

Ανάλυση υλικού ηλιακών κατόπτρων σε θερμοδυναμικό κύκλο Solar – Rankine

Ανάπτυξη θερμοδυναμικού μοντέλου με
χρήση λογισμικού Engineering Equation
Solver (EES)

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Βατάλης Αντώνιος ΑΕΜ: 310

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταμάτης Αναστάσιος

17/10/2012

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε σε 8 κεφάλαια εκ των οποίων περιέχονται και τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Σκοπός της εργασίας ήταν η συσχέτιση του υλικού των ηλιακών κατόπτρων με το υπάρχον θερμοδυναμικό μοντέλο Solar – Rankine στο πρόγραμμα EES.

Αρχικά, η εργασία αναφέρεται περιληπτικά και εισαγωγικά για την ενεργειακή κατάσταση παγκοσμίως και τον ρόλο των Α.Π.Ε. υπό το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο. Εν συνεχεία περιγράφεται η τεχνολογία των ηλιοθερμικών εστιάζοντας στις βασικές αρχές της μετάδοσης θερμότητας όπως στην ανάκλαση και διάθλαση. Κατόπιν γίνεται μια περιγραφή των χαρακτηριστικών των ηλιακών κατόπτρων, τον τρόπο που διακρίνονται και τα βασικά υλικά που χρησιμοποιούνται.

Ακόμη, γίνεται αναφορά στο θερμοδυναμικό κύκλο Rankine αναλύοντας τα στάδια του και τις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν. Σε αυτό το σημείο γίνεται μία στροφή στην ροή της εργασίας και αναπτύσσεται ένας εικονογραφημένος οδηγός χρήσης του προγράμματος EES με επιστροφή στο έκτο κεφάλαιο με την παρουσίαση του βασικού μοντέλου και την συμβολή του υλικού στα αποτελέσματα στο έβδομο κεφάλαιο.

Το μοντέλο της εργασίας προσεγγίστηκε από δύο οπτικές γωνίες οι οποίες ήταν απόρροια των πηγών. Η πρώτη προσέγγιση ήταν η ίδια ακριβώς όπως το αρχικό μοντέλο που περιέγραφε η βασική δημοσίευση που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος με την διαφορά ότι επηρεαζόταν μόνο ο συντελεστής απορρόφησης α . Τα ηλιακά κάτοπτρα με την διαφοροποίηση δύο υλικών που είναι η επίστρωση (υλικό επένδυσης) και το υπόστρωμα (βασικό υλικό) προσέδιδαν άλλον συντελεστή απορρόφησης α . Άρα, με χρήση πινάκων τροποποιείται μία είσοδος στο κώδικα και προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Συνεπώς, έγινε μία πρώτη συσχέτιση υλικού με το θερμοδυναμικό μοντέλο.

Η δεύτερη προσέγγιση, η οποία είναι λίγο πιο σύνθετη, έγινε με την προσθήκη εξισώσεων στην ενεργειακή ανάλυση του ηλιακού κύκλου που εξέφραζε τις διάφορες απώλειες σύμφωνα με τους τρόπους μετάδοσης της θερμότητας. Ουσιαστικά οι απώλειες θερμότητας οφειλόταν στους τρόπους μετάδοσης της θερμότητας που έχουν τα υλικά κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, η βασική πηγή πληροφορούσε με αναλυτικά τεχνικά χαρακτηριστικά για διάφορες κατασκευές κατόπτρων όπου χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των απωλειών αλλά και την προσθήκη κάποιων επιπλέον συντελεστών όπως διάδοσης της επιφάνειας και ανελαστικότητας της επιφάνειας.

Εν κατακλείδι, σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές τις δύο προσεγγίσεις προτείνοντας ακόμα και μία μέθοδο βελτίωσης του συστήματος και ολοκληρώνεται η διπλωματική εργασία με το όγδοο κεφάλαιο αφήνοντας προοπτικές εξέλιξης για περαιτέρω έρευνα.

Abstract

This diploma was developed in 8 chapters which includes the results of the modeling part. The scope of this diploma thesis was the correlation of the material of the solar panels with the existing thermodynamic model Solar – Rankine in the program EES.

Firstly, the thesis was referred summarily to the global energy situation and the role of R.E.S. under the existing legal framework. In addition, it describes the technology of solar panels focus on the basics principles of heating transfer as the reflection and refraction. Afterwards, thesis discusses the characteristics of solar panels, how distinguished and the basic materials that are used.

Furthermore, it referred in the Rankine thermodynamic cycle and describes the levels and the differences between them. In this point the thesis changes the regular flow and it lists an illustrated guide of the program EES and it comes back in the sixth chapter which presents the basic model and the contribution of the material results in the seventh chapter.

The model of the present thesis is approached from two angles based on sources. The first approach was exactly the same as it was developed in the classroom based on the first paper but the difference was that the absorption coefficient is affected. The solar panels with the differentiation of two materials which is the coating and the substrate (base material) material confer other absorption coefficient a . So, using tables modified one entry in the code and generated different results. This was the first solution of the problem.

The second approach, which is a little more complex, made by adding equations to the energy analysis of the solar cycle and it has expressed the various losses according to the different ways of heat transmission. Basically, the heat losses are the result of heat transfer methods under high temperatures. Also, the main source informed with detailed technical specifications for various constructions of panels where are used to calculate the losses and some additional factors such as transmissivity surface and rigidity surface.

In conclusion, the results are commented on as a result of these two approaches and it suggests a method for improving the system and completes the dissertation to the eighth chapter, leaving prospects for further research.

Contents

Κεφάλαιο 1 ^ο - Εισαγωγή.....	7
1.1 Ενεργειακό Πρόβλημα.....	7
1.2 Ενεργειακή Κατάσταση Παγκοσμίως.....	8
1.3 Εποχή Α.Π.Ε.....	14
1.4 Νομοθετικό (θεσμικό) πλαίσιο.....	15
Κεφάλαιο 2 ^ο – Ηλιοθερμική Τεχνολογία.....	19
2.1 Γενική περιγραφή της Ηλιοθερμικής Τεχνολογίας.....	19
2.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	20
2.3 Θερμότητα.....	25
Κεφάλαιο 3 ^ο – Ηλιακά Κάτοπτρα.....	29
3.1 Γενική περιγραφή ηλιακών κατόπτρων.....	29
3.2 Σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες.....	30
3.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	33
3.4 Σύγκριση σταθερών και συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών.....	37
Κεφάλαιο 4 ^ο – Κύκλος Rankine.....	39
4.1 Βασικές Αρχές Κύκλου Rankine.....	39
4.2 Διαφοροποιήσεις του βασικού κύκλου Rankine.....	41
4.3 Οργανικός κύκλος Rankine.....	45
Κεφάλαιο 5 ^ο – Το λογισμικό EES.....	47
5.1 Γενικές Πληροφορίες.....	47
5.2 Η αρχική οθόνη- Τα μενού.....	47
5.3 Παράθυρο Εξισώσεων (Equations Window).....	48
5.4 Παράθυρο Μορφοποιημένων Εξισώσεων (Formatted Equations Window).....	53
5.5 Παράθυρο Λύσεων (Solution Window).....	54
5.6 Παράθυρο Πινάκων (Arrays Window).....	55
5.7 Παράθυρο Παραμετρικών Πινάκων (Parametric Table Window).....	56
5.8 Παράθυρο Πίνακα Αντιστοιχίας (Lookup Table Window).....	57
5.9 Παράθυρο Διαγραμμάτων (Diagram Window).....	58
5.10 Παράθυρο Γραφημάτων (Plot Window).....	59
Κεφάλαιο 6 ^ο – Εφαρμογή.....	61
6.1 Χρησιμοποιούμενη Διάταξη.....	61
6.2 Αρχική Μοντελοποίηση.....	62
Κεφάλαιο 7 ^ο - Αποτελέσματα.....	67
7.1 Επίπτωση Υλικού.....	67
7.2 Επίπτωση Υλικού σε πραγματικό σύστημα.....	75
7.3 Επισκόπηση Αποτελεσμάτων και Προτεινόμενη Βελτίωση.....	82

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
«Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»

Κεφάλαιο 8 ^ο – Συνέχεια μελέτης	87
Βιβλιογραφία	89

Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή

1.1 Ενεργειακό Πρόβλημα

Από την εποχή της δημιουργίας του σύμπαντος ο άνθρωπος πάντα αντιμετώπιζε και αντιμετωπίζει προβλήματα επιβίωσης και βελτίωσης των συνθηκών της καθημερινής του ζωής. Η ενέργεια, ως πρόβλημα προς λύση, παρουσιάζεται ακόμη από αρχαιοτάτων χρόνων, από την στιγμή που ο άνθρωπος προσπαθεί και τελικά ανακάλυψε την φωτιά.

Την εποχή εκείνη το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που δαπανούταν από τον άνθρωπο ήταν η ενέργεια για δραστηριότητες που αφορούσαν την επιβίωσή του. Η πληθυσμιακή αύξηση και η συνεχή και σταθερή ανάπτυξη του ανθρώπου, κατέληξαν στη δημιουργία μεγάλων μονάδων παραγωγής αγαθών και αργότερα τις βιομηχανίες. Αυτές ανέκαθεν ήταν πιο ενεργοβόρες από τις ανάγκες του πληθυσμού. Τελικά, οι άνθρωποι έμαθαν πώς καίγονται τα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο για την αύξηση παραγωγής ενέργειας. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα ήταν άφθονα και εξάγονταν εύκολα και με μικρό κόστος από το έδαφος. Μπορούμε να πούμε ότι ο πολιτισμός της γης, όπως τον γνωρίζουμε σήμερα, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην καύση ορυκτών καυσίμων. Είναι γνωστό ότι για τον έλεγχο των πρώτων αυτών υλών έχουν διεξαχθεί πόλεμοι τους τελευταίους αιώνες. Όλα τα πολιτικά δόγματα και οι σφαίρες επιρροής περιφέρονται γύρω από τον έλεγχο αυτών των ενεργειακών πόρων.

Πάραυτα στην παρούσα εργασία ενδιαφέρει μόνο το ενεργειακό κομμάτι και αξίζει να σημειώσουμε τον τρόπο δημιουργίας των ορυκτών καυσίμων. Αυτά είναι αποτέλεσμα της εναπόθεσης νεκρών ζώων και φυτών στο υπέδαφος για χιλιάδες χρόνια. Η πηγή που μετέτρεψε τα απομεινάρια οργανισμών στο σημαντικότερο ενεργειακό υλικό είναι ο ήλιος. Όλα τα φυτά και τα ζώα, αντλούν την ενέργεια τους από τον ήλιο. Ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο μπορεί να θεωρηθούν ως απολίθωμα ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η μορφή ενέργειας είναι συγκεντρωμένη. Το ενεργειακό περιεχόμενο των ορυκτών καυσίμων είναι εντυπωσιακά υψηλό.

Ομοίως, τελευταία χρησιμοποιούνται βιοκαύσιμα, που είναι επίσης συγκεντρωμένη ενέργεια, που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά πρόκειται για ενέργεια από τον ήλιο που δημιουργήθηκε συγκριτικά σε σύντομο

χρονικό διάστημα. Τα βιοκαύσιμα διαφέρουν από τα ορυκτά καύσιμα μόνο στο χρόνο που χρειάζεται για να μετατρέψουν την ενέργεια από τον ήλιο. Κάποιο είδος ενεργειακής καλλιέργειας όπως η αγριαγκινάρα, ζαχαροκάλαμο ή οποιοδήποτε άλλο φυτό που μπορεί να μετατραπεί σε βιοκαύσιμο, χρειάζεται μόνο λίγους μήνες για να αναπτυχθεί [1]. Τα βιοκαύσιμα είναι πλήρως ανανεώσιμη και βιώσιμη πηγή ενέργειας και μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν λύση στο ενεργειακό πρόβλημα.

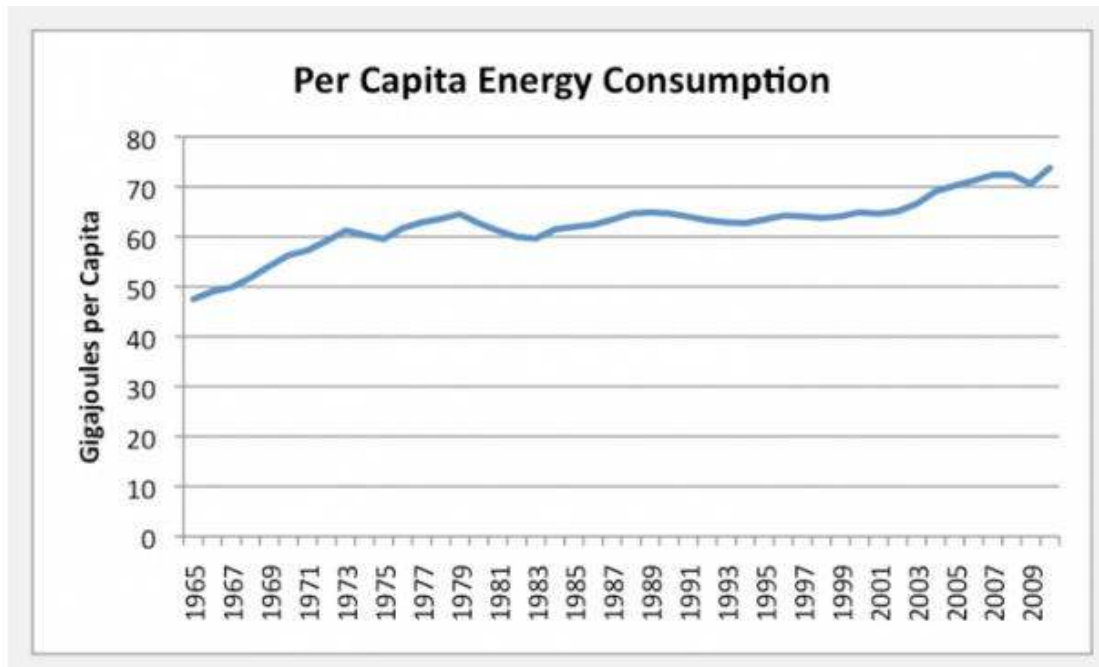
Συνεπώς γίνεται αντιληπτό το ενεργειακό πρόβλημα με μεγαλύτερη σαφήνεια. Τα ορυκτά καύσιμα είναι πεπερασμένα, και δεν μπορούν να αναπληρωθούν άμεσα από τη φύση. Εκατομμύρια χρόνια ήταν απαραίτητα για να παραχθεί ο άνθρακας και το πετρέλαιο που ο κόσμος καταναλώνει. Τα βιοκαύσιμα που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αποτελέσουν ένα μέρος της λύσης του ενεργειακού προβλήματος, δεν μπορούν όμως να το επιλύσουν εξολοκλήρου. Κι αυτό, γιατί δεν μπορεί να παράγεται επαρκή ποσότητα βιοκαυσίμων, για να αντικαταστήσουν πλήρως όλα τα ορυκτά καύσιμα που καταναλώνονται. Για την ακρίβεια το συνολικό ποσό των βιοκαυσίμων που μπορεί να παράγεται παγκοσμίως δεν μπορεί καν να πλησιάσει την τρέχουσα ανάγκη κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων [2].

Το ερώτημα που τίθεται είναι με ποιον τρόπο μπορεί να αντιμετωπιστεί η μελλοντική έλλειψη παραγωγής ενέργειας λόγω μείωσης των υπαρχόντων πόρων. Η απάντηση μπορεί να είναι οι εναλλακτικοί τρόποι χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας ως πηγή για την παραγωγή χρηστικής ενέργειας (π.χ. ηλεκτρισμός). Αξίζει να σημειωθεί ότι η γη δέχεται ποσότητα ηλιακής ενέργειας σε μια ώρα αντίστοιχη των αναγκών της ανθρωπότητας σε ενέργεια για ένα χρόνο. Μέχρι σήμερα η ανθρωπότητα εκμεταλλεύεται μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτής της ενέργειας. Οι εντεινόμενες και συνεχείς προσπάθειες ανάπτυξης νέων τεχνολογιών στόχο έχουν να μετατρέψουν περισσότερη από την ενέργεια του ήλιου σε ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Και αυτό είναι το κλειδί για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος.

1.2 Ενεργειακή Κατάσταση Παγκοσμίως

Η ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα παγκοσμίως, προέρχεται από διαφορετικού είδους πηγές. Υπάρχουν διαφαινόμενες τάσεις καθώς και στατιστικά στοιχεία τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια.

Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ανέρχεται στα 80GJ/έτος. Στην εικόνα παρακάτω δίνεται γράφημα, όπου φαίνεται η μεταβολή της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ετησίως από το 1965.



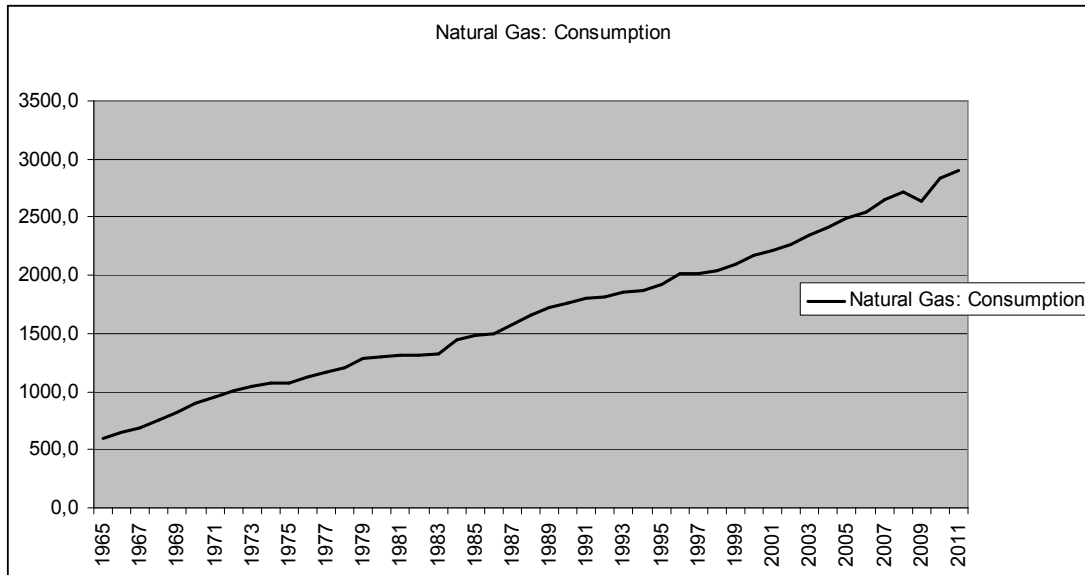
Γράφημα 1.1: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως

Πηγή: <http://ourfineteworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>

Στο γράφημα διακρίνεται μια ανοδική τάση από το 1965 που διατηρήθηκε έως το 1977. Το επόμενο διάστημα, η κατανάλωση παρέμεινε σταθερή για δυο δεκαετίες περίπου. Η εξήγηση που δίνεται για την άνοδο από το 2001 και μετά είναι η μετακίνηση προς την Ασία της παραγωγής πολλών ειδών. Γεγονός που οδήγησε στην αύξηση του βιοτικού επιπέδου της περιοχής και συνάμα συντέλεσε στην αύξηση των απαιτήσεων σε ενέργεια [3]. Συνεπώς, καταλήγουμε ότι η δημογραφική αύξηση και η ανάπτυξη σε μια περιοχή συντελούν στην αύξηση της κατανάλωσης της ενέργειας. Από δημογραφικής πλευράς, αναμένεται αύξηση του πληθυσμού της υφηλίου. Εκτιμάται ότι θα φτάσει σε επίπεδα διπλάσια των τωρινών και θα σταθεροποιηθεί στο τέλος του αιώνα [5]. Ωστόσο οι πληθυσμιακές αλλαγές είναι δυσανάλογες σε διάφορες περιοχές. Έτσι στις ήδη αναπτυγμένες χώρες δεν αναμένεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στον πληθυσμό.

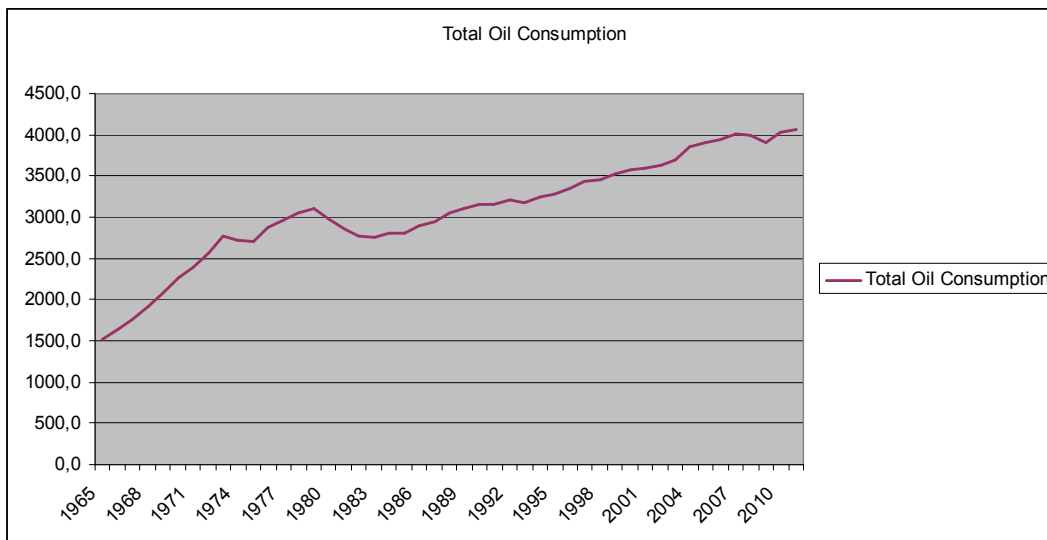
Η διαφαινόμενη αύξηση στη ζήτηση, συνακόλουθα οδήγησε στην αύξηση της παραγωγής ενέργειας. Σημειώνουμε ότι η αύξηση της παραγωγής δεν περιορίστηκε στην ανάπτυξη και αύξηση των μέσων που ήδη χρησιμοποιούνταν αλλά και στην

εξεύρεση εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας. Περιβαλλοντολογικά και οικολογικά θέματα έδωσαν ένα επιπρόσθετο κίνητρο προς αυτή την κατεύθυνση. Παρακάτω θα δοθούν γραφήματα που δείχνουν ακριβώς την αύξηση στη διάρκεια των τελευταίων ετών στην κατανάλωση ενέργειας. Έτσι στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε την μεταβολή στην κατανάλωση φυσικού αερίου.



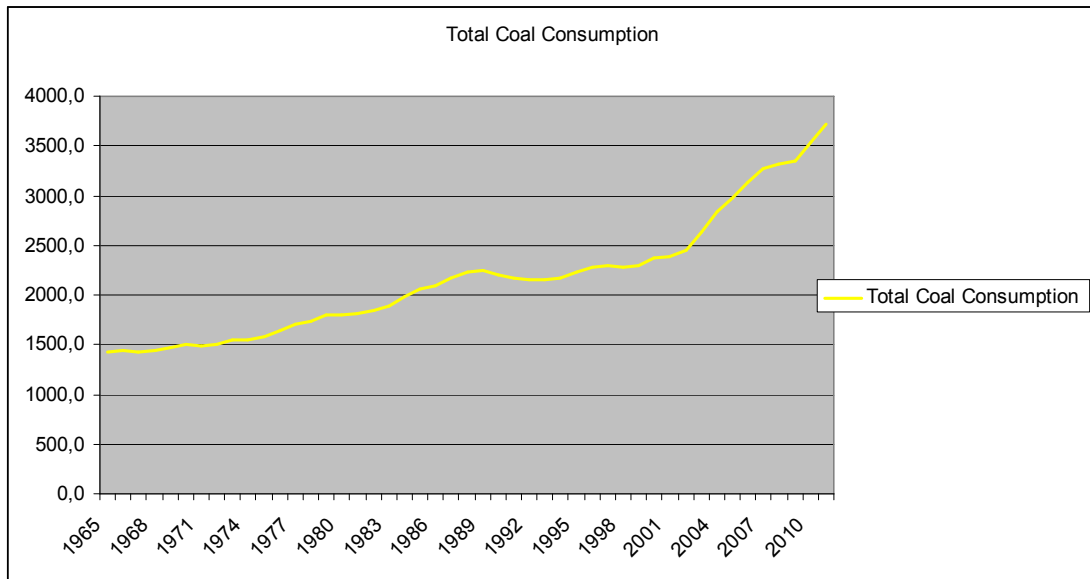
Γράφημα 1.2: Κατανάλωση ενέργειας από φυσικό αέριο (Σε εκατ. τόνων)
Πηγή:[6]

Ανάλογη είναι η πορεία του πετρελαίου, όπως φαίνεται παρακάτω



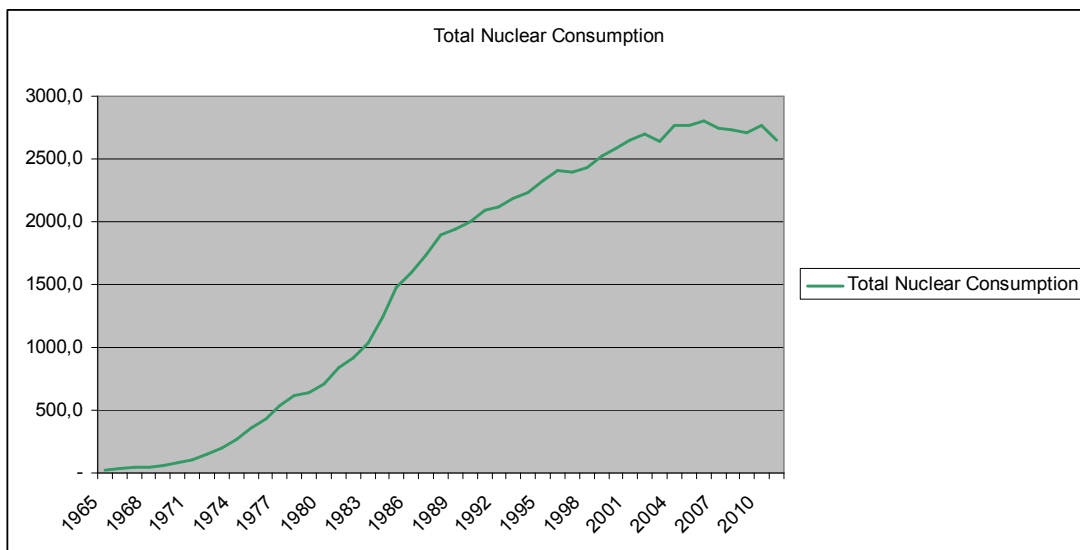
Γράφημα 1.3: Κατανάλωση ενέργειας από πετρέλαιο (Σε εκατ. τόνων)
Πηγή:[6]

Μια εξίσου σημαντική πηγή που χρησιμοποιείται παραδοσιακά για την παραγωγή ενέργειας, ειδικά στην Ευρώπη είναι ο άνθρακας.



Γράφημα 1.4: Κατανάλωση ενέργειας άνθρακα (Σε εκατ. τόνων)
Πηγή:[6]

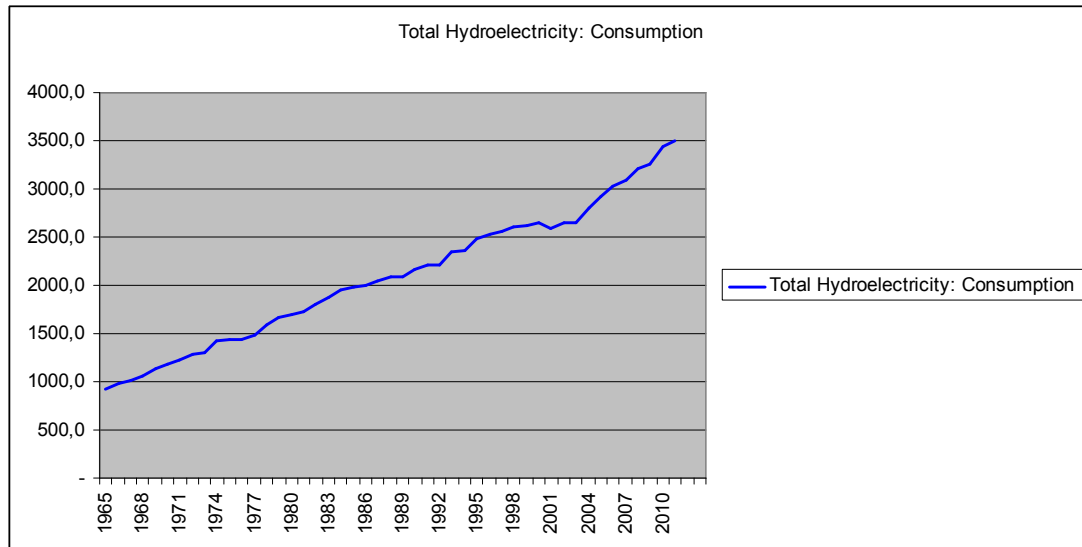
Στη συνέχεια θα παρατεθούν γραφήματα με εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ατομική. Η ιδιαιτερότητα της ατομικής ενέργειας έγκειται στο ότι λίγες χώρες παρέχουν την τεχνογνωσία για την παρασκευή και χρήση της. Επιπλέον είναι μορφή ενέργειας που η εκτεταμένη χρήση της άρχισε αργότερα συγκριτικά των υπολοίπων. Αξίζει να σημειωθεί η επικινδυνότητα των σταθμών παραγωγής. Λόγω ατυχημάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν η ατομική ενέργεια, παρόλο των εξαιρετικών επιδόσεών της είναι υπό διαρκή αμφισβήτηση, πράγμα που τελευταία οδήγησε στην επένδυση σε άλλες μορφές ενέργειας.



Γράφημα 1.5: Κατανάλωση ατομικής ενέργειας (Σε TWatt-hours)
Πηγή:[6]

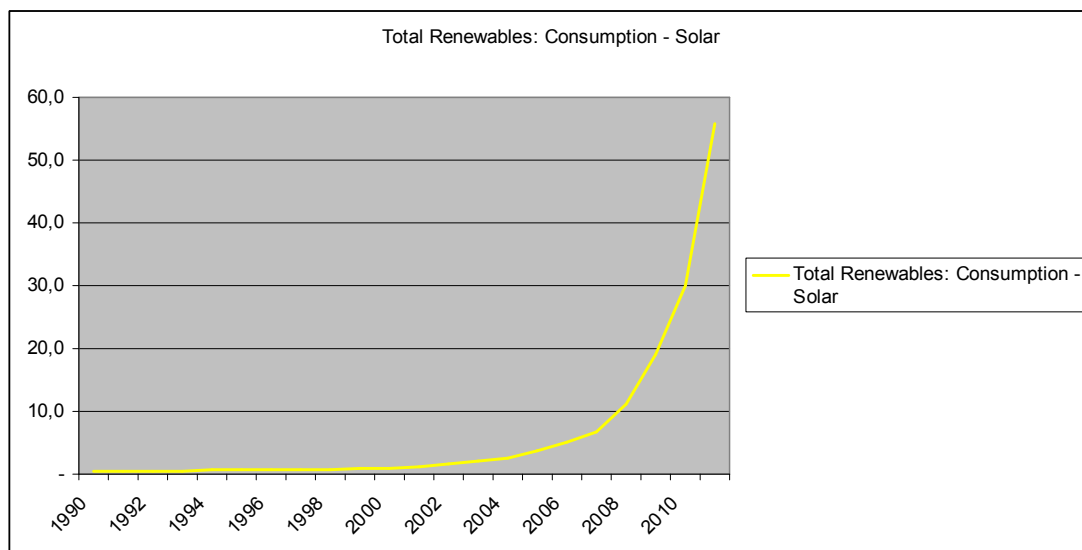
Φαίνεται καθαρά στο γράφημα η απότομη άνοδο στη χρήση ατομικής ενέργειας και η ελαφρώς πτωτική τάση τα τελευταία χρόνια.

Από τις ασφαλέστερες και με πολύ μικρό αριθμό ρύπων και περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων είναι η ενέργεια από υδροηλεκτρικά εργοστάσια.



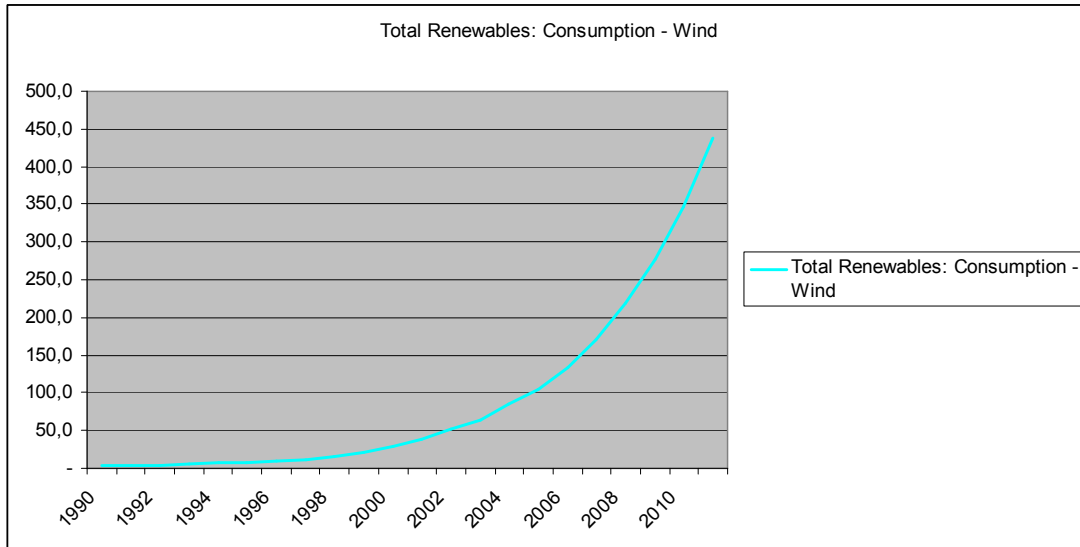
Γράφημα 1.6: Κατανάλωση από υδροηλεκτρικά (Σε TWatt-hours)
Πηγή:[6]

Τέλος, στα παρακάτω γραφήματα θα γίνει φανερό το μέγεθος της ενέργειας που καταναλώνεται και προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αναφέρθηκε στις παραπάνω παραγράφους ότι πρόκειται για νεότερη τεχνολογία και ως εκ τούτου η ευρεία χρήση γίνεται μόλις τα τελευταία χρόνια. Έτσι, παρακάτω δίνεται γράφημα, αναφερόμενο σε ηλιακή ενέργεια.



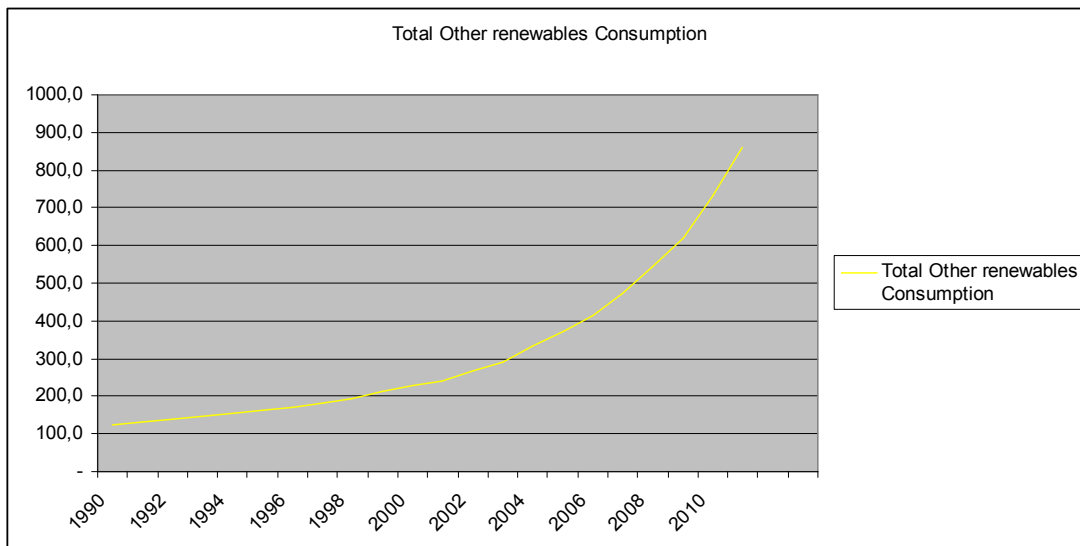
Γράφημα 1.7: Κατανάλωση ηλιακής ενέργειας (Σε TWatt-hours)
Πηγή:[6]

Παρατηρούμε την ραγδαία ανάπτυξη που ξεκίνησε μόλις το 2007 και μετά. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ευρωπαϊκό επίπεδο τουλάχιστον προμηθεύεται και θεσμικά η συγκεκριμένη μορφή παραγωγής ενέργειας, συνεπώς, η τάση που προδιαγράφεται να έχει τα επόμενα χρόνια, είναι εξίσου ανοδική. Όμοια και η αιολική ενέργεια, κατηγοριοποιείται στις ΑΠΕ. Έχει όμως κάποια χρόνια ζωής παραπάνω.



Γράφημα 1.8: Κατανάλωση αιολικής ενέργειας (Σε TWatt-hours).
Πηγή:[6]

Στο τελευταίο γράφημα παρατίθεται η μεταβολή στην κατανάλωση των λοιπών ΑΠΕ



Γράφημα 1.9: Κατανάλωση λοιπών ΑΠΕ. (Σε TWatt-hours)
Πηγή:[6]

Από τις τελευταίες γραφικές παραστάσεις μπορεί να συναχθεί ότι ο τομέας της ενέργειας έχει πλέον αλλάξει μορφή συγκριτικά με κάποιες δεκαετίες πριν. Η μεγάλη αλλαγή που έχει συντελεστεί την τελευταία δεκαετία, είναι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ως μέσω παραγωγής σε ευρεία κλίμακα.

1.3 Εποχή Α.Π.Ε

Πολλοί και σημαντικοί ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στη δημιουργία και ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η τεχνολογική ανάπτυξη και οι ανάγκες, που προέκυψαν μέχρι και τα μέσα του εικοστού αιώνα, είχαν ήδη διαμορφώσει συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Υδροηλεκτρικά εργοστάσια, φράγματα ακόμη και πυρηνικοί σταθμοί έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης μέχρι τότε.

Ωστόσο σημαντικά γεγονότα, όπως η ενεργειακή κρίση του '70 ή ακόμη και ατυχήματα, που συνέβησαν σε πυρηνικούς σταθμούς, με γνωστότερο το Τσερνομπίλ, ευαισθητοποίησαν τόσο την κοινή γνώμη όσο και τις κυβερνήσεις για την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πολιτική ατζέντα, ειδικά την εποχή του ψυχρού πολέμου, το μόνο κριτήριο για την επιλογή ενεργειακής στρατηγικής μιας χώρας ήταν το κόστος. Από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα γι' αυτό, είναι οι ΗΠΑ, που ως γνωστόν, γινόταν εισαγωγή πετρελαίου παρά επενδύσεις σε εγχώριες εταιρίες με προοπτική την ανάπτυξη [7].

Ωστόσο η αλλαγή του ρυθμιστικού πλαισίου στον ηλεκτρικό τομέα και η απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας άνοιξαν τελικά το δρόμο για τη χρήση των ΑΠΕ στις αρχές της δεκαετίας του '90. Ο πεπερασμένος αριθμός των αποθεμάτων πιθανώς να συντέλεσε εξίσου στην ανάγκη επένδυσης σε κάποιο άλλο μέσο αστείρευτο και άφθονο στη φύση.

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό των ΑΠΕ είναι η δημιουργία και λειτουργία απομονωμένων μονάδων. Μπορεί δηλαδή να υπάρχει αποκεντρωμένη παραγωγή για την κάλυψη αναγκών σε ιδιαίτερες περιοχές όπως νησιά, χωρίς την κοστοβόρα διασύνδεσή τους στο υπάρχον δίκτυο.

Αξίζει να σημειωθεί και η αναφορά του IEA (International Energy Agency), ο οποίος είναι διεθνής φορέας, στις ΑΠΕ. Κατά τον IEA όλες οι οικονομοτεχνικές μελέτες, που έχει επιμεληθεί, προωθούν μια συνεχόμενη αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο στις ΑΠΕ [8,9].

1.4 Νομοθετικό (θεσμικό) πλαίσιο

Το θεσμικό πλαίσιο που αφορά τις ΑΠΕ μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δυο βασικούς τομείς. Ο ένας είναι οι νομοθετικές ρυθμίσεις που γίνονται χάριν της ανάπτυξης. Αναφέραμε και σε προηγούμενες παραγράφους ότι πρόκειται για νέες τεχνολογίες και μια καινούργια αγορά. Συνεπώς τα διαφαινόμενα κέρδη, οι θέσεις εργασίας κ.α., που ενδεχομένως μπορούν να προκύψουν, είναι παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία του αναφορικού θεσμικού πλαισίου. Ο δεύτερος τομέας αναφέρεται σε περιβαλλοντικά θέματα. Οι κλιματικές αλλαγές και οι οικολογικές καταστροφές που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια έχουν ευαισθητοποιήσει την κοινή γνώμη και τις κυβερνήσεις παγκοσμίως, με αποτέλεσμα να προωθούνται συνθήκες εις βάρος παλαιών ρυπογόνων μορφών παραγωγής ενέργειας, που παράλληλα σημαίνει προώθηση των ΑΠΕ.

Στην Ελλάδα υπάρχει πλειάδα νόμων και υπουργικών αποφάσεων, τόσο εγχώριων όσο και ευρωπαϊκού επιπέδου για την προώθηση των ΑΠΕ. Από τις βασικότερες μπορεί να θεωρηθεί η Οδηγία 2009/28/EK όπου το Εθνικό Σχέδιο Δράσης προβλέπει την επίτευξη της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020 [10]. Αυτό και μόνο σηματοδοτεί την ανάπτυξη και εξέλιξη που θα έχει ο τομέας αυτός τουλάχιστον την επόμενη δεκαετία. Ως ΑΠΕ ορίζονται σύμφωνα με τον Ν 2773/1999 οι εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από:

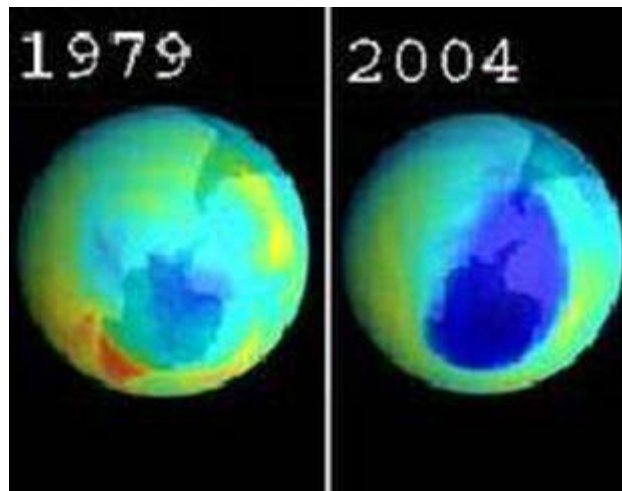
- 1.Την εκμετάλλευση Αιολικής ή Ηλιακής Ενέργειας ή βιομάζας ή Βιοαερίου.
- 2.Την εκμετάλλευση Γεωθερμικής Ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού Γεωθερμικού Δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις.
- 3.Την εκμετάλλευση της Ενέργειας από την Θάλασσα.
- 4.Την εκμετάλλευση Υδάτινου Δυναμικού με Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς μέχρι 10 MW.
- 5.Συνδυασμό των ανωτέρω.
- 6.Τη Συμπαραγωγή, με χρήση των Πηγών Ενέργειας, των (1) και (2) και συνδυασμό τους.

Η εξέλιξη που είχε το θεσμικό πλαίσιο στην διάρκεια των τελευταίων ετών, μπορεί να συνοψιστεί στα παρακάτω:

- Απαρχή της εισόδου των Α.Π.Ε. στη χώρα αποτέλεσε ο Ν. 1559/1985 “Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”
- Ο Ν. 2244/1994 “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις” (ΦΕΚ Α’168) που έθεσε βάσεις για ουσιαστική ανάπτυξη των Α.Π.Ε
- Ο Ν. 2773/1999 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας διατήρησε το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς των Α.Π.Ε. δίνοντας έμφαση και στο θέμα της προτεραιότητας πρόσβασης στο δίκτυο.
- Ο Ν. 2941/2001 “Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. 'ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ' και άλλες διατάξεις” (ΦΕΚ Α’ 201) αντιμετώπισε αποτελεσματικά το θέμα του αδειοδοτικού καθεστώτος.
- Ο Ν. 3175/2003 καθιέρωσε για πρώτη φορά συνεκτικό σύνολο κανόνων για την ορθολογική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.
- Ο Νόμος 3468/2006 “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις” (ΦΕΚ Α’ 129) εισάγει διατάξεις που στοχεύουν αποκλειστικά στη ρύθμιση θεμάτων ανάπτυξης, ένταξης στο Σύστημα/Δίκτυο και τιμολόγησης έργων ΑΠΕ και Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ).
- Νόμος 3734/2009 (ΦΕΚ Α' 8/28-1-09): «Προώθηση της συμπαράγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις» Με το νόμο αυτό γίνεται εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2004/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Φεβρουαρίου 2004 για την προώθηση της συμπαράγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της Οδηγίας 92/42/ΕΟΚ (ΕΕ L 52/50) και συμπλήρωση του νομικού πλαισίου για την προώθηση της συμπαράγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας
- Κανονιστικό πλαίσιο νόμου 3734/2009 - ΚΥΑ 1079/2009 «Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων.»

- 6.3 Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/EK και 2003/30/EK

Εκτός όμως από την ελληνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, υπάρχουν κατευθύνσεις και σε παγκόσμιο επίπεδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο στην ουσία προσπαθεί να περιορίσει την χρήση των παραδοσιακών και συμβατικών πηγών ενέργειας, προωθώντας έτσι εμμέσως τις ΑΠΕ και εναλλακτικές μορφές. Τα αρχικά κίνητρα που οδήγησαν τελικά στο πρωτόκολλο του Κιότο, ήταν οικολογικής και περιβαλλοντικής φύσης. Οι κλιματικές αλλαγές και οι μεγάλες εκπομπές σε CO₂ ευαισθητοποίησαν αρχικά επιστήμονες, που προσπάθησαν να αναδείξουν το υπάρχον πρόβλημα. Η έλλειψη της επιβολής μέτρων και ελέγχου οδήγησε την παραγόμενη ρύπανση να είναι ορατή και αντιληπτή, όπως στις περιπτώσεις μόλυνσης υδάτων. Η τρύπα του όζοντος στην ατμόσφαιρα προκαλεί ακόμη και σήμερα ανησυχία.



Εικόνα 1.1: Τρύπα του όζοντος τα έτη 1979 και 2004
Πηγή: <http://7gym-kater.pie.sch.gr/molinsiperivalontos.htm>

Από τα τέλη της δεκαετίας του '80 δημιουργήθηκαν διεθνείς φορείς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας ή η Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος. Οι οργανισμοί αυτοί προώθησαν μια διαπραγμάτευση για μια διεθνή σύμβαση αναφορικά με τις δυνητικές μελλοντικές κλιματικές αλλαγές που θα μπορούσαν να συμβούν και παράλληλα πρότειναν σχέδια δράσης. Οι προσπάθειες καρποφόρησαν με το πρωτόκολλο του Κιότο που έθετε σε εφαρμογή τα πρώτα μέτρα μόλις το 2008. Αξίζει να επισημανθεί ότι η μόνη χώρα που δε συμφώνησε στην εφαρμογή ήταν οι ΗΠΑ. Ο κεντρικός άξονας γύρω από τον οποίο περιστρεφόταν η

συμφωνία είναι η μείωση των εκπομπών ρύπων, κυρίως του CO₂. Μεγάλο κομμάτι των εκπομπών οφειλόταν στην παραγωγή ενέργειας με πρώτη ύλη τον άνθρακα. Η δέσμευση των χωρών για μείωση των εκπομπών, αυτόματα θα δημιουργούσε ένα κενό στην απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας. Δεδομένου ότι η τάση είναι να αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το κενό έδωσε θεσμικά σε διεθνές επίπεδο την ώθηση στις ΑΠΕ ώστε να γίνουν αντικείμενο επένδυσης και ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 2^ο – Ηλιοθερμική Τεχνολογία

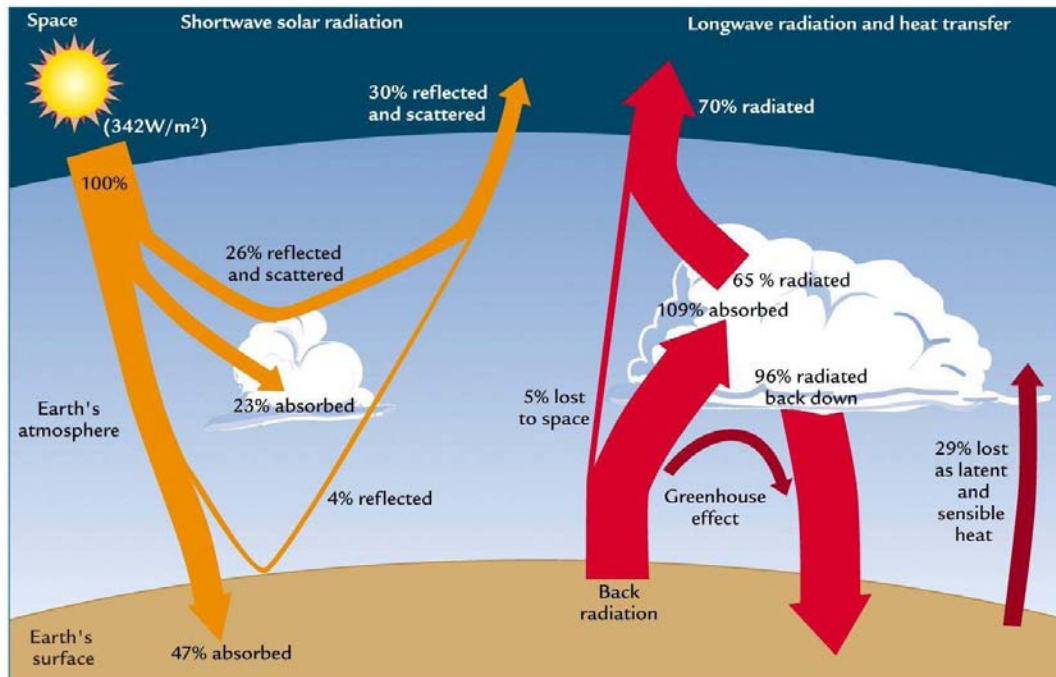
2.1 Γενική περιγραφή της Ηλιοθερμικής Τεχνολογίας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε και εξηγήθηκε αναλυτικά η αυξανόμενη τάση χρήσης ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τον ήλιο ως πηγή βρίσκουν ολοένα και μεγαλύτερη αποδοχή και είναι κυρίως τα φωτοβολταϊκά και οι ηλιοθερμικοί σταθμοί. Από αυτά, τα φωτοβολταϊκά τυγχάνουν μεγαλύτερης αποδοχής. Ωστόσο οι ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις παρουσιάζουν μια άνοδο στη χρήση, γεγονός στο οποίο συνετέλεσε και το θεσμικό πλαίσιο με τους νόμους αναφορικά με τη συμπαραγωγή.

Η λειτουργία ηλιοθερμικών σταθμών βασίζεται στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, ως εξής: Γίνεται χρήση κατόπτρων για την εστίαση και συγκέντρωση της ακτινοβολίας κι ως εκ τούτου δημιουργούνται κατευθυνόμενα υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή άλλης μορφής ενέργειας (κυρίως θερμική) είναι γνωστή από τα αρχαία ακόμη χρόνια. Γηραιότερη και από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές, αποτελεί η χρήση κατόπτρων από τον Αρχιμήδη για την βύθιση ρωμαϊκού στόλου το 213 π.Χ στις Συρακούσες. Από τότε η ενέργεια του ήλιου έχει χρησιμοποιηθεί πάμπολλες φορές για λόγους θέρμανσης, κυρίως νερού. Ωστόσο η παραγωγή ηλεκτρισμού σε μεγάλη κλίμακα, εγκαθιδρύθηκε από τα μέσα της δεκαετίας του '70 [10-13]. Τα επόμενα χρόνια υπήρξε μια στασιμότητα η οποία οφείλεται κυρίως στο πρώιμο της τεχνολογίας και στις αυξημένες οικονομικές απαιτήσεις για την παραγωγή και συντήρηση των εγκαταστάσεων ηλιοθερμικών μονάδων καθώς και στην αφθονία εναλλακτικών λύσεων την εποχή εκείνη [10].

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται, κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης και μπορεί να κυμαίνεται από κάποιες εκατοντάδες μέχρι και 1000°C . Για αυτό χρησιμοποιείται αριθμός κατόπτρων για την συγκέντρωση και εστίαση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάποιο μέσο ώστε αυτό να θερμανθεί. Το μέσο στο οποίο αναφερόμαστε είναι κάποιο υγρό, η τήξη του οποίου οδηγεί τους ατμούς σε μια ατμομηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα σημείο, που πρέπει ιδιαίτερα να τονισθεί, είναι το είδος της ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αντίθετα, με τα φωτοβολταϊκά, απαιτείται άμεση ακτινοβολία, ενώ τα ηλιοθερμικά κάτοπτρα

μπορούν να λειτουργήσουν με μικρότερη απόδοση και με την έμμεση ή ανακλώμενη ακτινοβολία.



Εικόνα 2.1: Ηλιακή ακτινοβολία
Πηγή: <http://zolushka4earth.wordpress.com/tag/insolation/>

Συμπερασματικά, για να μπορεί να καταστεί μια συμφέρουσα ηλιοθερμική εγκατάσταση θα πρέπει να λειτουργεί σε γεωγραφική τοποθεσία με μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλό δείκτη άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

2.2 Ηλιακή Ενέργεια

Η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται ως αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι ο ήλιος. Για το λόγο, αυτό θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν στη παράγραφο αυτή τα βασικότερα χαρακτηριστικά του, κι επιπλέον να δοθούν εξηγήσεις για την εκπεμπόμενη ακτινοβολία.

Ήλιος

Ο ήλιος είναι το κοντινότερο στη γη άστρο. Η απόσταση αυτή μεταβάλλεται λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο, ωστόσο η μέση απόσταση έχει καθοριστεί στα $1,5 \cdot 10^{11}$ m. Αποτελείται από πυκνή και καυτή αέρια ύλη κι έχει διάμετρο $1.392 \cdot 10^6$ m. Όπως όλα τα αστέρια παράγει τεράστιες ποσότητες ενέργειας

μέσω της διαδικασίας πυρηνικής σύντηξης, κατά την οποία άτομα υδρογόνου μετατρέπονται σε άτομα ηλίου. Ειδικότερα, το παραγόμενο άτομο ηλίου έχει μικρότερη μάζα από τα αρχικά συνθετικά άτομα υδρογόνου και η διαφορά αυτή σε μάζα μετατρέπεται ουσιαστικά σε ενέργεια. Η παραγόμενη ισχύς από τον ήλιο ανά ώρα έχει υπολογιστεί στα: $P = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$ και διαχέεται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Είναι γνωστό από τη φυσική ότι η ένταση της πηγής ενός σημείου μειώνεται με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή. Η μαθηματική έκφραση αυτού είναι:

$$S_0 = P / (4\pi \cdot R^2) \text{ σε } (\text{W}/\text{m}^2)$$

Συνεπώς για τη γη το μέγεθος αυτό υπολογίζεται στα $1370 \text{ W}/\text{m}^2$.

Η θερμοκρασία του ηλίου έχει υπολογιστεί στην επιφάνειά του στους 5780° K και στο πυρήνα $13,6 \cdot 10^6 \text{ K}$. Η μάζα και η πυκνότητα εκτιμώνται αντίστοιχα σε $1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ και $1.408 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

Τέλος αναφέρουμε ότι αστρονόμοι έχουν κατηγοριοποιήσει τα άστρα ανάλογα με το είδος και την ποσότητα ακτινοβολίας, που σχετίζεται και με την θερμοκρασία της επιφάνειας. Συνεπώς ανάλογα με την ακτινοβολία, γίνεται αντιληπτό κάποιο συγκεκριμένο χρώμα του φάσματος ενός αστεριού από έναν παρατηρητή που θα βρισκόταν εκτός ατμόσφαιρας.

Κλάση/ Τύπος	Θερμοκρασία επιφάνειας	Χρώμα
O	$\geq 33,000 \text{ K}$	Μπλε
B	http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification - Class B 10,000–33,000 K	Ανοιχτό μπλε
A	7,500–10,000 K	Λευκό
F	http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification - Class F 6,000–7,500 K	Ανοιχτό κίτρινο
G	5,200–6,000 K	Κίτρινο
K	3,700–5,200 K	Πορτοκαλί
M	http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification - Class M $\leq 3,700 \text{ K}$	Κόκκινο

Πίνακας 2.1: Περιγραφή θερμοκρασίας επιφάνειας σύμφωνα με το χρώμα εκπομπής

Από τους αριθμούς που δόθηκαν παραπάνω συνάγουμε ότι ο ήλιος μας είναι αστερί τύπου G [13,15].

Ακτινοβολία

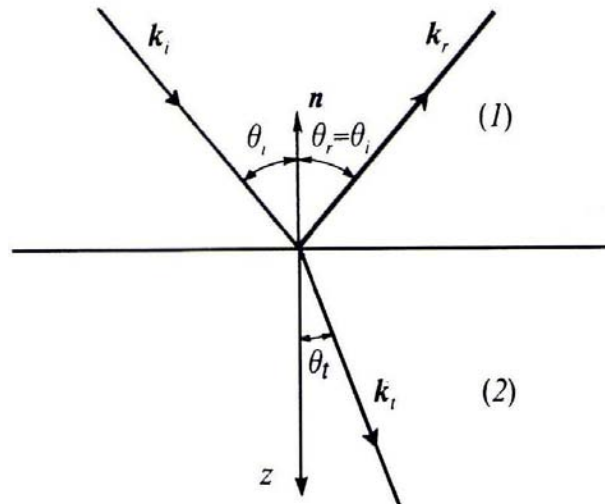
Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε αναφορά επιγραμματικά στο μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μονάδα μέτρησης είναι W/m^2 ανά χρονική μονάδα. Η *ολική ακτινοβολία* που προσπίπτει στη γη μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα δυο επί μέρους συνιστωσών. Της *άμεσης* και της *διάχυτης ακτινοβολίας*.

Άμεση ακτινοβολία: Ονομάζεται η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης απ' ευθείας με ελάχιστη σκέδαση. Οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η ατμόσφαιρα, το γεωγραφικό σημείο της τοποθεσίας, το ύψος του ήλιου και απόστασή του από τη γη.

Διάχυτη ακτινοβολία: Ονομάζεται η ακτινοβολία του ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της γης για δεύτερη φορά από ανάκλαση στην επιφάνεια που έχει προηγηθεί ή πρόκειται για ακτινοβολία από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διάχυτη ακτινοβολία είναι το ύψος του ήλιου, ο συντελεστής ανάκλασης της επιφάνειας (λευκαύγεια), το ποσό και το είδος των νεφών καθώς και το ποσό και είδος σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

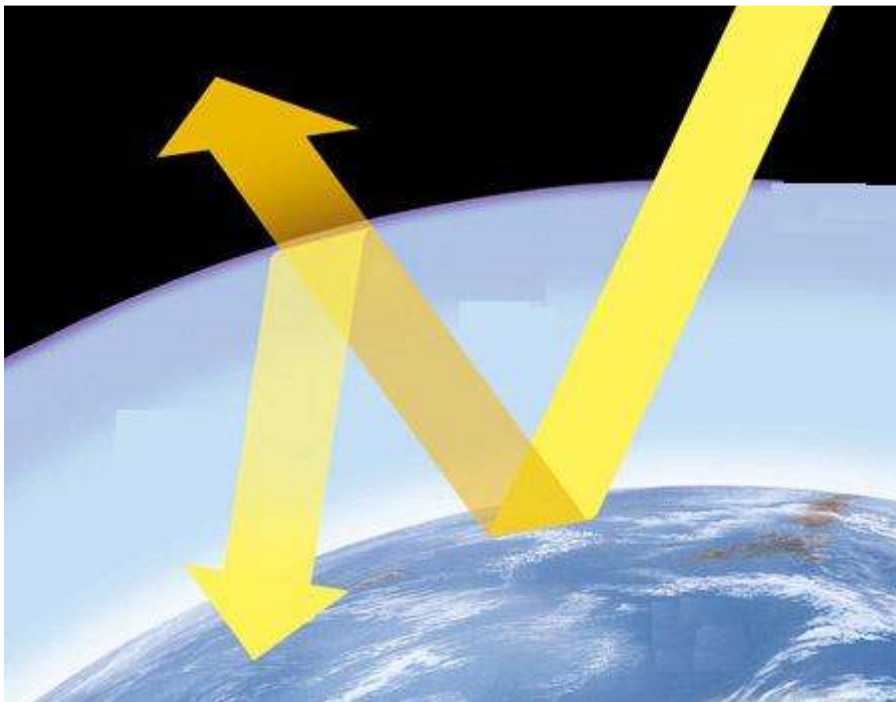
Ανάκλαση – Διάθλαση

Το φαινόμενο της ανάκλασης και διάθλασης του φωτός και εν γένει ενός κύματος γενικότερα, μπορεί να οριστεί ως η μεταφορά του κύματος σε ένα μέσο ϵ_1 και η πρόσπτωση σε ένα άλλο ϵ_2 το οποίο χωρίζεται από το ϵ_1 με μια διαχωριστική επιφάνεια S . Οι συνιστώσες που δημιουργούνται από το αρχικό κύμα αποτελούν το ανακλώμενο και διαθλώμενο κύμα, όπως διακρίνονται παρακάτω στο σχήμα.



Εικόνα 2.2

Οι γωνίες και η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Ενδεικτικά αναφέρουμε το είδος της ακτινοβολίας και τη φύση του μέσου. Αναφορικά με την ηλιακή ακτινοβολία, η πρόσπτωση σε διαφορετικό μέσο μπορεί να θεωρηθεί ότι συμβαίνει δυο φορές. Αρχικά κατά την είσοδο των ακτινών από το διάστημα στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια κατά την άφιξή τους στην επιφάνεια της γης [16].



Εικόνα 2.3

Πηγή: http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/ocr_gateway/energy_resources/global_warmingrev1.shtml

Ως ανάκλαση μπορούμε να ορίσουμε την ικανότητα ενός υλικού να απορρίπτει ακτινοβολία. Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε την ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς αξίζει να σημειωθεί ότι υλικά που έχουν υψηλό δείκτη ανάκλασης χαρακτηρίζονται ως ψυχρά. Ως δείκτης ανάκλασης θεωρείται ο λόγος της ανακλώμενης ροής στην προσπίπτουσα ροή. Αυτός συνήθως συσχετίζεται και με το χρώμα του υλικού, δεδομένου ότι ανοιχτά χρώματα αντανακλούν μεγαλύτερο μέρος από το οπτικό φάσμα έναντι των πιο σκούρων [16]. Ως διάθλαση ορίζεται το γεγονός κατά το οποίο μέρος της ακτίνας που προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων ανακλάται στο αρχικό μέσο μετάδοσης και το υπόλοιπο (διαθλασμένο) περνάει στο δεύτερο μέσο.

Θεωρώντας δυο μέσα με δείκτη διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα, έχουν οριστεί από τον Snell μαθηματικές εκφράσεις για τον καθορισμό των γωνιών ενός συστήματος (βλ. εικ. 2.2).

$$n_1 * \sin(\theta_1) = n_2 * \sin(\theta_2) \quad (\text{Νόμος του Snell})$$

Ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης και το μέσο διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν μια ακτίνα (φωτός) προσπίπτει κάθετα σε μια επιφάνεια, δεν αλλάζει κατεύθυνση. Σε περίπτωση που το αρχικό μέσο είναι το κενό, η πρόσπτωση της ακτίνας στη διαχωριστική επιφάνεια είναι κάθετη.

- Όταν $n_1 < n_2$ έχουμε:

$$\sin(\theta_t) = (n_1 / n_2) * \sin(\theta_i) < \sin(\theta_i) \leq 1$$

Δηλαδή, η γωνία θ_t που παίρνει πάντοτε πραγματικές τιμές ($0 \leq \theta_t \leq \pi/2$) για οποιαδήποτε τιμή της γωνίας πρόσπτωσης θ_i ($0 \leq \theta_i \leq \pi/2$), είναι μικρότερη της γωνίας θ_i :

$$\theta_t < \theta_i$$

- Όταν $n_1 > n_2$ έχουμε:

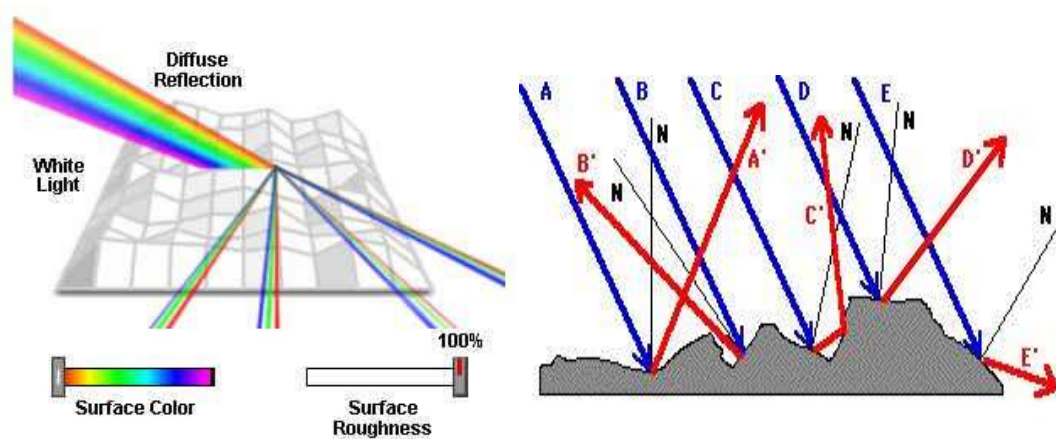
$$\sin(\theta_t) = (n_1 / n_2) * \sin(\theta_i) > \sin(\theta_i)$$

Δηλαδή

$$\theta_t > \theta_i$$

Δηλαδή, η γωνία θ_i παίρνει πραγματικές τιμές μόνον αν: $\sin(\theta_i) \leq n_2 / n_1$ αφού για $\theta_i > n_2 / n_1$ θα είχαμε τιμές του $\sin(\theta_i)$ μεγαλύτερες της μονάδας. [16].

Ειδική περίπτωση της ανάκλασης αποτελεί η διάχυση του φωτός. Έτσι λόγω της μορφολογίας του εδάφους επί του οποίου προσπίπτουν οι ακτίνες του ήλιου παρατηρείται μια ακανόνιστη διασπορά στις ακτίνες κατά την ανάκλαση όπως φαίνεται παρακάτω στις εικόνες.



Εικόνα 2.4 Διάχυση φωτός

Πηγή: http://members.ozemail.com.au/~rdunlop/CoplandMain/PhysOpticsYr11_06.htm
<http://www.physicsclassroom.com/class/refln/u1311d.cfm>

2.3 Θερμότητα

Η θερμότητα μπορεί να οριστεί ως η ενέργεια που μεταφέρεται από το ένα σύστημα σε ένα άλλο από τη θερμική αλληλεπίδραση αυτών [18]. Η μετάδοση της θερμότητας αναφέρεται σ' αυτήν ακριβώς τη ροή θερμότητας, που είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής θερμοκρασίας των συνιστωσών ενός συστήματος. Έτσι παρατηρείται μετάδοση θερμότητας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο μέσο [19]. Η μετάδοση θερμότητας μπορεί να συμβεί κυρίως με τρεις τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, μετάδοση θερμότητας μπορεί να συμβεί με αγωγή (conduction), με ακτινοβολία (radiation) ή με συναγωγή (convection). Η συναγωγή μπορεί να χαρακτηριστεί ως συνδυασμός των άλλων δυο.

Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή αναφέρεται στην ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ σωματιδίων σε μικροσκοπική κλίμακα. Δηλαδή το φαινόμενο εξετάζεται ουσιαστικά σε επίπεδο ατόμων και μορίων. Πιο συγκεκριμένα σωματίδια υψηλής ενεργειακής στάθμης αλληλεπιδρούν με σωματίδια χαμηλής, μεταφέροντας σ' αυτά τη θερμοκρασία, εξισώνοντας έτσι τη διαφορά και τείνοντας προς τη θερμική ισορροπία του συνολικού συστήματος. Η αλληλεπίδραση πραγματοποιείται μέσω της κίνησης των ατόμων και μορίων στο πλέγμα του υλικού και τις συγκρούσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των γειτονικών σωματιδίων. Μ' αυτόν τον τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα στα παρακείμενα άτομα. Είναι προφανές πώς η μετάδοση θερμότητας με αγωγή είναι ταχύτερη και σημαντικότερη στα στερεά υλικά, κι αυτό λόγω της συμπαγέστερης μοριακής δομής τους συγκριτικά με τα αέρια και υγρά [19].

Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία οφείλεται στην εκπομπή ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας που έχει. Η ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός σώματος εξαρτάται από την θερμοκρασία που έχει αποκτήσει αυτό καθώς και από το υλικό της επιφάνειας [18]. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι ηλεκτρομαγνητική και οφείλεται στις μεταβολές της ενεργειακής κατάστασης των στοιχειωδών σωματιδίων του εκπεμπόμενου μέσου. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα αντιστοιχεί σε συχνότητες ολόκληρου του φάσματος ακτινοβολίας. Από τη θερμική ακτινοβολία αντιλαμβανόμαστε μόνο το αποτέλεσμα που είναι η αύξηση της θερμοκρασίας, την αυτή καθ' αυτή ακτινοβολία δεν μπορούμε να την αντιληφθούμε οπτικά με γυμνό μάτι, κι αυτό γιατί πρόκειται για ακτινοβολία εκτός του ορατού φάσματος (~ 400-800THz).



Εικόνα 2.5 Θερμική ακτινοβολία οικίας
Πηγή: <http://www.indy-infrared.com/>

Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή

Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή αναφέρεται σε ένα σύστημα όπου αλληλεπιδρούν ένα ρευστό και ένα στερεό σώμα. Συγκεκριμένα πρόκειται για την κίνηση ενός ρευστού σώματος επί μιας στερεής επιφάνειας [20]. Η μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι φαινόμενο που συναντάται συχνά στη φύση, χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα ρεύματα των ωκεανών ή η κίνηση του μανδύα κάτω από τον φλοιό της γης. Η μαθηματική έκφραση της συναγωγής δίνεται από τον νόμο του Newton ως:

$$Q=h*A*(T_w - T_{\infty})$$

Όπου:

A: Η επιφάνεια του στερεού επί της οποίας βρίσκεται το ρευστό σώμα (m²).

h: Συντελεστής συναγωγής (W/m² * K)

T_w: Θερμοκρασία επιφάνειας (°C)

T_∞: Θερμοκρασία ρευστού (°C)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή είναι κυρίως οι εξής:

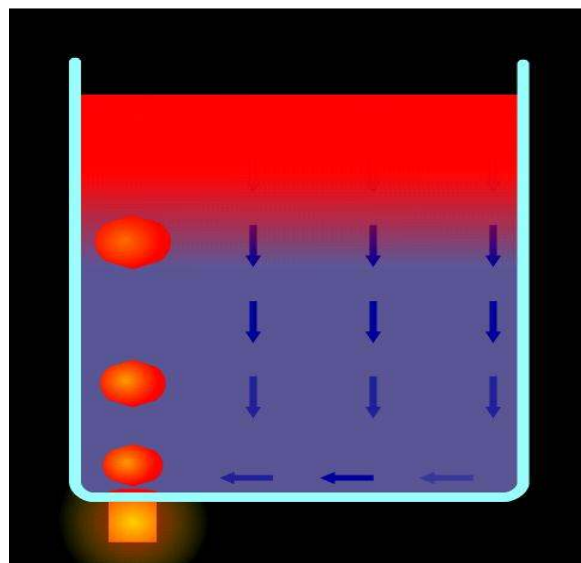
Τα χαρακτηριστικά του στερεού σώματος του συστήματος:

- Το σχήμα του. Έχει σημασία εάν πρόκειται για ομαλές πλάκες ή κυλίνδρους ή σφαίρες.
- Το πάχος των τοιχωμάτων του στερεού σώματος συμβάλει εξίσου σημαντικό ρόλο στη μετάδοση θερμότητας.

Ο τρόπος κίνησης του ρευστού σώματος: Ο τρόπος κίνησης του ρευστού μπορεί είτε να συμβαίνει φυσικά και αυτόκλητα λόγω των συνθηκών που επικρατούν ή μπορεί να έχει προκληθεί και ανάμειξη από εξωτερικό παράγοντα.

Θερμική κατάσταση του τοιχώματος: Η διανομή της θερμοκρασίας επί του τοιχώματος είναι ο συντελεστής της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και επηρεάζει την θερμική κατάσταση.

Ο τύπος του ρευστού: Διαφορετική είναι η μετάδοση θερμότητας στο ίδιο σύστημα ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ρευστό. Παραδείγματα ρευστών μπορεί να είναι τα έλαια, ή το νερό, ή κάποιο αέριο ή υγρό μέταλλο [21,22].



Εικόνα 2.6 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή

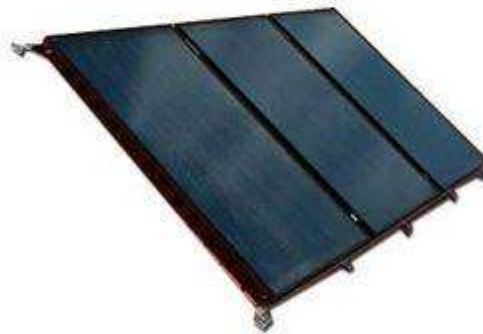
Πηγή: http://spaceflight.esa.int/impress/text/education/Heat%20Transfer/Convection_01.html

Κεφάλαιο 3^ο – Ηλιακά Κάτοπτρα

3.1 Γενική περιγραφή ηλιακών κατόπτρων

Η παραγόμενη ενέργεια από έναν ηλιακό συλλέκτη εξαρτάται από τις οπτικές και θερμικές ιδιότητές του. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε θερμότητα, που μεταφέρεται σε ένα ρευστό. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε διεξοδικά τους δυο τύπους ηλιακών συλλεκτών που υπάρχουν, που είναι οι συγκεντρωτικοί και οι σταθεροί (μη συγκεντρωτικοί) ηλιακοί συλλέκτες.

Επί γραμματικά, ένας σταθερός ηλιακός συλλέκτης έχει μια συγκεκριμένη περιοχή για να λαμβάνει και να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ αντίθετα οι συγκεντρωτικοί συνηθίζεται να έχουν κοίλες επιφάνειες και να ακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μ' αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται η ακτινοβολία που προσπίπτουν σ' αυτούς, όπως απεικονίζεται παρακάτω στις εικόνες.



Εικόνα 3.1 Συγκεντρωτικοί και σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες

Πηγή: http://www.integralsystems.org/solar_concentrator_systems.htm

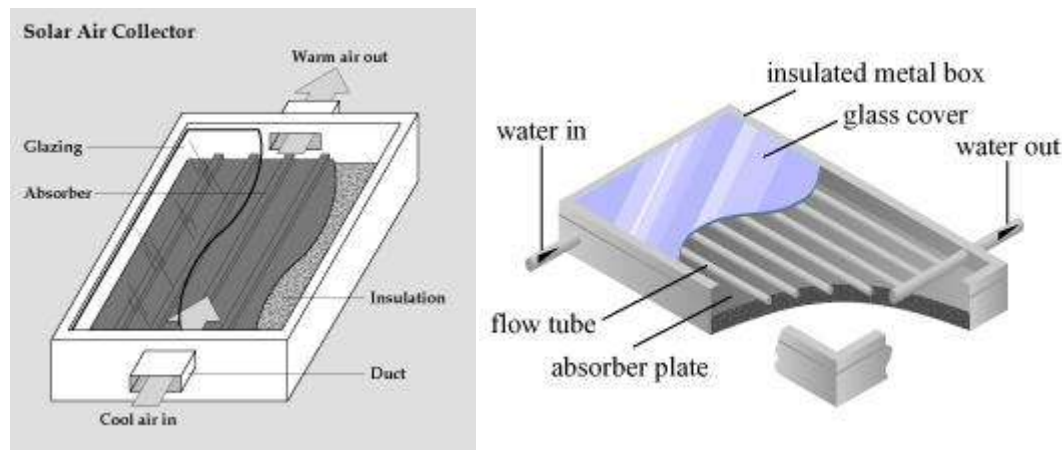
<http://www.indiamart.com/sunglazesolar-systems/solar-energy-products.html>

Οι συλλέκτες, που χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση, για τη θέρμανση νερού ή χώρου, συνήθως είναι σταθεροί, ενώ οι συλλέκτες, που χρησιμεύουν για μεγαλύτερες και βιομηχανικές εφαρμογές είναι συγκεντρωτικοί. Αυτοί οι συλλέκτες

αποτελούν μέρος ενός συστήματος μετατροπής ενέργειας που περιλαμβάνει αντλίες, χώρους αποθήκευσης, βαλβίδες κ.α [23].

3.2 Σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες

Οι παλαιότεροι και καλύτερα αναπτυγμένοι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι σταθεροί. Για την μετάδοση της θερμότητας χρησιμοποιείται σ' αυτούς είτε κάποιο υγρό είτε κάποιο αέριο .



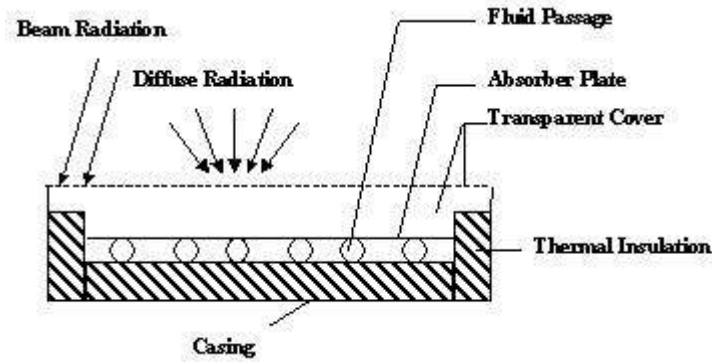
Εικόνα 3.2 Σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες με χρήση αέρα και νερό

Πηγή: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_air_collector.html

<http://solartribune.com/solar-flat-plate-collector/#.UDufqBL6xI>

Οι συλλέκτες που λειτουργούν με τη χρήση υγρού, αποτελούνται στην πλειοψηφία τους από τα εξής δομικά υλικά:

1. Μια μεταλλική πλάκα (συνήθως επίπεδη), επί της οποίας προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία και απορροφάται.
2. Σωλήνες που συνδέονται στην επιφάνεια απορρόφησης για να κυκλοφορεί εντός αυτών το απαιτούμενο υγρό που χρησιμεύει για την μεταφορά θερμότητας από την πλάκα.
3. Θερμομόνωση στην πλάγια και κάτω όψη της πλάκας για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας.
4. Διαφανής επικάλυψη (γυαλί ή πλαστικό) για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας προς τα άνωθεν.
5. Στεγανό κιβώτιο που περικλείει τα παραπάνω.



Εικόνα 3.3 Μέρη σταθερού ηλιακού συλλέκτη λειτουργίας με υγρό

Πηγή: http://freespace.virgin.net/m.eckert/new_page_6.htm

Σχετικά με τους σταθερούς ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούν αέρα αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω

Γενικά ο αέρας χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ως μέσο για τη μεταφορά θερμότητας. Σε εφαρμογές όπου στόχος είναι η θέρμανση του αέρα ή το στέγνωμα, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο κι αυτό γιατί ο θερμός αέρας είναι και ο τελικός παραλήπτης της ενέργειας. Συνεπώς, τέτοιου τύπου ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν την ιδανική λύση για τη θέρμανση. Ωστόσο οι συλλέκτες που χρησιμοποιούν αέρα, δεν έχουν αναπτυχθεί στην ίδια έκταση με τους υγρούς.

Η χρήση αέρος, ως ρευστό εργαζόμενο μέσο, εξαλείφει την ανάγκη ύπαρξης ενός εναλλάκτη θερμότητας, που χρησιμοποιείται για μεταφορά της θερμότητας του υγρού στον αέρα. Η κύρια διαφορά μεταξύ των ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούν υγρό και σ' αυτούς που χρησιμοποιούν αέριο, είναι ο τρόπος μεταφοράς της θερμότητας μεταξύ της πλάκας απορρόφησης και του ρευστού μέσου. Με τη χρήση υγρού η μεταφορά θερμότητας στο μέσο πραγματοποιείται με συναγωγή, αντίθετα όταν το ρευστό είναι αέρας η συναγωγή είναι ασήμαντη.

Τα πλεονεκτήματα, που μπορούν να αναφερθούν για το αέριο μέσο, είναι το μικρότερο κόστος της εγκατάστασης, η μακροζωία, η μικρότερη απαιτούμενη ισχύς σε αντλίες, η ελαχιστοποίηση του κινδύνου παγετού.

Όμως τα μειονεκτήματα υπερτερούν των πλεονεκτημάτων. Η φτωχή μεταφορά της θερμότητας από την πλάκα απορρόφησης στο μέσο και οι χαμηλότεροι συντελεστές απόδοσης, συγκριτικά με τους ηλιακούς συλλέκτες που λειτουργούν με υγρά, τελικά έχουν δώσει προβάδισμα στα τελευταία [24,25].

Υλικά Σταθερών Ηλιακών Συλλεκτών

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ηλιακών συλλεκτών με σκοπό τη θέρμανση και ψύξη, απαιτεί τη γνώση των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων υλικών, για να μπορεί να προβλεφθεί η απόδοση και αντοχή του συλλέκτη. Οι ιδιότητες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Θερμοφυσικές ιδιότητες
- Φυσικές ιδιότητες
- Περιβαλλοντικές ιδιότητες

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες αναφέρονται στη θερμική αγωγιμότητα, τη θερμοχωρητικότητα και τη μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία. Οι φυσικές ιδιότητες αναφέρονται στη πυκνότητα, την αντοχή εφελκυσμού, το μέτρο ελαστικότητας και το σημείο τήξης. Οι περιβαλλοντικές ιδιότητες διαπραγματεύονται την αντοχή στη διάβρωση, την αντίσταση σε υπεριώδη ακτινοβολία και την υποβάθμιση λόγω ρύπων στην ατμόσφαιρα [24].

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε από κατασκευαστικής πλευράς τα επί μέρους εξαρτήματα ηλιακών συλλεκτών:

Πλάκα απορρόφησης: Η πλάκα απορρόφησης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας, θλιπτικής αντοχής καθώς και ανθεκτικότητας στη διάβρωση. Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο και το ατσάλι. Αξίζει να σημειωθεί ότι για λόγους διάβρωσης στην περίπτωση χρήσης αλουμινίου το ρευστό μέσο δεν είναι το νερό εξαιτίας των ιόντων χαλκού και χλωριδίων που περιέχει. Παρακάτω δίνεται πίνακας με χαρακτηριστικά υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή συλλεκτών.

Υλικό	Πυκνότητα (kg/m^3)	Ειδική Θερμότητα ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$)	Θερμική αγωγιμότητα ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)
Αλουμίνιο	2707	0.996	204
Σίδηρος	7897	0.452	73
Ατσάλι	7833	0.465	54
Χαλκός	8954	0.383	386
Ορείχαλκος	8522	0.385	111

Ασήμι	10524	0.234	419
Κασσίτερος	7304	0.226	64
Ψευδάργυρος	7144	0.384	112

Πίνακας 3.1: Ιδιότητες υλικών

Μόνωση: Ένα σύνολο υλικών χρησιμοποιούνται για την θερμική μόνωση, ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός μονωτικού υλικού είναι: Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, σταθερότητα, να μην υφίσταται απαέρωση έως τους 200 °C, ευκολία εφαρμογής και να μη συμβάλει στη διάβρωση.

Κάλυμμα: Τα χαρακτηριστικά του καλύμματος διαμέσου του οποίου μεταδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τη λειτουργία του συλλέκτη. Μέσω του καλύμματος θα πρέπει να μεταδίδεται η μέγιστη δυνατή ηλιακή ενέργεια στην πλάκα απορρόφησης και παράλληλα να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας. Επιπλέον, το κάλυμμα παρέχει προστασία έναντι των καιρικών συνθηκών. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την επιλογή υλικού είναι η ανθεκτικότητα, η αντοχή και η διαπερατότητα ηλιακής ενέργειας. Το γυαλί ασφαλείας είναι η δημοφιλέστερη λύση λόγω των εξαιρετικών επιδόσεων στις απαιτούμενες ιδιότητες. Ωστόσο, τυγχάνουν χρήσης και διάφορα διαφανή πλαστικά όπως ακρυλικά-πολυκαρβονικά ή και ταινίες Tedlar, Mylar [24].

Μια υποκατηγοριοποίηση που συναντάμε στους σταθερούς ηλιακούς συλλέκτες είναι βάσει του σχήματός τους. Έτσι διακρίνουμε τους:

1. Συλλέκτες επίπεδης πλάκας.
2. Σταθεροί σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες.
3. Συλλέκτες σωλήνα κενού.

3.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να αναπτύξουν θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες από αυτές των σταθερών. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εστίαση της ηλιακής ενέργειας σε ένα στόχο. Ο στόχος μπορεί να είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα ή σημείο. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες επιτυγχάνονται όταν πραγματοποιείται σημειακή εστίαση. Ωστόσο θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο απαιτούμενος εξοπλισμός για ένα τέτοιο σύστημα έχει μεγάλο κόστος και προορίζεται κυρίως για εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Αντίθετα, οι σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες βρίσκουν χρήση και σε οικιακές εφαρμογές.

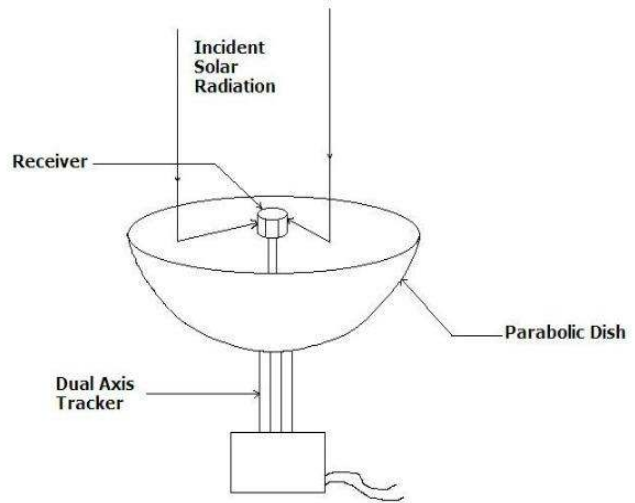
Αναφέρουμε σ' αυτό το σημείο ότι οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους μόνο την άμεση εκπεμπόμενη ακτινοβολία του ήλιου. Με την συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας σε έναν απορροφητή επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες [26]. Η μορφή των συγκεντρωτικών συλλεκτών παρουσιάζει πολλές διαφοροποιήσεις. Έτσι μπορούμε να συναντήσουμε ανακλαστικούς και διαθλαστικούς φακούς, κυλινδρικούς ή παραβολικούς σε ένα ενιαίο συνεχόμενο κομμάτι ή τμηματικούς

Η ιδιαιτερότητα των συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών είναι ότι παρακολουθούν τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας. Τα συστήματα παρακολούθησης του Ήλιου (sun tracking systems) μπορούν να λειτουργήσουν με δυο τρόπους. Α) Διαξονικά (αζιμουθιακά), όπου η συσκευή παρακολουθεί τον ήλιο σε δυο άξονες ή Β) Μονοαξονικά, όπου ο συλλέκτης έχει τον έναν προσανατολισμό σταθερό [27,28].

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερθούμε στην υπάρχουσα κατηγοριοποίηση συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών. Έτσι συναντάμε τους παρακάτω τύπους.

Παραβολικού δίσκου (parabolic dish collectors)

Οι ηλιακοί συλλέκτες αυτού του τύπου μοιάζουν με δορυφορικά πιάτα. Χρησιμοποιούνται συλλέκτες σημειακής εστίασης και η πορεία του ήλιου παρακολουθείται σε δυο άξονες. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σε έναν δέκτη, ο οποίος απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπει σε θερμική. Οι θερμοκρασίες που μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούν να ξεπεράσουν και τους 1000°C. Επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες παραβολικού δίσκου παρακολουθούν συνεχώς κι ακριβώς την πορεία του ήλιου έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με τους άλλους συλλέκτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορούν να αποτελούν συστοιχία ή να λειτουργούν ανεξάρτητα, μόνοι τους [29,30].

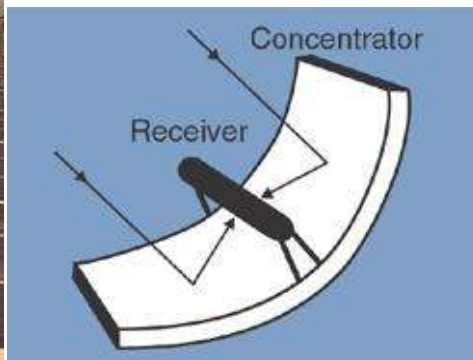


Εικόνα 3.4 Συλλέκτης Παραβολικού δίσκου (parabolic dish collectors)

Πηγή: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_parabolic_dish_collector.html

Συλλέκτες Παραβολικού Κυλίνδρου (Parabolic Trough Collector)

Οι Συλλέκτες Παραβολικού Κυλίνδρου έχουν σχήμα παραβολής και χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η ηλιακή ενέργεια να συγκεντρώνεται σε έναν σωλήνα δέκτη, που περιέχει το εργαζόμενο ρευστό μέσο και είναι τοποθετημένος κατά μήκος της γραμμής εστίασης του κοιλώματος. Ορισμένες φορές χρησιμοποιείται διαφανής γυάλινος σωλήνας για δέκτη ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Τα φύλλα κατασκευάζονται από ανακλαστικό υλικό και κατά τη λειτουργία του συστήματος μπορούν να αναπτυχθούν στο δέκτη θερμοκρασίες που φτάνουν μέχρι και τους 400 °C. Ο μηχανισμός παρακολούθησης που χρησιμοποιείται είναι συνήθως μονοαξονικός και σε σπανιότερες περιπτώσεις διαξονικός [29,31].

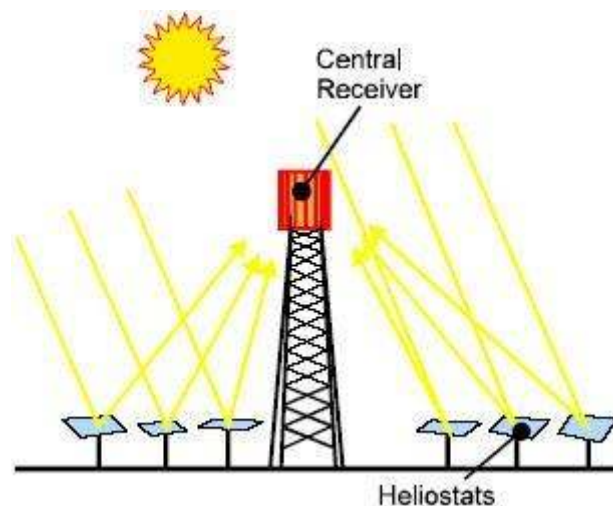


Εικόνα 3.5 Συλλέκτες Παραβολικού Κυλίνδρου (Parabolic Trough Collector)

Πηγή: <http://solareis.anl.gov/guide/solar/csp/index.cfm>

Κεντρικός δέκτης (Power Tower)

Στην προκειμένη περίπτωση, τοποθετούνται καθρέπτες σε ένα πεδίο, οι οποίοι παρακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της μέρας. Το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι διαξονικό για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία αντανακλάται σε έναν δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή ενός πύργου. Μ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατό να αναπτυχθούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να φτάσουν ακόμη και τους 1000 °C, στο δέκτη [29,32,33].



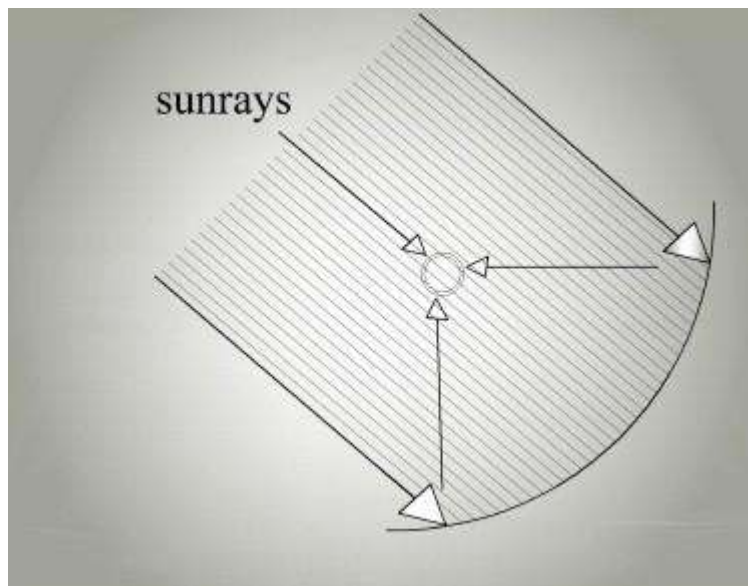
Εικόνα 3.6 Κεντρικός δέκτης (Power Tower)

Πηγή: <http://techbells.blogspot.com/2012/07/working-of-csp-power-tower.html>

<http://www.freewebs.com/solar-wind-dj/solarenergy.htm>

Γραμμικός ανακλαστήρας (stationary concentrating collector)

Στα συγκεκριμένα συστήματα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιούνται διατάξεις που συνδυάζουν παραβολικούς και επίπεδους ανακλαστήρες για να κατευθύνουν την ηλιακή ενέργεια στον δέκτη. Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο δέκτη γίνεται μέσω της κατανομής των καθρεπτών στο χώρο και τη γωνία που έχουν σχετικά με το δέκτη, κι όχι με μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου. Έτσι οι ανακλαστήρες είναι στερεωμένοι επί του εδάφους, πράγμα που μειώνει σημαντικά τις οικονομικές απαιτήσεις της εγκατάστασης [29,34,35]



Εικόνα 3.7 Γραμμικός ανακλαστήρας

Πηγή: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111006058>

3.4 Σύγκριση σταθερών και συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών

Στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου αναφέρθηκε ήδη η υπάρχουσα κατηγοριοποίηση και μεγάλη ποικιλία σε πιθανά συστήματα ηλιακών συλλεκτών. Η επιλογή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος λειτουργίας της εφαρμογής και την κοστολόγηση του έργου. Ωστόσο, παρακάτω θα παραθέσουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συγκεντρωτικών και σταθερών ηλιακών συλλεκτών.

Συγκεντρωτικά συστήματα επιτυγχάνουν καλύτερες αποδόσεις έναντι των σταθερών κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Επίσης, σε συγκριτικά όμοια μεγέθη κατασκευής, οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες προκαλούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Οι απώλειες θερμότητας είναι μειωμένες για πολύ-παραβολικά

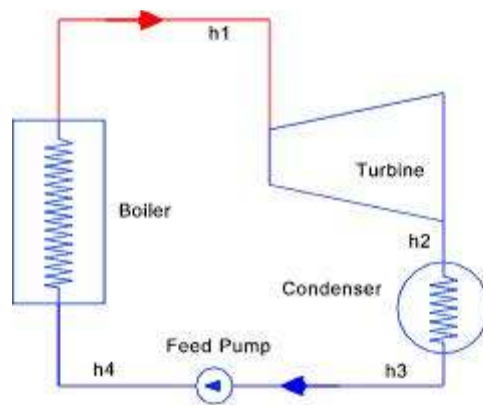
συστήματα. Το θέμα της μόνωσης που απαιτείται στους σταθερούς ηλιακούς συλλέκτες αποτελεί μειονέκτημα γι' αυτούς, λόγω κόστους [36]. Στα μειονεκτήματα των συγκεντρωτικών συστημάτων μπορούν να παρατεθούν η μικρή ποσότητα της ακτινοβολίας διάχυσης που μπορούν να χρησιμοποιήσουν και η χρήση μηχανισμού παρακολούθησης της πορείας του ήλιου που απαιτείται κι αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και την πολυπλοκότητα λειτουργίας.

Για την περίπτωση όμως της πρακτικής εφαρμογής, αξίζει να σημειωθεί ότι η βέλτιστη λύση εξαρτάται και από τον τύπο της εφαρμογής. Έτσι σε πειραματικές μετρήσεις που υλοποιήθηκαν στις ΗΠΑ, προέκυψε το συμπέρασμα ότι για χαμηλές θερμοκρασίες, από 50 έως 70 °C, οι σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες υπερτερούν των συγκριτικών, σε ορισμένες περιπτώσεις. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι το γεγονός αυτό συμβαίνει σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές με τις ανάλογες τοπικές καιρικές συνθήκες [37].

Κεφάλαιο 4^ο – Κύκλος Rankine

4.1 Βασικές Αρχές Κύκλου Rankine

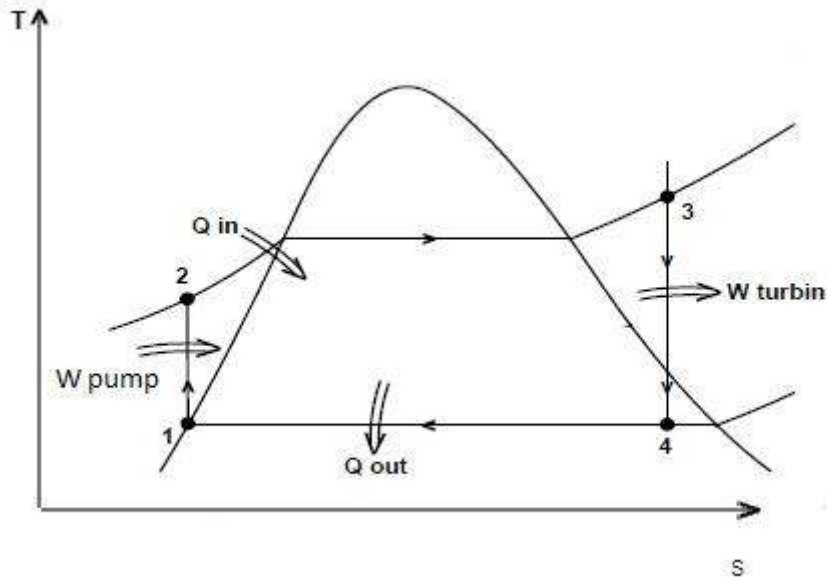
Ο θερμοδυναμικός κύκλος Rankine είναι ένας κύκλος που μετατρέπει τη θερμότητα σε έργο. Η θερμότητα παρέχεται εξωτερικά σε ένα κλειστό βρόχο, ο οποίος χρησιμοποιεί συνήθως νερό ή κάποιο άλλο ρευστό μέσο. Με τον κύκλο Rankine παράγεται περίπου το 90% του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως με διαφορετικούς τρόπους όπως είναι οι ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις, βιομάζας, ορυκτών καυσίμων και πυρηνικών σταθμών [37]. Πιο συγκεκριμένα ο κύκλος Rankine περιγράφει τη διαδικασία με την οποία λειτουργούν στροβιλομηχανές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός του κύκλου Rankine υπάρχει μια πλειάδα άλλων θερμοδυναμικών κύκλων που συνήθως περιγράφουν την λειτουργία ενός εξειδικευμένου τύπου θερμικής μηχανής. Ως θερμική μηχανή μπορούμε να ορίσουμε μία συσκευή που μετατρέπει την θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια. Επί γραμματικά αναφέρουμε του κύκλους Otto, Diesel, Brayton και Stirling. Παρακάτω απεικονίζεται μια σχηματική αναπαράσταση του βασικού κύκλου Rankine.



Εικόνα 4.1 Βασικά στοιχεία κύκλου Rankine

Πηγή: http://www.roytech.co.uk/Related/Thermos/Thermos_Steam_Turbine.html

Συνηθίζεται να δίνεται κι ένα διάγραμμα θερμοκρασίας – εντροπίας (T-s διάγραμμα) για την απεικόνιση των αλλαγών θερμοκρασίας και εντροπίας κατά τη διάρκεια ενός θερμοδυναμικού κύκλου. Έτσι για τον κύκλο Rankine έχουμε το παρακάτω:



Εικόνα 4.2 Ts διάγραμμα κύκλου Rankine

Πηγή: <http://steamofboiler.blogspot.gr/2011/06/thermodynamic-analysis-in-steam-boiler.html>

Η διάταξη του κύκλου Rankine όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1 αποτελείται από τα παρακάτω βασικά στοιχεία:

Λέβητας: Πρόκειται για το χώρο καύσης όπου υπάρχει το εργαζόμενο μέσο στο οποίο προσδίδεται θερμότητα από το περιβάλλον.

Στρόβιλος: Πρόκειται για το στοιχείο που υλοποιεί την εκτόνωση του θερμικού μέσου, το οποίο φτάνει στο στρόβιλο αφού του έχει προσαυξηθεί η ενεργειακή του κατάσταση. Ο στρόβιλος είναι συνδεδεμένος με γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Συμπυκνωτής: Ο συμπυκνωτής συμπυκνώνει τον ατμό που βγαίνει από τον στρόβιλο. Στην ουσία είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου ατμός χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυκτικού μέσου.

Αντλία: Μετά το συμπυκνωτή το μέσο οδηγείται σε κατάλληλες αντλίες, από όπου επιστρέφει πάλι στη δεξαμενή τροφοδοτικού (λέβητα).

Διεργασίες κύκλου Rankine

Ο κύκλος μπορεί να θεωρηθεί ότι συνίσταται από τέσσερις διεργασίες, οι οποίες είναι:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση (αντλία).
- 2 έως 3: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση (λέβητας).

- 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση (ατμοστρόβιλος).
- 4 έως 1: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση (συμπυκνωτής). [39]

Θερμικός βαθμός απόδοσης

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Rankine μπορεί να οριστεί ως εξής

$$\eta_{\theta\epsilon\rho} = P_{\text{ολ}} / Q_{\text{in}} \quad (4.1)$$

Όπου $P_{\text{ολ}}$ το συνολικό έργο και Q_{in} το συνολικό θερμικό φορτίο που δίνεται. Η εξίσωση (4.1) μπορεί να γραφτεί

$$\eta_{\theta\epsilon\rho} = P_{\text{ολ}} / Q_{\text{in}} = (P_{\text{tur}} - P_{\text{pump}}) / Q_{\text{in}} \quad (4.2)$$

Ο όρος P_{pump} αναφέρεται στις απαιτήσεις ενέργειας της αντλίας. Είναι της τάξεως του 1%, συνεπώς έχει ελάχιστη επίδραση στο βαθμό απόδοσης. Ισχύουν οι:

$$Q_{\text{in}} = m(h_3 - h_2) \quad (4.3)$$

$$P_{\text{tur}} = m(h_3 - h_4) \quad (4.4)$$

$$P_{\text{pump}} = m(h_2 - h_3) \quad (4.5)$$

Οπότε τελικά η εξίσωση (4.2) προκύπτει:

$$\eta_{\theta\epsilon\rho} = ((h_3 - h_4) - (h_2 - h_3)) / (h_3 - h_2) \approx (h_3 - h_4) / (h_3 - h_2) \quad (4.6)$$

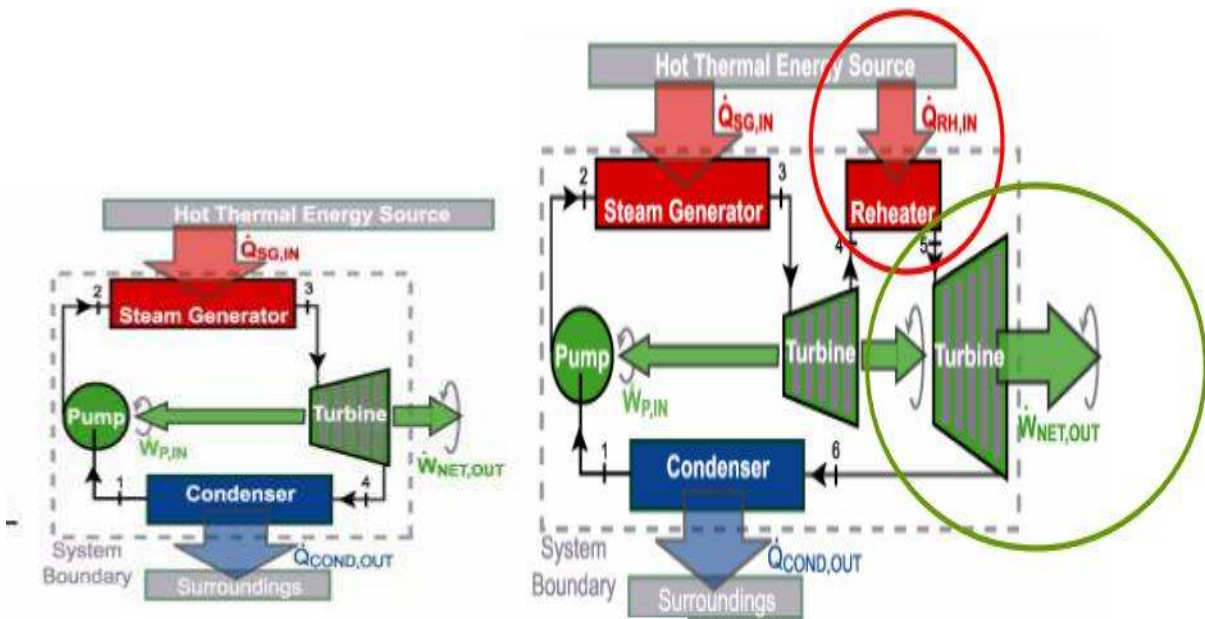
Όπου h_i οι ειδικές ενθαλπίες.

4.2 Διαφοροποιήσεις του βασικού κύκλου Rankine

Η αναζήτηση νέων μεθοδολογιών και διατάξεων με σκοπό την αύξηση του βαθμού απόδοσης ή έστω τη μείωση απωλειών του κύκλου Rankine είχε ως αποτέλεσμα την υλοποίηση εγκαταστάσεων με μικρές παραλλαγές συγκριτικά με τη δοθείσα της εικ. 4.1. Η βελτίωση του βαθμού απόδοσης γίνεται συνήθως με την προσθήκη ενός ή περισσοτέρων στοιχείων, όπως για παράδειγμα έναν αναγεννητή ή προθερμαντήρα [40]. Στην παρούσα παράγραφο θα εξετάσουμε τις υπάρχουσες γνωστές παραλλαγές.

Κύκλος Rankine με αναθέρμανση

Η θερμική απόδοση του κύκλου Rankine μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά εάν αυξηθεί η πίεση στο λέβητα. Συνεπώς αυξάνοντας τη θερμοκρασία στο λέβητα μπορεί να επιτευχθεί συνάμα και βελτίωση στην απόδοση. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λειτουργία δυο στροβίλων σε σειρά. Πιο συγκεκριμένα, αφού ο ατμός έχει περάσει διαμέσου του πρώτου στροβίλου, εισέρχεται εκ νέου στο λέβητα και αναθερμαίνεται πριν διέλθει διαμέσου ενός δεύτερου στροβίλου χαμηλότερης πίεσης [40].



Εικόνα 4.3 Κύκλος Rankine χωρίς και με αναθέρμανση

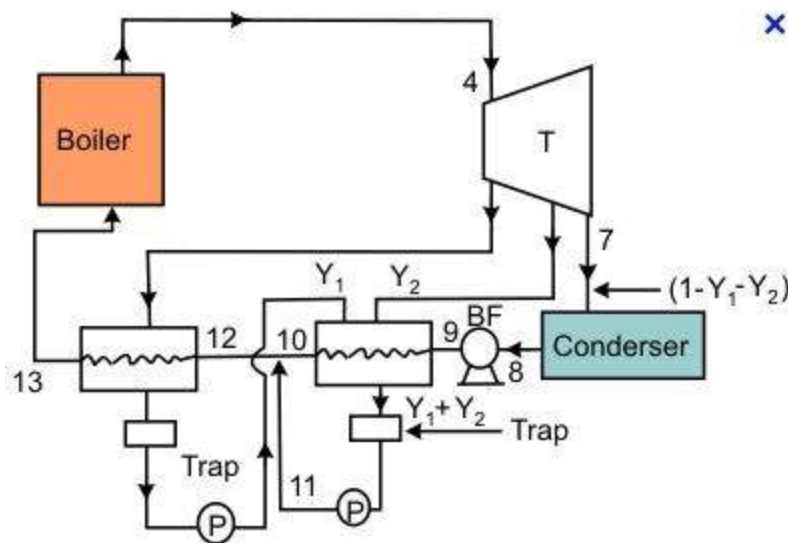
Πηγή: <http://users.ntua.gr/koronaki/RANKINE.pdf>

Εκτός της αύξησης του βαθμού απόδοσης αυτής της παραλλαγής αξίζει να σημειωθεί ότι με τον τρόπο αυτό εμποδίζεται η συμπύκνωση του ατμού κατά την εκτόνωσή του, πράγμα που θα μπορούσε να βλάψει σοβαρά τα πτερύγια του στροβίλου.

Κύκλος Rankine με αναγέννηση

Η αύξηση του βαθμού απόδοσης επιτυγχάνεται και με τον τρόπο της αναγέννησης. Σε πολλές περιπτώσεις ο ατμός που βγαίνει από τον στρόβιλο είναι ακόμη σε υψηλή θερμοκρασία, πράγμα που μπορεί εκμεταλλευτεί για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης του κύκλου Rankine με την κατάλληλη προσθήκη

στοιχείου. Ο αναγεννητής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, που από τη μία πλευρά διοχετεύεται το ρεύμα του θερμικού μέσου μετά την εκτόνωσή του στον στρόβιλο και από την άλλη το ρεύμα του θερμικού μέσου που βγαίνει από την αντλία τροφοδοσίας. Πιο αναλυτικά, στην αναγεννητική θερμότητας χρησιμοποιείται μέρος του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο για να θερμάνει το νερό τροφοδοσίας, έτσι ώστε το νερό τροφοδοσίας που φτάνει στο λέβητα να είναι σε μία υψηλότερη θερμοκρασία από εκείνη του συμπυκνωτή. Παρακάτω δίνεται εικόνα για τον κύκλο Rankine με αναγέννηση [40,41].

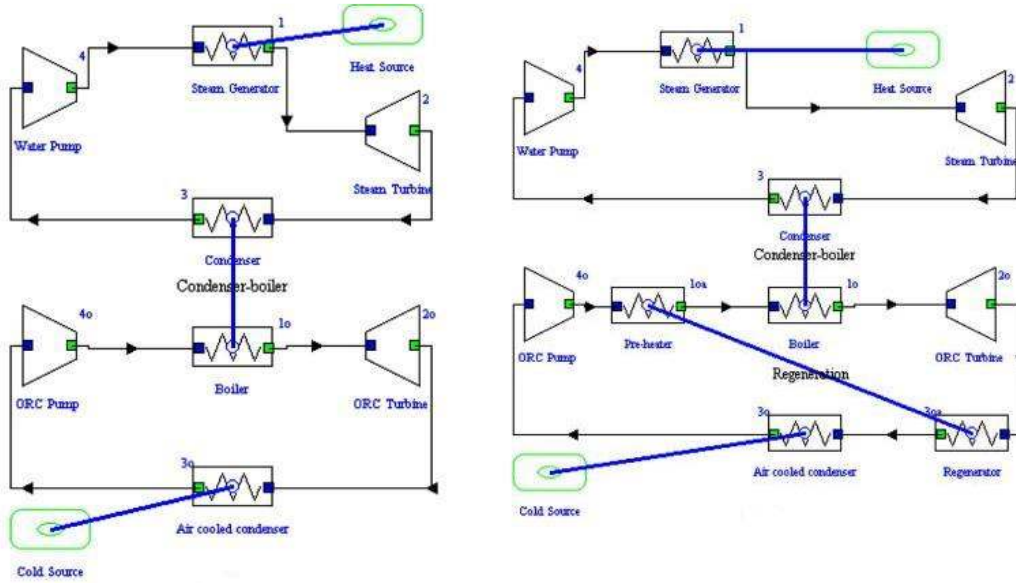


Εικόνα 4.4 Κύκλος Rankine με αναγέννηση

Πηγή: <http://www.brighthubengineering.com/hvac/68322-vapor-power-cycles-used-in-steam-power-plants/>

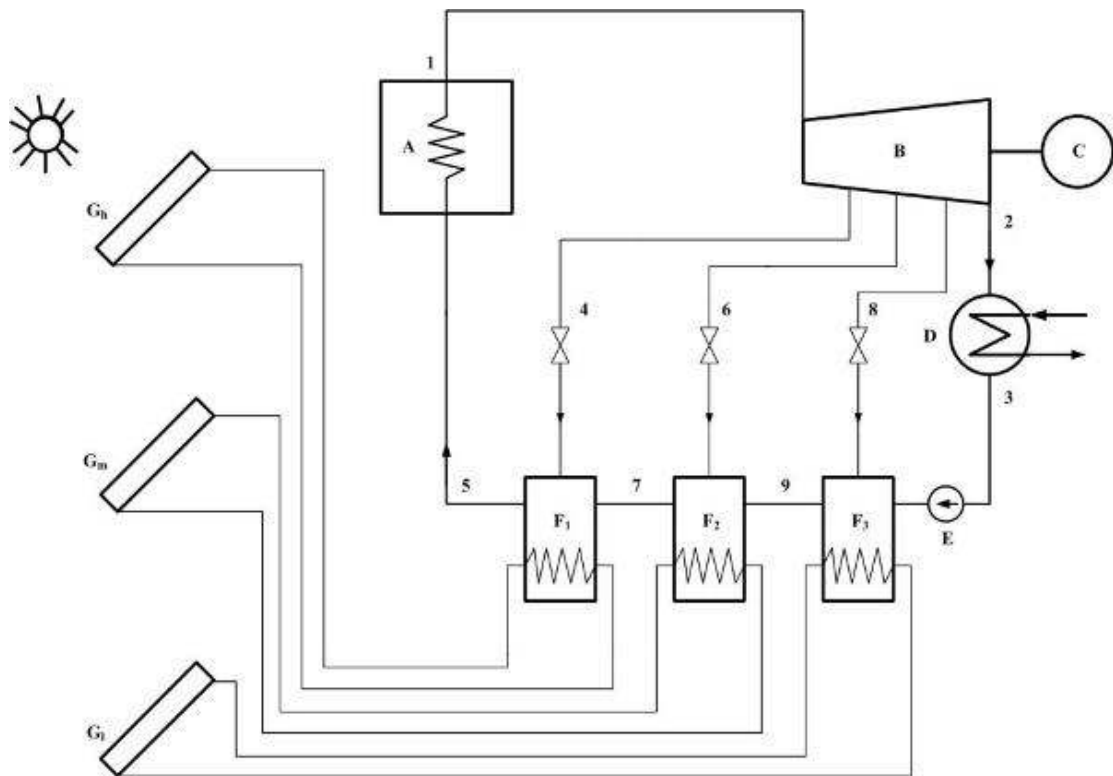
n-βάθμιος Κύκλος Rankine

Ο τρόπος αυτός αύξησης του βαθμού απόδοσης αναφέρεται στην περίπτωση όπου έχουμε περισσότερους από έναν κύκλους, συνήθως δυο ή και τρεις. Οι ξεχωριστοί κύκλοι μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα στο διβάθμιο Rankine. Το θερμικό μέσο του πρώτου κύκλου μετά την έξοδό του από τον στρόβιλο περνάει μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας και ζεσταίνει το θερμικό μέσο του δεύτερου κύκλου. Άλλος τρόπος λειτουργίας είναι ότι το θερμικό μέσο του δεύτερου κύκλου έχει ξεχωριστό ατμοποιητή και ο εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ των δύο κύκλων λειτουργεί σαν υπερθερμαντής για τον δεύτερο κύκλο. Παρακάτω δίνονται σχηματικά διαγράμματα για διβάθμιο και τριβάθμιο κύκλο Rankine [42-44].



Εικόνα 4.5 Διβάθμιος Κύκλος Rankine

Πηγή: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912004175>



Εικόνα 4.6 Τριβάθμιος Κύκλος Rankine

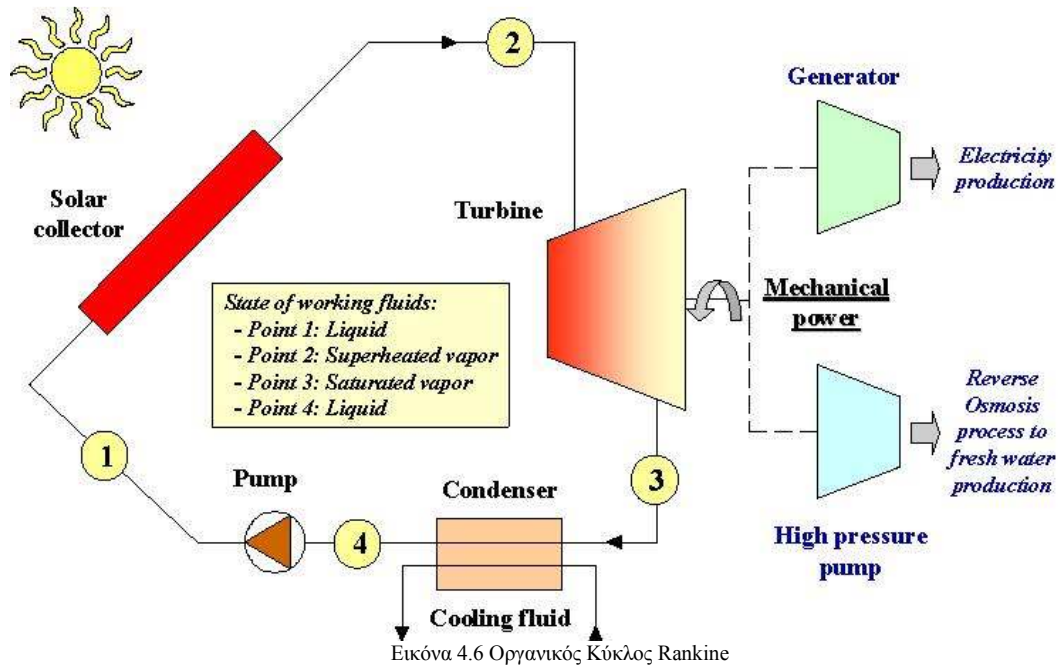
Πηγή: <http://www.intechopen.com/books/thermal-power-plants/solar-aided-power-generation-generating-green-power-from-conventional-fossil-fuelled-power-stations>

4.3 Οργανικός κύκλος Rankine

Ο οργανικός κύκλος Rankine διαφέρει από τους υπόλοιπους στο ότι δεν χρησιμοποιεί νερό ως κινούμενο ρευστό, αλλά κάποια άλλη κατάλληλη οργανική ουσία. Κατά κανόνα το μέσο που χρησιμοποιείται είναι κάποιος υδρογονάνθρακας ή κάποιο σιλικονούχο λάδι ή υπερφθοράνθρακας. Η σημαντικότερη πρόκληση στον οργανικό κύκλο Rankine είναι η κατάλληλη επιλογή του εργαζόμενου μέσου, έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του κύκλου. Η οργανική ουσία που επιλέγεται, επιδιώκεται να έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Οι σημαντικότερες είναι να έχει:

- χαμηλό σημείο ζέσεως
- χαμηλή κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση
- μικρό ειδικό όγκο
- χαμηλό ιξώδες και επιφανειακή τάση
- υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- χαμηλό κόστος
- συμβατότητα προς τα υλικά κατασκευής του μηχανολογικού εξοπλισμού και να μη προκαλεί διάβρωση σ' αυτά.
- μικρό όριο αναφλεξιμότητας και να είναι περιβαλλοντικά φιλικό

Εκτός όμως των παραπάνω απαιτήσεων σε ιδιότητες, σημαντικός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για τη χρήση ενός υλικού είναι το ισχύον θεσμικό πλαίσιο αναφορικά με ρύπους και τοξικά υλικά. Πολλά από τα ρευστά που είχαν ιδανικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στο παρελθόν προκαλούν αποδεδειγμένα την καταστροφή του στρώματος όζοντος στην ατμόσφαιρα ή είναι συνυπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, η χρήση τους σε διατάξεις οργανικού κύκλου Rankine έχει απαγορευτεί και αντί αυτών χρησιμοποιούνται πλέον άλλα υλικά, φιλικότερα στο περιβάλλον. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές του οργανικού κύκλου Rankine εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και τη δεκαετία του 1980 με μεσαίας κλίμακας ισχύος συστήματα που τροφοδοτούνταν είτε από την ηλιακή ενέργεια ή από τη γεωθερμία. Λειτουργικά η διαδικασία του οργανικού κύκλου Rankine είναι όμοια με αυτήν του απλού. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται σχηματικά ένας οργανικός κύκλος Rankine [45-47].



Πηγή: <http://www.pre.ethz.ch/research/projects/?id=powersol>

Στον πίνακα παρακάτω δίνονται χαρακτηριστικά ορισμένων οργανικών ρευστών που χρησιμοποιούνται

Substance		α	T_0 (K)	ρ_0 (mol/l)	Q^{*2}	μ^{*2}
R32	CH ₂ F ₂	1.2829	264.52	8.5305	1.2150	10.568
R41	CH ₃ F	1.0695	238.92	9.7506	0.	10.899
R125	CF ₃ -CHF ₂	1.4155	312.75	4.5933	3.1327	1.0179
R134a	CF ₃ -CH ₂ F	1.4287	332.07	4.9570	2.5882	4.6339
R143a	CF ₃ -CH ₃	1.4128	324.54	5.2162	1.2843	4.0775
R152a	CHF ₂ -CH ₃	1.4137	344.88	5.7340	1.0370	5.9951
R218	C ₃ F ₈	1.4310	309.45	3.1611	3.7140	0.0
R227ea	CF ₃ -CHF-CF ₃	1.4312	334.38	3.3083	3.9037	0.8604
R236ea	CF ₃ -CHF-CHF ₂	1.1123	292.12	3.2881	6.3908	3.7008
R236fa	CF ₃ -CH ₂ -CF ₃	1.4484	350.08	3.4559	3.9232	2.4942
R245ca	CF ₃ -CHF-CH ₂ F	1.4425	406.09	3.7342	3.6130	1.3673
R245fa	CF ₃ -CH ₂ -CHF ₂	1.4395	372.51	3.6416	4.0950	2.0612
RC270	Cyclo-propane	1.2919	394.37	6.0620	0.6844	0.0
R290	Propane	1.3271	361.06	4.9169	1.1230	0.0
RC318	Cyclo-C ₄ F ₈	1.4497	345.63	2.9814	4.1053	0.0
R338mccq	CF ₃ -CF ₂ -CF ₂ -CH ₂ F	1.4553	376.42	2.6734	4.5654	0.8479
R600	n-butane	1.3693	411.13	3.8553	1.7878	0.0
R600a	Iso-butane	1.3656	392.85	3.8145	1.7715	0.0
R1270	CH ₃ -CH=CH ₂	1.3173	356.04	5.3747	1.1502	0.0
CF ₃ I	CF ₃ I	1.3629	387.51	4.3271	1.4014	0.0
C ₅ F ₁₂	n-perfluoropentane	2.0011	346.50	1.4501	5.4492	0.0
R601	n-pentane	1.4011	448.96	3.1407	2.3962	0.0
R601a	Iso-pentane	1.3851	441.29	3.1599	2.1445	0.0
neo-C ₅ H ₁₂	Neo-pentane	1.3686	416.12	3.1328	1.9078	0.0
n-C ₆ H ₁₄	n-hexane	1.4230	480.88	2.6919	2.9200	0.0
RE125	CF ₃ -O-CHF ₂	1.4205	318.67	4.0563	3.6631	0.8907
RE134	CHF ₂ -O-CHF ₂	1.4456	379.90	4.3682	3.9061	0.7764
RE170	CH ₃ -O-CH ₃	1.3653	389.65	5.8665	1.2569	1.5292
RE245	CHF ₂ -O-CH ₂ -CF ₃	1.1922	337.12	3.0966	5.9738	1.5818
RE245mc	CF ₃ -CF ₂ -O-CH ₃	1.4361	364.38	3.1970	3.6403	2.2965
RE347mcc	CF ₃ -CF ₂ -CF ₂ -O-CH ₃	1.4161	378.16	2.4557	4.1354	1.9019

Πίνακας 4.1

Πηγή: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/users/papers/engr/ernesto/ryanr3/EP/papers/Working%20fluids%20for%20low%20temperature%20organic%20Rankine%20Cycles.pdf>

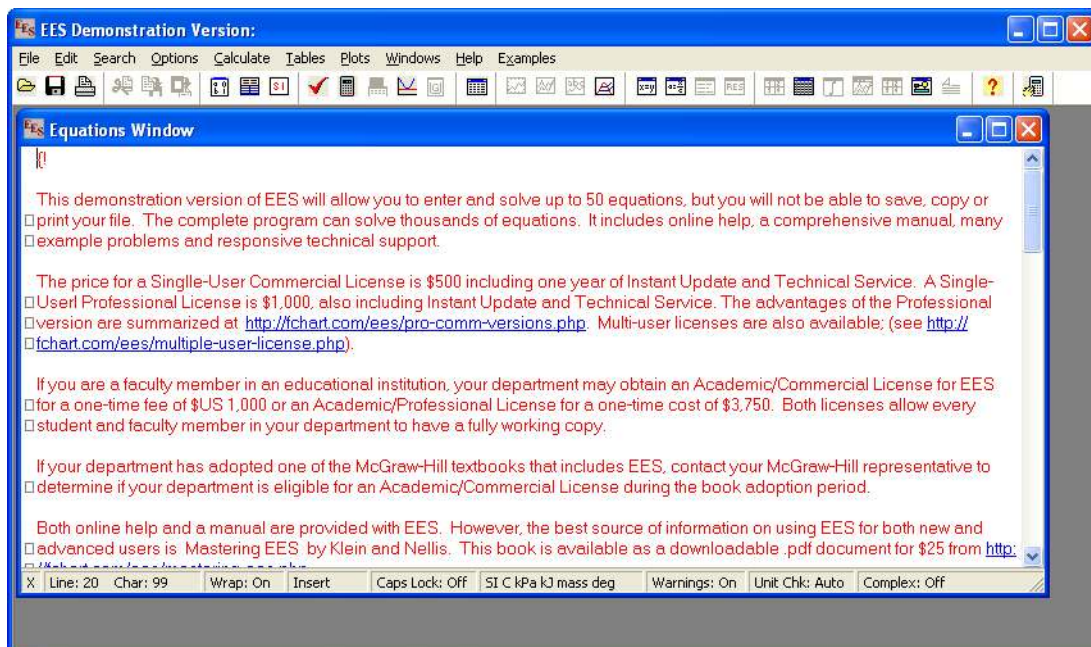
Κεφάλαιο 5^ο – Το λογισμικό EES

5.1 Γενικές Πληροφορίες

Τα αρχικά EES είναι ακρώνυμο από τις λέξεις Engineering Equation Solver (Επιλυτής μηχανικών εξισώσεων). Η βασική λειτουργία που παρέχεται από το EES είναι η επίλυση ενός συνόλου αλγεβρικών εξισώσεων. Το EES μπορεί επίσης να επιλύσει διαφορικές εξισώσεις, εξισώσεις με σύνθετες μεταβλητές, να κάνει οπτικοποίηση, να υλοποιήσει γραμμική και μη-γραμμική παλινδρόμηση, να δημιουργήσει διαγράμματα, να απλοποιήσει αναλύσεις και να παράγει animations.

Υπάρχουν δύο βασικές διαφορές μεταξύ του EES και των ήδη υφιστάμενων προγραμμάτων επίλυσης εξισώσεων. Αρχικά, το EES αναγνωρίζει αυτόματα και ομάδες εξισώσεων που πρέπει να επιλυθούν ταυτόχρονα. Αυτό το χαρακτηριστικό απλοποιεί τη διαδικασία για τον χρήστη και διασφαλίζει πως η επίλυση θα γίνεται πάντοτε με τη βέλτιστη αποδοτικότητα. Κατά δεύτερον, το EES παρέχει πολλές ενσωματωμένες μαθηματικές και θερμοφυσικές λειτουργίες που είναι χρήσιμες για υπολογισμούς εφαρμοσμένης μηχανικής.

5.2 Η αρχική οθόνη- Τα μενού



Εικόνα 5.1

Το πρόγραμμα είναι χωρισμένο σε 10 μενού:

Το μενού **File** περιέχει τις βασικές εντολές για το άνοιγμα, τη διαχείριση, την αποθήκευση και την εκτύπωση αρχείων και βιβλιοθηκών.

Το μενού **Edit** περιέχει τις εντολές που αφορούν την επιμέλεια ενός αρχείου, όπως αποκοπή, αντιγραφή, επικόλληση, αναίρεση κα.

Το μενού **Search** περιέχει εντολές για εύρεση και αντικατάσταση εξισώσεων στο παράθυρο εξισώσεων (Equation Window).

Το μενού **Options** παρέχει εντολές για τον καθορισμό τιμών και ορίων μεταβλητών, το σύστημα μονάδων, προκαθορισμένες πληροφορίες και προτιμήσεις του προγράμματος. Μια εντολή παρέχεται επίσης για την εμφάνιση πληροφοριών σχετικά με ενσωματωμένες συναρτήσεις.

Το μενού **Calculate** περιέχει εντολές για τον έλεγχο, τη διαμόρφωση και την επίλυση των εξισώσεων.

Το μενού **Tables** περιέχει εντολές για τη δημιουργία και την επεξεργασία παραμετρικών και πινάκων αντιστοιχίας (parametric and lookup table). Οι παραμετρικοί είναι πίνακες οι οποίοι επιτρέπουν την επίλυση εξισώσεων γρήγορα καθώς αλλάζουν οι τιμές των μεταβλητών. Οι πίνακες αντιστοιχίας δημιουργείται από τα δεδομένα ενός αρχείου.

Το μενού **Plot** περιλαμβάνει τις εντολές για τη δημιουργία ενός διαγράμματος.

Το μενού **Windows** επιτρέπει τη διαχείριση διαφορετικών παραθύρων και απλοποιεί την πρόσβαση.

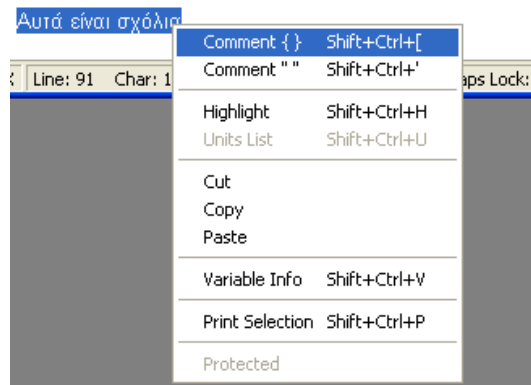
Το μενού **Help** περιλαμβάνει τις εντολές για παροχή βοήθειας στο χρήστη του προγράμματος.

Το μενού **Examples** περιλαμβάνει διάφορα παραδείγματα επίλυσης εξισώσεων.

5.3 Παράθυρο Εξισώσεων (Equations Window)

- Το παράθυρο εξισώσεων μοιάζει αρκετά με έναν επεξεργαστή κειμένου. Στο παράθυρο αυτό γράφει ο χρήστης την εξίσωση που πρέπει να επιλυθεί. Για την συγγραφή των εξισώσεων ακολουθούνται κάποιοι γενικοί κανόνες ώστε να υπάρχει συνέπεια στο πρόγραμμα.
- Δεν υπάρχει ευαισθησία σε πεζά και κεφαλαία γράμματα. Θα μετατραπεί αυτόματα το γράμμα σε αυτό που πρωτοεμφανίστηκε.

- Μπορεί ο χρήστης να αφήνει κενές γραμμές για να είναι πιο ευανάγνωστες οι εξισώσεις. Τα κενά αγνοούνται από το πρόγραμμα.
- Σχόλια μπορούν να μπουν σε οποιοδήποτε σημείο, αρκεί να είναι ανάμεσα σε άγκιστρα {σχόλιο} ή σε διπλά εισαγωγικά “σχόλιο”. Μπορεί επίσης ο χρήστης να επιλέξει το κείμενο που έγραψε και με δεξί κλικ να βάλει σχόλια από το μενού που εμφανίζεται.



Εικόνα 5.2

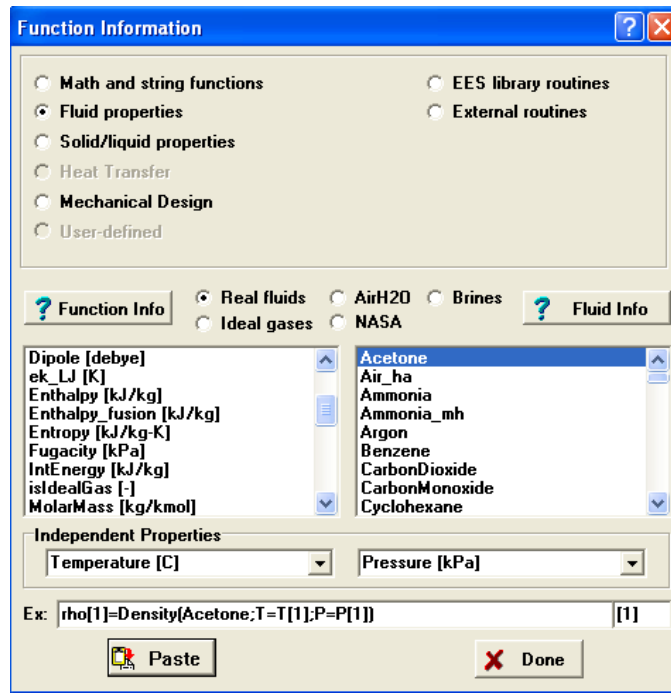
- Οι εξισώσεις γράφονται συνήθως μία ανά γραμμή. Πολλές εξισώσεις μπορούν να γραφτούν και σε μία γραμμή, αρκεί να διαχωρίζονται με το ελληνικό ερωτηματικό ανάμεσα τους.
- Τα ονόματα των μεταβλητών πρέπει να ξεκινούν με γράμμα και μπορούν να περιέχουν οποιοδήποτε άλλο σύμβολο εκτός από τα εξής: $()\backslash \text{'*+-\^{\}}:;'$. Το μέγιστο μέγεθος μιας μεταβλητής είναι 30 χαρακτήρες. Οι αλφαριθμητικές μεταβλητές αποθηκεύουν πληροφορίες χαρακτήρων και καθορίζονται με το σύμβολο \$ ως τελευταίο χαρακτήρα του ονόματος τους. Τα ονόματα των πινάκων καθορίζονται με αγκύλες όπου μέσα γράφονται οι διαστάσεις του πίνακα, πχ. $X[3,2]$.
- Η προτεραιότητα των μαθηματικών τελεστών που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις ακολουθούν τους κανόνες που χρησιμοποιούνται στη FORTRAN, Basic, C ή Paschal. Το σύμβολο ^ ή ** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υψώσει σε δύναμη μία μεταβλητή. Τα ορίσματα των συναρτήσεων περιλαμβάνονται σε παρενθέσεις. Το EES δεν απαιτεί μία μεταβλητή να

εμφανίζεται από μόνη της στο αριστερό μέρος της εξίσωσης, όπως απαιτούν οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού.

- Η εκπαιδευτική έκδοση του EES έχει ανώτερο όριο 6000 μεταβλητών. Η επαγγελματική μπορεί να έχει 12000 μεταβλητές.
- Οι εξισώσεις μπορούν να εισαχθούν από/ προς άλλη εφαρμογή χρησιμοποιώντας Αντιγραφή (Copy), Αποκοπή (Cut) και Επικόλληση (Paste) του μενού Επεξεργασίας (Edit). Η εντολή Load Library του μενού File καθώς και η εντολή \$INCLUDE μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εισαχθούν εξισώσεις από ένα ήδη υπάρχον αρχείο.
- Τα θερμοδυναμικά μεγέθη, όπως η ενθαλπία και ο ειδικός όγκος, έχουν συγκεκριμένο τρόπο εισαγωγής. Αρχικά πρέπει να δηλωθεί το ψυκτικό μέσω του οποίου γίνεται η εύρεση του θερμοδυναμικού μεγέθους, στη συνέχεια δηλώνεται μόνο το γράμμα που αντιστοιχεί στο αναζητούμενο δεδομένο.

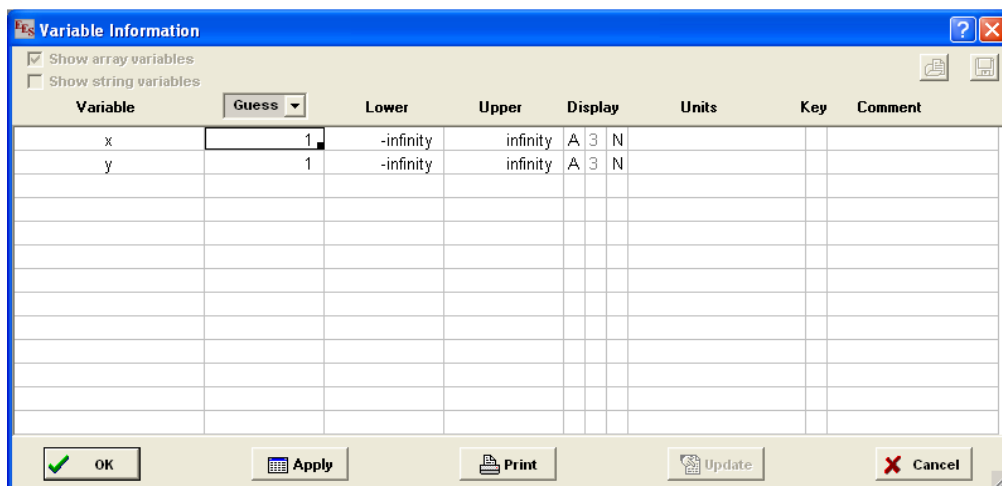
T	Θερμοκρασία
P	Πίεση
H	Ενθαλπία
U	Εσωτερική ενέργεια
S	Εντροπία
V	Ειδικός όγκος
X	Ξηρότητα

- Ένας απλός τρόπος να γίνει εισαγωγή των δεδομένων είναι με τη χρήση του μενού Option και Function Info. Το αναδυόμενο παράθυρο σας παρέχει μαθηματικές και άλλες συναρτήσεις, διάφορες ιδιότητες και βιβλιοθήκες:



Εικόνα 5.3

- Μπορούν να τεθούν ανώτατα και κατώτατα όρια στις τιμές των μεταβλητών πριν επιλυθεί το πρόγραμμα. Από το μενού Options και με τη χρήση της εντολής Variable Info εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο όπου μπορούν να εισαχθούν οι επιθυμητές τιμές:

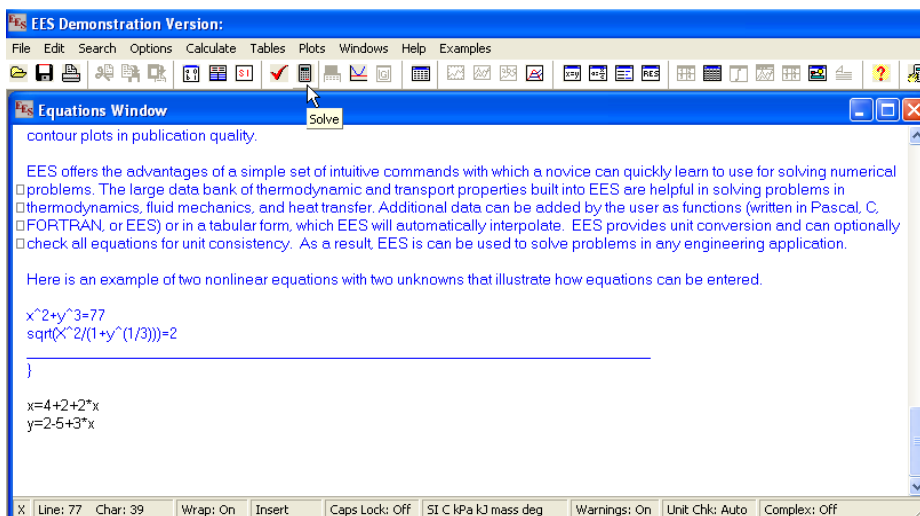


Εικόνα 5.4

Το παράθυρο αυτό εμφανίζει όλες τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα ανά γραμμή. Προεπιλεγμένα η τιμή πρόβλεψης (guess) είναι το 1 και τα όρια είναι στο άπειρο.

Το γράμμα A στη στήλη Display δηλώνει ότι το πρόγραμμα καθορίζει αυτόματα τον τρόπο παρουσίασης της μεταβλητής. Το γράμμα E θα δήλωνε εκθετική μορφή και το γράμμα F θα μπορούσε να μπει για να καθορίσει συγκεκριμένο αριθμό σημαντικών ψηφίων.

- Οι μονάδες μέτρησης των μεταβλητών μπορούν να καθοριστούν στο παράθυρο Variable Information. Οι μονάδες εμφανίζονται με τις μεταβλητές στο παράθυρο Επίλυσης (Solution Window) ή/ και στον πίνακα Parametric Table. Το EES δεν κάνει αυτόματα τις μετατροπές των μονάδων αλλά, έχει ρυθμιστεί να ελέγχει αυτόματα τη συνέπεια μονάδων σε κάθε εξίσωση. Ο αυτόματος έλεγχος μπορεί να απενεργοποιηθεί από το κατάλληλο μενού. Ο έλεγχος μονάδων μέτρησης είναι μία από τις πιο σημαντικές δυνατότητες που παρέχονται από το EES.
- Για να επιλυθεί ένα σύνολο εξισώσεων, απαιτείται η χρήση της εντολής **Solve** από το μενού Calculate ή χρησιμοποιώντας το κατάλληλο εικονίδιο από τα εργαλεία.



Εικόνα 5.5

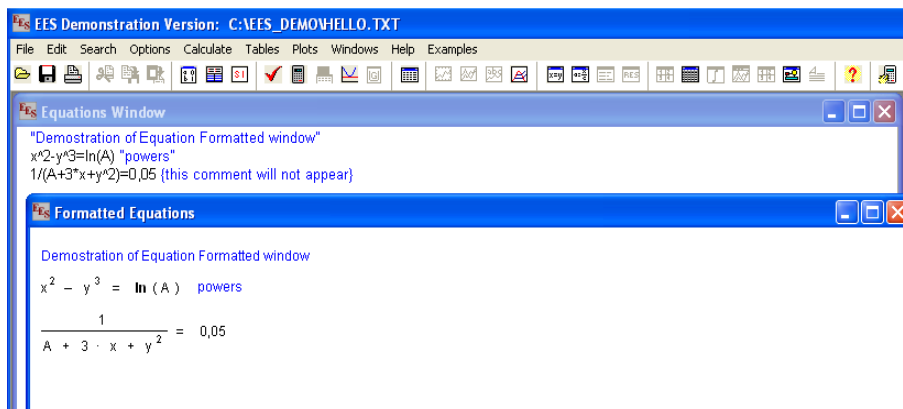
Μόλις γίνει αυτή η ενέργεια, εμφανίζεται ένα παράθυρο με τα αποτελέσματα, τις μονάδες μέτρησης αν υπάρχουν και το χρόνο που χρειάστηκε για να επιλυθεί το σύνολο των εξισώσεων.



Εικόνα 5.6

5.4 Παράθυρο Μορφοποιημένων Εξισώσεων (Formatted Equations Window)

Το Formatted Equations Window απεικονίζει τις εξισώσεις που έχουν γραφτεί στο Equation Window σε μία μορφή μαθηματικού προφίλ για πιο εύκολη ανάγνωση, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράθυρο.

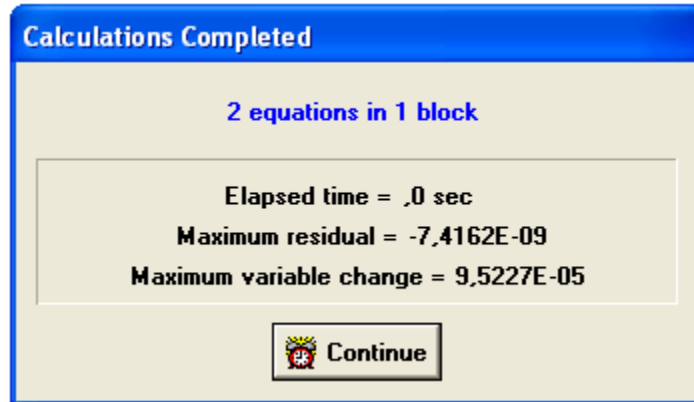


Εικόνα 5.7

Προσέξτε πως τα σχόλια που εμφανίζονται με διπλά εισαγωγικά "" στο Equation window εμφανίζονται και στο Formatted Equation window, αλλά τα σχόλια που υπάρχουν μέσα σε άγκιστρα {} δεν εμφανίζονται.

5.5 Παράθυρο Λύσεων (Solution Window)

Όταν επιθυμεί ο χρήστης να επιλύσει τις εξισώσεις, μπορεί να μεταβεί από το μενού Calculate, στην εντολή Solve ή Min/Max όπου αν υπάρχει λύση τότε εμφανίζεται το Solution window, το οποίο μας δείχνει το χρόνο που απομένει για την επίλυση των εξισώσεων, τη μέγιστη απόκλιση και τη μέγιστη μεταβολή τιμών των μεταβλητών από προηγούμενη επανάληψη.



Εικόνα 5.8

Όταν ο χρόνος που απομένει ολοκληρωθεί, τότε μπορεί ο χρήστης να πατήσει το κουμπί Continue για να δει τα αποτελέσματα.

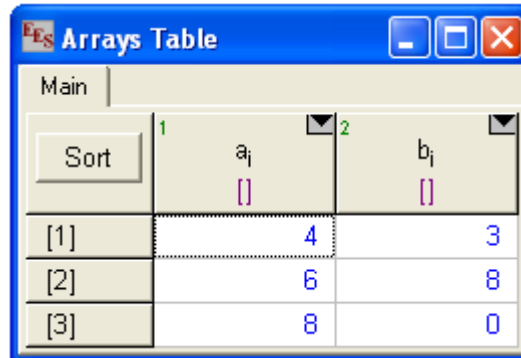
Αν κάποιες από τις μεταβλητές έχουν σχεδιαστεί να είναι κλειδιά, τότε εμφανίζεται μία ξεχωριστή καρτέλα η οποία θα εμφανίζει αυτές τις μεταβλητές με επιπλέον σχόλια. Η σειρά με την οποία οι μεταβλητές εμφανίζονται δεν είναι αλφαβητική, όπως στο παράθυρο λύσεων, αλλά με τη σειρά που καθορίστηκαν οι μεταβλητές κλειδιά. Η σειρά μπορεί να αλλάξει μετακινώντας τη μεταβλητή στη σειρά που θα πρέπει να εμφανίζεται.

Υπό κανονικές συνθήκες, όταν γίνεται μια αλλαγή στο Equation window, τότε το Solution window καθαρίζει και κρύβεται. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής με τη βοήθεια του παραθύρου Preferences από το μενού Options.

Αν το πρόγραμμα δεν είναι σε θέση να επιλύσει ένα σύνολο από εξισώσεις, τότε τερματίζει με μήνυμα λάθους, το όνομα του Solution window αλλάζει και γίνεται Last Iteration Values και οι τιμές των μεταβλητών του τελευταίου υπολογισμού εμφανίζεται στο Solution window. Οι μεταβλητές που δεν μπορούν να υπολογιστούν εμφανίζονται με γκρι χρώμα.

5.6 Παράθυρο Πινάκων (Arrays Window)

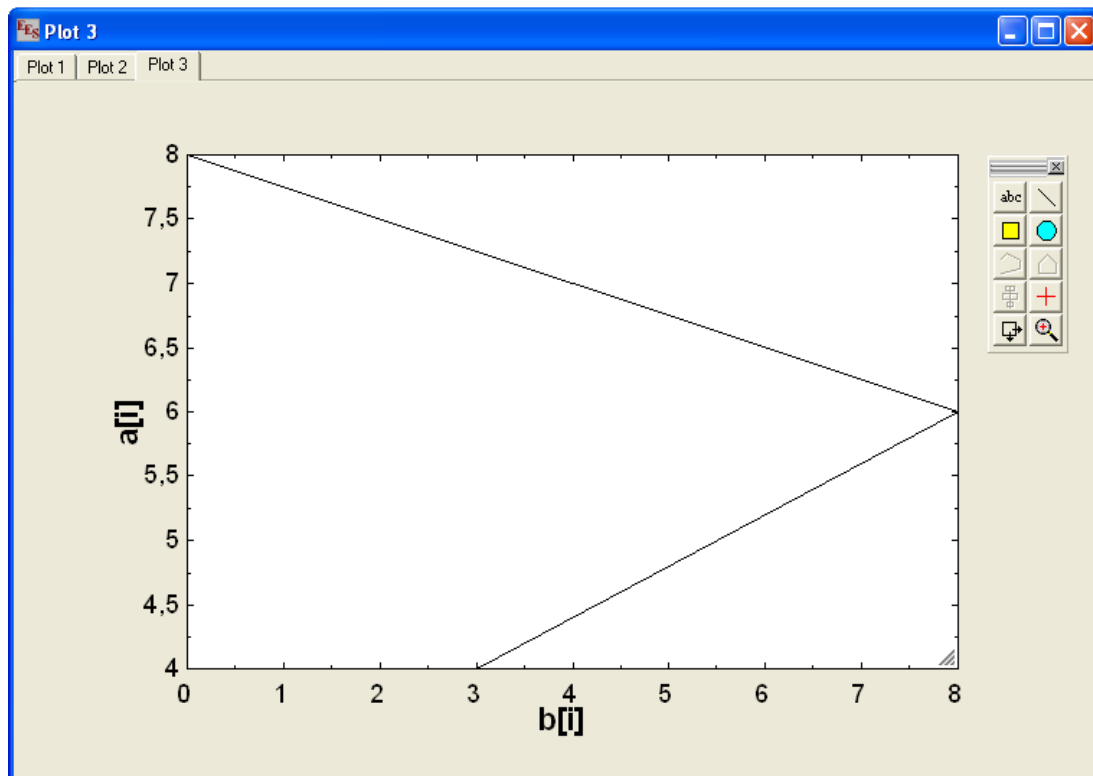
Το EES επιτρέπει την χρήση μεταβλητών πίνακες. Το EES τοποθετεί τους δείκτες των πινάκων μέσα σε αγκύλες πχ. $X[4]$. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι πίνακες συμπεριφέρονται όπως και οι απλές μεταβλητές. Κάθε μεταβλητή πίνακα, έχει τη δική του τιμή πρόβλεψης, τα άνω και κάτω όρια και την μορφοποίηση. Ωστόσο, μόνο οι απλές αριθμητικές πράξεις υποστηρίζονται για τους πίνακες.



Sort	1	2
	a_i	b_i
	${}[]$	${}[]$
[1]	4	3
[2]	6	8
[3]	8	0

Εικόνα 5.9

Οι τιμές των πινάκων μπορούν να καταγραφούν σε σχέδιο, χρησιμοποιώντας την εντολή New Plot Window από το μενού Plot.

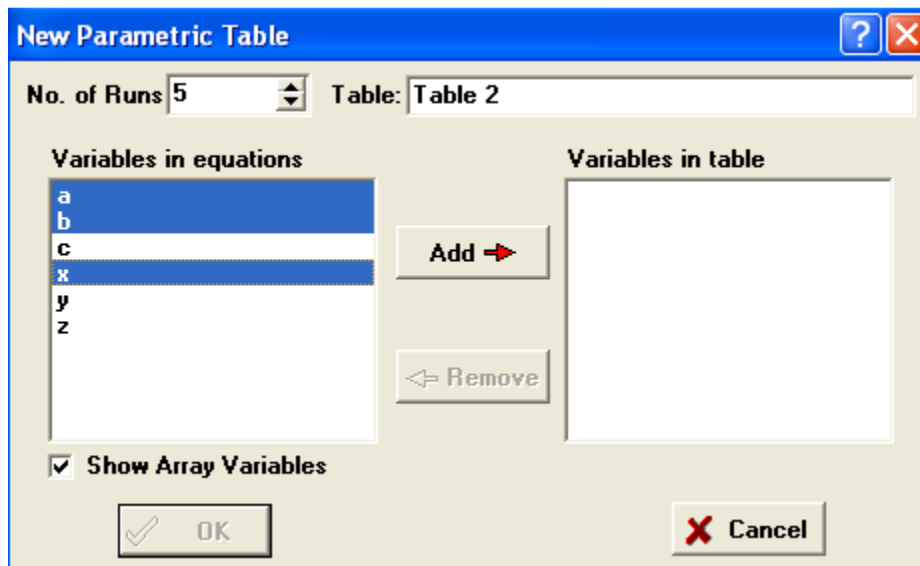


Εικόνα 5.10

5.7 Παράθυρο Παραμετρικών Πινάκων (Parametric Table Window)

Ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία του προγράμματος EES είναι η δυνατότητα δημιουργίας παραμετρικών πινάκων. Οι πίνακες αυτοί λειτουργούν σαν υπολογιστικά φύλλα. Μπορούν να εισαχθούν στα κελιά αριθμητικές τιμές και να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα από το πρόγραμμα.

Για να δημιουργηθεί ένας παραμετρικός πίνακας, γίνεται χρήση του μενού Tables> New Parametric Tables. Οι μεταβλητές που πρέπει να εμφανιστούν στον πίνακα επιλέγονται από μία λίστα μεταβλητών που υπάρχουν στο Equation window. Κάθε νέος πίνακας παίρνει ένα όνομα το οποίο εμφανίζεται στην καρτέλα στην κορυφή του παραμετρικού πίνακα.

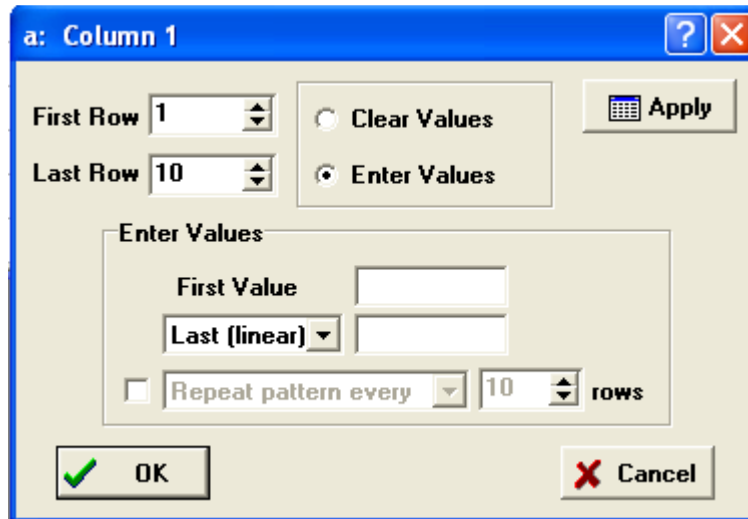


Εικόνα 5.11

Κάθε γραμμή του παραμετρικού πίνακα είναι ένας ξεχωριστός υπολογισμός. Καθορίζονται οι γραμμές όταν δημιουργείται ο πίνακας, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει χρησιμοποιώντας τις εντολές Insert/Delete Runs από το μενού Tables. Το μέγιστο πλήθος γραμμών στην έκδοση που χρησιμοποιούμε εμείς είναι 6500. Στην επαγγελματική έκδοση δεν υπάρχει περιορισμός.

Η αρχική διάταξη των στηλών που εμφανίζονται σε έναν παραμετρικό πίνακα είναι η σειρά που επιλέχθηκαν για να εισαχθούν οι μεταβλητές στο αρχικό παράθυρο διαλόγου. Υπάρχει δυνατότητα να αλλάξει η σειρά διάταξης των στηλών. Μπορεί ο χρήστης να εισάγει τιμές είτε χειροκίνητα, είτε αυτόματα. Για να γίνει χρήση του δεύτερου τρόπου, μπορεί να επιλέξει το τρίγωνο δίπλα από το όνομα της

στήλης για να εμφανιστεί το παρακάτω παράθυρο. Σε αυτό το παράθυρο μπορεί να δηλώσει αρχική και τελική τιμή και τον τρόπο ακολουθίας των αριθμών.

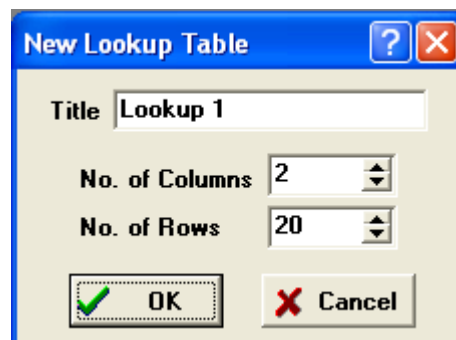


Εικόνα 5.12

Υπάρχουν πολλές ακόμα δυνατότητες των παραμετρικών πινάκων, όπου μπορεί ο χρήστης να τις ανακαλύψει είτε με δεξί κλικ ή με τη χρήση του μενού Tables.

5.8 Παράθυρο Πίνακα Αντιστοιχίας (Lookup Table Window)

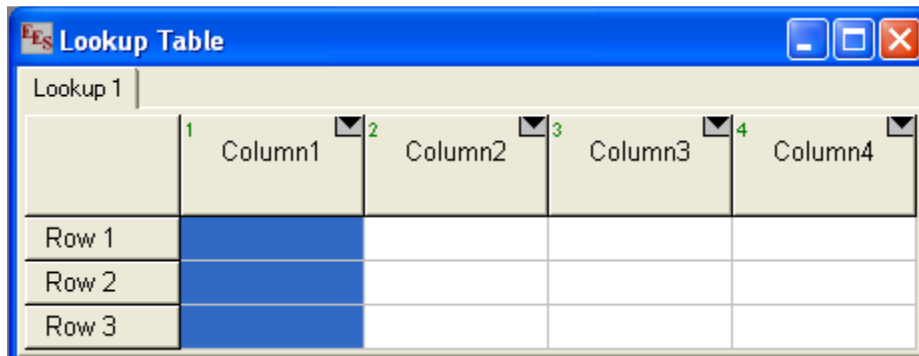
Ένας lookup πίνακας παρέχει έναν τρόπο να χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από πίνακα στην επίλυση εξισώσεων. Για να δημιουργηθεί ένας τέτοιος πίνακας υπάρχει η εντολή New Lookup Table από το μενού Tables.



Εικόνα 5.13

Δεν υπάρχει όριο, εκτός από τη διαθέσιμη μνήμη, στον αριθμό των Lookup πινάκων που μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα παράθυρο. Ο αριθμός των γραμμών και τον στηλών καθορίζεται κατά τη δημιουργία, αλλά μπορεί να προστεθούν/αφαιρεθούν και μετά, με τις εντολές Insert/Delete Rows και Insert/Delete Cols. Ένας Lookup πίνακας αποθηκεύεται μόλις αποθηκευτούν και οι υπόλοιπες πληροφορίες του προγράμματος. Επιπλέον, ένας Lookup πίνακας μπορεί να

αποθηκευτεί ξεχωριστά στο δίσκο χρησιμοποιώντας την εντολή Save Lookup από το μενού Tables. Προεπιλεγμένα χρησιμοποιείται η επέκταση .LKT για τα αρχεία τέτοιων πινάκων, ή .TXT ή .CSV αν το αλλάξει ο χρήστης.



Εικόνα 5.14

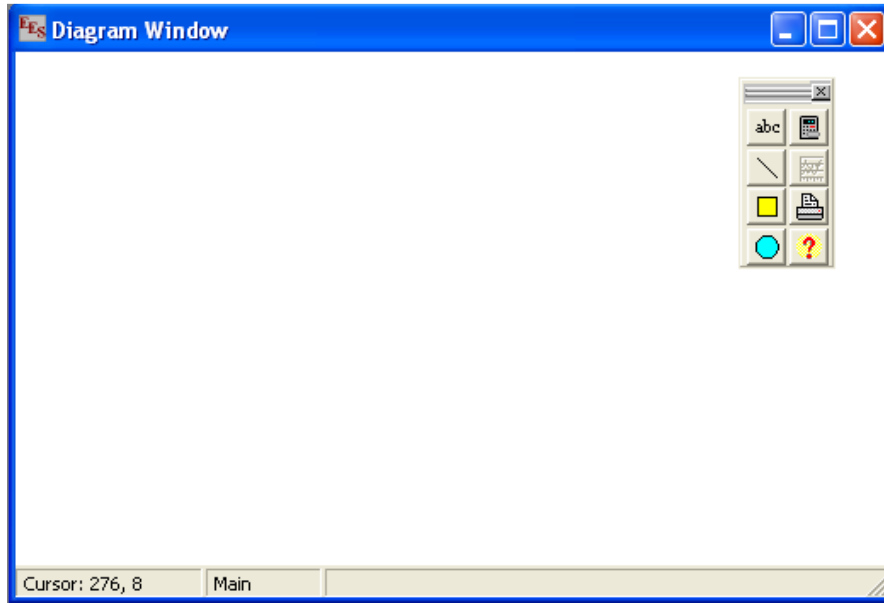
5.9 Παράθυρο Διαγραμμάτων (Diagram Window)

Το παράθυρο διαγραμμάτων εξυπηρετεί διάφορες λειτουργίες. Καταρχήν, παρέχει ένα παράθυρο για να παρουσιάζονται γραφικά και κείμενα που σχετίζονται με το πρόβλημα που ζητάει επίλυση. Κατά δεύτερον, το παράθυρο Διαγραμμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει έναν εύκολο τρόπο εισαγωγής και εξαγωγής πληροφορίας και για να δημιουργεί αναφορές. Στην επαγγελματική έκδοση, μπορεί ο χρήστης να έχει πολλά παράθυρα που να περιηγείται. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία που μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στο διάγραμμα.



Εικόνα 5.15

Η περιοχή εργαλείων μέσα στις διακεκομμένες γραμμές προσφέρονται μόνο στην επαγγελματική έκδοση. Στην απλή έκδοση υπάρχουν τα παρακάτω εργαλεία:



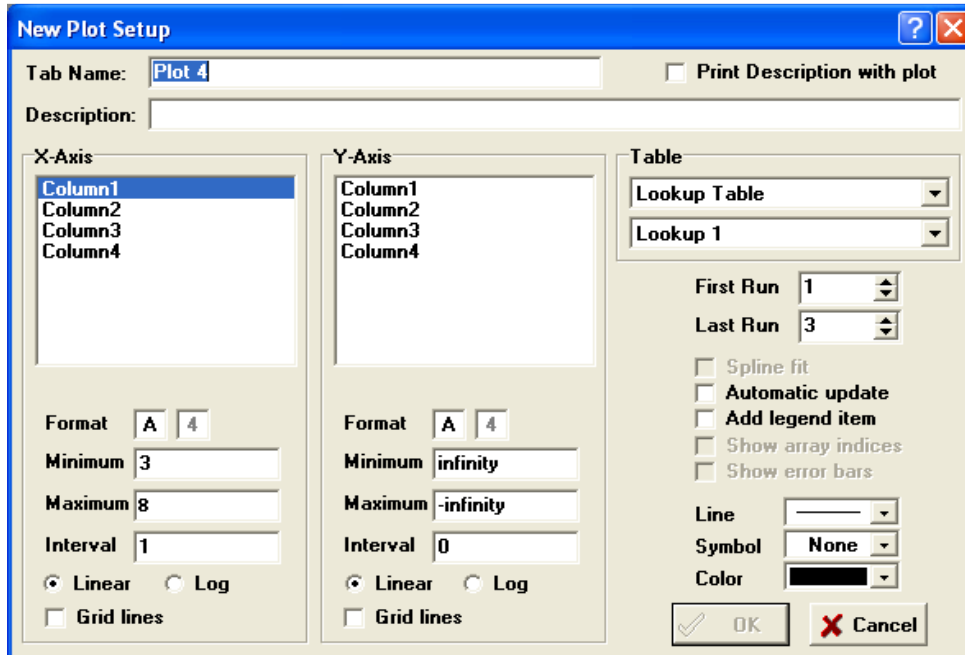
Εικόνα 5.16

Σε αυτό το παράθυρο μπορεί ο χρήστης να εισάγει κάποιο από τα σχήματα που προσφέρονται, ένα κείμενο μέσα στο διάγραμμα ή έναν υπολογιστή. Μπορεί να καθορίσει τα χρώματα και τα μεγέθη και να σχεδιάσει οτιδήποτε χρειάζεται.

5.10 Παράθυρο Γραφημάτων (Plot Window)

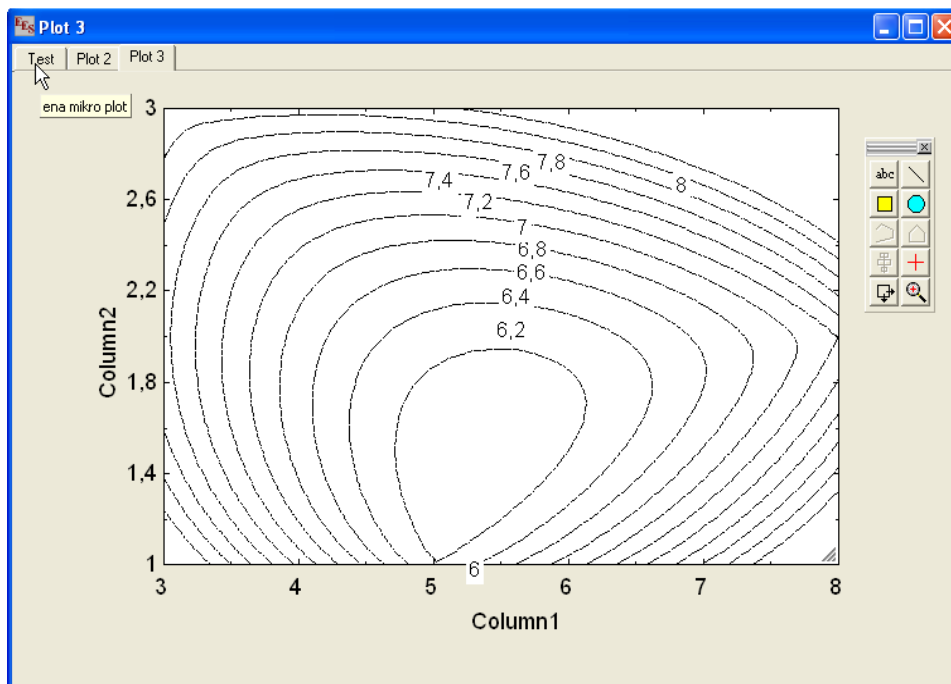
Οι μεταβλητές που εμφανίζονται σε έναν Parametric, Lookup, Array ή Integral πίνακα μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά με τις εντολές New Plot Window ή Overlay Plot από το μενού Plot. Όλα τα γραφήματα εμφανίζονται στο παράθυρο γραφημάτων, το οποίο έχει διάφορες καρτέλες στην κορυφή του παραθύρου το οποίο επιτρέπει εύκολη αναγνώριση και πρόσβαση σε κάθε γράφημα.

Όταν εμφανίζεται το παράθυρο δημιουργίας νέου γραφήματος, τότε μπορεί ο χρήστης να καθορίσει μεταξύ των άλλων τα μεγέθη που θα βρίσκονται σε κάθε άξονα, το όνομα του γραφήματος, το είδος, την προέλευση των δεδομένων καθώς και τη μορφή.



Εικόνα 5.17

Δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των γραφημάτων που μπορούν να κατασκευαστούν και κάθε γράφημα 2-Δ μπορεί να έχει όσες γραμμές χρειάζεται. Μία σημείωση εμφανίζεται όταν το ποντίκι περνάει πάνω από την καρτέλα ενός γραφήματος ή ενός πίνακα.



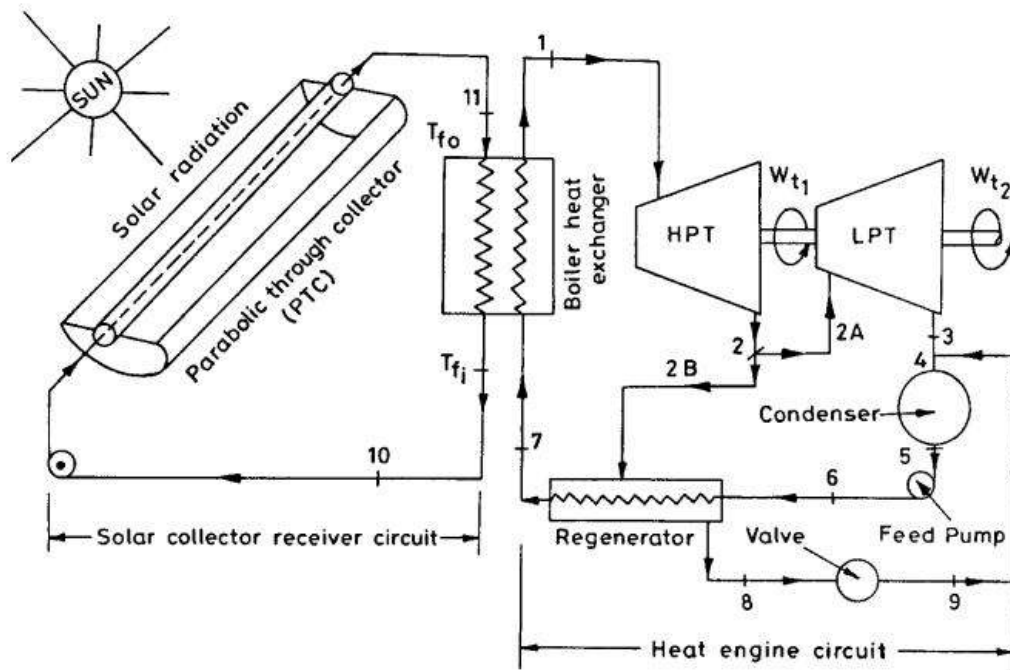
Εικόνα 5.18

Κεφάλαιο 6^ο – Εφαρμογή

6.1 Χρησιμοποιούμενη Διάταξη

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναπτύχθηκαν λεπτομερώς οι επί μέρους συντελεστές που απαιτούνται για μια θερμοδυναμική μελέτη ενός ηλιοθερμικού συστήματος. Αρχικά αναφέρθηκε η πηγή ενέργειας που είναι ο ήλιος. Στη συνέχεια αναλύθηκαν εκτενώς τα είδη κατόπτρων και ο τρόπος λειτουργίας του. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος. Ένας από αυτούς είναι και το χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής. Η συγκεκριμένη παράμετρος αποτελεί και το αντικείμενο διαπραγμάτευσης του μοντέλου της εργασίας, όπως θα δείξουμε παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια του λογισμικού Engineering Equation Solver (EES) προσομοιώνουμε το θερμοδυναμικό κύκλο Rankine ενός ηλιοθερμικού σταθμού. Τον κύκλο Rankine τον εξετάσαμε αναλυτικά στο τέταρτο κεφάλαιο και η λειτουργία του χρησιμοποιούμενου λογισμικού εξετάστηκε προηγουμένως.

Η διάταξη πάνω στην οποία στηρίχτηκε το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 6.1 Χρησιμοποιούμενη Διάταξη

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και παρατηρώντας το σχηματικό που δίνεται, θεωρούμε ότι το προς μελέτη ηλιοθερμικό σύστημα που εξετάζεται αποτελείται από δυο υποσυστήματα. Το πρώτο είναι το κύκλωμα του συλλέκτη – δέκτη και αποτελείται από ένα αριθμό παραβολικών ηλιακών συλλεκτών και το δεύτερο είναι το κύκλωμα της ατμομηχανής, όπου διακρίνουμε έναν λέβητα δυο στροβίλους, έναν συμπυκνωτή την αντλία και έναν αναγεννητή.

6.2 Αρχική Μοντελοποίηση

Στο σύστημα όπως περιγράφηκε στην παραπάνω παράγραφο ισχύουν οι εξισώσεις που θα δοθούν στη συνέχεια. Διευκρινίζεται ότι θα παρατεθούν οι εξισώσεις των επί μέρους συστημάτων έτσι ώστε να μπορέσουμε να εστιάσουμε στην πορεία στο τμήμα των ηλιακών κατόπτρων. Έτσι:

Ενεργειακή ανάλυση:

1. Για το τμήμα του συλλέκτη:

$$Q_i = A \cdot I \cdot N$$

$$Q_i = (I_b R_b + I_d I_d) W_0 \cdot L \cdot N$$

Όπου $A=W_0 L$ και N ο αριθμός των κατόπτρων. Ως Q_s ορίζεται η απορροφημένη ενέργεια από τον δέκτη. Το I εκφράζει την ακτινοβολία, ως το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης, που στην συγκεκριμένη εφαρμογή έχει μία σταθερή τιμή. Δεν υπολογίστηκε η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας του ήλιου εξαιτίας της ωριαίας και ημερήσιας μεταβολής της τροχιάς του αλλά αντιθέτως χρησιμοποιήθηκε μία μέση τιμή σε ετήσια βάση σύμφωνα με την τοποθεσία που αναφερόταν στην δημοσίευση. Αποτέλεσμα αυτού είναι η εξαγωγή ενός γενικότερου συμπεράσματος για τις απώλειες από την σκοπιά του υλικού. Συνεπώς:

$$n_{1,2} = Q_s / Q_i$$

2. Για το τμήμα του δέκτη:

Ως Q_u ορίζεται η χρήσιμη ενέργεια που μεταφέρεται στο ρευστό μέσο.

$$Q_u = (W_0 - D_0) LFR \left[\frac{Q_s}{(W_0 - D_0)} L - U_0 / CR(T_{fi} - T_a) \right]$$

$$Q_u = N \cdot M_f \cdot C_{pf} (T_{f0} - T_{fi})$$

Από όπου μπορούμε εύκολα πλέον να υπολογίσουμε την % απώλεια ενέργειας από την:

$$\% \text{ energy loss} = [(Q_s - Q_u) / Q_s] \cdot 100$$

Έτσι η συνολική απόδοση του συστήματος συλλέκτη δέκτη ορίζεται ως:

$$n_{1,2} = Q_u / Q_s$$

3. Για το τμήμα της ατμομηχανής:

$Q_u = Q_h = M_s (H_1 - H_7)$ όπου Q_u η ενέργεια που λαμβάνεται από το εργαζόμενο μέσο.

$$W_{net} = W_{i1} + W_{i2} - W_p$$

$$\text{Energy loss } (Q_1) = Q_h - W_{net}$$

$$\% \text{ energy loss} = (Q_1 / Q_h) \cdot 100$$

$$n_I = W_{net} / Q_i$$

Εξεργειακή ανάλυση:

1. Για το τμήμα του συλλέκτη:

$(Ex_i)Ex_i = Q_s [1 - (T_0 / T_s)]$ Είναι η εξέργεια που λαμβάνεται από το συλλέκτη

$Ex_c = Q_s [1 - (T_0 / T_s)]$ Είναι η εξέργεια που απορροφάται από το συλλέκτη

$$\text{Exergy loss} = \text{irreversibility } (IR_I) = Ex_i - Ex_c = I_1$$

$$\% \text{ exergy loss} = (IR_I / Ex_c) \cdot 100$$

$$n_{11,1} = Ex_c / Ex_i$$

2. Για το τμήμα του δέκτη:

$$Ex_c = Q_s [1 - T_0 / T_c] = Ex_{in}$$

$$\% \text{ exergy loss} = (IR_2 / Ex_c) \cdot 100$$

Η χρήσιμη εξέργεια δίνεται από την:

$$Ex_c = N \cdot M_f (Ex_o - Ex_i) = N \cdot [M_f (H_{fo} - H_{fi}) - T_0 (S_{fo} - S_{fi})]$$

$$n_{11,2} = Ex_u / Ex_c$$

Και η συνολική απόδοση δίνεται από την εξίσωση:

$$n_{11,a} = n_{11,1} n_{11,2} = Ex_u / Ex_i$$

3. Για το τμήμα της ατμομηχανής:

Η χρήσιμη εξέργεια από το εργαζόμενο μέσο δίνεται από την:

$$Ex_u = N \cdot M_f (Ex_o - Ex_i) = N \cdot M_f [(H_{fo} - H_{fi}) - T_o (S_{fo} - S_{fi})]$$

Η διατιθέμενη εξέργεια στο εργαζόμενο μέσο δίνεται από την:

$$Ex_u^1 = Q_u [1 - T_o / T_{Ro}]$$

$$\text{Exergy loss in hx} = \text{irreversibility } IR_{hx} = Ex_u - Ex_u^1$$

$$\% \text{exergy loss} = [IR_{hx} / Ex_u] \cdot 100$$

Και η απόδοση δίνεται από την

$$n_{11,b} = Ex_u^1 / Ex_u$$

4. Κύκλος ατμομηχανής

Η διαθέσιμη εξέργεια δίνεται από την:

$$Ex_u^1 = Q_u [1 - T_o / T_{Ro}] = Ex_n$$

$$W_{net} = W_{t1} + W_{t2} - W_p$$

Η εξέργεια που μεταφέρεται στο ψυκτικό μέσο στο συμπυκνωτή

$$E_{x1} = Q_1 [1 - (T_o / T_1)]$$

$$\text{Exergy loss in hx} = \text{irreversibility } (IR_{he}) = Ex_u^1 - W_{net} = I_3$$

$$\text{Total \% exergy loss} = (IR_{he} / Ex_u^1) \cdot 100$$

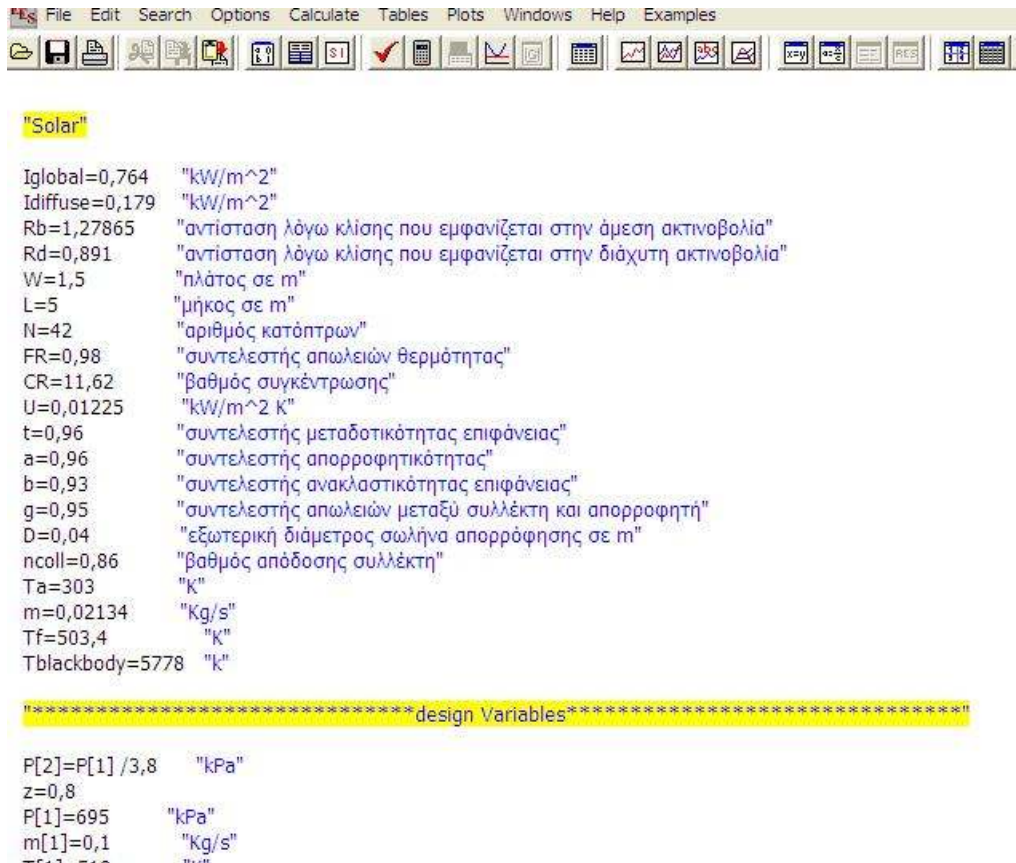
$$n_{11,c} = W_{net} / Ex_u^1$$

Η συνολική απόδοση του ηλιοθερμικού συστήματος δίνεται από την:

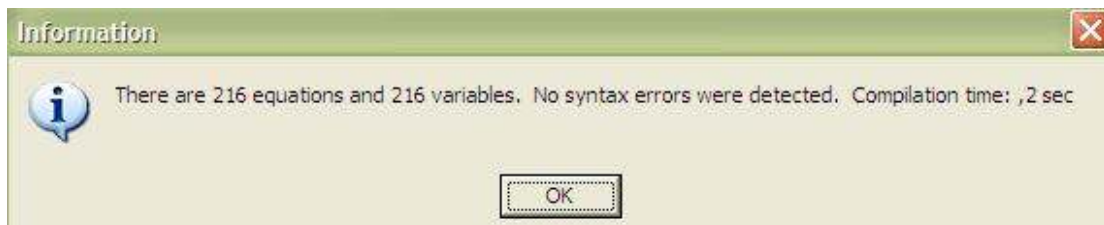
$$n_{11} = n_{11,a} \cdot n_{11,b} \cdot n_{11,c} = W_{net} / Ex_1$$

Οι παραπάνω εξισώσεις μοντελοποιήθηκαν στο EES εξομοιώνοντας τον κύκλο Rankine του συστήματος. Προέκυψε σύστημα 216 εξισώσεων με ισάριθμες μεταβλητές όπως φαίνεται παρακάτω.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
«Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»



Εικόνα 6.2 Αρχικό μοντέλο στο ESS



Εικόνα 6.3 Έλεγχος ορθότητας στο ESS

Στις εικόνες 6.2 και 6.3 παρατίθεται κομμάτι των εξισώσεων όπως συντάχθηκε καθώς και αρχικός έλεγχος ορθότητας αναφορικά με τον αριθμό μεταβλητών και εξισώσεων που πραγματοποιεί το EES. Στη συνέχεια απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του μοντέλου.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
 «Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»

Unit Settings: [kJ]/[K]/[kPa]/[kg]/[degrees]

a = 0.96	b = 0.93	c31 = 479.3	c32 = 0.92
c33 = 0.036	c34 = 54.4	c41 = 4122	c51 = 6570
C52 = 21276	C53 = 1184	Cc = 11471 [kW/C]	Com = 5.989E+06
cp = 2.4 [kJ/kg·K]	cpwater = 4.186 [kJ/kg·K]	CR = 11.62	D = 0.04 [m]
DT = -5.682 [K]	Energy _{loss,collector} = 93.34	Energy _{loss,collector,%} = 0.3265	Energy _{loss,collector/receiver} = 124.9
Energy _{loss,collector,rec,%} = 0.4369	Energy _{loss,receiver} = 31.57	Energy _{loss,receiver,%} = 0.164	FR = 0.98
g = 0.95	h = 4330	h2a = 2707	h2b = 2707
hf = 417.4	hfg = 2258 [kJ/kg]	hg = 2675	ho = 125.1
i = 0.02	lbeam = 0.585 [kW/m ²]	ldiffuse = 0.179 [kW/m ²]	lglobal = 0.764 [kW/m ²]
K = 7.3	L = 5	m = 0.02134 [kg/s]	m2a = 0.08 [kg/s]
m2b = 0.02 [kg/s]	mwater = 7.92 [kg/s]	N = 42	ncoll = 0.86
npump = 0.85	nregenerator = 0.55	nxpt = 0.88	nypt = 0.88
qboiler = 161	Qin = 285.9 [kW]	Qinregenerator = 913.4 [kJ/kg]	Qinsert = 161 [kW]
Qs = 192.5 [kW]	Qu = 161 [kW]	Rb = 1.279	Rd = 0.891
s3s = 7.168	sf = 1.302	sfg = 6.057 [kJ/kg·K]	sg = 7.359
Sgencond = 0.1109 [kJ/K·s]	Sgenrege = 0.01663 [kJ/K·s]	so = 0.4344	t = 0.96
Ta = 303 [K]	Tblackbody = 5778 [K]	Ti = 503.4 [K]	Tin = 578.2 [K]
Tinwater = 303	Toutwater = 308.7 [K]	U = 0.01225 [kW/m ² ·K]	W = 1.5 [m]
Wpump = 0.07302 [kW]	Wtevpump = 0.06406 [kW]	z = 0.8	

Εικόνα 6.4 Λύση αρχικού μοντέλου

Κεφάλαιο 7^ο - Αποτελέσματα

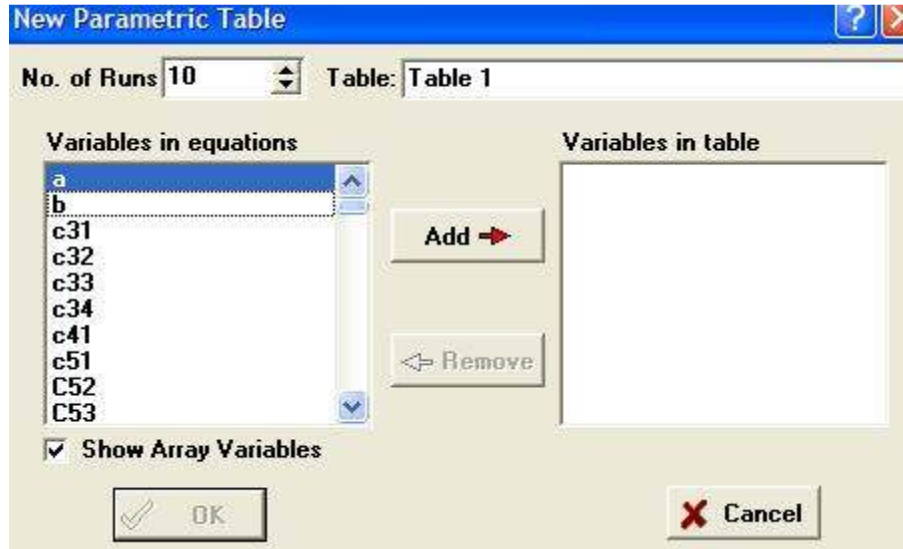
7.1 Επίπτωση Υλικού

Το μαθηματικό μοντέλο που δημιουργήθηκε αναφέρεται σε συγκεκριμένη κατασκευή, όπως ακριβώς φαίνεται καθαρά στην εικόνα 6.1 Από τις εξισώσεις που έχουν παρατεθεί στην προηγούμενη παράγραφο γίνεται φανερό ότι μεταβλητές όπως οι διαστάσεις και ο αριθμός των κατόπτρων καθορίζουν τη λειτουργία του συστήματος. Σκοπός των μετρήσεων που ακολουθούν είναι να δείξουν την επίδραση που έχει η χρήση συγκεκριμένων υλικών επί των αποτελεσμάτων. Έτσι διατηρήθηκαν σταθερά τα χαρακτηριστικά του συστήματος και μεταβλήθηκε η μεταβλητή "a" που αναφέρεται στο συντελεστή απορρόφησης, ο οποίος εξαρτάται από τα χρησιμοποιούμενα υλικά στη πλευρά του δέκτη. Τα υλικά που εξετάστηκαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα, κι εν συνεχεία δίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν για την κάθε περίπτωση.

Επίστρωση-Υλικό Επένδυσης	Υπόστρωμα-Βασικό υλικό	Συντελεστής Απορρόφησης	Περίπτωση
ανοδιωμένο τιτάνιο	τιτάνιο	0.78	A
Black nickel	Επινικελωμένο αλουμίνιο	0.94	B
Black nickel	Επινικελωμένο ατσάλι	0.92	C
harshaw black chrome	Επινικελωμένο ατσάλι	0.9	D
dupont black chrome	Επινικελωμένο ατσάλι	0.95	E
Ebonol C	Χαλκός	0.84	F
Ebonol S	ατσάλι	0.86	G
Electroplated brass	ορείχαλκος	0.86	H
Blackened Aluminum	Αλουμίνιο	0.82	J

Πίνακας 7.1

Ο παραπάνω πίνακας ενσωματώθηκε σε μορφή παραμετρικού πίνακα στο μοντέλο που δημιουργήσαμε και προστέθηκαν ως στήλες του πίνακα οι έξοδοι που ενδιαφέρουν.



Εικόνα 7.1 Δημιουργία παραμετρικού πίνακα

Στη συνέχεια εισάγονται οι τιμές του a όπως δόθηκαν από τον πίνακα 7.1 και απεικονίζονται παρακάτω:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1..10	a	Energy_loss,colle	Energy_loss,colle	Energy_loss,colle	Energy_loss,colle	Energy_loss,recei	Energy_loss,recei	Qin [kW]	Qs [kW]
Run 1									
Run 2									
Run 3									
Run 4									
Run 5									
Run 6									
Run 7									
Run 8									
Run 9									
Run 10									

Εικόνα 7.2 Συμπλήρωση πίνακα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε περίπτωση, απεικονίζονται στις επόμενες εικόνες.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
 «Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»

Table 1

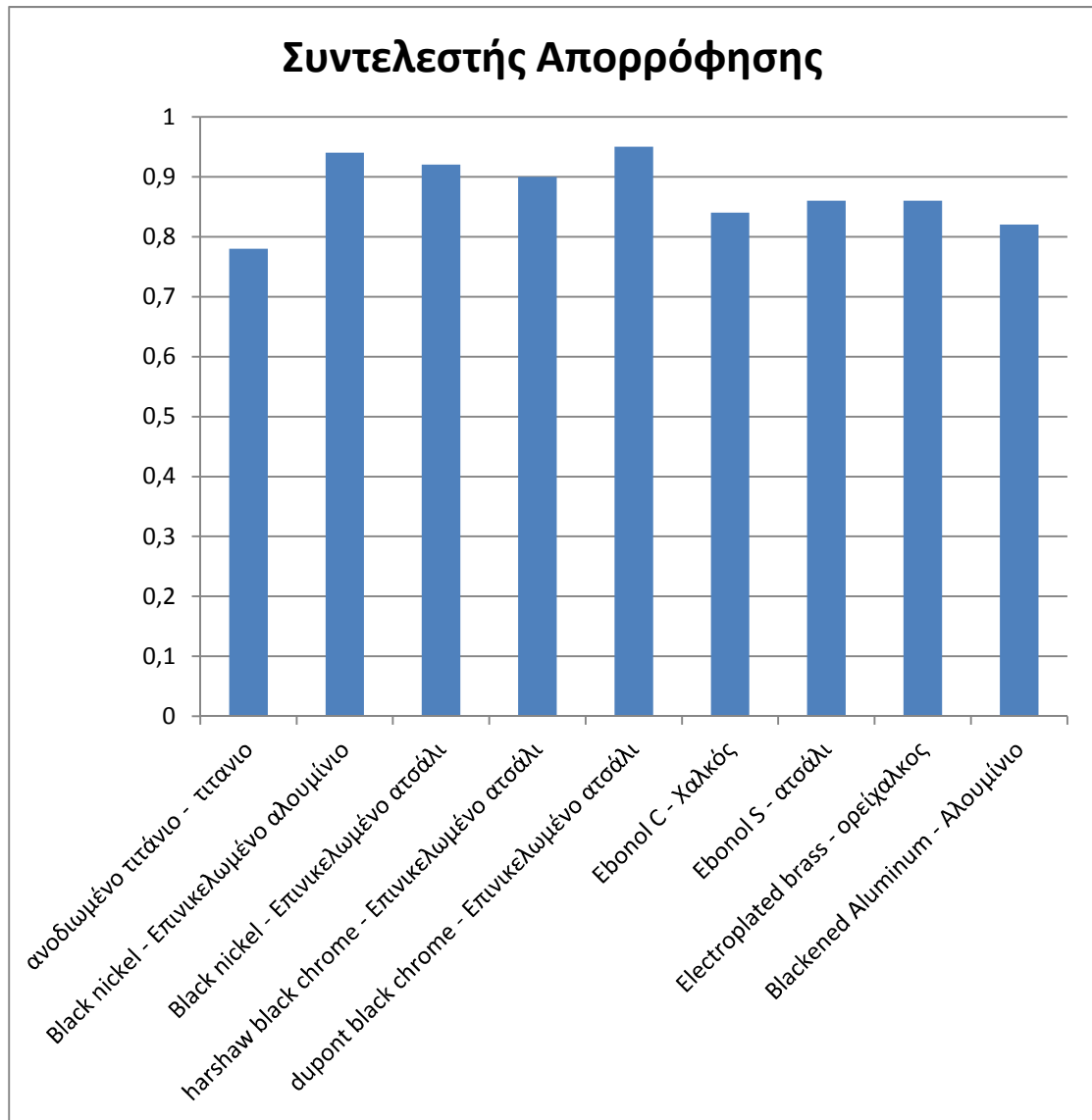
1.9	a	Energy _{loss,collector}	Energy _{loss,collector,%}	Energy _{loss,collector,receiver}	Energy _{loss,collector,rec,%}	Energy _{loss,receiver}	Energy _{loss,receiver,%}	Qs [kW]	Qin [kW]
Run 1	0.78	129.4	0.4528	155.3	0.5434	25.89	0.1655	156.4	285.9
Run 2	0.94	97.35	0.3405	128.3	0.4488	30.93	0.1641	188.5	285.9
Run 3	0.92	101.4	0.3546	131.7	0.4606	30.3	0.1642	184.5	285.9
Run 4	0.9	105.4	0.3686	135	0.4724	29.67	0.1644	180.5	285.9
Run 5	0.95	95.34	0.3335	126.6	0.4428	31.25	0.164	190.5	285.9
Run 6	0.84	117.4	0.4107	145.2	0.5079	27.78	0.1649	168.5	285.9
Run 7	0.86	113.4	0.3967	141.8	0.4961	28.41	0.1647	172.5	285.9
Run 8	0.86	113.4	0.3967	141.8	0.4961	28.41	0.1647	172.5	285.9
Run 9	0.82	121.4	0.4247	148.6	0.5197	27.15	0.1651	164.5	285.9

Εικόνα 7.3 Αποτελέσματα από το τον παραμετρικό πίνακα

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the same data table as in Figure 7.3. The formula bar shows the active cell contains the letter 'a'. The spreadsheet grid shows columns A through J and rows 1 through 11. The data is identical to the table in Figure 7.3.

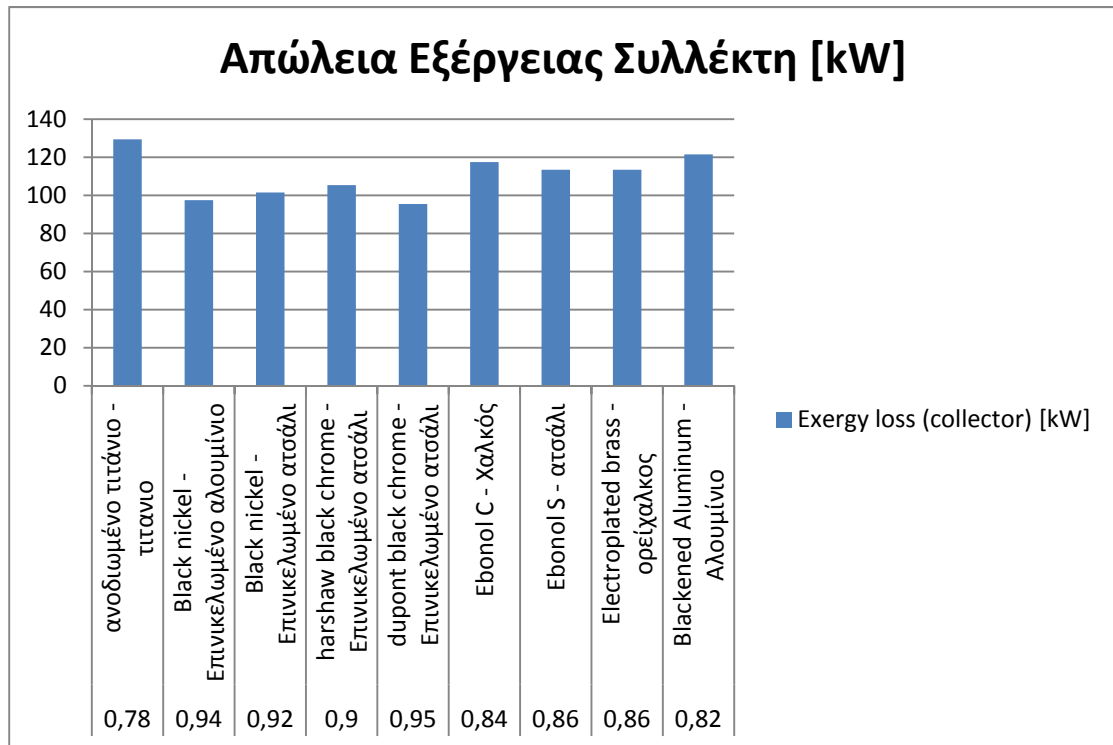
Εικόνα 7.4 Αποτελέσματα από το τον παραμετρικό πίνακα από μεταφορά σε xls

Στη συνέχεια παραθέτουμε τους συντελεστές και τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων όπως δημιουργήθηκαν με τη χρήση του Microsoft Excel®.

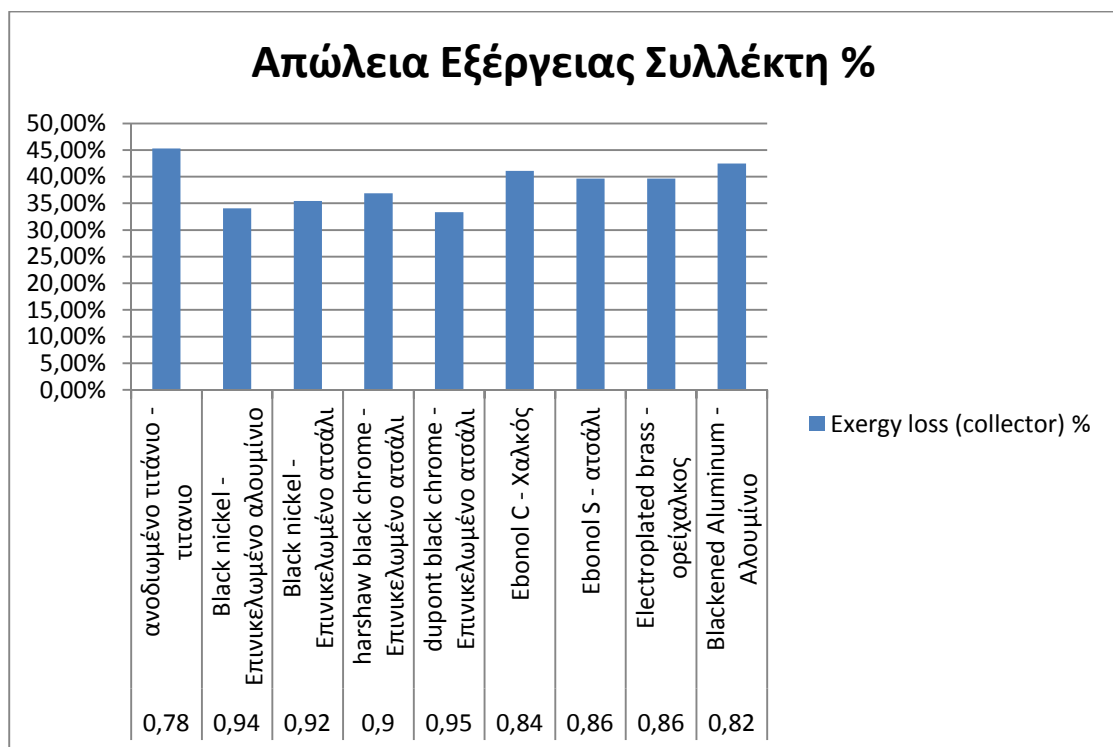


Γράφημα 7.1 Συντελεστές απορρόφησης

Το γράφημα 7.1 απεικονίζει μια σύγκριση των υλικών των ηλιακών κατόπτρων που χρησιμοποιούνται σε σχέση με τον συντελεστή απορρόφησης με αποτέλεσμα να γίνεται κατανοητό ότι τα υλικά των κατασκευών είναι υψηλής απόδοσης αφού ξεπερνούν το 80%.

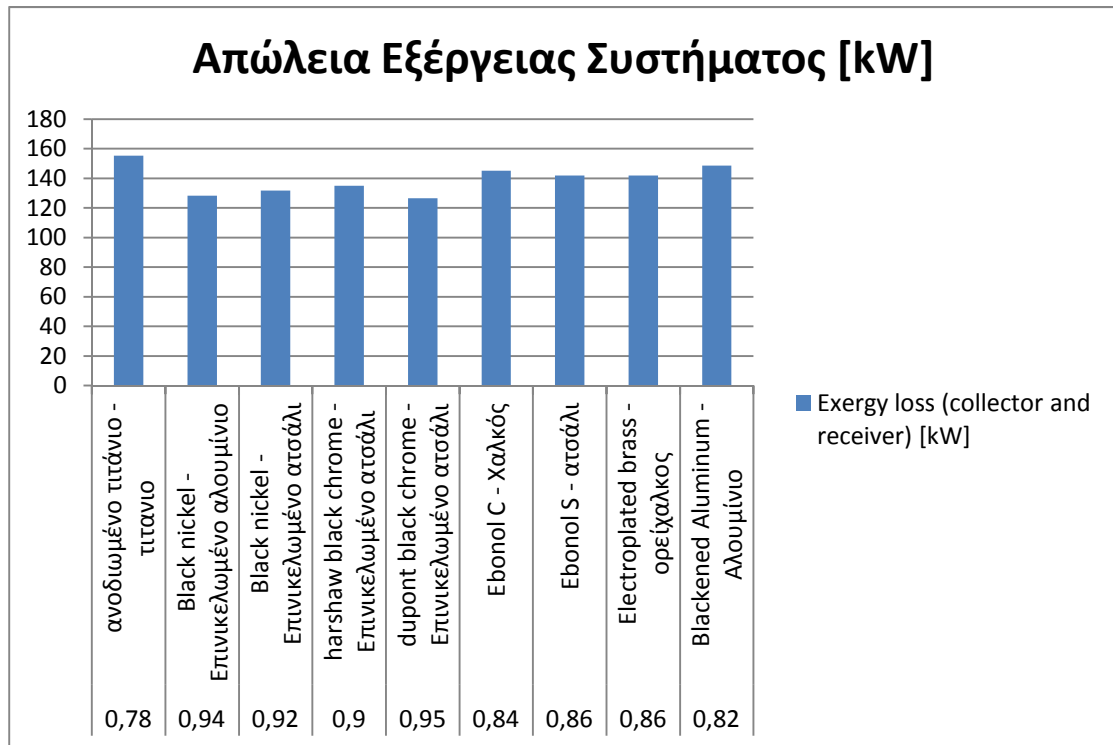


Γράφημα 7.2 Απώλειες στο συλλέκτη

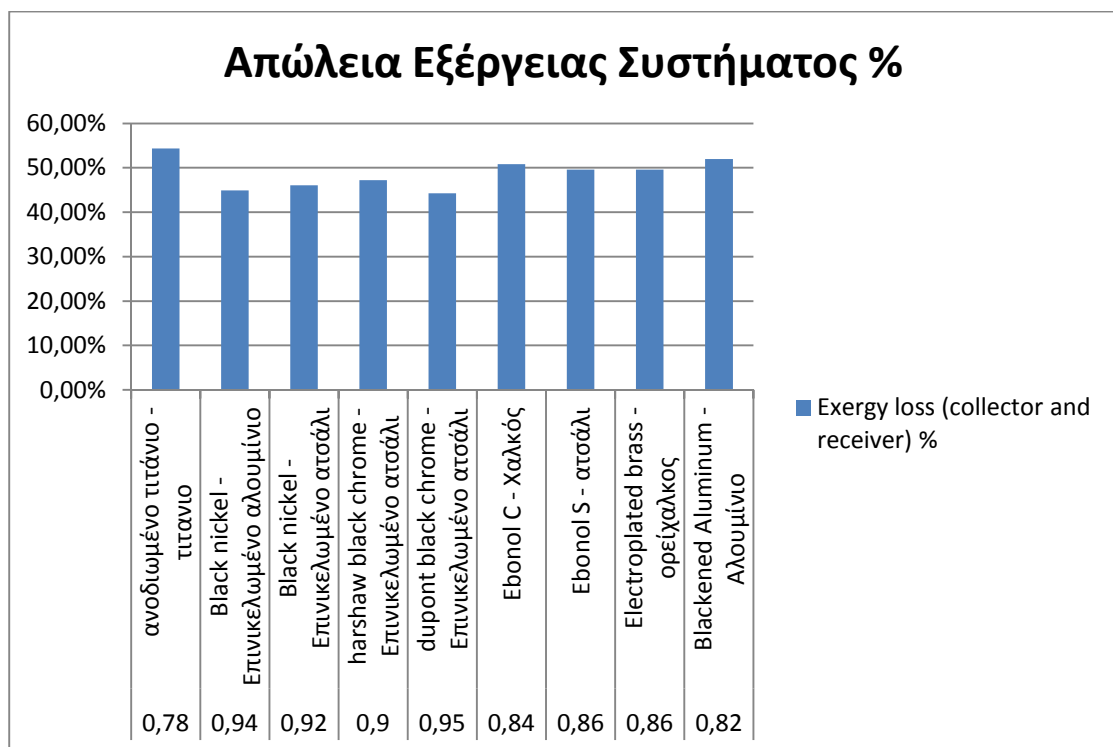


Γράφημα 7.3 Απώλειες στο συλλέκτη επί τοις %

Στα γραφήματα 7.2 και 7.3 αποδίδεται μια σύγκριση του συντελεστή απορρόφησης σχετικά με τις απώλειες στο συλλέκτη και οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα πως ο συντελεστής απορρόφησης 0,78 έχει απώλειες στο 45% που αντιστοιχεί σε 130 kW ενώ αντίθετα ο καλύτερος που είναι 0,95 έχει απώλειες κάτω από 35% που ισοδυναμεί σε τιμή μικρότερη του 95 kW.



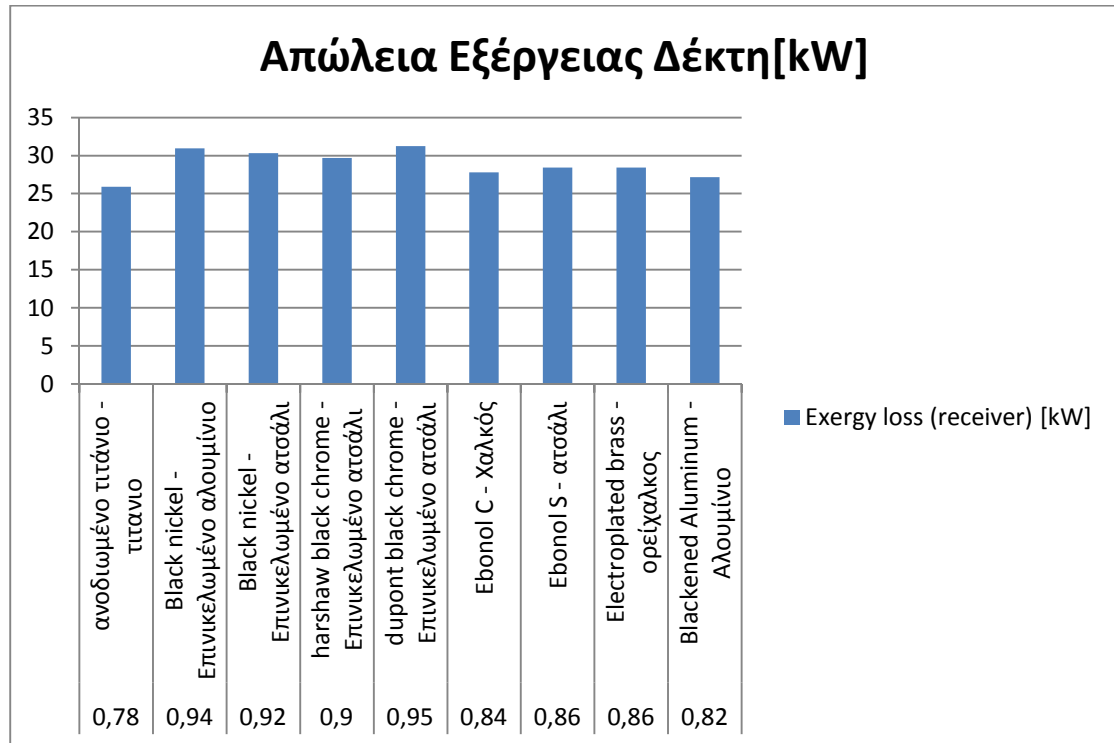
Γράφημα 7.4 Απώλειες συλλέκτη-δέκτη



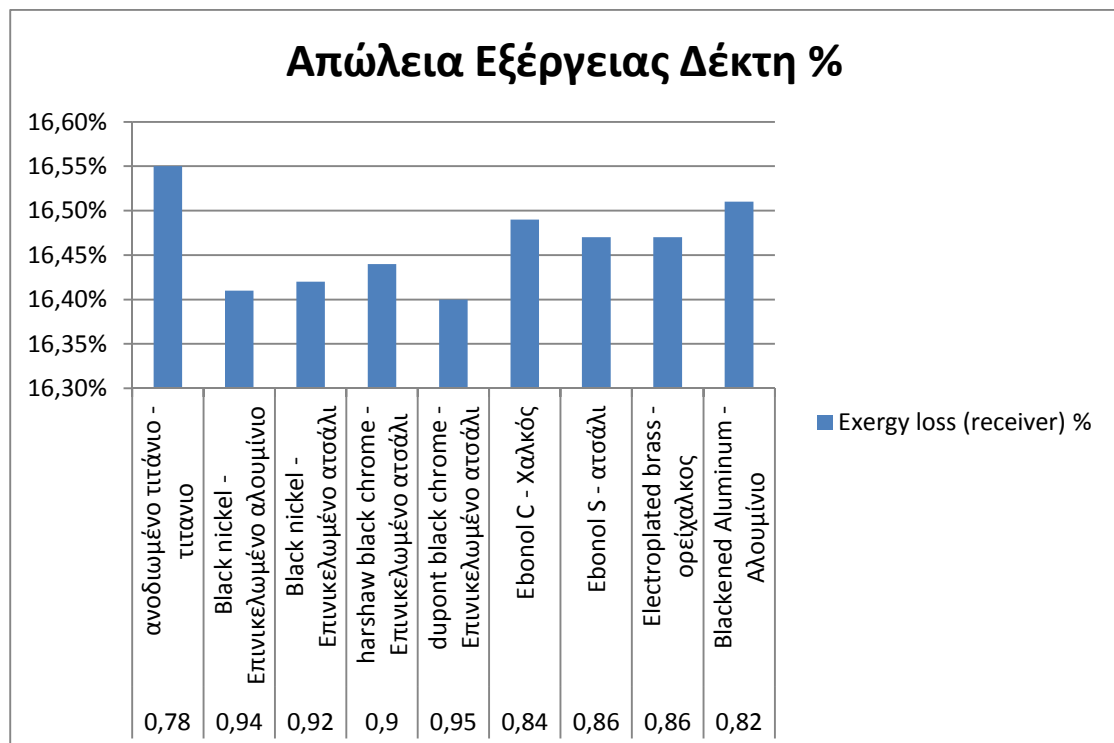
Γράφημα 7.5 Απώλειες συλλέκτη-δέκτη

Μία ενδιαφέρουσα σύγκριση στα γραφήματα 7.4 και 7.5 προκύπτει αν παρατηρηθούν οι απώλειες σαν σύστημα συλλέκτη-δέκτη και όχι μεμονωμένα στον συλλέκτη, σε σχέση πάντα με την τιμή του συντελεστή απορρόφησης. Αποτέλεσμα είναι ότι οι απώλειες όλων των συστημάτων αυξήθηκαν κατά 10% περίπου 30 kW

διατηρώντας τις θέσεις τους με χειρότερο και καλύτερο σύστημα οι τιμές 0,78 και 0,95 αντίστοιχα.



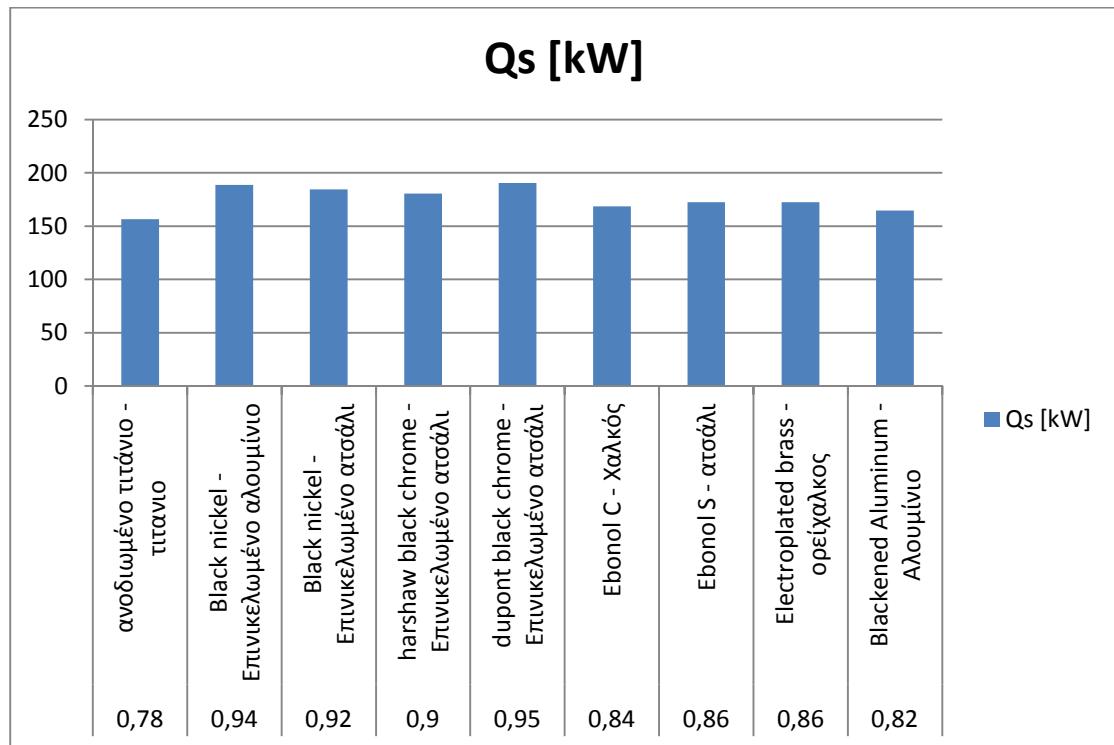
Γράφημα 7.6 Απώλειες δέκτη



Γράφημα 7.7 Απώλειες δέκτη %

Ακόμη παραθέτονται και τα γραφήματα 7.6 και 7.7 όπου περιγράφουν τις απώλειες σε σχέση με τον συντελεστή απορρόφησης από την πλευρά του δέκτη. Οι

απώλειες σε ποσοστιαίο μέγεθος κυμαίνονται με διαφορές της τάξης μικρότερες/ίσες του 0,1% που αντιστοιχεί σε τιμή έως 5 kW.



Γράφημα 7.8 Qs

Τέλος από το γράφημα 7.8 μπορεί να ειπωθεί ότι ο μεγαλύτερος συντελεστής απορρόφησης σε υφιστάμενες κατασκευές προκαλεί και μεγαλύτερη συγκράτηση της απορροφούμενης ενέργειας και συγκεκριμένα στο διάγραμμα η καλύτερη απόδοση είναι στην τιμή συντελεστή 0,95 με αντίστοιχη απορρόφηση κοντά στα 200 kW.

Γενικότερα από τα αποτελέσματα συνάγουμε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι μεγαλύτερος συντελεστής απορρόφησης προκαλεί μικρότερες συνολικές απώλειες. Η μεγαλύτερη απόκλιση στο συντελεστή απορρόφησης όπως φαίνεται και από τον πίνακα 7.1 είναι 17 ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ των περιπτώσεων E και A. Η διαφορά αυτή στο συντελεστή απορρόφησης έχει ως αντίκτυπο μια διαφορά της τάξης των 10 ποσοστιαίων μονάδων στις συνολικές απώλειες του συστήματος συλλέκτη – δέκτη. Απομονώνοντας τον αριθμό φαντάζει μικρός, ωστόσο σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε συστήματα με μειωμένη απόδοση οπότε η επιλογή υλικών πρέπει να είναι πρωτίστης σημασίας. Βάσει των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σημειώνουμε ότι οι καλύτερες επιδόσεις σημειώθηκαν στην περίπτωση E.

7.2 Επίπτωση Υλικού σε πραγματικό σύστημα

Η απόδοση ενός ηλιοθερμικού συστήματος όπως έγινε φανερό από τη συνολική μελέτη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Για να γίνει πιο φανερή η επίπτωση του υλικού, στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από συστήματα πραγματικών κατασκευαστών.

Αναλυτικότερα τροποποιήσαμε το μοντέλο προσθέτοντας εξισώσεις έτσι ώστε να μπορούν τα δεδομένα του κατασκευαστή που αφορούν το υλικό να έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Συγκεκριμένα, στο κύκλο solar η εξίσωση

$$Q_u = (ncoll \cdot (W - D) \cdot L \cdot FR \cdot ((Q_s / ((W - D) \cdot L)) - U \cdot (T_f - T_a) / CR))$$

Μετατρέπεται σε

$$Q_u = (ncoll \cdot (W - D) \cdot L \cdot FR \cdot ((Q_s / ((W - D) \cdot L)) - U \cdot (T_f - T_a) / CR)) - Q_{loss}$$

Όπου ο συντελεστής Q_{loss} αναφέρεται στις θερμικές απώλειες και αποτελείται από τρεις όρους. Τις απώλειες αγωγής, ακτινοβολίας και συναγωγής. Συνεπώς προκύπτουν τα εξής:

$$Q_{loss} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Με

$$Q_1 = U \cdot L \cdot W \cdot (T_c - T_a) \quad \text{"kW"}$$

$$Q_2 = e \cdot S \cdot L \cdot D \cdot (T_c - T_{blackbody}) \quad \text{"kW"}$$

Να σημειωθεί ότι απώλειες αυτοεκπομπής του δέκτη λαμβάνονται υπόψη με χρήση μιας μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του δέκτη επειδή εξ αρχής της μοντελοποίησης θεωρήθηκε μια μέση ετήσια τιμή άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας και όχι αναλυτικός υπολογισμός ωριαίας μεταβολής της ακτινοβολίας σύμφωνα με την θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο. Ένα γενικό συμπέρασμα για την ποιότητα των απωλειών δίνεται με την χρήση μέσων τιμών.

Η φασματική κατανομή αντιστοιχεί σε μήκη κύματος μεταξύ 0 έως 300 MHz και σύμφωνα με το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αντιστοιχεί σε ραδιοκύματα επειδή η τιμή που προκύπτει είναι 0,17 MHz και άρα δεν είναι και στο ορατό φάσμα. Αυτό αποδείχθηκε με τον **νόμο του Wein**, $\lambda_{max} \cdot T = \text{σταθερό} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ και την προαναφερθείσα θερμοκρασία δέκτη.

$$Q_3 = con \cdot th \cdot L \cdot D \cdot (T_c - T_a) \quad \text{"kW"}$$

Να τονιστεί ότι μέσω των ίδιων των απωλειών φυσικής συναγωγής προκαλεί την μείωση της απόδοσης του συστήματος με το προτέρημα όμως, ότι ο ίδιος μηχανισμός δρα ως ψύξη και μέσω της εξαναγκασμένης συναγωγής λόγω του αέρα που προκύπτει από την σχέση $Q_{εξαν.} = 7631 \frac{A}{W_{ap}^{0.2}}$, με A να είναι η επιφάνεια ανοίγματος

(m²) και W_{ap} το πλάτος ανοίγματος (m), δίνοντας με αυτόν τον τρόπο, συνολικές απώλειες συναγωγής για τις τρεις κατασκευές από 52 έως 60 kW.

Η φασματική κατανομή στην υποθετική περίπτωση που η θερμοκρασία της επιφανείας δέκτη προέκυπτε μόνο εξαιτίας της συνολικής συναγωγής που συνεπάγεται ως το άθροισμα της φυσικής συναγωγής ως απώλεια εξέργειας και της εξαναγκασμένης συναγωγής ως επαφή με τον περιβαλλοντικό αέρα τότε με την εκμετάλλευση των **νόμων Wein**, $\lambda_{max} * T = σταθερό = 2,9 * 10^{-3} m * K$ και **Stefan-Boltzman**, $I = \sigma T^4$ W/m² συμπεράνετε πως θα εκπέμπονταν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων.

Σφάλματα που μπορεί να υπεισέρχονται στον υπολογισμό των απωλειών του δέκτη οφείλονται στην ακρίβεια υπολογισμού όλων των συντελεστών που χαρακτηρίζουν το υλικό κατασκευής του. Το μέγεθος των σφαλμάτων που προσδίδουν είναι ποσοστό συναρτήσεως του μεγέθους θερμοκρασίας, του συντελεστή απωλειών συναγωγής και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Επίσης, οι νέες μεταβλητές ορίζονται ως:

con = 237 για Aluminium	"Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας"
e δίνεται από κατασκευαστή	"Συντελεστής εκπομπής επιφάνειας απορρόφησης"
$s = 5,67 \cdot (10^{-8})$	"Σταθερά Boltzman"
$T_c \approx 500$ K	"Θερμοκρασία του δέκτη"
th δίνεται από κατασκευαστή	"Πάχος υλικού"

Ανάλογα με το βασικό υλικό και το υλικό επίστρωσης επηρεάζονται και οι συντελεστές διάδοσης επιφάνειας, απορρόφησης και ανελαστικότητας επιφάνειας t, a και b αντίστοιχα. Με αποτέλεσμα για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις να έχουμε:

Κατασκευαστής A: **Acurex corp.**

Αναφέρει ως χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής επαργυρωμένο λεπτό γυαλί ανακλαστήρα και απορροφητή από χάλυβα με επίστρωση χρωμίου (black-chrome).

Κατασκευαστής B: **Solel Solar**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
«Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»

Αναφέρει ως χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής επαργυρωμένη ακρυλική ταινία με επίστρωση χρωμίου (black-chrome) στον απορροφητή.

Κατασκευαστής Γ: **Suntec Systems**

Αναφέρει ως χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής επαργυρωμένο γυαλί με χαλκό και με επίστρωση χρωμίου (black-chrome) στον απορροφητή από χάλυβα

Περίπτωση Α:

Unit Settings: [kJ]/[K]/[kPa]/[kg]/[degrees]

a = 0,94	b = 0,94	c31 = 479,3	c32 = 0,92
c33 = 0,036	c34 = 54,4	c41 = 4122	c51 = 6570
C52 = 21276	C53 = 1184	Cc = 11492 [kW/C]	Com = 5,989E+06
con = 237	cp = 2,4 [kJ/kg·K]	cpwater = 4,186 [kJ/kg·K]	CR = 11,62
D = 0,0318 [m]	DT = -5,307 [K]	e = 0,2	Energy _{loss,collector} = 105,4
Energy _{loss,collector,%} = 0,3688	Energy _{loss,collector,receiver} = 159,1	Energy _{loss,collector,rec,%} = 0,5567	Energy _{loss,receiver} = 53,71
Energy _{loss,receiver,%} = 0,2977	FR = 0,98	g = 0,95	h = 4330
h2a = 2707	h2b = 2707	hf = 417,4	hfg = 2258 [kJ/kg]
hg = 2675	ho = 125,1	i = 0,02	lbeam = 0,585 [kW/m ²]
ldiffuse = 0,179 [kW/m ²]	lglobal = 0,764 [kW/m ²]	K = 7,341	L = 5
m = 0,02134 [kg/s]	m2a = 0,08 [kg/s]	m2b = 0,02 [kg/s]	mwater = 7,92 [kg/s]
N = 42	ncoll = 0,86	npump = 0,85	nregenerator = 0,55
nxpt = 0,88	nypt = 0,88	Q1 = 18,1	Q2 = -0,00009517
Q3 = 5,939	qboiler = 126,7	Qin = 285,9 [kW]	Qinregenerator = 1256 [kJ/kg]
Qinsert = 126,7 [kW]	Qloss = 24,04	Qs = 180,4 [kW]	Qu = 126,7 [kW]
Rb = 1,279	Rd = 0,891	s = 5,670E-08	s3s = 7,168
sf = 1,302	sfg = 6,057 [kJ/kg·K]	sg = 7,359	Sgencond = 0,1039 [kJ/K·s]
Sgenrege = 0,04858 [kJ/K·s]	so = 0,4344	t = 0,91	Ta = 303 [K]
Tblackbody = 5778 [K]	Tc = 500	Tf = 503,4 [K]	th = 0,0008
Tin = 562,3 [K]	Tinwater = 303	Toutwater = 308,3 [K]	U = 0,01225 [kW/m ² ·K]
W = 1,5 [m]	Wapump = 0,07302 [kW]	Wrevpump = 0,06406 [kW]	z = 0,8

Περίπτωση Β:

man

Unit Settings: [kJ]/[K]/[kPa]/[kg]/[degrees]

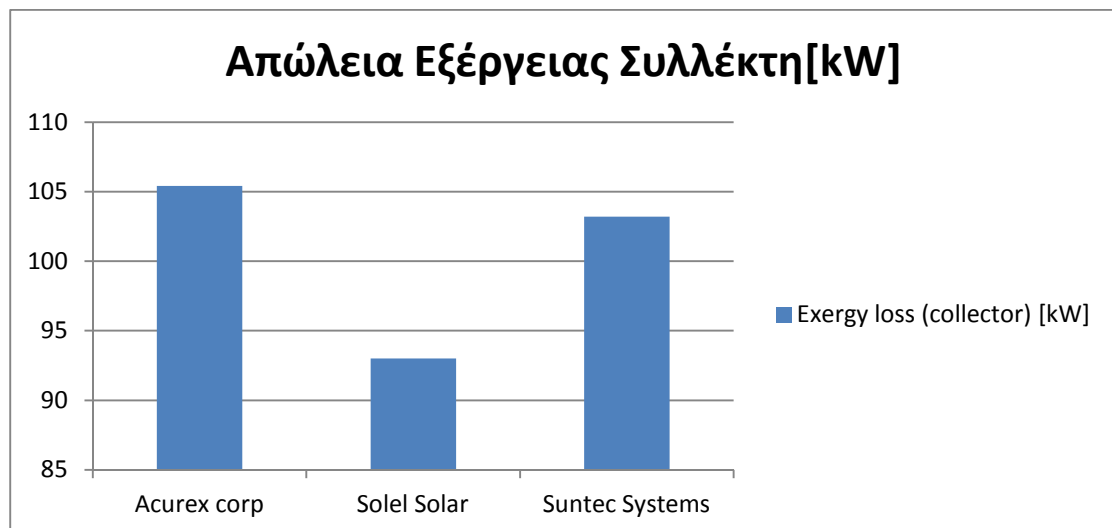
a = 0,96	b = 0,93	c31 = 479,3	c32 = 0,92	c33 = 0,036
c34 = 54,4	c41 = 4122	c51 = 6570	C52 = 21276	C53 = 1184
Cc = 11485 [kW/C]	Com = 5,989E+06	con = 237	cp = 2,4 [kJ/kg·K]	cpwater = 4,186 [kJ/kg·K]
CR = 11,62	D = 0,00022 [m]	DT = -5,484 [K]	e = 0,07	Energy _{loss,collector} = 93,01
Energy _{loss,collector,%} = 0,3254	Energy _{loss,collector,receiver} = 143	Energy _{loss,collector,rec,%} = 0,5001	Energy _{loss,receiver} = 49,96	Energy _{loss,receiver,%} = 0,259
FR = 0,98	g = 0,95	h = 4330	h2a = 2707	h2b = 2707
hf = 417,4	hfg = 2258 [kJ/kg]	hg = 2675	ho = 125,1	i = 0,02
lbeam = 0,585 [kW/m ²]	ldiffuse = 0,179 [kW/m ²]	lglobal = 0,764 [kW/m ²]	K = 7,499	L = 5
m = 0,02134 [kg/s]	m2a = 0,08 [kg/s]	m2b = 0,02 [kg/s]	mwater = 7,92 [kg/s]	N = 42
ncoll = 0,86	npump = 0,85	nregenerator = 0,55	nxpt = 0,88	nypt = 0,88
Q1 = 18,1	Q2 = -2,304E-08	Q3 = 0,2054	qboiler = 142,9	Qin = 285,9 [kW]
Qinregenerator = 1094 [kJ/kg]	Qinsert = 142,9 [kW]	Qloss = 18,3	Qs = 192,9 [kW]	Qu = 142,9 [kW]
Rb = 1,279	Rd = 0,891	s = 5,670E-08	s3s = 7,168	sf = 1,302
sfg = 6,057 [kJ/kg·K]	sg = 7,359	Sgencond = 0,1072 [kJ/K·s]	Sgenrege = 0,03345 [kJ/K·s]	so = 0,4344
t = 0,965	Ta = 303 [K]	Tblackbody = 5778 [K]	Tc = 500	Tf = 503,4 [K]
th = 0,004	Tin = 569,8 [K]	Tinwater = 303	Toutwater = 308,5 [K]	U = 0,01225 [kW/m ² ·K]
W = 1,5 [m]	Wapump = 0,07302 [kW]	Wrevpump = 0,06406 [kW]	z = 0,8	

Περίπτωση Γ:

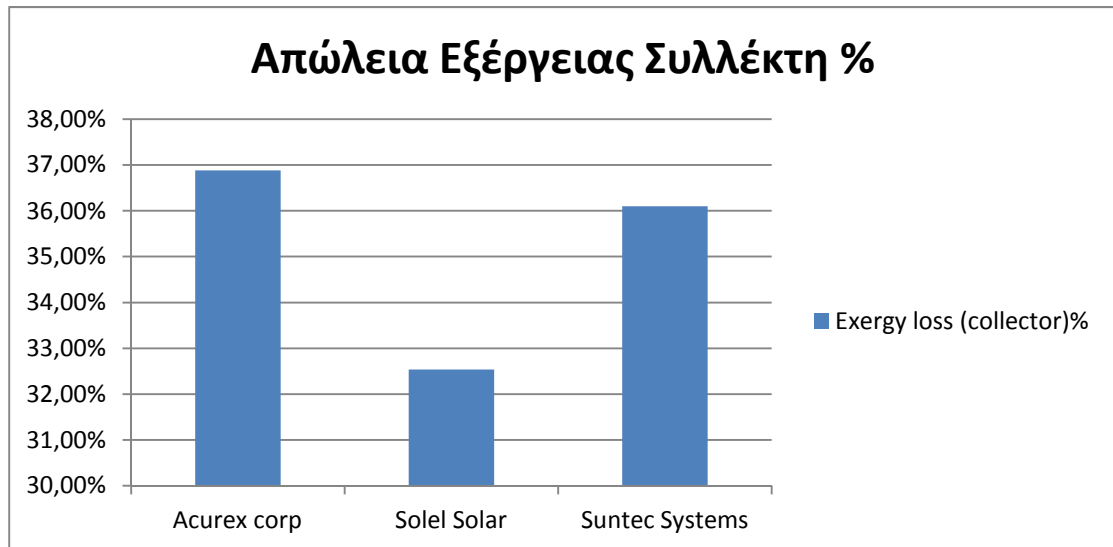
Unit Settings: [kJ]/[K]/[kPa]/[kg]/[degrees]

a = 0,94	b = 0,91	c31 = 479,3	c32 = 0,92
c33 = 0,036	c34 = 54,4	c41 = 4122	c51 = 6570
C52 = 21276	C53 = 1184	Cc = 11492 [kW/C]	Com = 5,989E+06
con = 237	cp = 2,4 [kJ/kg·K]	cpwater = 4,186 [kJ/kg·K]	CR = 11,62
D = 0,04 [m]	DT = -5,311 [K]	e = 0,2	Energy _{loss,collector} = 103,2
Energy _{loss,collector,%} = 0,361	Energy _{loss,collector,receiver} = 158,8	Energy _{loss,collector,rec,%} = 0,5555	Energy _{loss,receiver} = 55,58
Energy _{loss,receiver,%} = 0,3043	FR = 0,98	g = 0,95	h = 4330
h2a = 2707	h2b = 2707	hf = 417,4	hfg = 2258 [kJ/kg]
hg = 2675	ho = 125,1	i = 0,02	lbeam = 0,585 [kW/m ²]
ldiffuse = 0,179 [kW/m ²]	lglobal = 0,764 [kW/m ²]	K = 7,3	L = 5
m = 0,02134 [kg/s]	m2a = 0,08 [kg/s]	m2b = 0,02 [kg/s]	mwater = 7,92 [kg/s]
N = 42	ncoll = 0,86	npump = 0,85	nregenerator = 0,55
nxpt = 0,88	nypt = 0,88	Q1 = 18,1	Q2 = -0,00001197
Q3 = 7,47	qboiler = 127,1	Qin = 285,9 [kW]	Qinregenerator = 1252 [kJ/kg]
Qinsert = 127,1 [kW]	Qloss = 25,57	Qs = 182,7 [kW]	Qu = 127,1 [kW]
Rb = 1,279	Rd = 0,891	s = 5,670E-08	s3s = 7,168
sf = 1,302	stg = 6,057 [kJ/kg·K]	sg = 7,359	Sgencond = 0,104 [kJ/K·s]
Sgenrege = 0,04825 [kJ/K·s]	so = 0,4344	t = 0,95	Ta = 303 [K]
Tblackbody = 5778 [K]	Tc = 500	Tf = 503,4 [K]	th = 0,0008
Tin = 562,5 [K]	Tinwater = 303	Toutwater = 308,3 [K]	U = 0,01225 [kW/m ² ·K]
W = 1,5 [m]	Warpump = 0,07302 [kW]	Wrearpump = 0,06406 [kW]	z = 0,8

Οι γραφικές παραστάσεις που δημιουργήθηκαν και αναπαρίστανται παρακάτω δίνουν μια συγκριτική εικόνα των κατασκευαστών.

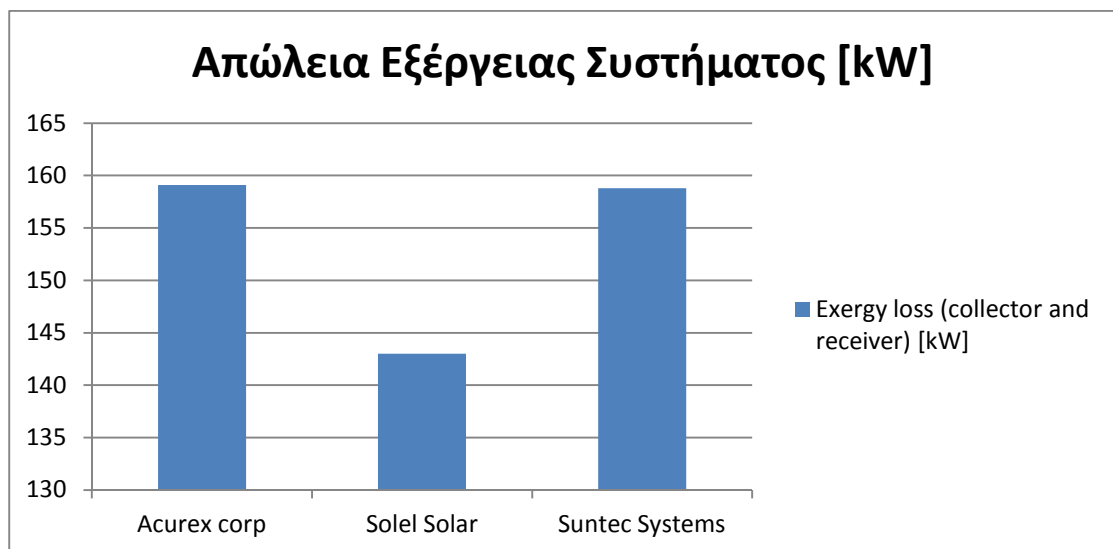


Γράφημα 7.9 Απώλειες στο συλλέκτη

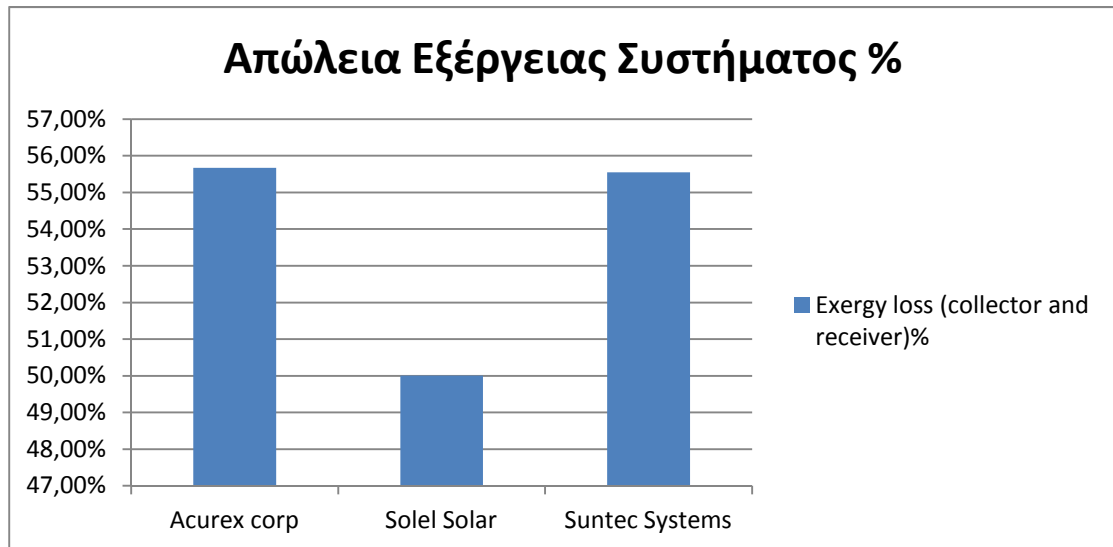


Γράφημα 7.10 Απώλειες στο συλλέκτη %

Οι απώλειες στο συλλέκτη καθιστούν καλύτερη κατασκευή της Solel Solar σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα με απώλειες να αγγίζουν το 32,5% όπως φαίνεται από το γράφημα 7.10. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί στην τιμή 93 kW της προσπιπτόμενης ενέργειας σύμφωνα με το γράφημα 8.

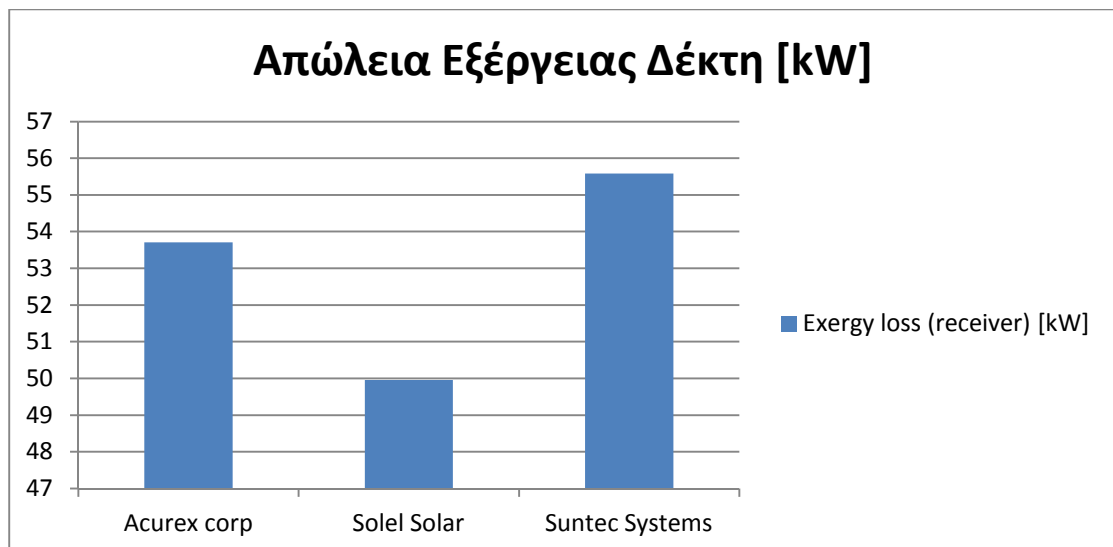


Γράφημα 7.11 Απώλειες στο συλλέκτη-δέκτη

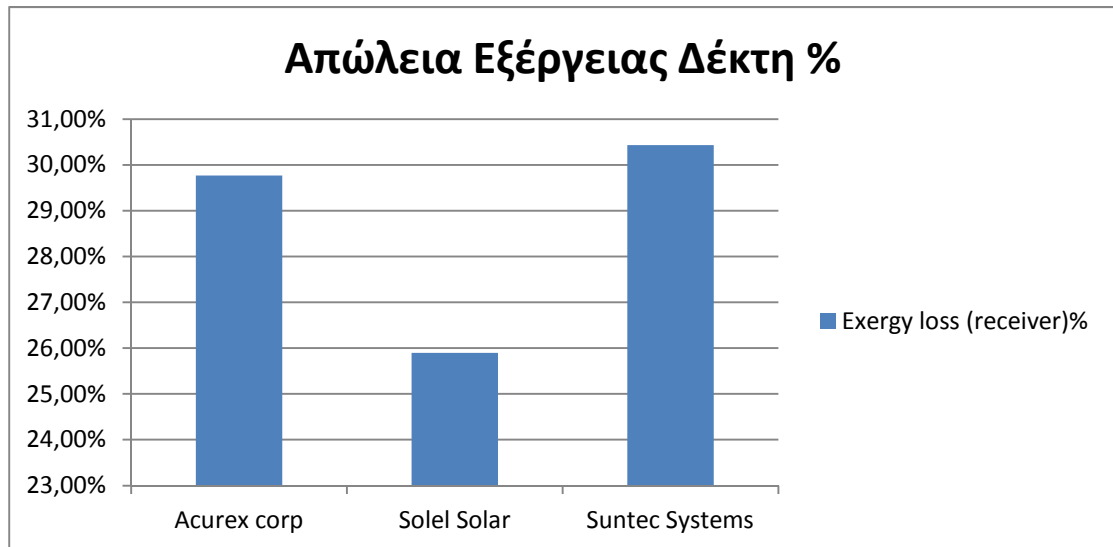


Γράφημα 7.12 Απώλειες στο συλλέκτη-δέκτη %

Από την σκοπιά του συστήματος συλλέκτη – δέκτη προκύπτει ότι οι απώλειες αυξάνονται σε όλα τα συστήματα αλλά η Solel Solar συνεχίζει να έχει τις χαμηλότερες απώλειες όπως σκιαγραφείται στα γραφήματα 7.11 και 7.12. Η συγκεκριμένη κατασκευή φτάνει το 50% των απωλειών τιμή που ισοδυναμεί σε περίπου 143 kW. Αντίθετα το χειρότερο σύστημα είναι της Acurex με ελάχιστη διαφορά από αυτό της Suntec Systems.

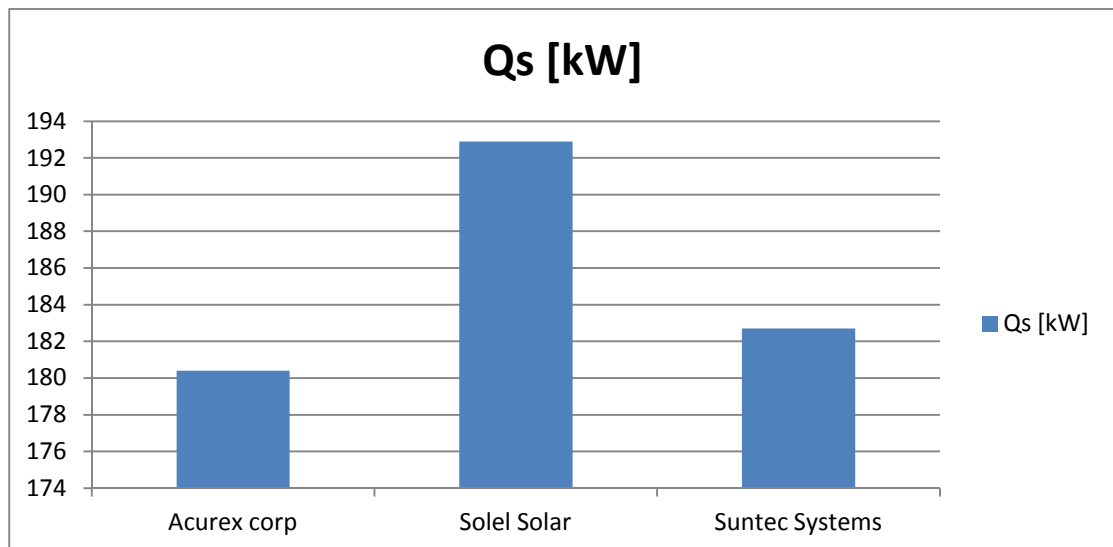


Γράφημα 7.13 Απώλειες στο δέκτη



Γράφημα 7.14 Απώλειες στο δέκτη %

Τέλος, εξετάζοντας τις απώλειες μόνο από την πλευρά του δέκτη η καλύτερη κατασκευή προκύπτει της Solel Solar με 26% δηλαδή 50 kW όπως συμπεραίνεται από τα γραφήματα 7.13 και 7.14. Η διαφορά προκύπτει στις άλλες δύο κατασκευάστριες εταιρίες όπου αυτή τη φορά ο δέκτης της Suntec Systems υστερεί σε σχέση με της Acurex corp ενώ ο συλλέκτης υστερούσε στην Acurex corp σε σχέση με την Suntec Systems όπως φάνηκε στα γραφήματα 8 και 9.



Γράφημα 7.15 Ενέργειας που απορροφάται

Μια διαφορετική προσέγγιση είναι αυτή της απορροφημένης ακτινοβολίας όπου δικαίως απεικονίζεται και στο γράφημα 7.15 ότι η κατασκευή της Solel Solar συγκρατεί περισσότερο ενέργεια από τις άλλες δύο κατασκευές. Μπορεί η βελτίωση να είναι μικρή της τάξης του 7% αλλά η διαφορά γίνεται μεγαλύτερη όταν αυξάνονται τα απόλυτα μεγέθη οδηγώντας σε εφαρμογές με πολύ χαμηλότερη απόδοση από την εφικτή.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα μετρήσεων πραγματικών κατασκευαστών συμπεράνουμε ότι οι διαφοροποιήσεις των χρησιμοποιούμενων υλικών έχουν αντίκτυπο στην απόδοση του συστήματος, ωστόσο τα μεγέθη είναι συγκρίσιμα και οι αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ των υλικών είναι μικρές. Επιπλέον θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αποδόσεις που επετεύχθησαν από τους κατασκευαστές διαφέρουν στην περίπτωση δέκτη και του απορροφητή. Εξετάζοντας συνολικά τις εκάστοτε περιπτώσεις σημειώνουμε ότι τις μικρότερες απώλειες και συνάμα την καλύτερη απόδοση είχε η περίπτωση Β. Όπου το υλικό κατασκευής ήταν επαργυρωμένη ακρυλική ταινία στο δέκτη και επίστρωση χρωμίου (black-chrome) στον απορροφητή. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι τις μικρότερες απώλειες στο δέκτη τις παρατηρήσαμε στην περίπτωση Α όπου χρησιμοποιήθηκε στο δέκτη επαργυρωμένο λεπτό γυαλί. Από τα παραπάνω συνάγουμε ότι σε εμπορική κλίμακα οι αποδόσεις των χρησιμοποιούμενων υλικών από τους κατασκευαστές δεν διαφέρουν σημαντικά ώστε να καταστεί κάποια λύση ασύμφορη και παράγοντας για την επιλογή αποτελεί σε μεγάλο βαθμό το κόστος.

7.3 Επισκόπηση Αποτελεσμάτων και Προτεινόμενη Βελτίωση

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα περιγραφούν ως μία συνολική επισκόπηση της όλης μελέτης με σκοπό την ανάπτυξη μιας γενικότερης περιγραφής. Σκοπός της είναι να μεταδώσει μία σφαιρική άποψη όλων των θεμάτων που ειπώθηκαν στην παρούσα εργασία. Αρχικά, παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ολοκληρωμένων τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση από τα ιδρύματα/εταιρίες κατασκευής στον πίνακα 7.2.

Ίδρυμα/Εταιρία	Acurex Corp		Solel Solar Systems	Suntec Systems
Μοντέλο	3001	3011	IND-300	IV
Χώρα	USA	USA	Israel	USA
Μέγιστη Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	320	320	300	320
Επιφάνεια (m ²)	72,29	78,09	7,8	108,52
Πλάτος (m)	1,83	2,13	1,3	3,05
Μήκος (m)	39,5	36,66	60	35,58
Μήκος Εστίασης (m)	0,457	0,533	0,272	0,838
Διάμετρος Σωλήνα Απορρόφησης (mm)	31,8	31,8	0,022	38,1
Διάμετρος Καλύμματος Σωλήνας (mm)	50,8	54	-	76

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Μεταπτυχιακό
«Σύγχρονες Μέθοδοι Σχεδιασμού και Ανάλυσης στην Βιομηχανία»

Πάχος Γυαλιού Ανακλαστήρα (mm)	0,8	0,8	4	4,8
Γωνία Κατόπτρου (°)	90	90	100	90
Γωνία Αποδοχής Ακτινοβολίας (°)	1,99	1,71	1,962	1,43
Γεωμετρική Αναλογία Συγκέντρωσης	18,32	21,32	18,64	25,48
Μέγιστη Οπτική Απόδοση	0,708	0,827	0,733	0,743
Ανάκλαση	0,94	0,94	-	0,91
Διάδοσης	0,91	0,95	0,965	0,95
Απορρόφησης	0,94	0,94	0,96	0,94
Εκπομπής	0,2	0,2	0,07	0,2

Πίνακας 7.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με ίδρυμα/εταιρία κατασκευής

Τα μοντέλα που προγραμματίστηκαν βασίστηκαν στις κατασκευές του πίνακα 7.2 και χρησιμοποιήθηκαν για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για έναν επενδυτή ή γενικότερα για έναν μελετητή. Τα κριτήρια επιλογής που αποτέλεσαν κίνητρο για την επιλογή της εγκατάστασης ήταν τα τεχνικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τα υλικά.

Ο λόγος επιλογής ενός ζητήματος ηλιοθερμικής τεχνολογίας προς μελέτη θεωρείται σημαντικός διότι είναι στα πλαίσια νομοθετικών ρυθμίσεων για τις ΑΠΕ και ως εκ τούτου συμβάλλει στην ανάπτυξη και στην φροντίδα ευαίσθητων περιβαλλοντικών θεμάτων. Να σημειωθεί ότι ΑΠΕ ορίζονται εγκαταστάσεις που έχουν ως έξοδο ηλεκτρισμό με χρήση αιολικής, ηλιακής ή γεωθερμικής ενέργειας καθώς επίσης βιομάζας, βιοαερίου, υδάτινο δυναμικό ή συμπαραγωγή. Οπότε οι κατασκευές ηλιοθερμικών τεχνολογιών ως συστήματα ΑΠΕ κατέληξαν να είναι αντικείμενο μελέτης.

Συγκεκριμένα, η προσέγγιση στην εργασία πραγματοποιήθηκε από δύο οπτικές γωνίες. Η πρώτη εξαρτήθηκε από τον συντελεστή απορρόφησης αποδεικνύοντας ότι η καλύτερη απόδοση προέρχεται από το σύστημα με υλικό επένδυσης black chrome και υπόστρωμα επινικελωμένο ατσάλι. Ενώ με την δεύτερη προσέγγιση μέσω ολοκληρωμένων λύσεων αναδείχθηκε η τεχνολογία της Solel Solar. Επιπρόσθετο συμπέρασμα είναι ότι για χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας είναι αποδοτικότεροι οι σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες για το λόγο ότι είναι ασύμφορη η σπατάλη ενέργειας για την παρακολούθηση της θέσης του ήλιου σε σχέση με αυτήν που παράγουν.

Από την άλλη πλευρά, σημαντικά σημεία που πρέπει να αναφερθούν είναι πως τα συγκριτικά αποτελέσματα έχουν μικρές διαφορές και δεν αποτελεί προβληματισμό η

επιλογή κάποιας συγκεκριμένης τεχνολογίας για μικρές εγκαταστάσεις. Από εμπορική σκοπιά οι αποδόσεις των χρησιμοποιούμενων υλικών δεν διαφέρουν σημαντικά ώστε να καταστήσει κάποια λύση ακατάλληλη. Άρα η ύπαρξη μίας τέτοιας μελέτης, όπως είναι η παρούσα, γνωστοποιεί τους συνδυασμούς των υλικών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο υπόστρωμα και στο υλικό επένδυσης για την απόκτηση του καλύτερου συντελεστή απορρόφησης και άρα καλύτερη απόδοση καθώς επίσης ποια από τις υφιστάμενες τεχνολογίες έχει τις περισσότερες απώλειες.

Ακόμη ένας λόγος ύπαρξης της παρούσας εργασίας είναι το γνωστό πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου που αποτελεί το κύριο περιβαλλοντικό βάσανο της ανθρωπότητας και με αυτό τον τρόπο προσπαθεί να προωθηθεί η χρήση αυτής της τεχνολογίας ΑΠΕ. Οπότε για να εφαρμοστεί η ηλιοθερμική τεχνολογία απαιτούνται γνώσεις μηχανικού. Με τις γνώσεις που αποκομίσθηκαν στράφηκα στην εκμετάλλευση του ήλιου γιατί εργάζεται όπως μία σύγχρονη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με διαφορά ότι το καύσιμο δεν είναι ο λιγνίτης αλλά η ηλιακή ενέργεια. Άρα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να ερευνηθεί και από την πλευρά του υλικού. Σίγουρα αποτελεί λόγο για να επενδύσω ακόμη μία φορά για την ανάπτυξη ενός τέτοιου θέματος.

Οι εφαρμογές είναι πάρα πολλές στον κόσμο σήμερα και θα δοθούν ενδεικτικά κάποιες. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες παραβολικού κυλίνδρου χρησιμοποιούνται στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με όνομα «Nevada Solar One Parabolic Trough» που βρίσκεται στις ΗΠΑ στην περιοχή της Νεβάδα, συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες παραβολικού δίσκου ιδιοκτησία της «Tesera» που είναι εγκαταστημένοι στην California των ΗΠΑ και τέλος συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες με κεντρικό δέκτη η επιχείρηση «eSolar Sierra Suntower Power Tower Facility» που εδρεύει εξίσου στην California των ΗΠΑ. Οι σταθεροί ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται μόνο για τη θέρμανση ζεστού νερού χρήσης και όχι για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Μία άλλη διάσταση της παρούσας εργασίας είναι η βελτίωση του συστήματος με τη χρήση χώρων αποθήκευσης θερμότητας. Ο ρόλος τους είναι η αποθήκευση πλεονάζουσας θερμότητας με την προϋπόθεση της κάλυψης της ονομαστικής θερμικής ισχύς του συστήματος. Σχηματικά αναπαριστάται στην εικόνα 7.16 και οι επιπλέον διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας και δύο δεξαμενές, οι επονομαζόμενες ως ψυχρή και θερμή δεξαμενή, όπου κινείται σε ξεχωριστό κύκλωμα τηγμένο άλας και είναι τοποθετημένα στο κύκλωμα Solar.



Γράφημα 7.17: Απεικονίζει την αντίστοιχη θερμότητα που θα χρησιμοποιηθεί από την αποθήκη σε σχέση με το ποσοστό επιπλέον κατόπτρων που θα προστεθεί στο σύστημα

Για του λόγου το αληθές, το γράφημα 7.17 δείχνει το ποσοστό των επιπλέον κατόπτρων που πρέπει να προστεθούν στο σύστημα πέρα από την παραγωγή της ονομαστικής τιμής σε σχέση με την αποθηκευμένη θερμότητα που είναι έτοιμη για χρήση. Θερμότητα που προέρχεται από την αποθήκη δεν είναι αυτήν που δεσμεύτηκε από το υπέρ-διαστασιολόγηση του αριθμού κατόπτρων αλλά με απώλειες από την διαδικασία φόρτισης των αποθηκών θερμότητας και από την διαδικασία εκφόρτισης μέσω των υλικών που χρησιμοποιούνται στις ίδιες τις αποθήκες αλλά και στον εναλλάκτη θερμότητας.

Κεφάλαιο 8^ο – Συνέχεια μελέτης

Στην ηλιοθερμική τεχνολογία, που συνεχώς είναι υπό ανάπτυξη, υπάρχει τεράστιο εύρος θεμάτων, που δεν έχουν εξεταστεί επαρκώς και υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν πολλές αλλαγές και βελτιώσεις σε χρησιμοποιούμενα συστήματα. Αναφέρθηκε, στα πρώτα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ότι, σειρά παραγόντων επηρεάζουν την τελική απόδοση ενός συστήματος.

Στην εργασία αυτή ο παράγοντας που μελετήθηκε, είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των εξαρτημάτων των ηλιακών κατόπτρων. Αυτό έγινε θεωρώντας ένα μαθηματικό μοντέλο και προσομοιώνοντας πάνω σ' αυτό τις μεταβλητές που σχετίζονται με τα υλικά κατασκευής. Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να εξεταστούν κι άλλες παράμετροι που επηρεάζουν ένα ηλιοθερμικό σύστημα.

Η ηλιοθερμική τεχνολογία ήδη χρησιμοποιείται εκτεταμένα στον ελλαδικό χώρο με τη μορφή συσκευών θέρμανσης νερού. Η διαφορά στην απόδοση εξαρτάται από το είδος του χρησιμοποιούμενου κατόπτρου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, είναι ότι για χαμηλές απαιτήσεις ενέργειας, οι δείκτες απόδοσης είναι καλύτεροι για τους ηλιακούς συλλέκτες που είναι σταθεροί. Τονίζουμε ότι οι κλιματικοί παράγοντες έχουν μεγάλη επιρροή, όπως το ποσοστό ηλιοφάνειας κ.α.

Συνεπώς μια μελέτη στηρίζεται στις κλιματικές συνθήκες, με τις τοπικές ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής και σε παραμέτρους που αφορούν τον τύπο του ηλιακού κατόπτρου. Σε μια τέτοια μελέτη μπορεί να εξαχθεί και πόρισμα που να ορίζει το όριο στο οποίο συμφέρει να χρησιμοποιούνται flat plate κάτοπτρα.

Η μελέτη μπορεί να αναπτυχθεί όχι μόνο στην γενικότερη κλιματική κατάσταση μιας περιοχής αλλά και στις θερμοκρασιακές συνθήκες, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ βορειότερων και νοτιότερων περιοχών, στο ποσοστό ηλιοφάνειας, στο ποσοστό βροχοπτώσεων. Είναι γνωστό ότι οι βροχοπτώσεις στο δυτικό κομμάτι της χώρας είναι αυξημένες συγκριτικά με το υπόλοιπό. Συμπεριλαμβάνοντας και τη διαφορά θερμοκρασίας, που κατά μέσο όρο μπορεί να ξεπεράσει και τους πέντε βαθμούς κελσίου καθιστά το γεωγραφικό πλάτος σημαντικό παράγοντα.

Τα στατιστικά στοιχεία και δεδομένα που απαιτούνται για μια τέτοια μελέτη είναι εύκολα προσβάσιμα για τον μελετητή. Η εθνική μετεωρολογική υπηρεσία διαθέτει μια πλειάδα πληροφοριών αναφορικά με τη καιρικές συνθήκες ανά περιοχή. Τα δεδομένα δεν αφορούν μόνο τις θερμοκρασιακές συνθήκες αλλά και το ποσοστό βροχοπτώσεων. Επιπλέον δίνονται στοιχεία που αφορούν μέσους όρους, τόσο μηνιαίους όσο και ετήσιους.

Βιβλιογραφία

1. Τελική Έκθεση Συμβουλευτικής Επιτροπής της Τεχνολογικής Πλατφόρμας Βιοκαυσίμων του Περιφερειακού Πόλου Καινοτομίας Θεσσαλίας, 2008. *Βιοκαύσιμα στην Ελλάδα - Ένα όραμα για το 2030 και μετά*. viewed 08/2012
http://tp-biofuels.cperi.certh.gr/links/kalabaka/final_proposal.pdf
2. Living Green and Saving Energy, Green wise, 2010. *Solving the world's energy problem*. viewed 08/2012
<http://livinggreenandsavingenergy.com/solving-the-world-energy-problem-part-2.html>
3. Our finite World, 2012. *World Energy Consumption since 1820 in charts*. viewed 08/2012
<http://ourfiniteworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>
4. BP p.l.c., 2012. *Statistical Review of World Energy 2012*
5. Dipartimento di Ingegneria Meccanica Universita di Brescia, Gian Paolo Beretta, 2006. *World Energy Consumption and Resources: An Outlook for the rest of the century*, Int. J. Environmental Technology and Management, Vol. 7, Nos. 1/2, 2007. viewed 08/2012
http://dimgruppi.ing.unibs.it/fisica_tecnica/beretta/BerettaIJETM3.pdf
6. BP, 2012. *Statistical Review of World Energy 2012*
7. ZACHARY Alden Smith, KATRINA D. Taylor , 2008. *Renewable and Alternative Energy Resources: A Reference Handbook*, Santa Barbara California: ABC – CLIO Inc
8. International Energy Agency, 2012. *What we do*, OECD/IMEA
9. International Energy Agency, 2003. *World investment outlook*, OECD/IMEA, Paris
10. Υπουργείο περιβάλλοντος ενέργειας & κλιματικής αλλαγής γενική διεύθυνση ενέργειας διεύθυνση ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας, 2009. *5η Εθνική έκθεση για το επίπεδο διεξόδου της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010 (άρθρο 3 οδηγίας 2001/77/εκ)*
11. WERNER Vogel, HENRY Kalb, 2010. *Large-Scale Solar Thermal Power: Technologies, Costs and Development*, WILEY – VCH Verlag Gmbh & Co, Weinheim
12. 1976. *Popular Science*, pp 65

13. TSAVO Media, 2012. *Solar Thermal History, The Solar Guide*, Canada Inc. Available from: thesolarguide.com
14. DAVID R. Brooks, 2008. *Bringing the Sun Down to Earth: Designing Inexpensive Instruments for Monitoring the Atmosphere*, Springer + Business Media B.V
15. Dr. David R. Williams, NSSDC, 2012. *Sun Fact Sheet*, NASA Goddard Space Flight Center
16. Natural Stone Council, 2009. *Natural Stone Solar Reflectance Index and the Urban Heat Island Effect*, University of Tennessee Center for Clean Products
17. ΤΣΙΜΠΟΥΚΗΣ Θεόδωρος, 1991. *Εισαγωγή στη βασική θεωρία του Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου*, University Studio press, Θεσσαλονίκη
18. KITTEL, C. KROEMER, H., 1980. *Thermal Physics*, second edition, W.H. Freeman, San Francisco
19. KREITH Frank, MANGLIK Raj, BOHN Mark , 2011. *Principles of Heat Transfer*, Cengage Learning, Stanford USA
20. JIJ Latif, VERLAG Springer, 2009. *Heat Convection*, Berlin Heidelberg
21. John Lienhard, 2008. *A Heat Transfer Textbook*, Phlogiston press, Cambridge, Massachusetts
22. Prof. J. R. CULHAM, 2008. *Convection Heat Transfer*, University of Waterloo, Microelectronics Heat Transfer Laboratory, Department of Mechanical Engineering, κεφ. 6
23. Francis de Winter, *Solar Collectors, Energy Storage, and Materials*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
24. GARG & PRAKASH, GARG H. , 2006. *Solar Energy: Fundamentals and Applications*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi
25. RAMANI B., GUPTA Akhilesh, KUMAR Ravi, 2009. *Performance of a double pass solar air collector*, Solar Energy 84 issue 11, (2010) 1929–1937. viewed 08/2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10002422>
26. PROVEY Joseph, BARBER Everett, 2010. *Convert Your Home to Solar Energy*, The Taunton Press, Newtown
27. LEE Chia-Yen, CHOU Po-Cheng, CHIANG Che-Ming and LIN Chiu-Feng, 2009. *Sun Tracking Systems: A Review*, Open Access, Vol. 9 Issue: 5 sensor ISSN 1424-8220
http://journaldatabase.org/articles/sun_tracking_systems_review.html

28. Dan Daniel, 2010. *Solar Tracking Systems*, Solar Energy, Energy Bible – Your guide to renewable energy
29. GOSWAMI D. Yogi, BUCHANAN Co H. George, 2000. *Principles of Solar Engineering*, Philadelphia
30. DARLING David, 2011. *Parabolic Dish Collector*, The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. viewed 08/2012
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_parabolic_dish_collector.html
31. DARLING David, 2011. *Parabolic Through Collector*, The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. viewed 08/2012
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_parabolic_trough_collector.html
32. LTD James & James, 2005. *Planning and Installing Solar Thermal Systems: A Guide for Installers Architects and engineers*, DGS LV (German Solar Energy Society) London
33. DARLING David, 2011. *Power Tower*, The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. viewed 08/2012
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_power_tower.html
34. TYAGI V.V., KAUSHIK S.C., TYAGI S.K., 2012. *Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology*, Elsevier, Renewable Energy vol. 16 issue 3. viewed 08/2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111006058>
35. DARLING David, 2011. *Stationary Concentrating Collector*, The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living. viewed 08/2012
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_solar_energy_entries.html
36. KAPLANIS Socrates, BARAKOS George, 2002. *Flat Plate and Concentrating Collectors: A Comparison of their Performances. First Results*, Prasic 2002, vol 3. viewed 08/2012
<http://www.scribd.com/doc/69570957/2007-Flat-Plate-and-Concentrating-Collectors-A-Comparison-of>
37. STINE William and GEYER Michael, 2001. *Flat-Plate Collectors*, Power From The Sun.
38. WISER H.Wendell, VERLAG Springer, 1999. *Energy Resources: Occurrence, Production, Conversion, Use*, Berlin
39. Γ.Δ Ενέργειας και μεταφορών, *Οδηγός Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας*, Ευρωπαϊκή επιτροπή, ΚΑΠΕ, ZREU.viewed 08/2012

http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_TERESs.pdf

40. WU Chih, 2002. *Intelligent Computer Based Engineering Thermodynamics and Cycle Analysis*, Nova Science Publishers, Inc, New York
41. HUB Bright Engineering, Chief Engineer SANGURI Mohit, MCDONOUGH Michele, 2010. *Vapor Power Cycles Used in Steam Power Plants*
42. KOSMADAKIS G., MANOLAKOS D., PAPADAKIS G., 2010. *Parametric theoretical study of a two-stage solar organic Rankine cycle for RO desalination*, Elsevier, Renewable Energy vol. 35 issue 5. viewed 08/2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109004716>
43. LIU Bo, RIVIERE Philipe, COQUELET Christophe, GICQUEL Renaud, DAVID Franck, 2012. *Investigation of a two stage Rankine cycle for electric power plants*, Elsevier, Applied Energy. viewed 08/2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912004175>
44. HU Eric, YANG Yongping and NISHIMURA Akira, 2012. *Solar Aided Power Generation: Generating “Green” Power from Conventional Fossil Fuelled Power Stations*, Thermal Power Plants, ISBN: 978-953-307-952-3, 31. viewed 08/2012
<http://www.intechopen.com/books/thermal-power-plants/solar-aided-power-generation-generating-green-power-from-conventional-fossil-fuelled-power-stations>
45. KOPPEJAN Jaap, VAN LOO Sjaak, 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, Earthscan, London
46. KE-FA Cen, YONG Chi, JIANHUA Yan, *Challenges of Power Engineering and Enviroment*, Springer Verlag vol. 1, pg 93, Berlin – Heidelberg.
47. Οργανικός Κύκλος Rankine (ORC), 2010. *Παραγωγή ενέργειας από βιομάζα μέσω συστήματος ORC*, Biomass Energy. viewed 08/2012
<http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/organic-rankine-cycle-orc/711-energy-production-from-biomass-through-orc-process>
48. ΜΑΝΤΗΚΟΣ Α. Α, 2011, *Προσομοίωση Ηλιοθερμικού Σταθμού Ενέργειας Τεχνολογίας Παραβολικών Κατόπτρων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, viewed Οκτωβρίου 4, 2012, από Άρτεμις:
http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0251/DT2011-0251.pdf