ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΒΟΛΟΕΙΔΗ ΚΑΤΟΠΤΡΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

…….εις μνήμη του πατέρα μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω κατά κύριο λόγο στον κύριο Γεώργιο Μπεργελέ υπεύθυνο καθηγητή για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ομολογώ ότι η αμέριστη συμπαράσταση και η άψογη συνεργασία που είχαμε έφερε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα κατά τη δική μου άποψη.

Επίσης θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε αυτό το διάστημα και όλους τους φίλους και συμφοιτητές που έδειξαν κατανόηση και μου συμπαραστάθηκαν στις δύσκολες στιγμές.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στους διευθυντές των εταιρειών ΘΗΛΕΝ και VELPA , για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν , δίνοντας μου πάρα πολλά στοιχεία από τις κατασκευές τους, αλλά και για το χρόνο που μου αφιέρωσαν.

Η συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας είναι το εναρκτήριο λάκτισμα για το δύσκολο δρόμο που με περιμένει. Θέλω να πιστεύω ότι χάρη στη πίστη του κ. Μπεργελέ για το δικό μου πρόσωπο και στην απέραντη θέληση που με διακατέχει να ασχοληθώ σοβαρά με το αντικείμενο του βιομηχανικού μηχανολογικού σχεδιασμού, αυτό το σύγγραμμα αποτελεί κομβικό σημείο για τις κρίσιμές αποφάσεις που πρέπει να πάρω, έτσι οι θερμές ευχαριστίες ίσως να μην αντικατοπτρίζουν ακριβώς τα συναισθήματα μου, αφού το κυνήγι για το όνειρο μπορεί τελικά να γίνει πραγματικότητα και θα το οφείλω σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που προανέφερα.

Πρόλογος

Ήλιος

Στην πρώιμη Ελληνική μυθολογία ο Ήλιος ήταν προσωποποιημένος ως θεότητα όπου σύμφωνα με τον Όμηρο και τον Ησίοδο ήταν γιός του Τιτάνα. Σήμερα ο ήλιος είναι το αναπόσπαστο στοιχείο της ζωής όπου κάποιες φορές η δύσκολη καθημερινή ρουτίνα μας ωθεί στο να ξεχνάμε την σημασία του. Ο ήλιος σαν το κοντινότερο άστρο στη Γη αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (περίπου 74%) και ήλιο, όπου αυτά τα δύο συστατικά είναι υπεύθυνα για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις και κατά συνέπεια να αφήνονται τεράστια ποσά θερμικής ενέργειας. Αυτό λοιπόν το άστρο όπου παλιά προκαλούσε τον θαυμασμό σήμερα μπορεί να αποτελέσει ένα κύριο ζήτημα μετεξέλιξης του ανθρώπου. Το γιατί , μπορούμε να το αναλύσουμε στη συνέχεια δίνοντας ένα κλασικό παράδειγμα εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εξάρτηση από τα πετρελαιοειδή και τα ορυκτά στοιχεία καθώς και η ανεξέλεγκτη χρήση τους έχει προκαλέσει την διεθνή ανησυχία και κατακραυγή όσο αφορά την ‘’ασφάλεια’’ του πλανήτη, αφού όλοι γνωρίζουμε το τεράστιο πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί από την εκπομπή ρυπογόνων ουσιών και διοξειδίου του άνθρακά που δεν είναι άλλο από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αύξηση λοιπόν της θερμοκρασίας του πλανήτη προκαλεί διάφορα σενάρια καταστροφής τα οποία κάποιες φορές μπορεί να αποδεικνύονται και με ακρίβεια.

Σύμφωνα με τη παραπάνω σύντομη αναφορά που δεν είναι αναγκαίο να επεκταθούμε , αφού όλοι γνωρίζουμε το τεράστιο πρόβλημα της χρήσης των ορυκτών στοιχείων ως κύρια μορφή ενέργειας, εγείρεται το εξής σημαντικό ερώτημα. Γιατί δεν αξιοποιούμε τα τεράστια ποσά ενέργειας του ήλιου όπου προσφέρονται χωρίς κανένα κόστος ούτε χρηματικό ούτε περιβαλλοντολογικό; Δυστυχώς η απάντηση δεν είναι συγκεκριμένη και κανείς δεν μπορεί να την δώσει με απόλυτη ασφάλεια, έτσι με την παρούσα εργασία θα προσπαθήσουμε να δώσουμε εν μέρη απάντηση στο ερώτημα, δίνοντας ένα απλό παράδειγμα της καλής εκμετάλλευσης των μεγάλων ποσών ενέργειας που μας προσφέρονται **δωρεάν** από τον ήλιο. Έτσι η παρούσα διπλωματική έχει ως κύριο στόχο την μελέτη και τον σχεδιασμό ενός συστήματος αξιοποίησης των ηλιακών ακτινοβολιών και πιο συγκεκριμένα έναν ηλιακό συλλέκτη στον οποίο θα γίνεται ελεύθερη ή εξαναγκασμένη κυκλοφορία νερού. Ο ηλιακός συλλέκτης στην απλή μορφή που όλοι γνωρίζουμε τον συναντάμε πολύ εύκολα στις ταράτσες των κατοικιών και έχει ως χρήση την απορρόφηση ενέργειας για την θέρμανση νερού χρήσης. Σε πολύ λίγες περιπτώσεις οι ηλιακοί αυτοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται και για την κεντρική θέρμανση, όμως αυτό βρίσκεται ακόμη σε πολύ κατοπινό στάδιο , αφού οι κλασσικοί επίπεδοι συλλέκτες έχουν χαμηλό βαθμό απόδοσης και καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο για την εγκατάσταση. Άρα τα κύρια προβλήματα επίλυσης και τα κύρια πλεονεκτήματα που θα πρέπει να έχει ο συλλέκτης σε σχέση με τους κοινότυπους που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι, ο αυξημένος βαθμός απόδοσης, και η μείωση του χώρου που καταλαμβάνει και ταυτόχρονα να έχει ανταγωνιστικές τιμές αγοράς έτσι ώστε να είναι προσιτός και ελκυστικός στην αγορά. Αφού λοιπόν επιλυθούν αυτά τα προβλήματα

και σχεδιαστεί ο συλλέκτης, σαν δευτερεύον στόχος είναι η μελέτη του συστήματος έτσι ώστε να γίνονται εφαρμογές σε θέματα που αφορούν τον κλιματισμό κτιρίων.

Αρχική ιδέα – «Τα ηλιακά κάτοπτρα του Αρχιμήδη»

Ο Αρχιμήδης έζησε το 287-212π.χ και ως ένας από τους μεγάλους Έλληνες Φυσικούς-Μαθηματικούς-Μηχανικούς της εποχής χάραξε με την πορεία του στον παγκόσμιο ιστορικό χάρτη αρχές και εφευρέσεις όπου βάση αυτών μέχρι σήμερα αναπτύχθηκαν πάμπολλες θεωρίες και εφαρμογές. Ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε τις εφευρέσεις του σαν αμυντικές μηχανές για τις πολιορκίες των Ιταλών στην αρχαία Ελλάδα. Λέγεται και πιστεύεται ότι Αρχιμήδης χρησιμοποίησε την ανακλαστική ιδιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και έφτιαξε την λεγόμενη μηχανή ‘’Τα κάτοπτρα του Αρχιμήδη’’ , όπου με αυτά έκαψε ολόκληρο στόλο της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Η μηχανή λειτουργούσε με την συγκέντρωση ακτινοβολίας, και αυτό το πέτυχε με μια τεράστια επιφάνεια από κάτοπτρα σε κοίλα μορφή (παραβολοειδή , είτε κυκλικής μορφής), όπου αρχικά υπολογιζόταν η απόσταση του σημείου εστίασης των ηλιακών ακτινοβολιών και στη συνέχεια στρέφοντας την επιφάνεια προς τα πλοία μπορούσε να τους προκαλέσει την ανάφλεξη από τα τεράστια ποσά ενέργειας που συγκεντρώνονταν. Η εφεύρεση αυτή αμφισβητήθηκε πολλές φορές από πολλούς και διάφορους ερευνητές, όμως το 1973μ.χ σύμφωνα με πειράματα που έγιναν από τον κ. Ιωάννη Σακκά και με τη βοήθεια του μαθηματικού καθηγητή Ε. Σταμάτη χρησιμοποιώντας επίχαλκα κάτοπτρα, κατάφεραν να κάψουν ομοιώματα των Ρωμαϊκών πλοίων σε απόσταση 100 μέτρων, καταρρίπτοντας έτσι κάθε αμφισβήτηση από τον οποιοδήποτε ερευνητή. Σήμερα αρκετές εφαρμογές γίνονται σύμφωνα με αυτή την εφεύρεση και κατά κύριο λόγο παρατηρούμε εγκαταστάσεις όπου αξιοποιούνται αυτά τα τεράστια ποσά ενέργειας που συγκεντρώνονται που δεν είναι άλλο παρά ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί. Έτσι ελπίζω ότι με την μελέτη αυτή θα δούμε περισσότερες εφαρμογές στην καθημερινή μας ζωή αφού σχεδιάζοντας τον συλλέκτη αυτό θα πρέπει να έχουμε κατά νου τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές εφαρμογές που υπάρχουν σήμερα.

Εύχομαι με αυτή τη σύντομη αναφορά , μελλοντικά να στηριχθούν και άλλες μελέτες βάση αυτής της ιδέας και του σχεδιασμού που πρόκειται να επακολουθήσει, συμβάλλοντας έτσι όλοι στο τεράστιο πρόβλημα που όλοι γνωρίζουμε αλλά δεν συμμετέχουμε ενεργά για να το καταπολεμήσουμε, και αναφέρομαι στο πρόβλημα της περιβαλλοντικής καταστροφής του πλανήτη.

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία έχει ως κύριο χαρακτήρα και στόχο τον σχεδιασμό ενός ηλιακού συλλέκτη με κάτοπτρα τα οποία θα συγκεντρώνουν την ακτινοβολία σε ένα σημείο εστίασης , δίνοντας διάφορες ευελιξίες στην κατασκευή και τελικώς να μπορέσει να ανταγωνιστεί τις ήδη υπάρχουσες κατασκευές που υπάρχουν στο εμπόριο. Για να πετύχει αυτό χρειάζεται μια συνολική μελέτη σε διάφορα θέματα , τόσο κατασκευής όσο και της ροής των ρευστών στους απορροφητές. Έτσι έχοντας κατά νου την βασική ιδέα η διπλωματική εργασία αναπτύσσεται σύμφωνα με τα παρακάτω κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση όσο αφορά το ενεργειακό πρόβλημα σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που μπορεί να μας παρέχει ο ήλιος με τις ήδη υπάρχοντες κατασκευές (επίπεδοι συλλέκτες και σωλήνες κενού).

Στη συνέχεια γίνεται μια γρήγορη αναφορά σε συστήματα τα οποία σχετίζονται με την συγκέντρωση ακτινοβολίας, δίνοντας βάση στο τρόπο λειτουργίας τους και όχι κατά κύριο λόγο στις εφαρμογές, αφού κύριος στόχος του 2^{ου} κεφαλαίου είναι να συγκρατήσουμε κάποιες ιδέες έτσι ώστε να αναπτυχθεί στο σύνολο ένας καλός σχεδιασμός, με πολλά προτερήματα. Από τις ήδη υπάρχουσες κατασκευές συγκέντρωσης ακτινοβολίας , προκύπτουν εύκολα και τα υλικά που έχουμε στη διάθεση μας για την κατασκευή κεφάλαιο το οποίο αναπτύσσεται στη συνέχεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα κεφάλαια αυτά δεν δίνεται αρκετή έμφαση , αφού στόχος όπως προαναφέραμε, είναι ο σχεδιασμός ενός καινοτομικού συλλέκτη.

Θέτοντας έτσι τη βάση της διπλωματικής εργασίας, προχωρούμε στο 4^{ο} κεφάλαιο το οποίο ασχολείται με φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας για τον υπολογισμό της αναγκαίας ποσότητας ζεστού νερού σε μια κατοικία , κάνοντας χρήση του προγράμματος Matlab. Η ανάλυση γίνεται με ήδη υπάρχοντες λύσεις του ζητούμενου προβλήματος, αναπτύσσοντας ένα πρόγραμμα που προσαρμόζεται στις ανάγκες αυτές, δηλαδή από την λύση των επίπεδων πλακών εφαρμόζουμε την μέθοδο για τον συλλέκτη που πρόκειται να σχεδιαστεί στη συνέχεια. Η ανάπτυξη του κεφαλαίου αυτού έχει γίνει αφού πρώτα έχουν γίνει προκαταρκτική μελέτη για το πώς θα σχεδιαστεί ο συλλέκτης.

Από την εξαγωγή των συμπερασμάτων του προγράμματος U-Flow που γράφτηκε σε πρόγραμμα Matlab, στο 5^{ο} κεφάλαιο γίνεται μια ενδελεχής μελέτη για τη γεωμετρία των κατόπτρων και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε σχεδίασης. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γίνεται η επιλογή του τελικού σχήματος των κατόπτρων έτσι ώστε να έχουμε βέλτιστα αποτελέσματα.

Στο 6^{ο} κεφάλαιο , το οποίο αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας , αναφέρονται σχολαστικά τα βήματα για το σχεδιασμό του συλλέκτη. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει μια καινοτομική σχεδίαση η οποία θα μπορεί τελικώς να εφαρμοστεί, δηλαδή να κατασκευαστεί. Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο τρόπο κατασκευής του συλλέκτη, πράγμα το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτό από τον αναγνώστη. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα κομμάτια του συλλέκτη τα οποία αποτελούνται από υλικά τα οποία βρίσκονται εύκολα στην αγορά, αλλά και από επιμέρους στοιχεία που μπορούν να

κατασκευαστούν. Ο σχεδιασμός έγινε σε πρόγραμμα SOLIDWORKS με 3Διάστατες απεικονίσεις και εύκολη κατανόηση της κατασκευής. Στο τέλος της σχεδίασης , έγινε και εφαρμογή Motion Analysis στο πρόγραμμα SOLIDWORKS έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι η κίνηση των κατόπτρων μπορεί να γίνει και στην πράξη (από τα σχήματα ο αναγνώστης μπορεί να κατανοήσει την κίνηση).

Τέλος γίνεται ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων με τη χρήση FLOWORKS , το οποίο αποτελεί και επιμέρους υποπρόγραμμα του Solidworks, τόσο για ισχύ του απορροφητή, όσο και για την αεροδυναμική αντίσταση που μπορεί να προκαλεί στο σύνολο ο συλλέκτης, αλλά και μια ειδική μελέτη ενός δοχείου αποθήκευσης 500Λίτρων μετά από παροχή ζεστού νερού που προκύπτουν σύμφωνα με τα στοιχεία του απορροφητή.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή – Κεφάλαιο 1ο 11
1.1 Το ενεργειακό Πρόβλημα 12
1.2 Ενέργεια από τον ήλιο 13
1.3 Κατανάλωση ενέργειας ανά άτομο 14
1.4 Κάλυψη αναγκών ζεστού νερού σε μια οικία 14
1.5 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες 15
1.6 Συλλέκτες με σωλήνες κενού 17
Κεφάλαιο 2ο 19
Τρόποι συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας 19
2.1 Παραβολικά Σωληνοειδή κάτοπτρα 19
2.2 Παραβολικά σωληνοειδή κάτοπτρα – Συνδυασμένα πρωτεύοντα με δευτερεύοντα κάτοπτρα 21
2.3 Παραβολοειδή κάτοπτρα – Συνδυασμένα κάτοπτρα τριπλής δράσης 23
2.3.1 Δημιουργία κενού 24
2.4 Περιστρεφόμενο παραβολοειδές κάτοπτρο 25
2.5 Επίπεδα κάτοπτρα – τοποθετημένα σε κοίλα μορφή (τετραγωνικής μορφής) 26
2.6 Επίπεδα κάτοπτρα 28
2.6.1 Επίπεδα κάτοπτρα σε συνδυασμό με πύργο συγκέντρωσης ακτινοβολίας 28
2.6.2 Επίπεδα κάτοπτρα με σωληνοειδή συλλέκτη 30
2.7 Επίπεδος συλλέκτης – σε συνδυασμό με πρισματική μορφή κατόπτρων 30
Κεφάλαιο 3ο 32
3 - Υλικά – συλλέκτη 32
3.1 Υλικά κατασκευής σωληνώσεων 32
3.2 Κρύσταλλο – Διαφανής επιφάνεια 33
3.3 Κατασκευή πλαισίων και στηριγμάτων των κατόπτρων 33
3.4 Κάτοπτρα 34
Κεφάλαιο 4ο 40
4.1 Υπολογισμός αναγκαίας ποσότητας ζεστού νερού σε μια οικία 40
4.2 Δοχείο αποθήκευσης και σχηματική διάταξη ηλιακού θερμοσίφωνα 40
4.2.1 Δοχείο αποθήκευσης 40
4.2.2 Σχηματική διάταξη συστήματος 41
4.3 Υπολογισμός βασικών διαστάσεων Συλλέκτη 42

4.3.1 Υπολογισμός παροχής ζεστού νερού από το δοχείο αποθήκευσης 42
4.3.2 Συνολική ισχύς για την θέρμανση του δοχείου 42
4.3.3 Υπολογισμός της ωφέλιμης ισχύος του συλλέκτη 43
4.3.4 Ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων προγράμματος U-Flow 53
4.4 Μεταφορά θερμότητας – ισοζύγιο θερμικής ακτινοβολίας 53
4.5 Απώλειες στο συλλέκτη 54
4.5.1 Θερμικές απώλειες του συλλέκτη 54
4.5.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη 58
4.6 Υπολογισμός της επιφάνειας του συλλέκτη 59
Κεφάλαιο 5^{o} 69
5.1 Γεωμετρία Παραβολοειδούς κατόπτρου και οπτική 69
5.1.2 Μήκος τόξου παραβολής 71
5.1.3 Συνολική επιφάνεια παραβολοειδούς κατόπτρου 71
5.1.4 Οπτική παραβολοειδούς κατόπτρου 71
5.2 Δισδιάστατη ανάλυση σφαιρικού κατόπτρου και παραβολοειδούς κατόπτρου 73
5.2.1 Κάτοπτρο σφαιρικής επιφάνειας 73
5.2.2 Παραβολοειδές κάτοπτρο 74
5.2.3 Ανάκλαση παράλληλης ακτινοβολίας 81
5.4 Υπολογισμός της επιφάνειας του κατόπτρου 85
5.4.1 Συνοπτική διαδικασία υπολογισμού της επιφάνειας και γεωμετρίας του κατόπτρου 85
Κεφάλαιο 6^{o} 87
6.1 Σχεδιασμός και κατασκευή συλλέκτη 87
6.1.1 Βασικές απαιτήσεις 87
6.2 Περιγραφή κατασκευής απορροφητή 87
6.3 Μελέτη και σχεδιασμός παραβολοειδών κατόπτρων 103
6.3.1 Επάνω στοιχείο δακτυλίου περιστροφής του σκελετού 106
6.3.2 Οδοντωτός τροχός περιστροφής και ατέρμονας κοχλίας για την περιστροφική κίνηση 113
Κεφάλαιο 7^{o} 115
7.1 Θερμική ανάλυση συλλέκτη 115
7.1.1 Συνοριακές συνθήκες θερμικής ανάλυσης 117
7.1.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων 126
7.2 Αεροδυναμική ανάλυση του συλλέκτη 127

7.2.1 Απεικόνιση αεροδυναμικής ανάλυσης 134
7.3 Θερμική ανάλυση δοχείου 500L 138
7.3.1 Συνοριακές συνθήκες θερμικής ανάλυσης δοχείου 500L 140
7.3.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων θερμικής ανάλυσης δοχείου 500L 147

Εισαγωγή – Κεφάλαιο 1ο

Η χρήση ζεστού νερού στις οικίες ήταν ανέκαθεν ένα πρόβλημα που οι άνθρωποι έπρεπε να λύσουν. Από τα παλιά χρόνια κάθε νοικοκυριό είχε την ανάγκη για χρήση ζεστού νερού, τόσο για προσωπική καθαριότητα όσο και για άλλες χρήσεις. Σήμερα η χρήση ζεστού νερού στις οικίες είναι απαραίτητη τόσο για γενική χρήση όσο και για λόγους κλιματισμού, δηλαδή σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης όπου χρησιμοποιείται ζεστό νερό λόγο της μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας που διαθέτει, και ρέοντας σε κεντρικούς εναλλάκτες θερμότητας μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία κατά τις κρύες χειμωνιάτικες περιόδους. Επίσης , παρατηρούμε ότι ολοένα και περισσότερο ξενοδοχειακές μονάδες και μεγάλες κατοικίες , αθλητικά κέντρα , νοσοκομεία και κυβερνητικά κτίρια απαιτούν τεράστια ποσά ζεστού νερού , είτε για εφαρμογές σε θερμαινόμενες πισίνες είτε για γενική χρήση. Γίνεται βέβαια αντιληπτό ότι οι ανάγκες αυτές απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας για την εξασφάλιση των απαιτούμενων ποσοτήτων ενέργειας. Δυστυχώς κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό αυτής της ενέργειας εξασφαλίζεται με τη χρήση πετρελαιοειδών στοιχείων και κατά συνέπεια τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, όπου επιφέρει σημαντικό κόστος από όλες τις απόψεις. Βέβαια η συνολική εικόνα της εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων σήμερα στις οικίες αλλά και σε άλλες μεγάλες κτιριακές εγκαταστάσεις είναι ενθαρρυντική, ολοένα και περισσότερο είναι αυξανόμενη η χρήση των ηλιακών συστημάτων. Η εγκατάσταση ενός κλασσικού επίπεδου συλλέκτη $1m^2$ μπορεί να αποδώσει 500-600 kWh το χρόνο νοούμενου ότι η ετήσια ηλιοφάνεια στη χώρα μας είναι περίπου 3000 ώρες, πιο αναλυτικά στοιχεία θα δώσουμε στη συνέχεια όσο αφορά την θερμική ισχύ μπορούμε να πάρουμε από τον ήλιο.

Κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να σχεδιαστεί ένας συλλέκτης ο οποίος μπορεί να κατασκευασθεί με ένα λογικό κόστος , να έχει την δυνατότητα αποσυναρμολόγησης και συντήρησης , να μπορεί να αντέχει στο χρόνο και να έχει υψηλές αποδώσεις. Όλα αυτά μπορούμε να τα επιτύχουμε κάνοντας μια σωστή μελέτη και ένα σωστό σχεδιασμό του συλλέκτη στη συνέχεια. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε ακολουθώντας μια σωστή σειρά μελέτης και αξιοποίησης των δεδομένων που μπορούμε να έχουμε στη διάθεση μας. Για αυτό το λόγο πρώτα θα γίνει επιγραμματικά μια ανάλυση των ήδη υπαρχουσών αποτελεσμάτων που αφορούν την ηλιακή θερμική ισχύ και τα ήδη υπάρχοντα επίπεδα πλαίσια συλλεκτών. Στη συνέχεια αφού αναλύσουμε τους τρόπους συγκέντρωσης ακτινοβολίας που υπάρχουν σήμερα, θα προχωρήσουμε στην τελική πρόταση του συλλέκτη. Τέλος για να έχουμε βέλτιστη λειτουργία του συλλέκτη κάνουμε μια 3Διάστατη ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για την θερμική ανάλυση του συστήματος, και την στατική μελέτη του συλλέκτη όσο αφορά τις αεροδυναμικές πιέσεις που θα ασκούνται στους απορροφητές και τα κάτοπτρα.

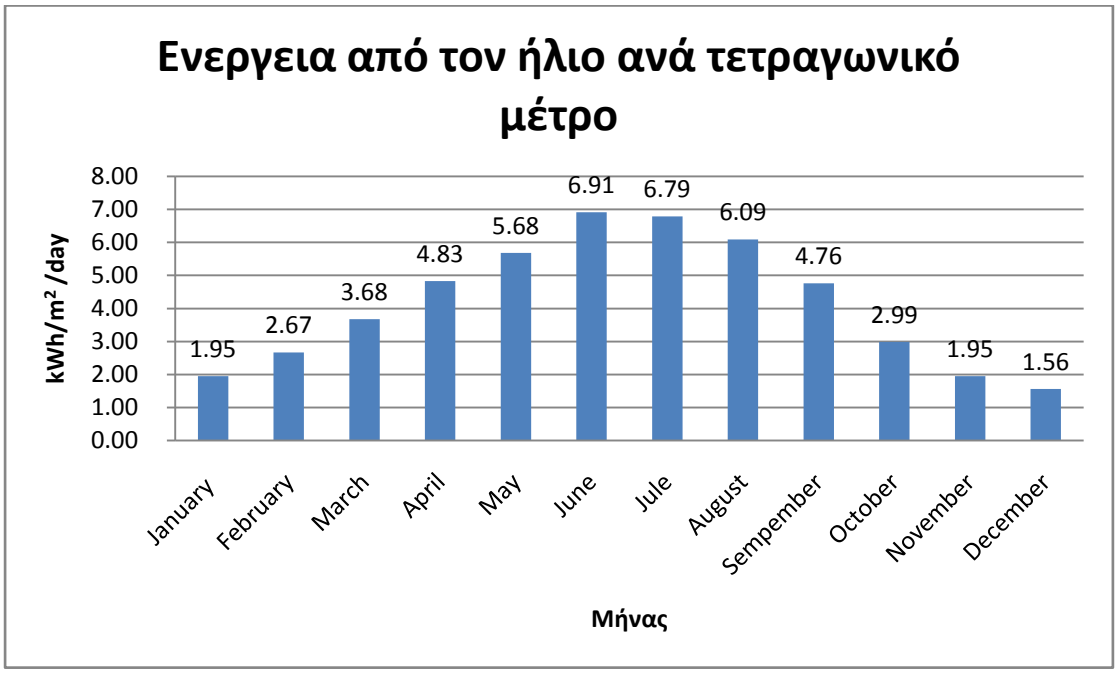
1.1 Το ενεργειακό Πρόβλημα

Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης του πετρελαίου στις μέρες μας, και η αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων, γνωρίζουμε όλοι πολύ καλά ότι έχει δημιουργήσει ένα κλίμα ανασφάλειας αφού καθημερινά δεχόμαστε ένα βομβαρδισμό από επιστήμονες που κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για τις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές. Έτσι είναι χρέος μας να αφοσιωθούμε απέναντι στο στόχο για ένα πιο καθαρό πλανήτη και ένα πιο ασφαλές περιβάλλον και έτσι να εξασφαλίσουμε ένα πιο βέβαιο μέλλον. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε πολύ εύκολα εάν υιοθετήσουμε αυτό που ονομάζεται ‘’πράσινη ανάπτυξη’’. Η φιλοσοφία αυτή δημιουργήθηκε από διάφορους ερευνητές που έχουν μελετήσει διάφορες κλιματικές αλλαγές και έχουν προβλέψει κατά κάποιο τρόπο το πώς μπορεί να εξελιχθούν τα πράγματα στο προσεχές μέλλον, έτσι με τον κώδικα ‘’πράσινη ανάπτυξη’’ εννοούμε την μελέτη και το σχεδιασμό εφαρμογών που μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς να εκπέμπουν ρυπογόνες ουσίες. Ένα κλασσικό παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής είναι ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, ή αλλιώς ηλιακός θερμοσίφωνας όπου είναι τοποθετημένος στις ταράτσες των σπιτιών και έχει ως στόχο την θέρμανση νερού για χρήση. Η λειτουργία του είναι απολύτως ασφαλής τόσο για τον ανθρώπινο οργανισμό όσο και για τον πλανήτη μας, αφού δεν εκπέμπει κανένα απολύτως καυσαέριο, και κυρίως δεν χρειάζεται οικονομικό κόστος για τη λειτουργία του. Ο συλλέκτης μπορεί να λειτουργήσει μόνο με την ηλιακή ακτινοβολία που σύμφωνα με έρευνες που έγιναν έχει δοθεί μια παγκόσμια σταθερά για την ισχύ του ήλιου και είναι περίπου ίση με G=1000 W/m^2 . Με αυτό το νούμερο γίνεται αντιληπτό ότι μπορούμε να αξιοποιήσουμε εκτάσεις που δεν χρησιμεύουν σε τίποτα (για παράδειγμα οι ταράτσες των κατοικιών), και να εκμεταλλευτούμε αυτή τη δυνατότητα στο έπακρο για διάφορες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα οι συλλέκτες για το ζεστό νερό χρήσης και τη κεντρική θέρμανση αλλά και άλλα.

Για να δώσουμε μια συνολική εικόνα των πραγμάτων, μπορούμε να δώσουμε κάποια απλά αριθμητικά παραδείγματα, έτσι ώστε να κατανοήσουμε την σημασία της εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών. Κατά τους χειμερινούς μήνες (από το Νοέμβριο μέχρι το Μάρτιο) για ένα ηλιακό επίπεδο συλλέκτη με ολικό βαθμό απόδοσης $\eta_{ολ}$ = 0.77-0.8 μπορούμε να έχουμε συνολικό όφελος **περίπου** 350 kWh/m^2 . Για να αντιληφθούμε το ποσό σε οικονομικό όφελος θα δώσουμε την αντιστοιχία σε καύση πετρελαίου για να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα. Έτσι αν θεωρήσουμε ότι ένας καλός λέβητας (κεντρικής θέρμανσης) με βαθμό απόδοσης >0.9, για να μας δώσει **περίπου** 10kWh χρειάζεται **1L** πετρελαίου θέρμανσης. Συνεπώς οι 350 kWh/m^2 αντιστοιχούν σε **35L** πετρελαίου. Δηλαδή για να γίνει ακόμη πιο κατανοητό, κατά την χειμερινή περίοδο κάθε τετραγωνικό μέτρο που καλύπτεται από επίπεδο ηλιακό συλλέκτη μπορεί να μας εξοικονομήσει 35L πετρελαίου. Αντιλαμβανόμαστε έτσι ότι ο χώρος σε κατοικημένες περιοχές μπορεί να είναι περιορισμένος για να καλύψουμε ένα μεγάλο βαθμό των αναγκών μας. Επίσης είναι προφανές ότι όσο καλύτερο βαθμό απόδοσης έχει ο συλλέκτης τόσο περισσότερες kWh μπορούμε να έχουμε. Έτσι το ενεργειακό πρόβλημα που έχουμε να επιλύσουμε , είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των συλλεκτών σε περιορισμένο χώρο έτσι ώστε να μπορούμε να τους εφαρμόσουμε σε χώρους όπου έχουμε περιορισμένη δυνατότητα, και να καλύψουμε σε ένα βαθμό της τάξεως του 50% - 60%.

1.2 Ενέργεια από τον ήλιο

Σύμφωνα με τα δεδομένα που μας δίνονται από το πρόγραμμα RETScreen της NASA για γεωγραφικό πλάτος N=39^{o} και γεωγραφικό μήκος E=22^{o} , δηλαδή για την Αθήνα τον τελευταίο χρόνο έχουμε για κάθε τετραγωνικό μέτρο (m^2) την συνολική ισχύ σε kWh για κάθε ημέρα. Αυτά τα δεδομένα δίνονται πιο αναλυτικά για κάθε μήνα του χρόνου ως εξής :



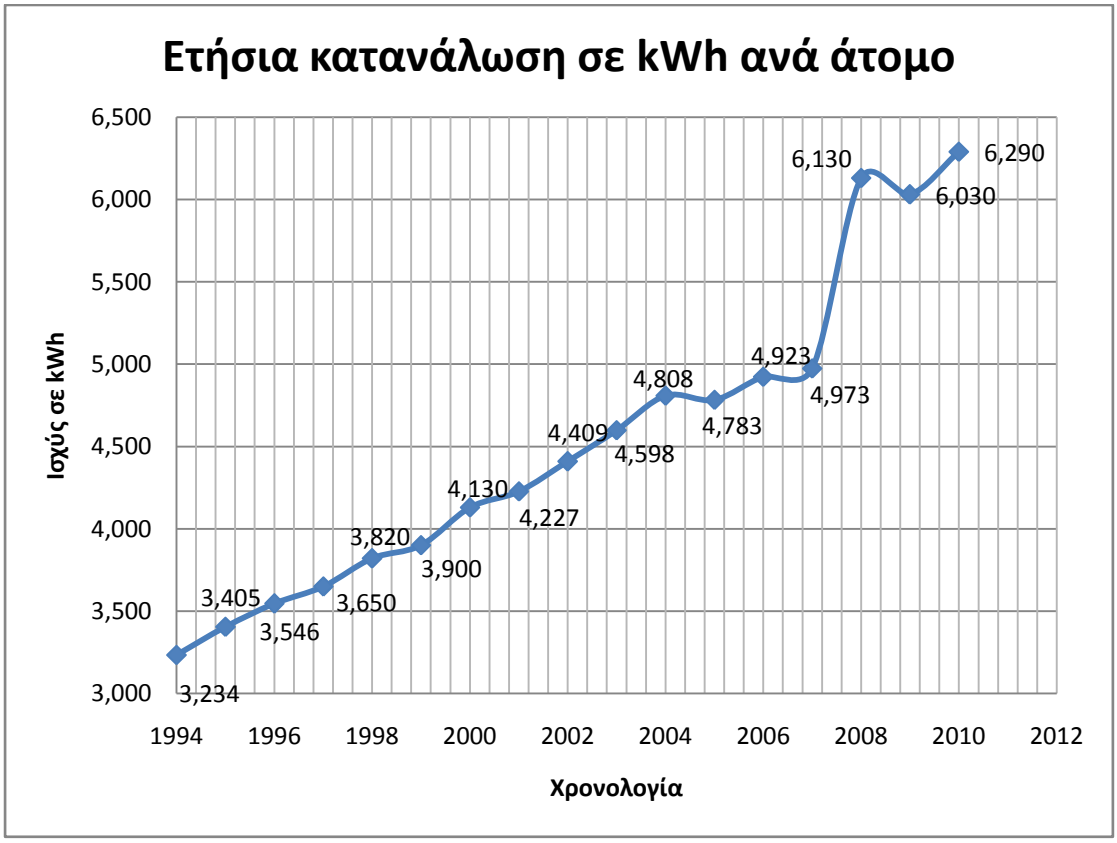
Από το σχεδιάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι η μέγιστη σε kWh/m^2 για κάθε ημέρα ανέρχεται στο 6.9 ενώ οι χαμηλότερες τιμές που είναι γύρω στο 1.95 είναι μόνο για 3ις μήνες του χρόνου, Ιανουάριο Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Αυτό υποδηλώνει το ποσοστό της ηλιοφάνειας που έχουμε για ένα ολόκληρο χρόνο, και κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί ότι σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες η Ελλάδα και η Κύπρος παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Η αξιοποίηση της δωρεάν ενέργειας που μας δίνεται από τον ήλιο, πρέπει να ληφθεί πολύ σοβαρά υπόψη και να γίνει μια σωστή μελέτη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση.

Πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα κατέχει την 3^{η} θέση στο παγκόσμιο στερέωμα όσο αφορά την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας από τους κατοίκους της, αφού στην χώρα είναι ευρέως διαδεδομένη η χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα. Σύμφωνα με τα δεδομένα της Greenpeace 350m^2 εγκατάστασης ηλιακών θερμοσίφωνων αντιστοιχούν σε 1000 κατοίκους. Με αυτό τον τρόπο η χώρα εξοικονομεί περίπου 200 MW από κάθε ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό που παράγει περίπου 1 δισεκατομμύριο κιλοβατώρες το χρόνο. Η πλήρης αξιοποίηση των ηλιακών ακτινών για κάθε τετραγωνικό μέτρο, μπορεί να αποδώσει ετησίως περίπου 1500kWh. Επίσης το περιβαλλοντικό όφελος που παρουσιάζεται είναι σημαντικό αφού για κάθε τετραγωνικό μέτρο ηλιακού θερμοσίφωνα μειώνεται η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στο ½ τόνο. Τα δεδομένα

αυτά μπορούν να αυξηθούν και η αξιοποίηση των ηλιακών συστημάτων να φθάσει σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο της τάξεως του 1m^2 ηλιακού συστήματος για κάθε άνθρωπο.

1.3 Κατανάλωση ενέργειας ανά άτομο

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν η μέση ετήσια κατανάλωση κατά άτομο από τη χρονική περίοδο 1994 μέχρι το 2007 , έχουμε τα εξής αποτελέσματα



Είναι ξεκάθαρο ότι τα τελευταία χρόνια έχουμε μια ραγδαία αύξηση της ετήσιας ανάγκης σε ενέργεια για κάθε άτομο. Λαμβάνοντας υπόψη και την αύξηση του πληθυσμού καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση πετρελαιοειδών στοιχείων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών δεν αποτελεί λύση. Μπορούμε όμως να αξιοποιήσουμε την δυνατότητα των ηλιακών συστημάτων αφού όπως προαναφέραμε, 1m^2 ηλιακού συστήματος μπορεί να αποδώσει περίπου 1500kWh το χρόνο, έτσι περίπου μπορούμε να καλύψουμε τα ¼ των αναγκών για κάθε άτομο.

1.4 Κάλυψη αναγκών ζεστού νερού σε μια οικία

Από μελέτες που έγιναν καταγράφηκαν τα εξής ποσοστά για την συνολική κατανάλωση νερού από μια οικία , το 40% απορρίπτεται από την χρήση της τουαλέτας, το 25%

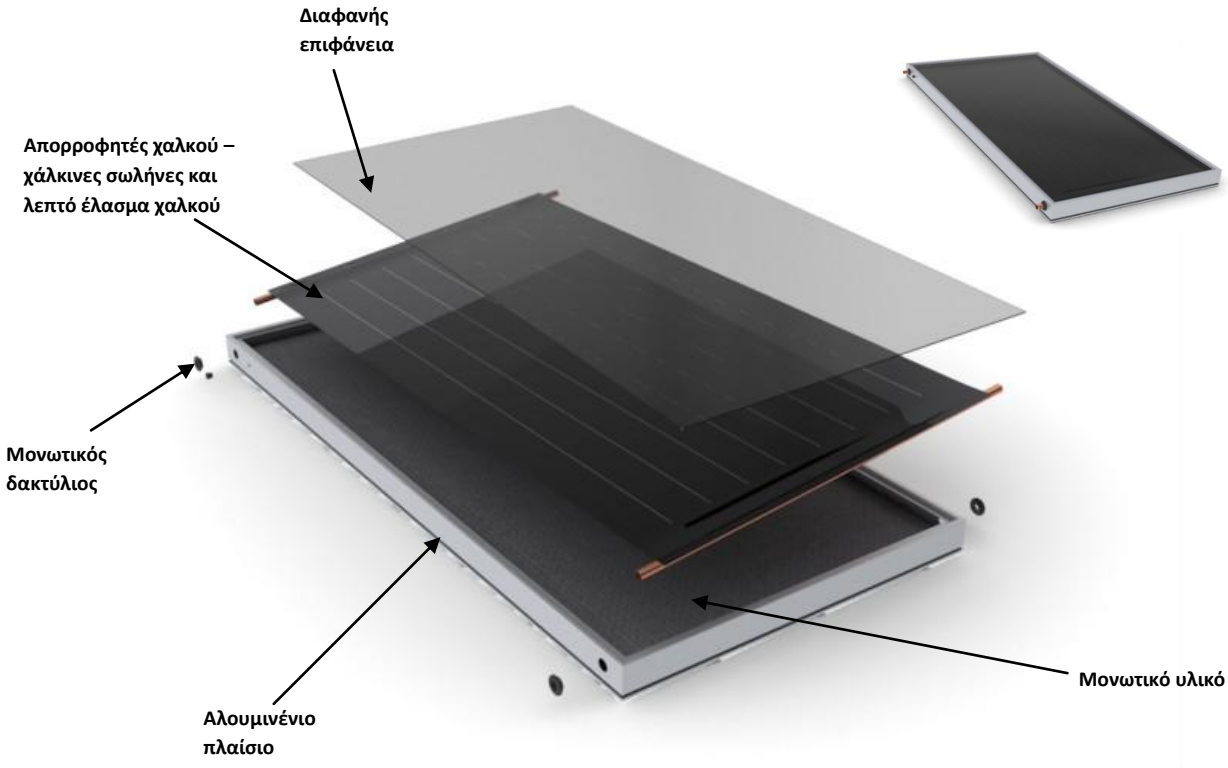
χρησιμοποιείται για ανάγκες σωματικής καθαριότητας , το 20% στο πλύσιμο των ρούχων και το 10% στην κουζίνα και το υπόλοιπο 5% στις ανάγκες γενικής καθαριότητας.

Στατιστικά υπολογίζεται ότι η μέση κατανάλωση σε μια οικογένεια είναι 35 έως 50 λίτρα ημερησίως κατ' άτομο. Αν προσθέσουμε την κατανάλωση από το πλυντήριο ρούχων και το πλυντήριο πιάτων στην περίπτωση που αυτά είναι συνδεδεμένα με το ηλιακό σύστημα, τότε απαιτούνται περίπου 20 λίτρα ημερησίως για το κάθε ένα (για μία πλύση). Έτσι, για παράδειγμα, μια τριμελής οικογένεια με μέση κατανάλωση 40 λίτρων ζεστού νερού κατ' άτομο, χρειάζεται ένα ηλιακό σύστημα 120lt. Αν προσθέσουμε οικιακές συσκευές συνδεδεμένες με το ηλιακό σύστημα, τότε οι ανάγκες αυξάνονται τουλάχιστον κατά 30 λίτρα ημερησίως. Στο παρόν εδάφιο θεωρούμε ότι η χρήση αφορά ηλιακό σύστημα για χρήση 3 ατόμων και 5 ατόμων , 150L και 250L αντίστοιχα.

1.5 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

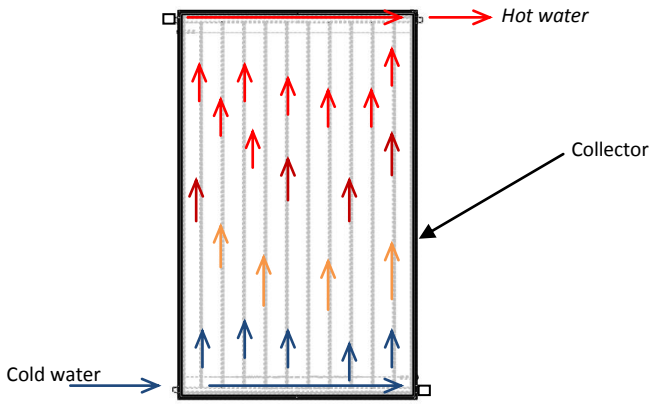
Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι ευρέως διαδεδομένοι σήμερα και αποτελεί ένα κύριο μηχανισμό πράσινης ανάπτυξης για την Ελλάδα και την Κύπρο. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες ξεκίνησαν να εμφανίζονται ολοένα και περισσότερο την δεκαετία του 70'. Εδώ θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά του τρόπου κατασκευής των σημερινών ηλιακών συλλεκτών επίπεδης πλάκας.

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε την σχηματική διάταξη ενός επίπεδου συλλέκτη.



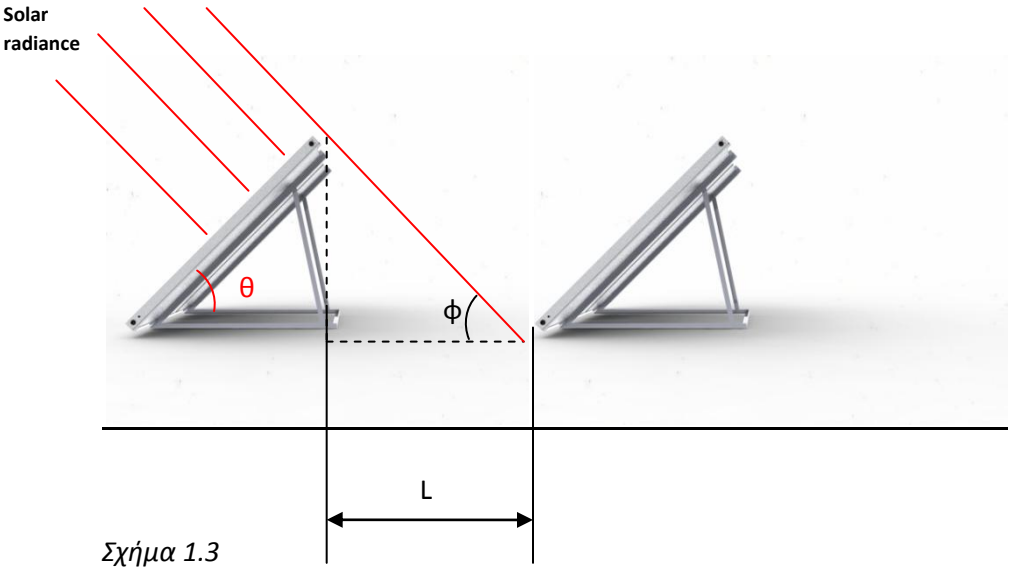
Σχήμα 1.1

Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην αρχή του θερμοσίφωνου, όπου λόγο της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται κατά την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας όπου έχω αύξηση της θερμοκρασίας, έχω τελικώς και την κίνηση του ζεστού νερού



Σχήμα 1.2

Στο παρόν στάδιο θα αναφέρουμε τα μειονεκτήματα της εφαρμογής αυτής αφού στη συνέχεια αυτά θα αποτελέσουν στόχο προς επίλυση και σχεδιασμό ενός πιο αποδοτικού συλλέκτη, που θα παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τον υπάρχον. Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, αν και σταθερός στη λειτουργία του έχουμε το τεράστιο πρόβλημα του μεγέθους που καταλαμβάνει. Επίσης αντιλαμβανόμαστε ότι λόγο της επίπεδης του επιφάνειας πρέπει να είναι τοποθετημένος σε τέτοια κλίση έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει κάθετα σε αυτόν και να έχω μέγιστη απόδοση. Άρα λοιπόν όταν έχω να τοποθετήσω αρκετούς συλλέκτες σε μια περιοχή, και αυτοί βρίσκονται ανά σειρές, έχω ‘’σπατάλη’’ της συνολικής επιφάνειας που μπορώ να αξιοποιήσω. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται καθαρά το πρόβλημα της συνολικής επιφάνειας που καταλαμβάνουν.



Σχήμα 1.3

Ένα άλλο τεράστιο πρόβλημα που παρουσιάζουν οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής, αφού έχω αρκετή ποσότητα χαλκού για την κατασκευή του

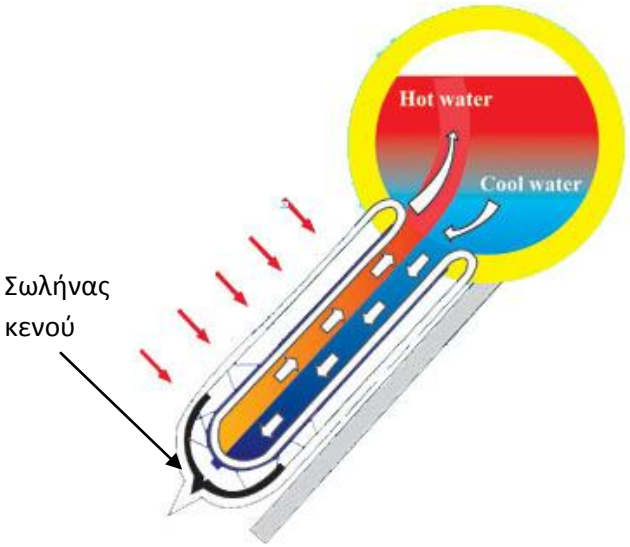
απορροφητή (σχήμα 1.1). Τέλος ο ηλιακός συλλέκτης επίπεδης πλάκας έχει μεγάλες απώλειες λόγο της άμεσης επαφής της διαφανής επίπεδης πλάκας που βρίσκεται στο πάνω μέρος με το περιβάλλον. Έτσι το φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής, μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία του συλλέκτη σε κρύες περιόδους.

Οι συλλέκτες αυτής της μορφής όμως παρουσιάζουν και πολύ καλά πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα η σταθερή λειτουργία τους και η αντοχή στο χρόνο. Αυτά τα δύο πλεονεκτήματα πρέπει οπωσδήποτε να τα έχει και ο συλλέκτης που πρόκειται να σχεδιάσουμε.

1.6 Συλλέκτες με σωλήνες κενού

Μια νέα τεχνολογία στο χώρο των ηλιακών συλλεκτών όλο και έχει πάρει περισσότερες διαστάσεις είναι ο σχεδιασμός σωλήνων κενού όπου η φιλοσοφία αυτού του προτύπου είναι η μόνωση χαλκοσωλήνων που λειτουργούν σαν απορροφητές, με γυαλί όπου μέσα έχει δημιουργηθεί κενό. Η κατασκευή αυτή παρουσιάζει μερικά μειονεκτήματα και αξίζει να τα σημειώσουμε στο παρόν στάδιο, αφού η ιδέα αυτή αποτελεί προκάτοχο της συνολικής σκέψης για την δημιουργία ενός σχεδιασμού συλλέκτη με καινοτομίες.

Ο τρόπος λειτουργίας αυτών των συστημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 1.4

Η λειτουργία του συστήματος αυτού πρέπει να αναλυθεί από όλες τις πλευρές του πρίσματος και να αξιολογηθεί σωστά. Η ιδέα της μόνωσης με κενό αποτελεί ένα πολύ βασικό στοιχείο πλεονεκτήματος αφού αποφεύγονται όλες οι θερμικές απώλειες με αυτόν τον τρόπο. Το τεράστιο μειονέκτημα της κατασκευής αυτής είναι ο τρόπος διακίνησης και απορρόφησης της θερμικής ενέργειας του ήλιου από τους σωλήνες. Παρατηρούμε στο σχήμα 1.4 ότι η εισαγωγή του κρύου νερού γίνεται από την πλευρά της εξαγωγής του

ζεστού νερού δημιουργώντας έτσι ένα σχήμα U . Από φυσικής πλευράς αυτό αποτελεί κύριο μειονέκτημα λειτουργίας του συλλέκτη , αφού εμποδίζεται η φυσική κυκλοφορία του νερού, στην ουσία δεν έχω διαφορά πίεσης αφού η διαφορά θερμοκρασίας επηρεάζεται από τις σωλήνες που βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη. Άρα το σύστημα αυτό δημιουργεί πολλά ερωτηματικά για την καλή λειτουργία του και την αξιοπιστία του. Έτσι από αυτή την εφαρμογή πρέπει να κρατήσουμε τα θετικά του στοιχεία που είναι ο μειωμένος χώρος εφαρμογής, και η μόνωση με κενό που αποτελεί κύριο στόχο μόνωσης για συγκεντρωτικά συστήματα περισυλλογής ακτινοβολιών.

Κεφάλαιο 2ο

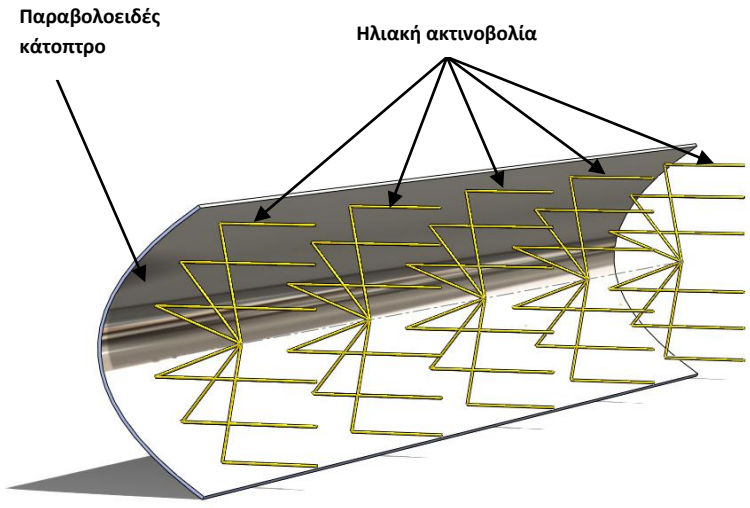
Τρόποι συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τους τρόπου συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση κατόπτρων σε διάφορες διατάξεις. Οι κατασκευές αυτές έχουν γίνει σε διάφορες χώρες, με κύριο στόχο την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Δηλαδή είναι πολύ ακριβές κατασκευές που απαιτούν τεράστια ακρίβεια στην λειτουργία και χρονοβόρες διαδικασίες συντήρησης και λειτουργίας. Η αναφορά στους τρόπους συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται για να έχουμε μια σφαιρική άποψη των συστημάτων και να επιλέξουμε στη συνέχεια την καλύτερη γεωμετρία με τα καλύτερα αποτελέσματα.

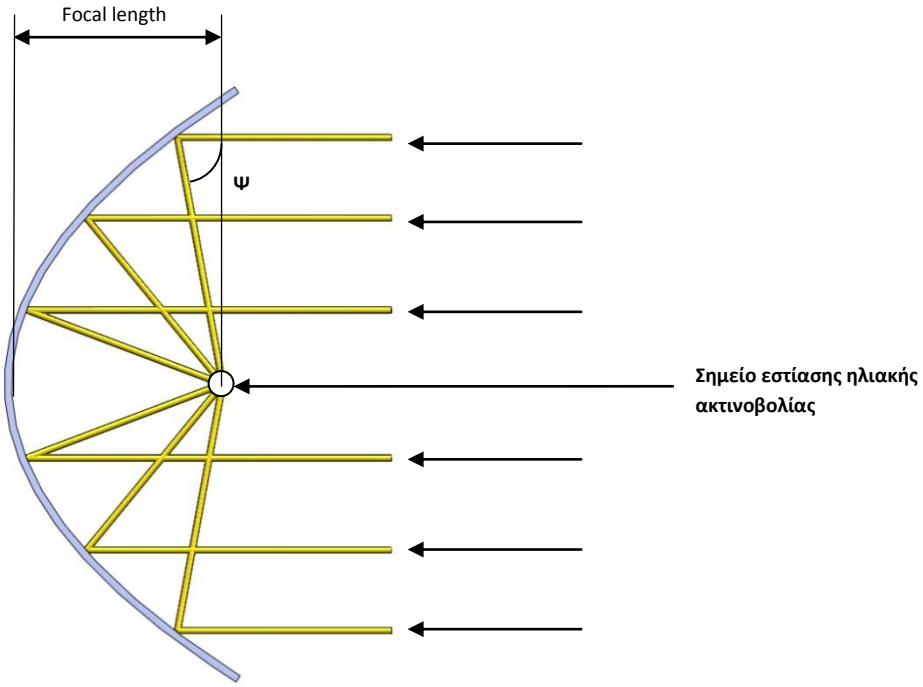
2.1 Παραβολικά Σωληνοειδή κάτοπτρα

Συγκέντρωση ακτινοβολίας

Η αρχική ιδέα για την λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη από σωληνοειδή κάτοπτρα στηρίζεται στο εστιακό σημείο που μπορεί να προκληθεί από την αντανάκλαση του φωτός στα παραβολικά κάτοπτρα . Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η συγκέντρωση ακτινοβολίας θεωρώντας ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κάτοπτρο είναι κάθετη, δηλαδή βρίσκεται σε παραλληλία με τον άξονα συμμετρίας του κατόπτρου.

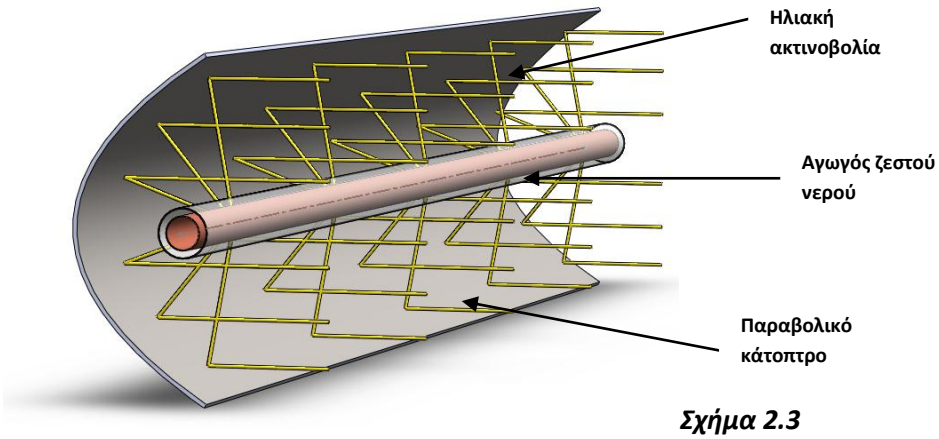


Σχήμα 2.1

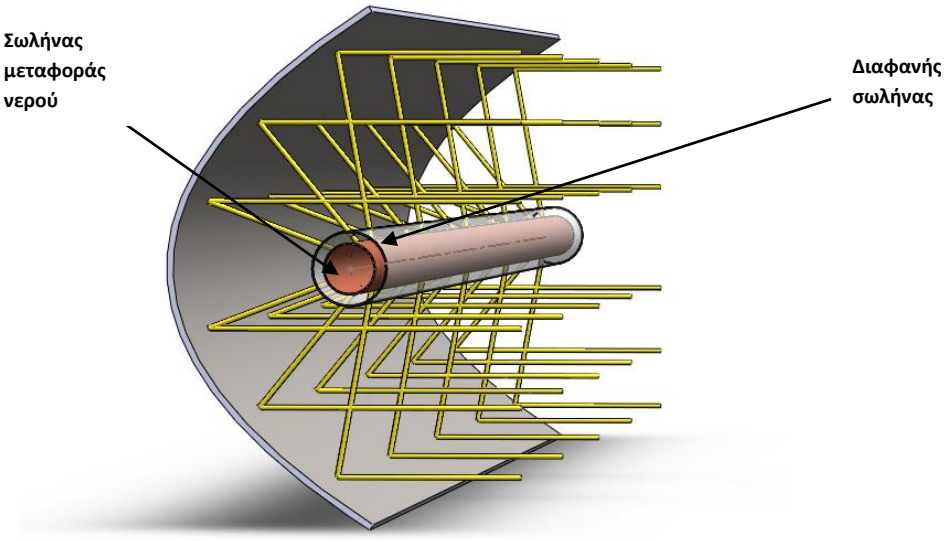


Σχήμα 2.2

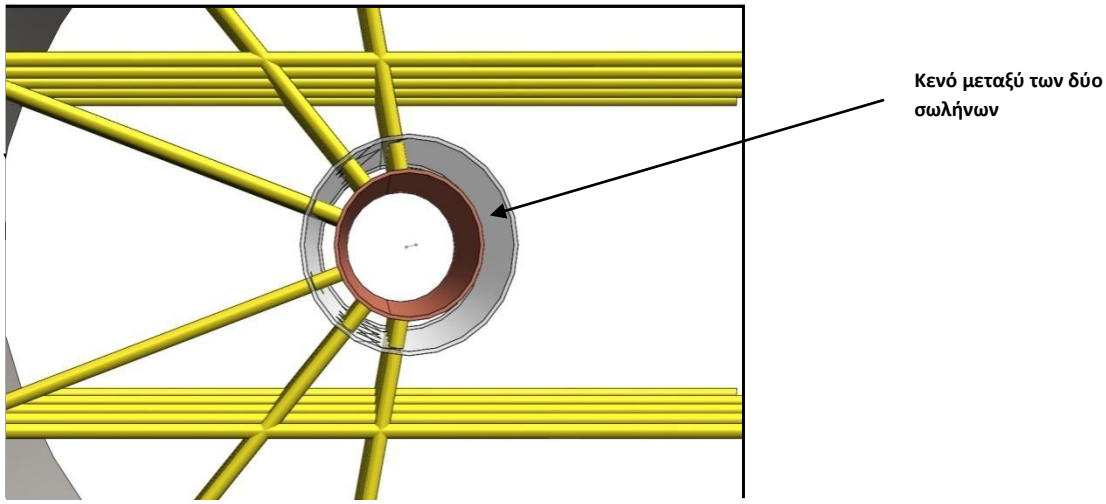
Τοποθετώντας στο σημείο εστίασης ένα συλλέκτη ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούμε να πετύχουμε αύξηση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με την εστιακή απόσταση (Focal Length) , πετυχαίνοντας έτσι αποτελέσματα για διάφορες χρήσεις. Για παράδειγμα , οικιακές ανάγκες ζεστού νερού (40^o – 60^o C) , θέρμανση κτιρίων (60^o – 85^o C) , αλλά και σε περιπτώσεις όπου χρειαζόμαστε ατμό αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ο συλλέκτης αυτός είναι σωληνοειδής μορφής, και με διάφορες τεχνικές πετυχαίνουμε την ελάχιστη απώλεια από την μεταφορά του νερού στον αποθηκευτικό χώρο. Αυτό γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας ένα γυάλινο σωλήνα στον οποίο περικλείουμε τον σωλήνα που μεταφέρει το νερό. Μεταξύ αυτών των αγωγών δημιουργούμε κενό , το οποίο δεν αφήνει την θερμότητα να διαφύγει. Παρακάτω δίδεται σχηματικά η διάταξη του συλλέκτη.



Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.4

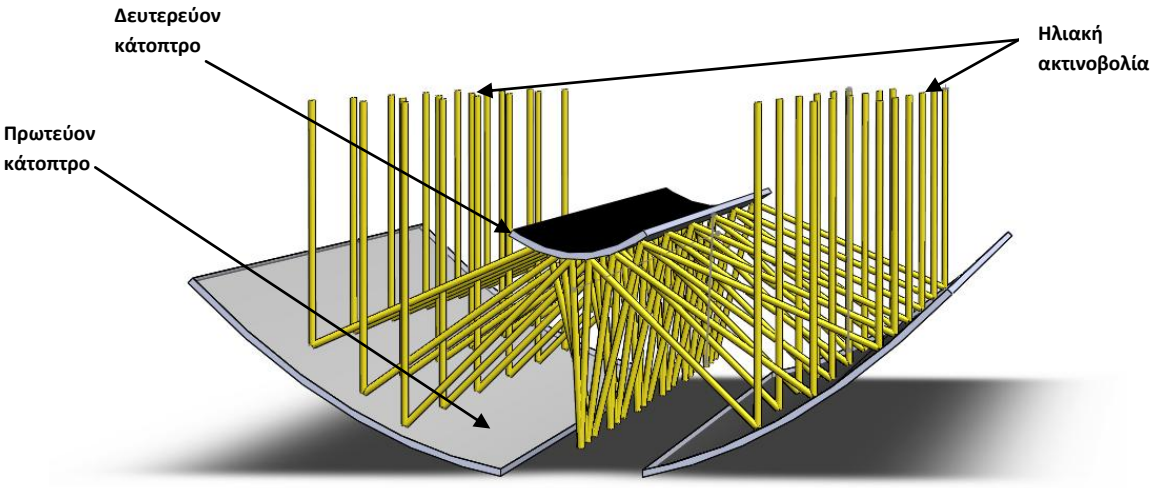


Σχήμα 2.5

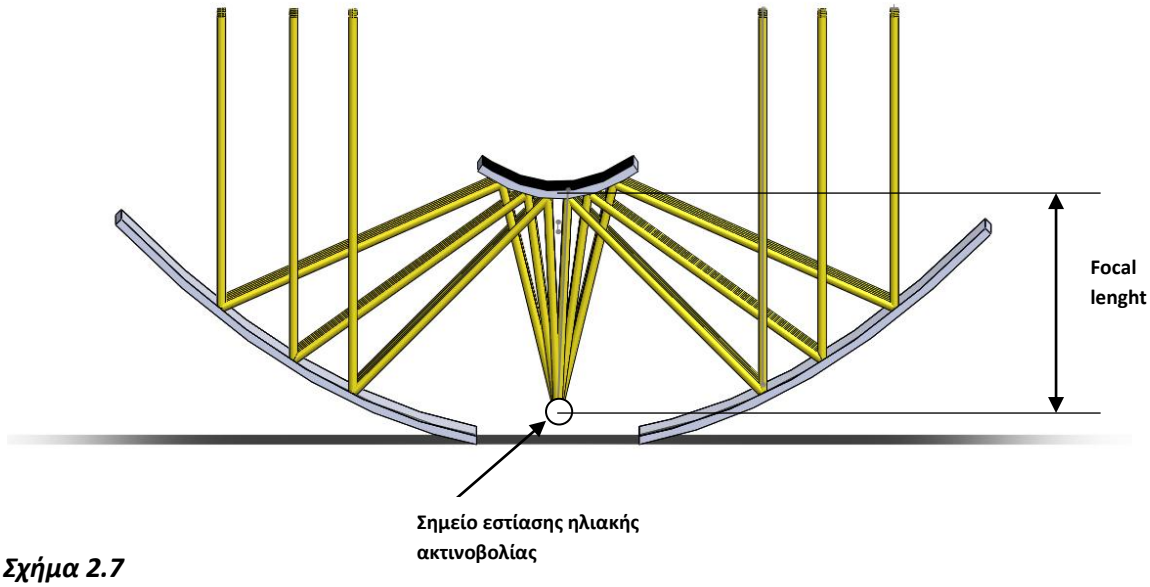
2.2 Παραβολικά σωληνοειδή κάτοπτρα – Συνδυασμένα πρωτεύοντα με δευτερεύοντα κάτοπτρα

Στην περίπτωση αυτή η κεντρική ιδέα του παραβολοειδούς κατόπτρου παραμένει. Όμως η ηλιακή ακτινοβολία περνά από τα πρωτεύοντα κάτοπτρα και στην συνέχεια σε ένα δευτερεύον παραβολοειδές το οποίο συγκεντρώνει όλες τις δέσμες ηλιακής ακτινοβολίας

σε ένα σημείο. Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η λειτουργία των κατόπτρων αυτών όπως επίσης και οι διάφορες παραλλαγές που προκύπτουν.



Σχήμα 2.6

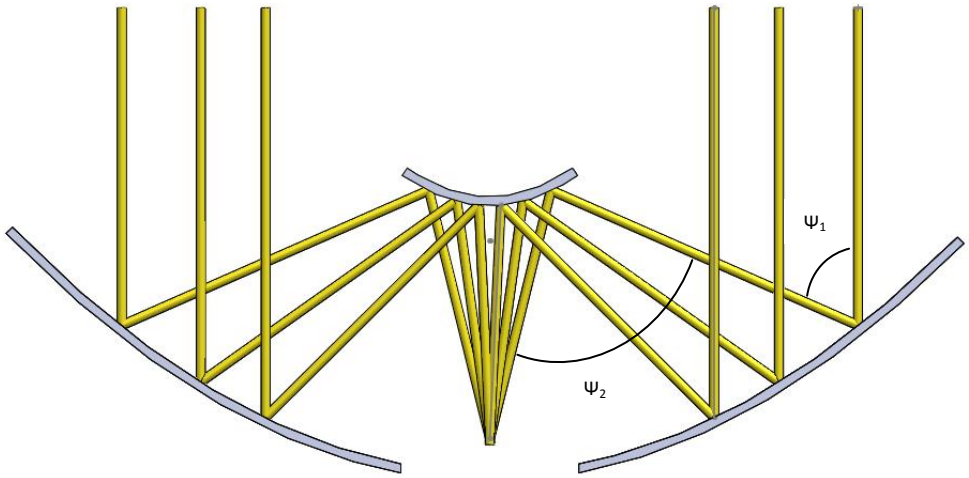


Σχήμα 2.7

Το πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή , είναι η συγκέντρωση ακτινοβολίας από δύο διαφορετικές περιπτώσεις , οι οποίες καταλήγουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο οποίο οι ακτίνες καταλήγουν με φορά ίδια με αυτή που προσπίπτει στο κάτοπτρο, έτσι μπορούμε να μειώσουμε την ηλιακή ακτινοβολία που μπορεί να διαφύγει πίσω στην ατμόσφαιρα, και με ειδικές ρυθμίσεις μπορούμε να πετύχουμε ένα σημείο εστίασης το οποίο να γίνεται πιο στοχευόμενο από ότι στην πρώτη περίπτωση του απλού παραβολοειδούς .

Ο συλλέκτης μπορεί να είναι σωληνοειδούς τύπου , όπως παρουσιάστηκε και στην προηγούμενη περίπτωση.

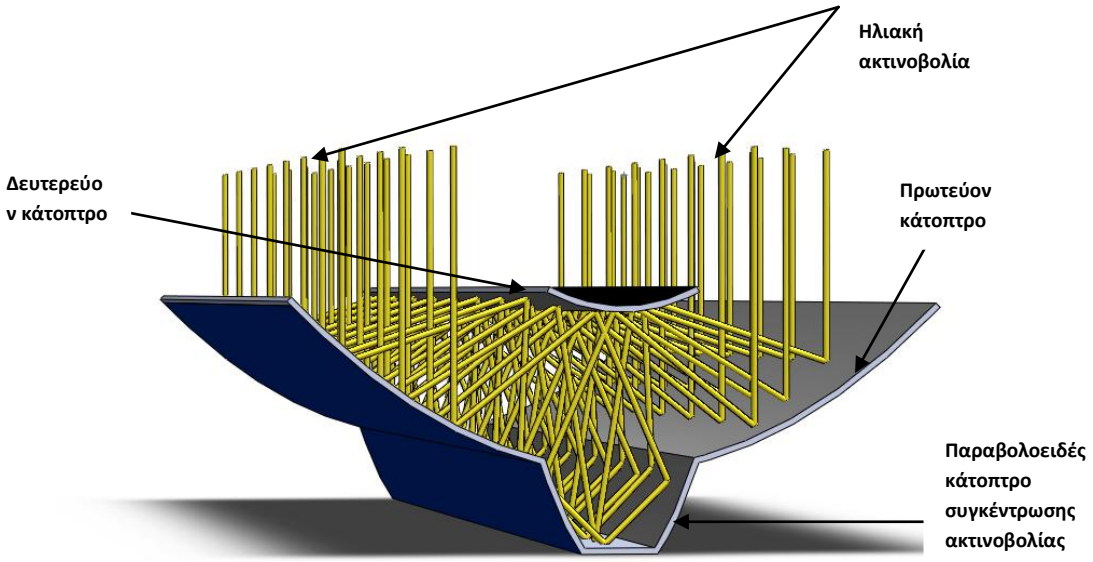
Τα μειονεκτήματα στις περιπτώσεις δύο παραβολικών κατόπτρων είναι η άριστη ακρίβεια που απαιτεί η τοποθέτηση των κατόπτρων , όπως επίσης και ο σωστός υπολογισμός των δύο γωνιών Ψ_1 , Ψ_2 , οι οποίες απεικονίζονται σχηματικά παρακάτω.



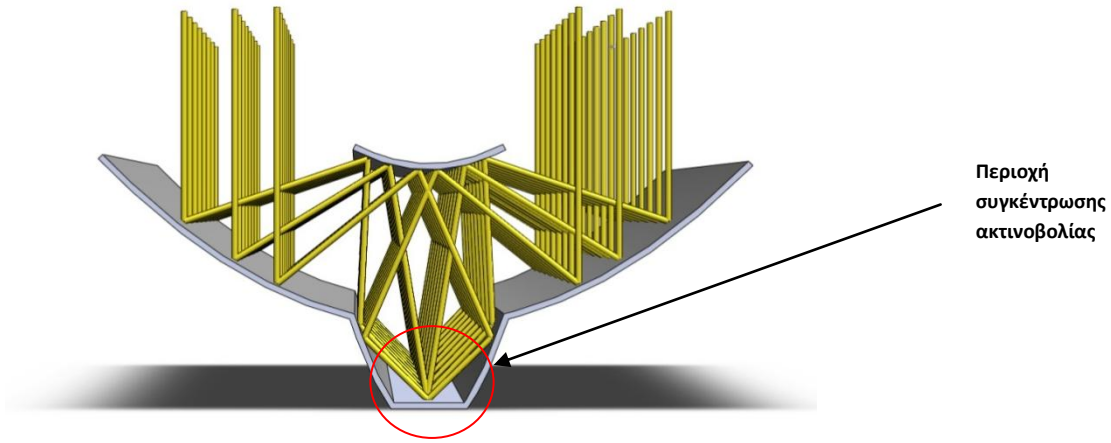
Σχήμα 2.8

2.3 Παραβολοειδή κάτοπτρα – Συνδυασμένα κάτοπτρα τριπλής δράσης

Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας όπως και στην προηγούμενη περίπτωση εισέρχεται σε ένα πρωτεύον παραβολοειδές κάτοπτρο , και στη συνέχεια εισέρχεται στο δευτερεύον , και στη συνέχεια κατευθύνουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε μια περιοχή που αποτελείται από κάτοπτρα κλειστής παραβολής. Έτσι με αυτή την τεχνική μπορούμε να συγκεντρώσουμε περισσότερη ακτινοβολία σε μια περιοχή , και όχι ένα σημείο εστίασης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πετύχουμε ομαλές θερμοκρασίες όπως εμείς τις επιθυμούμε και να αποφύγουμε θερμά σημεία σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται η πορεία των ηλιακών ακτινών και η περιοχή όπου συγκεντρώνεται η ακτινοβολία με αποτέλεσμα τη θερμή περιοχή.



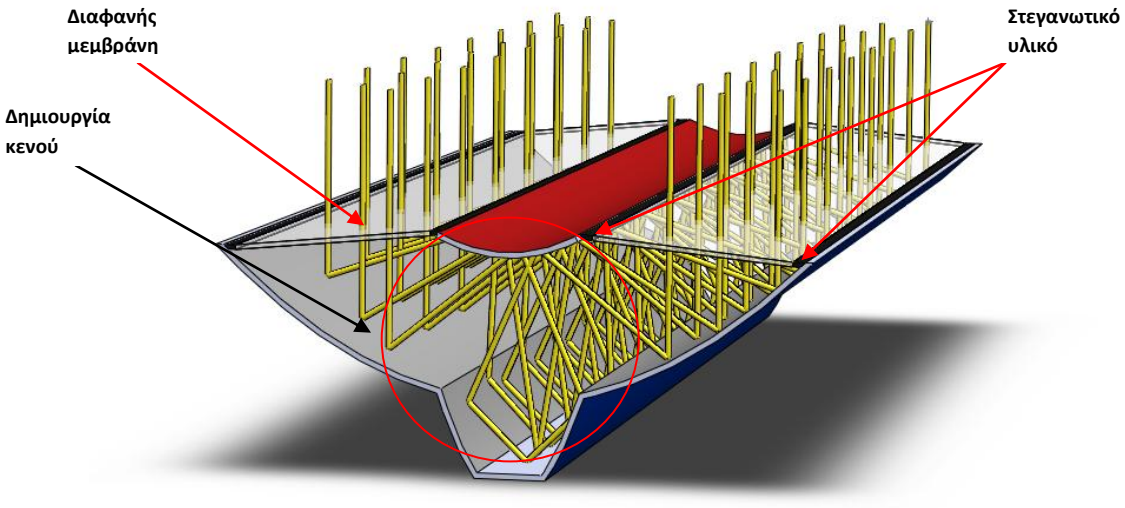
Σχήμα 2.9



Σχήμα 2.10

2.3.1 Δημιουργία κενού

Η θερμότητα που συγκεντρώνεται σε αυτού του τύπου σχεδιασμό, δεν πρέπει να διαφεύγει στο περιβάλλον , έτσι μπορούμε να προσθέσουμε ένα αδιαφανές υλικό στο πάνω μέρος, και στη συνέχεια να αφαιρέσουμε όλο τον αέρα δημιουργώντας κενό. Το κενό είναι ένας πολύ καλός μονωτής και μπορεί να γίνει εύκολα , αφού χρησιμοποιηθούν ανθεκτικά στεγανωτικά και με μια απλή αντλία κενού μπορούμε να αφαιρέσουμε τον αέρα. Το σχήμα **2.11** , απεικονίζει ένα απλό γυαλί που τοποθετείται στο πάνω μέρος , έτσι ώστε να αφήνει την ακτινοβολία να περνά , αλλά και το κενό να παραμένει. Η τοποθέτηση του γυαλιού , αρκετές φορές μπορεί να είναι και σε κοίλα μορφή, έτσι ώστε να συγκεντρώνει την ακτινοβολία στον πρωτεύον κάτοπτρο όπως το επιθυμούμε με τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

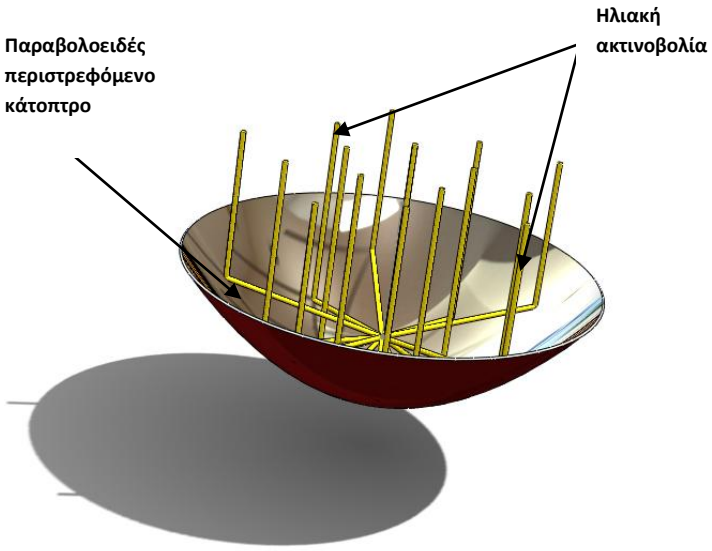


Σχήμα 2.11

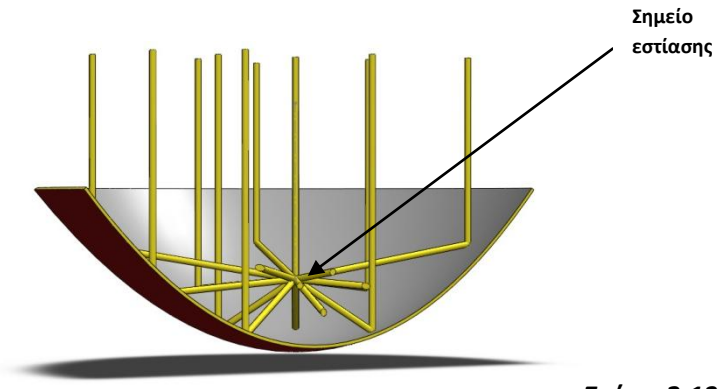
2.4 Περιστρεφόμενο παραβολοειδές κάτοπτρο

Το περιστρεφόμενο παραβολοειδές κάτοπτρο, στηρίζεται επίσης στην έννοια της παραβολής , αλλά σε περιστρεφόμενη μορφή. Δηλαδή η θεωρία του υπολογισμού της γωνίας πρόσπτωσης Ψ_1 παραμένει , και επίσης το σημείο εστίασης πρέπει να υπολογιστεί επίσης σωστά έτσι ώστε να πετύχουμε τις θερμοκρασίες που θέλουμε. Τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού αυτού , είναι η περιστροφική κίνηση που μπορούμε να δώσουμε στα κάτοπτρα , έτσι ώστε να προσανατολίζεται το κάτοπτρο πάντα προς την κατεύθυνση των ακτινών του ήλιου. Το μειονέκτημα είναι ο τρόπος που μεταφέρουμε το ζεστό νερό , έτσι ώστε να περνά από το σημείο εστίασης. Η κυκλοφορία του νερού δεν γίνεται σε γραμμικούς σωλήνες , έτσι δεν μπορούμε να έχουμε μεγάλες ποσότητες νερού για κυκλοφορία.

Στο **σχήμα 2.12** , παρουσιάζεται η μορφή της παραβολής σε περιστροφή , και το σώμα του κατόπτρου που προκύπτει.

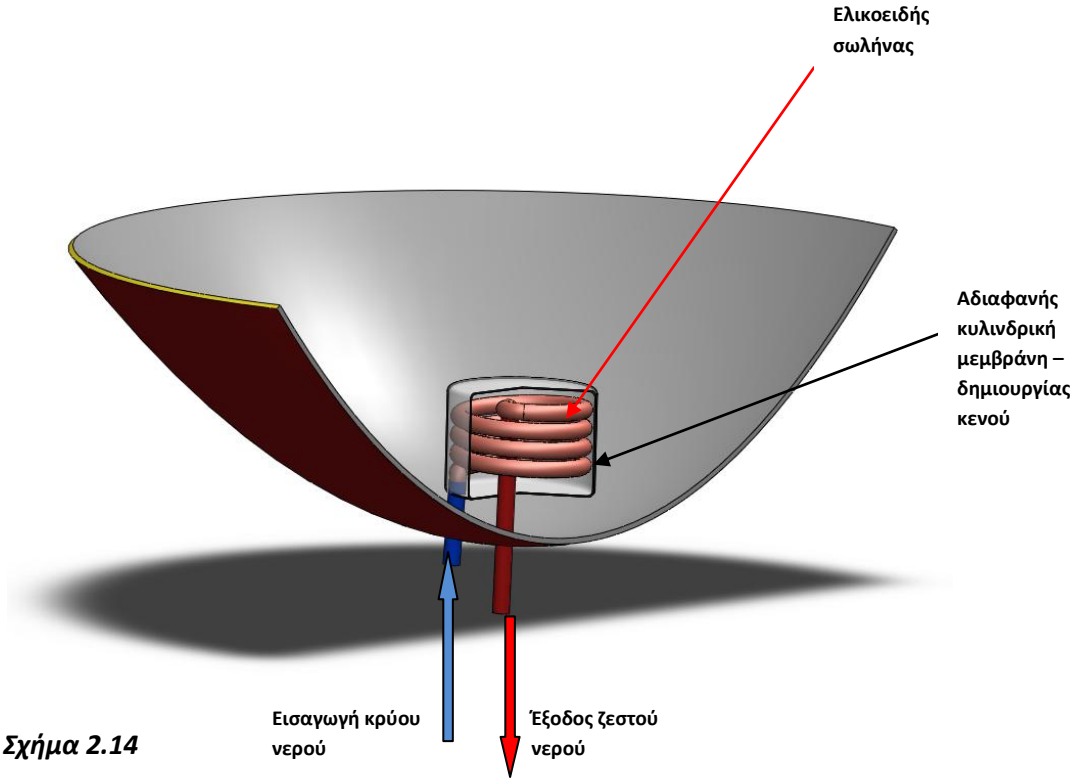


Σχήμα 2.12



Σχήμα 2.13

Στο σημείο εστίασης , ο συλλέκτης μπορεί να έχει ελικοειδή μορφή , έτσι ώστε η ποσότητα που θερμαίνεται να είναι αυξημένη. Όπως και στην πρώτη περίπτωση η ελικοειδής αυτή μορφή μπορεί να είναι από υλικό το οποίο να μην διαβρώνεται (όπως για παράδειγμα ο χαλκός) και αυτό να είναι κλειστό σε κυλινδρική αδιαφανής μεμβράνη, όπου επίσης θα δημιουργήσουμε κενό για τις απώλειες. Στο ***σχήμα 2.14*** απεικονίζεται η μορφή του ελικοειδούς συλλέκτη .

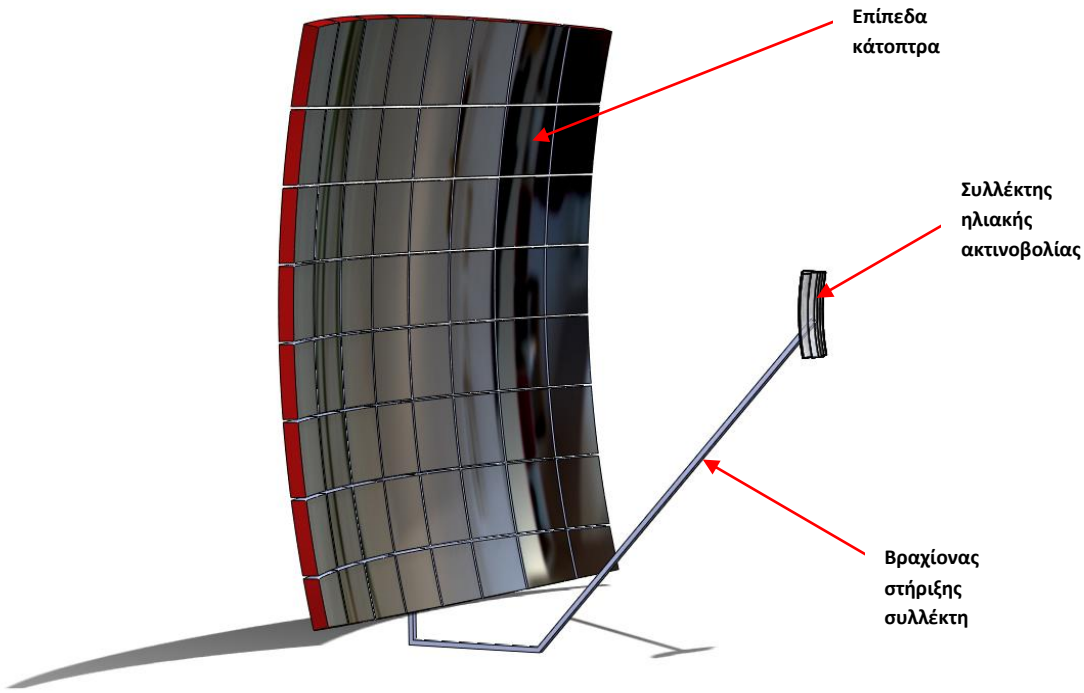


Σχήμα 2.14

Η κυκλοφορία του νερού στον ελικοειδή σωλήνα πρέπει να γίνεται με την χρήση κυκλοφορητή . Σε αυτό το σχεδιασμό συνήθως η διαφορά πιέσεων που δημιουργείται λόγο θερμοκρασιών (αρχή του θερμοσίφωνου) , δεν είναι αρκετή για την κυκλοφορία, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σωλήνες όπως είναι τοποθετημένοι αυξάνουν την υψομετρική διαφορά πιέσεων με αποτέλεσμα να μην μπορεί το νερό να κυκλοφορήσει φυσικά. Το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται , εάν ο ελικοειδής σωλήνας τοποθετηθεί οριζόντια, αλλά αυτό αποφεύγεται για κατασκευαστικούς λόγους.

2.5 Επίπεδα κάτοπτρα – τοποθετημένα σε κοίλα μορφή (τετραγωνικής μορφής)

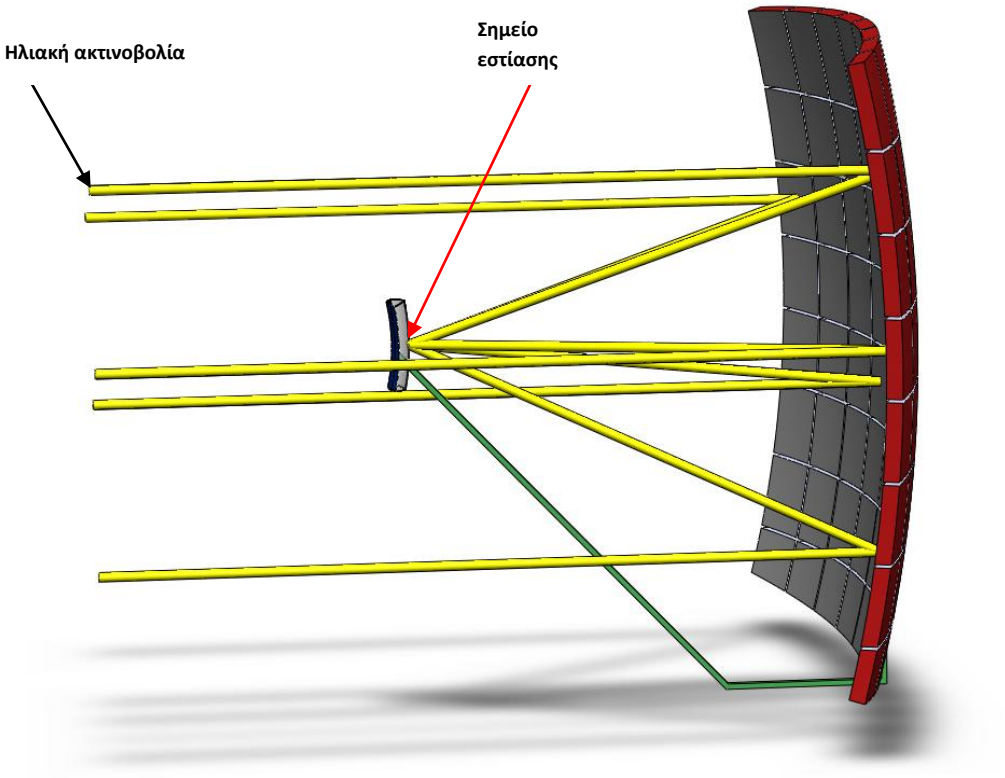
Η μορφή αυτής της διάταξης στηρίζεται στην επινόηση των κατόπτρων του Αρχιμίδη , όπου στην ουσία είναι πολλά επίπεδα κάτοπτρα μαζί , τα οποία κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο. Το σημείο αυτό στηρίζεται με ένα βραχίονα, έτσι όπως φαίνεται στο ***σχήμα 2.15***.



Σχήμα 2.15

Ο σχεδιασμός αυτός προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όσο αφορά τα προηγούμενα, για τον λόγο ότι μπορούμε να μεταβάλουμε την κλίση των κατόπτρων όπως εμείς επιθυμούμε για να έχουμε την καλύτερη δυνατή συγκέντρωση. Η διαδικασία της ρύθμισης των κατόπτρων απαιτεί ακριβή μελέτη έτσι ώστε να πετύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι θερμοκρασίες που μπορούν να αναπτυχθούν είναι πολύ υψηλές , αφού τα επίπεδα κάτοπτρα μπορούν να αντανακλάσουν τις ηλιακές ακτίνες πολύ καλύτερα από τα κοίλα χωρίς να έχουμε σημαντικές απώλειες. Η διάταξη αυτή λόγο των υψηλών θερμοκρασιών που μπορούν να αναπτυχθούν στο σημείο εστίασης , δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ζεστό νερό οικιακής χρήσης αφού πολλές φορές το νερό όταν περνά από τον συλλέκτη μπορεί να ξεπεράσει τις θερμοκρασίες των 100^{o} C . Για αυτό το λόγο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την διάταξη αυτή όταν θέλουμε να έχουμε γρήγορη αύξηση θερμοκρασίας ζεστού νερού, έτσι παρακάμπτουμε τον χώρο αποθήκευσης ζεστού νερού, με αποτέλεσμα την ημέρα όπου η εναλλαγή θερμότητας γίνεται απ' ευθείας , να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας, ο χρόνος θέρμανσης , και να έχουμε θεωρητικά αυξημένο όγκο ζεστού νερού. Δηλαδή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την διάταξη αυτή για υποδαπέδια θέρμανση οικίας (την ημέρα) κάνοντας γρήγορες εναλλαγές ζεστού και κρύου νερού, κρατώντας έτσι τις σωληνώσεις που θέλουμε θερμές.

Στο ***σχήμα 2.16*** , απεικονίζεται η αντανάκλαση του ηλιακού φωτός και η συγκέντρωση του στον συλλέκτη .



Σχήμα 2.16

Ο συλλέκτης , ακτινοβολίας όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μπορεί να είναι ένας ελικοειδής σωλήνας τοποθετημένος σε κενό για να μειώνονται οι απώλειες.

2.6 Επίπεδα κάτοπτρα

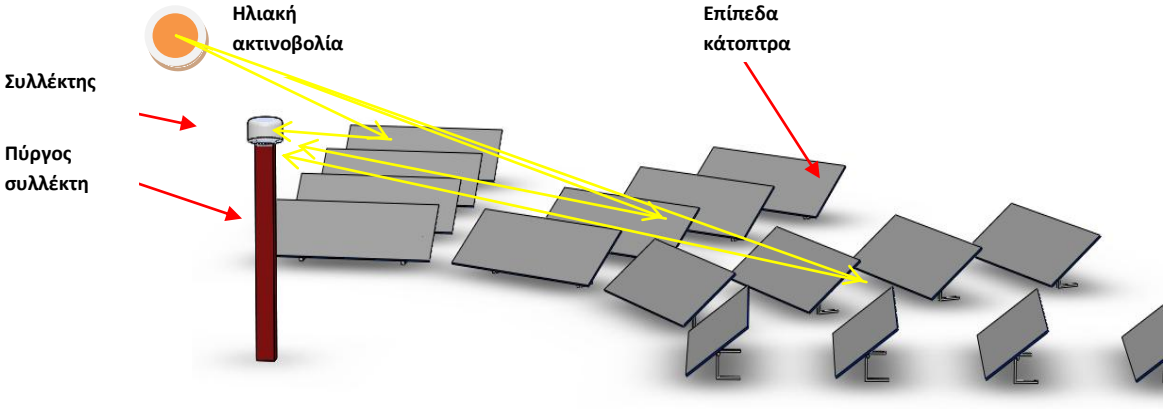
Στα επίπεδα κάτοπτρα ο συλλέκτης μπορεί να τοποθετηθεί με δύο τρόπους.

1) *Επίπεδα κάτοπτρα σε συνδυασμό με πύργο συγκέντρωσης ακτινοβολίας*
2) *Επίπεδα κάτοπτρα με σωληνοειδή συλλέκτη*

2.6.1 Επίπεδα κάτοπτρα σε συνδυασμό με πύργο συγκέντρωσης ακτινοβολίας

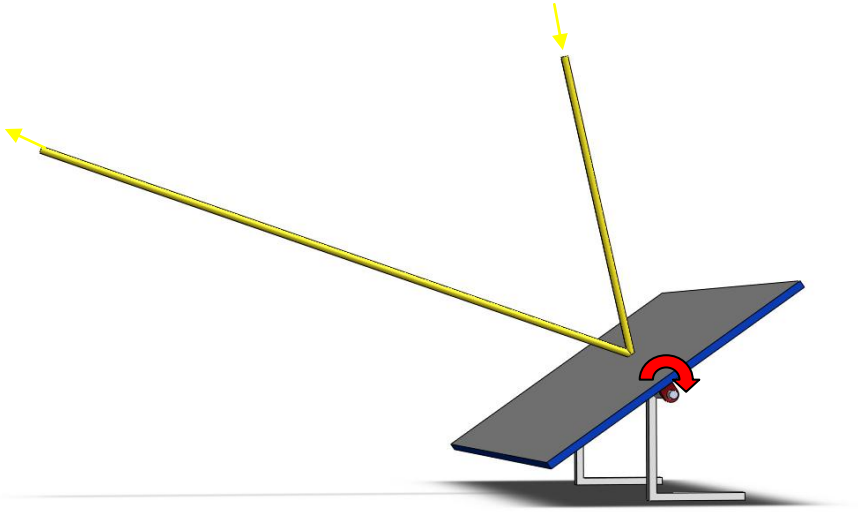
Ο σχεδιασμός και η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια, και ερημικές περιοχές , αφού ως γνωστά Solar Towers , είναι μεγάλοι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί , και βασίζονται στην συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα κεντρικό σημείο (Tower) όπου η αντανάκλαση προέρχεται από τα επίπεδα κάτοπτρα. Η ιδέα μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρότερες κατασκευές , όχι μόνο για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης, αλλά και για θέρμανση μεγάλων κτιρίων .

Η εγκατάσταση απαιτεί , σύστημα περιστροφής των κατόπτρων , λόγω της αυξημένης απόστασης του κατόπτρου από το σημείο εστίασης (όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο), η συγκέντρωση πρέπει να γίνεται με περισσότερη ακρίβεια. Στο ***Σχήμα 2.17*** παρουσιάζεται το μοντέλο της διάταξης , αφού στην πραγματικότητα έχει τεράστιες διαστάσεις. Για παράδειγμα το πρωτότυπο project που έγινε σε μια περιοχή λίγο έξω από την Μαδρίτη το 1982, στην Ισπανία , αφορούσε ένα ηλιακό πάρκο το οποίο συσσώρευε την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα πύργο, ο οποίος στην συνέχεια λόγο διαφοράς θερμοκρασιών ο ατμοσφαιρικός αέρας πρόσφερε κίνηση σε τουρμπίνες που βρίσκονταν στο κάτω μέρος του πύργου. Το έργο αυτό δεν σχετίζεται με την θέρμανση νερού. Όμως η διάταξη αυτή σε αυξημένες ανάγκες ποσότητας νερού, μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση. Δηλαδή για παραγωγή ζεστού νερού για θέρμανση τεράστιων κτιρίων.



Σχήμα 2.17

Η κατασκευή αυτή συνήθως γίνεται με την χρήση ειδικών σερβομηχανισμών που μπορούν να προσφέρουν κίνηση στ ηλιακά κάτοπτρα, για καλύτερη εστίαση. Παρακάτω ένα πρόχειρο σχήμα δείχνει τον τρόπο περιστροφής των ηλιακών κατόπτρων.

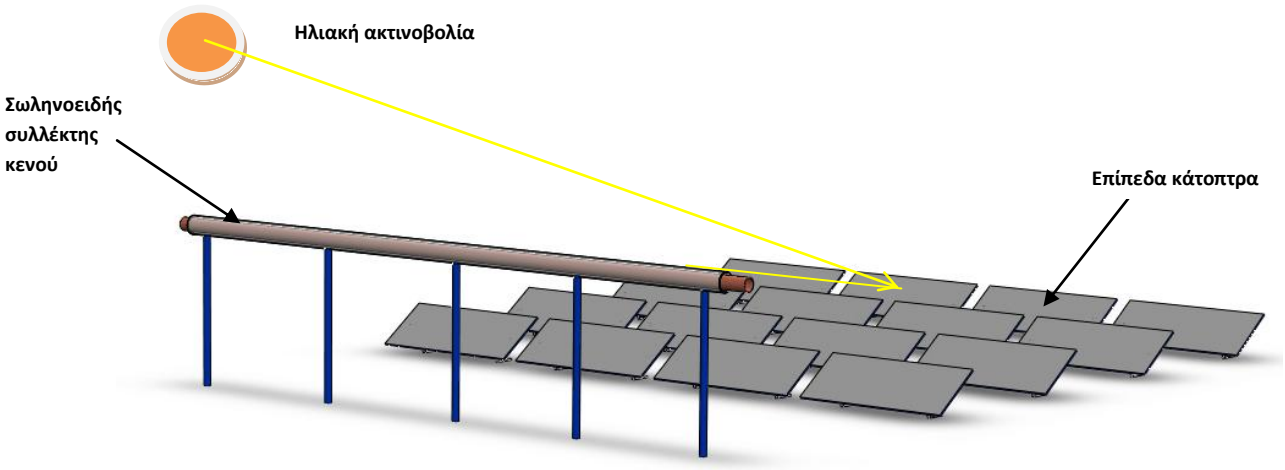


Σχήμα 2.18

2.6.2 Επίπεδα κάτοπτρα με σωληνοειδή συλλέκτη

Τα επίπεδα κάτοπτρα με σωληνοειδή συλλέκτη μπορούν να τοποθετηθούν σε παρόμοια σχηματική διάταξη με τα σωληνοειδή παραβολοειδή που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός των κατόπτρων, αφού σε αυτή την περίπτωση έχουμε επίπεδα κάτοπτρα και ένα σωληνοειδή συλλέκτη. Αυτή η περίπτωση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτή των παραβολοειδών , αφού όπως θα φανεί και στο επόμενο σχήμα , μπορούμε να τοποθετήσουμε αρκετές σειρές από επίπεδα κάτοπτρα, αυξάνοντας την θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα.

Το ***Σχήμα 2.19*** παρουσιάζει την διάταξη πως έχει.

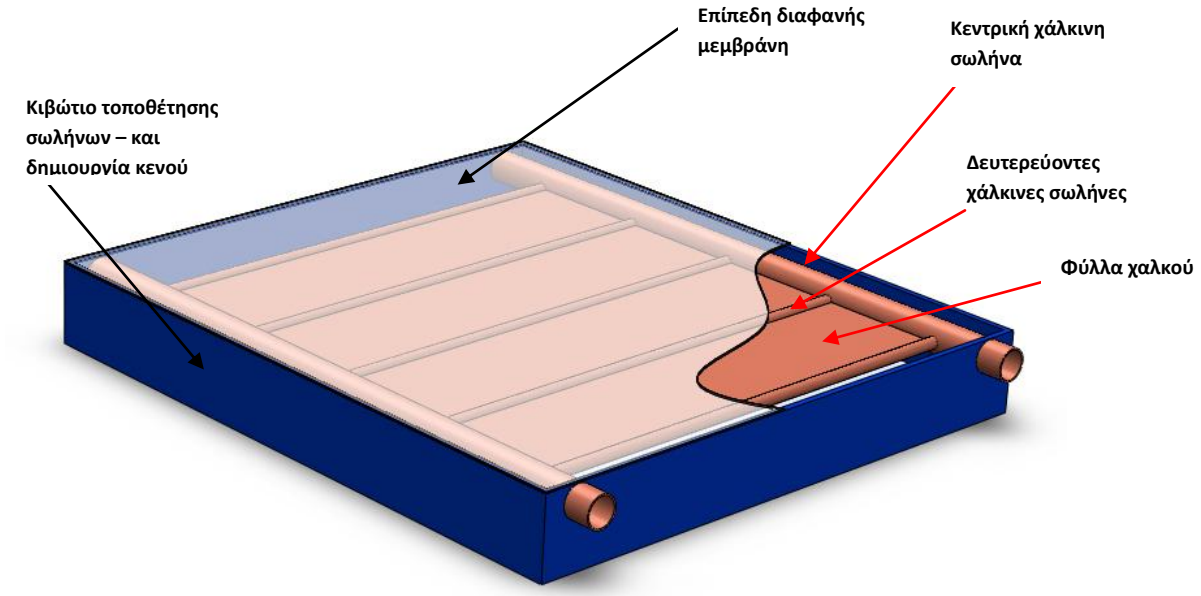


Σχήμα 2.19

2.7 Επίπεδος συλλέκτης – σε συνδυασμό με πρισματική μορφή κατόπτρων

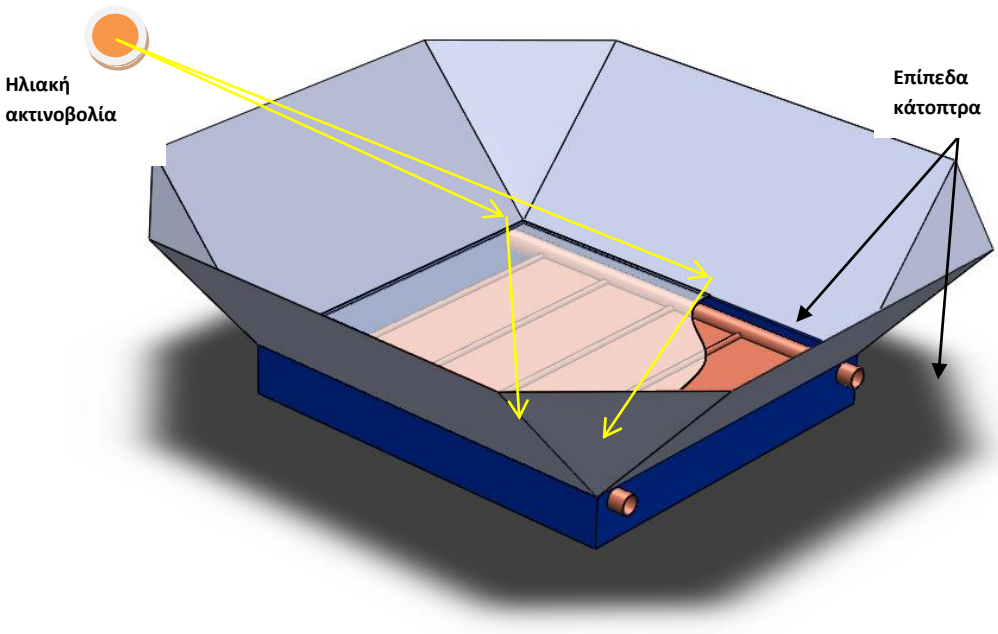
Σήμερα ο κοινός επίπεδος συλλέκτης , όπως υπάρχει ευρέος στην αγορά αποτελείται μια πλάκα η οποία εμπεριέχει σωλήνες (συνήθως χάλκινες) , και στο ενδιάμεσο αυτών τοποθετείται επίσης φύλλο χαλκού για την απορρόφηση ενέργειας. Αυτή η πλάκα από σωλήνες τοποθετείται σε ένα κουτί όπου στο επάνω μέρος τοποθετείται διαφανής μεμβράνη (γυαλί) και αν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργείται κενό για την καλύτερη θερμομόνωση. Η κατασκευή αυτής της πλάκας συνήθως στοιχίζει λόγο της αυξημένης χρήσης χαλκού , έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε επίπεδα κάτοπτρα έτσι ώστε να συγκεντρώσουμε την ακτινοβολία σε ένα περιορισμένο χώρο μειώνοντας έτσι το κόστος.

Στο ***σχήμα 2.20*** φαίνεται η κατασκευή του κοινού συλλέκτη (flat-plate) και στο σχήμα 8.2 η κατασκευή με την τοποθέτηση επίπεδων κατόπτρων σε πρισματική μορφή.



Σχήμα 2.20

Όπως προαναφέραμε, αυτή είναι η κοινός διαδεδομένη μορφή ηλιακού συλλέκτη, η οποία κοστίζει λόγο του μεγέθους που χρειάζεται να έχει η επιφάνεια για την περισυλλογή των ηλιακών ακτινοβολιών. Παρακάτω η ίδια πλάκα, με την τοποθέτηση των κατόπτρων μπορεί να γίνει σε πολύ μικρότερες διαστάσεις, εξοικονομώντας έτσι αρκετό χαλκό, αφού η συγκέντρωση ακτινοβολίας μπορεί να δώσει αυξήσει ραγδαία την θερμοκρασία σε ορισμένα σημεία έτσι ώστε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 2.21

Κεφάλαιο 3ο

3 - Υλικά – συλλέκτη

3.1 Υλικά κατασκευής σωληνώσεων

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες συνήθως με χαλκό (Cu) , ο οποίος είναι όλκιμο υλικό και δεν εμφανίζει σχιστότητα και έχει ιδιότητες που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια του. Ο χαλκός σε επαφή με το νερό δεν σκουριάζει και δεν διαβρώνεται.

Στην αγορά υπάρχουν διάφορες κατηγορίες σωληνώσεων από χαλκό. Αυτές συνήθως χωρίζονται στις κατηγορίες K,L,M and DWV , όπου αυτές οι κατηγορίες χαρακτηρίζουν την σκληρότητα του χαλκού. Η επιλογή της καλύτερης χαλκοσωλήνας πρέπει να γίνει σύμφωνα με τις πιέσεις που ενδέχεται να αναπτυχθούν. Βάσει λοιπόν του προτύπου (ASME B31) ο τύπος που δίνει την μέγιστη πίεση που μπορεί να αντέξει η χαλκοσωλήνα είναι :

$$P = \frac{2St_{min}}{D_{min} - 0.8t_{min}} \qquad (\mathbf{3.1})$$

P : επιτρεπόμενη πίεση σε **psi**

t_{min} : πάχος του χαλκού (min) σε **in**

D_{max} : η εξωτερική μέγιστη διάμετρος (max) σε **in**

Υπολογίζοντας την μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση, στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη διαστολή (και συνεπώς την μέγιστη συστολή) που μπορεί να έχει ο χαλκός. Ο τύπος που δίνει το μήκος της διαστολής είναι :

$$L = \frac{1}{12}\left(\frac{3E}{P}\right)^{1/2} \times (d_o e)^{\frac{1}{2}} \qquad (\mathbf{3.2})$$

L : το προσαυξημένο μήκος μετά την εναλλαγή θερμότητας σε **feet**

E : μέτρο ελαστικότητας του χαλκού σε **psi (17,000,000 psi)**

P : επιτρεπόμενη πίεση σε **psi (6,000 psi)**

D_o : εξωτερική διάμετρος σε **inches**

e : η μέγιστη αύξηση μήκους που μπορεί να αναπτύξει ο χαλκός (κυρίως για κατασκευαστικούς λόγους)

Από τα παραπάνω μπορούμε να επιλέξουμε την καταλληλότερη χαλκοσωλήνα που κυκλοφορεί στην αγορά ανάλογα με τις ανάγκες που προέκυψαν . Στο παρόν στάδιο δεν θα επεκταθούμε στην επιλογή του υλικού, αφού στην πορεία η συνολική κατασκευή θα δώσει τα εφόδια για την επιλογή.

Ο χαλκός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις κατασκευές χαλκοσωλήνας , είτε αυτή είναι σωλήνα η οποία είναι γραμμική και χρησιμοποιείται σε παραβολοειδή κάτοπτρα (όπως δείξαμε στα προηγούμενα σχήματα) ή σε κατασκευές επίπεδης πλάκας .

3.2 Κρύσταλλο – Διαφανής επιφάνεια

Το κρύσταλλο είναι ένα διαφανές υλικό που στους ηλιακούς συλλέκτες μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε αφού λόγο της διαφάνειας που έχει, οι ηλιακές ακτινοβολίες μπορούν να περάσουν και σε συνδυασμό με το κενό που προκαλούμε, έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Ο λόγος επιλογής του κρυστάλλου στις διαφανείς επιφάνειες, έγκειται στις εξής ιδιότητες :

1) Το κρύσταλλο μπορεί να είναι διαφανές
2) Αντιαντανακλαστικό – δηλαδή είναι υλικό το οποίο δεν αντανακλά τις ηλιακές ακτίνες έτσι μπορούμε να αξιοποιήσουμε όλη την ακτινοβολία που εισέρχεται στις πλάκες ή στον σωληνοειδή συλλέκτη όπως προαναφέραμε
3) Το κρύσταλλο είναι ανθεκτικό υλικό το οποίο μπορεί να είναι και άθραυστο από τις απότομες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας

Οι ποιότητες των κρυστάλλων που κυκλοφορούν στην αγορά είναι ποικίλες, και η καλύτερη επιλογή που μπορεί να γίνει έχει να κάνει με το κόστος κατασκευής αλλά και την χρήση του ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

3.3 Κατασκευή πλαισίων και στηριγμάτων των κατόπτρων

Στον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη , το πλαίσιο εφαρμογής των σωλήνων μπορεί να γίνει από ανοξείδωτο χάλυβα ή και από αλουμίνιο. Και τα δύο υλικά μπορεί να είναι ανθεκτικά στον χρόνο και σε συνδυασμό με μονωτικά υλικά μπορούν να δώσουν την καλύτερη δυνατή μόνωση της θερμότητας.

Στους παραβολοειδείς συλλέκτες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για στηρίγματα γαλβανιζέ υλικά τα οποία είναι ανοξείδωτα.

3.4 Κάτοπτρα

Η κατασκευή και η επιλογή των κατόπτρων γίνεται βάση της κατοπτρικής ανάκλασης. Η κανονική κατοπτρική ανάκλαση, σύμφωνα με τον ορισμό της ανάκλασης είναι όταν μια τυχαία δέσμη ακτινοβολίας $\boldsymbol{\rho_s}$ προσπίπτει σε ένα επίπεδο κάτοπτρο, με μια γωνία θ_i (βλέπε **σχήμα 3.1**) και στη συνέχεια ανακλάται με την ίδια γωνία θ_{rfl} αλλά με αντίθετη φορά. Τα κάτοπτρα που μπορούν να τηρούν αυτό το κανόνα είναι συνήθως πανάκριβες κατασκευές για τον λόγο η επιφάνεια τους είναι σχεδόν λεία, δηλαδή η ο συντελεστής τραχύτητας είναι πολύ μικρός. Δυστυχώς όμως το κόστος κατασκευής αυτών των κατόπτρων είναι πολύ υψηλό , έτσι πρέπει να λάβουμε υπόψη την ανάκλαση του φωτός που γίνεται στην περίπτωση όπου η επιφάνεια παρουσιάζει μια τραχύτητα. Έτσι η δέσμη όταν θεωρείται ευθεία και παράλληλη κατά την ανάκλαση έχουμε μια διαφορά γωνίας στην ανάκλαση, με αποτέλεσμα η τυχαία δέσμη ακτινοβολίας να αντικατοπτρίζεται με τον λόγο :

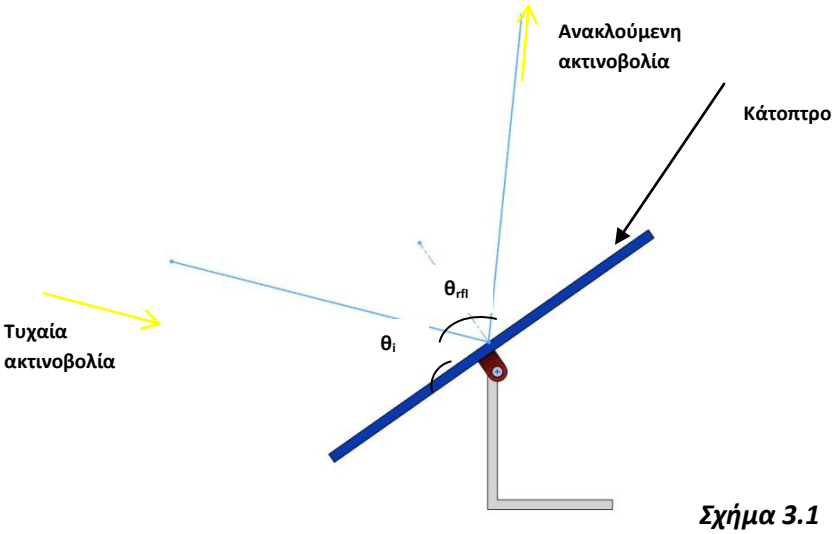
$$\boldsymbol{R_s = \rho_s = \frac{I_{r,a}}{I_b}} \qquad (\mathbf{3.3})$$

Η σχέση αυτή δίνει τον λόγο ανάκλασης δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 1 , δηλαδή είναι η σχέση που μας υποδηλώνει πόσο άριστη είναι η ανάκλαση που μπορεί να δώσει το κάτοπτρο. Η καλύτερη ανάκλαση είναι αυτή που δίνει η σχέση 3, την τιμή 1.

Όπου :

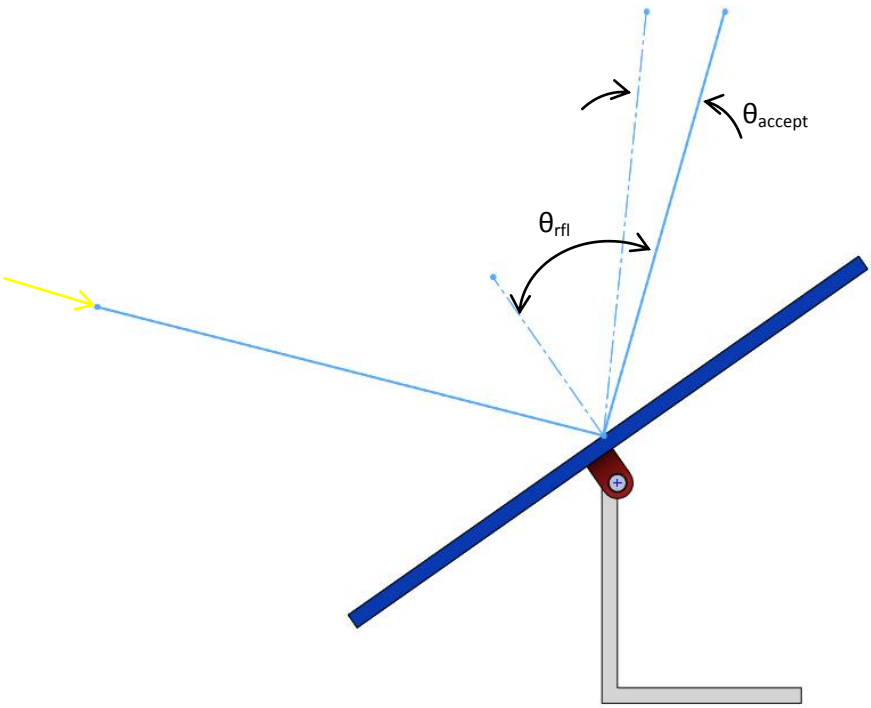
$\mathbf{I_{r,a}}$ **:** είναι η μειωμένης ισχύος δέσμη ακτινοβολίας που προκύπτει μετά την πρόσπτωση σύμφωνα με την γωνία θ_{accept} , η οποία αναπαριστάται στο **σχήμα 3.1 ,** η ακτινοβολία αυτή

$\mathbf{I_b}$ **:** είναι η ισχύς της τυχαίας ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κάτοπτρο



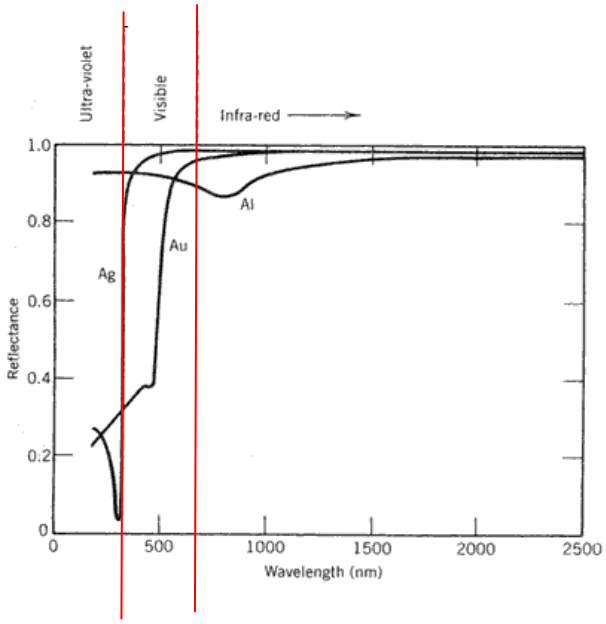
Σχήμα 3.1

Στο ***σχήμα 3.2***, βλέπουμε την μη κανονική ανάκλαση που προκύπτει από τα κάτοπτρα, όπου σημειώνεται η γωνία θ_{accept} .



Σχήμα 3.2

Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος στη Γη δεν έχει σταθερό μήκος κύματος. Έτσι παρακάτω παραθέτεται ένα φάσμα το οποίο δίνει τη ανάκλαση του φωτός σε διάφορα μήκη κύματος ακτινοβολίας , όταν αυτά προσπίπτουν στα υλικά , Ag (silver – ασήμι) , Al (Aluminum – Αλουμίνιο) , Au (gold – χρυσός).



Σχήμα 3.3

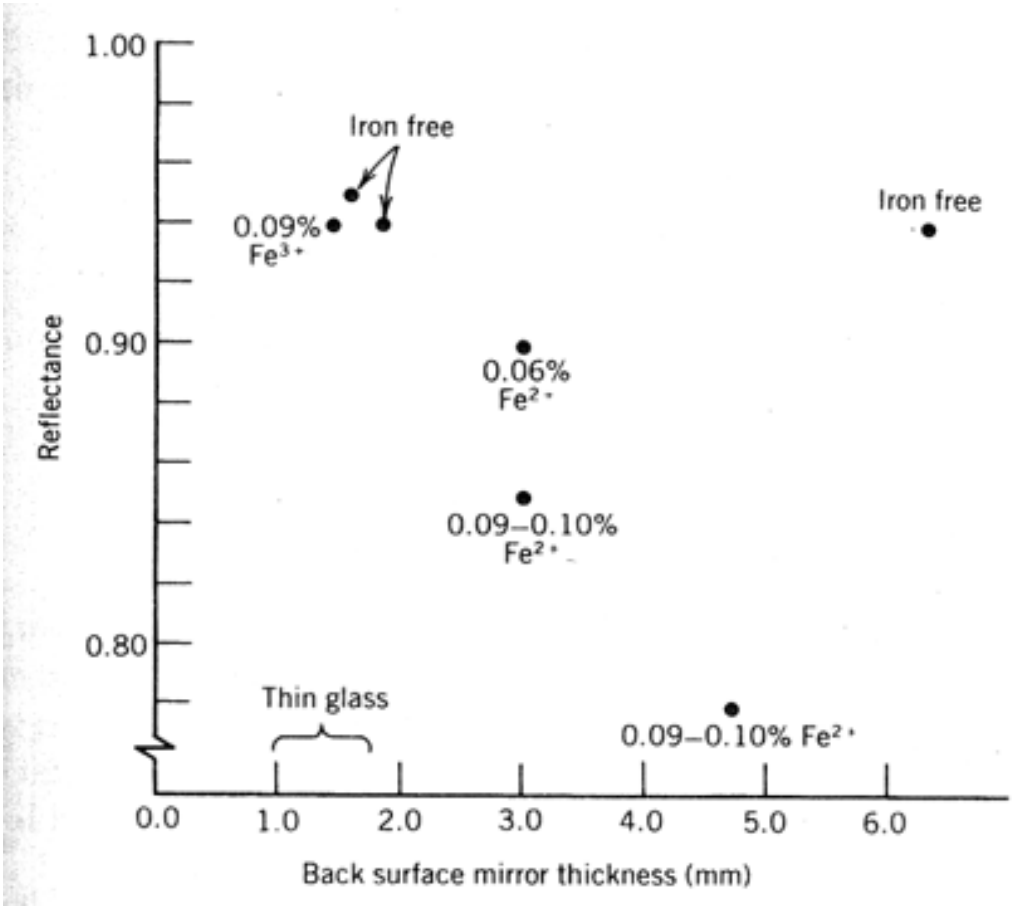
Το παραπάνω διάγραμμα μας υποδείχνει ότι η ακτινοβολία που ανακλάται σε ορατά μήκη κύματος ακτινοβολίας, έχει καλό λόγο, αφού αυτά τα τρία υλικά δίνουν καλό βαθμό ανάκλασης. Ο λόγος που πρωταρχικά χρησιμοποιούσαν αυτά τα υλικά είναι λόγο της αντοχής τους σε θέματα διάβρωσης . Όμως αυτά τα τρία υλικά είναι πολύ ακριβά και δύσκολο να κατασκευασθούν κάτοπτρα από αυτά.

Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάτοπτρα τα οποία χρησιμοποιούν δύο επιφάνειες , τα κάτοπτρα αυτά εμπεριέχουν την πρώτη επιφάνεια η οποία είναι διαφανής, και αφήνει την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει , και την δεύτερη επιφάνεια που είναι συνήθως σκούρα επιφάνεια και μπορεί να ανακλά το φώς. Η διαφανής επιφάνεια χρησιμεύει για να προστατεύει το υλικό που χρησιμοποιούμε για την ανάκλαση, και το υλικό που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μπορεί να είναι είτε από γυαλί είτε από πλαστικό. Τα κάτοπτρα όμως που χρησιμοποιούν στο πάνω μέρος διαφανή επιφάνεια παρουσιάζουν το φαινόμενο της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας, αφού όταν οι ακτίνες περνούν από ένα διαφανές υλικό, αυτό απορροφά ένα ποσοστό ενέργειας , με αποτέλεσμα να μην έχουμε την ίδια ισχύ στην έξοδο . Η ικανότητα λοιπόν κάποιου υλικού να αφήνει την ενέργεια της ακτινοβολίας να περνά , ονομάζεται – Transmittance ***(τ) ,*** και υπολογίζεται από το λόγο της ισχύς της ακτινοβολίας που διαπερνά το υλικό (I_{tr}) προς την ισχύ της ακτινοβολίας (I) .

Έτσι ο τύπος του Trasmittance δίνει :

$$\tau = \frac{I_{tr}}{I} \qquad (\mathbf{3.4})$$

Όμως το πρόβλημα της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας από τις διαφανείς επιφάνειες αρκετές φορές μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα στις ανάγκες για αρκετή ακτινοβολία στην έξοδο του υλικού. Έτσι μετά από μελέτες που έγιναν , παρατηρήθηκε ότι όταν το διαφανές υλικό εμπεριέχει ιχνοστοιχεία Fe^{2+} , τότε η διαπερατότητα (τ) που έχει μπορεί να αυξηθεί και σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να φθάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Έτσι μπορούμε να κατασκευάσουμε κάτοπτρα τα οποία να έχουν μικρό πάχος διαφανής επιφάνειας, και σαν δεύτερο υλικό για την ανάκλαση να χρησιμοποιήσουμε ένα υλικό που να μπορεί να ανακλά το φώς. Στο **σχήμα 3.4** , μπορούμε να παρατηρήσουμε την επίδραση του Fe^{2+} , Fe^{3+} - όσο αφορά την ανακλαστική ικανότητα του κατόπτρου, αναλόγως του πάχους της διαφανούς επιφάνειας και του ποσοστού Fe.



Σχήμα 3.4

Στο παραπάνω διάγραμμα , παρατηρούμε η ανακλαστική ικανότητα του κατόπτρου εάν φέρει διαφανής μεμβράνη με Fe είναι πολύ αυξημένη, δηλαδή σε όλες τις περιπτώσεις ο λόγος της ανακλαστικής ικανότητα είναι από 0,7 και μπορεί να φθάσει μέχρι το 0,93 το οποίο είναι ένα πολύ καλό ποσοστό.

Τα υλικά που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σήμερα είναι πάρα πολλά και οι εταιρείες λόγο της ανάγκης για δημιουργία όλο και πιο αποδοτικότερων ειδικά στον τομέα της οπτικής , έχουν αναπτύξει πολύ καλά υλικά τα οποία μπορούν να δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα κατοπτρικής ανάκλασης. Στον πίνακα 1 παρατίθενται αρκετά υλικά και μαζί με αυτά δίνονται οι τιμές R_1 , R_2 , R_s όπως επίσης και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κάτοπτρο.

R_1 : ονομάζουμε την κατοπτρική ανάκλαση του υλικού όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει απευθείας πάνω σε αυτό

R_2 : ονομάζουμε την κατοπτρική ανάκλαση του υλικού όταν η ακτινοβολία που προσπίπτει στο κάτοπτρο , προέρχεται από την συγκέντρωση ακτινοβολίας που ανακλάται από το ίδιο υλικό

R_s : είναι το άθροισμα των $R_1 + R_2 = R_s$

Πίνακας 1

Material	Measurement wavelength (nm)	R_1	R_2	R_s
I. Second surface glass				
(a) Laminated glass – Carolina Mirror Co.	500.0	0.92		**0.83**
(b) Laminated glass – Gardner Mirror Co.				
Perpendicular to streaks	600.0	0.92		**0.90**
	500.0	0.92		
Parallel to streaks	800.0	0.88		
	500.0	0.92		
(c) Corning microsheet (Vacuum chuck)	550.0	0.77	0.18	**0.95**
II. Metallized plastic films				**0.85**
(a) 3M Scotchcal 5400	500.0	0.86		
	600.0	0.86		
	700.0	0.82		
	900.0	0.84		
(b) 3M FEK – 163	500.0	0.86		**0.85**
	600.0	0.86		
	700.0	0.82		
	900.0	0.84		
(c) Sheldahl aluminized Teflon	400.0	0.73	0.15	**0.87**
	500.0	0.80	0.07	
	700.0	0.81	0.04	
	900.0	0.81	0.03	
III. Polished , bulk aluminum				
(a) Alcoa Alzak				
Perpendicular to rolling marks	670.0	0.66	0.21	**0.85**
	505.0	0.56	0.33	
	407.5	0.45	0.42	
Parallel to rolling marks	670.0	0.70	0.17	
	505.0	0.62	0.27	
	407.5	0.58	0.29	
(b) Kingston Ind. Kinglux				
Perpendicular to rolling marks	498.0	0.65	0.23	**0.85**
Parallel to rolling marks	498.0	0.67	0.21	
(c) Metal fabrications bright aluminum	550.0	0.44	0.43	**0.84**

Στον πίνακα 1 κατατάσσονται τα πιο δημοφιλή υλικά που κυκλοφορούν στην αγορά και αφορούν την κατοπτρική ανάκλαση. Παρακάτω αναλύουμε τις ιδιότητες αυτών των υλικών.

Laminated glass – Carolina Mirror Corporation. : κάτοπτρο το οποίο κατασκευάζεται από την εταιρεία Carolina Mirror Corporation , και ανήκει στην κατηγορία των κατόπτρων όπου η διαφανής επιφάνεια αποτελείται από δύο στρώσεις. Στην επάνω στρώση έχουμε 2.7mm

γυαλιού, μια λεπτή στρώση από ασήμι , και στην οποία βάζουμε προστατευτική μπογιά και μετά βινύλιο, ενώ στην πίσω πλευρά του κατόπτρου υπάρχει η δεύτερη στρώση γυαλιού με πάχος 2.7mm. Η συνολική κατοπτρική ανάκλαση του είναι 0,83 ποσοστό πολύ χαμηλό, και αυτό οφείλεται στην απορρόφηση που προκαλεί το ποσοστό σιδήρου στην πάνω διαφανή επιφάνεια.

Laminated glass – Gardner Mirror Corporation : κάτοπτρο το οποίο κατασκευάζεται από την Gardner Mirror Corporation , και αποτελείται από 3.35mm πάνω επιφάνειας γυαλιού, μια προστατευτική μπογιά , μια λεπτή στρώση από ασήμι, βινύλιο, ενώ στο πίσω μέρος έχω μια δεύτερη στρώση από επιφάνεια γυαλιού. Η συνολική κατοπτρική ικανότητα του ανέρχεται στο 0.90 το οποίο είναι ένα πολύ καλό νούμερο, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απορροφητική ικανότητα του γυαλιού που τοποθετείται είναι πολύ μικρή, αφού τα ποσοστά σιδήρου σε αυτό είναι πολύ μικρά . Το κάτοπτρο αυτό είναι της ίδια ιδέας με το προηγούμενο, αλλά είναι κάπως πιο ακριβή κατασκευή λόγο της καλής ποιότητας του γυαλιού στο επάνω μέρος.

Corning microsheet (Vacuum chuck) : κατασκευάζεται με διαδικασία αποτύπωσης (δηλαδή από ειδικά εργαλεία συμπίεσης) και συνήθως είναι πάχους 76μm με 510μm. Ένα δείγμα πάχους 114μm στιλβώθηκε και στη συνέχεια επικολλάται με διαδικασία αφαίρεσης κενού στη διαφανή επιφάνεια. Επειδή το γυαλί είναι λεπτό, μικροσωματίδια σκόνης εγκλωβίζονται μεταξύ του γυαλιού και του υλικού ανάκλασης, στο κενό που δημιουργήσαμε για την επικόλληση των δύο υλικών και επηρεάζουν την ανακλαστική ικανότητα του υλικού. Επομένως , οι ανακλαστικές ιδιότητες που έχουν αναφερθεί εδώ μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές των απορροφητικών ιδιοτήτων της διαφανής επιφάνειας κατά την πρόσπτωση ηλιακών ακτινοβολιών. Σε κάθε περίπτωση , επειδή αυτό το υλικό πρέπει να έχει ελαστικές ιδιότητες για να μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε σε περισσότερες εφαρμογές, οι ανακλαστικές ιδιότητες πρέπει να προσδιορίζονται για κάθε περίπτωση που το υλικό εισέρχεται στην περιοχή κάμψης προκειμένου τα υποστρώματα να μην αλλοιώνονται και το πάχος σε κάθε περίπτωση να παραμένει σταθερό.

Κεφάλαιο 4ο

4.1 Υπολογισμός αναγκαίας ποσότητας ζεστού νερού σε μια οικία

Σήμερα η κατανάλωση νερού στις οικίες έχει γίνει ένα απαραίτητο αγαθό, και η εύκολη πρόσβαση σε αυτό αυξάνει όλο και περισσότερο την ημερήσια ποσότητα χρήσης. Κατά την χειμερινή περίοδο, η χρήση του απαιτεί και ένα σοβαρό ποσό ενέργειας για την θέρμανση του. Η θέρμανση του νερού, μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως με την χρήση ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία δυστυχώς επιφέρει ένα σημαντικό κόστος, έτσι η ιδέα αξιοποίησης της απεριόριστης και δωρεάν ενέργειας του ήλιου όλο και περισσότερο εφαρμόζεται σε διάφορα συστήματα. Τα τελευταία χρόνια η χρήση του ηλιακού θερμοσίφωνα σε αρκετές χώρες έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος κατά τον σχεδιασμό μιας οικίας. Η Ελλάδα λοιπόν μια χώρα με άπλετο ηλιακό φώς, μπορεί και έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει αυτήν την ενέργεια, και να ρίξει το κόστος καθημερινών αναγκών. Στη μελέτη αυτή ασχολούμαστε με τον σχεδιασμό ενός νέου τύπου ηλιακού θερμοσίφωνα ο οποίος θα είναι αποδοτικός, μικρός σε μέγεθος , και φθηνότερος από θέμα κατασκευαστικών υλικών. Για να γίνει όμως η μελέτη και ο σχεδιασμός του ηλιακού συλλέκτη, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι αναγκαίες ποσότητες καθημερινής χρήσης ζεστού νερού. Από μελέτες που έγιναν καταγράφηκαν τα εξής ποσοστά για την συνολική κατανάλωση νερού από μια οικία , το 40% απορρίπτεται από την χρήση της τουαλέτας, το 25% χρησιμοποιείται για ανάγκες σωματικής καθαριότητας , το 20% στο πλύσιμο των ρούχων και το 10% στην κουζίνα και το υπόλοιπο 5% στις ανάγκες γενικής καθαριότητας.

Στατιστικά υπολογίζεται ότι η μέση κατανάλωση σε μια οικογένεια είναι 35 έως 50 λίτρα ημερησίως κατ' άτομο. Αν προσθέσουμε την κατανάλωση από το πλυντήριο ρούχων και το πλυντήριο πιάτων στην περίπτωση που αυτά είναι συνδεδεμένα με το ηλιακό σύστημα, τότε απαιτούνται περίπου 20 λίτρα ημερησίως για το κάθε ένα (για μία πλύση). Έτσι, για παράδειγμα, μια τριμελής οικογένεια με μέση κατανάλωση 40 λίτρων ζεστού νερού κατ' άτομο, χρειάζεται ένα ηλιακό σύστημα 120lt. Αν προσθέσουμε οικιακές συσκευές συνδεδεμένες με το ηλιακό σύστημα, τότε οι ανάγκες αυξάνονται τουλάχιστον κατά 30 λίτρα ημερησίως. Στο παρόν εδάφιο θεωρούμε ότι η χρήση αφορά ηλιακό σύστημα για χρήση 3 ατόμων και 5 ατόμων , 150L και 250L αντίστοιχα (οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν για όποια χωρητικότητα χρειαζόμαστε σύμφωνα με το πρόγραμμα που ακολουθεί σε επόμενα κεφάλαια).

4.2 Δοχείο αποθήκευσης και σχηματική διάταξη ηλιακού θερμοσίφωνα

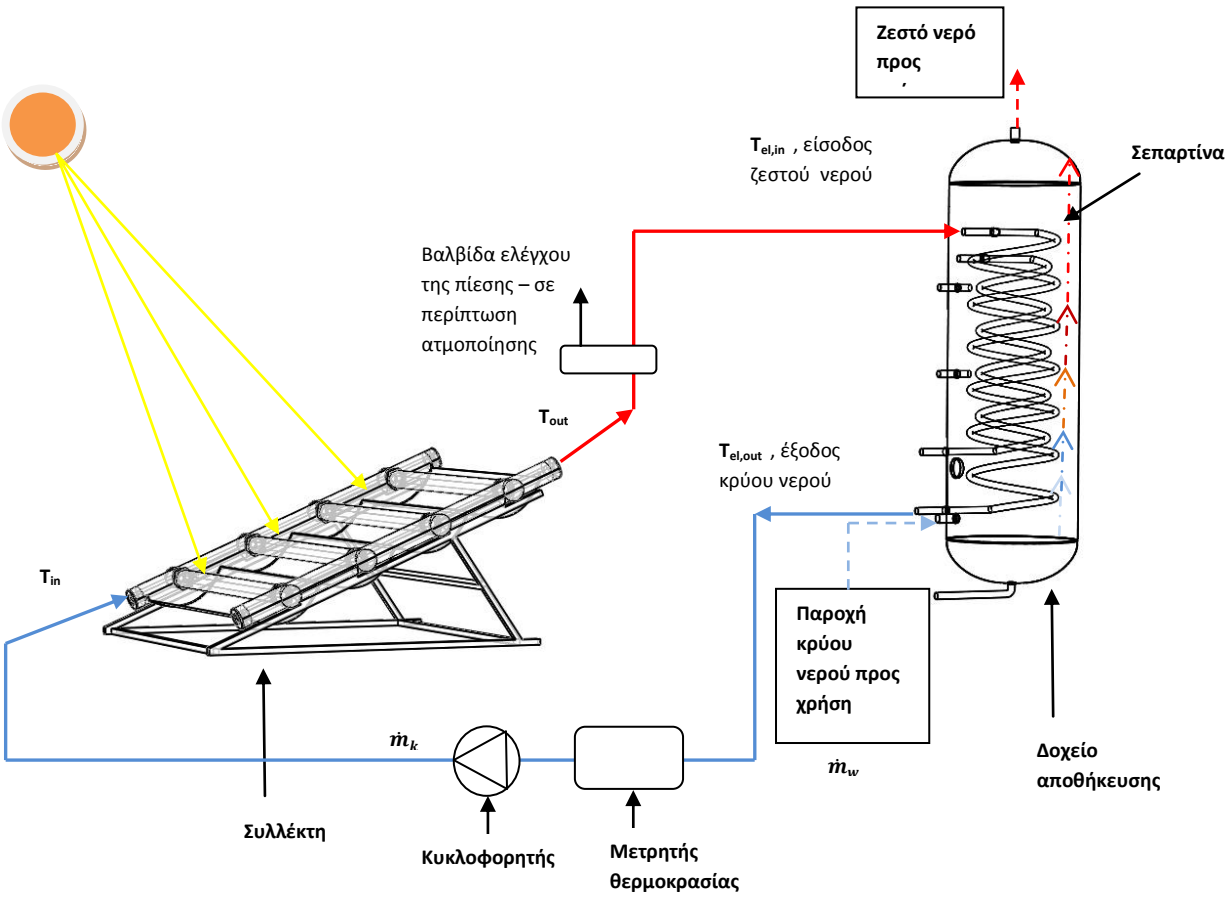
4.2.1 Δοχείο αποθήκευσης

Η χρήση ζεστού νερού μπορεί να γίνει σε όλες τις ώρες της ημέρας , έτσι προκύπτει η ανάγκη χρήσης κάποιου δοχείου όπου θα αποθηκεύουμε το ζεστό νερό έτσι ώστε να είναι έτοιμο για χρήση όποτε και αν το χρειαστούμε. Η αποθήκευση του ζεστού νερού συνήθως γίνεται σε κυλινδρικά σώματα (boilers) τα οποία κατασκευάζονται από υλικά τα οποία προσφέρουν άριστη θερμομόνωση , για να μην έχουμε απώλειες. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του δοχείου απαιτούν προσεκτική μελέτη, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αυξημένες πιέσεις και ο κίνδυνος διαρροής(στην παρούσα μελέτη δεν θα ασχοληθούμε με

τον σχεδιασμό ενός τέτοιου δοχείου αλλά θα θεωρήσουμε ότι ήδη υπάρχει η γνώση από τις υφιστάμενες μελέτες, έτσι θα χρησιμοποιήσουμε τα δοχεία αυτά ως έχουν). Στο δοχείο η κυκλοφορία του ζεστού νερού από τον ηλιακό συλλέκτη μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η απευθείας κυκλοφορία του νερού χρήσης στο σύστημα αποθήκευσης και στον ηλιακό συλλέκτη. Ο δεύτερος τρόπος γίνεται μέσω εναλλάκτη θερμότητας (σεπαρτίνα) όπου σε αυτόν κυκλοφορεί ανεξάρτητο νερό από αυτό που χρησιμοποιείται και η εναλλαγή θερμότητας γίνεται μέσω της σωλήνας που βρίσκεται στο δοχείο. Για την μελέτη επιλέγουμε τον δεύτερο τρόπο θέρμανσης του νερού αφού αυτός προσφέρει καλύτερα και αποδοτικότερα αποτελέσματα.

4.2.2 Σχηματική διάταξη συστήματος

Η σχηματική διάταξη του ηλιακού θερμοσίφωνα έχει ως εξής :



Σχήμα 4.1

Στην πιο πάνω σχηματική διάταξη παρατηρούμε τον ηλιακό συλλέκτη , όπου από τις ηλιακές ακτινοβολίες μπορούμε να περισυλλέξουμε την ηλιακή ενέργεια, και να θερμάνουμε το νερό. Η έξοδος του ζεστού νερού γίνεται πάντα από την πάνω μεριά , γιατί σύμφωνα με την αρχή του θερμοσίφωνου , η διαφορά πιέσεων μπορεί να προσδώσει κίνηση στο ρευστό, και έτσι να εκμεταλλευτούμε την κυκλοφορία αυτού. Όμως στην διάταξη αυτή προσθέσαμε και ένα κυκλοφορητή ο οποίος είναι υπεύθυνος να εξασφαλιστεί αυτή η κυκλοφορία. Η έξοδος του κρύου νερού από την σεπαρτίνα γίνεται από το κάτω μέρος του δοχείου αποθήκευσης , και έτσι έχουμε μια συνεχή κυκλοφορία του νερού , στον ηλιακό συλλέκτη, όπου και προσδίδεται η αναγκαία ενέργεια για την θέρμανση του δοχείου. Η παροχή του κρύου νερού προς χρήση γίνεται στο κάτω μέρος του δοχείου και με την εναλλαγή θερμότητας που προσδίδεται από την σεπαρτίνα , και η έξοδος γίνεται από το επάνω μέρος του δοχείου.

4.3 Υπολογισμός βασικών διαστάσεων Συλλέκτη

4.3.1 Υπολογισμός παροχής ζεστού νερού από το δοχείο αποθήκευσης

Για να υπολογίσουμε την αναγκαία ποσότητα θερμότητας που πρέπει να προσδίδεται από την σεπαρτίνα στο δοχείο αποθήκευσης πρέπει πρώτα να επιλεγεί η σωστή παροχή χρήσης ζεστού νερού, δηλαδή η ποσότητα σε kg/sec του νερού που κυκλοφορεί σε αυτό. Έτσι σύμφωνα με την αναγκαία καθημερινή χρήση του νερού , μπορούμε να κάνουμε τον εξής συλλογισμό. Η συνολική ποσότητα νερού που αποθηκεύεται στο δοχείο , L_{blr} , εάν την διαιρέσουμε με μια χρονική σταθερά , μπορούμε να δώσουμε μια τιμή της συνολικής εκροής του ζεστού νερού προς χρήση. Η σχέση που δίνει αυτή την παροχή είναι :

$$\dot{m}_{blr} = \frac{L_{blr}(lt)}{K\,(hr)} \cong \frac{L_{blr}(kg)}{3600 \times K\,(s)} \qquad \left[\frac{kg}{sec}\right] \qquad (4.1)$$

$L_{blr}(lt)$ **:** Συνολική χωρητικότητα σε lt του δοχείου

$K\,(s)$ **:** Μια χρονική σταθερά εκφρασμένη σε sec

Η χρονική σταθερά K επιλέγεται σύμφωνα με την ανάγκη να θερμάνουμε σε όσο πιο σύντομο χρονικό διάστημα μπορούμε. Εάν λοιπόν επιλέγουμε μια μεγάλη σταθερά, τότε η παροχή μειώνεται έτσι όπως θα δούμε παρακάτω μειώνεται και ο συνολικός χρόνος για να δώσουμε την συνολική ποσότητα ενέργειας για να θερμάνουμε το δοχείο.

4.3.2 Συνολική ισχύς για την θέρμανση του δοχείου

Η συνολική ισχύς για την θέρμανση του δοχείου υπολογίζεται βάση της σχέσης :

$$\dot{Q}_{blr,true} = \dot{m}_{blr} \times C_p \times (\Delta T_t) \qquad [W] \qquad (4.2)$$

$\boldsymbol{\Delta T_t}$**:** Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου και εξόδου του νερού από το δοχείο αποθήκευσης . Στο σχήμα 3.2 μπορούμε να διακρίνουμε την θερμοκρασιακή διαφορά , ως έχει δηλαδή $\boldsymbol{\Delta T_t = T_{out} - T_{in}}$

$\boldsymbol{C_p}$ **:** Είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού και είναι ίση με $\boldsymbol{C_p}$***=4200 (J/kg K)***

4.3.3 Υπολογισμός της ωφέλιμης ισχύος του συλλέκτη

Για να υπολογίσουμε την ωφέλιμη ισχύ του συλλέκτη θα δεχτούμε την παραδοχή ότι με την εφαρμογή του κυκλοφορητή στο σύστημα η ροή έχει πλήρως ανεπτυγμένες υδροδυναμικές συνθήκες. Σύμφωνα λοιπόν με αυτή την παραδοχή από την βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι ο μέσος αριθμός Nusselt υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση του Housen η οποία δίνεται :

$$\boldsymbol{Nu_m = 3,66 + \frac{0,0668\left(\frac{D}{L}\right) \times Re \times Pr}{1 + 0,04\left[\left(\frac{D}{L}\right) \times Re \times Pr\right]^{2/3}}} \qquad (4.3)$$

Όπου :

$\boldsymbol{h}$: η ειδική συναγωγιμότητα του υλικού

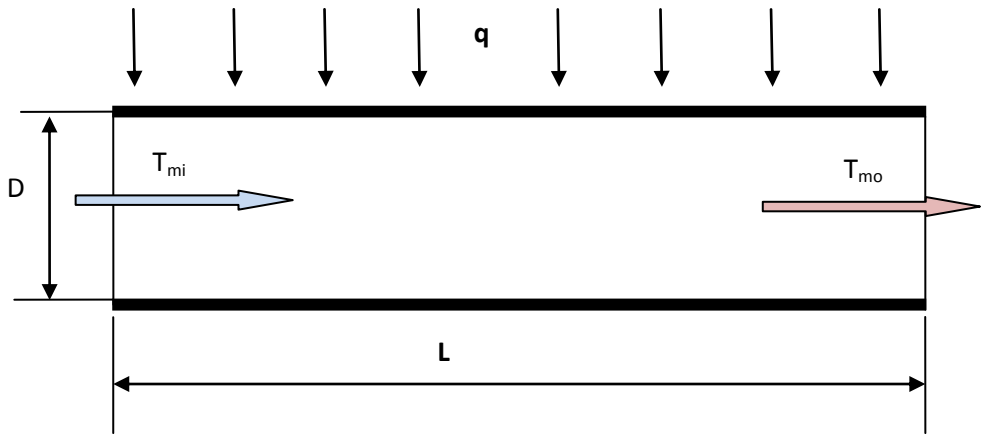
$\boldsymbol{k}$: η ειδική θερμική αγωγιμότητα του νερού

$\boldsymbol{D}$: η διάμετρος του αγωγού

$\boldsymbol{Re}$ **:** ο αριθμός Reynolds

Pr : αριθμός Prandtl και για νερό στους 80^{o}C Pr=2.22

Έτσι για ένα αγωγό μήκους L έχουμε την παρακάτω σχηματική διάταξη :



Σχήμα 4.2

Στην πιο πάνω σχηματική διάταξη οι θερμοκρασίες T_{mi} , T_{mo} αντιστοιχούν στις μέσες θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου από τον αγωγό. Έτσι η μέση θερμοκρασία του ρευστού υπολογίζεται από το τύπο :

$$\boldsymbol{T_m = \frac{T_{m,i} + T_{m,o}}{2}} \qquad (\mathbf{4.4})$$

Επισημαίνεται ότι η μέση θερμοκρασία T_m του ρευστού μεταβάλλεται εκθετικά κατά μήκος του αγωγού και προσεγγίζει ασυμπτωματικά την θερμοκρασία T_s του τοιχώματος ώστε τελικά η ροή να μην είναι πλήρως ανεπτυγμένη. Επίσης θεωρούμε ότι τα τοιχώματα του αγωγού είναι λεπτά και έχουμε ομοιόμορφη κατανομή της ενέργειας. Η διαδικασία υπολογισμού της θερμικής ισχύος που πρέπει να προσφέρουμε για να έχουμε θερμοκρασία εξόδου T_{mo} είναι η εξής :

Από την διατομή εισόδου μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική παροχή στον αγωγό από την σχέση

$$\boldsymbol{q_{pipe} \cong U_{in1} \times A_a \times \rho_w} \qquad \left[\frac{kg}{sec}\right] \qquad (\mathbf{4.5})$$

$\boldsymbol{q_{pipe}}$ **:** Παροχή του ρευστού στον αγωγό του συλλέκτη που βρίσκεται στο σημείο εστίασης σε kg/sec

$\boldsymbol{U_{in1}}$ **:** Μέση ταχύτητα εισόδου m/sec

$\boldsymbol{A_a}$: Διατομή εισόδου se m^2

$\boldsymbol{\rho_w}$ **:** Πυκνότητα νερού $\rho_w = 1000\ kg/m^3$

Και στη συνέχεια να υπολογίσουμε τον αριθμό Raynolds ο οποίος για νούμερα Re<2300 μας δίνει στρωτή ροή στον αγωγό . Έτσι ο αριθμός Reynolds δίνεται από τη σχέση :

$$\boldsymbol{Re = \frac{4 \times q_{pipe}}{\mu \times \pi \times D}} \qquad (\mathbf{4.6})$$

Όπου :

μ : είναι η δυναμική συνεκτικότητα του νερού εκφρασμένη σε Ns/m^2

Έτσι από τον αριθμό Nusselt και την σχέση ορισμού του γνωρίζω ότι :

$$\boldsymbol{h = \frac{Nu_m \times k}{D}} \qquad (\mathbf{4.7})$$

όπου :

$\boldsymbol{k}$: ειδική θερμική αγωγιμότητα του νερού και είναι ίση με $k = 0{,}668 \frac{W}{mK}$ $(80^o C)$

$\boldsymbol{h}$ *:* ειδική συναγωγιμότητα του νερού και εκφράζεται σε $\frac{W}{m^2 K}$

Έτσι το ρεύμα θερμότητα υπολογίζεται ως εξής :

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{useful,pipe}} = \boldsymbol{h} \times \boldsymbol{A}_{\boldsymbol{pipe}} \times \boldsymbol{L} \times (\boldsymbol{T}_{\boldsymbol{mo}} - \boldsymbol{T}_{\boldsymbol{mi}}) \qquad [\boldsymbol{W}] \qquad (\mathbf{4.8})$$

$\boldsymbol{A}_{\boldsymbol{pipe}}$ **:** περίμετρος του αγωγού

Αυτή είναι η συνολική ωφέλιμη ισχύς που προκύπτει για ένα αγωγό, που βρίσκεται στο σημείο εστίασης , και είναι η συνολική ενέργεια που πρέπει να δώσουμε στον αγωγό για να έχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου. Πολλαπλασιάζοντας αυτήν την ισχύ επί τον αριθμό των αγωγών που επιλέγουμε για να βρίσκονται στο σημείο εστίασης έχουμε την συνολική ωφέλιμη ισχύ του συλλέκτη ως εξής :

$$\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{useful}} = \boldsymbol{N}_{\boldsymbol{col}} \times \dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{useful,pipe}} \qquad (\mathbf{4.9})$$

$\boldsymbol{N}_{\boldsymbol{col}}$ **:** ο αριθμός των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε ένα πρόγραμμα που έγινε σε Matlab και θα δούμε την συμπεριφορά στο ρεύμα ισχύος $\dot{\boldsymbol{Q}}_{\boldsymbol{useful}}$ που εξάγεται από τους αγωγούς που βρίσκονται στο σημείο εστίασης του συλλέκτη, σύμφωνα με την μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου. Η μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου γίνεται λόγο της ανάπτυξης θερμοκρασίας στο δοχείο αποθήκευσης , έτσι εφόσον η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο αυξηθεί , έτσι και η θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη αυξάνεται και αυτό συμβαίνει όταν οι συνθήκες στο δοχείο αποθήκευσης είναι σταθερές, δηλαδή δεν έχουμε απότομές αλλαγές της θερμοκρασίας. Επίσης στο πρόγραμμα θα αναφέρουμε διαφορετικές διατομές του αγωγού, και διαφορετικό αριθμό των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης $\boldsymbol{N}_{\boldsymbol{col}}$ **.** Επίσης μεταβάλλουμε και την ταχύτητα εισόδου στον αγωγό $\boldsymbol{U_{in}}$ ***= 0.1-0.5 m/s.***

Έτσι παραθέτουμε το πρόγραμμα U-Flow και τις γραφικές που προκύπτουν από αυτό.

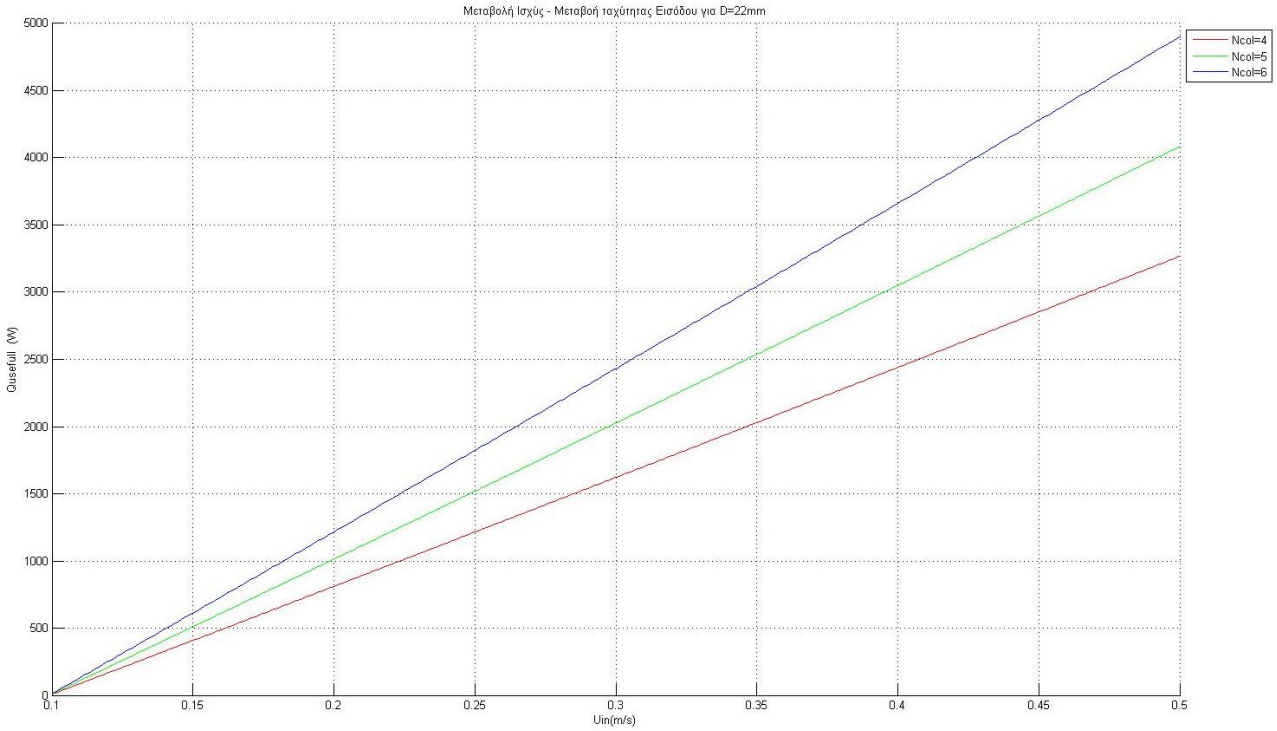
```
%%Θερμική συμπεριφορά ηλιακού συλλέκτη Μέρος 1ο - Program U-Flow%%
%%%%%όνομα : Οικονόμου Αντώνης
%%%%%Διπλωματική εργασία
%%%%%ΑΜ : 02105613


Cp=4200; % J/kgK Ειδική Θερμοχωρητικότητα νερού
D1=0.022; %Η διατομή εισόδου για D=22mm
D2=0.028; %Η διατομή εισόδου για D=28mm
D3=0.032; %Η διατομή εισόδου για D=32mm
mi=0.355; %Δυναμική συνεκτικότητα νερού
k=0.668;  %Ειδική αγωγιμότητα νερού
Tin=30;   % Θερμοκασία εισόδου στον αγωγό
Tout=80;  % Θερμοκρασία εξόδου από τον αγωγό
DT=10;
L1=1;     %Μήκος αγωγού
Pr=2.22;  % Αριθμός Prantdle για νερό


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%Για διάμετρο εισόδου D=22mm %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A1=(2*3.14*D1)/2;    %Περίμετρος αγωγού
k=0;
for i=0.1:0.001:0.5
    k=k+1;
    U(k,1)=0+i;
    q(k,1)=U(k)*A1*1000;         %Παροχή στην είσοδο
    Re(k,1)=(4*q(k,1))/(mi*3.14*D1);       %Αριθμός Reynolds
    if Re>2300
        disp('Ο αριθμός Reynold > 2300 οχι στρωτή ροή')
    end

Nu(k,1)=3.66+((0.0668*(D1/L1)*Re(k,1)*Pr)/(1+0.04*((D1/L1)*Re(k,1)*Pr
)^(2/3)));   %Αριθμός Nusselt
    h(k,1)=(Nu(k,1)*k)/D1;
    Quse(k,1)=h(k,1)*3.14*A1*L1*DT;  %Ισχύς εξόδου από τον αγωγό
    Quse1(k,1)=4*Quse(k,1);
    Quse2(k,1)=5*Quse(k,1);
    Quse3(k,1)=6*Quse(k,1);

end


figure(1)
grid on
hold on
title('Μεταβολή Ισχύς - Μεταβοή ταχύτητας Εισόδου για D=22mm')
Xlabel('Uin(m/s)'), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(U(:,1),Quse1(:,1),'red');
plot(U(:,1),Quse2(:,1),'green');
plot(U(:,1),Quse3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');
```

```
%%%%% Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς για ταχύτητα Uin=0.25
%%%%%%
A1=(2*3.14*D1)/2;
U1=0.25 ; %Επιλέγω μια μέση ταχύτητα
k=0;
for i=5:1:50
    k=k+1;
    DT1(k,1)=0+i;
    q=U1*A1*1000;
    Re=(4*q)/(mi*3.14*D1);
    Nu=3.66+((0.0668*(D1/L1)*Re*Pr)/(1+0.04*((D1/L1)*Re*Pr)^(2/3)));
    h=(Nu*k)/D1;
    Qus(k,1)=h*3.14*A1*L1*DT1(k,1);
    Qus1(k,1)=4*Qus(k,1);
    Qus2(k,1)=5*Qus(k,1);
    Qus3(k,1)=6*Qus(k,1);

end


figure(2)
grid on
hold on
title('Μεταβολή Της θερμοκρασιακής διαφοράς ΔΤ για αγωγό D=22mm')
Xlabel('ΔΤ '), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(DT1(:,1),Qus1(:,1),'red');
plot(DT1(:,1),Qus2(:,1),'green');
plot(DT1(:,1),Qus3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%Για διάμετρο εισόδου D=28mm %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%


%%%%% Μεταβολή της ταχύτητας %%%%%%
A2=(2*3.14*D2)/2;
k=0;
for i=0.1:0.001:0.5
    k=k+1;
    U(k,1)=0+i;
    q(k,1)=U(k)*A2*1000;
    Re(k,1)=(4*q(k,1))/(mi*3.14*D2);
    if Re>2300
        disp('Ο αριθμός Reynold > 2300 οχι στρωτή ροή')
    end

Nu(k,1)=3.66+((0.0668*(D2/L1)*Re(k,1)*Pr)/(1+0.04*((D2/L1)*Re(k,1)*Pr
)^(2/3)));
    h(k,1)=(Nu(k,1)*k)/D2;
    Quse(k,1)=h(k,1)*3.14*A2*L1*DT;
    Quse1(k,1)=4*Quse(k,1);
    Quse2(k,1)=5*Quse(k,1);
    Quse3(k,1)=6*Quse(k,1);

end


figure(3)
```

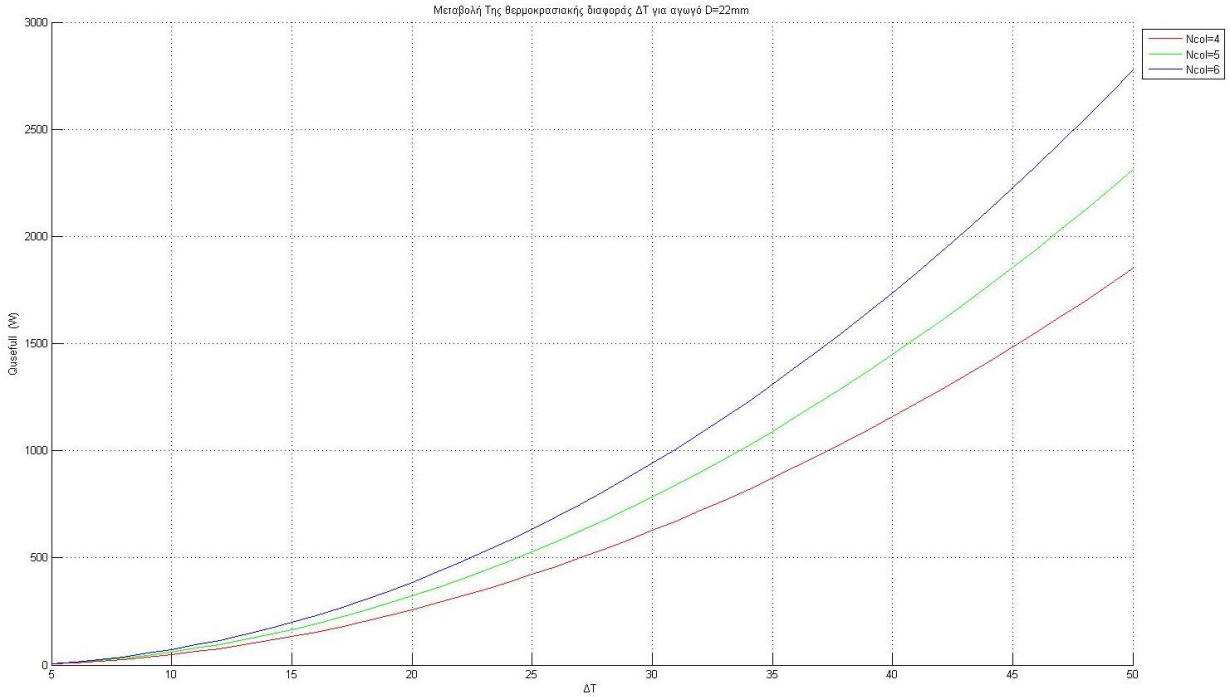
```
grid on
hold on
title('Μεταβολή Ισχύς - Μεταβοή ταχύτητας Εισόδου για D=28mm')
Xlabel('Uin(m/s)'), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(U(:,1),Quse1(:,1),'red');
plot(U(:,1),Quse2(:,1),'green');
plot(U(:,1),Quse3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%% Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς για ταχύτητα Uin=0.25
%%%%%%
A2=(2*3.14*D2)/2;
U1=0.25 ; %Επιλέγω μια μέση ταχύτητα
k=0;
for i=5:1:50
    k=k+1;
    DT2(k,1)=0+i;
    q=U1*A2*1000;
    Re=(4*q)/(mi*3.14*D2);
    Nu=3.66+((0.0668*(D2/L1)*Re*Pr)/(1+0.04*((D2/L1)*Re*Pr)^(2/3)));
    h=(Nu*k)/D2;
    Qus(k,1)=h*3.14*A2*L1*DT2(k,1);
    Qus1(k,1)=4*Qus(k,1);
    Qus2(k,1)=5*Qus(k,1);
    Qus3(k,1)=6*Qus(k,1);

end


figure(4)
grid on
hold on
title('Μεταβολή Της θερμοκρασιακής διαφοράς ΔΤ  για αγωγό D=28mm')
Xlabel('ΔΤ '), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(DT2(:,1),Qus1(:,1),'red');
plot(DT2(:,1),Qus2(:,1),'green');
plot(DT2(:,1),Qus3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%% Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς για ταχύτητα Uin=0.25
%%%%%%



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%Για διάμετρο εισόδου D=32mm %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

A3=(2*3.14*D3)/2;
k=0;
for i=0.1:0.001:0.5
    k=k+1;
    U(k,1)=0+i;
    q(k,1)=U(k)*A3*1000;
    Re(k,1)=(4*q(k,1))/(mi*3.14*D2);
    if Re>2300
```

```
        disp('Ο αριθμός Reynold > 2300 οχι στρωτή ροή')
    end

Nu(k,1)=3.66+((0.0668*(D3/L1)*Re(k,1)*Pr)/(1+0.04*((D3/L1)*Re(k,1)*Pr
)^(2/3)));
    h(k,1)=(Nu(k,1)*k)/D2;
    Quse(k,1)=h(k,1)*3.14*A3*L1*DT;
    Quse1(k,1)=4*Quse(k,1);
    Quse2(k,1)=5*Quse(k,1);
    Quse3(k,1)=6*Quse(k,1);

end


figure(5)
grid on
hold on
title('Μεταβολή Ισχύς - Μεταβοή ταχύτητας Εισόδου για D=32mm')
Xlabel('Uin(m/s)'), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(U(:,1),Quse1(:,1),'red');
plot(U(:,1),Quse2(:,1),'green');
plot(U(:,1),Quse3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');

%%%%% Μεταβολή της θερμοκρασιακής διαφοράς για ταχύτητα Uin=0.25
%%%%%%
A3=(2*3.14*D3)/2;
U1=0.25 ; %Επιλέγω μια μέση ταχύτητα
k=0;
for i=5:1:50
    k=k+1;
    DT3(k,1)=0+i;
    q=U1*A3*1000;
    Re=(4*q)/(mi*3.14*D3);
    Nu=3.66+((0.0668*(D3/L1)*Re*Pr)/(1+0.04*((D3/L1)*Re*Pr)^(2/3)));
    h=(Nu*k)/D3;
    Qus(k,1)=h*3.14*A3*L1*DT3(k,1);
    Qus1(k,1)=4*Qus(k,1);
    Qus2(k,1)=5*Qus(k,1);
    Qus3(k,1)=6*Qus(k,1);

end


figure(6)
grid on
hold on
title('Μεταβολή Της θερμοκρασιακής διαφοράς ΔΤ για αγωγό D=32mm')
Xlabel('ΔT '), ylabel('Qusefull  (W)');
plot(DT3(:,1),Qus1(:,1),'red');
plot(DT3(:,1),Qus2(:,1),'green');
plot(DT3(:,1),Qus3(:,1),'blue');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');
```

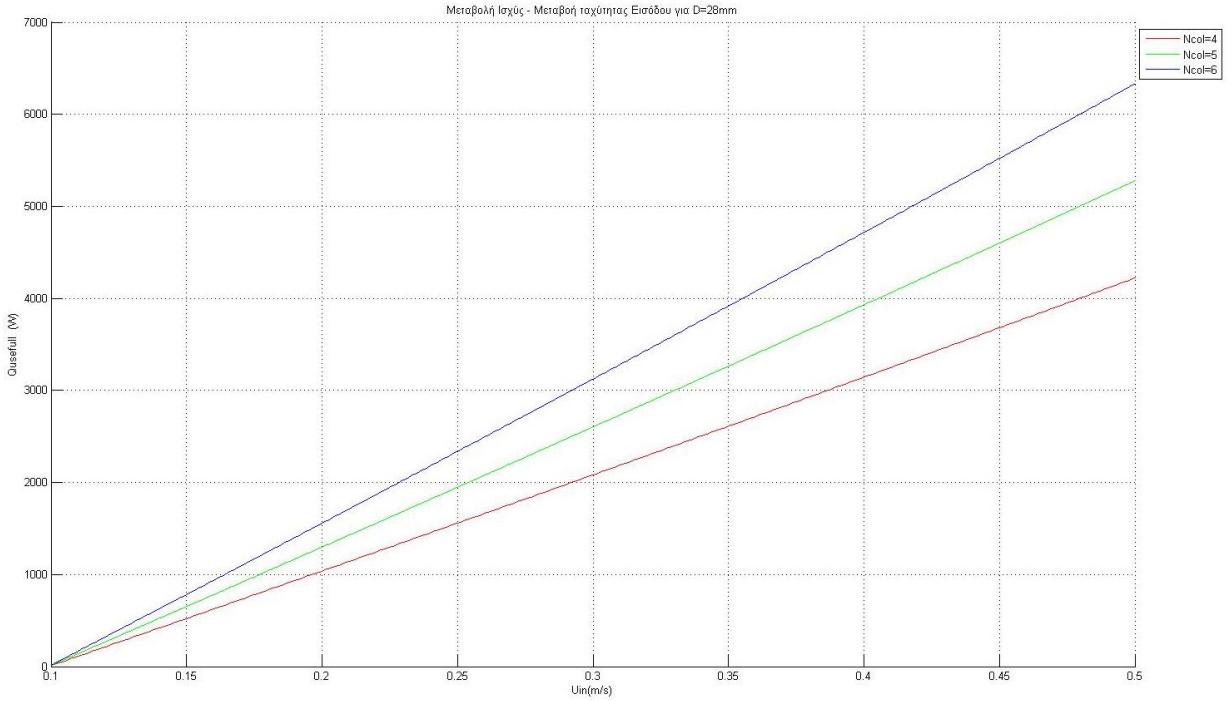
Διάγραμμα Νο1 : Μεταβολή της ταχύτητας εισόδου στον αγωγό διαμέτρου D=22mm



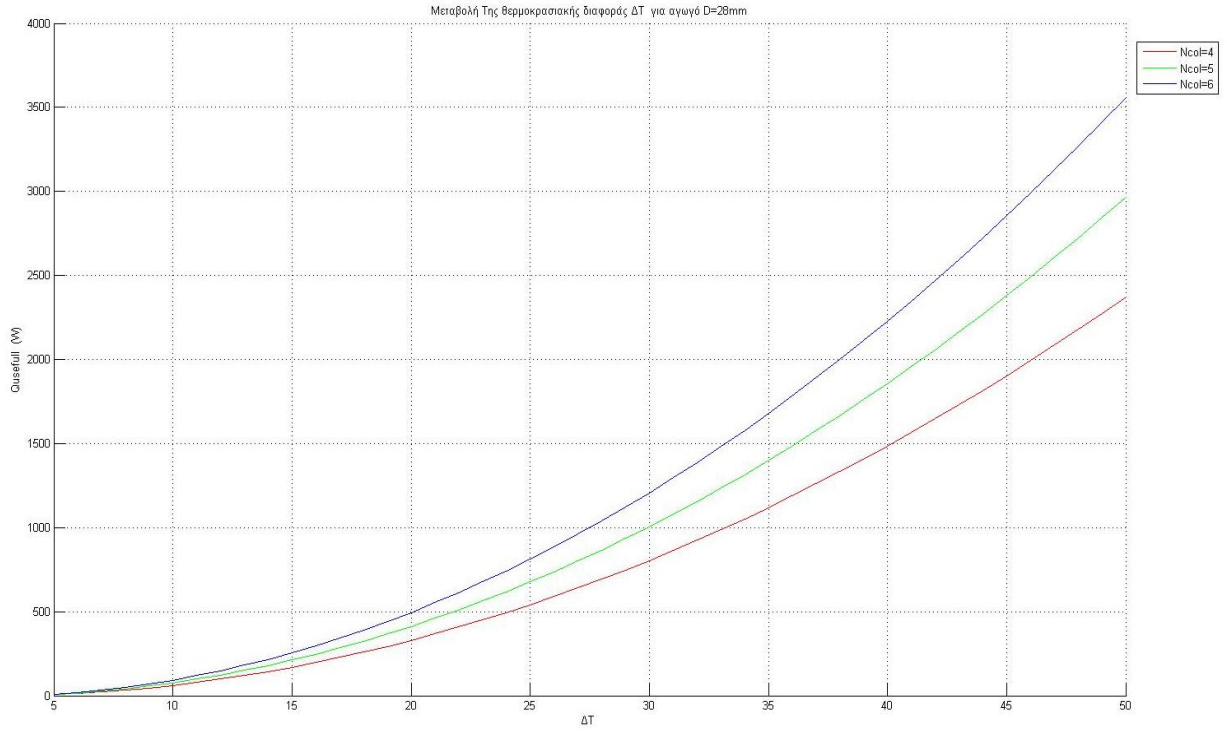
Διάγραμμα Νο2: Μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας εισόδου εξόδου στον αγωγό διαμέτρου D=22mm



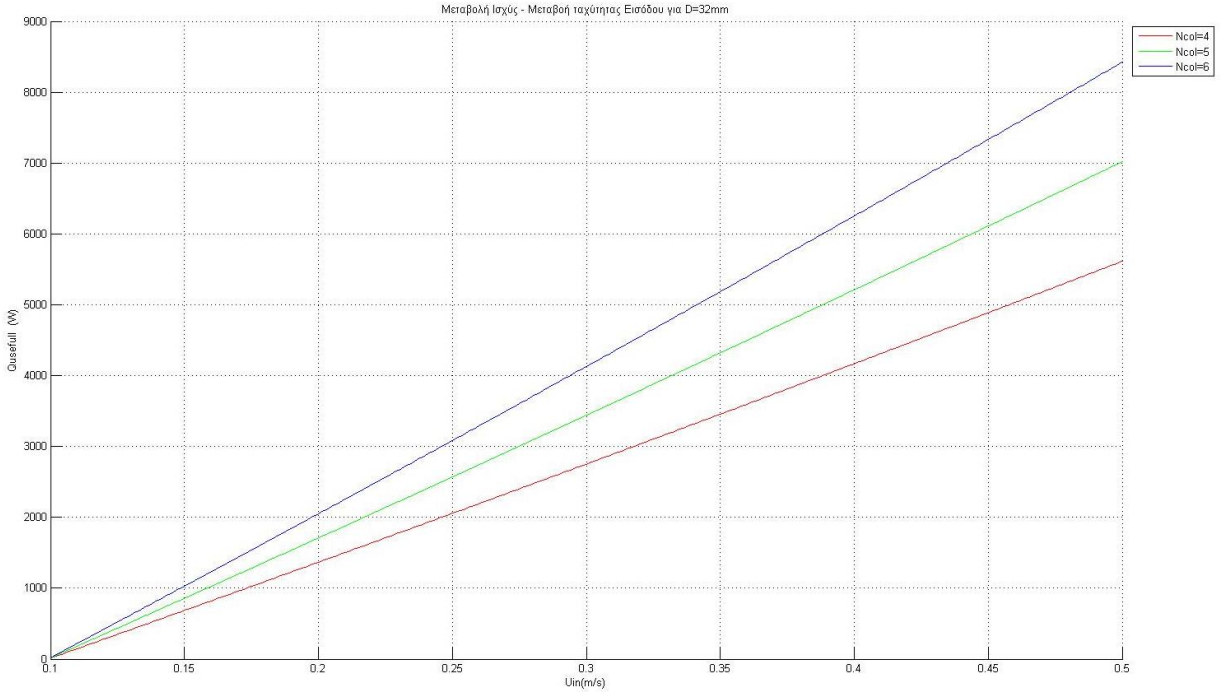
Διάγραμμα Νο3: Μεταβολή της ταχύτητας εισόδου στον αγωγό διαμέτρου D=28mm



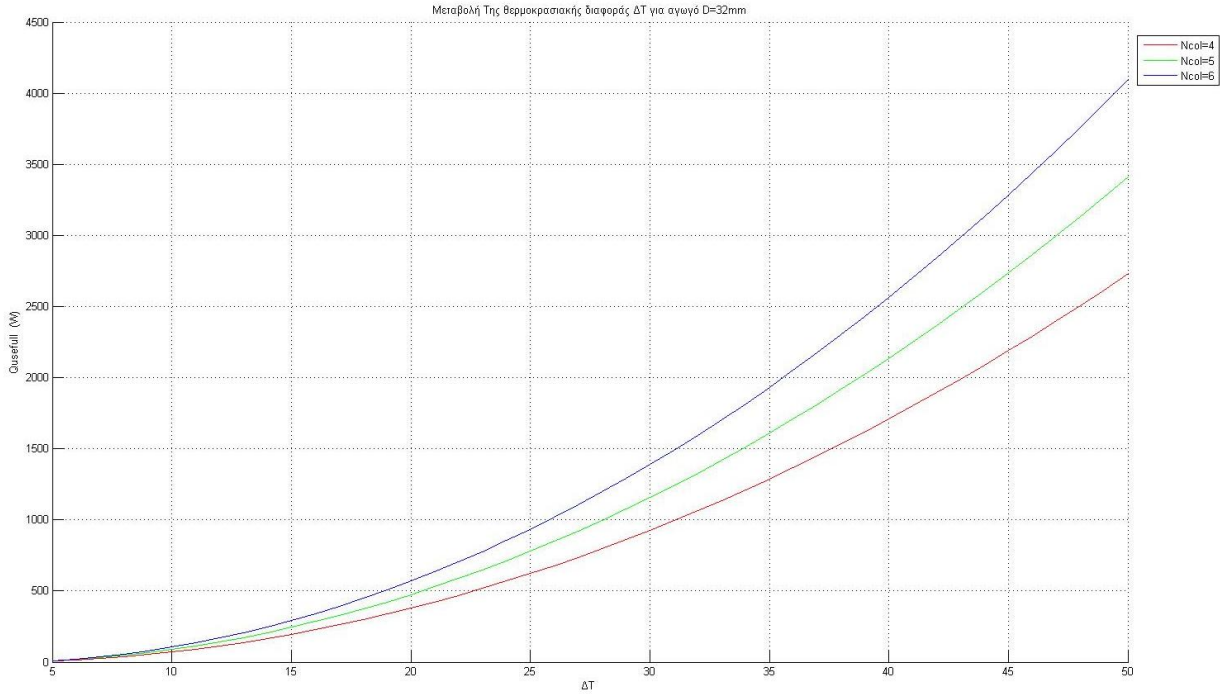
Διάγραμμα Νο4: Μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας εισόδου εξόδου στον αγωγό διαμέτρου D=28mm



Διάγραμμα Νο5: Μεταβολή της ταχύτητας εισόδου στον αγωγό διαμέτρου D=32mm



Διάγραμμα Νο6: Μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας εισόδου εξόδου στον αγωγό διαμέτρου D=32mm



4.3.4 Ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων προγράμματος U-Flow

Στο πρόγραμμα που έγινε η πρώτη παράμετρος που δόθηκε είναι η επιλογή του αριθμού των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης. Στη περίπτωση αυτή δώσαμε τις τιμές για τους αγωγούς που βρίσκονται στο σημείο εστίασης N_{col} = 4,5,6 (κόκκινο , πράσινο και μπλε χρώμα στις γραφικές αντίστοιχα). Επίσης , όπως προαναφέραμε η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για διαφορετικές διατομές του αγωγού, με διαμέτρους D=22,28,32 mm .

Το πρώτο σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα ποιο πάνω διαγράμματα είναι ότι μεταβάλλοντας την ταχύτητα του που ρέει στον αγωγό , για να έχουμε την επιθυμητή αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta T=(T_{out} – T_{in})$, τα ποσά ενέργειας που πρέπει να δώσουμε στον αγωγό αυξάνονται, και σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι αυτά αυξάνονται γραμμικά . Από τα διαγράμματα No 1,3,5 , παρατηρούμε 3ις ευθείες με που ξεκινούν από την αρχή των αξόνων , με διαφορετικές κλίσεις. Προσοχή πρέπει να δώσουμε στο γεγονός ότι, όσο αυξάνουμε τον αριθμό των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης (N_{col}) τόσο και τα ποσά ενέργειας που πρέπει να προσδώσουμε σε αυτούς είναι μεγαλύτερα, αλλά αυτό σημαίνει ότι τόσο περισσότερα ποσά ενέργειας θα πάρουμε κατά την εναλλαγή στο δοχείο αποθήκευσης του νερού αφού έχουμε αυξημένη παροχή. Έτσι κατά την επιλογή του αριθμού των αγωγών που θα τοποθετηθούν στο σημείο εστίασης, σε κάθε περίπτωση αν δώσουμε μια συγκεκριμένη ταχύτητα , έχουμε το συνολικό ποσό ενέργειας που πρέπει να απορροφηθεί από τον αγωγό για να έχουμε επιθυμητά αποτελέσματα.

Από το δεύτερο είδος των γραφικών , δηλαδή τα διαγράμματα No 2,4,6 , προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσο η διαφορά θερμοκρασίας κατά την είσοδο στον απορροφητή και την έξοδο του μικραίνει , τόσο μικραίνει και η συνολική ενέργεια που απορροφάται. Η διαδικασία αυτή έγινε για σταθερή ταχύτητα, αφού στο σύστημα έχουμε προσαρμόσει κυκλοφορητή ο οποίος θα δίνει μια συγκεκριμένη παροχή νερού στους αγωγούς. Παρατηρούμε ότι όταν η διαφορά θερμοκρασίας γίνει ίση με μηδέν , τότε δεν πρέπει να απορροφηθεί άλλο ποσό ενέργειας, αυτό όμως πρακτικά δεν ισχύει γιατί κατά κύριο λόγο κατά την μεταφορά του νερού από τους εξωτερικούς σωλήνες, έχουμε απώλειες, έτσι πάντα θα υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας. Στην περίπτωση όμως που αυτή η διαφορά έχει μειωθεί στο ελάχιστο, και τις ώρες αιχμής ο συλλέκτης συνεχίσει να απορροφά ποσά ενέργειας, τότε υπάρχει η πιθανότητα το νερό να φτάσει στο σημείο βρασμού και να έχουμε ατμοποίηση του. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με την τοποθέτηση μιας βαλβίδας ελέγχου της πιέσεως κατά την έξοδο από τους απορροφητές (σχήμα 4.1) .

4.4 Μεταφορά θερμότητας – ισοζύγιο θερμικής ακτινοβολίας

Το θερμικό ισοζύγιο κατά την πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών στον αγωγό εκφράζεται από την παρακάτω σχέση :

$$\dot{E}_{inc} = \dot{Q}_{useful} + \dot{Q}_{loss} \qquad (4.10)$$

$\dot{Q}_{useful}$: Η συνολική ενέργεια που αποδίδει ο συλλέκτης (αγωγός) μετρημένη σε Watt (W)

$\dot{Q}_{loss}$: Θερμικές απώλειες του συλλέκτη μετρημένες σε Watt (W)

$\dot{E}_{inc}$: Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον συλλέκτη μετρημένη σε Watt (W)

Άρα για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που χρειαζόμαστε από την ηλιακή ακτινοβολία θα εξαρτάται από την συνολική ωφέλιμη ενέργεια και τις απώλειες του συλλέκτη .

Η συνολική ενέργεια της ακτινοβολίας που προσπίπτει στον αγωγό δίνεται από τη σχέση :

$$\dot{E}_{inc} = I_a \times A_{col} \qquad [W] \qquad (4.11)$$

I_a : Η ηλιακή ενέργεια σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο , W/m^2

A_{col} : Η επιφάνεια συνολική επιφάνεια του συλλέκτη που προσπίπτει κάθετα η ηλιακή ακτινοβολία

4.5 Απώλειες στο συλλέκτη

4.5.1 Θερμικές απώλειες του συλλέκτη

Οι συνολικές απώλειες του συλλέκτη είναι ίσες με το άθροισμα των όρων της παρακάτω σχέσης :

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{loss,convection} + \dot{Q}_{loss,radiation} + \dot{Q}_{loss,conduction} \qquad [W] \qquad (4.12)$$

$\dot{Q}_{loss,convection}$: Είναι οι απώλειες οι οποίες οφείλονται στη συναγωγή , όταν ο αγωγός είναι εκτεθειμένος στη θερμοκρασία περιβάλλοντος , μετρημένες σε Watt

$\dot{Q}_{loss,radiation}$: Είναι οι απώλειες που οφείλονται στην ακτινοβολία του θερμού αγωγού. Αυτό το είδος απωλειών αφορά συλλέκτες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και για αυτό το λόγο δεν θα τις συμπεριλάβουμε στην γενική εξίσωση

$\dot{Q}_{loss,conduction}$: Η θερμότητα που μεταδίδεται με αγωγή όταν ο αγωγός έρχεται σε επαφή με άλλα υλικά, όπως για παράδειγμα τα μονωτικά υλικά , και τα υλικά στις πλαϊνές θήκες των κύριων αγωγών . Οι απώλειες αυτές είναι περίπου ίσες με το 8% της συνολικής ωφέλιμης ισχύς που δίνεται από τον συλλέκτη.

Απώλειες συναγωγής του κυλινδρικού αγωγού – στο σημείο εστίασης , εκφράζονται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$\dot{Q}_{loss,convection} = \bar{h}_c A_\gamma (T_\gamma - T_\alpha) \qquad [W] \qquad (4.13)$$

$\bar{h}_c$ **:** Συντελεστής ειδικής συναγωγιμότητας του χαλκού μετρημένη σε W/m^{2}K

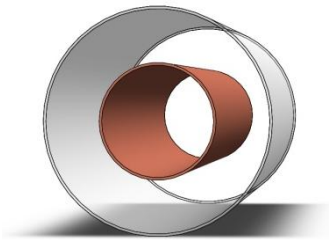
A_γ **:** Επιφάνεια αγωγού μετρημένη σε m^2

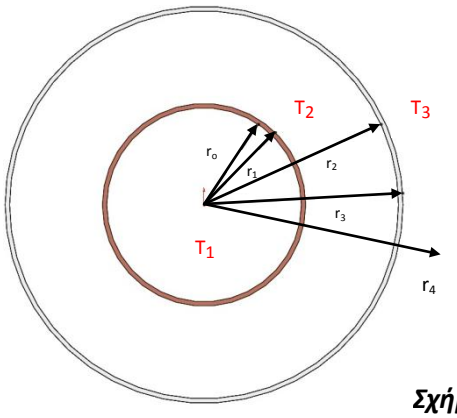
T_γ **:** Μέση θερμοκρασία αγωγού μετρημένη σε ^{o}C

T_a : Θερμοκρασία περιβάλλοντα χώρου ^{o}C

Κατά την σχεδίαση του αγωγού έχει προβλεφθεί η μόνωση του έτσι ώστε να μην έχουμε απώλειες λόγο συναγωγής με το περιβάλλον, έτσι τοποθετούμε στο εξωτερικό του αγωγού ένα κυλινδρικό γυαλί (κατά προτίμηση κρύσταλλο με χαμηλή περιεκτικότητα σε μέταλλο) στο οποίο μπορούμε να απομονώσουμε τον αέρα και να μειώσουμε έτσι στο μέγιστο τις απώλειες. Η δημιουργία όμως απόλυτου κενού στοιχίζει και απαιτεί χρονοβόρα διαδικασία , έτσι το μόνο που μπορούμε να κάνουμε είναι να αφαιρέσουμε όσο αέρα περιβάλλοντος μπορούμε με την χρήση βαλβίδας κενού , και να προσθέσουμε στεγανωτικά στοιχεία για καλύτερα αποτελέσματα (η διαδικασία σχεδιασμού θα αναφερθεί σε επόμενα κεφάλαια) . Έτσι στο παρόν στάδιο θα υπολογίσουμε την διατομή που πρέπει να έχει ο μονωτής , κάνοντας χρήση της θεωρίας μονοδιάστατης μεταφοράς θερμότητας με αγωγή σε σύνθετο κυλινδρικό σώμα.

Ο αγωγός σε συνδυασμό με το μονωτικό κρύσταλλο έχει ως εξής :





Σχήμα 4.3

Όπου ισχύουν τα εξής:

- $\mathbf{r_0}$: εσωτερική ακτίνα χάλκινου αγωγού σε m
- $\mathbf{r_1}$: εξωτερική ακτίνα χάλκινου αγωγού σε m
- $\mathbf{r_2}$: εσωτερική ακτίνα γυάλινου κυλινδρικού σώματος σε m
- $\mathbf{r_3}$: εξωτερική ακτίνα γυάλινου κυλινδρικού σώματος σε m

*Για τις τιμές των $r_{2,3}$, θα δώσουμε διάφορες τιμές έτσι ώστε να δούμε πώς μεταβάλλονται οι απώλειες.

- $\mathbf{h_{c0}}$ = 1000 W/m^2 K
- $\mathbf{h_{c1}}$ = 15 W/m^2 K
- $\mathbf{h_{c2}}$ = 1.1 W/m^2 K
- $\mathbf{h_{c3}}$ = 0.8 W/m^2 K

*Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από μελέτες που είδη έχουν γίνει για τα υλικά του χαλκού και του κρύσταλλου.

Για τον μονωμένο αγωγό οι απώλειες θερμότητας ανά μονάδα μήκους προκύπτουν από τη σχέση :

$$\frac{\boldsymbol{Q_{loss}}}{\boldsymbol{L}} = \frac{\boldsymbol{T_1 - T_3}}{\boldsymbol{R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14)}$$

Όπου R_i είναι οι επί μέρους απώλειες :

$$\boldsymbol{R_0 = \frac{1}{2\pi r_0 h_{c0}}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{mK}}{\boldsymbol{W}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14.1)}$$

$$\boldsymbol{R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{2\pi r_1 h_{c1}}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{mK}}{\boldsymbol{W}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14.2)}$$

$$\boldsymbol{R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi r_2 h_{c2}}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{mK}}{\boldsymbol{W}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14.3)}$$

$$\boldsymbol{R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi r_3 h_{c3}}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{mK}}{\boldsymbol{W}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14.4)}$$

$$\boldsymbol{R_4 = \frac{1}{2\pi r_3 h_{c3}}} \qquad \left[\frac{\boldsymbol{mK}}{\boldsymbol{W}}\right] \qquad \boldsymbol{(4.14.5)}$$

Όπου

$\boldsymbol{L}$: Είναι το μήκος του αγωγού

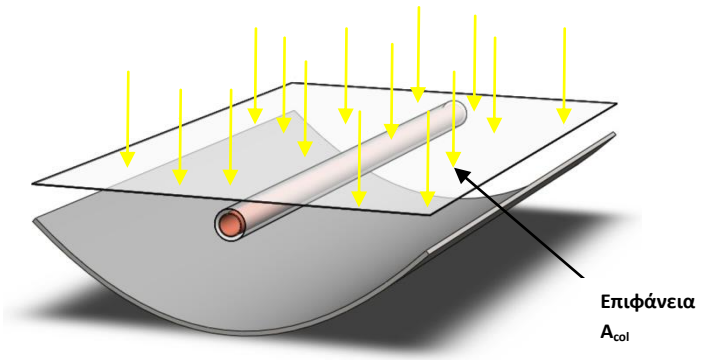
Έτσι συνδυάζοντας τις σχέσεις 4.7 , 4.8 , 4.11 καταλήγουμε στην εξής γενική έκφραση

$$\dot{E}_{inc} = \dot{Q}_{useful} + \dot{Q}_{loss} \quad [W] \qquad (4.15)$$

$$A_{col} = \frac{\dot{Q}_{useful} + \dot{Q}_{loss}}{I_a} \quad [m^2] \qquad (4.15a)$$

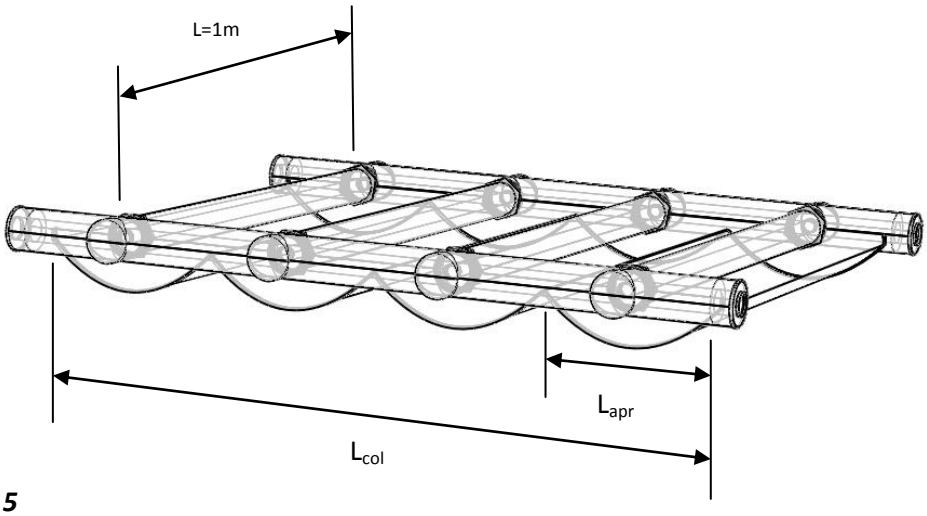
Όπου I_a , είναι η συνολική ισχύς για την ακτινοβολία εκφρασμένη σε W/m^2 , και θα στους υπολογισμούς του προγράμματος θα δοθούν αρκετές τιμές σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της ΕΜΥ (Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας) και της ΤΟΤΕΕ (Τεχνικής Οδηγίας Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος) όσο αφορά την ηλιακή ακτινοβολία.

Η επίπεδη επιφάνεια A_{col} **(Σχήμα 4.3)** είναι το ζητούμενο σε αυτή την έρευνα. Θα προσπαθήσουμε όμως να προσαρμόσουμε τις χαλκοσωλήνες σύμφωνα με τα μεγέθη που πωλούνται στην αγορά , έτσι ώστε να μειώσουμε την απόρριψη υλικού σε μεγάλες ποσότητες . Έτσι γνωρίζοντας το μήκος του αγωγού έχουμε την μία διάσταση της επιφάνειας που ψάχνουμε. Η άλλη διάσταση , θα είναι και αυτή που θα δώσει το άνοιγμα της παραβολοειδούς καμπύλης, έτσι ώστε να επιλέξουμε και στη συνέχεια μια βέλτιστη γωνία ανοίγματος (Rim Angle) με αποτέλεσμα η συνολική ισχύς από την ηλιακή ακτινοβολία να είναι αρκετή για την θέρμανση του νερού.



Σχήμα 4.4

Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν στο εμπόριο , μπορούμε να επιλέξουμε το μήκος του αγωγού, ο οποίος μπορεί να είναι 1m. Έτσι αφού γνωρίζοντας το μήκος L=1m , πρέπει απλά να υπολογίσουμε το μήκος του συλλέκτη L_{col} . Έτσι η συνολική επιφάνεια A_{col} , καθορίζει το άνοιγμα της παραβολής , όμως αυτό θα καθοριστεί και από τον αριθμό των αγωγών που επιλέξαμε για το σημείο συγκέντρωσης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται αναλυτικά ο τρόπος επιλογής του ανοίγματος της παραβολής.



Σχήμα 4.5

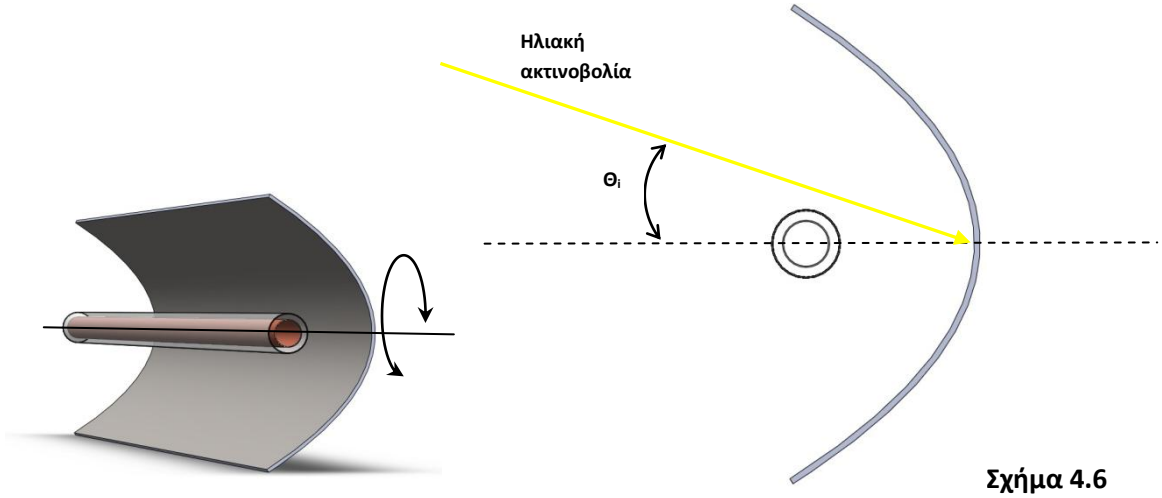
$$A_{col} = L_{col} \times 1 \qquad [m^2] \qquad (4.15)$$

Το L_{apr} ,δίνει το άνοιγμα της παραβολής.

*Η επιφάνεια A_{col} που υπολογίζεται από τους πιο πάνω τύπους δεν είναι η συνολική επιφάνεια των παραβολοειδών κατόπτρων , αλλά συμβολίζει την συνολική επίπεδη επιφάνεια που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία σε W/m^2 . Στη συνέχεια υπολογίζεται και η συνολική επιφάνεια των παραβολοειδών κατόπτρων αφού οι επιφάνειες αυτές είναι που να συγκεντρώσουν όλα τα ποσά ενέργειας.

4.5.2 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη κατά προσέγγιση , εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινοβολιών στο συλλέκτη. Στην κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών υπάρχουν 2 περιπτώσεις περιστροφής του συλλέκτη , έτσι ώστε οι ηλιακές ακτινοβολίες να προσπίπτουν όσο το δυνατόν πιο κάθετα σε αυτόν . Η κατασκευή του συστήματος έτσι ώστε αυτό να περιστρέφεται κατά δύο άξονες , στοιχίζει και για αυτό θα ασχοληθούμε μόνο με την κατασκευή συλλέκτη που περιστρέφεται μόνο κατά τον ένα άξονα. Ο άξονας περιστροφής και η γωνία θ_1 που προκύπτει εάν ο συλλέκτης παραμένει σταθερός φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4.6

Έτσι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συλλέκτη , όταν η γωνία πρόσπτωσης δεν είναι μηδέν δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\boldsymbol{n_{col} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{I_a \times A_{col}} \times \cos\theta_i = \frac{\dot{E}_{inc} - \dot{Q}_{loss}}{I_a \times A_{col}} \times \cos\theta_i} \qquad (\mathbf{4.16})$$

Όπου : Η γωνία πρόσπτωσης $\boldsymbol{\theta_i}$ φαίνεται στο ***σχήμα 4.5***

Όμως ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη πρέπει να υπολογίζεται και σύμφωνα με τον βαθμό απόδοσης της ανακλαστικής ικανότητας των κατόπτρων. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η ικανότητα τόσο καλύτερη απόδοση του συστήματος έχουμε. Για να γίνει όμως αυτό, θα πρέπει να εξασφαλίσουμε την ομαλή λειτουργία των κατόπτρων, δηλαδή να κατασκευαστούν με ένα τρόπο έτσι ώστε οι ακαθαρσίες της ατμόσφαιρας να μην επικολλώνται στην επιφάνεια και η ανακλαστική ιδιότητα να παραμορφώνεται. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με επικάλυψη του όλου συστήματος με διαφανή επιφάνεια στο επάνω μέρος , είτε με κάποιες ειδικές μορφές νανοτεχνολογίας ή επικάλυψης Teflon για την αποφυγή του προβλήματος.

Έτσι προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ως εξής :

$$\boldsymbol{n_{tot,col} = n_{col} \times n_{optic}} \qquad (\mathbf{4.17})$$

4.6 Υπολογισμός της επιφάνειας του συλλέκτη

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη επιφάνεια $\boldsymbol{A_{col}}$ που πρέπει να κατασκευάσουμε τον συλλέκτη, έτσι ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η

διαδικασία αυτή γίνεται επίσης σε πρόγραμμα Matlab έτσι ώστε να προκύψουν γραφήματα τα οποία θα μας βοηθήσουν να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη επιλογή. Όμως για να προχωρήσουμε την διαδικασία αυτή , πρέπει να δώσουμε κάποιες τιμές για την ωφέλιμη ισχύ που προκύπτει από τον συλλέκτη. Όπως παρατηρήσαμε στις γραφικές που προέκυψαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, όσο αυξάνουμε τον αριθμό των αγωγών που βρίσκονται στα σημεία εστίασης , τόσο αυξάνεται και η ωφέλιμη ισχύς, αλλά και η διαφορά στη διατομή του αγωγού έχουμε σημαντικές μεταβολές στην ωφέλιμη ισχύ. Για λόγους πληρότητας το πρόγραμμα που ακολουθεί είναι φτιαγμένο και για τις 3ις διαμέτρους που επιλέξαμε, έτσι ώστε να έχουμε μια συνολική εικόνα των μεταβολών.

Η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής :

Βήμα 1^{o} : Επιλογή της ταχύτητας εισόδου στον αγωγό για τις διατομές D_1=22mm , D_1=28mm, D_1=32mm και στη συνέχεια από τα διαγράμματα 1,3,5 αντίστοιχα έχουμε την ωφέλιμη ισχύ $\dot{Q}_{useful}$ του συλλέκτη, αντίστοιχα για τον αριθμό των αγωγών που θέσαμε (N_{col} = 4,5,6) .

Βήμα 2^{o} : Από τις σχέσεις 4.12 και 4.14 υπολογίζουμε τις απώλειες στον αγωγό του συλλέκτη. Όμως για να υπολογίσουμε αυτές τις απώλειες πρέπει να δώσουμε μια τιμή για την ακτίνα και το πάχος του κυλινδρικού διαφανούς σώματος που θα χρησιμοποιήσουμε για μόνωση του αγωγού. Από το εμπόριο γνωρίζουμε ότι το πάχος κρύσταλλου χαμηλού σε ποσότητα μετάλλου για να έχει ικανοποιητική είναι γύρω στα 3,2mm. Η διάμετρος του διαφανή σωλήνα θα την επιλέξουμε ίση με το τριπλάσιο αυτής του αγωγού.

Βήμα 3^{o} : Από μελέτες που έγιναν στο παρελθόν γνωρίζουμε ότι η παγκόσμια ηλιακή σταθερά $\boldsymbol{I_{as} = 1326\ W/m^2}$, και στην μελέτη του προγράμματος θα μεταβάλουμε αυτή τη τιμή αφού δεν μπορεί να είναι σταθερά , λόγω του ότι αρκετές φορές η ατμόσφαιρα λόγω της υγρασίας ή και διαφόρων άλλων μικροσωματιδίων μειώνεται έτσι η τελική ισχύς του συλλέκτη μειώνεται. Η μεταβολή που θα δώσουμε για αυτή τη τιμή είναι από 900 W/m^2 ~ 1400 W/m^2 , για να καλύψουμε όλα τα ενδεχόμενα. Έτσι η σχέση 4.15 α , μας δίνει την επιφάνεια που πρέπει να κατασκευαστεί ο συλλέκτης.

Βήμα 4^{o} : Ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης χωρίς απώλειες από την ανακλαστική ικανότητα του κατόπτρου , γίνεται με βάση τον τύπο 4.16 , και για να δούμε πως συμπεριφέρεται ο συλλέκτης μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινοβολιών, θα μεταβάλουμε την γωνία θ_i για τις τιμές από 0~15^{o} .

Παρακάτω δίνεται το πρόγραμμα σε Matlab σύμφωνα με τις τιμές που προέκυψαν από τις γραφικές 1-6 , και δίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 1

N_{col} (ο αριθμός των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης)	Μέση ταχύτητα εισόδου U_{in}(m/s) για διατομή D (mm) αγωγού		Ωφέλιμη ισχύς Q_{use} (Watt)
N_{col} = 4	**D=22mm**	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use1} = 2.9 kW**
	D=28mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use2} = 3.1 kW**
	D=32mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use3} = 4.1 kW**
N_{col} = 5	**D=22mm**	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use4} = 3.1 kW**
	D=28mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use5} = 4 kW**
	D=32mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use6} = 5.2 kW**
N_{col} = 6	**D=22mm**	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use7} = 3.7 kW**
	D=28mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use8} = 4.8 kW**
	D=32mm	**U_{in} = 0.4 m/s**	**Q_{use9} = 6.2 kW**

Έτσι σύμφωνα με τις πιο πάνω παρατηρήσεις, και τα βήματα που προαναφέραμε , δημιουργήθηκε το 2^{ο} μέρος του προγράμματος **U-Flow** , και το οποίο δίνεται παρακάτω:

```
%%%%%Θερμική συμπεριφορά ηλιακού συλλέκτη Μέρος 2ο – U-Flow%%%%%
%%%%%Υπολογισμός επιφάνειας συλλέκτη%%%%%%%
%%%%%όνομα : Οικονόμου Αντώνης
%%%%%Διπλωματική εργασία
%%%%%ΑΜ : 02105613


Cp=4200; % J/kgK Ειδική Θερμοχωρητικότητα νερού
D1=0.022; %Η διατομή εισόδου για D=22mm
D2=0.028; %Η διατομή εισόδου για D=28mm
D3=0.032; %Η διατομή εισόδου για D=32mm
mi=0.355; %Δυναμική συνεκτικότητα νερού
k=0.668;  %Ειδική αγωγιμότητα νερού
Tin=30;   % Θερμοκασία εισόδου στον αγωγό
Tout=80;  % Θερμοκρασία εξόδου από τον αγωγό
DT=10;
L1=1;     %Μήκος αγωγού
Pr=2.22;  % Αριθμός Prantdle για νερό

%Από τον πίνακα 1 έχουμε τα εξής δεδομένα %

Quse1=2900; %Watt Ncol = 4 , D1
Quse2=3100; %Watt Ncol = 4 , D2
Quse3=4100; %Watt Ncol = 4 , D3
Quse4=3100; %Watt Ncol = 5 , D1
Quse5=4000; %Watt Ncol = 5 , D2
Quse6=5200; %Watt Ncol = 5 , D3
Quse7=3700; %Watt Ncol = 6 , D1
Quse8=4800; %Watt Ncol = 6 , D2
Quse9=6200; %Watt Ncol = 6 , D3


%Από τα δεδομένα γνωρίζω για τις απώλειες

%Σχημα 3.2

%Για τον αγωγό με διάμετρο D1 = 22mm έχω
```

```
R00=D1/2;
R10=R00+0.9;
R20=3*R00;
R30=R20+3.2; %Το 3,2 αντιστοιχεί στο πάχος του διαφανούς σωλήνα


%Για τον αγωγό με διάμετρο D1 = 28mm έχω

R01=D2/2;
R11=R01+0.9;
R21=3*R01;
R31=R21+3.2; %Το 3,2 αντιστοιχεί στο πάχος του διαφανούς σωλήνα

%Για τον αγωγό με διάμετρο D1 = 22mm έχω

R02=D3/2;
R12=R02+0.9;
R22=3*R02;
R32=R22+3.2; %Το 3,2 αντιστοιχεί στο πάχος του διαφανούς σωλήνα

%%%% Επίσης για τις απώλειες γνωρίζω ότι η ειδικές συναγωγιμότητες
είναι

hco=1000;     %W/m^2K
hc1=15;       %W/m^2K
hc2=1.1;      %W/m^2K
hc3=0.8;      %W/m^2K


%%%%%%Μεταβάλλοντας την θερμική ισχύ της ακτινοβολίας του ήλιου από
%%%%%%Ια=800-1200 W/m^2


%%%%%%% Για διατομή D1=22mm
Qus=[Quse1,Quse4,Quse7];
Ro0=1/(2*3.14*R00*hco);
Ro1=(log(R10/R00))/(2*3.14*R10*hc1);
Ro2=(log(R20/R10))/(2*3.14*R20*hc2);
Ro3=(log(R30/R10))/(2*3.14*R30*hc3);
Ro4=1/(2*3.14*R30*hc3);
Qloss1=(80-30)/(Ro0+Ro1+Ro2+Ro3+Ro4);  %Σχέση 3.14
Qloss2=(10*[Quse1,Quse4,Quse7])/100;   %Απώλειες 10%
k=0
for i=900:1400
    k=k+1;
    Ia(k,1)=0+i;
    Acol1(k,1)=(Qus(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia(k,1); %Ncol = 4
    Acol2(k,1)=(Qus(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia(k,1); %Ncol = 5
    Acol3(k,1)=(Qus(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia(k,1); %Ncol = 6
end

figure (1)
grid on
hold on
title('Area for D1=22mm');
xlabel('Ia (W/m^2)'), ylabel('Area (m^2)')
plot(Ia(:,1),Acol1(:,1));
```

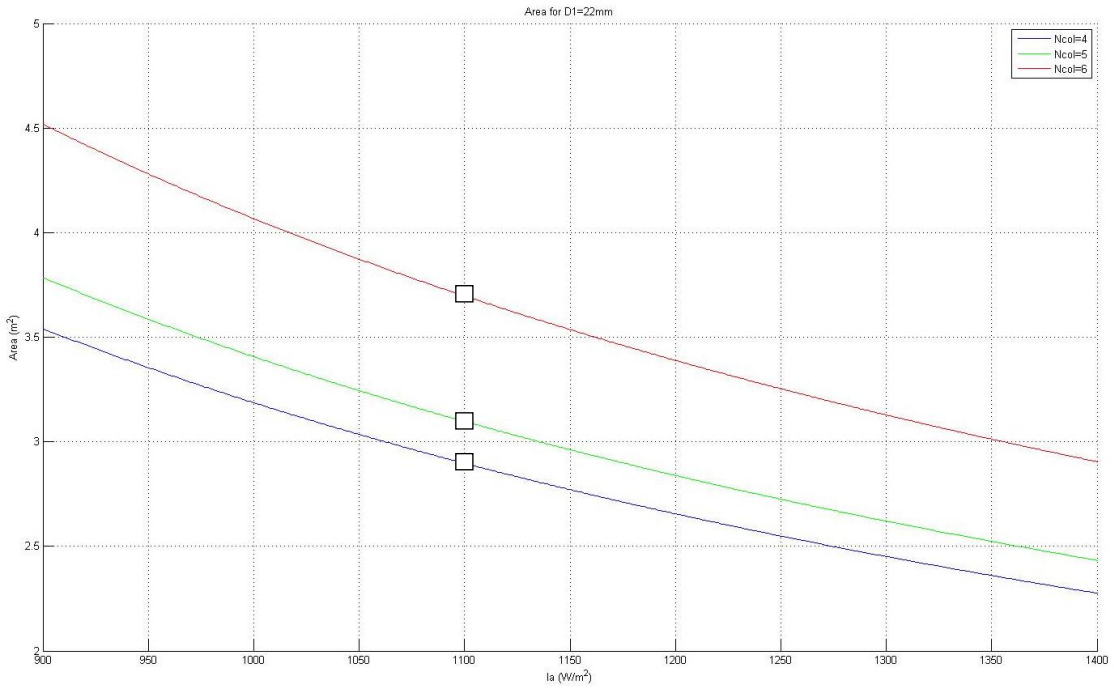
```
plot(Ia(:,1),Acol2(:,1),'green');
plot(Ia(:,1),Acol3(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%%% Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για μεταβολή της γωνίας θ=0~15ο %%%%%

%Για διατομή D1=22mm
Ia1=1236;
j=0
Acol1=(Qus(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia1;
Acol2=(Qus(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia1;
Acol3=(Qus(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia1;
for i=0:15;
    j=j+1;
    th(j,1)=0+i;    %μεταβολή της γωνίας
    cos(th(j,1)*pi/180)
    n11(j,1)=((Qus(1))/(Ia1*Acol1))*(cos(th(j,1)*pi/180));
    n12(j,1)=((Qus(2))/(Ia1*Acol2))*cos(th(j,1)*pi/180);
    n13(j,1)=((Qus(3))/(Ia1*Acol3))*cos(th(j,1)*pi/180);
end



figure (2)
grid on
hold on
title('Βαθμός Απόδοσης για μεταβολή θi=0-15ο (D=22mm)');
xlabel('Γωνία θ σε ο'), ylabel('η βαθμός απόδοσης')
plot(th(:,1),n11(:,1));
plot(th(:,1),n12(:,1),'green');
plot(th(:,1),n13(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%%%% Για διατομή D1=28mm
Qus2=[Quse2,Quse5,Quse8];
Ro0=1/(2*3.14*R01*hco);
Ro1=(log(R11/R01))/(2*3.14*R11*hc1);
Ro2=(log(R21/R11))/(2*3.14*R21*hc2);
Ro3=(log(R31/R11))/(2*3.14*R31*hc3);
Ro4=1/(2*3.14*R31*hc3);
Qloss1=(80-30)/(Ro0+Ro1+Ro2+Ro3+Ro4);  %Σχεση 3.14
Qloss2=(10*[Quse2,Quse5,Quse8])/100;   %Απώλειες 10%
k=0
for i=900:1400
    k=k+1;
    Ia(k,1)=0+i;
    Aco21(k,1)=(Qus2(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia(k,1); %Ncol = 4
    Aco22(k,1)=(Qus2(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia(k,1); %Ncol = 5
    Aco23(k,1)=(Qus2(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia(k,1); %Ncol = 6
end

figure (3)
grid on
hold on
title('Area for D1=28mm');
xlabel('Ia (W/m^2)'), ylabel('Area (m^2)')
plot(Ia(:,1),Aco21(:,1));
```

```
plot(Ia(:,1),Aco22(:,1),'green');
plot(Ia(:,1),Aco23(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%%% Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για μεταβολή της γωνίας θ=0~15ο %%%%%

%Για διατομή D1=28mm
Ia1=1236;
j=0
Acol1=(Qus2(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia1;
Acol2=(Qus2(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia1;
Acol3=(Qus2(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia1;
for i=0:15;
    j=j+1;
    th(j,1)=0+i;    %μεταβολή της γωνίας
    cos(th(j,1)*pi/180)
    n21(j,1)=((Qus2(1))/(Ia1*Acol1))*(cos(th(j,1)*pi/180));
    n22(j,1)=((Qus2(2))/(Ia1*Acol2))*cos(th(j,1)*pi/180);
    n23(j,1)=((Qus2(3))/(Ia1*Acol3))*cos(th(j,1)*pi/180);
end



figure (4)
grid on
hold on
title('Βαθμός Απόδοσης για μεταβολή θi=0-15ο (D1=28mm)');
xlabel('Γωνία θ σε ο'), ylabel('η βαθμός απόδοσης')
plot(th(:,1),n21(:,1));
plot(th(:,1),n22(:,1),'green');
plot(th(:,1),n23(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%%%% Για διατομή D1=32mm
Qus3=[Quse3,Quse6,Quse9];
Ro0=1/(2*3.14*R02*hco);
Ro1=(log(R12/R02))/(2*3.14*R12*hc1);
Ro2=(log(R22/R12))/(2*3.14*R22*hc2);
Ro3=(log(R32/R12))/(2*3.14*R32*hc3);
Ro4=1/(2*3.14*R32*hc3);
Qloss1=(80-30)/(Ro0+Ro1+Ro2+Ro3+Ro4);  %Σχεση 3.14
Qloss2=(10*[Quse3,Quse6,Quse9])/100;   %Απώλειες 10%
k=0
for i=900:1400
    k=k+1;
    Ia(k,1)=0+i;
    Aco31(k,1)=(Qus3(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia(k,1); %Ncol = 4
    Aco32(k,1)=(Qus3(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia(k,1); %Ncol = 5
    Aco33(k,1)=(Qus3(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia(k,1); %Ncol = 6
end

figure (5)
grid on
hold on
title('Area for D1=32mm');
xlabel('Ia (W/m^2)'), ylabel('Area (m^2)')
plot(Ia(:,1),Aco31(:,1));
```

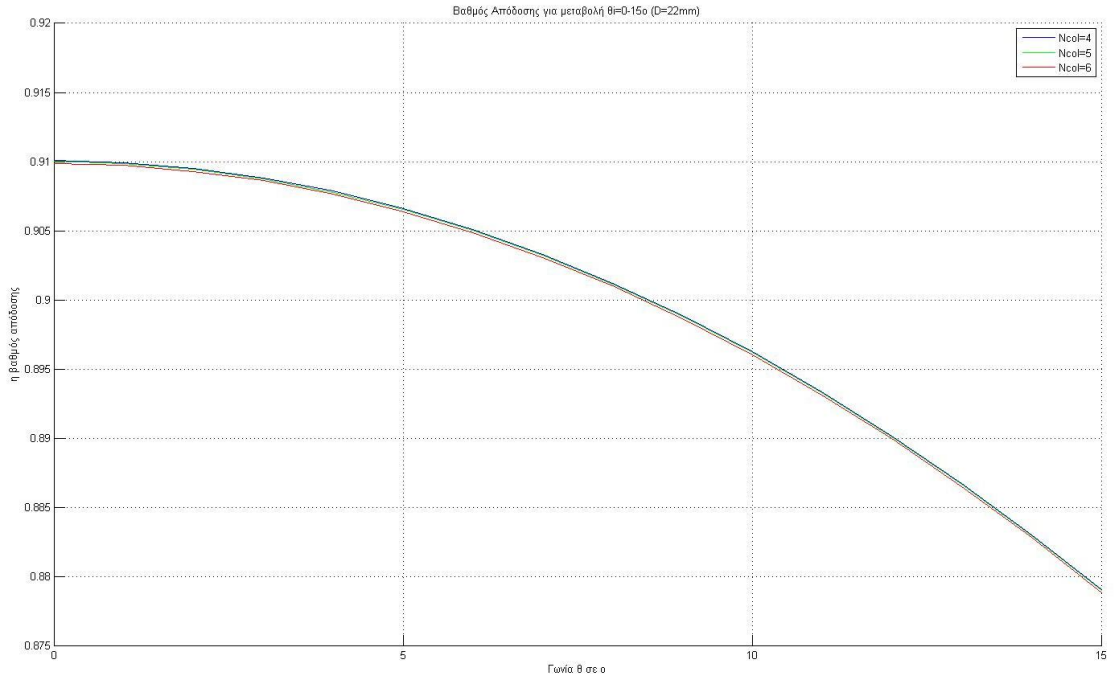
```
plot(Ia(:,1),Aco32(:,1),'green');
plot(Ia(:,1),Aco33(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');


%%%%%% Βαθμός απόδοσης συλλέκτη για μεταβολή της γωνίας θ=0~15ο %%%%%

%Για διατομή D1=32mm
Ia1=1236;
j=0
Aco31=(Qus3(1)+Qloss1+Qloss2(1))/Ia1;
Aco32=(Qus3(2)+Qloss1+Qloss2(2))/Ia1;
Aco33=(Qus3(3)+Qloss1+Qloss2(3))/Ia1;
for i=0:15;
    j=j+1;
    th(j,1)=0+i;    %μεταβολή της γωνίας
    cos(th(j,1)*pi/180)
    n31(j,1)=((Qus3(1))/(Ia1*Aco31))*(cos(th(j,1)*pi/180));
    n32(j,1)=((Qus3(2))/(Ia1*Aco32))*cos(th(j,1)*pi/180);
    n33(j,1)=((Qus3(3))/(Ia1*Aco33))*cos(th(j,1)*pi/180);
end
figure (6)
grid on
hold on
title('Βαθμός Απόδοσης για μεταβολή θi=0-15ο (D1=32mm)');
xlabel('Γωνία θ σε ο'), ylabel('η βαθμός απόδοσης')
plot(th(:,1),n31(:,1));
plot(th(:,1),n32(:,1),'green');
plot(th(:,1),n33(:,1),'red');
legend('Ncol=4','Ncol=5','Ncol=6');
```

Όπου από το παραπάνω πρόγραμμα προκύπτουν οι εξής γραφικές :

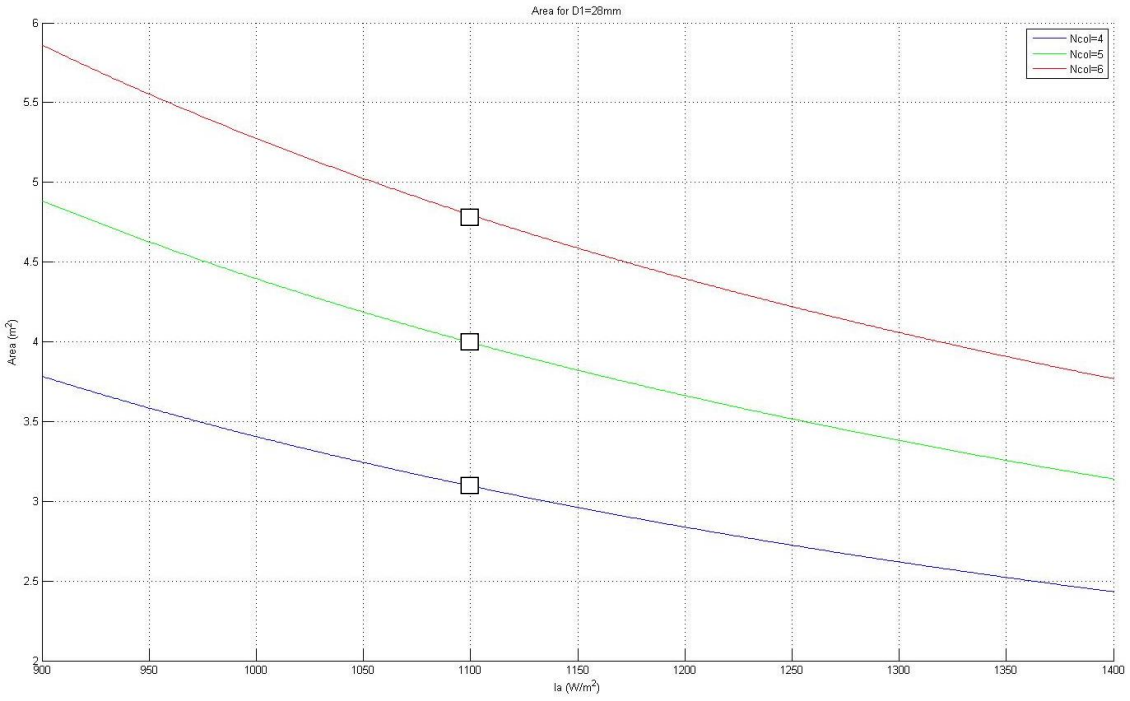
Διάγραμμα Νο7: Μεταβολή της αναγκαίας επιφάνειας συλλέκτη $A_{col}(mm^2)$ όταν μεταβάλλεται η θερμική ισχύς των ακτινοβολιών του ήλιου **I_a (W/m^2)** για διατομή αγωγού D=22mm που βρίσκεται στο σημείο εστίασης



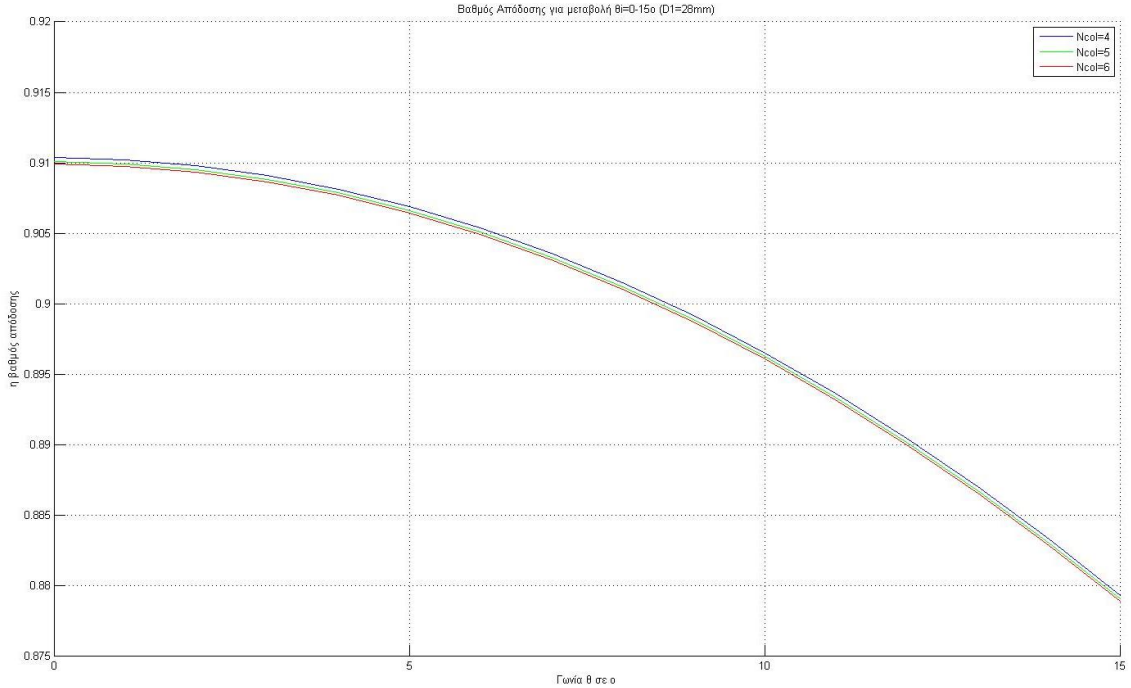
Διάγραμμα No8: Μεταβολή του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη (σχέση 4.16) , χωρίς να εκφράζεται συναρτήσει του βαθμού απόδοσης της ανακλαστικής ικανότητας του κατόπτρου, μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης θ_i (βλέπε σχήμα 4.5) , για διατομή εισόδου D=22mm



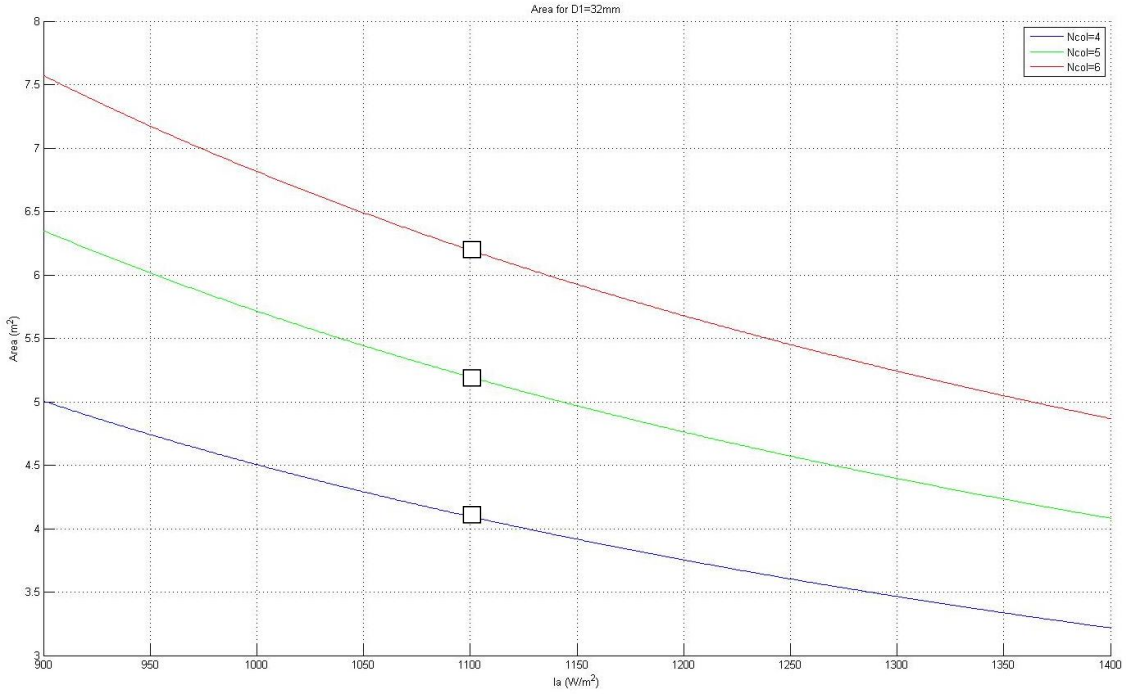
Διάγραμμα No9: Μεταβολή της αναγκαίας επιφάνειας συλλέκτη $A_{col}(mm^2)$ όταν μεταβάλλεται η θερμική ισχύς των ακτινοβολιών του ήλιου **I_a (W/m^2)** για διατομή αγωγού D=28mm που βρίσκεται στο σημείο εστίασης



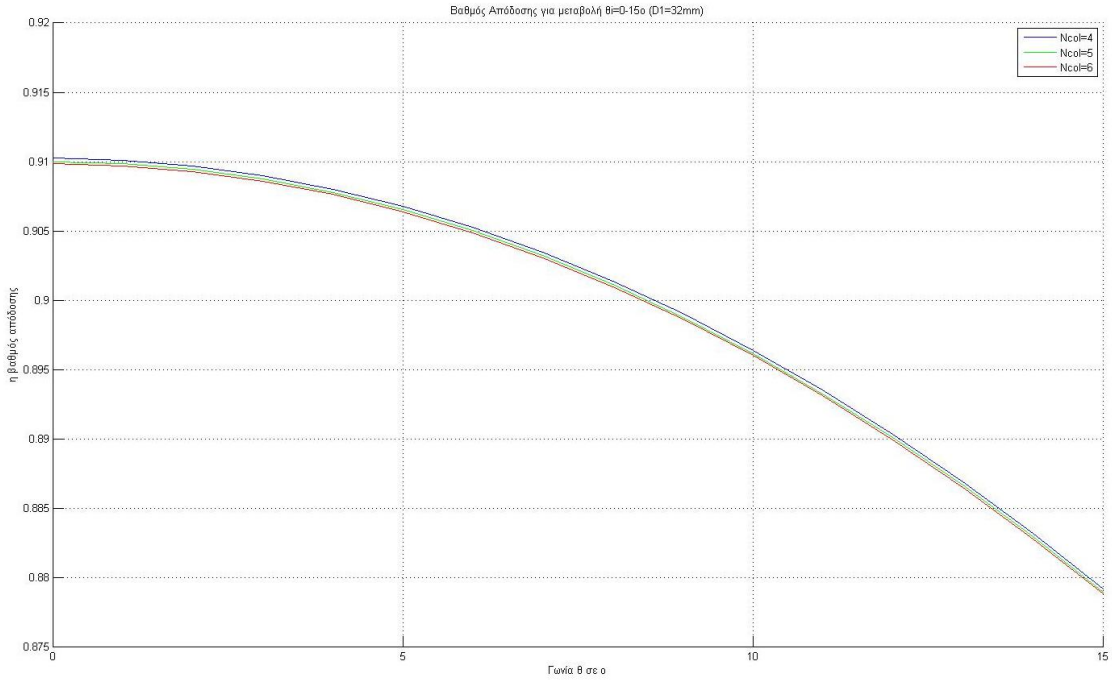
Διάγραμμα Νο10: Μεταβολή του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη (σχέση 4.16) , χωρίς να εκφράζεται συναρτήσει του βαθμού απόδοσης της ανακλαστικής ικανότητας του κατόπτρου, μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης θ_i (βλέπε σχήμα 4.6) , για διατομή εισόδου D=28mm



Διάγραμμα Νο11 : Μεταβολή της αναγκαίας επιφάνειας συλλέκτη $A_{col}(mm^2)$ όταν μεταβάλλεται η θερμική ισχύς των ακτινοβολιών του ήλιου **I_a (W/m^2)** για διατομή αγωγού D=32mm που βρίσκεται στο σημείο εστίασης



Διάγραμμα Νο10: Μεταβολή του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη (σχέση 4.16) , χωρίς να εκφράζεται συναρτήσει του βαθμού απόδοσης της ανακλαστικής ικανότητας του κατόπτρου, μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης θ_i (βλέπε σχήμα 4.6) , για διατομή εισόδου D=32mm



Τα αποτελέσματα από τις πιο πάνω γραφικές είναι η μείωση της συνολικής επίπεδης επιφάνειας A_{col} , όσο αυξάνεται το ποσό ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, I_α (W/m^2). Στα διαγράμματα Νο7,9,11 , έχουμε τις 3ις διαφορετικές περιπτώσεις όπου η διάμετρος του αγωγού αντιστοιχεί σε D_1 = 22, 28 , 32 mm , και τα συνολικά αποτελέσματα της επίπεδης επιφάνειας A_{col} . Επίσης από τα διαγράμματα Νο8,10,12 έχουμε τον συνολικό βαθμό του συλλέκτη, μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στα κάτοπτρα (σχήμα 4.6) από 0^o - 15^o , και παρατηρούμε ότι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μεταβάλλεται σημαντικά, ειδικά όταν η γωνία πρόσπτωσης γίνει μεγαλύτερη από τις 5^o .

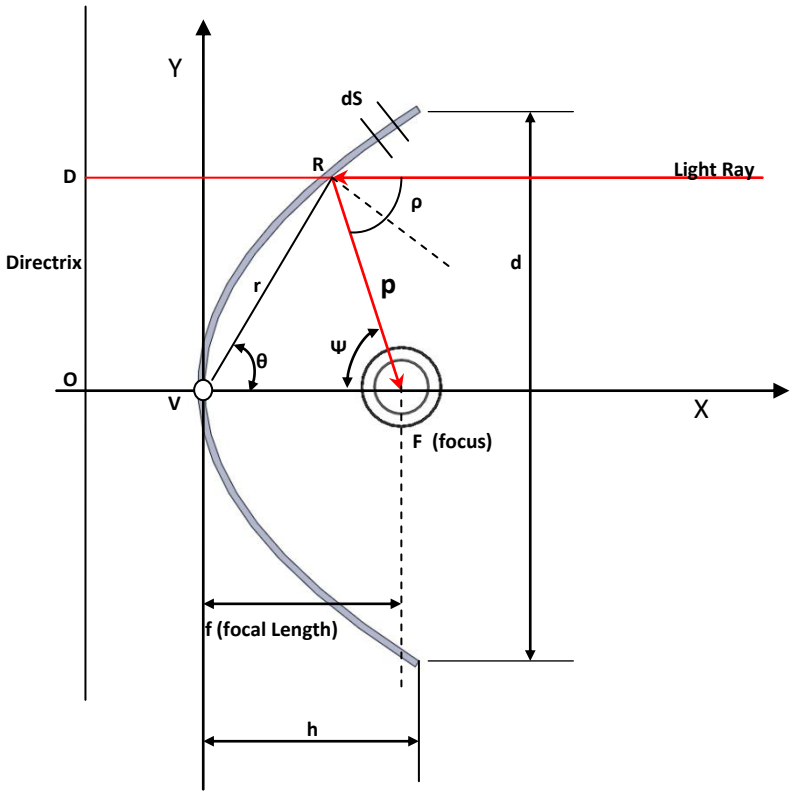
Αποτελέσματα της συνολικής επίπεδης επιφάνειας του συλλέκτη $\mathbf{A_{col}}$ για ηλιακή ακτινοβολία ισχύος $\mathbf{I_\alpha = 1100\ W/m^2}$

Πίνακας 2

Διάμετρος του αγωγού D (mm)		Συνολική επίπεδη επιφάνεια A_{col} (m^2)
D=22mm	$\mathbf{N_{col} = 4}$	2.8 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 5}$	3.2 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 6}$	3.8 mm^2
D=28mm	$\mathbf{N_{col} = 4}$	3.2 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 5}$	4 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 6}$	4.8 mm^2
D=32mm	$\mathbf{N_{col} = 4}$	4.1 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 5}$	5.2 mm^2
	$\mathbf{N_{col} = 6}$	6.3 mm^2

Κεφάλαιο 5ο

5.1 Γεωμετρία Παραβολοειδούς κατόπτρου και οπτική



Σχήμα 5.1

Η παραβολή είναι ένα σύνολο των σημείων καθένα από τα οποία ισαπέχει από ένα γεωμετρικό τόπο F (την εστία) και μια ευθεία (τη διευθύνουσα). Για το σημείο του σχήματος 5.1 ισχύει $\overline{RD} = \overline{RF}$.

Σύμφωνα λοιπόν με την πιο πάνω θεωρία η εξίσωση της παραβολής είναι :

$$y^2 = 4fx \qquad (m^2) \qquad (5.1)$$

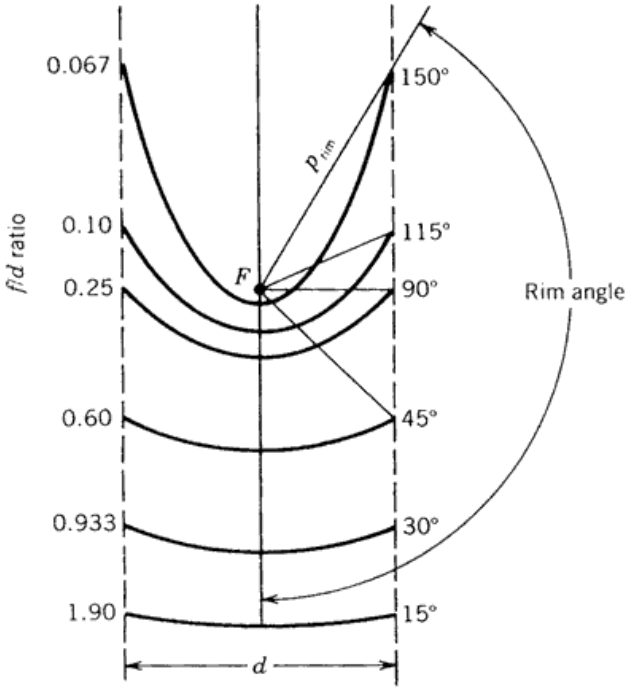
Όπου :

f : *είναι η απόσταση του σημείου F (Focus) από την αρχή των αξόνων*

Στις μελέτες ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε παραβολοειδές κάτοπτρο, είναι καλύτερο να υπολογίζεται η παραβολή σύμφωνα με την γωνία ***Ψ (σχήμα 5.1)*** η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με την ευθεία ***VF*** και την ευθεία ***RF*** όπου ορίζεται σαν η πορεία της ανακλώμενης ακτίνας στο σημείο εστίασης **F (Focus).** Έτσι ορίζεται η ευθεία :

$$\boldsymbol{p = \frac{2f}{1 + cos\psi}} \qquad (\boldsymbol{m}) \qquad (\mathbf{5.2})$$

Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήσουμε την παραβολή για συγκέντρωση ακτινοβολίας, η παραβολή αυτή δεν μπορεί να έχει προέκταση μέχρι το άπειρο, αλλά μέχρι ένα σημείο που ορίζεται από το άνοιγμα της παραβολής ***d*** *(Σχήμα 5.1)* , έτσι και η ευθεία ***p*** από τη σχέση 5.2 θα ορίζεται από την γωνία $\boldsymbol{\Psi_{rim}}$ (Rim angle) , όπου και είναι η μέγιστη δυνατή γωνία Ψ που μπορεί να πάρει η παραβολή. Ορίζοντας λοιπόν τον λόγο $\frac{f}{d}$ (Σχήμα 5.1) , και έχοντας γνωστό το άνοιγμα της παραβολής , τότε από την θεωρία προκύπτει το παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 5.2

Από το σχήμα διακρίνουμε ότι όσο αυξάνουμε την γωνία Ψ_{Rim} τόσο αυξάνεται το ύψος της παραβολής ***h*** *(Σχήμα5.1)* . Αυξάνοντας όμως το ύψος της παραβολής και αφήνοντας το άνοιγμα της ***d*** , όπως θα δούμε στη συνέχεια, αυξάνουμε το μήκος τόξου ***S*** (Σχήμα 5.1) και κατά συνέπεια την επιφάνεια του παραβολοειδούς κατόπτρου . Ο τύπος που συνδέει τον λόγο ***f/d*** με την γωνία $\boldsymbol{\Psi_{Rim}}$ δίνεται από τη σχέση :

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4\tan\left(\frac{\Psi_{Rim}}{2}\right)} \qquad (5.3)$$

Από το σχήμα 5.2 μπορούμε να ορίσουμε ως ύψος της παραβολής ***h (m)*** την μέγιστη απόσταση από την αρχή των αξόνων μέχρι το σημείο όπου η ευθεία ***p*** τέμνει την παραβολή όταν ορίζεται από την γωνία Ψ_{Rim} (Rim angle) . Από την ανάλυση της γεωμετρίας προκύπτει ότι το ύψος ορίζεται από τη σχέση :

$$h = \frac{d^2}{16f} \qquad (m) \qquad (5.4)$$

5.1.2 Μήκος τόξου παραβολής

Το μήκος τόξου της παραβολής δίνεται σύμφωνα με τη σχέση :

$$s = \left[\frac{d}{2}\sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] + 2 \times f \times ln\left[\frac{4h}{d} + \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] \qquad (m) \qquad (5.5)$$

5.1.3 Συνολική επιφάνεια παραβολοειδούς κατόπτρου

Έτσι αφού γνωρίζουμε το μήκος τόξου της παραβολής, μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική επιφάνεια του παραβολοειδούς κατόπτρου σύμφωνα με τη σχέση :

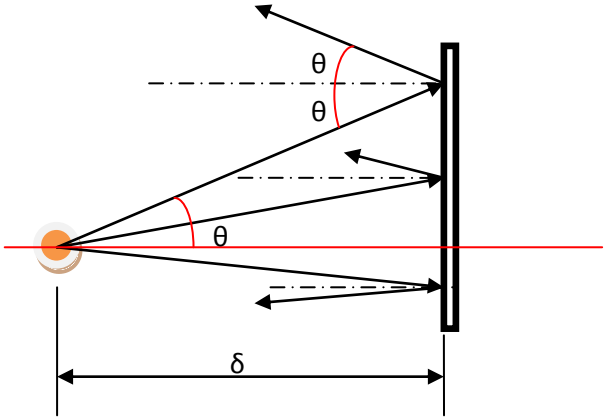
$$A_s = L \times s \qquad (m^2) \qquad (5.6)$$

L : είναι το μήκος του κατόπτρου σε **m**

5.1.4 Οπτική παραβολοειδούς κατόπτρου

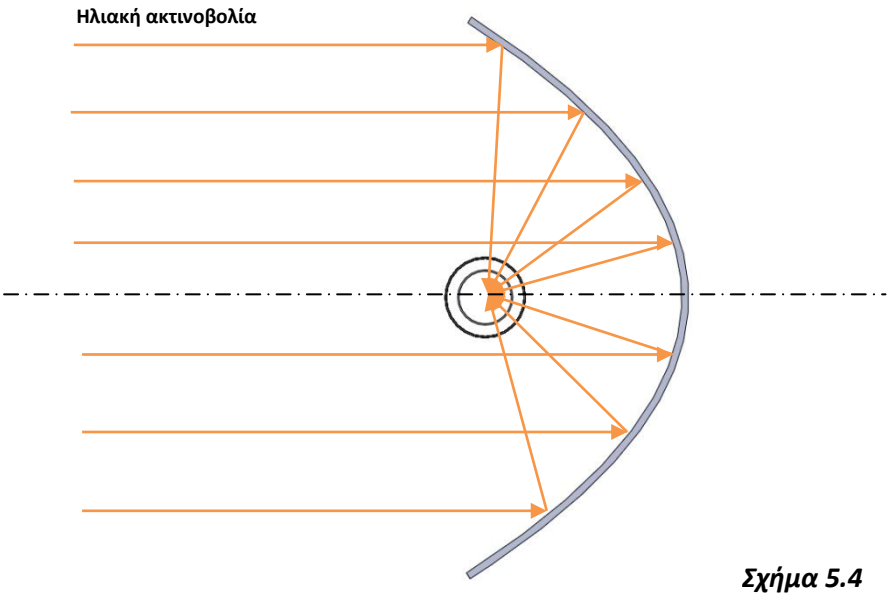
Για την μελέτη της οπτικής των παραβολοειδών κατόπτρων είναι αναγκαίο να ορίσουμε τον τρόπο που οι δέσμες ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουν στο κάτοπτρο. Γνωρίζουμε ότι εάν

τοποθετήσουμε μια σφαιρική πηγή φωτός , και σε μια **δ** απόσταση τοποθετήσουμε ένα επίπεδο κάτοπτρο τότε η ακτινοβολία θα ανακλαστεί σύμφωνα με το σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3

Όμως επειδή η ακτινοβολία για να μπορέσουμε να την κατανοήσουμε , στο παρόν στάδιο θεωρούμε ότι σε μια απόσταση ***δ*** αυτή η ακτινοβολία έχει αρκετές δέσμες φωτός της οποίες σχηματικά παρουσιάζουμε σαν ευθείες (όπως το σχήμα 5.3). Στην περίπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας , θεωρούμε ότι αυτή η απόσταση ***δ*** είναι πολύ μεγάλη, έτσι αν πάρουμε για δείγμα μια δέσμη ηλιακής ακτινοβολίας η γωνία που θα σχηματίζουν μεταξύ τους ακτινοβολίες θα είναι πολύ μικρή. Σύμφωνα με το δεδομένο αυτό κάνουμε την παραδοχή ότι η ηλιακή ακτινοβολία όταν φθάνει στη γη οι ακτίνες φωτός που προσπίπτουν σε μια ορατή από το ανθρώπινο μάτι επιφάνεια, **είναι παράλληλες.** Έτσι αν για παράδειγμα έχουμε ένα παραβολοειδές κάτοπτρο, τότε η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό έχει ακτίνες με παράλληλη διεύθυνση. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζουμε πώς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε ένα παραβολοειδές κάτοπτρο.

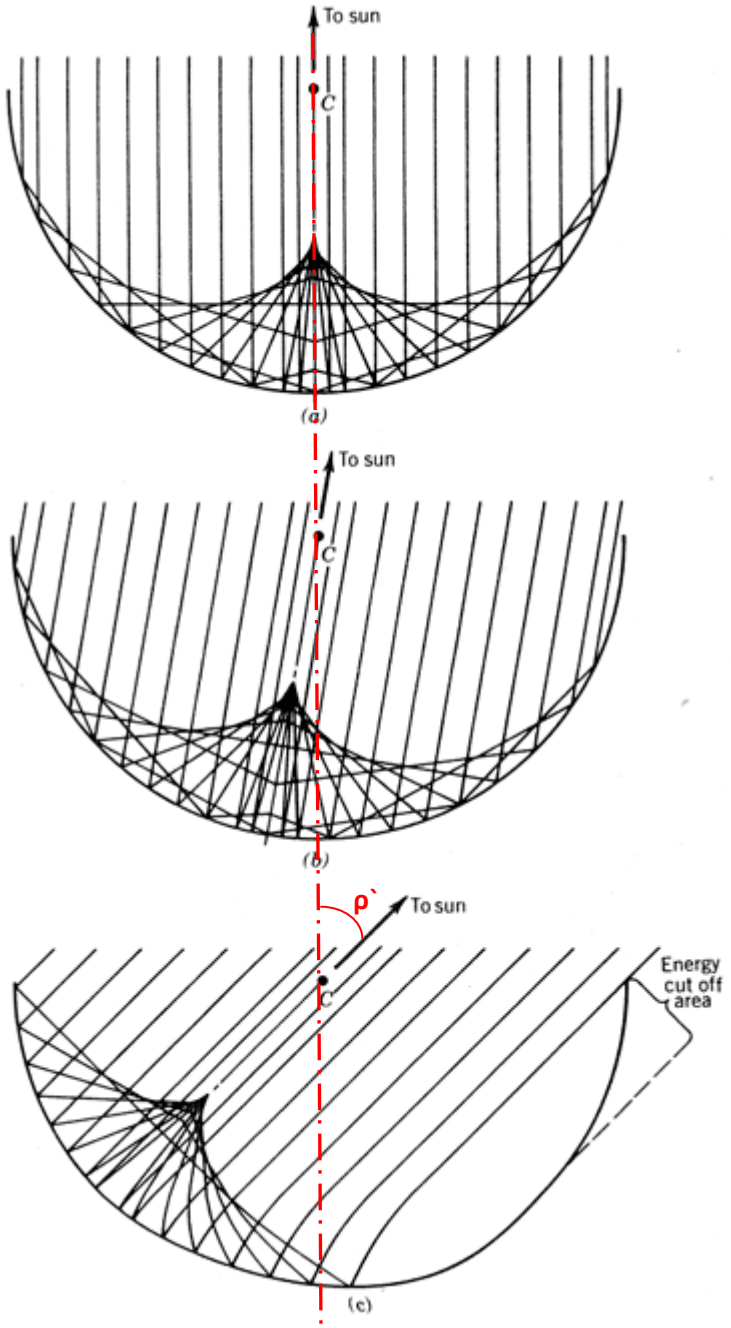


Σχήμα 5.4

5.2 Δισδιάστατη ανάλυση σφαιρικού κατόπτρου και παραβολοειδούς κατόπτρου

5.2.1 Κάτοπτρο σφαιρικής επιφάνειας

Η ηλιακή ακτινοβολία σε ένα κάτοπτρο κυκλικού τόξου , όταν η ηλιακή ακτινοβολία (δεδομένου ότι εισέρχονται παράλληλες ακτίνες στο κάτοπτρο) προσπίπτει με μια γωνία ***ρ'*** σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας του κατόπτρου , αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα ως εξής :

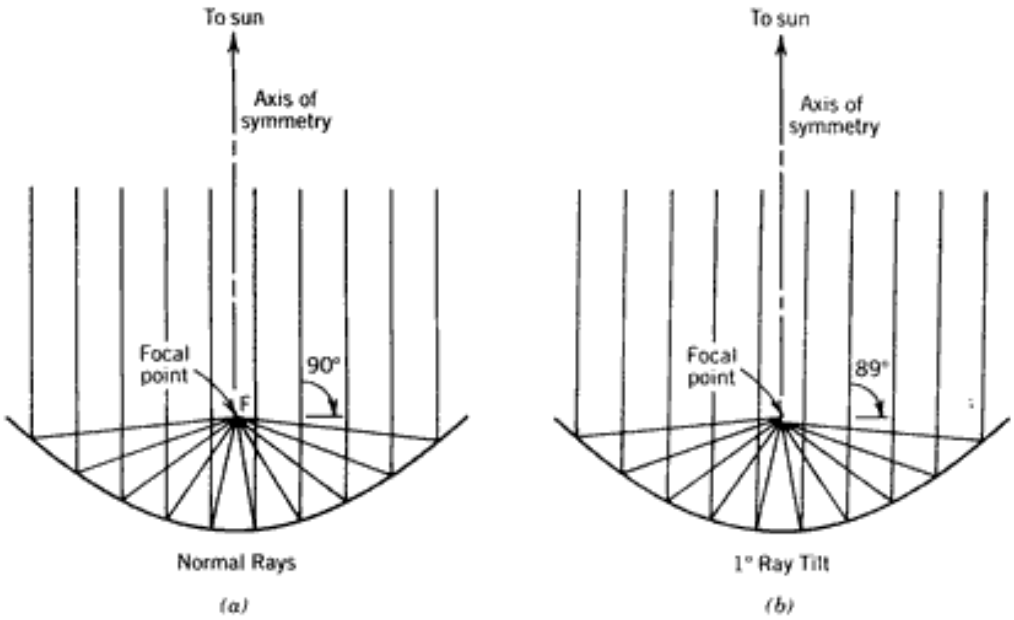


Σχήμα 5.5

Από το σχήμα αυτό πηγάζει το εξής βασικό συμπέρασμα, ότι το σημείο εστίασης της ηλιακής ακτινοβολίας παραμένει συγκεντρωμένο , αλλά αλλάζει η τοποθεσία του. Δηλαδή όσο αυξάνουμε την γωνία ***ρ'*** παρατηρούμε ότι αυτό κινείται περιμετρικά από το αρχικό του σημείο αλλά οι ακτινοβολία παραμένει συγκεντρωμένη. Έτσι σύμφωνα με αυτή τη θεωρία είναι αναγκαίο το κυκλικό κάτοπτρο, να κινείται περιστροφικά έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται στο κάτοπτρο με μηδενική γωνία ***ρ'*** . Το πλεονέκτημα του κυκλικού κατόπτρου είναι ότι σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης ***ρ'*** η ακτινοβολία παραμένει συγκεντρωμένη, και αν η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (στην περίπτωση του ηλιακού συλλέκτη είναι ο χάλκινος αγωγός) παραμένει σταθερή, τότε αυτή μπορεί να απορροφήσει όλη την ηλιακή ενέργεια, εφόσον βέβαια το σημείο εστίασης συνεχίζει να βρίσκεται στην επιφάνεια του αγωγού. Έτσι τοποθετώντας όσο μεγαλύτερη επιφάνεια απορρόφησης , τότε τόσο μεγαλύτερη απόκλισης της γωνίας ***ρ'*** μπορούμε να δεχτούμε για την ασφαλή λειτουργία του συλλέκτη.

5.2.2 Παραβολοειδές κάτοπτρο

Στην περίπτωση όπου το κάτοπτρο έχει παραβολοειδές σχήμα και θεωρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται σε αυτό είναι παράλληλη , τότε αν η γωνία **ρ'** που ορίσαμε πιο πάνω σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας αλλάζει, τότε στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε πώς μεταβάλλεται η συγκέντρωση ακτινοβολίας .

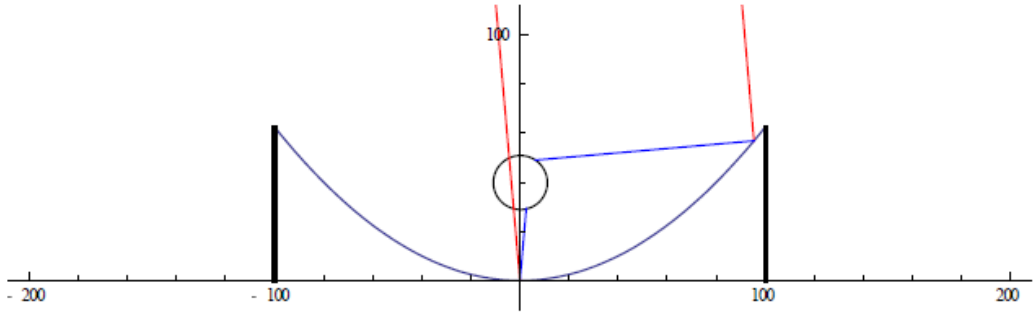


Σχήμα 5.6

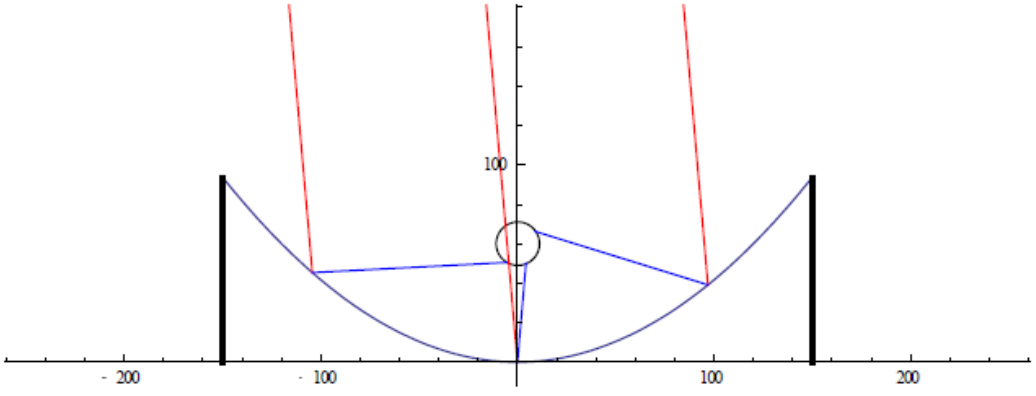
Στο πιο πάνω σχήμα (5.6 α) βλέπουμε την ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει με γωνία $\rho'=0^{o}$ σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας, και στο δεξιά μέρος του σχήματος (σχήμα 5.6 b) , αλλάζει η γωνία ρ' κατά 1^{o} , έτσι θεωρώντας αυτή την μικρή μεταβολής της γωνίας πρόσπτωσης παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας πλέον δεν

συγκεντρώνεται σε ένα σημείο, αλλά αρχίζει κάπως να μεταβάλλεται και κάποιες ακτίνες να αποκλίνουν από το σημείο. Είναι φανερό ότι σε μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης (ρ'>15^{o}) η ακτινοβολία παύει να συγκεντρώνεται σε μια περιοχή με αποτέλεσμα να μην έχω επιθυμητό ποσό ενέργειας και για αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαίο σε περιπτώσεις όπου χρειαζόμαστε μεγάλα ποσά συγκέντρωσης από την ηλιακή ακτινοβολία, να έχουμε ειδικούς οδηγούς που περιστρέφουν τα κάτοπτρα με ακτίνα περιστροφής που έχει αρχή το σημείο εστίασης .

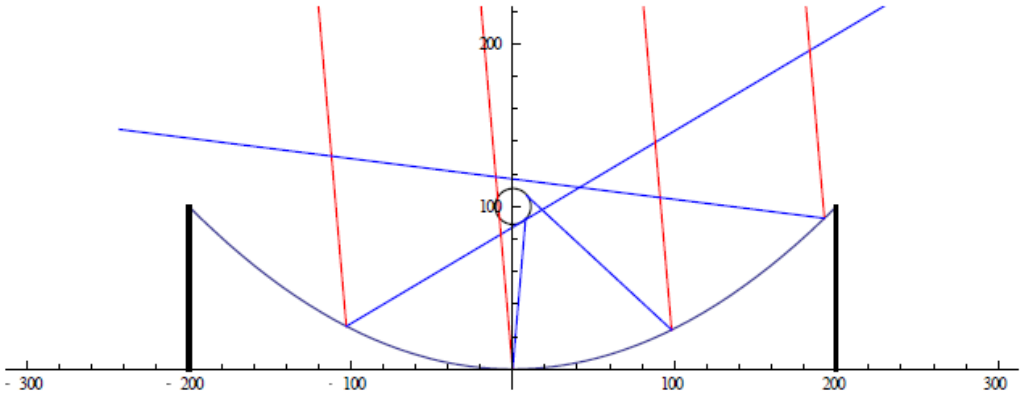
Μεταβάλλοντας έτσι τη γεωμετρία κατόπτρου, και για τρείς διαφορετικές διατομές αγωγού που βρίσκεται στο σημείο εστίασης, μπορούμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της ηλιακής ακτινοβολίας και να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα στο τέλος για την επιλογή των βασικών χαρακτηριστικών της παραβολής.



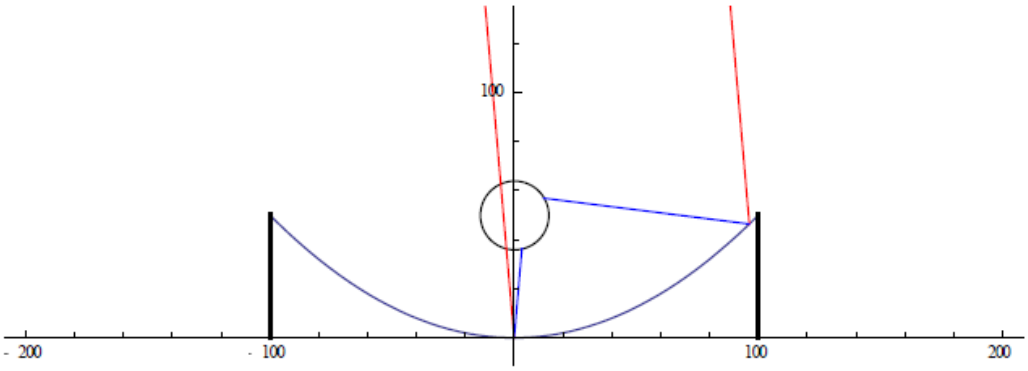
Σχήμα 5.7(α) - Σωλήνας διαμέτρου 22mm , άνοιγμα παραβολής 200mm, κλίση ακτινοβολίας 5^{o}



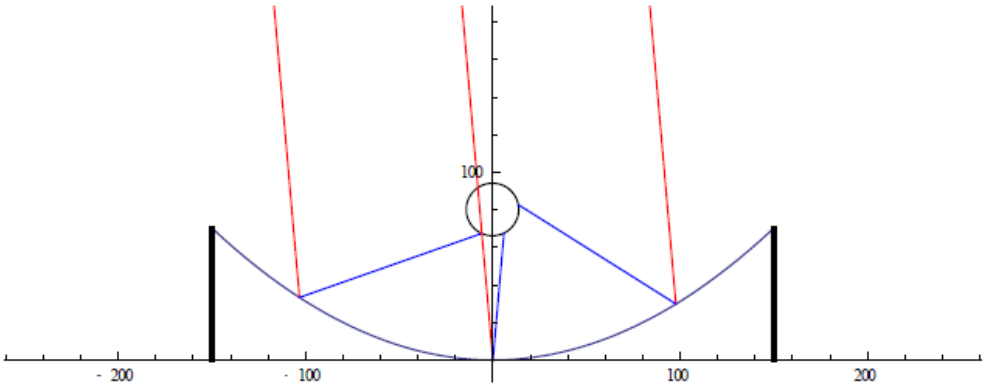
Σχήμα 5.7(β) - Σωλήνας διαμέτρου 22mm , άνοιγμα παραβολής 300mm, κλίση ακτινοβολίας 5^{o}



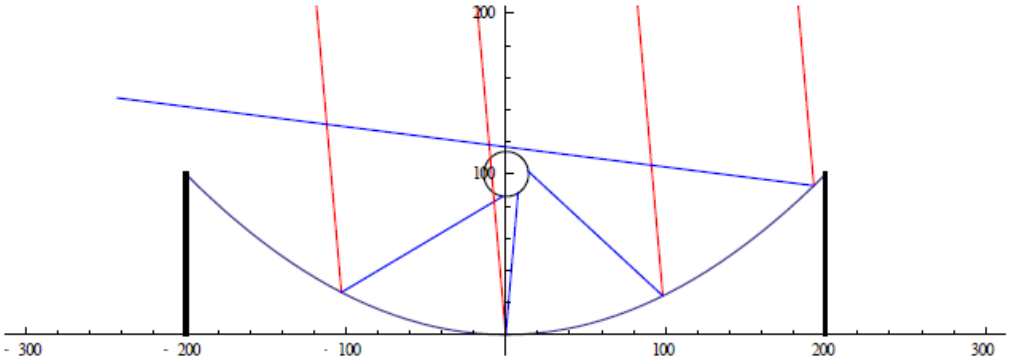
Σχήμα 5.7(γ) - Σωλήνας διαμέτρου 22mm , άνοιγμα παραβολής 400mm, κλίση ακτινοβολίας 5°



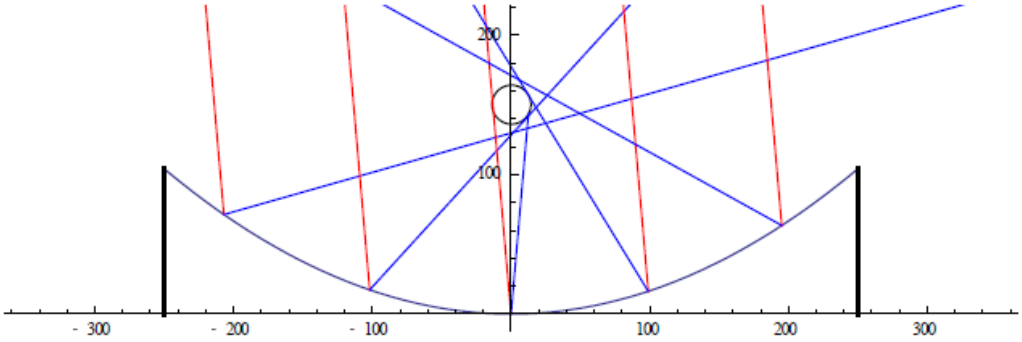
Σχήμα 5.8(α) - Σωλήνας διαμέτρου 28mm , άνοιγμα παραβολής 200mm, κλίση ακτινοβολίας 5°



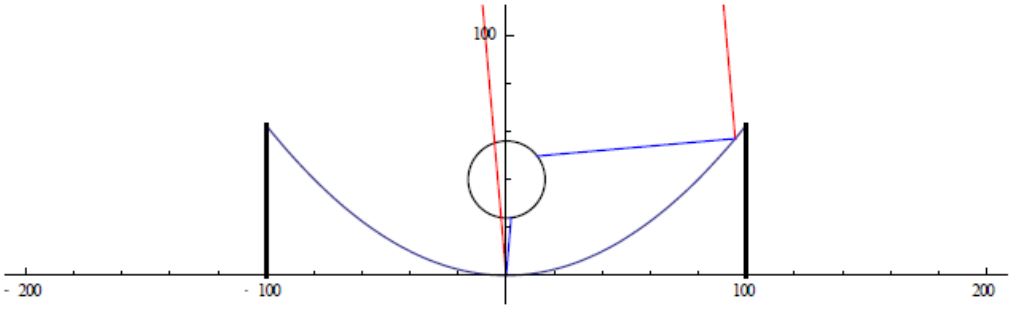
Σχήμα 5.8(β) - Σωλήνας διαμέτρου 28mm , άνοιγμα παραβολής 300mm, κλίση ακτινοβολίας 5°



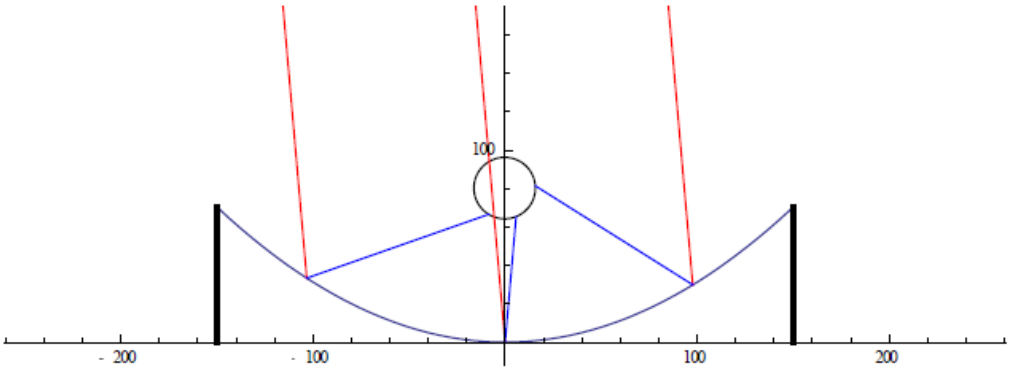
Σχήμα 5.8(γ) - Σωλήνας διαμέτρου 28mm , άνοιγμα παραβολής 400mm, κλίση ακτινοβολίας 5^{o}



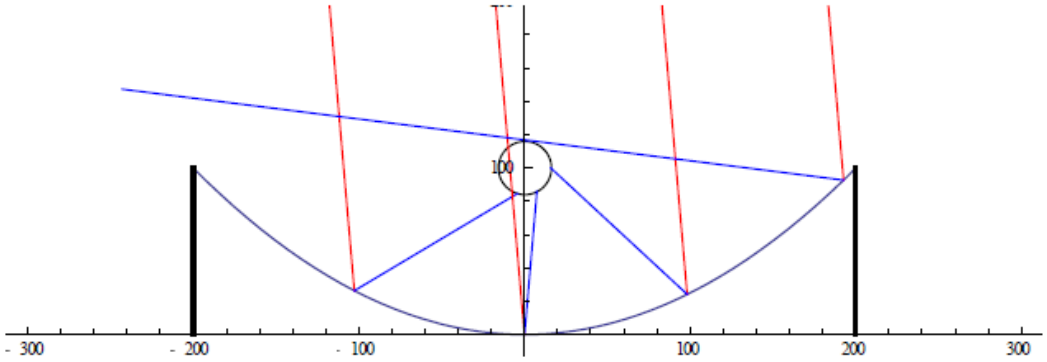
Σχήμα 5.8(δ) - Σωλήνας διαμέτρου 28mm , άνοιγμα παραβολής 500mm, κλίση ακτινοβολίας 5^{o}



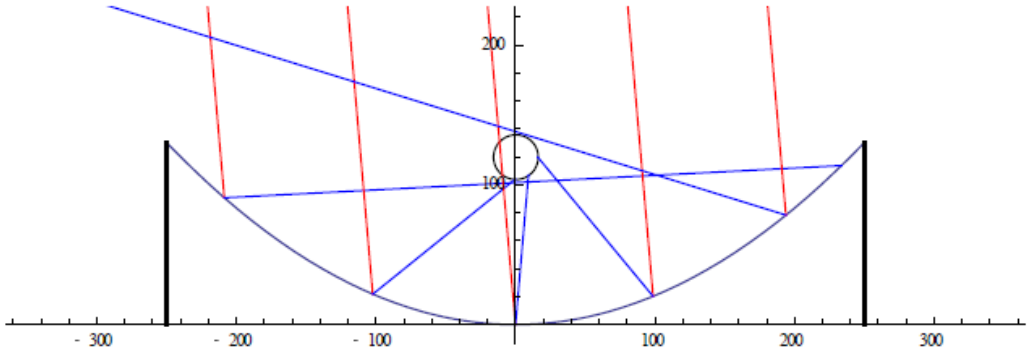
Σχήμα 5.9(α) - Σωλήνας διαμέτρου 32mm , άνοιγμα παραβολής 200mm, κλίση ακτινοβολίας 5^{o}



Σχήμα 5.9(β) - Σωλήνας διαμέτρου 32mm , άνοιγμα παραβολής 300mm, κλίση ακτινοβολίας 5°

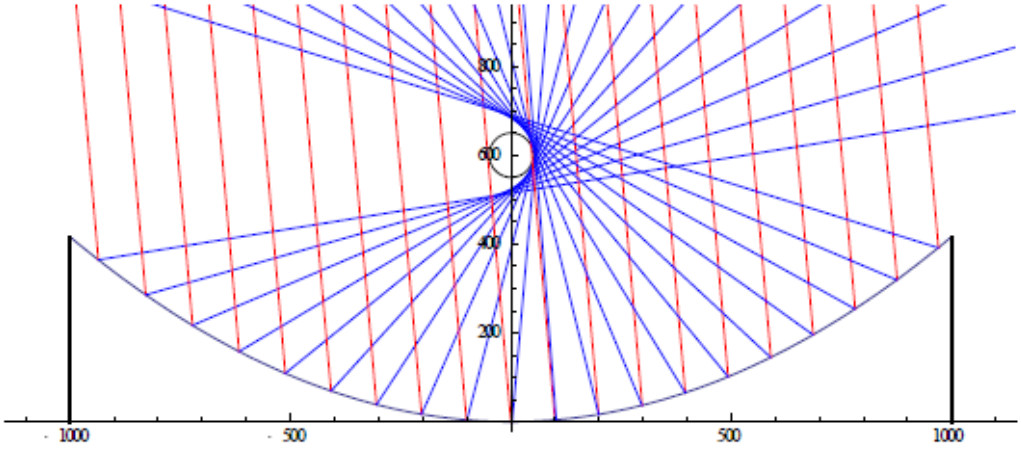


Σχήμα 5.9(γ) - Σωλήνας διαμέτρου 32mm , άνοιγμα παραβολής 400mm, κλίση ακτινοβολίας 5°

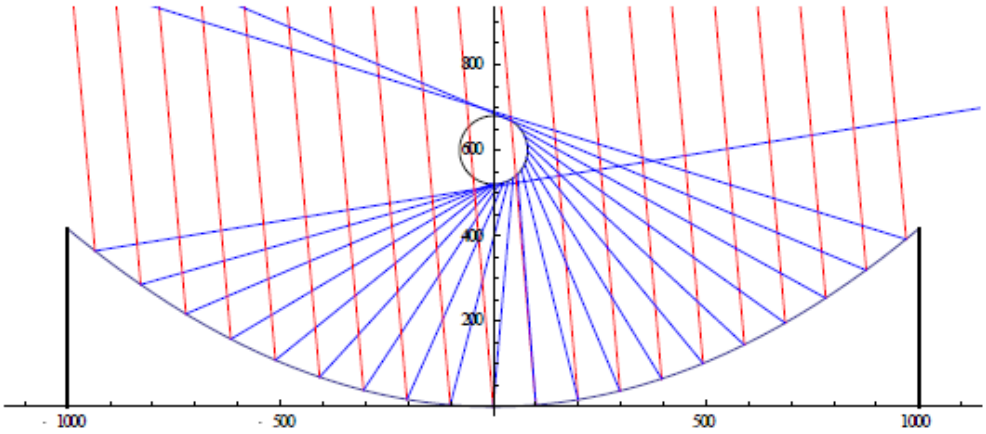


Σχήμα 5.9(δ) - Σωλήνας διαμέτρου 32mm , άνοιγμα παραβολής 200mm, κλίση ακτινοβολίας 5°

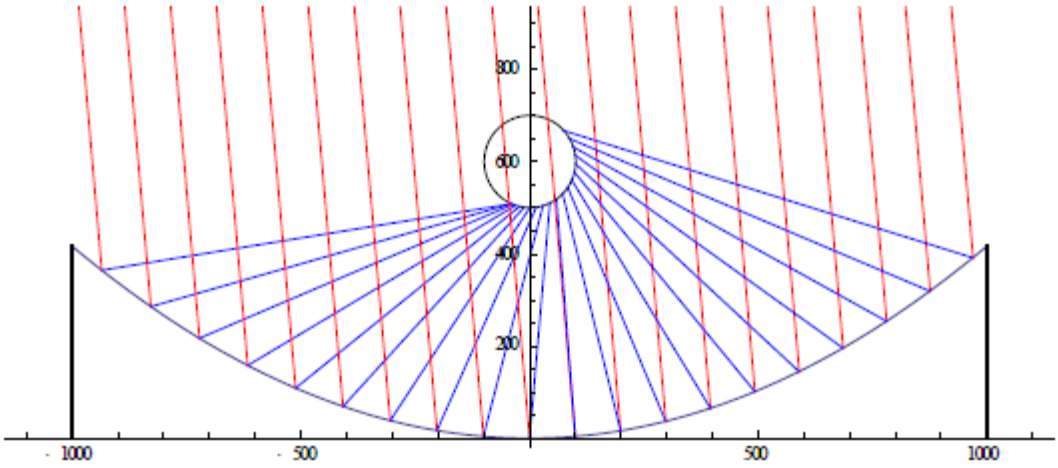
Για συγκεκριμένη διατομή στην παραβολή, και μεταβολή της διαμέτρου του αγωγού που βρίσκεται στο σημείο εστίασης, προκύπτει :



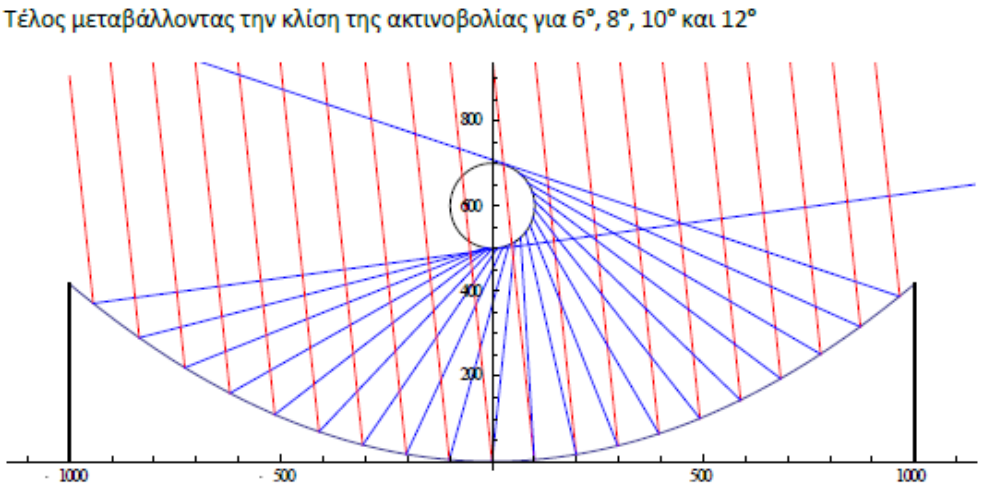
Σχήμα 5.10(α) - Σωλήνας διαμέτρου 100mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση ακτινοβολίας 5^o



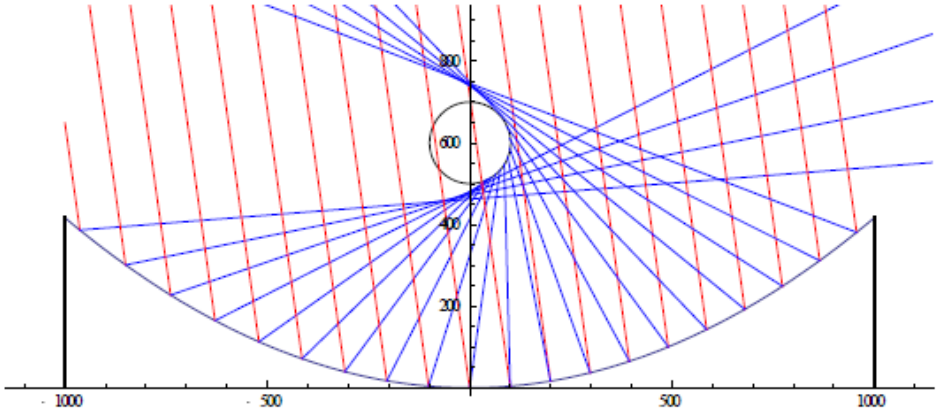
Σχήμα 5.10(β) - Σωλήνας διαμέτρου 160mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση ακτινοβολίας 5^o



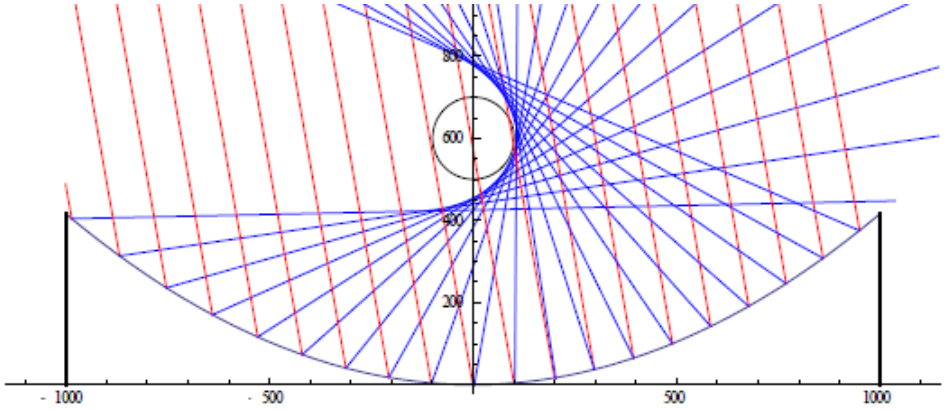
Σχήμα 5.10(γ) - Σωλήνας διαμέτρου 200mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση ακτινοβολίας 5^o



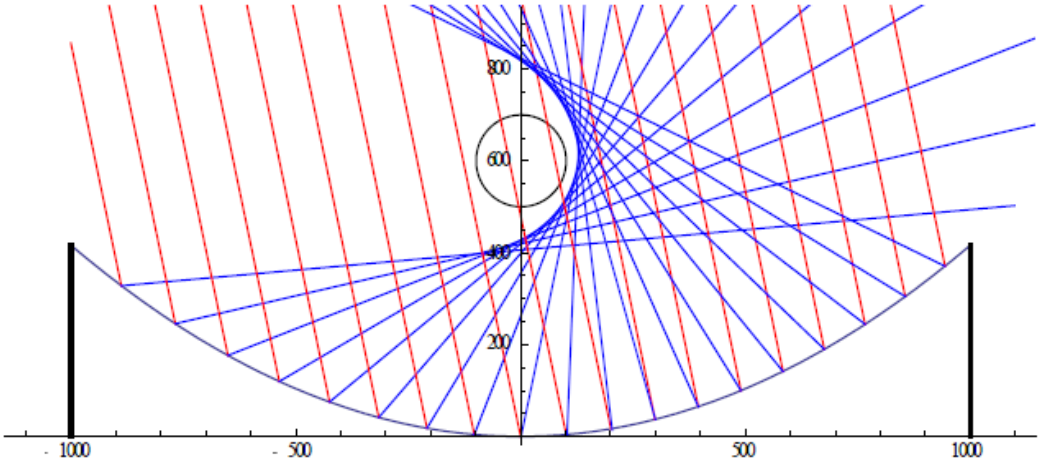
Σχήμα 5.11(α) - Σωλήνας διαμέτρου 200mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση ακτινοβολίας 6^o



Σχήμα 5.11(α) - Σωλήνας διαμέτρου 200mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση ακτινοβολίας 8^o



Σχήμα 5.11(α) - Σωλήνας διαμέτρου 200mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm, κλίση



ακτινοβολίας 10^o

Σχήμα 5.11(δ) – Σωλήνας διαμέτρου 200mm , άνοιγμα παραβολής 5000mm , κλίση ακτινοβολίας 12^o

Το βασικό συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε από τα παραπάνω διαγράμματα είναι η απόκλιση των ακτινοβολιών από το σημείο εστίασης όταν αυτές προσπίπτουν στο κάτοπτρο με μια κλίση. Σε αντίθεση με αυτό του κυκλικού κατόπτρου, όπου σε όλες τις γωνίες πρόσπτωσης η ακτινοβολία παραμένει συγκεντρωμένη, στην περίπτωση του παραβολοειδούς κατόπτρου η ακτινοβολία εστιάζεται σε μια περιοχή και όχι σε ένα σημείο. Σύμφωνα λοιπόν με τα πιο πάνω μπορούμε να πούμε με ασφάλεια ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή του αγωγού τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια που μπορεί να απορροφήσει την ηλιακή ακτινοβολία, έτσι ένας σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη κατά τον σχεδιασμό είναι η διατομή του αγωγού (δηλαδή του απορροφητή).

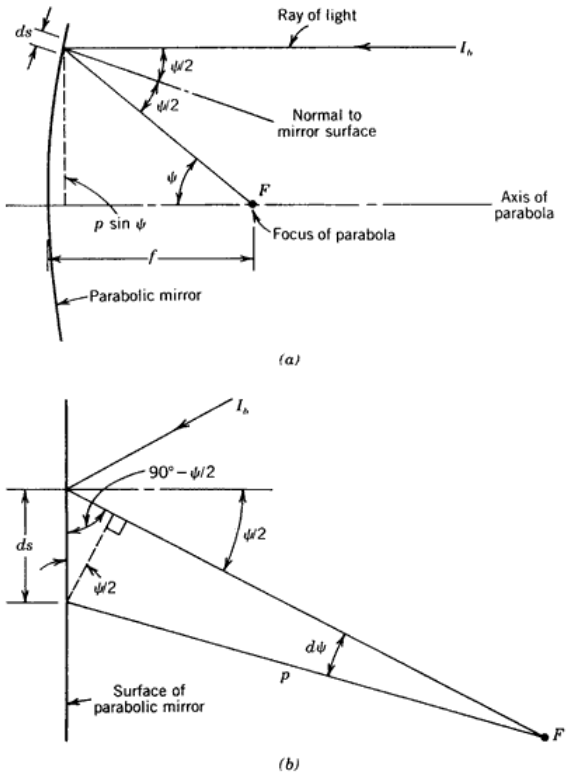
5.2.3 Ανάκλαση παράλληλης ακτινοβολίας

Για την ανάλυση της ανάκλασης παράλληλης ακτινοβολίας υποθέτουμε ότι η ακτινοβολία προσπίπτει σε παραβολοειδές κάτοπτρο σύμφωνα με το **σχήμα 5.4** , και θεωρούμε ότι η ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό έχει ισχύ I_b (W/m^2) . Η συνολική επιφάνεια του ανακλώμενου φωτός υπολογίζεται σύμφωνα με τη **σχέση 5.6** και από αυτήν μπορούμε να ορίσουμε την σχέση :

$$dA_s = L \times ds \qquad (m^2) \qquad (5.7)$$

$\boldsymbol{ds}$: ορίζουμε σαν στοιχειώδες τμήμα του τόξου της παραβολής σύμφωνα με το σχήμα 5.12

$\boldsymbol{L}$: Το μήκος του παραβολοειδούς κατόπτρου



Σχήμα 5.12

Από το σχήμα 5.12 προκύπτει εύκολα ότι :

$$\boldsymbol{ds = \frac{p \times \sin(d\psi)}{\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)}} \qquad (\boldsymbol{m}) \qquad (\boldsymbol{5.8})$$

Εφόσον θεωρούμε την γωνία $\boldsymbol{d\psi}$ πολύ μικρή μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή ότι $\boldsymbol{\sin(d\psi) = d\psi}$, έτσι η **σχέση 5.8** γίνεται :

$$\boldsymbol{ds = \frac{p \times d\psi}{\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)}} \qquad (\boldsymbol{m}) \qquad (\boldsymbol{5.8.1})$$

Έτσι συνδυάζοντας τη σχέση 5.7 και τη σχέση 5.8.1 προκύπτει

$$\boldsymbol{dA_s = L \times \frac{p \times d\psi}{\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)}} \qquad (\boldsymbol{m^2}) \qquad (\boldsymbol{5.9})$$

Στο ***σχήμα 5.12b*** , θεωρούμε ότι το τμήμα του τόξου ***dS*** της παραβολής είναι σε ευθεία γραμμή και η δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει σε αυτή την επιφάνεια με γωνία ***Ψ/2*** οπότε η συνολική ανακλώμενη ισχύς του κατόπτρου προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$d\Phi = dA_s \times I_b \times cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) = L \times \frac{p \times d\psi}{\cos\left(\frac{\psi}{2}\right)} \times I_b \times cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)$$

$$= L \times I_b \times p \times d\psi \qquad (W) \qquad (5.10)$$

Έτσι από τη σχέση 5.2 αντικαθιστώντας το ***p*** προκύπτει :

$$d\Phi = \frac{2 \times f \times L \times I_b \times d\Psi}{(1 + \cos\Psi)} \qquad (W) \qquad (5.11)$$

Φ *: Ισχύς από την ηλιακή ακτινοβολία*

f : *απόσταση του σημείου εστίασης από την αρχή των αξόνων*

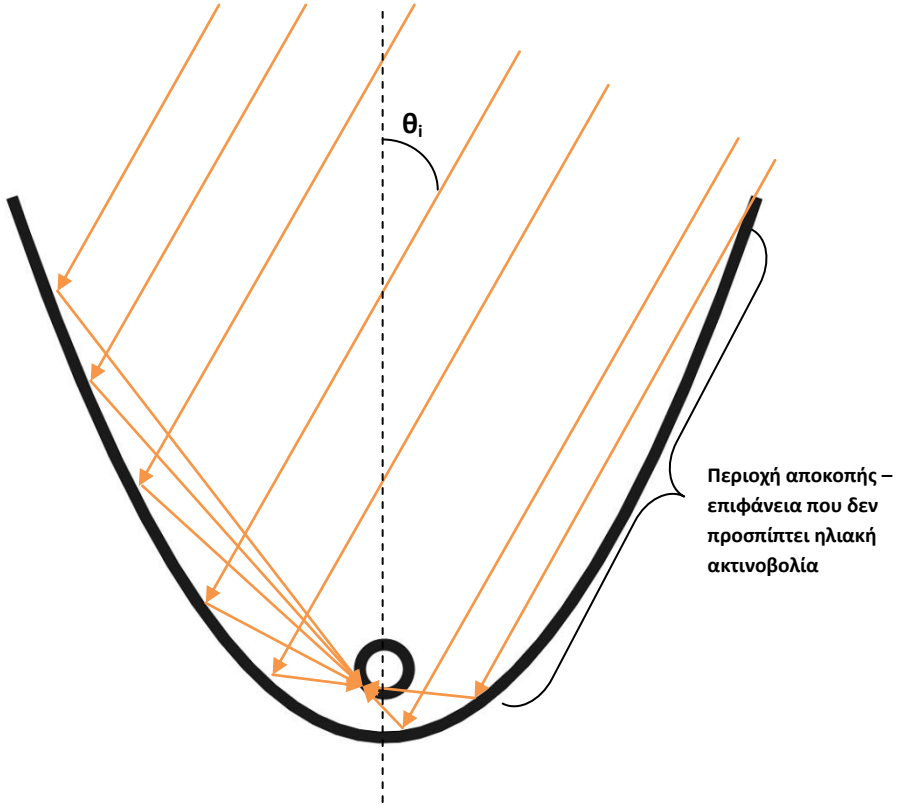
L : Το μήκος του παραβολοειδούς κατόπτρου

I_b **:** ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε W/m^2

Ψ **:** Γωνία που ορίζεται από την παραβολή

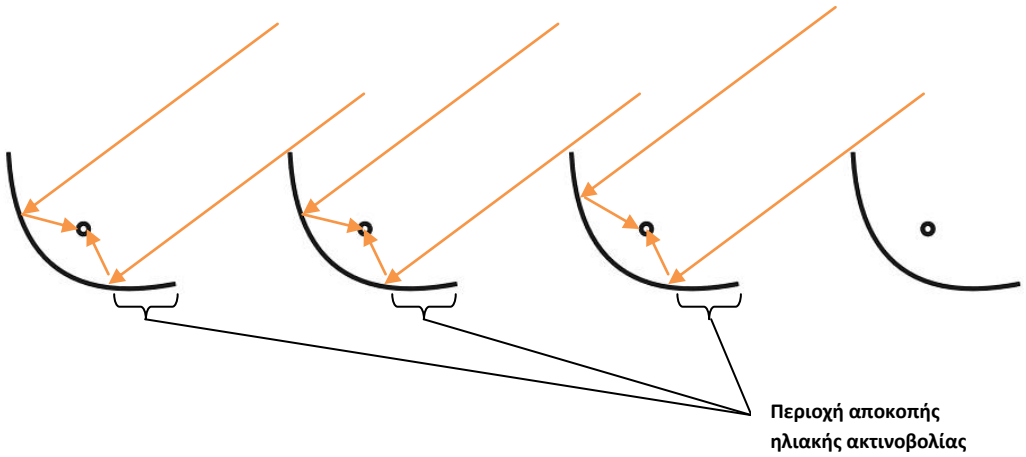
5.3 Βέλτιστη γωνία Ψ_{Rim} (Rim Angle)

Η γωνία Ψ_{Rim} όπως ορίσαμε και πιο πάνω καθορίζει το μέγιστο άνοιγμα της παραβολής. Αυτό είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά τη σχεδίαση αφού όσο αυξάνουμε την γωνία αυτή τόσο αυξάνεται και το ύψος ***h*** (σχήμα 5.2) της παραβολής και κατά συνέπεια τόσο αυξάνουμε και το μήκος τόξου της παραβολής ***s*** με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη επιφάνεια A_s και τελικά στο σύνολο μεγαλύτερη συγκέντρωση ακτινοβολίας. Όμως αυτό που πρέπει να προσέξουμε κατά την σχεδίαση είναι κατά πόσο αυτή η γωνία Ψ_{Rim} επηρεάσει θετικά ή αρνητικά το σύστημα. Ένα μεγάλο πρόβλημα που προκύπτει όταν η γωνία Ψ_{Rim} είναι μεγάλη είναι οι ακτινοβολίες που αποκόπτονται όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγάλη . Για παράδειγμα στο σχήμα 5.13 έχουμε ένα παραβολοειδές κάτοπτρο με μεγάλη γωνία Ψ_{Rim} και όταν οι ηλιακές ακτινοβολίες προσπίπτουν με μεγάλη γωνία θ_i .



Σχήμα 5.13

Από την αντίθετη πλευρά εάν η γωνία Ψ_{Rim} είναι πολύ μικρή στην περίπτωση που τα κάτοπτρα βρίσκονται σε σειρά και αυτά περιστρέφονται με ακτίνα που αρχίζει από το σημείο εστίασης , έτσι ώστε να προσανατολίζονται στις παράλληλες ακτίνες του ήλιου, τότε μπορεί να δημιουργηθεί μια επιφάνεια αποκοπής διαδοχικά από το ένα κάτοπτρο στο άλλο. Στο ***σχήμα 4.14*** παρατηρούμε 4 κάτοπτρα με μικρή γωνία Ψ_{Rim} όταν αυτά έχουν περιστραφεί , και επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε την επιφάνεια όπου αποκόπτονται οι ακτίνες . Αυτό το φαινόμενο έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά η ποσότητα της ηλιακής ισχύος που απορροφά ο συλλέκτης.



Σχήμα 4.14

Έτσι σύμφωνα με αυτές τις δύο παρατηρήσεις, πρέπει να έχουμε υπόψη ότι η επιλογή της γωνίας Ψ_{Rim} θα πρέπει να έχει τέτοια τιμή έτσι ώστε να μην εμφανίζεται κανένα από τα δύο φαινόμενα που περιγράψαμε πιο πάνω σε μεγάλο βαθμό. Επίσης κατά το σχεδιασμό του συλλέκτη, θα πρέπει να υπάρχει μια ικανοποιητική απόσταση μεταξύ των κατόπτρων ειδικά για να αποφύγουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το πρόβλημα του ***σχήματος 4.13***. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μια καλή επιλογή της γωνίας Ψ_{Rim} μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ των 90 με 98^o .

5.4 Υπολογισμός της επιφάνειας του κατόπτρου

Από την μελέτη που κάναμε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίσαμε την επίπεδη επιφάνεια που θα πρέπει να έχουμε για την αναγκαία ποσότητα σε ισχύ σύμφωνα με τις διάφορες τιμές που δώσαμε για την ηλιακή ισχύ $\boldsymbol{I_b}$ $(\frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m^2}})$ **,** όμως σύμφωνα με την ανάλυση που κάναμε πιο πάνω, πρέπει να υπολογίσουμε την επιφάνεια των κατόπτρων σύμφωνα με το μήκος τόξου της παραβολής. Για να προχωρήσουμε στην ανάλυση και τον υπολογισμό της επιφάνειας του συλλέκτη, θα πρέπει να γνωρίζουμε πρώτα το την διάμετρο του απορροφητή που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε. Το μέγεθος του απορροφητή (αγωγού που βρίσκεται στο σημείο εστίασης) είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή της γωνίας Ψ_{Rim} που θα κάνουμε και αυτό εναπόκειται στο γεγονός ότι όσο μικρότερη είναι η διατομή της σωλήνας, τόσο λιγότερο πρέπει να είναι και το σφάλμα στην επιτυχή συγκέντρωση της ακτινοβολίας στο σημείο του αγωγού δηλαδή απαιτούμε όσο είναι δυνατόν η ακτινοβολία να προσπίπτει κάθετα στο κάτοπτρο.

5.4.1 Συνοπτική διαδικασία υπολογισμού της επιφάνειας και γεωμετρίας του κατόπτρου

- Επιλογή της διαμέτρου του χάλκινου αγωγού που θα βρίσκεται στο σημείο εστίασης, και αυτό θα είναι σύμφωνα με την συνολική παροχή θερμότητας που θέλουμε να παρέχουμε στο δοχείο αποθήκευσης, όπως προαναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια
- Γνωρίζοντας την αναγκαία επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα $\mathbf{A_s}$ $\mathbf{(m^2)}$ και γνωρίζοντας κατά μέσο όρο την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $\mathbf{I_b}$ $\mathbf{(W/m^2)}$ μπορούμε να αποδώσουμε την συνολική επιφάνεια του κατόπτρου
- Από τη σχέση 5.6 έχουμε ως γνωστό το αριστερά μέρος της εξίσωσης, δηλαδή το $\mathbf{A_s}$. Ιδιαίτερη προσοχή όμως πρέπει να δώσουμε στο γεγονός ότι , η συνολική επιφάνεια που έχουμε υπολογίσει σύμφωνα με τα προηγούμενα είναι η επιφάνεια που πρέπει να έχει ο συλλέκτης, έτσι πρέπει να γίνει επιλογή στον αριθμό των απορροφητών έτσι ώστε διαιρώντας τη τιμή που δώσαμε με την συνολική

επιφάνεια $\mathbf{A_s}$ προκύπτει η επιφάνεια του κάθε κατόπτρου. Όμως όσο αυξάνουμε τον αριθμό των απορροφητών τόσο μειώνουμε το μέγεθος της επιφάνειας του κάθε κατόπτρου

- Η απόσταση **L** καθορίζεται σύμφωνα με τις κατασκευαστικές ανάγκες, έτσι ώστε να μην απορρίπτεται υλικό, άρα η απόσταση αυτή δίνεται σύμφωνα με τον σχεδιαστή και απαιτεί λογικές τιμές έτσι ώστε να είναι εφικτή
- Εδώ θα πρέπει να γίνει μια σωστή λογική διαδικασία για την επιλογή του αριθμού των απορροφητών και αυτό επιτυγχάνεται καθορίζοντας από την αρχή την γωνία $\Psi_{rim}(90^{o}\sim98^{o})$, έτσι ώστε από τη σχέση 5.3 να υπολογίζεται ο λόγος f/d. Γνωρίζοντας λοιπόν το συνολικό μήκος τόξου **s** από τη σχέση 5.5 και τον λόγο f/d που υπολογίσαμε μπορεί να προκύψει το άνοιγμα της παραβολής **d** , αλλά θεωρούμε ότι αυτό το άνοιγμα είναι το συνολικό άνοιγμα που θα είχε μόνο ένα παραβολοειδές κάτοπτρο. Στην προκειμένη περίπτωση, κάνουμε δοκιμές διαιρώντας αυτό το άνοιγμα **d** με διάφορες τιμές του αριθμού των απορροφητών έτσι ώστε να προκύψουν αποτελέσματα τα οποία θα είναι φυσιολογικά για τον συνολικό σχεδιασμό του συλλέκτη.

Κεφάλαιο 6ο

6.1 Σχεδιασμός και κατασκευή συλλέκτη

6.1.1 Βασικές απαιτήσεις

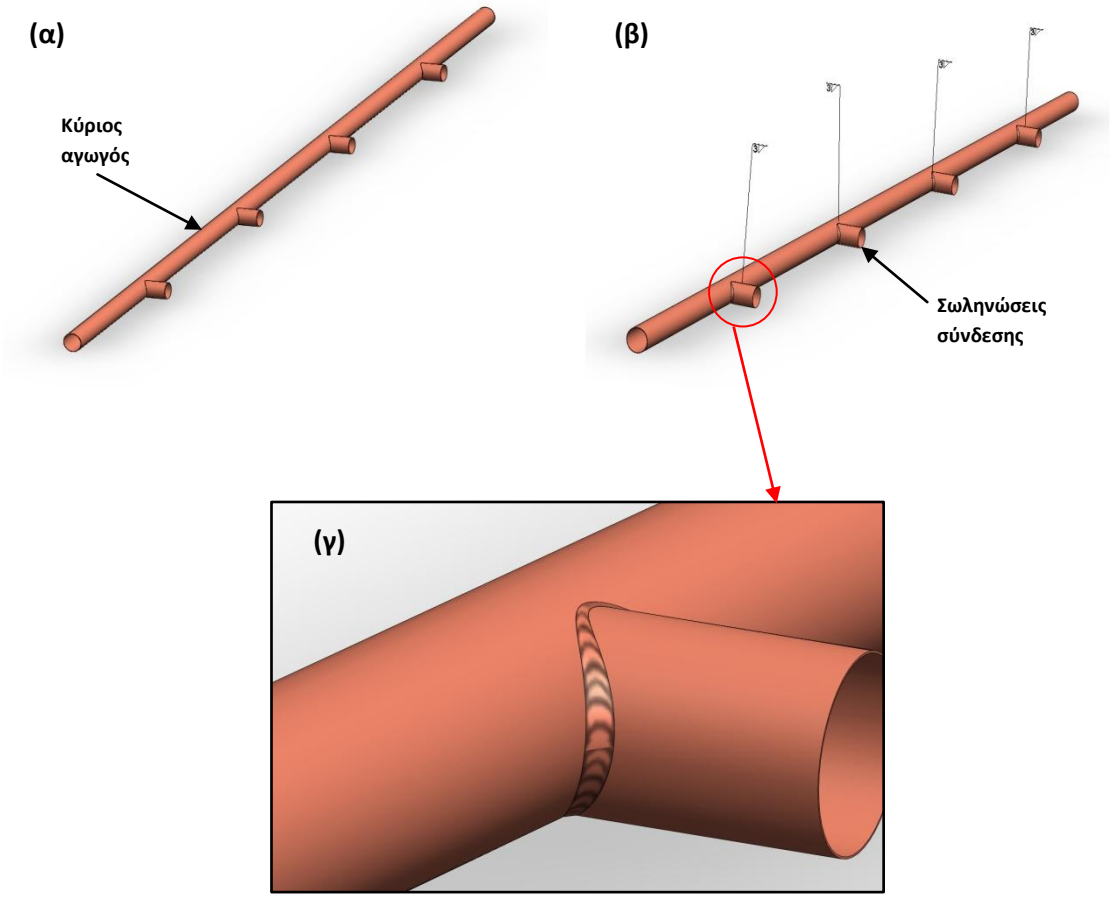
Ο σχεδιασμός του συλλέκτη πρέπει να γίνει βάση των απαιτήσεων για κατασκευή που θα είναι αξιόπιστη, λειτουργική και κατά κύριο λόγο να έχει χαμηλό κόστος. Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τη δυνατότητα συντήρησης και την επισκευή σε περιπτώσεις όπου έχουμε φθορά ή καταστροφή κάποιου κατασκευαστικού μέρους, άρα η κατασκευή πρέπει να έχει τέτοια μορφή έτσι ώστε να μπορεί κάποιος εξειδικευμένος τεχνικός να την αποσυναρμολογήσει. Όσο αφορά την λειτουργία του και την αξιοπιστία του συλλέκτη, θα πρέπει να αναφερθούμε στις καιρικές συνθήκες και την λειτουργία του συλλέκτη σύμφωνα με αυτές , δηλαδή η σκόνη που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των κατόπτρων όπως θα δούμε στην συνέχεια , το νερό της βροχής όπου μπορεί να μαζευτεί στην κοιλότητα του κατόπτρου με αποτέλεσμα να έχουμε στρέβλωση του , οι δυνατοί άνεμοι που μπορεί να μετακινήσουν την θέση των κατόπτρων και να χάσουμε το σημείο συγκέντρωσης της ακτινοβολίας και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε χιόνι άρα η κατασκευή μας θα πρέπει να μπορεί να αντέξει το βάρος. Συνέπεια αυτών των προβληματισμών είναι η ανάγκη για καλή μόνωση του συλλέκτη και ιδιαίτερα στο σημείο όπου γίνεται η συγκέντρωση ακτινοβολίας όπου ο αγωγός που απορροφά την ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να καλύπτεται από κάποιο αδιαφανές υλικό αφού δεν θα μπορεί να περάσει η ακτινοβολία έτσι προκύπτει ένα σοβαρό πρόβλημα μόνωσης του απορροφητή. Τέλος λόγω του προβλήματος που προκύπτει από τη γεωμετρία του κατόπτρου και την τροχιά της γης σε σχέση με τον ήλιο όπως προαναφέραμε θα σχεδιάσουμε τα κάτοπτρα έτσι ώστε να μπορούν να περιστρέφονται χωρίς να επηρεάζεται ο απορροφητής. Αφού λοιπόν θέσουμε σαν κύριους στόχους τις πιο πάνω απαιτήσεις, τότε θα πρέπει να κάνουμε μια σωστή επιλογή των υλικών για την κατασκευή έτσι ώστε να έχουμε μέγιστη δυνατή απόδοση. Πέραν αυτού για να ολοκληρωθεί η αρχική σκέψη για την υλοποίηση του συλλέκτη , θα πρέπει να προσθέσουμε στην μελέτη τον έξυπνο σχεδιασμό (Smart Design) δίνοντας την δυνατότητα να επεκτείνουμε τον συλλέκτη και να μπορούμε με μικρές αλλαγές στην κατασκευή να αλλάζουμε την συνολική απόδοση , δηλαδή κάποια κομμάτια του συλλέκτη θα είναι τα ίδια σε όλες τις περιπτώσεις όπου θα μπορούμε να αλλάξουμε την διατομή του απορροφητή και του κυρίως αγωγού παροχής νερού, αυτό θα γίνει κατανοητό στην συνέχεια όπου θα παρουσιαστούν τα κατασκευαστικά σχέδια.

6.2 Περιγραφή κατασκευής απορροφητή

Ο σχεδιασμός του απορροφητή απαιτεί προσοχή , δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στην στεγανότητα που θα έχει στις συνδέσεις έτσι ώστε να τηρούμε την απαίτηση της αξιόπιστης λειτουργίας του συλλέκτη. Ο απορροφητής θα είναι κατά κύριο λόγο κατασκευασμένος από χαλκό μιας και προσφέρει πάμπολλες καλές ιδιότητες τις οποίες αναφέρουμε πιο κάτω.

Έτσι ο κύριος αγωγός παροχής νερού θα πρέπει να συνδέεται με τους απορροφητές που βρίσκονται στο σημείο συγκέντρωσης της ακτινοβολίας, με συνδέσεις όπου θα προσφέρουν ευκολία στην εφαρμογή και αξιοπιστία. Όπως αναφέραμε πιο πάνω η κατασκευή θα πρέπει να αποσυναρμολογείται εύκολα. Η περιγραφή γίνεται με τα επόμενα βήματα όπου παρατίθεται και σχηματική διάταξη σε κάθε ένα από αυτά για την καλύτερη κατανόηση.

Βήμα 1^{ο} *: Συγκόλληση σωληνώσεων σύνδεσης*

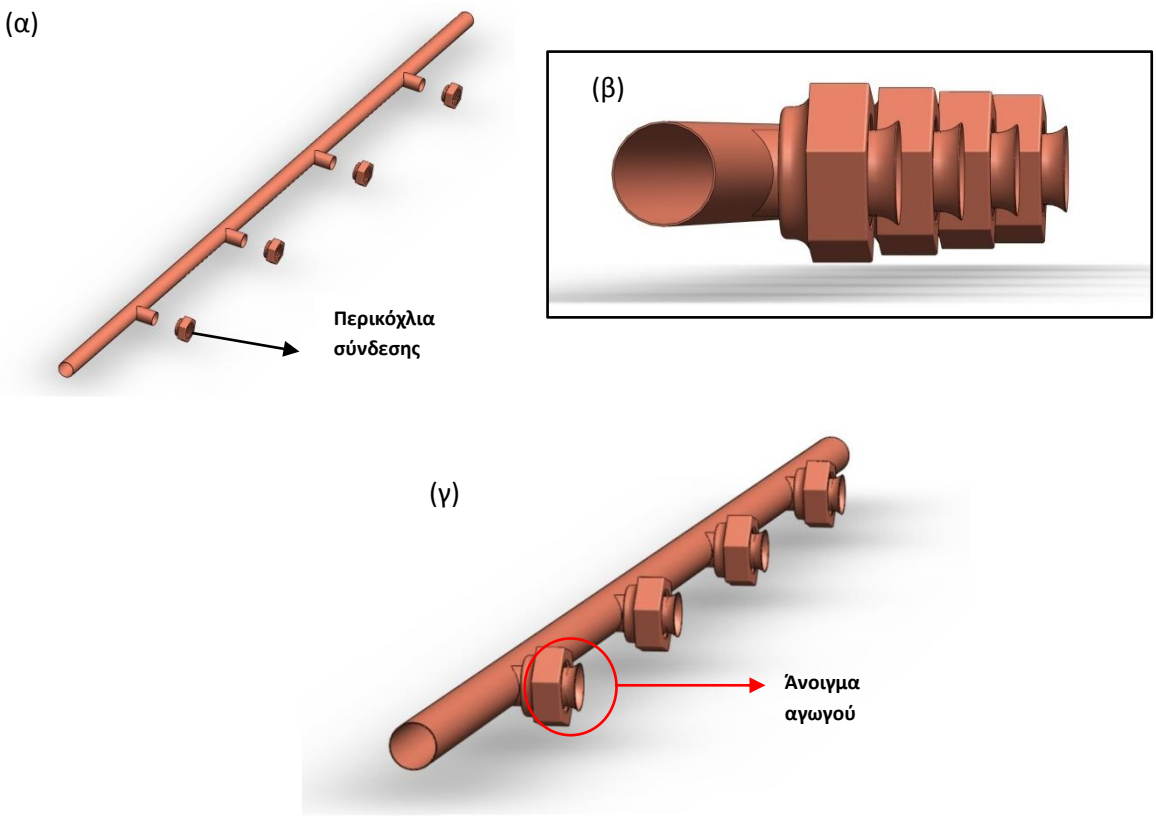


Σχήμα 6.1 (α) , (β) , (γ)

Σχήμα 6.1 (α) , στο σχήμα αυτό φαίνεται ο κεντρικός αγωγός παροχής νερού όπου επιλέξαμε να προσαρμόσουμε 4ις σωληνώσεις μικρότερης διατομής όπου θα δούμε στη συνέχεια πώς αξιοποιούνται. Στο παρόν στάδιο δείχνουμε στο σχήμα 6.1(γ) λεπτομερώς ότι στις σωληνώσεις που προεξέχουν κάνουμε συγκόλληση της χαλκοσωλήνας προσφέροντας έτσι απόλυτη στεγανότητα και διατηρώντας όλες τις ιδιότητες του χαλκού. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι οι προεξοχές αυτές θα είναι ίδιας διατομής με αυτής του απορροφητή για να διατηρήσουμε την ομαλή ροή του νερού στις σωληνώσεις. Επίσης κατά την συγκόλληση ο τεχνίτης θα πρέπει να στηρίξει τον κύριο αγωγό σε μια αυτοσχέδια

κατασκευή έτσι ώστε να μπορεί αυτός να παραμείνει σταθεροποιημένος και να προσαρμόσει τις σωληνώσεις σύνδεσης με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια , και να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετες σε αυτόν όπως αναλυτικά φαίνεται και στο πιο πάνω σχήμα. Σημαντικό είναι επίσης να αναφέρουμε ότι οι προστιθέμενες σωληνώσεις για τις συνδέσεις θα πρέπει να είναι τέτοιου μήκους έτσι ώστε να χωρέσει το περικόχλιο σύσφιξης της σύνδεσης. Ο λόγος που πρέπει να γίνεται αυτό εξηγείται με την παρακάτω σχηματική διάταξη.

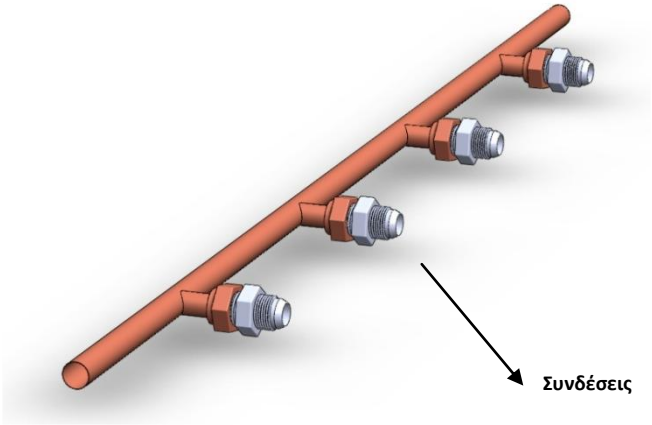
Βήμα 2^{ο} *: Τοποθέτηση περικοχλίων σύσφιξης και εκχύλωση χάλκινων αγωγών*



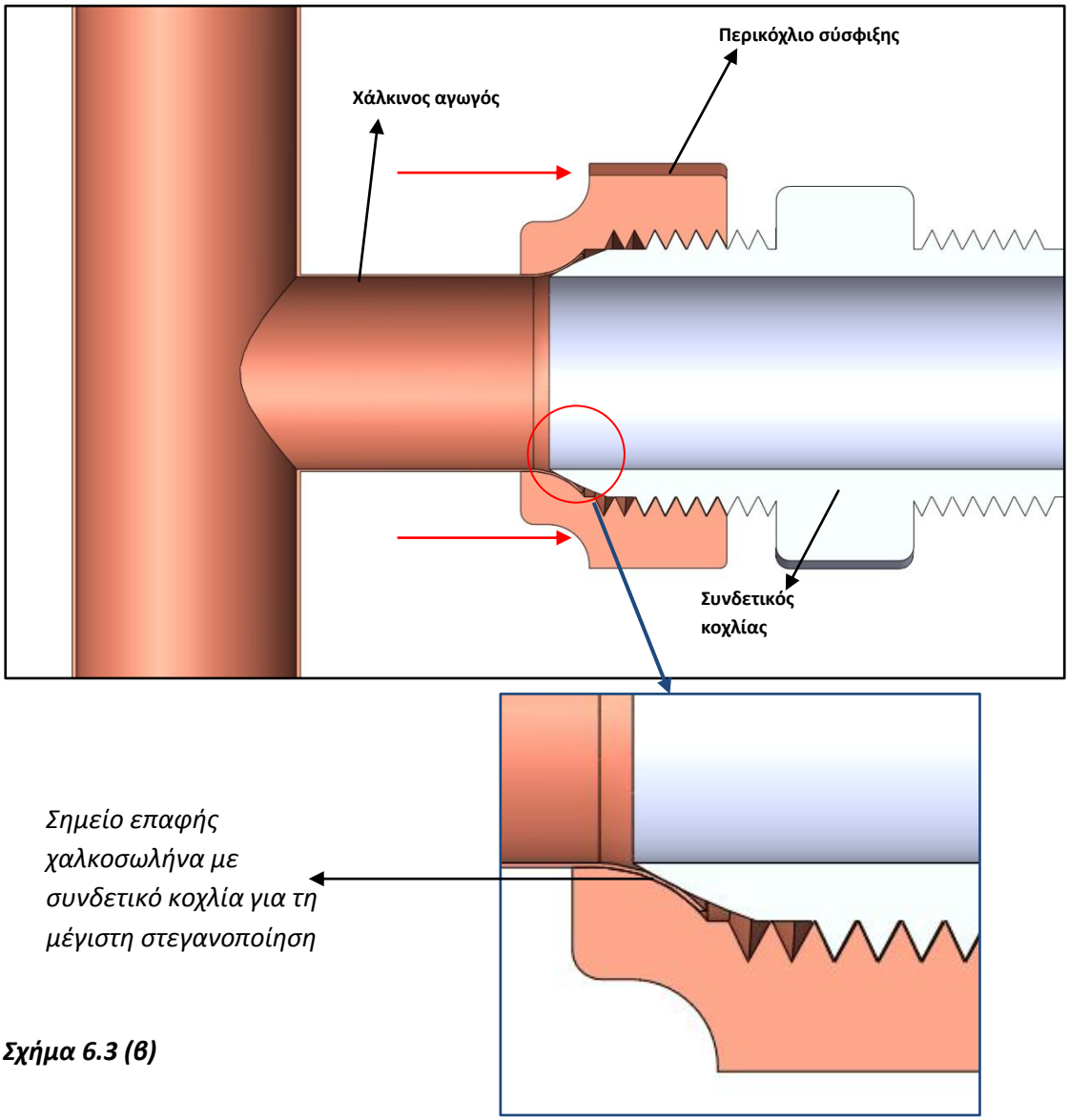
Σχήμα 6.2 (α) , (β) , (γ)

Αφού λοιπόν τοποθετήσουμε τα περικόχλια σύσφιξης στους αγωγούς σύνδεσης , όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2 (α) , στη συνέχεια με ειδικά εργαλεία εκχύλωσης της χαλκοσωλήνας (τα οποία μπορούμε να προμηθευτούμε εύκολα στην αγορά) κάνουμε το άνοιγμα στις άκρες. Μετά την εφαρμογή αυτή το περικόχλιο δεν μπορεί να εξέλθει της χαλκοσωλήνας, και για αυτό απαιτεί προσοχή έτσι ώστε όταν εκχυλώσουμε την χαλκοσωλήνα στην άκρη να μην δημιουργηθούν ατέλειες ή ανεπιθύμητες παραμορφώσεις. Ο λόγος που γίνεται αυτό το άνοιγμα είναι για να ‘’πατήσει’’ το χείλος της χαλκοσωλήνας στην ένωση και το περικόχλιο σύσφιξης να το πιέσει στις άκριες , και τέλος λόγο της ευκαμψίας του χαλκού αυτό να πάρει το σχήμα της ένωσης προσφέροντας την επιθυμητή στεγανότητα που χρειαζόμαστε. Παρακάτω φαίνεται λεπτομερώς η μορφή της ένωσης και ο τρόπος που λειτουργεί.

Βήμα 3^{ο} *: Τοποθέτηση συνδέσεων*



Σχήμα 6.3 (α)

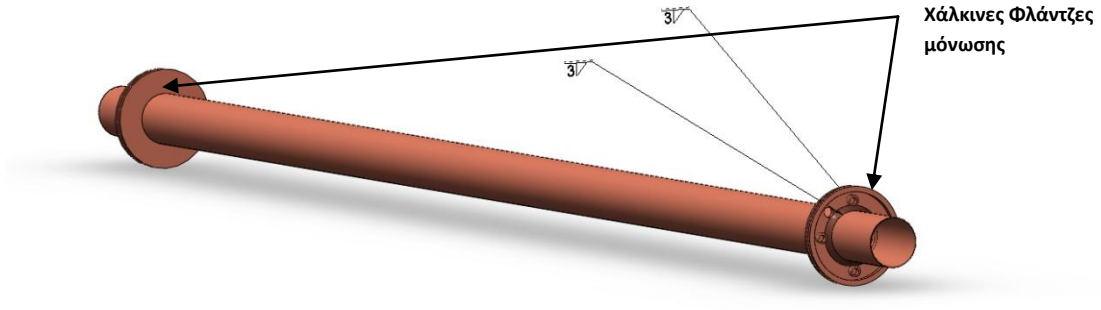


Σχήμα 6.3 (β)

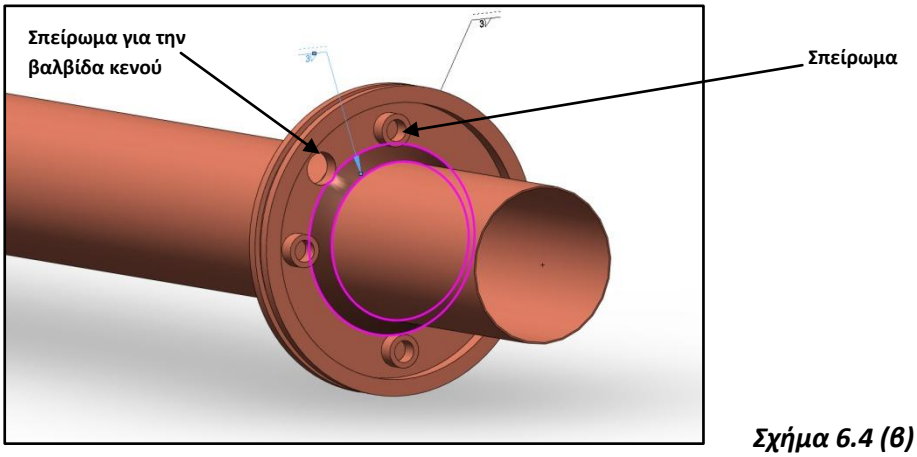
Αφού λοιπόν το περικόχλιο σύσφιξης τοποθετηθεί , τότε το χείλος της χαλκοσωλήνας όπως προαναφέραμε έρχεται σε απόλυτη επαφή με την ένωση, όπως αυτό φαίνεται στο σχήμα 6.3 (β). Αυτή η συναρμολόγηση γίνεται εις διπλούν αφού όπως θα δούμε στη συνέχεια η ίδια κατασκευή θα χρησιμοποιηθεί και για την σωλήνα εξόδου του νερού από το συλλέκτη.

Βήμα 4^{ο} : *Συγκόλληση φλαντζών στους απορροφητές*

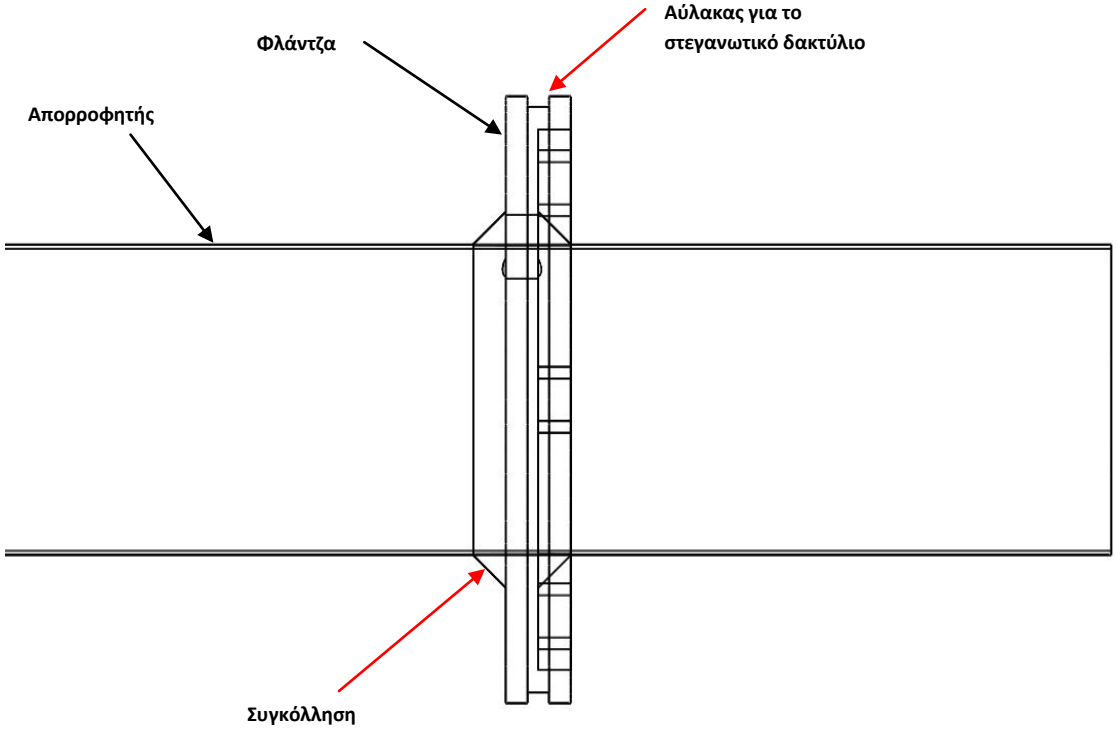
Όπως προαναφέραμε , ένα βασικό πρόβλημα που παρουσιάζεται στην κατασκευή είναι η μόνωση των απορροφητών (δηλαδή των αγωγών που βρίσκονται στο σημείο εστίασης) , αφού αυτοί δεν πρέπει να καλύπτονται από αδιαφανή επιφάνεια όπου θέλουμε οι ηλιακές ακτινοβολίες να διαπερνούν την μόνωση και τελικώς να καταλήγουν στους αγωγούς. Άρα αυτό που μένει είναι η μόνωση με γυαλί, την οποία μπορούμε να κάνουμε καλύτερη δημιουργώντας κενό μεταξύ του σωλήνα και του γυαλιού. Το κενό δεν επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας από τον αγωγό με το περιβάλλον , και μπορούμε να πούμε ότι προσφέρει άριστη μόνωση. Έτσι συγκολλούμε στους απορροφητές στις άκρες τους φλάντζες οι οποίες έχουν ειδικές σχισμές για την τοποθέτηση ελαστικών στεγανωτικών δακτυλίων και επίσης στη μια πλευρά δημιουργούμε μια οπή στην οποία θα προσθέσουμε την βαλβίδα εκκένωσης του αέρα (βαλβίδα κενού). Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η διαδικασία έτσι όπως πρέπει να τοποθετηθούν οι φλάντζες και στη συνέχεια η βαλβίδα εκκένωσης.



Σχήμα 6.4 (α)



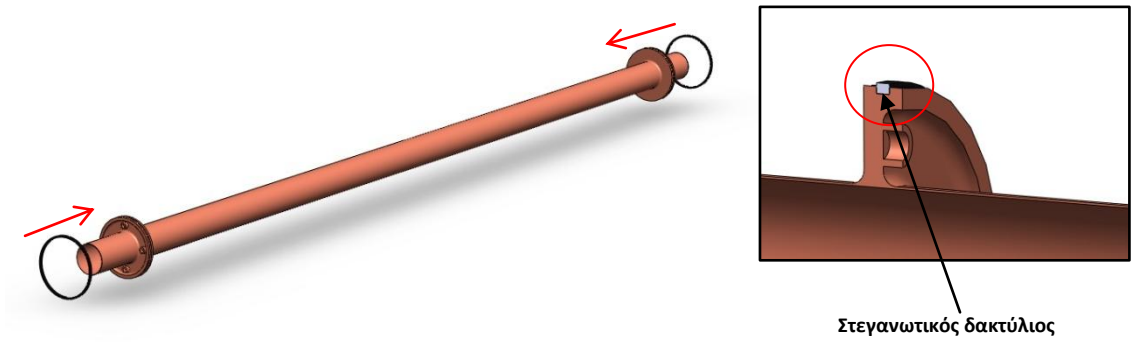
Σχήμα 6.4 (β)



Σχήμα 6.4 (γ)

Στο σχήμα 6.4 (β) απεικονίζεται η χάλκινη φλάντζα , τα ειδικά σπειρώματα τα οποία γίνονται για να προσαρμόσουμε στη συνέχεια το κάλυμμα που θα προσφέρει την στεγάνωση που χρειαζόμαστε και να δημιουργήσουμε το κενό, και τέλος τη ειδική οπή όπου σε αυτήν θα τοποθετήσουμε την βαλβίδα κενού.

Βήμα 5^{ο} *: Τοποθέτηση στεγανωτικών δακτυλίων στη φλάντζα*

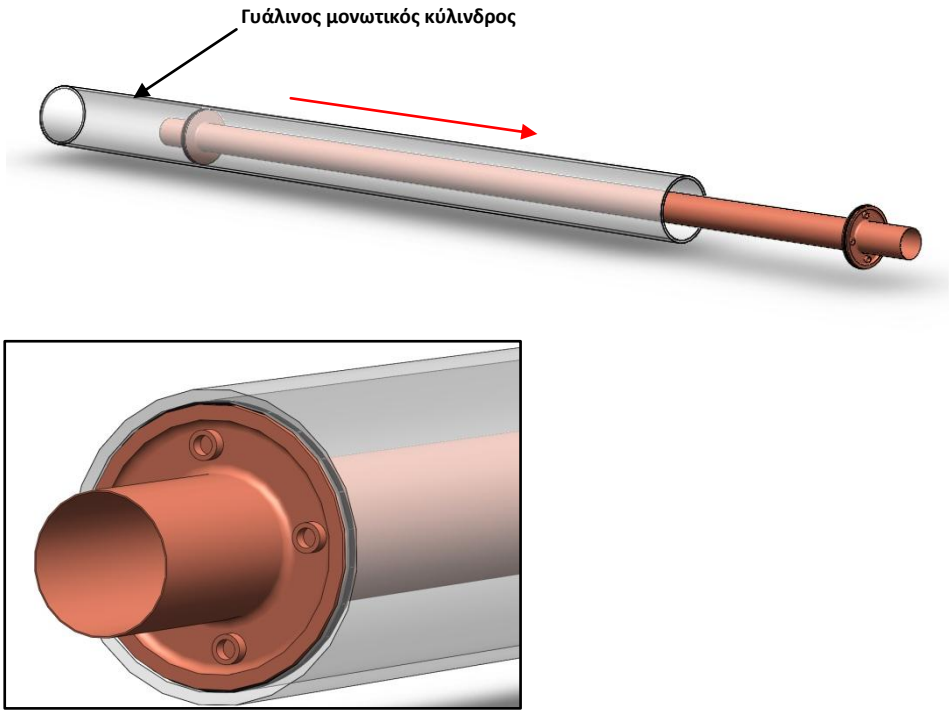


Σχήμα 6.5 (α)

Τοποθετούμε το στεγανωτικό δακτυλίδι , το οποίο βοηθά στην απόλυτη στεγανότητα που χρειαζόμαστε για να δημιουργήσουμε κενό. Η επιλογή στο υλικό του στεγανωτικού πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά αφού αυτό πρέπει να έχει ελαστικές ιδιότητες και ταυτόχρονα να μπορεί να αντέχει στο χρόνο και στις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης ο δακτύλιος κατά την

εφαρμογή στο σημείο της εγκοπής θα πρέπει να τοποθετηθεί με προσοχή έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί η μορφή του.

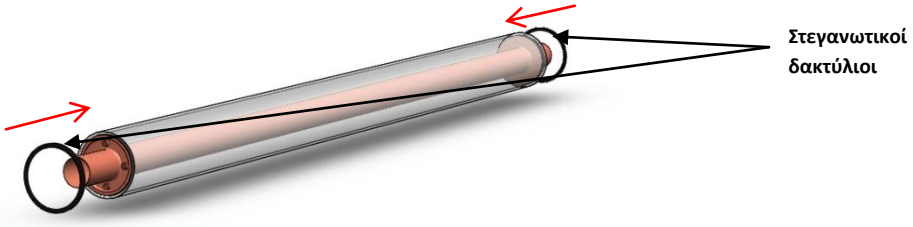
Βήμα 6^{ο}: *Τοποθέτηση γυάλινου μονωτικού κυλίνδρου και στεγανωτικών δακτυλίων*



Σχήμα 6.6

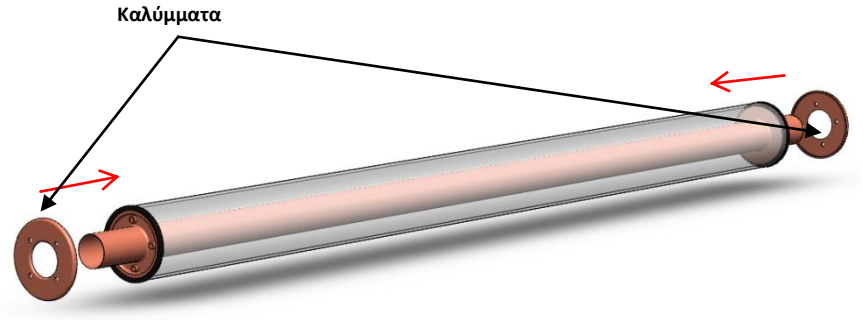
Ο γυάλινος μονωτικός κύλινδρος τοποθετείται έτσι ώστε στις δύο άκρες να έρχεται σε επαφή με τα στεγανωτικά της φλάντζας.

Στη συνέχεια τοποθετούμε δύο εξωτερικά στεγανωτικά δακτυλίδια στα οποία θα έρθει το κάλυμμα στεγανοποίησης να εφαρμόσει, παρακάτω φαίνεται η σχηματική διάταξη.

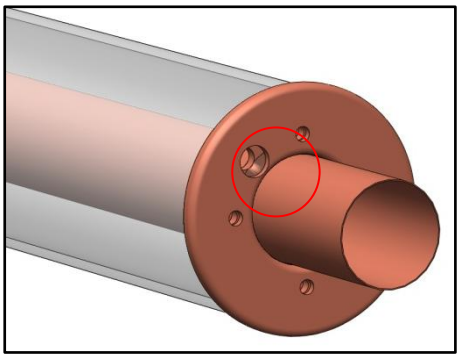


Σχήμα 6.7

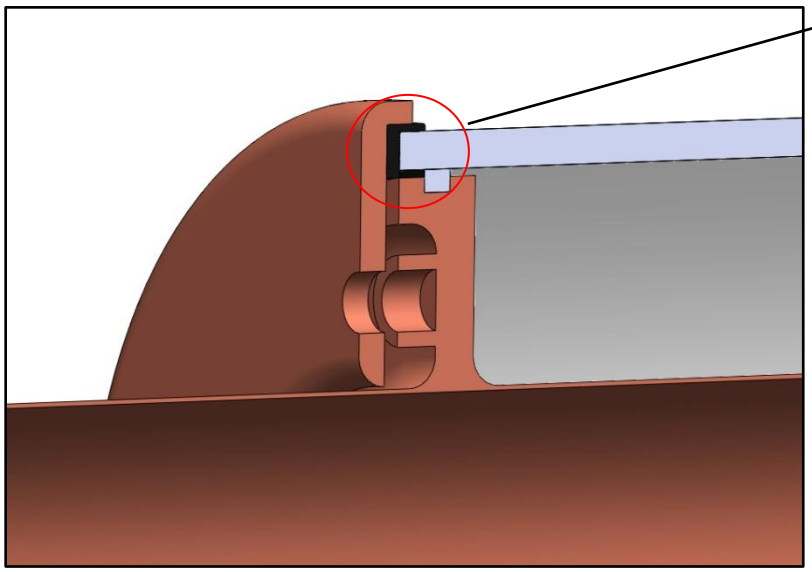
Βήμα 7ο *: Τοποθέτηση καλύμματος μόνωσης*



Σχήμα 6.8 (α)



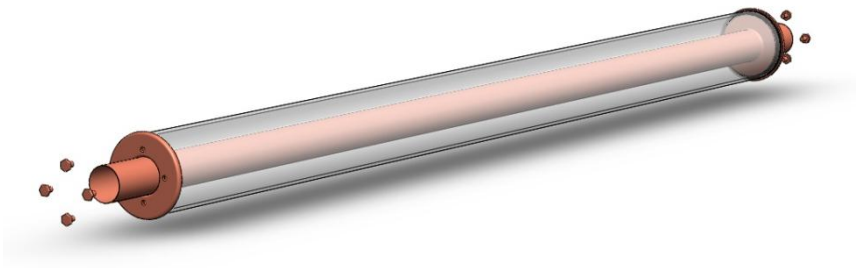
Σχήμα 6.8 (β)



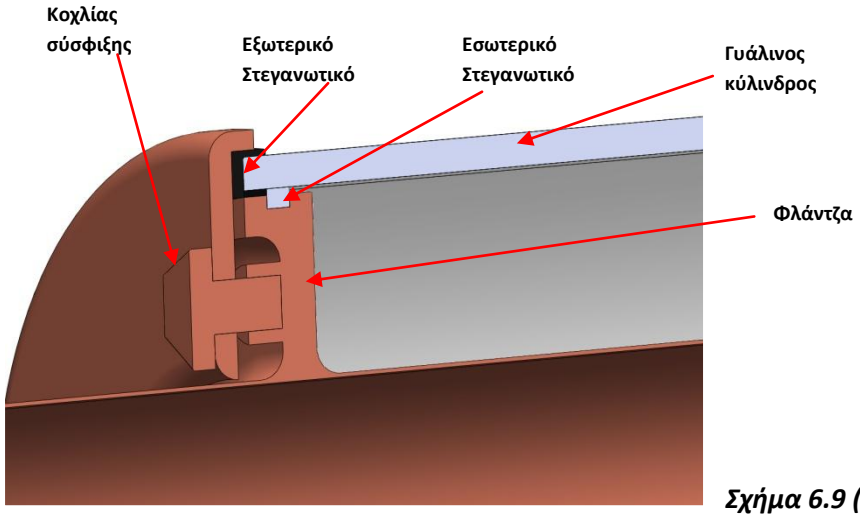
Σχήμα 6.8 (γ)

Περνώντας τα καλύμματα από τους αγωγούς , τότε εφαρμόζουμε τις οπές έτσι ώστε να ταιριάζουν με τα σπειρώματα της φλάντζας όπου θα γίνει η σύσφιξη με τους κοχλίες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δώσουμε στο σχήμα 6.8 (β) , όπου στο κάλυμμα έχουμε δημιουργήσει μια οπή η οποία θα πρέπει να προσαρμόζεται έτσι ώστε να είναι ομόκεντρη με το σπείρωμα της φλάντζας για την εφαρμογή της βαλβίδας εκκένωσης. Στη συνέχεια βιδώνουμε τους κοχλίες σύσφιξης του καλύμματος έτσι ώστε η επιφάνεια του χαλκού να

έρθει σε επαφή με το εξωτερικό στεγανωτικό δακτυλίδι της μόνωσης όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα .



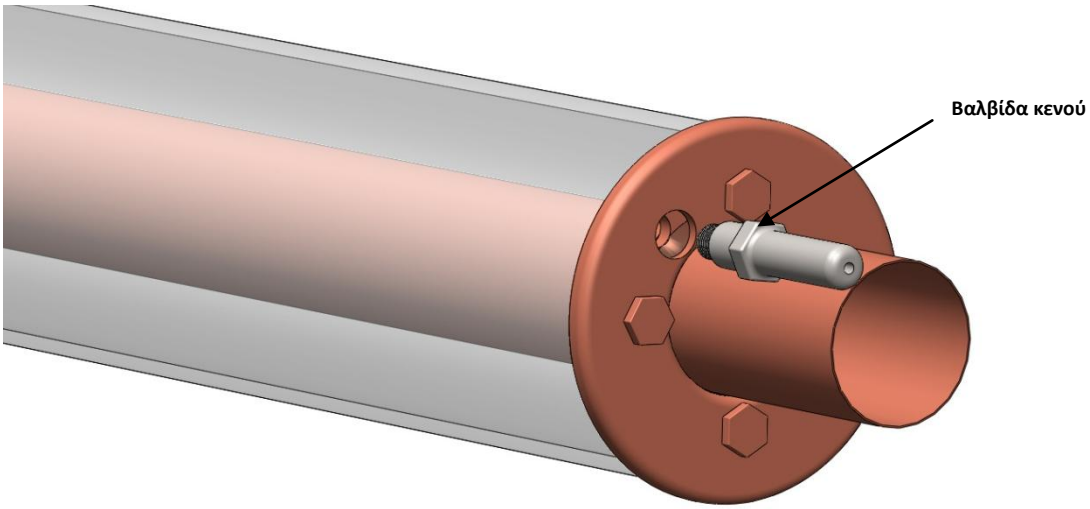
Σχήμα 6.9 (α)



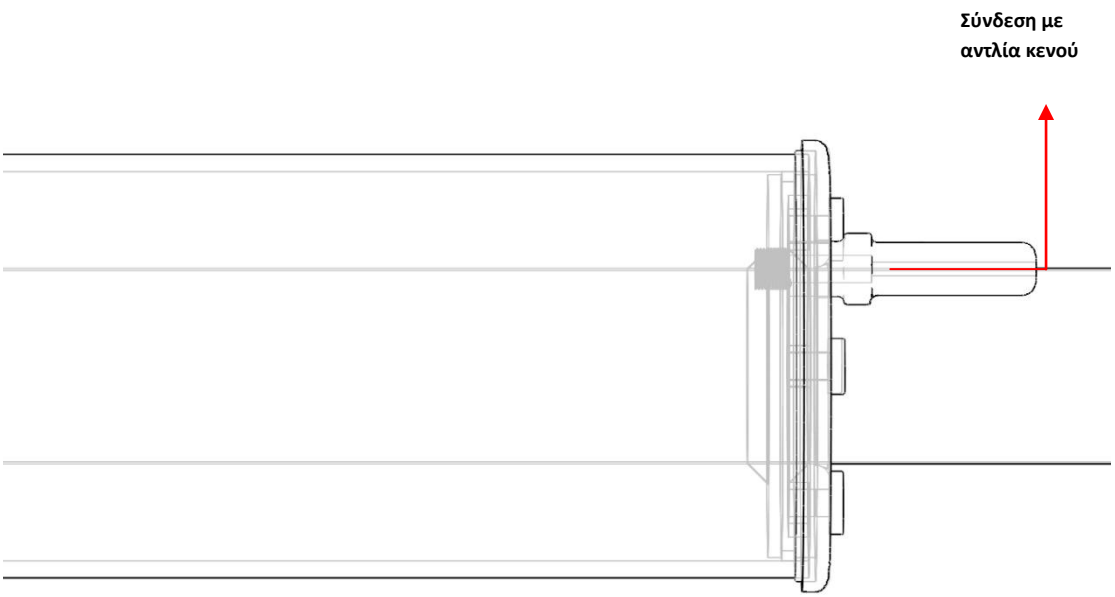
Σχήμα 6.9 (β)

Βήμα 8^{ο} *: Σύσφιξη βαλβίδας κενού και δημιουργία κενού στο σωλήνα*

Η σύσφιξη της βαλβίδας κενού στη φλάντζα απαιτεί μεγάλη προσοχή έτσι ώστε τα σπειρώματα , τόσο της βαλβίδας όσο και της φλάντζας να μείνουν άθικτα αφού τυχόν παραμόρφωση τους θα επηρεάσει την στεγανότητα που χρειαζόμαστε και τέλος δεν θα πετύχουμε το κενό. Έτσι λοιπόν με προσοχή κάνουμε την σύσφιξη της βαλβίδας έτσι ώστε έρθει σε απόλυτη επαφή με την φλάντζα. Ο λόγος που τοποθετούμε την βαλβίδα κενού είναι για να αφαιρέσουμε τον αέρα που βρίσκεται μεταξύ του γυάλινου σωλήνα και του απορροφητή , με αποτέλεσμα να μονώσουμε την περιοχή, αφού το κενό όπως προαναφέραμε δεν επιτρέπει την μεταφορά θερμότητας με το περιβάλλον.



Σχήμα 6.10 (α)

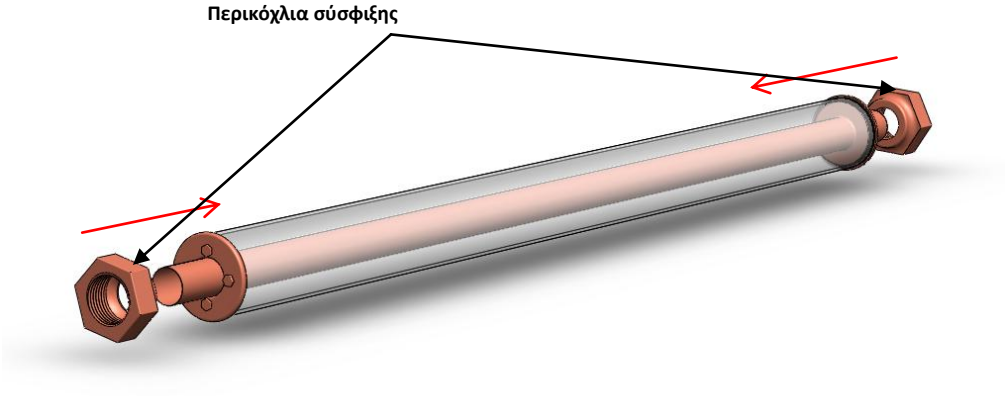


Σχήμα 6.10 (β)

Μετά την τοποθέτηση της βαλβίδας κενού, συνδέουμε την αντλία κενού με αυτήν και την θέτουμε σε λειτουργία, έτσι ώστε να δημιουργήσουμε το κενό. Σημειώνουμε ότι αν δεν παρατηρήσουμε καθόλου πτώση πίεσης αυτό σημαίνει ότι σε κάποιο σημείο της κατασκευής έχουμε απώλεια , δηλαδή δεν έχουμε την στεγανότητα που χρειαζόμαστε. Επίσης , μετά την αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα από το σωλήνα, αφήνουμε τον δείκτη της αντλίας για κάποιο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι η κατασκευή μπορεί να κρατήσει σταθερή ένδειξη χαμηλής πίεσης.

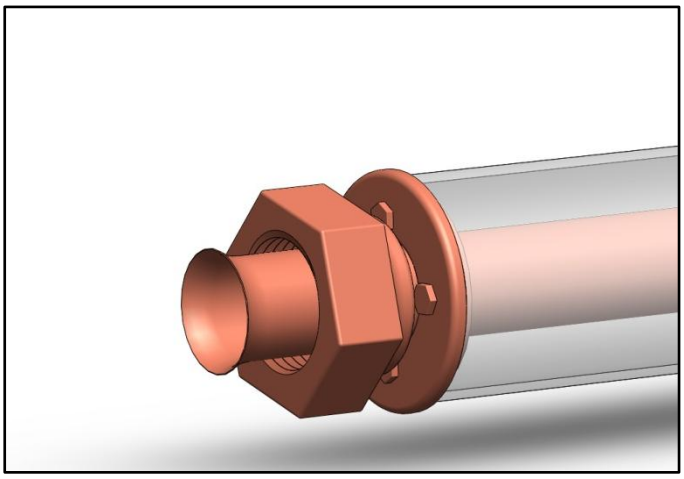
Βήμα 9^{ο} *: Εφαρμογή περικοχλίων σύσφιξης και εκχύλωση απορροφητή στις άκρες*

Όπως και στην περίπτωση των κυρίως αγωγών (βλέπε βήμα 2^{ο}) , έτσι και εδώ περνάμε τα περικόχλια σύσφιξης από τους αγωγούς, και στη συνέχεια εκχυλώνουμε τις άκρες του χαλκοσωλήνα, έτσι ώστε να έρθει σε επαφή με τις ενώσεις των αγωγών εισόδου και εξόδου.



Σχήμα 6.11 (α)

Εκχύλωση του απορροφητή στις άκρες

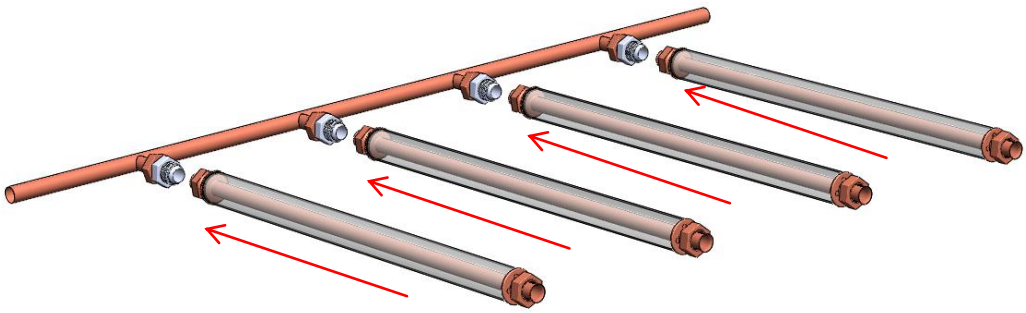


Σχήμα 6.11 (β)

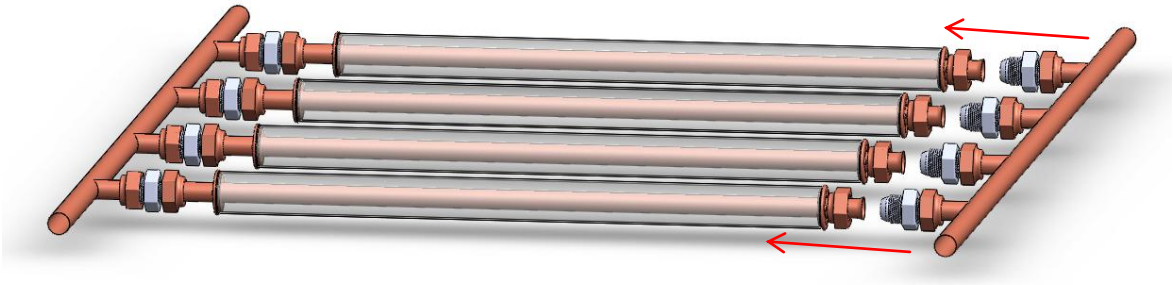
Τα βήματα 4 μέχρι 9 επαναλαμβάνονται ανάλογα με τον αριθμό των απορροφητών που χρειαζόμαστε για ένα συλλέκτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε ένα αριθμό 4^{ων} απορροφητών

Βήμα 10^{ο} : *Σύνδεση απορροφητών με τους κυρίως αγωγούς*

Η σύνδεση των απορροφητών με της ενώσεις γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπου που περιγράψαμε στο 3^{ο} Βήμα. Έτσι συνδέουμε τους απορροφητές με τους κυρίως αγωγούς όπως φαίνεται αναλυτικά στα παρακάτω σχήματα.

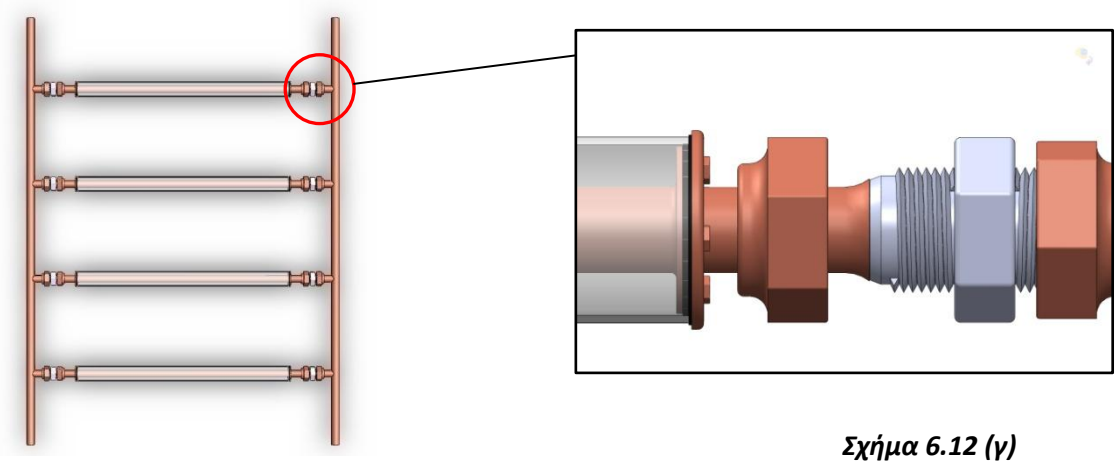


Σχήμα 6.12 (α)



Σχήμα 6.12 (β)

Τελικώς ο απορροφητής έχει την εξής μορφή :



Σχήμα 6.12 (γ)

6.2.1 Μόνωση απορροφητή

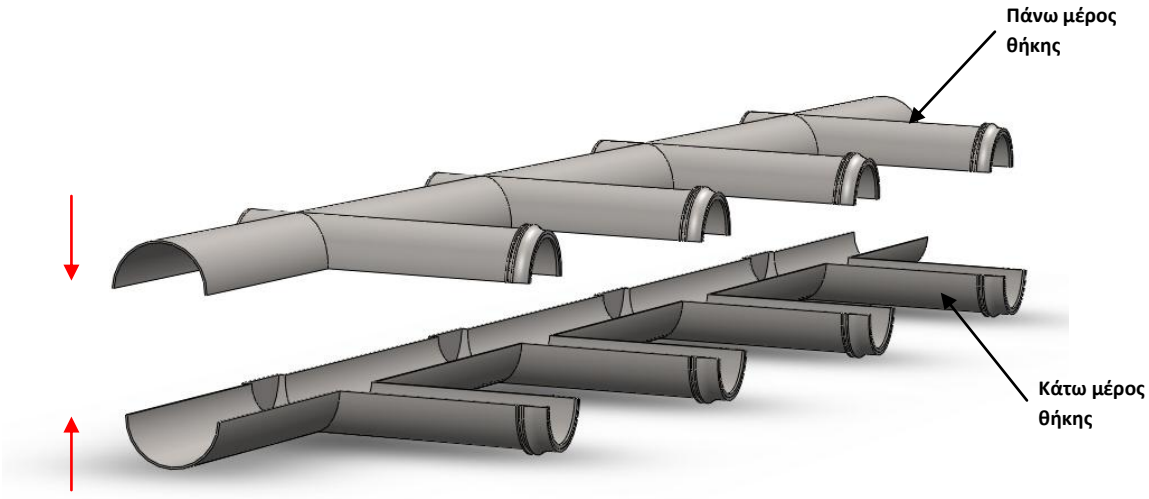
Μετά την κατασκευή του απορροφητή αυτό που χρειάζεται είναι να γίνει η μόνωση με την βοήθεια πλαϊνών θηκών , έτσι ώστε αυτές να αφαιρούνται και να λύνεται η κατασκευή.

Μεταξύ των πλαϊνών θηκών και του απορροφητή θα προσθέσουμε μονωτικό υλικό το οποίο επίσης θα μπορεί να αφαιρείται σε περίπτωση ανάγκης. Αυτό το υλικό μπορεί να είναι υαλοβάμβακας ή και πετροβάμβακας. Επίσης θα δώσουμε ιδιαίτερη σημασία στις επαφές του απορροφητή με τις θήκες έτσι ώστε να μην έρχεται καμιά επιφάνεια των σωληνώσεων με το περιβάλλον, χάνοντας έτσι πολύτιμα ποσά ενέργειας. Η κατασκευή των πλαϊνών θηκών μπορεί να γίνει είτε από πλαστικό υψηλής ποιότητας είτε από αλουμίνιο προσφέροντας έτσι μείωση του βάρους και αποτελεσματικότητα στα προβλήματα οξείδωσης του συλλέκτη.

Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι των πλαϊνών θηκών είναι η προσαρμογή ειδικών οδηγών (εγκοπών) , στις οποίες θα τοποθετηθούν δακτύλιοι που θα επιτρέπουν την κίνηση των κατόπτρων. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να παραμένει σταθερός ο απορροφητής και συνολικά όλη η κατασκευή και να περιστρέφονται τα κάτοπτρα έτσι ώστε το σημείο εστίασης (δηλαδή το σημείο όπου βρίσκεται ο αγωγός απορρόφησης) , να παραμένει σταθερό. Αυτό θα γίνει κατανοητό στη συνέχεια με την περιγραφή της κατασκευής.

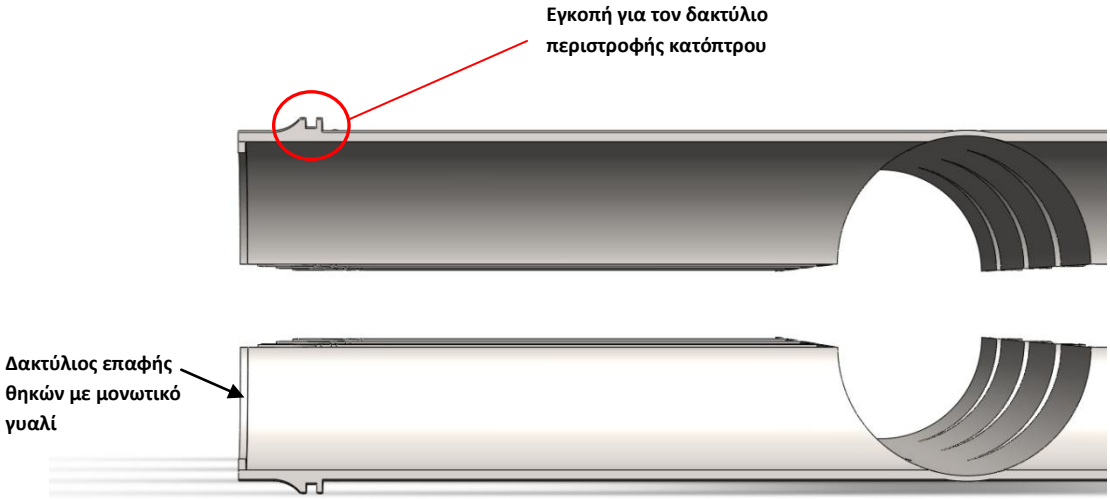
Παρακάτω γίνεται αναλυτικά η περιγραφή της κατασκευής με τα ανάλογες παραστάσεις για το κάθε βήμα συναρμολόγησης.

Βήμα 10^{ο} *: Κατασκευή πλαϊνών θηκών μόνωσης*



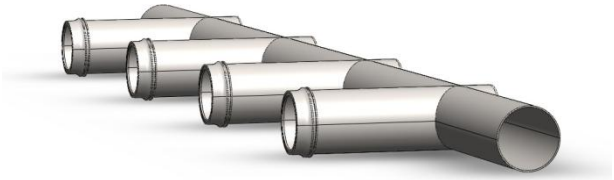
Σχήμα 6.13 (α)

Κάνοντας μια τομή στης θήκες μπορούμε να διακρίνουμε τις εγκοπές στις οποίες θα εφαρμόσουμε τους δακτυλίους περιστροφής των κατόπτρων



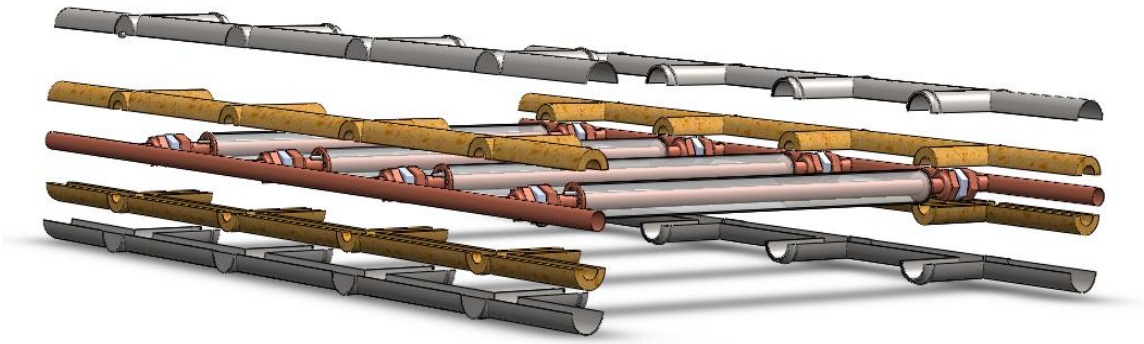
Σχήμα 6.14 (β)

Το άνω και το κάτω μέρος των θηκών όταν έρθουν σε επαφή τότε έχουν απόλυτη συμμετρία.

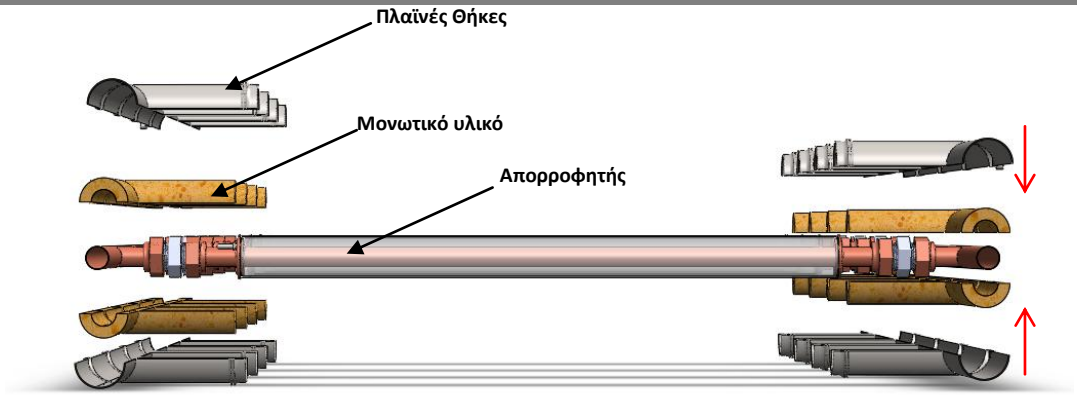


Σχήμα 6.15 (γ)

<u>Βήμα 11ο</u> *: Εφαρμογή μονωτικού υλικού και πλαϊνών θηκών*

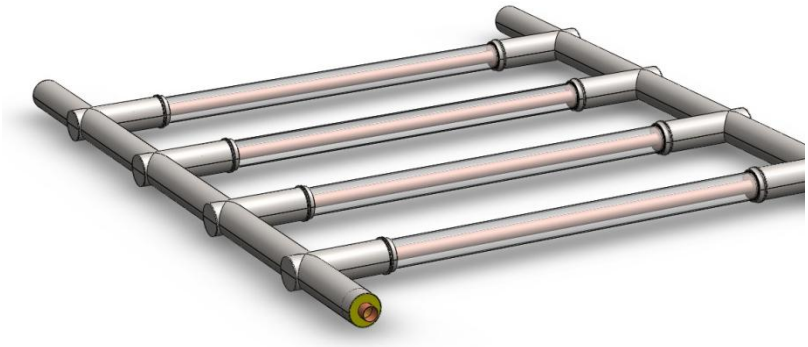


Σχήμα 6.16 (α)



Σχήμα 6.16 (β)

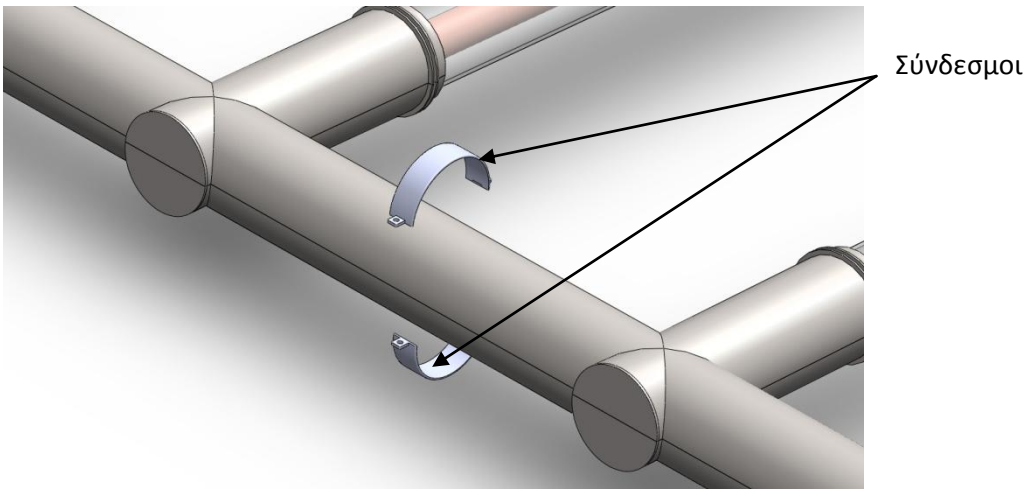
Στο σχήμα 6.16 (β) φαίνεται η σχηματική διάταξη τοποθέτησης των πλαϊνών θηκών και της μόνωσης του συλλέκτη στις ακάλυπτες περιοχές. Το μονωτικό υλικό πρέπει να παρουσιάζει ελαστικές ιδιότητες, έτσι ώστε κατά την εφαρμογή να συμπιεστεί κατά κάποιο τρόπο και να πάρει τη μορφή του απορροφητή στις ενώσεις και τις σωληνώσεις. Το υλικό της μόνωσης , χωρίζεται επίσης σε 2 μέρη (πάνω μέρος και κάτω μέρος) έτσι ώστε σε περίπτωση αποσυναρμολόγησης του συλλέκτη να μπορούμε να το αφαιρούμε εύκολα . Αφού λοιπόν τοποθετήσουμε τις πλαϊνές θήκες και το μονωτικό υλικό , το σχήμα του συλλέκτη έχει την εξής μορφή :



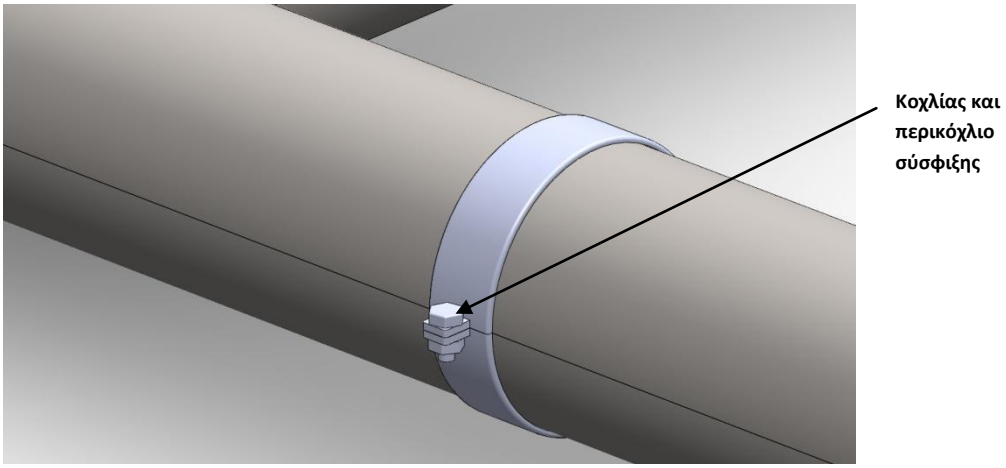
Σχήμα 6.17

<u>Βήμα 12^ο</u> : Εφαρμογή συνδέσμων στηρίξεως , και καλυμμάτων μόνωσης στις άκρες των θηκών

Για να μπορέσουμε να στηρίξουμε τις πλαϊνές θήκες στον απορροφητή πρέπει να προσθέσουμε συνδέσεις όπου θα συγκρατούν το πάνω και το κάτω μέρος , και με την βοήθεια κοχλία και περικοχλίου να συσφίξουμε τις συνδέσεις αυτές όπου τελικώς θα έχουμε ένα στερεό σώμα το οποίο θα μπορεί να στηριχθεί στη συνέχεια σε μια σταθερή βάση.

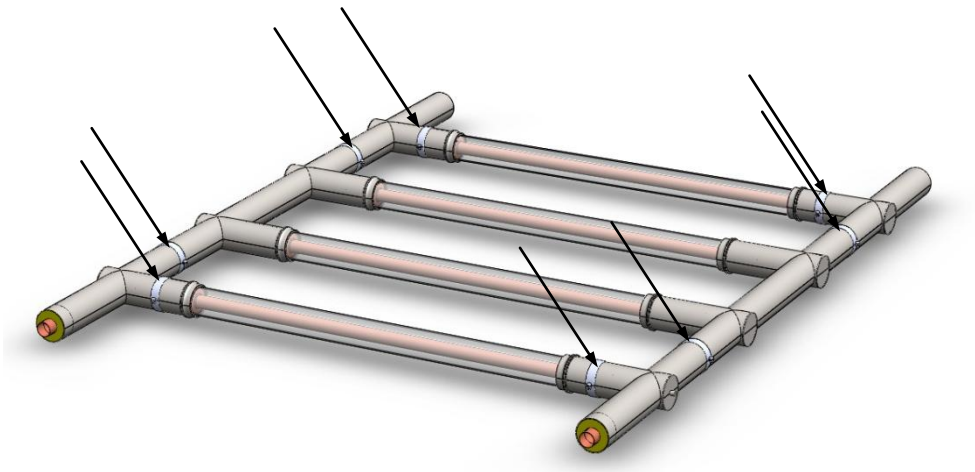


Σχήμα 6.18 (α)



Σχήμα 6.18 (β)

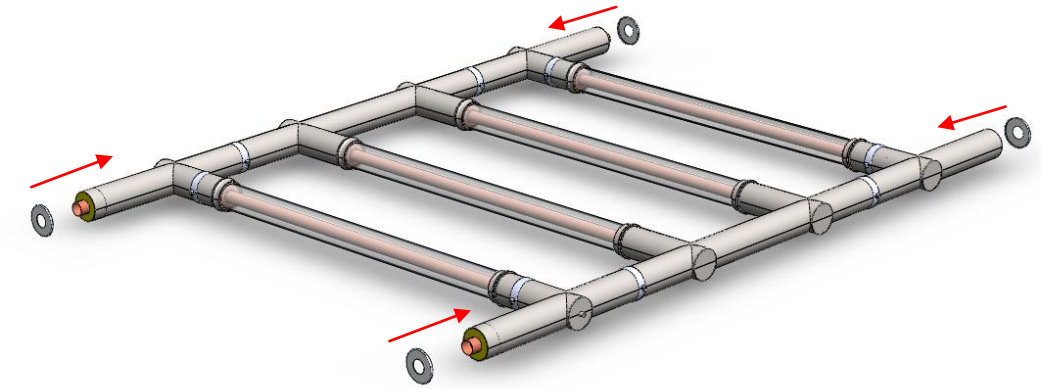
Τα σημεία που βάζουμε τις συνδέσεις απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 6.18 (γ)

Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τα καλύμματα για τις άκρες των θηκών όπου εκεί υπάρχει πιθανότητα να έχουμε απώλειες, αφού μένει επιφάνεια ακάλυπτη. Επίσης τοποθετούμε αυτά τα καλύμματα έτσι ώστε να αποφύγουμε τυχόν ενδεχόμενα εισόδου βροχής στο συλλέκτη.

Τέλος , μπορούμε να σφραγίσουμε όλες τις επαφές με σιλικόνη ή μάστιχο, σε όσες περιπτώσεις κρίνουμε ότι είναι αναγκαίο.

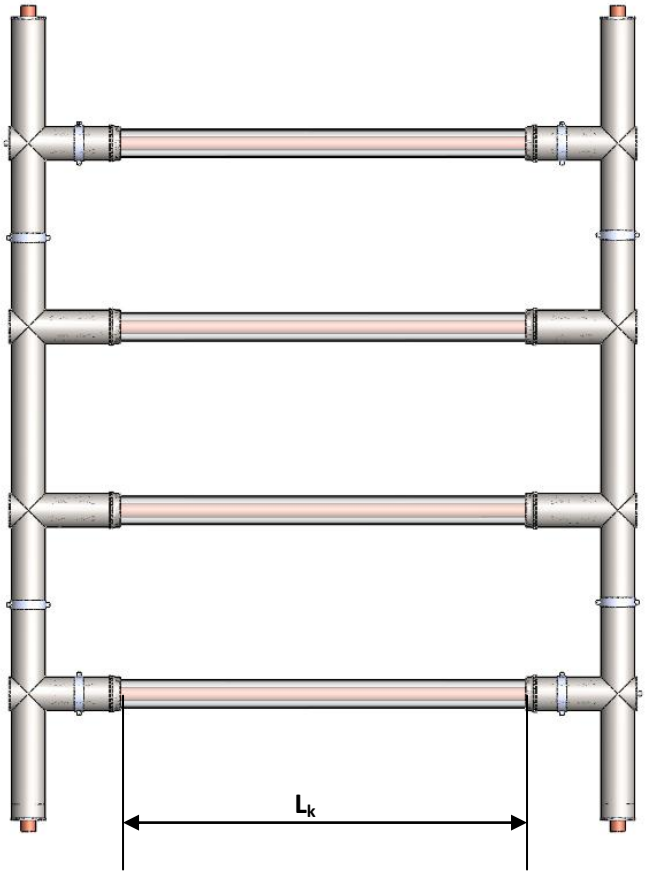


Σχήμα 6.18 (δ)

***Σημείωση : στο τέλος θα ακολουθήσουν κατασκευαστικά σχέδια με όλες τια απαραίτητες διαστάσεις για την κατασκευή του απορροφητή.**

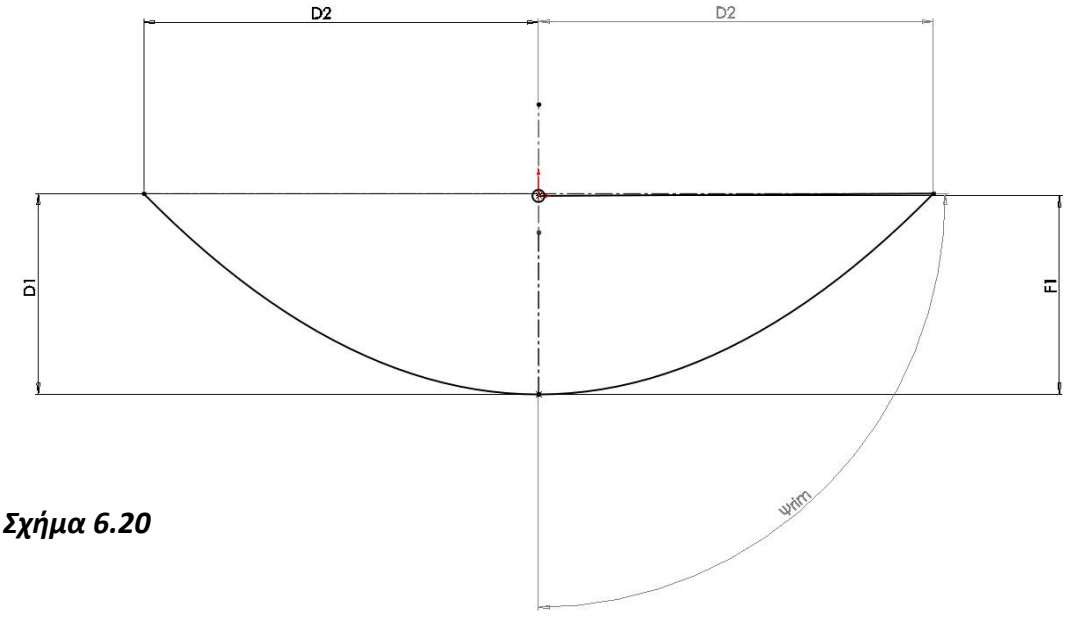
6.3 Μελέτη και σχεδιασμός παραβολοειδών κατόπτρων

Από την ανάλυση που κάναμε σε προηγούμενα κεφάλαια, μπορούμε τώρα να επιλέξουμε την γεωμετρία του κατόπτρου, έτσι ώστε να καλύπτει όλες τις κατασκευαστικές μας ανάγκες, και σε τελικό στάδιο να μπορεί να ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη επιφάνεια όπου θα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, προσφέροντας έτσι τα αναγκαία ποσά ενέργειας που χρειαζόμαστε. Χρειάζεται προσοχή στην επιλογή της σωστής γωνίας Ψ_{RIM} , έτσι ώστε το σημείο εστίασης να μην είναι σε σημείο που θα επηρεάζει την συγκέντρωση ακτινοβολίας όπως δείξαμε σε προηγούμενη ανάλυση. Σύμφωνα λοιπόν με αυτές τις απαιτήσεις επιλέγουμε μια γεωμετρία κατόπτρου έτσι ώστε οι διαστάσεις να κάνουν εύκολα κατασκευάσιμο το μηχανισμός στήριξης του κατόπτρου(δηλαδή να μην περιέχουν πολλά δεκαδικά ψηφία). Επίσης είναι σαφές ότι λόγω της γεωμετρίας του απορροφητή , γνωρίζουμε ήδη ότι το μήκος των κατόπτρων είναι καθορισμένο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 6.19

Άρα αφού γνωρίζουμε το μήκος του κατόπτρου βάση του απορροφητή, αυτό που μένει είναι να καθορίσουμε το μήκος τόξου της παραβολής έτσι ώστε να έχουμε την απαιτούμενη επιφάνεια. Για λόγους πληρότητας, στο παρόν στάδιο δείχνουμε τις βασικές διαστάσεις του κατόπτρου.



Σχήμα 6.20

Όπου :

D_1 : ύψος της παραβολής

D_2 : άνοιγμα της παραβολής

F_1 : ύψος του σημείο εστίασης από τον αρχικό άξονα

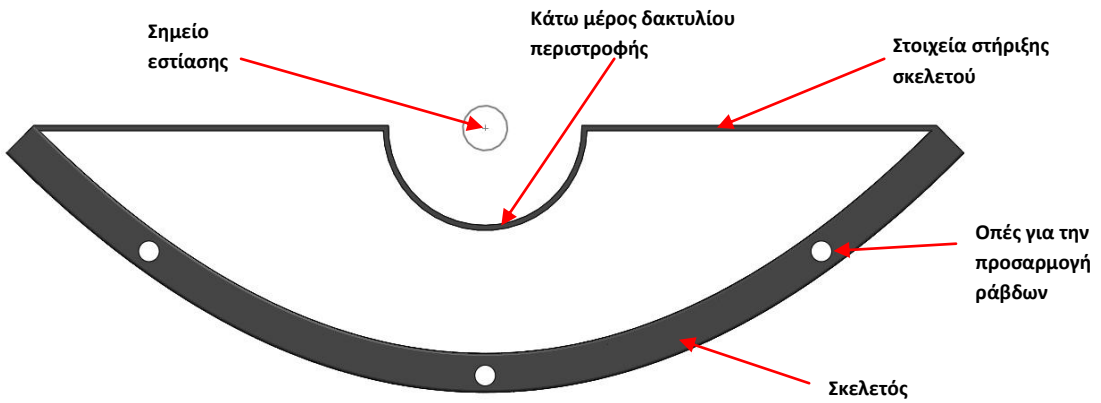
Ψ_{Rim} : Γωνία ανοίγματος της παραβολής

Για κατασκευαστικούς λόγους το κάτοπτρο θα είναι από ελαστικό υλικό , έτσι ώστε να προσαρμόζεται στους ειδικούς αγωγούς που θα δείξουμε στη συνέχεια.

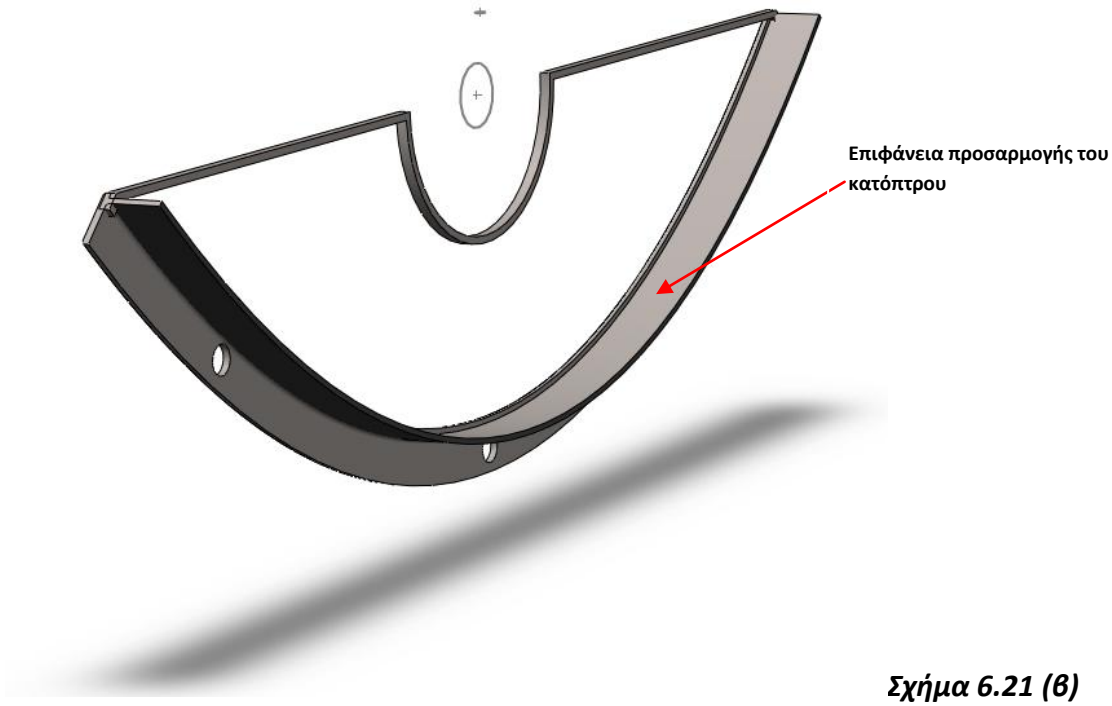
<u>Βήμα 13^o</u> : *Κατασκευή σκελετού για τα κάτοπτρα και δακτυλίων περιστροφής*

Μια απαίτηση για την ομαλή λειτουργία του συλλέκτη είναι η περιστροφή των κατόπτρων , έτσι ώστε ο απορροφητής να παραμένει σταθερός , και να κινούνται μόνο αυτά χωρίς να έχουμε απόκλιση από το σημείο εστίασης. Αυτό μπορούμε να το επιτύχουμε φτιάχνοντας ένα ειδικό σκελετό όπου θα έχει ένα ειδικό δακτύλιο ο οποίος θα είναι ομόκεντρος με τον αγωγό του απορροφητή. Στο σχήμα 6.14 (β) αναφέραμε την ειδική εγκοπή που κάναμε στις πλαϊνές θήκες για την προσαρμογή αυτού του δακτυλίου, έτσι σχεδιάζουμε ένα σύστημα με άνω και κάτω μέρος έτσι ώστε να μπορούμε να το προσαρμόσουμε εύκολα, και να καλύψουμε την απαίτηση αποσυναρμολόγησης του συλλέκτη. Το σχήμα του σκελετού θα έχει την τελική μορφή του κατόπτρου, αφού λόγο της ελαστικής ιδιότητας που θα έχει το κάτοπτρο, θα μπορεί να προσαρμόζεται σε αυτό, παίρνοντας έτσι το τελικό σχήμα. Ο δακτύλιος περιστροφής του σκελετού και το σημείο εφαρμογής των κατόπτρων συνδέονται με ειδικά στηρίγματα όπως αναλυτικά φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.

Έτσι η πρόσοψη του σκελετού για τα κάτοπτρα έχει τη παρακάτω μορφή



Σχήμα 6.21 (α)



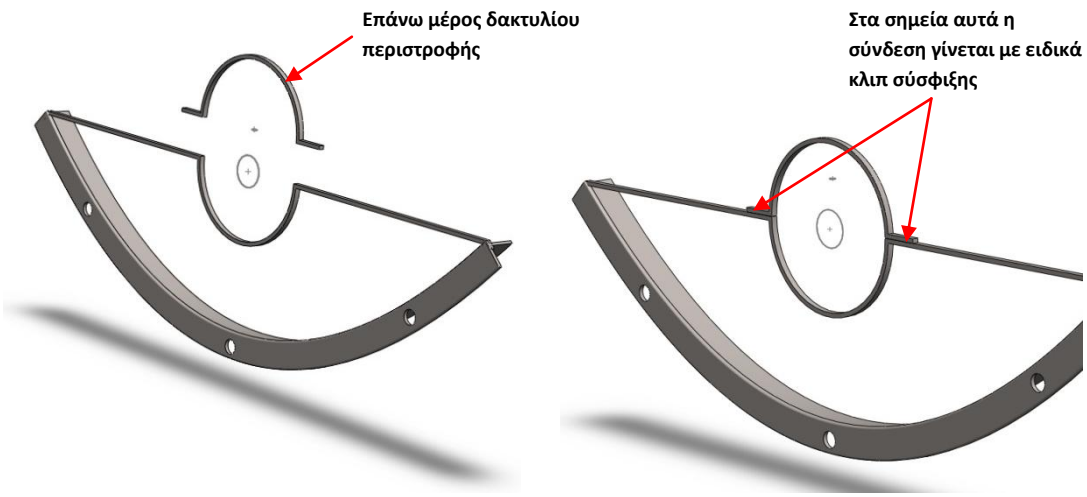
Σχήμα 6.21 (β)

Κατά τη σχεδίαση του σκελετού παρατηρούμε ότι στις πλάγιες πλευρές του έχουμε κάποιες οπές , όπως φαίνεται στο σχήμα 6.21 (α) οι οποίες είναι υπεύθυνες για την προσαρμογή ράβδων έτσι ώστε οι δύο σκελετοί να ευθυγραμμίζονται . Αυτό θα βοηθήσει στη σταθερότητα των κατόπτρων για την περιστροφή των κατόπτρων από μόνο μία ράβδο. Ο τρόπος που γίνεται αυτό θα γίνει εύκολα αντιληπτός στη συνέχεια όταν γίνει η τελική συναρμολόγηση.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η διάμετρος του δακτυλίου θα είναι ίση με την διάμετρο που σχεδιάσαμε στις ειδικές εγκοπές των πλαϊνών θηκών, έτσι ώστε αυτά να προσαρμόζονται και με τη βοήθεια λιπαντικού στοιχείου αυτά να μπορούμε να δώσουμε περιστροφική κίνηση.

6.3.1 Επάνω στοιχείο δακτυλίου περιστροφής του σκελετού

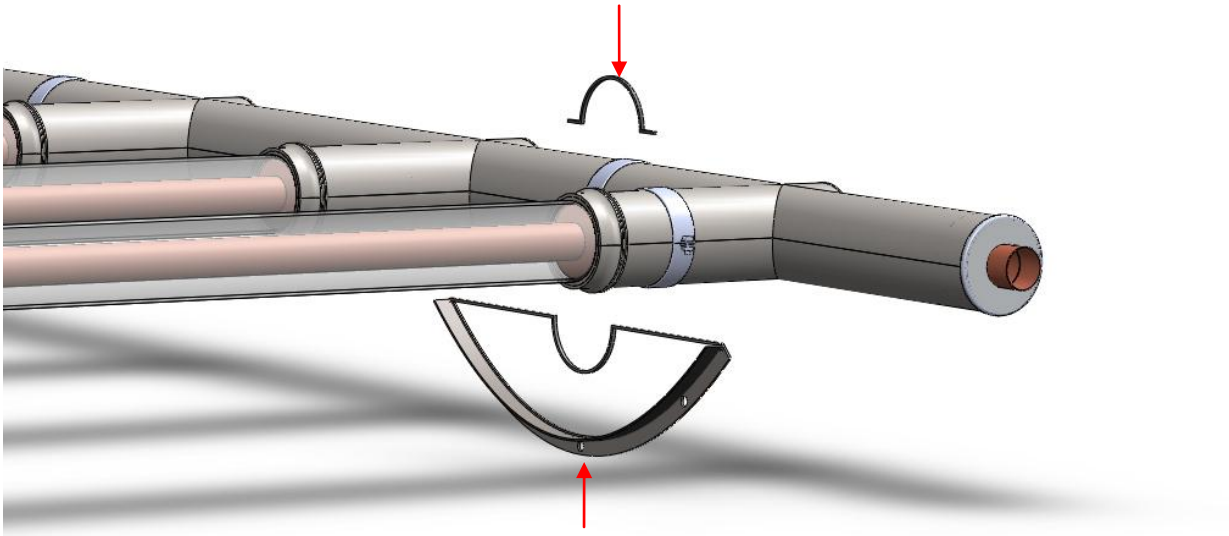
Όπως προαναφέραμε κρίνεται αναγκαίο ο συλλέκτης να αποσυναρμολογείται για λόγους συντήρησης αλλά και επισκευής. Έτσι και ο σκελετός για τα κάτοπτρα, και για αυτό το επάνω μέρος του δακτυλίου περιστροφής , θα στηρίζεται με ειδικά κλιπ με το κάτω μέρος του σκελετού, έτσι ώστε να δημιουργούν ένα κοινό δακτύλιο, ο οποίος θα συναρμολογείται ομόκεντρα με τον αγωγό που βρίσκεται το σημείο εστίασης.



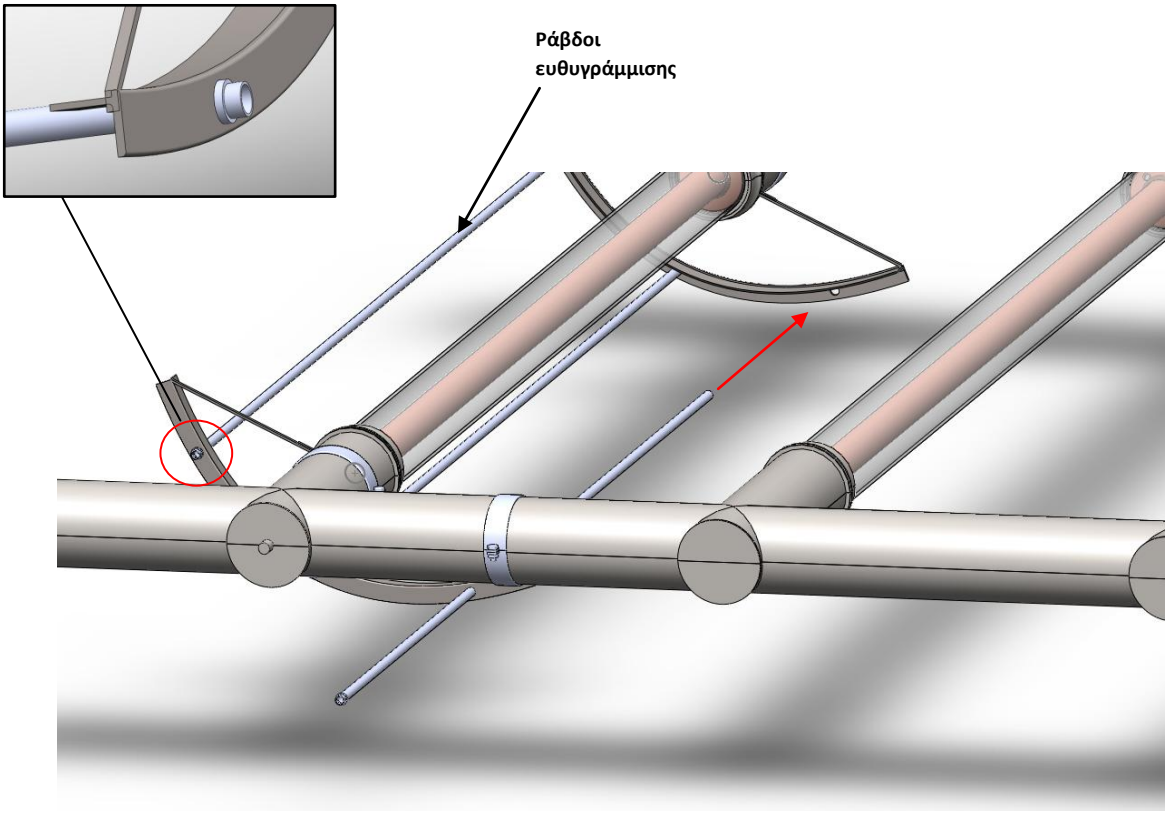
Σχήμα 6.22

Βήμα 14^{ο} *: Συναρμολόγηση σκελετού κατόπτρων και ράβδων ευθυγράμμισης*

Η συναρμολόγηση του σκελετού στήριξης των κατόπτρων γίνεται εύκολα, αφού μπορούμε απλά να βάλουμε τους δακτυλίους περιστροφής απλά στις ειδικές εγκοπές των θηκών και με τα ειδικά κλιπ σύσφιξης συγκρατούμε τους σκελετούς και από τις δύο πλευρές. Στη συνέχεια, απλά προσθέτουμε τις ράβδους ευθυγράμμισης. Πιο αναλυτικά φαίνεται στα επόμενα σχήματα η διαδικασία.

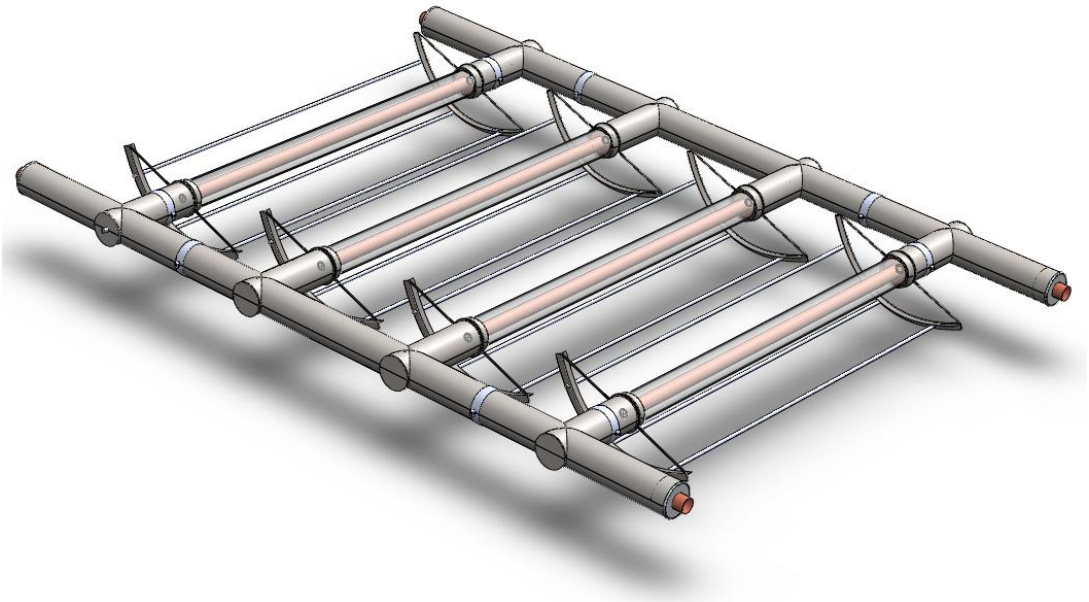


Σχήμα 6.23



Σχήμα 6.24

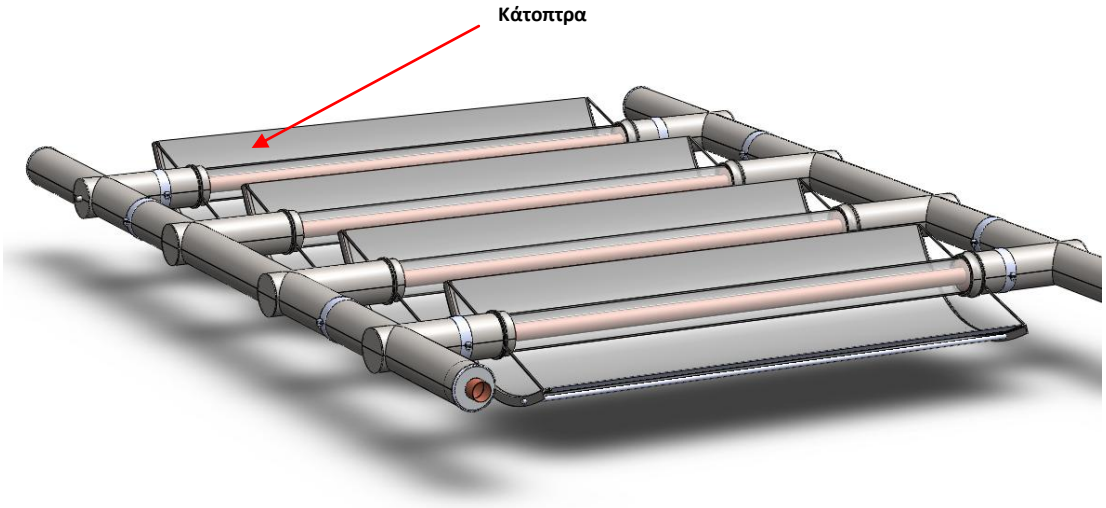
Αφού συναρμολογήσουμε και τις ράβδους ευθυγράμμισης , επαναλαμβάνουμε την διαδικασία αυτή σε όλους τους απορροφητές έτσι ώστε η μορφή του συλλέκτη να είναι η εξής :



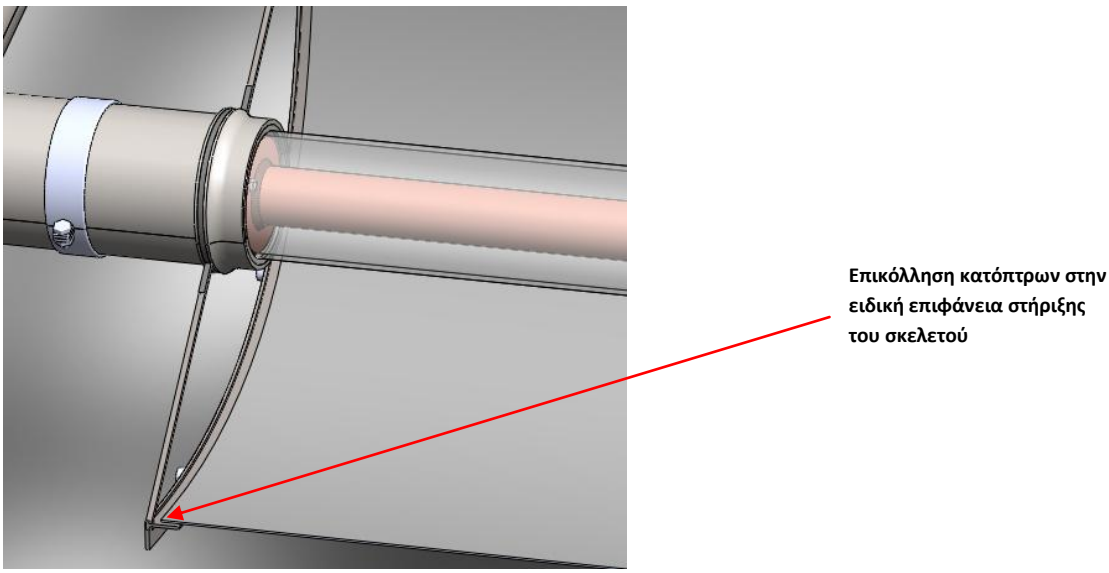
Σχήμα 6.25

Βήμα 15^{ο} : Στήριξη κατόπτρων στους σκελετούς περιστροφής

Τα κάτοπτρα, λόγο της ελαστικής τους ιδιότητας, μπορούν να τοποθετηθούν στις ειδικές επιφάνειες του σκελετού όπως δείξαμε στο σχήμα 6.21 (β) , και να στερεωθούν είτε με ειδική κολλητική ταινία όπου είτε με υλικό κόλλησης , αυτό μπορεί να είναι εποξική γόμμα ή σιλικόνη για ισχυρό κράτημα.

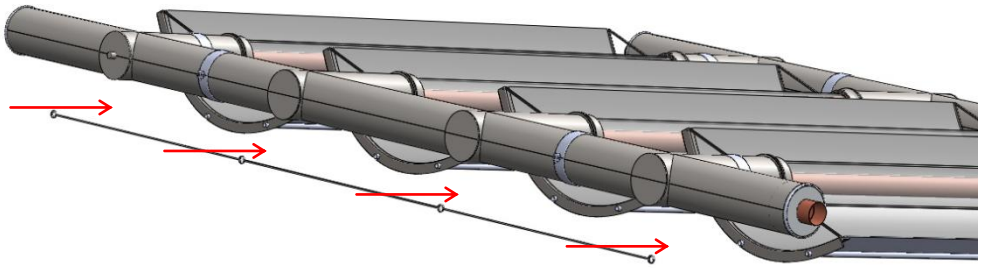


Σχήμα 6.26 (α)

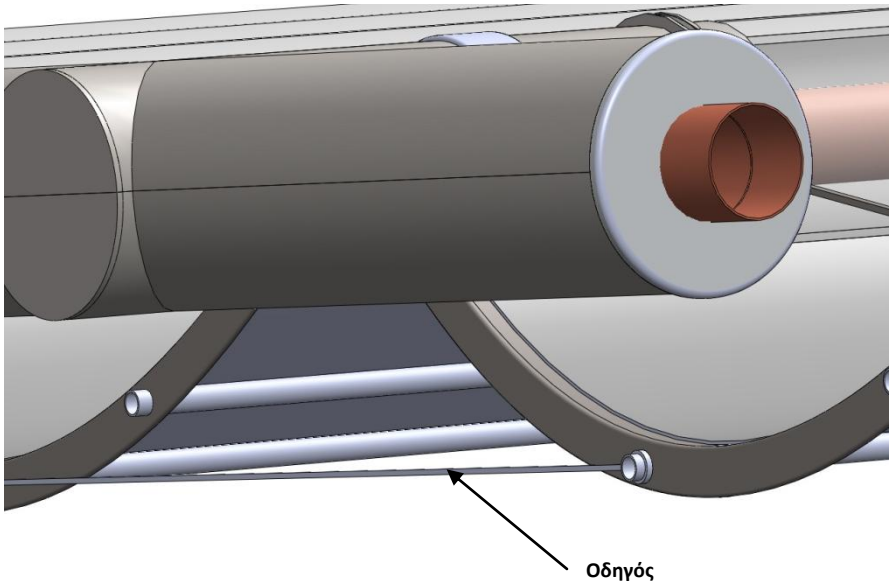


Σχήμα 6.26 (β)

Επειδή όπως προαναφέραμε χρειαζόμαστε να περιστρέφουμε τα κάτοπτρα δίνοντας κίνηση μόνο σε ένα σημείο , τότε προσθέτουμε μια ράβδο οδήγησης των κατόπτρων η οποία έχει δακτυλίους , και μπορεί να κινηθεί περιστροφικά στα σημεία που την συνδέουμε. Η ράβδος αυτή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.27 (α)

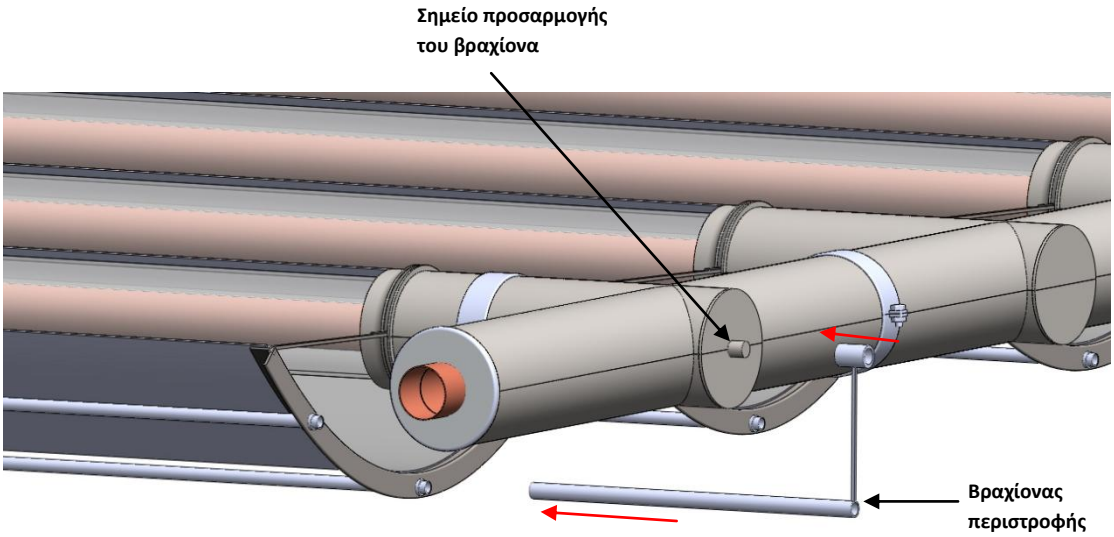


Σχήμα 6.27 (β)

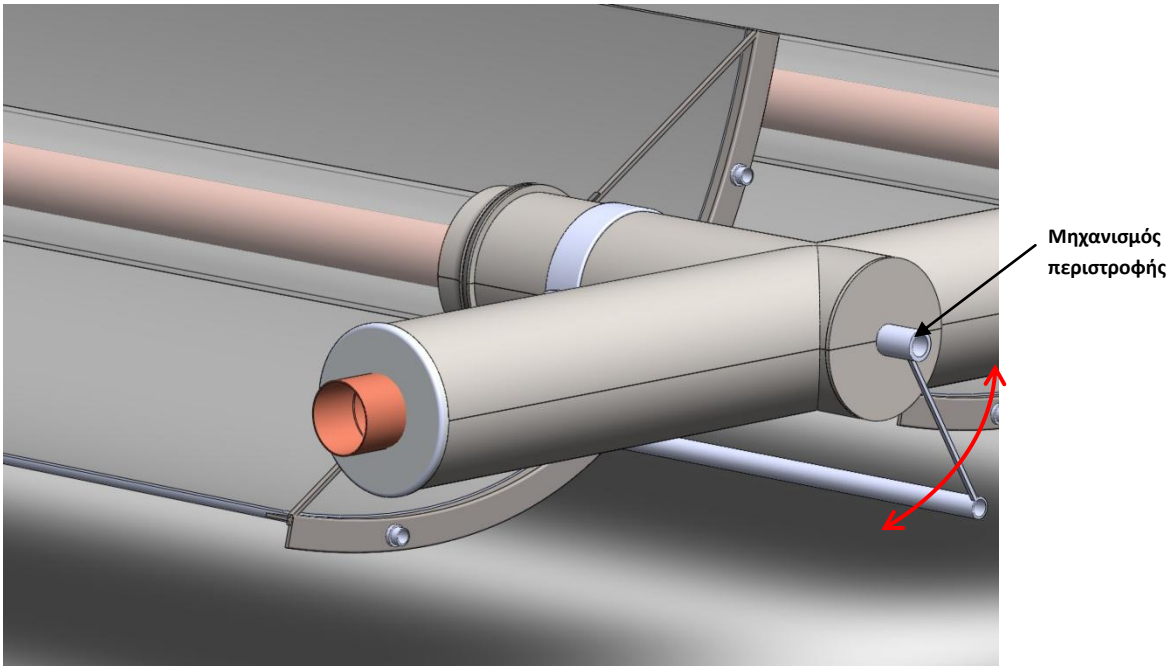
<u>Βήμα 16^{ο}</u> : *Συναρμολόγηση βραχίονα περιστροφής*

Στο σημείο αυτό τοποθετούμε ένα βραχίονα περιστροφής των κατόπτρων έτσι ώστε από ένα σημείο του συλλέκτη, χωρίς να επηρεάζουμε τον απορροφητή να μετακινούμε τα κάτοπτρα. Ο βραχίονας αυτός στηρίζεται στις πλαϊνές θήκες, έτσι

ώστε το κεντρικό του σημείο να είναι ομόκεντρο με το σημείο εστίασης,και μέσω των ράβδων ευθυγράμμισης και του οδηγού περιστροφής των κατόπτρων, να μπορούμε να προσθέσουμε ένα κινητήριο μηχανισμό για την περιστροφή τους.



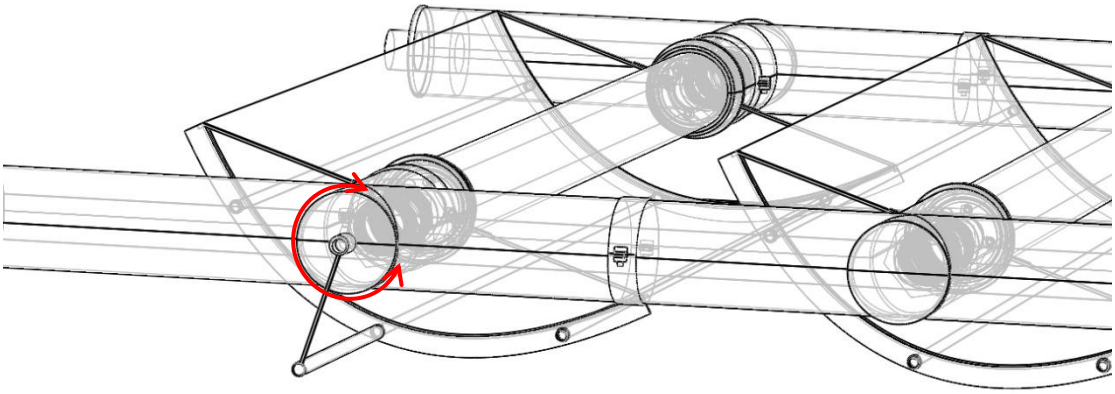
Σχήμα 6.28 (α)

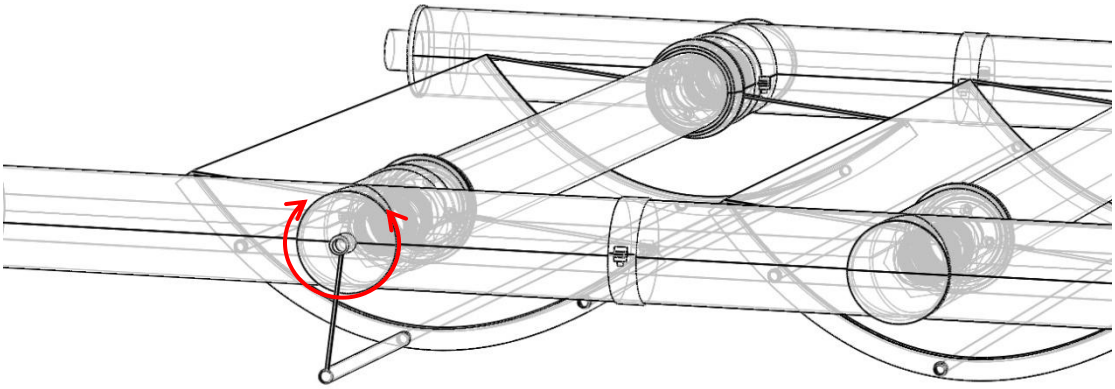


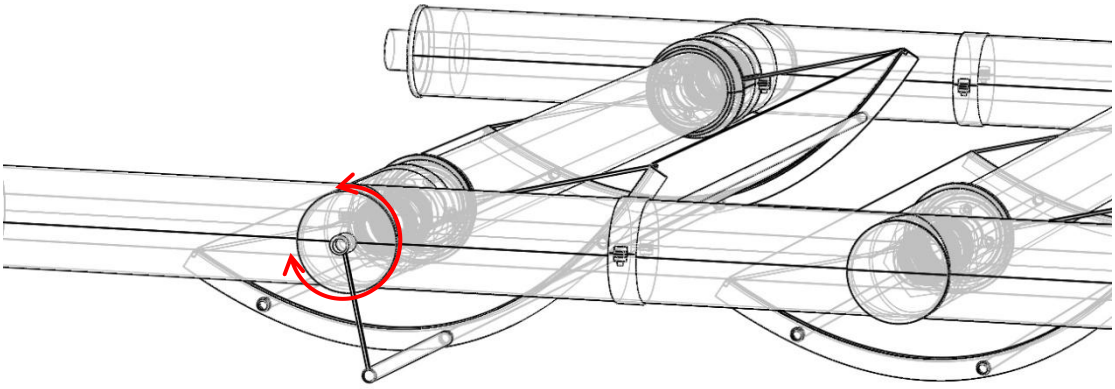
Σχήμα 6.28 (β)

Τέλος τοποθετώντας ένα περιστροφικό μηχανισμό στο σημείο που δείχνουμε στο σχήμα 6.28 (β) , μπορούμε να πετύχουμε την περιστροφή των κατόπτρων , έτσι ώστε όταν η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κάθετη προς σ' αυτά τότε η συγκέντρωση ακτινοβολίας παραμένει στο σημείο εστίασης σύμφωνα με την ανάλυση που κάναμε.

Εικονική αναπαράσταση περιστροφικής κίνησης των κατόπτρων

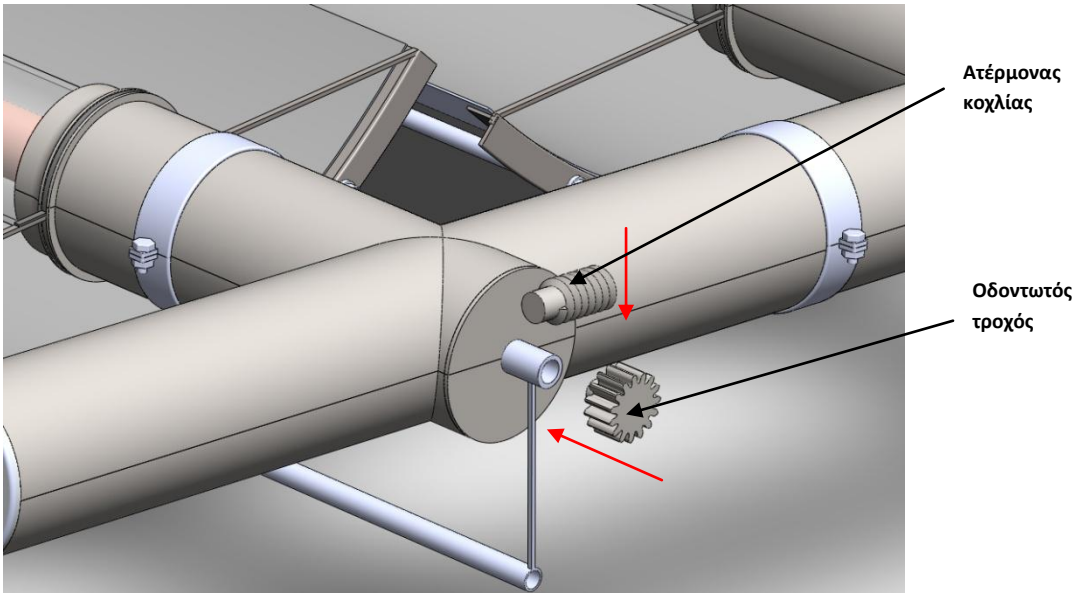




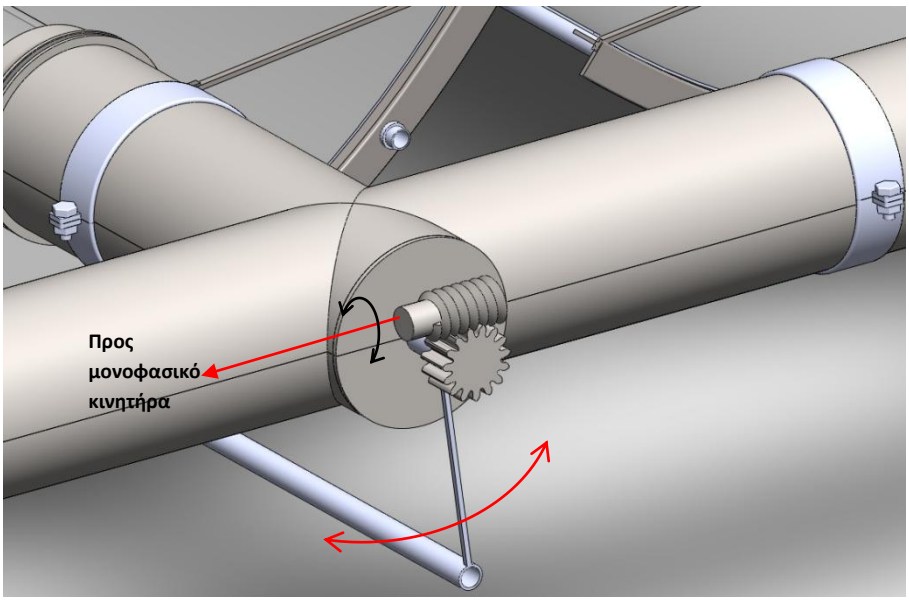


6.3.2 Οδοντωτός τροχός περιστροφής και ατέρμονας κοχλίας για την περιστροφική κίνηση

Για την περιστροφική κίνηση των κατόπτρων μέσω του βραχίονα μπορούμε να προσθέσουμε ένα οδοντωτό τροχό και ένα ατέρμονα κοχλία , στοιχεία τα οποία σε συνδυασμό με ένα αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας τα κάτοπτρα ακολουθούν την ηλιακή ακτινοβολία. Η κίνηση στον ατέρμονα κοχλία, δίνεται από ένα μονοφασικό κινητήρα με απλή εφαρμογή.



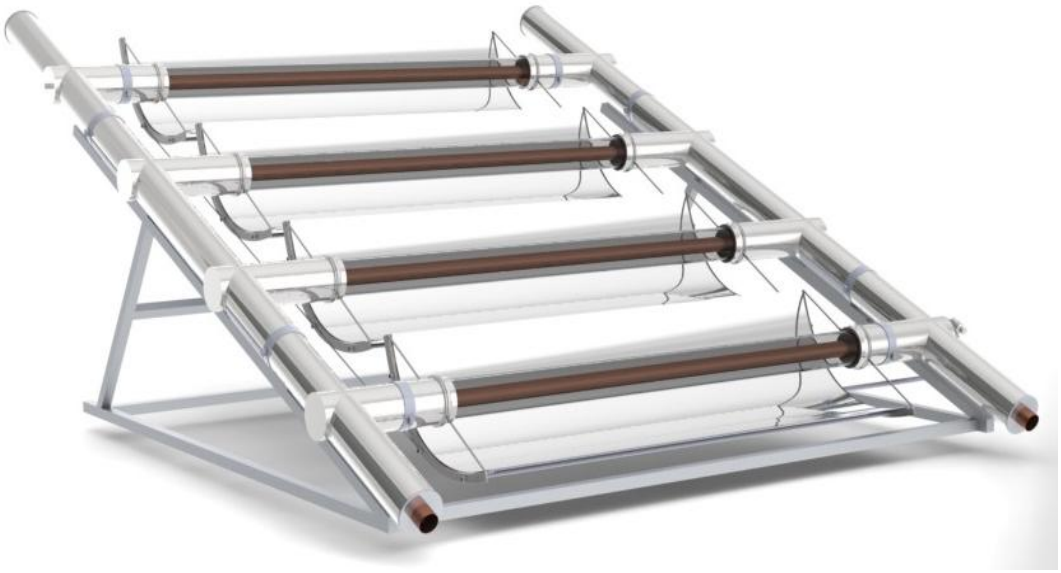
Σχήμα 5.29 (α)



Σχήμα 5.29 (β)

Ο συλλέκτης σε σταθερή βάση

Κάθετη βάση



Οριζόντια βάση

Κεφάλαιο 7ο

7.1 Θερμική ανάλυση συλλέκτη

Για την θερμική ανάλυση του συλλέκτη κάνουμε χρήση του προγράμματος Floworks σε συνδυασμό με το πρόγραμμα Solidworks. Για λόγους διευκόλυνσης φτιάχνουμε ένα μοντέλο της κατασκευής τοποθετώντας μόνο τους απορροφητές από χαλκό και τα κάτοπτρα στο κάτω μέρος. Υπολογίζοντας την επιφάνεια ($A_{κατόπτρου}$ = 0,36 m^2) για κάθε κάτοπτρο και λαμβάνοντας υπόψη την ηλιακή σταθερά των 1000 W/m^2 , υπολογίζουμε ότι η θερμική ισχύς που θα δίνεται στο ρευστό για την κάθε σωλήνα είναι περίπου 336~400 Watt . Έτσι βάζοντας ως συνοριακή συνθήκη την εισαγωγή ρευστού (δηλαδή του νερού) με ταχύτητα ***0.1 m/s*** μπορούμε να δούμε την συμπεριφορά του απορροφητή. Επίσης , κατά την εισαγωγή δεδομένων θέτουμε ως στόχους αποτελεσμάτων της ανάλυσης κάποια στοιχεία όπως η στατική η ολική πίεση η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία κλπ , όπως φαίνονται εκτενέστερα στους παρακάτω πίνακες από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Για τον φυσικό χρόνο λειτουργίας του συλλέκτη ορίζουμε το όριο των 200 sec , δηλαδή από τη στιγμή που εισάγεται το νερό και σε μόνιμη κατάσταση βλέπουμε το τελικό αποτέλεσμα των θερμοκρασιών σύμφωνα με το χρονικό περιθώριο που ορίσαμε.

Παρακάτω ακολουθεί η θερμική ανάλυση του συλλέκτη όπως έγινε σύμφωνα με το πρόγραμμα **floworks**.

FULL REPORT

System Info

Product	Flow Simulation 2010 0.0. Build: 1063
Processors	Intel(R) Xeon(R) CPU E5405 @ 2.00GHz
Memory	4093 MB / 8388607 MB
Operating system	(Build 7600)
CAD version	SolidWorks 2010 SP0
CPU speed	1995 MHz

General Info

Model	C:\Users\TANS\Desktop\project - prwta sxedia\new project\meleti aporrofiti\Assem - meletis - aporrofiti.SLDASM
Project name	Project - Aporrofiti (2)
Project path	C:\Users\TANS\Desktop\project - prwta sxedia\new project\meleti aporrofiti\2
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 3

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-0.47705937 m
X max	0.55880823 m
Y min	-0.0833584564 m
Y max	0.0240597626 m
Z min	-0.928165294 m
Z max	0.875444726 m

Physical Features

Heat conduction in solids: On

Heat conduction in solids only: Off

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 1.01325 bar **Temperature: 35 °C**
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Solid parameters	Default material: Copper Initial solid temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.00107203811 m

Material Settings

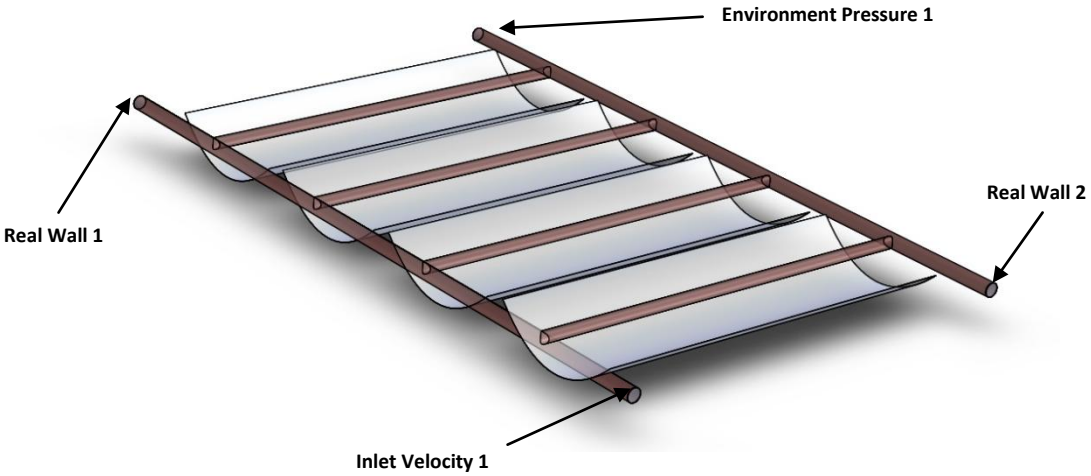
Fluids

Water

Solids

Copper

7.1.1 Συνοριακές συνθήκες θερμικής ανάλυσης



Σχήμα 7.1

Boundary Conditions

Inlet Velocity 1

Type	Inlet Velocity
Faces	Face <1 LID1-1@>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Fully developed flow: No Velocity normal to face: 0.1 m/s Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 35 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.00107203811 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Real Wall 1

Type	Real wall
Faces	Face <1 LID3-1@>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X

Real Wall 2

Type	Real wall
Faces	Face <1 LID5-1@>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 LID4-1@>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 1.01325 bar Temperature: 24.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.00107203811 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Heat Surface Sources

SS Heat Generation Rate 1

Type	Heat generation rate
Faces	Face<1>@aporrofites 28-1 Face<3>@aporrofites 28-1 Face<2>@aporrofites 28-1 Face<4>@aporrofites 28-1 Face<5>@aporrofites 28-1
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X
Toggle	On
Heat generation rate	400 W

Goals

Global Goals

GG Av Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Static Pressure 1

Type	Global Goal

Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system

Use in convergence	On

GG Av Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Mass Flow Rate 1

Type	Global Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum physical time	**200 s**

Solver Refinement

Refinement level	2
Refinement criterion	1.5
Unrefinement criterion	0.15
Adaptive refinement in fluid	On
Use global parameter variation	Off
Adaptive refinement in solid	On
Approximate maximum cells	3400000
Refinement strategy	Tabular refinement
Units	Travels

Relaxation interval	0.2

Results Saving

Save before refinement	On
Periodic saving	Units: Physical time Period: 4

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled

Manual time step: Off

RESULTS

General Info

Iterations: 67

Physical time: 500 s

CPU time: 283 s

Log

Preparing data for calculation	19:57:20 , Jun 12
Calculation started 0	19:57:26 , Jun 12
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 66	20:02:08 , Jun 12
Max. phys. time is reached 66	
Calculation finished 67	20:02:11 , Jun 12

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	35
Number of cells in Y	4
Number of cells in Z	61

Number Of Cells

Total cells	48664
Fluid cells	7500
Solid cells	22233
Partial cells	18931
Irregular cells	0
Trimmed cells	0

Maximum refinement level: 2

Goals

Name	Unit	Value	Use in convergence	Delta
GG Av Static Pressure 1	bar	1.01325	On	0
GG Max Static Pressure 1	bar	1.01325	On	0
GG Bulk Av Static Pressure 1	bar	1.01325	On	1.64582161e-13
GG Max Total Pressure 1	bar	1.01325	On	0
GG Bulk Av Total Pressure 1	bar	1.01325	On	1.64582161e-13
GG Max Dynamic Pressure 1	bar	1.1653e-50	On	1.16529728e-50
GG Av Temperature of Fluid 1	°C	42.5053	On	8.13797111
GG Max Temperature of Fluid 1	°C	55.5031	On	20.566164
GG Bulk Av Temperature of Fluid 1	°C	42.4938	On	8.1266897
GG Av Density 1	kg/m^3	990.395	On	3.00275296
GG Max Density 1	kg/m^3	996.521	On	0
GG Bulk Av Density 1	kg/m^3	990.399	On	2.9985071
GG Mass Flow Rate 1	kg/s	-1.75215e-28	On	7.65376819e-28

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [bar]	**1.01325**	**1.01325**
Temperature [°C]	**20.05**	**55.5035**
Velocity [m/s]	**0**	**1.39566e-24**
X – Component of Velocity [m/s]	**-1.0325e-24**	**9.3963e-25**
Y – Component of Velocity [m/s]	**-1.02778e-24**	**9.86776e-25**
Z – Component of Velocity [m/s]	**-8.84496e-25**	**9.68602e-25**
Fluid Temperature [°C]	**24.05**	**55.5031**
Solid Temperature [°C]	**20.05**	**55.5035**
Melting Temperature Exceed [K]	**-1063**	**-1027.55**
Shear Stress [bar]	**8.6018e-34**	**6.35998e-30**
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	**0.00261608**	**60.7589**
Surface Heat Flux [W/m^2]	**-1367.38**	**1460.7**
Density [kg/m^3]	**985.79**	**996.521**

Engineering Database

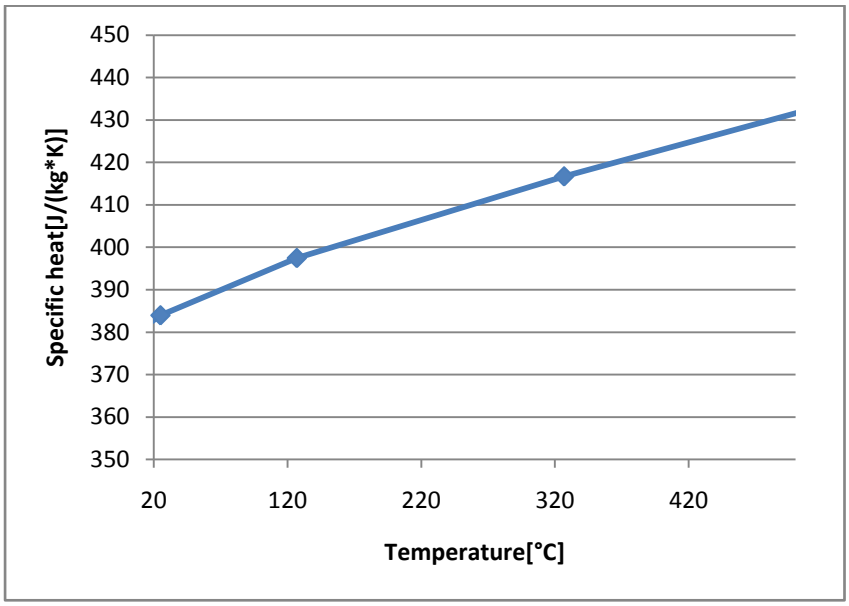
Solids

Copper

Path: Solids Pre-Defined\Metals

Density: 8960 kg/m^3

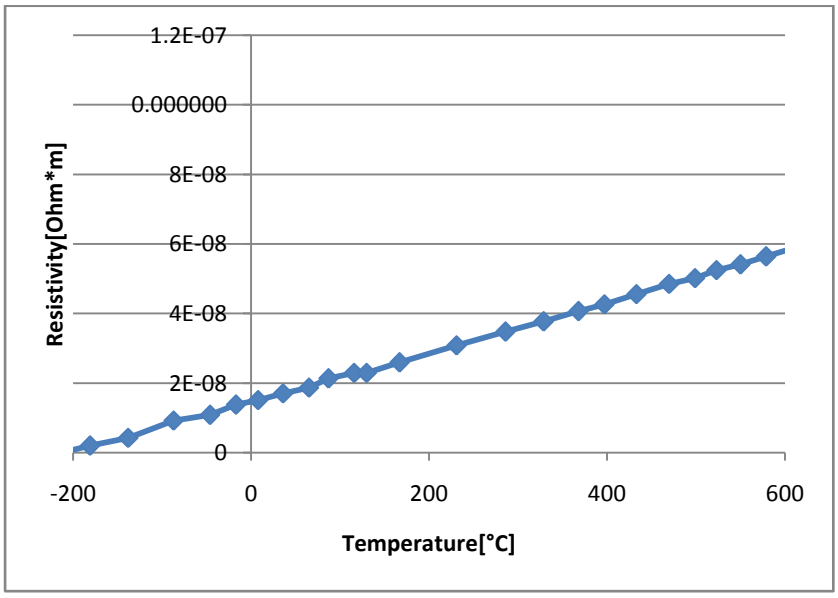
Specific heat



Conductivity type: Isotropic

Electrical conductivity|Electrical conductivity|Axial electrical conductivity |Electrical conductivity in X: Conductor

Resistivity



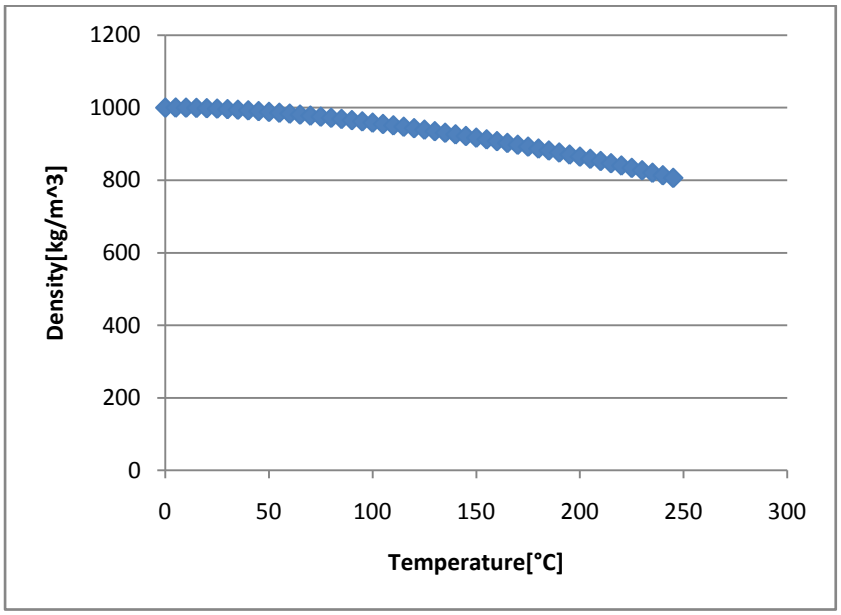
Melting temperature: 1083.05 °C

Liquids

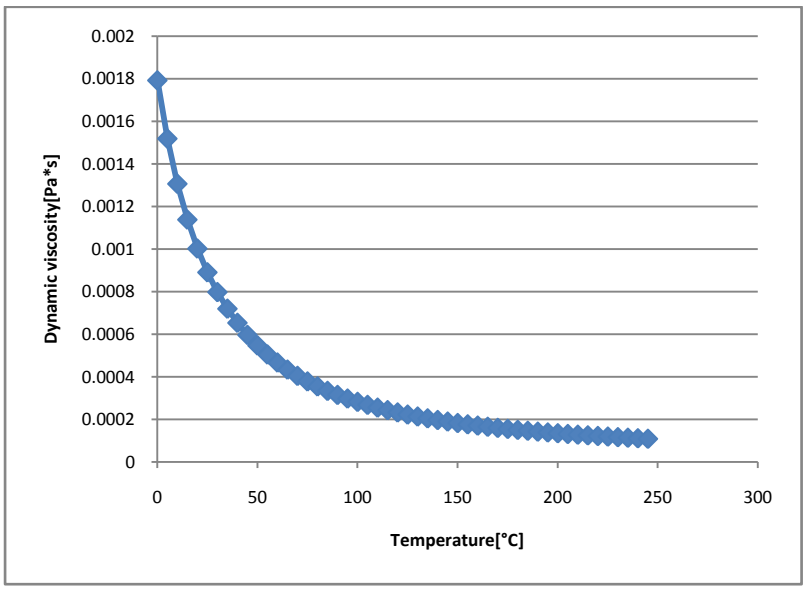
Water

Path: Liquids Pre-Defined

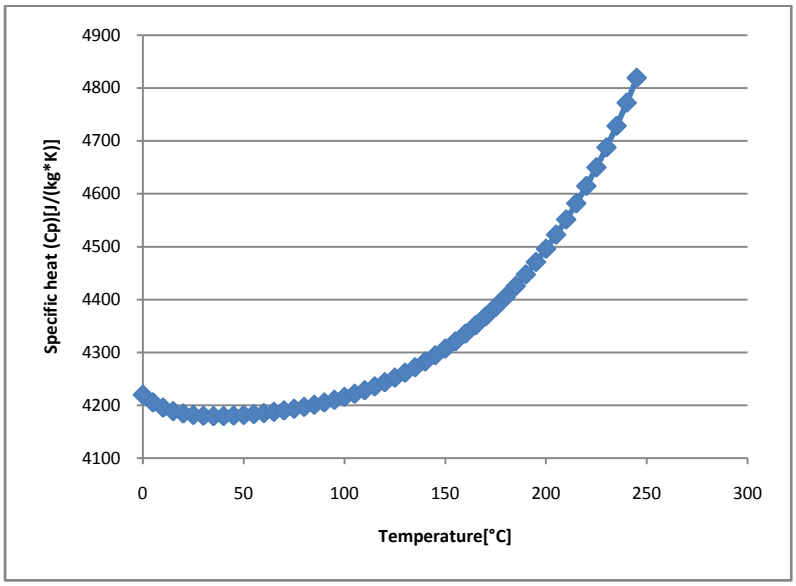
Density



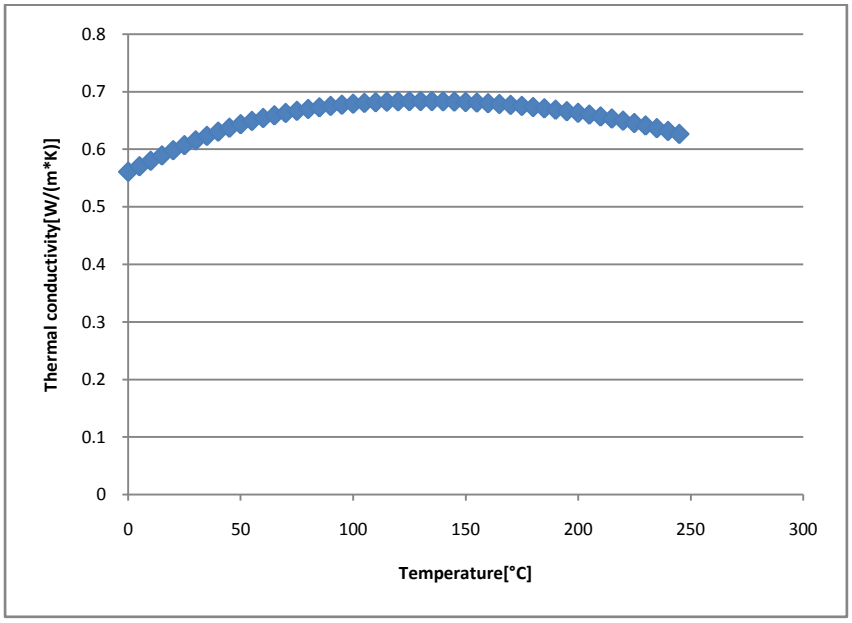
Dynamic viscosity



Specific heat (Cp)



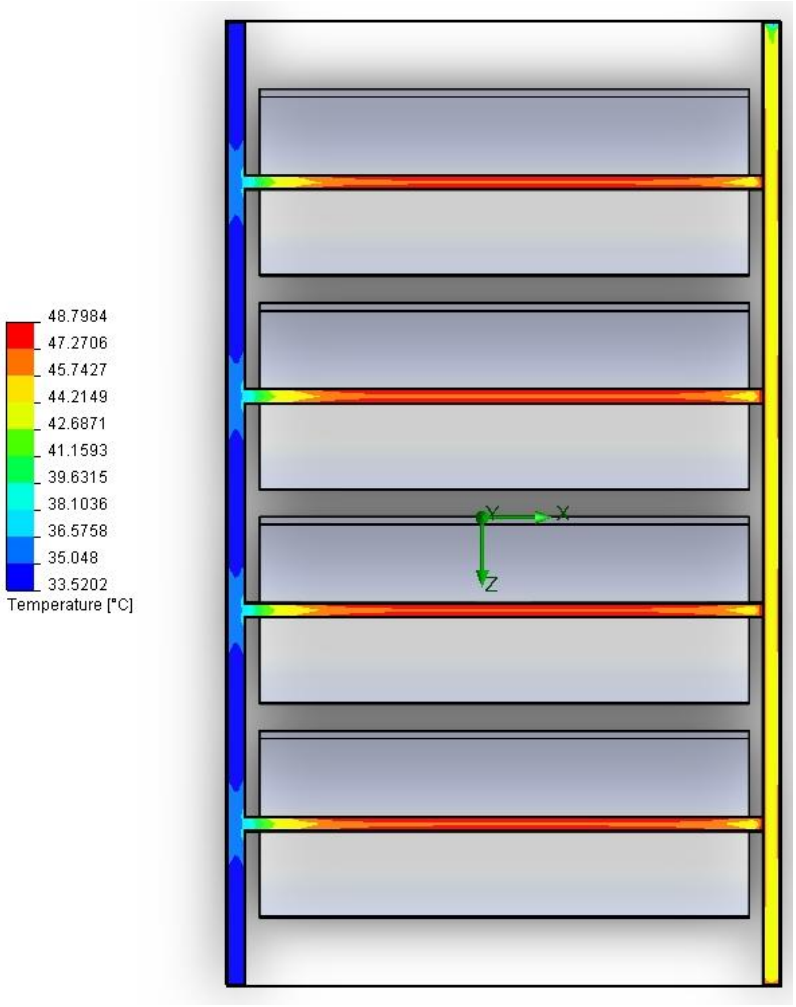
Thermal conductivity



Cavitation effect: Yes

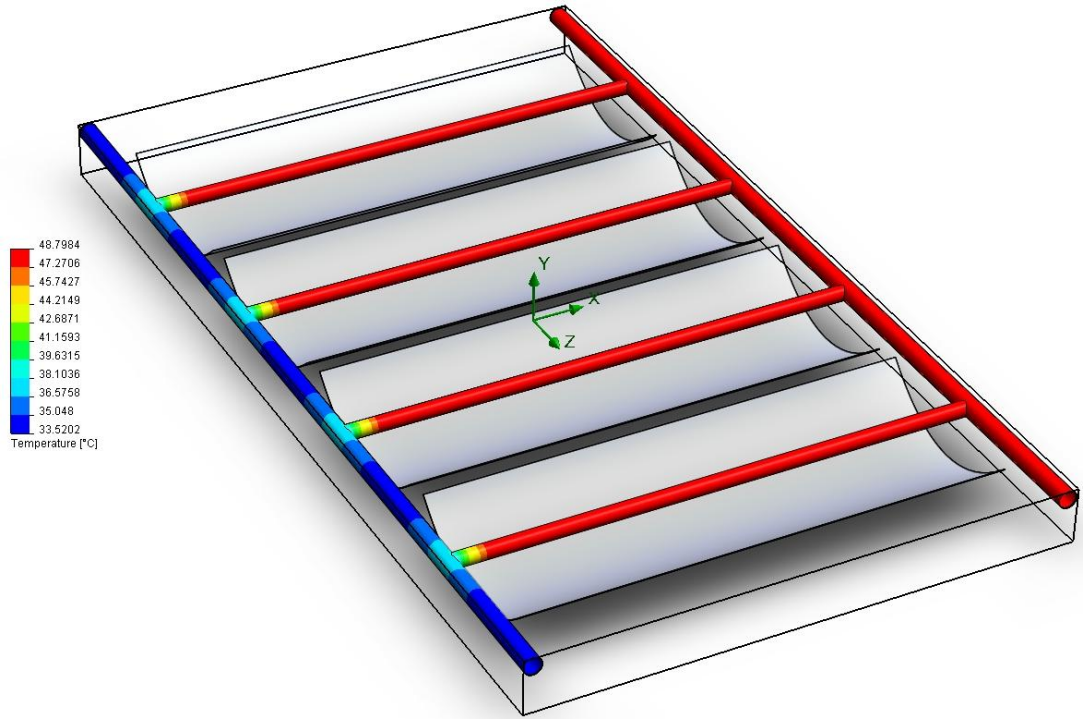
Temperature: -273.15 °C

7.1.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων



Σχήμα 7.2

Σχόλιο : η θερμοκρασία του νερού κατά την εισαγωγή του μετά από 200sec λειτουργίας μπορεί να φθάσει άμεσα και τους 48.7^{o} C , αυτό υποδηλώνει το σημαντικό προτέρημα της σχεδίασης που είναι η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας. Αξίζει λοιπόν να αναφέρουμε ότι στη συνέχεια όταν πια το σύστημα έχει φθάσει σε μόνιμη λειτουργία , δηλαδή το δοχείο αποθήκευσης έχει αναπτύξει μια θερμοκρασία, το νερό που θα εισάγεται στο συλλέκτη θα έχει μεγαλύτερες τιμές με αποτέλεσμα και η θερμοκρασία εξόδου να είναι πολύ μεγαλύτερη.



Σχήμα 7.3

Σχόλιο : Στην αναπαράσταση του σχήματος 7.3 , βλέπουμε την θερμοκρασία που αναπτύσσουν οι σωληνώσεις χαλκού σύμφωνα με της συνθήκες που εδόθησαν κατά τον προγραμματισμό του floworks, και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες των σωλήνων αυξάνουν μέχρι και τους 48,7^{o}C σχεδόν ακαριαία.

7.2 Αεροδυναμική ανάλυση του συλλέκτη

Η αεροδυναμική ανάλυση του συλλέκτη γίνεται επίσης με τη χρήση του προγράμματος floworks , θέτοντας σαν συνθήκη την ροή ανέμου με ταχύτητα **30 m/s** . Τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα προκύπτουν ως εξής.

FULL REPORT

System Info

Processors	Intel(R) Xeon(R) CPU E5405 @ 2.00GHz
Memory	4093 MB / 8388607 MB
Operating system	(Build 7600)
CPU speed	1995 MHz

General Info

Model	C:\Users\TANS\AppData\Local\Temp\FWTmpGeometry\peirama 2_2\Assem3.SLDASM

Project name	peirama 2
Project path	C:\Users\TANS\AppData\Local\Temp\FWTmpGeometry\peirama 2_2\1
Units system	SI (m-kg-s)
Analysis type	External (exclude internal spaces)
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 5

Advanced narrow channel refinement: Off

Refinement in solid region: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	**-5.41207449 m**
X max	**1.55784956 m**
Y min	**-0.473966752 m**
Y max	**3.70548688 m**
Z min	**-1.25479471 m**
Z max	**0.394561431 m**

Boundary Conditions

2D plane flow	**None**
At X min	**Default**
At X max	**Default**
At Y min	**Default**
At Y max	**Default**
At Z min	**Default**
At Z max	**Default**

Physical Features

Heat conduction in solids: Off

Time dependent: On

Gravitational effects: Off

Flow type: Laminar and turbulent

High Mach number flow: Off

Humidity: Off

Default roughness: 0 micrometer

Default wall conditions: Adiabatic wall

Ambient Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325 Pa Temperature: 20.05 °C
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: -30 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 0.1 % Length: 0.0100187372 m

Material Settings

Fluids

Air

Goals

Global Goals

GG Max Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Mass Flow Rate 1

Type	Global Goal
Goal type	Mass Flow Rate
Coordinate system	Global coordinate system

Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum physical time	12 s

Solver Refinement

Refinement: Disabled

Results Saving

Save before refinement	On
Periodic saving	Units: Physical time Period: 4

Advanced Control Options

Flow Freezing

Flow freezing strategy	Disabled

Αποτελέσματα

RESULTS

General Info

Iterations: 3257

Physical time: 12 s

CPU time: 8318 s

Log

Mesh generation started	23:34:24 , Jun 11
Mesh generation normally finished	23:36:50 , Jun 11
Preparing data for calculation	23:36:54 , Jun 11
Calculation started 0	23:36:59 , Jun 11
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 356	23:51:40 , Jun 11
Goals are converged 356	
Max. travel is reached 356	
Calculation finished 357	23:52:33 , Jun 11
Preparing data for calculation	01:24:42 , Jun 12
Calculation started 357	01:24:47 , Jun 12
Calculation has converged since the following criteria are satisfied: 3256	03:33:11 , Jun 12
Max. phys. time is reached 3256	
Calculation finished 3257	03:33:29 , Jun 12

Warnings: Invalid goals Goal name: GG Mass Flow Rate 1

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	60
Number of cells in Y	31
Number of cells in Z	20

Number Of Cells

Total cells	45418
Fluid cells	43006
Solid cells	0
Partial cells	2412
Irregular cells	0
Trimmed cells	387

Maximum refinement level: 1

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
GG Max Static Pressure 1	Pa	108693	100	On	0.000113171685	0.0100541157
GG Bulk Av Static Pressure 1	Pa	101331	14.4	On	0.0641831643	0.00926723378
GG Max Total Pressure 1	Pa	108693	100	On	0.00635069945	0.0281094126
GG Bulk Av Total Pressure 1	Pa	101826	13.8	On	0.062916058	0.00871370366
GG Max Dynamic Pressure 1	Pa	963.819	8.9	On	8.05893352	0.717265841
GG Bulk Av Dynamic Pressure 1	Pa	494.49	53	On	0.00938608293	0.00497568258
GG Max Temperature of Fluid 1	°C	20.5406	14.6	On	0.00552627952	0.000810606913
GG Bulk Av Temperature of Fluid 1	°C	20.093	54.3	On	1.00547811e-05	5.46688813e-06
GG Max Density 1	kg/m^3	1.28927	100	On	2.19723775e-08	1.36106493e-07
GG Bulk Av Density 1	kg/m^3	1.20359	13.6	On	7.39681994e-07	1.00726492e-07
GG Mass Flow Rate 1	kg/s	0	1000	On	0	0.001

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [Pa]	100078	108693
Temperature [°C]	19.7001	20.5406
Velocity [m/s]	0	39.7719
X – Component of Velocity [m/s]	-38.1465	18.3011
Y – Component of Velocity [m/s]	-20.3435	27.8828
Z – Component of Velocity [m/s]	-29.1143	30.415

Fluid Temperature [°C]	19.7001	20.5406
Mach Number [ ]	0	0.115961
Shear Stress [Pa]	0	14.0514
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Density [kg/m^3]	1.18838	1.28927

Engineering Database

Gases

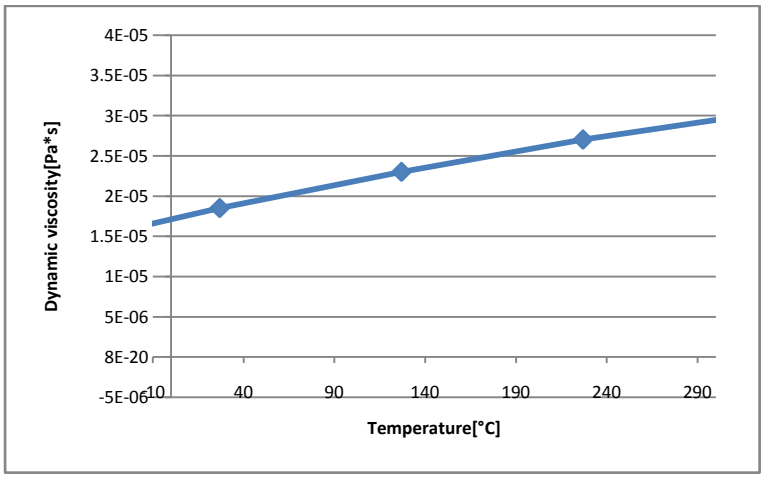
Air

Path: Gases Pre-Defined

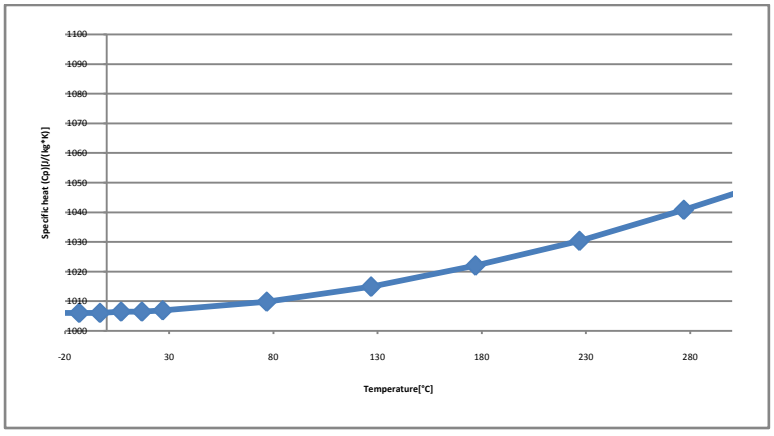
Specific heat ratio (Cp/Cv): 1.399

Molecular mass: 0.02896 kg/mol

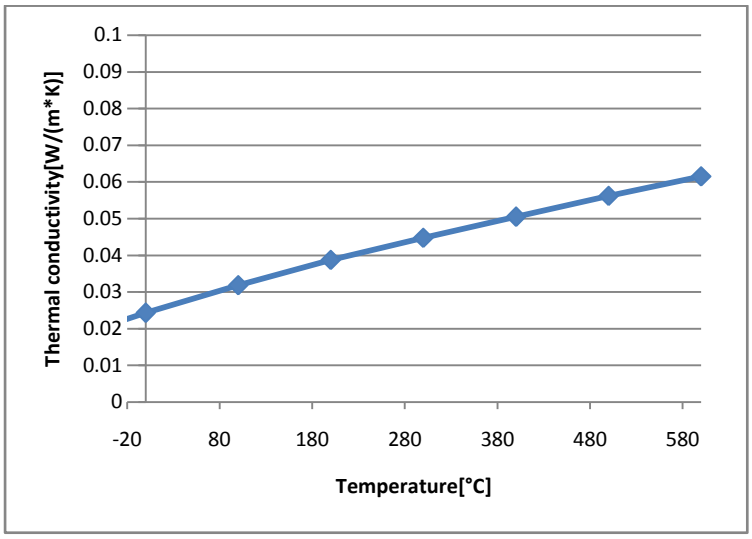
Dynamic viscosity



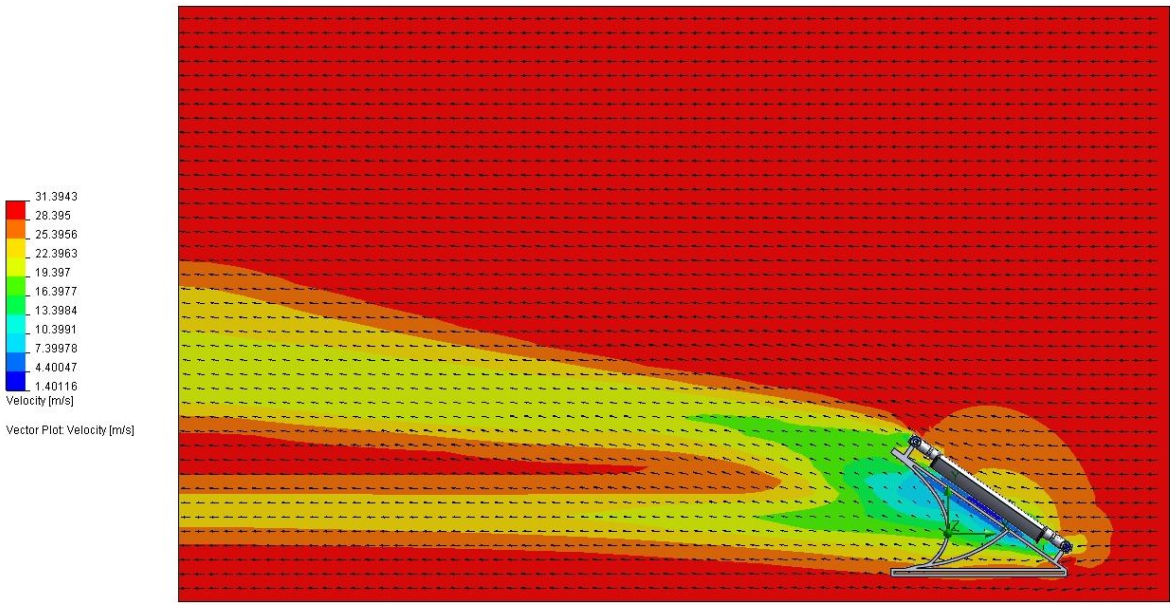
Specific heat (Cp)



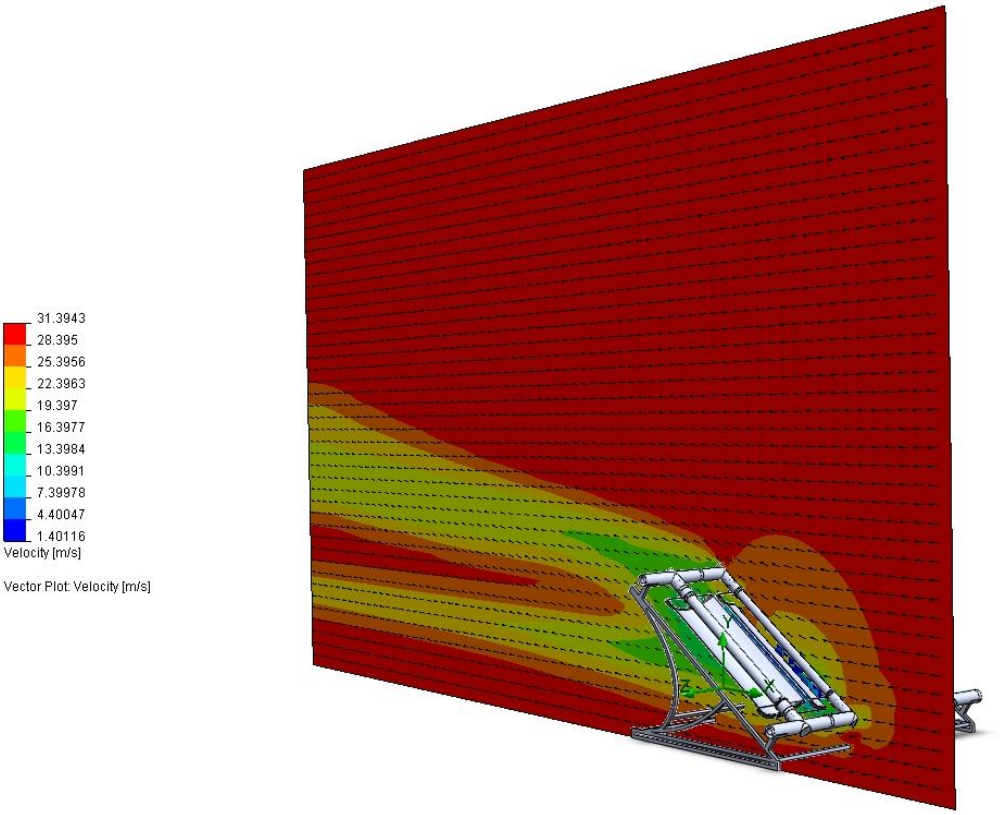
Thermal conductivity



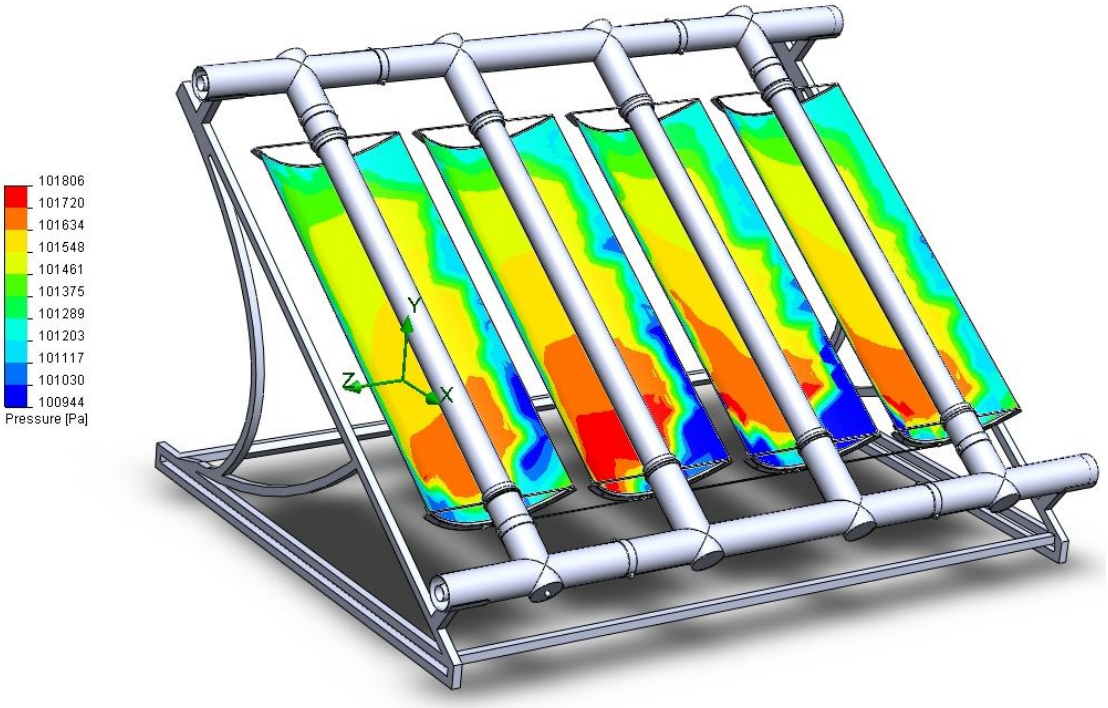
7.2.1 Απεικόνιση αεροδυναμικής ανάλυσης



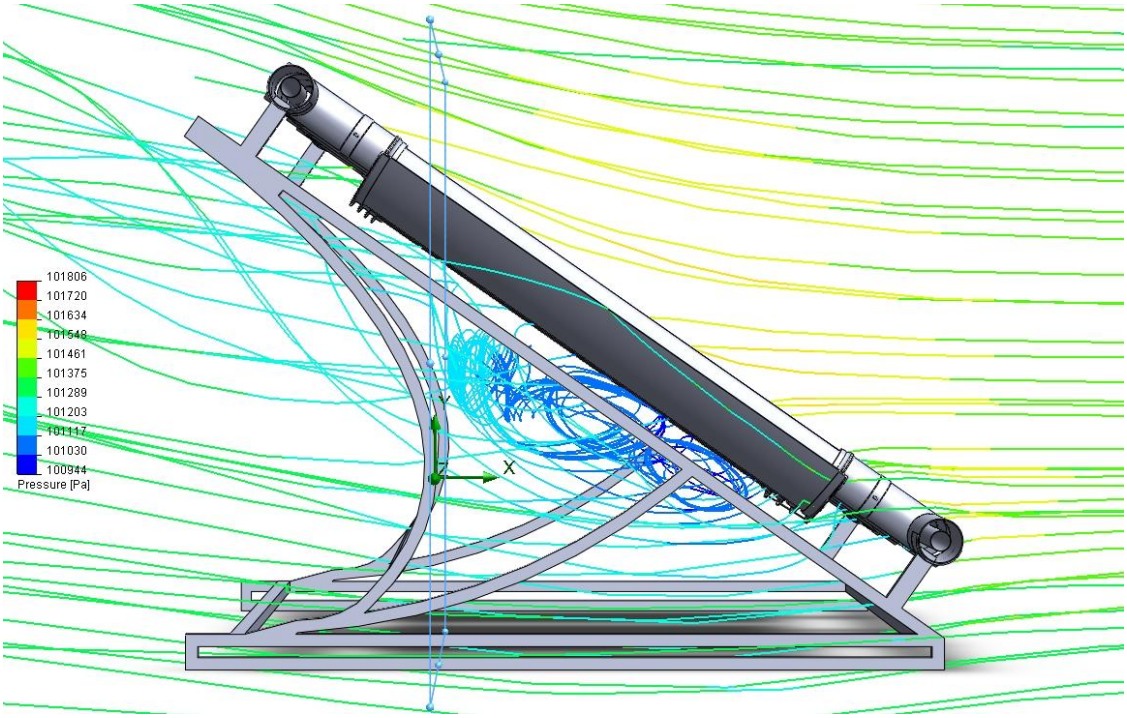
Σχήμα 7.4 (α)



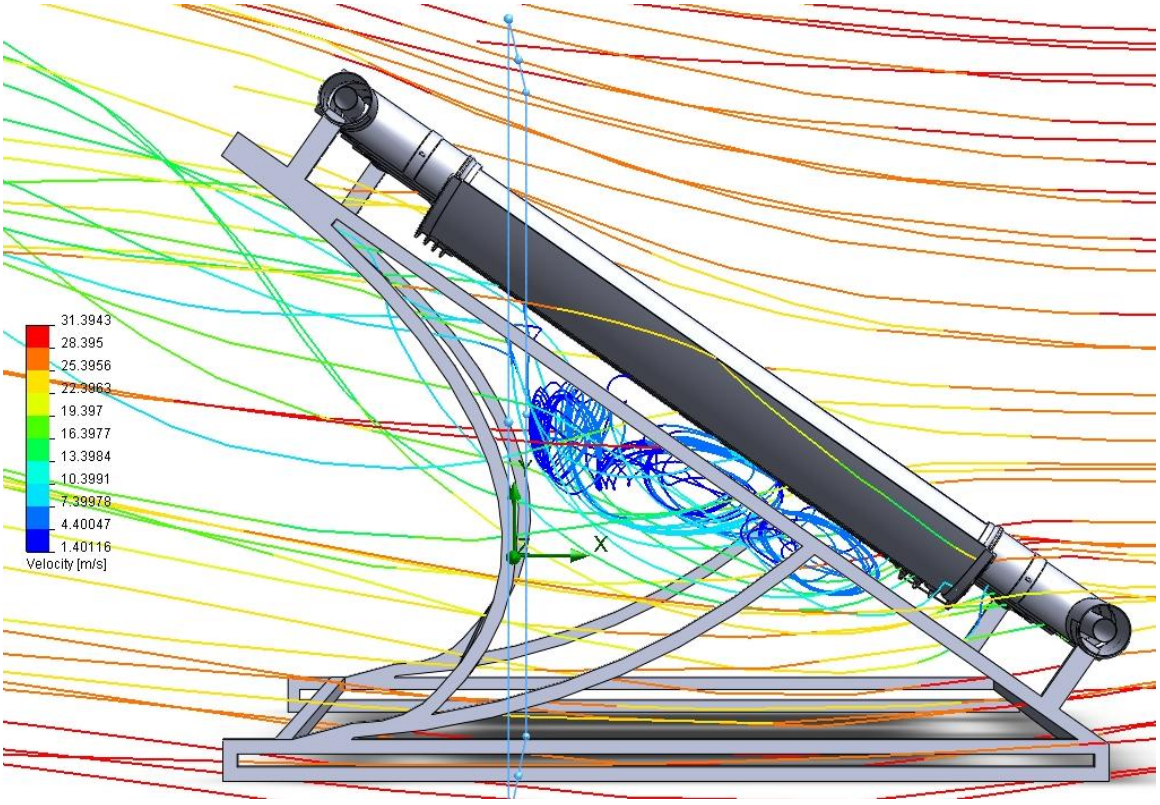
Σχήμα 7.4 (β)



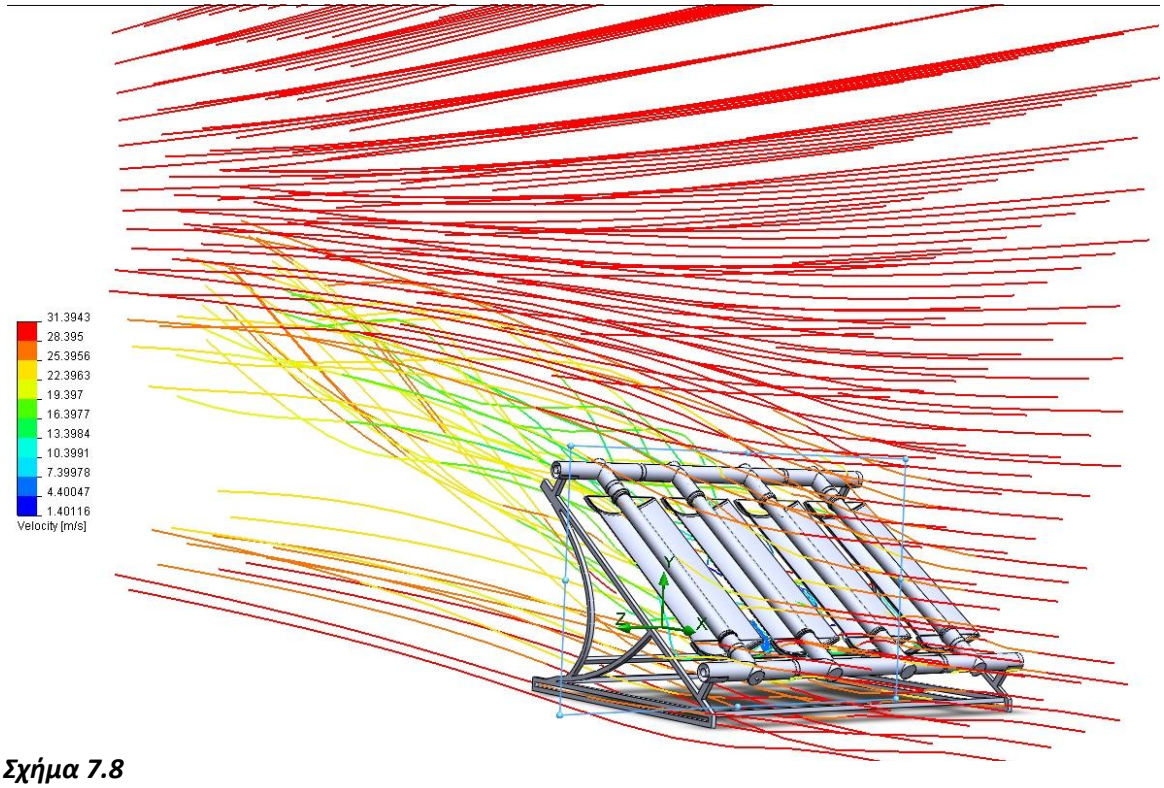
Σχήμα 7.5



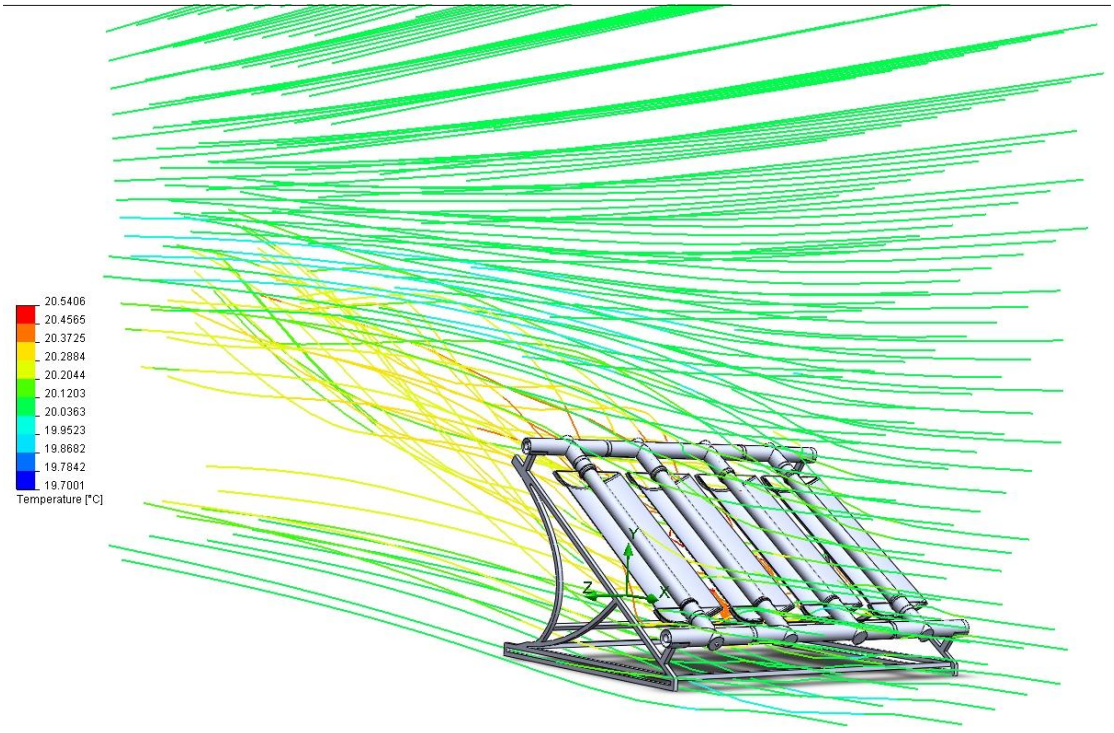
Σχήμα 7.6



Σχήμα 7.7



Σχήμα 7.8



Σχήμα 7.9

7.3 Θερμική ανάλυση δοχείου 500L

Για την θερμική ανάλυση του δοχείου αποθήκευσης , χρησιμοποιούμε όλα τα παραπάνω ορίζοντας τις συνοριακές συνθήκες εσωτερική ανάλυση, έτσι ώστε σε ένα εναλλάκτη θερμότητας να κινείται θερμό νερό και στο δοχείο αποθήκευσης εισαγωγή κρύου νερού από την παροχή. Το σύστημα έχει ως φυσικό χρόνο λειτουργίας τα 9000 sec , και βλέπουμε κατά διαστήματα την συμπεριφορά του δοχείου. Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε επίσης το πρόγραμμα floworks με το ίδιο σκεπτικό που ακολουθήσαμε πιο πάνω.

FULL REPORT

System Info

Processors	Intel(R) Xeon(R) CPU E5405 @ 2.00GHz
Memory	4093 MB / 8388607 MB
Operating system	(Build 7600)
CPU speed	1995 MHz

General Info

Project name	dokimi1
Units system	CGS (cm-g-s)
Analysis type	Internal
Exclude cavities without flow conditions	On
Coordinate system	Global coordinate system
Reference axis	X

INPUT DATA

Initial Mesh Settings

Automatic initial mesh: On

Result resolution level: 3

Advanced narrow channel refinement: Off

Geometry Resolution

Evaluation of minimum gap size: Automatic

Evaluation of minimum wall thickness: Automatic

Computational Domain

Size

X min	-542.702432 mm
X max	321.221854 mm
Y min	-621.96501 mm
Y max	1341.96501 mm
Z min	-321.248534 mm
Z max	569.409446 mm

Boundary Conditions

2D plane flow	None
At X min	Default
At X max	Default
At Y min	Default
At Y max	Default
At Z min	Default
At Z max	Default

Physical Features

Heat conduction in solids: On

Heat conduction in solids only: Off

Radiation: Off

Time dependent: On

Flow type: Laminar and turbulent

High Mach number flow: Off

Default roughness: 0 micrometer

Default outer wall condition

Heat transfer coefficient: 4500 dyn/s/cm/°C

External fluid temperature: 20.05 °C

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 1.01325 bar Temperature: 20.05 °C
Solid parameters	Default material: Copper Initial solid temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.862199886 cm

Material Settings

Fluids

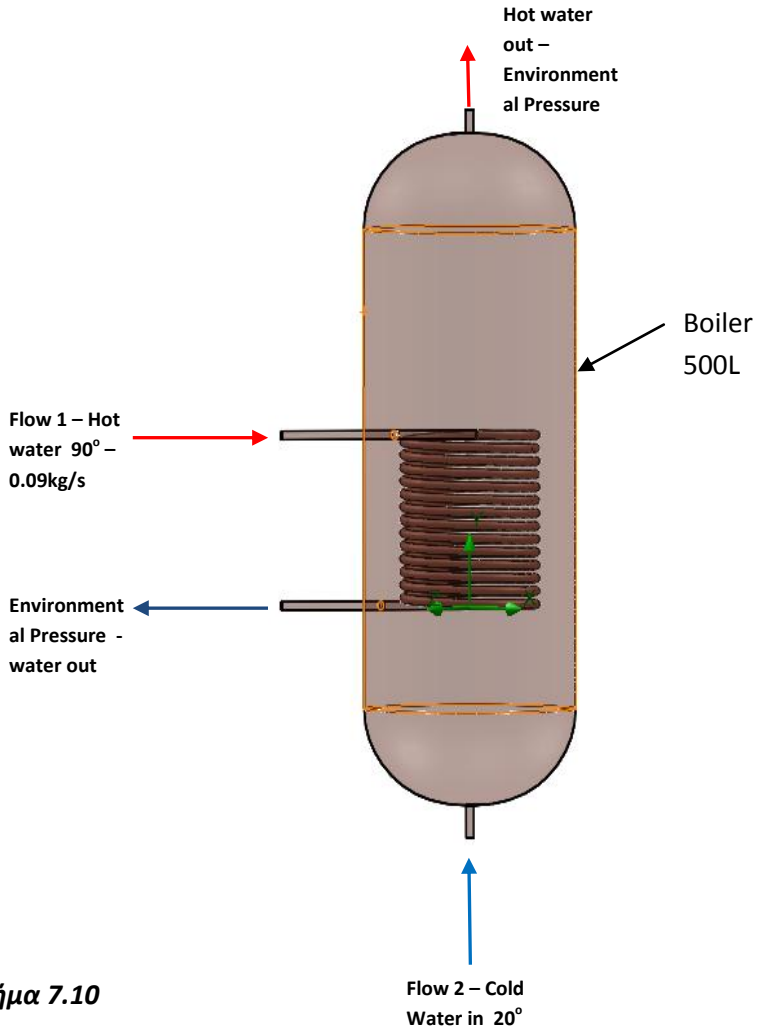
Water

Solids

Copper

7.3.1 Συνοριακές συνθήκες θερμικής ανάλυσης δοχείου 500L

Boundary Conditions



Σχήμα 7.10

Inlet Mass Flow 1

Type	Inlet Mass Flow
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	Y
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate normal to face: 900 g/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 95.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.862199886 cm
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 1

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 1.01325 bar Temperature: 87.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.862199886 cm
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Inlet Mass Flow 2

Type	Inlet Mass Flow
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Mass flow rate normal to face: 0.5 g/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.862199886 cm
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Face <1 >
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 1.01325 bar Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2 % Length: 0.862199886 cm
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Goals

Global Goals

GG Min Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Total Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Min Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Dynamic Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Dynamic Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Min Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Av Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Temperature of Fluid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Fluid
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Min Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Bulk Av Density 1

Type	Global Goal
Goal type	Density
Calculate	Average value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

GG Max Temperature of Solid 1

Type	Global Goal
Goal type	Temperature of Solid
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global coordinate system
Use in convergence	On

Calculation Control Options

Finish Conditions

Finish conditions	If one is satisfied
Maximum physical time	8000 s

Solver Refinement

Refinement level	2
Refinement criterion	1.5
Unrefinement criterion	0.15
Adaptive refinement in fluid	On
Use global parameter variation	Off
Adaptive refinement in solid	On
Approximate maximum cells	2500000
Refinement strategy	Tabular refinement
Units	Travels
Relaxation interval	0.2

Results Saving

Save before refinement	On
Periodic saving	Units: Physical time Period: 50

Manual time step: 10 s

RESULTS

General Info

Iterations: 1364

Physical time: 8000 s

CPU time: 12119 s

Warnings: Specified time step is greater than automatically defined one. Specified 10 s; Automatically defined 0.308445264

Calculation Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	10
Number of cells in Y	22
Number of cells in Z	10

Number Of Cells

Total cells	38775
Fluid cells	13624
Solid cells	5122
Partial cells	20029
Irregular cells	0
Trimmed cells	560

Goals

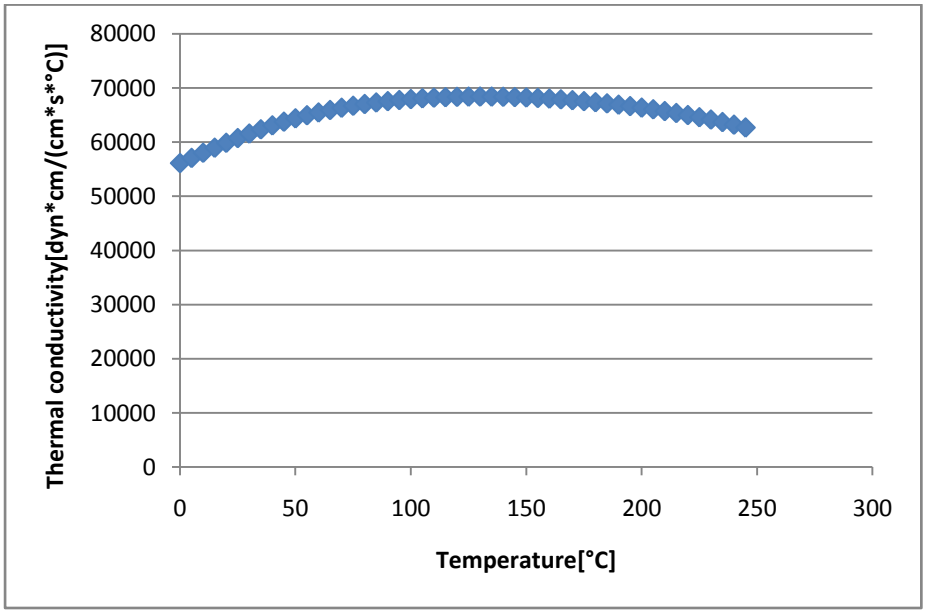
Name	Unit	Value	Progress	Use in convergence	Delta	Criteria
GG Min Total Pressure 1	bar	0.992454	0.6	On	0.00176771278	1.20856932e-05
GG Av Total Pressure 1	bar	1.02439	25.6	On	0.000507748115	0.000130360273
GG Max Total Pressure 1	bar	3.08932	27.8	On	0.085868994	0.0239020869
GG Bulk Av Total Pressure 1	bar	1.02404	26.5	On	0.000491377112	0.000130379543
GG Min Dynamic Pressure 1	bar	0	100	On	0	0
GG Av Dynamic Pressure 1	bar	0.000459789	8.5	On	4.02024617e-06	3.42607434e-07
GG Max Dynamic Pressure 1	bar	0.0712561	55.8	On	0.000593021664	0.000330909169
GG Min Temperature of Fluid 1	°C	20.05	100	On	5.96855898e-12	0.00297984264
GG Av Temperature of Fluid 1	°C	29.5807	11.3	On	0.0707368344	0.00803222221
GG Max Temperature of Fluid 1	°C	95.0502	100	On	1.30972708e-05	0.0150647307
GG Bulk Av	°C	29.4417	11.1	On	0.0700710173	0.0078476884

Temperature of Fluid 1						9
GG Min Density 1	g/cm^3	0.962424	100	On	8.9441819e-09	1.12641037e-05
GG Max Density 1	g/cm^3	0.997562	100	On	0	7.56035737e-07
GG Bulk Av Density 1	g/cm^3	0.994028	12.4	On	2.58861568e-05	3.22762227e-06
GG Max Temperature of Solid 1	°C	95.0389	100	On	1.54400942e-06	2.90878251

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Pressure [bar]	0.992454	3.05366
Temperature [°C]	20.05	95.0502
Velocity [m/s]	0	4.20658
X – Component of Velocity [m/s]	-3.64663	3.6485
Y – Component of Velocity [m/s]	-0.625431	0.441046
Z – Component of Velocity [m/s]	-3.94431	4.11207
Fluid Temperature [°C]	20.05	95.0502
Solid Temperature [°C]	20.2026	95.0389
Melting Temperature Exceed [°C]	-1062.85	-988.011
Shear Stress [bar]	0	0.000988332
Heat Transfer Coefficient [dyn/s/cm/°C]	0.00969212	1.98657e+06
Surface Heat Flux [dyn*cm/(cm^2*s)]	-1.29321e+08	1.01694e+08
Density [g/cm^3]	0.962424	0.997562

Thermal conductivity

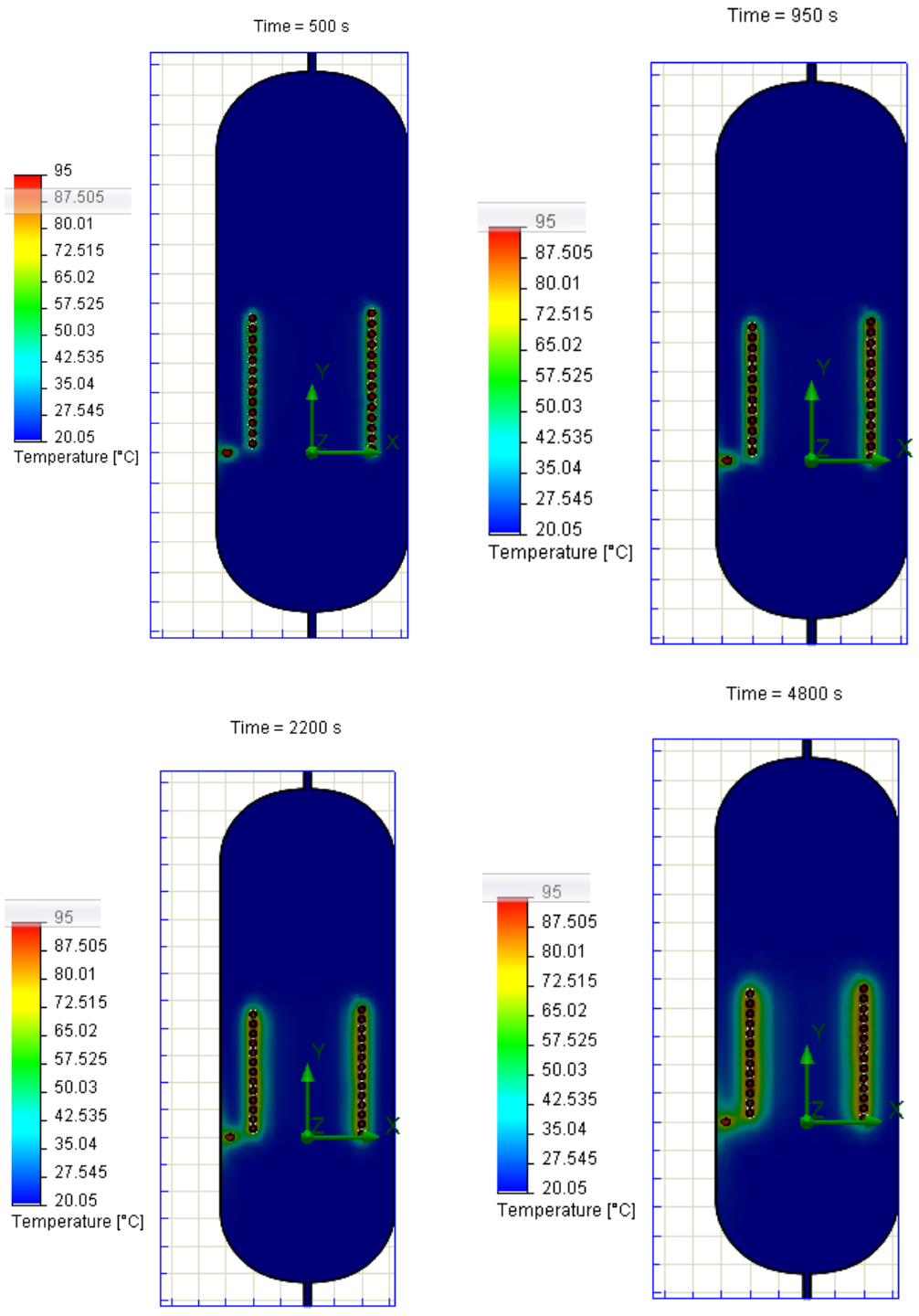


Cavitation effect: Yes

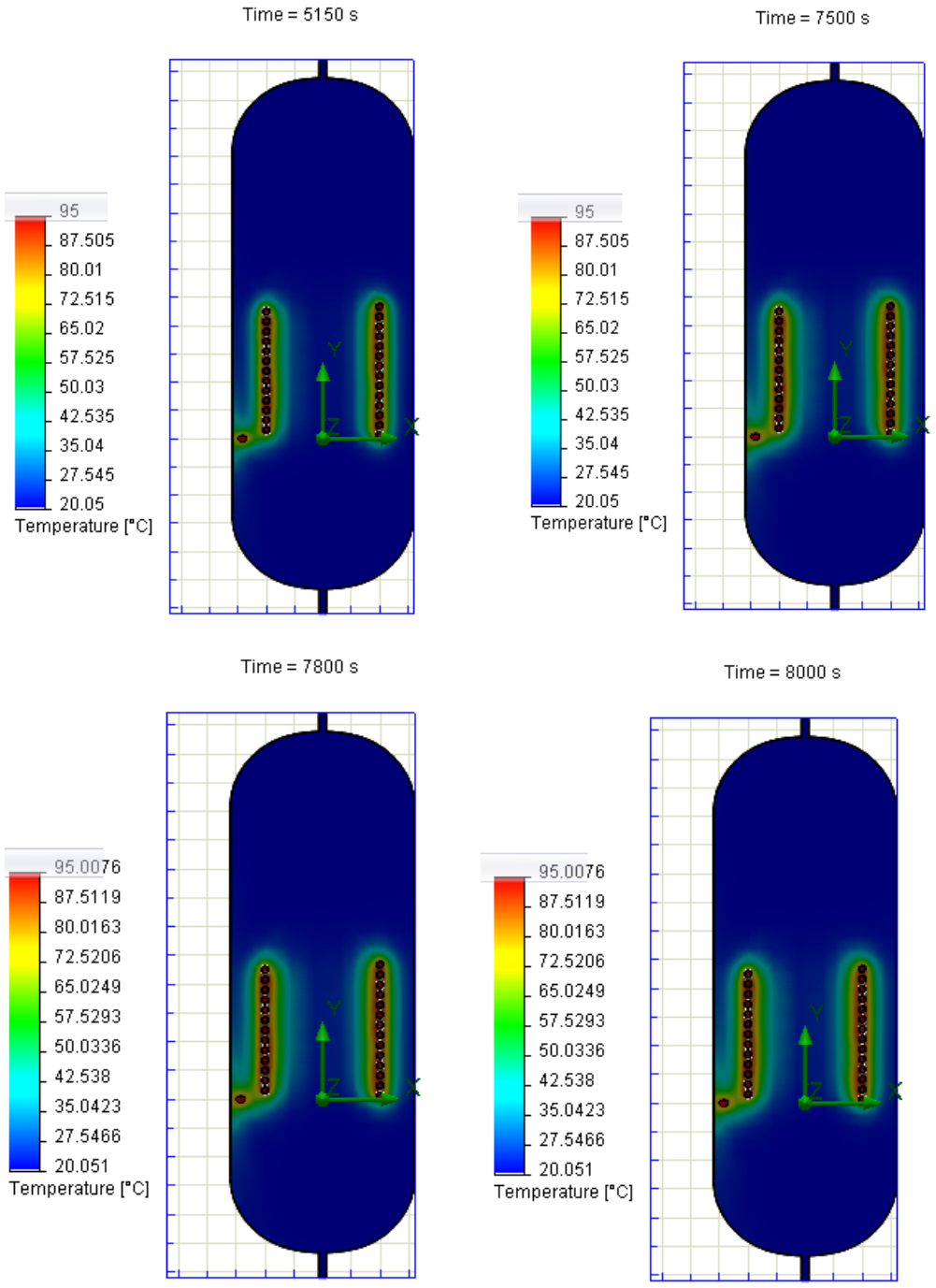
7.3.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων θερμικής ανάλυσης δοχείου 500L

Results – Cut Plots – Front view

Temperature – Cut Plot

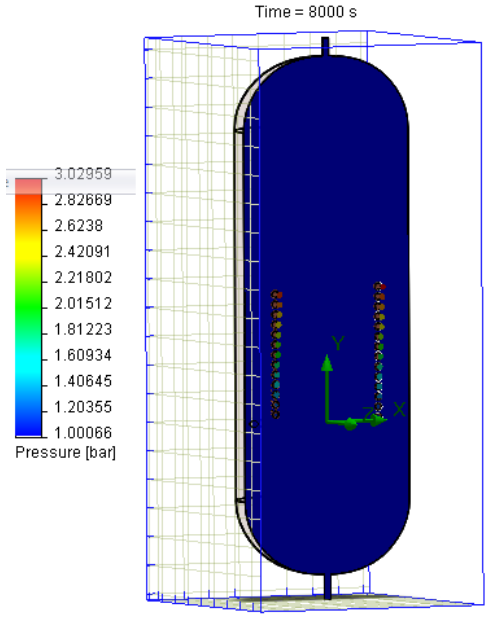


Σχήμα 7.11

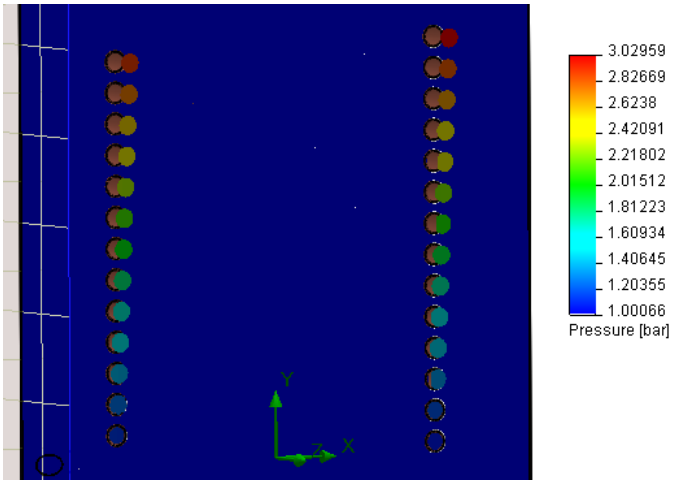

Time = 5150 s
95
87.505
80.01
72.515
65.02
57.525
50.03
42.535
35.04
27.545
20.05
Temperature [°C]
Time = 7500 s
95
87.505
80.01
72.515
65.02
57.525
50.03
42.535
35.04
27.545
20.05
Temperature [°C]
Time = 7800 s
95.0076
87.5119
80.0163
72.5206
65.0249
57.5293
50.0336
42.538
35.0423
27.5466
20.051
Temperature [°C]
Time = 8000 s
95.0076
87.5119
80.0163
72.5206
65.0249
57.5293
50.0336
42.538
35.0423
27.5466
20.051
Temperature [°C]

Σχήμα 7.12

Pressure – Cut Plot

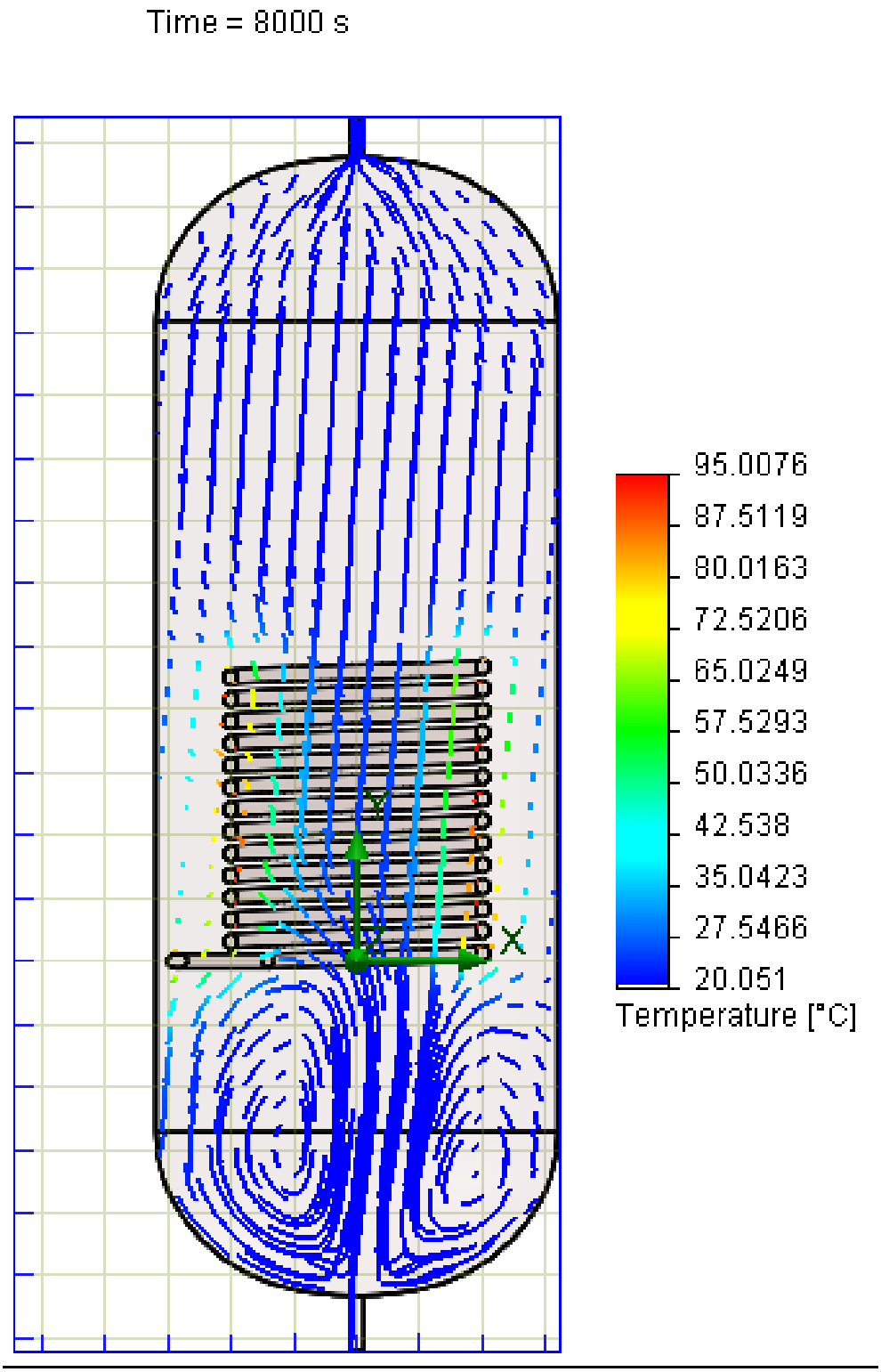


Σχήμα 7.13 (α)



Σχήμα 7.14 (β)

Flow trajectories – Cut plot



Σχήμα 7.15

Βιβλιογραφία – Πηγές

1. ***Ξενοφών Κακάτσιος , Καθηγητής ΕΜΠ - ''Αρχές Μεταφοράς θερμότητας και μάζης'' τόμος 1 και 2 , Αθήνα 2007***
2. ***C.L. GUPTA and H.P. GARG – System design in solar water heaters with natural circulation – April 1968***
3. ***H.C. Hottel and B.B. Woertz – The performance of flat plate solar heat collectors. Trans. Am.Soc.Mech.Eng. – 1942***
4. ***Adnan Shariah and Bassan Shalabi – Department of Applied Physics, Jordan University of Science and Technology – Irbid Jordan – January 1997***
5. ***www.powerfromthesun.net – Power from the sun – by William B. Stine and Michael Geyer (all chapters)***
6. ***Jason H. Karp, Eric J. Tremblay and Joseph E.Ford – Department of electrical and computer engineering , University of California , San Diego – Planar micro-optic solar concentrator***
7. ***Σ.Ε. Πνευματικάκης Ι. Γ. Καουρής, Κ. Γκέρτζος – Τμήμα μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστημίου Πατρών – Ανάπτυξη ολοκληρωμένου ηλιακού θερμοσίφωνα ICS, επίπεδου συλλέκτη αποθήκης***
8. ***Michael John Brooks – Performance of a parabolic trough solar collector – February 2005***
9. ***European Solar Thermal Industry federation – Simple calculation of energy delivery of small ST systems***
10. ***Christos A. Frangopoulos and Yannis C. Caralis – Department of Naval Architecture and Marine Engineering of NTUA – A method for taking into account environmental impacts in the economic evaluation of energy systems – 1997***
11. ***Christos A. Frangopoulos – NTUA – Department of Naval Architecture and Marine Engineering – Methods of energy system optimization - 2003***
12. ***The U.S. Department of Energy – Federal technology Alert – Parabolic – Trough Solar Water Heating***
13. ***H.Taketani – McDonnel Douglas Astronautics Company – Reflectance and aging studies of heliostat mirrors***
14. ***www.retscreen.net – Clean Energy Decision Support centre – Solar Water Heating Project Analysis***
15. ***Soteris Kalogirou – Department of mechanical Engineering , Higher Technical Institute, Nicosia Cyprus – Use of parabolic trough solar energy collectors for sea-water desalination***
16. ***Graham L.Morrison – School of Mechanical and Manufacturing Engineering University of New South Wales, Sydney, Australia – Chapter – Solar collectors***
17. ***www.google.com***
18. ***www.wikipedia.com***
19. ***www.redrock.com***
20. ***www.solarpanelspower.net***