



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΡΗΣΙΜΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ»**

Του Φοιτητή

Παντελίδη Ισιδώρου

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους παρακάτω ανθρώπους:

Αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σωτήριο Καρέλλα, για τις συμβουλές και την βοήθεια που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τον κ. Γιώργο Τερέογλου και τον κ. Γιάννη Σιαμπάνη για την συνεργασία μας και τα στοιχεία που μου παρείχαν για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Τους φίλους και συμφοιτητές μου, που μου συμπαραστέκονται όλα αυτά τα χρόνια που διήρκεσαν οι σπουδές μου.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στις αδερφές μου για την ηθική υποστήριξη στις επιλογές μου όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	9
Abstract	11
Κεφάλαιο 1. Στοιχεία για την συμπαραγωγή (CHP) στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.....	13
1.1. Εισαγωγή.....	13
1.2. Η συμπαραγωγή στην Ευρώπη.....	14
1.3. Η συμπαραγωγή στην Ελλάδα.....	17
1.3.1. Νομική Πολιτική για ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ[8].....	17
1.1.1. Στοιχεία για την Συμπαραγωγή στην Ελλάδα για την περίοδο 2006-2016.....	17
Κεφάλαιο 2. Συστήματα συμπαραγωγής	21
2.1. Τύποι Συστημάτων Συμπαραγωγής.....	21
2.2. Εφαρμογές Συστημάτων Συμπαραγωγής.....	21
2.3. Τεχνολογίες συστημάτων συμπαραγωγής.....	21
2.3.1. Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο[11].....	22
2.3.2. Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο[11].....	22
2.3.3. Συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές(M.E.K)[11].....	22
2.4. Παραδείγματα συστημάτων συμπαραγωγής[12].....	23
2.4.1. Παραδείγματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο.....	23
2.4.2. Παραδείγματα συμπαραγωγής με Αεριοστρόβιλους.....	28
2.4.3. Παραδείγματα Εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.....	31
Κεφάλαιο 3. Υφιστάμενη εγκατάσταση της γαλακτοβιομηχανίας	37
3.1. Γενικές πληροφορίες.....	37
3.2. Εξοπλισμός.....	37
3.3. Προσδιορισμός δεδομένων για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση.....	39
3.4. Περιγραφή Διαδικασίας Οικονομικής Ανάλυσης.....	41
Κεφάλαιο 4. Ανάλυση εναλλακτικών λύσεων για την γαλακτοβιομηχανία	43
4.1. Συστήματα Λέβητα βιομάζας-Ατμοστροβίλου.....	43
4.1.1. Σύστημα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης.....	44
4.1.2. Σύστημα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.....	52
4.2. Συστήματα με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας.....	55
4.2.1. Οικονομική ανάλυση συστημάτων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας.....	58

4.3.	Συστήματα με Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης	62
4.3.1.	Οικονομική ανάλυση συστημάτων συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές	65
Κεφάλαιο 5. Συστήματα CSP.....		67
5.1.	Γενικές πληροφορίες	67
5.2.	Τεχνολογίες.....	68
5.2.1.	Συστήματα με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες(Parabolic Trough Collectors)	68
5.2.2.	Συστήματα με ηλιακό πύργο ισχύος.....	68
5.2.3.	Συστήματα δίσκου μηχανής(Dish Stirling/Dish Engine)	69
5.2.4.	Συστήματα με γραμμικούς ανακλαστήρες τύπου Fresnel	70
5.3.	Αποθήκευση θερμικής ενέργειας.....	70
5.3.1.	Τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.....	71
5.3.2.	Κόστος αποθήκευσης ενέργειας.....	73
5.4.	Παραδείγματα εφαρμογών με ηλιοθερμικά συστήματα.....	74
5.5.	Διαστασιολόγηση ηλιοθερμικού συστήματος για την γαλακτοβιομηχανία και κοστολόγηση .	79
Κεφάλαιο 6. Σύγκριση εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων		87
6.1.	Αποτελέσματα	87
6.2.	Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ	89
6.3.	Κρίσιμες παράμετροι και τιμές εναλλαγής των εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων	94
6.4.	Ανάλυση Ευαισθησίας IRR.....	96
6.4.1.	Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο	96
6.4.2.	Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας	98
6.4.3.	Συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης	100
6.4.4.	Συγκεντρωτικά Ηλιοθερμικά συστήματα	101
6.5.	Διαγράμματα ΚΠΑ-r%	103
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα.....		105
Βιβλιογραφία.....		107
Παράρτημα 1		111
Παράρτημα 2		112
Παράρτημα 3		116
Παράρτημα 4		119

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο να πραγματοποιήσει τεχνοοικονομική ανάλυση εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής της χρήσιμης θερμότητας που απαιτείται από μια γαλακτοβιομηχανία.

Αρχικά, εξετάζεται η εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής που συνδυάζουν τη παραγωγή θερμότητας με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πλαίσιο της εργασίας σχεδιάζονται συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης και ατμοστρόβιλο αντίθλιψης, που καταναλώνουν βιομάζα. Επίσης ελέγχονται συστήματα ΣΗΘΥΑ με καύσιμο φυσικό αέριο. Ειδικότερα διερευνώνται μονάδες ΣΗΘΥΑ με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας και με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης. Τέλος μελετάται η εγκατάσταση ενός ηλιοθερμικού συστήματος με παραβολικούς συλλέκτες, που θα προμηθεύει την βιομηχανία με ένα μέρος της χρήσιμης θερμότητας.

Για όλα τα εναλλακτικά επενδυτικά σχέδια υπολογίζονται οι οικονομικοί δείκτες της καθαρής παρούσης αξίας (ΚΠΑ) και του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (IRR). Ακόμη πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας των οικονομικών δεικτών για να προσδιοριστούν οι κρίσιμοι παράμετροι κάθε επένδυσης.

Από την οικονομική ανάλυση όλων των επενδυτικών σχεδίων προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με το ποιες είναι οι πιο συμφέρουσες λύσεις για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Abstract

This thesis aims to make a technical and economical evaluation of alternative systems for the production of the process heat which is needed in a dairy plant.

The type of systems that are investigated, are cogeneration (CHP-Combined Heat and Power) systems that produce both electricity and useful heat for the milk production. To require the process heat for the production, cogeneration systems with condensing steam turbine and back- pressure steam turbine are designed. Both of these systems have a steam boiler that consumes biomass. In addition, CHP systems with gas turbines and reciprocating internal combustion engines, which are powered by natural gas, are selected based on the heat output they provide. Finally, the installation of a concentrating solar power (CSP) system with parabolic troughs is examined in order to provide the dairy plant with a portion of process heat.

All the alternative systems are financially evaluated by calculating the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR). Additionally, a sensitivity analysis is carried out in order to find out the crucial factors of each case study.

From the financial analysis, we conclude which type of system is a suitable and profitable investment for the dairy plant.

Κεφάλαιο 1. Στοιχεία για την συμπαραγωγή (CHP) στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

1.1. Εισαγωγή

Στην σύγχρονη εποχή, όπου οι ανάγκες των ανθρώπων σε υλικά αγαθά και σε υπηρεσίες αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς, η παραγωγή ενέργειας που απαιτείται για την τους αποτελεί έναν από τους βασικούς παραγωγικούς τομείς τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Η αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας, και ιδιαίτερα των ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, που συνέβαινε στο παρελθόν εξαιτίας κυρίως μη αποδοτικών συστημάτων αξιοποίησης αλλά και άγνοιας των τότε υπευθύνων, έχει οδηγήσει στην ενεργειακή κρίση που βιώνουμε σήμερα. Η διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων έχει περιοριστεί λόγω εξάντλησης των πηγών εξόρυξης τους αλλά ταυτόχρονα και λόγω των μεταβαλλόμενων γεωπολιτικών συμφερόντων των χωρών στις οποίες πραγματοποιείται η εξόρυξη τους. Ως αποτέλεσμα της ελαττωμένης διαθεσιμότητας των ορυκτών καυσίμων στην αγορά, θα είναι η αύξηση της τιμής τους και συνεπώς δυσκολία πρόσβασης των παραγωγικών φορέων στην αγορά τους.

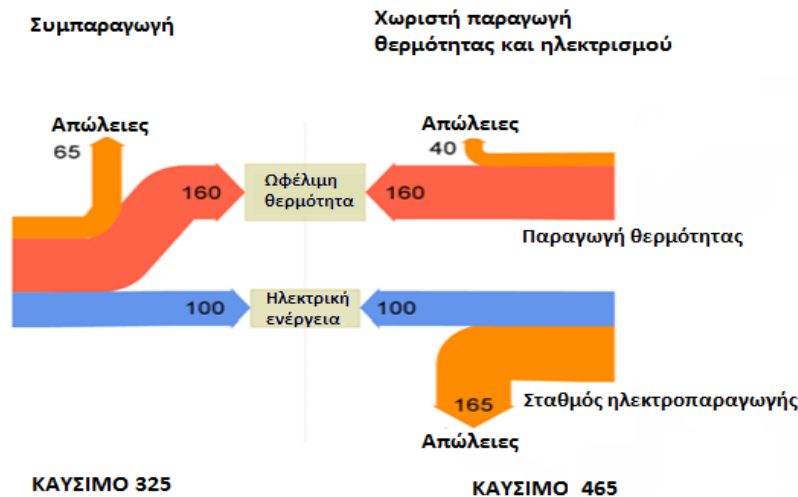
Επιπλέον ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν σήμερα την παραγωγή ενέργειας είναι η επίδραση στο φυσικό περιβάλλον. Η λειτουργία των παλιών συστημάτων παραγωγής ενέργειας είχε ως συνέπεια την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων όπως CO₂, NO_x, SO_x. Έχει αποδειχθεί ότι οι ρύποι αυτοί συνδέονται με περιβαλλοντικά προβλήματα όπως ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, όξινη βροχή και σε μικρό ποσοστό στην τρύπα του όζοντος. Όλα αυτά συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή και στην αλλοίωση του φυσικού οικοσυστήματος.

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, σε συνδυασμό με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους καθιστούν απαραίτητη την εξεύρεση ενεργειακών συστημάτων που είναι αποδοτικά αλλά ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Τα συστήματα συμπαραγωγής αποτελούν μια βασική επιλογή που ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια. Με τον όρο συμπαραγωγή εννοούμε την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας[1]. Ανάλογα με την εφαρμογή, η τεχνολογία συμπαραγωγής στοχεύει είτε στην ηλεκτροπαραγωγή είτε στην παραγωγή θερμότητας, συνήθως με την μορφή ατμού, η οποία στην συνέχεια αξιοποιείται σε κάποια άλλη διεργασία. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα είναι τα ορυκτά, υγρά και στερεά, καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, κτλ.), η βιομάζα (ξύλο, άχυρο, κουκούτσι ροδάκινου, αγριαγκινάρα) και το φυσικό αέριο, το οποίο είναι και το κυρίαρχο λόγω της μειωμένων εκπεμπόμενων ρύπων που παράγει κατά την καύση του.

Αν και τα θετικά στοιχεία της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού είναι εμφανή, οι τεχνολογίες συμπαραγωγής δεν έχουν καταφέρει ακόμη να εισχωρήσουν δυναμικά στην αγορά ενέργειας. Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, δηλαδή καυσίμου, που προσφέρει η συμπαραγωγή, δεν εξασφαλίζει την οικονομική επιβίωση της επένδυσης. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να διαμορφωθεί ένα νομικό πλαίσιο σχετικό με την συμπαραγωγή, το οποίο να είναι φιλικό και οικονομικά συμφέρον προς το επενδυτή.

1.2. Η συμπαραγωγή στην Ευρώπη

Οι ανάγκες της Ευρώπης σε θερμική ενέργεια απαιτούν το 62% των πρωτογενών πηγών ενέργειας της. Από το σύνολο των θερμικών αναγκών, το 42% αντιστοιχεί σε βιομηχανικές δραστηριότητες, το 35% σε οικιακή χρήση και το υπόλοιπο σε υπηρεσίες[2]. Η ύπαρξη μεγάλων απαιτήσεων σε θερμότητα αποτελεί ένα βασικό κριτήριο για την προώθηση και την εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής. Με τις μονάδες συμπαραγωγής είναι δυνατή η «on site» ικανοποίηση των απαιτήσεων σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, εξασφαλίζοντας εξοικονόμηση στο πρωτογενές καύσιμο έως και 25% και συμβάλλοντας στην αποσυμφόρηση του ηλεκτρικού δικτύου.



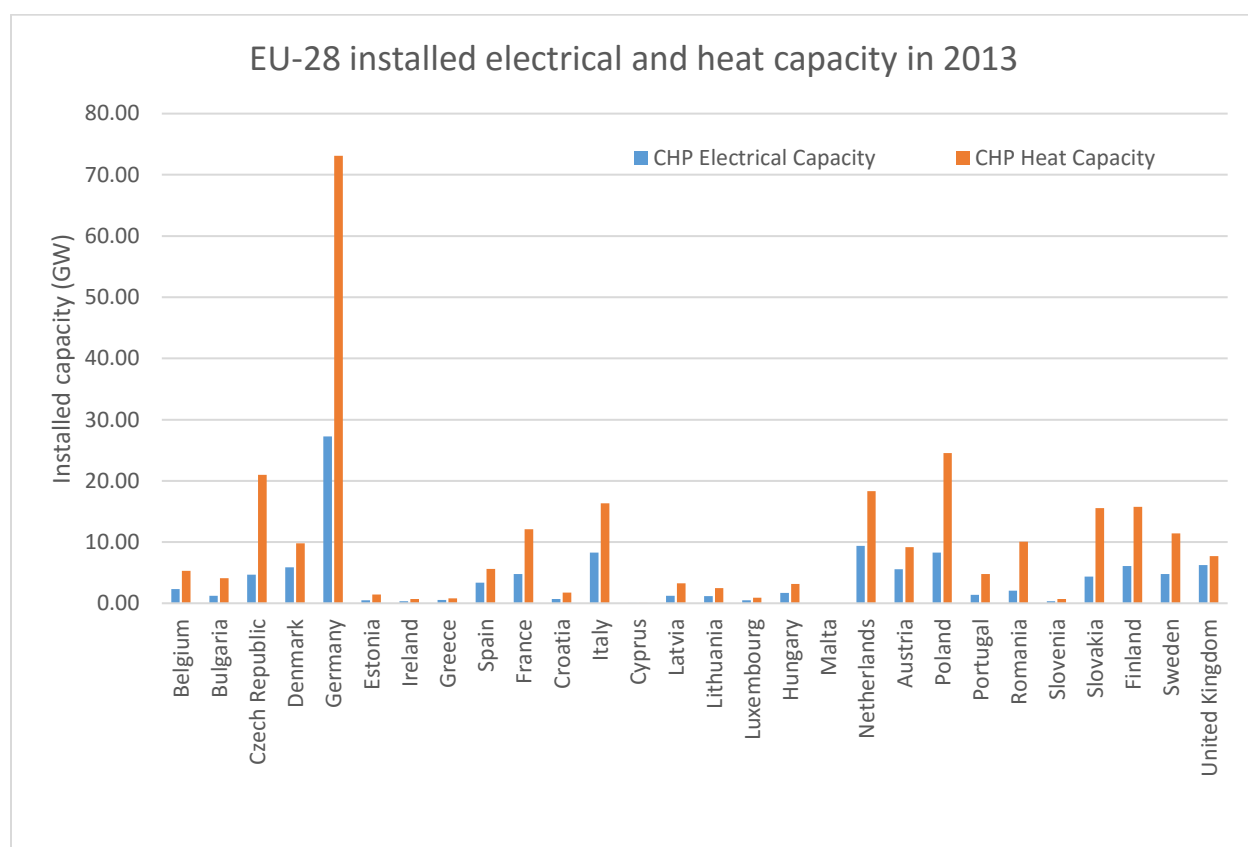
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.1: Η ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΣΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ[3]

Παρόλο που τα αποτελέσματα της συμπαραγωγής είναι θετικά, οι επενδυτές στην Ευρώπη διστάζουν να επενδύσουν χρηματικά κεφάλαια για την επέκτασή της. Η αιτία αυτού του προβλήματος μπορεί να εντοπιστεί στο γεγονός ότι δεν υπάρχει σταθερή πολιτική των κρατών-μελών της Ευρώπης απέναντι στις τεχνολογίες συμπαραγωγής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Ελλάδα, όπου η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής κιλοβατώρας από μονάδες συμπαραγωγής έχει μεταβληθεί 3 φορές μέσα στο χρονικό διάστημα 2006-2014. Η μεταβαλλόμενη τιμολογιακή πολιτική δεν προσφέρει σιγουριά σε οποιοδήποτε επενδυτή, ιδιαίτερα όταν αφορά επένδυση με χρονικό ορίζοντα άνω των 20 ετών.

Με γνώμονα την επέκταση της συμπαραγωγής στα κράτη-μέλη, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προχωρήσει στην έκδοση ευρωπαϊκών νόμων-οδηγιών σχετικών με την συμπαραγωγή. Ειδικότερα η αρχή έγινε το 2004 με την οδηγία 2004/8/ΕΚ που προωθεί μέτρα για την ευρύτερη χρήση μονάδων ΣΗΘΥΑ (Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης). Συγκεκριμένα, με την οδηγία αυτή καθορίστηκε η μεθοδολογία υπολογισμού της αποδόσεως των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής. Έτσι τα κράτη μέλη μπορούσαν να ελέγξουν ποιες εγκαταστάσεις επετύγχαναν εξοικονόμηση ενεργείας συγκριτικά με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, και τελικά να ενίσχυαν αυτές που ξεπερνούσαν ένα επιθυμητό όριο[4]. Το 2012 η οδηγία του 2004 αντικαταστάθηκε από την 2012/27/ΕΚ η οποία εστίαζε σε μέτρα σχετικά με το νομικό πλαίσιο της συμπαραγωγής[5]. Το 2015, με τον κανονισμό

2015/2402 αναθεωρούνται κάποια στοιχεία που αφορούν τις εναρμονισμένες τιμές ως προς της απόδοση για την ξεχωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τέλος υποστηρίζεται η χρήση συμπαραγωγής σε κτιριακές μονάδες όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία, κ.α. με την οδηγία 2010/31/ΕΚ που αφορά την ενεργειακή απόδοση κτιρίων[6].

Αυτήν τη στιγμή, οι μονάδες συμπαραγωγής που λειτουργούν στην Ευρώπη, συμβάλλουν στη παραγωγή θερμικής ενέργειας κατά ποσοστό 15%, το οποίο αντιστοιχεί σε εγκατεστημένη ισχύ 279.4GW_{th} και στην παραγωγή ηλεκτρικής κατά ποσοστό 11%, δηλαδή εγκατεστημένη ισχύ 112.97 GW_e[7]. Το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων εντοπίζεται στις βιομηχανίες τροφίμων και χαρτιού, ενώ ακολουθούν οι μονάδες σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Τα εγκατεστημένα GW_e μονάδων CHP για κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Ειδικότερα για την Ελλάδα βλέπουμε ότι είναι ανάμεσα σε αυτές με την μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.2.1: Η ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΚΡΑΤΗ-ΜΕΛΗ ΤΗΣ Ε.Ε.[7]

Βασικός στόχος της ενεργειακής πολιτικής της Ευρώπης είναι η παραγωγή θερμικής ενέργειας από συμπαραγωγή να πλησιάσει το 20% της συνολικής μέχρι το έτος 2030. Το πρόγραμμα CODE 2[3] είναι ένα σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προώθηση της συμπαραγωγής στα διάφορα κράτη μέλη. Στο πλαίσιο του προγράμματος αναζητούνται οι λόγοι που η συμπαραγωγή δεν έχει εισχωρήσει στην αγορά ενέργειας τόσο για την Ευρώπη συνολικά όσο και για κάθε χώρα ξεχωριστά.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η έκθεση περιλαμβάνει τα εμπόδια για τη επέκταση της συμπαραγωγής καθώς και προτάσεις για ξεπεραστούν αυτά. Σύμφωνα με την έκθεση τα εμπόδια για την επέκτασης της συμπαραγωγής στην Ελλάδα είναι:

- Εμπόδιο 1^ο: Χαμηλή τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες μονάδες ιδιωτικές ηλεκτροπαραγωγής στον κύριο πάροχο και διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας. Επιπλέον η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου είναι μια από τις υψηλότερες στην Ευρώπη.
- Εμπόδιο 2^ο: Το κράτος δεν βοηθάει τη προώθηση της συμπαραγωγής, ενώ η γραφειοκρατία που επικρατεί, δυσκολεύει την εκδήλωση ενδιαφέροντος. Ακόμη δεν υφίσταται σταθερό και μακροχρόνιο νομικό πλαίσιο για την συμπαραγωγή.
- Εμπόδιο 3^ο: Δεν έχει εξεταστεί η περίπτωση της μικρής κλίμακας συμπαραγωγής από τους αρμόδιους φορείς τους κρατους.

Για τα παραπάνω εμπόδια που αφορούν την Ελλάδα, προτείνονται οι αντίστοιχες λύσεις που θα συμβάλουν στην υπέρβαση τους:

- Λύση 1^η: Οι υποχρεώσεις που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή οδηγία του 2012/27/EK να ωθήσουν στην αναθεώρηση της πολιτικής για την συμπαραγωγή.
- Λύση 2^η: Οι διαδικασίες αδειοδότησης να απλοποιηθούν και να γίνουν γρηγορότερες ώστε να αυξηθεί το ενδιαφέρον των επενδυτών. Επίσης είναι καλό να αναθεωρηθεί το πλαίσιο αδειοδότησης για τις μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας.
- Λύση 3^η: Νέο σύστημα τιμολόγησης για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ. Κατάργηση των παλαιών νομοθεσιών που αφορούσαν την προώθηση της συμπαραγωγής, και ενημέρωση των αρμόδιων αρχών για τα πλεονεκτήματα της συμπαραγωγής.

Η έκθεση για την Ελλάδα προβλέπει ότι αν ξεπεραστούν τα εμπόδια μπορεί να επιτευχθεί ανάπτυξη της συμπαραγωγής κατά 54,4%. Για την ενίσχυση της συμπαραγωγής στην Ελλάδα συνίσταται η προώθηση της, αρχικά στον βιομηχανικό τομέα αλλά κυρίως στον τριτογενή και στον αγροτικό τομέα. Έτσι θα υπάρξουν οφέλη στον κλάδο του τουρισμού που αποτελεί κύριο οικονομικό πυλώνα της χώρας. Επίσης συνιστάται στροφή στη χρήση βιομάζας ως καύσιμο στις μονάδες, καθώς είναι πολύ φθηνότερο του φυσικού αερίου. Έτσι τα επενδυτικά σχέδια που αφορούν εγκαταστάσεις συμπαραγωγής καθίστανται οικονομικά βιώσιμα και ανταγωνιστικά έναντι των συμβατικών τρόπων παραγωγής ενέργειας.

1.3. Η συμπαραγωγή στην Ελλάδα

1.3.1. Νομική Πολιτική για ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ[8]

Με τον Ν.2244/94 ορίζεται το νομικό πλαίσιο για τη Συμπαραγωγή στην Ελλάδα. Ο νόμος αυτός, με τίτλο «*Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα*» τέθηκε σε ισχύ τον Οκτώβριο του 1994 και εισήγαγε τη διάκριση μεταξύ «αυτοπαραγωγού» και «ανεξάρτητου παραγωγού» στην ελληνική αγορά ενέργειας, ενώ επέτρεψε την εγκατάσταση και μονάδων Συμπαραγωγής από αυτοπαραγωγούς (αυτόνομα ή με σύνδεση στο δίκτυο της ΔΕΗ).

Η Οδηγία 2004/8/ΕΚ καθορίζει το πλαίσιο για την προώθηση της Συμπαραγωγής ενέργειας και ιδιαίτερα της Συμπαραγωγής υψηλής αποδοτικότητας, βασικό παράγοντα για την εκπλήρωση των στόχων ενεργειακής αποδοτικότητας στην ΕΕ. Η Ελλάδα μετέφερε την Οδηγία 2004/8/ΕΚ στην ελληνική νομοθεσία, με τους νόμους 3468/2006 και Ν.3734/2009.

Ο Ν.3851/10 (άρθρο 10) ορίζει ότι από 31/12/19 το αργότερο, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να ικανοποιούν όλες τις ανάγκες τους σε πρωτογενή ενέργεια από τα συστήματα ενέργειας που τροφοδοτούνται με βάση τις ΑΠΕ, ΣΗΘ, τηλεθέρμανσης/ψύξης, καθώς και από τις αντλίες θερμότητας. Η υποχρέωση αυτή ισχύει για όλα τα νέα κτίρια που θα στεγάζουν υπηρεσίες του δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα, από τις 31/12/2014 το αργότερο.

Ο Ν.4001 /11 μεταφέρει στην εθνική νομοθεσία την τρίτη Οδηγία για την Εσωτερική Αγορά Ενέργειας. Μεταξύ άλλων προβλέπει τον διαχωρισμό των διαχειριστών του συστήματος και ενισχύει το ρόλο των ανεξάρτητων ρυθμιστικών αρχών, όσον αφορά στην ασφάλεια εφοδιασμού, την αδειοδότηση, την παρακολούθηση της προστασίας της αγοράς αλλά και των καταναλωτών. Ο Νόμος ακυρώνει το όριο των 35 MWe, ως το ανώτατο όριο εγκατεστημένου ισχύος ανά μονάδα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αυτή να έχει προτεραιότητα πρόσβασης κατά την κατανομή του φορτίου. Το 2012, ο Υπουργός ΠΕΚΑ με απόφαση του δημιουργεί Μητρώο Φορέων Πιστοποίησης, Επαλήθευσης, και Επιθεώρησης μονάδων ΣΗΘΥΑ, ώστε μόνο εφόσον έχουν πιστοποιηθεί και έχουν εγγραφεί στο μητρώο Εγγεγραμμένων μονάδων ΣΗΘΥΑ δύνανται να υποστηρίζονται με «F-i-T». Το Μητρώο λειτουργεί στο ΛΑΓΗΕ.

Στις αρχές του 2013, το ΥΠΕΚΑ εξέδωσε Υπουργική Απόφαση για την αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται τόσο για μονάδες ΣΗΘΥΑ όσο και για μονάδες ΣΗΘ, καθιστώντας ευκολότερο το επενδυτικό περιβάλλον.

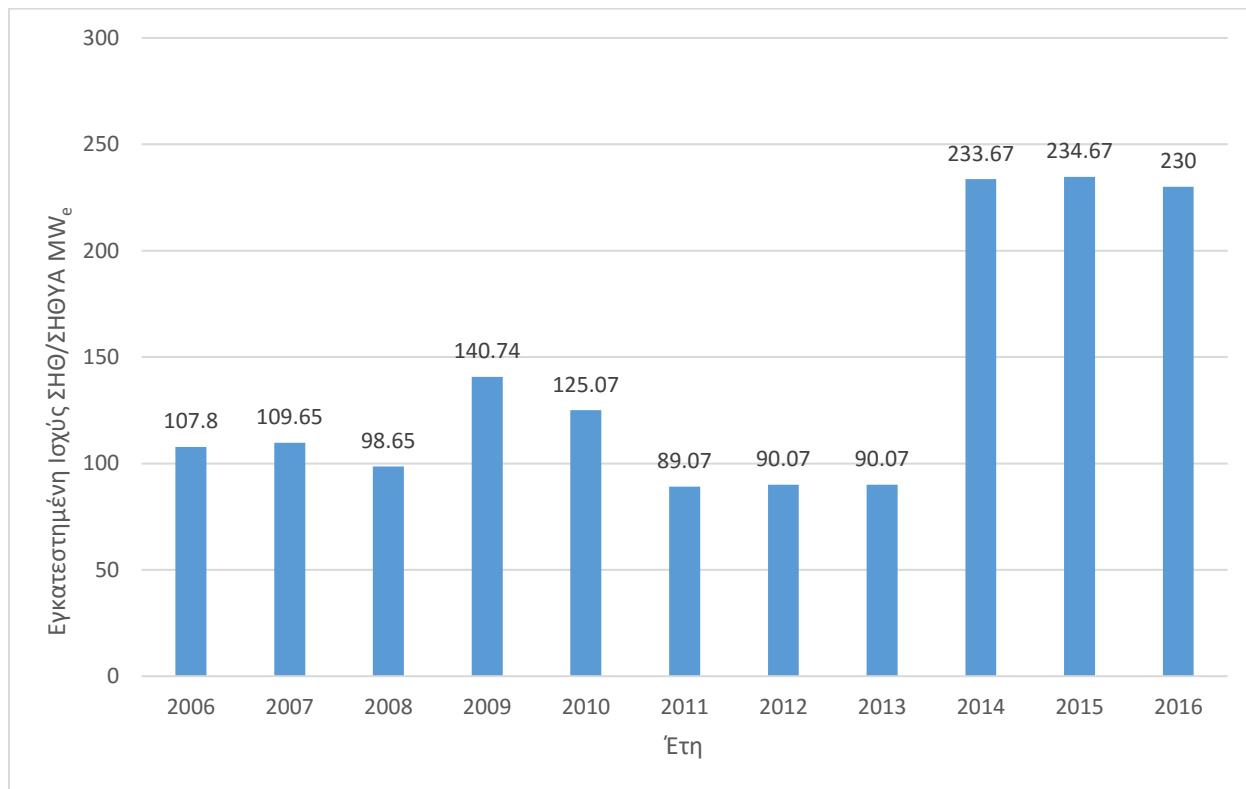
Στις 7.4.2014, ορισμένα άρθρα του Ν.4254/14, με τίτλο «*Μέτρα για τη στήριξη και την ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας κατά την εφαρμογή του Νόμου 4946/2012*» αναθεωρούν αντίστοιχα άρθρα του Ν.3851/10 που αναφέρονται στην τιμολογιακή πολιτική για τις ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (feed-in-tariffs). Ο νόμος εισάγει νέα κατηγοριοποίηση για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ.

Στις 19.12.2015, με τον κανονισμό 2015/2402 της 12^{ης} Οκτωβρίου του 2015 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, πραγματοποιείται αναθεώρηση στις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς ως προς την απόδοση για την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας κατ' εφαρμογή της οδηγίας 2012/27/ΕΕ.

1.1.1. Στοιχεία για την Συμπαραγωγή στην Ελλάδα για την περίοδο 2006-2016

Σύμφωνα με τον Λειτουργό της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ), για την περίοδο 2006-2016 η εγκαταστημένη ισχύς μονάδων ΣΗΘ/ΣΗΘΥΑ ανά έτος παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Οι μονάδες αυτές είναι «Παραγωγοί με κύρια δραστηριότητα την ΣΗΘ» και διοχετεύουν την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο με ανταμοιβή το «Feed in Tariff».



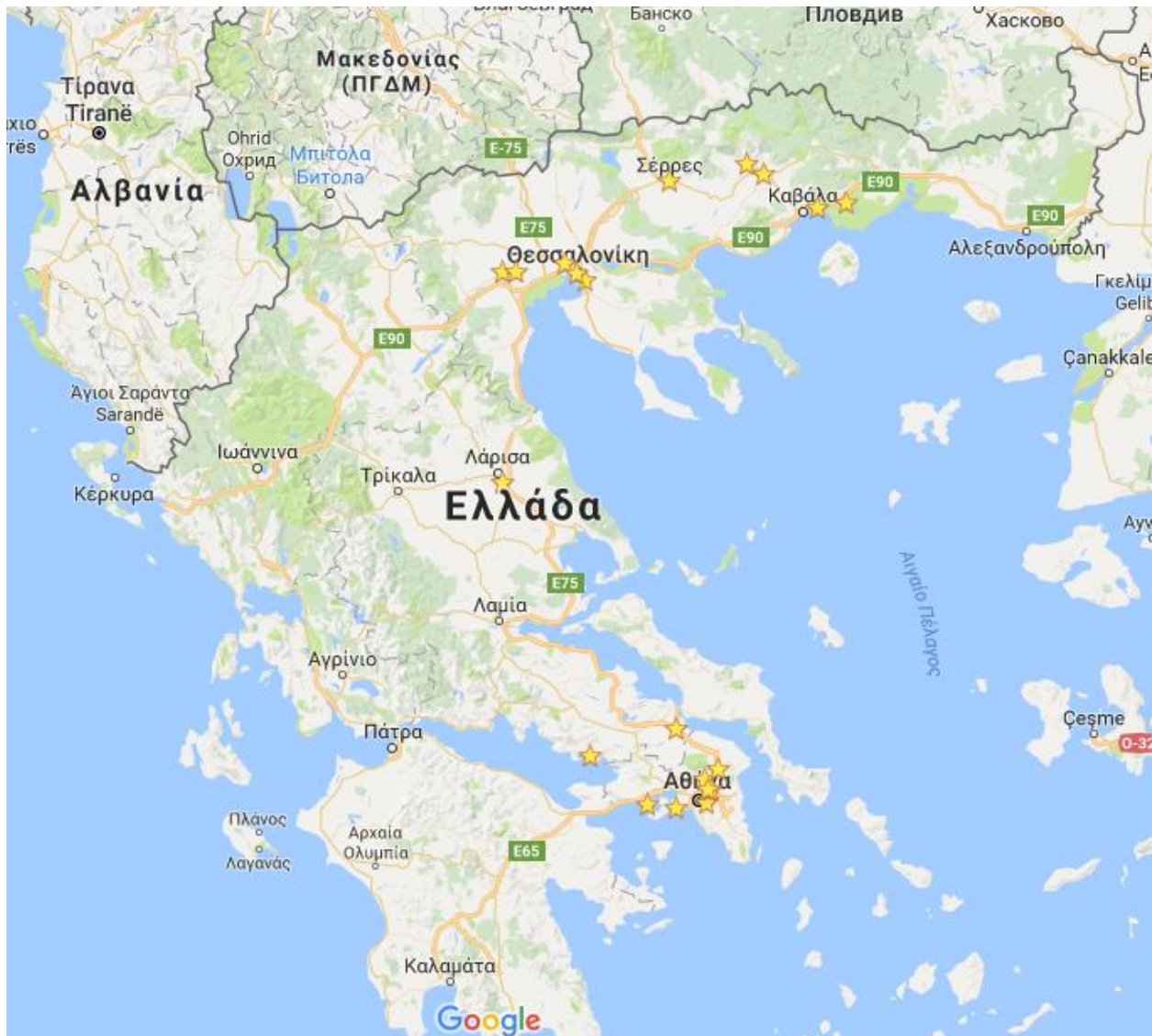
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3.1: :ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘΥΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ (2006-2015)[9]

Το 2014 προστέθηκε στην συνολική ισχύ και η κατανεμομένη μονάδα ΣΗΘΥΑ που λειτουργεί στο Αλουμίνιο της Ελλάδας ισχύος 134.60 MW_e. Τονίζεται επίσης ότι όλες οι εγκαταστάσεις βρίσκονται στην ηπειρωτική Ελλάδα. Η μεταβολή ανάμεσα στο 2013-2014 οφείλεται στην άδεια κατανεμομένης μονάδας ΣΗΘΥΑ που έλαβε η ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Α.Ε.

Παρατηρώντας το διάγραμμα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μέχρι το 2009 εμφανίζεται επενδυτικό ενδιαφέρον για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ με αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ισχύς. Από το 2010, όταν ξεκίνησε η οικονομική ύφεση στην Ελλάδα παρατηρείται μια πτωτική πορεία. Οι συμπαραγωγοί, αντιμετωπίζοντας δυσκολία στην αποπληρωμή λογαριασμών προς την ΔΕΠΑ, το οργανισμό διαχείρισης του φυσικού αερίου στην Ελλάδα, αλλά και λόγω καθυστέρησης στην πληρωμή των «Feed in Tariff» από τον Λειτουργό της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) προς αυτούς, αναγκάστηκαν να κλείσουν ορισμένες μονάδες

Σχετικά με την συμπαραγωγή μικρής κλίμακας, ενδιαφέρον είχε εκδηλωθεί για την συμπαραγωγή σε οικιακό επίπεδο τα χρόνια πριν την οικονομική κρίση, ωστόσο στην συνέχεια το ενδιαφέρον αυτό περιορίστηκε εξαιτίας του υψηλού αρχικού κόστους της επένδυσης. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται κινητικότητα στο τριτογενή τομέα, από δημόσια και ιδιωτικά νοσοκομεία, κλινικές καθώς και δημόσιες υπηρεσίες όπου έχουν ενδιαφερθεί για πολύ-παραγωγή και μικρή συμπαραγωγή.

Τέλος ξενοδοχειακές μονάδες, κυρίως στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη, έχουν πραγματοποιήσει αιτήσεις για άδεια τριπαγωγής.[8]



ΕΙΚΟΝΑ 1.3.1: ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΓΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘΥΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ[9][10]

ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΘΕΣΗ	ΕΓΚΑΤ.ΙΣΧΥΣ (ΜW)
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ Α.Ε.	Ν.ΒΟΙΩΤΙΑΣ	334
ΕΞΑΛΚΟ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ	2.72
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΛΙΠΑΣΠΑΤΩΝ	Ν.ΚΑΒΑΛΑΣ	21.22
ΚΕΡΑΜΟΠΟΙΪΑ ΚΟΘΑΛΗ Α.Ε.	Ν.ΚΑΒΑΛΑΣ	1.13
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΖΑΧΑΡΗΣ ΑΕ	Ν.ΗΜΑΘΙΑΣ	13.00
ΓΕΝΕΣΙΣ ΜΑΙΕΥΤΙΚΗ-ΓΥΝΑΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ ΑΕ	Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	0.73
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΔΡΑΜΑΣ Α.Ε.	Ν.ΔΡΑΜΑΣ	4.80
ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝ/ΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	2.72
ΕΛΦΙΚΟ ΑΕΕ	Ν.ΒΟΙΩΤΙΑΣ	1.20
ΑΓΚΡΙΤΕΧ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.	Ν.ΗΜΑΘΙΑΣ	4.97
ΘΕΡΜΗ ΣΕΡΡΩΝ Α.Ε.	Ν.ΣΕΡΡΩΝ	16.00
ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.	Ν.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	5.50
ΜΠΡΑΪΤ ΕΙΔΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ Α.Ε.	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	0.13
ΕΥΔΑΠ	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	12.90
ΔΕΣΦΑ ΑΕ	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	13.00
Π.Α.Π. ΧΟΤΕΛΣ ΚΟΡΠ Α.Ε.	Ν.ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	0.07
ΔΕΛΤΑ ΑΝΩΝΥΜΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	2.00
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ ΔΟΥΚΑ Ανώνυμος Εταιρεία	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	0,34
LAMDA ΔΟΜΗ Ανώνυμη Εταιρεία Υπηρεσιών και Αξιοποίησης Ακινήτων	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ	2.00
WONDERPLANT	Ν.ΔΡΑΜΑΣ	8.00

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.3.2 ΟΙ ΕΓΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΗΘΥΑ[9]

Κεφάλαιο 2. Συστήματα συμπαραγωγής

2.1. Τύποι Συστημάτων Συμπαραγωγής

Τα συστήματα συμπαραγωγής διακρίνονται σε δύο τύπους συστημάτων, τα συστήματα «κορυφής» και τα συστήματα «βάσης»:

- Στα συστήματα «κορυφής», που αποτελούν το πιο συνηθισμένο τύπο, προτεραιότητα δίνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή μηχανικού έργου για την εγκατάσταση, ενώ η θερμική ενέργεια παραλαμβάνεται από την απορριπτόμενη θερμότητα μέσω κάποιου συστήματος εκμετάλλευσης όπως εναλλάκτες θερμότητας.
- Στα συστήματα «βάσης», κύριος στόχος είναι η παραγωγή θερμότητας που απαιτείται σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας της εγκατάστασης. Ένα μέρος της απορριπτόμενης θερμότητας ανακτάται και μέσω συστημάτων όπως σύστημα ατμοστροβίλου αξιοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2. Εφαρμογές Συστημάτων Συμπαραγωγής

Οι εφαρμογές συστημάτων συμπαραγωγής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Βιομηχανικές εφαρμογές: Οι περισσότερες εφαρμογές της συμπαραγωγής εντοπίζονται στην τομέα της βιομηχανίας. Με την συμπαραγωγή δύναται να καλυφθούν τόσο οι θερμικές ανάγκες της βιομηχανίας όσο και ένα μέρος της ζήτησής της σε ηλεκτρισμό. Συνήθως αποτελούν μονάδες μεγάλης ισχύος από 1MW_e-500 MW_e. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, η βιομηχανία χαρτιού, γυαλιού και μετάλλων, δηλαδή εφαρμογές με υψηλή ζήτηση σε θερμότητα.
- Εμπορικές- Κτιριακές εφαρμογές: Οι εφαρμογές αυτές αφορούν την κάλυψη θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών νοσοκομειακών κτιρίων, ισοστιχτών όπως πανεπιστήμια, δημόσιων κτιρίων, γραφείων. Σε αυτές θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και οι αγροτικές εγκαταστάσεις καθώς και μικρό-βιομηχανίες. Το εύρος ισχύος για τις εφαρμογές αυτές κυμαίνεται στο 1kW_e-10MW_e.
- Τηλεθέρμανση και Ψύξη (DISTRICT HEATING AND COOLING): Κάθε σύστημα συμπαραγωγής μπορεί να συνδυαστεί με ένα κύκλωμα τηλεθέρμανσης και ψύξης. Η μονάδα συμπαραγωγής, η οποία μπορεί να είναι εγκατεστημένη σε μια βιομηχανία ή να αποτελεί μονάδα ηλεκτροπαραγωγής για το δίκτυο της χώρας μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης και να διοχετεύει χρήσιμη θερμότητα σε κτιριακές εγκαταστάσεις, οικισμούς, και θερμοκήπια τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

2.3. Τεχνολογίες συστημάτων συμπαραγωγής

Σε κάθε εγκατάσταση συμπαραγωγής, χρησιμοποιείται εκείνη οι τεχνολογία συμπαραγωγής που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες, στην τοποθεσία, στο μέγεθος της εφαρμογής. Ανάλογα με την μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρισμού υπάρχουν πέντε κατηγορίες συστημάτων:

- Ατμοστρόβιλοι
- Αεριοστρόβιλοι ανοιχτού και κλειστού τύπου
- Παλινδρομικές μηχανές
- Μικροτουρμπίνες

- Κυψέλες καυσίμου

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα παρουσιαστούν παραδείγματα για τις τρεις πρώτες κατηγορίες.

2.3.1. Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο[11]

Αποτελούν τα πολύ αξιόπιστα συστήματα και έχουν μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Το εύρος λειτουργίας τους είναι ανάμεσα στα 50kW-250MW. Το κινητήριο μέσο του ατμοστρόβιλου που είναι υψηλής πίεσης ατμός (κύκλος Rankine), παράγεται με θέρμανση νερού σε λέβητα με την χρήση καυσίμου. Οι λέβητες μπορούν να έχουν οποιοδήποτε είδος καυσίμου όπως φυσικό αέριο, πετρέλαιο, βιομάζα, βιοαέριο κ.α. Ο ατμοστρόβιλος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια και έτσι παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια προέρχεται από το ατμό και καταναλώνεται εκεί που χρειάζεται. Στα συστήματα αντίθλιψης, ολόκληρος ο ατμός εκτονώνεται μέχρι μια πίεση στο ατμοστρόβιλο και στην συνέχεια οδηγείται στον καταναλωτή θερμότητας όπου και συμπυκνώνεται τελικά. Στα συστήματα με απομάστευση ατμού, η απαιτούμενη ποσότητα ατμού για την ικανοποίηση των θερμικών αναγκών, λαμβάνεται από μια ενδιάμεση βαθμίδα του ατμοστρόβιλου στην επιθυμητή πίεση. Η υπόλοιπη ποσότητα εκτονώνεται μέχρι τέλος στο ατμοστρόβιλο σε πολύ μικρή πίεση (mbar) και οδηγείται στο συμπυκνωτή για την συνέχεια του κύκλου.

2.3.2. Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο[11]

Τα συστήματα με αεριοστρόβιλο αφορούν ισχύ στο διάστημα 500kW-250MW και έχουν την δυνατότητα να ικανοποιήσουν υψηλές θερμικές ανάγκες με μεγάλη αξιοπιστία. Ο στρόβιλος κινείται με την βοήθεια των καυσαερίων που διέρχονται από τα πτερύγια του. Τα καυσαέρια έχουν προέλθει από την καύση ενός καυσίμου με συμπιεσμένο αέρα στον θάλαμο καύσης. Η μηχανική ενέργεια από το στρόβιλο κινεί τον συμπιεστή του αέρα και την ηλεκτρογεννήτρια. Στα συστήματα συμπαραγωγής, τα θερμά καυσαέρια όταν εξέλθουν από τον στρόβιλο μπορούν να οδηγηθούν σε συστήματα ανάκτησης θερμότητας για την ικανοποίηση θερμικών αναγκών. Το κυριότερο καύσιμο για τα συστήματα αυτά είναι το φυσικό αέριο, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις με χρήση πετρελαίου, βιοαερίου ή αεριοποιημένου στερεού καυσίμου. Μια αρκετά διαδεδομένη χρήση τους είναι αυτή του συνδυασμένου κύκλου για ηλεκτροπαραγωγή, όπου τα καυσαέρια διοχετεύονται σε ένα Λέβητα Ανάκτησης Θερμότητας(Λ.Α.Θ) για την παραγωγή ατμού που εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο.

2.3.3. Συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές(M.E.K)[11]

Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελούν τις πιο διαδομένες μηχανές για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος τόσο μικρής κλίμακας όσο και μεγάλης στην βιομηχανία. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι υγρά και αέρια ανάλογα με την διαθεσιμότητα, με κυρίαρχο το φυσικό αέριο. Μέσω ατράκτου κινείται η γεννήτρια και παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η θερμότητα για την συμπαραγωγή ανακτάται με την χρήση εναλλακτών. Οι πηγές θερμότητας σε μια εμβολοφόρα μηχανή είναι τα καυσαέρια, το νερό ψύξης της μηχανής, το νερό ψύξης του λαδιού για τη λίπανση της και τέλος αν υπάρχει σύστημα υπερσυμπίεσης, το νερό από το κύκλωμα ψύξης. Οι μηχανές αυτές διακρίνονται για την ευκολία εκκίνησης και για την ικανοποιητική εξυπηρέτηση του φορτίου. Η απόδοση τους είναι υψηλή ακόμα και σε μερικό φορτίο.

2.4. Παραδείγματα συστημάτων συμπαραγωγής[12]

2.4.1. Παραδείγματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο

A. *Seaman Paper-283kW Wood-fired CHP System*[13]

Seaman Paper	
Τοποθεσία	Otter River, Massachusetts
Τομέας	Βιομηχανία Χαρτιού
Καύσιμο	Ξύλο(Τεμαχισμένες Παλέτες)
Μέγιστη ηλεκτρική Ισχύς	283kW
Cf(capacity factor)	70%
Ηλεκτρική ενέργεια	1.7MWh
Θερμική ενέργεια	9.07 t/hr ατμού
Εξοπλισμός	Σετ ατμοστρόβιλου-γεννήτριας Turbosteam, Λέβητας βιομάζας Hurst
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις
Χρήση θερμικής ενέργειας	Για την παραγωγή χαρτιού
Έσοδα	\$ 1,500,000.00
Κατασκευαστής	Συνεργασία Hurst Boiler και Turbosteam
Χρήστης	Seaman Paper Company of Massachusetts
Έναρξη Λειτουργίας	2009

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ SEAMAN PAPER



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.1 Ο ΛΕΒΗΤΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (ΔΕΞΙΑ)[13]

Περιγραφή Βιομηχανίας

Η Seaman Paper Company of Massachusetts είναι μια χαρτοβιομηχανία που ιδρύθηκε στα τέλη 19αι. Η εγκατάσταση λειτουργεί καθημερινά όλο τον χρόνο, με εξαίρεση ορισμένες μέρες που είναι αργίες. Στην εγκατάσταση λειτουργούν δύο μηχανήματα παραγωγής χαρτιού που επιτυγχάνουν παραγωγή 100 τόνων χαρτιού καθημερινά. Το χαρτί που παράγεται χρησιμοποιείται κυρίως στην διακόσμηση, ενώ ένα μέρος επικαλύπτεται με κερί και χρησιμοποιείται στα τρόφιμα. Πριν την εγκατάσταση του συστήματος συμπαραγωγής, η βιομηχανία κατανάλωνε ετησίως 6,435,000 λίτρα πετρελαίου και 25.5 MWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Λόγοι Εγκατάστασης Συμπαγωγικού Συστήματος

Η αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου και η αστάθεια που παρουσίαζε, ώθησε την διοίκηση της βιομηχανίας να στραφεί προς την βιομάζα. Ωστόσο αντί να προσαρμόσουν το παλιό λέβητα για καύση βιομάζας, αποφασίστηκε η αγορά ενός νέου λέβητα. Παρόλου που ο ατμός τον οποίο χρειάζεται η βιομηχανία βρίσκεται στα 10 bar, κρίθηκε οικονομικά συμφέρον να αγοραστεί λέβητας υψηλής πίεσης, για παραγωγή ατμού που θα εκτονωνόταν σε ατμοστρόβιλο αντίθλιψης.

Εξοπλισμός

Η βιομηχανία έχει εγκαταστήσει δύο λέβητες βιομάζας Hurst 600HP, οι οποίο παράγουν περίπου 9.07 t/hr ατμού πίεσεως 27.5 bar και θερμοκρασίας 315.5°C. Οι λέβητες καταναλώνουν 41 τόνους καυσίμου την ημέρα. Ο ατμός που προκύπτει από τους λέβητες διοχετεύεται στο σύστημα του ατμοστροβίλου. Ο ατμοστρόβιλος είναι τύπου αντίθλιψης και κατεβάζει τον ατμό 27.5 bar στα 10 bar για να αξιοποιηθεί στην βιομηχανία. Ο στρόβιλος βρίσκεται σε σύζευξη με μια σύγχρονη γεννήτρια 480V, μέσω ατράκτου και ενός μειωτήρα στροφών. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια, χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες της βιομηχανίας.

B. Wellons Energy Solutions at Perdue AgriBusiness-495kW Biomass CHP plant[14]

Perdue AgriBusiness	
Τοποθεσία	Cofield, North Carolina
Τομέας	Βιομηχανία Τροφίμων
Καύσιμο	Βιομάζα
Ηλεκτρική Ισχύς	495kW
Cf(capacity factor)	98.70%
Θερμική ενέργεια	19 t/hr ατμού
Εξοπλισμός	495kW ατμοστρόβιλο αντίθλιψης, 2 Λέβητες Βιομάζας Wellons 600HP
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις και πώληση στο δίκτυο
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγή ατμού για την βιομηχανία τροφίμων
Κατασκευαστής	Συνεργασία Wellons Energy Solutions, Perdue Agribusiness, LLC
Χρήστης	Perdue Agribusinesses
Έναρξη Λειτουργίας	2011

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ PERDUE AGRIBUSINESS

Περιγραφή Project

Η Wellons Energy Solution είναι μια εταιρία σχεδιασμού εναλλακτικών προτάσεων για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών και ανέλαβε την κατασκευή ενός συστήματος συμπαγωγής για την βιομηχανία ζωοτροφών Perdue AgriBusiness. Το σύστημα συμπαγωγής παράγει ατμό, ο οποίος πουλιέται στην Βιομηχανία Ζωοτροφών και εκεί αξιοποιείται στην επεξεργασία φασολίων σόγιας και τροφής πουλερικών. Η ηλεκτρική ενέργεια από την συμπαγωγή καταναλώνεται στην ίδια την μονάδα συμπαγωγής και η περίσσεια διοχετεύεται στο δίκτυο προς πώληση.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.2 Η ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ WELLONS ΣΤΟ COFIELD[14]

Η μονάδα συμπαραγωγής που βρίσκεται δίπλα στην βιομηχανία Perdue, ανήκει στην Wellons Energy Solution, η οποία έχει αναλάβει και την λειτουργία της. Η μονάδα παρέχει 19 tn/hr ατμού στην βιομηχανία και ταυτόχρονα παράγει 495 kW ηλεκτρικής ισχύος. Πριν την αγορά ατμού η βιομηχανία, έπαιρνε το απαιτούμενο ατμό από την καύση υγρού προπάνιου.

Λόγοι Εγκατάστασης Συμπαραγωγικού Συστήματος

Οι λόγοι που ώθησαν την Perdue AgriBusiness στην κίνηση αυτή είναι :

- Αστάθεια της τιμής του φυσικού αερίου,
- Δέσμευση για περιορισμό ρύπων

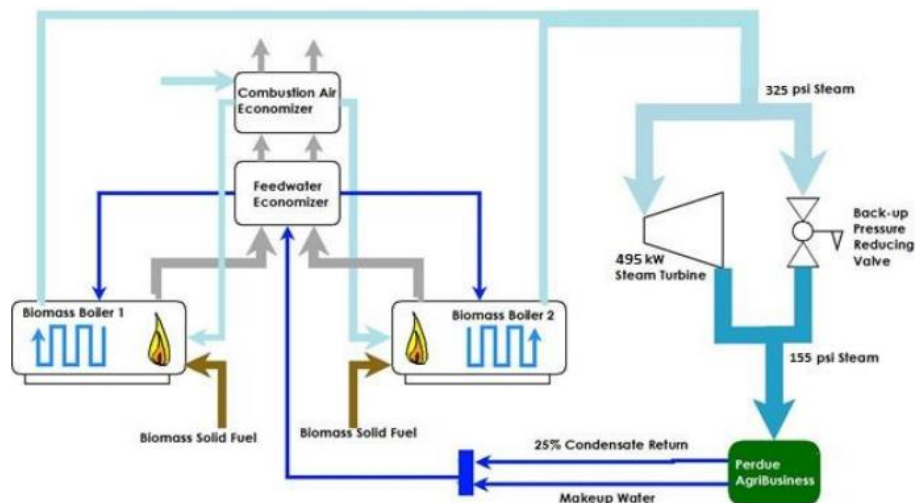
Με την συνεργασία αυτή, η Perdue κατάφερε να μειώσει το κόστος ενέργειας και τις εκπομπές ρύπων.

Εξοπλισμός

Οι μονάδα συμπαραγωγής διαθέτει δύο λέβητες βιομάζας που παράγουν ατμό σε πίεση 22.4 bar, συνολικής παροχής 19 tn/hr. Η ποσότητα ατμού κινεί έναν ατμοστρόβιλο αντίθλιψης 495kW και εκτονώνει το ατμό μέχρι τα 10.6 bar, για να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία ζωοτροφής. Σε περίπτωση έργων για συντήρηση του ατμοστρόβιλου, το κύκλωμα ατμού διαθέτει στραγγαλιστική βαλβίδα για να εξασφαλίζεται η συνεχής παροχή ατμού στην βιομηχανία.

Η ποσότητα βιομάζας που χρησιμοποιείται ως καύσιμο, παραλαμβάνεται από τοπικούς παραγωγούς και αποθηκεύεται μέχρι τη χρήση της. Ως καύσιμο, η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει, πέρα από ξύλο, υπολείμματα βαμβακιού και σόγιας. Το τελευταίο προέρχεται από την εργοστάσιο Perdue ως παραπροϊόν.

Το συμπύκνωμα καθώς και το νερό συμπλήρωσης για το κύκλωμα επιστρέφει στην μονάδα συμπαραγωγής από την βιομηχανία. Για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος, έχουν προστεθεί δύο επιπλέον βοηθητικές μονάδες. Ένας προθερμαντήρας που αξιοποιεί την θερμότητα των καυσαερίων για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού και ένας οικονομιτήρας για την προθέρμανση του αέρα καύσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ WELLONS[14]

C. Cox Interior-5MW Biomass CHP System[15]

Cox Interior	
Τοποθεσία	Campbellville, Kentucky
Τομέας	Βιομηχανία Ξύλου
Καύσιμο	Υπολείμματα ξύλου, βιομάζα
Μέγιστη Ισχύς	5MW
Ηλεκτρική ενέργεια	1100MWh
Θερμική ενέργεια	32.7 t/hr ατμού
Εξοπλισμός	2 λέβητες Hurst 18MW ο καθένας, 4MW ατμοστρόβιλο απομάστευσης, 1MW ατμοστρόβιλο αντίθλιψης
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις και πώληση σε δίκτυο
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγική διαδικασία και θέρμανση της εγκατάστασης
Έσοδα(ετήσια)	\$ 1,200,000.00
Χρήστης	Cox Interior
Έναρξη Λειτουργίας	1994

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ COX INTERIOR

Περιγραφή Εγκατάστασης

Η Cox Interior είναι μια εταιρεία παραγωγής προϊόντων ξυλείας για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους όπως πόρτες, σκαλιά και γείσα. Αυτά τα προϊόντα παράγονται από διάφορα είδη ξύλου, με αποτέλεσμα η βιομηχανία να έχει 100 τόνους αποβλήτων ξύλου. Το 1992 η βιομηχανία αποφάσισε να εκμεταλλευτεί τα απόβλητα χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συμπαραγωγής. Το σύστημα αυτό

ολοκληρώθηκε το 1994 και αποτελείται από δύο λέβητες που καταναλώνουν ξύλο και παράγουν ατμό, θέρμανση για την εγκατάσταση και ηλεκτρισμό.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.4 Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ COX INTERIOR[15]

Λόγοι Εγκατάστασης Συμπαγωγικού Συστήματος

Το αυξανόμενο κόστος απόρριψης καθώς και οι κανονισμοί για την απόρριψη αποβλήτων ξύλου, ώθησε το 1990 την βιομηχανία στην αναζήτηση τρόπου εκμετάλλευσης τους. Η μονάδα συμπαγωγής έχει συμβάλει πάρα πολύ σε αρκετούς τομείς της βιομηχανίας. Με τον ατμό που παράγεται, πραγματοποιείται ξήρανση του ξύλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων μέσα στις εγκαταστάσεις της βιομηχανίας. Έτσι δεν χρειάζεται η αγορά «ακριβού» ξηρού ξύλου, μειώνοντας έτσι το κόστος παραγωγής. Επίσης η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, καταναλώνεται από την ίδια την βιομηχανία, καλύπτοντας έτσι το 70% των ηλεκτρικών αναγκών της. Τις περιόδους που δεν λειτουργεί η βιομηχανία, δηλαδή τα βράδια και τα σαββατοκύριακα, η ηλεκτρική ενέργεια προσδίδεται στο δίκτυο έναντι ενός ποσού.

Εξοπλισμός

Η βιομηχανία διαθέτει φορτηγά για την μεταφορά των αποβλήτων ξύλου από τα σημεία παραγωγής, στην μονάδα συμπαγωγής. Εκεί αποθηκεύονται σε χώρο έκτασης 1,858m². Οι δύο λέβητες Hurst συνολικής ισχύος 36MW καταναλώνουν 300 τόνους ξύλου την ημέρα και παράγουν 32.7 tn/hr ατμού 16.2 bar/254.4°C. Για το έλεγχο των ρύπων, η εγκατάσταση διαθέτει κυκλώνα και ηλεκτροστατικό φίλτρο..

Ο ατμοστρόβιλος αντίθλιψης παραλαμβάνει 20.4 tn/hr ατμού και μειώνει την πίεση του στα 2.06 bar, παράγοντας έτσι 1MW ηλεκτρικής ισχύος. Ο ατμός χαμηλής πίεσης αξιοποιείται στην παραγωγική διαδικασία για την ξήρανση του ξύλου, στους φούρνους και στην θέρμανση της εγκατάστασης. Η υπόλοιπη ποσότητα ατμού οδηγείται στο ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.5 Ο ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ 1MW[15]

2.4.2. Παραδείγματα συμπαραγωγής με Αεριοστρόβιλους

A. Belgomilk Lanemark[16]

Belgomilk Langemark	
Τοποθεσία	Langemark, Belgium
Τομέας	Βιομηχανία τροφίμων
Καύσιμο	Φυσικό αέριο, βιοαέριο
Μέγιστη Ισχύς	7.35MW
Ηλεκτρική ενέργεια	57.3GWh
Θερμική ενέργεια	430TJ, 25t/hr
Εξοπλισμός	Αεριοστρόβιλος Turbomach
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις και πώληση σε δίκτυο
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγική διαδικασία
Κόστος Κατασκευής	€ 7,000,000.00
Κατασκευαστής	Turbomach
Χρήστης	Belgomilk Langemark
Έναρξη Λειτουργίας	2009

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ BELGOMILK

Η μονάδα συμπαραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας αποτελείται από ένα αεριοστρόβιλο της Solar/Turbomach, που καταναλώνει φυσικό αέριο, και την ηλεκτρική γεννήτρια Taurus 70. Η θερμότητα προέρχεται από τα καυσάερα του αεριοστρόβιλου και η εκμετάλλευση της γίνεται μέσω ενός λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Με την βοήθεια μετάκαυσης, παράγεται ατμός 22bar, παροχής 25t/hr, οποίος χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της βιομηχανίας στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων. Η ηλεκτρική ενέργεια από την συμπαραγωγή κατά 85% χρησιμοποιείται από την ίδια την βιομηχανία και το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δίκτυο.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.6 Η ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ[16]

Η γαλακτοβιομηχανία, με την μονάδα συμπαραγωγής έχει καταφέρει να μειώσει του ρύπους της και να ελαττώσει την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 19.35%. Τα βασικά εμπόδια για την νέα μονάδα είναι η μεταβολή της τιμής του φυσικού αερίου και της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας

B. *Bailieboro CHP Plant, Lakeland Dairies*[16]

Bailieboro CHP Plant, Lakeland Dairies	
Τοποθεσία	Bailieborough, Ireland
Τομέας	Βιομηχανία τροφίμων
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Μέγιστη Ισχύς	5MW
Ηλεκτρική ενέργεια	30GWh
Θερμική ενέργεια	115GWh , 28t/hr
Εξοπλισμός	Αεριοστρόβιλος Centrax
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις και πώληση σε δίκτυο
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγική διαδικασία
Κόστος Κατασκευής	€ 6,300,000.00
Κατασκευαστής	Centrax
Χρήστης	Lakeland Dairies
Έναρξη Λειτουργίας	2009

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.5:ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ LAKELAND DAIRIES

Οι ανάγκες της βιομηχανίας σε ηλεκτρισμό και ατμό αυξήθηκαν με την εγκατάσταση νέου συστήματος ξηραντήρα και ατμοποιητή. Για τον λόγο αυτό, εγκαταστάθηκε στην βιομηχανία ένας αεριοστρόβιλος 5MW_e , ένας λέβητας για παραγωγή ατμού 28t/hr καθώς και τα συστήματα ελέγχου τους. Ο ατμός καταναλώνεται για τις ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας και το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας προορίζεται για ιδιοκαταναλώσεις, εξασφαλίζοντας έτσι ενεργειακή εξοικονόμηση και ανεξαρτησία. Ένα μικρό μέρος ηλεκτρικής ενέργειας προσδίδεται στο δίκτυο.

Η μονάδα αυτή αντιμετώπισε προβλήματα στην σύνδεση στο δίκτυο για προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον υπήρχαν εμπόδια με το όριο εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Αυτά τα δύο συνέβαλαν στην μείωση των εσόδων που θα πρόκυπταν από την ηλεκτροπαραγωγή καθώς περιόρισαν την μέγιστη παραγωγή ηλεκτρισμού.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.7 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ[16]

C. Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας[16]

ΚΕΛ Ψυττάλειας	
Τοποθεσία	Ψυττάλεια
Τομέας	Διαχείριση Αποβλήτων
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Μέγιστη Ισχύς(ηλεκτρική)	12.9MW
Μέγιστη Ισχύς(θερμική)	17.3MW
Εξοπλισμός	Αεριοστρόβιλος
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις και πώληση σε δίκτυο
Χρήση θερμικής ενέργειας	Ξήρανση
Κόστος Κατασκευής	€ 9,000,000.00
Κατασκευαστής	Siemens and Turbomachinery
Χρήστης	ΚΕΛ Ψυττάλειας
Έναρξη Λειτουργίας	2009

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΚΕΛ ΨΥΤΤΑΛΕΙΑΣ

Το Κ.Ε.Λ. στην Ψυττάλεια προχώρησε το 2009 στην εγκατάσταση ενός συστήματος συμπαραγωγή με αεριοστρόβιλο ισχύος 12.9 MW_e. Η μονάδα επεξεργασίας λειτουργεί με φυσικό αέριο και μετατρέπει την λυματολάσπη μέσω ξήρανσης σε μορφή αξιοποιήσιμη από τις τσιμεντοβιομηχανίες. Με την συμπαραγωγική μονάδα ικανοποιούνται οι θερμικές ανάγκες για την ξήρανση και οι ηλεκτρικές ανάγκες ολόκληρου της μονάδας επεξεργασίας. Η μονάδα πριν την εγκατάσταση της συμπαραγωγής,

λάμβανε την θερμότητα που χρειαζόταν από θερμαντήρες, ενώ πλέον η θερμότητα προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου σε εναλλάκτες. Τα καυσαέρια παράγονται στους 550°C με παροχή 136tn/hr και ικανοποιούν πλήρως τις θερμικές ανάγκες της μονάδας για την ξήρανση. Η θερμική απόδοση της εγκατάστασης φτάνει το 46.7% και η ηλεκτρική απόδοση το 35%. Ο αεριοστρόβιλος της μονάδας είναι κατασκευής Siemens, μοντέλο SGT-400 και ταίριαξε απόλυτα με τις προδιαγραφές της μονάδας επεξεργασίας τόσο για την παραγωγή θερμότητας όσο και για την ηλεκτροπαραγωγή.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.8 Η ΜΟΝΑΔΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ[16]

2.4.3. Παραδείγματα Εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης A. Owensboro Grain[17]

Owensboro Grain	
Τοποθεσία	Owensboro ,KY
Τομέας	Βιομηχανία Τροφίμων
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Μέγιστη Ισχύς	9MW
Εξοπλισμός	Εμβολοφόρες ΜΕΚ
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγή ζεστού νερού
Κόστος Κατασκευής	\$ 15,000,000.00
Έσοδα(ετησίως)	\$ 1,000,000.00
Κατασκευαστής	GE Jenbacher
Χρήστης	Owensboro Grain
Έναρξη Λειτουργίας	2014

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ OWENSBORO GRAIN

Η Owensboro Grain Company δραστηριοποιείται στο τομέα των τροφίμων και ειδικότερα στην παραγωγή προϊόντων με βάση την σόγια. Ο κυριότερος λόγος που προχώρησε στην επένδυση για το

σύστημα συμπαραγωγής ήταν η προσπάθεια περιορισμού του ενεργειακού κόστους. Η αύξηση της τιμής του ρεύματος από τον πάροχο της πολιτείας και η σχετική σταθερότητα στην τιμή του φυσικού αερίου έστρεψαν την προσοχή της βιομηχανίας στη συμπαραγωγή.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.9 Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ OWENSBORO GRAIN COMPANY[17]

Η βιομηχανία εγκατέστησε τρεις εμβολοφόρες ΜΕΚ της G.E, ισχύος 3.2MW. Οι δύο από αυτές λειτουργούν σε σταθερή βάση ικανοποιώντας πλήρως το ηλεκτρικό φορτίο (5.4MW) της βιομηχανίας και η τρίτη μπαίνει σε λειτουργία όταν γίνεται συντήρηση ή υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση σε ηλεκτρισμό.

Η βασική μονάδα παραγωγής θερμότητας στην βιομηχανία είναι ένας λέβητας. Θερμότητα από το νερό ψύξης και το λάδι λίπανσης της εμβολοφόρου μηχανής χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του νερού συμπλήρωσης του λέβητα. Η θερμότητα των καυσαερίων από τη καύση του φυσικού αερίου στις μηχανές αξιοποιείται στην προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του λέβητα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.10 ΔΥΟ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΤΗΣ GE JENBACHER[17]

Το κόστος της μονάδας συμπαραγωγής ανέρχεται στα 15 εκατομμύρια δολάρια(\$) και την κατασκευή της ανέλαβε η PowerSecure. Η μονάδα εξοικονομεί στην Owensboro 1 εκατομμύριο δολάρια το χρόνο από το κόστος ενέργειας.

B. Warsteiner Brauerei[16]

Warsteiner Brauerei	
Τοποθεσία	Warstein, Germany
Τομέας	Βιομηχανία Τροφίμων
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Μέγιστη Ισχύς	2.3MW
Ηλεκτρική ενέργεια	15GWh
Θερμική ενέργεια	15GWh
Εξοπλισμός	Εμβολοφόρες MEK
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγή ζεστού νερού
Κόστος Κατασκευής	€ 3,000,000.00
Κατασκευαστής	AGO AG&MWM
Χρήστης	Warsteiner Brauerei
Έναρξη Λειτουργίας	2009

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ WARSTEINER BRAUEREI

Η ζυθοποιία War Steiner τοποθέτησε δύο εμβολοφόρες μηχανές για να περιορίσει το ενεργειακό κόστος της λειτουργία της. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, καταναλώνεται εξ ολοκλήρου μέσα στην ζυθοποιία. Η θερμική ενέργεια από την συμπαραγωγή αξιοποιείται για την παραγωγική διαδικασία. Το νερό ψύξης της μηχανής παρέχει την θερμότητα για ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας μέσω ενός εναλλάκτη. Από το σύστημα αποθήκευσης, θερμότητα διοχετεύεται σε δευτερεύοντα κυκλώματα νερού που συμβάλουν στην παραγωγή μπίρας.

Η συμπαραγωγή μονάδα κόστισε 3 εκατομμύρια ευρώ και έχει εξασφαλίσει στην ζυθοποιία μείωση ρύπων και κόστους ενέργειας.

C. Toray Plastics America[18]

Toray Plastics America	
Τοποθεσία	North Kingstown, RI
Τομέας	Βιομηχανία πλαστικού
Καύσιμο	Φυσικό αέριο
Μέγιστη Ισχύς	20MW
Ηλεκτρική ενέργεια	145GWh
Θερμική ενέργεια	165,107.6 tn/year
Εξοπλισμός	Αεριοστρόβιλος(7.5MW)+ Εμβολοφόρες ΜΕΚ(12.5MW)
Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας	Ιδιοκαταναλώσεις
Χρήση θερμικής ενέργειας	Θέρμανση χώρου, παραγωγή ατμού και ψυχρού νερού για παραγωγική διαδικασία
Κατασκευαστής	Kawasaki
Χρήστης	Toray Plastics America
Έναρξη Λειτουργίας	2014

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4.9 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΤΡΑ

Η Toray Plastics Inc. είναι μια βιομηχανία παραγωγής πλαστικών ειδών από πολυεστέρα και προπυλένιο. Το 2002 εγκατέστησε μια μονάδα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο για να μειώσει το λειτουργικό κόστος και να ενισχύσει την ασφάλεια για τον εφοδιασμό σε ηλεκτρική ενέργεια. Η επιτυχία αυτού του συστήματος συνέβαλε στην απόφαση να επεκταθεί η μονάδα συμπαραγωγής με την αγορά δύο εμβολοφόρων μηχανών ισχύος 5MW και 7.5MW το 2014. Ο κυριότερος λόγος στροφής της βιομηχανίας στην συμπαραγωγή ήταν η ανάγκη μιας αξιόπιστης πηγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή ροή της παραγωγικής διαδικασίας.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4.11: ΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΡΑ[18]

Η μονάδα με τον αεριοστρόβιλο είναι ισχύος 7.5 MW, καταναλώνει φυσικό αέριο και έχει κατασκευαστεί από την Solar Turbines. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει καταναλώνεται μέσα στα πλαίσια της παραγωγής ενώ η θερμότητα από τα καυσαέρια αξιοποιείται μέσω ενός λέβητα ανάκτηση θερμότητας, που συμπεριλαμβάνει μετάκαυση, για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης. Ο ατμός που προκύπτει, χρησιμοποιείται στην παραγωγή του πλαστικού.

Η μονάδα με τις δύο εμβολοφόρες μηχανές της Kawasaki, εγκαταστάθηκε σε άλλο κομμάτι της βιομηχανίας, ανεξάρτητο από το πρώτο με τον αεριοστρόβιλο. Στο κομμάτι αυτό η παραγωγική διαδικασία απαιτεί περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από ότι θερμική, για αυτό και προτιμήθηκαν οι εμβολοφόρες μηχανές. Η θερμότητα από το νερό ψύξης και τα καυσαέρια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού σε λέβητα ανάκτησης. Ένα μέρος του ατμού αξιοποιείται στην παραγωγική διαδικασία ενώ το υπόλοιπο διοχετεύεται σε μια εγκατάσταση ψύξης, κινώντας ένα ατμοστρόβιλο. Ο ατμοστρόβιλος κινεί το συμπιεστή του ψυκτικού κύκλου.

Και οι δύο μονάδες συμπαραγωγής λειτουργούν ολόκληρο τον χρόνο και παρέχουν το 92% σε ηλεκτρισμό και 100% σε θερμότητα που απαιτεί η βιομηχανία. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η βιομηχανία έχει δυνατότητα απομόνωσης του ηλεκτρικού της δικτύου σε περίπτωση προβλημάτων του κεντρικού δικτύου και αυτόνομης λειτουργίας με τις μονάδες συμπαραγωγής.

Κεφάλαιο 3. Υφιστάμενη εγκατάσταση της γαλακτοβιομηχανίας

3.1. Γενικές πληροφορίες

Η βιομηχανία που επιλέχθηκε να μελετηθεί είναι FrieslandCampina Hellas η οποία διαθέτει στην αγορά διάφορες επωνυμίες γαλακτοκομικών προϊόντων ανάμεσα στις οποίες είναι και η επωνυμία ΝΟΥΝΟΥ. Το εργοστάσιο της γαλακτοβιομηχανίας εδράζεται στην βιομηχανική περιοχή της Πάτρας (ΒΙΠΕ Πάτρας), νότια από την πόλη της Πάτρας. Η μονάδα του εργοστασίου ξεκίνησε να λειτουργεί στις αρχές Σεπτεμβρίου του 2011 και διαθέτει τέσσερις γραμμές παραγωγής γάλακτος. Ο εξοπλισμός της αποτελείται από σύγχρονα συστήματα τα οποία εξασφαλίζουν συνεχή παραγωγή του γάλακτος.[19]

Η μονάδα προμηθεύεται το νωπό γάλα από ένα σύνολο ελληνικών κτηνοτρόφων και το επεξεργάζεται με κατάλληλο τρόπο για την παραγωγή διάφορων γαλακτοκομικών προϊόντων. Η κύρια επεξεργασία που πραγματοποιείται στο γάλα μέσα στην βιομηχανία είναι η παστερίωση. Η παστερίωση είναι η φυσική διεργασία κατά την οποία το γάλα θερμαίνεται σε επαρκώς υψηλή θερμοκρασία και για επαρκές χρονικό διάστημα ώστε να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν[20]. Η απλή παστερίωση γίνεται με θέρμανση στους 72°C με την χρήση θερμού νερού για 16-20 δευτερόλεπτα και προϊόν της είναι το γάλα μικρής διάρκειας. Η υπερπαστερίωση πραγματοποιείται με θέρμανση του γάλακτος στους 132°C, με χρήση ατμού, για τουλάχιστον 1 δευτερόλεπτο και το προϊόν είναι το γάλα μακράς διάρκειας. Μετά την θερμική επεξεργασία το γάλα ψύχεται, συσκευάζεται και μεταφέρεται στις αποθήκες της βιομηχανίας ώστε να διατεθεί στην συνέχεια στα διάφορα σημεία πώλησης.



ΕΙΚΟΝΑ 3.1.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ

3.2. Εξοπλισμός

Η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται από την βιομηχανία για την διεκπεραίωση της παστερίωσης και κάποιων δευτερευόντων διεργασιών όπως αποστείρωση, προέρχεται από δύο ατμολέβητες παραγωγής κορεσμένου ατμού 8-10bar. Ο ατμολέβητας, που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο, είναι τριπλής διαδρομής καυσαερίων, έχει δυνατότητα μέγιστης παραγωγής 14t/h ατμού και είναι κατασκευασμένος από την Thermosol Steamboilers SA. Ο δεύτερος ατμολέβητας τίθεται σε λειτουργία

όταν χρειάζεται και έχει δυνατότητα μέγιστης παραγωγής 7t/h ατμού. Και οι δύο ατμολέβητες διαθέτουν καυστήρα που καταναλώνει βαρέως τύπου πετρέλαιο (μαζούτ). Στην συνέχεια δίνονται τα στοιχεία για τους δύο ατμολέβητες. Για τον λέβητα παραγωγής 7t/h δίνονται μόνο τα στοιχεία για τον καυστήρα του.

Στοιχεία καυστήρα για ατμολέβητα 7000kg/h	
Μοντέλο	RMS60/2-A
Κατασκευαστής	Max Weishaupt GmbH
Έτος κατασκευής	2005
Μέγιστη Ισχύς(MWth)	7265
Ελάχιστη Ισχύς(MWth)	1800

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ 7000KG/H

Ατμολέβητας για 14000kg/h	
Μοντέλο	PK-14000
Κατασκευαστής	Thermossol Steamboilers SA
Έτος κατασκευής	2011
Ισχύς(MWth)	9670
Θερμαινόμενη Επιφάνεια(m²)	305
Μέγιστη Παροχή ατμού(kg/h)	14000
Πίεση(max bar)	10
Θερμοκρασία(max °C)	184
Στοιχεία καυστήρα για ατμολέβητα 14000kg/h	
Μοντέλο	WKGMS70/3-A ZM
Κατασκευαστής	Max Weishaupt GmbH

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΑ PK-14000

Για την παραγωγική διαδικασία απαιτείται συνήθως κορεσμένος ατμός 9bar(T=175°C). Ο ατμός αυτός διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων ατμού στους καταναλωτές όπου αξιοποιείται για τις διάφορες διεργασίες της παραγωγικής διαδικασίας. Ανάλογα με τον καταναλωτή, υπάρχει ρυθμιστής πίεσης που μειώνει την πίεση του ατμού έτσι ώστε να είναι η κατάλληλη για την εκάστοτε εφαρμογή. Στις περιπτώσεις όπου δεν ψεκάζεται ο ατμός απευθείας πάνω στην εφαρμογή (πράγμα γενικώς σπάνιο), υπάρχει κάποιου είδους εναλλάκτης για την πρόσληψη της θερμότητας στην εφαρμογή. Στο τέλος του εναλλάκτη τοποθετείται πάντα ατμοπαγίδα (steam trap), όπου από την μία άκρη διατηρείται η πίεση του ατμού στο δίκτυο, και από την άλλη η ποσότητα του ατμού που συμπυκνώνεται λόγω της απόδοσης θερμότητας απομακρύνεται ως υγρό συμπύκνωμα 1.1 bar, T=99-100°C. Το συμπύκνωμα συγκεντρώνεται στο τροφοδοτικό δοχείο, ώστε να εισέρθει ξανά στο ατμολέβητα για να συνεχιστεί ο κύκλος.



ΕΙΚΟΝΑ 3.2.1 ΟΙ ΔΥΟ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ ΤΗΣ ΝΟΥΝΟΥ ΣΤΟ ΛΕΒΗΤΟΣΤΑΣΙΟ. ΜΠΡΟΣΤΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΡΚ-14000 ΚΑΙ ΠΙΣΩ Ο ΛΕΒΗΤΑΣ ΓΙΑ 7000ΚG/Η



ΕΙΚΟΝΑ 3.2.2 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΤΜΟΥ

3.3. Προσδιορισμός δεδομένων για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση

Για να πραγματοποιηθεί η τεχνοοικονομική αξιολόγηση των συστημάτων που θα εξεταστούν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, πρέπει να προσδιοριστεί το ετήσιο κόστος καυσίμου της γαλακτοβιομηχανίας, η θερμική ισχύς της μονάδας καθώς και οι ώρες λειτουργίας. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι βαρέως τύπου πετρέλαιο- Μαζούτ Νο1, οι προδιαγραφές του οποίου δίνονται στο τέλος της εργασίας. Η κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του Μαζούτ θεωρήθηκε γύρω στα 44,000kJ/kg. Το κόστος του καυσίμου προσδιορίστηκε από τα στοιχεία της βιομηχανίας για το χρονικό διάστημα 2012-2015.

Έτος	Κόστος
2012	€ 1,041,073.00
2013	€ 932,116.00
2014	€ 862,692.00
2015	€ 651,709.00
Μέσο κόστος	€ 871,897.50

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012-2015

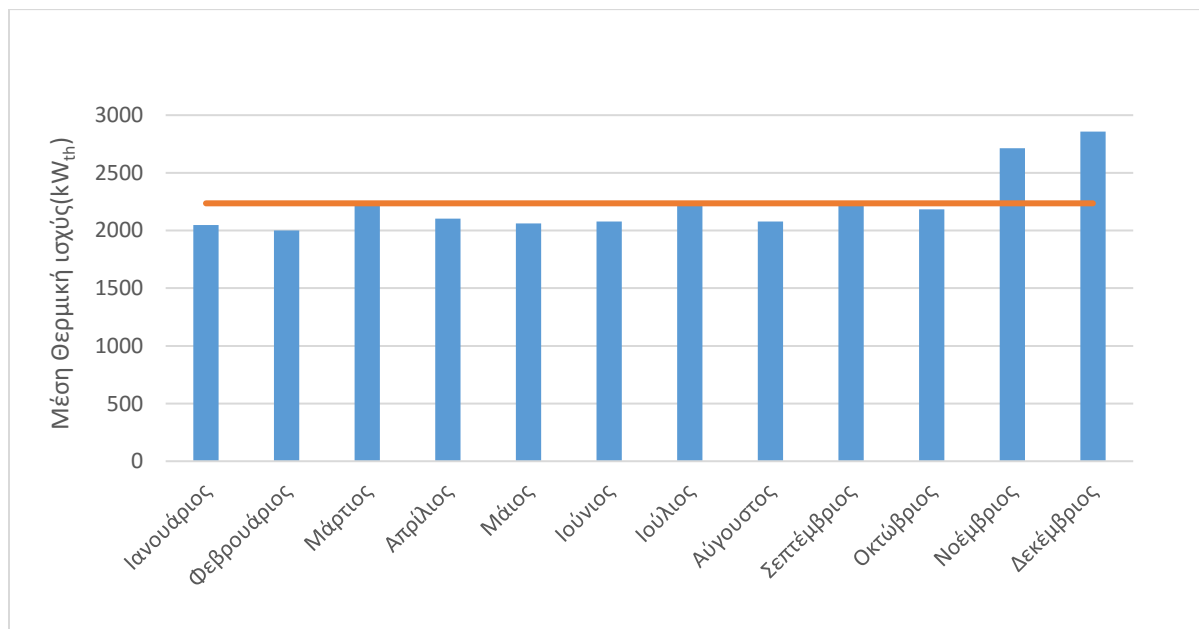
Το μέγεθος αυτό ορίζει το κόστος που γλιτώνει η βιομηχανία, αν αντικαταστήσει την υπάρχουσα εγκατάσταση της με μια άλλη με διαφορετικό καύσιμο, η οποία θα καλύπτει τις θερμικές ανάγκες . Οπότε το μέγεθος αυτό θεωρείται έσοδο από θερμική ενέργεια. Η τιμή του για την τεχνοοικονομική ανάλυση ορίστηκε στα € 900,000.00.

Η μονάδα λειτουργεί όλον τον χρόνο, με μεταβαλλόμενο θερμικό φορτίο που καθορίζεται από την παραγωγή. Για την διαστασιολόγηση των εναλλακτικών συστημάτων που θα πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, πρέπει να προσδιοριστεί μια ισοδύναμη θερμική ισχύς, η οποία θα καλύπτει τις ετήσιες θερμικές ανάγκες . Η ισοδύναμη ισχύς που απαιτείται για την διεκπεραίωση της παραγωγικής διαδικασίας προσδιορίστηκε από την ετήσια κατανάλωση καυσίμου της υπάρχουσας εγκατάστασης.

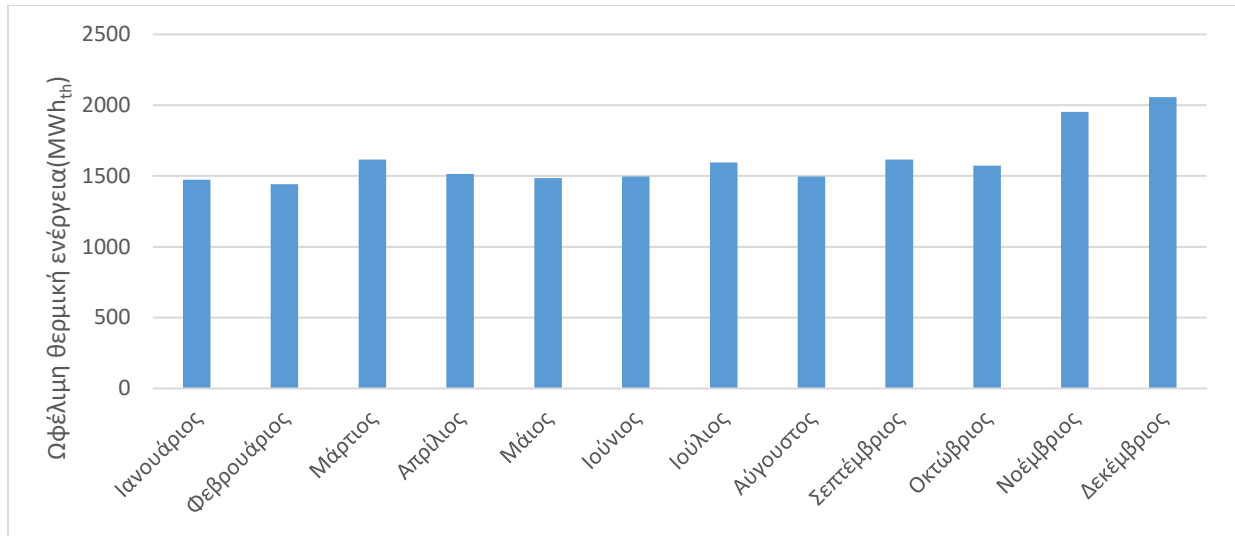
Μήνας	Ποσότητα καυσίμου (tn)	Ωφέλ. ενέργεια(MWh)	Μέση Μηνιαία Θερμική ισχύς(MW)
Ιανουάριος	134.00	1474.00	2.05
Φεβρουάριος	131.00	1441.00	2.00
Μάρτιος	147.00	1617.00	2.25
Απρίλιος	137.70	1514.70	2.10
Μάιος	134.90	1483.90	2.06
Ιούνιος	136.00	1496.00	2.08
Ιούλιος	145.00	1595.00	2.22
Αύγουστος	136.00	1496.00	2.08
Σεπτέμβριος	147.00	1617.00	2.25
Οκτώβριος	143.00	1573.00	2.18
Νοέμβριος	177.56	1953.16	2.71
Δεκέμβριος	186.99	2056.89	2.86
Σύνολο	1756.15	19317.65	

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΝΕΙ Η ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΕ ΕΝΑ ΕΤΟΣ

Η ισοδύναμη θερμική ισχύς θα ληφθεί ως η μέση θερμική ισχύς του έτους και η τιμή της είναι **2.236 MW_{th}**.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3.1 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3.2 ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΩΦΕΛΙΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στον παραπάνω πίνακα, για τον υπολογισμό της ωφέλιμης θερμικής ενέργειας, θεωρείται ότι ο ατμολέβητας έχει βαθμό απόδοσης 90%. Η υπόθεση αυτή είναι λογική αν ληφθεί υπόψιν ότι τα καυσαέρια βγαίνουν στην ατμόσφαιρα με θερμοκρασία 200°C. Από του υπολογισμούς καύσης οι απώλειες καυσαερίων είναι $u_g=7\%$, η τιμή των απωλειών από ακτινοβολία και μεταφορά είναι 1.5%, και ο βαθμό απόδοσης εστίας γύρω στο 98.5%.

Οι ώρες λειτουργίας που αντιστοιχούν στην ισοδύναμη ισχύ έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες της γαλακτοβιομηχανίας σε θερμότητα (19,317ΜW_{th}) είναι 8640 ώρες. Τέλος γνωρίζοντας ότι την κατάσταση του ατμού όταν εξέρχεται από τον ατμολέβητα και την κατάσταση του νερού πριν εισέλθει στον ατμολέβητα, προσδιορίζεται η παροχή ατμού-νερού που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη θερμική ισχύ. Η παροχή είναι 3.42 tn/hr.

3.4. Περιγραφή Διαδικασίας Οικονομικής Ανάλυσης

Στο σημείο αυτό θα αναφερθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την οικονομική αξιολόγηση των εναλλακτικών επενδύσεων που θα αναλυθούν στην συνέχεια της εργασίας. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι παρακάτω οικονομικοί δείκτες: Καθαρή Χρηματοροή(KX), Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ- Net Present Value), Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR, Internal Rate of Return), Απλή Περίοδος Αποπληρωμής(SPP- Simple Payback Period), Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (DPP- Discounted Payback Period), Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας (EPC, Energy Production Cost).

Καθαρή Χρηματοροή :

$$KX = (EH + E\theta - KK - ΚΛΣ)$$

Καθαρή Παρούσα Αξία:

$$ΚΠΑ = -K_o + \sum_{t=1}^n \frac{KX_t}{(1+r)^t}$$

Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης:

$$KPA_{(r=IRR)} = 0 \rightarrow -K_o + \sum_{t=1}^n \frac{KX_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Απλή Περίοδος Αποπληρωμής:

$$SPP = \frac{K_o}{KX}$$

Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής:

$$KPA_{(n=DPP)} = 0 \rightarrow -K_o + \sum_{t=1}^{DPP} \frac{KX_t}{(1 + r)^t} = 0$$

Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας:

$$EPC \left(\frac{\text{€}}{MWh} \right) = \frac{R * K_o + KK + KΣΛ}{HE}$$

Όπου R ο συντελεστής αναγωγής (ετήσια επιβάρυνση αρχικού κεφαλαίου) που ορίζεται ως:

$$R = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

Τα μεγέθη που αναφέρονται παρακάτω είναι ετήσια.

Όπου:

ΕΗ: Έσοδα από πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας,

ΕΘ: Έσοδα Θερμικής Ενέργειας. Το ποσό αυτό είναι το κόστος του προηγούμενου καυσίμου που εξοικονομεί η βιομηχανία επειδή εγκαθιστά μια νέα μονάδα που καταναλώνει άλλο καύσιμο,

ΚΚ: Κόστος Καυσίμου νέας μονάδας,

ΚΛΣ: Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης,

HE: Ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την εγκατάσταση

r: επιτόκιο αναγωγής

Για όλα τα επενδυτικά σχέδια που εξετάζονται, το επιτόκιο αναγωγής r λαμβάνεται 8%, ενώ ο χρονικός ορίζοντας ορίζεται στα 20 χρόνια. Τα διάφορα κόστη καθορίζονται από το είδος της τεχνολογίας και καυσίμου που χρησιμοποιείται και αναφέρονται στο εκάστοτε κεφάλαιο. Επίσης τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης (Ηλεκτρικής ισχύς) και από την τεχνολογία.

Η φορολογία από τα έσοδα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο δεν λαμβάνεται υπόψιν στην συγκεκριμένη οικονομική μελέτη.

Κεφάλαιο 4. Ανάλυση εναλλακτικών λύσεων για την γαλακτοβιομηχανία

4.1. Συστήματα Λέβητα βιομάζας-Ατμοστρόβιλου

Η ανάγκη της γαλακτοβιομηχανίας σε ατμό θα μπορούσε να ικανοποιηθεί από ένα σύστημα που να καίει βιομάζα για καύσιμο. Η θερμογόνος ικανότητα της βιομάζας ποικίλει ανάλογα με το είδος της βιομάζας που καίγεται. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές της κατώτερης θερμογόνου ικανότητας για διάφορα καύσιμα. Οι τιμές είναι εμφανώς χαμηλότερες από αυτήν των ορυκτών καυσίμων. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος πχ με το μαζούτ.

	Είδος καυσίμου	
	Ανώτερη Θερμογ. Ικανότητα MJ/kg	Κατώτερη Θερμογ. Ικανότητα MJ/kg
Αγροτικά υπολείμματα		
Κοτσάνι Καλαμποκιού	17.6 - 18.5	16.8 - 18.1
Ζαχαροκάλαμο	17.3 - 19.4	17.7 - 17.9
Άχυρο σίτου	16.1 - 18.9	15.1 - 17.7
Φλοιοί, Κελύφη, Κλαδέματα	15.8 - 20.5	
Πώδη φυτά		
Μίσχανθος	18.1 - 19.6	17.8 - 18.1
Φαλαρίδα καλαμοειδής	18.0 - 19.1	16.8 - 18.6
Άλλα χόρτα	18.2 - 18.6	16.9 - 17.3
Μπαμπού	19.0 - 19.8	
Ξυλώδη βιομάζα		
Ψευδακακία	19.5 - 19.9	18.5
Ευκάλυπτος	19.0 - 19.6	18.0
Λεύκες	19.0 - 19.7	17.7
Ιτιά	18.6 - 19.7	16.7 - 18.4
Δασικά υπολείμματα		
Ξύλο σκληρού τύπου	18.6 - 20.7	
Ξύλο μαλακού τύπου	18.6 - 21.1	17.5 - 20.8

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1 ΟΙ ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΩΤΕΡΕΣ ΘΕΡΜΟΓΟΝΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ[21]

Μια εγκατάσταση που σχεδιάζει να χρησιμοποιήσει βιομάζα πρέπει να εξετάσει το θέμα της αποθήκευσης της καθώς και της μεταφοράς της από τον προμηθευτή. Στα πλαίσια της εργασίας θεωρείται ότι το θέμα της αποθήκευσης δεν υπάρχει. Όσον αφορά το θέμα της μεταφοράς η περιοχή που βρίσκεται το εργοστάσιο έχει αγροτική παραγωγή και συνεπώς η εύρεση ενός προμηθευτή βιομάζας σε κοντινή απόσταση είναι αρκετά πιθανή.

Η εταιρία είχε εξετάσει παλιότερα την αντικατάσταση του μαζούτ με βιομάζα. Ωστόσο το σχέδιο τερματίστηκε λόγω των μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας που θα απαιτούσε για την εξυπηρέτηση των αναγκών της. Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας θα εξεταστεί ένα σύστημα με καύσιμο την βιομάζα που δεν θα παράγει μόνο χρήσιμη θερμότητα αλλά και ηλεκτρισμό με έναν ατμοστρόβιλο. Αρχικά παρουσιάζεται ένα σύστημα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης όπου ο ατμός για την θερμική κατανάλωση

παραλαμβάνεται με απομάστευση. Σε αυτό το σύστημα, η ποσότητα του ατμού που θα παράγει ο ατμολέβητας θα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που χρειάζεται η βιομηχανία. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα κύκλωμα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης. Σε αυτό, ο ατμός που θα εξέρχεται από τον ατμοστρόβιλο θα διοχετεύεται κατευθείαν στον θερμικό καταναλωτή. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση και η παροχή του ατμού πρέπει να έχουν τις κατάλληλες τιμές ώστε να καλύπτουν τις θερμικές ανάγκες. Τα συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης αν και παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση σε σχέση με αυτά με ατμοστρόβιλο συμπυκνώσεως, εμφανίζουν μικρή ευελιξία και ηλεκτροπαραγωγή τους είναι εξαρτημένη από τον θερμικό φορτίο.

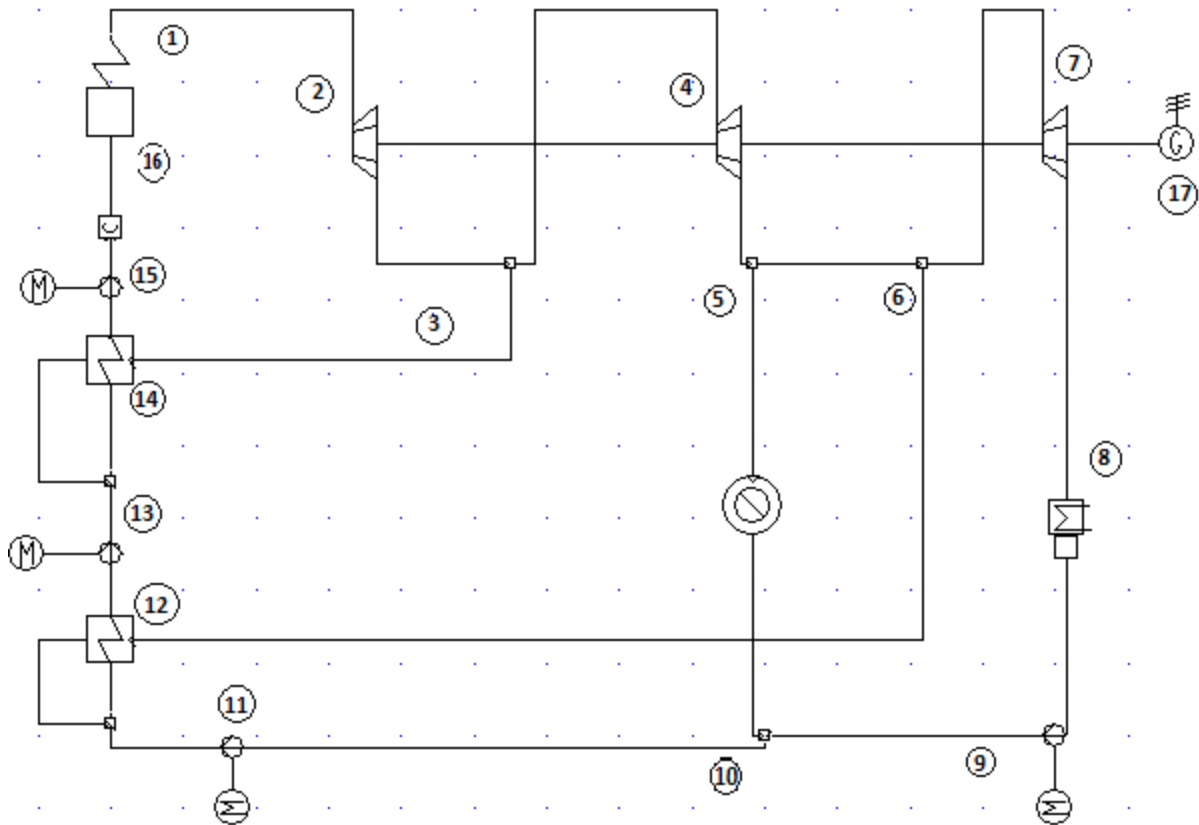
4.1.1. Σύστημα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης

4.1.1.1. Σχεδιασμός Κυκλώματος

Ο σχεδιασμός του κυκλώματος βασίστηκε στις εξής παραδοχές:

- Το κύκλωμα ατμού της γαλακτοβιομηχανίας, από το σημείο που ο κορεσμένος ατμός εξέρχεται από τον λέβητα στα 9bar μέχρι την επιστροφή του ως συμπύκνωμα στο τροφοδοτικό δοχείο στα 1.1bar, θα αντιμετωπιστεί ως ένας θερμικός καταναλωτής ισχύος $2.236\text{MW}_{\text{th}}$. Η παροχή του ατμού καθορίζεται από τις ανάγκες της γαλακτοβιομηχανίας γύρω στα 0.95kg/s .
- Δεδομένου του μεγέθους της βιομηχανίας, ο υπέρθερμος ατμός που θα παράγεται από το λέβητα θα έχει πίεση στο διάστημα 50-80bar. Η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού καθορίστηκε έτσι ώστε με συγκεκριμένο ισεντροπικό βαθμό, όταν ατμός εκτονωθεί και φτάσει τα 9bar πίεση, να είναι κορεσμένος ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την βιομηχανία για την παστερίωση.
- Το σύστημα καυστήρα- λέβητα έχει θερμικό βαθμό απόδοσης γύρω στο 90%. Η υπόθεση αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι και το υπάρχον σύστημα με καύσιμο το μαζούτ έχει υψηλό βαθμό απόδοσης, οπότε η εταιρία θα επέλεγε σύστημα με παρόμοια τιμή.
- Ο ατμοστρόβιλος επιλέχτηκε να έχει ισεντροπικό βαθμό απόδοσης 90%.
- Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας θεωρήθηκε στο 98% ενώ ο μηχανικός βαθμός απόδοσης του συστήματος τοποθετείται στο επίπεδο του 99.5%.
- Το καύσιμο από βιομάζα έχει κατώτερη θερμογόνο ικανότητα 19MJ/kg . Τέτοιες τιμές έχουν τα καυσόξυλα τύπου softwood.
- Στο κύκλωμα τοποθετούνται δύο εναλλάκτες συμπυκνώσεως ατμού για την προθέρμανση τροφοδοτικού νερού πριν εισέλθει στο λέβητα.

4.1.1.2. Περιγραφή κυκλώματος



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στο κύκλωμα αυτό περιγράφεται η λειτουργία της συμπαραγωγικής μονάδας όταν η γαλακτοβιομηχανία χρειάζεται ατμό για την επεξεργασία του γάλακτος. Ο κύκλος νερού-ατμού βασίζεται στον κύκλο Clausius-Rankine. Όπως φαίνεται στο κύκλωμα, ο υπέρθερμος ατμός εξέρχεται από τον λέβητα (Σημείο 1) και εισέρχεται στο ατμοστρόβιλο για να εκτονωθεί (Σημείο 2). Η πρώτη απομάστευση ατμού πραγματοποιείται και η ποσότητα που απομαστεύεται οδηγείται στο εναλλάκτη για την προθέρμανση του νερού (Σημείο 3). Η υπόλοιπη ποσότητα ατμού εκτονώνεται στο ατμοστρόβιλο (Σημείο 4) μέχρι την πίεση 9bar όπου και πραγματοποιείται η απομάστευση της ποσότητας που χρειάζεται για την θερμικές ανάγκες της παστερίωσης του γάλακτος (Σημείο 5). Ένα ακόμα μέρος ατμού σε αυτή την πίεση οδηγείται σε εναλλάκτη για την πρώτη προθέρμανση του νερού (Σημείο 6). Η ποσότητα που απομένει στον ατμοστρόβιλο (Σημείο 7) εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (Σημείο 8). Το συμπύκνωμα οδηγείται στην αντλία (Σημείο 9) και η πίεση του αυξάνεται μέχρι 1.1bar ώστε να αναμειχθεί με το νερό που επιστρέφει από τον θερμικό καταναλωτή (Σημείο 10). Στην συνέχεια η ποσότητα νερού, που μέσω μιας δεύτερης αντλίας (Σημείο 11) έχει αυξηθεί η πίεση της (9bar), διέρχεται από τον πρώτο προθερμαντήρα (Σημείο 12). Ο ατμός (9bar) προθερμαίνει το κύριο ρεύμα νερού έως ότου συμπυκνωθεί και με την μορφή νερού προστίθεται στο κύριο ρεύμα. Πριν την είσοδο στον λέβητα πραγματοποιείται άλλη μια προθέρμανση σε υψηλότερη πίεση (Σημεία 13, 14). Τέλος το νερό συμπιέζεται μέσω της τροφοδοτικής αντλίας (Σημείο 15) στην επιθυμητή πίεση και εισέρχεται στον

λέβητα για την θέρμανση του (Σημείο 16). Στο κύκλωμα εμφανίζεται και η ηλεκτρική γεννήτρια που είναι σε σύνδεση με τον αμοστρόβιλο μέσω ατράκτου (Σημείο 17).

4.1.1.3. Βελτιστοποίηση του κύκλου νερό-ατμού της εγκατάστασης.

Η βελτίωση της απόδοσης του κύκλου νερού-ατμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

1. Βελτίωση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του παραγόμενου ατμού. Αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ατμού που προκύπτει από τον αμοστροβιλό,
2. Μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης. Αυτό συνοδεύεται από επικράτηση πολύ χαμηλών πιέσεων της τάξεως των 0.025-0.06bar,
3. Αναθέρμανση του ατμού σε χαμηλότερη πίεση μέχρι την ίδια θερμοκρασία που έχει ο ατμός στην έξοδο του από τον αμοστροβιλό,
4. Αναγεννητική προθέρμανση με απομάστευση ποσότητας ατμού από τον αμοστρόβιλο
5. Συνδυασμός με άλλους θερμοδυναμικούς κύκλους.

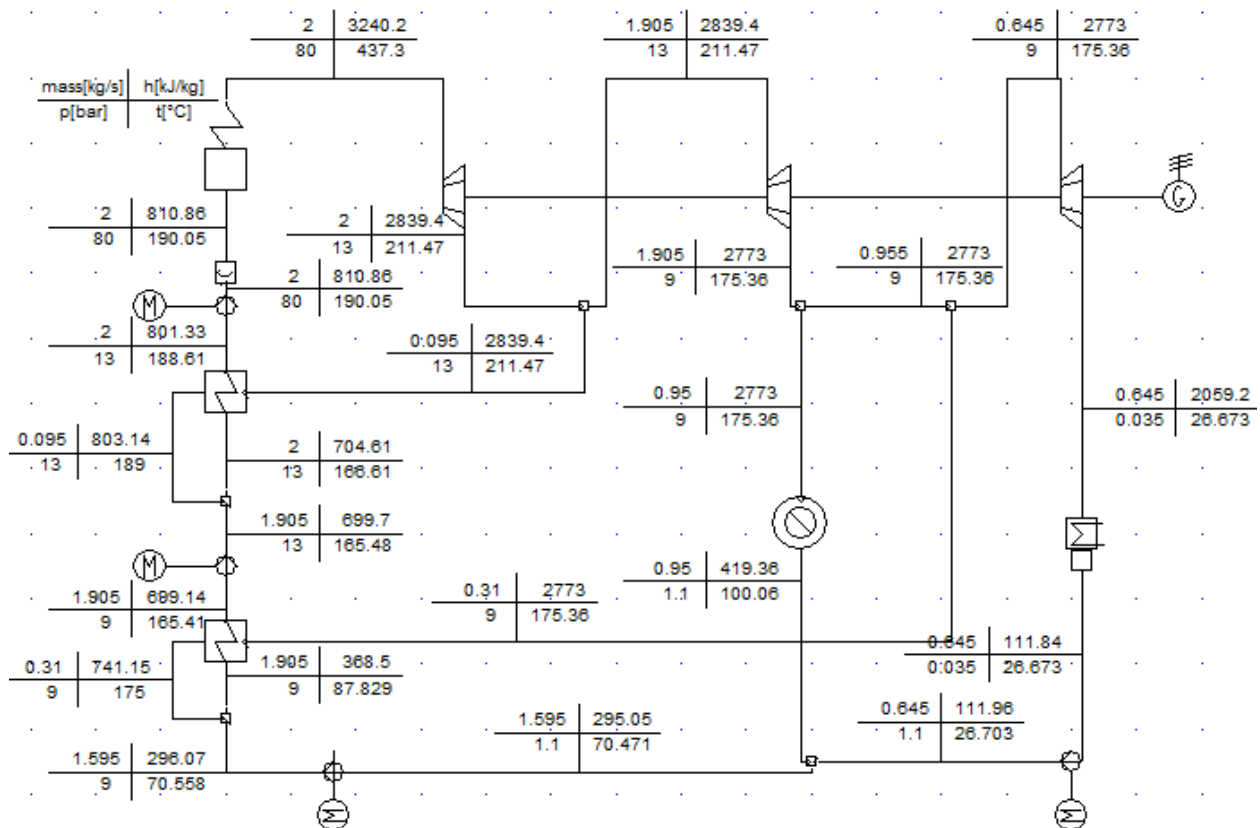
Στην περίπτωση του κύκλου που σχεδιάστηκε για την συμπαραγωγική μονάδα εφαρμόστηκαν οι τρεις τρόποι.

Ο πρώτος τρόπος που εφαρμόστηκε για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης ήταν η αύξηση της πίεσης του υπέρθερμου ατμού. Όσο πιο υψηλή είναι πίεση, άρα και η θερμοκρασία, ο βαθμός απόδοσης του κύκλου αυξάνεται. Ωστόσο ανάλογα με το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής υπάρχει ένα όριο στο πόσο υψηλά μπορεί να ανέβει η πίεση του ατμού. Οι πιέσεις άνω των 100bar συναντώνται σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής όπως είναι οι μονάδες της ΔΕΗ καθώς και σε βιομηχανίες μετάλλων. Στην περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας η αύξηση της πίεσης πάνω από 80bar δεν έχει νόημα καθώς θα αύξανε ιδιαίτερα το κόστος κατασκευής. Ο ατμός υψηλής πίεσης απαιτεί και συστήματα μεταφοράς όπως σωληνώσεις και πτερύγια του αμοστροβιλού τα οποία να αντέχουν σε τέτοιες πιέσεις. Αυτό συνεπάγεται υλικά αντοχής και με διαστάσεις κατάλληλες για ισχυρές καταπονήσεις. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, επιλέχθηκε ο ατμός να εξέρχεται από τον αμοστροβιλό στα 80bar και θερμοκρασία 437.4°C.

Στην συνέχεια δοκιμάστηκε η μείωση της πίεσης που επικρατεί στον συμπυκνωτή. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η απορριπτόμενη θερμότητα του κύκλου. Δεδομένων των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή της Πάτρας όπου μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17.4°C, με μέση υψηλότερη στους 22.3°C, επιλέγεται η πίεση συμπύκνωσης στα 0.035bar.

Τέλος για την βελτίωση του κύκλου πραγματοποιούνται δυο προθερμάνσεις στο κύκλο. Η πρώτη προθέρμανση γίνεται με την χρήση ατμού 9bar, οποίος αφού προσδώσει στο τροφοδοτικό νερό θερμότητα ανεβάζοντας την θερμοκρασία του στους 165°C, τελικά συμπυκνώνεται και αναμειγνύεται με το κύριο ρεύμα νερού. Η δεύτερη προθέρμανση γίνεται με ποσότητα ατμού απομάστευσης σε πίεση 13bar. Όπως και με τον προηγούμενο προθερμαντήρα, ο ατμός συμπυκνώνεται, προσδίδοντας την επιθυμητή θερμότητα στο τροφοδοτικό νερό. Οι ποσότητες ατμού, που απομαστεύονται και στην συνέχεια αξιοποιούνται στις αναγεννητικές προθερμάνσεις, προσδιορίστηκαν έτσι ώστε η θερμοκρασία εισόδου του τροφοδοτικού νερού να είναι 190°C.

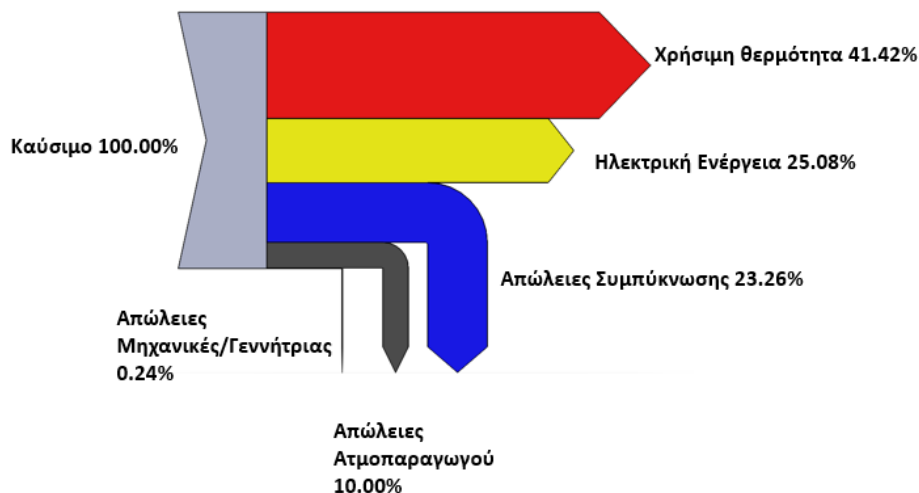
Ακολουθεί το τελικό κύκλωμα με όλες τις καταστάσεις τους νερού - ατμού και ένας πίνακας που δίνει τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης.



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.2: ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ-ΑΤΜΟΥ

Στοιχεία Ατμοπαραγωγού	
Q _{ωφελ} (kW)	4858.7
η _{boiler}	90%
m _β (kg/s)	0.284
Στοιχεία Παραγωγής	
Q _{ei} (kW)	1353.8
Q _{th} (kW)	2236.0
η	66.5%
η _{ei}	25.1%
η _{th}	41.4%
Στοιχεία θερμοδυναμικού κύκλου	
Συνολική παροχή ατμού(kg/s)	2.000
Παροχή ατμού για θερμικές ανάγκες(kg/s)	0.950
1η απομάστευση(13bar)(kg/s)	0.095
2η απομάστευση(9bar)(kg/s)	0.310
Πίεση υπέρθερμου ατμού(bar)	80.00
Θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού (°C)	437.30

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

4.1.1.4. Οικονομική ανάλυση συστήματος συμπαραγωγής ατμοστρόβιλου συμπύκνωσης

Τα στοιχεία που πρέπει να προσδιοριστούν είναι τα κόστη κατασκευής της εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης της καθώς και του καυσίμου. Το κόστος κατασκευής μια εγκατάστασης στις οποίες αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών βιομάζας τοποθετείται στα 2650 €/kW[22] ωφέλιμης ισχύος. Επειδή στην περίπτωση που αναλύεται στην εργασία αυτή, κάποιες παράμετροι έχουν παρθεί στα πάνω όρια (πίεση υπέρθερμου ατμού), προτιμάται να παρθεί ένα κόστος εγκατάστασης 3000 €/kW ώστε να καλυφθούν πιθανές διακυμάνσεις λόγω κάποιων ιδιομορφιών όπως κόστος υλικών αντοχής. Η τιμή του κόστους λειτουργίας και συντήρησης είναι στα 2€/MWh_e[22]. Τέλος το κόστος καυσίμου, δηλαδή της βιομάζας, θεωρήθηκε 90€/tn καυσόξυλου. Στο κόστος αυτό περιλαμβάνεται και η μεταφορά.

Τα έσοδα που θα προέρχονται από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι καθορισμένα από το κράτος και συγκεκριμένα από τον λειτουργό αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΛΑΓΗΕ). Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες που αξιοποιούν, μέσω μια θερμικής διεργασίας, βιομάζα και έχουν εγκατεστημένη ισχύ από 1MW έως 5 MW είναι[23]:

- 170€/MWh_e όταν η εγκατάσταση που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια δεν έχει λάβει κάποιου είδους δημόσιας ενίσχυση
- 155€/MWh_e όταν έχει υπάρξει δημόσια ενίσχυση

Ο όρος δημόσια ενίσχυση ορίζεται ως εξής: Για την υλοποίηση της επένδυσης γίνεται χρήση δημόσιας ενίσχυσης, και συγκεκριμένα χρήση άμεσης ενίσχυσης (επιχορήγηση) ή ισοδύναμης ενίσχυσης με άλλα μέσα (αφορολόγητα αποθεματικά, απαλλαγή από φόρο εισοδήματος, επιδότηση επιτοκίου) σε ποσοστό μεγαλύτερο από 20% επί του κόστους της επένδυσης όπως αυτό έχει διαμορφωθεί. Στην περίπτωση μας θεωρείται ότι δεν έχει γίνει χρήση δημόσιας ενίσχυσης καθώς στην περίοδο που διανύουμε, το δημόσιο δεν είναι αρκετά ευέλικτο όσο αφορά τις επενδύσεις.

Ως έσοδο από την λειτουργία της μονάδας πρέπει να θεωρηθεί και το κόστος από την κατανάλωση του καυσίμου που χρησιμοποιούσαν προηγουμένως. Το χρηματικό ποσό για την αγορά του

μαζούτ, πλέον εξοικονομείται και μπορεί να θεωρηθεί ως έσοδο θερμικής ενέργειας. Το ύψος του συγκεκριμένου χρηματικού ποσού υπολογίστηκε ως μέσος ορός των ετήσιων εξόδων για την αγορά του μαζούτ για τις χρονιές 2012,2013,2014 και 2015. Το ποσό είναι 900.000,00€/έτος.

Πρέπει να αναφερθεί ότι επενδυτικά σχέδια τέτοιου μεγέθους έχουν χρονικό ορίζοντα άνω των 20 χρόνων, συνήθως 30 χρόνια. Η επιλογή της περιόδου των 20 χρόνων έγινε για την σύγκριση του συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου με τα άλλα σχέδια που θα ακολουθήσουν. Επιπλέον έγινε και μια ανάλυση στην οποία η εταιρία λαμβάνει δάνειο για την κάλυψη του 50% της συνολικής επένδυσης. Το δάνειο είναι 10ετες με επιτόκιο 5% και ο τρόπος αποπληρωμής γίνεται με ίσα χρεωλύσια.

Οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν τα οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (αφορούν ετήσιες χρηματικές ροές):

Συνολικά στοιχεία Μονάδας	
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια(MWh _e)	11697.20
Κατανάλωση καυσίμου(tn)	8837.67
Κόστος εγκατάστασης	€ 14,576,010.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 23,394.40
Κόστος καυσίμου	€ 795,389.85
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργ.	€ 1,988,524.01
Έσοδα από θερμική ενέργ.	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 2,069,739.76
ΚΠΑ	€ 5,745,000.06
IRR	12.96%
ERC(€/MWh _e)	€ 196.92
SPP(έτη)	7.04
DPP(έτη)	10.77

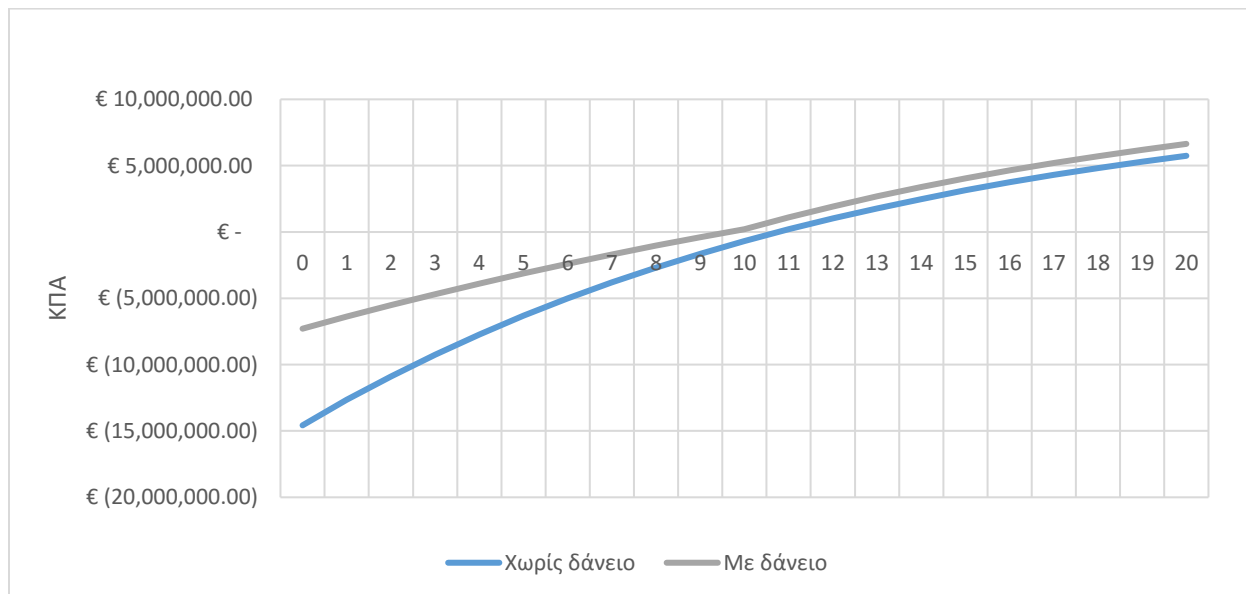
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Έτη	ΑΝΕΞΟΦΛ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	ΧΡΕΩΛΥΣΙΑ	ΤΟΚΟΣ	ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΣΙΟ
0	€ 7,288,005.00			
1	€ 6,559,204.50	€ 728,800.50	€ 291,520.20	€ 1,020,320.70
2	€ 5,830,404.00	€ 728,800.50	€ 262,368.18	€ 991,168.68
3	€ 5,101,603.50	€ 728,800.50	€ 233,216.16	€ 962,016.66
4	€ 4,372,803.00	€ 728,800.50	€ 204,064.14	€ 932,864.64
5	€ 3,644,002.50	€ 728,800.50	€ 174,912.12	€ 903,712.62
6	€ 2,915,202.00	€ 728,800.50	€ 145,760.10	€ 874,560.60
7	€ 2,186,401.50	€ 728,800.50	€ 116,608.08	€ 845,408.58
8	€ 1,457,601.00	€ 728,800.50	€ 87,456.06	€ 816,256.56
9	€ 728,800.50	€ 728,800.50	€ 58,304.04	€ 787,104.54
10	€ -	€ 728,800.50	€ 29,152.02	€ 757,952.52

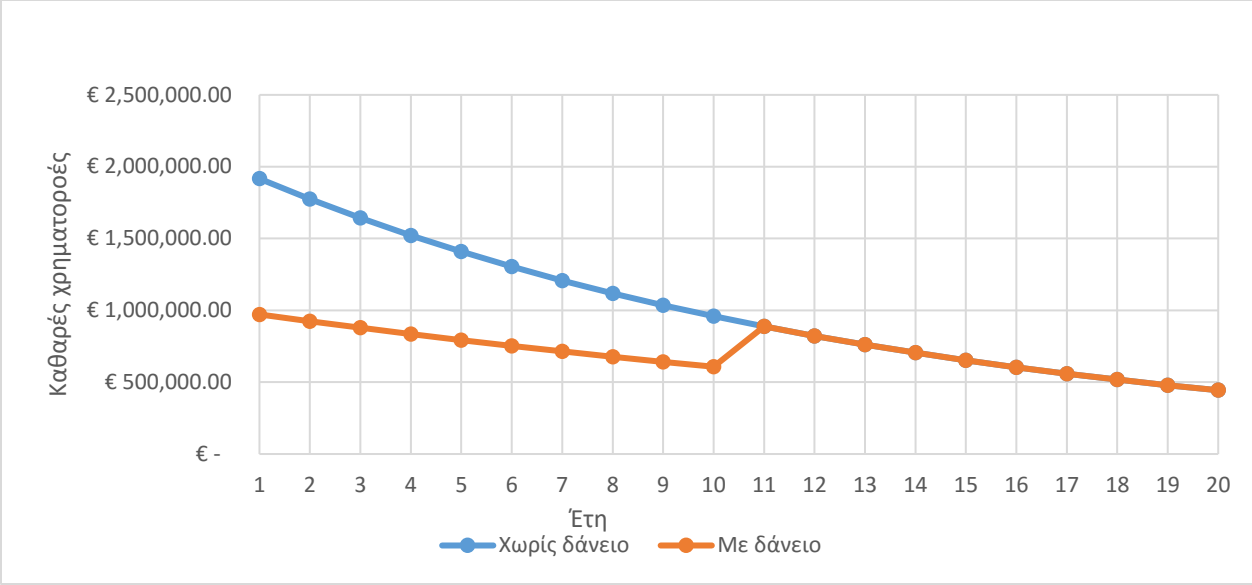
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΑΝΕΙΟΥ

ΚΠΑ	€	6,644,135.43
IRR		16.60%
SPP(έτη)		7.5
DPP(έτη)		9.7

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΜΕ ΛΗΨΗ ΔΑΝΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ 50% ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.1 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΜΕ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΑΝΕΙΟ

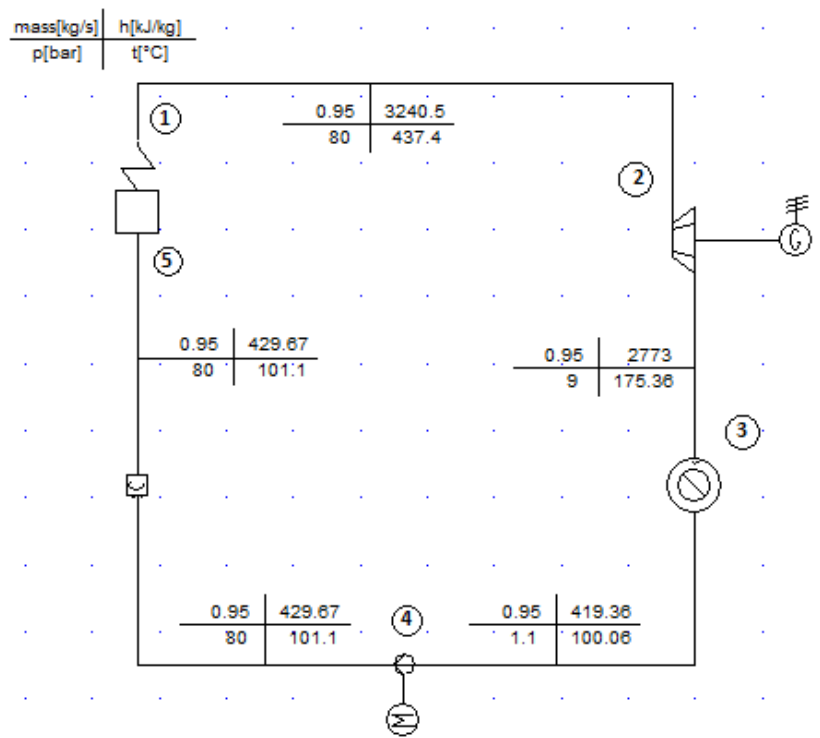


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.2 ΚΑΘΑΡΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΡΕΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΜΕ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΑΝΕΙΟ

4.1.2. Σύστημα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

4.1.2.1. Σχεδιασμός και περιγραφή κυκλώματος

Ο σχεδιασμός του κυκλώματος με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης είναι πιο απλός σε σχέση με το κύκλωμα με απομάστευση. Από τον ατμολέβητα (Σημείο 1) παράγεται υπέρθερμος ατμός (80bar, 437.4°C) παροχής 0.95kg/s, ο οποίος στην συνέχεια εκτονώνεται στο ατμοστρόβιλο (Σημείο 2) μέχρι τα 9bar. Στην συνέχεια όλη η ποσότητα ατμού οδηγείται στο θερμικό καταναλωτή (Σημείο 3) για να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγική διαδικασία. Μετά τον θερμικό καταναλωτή το συμπύκνωμα, πλέον, που βρίσκεται σε πίεση 1.1bar διέρχεται από την τροφοδοτική αντλία (Σημείο 4) για να ανέβει η πίεση του στα 80bar. Τέλος το νερό εισέρχεται στον ατμολέβητα βιομάζας (Σημείο 5).

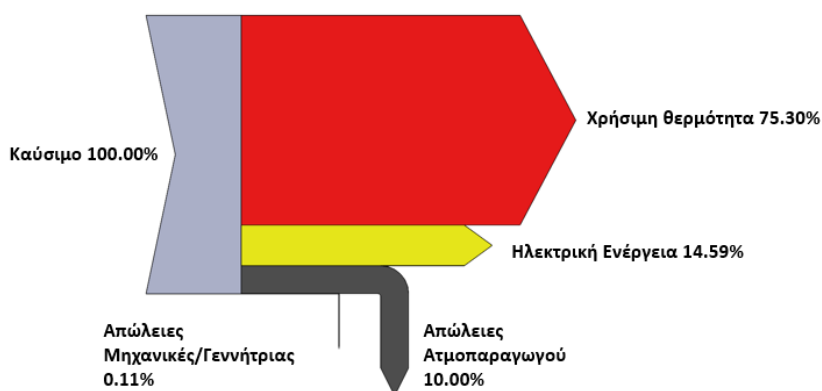


ΕΙΚΟΝΑ 4.1.4 : ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ

Στοιχεία Ατμοπαραγωγού	
Q _{ωφελ} (kW)	2670.2
η _{boiler}	90%
m _B (kg/s)	0.156
Στοιχεία Παραγωγής	
Q _{el} (kW)	433.0
Q _{th} (kW)	2236.0
η	89.96%
η _{el}	14.59%
η _{th}	75.36%

Στοιχεία θερμοδυναμικού κύκλου	
Συνολική παροχή ατμού(kg/s)	0.95
Παροχή ατμού για θερμικές ανάγκες(kg/s)	0.95
Πίεση υπέρθερμου ατμού(bar)	80.0
Θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού (°C)	437.3

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.6 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ

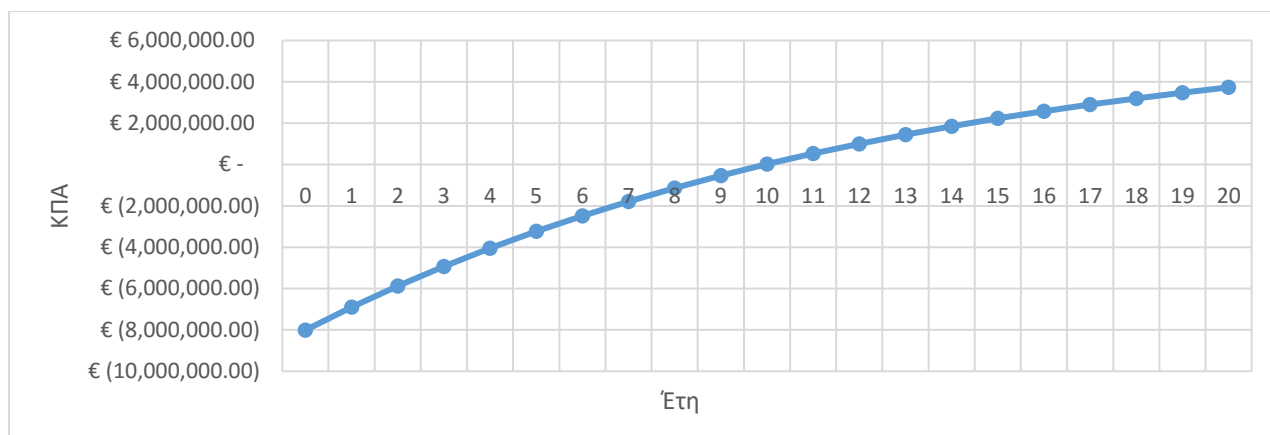
4.1.2.2. Οικονομική ανάλυση συστήματος συμπαραγωγής ατμοστρόβιλου αντίθλιψης

Για την οικονομική ανάλυση του συστήματος συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης χρησιμοποιούνται τα εξής στοιχεία:

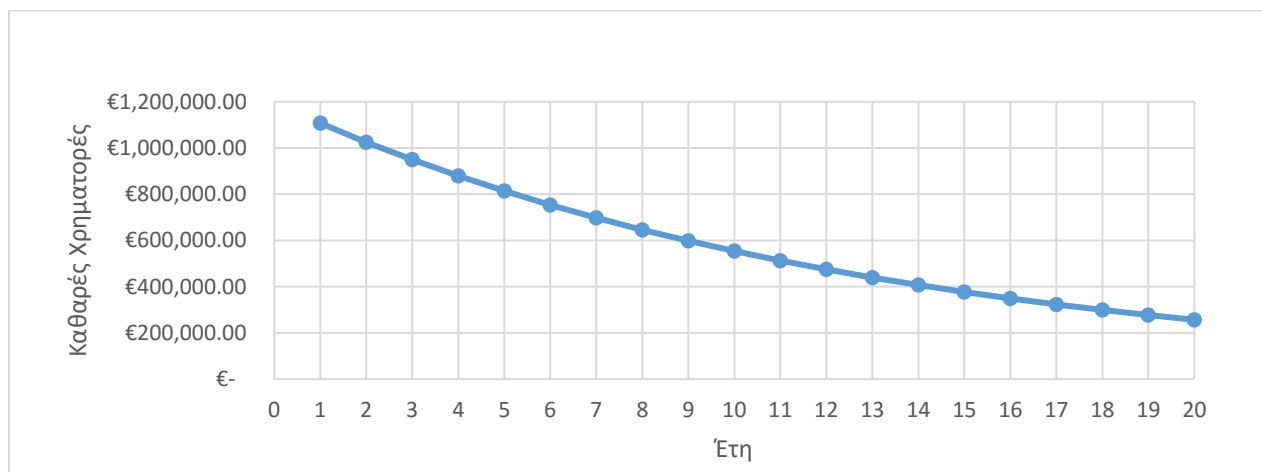
- 1) Χρόνος λειτουργίας: 8640 hr
- 2) Κόστος εγκατάστασης: 3000€/kW ωφέλιμης ισχύς
- 3) Κόστος λειτουργίας και συντήρησης: 2€/MWh_{el}
- 4) Κόστος καυσίμου: 90€/tn
- 5) Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες που αξιοποιούν, μέσω μια θερμικής διεργασίας, βιομάζα και έχουν εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 1MW είναι[23]:
 - 198€/MWh όταν η εγκατάσταση δεν έχει λάβει κάποιου είδους δημόσια ενίσχυση,
 - 180€/MWh όταν έχει υπάρξει δημόσια ενίσχυση.
- 6) Τα ετήσια έσοδα από την εξοικονόμηση του μαζούτ, ορίζονται ως έσοδα από θερμική ενέργεια και είναι όπως και πριν 900,000.00€.

Συνολικά στοιχεία Μονάδας	
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια(MWh _e)	3740.98
Κατανάλωση καυσίμου(tn)	4857.03
Κόστος εγκατάστασης	€ 8,010,720.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 7,481.96
Κόστος καυσίμου	€ 437,132.34
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργ.	€ 740,714.39
Έσοδα από θερμική ενέργ.	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 1,196,100.08
ΚΠΑ	€ 3,732,766.93
IRR	13.81%
EPIC(€/MWh _e)	€ 336.95
SPP(έτη)	6.70
DPP(έτη)	9.97

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.4 ΚΑΘΑΡΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΡΕΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗ

4.2. Συστήματα με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας

Σύστημα συμπαραγωγής που είναι ευρέως διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια είναι αυτά που χρησιμοποιούν αεριοστρόβιλο. Σε αυτά τα συστήματα, ο αεριοστρόβιλος, καταναλώνοντας καύσιμο, θέτει σε κίνηση μια ηλεκτρική γεννήτρια, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια προκύπτει από την αξιοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων. Συνηθισμένο καύσιμο σε αυτές της μονάδες είναι το φυσικό αέριο λόγω της υψηλής θερμογόνου ικανότητας και των χαμηλών εκπομπών. Στην περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας θα εξεταστεί η επιλογή εγκατάστασης τέτοιου συστήματος. Η βιομηχανική περιοχή της Πάτρας όπου βρίσκεται η βιομηχανία δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο του φυσικού αερίου της υπόλοιπης Ελλάδας. Ωστόσο σχεδιάζεται από την ΔΕΗ και την ΔΕΠΑ, η κατασκευή ενός τερματικού σταθμού LNG στο λιμάνι της Πάτρας για την δημιουργία δικτύου στην ευρύτερη περιοχή. Στο πλαίσιο της εργασίας θα γίνει οικονομική ανάλυση μια επένδυσης που καταναλώνει φυσικό αέριο.

Στην περίπτωση που μια μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) εξασφαλίζει τουλάχιστον 10% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με την χωριστή παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, θα χαρακτηρίζεται συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ). Στις τεχνολογίες συμπαραγωγής που υπάγονται σε αυτήν την κατηγορία, αν ικανοποιούν το παραπάνω κριτήριο, περιλαμβάνονται και τα συστήματα αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας. Για το προσδιορισμό του ποσοστού εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας (αποδοτικότητας) από μια μονάδα συμπαραγωγής ακολουθείται η εξής διαδικασία που προβλέπεται από την νομοθεσία[24].

Καθορίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

- E_c : η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την μονάδα συμπαραγωγής
- H_{CHP} : η χρήσιμη θερμική ενέργεια που προέρχεται από την συμπαραγωγή
- F_c : το σύνολο της ενέργειας καυσίμου που καταναλώθηκε από την μονάδα συμπαραγωγής για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας E_c και της χρήσιμης θερμικής ενέργειας H_{CHP} .

Γνωρίζοντας αυτά τα μεγέθη προσδιορίζονται οι παρακάτω βαθμοί απόδοσης:

- Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:

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

- Ο θερμικός βαθμός απόδοσης:

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

- Και ο ολικός βαθμός απόδοσης:

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

Επιπλέον ορίζεται το κατώφλι ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης $\eta_{κατ}$ που είναι η ελάχιστη τιμή του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής, προκειμένου να θεωρηθεί ότι η μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας πλήρους συμπαραγωγής. Για μονάδες συνδυασμένου κύκλου με ανάκτηση θερμότητας ή ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης- απομάστευσης ισχύει η τιμή 80%. Για οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία συμπαραγωγής ισχύει η τιμή 75%. Όταν ο ολικός βαθμός απόδοσης της μονάδας είναι πάνω από το αντίστοιχο κατώφλι, τότε όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει θεωρείται

ενέργεια από συμπαραγωγή και η μονάδα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργία πλήρους συμπαραγωγής.

Σε αντίθετη περίπτωση μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας δεν παράγεται με ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμότητας και η μονάδα χωρίζεται στο συμπαραγωγικό μέρος και στο μη συμπαραγωγικό. Η διαφοροποίηση αυτή γίνεται καθώς υπάρχει διαφορετική τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε μέρος. Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής ενέργειας από το συμπαραγωγικό και μη συμπαραγωγικό μέρος ακολουθείται μια υπολογιστική διαδικασία που δεν περιγράφεται στο παρών εδάφιο, διότι όλες οι τεχνολογίες που εξετάζονται εξασφαλίζουν το κριτήριο για το κατώφλι.

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

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

Όπου:

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

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

Ο λόγος εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, χρησιμοποιώντας τις τιμές αναφοράς υπολογίζεται ως εξής:

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

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

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

Οι τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης ορίζονται από τον νόμο και περιλαμβάνονται σε πίνακες που βρίσκονται στο τέλος της εργασίας. Η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από το είδος καυσίμου που καταναλώνεται και από το έτος κατασκευής της εγκατάστασης. Η τιμή αναφοράς του βαθμού απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας εξαρτάται από το είδος καυσίμου που καταναλώνεται, από το αν η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού ή υπάρχει απευθείας χρήση των καυσαερίων και επίσης αν υπάρχει επιστροφή συμπυκνωμάτων. Και οι δύο τιμές αναφοράς αφορούν πρότυπες συνθήκες ISO (θερμοκρασία περιβάλλοντος 15°C, πίεση 1.013 bar, 60% σχετική υγρασία). Επίσης υπάρχουν διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με την μέση κλιματικές ζώνες και τις απώλειες λόγω διάθεσης στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η επιλογή των αεριοστροβίλων[25] έγινε με βάση την θερμική ισχύ που μπορούν να αποδώσουν και την ικανότητα παραγωγής ατμού. Στην συνέχεια στο σύνολο των επιλεγμένων, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας. Ο έλεγχος αυτό έγινε με την χρήση ενός φύλλου Microsoft Excel, που υλοποιεί τη διαδικασία υπολογισμού του PESR. Στο φύλλο εισάγονται οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας όπως ορίζονται από τον κανονισμό 2015/2402 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής της 12^{ης} Οκτωβρίου 2015. Αρχικά καθορίζεται η τεχνολογία συμπαραγωγής, το έτος κατασκευής της, το είδος

καυσίμου, αν υπάρχει ιδιοκατανάλωση και επιστροφή συμπυκνώματος. Τέλος εισάγονται η ειδική κατανάλωση καυσίμου(SHC), η ηλεκτρική και θερμική ισχύς του εκάστοτε εξεταζόμενου αεριοστρόβιλου. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αεριοστρόβιλοι που εξετάστηκαν και για κάθε ένα από αυτούς δίνονται στοιχεία για την λειτουργία τους καθώς και το PESR. Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε είναι φυσικό αέριο με $LHV=38462\text{kJ}/\text{Nm}^3$. Η τιμή της κατώτερης θερμογόνου ικανότητας λήφθηκε από την ΔΕΠΑ[26], όπου για κάθε μήνα δίνονται στοιχεία για την θερμογόνο ικανότητα του παρεχόμενου φυσικού αερίου.

Μοντέλο	Solar Saturn 20	Vericor ASE 8
$P_{el}(\text{kW})$	1204	515
$Q_{th}(\text{kW})$	2601	1440
$Q_f(\text{kW})$	4949	2460
$m_b(\text{Nm}^3/\text{s})$	0.129	0.064
η_{el}	24.33%	20.93%
η_h	45.58%	58.54%
η	69.91%	79.47%
PESR	10.32%	10.86%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

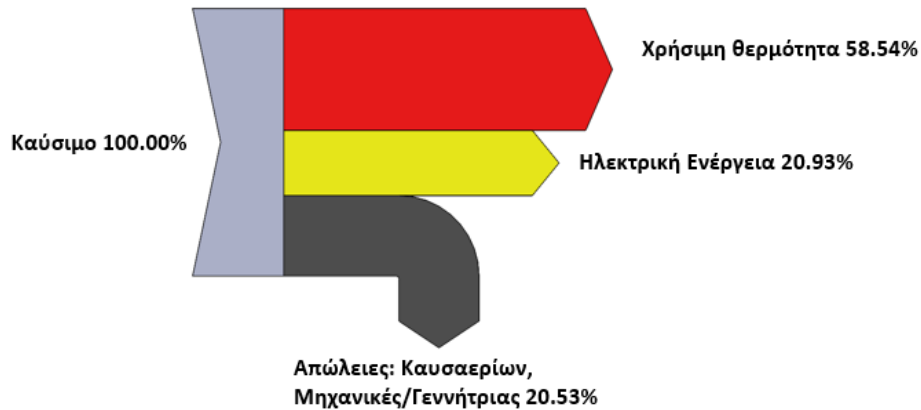
Με βάση τα παραπάνω μοντέλα γίνονται οι εξής συνδυασμοί ώστε να ικανοποιούνται οι θερμικές ανάγκες της βιομηχανίας.

Συνδυασμοί	Solar Saturn 20	2xVericor ASE 8
$P_{el}(\text{kW})$	1204	1030
$Q_{th}(\text{kW})$	2601	2880
$Q_f(\text{kW})$	4949	4920

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2 ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ SOLAR SATURN 20



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ VERICOR ASE 8

4.2.1. Οικονομική ανάλυση συστημάτων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας

Για τη οικονομική ανάλυση των συστημάτων με αεριοστρόβιλο καθορίζονται τα εξής δεδομένα:

- Ετήσιες ώρες λειτουργίας : 8640 hr,
- Τιμή αγοράς φυσικού αερίου από τον πάροχο: 0.455€/Nm³. Η τιμή του φυσικού αερίου λήφθηκε από την ΕΠΑ Αττικής με χρήση του τιμολόγιου κλιματισμού συμπαραγωγής και συμπεριλαμβάνει όλους τους φόρους που αφορούν το φυσικό αέριο[26],
- Το κόστος εγκατάστασης της μονάδας αεριοστρόβιλου είναι 1000€/kW_e,
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 4€/MWh_e,
- Τα ετήσια έσοδα από την εξοικονόμηση του προηγούμενου καυσίμου, όπως και προηγουμένως, είναι 900.000,00€.
- Τα έσοδα (€/MWh) από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτουν σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο τιμολόγησης για ΣΗΘΥΑ με χρήση Φυσικού Αερίου >1MW_e και ≤5MW_e όλων των κατηγοριών εκτός του «Συνδυασμένου κύκλου με ανάκτηση θερμότητας» και του «Ατμοστρόβιλου συμπύκνωσης-απομάστευσης»:
 - 1) 84+ΠΤ για εγκατάσταση χωρίς δημόσια ενίσχυση,
 - 2) 74+ΠΤ για εγκατάσταση με δημόσια ενίσχυση.

Ο όρος ΠΤ είναι η προσαρμογή τιμής φυσικού αερίου και καλύπτει της μεταβολές κόστους του φυσικού αερίου. Η τιμή του υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$ΠΤ = \left(\frac{1 - \left(\frac{\eta - \eta_e}{\eta_{hr}} \right)}{\eta_e} \right) * (MT\Phi At - 26)$$

Όπου η_e : ηλεκτρικός βαθμό απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής

η : ο ολικος βαθμός απόδοσης μονάδας συμπαραγωγής

η_{hr} : η τιμή αναφοράς του βαθμου απόδοσης για χωριστή παραγωγή θερμικής ενέργειας.

Οι τιμές των αποδόσεων ορίζονται από την νομοθεσία ανάλογα την κατηγορία και το μέγεθος της συμπαραγωγής σε πίνακα. για ΣΗΘΥΑ με χρήση Φυσικού Αερίου >5MW_e και ≤10MW_e όλων των κατηγοριών εκτός του «Συνδυασμένου κύκλου με ανάκτηση θερμότητας» και του «Ατμοστρόβιλου συμπύκνωσης-απομάστευσης» οι τιμές είναι

- 1) $\eta_e = 35\%$
- 2) $\eta_{hr} = 81\%$
- 3) $\eta = 67\%$

ΜΤΦΑτ: Η ανά μήνα μέση μοναδιαία μικτή τιμή του Φυσικού Αερίου σε €/MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δύναμης(ΑΘΔ), η οποία περιλαμβάνει την τιμή πώλησης με το κόστος μεταφοράς και τον ειδικό φόρο κατανάλωσης(ΜΤΦΑμ ή ΜΤΦΑη) στην οποία προστίθεται και το μέσο κόστος CO₂ που αντιστοιχεί στην ηλεκτροπαραγωγή.

ΜΤΦΑμ: Η ανά μήνα μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh Ανωτέρας Θερμογόνου Δύναμης (ΑΘΔ) στους χρήστες φυσικού αερίου στην Ελλάδα, εξαιρούμενων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Διεύθυνσης Πετρελαϊκής πολιτικής του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και κοινοποιείται ανά μήνα στο ΛΑΓΗΕ.

ΜΤΦΑη: Η ανά μήνα μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (ΑΘΔ) στους χρήστες ΦΑ στην Ελλάδα οι οποίοι είναι πελάτες ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Διεύθυνσης Πετρελαϊκής Πολιτικής του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και κοινοποιείται ανά μήνα στο ΛΑΓΗΕ.

Το μέσο κόστος CO₂ υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση:

$$\text{Μέσο Κόστος } CO_2 \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = 0.37 * \text{Μέση Τιμή Δικαιωμάτων } CO_2 \left(\frac{\text{€}}{\text{tn}} \right) * \eta_e$$

Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO₂ : Η ανά μήνα μέση τιμή των δικαιωμάτων CO₂ σε €/tn όπως προκύπτει από τα στοιχεία του EEX (Energy Exchange). Η τιμή αυτή υπολογίζεται με μέριμνα του Γραφείου Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και κοινοποιείται ανά μήνα στο ΛΑΓΗΕ.

Μήνας	ΜΤΦΑ _μ ¹ (€/MWh)		ΜΤΦΑ _η ¹ (€/MWh)		Μέση Τιμή ² Δικαιωμάτων CO ₂ (€/tn)
	προσωρινή εκκαθάριση	οριστική εκκαθάριση	προσωρινή εκκαθάριση	οριστική εκκαθάριση	
Ιανουάριος 2015	44,83993	43,06692	41,02120	38,19247	6,89
Φεβρουάριος 2015	42,16005	43,06692	38,19247	38,44235	7,2
Μάρτιος 2015	43,06692	42,41695	38,44235	39,42746	6,73
Απρίλιος 2015	42,41695	35,326590	39,42746	32,43235	7,04
Μάιος 2015	35,326590	34,473250	32,43235	32,299760	7,39
Ιούνιος 2015	34,473250	35,290300	32,29976	31,8309	7,44
Ιούλιος 2015	35,290300	36,114510	31,83091	31,556680	7,71
Αύγουστος 2015	36,114510	35,18782	31,55668	30,00667	8,06
Σεπτέμβριος 2015	35,18782	35,300500	30,00667	28,081630	8,06
Οκτώβριος 2015	35,300500	34,191070	28,081630	29,040370	8,35
Νοέμβριος 2015	34,191070	33,841300	29,040370	28,308840	8,48
Δεκέμβριος 2015	33,841300	34,258230	28,308840	29,95972	8,27
Ιανουάριος 2016	34,258230	32,775780	29,95972	25,36830	6,49
Φεβρουάριος 2016	32,775780		25,36830		5,14

ΕΙΚΟΝΑ 4.2.3 ΠΡΟΣΩΡΙΝΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ «ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΙΜΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ –ΠΤ»[27]

Η γαλακτοβιομηχανία είναι πελάτης ηλεκτροπαραγωγής οπότε χρησιμοποιείται η ΜΤΦΑ_η, η οποία βρίσκεται από μηνιαία δελτία για ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ του ΛΑΓΗΕ[27]. Από το ίδιο δελτίο λαμβάνεται και η Μέση Τιμή Δικαιωμάτων CO₂. Δεδομένου ότι κάθε μήνα μεταβάλλονται οι τιμές, λήφθηκε ο μέσος όρος τους για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2015-Ιανουάριος 2016. Για τον υπολογισμό του ΠΤ κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (η_e)	35%
Ολικός βαθμός απόδοσης (η)	67%
Τιμή αναφοράς θερμικού βαθμού απόδοσης(η_{hr})	81%
ΜΤΦΑ_μ(€/MWh)	36.56
ΜΤΦΑ_η(€/MWh)	31.92
Μέση τιμή δικαιωμάτων CO₂(€/tn)	7.55
Μέσο κόστος CO₂(€/MWh)	0.98
Προσαρμογή τιμής φυσικού αερίου(ΠΤ)(€/MWh)	11.92

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΠΤ

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η τελική τιμή πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

ΣΗΘΥΑ 1-5MW	ΧΕ	ΜΕ
Σταθερό Μέρος(€/MWh)	84	74
Τελική τιμή (€/MWh)	95.92	85.92

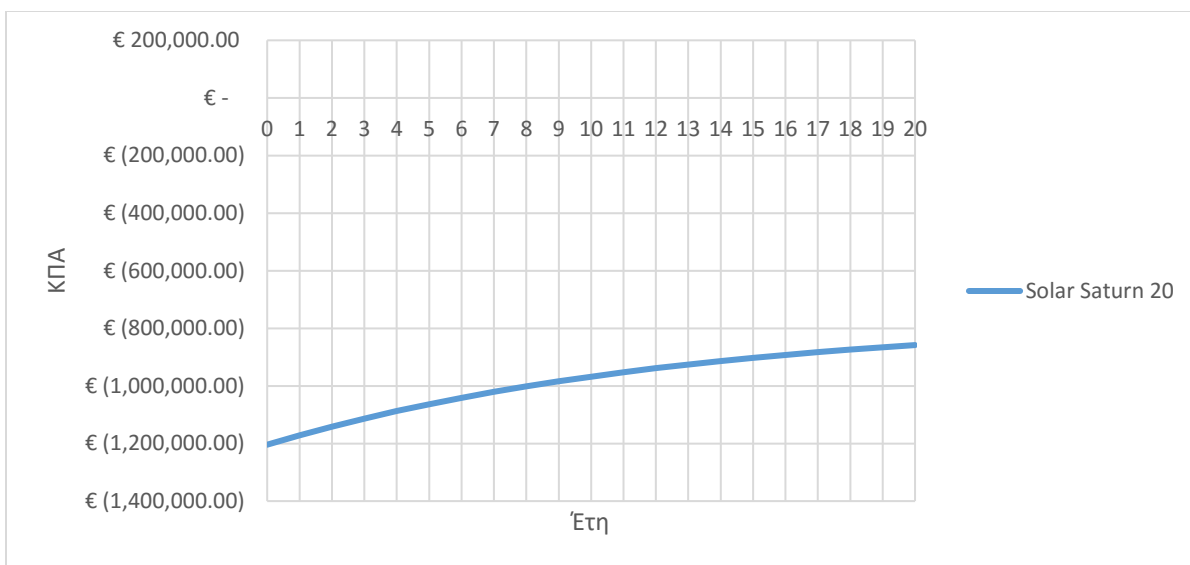
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.4 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΣΗΘΥΑ 1-5MW

Μοντέλο	Solar Saturn 20	2xVericor ASE 8
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια(MWh _e)	10402.6	8899.2
Κατανάλωση καυσίμου(Nm ³)	4002156.48	3978704.76
Κόστος εγκατάστασης	€ 1,204,000.00	€ 1,030,000.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 41,610.24	€ 35,596.80
Κόστος καυσίμου	€ 1,820,981.20	€ 1,810,310.67
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργ.	€ 997,809.84	€ 853,608.09
Έσοδα από θερμική ενέργ.	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 35,218.41	€ (92,299.38)
ΚΠΑ	€ (858,220.50)	€ (1,936,208.91)
IRR	-4.64%	Δεν ορίζεται
ERC(€/MWh)	€ 190.84	€ 219.21
SPP(έτη)	34	Ποτέ
DPP(έτη)	Περισσότερα από 50	Ποτέ

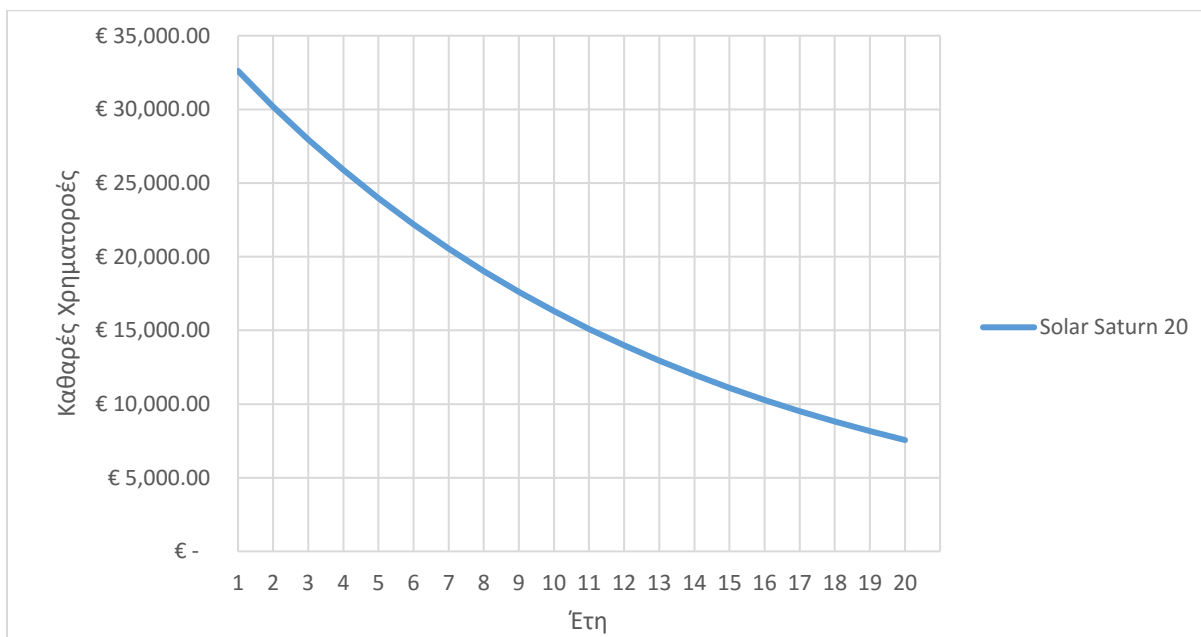
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.5 Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

Η επένδυση με τον αεριοστρόβιλο Vericor ASE 8, δεν θα αναλυθεί περαιτέρω καθώς είναι ζημιογόνα.

Όπως φαίνεται από την οικονομική ανάλυση της επένδυσης με τον αεριοστρόβιλο Solar Saturn 20, προκύπτει αρνητικός IRR. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι καθαρές χρηματοροές για το διάστημα των 20 χρόνων, χωρίς να γίνει η αναγωγή σε παρούσα αξία, δεν φτάνουν για να καλύψουν το κόστος αρχικής επένδυσης. Αντίθετα, αν οι καθαρές χρηματοροές, χωρίς την αναγωγή τους σε παρούσα αξία, καλύπτουν το κόστος αρχικής επένδυσης, και η παρούσα αξία των καθαρών χρηματοροών δεν φτάνει για την κάλυψη της αρχικής επένδυσης, τότε το IRR είναι θετικό με τιμή μικρότερη από το οριζόμενο επιτόκιο αναγωγής. Τέλος όταν και καθαρές χρηματοροές, και η παρούσα αξία τους καλύπτει το ύψος της αρχικής επένδυσης, τότε το IRR είναι μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής και η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.1 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ SOLAR SATURN 20

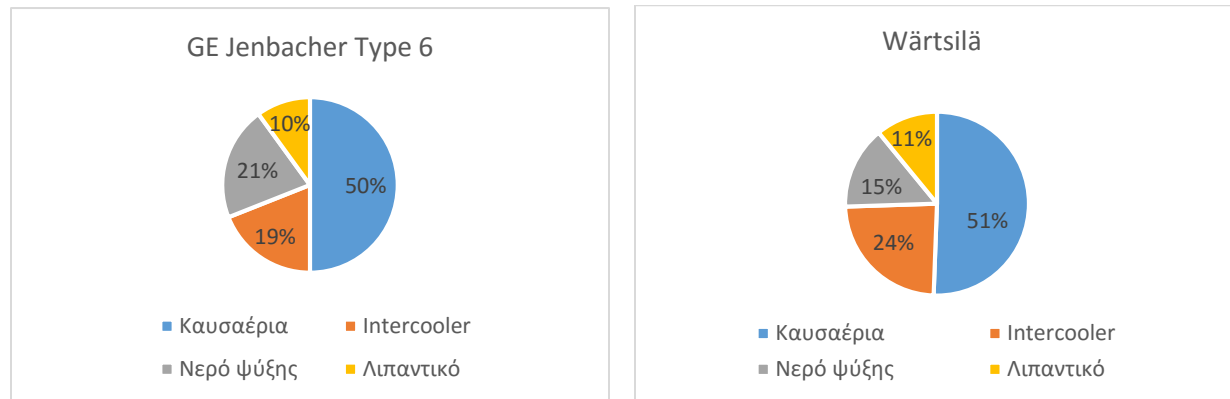


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.2 ΚΑΘΑΡΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ SOLAR SATURN 20

4.3. Συστήματα με Παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης

Τα συστήματα με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν υψηλούς βαθμούς ηλεκτρικής απόδοσης. Η χρήσιμη θερμική ενέργεια παραλαμβάνεται είτε από τα θερμά καυσαέρια είτε από το σύστημα ψύξης της μηχανής. Για τη παραγωγή ατμού με πίεση μεγαλύτερη από 1bar, αξιοποιούνται τα θερμά καυσαέρια σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Η θερμότητα από το σύστημα ψύξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμού νερού. Στη περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας, που απαιτείται κορεσμένος ατμός 9bar, όλη η απαιτούμενη θερμότητα για την παραγωγή του θα πρέπει να ληφθεί από τα θερμά καυσαέρια. Για τον σκοπό αυτό ερευνάται, για

διάφορα συστήματα εμβολοφόρων μηχανών, η κατανομή της παραγομένης θερμικής ενέργειας ανάλογα με την προέλευση. Οι μηχανές που εξετάζονται είναι της GE Jenbacher Type 6[28] και της Wärtsilä[29] και καταναλώνουν φυσικό αέριο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΩΦΕΛΙΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΠΡΟΕΛΥΞΗ.

Παρατηρείται ότι τα καυσαέρια αποτελούν περίπου το 50% της συνολικής ωφέλιμης ενέργειας όταν η θερμοκρασία εξόδου είναι 120°C. Τα μοντέλα[28], [30] θα επιλεχθούν για την γαλακτοβιομηχανία έτσι ώστε με το 50% της παραγομένης θερμικής ισχύς να καλύπτουν την θερμική ανάγκη της βιομηχανίας.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα μοντέλα που θα μελετηθούν. Τα στοιχεία που δίνονται αφορούν την πλήρη και μερική εκμετάλλευση της θερμικής ισχύος.

Μοντέλο	B3540 NV12	KRNG-412	J616
$P_{el}(kW)$	5100	2425	2569
$Q_{th}(kW)$	4655	2459	2501
$Q_f(kW)$	11010	5625	5861
η_{el}	46.32%	43.11%	43.83%
η_h	42.28%	43.72%	42.60%
η	88.60%	86.83%	86.43%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Μοντέλο	B3540 NV12	KRNG-412	J616
$P_{el}(kW)$	5100	2425	2569
$Q_{th}(kW)$	2328	1230	1251
$Q_f(kW)$	11010	5625	5861
η_{el}	46.32%	43.11%	43.83%
η_{th}	21.14%	21.86%	21.34%
η	67.46%	64.97%	65.17%
PESR	13.86%	10.27%	10.89%

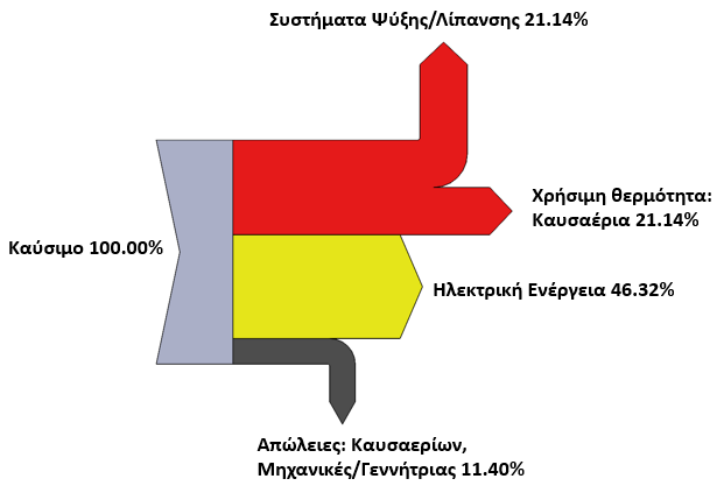
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΡΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Παρατηρείται ότι η απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας μειώνονται στην μερική εκμετάλλευση.

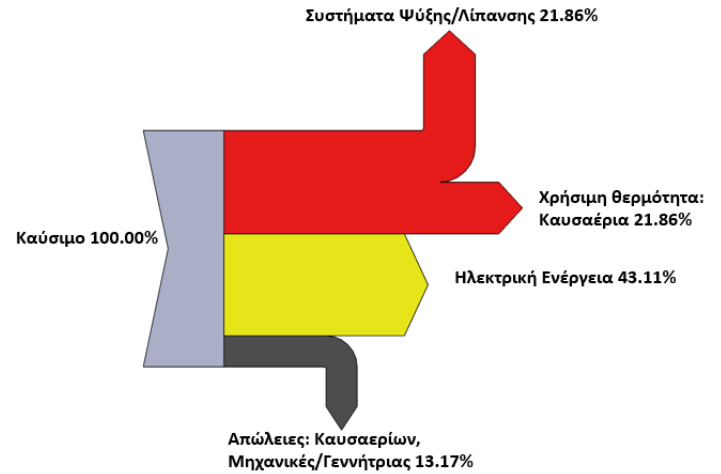
Με τις παραπάνω παλινδρομικές μηχανές διαμορφώθηκαν οι κατάλληλοι συνδυασμοί ώστε να εξασφαλίζεται η θερμική ισχύ που χρειάζεται η βιομηχανία:

Συνδυασμοί	B3540 NV12	2 x KRNG-412	KRNG-412 + J616
$P_{el}(kW)$	5100	4850	4994
$Q_{th}(kW)$	2328	2459	2480
$Q_f(kW)$	11010	11250	11486

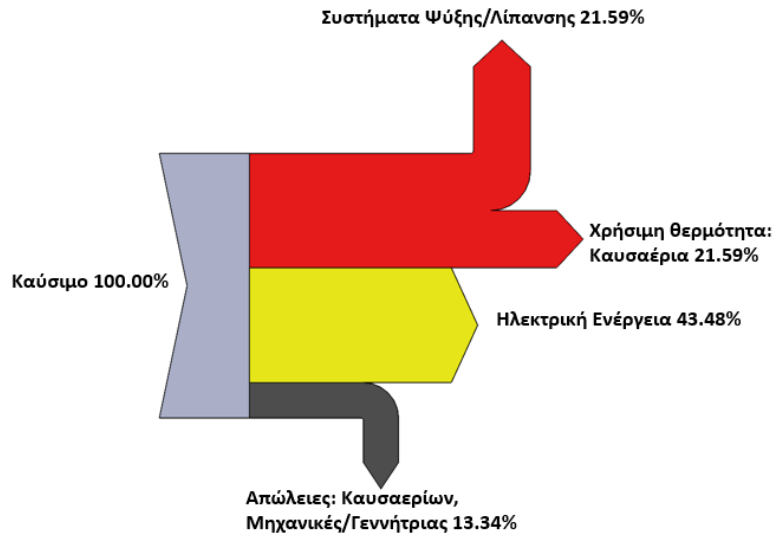
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 4.3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ B3540 NV12



ΕΙΚΟΝΑ 4.3.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ 2xKRNG-412



ΕΙΚΟΝΑ 4.3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SANKEY ΓΙΑ KRNG-412+J616

4.3.1. Οικονομική ανάλυση συστημάτων συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές

Για τη οικονομική ανάλυση των συστημάτων με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης καθορίζονται τα εξής δεδομένα:

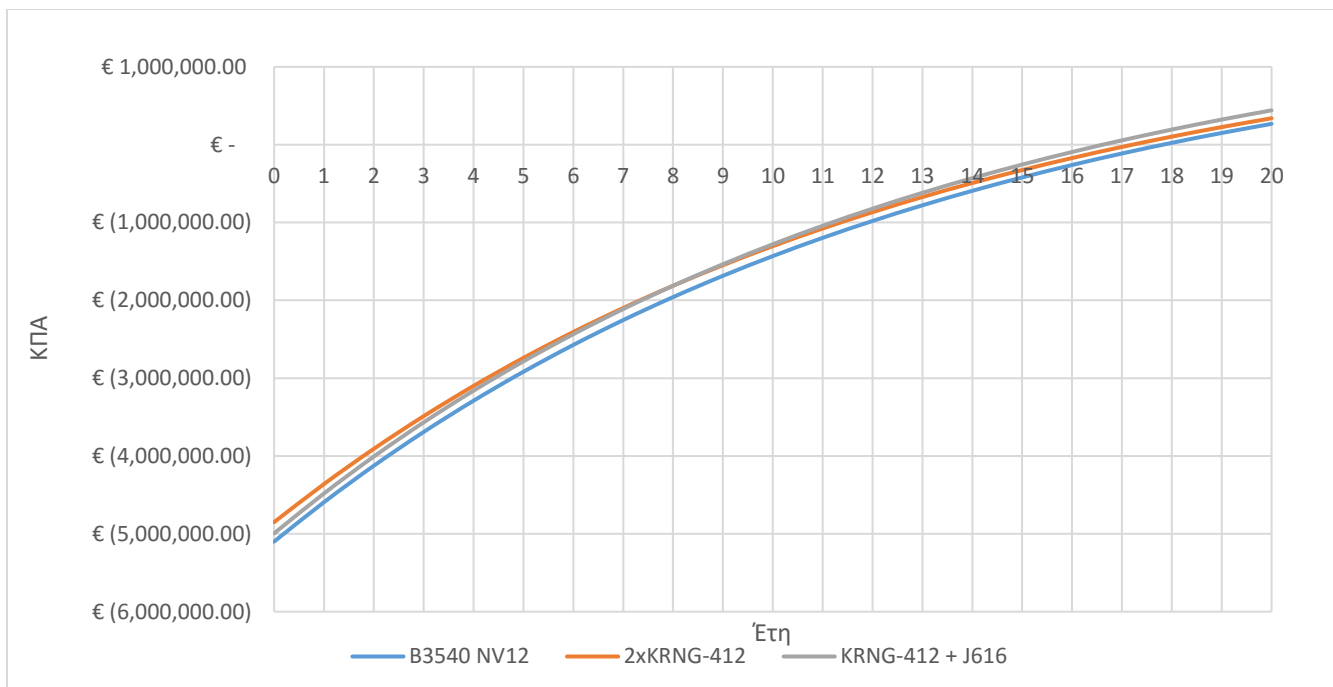
- Ετήσιες ώρες λειτουργία: 8640hr,
- LHV Φ.Α.: 38462kJ/Nm³,
- Τιμή αγοράς φυσικού αερίου από τον πάροχο: 0.455€/Nm³. Η τιμή του φυσικού αερίου λήφθηκε από την ΕΠΑ Αττικής με χρήση του τιμολόγιου κλιματισμού συμπαραγωγής και συμπεριλαμβάνει όλους τους φόρους που αφορούν το φυσικό αέριο,
- Το κόστος εγκατάστασης της μονάδας αεριοστρόβιλου είναι 1000€/kW_e,
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 6€/MWh,
- Τα ετήσια έσοδα από την εξοικονόμηση του προηγούμενου καυσίμου, όπως και προηγουμένως, είναι 900.000,00€.
- Τα έσοδα (€/MWh) από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτουν σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο τιμολόγησης[23]: για ΣΗΘΥΑ με χρήση Φυσικού Αερίου 1-5MW και 5-10MW αφού συνυπολογιστεί η τιμή προσαρμογής του φυσικού αερίου:

ΣΗΘΥΑ 1-5MW	Χωρίς Ενίσχυση	Με Ενίσχυση
Σταθερό Μέρος(€/MWh)	84	74
Τελική τιμή (€/MWh)	95.92	85.92
ΣΗΘΥΑ 5-10MW	Χωρίς Ενίσχυση	Με Ενίσχυση
Σταθερό Μέρος(€/MWh)	78	70
Τελική τιμή (€/MWh)	89.92	81.92

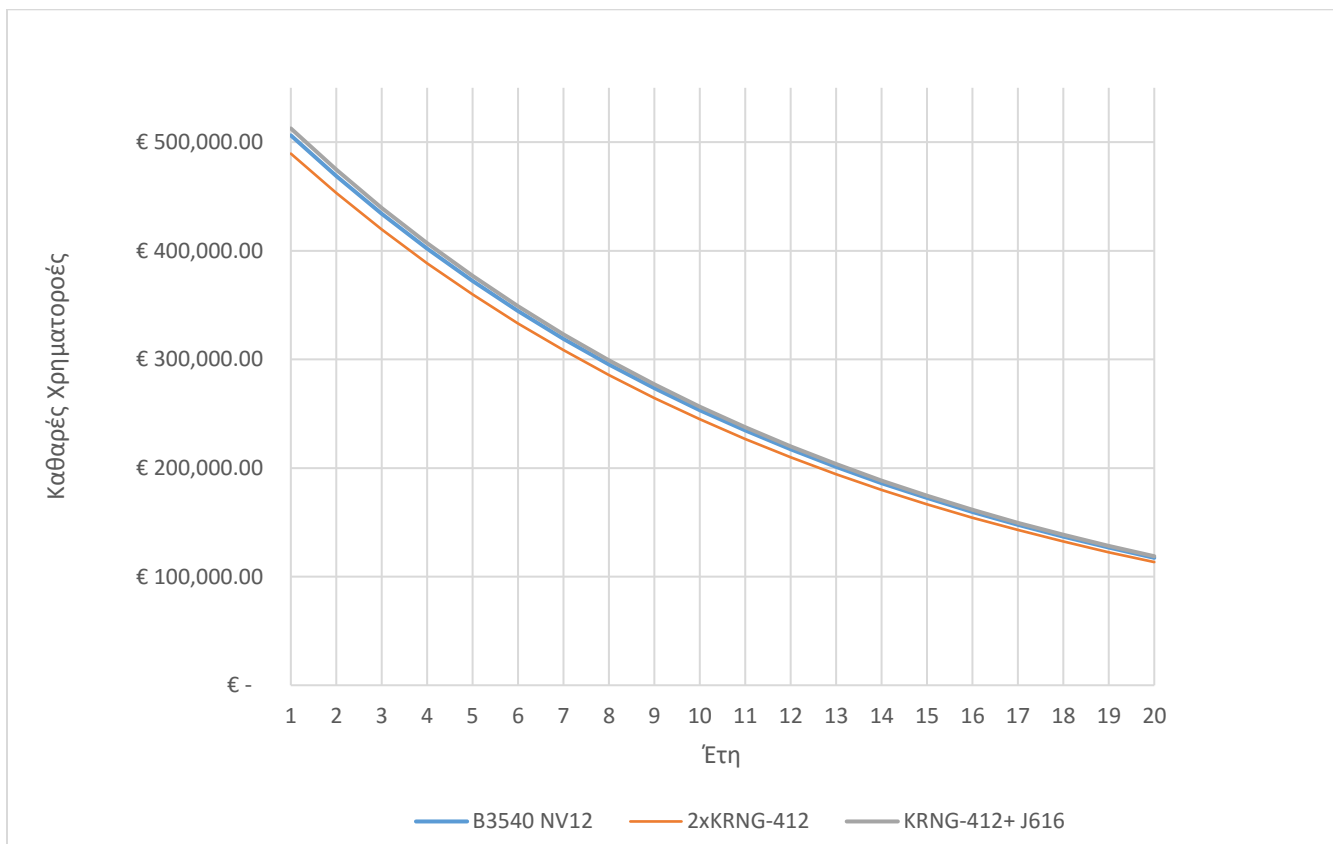
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.4 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΗΘΥΑ 1-5MW ΚΑΙ 5-10MW

Συνδυασμοί	B3540 NV12	2x KRNG-412	KRNG-412 + J616
Παραγόμενη ηλ.εν.(MWh _e)	44064	41904	43148.16
Κατανάλωση καυσίμου(Nm ³)	8903565	9097648	9288497
Κόστος εγκατάστασης	€ 5,100,000.00	€ 4,850,000.00	€ 4,994,000.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 264,384.00	€ 251,424.00	€ 258,888.96
Κόστος καυσίμου	€ 4,051,122.04	€ 4,139,429.88	€ 4,226,265.92
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργ.	€ 3,962,219.16	€ 4,019,416.73	€ 4,138,756.11
Έσοδα από θερμική ενέργ.	€ 900,000.00	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 546,713.12	€ 528,562.85	€ 553,601.23
ΚΠΑ	€ 267,709.95	€ 339,507.96	€ 441,338.50
IRR	8.70%	8.93%	9.17%
ERC(€/MWh)	€ 109.73	€ 116.57	€ 115.74
SPP(έτη)	9.33	9.18	9.02
DPP(έτη)	17.82	17.2	16.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.5 Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3.2 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.3.3 ΚΑΘΑΡΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Κεφάλαιο 5. Συστήματα CSP

5.1. Γενικές πληροφορίες

Τα συγκεντρωτικά ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας (CST- Concentrated Solar Thermal ή CSP- Concentrated Solar Power) αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντας την σε θερμότητα υψηλών θερμοκρασιών. Σύμφωνα με την θεωρία οπτικής, οι ακτίνες φωτός που ταξιδεύουν παράλληλα στο άξονα ενός σφαιρικού κατόπτρου, θα ανακλαστούν από την επιφάνεια του και θα διέλθουν από την εστία του κατόπτρου που βρίσκεται σε απόσταση $R/2$ από το κάτοπτρο, όπου R η ακτίνα του κατόπτρου[31]. Η ενέργεια από τις προσπίπτουσες ακτίνες συνδυάζεται στην εστία, συγκεντρώνοντας την ηλιακή ενέργεια. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία παράγει θερμότητα, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί απευθείας ή να μετατραπεί σε άλλου είδους ενέργεια.

Τα κύρια τμήματα ενός συγκεντρωτικού ηλιοθερμικού συστήματος είναι:

- Το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών: περιλαμβάνει τις σειρές των ηλιακών συλλεκτών που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και την συγκεντρώνουν στον απορροφητή. Το πεδίο αφορά την επιφάνεια που καλύπτουν αποκλειστικά οι συλλέκτες και όχι την συνολική επιφάνεια του χώρου στην οποία βρίσκεται το πεδίο.
- Το απορροφητή της ηλιακής ακτινοβολίας: ο απορροφητής είναι το τμήμα του ηλιοθερμικού συστήματος στο οποίο η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα. Μέσα στον απορροφητή κυκλοφορεί ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας συνήθως ρευστό όπως νερό ή κάποιο έλαιο, στο οποίο προσδίδεται η θερμότητα του απορροφητή.
- Το σύστημα μετατροπής ενέργειας: Στο τμήμα αυτό η θερμότητα μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμη μορφή ενέργειας όπως ηλεκτρική ή θερμότητα πχ ατμοπαραγωγός.

Οι τεχνολογίες ηλιοθερμικού συστημάτων που έχουν παγιωθεί είναι οι παρακάτω:

- Συστήματα με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες (Parabolic Trough Collectors)
- Ηλιακοί πύργοι ισχύος (Solar Power Tower)
- Συστήματα δίσκου μηχανής (Dish Stirling/Dish Engine)
- Συστήματα με γραμμικούς ανακλαστήρες τύπου Fresnel (Compact Linear Fresnel reflector)

Η αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια καθορίζεται από το συνδυασμό του οπτικού βαθμού απόδοσης και της απόδοσης μετατροπής θερμότητας. Ο οπτικός βαθμός απόδοσης εξαρτάται από την ακρίβεια της ανακλώμενης επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών. Οι τιμές που έχουν επιτευχθεί, είναι μέχρι 98%. Οι απόδοση μετατροπής σε θερμότητα εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του απορροφητή και οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 70%-95%.

Στην περίπτωση που το ηλιοθερμικό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η ηλιακή ακτινοβολία που συγκεντρώνεται, αξιοποιείται για την άμεση ή έμμεση παραγωγή ατμού, ο οποίος στη συνέχεια εκτονώνεται σε έναν ατμοστρόβιλο. Η απόδοση τέτοιων συστημάτων καθορίζεται κατά ένα μέρος από την αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια και κατά το υπόλοιπο από το θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης του κύκλου νερού-ατμού. Ωστόσο τη μεγαλύτερη επίδραση έχει η αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής σε θερμική ενέργεια, η οποία εξαρτάται κυρίως από την τεχνολογία των συλλεκτών. Δυστυχώς η πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία, αυτή των παραβολικών κοίλων συλλεκτών, παρουσιάζει πολύ μικρή απόδοση[31].

Μια άλλη χρήση των συστημάτων είναι χημική επεξεργασία υλικών, όπως στην παραγωγή του υδρογόνου ή κάποιου μετάλλου. Σε αυτά η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται απευθείας ως πηγή θερμότητας για τις ανάγκες της διαδικασίας. Τέλος τα ηλιοθερμικά συστήματα μπορούν να αξιοποιηθούν και στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις ο βαθμός απόδοσης των ηλιοθερμικών συστημάτων είναι υψηλός καθώς γίνεται άμεση χρήση της παραγόμενης θερμότητας.

5.2. Τεχνολογίες

5.2.1. Συστήματα με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες (Parabolic Trough Collectors)

Είναι η πιο απλή μορφή ηλιοθερμικού συστήματος, στο οποίο το πεδίο των ηλιακών συλλεκτών αποτελείται από σειρές πολλών παραβολικών στοιχείων, οι οποίες μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 150 μέτρα σε μήκος. Οι παραβολικοί συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στον απορροφητή, ο οποίος τοποθετείται κατά μήκος της εστιακής γραμμής της σειράς. Ο απορροφητής είναι ένας σωλήνας που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το κέντρο των παραβολικών καθρεπτών, και μέσα του ρέει ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Οι συλλέκτες ακολουθούν την πορεία του ήλιου με την βοήθεια ενός κινητήρα, που ελέγχεται από μια συσκευή εντοπισμού της θέσης του ήλιου. Αυτό συμβαίνει ώστε κάθε στιγμή της ημέρας να συγκεντρώνεται η μέγιστη ποσότητα ακτινοβολίας. Το ρευστό που χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι είτε νερό-ατμός, είτε κάποιο θερμικό έλαιο. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο ρευστό που ρέει μέσα στον απορροφητή σε αυτά τα συστήματα, είναι 150°C-350°C[32]. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της τεχνολογία είναι: Solar Energy Generating Systems plants στην Καλιφόρνια, Nevada Solar One στην Νεβάδα, Andasol στην Ισπανία.



ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1 ΠΑΡΚΟ ΜΕ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ[33]

5.2.2. Συστήματα με ηλιακό πύργο ισχύος

Το σύστημα με ηλιακό πύργο ισχύος αποτελείται από ένα πάρκο με μεγάλο αριθμό ηλιοστατών, με δύο άξονες περιστροφής, που συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε έναν κεντρικό δεκτή- απορροφητή, που τοποθετείται πάνω σε ένα πύργο. Ο απορροφητής, που βρίσκεται σε ύψος 50m-100m πάνω στον πύργο, περιέχει το εργαζόμενο ρευστό, το οποίο μπορεί να είναι θαλασσινό νερό ή τετηγμένο άλας, και το οποίο μπορεί να φτάσει θερμοκρασίες 500°C-1000°C. Στην συνέχεια το ρευστό αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί ως πηγή θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή ως σύστημα αποθήκευσης

ενέργειας. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι οι ηλιοστάτες προσαρμόζονται για την μέγιστη απόδοση και όχι ο πύργος με τον απορροφητή. Ωστόσο ως τεχνολογία είναι λιγότερο ανεπτυγμένη από ότι αυτή με του παραβολικούς συλλέκτες[32]. Χαρακτηριστικές εγκαταστάσεις με ηλιακό πύργο είναι το Solar Two στην Καλιφόρνια και CESA-1 στην Ισπανία.



ΕΙΚΟΝΑ 5.2.2 Η ΜΟΝΑΔΑ SOLAR 2 ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ ΜΕ ΠΥΡΓΟ ΙΣΧΥΟΣ[34]

5.2.3. Συστήματα δίσκου μηχανής (Dish Stirling/Dish Engine)

Τα συστήματα αυτά συναντώνται, κυρίως, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελούνται από ένα αυτόνομο παραβολικό κάτοπτρο, το οποίο συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία στον απορροφητή που βρίσκεται στην εστία του κατόπτρου. Το κάτοπτρο ακολουθεί την πορεία του ηλίου με την βοήθεια ενός συστήματος κίνησης δύο αξόνων. Το εργαζόμενο ρευστό που μεταφέρει την θερμότητα, θερμαίνεται μέχρι τους 250°C-700°C, και στην συνέχεια χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας για την λειτουργία μιας Stirling μηχανής. Ο βαθμός απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικής που επιτυγχάνεται, είναι γύρω στο 31%-32%[32].



ΕΙΚΟΝΑ 5.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΣΚΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ

5.2.4. Συστήματα με γραμμικούς ανακλαστήρες τύπου Fresnel

Οι ανακλαστήρες Fresnel κατασκευάζονται από λεπτές, επίπεδες λωρίδες καθρέπτη και συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε σωλήνες μέσα στους οποίους ρέει το εργαζόμενο ρευστό με την βοήθεια αντλιών. Σε σύγκριση με του παραβολικούς καθρέπτες, οι επίπεδοι καθρέπτες έχουν περισσότερη αντανακλαστική επιφάνεια στον ίδιο χώρο, εκμεταλλευόμενοι έτσι περισσότερη ακτινοβολία, και επιπλέον είναι πιο φτηνοί. Ο τύπος Fresnel χρησιμοποιείται σε διάφορα μεγέθη ηλιοθερμικών συστημάτων[32]. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ηλιοθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας PE 1 στην Ισπανία.



ΕΙΚΟΝΑ 5.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ FRESNEL ΣΤΗΝ ΝΟΤΙΑ ΙΣΠΑΝΙΑ[35]

5.3. Αποθήκευση θερμικής ενέργειας

Ένα από τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ηλιοθερμικού συστήματος είναι η δυνατότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Το πλεόνασμα θερμική ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρξει ανάγκη. Το βασικό πλεονέκτημα από την εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης είναι η διάθεση της αποθηκευμένης ενέργειας, σε περίπτωση που δεν μπορεί να παραχθεί ολόκληρη η απαιτούμενη ενέργεια, ώστε να ικανοποιηθούν οι ενεργειακές ανάγκες μια παραγωγικής διαδικασίας. Αυτό προσφέρει αξιοπιστία και σιγουριά στην παραγωγική διαδικασία. Ειδικότερα η αξία ενός συστήματος αποθήκευσης φαίνεται από τα ακόλουθα[36]:

- Κάλυψη των λειτουργικών αναγκών όταν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές πχ συννεφιασμένη μέρα και συμβολή στην ανταπόκριση του συστήματος παραγωγής ενέργειας όταν εμφανίζονται μεταβολές στην ζήτηση ενέργειας.
- Αποτρέπεται η ψύξη και στερεοποίηση του ρευστού μεταφοράς θερμότητας ιδιαίτερα στην περίπτωση τετηγμένου άλατος, της ώρες της νύχτας.
- Επιτυγχάνεται η επέκταση της παραγωγικής διαδικασίας με την χρήση των ηλιοθερμικών συστημάτων πέρα των ωρών ηλιοφάνειας
- Στην περίπτωση που το τελικό προϊόν είναι η ηλεκτρική ενέργεια, συμβάλει στην αύξηση του ποσοστού παραγωγής και παροχής ηλεκτρισμού στο δίκτυο καθιστώντας τα ηλιοθερμικά συστήματα πιο αξιόπιστα και ελεγχόμενα ως ανανεώσιμες πηγες ενέργειας.

5.3.1. Τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας

Οι τεχνολογίες και συστήματα αποθήκευσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέρος (δεξαμενή) αποθήκευσης, το μέσο αποθήκευσης και την μορφή της ενέργειας αποθήκευσης (αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα θερμότητα και χημική ενέργεια). Καθένα από τα διάφορα συστήματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα βρίσκεται σε διαφορετικό επίπεδο ανάπτυξης και η επιλογή τους εξαρτάται από το μέγεθος της ενέργειας που πρέπει να αποθηκευτεί και από την τεχνολογία του ηλιοθερμικού συστήματος στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί[37][36].

Design concept	Heat storage media	Heat transfer fluid
Sensible Heat Storage		
Two-tank: <i>i) direct, ii) indirect</i>	Molten salts	Mineral oil
Single-tank: <i>i) thermocline, ii) stratifying TES/integrated steam generation</i>	Inert filler solids Concrete	Molten salts Steam
Special block for solid materials	Solids/particles	Gas (CO ₂ , air, helium, etc.)
Latent Heat Storage		
Special equipment for PCMs	Phase-change materials (PCMs)	Steam
Chemical Storage		
Special equipment for thermo-chemical products	Thermo-chemical products or solutions	Various

ΕΙΚΟΝΑ 5.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ[36]

A. Σύστημα έμμεσης αποθήκευσης με δύο δεξαμενές

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως για αποθήκευση ενέργειας στα συστήματα με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες. Το μέσο μεταφοράς θερμότητας, θερμικό έλαιο, αφού παραλάβει την θερμική ενέργεια από τους συλλέκτες οδηγείται σε εναλλάκτη για την μεταφορά της θερμότητας έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί για παράδειγμα στην παραγωγή ατμού. Όταν εμφανίζεται πλεόνασμα θερμότητας, το θερμικό έλαιο μπορεί να οδηγηθεί σε ένα άλλο εναλλάκτη για την μεταφορά της θερμότητας στο μέσο αποθήκευσης ενέργειας, που συνήθως είναι ένα τετηγμένο άλας (νιτρικό κάλιο ή νιτρικό νάτριο). Το τετηγμένο άλας υψηλής θερμοκρασίας αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή και χρησιμοποιείται, όταν υπάρξει ανάγκη, ως πηγή θερμότητας για τη θέρμανση του θερμικού ελαίου. Το τετηγμένο άλας χαμηλής θερμοκρασία συγκεντρώνεται σε μια δεύτερη δεξαμενή και οδηγείται στο εναλλάκτη όταν υπάρχει πλεόνασμα.

B. Σύστημα άμεσης αποθήκευσης με δύο δεξαμενές

Μια εναλλακτική πρόταση για αποθήκευση ενέργειας με δύο δεξαμενές αποτελεί αυτή στην οποία το μέσο μεταφοράς θερμότητας, είναι ταυτόχρονα και το μέσο αποθήκευσης της. Έτσι αποφεύγεται η ύπαρξη ενδιάμεσου εναλλάκτη, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους και την αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Τα ρευστά που έχουν δοκιμαστεί ως τέτοια εργαζόμενα μέσα είναι τα θερμικά έλαια και τα τετηγμένα άλατα. Στην πράξη όμως, τα άμεσα συστήματα αποθήκευσης που χρησιμοποιούν θερμικά έλαια περιορίζονται να λειτουργούν σε θερμοκρασίες κάτω από τους 400°C για να εξασφαλίζεται η θερμική σταθερότητα του εργαζόμενου ελαίου. Επίσης εξαιτίας κινδύνου ανάφλεξης

του θερμού ελαίου, οι ποσότητες ελαίου που αποθηκεύονται περιορίζονται. Από την άλλη, τα τετηγμένα άλατα μπορούν να λειτουργήσουν μέχρι θερμοκρασίες 570°C, ελαττώνοντας την απαιτούμενη ποσότητα που χρειάζεται, ωστόσο η αξιοπιστία τους δεν έχει εξακριβωθεί ακόμα.

C. Σύστημα αποθήκευσης με μία δεξαμενή

Τα συστήματα με μία δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης. Οι δύο τρόποι που έχουν αναπτυχθεί είναι:

- Χρήση θερμικής κλίνης: ο τρόπος αυτός έχει χρησιμοποιηθεί σε πιλοτικά προγράμματα. Η θερμική κλίνη γεμίζει με ένα θερμικό έλαιο σαν μέσο αποθήκευσης ενέργειας και επιπλέον συμπληρώνεται με άμμο ή χαλίκια. Παρόλο που το θερμικό έλαιο είναι αποδοτικό και αξιόπιστο στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας, η χωρητικότητα αποθήκευσης των κλινών περιορίζεται από τον κίνδυνο ανάφλεξης του ελαίου και από την ύπαρξη του συμπληρωματικού υλικού.
- Σύστημα δεξαμενής με διαχωριστική διαστρωμάτωση. Για τις δεξαμενές αυτού του τύπου έχουν γίνει δύο προσεγγίσεις με την χρήση τετηγμένου άλατος:
 1. Η διαχωριστική διαστρωμάτωση γίνεται με την ύπαρξη ενός κινούμενου οριζόντιου τοίχου από ανθεκτικό υλικό ανάμεσα στο θερμό και στο ψυχρό άλας. Η πυκνότητα του υλικού επιλέγεται να βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές πυκνότητας του θερμού και ψυχρού άλατος. Το ψυχρό άλας από τον βυθό της δεξαμενής, οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας όπου θερμαίνεται και στη συνέχεια στέλνεται στο πάνω μέρος της δεξαμενής. Κατά την διάρκεια «φόρτισης» της δεξαμενής ο τοίχος κινείται προς τα κάτω καθώς αυξάνεται η ποσότητα του θερμού άλατος που βρίσκεται στο πάνω μέρος της δεξαμενής. Όταν απαιτείται μέρος της αποθηκευμένης θερμότητας, το θερμικό άλας προσδίδει την θερμότητα που έχει αποθηκεύσει μέσω ενός εναλλάκτη. Η ιδέα με την διαστρωμάτωση με τοίχο χρησιμοποιείται ήδη στην Ισπανία.
 2. Ο διαχωρισμός αναμεσα στο θερμό και ψυχρό αλάτι μπορεί να πραγματοποιηθεί με την διαμόρφωση μιας περιοχής με μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά. Η υλοποίηση αυτή της μεθόδου γίνεται με την χρήση ενός υποβρύχιου ατμοπαραγωγού μέσα στην δεξαμενή τετηγμένου άλατος. Η ύπαρξη του ατμοπαραγωγού δημιουργεί μια περιοχή όπου η θερμοκρασιακή διάφορα του άλατος είναι έντονη, ξεχωρίζοντας το άλας σε δύο ζώνες την ψυχρή και την θερμή. Με την φυσική κυκλοφορία το θερμό άλας αφού προσδώσει την θερμότητα στον ατμοπαραγωγό, κινείται προς την ψυχρή περιοχή. Και αυτή η μέθοδος αποθήκευσης με μια δεξαμενή χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στην Ιταλία και Αίγυπτο.

D. Εναλλακτικά συστήματα αποθήκευσης

- Μια εναλλακτική προσέγγιση για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι η χρήση στερεών αντί ρευστών μέσων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Το τσιμέντο ήδη χρησιμοποιείται ως μέσο αποθήκευσης και καταφέρει χωρητικότητες μέχρι και 1GWh_{th}.
- Υλικά που αλλάζουν φάση (phase change materials) μπορούν χρησιμοποιηθούν ως αποθήκη λανθάνουσας θερμότητας. Η μέθοδος αυτή, η οποία έχει εφαρμοστεί σε μικρή κλίμακα (μέχρι 1MWh), χρησιμοποιεί ένα μίγμα αλάτων καλίου και νατρίου για την αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας που εκλύεται κατά την αλλαγή φάσης του νερού - ατμού. Επίσης η μέθοδος με τα υλικά αυτά επιτρέπει μεταφορά θερμότητας με σταθερή θερμοκρασία. Για την

περαιτέρω ανάπτυξη των συστημάτων με τα υλικά αυτά απαιτείται η αναζήτηση υλικών με υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα και καταλληλότερα σημεία τήξεως.

- Τέλος έχει ερευνηθεί η θερμική αποθήκευση με την χρήση θερμοχημικών διεργασιών. Το κύριο πρόβλημα στην έρευνα αυτού του αντικειμένου, είναι η αναγνώριση και εξακρίβωση θερμοχημικών αντιδράσεων που διακρίνονται για την σταθερότητα και είναι προσιτές οικονομικά ως προς την υλοποίησή τους.

5.3.2. Κόστος αποθήκευσης ενέργειας

Το κόστος για την αποθήκευση ενέργειας αποτελεί ένας από τους παράγοντες που πρέπει να λάβει υπόψιν ο επενδυτής όταν αποφασίσει την κατασκευή ενός ηλιοθερμικού συστήματος. Τα ηλιοθερμικά συστήματα χωρίς αποθήκευση θερμικής ενέργειας επιτυγχάνουν συντελεστή χρησιμοποίησης C_f γύρω στο 20%-25%, ενώ με την εγκατάσταση ενός συστήματος αποθήκευσης για την λειτουργία σε ονομαστική ισχύ για τουλάχιστον 6 ώρες, ο συντελεστής διπλασιάζεται $C_f=40\%-55\%$. Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα κόστη αποθήκευσης ανάλογα την τεχνολογία.

Storage concept/material	Storage capacity (kWh/m ³)	Actual cost (€/kWh)	Cost expectation (€/kWh)
Sensible: liquid (depending on ΔT)	30–90	30–70	20–50
Sensible: solid (depending on ΔT)	20–100	30–50	15–30
Phase-change materials	50–150	80–120	30–50
Thermo-chemical reactions	250–400	n.a.	10–50

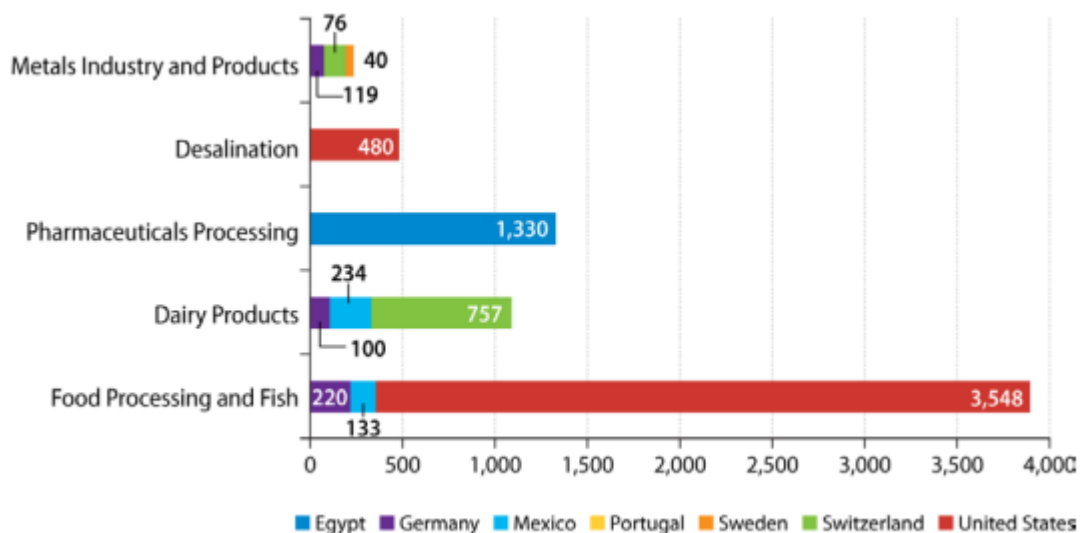
ΕΙΚΟΝΑ 5.3.2 ΤΑ ΚΟΣΤΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ[36]

Σύμφωνα με την International Energy Agency (IEA)[36], για τη μείωση του κόστους αποθήκευσης πρέπει οι ερευνητικές προσπάθειες να επικεντρωθούν στους παρακάτω τομείς:

- Ανάπτυξη νέων τετηγμένων αλάτων που θα έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.
- Ανάπτυξη νέων υλικών αλλαγής φάσεως με υψηλή θερμική αγωγιμότητα και σταθερότητα, κατάλληλο σημείο τήξεως και οικονομικά βιώσιμων όταν παράγεται μαζικά. Μέχρι στιγμής, έχουν εντοπιστεί άλατα που ικανοποιούν κάποια κριτήρια, αλλά το κόστος παραγωγής τους είναι υψηλό ή δεν έχουν κατάλληλο σημείο τήξεως για τα ηλιοθερμικά συστήματα
- Ανάπτυξη φτηνών στερέων μέσων αποθήκευσης με καλή θερμοχωρητικότητα, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και χαμηλή θερμική διαστολή. Τα συστήματα με χρήση τσιμέντου, χαλκιού και cofalit (μορφή γυαλιού από υπολείμματα ασβέστη) έχουν εγκριθεί ως κατάλληλα για αποθήκευση ωστόσο μόνο συστήματα με τσιμέντο, το οποίο έχει την χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τα τρία, μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν για μεγάλες αποθηκευτικές μονάδες.
- Εντοπισμός θερμοχημικών διεργασιών που να είναι κατάλληλες για το εύρος θερμοκρασιών που χρειάζονται στις ηλιοθερμικές μονάδες και επιπλέον να είναι εφικτή η χρήση τους σε εμπορικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.

5.4. Παραδείγματα εφαρμογών με ηλιοθερμικά συστήματα

Ο βιομηχανικός τομέας έχει τεράστια ανάγκη σε θερμότητα ώστε να μπορέσει να διεκπεραιώσει την παραγωγή του. Η ικανοποίηση της ανάγκης αυτής επιτυγχάνεται ή με άμεση θέρμανση ή με παραγωγή ατμού, όπου ο ατμός παράγεται από έναν λέβητα, στον οποίο καίγεται συνήθως ένα ορυκτό καύσιμο. Από τα στοιχεία μιας έρευνας, βρέθηκε ότι στην Γερμανία το 74% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιείται για να καλυφθεί η ζήτηση σε χρήσιμη θερμότητα για επεξεργασία προϊόντων, για θέρμανση χώρου και για θέρμανση νερού[38]. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των ηλιοθερμικών συστημάτων εστιάζοταν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν δείγματα ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων που το τελικό προϊόν είναι χρήσιμη θερμότητα. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η κατανομή ισχύος των ηλιοθερμικών συστημάτων ανάλογα με το είδος βιομηχανίας την οποία εξυπηρετούν καθώς και χωρά στην οποία βρίσκονται.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ[39]

A. Modesto Frito Lay Food Processing Plant[39]

Εταιρία	Frito Lay plant
Τοποθεσία	Καλιφόρνια
Τομέας	Επεξεργασία πατάτας
Κατασκευαστής συστήματος	Industrial Solar Technology
Τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων	Παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες
Εγκατεστημένη ισχύς(kWth)	2633.3
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	5387
Εργαζόμενο μέσο(HTF)	Νερό
Χρήση θερμικής ενέργειας	Θέρμανση λαδιού
Συστήμα αποθήκευσης	Όχι
Κόστος	\$3,950,000.00
Έναρξη λειτουργίας	2008

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑ ΣΤΗΝ FRITO LAY

Η βιομηχανία τροφίμων Frito Lay εγκατέστησε ένα ηλιοθερμικό σύστημα για να παράγει ζεστό νερό 246°C για την θέρμανση του λαδιού, που προορίζεται για το τηγάνισμα πατάτας. Ο στόχος της ηλιοθερμικής εγκατάστασης είναι μείωση των εξόδων από την κατανάλωση φυσικού αερίου κατά 20%. Πριν από αυτήν την επένδυση, η εταιρία θέρμαινε το απαιτούμενο λαδί μέσα σε λέβητα. Τελικά η εξοικονόμηση που επιτεύχθηκε, ήταν της τάξης του 14% λόγω κάποιων περιπλοκών στο σύστημα.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.2 ΟΙ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ FRITO LAY[39]

B. Cremo SA[40]

Εταιρία	Cremo SA
Τοποθεσία	Ελβετία
Τομέας	Γαλακτομικά προϊόντα
Κατασκευαστής συστήματος	NEP Solar AG
Τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων	Παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες
Εγκατεστημένη ισχύς(kWth)	330
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	581
Εργαζόμενο μέσο(HTF)	Νερό
Χρήση θερμικής ενέργειας	Επεξεργασία γάλακτος, παραγωγή κρέμας καφέ
Συστήμα αποθήκευσης	όχι
Κόστος	€ 700,000.00
Έναρξη λειτουργίας	2013

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΤΗΣ CREMO SA

Η εταιρία γαλακτοκομικών προϊόντων Cremo SA εγκατέστησε στην οροφή των κτιρίων της, το σύστημα των παραβολικών συλλεκτών για την παραγωγή δύο προϊόντων: ένα μέρος του νερού που ρέει στους συλλέκτες μετατρέπεται σε ατμό 170°C για διαδικασίες αποστείρωσης ενώ το υπόλοιπο μέρος μετατρέπεται σε ατμό 125°C για την επεξεργασία γάλακτος.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.3 ΟΙ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΣΤΗΝ ΟΡΟΦΗ ΤΗΣ CREMO SA[40]

C. NESTLE Dairy Plant CHAPA DE CORZO[40]

Εταιρία	NESTLE Dairy Plant CHAPA DE CORZO
Τοποθεσία	Μεξικό
Τομέας	Γαλακτομικά προϊόντα
Κατασκευαστής συστήματος	INVENTIVE POWER SAPI DE CV
Τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων	Παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες
Εγκατεστημένη ισχύς(kWth)	126
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	224.5
Εργαζόμενο μέσο(HTF)	Νερό
Χρήση θερμικής ενέργειας	Επεξεργασία γάλακτος
Συστήμα αποθήκευσης	Ναι(μικρής διάρκειας αποθήκευση νερού)
Κόστος	€ 100,000.00
Έναρξη λειτουργίας	2014

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΤΗΣ NESTLE DAIRY PLANT

Το θερμό νερό που παράγεται για την επεξεργασία του γάλακτος είναι στους 90°C.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.4 Η ΜΟΝΑΔΑ ΜΕ ΤΑ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ ΣΤΗΝ NESTLE[40]

D. Thai Solar Energy 1 (TSE1)[41]

Project	Thai Solar Energy 1 (TSE1)
Εταιρία	Thai Solar Energy Co.Ltd
Τοποθεσία	Ταϊλάνδη
Τομέας	Ηλεκτροπαραγωγή
Κατασκευαστής συστήματος	Solarlite GmbH
Τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων	Παραβολικοί κοίλοι συλλέκτες
Εγκατεστημένη ισχύς(kW _e)	5000
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	450000
Εργαζόμενο μέσο(HTF)	Νερό-ατμός
Χρήση θερμικής ενέργειας	Παραγωγή ατμού
Συστήμα αποθήκευσης	όχι
Έναρξη λειτουργίας	2012

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ TSE1

Το πρόγραμμα Thai Solar Energy 1 (TSE1) αποτελεί ένα από τα πρωτοπόρα προγράμματα ηλεκτροπαραγωγής με ηλιοθερμικά συστήματα καθώς πραγματοποιείται άμεση παραγωγή ατμού μέσα στους συλλέκτες(Direct steam generation). Η μονάδα περιλαμβάνει 86 συλλέκτες μοντέλου SL 4600 οι οποίοι παραλαμβάνουν νερό στους 201°C και παράγουν ατμό 340°C στα 30bar. Ο ατμός εκτονώνεται σε έναν ατμοστρόβιλο 5MW κατασκευής MAN και παράγονται ετησίως 8000MWh. Η ηλεκτρική απόδοση του συστήματος είναι 12%.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.5 ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ THAI SOLAR ENERGY 1[39]

5.5. Διαστασιολόγηση ηλιοθερμικού συστήματος για την γαλακτοβιομηχανία και κοστολόγηση

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας έγινε προσπάθεια καθορισμού του μεγέθους και του κόστους ενός ηλιοθερμικού συστήματος για την γαλακτοβιομηχανία. Η τεχνολογία ηλιοθερμικού συστήματος που επιλέχθηκε για αυτόν το σκοπό είναι με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες καθώς είναι η πιο διαδεδομένη για τέτοιες εφαρμογές. Το μοντέλο των συλλεκτών που θα χρησιμοποιηθεί είναι το SL 4600 της SolarLite[42], διότι η περιοχή λειτουργίας του είναι κατάλληλη για εφαρμογή της γαλακτοβιομηχανίας (μέχρι 250°C). Οι παραβολικοί συλλέκτες SL 4600 αποτελούνται από κομμάτια, καθένα από τα οποία έχει μήκος 12m, και πλάτος ανοίγματος της παραβολής 4.6m. Η επιφάνεια που καταλαμβάνει ένα κομμάτι είναι 55.2m². Το ρευστό που ρέει μέσα στον απορροφητή είναι νερό/ατμός.

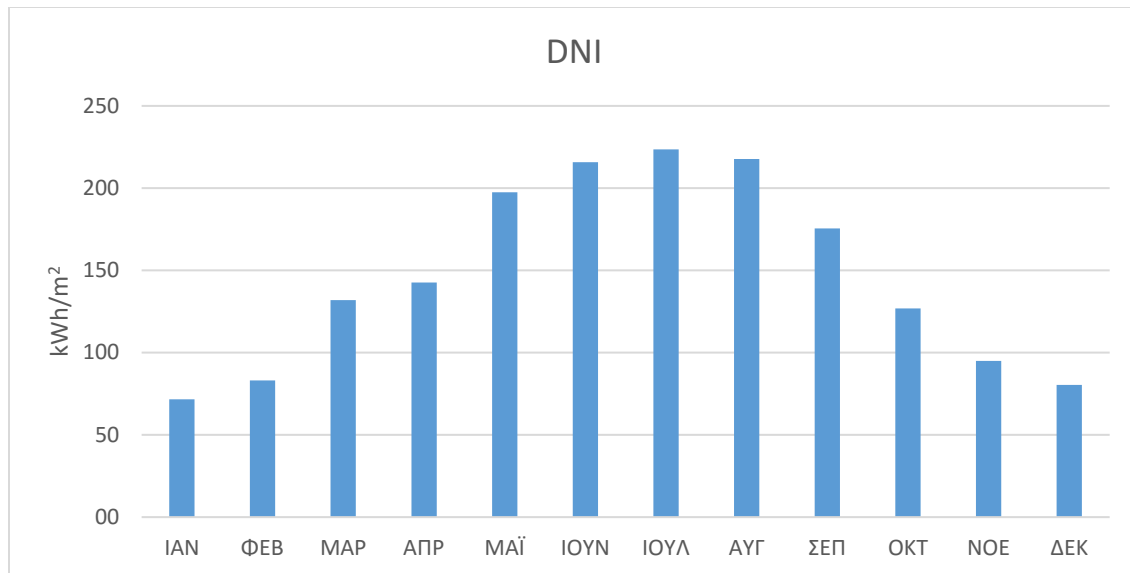
Ένας συλλέκτης μπορεί να περιλαμβάνει μέχρι 10 τέτοια κομμάτια, φτάνοντας μήκος 120m και επιφάνεια 552m². Ωστόσο ο χώρος που θα αντιστοιχεί σε κάθε συλλέκτη θα είναι μια επιφάνεια 200m x 11m = 2200m². Ο κάθε συλλέκτης θα απέχει από τον πλησιέστερο του 11m ενώ το περιθώριο των 80m δίνεται για το σύστημα μεταφοράς του εργαζόμενου μέσου. Περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά για τους συλλέκτες παρατίθενται στο τέλος της εργασίας.

Στοιχεία SL4600	
Μήκος Κομματιού	12.0 m
Πλάτος	4.6 m
Οπτικός Βαθμός Απόδοσης	0.75
HTF	Νερό/Ατμός

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ SL4600

Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας

Από τα κλιματικά δεδομένα του ΤΕΕ για διάφορες ελληνικές περιοχές, προσδιορίζονται οι μηνιαίες τιμές DNI (Direct Normal Irradiation) δυναμικού για την περιοχή της Πάτρας[43]. Συγκεκριμένα επιλέγεται μια χαρακτηριστική μέρα για κάθε μήνα του έτους και υπολογίζεται η διακύμανση της ωριαίας άμεσης ακτινοβολίας κάθετου επιπέδου I_{bn} (kWh/m²) για την διάρκεια της. Θεωρώντας ότι κάθε μέρα του μήνα ισχύουν τα ίδια δεδομένα με την χαρακτηριστική, υπολογίζεται η συνολική άμεση ακτινοβολία για κάθε μήνα. Τα στοιχεία που υπολογίστηκαν, βασίστηκαν στην μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον κ. Αθανάσιο Παπαδόπουλο.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5.1 DNI ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΤΡΑ

Οι ηλιακοί συλλέκτες ανάλογα με την κλίση τους, παραλαμβάνουν ένα μέρος της άμεσης ακτινοβολίας κάθετου επιπέδου, την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

$$I_{bT} = I_{bn} * \cos \theta$$

Όπου θ είναι η γωνία πρόσπτωσης, δηλαδή η γωνία μεταξύ των προσπιπτουσών ηλιακών ακτινών και της κάθετου στην επιφάνεια.

Στα συγκεντρωτικά ηλιοθερμικά συστήματα, οι συλλέκτες διαθέτουν μηχανισμό κίνησης περί άξονα ώστε να παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου. Για τα συστήματα με παραβολικούς συλλέκτες ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι στρεπτή κίνηση περί άξονα διεύθυνσης βορρά-νότου με συνεχή ρύθμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται η γωνία πρόσπτωσης θ . Ο μηχανισμός κίνησης επιτρέπει στο σύστημα να κινείται έτσι ώστε να ακολουθεί την πορεία του ήλιου από την ανατολή έως την δύση. Η γωνία θ προκύπτει από την σχέση:

$$\cos \theta = [(\sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega)^2 + (\cos \delta)^2 * (\sin \omega)^2]^{1/2}$$

Οπού,

φ το γεωγραφικό πλάτος, δ η ηλιακή απόκλιση και ω η ωριαία γωνία.

Απόδοση συγκεντρωτικών παραβολικών συλλεκτών.

Η απόδοση ενός συγκεντρωτικού ηλιοθερμικού συστήματος καθορίζεται από δύο παράγοντες. Το οπτικό βαθμό απόδοσης και τις θερμικές απώλειες του απορροφητή[44].

$$\eta = \eta_{οπτ} - \eta'$$

Όπου, η ο ολικός βαθμός απόδοσης, $\eta_{οπτ}$ ο οπτικός βαθμός απόδοσης, και η' ο παράγοντας θερμικών απωλειών.

$$\eta = \frac{Q_{\omega\phi\epsilon\lambda}}{I_{bT}}$$

$$\eta_{\sigma\pi\tau} = \frac{Q_{\alpha\pi\sigma\rho}}{I_{bT}}$$

$$\eta' = \frac{Q_{\alpha\pi}}{I_{bT}}$$

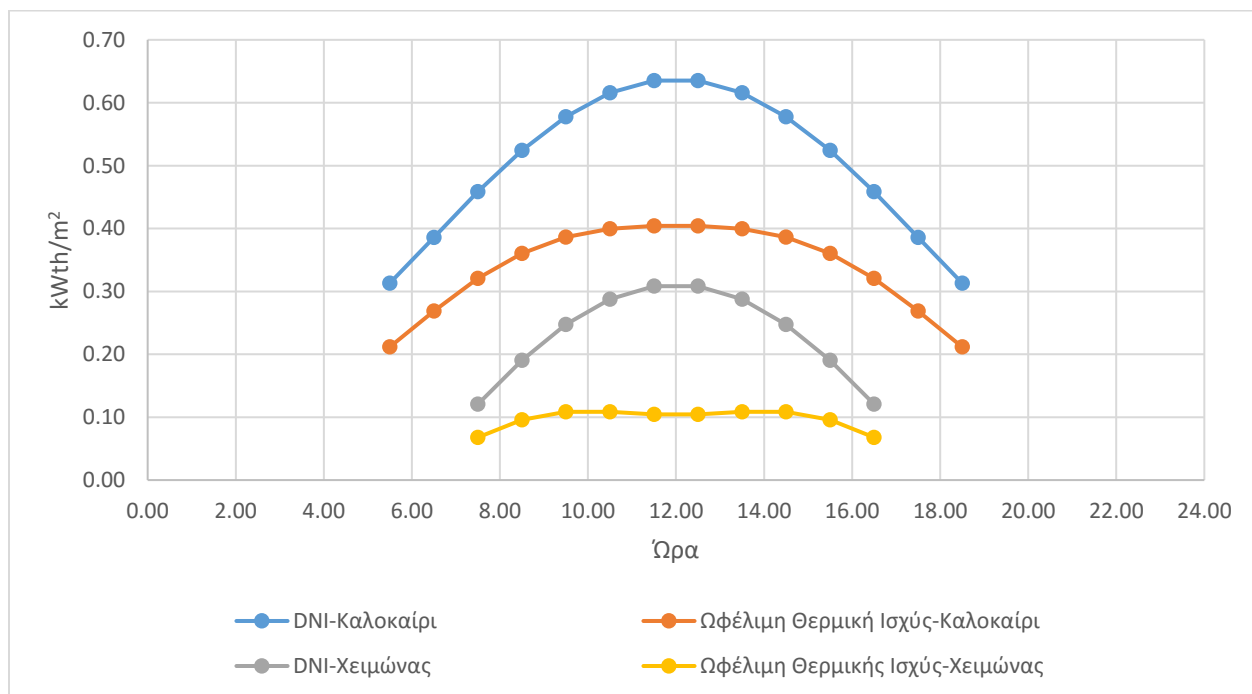
Οπού I_{bT} η προσπίπτουσα ακτινοβολία

$Q_{\omega\phi\epsilon\lambda}$ η ωφέλιμη θερμική ενέργεια

$Q_{\alpha\pi\sigma\rho}$ η θερμική ενέργεια που παραλαμβάνει ο απορροφητής

$Q_{\alpha\pi}$ οι θερμικές απώλειες του απορροφητή. Η τιμή των θερμικών απωλειών εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού μεταφοράς θερμότητας που ρέει μέσα στον απορροφητή και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Για τους χειμερινούς μήνες (Οκτώβριος- Μάρτιος) οι θερμικές απώλειες είναι 10%, ενώ για τους καλοκαιρινούς μήνες (Απρίλιος- Σεπτέμβριος) οι θερμικές απώλειες πέφτουν στο 5%[45].

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται για μια χαρακτηριστική ημέρα καλοκαιριού (Αύγουστος) και μία χαρακτηριστική ημέρα χειμώνα (Ιανουάριος), η μεταβολή της άμεσης ακτινοβολίας κάθετου επιπέδου και της ωφέλιμης θερμικής ισχύς που εκμεταλλεύεται το επιλεγμένο σύστημα παραβολικών συλλεκτών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5.2 DNI ΚΑΙ ΩΦΕΛΙΜΗ ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΓΙΑ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ ΚΑΙ ΧΕΙΜΩΝΑ

Διαστασιολόγηση συστήματος

Η διαστασιολόγηση του ηλιοθερμικού συστήματος βασίζεται στην θερμικές ανάγκες της γαλακτοβιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζεται ο μήνας, του οποίου η χαρακτηριστική ημέρα εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή ωριαίας άμεσης ακτινοβολίας κάθετου επιπέδου $I_{b,n}$.

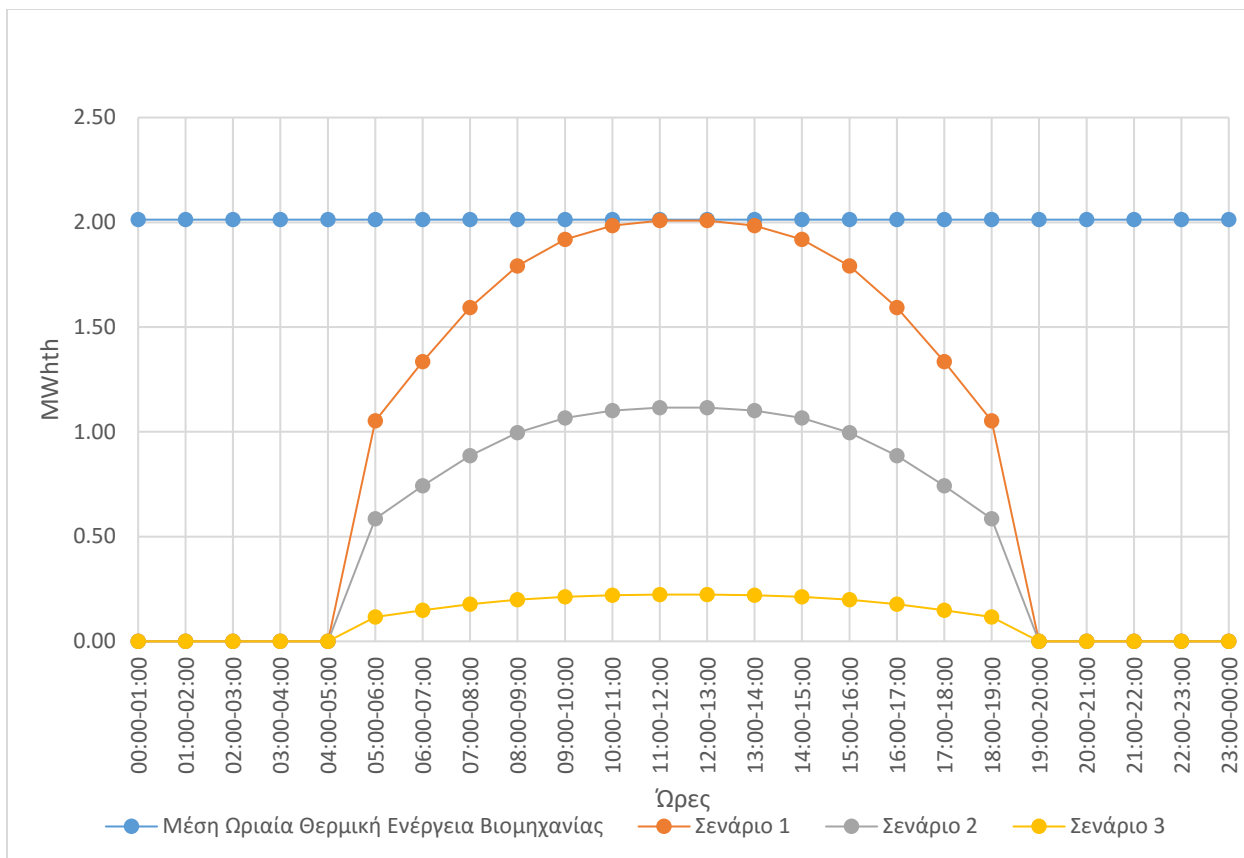
Μήνας	$I_{b,n}$ (kWh/m ²)
Ιανουάριος	0.308
Φεβρουάριος	0.374
Μάρτιος	0.463
Απρίλιος	0.446
Μάιος	0.570
Ιούνιος	0.627
Ιούλιος	0.632
Αύγουστος	0.635
Σεπτέμβριος	0.606
Οκτώβριος	0.498
Νοέμβριος	0.404
Δεκέμβριος	0.344

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.2 ΩΡΙΑΙΑ ΑΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Στην περίπτωση της Πάτρας είναι ο Αύγουστος. Η μέση ημερήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας της βιομηχανίας κατά την διάρκεια του μήνα αυτού είναι $48.3 \frac{MWh_{th}}{day}$, η οποία άμα κατανεμηθεί ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της ημέρας είναι $2.0125 \frac{MWh_{th}}{hour}$. Η συνολική επιφάνεια του ηλιοθερμικού πεδίου επιλέγεται έτσι ώστε να καλύπτεται η συγκεκριμένη ποσότητα θερμικής ενέργειας. Κατασκευάζονται τρία σενάρια ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης της παραπάνω ωριαίας ανάγκης σε θερμική ενέργεια στην διάρκεια της χαρακτηριστικής ημέρας του συγκεκριμένου μήνα.

Σενάρια	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ποσοστό κάλυψης	100.0%	56.0%	11.5%
Αριθμός Συλλεκτών	9	5	1
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	4968	2760	552
Συνολική επιφάνεια πάρκου(m ²)	19800	11000	2200

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ.

Για κάθε σενάριο υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας από το ηλιοθερμικό σύστημα. Η ποσότητα αυτή εξοικονομείται πλέον, καθώς δεν απαιτεί κατανάλωση καυσίμου για την παραγωγή της. Στην συνέχεια υπολογίζεται η νέα κατανάλωση καυσίμου για την κάλυψη του υπόλοιπου μέρους της θερμικής ενέργειας που χρειάζεται η βιομηχανία για την λειτουργία της. Η διαφορά ανάμεσα στο αρχικό και τελικό κόστος καυσίμου, θεωρείται κέρδος από την επένδυση στην ηλιοθερμική εγκατάσταση.

Οικονομική Ανάλυση

Για την οικονομική ανάλυση των τριών σεναρίων ακολουθείται η παρακάτω οικονομική ανάλυση, διαφορετική από αυτή που εφαρμόζεται στα συστήματα συμπαραγωγής. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι παρακάτω οικονομικοί δείκτες: Καθαρή Χρηματοροή(KX), Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ- Net Present Value), Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR, Internal Rate of Return), Απλή Περίοδος Αποπληρωμής(SPP- Simple Payback Period), Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (DPP- Discounted Payback Period), Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας (EPC, Energy Production Cost).

Καθαρή Χρηματοροή :

$$KX = (AKK - TKK - ΚΛΣ)$$

Καθαρή Παρούσα Αξία:

$$ΚΠΑ = -K_o + \sum_{t=1}^n \frac{KX_t}{(1+r)^t}$$

Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης:

$$ΚΠΑ_{(r=IRR)} = 0 \rightarrow -K_o + \sum_{t=1}^n \frac{KX_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

Απλή Περίοδος Αποπληρωμής:

$$SPP = \frac{K_o}{KX}$$

Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής:

$$ΚΠΑ_{(n=DPP)} = 0 \rightarrow -K_o + \sum_{t=1}^{DPP} \frac{KX_t}{(1+r)^t} = 0$$

Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας:

$$EPC \left(\frac{\text{€}}{MWh} \right) = \frac{R * K_o + ΚΣΛ}{\Theta E}$$

Όπου R ο συντελεστής αναγωγής (ετήσια επιβάρυνση αρχικού κεφαλαίου) που ορίζεται ως:

$$R = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

Τα μεγέθη που αναφέρονται παρακάτω είναι ετήσια.

Όπου:

ΑΚΚ: Κόστος καυσίμου πριν την εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος,

ΤΚΚ: Κόστος καυσίμου μετά την εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος,

ΚΛΣ: Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης,

ΘΕ: Θερμική ενέργεια που παράγεται από την εγκατάσταση

r: επιτόκιο αναγωγής

Το επιτόκιο αναγωγής r λαμβάνεται 8%, ενώ ο χρονικός ορίζοντας ορίζεται στα 20 χρόνια.

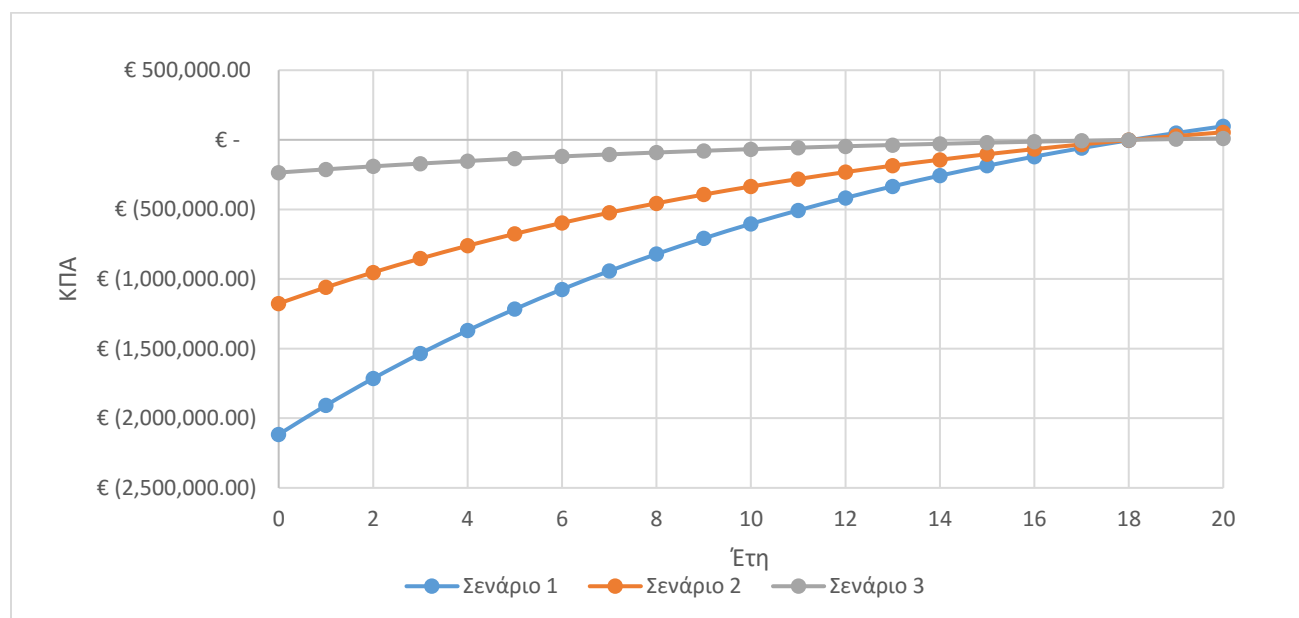
Τα παρακάτω στοιχεία χρησιμοποιούνται για την οικονομική ανάλυση[46],[22]:

Κόστος Εγκατάστασης (€/m ²)	426
Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης	1% του κόστους εγκατάστασης

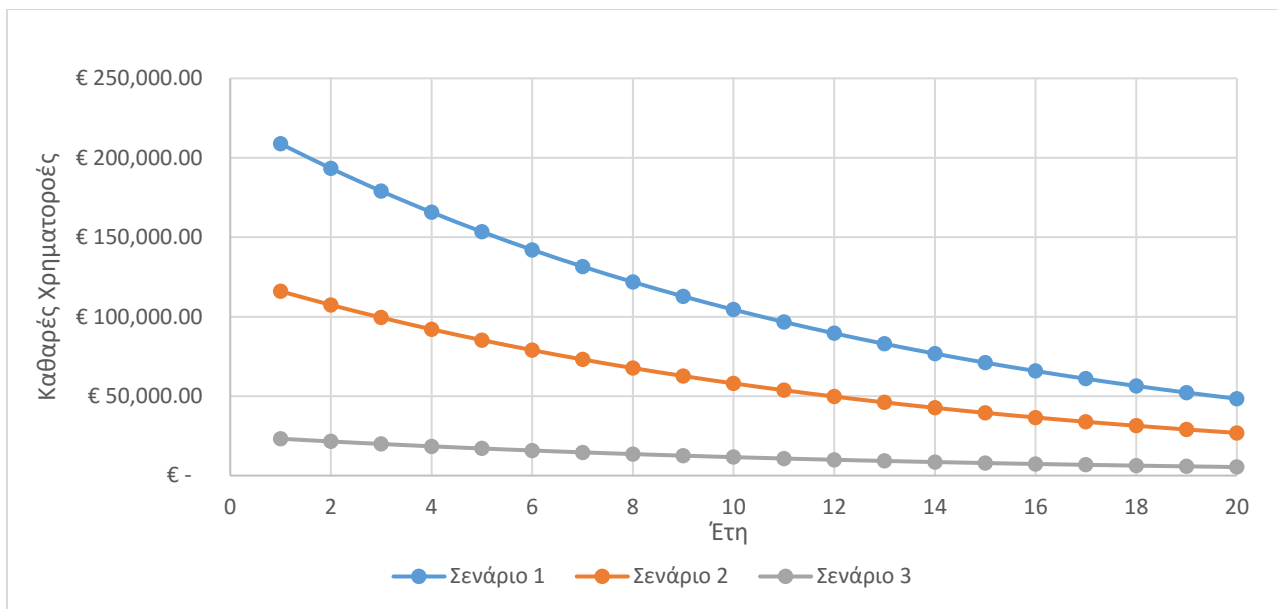
Αποτελέσματα οικονομικής αξιολόγησης

Σενάρια	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ποσοστό κάλυψης	100.0%	56.0%	11.5%
Αριθμός Συλλεκτών	9	5	1
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	4968	2760	552
Συνολική επιφάνεια(m ²)	19800	11000	2200
Παραγόμενη Ενέργειας(MWh _{th})	5294	2941	588
Κόστος εγκατάστασης	€ 2,116,368.00	€ 1,175,760.00	€ 235,152.00
Κόστος Λειτουργίας/Συντήρησης	€ 21,163.68	€ 11,757.60	€ 2,351.52
Αρχικό κόστος καυσίμου	€ 900,000.00	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Τελικό κόστος καυσίμου	€ 653,355.85	€ 762,975.47	€ 872,595.09
Κέρδος	€ 246,644.15	€ 137,024.53	€ 27,404.91
ΚΠΑ	€ 97,432.52	€ 54,129.18	€ 10,825.84
IRR	8.61%	8.61%	8.61%
EPIC(€/MWh _{th})	44.71	44.71	44.71
SPP(έτη)	8.6	8.6	8.6
DPP(έτη)	18.1	18.1	18.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΠΑ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5.5 ΚΑΘΑΡΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

Κεφάλαιο 6. Σύγκριση εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων

6.1. Αποτελέσματα

Για την σύγκριση των διάφορων εναλλακτικών σχεδίων για την παραγωγή της χρήσιμης θερμότητας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία. Από τους αεριοστρόβιλους θα μελετηθεί η πρόταση με το μοντέλο Solar Saturn 20. Για διευκόλυνση της παρουσίασης, οι εναλλακτικές προτάσεις αντικαταστάθηκαν με αριθμημένες επενδύσεις. Η αντιστοίχιση είναι η εξής:

Επένδυση 1	Σύστημα λέβητα βιομάζας με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης
Επένδυση 2	Σύστημα λέβητα βιομάζας με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης
Επένδυση 3	Solar Saturn 20
Επένδυση 4	B3540 NV12
Επένδυση 5	2xKRNG-412
Επένδυση 6	KRNG-412 + J616
Επένδυση 7	Ηλιοθερμικό σύστημα με παραβολικούς συλλέκτες

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.1 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ-ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Επένδυση	1	2	3
$P_{el}(kW)$	1353.8	433.0	1204.0
$Q_{th}(kW)$	2236.0	2236.0	2601.0
$Q_f(kW)$	5398.5	2966.9	4949.0
η_{el}	25.08%	14.59%	24.33%
η_h	41.42%	75.36%	45.58%
η	66.50%	89.96%	69.91%
PESR			10.32%
Παραγ. ηλ.ενέργ.(MWh)	11697.20	3740.98	10402.56
Κατ. καυσίμου(Nm ³ or tn)	8837.67	4857.03	4002156.48
Κόστος εγκατάστασης	€ 14,576,010.00	€ 8,010,720.00	€ 1,204,000.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 23,394.40	€ 7,481.96	€ 41,610.24
Κόστος καυσίμου	€ 795,389.85	€ 437,132.34	€ 1,820,981.20
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργεια	€ 1,988,524.01	€ 740,714.39	€ 997,809.84
Έσοδα από θερμική ενέργεια	€ 900,000.00	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 2,069,739.76	€ 1,196,100.08	€ 35,218.41
ΚΠΑ	€ 5,745,000.06	€ 3,732,766.93	€ (858,220.50)
IRR	12.96%	13.81%	-4.640%
ERC(€/MWh)	€ 196.92	€ 336.95	€ 190.84
SPP(έτη)	7.04	6.70	34
DPP(έτη)	10.77	9.97	Περισσότερα από 50

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΜΕΡΟΣ 1)

Επένδυση	4	5	6
$P_{el}(kW)$	5100	4850	4994
$Q_{th}(kW)$	2328	2459	2480
$Q_f(kW)$	11010	11250	11486
η_{el}	46.32%	43.11%	43.83%
η_h	21.14%	21.86%	21.34%
η	67.46%	64.97%	65.17%
PESR	13.86%	10.27%	10.89%
Παραγ. ηλ.ενέργ.(MWh)	44064	41904	43148.16
Κατ. καυσίμου(Nm ³)	8903565	9097648	9288497
Κόστος εγκατάστασης	€ 5,100,000.00	€ 4,850,000.00	€ 4,994,000.00
Κόστος λειτουργίας/συντήρησης	€ 264,384.00	€ 251,424.00	€ 258,888.96
Κόστος καυσίμου	€ 4,051,122.04	€ 4,139,429.88	€ 4,226,265.92
Έσοδα από ηλεκτρική ενέργεια	€ 3,962,219.16	€ 4,019,416.73	€ 4,138,756.11
Έσοδα από θερμική ενέργεια	€ 900,000.00	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Κέρδος	€ 546,713.12	€ 528,562.85	€ 553,601.23
ΚΠΑ	€ 267,709.95	€ 339,507.96	€ 441,338.50
IRR	8.70%	8.93%	9.17%
EP(€/MWh)	€ 109.73	€ 116.57	€ 115.74
SPP(έτη)	9.33	9.18	9.02
DPP(έτη)	17.82	17.2	16.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΜΕΡΟΣ 2)

Επένδυση 7	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ποσοστό κάλυψης	100.0%	56.0%	11.5%
Αριθμός Συλλεκτών	9	5	1
Επιφάνεια Συλλεκτών(m ²)	4968	2760	552
Συνολική επιφάνεια(m ²)	19800	11000	2200
Παραγόμενη Ενέργειας(MWh _{th})	5294	2941	588
Κόστος εγκατάστασης	€ 2,116,368.00	€ 1,175,760.00	€ 235,152.00
Κόστος Λειτουργίας/Συντήρησης	€ 21,163.68	€ 11,757.60	€ 2,351.52
Αρχικό κόστος καυσίμου	€ 900,000.00	€ 900,000.00	€ 900,000.00
Τελικό κόστος καυσίμου	€ 653,355.85	€ 762,975.47	€ 872,595.09
Κέρδος	€ 246,644.15	€ 137,024.53	€ 27,404.91
ΚΠΑ	€ 97,432.52	€ 54,129.18	€ 10,825.84
IRR	8.61%	8.61%	8.61%
EP(€/MWh _{th})	44.71	44.71	44.71
SPP(έτη)	8.6	8.6	8.6
DPP(έτη)	18.1	18.1	18.1

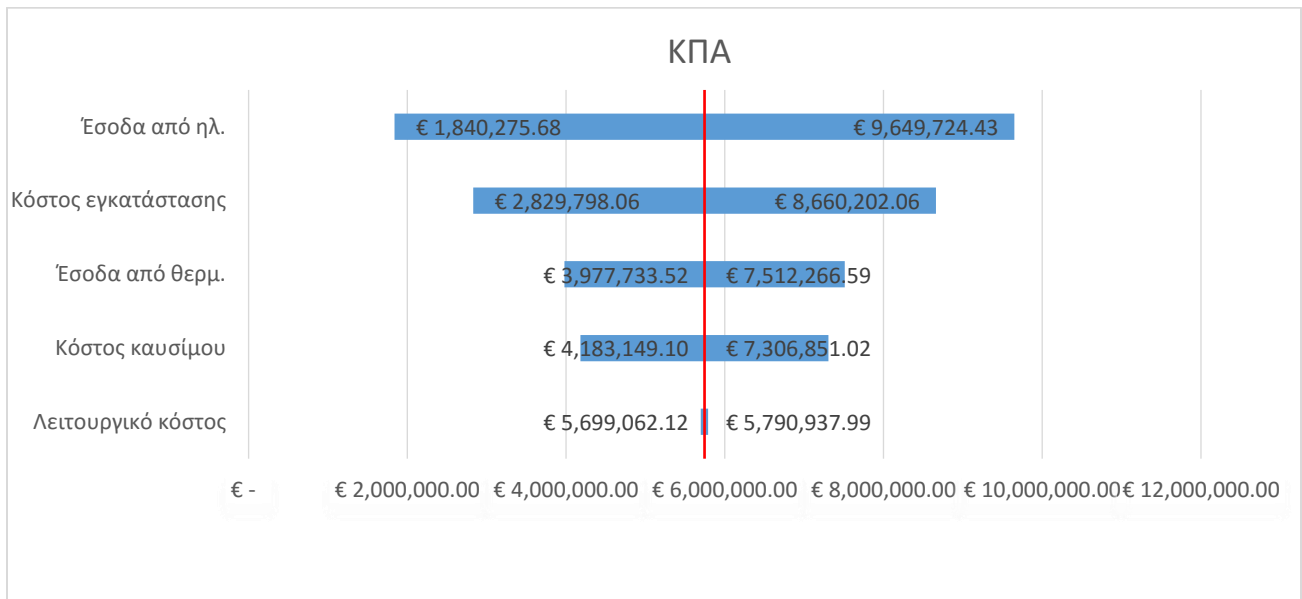
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τις τιμές των οικονομικών δεικτών, φαίνεται ότι οι επενδύσεις που είναι περισσότερο συμφέρουσες είναι αυτές με τους ατμοστρόβιλους με λέβητες βιομάζας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο χαμηλό κόστος καυσίμου και στην υψηλή τιμή πώλησης της ηλεκτρικής μεγαβατώρας. Ωστόσο έχουν υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγάλο αρχικό κεφάλαιο.

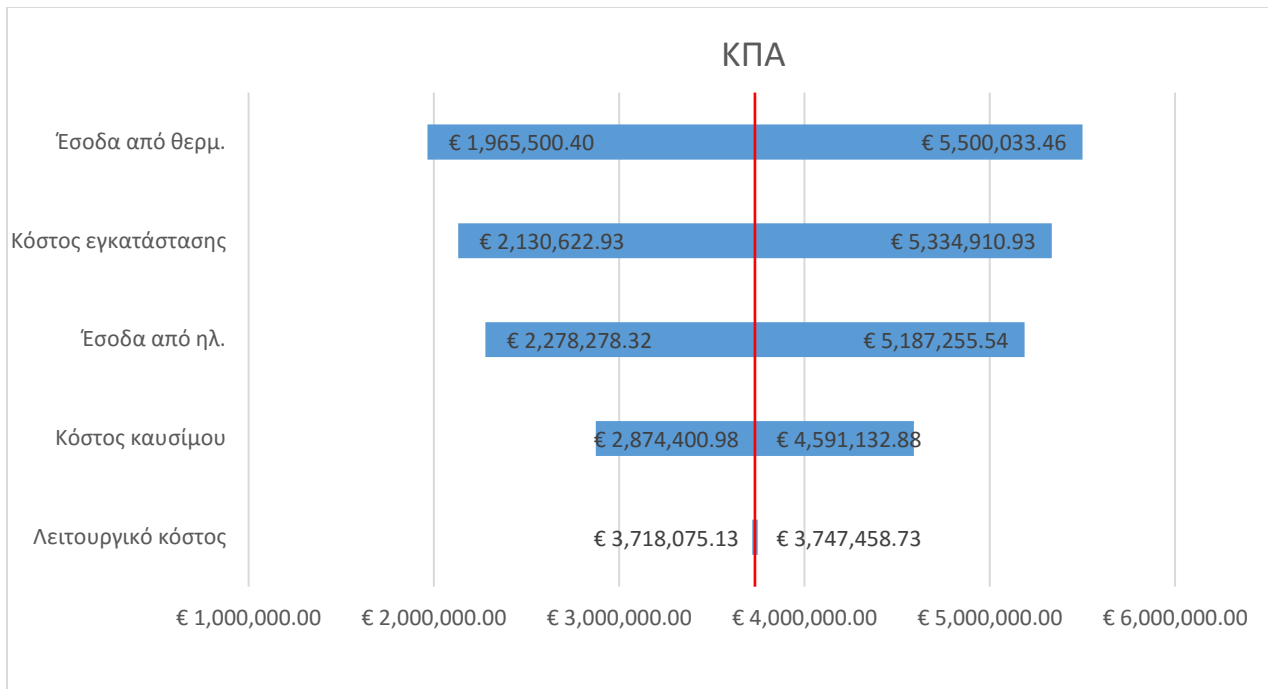
Τα συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές έχουν θετικούς οικονομικούς δείκτες. Αυτό οφείλεται στον υψηλό ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης που εμφανίζουν, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για πώληση στο δίκτυο. Ωστόσο δεν αξιοποιούνται πλήρως τα συστήματα αυτά, καθώς ένα μέρος της ωφέλιμης θερμικής ισχύς μένει ανεκμετάλλευτο. Η πρόταση με τον αεριοστρόβιλο κρίνεται μη συμφέρουσα, καθώς εμφανίζει μικρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

6.2. Ανάλυση ευαισθησίας ΚΠΑ

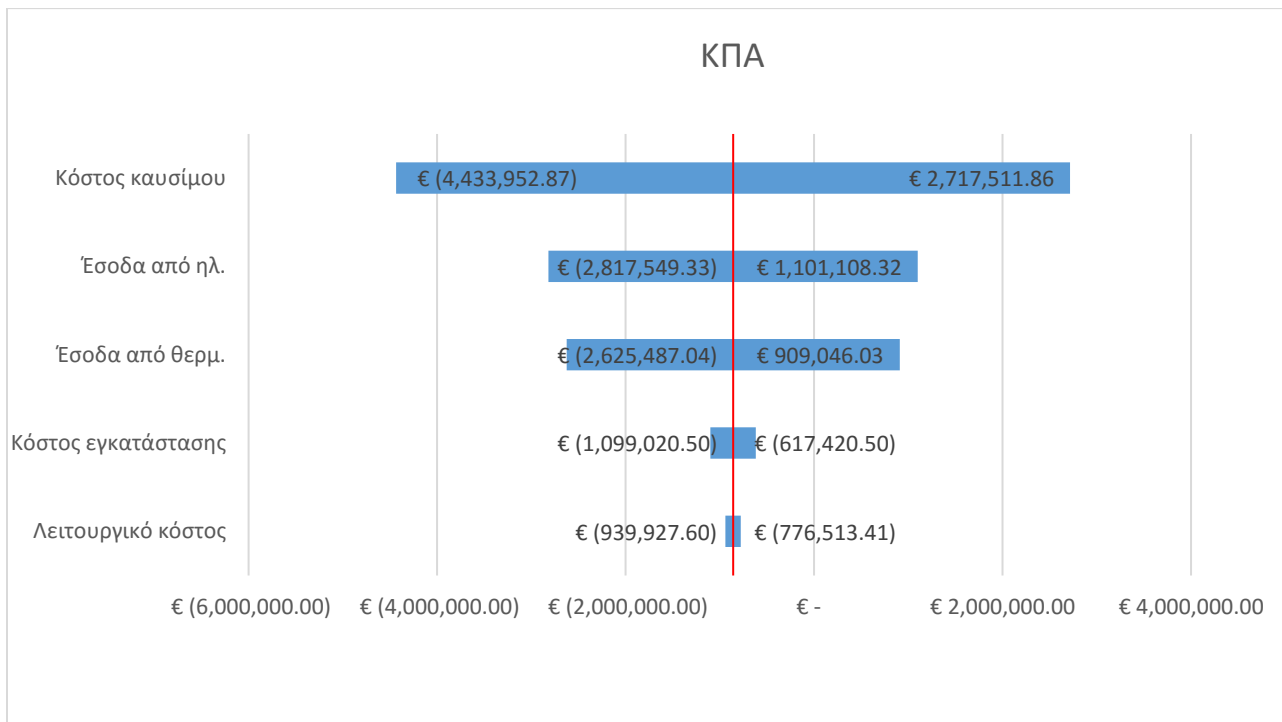
Για την ανάλυση ευαισθησίας της ΚΠΑ των επενδυτικών σχεδίων κατασκευάζονται τα διαγράμματα τύπου «Ανεμοστρόβιλος»[47]. Για την διαμόρφωση των διαγραμμάτων αυτών, πρέπει να προσδιοριστεί η μεταβολή που προκαλεί μια παράμετρος ενός επενδυτικού σχεδίου στην ΚΠΑ, όταν η παράμετρος αυτή μεταβληθεί ποσοστιαία κατά τα -20% και 20%. Με το τρόπο αυτό εντοπίζονται και οι κρίσιμες παραμέτρους που επηρεάζουν μια επένδυση.



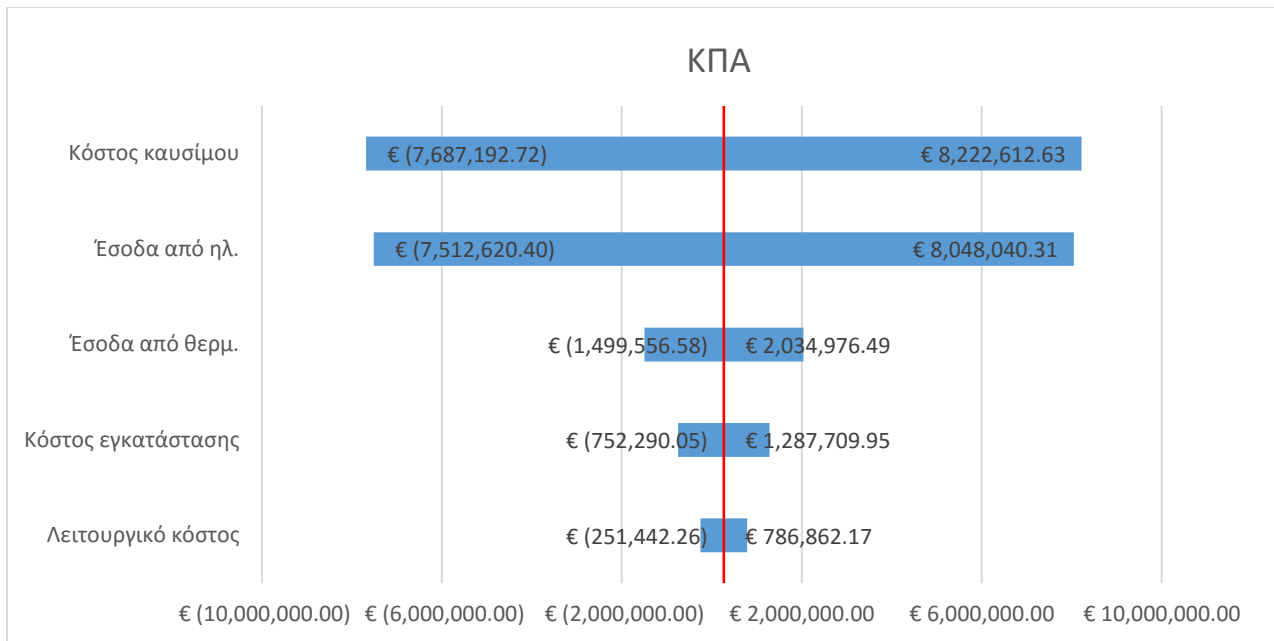
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 1-ΛΕΒΗΤΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ



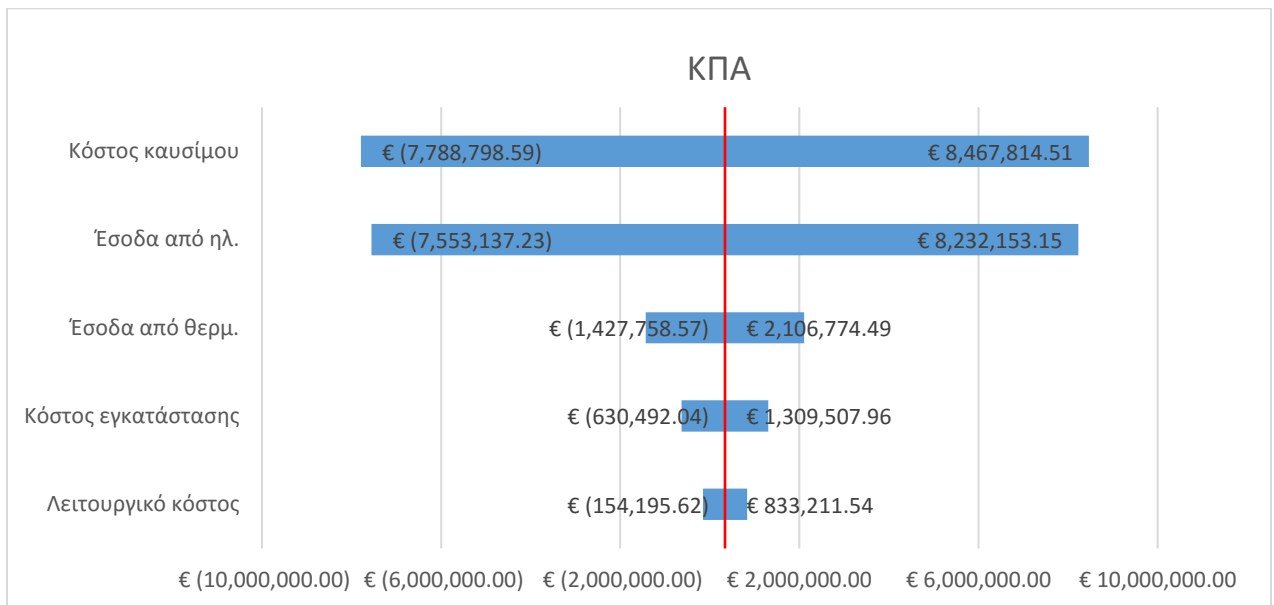
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 2-ΛΕΒΗΤΑΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ



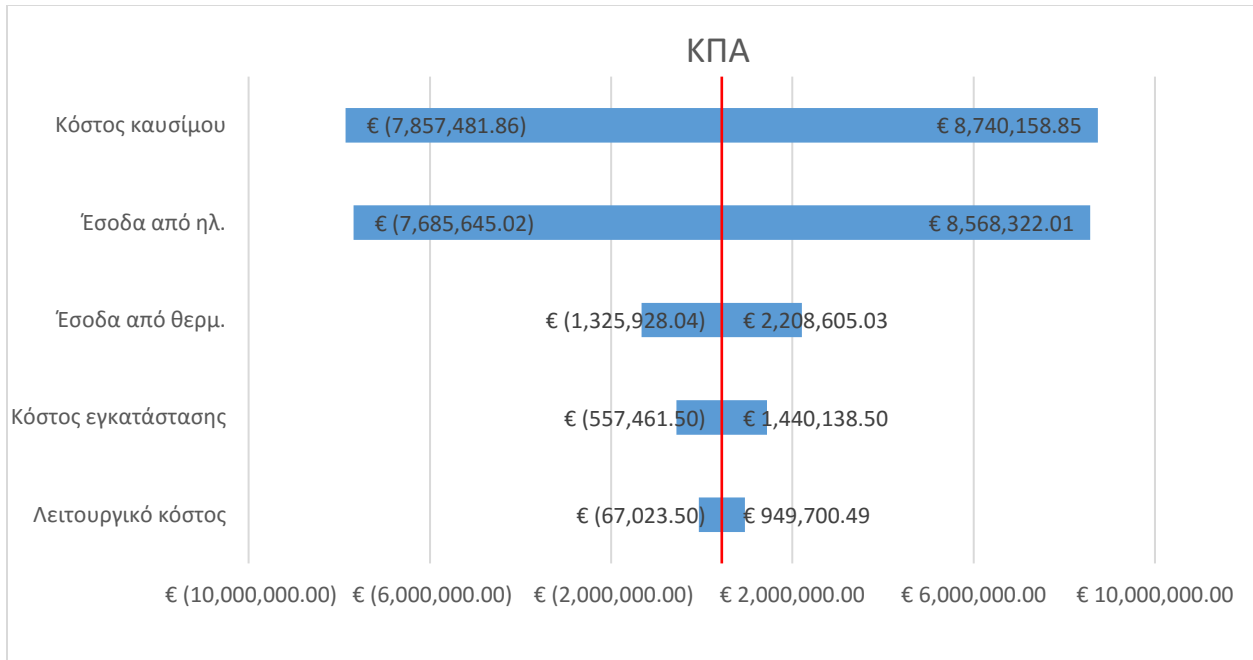
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 3-SOLAR SATURN 20



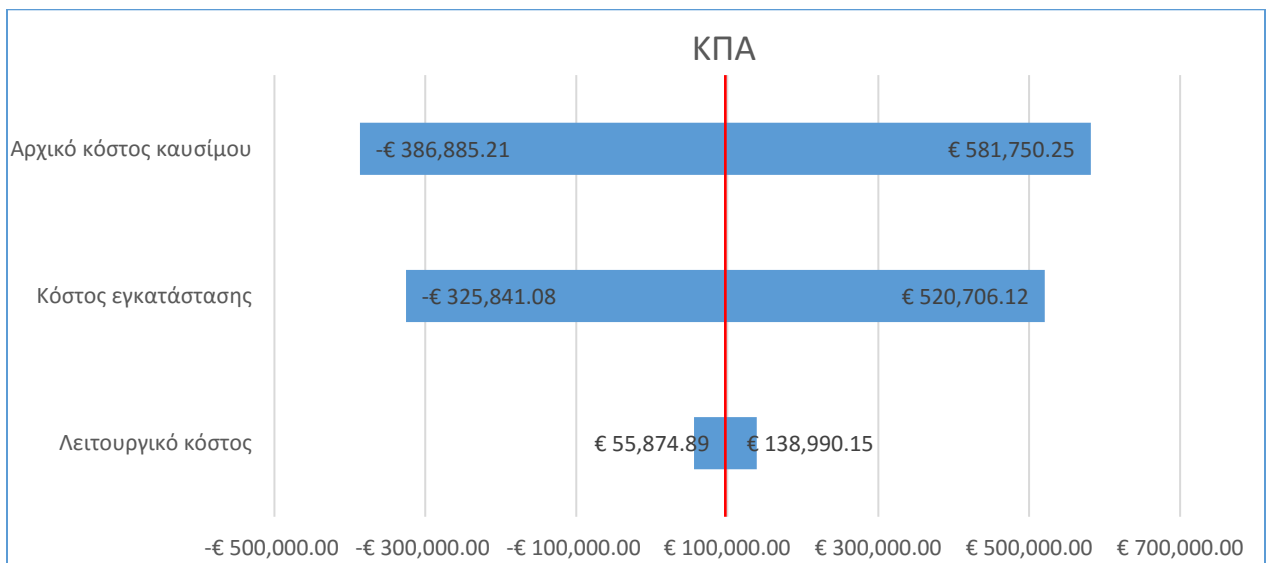
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 4-B3540 NV12



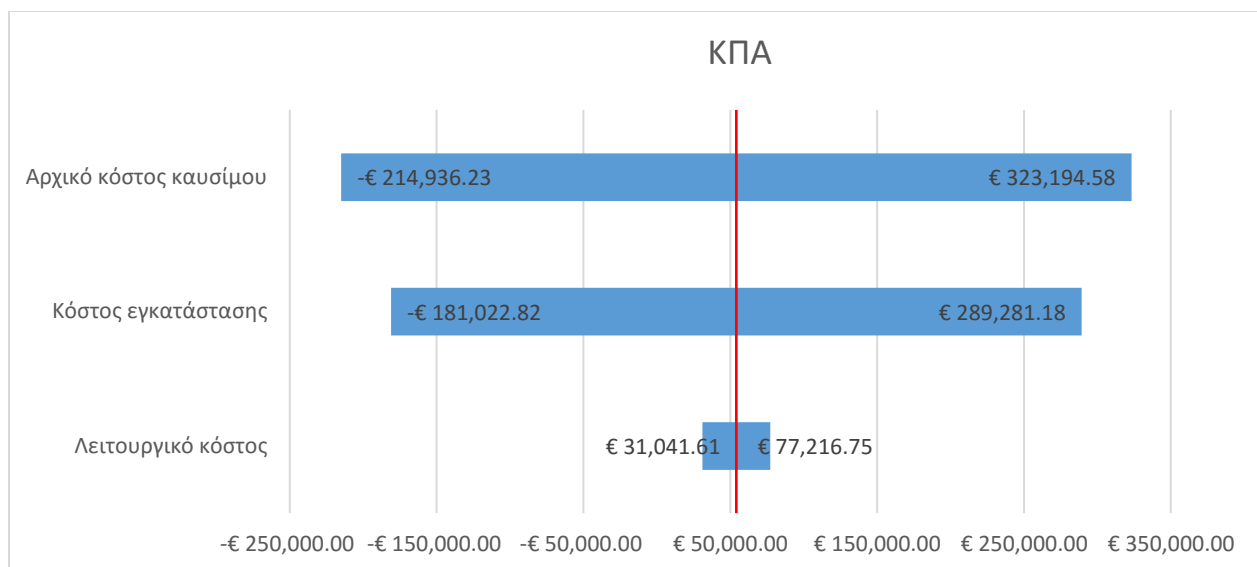
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 5-2xKRNG-412



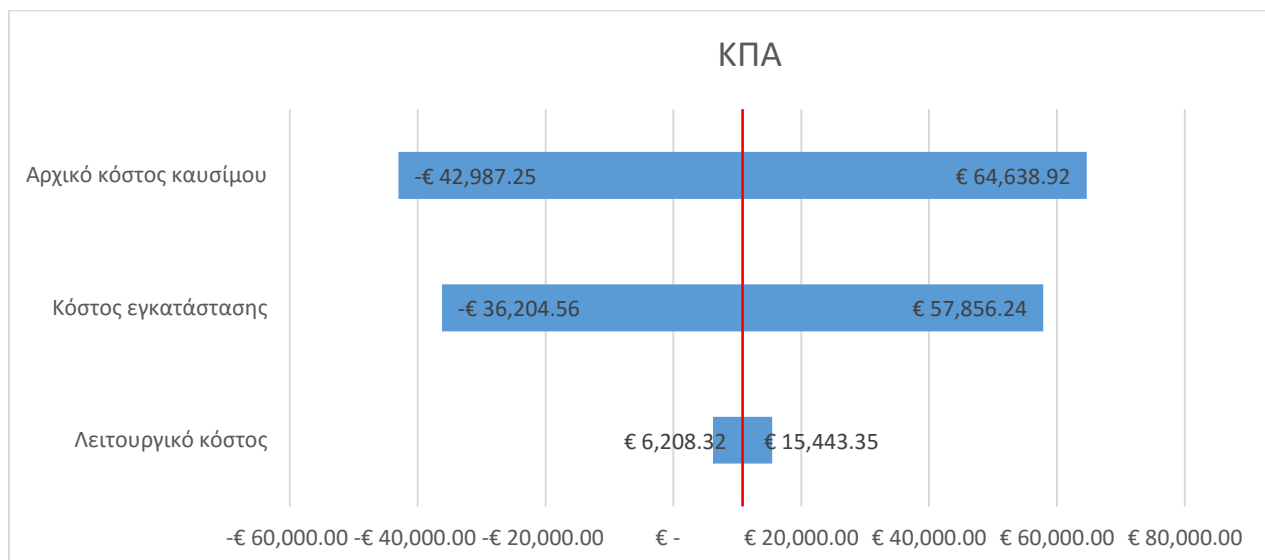
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 6-KRNG-412 + J616



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 7- ΣΕΝΑΡΙΟ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 7-ΣΕΝΑΡΙΟ 2



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.2.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 7- ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Παρατηρήσεις

- Από την ανάλυση ευαισθησίας για τα συστήματα με λέβητα βιομάζας και ατμοστρόβιλο, προκύπτει ότι οι κρίσιμες παράμετροι που καθορίζουν την επένδυση είναι η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος εγκατάστασης, το αρχικό κόστος καυσίμου που γλιτώνει η βιομηχανία και τέλος το κόστος της βιομάζας. Ειδικότερα για το σύστημα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης, που εμφανίζει μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ, μεγαλύτερη βαρύτητα έχει η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεύτερο σε σειρά βαρύτητας είναι το κόστος εγκατάστασης και τρίτο ακολουθεί το κόστος καυσίμου που γλιτώνει η βιομηχανία. Το κόστος της βιομάζας αν

και είναι κρίσιμη παράμετρος, δεν επηρεάζει τόσο έντονα την ΚΠΑ της επένδυσης, όσο οι προηγούμενοι παράμετροι καθώς είναι αρκετά χαμηλό.

Το σύστημα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης επηρεάζεται κυρίως από το κόστος καυσίμου που γλιτώνει η μονάδα και όχι από τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι έχει μικρότερη ηλεκτρική ισχύς σε σχέση με το σύστημα με απομάστευση ατμού.

- Για τα συστήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, δηλαδή τους αεριοστρόβιλους και τις παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης είναι η τιμή του φυσικού αερίου. Αυτό είναι λογικό καθώς η τιμή του καθορίζει και το κόστος καυσίμου αλλά και ένα μέρος της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επόμενοι παράγοντες είναι τα έσοδα από την πώληση του ηλεκτρισμού και το χρηματικό ποσό που γλιτώνει η μονάδα αφού δεν θα καταναλώνει μαζούτ. Το κόστος εγκατάστασης παρουσιάζει μικρότερη βαρύτητα σε σχέση με τις μονάδες λέβητα ατμοστρόβιλου.
- Σε όλες τις εναλλακτικές επενδύσεις στο κόστος συντήρησης και λειτουργίας εμφανίζει την μικρότερη επίδραση στην ΚΠΑ.
- Το ηλιοθερμικό σύστημα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του καυσίμου που θα εξοικονομεί στην μονάδα. Το κόστος εγκατάστασης αποτελεί τον δεύτερο παράγοντα.

6.3. Κρίσιμες παράμετροι και τιμές εναλλαγής των εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων

Από την ανάλυση ευαισθησίας για κάθε επενδυτικό σχέδιο, επιλέγουμε τις παραμέτρους που επιδρούν με μεγαλύτερη βαρύτητα στην τιμή της ΚΠΑ. Αυτές οι παράμετροι ονομάζονται κρίσιμες[47]. Για κάθε τέτοια παράμετρο βρίσκουμε την τιμή εναλλαγής, δηλαδή εκείνη την τιμή που μηδενίζει την ΚΠΑ. Για τις επενδύσεις με αρνητική ΚΠΑ, η τιμή εναλλαγής δείχνει την τιμή που πρέπει τουλάχιστον να λάβει η παράμετρος ώστε να γίνουν συμφέρουσες οι επενδύσεις. Για τις επενδύσεις με θετική ΚΠΑ, δείχνει εκείνη την τιμή, κάτω από την οποία δεν είναι συμφέρουσες οι επενδύσεις. Σχετικά με το ηλιοθερμικό σύστημα, οι κρίσιμες παράμετροι καθώς και οι τιμές εναλλαγής είναι ίδιες για όλα τα σενάρια.

Επένδυση 1- Λέβητας βιομάζας με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης	
Έσοδα από ηλ.(€/MWh)	120.00
Κόστος εγκατάστασης(€/kW)	4,183.00
Έσοδα από θερμ.(€)	315,000.00
Κόστος καυσίμου(€/tn)	156.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 1-ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΒΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Επένδυση 2- Λέβητα βιομάζας με ατμοστρόβιλος αντίθλιψης	
Έσοδα από ηλ.(€/MWh)	96.00
Κόστος εγκατάστασης(€/kW)	4,400.00
Έσοδα από θερμ. (€)	520,000,00
Κόστος καυσίμου(€/tn)	168.30

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.2 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 2-ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΒΗΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ

Επένδυση 3- Solar Saturn 20	
Κόστος καυσίμου (€/Nm ³)	0.433
Έσοδα από ηλ. (€/MWh)	104.30
Έσοδα από θερμ. (€)	987,000.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.3 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 3-SOLAR SATURN 20

Επένδυση 4- B3540 NV12	
Κόστος καυσίμου (€/Nm ³)	0.458
Έσοδα από ηλ. (€/MWh)	89.30
Έσοδα από θερμ. (€)	873,000.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.4 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 4-2xPERKINS 4016 TES1 140HC

Επένδυση 5- 2x KRNG-412	
Κόστος καυσίμου (€/Nm ³)	0.459
Έσοδα από ηλ. (€/MWh)	95.09
Έσοδα από θερμ. (€)	866,000.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.5 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 5-KRNG-412

Επένδυση 6- KRNG-412+J616	
Κόστος καυσίμου (€/Nm ³)	0.460
Έσοδα από ηλ. (€/MWh)	94.88
Έσοδα από θερμ. (€)	855,000.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.6 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 6-2xPERKINS 4016 - E61 TRS

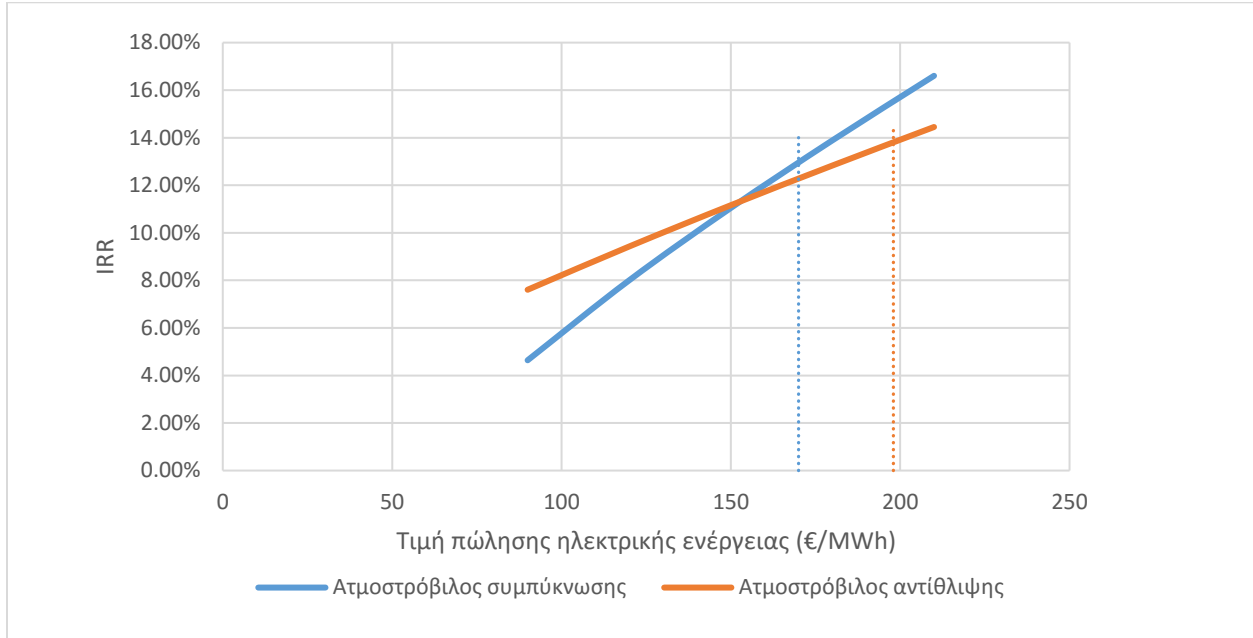
Επένδυση 7- Ηλιοθερμικό σύστημα με παραβολικούς συλλέκτες	
Αρχικό κόστος καυσίμου (€)	864,000.00
Κόστος Εγκατάστασης (€/m ²)	446.00
Κόστος Λειτουργίας/Συντήρησης (€/m ²)	6.30

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.7 ΤΙΜΕΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ 7-ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

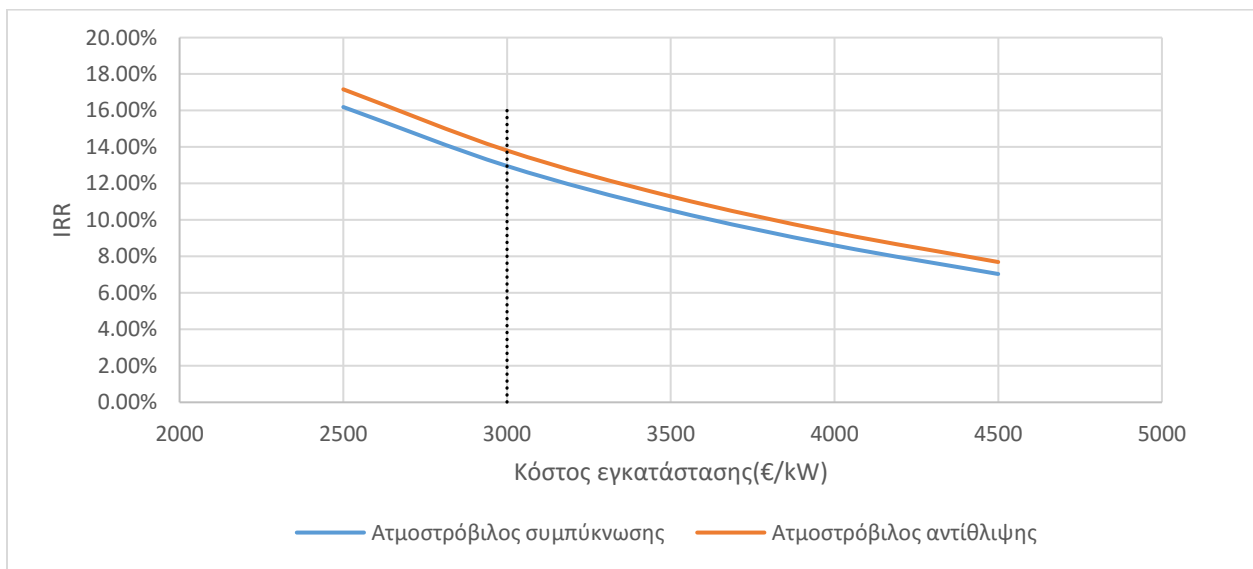
6.4. Ανάλυση Ευαισθησίας IRR

Η ανάλυση ευαισθησίας για τον οικονομικό δείκτη IRR πραγματοποιείται για τις κρίσιμες παραμέτρους κάθε επένδυσης.

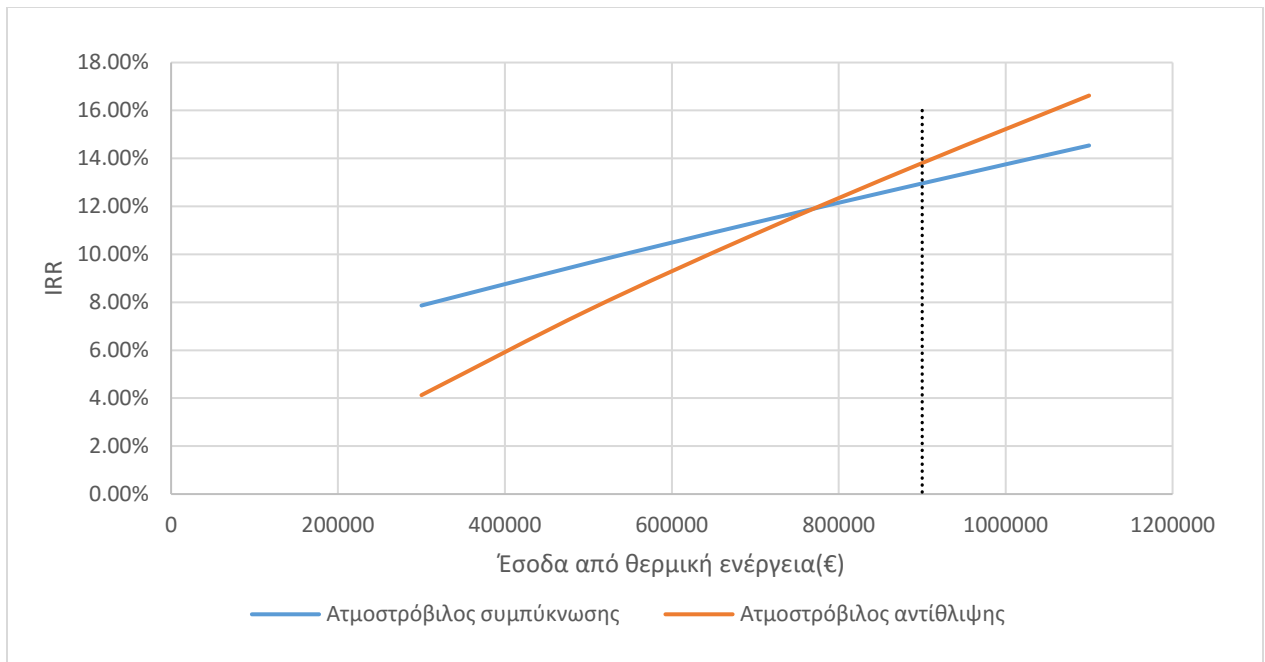
6.4.1. Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο



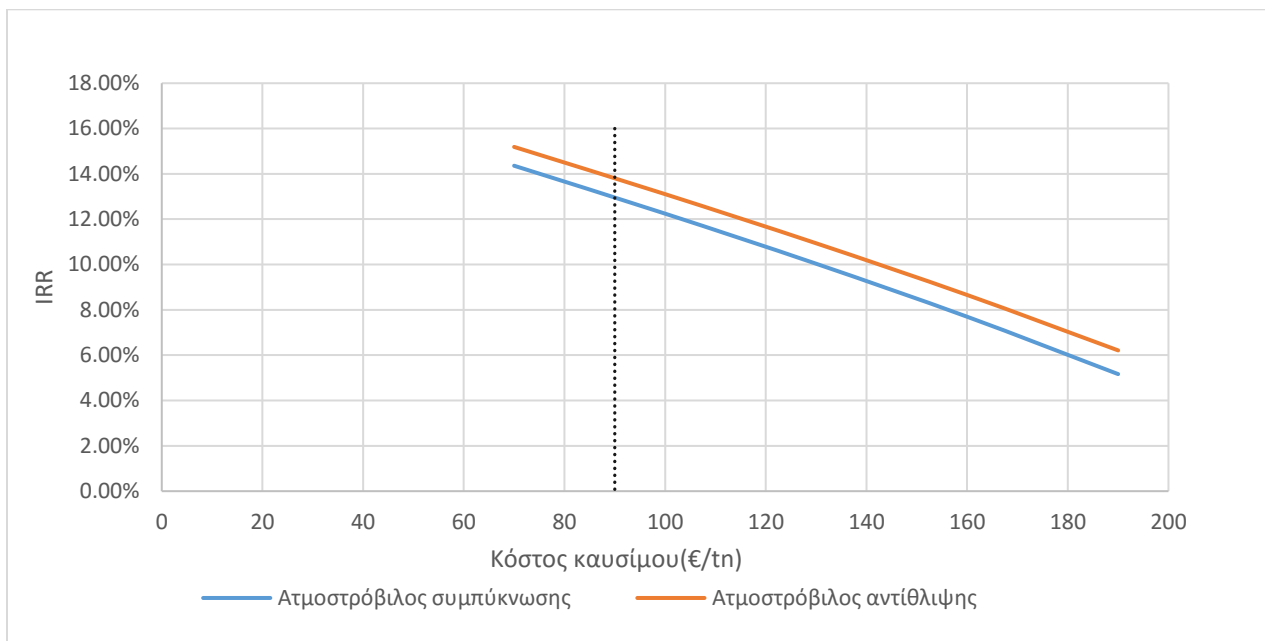
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

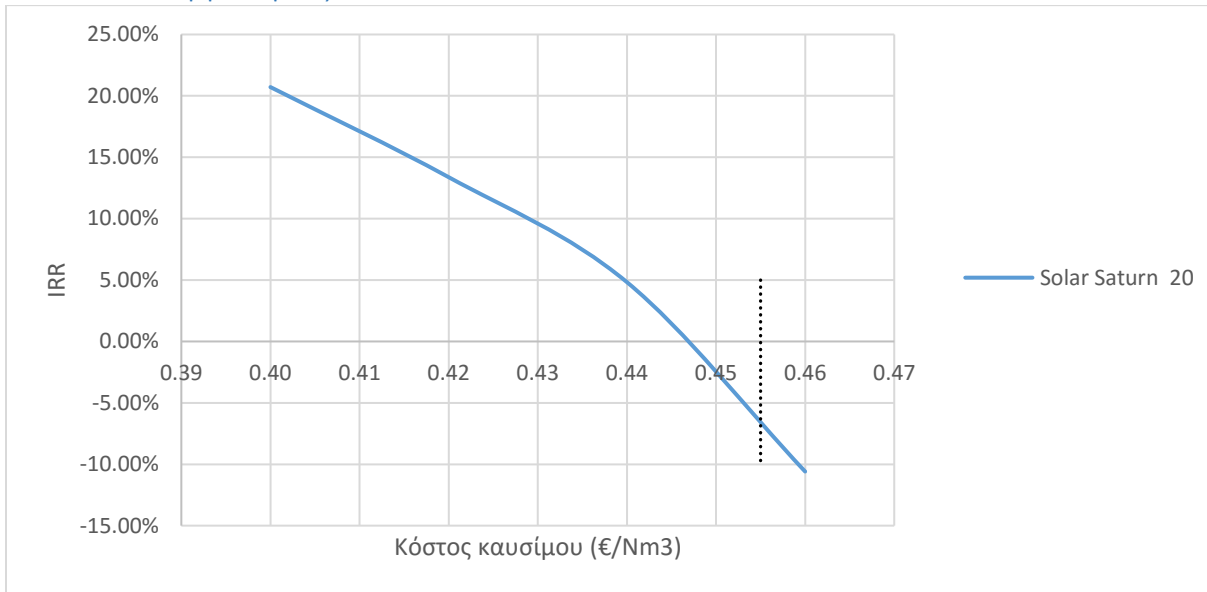


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΥ ΓΛΙΤΩΝΕΙ Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

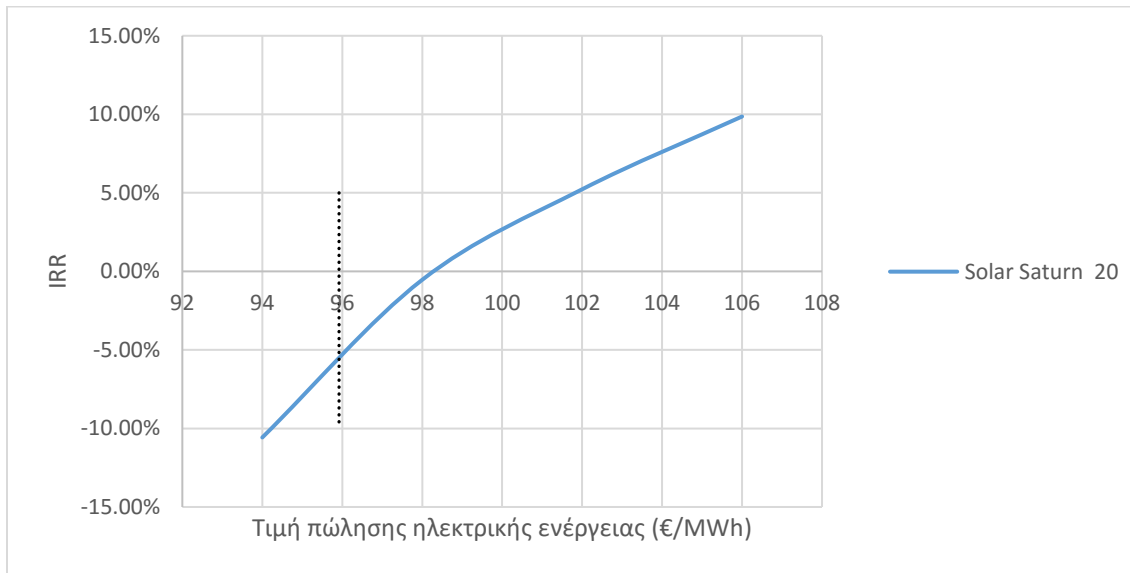


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

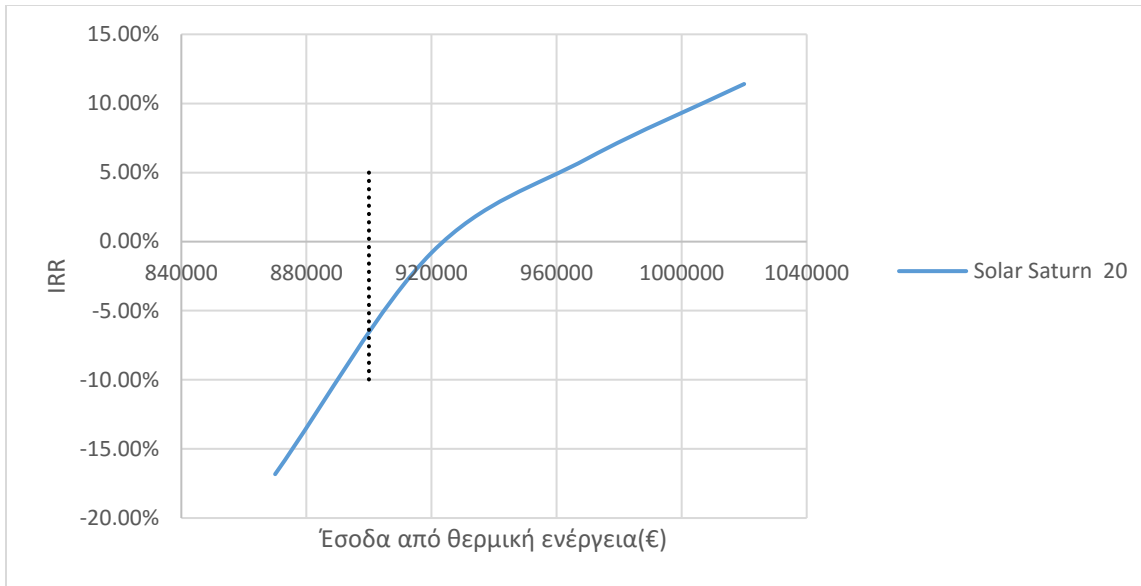
6.4.2. Συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

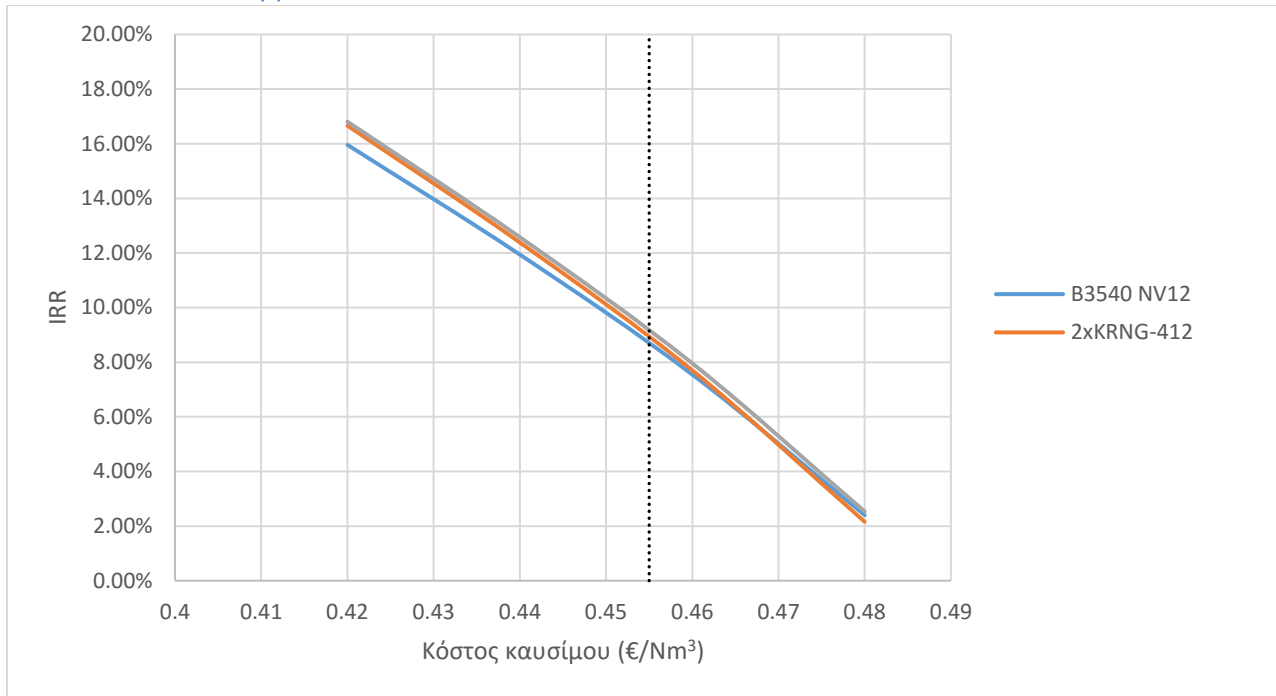


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

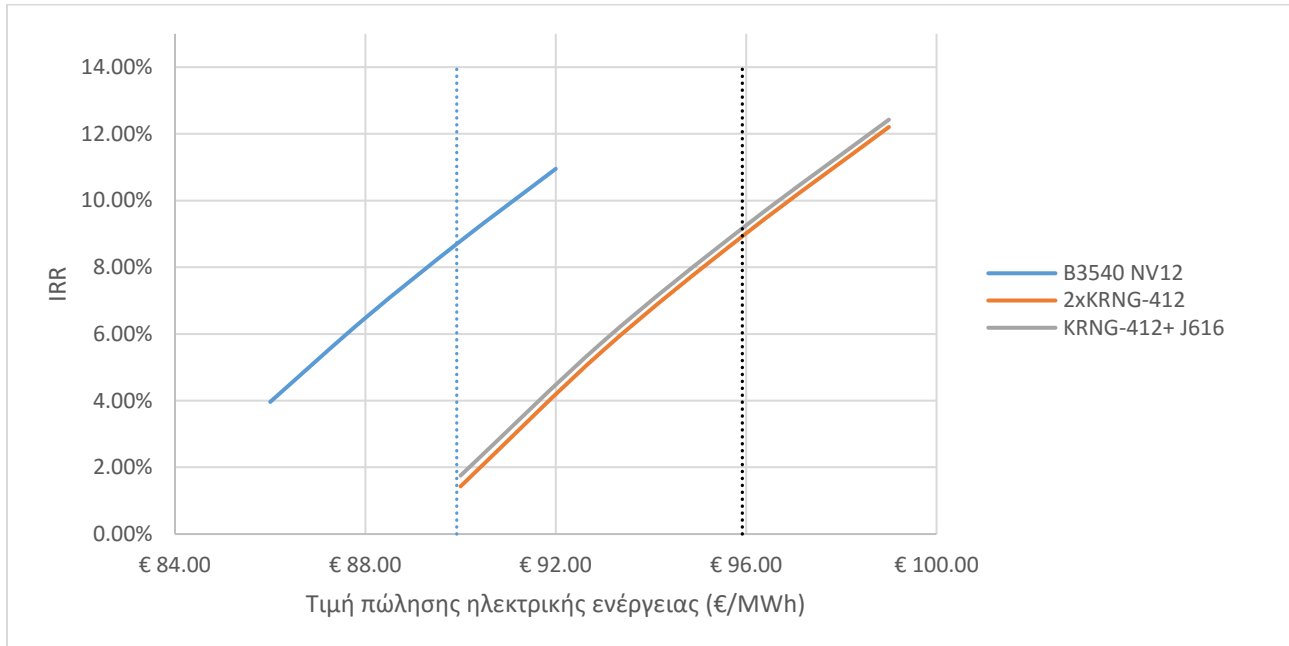


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΥ ΓΛΙΤΩΝΕΙ Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

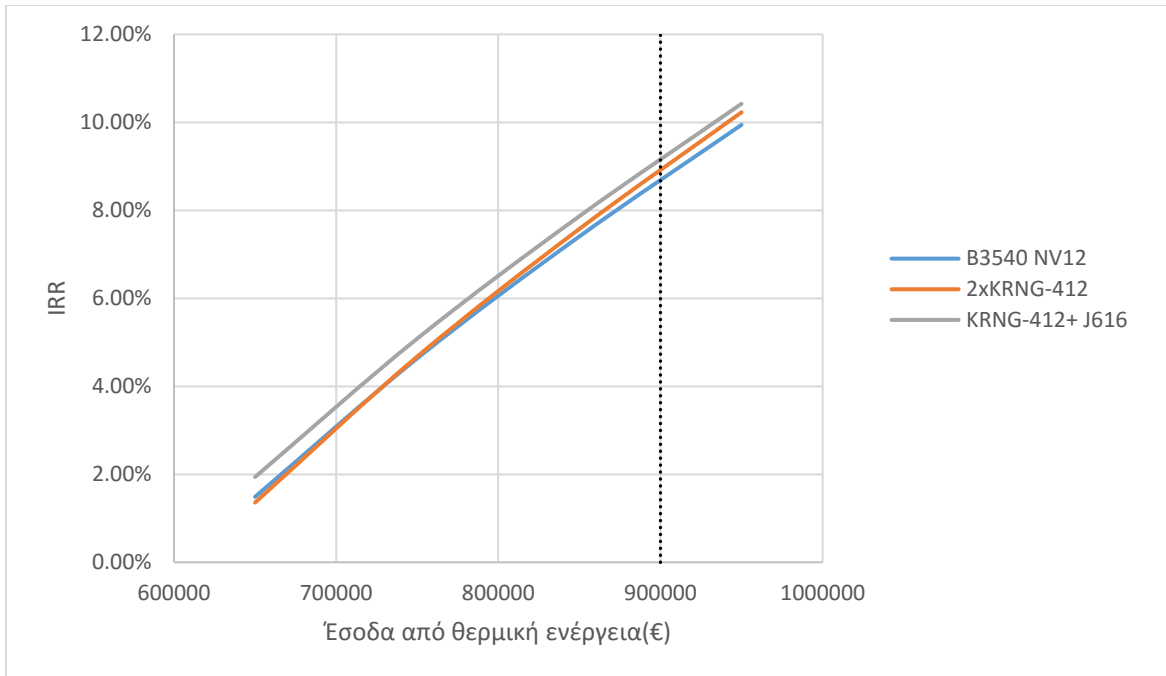
6.4.3. Συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

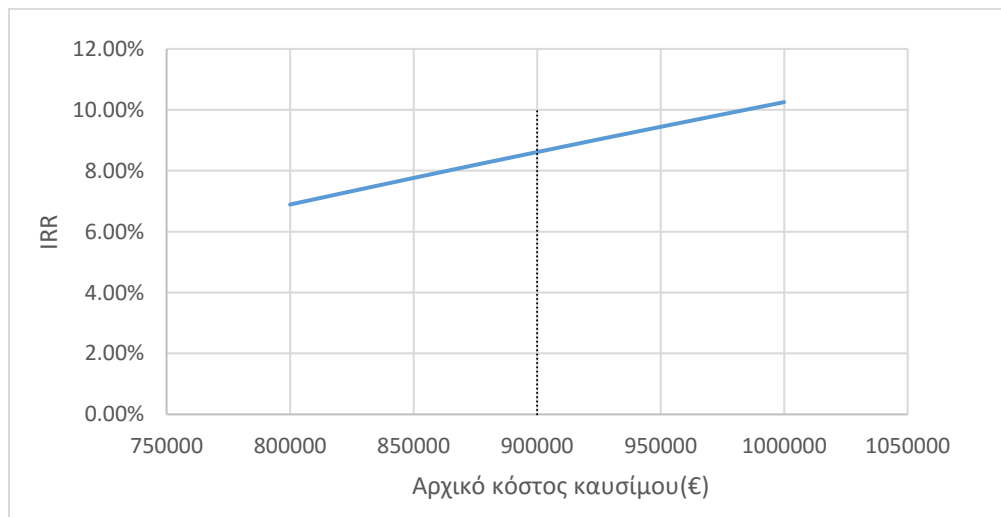


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

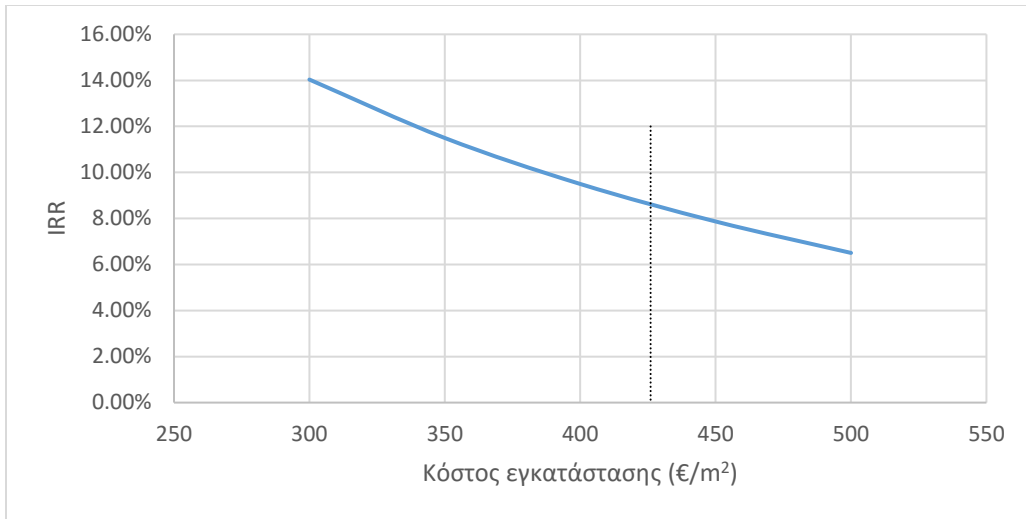


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΥ ΓΛΙΤΩΝΕΙ Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

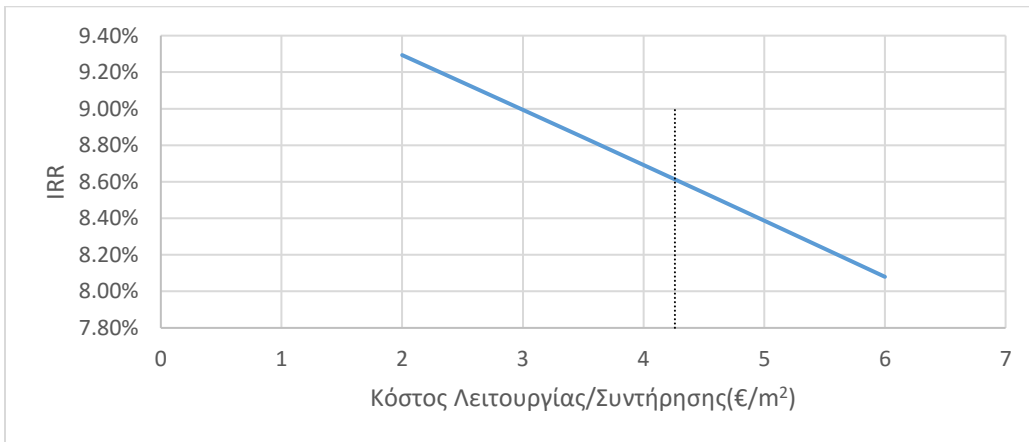
6.4.4. Συγκεντρωτικά Ηλιοθερμικά συστήματα



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.11 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



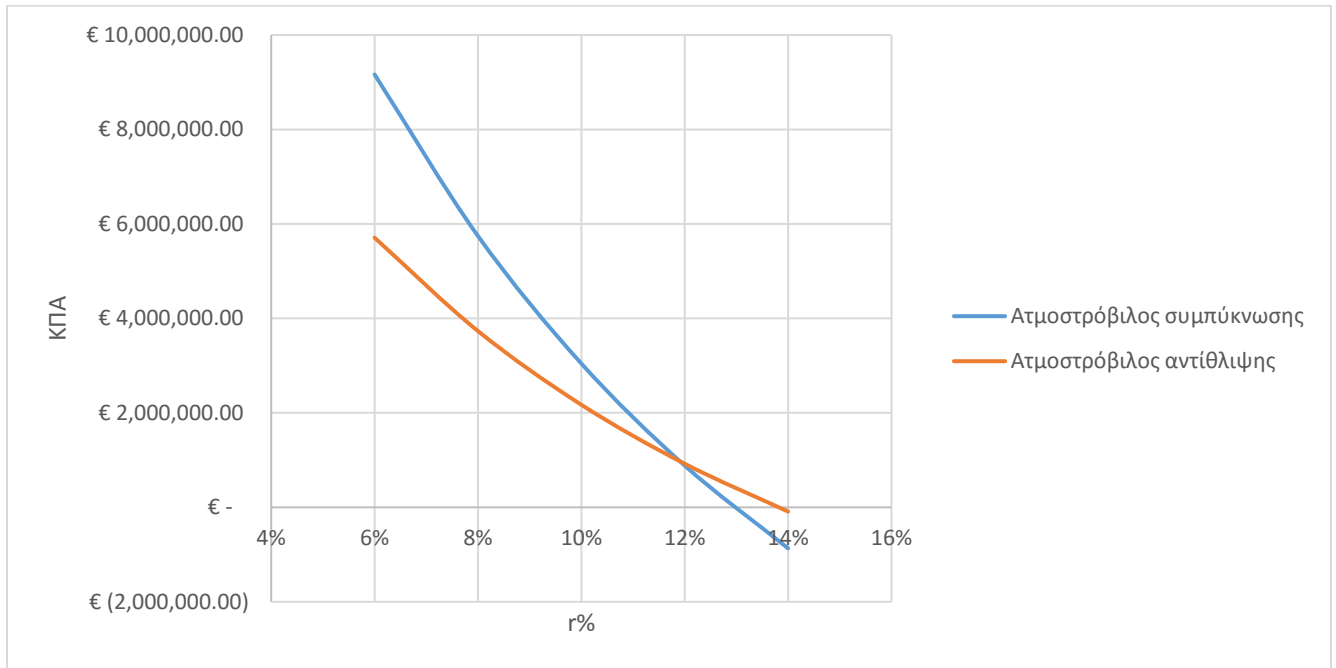
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.12 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



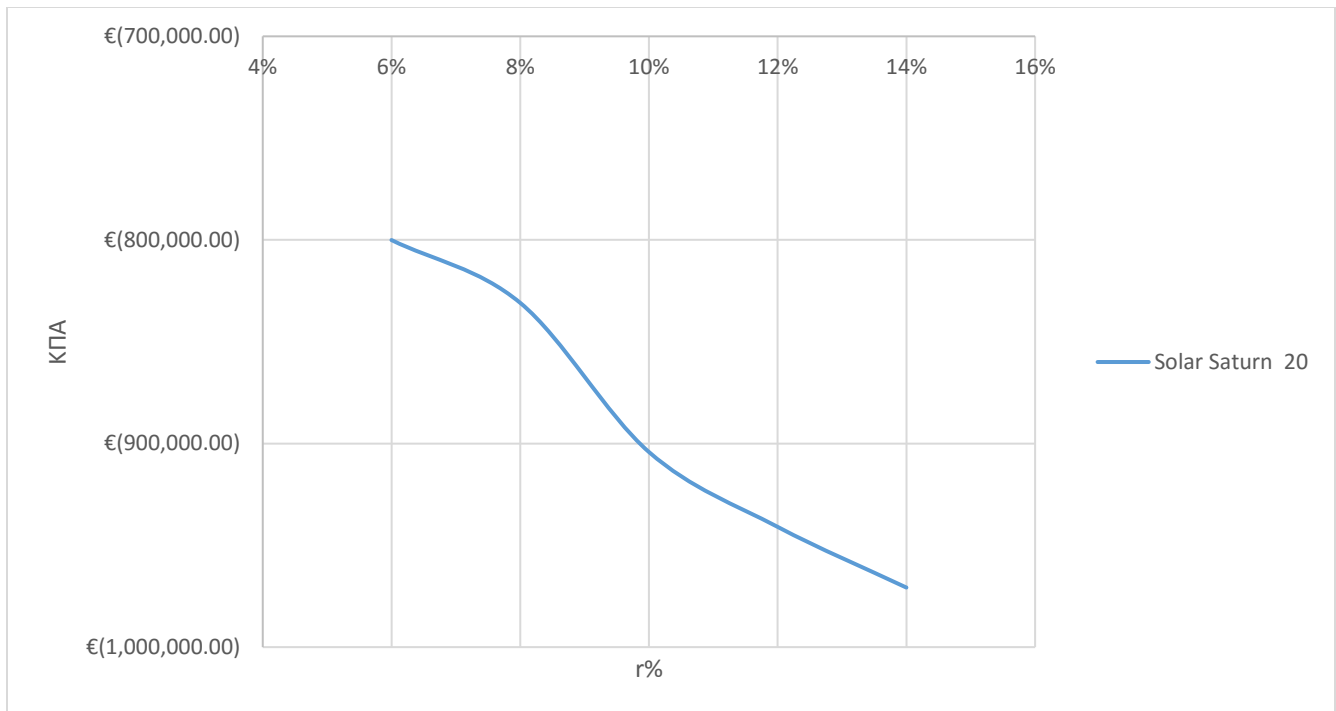
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.4.13 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ IRR ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

6.5. Διαγράμματα ΚΠΑ-r%

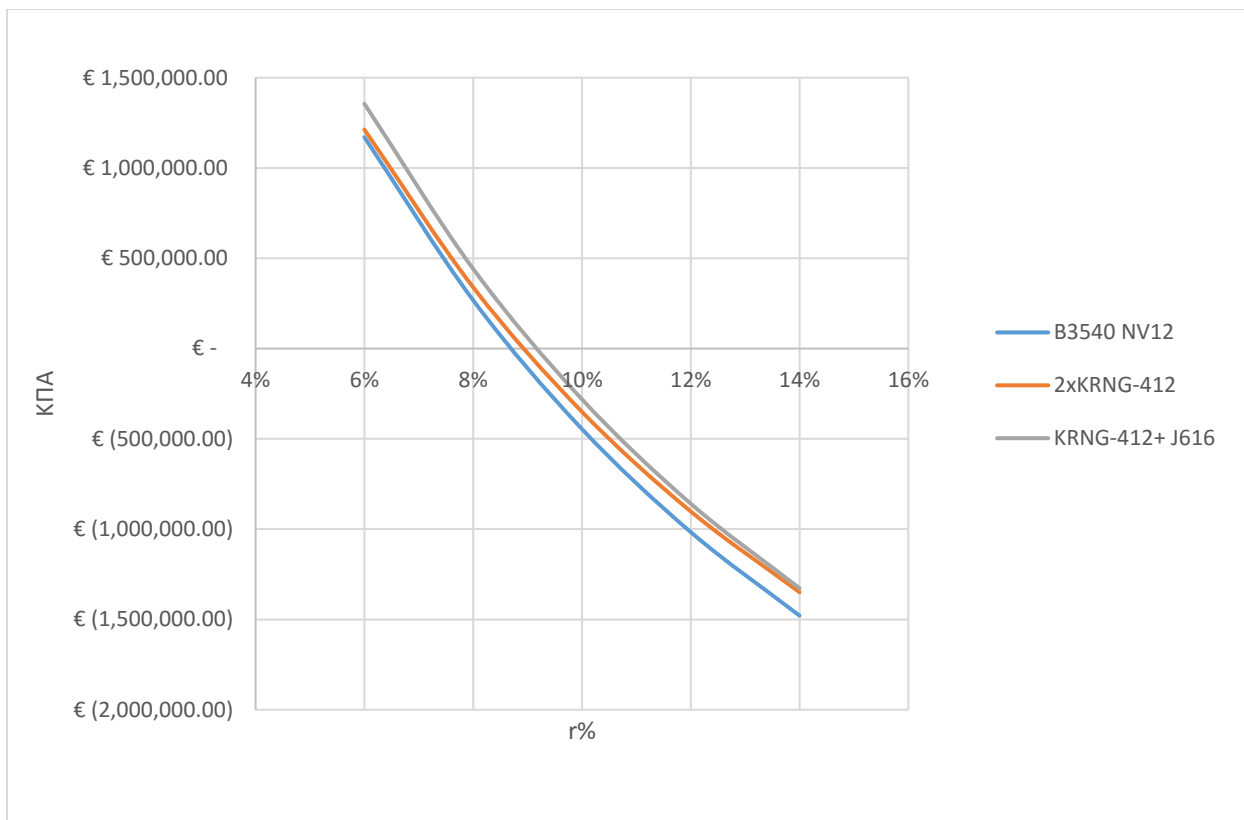
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της τιμής ΚΠΑ καθώς μεταβάλλεται το επιτόκιο αναγωγής $r\%$ από 6% έως 14%.



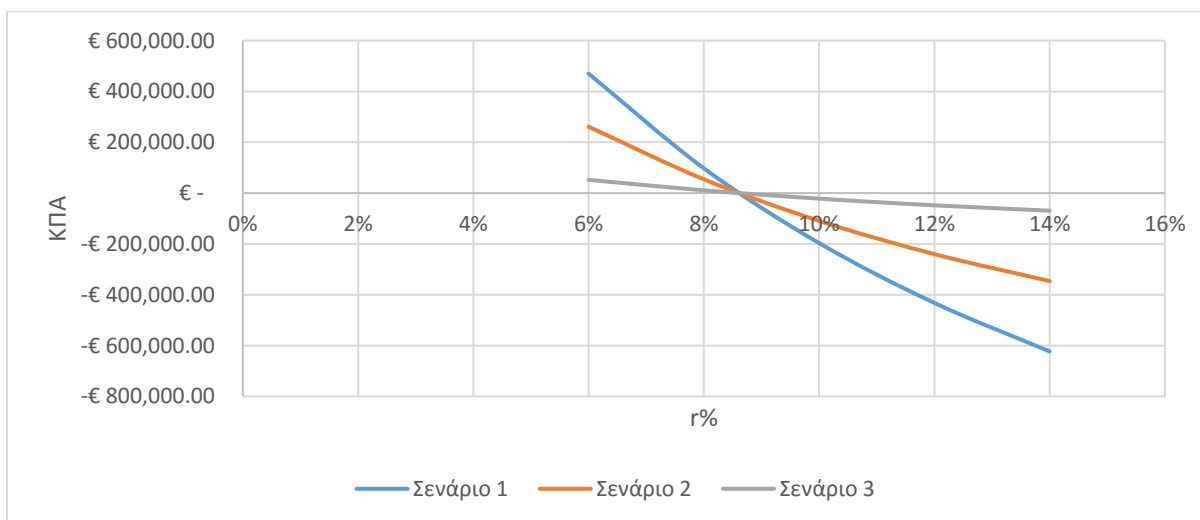
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 1 ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 2



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 3



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5.3 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΠΑ ΓΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗ 4, ΕΠΕΝΔΥΣΗ 5, ΕΠΕΝΔΥΣΗ 6



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.5.4 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΠΑ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η δυνατότητα εγκατάστασης συστημάτων συμπαραγωγής και συγκεντρωτικών ηλιοθερμικών συστημάτων σε γαλακτοβιομηχανία που βρίσκεται στην Ελλάδα. Κύριο κριτήριο για τον σχεδιασμό και την επιλογή των εναλλακτικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας ήταν η κάλυψη των θερμικών αναγκών της γαλακτοβιομηχανίας. Η παραγωγή ατμού για την παραγωγή γάλακτος είναι βασική λειτουργία μιας γαλακτοβιομηχανίας. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκαν μονάδες συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο συμπυκνώσεως και ατμοστρόβιλο αντίθλιψης. Και στα δύο συστήματα, ο ατμοπαραγωγός είναι ένας λέβητας βιομάζας. Επίσης εξετάστηκαν περιπτώσεις μονάδων συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο με ανάκτηση θερμότητας και μονάδων με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης. Σε αυτές το καύσιμο είναι το φυσικό αέριο. Επιπλέον μελετήθηκε η περίπτωση ενός ηλιοθερμικού συστήματος για την κάλυψη ενός μέρους των θερμικών αναγκών. Τέλος πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας της ΚΠΑ και έτσι εντοπίστηκαν οι κρίσιμες παράμετροι για κάθε επενδυτικό σχέδιο καθώς και οι τιμές εναλλαγής τους.

Το βασικό συμπέρασμα το οποίο προκύπτει από την παρούσα εργασία είναι ότι η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι βιώσιμη υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την βιωσιμότητα των παραπάνω συστημάτων είναι το αρχικό κόστος επένδυσης, η εξοικονόμηση ενέργειας που εξασφαλίζουν, το κόστος καυσίμου και η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο και ατμολέβητα βιομάζας που σχεδιάστηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αποτελούν τις πιο συμφέρουσες εναλλακτικές. Τόσο το σύστημα με ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης (ΚΠΑ>0, IRR=12.96%) όσο και το σύστημα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης (ΚΠΑ>0, IRR=13.81%) εμφανίζουν ικανοποιητικούς οικονομικούς δείκτες. Το χαμηλό κόστος καυσίμου (90€/tn) και υψηλή τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο (Feed in Tariff>170€/MWh) καθιστούν τα συστήματα αυτά ελκυστικά. Ο μόνος ανασταλτικός παράγοντας στην επιλογή αυτών των συστημάτων είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης. Τα συστήματα απαιτούν μεγάλο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται η λήψη δανείου. Με την λήψη δανείου βελτιώνονται οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης καθώς κατανέμεται το αρχικό κόστος.

Όσον αφορά τα συστήματα συμπαραγωγής με φυσικό αέριο, η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι η εγκατάσταση συστήματος με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης. Τα μοντέλα που επιλέχθηκαν, εξασφάλιζαν εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας PESR>10% ώστε να θεωρηθούν οι αντίστοιχες μονάδες συμπαραγωγής, μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής αποδοτικότητας (ΣΗΘΥΑ). Όλες οι εναλλακτικές προτάσεις που μελετήθηκαν έχουν θετικούς οικονομικούς δείκτες (ΚΠΑ>0, IRR>8.5%). Λόγω του υψηλού κόστους καυσίμου και της χαμηλής τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οικονομικοί δείκτες είναι οριακά θετικοί. Επίσης ένα μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας, αυτό που προκύπτει από τα συστήματα ψύξης της μηχανής, δεν αξιοποιείται, με αποτέλεσμα να πέφτει ο βαθμός απόδοσης των εγκαταστάσεων. Η βιομηχανία μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτήν την ποσότητα θερμότητας για την θέρμανση των χώρων της εγκατάστασης ή για την ψύξη που χρειάζεται για την συντήρηση του γάλακτος πριν και μετά την επεξεργασία του.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο, αν και θεωρούνται συστήματα ΣΗΘΥΑ, δεν αποτελούν συμφέρουσα επιλογή για την συγκεκριμένη περίπτωση (ΚΠΑ<0, IRR=-4.64%). Ο χαμηλός

ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος του φυσικού αερίου καθιστούν τις επενδύσεις αυτές μη βιώσιμες.

Τέλος προσδιορίστηκε το μέγεθος και το κόστος ενός συγκεντρωτικού ηλιοθερμικού συστήματος με παραβολικούς συλλέκτες για την παραγωγή ατμού. Από την οικονομική ανάλυση ενός τέτοιου συστήματος προέκυψε ότι είναι οικονομικά βιώσιμο (ΚΠΑ>0, IRR=8.61%) καθώς εξασφαλίζει εξοικονόμηση καυσίμου έως 27%. Ωστόσο η παραγωγή θερμικής ενέργειας από το ηλιοθερμικό σύστημα δεν είναι σταθερή και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό, συνιστάται η τοποθέτηση ενός συστήματος αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, το οποίο θα αποθηκεύει ενέργεια τις στιγμές που εμφανίζεται πλεόνασμα παραγωγής από το ηλιοθερμικό σύστημα και θα συμβάλει όταν υπάρχει έλλειμα.

Για τα συστήματα ΣΗΘΥΑ με φυσικό αέριο, πρέπει να αναφερθεί ότι στην Πάτρα δεν υπάρχει ακόμη δίκτυο διανομής. Όταν πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση δικτύου, τα συστήματα συμπαραγωγής, και ιδιαίτερα αυτά με παλινδρομικές Μ.Ε.Κ., θα αποτελούν συμφέρουσες επενδύσεις. Τα συστήματα με αεριοστρόβιλο θα είναι βιώσιμα, όταν αυξηθεί η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αυτά σε 104.30€/MWh ή το κόστος του φυσικού αερίου μειωθεί σε 0.433€/Nm³.

Καταλήγοντας ένας παράγοντας που θα ενίσχυε τα παραπάνω επενδυτικά σχέδια είναι η δημόσια ενίσχυση. Στα πλαίσια της εργασίας θεωρήθηκε μηδενική βοήθεια από δημόσιο φορέα. Ωστόσο το νομικό πλαίσιο ορίζει ότι αν εγκριθεί δημόσια ενίσχυση, τότε αυτή έχει ύψος τουλάχιστον 20% της αρχικής επένδυσης και παρέχεται είτε με την μορφή άμεσης ενίσχυσης κεφαλαίου είτε με φορολογική ελάφρυνση. Η δημόσια ενίσχυση θα ευνοήσει την διείσδυση των συστημάτων συμπαραγωγής και των ηλιοθερμικών συστημάτων στον τομέα των βιομηχανιών. Ως μελλοντική εργασία, προτείνεται να συμπεριληφθεί στην οικονομική ανάλυση η δημόσια ενίσχυση καθώς και η φορολογία των εσόδων.

Ο βιομηχανικός τομέας και ιδιαίτερα οι βιομηχανίες τροφίμων όπως η ΝΟΥΝΟΥ έχουν υψηλές θερμικές ανάγκες. Τα ηλιοθερμικά συστήματα και τα συστήματα συμπαραγωγής αποτελούν ένα αξιόλογο τρόπο για την κάλυψη των θερμικών αναγκών. Αν δοθούν τα κατάλληλα κίνητρα όπως δημόσια ενίσχυση, μείωση αρχικού κόστους και αύξηση της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα ωθήσουν τις βιομηχανίες να προβούν σε επενδύσεις σε αυτά συστήματα.

Βιβλιογραφία

- [1] Φ. Χ., Κ. Η., and Κ. Γ., *Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*. Αθήνα: Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, 1994.
- [2] European Commission, “Impact Assessment Accompanying the document Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,” *Commission Staff Working Paper*. 2011.
- [3] C. Observatory and D. Europe, “European Cogeneration Roadmap,” no. January. 2015.
- [4] “ΟΔΗΓΙΑ 2004/8/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 11ης Φεβρουαρίου 2004 για την προώθηση της συμπαράγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ.” .
- [5] “DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.” .
- [6] “DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.” 2010.
- [7] “European Commission 2015. Eurostat CHP Data for 2013.” [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>.
- [8] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ and Υ. Π. Κ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, “ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗΣ ΘΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΘΗΛΕΨΥΞΗΣ,” Αθήνα, 2016.
- [9] “ΛΑΓΗΕ.” [Online]. Available: <http://www.lagie.gr/>.
- [10] “Τοποθεσίες ΣΗΘΥΑ-GOOGLE MAPS.” [Online]. Available: <https://www.google.gr/maps/@38.9452801,22.8740268,7.5z>.
- [11] “Center for Climate and Energy Solutions.” [Online]. Available: <http://www.c2es.org/technology/factsheet/CogenerationCHP>.
- [12] U. S. D. of Energy, “Energy Efficiency & Renewable Energy.” .
- [13] W. C. H. P. System, “Seaman Paper 283.”
- [14] Q. Facts, “Wellons Energy Solutions at Perdue AgriBusiness 495 kW Biomass CHP plant,” 2011.
- [15] M. W. Biomass and C. H. P. System, “Cox Interior,” 1992.
- [16] M. Stane, *Cogeneration Case Studies Handbook: CODE Project*. 2011.
- [17] Q. Facts, “Owensboro Grain,” pp. 2–3, 2014.
- [18] M. W. C. H. P. Systems, “Toray Plastics America,” 2014.
- [19] “FrieslandCampina Hellas.” [Online]. Available: <http://www.nounou.gr/>.
- [20] “Παστερίωση.” [Online]. Available:

- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7>.
- [21] B. Boundy, S. Diegel, L. Wright, and S. Davis, "Appendix A - Conversions Contents Lower and Higher Heating Values of Gas , Liquid and Solid Fuels," *Biomass Energy Data B.*, 2011.
- [22] "ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ." 2016.
- [23] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ, "Νόμος 4254." 2014.
- [24] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ, "Νόμος 3734." 2009.
- [25] "Gasturbinen-Kenndaten."
- [26] "Αέριο Αττικής." [Online]. Available: <http://www.aerioattikis.gr/default.aspx?pid=34&la=1&artid=135>.
- [27] ΛΑΓΓΗ Α.Ε., "Μηνιαίο Δελτίο Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ." 2016.
- [28] I. Beretta, C. Mussafah, A. Dhabi, E. A. Uniti, W. Paprika, P. Bassi, and B. Electro, "J616 J620 J624 2-stage J620," no. October, pp. 1–2, 2009.
- [29] Wärtsilä, "Combined Heat and Power," 2010.
- [30] D. Bildung, "BHKW-Kenndaten 2005," 2005.
- [31] European Commission, *European Research on Concentrated Solar Thermal Energy*. 2004.
- [32] IRENA, "Renewable Energy Technologies Cost Analysis Series: Concentrating Solar Power," *Compr. Renew. Energy*, vol. 3, no. 2, pp. 595–636, 2012.
- [33] G. S. Frames, "Large Aperture Trough (LAT) 73," 2012.
- [34] "Solar 2." [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/The_Solar_Project.
- [35] "PE 1 Spain." [Online]. Available: http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=46.
- [36] European Academies Scientific Advisory Council, *Concentrating solar power: its potential contribution to a sustainable energy future*, no. November. 2011.
- [37] Ε. Κακαράς and Σ. Καρέλλας, *Αποκεντρωμένα Θερμικά Συστήματα*. Αθήνα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΣΟΤΡΑΣ, 2015.
- [38] Lauterbach et al., "The Potential of Solar Heat for Industrial Processes in Germany."
- [39] P. Kurup and C. Turchi, "Initial Investigation into the Potential of CSP Industrial Process Heat for the Southwest United States Initial Investigation into the Potential of CSP Industrial Process Heat for the Southwest United States," no. November, 2015.
- [40] A. I. SHIP Plants, "Solar Thermal Plants Database." .
- [41] NREL, "Concentrating Solar Power projects." [Online]. Available: http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=207.

- [42] "SolarLite." [Online]. Available: <http://www.solarlite.de/en/>.
- [43] a. Argiriou, a. Gaglia, E. Daskalaki, P. Zaharias, D. Katsanos, S. Kontogiannidis, G. Ladopoulos, and I. Ladopoulos, "Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 Κλιματικά Δεδομένα Ελληνικών Περιοχών [Climate data of Greek Cities], Technical Directive by the Technical Chamber of Greece," *Υπουργείο Περιβαλλοντος Ενέργειας Και Κλιματικής Αλλαγής – Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβαλλοντος Και Ενέργειας Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας*, no. 1, 2010.
- [44] C. Kutscher, F. Burkholder, and K. Stynes, "Generation of a Parabolic Trough Collector Efficiency Curve from Separate Measurements of Outdoor Optical Efficiency and Indoor Receiver Heat Loss," *Pix*, vol. 16560, no. October, 2010.
- [45] M. Günther, M. Joemann, and S. Csambor, "Advanced CSP Teaching Materials Chapter 5 Parabolic Trough Technology Authors," 2011, 2011.
- [46] S. Csp, T. Gmbh, and W. Pomerania, "The sun is shining for you as well First make use of solar energy ! It makes good economic sense and improves the sustainability," vol. 49, no. 0, pp. 0–1.
- [47] Κ. Αραβώσης, Α. Καρμπέρης, and Α. Σωτήρχος, *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*. Αθήνα: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ, 2011.

Παράρτημα 1

Οι προδιαγραφές του βαρέως τύπου πετρέλαιο(Μαζούτ) όπως δίνονται από τον προμηθευτή:

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΑΖΟΥΤ No 1 ΦΕΚ 320/Β/26.04.1994, ΦΕΚ 1736/Β/30.08.2007 ΦΕΚ 1260/Β/2008		
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΟΡΙΑ
Πυκνότητα στους 15 °C, Kgr/m ³ , max	ISO 3675	991
Σημείο αναφλέξεως °C, ελάχ.	ISO 2719	66
Σημείο ροής, °C, μεγ.	ISO 3016	
-από 1/10 έως 15/5		10
-από 16/5 έως 30/9		15
Ιξώδες στους 50 °C, cst	ISO 3104	
ελάχιστο		-
μέγιστο		180
Ανθρακούχο υπόλειμμα, % m/m, μέγ.	ISO 10370	15
Νερό, % m/m, μέγ.	ISO 3733	0,5
Τέφρα, % m/m, μέγ.	EN 26245	0,10
Θείο, % m/m, μέγ.	ISO 8754	1
Βανάδιο, ppm, μέγ.	IP 288/IP 465 ASTM D5708	220
Νάτριο, ppm, μέγ.	IP 288/IP 465 ASTM D5708	100
Ολικό ίζημα, % m/m, μέγ.	IP 375	0,15
Κατωτέρα θερμογόνος δύναμη Kcal/Kg	ASTM D4868	Reported

Παράρτημα 2

Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού (που προβλέπονται στο άρθρο 1)

Στον κατωτέρω πίνακα οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού βασίζονται στην καθαρή θερμογόνο δύναμη και σε πρότυπες ατμοσφαιρικές συνθήκες ISO (θερμοκρασία περιβάλλοντος 15 °C, πίεση 1,013 bar, σχετική υγρασία 60 %).

Κατηγορία	Τύπος καυσίμου	Έτος κατασκευής			
		Πριν το 2012	2012-2015	Από το 2016	
Στερεά	S1	Λιθάνθρακας συμπεριλαμβανομένου του ανθρακίτη, ασφαλούχος άνθρακας, υποασφαλούχος άνθρακας, οπτάνθρακας, ημιοπτάνθρακας, οπτάνθρακας από πετρέλαιο	44,2	44,2	44,2
	S2	Λιγνίτης, μπρικέτες λιγνίτη, σχιστολιθικό πετρέλαιο	41,8	41,8	41,8
	S3	Τύρφη, μπρικέτες τύρφης	39,0	39,0	39,0
	S4	Ξηρή βιομάζα στην οποία συγκαταλέγονται το ξύλο και άλλη στερεά βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων οβόλων (πέλετ) και πλίνθων (μπρικετών) ξύλου, ξηρών ξυλοτεμαχίων, καθαρών και ξηρών υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου, κελυφών καρπών και ελαιοπυρήνων και άλλων πυρήνων	33,0	33,0	37,0
	S5	Άλλη στερεά βιομάζα συμπεριλαμβανομένων παντός είδους ξύλου που δεν περιλαμβάνεται στην κατηγορία S4, καθώς και μαύρης αλοΐφας και καφέ αλοΐφας.	25,0	25,0	30,0
	S6	Αοτικά και βιομηχανικά (μη ανανεώσιμα) απόβλητα και ανανεώσιμα/βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα	25,0	25,0	25,0
Υγρά	L7	Βαρύ μαζούτ, πετρέλαιο εσωτερικής καύσης/ντιζελ, άλλα προϊόντα πετρελαίου	44,2	44,2	44,2
	L8	Βιοϋγρά, στα οποία συμπεριλαμβάνονται η βιομεθανόλη, η βιοαιθανόλη, η βιοβουτανόλη, το βιοντίζελ και άλλα βιοϋγρά	44,2	44,2	44,2
	L9	Υγρά απόβλητα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα βιοαποικοδομήσιμα και τα μη ανανεώσιμα απόβλητα (στα οποία περιλαμβάνονται στέατα, λίπη και χρησιμοποιημένα οπέρματα)	25,0	25,0	29,0
Αέρια	G10	Φυσικό αέριο, υγραέριο (LPG), υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και βιομεθάνιο	52,5	52,5	53,0
	G11	Αέρια διυλιστηρίου, υδρογόνο και αέριο σύνθεσης	44,2	44,2	44,2
	G12	Βιοαέριο που παράγεται από αναερόβια ζύμωση, υγειονομική ταφή και επεξεργασία λυμάτων	42,0	42,0	42,0
	G13	Αέριο εγκαταστάσεων οπτανθρακοποίησης, το αέριο ψυκαμίνων και αέριο, φυσικό αέριο, άλλα αέρια ανάκτησης (πλην του αερίου διύλισης)	35,0	35,0	35,0
Άλλα	O14	Απορριπτόμενη θερμότητα (συμπεριλαμβανομένων των καυσαερίων από διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών, των προϊόντων εξώθερμων χημικών αντιδράσεων)			30,0
	O15	Πυρηνική ενέργεια			33,0
	O16	Ηλιοθερμική ενέργεια			30,0
	O17	Γεωθερμική ενέργεια			19,5
	O18	Άλλα καύσιμα που δεν αναφέρονται ανωτέρω			30,0

Εναρμονισμένες τιμές αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας (που προβλέπονται στο άρθρο 1)

Στον κατωτέρω πίνακα οι εναρμονισμένες τιμές αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή θερμότητας βασίζονται στην καθαρή θερμογόνο δύναμη και σε πρότυπες ατμοσφαιρικές συνθήκες ISO (θερμοκρασία περιβάλλοντος 15 °C, πίεση 1,013 bar, σχετική υγρασία 60 %).

Κατηγορία	Τύπος καυσίμου:	Έτος κατασκευής						
		Πριν από το 2016			Από το 2016			
		Θερμό νερό	Ατμός (*)	Απευθείας χρήση καυσασ-ριών (**)	Θερμό νερό	Ατμός (*)	Απευθείας χρήση καυσασ-ριών (**)	
Στερεά	S1	Λιθάνθρακας συμπεριλαμβανομένου του ανθρακίτη, ασφαλτούχος άνθρακας, υποασφαλτούχος άνθρακας, οπτάνθρακας, ημι-οπτάνθρακας, οπτάνθρακας από πετρέλαιο	88	83	80	88	83	80
	S2	Λιγνίτης, μπρικέτες λιγνίτη, σχιστολιθικό πετρέλαιο	86	81	78	86	81	78
	S3	Τύρφη, μπρικέτες τύρφης	86	81	78	86	81	78
	S4	Ξηρή βιομάζα στην οποία συγκαταλέγονται το ξύλο και άλλη στερεά βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων οβόλων (πέλετ) και πλίνθων (μπρικετών) ξύλου, Ξηρών Ξυλοτεμαχίων, καθαρών και Ξηρών υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου, κελυφών καρπών και ελαιοπυρήνων και άλλων πυρήνων	86	81	78	86	81	78
	S5	Άλλη στερεά βιομάζα συμπεριλαμβανομένων παντός είδους ξύλου που δεν περιλαμβάνεται στην κατηγορία S4, καθώς και μαύρης αλσιόβας και καφέ αλσιόβας.	80	75	72	80	75	72
	S6	Αστικά και βιομηχανικά (μη ανανεώσιμα) απόβλητα και ανανεώσιμα/βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα	80	75	72	80	75	72
Υγρά	L7	Βαρύ μαζούτ, πετρέλαιο εσωτερικής καύσης/ντιζέλ, άλλα προϊόντα πετρελαίου	89	84	81	85	80	77
	L8	Βιοϋγρά, στα οποία συμπεριλαμβάνονται η βιομεθανόλη, η βιοαιθανόλη, η βιοβουτανόλη, το βιοντιζέλ και άλλα βιοϋγρά	89	84	81	85	80	77
	L9	Υγρά απόβλητα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα βιοαποικοδομήσιμα και τα μη ανανεώσιμα απόβλητα (στα οποία περιλαμβάνονται στέατα, λίπη και χρησιμοποιημένα σπέρματα)	80	75	72	75	70	67
Αέρια	G10	Φυσικό αέριο, υγραέριο (LPG), υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και βιομεθάνιο	90	85	82	92	87	84
	G11	Αέρια διυλιστηρίου, υδρογόνο και αέριο σύνθεσης	89	84	81	90	85	82
	G12	Βιοαέριο που παράγεται από αναερόβια ζύμωση, υγειονομική ταφή και επεξεργασία λυμάτων	70	65	62	80	75	72
	G13	Αέριο εγκαταστάσεων οπτανθρακοποίησης, το αέριο ψυκαμίνων και αέριο, φυσικό αέριο, άλλα αέρια ανάκτησης (πλην του αερίου διύλισης)	80	75	72	80	75	72

Κατηγορία	Τύπος καυσίμου:	Έτος κατασκευής								
		Πριν από το 2016			Από το 2016					
		Θερμό νερό	Ατμός (*)	Απευθείας χρήση καυσαερίων (**)	Θερμό νερό	Ατμός (*)	Απευθείας χρήση καυσαερίων (**)			
Άλλα	O14	Απορριπτόμενη θερμότητα (συμπεριλαμβανομένων των καυσαερίων από διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών, των προϊόντων εξώθερμων χημικών αντιδράσεων)			—	—	—	92	87	—
	O15	Πυρηνική ενέργεια			—	—	—	92	87	—
	O16	Ηλιοθερμική ενέργεια			—	—	—	92	87	—
	O17	Γεωθερμική ενέργεια			—	—	—	92	87	—
	O18	Άλλα καύσιμα που δεν αναφέρονται ανωτέρω			—	—	—	92	87	—

(*) Αν για τις ατμοηλεκτρικές εγκαταστάσεις δεν συνυπολογίζεται η επιστροφή συμπυκνωμάτων στον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης ΣΘΗ, ο βαθμός απόδοσης της παραγωγής από ατμό που αναφέρεται στον ανωτέρω πίνακα θα πρέπει να αυξηθεί κατά 5 ποσοστιαίες μονάδες.

(**) Οι τιμές για την απευθείας χρήση καυσαερίων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αν η θερμοκρασία είναι ίση ή μεγαλύτερη των 250 °C.

Διορθωτικοί συντελεστές σχετιζόμενοι με τις κλιματικές συνθήκες και μέθοδος για τον καθορισμό κλιματικών ζωνών εφαρμογής των εναρμονισμένων τιμών αναφοράς απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού (που προβλέπονται στο άρθρο 2 παράγραφος 1)

α) Διορθωτικοί συντελεστές σχετιζόμενοι με τις μέσες κλιματικές συνθήκες

Η διόρθωση βάσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας στο κράτος μέλος και των πρότυπων ατμοσφαιρικών συνθηκών ISO (15 °C).

Η διόρθωση έχει ως εξής:

0,1 % απώλεια απόδοσης για κάθε βαθμό άνω των 15 °C· 0,1 % κέρδος απόδοσης για κάθε βαθμό κάτω των 15 °C.

Παράδειγμα:

Όταν η μέση ετήσια θερμοκρασία σε κράτος μέλος ανέρχεται σε 10 °C, η τιμή αναφοράς μονάδας συμπαραγωγής σε αυτό το κράτος μέλος πρέπει να αυξηθεί κατά 0,5 %.

β) Η διόρθωση βάσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ισχύει μόνο για τα αέρια καύσιμα (G10, G11, G12, G13).

γ) Μέθοδος καθορισμού των κλιματικών ζωνών:

Τα σύνορα κάθε κλιματικής ζώνης καθορίζονται από ισοθερμικές καμπύλες (σε πλήρεις βαθμούς Κελσίου) της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος που διαφέρουν τουλάχιστον κατά 4 °C. Η

εφαρμοζόμενη σε γειτονικές κλιματικές ζώνες θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών περιβάλλοντος θα είναι τουλάχιστον 4 °C.

Παράδειγμα:

Αν, για παράδειγμα, η μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος σε συγκεκριμένο τόπο κράτους μέλους είναι 12 °C και σε άλλο τόπο εντός του ίδιου κράτους μέλους είναι 6 °C, τότε το κράτος μέλος έχει τη δυνατότητα να καθορίσει δύο κλιματικές ζώνες διαχωριζόμενες από την ισοθερμική καμπύλη των 9 °C:

μία κλιματική ζώνη μεταξύ των ισοθερμικών καμπυλών των 9 °C και των 13 °C (διαφορά 4 °C), με μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος 11 °C και

άλλη κλιματική ζώνη μεταξύ των ισοθερμικών καμπυλών των 5 °C και των 9 °C, με μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος 7 °C.

Διορθωτικοί συντελεστές για τις αποφευχθείσες απώλειες δικτύου για την εφαρμογή των εναρμονισμένων τιμών αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού (που προβλέπονται στο άρθρο 2 παράγραφος 2)

Επίπεδο τάσης σύνδεσης	Διορθωτικός συντελεστής (εκτός των εγκαταστάσεων)	Συντελεστής διόρθωσης (εντός των εγκαταστάσεων)
≥ 345 kV	1	0,976
≥ 200 — < 345 kV	0,972	0,963
≥ 100 — < 200 kV	0,963	0,951
≥ 50 — < 100 kV	0,952	0,936
≥ 12 — < 50 kV	0,935	0,914
≥ 0,45 — < 12 kV	0,918	0,891
< 0,45 kV	0,888	0,851

Παράδειγμα:

Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ισχύος εξόδου 100 kW_{el} με παλινδρομική μηχανή τροφοδοτούμενη με φυσικό αέριο παράγει ηλεκτρική ενέργεια τάσης 380 V. Από αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια ποσοστό 85 % χρησιμοποιείται για ίδια κατανάλωση και 15 % διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η μονάδα κατασκευάστηκε το 2010. Η ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 15 °C (οπότε δεν χρειάζεται διόρθωση κλιματικών συνθηκών).

Μετά τη διόρθωση για τις απώλειες δικτύου, η προκύπτουσα τιμή αναφοράς ως προς την απόδοση για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού στη συγκεκριμένη μονάδα συμπαραγωγής θα είναι (με βάση το σταθμισμένο μέσο όρο των συντελεστών του παρόντος παραρτήματος):

$$\text{Ref } E_{\eta} = 52,5 \% \times (0,851 \times 85 \% + 0,888 \times 15 \%) = 45,0 \%$$

Παράρτημα 3

Για το προσδιορισμό της τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδα που καταναλώνει βιομάζα και ΣΗΘΥΑ. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας για ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ:

	ηλεκτροπαραγωγής χωρίς σύστημα αποθήκευσης		
8	Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	280	220
9	Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	143	130
10	Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	110	100
11	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση), από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 1\text{MW}$ (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	198	180
12	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση), από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ από 1MW έως και 5MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	170	155
13	Βιομάζα (ή βιορευστά) που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση), από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $> 5\text{MW}$ (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	148	135
14	Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ιλύ/λάσπη βιολογικών καθαρισμών και αξιοποιούνται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 2\text{MW}$	131	114
15	Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση	108	94

Για νέες μονάδες ΣΗΘΥΑ, που ξεκινούν την λειτουργία τους μετά την έναρξη ισχύος του Ν.4254/2014.

Υπάρχει μια νέα κατηγοριοποίηση για τις μονάδες ΣΗΘΥΑ, που θα τεθούν σε λειτουργία με την ισχύ του Ν.4254/2014:

Κατηγορίες ΣΗΘΥΑ	Χωρίς επιδότηση €/MWh	Με επιδότηση €/MWh	• Βαθμοί Απόδοσης
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, $\leq 1MW_e$ για: -Συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας -Ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης - απομάστευσης	88+ΠΤ	76+ΠΤ	$\eta = 72\%$, $\eta_e = 33\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, $\leq 1MW_e$ για όλες τις λοιπές κατηγορίες, σύμφωνα με την ΚΟ 2004/8/ΕC	92+ΠΤ	80+ΠΤ	$\eta = 67\%$, $\eta_e = 33\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 1MW_e$ έως και $\leq 5 MW_e$ για: -Συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας -Ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης - απομάστευσης	80+ΠΤ	70+ΠΤ	$\eta = 72\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 1MW_e$ έως και $\leq 5 MW_e$ για όλες τις λοιπές κατηγορίες, σύμφωνα με την ΚΟ 2004/8/ΕC	84+ΠΤ	74+ΠΤ	$\eta = 67\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 5MW_e$ έως και $\leq 10 MW_e$ για: -Συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας -Ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης - απομάστευσης	74+ΠΤ	65+ΠΤ	$\eta = 72\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 5MW_e$ έως και $\leq 10 MW_e$ για όλες τις λοιπές κατηγορίες, σύμφωνα με την ΚΟ 2004/8/ΕC	78+ΠΤ	70+ΠΤ	$\eta = 67\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 10MW_e$ έως και $\leq 35 MW_e$ για: -Συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας -Ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης - απομάστευσης	68+ΠΤ	62+ΠΤ	$\eta = 72\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, από $> 10MW_e$ έως και $\leq 35 MW_e$ για όλες τις λοιπές κατηγορίες, σύμφωνα με την ΚΟ 2004/8/ΕC	72+ΠΤ	66+ΠΤ	$\eta = 67\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, έως $> 35 MW_e$			

για: -Συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου με ανάκτηση θερμότητας -Ατμοστρόβιλο συμπύκνωσης - απομάστευσης	61+ΠΤ	57+ΠΤ	$\eta = 72\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Μονάδες ΣΗΘΥΑ, με χρήση ΦΑ, έως $> 35MW_e$ για όλες τις λουπές κατηγορίες, σύμφωνα με την ΚΟ 2004/8/ΕC	65+ΠΤ	60+ΠΤ	$\eta = 67\%$, $\eta_e = 35\%$, $\eta_{hr} = 81\%$
Λοιπές μονάδες ΣΗΘΥΑ που συνδέονται στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα	85	80	-
Λοιπές μονάδες ΣΗΘΥΑ που συνδέονται στο δίκτυο των μη-Διασυνδεδεμένο Νησιών	95	90	-

Παράρτημα 4

Technical Datasheet για Solarlite 4600

Trough Details	
Segment Length	12 m
Aperture Width	4.6 m
Gross Aperture Area of 1 segment	55.2 m ²
Collector Length	up to 120 m
No. of segments	up to 10
Focal Length	1.2 m
Rim Angle	87.6°
Concentration factor	66
Deviation from ideal parabola - RMS	< 1.2 mrad
Maximum operating windspeed	50 kmph
Maximum survival windspeed	126 km/h
Heat Transfer Fluid	
Type	Water/Steam
Maximum Pressure	upto 55 bara
Maximum temperature	up to 400 °C
Vacuum Receiver	
Absorber Length	4060 mm
Material	Stainless steel
Outer diameter	70 mm
Wall thickness	2.5 mm
Solar Absorbance	≥ 95 %
Emissivity	≤ 14% @400 °C
Glass tube outer diameter	125 mm
Glass tube transmittance	≥ 96 %