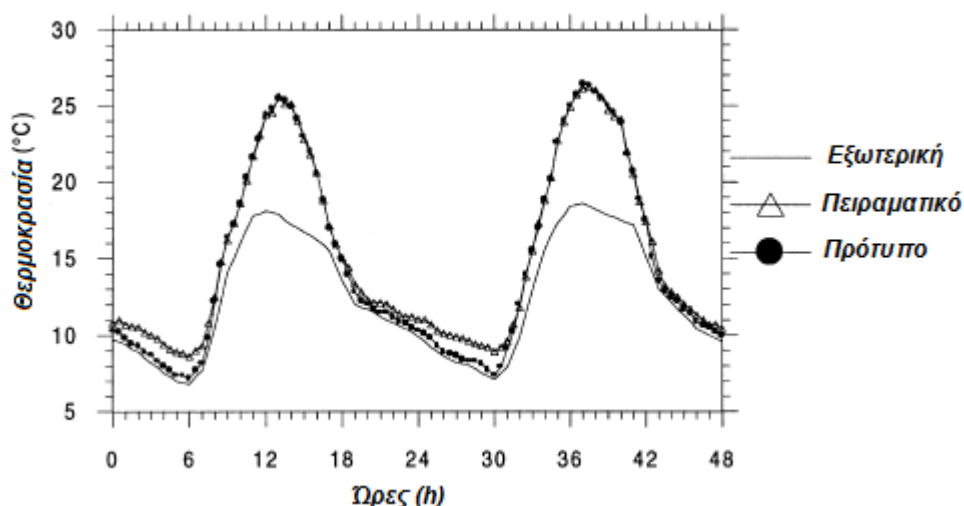
Το σημαντικό μειονέκτημα της χρήσης της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση του θερμοκηπίου είναι αφενός το υψηλό κόστος αγοράς των συλλεκτών και αφετέρου ο μεγάλος χώρος που απαιτούν οι συλλέκτες για να τοποθετηθούν. Χαρακτηριστικό είναι, πως για μια μονάδα στη νότια Ελλάδα απαιτείται έκταση περίπου 30% επιπλέον αυτής του θερμοκηπίου για την εγκατάσταση των συλλεκτών.

Ένα πρότυπο σύστημα ηλιακής θέρμανσης μελετήθηκε από τους Bargach et al. (M.N.Bargach, 1999) σε πλαστικό πειραματικό θερμοκήπιο έκτασης 10m x 25m και ύψους 3,40m με καλλιεργούμενο προϊόν πεπόνια στην περιοχή του Μαρόκου. Το σύστημα φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 5: Πειραματικό σύστημα ηλιακής θέρμανσης με δύο συλλέκτες. (M.N.Bargach, 1999)

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, το θερμό νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές ώστε να χρησιμοποιηθεί και κατά τη διάρκεια της νύχτας ώστε να μπορεί να προσφέρει ένα σταθερό θερμοκρασιακό επίπεδο σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τα αποτελέσματα του ηλιακού αυτού συστήματος θέρμανσης συγκρίθηκαν με ένα θερμοκήπιο ίδιων διαστάσεων και καλλιέργειας τοποθετημένο σε μικρή απόσταση από το πειραματικό. Τα αποτελέσματα για την εσωτερική θερμοκρασία φαίνονται στο διάγραμμα:



Διάγραμμα 6: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα σε πειραματικό θερμοκήπιο με ηλιακή θέρμανση και σε πρότυπο χωρίς θέρμανση, σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία κατά τις ημέρες 5 Φεβρουαρίου και 6 Μαΐου 1996. (M.N.Bargach, 1999)

Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασιακή άνοδος που προσφέρει το ηλιακό σύστημα θέρμανσης είναι σχετικά μικρή, της τάξης των 1,2 °C, η οποία όμως εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, εκεί δηλαδή που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και αναγκαία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά αυτή προκύπτει από τη χρήση μόλις δύο ηλιακών συλλεκτών με επιλεκτική επιφάνεια, έκτασης 2,34m<sup>2</sup> ο καθένας. Στα πλεονεκτήματα του συστήματος συγκαταλέγεται το γεγονός ότι το σύστημα αυτό έχει σχεδόν μηδενικά κόστη λειτουργίας, παρά το αρχικά μεγάλο κόστος κτήσης. Μπορεί η διαφορά στη θερμοκρασία που επιτεύχθηκε να φαντάζει μικρή, οδήγησε όμως σε αρκετά αξιόλογη ομοιογένεια της εσωτερικής θερμοκρασίας, καθώς και σε αύξηση του βάρους του παραγόμενου προϊόντος αφού τα καλλιεργούμενα στο θερμαινόμενο θερμοκήπιο πεπόνια είχαν βάρος 2,685kg σε σχέση με το αντίστοιχο 1,88kg βάρος των πεπονιών στο μη θερμαινόμενο. (M.N.Bargach, 1999)

### **B) Αντλίες θερμότητας** (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Με την αντλία θερμότητας, όταν λειτουργεί με σκοπό τη θέρμανση, μεταφέρεται θερμότητα από μία πηγή, συνήθως είναι το νερό ή ο αέρας εκτός του θερμοκηπίου, στο εσωτερικό της μονάδας. Το θετικό της αντλίας θερμότητας είναι ότι μπορεί μέσω του εξατμιστή να αποσπάσει θερμότητα από μέσα με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες όπως το νερό και να την αποδώσει μέσω του συμπυκνωτή σε υψηλότερη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

Η λειτουργία του συμπιεστή της αντλίας θερμότητας μπορεί να γίνει με ηλεκτροκινητήρα καταναλώνοντας ενέργεια W. Ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας θα είναι

$$COP = (Q+W)/W > 1$$

Στα θερμοκήπια η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Για θέρμανση μόνο
- Για ψύξη μόνο
- Για θέρμανση και ψύξη
- Για αφύγρανση
- Για αφύγρανση σε συνδυασμό με θέρμανση ή ψύξη

Όσον αφορά στη πηγή θερμότητας καθώς και στο μέσο που χρησιμοποιούν για τη διανομή αυτής στο χώρο, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

A) Νερού-νερού. Όταν η πηγή έχει σταθερή θερμοκρασία και η διαφορά θερμοκρασίας εξατμιστή και συμπυκνωτή δεν είναι μεγάλη τότε ο COP κυμαίνεται από 2,5 έως 5 με μέση τιμή το 3,5

B) Νερού –αέρα. Μέσο COP 3,5

Γ) Αέρα- νερού. Μέγιστο COP 3-4 και ελάχιστο 2,5

Δ) Αέρα-αέρα. Μέσο COP 2

### **Γ) Γεωθερμία** (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζεται κυρίως σε περιοχές με πρόσφατη ηφαιστειότητα, διότι εκεί συναντάται το φαινόμενο της κίνησης θερμού υλικού από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια, με αποτέλεσμα τη θέρμανση του υπεδάφους. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής εμπλουτισμένη από τα άλατα των πετρωμάτων. Στη χώρα μας, το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας ( $T < 100$  °C) είναι υψηλό και συναντάται σε περιοχές όπως: Μήλος, Λέσβος, Σπερχειός, Μακεδονία, Θράκη(εικόνα 7).

Το διαθέσιμο γεωθερμικό ρευστό, κυρίως λόγω της υψηλής αλατότητας που έχει, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως έχει, αφού καταστρέφει όχι μόνο τις σωληνώσεις αλλά και τους μεταλλάκτες. Στην περίπτωση αυτή τοποθετείται ένας μεταλλάκτης ακριβώς στο τμήμα της γεώτρησης και θερμαίνει κάποια ποσότητα καθαρού νερού, η οποία στη συνέχεια κυκλοφορεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χωρίς να καταστρέφει το σύστημα διανομής.

Στη περίπτωση όπου το θερμό ρευστό είναι πολύ διαβρωτικό η εγκατάσταση αποτελείται από τα παρακάτω στοιχειώδη τμήματα:

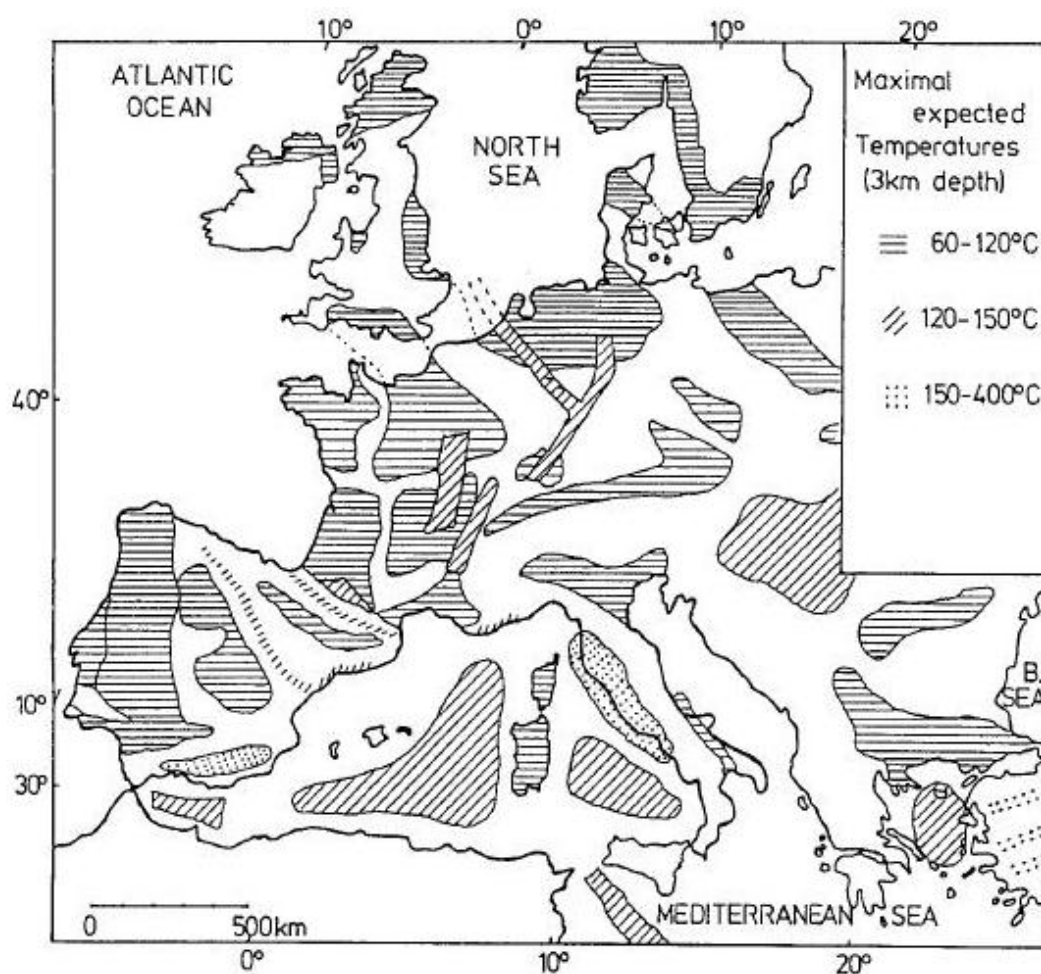
A) Τμήμα γεώτρησης

B) Τμήμα μεταφοράς του γεωθερμικού ρευστού

Γ) Τμήμα χρήσης (σύστημα διανομής της θερμότητας στο χώρο)

Δ) Τμήμα απόρριψης, όπου το χρησιμοποιημένο ρευστό απορρίπτεται στο γεωθερμικό πεδίο.

Για να γίνει μία σωστή οικονομική αξιολόγηση, πριν τη χρήση του γεωθερμικού πεδίου θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν αρκετοί παράγοντες όπως το βάθος της γεώτρησης, η απόσταση της από το χώρο χρήσης, η παροχή της, η θερμοκρασία του αντλούμενου νερού, η επιτρεπόμενη πτώση της θερμοκρασίας, η σύνθεση του ρευστού, η ευκολία στην απόρριψη του στο γεωθερμικό πεδίο καθώς και η προβλεπόμενη διάρκεια παραγωγικής χρήσης της πηγής. Στην εικόνα 7 δίνεται ο χάρτης των γεωθερμικών πεδίων στην Ευρώπη. (Zabeltitz, 1994)



Εικόνα 7: Χάρτης γεωθερμικών πεδίων στην Ευρώπη (Zabeltitz, 1994)

#### **Δ) Λάμπες φωτισμού**

Με σκοπό την αύξηση του φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και άρα την αύξηση της φωτοσύνθεσης των φυτών, χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φωτισμού οι οποίοι χωρίζονται στις εξής κατηγορίες: Λαμπτήρες φθορισμού, συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού (CFL), λαμπτήρες υψηλής έντασης (HID), λαμπτήρες αλογόνου και λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS). Οι λαμπτήρες αυτοί είναι σε θέση να παράγουν τεχνητό φώς κοντά στα μήκη κύματος της χλωροφύλλης και συγκεκριμένα σε όλο το μήκος κύματος μεταξύ 400nm και 700nm, φώς που βοηθά τα φυτά να μεγαλώσουν γρηγορότερα. Χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας και κυρίως στους χειμερινούς μήνες και με σωστή χρήση πολλές φορές αυξάνουν την απόδοση της καλλιέργειας κατά 30%.

Η χρήση λαμπτήρων για την αύξηση της φωτοσύνθεσης των φυτών κοστίζει πολύ, όχι μόνο λόγω του μεγάλου κόστους αγοράς των λαμπτήρων αλλά κυρίως λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ρεύματος αφού κάθε λαμπτήρας είναι της τάξης των 400 Watt και απαιτείται η ταυτόχρονη χρήση περίπου 60 λαμπτήρων ανά στρέμμα θερμοκηπίου.

Ο λόγος για τον οποίο αναφέρονται οι λαμπτήρες τεχνητού φωτισμού στο σημείο αυτό, είναι γιατί έχει παρατηρηθεί πως κατά τη λειτουργίας τους όχι μόνο παράγουν τον αναγκαίο για τα φυτά φωτισμό, αλλά ταυτόχρονα προσδίδουν στον αέρα κάποια αξιόλογα ποσά θερμότητας, της τάξεως των 2-4 °C. Σε συνδυασμό με τη χρήση θερμοκουρτίνας, η οποία κατά τη διάρκεια της νύχτας εγκλωβίζει το φώς και τη θερμότητα στο εσωτερικό, είναι δυνατή η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, καθυστερώντας έτσι τη χρήση του κεντρικού συστήματος θέρμανσης, στοιχείο που βοηθά στην εξοικονόμηση χρημάτων.

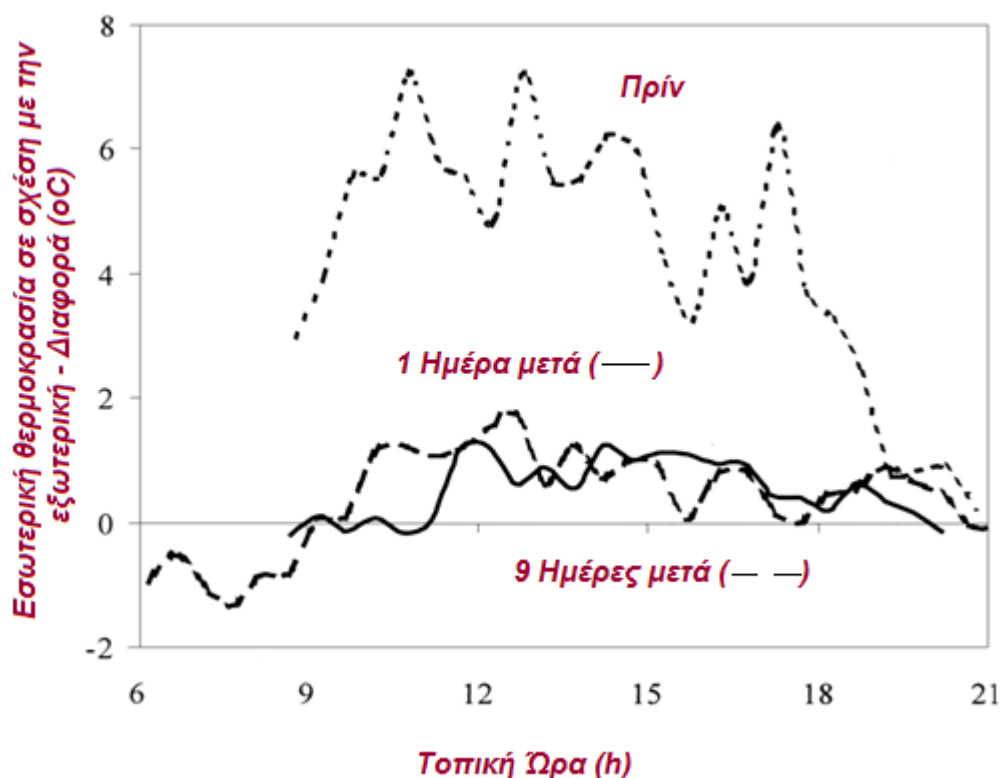


**Εικόνα 8:** Λαμπτήρας φωτισμού σε συνδυασμό με σύστημα θερμοκουρτίνας για σκίαση και θερμομόνωση στην κορυφή. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

### 3.5 Θερμοκουρτίνα - Ειδικές βαφές (www.meidanis.com.gr) (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Για την μείωση της έντασης του φωτισμού στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται συνήθως ειδικές κουρτίνες και ειδικές άσπρες βαφές. Όσον αφορά τις ειδικές βαφές κάλυψης, αυτές αποτελούν ανακάλυψη της τελευταίας δεκαετίας ενώ τα προηγούμενα χρόνια το εξωτερικό μέρος του θερμοκηπίου καλυπτόταν με μίγμα ασβέστη και νερού κάτι που προκαλούσε φθορές στα αλουμίνια συγκράτησης των παραθύρων της οροφής καθώς και καταστροφή στα λαστιχάκια συγκράτησης των υαλοπινάκων της οροφής. Ο ασβέστης αντικαταστάθηκε από μίγμα στόκου και νερού με προσθήκη μικρής ποσότητας ακρυλικής βαφής λευκού χρώματος με αναλογίες 20-30 κιλά στόκου σε 100 κιλά νερό. Αρχικά, κατά την περίοδο της Άνοιξης, γίνεται ένας ψεκασμός με αραιό διάλυμα και αργότερα καθώς η προσπίπτουσα ακτινοβολία αυξάνει, γίνεται επανάληψη της βαφής. Παρότι η μέθοδος αυτή έχει εξαιρετικά χαμηλό κόστος παρασκευής έχει παρατηρηθεί ότι η βαφή ξεπλένεται εύκολα με την εμφάνιση βροχοπτώσεων επιβάλλοντας τη διαρκή επανάληψη της.

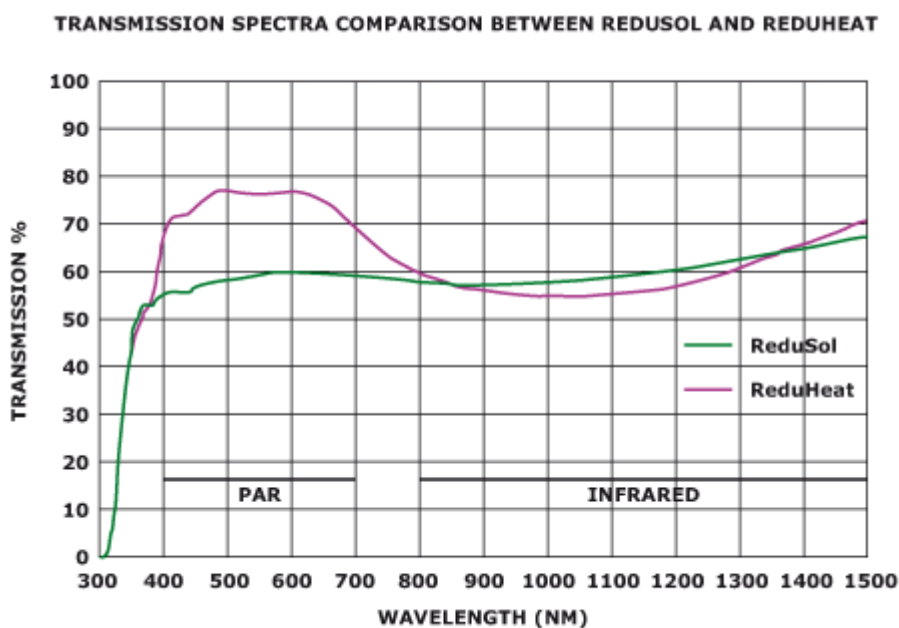
Σύμφωνα με μελέτη (A.Baille, 2001) που έλαβε χώρα στις 28 Ιουνίου 1999 η χρήση του ασβέστη ως βαφή του θερμοκηπίου μειώνει το ποσοστό της ακτινοβολίας κατά 40% επιτρέποντας τη μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 7: Διαφορά θερμοκρασιών μετά τη χρήση του ασβέστη ως βαφή του θερμοκηπίου (A.Baille, 2001)

Μετρήσεις λήφθηκαν τρεις φορές, με την πρώτη να είναι στις 28 Ιουνίου πριν τη χρήση της βαφής, τη δεύτερη στις 8 Ιουλίου δηλαδή μια μέρα μετά τη χρήση του ασβέστη και τέλος στις 16 Ιουλίου δηλαδή εννέα μέρες μετά τη χρήση της βαφής. Η μείωση της θερμοκρασίας εκφράζεται μέσω της διαφοράς των θερμοκρασιών  $\delta T = T_{in} - T_{out}$ . Στις 28 Ιουνίου, πριν

δηλαδή ξεκινήσει το πείραμα η εξωτερική θερμοκρασία ήταν 35 °C και με μία μέση διαφορά θερμοκρασίας 5 °C (μεταξύ των ωρών 9-19) παρατηρούμε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θερμοκρασίες περίπου 40,2 °C. Αντίστοιχα, μία ημέρα μετά τη βαφή η μέση θερμοκρασιακή διαφορά ήταν μόλις 0,6 °C κάτι που συνέβαινε και μετά από την πάροδο εννέα ημερών, προκαλώντας στο εσωτερικό θερμοκρασίες ύψους 36 °C με αντίστοιχη εξωτερική 35,3 °C. Χρησιμοποιώντας διαφορετική τεχνική λειτουργίας αλλά με σαφώς βελτιωμένα αποτελέσματα συναντάμε τις ειδικές βαφές κάλυψης (Redu –Heat και Redusol της εταιρίας Mardenkro) οι οποίες έχουν την ικανότητα να επιτρέπουν την είσοδο στο θερμοκήπιο του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ αποκλείουν το μεγαλύτερο μέρος από το υπόλοιπο φάσμα, αφήνοντας έξω από το θερμοκήπιο το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας. Μία βαφή τέτοιας τεχνολογίας είναι ιδανική γιατί ενώ δε μειώνει πολύ το ρυθμό της φωτοσύνθεσης των φυτών, μειώνεται αποτελεσματικά η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η βαφή αυτή περιέχει μια χρωστική που προέρχεται από πολύ μικρούς κόκκους του διαφανούς οξειδίου του πυριτίου, επικαλυμμένους με λεπτότατο στρώμα διοξειδίου του τιτανίου. Οι βαφές αυτές είναι φιλικές προς το περιβάλλον ενώ είναι απόλυτα ασφαλείς για χρήση από ανθρώπους. Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί βέβαια η τιμή αγοράς που κυμαίνεται στα **100€** το δοχείο ενώ απαιτούνται 4 δοχεία των 20 λίτρων για κάθε στρέμμα. Φυσικά, οι βαφές αυτές είναι ανθεκτικές στη βροχή και διαρκούν για σχεδόν όλη τη θερινή περίοδο, ενώ αν ο παραγωγός επιθυμεί τη πρόωρη διάλυση τους μπορεί να χρησιμοποιήσει το ειδικό διαλυτικό (Reduclean).



Διάγραμμα 8: Απόδοση των βαφών σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας (Mardenkro )

Σύμφωνα με την εταιρία, οι βαφές αυτές είναι σε θέση να προσφέρουν σκίαση μέχρι και 65% (Mardenkro ) ενώ όπως δείχνει και η εικόνα παρατηρούμε πως η βαφή Reduheat έχει την ικανότητα να επιτρέπει την είσοδο του ορατού φάσματος της ακτινοβολίας και κυρίως σε μήκη κύματος από 400-700nm, ακριβώς στην περιοχή όπου φωτοσυνθέτουν τα φυτά,

αποκλείοντας το μεγαλύτερο μέρος της άχρηστης για την ανάπτυξη των φυτών, θερμότητας.

Ο δεύτερος τρόπος μείωσης της έντασης του φωτισμού είναι οι κουρτίνες σκίασης ή αλλιώς θερμοκουρτίνες. Αυτές τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, στο άνω μέρος και στις πλαϊνές πλευρές και ανοίγουν ή κλείνουν με ηλεκτρικό μοτέρ ανάλογα με τις ανάγκες σκίασης. Έτσι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα η μειωμένη ένταση του φωτισμού δεν μειώνεται επιπλέον όπως συμβαίνει με τις κοινές βαφές οροφής και άρα έχουμε μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών. Η φύση της θερμοκουρτίνας όμως είναι διττή, αφού πέρα από τη μείωση της εισερχόμενης στο χώρο ακτινοβολίας λειτουργεί και ως μονωτικό στρώμα κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο όπου μετά το πέρας της λειτουργίας του λέβητα η κουρτίνα κλείνει εγκλωβίζοντας τη θερμότητα στο χώρο των φυτών, βελτιώνοντας την ομοιομορφία της θερμοκρασίας στο χώρο και ελαχιστοποιώντας τις απώλειες από την οροφή και τα πλαϊνές πλευρές του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα λειτουργεί και ως μονωτικό κάλυμμα κατά τη θερινή περίοδο εξασφαλίζοντας χαμηλότερες θερμοκρασίες περίπου κατά 5 °C στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με μονάδες που δεν διαθέτουν σύστημα σκίασης. Το κόστος ενός τέτοιου εξοπλισμού κυμαίνεται περίπου στα 8-10€/m<sup>2</sup>, δηλαδή στα **800-1000€/στρέμμα**, τιμή η οποία περιλαμβάνει: Ένα τυπικό ύφασμα σκίασης με ποσοστά σκίασης 65% και μόνωσης 50%, τα κόστη λειτουργίας και τοποθέτησης καθώς και όλους τους απαιτούμενους ηλεκτροκινητήρες και μηχανισμούς για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. (www.meidanis.com.gr) (Mardenkro ) (Svensson)

### Θερμοκήπιο βαμμένο με ειδικές βαφές σκίασης





Θερμοκήπιο χωρίς κάλυψη βαφής      Θερμοκουρτίνα στο πλαϊνό τμήμα



Εικόνες 9, 10 : Θερμοκηπιακές μονάδες με βαφή και με τη χρήση θερμοκουρτίνας

### 2.3 Απαιτούμενη ισχύς του συστήματος θέρμανσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου σε διάφορα χρονικά διαστήματα είναι:

- Ηλιακή ενέργεια
- Θερμότητα από το λέβητα
- Θερμότητα από μηχανήματα έργου που βρίσκονται σε λειτουργία
- Ανταλλαγή θερμικών ακτινοβολιών
- Αγωγιμότητα από το κάλυμμα του θερμοκηπίου
- Διαφυγές του αέρα
- Αγωγιμότητα εδάφους
- Συμπύκνωση υδρατμών
- Εξατμισοδιαπνοή
- Αναπνοή φυτών
- Φωτοσύνθεση

Με βάση εμπειρικά δεδομένα έχει αναπτυχθεί μία σχέση υπολογισμού της απαιτούμενης θερμότητας, η οποία περιλαμβάνει όλες τις απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου και είναι: (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

$$Q = A_s * U * (T_i - T_e)$$

Και η απαιτούμενη θερμότητα ανά τετραγωνικό μέτρο θερμοκηπίου (q) είναι:

$$q = (A_c/A_g) * U * (T_i - T_e)$$

όπου:

Q = η μέγιστη απαίτηση θερμότητας (W)

U = ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m<sup>2</sup> °C)

A<sub>c</sub> = η επιφάνεια του καλύμματος

A<sub>g</sub> = η επιφάνεια του καλυμμένου εδάφους

T<sub>i</sub> = η επιθυμητή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο

T<sub>e</sub> = η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία (ή στις περισσότερες περιπτώσεις 0 °C)

Οι τιμές του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας εξαρτώνται κυρίως από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου, την ταχύτητα του αέρα, τη στεγανότητα της κατασκευής, την ύπαρξη βροχής και γενικότερα τις κλιματολογικές συνθήκες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται κάποιες συνήθεις τιμές του U υπολογισμένες για μέσες συνθήκες.

ΚΑΛΥΨΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Υαλοπίνακες (νέα κατασκευή)	6,3
Υαλοπίνακες (παλαιά κατασκευή)	7,2
Πολυαιθυλένιο με πολύ καλή συναρμογή	6,8
Πολυαιθυλένιο με όχι καλή συναρμογή	7,8
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	4,2
Ενισχυμένος πολυεστέρας με πολύ καλή συναρμογή	6,0
Ακρυλικό διπλής επιφάνειας πάχους 15mm με πολύ καλή συναρμογή	5,0

Πίνακας 2: Ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για διάφορους τύπους θερμοκηπίων (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

### 2.3.1 Παράδειγμα υπολογισμού:

Για τον υπολογισμό λαμβάνουμε υπ όψιν τις ακριβείς διαστάσεις του θερμοκηπίου και την επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου σε σχέση με την μέση ελάχιστη εξωτερική. Λαμβάνουμε επίσης την τιμή του συντελεστή U από τον προηγούμενο πίνακα, ενώ προσοχή θα πρέπει να δίνεται και στο αν υπάρχουν ή πρόκειται να τοποθετηθούν συμπληρωματικά συστήματα θέρμανσης ή εξοικονόμησης ενέργειας όπως για παράδειγμα θερμοκουρτίνες.

**Μέθοδος υπολογισμού 1:** (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Δεδομένα:

Ύψος θερμοκηπίου = 3m στην αρχή και 3,2m στο τέλος ώστε να εξασφαλίζεται ροή νερού

Μήκος θερμοκηπίου = 60m

Πλάτος θερμοκηπίου = 25,6m (4 κόλποι των 6,40m έκαστος)

Χωρίς θερμοκουρτίνα

$$\Rightarrow \text{Επιφάνεια εδάφους } A=25,5*60=1536\text{m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Καλυπτόμενη επιφάνεια } A=2291,785\text{m}^2$$

$$\Rightarrow Q= 2291,785*6,3*(15-0)=216573,68 \text{ W} * 1,1=238231,05 \text{ W} =238,23 \text{ kW}$$

Αφού για λόγους ασφαλείας κάναμε μία προσαύξηση της τάξεως του 10%. Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσαύξηση αυτή διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία του θερμοκηπίου και κυμαίνεται από 10% στις νοτιότερες περιοχές μέχρι και 20% στις βορειότερες περιοχές της χώρας.

Λαμβάνοντας μία μέση τιμή για τον συντελεστή απόδοσης ενός συστήματος θέρμανσης της τάξεως του 90% συμπεραίνουμε ότι η αναγκαία εγκατεστημένη θερμική ισχύς του συστήματος θέρμανσης είναι:

$$P= 238,23/0.90=264,7$$

$$\Rightarrow \mathbf{P=265 \text{ kW}}$$

**Μέθοδος υπολογισμού 2:** (www.meidanis.com.gr)

Κατά την εμπειρική αυτή μέθοδο χρησιμοποιούμε την έκταση της μονάδας καθώς και κάποιους συντελεστές οι οποίοι έχουν προκύψει μέσα από εμπειρικά δεδομένα. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει απευθείας την αναγκαία εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος θέρμανσης, απαιτεί πολύ λίγα δεδομένα και πλησιάζει όλο και περισσότερο την μαθηματική όσο αυξάνει η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος θέρμανσης.

Αρχικά υπολογίζουμε την έκταση, (χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του ανωτέρω παραδείγματος ώστε τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων να είναι συγκρίσιμα)

Μήκος θερμοκηπίου = 60m

Πλάτος θερμοκηπίου = 25,6m (4 κόλποι των 6,40m έκαστος)

Χωρίς θερμοκουρτίνα

$$\Rightarrow \text{Επιφάνεια εδάφους } A=25,5 \cdot 60=1536\text{m}^2$$

Είδος θερμοκηπίου	Εμπειρικός συντελεστής
Υαλόφρακτο νέας κατασκευής	8,5
Υαλόφρακτο παλαιάς κατασκευής	9
Πλαστικό νέας κατασκευής	9
Πλαστικό παλαιάς κατασκευής	9,5

Πίνακας 3: Εμπειρικός συντελεστής υπολογισμού θερμικών απωλειών ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ποσό θερμότητας που απαιτείται στο εσωτερικό της μονάδας ως :  $q = A \times S \times \Delta T = 1536 \times 8,5 \times 15 = 195840\text{W} = 195,84\text{kW}$

Ακολούθως υπολογίζουμε την αναγκαία εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος θέρμανσης ως :  $P = q \times 1,25 = 195,84 \times 1,25 = 244,8\text{kW}$

Άρα τελικά

$$\Rightarrow \mathbf{P=245 \text{ kW}}$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι δύο μέθοδοι διαφέρουν μόνο κατά 20kW, ενώ η εμπειρική μέθοδος είναι σαφώς ταχύτερη από ότι η μαθηματική.

### Μέθοδος υπολογισμού 3: (ASAE, 2003)

Παρόμοια με τις άλλες δύο μεθόδους που προαναφέρθηκαν, η διαδικασία αυτή ορίζει τη συνολική θερμότητα που πρέπει να προσφέρεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από τη σχέση:

$$\mathbf{Q= A * U* (T_i-T_o)}$$

Q = η μέγιστη απαίτηση θερμότητας (W)

U =ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m<sup>2</sup> °C)

T<sub>i</sub> = η επιθυμητή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο

T<sub>o</sub> = η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία

A = η συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια

Στην εξίσωση αυτή δεν περιλαμβάνονται τα λανθάνοντα φορτία εξαιτίας της απόλυτης υγρασίας του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη (ASAE, 2003) οι τιμές για το συντελεστή απωλειών  $U$  κυμαίνονται από 0,6 ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) για ακρυλικά υλικά πολύ καλής συναρμογής μέχρι την υψηλότερη τιμή 6,8 ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) για μονό πλαστικό. Ταυτόχρονα, για την εύρεση των εξωτερικών θερμοκρασιών προτείνεται η χρήση της 99% κατώτερης χειμερινής θερμοκρασίας υγρού βολβού (δηλαδή το 99% των περιπτώσεων οι θερμοκρασίες θα κυμαίνονται σε τιμές υψηλότερες από τη συγκεκριμένη θερμοκρασία). Αντίστοιχα για την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία πρέπει να λαμβάνεται η ελάχιστη αναγκαία θερμοκρασία που απαιτούν τα φυτά κατά τη διάρκεια της νύχτας, ώστε να διατηρούνται τα απαραίτητα θερμοκρασιακά επίπεδα για τη φωτοσύνθεση.

Συγκρίνοντας τις τρεις μεθόδους παρατηρούμε ότι η βασική εξίσωση υπολογισμού των θερμικών απωλειών παραμένει η ίδια και διαφοροποιείται ανάλογα με τη μέθοδο η τιμή του ολικού συντελεστή θερμικών απωλειών, καθώς και οι τιμές των θερμοκρασιών αναφοράς για το εσωτερικό και το εξωτερικό του θερμοκηπίου. Καθώς η σωστή εκτίμηση της δυναμικότητας του συστήματος θέρμανσης παίζει καίριο ρόλο όχι μόνο στη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης αλλά και στον τελικό υπολογισμό των εξόδων κατασκευής και λειτουργίας της μονάδας, παρουσιάζουμε παρακάτω τους ενεργειακούς χάρτες της Ελλάδας με βάση τους οποίους μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών μιας μονάδας (Caouris, 1989). Οι χάρτες αυτοί χρησιμοποιούνται ως εργαλείο και παρέχουν μια εκτίμηση των ετήσιων ενεργειακών αναγκών για τους δύο κύριους τύπους θερμοκηπίων, με υαλοπίνακες και με πλαστικό κάλυμμα, για εσωτερική θερμοκρασία 10 και 15  $^\circ C$ .



Εικόνα 11: Κατανομή των αναγκών θέρμανσης για εσωτερική θερμοκρασία  $T_{in}=10^{\circ}\text{C}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ year}$ ). Οι τιμές πάνω από τις γραμμές αντιστοιχούν σε υαλόφρακτα θερμοκήπια και οι κάτω αντιστοιχούν σε πλαστικά. (Caouris, 1989)



Εικόνα 12: Κατανομή των αναγκών θέρμανσης για εσωτερική θερμοκρασία  $T_{in}=15^{\circ}\text{C}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \text{ year}$ ). Οι τιμές πάνω από τις γραμμές αντιστοιχούν σε υαλόφρακτα θερμοκήπια και οι κάτω αντιστοιχούν σε πλαστικά. (Caouris, 1989)

Από τους χάρτες παρατηρούμε πως σε κάθε περιοχή τα υαλόφρακτα θερμοκήπια απαιτούν μικρότερα ποσά θέρμανσης για τις ίδιες εσωτερικές θερμοκρασίες, ενώ όσο κινούμαστε νοτιότερα στον Ελλαδικό χώρο οι ενεργειακές ανάγκες που απαιτεί μια μονάδα είναι μικρότερες. Επισημαίνουμε ότι για τον ακριβή υπολογισμό του συστήματος θέρμανσης επιβάλλεται η χρήση ενός από τους τρεις τρόπους που προαναφέρθηκαν, αφού αποτελούν εργαλείο που δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα.

## 2.4 Συστήματα Ψύξης – Εξαερισμού

### **Δυναμικός αερισμός και υγρό τοίχωμα**

Στα συστήματα αυτά βασική αρχή λειτουργίας είναι η δημιουργία υποπίεσης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Από τη μία πλευρά χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες μεγάλου όγκου και μικρών ταχυτήτων (συνήθως δύο ή τριών), οι οποίοι ρουφούν τον εσωτερικό αέρα τον οποίο και πετούν στο περιβάλλον. Η υποπίεση που δημιουργείται αναγκάζει τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει στο θερμοκήπιο αφού πρώτα περάσει από ένα υγρό τοίχωμα και εμπλουτιστεί με υγρασία, ενώ ταυτόχρονα ψύχεται από την εξάτμιση του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια του τοιχώματος. Κατά τη διαδικασία αυτή το ενεργειακό περιεχόμενο του αέρα δεν αλλάζει, διαφοροποιείται όμως η θερμοκρασία και η υγρασία του. Ο ψυχρότερος αυτός αέρας μειώνει τη θερμοκρασία των φυτών με αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας του χώρου κατά 3-12 °C. Λογικό είναι βέβαια ότι η θερμοκρασία του χώρου θα είναι μικρότερη κοντά στο βρεχόμενο τοίχωμα και θα αυξάνει κοντά στους εξαεριστήρες, αποκτώντας μια διαφορά της τάξεως των 3-5 °C η οποία φυσικά εξαρτάται και από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες.

Προσοχή ωστόσο απαιτείται ώστε να πετυχαίνουμε ομοιόμορφη ύγρανση του τοιχώματος σε όλη την επιφάνεια του καθώς εάν το υγρό τοίχωμα εμφανίζει κάπου δυσλειτουργίες στην ύγρανση σε μια επιφάνεια πλάτους A (m) τότε θα δημιουργηθεί ένας μη ψυχόμενος κώνος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιφάνειας 8 x A m. Τέλος η χρήση ελάχιστα μεγαλύτερης ποσότητας νερού από την αναγκαία αντιμετωπίζει έστω και προσωρινά την εμφάνιση των προβλημάτων αλάτωσης εξαιτίας των αλάτων που περιέχει το νερό.

### **Υπολογισμός μιας τυπικής εγκατάστασης ψύξης με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα**

Καθώς ο δροσερός αέρας μετά το υγρό τοίχωμα διατρέχει το θερμοκήπιο, αφαιρεί τη θερμότητα που εισέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και έτσι αυξάνει τη θερμοκρασία του προοδευτικά προς την έξοδο. Η αύξηση αυτή μπορεί να μειωθεί είτε με αύξηση της παροχής είτε με σκίαση. Για να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία του συστήματος πρέπει να πληρούνται ορισμένα κριτήρια, κάποια επιστημονικά και κάποια εμπειρικά. Όσα περισσότερα από αυτά έχουμε εφαρμόσει στην υπό κατασκευή μονάδα τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόδοση του συστήματος ψύξης.





Εικόνα 13: Ανεμιστήρας συστήματος ψύξης

- Η απόσταση μεταξύ της βρεχόμενης πλευράς και των εξαεριστήρων πρέπει να είναι μεταξύ 30 και 60 μέτρα. Σε περίπτωση όπου οι μονάδες έχουν μεγάλο πλάτος δημιουργούνται δύο βρεχόμενα τοιχώματα στις άκρες και τοποθετούνται οι εξαεριστήρες στο μέσον.
- Η απόσταση των εξαεριστήρων στην κάθε πλευρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6,5 μέτρα
- Οι εξαεριστήρες πρέπει να τοποθετούνται στην αντίθετη από τον επικρατούντα άνεμο πλευρά. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό τότε θα πρέπει η παροχή του αέρα να αυξηθεί κατά 10-15%
- Η απαιτούμενη ροή αέρα στο θερμοκήπιο σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία λαμβάνεται από τον πίνακα 3

Ηλιακή ακτινοβολία (w/m <sup>2</sup> )	Ροή αέρα (m <sup>3</sup> /hr*m <sup>2</sup> )
810	254
720	225
630	189
540	169

Πίνακας 4: Απαιτούμενη ροή αέρα συναρτήσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

- Επιβάλλεται φυσικά να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα επιθεώρηση της στεγανότητας του θερμοκηπίου.
- Οι ανεμιστήρες πρέπει να αποδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για στατική πίεση 24,5 Pa
- Η ταχύτητα του αέρα στο υγρό τοίχωμα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1,5 m/s. Αν η ταχύτητα υπερβαίνει την τιμή αυτή τότε δημιουργείται υπερβολική πτώση πίεσης που μειώνει την απόδοση των ανεμιστήρων.
- Τα εξωτερικά εμπόδια του θερμοκηπίου από την πλευρά των εξαεριστήρων θα πρέπει να απέχουν τουλάχιστον απόσταση ίση με μιάμιση φορά τη διάμετρο των εξαεριστήρων
- Σε εγκαταστάσεις πολλαπλών εξαεριστήρων επιλέγονται εξαεριστήρες διαφορετικών ταχυτήτων ώστε η ροή του αέρα να ρυθμίζεται καλύτερα.
- Το πλάτος του υγρού τοιχώματος είναι συνήθως όσο και το πλάτος της πλευράς του θερμοκηπίου που θα τοποθετηθεί.
- Σε περίπτωση διαδοχικών θερμοκηπιακών μονάδων πρέπει η απόσταση μεταξύ του υγρού τοιχώματος του ενός και της εξόδου του αέρα του άλλου να είναι μεγαλύτερη από 15m.
- Η κατανάλωση νερού διαμορφώνεται από 0 έως και 240 lt/hr και έτσι οφείλουν να χρησιμοποιηθούν αντλίες με ωφέλιμη απόδοση τουλάχιστον 700-1000 lt/hr για κάθε μέτρο βρεχόμενης πλευράς.
- Η παροχή του νερού πρέπει να είναι τουλάχιστον 240 lt/hr για κάθε μέτρο βρεχόμενης πλευράς. Πολύ μεγάλες παροχές προκαλούν συσσώρευση νερού στο υγρό τοίχωμα δημιουργώντας κουρτίνα νερού, εμποδίζοντας τη σωστή ροή του αέρα και άρα μειώνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Ταυτόχρονα, μικρότερες παροχές από το εξατμιζόμενο νερό δημιουργούν κινδύνους πρόωμης εξαλάτωσης του τοιχώματος.

Τα υλικά από τα οποία μπορεί να κατασκευαστεί ένα βρεχόμενο τοίχωμα ποικίλουν ανάλογα με το κόστος αλλά και τις ανάγκες σε ψύξη. Τα υλικά αυτά είναι ελαφρά και παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Παραδείγματα υλικών είναι: ξύλινα νήματα λεύκης (απόδοση περίπου 91%), άχυρο, λινάτσα. Η πλειονότητα των βρεχόμενων τοιχωμάτων κατασκευάζεται από πεπιεσμένο χαρτί, με χημική επεξεργασία, σε σχήμα κηρύθρας με απόδοση περίπου 97%. Η χρήση του χαρτιού είναι εξαιρετικά αξιόπιστη, οικονομική ενώ σε συνδυασμό με χρήση δυναμικού αερισμού επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας μέχρι και 15 °C. Τα πλαίσια στήριξης του χαρτιού είναι panels από προφίλ αλουμινίου ή γαλβανισμένη λαμαρίνα. Ο χρόνος ζωής κυμαίνεται από 8 έως 10 χρόνια ενώ το κόστος αγοράς και τοποθέτησης διαμορφώνεται κοντά στα **20€/m<sup>2</sup>**. (www.meidanis.com.gr)

#### 2.4.1. Παράδειγμα υπολογισμού:

Δεδομένα:

Διαστάσεις μονάδας	25,6 x 60= 1536 m <sup>2</sup>
Προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου	720 W/m <sup>2</sup> (πίνακας )
Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα (dry bulb)	35 °C
Σχετική υγρασία	25%
Απόδοση υγρού τοιχώματος	80%
Ταχύτητα αέρα στο τοίχωμα	1,5 m/s

Πίνακας 5: Δεδομένα παραδείγματος υπολογισμού του ύψους του υγρού τοιχώματος

**Μέθοδος υπολογισμού 1:** (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Καθώς το σύστημα βασίζεται στη μείωση της θερμοκρασίας με εξάτμιση, η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας που μπορεί να επιτευχθεί, είναι ίση με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηρού και υγρού θερμομέτρου (dry and wet bulb temperatures).

Αέρας: dry bulb = 35 °C , humidity = 25% → wet bulb temperature = 20 °C

Απόδοση τοιχώματος: 80%

Θερμοκρασία αέρα αμέσως μετά το υγρό τοίχωμα:  $\Delta T = (35 - 20) * 0,8 = 12$  °C

$$T = (35 - 12) = 23$$
 °C

Ροή αέρα: Επιφάνεια \* Ροή αέρα ανά τετραγωνικό μέτρο εδάφους (πίνακας)

$$1536 \text{ m}^2 * 225 \text{ m}^3/\text{h m}^2 = 345600 \text{ m}^3/\text{h} = 96 \text{ m}^3/\text{s}$$

Επιφάνεια βρεγμένου τοιχώματος:  $96\text{m}^3/\text{s} / 1.5\text{m}/\text{s} = 64\text{m}^2$

Για μέγιστη αποδοτικότητα καθώς και για λόγους ομοιομορφίας και αισθητικής το υγρό τοίχωμα καταλαμβάνει όλο το μήκος του θερμοκηπίου οπότε:

$$64\text{m}^2 / 60\text{m} = 1.067 \text{ m}$$

Επειδή όμως ένα μέρος του τοιχώματος καλύπτεται από τα στοιχεία στερέωσης κάνουμε μια προσαύξηση οπότε:

Υψος χαρτιού: 1,1m

Τελική επιφάνεια τοιχώματος:  $A=1,1*60= 66\text{m}$

### **Μέθοδος υπολογισμού 2:** ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

Υπολογισμός παροχής αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου:

Επιλέγουμε ένα μέσο ύψος της μονάδας περίπου στα 3,6m. Για την σωστή λειτουργία του συστήματος χρειαζόμαστε από τους ανεμιστήρες να γίνονται περίπου 55 εναλλαγές αέρα την ώρα.

Άρα: Παροχή αέρα= Επιφάνεια \* Ύψος \* Εναλλαγές ανά ώρα

$$= 1536\text{m}^2 * 3,6\text{m} * 55 \text{ εναλλαγές}/\text{hr} = 304128 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Επειδή ο κάθε ανεμιστήρας 1HP που χρησιμοποιούμε έχει δυναμικότητα  $37.500 \text{ m}^3/\text{hr}$  μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των ανεμιστήρων

Αριθμός ανεμιστήρων:  $N= 304128/37500= 8,11= 8$  ανεμιστήρες.

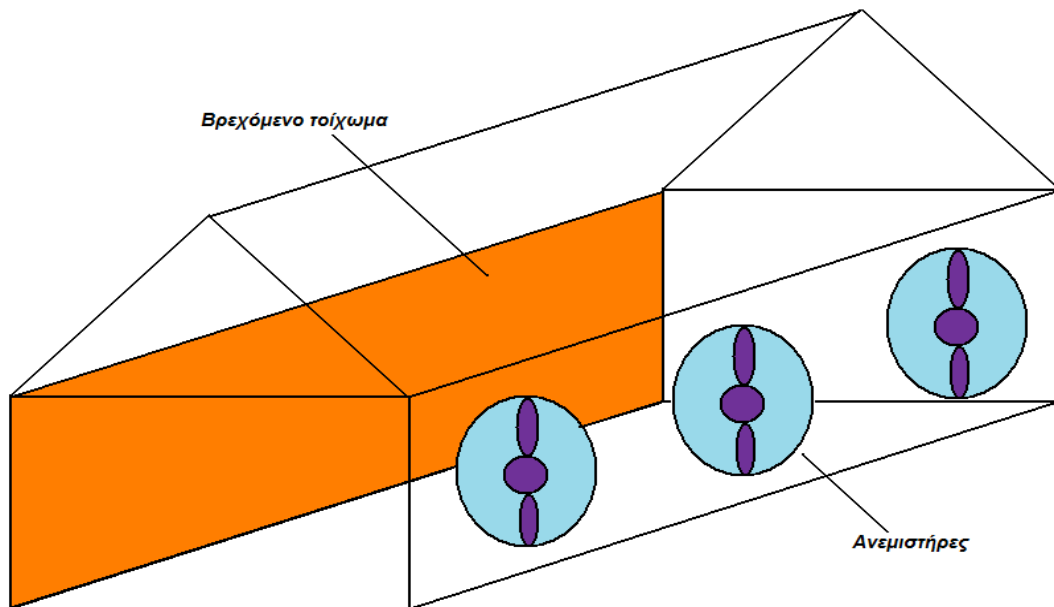
Με βάση εμπειρικούς υπολογισμούς καθώς και εμπειρικές γνώσεις γνωρίζουμε ότι κάθε τέτοιος ανεμιστήρας χρειάζεται περίπου  $6,5\text{m}^2$  χαρτί για να λειτουργήσει στο μέγιστο της αποδοτικότητας του άρα:

$$\text{Επιφάνεια τοιχώματος: } A=8*6,5 = 52 \text{ m}^2$$

Επειδή όμως οι ανεμιστήρες είχαν προκύψει 8,11 αλλά εμείς θα τοποθετήσουμε συνολικά 8 κάνουμε μία προσαύξηση στην επιφάνεια του υγρού τοιχώματος ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος καθώς και η μέγιστη αποδοτικότητα του υγρού τοιχώματος άρα:

$$\text{Τελική επιφάνεια τοιχώματος: } A= 60\text{m}^2$$

$$\text{Υψος τοιχώματος: } h= 60\text{m}^2 / 60\text{m} = 1\text{m}$$



Εικόνα 14: Τυπική διάταξη ενός συστήματος ψύξης

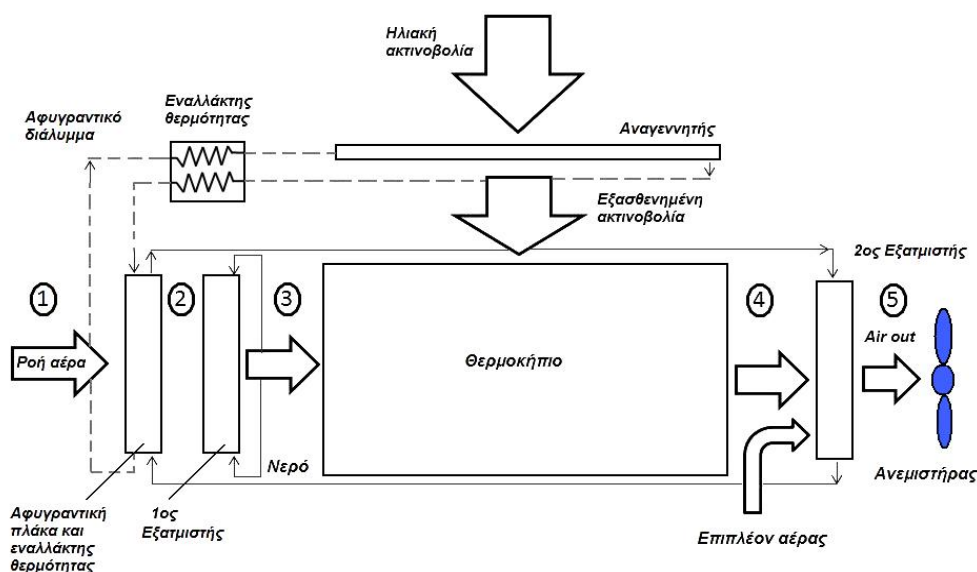


Εικόνα 15: Βρεχόμενο τοίχωμα συστήματος ψύξης

### 2.4.2 Ηλιακή ψύξη

Σύμφωνα με μελέτη (Davies, 2005) αναπτύχθηκε πρότυπο σύστημα ηλιακής ψύξης για θερμοκήπιο στο Abu Dhabi για την μελέτη της πιθανής καλλιέργειας ευπαθών προϊόντων όπως η ντομάτα, τα μαρούλια και τα αγγούρια. Το πρόβλημα με την συγκεκριμένη περιοχή είναι οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους καθώς και η αυξημένη υγρασία του αέρα. Στο προτεινόμενο σύστημα γίνεται αφύγρανση του αέρα πριν αυτός εισέρθει στον απορροφητήρα. Αυτό χαμηλώνει την θερμοκρασία υγρής σφαίρας και άρα μπορεί να λειτουργήσει το συμβατικό σύστημα ψύξης με μεγαλύτερη απόδοση. Το σύστημα ψύξης βοηθά επίσης και η μερική σκίαση του τοποθετημένου στην οροφή του

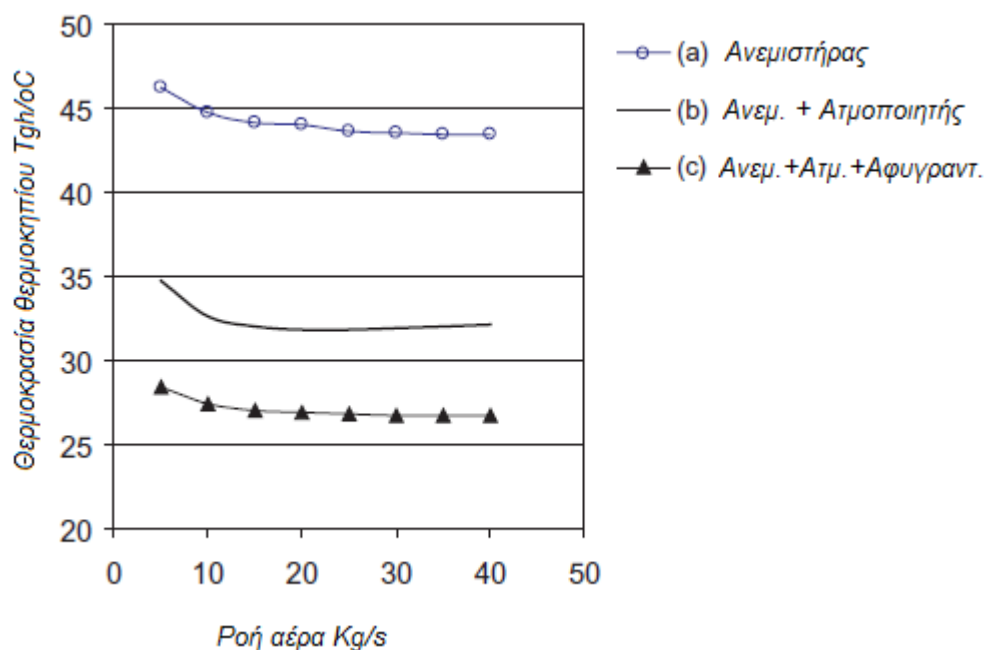
θερμοκηπίου, αναγεννητή θερμότητας, ενώ η παραγόμενη από την αφύγρανση θερμότητα αντιμετωπίζεται με δεύτερο απορροφητή και στέλνεται εκτός του θερμοκηπίου. Αναλυτικά το σύστημα και η λειτουργία του περιγράφονται παρακάτω:



**Διάγραμμα 9:** Προτεινόμενο σύστημα ψύξης με αφυγραντικό στρώμα και συμβατική μέθοδο ψύξης (Davies, 2005)

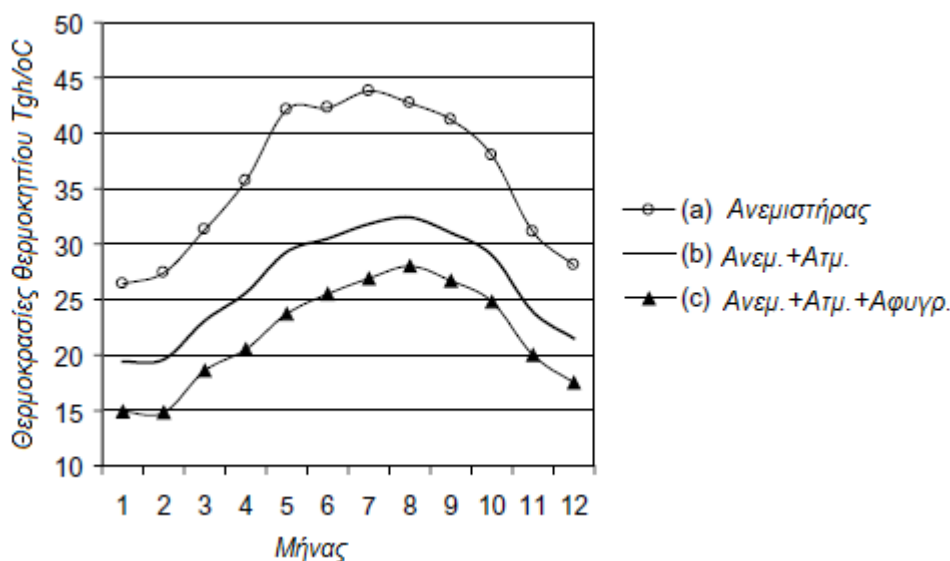
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 9, η διάταξη είναι παρόμοια με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης με βρεχόμενο τοίχωμα και ανεμιστήρες υποπίεσης, με την προσθήκη του αφυγραντικού στρώματος ακριβώς πριν από τον 1<sup>ο</sup> εξατμιστή. Αφυγραντικό διάλυμα ρέει το τοίχωμα. Ως αφυγραντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν υδατικά διαλύματα λιθίου ή χλωριούχου ασβεστίου καθώς και ένα μείγμα και των δύο αλάτων. Όπως και ο εξατμιστής, το τοίχωμα είναι πορώδες για να επιτρέπει τη ροή του αέρα ώστε αυτός να έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό αφυγραντικό. Καθώς αφαιρείται υγρασία από το εισερχόμενο ρεύμα, ελευθερώνεται θερμότητα που αντικατοπτρίζει τη λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης και τη θερμότητα διάλυσης (αραίωσης) του αφυγραντικού. Για να αφαιρεθεί αυτή η θερμότητα, υπάρχουν τοποθετημένοι σωλήνες μέσα στο αφυγραντικό τοίχωμα οι οποίοι διατρέχονται από κρύο νερό το οποίο παρέχεται από έναν δεύτερο εξατμιστή που είναι τοποθετημένος στην έξοδο του θερμοκηπίου. Ένας ανεμιστήρας αναρροφά αέρα από το σύστημα. Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης επιτρέπει την προσαγωγή και δευτερεύοντος αέρα διαμέσου του δεύτερου εξατμιστή επιπλέον του κυρίου ρεύματος που διατρέχει την εγκατάσταση. Αυτό συμβαίνει για να εξασφαλιστεί επαρκής συναλλαγή θερμότητας ώστε να μειωθεί αρκετά η θερμοκρασία του νερού που φεύγει από το δεύτερο απορροφητή, στοιχείο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την αποτελεσματική ψύξη του αφυγραντικού τοιχώματος. Το υγρό αφυγραντικό πρέπει να αναθερμανθεί ώστε να διατηρήσει τις ιδιότητες του. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση θερμότητας για την απομάκρυνση των ατμών και τη διατήρηση συγκεκριμένης συγκέντρωσης αλάτων. Ο αναγεννητής θερμαίνεται ηλιακά και είναι τοποθετημένος στην οροφή του θερμοκηπίου. Είναι χωρισμένος σε πάνελ

με ενδιάμεσα χωρίσματα ώστε να επιτρέπει την είσοδο μέρους της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η μερική σκίαση των πάνελ βοηθά παράλληλα στη ψύξη του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 10: Θερμοκρασία του θερμοκηπίου συναρτήσει της ροής του αέρα (Davies, 2005)

Το διάγραμμα 10 δείχνει την επίδραση της ροής του αέρα σε σχέση με τις μέσες θερμοκρασίες για συστήματα ψύξης τα οποία χρησιμοποιούν ανεμιστήρα, ανεμιστήρα με απορροφητήρα, καθώς και το προτεινόμενο σύστημα ανεμιστήρα, απορροφητήρα και αφυγραντήρα. Κατά τον Ιούλιο τα συμβατικά συστήματα ψύξης κατορθώνουν τη μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά 10 °C περίπου επιπλέον από το απλό σύστημα αερισμού με ανεμιστήρα, ενώ το προτεινόμενο σύστημα αναμένεται να μειώσει τη θερμοκρασία κατά 5 °C επιπλέον από τα ανωτέρω συστήματα.



Διάγραμμα 11: Μέσες θερμοκρασίες θερμοκηπίου για τους διάφορους μήνες του έτους (Davies, 2005)

Στο διάγραμμα 11 βλέπουμε τις μέσες θερμοκρασίες του εσωτερικού του θερμοκηπίου για κάθε μήνα του έτους. Από το διάγραμμα μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε πώς όσο αυξάνουν οι εξωτερικές θερμοκρασίες τόσο μεγαλώνει και η απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα, κατά το μήνα Ιούλιο η εξωτερική θερμοκρασία ήταν περίπου 44 °C και το προτεινόμενο σύστημα κατόρθωσε μείωση κατά  $\Delta T = 44 - 26 = 18$  °C, το μήνα Ιανουάριο με εξωτερική θερμοκρασία 26 °C το σύστημα λειτούργησε προσφέροντας εσωτερικές θερμοκρασίες της τάξης των 15 °C, δηλαδή μείωση κατά  $\Delta T = 26 - 15 = 11$  °C. Συμπερασματικά, το προτεινόμενο αυτό σύστημα με τη χρήση του υγρού αφυγραντικού, κατορθώνει τη μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών του θερμοκηπίου κατά 5 °C επιπλέον του συμβατικού συστήματος ψύξης που χρησιμοποιείται στα σημερινά θερμοκήπια. Αυτό προσφέρει επιμήκυνση της χρόνου καλλιέργειας από τρεις έως έξι μήνες για συμβατικές καλλιέργειες όπως μαρούλια, ενώ για τροπικές καλλιέργειες όπως αγγούρια η καλλιέργεια δύναται να επιμηκυνθεί από επτά έως έντεκα μήνες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το προτεινόμενο αυτό σύστημα έχει σχεδιαστεί ειδικά για περιοχές όπως το Abu Dhabi, περιοχές δηλαδή με εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες για όλο το έτος, κλίματα τα οποία εμφανίζουν και τις μεγαλύτερες ανάγκες για ψύξη. Τέτοια συστήματα εμφανίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες χρήσης για την Ευρώπη όπου δεν συναντάμε συχνά τέτοιες ακραίες κλιματικές συνθήκες. Στην περίπτωση εφαρμογής ενός αντίστοιχου συστήματος σε ευρωπαϊκά θερμοκήπια, η καλλιέργεια των προϊόντων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη κατά το εαρινό εξάμηνο όπου η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται σημαντικά σε σχέση με την αντίστοιχη του θερινού εξαμήνου. Επιπλέον, οι τοποθετημένοι στην κορυφή αναγεννητές, θα μείωναν την ηλιακή ακτινοβολία όταν αυτή θα ήταν αναγκαία, δηλαδή κατά το εαρινό εξάμηνο, εμποδίζοντας την σωστή ανάπτυξη των φυτών και απαιτώντας τη συστηματικότερη χρήση του συστήματος θέρμανσης. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί αν η τοποθέτηση των αναγεννητών δεν γινόταν στην οροφή του θερμοκηπίου αλλά σε διπλανό χώρο, κάτι που όμως θα οδηγήσει σε αύξηση των εξόδων. Ακόμα και αν επιλυθεί σχετικά οικονομικά το πρόβλημα αυτό, παραμένει το θέμα της



απόδοσης του συστήματος, αφού στην Ευρώπη δεν καταγράφονται τόσο υψηλές θερμοκρασίες και άρα το σύστημα δεν θα λειτουργεί με τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα οικονομικά στοιχεία που πρέπει να γνωρίζει ο υποψήφιος ιδιοκτήτης μιας θερμοκηπιακής μονάδας καθώς και τα βήματα τα οποία πρέπει να ακολουθήσει κατά την μελέτη κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας. Οι τιμές που δίνονται στον πίνακα αποτελούν μέσες τιμές/στρέμμα και αφορούν μονάδες μικρότερες των 20 στρεμμάτων αφού από εκεί και πάνω τα κόστη του θερμοκηπίου μειώνονται αλλά αυξάνουν τα λοιπά έξοδα της μονάδας. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

<b>Συνοπτικός πίνακας εξόδων μιας θερμοκηπιακής μονάδας</b>		
<b>Βήματα</b>	<b>Μέσες τιμές ανά στρέμμα</b>	
	<b>Υαλόφρακτο</b>	<b>Πλαστικό</b>
<b>1.Επιλογή τύπου θερμοκηπίου</b>	35.000-55.000 €	25.000-40.000 €
<b>2. Επιλογή συστήματος θέρμανσης</b>		
<b>3. Κατασκευή λεβητοστασίου</b>	15.000 – 25.000 €	
<b>4. Επιλογή συστήματος ψύξης</b>	10.000 €	
<b>5. Επιλογή θερμοκουρτίνας</b>	10.000 €	
<b>6. Χρήση λαμπτήρων</b>	3.000 - 8.000 €	
<b>7. Χρήση ειδικών βαφών σκίασης</b>	100 - 400 €	
<b>8. Δεξαμενή</b>	1.000 €	
<b>9. Αδειοδότηση - σύνδεση</b>	4.000 – 6.000 €	
<b>10.Χώροι υποστήριξης - κτιριακά</b>		
<b>11.Γεωργικά μηχανήματα - γεώτρηση</b>		
<b>Σύνολο</b>	80.000 – 110.000 €	75.000 – 85.000 €

Πίνακας 6: Συνοπτικός πίνακας εξόδων κατασκευής μιας θερμοκηπιακής μονάδας ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

### 3. Συμπαραγωγή

#### 3.1 Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός καταναλωτή είναι η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο και η καύση κάποιου συμβατικού καυσίμου (κυρίως σε λέβητα) για την παραγωγή του απαιτούμενου ποσού θερμότητας. Ο όρος συμπαραγωγή αποδίδεται στη συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας. Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη της συμπαραγωγής είναι η σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη μέσω μηχανών απορρόφησης που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό.

Σε γενικές γραμμές η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς συμβατικών καυσίμων (λιγνίτη, λιθάνθρακα, φυσικού αερίου κ.α.) στους οποίους μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτές, πύργοι ψύξης κ.α.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστρόβιλοι, μηχανές Diesel κ.α.), επιτυγχάνοντας βαθμούς απόδοσης της τάξης του 40-50%. Ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα όπου το καύσιμο είναι λιγνίτης χαμηλής θερμογόνου ικανότητας και οι σταθμοί είναι παλαιάς κατασκευής και τεχνολογίας ο βαθμός απόδοσης κινείται σε γενικά χαμηλά ποσοστά. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της απορριπτόμενης θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Η χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας δεν οδηγεί μόνο σε χαμηλούς βαθμούς απόδοσης αλλά και σε μεγαλύτερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος, στοιχεία που αντιμετωπίζονται εν μέρει με τα συστήματα συμπαραγωγής αφού αυτά απαιτούν λιγότερη πρωτογενή ενέργεια και αγγίζουν βαθμούς απόδοσης της τάξης του 80-90%. Ταυτόχρονα εξασφαλίζονται χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων, μερική αποσυμφόρηση του δικτύου μεταφοράς καθώς και καλύτεροι οικονομικοί δείκτες για την επένδυση.

Οι αρχικές εγκαταστάσεις εμφανίζονται σε Ευρώπη και ΗΠΑ στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα όπου περίπου το 50% της παραγωγής καλυπτόταν από μονάδες συμπαραγωγής. Στα μέσα του ίδιου αιώνα παρατηρείται σταδιακή κάμψη κυρίως λόγω της ανάπτυξης των δικτύων μεταφοράς καθώς και της διαθεσιμότητας των υγρών και αέριων καυσίμων που έκαναν τη λειτουργία των λεβήτων συμφέρουσα και αξιόπιστη. Στη σημερινή εποχή όπου παρατηρείται σταδιακή αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων η ανάγκη για εφαρμογή τεχνολογιών συμπαραγωγής φαντάζει να είναι μεγαλύτερη από ποτέ, ειδικά όταν δίνονται κίνητρα από τα αντίστοιχα κράτη. Σε αυτό συντελεί και η ραγδαία πρόοδος της σχετικής τεχνολογίας, προσφέροντας στους ενδιαφερόμενους μεγάλη ποικιλία συστημάτων ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της κάθε βιομηχανίας.



Διάγραμμα 12: Τυπικό διάγραμμα συμπαραγωγής

Πολλές φορές γίνεται σύγκριση των βαθμών απόδοσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού (β.α. ~ 40%) και του συνολικού βαθμού απόδοσης μιας μονάδας συμπαραγωγής (~85%), σύγκριση που οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα αφού συγκρίνονται ανόμοια δεδομένα. Για την αξιολόγηση της συμπαραγωγής θα πρέπει να εξεταστεί η κατανάλωση καυσίμου της εγκατάστασης και να συγκριθεί με τη κατανάλωση καυσίμου που απαιτήθηκε για τη χωριστή παραγωγή του ηλεκτρισμού και της θερμότητας με τους συμβατικούς τρόπους.

### 3.2 Τεχνολογίες συμπαραγωγής

Ανεξάρτητα από τη τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί, όλες οι μονάδες βασίζονται στην ίδια βασική αρχή, δηλαδή στην παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια πηγή ενέργειας.

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να ενταχθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, τα συστήματα κορυφής και τα συστήματα βάσης. Στα πρώτα, παράγεται ηλεκτρισμός και η αποβαλλόμενη θερμότητα, χαμηλής θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων ή την παραγωγή επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Στα συστήματα βάσης, παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται τα θερμά αέρια για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μία σύντομη κατηγοριοποίηση ανάλογα με τη τεχνολογία που χρησιμοποιείται είναι η ακόλουθη:

- Συστήματα Αεριοστρόβιλου
- Συστήματα Ατμοστρόβιλου
- Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Συστήματα ORC
- Κυψέλες καυσίμου
- Μηχανές Stirling

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στις τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής γνωστές και ως “πακέτα”. Οι μονάδες αυτές, που καλύπτουν ένα φάσμα ισχύος 10-1000kW, παρουσιάζουν μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως: χαμηλό κόστος, μικρό όγκο, εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση, αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς να απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και άρα μικρές ανάγκες σε λειτουργικό προσωπικό.

Τα πακέτα συμπαραγωγής λειτουργούν κυρίως με κινητήρες εσωτερικής καύσης, Diesel ή Otto καθώς και με αεριοστρόβιλο για ισχύς μεγαλύτερες από 600 Kw, ενώ στον τομέα των καυσίμων, λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο όπως πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

### 3.3 Μηχανές Stirling

Στη συγκεκριμένη μελέτη εξετάζεται στη συνέχεια η εγκατάσταση μηχανών Stirling σε υπάρχοντες λέβητας βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την περαιτέρω πώληση της στο δίκτυο. Στη συνέχεια ακολουθεί μία περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των μηχανών αυτών. (Ε.Δ.Ρογδάκης) (StirlingDk)

#### Θερμοδυναμικός κύκλος Stirling:

Είναι γνωστό ότι ο θερμοδυναμικός κύκλος του Stirling αποτελείται διαδοχικά από τέσσερις αντιστρεπτές μεταβολές:

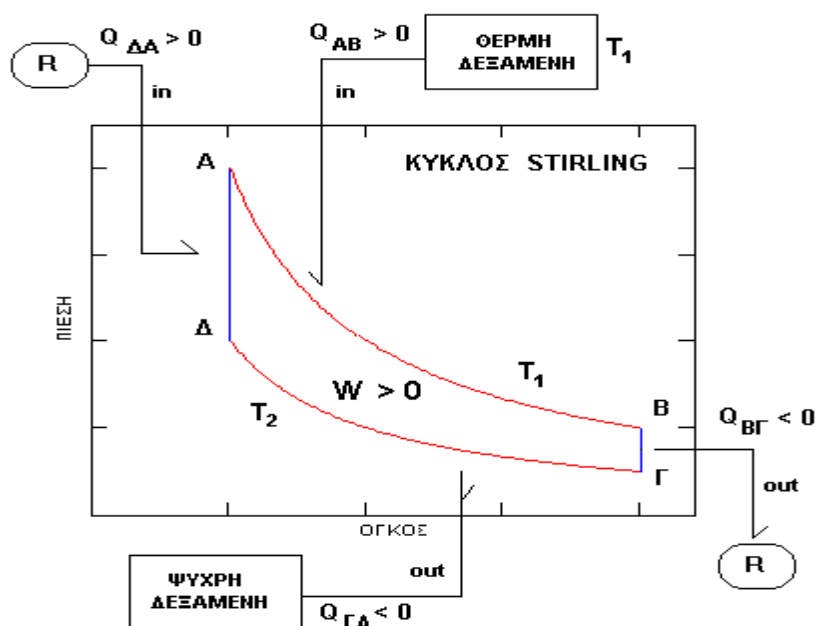
- I. Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση,
- II. Ισόγκη ψύξη,
- III. Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση
- IV. Ισόγκη θέρμανση.

Η θεωρητική απόδοση  $e_{th}$  του κύκλου είναι ίση με την θεωρητική απόδοση του κύκλου Carnot εφόσον χρησιμοποιηθούν θερμές δεξαμενές μεγάλης θερμοχωρητικότητας της ίδιας υψηλής θερμοκρασίας  $T_1$  και ψυχρές δεξαμενές μεγάλης θερμοχωρητικότητας της ίδιας χαμηλής θερμοκρασίας  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ).

$$e_{th} = 1 - (T_2/T_1) < 1$$

Η πραγματική απόδοση  $e_r$  της μηχανής είναι σαφώς μικρότερη της  $e_{th}$ .

Στο διάγραμμα πίεσης - όγκου η δεξιόστροφη διαγραφή του θερμοδυναμικού κύκλου αντιστοιχεί σε θερμική (εργοπαραγωγό) μηχανή ενώ η αριστερόστροφη σε κρυογονική (cryocooler - ψυκτική).



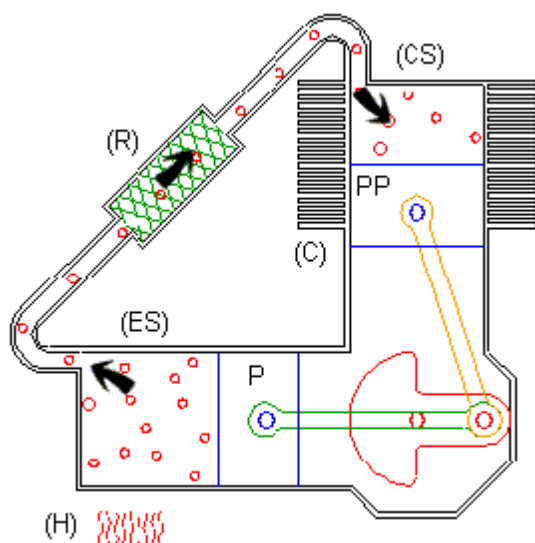
Η δικύλινδρη Stirling του σχήματος είναι η απλούστερη από τις διάφορες διαμορφώσεις που συναντάμε στις μηχανές αυτές. Αποτελείται από δύο κύλινδρους. Ο ένας κύλινδρος αποτελεί το χώρο εκτόνωσης (Expansion Space - ES) και ο άλλος τον χώρο συμπίεσης (Compression Space - CS). Ο χώρος εκτόνωσης διατηρείται ζεστός με τη βοήθεια του θερμαντήρα (Heater) ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα ο χώρος συμπίεσης (συμπιεστής) διατηρείται κρύος με τη βοήθεια του ψύκτη (Cooler). Στον συμπιεστή υπάρχει το έμβολο ισχύος (Piston Power - PP) ενώ στον χώρο εκτόνωσης το έμβολο P που κινεί το εγκλωβισμένο εργαζόμενο αέριο (π.χ. Αέρας, Ήλιο, Υδρογόνο, Άζωτο) μεταξύ του θερμού και κρύου άκρου της μηχανής. Στη διαμόρφωση Β (Σχ. 6) και Γ το έμβολο P αντικαθίσταται από τον εκτοπιστή (Displacer Piston - DP). Ο θερμαντήρας μπορεί να λειτουργεί με καιγόμενο καύσιμο (στερεό, υγρό ή αέριο), ηλεκτρική ενέργεια, πυρηνική ενέργεια καθώς επίσης και με ήπιες ή ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (π.χ. ηλιακή). Ο ψύκτης στην απλούστερη μορφή του μπορεί να έχει πτερύγια μπορεί όμως να χρησιμοποιεί και νερό σαν ψυκτικό υγρό όπως ακριβώς οι γνωστές μας μηχανές των αυτοκινήτων. Μεταξύ του θερμαντήρα και του ψύκτη υπάρχει το σημαντικότερο τμήμα της μηχανής που είναι ο αναγεννητής (Regenerator). Ποια είναι όμως η μορφή του αναγεννητή και ποια είναι η λειτουργία του; Στην απλούστερη μορφή του είναι ένας μεταλλικός κύλινδρος ο οποίος στο εσωτερικό του περιέχει ένα θερμοαγωγίμο υλικό σε μορφή επάλληλων διάτρητων φύλλων ή σφαιριδίων ή νημάτων (όπως το σύρμα για τις κατσαρόλες). Τα υλικό αυτό που αποτελεί τη μήτρα του αναγεννητή (regenerator matrix) απορροφά και στη συνέχεια αποδίδει θερμότητα.

Πράγματι:

- Όταν το θερμό αέριο μεταφέρεται από το θερμό χώρο (ES) στον ψυχρό (CS), ένα μέρος της εσωτερικής του ενέργειας κατακρατείται από τη μήτρα του αναγεννητή (R) και αποθηκεύεται σε αυτήν.
- Όταν το κρύο αέριο επιστρέφει πίσω από τον ψυχρό χώρο (CS) στο θερμό χώρο (ES) με τη βοήθεια του εμβόλου P (ή του DP στις διαμορφώσεις Β και Γ), το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που είχε ήδη αποθηκευθεί στη μήτρα του αναγεννητή αποδίδεται στο αέριο. Έτσι ο αναγεννητής προψύχει και προθερμαίνει το εργαζόμενο αέριο, βελτιώνοντας θεαματικά την απόδοση της μηχανής.

Τα κύρια λοιπόν μέρη της μηχανής κατά σειρά είναι:

i) Χώρος Συμπίεσης (CS), ii) Ψύκτης (C), iii) Αναγεννητής (R), iv) Θερμαντήρας (H), v) Χώρος Εκτόνωσης (ES).

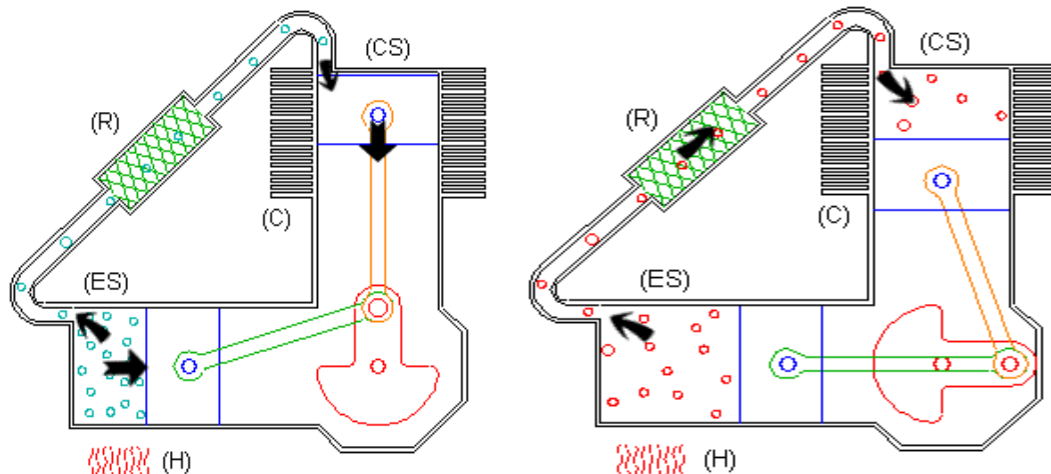


Πώς μπορούμε όμως να πραγματοποιήσουμε αυτόν το θερμοδυναμικό κύκλο; Όταν ένα αέριο είναι κλεισμένο σε έναν κύλινδρο και μετακινείται στο θερμό μέρος του κυλίνδρου, αυξάνεται η πίεσή του και επιδιώκει να διασταλεί. Έτσι μπορεί να παράγει ενέργεια μέσω έργου. Αντίθετα, όταν το αέριο αναγκάζεται να πάει στο κρύο μέρος του κυλίνδρου, ψύχεται και συστέλλεται, καταναλώνοντας ενέργεια. Το αέριο παράγει περισσότερη ενέργεια μέσω έργου κατά την εκτόνωση σε σχέση με αυτή που χρειάζεται κατά την συμπίεσή του. Το αλγεβρικό άθροισμα των δύο αυτών ενεργειών κατά την διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας είναι η καθαρή παραγόμενη ενέργεια ανά κύκλο από τη μηχανή (σε J/κύκλο) την οποία αν στη συνέχεια πολλαπλασιάσουμε με τη συχνότητα λειτουργίας της μηχανής (σε κύκλους/s) υπολογίζουμε την ισχύ της (σε W).

Αναλυτικά:

### 1. Ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση AB

Το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου αερίου ευρισκόμενο μέσα στο κλειστό σύστημα έχει οδηγηθεί μέσα στο θερμό κύλινδρο. Το αέριο θερμαίνεται και εκτονώνεται οδηγώντας και τα δύο έμβολα προς τα μέσα (στο σχήμα μας το έμβολο του θερμού κυλίνδρου προς τα δεξιά ενώ του ψυχρού κυλίνδρου προς τα κάτω). Η γωνιακή εκτροπή του στρόφαλου μετρούμενη από την κατακόρυφη και με δεξιόστροφη φορά διαγραφής στην αρχή της φάσης είναι μηδέν. Στο τέλος της πρώτης φάσης ο στρόφαλος στις  $90^\circ$ .

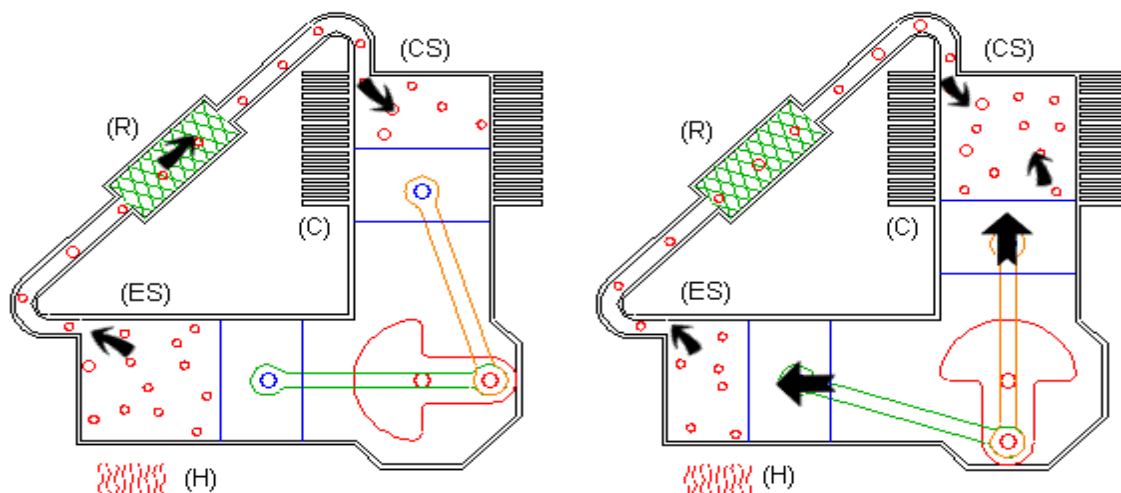


Αρχή Φάσης AB

Τέλος Φάσης AB

### 2. Ισόογκη ψύξη ΒΓ

Το αέριο έχει εκτονωθεί (στο σχήμα μας περίπου τρεις φορές σε σχέση με τον αρχικό του όγκο). Το περισσότερο αέριο (περίπου τα  $2/3$  του) βρίσκεται ακόμα στο θερμό κύλινδρο και το ένα τρίτο στον κρύο κύλινδρο. Ο όγκος στο θερμό κύλινδρο είναι μέγιστος. Καθώς μεταφέρεται θερμός όγκος αερίου από το θερμό στον κρύο κύλινδρο, αποθηκεύεται ποσό θερμότητας στον αναγεννητή (regenerator). Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος είναι στις  $90^\circ$  ενώ στο τέλος στις  $180^\circ$ .



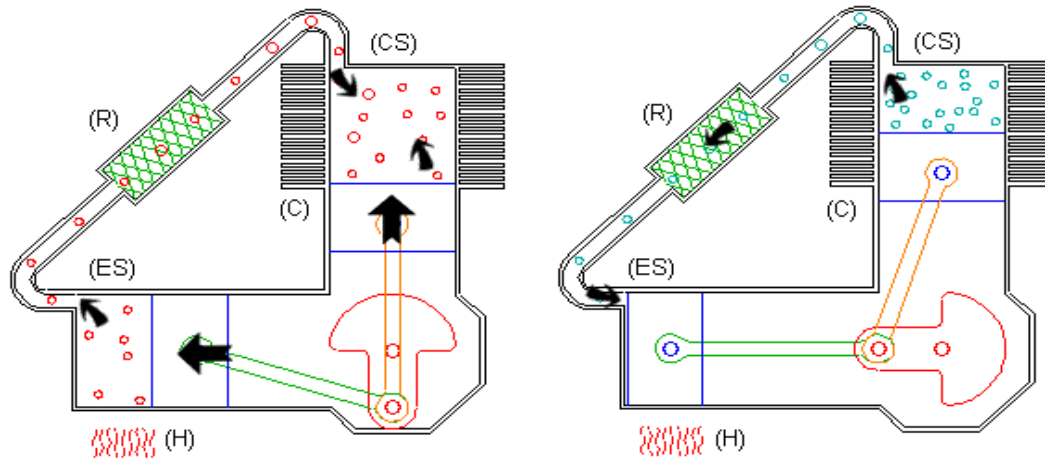
Αρχή Φάσης ΒΓ

Τέλος Φάσης ΒΓ



### 3. Ισοθερμοκρασιακή συμπίεση ΓΔ

Τώρα το μεγαλύτερο μέρος του εργαζόμενου θερμού αερίου, που έχει εκτονωθεί, έχει μεταφερθεί στον κρύο κύλινδρο. Το αέριο ψύχεται και συστέλλεται, μαζεύοντας και τα δύο έμβολα προς το εσωτερικό των κυλίνδρων τους (στον κάτω αριστερό κύλινδρο προς τα αριστερά ενώ στον πάνω κύλινδρο προς τα πάνω). Ο αναγεννητής συνεχίζει να απορροφά θερμότητα από το εργαζόμενο αέριο καθώς αυτό περνά από το θερμό προς το ψυχρό κύλινδρο. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος στις  $180^\circ$  ενώ στο τέλος στις  $270^\circ$ .

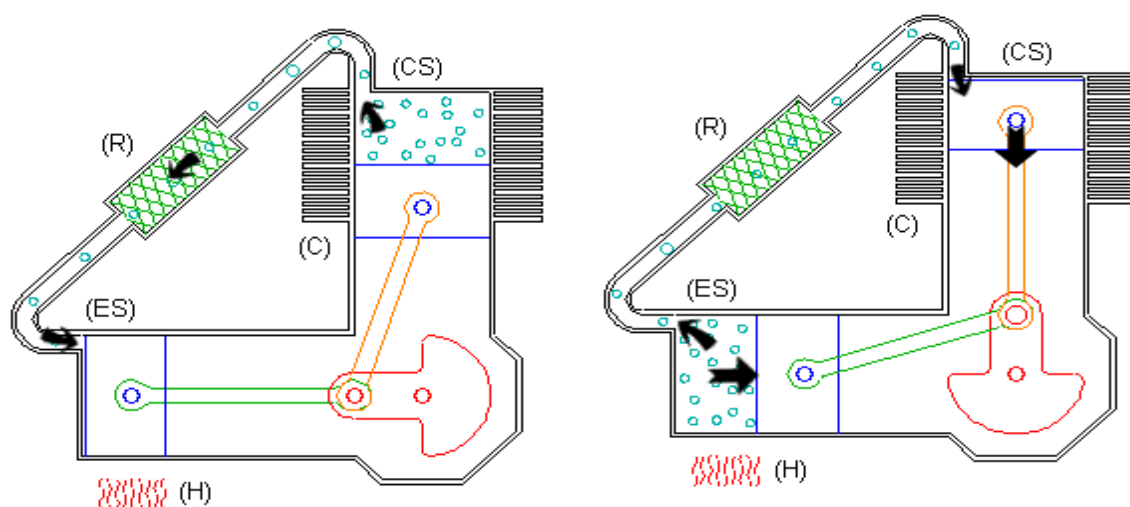


Αρχή Φάσης ΓΔ

Τέλος Φάσης ΓΔ

### 4. Ισόογκη θέρμανση ΔΑ

Τώρα το αέριο που έχει ήδη συσταθεί βρίσκεται κυρίως στον κρύο κύλινδρο. Ο στρόφαλος στρέφεται ακόμη κατά  $90^\circ$  αναγκάζοντας το αέριο να επιστρέψει στον θερμό κύλινδρο και να συμπληρωθεί ο κύκλος. Καθώς μεταφέρεται κρύος όγκος αερίου από τον κρύο στο θερμό κύλινδρο, ο αναγεννητής αποδίδει θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο, προθερμαίνοντάς το. Αν ο αναγεννητής θεωρηθεί τέλειος τότε και μόνο αποδίδει τόση θερμότητα όση είχε απορροφήσει. Στην αρχή της φάσης ο στρόφαλος είναι στις  $270^\circ$  ενώ στο τέλος στις  $360^\circ$ .



Αρχή Φάσης ΔΑ

Τέλος Φάσης ΔΑ

## 4. Οικονομική Αξιολόγηση

### 4.1 Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value):

Καθαρή παρούσα αξία είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά του λειτουργικού οφέλους από το σύνολο των δαπανών κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης. Όλα τα ποσά εκφράζονται σε παρούσα αξία, ανηγμένα συνήθως στην αρχή του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος. Η σχέση που δίνει την καθαρή παρούσα αξία είναι:

$$NPV = -K + \sum_1^N \frac{Ft}{(1+d)^t} + \frac{SV_N}{(1+d)^N}$$

Όπου

K: η αρχική επένδυση

Ft: το ετήσιο καθαρό όφελος της επένδυσης στο έτος t

N: ο οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης

d: το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου)

SV<sub>N</sub>: αξία εκποίησης (απομένουσα αξία) της επένδυσης στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής των περιόδων N

Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι ο όρος όφελος χρησιμοποιείται γενικά, αφού το Ft μπορεί να είναι αρνητικό, όταν το αποτέλεσμα κάποιας περιόδου είναι ζημία.

Το K αντιπροσωπεύει την παρούσα αξία της επένδυσης και στην αρχή της (t=0) είναι αρνητικό.

Ως αποτελέσματα της συνάρτησης της ΚΠΑ διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

A)  $NPV > 0$  → η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη στις δεδομένες συνθήκες του προβλήματος (συγκεκριμένα N και d). Ο μέσος ετήσιος βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι υψηλότερος του d.

B)  $NPV = 0$  → η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη και έχει μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης ίσο με το επιτόκιο αναγωγής d.

C)  $NPV < 0$  → η επένδυση δεν είναι βιώσιμη οικονομικά, κάτω από τις δεδομένες οικονομικές συνθήκες.

## 4.2 Καθαρή παρούσα αξία για μη περιοδικές ροές xNPV

Αποδίδει την καθαρή παρούσα αξία ενός προγράμματος ταμειακών ροών που δεν είναι απαραίτητα περιοδικές. Εάν θέλουμε να υπολογίσουμε την καθαρή παρούσα αξία μιας σειράς περιοδικών ταμειακών ροών, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση NPV.

Η συνάρτηση XNPV υπολογίζεται ως εξής:

$$xNPV = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1 + rate)^{\frac{(d_i - d_1)}{365}}}$$

όπου:

$d_i$  = η i-οστή ή τελευταία ημερομηνία πληρωμής.

$d_1$  = η ημερομηνία πληρωμής 0.

$P_i$  = το ποσό της i-οστής ή τελευταίας πληρωμής.

Σύνταξη στο Excel:

XNPV (rate;values;dates)

Rate: είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που εφαρμόζεται στον υπολογισμό των ταμειακών ροών.

Values: είναι μια σειρά ταμειακών ροών που αντιστοιχούν σε προγραμματισμένες πληρωμές ανά ημερομηνίες. Η πρώτη συναλλαγή είναι προαιρετική και αντιστοιχεί σε δαπάνη ή πληρωμή στην αρχή της επένδυσης. Εάν η πρώτη τιμή είναι μια δαπάνη ή πληρωμή, πρέπει να είναι αρνητική. Όλες οι επόμενες διαδοχικές πληρωμές προεξοφλούνται σε ετήσια βάση 365 ημερών. Η σειρά των τιμών πρέπει να περιέχει τουλάχιστον μία θετική και μία αρνητική τιμή.

Dates: είναι ένα πρόγραμμα με τις ημερομηνίες των πληρωμών που αντιστοιχούν σε ταμειακές συναλλαγές. Η ημερομηνία της πρώτης πληρωμής επισημαίνει την έναρξη του προγράμματος. Οι υπόλοιπες ημερομηνίες πρέπει να είναι μεταγενέστερες, αλλά μπορούν να είναι καταχωρημένες με οποιαδήποτε σειρά.

## Παρατηρήσεις

- Το Excel αποθηκεύει ημερομηνίες ως διαδοχικούς αύξοντες αριθμούς, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπολογισμούς. Από προεπιλογή, η ημερομηνία 1 Ιανουαρίου 1900 είναι ο αύξων αριθμός 1, ενώ η ημερομηνία 1 Ιανουαρίου 2008 είναι ο αύξων αριθμός 39448, γιατί ακολουθεί 39.448 ημέρες μετά την 1η Ιανουαρίου 1900.
- Παρατηρούμε ότι η συνάρτηση XNPV είναι πιο γενικής χρήσης από την NPV που χρησιμοποιείται μόνο εάν οι ταμειακές ροές είναι περιοδικές. Στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση xNPV ώστε να μην περιοριστεί το πρόβλημα.

### 4.3 Απόδοση κεφαλαίου ή εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return)

Η συνάρτηση IRR σχετίζεται με τη συνάρτηση NPV (καθαρής παρούσας αξίας). Ο συντελεστής εσωτερικής απόδοσης που υπολογίζεται από τη συνάρτηση IRR είναι ο συντελεστής, για τον οποίο μηδενίζεται η καθαρή παρούσα αξία.

$$NPV_{(d=IRR)} = 0$$

Οι ταμειακές συναλλαγές πρέπει να λαμβάνουν χώρα σε τακτά διαστήματα, όπως σε μηνιαία ή ετήσια βάση. Ο συντελεστής εσωτερικής απόδοσης είναι το επιτόκιο που λαμβάνεται για μια επένδυση που περιλαμβάνει πληρωμές και εισπράξεις, οι οποίες πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα

### 4.4 Απόδοση κεφαλαίου για μη τακτά χρονικά διαστήματα xIRR

Η συνάρτηση xIRR συνδέεται με την XNPV. Αποδίδει το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης για μια σειρά ταμειακών ροών, οι οποίες δεν είναι απαραίτητα περιοδικές. Για να υπολογίσουμε το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης για μια σειρά περιοδικών ταμειακών ροών, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση IRR.

Σύνταξη στο Excel:

XIRR (values;dates;guess)

Values: είναι μια σειρά ταμειακών ροών που αντιστοιχούν σε προγραμματισμένες πληρωμές ανά ημερομηνίες. Η πρώτη πληρωμή είναι προαιρετική και αντιστοιχεί σε δαπάνη ή πληρωμή στην αρχή της επένδυσης. Εάν η πρώτη τιμή είναι μια δαπάνη ή πληρωμή, πρέπει να είναι αρνητική. Όλες οι επόμενες διαδοχικές πληρωμές προεξοφλούνται σε ετήσια βάση 365 ημερών. Η σειρά των τιμών πρέπει να περιέχει τουλάχιστον μία θετική και μία αρνητική τιμή.

Dates: είναι ένα πρόγραμμα με τις ημερομηνίες πληρωμών που αντιστοιχούν σε ταμειακές συναλλαγές. Η ημερομηνία της πρώτης πληρωμής επισημαίνει την έναρξη του προγράμματος. Οι υπόλοιπες ημερομηνίες πρέπει να είναι μεταγενέστερες, αλλά μπορούν να είναι καταχωρημένες με οποιαδήποτε σειρά. Οι ημερομηνίες πρέπει να εισάγονται με τη

συνάρτηση DATE ή ως αποτελέσματα άλλων τύπων ή συναρτήσεων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση DATE(2008;5;23) για την 23η Μαΐου 2008. Ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα, εάν εισαγάγουμε ημερομηνίες ως κείμενο.

Guess : είναι μια υπόθεση που κάνουμε για το αποτέλεσμα της συνάρτησης XIRR.

## 5. Πειραματικό μέρος-Μελέτη μονάδων

### 5.1 Μελέτη 1: Εγκατάσταση μονάδας συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα με τη χρήση συμβατικών λεβήτων στερεού καυσίμου

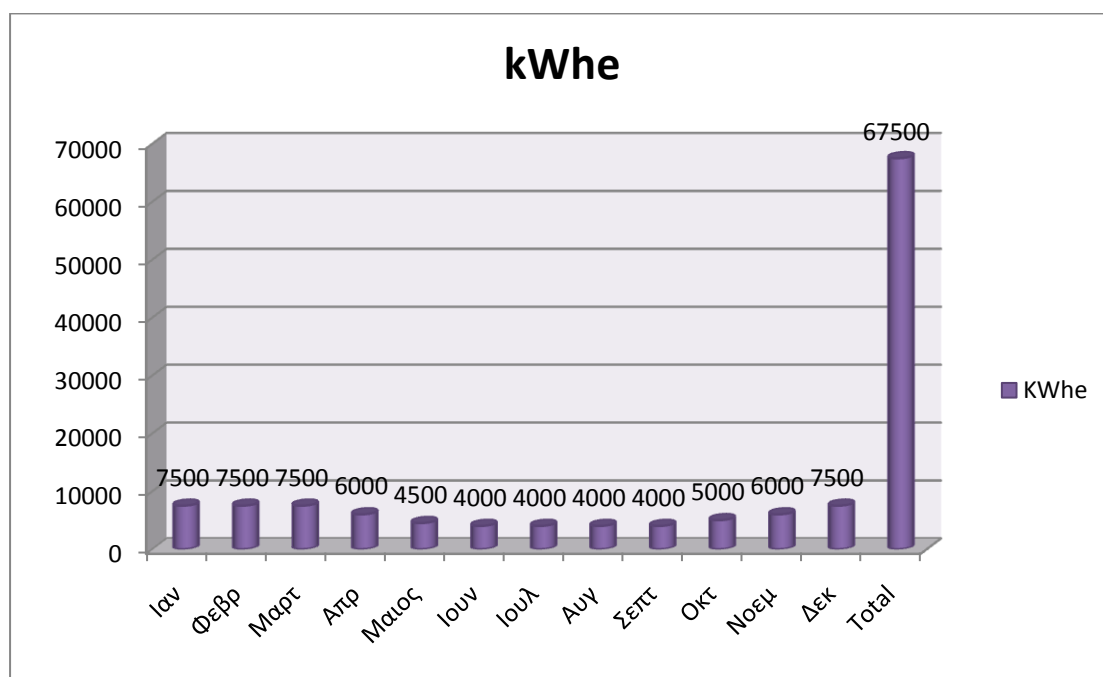
Η μελέτη γίνεται σε μονάδα θερμοκηπίων συνολικής έκτασης 10 στρ. με διατήρηση των παλαιών λεβήτων βιομάζας (καύσιμο ξύλο περιεκτικότητας σε υγρασία <50%) και προσθήκη μηχανών Stirling για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεντρωτικά δίνεται ο παρακάτω πίνακας, στον οποίο συνοψίζονται τα ενεργειακά στοιχεία της εγκατάστασης.

<b>Στρέμματα</b>	<b>10</b>
<b>Λέβητες</b>	4 (3x 450.000Kcal/hr +1x600.000Kcal/hr)
<b>Συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς</b>	1.950.000Kcal/hr = 2270Kw=2,27Mw
<b>ΔT λειτουργίας</b>	3-> Δτ=18°C, 1-> Δτ=14°C
<b>Περίοδος θέρμανσης</b>	Οκτώβριος – Μάρτιος
<b>Ώρες λειτουργίας (συνολικές)</b>	1300
<b>Ώρες λειτουργίας στο μέγιστο φορτίο</b>	90%*1300=1170
<b>Ώρες λειτουργίας στο μέσο φορτίο</b>	130
<b>Ώρες λειτουργίας κάτω του μέσου φορτίου</b>	0
<b>Κατανάλωση καυσίμου (kg/hr)</b>	-
<b>Κατανάλωση καυσίμου ολική (tn)</b>	400tn/year
<b>Κόστος αγοράς καυσίμου (+μεταφορά)</b>	40€/tn
<b>Ώρες συντήρησης</b>	3hr/week
<b>Κόστος συντήρησης (ετήσιο)</b>	150€
<b>Ηλεκτρικές καταναλώσεις</b>	
<b>Εγκατεστημένη Ισχύς (KW)</b>	100
<b>KWh θερινούς μήνες (όχι θέρμανση)</b>	3500/month

<b>KWh χειμερινούς μήνες (με θέρμανση)</b>	7500/month
<b>Ώρες στο μέγιστο φορτίο</b>	-
<b>Πάγιες ηλεκτρικές καταναλώσεις (KW)</b>	ψυγείο
<b>Έκδοση λογαριασμού</b>	μηνιαία
<b>Τιμή αγροτικού ρεύματος</b>	0,11529 €/kwh (-60% έκπτωση)

Πίνακας 7: Ενεργειακά στοιχεία της μελετώμενης εγκατάστασης

Μέσες ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά μήνα.



Διάγραμμα 13: Μέσες ηλεκτρικές καταναλώσεις ανά μήνα.

Τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στους ανωτέρω πίνακες δεν είναι απόλυτα, και αυτό ισχύει γιατί στις μονάδες αυτές σημαντικό ρόλο παίζουν οι καιρικές συνθήκες οι οποίες είναι σε θέση να καθορίσουν τις καταναλώσεις, αρχικά τις θερμικές και στη συνέχεια τις ηλεκτρικές. Απαραίτητο είναι επίσης να καθοριστεί ότι η τοποθεσία της μονάδας έχει σημαντικές επιπτώσεις όχι μόνο στον τύπο του θερμοκηπίου που θα επιλεγεί να κατασκευαστεί, αλλά και στις καταναλώσεις και γι' αυτό το λόγο είναι εξαιρετικά δύσκολη μια μοντελοποίηση της ενεργειακής κατάστασης όλων των θερμοκηπίων, αφού κάθε έργο πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά καθώς έχει τις ιδιαιτερότητες του.

Στο συγκεκριμένο έργο ως καύσιμο χρησιμοποιείται ξύλο σχετικά χαμηλής υγρασίας, το οποίο τεμαχίζεται σε πολύ μικρά κομμάτια μέσω ενός κόφτη (wood chips) και στη συνέχεια αποθηκεύεται σε χώρο δίπλα στους λέβητες, από τον οποίο περνάνε και οι καμινάδες, στοιχείο που συντελεί στην εν μέρει ξήρανση του καυσίμου.



**Καμινάδες**



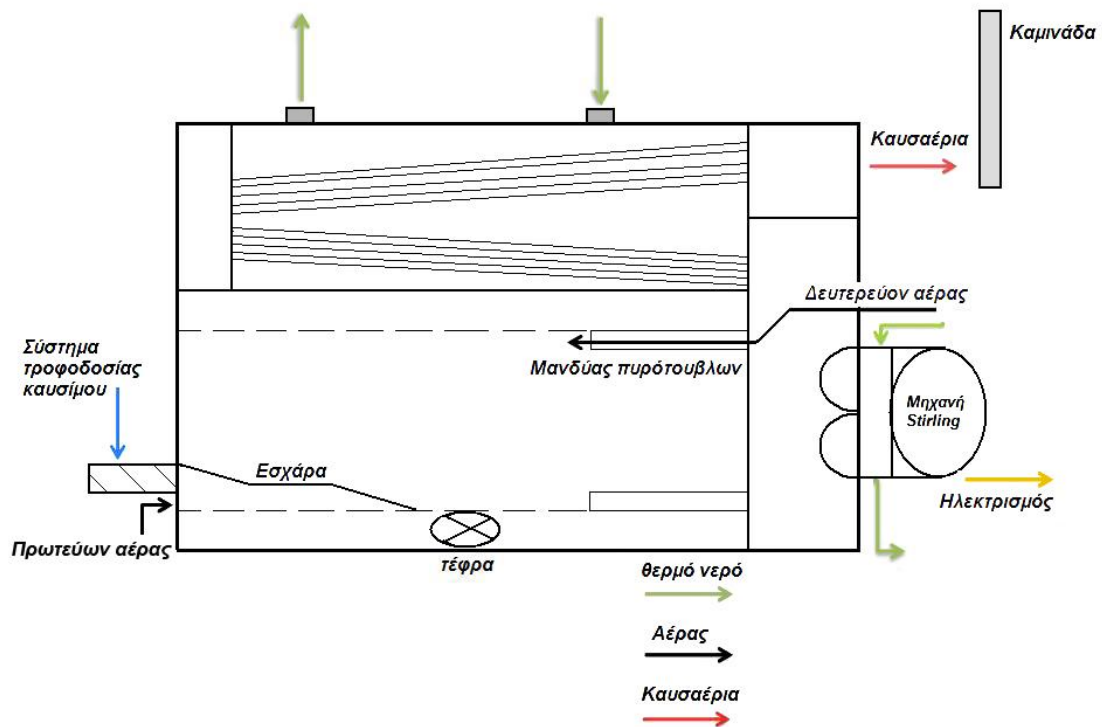
**Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου**

Εικόνες 16 και 17: Μηχανή κοπής ξύλου και σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου

Στη συγκεκριμένη μονάδα στόχος ήταν η διατήρηση των παλαιών λεβήτων βιομάζας και η μετατροπή της εγκατάστασης ώστε να είναι σε θέση να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, την περίσσεια της οποίας μπορεί ο παραγωγός να διαθέτει προς το δίκτυο. Ο λόγος για τον οποίο κινηθήκαμε σε αυτή τη γραμμή ήταν για να διατηρηθεί το κόστος της μονάδας χαμηλά αλλά και για να βρεθεί μία λύση η οποία δεν θα απαιτεί πλήθος μετατροπών, στοιχεία που όχι μόνο επιδρούν αρνητικά στα έξοδα της επένδυσης αλλά ταυτόχρονα επιβάλλουν την απενεργοποίηση της μονάδας για μεγάλο χρονικό διάστημα και έτσι είναι μεγάλος ο κίνδυνος της οικονομικής καταστροφής αφού πρόκειται για υφιστάμενη εγκατάσταση η οποία πρέπει να λειτουργεί.

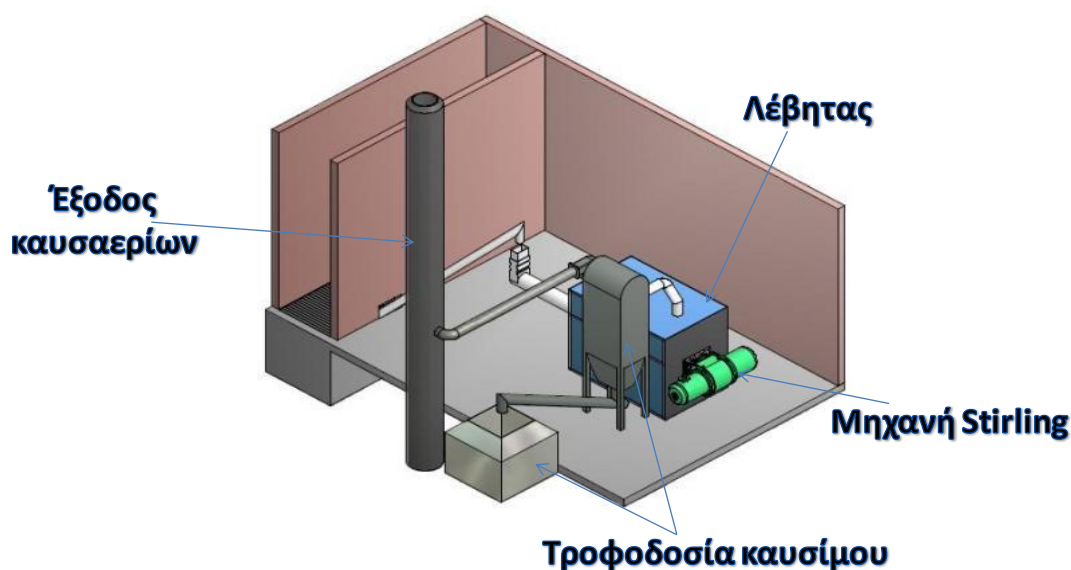


Για να αντιμετωπιστούν όλα τα ανωτέρω προβλήματα μελετήθηκε η χρησιμοποίηση μηχανών Stirling, και συγκεκριμένα η συνδυασμένη χρήση τους μαζί με τους λέβητες. Σύμφωνα με την εταιρία Stirling DK αυτό είναι εφικτό αν χρησιμοποιηθεί η εστία του λέβητα ως η αναγκαία πηγή θερμότητας για τη μηχανή Stirling. Αυτό γίνεται πρακτικά εφαρμόζοντας τη μηχανή στο μπροστινό κομμάτι του λέβητα όπως περιγράφει το παρακάτω σχέδιο.



Διάγραμμα 14: Σχηματική απεικόνιση της εφαρμογής της μηχανής Stirling σε λέβητα, (StirlingDk)

Και σε 3D απεικόνιση:



Εικόνα 18: Τρισδιάστατη απεικόνιση του λέβητα, της μηχανής και του λεβητοστασίου, (StirlingDk)

Όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα, μπορεί οποιοσδήποτε λέβητας να μετατραπεί ή να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί τη μηχανή στο ένα του άκρο. Πιο συγκεκριμένα, αυτό που πρέπει να εξασφαλιστεί είναι να ρέουν τα καυσαέρια κοντά στον θερμαντήρα της μηχανής με υψηλή θερμοκρασία, ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία της μηχανής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω συγκεκριμένης μεθόδου που έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Stirling Dk.

- Αρχικά, εισάγεται πρωτεύων αέρας κάτω από την εσχάρα και έτσι μετά την καύση του ξύλου, η τέφρα και οι στάχτες πέφτουν στον ειδικό χώρο συλλογής.
- Έπειτα, τοποθετείται σε ένα κομμάτι του θαλάμου καύσης, ειδικός μανδύας από πυρίμαχα τούβλα, με κατασκευή κατά παραγγελία, ο οποίος διασφαλίζει τοπικά εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες καθώς και ελάχιστη μεταφορά θερμότητας με το νερό το οποίο υπάρχει στο λέβητα.
- Ταυτόχρονα εισάγεται δευτερεύων αέρας στο μέτωπο του επιπλέον πυρίμαχου μανδύα. Ο συνδυασμός του προθερμασμένου δευτερεύοντος αέρα με το μανδύα εξασφαλίζουν μία ροή καυσαερίων θερμοκρασίας περίπου 1500 °C, η οποία οδηγείται προς τον θερμαντήρα της μηχανής και έχουμε την μετατροπή της θερμότητας σε έργο και σε ηλεκτρισμό.
- Τα καυσαέρια τα οποία φεύγουν από τον θερμαντήρα της μηχανής χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση του δευτερεύοντος αέρα και περνούν και από τις διαδρομές του λέβητα για τη θέρμανση του νερού και αφήνουν τον λέβητα τελικά σε χαμηλή θερμοκρασία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει επίσης κάποια θέρμανση νερού από την ίδια τη μηχανή Stirling, αφού υπάρχει η ανάγκη για ψύξη της.

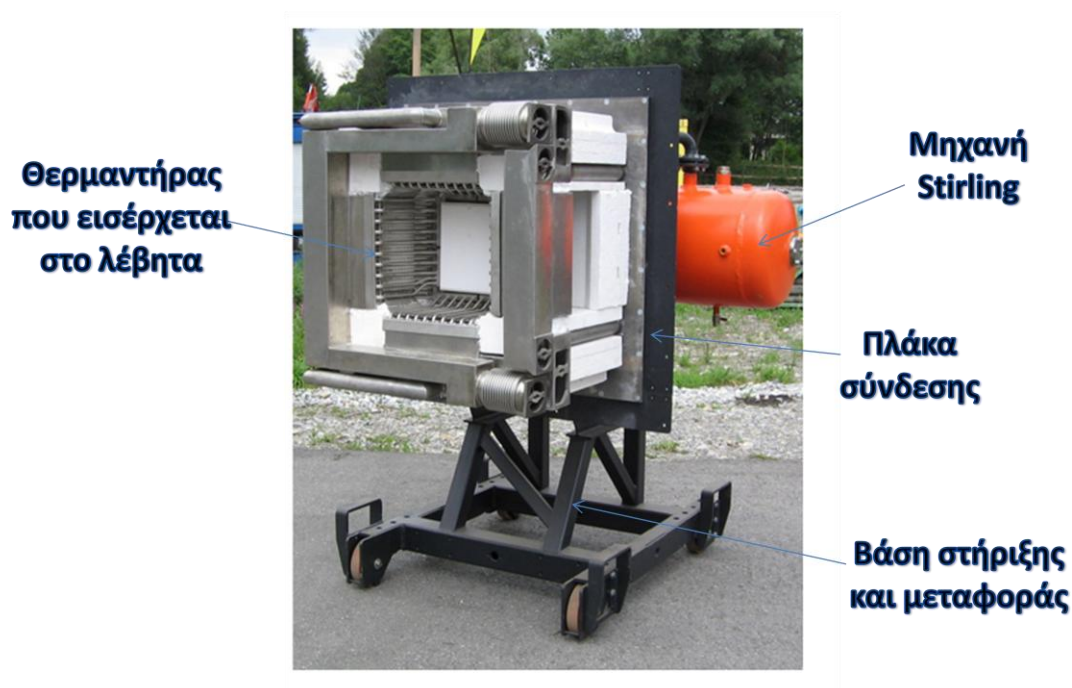
Τέλος, τα μόνα παραπροϊόντα της όλης διαδικασίας είναι τα καυσαέρια που αφήνουν το λέβητα σε χαμηλή θερμοκρασία και η τέφρα που μαζεύεται στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης.

Πλεονεκτήματα:

1. Το σύστημα αυτό είναι ιδανικό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα καθώς και για αποκεντρωμένα συστήματα.
2. Είναι μία σχετικά οικονομική λύση για έναν σταθμό συμπαραγωγής
3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν οποιοσδήποτε λέβητας με κάποιες μετατροπές για να υποστηρίξει τη μηχανή Stirling
4. Είναι επίσης δυνατή η απομάκρυνση της μηχανής Stirling ώστε ο λέβητας να λειτουργεί μόνο για τη παραγωγή θερμότητας
5. Πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία μέσω ηλεκτρικού πίνακα
6. Αυτόματος καθαρισμός του θερμαντήρα
7. Η όλη εγκατάσταση αποτελείται από λίγα κομμάτια, γεγονός που αυξάνει την αξιοπιστία της
8. Η όλη διαδικασία παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε ήδη γνωστές και δοκιμασμένες τεχνολογίες
9. Η μηχανή έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ερμητικά κλειστή και άρα να απαιτεί πολύ λίγη συντήρηση, να είναι εύκολη στη λειτουργία και να μπορεί να δουλεύει ακατάπαυστα για μεγάλα χρονικά διαστήματα
10. Συγκεκριμένα, η μηχανή είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί συνεχόμενα για 8000hr, ενώ ο θερμαντήρας είναι σχεδιασμένος για καύση βιομάζας και για εύκολο καθάρισμα.
11. Τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας του τροποποιημένου λέβητα είναι συγκρίσιμα με έναν κοινό λέβητα του εμπορίου του ίδιου μεγέθους.

### Μειονεκτήματα:

1. Κύριο πρόβλημα είναι οι επικαθίσεις στο θερμαντήρα της μηχανής, οι οποίες αν δεν καθαρίζονται συνεχώς μειώνουν αισθητά τη συναλλαγή θερμότητας και άρα και το βαθμό απόδοσης της μηχανής.
2. Η τεχνολογία αυτή στερεί από το λέβητα ένα κομμάτι της θερμικής του ικανότητας, με αποτέλεσμα να μην είναι εφαρμόσιμη σε λέβητες μικρής δυναμικότητας αφού η θερμότητα που παράγουν δεν αρκεί για τη θέρμανση του νερού και την θέρμανση του αερίου της μηχανής.
3. Αύξηση κόστους αγοράς μηχανολογικού εξοπλισμού (λέβητας, μηχανή, σύνδεση με το δίκτυο)
4. Δεν είναι ενεργειακά συμφέρουσα η μετατροπή υπαρχόντων λεβήτων αφού οι διαδρομές καυσαερίων έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικά ποσά θερμότητας και έτσι δεν υπάρχει ικανοποιητική αξιοποίηση της ενέργειας των καυσαερίων. Βεβαία, αν ο λέβητας κατασκευαστεί από την αρχή ώστε να μπορεί να δεχτεί τη μηχανή Stirling στο άκρο του, το επιπλέον κόστος κατασκευής παρουσιάζεται να είναι αρκετά ανταγωνιστικό.



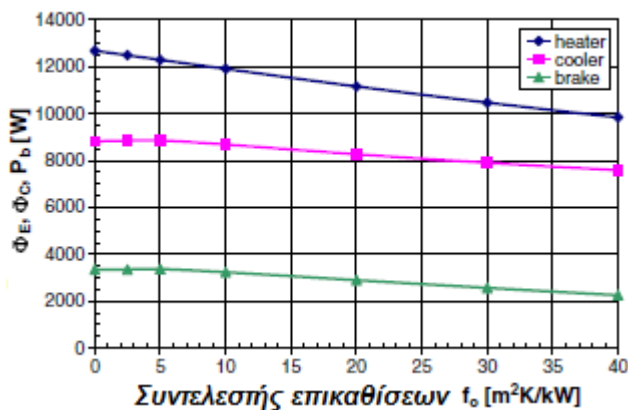
Εικόνα 19: Μηχανή Stirling και θερμαντήρας έτοιμος για προσαρμογή σε θάλαμο καύσης (Bioenergiesysteme)

Καθώς ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία της μηχανής είναι οι επικαθίσεις στον εναλλάκτη θερμότητας της μηχανής Stirling, αξίζει να αναφερθούμε στο πόσο μειώνεται η απόδοση της μηχανής σε σχέση με τις επικαθίσεις. Σύμφωνα με μελέτη (M.Kuosa, 2007) πρέπει οι θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης να διατηρούνται οριακά χαμηλότερες από τις θερμοκρασίες τήξης της τέφρας ώστε να μειώνονται οι επικαθίσεις στον εναλλάκτη. Οι επικαθίσεις αυτές μπορούν να μοντελοποιηθούν με χρήση του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας  $U$  όπου οι επιπλέον θερμικές αντιστάσεις αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές επικαθίσεων. Ο συντελεστής δίνεται από τη σχέση:

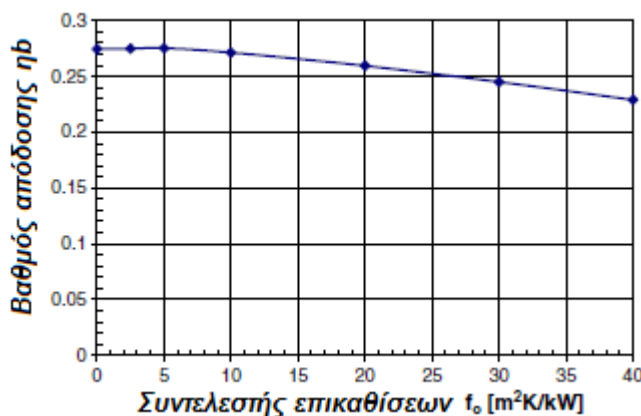
$$U = \frac{1}{\frac{d_o}{a_i d_i} + \frac{d_o}{2\lambda_w} \ln \frac{d_o}{d_i} + \frac{1}{a_o} + \frac{d_o}{d_i} f_i + f_o}$$

Όπου  $f_o$  και  $f_i$  είναι οι συντελεστές επικαθίσεων.

Τα διαγράμματα που προκύπτουν δίνουν την επίδραση του συντελεστή επικαθίσεων  $f_o$  συναρτήσει της ισχύος του εναλλάκτη  $\Phi_E$ , της ψυκτικής ισχύος της μηχανής  $\Phi_C$ , της δύναμης πέδησης  $P_b$ , και του βαθμού απόδοσης  $\eta_b = \frac{P_b}{\Phi_E}$ .



Διάγραμμα 15: συντελεστής επικαθίσεων  $f_o$  συναρτήσει της ισχύος του εναλλάκτη  $\Phi_E$ , της ψυκτικής ισχύος της μηχανής  $\Phi_C$  και της δύναμης πέδησης  $P_b$  (M.Kuosa, 2007)



Διάγραμμα 16: συντελεστής επικαθίσεων  $f_o$  συναρτήσει του βαθμού απόδοσης  $\eta_b = \frac{P_b}{\Phi_E}$  (M.Kuosa, 2007)

Όπως δείχνουν και τα διαγράμματα οι επικαθίσεις επηρεάζουν σημαντικά τις επιδόσεις της μηχανής, αφού όταν ο εναλλάκτης γεμίσει με επικαθίσεις τότε όλα τα μεγέθη που εξετάστηκαν ανωτέρω παρουσιάζουν μείωση, με σημαντικότερη τη μείωση της ηλεκτρικής απόδοσης της μηχανής.

Η μηχανή Stirling που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς μας είναι της εταιρίας Stirling DK με απόδοση 35kWe. Καθώς η εγκατάσταση μας αποτελείται από 3 λέβητες ξύλου, η μελέτη έγινε για εγκατάσταση 3 μηχανών, συνολικής απόδοσης 105kWe και θερμικής απόδοσης 645kWth.

Χαρακτηριστικά μηχανής

<b>Τύπος</b>	<b>SD3 35Kwe</b>
<b>Καύσιμο</b>	Wood chips
<b>Υγρασία καυσίμου</b>	< 40 %
<b>Ηλεκτρική Ισχύς</b>	35 kW
<b>Ιδιοκατανάλωση</b>	2 kW
<b>Θερμική Ισχύς</b>	215 kW
<b>Ροή νερού (Tin= 45 °C, Tout= 80 °C)</b>	5,3 m <sup>3</sup> /hr
<b>Κατανάλωση καυσίμου (40% υγρασία)</b>	100 kg/hr
<b>Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (καθαρός)</b>	12%
<b>Συνολικός βαθμός απόδοσης</b>	86%
<b>Διαστήματα συντήρησης</b>	8000 hr
<b>Εκπομπές ρύπων</b>	CO and NOx < 50ppm, HC < 25ppm

Πίνακας 8: Πίνακας χαρακτηριστικών μηχανής Stirling 35kWe (StirlingDk)

Κατασκευαστικά στοιχεία μηχανής

<b>Bore</b>	<b>142mm</b>
<b>Stroke</b>	76mm
<b>Αριθμός κυλίνδρων</b>	4
<b>Εργαζόμενο μέσο</b>	Ήλιο (He)
<b>Πίεση λειτουργίας</b>	4,5 MPa
<b>Ταχύτητα περιστροφής</b>	1010 rpm

Πίνακας 9: Κατασκευαστικά στοιχεία της ίδιας μηχανής (StirlingDk)

Με την εγκατάσταση της μηχανής Stirling στους λέβητες η μονάδα παύει να παράγει μόνο θερμότητα και μετατρέπεται σε μονάδα συμπαραγωγής. Με βάση αυτά που προαναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3, για τη συγκεκριμένη συμπαραγωγή θα πρέπει να οριστούν οι βαθμοί απόδοσης. (όπως ορίζονται στο κεφάλαιο 5.1.3)

Σε πλήρες φορτίο η μηχανή Stirling παράγει :

$$\text{θερμική ισχύ} \quad Q_{th} = 215kW$$

$$\text{ηλεκτρική ισχύ} \quad P_{el} = 35kW$$

Οι βαθμοί απόδοσης της μηχανής είναι:

$$\eta_{tot} = 86\%$$

$$\eta_{el} = 12\%$$

$$\eta_{th} = 86 - 12 = 74\%$$

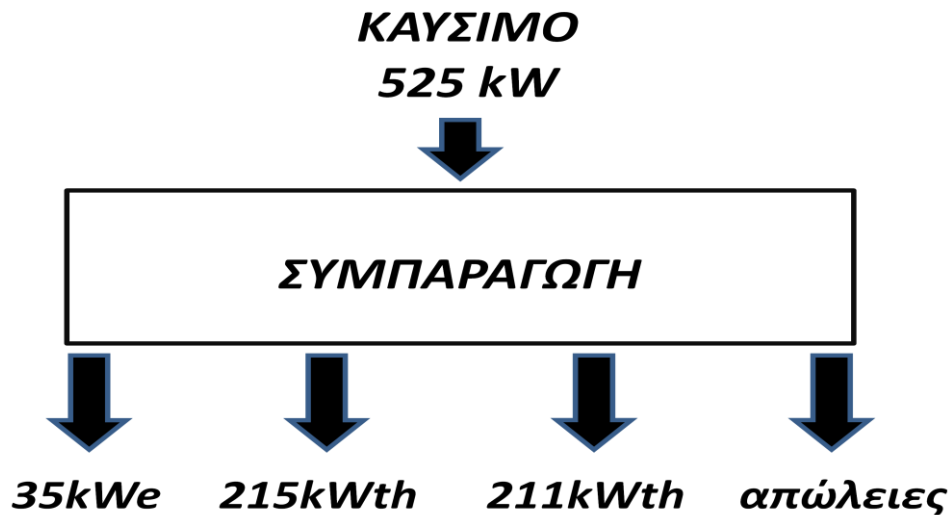
Για να παραχθεί αυτή η θερμότητα των 215kWth με βαθμό απόδοσης 74%, απαιτείται θερμότητα από το λέβητα:  $P_{th}=290kW$

Οι λέβητες είναι δυναμικότητας 525kW έκαστος και θα έχουμε μείωση της ισχύος, η οποία τώρα θα είναι:

$$P_{BOILER} = P_B - P_{th} = 525 - 290 = 235kW$$

Θεωρώντας ένα τυπικό βαθμό απόδοσης του λέβητα της τάξης του 90% παίρνουμε στην έξοδο από το λέβητα τελικά  $P_{BOILER}=211,5kW$

Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα της συμπαραγωγικής μονάδας:



Διάγραμμα 17: Ενεργειακό διάγραμμα συμπαραγωγής για λέβητα 525kW

Με αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης:

$$\eta_{el} = \frac{35}{525} = 0,0667 = 6,67\%$$

$$\eta_{thst} = \frac{215}{525} = 0,4095 = 40,95\%$$

$$\eta_{thboiler} = \frac{211}{525} = 0,4019 = 40,19\%$$

$$\eta_{tot} = \frac{35 + 215 + 211}{525} = 0,8781 = 87,81\%$$

$$\alpha\pi\acute{\omega}\lambda\epsilon\iota\epsilon\varsigma = 12,19\% = 64kW$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η μονάδα της συμπαραγωγής που εξετάσαμε έχει συνολικό βαθμό απόδοσης **87,81%**.

Αποδοτικότητα συμπαραγωγής:

Από τους πίνακες των παραρτημάτων I και II έχουμε για τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας:

$$\eta_{er} = 33\%$$

$$\eta_{hr} = 86\%$$

Αφού η μονάδα μας χρησιμοποιεί ως καύσιμο ξύλο και είναι κατασκευής 2006-2011 ενώ παράγεται θερμό νερό (άρθρο 1, παράρτημα I).

Για τους ενεργειακούς βαθμούς απόδοσης έχουμε:



$$\eta_e = \frac{E_c}{F_c} = \frac{35}{m_B * H_u} = \frac{35}{525} = 0,0667 = 6,67\%$$

$$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{F_c} = \frac{215 + 211}{525} = 0,8114 = 81,14\%$$

$$\eta = \eta_e + \eta_h = 81,14 + 6,67 = 87,81\%$$

$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{er}} + \frac{\eta_h}{\eta_{hr}}} = 1 - \frac{1}{\frac{6,67}{33} + \frac{81,14}{86}} = 0,1271 = 12,71\%$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η συμπαραγωγική μονάδα μας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ΣΗΘΥΑ αφού  $PESR \geq 10\%$ .

- Εξετάζουμε την περίπτωση εφαρμογής της μηχανής σε έναν λέβητα δυναμικότητας **1.000.000 cal  $\Rightarrow$  1160 kW**, που αποτελεί μία τυπική επιλογή μεγέθους για ένα θερμκήπιο.

Σε πλήρες φορτίο η μηχανή Stirling παράγει :

$$\text{θερμική ισχύ} \quad Q_{th} = 215kW$$

$$\text{ηλεκτρική ισχύ} \quad P_{el} = 35kW$$

Οι βαθμοί απόδοσης της μηχανής είναι:

$$\eta_{tot} = 86\%$$

$$\eta_{el} = 12\%$$

$$\eta_{th} = 86 - 12 = 74\%$$

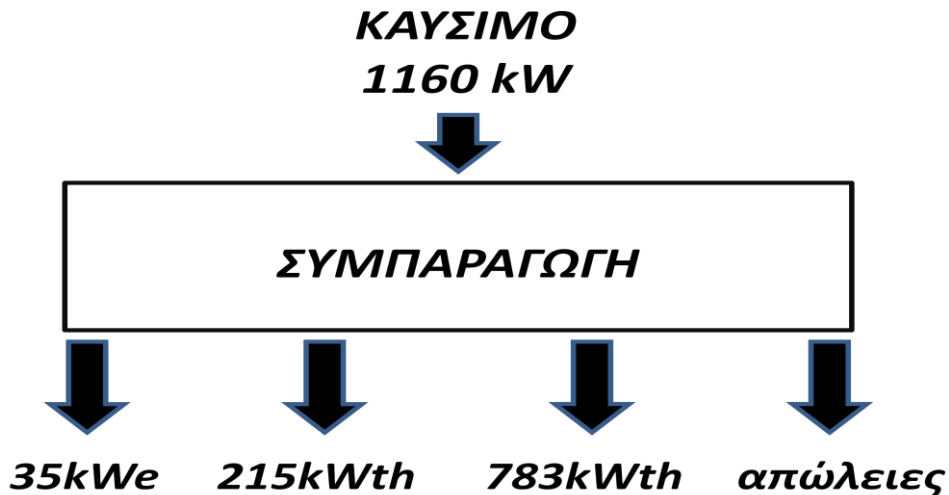
Για να παραχθεί αυτή η θερμότητα των 215kWth με βαθμό απόδοσης 74%, απαιτείται θερμότητα από το λέβητα:  $P_{th} = 290kW$

Άρα έχουμε μείωση στη θερμική ισχύ του λέβητα που μεταφέρεται στο προς θέρμανση νερό κατά  $P_{th}$ , η οποία είναι τώρα:

$$P_{BOILER} = P_B - P_{th} = 1160 - 290 = 870kW$$

Θεωρώντας ένα τυπικό βαθμό απόδοσης του λέβητα της τάξης του 90% παίρνουμε στην έξοδο από το λέβητα τελικά  $P_{BOILER} = 783kW$

Προκύπτει λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα της συμπαραγωγικής μονάδας:



Διάγραμμα 18: Ενεργειακό διάγραμμα συμπαραγωγής για λέβητα 1160kW

Με αντίστοιχους βαθμούς απόδοσης

$$\eta_{el} = \frac{35}{1160} = 0,03 = 3\%$$

$$\eta_{thst} = \frac{215}{1160} = 0,185 = 18,5\%$$

$$\eta_{thboiler} = \frac{783}{1160} = 0,675 = 67,5\%$$

$$\eta_{tot} = \frac{35 + 215 + 783}{1160} = 0,8905 = 89,05\%$$

$$\alpha\pi\acute{\omega}\lambda\epsilon\iota\epsilon\varsigma = 10,95\% = 127kW$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η μονάδα της συμπαραγωγής που εξετάσαμε έχει συνολικό βαθμό απόδοσης **89,05%**.

Αποδοτικότητα συμπαραγωγής:

Από τους πίνακες των παραρτημάτων I και II έχουμε για τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας:

$$\eta_{er} = 33\%$$

$$\eta_{hr} = 86\%$$

Αφού η μονάδα μας χρησιμοποιεί ως καύσιμο ξύλο και είναι κατασκευής 2006-2011, ενώ παράγεται θερμό νερό (άρθρο 1, παράρτημα I).

Για τους ενεργειακούς βαθμούς απόδοσης έχουμε:

$$\eta_e = \frac{E_c}{F_c} = \frac{35}{m_B * H_u} = \frac{35}{1160} = 0,0301 = 3\%$$

$$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{F_c} = \frac{215 + 783}{1160} = 0,8604 = 86,04\%$$

$$\eta = \eta_e + \eta_h = 86,04 + 3,01 = 89,05\%$$

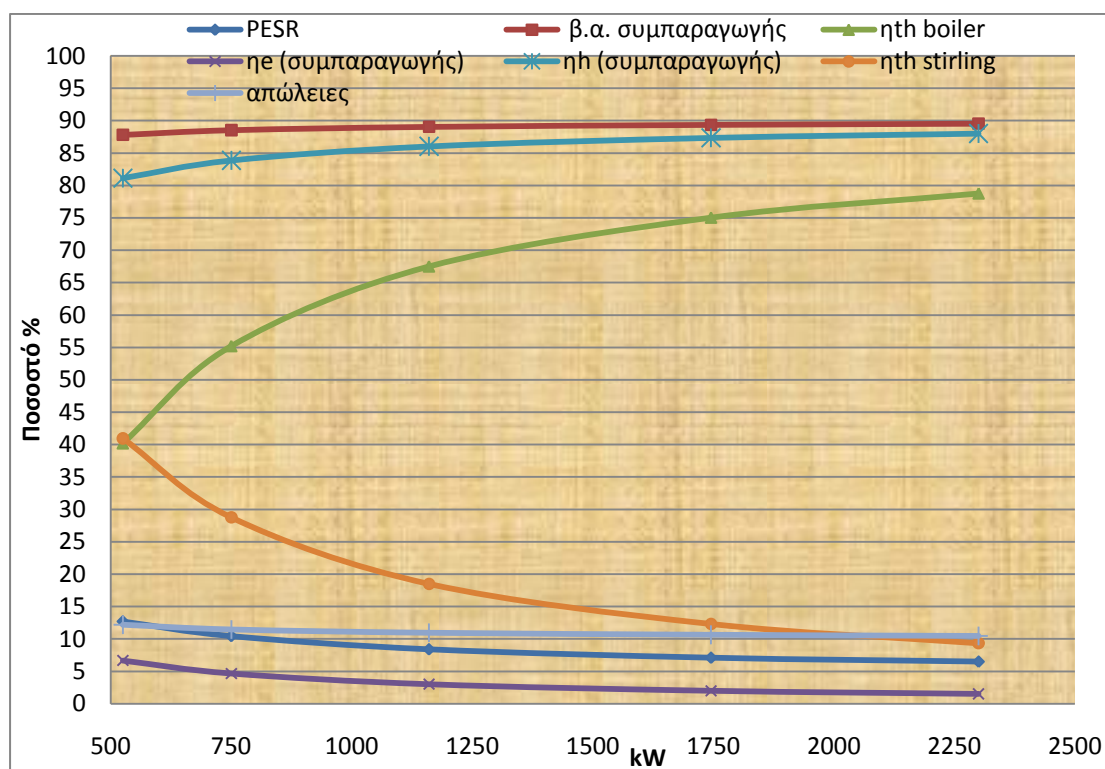
$$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{er}} + \frac{\eta_h}{\eta_{hr}}} = 1 - \frac{1}{\frac{3,01}{33} + \frac{86,03}{86}} = 0,084 = 8,4\%$$

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία για ποικίλες δυναμικότητες λέβητων μπορούμε να συνοψίσουμε τα αποτελέσματα στο παρακάτω πίνακα:

Δυναμικότητα λέβητα (KW)	525	750	1160	1745	2325
$\eta_{er}$	33%				
$\eta_{hr}$	86%				
$\eta_e = \frac{E_c}{F_c}$	6,67%	4,67%	3,01%	2%	1,52%
$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{F_c}$	81,14%	83,87%	86,04%	87,36%	88,02%
$\eta = \eta_e + \eta_h$	87,81%	88,54%	89,05%	89,36%	89,54%
$PESR = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{er}} + \frac{\eta_h}{\eta_{hr}}}$	12,71%	10,45%	8,4%	7,1%	6,5%
$\eta_{thst} = \frac{Q_{thst}}{P_B}$	40,95%	28,67%	18,5%	12,32%	9,34%
$\eta_{thboiler} = \frac{P_{BOILER}}{P_B}$	40,19%	55,2%	67,5%	75,04%	78,77%
Απώλειες %	12,19%	11,46%	10,95%	10,64%	10,46%
Απώλειες (kW)	64	86	127	185	243

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικός πίνακας ενεργειακών αποτελεσμάτων για πέντε λέβητες, 525-2300kW

Και το αντίστοιχο διάγραμμα είναι:

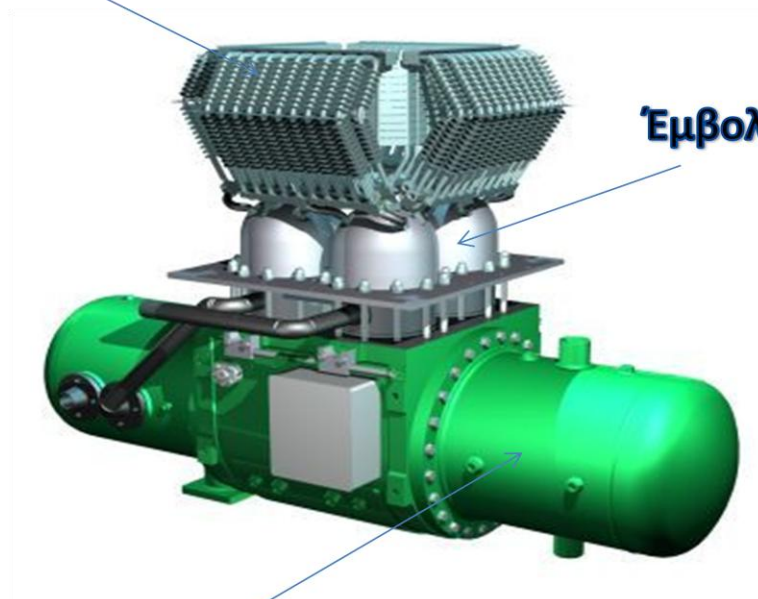


Διάγραμμα 19 : Διάγραμμα ενεργειακών αποτελεσμάτων για πέντε λέβητες, 525-2300kW

Σύμφωνα με την οικονομική προσφορά της εταιρίας Stirling DK η αγορά μίας τέτοιας μηχανής για προσαρμογή σε υπάρχοντα λέβητα κοστίζει περίπου στις 150.000 – 160.000€ και στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται τα απαραίτητα για τη σύνδεση και ο πίνακας ελέγχου αλλά όχι η μεταφορά των μηχανών από την χώρα κατασκευής, δηλαδή τη Δανία. Ταυτόχρονα η εταιρία αναφέρει ότι γίνονται προσπάθειες να μειωθεί το κόστος παραγωγής το μηχανών, μέσω της αύξησης της παραγωγής, ώστε αυτές να γίνουν πιο ανταγωνιστικές στο μέλλον.

Για την αξιολόγηση της επένδυσης δημιουργήθηκε ένας πίνακας στο Excel, τον οποίο τροφοδοτούμε με όλα τα οικονομικά δεδομένα και μας υπολογίζει αν η επένδυση είναι συμφέρουσα ή όχι. Ταυτόχρονα γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για διάφορες παραμέτρους, όπως η τιμή αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος από το δίκτυο, το ποσοστό δανείου που πρέπει να πάρει ο παραγωγός κ.α.

**Θερμαντήρας**



**Ερμητικά κλειστό κέλυφος**

Εικόνα 20: Εικόνα μηχανής Stirling (StirlingDk)

### **5.1.2 Οικονομική Αξιολόγηση**

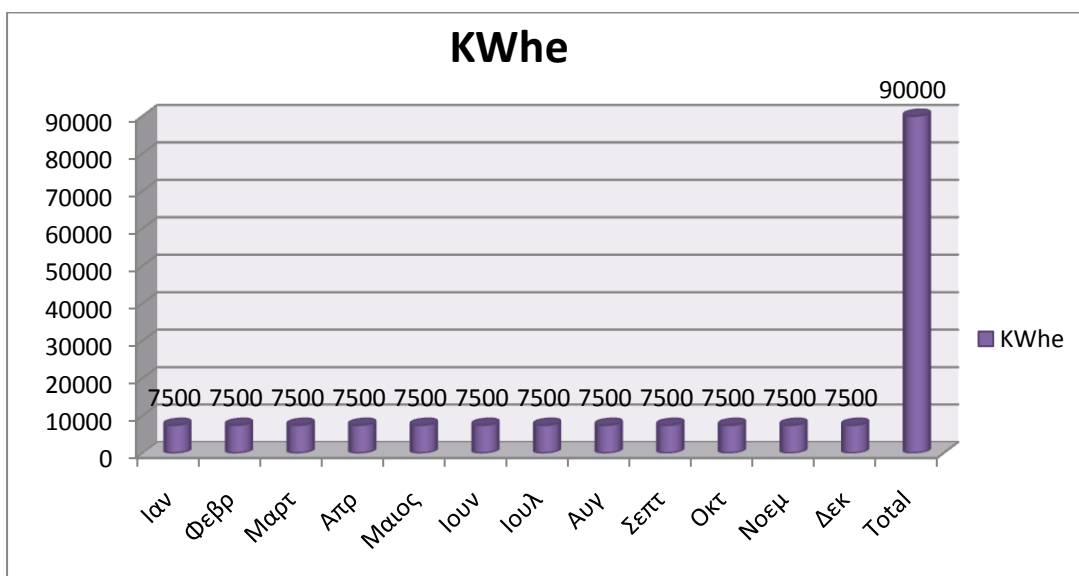
Για να φτάσουμε στο σημείο να αποφασίσουμε κατά πόσο μια επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει πρώτα να γίνουν αρκετοί υπολογισμοί και να χρησιμοποιηθούν οικονομικές συναρτήσεις. Σημαντικό εργαλείο στη προσπάθεια αυτή αποτελεί το Excel στη βιβλιοθήκη του οποίου συναντάμε πλήθος οικονομικών συναρτήσεων. Από αυτές επιλέγουμε τη συνάρτηση xNPV και την xIRR και όχι τις συνηθισμένες NPV και IRR, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.

#### Παραδοχές – Στοιχεία οικονομικής μελέτης:

1. Καθώς η μετατροπή των λεβήτων κρίνεται ενεργειακά μη συμφέρουσα, αφού θα διαταράξει την ομαλή λειτουργία των λεβήτων, μελετάται η αγορά νέων λεβήτων βιομάζας, ίδιας περίπου δυναμικότητας από την ελληνική αγορά, οι οποίοι θα κατασκευαστούν από την αρχή με τις απαιτούμενες μετατροπές που απαιτούνται για την λειτουργία σε συνδυασμό με τις μηχανές. Αγορά τριών λεβήτων ξύλου, δυναμικότητας 525kW με κόστος:  $3 \cdot 15.000 = 45.000 \text{€}$  ενώ τα λοιπά έξοδα της εγκατάστασης λογαριάζονται περίπου **40.000 €** αφού ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετά μηχανολογικά εξαρτήματα από την υπάρχουσα εγκατάσταση, όπως αντλίες, δοχεία διαστολής, ηλεκτροβάννες κτλ, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και την αγορά μονωμένης δεξαμενής για την αποθήκευση του θερμού νερού. Με την αγορά νέων λεβήτων επίσης, η μονάδα κρίνεται πλέον πιο συμφέρουσα ενεργειακά, αφού για τον υπολογισμό των ενεργειακών συντελεστών,

λαμβάνονται πλέον από πίνακες, τιμές που αφορούν εγκαταστάσεις κατασκευασμένες το έτος 2011 και άρα με μηδενική παλαιότητα.

2. Εγκατάσταση τριών μηχανών Stirling της εταιρίας Stirling DK με τιμή αγοράς 150.000€ έκαστη (συμπεριλαμβάνοντας όλα τα απαραίτητα για την εγκατάσταση) με συνολικό κόστος:  $3 \cdot 150.000 = 450.000\text{€}$
3. Με εγκατάσταση των μηχανών Stirling αυξάνονται πλέον οι ηλεκτρικές καταναλώσεις της μονάδας, αφού αυτή είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί όλο το χρόνο, με διαθεσιμότητα 91%, δηλαδή 8000hr, όσος χρόνος απαιτείται ανάμεσα στα διαστήματα συντήρησης των μηχανών. Για την κάλυψη των αναγκών αυτών αγοράζεται ρεύμα από τη ΔΕΗ με προσεγγιστική τιμή 50€/MWh αφού γίνεται έκπτωση περίπου 60% στο τιμολόγιο επαγγελματικής χρήσης (115,29 €/MWh) για να μετατραπεί σε αγροτική τιμολόγηση. Άρα οι καταναλώσεις τώρα θα είναι:



Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ηλεκτρικών καταναλώσεων με την εφαρμογή της μηχανής Stirling και συνεχή λειτουργία των λεβήτων

4. Αγορά μονωμένης δεξαμενής αποθήκευσης του παραγόμενου θερμού νερού δυναμικότητας περίπου 100.000lt με τιμή: **30.000€**
5. Οι μηχανές Stirling ιδιοκαταναλώνουν 2kW ρεύματος, άρα η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς τους μειώνεται κατά 2kW, δηλαδή στα 33kW.
6. Κόστος ηλεκτρομηχανολογικών συνδέσεων: **15.000€**
7. Κόστος σύνδεσης με το δίκτυο: **~ 50.000€**
8. Καθώς η συμπαραγωγική μονάδα παράγει ηλεκτρισμό από βιομάζα, θεωρούμε ποσοστό απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας 100%
9. Σε περίπτωση δανεισμού από τράπεζα, η περίοδος αποπληρωμής του δανείου ορίζεται στα 10 έτη, ενώ το επιτόκιο δανεισμού λογαριάζεται ως 8%

10. Η φορολογία της επένδυσης λογαριάζεται στο 30%
11. Στις περιπτώσεις όπου αναφέρεται επιχορήγηση, αυτή αφορά την κάλυψη του 40% της αρχικής αξίας της επένδυσης, ενώ λογαριάζεται επίσης στη μελέτη και φοροαπαλλαγή της επένδυσης σε ποσοστό 100%, αφού η επένδυση που εξετάζουμε ανήκει στη γεωγραφική ζώνη Γ (Παράρτημα IV).
12. Υπολειμματική αξία της επένδυσης θεωρείται το 10% του κόστους της επένδυσης, ενώ ως χρόνος απόσβεσης του κεφαλαίου λαμβάνονται τα 10 έτη.
13. Η οικονομική ανάλυση λαμβάνει χώρα με ορίζοντα εικοσαετίας αφού τέτοιο είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο ισχύει η σύμβαση πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνοψίζοντας, τα κόστη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Είδος εξόδου	Τιμή (€)
Αγορά λεβήτων	45.000
Έξοδα εγκατάστασης	5.000
Αγορά μηχανών	450.000
Αγορά δεξαμενής	30.000
Κόστος συνδέσεων	15.000
Κόστος σύνδεσης με δίκτυο	50.000
Υποσύνολο	595.000
Προσαύξηση εξόδων και λοιπά έξοδα	5.000
Τελικό σύνολο	600.000

Πίνακας 11: Οικονομικά στοιχεία εγκατάστασης

Για την αξιολόγηση της επένδυσης αναπτύχθηκαν ειδικά φύλλα εργασίας στο Excel, τα οποία εξετάζουν πλήθος οικονομικών παραμέτρων, ενώ αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αναπτύχθηκαν για οποιαδήποτε μορφή συμπαραγωγικής μονάδας και όχι μόνο για τη συγκεκριμένη. Τα δεδομένα τα οποία χρειαζόμαστε να γνωρίζουμε είναι:

- Συνολικό κόστος επένδυσης
- Παραγόμενα kWh
- Συντελεστής εκμετάλλευσης CF
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας ως ποσοστό του συνολικού κόστους επένδυσης
- Ποσοστό φορολογίας, επιτόκιο δανεισμού και επιτόκιο προεξόφλησης
- Ποσοστό απορρόφησης της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο

Και από το πρόγραμμα παίρνουμε τα εξής δεδομένα:

1. xNPV, xIRR
2. Αναλυτικός πίνακας εξόδων – εσόδων και στη περίπτωση δανεισμού και στη περίπτωση χρηματοδότησης με ίδια κεφάλαια
3. Τις οφειλόμενες προς τη τράπεζα δόσεις κάθε έτους
4. Ανάλυση ευαισθησίας ως προς την τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος προς το δίκτυο, όπου μπορούμε να προβλέψουμε την επένδυση σε συνάρτηση με πιθανές αυξήσεις ή μειώσεις στην τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το ποσοστό του δανείου ώστε να καταλήξουμε στην πιο συμφέρουσα επιλογή
6. Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το ποσοστό διαθεσιμότητας των μηχανών ώστε να προβλέψουμε πιθανά έξοδα και έσοδα σε περίπτωση που ο συντελεστής διαθεσιμότητας των μηχανών δεν παραμείνει σταθερός στο 91% (8,000hr/year), όπως λογίζεται αρχικά.

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων:



### Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Ίδια κεφάλαια, χωρίς επιχορήγηση

Στον πίνακα παρουσιάζεται η πλήρης οικονομική ανάλυση ανά έτος, η οποία υπολογίζει τα έσοδα, τα έξοδα, τις δόσεις του δανείου, την απόσβεση του κεφαλαίου, το επιτόκιο του δανείου, τις δόσεις του δανείου καθώς και την τελική ταμειακή ροή είτε αυτή είναι θετική είτε αρνητική.

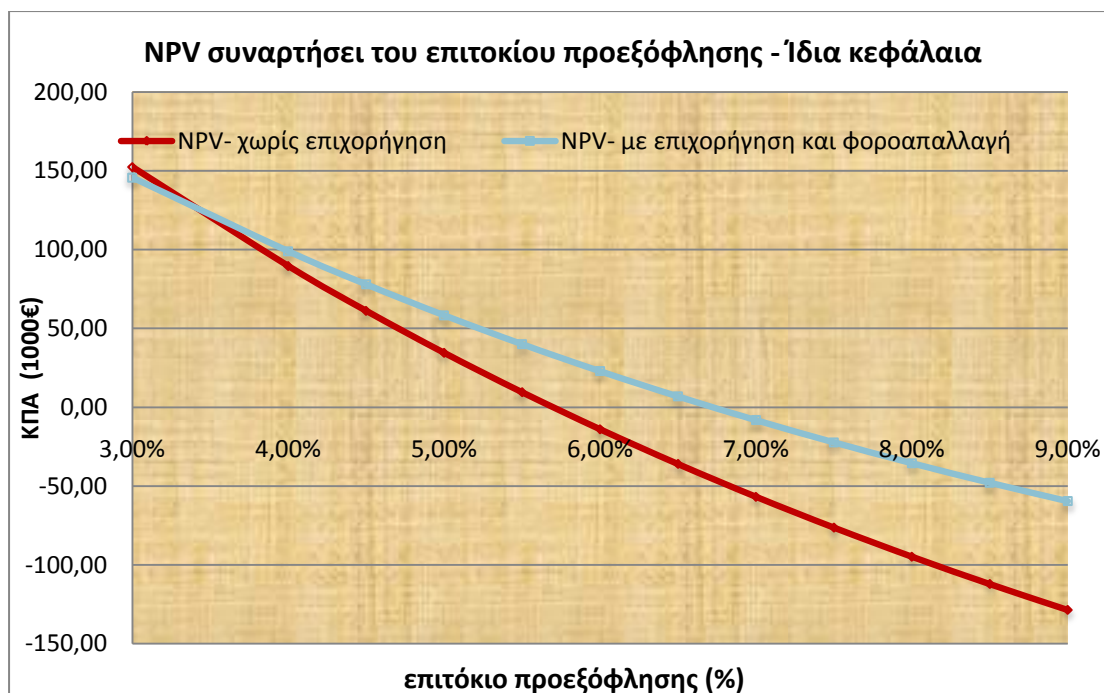
FINANCIAL ANALYSIS (thousand €)								
Year	Income	Oper.Cost	Interest	Depreciation	Profit (before tax)	Net profit	Loan refund	Net Cash flow
0								-600,00
1	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
2	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
3	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
4	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
5	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
6	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
7	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
8	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
9	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
10	182	126,07	0,00	60,00	-4,56	-4,56	0,00	55,44
11	182	126,07			55,44	38,81		38,81
12	182	126,07			55,44	38,81		38,81
13	182	126,07			55,44	38,81		38,81
14	182	126,07			55,44	38,81		38,81
15	182	126,07			55,44	38,81		38,81
16	182	126,07			55,44	38,81		38,81
17	182	126,07			55,44	38,81		38,81
18	182	126,07			55,44	38,81		38,81
19	182	126,07			55,44	38,81		38,81
20	182	126,07			55,44	38,81		98,81
	x NPV=	89,54				x IRR=	5,70%	

Πίνακας 12: Πίνακας οικονομικής ανάλυσης

Υπολογισμός της Καθαρής παρούσας αξίας ( ΚΠΑ) σε συνάρτηση με το επιτόκιο προεξόφλησης:

Επιτόκιο προεξόφλησης	χωρίς επιχορήγηση	με επιχορήγηση
	NPV (1000 €)	NPV (1000 €)
3,00%	152,32	145,68
4,00%	89,54	98,95
4,50%	61,12	77,94
5,00%	34,50	58,33
5,50%	9,52	40,02
6,00%	-13,94	22,90
6,50%	-35,99	6,88
7,00%	-56,74	-8,13
7,50%	-76,28	-22,20
8,00%	-94,70	-35,40
8,50%	-112,08	-47,81
9,00%	-128,49	-59,47

Πίνακας 13: ΚΠΑ σε συνάρτηση με το επιτόκιο προεξόφλησης



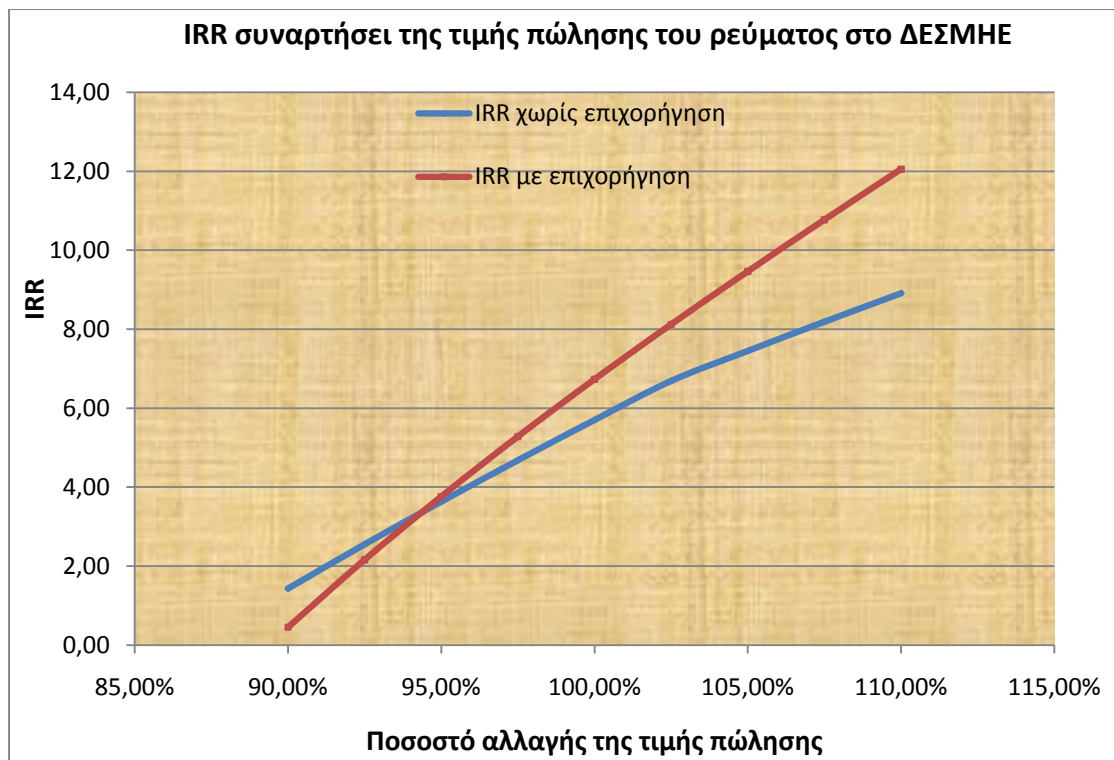
Διάγραμμα 21: ΚΠΑ σε συνάρτηση με το επιτόκιο

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση ευαισθησίας ως προς πλήθος παραμέτρων ώστε να μπορεί να προβλεφθεί το μέλλον της επένδυσης ακόμα και να μεταβληθούν βασικές παράμετροι.

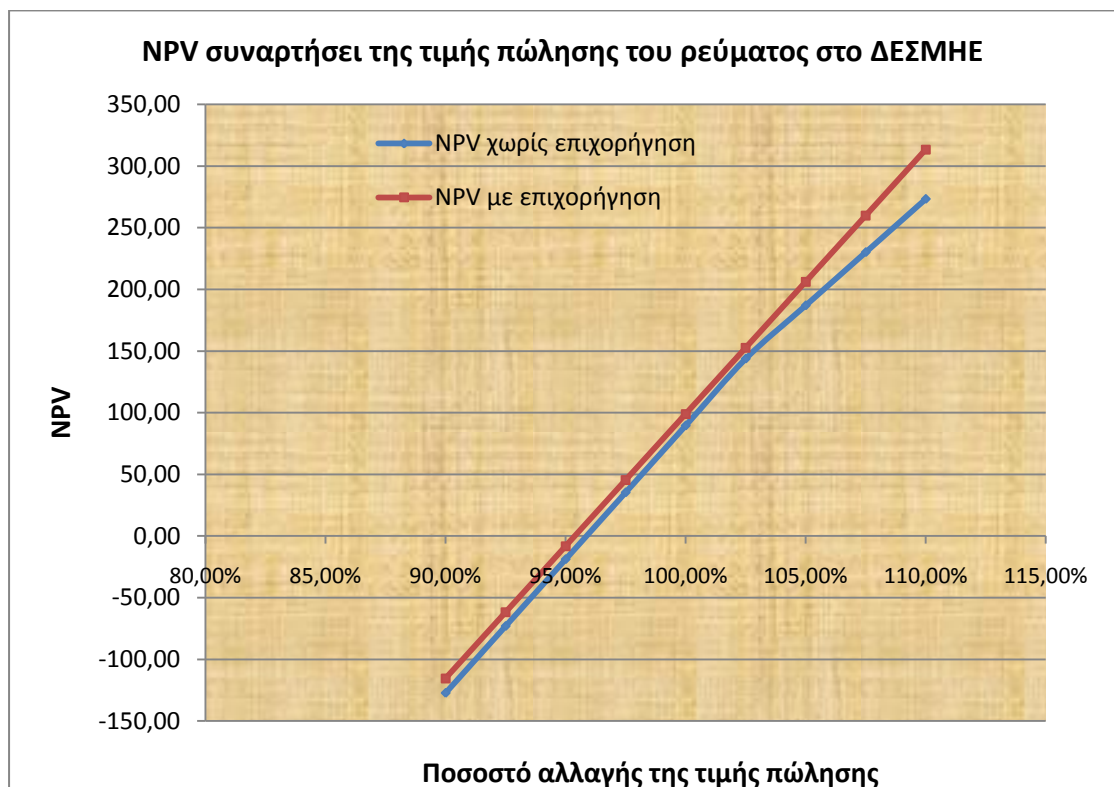
Ανάλυση 1: Μεταβολή στην τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος ( $\pm 10\%$ )

Συντελεστής ευαισθησίας	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
	NPV	IRR	NPV	IRR
90,00%	-127,26	1,43	-115,50	0,45
92,50%	-73,06	2,55	-61,89	2,16
95,00%	-18,86	3,63	-8,28	3,76
97,50%	35,34	4,68	45,34	5,28
100,00%	<b>89,54</b>	<b>5,70</b>	<b>98,95</b>	<b>6,73</b>
102,50%	143,74	6,69	152,57	8,12
105,00%	186,95	7,45	206,18	9,46
107,50%	230,11	8,19	259,79	10,77
110,00%	273,27	8,91	313,41	12,05

Πίνακας 14: NPV και IRR σε συνάρτηση με τη τιμή πώλησης του παραγόμενου ρεύματος



Διάγραμμα 22: IRR σε συνάρτηση με τη τιμή πώλησης του παραγόμενου ρεύματος

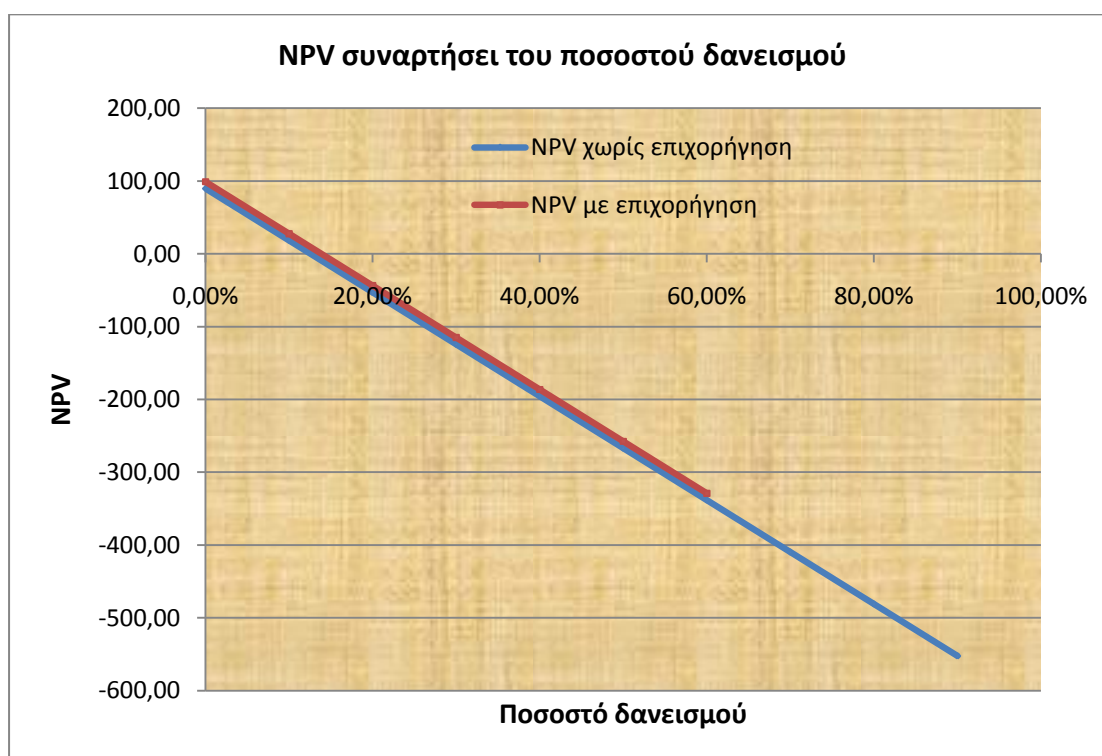


Διάγραμμα 23: NPV σε συνάρτηση με τη τιμή πώλησης του παραγόμενου ρεύματος

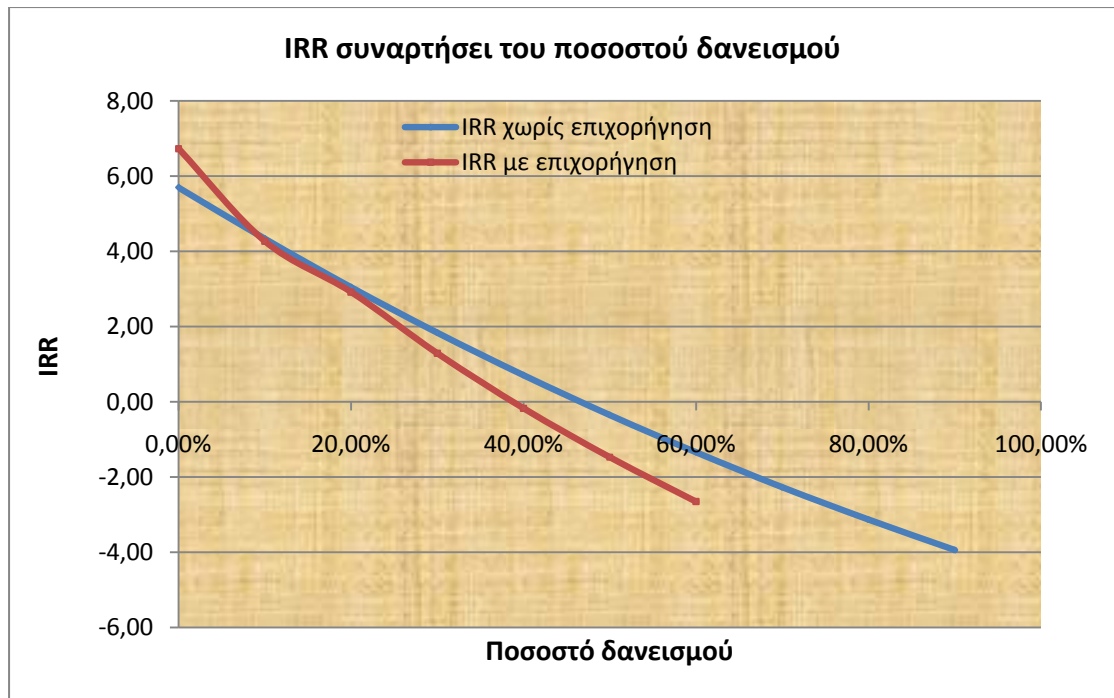
## Ανάλυση 2: Μεταβολή στο ποσοστό δανεισμού

Ποσοστό δανεισμού	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
	NPV	IRR	NPV	IRR
0,00%	89,54	5,70	98,95	6,73
10,00%	18,21	4,34	27,62	4,27
20,00%	-53,11	3,05	-43,70	2,92
30,00%	-124,44	1,84	-115,03	1,29
40,00%	-195,77	0,71	-186,36	-0,17
50,00%	-267,09	-0,35	-257,68	-1,47
60,00%	-338,42	-1,34	-329,01	-2,65
70,00%	-409,75	-2,27		
80,00%	-481,08	-3,13		
90,00%	-552,40	-3,94		

Πίνακας 15: NPV και IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό δανεισμού



Διάγραμμα 24: NPV σε συνάρτηση με το ποσοστό δανεισμού

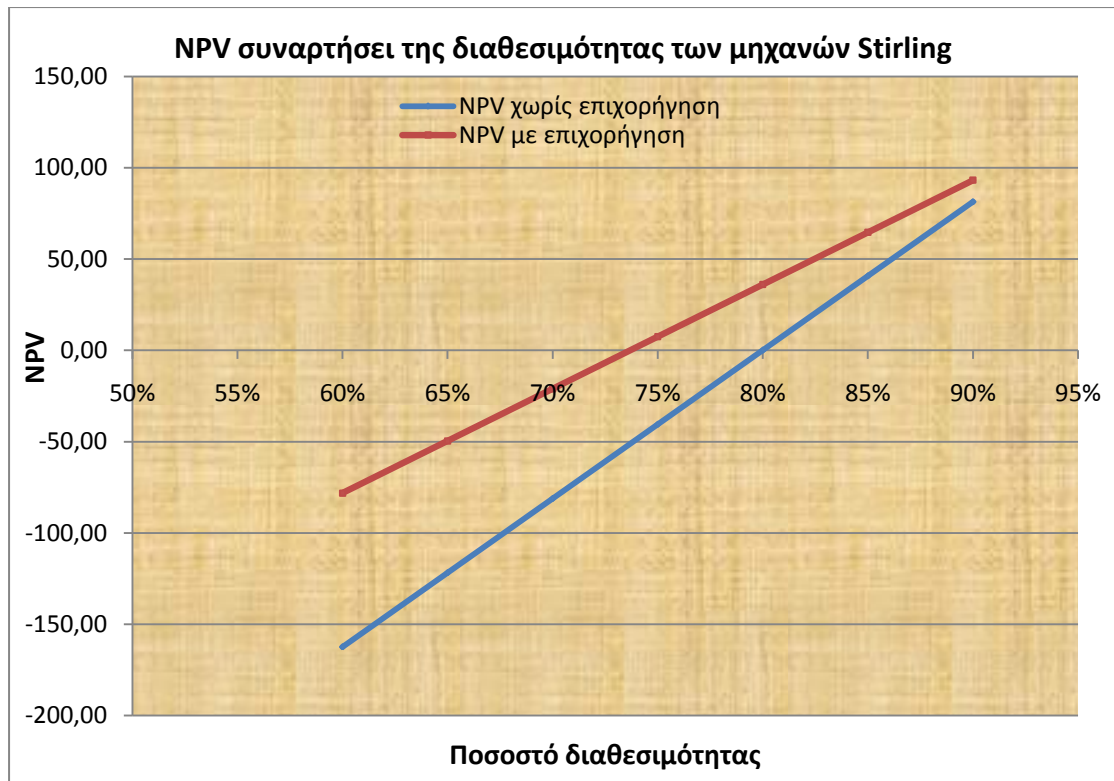


Διάγραμμα 25: IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό δανεισμού

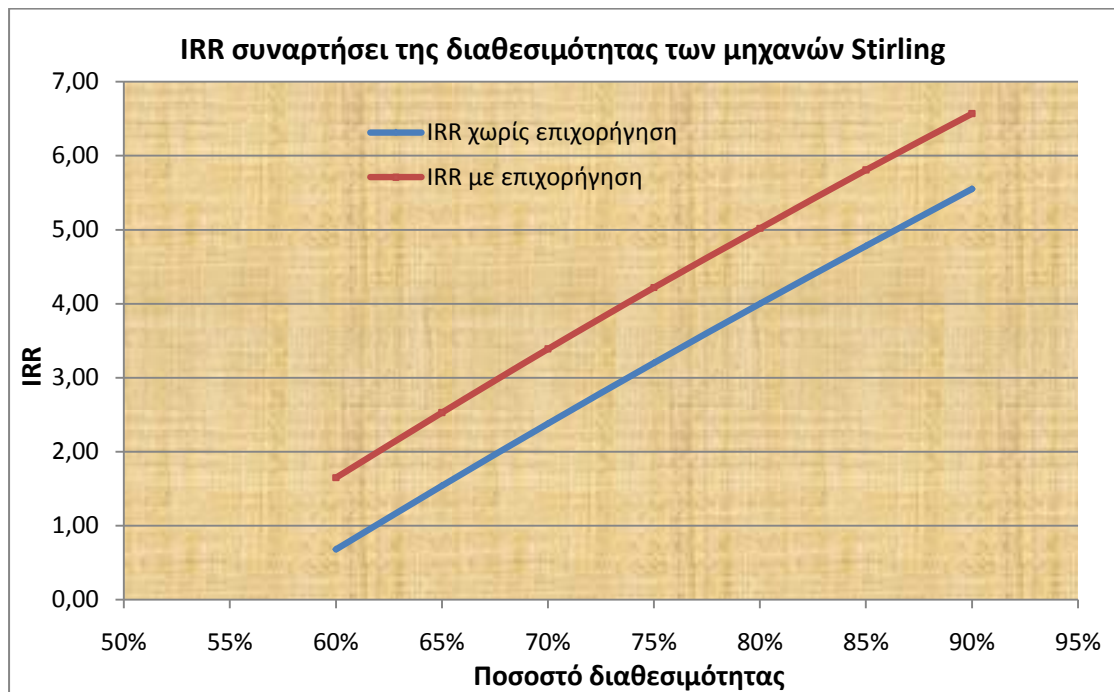
Ανάλυση 3: Μεταβολή στο ποσοστό διαθεσιμότητας των μηχανών Stirling (Ίδια Κεφάλαια)

Ωρες	Ποσοστό διαθεσιμότητας	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
		NPV	IRR	NPV	IRR
5256	60%	-162,48	0,68	-78,16	1,65
5694	65%	-121,83	1,54	-49,59	2,53
6132	70%	-81,19	2,38	-21,03	3,39
6570	75%	-40,54	3,20	7,54	4,22
7008	80%	0,11	4,00	36,11	5,02
7446	85%	40,76	4,78	64,67	5,81
7884	90%	81,41	5,55	93,24	6,57

Πίνακας 16: NPV και IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό διαθεσιμότητας των μηχανών Stirling



Διάγραμμα 26: NPV σε συνάρτηση με το ποσοστό διαθεσιμότητας των μηχανών Stirling

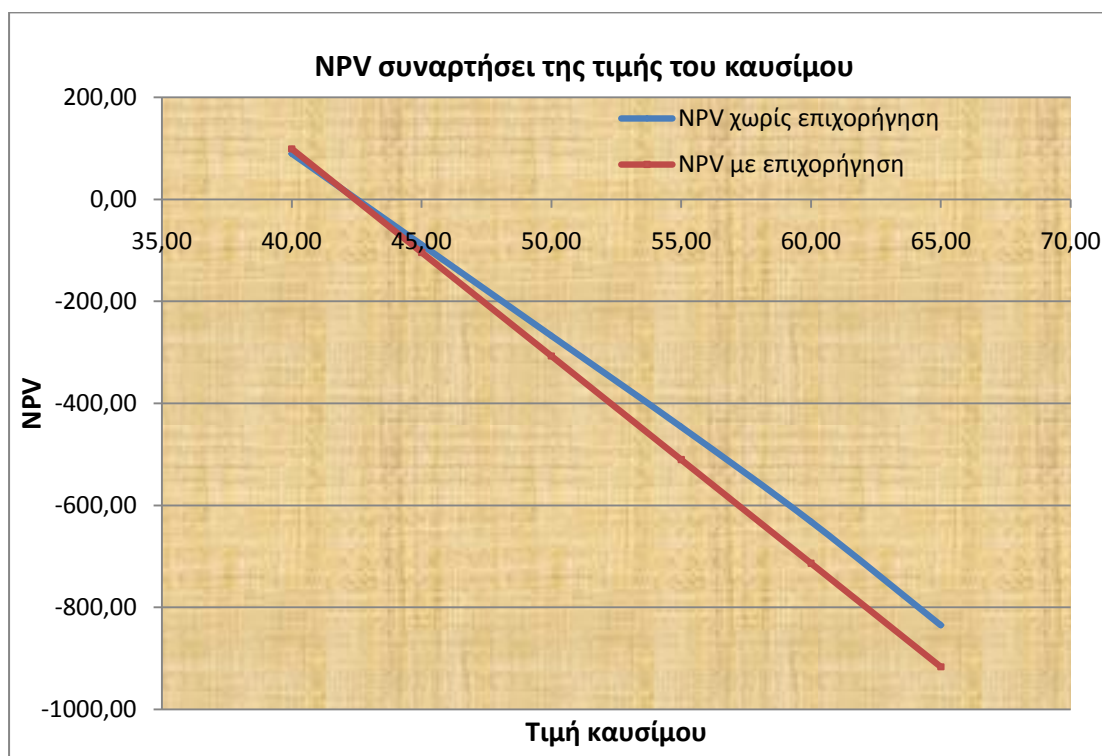


Διάγραμμα 27: IRR σε συνάρτηση με το ποσοστό διαθεσιμότητας των μηχανών Stirling

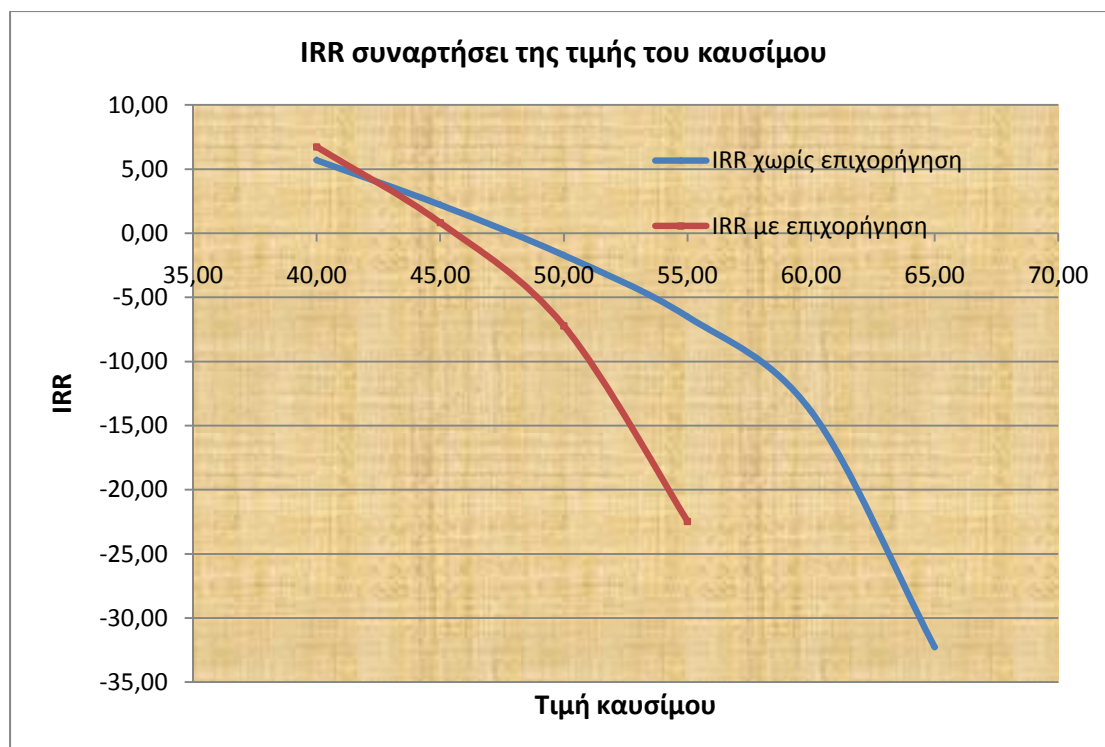
Ανάλυση 4: Μεταβολή στη τιμή του καυσίμου (τιμή σε €/tn)

	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
Τιμή καυσίμου	NPV	IRR	NPV	IRR
40,00	89,54	5,70	98,95	6,73
45,00	-88,98	2,22	-104,13	0,82
50,00	-267,51	-1,71	-307,21	-7,23
55,00	-446,03	-6,49	-510,30	-22,47
60,00	-631,70	-13,87	-713,38	
65,00	-834,78	-32,26	-916,46	

Πίνακας 17: NPV και IRR σε συνάρτηση με τη τιμή του καυσίμου



Διάγραμμα 28: NPV σε συνάρτηση με τη τιμή του καυσίμου



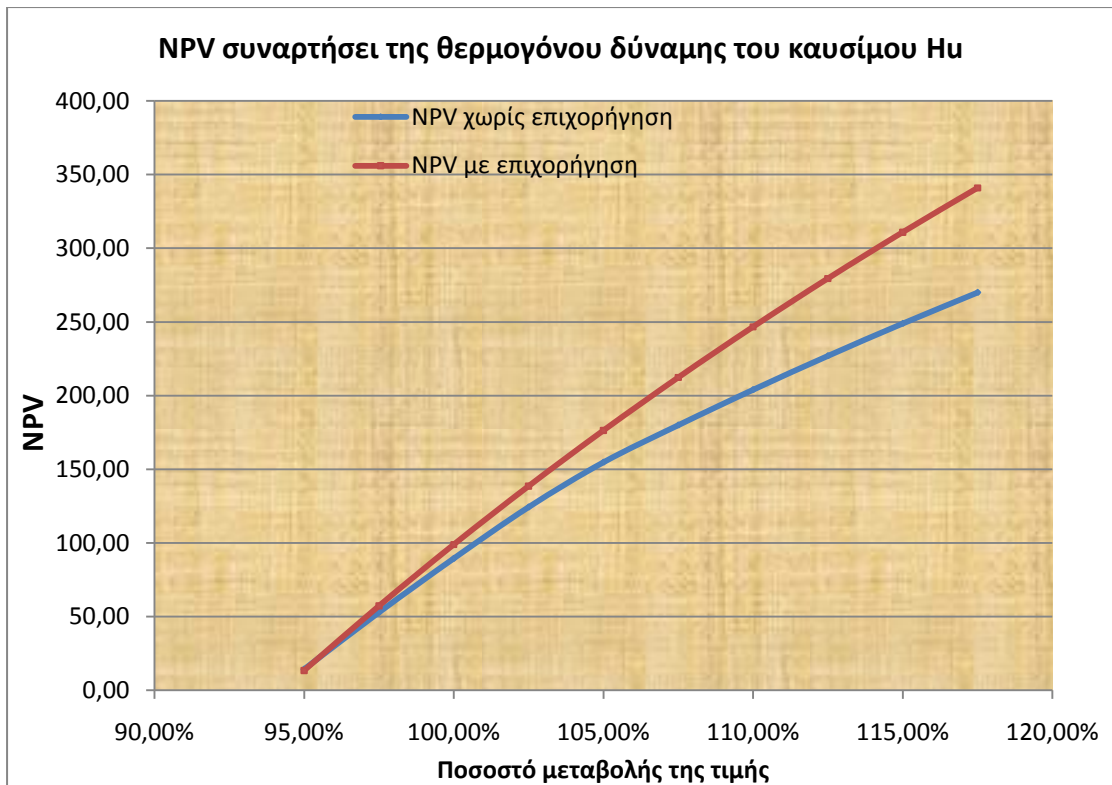
Διάγραμμα 29: IRR σε συνάρτηση με τη τιμή του καυσίμου

Ανάλυση 5: Μεταβολή στη τιμή της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου  $H_u$  (kJ/kg)

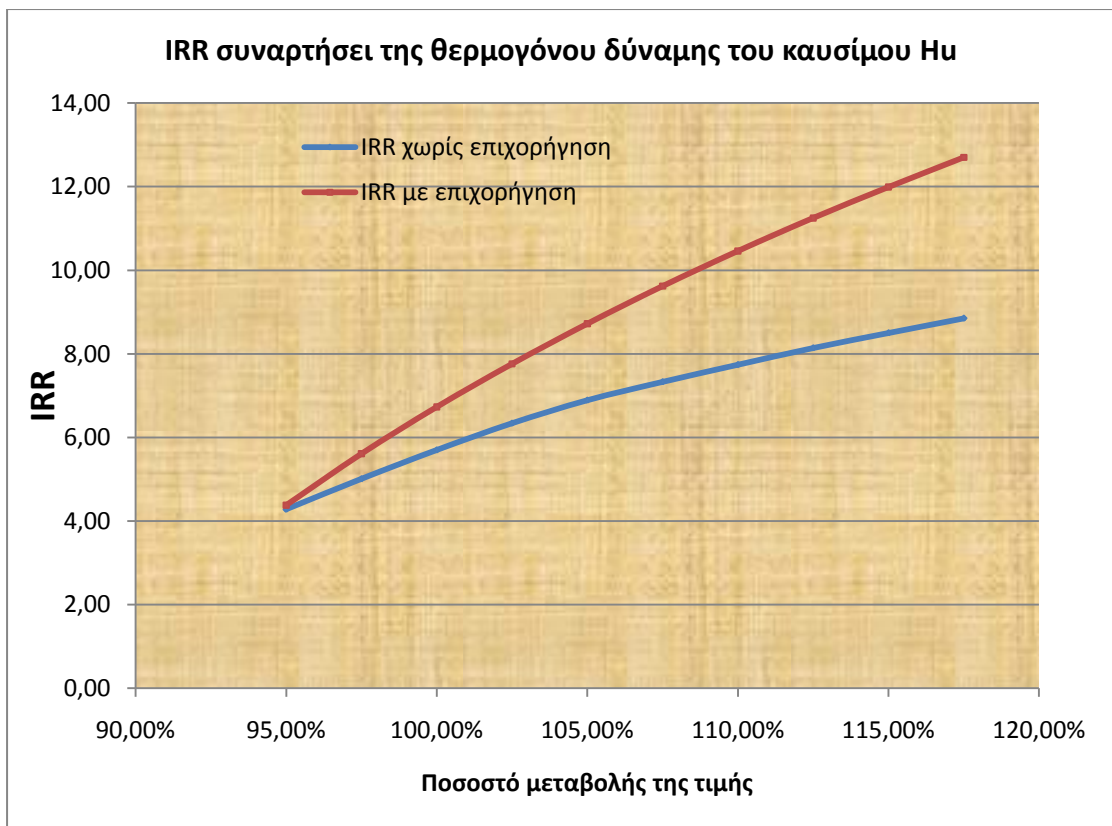
Θερμογόνος δύναμη $H_u$ (kJ/kg)	Συντελεστής ευαισθησίας	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
		NPV	IRR	NPV	IRR
16488,20	95,00%	14,37	4,28	13,44	4,38
16922,10	97,50%	52,92	5,01	57,29	5,61
17356,00	100,00%	89,54	5,70	98,95	6,73
17789,90	102,50%	124,37	6,34	138,58	7,76
18223,80	105,00%	154,79	6,89	176,32	8,72
18657,70	107,50%	179,98	7,33	212,30	9,62
19091,60	110,00%	204,02	7,74	246,65	10,46
19525,50	112,50%	227,00	8,14	279,47	11,25
19959,40	115,00%	248,97	8,50	310,86	11,99
20393,30	117,50%	270,01	8,85	340,92	12,70

Πίνακας 18: NPV και IRR σε συνάρτηση με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου





Διάγραμμα 30: NPV σε συνάρτηση με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου

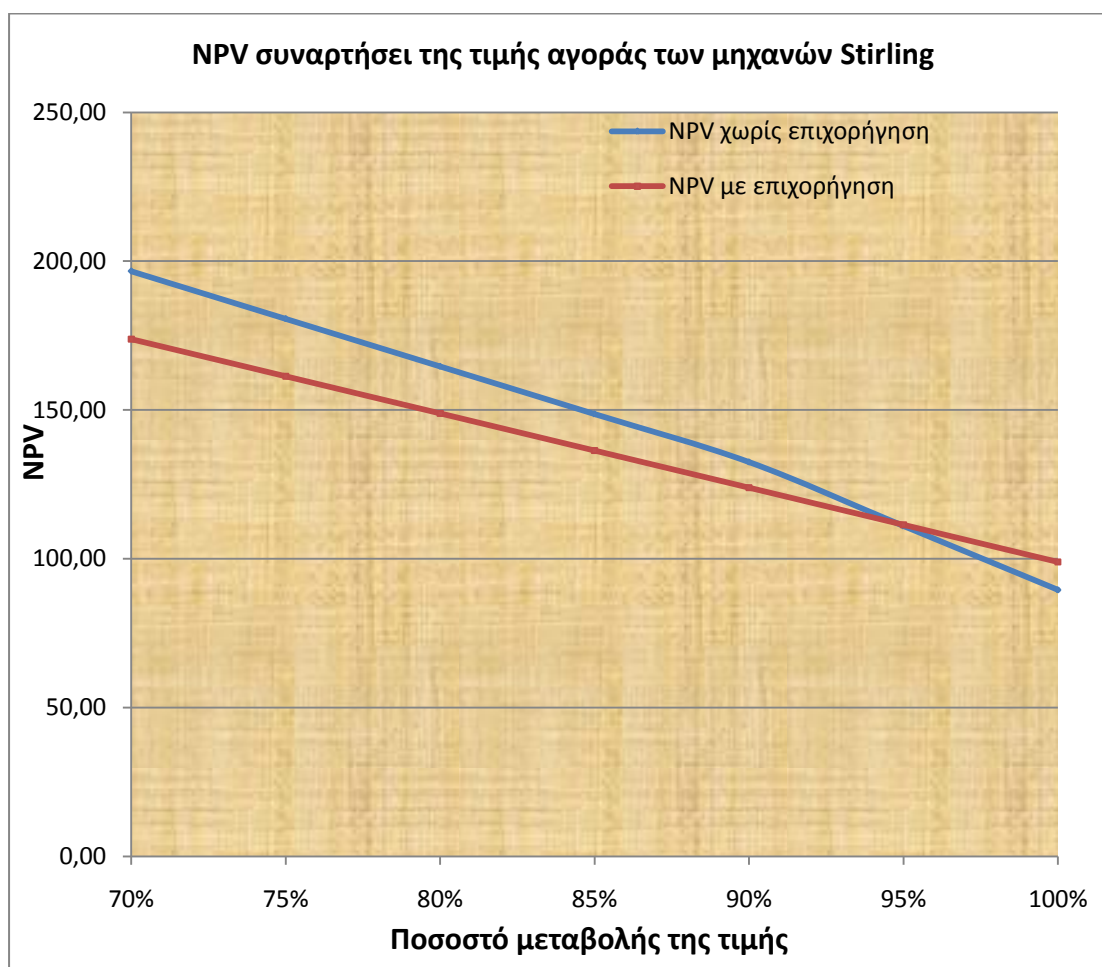


Διάγραμμα 31: IRR σε συνάρτηση με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου

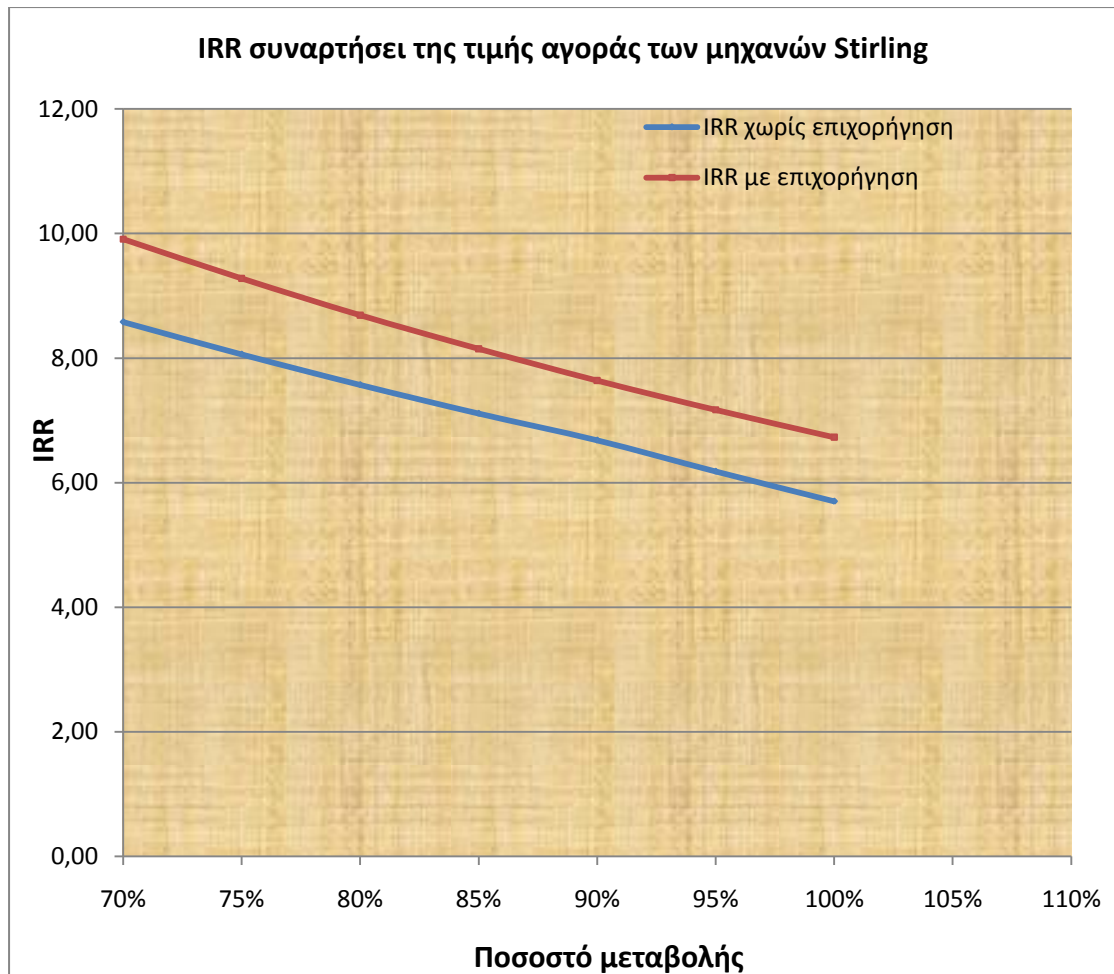
### Ανάλυση 6: Μεταβολή στη τιμή αγοράς των μηχανών Stirling

€/kW	Συντελεστής ευαισθησίας	χωρίς επιχορήγηση		με επιχορήγηση	
		NPV	IRR	NPV	IRR
4429	70%	196,63	8,58	173,79	9,91
4643	75%	180,63	8,06	161,32	9,28
4857	80%	164,63	7,57	148,85	8,69
5071	85%	148,63	7,11	136,37	8,15
5286	90%	132,49	6,68	123,90	7,64
5500	95%	111,01	6,18	111,43	7,17
5714	100%	89,54	5,70	98,95	6,73

Πίνακας 19: NPV και IRR συναρτήσει της τιμής αγοράς των μηχανών Stirling



Διάγραμμα 32: NPV συναρτήσει της τιμής αγοράς των μηχανών Stirling



Διάγραμμα 33: IRR συναρτήσει της τιμής αγοράς των μηχανών Stirling

### **5.1.3 Συμπεράσματα**

1. Σύμφωνα με το νέο νόμο, για εγκαταστάσεις μικρότερες του 1MWe η διαδικασία μελέτης, αδειοδότησης και εγκατάστασης ενός σταθμού συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα επιταχύνεται σημαντικά και φαίνεται να μην αποτελεί πλέον τροχοπέδη στην πραγματοποίηση τέτοιων επενδυτικών σχεδίων.(Παράρτημα II)
2. Οι επενδύσεις αυτές παρουσιάζονται ιδιαίτερα θελκτικές, κυρίως λόγω της υψηλής τιμής πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο, αλλά και του ιδιαίτερα υψηλού ποσοστού απορρόφησης από αυτό.
3. Όπως φαίνεται και στον πίνακα η επένδυση που εξετάζουμε παρουσιάζει NPV 89,54 χιλιάδες ευρώ αν το σχέδιο εκτελεστεί χωρίς κρατική επιχορήγηση και 98,95 χιλιάδες ευρώ αν χρηματοδοτηθεί κατά 40% με βάση τα κρατικά επενδυτικά

σχέδια. Η διαφορά αυτή δεν οφείλεται τόσο στο γεγονός ότι το κράτος καλύπτει το 40% του κόστους της επένδυσης, όσο στο ποσοστό της φοροαπαλλαγής που προσφέρεται στον επενδυτή. Όπως αναφέρεται και στο επενδυτικό σχέδιο 'Το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα» (ΕΠ.Α.Ε.)' το ποσοστό απαλλαγής από την φορολογία είναι 100%, οπότε τα υπολογιζόμενα έσοδα αυξάνουν κατά 30%, όσο είναι δηλαδή η φορολογία στην περίπτωση της χρηματοδότησης της επένδυσης με ίδια κεφάλαια. (Παράρτημα IV)

4. Όσον αφορά στις αστάθμητες παραμέτρους οι οποίες δύνανται να θέσουν σε οικονομικό κίνδυνο την επένδυση και οι οποίες έχουν αναλυθεί στα ανωτέρω διαγράμματα, το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στη μεταβολή του ποσοστού διαθεσιμότητας των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Διάγραμμα 26, 27). Παρατηρούμε πως αν το ποσοστό διαθεσιμότητας πέσει από το υποτιθέμενο 91% (8000hr/year) περίπου στο 80% (7000hr/year) τότε η NPV μηδενίζεται και μετατρέπεται άμεσα σε οικονομικά μη συμφέρουσα επένδυση. Αυτό οφείλεται στη μέγιστη συνεισφορά που έχουν οι ηλεκτροπαραγωγικές μηχανές στα έσοδα της επένδυσης αφού αυτές αποτελούν τον απόλυτο οικονομικό παράγοντα εσόδων. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται ώστε να εξασφαλίζονται οι ελάχιστες ώρες λειτουργίας των μηχανών, ενώ αν αυτό δεν είναι δυνατό για κάποιο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να εξεταστεί κατά πόσο συμφέρει η διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Εάν το πρόβλημα της διαθεσιμότητας εμφανιστεί κατά το εξάμηνο μεταξύ Οκτωβρίου και Μαρτίου τότε η διακοπή της λειτουργίας είναι αδύνατη, αφού το θερμοκήπιο θα πρέπει να θερμανθεί ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η παραγωγή των προϊόντων ακόμα και αν η λειτουργία δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα. Διαφορετική είναι η κατάσταση το υπόλοιπο εξάμηνο λειτουργίας, αφού οι ανάγκες για θέρμανση είναι λιγότερες ή μηδαμινές και θα ήταν εφικτή κάποια διακοπή της λειτουργίας για συντήρηση ή επίλυση προβλημάτων που τυχόν προκύψουν.
5. Στην οικονομική ανάλυση που προηγήθηκε καίριο ρόλο παίζει η χρήση της μονωμένης δεξαμενής αποθήκευσης του παραγόμενου θερμού νερού. Η ιδέα αυτή πρωτοεμφανίστηκε σε θερμοκηπιακές μονάδες συμπαραγωγής στην Ολλανδία, ενώ δεν εφαρμόζεται ευρέως στην ελληνική αγορά, αφού οι λέβητες λειτουργούν μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση, δηλαδή 6-8 ώρες ημερησίως και διοχετεύουν το θερμό νερό στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Αντίθετα στις μονάδες συμπαραγωγής όπου οι λέβητες λειτουργούν ακατάπαυστα, η ανάγκη για αποθήκευση του θερμού νερού είναι μεγαλύτερη, όχι μόνο γιατί συντελεί στη μείωση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον, αλλά γιατί ταυτόχρονα επιδιορθώνει τα προβλήματα της διαφορετικής παροχής και θερμοκρασίας του θερμού νερού. Οι λέβητες παράγουν θερμό νερό το οποίο αντλείται με μεγάλες παροχές (40m<sup>3</sup>/hr για μονάδες < 3 στρεμμάτων και 60 m<sup>3</sup>/hr για μονάδες >5 στρεμμάτων) και σε θερμοκρασίες 70-90 °C, ενώ οι μηχανές Stirling μπορούν να δώσουν παροχές μέχρι 5 m<sup>3</sup>/hr σε θερμοκρασίες 45-80 °C. Αποθηκεύοντας το θερμό νερό σε μια μεγάλης χωρητικότητας μονωμένη δεξαμενή (≈100.000lit) αυξάνεται η διαθεσιμότητα του αφού τότε μπορεί το θερμοκήπιο να θερμανθεί

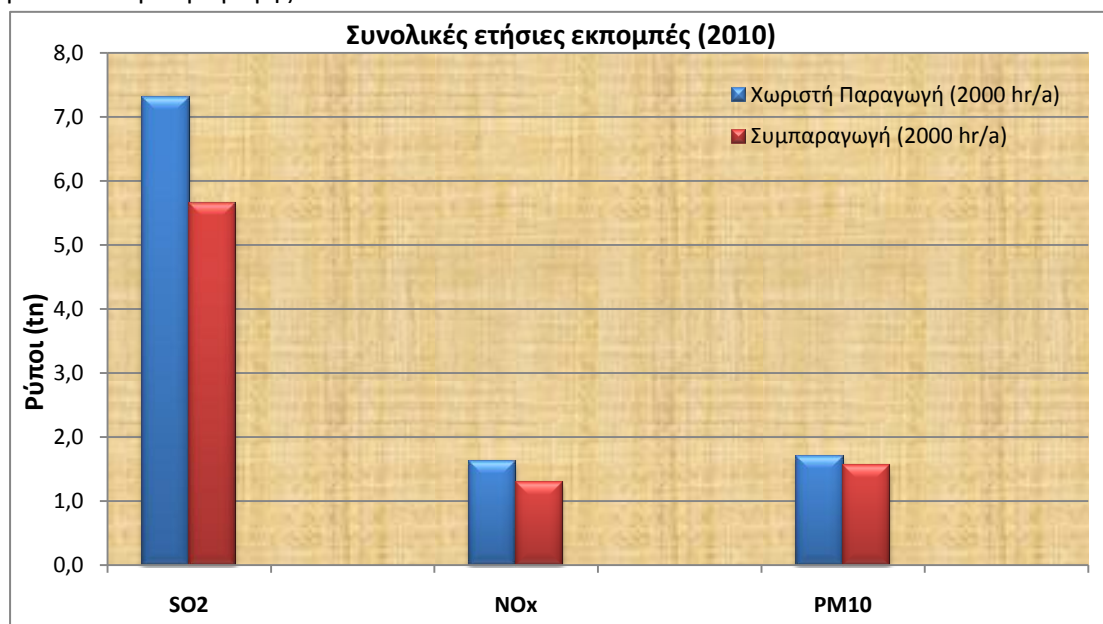
άμεσα με την απαιτούμενη θερμότητα χωρίς να αναμένεται να φτάσουν οι λέβητες στο κανονικό σημείο λειτουργίας.

6. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία που αφορούν το καύσιμο υπολογίστηκαν με σημερινές τιμές και ποσοστά διαθεσιμότητας κάτι που φυσικά φαντάζει αδύνατο να διατηρηθεί το ίδιο με την πάροδο του χρόνου. Εξαιρετικά σημαντική επίπτωση φέρει και όποια υποτιθέμενη αύξηση στην τιμή του καυσίμου, αφού όπως διαφαίνεται και από τα διαγράμματα 28,29 μόλις η τιμή διαμορφωθεί στα 45€/tn η επένδυση παύει να συμφέρει, ενώ πιθανή μεταβολή της στα 65€/tn εκτοξεύει την τιμή της NPV στις -835 χιλ. ευρώ. Όσον αφορά το ποσοστό διαθεσιμότητας του ξύλου, πρόβλεψη για το μέλλον δεν μπορεί να γίνει και έτσι θεωρούμε ότι αυτό δεν θα διαμορφωθεί σημαντικά στο μέλλον. Φυσικά μια ξαφνική μεταβολή στην τιμή του καυσίμου μπορεί να καλυφθεί από το επιπλέον κόστος που έχουμε θεωρήσει ως λοιπά έξοδα στο αρχικό κεφάλαιο (40.000€)
7. Άξιο αναφοράς είναι ακόμη το γεγονός ότι σύμφωνα με τον πίνακα, η μεταβολή στη τιμή αγοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο έχει, συγκρινόμενη με τους άλλους παράγοντες, τη μικρότερη μεταβολή στο οικονομικό ισοζύγιο της επένδυσης, αφού οι παραγόμενες ηλεκτρικές kWh παραμένουν σταθερές και άρα μεταβάλλονται τα έσοδα σε μικρό βαθμό.
8. Τέλος, παρουσιάζουμε τις δύο θεωρητικά πιο ακραίες περιπτώσεις, με την ευνοϊκότερη να δίνει  $NPV=313,41$  χιλ. € (με επιχορήγηση και αύξηση της τιμής πώληση του ρεύματος κατά 10%) και τη δυσμενέστερη να δίνει  $NPV=-916,46$  χιλ. € (με επιχορήγηση, αύξηση της τιμής του καυσίμου κατά 60%)
9. Σε περίπτωση που ο παραγωγός επιθυμεί να διαφοροποιήσει κάποιο από τα δεδομένα της μελέτης, είτε αυτό είναι κάποιος συντελεστής είτε κάποιο από τα βασικά δεδομένα της μελέτης, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των λεβήτων ή τον αριθμό των μηχανών Stirling, οι οικονομικοί παράμετροι που αναπτύχθηκαν στο Excel στο πλαίσιο της εργασίας αυτής είναι σε θέση να δώσουν μια πλήρη οικονομική ανάλυση των νέων δεδομένων.
10. Τέλος, στην οικονομική μελέτη δεν έχουν συμπεριληφθεί τα έσοδα από την πώληση των παραγόμενων προϊόντων του θερμοκηπίου αφού η επένδυση κρίνεται οικονομικά από την ενεργειακή σκοπιά. Σε περίπτωση που η επένδυση εμφανίζει κάποιο έτος ζημιά και όχι κέρδος, η διαφορά αυτή θα μπορούσε εύκολα να καλυφθεί από τα έσοδα της παραγωγής, αφού δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η μονάδα λειτουργεί κερδοφόρα εδώ και πολλά έτη και η επένδυση αυτή εξετάζεται από διαφορετική σκοπιά. Σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr)) η προσφορά συνεχούς θέρμανσης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όποτε αυτή είναι αναγκαία, χωρίς κανένα περιορισμό κόστους, όπως αυτό εξετάζεται στη μονάδα συμπαραγωγής, είναι σε θέση να προσφέρει αύξηση της παραγόμενης παραγωγής τουλάχιστον κατά 30%, δείκτης που θα οδηγήσει σε αύξηση των εσόδων από την πώληση των παραγόμενων προϊόντων το ελάχιστο κατά 25-35%, διαμορφώνοντας έτσι τους οικονομικούς δείκτες της μελέτης.

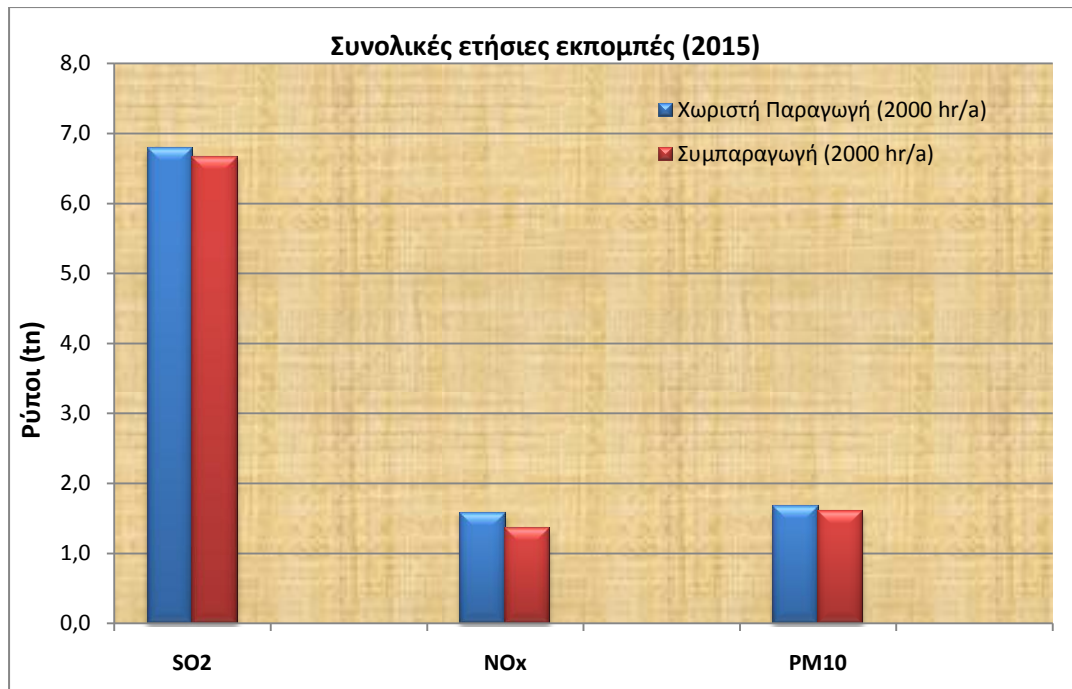
#### 5.1.4 Περιβαλλοντική Ανάλυση

Για λόγους πληρότητας της μελέτης οφείλουμε να εξετάσουμε την επένδυση αυτή όχι μόνο από την οικονομική αλλά και από την περιβαλλοντική σκοπιά, δηλαδή κατά πόσο υπάρχει περιβαλλοντικό όφελος στην περίπτωση εφαρμογής μιας μονάδας συμπαραγωγής σε σχέση με την αρχική χωριστή παραγωγή. Εξετάζουμε τρία σενάρια λειτουργίας, αρχικά δύο θεωρητικά και τελικά αυτό που ανταποκρίνεται στην πραγματική .

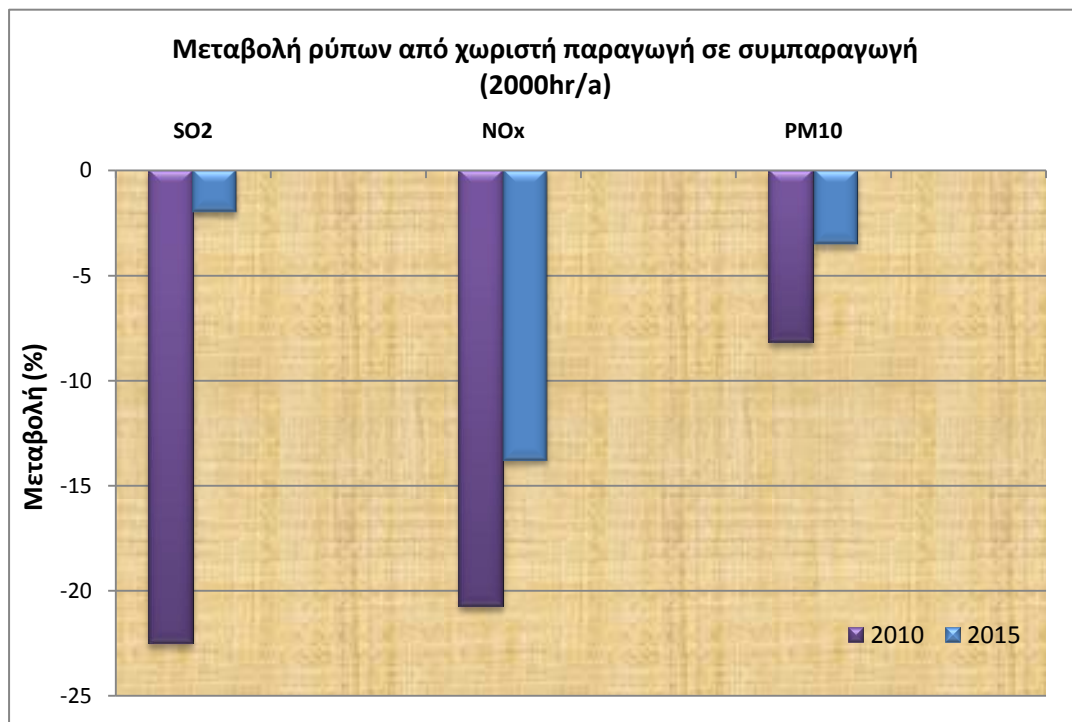
Στο πρώτο σενάριο, ασχολούμαστε με την περίπτωση λειτουργίας της μονάδας για 2000 ώρες ετησίως, δηλαδή για τις μέγιστες δυνατές ώρες λειτουργίας της χωριστής παραγωγής, αφού σε ένα θερμοκήπιο σπάνια δουλεύουν οι λέβητες περισσότερες ώρες, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας. Βασιζόμενοι στη θεώρηση αυτή, υποθέτουμε ότι και η μονάδα της συμπαραγωγής θα λειτουργήσει για το ίδιο χρονικό διάστημα, ώστε να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τη μονάδα με τους ίδιους όρους. Υπενθυμίζουμε στο σημείο αυτό, ότι στην περίπτωση της χωριστής παραγωγής καθώς και σε αυτή της συμπαραγωγής, η απαιτούμενη ενέργεια παράγεται από το ίδιο καύσιμο, (ξύλο με θερμογόνο δύναμη  $H_u=17356$  kJ/kg) ενώ η δυναμικότητα καθώς και ο αριθμός των λεβήτων δεν έχει μεταβληθεί (τρεις λέβητες δυναμικότητας 525kW έκαστος). Όσον αφορά στη χωριστή παραγωγή, η μονάδα καταναλώνει 67.500 kWhε τις οποίες και αγοράζει από το δίκτυο ενώ για τον υπολογισμό των ρύπων η διαδικασία υπολογισμού περιγράφεται στο παράρτημα ΙΙΙ. Η ανάλυση που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε για το τρέχον έτος καθώς και για το έτος 2015 αφού είχαμε στη διάθεση μας τις προβλεπόμενες τιμές των εκπομπών από τη ΔΕΗ για το έτος αυτό. Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται οι παραγόμενες ποσότητες των ρύπων και για τα δύο έτη καθώς και τα ποσοστά μεταβολής τους όταν γίνεται αντικατάσταση της χωριστής παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού από μία αντίστοιχη μονάδα συμπαραγωγής.



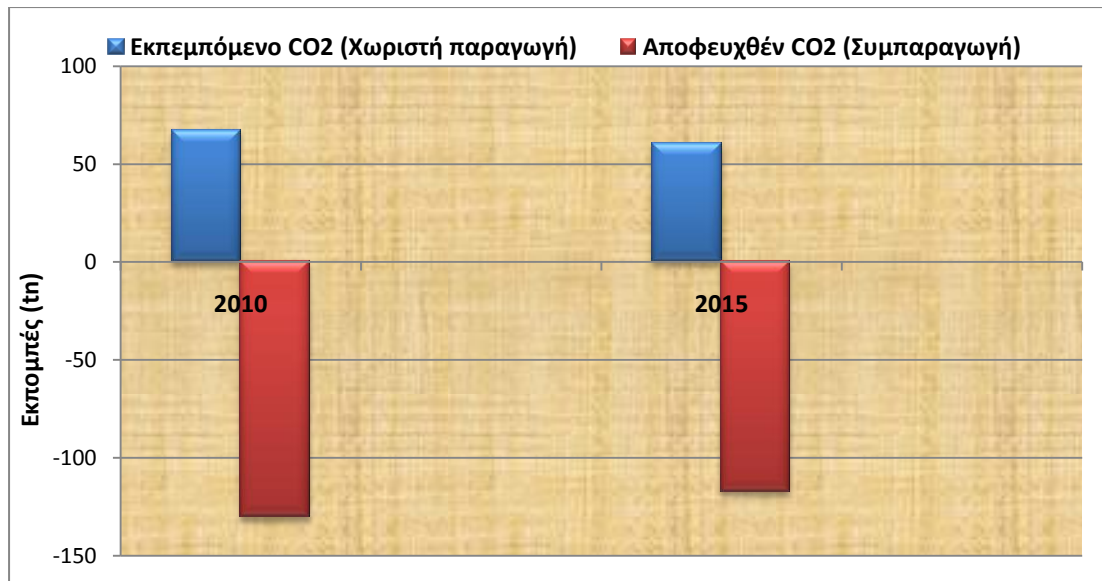
Διάγραμμα 34: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2010) για 2000hr λειτουργίας



Διάγραμμα 35: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2015) για 2000hr λειτουργίας



Διάγραμμα 36: Μεταβολή ρύπων για μετάβαση από χωριστή παραγωγή ενέργειας σε συμπαραγωγή



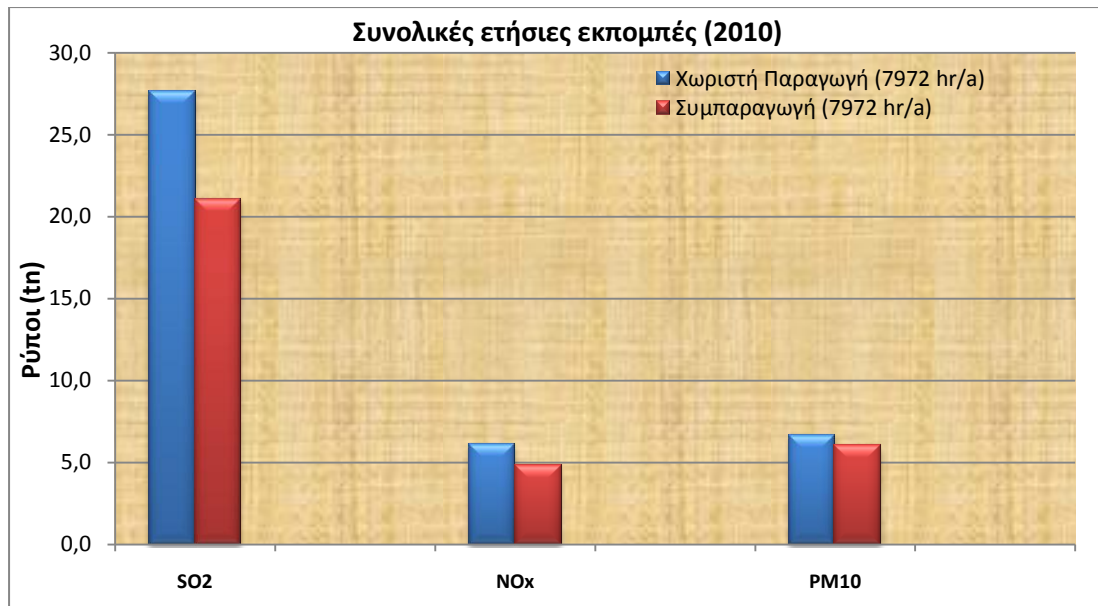
Διάγραμμα 37: Εκπομπές CO<sub>2</sub> για χωριστή παραγωγή ενέργειας και συμπαραγωγή για 2000hr

Από τα δεδομένα των διαγραμμάτων παρατηρούμε ότι υπάρχει σαφέστατη μείωση στις εκπομπές των τριών κύριων ρύπων (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10) στην περίπτωση της συμπαραγωγής συγκρινόμενη με τη χωριστή παραγωγή. Αξιόλογη είναι η ελάττωση του ποσοστού μεταβολής κατά το έτος 2015, αφού αναμένεται μέχρι τη χρονιά εκείνη μείωση στην ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων από τη ΔΕΗ κατά τη διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής. Για τον κύριο ρυπαντή της ατμόσφαιρας, δηλαδή το CO<sub>2</sub>, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της συμπαραγωγής αποφεύγονται εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες, μεγαλύτερες των 100tn, ποσότητες που αντιστοιχούν στην παραγόμενη από τη μονάδα μας ηλεκτρική ενέργεια, ενέργεια που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν μονόδρομος να παραχθεί από τη ΔΕΗ.

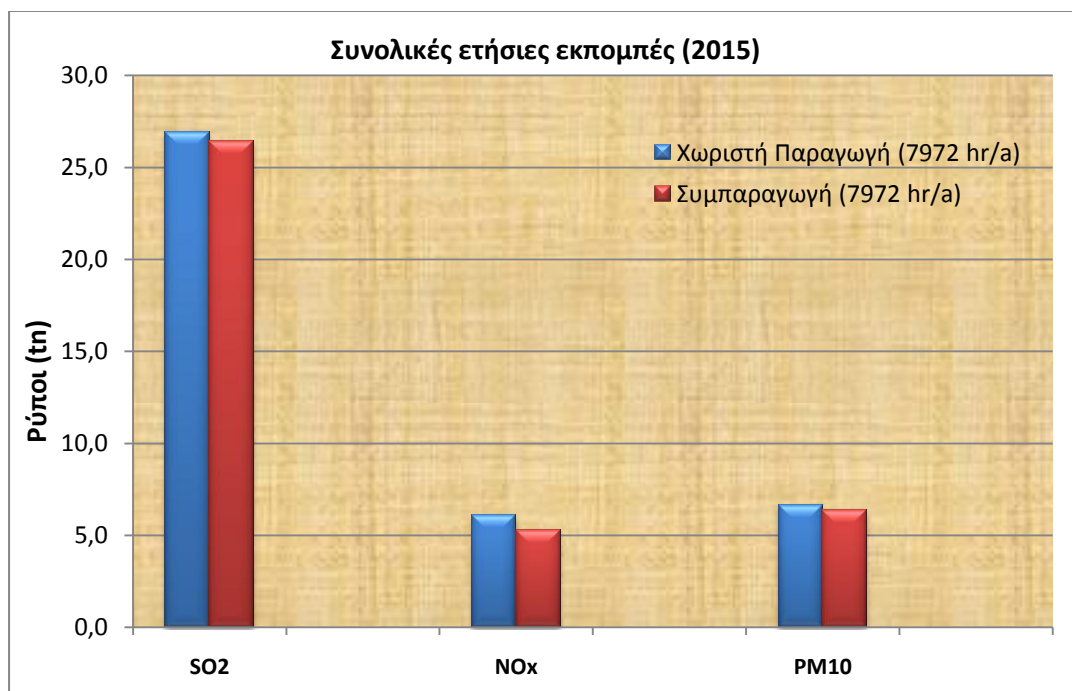
Στο δεύτερο σενάριο μελετάται αντίστοιχα η περίπτωση λειτουργίας και των δυο μονάδων για τις ώρες της συμπαραγωγής, δηλαδή 7972 hr, τιμή που αντιστοιχεί στη βέλτιστη οικονομική λειτουργία της συμπαραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η περίπτωση αυτή απορρίπτεται άμεσα λόγω εξαιρετικά υψηλών εξόδων λειτουργίας της χωριστής παραγωγής, αφού κρίνεται ιδιαίτερα ασύμφορη η λειτουργία των λεβήτων ξύλου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μόνο για την παραγωγή θερμότητας.

Παραθέτουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα με το πρώτο σενάριο, ώστε να είναι ευκολότερη η σύγκριση μεταξύ των δυο θεωρητικών περιπτώσεων λειτουργίας.

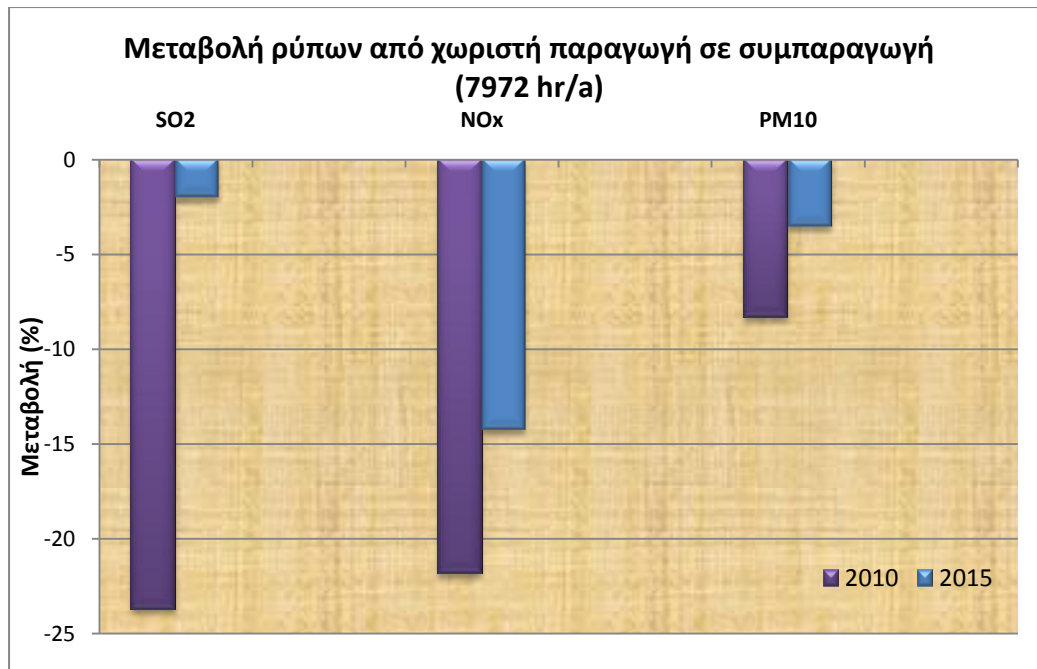




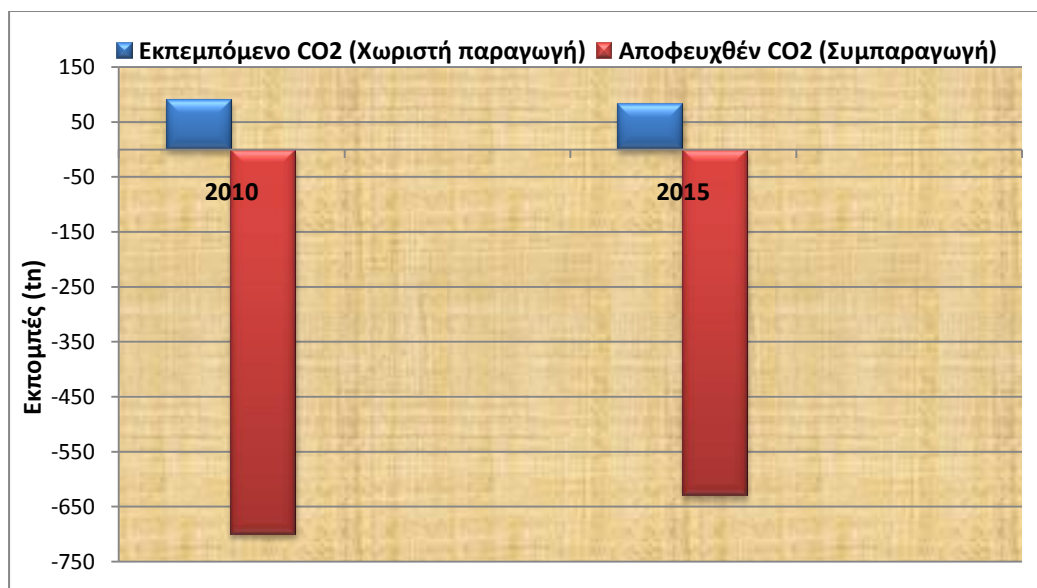
Διάγραμμα 38: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2010) για 7972hr λειτουργίας



Διάγραμμα 39: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2015) για 7972hr λειτουργίας



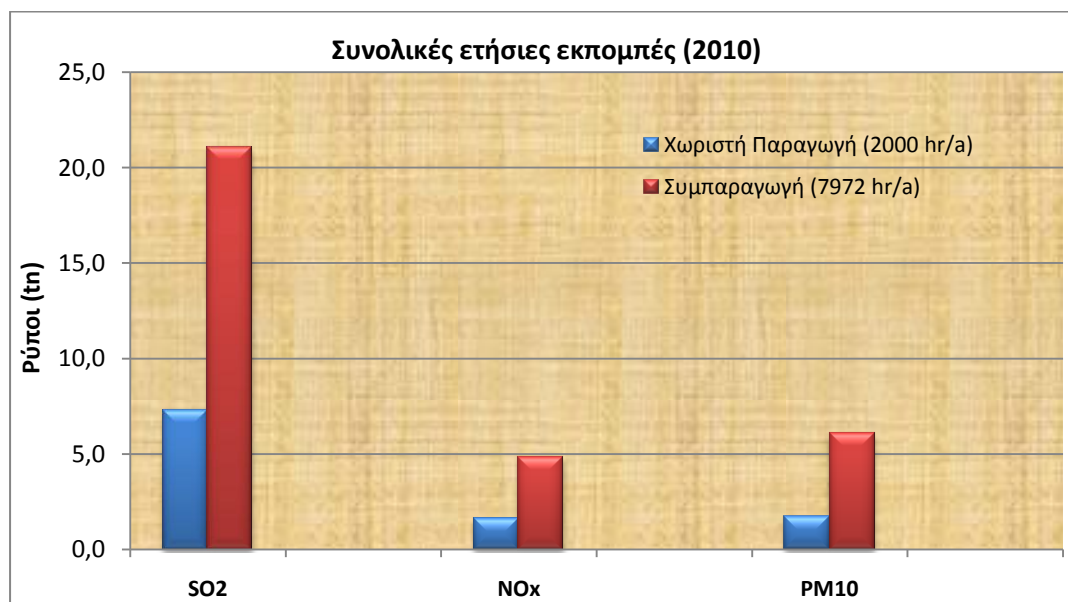
Διάγραμμα 40: Μεταβολή ρύπων για μετάβαση από χωριστή παραγωγή ενέργειας σε συμπαραγωγή



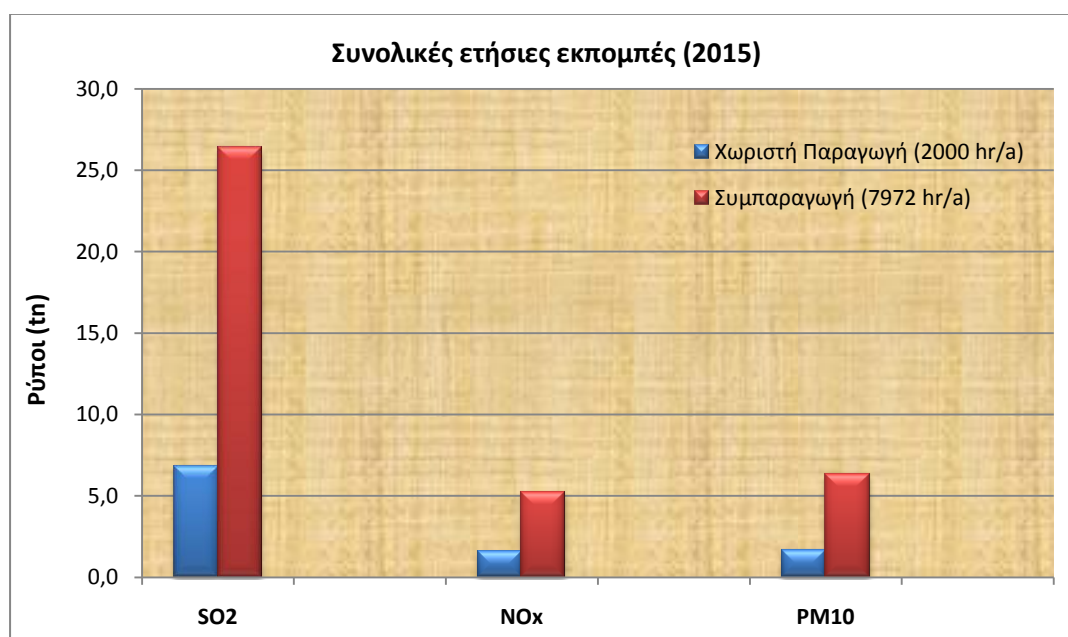
Διάγραμμα 41: Εκπομπές CO<sub>2</sub> για χωριστή παραγωγή ενέργειας και συμπαραγωγή για 7972hr

Τα συμπεράσματα που εξάγουμε κατά την ανάγνωση των διαγραμμάτων είναι αντίστοιχα με αυτά που προαναφέρθηκαν στο πρώτο σενάριο με την ειδοποιό διαφορά ότι όσο αυξάνουν οι ώρες λειτουργίας τόσο μικραίνει το ποσοστό της μεταβολής στους ρύπους που αποφεύγουμε. Ειδική μνεία πρέπει να γίνει για την ποσότητα του CO<sub>2</sub> που αποφεύγεται, αφού οι παραγόμενες από τη μονάδα συμπαραγωγής kWhε είναι σαφώς περισσότερες από το πρώτο σενάριο, κατά το οποίο η ηλεκτρική ενέργεια προερχόταν από την ελάχιστη διάρκεια λειτουργίας της μονάδας συμπαραγωγής. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούμε από την ατμόσφαιρα ποσότητες εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> που αγγίζουν τους 660tn.συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος.

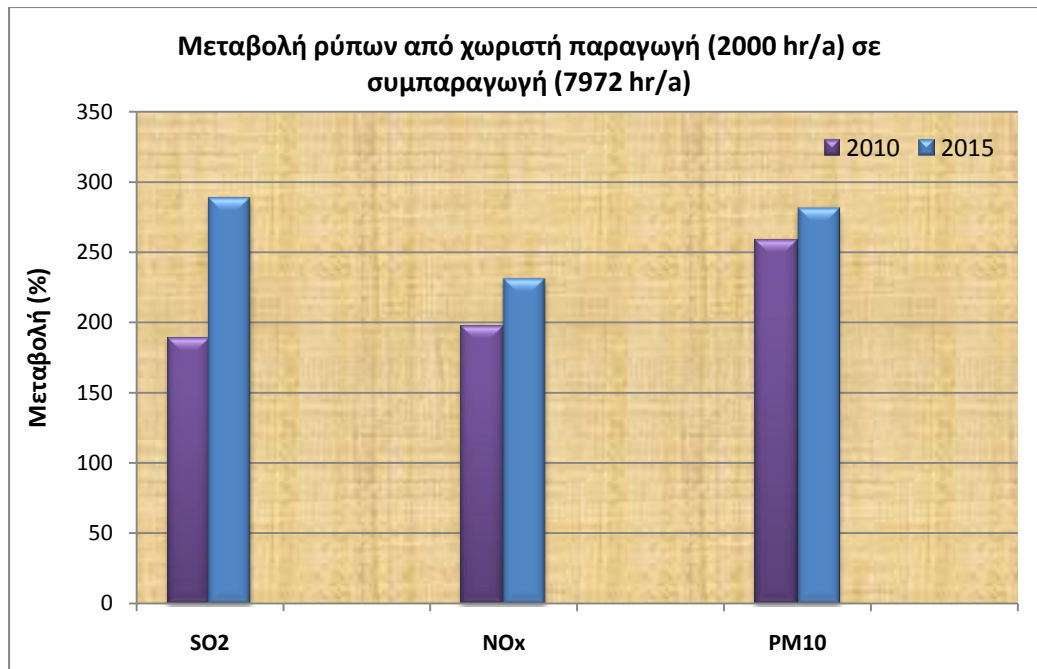
Κατά το σενάριο 3 εξετάζεται η περίπτωση που προσεγγίζει την πραγματικότητα, αφού εξαιτίας οικονομικών περιορισμών απαιτείται η όσο το δυνατόν αυξημένη λειτουργία της μονάδας συμπαραγωγής ώστε να διασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Αυτό συνεπάγεται λειτουργία της μονάδας για 7972hr, ενώ όσον αφορά στη χωριστή παραγωγή θερμότητας και αγοράς ενέργειας αυτή θεωρείται ότι λειτουργεί ως έχει, δηλαδή λειτουργία των λεβήτων θέρμανσης κατά τη χειμερινή περίοδο, τιμή που ισοδυναμεί με 2000hr λειτουργίας ώστε να είναι εφικτή η κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου. Εργαζόμενοι με ανάλογο τρόπο σχεδιάζουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια.



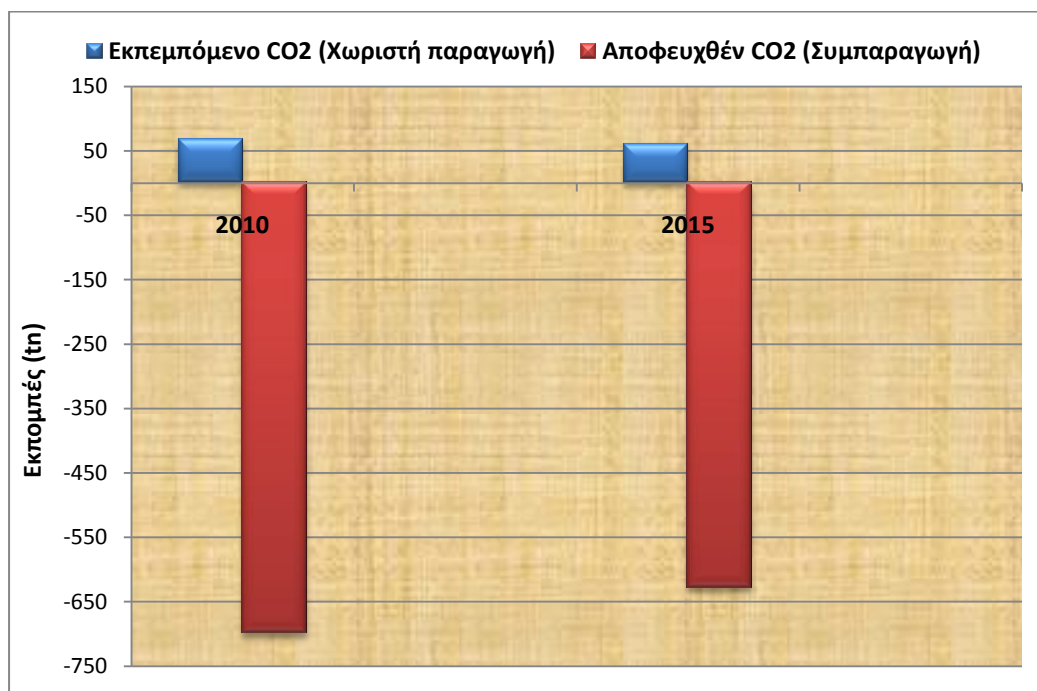
Διάγραμμα 42: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2010) για 2000hr-7972hr λειτουργίας



Διάγραμμα 43: Συνολικές ετήσιες εκπομπές (2015) για 2000hr-7972hr λειτουργίας



Διάγραμμα 44: Μεταβολή ρύπων για μετάβαση από χωριστή παραγωγή ενέργειας σε συμπαράγωγή



Διάγραμμα 45: Εκπομπές CO<sub>2</sub> για χωριστή παραγωγή ενέργειας και συμπαράγωγή για 2000hr-7972hr

Κατά την ανάγνωση των διαγραμμάτων ίσως αρχικά μας ξενίσει το γεγονός ότι ενώ μεταβαίνουμε από χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε συμπαράγωγή οι εκπεμπόμενοι ρύποι αυξάνουν, στοιχείο που γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αναλογιστούμε ότι για το πραγματικό σενάριο λειτουργίας που εξετάζουμε οι δυο μονάδες (χωριστή-συμπαράγωγή) διαφέρουν σημαντικά κατά τις ώρες λειτουργίας. Ως συνέπεια αυτού οι ποσότητες των τριών ρύπων SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub> όχι μόνο αυξάνουν αλλά μεταβάλλονται σε ποσοστά της τάξης του 150 με 300%. Αντίθετα για το CO<sub>2</sub> συνεχίζουμε να έχουμε μείωση,

αφού οι kWh που παράγονται από τη μονάδα μας οδηγούν σε αποφευχθείσες από τη ΔΕΗ ποσότητες του συγκεκριμένου αερίου. Εν κατακλείδι θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η μονάδα μας παρουσιάζει όχι μόνο οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό όφελος, εξοικονομώντας ποσότητες CO<sub>2</sub> που θα εκπέμποντας στην ατμόσφαιρα της τάξης των 650tn, τιμή που σίγουρα δεν δύναται να περάσει απαρατήρητη.

Επισημαίνουμε ότι οι ακριβείς υπολογισμοί των εκπομπών παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα III.

## **5.2 Μελέτη 2: Αντικατάσταση παλαιού λέβητα μαζούτ με νέο βιομάζας**

Στο σημείο αυτό της εργασίας εξετάζουμε κατά πόσο είναι συμφέρουσα η αντικατάσταση ενός παλαιού λέβητα ορυκτών καυσίμων (Diesel, μαζούτ κ.α.), με έναν σύγχρονο λέβητα βιομάζας. Σκοπός είναι να δούμε μετά από ποιο χρονικό διάστημα ο παραγωγός που θα προβεί σε μια τέτοια ενέργεια θα έχει οικονομικό όφελος αλλά και ποιο θα είναι αυτό σε βάθος χρόνου.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ, πως πέρα από το οικονομικό κέρδος που μπορεί να προκύψει, άμεσο είναι το περιβαλλοντολογικό κέρδος, αφού οι λέβητες που λειτουργούν με βιομάζα και ειδικότερα με καύσιμο ξύλο (όπως μελετάμε στη συγκεκριμένη περίπτωση), είναι σαφώς φιλικότεροι προς το περιβάλλον αφού εκπέμπουν λιγότερους ρύπους από την πρώτη μέρα λειτουργίας, με μοναδική εξαίρεση την μεγαλύτερη εκπομπή σωματιδίων λόγω τέφρας.

Η μελέτη ξεκινά μελετώντας κάποιους από τους κυριότερους λέβητες που συναντάμε στα σημερινά θερμοκήπια. Αυτοί ποικίλλουν όσον αφορά τη δυναμικότητα τους καθώς και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Οι σημερινοί λέβητες βιομάζας έχουν τέτοιο σχεδιασμό ώστε να είναι σε θέση να προσφέρουν υψηλό βαθμό απόδοσης (>85%), χαμηλές εκπομπές ρύπων, καλή και σχετικά αθόρυβη λειτουργία, ενώ σημαντική προσπάθεια καταβάλλεται ώστε να διατηρηθεί το κόστος σε χαμηλά και λογικά επίπεδα.

Η επιλογή της δυναμικότητας ενός λέβητα για το σύστημα θέρμανσης ενός θερμοκηπίου δεν εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μονάδας (έκταση) αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, οι οποίες άλλοτε επιδρούν θετικά (κυρίως στις νοτιότερες περιοχές της Ελλάδας) και άλλοτε αρνητικά αυξάνοντας όχι μόνο τις ανάγκες τις μονάδας για θέρμανση αλλά και τον αριθμό των ημερών που αυτή είναι αναγκαία για την επιβίωση των καλλιεργούμενων προϊόντων. Σε γενικές γραμμές η δυναμικότητα κυμαίνεται από τις 450.000Cal – 2.000.000 Cal, δηλαδή από 525kW έως 2300kW, ενώ δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι στη πλειονότητα των περιπτώσεων επιλέγονται περισσότεροι του ενός λέβητες, είτε για να καλύψουν τις απαιτούμενες ανάγκες όταν η αγορά ενός λέβητα δεν είναι αρκετή, είτε γιατί προτιμάται η αγορά πολλών μικρότερων παρά ενός μεγαλύτερου. Ακολουθώντας αυτήν τακτική προσφέρεται στον παραγωγό η δυνατότητα να λειτουργεί έναν εκ των πολλών λεβήτων τις μέρες εκείνες όπου οι ανάγκες για θερμότητα δεν είναι

τόσο μεγάλες και άρα να εξοικονομεί χρήματα καθώς και να επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης μέσω της μείωσης των φθορών.

Για λόγους πληρότητας της μελέτης επιλέγουμε πέντε τυπικούς λέβητες με χαρακτηριστικές δυναμικότητες 525kW, 750kW, 1160kW, 1750kW, 2300kW και αναζητούμε τα γεωμετρικά και ενεργειακά χαρακτηριστικά τους. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού (Fortran) ώστε τα δεδομένα που θα προκύψουν να μην αντιστοιχούν μόνο στην πραγματικότητα αλλά να είναι και με ακρίβεια υπολογισμένα.

### 5.2.1 Κατασκευή του προγράμματος Fortran, για τον υπολογισμό των γεωμετρικών και ενεργειακών χαρακτηριστικών ενός λέβητα βιομάζας (καύσιμο ξύλο)

Στόχος είναι η παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών κάποιων λεβήτων ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί ένα γενικό πρόγραμμα, το οποίο θα είναι σε θέση να δίνει αποτελέσματα για ένα πλήθος λεβήτων, έστω και αν απαιτούνται ελάχιστες μετατροπές. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός είναι αναγκαία η θεώρηση κάποιων μεγεθών καθώς και η πραγματοποίηση ορισμένων υποθέσεων που θα βοηθήσουν στην κατασκευή του κώδικα. (Γ.Δημητρακόπουλος, 2010)

#### Παραδοχές:

1. Καύσιμο ξύλο, καλής ποιότητας με χαμηλά ποσοστά σε υγρασία και σύσταση  
 $C=46,11\%$ ,  $H=5,70\%$ ,  $N=1,57\%$ ,  $O=37,20\%$ ,  $S=0,45\%$ ,  $\gamma_a=1,78\%$ ,  $w=7,20\%$
2. Βαθμός απόδοσης εστίας  $\eta_e=0,99$
3. Υγρασία αέρα  $(X_{H_2O})_L=2\%$
4. Πίεση στην έξοδο των καυσαερίων  $P_{tot}=1,1\text{bar}$
5. Λόγος αέρα καύσης  $n=1,5$
6. Θερμοκρασία λειτουργίας  $\theta_l=90\text{ }^\circ\text{C}$
7. Θερμοκρασία εισόδου νερού  $\theta_w^{in}=60\text{ }^\circ\text{C}$  και θερμοκρασία εξόδου  $\theta_w^{out}=80\text{ }^\circ\text{C}$

Ο σχεδιασμός του λέβητα πρέπει επίσης να εξασφαλίζει τα κάτωθι στοιχεία

#### Προϋποθέσεις:

1. Ελάχιστος βαθμός απόδοσης  $\eta=85\%$
2. Χαμηλές εκπομπές οξειδίων
3. Καλή και οικονομική λειτουργία

#### 4. Σχετικά μικρές διαστάσεις

##### Διαδικασία επίλυσης:

Υπολογίζουμε τη θερμογόνο ικανότητα (KJ/Kg) του καυσίμου από τον τύπο

$$Hu = 34834 * \gamma_C + 93868 * \gamma_H + 10132 * \gamma_S + 5845 * \gamma_N - 10802 * \gamma_O - 2449 * \gamma_W$$

Από τον άμεσο ορισμό του βαθμού απόδοσης βρίσκουμε το θερμικό έργο του καυσίμου (kW)

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\omega\phi}}{\dot{Q}_B} \Leftrightarrow \dot{Q}_B = \frac{\dot{Q}_{\omega\phi}}{\eta}$$

Και στη συνέχεια την παροχή καυσίμου (kg/s)

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{Q}_B}{Hu}$$

Βρίσκουμε τις απώλειες ακτινοβολίας (kW) μέσω της εμπειρική σχέσης

$$\dot{Q}_L = 9.1 * \dot{Q}_{\omega\phi} (MW)$$

$$\text{Και άρα } U_L = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_B}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη καυσίμου και στοιχείων

$$\mu_{LOT} = 11,48 * \gamma_C + 34,194 * \gamma_H + 4,3 * \gamma_S - 4,308 * \gamma_O \quad (Kg / Kg)$$

$$\mu_{LO} = \mu_{LOT} * 1 + (X_{H_2O})_L \quad (Kg / Kg)$$

$$\mu_L = n * \mu_{LO}$$

$$\mu_G = \mu_L + 1 - \gamma_A \quad (Kg / Kg)$$

Από τον έμμεσο βαθμό απόδοσης παίρνουμε τις απώλειες των καυσαερίων

$$\eta_{\Lambda\epsilon\beta\eta\tau\alpha} = \eta_E * (1 - U_G - U_L) \Leftrightarrow U_G = 1 - U_L - \frac{\eta_{\Lambda\epsilon\beta\eta\tau\alpha}}{\eta_E}$$

Όμως:  $U_G = \mu_G \frac{\bar{C}_{PG_0}(\Theta - 0) - \bar{C}_{P_0}^{20}(20 - 0)}{Hu}$  από όπου υπολογίζουμε με αριθμητική μέθοδο

επίλυσης και συγκεκριμένα την μέθοδο των αριθμητικών αντικαταστάσεων τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από το λέβητα  $\Theta_G^{OUT}$  (°C) και το συντελεστή πίεσης καυσαερίων  $\bar{C}_{PG}$  (KJ/Kg\*K)

Από τον ισολογισμό ενέργειας υπολογίζουμε την αδιαβατική θερμοκρασία καύσης:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_G^* (h_G^{MAX} - h_G^a) = \dot{m}_B^* Hu \Leftrightarrow \mu_G^* (h_G^{MAX} - h_G^a) = \frac{\dot{m}_B^* Hu}{\dot{m}_B} \\ \eta_E = \frac{\dot{m}_{B1}}{\dot{m}_B} \end{array} \right\} \Rightarrow h_G^{MAX} = \frac{Hu}{\mu_G^* \eta_E} + h_G^a$$

Χρησιμοποιώντας ξανά αριθμητική μέθοδο υπολογίζουμε τελικά την αδιαβατική θερμοκρασία καύσης  $\Theta_G^{MAX}$  (°C).

Θεωρώντας ότι από το θάλαμο καύσης προς την πρώτη διαδρομή το καυσαέριο συνεχίζει με το 95% της θερμότητας του υπολογίζουμε την ενθαλπία εισόδου του καυσαερίου στην πρώτη διαδρομή και από αυτήν με αριθμητική μέθοδο την θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στην πρώτη διαδρομή.

$$h_G^{1\eta\zeta} = 0,95 * h_G^{MAX} \xleftarrow{\text{ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ}} \Theta_G^{1\eta\zeta} \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Υπολογισμοί 1<sup>ης</sup> διαδρομής:

$$\dot{Q}_{\omega\phi 1} = \dot{Q}_{\alpha\kappa\tau} + \dot{Q}_{\sigma\nu} \text{ (1)}$$

Θεωρούμε ότι στην πρώτη διαδρομή χάνεται ένα ποσοστό της θερμότητας των καυσαερίων που κυμαίνεται από 35-40% ανάλογα με τη δυναμικότητα του λέβητα και τα χαρακτηριστικά του.

Στη 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> διαδρομή συνεχίζει θερμότητα ίση με  $Q_{\omega\phi 23} = Q_{\sigma\lambda} - Q_{\omega\phi 1}$

Για τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης θερμότητας μέσω ακτινοβολίας χρησιμοποιούμε τον τύπο  $\dot{Q}_{\alpha\kappa\tau} = \alpha S * A_{\sigma\lambda} * (T_G - T_{\tau\omega\iota\chi})$

$$\text{Με } \alpha S = C_s \frac{2\hat{\alpha}_{\tau\omega\iota\chi}\Psi}{1 + \hat{\alpha}_{\tau\omega\iota\chi}\Psi} \left[ \frac{\varepsilon T_G^4 - \hat{\alpha} T_{\tau\omega\iota\chi}^4}{T_G - T_{\tau\omega\iota\chi}} \right] \text{ (2)}$$

Όπου:

Θεωρούμε ότι όλος ο χώρος καταλαμβάνεται από καυσαέριο άρα  $\Psi=1$

Ο συντελεστής απορρόφησης του τοιχώματος είναι  $\hat{\alpha}_{\tau\omega\iota\chi} = 0,85$

Cs: η σταθερά Stefan-Boltzmann με  $C_s=5,6697*10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>K)

Υπολογισμός μερικών πιέσεων καυσαερίων:

Κατά μάζα περιεκτικότητα των καυσαερίων:



$$\mu_{CO_2} = 3,665 * \gamma_C + \gamma_{CO_2}$$

$$\mu_{SO_2} = 1,998 * \gamma_{SO_2}$$

$$X_{CO_2} = \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_G}$$

$$X_{SO_2} = \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_G}$$

$$\mu_{N_2} = 0,7679 * n * \mu_{LOT} + \gamma_N$$

$$\mu_{O_2} = (n-1) * \mu_{LOT} * 0,2321$$

$$X_{N_2} = \frac{\mu_{N_2}}{\mu_G}$$

$$X_{O_2} = \frac{\mu_{O_2}}{\mu_G}$$

$$\mu_{H_2O} = n * \mu_{LOT} * X_{(H_2O)_L} + \gamma_N + 8,936 * \gamma_H$$

$$X_{H_2O} = \frac{\mu_{H_2O}}{\mu_G}$$

Για επαλήθευση έχουμε:  $\mu_G = \mu_{CO_2} + \mu_{SO_2} + \mu_{O_2} + \mu_{H_2O}$

Με βάση το μοριακό βάρος κάθε προϊόντος των καυσαερίων υπολογίζουμε τις αντίστοιχες σταθερές των αερίων:  $R_{CO_2}, R_{SO_2}, R_{N_2}, R_{O_2}, R_{H_2O}$

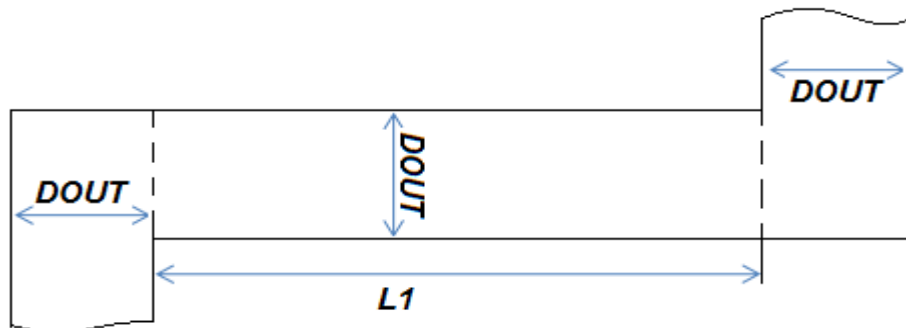
Και η συνολική σταθερά των καυσαερίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_G = \sum X_i * R_i = X_{CO_2} * R_{CO_2} + X_{SO_2} * R_{SO_2} + X_{N_2} * R_{N_2} + X_{O_2} * R_{O_2} + X_{H_2O} * R_{H_2O}$$

$$Y_{CO_2} = X_{CO_2} \frac{R_{CO_2}}{R_G}, Y_{H_2O} = \frac{R_{H_2O}}{R_G} \text{ και άρα οι μερικές πιέσεις είναι:}$$

$$P_{CO_2} = P_{TOT} * Y_{CO_2}, P_{H_2O} = P_{TOT} * Y_{H_2O}$$

Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να γίνει μια πρώτη επιλογή κάποιων κατασκευαστικών στοιχείων από το χρήστη όπως: Ύψος, Μήκος, Πλάτος λέβητα, ενώ για την πρώτη διαδρομή θεωρούμε ότι έχει την εξής διάταξη: Εκτός από το ενεργό μήκος, στις άκρες διατηρώ την ίδια διάμετρο με την εξωτερική διάμετρο της 1<sup>ης</sup> διαδρομής ώστε να αποφεύγονται διακυμάνσεις στις διαμέτρους, οι οποίες προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα των καυσαερίων, η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 8-10 m/s.



Διάγραμμα 46: Σχέδιο μεταβολής των διαμέτρων μεταξύ των διαδρομών του λέβητα

Υπολογίζουμε το ισοδύναμο πάχος  $Se = \frac{0.9}{1 + \frac{0.5d}{L}} d$  (mm)

Και την θερμοκρασία του τοιχώματος  $T_{τοιχ} = 30 + 3 * Se + \theta_{λειτ}$

Υπολογισμός συντελεστή εκπομπής  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{CO2} + \mathcal{E}_{H2O} - \Delta \mathcal{E}$

Με  $\mathcal{E}_{CO2} = \mathcal{E}_{CO2}^* * f_{CO2}$   
 $\mathcal{E}_{H2O} = \mathcal{E}_{H2O}^* * f_{H2O}$

όπου οι τιμές λαμβάνονται από διαγράμματα (Ν. Παπαγεωργίου, Ατμοπαραγωγοί 2 Εμβάθυνση, 1991)

$$\hat{a} = \hat{a}_{CO2} + \hat{a}_{H2O} - \Delta \hat{a}$$

Υπολογισμός συντελεστή απορρόφησης  $\hat{a}$  :

$$\hat{a}_{CO2} = \hat{a}_{CO2}^* * f_{CO2}$$

$$\hat{a}_{H2O} = \hat{a}_{H2O}^* * f_{H2O}$$

Άρα έχουμε όλα τα μεγέθη που χρειαζόμαστε για τον υπολογισμό του  $as$  (2)

Επιφάνεια συναλλαγής:  $A_{ολ} = A_{συν} + 2 * A_{καπακιων}$

Άρα από τη σχέση (1) υπολογίζουμε το  $\dot{Q}_{συν}$ , το οποίο δίνεται και από

$$\dot{Q}_{συν} = K * A * \Delta \Theta_L \quad (3)$$

Για τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας εναλλάκτη χρησιμοποιούμε τη σχέση

$$K_{th} = \frac{1}{\frac{1}{ag} + \frac{da}{2\lambda} \ln\left(\frac{da}{di}\right) + \frac{da}{di} \frac{1}{aw}} \quad \text{και} \quad K = K_{th} * f_k \quad \text{με} \quad f_k : \text{συντελεστής ρύπανσης}$$

Υπολογίζουμε τους αδιάστατους αριθμούς που αφορούν τη ροή των καυσαερίων στο εσωτερικό του αγωγού:  $Pr = \frac{\eta * Cp}{\lambda}$  όπου  $\eta, \lambda$  λαμβάνονται για την θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στην 1<sup>η</sup> διαδρομή από πίνακα.

Ο αριθμός Reynolds είναι:  $Re = \frac{\Phi * L_{ολ1}}{\eta}$

Και η πυκνότητα ροής μάζας  $\Phi = \frac{\dot{m}_{G1}}{F}$ , με διατομή  $F = \pi \frac{(D_{out} - 2S)^2}{4}$

Ο αριθμός Nusselt δίνεται από τη σχέση:

$$Nu = 0,037 * (Re^{0,75} - 180) * Pr^{0,42} * \left[ 1 + \left( \frac{di}{l} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

Για τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά για νερό –ατμό έχουμε:

$$a_w = \frac{Nu * \lambda_w}{di} \text{ όπου η θερμική αγωγιμότητα του νερού λαμβάνεται από πίνακες για μία}$$

$$\text{μέση θερμοκρασία } \bar{\theta}_w = \frac{\theta_w^{IN} + \theta_w^{OUT}}{2}$$

Η θερμική αγωγιμότητα του υλικού λαμβάνεται ανάλογα με το είδος του υλικού από πίνακες.

Άρα από τη σχέση (3) υπολογίζεται το  $\Delta\Theta_L$ , το οποίο υπολογίζεται επίσης από τον τύπο για

$$\text{εναλλάκτη αντιρροής με: } \Delta\Theta_L = \frac{(\Theta_G^{IN} - \Theta_D^{OUT}) - (\Theta_G^{OUT} - \Theta_D^{IN})}{\ln\left(\frac{\Theta_G^{IN} - \Theta_D^{OUT}}{\Theta_G^{OUT} - \Theta_D^{IN}}\right)}$$

Η οποία σχέση επιλύεται αριθμητικά με ιδιαίτερη προσοχή, αφού η μέθοδος των διαδοχικών αντικαταστάσεων απαιτεί προσοχή εξαιτίας της παρουσίας του ln στην διαδικασία της επίλυσης, και παίρνουμε τελικά τη θερμοκρασία εξόδου της 1<sup>ης</sup> διαδρομής  $\theta_{G1}^{OUT}$  (°C).

Λόγω της στροφής των καυσαερίων κατά 180° για την είσοδο της δεύτερης διαδρομής έχουμε απώλεια 30K και έτσι υπολογίζεται η  $\theta_{G2}^{IN}$ .

Υπολογισμοί 2<sup>ης</sup> διαδρομής:

Όσον αφορά τη δεύτερη διαδρομή πρέπει να γίνει μια αρχική επιλογή του πλήθους και της διαμέτρου των αεριαυλών ώστε η ταχύτητα των καυσαερίων να κυμαίνεται στις γνωστές τιμές μεταξύ 8-10m/s.

$$\text{Υπολογίζουμε τη πυκνότητα των καυσαερίων σε κανονικές συνθήκες } \rho_{Gn} = \sum \frac{Xi}{\rho_{Gni}}$$

Και η παροχή καυσίμου για τη συγκεκριμένη θερμοκρασία εισόδου είναι

$$V_{Gn} = \frac{\dot{m}_G}{\rho_{Gn}} \text{ και } V_G = V_{Gn} \frac{273 + \Theta}{273}$$

Θεωρώντας ότι στη δυσμενέστερη περίπτωση έχουμε ταχύτητα καυσαερίων  $C_g=10\text{m/s}$

$$\text{προκύπτει ο αριθμός των αεριαυλών από τη σχέση } N = \frac{4V_G}{\pi di^2 w}$$

Επιλέγουμε γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τους αεριαλούς, δηλαδή εξωτερική διάμετρο  $D_{out}$ , πάχος  $S$  και μήκος  $L$  (mm) και υπολογίζουμε τον αριθμό των αεριαλών. Με στρογγυλοποίηση στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο για διατήρηση της ταχύτητας στα επιτρεπτά όρια, προκύπτει ο τελικός αριθμός των αυλών.

Υπολογίζεται ξανά το ισοδύναμο πάχος της δεύτερης διαδρομής ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντελεστών  $\alpha$  και  $\epsilon$  για τη δεύτερη διαδρομή.

Χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, με επιλογή του μήκους των κομματιών που θα χωριστεί ο αυλός ώστε ο λόγος  $\frac{di}{li}$  να είναι κοντά στη μονάδα.

Υπολογίζοντας ξανά τους συντελεστές  $\epsilon^*_{CO_2}$  και  $\epsilon^*_{H_2O}$  με βάση και τους διορθωτικούς συντελεστές για τη δεύτερη διαδρομή:

$$\frac{P_{H_2O} + P_{TOT}}{2} \text{ και } P_{H_2O} * Se_2 \Rightarrow f_{H_2O} \text{ αντίστοιχα έχουμε } P_{TOT} \text{ και } P_{CO_2} * Se_2 \Rightarrow f_{CO_2}$$

Το πρόγραμμα υπολογίζει όλα τα υπόλοιπα μεγέθη όπως ακριβώς και στην πρώτη διαδρομή αλλά με μεγαλύτερη ακρίβεια λόγω των πεπερασμένων στοιχείων, όχι μόνο για τη δεύτερη αλλά και για την τρίτη διαδρομή καυσαερίων.

Τελικά παίρνουμε τα δεδομένα του λέβητα για την 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> διαδρομή, την τελική ισχύ, τον τελικό βαθμό απόδοσης καθώς και την κατανάλωση του καυσίμου.

Εφαρμόζοντας το πρόγραμμα για τους πέντε διαφορετικούς λέβητες που αναφέρθηκαν και στην εισαγωγή του κεφαλαίου προκύπτει ο τελικός συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα βασικά κατασκευαστικά και ενεργειακά μεγέθη.

(Οι μαθηματικές σχέσεις καθώς και τα διαγράμματα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ορισμένων μεγεθών και συντελεστών αντλήθηκαν από τα συγγράμματα Ατμοπαραγωγοί I και Ατμοπαραγωγοί II, Ν. Παπαγεωργίου)

### 5.2.2 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για πέντε τυπικούς λέβητες

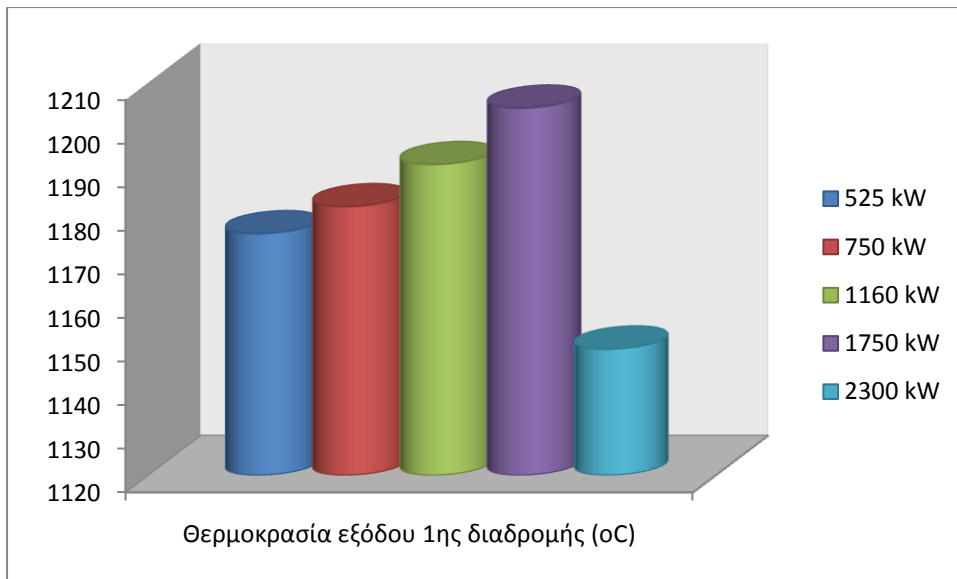
#### Θερμοκηπίων

Ονομαστική ισχύς (KW)	525	750	1160	1750	2300
Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο του λέβητα (°C)	253,24	254,92	256,64	258,18	259,09
Αδιαβατική θερμοκρασία καυσαερίων (°C)	1599,1	1599,1	1599,1	1599,1	1599,1
<b>1<sup>η</sup> διαδρομή</b>					
Θερμοκρασία καυσαερίων εισόδου (°C)	1528,09	1528,09	1528,09	1528,09	1528,09
Ταχύτητα καυσαερίων (m/s)	9,24	9,64	9,23	9,49	9,52
Συνολική ισχύς διαδρομής (kW)	204	288,35	447,52	668,64	1014,54
Θερμοκρασία καυσαερίων εξόδου (°C)	1175,44	1181,63	1191,30	1204,23	1148,99
<b>2<sup>η</sup> διαδρομή</b>					
Θερμοκρασία καυσαερίων εισόδου (°C)	1145,44	1151,63	1161,3	1174,23	1118,99
Συνολικό μήκος διαδρομής (m)	1,689	1,689	1,689	1,689	1,633
Συνολική ισχύς διαδρομής (kW)	239,80	345,46	528,36	814,10	994,68
Συνολικός αριθμός αυλών	54	77	117	180	228
Ταχύτητα καυσαερίων (m/s)	9,86	9,94	9,97	9,95	9,98

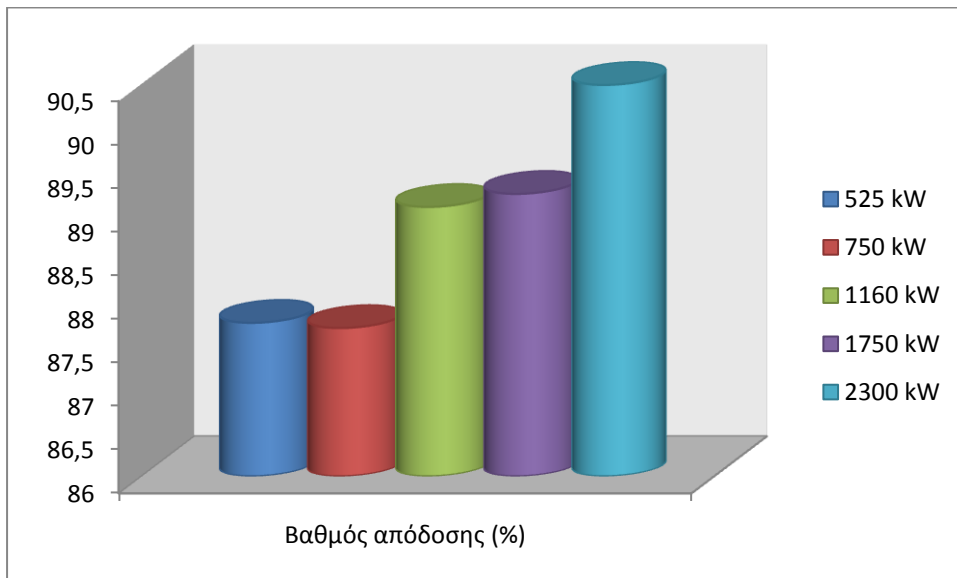
Θερμοκρασία καυσαερίων εξόδου (°C)	519,21	521,81	525,68	531,00	521,09
<b>3<sup>η</sup> διαδρομή</b>					
Θερμοκρασία καυσαερίων εισόδου (°C)	489,21	491,81	495,68	501,00	491,09
Συνολικό μήκος διαδρομής (m)	1,689	1,689	1,689	1,689	1,633
Συνολική ισχύς διαδρομής (kW)	82,76	119,33	182,33	280,99	354,23
Συνολικός αριθμός αυλών	29	42	63	96	125
Ταχύτητα καυσαερίων (m/s)	9,87	9,79	9,93	9,97	9,99
Θερμοκρασία καυσαερίων εξόδου (°C)	253,08	254,04	255,81	258,05	259,09
Βαθμός απόδοσης (%)	87,76	87,69	89,09	89,24	90,49
Συνολική ισχύς λέβητα (kW)	526,56	753,14	1158,2	1763,7	2363,45
Παροχή καυσίμου (kg/s)	$3,457 \cdot 10^{-2}$	$4,95 \cdot 10^{-2}$	$7,49 \cdot 10^{-2}$	0,1138	0,1505
Παροχή καυσίμου (kg/hr)	124,45	178,13	269,64	409,95	541,71

Πίνακας 20: Συγκεντρτικός πίνακας αποτελεσμάτων για πέντε τυπικούς λέβητες θερμοκηπίων

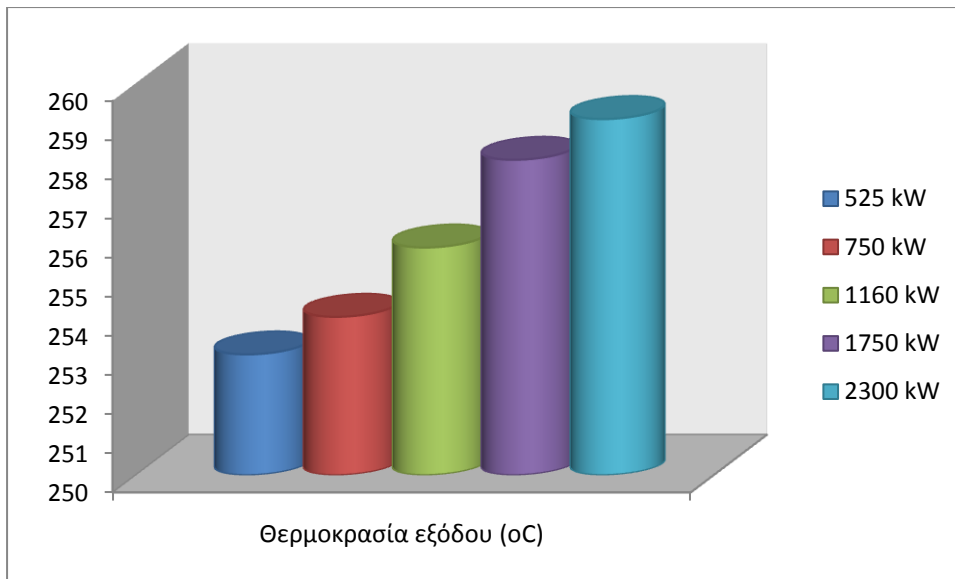
Και προκύπτουν συγκριτικά τα κάτωθι διαγράμματα:



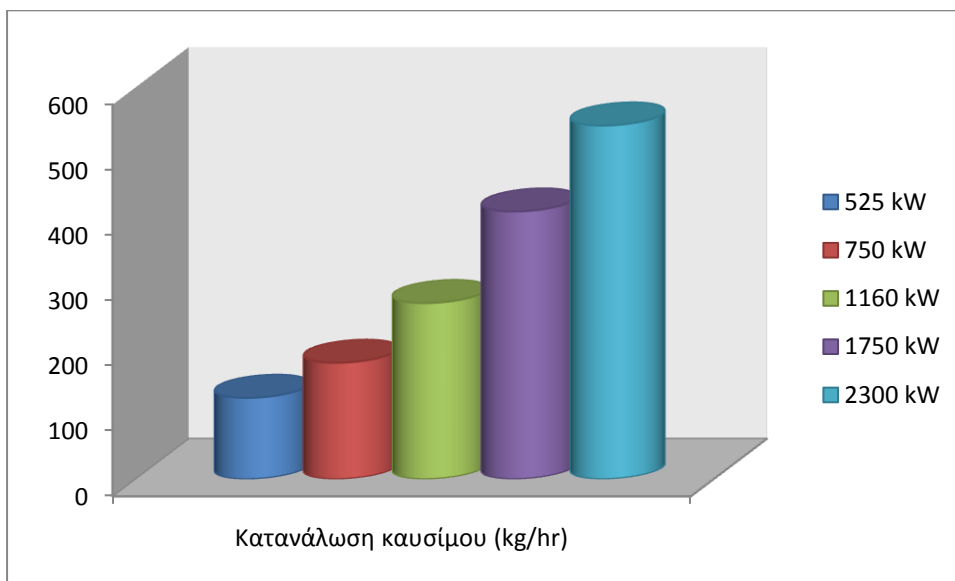
Διάγραμμα 47: Θερμοκρασία εξόδου 1<sup>ης</sup> διαδρομής



Διάγραμμα 48: Βαθμός απόδοσης %



Διάγραμμα 49: Θερμοκρασία εξόδου λέβητα



Διάγραμμα 50: Κατανάλωση καυσίμου λέβητα

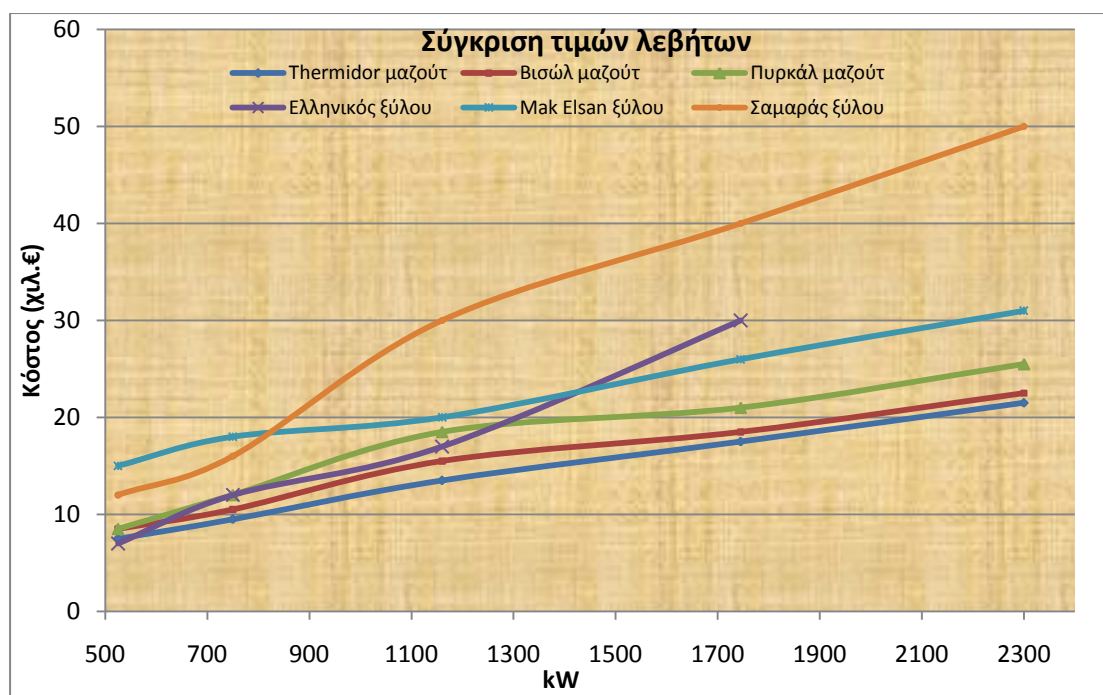


### 5.2.3 Οικονομική ανάλυση

Για να γίνει πλήρης ανάλυση των οικονομικών μεγεθών κρίθηκε σκόπιμη η συγκέντρωση χαρακτηριστικών και τιμών από λέβητες πετρελαίου και βιομάζας της ελληνικής και όχι μόνο αγοράς, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα, τόσο ακριβέστερα τα στατιστικά στοιχεία. Τα στοιχεία της έρευνας αγοράς συνοψίζονται στον πίνακα: (Τιμές σε €)

Καύσιμο	Μαζούτ (€)			Ξύλο (€)		
	Thermidor	Βιοσώλ	Πυρκάλ	Ελληνική αγορά	Mak Elsan	Σαμαράς
<b>525 KW</b>	7.500	8.500	8.500	7.000	15.000	12.000
<b>750 KW</b>	9.500	10.500	12.000	12.000	18.000	16.000
<b>1160 KW</b>	13.500	15.500	18.500	17.000	20.000	30.000
<b>1750 KW</b>	17.500	18.500	21.000	30.000	26.000	40.000
<b>2300 KW</b>	21.500	22.500	25.500	-	31.000	50.000

Πίνακας 21: Μέσες τιμές αγοράς λεβήτων (Βιοσώλ), (Πυρκάλ), (N.Σαμαράς), (Elsan)



Διάγραμμα 51: Σύγκριση τιμών λεβήτων

Οι τιμές αυτές αφορούν τιμές πώλησης, και για τους λέβητες υγρών καυσίμων περιλαμβάνουν καυστήρα μαζούτ αντίστοιχης δυναμικότητας της εταιρίας Riello (Riello) ενώ για τους λέβητες στερεού καυσίμου η τιμή συμπεριλαμβάνει σιλό ημερήσιας τροφοδοσίας. Οι κατασκευαστές που επιλέχθηκαν κατασκευάζουν για μεγάλο χρονικό διάστημα λέβητες για θερμοκήπια και όχι μόνο, ενώ στη στήλη “Ελληνική αγορά” παρατίθενται τιμές μικρότερων κατασκευαστών, χωρίς βέβαια οι τιμές αυτές να είναι δεσμευτικές.

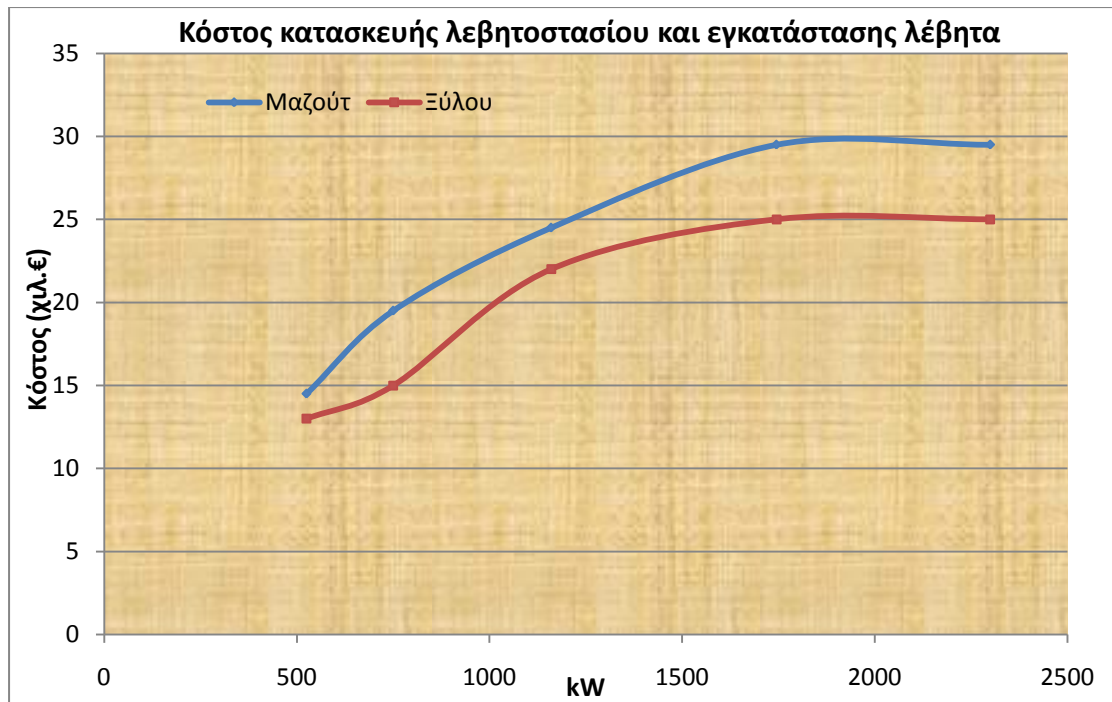
Τα έξοδα συνεχίζουν με την αναγκαία αγορά δεξαμενής αποθήκευσης του μαζούτ, η οποία στο τομέα των θερμοκηπίων κυμαίνεται στα 21500 lt, ικανή για να γεμίσει με ένα φορτίο καυσίμων, ανεξάρτητα από την κατανάλωση του λέβητα. Η τιμή της δεξαμενής αυτής ορίζεται στα **4.500 €**. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr)) Για τους λέβητες στερεού καυσίμου δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000kW απαιτείται και σύστημα συνεχής τροφοδοσίας καυσίμου, αφού η δυναμικότητα του σιλό που περιλαμβάνεται στην τιμή δεν πληροί τις απαραίτητες τιμές. Έτσι, υπολογίζουμε ένα μέσο κόστος για το αυτόματο σύστημα τροφοδοσίας, περίπου **5.000€** και ταυτόχρονα θεωρούμε έξοδα που αφορούν την αποθήκευση του στερεού καυσίμου, με ενδεικτική τιμή **5.000€**. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

Τέλος, υπολογίζεται ένα μέσο κόστος κατασκευής ενός λεβητοστασίου, το οποίο θα περιλαμβάνει τα απαραίτητα για τη λειτουργία της θέρμανσης, όπως: κολλεκτέρ, κυκλοφορητές, καμινάδα, δοχείο διαστολής και σύστημα προθέρμανσης του καυσίμου με αντιστάσεις για τους λέβητες που λειτουργούν με μαζούτ. ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))

Συνοψίζοντας, οι τιμές για τα έξοδα εγκατάστασης φαίνονται στον πίνακα: (Τιμές σε €)

Ισχύς kW/ Καύσιμο	Μαζούτ	Ξύλο
525	14.500	13.000
750	19.500	15.000
1160	24.500	22.000
1750 - 2300	29.500	25.000

Πίνακας 22: Έξοδα εγκατάστασης λεβήτων σε θερμοκήπια ([www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr))



Διάγραμμα 52: Κόστος κατασκευής λεβητοστασίου

Χρησιμοποιώντας τα ενεργειακά μεγέθη που υπολογίστηκαν για πέντε τυπικούς λέβητες που χρησιμοποιούνται στο χώρο των θερμοκηπίων και κάνοντας τις απαραίτητες μαθηματικές διαδικασίες υπολογίζουμε τα συνολικά έξοδα που θα έχει ο παραγωγός κατά την αγορά και χρήση ενός λέβητα μαζούτ ή ενός ξύλου.

- Η ανάλυση γίνεται σε βάθος δεκαετίας, ενώ τα έξοδα υπολογίζονται στο τέλος κάθε χρονιάς και αφορούν έξοδα εγκατάστασης και αγοράς για το χρόνο (0), ενώ για τα υπόλοιπα έτη γίνεται άθροιση των αρχικών εξόδων με τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας.
- Τα κόστη συντήρησης έχουν θεωρηθεί ότι αυξάνουν κατά 10% κάθε έτος αφού οι λέβητες απαιτούν ολοένα και μεγαλύτερα κόστη συντήρησης. Παρατηρώντας τις συγκριτικές καμπύλες μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για το ποια επιλογή λέβητα είναι συμφέρουσα ανάλογα με την ισχύ του λέβητα και το χρονικό βάθος της επένδυσης.
- Αξίζει να σημειωθεί ότι υπολογίζεται κάθε φορά η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης (μηδενικά έσοδα, μόνο έξοδα τα οποία θεωρούνται ως θετικές τιμές) και κρίνεται συμφέρουσα η επένδυση που εμφανίζει μικρότερη καθαρή παρούσα αξία (xNPV – κεφάλαιο 4).

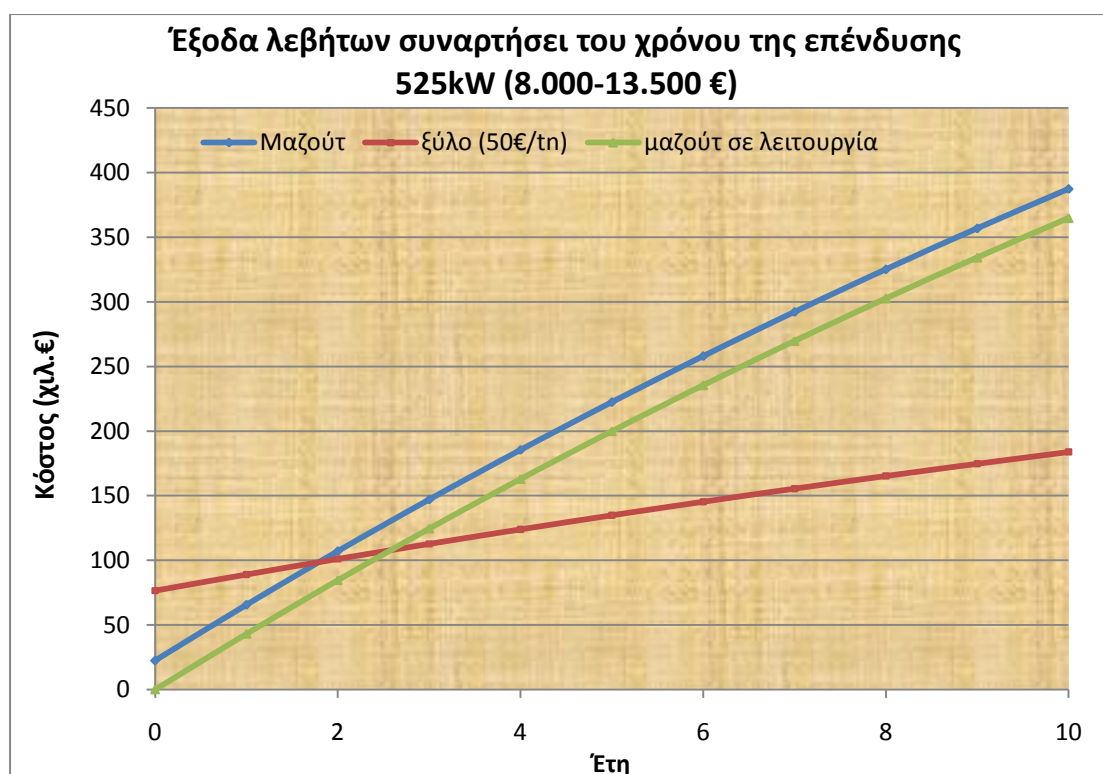
Οι τιμές φαίνονται στον πίνακα: (xNPV – τιμές σε €)

Ισχύς kW / Καύσιμο	Μαζούτ	Ξύλο
525	387.292	183.843
750	549.595	231.430
1160	842.681	321.641
1750	1.256.610	446.928
2300	1.639.019	560.281

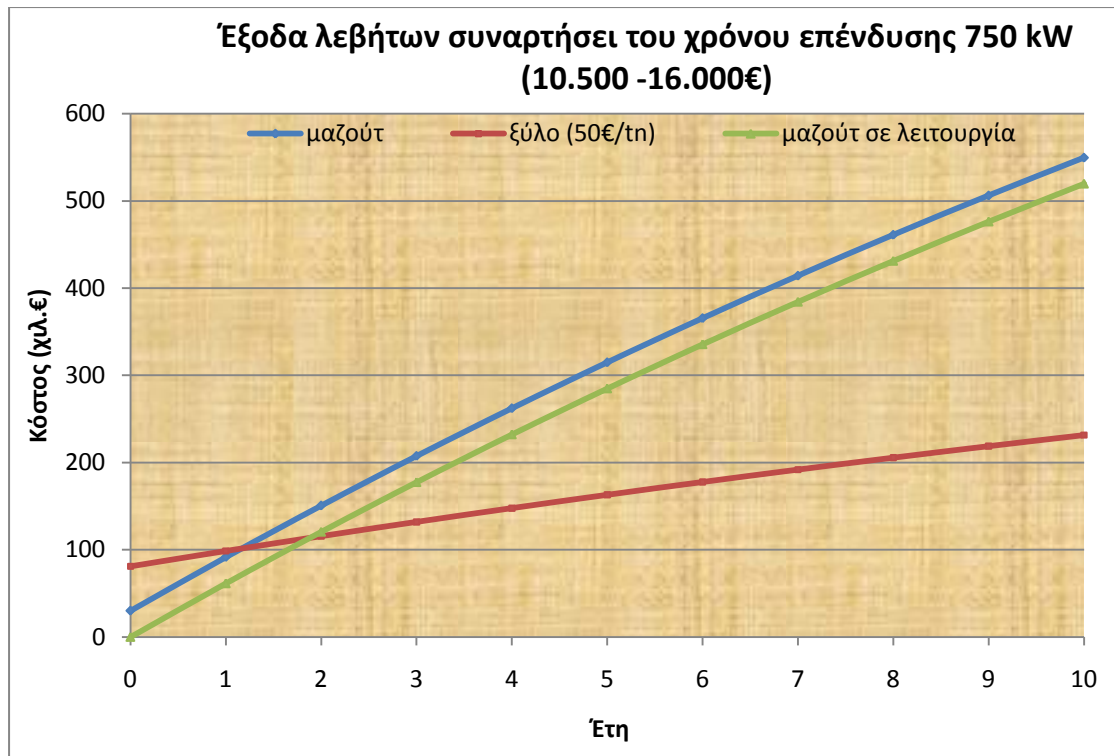
Πίνακας 23 : Έξοδα αγοράς και εγκατάστασης λεβήτων xNPV

Παρατηρούμε ότι σε κάθε περίπτωση πιο ελκυστική είναι η επένδυση σε λέβητα ξύλου αφού συνολικά παρουσιάζει τα χαμηλότερα κόστη σε βάθος δεκαετίας, παρότι απαιτεί υψηλότερη αρχική αξία.

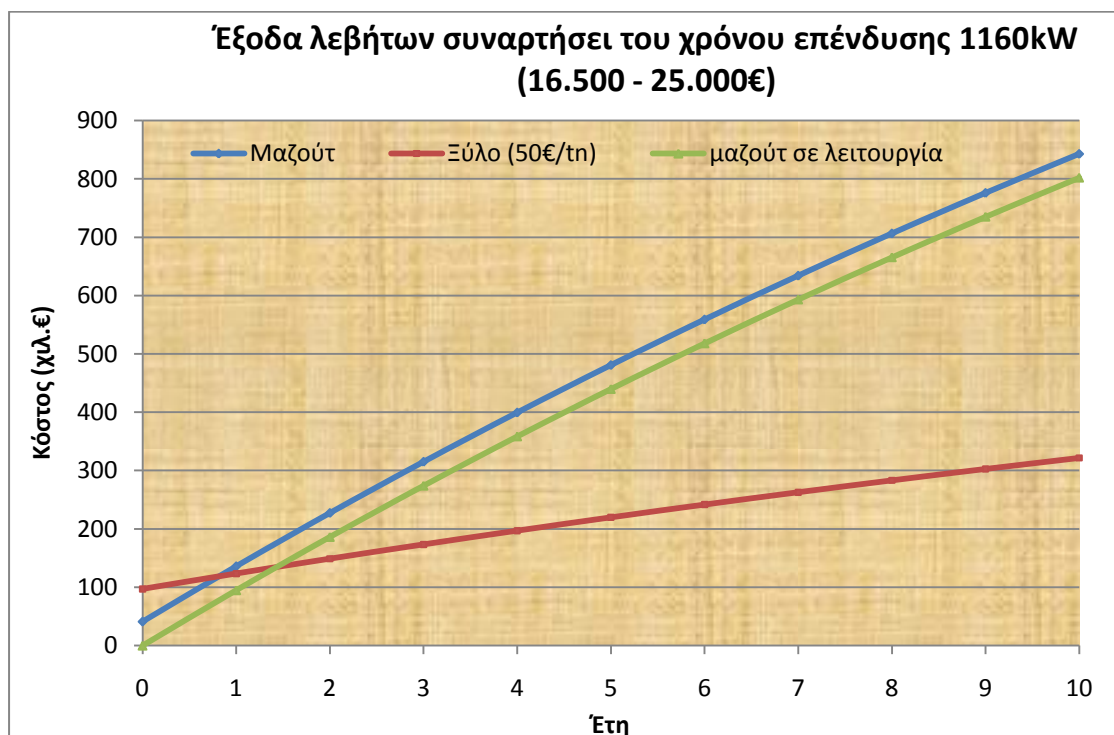
Συγκριτικά προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα: (οι τιμές στην παρένθεση αφορούν τις τιμές των λεβήτων για τις οποίες έγιναν τα διαγράμματα, οι οποίες ταυτόχρονα αποτελούν μέσες τιμές αγοράς των αντίστοιχων λεβήτων).



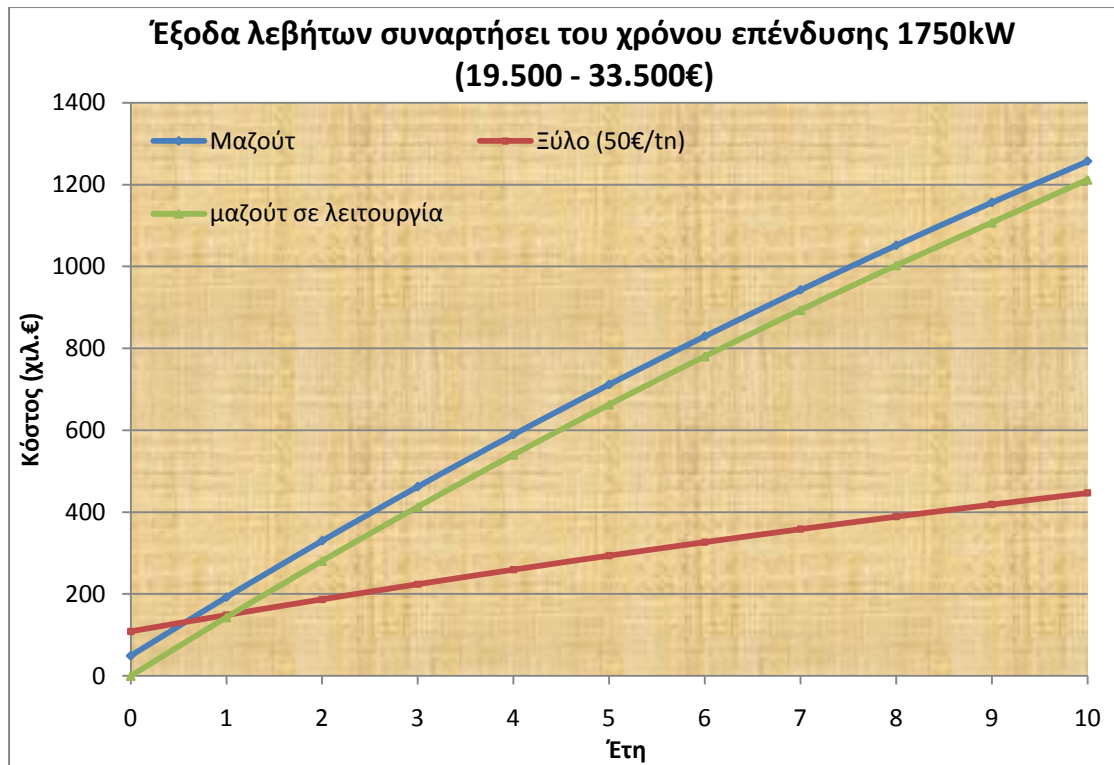
Διάγραμμα 53: Έξοδα λέβητα 525kW συναρτήσει του χρόνου της επένδυσης



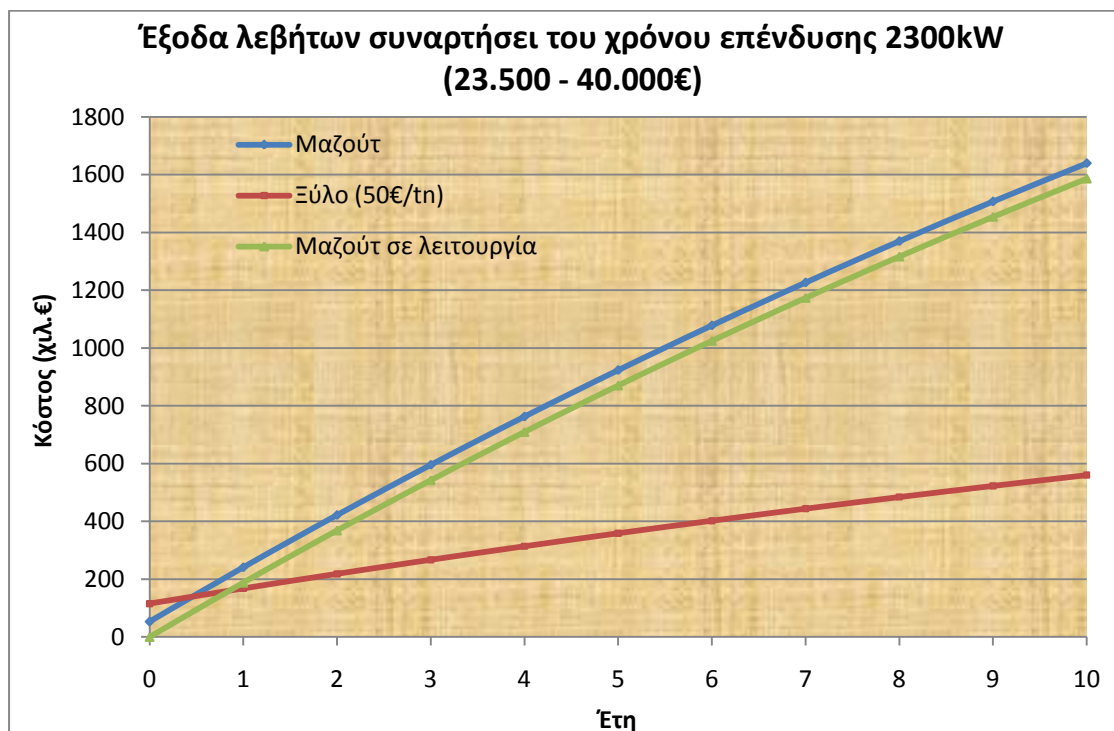
Διάγραμμα 54: Έξοδα λέβητα 750kW συναρτήσει του χρόνου της επένδυσης



Διάγραμμα 55 : Έξοδα λέβητα 1160kW συναρτήσει του χρόνου της επένδυσης



Διάγραμμα 56: Έξοδα λέβητα 1750kW συναρτήσει του χρόνου της επένδυσης



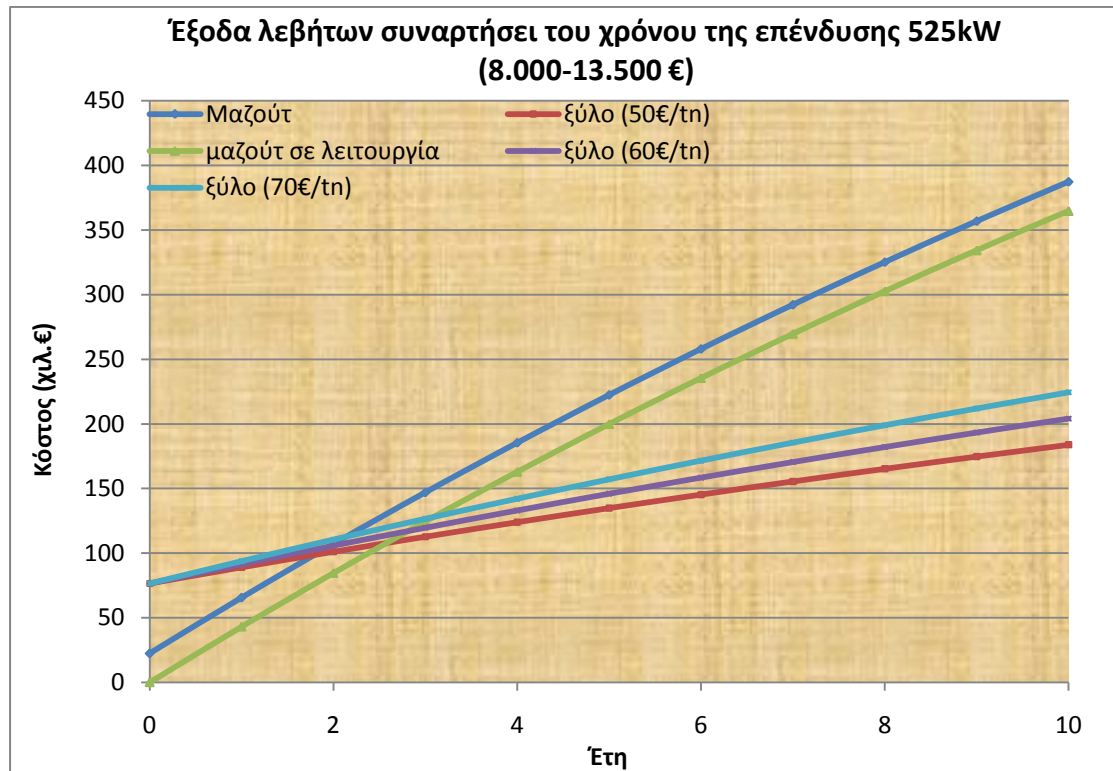
Διάγραμμα 57: Έξοδα λέβητα 2300kW συναρτήσει του χρόνου της επένδυσης

#### **5.2.4 Συμπεράσματα**

Στα ανωτέρω διαγράμματα με πράσινο συμβολίζονται τα έξοδα για έναν λέβητα μαζούτ ο οποίος βρίσκεται ήδη εγκατεστημένος σε κάποια θερμοκηπιακή μονάδα και λειτουργεί, έτσι ώστε να μπορούμε να εξετάσουμε την περίπτωση αντικατάστασης του παλαιού και ρυπογόνου λέβητα, με έναν ξύλου, νέας τεχνολογίας και από την οικονομική σκοπιά.

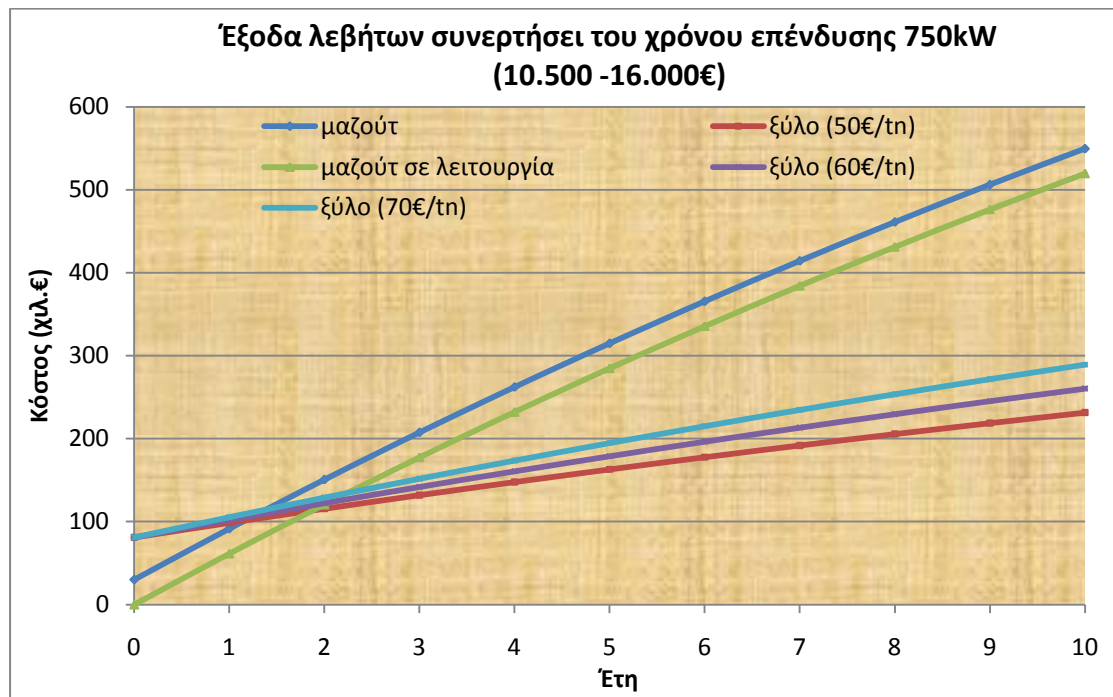
1. Σε όλες τις περιπτώσεις οι καμπύλες των δύο λεβήτων που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ δεν διαφέρουν σημαντικά, αφού το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός τέτοιου λέβητα κυμαίνεται σε λογικά χαμηλές τιμές.
2. Όσο αυξάνει η ισχύς του εγκατεστημένου λέβητα, τόσο πιο σύντομα ο λέβητας του ξύλου εμφανίζει συγκριτικά χαμηλότερα κόστη, αφού το κέρδος από την χαμηλή τιμή του καυσίμου ολοένα και αυξάνει.
3. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η οικονομική ανάλυση που προηγήθηκε έγινε λαμβάνοντας υπ όψιν τις σημερινές τιμές των καυσίμων, δηλαδή 450€/tn για το υγρό καύσιμο και 50€/tn για το ξύλο αντίστοιχα και για τις ίδιες ώρες λειτουργίας, δηλαδή 2000hr/year.
4. Η χειρότερη, από την οικονομική σκοπιά, επιλογή εμφανίζεται στο λέβητα μικρότερης δυναμικότητας, αλλά ακόμα και σε αυτή τη δυσμενέστερη περίπτωση, ο λέβητας του ξύλου εμφανίζει συνολικά χαμηλότερα έξοδα από τον τρίτο χρόνο και μετά, αν συγκριθεί με ήδη υπάρχων λέβητα μαζούτ, και από τον δεύτερο χρόνο και μετά, αν η εγκατάσταση γίνει από την αρχή.
5. Η δυσμενής αυτή θέση που βρίσκονται, όσον αφορά τις οικονομικές καταναλώσεις, οι λέβητες μαζούτ έχει προκύψει από την ραγδαία αύξηση της τιμής του πετρελαίου τη τελευταία τριετία, αφού το έτος 2006-2007 οι αντίστοιχες τιμές για τα καύσιμα ήταν 180€/tn για το μαζούτ και περίπου ίδια για το ξύλο. Το στοιχείο αυτό, σε συνδυασμό με την υψηλή διαθεσιμότητα του ως καύσιμο αλλά και την εύκολη και οικονομική αποθήκευση του, το μετέτρεψαν στην αρχική επιλογή ενός παραγωγού. Στην αντίπερα όχθη, μπορεί η βιομάζα ως καύσιμο να φαντάζει ιδιαίτερα θελκτική, απαιτεί όμως ταυτόχρονα αυξημένους χώρους συλλογής και αποθήκευσης, ενώ προβλήματα συναντώνται επίσης και στην εύρεση του αφού η διαθεσιμότητα της ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και τους μεταφορείς.
6. Για το λόγο αυτό ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα τα οποία έχουν διαμορφωθεί με προσαυξημένη την τιμή του ξύλου ώστε η μελέτη να είναι πλήρης. ( Τα υπόλοιπα στοιχεία διατηρούνται όπως πριν)

Περίπτωση 1: Λέβητας 525 kW (Αύξηση κόστους ξύλου από 50€/tn κατά 20% και 40%)



Διάγραμμα 58: Έξοδα λέβητα 525kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

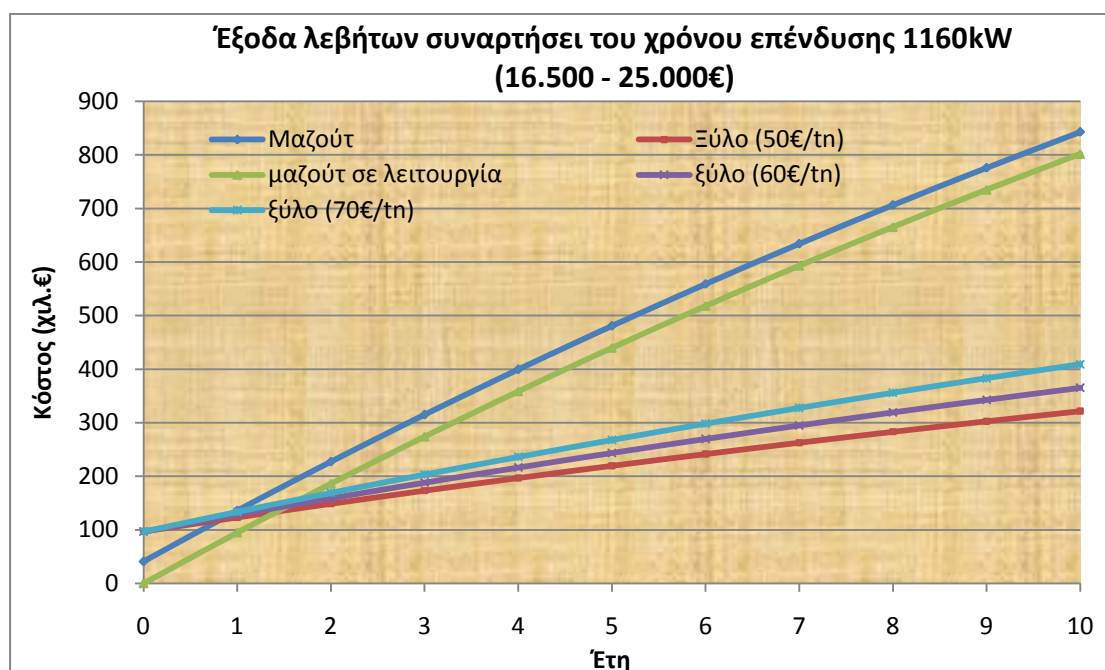
Περίπτωση 2: Λέβητας 750 kW (Αύξηση κόστους ξύλου από 50€/tn κατά 20% και 40%)



Διάγραμμα 59: Έξοδα λέβητα 750kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

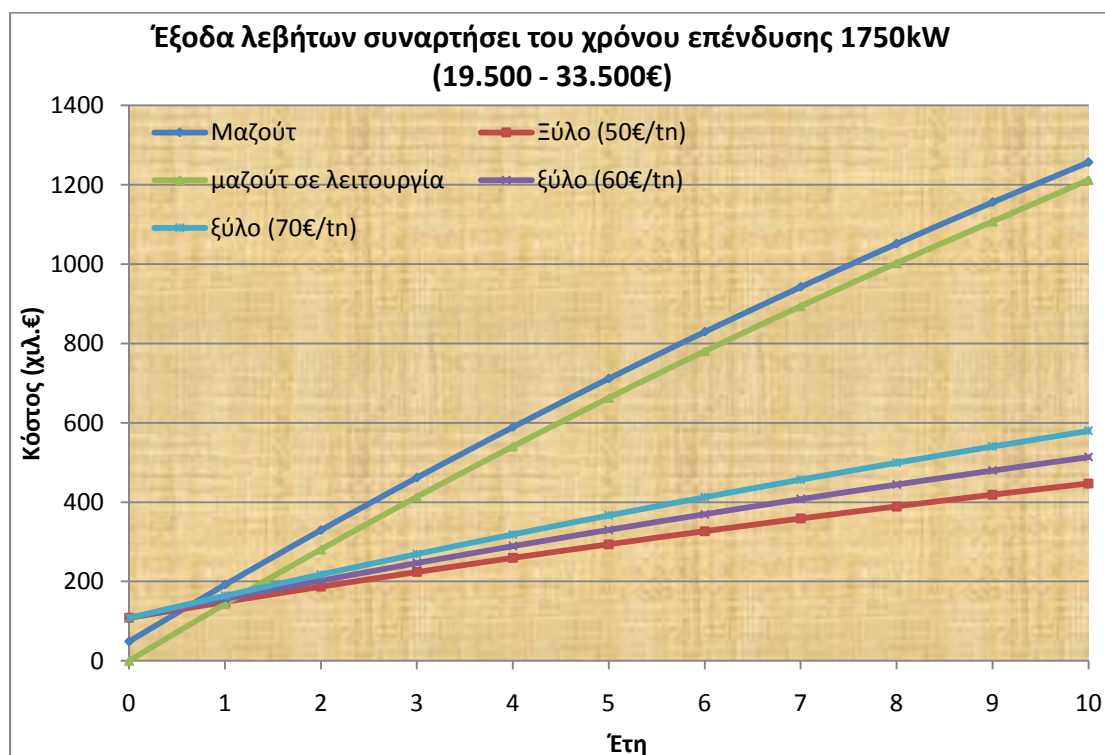


Περίπτωση 3: Λέβητας 1160 kW (Αύξηση κόστους ξύλου από 50€/tn κατά 20% και 40%)



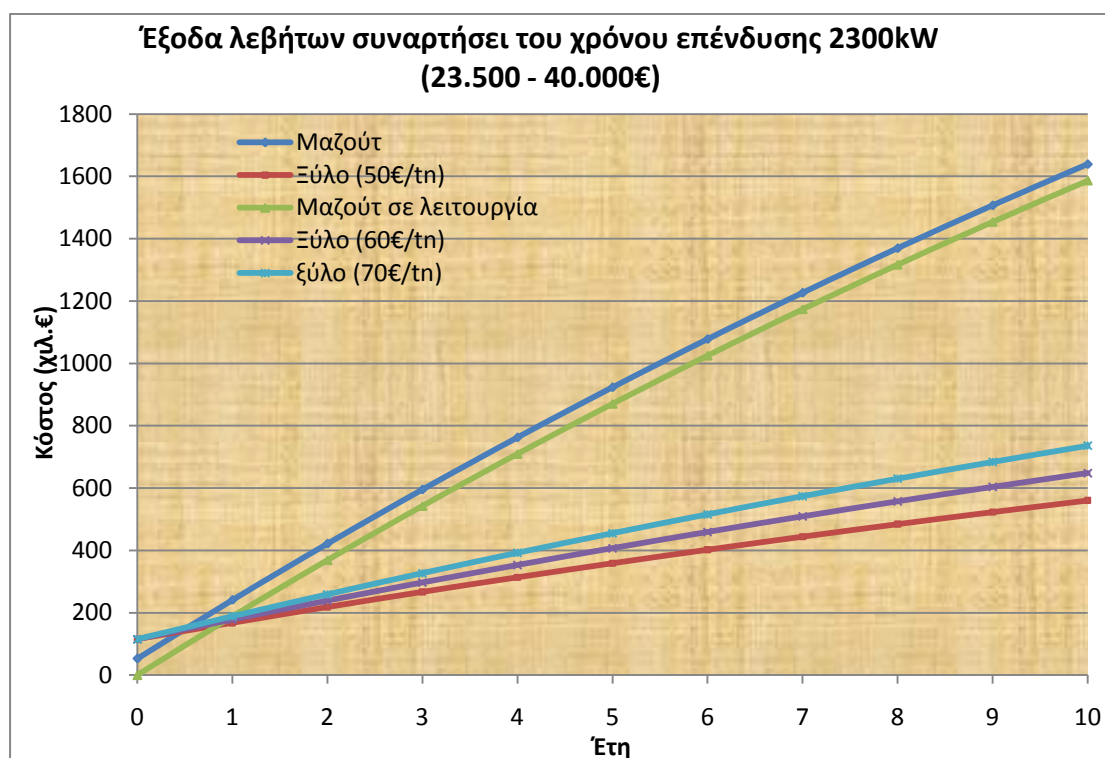
Διάγραμμα 60: Έξοδα λέβητα 1160kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

Περίπτωση 4: Λέβητας 1750 kW (Αύξηση κόστους ξύλου από 50€/tn κατά 20% και 40%)



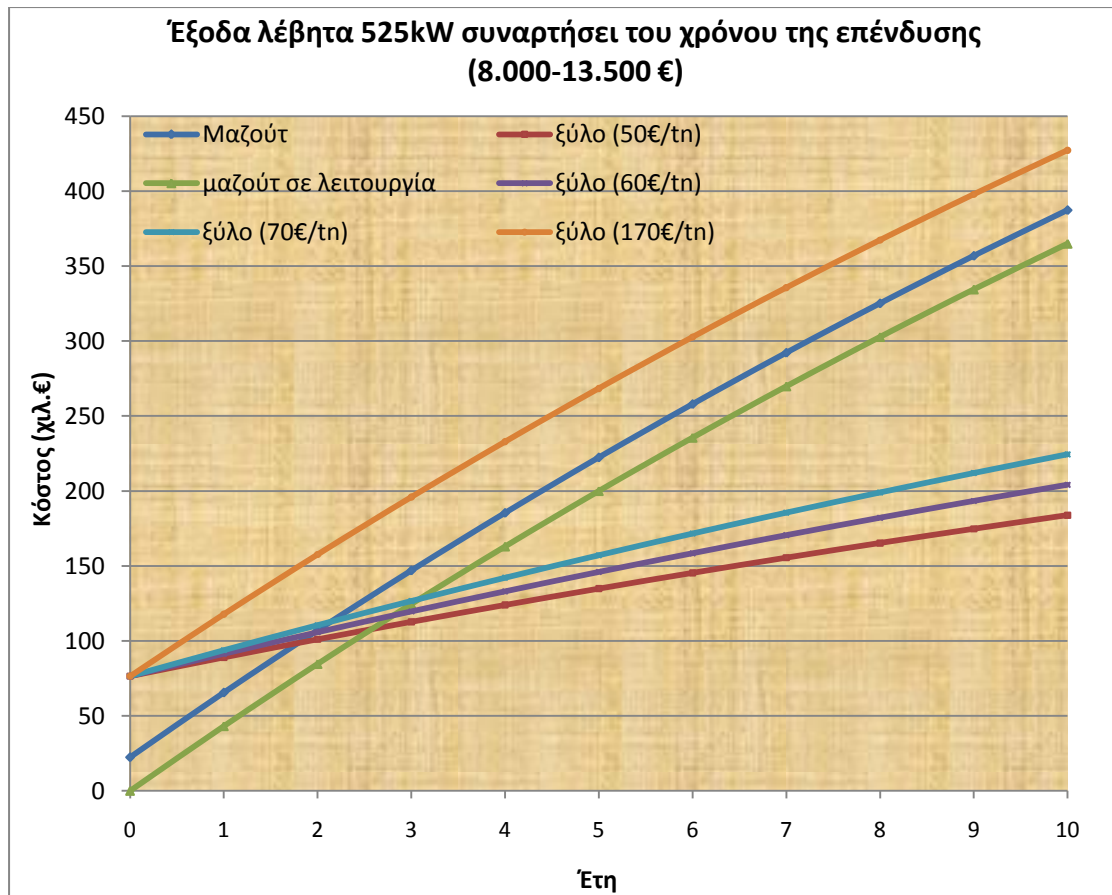
Διάγραμμα 61: Έξοδα λέβητα 1750kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

Περίπτωση 5: Λέβητας 2300 kW (Αύξηση κόστους ξύλου από 50€/tn κατά 20% και 40%)



**Διάγραμμα 62:** Έξοδα λέβητα 2300kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

7. Παρατηρούμε πως ακόμα και με αύξηση της τιμής του ξύλου κατά 40%, δηλαδή μεταβολή της αξίας αγοράς του από 50 σε 70€, η εγκατάσταση εμφανίζει μικρότερα έξοδα στη χειρότερη περίπτωση (525kW) μετά τον δεύτερο χρόνο συγκρινόμενος με αγορά νέου λέβητα μαζούτ και μετά τον τρίτο χρόνο συγκρινόμενος με ήδη υπάρχοντα λέβητα μαζούτ της ίδιας δυναμικότητας.
8. Από τα διαγράμματα είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς ότι η περίπτωση κατά την οποία συμφέρει λιγότερο η επιλογή ενός λέβητα ξύλου είναι αυτή των 525kW ενώ με δοκιμές προκύπτει ότι η τιμή του ξύλου πρέπει να διαμορφωθεί περίπου στα 170 με 180€/tn ώστε να μην συμφέρει όπως φαίνεται στο διάγραμμα:



Διάγραμμα 63: Έξοδα λέβητα 525kW συναρτήσει του χρόνου και του κόστους του καυσίμου

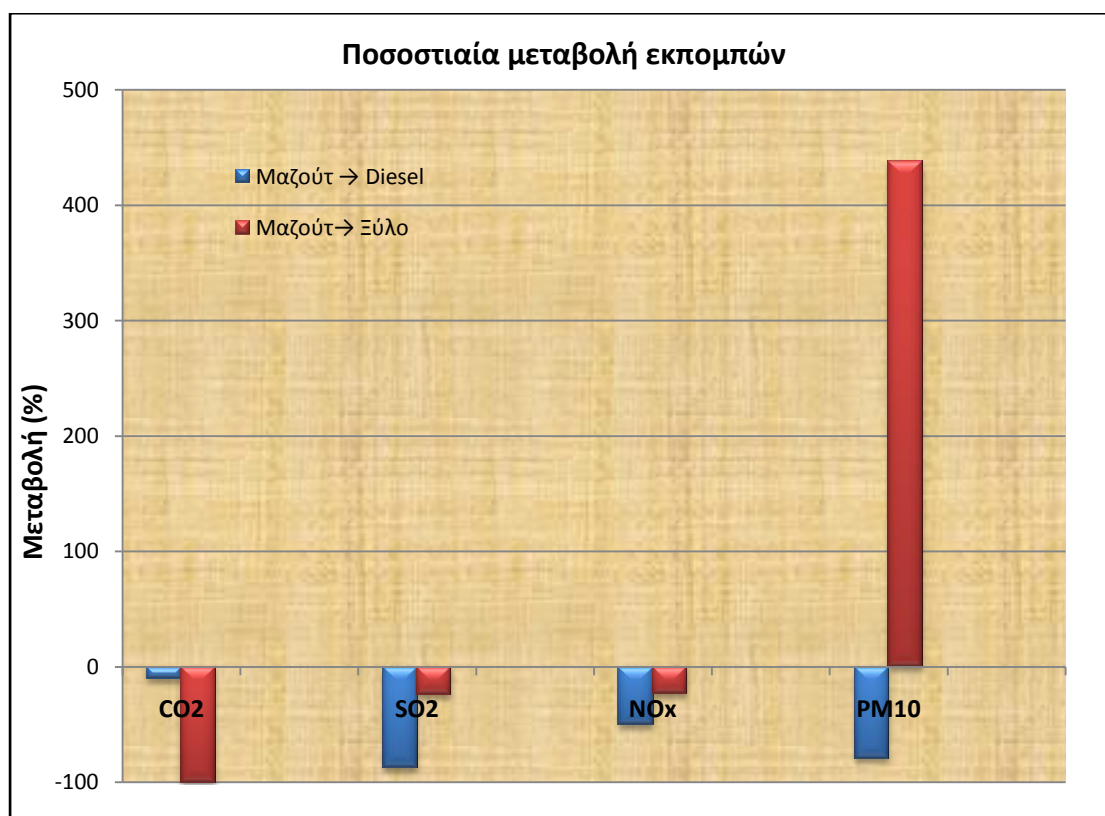
9. Από το τελευταίο διάγραμμα παρατηρούμε πως ακόμα και με την τιμή του ξύλου να έχει εκτοξευθεί στα 170 €/tn στη δέκατη χρονιά τα κόστη είναι παραπλήσια, στοιχείο που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από τον εντέκατο χρόνο και μετά ο λέβητας του ξύλου θα εμφανίσει οριακά ίσα ή ακόμα και μικρότερα συνολικά έξοδα, ενώ από το δωδέκατο έτος και μετά θα είναι σίγουρα οικονομικότερος από τον αντίστοιχο του μαζούτ.

### 5.2.5 Περιβαλλοντική Ανάλυση

Για λόγους πληρότητας της μελέτης οφείλουμε να εξετάσουμε την πιθανότητα αντικατάστασης ενός ρυπογόνου λέβητα μαζούτ από έναν βιομάζας και συγκεκριμένα ξύλου, όχι μόνο από την οικονομική αλλά και από την περιβαλλοντική σκοπιά, δηλαδή κατά πόσο υπάρχει περιβαλλοντικό όφελος. Η ανάλυση και τα διαγράμματα που ακολουθούν αφορούν όπως και ανωτέρω τους 5 τυπικούς λέβητες που συναντάμε σε ένα θερμοκήπιο με δυναμικότητες που κυμαίνονται από τα 525-2300kW. Ενώ για το CO<sub>2</sub> η μείωση των εκπομπών είναι προφανής, για τους άλλους ρύπους αξίζει να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων. Οι ακριβείς υπολογισμοί των εκπομπών παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα III όπως ακριβώς έγινε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

	Περιβαλλοντικά οφέλη					
	Diesel (gr/kWhth)	Diesel (tn/year)	Μαζούτ (tn/year)	Μαζούτ (gr/kWhth)	Ξύλο (tn/year)	Ξύλο (gr/kWh)
<b>CO<sub>2</sub></b>	260	273	304,684	290,1750	0	0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,35	0,3675	2,9694	2,8280	2,2478	2,140714286
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,31	0,3255	0,6563	0,6251	0,5016375	0,47775
<b>PM10</b>	0,02	0,021	0,1021	0,0973	0,5494125	0,52325

Πίνακας 24: Συγκεντρωτικές τιμές εκπομπών για λέβητα 525kW



Διάγραμμα 64: Ποσοστιαία μεταβολή εκπομπών για αλλαγή λεβήτων

Περιβαλλοντικά οφέλη						
	Diesel (gr/kWhth)	Diesel (tn/year)	Μαζούτ (tn/year)	Μαζούτ (gr/kWhth)	Ξύλο (tn/year)	Ξύλο (gr/kWh)
<b>CO<sub>2</sub></b>	260	390	435,2625	290,1750	0	0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,35	0,525	4,2419	2,8280	3,2031	2,13542244
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,31	0,465	0,9376	0,6251	0,7148535	0,476569
<b>PM10</b>	0,02	0,03	0,1459	0,0973	0,7829355	0,521957

Πίνακας 25: Συγκεντρωτικές τιμές εκπομπών για λέβητα 750kW

Περιβαλλοντικά οφέλη						
	Diesel (gr/kWhth)	Diesel (tn/year)	Μαζούτ (tn/year)	Μαζούτ (gr/kWhth)	Ξύλο (tn/year)	Ξύλο (gr/kWh)
<b>CO<sub>2</sub></b>	260	603,2	673,2060	290,1750	0	0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,35	0,812	6,5609	2,8280	4,8487	2,089942448
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,31	0,7192	1,4502	0,6251	1,08209208	0,466419
<b>PM10</b>	0,02	0,0464	0,2257	0,0973	1,1851488	0,51084

Πίνακας 26: Συγκεντρωτικές τιμές εκπομπών για λέβητα 1160kW

Περιβαλλοντικά οφέλη						
	Diesel (gr/kWhth)	Diesel (tn/year)	Μαζούτ (tn/year)	Μαζούτ (gr/kWhth)	Ξύλο (tn/year)	Ξύλο (gr/kWh)
<b>CO<sub>2</sub></b>	260	910	1015,6125	290,1750	0	0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,35	1,225	9,8979	2,8280	7,3717	2,106205971
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,31	1,085	2,1878	0,6251	1,6451715	0,470049
<b>PM10</b>	0,02	0,07	0,3405	0,0973	1,801856	0,514816

Πίνακας 27: Συγκεντρωτικές τιμές εκπομπών για λέβητα 1750kW

Περιβαλλοντικά οφέλη						
	Diesel (gr/kWhth)	Diesel (tn/year)	Μαζούτ (tn/year)	Μαζούτ (gr/kWhth)	Ξύλο (tn/year)	Ξύλο (gr/kWh)
<b>CO<sub>2</sub></b>	260	1196	1334,8049	290,1750	0	0
<b>SO<sub>2</sub></b>	0,35	1,61	13,0086	2,8280	9,7410	2,117615048
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,31	1,426	2,8753	0,6251	2,173937	0,472595
<b>PM10</b>	0,02	0,092	0,4475	0,0973	2,3809784	0,517604

Πίνακας 28: Συγκεντρωτικές τιμές εκπομπών για λέβητα 2300kW

#### Σχολιασμός της μετάβασης από λέβητα μαζούτ σε λέβητα πετρελαίου:

Καθ' ό τι το πετρέλαιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς ήταν αρκετά καλής ποιότητας και καθαρότητας είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς πως συγκριτικά με το χειρότερης ποιότητας μαζούτ, εμφανίζει μείωση των εκπεμπόμενων αερίων και σωματιδίων για όλες τις δυναμικότητες των εξεταζόμενων λεβήτων. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 60 η μείωση κυμαίνεται από 10% για τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> και αγγίζει το εξαιρετικά υψηλό ποσοστό του 87% για τα αιωρούμενα σωματίδια. Αν είμαστε σε θέση λοιπόν να παραμερίσουμε την υψηλότερη τιμή αγοράς του πετρελαίου σαφέστατα κατά την καύση του θα προκύψει σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος. Παρατηρούμε ακόμα πως ενώ αλλάζουν οι ισχύς των λεβήτων τα ποσοστά μεταβολής των ρύπων παραμένουν σχεδόν σταθερά αφού εξαρτώνται κυρίως από το καύσιμο και τις συνθήκες καύσης, τα οποία και διατηρούνται αμετάβλητα. Για το λόγο αυτό παραθέτουμε μόνο ένα διάγραμμα μεταβολών το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό για όλο το εύρος των εξεταζόμενων λεβήτων. Αυτό που χωρίς αμφιβολία μεταβάλλεται είναι οι ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων οι οποίες αυξάνουν όσο μεγαλώνει η ισχύς του λέβητα και οι τιμές των οποίων φαίνονται στους ανωτέρω πίνακες.

#### Σχολιασμός της μετάβασης από λέβητα μαζούτ σε λέβητα ξύλου:

Χρησιμοποιώντας ως καύσιμο για το λέβητα μαζούτ το ίδιο με προηγουμένως αξίζει να γίνει μια ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα προκύψουν κατά την αντικατάσταση ενός παλιού και ρυπογόνου λέβητα μαζούτ με έναν νέο και σύγχρονου λέβητα βιομάζας για την ίδια φυσικά ισχύ. Εργαζόμενοι παράλληλα με την οικονομική αξιολόγηση που προηγήθηκε είμαστε πλέον σε θέση να γνωρίζουμε όλες τις παραμέτρους, οικονομικές και περιβαλλοντικές, ώστε να μπορέσουμε να επιλέξουμε τον κατάλληλο τύπο λέβητα για τις δικές μας ανάγκες. Από την περιβαλλοντική σκοπιά οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> εμφανίζουν 100% μείωση, αφού χρησιμοποιώντας το ξύλο ως καύσιμο το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται δεν επιβαρύνει το ισοζύγιο της ατμόσφαιρας τιμή η οποία απεικονίζεται και στο διάγραμμα 60. Στην ίδια πορεία με το CO<sub>2</sub> κινούνται επίσης και το SO<sub>2</sub> και τα NO<sub>x</sub> εμφανίζοντας μειώσεις της τάξης του 20%, τιμή ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτη αν αναλογιστεί κανείς πως το ξύλο πωλείται σε αρκετά χαμηλότερες τιμές και εμφανίζει μικρότερη θερμογόνο ικανότητα. Φυσικά πρέπει να σχολιαστεί η εξαιρετικά μεγάλη αύξηση που παρουσιάζουν τα αιωρούμενα σωματίδια στον λέβητα ξύλου, παρενέργεια αναμενόμενη αφού το ξύλο ως καύσιμο εμφανίζει υψηλότερες τιμές τέφρας. Η τιμή αυτή κυμαίνεται στο επίπεδο του 450%, τιμή ιδιαίτερα υψηλή για να μείνει ασχολίαστη. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση και στην αντικατάσταση αυτή αυξάνουν οι παραγόμενες ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων όσο μεγαλώνει η ισχύς του προς αντικατάσταση λέβητα, τιμές που φαίνονται και στους ανωτέρω πίνακες.

### **5.3 Παράδειγμα εγκατεστημένης μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας 5MW σε θερμοκήπιο έκτασης 100 στρεμμάτων.**

#### **5.3.1 Εισαγωγή**

Η θερμοκηπιακή αυτή μονάδα, έκτασης 100 στρεμμάτων, βρίσκεται εγκατεστημένη στη περιοχή της Δράμας και κατασκευάστηκε τη διετία 2005-2006 και παραδόθηκε τον Σεπτέμβριο του 2006 από τον Ολλανδικό οίκο κατασκευής θερμοκηπίων Dalsem. (Dalsem). Καθώς η μονάδα είναι μεγάλη σε έκταση, όπως είναι λογικό, οι ανάγκες σε θέρμανση είναι πολύ μεγάλες, το ίδιο και οι ηλεκτρικές καταναλώσεις. Όπως συμβαίνει στη πλειονότητα των περιπτώσεων αυτών στο εξωτερικό, μελετήθηκε και σε αυτό το έργο η εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής, ώστε αφενός να καλύπτονται οι θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες του έργου, αλλά ταυτόχρονα να διοχετεύεται ηλεκτρική ενέργεια προς το δίκτυο με σκοπό την αύξηση των εσόδων. Το πλησιέστερο στη μονάδα καύσιμο με μεγάλη διαθεσιμότητα ήταν το φυσικό αέριο οπότε η επιλογή του καυσίμου ήταν μονόδρομος. Το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται είναι της τάξης των 5 MW και υπεύθυνα για την παραγωγή του είναι τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη της Caterpillar, τα οποία χρησιμοποιούν παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης (δέκα-εξακύλινδρες με διπλή υπερπλήρωση καυσασερίων). Το θερμικό φορτίο που παράγεται είναι περίπου της ίδιας ισχύος (5 MWth) και μεταφράζεται σε θέρμανση νερού, το οποίο χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του εσωτερικού του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα γίνεται εκμετάλλευση των εκλυόμενων καυσασερίων και καθαρισμός τους από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο μετά τη δέσμευση του τροφοδοτείται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ώστε να προσφέρει ένα ευνοϊκότερο περιβάλλον ανάπτυξης για τα φυτά. ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr))

#### **5.3.2 Υδροπονική καλλιέργεια**

Στις εγκαταστάσεις των 10 στρεμμάτων καλλιεργούνται κηπευτικά και συγκεκριμένα πιπεριά ποικιλίας Ferrari με την παραγωγή να αγγίζει τους 1900 tn ετησίως. ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr)) Η καλλιέργεια παράγεται με την υδροπονική μέθοδο κατά την οποία η καλλιέργεια των φυτών γίνεται σε υποστρώματα, εκτός του εδάφους. Υπεύθυνοι για αυτό είναι οι ονομαζόμενοι σάκοι ανάπτυξης κατασκευασμένοι από ειδικό πλαστικό διπλής όψευς, μαύρου χρώματος εσωτερικά και λευκού εξωτερικά, ώστε να μη φθάνει το φως στο περιβάλλον της ρίζας. Είναι, επίσης, σταθεροποιημένοι ενάντια στα χημικά και το ηλιακό φως, ώστε να εξασφαλίζεται διάρκεια ζωής τουλάχιστον τριών ετών. Οι σάκοι αυτοί περιέχουν χώμα καθώς και όλα τα χημικά συστατικά που είναι απαραίτητα για τη σωστή ανάπτυξη του φυτού, ενώ συνήθως σε σάκους μήκους ενός μέτρου τοποθετούνται τρεις ρίζες του προς καλλιέργεια φυτού. (Σαμαντούρος)



Εικόνα 21: Σάκοι ανάπτυξης φυτών σε υδροπονική καλλιέργεια (Σαμαντούρος)

#### Πλεονεκτήματα Υδροπονικής καλλιέργειας: (Σαμαντούρος)

- Ριζική αντιμετώπιση των ασθενειών των θερμοκηπιακών καλλιεργειών οι οποίες μεταδίδονται μέσω του εδάφους (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, πυρηνοχαίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και ιοί φυτών, κ.λπ.).
- Δεν υφίσταται ανάγκη για καταπολέμηση των ζιζανίων που ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά.
- Δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους με συνέπεια να αποφεύγεται η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους τόσο για την υγεία των παραγωγών και των καταναλωτών όσο και για το περιβάλλον.
- Μείωση υπερβολικών χημικών ψεκασμών και συνεπώς ανάπτυξη υγιέστερων φυτών με υψηλή θρεπτική περιεκτικότητα.
- Αντιμετώπιση των προβλημάτων χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. πολύ βαριά ή πολύ ελαφρά εδάφη, εναλατωμένα εδάφη, κ.λπ.).
- Η διατήρηση της επιθυμητής ελάχιστης θερμοκρασίας στον χώρο του ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα και με χαμηλότερο κόστος δεδομένου ότι οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα στον περιορισμένο όγκο των υποστρωμάτων ή των θρεπτικών διαλυμάτων, τα οποία μάλιστα βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
- Η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος.
- Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λπ.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και



αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενη

- Οι καλύτερες φυσικο-χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες.
- Η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να περιλαμβάνει και ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, με συνέπεια την ελαχιστοποίηση ή και τον μηδενισμό των προβλημάτων νιτρορύπανσης και ευτροφισμού τα οποία προκαλούνται από υπολείμματα λιπασμάτων από θερμοκηπιακές καλλιέργειες.

### **5.3.3 Εμπλουτισμός των φυτών με διοξείδιο του άνθρακα**

(Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα σε κανονικές συνθήκες είναι 0,035% (=350ppm), τιμή που είναι αρκετή για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στη φύση. Τα περισσότερα φυτά έχουν την ικανότητα να αυξάνουν το ρυθμό της ανάπτυξης τους αν η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα αυξηθεί σε τιμές μέχρι 2000ppm. Σε γενικές γραμμές η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο παρουσιάζει μία διακύμανση, κυρίως λόγω του κλειστού χώρου, και κυμαίνεται από 0,04 % κατά τη διάρκεια της νύχτας μέχρι και 0,02% την ημέρα. Το πρόβλημα εντοπίζεται όταν δεν υπάρχει ανανέωση του αέρα όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα: Σε ένα θερμοκήπιο ύψους 3 μέτρων η καλλιέργεια καταναλώνει περίπου 2000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>(έκτασης)hr, ενώ όπως προαναφέρθηκε η ποσότητα στον αέρα ενός m<sup>3</sup> είναι 350cm<sup>3</sup>, εάν δεν υπάρξει ανανέωση του αέρα το CO<sub>2</sub> του χώρου θα εξαντληθεί σε 30 λεπτά περίπου, ενώ αν αναλογιστούμε ότι η κατώτατη τιμή στην οποία μπορεί να γίνει φωτοσύνθεση από ένα φυτό είναι 150ppm, τότε ο χρόνος που απομένει είναι περίπου 20 λεπτά. Εκτός της αναπλήρωσης του καταναλισκόμενου από τη φωτοσύνθεση CO<sub>2</sub> αποδεικνύεται επίσης ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις όχι μόνο κάνουν αποδοτικότερη τη φωτοσύνθεση αλλά μειώνουν και το ρυθμό της φωτοαναπνοής. Οι συγκεντρώσεις που είναι επιθυμητές στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κυμαίνονται μεταξύ 0,08 – 0,18 % (800-1800ppm). Στη Β. Ευρώπη έχει παρατηρηθεί ότι με εμπλουτισμό CO<sub>2</sub> όλη τη χειμερινή περίοδο παραγωγής τριαντάφυλλων σε επίπεδο 0,1%, παρουσιάζεται αύξηση της παραγωγής μέχρι και 53%, ενώ σε καλλιέργεια όπως ντομάτα και αγγούρι η αύξηση αγγίζει το 38- 45%. Δεν πρέπει βέβαια να ξεχνάμε ότι σημαντικό ρόλο παίζουν και οι υπόλοιποι συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών όπως φωτισμός, θερμοκρασία, λίπανση κ.α. ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην αυξημένο ρυθμό παραγωγής των φυτών.

Ο εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> γίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε βρίσκεται σε λειτουργία η φωτοσύνθεση (από την ανατολή του ηλίου μέχρι μία ώρα πριν τη δύση του ηλίου), ενώ θεωρείται ότι είναι αποδοτικότερο κατά τις πρωινές ώρες. Ο εμπλουτισμός κυρίως γίνεται κατά την περίοδο μεταξύ Νοέμβριο και Απρίλιο, γιατί τότε η χρονική διάρκεια που μένουν τα παράθυρα του θερμοκηπίου ανοικτά για τον απαραίτητο αερισμό είναι μικρότερη, κάτι που οδηγεί σε μείωση των απωλειών λόγω αερισμού.

1. Εξάτμιση υγρού CO<sub>2</sub>: Κατά τη μέθοδο αυτή, το διοξείδιο βρίσκεται αποθηκευμένο σε υγρή μορφή υπό υψηλή πίεση και διοχετεύεται με σωληνώσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω βαλβίδων που ρυθμίζουν την πίεση. Η κατανομή στο χώρο γίνεται με πλαστικούς διάτρητους σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται περίπου κάθε 6m κατά πλάτος του θερμοκηπίου. Επίσης, είναι καλύτερη η τοποθέτηση των σωλήνων στο μέσον περίπου της κόμης των φυτών γιατί το CO<sub>2</sub> είναι βαρύτερο του αέρα. Σε ένα συνηθισμένο θερμοκήπιο απαιτούνται περίπου 18gr/m<sup>2</sup>hr καθαρό CO<sub>2</sub>, ενώ ένα κιλό υγρού CO<sub>2</sub> αεριοποιούμενο παράγει 0,68m<sup>3</sup> αέριο CO<sub>2</sub>. Σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου βρίσκονται τοποθετημένοι μετρητές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίοι μέσω συστήματος αυτομάτου ελέγχου ρυθμίζουν την εκλυόμενη από το σύστημα ποσότητα.
2. Εξάχνωση στερεού CO<sub>2</sub> (ξηρός πάγος): Μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου τοποθετούνται ανά διαστήματα τεμάχια ξηρού πάγου ώστε με την εξαέρωση τους να δίνουν ποσότητες CO<sub>2</sub> σε όλο το χώρο. Στη περίπτωση αυτή βέβαια δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της εξαέρωσης αφού από τη στιγμή που θα αφηθεί στο περιβάλλον, ο ξηρός πάγος εξαερώνεται χωρίς έλεγχο.
3. Αξιοποίηση των καυσαερίων της θέρμανσης: Το CO<sub>2</sub> σε συγκεντρώσεις μέχρι 2000ppm δεν είναι βλαβερό ούτε για τα φυτά ούτε για τον άνθρωπο. Όταν όμως τα καύσιμα περιέχουν θείο, τότε με την καύση αυτό οξειδώνεται σε SO<sub>2</sub> που είναι επιζήμιο για τα φυτά. Όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο το φυσικό αέριο, η περιεκτικότητά του σε θείο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 23mg/m<sup>3</sup>. Η έλλειψη θείου στο καύσιμο δεν εγγυάται ότι δεν υπάρχουν άλλες τοξικές για τα φυτά συνθέσεις στο καυσαέριο, αφού σε περιπτώσεις ατελούς καύσης δημιουργούνται ακόρεστοι υδρογονάνθρακες, όπως αιθυλένιο και μονοξείδιο του άνθρακα. Οι καυστήρες που σβήνουν όταν η θερμοκρασία του ρευστού φτάσει ένα όριο και ξανά ανοίγουν όταν αυτή πέσει δεν χρησιμοποιούνται για εμπλουτισμό γιατί κατά την εκκίνηση παράγεται σημαντική ποσότητα επιζήμιων αερίων. Για εμπλουτισμό χρησιμοποιούνται κυρίως καυστήρες οι οποίοι λειτουργούν συνεχώς και ρυθμίζεται η ένταση της φλόγας τους ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Ο καλύτερος τρόπος για να αποφευχθεί η είσοδος στο θερμοκήπιο του CO είναι η τοποθέτηση ενός αντίστοιχου μετρητή στα καυσαέρια η οποία θα διακόπτει τη παροχή του CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο. Επειδή το 80% περίπου του αέρα που οδηγείται στο θάλαμο καύσης αποτελείται από άζωτο, ενώ άζωτο υπάρχει και σε πλήθος καυσαερίων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την καύση αφού έχουμε τη δημιουργία οξειδίων του αζώτου NO<sub>x</sub>, τα οποία μπορεί μεν να μην προκαλούν ορατές βλάβες στα φυτά, μειώνουν όμως το ρυθμό ανάπτυξης τους. Ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα στον εμπλουτισμό του θερμοκηπίου με CO<sub>2</sub> παραγόμενο από τα καυσαέρια, είναι η έλλειψη συγχρονισμού της ανάγκης του θερμοκηπίου για θέρμανση και της ανάγκης των φυτών για CO<sub>2</sub>, ιδιαίτερα στα θερμότερα κλίματα όπου κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν απαιτείται θέρμανση του εσωτερικού. Το πρόβλημα λύνεται με την αποθήκευση του θερμού νερού σε μονωμένη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της ημέρας και ταυτόχρονα εμπλουτισμός των φυτών με CO<sub>2</sub> και

χρήση του αποθηκευμένου θερμού νερού από τη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 5.1, μια μονάδα 10 στρεμμάτων απαιτεί δεξαμενή χωρητικότητας περίπου 100m<sup>3</sup> η οποία είναι σε θέση να εξασφαλίσει παραγωγή CO<sub>2</sub> μεγαλύτερη από 12gr/m<sup>2</sup>hr. Στις μονάδες συμπαραγωγής τα παραγόμενα καυσαέρια επεξεργάζονται μέσω κατάλυσης ώστε να καθαριστούν και να περιέχουν καθαρό CO<sub>2</sub> και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται στον εμπλουτισμό των φυτών.

4. Καύση προπανίου σε ειδικούς καυστήρες: Σε μονάδες που δεν χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια για την παραγωγή CO<sub>2</sub>, χρησιμοποιούνται καυστήρες τέλειας καύσης που κρέμονται από την οροφή του θερμοκηπίου και λειτουργούν αυτόματα αφού είναι συνδεδεμένοι με τους μετρητές του CO<sub>2</sub> που βρίσκονται κατανομημένοι στο χώρο. Ταυτόχρονα εξετάζεται και η λειτουργία των παραθύρων, ώστε όταν οι καυστήρες λειτουργούν τα παράθυρα να είναι κλειστά ώστε να μην υπάρχουν απώλειες προς το περιβάλλον. Σε ένα συνηθισμένο θερμοκήπιο απαιτούνται περίπου 5,7g/m<sup>2</sup>hr καϊόμενο αέριο προπάνιο. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο αφού το παραγόμενο διοξείδιο του θείου προκαλεί εγκαύματα στα φυτά και γι' αυτό πρέπει να μην υπερβαίνει τιμές συγκέντρωσης της τάξης των 0,02%. Το οξυγόνο της καύσης θα πρέπει να προέρχεται από τον εξωτερικό αέρα και όχι από αυτόν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ο οποίος εξαντλείται γρήγορα όταν ο εξαερισμός βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Για το λόγο αυτό, δημιουργείται ένα άνοιγμα μικρής παροχής και οδηγείται ο αέρας μέσω σωλήνα στον καυστήρα.

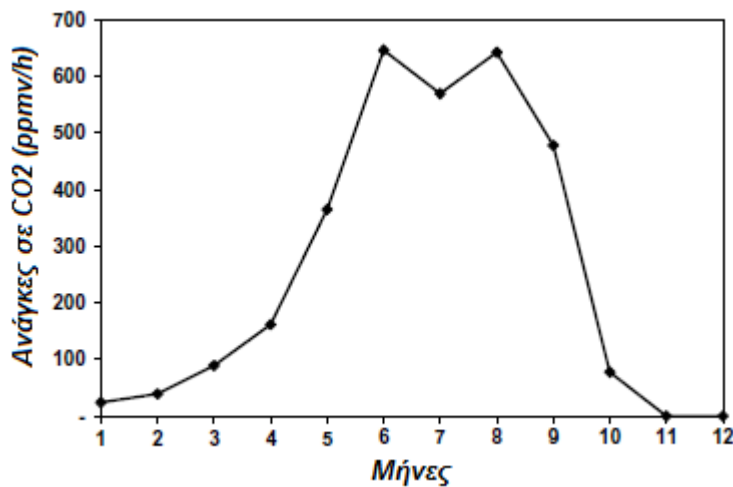


Εικόνα 22: Καυστήρας προπανίου της εταιρίας Priva (Priva) για παραγωγή CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο

Σύμφωνα με έρευνα, (J.Chau, 2008) κατά την καύση ξηρού και καθαρού ξύλου ως καύσιμο σε λέβητες βιομάζας παράγεται διπλάσια ποσότητα CO<sub>2</sub> ανά μονάδα ενέργειας σε σχέση με το φυσικό αέριο. Η πλήρης καύση του ξύλου ως βιομάζα μπορεί να δοθεί επαρκώς από την εξίσωση : (J.Chau, 2008)



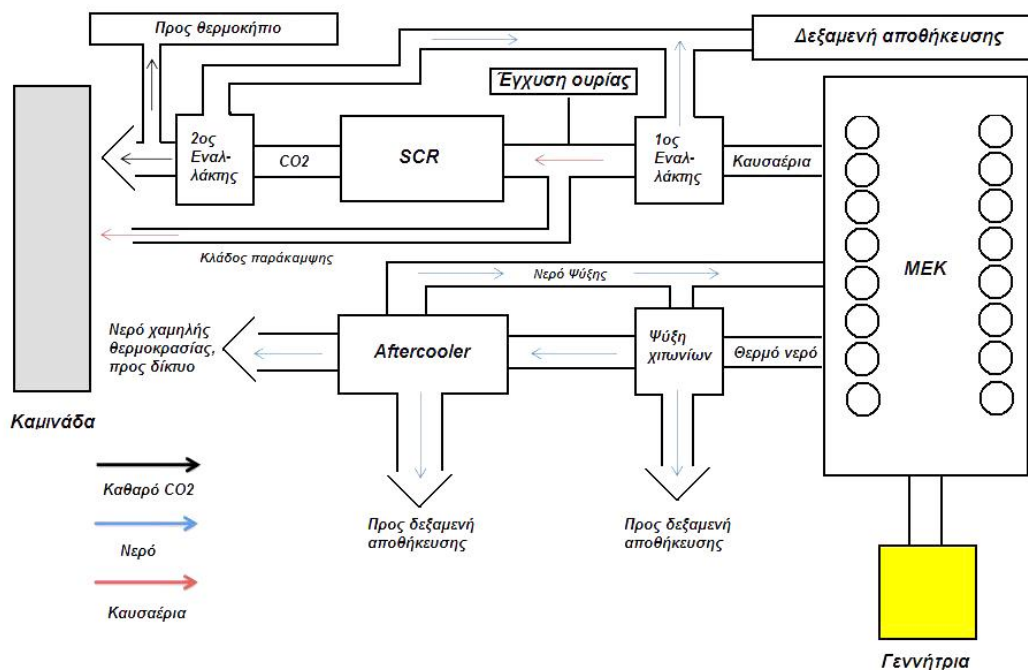
Όμως η καύση της βιομάζας δεν παράγει υψηλής καθαρότητας CO<sub>2</sub> ώστε να επιτρέπει την απευθείας διοχέτευση του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αφού η ποιότητα του εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου καθώς και άλλους παράγοντες. Τα καυσαέρια από την καύση του ξύλου αποτελούνται κυρίως από μικροσωματίδια και αέρια του θερμοκηπίου όπως διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, μεθάνιο CH<sub>4</sub> και οξείδια του αζώτου μετατρέποντας τα σε ακατάλληλα για χρήση στο θερμοκήπιο. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα παρουσιάζουμε σε μορφή διαγράμματος τις μηνιαίες ανάγκες σε διοξείδιο του άνθρακα μιας θερμοκηπιακής μονάδας 74 στρεμμάτων στην περιοχή British Columbia του Καναδά.



Διάγραμμα 65 : Μέσες συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> σε θερμοκήπιο 74 στρεμμάτων στον Καναδά (J.Chau, 2008)

#### **5.3.4.Περιγραφή της εγκατάστασης**

Τοποθετημένο στην άκρη του θερμοκηπίου, το λεβητοστάσιο αποτελεί ξεχωριστό τμήμα το οποίο είναι ενσωματωμένο στο θερμοκήπιο αλλά δεν καλύπτεται από γυαλί όπως η υπόλοιπη εγκατάσταση αλλά από σκληρό μη διαφανές πλαστικό ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ασφαλή φύλαξη και λειτουργία όλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Όπως προαναφέραμε, την ηλεκτροπαραγωγή αναλαμβάνουν τρεις παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης ισχύος 1,6 MWe η κάθε μία, τοποθετημένες σε ειδικό κλειστό χώρο για μείωση του θορύβου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Σχηματικά η εγκατάσταση απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.

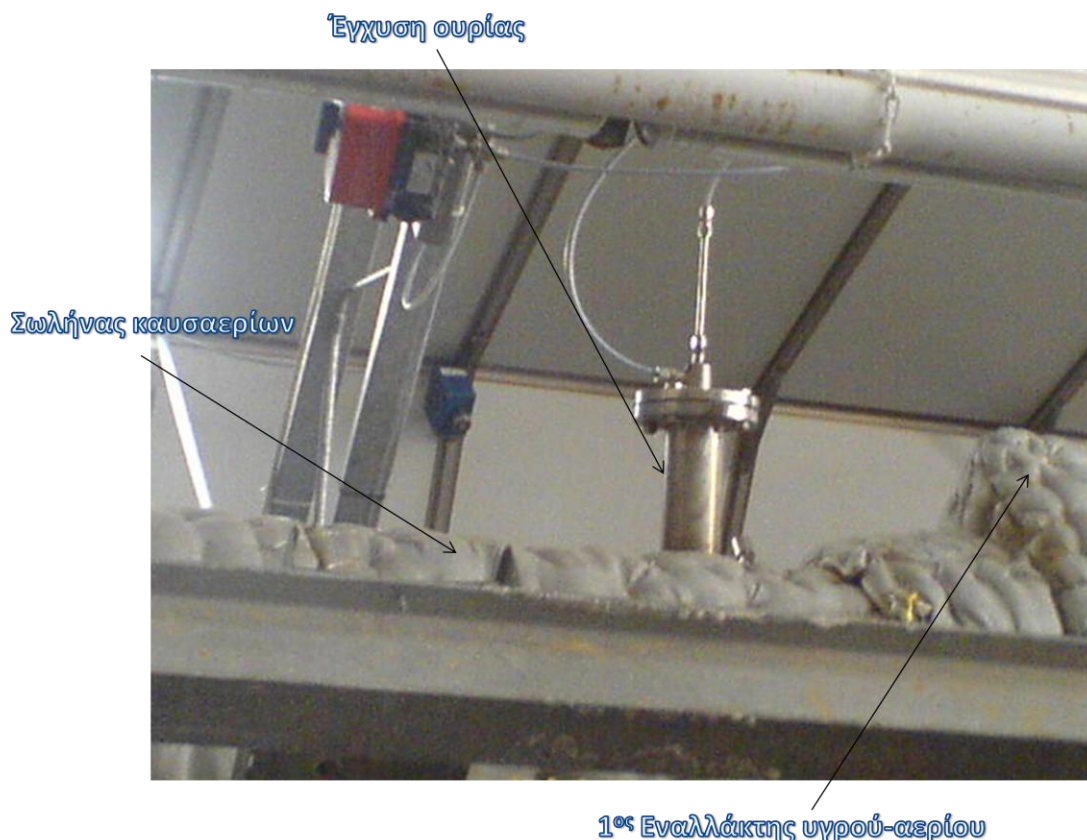


Διάγραμμα 66: Σχηματική απεικόνιση της εγκατάστασης (www.dgsa.com.gr)

Το σχεδιάγραμμα απεικονίζει τα εξαρτήματα που αφορούν τη κάθε MEK αφού η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί αυτόνομα για κάθε μηχανή. Συνολικά, το λεβητοστάσιο περιλαμβάνει τρεις φορές τα εξαρτήματα που αποτυπώνονται στο σχεδιάγραμμα.

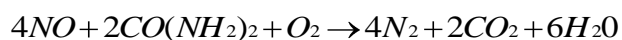
Για τη θέρμανση του νερού υπάρχουν συνολικά δύο κλάδοι για κάθε μηχανή, ένας για την εκμετάλλευση των καυσαερίων και ένας για την εκμετάλλευση του νερού που χρησιμοποιείται για την ψύξη της μηχανής.

**Κλάδος καυσαερίων:** Μόλις αυτά εξέλθουν από την μηχανή σε υψηλή θερμοκρασία, εισέρχονται σε έναν μικρού μεγέθους εναλλάκτη υγρού – αερίου όπου θερμαίνουν κάποια αρχική ποσότητα νερού, η οποία μέσω αντλιών αποθηκεύεται στη μονωμένη δεξαμενή. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ακροφύσιο το οποίο ψεκάζει τα καυσαέρια με ουρία ( η ουρία παρασκευάζεται σε ειδικό χώρο στο λεβητοστάσιο του θερμοκηπίου και δεν αγοράζεται για μείωση του κόστους και αύξηση της διαθεσιμότητας της) όπως φαίνεται και στην εικόνα. Παρατηρούμε πως ο σωλήνας των καυσαερίων είναι καλυμμένος με ένα παχύ στρώμα μόνωσης για να μειώνονται στο πλαίσιο του δυνατού οι απώλειες της θερμότητας προς το περιβάλλον. Η διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα για τον καθαρισμό των καυσαερίων από τα οξειδία του αζώτου (NOx) ονομάζεται εκλεκτική καταλυτική αναγωγής (Selective Catalytic Reduction – SCR) κατά την οποία χρησιμοποιείται ουρία για την αναγωγή των οξειδίων του αζώτου σε μοριακό άζωτο και νερό παρουσία καταλύτη. (Ε.Κακαράς, 2008)



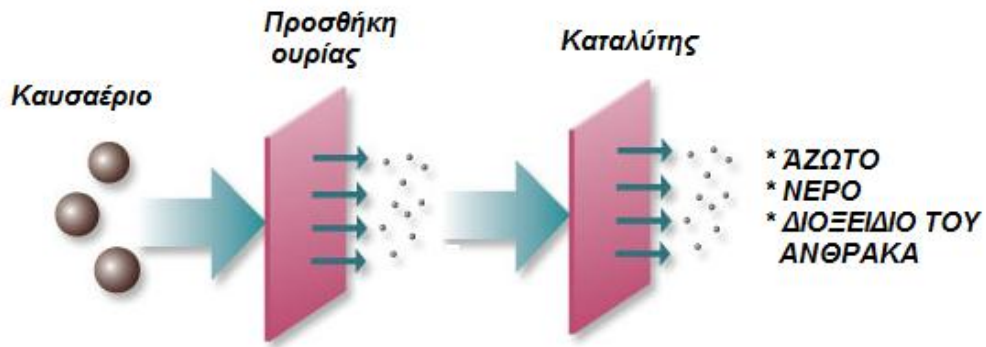
Εικόνα 23: Έγχυση ουρίας στο σωλήνα καυσαερίων πριν την SCR ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr))

Οι αντίδραση αναγωγής με την έγχυση ουρίας είναι: (Ε.Κακαράς, 2008)

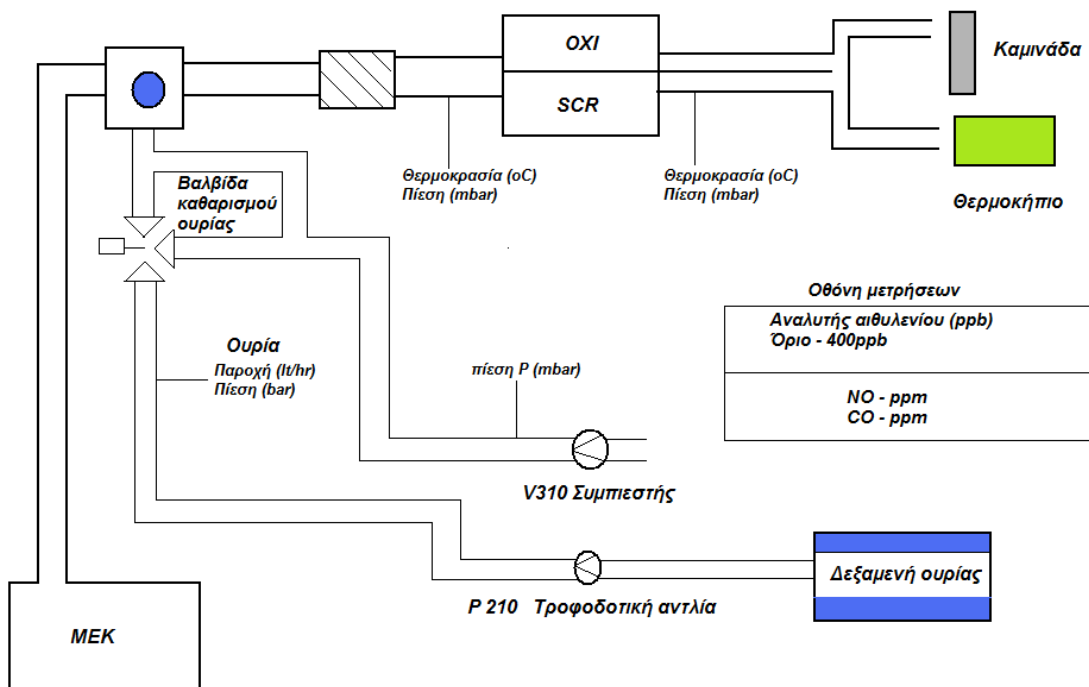


Όπου σύμφωνα με τον κατασκευαστή των μηχανών (Caterpillar), θα πρέπει τα καυσαέρια να έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη των 200 °C

Αφού έχουν δώσει στο νερό ένα κομμάτι της θερμότητας που περιέχουν, τα καυσαέρια συνεχίζουν την πορεία τους προς τη μονάδα που περιέχει τον καταλύτη όπου ολοκληρώνονται οι χημικές αντιδράσεις και μπορεί στη συνέχεια να δεσμευτεί το διοξείδιο του άνθρακα και να χρησιμοποιηθεί στο θερμοκήπιο. Σχηματικά οι αντίδραση αναγωγής των οξειδίων του αζώτου φαίνεται στο διάγραμμα, ενώ στο διάγραμμα βλέπουμε την απεικόνιση που έχει η μονάδα ελέγχου της εγκατάστασης, ώστε να είναι κατανοητή πλήρως η διαδικασία.



Διάγραμμα 67: Διάταξη εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής (Ε.Κακαράς, 2008)



Διάγραμμα 68: Πίνακας ελέγχου του συστήματος απονίτρωσης και δέσμευσης του CO<sub>2</sub> (www.dgsa.com.gr)

Η μονάδα όπως είναι στην πραγματικότητα φαίνεται στην εικόνα:

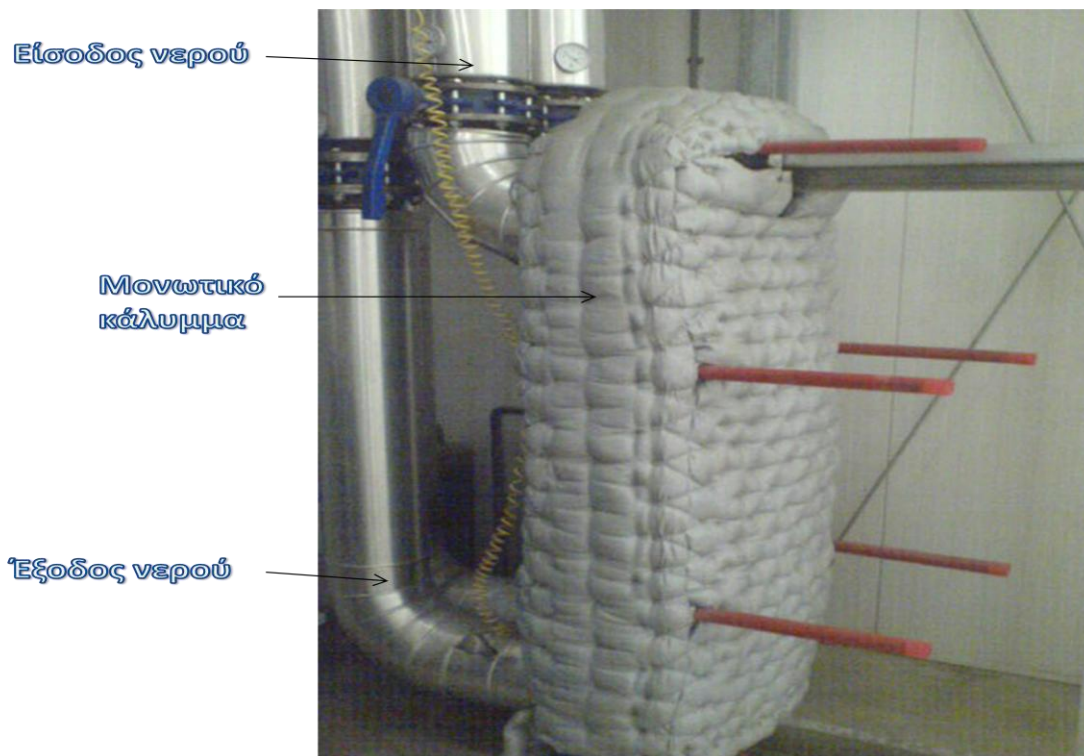


Εικόνα 24: Μονάδα SCR ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr))

Μετά τον καταλύτη, όπου πλέον έχουμε σαν προϊόντα άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, υπάρχει ένας δευτέρος ενελλάκτης υγρού – αερίου ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων θερμαίνοντας ακόμα κάποια ποσότητα νερού, η οποία με τη σειρά της αποθηκεύεται στη μονωμένη δεξαμενή. Στη συνέχεια, και αφού έχουν δώσει όλη την ενέργεια που θα μπορούσαν, τα καυσαέρια διοχετεύονται μέσω της καμινάδας στην ατμόσφαιρα. Αξίζει να σημειωθεί, πως η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει και χωρίς τη μονάδα απονίτρωσης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, διοχετεύοντας τα καυσαέρια στον κλάδο παράκαμψης και από εκεί στην ατμόσφαιρα.

Κλάδος νερού: Καθώς η μηχανή εσωτερικής καύσης έχει ανάγκη από ψύξη, διαδικασία που γίνεται μέσω νερού χαμηλής θερμοκρασίας, εκμεταλλευόμαστε μέσω εναλλακτών υγρού-υγρού το θερμό νερό που προκύπτει το οποίο και αποθηκεύουμε στην μονωμένη δεξαμενή. Ο ενελλάκτης ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη ψύξη του νερού που διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία των χιτωνίων της μηχανής φαίνεται στην εικόνα:





Εικόνα 25: Εναλλάκτης θερμότητας για ψύξη της μηχανής και θέρμανσης του νερού (www.dgsa.com.gr)

Ενεργειακά στοιχεία της εγκατάστασης:

<b>Αριθμός μηχανών</b>	<b>3</b>
<b>Ισχύς μηχανών</b>	3*1,6MWe, 3*1,6MWth
<b>Κατανάλωση</b>	380 m <sup>3</sup> /hr (έκαστη) για παραγωγή 1,6 MWth
<b>Θερμικές καταναλώσεις μονάδας (10μήνες)</b>	30.000 MWhrth
<b>Πραγματικές ώρες λειτουργίας</b>	8.300hr/μήνα και οι τρεις μηχανές
<b>Θεωρητικές ώρες λειτουργίας</b>	240.000 hr/year
<b>Διαθεσιμότητα</b>	<60%
<b>Βοηθητικοί λέβητες</b>	2*8.000.000 Cal = 18,6 MWth
<b>Κατανάλωση</b>	900 m <sup>3</sup> /hr (έκαστος) για παραγωγή 9 MWth

Πίνακας 29: Ενεργειακά στοιχεία της εγκατάστασης (www.dgsa.com.gr)

Λειτουργία μονάδας: Καθώς η σύμβαση με την εταιρία παροχής φυσικού αερίου απαιτεί την πληρωμή μηνιαίου παγίου αξίας 30.000€ για διάστημα 10 μηνών με περίοδο χάριτος τους δύο θερινούς μήνες (Ιούλιος – Αύγουστος) η εγκατάσταση δουλεύει συνολικά 10 από τους δώδεκα μήνες, αφού ιδιαίτερα το καλοκαίρι όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι μηδαμινές, το κόστος λειτουργίας των μηχανών είναι υψηλότερο από τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο. ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr))

Το λεβητοστάσιο περιλαμβάνει επίσης και δύο λέβητες φυσικού αερίου ισχύος περίπου 9MWth έκαστος, οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν ως μονάδες κορυφής και να ικανοποιούν τις θερμαντικές ανάγκες όταν οι μηχανές αδυνατούν. Ταυτόχρονα υπάρχει στον έναν από τους δύο λέβητες η δυνατότητα απονίτρωσης με διοχέτευση των καυσαερίων μέσω καταλύτη και στη συνέχεια δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα για χρήση στο θερμοκήπιο, όπως φαίνεται στην εικόνα:



Εικόνα 26: Λέβητες παραγωγής θερμού νερού ([www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr))

### 5.3.5 Λειτουργία και προβλήματα της εγκατάστασης

1. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η εγκατάσταση είναι η ίδια η τοποθεσία της. Το θερμοκήπιο βρίσκεται εγκατεστημένο στη περιοχή της Δράμας μόλις 35km μακριά από το Κάτω Νευροκόπι στο οποίο κάθε χρόνο σημειώνονται εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Συγκρινόμενη με μια αντίστοιχη μονάδα στη νότια Ελλάδα, η συγκεκριμένη εγκατάσταση έχει πολύ μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες αφού η διαφορά θερμοκρασίας που πρέπει να καλυφθεί κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου είναι πολύ μεγαλύτερη με αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση του συστήματος θέρμανσης και άρα την αύξηση όχι μόνο των λειτουργικών εξόδων αλλά και της φθοράς της εγκατάστασης. Ταυτόχρονα, οι ανάγκες θέρμανσης εκτείνονται όχι μόνο κατά τη διάρκεια της αμιγούς χειμερινής περιόδου (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) αλλά επεκτείνονται και κατά τους υπόλοιπους μήνες αναγκάζοντας το σύστημα θέρμανσης να λειτουργεί όχι μόνο σε μεγαλύτερα φορτία αλλά και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
2. Ταυτόχρονα, μπορεί η δυναμικότητα των μηχανών (5MWth) να είναι αρκετή στη θεωρία, στη πράξη όμως δεν αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης. Εάν οι μηχανές λειτουργήσουν με διαθεσιμότητα της τάξης του 90% οι παραγόμενες θερμικές κιλοβατώρες αρκούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παρόλο που οι μηχανές δεν είναι σε θέση να καλύψουν την ανάγκη για γρήγορη θέρμανση τις ιδιαίτερα ψυχρές μέρες του έτους, οι οποίες αγγίζουν τα 8-9 MWth. Για την επίλυση του προβλήματος, λειτουργούν οι δύο λέβητες ως μονάδες κορυφής καλύπτοντας τις επιπλέον ανάγκες, αυξάνοντας όμως παράλληλα την κατανάλωση του καυσίμου.
3. Το δεύτερο μεγάλο αρνητικό είναι η επιλογή του καυσίμου. Το κάυσιμο έπαιξε σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τόπου εγκατάστασης της μονάδας αφού κατά το έτος 2005 – 2006 το φυσικό αέριο ήταν η μοναδική επιλογή για μονάδες στη βόρεια Ελλάδα. Η επιλογή αυτή μπορεί από τη μία να εγγυάται υψηλή διαθεσιμότητα καυσίμου σε προσυμφωνημένες τιμές, από την άλλη όμως το φυσικό αέριο δεν ανήκει στις Α.Π.Ε. και άρα η παραγόμενη από αυτό ενέργεια δεν αγοράζεται από το δίκτυο σε ιδιαίτερα θελκτικές τιμές, όπως για παράδειγμα η παραγόμενη από βιομάζα ενέργεια. Ταυτόχρονα, η σύνδεση με το φυσικό αέριο απαιτεί την καταβολή παγίου στην εταιρία παροχής του φυσικού αερίου για τους δέκα από τους δώδεκα μήνες του έτους με τιμή που αγγίζει τα 30.000€, κόστος που επιδρά εξαιρετικά αρνητικά στο οικονομικό ισοζύγιο της μονάδας. Βέβαια, με την ψήφιση του νέου νόμου για την παραγωγή ενέργειας, οι μονάδες με PESR>10%, δηλαδή οι μονάδες ΣΗΘΥΑ με καύσιμο φυσικό αέριο έχουν διαφορετικούς συντελεστές τιμολόγησης, στοιχείο που θα αυξήσει σημαντικά τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Επισημαίνεται ότι μέχρι τώρα η τιμή πώλησης της ενέργειας στο δίκτυο ήταν 73€/MWh ενώ τώρα διαμορφώνεται στα  $87,85 * \Sigma P \text{ €/MWh}$  όπου  $\Sigma P=1+(M.T.\Phi.A.-26)/(100*\eta_{el})$  όπως αναφέρει ο νόμος ν.3851/ 4 Ιουνίου 2010. (Κεφάλαιο 5.1.4)

Οι τιμές της περίπτωσης (ιστ) του ανωτέρω πίνακα που αφορούν σε σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου προσαυξάνονται κατά ποσό ίσο με την τιμή επί το συντελεστή ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\Sigma P = 1 + (M.T.\Phi.A. - 26) / (100 \times \eta_{el})$$

Όπου:

M.T.Φ.Α.: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε..

$\eta_{el}$  : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.  $\leq 1\text{MWe}$ , και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.  $> 1\text{MWe}$ . Η τιμή του ΣΡ δεν μπορεί να είναι μικρότερη

της μονάδας. Στην περίπτωση που οι ανωτέρω Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου αξιοποιούν τα καυσαέρια για γεωργικούς σκοπούς ο συντελεστής ΣΡ μπορεί να προσαυξάνεται με απόφαση της Ρ.Α.Ε. μέχρι 20%. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α. πραγματοποιείται ανά μήνα με βάση τη Μ.Τ.Φ.Α. του προηγούμενου τριμήνου.

4. Ακόμα και αν αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της χαμηλής τιμής αγοράς της παραγόμενης ενέργειας παραμένει το εμπόδιο της διαθεσιμότητας των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο συγκεκριμένο έργο η διαθεσιμότητα των τριών παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης δεν δύναται να ξεπεράσει το 60% λόγω προβλημάτων στη λειτουργία των μηχανών. Η αξιοπιστία τους κυμαίνεται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα αφού τα προβλήματα και οι ανάγκες για επισκευή διαδέχονται η μία την άλλη, μη επιτρέποντας στις μηχανές να παράγουν τα αναμενόμενα ποσά ενέργειας. Στα αρνητικά θα πρέπει να προστεθεί επίσης και η αδυναμία προσδιορισμού των βλαβών των μηχανών με αποτέλεσμα την καθυστερημένη επιδιόρθωση τους και άρα την περαιτέρω καθυστέρηση. Επιπλέον, οι τιμές των ανταλλακτικών και των εξόδων επισκευής είναι εξαιρετικά υψηλές, τόσο που φαντάζει οικονομικά πιο συμφέρον να παραγκωνιστούν οι μηχανές παρά να επισκευαστούν. Μετά από μελέτη των μηχανικών της εγκατάστασης, αν η διαθεσιμότητα των μηχανών καταφέρει και αγγίξει το 70% η μονάδα θα λειτουργεί με αξιολογικό οικονομικό όφελος κάτι που έγινε τη προηγούμενη θερινή περίοδο, κατά τη διάρκεια της οποίας ενώ οι ανάγκες για θέρμανση της μονάδας ήταν μηδαμινές, οι μηχανές δεν σταμάτησαν να λειτουργούν και να παράγουν ρεύμα ακόμα και αν η παραγόμενη θερμότητα δεν είχε καμία χρήση. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η παραγόμενη από τις μηχανές θερμότητα πρέπει να καταστρέφεται αφού το κύκλωμα ψύξης της μηχανής πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς από νερό χαμηλής θερμοκρασίας.
5. Σημαντική είναι επίσης και η επίδραση που έχει ο χώρος φύλαξης και λειτουργίας των μηχανών, ο οποίος εξαιτίας κακής μελέτης εμφανίζει πολύ υψηλές

θερμοκρασίες μη επιτρέποντας στις μηχανές να αγγίξουν τους ονομαστικούς βαθμούς απόδοσης τους.

6. Αποτέλεσμα όλων των δυσκολιών που αναλύθηκαν είναι το γεγονός ότι η θερμότητα που παράγεται από τις μηχανές δεν αρκεί για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας με συνέπεια την συνεχή λειτουργία των λεβήτων του φυσικού αερίου. Αυτοί, έχουν μετατραπεί από μονάδες κορυφής σε μονάδες βάσης αφού εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά αξιοπιστίας, ενώ προσφέρουν άμεση, αρκετή και καλής ποιότητας θέρμανση.
7. Στην ανάλυση που έγινε ανωτέρω επισημαίνουμε ότι σαν έσοδα δεν λογαριάζονται τα έσοδα από την πώληση των παραγόμενων προϊόντων αλλά εξετάζουμε την εγκατάσταση από την ενεργειακή σκοπιά κατά την οποία θα πρέπει τα έσοδα από την πώληση του ρεύματος στο δίκτυο να είναι υψηλότερα από τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας.

### **5.3.6 Προτάσεις για επίλυση των προβλημάτων και μελλοντικές βελτιώσεις**

- Το κύριο μέλημα των μηχανικών της εγκατάστασης θα πρέπει να είναι η επίλυση των προβλημάτων λειτουργίας των μηχανών. Μόλις αυτά αντιμετωπιστούν και οι μηχανές είναι σε θέση να προσφέρουν τα αναμενόμενα τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας θα ξεπερνούν τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας μετατρέποντας τη μονάδα αυτόματα σε κερδοφόρα επένδυση.
- Σε περίπτωση που το πρόβλημα της διαθεσιμότητας επιλυθεί και οι μονάδες κατορθώσουν να λειτουργούν ακόμα και την θερινή περίοδο, χρήσιμη θα ήταν η μελέτη εγκατάστασης μηχανών απορρόφησης της θερμότητας (Absorption Chillers) για την παραγωγή ψύξης αφού η θερμότητα που παράγεται κατά τη θερινή περίοδο δεν έχει καμία χρήση. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στον τρόπο εκμετάλλευσης της παραγόμενης ψύξης αφού αυτή δεν δύναται να εισέλθει στο χώρο του θερμοκηπίου με τη μορφή ψυχρού αέρα εξαιτίας του μεγάλου ύψους των καλλιεργούμενων φυτών, τα οποία θα ζημιωθούν από ρεύματα ψυχρού αέρα που θα δημιουργηθούν.
- Καθώς η μονάδα είναι ήδη συνδεδεμένη με το δίκτυο θα μπορούσε επίσης να γίνει κάποια μελέτη εγκατάστασης επιπλέον μονάδας συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα η οποία θα είναι σε θέση να αυξήσει σημαντικά τα ενεργειακά έσοδα της μονάδας αφού η πώληση της παραγόμενης από βιομάζα ενέργειας τιμολογείται από το δίκτυο σε εξαιρετικά υψηλές τιμές. Προτείνεται η εγκατάσταση μονάδας με καύσιμο βιομάζα ισχύος  $\leq 1\text{MWe}$  ώστε να παρακαμφθούν και οι δαιδαλώδεις γραφειοκρατικές διαδικασίες που απαιτούνται για μονάδες ισχύος  $\geq 1\text{MWe}$ . Στην περίπτωση εγκατάστασης χωρίς επιχορήγηση η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στο δίκτυο με τιμή 230€/MWh, τιμή που είναι σε θέση να θέσει τα έσοδα της επιχείρησης σε ανοδική τροχιά.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Με βάση τους νόμους του ελληνικού κράτους η αποδοτικότητα μιας μονάδας συμπαραγωγής καθορίζεται από τις εξής διατάξεις: **(ν.3734/2009, άρθρο 6)**

#### Υπολογισμός αποδοτικότητας συμπαραγωγής

1. Για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας συμπαραγωγής λαμβάνονται ιδιαίτερως υπόψη τα εξής:

- α) η ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή,
- β) η χρήσιμη θερμική ενέργεια από συμπαραγωγή,
- γ) ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας.

2. Η αποδοτικότητα συμπαραγωγής υπολογίζεται ως ακολούθως:

α) Για τις μονάδες συμπαραγωγής ορίζονται οι ακόλουθοι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης.

$$\text{Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης: } \eta_e = \frac{E_C}{F_C}$$

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

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

Όπου:

- **E<sub>C</sub>**: ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τη μονάδα συμπαραγωγής
- **H<sub>CHP</sub>**: χρήσιμη θερμική ενέργεια που προέρχεται από συμπαραγωγή,
- **F<sub>C</sub>**: ενέργεια καυσίμου που καταναλώθηκε κατά τη διαδικασία για την παραγωγή των E<sub>C</sub> και H<sub>CHP</sub>

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

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

Όπου:

- **PESR**: είναι ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας
- **F<sub>E</sub>**: είναι η ενέργεια του καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας E<sub>C</sub>
- **F<sub>H</sub>**: είναι η ενέργεια του καυσίμου για τη χωριστή παραγωγή της θερμικής ενέργειας H<sub>CHP</sub>.

γ) Ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις τιμές αναφοράς όπως ορίζονται στην παράγραφο 3 του παρόντος άρθρου, υπολογίζεται με τη σχέση:

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

Όπου:

$\eta_{er}$  :είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

$\eta_{hr}$ : είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας.

Για τη ρύθμιση των άγνωστων παραμέτρων ακολουθούμε τις διατάξεις του ίδιου νόμου όπως αυτές αναφέρονται στο υπ' αριθμόν 1420 ΦΕΚ της Κυβέρνησης (15 Ιουλίου 2009).

#### Άρθρο 1

Οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης, για χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, καθορίζονται σύμφωνα με τα Παραρτήματα I και II, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της παρούσας.

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I:

Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (αναφερόμενες στο άρθρο 1). Στον κατωτέρω πίνακα οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται σε κατώτερη θερμογόνο ικανότητα και πρότυπες συνθήκες ISO (θερμοκρασία περιβάλλοντος 15°C, πίεση 1,013 bar, 60% σχετική υγρασία).

	Έτος κατασκευής: Τύπος καυσίμου:	1996 & πριν	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006-2011
στερεά	Καύσιμα από ξύλο (%)	25	26.3	27.5	28.5	29.6	30.4	31.1	31.7	32.2	32.6	33

Πίνακας: Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ:

Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας (αναφερόμενες στο άρθρο 1). Στον κατωτέρω πίνακα οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας βασίζονται σε κατώτερη θερμογόνο ικανότητα και πρότυπες συνθήκες ISO (θερμοκρασία περιβάλλοντος 15°C, πίεση 1,013 bar, 60% σχετική υγρασία).

στερεά	Τύπος καυσίμου	Ατμός(*)/θερμό νερό	Απευθείας χρήση καυσαερίων(**)
	Καύσιμα από ξύλο	86%	78%

(\*) Οι βαθμοί απόδοσης παραγωγής ατμού πρέπει να μειωθούν κατά 5 απόλυτες εκατοστιαίες μονάδες σε περίπτωση που όσα κράτη μέλη εφαρμόζουν το άρθρο 12 παράγραφος 2 της οδηγίας 2004/8/ΕΚ περιλαμβάνουν στους υπολογισμούς μιας μονάδας συμπαραγωγής την επιστροφή συμπυκνωμάτων.

(\*\*) Οι τιμές για άμεση θερμότητα θα χρησιμοποιούνται εάν η θερμοκρασία είναι 250oC και ανώτερη. Εάν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη των 250oC, θα χρησιμοποιούνται οι τιμές για ατμό/θερμό νερό

Πίνακας 18: Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας

Για τη συμπαραγωγή ορίζονται επίσης τα κάτωθι:

### Άρθρο 2

#### Ορισμοί:

Για την εφαρμογή της παρούσας απόφασης οι όροι που χρησιμοποιούνται έχουν την ακόλουθη έννοια, σύμφωνα με τον ν. 3734/2009:

«Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)»: Η ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργεια και ηλεκτρικής ή/και μηχανικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας. Όπου στην παρούσα απόφαση αναφέρεται ο όρος «συμπαραγωγή», νοείται η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ), όπως εδώ ορίζεται.

«Χρήσιμη θερμική ενέργεια,  $H_{CHP}$ »: Η θερμική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο διεργασίας συμπαραγωγής, προκειμένου να ικανοποιήσει οικονομικά δικαιολογημένη ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη, η οποία καθορίζεται ως η ζήτηση που δεν υπερβαίνει τις ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης και η οποία διαφορετικά θα ικανοποιείτο, σύμφωνα με τις



συνθήκες της αγοράς, από διαδικασίες παραγωγής χρήσιμων μορφών ενέργειας διαφορετικές από τη συμπαραγωγή.

«Μονάδα συμπαραγωγής»: Η μονάδα, η δυνάμενη να λειτουργεί κατά τον τρόπο της συμπαραγωγής.

«Ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής,  $E_c$ »: Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη μονάδα συμπαραγωγής. Εάν μια μονάδα συμπαραγωγής παράγει και μηχανική ενέργεια, αυτή προστίθεται στην ηλεκτρική ενέργεια και συμπεριλαμβάνεται στην  $E_c$ .

«Ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή,  $E_{CHP}$ »: Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο πλαίσιο μιας διεργασίας συνδεδεμένης με την παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας και υπολογίζεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο άρθρο 6. Όπου στην παρούσα απόφαση αναφέρεται ηλεκτρική ενέργεια από συμπαραγωγή, νοείται ότι περιλαμβάνεται και η μηχανική ενέργεια που ενδεχομένως παράγεται από τη συμπαραγωγή.

«Ενέργεια καυσίμου,  $F_c$ »: Το σύνολο της ενέργειας καυσίμου (ή καυσίμων) που καταναλώθηκε από τη μονάδα συμπαραγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας,  $E_c$ , και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας,  $H_{CHP}$ . Διευκρινίζεται ότι η ενέργεια αυτή υπολογίζεται με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου.

«Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης  $\eta_e$ »: Ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τη μονάδα συμπαραγωγής προς την ενέργεια καυσίμου που καταναλώθηκε από τη μονάδα συμπαραγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας,  $E_c$ , και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας,  $H_{CHP}$ :

$$\eta_e = \frac{E_c}{F_c}$$

«Θερμικός βαθμός απόδοσης  $\eta_h$ »: Ο λόγος της χρήσιμης θερμικής ενέργειας που προέρχεται από συμπαραγωγή,  $H_{CHP}$ , προς την ενέργεια καυσίμου που καταναλώθηκε από τη μονάδα συμπαραγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας,  $E_c$ , και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας,  $H_{CHP}$ :

$$\eta_h = \frac{H_{CHP}}{F_c}$$

«Ολικός βαθμός απόδοσης»: Το άθροισμα του ηλεκτρικού και του θερμικού βαθμού απόδοσης:

$$\eta = \eta_e + \eta_h$$

«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:

$\eta_{er}$ : είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

$\eta_{hr}$ : είναι η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας.

όπως οι τιμές αυτών καθορίζονται σε χωριστή Υπουργική απόφαση (α/α 11 του προοιμίου)

«Αποδοτικότητα συμπαραγωγής»: Το ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή χρήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ή και μηχανικής ενέργειας.

«Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ)»: Η συμπαραγωγή που εξασφαλίζει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας τουλάχιστον κατά δέκα τοις εκατό (10%) σε σύγκριση με τη χωριστή παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. (PESR≥10%)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

### **ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Με βάση τους νόμους του ελληνικού κράτους και της Ευρωπαϊκής Ένωσης η αποδοτικότητα μιας μονάδας συμπαραγωγής καθορίζεται από τις εξής διατάξεις:

**N.3851/ Ιούνιος 2010:** Ο νόμος αυτός αποτελεί τη τελική μορφή του σχεδίου Νόμου με τίτλο:

«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (Απρίλιος 2010) από τον οποίο αναφέρουμε τα σημαντικότερα εδάφια:

**ΆΡΘΡΟ 2:** 4. Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο.

**ΆΡΘΡΟ 2:** 12. Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτική απόφαση φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.:

β) σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MW,

ε) σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός (1) MWe,

**ΆΡΘΡΟ 3:** 13.Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εξαιρούνται από την υποχρέωση άδειας παραγωγής σύμφωνα με το άρθρο 4, απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας.

Ομοίως εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης Ε.Π.Ο., οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η εγκατεστημένη

ηλεκτρική ισχύς τους δεν υπερβαίνει τα εξής όρια ανά τεχνολογία: – 0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με χρήση βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων.

15. Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο αρμόδιος Διαχειριστής με τους φορείς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από τη λήψη άδειας παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις των προηγούμενων παραγράφων του παρόντος άρθρου, καθορίζεται προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας.

ΆΡΘΡΟ 5: 2. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής. Ειδικά η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύει για είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να παρατείνεται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προηγούμενο εδάφιο.

α) Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(Θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με ισχύ $\leq 1\text{MW}$	200 €/MWh	

Πίνακας: Τιμολόγηση συμπαραγωγής

γ) Η παραγόμενη ενέργεια από σταθμούς Α.Π.Ε. πλην φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών σταθμών, εφόσον οι επενδύσεις υλοποιούνται χωρίς τη χρήση δημόσιας επιχορήγησης, τιμολογείται με βάση τις τιμές του ανωτέρω πίνακα τιμολόγησης, προσαυξημένες κατά ποσοστό 20% για τις περιπτώσεις (α),(δ), (ζ), (η) και (ιζ), καθώς και κατά ποσοστό 15% για τις περιπτώσεις (θ) έως (ιε).

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

#### Υπολογισμός εκπομπών αερίων κατά την καύση διαφόρων καυσίμων

1. Καύσιμο μαζούτ: Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ελήφθησαν σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IPCC, οι εκπομπές σωματιδίων PM10 ελήφθησαν από τις κατευθυντήριες γραμμές AP-42, οι εκπομπές διοξειδίου του θείου υπολογίστηκαν με βάση την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο (1,5%), οι εκπομπές των NO<sub>x</sub> ελήφθησαν από τις κατευθυντήριες γραμμές AP-42, ενώ τέλος θεωρούμε ότι η θερμογόνο δύναμη για το μαζούτ είναι 40200 kJ/kg. Συγκεντρωτικά προκύπτει ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων:

Είδος ρύπου	Τιμή (kg/tn)
CO <sub>2</sub>	3078.273
NO <sub>x</sub>	6.631
SO <sub>2</sub>	30
PM10	1.032

Πίνακας: Πίνακας εκπεμπόμενων ρύπων για καύσιμο μαζούτ (Ε.Π.Ε.Μ.)

Με βάση τις τιμές του πίνακα μετατρέπουμε τις δοσμένες τιμές kg/tn σε tn/a μέσω της σχέσης

$$C(tn/a) = \frac{\dot{m}_b(kg/hr) \cdot t(hr) \cdot C(kg/tn)}{10^6}$$

Και στη συνέχεια

$$C(gr/kWh) = \frac{C(kg/tn) \cdot \dot{m}_b(kg/hr)}{P(kW)}$$

2. Καύσιμο πετρέλαιο: Κατά την καύση του πετρελαίου έχουμε τις εξής εκπομπές

Είδος εκπομπών	Τιμή (gr/kWhth)
CO <sub>2</sub>	260
SO <sub>2</sub>	0,35
NO <sub>x</sub>	0,31
PM10	0,02

Πίνακας εκπεμπόμενων ρύπων για καύσιμο πετρέλαιο (ΔΕΗ)

Χρησιμοποιώντας τους ίδιους αναγωγικούς τύπους με πριν, κάνουμε τη μετατροπή της συγκέντρωσης

$$C(gr/kWh) \rightarrow C(tn/a)$$

### 3. Υπολογισμός του SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub> για καύσιμο ξύλο:

SO<sub>2</sub>: Με βάση τη σύσταση του καυσίμου υπολογίζουμε τις εκπεμπόμενες ποσότητες:

$$\mu_{G,SO_2} = 1,998 \cdot \gamma_S$$

$$\dot{m}_{G,SO_2} = \mu_{G,SO_2} \cdot \dot{m}_b$$

$$\text{Για ένα έτος: ποσότητα (kg / a)} = \dot{m}_{G,SO_2} \cdot t(\text{hr / a})$$

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι οι υπολογισμένες εκπομπές του SO<sub>2</sub> είναι οι μέγιστες δυνατές και ίσως να μην επιτευχθούν, αφού εξαρτώνται από τις συνθήκες καύσης.

Για τον υπολογισμό των NO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub> βασιζόμαστε σε πειραματικά δεδομένα τα οποία έδωσαν για την καύση ξύλου σύστασης ίδιας με της δικιάς μας τα εξής αποτελέσματα:

Μετρηθείσες τιμές σε (mg/m <sup>3</sup> )	
CO <sub>2</sub>	0
SO <sub>2</sub>	8
NO <sub>x</sub>	210
PM <sub>10</sub>	230

Πίνακας: Πίνακας εκπεμπόμενων ρύπων για καύσιμο ξύλο (Βουρλιώτης, 2010)

Για να γίνει η αναγωγή των συγκεντρώσεων του πίνακα σε τιμή ώστε να είναι συγκρίσιμη με τους ρύπους των άλλων καυσίμων που υπολογίσαμε, ακολουθούμε την εξής διαδικασία κάνοντας τις εξής παραδοχές που προσομοιάζουν τις συνθήκες κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Θεωρούμε υγρασία περιβάλλοντος W=7,9 gr/kg d.a. και λόγο αέρα καύσης n = 2

$$\mu_{LOT} = 11,48 \cdot \gamma_C + 34,194 \cdot \gamma_H + 4,3 \cdot \gamma_S - 4,308 \cdot \gamma_O \quad (\text{Kg / Kg})$$

$$\mu_{LO} = \mu_{LOT} \cdot 1 + (X_{H_2O})_L \quad (\text{Kg / Kg})$$

$$\mu_L = n \cdot \mu_{LO}$$

$$\mu_G = \mu_L + 1 - \gamma_A \quad (\text{Kg / Kg})$$

$$\begin{aligned} \mu_{CO_2} &= 3,665 * \gamma_C + \gamma_{CO_2} & \mu_{SO_2} &= 1,998 * \gamma_{SO_2} \\ X_{CO_2} &= \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_G} & X_{SO_2} &= \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_G} \\ \mu_{N_2} &= 0,7679 * n * \mu_{LOT} + \gamma_N & \mu_{O_2} &= (n-1) * \mu_{LOT} * 0,2321 \\ X_{N_2} &= \frac{\mu_{N_2}}{\mu_G} & X_{O_2} &= \frac{\mu_{O_2}}{\mu_G} \\ \mu_{H_2O} &= n * \mu_{LOT} * X_{(H_2O)_L} + \gamma_H + 8,936 * \gamma_H \\ X_{H_2O} &= \frac{\mu_{H_2O}}{\mu_G} \end{aligned}$$

Με βάση το μοριακό βάρος κάθε προϊόντος των καυσαερίων υπολογίζουμε τις αντίστοιχες σταθερές των αερίων:  $R_{CO_2}, R_{SO_2}, R_{N_2}, R_{O_2}, R_{H_2O}$

Και η συνολική σταθερά των καυσαερίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_G = \sum X_i * R_i = X_{CO_2} * R_{CO_2} + X_{SO_2} * R_{SO_2} + X_{N_2} * R_{N_2} + X_{O_2} * R_{O_2} + X_{H_2O} * R_{H_2O}$$

$$\rho_{GN} = \frac{P_N}{R_G * T_N}$$

$$V_{Gn} = \frac{\dot{m}_G}{\rho_{Gn}}$$

Και η ανηγμένη συγκέντρωση που ψάχνουμε είναι

$$C(mg / kWh) = \frac{C(mg / m_N^3) \cdot V_{GN} \left( \frac{m_N^3}{hr} \right)}{P(kW)}$$

Τώρα είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε με τις ίδιες μονάδες τις τιμές για τους εκπεμπόμενους ρύπους. Δεν πρέπει βέβαια να ξεχνάμε ότι οι τιμές αυτές για το ξύλο αποτελούν πειραματικές τιμές και δεν μπορούν να θεωρηθούν ως μέγιστες, όπως έγινε μέσω της καύσης για το SO<sub>2</sub>. Ελλείψει άλλων στοιχείων θεωρούμε ότι οι πειραματικές αυτές τιμές προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πραγματικές εκπομπές κατά την καύση ξύλου στους λέβητες της εργασίας, ώστε να μπορέσουμε να έχουμε μια πρώτη εικόνα των εκπομπών στην περιβαλλοντική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην εργασία.

Η αναλυτική υπολογιστική διαδικασία έχει μοντελοποιηθεί στα φύλλα εργασίας του excel που παρατίθενται στο cd της εργασίας, όπου μπορούμε διαμορφώνοντας τους κατάλληλους συντελεστές (εφόσον τους γνωρίζουμε) να προσεγγίσουμε ικανοποιητικότερα τις πραγματικές τιμές των εκπομπών.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV**

### **ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2007-2013 – ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ» (ΕΠ.Α.Ε.)**

Το 2006 ολοκληρώθηκε ο σχεδιασμός του νέου Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα – Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΕ). Στον τομέα της Ενέργειας προβλέπονται παρεμβάσεις που θα συμβάλλουν, τόσο στο σταδιακό περιορισμό της εξάρτησης της χώρας από το πετρέλαιο με την προώθηση των ενεργειακών δικτύων του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού και την περαιτέρω διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο, όσο και στην ενδυνάμωση του γεωστρατηγικού ρόλου της χώρας στον ενεργειακό χάρτη της ευρύτερης περιοχής, μέσω της ένταξης της χώρας στα μεγάλα διεθνή δίκτυα.

Οι παρεμβάσεις αυτές θα αφορούν κυρίως:

#### **• Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) – Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΕΞΕ)**

- Ενίσχυση επενδύσεων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).

- Εξοικονόμηση και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στον δευτερογενή και τριτογενή τομέα.

-

Ενίσχυση επενδύσεων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στα νησιά

#### **• Φυσικό Αέριο**

- Διείσδυση του φυσικού αερίου σε νέες περιοχές με την επέκταση των δικτύων διανομής στις περιφέρειες της Στερεάς Ελλάδας, της Ανατολικής Μακεδονίας & Θράκης και της Κεντρικής Μακεδονίας, με σημαντική συμμετοχή ιδιωτικών κεφαλαίων.

- Επέκταση του Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου καθώς και την αύξηση της δυναμικότητας & ευστάθειας αυτού.

- Διασύνδεση του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου με την Ιταλία, για την ενίσχυση του ρόλου της χώρας στον ενεργειακό χάρτη της Ευρώπης.

#### **• Ηλεκτρισμός**

- Διασύνδεση νησιών με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς, για την κάλυψη των αναγκών των περιοχών σε ηλεκτρική ενέργεια.

- Κατασκευή Κέντρων Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ), για την απρόσκοπτη τροφοδότηση με ηλεκτρισμό, την ασφάλεια τροφοδότησης του Νοτίου Συστήματος και την αύξηση της ευστάθειάς του.

### **Αναπτυξιακός Νόμος**

Ψηφίστηκε από την βουλή η τροπολογία που αφορά τον Αναπτυξιακό Νόμο 3299/04 με ισχύ από 1/1/2007 (Ν. 3522/2006, Άρθρο 37 (ΦΕΚ 276 Α' - 22/12/2006). Επειδή από τις αρχές του 2007 ισχύει το νέο θεσμικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις ενισχύσεις περιφερειακού χαρακτήρα καθώς και ο νέος Χάρτης Περιφερειακών Ενισχύσεων της Ελλάδας 2007-2013, υπήρξε ανάγκη εναρμόνισης των διατάξεων του Ν. 3299/2004 με τις νέες κοινοτικές ρυθμίσεις.

Με την τροπολογία που ψηφίστηκε στη Βουλή θεσπίζονται οι απαραίτητες τροποποιήσεις καθώς και περαιτέρω βελτιώσεις στο ισχύον θεσμικό πλαίσιο του Ν. 3299/2004, προκειμένου ο επενδυτικός νόμος, διατηρώντας τη βασική δομή του, να εξακολουθήσει να λειτουργεί και να δέχεται αιτήσεις επενδυτικών σχεδίων από την αρχή του επόμενου έτους, με στόχο την περαιτέρω αύξηση των ιδιωτικών επενδύσεων προς όφελος της οικονομίας. Τα κυριότερα σημεία των Αλλαγών σε σχέση με τον υπάρχοντα νόμο είναι:

- Οι κατηγορίες των επενδυτικών σχεδίων γίνονται 2.
- Οι γεωγραφικές ζώνες από 6 γίνονται 3.
  - Η ζώνη Α, με τους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης (εκτός των βιομηχανικών περιοχών και των νήσων αυτών που μπαίνουν στην ζώνη Β)
  - Η ζώνη Γ με τους νομούς των περιφερειών Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Πελοποννήσου, Ηπείρου, Δυτικής Ελλάδας και νήσων Βορείου Αιγαίου.
  - Η ζώνη Β με όλες τις υπόλοιπες περιοχές

Στη κατηγορία 1 των επενδυτικών σχεδίων που επιδοτούνται εντάσσονται και οι δράσεις που αναφέρονται στους τομείς των ΑΠΕ και ειδικότερα υπάρχει ειδική αναφορά για:

- Επενδυτικά σχέδια παραγωγής ηλεκτρισμού από ήπιες μορφές ενέργειας και ειδικότερα την αιολική, την ηλιακή, την υδροηλεκτρική, τη γεωθερμική και τη βιομάζα, επενδυτικά σχέδια συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας
- Επενδυτικά σχέδια προστασίας του περιβάλλοντος, περιορισμού της ρύπανσης του εδάφους, του υπεδάφους, των υδάτων και της ατμόσφαιρας, αποκατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος και ανακύκλωσης του ύδατος και αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού.
- Επενδυτικά σχέδια για αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υποκατάσταση υγρών καυσίμων ή ηλεκτρικής ενέργειας με αέρια καύσιμα, επεξεργασμένα απορριπτόμενα υλικά



από εγχώριες βιομηχανίες, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας, καθώς και συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

- Επενδυτικά σχέδια για εξοικονόμηση ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι το επενδυτικό σχέδιο δεν αφορά τον παραγωγικό εξοπλισμό, αλλά τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις κίνησης λειτουργίας της μονάδας και από αυτήν προκύπτει μείωση τουλάχιστον 10% της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα ποσοστά επιδοτήσεων ανά ζώνη και για την κατηγορία 1, που αναφέρεται σε έργα ΑΠΕ:

Τύπος Επιδότησης	Γεωγραφική Ζώνη		
	A	B	Γ
Κάλυψη δαπάνης του επενδυτικού σχεδίου / Επιδότηση χρηματοδοτικής μίσθωσης	20%	30%	40%
Φορολογική απαλλαγή	60%	100%	100%
Επιδότηση του μισθολογικού κόστους	20%	30%	40%

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα παραπάνω ποσοστά δίνεται επιπλέον ενίσχυση 10% για μεσαίες και 20% για μικρές και πολύ μικρές επιχειρήσεις, ενώ αναλυτικά οι 3 γεωγραφικές ζώνες είναι οι εξής:

- **Ζώνη Α:** Περιλαμβάνει τους Νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης πλην των Βιομηχανικών Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.ΠΕ.) και των νησιών των Νομών αυτών που εντάσσονται στη Ζώνη Β'.
- **Ζώνη Β:** Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Θεσσαλίας (Καρδίτσας, Λάρισας, Μαγνησίας, Τρικάλων), τους Νομούς της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου (Κυκλάδων, Δωδεκανήσου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων (Κέρκυρας, Λευκάδας, Κεφαλληνίας, Ζακύνθου), τους Νομούς της Περιφέρειας Κρήτης (Ηρακλείου, Λασιθίου, Ρεθύμνου, Χανίων), τους Νομούς της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (Χαλκιδικής, Σερρών, Κιλκίς, Πέλλας, Ημαθίας, Πιερίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας (Γρεβενών, Κοζάνης, Φλώρινας, Καστοριάς), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας (Φθιώτιδας, Φωκίδας, Εύβοιας, Βοιωτίας, Ευρυτανίας).
- **Ζώνη Γ:** Περιλαμβάνει τους Νομούς της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Καβάλας, Δράμας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου), τους Νομούς της Περιφέρειας Ηπείρου (Άρτας, Πρέβεζας, Ιωαννίνων, Θεσπρωτίας), τους Νομούς της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου (Λέσβου, Χίου, Σάμου), τους Νομούς της Περιφέρειας Πελοποννήσου (Λακωνίας,

Μεσσηνίας, Κορινθίας, Αργολίδας, Αρκαδίας), καθώς και τους Νομούς της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας (Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Ηλείας).

Ακολουθεί και ο γεωγραφικός χάρτης:



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

- Ο κώδικας Fortran που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του θέματος 5.2 καθώς και τα αποτελέσματα που αντλήθηκαν για τη εργασία και για τους πέντε διαφορετικούς λέβητες βρίσκονται στο cd.
- Τα υπολογιστικά φύλλα που δημιουργήθηκαν στο Excel καθώς και τα διαγράμματα που παραθέτονται σε εργασία βρίσκονται σε καλύτερη ανάλυση στο cd.

## Βιβλιογραφία

- A.Baille, C. N. (2001, Απριλίου 19). Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and forest meteorology* , pp. 293-306 (Volume 107).
- ASAE. (2003). *Heating, ventilating and cooling greenhouses ANSI/ASAE EP406.4*. ASABE.
- Bioenergiesysteme, B. (n.d.). *Bios Bioenergie systeme*. Ανάκτηση από [www.bios-bioenergy.at](http://www.bios-bioenergy.at)
- Caouris, K. S. (1989). Regional monthly estimation of greenhouse energy consumption - application to Greece. *Solar and wind technology* , pp. 225-233 (Volume 6).
- Caterpillar. (n.d.). *Caterpillar*. Ανάκτηση από [www.cat.com](http://www.cat.com)
- Dalsem. (n.d.). *Dalsem greenhouses*. Ανάκτηση από [www.dalsem.nl](http://www.dalsem.nl)
- Davies, P. (2005, March 18). A solar cooling system for greenhouse food production in hot climates. *Solar Energy* , pp. 661-668 (Volume 79).
- Elsan, M. . (n.d.). *Mak - Elsan*. Ανάκτηση από [www.mak-elsan.com](http://www.mak-elsan.com)
- J.Chau, T. (2008, May 19). Techno economical analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry. *Applied energy* , pp. 364-371 (Volume 86).
- M.Kuosa, J. L. (2007, July). The impact of heat exchanger fouling on the optimum operation and maintenance of the Stirling engine. *Applied Thermal Engineering* , pp. 1671-1676 (Volume 27).
- M.N.Bargach, A. D. (1999, November). A heating system using flat plate collectors to improve the inside greenhouse microclimate in Morocco. *Renewable energy* , pp. 367-381 (Volum 18).
- Mardenkro . (n.d.). Ανάκτηση από Mardenkro : [www.mardenkro.com](http://www.mardenkro.com)
- Priva. (n.d.). [www.priva.nl](http://www.priva.nl). Ανάκτηση από [www.priva.nl](http://www.priva.nl)
- Rielo. (n.d.). [www.caloria.gr](http://www.caloria.gr). Ανάκτηση από [www.caloria.gr](http://www.caloria.gr)
- StirlingDk. (n.d.). [www.stirling.dk](http://www.stirling.dk). Ανάκτηση από [www.stirling.dk](http://www.stirling.dk)
- Svensson. (n.d.). Ανάκτηση από Ludvig Svensson: [www.ludvigsvensson.com](http://www.ludvigsvensson.com)
- [www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr). (n.d.). *Θερμοκήπια Δράμας*. Ανάκτηση από [www.dgsa.com.gr](http://www.dgsa.com.gr)
- [www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr). (n.d.). Ανάκτηση από Α.Μεϊντάνης Ε.Π.Ε.: [www.meidanis.com.gr](http://www.meidanis.com.gr)
- Zabeltitz, C. (1994, August). Effective use of renewable energies for greenhouse heating. *Renewable Energy* , pp. 479-485 (Volume5).
- Βιοσώλ. (n.d.). *Βιοσώλ*. Ανάκτηση από [www.biossol.gr](http://www.biossol.gr)

Βουρλιώτης, Π. (2010). *Τυποποίηση-Καύση στερεών καυσίμων βιομάζας σε λέβητες ζεστού νερού*. Αθήνα.

Γ.Δημητρακόπουλος, Χ. (2010). *ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Λέβητα βιομάζας 750 kW*. Αθήνα.

ΔΕΗ. (n.d.). *ΔΕΗ Α.Ε.* Ανάκτηση από [www.dei.gr](http://www.dei.gr)

Ε.Δ.Ρογδάκης, Ν. (n.d.). *Η Μηχανή του Stirling*. Παλαιά αλλά και πολύ σύγχρονη.

Ε.Κακαράς, Δ. Σ. (2008). *Αντιρρυπαντική τεχνολογία θερμικών σταθμών*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.

Ε.Π.Ε.Μ. (n.d.). *www.epem.gr*. Ανάκτηση από [www.epem.gr](http://www.epem.gr)

Μαυρογιαννόπουλος, Γ. (2005). *Θερμοκήπια*. Αθήνα: Αθ.Σταμούδης.

Ν.Παπαγεωργίου. (1991). *Ατμοπαραγωγοί 1 Γενικές Αρχές*. Αθήνα: Συμεών.

Ν.Παπαγεωργίου. (1991). *Ατμοπαραγωγοί 2 Εμβάθυνση*. Αθήνα: Συμεών.

Ν.Σαμαράς. (n.d.). *Ν.Σαμαράς*. Ανάκτηση από [www.nsamaras.gr](http://www.nsamaras.gr)

Πυρκάλ. (n.d.). Ανάκτηση από Ελληνικά αμυντικά συστήματα Α.Ε.: [www.eas.gr](http://www.eas.gr)

Σαμαντούρος. (n.d.). *Αγρεκ - Σαμαντούρος*. Ανάκτηση από [www.agrek.gr](http://www.agrek.gr)

Υπουργείο Γεωργίας. (2003). Ανάκτηση από Υπουργείο Γεωργίας: [www.minagric.gr](http://www.minagric.gr)