



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**Κεβόρκ Τοροσιάν**



*Επιβλέπων καθηγητής: Χ. Τζιβανίδης*

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017, ΑΘΗΝΑ**

*Αφιερώνω την διπλωματική στην οικογένεια μου.*



## **Πρόλογος-Ευχαριστίες**

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου, στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κατά την περίοδο Μαρτίου-Οκτωβρίου 2017.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η παραμετρική βελτιστοποίηση και η οικονομική ανάλυση ενός συστήματος τριπαραγωγής από ηλιακή ενέργεια.

Για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας συνέβαλλαν αρκετά άτομα τα οποία με βοήθησαν και μεν ενέπνευσαν. Πρώτον θέλω να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή Χρήστο Τζιβανίδη για την καθοδήγηση του. Επίσης ,ιδιαιτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον μεταδιδακτορικό Ευάγγελο Μπέλλο, για την πλήρη υποστήριξη κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη ,τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν στις δύσκολες στιγμές και κυρίως την οικογένεια μου που με στήριξε συνεχώς καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Κεβόρκ Τοροσιάν

Αθήνα,2017

## **Περιεχόμενα**

|  |     |
|--|-----|
| Περίληψη .....   | 1   |
| Abstract.....  | 3   |
| Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> - Εισαγωγή.....                              | 5   |
| Βιβλιογραφία 1 <sup>ου</sup> κεφαλαίου: .....                        | 8   |
| Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> - Ηλιακή ενέργεια .....                      | 9   |
| 2.1 Γενικά.....  | 9   |
| 2.2 Επίπεδος συλλέκτης.....  | 12  |
| 2.3 Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης.....                              | 13  |
| 2.4 Επιμήκης συλλέκτης Fresnel .....                                 | 14  |
| 2.5 Συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο .....                        | 16  |
| 2.6 Ηλιακός πύργος.....  | 17  |
| 2.7 Παραβολικός συλλέκτης με κάτοπτρο.....                           | 19  |
| Βιβλιογραφία 2 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου:.....                         | 25  |
| Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> -Ανάλυση επιμέρους συστημάτων .....          | 27  |
| 3.1 Οργανικός κύκλος Rankine .....                                   | 27  |
| 3.2 Δεξαμενή αποθήκευσης .....                                       | 32  |
| 3.3 Συστήματα ψύξης .....  | 33  |
| 3.4 Συστήματα συμπαραγωγής και τριπαραγωγής. ....                    | 35  |
| Βιβλιογραφία 3 <sup>ου</sup> κεφαλαίου:.....                         | 45  |
| Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> - Σύστημα διπλωματικής .....                 | 47  |
| 4.1 Κίνητρα επιλογής συστήματος .....                                | 47  |
| 4.2-Περιγραφή του συστήματος .....                                   | 48  |
| 4.3-Μοντελοποίηση συστήματος.....                                    | 51  |
| 4.4- Χρονική απόκριση συστήματος .....                               | 53  |
| 4.4-Συνοπτική παρουσίαση προγράμματος επίλυσης συστημάτων (EES)..... | 55  |
| Βιβλιογραφία 4 <sup>ου</sup> κεφαλαίου.....                          | 56  |
| Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> -Αποτελέσματα .....                          | 58  |
| 5.1-Σύγκριση μεταξύ των εργαζόμενων μέσων .....                      | 58  |
| 5.2-Βελτιστοποίηση .....   | 109 |
| 5.3-Ανάλυση εργαζόμενου μέσου .....                                  | 114 |
| 5.5-Οικονομικά .....   | 135 |
| Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> -Συμπεράσματα .....                          | 139 |



## Περίληψη

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η παραμετρική βελτιστοποίηση ενός συστήματος τριπαραγωγής από ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιο δυναμικό για να καλύψει τις ανάγκες του ενεργειακού ζητήματος καθώς και αρκετές τεχνολογίες συλλογής της. Μια από αυτές μπορεί να συνδυαστεί με ενεργειακό κύκλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αποδοτικό τρόπο.

Στο σύστημα τριπαραγωγής περιλαμβάνεται ένας οργανικός κύκλος Rankine και ένα σύστημα ψύξης με απορρόφηση. Επίσης οι ηλιακοί συλλέκτες είναι παραβολικοί. Σε αυτό το σύστημα μελετήθηκε η επίδραση τεσσάρων εργαζόμενων μέσων καθώς και η επίδρασή παραμέτρων του συστήματος. Ύστερα βελτιστοποιήθηκαν οι παράμετροι αυτοί με την μέθοδο βελτιστοποίησης Pareto. Κατόπιν εκτελέστηκε το σύστημα κατά την διάρκεια κάθε μέσης μέρας ανά μήνα. Τέλος υπολογίστηκαν τα οικονομικά για την βέλτιστη περίπτωση, ώστε να δειχθεί η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος. Οι υπολογισμοί έγιναν στο υπολογιστικό πρόγραμμα (EES) και στο Excel.

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν βοήθησαν στην ποσοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς του συστήματος ανά εργαζόμενο μέσο και παράμετρο καθώς και στην μορφή της χρονικής απόκρισης. Τέλος οι δείκτες της οικονομικής ανάλυσης βοηθάνε στην σύγκριση τους με άλλα συστήματα. Ο εξεργειακός και ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης βγήκαν 25.15% και 1.508% αντίστοιχα ενώ ο χρόνος αποπληρωμής 5.61 έτη.





## **Abstract**

The aim of this paper is to study and parametrically optimize a trigeneration system driven by solar power. The solar energy has a huge potential power and is able to cover the demands of the energy issues. Additionally it has many technologies to collect it. One of them it can be combined with an energy cycle to produce electricity with an efficient way.

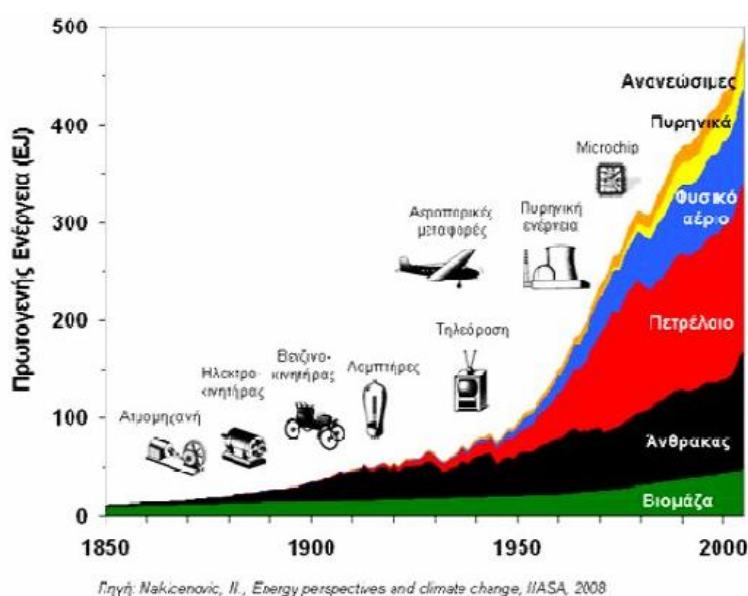
The system of trigeneration concludes an organic Rankine cycle and an absorption chiller. Additionally the solar collectors are parabolic through .In this system it was studied the effect of four organic fluids and also the effect of the parameters of the system. After that this parameters were optimized with the Pareto method of optimization. Consequently, the system was computed for the duration of the monthly average days. Finally, economics were computed for the optimum point to indicate that the system gets through from the economic point of view. The calculations were made with the computational program (EES) and with Excel.

The results that were derived helped at the qualitative and quantitative evaluation of the behavior of the system. Finally, the parameters of the economic analysis that were computed help to compare this system with others. The exergy efficiency is 25.15% and the energy efficiency is 1.508%, while the payback period is 5.61 years.



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> - Εισαγωγή

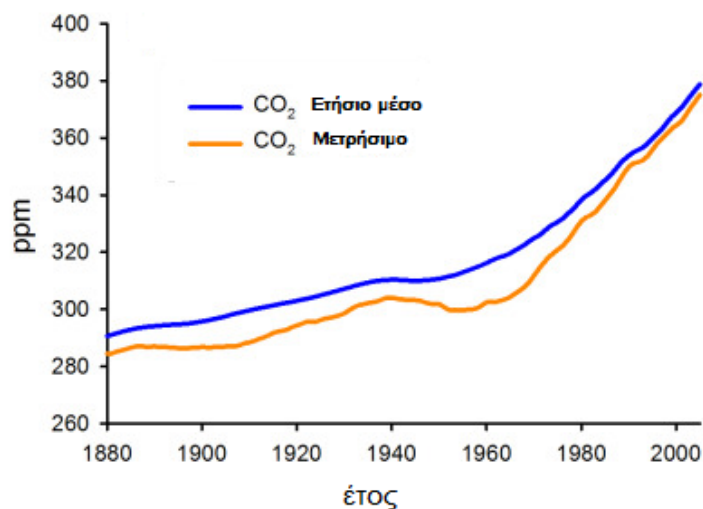
Καθοριστικός παράγοντας για την παρούσα και μελλοντική ενεργειακή κατάσταση είναι η εξέλιξη του πληθυσμού του πλανήτη και η ανάπτυξη του επιπέδου ζωής στα επόμενα χρόνια [1.1]. Η αλλαγή που οδήγησε τις σημερινές ανεπτυγμένες κοινωνίες στην παρούσα χρήση καυσίμων και στην εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, άρχισε και ήταν άρρητα συνδεδεμένη με την βιομηχανική επανάσταση. Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850, δεκαπλασιάστηκε από το 1900 και τετραπλασιάστηκε από το 1950 μέχρι σήμερα. Η δραματική αυτή αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης βοήθησε την οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου ενός σημαντικού τμήματος του πληθυσμού, αλλά όχι ολόκληρου του πλανήτη. Από το τέλος της δεκαετίας του του '60 άρχισαν να αναγνωρίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα των επιπτώσεων που προκαλεί η καύση των ορυκτών καυσίμων.



**Σχήμα 1.1: Ιστορική εξέλιξη της χρήσης των ενεργειακών πηγών .[1.2]**

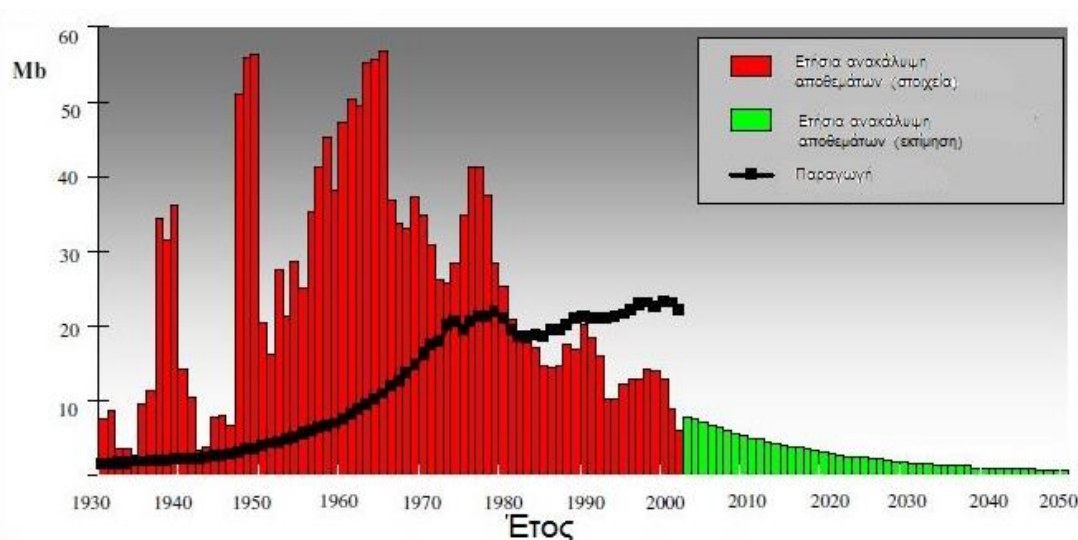
Ένα ενεργειακό μέλλον στηριζόμενο σε υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και στην εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων παρουσιάζει μία σειρά από προβλήματα και προκλήσεις για την ανθρωπότητα. Τα κυριότερα από αυτά είναι : το φαινόμενο του θερμοκηπίου , η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι κίνδυνοι ασφαλείας, τα υψηλά κόστη, η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων και η άνιση κατανομή. Ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την εξέλιξη της συνολικής χρήσης ενέργειας στο άμεσο μέλλον είναι η ανάπτυξη του βιομηχανοποιημένου μέρους του κόσμου, εξαιτίας ,του κυρίαρχου μεριδίου που κατέχει στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Σε μεσοπρόθεσμη χρονική κλίμακα όμως, ο αποφασιστικός παράγοντας θα είναι, εάν το μεγαλύτερο μέρος του κόσμου που τώρα χρησιμοποιεί λίγη ενέργεια θα συνεχίσει έτσι ή θα αυξήσει την ενεργειακή χρήση , είτε ακολουθώντας τον τρόπο ανάπτυξης των βιομηχανοποιημένων κρατών είτε ακολουθώντας εναλλακτικές οδούς προόδου. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις, η απόσταση ,όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας ,ανάμεσα στις περιοχές με τη μέγιστη και την ελάχιστη αντίστοιχα μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί (άνιση κατανομή) .[1.2]

Όσον αφορά το φαινόμενο το θερμοκηπίου το ποσοστό της ανθρωπογενούς επίδρασης σε αυτό αποτελεί βασικό θέμα διαλόγου μεταξύ επιστημονικών ομάδων. Ενδείξεις για την ανθρωπογενή επίδραση στην κλιματική αλλαγή παρέχουν κυρίως κλιματικές προσομοιώσεις (υπολογιστικά μοντέλα), αποτελέσματα από τη μελέτη των παγετώνων, ανάλυση των πυρήνων των πάγων (Eiskernanalysen), την κλιματολογία των ισοτόπων σε δένδρα και την έρευνα της ατμόσφαιρας με μετρήσεις LIDAR εδάφους, αέρα και δορυφορικές για την αξιολόγηση της ατμόσφαιρας της γης.



**Σχήμα 1.2: Συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (αέριο του θερμοκηπίου). [1.3]**

Αντεπιχειρήματα του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου βασίζονται αφ' ενός στο ότι και στην παλιότερη ιστορία της γης παρατηρούνταν συνεχώς μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, όμως το επιχείρημα ότι η ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα « ασήμαντο επεισόδιο » κατά τη διάρκεια της ιστορίας τους κλίματος της γης, δε συνεισφέρει στη συγκεκριμενοποίηση της συζήτησης για την αλλαγή του κλίματος και δεν της προσδίδει το απαιτούμενο πολιτικό και κοινωνικό βάρος. Όσον αφορά την μείωση των αποθεμάτων του πετρελαίου με την ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγής, εκτιμάται ότι το πετρέλαιο θα διαρκέσει 60 περίπου χρόνια. Η πορεία για το φυσικό αέριο προδιαγράφεται αντίστοιχη, αν και η μέγιστη παραγωγή μπορεί να συμβεί αργότερα από το πετρέλαιο. Όσον αφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση δεν πρέπει να παραλείψουμε της λυγνιτικές και ανθρακικές μονάδες που αποτελούν την πλειονότητα των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτές προκαλούν ανυπέβλητες και μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όσον αφορά τους κινδύνους ασφάλειας οι βιομηχανικές χώρες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές πετρελαίου και η εξάρτηση αυτή αυξάνεται συνεχώς. Οι οικονομίες των χωρών αυτών είναι άμεσα εξαρτημένες από την τιμή του πετρελαίου και από τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Δεδομένης της πολιτικής αστάθειας της περιοχής οι χώρες που εισάγουν πετρέλαιο θα έχουν να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερους κινδύνους ασφάλειας στον εφοδιασμό τους και οικονομικής σταθερότητας.



**Σχήμα 1.3: Εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου ανά έτος (παραγωγή και ανακάλυψη) .[1.2]**

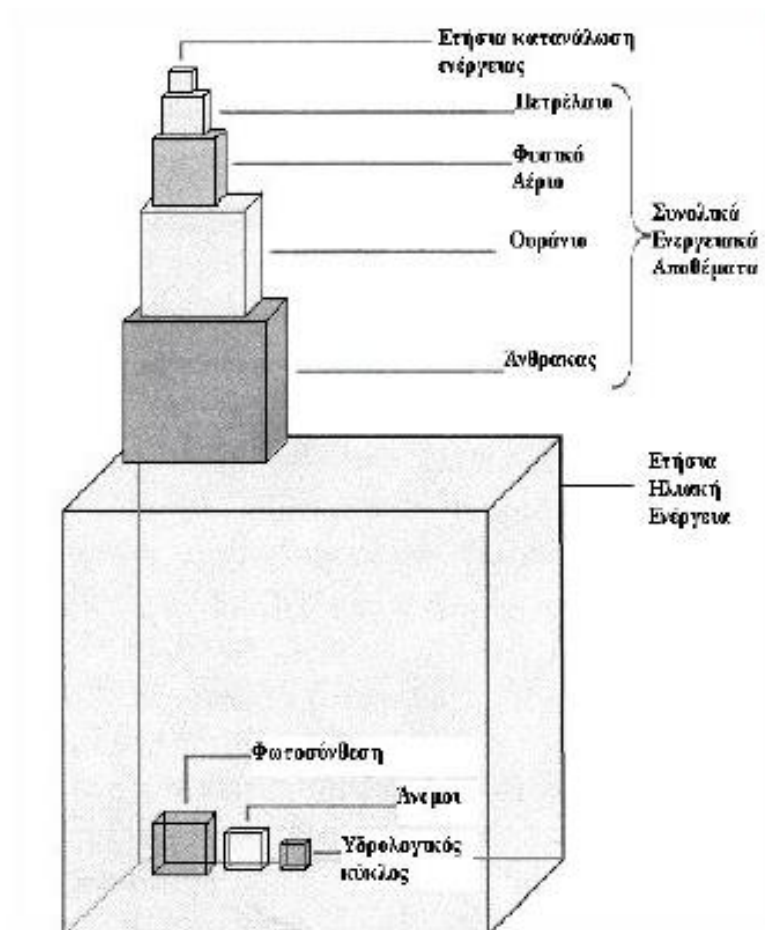
Όσον αφορά τα κόστη , οι αναλύσεις δείχνουν ότι αν η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας συνεχίσει να αυξάνεται με ρυθμό 2% το έτος, θα χρειασθούν ενεργειακές επενδύσεις της τάξης των 11 με 13 τρισεκατομμυρίων δολαρίων για το διάστημα 2000 με 2020 και των 25 με 35 τρισεκατομμυρίων για το διάστημα 2020 με 2050. Ως συνέπεια των παραπάνω αρκετές χώρες υποστηρίζουν την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ηλιακή , αιολική, πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια .

Εκτός από της ανανεώσιμες και τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας, ένας τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας είναι η βελτίωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Τα πλεονεκτήματα στην τεχνολογία συμπαραγωγής που οφείλονται στην αυξημένη απόδοση βοήθησαν κυρίως σε μεγάλοι μεγέθους βιομηχανικά εργοστάσια και ύστερα σε εμπορικά και ακόμη κατοικήσιμα κτήρια . Ως επακόλουθο οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις, επιτρέπουν την επένδυση συστημάτων τριπαραγωγής που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη, αξιοποιώντας την πρωτεύων ενέργεια των καυσίμων πολύ πιο αποδοτικά ,οικονομικά, αξιόπιστα και βλάπτοντας λιγότερο το περιβάλλον. Η τριπαραγωγή, διαμέσου της ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης από μια πηγή ενέργειας όπως το φυσικό αέριο , από τα βιοκαύσιμα ή και από την ηλιακή ενέργεια , είναι μια φυσική επέκταση των συστημάτων συμπαραγωγής. Από μια αυστηρή θερμοδυναμική πλευρά, ένα σύστημα τριπαραγωγής είναι απλώς ένα παραδοσιακό σύστημα ηλιακής και θερμικής ενέργειας προσθέτοντας έναν ψύκτη απορρόφησης ή και ένα ψύκτη συμπίεσης ατμών.

Τα πλεονεκτήματα της τριπαραγωγής, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και η καλύτερη γενική απόδοση προσελκύουν ερευνητές και κατασκευαστές. Σε ένα σύστημα τριπαραγωγής, η αποβληθείσα ενέργεια από το εργαζόμενο μέσο του εργοστασίου, όπως ένας αεριοστρόβιλος ή η ηλιακή ενέργεια , χρησιμοποιείται για να οδηγήσει τόσο το σύστημα θέρμανσης όσο και το σύστημα ψύξης .[1.4]

Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων ή για να παραχθεί θερμική ενέργεια και έτσι να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός ενεργειακού κύκλου. Υπάρχει μια όχι αμελητέα αύξηση στον αριθμό των ενεργειακών εργοστασίων

που λειτουργούν μερικώς ή εξολοκλήρου από την ηλιακή ενέργεια. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιο θεωρητικό δυναμικό, όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη είναι μεγαλύτερη κατά τρεις τάξεις μεγέθους από την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 1.4: Σύγκριση ενεργειακών πηγών. [1.2]

**Βιβλιογραφία 1<sup>ο</sup> κεφαλαίου:**

[1.1] Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών, *Ε. Κακαράς, Σ. Καρέλλας.*

[1.2] Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, *Αρθούρος Ζερβός.*

[1.3] CO<sub>2</sub>, The greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models, *Thomas R. Anderson et al., Endeavour, Volume 40, Issue 3, September 2016, Pages 178-187.*

[1.4] Exergoeconomic optimization and environmental analysis of a novel solar-trigeneration system for heating, cooling and power production purpose, *A. Baghernejad et al., Solar Energy, Volume 134, September 2016, Pages 165-179.*

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> - Ηλιακή ενέργεια

### 2.1 Γενικά

Για να είναι δυνατόν να εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούμε συσκευές οι οποίες ονομάζονται ηλιακοί συλλέκτες. Αυτές οι συσκευές είναι εναλλάκτες θερμότητας οι οποίοι δεσμεύουν μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και το μεταφέρουν στο εργαζόμενο μέσο (συνήθως νερό, αέρας και σπανιότερα κάποιο θερμικό έλαιο) αυξάνοντας τη θερμοκρασία. Η απόδοση τους είναι της τάξης του 50% και εξαρτάται αρκετά από τη θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου διότι αυτή καθορίζει και τη μέση θερμοκρασία του όλου συστήματος το οποίο συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον . Η διάρκεια ζωής τους είναι αρκετά μεγάλη τάξης μεγέθους περίπου 25 ετών και αυτό τους καθιστά ανταγωνιστική και βιώσιμη τεχνολογικά επιλογή [2.1].

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένοι ορισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε εφαρμογές που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια.

Άμεσος ακτινοβολία :Η ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς να υποστεί διασκορπισμό στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ακτινοβολία: Η ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον ήλιο, αφού προηγουμένως έχει αλλάξει η κατεύθυνση της λόγω διασκορπισμού στην ατμόσφαιρα.

Συνολική ακτινοβολία: Το άθροισμα της άμεσου και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας επάνω σε μια επιφάνεια .

Προσπίπτουσα ακτινοβολία: Ο ρυθμός με τον οποίο προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία επάνω σε μία επιφάνεια .Η στιγμιαία τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (σε W/m<sup>2</sup>) συμβολίζεται με το γράμμα G.[2.2]



**Σχήμα 2.1: Είδη τεχνολογιών για ηλιακή ενέργεια .[2.3]**

Υπάρχουν πολλά είδη τεχνολογιών ικανά να τιθασεύσουν την ηλιακή ενέργεια. Οι εφαρμογές καλύπτουν τομείς όπως ο εμπορικός, ο οικιακός, ο βιομηχανικός ,ο

αγροτικός και ο τομέας των μεταφορών. Στην θέρμανση νερού έχουμε τον οικιακό, εμπορικό και αγροτικό τομέα και η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία σε αυτούς τους τομείς είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες υγρού. Αντίστοιχα στην θέρμανση-εξαερισμό έχουμε τον οικιακό, εμπορικό και βιομηχανικό τομέα και εφαρμόζονται οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αέρα. Παρόμοια στην θέρμανση κτηρίων έχουμε τον οικιακό, εμπορικό και αγροτικό τομέα. Σε όλους αυτούς τομείς χρησιμοποιούνται παράθυρα προηγμένης τεχνολογίας, τεχνολογία διάφανης μόνωσης, ο τοίχος Trombe και οι ηλιακοί συλλέκτες υγρού με σύστημα θέρμανσης κτηρίου. Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό και εμπορικό τομέα και στον τομέα των μεταφορών έχουμε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μικρής κλίμακας. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην διανομή έχουμε τον οικιακό, εμπορικό και αγροτικό τομέα στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή φωτοβολταϊκά στοιχεία μέσης και μεγάλης κλίμακας, Power tower (κεντρικός Δέκτης) και παραβολικά κάτοπτρα. Τέλος έχουμε την απολύμανση αέρα-νερού στον βιομηχανικό τομέα με φωτοκαταλύτες για οξείδωση [2.4].

Οι ηλιακοί συλλέκτες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες τους συγκεντρωτικούς και τους επίπεδους, οι δεύτεροι εφαρμόζονται στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, ενώ οι πρώτοι σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλότερη θερμοκρασία ( $>100^{\circ}\text{C}$ ). Οι επίπεδοι συλλέκτες παρουσιάζουν χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς αλλά έχουν και χαμηλότερο κόστος. Έτσι μια οικονομοτεχνική ανάλυση σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τεχνολογίας ανά εφαρμογή. Οι επίπεδοι συλλέκτες αξιοποιούν την άμεση ακτινοβολία καθώς και την διάχυτη εξ ουρανού και εξ εδάφους γεγονός που αυξάνει αρκετά τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια προς αξιοποίηση. Από την άλλη πλευρά, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες βασίζονται στην αξιοποίηση της άμεσης ακτινοβολίας κατά κύριο λόγο. Επιπλέον οι παραπάνω συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρότερη περιοχή (δέκτης) σε σχέση με το συνολικό άνοιγμα που λαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνονται υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τον επίπεδο συλλέκτη και μειώνονται οι θερμικές απώλειες. Εν γένει οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για θερμοκρασίες πάνω από  $150^{\circ}\text{C}$  έως και τους  $500^{\circ}\text{C}$  σε πιο απαιτητικές εφαρμογές.

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

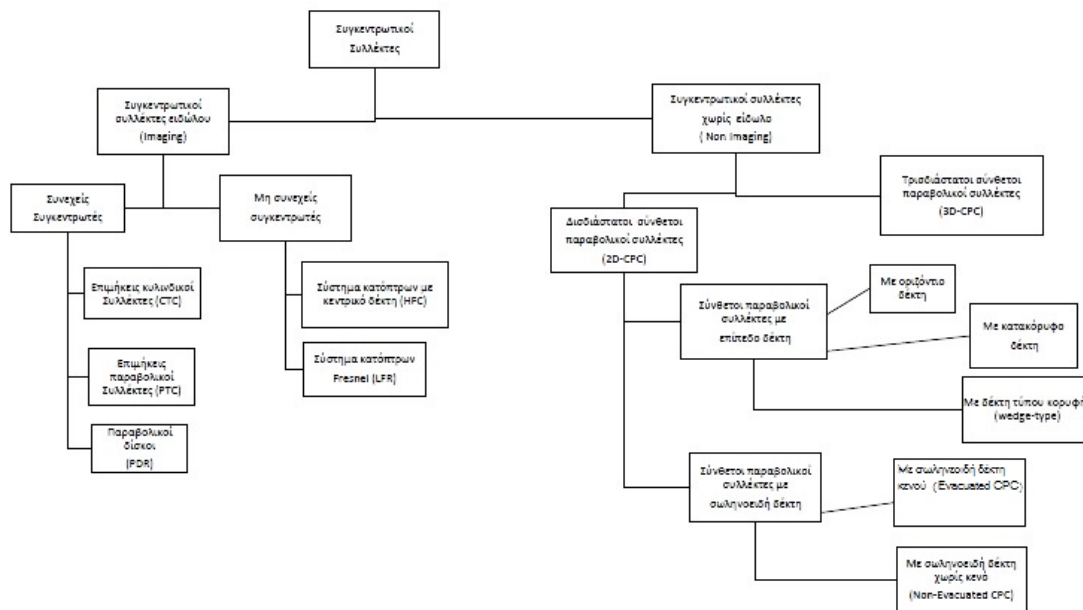
- CPC (Compound Parabolic concentrator) ή Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης.
- PTC (Parabolic Trough Concentrator) ή Παραβολικός συλλέκτης με κάτοπτρο.
- Επιμήκης συλλέκτης με φακούς/κάτοπτρα Fresnel.
- Συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο (Solar Dish Collector).
- Ηλιακός πύργος (Solar Tower).

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι εικονικοί ή ανεικονικοί.

Εικονικοί λέγονται οι συλλέκτες που σχηματίζουν το είδωλο του ήλιου στο δέκτη, έστω και παραμορφωμένο. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο ήλιος δεν είναι μια σημειακή φωτεινή



πηγή, αλλά ένας δίσκος που φαίνεται υπό γωνία  $0,54^\circ$  από τη γη πάνω στον ουράνιο θόλο.



**Σχήμα 2.2: Διάγραμμα συγκεντρωτικών συλλεκτών .[2.4]**

Ανεικονικοί λέγονται οι συλλέκτες, στους οποίους η άμεση ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται και απορροφάται τυχαία από το δέκτη, με συνέπεια κανένα είδωλο να μη σχηματίζεται.

Η εξέλιξη των συγκεντρωτικών συλλεκτών είχε ως βασικό της σκοπό την επίτευξη θερμοκρασιών υψηλότερων από αυτές που επιτυγχάνονται στην απορροφητική επιφάνεια των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν δύο κύρια πλεονεκτήματα:

Συλλέγουν θερμότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες, με συνέπεια να είναι κατάλληλοι σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές.

Έχουν μειωμένο κόστος, δεδομένου ότι ένας ακριβός δέκτης αντικαθίσταται από μια λιγότερο ακριβή ανακλαστική ή διαθλαστική επιφάνεια.

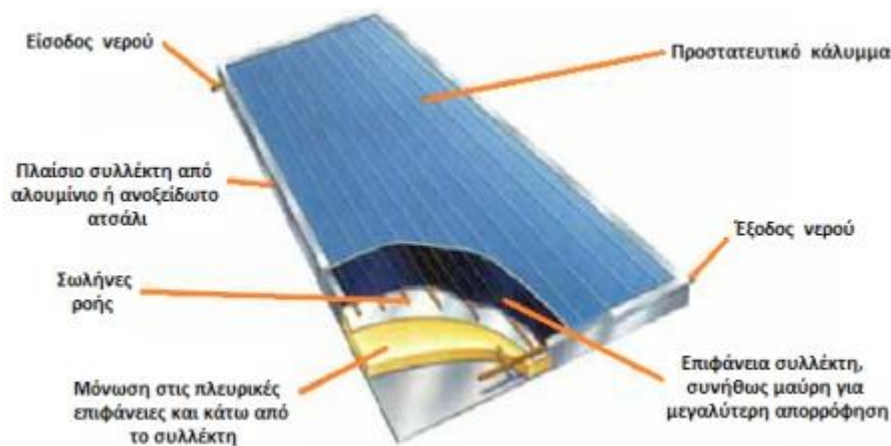
Στον αντίποδα ,για υψηλές θερμοκρασίες είναι αναγκαίος ένας πολύ προσεχτικός σχεδιασμός όσο αφορά τους συλλέκτες αλλά και το σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας. Αυτοί έχουν υψηλό κόστος, διότι συνήθως συνοδεύονται από σωλήνα κενού και διότι η επιφάνεια ανάκλασης είναι αναγκαίο να υφίσταται ειδική επεξεργασία η οποία κοστίζει. Επιπροσθέτως οι συλλέκτες έχουν ένα κόστος για το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου το οποίο χρειάζεται στις περισσότερες φορές των περιπτώσεων. Η συγκέντρωση ακτινοβολίας εκφράζεται από τον λόγο συγκέντρωσης ο οποίος δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η επιφάνεια αποδοχής της ηλιακής ακτινοβολίας (άνοιγμα συλλέκτη) προς την επιφάνεια που δέχεται τελικά την ακτινοβολία μετά την ανάκλαση (δέκτης) .[2.5]

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (2.1)$$

## 2.2 Επίπεδος συλλέκτης

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το περίβλημα ,που συνήθως είναι μεταλλικό ή πλαστικό, ενοποιεί την κατασκευή και προστατεύει τον συλλέκτη από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.
- Ο απορροφητήρας, ή πλάκα απορρόφησης, δηλαδή η μαύρη επίπεδη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο απορροφητήρας είναι εφοδιασμένος με σύστημα μεταφοράς της ενέργειας σε ρευστό π.χ. σωλήνες αν πρόκειται για συλλέκτη θέρμανσης υγρού ή αεραγωγούς αν πρόκειται για θερμαντήρα αέρος.
- Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες διά συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον.
- Μόνωση της πίσω και των παραπλεύρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.



Σχήμα 2.3: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης .[2.3]

Οι επίπεδοι συλλέκτες έχουν τη μεγαλύτερη επιφάνεια απορρόφησης θερμότητας, αλλά και τις περισσότερες θερμικές απώλειες από όλους τους συλλέκτες. Ο παράγοντας αυτός περιορίζει τη θερμοκρασία λειτουργίας για τους επίπεδους συλλέκτες σε λιγότερο από 80°C ( για βαθμό απόδοσης >25%), ωστόσο με διπλό κάλυμμα, μείωση της συναγωγής και μόνωση κενού υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας είναι δυνατές.

Για να ποσοτικοποιηθεί η απόδοση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη θα πρέπει να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμικών απωλειών. Η ικανότητα ενός συλλέκτη να απορροφά ηλιακή ακτινοβολία καθορίζεται από τις ιδιότητες του καλύμματος, των ανακλαστικών επιφανειών και της απορροφητικής πλάκας.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα του, ένα είναι το τεράστιο μέγεθος που καταλαμβάνει εξαιτίας της επίπεδης του επιφάνειας του, δηλαδή πρέπει να είναι τοποθετημένος σε τέτοια κλίση έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει κάθετα σε αυτόν και να έχουν μέγιστη απόδοση . Ακόμη, οι συλλέκτες δεν πρέπει να σκιάζονται μεταξύ τους. Επιπλέον, οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής, αφού έχουν αρκετή ποσότητα χαλκού για την κατασκευή του απορροφητή.

Στα πλεονεκτήματα τους περιλαμβάνεται η σταθερή λειτουργία τους και η αντοχή στο χρόνο.

### **2.3 Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης**

Οι συμπαγείς παραβολικοί συγκεντρωτές ανήκουν στην κατηγορία των ανεικονικών συγκεντρωτών. Οι συγκεντρωτές αυτοί έχουν τη δυνατότητα να ανακλούν στον απορροφητή όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία εντός ευρέων ορίων . Η αναγκαιότητα μετακίνησης του συγκεντρωτή έτσι ώστε να προσαρμοστεί στο μεταβαλλόμενο προσανατολισμό του ηλίου μπορεί να μετριαστεί χρησιμοποιώντας μια << σκάφη >> με δύο τμήματα παραβολής αντικριστά μεταξύ τους . Οι συμπαγείς παραβολικοί συγκεντρωτές δέχονται προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα γωνιών. Χρησιμοποιώντας πολλαπλές εσωτερικές ανακλάσεις ,όλη η ακτινοβολία που εισέρχεται στο << παράθυρο >> του συγκεντρωτή, εντός της γωνίας αποδοχής φτάνει έως τον απορροφητή που τοποθετείται στην βάση του συλλέκτη. Η ημιγωνία αποδοχής ορίζεται ως η γωνία στα όρια της οποίας μπορεί να κινηθεί μια πηγή φωτός, ώστε να συγκλίνει στον απορροφητή. Πρακτικά οι μεγάλες ημιγωνίες αποδοχής χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα συλλογής διάχυτης ακτινοβολίας με κόστος το χαμηλότερο δείκτη συγκέντρωσης. Για αυτό, η επιλογή της ημιγωνίας αποδοχής γίνεται με βάση την εφαρμογή που χρησιμοποιείται ο συλλέκτης.



**Σχήμα 2.4: Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης με σωλήνα κενού .[2.5]**

Οι CPC συνήθως καλύπτονται από γυαλί για να αποφεύγεται η είσοδος σκόνης και άλλων σωματιδίων στο συλλέκτη με συνέπεια τη μείωση της ανακλαστικότητας των τοιχωμάτων του.

Τέλος θα αναφέρουμε τις κυριότερες τεχνολογίες των παραπάνω συλλεκτών καθώς και τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Οι CPC συλλέκτες χρησιμοποιούνται για συστήματα παραγωγής θερμού νερού έτσι τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί από αρκετές εταιρίες ολοκληρωμένα συστήματα για παραγωγή

ζεστού νερού χρήσης. Η απόδοση τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τους συμβατικούς επίπεδους συλλέκτες και γι' αυτό αναμένεται η εξάπλωση τους τα επόμενα χρόνια. Επίσης οι CPC βρίσκουν εφαρμογή στην παραγωγή θερμότητας, για βιομηχανίες που απαιτούν ένα θερμοκρασιακό εύρος από 90 έως 250°C, όπως για αναμόρφωση μεθανόλης, για ηλεκτροπαραγωγή μέσω οργανικού κύκλου Rankine (ORC), για φώτο-καταλυτική παραγωγή υδρογόνου και σαν δευτερεύοντα κάτοπτρα σε συλλέκτες όπως οι Fresnel, ώστε να αυξάνεται ο λόγος συγκέντρωσης και να παράγονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Μερικές από τις καινοτόμες ιδέες είναι η χρήση φακών (lens) πάνω από τον ανακλαστήρα που αυξάνουν τη γωνία αποδοχής αλλά μειώνουν το οπτικό βαθμό απόδοσης στις μικρές γωνίες πρόσπτωσης. Άλλη μια τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές με φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία αυξάνουν τη απόδοσή τους, όμως λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας το φωτοβολταϊκό στοιχείο λειτουργεί με μειωμένη απόδοση και χρειάζεται ψύξη. Τέλος υπάρχουν τεχνικές για να βελτιώσουμε τον συντελεστή συναγωγής για τον εσωτερικό αέρα με αλλαγή του αέρα που βρίσκεται μέσα στο κάλυμμα ή χρήση κάποιων μικρών εμποδίων στο κάτω μέρος του συλλέκτη.



**Σχήμα 2.5: Παραβολικός συγκεντρωτής με φωτοβολταϊκά στοιχεία .[2.6]**

#### **2.4 Επιμήκης συλλέκτης Fresnel**

Ο γραμμικός ανακλαστής Fresnel αποτελείται από μια σειρά κατοπτρικών λωρίδων οι οποίες συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη στερεωμένο πάνω σε ένα γραμμικό πύργο. Το πεδίο των κατόπτρων μπορεί να θεωρηθεί ως ένας σπασμένος ανακλαστής παραβολικού κατόπτρου. Τα κάτοπτρα είναι επίπεδοι ή ελαστικά κυρτωμένοι ανακλαστής. Αυτοί είναι φθηνότεροι από τα παραβολικά κάτοπτρα και είναι τοποθετημένοι κοντά στο έδαφος ελαχιστοποιώντας τις κατασκευαστικές απαιτήσεις. Στα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας συγκαταλέγονται :

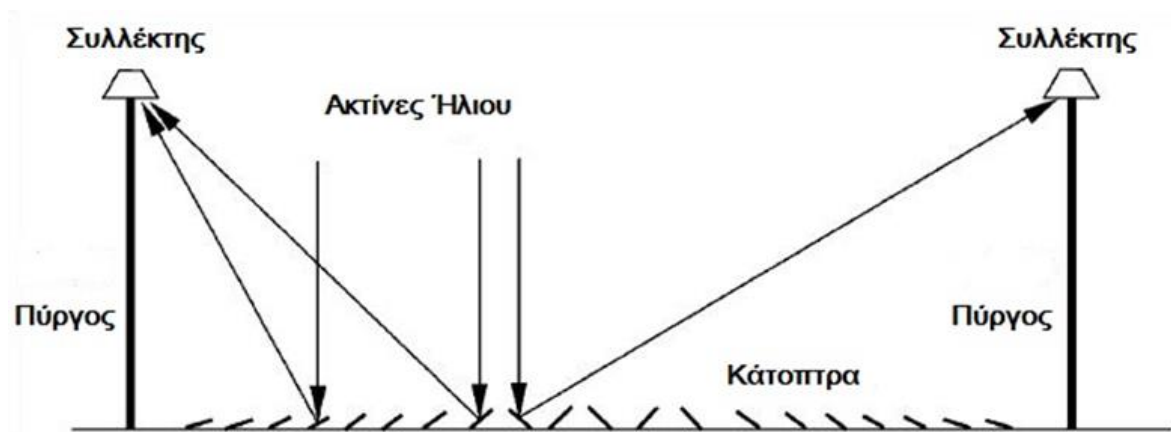
- Το χαμηλότερο βάρος από τους παραβολικούς -30%.

- Χρησιμοποιούνται μεγάλοι απορροφητές οι οποίοι δεν χρειάζονται να κινούνται.
- Επιφέρουν καλή απόδοση με απλό σύστημα παρακολούθησης του ήλιου που είναι ενός άξονα και μόνο στα κάτω κάτοπτρα.
- Λόγω της επιπεδότητας των κατόπτρων τα φορτία ανέμου είναι σημαντικά μειωμένα.
- Δυνατότητα επίτευξης θερμοκηπίου κάτω από τα κάτοπτρα.

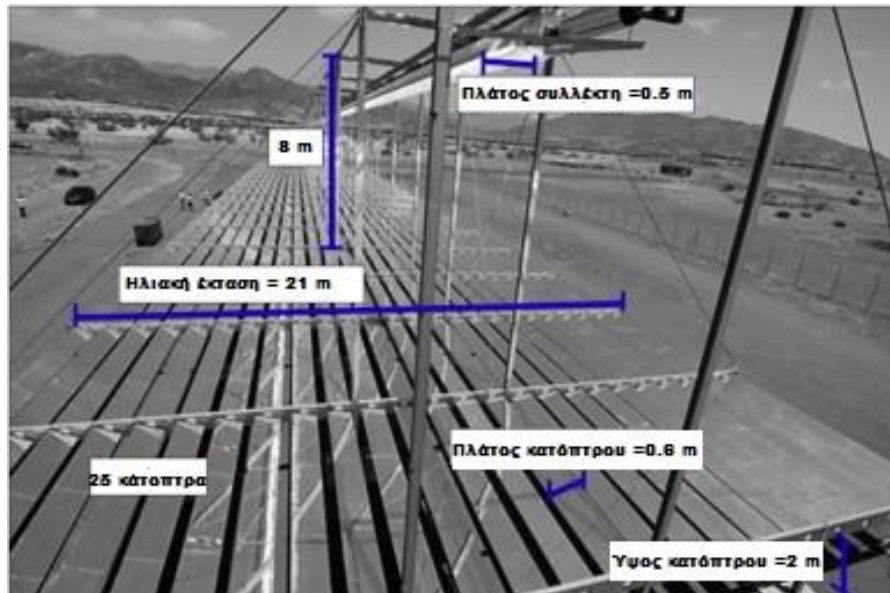
Στα μειονεκτήματα συμπεριλαμβάνονται:

- Η σκίαση που προκαλείται μεταξύ των κατόπτρων.
- Ο χαμηλός οπτικός βαθμός απόδοσης εξαιτίας των δύο ανακλάσεων.

Το πρόβλημα της σκίασης αντιμετωπίζεται με δύο τρόπους. Πρώτον, αυξάνοντας το ύψος των συλλεκτών με απώλεια την αύξηση του κόστους. Δεύτερον, χρησιμοποιώντας διαφορετικό προσανατολισμό στα κεντρικά κάτοπτρα και έχοντας δύο συλλέκτες, έτσι καταρχάς μειώνεται η απόσταση μεταξύ των κατόπτρων αυξάνοντας την πυκνότητα των ανακλαστών στο έδαφος, άρα την εκμετάλλευση περισσότερης γης, καθώς και την μείωση του ύψους των πύργων απορρόφησης μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής αυτών και της θερμικές απώλειες τους. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η δυνατότητα παραγωγής ατμού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις ο οποίος θα μπορεί να αποδώσει πολύ καλά σε ένα κύκλο Rankine. Ως συμπέρασμα, ο δέκτης Fresnel έχει περίπου 70% της θερμικής απόδοσης των παραβολικών κοίλων ανά επιφάνεια ανοίγματος. Όμως το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού είναι κατά 10% μικρότερο στη περίπτωση του συλλέκτη Fresnel. Βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τα συστήματα παραβολικών κοίλων συλλεκτών έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά και εμπορικά ενώ του συλλέκτη Fresnel μόνο θεωρητικά.



Σχήμα 2.6: Συλλέκτης Fresnel με αντικριστά κάτοπτρα στην μέση .[2.7]



**Σχήμα 2.7: Κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά του FRESDEMO πρωτοτύπου . [2.8]**

### **2.5 Συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο**

Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του συλλέκτη είναι η τοποθέτηση μιας απορροφητικής επιφάνειας στην εστία της τρισδιάστατης παραβολής που δημιουργείται διότι εκεί συγκεντρώνεται όλη η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Ο ανακλαστής τύπου παραβολικού << πιάτου >> παρακολουθεί την πορεία του ηλίου σε δύο άξονες.

Στα βασικά πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται:

- Έχουν την μεγαλύτερη απόδοση ~30% από όλα τα συστήματα συλλεκτών διότι με το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου ο συλλέκτης βρίσκεται πάντα απέναντι από τον ήλιο και επειδή έχουν αυξημένο λόγο συγκέντρωσης που κυμαίνεται από 600 έως 2000.
- Οι μονάδες του συγκεντρωτή και του συλλέκτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ανεξάρτητα ή ως μέρος ενός ευρύτερου συνόλου παραβολικών « πιάτων ».
- Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούν καύσιμο σε περιόδους περιορισμένης ή και καθόλου ηλιοφάνειας μέσω του κύκλου Stirling.
- Έχουν βραχύ χρόνο εγκατάστασης και αρκετή αυτονομία.
- Προκαλούν ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Από την άλλη πλευρά:

- Σταματάει η λειτουργία τους όταν ο αέρας περάσει κάποια όρια της τάξης των 16 m/sec διότι αυτή είναι επιρρεπείς σε βλάβες.
- Χρειάζονται πολλούς αξιόπιστους και ευαίσθητους αισθητήρες για την ακριβή λειτουργία τους.
- Έχουν μειονέκτημα στην αποθήκευση ενέργειας, όταν χρησιμοποιείται θερμική μηχανή.
- Απαιτούν σωστό χωροταξικό σχεδιασμό και μεγάλη έκταση γης λόγω αλληλοσκίασης.

Τέλος η τεχνολογία αυτή θέλει αρκετό χρόνο ώστε να ωριμάσει προκειμένου να κατασκευαστούν βιομηχανικά μοντέλα στην αγορά.



**Σχήμα 2.8: Πρωτότυπο παραβολικό πιάτο που χρησιμοποιείται στο εργοστάσιο θερμικής συμπαραγωγής με ηλιακή ενέργεια στην Shenandoah, GA. [2.9]**

### **2.6 Ηλιακός πύργος**

Η λειτουργία του ηλιακού πύργου αποσκοπεί στο να παράγει ηλεκτρική ενέργεια επικεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω σε ένα πύργο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από εκατοντάδες έως χιλιάδες καθρέπτες οι οποίοι ονομάζονται ηλιοστάτες προκειμένου να αντανακλούν το φως του ήλιου στο δέκτη, που είναι μια μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Στον οποίο ύστερα, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται γίνεται μετατροπή του νερού σε ατμό και έπειτα ο ατμός χρησιμοποιείται σε στροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Παρακάτω αναφέρουμε κάποια πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας:

- Αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες στον δέκτη λόγω του μεγάλου λόγου συγκέντρωσης που είναι περίπου από [300-1500] και με υψηλή απόδοση κατά την συλλογή ενέργειας.
- Έχουν μεγάλο δυναμικό (γενικά περισσότερο από 10 MW) και συνεπώς παρουσιάζουν μειωμένο κόστος λόγω της μεγάλης τους κλίμακας
- Μπορούν να αποθηκεύσουν θερμική ενέργεια με ευκολία όμως παρουσιάζουν μια δυσκολία που αναφέρεται στα μειονεκτήματα.
- Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με οπτικό τρόπο και συγκεντρώνεται σε ένα μοναδικό δέκτη με αποτέλεσμα τη μείωση των

απωλειών μεταφοράς της θερμικής ενέργειας οι οποίες είναι ανάλογες του όγκου του συλλέκτη.

- Όταν χρησιμοποιείται κρύα και ζεστή δεξαμενή για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από την θερμική απαίτηση των στροβίλων που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι υπάρχει φόρτιση των δεξαμενών παράλληλα με την λειτουργία των στροβίλων και αυτό οδηγεί σε συντελεστές διαθεσιμότητας της τάξης του 65%.
- Η μονάδα του ηλιακού πύργου μπορεί να γίνει υβριδική με χρησιμοποίηση καυσίμων στις περιόδους περιορισμένης ηλιοφάνειας.
- Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του πύργου δεν απελευθερώνονται επικίνδυνα αέρια η υγρά από την μονάδα.



**Σχήμα 2.9: Ο πιλοτικός ηλιακός πύργος στη Dagget στην Αμερική ισχύος 10 MW . [2.10]**

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα :

- Επειδή χρησιμοποιείται τηγμένο άλας ως εργαζόμενο μέσο για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας αυτό πρέπει να διατηρείται σε υγρή μορφή. Έτσι απαιτείται θερμική ενέργεια που πρέπει να δοθεί. Επίσης το τηγμένο άλας έχει χαμηλό ιξώδες που προκαλεί δυσκολία στον χειρισμό του.
- Οι ηλιοστάτες χρειάζονται αισθητήρες ή έλεγχο από ηλεκτρονικό υπολογιστή πράγμα το οποίο αυξάνει το κόστος και την περιπλοκότητα του συστήματος.
- Υπάρχει το σφάλμα του συνημίτονου που μειώνει την αποτελεσματική επιφάνεια αντανάκλασης του ηλιοστάτη. Αυτό αντιμετωπίζεται με την αύξηση της απόστασης του ηλιοστάτη από τον πύργο του δέκτη και έχει ως συνέπεια την ανάγκη αξιοποίησης περισσότερης γης.
- Παρουσιάζεται το πρόβλημα της σκίασης και της παρεμπόδισης της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ των ηλιοστατών. Αυτό αντιμετωπίζεται με μείωση του μεγέθους των καθρεπτών που έχει ως συνέπεια για την ίδια απαίτησης ισχύος



την αύξηση του πλήθους των ηλιοστατών. Άλλη μείωση μπορεί να επιτευχθεί με μεγαλύτερο ύψος πύργου που προκαλεί αυξημένη αεροδυναμική αστάθεια και μεγαλύτερο κόστος. Τέλος μπορεί να εφαρμοστεί η λειτουργία του πύργου μόνο στις μεσημεριανές ώρες περιορίζοντας το εύρος λειτουργίας.

- Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει από τους ηλιοστάτες στον δέκτη εξαρτάται από την ατμοσφαιρική διαπερατότητα μεταξύ τους. Η οποία στην σειρά της εξαρτάται από την απόσταση του εκάστοτε ηλιοστάτη από τον δέκτη και από την αιθριότητα της εκάστοτε μέρας. Όλα αυτά μειώνουν την απόδοση του συστήματος και απαιτούν ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας

Τέλος η τεχνολογία των ηλιακών πύργων αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια με αυξανόμενους ρυθμούς, προκειμένου όμως η τεχνολογία να γίνει ελκυστική για εμπορικούς σκοπούς είναι απαραίτητη η πρόοδος σε μερικά υποσυστήματα έτσι ώστε να μειωθούν τα κόστη και να αυξηθεί η αξιοπιστία της. Στην ιδανική περίπτωση για να είναι η τεχνολογία οικονομική θα πρέπει ο πύργος ισχύος να είναι τουλάχιστον 100MW. Όμως το εγχείρημα εμπεριέχει τεχνοοικονομικούς κινδύνους και θα ήταν απαραίτητη πρώτα η κατασκευή ηλιακών πύργων ισχύος μεσαίου μεγέθους. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για ένα αυτοτελή ηλιακό πύργο των 30MW θα είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο των ορυκτών καυσίμων πράγμα το οποίο θέλει την αιγίδα χρηματοδοτήσεων ή επιδοτήσεων στην υποστήριξη του έργου. Η τυπική τιμή του ετήσιου ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης είναι 20%. Ο υβριδισμός είναι ακόμα μια επιλογή που διερευνάται για να βοηθήσει την είσοδο αυτής της τεχνολογίας στην αγορά. Δεν πρέπει να παραλείψουμε ότι αυτή η τεχνολογία απαιτεί μεγάλες εκτάσεις γης, νερό και εκτάσεις που έχουν υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας πράγμα το οποίο είναι εφαρμόσιμο σε χώρες με ηλιοφάνεια.

### **2.7 Παραβολικός συλλέκτης με κάτοπτρο**

Πρόκειται για επιμήκη συλλέκτη με επιφάνεια « τύπου σκάφης » στην οποία οφείλετε η ονομασία του Parabolic Trough Collector (PTC). Τα βασικά μέρη αυτού είναι το παραβολικό κάτοπτρο και ο σωλήνας κενού, ο οποίος είναι τοποθετημένος στη γραμμική εστίασης. Αυτός ο συλλέκτης εντάσσεται στην κατηγορία συλλεκτών με είδωλο. Επιπλέον έχουν ερευνηθεί αρκετά αναλυτικά και πειραματικά τα τελευταία χρόνια και έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτούνται μέσοι συντελεστές συγκέντρωσης και εύρος θερμοκρασιών από 100 έως και 500 °C.

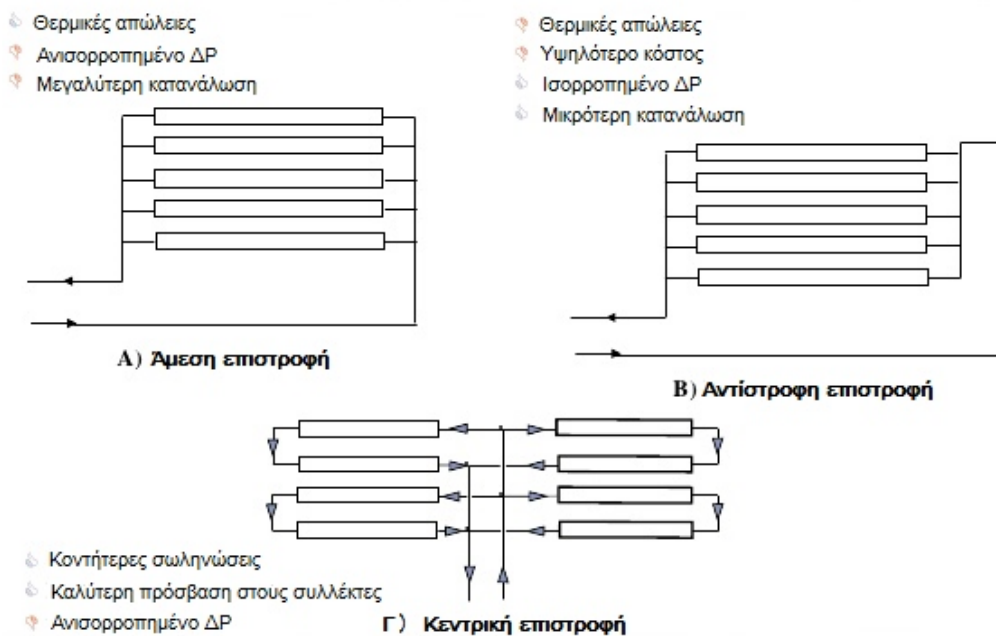
Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός σταθμού ο οποίος λειτουργεί μόνο με ηλιακά φτάνει το 25%, ενώ ο μέσος κυμαίνεται 12 με 16%. Η συνολική έκταση ενός τυπικού εργοστασίου ισχύος 50 MW είναι  $2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$  με τους συλλέκτες να καταλαμβάνουν το 25% αυτής της έκτασης. Η τιμή πώλησης της ενέργειας αυτής διαφέρει από περιοχή σε περιοχή με τυπικές τιμές από 20 έως 25€/MWh.

Από το παρακάτω σχήμα φαίνεται καθαρά πως η σύνδεση των συλλεκτών είναι και σε σειρά και παράλληλα. Δηλαδή αρκετοί συλλέκτες τοποθετούνται σε σειρά ώστε να μπορεί να δοθεί η απαιτούμενη ενέργεια για την ανύψωση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου και στη συνέχεια τοποθετούνται παράλληλα σε πολλές τέτοιες σειρές ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη παροχή μάζας εργαζόμενου μέσου. Είναι αξιοσημείωτο πως τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής δεν λειτουργούν όταν η

ακτινοβολία του ήλιου είναι μικρότερη από  $100\text{W/m}^2$  διότι δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια για να θερμάνει το εργαζόμενο μέσο στην επιθυμητή θερμοκρασία.



**Σχήμα 2.10: Εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής (SEGS III-VII) .[2.1]**



**Σχήμα 2.11: Τυπική σύνδεση παραβολικών συλλεκτών. [2.11]**

Τα επιμέρους τμήματα του παραβολικού συλλέκτη είναι:

#### Ο ανακλαστήρας

Κάτοπτρο που χρησιμοποιείται για να συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία στον απορροφητήρα. Η ανακλαστικότητα πρέπει να είναι υψηλή ( $>90\%$ ) ώστε το μεγαλύτερο μέρος των ακτίνων που προσπίπτουν στο κάτοπτρο να φτάνουν στον απορροφητήρα. Η ανακλαστικότητα αυτή διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος, της ακτινοβολίας, γεγονός που οδηγεί στη σχεδίαση των κατόπτρων με βάση το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας

## Σωλήνας κενού

Στους παραβολικούς συλλέκτες χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα σωλήνας κενού ο οποίος προκαλεί πολύ μικρές απώλειες θερμότητας ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Η επιλεκτική επιφάνεια του απορροφητήρα σε συνδυασμό με τις συνθήκες κενού που επικρατούν ανάμεσα σε κάλυμμα και απορροφητήρα οδηγούν σε πολύ μικρό συντελεστή απωλειών θερμότητας.

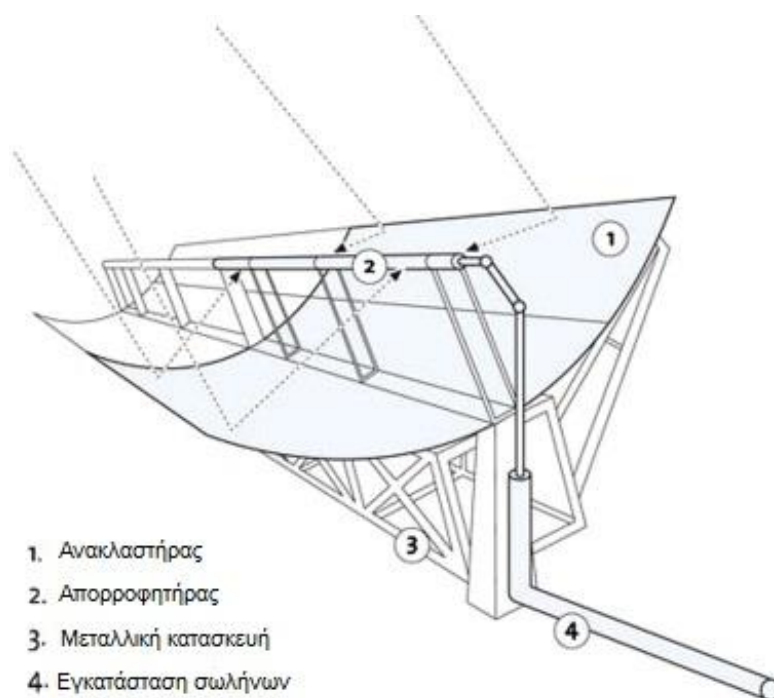
## Απορροφητήρας

Οι βασικότερες ιδιότητες του απορροφητήρα είναι ο συντελεστής εκπομπής του. Ο οποίος καθορίζει τις απώλειες ακτινοβολίας και ο συντελεστής απορρόφησης καθορίζει τι ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφά. Οι σύγχρονοι επιλεκτικοί απορροφητές απορροφούν με συντελεστή απορρόφησης μεγαλύτερο από 90% και ακτινοβολούν με συντελεστή εκπομπής της τάξης του 10%. Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί πως ο συντελεστής εκπομπής αυξάνει με τη θερμοκρασία και για αυτό είναι σημαντικό να έχει χαμηλή τιμή στις θερμοκρασίες λειτουργίας του συλλέκτη.

## Μηχανισμός στήριξης

Ο μηχανισμός στήριξης του παραβολικού συλλέκτη είναι πολύ σημαντικό στοιχείο διότι πρέπει να συνδυάζει στιβαρότητα και μικρό βάρος. Η στιβαρότητα χρειάζεται για να αντιμετωπίζονται τα φορτία ανέμου τα οποία είναι ισχυρά σε περιπτώσεις ταχυτήτων αέρα πάνω από 15 m/s. Το μικρό βάρος μειώνει την ενέργεια του μηχανισμού κίνησης, καταπονεί λιγότερο το όλο σύστημα και βοηθάει στον περιορισμό των μετατοπίσεων.

Παρακάτω βλέπουμε όλο τον μηχανισμό.



**Σχήμα 2.12** Μέρη της συναρμολόγησης ενός ηλιακού συλλέκτη. [2.12]

Η λειτουργία και συντήρηση των συλλεκτών είναι σημαντική ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση τους . Πιο συγκεκριμένα, είναι πολύ σημαντική η πλύση και η συντήρηση των ανακλαστήρων διότι σκόνη συσσωρεύεται πάνω σε αυτούς και μειώνει την ανακλαστική τους ακρίβεια. Η πλύση γίνεται συνεχώς, ιδιαίτερα το καλοκαίρι διότι κάθε μέρα που περνά η ανακλαστικότητα μειώνεται κατά 0.25% κάτι που οδηγεί σε σημαντική μείωση μέσα σε μερικές εβδομάδες. Κατά τη πλύση των ανακλαστήρων, νερό υπό υψηλή πίεση (200 bar) πέφτει πάνω στην επιφάνεια των ανακλαστήρων και απομακρύνει τη σκόνη. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία πλυσίματος σε ένα σταθμό παραβολικών συλλεκτών.



**Σχήμα 2.13: Πλύσιμο ηλιακών συλλεκτών με πεπιεσμένο νερό. [2.1]**

#### Σύστημα παρακολούθησης του ήλιου

Για να είναι να είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί η ακτινοβολία του ήλιου είναι αναγκαίο να υπάρχει ένα σύστημα το οποίο να προσανατολίζει την επιφάνεια του συλλέκτη κάθετα στις ακτίνες του ήλιου. Για να μπορέσει το σύστημα αυτό να λειτουργεί είναι απαραίτητο να παρέχεται η πληροφορία για το πού βρίσκεται ο ήλιος κάθε χρονική στιγμή. Τεχνολογίες που επιτρέπουν αυτού του είδους την λειτουργία είναι δύο. Πρώτον, ένας μαθηματικός αλγόριθμος που υπολογίζει την θέση του ηλίου. Δεύτερον, η χρησιμοποίηση αισθητήρων οι οποίοι είναι δύο φωτοκύτταρα που ανιχνεύουν στον ουρανό την θέση του ήλιου. Υπάρχουν δύο ειδών τεχνολογίες συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου. Μια είναι η πλήρης παρακολούθηση του ηλίου όπου υπάρχει βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η άλλη είναι με το πολικό σύστημα με τον άξονα του συλλέκτη π.χ. στην διεύθυνση βορά-νότου. Στην πράξη αυτά τα πρώτα συστήματα δεν εφαρμόζονται διότι είναι ακριβά και υπάρχει δυσκολία στην πλήρη κίνηση των συλλεκτών. Όμως στην πράξη υλοποιείται η παρακολούθηση του ήλιου σε μια μόνο κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμενοποιημένα, ο άξονας του συλλέκτη τοποθετείται σε μια κατεύθυνση και η παρακολούθηση του γίνεται στην κάθετη από την κατεύθυνση αυτή. Έτσι υπάρχουν δύο συστήματα για την παρακολούθηση του ηλίου τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη. Το πρώτο έχει άξονα του συλλέκτη στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης και το δεύτερο θέτει τον άξονα του συλλέκτη στη διεύθυνση Βορρά-Νότου. Οι κατευθύνσεις παρακολούθησης είναι κάθετα στους αντίστοιχους άξονες.

Τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών συστημάτων παρουσιάζονται στην συνέχεια.

#### Άξονας παρακολούθησης βορράς-νότος:

##### Πλεονεκτήματα:

- Η επιφάνεια του συλλέκτη είναι κάθετη στις ηλιακές ακτίνες το μεσημέρι.
- Οι απαιτήσεις για την περιστροφή τους είναι μικρές ημερησίως.
- Μικρότερη διαφορά στην ενέργεια που παράγεται μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Επιτρέποντας έτσι στη εγκατάσταση να λειτουργεί με ομοιόμορφο τρόπο καθόλη τη διάρκεια του χρόνου.

##### Μειονεκτήματα:

- Λιγότερη ενέργεια αξιοποιείται ετησίως.
- Η κατανομή κατά τη διάρκεια της μέρας είναι αρκετά ανομοιόμορφη κάτι που οφείλεται στις μεγάλες απώλειες κατά την ανατολή και τη δύση (απώλειες συνημίτονου).
- Χειρότερη απόδοση το καλοκαίρι όπου υπάρχει αρκετή ηλιακή ακτινοβολία.

#### Άξονας παρακολούθησης ανατολή δύση:

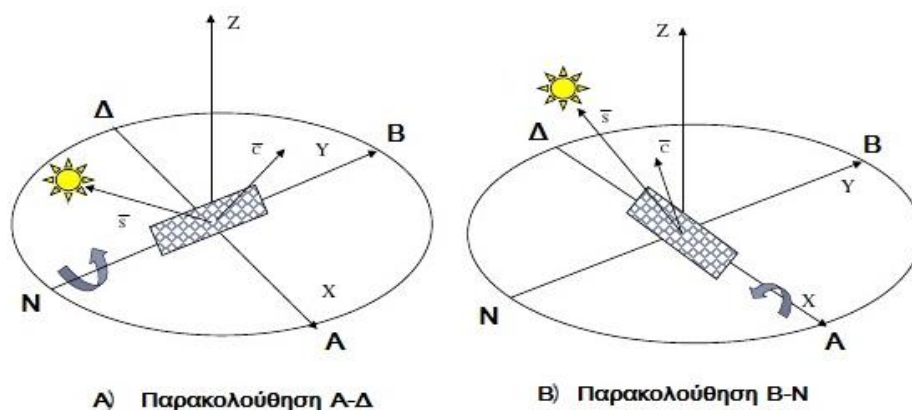
##### Πλεονεκτήματα:

- Μεγαλύτερη ενέργεια αξιοποιείται ετησίως.
- Πιο ομοιόμορφη ημερήσια κατανομή διότι οι απώλειες συνημίτονου είναι μικρές κατά το πρωί και το απόγευμα.
- Καλύτερη επίδοση το καλοκαίρι όπου υπάρχει περισσότερη ηλιοφάνεια.

##### Μειονεκτήματα:

- Οι ακτίνες του ήλιου δεν είναι κάθετες στο συλλέκτη κατά το μεσημέρι, όπου παρατηρούνται απώλειες συνημίτονου.

Κάνοντας μια σύνοψη, το πρώτο σύστημα αποδίδει καλύτερα τον χειμώνα ενώ το δεύτερο το καλοκαίρι, επειδή όμως το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη το δεύτερο σύστημα αποδίδει περισσότερη ενέργεια και είναι η κύρια στρατηγική που εφαρμόζεται στην πράξη. Παρακάτω φαίνονται τα δύο συστήματα.



Σχήμα 2.14: Συστήματα παρακολούθησης του ήλιου. [2.11]

Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου είναι πολύ σημαντική για την βελτίωση της λειτουργίας της εκάστοτε εφαρμογής. Η χρήση του νερού δεν επιτρέπει την λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες διότι απαιτείται πεπιεσμένο νερό πράγμα το οποίο οδηγεί σε πιο περίπλοκη εγκατάσταση. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται θερμικά έλαια τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά χωρίζονται σε 2 κατηγορίες τα συνθετικά και τα ορυκτέλαια. Τα συνθετικά μπορούν να λειτουργήσουν έως τους 400°C, ενώ τα ορυκτέλαια έως τους 300°C. Αυτό καθιστά τα συνθετικά να έχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης έχοντας όμως ως μειονέκτημα την ανάγκη περιοδικής εγκατάστασης και το κόστος. Τα θερμικά έλαια από την άλλη οξειδώνονται όταν έρθουν σε επαφή με τον αέρα και δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Ενώ στα ορυκτέλαια μπορεί να συνδυαστεί η χρήση τους με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Είναι σημαντικό ότι ένα ιδανικό εργαζόμενο μέσο πρέπει να συνδυάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Υψηλή τιμή ειδική θερμοχωρητικότητα έτσι ώστε να παραλαμβάνει μεγάλα ποσά θερμότητας.
- Μεγάλη τιμή θερμικής αγωγιμότητας έτσι ώστε να θερμαίνεται ομοιόμορφα σε μικρό χρόνο.
- Χαμηλή συνεκτικότητα ώστε να μειώνεται το έργο για την κυκλοφορία του στις σωληνώσεις της εγκατάστασης.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι το ζήτημα της αποθήκευσης ενέργειας είναι πολύ αξιοσημείωτο επειδή μπορεί να οδηγήσει στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας ακόμα και για αρκετές ώρες μετά την δύση του ήλιου αυξάνοντας έτσι τον συντελεστή εκμεταλευσιμότητας της ηλιακής ενέργειας. Κλασικοί τρόποι αποθήκευσης είναι με δοχείο το οποίο περιέχει πεπιεσμένο νερό ή κάποιο θερμικό έλαιο ώστε να αποθηκεύεται ενέργεια για μερικές ώρες λειτουργίας. Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες αυτής της μεθόδου η έμμεση και η άμεση.

Στην άμεση χρησιμοποιείται κοινό εργαζόμενο μέσο σε συλλέκτες και στο δοχείο αποθήκευσης ενώ στην έμμεση δύο διαφορετικά. Στην άμεση αποθήκευση το εργαζόμενο μέσο επιλέγεται να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία τήξης ώστε να γίνεται αποδοτική η λειτουργία του παραβολικού συλλέκτη. Ως μειονέκτημα έχει ότι η



**Σχήμα 2.15 : Δεξαμενές αποθήκευσης σε εργοστάσιο. [2.11]**

θερμοκρασία δεν μπορεί να μειωθεί κάτω από τους 120°C. Το κέρδος είναι το ανύπαρκτο κόστος του εναλλάκτη θερμότητας και πως επιτυγχάνεται υψηλή θερμοκρασία στο κύκλο Rankine. Στην έμμεση αποθήκευση υπάρχουν διαφορετικά εργαζόμενα μέσα στο κύκλωμα των συλλεκτών και στο κύκλωμα αποθήκευσης κάτι το οποίο επιτάσσει τη χρήση ενός ακριβού εναλλάκτη θερμότητας. Συγκεκριμένα στους συλλέκτες υπάρχει θερμικό έλαιο ενώ στο σύστημα αποθήκευσης κάποιο άλας βελτιστοποιώντας έτσι την αποθήκευση της θερμότητας.

Μεταξύ των τεχνολογιών συγκέντρωσης θερμικής ισχύος (Σ.Θ.Ι.) που χρειάζονται στα συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας ο παραβολικός συλλέκτης με κάτοπτρο έχει φτάσει το μέγιστο επίπεδο εμπορικής ωριμότητας και δικαιολογεί το μεγάλο μερίδιο στην τωρινή Σ.Θ.Ι. αγορά ,αλλά οι άλλες τεχνολογίες με διαφορετικό επίπεδο ωριμότητας θα αυξήσουν την παρουσία τους στο μέλλον.

| Σύστημα παρακολούθησης ήλιου | Τύπος ηλιακού συλλέκτη/συστήματος         | Τύπος Απορροφητή | Συντελεστής συγκέντρωσης | Ενδεικτικό θερμοκρασιακό εύρος (°C) |
|------------------------------|---|------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| (Σταθερός)                   | Επίπεδος συλλέκτης (FPC)                  | Επίπεδος         | 1                        | 30-80                               |
|                              | Συλλέκτης κενού (ETC)                     | Επίπεδος         | 1                        | 50-200                              |
|                              | Σύνθετος παραβολικός συλλέκτης (CPC)      | Σωληνοειδής      | 1-5<br>5-15              | 60-240<br>60-300                    |
| 1-άξονα.                     | Γραμμικός Fresnel (LFR)                   | Σωληνοειδής      | 10-40                    | 60-250                              |
|                              | Παραβολικός συλλέκτης (PTC)               | Σωληνοειδής      | 15-45                    | 60-300                              |
|                              | Κυλινδρικός συλλέκτης (CTC)               | Σωληνοειδής      | 10-50                    | 60-300                              |
| 2-αξόνων.                    | Παραβολικός δίσκος (PDR)                  | Σημειακός        | 10-1000                  | 10-500                              |
|                              | Σύστημα κατόπτρων με κεντρικό δέκτη (HFC) | Σημειακός        | 100-1500                 | 150-2000                            |

**Σχήμα 2.16: Σύγκριση τεχνολογιών ηλιακών συλλεκτών. [2.4]**

### **Βιβλιογραφία 2<sup>ο</sup> Κεφαλαίου:**

[2.1] Αξιοποίηση και βελτιστοποίηση της χρήσης ηλιακών συστημάτων στα κτίρια ,Μπέλλος Α. Ευάγγελος.Διδακτορικό,2016

[2.2] Ηλιακή θερμική παραγωγή έργου με χρήση του κύκλου Rankine, Ιωάννης Καραθανάσης.

[2.3] Ιστότοπος: [www.Energeiaki-drasi.gr](http://www.Energeiaki-drasi.gr)

[2.4] Προσομοίωση πρότυπου ηλιακού συλλέκτη με ανάπτυξη υπολογιστικού κώδικα, Κατερίνα Παπάζογλου.

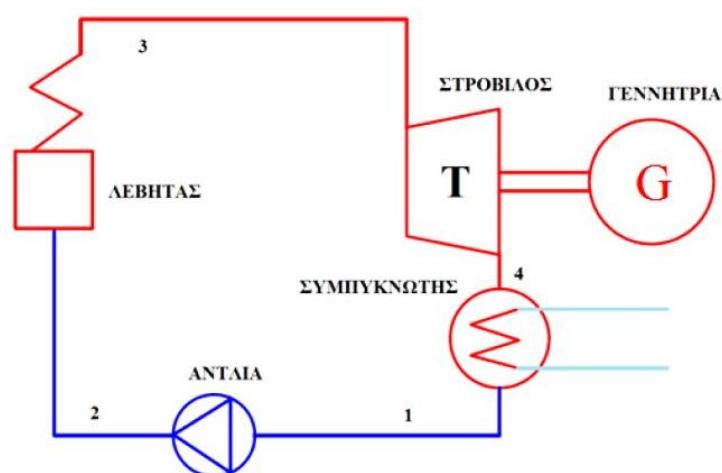
- [2.5] Ιστότοπος: [www.onosisolar.gmc](http://www.onosisolar.gmc)
- [2.6] Experimental efficiency of a low concentrating CPC PVT flat plate collector, *M.Proell et al. Solar Energy, Volume 147, 1 May 2017, Pages 463-469.*
- [2.7] Solar thermal collectors and applications, *Soteris A. Kalogirou.*
- [2.8] A comparative analysis of configurations of linear Fresnel collectors for concentrating solar power, *María J. Montes et al. Energy, Volume 73, 14 August 2014, Pages 192-203.*
- [2.9] Ιστότοπος: [www.powerfromthesun.n](http://www.powerfromthesun.n)
- [2.10] Ιστότοπος: [www.mtholyoke.edu](http://www.mtholyoke.edu)
- [2.11] Ιστότοπος: [www.slideshare.net/mchhabra27/parabolic-trough](http://www.slideshare.net/mchhabra27/parabolic-trough)
- [2.12] Parabolic trough solar thermal power plant: Potential, and projects development in Algeria, *Taqiy eddine Boukelia et al., Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 21, May 2013, Pages 288-297.*



## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>-Ανάλυση επιμέρους συστημάτων

### 3.1 Οργανικός κύκλος Rankine

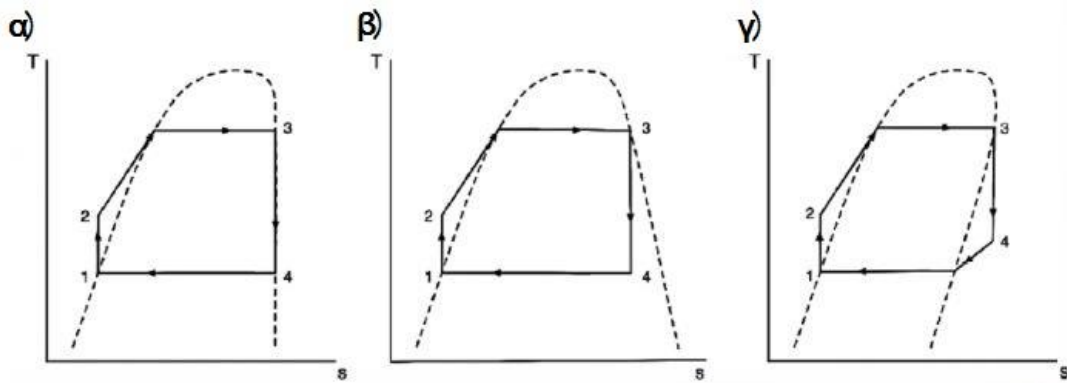
Η διεργασία του οργανικού κύκλου Rankine (ORC - Organic Rankine Cycle) είναι πανομοιότυπη με τον κλασικό κύκλο Clausius-Rankine, με μόνη διαφορά τη χρήση κάποιου οργανικού μέσου αντί για νερό το οποίο οργανικό μέσο διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτός ο κύκλος βρίσκει εφαρμογή και κατασκευάζεται σε αποκεντρωμένες μονάδες θερμικών σταθμών και αυτό οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος θερμοδυναμικός κύκλος προσφέρει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης θερμικών ενεργειακών πηγών χαμηλής θερμοκρασίας, (κανονικά κάτω από 400°C), σε εγκατάσταση μικρής κλίμακας. Κατά την φάση του σχεδιασμού ενός τέτοιου συστήματος η επιλογή του οργανικού μέσου και του θερμοδυναμικού σχεδιασμού είναι κρίσιμης σημασίας, έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί ο μέγιστος θερμικός βαθμός απόδοσης.



**Σχήμα 3.1: Μονογραμμικό διάγραμμα κύκλου Rankine. [3.1]**

Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία πρόσδοσης θερμότητας στον κύκλο. Εκτός από τις θερμοδυναμικές παραμέτρους του εργαζόμενου μέσου, θα πρέπει κατά την επιλογή του να ληφθούν υπόψη και κάποιες περιβαλλοντικές-κανονιστικές παράμετροι, όπως είναι η ευφλεξιμότητα, η διαβρωτικότητα και η τοξικότητά του. Δεν πρέπει να παραλείψουμε την περιβαλλοντική παράμετρο η οποία καθορίζεται από την επίδραση του στην στοιβάδα του όζοντος (Ozone Depletion Potential) και την δυναμική του ρευστού στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Global Warming Potential). Το GWP ενός εργαζόμενου μέσου είναι μια μέτρηση στην επίδραση του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στο διοξείδιο του άνθρακα έχει δοθεί GWP ένα (1). Δηλαδή ένα υγρό με GWP 2 θα έχει επίδραση στην υπερθέρμανση του πλανήτη δύο φορές δυνατότερα συγκρινόμενο με το CO<sub>2</sub>. Με το να χρησιμοποιούμε υγρά με ODP μεγαλύτερο από το μηδέν δεν μπορεί να θεωρηθεί δόκιμο στις εφαρμογές παραγωγής ενέργειας λόγω των περιορισμών στην χρήση τους σύμφωνα με τα πρωτόκολλα του Μόντρεαλ και του Κιότο.

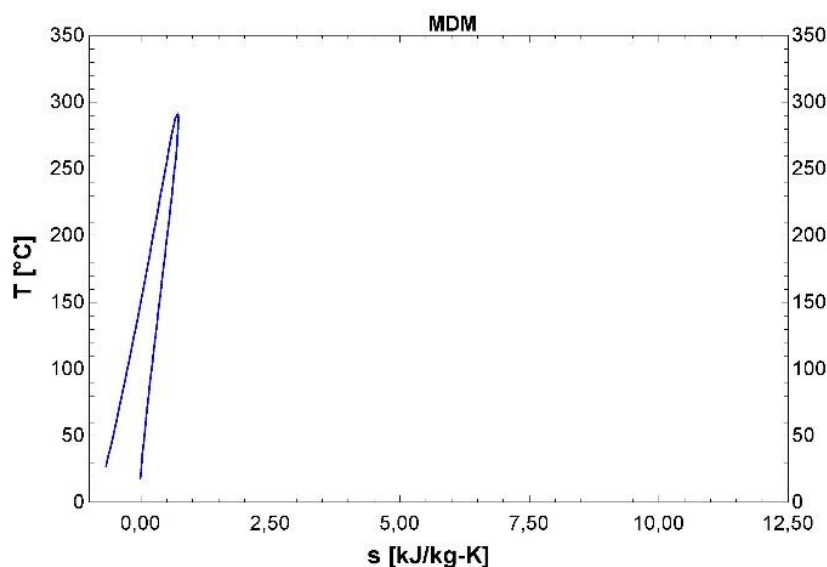
Τα οργανικά μέσα κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την μορφή της καμπύλης κορεσμένου ατμού στο διάγραμμα θερμοκρασίας εντροπίας. Η καμπύλη κορεσμένου ατμού μπορεί να έχει είτε μορφή καμπάνας είτε να παρουσιάζει κλίση.



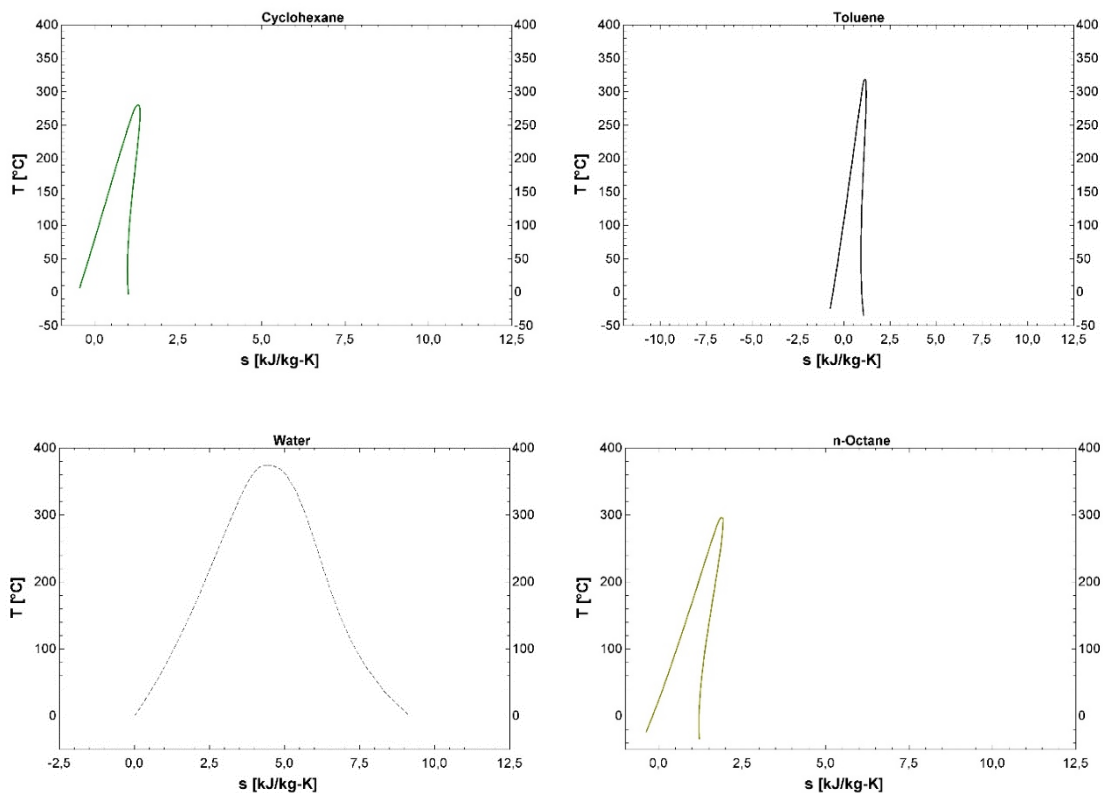
**Σχήμα 3.2:** Σύγκριση εργαζόμενων μέσων (α) ισεντροπικό (β) υγρό ( καμπύλη με μορφή “καμπάνας” ) και (γ) ξηρό (καμπύλη με προεξοχή). [3.2]

Ανάλογα με την κλίση της καμπύλης κορεσμού τα οργανικά ρευστά χαρακτηρίζονται ως ξηρά, υγρά ή ισεντροπικά, δηλαδή για θετική κλίση το ρευστό χαρακτηρίζεται υγρό, για αρνητική ξηρό, ενώ στην ειδική περίπτωση που η κλίση απειρίζεται το ρευστό χαρακτηρίζεται ως ισεντροπικό.

Προκειμένου να διατηρήσουμε την μέγιστη επιτρεπτή υγρότητα στην έξοδο της τουρμπίνας και να αποτρέψουμε την καταστροφή λόγω διάβρωσης της περύγωσης του στροβίλου, το υγρό εργαζόμενο μέσο πρέπει να υπερθερμανθεί πριν την εκτόνωση του στον στρόβιλο. Για τα ισεντροπικά υγρά, προυπάρχουσες μελέτες έχουν δείξει ότι υπάρχει μια ασθενής συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης του κύκλου και την θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου. Για τα ξηρά υγρά η υψηλότερη απόδοση κύκλου επιτυγχάνεται διατηρώντας συνθήκες κορεσμένου ατμού στην είσοδο του στροβίλου. Υπερθερμαίνοντας το ξηρό υγρό θα αυξήσει τη θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου προκαλώντας έτσι σημαντική επίδραση στην ισχύ του στροβίλου. Για να αυξήσουμε την θερμική απόδοση του κύκλου ORC, εφαρμόζοντας ξηρά υγρά, ένας αναγεννητής βρίσκεται ανάντι του στροβίλου και χρησιμοποιείται στο να κατεβάσει την θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου στον συμπυκνωτή.



**Σχήμα 3.3:** Καμπύλη κορεσμού MDM. [EES]



**Σχήμα 3.4: Καμπύλες κορεσμού νερού και τεσσάρων εργαζόμενων μέσων. [EES]**

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τις καμπύλες κορεσμού των τεσσάρων εργαζόμενων μέσων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση του συστήματος τριπαραγωγής που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Βλέπουμε ότι αυτά χαρακτηρίζονται ως ξηρά.

| Υγρά        | Φυσικά δεδομένα       |         |          |       | Περιβαλλοντικά και ασφάλειας δεδομένα |     |            |                |
|-------------|-----------------------|---------|----------|-------|---------------------------------------|-----|------------|----------------|
|             | Μοριακή μάζα(kg/kmol) | Tcr(°C) | Pcr(Mpa) | Τύπος | GWP                                   | ODP | Τοξικότητα | Αναφλεξιμότητα |
| Toluene     | 92.14                 | 318.6   | 4.130    | Ξηρό  | 3                                     | 0   | Μέτρια     | Σημαντική      |
| MDM         | 236.5                 | 290.9   | 1.410    | Ξηρό  | -                                     | 0   | -          | -              |
| Cyclohexane | 84.16                 | 280.5   | 4.075    | Ξηρό  | 4-6                                   | -   | -          | -              |
| n-octane    | 114.2                 | 125.0   | 2.497    | Ξηρό  | 3                                     | -   | Υψηλή      | Υψηλή          |

**Πίνακας 3.1:Ιδιότητες εργαζόμενων μέσων.**

Στην περίπτωση που εξετάζουμε χρησιμοποιούμε και αναγεννητή στον κύκλο ORC. Παρακάτω γίνεται η ανάλυση του κυκλώματος ORC.

Η Ηλεκτρική ενέργεια εξόδου υπολογίζεται σαν τη καθαρή ενέργεια της γεννήτριας μείον την ενέργεια που σπαταλάμε στην αντλία τροφοδοσίας.

$$P_{el} = \eta_{mg} \cdot m_{ORC} \cdot (h_4 - h_5) - \frac{m_{orc} \cdot W_{pump}}{\eta_{mot}} \quad (3.1)$$

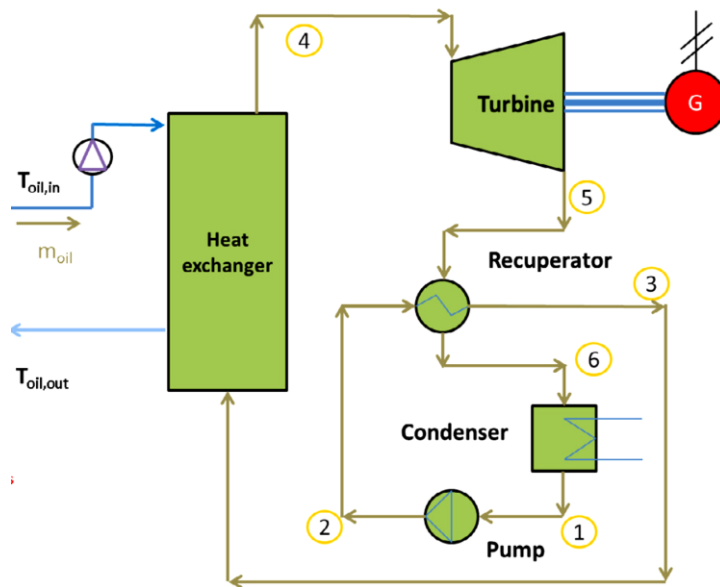
Επειδή χρησιμοποιήσαμε έμμεσο σύστημα έχουμε πρόσδοση θερμότητα από το θερμό έλαιο το οποίο έρχεται από την δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας

$$Q_{net} = m_{orc} \cdot (h_4 - h_3) \quad (3.2)$$

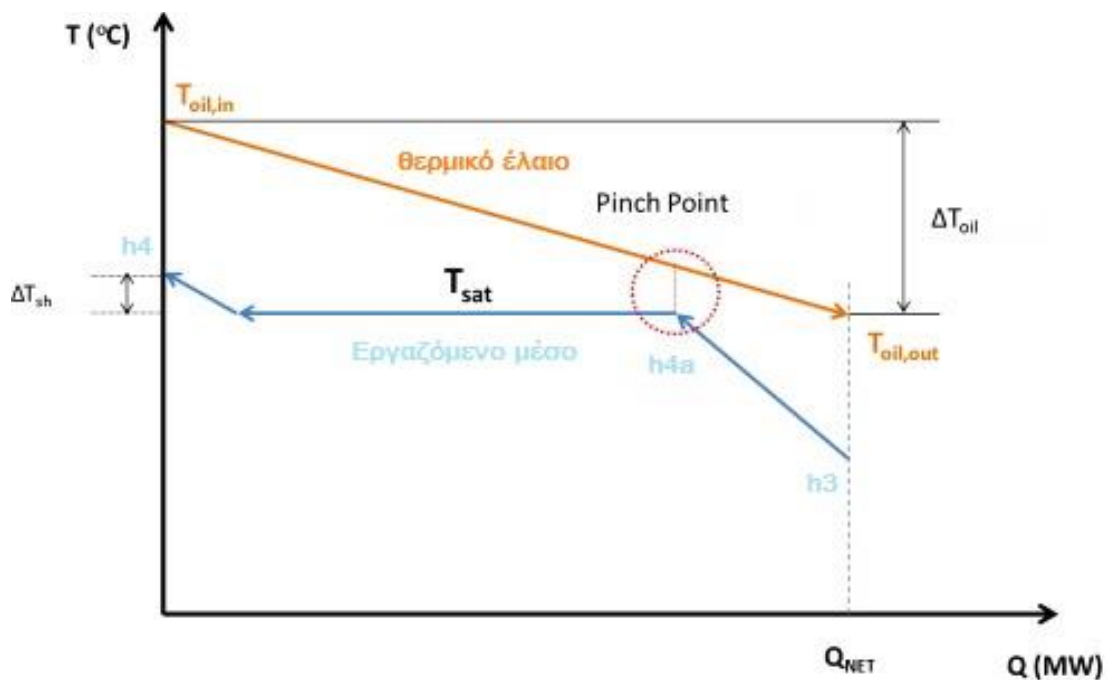
$$Q_{net} = m_{oil} \cdot cp_{oil} \cdot \Delta T_{oil} \quad (3.3)$$

Στον ισολογισμό του αναγεννητή επειδή έχουμε το ίδιο εργαζόμενο μέσο η παροχές είναι ίδιες άρα

$$h_3 - h_2 = h_5 - h_6 \quad (3.4)$$



Σχήμα 3.5: Μονογραμμικό διάγραμμα κύκλου Rankine με αναγεννητή. [3.3]



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα θερμοκρασίας-θερμότητας εναλλάκτη.

Οι εξισώσεις που το διέπουν είναι:

$$m_{oil} \cdot cp_{oil} \cdot (T_{oil,in} - T_{oil,out}) = m_{orc} \cdot (h_4 - h_3) \quad (3.5)$$

$$m_{oil} \cdot cp_{oil} \cdot (T_{oil,in} - T_{sat} - PP) = m_{orc} \cdot (h_4 - h_{4a}) \quad (3.6)$$

Για να περιλάβουμε στους υπολογισμούς της βελτιστοποίησης την θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη θερμότητας ανεξάρτητα από τις άλλες παραμέτρους εισάγουμε μια αδιάστατη μεταβλητή έστω  $a$ .

$$a = \frac{T_{oil,in} - T_{oil,in,min}}{T_{oil,in,min} - T_{oil,max}} \quad (3.7)$$

Όπου  $T_{oil,in,min}$  και  $T_{oil,in,max}$  η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του θερμού ελαίου που μπορούν επιτευχθούν ιδανικά και θεωρητικά, η πρώτη είναι

$$T_{oil,in,min} = T_4 + PP \quad (3.8)$$

Και από τις παρακάτω εξισώσεις

$$m_{orc} \cdot (h_4 - h_3) = m_{oil} \cdot cp_{oil} \cdot (T_{oil,in,max} - (T_3 + PP)) \quad (3.9)$$

$$m_{orc} \cdot (h_{4a} - h_3) = m_{oil} \cdot cp_{oil} \cdot (T_{sat} - T_3) \quad (3.10)$$

Διαιρώντας κατά μέλη παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση

$$\frac{h_4 - h_3}{h_{4a} - h_3} = \frac{T_{oil,in,max} - (T_3 + PP)}{T_{sat} - T_3} \quad (3.11)$$

Στην βιβλιογραφία έχουν γίνει κάποιες έρευνες σχετικά με τα εργαζόμενα μέσα σε σταθμούς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν εξαχθεί τα επόμενα συμπεράσματα. Ο μη αναγεννητικός κύκλος έχει απόδοση περίπου 22% όπου κάθε διαφορετικό εργαζόμενο μέσο έχει μια αύξηση του 4.3% και 4% για το Cyclohexane και το Toluene αντίστοιχα. Η απόδοση ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας συμπίκνωσης. Η πίεση συμπίκνωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά του συμπυκνωτή και τη θερμή χωρητικότητα εκκένωσης. Στις εφαρμογές με PTC-ORC η θερμοκρασία του συμπυκνωτή κυμαίνεται μεταξύ 20°C και 40°C. Επίσης η απόδοση αυξάνεται όσο η μέγιστη πίεση του κύκλου αυξάνεται. Όμως για υψηλές πιέσεις (μεγαλύτερες από την κρίσιμη) η θερμική απόδοση γίνεται ουσιαστικά ανεξάρτητη της μέγιστης πίεσης για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιούμε την παρακάτω μεταβλητή.

$$b = \frac{P_h}{P_{crit}} \quad (3.12)$$

Όπου  $P_h$  και  $P_{crit}$  η μέγιστη και η κρίσιμη πίεση του κύκλου αντίστοιχα.

Στα ξηρά εργαζόμενα μέσα επειδή οι ισοβαρές συγκλίνουν με την θερμοκρασία η θερμική απόδοση του κύκλου ελαττώνεται όσο η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου αυξάνεται.

### **3.2 Δεξαμενή αποθήκευσης**

Η δεξαμενή αποθήκευσης στην παραγωγή ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες είναι απαραίτητη για την αποθήκευση ενέργειας όταν έχουμε ηλιοφάνεια και την χρησιμοποίηση της όταν έχουμε αυξημένη νέφωση ή έχουμε λειτουργία κατά την διάρκεια της νύχτας. Διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης έχουν προταθεί και εφαρμοστεί στο παρελθόν όπως, λάδι, στερεές ουσίες, κορεσμένο νερό και τηγμένο άλας. Από αυτά τα συστήματα το τηγμένο άλας προσφέρει την καλύτερη ισορροπία σε χωρητικότητα, κόστος, απόδοση και ευκολία στη χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες. Στο παρόν, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούν τηγμένο άλας είναι ευρέα εφαρμόσιμα και υπό ανάπτυξη παγκοσμίως. Τα συστήματα αυτά μπορούν γενικώς να κατηγοριοποιηθούν σε συστήματα με δύο δεξαμενές ή μια δεξαμενή θερμοκλίνης. Το σύστημα των δύο δεξαμενών έχει δύο δεξαμενές για την αποθήκευση του τηγμένου άλατος: η μια είναι σε υψηλή θερμοκρασία και η άλλη σε χαμηλή θερμοκρασία. Το σύστημα δύο δεξαμενών τηγμένου άλατος είναι το πιο εφαρμόσιμο σε « χρήσιμα » μεγέθους συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Με τον όρο « χρήσιμα » , αλλιώς « utility », εννοούμε μεγέθους περίπου 4 MW. Αυτό το σύστημα έχει εφαρμοστεί σε πολλά εργοστάσια συγκέντρωσης ηλιακής ισχύος. Το σύστημα μίας δεξαμενής έχει μια δεξαμενή αποθήκευσης, μέσα στην οποία ένα μέρος του εργαζόμενου μέσου είναι σε υψηλή θερμοκρασία και ένα άλλο μέρος είναι σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι θερμές και ψυχρές περιοχές διαχωρίζονται από μια θερμοκρασιακή κλίση της θερμοκλίνης. Κατά την διάρκεια της φόρτωσης, υψηλής θερμοκρασίας υγρό από τους ηλιακούς συλλέκτες εισάγεται από το πάνω μέρος της δεξαμενής και βρίσκει την έξοδο στο κάτω μέρος σε χαμηλή θερμοκρασία η θερμοκλίνη μετακινείται προς τα κάτω και θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στην υψηλής θερμοκρασίας περιοχή. Κατά την διάρκεια τις αποφόρτισης, το έλαιο που μπαίνει στο Λ.Α.Θ. κινείται προς τα πάνω και αλλάζει η θερμοκρασιακή κλίση της δεξαμενής.

Για να μοντελοποιήσουμε την δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας την χωρίζουμε σε τρεις ζώνες, που σε κάθε μία κάνουμε ισολογισμό ενέργειας. Στην περίπτωση μας έχουμε τρεις ζώνες στις οποίες το εμβαδό είναι:

$$A_{t1} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \frac{\pi \cdot d \cdot l}{3} \quad (3.13\alpha)$$

$$A_{t1} = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{3} \quad (3.13\beta)$$

$$A_{t1} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \frac{\pi \cdot d \cdot l}{3} \quad (3.13\gamma)$$

Θεωρούμε ότι η διάμετρος του δοχείου αποθήκευσης είναι ίδια με το ύψος του.

$$d = l \quad (3.14)$$

Και ότι η θερμοκρασία εισόδου του θερμού ελαίου είναι ίδια με την θερμοκρασία του πάνω τμήματος.

$$T_{oil,in} = T_{S1} \quad (3.15)$$

Ακόμη η θερμοκρασία του τηγμένου άλατος στους συλλέκτες είναι ίδια με την θερμοκρασία του κάτω τμήματος.

$$T_{in} = T_{S3} \quad (3.16)$$

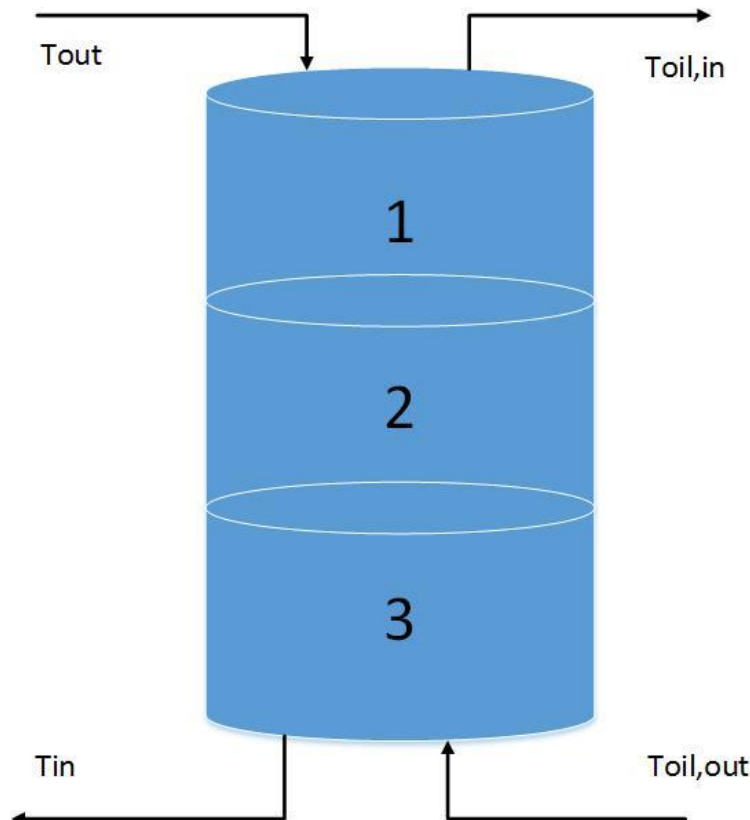
Από τους ισολογισμούς ενέργειας σε κάθε κόμβο προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις

$$m_c \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{out} - T_{S1}) - m_{oil} \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{S1} - T_{S2}) - (U \cdot A_{c1}) \cdot (T_{S1} - T_{amb}) = \frac{M_{st}}{3} \cdot c_p \frac{\partial T_{st,1}}{\partial t} \quad (3.17\alpha)$$

$$m_c \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{S1} - T_{S2}) - m_{oil} \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{S2} - T_{S3}) - (U \cdot A_{c2}) \cdot (T_{S2} - T_{amb}) = \frac{M_{st}}{3} \cdot c_p \frac{\partial T_{st,2}}{\partial t} \quad (3.17\beta)$$

$$m_c \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{S2} - T_{S3}) - m_{oil} \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{S3} - T_{oil,out}) - (U \cdot A_{c3}) \cdot (T_{S3} - T_{amb}) = \frac{M_{st}}{3} \cdot c_p \frac{\partial T_{st,3}}{\partial t} \quad (3.17\gamma)$$

Όπου  $U$  η θερμική διαπερατότητα και  $T_{amb}$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρακάτω φαίνεται το σχήμα όλης της διάταξης.



Σχήμα 3.7: Δεξαμενή αποθήκευσης.

### 3.3 Συστήματα ψύξης

Παρακάτω γίνεται μια αναφορά στα συστήματα ψύξης κάνοντας γενικά μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση και ύστερα δικαιολογείται η επιλογή της ψύξης με απορρόφηση.

Ψύξη σύμφωνα με ένα ορισμό είναι: «Η διαδικασία που ψύχει σώματα η υγρά σε θερμοκρασίες κάτω από το περιβάλλον σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και μέρος» .[3.4]

Είναι σημαντικό ότι η ψύξη εκτός από την ψύξη τροφίμων ή άλλων ευπαθών υλικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ψύξη του αέρα σε συστήματα κλιματισμού.

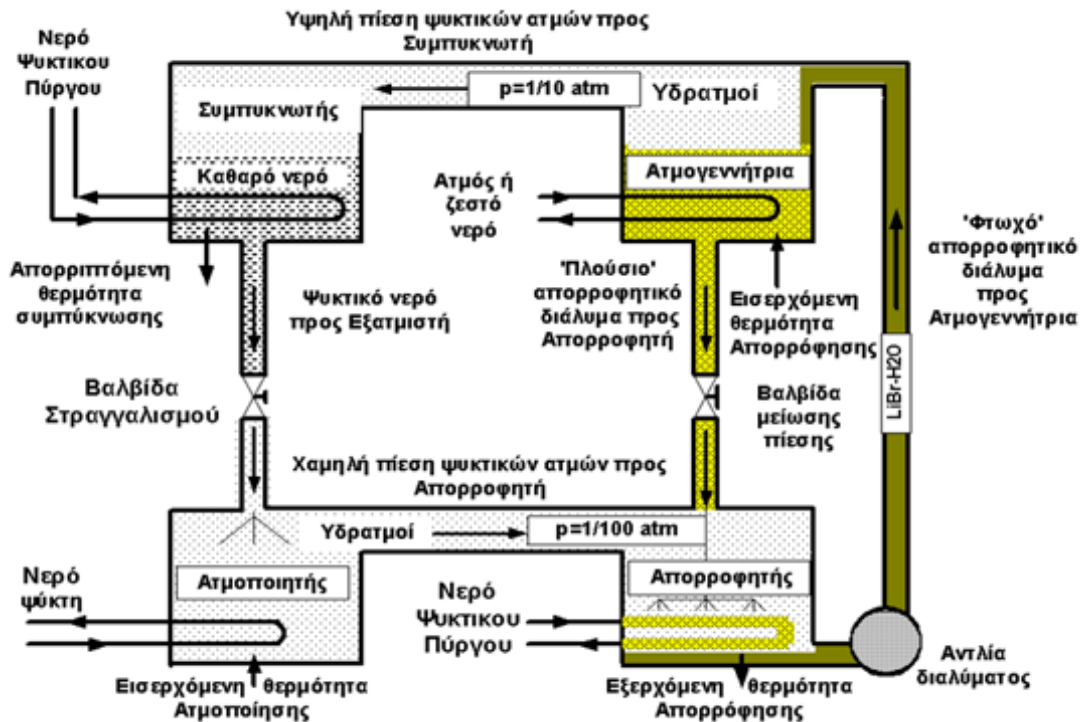
Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι το κλιματισμός είναι διαφορετικό από την ψύξη ,αφού η ψύξη ενός αντικειμένου δεν είναι απαραίτητο να φτάσει σε θερμοκρασίες κάτω από το περιβάλλον.

Στις αρχές τις ιστορίας ο άνθρωπος προσπάθησε να ψύξει το περιβάλλον του για λόγους θερμικής άνεσης κυρίως στις τροπικές περιοχές καθώς και για την κατάψυξη των τροφίμων επειδή συντηρούνται αυτά ,οι δύο απαιτήσεις κυριαρχούν μέχρι και σήμερα. Μερικές από τις πρώτες προσπάθειες ήταν η χρησιμοποίηση φυσικού πάγου ο οποίος είτε μεταφερόταν από μεγάλες αποστάσεις είτε αποθηκεύοντας τον κατά την διάρκεια του χειμώνα και χρησιμοποιώντας τον κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ,οπού η ζήτηση ψύξης είναι πιο αυξημένη, είτε ακόμη με την νυχτερινή ψύξη όπου μια λιμνούλα νερού μονωμένη περιμετρικά ψύχεται την νύχτα μέσω απωλειών ακτινοβολίας προς το ουρανό .Είτε επιπλέον με τη διαδικασία απορρόφησης η οποία είναι ενδοθερμική ,όμως απαιτεί ξηρό αέρα. Είτε επιπλέον και με την διαδικασία της ψύξης με προσθήκη άλατος στο εργαζόμενο μέσο το οποίο προκαλεί μια ενδοθερμική αντίδραση προκαλώντας ψύξη. Οι περιορισμοί των παραπάνω φαινομένων ψύξης είναι η εξάρτηση από τις τοπικές συνθήκες, η αβεβαιότητα λόγω της εξάρτησης από τον καιρό, η αδυναμία να παράγουμε μεγάλες ποσότητες ψύξης και τέλος η μη διαθεσιμότητα της ψύξης σε όλους. Στις αρχές τις ψύξης τον ρόλο της συμπίεσης του εργαζόμενου μέσου τον έπαιρνε ένας χειροκίνητος συμπιεστής (σύστημα Perkins) πράγμα το οποίο εισάγαγε μικρές διακοπές στον κύκλο της ψύξης, Υστέρα από την εισαγωγή των συμπιεστών σε αυτές τις εφαρμογές οι κύκλοι έγιναν πιο αποδοτικοί.

Έτσι εξελίχθηκαν συμπιεστές για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Ο συμπιεστής όπως είναι γνωστόν απορροφά ηλεκτρική ενέργεια και είναι ένας παράγοντας που συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του συντελεστή συμπεριφοράς των ψυκτικών κύκλων. Επίσης ο συμπιεστής έχει απαιτήσεις λίπανσης το οποίο μπορεί να προκαλέσει διαρροές αυτού στο εργαζόμενο μέσο. Ακόμη τα διάκενα στον συμπιεστή μπορούν να προκαλέσουν τη εισαγωγή αέρα στο σύστημα αλλάζοντας τις φυσικές ιδιότητες του εργαζόμενου μέσου. Η εισαγωγή των κύκλων ψύξης με απορρόφηση και προσρόφηση ήρθε στο να δώσει λύση σε μερικά από τα παραπάνω προβλήματα .Συγκεκριμένα η ψύξη με απορρόφηση χρησιμοποιεί θερμότητα για να κινήσει τον κύκλο απορρόφησης ο οποίος αναλαμβάνει τον ίδιο ρόλο του συμπιεστή στο κύκλο ψύξης με συμπιεστή ατμών. Η θερμότητα μπορεί να προσδοθεί από ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία και θερμά καυσάερα.

Έτσι μπορούμε να προσθέσουμε τον κύκλο ψύξης στο κύκλωμά της συμπαραγωγής ικανοποιώντας τις τοπικές ανάγκες ψύξης οι οποίες μπορεί να είναι είτε για μια χημική διαδικασία επί τούτου στο εργοστάσιο ή ψύχοντας τα αντικείμενα που θέλουμε είτε τέλος ψύχοντας τον αέρα για τις ανάγκες κλιματισμού του χώρου του. Η αποβληθείσα θερμότητα από τα διάφορα μέρη του κύκλου ψύξης με απορρόφηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς παρακάτω φαίνεται το σύστημα της ψύξης.





Σχήμα 3.8: Ψύξη με απορρόφηση με LiBr-H<sub>2</sub>O. [3.5]

### 3.4 Συστήματα συμπαραγωγής και τριπαραγωγής.

Παρακάτω παρατίθεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση των συστημάτων συμπαραγωγής και τριπαραγωγής σύντομα με επίσημες επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Οι Y.E Yuskel et al . [3.6] μοντελοποίησαν ένα σύστημα πολυπαραγωγής με πολλές διαφορετικές εξόδους. Το ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας οδηγούμενο από ηλεκτρική ενέργεια για λόγους πολυπαραγωγής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το σύστημα αποτελείται από πέντε υποσυστήματα που είναι: το PTC ,το σύστημα αποθήκευσης, το διπλού σταδίου ORC,της παραγωγής υδρογόνου και το τετραπλό σύστημα ψύξης με απορρόφηση. Ο ρόλος των συλλεκτών στο ολοκληρωμένο σύστημα είναι να θερμάνουν το εργαζόμενο μέσο που στην περίπτωση μας είναι το Therminol-59.Ο θερμαινόμενος ατμός διαχωρίζεται σε δύο κατευθύνσεις. Η μια είναι στο σύστημα αποθήκευσης μέσω της εισόδου του στον εναλλάκτη HEX-I ,στο σημείο 2, και η άλλη είναι προς το σύστημα του ORC διαμέσου του εναλλάκτη HEX-II στο σημείο 4.Το υγρό μπαίνει στο υποσύστημα της αποθήκευσης ενέργειας και περνάει από τον HEX-I, μετά περνάει διαμέσου της βαλβίδας 2 από το σημείο 3 και επιστρέφει στους συλλέκτες στα σημεία 7 και 8. Στον HEX-I το υγρό μεταφέρει την θερμότητα του στο υποσύστημα της αποθήκευσης. Ο σκοπός του υποσυστήματος αποθήκευσης είναι να παρέχει θερμική ενέργεια στο σύστημα όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι επαρκής στους συλλέκτες για να θερμάνουν του υγρό ή κατά την διάρκεια της νύχτας. Όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι επαρκής, η θερμή δεξαμενή παρέχει υγρό στο σημείο 9 και αντλείται υγρό στον HEX-II στη κατάσταση 10. Υγρό που εισάγεται στον HEX-II φεύγει από εκεί και μέρος αυτού πάει στην βαλβίδα 2 και το υπόλοιπο πάει στη κρύα δεξαμενή στο σημείο 12.

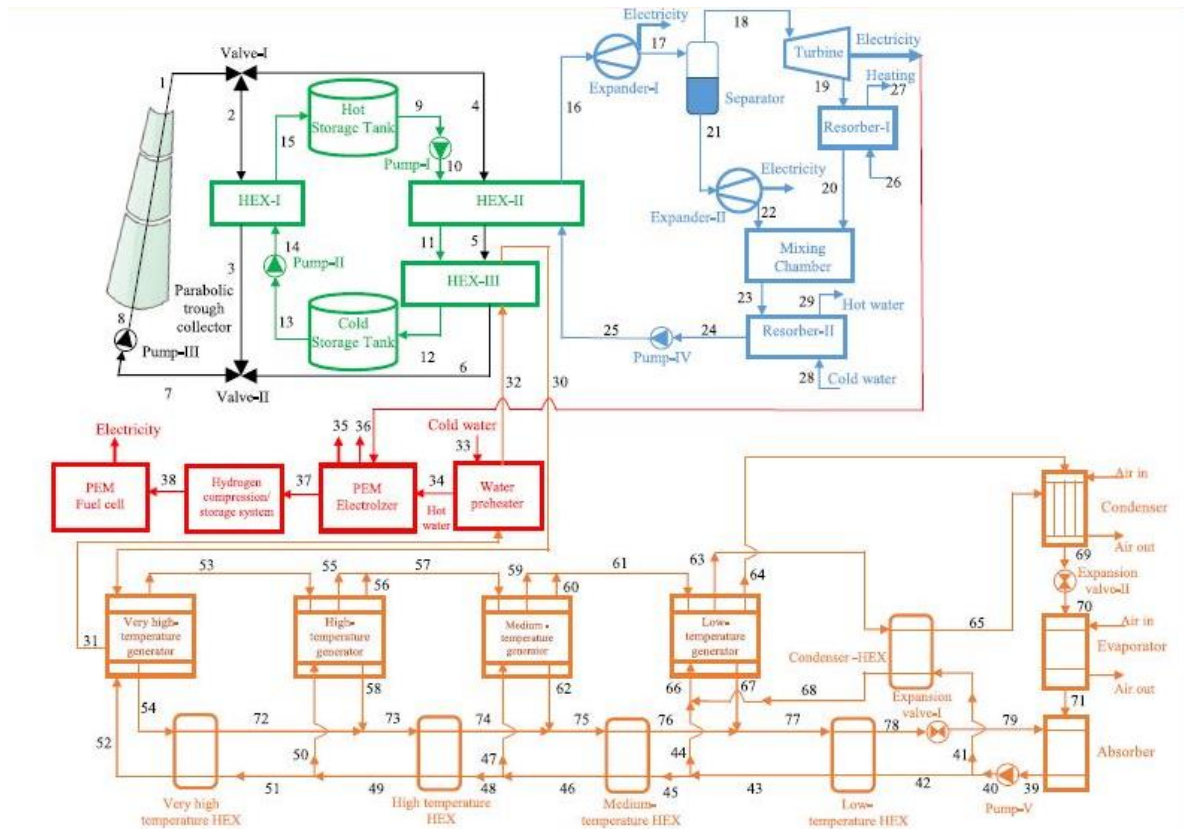
Το θερμαινόμενο εργαζόμενο μέσο μεταφέρει την θερμότητα του στο εργαζόμενο μέσο του κύκλου ORC (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O) στον εναλλάκτη HEX-III. Ο ατμός του μίγματος της αμμωνίας φεύγοντας από τον εναλλάκτη HEX-II πάει προς τον εκτονωτή για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια στο σημείο 16. Το μίγμα αμμωνίας νερού εισάγεται στον διαχωριστή στο σημείο 18 προκειμένου να διαχωριστεί σε δύο φάσεις οι οποίες είναι ατμός στη θέση 18 και υγρό στο σημείο 21. Έπειτα ο ατμός εισάγεται στον στρόβιλο για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια στο σημείο 18. Υγρό εξαγόμενο από τη τουρμπίνα μπαίνει τον συμπυκνωτή 1 στην θέση 19 για να παράγει θερμότητα. Η υγρή φάση του μίγματος διαχωριζόμενο στον διαχωριστή εισαγόμενο στον εκτονωτή-2 στο σημείο 21 παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσα στον εκτονωτή. Τα μίγματα που είχαν διαχωριστεί προηγουμένως συνδυάζονται στον θάλαμο αναμίξεως στα σημεία 22 και 20. Ύστερα το εργαζόμενο μέσο έρχεται στον συμπυκνωτή-2 στο σημείο 23 στο να παράγει ζεστό νερό χρήσης. Χαμηλής πίεσης υγρό πάει στον HEX-II διαμέσου της αντλίας 4 στα σημεία 24 και 25 αντίστοιχα.

Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργεια που παράχθηκε στον στρόβιλο του κύκλου ORC χρησιμοποιείται στον ηλεκτρολύτη PEM προκειμένου να παράγει υδρογόνο. Κρύο νερό στο σημείο 33 και το εργαζόμενο μέσο στο σημείο 31 μπαίνουν στον προθερμαντήρα νερού της παραγωγής υδρογόνου. Το εργαζόμενο μέσο θερμαίνει το νερό μέχρι τους 80°C και ύστερα το ζεστό νερό εγκαταλείπει τον προθερμαντήρα και μπαίνει στον PEM ηλεκτρολύτη. Υδρογόνο που παράγεται σε αυτόν φτάνει στις μονάδες συμπίεσης και αποθήκευσης. Όταν χρειάζεται υδρογόνο φεύγει από την δεξαμενή αποθήκευσης και μπαίνει στην κυψέλη καυσίμου PEM για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την πολύ υψηλή θερμοκρασία γεννήτριας στο τετραπλό σύστημα ψύξης παρέχεται μέσω του HEX-III από το υποσύστημα των συλλεκτών. Το υψηλής θερμοκρασίας υγρό μπαίνει στην υψηλής θερμοκρασίας γεννήτρια στο σημείο 30, όπου υψηλή περιεκτικότητας μίγμα από τον απορροφητή θερμαίνεται. Το φτωχής περιεκτικότητας μίγμα στην κατάσταση 54 βγαίνει από την πολύ υψηλής θερμοκρασίας γεννήτρια και μεταφέρει την θερμότητα στον πολύ υψηλής θερμοκρασίας γεννήτρια εναλλάκτη αντίστοιχα συμβαίνουν παρακάτω στο κύκλωμα.

Τα συμπεράσματα που βγήκαν από την ενεργειακή και εξεργειακή ανάλυση είναι τα παρακάτω:

- Η μεγαλύτερη καταστροφή ενέργειας γίνεται στους συλλέκτες ο βαθμός απόδοσης της εξέργειας των συλλεκτών είναι 43.14% και η καταστροφή της εξέργειας 18.97%.
- Αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος μειώνει τον ενεργειακό και τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης του κύκλου ORC.
- Αύξηση της ηλιακή ακτινοβολίας έχει θετικές επιπτώσεις στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και στην παραγωγή του υδρογόνου, όμως μειώνει την παραγωγή ψύξης.
- Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η εσωτερική θερμοκρασία των σωλήνων του ηλιακού συλλέκτη, ο οποίος όταν αυξάνεται, οδηγεί στη αύξηση των βαθμών απόδοσης τόσο του ενεργειακού όσο του εξεργειακού σε όλο το σύστημα.

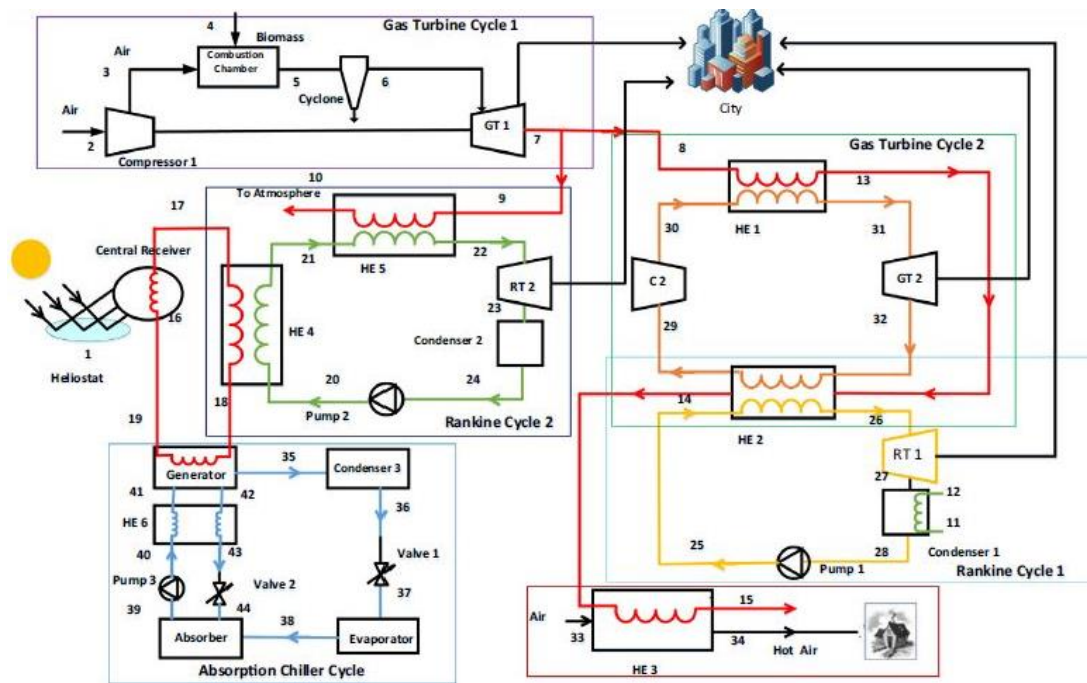
- Τέλος η αναλογία της αμμωνίας όσο αυξάνεται προκαλεί αύξηση των βαθμών απόδοσης εξεργειακού και ενεργειακού του κύκλου ORC και του συστήματος ψύξης.



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα της εγκατάστασης. [3.6]

Είναι αξιοσημείωτο ότι στο παραπάνω σύστημα δεν χρησιμοποιείται ούτε ο συνηθισμένος κύκλος ORC ούτε ο απλός κύκλος ψύξης με απορρόφηση αυτοί οι δύο καινούργιοι κύκλοι εισάγουν καινούργια εξαρτήματα και περισσότερες εξισώσεις καθώς και παραδοχές των βαθμών απόδοσης τους. Επίσης παράγεται και αποθηκεύεται υδρογόνο επί τούτου στο εργοστάσιο οπού και μπορεί να καταναλωθεί ,αυτή είναι μια μορφή αποθήκευσης της θερμική ενέργειας εκτός από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Εξισώσεις και στοιχεία για την παραγωγή του υδρογόνου δίνονται στις δημοσιεύσεις. Στη παρούσα διπλωματική θα μοντελοποιήσουμε ένα πιο απλό σύστημα για λόγους απλότητας και την χρησιμοποίηση λιγότερων παραδοχών.

Παρακάτω έχουμε εν άλλο παράδειγμα τριπαραγωγής και κλιματισμού από τους F.Khalid et al. [3.7]. Συνοπτικά το σύστημα χρησιμοποιεί δύο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ηλιακή και βιομάζα. Εμπεριέχει δύο κύκλους Rankine και δύο κύκλους αεριοστρόβιλων καθώς και ένα κύκλο ψύξης απορρόφησης . Οι κύριες έξοδοι στον σύστημα είναι η ηλεκτρική ενέργεια, η ψύξη ,το ζεστό νερό και ο ζεστός αέρας. Το πιο σημαντικό κομμάτι του συστήματος είναι ο συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης. Η ηλιακή ενέργεια από τον ήλιο μαζεύεται σε ένα ηλιοστατικό πύργο. Ο ηλιοστατικός συλλέκτης αντανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στον κεντρικό δέκτη οπού απορροφάει την θερμότητα και μεταφέρει αυτήν την θερμότητα στο εργαζόμενο μέσο.



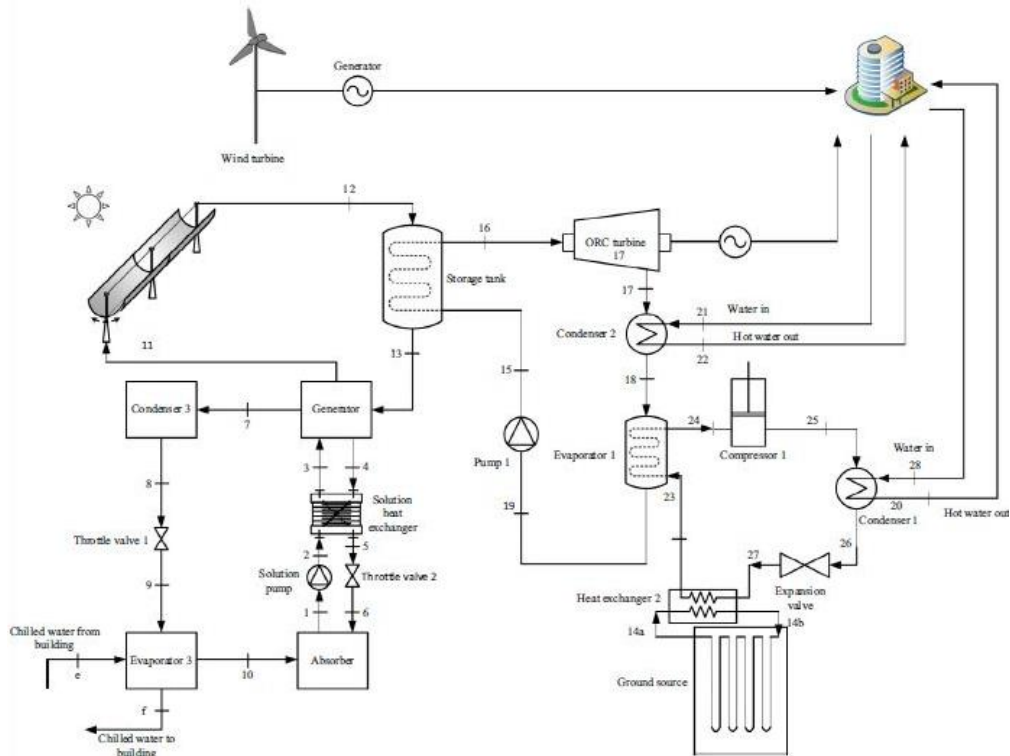
Σχήμα 3.10: Διάγραμμα εγκατάστασης .[3.7]

Τα συμπεράσματα από την παραπάνω εγκατάσταση ύστερα από την ενεργειακή και εξεργειακή ανάλυση είναι:

- Αυξάνοντας την θερμοκρασία περιβάλλοντος ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης μειώνεται ενώ ο ενεργειακός παραμένει σταθερός.
- Αυξάνοντας την θερμοκρασία καύσης αυξάνεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης ,κυρίως διότι αυξάνεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης του αεροστροβίλου 1 παρότι μειώνονται οι άλλοι βαθμοί απόδοσης. Ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης αυξάνεται και αυτός.
- Αυξάνοντας την πίεση εισόδου του συμπιεστή 1 αυξάνει τον ενεργειακό και εξεργειακό βαθμό απόδοσης του συστήματος.
- Αυξάνοντας την έκταση του ηλιοστάτη μειώνει τον ενεργειακό και εξεργειακό βαθμό απόδοσης.
- Αυξάνοντας της άμεσο ακτινοβολία μειώνεται ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης.
- Ο ενεργειακός και εξεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος βγαίνουν 66.5% και 39.7% αντίστοιχα όμως όταν τα συστήματα της βιομάζας και του ηλιακού συλλέκτη λειτουργούν αυτοτελώς, ένα από τα δύο, οι βαθμοί απόδοσης είναι 64.5% και 37.6% για την βιομάζα και 27.3% και 44.3% για το ηλιακό σύστημα. Άρα οι βαθμοί απόδοσης μειώνονται. Αυτό είναι ένα στοιχείο που κατευθύνει ύστερα τις επιλογές μας για βελτίωση του συστήματος που σχεδιάστηκε.

Άλλο ένα σύστημα το οποίο διερευνήθηκε από τους Farrukh Khalid et al.[3.8]. Το σύστημα χρησιμοποιεί αιολική ενέργεια για τις ηλεκτρικές ανάγκες του κτηρίου και ηλιακή ενέργεια από την οποία παράγεται θερμότητα η οποία με την σειρά της οδηγεί την γεννήτρια στο σύστημα ψύξης με απορρόφηση και ένα άλλο μέρος της θερμότητας

μέσω ενός εναλλάκτη οδηγεί έναν κύκλο ORC. Ενέργεια από την γη αξιοποιείται για την προθέρμανση του ψυκτικού στο σύστημα θέρμανσης με τον συμπιεστή 1.

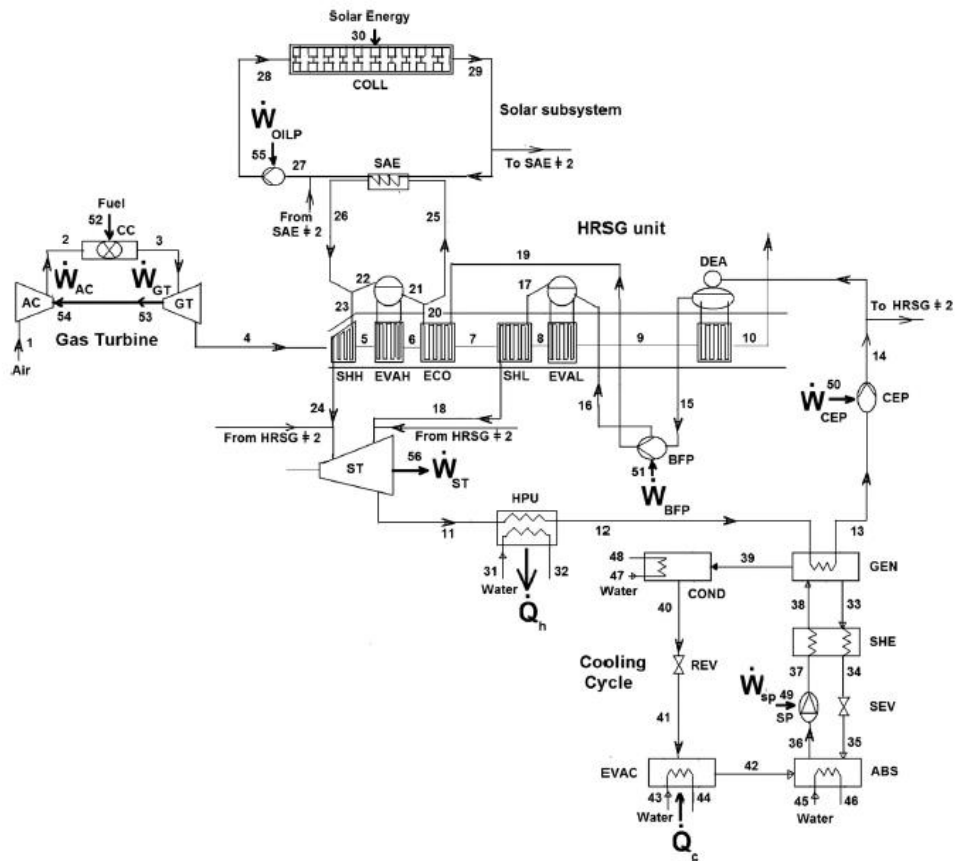


Σχήμα 3.11: Διάγραμμα συστήματος .[3.8]

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν είναι:

- Η μεγαλύτερη καταστροφή εξέργειας συμβαίνει στον ηλιακό συλλέκτη και ύστερα στην γεννήτρια και την δεξαμενή αποθήκευσης ενέργειας.
- Η αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας προκαλεί μείωση στον ενεργειακού και εξεργειακού βαθμό απόδοσης διότι ο ρυθμός με τον οποίο η πρόσδοση ηλιακής ενέργειας είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό εξαγωγής έργου.
- Αύξηση της πίεσης εισόδου του στροβίλου οδηγεί σε αύξηση του έργου εξόδου του ORC στροβίλου ,προκαλεί έπειτα αυτό μια αύξησης του ενεργειακού και εξεργειακού βαθμού απόδοσης.
- Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του στροβίλου προκαλεί μείωση των βαθμών απόδοσης διότι όσο αυξάνεται υποδηλώνει ότι το έργο εξόδου του στροβίλου έχει μειωθεί.
- Αύξηση της ταχύτητας ανέμου προκαλεί αύξηση των βαθμών απόδοσης.
- Στην δημοσίευση έγινε οικονομική βελτιστοποίηση με το πρόγραμμα HOMER. Η παρούσα αξία βρέθηκε 345.481\$ (το 2014) .Επίσης έχουμε 100% ανανεώσιμη ενέργεια με μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλων ρυπαντών. Ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης βρέθηκε 7.3% και ο ενεργειακός 46.1%.

Ένα σημαντικό σύστημα που δεν πρέπει να παραλείψουμε είναι των A. Baghernejad et al [3.9]. .



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα εγκατάστασης. [3.9]

Σε αυτό το σύστημα έγινε μια εξεργοοικονομική ανάλυση ενός συστήματος το οποίο αποτελείται:

- Από μια μονάδα παραγωγής ενέργειας, η οποία είναι γνωστή ως του εργοστασίου η κύρια κινητήρια δύναμη και το ολοκληρωμένο σύστημα ηλιακής ισχύος με παραβολοειδείς ηλιακούς συλλέκτες.
- Μια μονάδας ψύξης με μονής δράσης ψύκτη με απορρόφηση.
- Μια μονάδα θέρμανσης, όπως ο εναλλάκτης θερμικής διαδικασίας.
- Μια ηλεκτρική γεννήτρια.

Είναι αξιοσημείωτο ότι το ολοκληρωμένο σύστημα προσφέρει τρία πλεονεκτήματα:

- Πρώτον, η θερμική ενέργεια από τον ήλιο μετατρέπεται σε ηλεκτρική με υψηλότερη απόδοση.
- Δεύτερον, η προσαύξηση του κόστους της μονάδας, λόγω του μεγάλου μεγέθους ατμοστρόβιλο σε ένα ολοκληρωμένο εργοστάσιο, είναι λιγότερη από το ολικό κόστος μονάδας σε ένα εργοστάσιο μόνο ηλιακής ισχύος.
- Τρίτον, ένα ολοκληρωμένο σύστημα δεν υποφέρει από θερμικές αναποδοτικότητες σχετιζόμενες με τη την ημερήσια εκκίνηση και παύση του ατμοστρόβιλου.

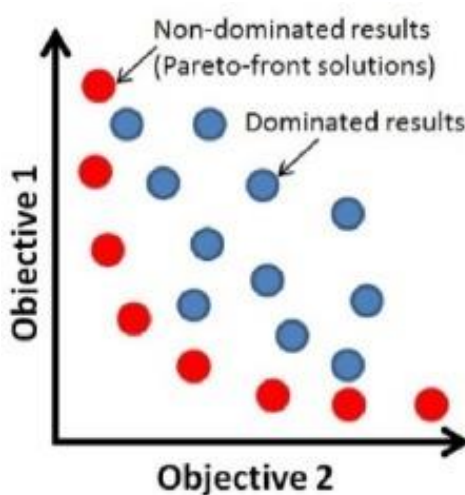
Τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι τα παρακάτω:

Χρησιμοποιώντας τον εξελικτικό αλγόριθμο στην matlab βρέθηκαν βέλτιστα σημεία για κάθε παράμετρο του συστήματος μερικές από τις παραμέτρους του συστήματος

είναι το ηλιακό μερίδιο το οποίο είναι το ποσό της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται προς το καθαρό έργο, η αναλογία ηλεκτρικής ενέργειας προς την θερμότητα θέρμανσης, η αναλογία ηλεκτρικής ενέργειας προς την ψύξη, ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή, αναλογία πιέσεων του συμπιεστή, θερμοκρασία καύσης, ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στροβίλων, πίεση εισόδου στροβίλων, θερμοκρασίας εισόδου του υψηλής πίεσης στροβίλου, ισεντροπικός βαθμός απόδοσης αντλίας, θερμοκρασία εξόδου ελαίου. Αυτές οι παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι ελέγξιμες και μπορούν να καθοριστούν στο βέλτιστο μέγεθος αυτών ικανοποιώντας αντικειμενικές συναρτήσεις του συστήματος τριπαραγωγής. Για παράδειγμα θερμοκρασίες και πιέσεις σε διαφορετικά σημεία στο σύστημα είναι ελέγξιμα χρησιμοποιώντας αισθητήρες και βαλβίδες ελέγχου, έτσι αυτές πρέπει να επιλεγθούν σύμφωνα με την υπολογιζόμενη βέλτιστη κατάσταση. Ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης και ο λόγος πιέσεων του συμπιεστή θα διευκολύνουν τον σχεδιαστή να επιλέξει τα εργαζόμενα στοιχεία όσο πιο κοντά στη βέλτιστη διάταξη. Το ηλιακό μερίδιο επιλέγεται σαν μεταβλητή απόφασης επειδή αυτό είναι ανάλογο της έκτασης των συλλεκτών και του μεγέθους του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών και έχει σημαντική επίδραση στο κόστος των προϊόντων όταν αυτό ,το κόστος , είναι η αντικειμενική συνάρτηση που εξετάζουμε. Οι αναλογίες ηλεκτρικής ενέργεια προς ψύξη και θέρμανση αντίστοιχα ,επιλέχθηκαν διότι καθορίζουν το μέγεθος των αντίστοιχων συστημάτων και το κεφαλαιουχικό κόστος τους.

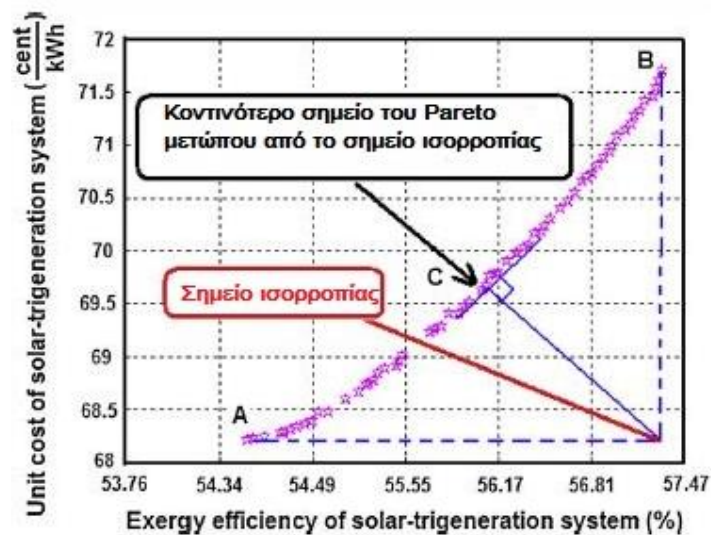
Όπως σε αυτήν την δημοσίευση έτσι και στην παρούσα διπλωματική η επιλογή των παραμέτρων είναι κρίσιμης σημασίας για τον σχεδιαστή των επενδυτή και τον κατασκευαστή του συστήματος.

Από τα βέλτιστα σημεία που εξήχθησαν από το εξελικτικό αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Pareto για να εξαχθεί ένα σημείο που ικανοποιεί πολύ στόχους ταυτόχρονα και βελτιστοποιεί τον κάθε στόχο με τη ίδια βαρύτητα. Η μέθοδος του Pareto χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Για να καταλάβουμε πως λειτουργεί θα χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα. Έχουμε ένα σύστημα που θέλουμε να μειώσουμε τα κόστη ταυτόχρονα με την αύξηση του εξεργειακού βαθμού απόδοσης του συστήματος, έστω ότι οι παράμετροι εξελίσσονται κάπως έτσι, Σχήμα 3.13, από όλα τα σημεία επιλέγουμε τα πιο ακραία σχηματίζοντας το λεγόμενο Pareto μέτωπο.



Σχήμα 3.13 :Pareto μέτωπο. [3.10]

Ύστερα από το Pareto μέτωπο σχεδιάζουμε ένα εικονικό σημείο ισορροπίας που βελτιστοποιεί ταυτόχρονα και τις δύο παραμέτρους και από αυτό βρίσκουμε το σημείο που έχει την ελάχιστη απόσταση από το Pareto μέτωπο.



Σχήμα 3.14:Επιλογή βέλτιστου σημείου. [3.9]

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι τα παρακάτω:

- Το κόστος όλου του συστήματος μειώθηκε κατά 37.68% και ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης αυξήθηκε από 44.38% σε 57.34%.
- Η μονάδα κόστους των προϊόντων στο σύστημα μειώθηκε κατά 10% αυτό επιτυγχάνει αύξηση κατά 21.93% του κόστους της κεφαλαιουχικής επένδυσης.
- Η καταστροφή εξέργειας μειώθηκε κατά 28.34% ,και τα κόστη του συστήματος που αφορούν αναποδοτικότητες μειώθηκαν κατά 47.76%.
- Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα μειώθηκαν από 312.91 σε 208.41 kg/MWh.

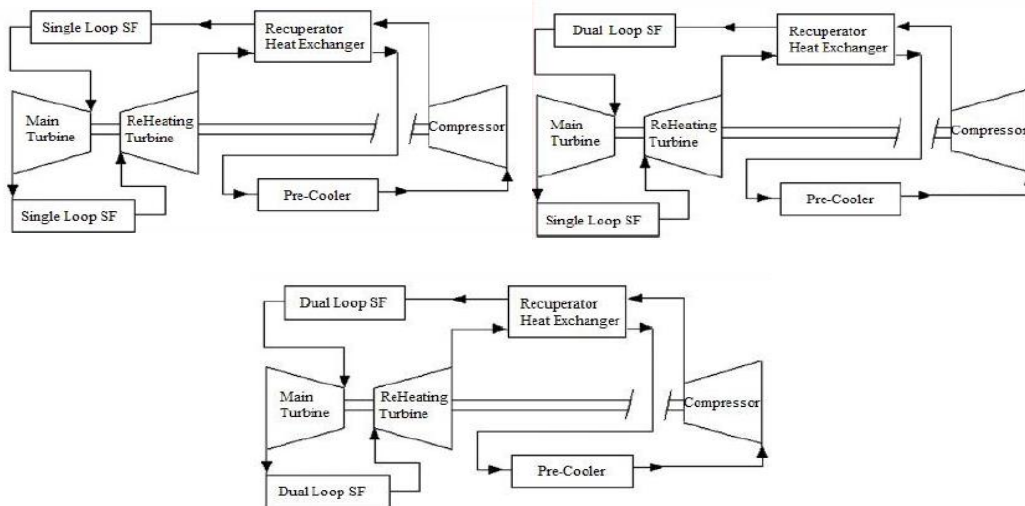
Όλα τα παραπάνω έγιναν όταν είχαμε έναν μοναδικό στόχο .Όταν έχουμε πολλούς στόχους πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Οδηγούμαστε σε 26.34% αύξηση του εξεργειακού βαθμού απόδοσης και μείωση κατά 11.5% του κόστους των προϊόντων.
- Η πολυπαραμετρική βελτιστοποίηση οδηγεί σε 24.17% και 21.63% μείωση στην εξέργεια του καυσίμου και στην συνολική καταστροφή εξέργειας.
- Μείωση κατά 24.17% του κόστους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην βέλτιστη περίπτωση.

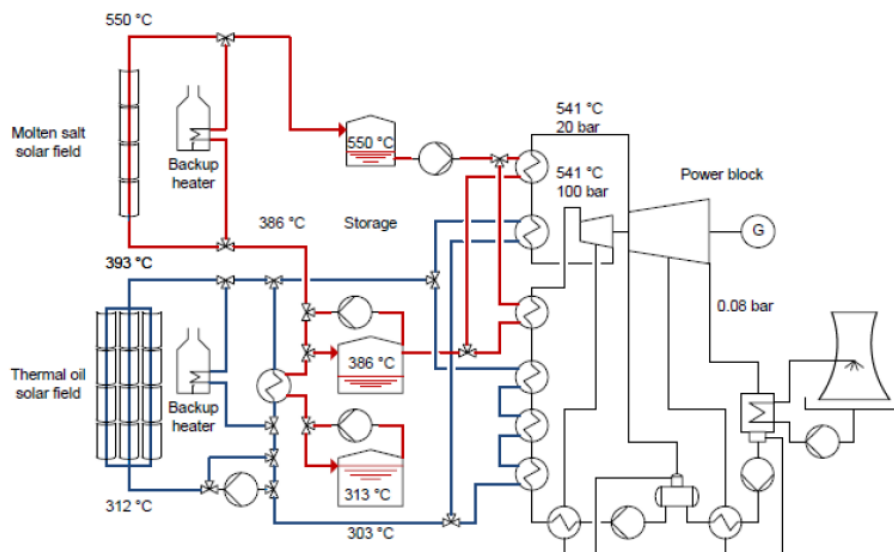
Ένα ακόμη σύστημα που αξίζει την προσοχή μας είναι το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια με υπερκρίσιμο κύκλο Brayton με υπερθέρμανση χρησιμοποιώντας όχι δύο αλλά τρία εργαζόμενα μέσα. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται και θερμικό έλαιο και τηγμένο άλας για την παραγωγή θερμότητας. Το τηγμένο άλας λειτουργεί και ως εργαζόμενο μέσο και ως μέσω αποθήκευσης θερμότητας που αντλείται από το θερμικό έλαιο μέσω εναλλάκτη, Το φυσικό αέριο λειτουργεί ως βοηθητική παροχή θερμότητας για να υποβοηθήσει την πρόσδοση θερμότητας μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία. Το πλεονέκτημα του « διπλού » κύκλου



να αποδίδει καλύτερα οφείλεται στην ικανότητα επίτευξης υψηλών θερμοκρασιών το οποίο αυξάνει την καθαρή ισχύ εξόδου για τη ίδια συλλεκτική επιφάνεια. Όμως το απλό σύστημα τηγμένου άλατος έχει μεγαλύτερη ισχύ εξόδου από το « διπλό » σύστημα στις ίδιες θερμοκρασίες αυτό οφείλεται στο ότι χρειαζόμαστε λιγότερη αντλητική ισχύ για το τηγμένο άλας από ότι για το θερμό έλαιο. Συγκρίνοντας της θερμικές απώλειες του κυκλώματος με τηγμένο άλας και την απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας από της αντλίες ,οι δεύτερες είναι μεγαλύτερες. Ο Luis Coco Enríquez χρησιμοποιώντας αλγόριθμους βελτιστοποίησης και διάφορα θερμοδυναμικά προγράμματα έκανε την οικονομική αξιολόγηση τριών συστημάτων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το παραπάνω « διπλό » σύστημα κατέληξε ότι το πιο οικονομικό είναι το σύστημα με την πρώτη διάταξη του σχήματος και το οποίο έχει απλό σύστημα με θερμικό έλαιο.



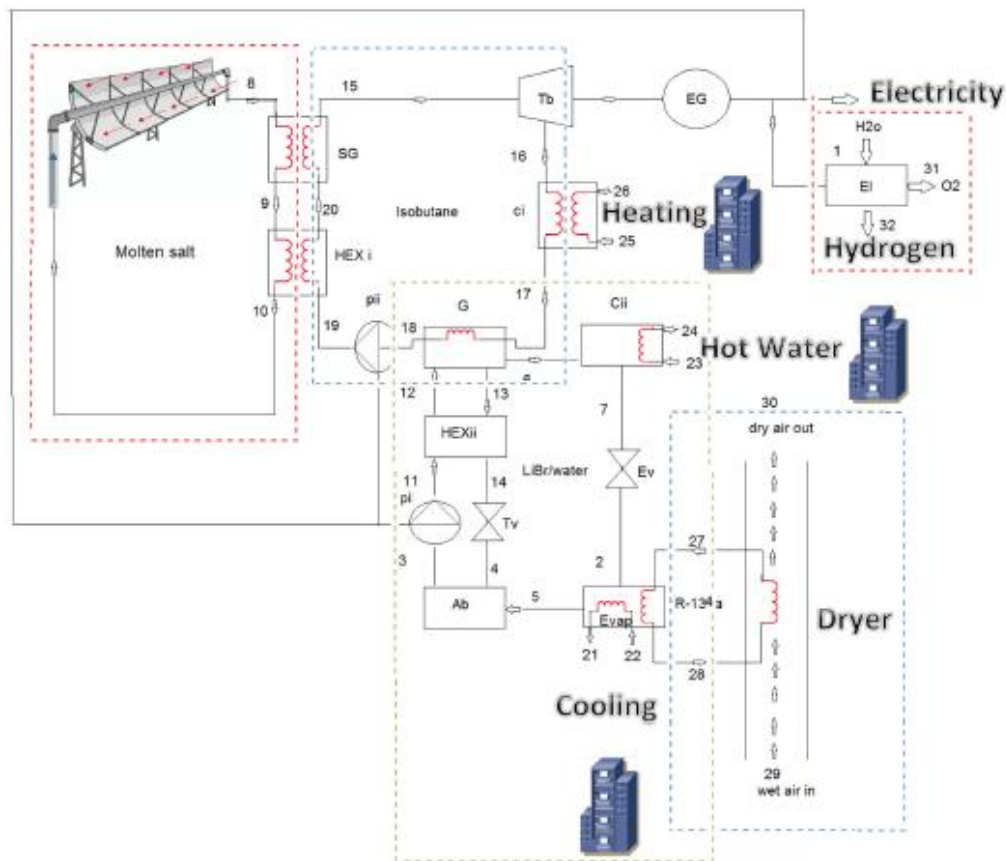
**Σχήμα 3.15:** Τρεις περιπτώσεις διατάξεων που χρησιμοποιούν « διπλό » κύκλωμα.[3.11]



**Σχήμα 3.16:** Διάγραμμα εγκατάστασης. [3.11]

Τέλος έχουμε ένα σύστημα από τους Moslem Sharifishourabi et al.[3.12] . Αυτό αποτελείται από πέντε υποσυστήματα όπως το σύστημα ψύξης με απορρόφηση ,τους παραβολοειδές ηλιακούς συλλέκτες, έναν ξηραντήρα ,έναν ηλεκτρολύτη και έναν

ORC. Τα εργαζόμενα μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι τηγμένο άλας στο κύκλωμα των συλλεκτών, ισοβουτάνιο στον ORC, R134a στο κύκλωμα ξήρανσης και LiBr-νερό στο κύκλωμα ψύξης με απορρόφηση.



Σχήμα 3.17: Διάγραμμα εγκατάστασης .[3.12]

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι τα παρακάτω:

- Αύξηση της πίεσης εισόδου του στροβίλου οδηγεί σε μείωση του ενεργειακού και εξεργειακού βαθμού απόδοσης.
- Αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του στροβίλου από 530 έως 630 προκαλεί αύξηση του ενεργειακού βαθμού απόδοσης από 4 σε 31% και αύξηση του εξεργειακού βαθμού απόδοσης από 15 σε 92% αυτό οφείλεται στην αύξηση της ενθαλπίας εισόδου του στροβίλου. Επίσης αυξάνεται παράλληλα η ισχύς εξόδου και η παραγωγή υδρογόνου.
- Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του στροβίλου από 460 σε 520 οδηγεί σε μείωση του ενεργειακού βαθμού απόδοσης του ORC από 24 σε 4% ενώ ο αντίστοιχος εξεργειακός από 84 σε 14%.
- Αύξηση τη θερμοκρασίας περιβάλλοντος δεν μεταβάλλει σημαντικά τους ενεργειακούς βαθμούς απόδοσης του ORC και το COP ,όμως ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης και των δύο κύκλων ORC και ψύξης αυξάνονται λόγο της μείωσης της διαφοράς θερμοκρασίας του συστήματος από το περιβάλλον.
- Συμπερασματικά ο βαθμός απόδοσης του συστήματος προκύπτει 70% ενώ ο εξεργειακός περίπου 53%.

### **Βιβλιογραφία 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου:**

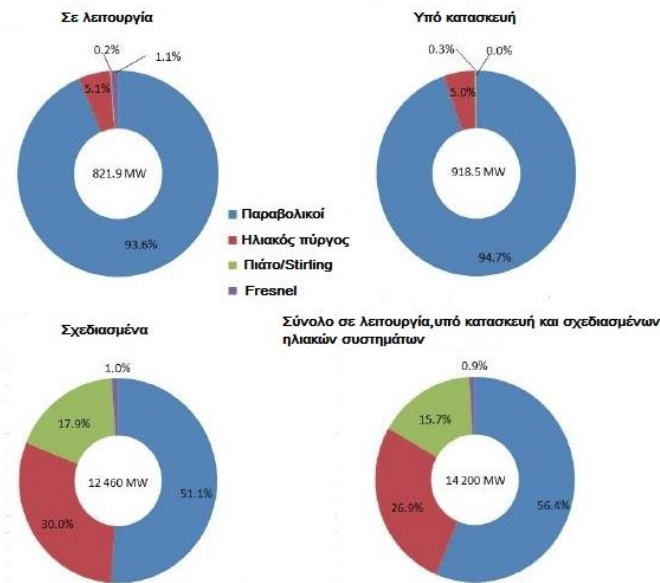
- [3.1] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ενεργειακή αξιοποίηση απορριπτόμενης θερμότητας βιομηχανικών διεργασιών, *Μπέλλος Α. Ευάγγελος*.
- [3.2] Διπλωματική εργασία με θέμα: Ηλιακή θερμική παραγωγή έργου με χρήση του κύκλου Rankine, *Ιωάννης Καραθανάσης*.
- [3.3] Energetic and financial investigation of a stand-alone solar-thermal Organic Rankine Cycle power plant, *Christos Tzivanidis, Energy Conversion and Management, Volume 126, 15 October 2016, Pages 421-433*.
- [3.4] Ιστότοπος: <https://www.youtube.com/watch?v=zqXgmVnI3L8&list=PLE2DA184A2E479885>
- [3.5] Ιστότοπος: <http://www.ktizontastomellon.gr>
- [3.6] Thermodynamic performance assessment of a novel environmentally benign solar energy based integrated system. *Yunus Emre Yuksel et al., Energy Conversion and Management, Volume 119, 1 July 2016, Pages 109-120*.
- [3.7] Energy and exergy analyses of a solar-biomass integrated cycle for multigeneration, *Farrukh Khalid. Solar Energy, Volume 112, February 2015, Pages 290-299*.
- [3.8] Techno-economic assessment of a renewable energy based integrated multigeneration system for green buildings, *Farrukh Khalid et al. Applied Thermal Engineering, Volume 99, 25 April 2016, Pages 1286-1294*.
- [3.9] Exergoeconomic optimization and environmental analysis of a novel solar-trigeneration system for heating, cooling and power production purpose. *A. Baghernejad et al., Solar Energy, Volume 134, September 2016, Pages 165-179*.
- [3.10] Parallel Biclustering Detection Using Strength Pareto Front Evolutionary Algorithm, *Maryam Golchin., Information Sciences, Volumes 415–416, November 2017, Pages 283-297*.
- [3.11] ECRES 2016 SHORT Paper2 Dual-Loop, *Luis Coco Enriquez. Conference: ECRES 2106, At ISTANBUL, TURKEY*.
- [3.12] Performance Assessment of a Multi-Generation System Based on Organic Rankine Cycle, *Moslem Sharifishourabi et al. Iran J Sci Technol Trans Mech Eng .Received: 12 October 2015 / Accepted: 26 July 2016, Shiraz University 2016*.



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>- Σύστημα διπλωματικής

### 4.1 Κίνητρα επιλογής συστήματος

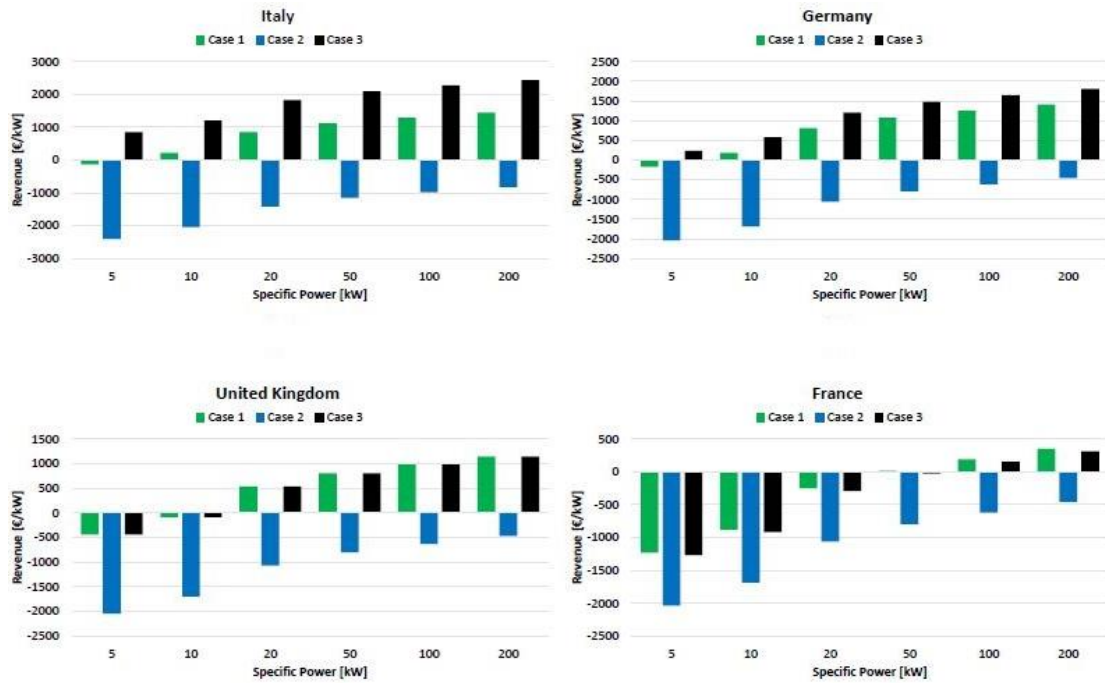
Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιούμε παραβολικούς συλλέκτες διότι αυτή η τεχνολογία είναι η πιο ώριμη τεχνολογικά μέχρι σήμερα, μεταξύ των άλλων τεχνολογιών παγκοσμίως.



**Σχήμα 4.1: Ποσοστά ηλιακών θερμικών συστημάτων. [4.1]**

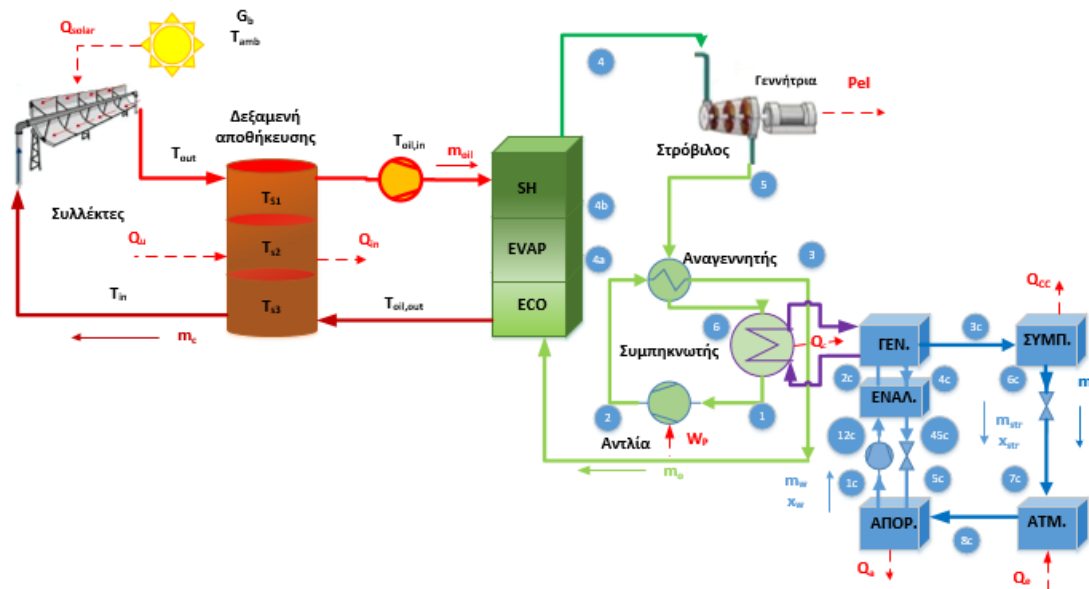
Στην Ευρώπη ,εξαρτώμενο από την χώρα, δίνονται κίνητρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια. Αυτά τα κίνητρα διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα έσοδα τριών περιπτώσεων συναρτήσει της ισχύος ενός συστήματος ORC. Η πρώτη περίπτωση αναφέρεται σε παραγωγή ενέργειας για ιδιοκατανάλωση από αποβληθείσα θερμική ενέργεια, η δεύτερη σε παραγωγή ενέργειας προς πώληση από αποβληθείσα θερμική ενέργεια και τέλος η τρίτη περίπτωση που παράγεται ενέργεια από ανανεώσιμη πηγή.

Επίσης με το σύστημα ORC μπορούν επιτευχθούν υψηλοί βαθμοί απόδοσης όλου του εργοστασίου. Η ανάγκη τηλεθέρμανσης αφορά οικισμούς οι οποίοι είναι αποκεντρωμένοι από το σύστημα ηλεκτρικής διασύνδεσης καθώς και του φυσικού αερίου ακόμη και σε δύσβατες οδικά περιοχές για την διανομή πετρελαίου οικίας. Η θερμότητα από το σύστημα τριπαραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και για ιδιοκατανάλωση όπως σε βιομηχανικά εργοστάσια αποφεύγοντας έτσι άλλες πηγές θερμότητας. Το σύστημα της ψύξης και αυτό με την σειρά του προορίζεται κυρίως για ιδιοκατανάλωση σε θερμές χώρες με υψηλή ηλιοφάνεια ηλιακή ενέργεια καθώς και με το σύστημα ψύξης μπορούν να συνδυαστούν επιτυχώς αφού η καμπύλες ζήτησης ψύξης και ηλιοφάνειας δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά φάσης. Η ψύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συντήρηση θερμοευαίσθητων προϊόντων κατά την διαδικασία παραγωγής ή αποθήκευσής τους, ή για τις ανάγκες κλιματισμού του εκάστοτε χώρου.



Σχήμα 4.2: Έσοδα τριών συστημάτων ORC ,σε τέσσερις χώρες με περίοδο αποπληρωμής τρία έτη. [4.2]

Παρακάτω βλέπουμε το σύστημα που σχεδιάστηκε.



Σχήμα 4.3: Διάταξη εγκατάστασης συστήματος τριπαραγωγής.

#### 4.2-Περιγραφή του συστήματος

Παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία  $Q_{Solar}$  και να την μετατρέψουν σε υψηλής θερμοκρασίας θερμότητα  $Q_u$ . Το εργαζόμενο μέσο στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών και στην δεξαμενή αποθήκευσης είναι το Therminol VP-1. Το παραπάνω θερμικό υγρό είναι ικανό να λειτουργεί μέχρι τους  $400^{\circ}C$  με ασφάλεια και είναι συνηθισμένη επιλογή για τέτοιου είδους επιλογές. Η δεξαμενή αποθήκευσης είναι η επόμενη συσκευή στο σύστημα.

Κρύο θερμό έλαιο με θερμοκρασία  $T_{in}$  εγκαταλείπει το κάτω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης και εισάγεται στο πεδίο των ηλιακών συλλεκτών όπου η θερμοκρασία του αυξάνεται σε  $T_{out}$  και ύστερα από αυτό επιστρέφει στο υψηλότερο μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης. Από την άλλη μεριά της δεξαμενής, ζεστό θερμικό έλαιο θερμοκρασίας  $T_{oil,in}$  ρέει από το υψηλότερο μέρος της δεξαμενής στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας προκειμένου να δώσει θερμότητα στο οργανικό υγρό. Το ψυχρότερο θερμικό έλαιο θερμοκρασίας  $T_{oil,out}$  επιστρέφει στο κάτω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης και έτσι του κύκλωμα του θερμικού ελαίου κλείνει.

Στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας, θερμότητα μεταφέρεται από το θερμικό έλαιο στο οργανικό υγρό  $Q_{in}$ . Πιο συγκεκριμένα οργανικό υγρό σε υγρή φάση (κατάσταση 3) εισάγεται στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Πρώτα στον οικονομητήρα (ECO), μετατρέπεται σε κορεσμένο υγρό (κατάσταση 4a) και ύστερα στις επιφάνειες του εναλλάκτη του ατμοποιητή (EVAP), γίνεται κορεσμένος ατμός (κατάσταση 4b). Τελικά υπέρθερμος ατμός κατάστασης 4 παράγεται από τον υπερθερμαντή (SH) στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας και ύστερα μεταφέρεται στον στρόβιλο στον οποίο παράγεται έργο και συνεπώς ηλεκτρική ενέργεια ( $Pe$ ) στην ηλεκτρική γεννήτρια. Η έξοδος του στρόβιλου (κατάσταση 5) είναι χαμηλής πίεσης υπέρθερμος ατμός με υψηλή θερμοκρασία. Αυτός ο ατμός χρησιμοποιείται στον αναγεννητή με σκοπό να θερμάνει το ψυχρότερο ρεύμα μετά από τον συμπυκνωτή, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερη ζήτηση ενέργειας εισόδου στο σύστημα ανάκτησης θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, στον αναγεννητή, το θερμό ρεύμα εγκαταλείπει την συσκευή (κατάσταση 6) και μπαίνει στον συμπυκνωτή όπου θερμότητα αποβάλλεται στην θερμική αντλία απορρόφησης σε θερμοκρασία  $T_G$ . Το κορεσμένο οργανικό υγρό (κατάσταση 1) γίνεται υπόψυκτο υγρό υψηλής πίεσης μετά την αντλία (κατάσταση 2) με κατανάλωση ηλεκτρισμού ( $W_p$ ) και αυτή η ποσότητα οδηγείται στον αναγεννητή όπου η ενθαλπία του αυξάνεται (κατάσταση 3) και ο οργανικός Rankine κύκλος κλείνει.

Η αντλία θερμότητας με απορρόφηση παίρνει θερμότητα  $Q_C$  στην γεννήτρια και παράγει ψυκτικό φορτίο στον ατμοποιητή ( $Q_e$ ), παράλληλα το θερμικό φορτίο ( $Q_h$ ) παράγεται στον συμπυκνωτή και στον απορροφητή αμφότερα. Η θερμότητα έχει επιλεχθεί να παράγεται στους 50 °C, ένα κατάλληλο επίπεδο θερμοκρασίας για θέρμανση χώρων ή ζεστό νερό χρήσης, καθώς η θερμοκρασία της ατμοποίησης κυμαίνεται σε θερμοκρασιακά επίπεδα κοντά στους 10 °C. Το εργαζόμενο ζεύγος σε αυτόν τον κύκλο είναι βρωμιούχο λήθιο ( $LiBr-H_2O$ ) και το ψυκτικό υγρό είναι νερό/ατμός. Φτωχό διάλυμα χαμηλή πίεσης (κατάσταση 1c) εγκαταλείπει το απορροφητή και εισάγεται στην αντλία διαλύματος όπου η πίεση του αυξάνεται (κατάσταση 12c) με χαμηλή είσοδο ηλεκτρισμού η οποία μπορεί να αμεληθεί στην εξέταση όλου του συστήματος. Η επόμενη συσκευή είναι ο εναλλάκτης διαλύματος όπου το φτωχό διάλυμα θερμαίνεται στην κατάσταση 2c, καθώς το ισχυρό διάλυμα της γεννήτριας (κατάσταση 4a) ψύχεται μέχρι την κατάσταση 45c. Το ισχυρό διάλυμα μετά από τον εναλλάκτη διαλύματος συνεχίζει στην στραγγαλιστική βαλβίδα στην οποία η πίεση του μειώνεται ισηθαλπικά. Έτσι ο κύκλος απορρόφησης κλείνει. Από την άλλη, ο παραγόμενος ατμός από την γεννήτρια (κατάσταση 3c) πηγαίνει στον συμπυκνωτή όπου θερμότητα αποβάλλεται στο θερμικό σύστημα και παράγεται κορεσμένος ατμός (κατάσταση 3c). Αυτό το υγρό εισάγεται στην στραγγαλιστική βαλβίδα και χάνει πίεση

με την ενθαλπία του να διατηρείται (κατάσταση 7c). Ο ατμοποιητής είναι η συσκευή όπου το ψυκτικό φορτίο απορροφάται και το ψυκτικό γίνεται κορεσμένος ατμός (κατάσταση 8c) που πάει στον απορροφητή και ο κύκλος της ψύξης κλίνει.

Πριν περάσουμε στην φάση της μοντελοποίησης πρέπει να αναφέρουμε τις παραδοχές που έγιναν:

- Μεταβολές στη κινητική και δυναμική ενέργεια είναι αμελητέες.
- Ο στρόβιλος και οι αντλίες είναι αδιαβατικές συσκευές.
- Οι απώλειες πίεσης σε όλους τους εναλλάκτες και στις σωληνώσεις είναι αμελητέες.
- Το σύστημα και όλα τα στοιχεία του λειτουργούν σε σταθερή κατάσταση.
- Οι υγρές φάσεις στις καταστάσεις 4c, 1c και 6c θεωρούνται κορεσμένο υγρό.
- Το νερό στην κατάσταση 8c είναι κορεσμένος ατμός.
- Οι πιέσεις στην γεννήτρια και στον συμπυκνωτή είναι ισοδύναμες.
- Οι πιέσεις στον ατμοποιητή και στον απορροφητή είναι ισοδύναμες.
- Θεωρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσλαμβάνουν οι ηλιακοί συλλέκτες είναι άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Με τις παραπάνω παραδοχές έγιναν οι παρακάτω θεωρήσεις τιμών:

- Μηχανικός βαθμός απόδοσης στροβίλου 0.99.
- Βαθμός απόδοσης γεννήτριας 0.96.
- Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στροβίλου 0.85.
- Βαθμός απόδοσης αντλίας 0.7.
- Βαθμός εκμετάλλευσης εναλλάκτη 0.65.
- Pinch point στον εναλλάκτη θερμότητας 20°C.
- Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δεξαμενής αποθήκευσης  $0.5 \cdot 10^3$  (W/m<sup>2</sup> °C).
- Έκταση ηλιακών συλλεκτών 1000 m<sup>2</sup>.
- Λόγος έκτασης ηλιακών συλλεκτών προς τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης 80 m<sup>-1</sup>.
- Μεταβολή θερμοκρασίας υπερθερμαντή 30°C.
- Πτώση θερμοκρασίας στον συμπυκνωτή του κυκλώματος οργανικού μέσου 20°C.
- Θερμοκρασία ήλιου 5770°C.



### 4.3-Μοντελοποίηση συστήματος

Ξεκινώντας από τους ηλιακούς συλλέκτες επιλέγουμε να είναι παραβολικοί και επιλέγουμε τον Eurotrough ET-150 με εξίσωση συλλέκτη [4.3]:

$$\eta_{th} = 0.75 - 45 \cdot 10^{-6} \cdot (T_{in} - T_{amb}) - 0.039 \cdot \left( \frac{T_{in} - T_{amb}}{G_b} \right) - 3 \cdot 10^{-4} \cdot G_b \cdot \left( \frac{T_{in} - T_{amb}}{G_b} \right)^2 \quad (4.1)$$

Ο οποίος ορίζεται και ως:  $\eta_{th} = \frac{Q_U}{Q_{Solar}}$  (4.2)

Με  $Q_{Solar} = A_a \cdot G_b / 1000$  (4.3)

Όπου  $G_b$  η άμεση ηλιακή ακτινοβολία η οποία εισάχθηκε σε kW και  $A_a$  η έκταση των ηλιακών συλλεκτών.

και  $Q_U = m_c \cdot c_{p_{oil}} \cdot (T_{out} - T_{in})$  (4.4)

Η αμέσως επόμενη συσκευή είναι η δεξαμενή αποθήκευσης όπου η μοντελοποίηση έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Παρακάτω έχουμε τον εναλλάκτη ανάκτησης θερμότητας όπου η μοντελοποίηση έγινε παραπάνω σε προηγούμενο κεφάλαιο ,επιπροσθέτως έχουμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Q_{in} = m_o \cdot (h_4 - h_3) \quad (4.5)$$

$$m_c = 0.02 \cdot A_a \quad (4.6)$$

Τα στοιχεία του οργανικού κύκλου και η μοντελοποίηση τους είναι:

Στον στρόβιλο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης  $\eta_{is} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_{5is}}$  (4.7)

Έργο στροβίλου  $W_t = m_o \cdot (h_4 - h_5) \cdot \eta_m \cdot \eta_G$  (4.8)

Ισχύς αντλίας  $W_p = m_o \cdot v_1 \cdot (P_H - P_L)$  (4.9)

και  $h_2 = h_1 + W_p$  (4.10)

Ισχύς κινητήρα αντλίας  $W_{motor} = \frac{W_p}{\eta_p}$  (4.11)

Ισολογισμός αναγεννητή  $h_3 - h_2 = h_5 - h_6$  (4.12)

Ισολογισμός συμπυκνωτή:  $Q_c = m_o \cdot (h_6 - h_1)$  (4.13)

Για το κύκλωμα της ψύξης έχουμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Q_e = m_r \cdot (h_{8c} - h_{7c}) \quad \text{Ισολογισμός ατμοποιητή.} \quad (4.14)$$

$$Q_{cc} = m_r \cdot (h_{3c} - h_{6c}) \quad \text{Ισολογισμός συμπυκνωτή.} \quad (4.15)$$

$$Q_a = m_r \cdot h_{8c} + m_{str} \cdot h_{5c} - m_w \cdot h_{1c} \quad \text{Ισολογισμός απορροφητή.} \quad (4.16)$$

$$Q_g = m_r \cdot h_{3c} + m_{str} \cdot h_{4c} - m_w \cdot h_{2c} \quad \text{Ισολογισμός γεννήτριας.} \quad (4.17)$$

$$m_w \cdot (h_{2c} - h_{12c}) = m_{str} \cdot (h_{4c} - h_{45c}) \quad \text{Ισολογισμός εναλλάκτη.} \quad (4.18)$$

$$\eta_{ex\_c} = \frac{h_{4c} - h_{45c}}{h_{4c} - h_{12c}} \quad \text{Βαθμός εκμετάλλευσης εναλλάκτη.} \quad (4.19)$$

$$h_{7c} = h_{6c} \quad \text{Ισενθαλπικός στραγγαλισμός.} \quad (4.20)$$

$$h_{45c} = h_{5c} \quad \text{Ισενθαλπικός στραγγαλισμός.} \quad (4.21)$$

$$h_{12c} = h_{1c} \quad \text{Ισενθαλπική (σχεδόν) άντληση.} \quad (4.22)$$

$$m_r + m_{str} = m_w \quad \text{Ισολογισμός παροχών.} \quad (4.23)$$

$$x_w \cdot m_w = x_{str} \cdot m_{str} \quad \text{Ισοζύγιο διαλυμάτων.} \quad (4.24)$$

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g} \quad \text{Συντελεστής απόδοσης ψύξης.} \quad (4.25)$$

Τέλος έχουμε τους βαθμούς απόδοσης όλου του συστήματος

Ισχύει:

$$Q_{heat} = Q_{cc} + Q_a \quad \text{Θερμότητα θέρμανσης.} \quad (4.26)$$

$$Eu = Pel + Q_e \cdot \left( \frac{T_{amb} + 273}{T_e + 273} - 1 \right) + Q_{heat} \cdot \left( 1 - \frac{T_{amb} + 273}{T_{cc} + 273} \right) \quad \text{Εξέργεια εξόδου.} \quad (4.27)$$

$$Es = Q_{solar} \cdot \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{amb} + 273}{T_{sun} + 273} + \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{T_{amb} + 273}{T_{sun} + 273} \right)^4 \right] \quad \text{Εξέργεια ηλίου.} \quad (4.28)$$

$$\eta_{ex,sys} = \frac{Eu}{Es} \quad \text{Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συστήματος.} \quad (4.29)$$

$$\eta_{energy} = \frac{Pel + Q_{cold} + Q_{heat}}{Q_s} \quad \text{Ενεργειακός βαθμός απόδοσης συστήματος.} \quad (4.30)$$

#### 4.4- Χρονική απόκριση συστήματος

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την απόκριση του συστήματος στην διάρκεια του χρόνου επιλέχθηκαν οι μέσες ημέρες του κάθε μήνα και κατά την διάρκεια αυτών των ημερών μεταβλήθηκε η προσπίπτουσα άμεσος ακτινοβολία και υπολογιστική η παράμετρος K. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να οριστεί ένας παράγοντας τροποποίησης, γνωστός σαν παράγοντας γωνίας πρόσπτωσης K, ο οποίος δείχνει κατά πόσο μεταβάλλεται ο οπτικός βαθμός απόδοσης του συλλέκτη σε σχέση με το μέγιστο δυνατό (για  $\theta=0^\circ$ ).

$$K(\theta) = \frac{\eta_{\text{opt}}(\theta)}{\eta_{\text{opt}}(\theta=0^\circ)} = \frac{\eta_{\text{opt}}(\theta)}{\eta_{\text{opt,max}}} \quad (4.31)$$

Η συνάρτηση του K που επιλέχθηκε για το παραβολικό συλλέκτη είναι η παρακάτω [4.4]:

$$K(\theta) = \cos(\theta) - 2.859621 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 - 5.25097 \cdot 10^{-4} \cdot \theta \quad (4.32)$$

Όπου η γωνία  $\theta$  είναι σε μοίρες:

Επίσης ισχύει για το σύστημα παρακολούθησης του ήλιου ενός άξονα με το συλλέκτη στη διεύθυνση Ανατολή-Δύσης και περιστροφή στη διεύθυνση Βορρά-Νότου:

$$\cos(\theta) = \sqrt{\sin^2(\delta) + \cos^2(\delta) \cdot \cos^2(\omega)} \quad (4.33)$$

Όπου  $\delta$  η ηλιακή απόκλιση που είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού και δίνεται από τον τύπο:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360(284 + n)}{365}\right) \quad (4.34)$$

Με  $n$  η μέρα του έτους.

Και  $\omega$  είναι η ωριαία γωνία και ορίζεται ως η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό  $0.25^\circ/\text{min}$ , άρα προφανώς ισχύει:

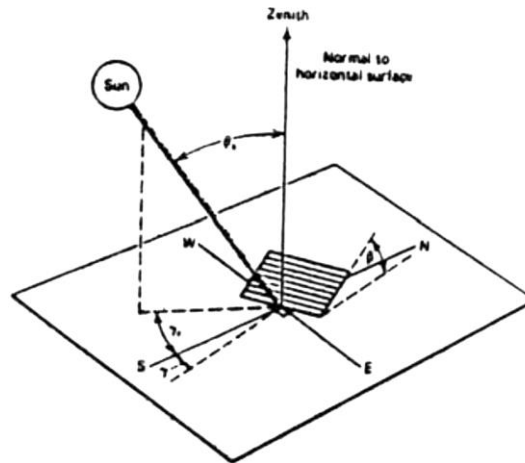
$\omega=0.25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$  οπότε λαμβάνεται  $\omega>0$  για μ.μ. και  $\omega<0$  για π.μ.  
.Η συνάρτηση για την προσπίπτουσα άμεση ακτινοβολία είναι:

$$I_{DN} = \frac{A}{B \cdot e^{\cos(\theta_z)}} \quad (4.35)$$

Όπου  $\theta_z$  είναι η γωνία ζενίθ, που είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου. Η γωνία ζενίθ δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (4.36)$$

όπου  $\varphi$  το γεωγραφικό πλάτος που στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε αυτό της Αθήνας.



Σχήμα 5.90: Γωνία ζενίθ. [4.5]

Οι σταθερές A και B για κάθε μήνα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

|             | Μέρα | A      | B      |
|-------------|------|--------|--------|
| Ιανουάριος  | 17   | 1.107  | 0.1274 |
| Φεβρουάριος | 47   | 1.09   | 0.1478 |
| Μάρτιος     | 75   | 1.062  | 0.1722 |
| Απρίλιος    | 105  | 1.032  | 0.1974 |
| Μάιος       | 135  | 1.007  | 0.2168 |
| Ιούνιος     | 162  | 0.9946 | 0.2266 |
| Ιούλιος     | 198  | 0.9962 | 0.2661 |
| Αύγουστος   | 228  | 1.013  | 0.2141 |
| Σεπτέμβριος | 258  | 1.041  | 0.1941 |
| Οκτώβριος   | 288  | 1.074  | 0.1707 |
| Νοέμβριος   | 318  | 1.105  | 0.1485 |
| Δεκέμβριος  | 344  | 1.121  | 0.1372 |

Πίνακας 4.1: Σταθερές για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. [4.6]

Για την μεταβολή της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας με τα ποσοστά της ημερήσιας διακύμανση σύμφωνα με μοντέλο που προτείνει η ASHRAE, αν είναι γνωστή η μέγιστη θερμοκρασία ημέρας και η ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η θερμοκρασία ημέρας υπολογίζεται αφαιρώντας από τη μέγιστη θερμοκρασία ημέρας το ποσοστό της ημερήσιας διακύμανσης που δίδει ο παρακάτω πίνακας:

| Ωρα | Ποσοστό% | Ωρα | Ποσοστό% | Ωρα | Ποσοστό% |
|-----|----------|-----|----------|-----|----------|
| 1   | 87       | 9   | 71       | 17  | 10       |
| 2   | 92       | 10  | 56       | 18  | 21       |
| 3   | 96       | 11  | 39       | 19  | 34       |
| 4   | 99       | 12  | 23       | 20  | 47       |
| 5   | 100      | 13  | 11       | 21  | 58       |
| 6   | 98       | 14  | 3        | 22  | 68       |
| 7   | 93       | 15  | 0        | 23  | 76       |
| 8   | 84       | 16  | 3        | 24  | 82       |

Πίνακας 4.2: Ποσοστά ημερήσιας διακύμανσης. [4.6]

|                  | Ιαν. | Φέβ. | Μάρ. | Απρ. | Μαΐ. | Ιούν. | Ιούλ. | Αύγ. | Σέπ. | Οκτ. | Νοέ. | Δεκ. |
|------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| T <sub>max</sub> | 12   | 15   | 15   | 19   | 25   | 29    | 33    | 33   | 29   | 23   | 19   | 15   |
| DR               | 8    | 9    | 8    | 10   | 11.3 | 12.2  | 11.5  | 12   | 11.1 | 10   | 8.5  | 8    |

**Πίνακας 4.3: Μέγιστη θερμοκρασία και ημερήσια διακύμανση (Daily Range). [4.6]**

#### **4.4-Συνοπτική παρουσίαση προγράμματος επίλυσης συστημάτων (EES).**

Το EES είναι ένα εμπορικό πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη λύση συστημάτων μη γραμμικών εξισώσεων. Παρέχει πολλές χρήσιμες εξειδικευμένες λειτουργίες και εξισώσεις που βοηθούν στην επίλυση προβλημάτων θερμοδυναμικής και μεταφοράς θερμότητας, καθιστώντας το ένα διαδεδομένο πρόγραμμα για μηχανολόγους μηχανικούς.

Το EES έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει θερμοδυναμικές ιδιότητες, εξαλείφοντας έτσι την επαναληπτική επίλυση του προβλήματος με το χέρι, μέσα από τη χρήση κώδικα που καλεί αυτές τις καθορισμένες θερμοδυναμικές ιδιότητες. Έτσι εκτελεί επαναληπτική επίλυση, εξαλείφοντας την επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία απόκτησης θερμοδυναμικών ιδιοτήτων, με τις ενσωματωμένες λειτουργίες που διαθέτει.

Ακόμη περιλαμβάνει παραμετρικούς πίνακες που επιτρέπουν στο χρήστη να συγκρίνει έναν αριθμό μεταβλητών σε μια στιγμή ενώ οι πίνακες αυτοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για την εξαγωγή διαγραμμάτων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αλλάζοντας τα δεδομένα ή των κώδικα να ανανεώνει αυτόματα τους πίνακες ή τα διαγράμματα που έχει δημιουργήσει.

Ένα ακόμη σημαντικό εργαλείο που μας δίνει το συγκεκριμένο πακέτο είναι η δυνατότητα βελτιστοποίησης με διάφορες μεθόδους. Με τα εργαλεία βελτιστοποίησης που διαθέτει μπορεί να μεγιστοποιεί ή να ελαχιστοποιεί μια επιλεγμένη μεταβλητή μεταβάλλοντας ταυτόχρονα έναν αριθμό άλλων μεταβλητών. Η βελτιστοποίηση στο EES με επιλογή κάποιας από τις παρακάτω μεθόδους: Μέθοδος Συζυγών Κατευθύνσεων, Μέθοδος Μεταβλητής Μητρικής, Μέθοδος Neider-Mead Simplex, Άμεσοι Αλγόριθμοι, Μέθοδος Γενετικών Αλγορίθμων.

Μεταξύ των άλλων επιλογών το EES επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει το σύστημα μονάδων που επιθυμεί, να καθορίσει κριτήρια τερματισμού ή αριθμό επαναλήψεων που θα εκτελέσει το πρόγραμμα ,να ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τον έλεγχο στις μονάδες των παραμέτρων.

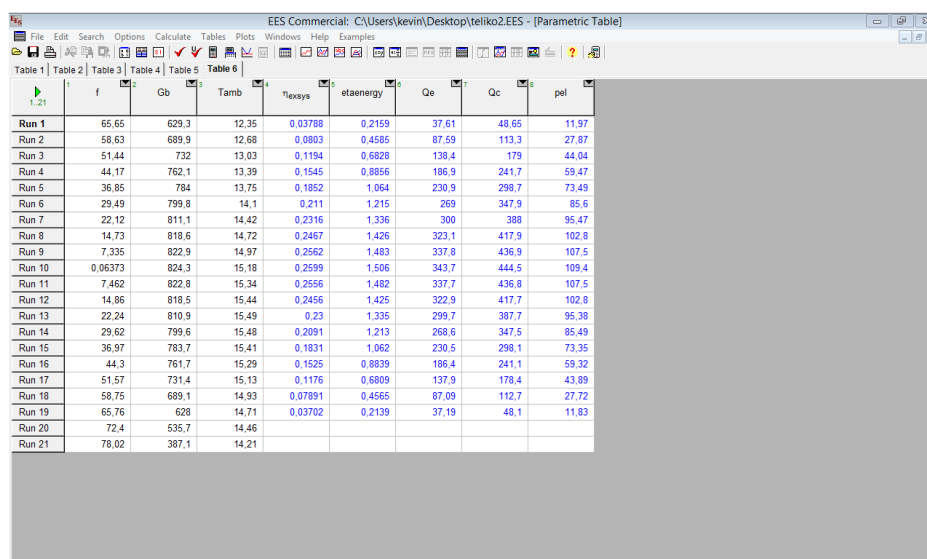
Επίσης μπορούν να καθοριστούν κάποιες πιθανές τιμές ή να δώσουν κάποιους περιορισμούς-μεταβλητά όρια σε ορισμένες παραμέτρους προκειμένου να βοηθήσουν την επίλυση της επαναληπτικής διαδικασίας ώστε να βρεθεί μια λύση γρήγορα και με επιτυχία.

Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από τον καθηγητή S.A. Klein του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του πανεπιστημίου Wisconsin of Madison.

Τα βήματα που έγιναν είναι τα ακόλουθα:

- Γράφτηκε ο κώδικας για κάθε τμήμα ξεχωριστά και εκτελέστηκε στην συνέχεια.
- Συνδέθηκαν οι κώδικες για όλα τα τμήματα ξεχωριστά.
- Εκτελέστηκε ο κυρίως κώδικας για κάθε εργαζόμενο μέσο με την βοήθεια πινάκων για κάθε περίπτωση.
- Αλλάζοντας κάθε φορά την μεταβλητή  $b$  που έχει να κάνει με την μέγιστη πίεση ,καθώς και την θερμοκρασία του συμπυκνωτή .Παίρνοντας έτσι τις διάφορες εξόδους του συστήματος συνάρτηση της μεταβλητής  $a$ .
- Ύστερα εισάγοντας την μεταβλητή  $k$  συμπεριλαμβάνοντας στους υπολογισμούς την γωνία πρόσπτωσης του ήλιου με τη βοήθεια των παραμετρικών πινάκων για κάθε μέση μέρα του μήνα εκτελέστηκε το πρόγραμμα για κάθε μισή ώρα συναρτήσει της θερμοκρασίας της αμέσου ηλιακής ακτινοβολίας και της γωνία  $\phi$ .

Το τελευταίο βήμα φαίνεται παρακάτω για να φανεί το περιβάλλον εργασίας.



|        | $i$  | $f$     | $G_b$ | $T_{amb}$ | $\eta_{solar}$ | $\eta_{energy}$ | $Q_e$ | $Q_c$ | $pel$ |
|--------|------|---------|-------|-----------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| Run 1  | 1.21 | 65.65   | 629.3 | 12.35     | 0.03788        | 0.2159          | 37.61 | 48.65 | 11.97 |
| Run 2  |      | 58.63   | 689.9 | 12.68     | 0.0803         | 0.4585          | 87.59 | 113.3 | 27.87 |
| Run 3  |      | 51.44   | 732   | 13.03     | 0.1194         | 0.6828          | 138.4 | 179   | 44.04 |
| Run 4  |      | 44.17   | 762.1 | 13.39     | 0.1545         | 0.8856          | 186.9 | 241.7 | 59.47 |
| Run 5  |      | 36.85   | 784   | 13.75     | 0.1852         | 1.064           | 230.9 | 298.7 | 73.49 |
| Run 6  |      | 29.49   | 799.8 | 14.1      | 0.211          | 1.215           | 269   | 347.9 | 85.6  |
| Run 7  |      | 22.12   | 811.1 | 14.42     | 0.2316         | 1.336           | 300   | 388   | 95.47 |
| Run 8  |      | 14.73   | 818.6 | 14.72     | 0.2467         | 1.426           | 323.1 | 417.9 | 102.8 |
| Run 9  |      | 7.335   | 822.9 | 14.97     | 0.2562         | 1.483           | 337.8 | 436.9 | 107.5 |
| Run 10 |      | 0.06373 | 824.3 | 15.18     | 0.2599         | 1.506           | 343.7 | 444.5 | 109.4 |
| Run 11 |      | 7.462   | 822.8 | 15.34     | 0.2556         | 1.482           | 337.7 | 436.8 | 107.5 |
| Run 12 |      | 14.86   | 818.5 | 15.44     | 0.2456         | 1.425           | 322.9 | 417.7 | 102.8 |
| Run 13 |      | 22.24   | 810.9 | 15.49     | 0.23           | 1.335           | 299.7 | 387.5 | 95.39 |
| Run 14 |      | 29.62   | 799.6 | 15.48     | 0.2091         | 1.213           | 268.6 | 347.5 | 85.49 |
| Run 15 |      | 36.97   | 783.7 | 15.41     | 0.1831         | 1.062           | 230.5 | 298.1 | 73.35 |
| Run 16 |      | 44.3    | 761.7 | 15.29     | 0.1525         | 0.8839          | 186.4 | 241.1 | 59.32 |
| Run 17 |      | 51.57   | 731.4 | 15.13     | 0.1176         | 0.6809          | 137.9 | 178.4 | 43.89 |
| Run 18 |      | 58.75   | 689.1 | 14.93     | 0.07891        | 0.4565          | 87.09 | 112.7 | 27.72 |
| Run 19 |      | 65.76   | 628   | 14.71     | 0.03702        | 0.2139          | 37.19 | 48.1  | 11.83 |
| Run 20 |      | 72.4    | 535.7 | 14.46     |                |                 |       |       |       |
| Run 21 |      | 78.02   | 387.1 | 14.21     |                |                 |       |       |       |

Σχήμα 4.4: Περιβάλλον εργασίας EES

Η επιλογή των μονάδων είναι σε μοίρες ,  $W/m^2$ ,  $^{\circ}C$  και  $W$ .

Πρέπει να αναφέρουμε ότι μερικούς από τους υπολογισμούς του τελευταίου βήματος έγιναν στο excel.

#### **Βιβλιογραφία 4<sup>ο</sup> κεφαλαίου**

[4.1] Advanced CSP Teaching Materials Chapter 5 Parabolic Trough Technology, *Matthias Günther, Michael Joemann, Simon Csambor, RIT's Kate Gleason College of Engineering.*

[4.2] Small Scale Organic Rankine Cycle (ORC): A Techno-Economic Review, *Lorenzo Tocchi, Tamas Pal, Ioannis Pasmazoglou and Benjamin Franchetti.*

[4.3] Parametric analysis and optimization of a solar driven trigeneration system based on ORC and absorption heat pump: *Evangelos Bellos, Christos Tzivanidis, Journal of Cleaner Production 161 (2017) 493e509.*

[4.4] Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors: *M.J.Montesa, A.Abánadesb, J.M.Martínez-Valb, M.Valdés, Solar Energy Volume 83, Issue 12, December 2009, Pages 2165-2176.*

[4.5] Εμπειρικές σχέσεις παγκόσμιας εμβέλειας για τον υπολογισμό ηλιακών μεγεθών καθώς και προσαρμογή και αξιολόγηση της ακρίβειας τους στην περιοχή των Αθηνών: *Γιάννης Δημακόπουλος.*

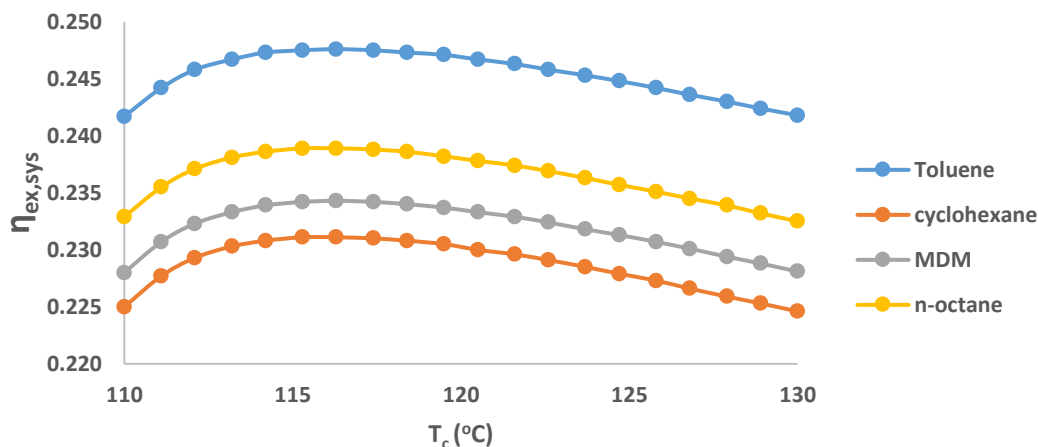
[4.6] Κλιματισμός Μέρος Πρώτο: *Κίμωνας Α. Αντωνόπουλος.*

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>-Αποτελέσματα

### 5.1-Σύγκριση μεταξύ των εργαζόμενων μέσων

Παρακάτω παραθέτετε την σύγκριση των εργαζόμενων μέσων μεταβαλλόντας τις παραμέτρους  $a$ ,  $b$  και  $T_c$  δείχνοντας τις παραμέτρους εξόδου.

$$\alpha = 0.25 - b = 0.7$$



Σχήμα 5.1: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες είναι κυρτές στην αρχή και έχουμε έναν ρυθμό αύξησης που σταδιακά μειώνεται μέχρι να φτάσει το μέγιστο. Ύστερα έχουμε έναν ρυθμό μείωσης που αυξάνει και μετα σταθεροποιείται. Τα μέγιστα για κάθε εργαζόμενο μέσο αρχίζοντας με το Τολουένιο, που δίνει τον μέγιστο εξεργειακό βαθμό απόδοσης για κάθε θερμοκρασία του συμπυκνωτή, και συνεχίζοντας με φθίνουσα σειρά για κάθε εργαζόμενο μέσο βρίσκονται περίπου στη ίδια θερμοκρασία. Επίσης ξεκινώντας από το κυκλοεξάνιο η απόσταση μεταξύ των καμπυλών για κάθε εργαζόμενο μέσο προς αύξουσα σειρά απόδοσης αυξάνεται με ολόένα και πιο πολύ με πολυωνυμικό τρόπο. Ο μέγιστος εξεργειακός βαθμός προκύπτει αν χρησιμοποιήσουμε το Τολουένιο σε αυτή την περίπτωση ύστερα είναι το n-οκτάνιο αμέσως μετά το MDM και τέλος το κυκλοεξάνιο. Ο μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης για το Τολουένιο και για τα άλλα εργαζόμενα μέσα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

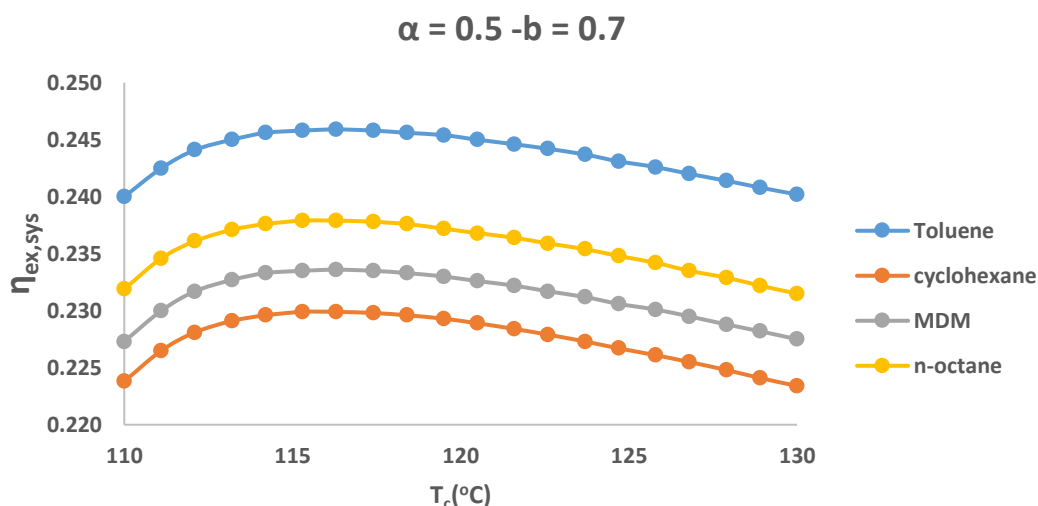
| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 115.8                     | 0.2311                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2343                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2389                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2476                               |

Πίνακας 5.1: Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$ .

Οι ρυθμοί αύξησης και μείωσης εκατέρωθεν του μεγίστου δεν χρειάζεται να συγκριθούν για κάθε ερχόμενο μέσο διότι το Τολουένιο δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα όμως αν χρειαστεί να επιλέξουμε ένα θερμοκρασιακό εύρος για την



λειτουργία του συστήματος θα επιλέξουμε ένα εύρος που δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις όπως αυτός του δεξιού μέλους



**Σχήμα 5.2:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρούμε και εδώ την ίδια μορφή με το σχήμα 5.1 όπου οι κλίσεις παραμένουν περίπου ίδιες όμως τα μέγιστα καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ των καμπυλών διαφέρουν, πιο συγκεκριμένα τα μέγιστα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2299                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2336                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2379                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2459                               |

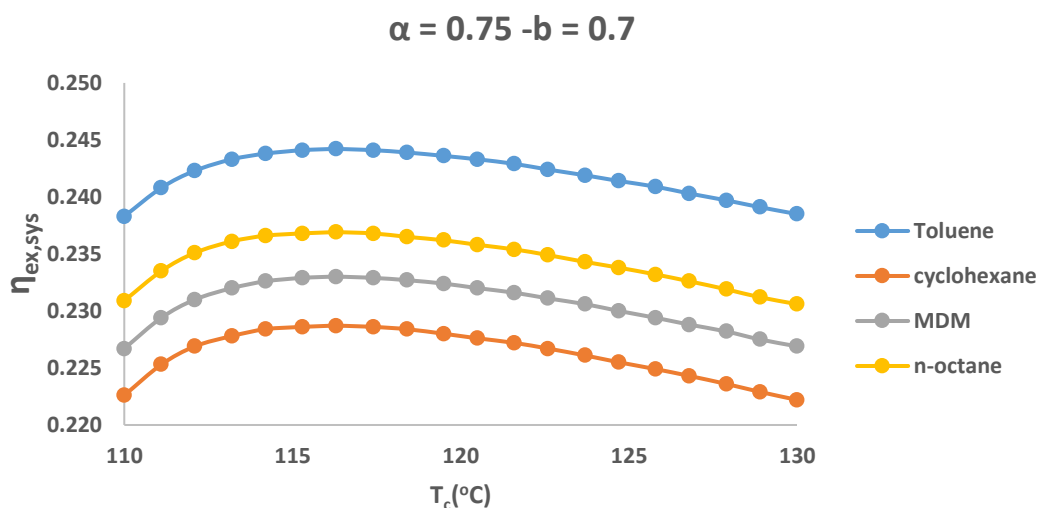
**Πίνακας 5.2:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$ .

Τα ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των καμπυλών λήφθηκαν για θερμοκρασία 115.3 (°C) και φαίνονται παρακάτω

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -16.13                             |
| n-octane-MDM     | 6.383                              |
| Toluene-n-octane | 8.139                              |

**Πίνακας 5.3:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.1 και 5.2.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε μια μείωση του εξεργειακού β.α. η απόσταση μεταξύ των καμπυλών Τολουενίου-ν-οκτανίου μειώνεται κατά 8% και 6% μεταξύ ν-οκτανίου-MDM ενώ μεταξύ MDM και κυκλοεξανίου η απόσταση αυξάνεται.



**Σχήμα 5.3:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρούμε και εδώ την ίδια συμπεριφορά των καμπυλών όπως το σχήμα 5.1 παρακάτω φαίνεται ο πίνακας των μεγίστων.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2287                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.233                                |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2369                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2442                               |

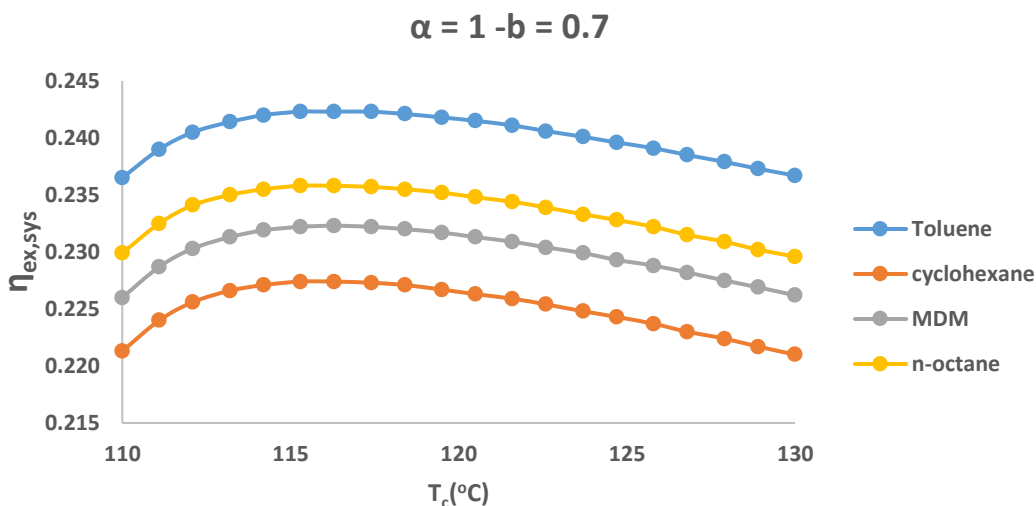
**Πίνακας 5.4:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$ .

Τα ποσοστά μείωσης μεταξύ των σχημάτων 5.2 και 5.3 είναι τα ακόλουθα:

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -19.44                             |
| n-octane-MDM     | 11.37                              |
| Toluene-n-octane | 7.595                              |

**Πίνακας 5.5:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.2 και 5.3.

Η μορφή των καμπυλών στα παρακάτω σχήματα του εξεργειακού βαθμού απόδοσης δεν αλλάζει αλλά μόνο τα μέγιστα και η μεταξύ τους απόσταση ως απόσταση αναφοράς επιλέγουμε την περίπτωση του εκάστοτε σχήματος.



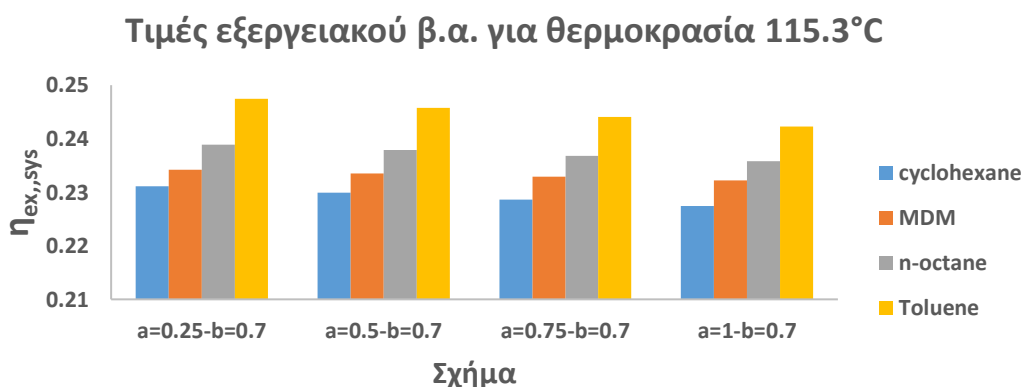
**Σχήμα 5.4:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 115.8                     | 0.2274                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2323                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2358                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2423                               |

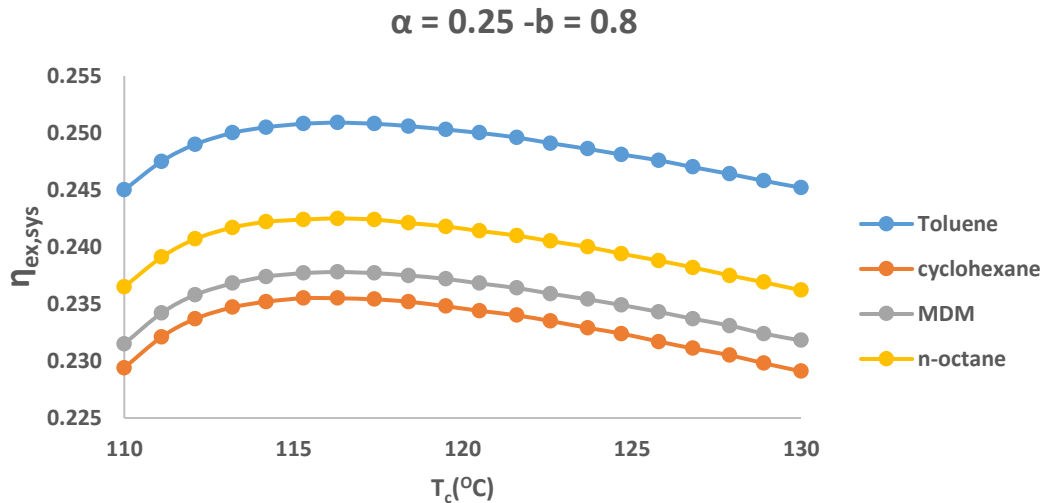
**Πίνακας 5.6:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$ .

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -11.63                             |
| n-octane-MDM     | 7.692                              |
| Toluene-n-octane | 10.96                              |

**Πίνακας 5.7:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.3 και 5.4.



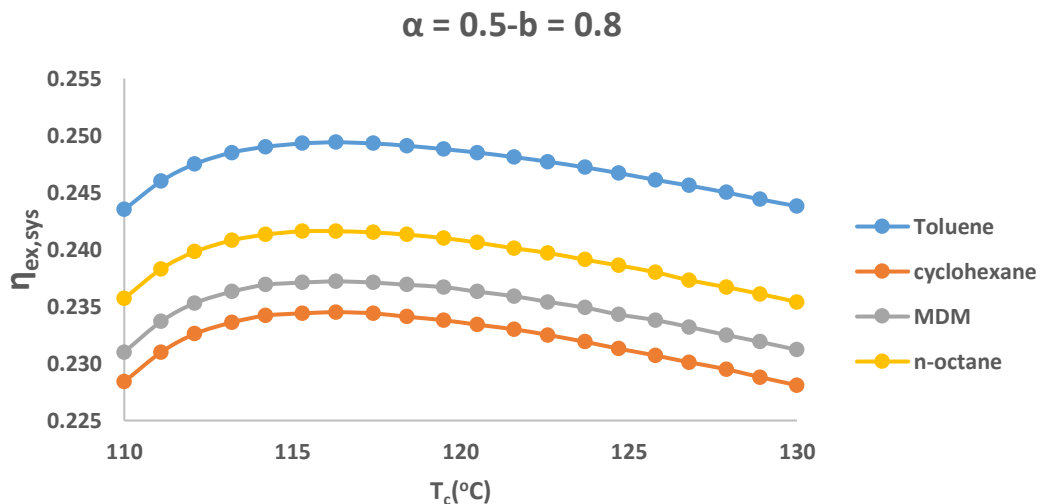
**Σχήμα 5.5:** Εξεργειακός β.α. για μια θερμοκρασία συμπυκνωτή (συγκριτικά αποτελέσματα).



**Σχήμα 5.6:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 115.8                     | 0.2355                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2378                               |
| n-octane        | 116.3                     | 0.2425                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2509                               |

**Πίνακας 5.8:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$ .



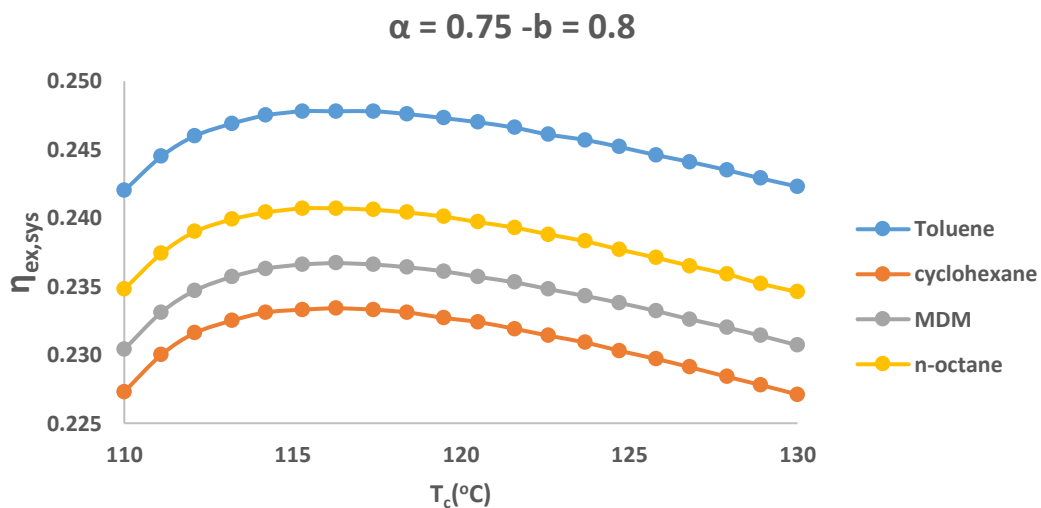
**Σχήμα 5.7:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2345                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2372                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2416                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2494                               |

**Πίνακας 5.9:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$ .

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -22.73                             |
| n-octane-MDM     | 4.255                              |
| Toluene-n-octane | 8.333                              |

**Πίνακας 5.10:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.6 και 5.7.



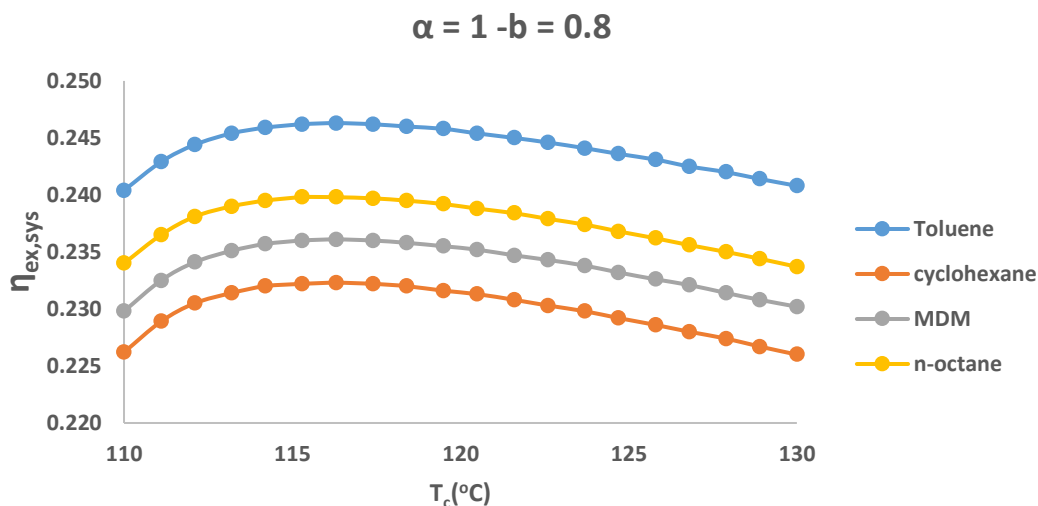
**Σχήμα 5.8:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2334                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2367                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2407                               |
| Toluene         | 115.8                     | 0.2478                               |

**Πίνακας 5.11:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$ .

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -22.22                             |
| n-octane-MDM     | 8.889                              |
| Toluene-n-octane | 7.792                              |

**Πίνακας 5.12:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.7 και 5.8.



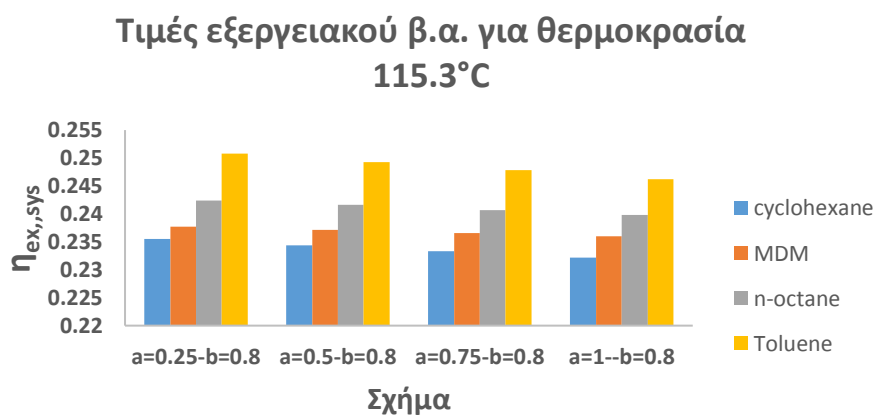
**Σχήμα 5.9:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2323                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2361                               |
| n-octane        | 115.3-116.3               | 0.2398                               |
| Toluene         | 115.3-116.3               | 0.2463                               |

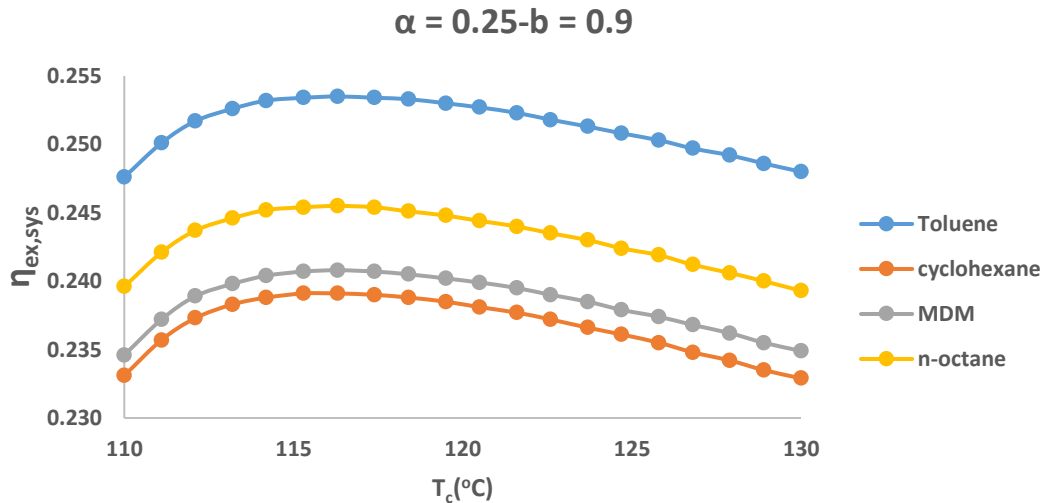
**Πίνακας 5.13:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$ .

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -15.152                            |
| n-octane-MDM     | 7.3171                             |
| Toluene-n-octane | 9.8592                             |

**Πίνακας 5.14:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.7 και 5.8.



**Σχήμα 5.10:** Εξεργειακός β.α. για μια θερμοκρασία συμπυκνωτή (συγκριτικά αποτελέσματα).

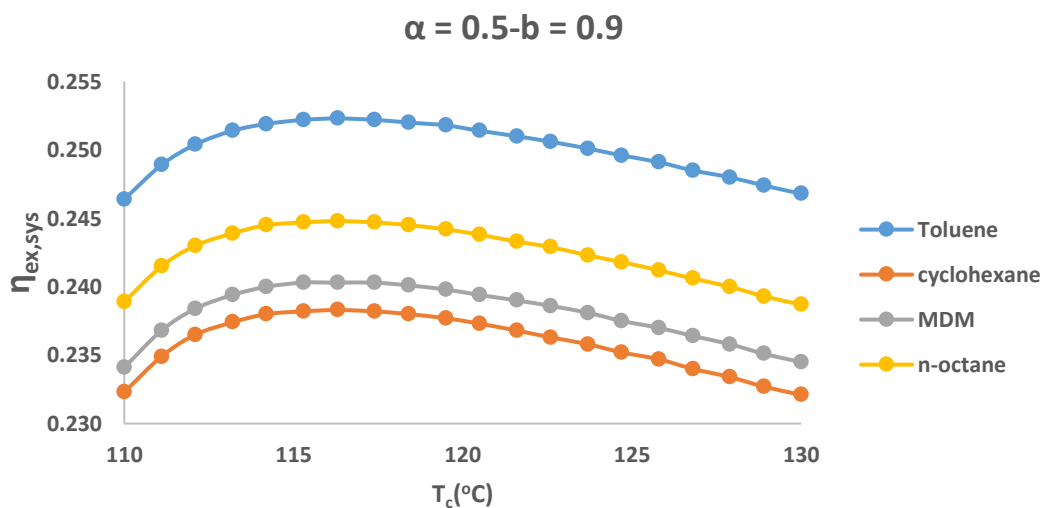


**Σχήμα 5.11:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 115.8                     | 0.2391                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2408                               |
| n-octane        | 116.3                     | 0.2455                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2535                               |

**Πίνακας 5.15:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$ .

Εδώ έχουμε παρόμοια αποτελέσματα όπως και με τις άλλες αδιάστατες πιέσεις  $b$ .



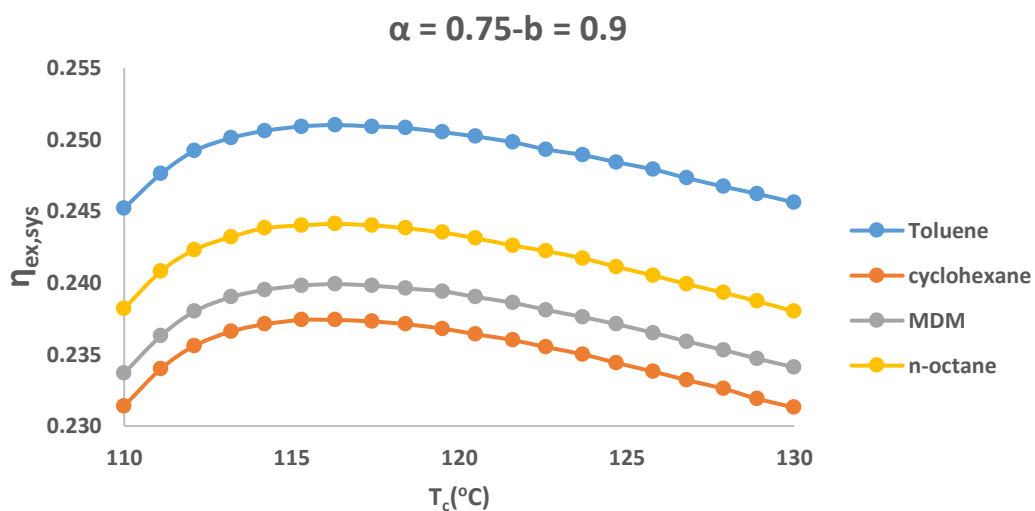
**Σχήμα 5.12:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2383                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2403                               |
| n-octane        | 115.8                     | 0.2448                               |
| Toluene         | 115.8                     | 0.2523                               |

**Πίνακας 5.16: Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$ .**

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -31.25                             |
| n-octane-MDM     | 6.383                              |
| Toluene-n-octane | 6.250                              |

**Πίνακας 5.17: Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.11 και 5.12.**



**Σχήμα 5.13: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.**

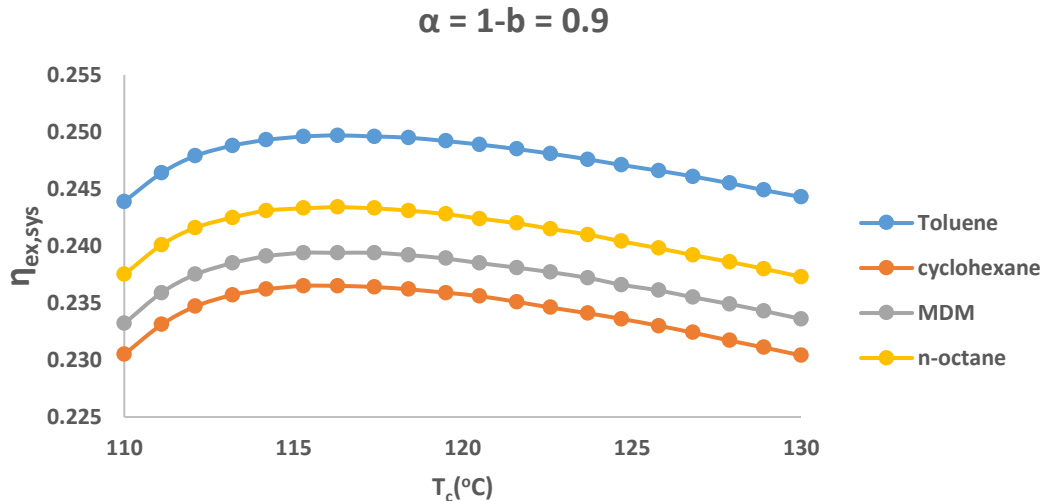
| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 115.8                     | 0.2374                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2399                               |
| n-octane        | 116.3                     | 0.2441                               |
| Toluene         | 116.3                     | 0.2510                               |

**Πίνακας 5.18: Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$ .**



| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -14.29                             |
| n-octane-MDM     | 4.547                              |
| Toluene-n-octane | 8.000                              |

**Πίνακας 5.19:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.12 και 5.13.



**Σχήμα 5.14:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Θερμοκρασία μεγίστου (°C) | Μέγιστος εξεργειακός βαθμός απόδοσης |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------|
| cyclohexane     | 116.3                     | 0.2365                               |
| MDM             | 116.3                     | 0.2394                               |
| n-octane        | 115.3-116.3               | 0.2443                               |
| Toluene         | 115.3-116.3               | 0.2497                               |

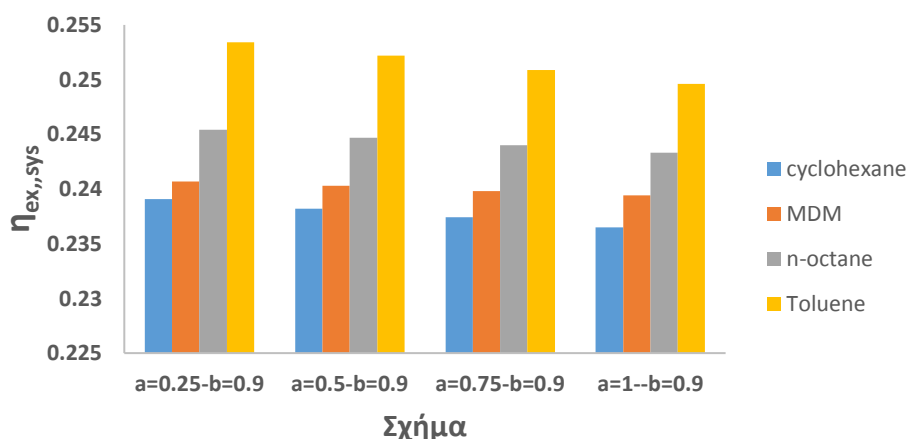
**Πίνακας 5.20:** Μέγιστα εξεργειακού βαθμού απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$ .

| Εργαζόμενα μέσα  | Ποσοστό μείωσης εξεργειακού β.α. % |
|------------------|------------------------------------|
| MDM-cyclohexane  | -20.83                             |
| n-octane-MDM     | 7.143                              |
| Toluene-n-octane | 8.696                              |

**Πίνακας 5.21:** Ποσοστά μείωσης εξεργειακού βαθμού απόδοσης μεταξύ των σχημάτων 5.11 και 5.12.

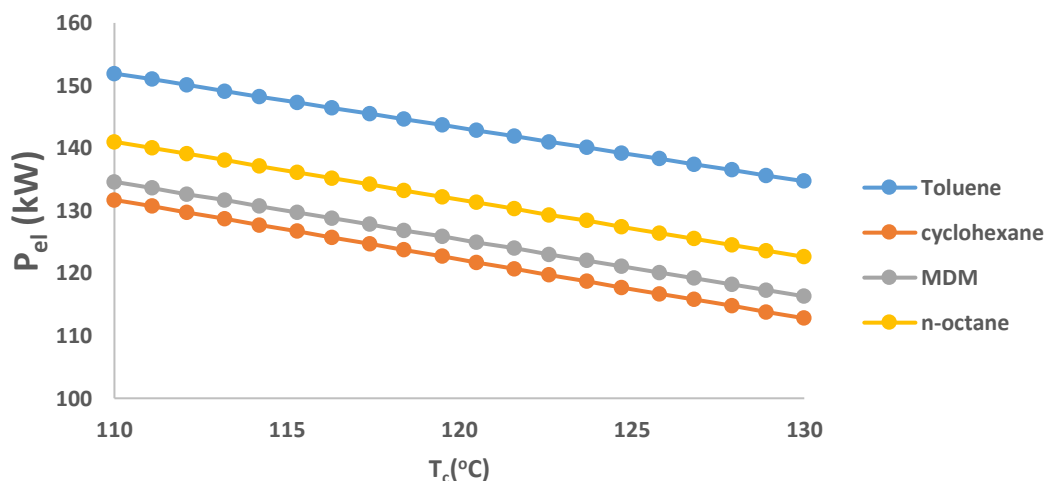
Παρακάτω έχουμε την σύγκριση των αποτελεσμάτων.

### Τιμές εξεργειακού β.α. για θερμοκρασία 115.3°C



Σχήμα 5.15: Εξεργειακός β.α. για μια θερμοκρασία συμπυκνωτή (συγκριτικά αποτελέσματα).

$$\alpha = 0.25 - b = 0.7$$



Σχήμα 5.16: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου με την θερμοκρασία. Πάλι το Τολουένιο δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και έχουμε την ίδια φθίνουσα σειρά στα άλλα εργαζόμενα μέσα όπως στον εξεργειακό βαθμό απόδοσης. Επίσης οι ευθείες έχουν διαφορετική κλίση η κάθε μια, πιο συγκεκριμένα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

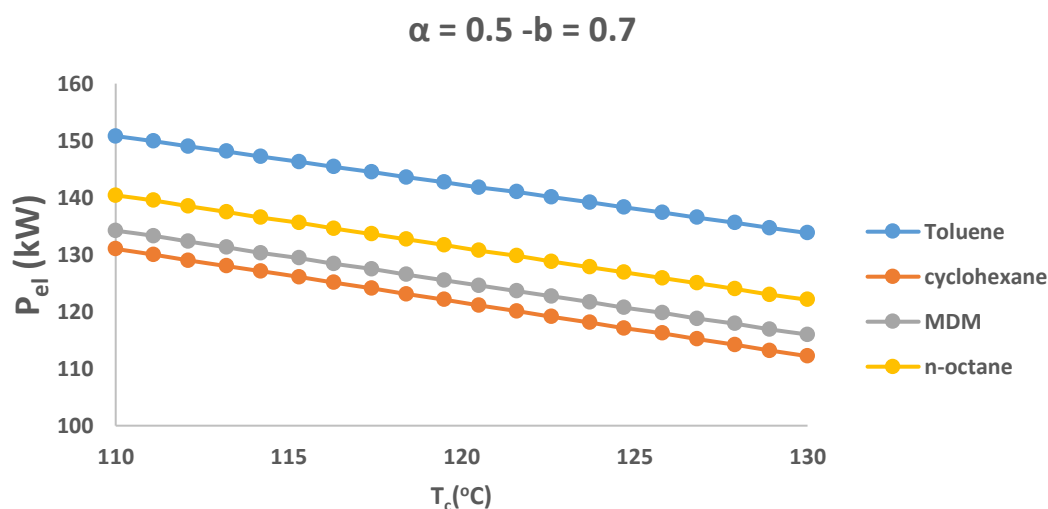
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9450 |
| MDM             | -0.9150 |
| n-octane        | -0.9200 |
| Toluene         | -0.8600 |

Πίνακας 5.22: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$

Το Τολουένιο όχι μόνο έχει την καλύτερη απόδοση έχει και την μεγαλύτερη κλίση. Παρακάτω φαίνονται τα μέγιστα για κάθε εργαζόμενο μέσο. Τα μέγιστα συμβαίνουν σε όλες τις περιπτώσεις (και για κάθε σχήμα) στην θερμοκρασία συμπυκνωτή 110°C.

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 131.7                        |
| MDM             | 134.6                        |
| n-octane        | 141.0                        |
| Toluene         | 151.9                        |

**Πίνακας 5.23:** Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$ .



**Σχήμα 5.17:** Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

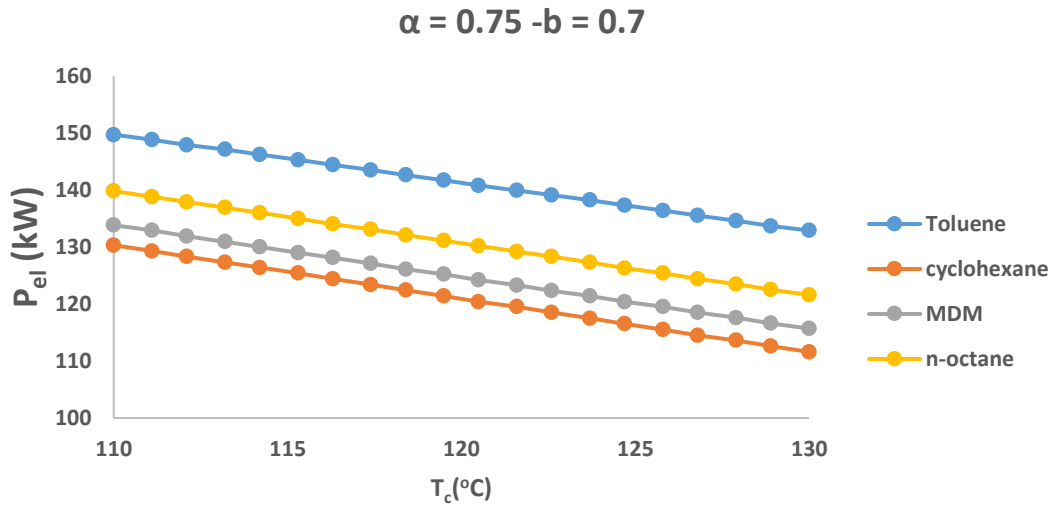
Έχουμε την ίδια μορφή όπως το σχήμα 5.16 μετατοπισμένα όμως όλα πιο κάτω και με θετικότερες κλίσεις.

| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9400 |
| MDM             | -0.9100 |
| n-octane        | -0.9150 |
| Toluene         | -0.8500 |

**Πίνακας 5.24:** Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 131.0                        |
| MDM             | 134.2                        |
| n-octane        | 140.4                        |
| Toluene         | 150.8                        |

**Πίνακας 5.25:** Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$



**Σχήμα 5.18:** Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

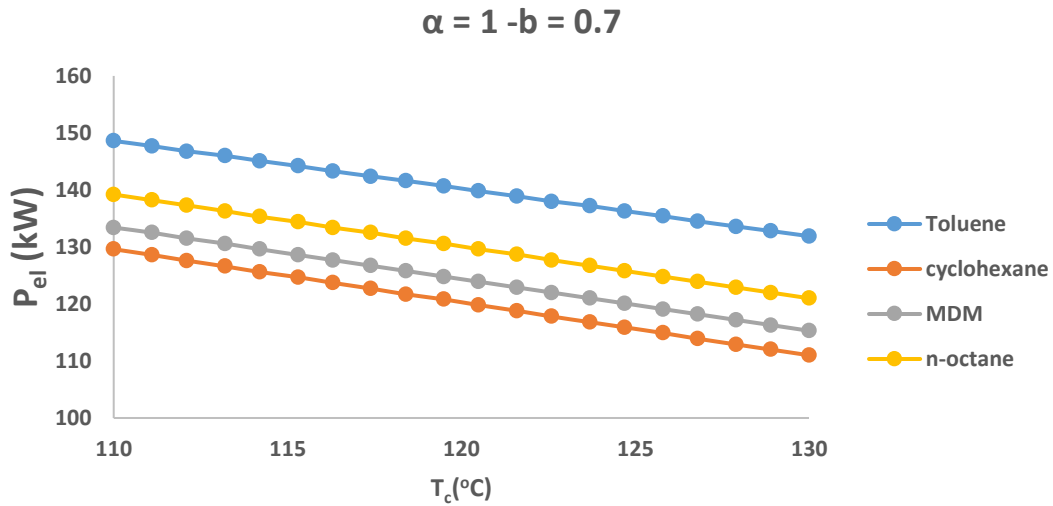
Έχουμε την ίδια μορφή όπως το σχήμα 5.17 μετατοπισμένα όμως όλα πιο κάτω και με θετικότερες κλίσεις.

| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9350 |
| MDM             | -0.9050 |
| n-octane        | -0.9100 |
| Toluene         | -0.8400 |

**Πίνακας 5.26:** Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 130.3                        |
| MDM             | 133.8                        |
| n-octane        | 139.8                        |
| Toluene         | 149.7                        |

**Πίνακας 5.27:** Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$



Σχήμα 5.19: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

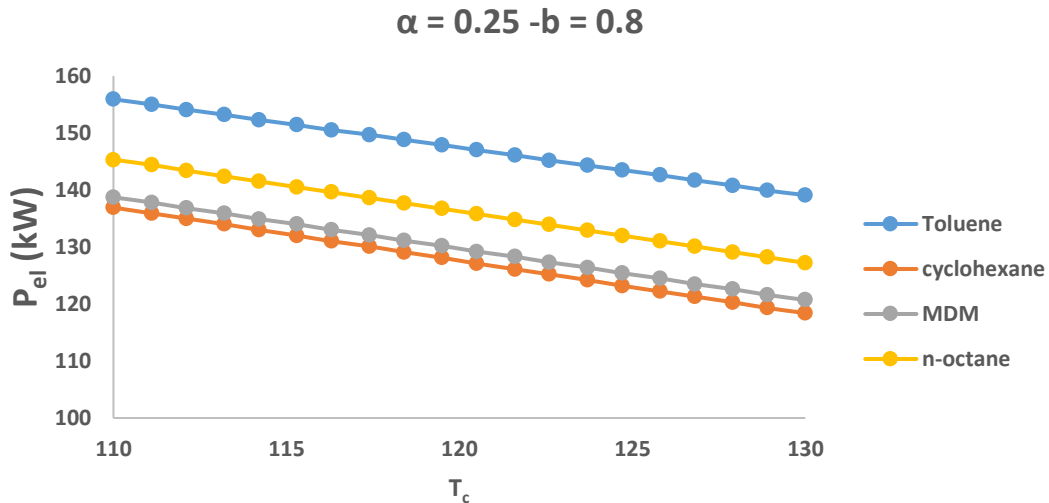
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9300 |
| MDM             | -0.9050 |
| n-octane        | -0.9100 |
| Toluene         | -0.8350 |

Πίνακας 5.28: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 129.6                        |
| MDM             | 133.4                        |
| n-octane        | 139.2                        |
| Toluene         | 148.6                        |

Πίνακας 5.29: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$

Παρατηρούμε και εδώ (5.16) την ίδια μορφή όπως προηγουμένως, όμως οι κλίσεις του MDM και του n –οκτάνιου παραμένουν ίδιες.



Σχήμα 5.20: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

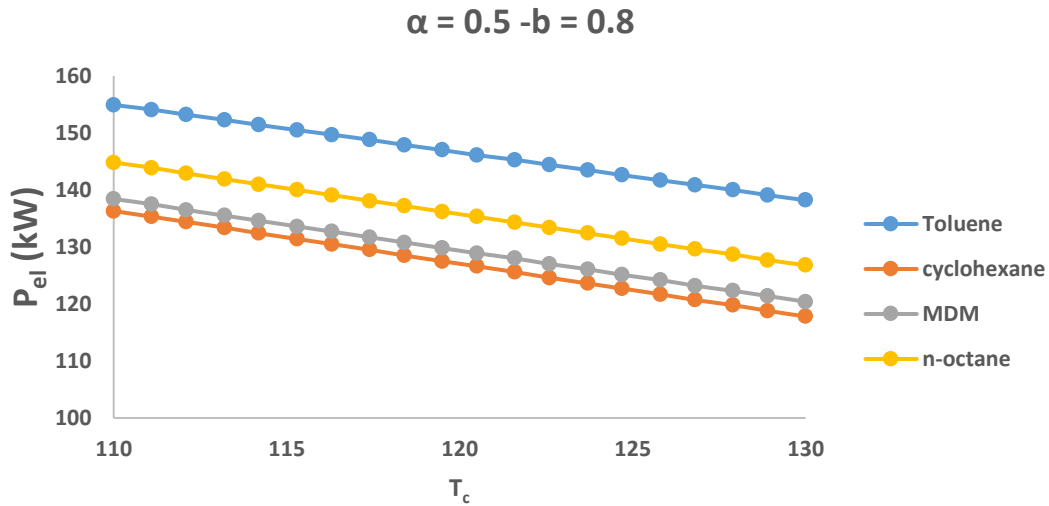
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9250 |
| MDM             | -0.9200 |
| n-octane        | -0.9050 |
| Toluene         | -0.8400 |

Πίνακας 5.30: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 136.9                        |
| MDM             | 138.7                        |
| n-octane        | 145.3                        |
| Toluene         | 155.9                        |

Πίνακας 5.31: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$

Παρατηρούμε την ίδια μορφή όπως και προηγουμένως, όμως οι κλίσεις των ευθειών είναι σε φθίνουσα σειρά αρχίζοντας από το Τολουένιο και προχωρώντας στο n-οκτάνιο, MDM και κυκλοεξάνιο. Στα δύο τελευταία εργαζόμενα μέσα οι καμπύλες τους αποκλίνουν μεταξύ τους αλλά βρίσκονται πολύ κοντά. Επίσης οι ευθείες ξεκινάνε από υψηλότερες τιμές από όλα τα αντίστοιχα σχήματα.



Σχήμα 5.21: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

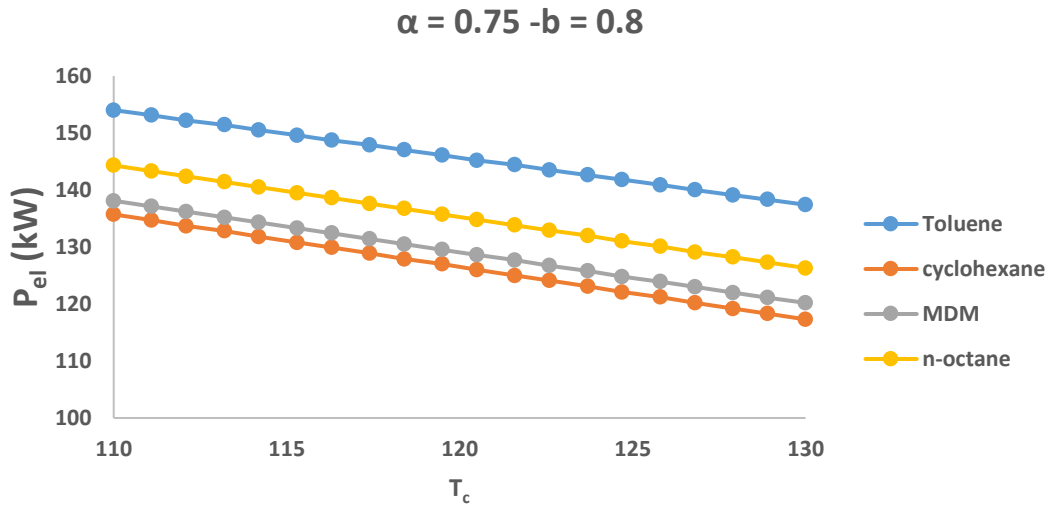
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9250 |
| MDM             | -0.9000 |
| n-octane        | -0.9000 |
| Toluene         | -0.8350 |

Πίνακας 5.32: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 136.3                        |
| MDM             | 138.4                        |
| n-octane        | 144.8                        |
| Toluene         | 154.9                        |

Πίνακας 5.33: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$

Φαίνεται και εδώ (5.19) η ίδια μορφή. Η κλίση του κυκλοεξάνιου παραμένει ίδια.



Σχήμα 5.22: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9200 |
| MDM             | -0.8950 |
| n-octane        | -0.9000 |
| Toluene         | -0.8300 |

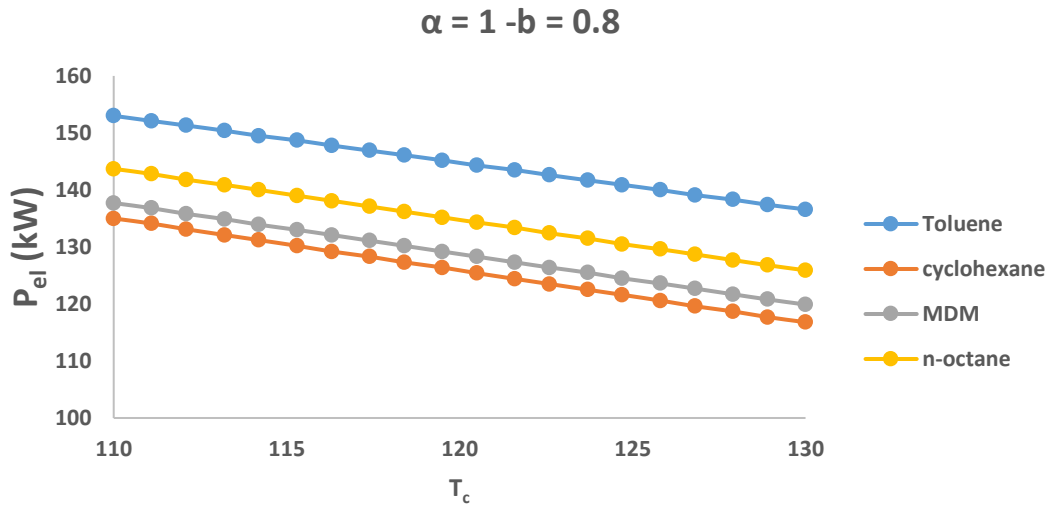
Πίνακας 5.34: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 135.7                        |
| MDM             | 138.1                        |
| n-octane        | 144.3                        |
| Toluene         | 154.0                        |

Πίνακας 5.35: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$

Φαίνεται και εδώ (5.20) η ίδια μορφή. Η κλίση του n-οκτανίου παραμένει ίδια.





**Σχήμα 5.23:** Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

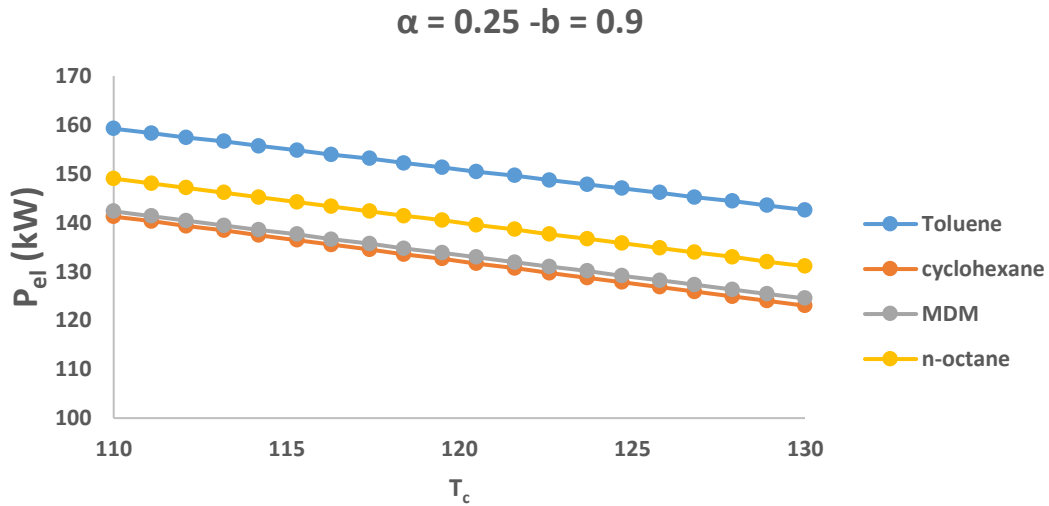
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9100 |
| MDM             | -0.8900 |
| n-octane        | -0.8900 |
| Toluene         | -0.8200 |

**Πίνακας 5.36:** Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 135.0                        |
| MDM             | 137.7                        |
| n-octane        | 142.8                        |
| Toluene         | 153.0                        |

**Πίνακας 5.37:** Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$

Παρατηρούμε και εδώ (5.21) παρομοιο σχήμα με τα προηγούμενα σχήματα και ότι όλες οι κλίσεις γίνονται θετικότερες.



Σχήμα 5.24: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

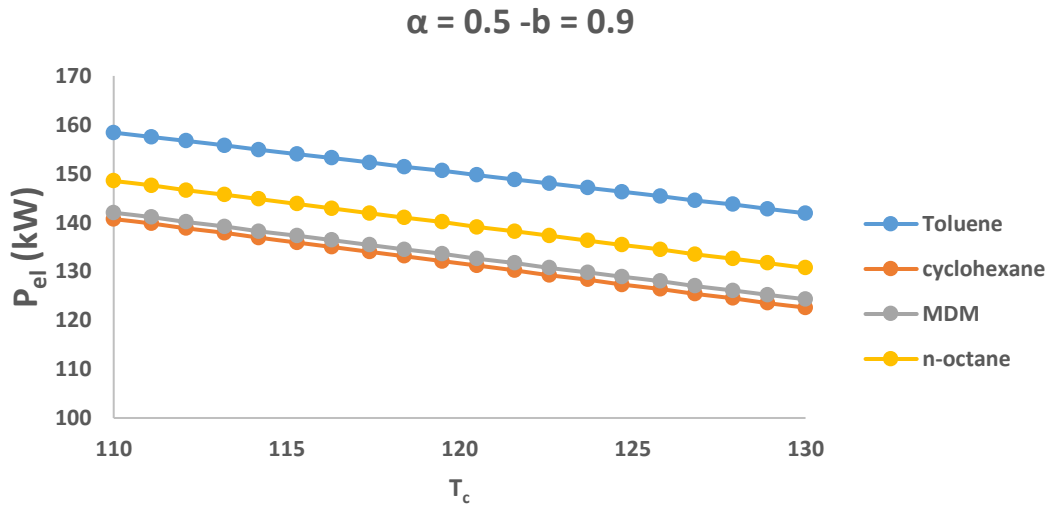
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9100 |
| MDM             | -0.8900 |
| n-octane        | -0.8950 |
| Toluene         | -0.8300 |

Πίνακας 5.37: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 141.2                        |
| MDM             | 142.3                        |
| n-octane        | 149.0                        |
| Toluene         | 159.2                        |

Πίνακας 5.38: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$

Έχουμε και εδώ την ίδια μορφή όπως προηγουμένως με θετικότερες κλίσεις και υψηλότερες τιμές.



**Σχήμα 5.25:** Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

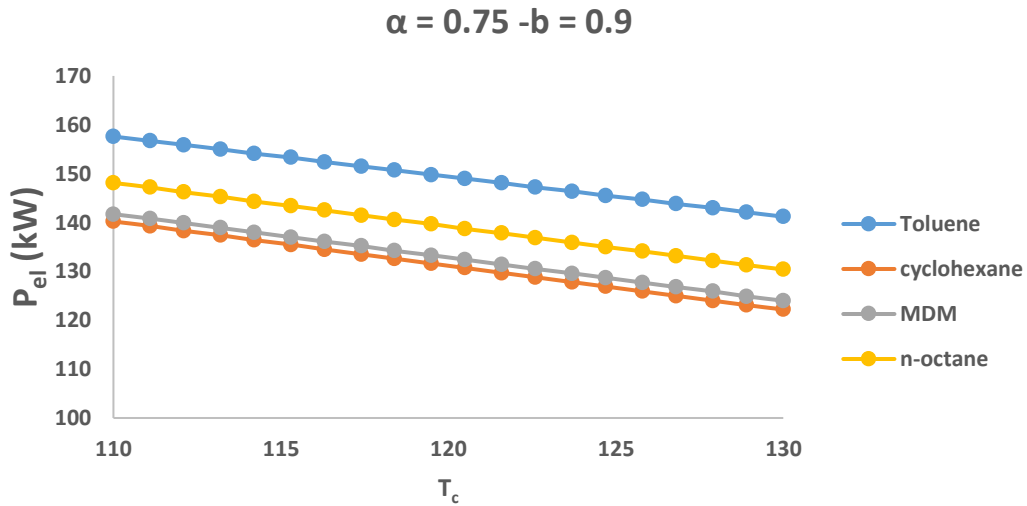
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9050 |
| MDM             | -0.8850 |
| n-octane        | -0.890  |
| Toluene         | -0.8250 |

**Πίνακας 5.38:** Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 140.7                        |
| MDM             | 142.0                        |
| n-octane        | 148.5                        |
| Toluene         | 158.4                        |

**Πίνακας 5.39:** Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα θετικότερες κλίσεις χαμηλότερες τιμές από το προηγούμενο σχήμα.



Σχήμα 5.26: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

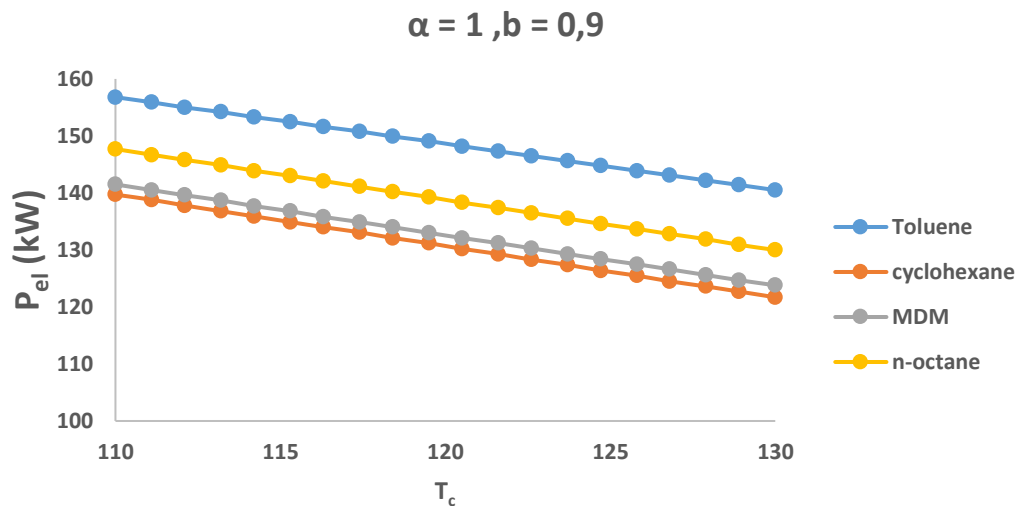
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9000 |
| MDM             | -0.8850 |
| n-octane        | -0.8850 |
| Toluene         | -0.8200 |

Πίνακας 5.40: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 140.2                        |
| MDM             | 141.7                        |
| n-octane        | 148.1                        |
| Toluene         | 157.6                        |

Πίνακας 5.41: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα ,χαμηλότερες τιμές από το προηγούμενο σχήμα θετικότερες κλίσεις εκτός από το MDM.



Σχήμα 5.27: Ηλεκτρική ισχύς για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

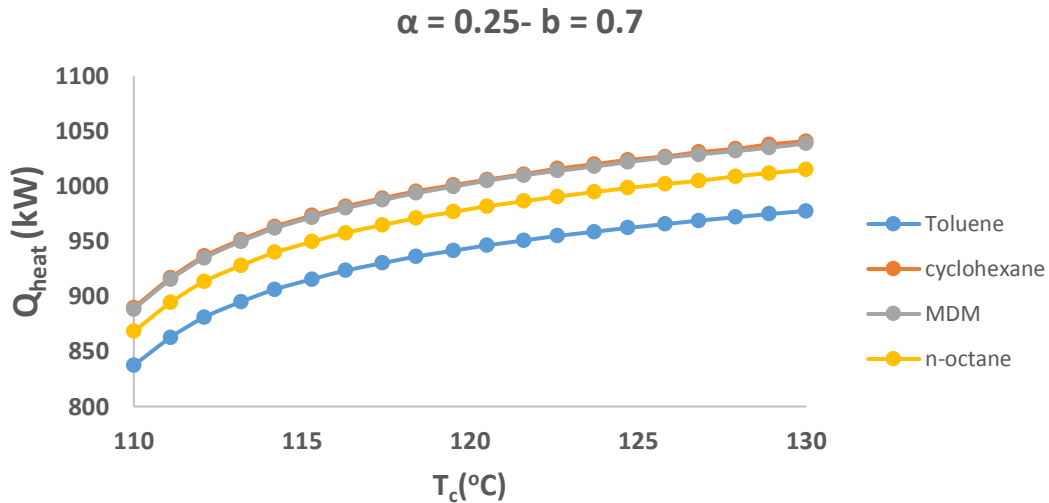
| Εργαζόμενο μέσο | Κλίση   |
|-----------------|---------|
| cyclohexane     | -0.9000 |
| MDM             | -0.8850 |
| n-octane        | -0.8850 |
| Toluene         | -0.8200 |

Πίνακας 5.42: Κλίσεις ευθειών ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς (kW) |
|-----------------|------------------------------|
| cyclohexane     | 140.2                        |
| MDM             | 141.7                        |
| n-octane        | 148.1                        |
| Toluene         | 157.6                        |

Πίνακας 5.43: Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$

Έχουμε και εδώ την ίδια μορφή με τα προηγούμενα με χαμηλότερες τιμές από το προηγούμενο σχήμα και ίδιες κλίσεις εκτός από το Τολουένιο που αυξάνεται.

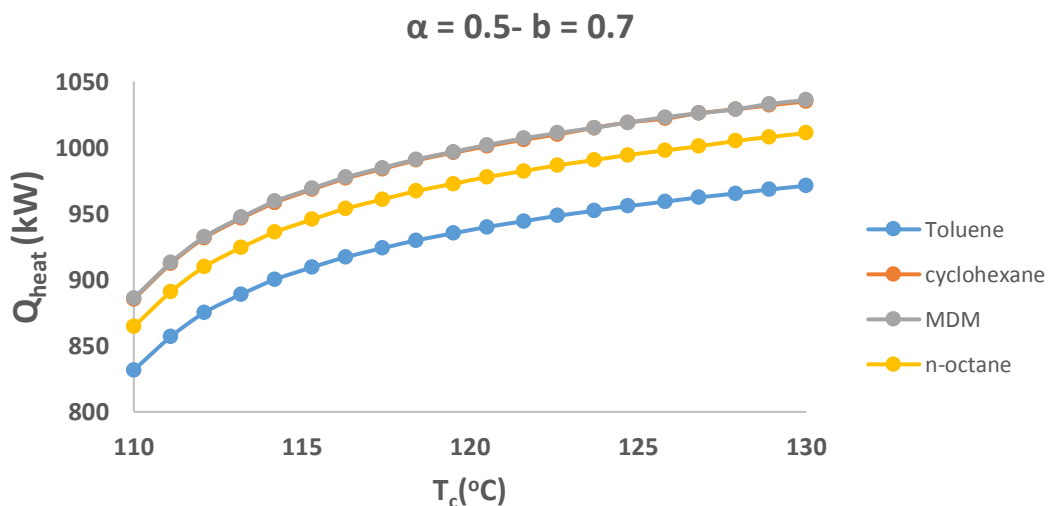


**Σχήμα 5.28:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Υπάρχει για την θερμότητα εξόδου μια συνεχή αύξηση της με τη θερμοκρασία του συμπυκνωτή πρώτα ο ρυθμός αύξησης είναι μεγάλος και ύστερα μειώνεται. Επίσης οι καμπύλες MDM και κυκλοεξάνιου σχεδόν συμπίπτουν με το κυκλοεξάνιο να δίνει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα. Άρα πρώτο είναι το MDM μετά το κυκλοεξάνιο, το n-οκτάνιο και τέλος το Τολουένιο. Παρακάτω φαίνονται τα μέγιστα για κάθε εργαζόμενο μέσο.

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα εξόδου (kW) |
|-----------------|-------------------------------|
| cyclohexane     | 1041                          |
| MDM             | 1039                          |
| n-octane        | 1015                          |
| Toluene         | 977.6                         |

**Πίνακας 5.44:** Μέγιστη θερμότητα εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$



**Σχήμα 5.29:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Εδώ το MDM δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με μικρή διαφορά.

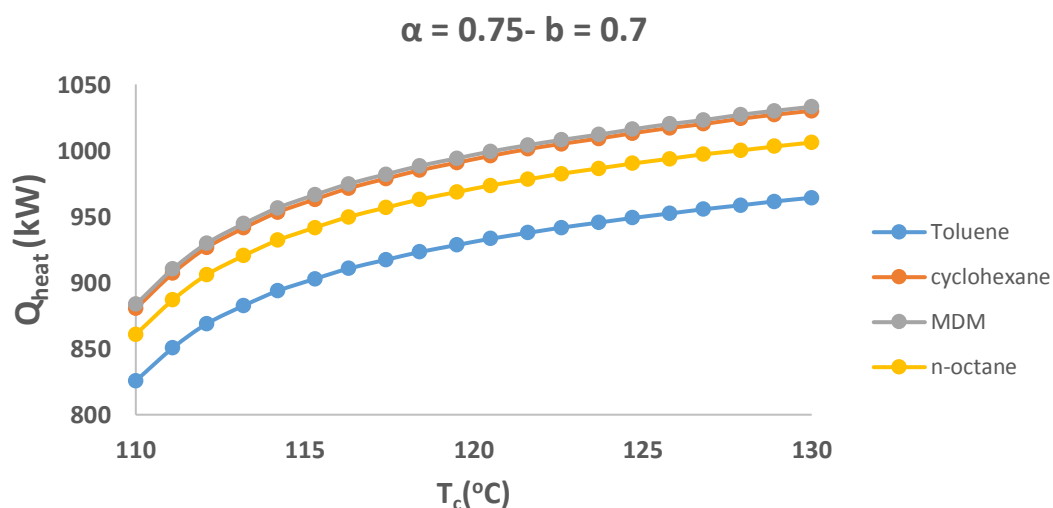
| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα εξόδου (kW) |
|-----------------|-------------------------------|
| cyclohexane     | 1035                          |
| MDM             | 1036                          |
| n-octane        | 1011                          |
| Toluene         | 971.1                         |

**Πίνακας 5.45: Μέγιστη θερμότητα εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$**

Η απόσταση μεταξύ των καμπυλών διευρύνεται καθώς αλλάζουμε το  $\alpha$  εκτός από την απόσταση μεταξύ του MDM και κυκλοεξανίου. Παρακάτω φαίνονται τα μέγιστα για κάθε σχήμα που ακολούθησε και θα ακολουθήσει όσον αφορά την θερμότητα εξόδου.

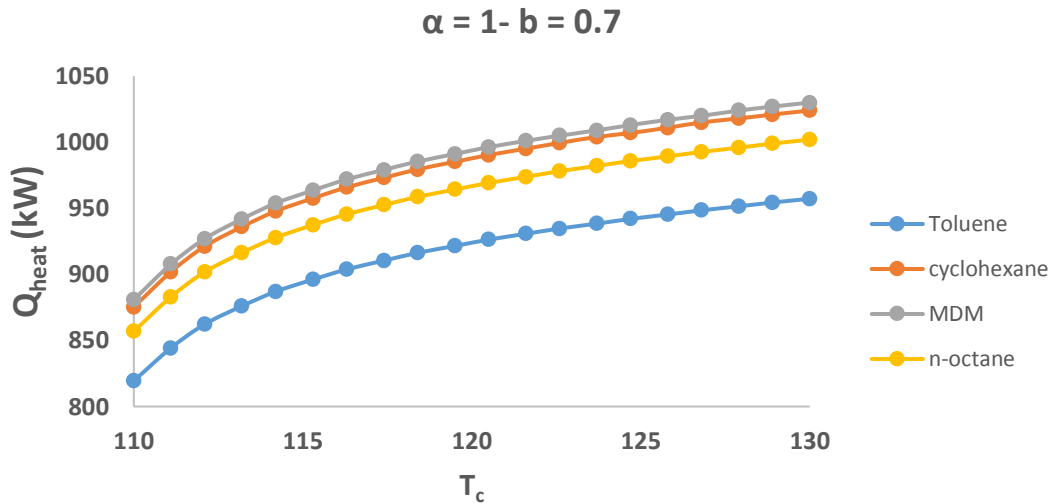
| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα εξόδου (kW) |                    |                     |                  |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|
|                 | $\alpha=0.25-b=0.7$           | $\alpha=0.5-b=0.7$ | $\alpha=0.75-b=0.7$ | $\alpha=1-b=0.7$ |
| cyclohexane     | 1041                          | 1035               | 1030                | 1029             |
| MDM             | 1039                          | 1036               | 1033                | 1030             |
| n-octane        | 1015                          | 1011               | 1006                | 1002             |
| Toluene         | 977.6                         | 971.1              | 964.2               | 957.2            |

**Πίνακας 5.46: Μέγιστη θερμότητα εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25-1$  και  $b=0.7$**



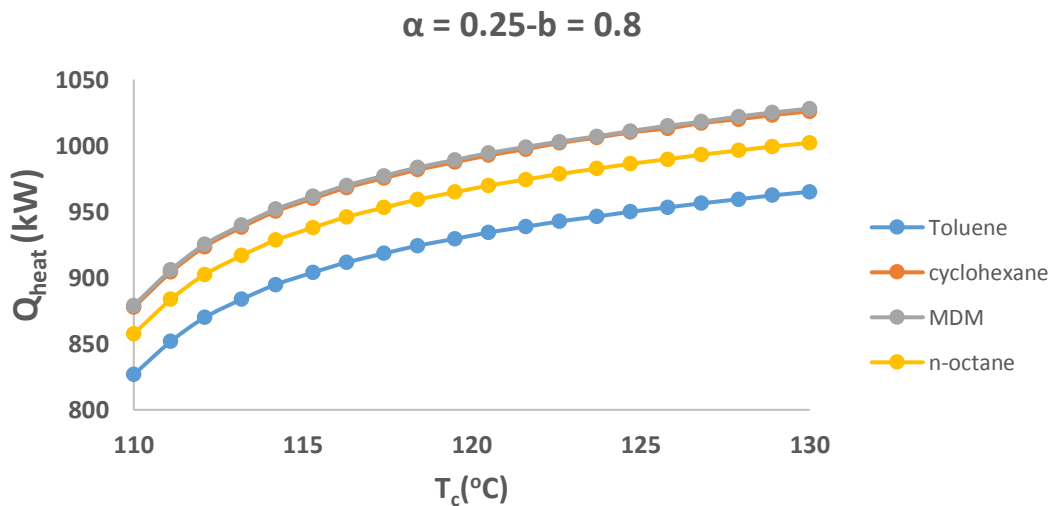
**Σχήμα 5.30: Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα**

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα.



**Σχήμα 5.31:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.



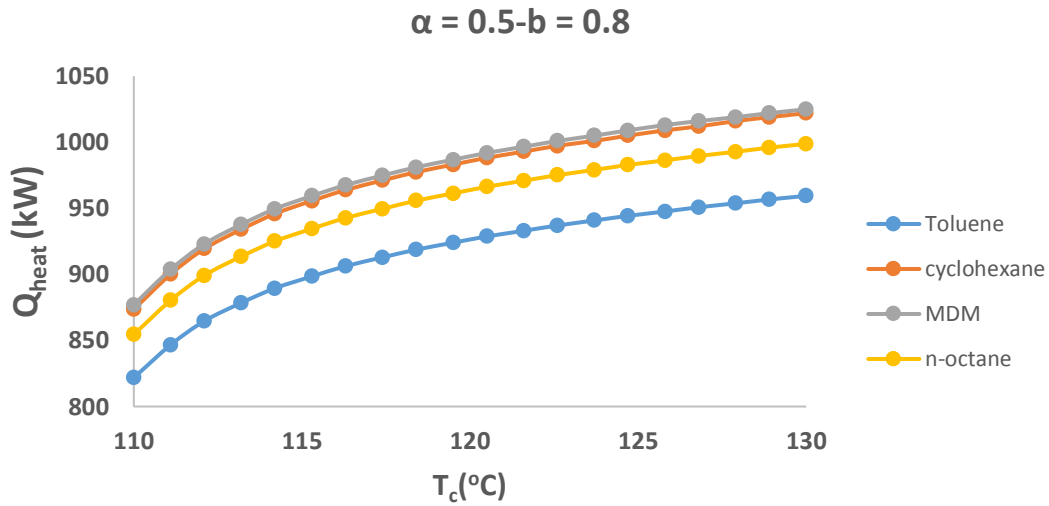
**Σχήμα 5.32:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα παρακάτω φαίνονται τα μέγιστα για  $b=0.8$

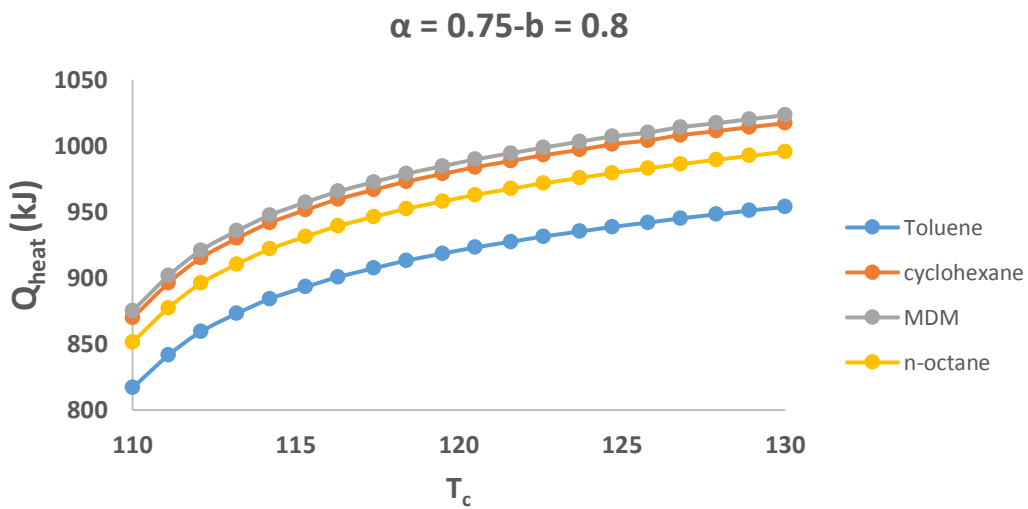
| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα εξόδου (kW) |               |                |             |
|-----------------|-------------------------------|---------------|----------------|-------------|
|                 | $a=0.25-b=0.8$                | $a=0.5-b=0.8$ | $a=0.75-b=0.8$ | $a=1-b=0.8$ |
| cyclohexane     | 1026                          | 1022          | 1017           | 1013        |
| MDM             | 1028                          | 1025          | 1023           | 1021        |
| n-octane        | 1002                          | 998.8         | 995.3          | 991.6       |
| Toluene         | 965                           | 959.4         | 953.6          | 947.7       |

**Πίνακας 5.47:** Μέγιστη θερμότητα εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25-1$  και  $b=0.8$



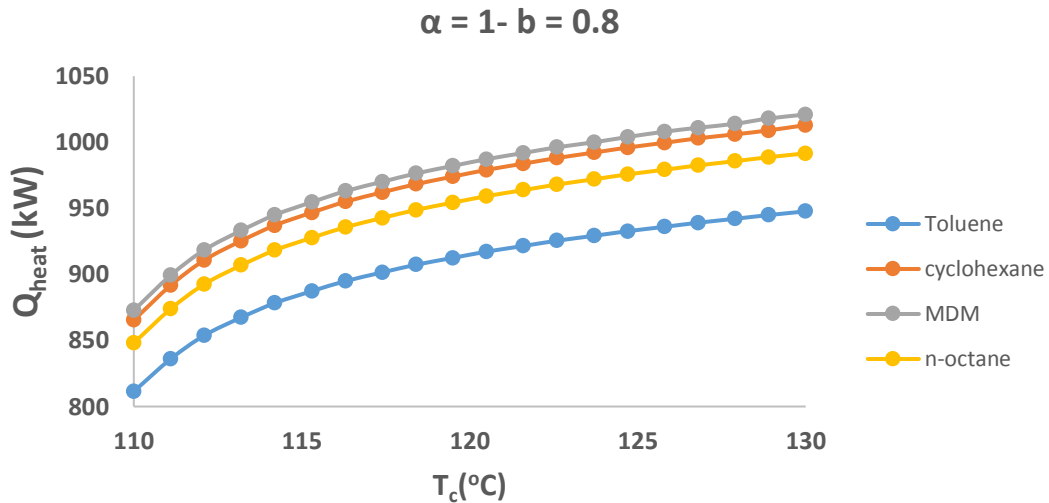


**Σχήμα 5.33:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα. Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.



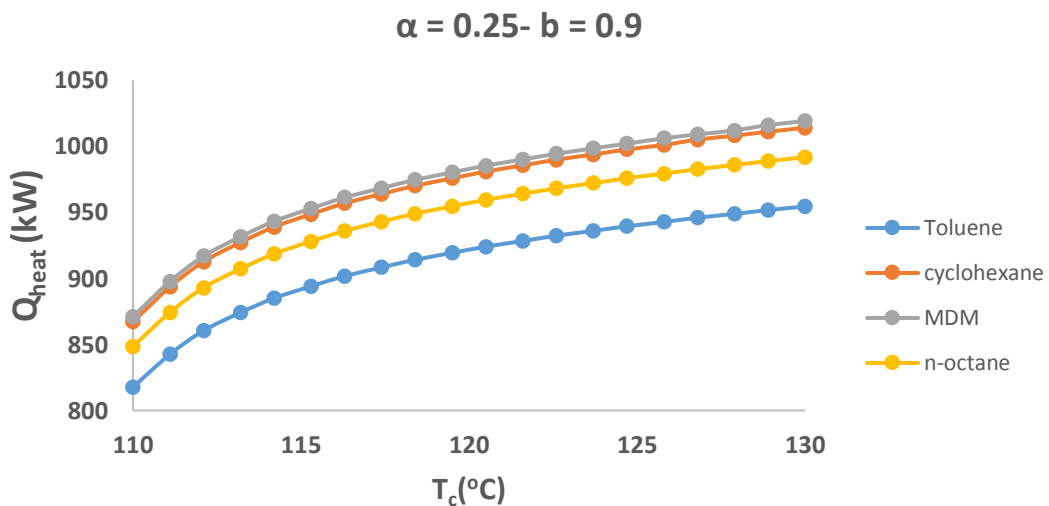
**Σχήμα 5.34:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.



**Σχήμα 5.35:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.

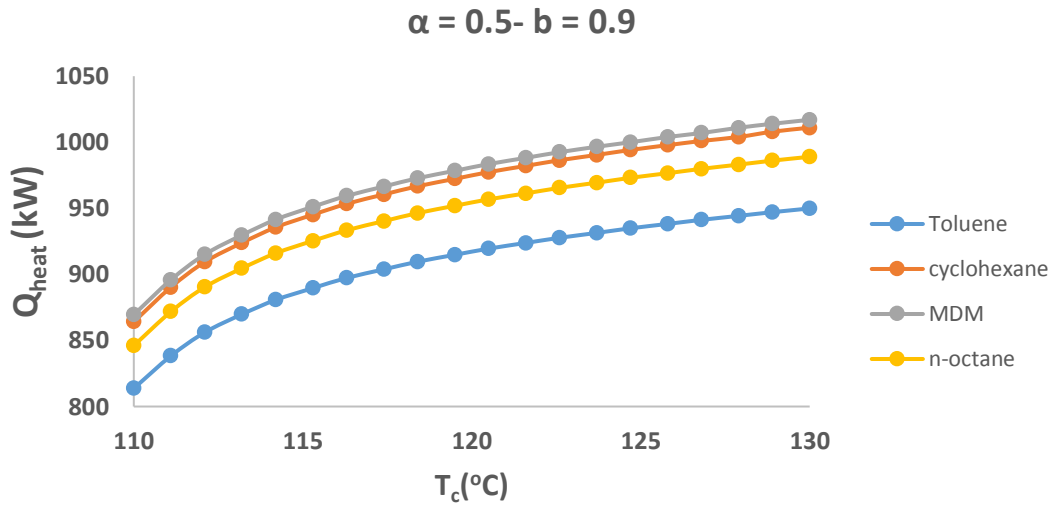


**Σχήμα 5.36:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα εξόδου (kW) |                    |                     |                  |
|-----------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|
|                 | $\alpha=0.25-b=0.9$           | $\alpha=0.5-b=0.9$ | $\alpha=0.75-b=0.9$ | $\alpha=1-b=0.9$ |
| cyclohexane     | 1014                          | 1011               | 1007                | 1003             |
| MDM             | 1019                          | 1017               | 1015                | 1013             |
| n-octane        | 991.7                         | 989                | 963.3               | 983.5            |
| Toluene         | 954.4                         | 949.9              | 945.2               | 940.4            |

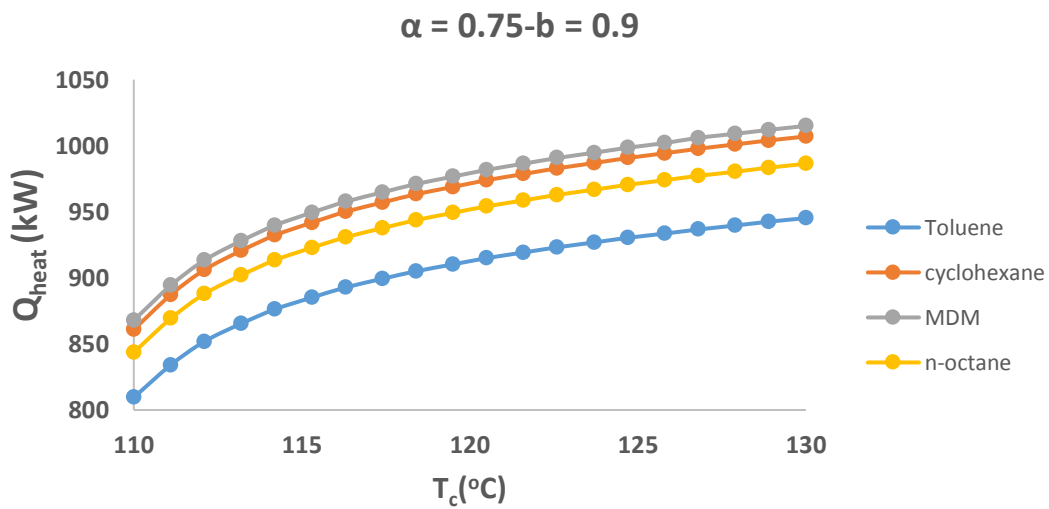
**Πίνακας 5.48:** Μέγιστη θερμότητα εξόδου για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25-1$  και  $b=0.9$

Παρόμοια μορφή όπως προηγουμένως με χαμηλότερες τιμές



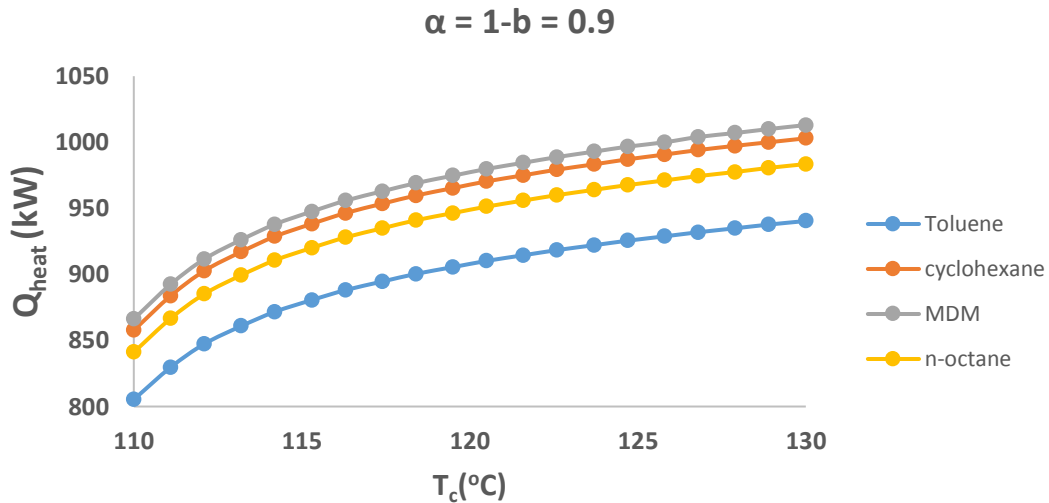
**Σχήμα 5.37:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.

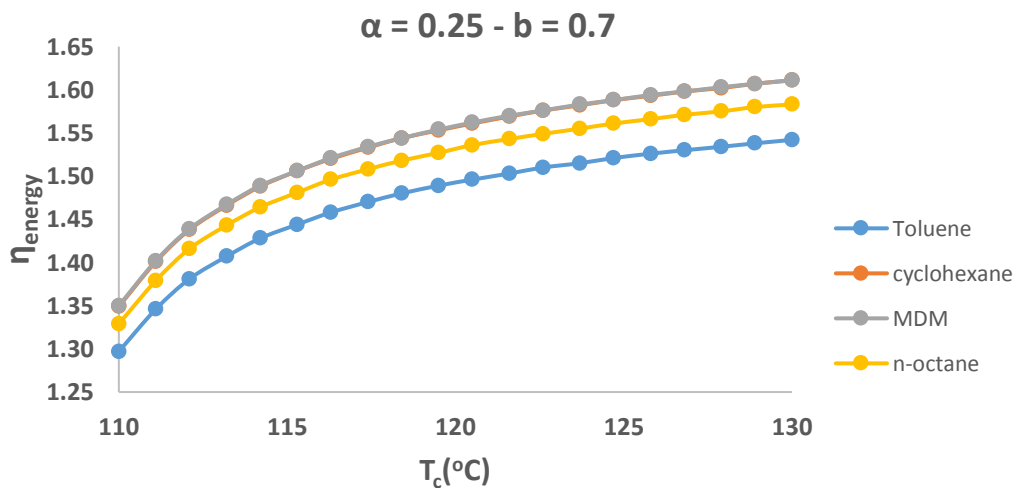


**Σχήμα 5.38:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.



**Σχήμα 5.39:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.

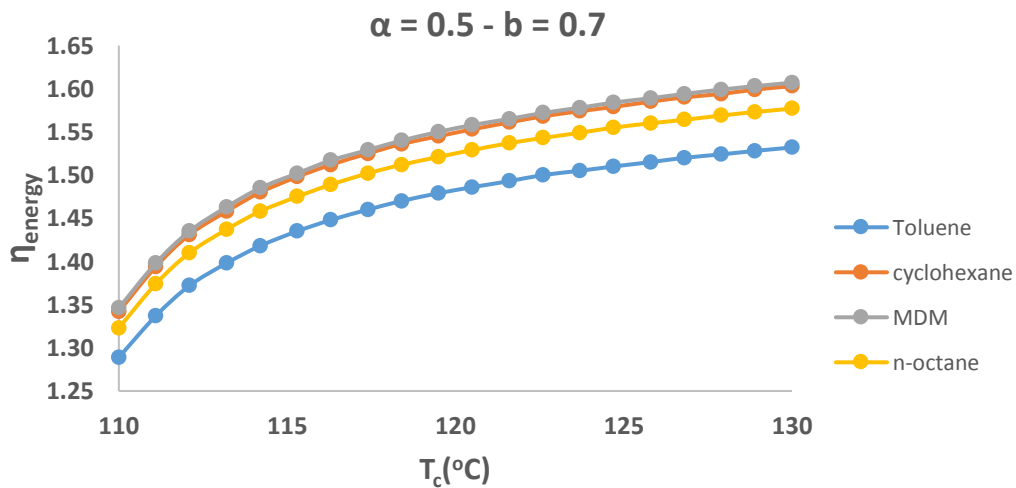


**Σχήμα 5.40:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Ο ενεργειακός βαθμός παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με την θερμότητα εξόδου έχει θετική κλίση που αυξανόμενη της θερμοκρασίας μειώνεται. Επίσης τα εργαζόμενα μέσα MDM και κυκλοεξάνιο σχεδόν συμπίπτουν οι γραφικές του παραστάσεις με το MDM ελαφρώς να δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Ο λόγος που ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος της μονάδας οφείλεται από την σχέση ορισμού του, ορίζουμε τη θερμότητα ψύξης σαν έξοδο του συστήματος και όχι σαν είσοδο. Επίσης η φθίνουσα σειρά, η οποία φαίνεται στο σχήμα, ενεργειακού βαθμού απόδοσης είναι MDM, κυκλοεξάνιο, n-οκτάνιο και τέλος Τολουένιο. Τα μέγιστα για κάθε σχήμα και για να φανεί η μεταβολή των αποστάσεων μεταξύ των καμπυλών φαίνονται παρακάτω.

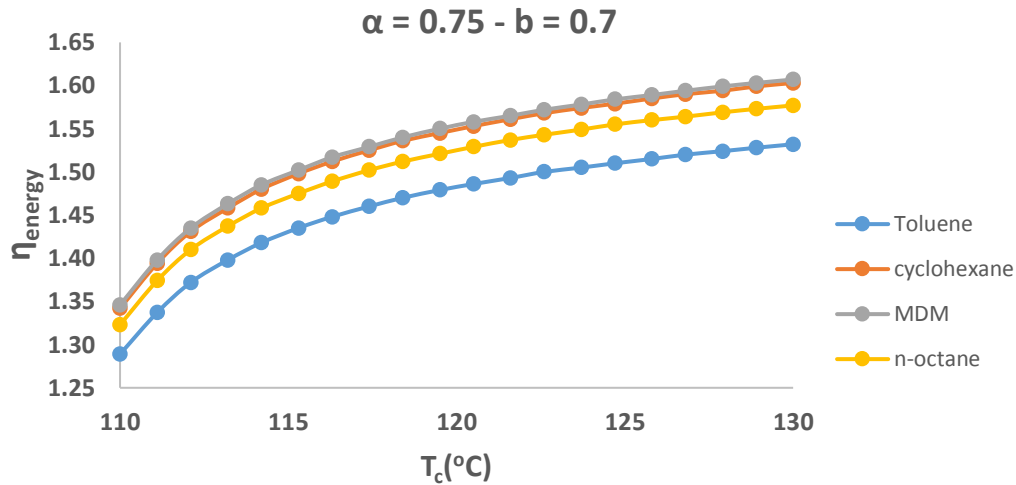
| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστος ενεργειακός βαθμός απόδοσης |             |              |           |
|-----------------|--------------------------------------|-------------|--------------|-----------|
|                 | a=0.25-b=0.7                         | a=0.5-b=0.7 | a=0.75-b=0.7 | a=1-b=0.7 |
| MDM             | 1.611                                | 1.607       | 1.603        | 1.598     |
| cyclohexane     | 1.611                                | 1.603       | 1.594        | 1.585     |
| n-octane        | 1.583                                | 1.577       | 1.570        | 1.564     |
| Toluene         | 1.542                                | 1.532       | 1.521        | 1.51      |
|                 | a=0.25-b=0.8                         | a=0.5-b=0.8 | a=0.75-b=0.8 | a=1-b=0.8 |
| MDM             | 1.600                                | 1.597       | 1.593        | 1.589     |
| cyclohexane     | 1.596                                | 1.589       | 1.582        | 1.574     |
| n-octane        | 1.570                                | 1.565       | 1.559        | 1.554     |
| Toluene         | 1.528                                | 1.519       | 1.510        | 1.501     |
|                 | a=0.25-b=0.9                         | a=0.5-b=0.9 | a=0.75-b=0.9 | a=1-b=0.9 |
| MDM             | 1.591                                | 1.588       | 1.585        | 1.582     |
| cyclohexane     | 1.583                                | 1.577       | 1.572        | 1.566     |
| n-octane        | 1.599                                | 1.555       | 1.550        | 1.546     |
| Toluene         | 1.517                                | 1.509       | 1.502        | 1.494     |

**Πίνακας 5.49:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25-1$  και  $b=0.7-0.9$



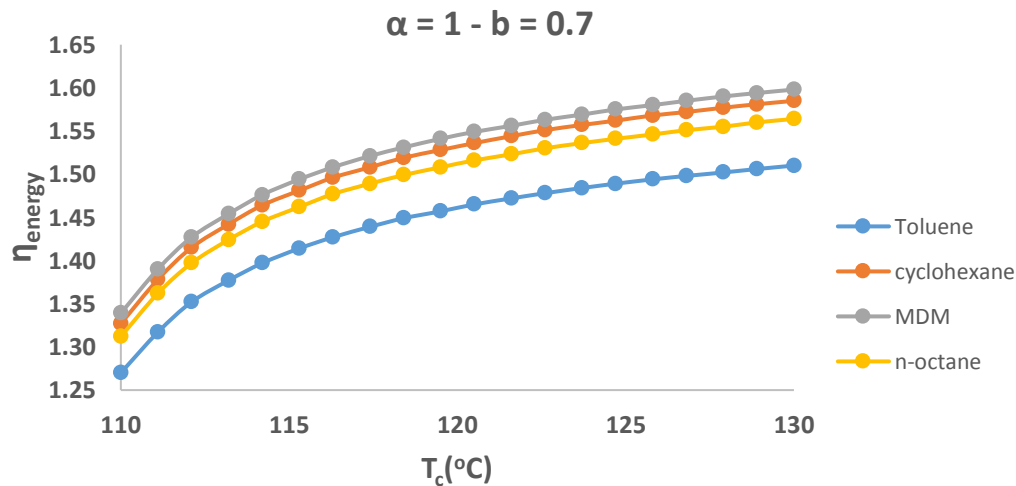
**Σχήμα 5.41:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξηση της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-η-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών η-οκτάνιο –κυκλοεξάνιο.



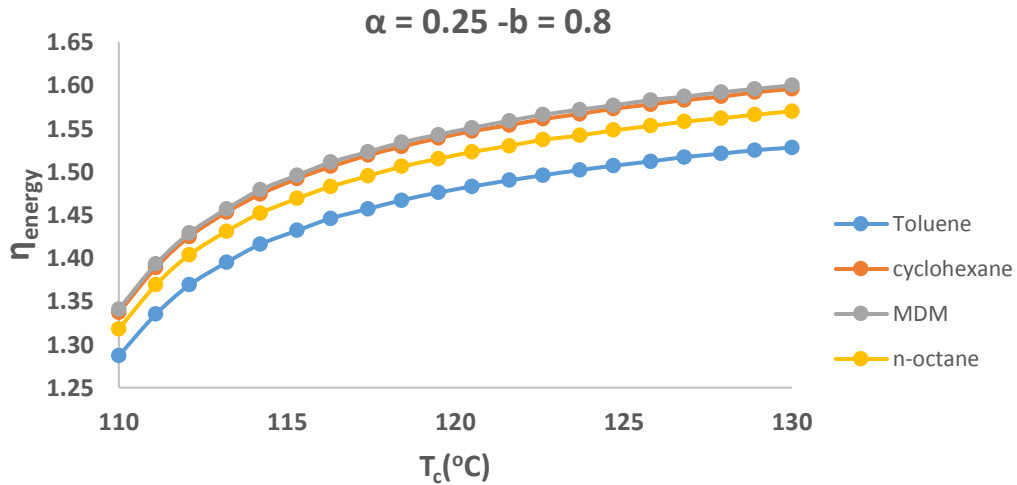
**Σχήμα 5.42:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξηση της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών n-οκτάνιο –κυκλοεξάνιο.



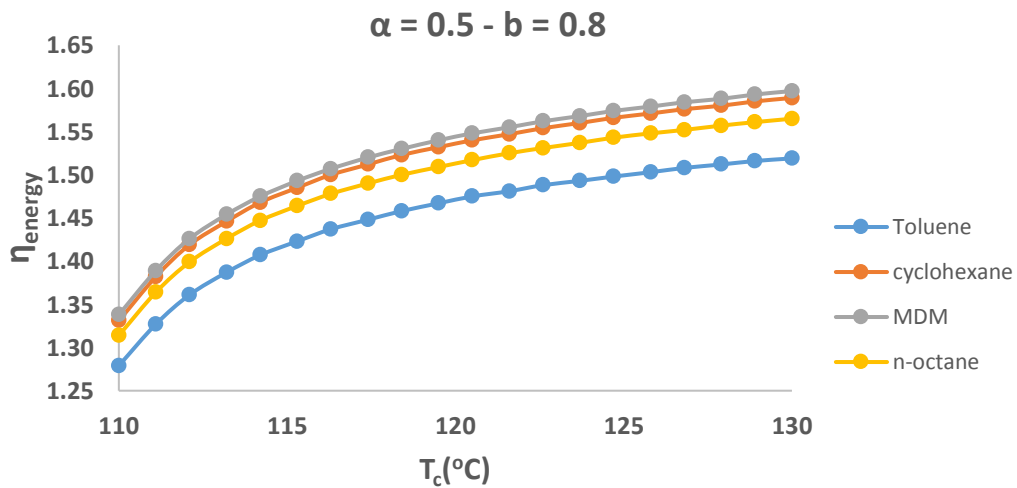
**Σχήμα 5.43:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξηση της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών n-οκτάνιο –κυκλοεξάνιο.



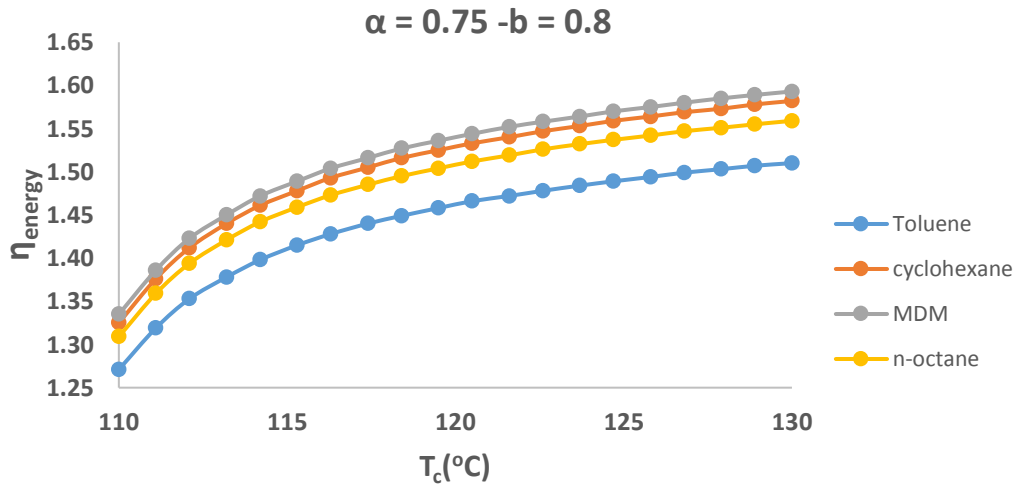
**Σχήμα 5.44:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρείται η ίδια μορφή όπως προηγουμένως.



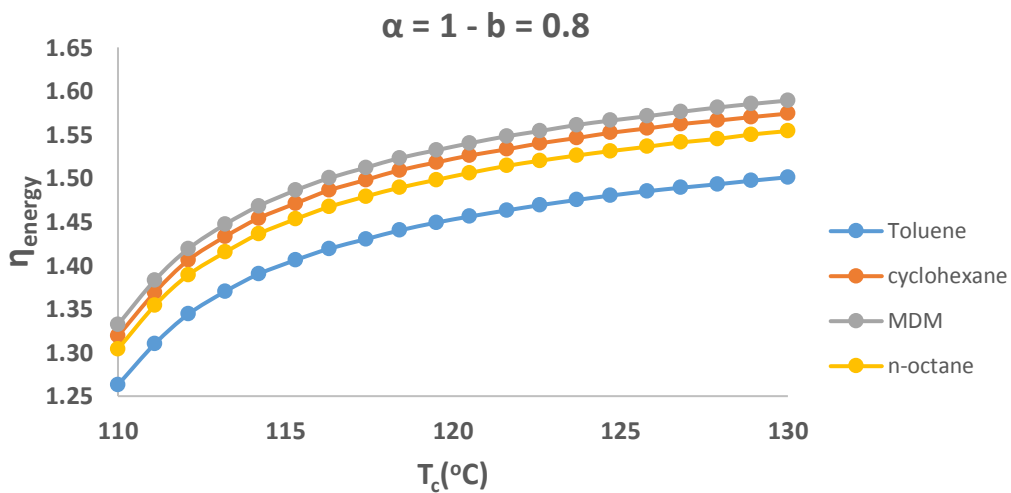
**Σχήμα 5.45:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξηση της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών n-οκτάνιο –κυκλοεξάνιο.



**Σχήμα 5.46:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

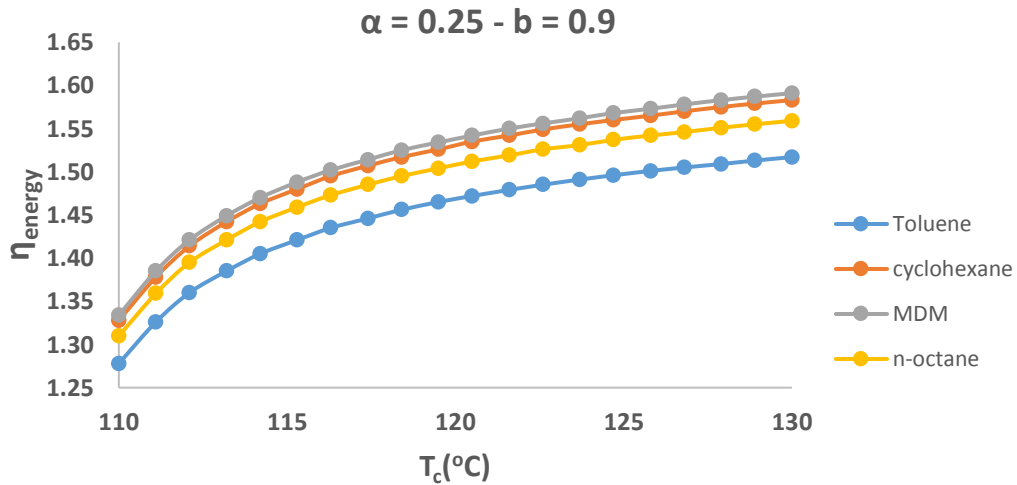
Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξησης της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών n-οκτάνιο -κυκλοεξάνιο



**Σχήμα 5.47:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

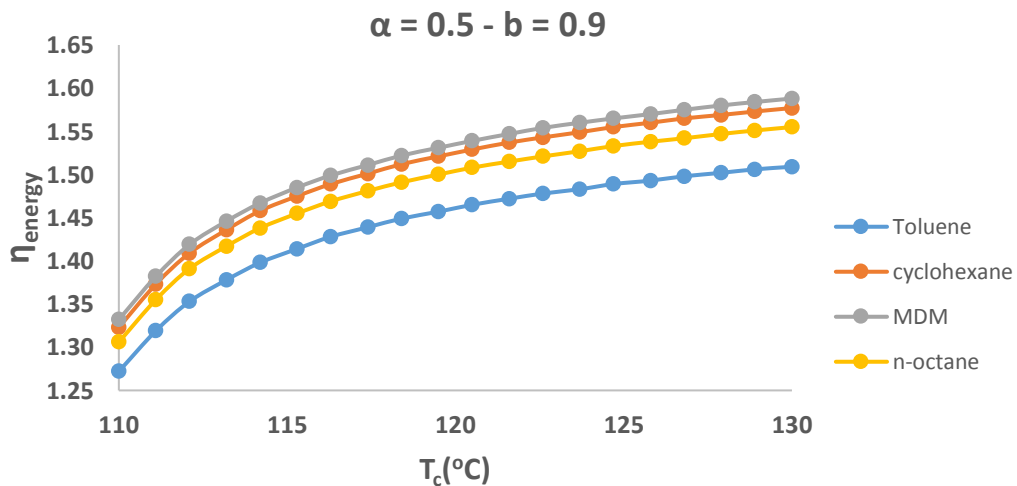
Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξησης της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ των καμπυλών n-οκτάνιο -κυκλοεξάνιο.





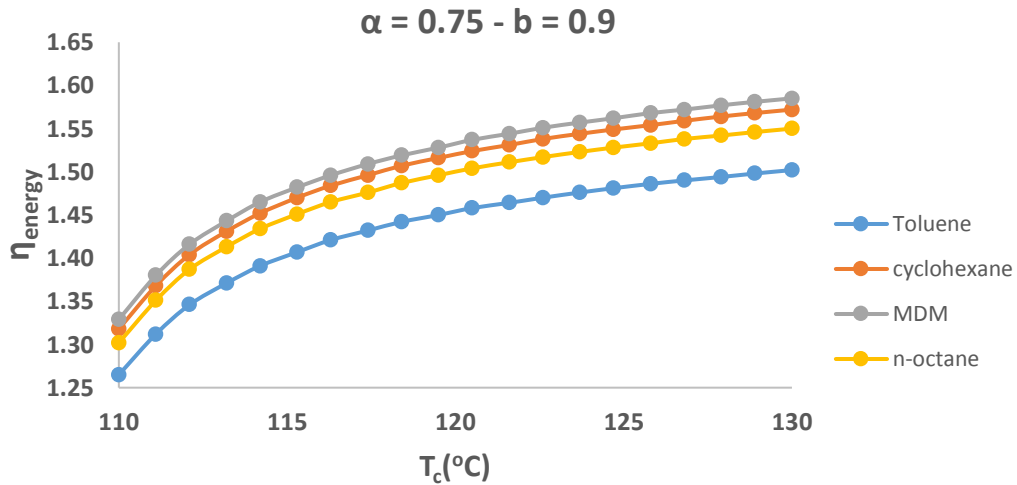
**Σχήμα 5.48** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Εδώ φαίνεται καθαρότερα η διαφορά μεταξύ του MDM και του κυκλοεξανίου. Κατά τα άλλα έχουμε την ίδια μορφή.



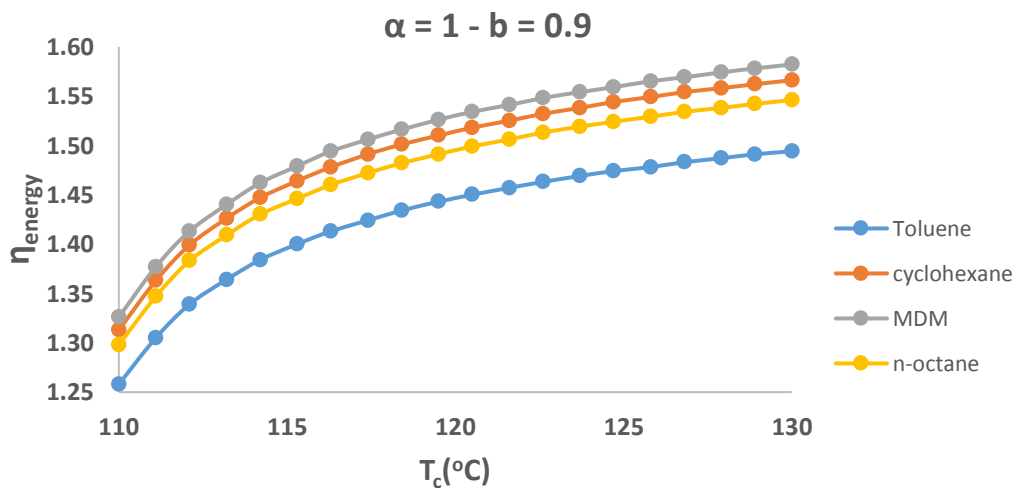
**Σχήμα 5.49:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια μείωση της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-n-οκτάνιο και n-οκτάνιο -κυκλοεξάνιο και μια αύξηση αυτής μεταξύ των καμπυλών MDM-κυκλοεξάνιο.



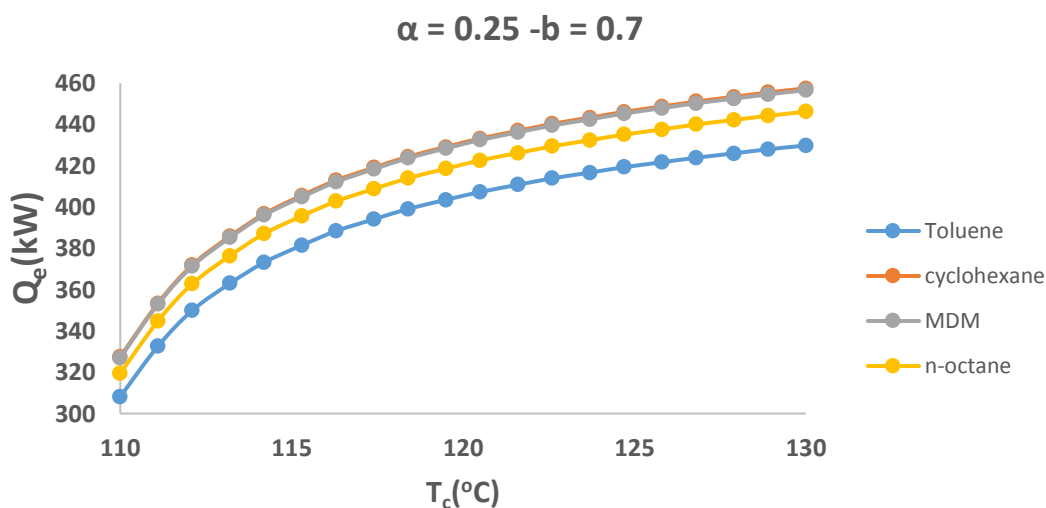
**Σχήμα 5.50:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξησης της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-*n*-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και σταθερότητα αυτής μεταξύ των καμπυλών *n*-οκτάνιο –κυκλοεξάνιο.



**Σχήμα 5.51** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Συγκρινόμενο με το προηγούμενο σχήμα υπάρχει μια αύξησης της απόστασης μεταξύ των καμπυλών Τολουένιο-*n*-οκτάνιο και MDM-κυκλοεξάνιο και μια μείωση αυτής μεταξύ του *n*-οκτανίου –κυκλοεξάνιου.

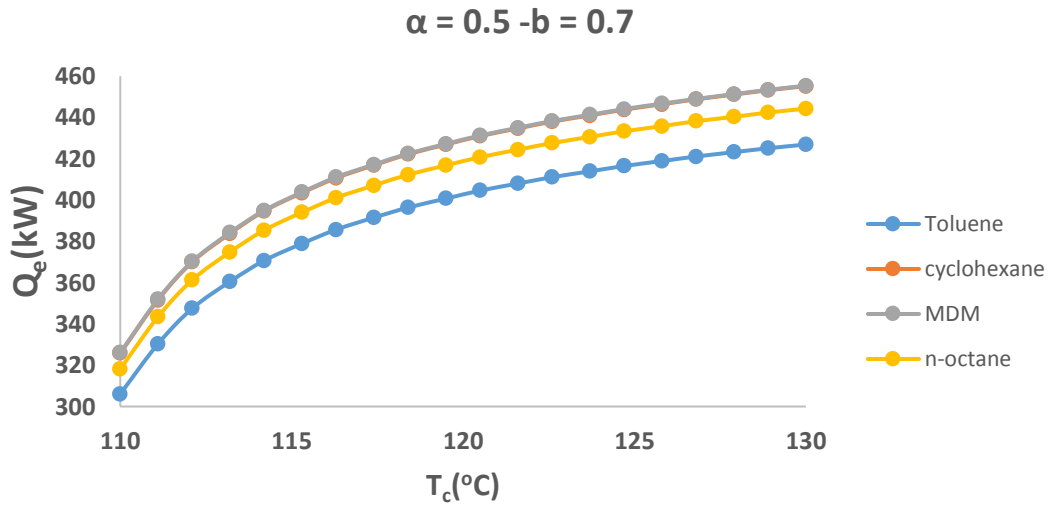


**Σχήμα 5.52:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης. Τα μέγιστα για κάθε περίπτωση φαίνονται παρακάτω. Αυτά μας χρησιμεύουν για μια εκτίμηση της συμπεριφοράς των καμπυλών μεταβάλλοντας τις παραμέτρους  $\alpha$  και  $b$ .

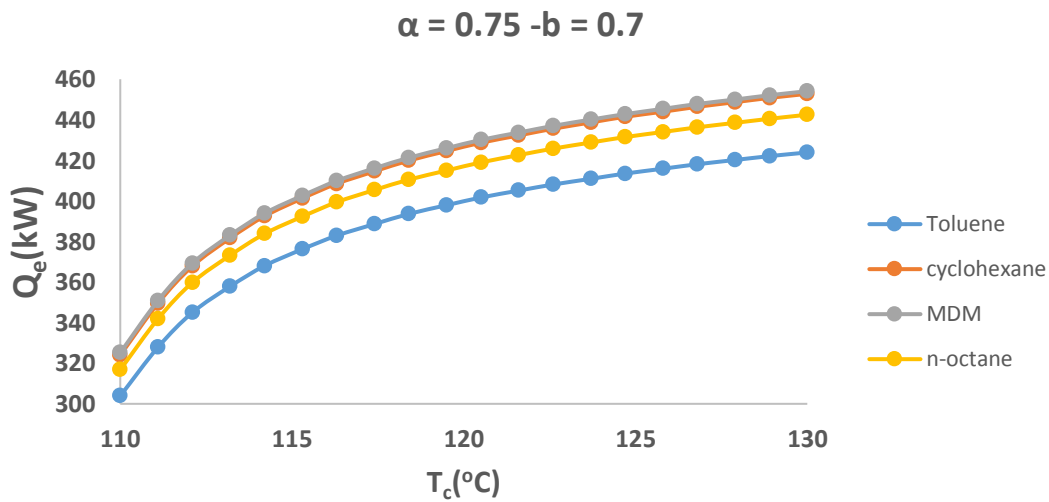
| Εργαζόμενο μέσο | Μέγιστη θερμότητα ψύξης (kW) |               |                |             |
|-----------------|------------------------------|---------------|----------------|-------------|
|                 | $a=0.25-b=0.7$               | $a=0.5-b=0.7$ | $a=0.75-b=0.7$ | $a=1-b=0.7$ |
| MDM             | 456.6                        | 455.4         | 454.1          | 452.8       |
| cyclohexane     | 457.5                        | 455.2         | 452.8          | 450.3       |
| n-octane        | 446.2                        | 444.3         | 442.5          | 440.5       |
| Toluene         | 429.8                        | 426.9         | 423.9          | 420.8       |
|                 | $a=0.25-b=0.8$               | $a=0.5-b=0.8$ | $a=0.75-b=0.8$ | $a=1-b=0.8$ |
| MDM             | 451.9                        | 450.8         | 449.8          | 448.7       |
| cyclohexane     | 451.2                        | 449.2         | 447.2          | 445.2       |
| n-octane        | 440.7                        | 439.1         | 437.6          | 436         |
| Toluene         | 424.3                        | 421.8         | 419.3          | 416.7       |
|                 | $a=0.25-b=0.9$               | $a=0.5-b=0.9$ | $a=0.75-b=0.9$ | $a=1-b=0.9$ |
| MDM             | 447.9                        | 447.1         | 446.3          | 445.3       |
| cyclohexane     | 445.8                        | 444.3         | 442.8          | 441.2       |
| n-octane        | 436.0                        | 434.8         | 433.6          | 432.4       |
| Toluene         | 419.6                        | 417.6         | 415.6          | 413.5       |

**Πίνακας 5.50:** Μέγιστη θερμότητα ψύξης για κάθε εργαζόμενο μέσο για  $\alpha=0.25-1$  και  $b=0.7-0.9$



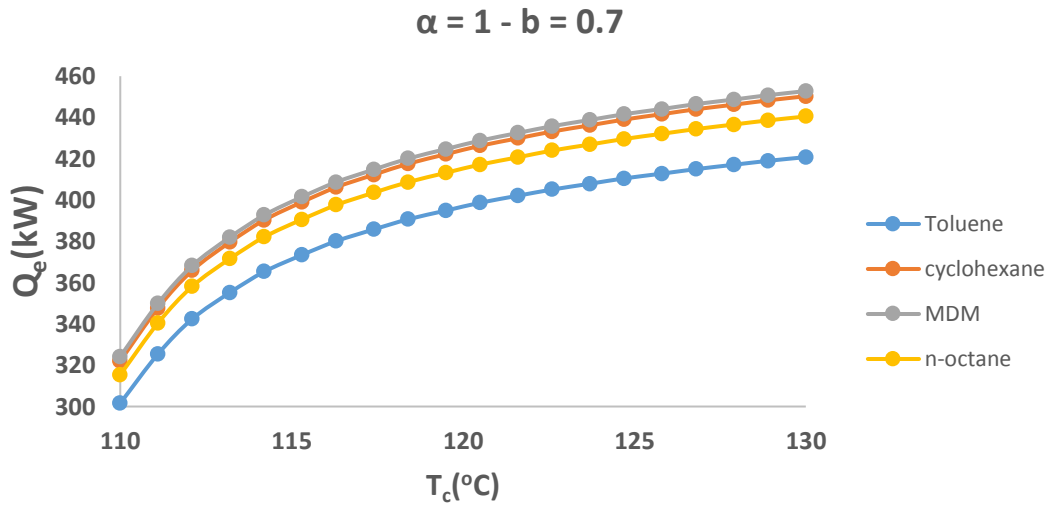
**Σχήμα 5.53:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



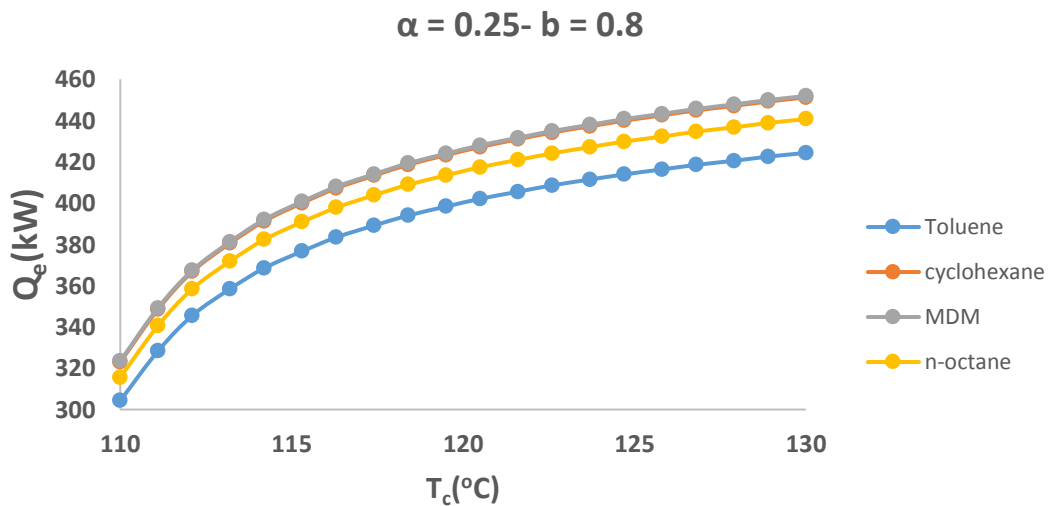
**Σχήμα 5.54:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



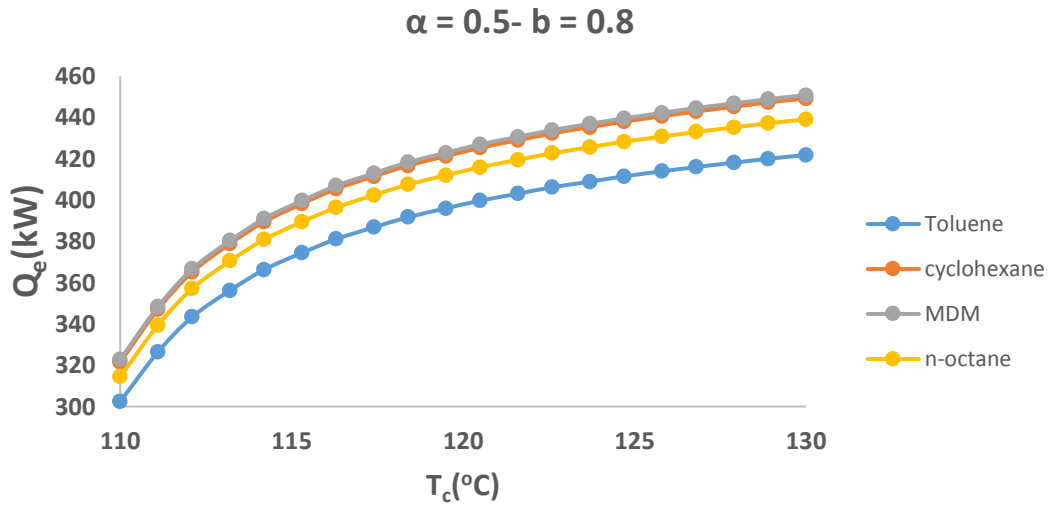
**Σχήμα 5.55:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=1$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



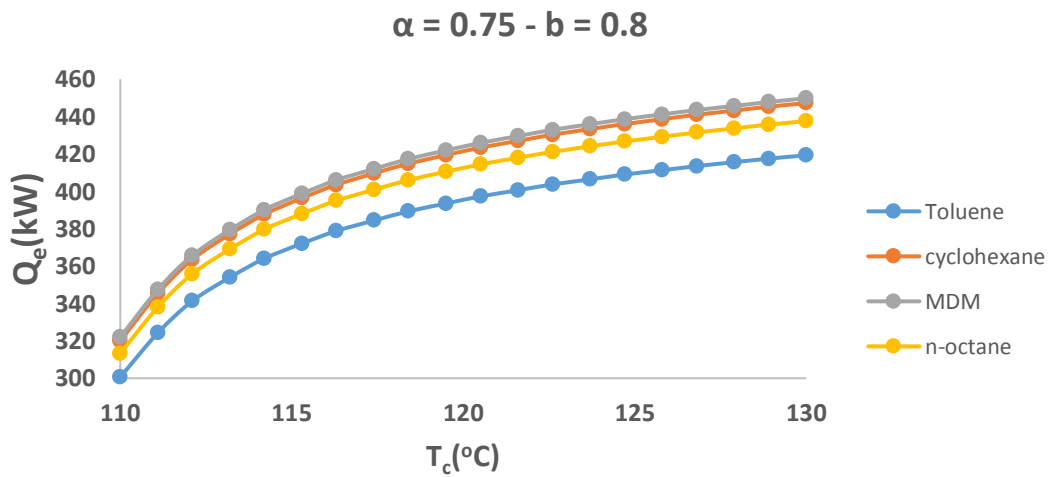
**Σχήμα 5.56:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα



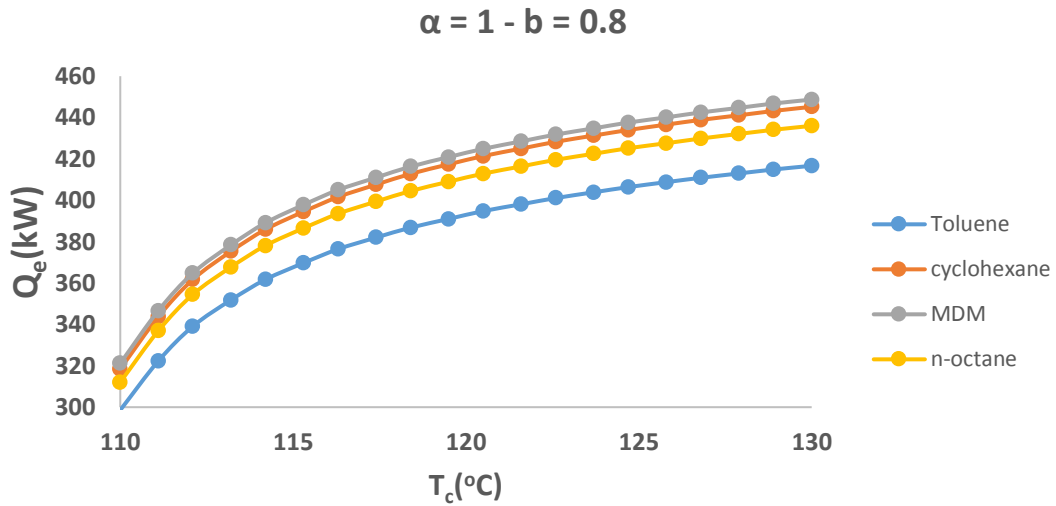
**Σχήμα 5.57:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



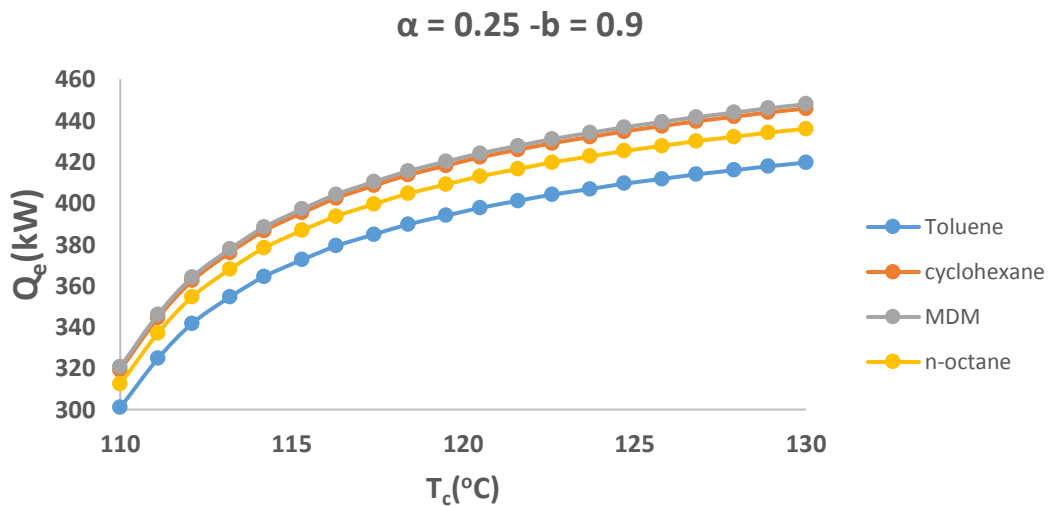
**Σχήμα 5.58:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



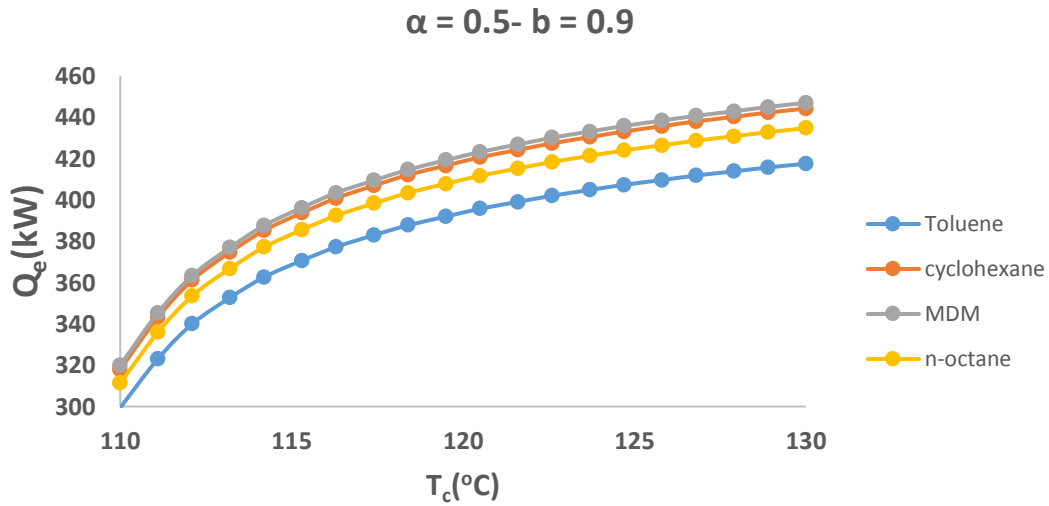
**Σχήμα 5.59:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=1$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



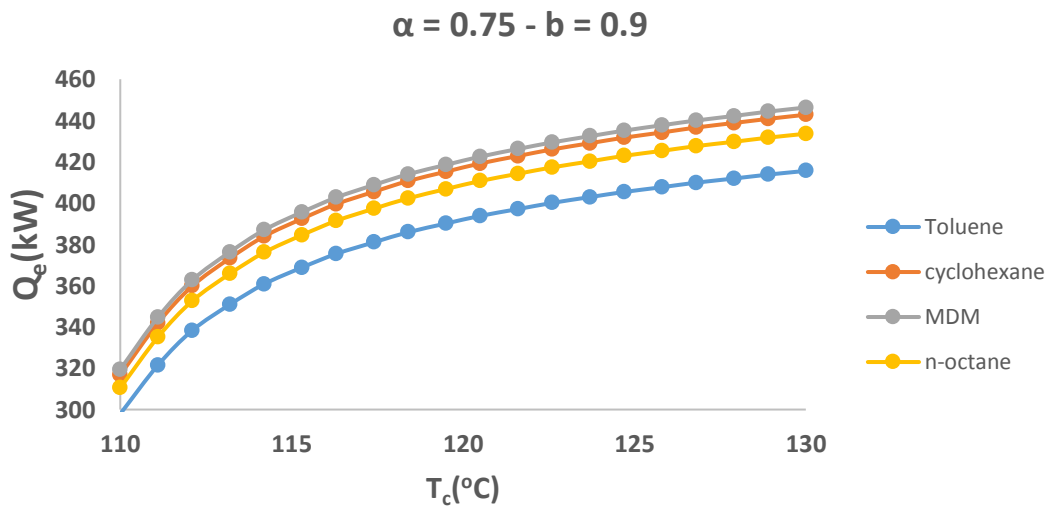
**Σχήμα 5.60:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.25$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Ίδια μορφή με τα προηγούμενα



**Σχήμα 5.61:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.5$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

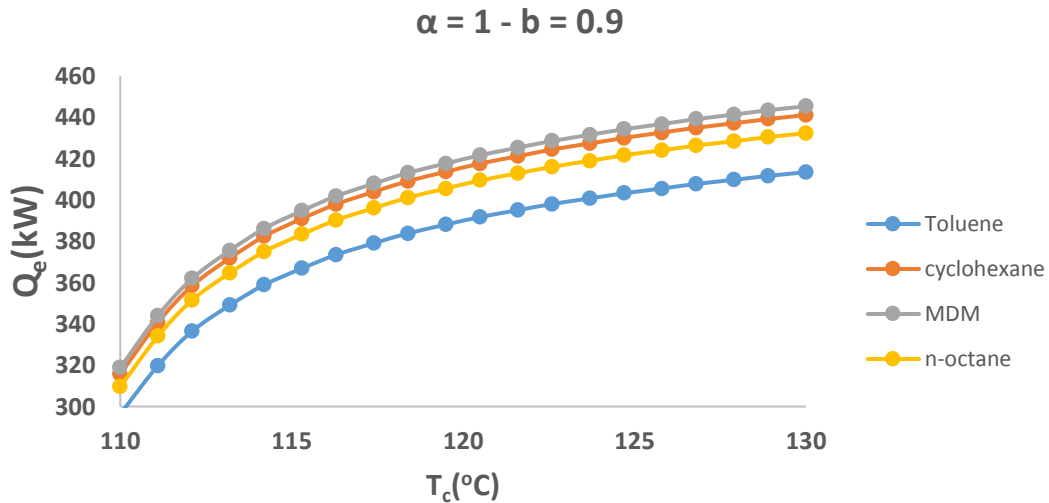
Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



**Σχήμα 5.62:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0.75$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

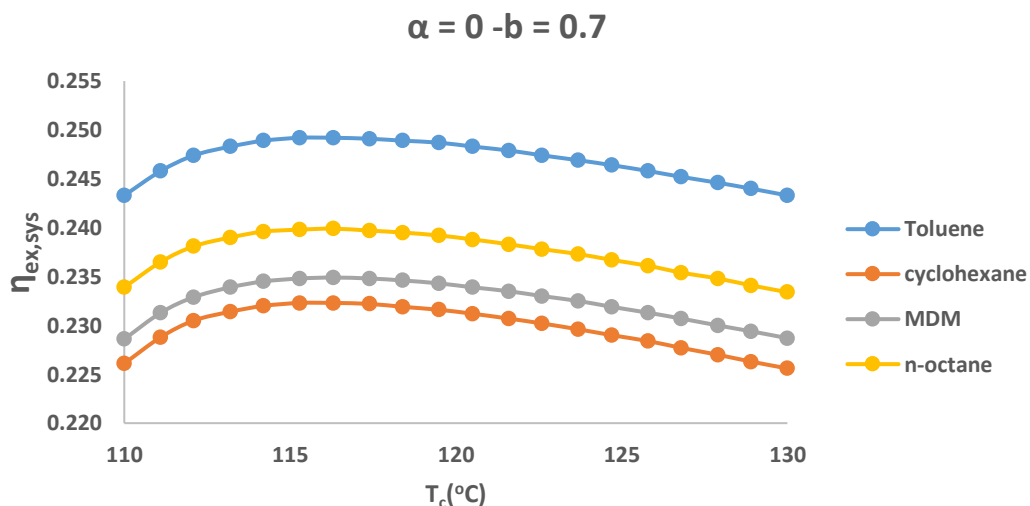
Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της θερμότητας ψύξης με τη θερμότητα συμπυκνωτή με φθίνων ρυθμό αύξησης.



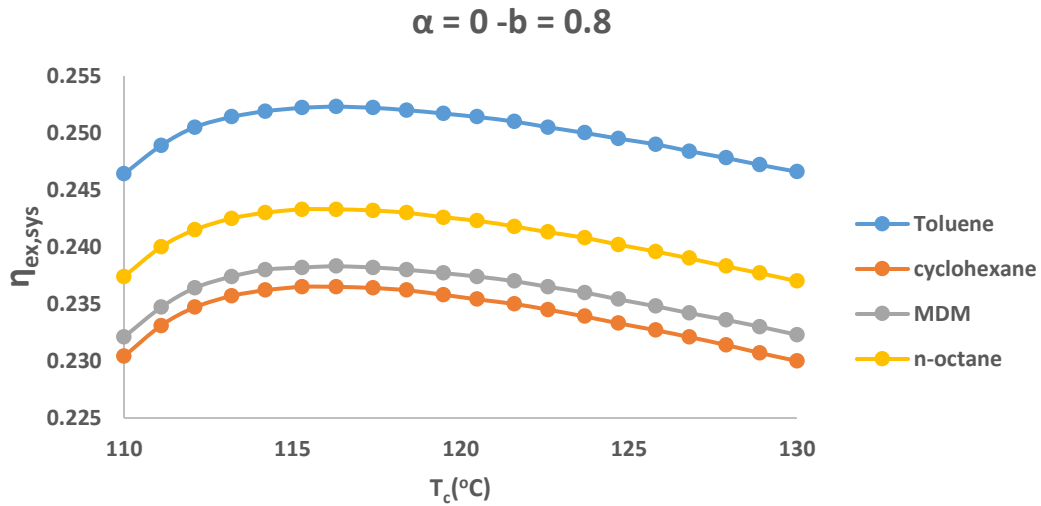


**Σχήμα 5.63:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=1$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Παρατηρείται συμπερασματικά στις περιπτώσεις όσον αφορά τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης και την ηλεκτρική ισχύ εξόδου το Τολουένιο δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Όσον αφορά την θερμότητα ψύξης και θέρμανσης και τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης το MDM δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής ισχύς έχουμε μια πτώση με την αύξηση της θερμοκρασίας αυτό είναι στα λογικά πλαίσια λόγω του έργου που προκύπτει από τα διαγράμματα των εργαζόμενων μέσων είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και ανάλογη της μέσης θερμοκρασίας πρόσδοσης. Έπειτα για την θερμότητα ψύξης και θέρμανσης αυξάνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του συμπυκνωτή αυτό οφείλεται στο ότι προκύπτει μεγαλύτερη θερμότητα απόρριψης στην γεννήτρια. Επίσης μεταξύ των τιμών του  $\alpha$  η τιμή 0 δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα και για αυτήν την τιμή έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα

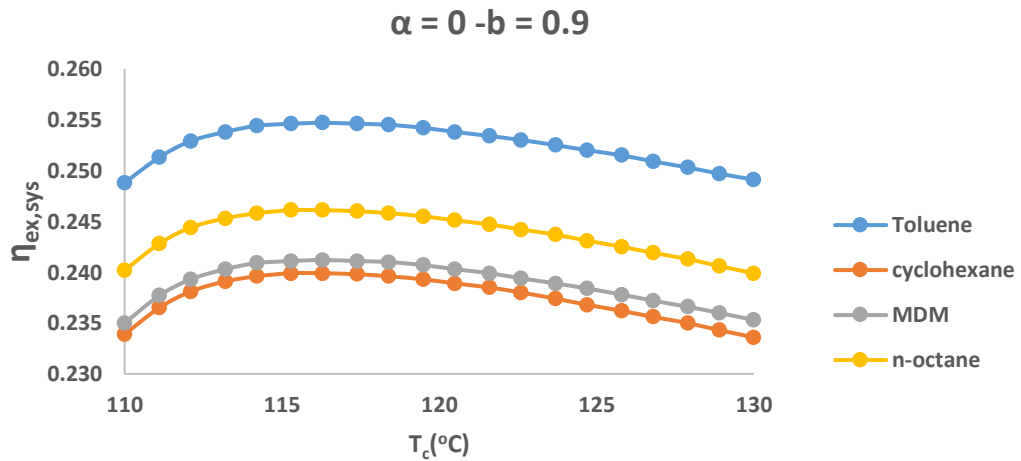


**Σχήμα 5.64:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.



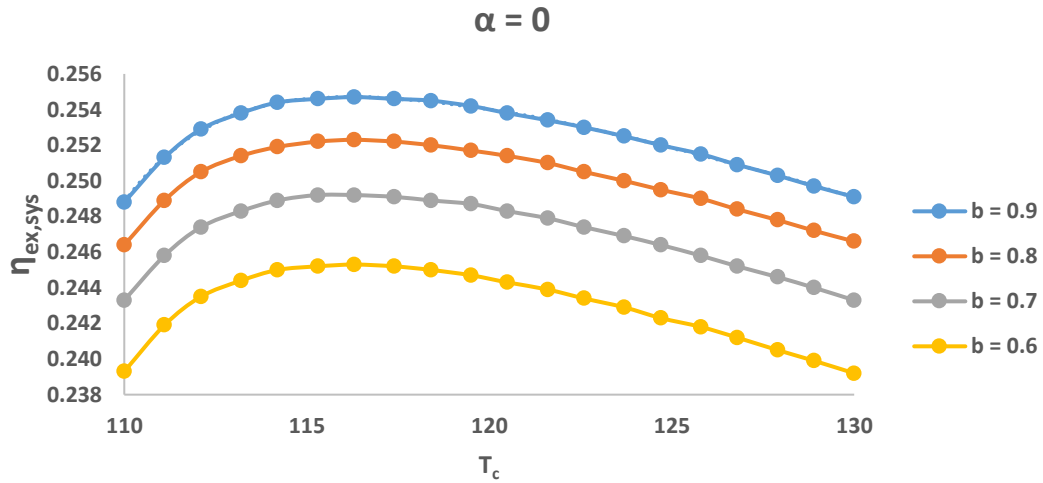
**Σχήμα 5.65:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα

Παρόμοια μορφή με τα προηγούμενα.



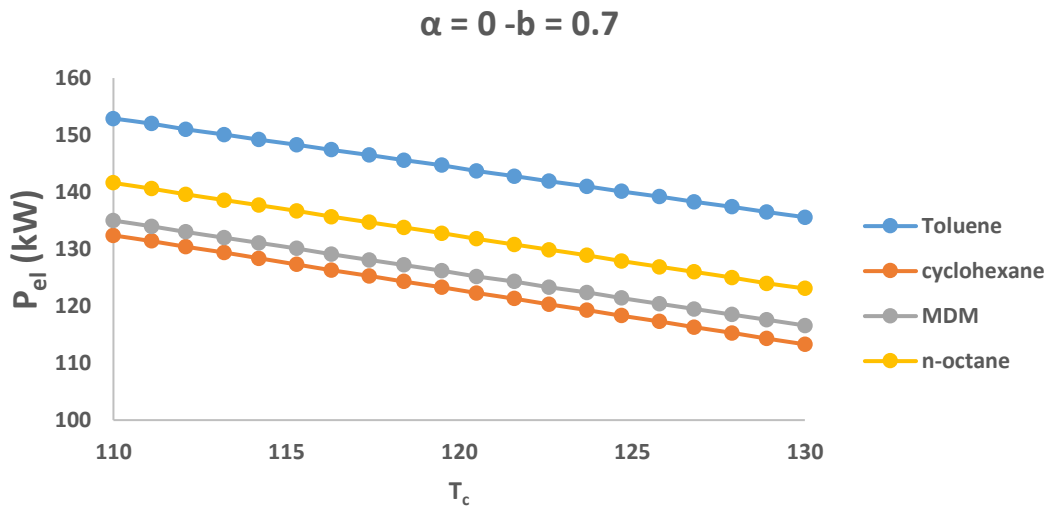
**Σχήμα 5.66:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

Μεταξύ αυτών των διαγραμμάτων την καλύτερη απόδοση δίνει το τελευταίο αυτό φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα για το Τολουένιο για σταθερή τιμή  $\alpha=0$ .



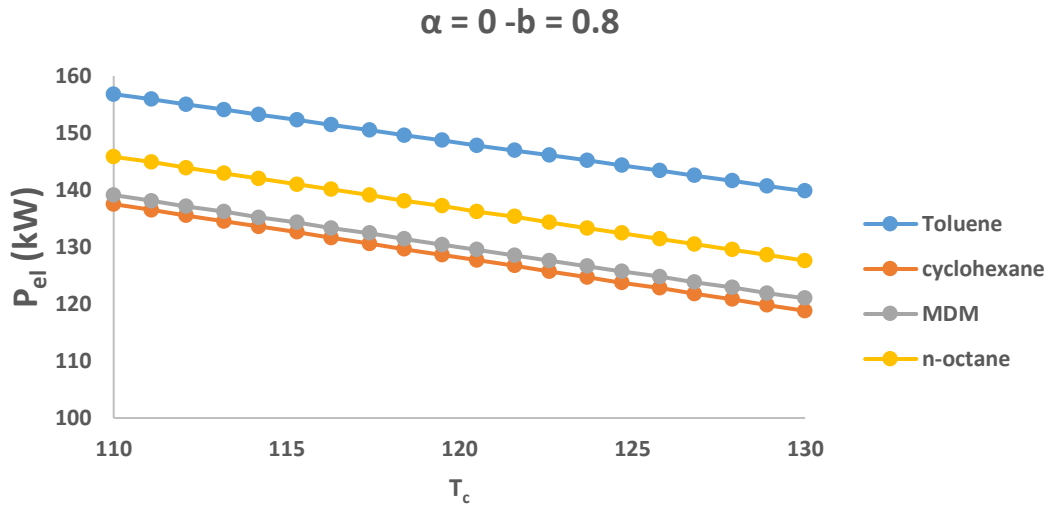
**Σχήμα 5.67:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης για το Τολουένιο για  $\alpha=0$  και διάφορα  $b$ .

Αντίστοιχα πράγματα έχουμε και για την ηλεκτρική ισχύ.

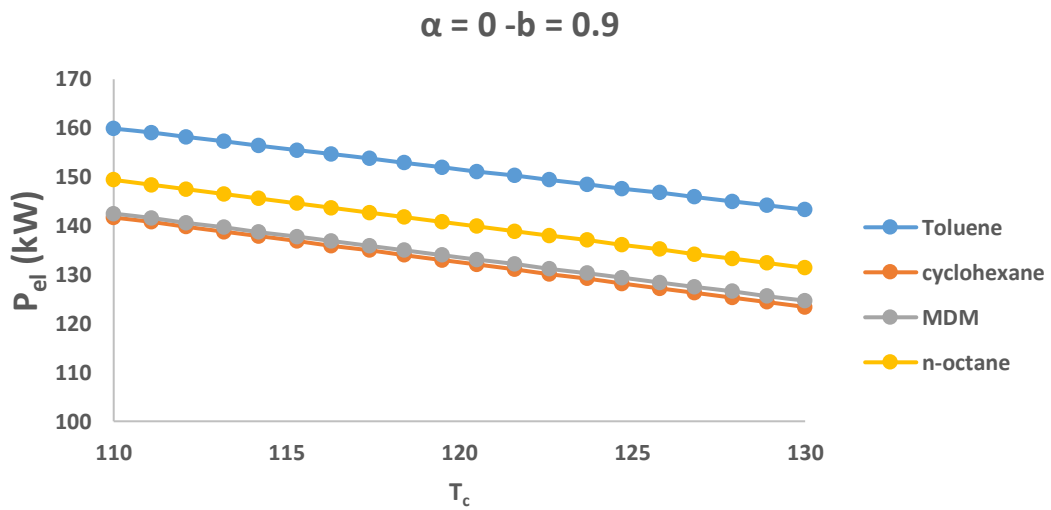


**Σχήμα 5.68:** Ηλεκτρικής ισχύς εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.7$

Ίδια μορφή με τα διαγράμματα ισχύος που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

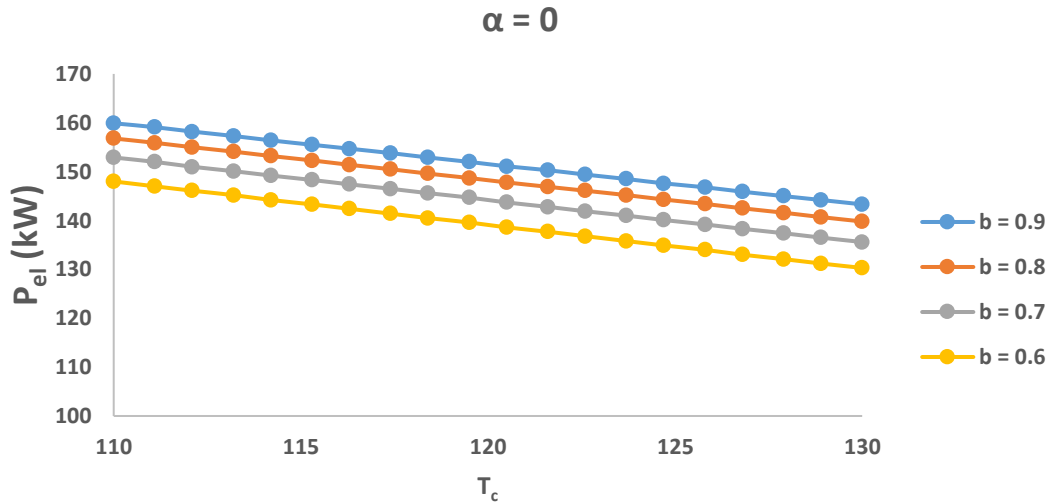


Σχήμα 5.69: Ηλεκτρικής ισχύς εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.8$



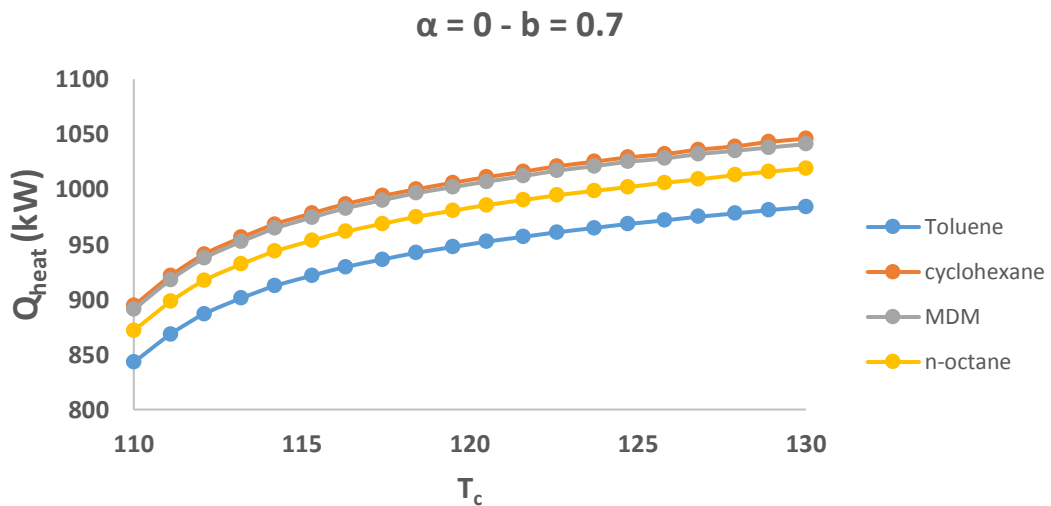
Σχήμα 5.70: Ηλεκτρικής ισχύς εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.9$

Το Τολουένιο δίνει τα αποτελέσματα με την μεγαλύτερη ισχύ εξόδου.

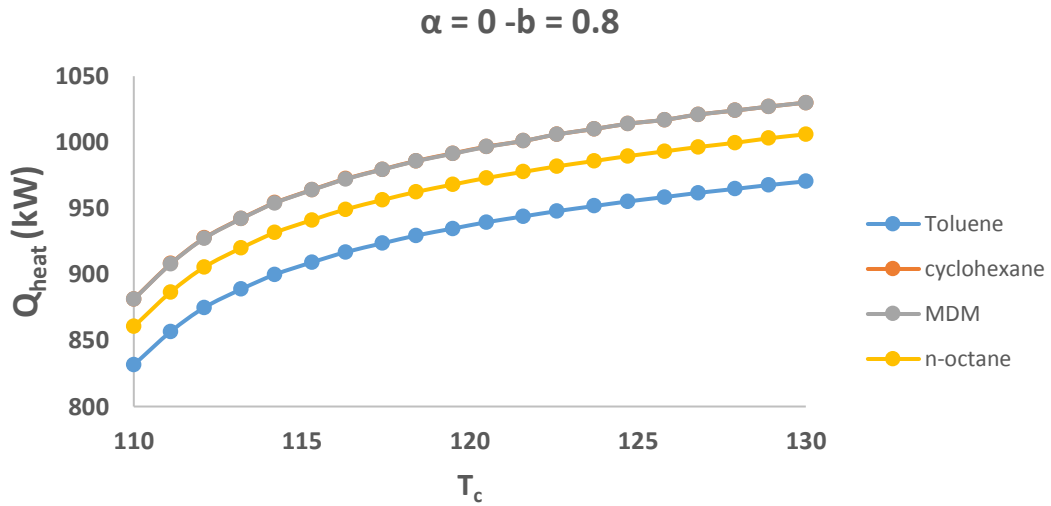


**Σχήμα 5.71:** Ηλεκτρική ισχύς εξόδου για το Τολουένιο και για  $\alpha=0$  και διάφορα  $b$

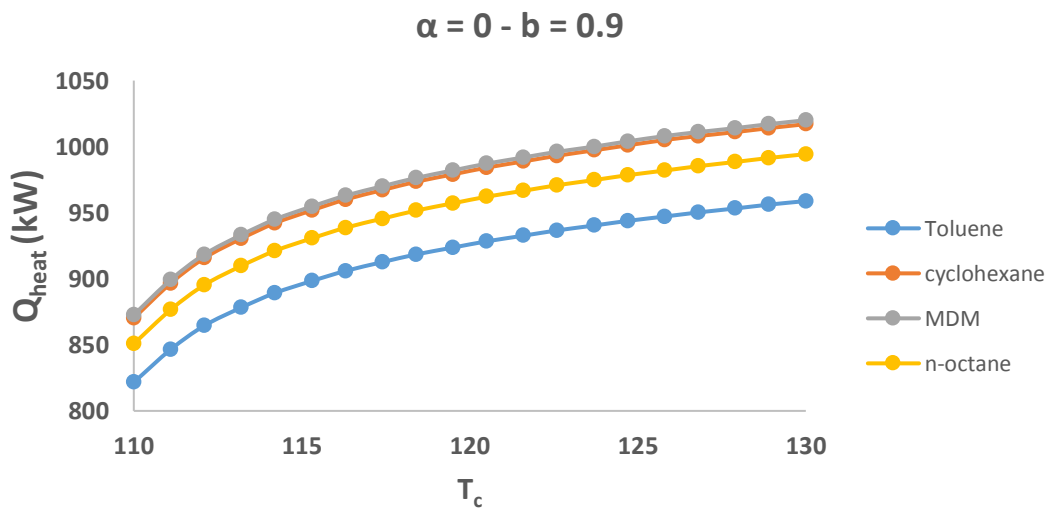
Όσον αφορά την θερμότητα εξόδου και πάλι η τιμή  $\alpha=0$  δίνει τις υψηλότερες τιμές, όμως οι χαμηλότερες τιμές  $b$  δίνουν μεγαλύτερη θερμότητα εξόδου.



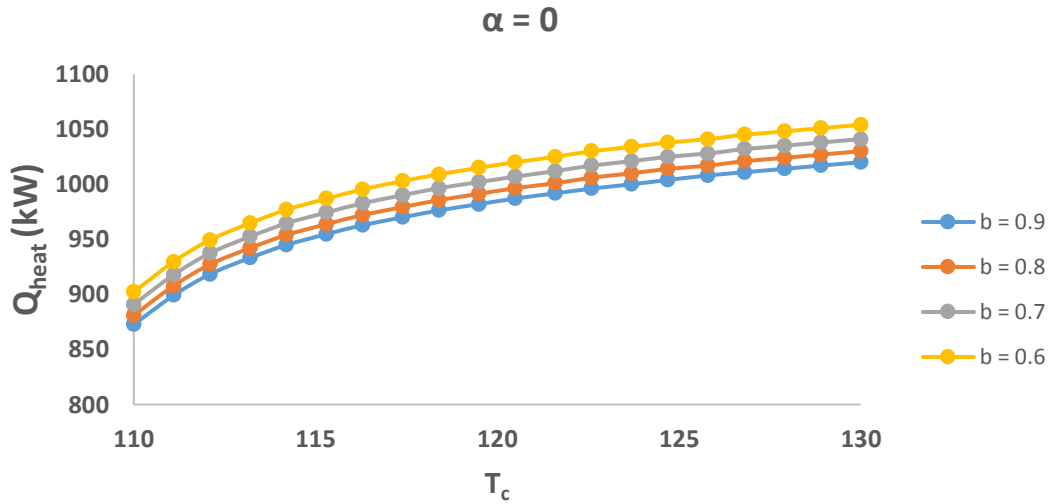
**Σχήμα 5.72:** Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.



**Σχήμα 5.73:**Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα  
 Ίδια μορφή με τα προηγούμενα διαγράμματα θερμότητας θέρμανσης.

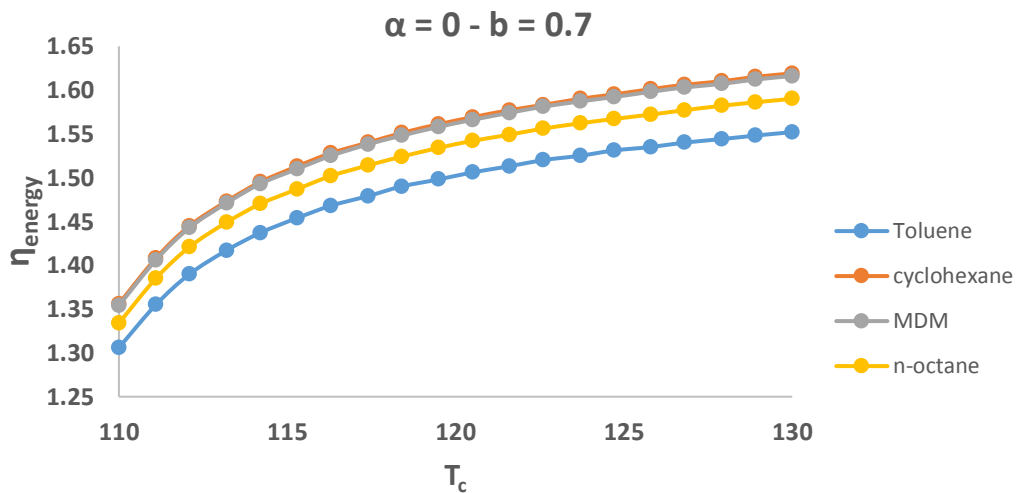


**Σχήμα 5.74:**Θερμότητα εξόδου για  $\alpha=0$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα  
 Ίδια μορφή με τα προηγούμενα διαγράμματα θερμότητας θέρμανσης.



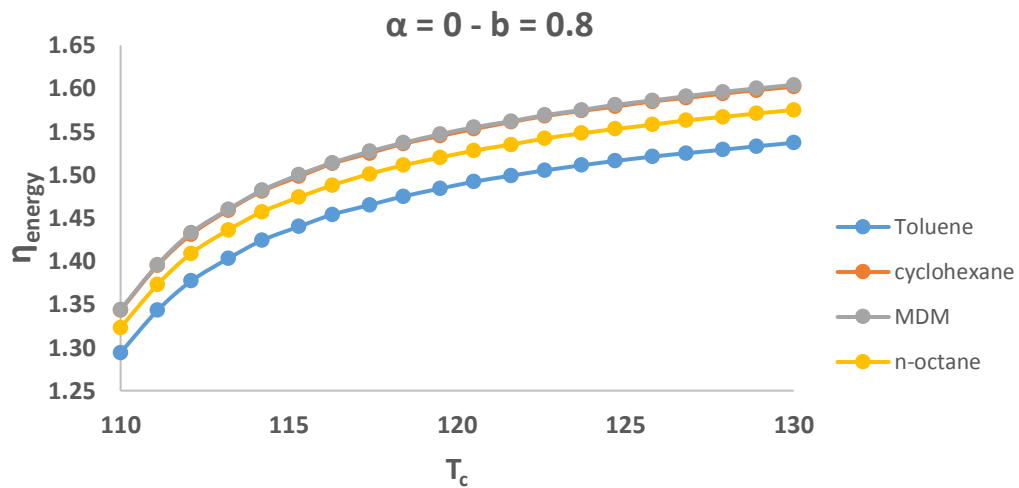
**Σχήμα 5.75: Θερμότητα εξόδου για το MDM για  $\alpha=0$  και για διάφορα  $b$ .**

Παρόμοια συμπεριφορά με την θερμότητα εξόδου έχει και ενεργειακός βαθμός απόδοσης

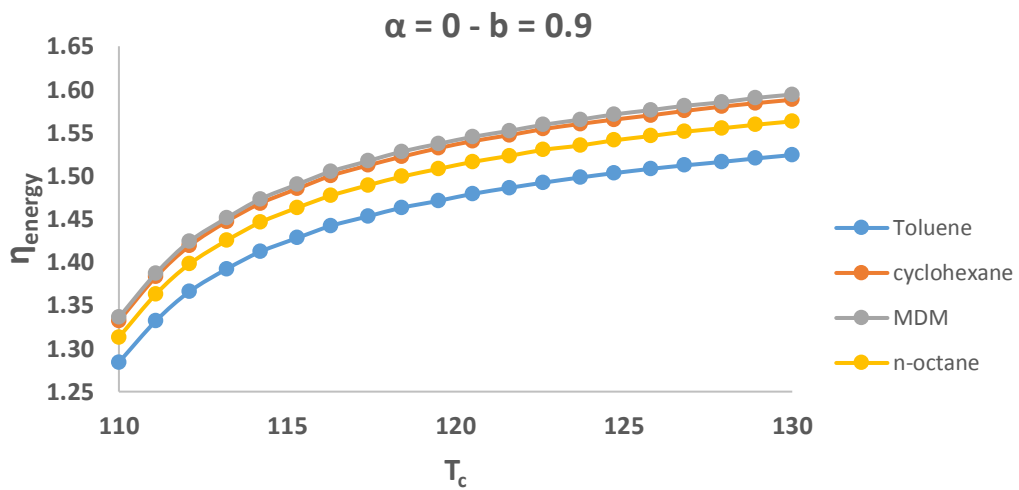


**Σχήμα 5.76: Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.**

Παρόμοια διαγράμματα έχουμε εδώ με αυτά που παρουσιάστηκαν προηγουμένως για τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης.

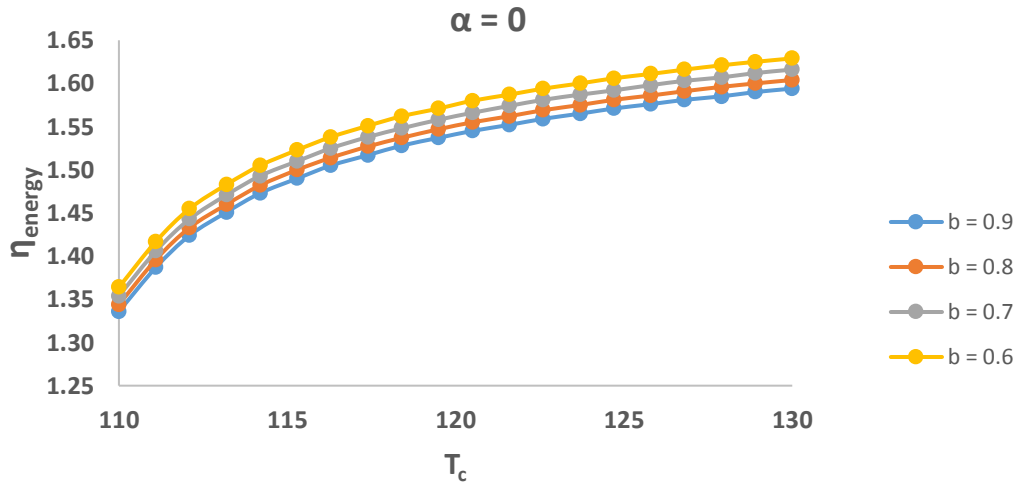


**Σχήμα 5.77:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.



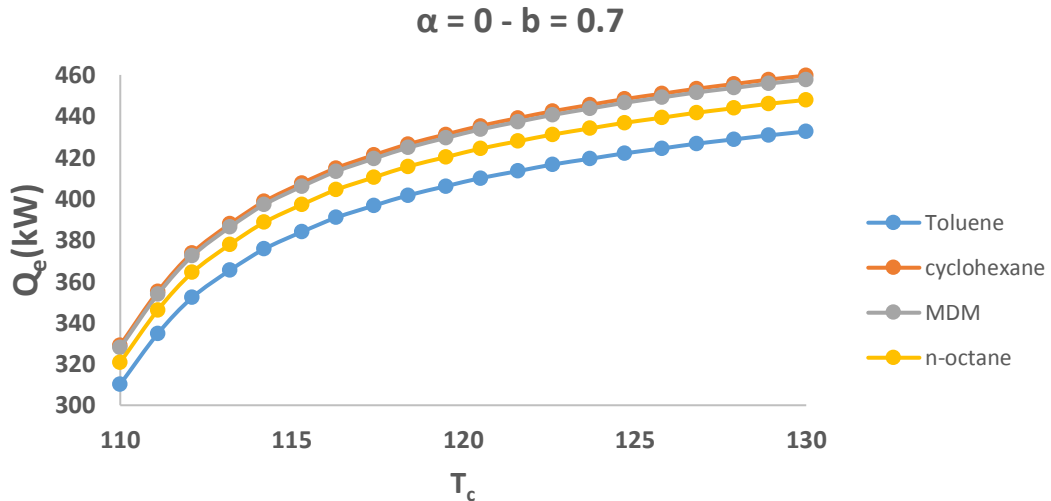
**Σχήμα 5.78:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για  $\alpha=0$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.





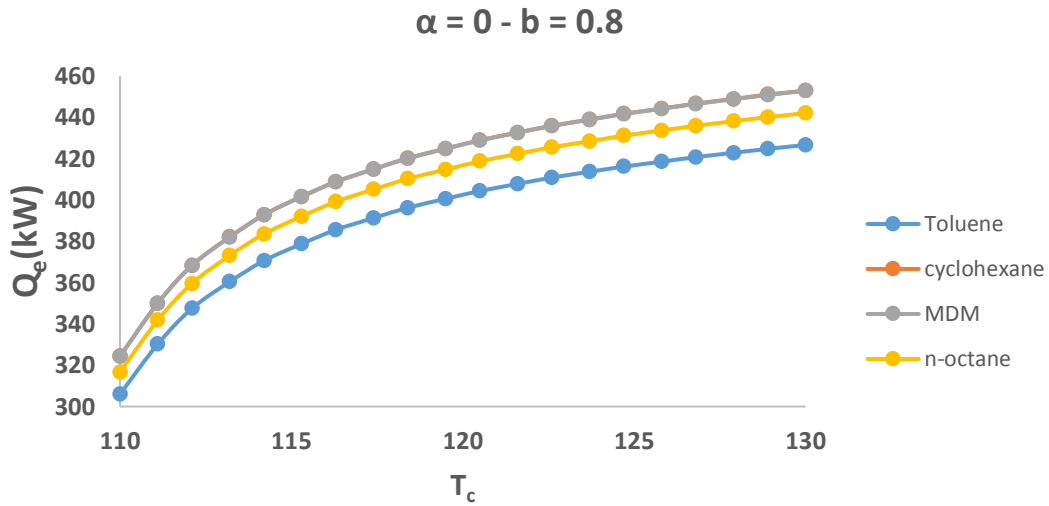
**Σχήμα 5.79:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης για το MDM για  $\alpha=0$  και για διάφορα  $b$

Παρόμοια συμπεριφορά με τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης έχει και η θερμότητα ψύξης.

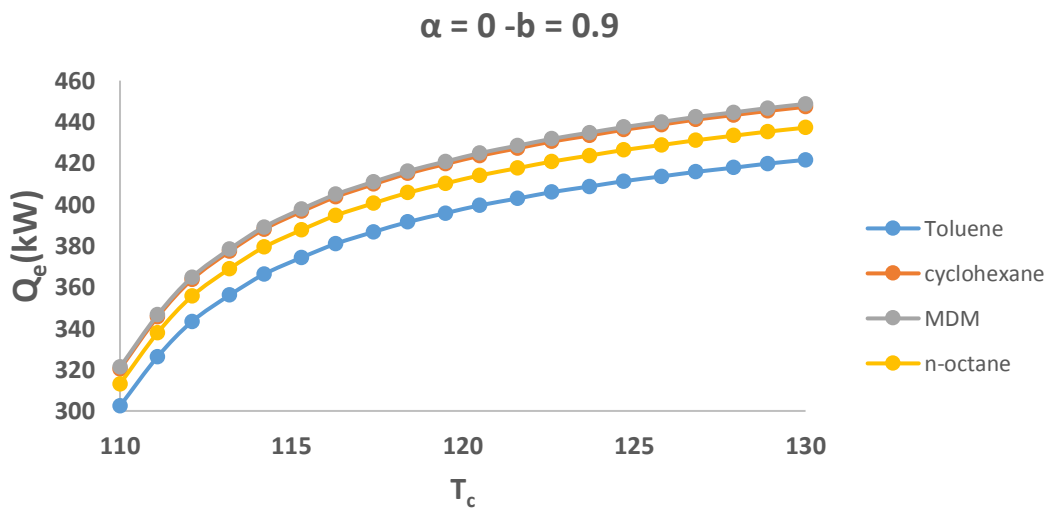


**Σχήμα 5.80:** Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0$  και  $b=0.7$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.

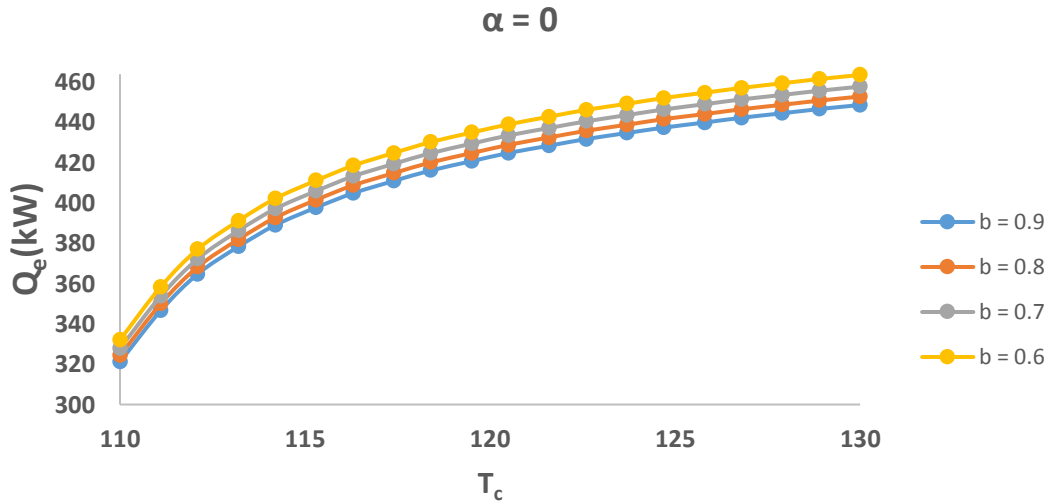
Παρόμοια διαγράμματα έχουμε εδώ με αυτά που παρουσιάστηκαν προηγουμένως για την θερμότητα ψύξης.



Σχήμα 5.81: Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0$  και  $b=0.8$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.



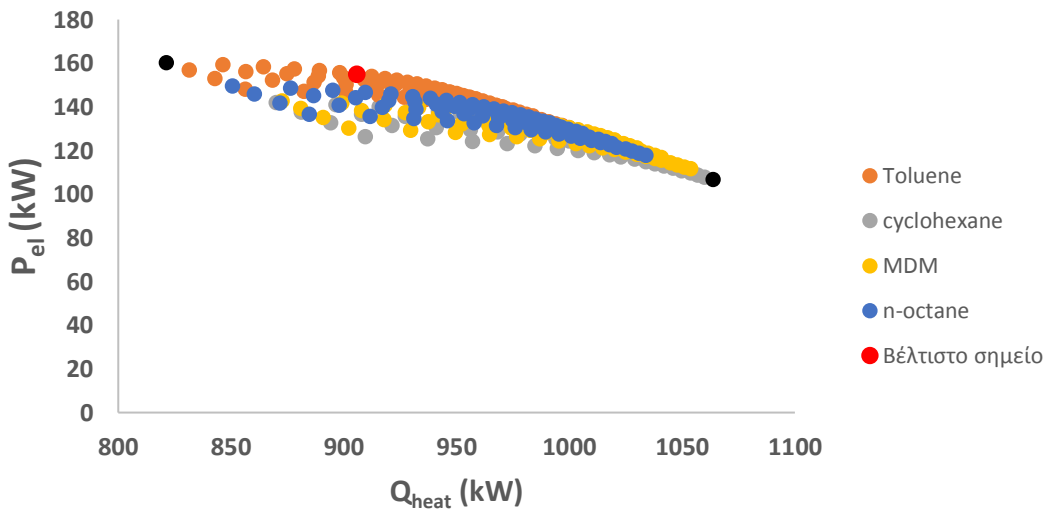
Σχήμα 5.82: Θερμότητα ψύξης για  $\alpha=0$  και  $b=0.9$  για διάφορα εργαζόμενα μέσα.



Σχήμα 5.83: Θερμότητα ψύξης για το MDM για  $\alpha=0$  και διάφορα  $b$ .

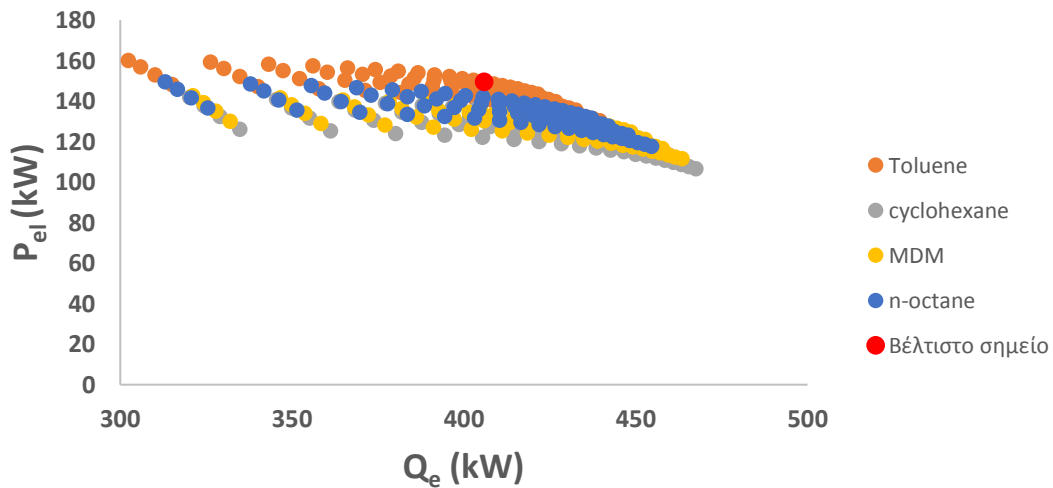
### 5.2-Βελτιστοποίηση

Εφαρμόζοντας την Pareto μέθοδο έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα



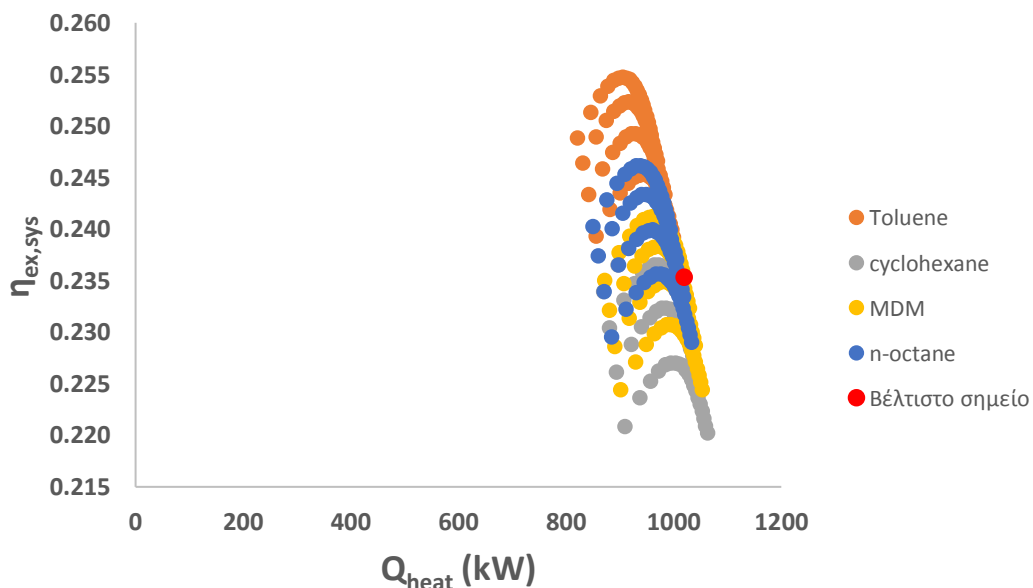
Σχήμα 5.84: Ηλεκτρική ισχύς και θερμότητα εξόδου.

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα την ηλεκτρική ισχύ και την θερμότητα θέρμανσης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του Τολουενίου. Επίσης επειδή η ηλεκτρική ισχύς και η θερμότητα θέρμανσης είναι μεταξύ τους αντιστρόφως ανάλογα η μορφή του παραπάνω σχήματος έχει τα κοίλα προς τα κάτω.



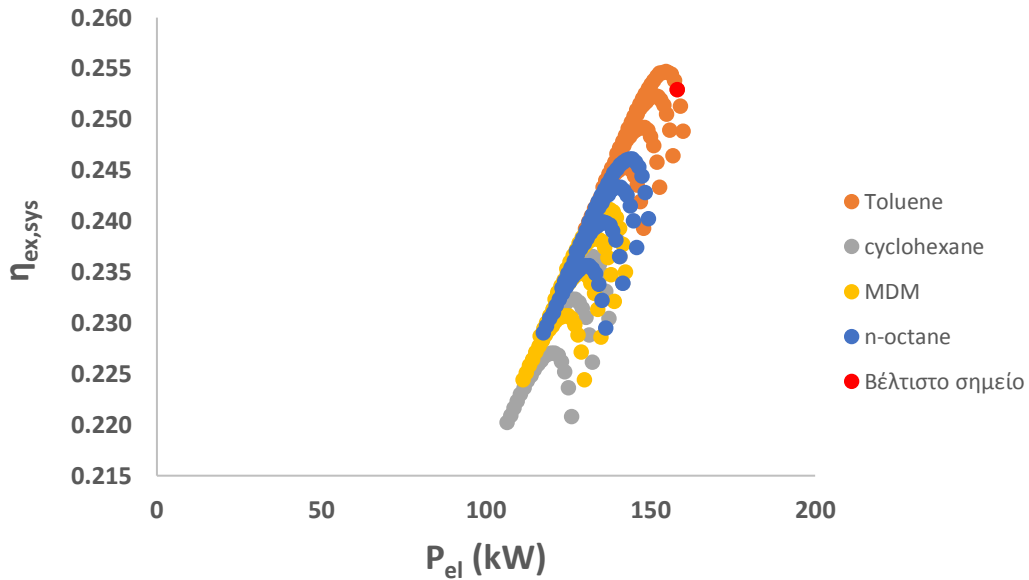
**Σχήμα 5.85: Ηλεκτρική ισχύς και θερμότητα ψύξης.**

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα την ηλεκτρική ισχύ και την θερμότητα ψύξης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του Τολουενίου. Πρέπει να αναφέρουμε ότι αν και η θερμότητα ψύξης είναι σαν είσοδος στο σύστημα είναι αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρική ισχύος έτσι το σχήμα στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω.



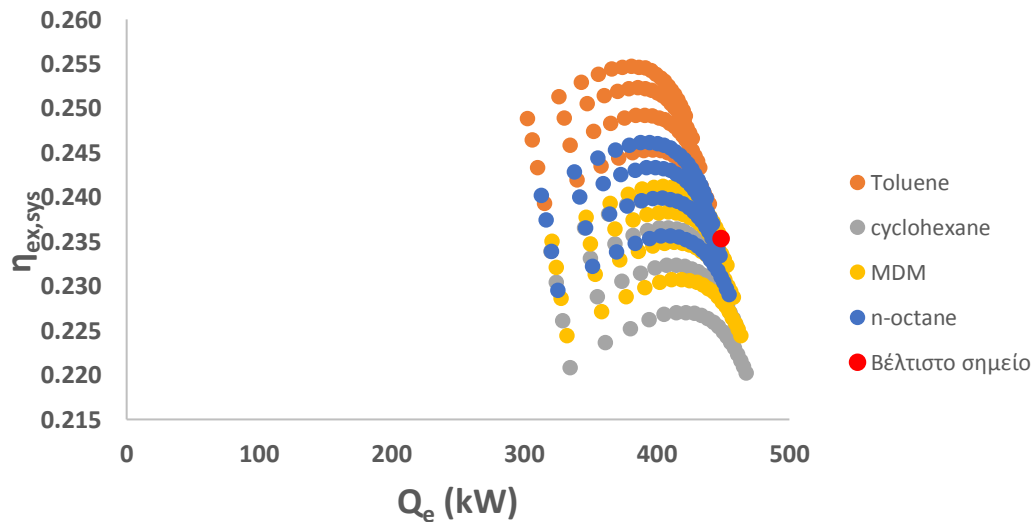
**Σχήμα 5.86: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης και θερμότητα εξόδου.**

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης και την θερμότητα θέρμανσης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του MDM. Το μέτωπο Pareto φαίνεται να είναι μια ευθεία με αρνητική κλίση έτσι εξάγουμε το συμπέρασμα ότι ο εξεργειακό βαθμός απόδοσης με την θερμότητα θέρμανσης έχουν μια γραμμική σχέση στο μέτωπο.



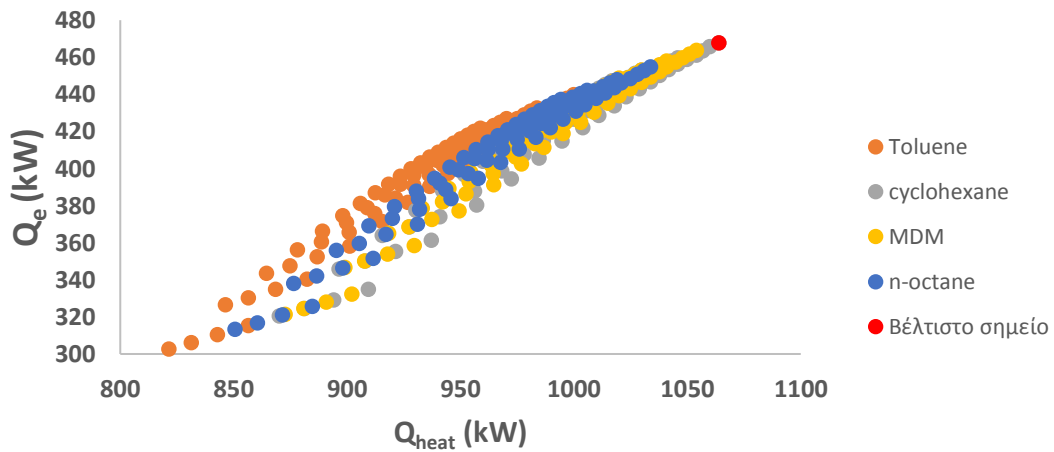
**Σχήμα 5.87:** Ηλεκτρική ισχύς εξόδου και εξεργειακός βαθμός απόδοσης

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα την ηλεκτρική ισχύς εξόδου και εξεργειακό βαθμό απόδοσης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του Τολουενίου.



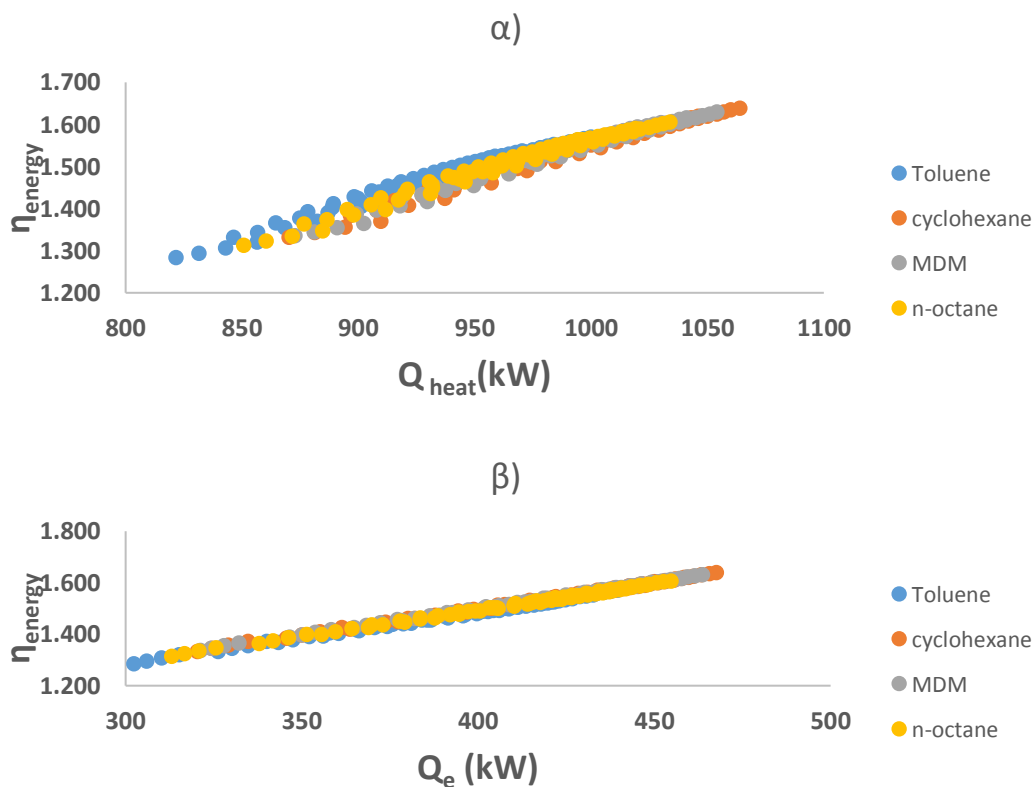
**Σχήμα 5.88:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης και θερμότητα ψύξης.

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης και την θερμότητα ψύξης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του MDM. Παρατηρείται και εδώ το μέτωπο Pareto να μοιάζει με ευθεία.

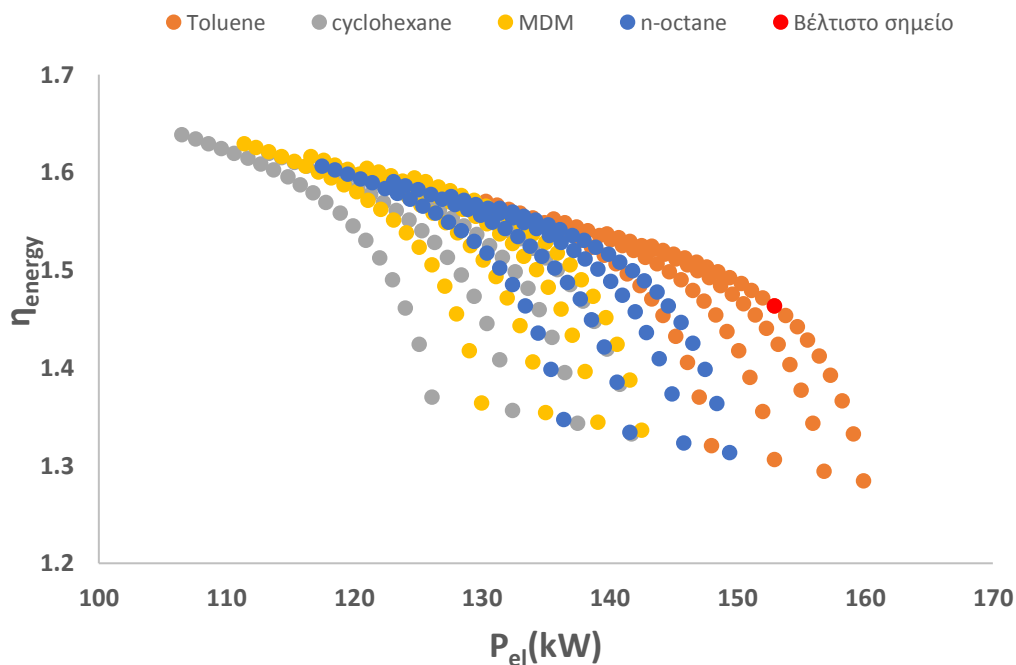


**Σχήμα 5.89: Θερμότητα θέρμανσης και θερμότητα ψύξης**

Το σημείο το οποίο βελτιστοποιεί ταυτόχρονα την θερμότητα θέρμανσης και την θερμότητα ψύξης σύμφωνα με την Pareto μεθοδολογία βρίσκεται σε τιμές του κυκλοεξάνιου. Παρακάτω για τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης συσναρτήση της θερμότητας ψύξης η θέρμανσης το Τολουένιο δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα χωτός Pareto μέτωπο.

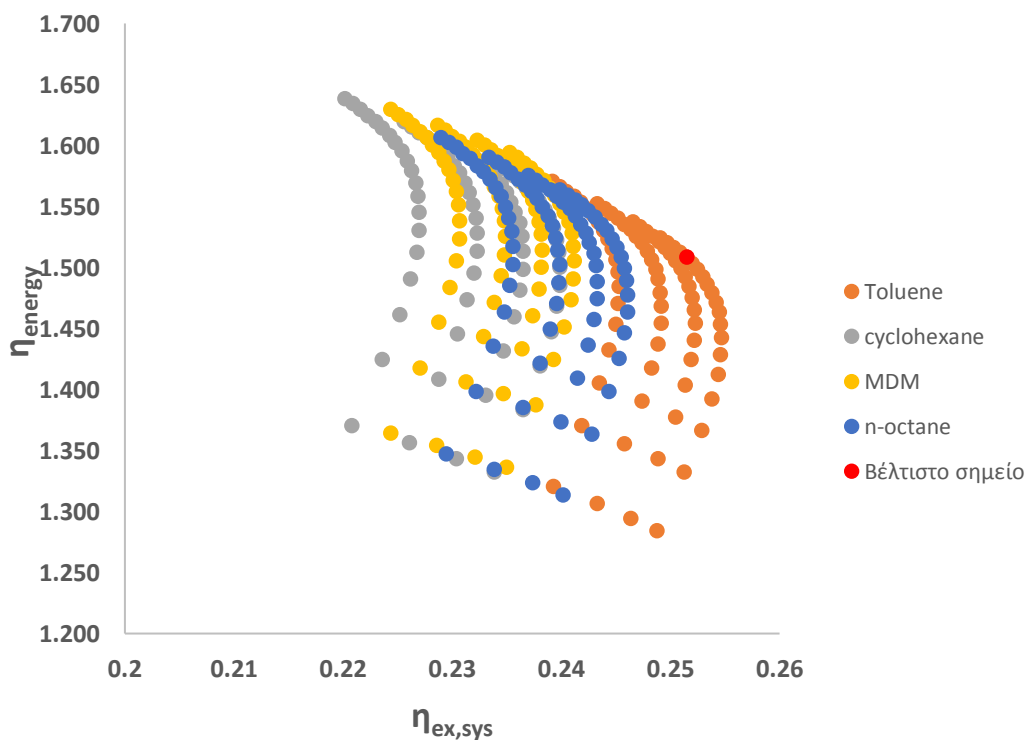


**Σχήμα 5.90: Ενεργειακός βαθμός απόδοσης ως συνάρτηση της α) θερμότητας ψύξης ή β) της θερμότητας θέρμανσης.**



Σχήμα 5.91: Ενεργειακός βαθμός απόδοσης και ηλεκτρικής ισχύς.

Το σημείο που βελτιστοποιεί ταυτόχρονα τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης και την ηλεκτρική ισχύ εξόδου κείται στην περιοχή του Τολουενίου. Αν και ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης και η ηλεκτρική ισχύς από τη σχέση που τους συνδέει είναι ανάλογα ποσά εδώ φαίνεται ότι το μέτωπο Pareto στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω, αυτό οφείλεται στο ότι υποθέσαμε σταθερά τα άλλα ποσά.



Σχήμα 5.92: Ενεργειακός και εξεργειακός βαθμός απόδοσης

Το σημείο που βελτιστοποιεί ταυτόχρονα τον ενεργειακό και εξεργειακό βαθμό απόδοσης βαθμό απόδοσης κείται στην περιοχή του Τολουενίου.

Συνοπτικά τα βέλτιστα σημεία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα που είναι συμμετρικός

Όπου(^) συμμετρικά σημεία.

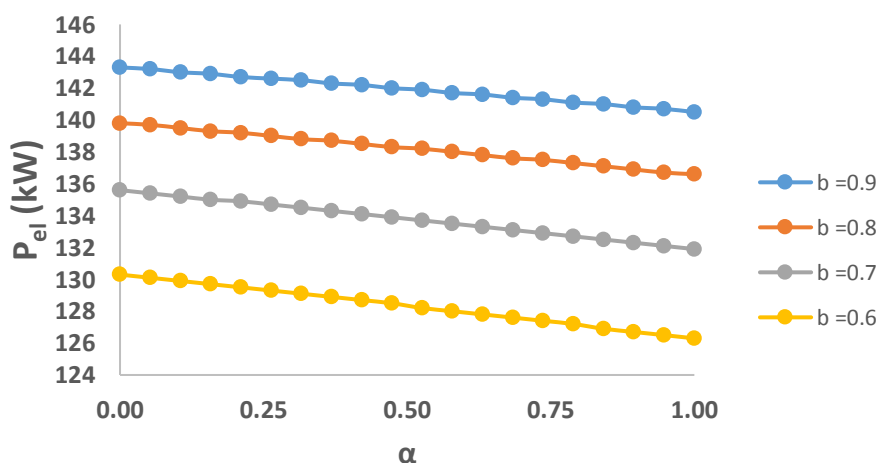
|                 | $\eta_{ex,sys}$ | $P_{el}$ | $Q_{heat}$ | $\eta_{energy}$ | $Q_e$       |
|-----------------|-----------------|----------|------------|-----------------|-------------|
| $\eta_{ex,sys}$ | -               | Toluene  | MDM        | Toluene         | MDM         |
| $P_{el}$        | ^               | -        | Toluene    | Toluene         | Toluene     |
| $Q_{heat}$      | ^               | ^        | -          | Toluene         | Cyclohexane |
| $\eta_{energy}$ | ^               | ^        | ^          | -               | Toluene     |
| $Q_e$           | ^               | ^        | ^          | ^               | -           |

**Πίνακας 5.51: Βέλτιστα εργαζόμενα μέσα ανά ζεύγος παραμέτρων.**

Παρατηρείται ότι το Τολουένιο δίνει 7 στις 10 περιπτώσεις το βέλτιστο αποτέλεσμα. Επίσης το Τολουένιο οδηγεί στην μεγιστοποίηση της παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος, κάτι αρκετά σημαντικό για τα συστήματα τριπαραγωγής. Έτσι λοιπόν επιλέγεται το Τολουένιο ως το πιο αποδοτικό εργαζόμενο μέσο με βάση θερμοδυναμικά κριτήρια.

### 5.3-Ανάλυση εργαζόμενου μέσου

Τα παραπάνω εξήχθησαν αλλάζοντας την θερμοκρασία εισόδου του εναλλάκτη και την μέγιστη πίεση. Το πιο αποδοτικό εργαζόμενο μέσο για τον ενεργειακό και εξεργειακό βαθμό απόδοσης είναι το Τολουένιο και σε αυτό έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα:



**Σχήμα 5.93: Ηλεκτρική ισχύς εξόδου σε συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=130^\circ\text{C}$**

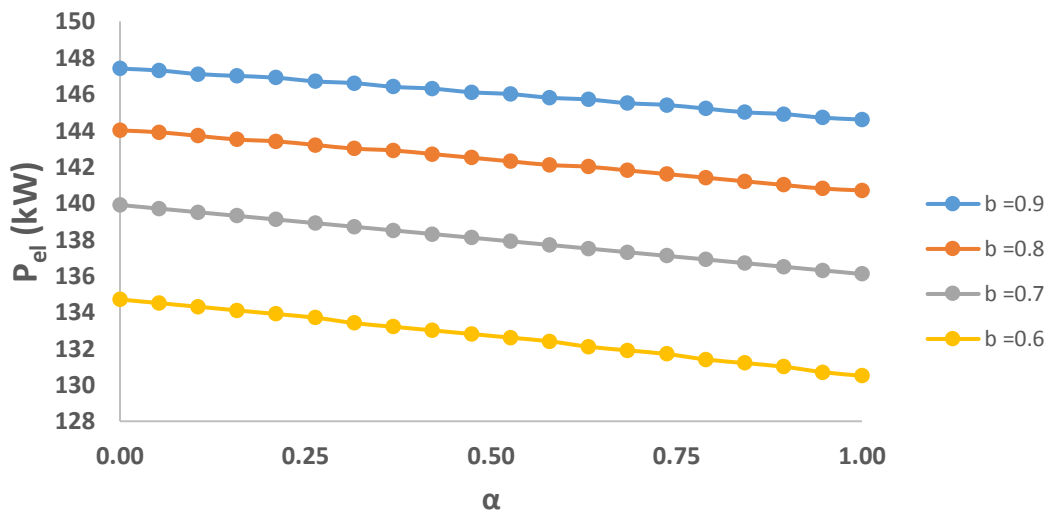
Φαίνεται παραπάνω η αρνητική κλίση της ευθείας της ηλεκτρικής ισχύος με την παράμετρο  $\alpha$ . Τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνει η τιμή  $b=0.9$ . Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα μέγιστα και οι κλίσεις των ευθειών για τέσσερις θερμοκρασίες.



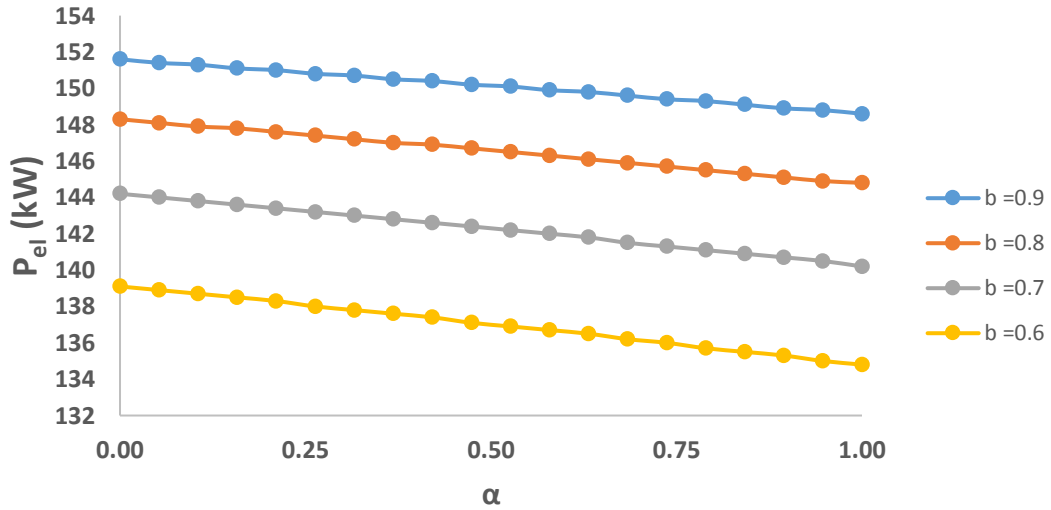
|                       |       | Θερμοκρασία συμπυκνωτή (°C) |        |        |        |
|-----------------------|-------|-----------------------------|--------|--------|--------|
|                       |       | 130                         | 125    | 120    | 110    |
| Κλίση<br>ευθείας      | b=0.6 | -4.000                      | -4.200 | -4.300 | -4.7   |
|                       | b=0.7 | -3.700                      | -3.800 | -4.000 | -4.300 |
|                       | b=0.8 | -3.200                      | -3.300 | -3.500 | -3.800 |
|                       | b=0.9 | -2.800                      | -2.800 | -3.000 | -3.100 |
| Μέγιστη<br>ισχύς (kW) | b=0.6 | 130.3                       | 134.7  | 139.1  | 148    |
|                       | b=0.7 | 135.6                       | 139.9  | 144.2  | 152.9  |
|                       | b=0.8 | 139.8                       | 144.0  | 148.3  | 156.8  |
|                       | b=0.9 | 143.3                       | 147.4  | 151.6  | 159.9  |

**Πίνακας 5.52:** Συγκεντρωτικός πίνακας για το Τολουένιο για την ηλεκτρική ισχύ

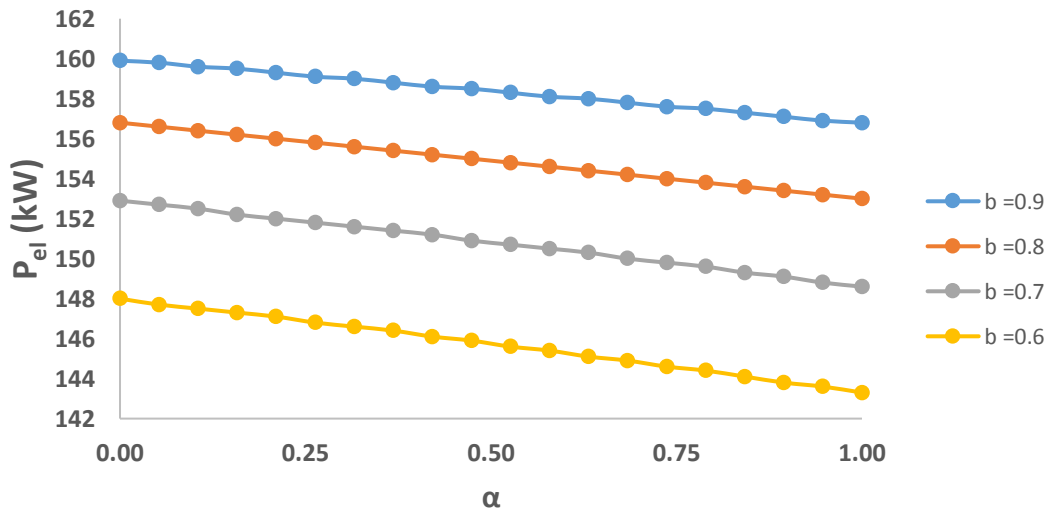
Φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ότι οι κλίσεις μειώνοντας την θερμοκρασία του συμπυκνωτή γίνονται αρνητικότερες. Το ίδιο συμβαίνει αν μειώσουμε το  $b$ . Όσον αφορά την μέγιστη ισχύ αυτή αυξάνεται με την αύξηση είτε του  $b$  είτε της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή. Αφού επιδιώκουμε θετικές κλίσεις, διότι θέλουμε μικρότερη διακύμανση τιμών με μεταβολές του  $\alpha$ , και μεγάλες τιμές γίνεται η παρατήρηση ότι η αύξηση του  $b$  βοηθάει στην επιδίωξη των στόχων προς την ίδια κατεύθυνση ενώ με την μείωση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή αυτή είναι αντίθετη. Παρακάτω παρατίθενται τα εν λόγω διαγράμματα.



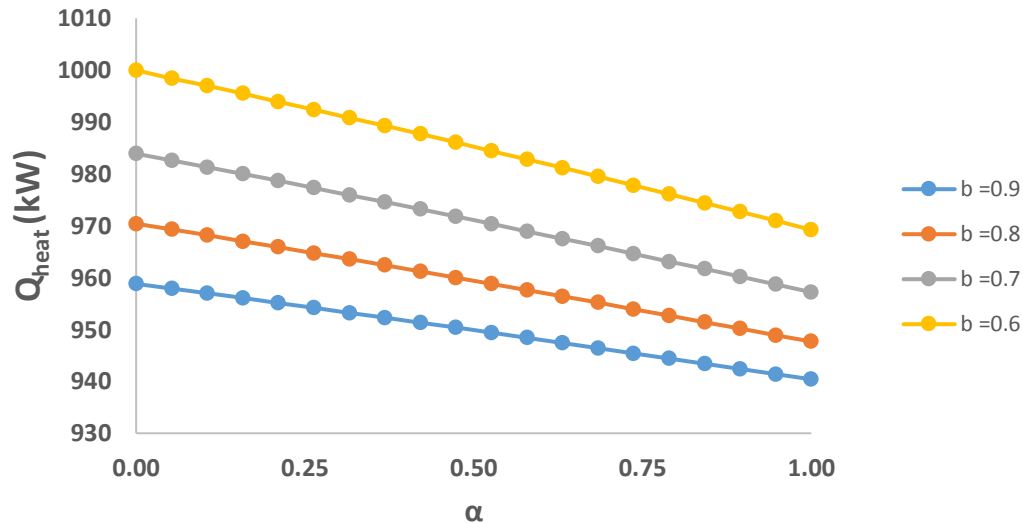
**Σχήμα 5.94:** Ηλεκτρική ισχύς εξόδου συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=125^\circ\text{C}$



Σχήμα 5.95: Ηλεκτρική ισχύς εξόδου συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=120^\circ\text{C}$



Σχήμα 5.96: Ηλεκτρική ισχύς εξόδου συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=110^\circ\text{C}$



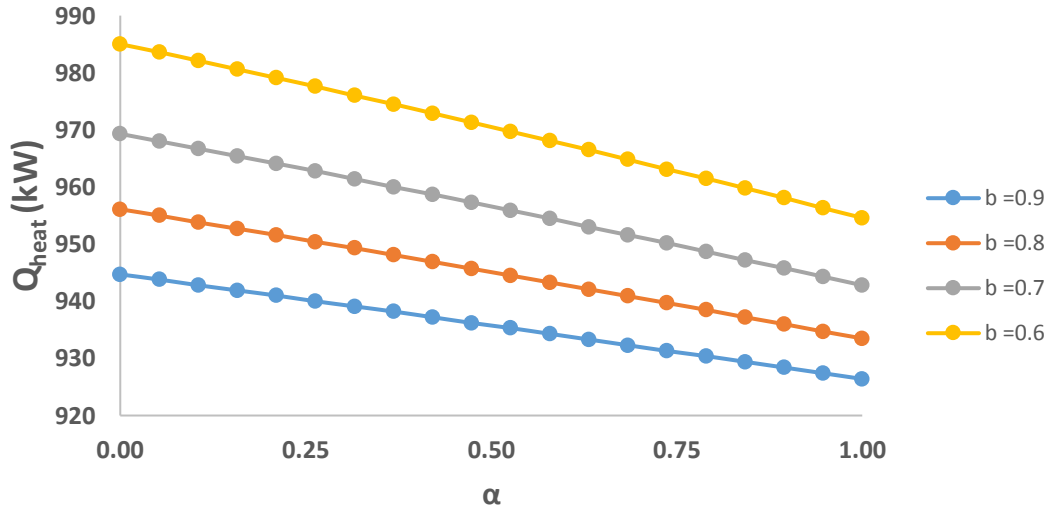
**Σχήμα 5.97: Θερμότητα θέρμανσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=130^\circ\text{C}$**

Φαίνεται παραπάνω η αρνητική κλίση της ευθείας της θερμότητας θέρμανσης με την παράμετρο  $\alpha$  τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνει η τιμή  $b=0.6$ . Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα μέγιστα και οι κλίσεις των ευθειών για τέσσερις θερμοκρασίες.

|                        |         | Θερμοκρασία συμπυκνωτή ( $^\circ\text{C}$ ) |        |        |        |
|------------------------|---------|---|--------|--------|--------|
|                        |         | 130   | 125    | 120    | 110    |
| Κλίση ευθείας          | $b=0.6$ | -30.80                                      | -30.40 | -30.00 | -26.90 |
|                        | $b=0.7$ | -26.70                                      | -26.50 | -26.10 | -23.50 |
|                        | $b=0.8$ | -22.70                                      | -22.60 | -22.30 | -20.10 |
|                        | $b=0.9$ | -18.40                                      | -18.30 | -18.10 | -16.30 |
| Μέγιστη θερμότητα (kW) | $b=0.6$ | 1000  | 985.0  | 965.5  | 856.5  |
|                        | $b=0.7$ | 983.9                                       | 969.3  | 950.1  | 842.9  |
|                        | $b=0.8$ | 970.4                                       | 956.1  | 937.2  | 831.5  |
|                        | $b=0.9$ | 958.8                                       | 944.7  | 926.0  | 821.6  |

**Πίνακας 5.53: Συγκεντρωτικός πίνακας για το Τολουένιο για την θερμότητα θέρμανσης.**

Φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ότι οι κλίσεις μειώνοντας την θερμοκρασία του συμπυκνωτή γίνονται θετικότερες. Το ίδιο συμβαίνει αν αυξήσουμε το  $b$ . Όσον αφορά την μέγιστη ισχύ αυτή αυξάνεται με την μείωση του  $b$  και την αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή. Αφού επιδιώκουμε θετικές κλίσεις, διότι θέλουμε μικρότερη διακύμανση τιμών με μεταβολές του  $\alpha$ , και μεγάλες τιμές γίνεται η παρατήρηση ότι η αύξηση του  $b$  βοηθάει την επιδίωξη των στόχων προς την αντίθετη κατεύθυνση ενώ με την μείωση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και αυτή είναι αντίθετη. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα από τα οποία εξήχθησαν οι παραπάνω τιμές.

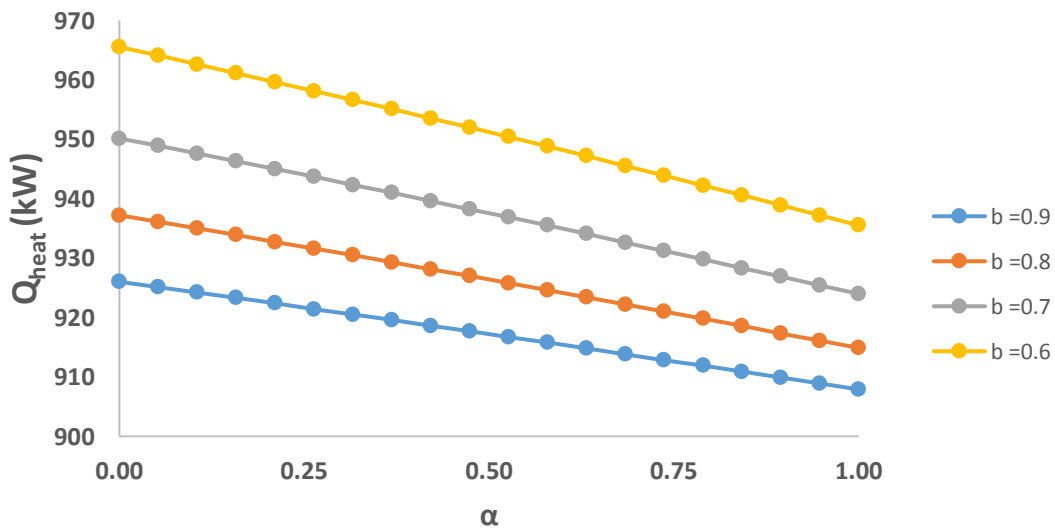


**Σχήμα 5.98:** Θερμότητα θέρμανσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=125^\circ\text{C}$

Παρακάτω φαίνονται τα μέσα ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών  $130-125^\circ\text{C}$ .

| Τιμές $b$ | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|-----------|-----------------------------|
| 0.6-0.7   | 2.076                       |
| 0.7-0.8   | 2.164                       |
| 0.8-0.9   | 2.232                       |

**Πίνακας 5.54:** Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών  $130-125^\circ\text{C}$  για την θερμότητα θέρμανσης.

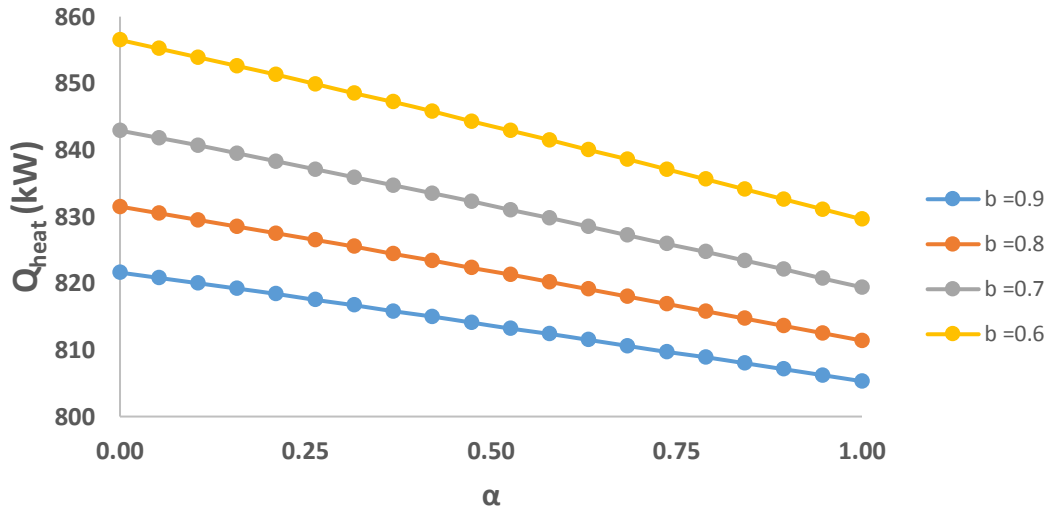


**Σχήμα 5.99:** Θερμότητα θέρμανσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=120^\circ\text{C}$

Παρακάτω φαίνονται τα μέσα ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών  $125-120^\circ\text{C}$

| Τιμές b | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|---------|-----------------------------|
| 0.6-0.7 | 2.227                       |
| 0.7-0.8 | 2.212                       |
| 0.8-0.9 | 1.581                       |

**Πίνακας 5.55:** Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 125-120°C για την θερμότητα θέρμανσης.

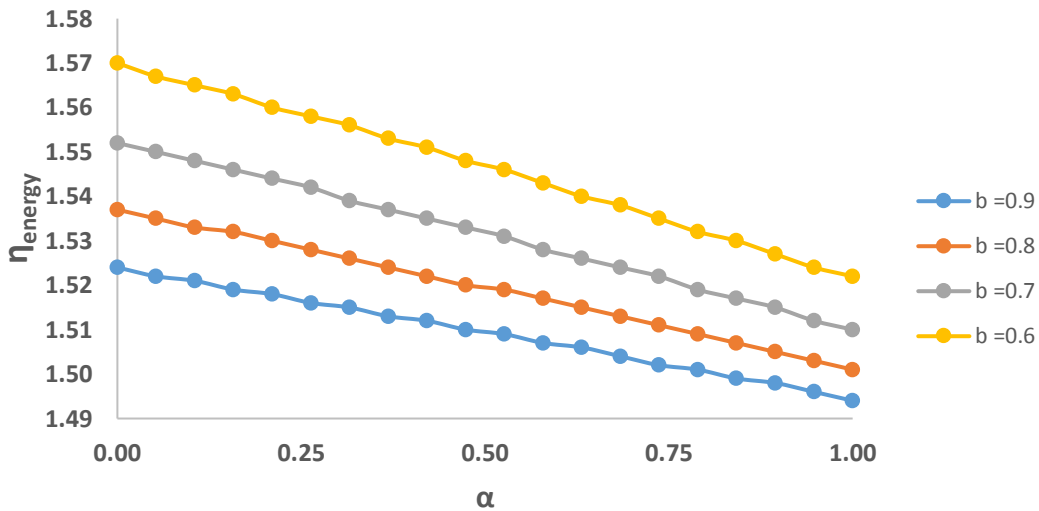


**Σχήμα 5.100:** Θερμότητα θέρμανσης συνάρτηση του α για διάφορα b για  $T_c=110^\circ\text{C}$

Παρακάτω φαίνονται τα μέσα ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 120-110°C

| Τιμές b | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|---------|-----------------------------|
| 0.6-0.7 | 11.50                       |
| 0.7-0.8 | 11.86                       |
| 0.8-0.9 | 12.23                       |

**Πίνακας 5.56:** Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 120-110°C για την θερμότητα θέρμανσης.



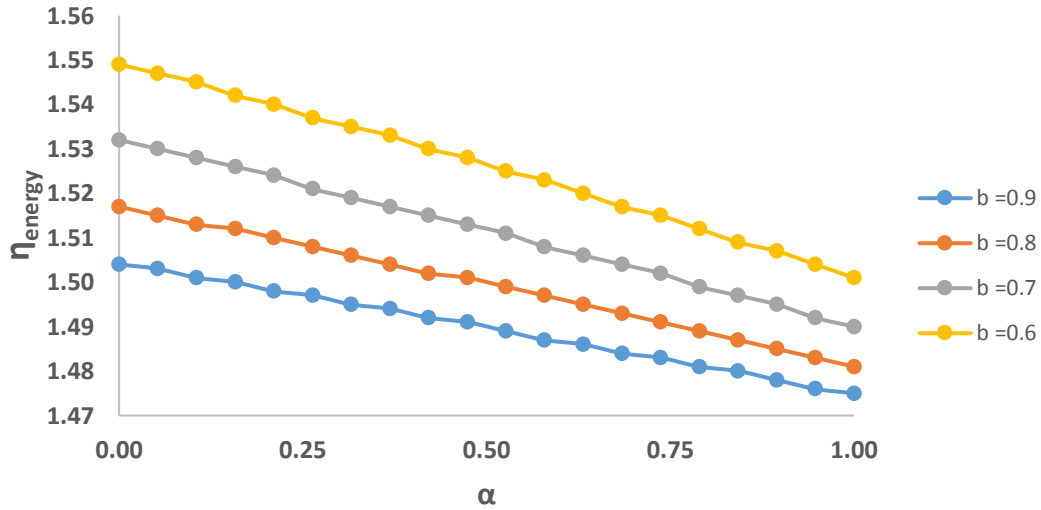
**Σχήμα 5.101:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=130^\circ\text{C}$

Φαίνεται παραπάνω η αρνητική κλίση της ευθείας του ενεργειακού βαθμού απόδοσης με την παράμετρο  $\alpha$  τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνει η τιμή  $b=0.6$ . Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα μέγιστα και οι κλίσεις των ευθειών για τέσσερις θερμοκρασίες

|                                      |         | Θερμοκρασία συμπυκνωτή ( $^\circ\text{C}$ ) |         |         |         |
|--------------------------------------|---------|---|---------|---------|---------|
|                                      |         | 130   | 125     | 120     | 110     |
| Κλίση ευθείας                        | $b=0.6$ | -0.0480                                     | -0.0480 | -0.0470 | -0.0420 |
|                                      | $b=0.7$ | -0.0420                                     | -0.0420 | -0.0410 | -0.0360 |
|                                      | $b=0.8$ | -0.0360                                     | -0.0360 | -0.0350 | -0.0310 |
|                                      | $b=0.9$ | -0.0300                                     | -0.0290 | -0.0280 | -0.0260 |
| Μέγιστος ενεργειακός βαθμός απόδοσης | $b=0.6$ | 1.570                                       | 1.549   | 1.519   | 1.320   |
|                                      | $b=0.7$ | 1.552                                       | 1.532   | 1.502   | 1.306   |
|                                      | $b=0.8$ | 1.537                                       | 1.517   | 1.488   | 1.294   |
|                                      | $b=0.9$ | 1.524                                       | 1.504   | 1.475   | 1.284   |

**Πίνακας 5.57:** Συγκεντρωτικός πίνακας για το Τολουένιο για τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης.

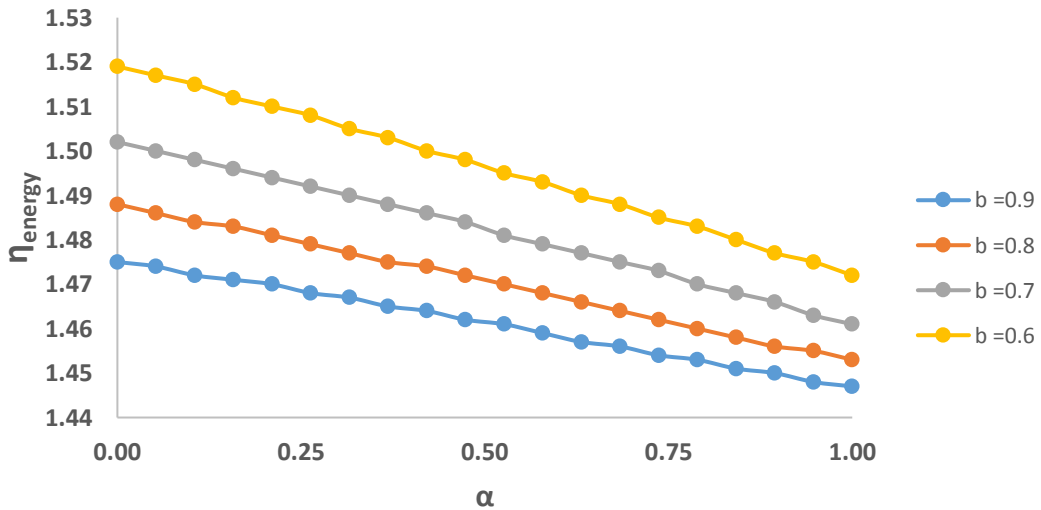
Φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ότι οι κλίσεις μειώνοντας την θερμοκρασία του συμπυκνωτή γίνονται θετικότερες. Το ίδιο συμβαίνει αν αυξήσουμε το  $b$ . Όσον αφορά την μέγιστη ισχύ αυτή αυξάνεται με την μείωση του  $b$  και την αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή. Αφού επιδιώκουμε θετικές κλίσεις, διότι θέλουμε μικρότερη διακύμανση τιμών με μεταβολές του  $\alpha$ , και μεγάλες τιμές γίνεται η παρατήρηση ότι η αύξηση του  $b$  βοηθάει την επιδίωξη των στόχων προς την αντίθετη κατεύθυνση ενώ με την μείωση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και αυτή είναι αντίθετη. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα από τα οποία εξήχθησαν οι παραπάνω τιμές.



Σχήμα 5.102: Ενεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=125^\circ\text{C}$

| Τιμές $b$ | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|-----------|-----------------------------|
| 0.6-0.7   | 6.944                       |
| 0.7-0.8   | 0                           |
| 0.8-0.9   | 7.143                       |

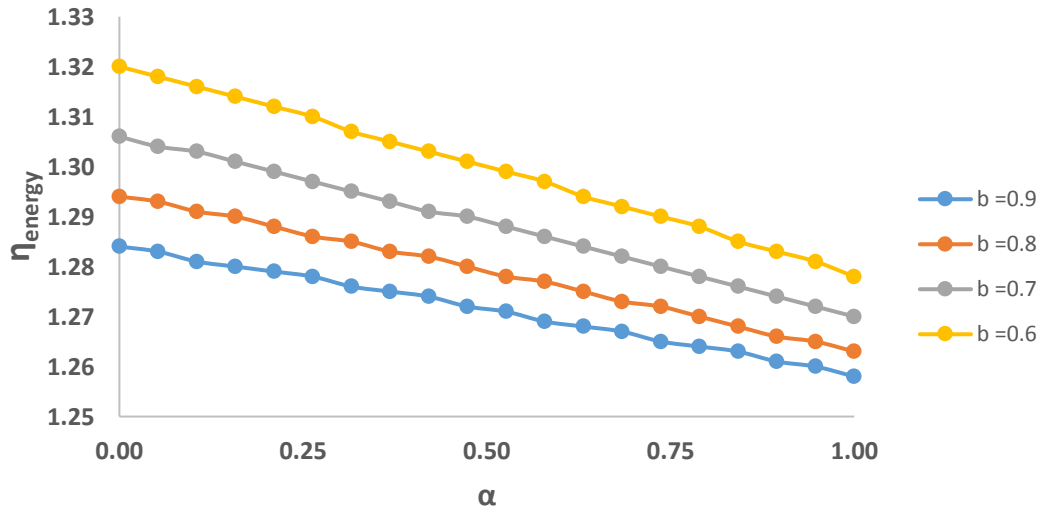
Πίνακας 5.58: Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 130-125°C για την θερμότητα θέρμανσης.



Σχήμα 5.103: Ενεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=120^\circ\text{C}$

| Τιμές b | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|---------|-----------------------------|
| 0.6-0.7 | 0                           |
| 0.7-0.8 | 8.889                       |
| 0.8-0.9 | 0                           |

**Πίνακας 5.59:** Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 125-120°C για την θερμότητα θέρμανσης

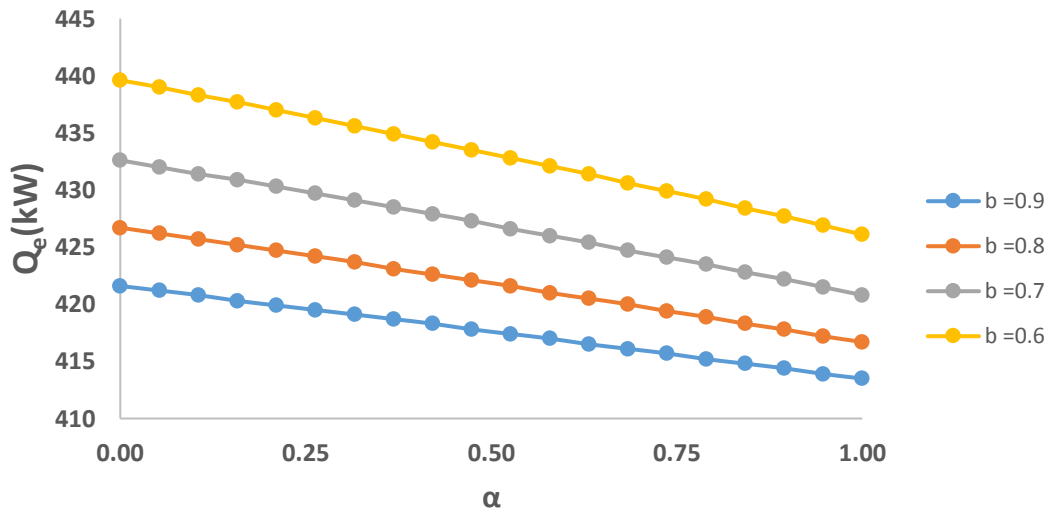


**Σχήμα 5.104:** Ενεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του α για διάφορα b για  $T_c=110^\circ\text{C}$

| Τιμές b | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|---------|-----------------------------|
| 0.6-0.7 | 22.46                       |
| 0.7-0.8 | 13.40                       |
| 0.8-0.9 | 19.87                       |

**Πίνακας 5.60:** Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 120-110°C για την θερμότητα θέρμανσης





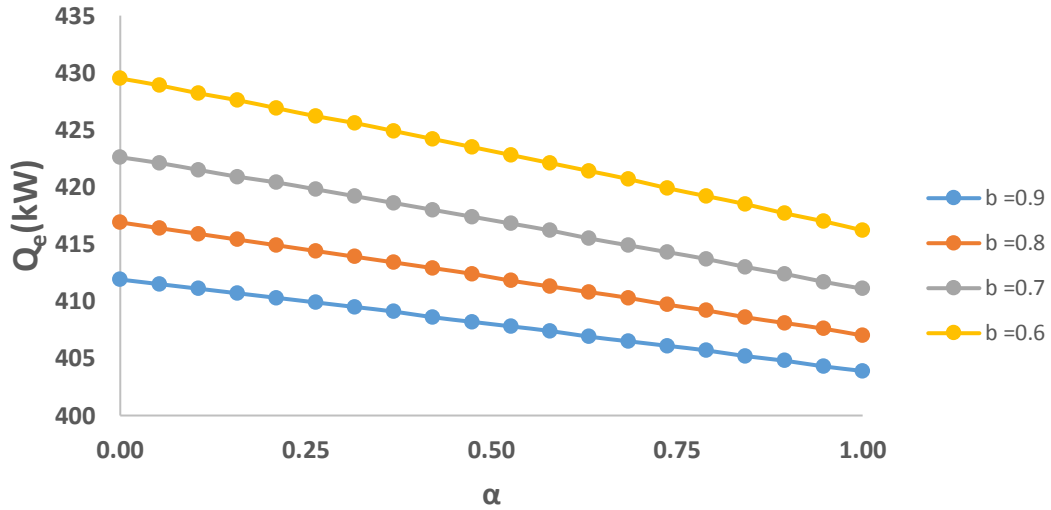
**Σχήμα 5.105: Θερμότητα ψύξης συνάρτηση του α για διάφορα b για T<sub>c</sub>=130°C**

Φαίνεται παραπάνω η αρνητική κλίση της ευθείας της θερμότητας ψύξης με την παράμετρο α τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνει η τιμή b=0.6. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα μέγιστα και οι κλίσεις των ευθειών για τέσσερις θερμοκρασίες.

|                              |       | Θερμοκρασία συμπυκνωτή (°C) |        |        |        |
|------------------------------|-------|-----------------------------|--------|--------|--------|
|                              |       | 130                         | 125    | 120    | 110    |
| Κλίση ευθείας                | b=0.6 | -13.50                      | -13.30 | -12.90 | -9.900 |
|                              | b=0.7 | -11.80                      | -11.50 | -11.20 | -8.600 |
|                              | b=0.8 | -10.00                      | -9.900 | -9.50  | -7.400 |
|                              | b=0.9 | -8.100                      | -8.000 | -7.70  | -6.000 |
| Μέγιστη θερμότητα ψύξης (Kw) | b=0.6 | 439.6                       | 429.5  | 414.7  | 315.2  |
|                              | b=0.7 | 432.6                       | 422.6  | 408.1  | 310.2  |
|                              | b=0.8 | 426.7                       | 416.9  | 402.5  | 306.0  |
|                              | b=0.9 | 421.6                       | 411.9  | 397.7  | 302.4  |

**Πίνακας 5.61: Συγκεντρωτικός πίνακας για το Τολουένιο για τον θερμότητα ψύξης.**

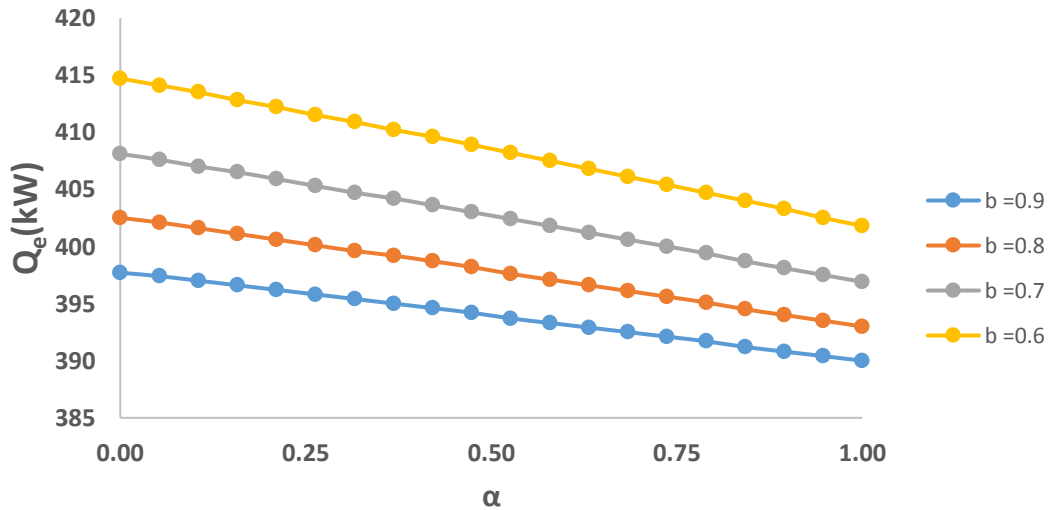
Φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ότι οι κλίσεις μειώνοντας την θερμοκρασία του συμπυκνωτή γίνονται θετικότερες. Το ίδιο συμβαίνει αν αυξήσουμε το b. Όσον αφορά την μέγιστη ισχύ αυτή αυξάνεται με την μείωση του b και την αύξηση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή. Αφού επιδιώκουμε θετικές κλίσεις, διότι θέλουμε μικρότερη διακύμανση τιμών με μεταβολές του α, και μεγάλες τιμές γίνεται η παρατήρηση ότι η αύξηση του b βοηθάει την επιδίωξη των στόχων προς την αντίθετη κατεύθυνση ενώ με την μείωση της θερμοκρασίας του συμπυκνωτή και αυτή είναι αντίθετη. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα από τα οποία εξήχθησαν οι παραπάνω τιμές.



Σχήμα 5.106: Θερμότητα ψύξης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=125^\circ\text{C}$

| Τιμές $b$ | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|-----------|-----------------------------|
| 0.6-0.7   | 2.601                       |
| 0.7-0.8   | 1.695                       |
| 0.8-0.9   | 2.543                       |

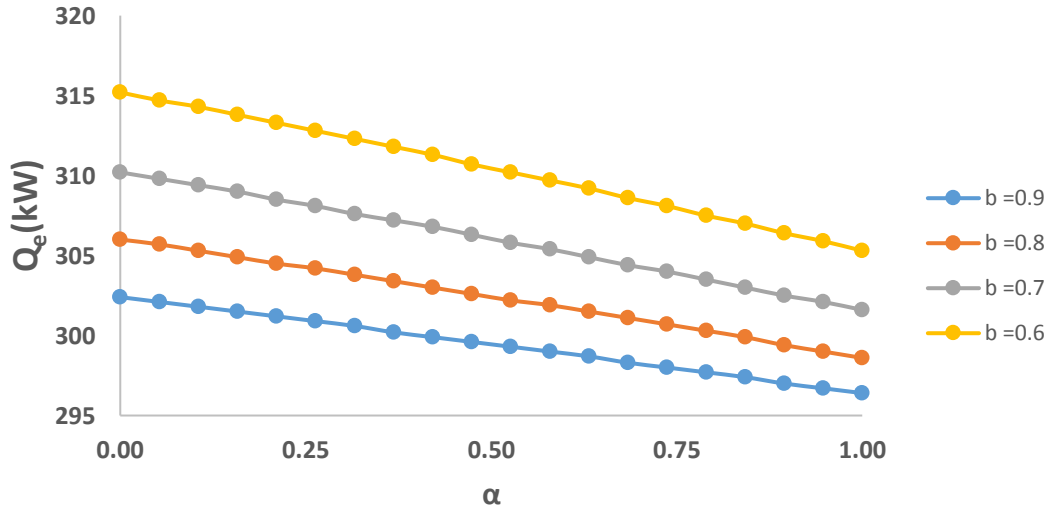
Πίνακας 5.62: Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 130-125°C για την θερμότητα θέρμανσης



Σχήμα 5.107: Θερμότητα ψύξης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=120^\circ\text{C}$

| Τιμές $b$ | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|-----------|-----------------------------|
| 0.6-0.7   | 4.135                       |
| 0.7-0.8   | 3.316                       |
| 0.8-0.9   | 3.613                       |

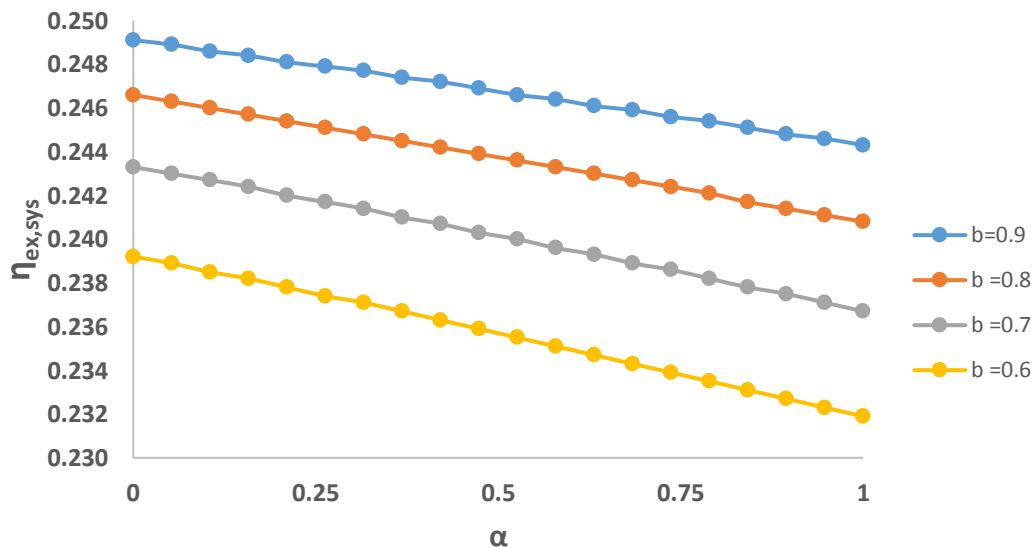
Πίνακας 5.63: Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 125-120°C για την θερμότητα θέρμανσης



Σχήμα 5.108: Θερμότητα ψύξης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=110^\circ\text{C}$

| Τιμές $b$ | Ποσοστό μείωσης αποστάσεων% |
|-----------|-----------------------------|
| 0.6-0.7   | 24.37                       |
| 0.7-0.8   | 24.04                       |
| 0.8-0.9   | 25.83                       |

Πίνακας 5.64: Ποσοστά μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των θερμοκρασιών 120-110°C για την θερμότητα θέρμανσης



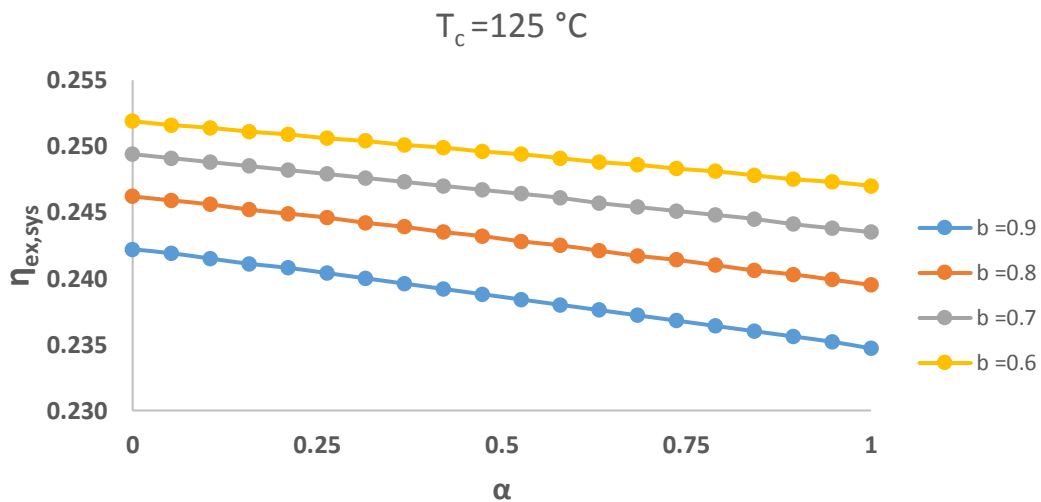
Σχήμα 5.109: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=130^\circ\text{C}$

Φαίνεται παραπάνω η αρνητική κλίση της ευθείας του εξεργειακού βαθμού απόδοσης με την παράμετρο  $\alpha$  τα καλύτερα αποτελέσματα τα δίνει η τιμή  $b=0.9$ . Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα μέγιστα και οι κλίσεις των ευθειών για τέσσερις θερμοκρασίες

|   |       | Θερμοκρασία συμπυκνωτή (°C) |         |         |         |
|---|-------|-----------------------------|---------|---------|---------|
|   |       | 130                         | 125     | 120     | 110     |
| Κλίση<br>ευθείας                              | b=0.6 | -0.0058                     | -0.0075 | -0.0049 | -0.0075 |
|   | b=0.7 | -0.0066                     | -0.0067 | -0.0060 | -0.0068 |
|   | b=0.8 | -0.0073                     | -0.0059 | -0.0069 | -0.0060 |
|   | b=0.9 | -0.0048                     | -0.0049 | -0.0076 | -0.0049 |
| Μέγιστος<br>εξεργειακός<br>Βαθμός<br>απόδοσης | b=0.6 | 0.2466                      | 0.2422  | 0.2540  | 0.2393  |
|   | b=0.7 | 0.2433                      | 0.2462  | 0.2516  | 0.2433  |
|   | b=0.8 | 0.2392                      | 0.2494  | 0.2485  | 0.2464  |
|   | b=0.9 | 0.2491                      | 0.2519  | 0.2495  | 0.2488  |

**Πίνακας 5.65:** Συγκεντρωτικός πίνακας για το Τολουένιο για τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης.

Οι παραπάνω τιμές του πίνακα έχουν ακανόνιστη συμπεριφορά έτσι δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα από αυτές. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα από τα οποία πήραμε τις παραπάνω τιμές.

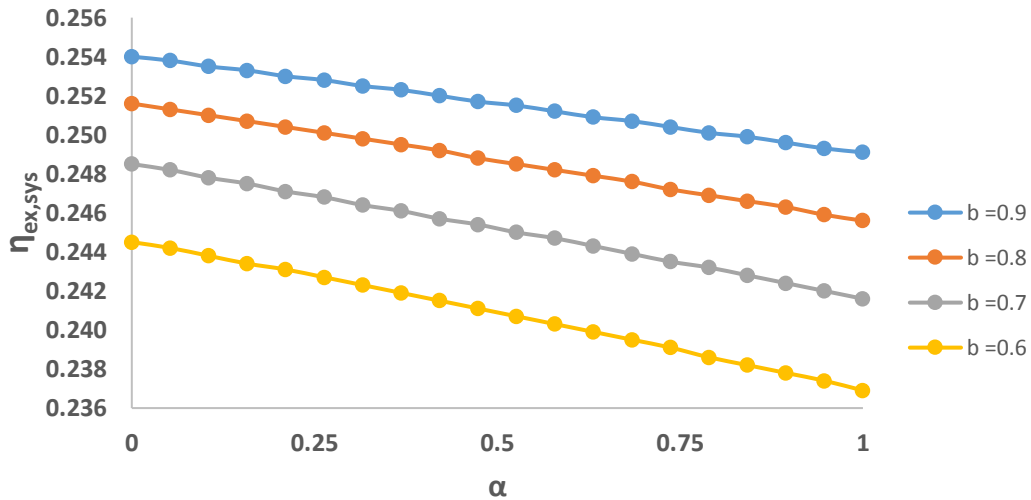


**Σχήμα 5.110:** Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=125^\circ\text{C}$

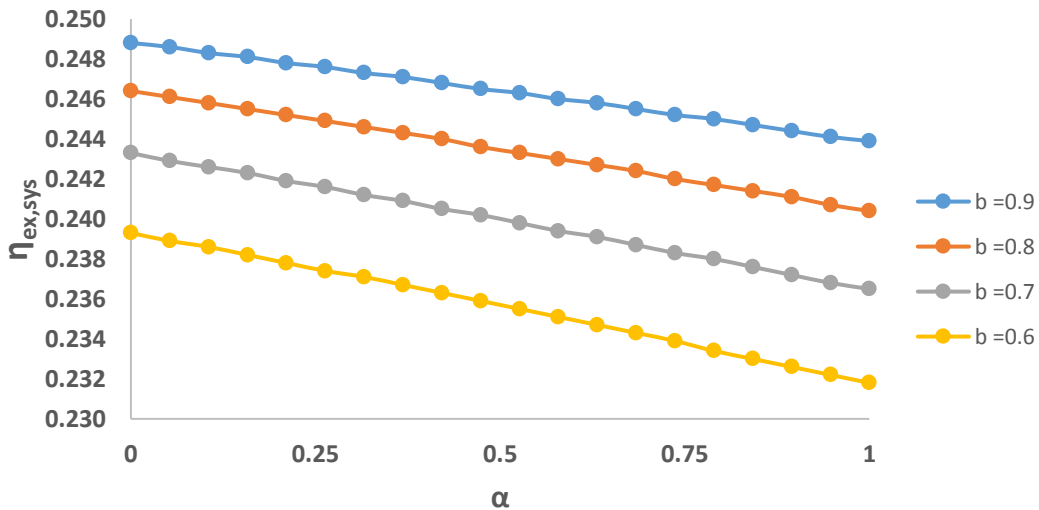
Επειδή οι τιμές των μεγίστων αυξομειώνονται συνεχώς. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της κλίσης για να δειχθούν οι αλλαγές των διαγραμμάτων ανά θερμοκρασία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορές των κλίσεων ανά σειρά  $b$  όταν είναι θετικές οι καμπύλες αποκλίνουν μεταξύ τους το αντίθετο συμβαίνει όταν είναι αρνητικές

|                 |         | Θερμοκρασία συμπυκνωτή °C |         |         |        |         |
|-----------------|---------|---------------------------|---------|---------|--------|---------|
|                 |         | Τιμές b                   | 130     | 125     | 120    | 110     |
| Διαφορά κλίσεων | 0.6-0.7 |                           | 0.0008  | -0.0008 | 0.0011 | -0.0007 |
|                 | 0.7-0.8 |                           | 0.0007  | -0.0008 | 0.0009 | -0.0008 |
|                 | 0.8-0.9 |                           | -0.0025 | -0.0010 | 0.0007 | -0.0011 |

Πίνακας 5.66: Διαφορές κλίσεων για εξεργειακός βαθμό απόδοσης.

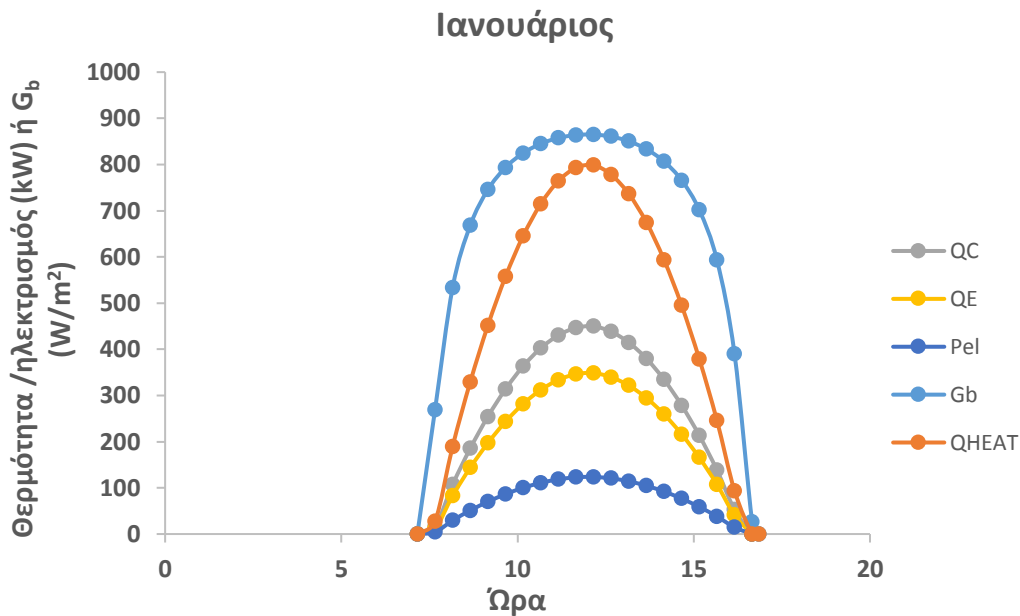


Σχήμα 5.111: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=120^\circ\text{C}$



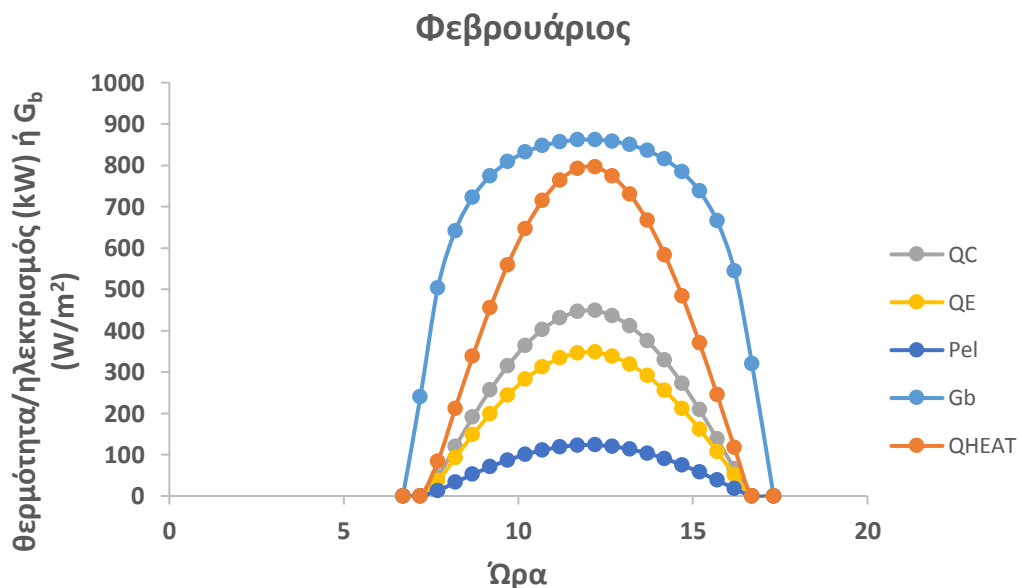
Σχήμα 5.112: Εξεργειακός βαθμός απόδοσης συνάρτηση του  $\alpha$  για διάφορα  $b$  για  $T_c=110^\circ\text{C}$

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την χρονική απόκριση του συστήματος



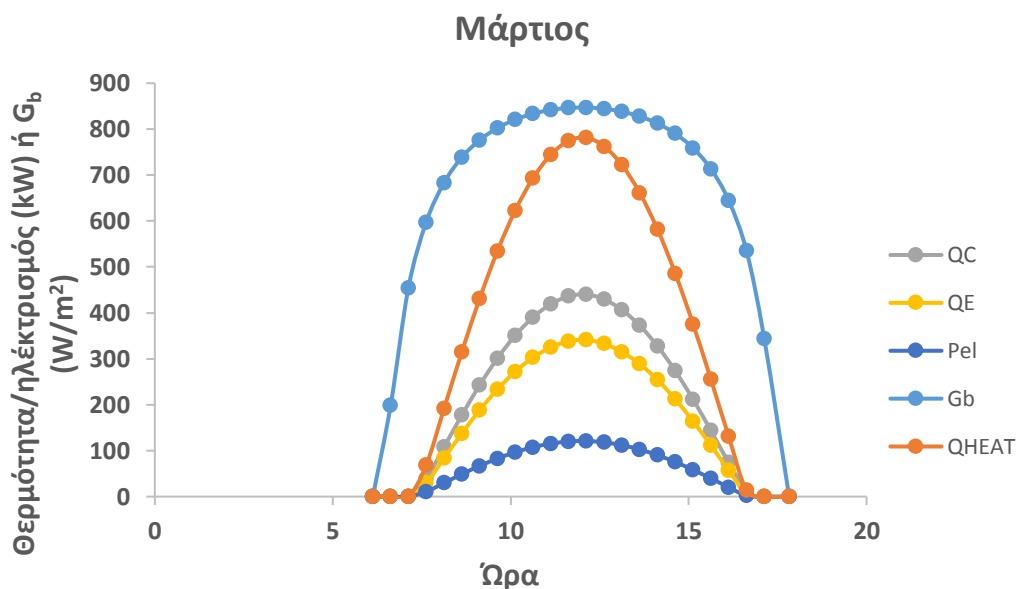
**Σχήμα 5.113: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Ιανουάριο.**

Παρατηρείται ότι η θερμότητα θέρμανσης ( $Q_{heat}$ ) είναι σχεδόν διπλάσια από την θερμότητα ψύξης ( $Q_E$ ). Επίσης η θερμότητα του συμπυκνωτή ( $Q_C$ ) είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ εξόδου ( $P_{el}$ ).



**Σχήμα 5.114: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Φεβρουάριο.**

Το διάγραμμα έχει την ίδια μορφή με το προηγούμενο σχήμα όμως οι καμπύλες είναι πιο πεπλατυσμένες καθώς μεγαλώνει η ημέρα. Τα μέγιστα δεν διαφέρουν πάνω από 3 μονάδες. Επίσης φαίνεται ότι για τις πρώτες πρωινές ώρες καθώς για τις τελευταίες βραδινές το σύστημα έχει μηδενικές τιμές εξόδου αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει κάποιο κατώτατο όριο για να λειτουργήσουν οι ηλιακή συλλέκτες.

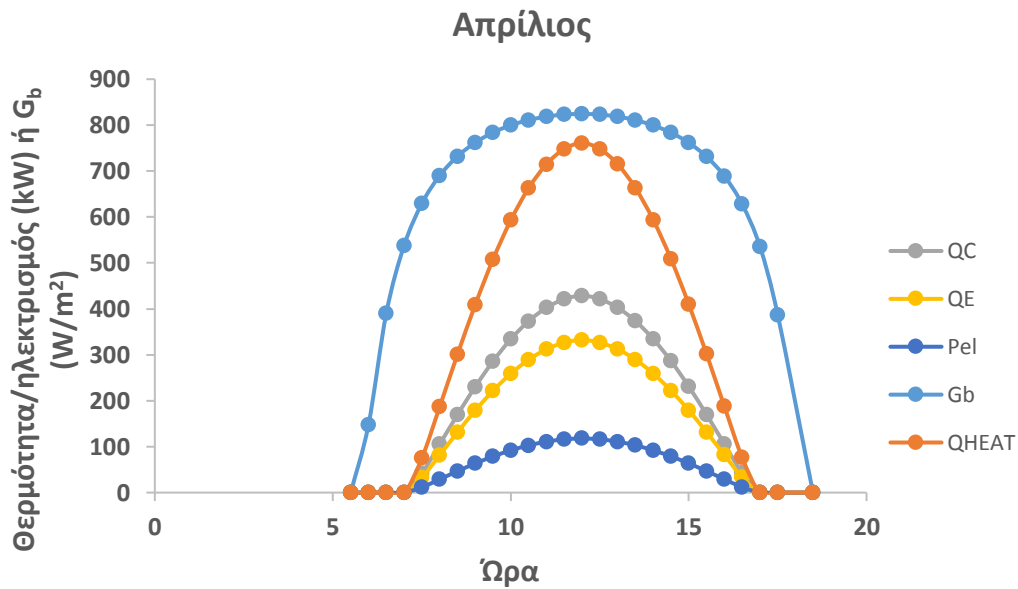


**Σχήμα 5.115: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Μάρτιο.**

Έχουμε και εδώ παρόμοιο σχήμα, όμως το σχήμα είναι πιο πεπλατυσμένο και τα μέγιστα για τις εξόδους τείνουν να πέσουν περισσότερο από πριν όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα

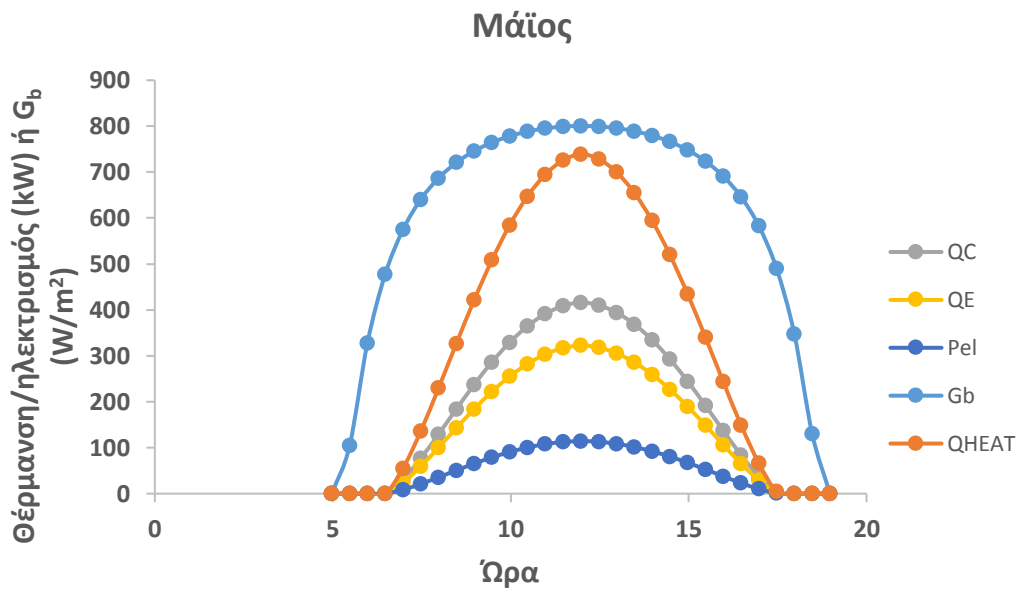
|             | Μέγιστα (kW)   |                |                 |                   |
|-------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|
|             | Q <sub>C</sub> | Q <sub>E</sub> | P <sub>el</sub> | Q <sub>HEAT</sub> |
| Ιανουάριος  | 449.6          | 348.6          | 123.7           | 798.3             |
| Φεβρουάριος | 448.2          | 347.5          | 123.3           | 795.6             |
| Μάρτιος     | 440.2          | 341.4          | 121.1           | 781.6             |
| Απρίλιος    | 428.7          | 332.4          | 117.9           | 761.1             |
| Μάιος       | 416.1          | 322.7          | 114.5           | 738.8             |
| Ιούνιος     | 407.8          | 316.2          | 112.2           | 723.9             |
| Ιούλιος     | 302.5          | 390.1          | 107.3           | 692.6             |
| Αύγουστος   | 322.7          | 416.2          | 114.5           | 738.9             |
| Σεπτέμβριος | 331.4          | 427.4          | 117.6           | 758.8             |
| Οκτώβριος   | 337.4          | 435.2          | 119.7           | 772.6             |
| Νοέμβριος   | 340.3          | 438.9          | 120.7           | 779.2             |
| Δεκέμβριος  | 339.4          | 437.8          | 120.4           | 776.5             |

**Πίνακας 5.57: Μέγιστες τιμές εξόδου συστήματος για την μέση ημέρα κάθε μήνα.**



**Σχήμα 5.116: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Απρίλιο.**

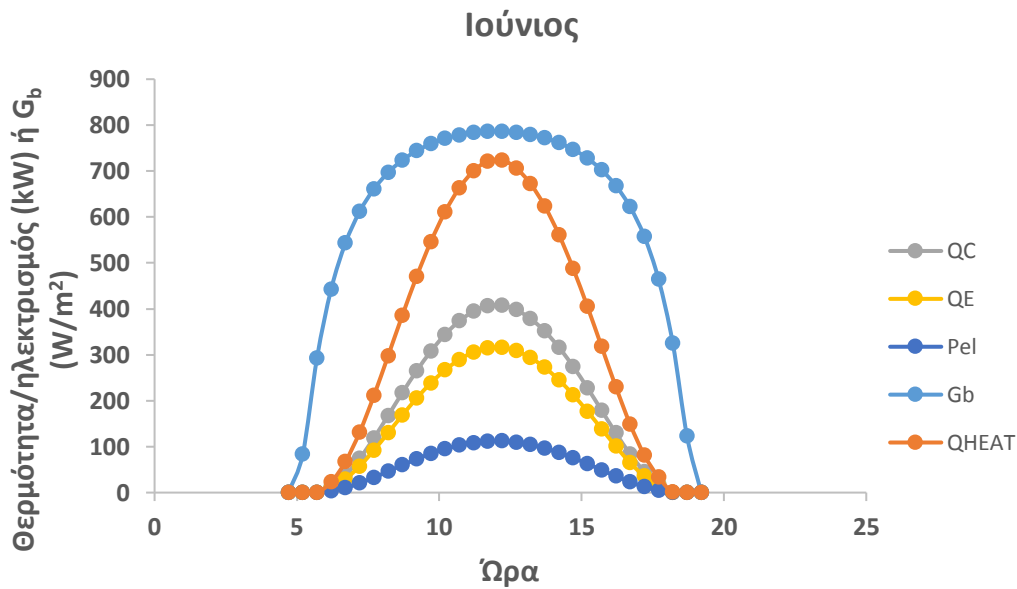
Ακόμη πιο πολύ μειώνονται οι τιμές των εξόδων οι καμπάνες του σχήματος γίνονται πιο πεπλατυσμένες.



**Σχήμα 5.117: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Μάιο.**

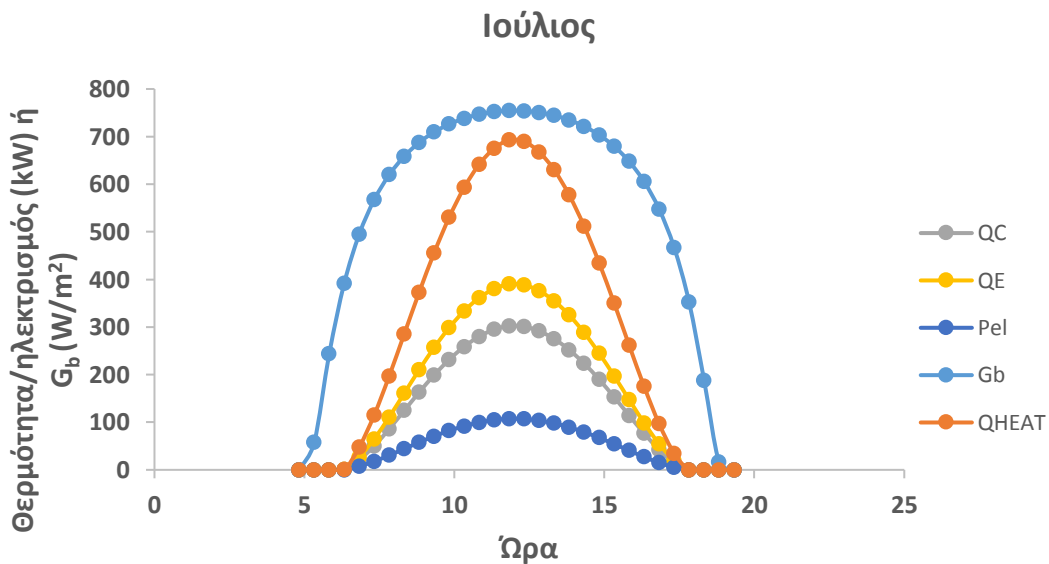
Ακόμη πιο πολύ μειώνονται οι τιμές των εξόδων οι καμπάνες του σχήματος γίνονται πιο πεπλατυσμένες. Καθώς η μέρα γίνεται μεγαλύτερη.





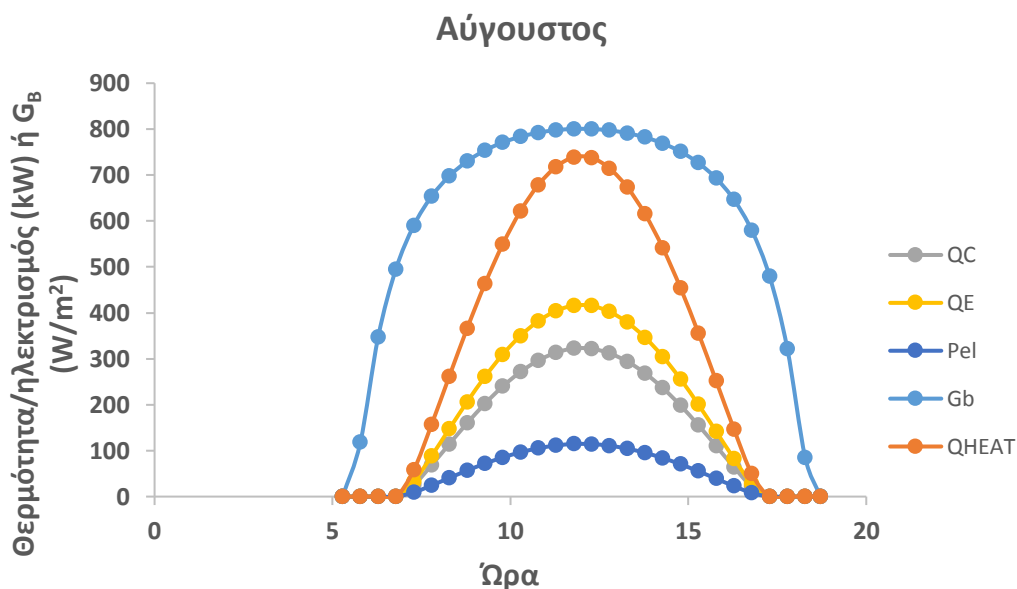
**Σχήμα 5.118: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Ιούνιο.**

Εδώ τα μέγιστα των εξόδων του συστήματος μειώνονται, αλλά λιγότερο από πριν. Επίσης τα σχήματα είναι πιο πεπλατυσμένα



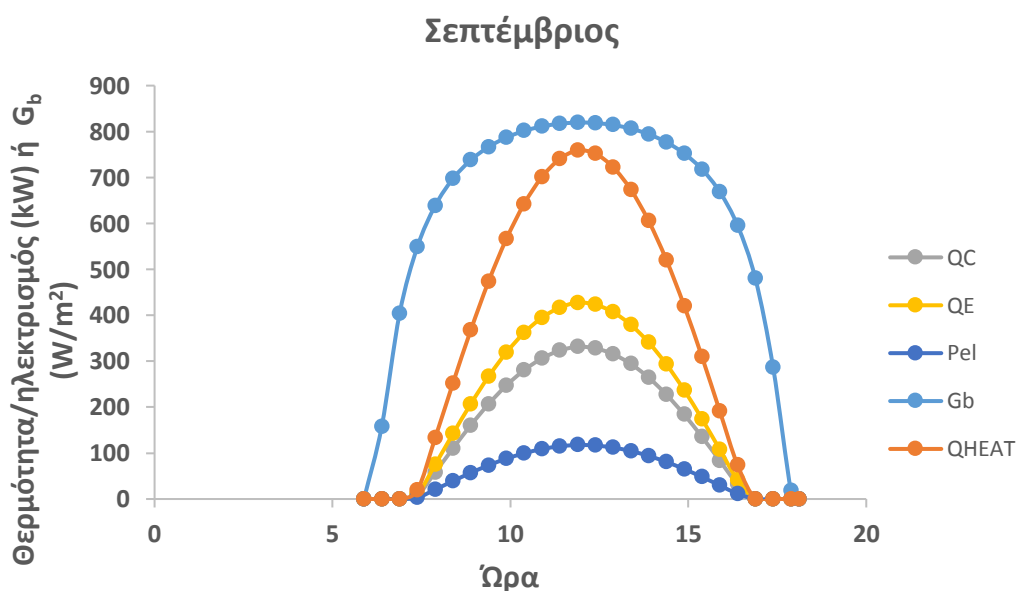
**Σχήμα 5.119: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Ιούλιο.**

Εδώ σε σχέση με τον Ιούνιο έχουμε μείωση κατά πολύ της θερμότητας συμπυκνωτή και μια περισσότερο μείωση της ηλεκτρικής ισχύς και της θερμότητας θέρμανσης. Αξιοσημείωτο είναι ότι η θερμότητα ψύξης αυξάνεται. Επίσης η διάρκεια της ημέρας μειώνεται άρα έχουμε μια σμίκρυνση κατά πλάτος και μια αύξηση κατά ύψος του σχήματος.



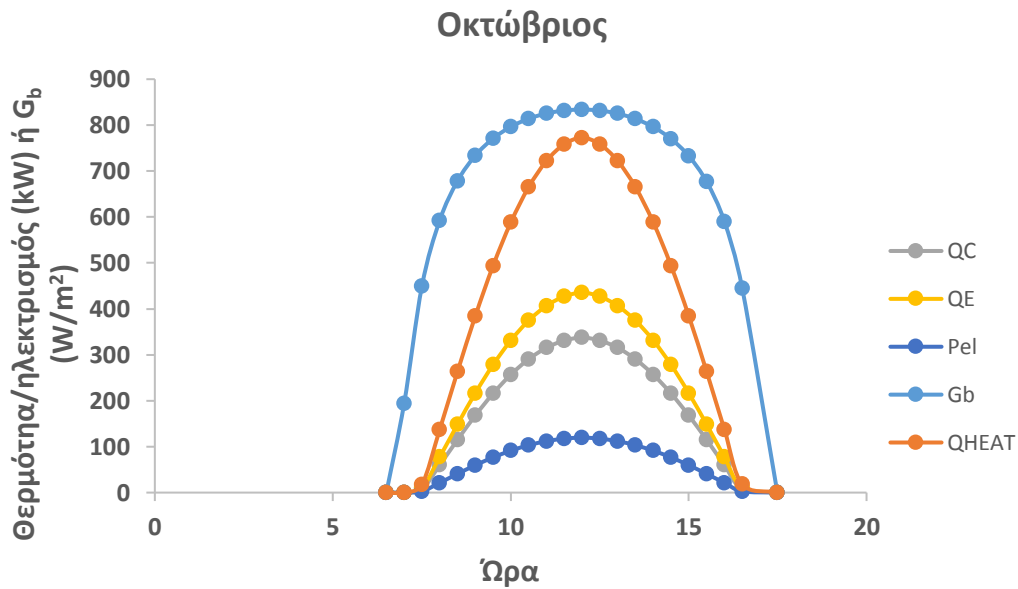
**Σχήμα 5.120: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Αύγουστο.**

Εδώ υπάρχει αύξηση των μεγίστων τιμών των μεταβλητών εξόδου, στην θερμότητα ψύξης λιγότερο από πριν. Το σχήμα γίνεται πιο στενό κατά την ώρα και αυξάνεται το ύψος του.



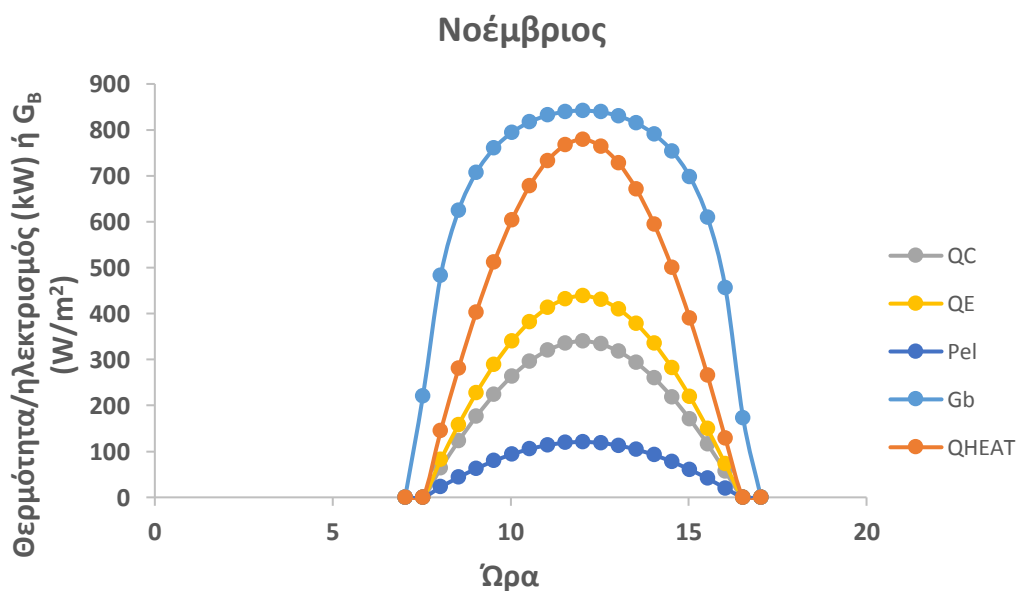
**Σχήμα 5.121: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Σεπτέμβριο.**

Εδώ έχουμε μείωση των τιμών των μεγίστων τιμών εξόδου αλλά λιγότερο από πριν. Το σχήμα γίνεται πιο στενό κατά την ώρα και αυξάνεται το ύψος, αυτό συμβαίνει διότι μικραίνει η διάρκεια της ημέρας.



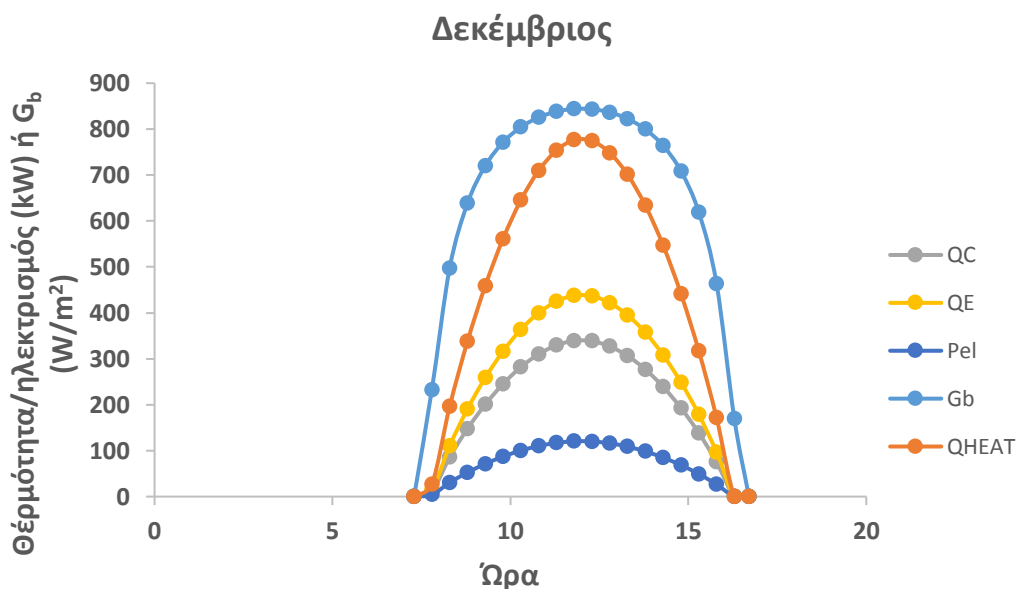
**Σχήμα 5.122: Απόκριση εισόδου και εξόδου συστήματος για τον Οκτώβριο.**

Εδώ έχουμε μείωση των τιμών των μεγίστων τιμών εξόδου αλλά λιγότερο από πριν. Το σχήμα γίνεται πιο στενό κατά την ώρα και αυξάνεται το ύψος αυτό συμβαίνει διότι μικραίνει η διάρκεια της ημέρας.



**Σχήμα 5.123: Απόκριση εισόδου και εξόδου συστήματος για τον Νοέμβριο.**

Εδώ έχουμε μείωση των τιμών των μεγίστων τιμών εξόδου αλλά λιγότερο από πριν. Το σχήμα γίνεται πιο στενό κατά την ώρα και αυξάνεται το ύψος αυτό συμβαίνει διότι μικραίνει η διάρκεια της ημέρας.



**Σχήμα 5.124: Απόκριση εισόδου και εξόδων συστήματος για τον Δεκέμβριο.**

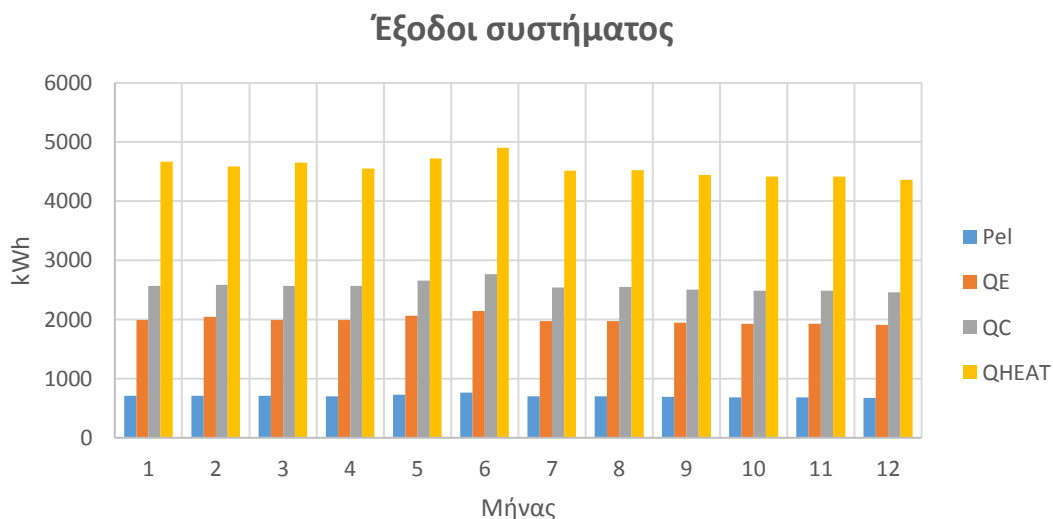
Εδώ παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών από τις προηγούμενες τιμές και μια πεπλατύτωση του σχήματος αφού για την μέση ημέρα του Δεκεμβρίου έχουμε αύξηση της διάρκειας της ημέρας σε σχέση με πριν.

Τέλος παρατηρείται μια πλάτυνση των διαγραμμάτων της ηλιακή ακτινοβολίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που προκαλεί με την σειρά της μια πλάτυνση και στην απόκριση των εξόδων.

Για να βρεθεί η συνολική ισχύς κάθε εξόδου και της ηλιακής ακτινοβολίας κάθε μέση μέρα ανά μήνα ολοκληρώθηκαν τα παραπάνω διαγράμματα στην διάρκεια του χρόνου με την αριθμητική μέθοδο ολοκλήρωσης Simpson 1/3 τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω πίνακα .

|             | $P_{el}$ [kWh] | $Q_E$ [kWh] | $Q_C$ [kWh] | $Q_{HEAT}$ [kWh] |
|-------------|----------------|-------------|-------------|------------------|
| Ιανουάριος  | 707.7          | 1995        | 2572        | 4670             |
| Φεβρουάριος | 711.2          | 2044        | 2585        | 4589             |
| Μάρτιος     | 706.6          | 1992        | 2569        | 4647             |
| Απρίλιος    | 705.5          | 1989        | 2565        | 4553             |
| Μάιος       | 731.2          | 2061        | 2658        | 4719             |
| Ιούνιος     | 760.4          | 2143        | 2764        | 4907             |
| Ιούλιος     | 699.4          | 1971        | 2542        | 4513             |
| Αύγουστος   | 701.0          | 1976        | 2548        | 4524             |
| Σεπτέμβριος | 689.0          | 1942        | 2504        | 4446             |
| Οκτώβριος   | 685.0          | 1930        | 2488        | 4418             |
| Νοέμβριος   | 684.0          | 1928        | 2486        | 4414             |
| Δεκέμβριος  | 677.0          | 1907        | 2460        | 4364             |

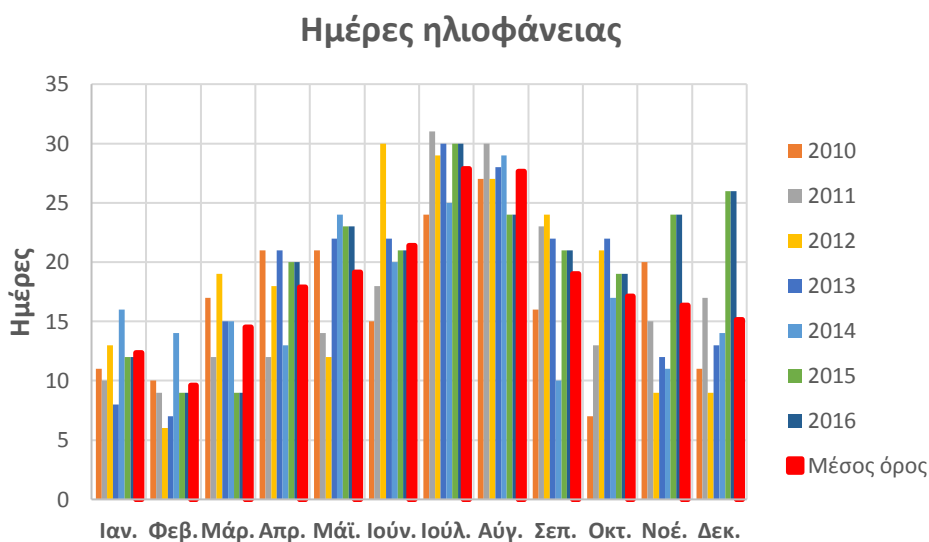
**Πίνακας 5.58: Έξοδοι συστήματος κάθε μέσης μέρας ανά μήνα.**



**Σχήμα 5.125:** Έξοδοι συστήματος κάθε μέσης μέρας ανά μήνα.

### 5.5-Οικονομικά

Για να υπολογιστούν τα οικονομικά χρειάζονται οι ημέρες ηλιοφάνειας κάθε μήνα αυτές είναι:



**Σχήμα 5.126:** Ημέρες ηλιοφάνειας ανά μήνα και έτος και ο μέσος όρος τους.[5.3]

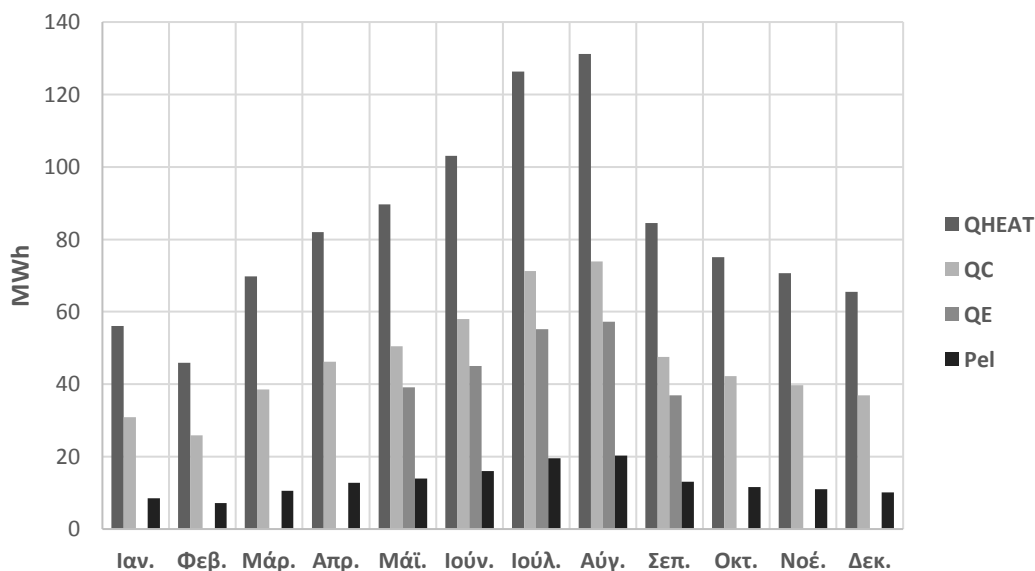
Οι παραπάνω τιμές ισχύουν για την Αθήνα και το ποσοστό ηλιοφάνειας σε αυτήν την περιοχή είναι 60%. Έπειτα από τις μέρες της ηλιοφάνειας υπολογίστηκαν το σύνολο των εξόδων κάθε μήνα.

|               | Q <sub>HEAT</sub> (kWh) | Q <sub>C</sub> (kWh) | Q <sub>E</sub> (kWh) | Pel (kWh) |
|---------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------|
| Ιανουάριος    | 56040                   | 30864                | 0                    | 8492      |
| Φεβρουάριος   | 45890                   | 25850                | 0                    | 7112      |
| Μάρτιος       | 69705                   | 38535                | 0                    | 10599     |
| Απρίλιος      | 81954                   | 46170                | 0                    | 12699     |
| Μάιος         | 89661                   | 50502                | 39159                | 13892,8   |
| Ιούνιος       | 103047                  | 58044                | 45003                | 15968,4   |
| Ιούλιος       | 126364                  | 71176                | 55188                | 19583,2   |
| Αύγουστος     | 131196                  | 73892                | 57304                | 20329     |
| Σεπτέμβριος   | 84474                   | 47576                | 36898                | 13091     |
| Οκτώβριος     | 75106                   | 42296                | 0                    | 11645     |
| Νοέμβριος     | 70624                   | 39776                | 0                    | 10944     |
| Δεκέμβριος    | 65460                   | 36900                | 0                    | 10155     |
| Σύνολο έτους: | 999521                  | 561581               | 233552               | 154510,8  |

**Πίνακας 5.59:Σύνολο εξόδων κάθε μήνα και του συνολικού έτους.**

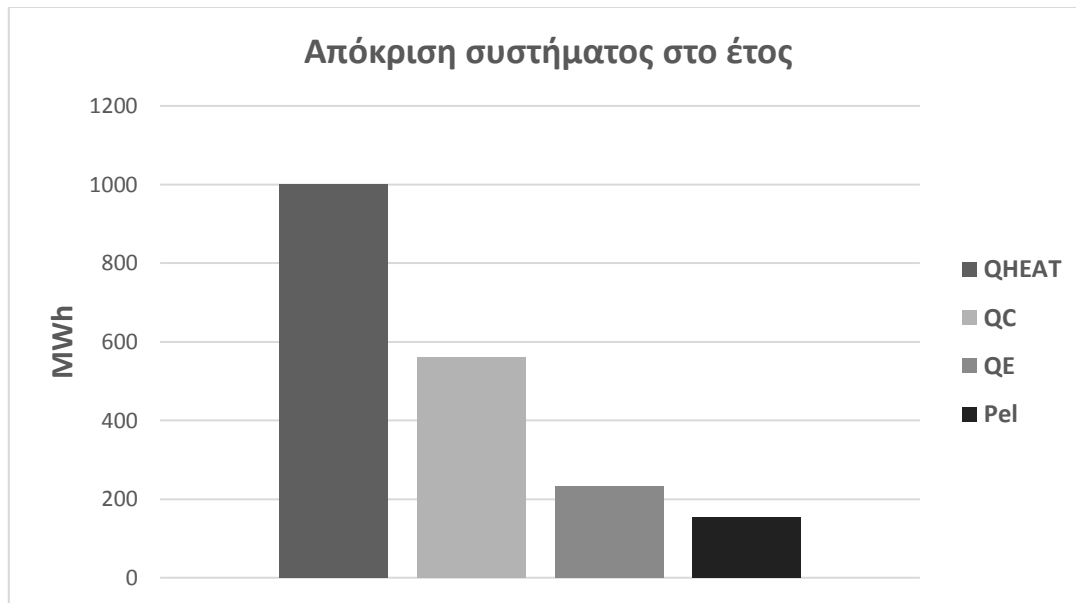
Για την θερμότητα ψύξης αποφασίστηκε ότι χρειάζεται μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και τον Μάιο και τον Σεπτέμβριο

### Σύνολο εξόδων κάθε μήνα



**Σχήμα 5.127:Απόκριση εξόδων συστήματος κάθε μήνα.**

Το σχήμα δίνει ότι η απόκριση στο έτος έχει μια μορφή καμπάνας για την θερμότητα θέρμανσης η κλίση της από την άνοιξη στο καλοκαίρι είναι πιο ήπια από ότι από το φθινόπωρο στον χειμώνα ενώ η θερμότητα ψύξης έχει μια συμμετρική μορφή. Η ηλεκτρική ισχύ παρουσιάζει μια μικρή αύξηση



**Σχήμα 5.128: Απόκριση του συστήματος στο σύνολο του έτους.**

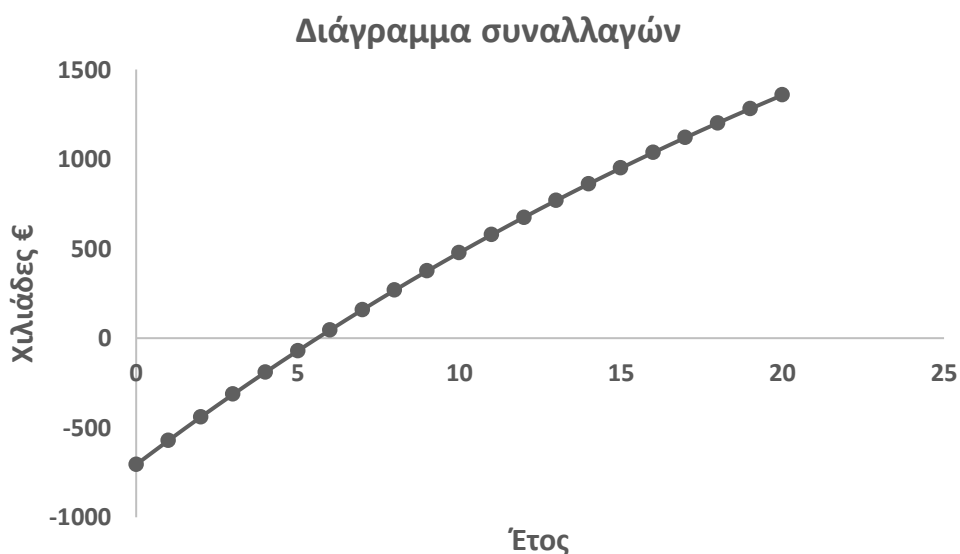
Παρακάτω έχουμε την οικονομική ανάλυση.

|  |          |
|--|----------|
| <b>Τιμές κόστους:</b>                                |          |
| Κόστος συστήματος ORC [ € /kW ] :                    | 2000     |
| Κόστος ηλιακών συλλεκτών [€ /m <sup>2</sup> ] :      | 250      |
| Κόστος δεξαμενής αποθήκευσης [ € /m <sup>3</sup> ] : | 1000     |
| Κόστος συστήματος ψύξης [ € /kW ] :                  | 300      |
| Λοιπά κόστη (ποσοστό επί του συνολικού) [%]:         | 0.1      |
| COP μέσο:  | 3        |
| <b>Διασταλότητα στην ισχύ μεσημεριού:</b>            |          |
| Pel [kW]:  | 123.7    |
| Έκταση συλλεκτών [m <sup>2</sup> ]:                  | 1000     |
| Όγκος δεξαμενής [m <sup>3</sup> ]:                   | 12.5     |
| Ισχύς ψύξης [Kw]:                                    | 438.9    |
| <b>Κόστος εγκατάστασης:</b>                          |          |
| Κόστος συστήματος ORC [ € ] :                        | 247400   |
| Κόστος ηλιακών συλλεκτών [€] :                       | 250000   |
| Κόστος δεξαμενής αποθήκευσης [ € ] :                 | 12500    |
| Κόστος συστήματος ψύξης [ € ] :                      | 131670   |
| Συνολικό κόστος χωρίς λοιπά κόστη:                   | 641570   |
| Συνολικό κόστος:                                     | 705727   |
| <b>Τιμές εσόδων/εξόδων:</b>                          |          |
| Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας [ € /Kwh]:         | 0.2      |
| Τιμή πώλησης ψυκτικής ενέργειας [ € /Kwh]:           | 0.066667 |
| Τιμή πώλησης θερμικής ενέργειας [ € /Kwh]:           | 0.1      |
| Κόστος λειτουργίας και συντήρησης [%]:               | 0.01     |
| <b>Έσοδα:</b>  |          |
| Έσοδα ηλεκτρικής ενέργειας [ €]:                     | 30761.96 |
| Έσοδα ψυκτικής ενέργειας [ €]:                       | 15438.4  |

|  |          |
|--|----------|
| Έσοδα θερμικής ενέργειας [ €]:           | 99499.7  |
| Κόστος λειτουργίας και συντήρησης [ € ]: | 7057.27  |
| Έσοδα [€]                                | 138642.8 |
| <b>Δείκτες:</b>                          |          |
| SPP [Ετη]                                | 5.090254 |
| R  | 14.87747 |
| r  | 0.03     |
| N (Διάρκεια ζωής επένδυσης)[Ετη]         | 20       |
| Καθαρή παρούσα αξία [€]                  | 1356928  |
| Διάρκεια αποπληρωμής [Ετη]               | 5.606095 |

### Πίνακας 5.60: Οικονομική ανάλυση .

Για αυτήν την περίπτωση βρέθηκε το **IRR** ( Κριτήριο εσωτερικής απόδοσης) **19.04%** και έγινε το διάγραμμα συναλλαγών.



Σχήμα 5.107: Διάγραμμα συναλλαγών για διάρκεια επένδυσης 20 έτη.



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>-Συμπεράσματα

Συνοπτικά στην παρούσα εργασία έγινε μια ιστορική ανασκόπηση του ενεργειακού ζητήματος και ο ρόλος της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πιο συγκεκριμένα της ηλιακής ενέργειας καθώς και η ιδιαιτερότητα των συστημάτων τριπαραγωγής στο ενεργειακό ζήτημα. Έπειτα περιεγράφηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν διάφορα συστήματα και τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας ώστε τελικά να επιλεγεί η πιο ώριμη τεχνολογία ηλιακής θέρμανσης για τα παρόντα δεδομένα. Κατόπιν περιεγράφηκαν τα μέρη του συστήματος, ο λόγος χρήσης τους καθώς και η ιστορική εξέλιξη τους. Στην συνέχεια περιεγράφηκαν αρκετά συστήματα τριπαραγωγής που βρέθηκαν στην βιβλιογραφική έρευνα καθώς και παρουσιάστηκαν συνοπτικά τα αποτελέσματα τους ώστε να δειχθεί η κατεύθυνση τις έρευνας στην επιστημονική κοινότητα και η μέθοδος βελτιστοποίησης που επιλέχθηκε. Μετέπειτα παρουσιάστηκε το σύστημα, περιεγράφηκαν οι εξισώσεις που το διέπουν και οι παραδοχές μαζί με τις θεωρήσεις τιμών που λήφθηκαν. Μετά έγινε μια σύντομη περιγραφή του προγράμματος επίλυσης. Τέλος δείχθηκαν και σχολιάστηκαν τα αποτελέσματα με την μορφή διαγραμμάτων και πινάκων και εν συντομία έγινε οι οικονομική ανάλυση του συστήματος.

Ύστερα από την ανάλυση που προηγήθηκε μπορούμε να εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα. Η βελτιστοποίηση Pareto αναδεικνύει το Τολουένιο ως το πιο αποδοτικό ενεργειακά και εξεργειακά. Τα σημεία που βελτιστοποιούν τις παρακάτω παραμέτρους είναι τα ακόλουθα.

| Ζεύγος βελτιστοποίησης |                     | T <sub>c</sub> °C | η <sub>ex,sys</sub> | P <sub>el</sub> (kW) | Q <sub>heat</sub> (kW) | η <sub>energy</sub> | Q <sub>e</sub> (kW) |
|------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Q <sub>heat</sub>      | P <sub>el</sub>     | 116.3             | 0.2547              | 154.7                | 905.9                  | 1.442               | 381                 |
| Q <sub>e</sub>         | P <sub>el</sub>     | 122.6             | 0.253               | 149.4                | 936.6                  | 1.492               | 406                 |
| Q <sub>heat</sub>      | Q <sub>e</sub>      | 130.0             | 0.2202              | 106.5                | 1064                   | 1.638               | 467.6               |
| P <sub>el</sub>        | η <sub>ex,sys</sub> | 130.0             | 0.2466              | 139.8                | 970.4                  | 1.537               | 426.7               |
| Q <sub>heat</sub>      | η <sub>ex,sys</sub> | 130.0             | 0.2353              | 124.7                | 1020                   | 1.594               | 448.7               |
| η <sub>ex,sys</sub>    | η <sub>energy</sub> | 125.8             | 0.2515              | 146.8                | 947.1                  | 1.508               | 413.6               |

**Πίνακας 5.61:Σημεία βελτιστοποίησης.**

Το τελευταίο σημείο είναι αυτό που επιλέγεται και ανήκει στο Τολουένιο για λόγους οι οποίοι έχουν αναφερθεί με  $a=0$  και  $b=0.9$  άρα ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης προκύπτει **25.15%** και ο ενεργειακός βαθμός απόδοσης **1.508%** η ηλεκτρική ισχύς εξόδου **146.8 kW** η θερμότητα θέρμανσης **947.1 kW** και τέλος η θερμότητα ψύξης **413.6 kW** όλες αυτές οι τιμές είναι για  $G_b$  **1000 W/m<sup>2</sup>** οι οποία είναι μια παραδοχή βέλτιστης ηλιοφάνειας. Επίσης τα σημεία επιλέχθηκαν για  $a=0$  και  $b=0.9$  το οποίο αντιστοιχεί σε  $T_{oil,in}=230^{\circ}C$  και  $P_{sys,orc}=37.17$  bar,εξάιρεση αποτελεί το σημείο που βελτιστοποιεί την θερμότητα ψύξης και θέρμανσης με  $P_{sys,orc}=24.78$  bar. Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για διάφορα  $a$  και  $b$  στον εξεργειακό βαθμό απόδοσης αύξηση του  $b$  και μείωση του  $a$  αυξάνει τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης οι απόστασης μεταξύ των εργαζόμενων μέσων μειώνεται με την αύξηση του  $a$  εκτός από το MDM-cyclohexane Για την ηλεκτρική ισχύ έχουμε αύξηση της αυξανόμενου του  $b$  το οποίο είναι λογικό διότι έχουμε μεγαλύτερο λόγω εκτόνωσης στον στρόβιλο ,καθώς μειώνουμε το  $a$  έχουμε μεγαλύτερη θερμοκρασία στο σύστημα άρα υψηλότερη δυνατότητα παραγωγής έργου (μεγαλύτερη ενθαλπία). Για τις κλίσεις αυτές

αυξάνονται αυξανόμενου του  $a$  και  $b$  άρα κλίση και μέγιστα για το  $a$  στην ηλεκτρική ισχύ είναι αντικρουόμενα. Για την θερμότητα θέρμανσης, αυτή μειώνεται αυξανόμενου του  $a$  και του  $b$  διότι απορρίπτουμε λιγότερη θερμότητα στον συμπυκνωτή.

Για την θερμότητα ψύξης αυτή μειώνεται αυξανόμενου του  $a$  και του  $b$  διότι απορρίπτουμε λιγότερη θερμότητα στον συμπυκνωτή. Όσον αφορά τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης αυτός μειώνεται αυξανόμενου του  $a$  και του  $b$ . Οι τάσεις των καμπυλών να αλλάξουν μορφή (ποσοστά μείωσης απόστασης) έχουν περιγραφεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Όσον αφορά την χρονική απόκριση του συστήματος αυτή από την μορφή που έχει στην πάροδο του έτους προκύπτει ότι η θερμότητα θέρμανσης είναι 4.29 φορές μεγαλύτερη από την θερμότητα θέρμανσης και 6.5 μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ. Το ποσό αυτό της θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποια θερμική διεργασία καθώς το μέγιστο της και η μορφή της απόκρισης της δεν συμπίπτει με την ζήτηση θέρμανσης στους καλοκαιρινούς μήνες. Συνεπώς το σύστημα ταιριάζει σε μια ζήτηση θερμότητας και ψύξης το καλοκαίρι ειδικά αν έχουμε ψύξη και τον χειμώνα η καμπύλη θα είναι ομοιόμορφη και μπορούμε να έχουμε σταθερή ζήτηση και ψύξης και θέρμανσης. Τέλος στα οικονομικά από την διαστασιολόγηση στην μέγιστη ισχύ του μεσημεριού βρέθηκε το **IRR** (Κριτήριο εσωτερικής απόδοσης) **19.04%**

Στο μέλλον Θα μπορούσαν να υπολογιστούν και τα οικονομικά και για τα άλλα σημεία που βελτιστοποιούν άλλες παραμέτρους. Θα μπορούσαν να εισαχθεί ένα σύστημα ψύξης injection ή ταυτόχρονη παραγωγή βιομάζας με την ηλιακή ενέργεια. Θα ήταν δόκιμο να εξεταστούν και άλλα εργαζόμενα μέσα ή και διαφορετικές κατασκευές συλλεκτών. Επίσης θα μπορούσε να μελετηθεί το σύστημα για μια χρονομεταβαλλόμενη ροή και όχι σε steady-state.

Τέλος στην διπλωματική δείχθηκαν αρκετά παραδείγματα καινοτόμων τεχνολογιών πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν ενδιαφέρον και περιθώρια έρευνας πάνω στα συστήματα τριπαραγωγής .