



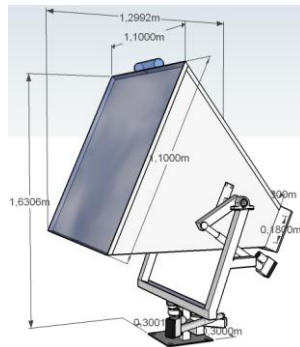
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ (Ε.Μ.Π.)

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Σχεδιασμός και προσομοίωση του δέκτη σε πρότυπο
συγκεντρωτικό συλλέκτη Fresnel»**



του φοιτητή **Ηλία Κονίνη**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω κ. Χρήστο Τζιβανίδη, επίκουρο καθηγητή του ΕΜΠ, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς για την άριστη συνεργασία και τον κ. Κίμων Αντωνόπουλο για τις γνώσεις που μου μετέδωσε στα πλαίσια των μαθημάτων ηλιακής ενέργειας, κλιματισμού και υπολογιστικές μέθοδοι φαινομένων μεταφοράς.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Ηλιακών και άλλων Ενεργειακών Συστημάτων (ΕΗ-ΕΣ) του ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ” και ιδιαίτερα τον προϊστάμενο του ΕΗ-ΕΣ Δρ. Β. Μπελεσιώτη ο οποίος εισηγήθηκε το θέμα της Διπλωματικής μου καθώς και τον Δρ. Η. Παπανικολάου, για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της παραμονής μου στο εργαστήριο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Χρήστο Δρογγίτη, εφευρέτης και κάτοχος του Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας με Αριθμ. 1005662 του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη με συγκεντρωτικό φακό Fresnel, θέτοντας στη διάθεσή μου τα απαραίτητα κατασκευαστικά σχέδια του δέκτη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους μου Γιώργο Κόλλια- Πιτυρίγκα και Μιχαήλ Κορρέ για την βοήθεια και την στήριξη κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονείται στα πλαίσια του μαθήματος ηλιακής ενέργειας του 9^{ου} εξαμήνου, της σχολής μηχανολόγων μηχανικών του Ε.Μ.Π. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός και η υπολογιστική προσομοίωση του δέκτη (απορροφητική επιφάνεια) ενός ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη, στον οποίο γίνεται χρήση ενός συγκεντρωτικού φακού Fresnel. Ο δέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το κυριότερο μέρος ενός συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη, εκεί που γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ωφέλιμη θερμική ισχύς στο εργαζόμενο ρευστό του ηλιακού συλλέκτη. Πρόκειται για πατέντα του κ. Χρήστου Δρογγίτη, πειραματικό πρωτότυπο για αξιολόγηση βρίσκεται στο ΕΗ-ΕΣ του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος. Η διπλωματική εργασία θα χωριστεί στα παρακάτω κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής περιγραφή των φακών Fresnel ως προς την λειτουργία τους, τα υλικά κατασκευής τους και γίνεται μια λεπτομερής οπτική ανάλυση.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η χρήση των Fresnel σε συγκεντρωτικούς συλλέκτες και γίνεται μια σύντομη θερμική ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας και των απωλειών στον δέκτη.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή βήμα προς βήμα του σχεδιασμού του δέκτη με την χρήση του προγράμματος σχεδιασμού Solidworks student 2012.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται βήμα προς βήμα η εισαγωγή της γεωμετρίας, ο καθορισμός του μοντέλου φυσικής και οι οριακές συνθήκες που θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση με την χρήση του προγράμματος Comsol multiphysics 4.3.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο θα παρατεθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για διάφορες θερμοκρασίες εισόδου του ρευστού στον δέκτη και για διαφορετικές παροχές όγκου στην είσοδο του δέκτη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	8
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	8
1.2	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	9
1.2.1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ	12
1.3	ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	13
1.3.1	ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (CPC –compound parabolic collectors). 13	
1.3.1.1	ΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	14
1.3.2	ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ (PTCs).....	18
1.3.2.1	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ.....	20
1.3.3	ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΕΣ FRESNEL (LFR)	21
1.3.4	ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ ‘ΠΙΑΤΩΝ’ (PDRs).....	23

1.3.5	ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΠΕΔΙΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ (HFCs).....	26
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	28
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ.....	28
2.2	ΦΑΚΟΙ FRESNEL	30
2.2.1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	31
2.2.2	ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗ ΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	32
2.2.3	ΟΙ ΣΥΖΕΥΞΗ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL.....	35
2.2.4	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ FRESNEL.....	36
2.2.5	ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΦΑΚΩΝ FRESNEL	36
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	40
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
3.2	ΧΡΗΣΗ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	40
3.2.1	ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	41
3.2.2	ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ.....	42
3.2.3	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	42
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	47
4.1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΥΠΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	47
4.1.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΦΑΚΟΥ FRESNEL	49
4.2	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ	50
4.3	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ(RECEIVER) ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΜΕ SOLIDWORKS .	52
4.3.1	ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ	53
4.3.1.1	ΒΗΜΑ 1 ^ο	53
4.3.1.2	ΒΗΜΑ 2 ^ο	54
4.3.1.3	ΒΗΜΑ 3 ^ο	56
4.3.1.4	ΒΗΜΑ 4 ^ο	58
4.3.1.5	ΒΗΜΑ 5 ^ο	59
4.3.1.6	ΒΗΜΑ 6 ^ο	61
4.3.1.7	ΒΗΜΑ 7 ^ο	63
4.3.2	ΚΑΠΑΚΙ ΔΕΚΤΗ	65
4.3.2.1	ΒΗΜΑ 1 ^ο	65
4.3.3	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΕΥΣΤΟΥ (FLUID DOMAIN).....	67
4.3.3.1	ΒΗΜΑ 1 ^ο	67
4.3.3.2	ΒΗΜΑ 2 ^ο	68

4.3.3.3	ΒΗΜΑ 3 ^ο	70
4.3.3.4	ΒΗΜΑ 4 ^ο	71
4.3.4	ΣΥΝΑΡΜΟΛΛΟΓΗΜΕΝΟ	72
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	76
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ COMSOL MULTIPHYSICS	76
5.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	77
5.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	78
5.2.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	81
5.2.3	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	84
5.2.4	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	87
5.2.5	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	90
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	104
6.1	ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΤΟΥ COMSOL	104
6.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	106
6.2.1	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in}= 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	108
6.2.2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in}= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	109
6.2.3	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in}= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	110
6.2.4	ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΥΣΤΟ.....	111

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι ένα ιδιαίτερο είδος εναλλακτών θερμότητας που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια του εργαζόμενου μέσου του συλλέκτη κύριο συστατικό ενός ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης. Αυτή είναι μια συσκευή που απορροφάει την ηλιακή ακτινοβολία, την μετατρέπει σε θερμότητα και μεταφέρει αυτή την θερμότητα σε ένα ρευστό, το οποίο είναι συνήθως αέρας, νερό ή έλαιο, το οποίο ρέει μέσω του συλλέκτη. Έτσι η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται και μεταφέρεται στο ρευστό που κυκλοφορεί είτε άμεσα στο θερμό νερό ή στον εξοπλισμό κλιματισμού του χώρου, ή σε μια δεξαμενή αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας από τη οποία μπορεί να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί την νύχτα ή τις συνεφιασμένες μέρες.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ηλιακών συλλεκτών: οι συγκεντρωτικοί και οι μη συγκεντρωτικοί. Οι μη συγκεντρωτικοί έχουν την ίδια περιοχή για παρακράτηση και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ στους συγκεντρωτικούς με σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, συνήθως έχουμε κοίλης γεωμετρίας ανακλαστήρες για να παρακολουθεί και να εστιάζει στην ακτινοβολία του ήλιου αυξάνοντας έτσι την ροή της ακτινοβολίας. Ένας μεγάλος αριθμός ηλιακών συλλεκτών είναι διαθέσιμοι

στην αγορά. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1) γίνεται ανασκόπηση διαφόρων τύπων συλλεκτών.

Table 1
Solar energy collectors

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15–45	60–300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10–50	60–300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100–1000	100–500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100–1500	150–2000

Note: Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.

Πίνακας 1: Τύποι ηλιακών συλλεκτών που είναι διαθέσιμοι στην αγορά

1.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες λειτουργούν παρεμβάλλοντας μία οπτική ανακλαστική ή διαθλαστική συσκευή μεταξύ της πηγής της ηλιακής ακτινοβολίας και της επιφάνειας απορρόφησης (δέκτης) αυτής της ακτινοβολίας. Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να επιτύχουμε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους συνηθισμένους επίπεδους συλλέκτες (flat-plate collectors). Οι υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνονται διότι οι επιφάνειες απορρόφησης είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τους flat-plate συλλέκτες, συνεπώς και οι θερμικές απώλειες μικραίνουν.

Βασικό χαρακτηριστικό των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο λόγος συγκέντρωσης:

$$C = \frac{A_a}{A_r}$$

όπου: A_a = επιφάνεια 'ανοίγματος', δηλαδή η επιφάνεια από την οποία εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία (m^2)

A_r = επιφάνεια απορρόφησης της συγκεντρωμένης ηλιακής ακτινοβολίας (m^2)

Για τους επίπεδους συλλέκτες χωρίς ανακλαστήρες ισχύει προφανώς ότι $C=1$ ενώ στους συγκεντρωτικούς $C>1$.

Τα κύρια μέρη ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι ο συγκεντρωτής και ο δέκτης ο οποίος περιλαμβάνει τον απορροφητήρα με το σύστημα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε άλλη μορφή ενέργειας και τα σχετικά καλύμματα καθώς και την μόνωση. Ο δέκτης για να έχει την μέγιστη απόδοση θα πρέπει να έχει μορφή κοιλότητας. Γενικά όμως μπορεί να είναι κυρτός, επίπεδος, κοίλος, καλυμμένος ή ακάλυπτος. Ανάλογα με το είδος του δέκτη και του συγκεντρωτή μπορούμε να έχουμε πολλούς διαφορετικούς τύπους συγκεντρωτικού συλλέκτη ο καθένας εκ των οποίων απαιτεί διαφορετική οπτική και θερμική ανάλυση.

Το άλλο βασικό στοιχείο των συγκεντρωτικών συλλεκτών ο συγκεντρωτής μπορεί να είναι:

- Κάτοπτρο και να ανακλά την ακτινοβολία ή φακός και να την διαθλά.
- Επιμήκης κυλινδρικός ή κυκλικός: ο επιμήκης μπορεί να θεωρηθεί ως δισδιάστατος και να εστιάζει σε ευθεία γραμμή. Αν η κάθετη τομή προς την ευθεία αυτή είναι παραβολή, τότε έχουμε τον παραβολικό συγκεντρωτή. Επίσης μπορούμε να έχουμε κυκλικό συγκεντρωτή που εστιάζει σε σημείο και θεωρείται ως τρισδιάστατος.
- Συνεχής ή αποτελούμενος από τμήματα.
- Χωρίς είδωλο ή με είδωλο: Οι χωρίς είδωλο έχουν χαμηλό δείκτη συγκέντρωσης ($C < 10$) και δεν σχηματίζουν το είδωλο του ήλιου πάνω στον απορροφητήρα. Αντίθετα, οι με είδωλο συγκεντρωτές σχηματίζουν το είδωλο του ήλιου, ενώ δίνουν λόγους συγκέντρωσης που μπορούν να φτάσουν σε πολύ υψηλές τιμές.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συμβατικούς επίπεδους συλλέκτες (flat plate collectors). Αυτά είναι:

1. Το εργαζόμενο ρευστό μπορεί να επιτύχει πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες για την ίδια επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επιτευχθεί μία υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση.
2. Η θερμική απόδοση είναι μεγαλύτερη λόγω των μικρής επιφάνειας θερμικών απωλειών του δέκτη.
3. Οι επιφάνειες ανάκλασης χρειάζονται λιγότερο υλικό και είναι δομικά απλούστερες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες. Για τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι, συνεπώς, λιγότερο από τους επίπεδους συλλέκτες.
4. Λόγω της σχετικά μικρής περιοχής του δέκτη ανά μονάδα επιφάνειας συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας, η επιλεκτική επεξεργασία των

επιφανειών και η μόνωση κενού για να μειώσει της θερμικές απώλειες και να βελτιώσει την απόδοση του συλλέκτη είναι οικονομικά βιώσιμες.

Από την άλλη μεριά τα μειονεκτήματα των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι:

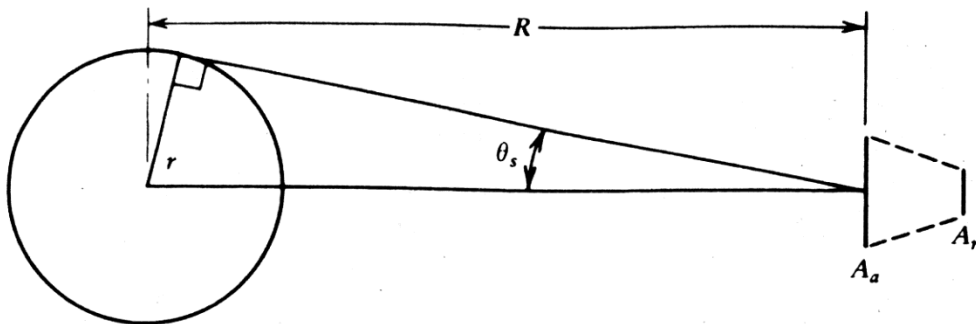
1. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες προσλαμβάνουν ένα πολύ μικρό μέρος της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με τον συντελεστή συγκέντρωσης.
2. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες είναι απαραίτητο κάποιο σύστημα παρακολούθησης για να μπορέσει ο συλλέκτης να ακολουθήσει τον ήλιο.
3. Οι επιφάνειες ανάκλασης είναι πιθανό να χάσουν την ανακλαστική τους ικανότητα με την πάροδο του χρόνου οπότε είναι πολύ σημαντικός ο περιοδικός καθαρισμός του.

Έχει αποδειχθεί ότι η θεωρητικά μέγιστη τιμή του λόγου συγκέντρωσης για τους επιμήκεις (δισδιάστατους) είναι:

$$C_{ideal,2d} = \frac{A_a}{A_r} = \frac{1}{\cos\theta_s} = 212$$

ενώ για τους κυκλικούς (τρισδιάστατους) είναι:

$$C_{ideal,3d} = \frac{A_a}{A_r} = \frac{1}{\cos^2\theta_s} = 45000$$



Σχήμα 1.1: Η ημιγωνία όρασης του ήλιου από την γη

C_{ideal} = λόγος συγκέντρωσης του ιδανικού συλλέκτη

$\theta_s = 16' = 0,27^\circ$ (Σχήμα 1.1)

Στην πράξη ο λόγος συγκέντρωσης έχει ένα εύρος μεταξύ 1,5 και 10.000 . Η αύξηση του λόγου αυτού σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας στο εργαζόμενο ρευστό, συνεπώς οι συλλέκτες αυτοί έχουν αυξημένες απαιτήσεις για ακρίβεια στην οπτική ποιότητα και την τοποθέτηση του οπτικού συστήματος, άρα και στο κόστος τους.

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Λόγω της φαινομενικής κίνησης του ήλιου στον ουρανό, οι συμβατικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες πρέπει να ακολουθούν την καθημερινή κίνηση του ήλιου. Η κίνηση αυτή μπορεί να παρακολουθείται εύκολα με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η διαξονική ή του αλταζιμούθιου, η οποία απαιτεί την συσκευή εντοπισμού όπου στρέφει τον συλλέκτη τόσο ως προς το υψόμετρο όσο και ως προς το αζιμούθιο. Με το σύστημα αυτό γίνεται πλήρης παρακολούθηση του ήλιου. Η δεύτερη μέθοδος έχει παρακολούθηση ενός άξονα στην οποία ο συλλέκτης παρακολουθεί τον ήλιο σε μία μόνο κατεύθυνση, είτε από τα ανατολικά προς τα δυτικά ή βόρεια προς τα νότια. Οι παραβολικού τύπου συλλέκτες σκάφης χρησιμοποιούν γενικά αυτό τον τύπο συστήματος. Αυτά τα συστήματα απαιτούν συνεχή και ακριβή ρύθμιση ως αντιστάθμισμα των αλλαγών του προσανατολισμού του ήλιου. Οι τρόποι παρακολούθησης δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος παρακολούθησης	Προσπίπτουσα γωνία	Κύρια σημεία
Πλήρης παρακολούθηση (δύο αξόνων)	$\cos(\theta)=1$	Εξαρτάται από την ακρίβεια του μηχανισμού παρακολούθησης. Αυτή η μέθοδος συλλέγει τη μέγιστη δυνατή ηλιοφάνεια
Άξονας συλλέκτη Β-Ν πολικός, παρακολούθηση πολική Α-Δ (ενός άξονα)	$\cos(\theta)=\cos(\delta)$	Για αυτή την μέθοδο ο ήλιος είναι κάθετος στις ισημερίες($\delta=0$) και η επίδραση συνημίτονου είναι μέγιστη στα ηλιοστάσια($\delta=23,5^\circ$). Όταν υπάρχουν περισσότερες από μία διατάξεις, ο μπροστινός συλλέκτης σκιάζει τους πίσω
Άξονας συλλέκτη Β-Ν, οριζόντια παρακολούθηση Α-Δ (ενός άξονα)	$\cos(\theta) = \sqrt{\sin^2(a) + \cos^2(\delta)\sin^2(h)}$ or $\cos(\theta) = \cos(\Phi) \cos(h) + \cos(\delta) \sin^2(h)$	Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η μικρή επίδραση σκίασης όταν χρησιμοποιούνται πολλοί συλλέκτες. Αυτή είναι παρών στις πρώτες και τελευταίες ώρες της μέρας.
Άξονας συλλέκτη Α-Δ, οριζόντια		Οι επιδράσεις σκίασης είναι ελάχιστες. Η κύρια σκίαση συμβαίνει

παρακολούθηση B-N (ενός άξονα)	$\cos(\theta) = \sqrt{1 - \cos^2(\delta)\sin^2(h)}$ or $\cos(\theta) = \sqrt{\sin^2(\delta) + \cos^2(\delta)\cos^2(h)}$	<p>όταν οι συλλέκτες βρίσκονται στην ακραία γωνία ($\delta=23,5$) στο χειμερινό ηλιοστάσιο. Σε αυτή την περίπτωση ο ήλιος ρίχνει μια σκιά προς τον συλλέκτη στον βορρά.</p>
--------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Πίνακας 2: Τρόποι παρακολούθησης του ήλιου από τους συλλέκτες (h:ωριαία γωνία, Φ:γωνία ζενίθ, δ:γωνία απόκλισης)

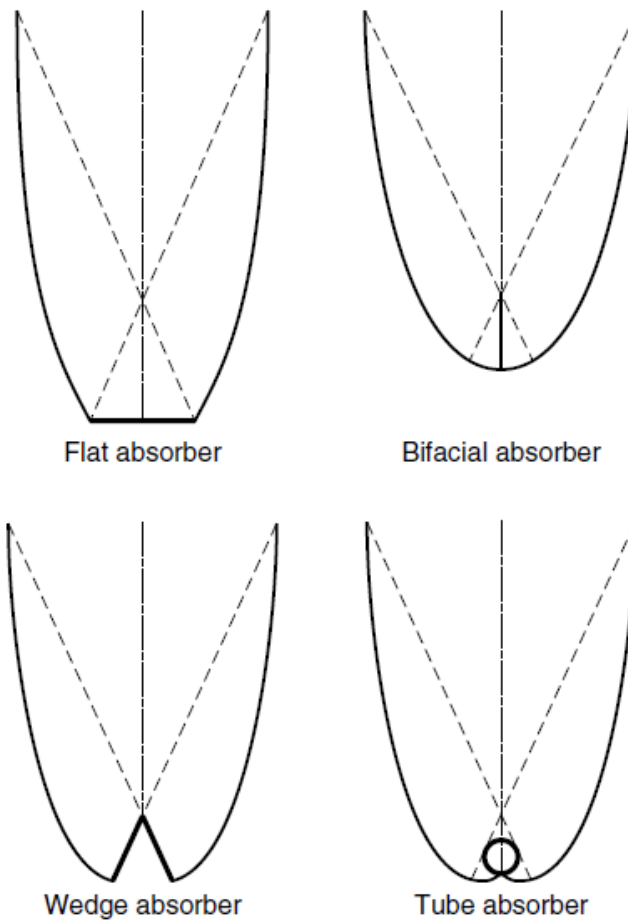
1.3 ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες ταξινομούνται με βάση την ανακλαστική επιφάνεια όπου για κάθε μία απαιτείται συγκεκριμένος τύπος δέκτη. Οι τύποι αυτοί είναι κυρίως οι εξής:

- Συμπαγείς παραβολικοί συλλέκτες (CPC)
- Συλλέκτες παραβολικών κατόπτρων (CTCs)
- Συλλέκτες με γραμμικούς ανακλαστήρες Fresnel (LFR)
- Παραβολικά πιάτα (PDRs)
- Συλλέκτες με πεδίο ηλιοστατών (HFCs)

1.3.1 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (CPC –compound parabolic collectors).

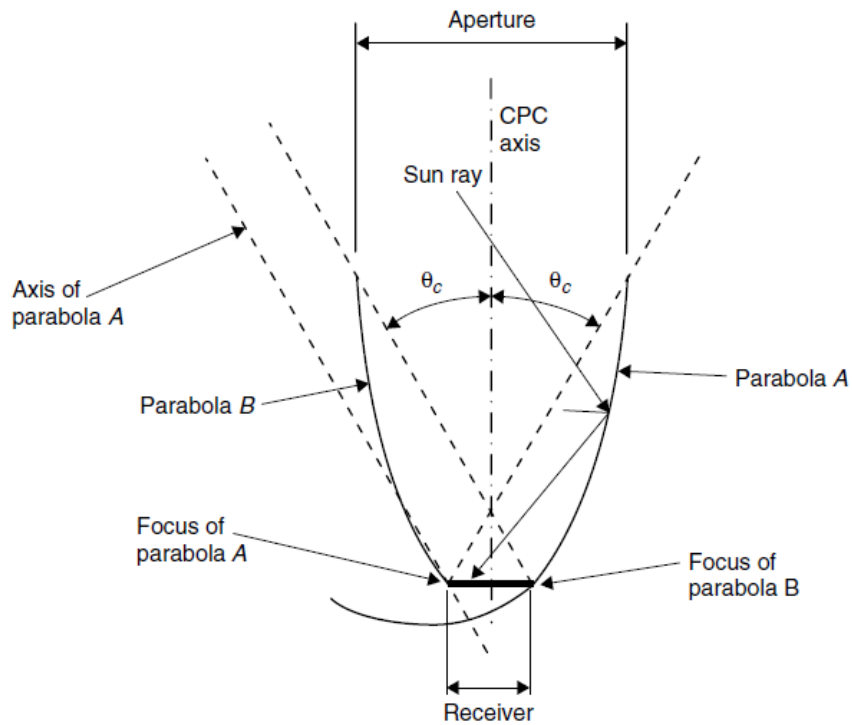
Οι συλλέκτες αυτοί ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτικών συλλεκτών χωρίς είδωλο. Αυτοί έχουν την ικανότητα να αντανakλούν στον απορροφητή όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία εντός ευρέων ορίων. Επιτυγχάνουν μικρούς λόγους συγκέντρωσης.



Σχήμα 1.2 : Διάφοροι τύποι απορροφητών CPCs

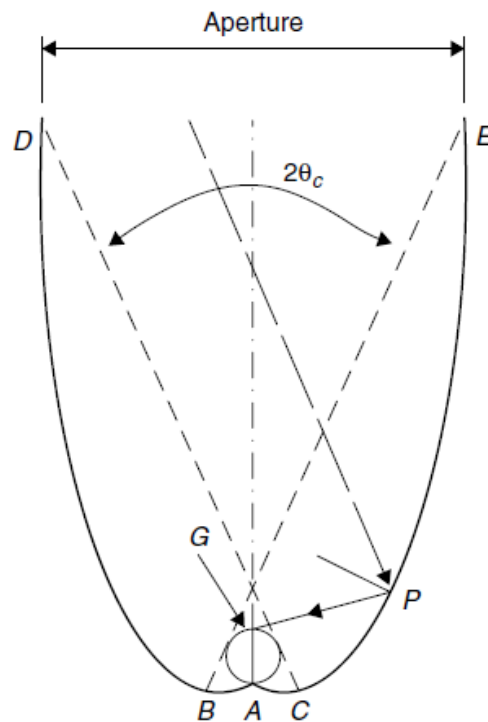
Οι συμπαγείς παραβολικοί συλλέκτες μπορούν να δεχθούν εισερχόμενη ακτινοβολία πάνω από ένα σχετικά ευρύ εύρος γωνιών. Με τη χρήση πολλαπλών εσωτερικών ανακλάσεων, κάθε ακτινοβολία εισέρχεται στην οπή εντός της γωνίας αποδοχής του συλλέκτη και βρίσκει το δρόμο του προς την επιφάνεια του απορροφητή που βρίσκεται στο κάτω μέρος του συλλέκτη. Ο απορροφητήρας μπορεί να λάβει μια ποικιλία διαμορφώσεων. Μπορεί να είναι επίπεδη, αμφίπλευρα, σφήνα, ή κυλινδρική σύμφωνα με το Σχήμα 1.2.

1.3.1.1 ΟΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



Σχήμα 1.3: Κατασκευή CPC με επίπεδο δέκτη

Οι CPC είναι επιμήκεις δύο διαστάσεων συλλέκτες που περιλαμβάνουν δύο διακριτές παραβολές, οι άξονες των οποίων είναι κεκλιμένοι κατά γωνία $\pm\theta_c$ σε σχέση με τον οπτικό άξονα του συλλέκτη. Οι δύο παραβολές εκτείνονται μέχρι να γίνουν παράλληλες προς τον άξονα συμμετρίας του CPC. Η γωνία θ_c , ονομάζεται ημιγωνία αποδοχής και ορίζεται ως η γωνία μέσω της οποίας μια πηγή φωτός μπορεί να μετακινηθεί και να εξακολουθεί να συγκλίνει στον απορροφητή. Αν οι ανακλαστικές επιφάνειες είναι οπτικά τέλειες, τότε η ακτινοβολία που εισέρχεται στο άνοιγμα υπό γωνία θ , έτσι ώστε $-\theta_c < \theta < \theta_c$, ανακλάται προς τον δέκτη ο οποίος ευρίσκεται στην βάση του CPC. Για $\theta < -\theta_c$ ή $\theta > \theta_c$, η ακτινοβολία δεν φτάνει στον δέκτη.



Σχήμα 1.4: CPC με κυλινδρικό δέκτη

Ο δέκτης στους CPC δεν πρέπει να είναι επίπεδος και παράλληλος, αλλά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.2 μπορεί να είναι αμφίπλευρα, μια σφήνα, ή κυλινδρικό. Το σχήμα 1.4 δείχνει ένα συλλέκτη με ένα κυλινδρικό δέκτη όπου το κατώτερο τμήμα του ανακλαστήρα (AB και AC) είναι κυκλικό, ενώ τα ανώτερα τμήματα (BD και CE) είναι παραβολικά. Σε αυτό τον σχεδιασμό, η απαίτηση για το παραβολικό τμήμα του συλλέκτη είναι ότι, σε οποιαδήποτε σημείο P, το κανονικό προς τον συλλέκτη πρέπει να διχοτομεί τη γωνία μεταξύ της εφαπτομένης γραμμής PG στο δέκτη και η ακτίνα προσπίπτει στο σημείο P σε γωνία θ_c σε σχέση με τον άξονα του συλλέκτη. Δεδομένου ότι το άνω μέρος του CPC συμβάλλει πολύ λίγο στην ακτινοβολία φθάνοντας τον απορροφητή, συνήθως περικόπτονται, σχηματίζοντας μια μικρότερη εκδοχή του CPC, η οποία είναι φθηνότερα. Οι CPC συνήθως καλύπτονται με γυαλί για να αποφευχθεί η σκόνη και άλλα υλικά που εισέρχονται στο συλλέκτη και μειώνουν την ανακλαστικότητα στους τοίχους του ανακλαστήρα. Η αποκοπή αυτή επηρεάζει λίγο την γωνία αποδοχής αλλά οδηγεί σε εξοικονόμηση υλικού και αλλάζει την αναλογία ύψους προς άνοιγμα, ο λόγος συγκέντρωσης και ο μέσος αριθμός των ανακλάσεων.

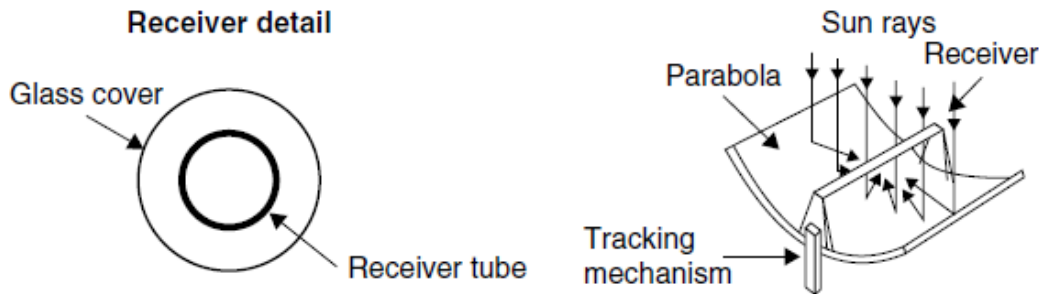
Αυτού του είδους οι συλλέκτες είναι περισσότερο χρήσιμοι ως γραμμικοί ή τύπου σκάφης συγκεντρωτές. Ο προσανατολισμός του συλλέκτη CPC σχετίζεται με την γωνία αποδοχής ($2\theta_c$, στα σχήματα 1.3 και 1.4). Ο διαστάτος CPC θεωρείται ένας ιδανικός συγκεντρωτής, δηλαδή, λειτουργεί τέλεια για όλες τις ακτίνες στο

εσωτερικό της γωνίας αποδοχής $2\theta_c$. Επίσης ανάλογα με την γωνία αποδοχής του συλλέκτη, ο συλλέκτης μπορεί να είναι σταθερός ή να έχει μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου. Ο συλλέκτης CPC μπορεί να προσανατολιστεί είτε κατά μήκος του άξονα Βορρά-Νότου είτε του άξονα Ανατολής-Δύσης και το άνοιγμα του είναι στραμμένο προς τον ισημερινό, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του μέρους που βρίσκεται ο συλλέκτης.

Όταν έχει προσανατολισμό κατά την διεύθυνση Βορρά-Νότου, ο συλλέκτης πρέπει να παρακολουθεί τον ήλιο στρεφόμενος ως προς τον άξονα του ώστε να 'βλέπει' πάντα τον ήλιο. Η γωνία αποδοχής του συλλέκτη κατά μήκος του μεγάλου άξονα είναι ευρεία και η προσαρμογή της εποχιακής κλίσης δεν είναι απαραίτητη. Αντίθετα στους στάσιμους συλλέκτες, η ακτινοβολία λαμβάνεται μόνο κατά τις ώρες όπου ο ήλιος βρίσκεται εντός της γωνίας αποδοχής του συλλέκτη.

Όταν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος με τον επιμήκη άξονα κατά μήκος του άξονα Ανατολής-Δύσης, με μια εποχιακή προσαρμογή της γωνίας κλίσης, ο συλλέκτης είναι σε θέση να πιάσει της ακτίνες του ήλιου αποτελεσματικά μέσω της ευρείας γωνίας αποδοχής κατά μήκος του επιμήκη άξονα. Η ελάχιστη γωνία αποδοχής στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να είναι ίση με την μέγιστη γωνία πρόσπτωσης προβαλλόμενη στον Βορρά-Νότου κατακόρυφο επίπεδο. Για τους σταθερούς συλλέκτες σε αυτή την περίπτωση η ελάχιστη γωνία αποδοχής είναι ίση με 47° . Αυτή η γωνία καλύπτει την απόκλιση του ήλιου από το καλοκαιρινό ως το χειμερινό ηλιοστάσιο ($2 \cdot 23,5^\circ$). Πρακτικά, οι μεγαλύτερες γωνίες χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν στο συλλέκτη την συλλογή της διάχυτης ακτινοβολίας σε βάρος ενός χαμηλότερου λόγου συγκέντρωσης. Για λόγο συγκέντρωσης μικρότερο του 3 έχουμε πολύ μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον. Αυτοί οι συλλέκτες, σύμφωνα με τον Pereira (1985), είναι σε θέση να δεχτούν ένα μεγάλο μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει στα ανοίγματα και συγκεντρώνετε χωρίς την ανάγκη να παρακολουθεί τον ήλιο. Τέλος, η απαιτούμενη συχνότητα ρύθμισης συλλέκτης σχετίζεται με τον λόγο συγκέντρωσης. Έτσι, για $C \leq 3$ χρειάζεται μόνο δύο φορές το χρόνο προσαρμογής, ενώ για $C > 10$ απαιτείται σχεδόν καθημερινή προσαρμογή. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται επίσης ψευδό-στατικό.

1.3.2 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ ΚΑΤΟΠΤΡΩΝ (PTCs)



Σχήμα 1.5: Σχηματική αναπαράσταση του συλλέκτη παραβολικών κατόπτρων (PTCs)

Για την διανομή υψηλών θερμοκρασιών απαιτείται ένας ηλιακός συλλέκτης υψηλής απόδοσης. Συστήματα με ελαφριές κατασκευές και η τεχνολογία χαμηλού κόστους για εφαρμογές της θερμότητας έως 400 °C θα μπορούσε να επιτευχθεί με παραβολικού κάτοπτρου συλλέκτες (PTCs-Parabolic trough collectors). Ο συλλέκτης αυτού του τύπου μπορεί να παράγει αποτελεσματικά θερμότητα σε θερμοκρασίες μεταξύ 50 °C και 400 °C. Οι συλλέκτες παραβολικού κατόπτρου κατασκευάζονται με την κάμψη ενός φύλλου από ανακλαστικό υλικό σε ένα παραβολικό σχήμα. Ένας μαύρος μεταλλικός σωλήνας, που καλύπτεται με ένα γυάλινο σωλήνα προς μείωση των θερμικών απωλειών, τοποθετείται κατά μήκος της γραμμής εστίασης του δέκτη (βλέπε σχήμα 1.5). Όταν η παραβολή είναι στραμμένο προς τον ήλιο, παράλληλες ακτίνες που προσπίπτουν επί του ανακλαστήρα ανακλώνται πάνω στο σωλήνα-δέκτη. Η συμπυκνωμένη ακτινοβολία που φθάνει στον σωλήνα του δέκτη θερμαίνει το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα από αυτό, μετατρέποντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία σε χρήσιμη θερμότητα. Είναι αρκετό να χρησιμοποιήσετε σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα του ήλιου. Ο συλλέκτης μπορεί να προσανατολίζεται σε μια κατεύθυνση ανατολής-δύσης, όπου παρακολουθεί τον ήλιο από βορρά προς νότο, ή σε μια κατεύθυνση βορρά-νότου, όπου παρακολουθεί τον ήλιο από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Τα πλεονεκτήματα της προηγούμενης λειτουργίας εντοπισμού είναι ότι απαιτείται πολύ μικρή προσαρμογή συλλέκτη κατά τη διάρκεια της ημέρας και το πλήρες άνοιγμα είναι πάντοτε στραμμένο προς τον ήλιο το μεσημέρι, αλλά η απόδοση του συλλέκτη κατά την πρωίμη και την όψιμη ώρα της ημέρας μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, που οφείλεται στις μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης (απώλειες συννημίτονου).

Τα κάτοπτρα που είναι προσανατολισμένα στον άξονα Βορρά-Νότου έχουν μεγαλύτερες απώλειες συνημίτονου το μεσημέρι και χαμηλότερες τα πρωινά και τα βράδια, όταν ο ήλιος είναι ανατολικά ή δυτικά. Κατά την περίοδο του ενός έτους, ένα οριζόντιο πεδίο στον άξονα Βορρά-Νότου κάτοπτρο συνήθως συλλέγει ελαφρώς περισσότερη ενέργεια από ό, τι ένα οριζόντιο Ανατολής-Δύσης. Ωστόσο, το Βορρά-Νότου πεδίο συλλέγει ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας το καλοκαίρι και πολύ λιγότερη τον χειμώνα.

Το Ανατολής-Δύσης πεδίο συγκεντρώνει περισσότερη ενέργεια τον χειμώνα από το Βορρά-Νότου πεδίο και λιγότερη το καλοκαίρι παρέχοντας μια πιο σταθερή ετήσια παραγωγή. Ως εκ τούτου, η επιλογή του προσανατολισμού συνήθως εξαρτάται από την εφαρμογή και από το αν χρειάζεται περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ή του χειμώνα. Η τεχνολογία των παραβολικών κατόπτρων είναι η πιο προηγμένη από τις ηλιακές θερμικές τεχνολογίες λόγω της σημαντικής εμπειρίας με τα συστήματα και την ανάπτυξη από μια μικρή εμπορική βιομηχανία να παράγει και να εμπορεύεται τα συστήματα αυτά. Οι συλλέκτες παραβολικού κατόπτρου είναι η πιο ώριμη τεχνολογία ηλιακής ενέργειας για θέρμανση σε θερμοκρασίες που φτάνουν έως τους 400 °C για εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εκμετάλλευσης της θερμότητας.

Ο δέκτης ενός παραβολικού κατόπτρου είναι γραμμικός. Συνήθως, ένας σωλήνας τοποθετείται κατά μήκος της εστιακής γραμμής για να σχηματίσει ένα εξωτερικό δέκτη επιφάνειας (βλέπε σχήμα 1.5). Το μέγεθος του σωλήνα, και επομένως ο λόγος συγκέντρωσης, καθορίζεται από το μέγεθος της αντανακλώμενης εικόνας του ήλιου και τις κατασκευαστικές ανοχές του κατόπτρου. Η επιφάνεια του δέκτη έχει επιστρωθεί με μια επιλεκτική επίστρωση που έχει υψηλή απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά ένα χαμηλό συντελεστή εκπομπής για τις θερμικές απώλειες ακτινοβολίας. Ένας σωλήνας με γυάλινο κάλυμμα τοποθετείται συνήθως γύρω από το σωλήνα-δέκτη για τη μείωση των απωλειών συναγωγής από τον δέκτη, μειώνοντας περαιτέρω την απώλεια θερμότητας από τον δέκτη. Ένα μειονέκτημα του γυάλινου σωλήνα είναι ότι το ανακλώμενο φως από τον συγκεντρωτή πρέπει να περάσει μέσα από το γυαλί για την επίτευξη του απορροφητή, προσθέτοντας έτσι μια απώλεια στην διαπερατότητα από περίπου 0,9 όταν το γυαλί είναι καθαρό. Το γυάλινο περίβλημα συνήθως έχει μια αντανακλαστική επίστρωση για τη βελτίωση της διαπερατότητας. Ένας τρόπος για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής από το σωλήνα-δέκτη και έτσι να αυξηθεί η απόδοση του συλλέκτη, ιδίως για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, είναι να εκκενώσουν το χώρο μεταξύ του γυάλινου καλύμματος και του δέκτη. Το μήκος του σωλήνα του PTC είναι συνήθως από 25 m έως 150 m. Για την επίτευξη του κόστους-αποτελεσματικότητας σε μαζική παραγωγή, η δομή του συλλέκτη πρέπει να διαθέτουν όχι μόνο μια υψηλή αναλογία δυσκαμψίας προς βάρος, για να κρατήσει το υλικό περιεχόμενο σε

ένα ελάχιστο, αλλά επίσης να υπόκειται σε διαδικασίες παραγωγής χαμηλού εργατικού κόστους.

1.3.2.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

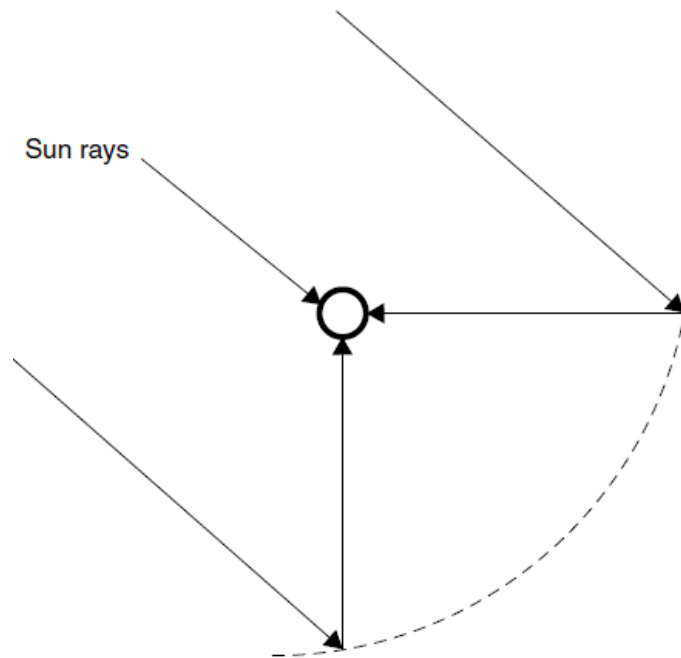
Ένας μηχανισμός παρακολούθησης θα πρέπει να είναι αξιόπιστος και να είναι σε θέση να ακολουθήσει τον ήλιο με έναν ορισμένο βαθμό ακρίβειας, να επιστρέφει ο συλλέκτης στην αρχική του θέση στο τέλος της ημέρας ή κατά τη διάρκεια της νύχτας, και να παρακολουθείτε κατά την διάρκεια των περιόδων με διακοπτόμενη κάλυψη με σύννεφα. Επιπλέον, οι μηχανισμοί παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται για την προστασία των συλλεκτών, δηλαδή, γυρίζουν το συλλέκτη εκτός εστίασης για να το προστατεύσει από επικίνδυνες περιβαλλοντικές και συνθήκες εργασίας, όπως δυνατές πνοές ανέμου, υπερθέρμανση και την αποτυχία του θερμικού μηχανισμού ροής του ρευστού.

Έχουν προταθεί διάφορες μορφές μηχανισμών παρακολούθησης, που κυμαίνονται από πολύπλοκοι σε πολύ απλοί. Μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες: μηχανικές και ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών συστημάτων. Τα ηλεκτρονικά συστήματα γενικά επιδεικνύουν βελτιωμένη αξιοπιστία και ακρίβεια εντοπισμού. Αυτοί μπορούν να υποδιαιρεθούν περαιτέρω σε:

1. Μηχανισμούς που απασχολούν κινητήρες και ελέγχονται ηλεκτρονικά μέσω αισθητήρων, οι οποίοι ανιχνεύουν το μέγεθος του ηλιακού φωτισμού (Καλογήρου, 1996)
2. Μηχανισμούς που χρησιμοποιούν ελεγχόμενους από υπολογιστές κινητήρες, με έλεγχο ανάδρασης που παρέχονται από τους αισθητήρες μέτρησης της ηλιακής ροής στον δέκτη (Briggs, 1980, Boultinghouse, 1982)

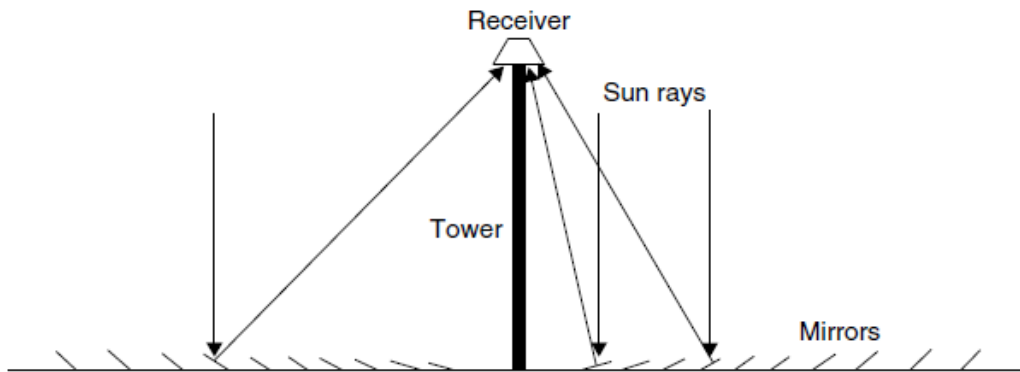
1.3.3 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΕΣ FRESNEL (LFR)

Οι συλλέκτες με χρήση φακών Fresnel έχουν δύο παραλλαγές: ο συλλέκτης φακών Fresnel (FLC-Linear Fresnel collector) ο οποίος θα αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 2 και ο συλλέκτης που χρησιμοποιεί γραμμικό ανακλαστήρα Fresnel (LFR-Linear Fresnel reflector), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6: Συλλέκτες με χρήση γραμμικών ανακλαστήρων Fresnel (LFR)

Ο συλλέκτης LFR μπορεί να υποτεθεί ως ένα χωριζόμενου παραβολικού κοίλου ανακλαστήρα, αλλά σε αντίθεση με παραβολικά αυλάκια, οι μεμονωμένες λωρίδες δεν χρειάζεται έχουν παραβολικό σχήμα. Οι λωρίδες μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε επίπεδο έδαφος (πεδίο) και το φως μπορεί να συγκεντρωθεί σε ένα σταθερό γραμμικό δέκτη που είναι τοποθετημένος σε έναν πύργο. Μία αναπαράσταση ενός πεδίου συλλεκτών με γραμμικούς ανακλαστήρες δίνεται στο σχήμα 1.7.

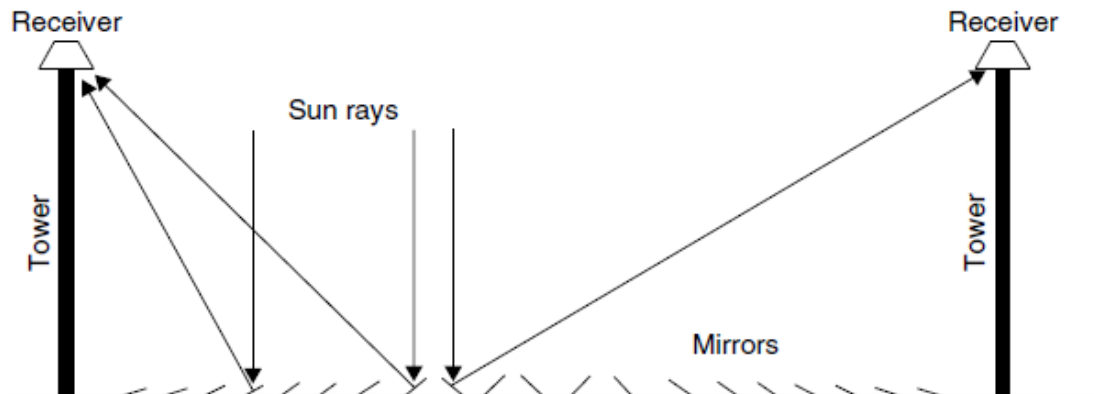


Σχήμα 1.7: Σχηματική αναπαράσταση ενός δέκτη που 'βλέπει' προς τα κάτω που φωτίζονται από ένα πεδίο γραμμικών φακών Fresnel (LFR).

Σε αυτή την περίπτωση, μπορούν να κατασκευαστούν μεγάλοι απορροφητές και ο απορροφητής δεν χρειάζεται να κινείται. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του τύπου συστήματος είναι ότι χρησιμοποιεί επίπεδους ή κυρτούς ελαστικούς ανακλαστήρες, οι οποίοι είναι φθηνότεροι από ότι οι παραβολικοί ανακλαστήρες από γυαλί. Επιπλέον, αυτοί είναι τοποθετημένοι κοντά στο έδαφος, ελαχιστοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις στήριξης στο έδαφος.

Μια δυσκολία με την τεχνολογία LFR είναι ότι η αποφυγή της σκίασης και το μπλοκάρισμα μεταξύ γειτονικών ανακλαστήρων οδηγεί σε αυξημένη απόσταση μεταξύ των ανακλαστήρων. Για να μειωθεί το μπλοκάρισμα αυτό, πρέπει να αυξήσουμε το ύψος των πύργων του απορροφητή, αλλά αυτό αυξάνει το κόστος. Η τεχνολογία των συμπαγών γραμμικών ανακλαστήρων (CLFR) έχει αναπτυχθεί πρόσφατα στο Πανεπιστήμιο του Σύννεϋ στην Αυστραλία. Αυτό έχει, ως αποτέλεσμα, ένας δεύτερος τύπος λύσης για το πρόβλημα του πεδίου του ανακλαστήρα Fresnel που έχει αγνοηθεί μέχρι πρόσφατα. Σε αυτό το σχέδιο πρόκειται γραμμικά στοιχεία μπορεί να επικαλυμμένα ώστε να αποφεύγεται η σκίαση. Το κλασικό σύστημα LFR έχει μόνο ένα δέκτη και δεν υπάρχει καμία επιλογή σχετικά με την κατεύθυνση και τον προσανατολισμό ενός δεδομένου ανακλαστήρα. Παρόλα αυτά, αν υποθεθεί ότι το μέγεθος του πεδίου είναι μεγάλο, όπως θα πρέπει να είναι στην τεχνολογία παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης μεγαβάτ, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι θα υπάρξουν πολλοί πύργοι στο σύστημα. Αν είναι αρκετά κοντά, τότε οι μεμονωμένοι ανακλαστήρες έχουν τη δυνατότητα να ανακλούν ηλιακή ακτινοβολία σε τουλάχιστον δύο πύργους. Αυτή η πρόσθετη μεταβλητή στον προσανατολισμό του ανακλαστήρα παρέχει τα μέσα για πολύ πιο πυκνές συστοιχίες, διότι το υπόδειγμα του εναλλασσόμενου προσανατολισμού του ανακλαστήρα μπορεί να είναι τέτοιο ώστε οι στενά συσκευασμένοι ανακλαστήρες

να μπορούν να τοποθετηθούν χωρίς σκίαση και μπλοκάρισμα. Η παρεμβολή των κατόπτρων μεταξύ δύο πύργων δίνεται στο σχήμα 1.8.



Σχήμα 1.8: Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την παρεμβολή των κατόπτρων σε CLFR με μειωμένη σκίαση μεταξύ των κατόπτρων.

Η διάταξη αυτή ελαχιστοποιεί το μπλοκάρισμα της δέσμης από τους διπλανούς ανακλαστήρες και επιτρέπει την χρήση υψηλών πυκνοτήτων στο πεδίο των ανακλαστήρων και χαμηλά ύψη στον πύργο. Η μείωση της απόστασης μεταξύ των ανακλαστήρων μειώνει τη χρήση της γης, αλλά σε πολλές περιπτώσεις, όπως σε ερήμους, αυτό δεν είναι ένα σοβαρό θέμα. Η αποφυγή της μεγάλης απόστασης ανακλαστήρα και το ύψος του πύργου είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα του κόστους, όπως το κόστος της προετοιμασίας του εδάφους, το κόστος των υποδομών, το κόστος της κατασκευής του πύργου και οι θερμικές απώλειες του ατμού λαμβάνονται υπ' όψιν. Αν η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε μια περιοχή με περιορισμένη διαθεσιμότητα γης, όπως στις αστικές περιοχές ή δίπλα στην υπάρχουσα μονάδα παραγωγής ενέργειας, η υψηλή κάλυψη του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε μέγιστη απόδοση του συστήματος για μια συγκεκριμένη περιοχή του εδάφους.

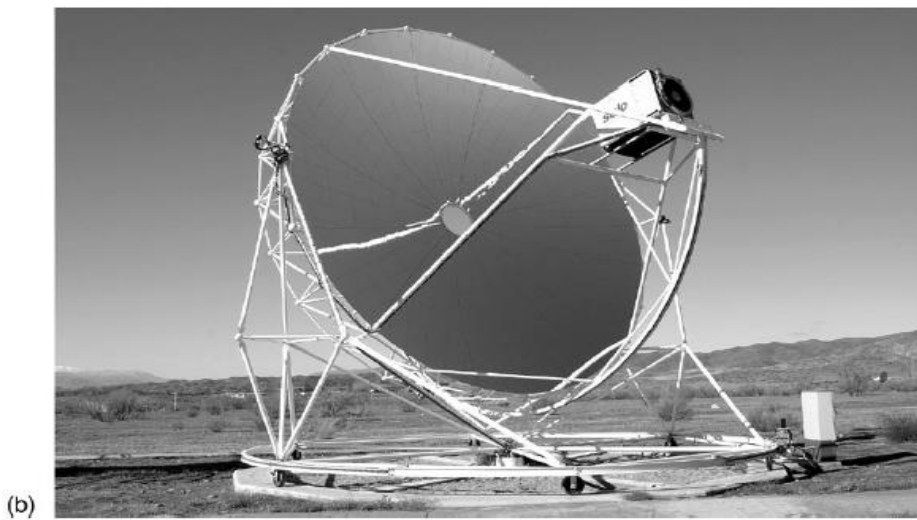
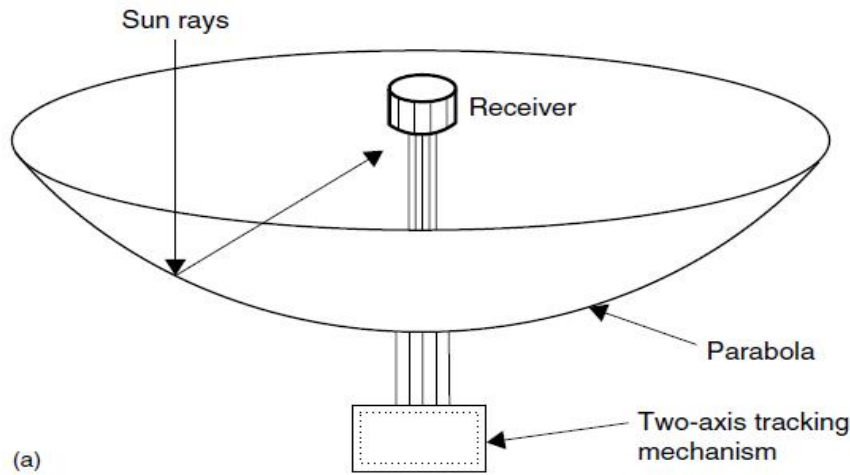
1.3.4 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ 'ΠΙΑΤΩΝ' (PDRs)

Ένας ανακλαστήρας τύπου παραβολικό 'πιάτο' (PDR), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.9(a), είναι ένας συλλέκτης σημειακής εστίασης που παρακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες, συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη που βρίσκεται στο επίκεντρο του πιάτου. Η γεωμετρία του πιάτου πρέπει να παρακολουθεί πλήρως

τον ήλιο για να αντανακλάται η δέσμη φωτός στον θερμικό δέκτη. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται μηχανισμοί παρακολούθησης παρόμοιοι με αυτούς που περιγράφονται σε προηγούμενη ενότητα, όπου ο συλλέκτης προσανατολίζεται από δύο άξονες. Η φωτογραφία ενός Eurodish συλλέκτης δίνεται από το σχήμα 1.9(β).

Ο δέκτης απορροφά την ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια, μετατρέποντας την σε θερμική ενέργεια σε εργαζόμενο ρευστό. Η θερμική ενέργεια μπορεί στη συνέχεια είτε να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα μηχανή-γεννήτρια άμεσα συνδεδεμένη με το δέκτη ή μεταφέρεται μέσω σωλήνων σε ένα κεντρικό σύστημα μετατροπής ισχύος. Στα παραβολικά συστήματα τύπου 'πιάτο' μπορεί να επιτευχθούν θερμοκρασίες άνω των 1500 ° C. Επειδή οι δέκτες διαμοιράζονται σε όλο το πεδίο των συλλεκτών, όπως στα παραβολικά κάτοπτρα, στα παραβολικά πιάτα συχνά ονομάζονται κατανεμημένα συστήματα δέκτη. Τα παραβολικά πιάτα έχουν διάφορα πλεονεκτήματα:

1. Επειδή είναι πάντα στραμμένα προς τον ήλιο, που είναι τα πιο αποτελεσματικά από όλα τα συστήματα συλλεκτών.
2. Έχουν συνήθως λόγους συγκέντρωσης στην περιοχή 600 έως 2000 και ως εκ τούτου είναι εξαιρετικά αποδοτικά στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπής της σε θερμική ενέργεια στο εργαζόμενο ρευστό.
3. Είναι συναρμολογούμενοι συλλέκτες που μπορούν να λειτουργήσουν είτε ανεξάρτητα ή ως μέρος ενός ευρύτερου συστήματος των πιάτων.



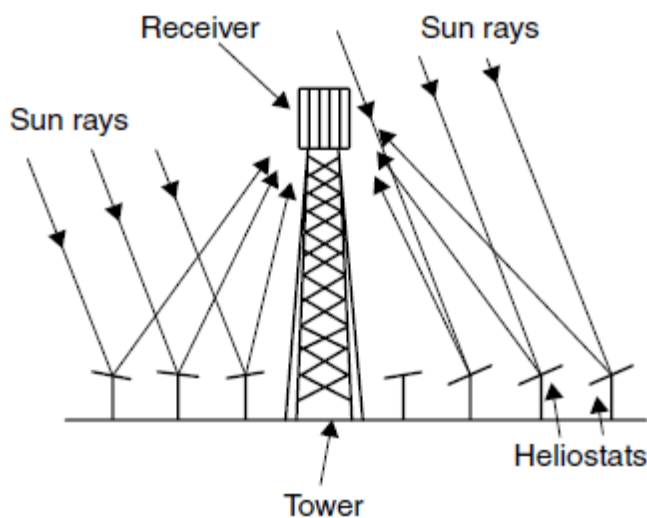
Σχήμα 1.9:Συλλέκτες με παραβολικά πιάτα (α) Σχηματικό διάγραμμα (β) Φωτογραφία από τον συλλέκτη Eurodish (www.psa.es/webeng/instalaciones/discos.html)

Η κύρια χρήση αυτού του είδους των συλλεκτών είναι για κινητήρες παραβολικού 'πιάτου'. Ένα τέτοιο σύστημα, περιλαμβάνει μια γεννήτρια η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια του ήλιου αντί αργού πετρελαίου ή άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια μέρη του συστήματος περιλαμβάνουν έναν ηλιακό συγκεντρωτή 'πιάτο' και μια μονάδα μετατροπής ισχύος. Τα παραβολικά συστήματα 'πιάτο' που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από έναν κεντρικό μετατροπέα ισχύος συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από μεμονωμένους δέκτες και κυκλοφορεί μέσω ενός ρευστού μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα μετατροπής ενέργειας. Η ανάγκη να κυκλοφορεί θερμότητα μέσω ενός ρευστού σε όλο το πεδίο συλλέκτη εγείρει ζητήματα σχεδιασμού, όπως η διάταξη των σωληνώσεων, οι απαιτήσεις άντλησης, και οι θερμικές απώλειες.

1.3.5 ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΜΕ ΠΕΔΙΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ (HFCs)

Για να έχουμε πολύ μεγάλες εισροές ηλιακής ακτινοβολίας, ένας μεγάλος αριθμός επιπέδων κατόπτρων ή ηλιοστατών, χρησιμοποιώντας υψοαζιμουθιακές αναρτήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να ανακλούν την προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε ένα κοινό στόχο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10. Αυτό ονομάζεται πεδίο ηλιοστατών ή κεντρικό σύστημα δέκτη. Με τη χρήση ελαφρώς κοίλων τμημάτων καθρέφτη στους ηλιοστάτες, μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας μπορεί να κατευθύνονται μέσα στην κοιλότητα για την παραγωγή ατμού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση.

Η συγκεντρωμένη θερμική ενέργεια που απορροφάται από το δέκτη μεταφέρεται σε ένα κυκλοφορούν υγρό που μπορεί να αποθηκευτεί και αργότερα να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 1.10: Σχηματική απεικόνιση ενός κεντρικού συστήματος δέκτη

Τα συστήματα κεντρικού δέκτη έχουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως

1. Συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και την μεταφέρουν σε ένα μόνο δέκτη, ελαχιστοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις μεταφοράς της θερμικής ενέργειας.
2. Συνήθως επιτυγχάνουν μεγάλους λόγους συγκέντρωσης από 300 έως 1500 και έτσι είναι άκρως αποτελεσματικοί, τόσο στην συλλογή της ενέργειας όσο και στη μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια.
3. Μπορούν να αποθηκεύουν εύκολα θερμική ενέργεια.

4. Παράγουν αρκετά μεγάλη ισχύ (συνήθως άνω των 10 MW) και έτσι μπορούν να επωφεληθούν από οικονομίες κλίμακας.

Κάθε ηλιοστάτης σε ένα κεντρικό σύστημα δέκτη έχει από 50 έως 150 m² ανακλαστική επιφάνεια, με τέσσερις καθρέπτες εγκατεστημένους σε έναν κοινό πυλώνα όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.11. Οι ηλιοστάτες συλλέγουν και συγκεντρώνουν το ηλιακό φως πάνω στο δέκτη, το οποίο απορροφά το συγκεντρωμένο ηλιακό φως, μετατρέποντας την ενέργειά του σε θερμότητα στο ρευστό. Το σύστημα μεταφοράς θερμότητας, το οποίο αποτελείται κυρίως από σωλήνες, αντλίες και βαλβίδες, κατευθύνει το εργαζόμενο ρευστό σε ένα κλειστό βρόχο μεταξύ του δέκτη, της αποθήκευσης και στα συστήματα μετατροπής ενέργειας. Ένα σύστημα αποθήκευσης θερμικής συνήθως αποθηκεύει την συλλεγόμενη ενέργεια ως αισθητή θερμότητα για μεταγενέστερη παράδοση στο σύστημα μετατροπής ισχύος. Το σύστημα αποθήκευσης αποσυνδέει επίσης τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας από μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα μετατροπής ισχύος αποτελείται από μία γεννήτρια ατμού, γεννήτρια συνδεδεμένη με τον ατμοστρόβιλο και υποστήριξη του εξοπλισμού, τα οποία μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί το δίκτυο.

Στην περίπτωση αυτή, οι ακτίνες του ήλιου αντανακλώνται από μια μεγάλη διάταξη καθρεφτών, που συγκεντρώνουν τη ροή ενέργειας προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας-συναγωγής των θερμικών εναλλακτών, όπου η ενέργεια μεταφέρεται σε ένα εργαζόμενο ρευστό. Μετά από την συλλογή ενέργειας από το ηλιακό μας σύστημα, η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική έχει πολλές ομοιότητες με τα συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας με χρήση ορυκτών καύσιμων.

Τα συστήματα συλλεκτών και δέκτη έρχονται σε τρεις γενικές διαμορφώσεις. Αρχικά, οι ηλιοστάτες περιβάλλουν εντελώς τον πύργο του δέκτη, και ο δέκτης, ο οποίος είναι κυλινδρικός, έχει μία εξωτερική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Δεύτερον, οι ηλιοστάτες που είναι τοποθετημένοι βόρεια του πύργου (στο Βόρειο ημισφαίριο) και ο δέκτης έχει μια κλειστή επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Τρίτον, οι ηλιοστάτες που είναι τοποθετημένοι βόρεια του πύργου και του δέκτη το οποίο είναι ένα κατακόρυφο επίπεδο, έχουν μία βόρειου προσανατολισμού επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας.



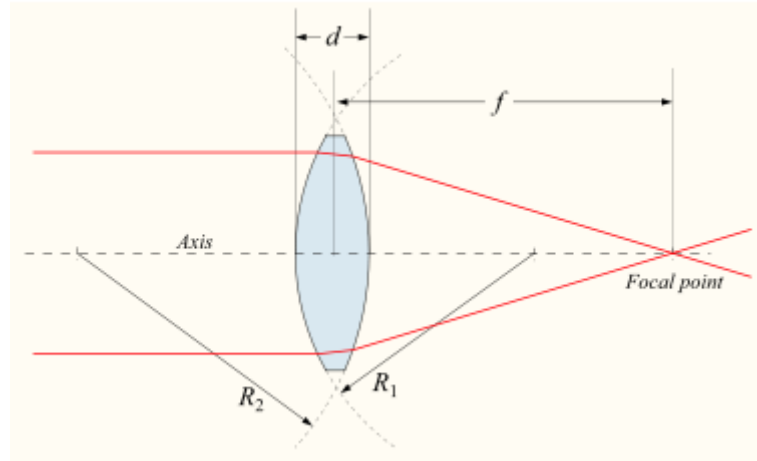
Σχήμα 1.11: Λεπτομέρειες από ηλιοστάτες

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΦΑΚΟΥΣ

Οι φακοί είναι μία οπτική συσκευή που μεταδίδει και διαθλά το φως, όπου ή συγκλίνει ή αποκλίνει μετά το πέρασμα του διαμέσου του φακού. Οι φακοί συνήθως κατασκευάζονται από γυαλί ή διαφανές πλαστικό. Υπάρχουν πολλά είδη φακών ανάλογα με την γεωμετρία και την λειτουργία τους. Εάν ο φακός είναι αμφίκυρτος ή επιπεδόκυρτος, μία παραλληλισμένη δέσμη φωτός που διέρχεται μέσα από το φακό, θα συγκλίνει (ή εστιάζει) σε ένα σημείο πίσω από τον φακό.

Στην περίπτωση αυτή, ο φακός λέγεται ένας θετικός ή συγκλίνων φακός. Η απόσταση από το φακό προς το σημείο είναι το εστιακό μήκος του φακού, το οποίο είναι συνήθως η κοινή συντεταγμένη f στα διαγράμματα και τις εξισώσεις.



Σχήμα 2.1: Συγκεντρωτικός φακός

Ο υπολογισμός του εστιακού μήκους σε έναν τέτοιο συμβατικό συγκεντρωτικό φακό δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P = \frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n - 1)d}{nR_1R_2} \right]$$

P : η ισχύς του φακού,

f : το εστιακό μήκος του φακού,

n : ο συντελεστής διάθλασης του υλικού του φακού,

R_1 : η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας του φακού που είναι πλησιέστερα στην πηγή φωτός,

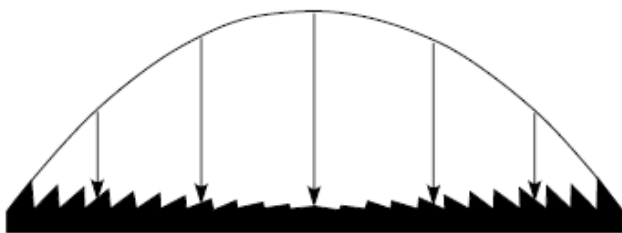
R_2 : η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας του φακού που είναι μακρύτερα από τη πηγή φωτός και

d : το πάχος του φακού.

2.2 ΦΑΚΟΙ FRESNEL

Πριν πολλούς αιώνες είχαν παρατηρηθεί οι συγκεντρωτικές ιδιότητες των συμβατικών φακών. Ο φακός Fresnel συμπεριφέρεται όπως ο συμβατικός σφαιρικός φακός, είναι φτιαγμένος από διαφανές υλικό έχοντας ομόκεντρα πρισματικά αυλάκια χαραγμένα στην μια ή και στις δυο πλευρές. Λόγω αυτής της γεωμετρίας ο όγκος του υλικού έχει μειωθεί. Η μείωση αυτή στον όγκο του δεν έχει καμιά επίδραση στις οπτικές ιδιότητες του φακού Fresnel. Στους φακούς Fresnel (σημειακής εστίασης) το μεγαλύτερο μέρος του υλικού έχει μειωθεί κατά την εξαγωγή υλικού από ένα σύνολο ομοαξονικών δακτυλιοειδών κυλίνδρων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Το περίγραμμα της κυρτώδους επιφάνειας προσεγγίζεται από δεξιά με κυλινδρικά κυκλικά τμήματα, τα οποία δεν συμβάλλουν στις οπτικές ιδιότητες του φακού, τέμνονται με κωνικά τμήματα που ονομάζονται αυλάκια. Κοντά στο κέντρο του φακού αυτές οι κεκλιμένες επιφάνειες ή αυλάκια είναι σχεδόν παράλληλες με το επίπεδο του φακού ενώ προς την εξωτερική άκρη του φακού οι κεκλιμένες επιφάνειες είναι πολύ απότομες ειδικά για φακούς με χαμηλό εστιακό μήκος f . Οι κεκλιμένες επιφάνειες κάθε αυλακιού είναι το αντίστοιχο τμήμα της αρχικής μη σφαιρικής επιφάνειας μεταφράζεται προς την επίπεδη επιφάνεια του φακού. Η γωνία κάθε αυλακιού έχει τροποποιηθεί ελαφρώς από εκείνη του μη σφαιρικού προφίλ για να αντισταθμιστεί η παραπάνω μετάφραση.



Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση του φακού Fresnel

2.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

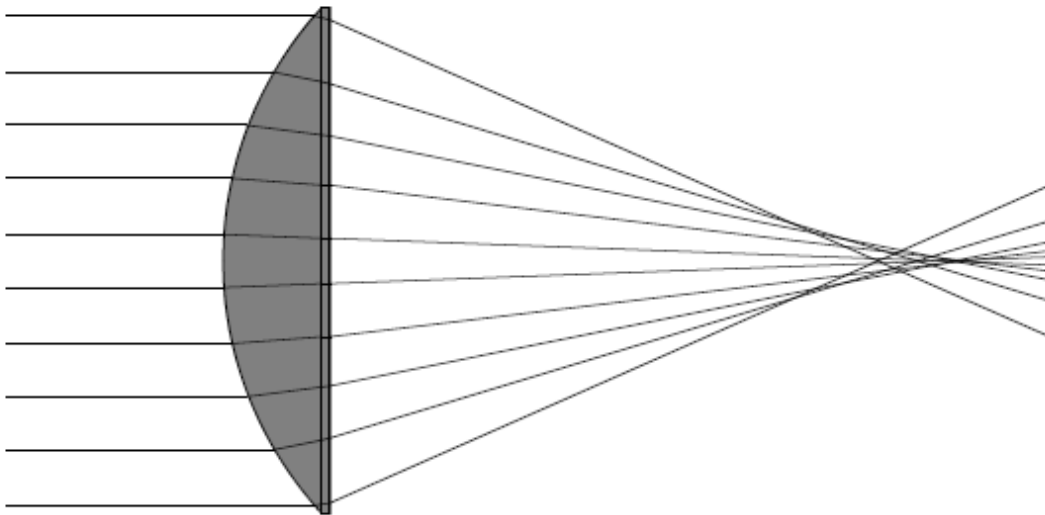
Ο αρχαιότερος, ενισχυμένης επιφάνειας, φακός προτάθηκε το 1748 από τον Count Buffon, ο οποίος πρότεινε να βγάλει υλικό από την επίπεδη πλευρά του φακού μέχρι που έμεινε με λεπτές τομές του υλικού μετά την αρχική σφαιρική επιφάνεια του φακού. Ο μη σφαιρικός φακός Fresnel εφευρέθηκε το 1822 από τον Augustin Jean Fresnel (1788-1827), ένα Γάλλο μαθηματικό και φυσικό. Οι φακοί Fresnel χρησιμοποιήθηκαν σε ένα σπίτι φωτός στον ποταμό Γιρονδίνιο, όπου η κύρια καινοτομία που ενσωματώνεται στον σχεδιασμό Fresnel ήταν ότι το κέντρο καμπυλότητας του κάθε δακτυλίου υποχώρησε κατά μήκος του άξονα ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο έτσι ώστε πρακτικά να εξαλειφθεί η σφαιρική εκτροπή. Στους πρώτους φακούς Fresnel από γυαλί η διαμόρφωση ήταν πολύ δύσκολη, δαπανηρή και περιοριζόταν σε λίγες και μεγάλες αυλακώσεις. Μέχρι το 1950, οι φακοί Fresnel από γυαλί λειαινόνταν και στιλβώνονταν με τις ίδιες τεχνικές που χρησιμοποιούνταν από το 1822. Οι φθηνοί φακοί Fresnel φτιάχνονται πιέζοντας ζεστό γυαλί σε μεταλλικά καλούπια, λόγω όμως της υψηλής επιφανειακής τάσης του γυαλιού, δεν είχαν την απαραίτητη λεπτομέρεια.

Τα τελευταία 40 χρόνια, που ανακαλύφθηκαν τα οπτικής ποιότητας πλαστικά, όταν οι τεχνικές συμπίεσης και έγχυσης, στην μεταλλοτεχνία έγιναν ελεγχόμενες από υπολογιστή έκαναν δυνατή την κατασκευή και ευρεία εφαρμογή των φακών Fresnel στην υψηλότερη οπτική ποιότητα σε σχέση με τους φακούς Fresnel από γυαλί.

Οι σύγχρονες υπολογιστικά ελεγχόμενες μέθοδοι μεταλλοτεχνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κοπεί η επιφάνεια του κάθε κώνου έτσι ώστε να φέρει όλες τις παράλληλες ακτίνες σε εστίαση στο ίδιο ακριβώς σημείο αποφεύγοντας έτσι την σφαιρική εκτροπή. Ακόμα καλύτερα, νεότερες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κοπεί κάθε επιφάνεια διάθλασης στο σωστό ασφαιρικό περίγραμμα (και όχι ως μια κωνική προσέγγιση σε αυτό το περίγραμμα), αποφεύγοντας έτσι ακόμα και το πλάτος του αυλακιού (τυπικά 0,1mm με 1mm) σαν όριο για την ευκρίνεια της εστίασης. Ακόμα και αν κάθε αυλάκι φέρνει το φως στην εστίαση, το σπάσιμο μέχρι το μέτωπο του κύματος από την ασυνεχή επιφάνεια ενός φακού Fresnel υποβαθμίζει την ορατή ποιότητα εικόνας. Εκτός από συγκεκριμένες περιπτώσεις, οι φακοί Fresnel δεν συνίσταται για εφαρμογές απεικόνισης στην ορατή περιοχή του φάσματος.

2.2.2 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗ ΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

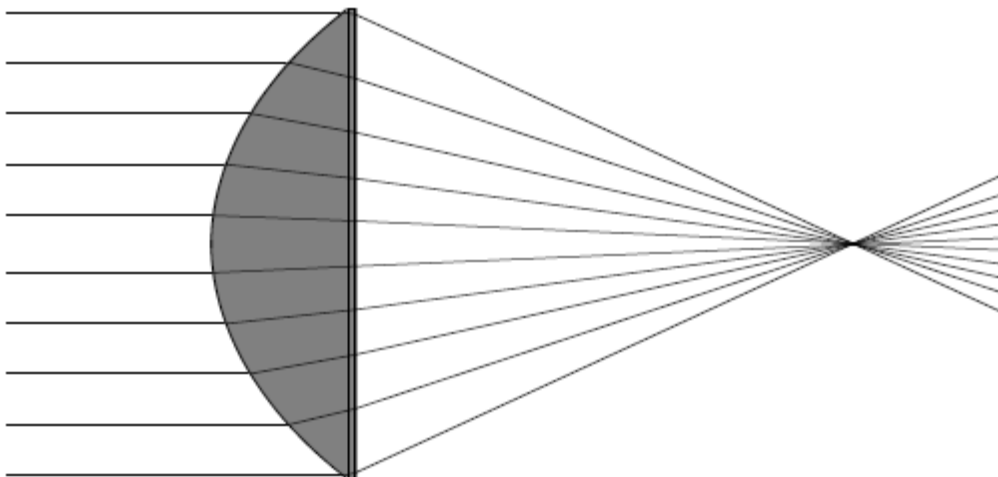
Οι τεχνικές στίλβωσης και λείανσης που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή συμβατικών φακών οδηγούν σε σφαιρικές επιφάνειες. Οι σφαιρικές επιφάνειες παράγουν φακούς με διαμήκη σφαιρική εκτροπή, η οποία συμβαίνει όταν διαφορετικά δακτυλιοειδή τμήματα του φακού μεταφέρει ακτίνες φωτός σε μια εστίαση σε διαφορετικά σημεία κατά μήκος του οπτικού άξονα. Το φαινόμενο αυτό απεικονίζεται για θετικής εστιακής απόστασης, επίπεδο-κυρτούς συμβατικού φακούς όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 (σε όλα τα σχήματα το φως που λαμβάνεται διαδίδεται από αριστερά προς τα δεξιά). Ο φακός που απεικονίζεται στο σχήμα 2.3 είναι ένα τμήμα μιας σφαίρας με 25 mm ακτίνα καμπυλότητας, 36 mm διαμέτρου και ο δείκτης διάθλασης του υλικού είναι 1,5, τυπικός αριθμός τόσο για φακούς από γυαλί όσο και για φακούς από πλαστικό. Το εστιακό μήκος του απεικονιζόμενου φακού είναι συνεπώς $f=50$ mm και το άνοιγμα $f/1,3$. Όπως είναι προφανές από το σχήμα, η διαμήκης σφαιρική εκτροπή είναι πολύ ισχυρή. Οι μονού-στοιχείου σφαιρικοί φακοί είναι συνήθως περιορισμένοι από πολύ μικρότερα ανοίγματα (μεγαλύτεροι αριθμοί f) από αυτό, επειδή η διαμήκη σφαιρική εκτροπή που δείχνεται στο σχήμα 2.3 είναι γενικά απαράδεκτη.



Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της διαμήκους σφαιρικής εκτροπής

Αντίθετα, στο σχήμα 2.4 απεικονίζεται ένας μη σφαιρικός φακός της ίδιας εστιακής απόστασης και αριθμού f . Σ' αυτή την περίπτωση η επιφάνεια του περιγράμματος έχει τροποποιηθεί από σφαιρικό προφίλ με τέτοιο τρόπο ώστε να φέρει όλες οι ακτίνες να διέρχονται διαμέσου ενός σημείου του φακού σε μια εστιακή απόσταση στην επί του οπτικού άξονα. Άρα ένας φακός κατασκευασμένος με το μη σφαιρικό προφίλ που απεικονίζεται στο σχήμα 2.4 και ως εκ τούτου δεν εμφανίζει διαμήκη σφαιρική εκτροπή για τις παράλληλες στον οπτικό άξονα ακτίνες.

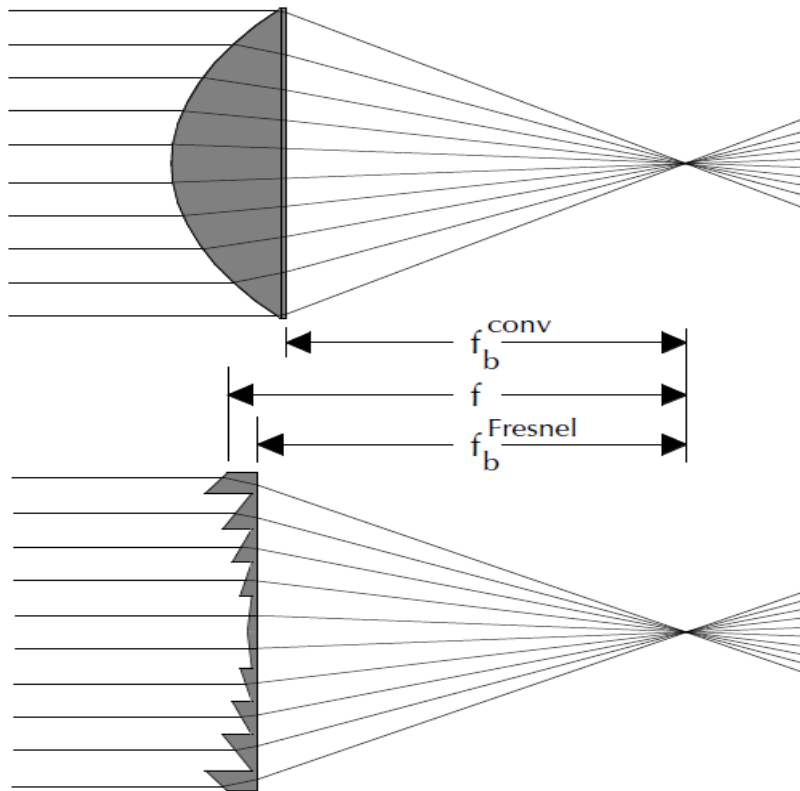
Ο συνδυασμός της μη σφαιρικής επιφάνειας(η οποία εξαλείφει την διαμήκη σφαιρική εκτροπή) και της λεπτότητας του φακού(που μειώνει ουσιαστικά και τις απώλειες απορρόφησης του υλικού το οποίο αλλάζει αυτές τις απώλειες σε όλη την κατανομή του προφίλ του φακού) επιτρέπει στους φακούς Fresnel με αποδεκτή απόδοση να δημιουργούνται με μεγάλα ανοίγματα. Στην πραγματικότητα, οι φακοί Fresnel έχουν πολύ μεγαλύτερα ανοίγματα (μικρούς αριθμούς f) από τον $f/1,3$ που απεικονίζεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Σχηματική απεικόνιση μη σφαιρικού φακού χωρίς διαμήκη σφαιρική εκτροπή

Στο σχήμα 2.5 έχουμε σύγκριση ενός μη σφαιρικού επιπεδόκυρτου φακού με έναν μη σφαιρικό φακό Fresnel(οι αυλακώσεις στα σχήματα των φακών Fresnel είναι μεγεθυμένες σε όλα τα σχήματα). Οι συμβατικοί μη σφαιρικοί φακοί χαρακτηρίζονται από δύο κύρια επίπεδα, το ενεργό εστιακό μήκος (an effective focal length-EFL) , f , που μετράται από το κύριο επίπεδο που βρίσκεται πιο κοντά στην επίπεδη πλευρά και ένα πίσω από την εστιακή απόσταση, f_b ,μετρούμενη από την επίπεδη μεριά. Στην επίπεδο-κυρτή επιφάνεια ο διαχωρισμός μεταξύ των κύριων επιπέδων είναι ασήμαντο έτσι ώστε να μετράτε από την αυλακωτή επιφάνεια των φακών Fresnel.

Πολλοί από τους σφαιρικής επιφάνειας φακούς που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή είναι αμφίκυρτοι που έχουν την ίδια καμπυλότητα και στις δύο μεριές. Αυτοί οι φακοί έχουν σημαντική σφαιρική εκτροπή, και άλλες ανωμαλίες, αλλά οι ιδιότητες τους είναι συμμετρικές.



Σχήμα 2.5: Σύγκριση μεταξύ μη σφαιρικού συμβατικού φακού και ένας φακός Fresnel μη σφαιρικός

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις οι φακοί Fresnel είναι επιτεδόκυρτοι. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το μη σφαιρικό προφίλ τους και τους χαμηλούς αριθμούς f οδηγεί σε ισχυρά ασύμμετρα συμπεριφορά.

2.2.3 ΟΙ ΣΥΖΕΥΞΗ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL

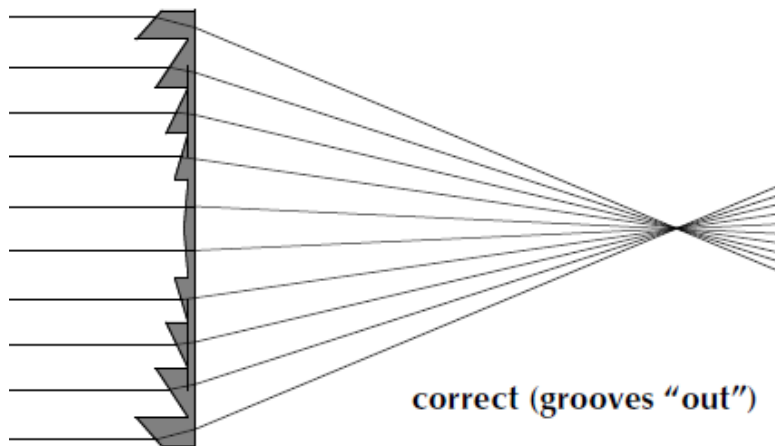
Τα δύο σημεία το ένα για κάθε πλευρά του θετικού εστιακού μήκους του φακού, στα οποία το φως συγκεντρώνεται και ονομάζονται συζυγή. Σχεδόν όλοι οι φακοί Fresnel είναι ακριβής στην περίπτωση των συζυγών του εστιακού μήκους και του άπειρου, με την πλευρά των αυλακώσεων προς το άπειρο της σύζευξης. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που απαιτούν συζεύξεις άλλες από αυτές του εστιακού μήκους και του άπειρου, όπως οι φακοί για ρελέ, οι φακοί πεδίου και συγκεντρωτικοί φακοί. Σ' αυτές τις περιπτώσεις οι εστίες είναι σε πεπερασμένες αποστάσεις από τον φακό, γι' αυτό και ο όρος πεπερασμένος συζυγείς. Οι τιμές των συζυγών για δεδομένο εστιακό μήκος f μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

όπου i και o οι αποστάσεις της εικόνας και του αντικειμένου αντίστοιχα, όπου έχουν βρεθεί οι αποστάσεις $4f$ και $4f/3$ για λόγο σύζευξης 3:1.

Ακόμα και αν ο φακός έχει σχεδιαστεί για κάποιο συγκεκριμένο λόγο σύζευξης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους πεπερασμένων συζεύξεων λόγους. Το σφάλμα είναι συνήθως αρκετά μικρό.

Οι φακοί Fresnel συνήθως κατασκευάζονται έτσι ώστε διορθώνονται στην περίπτωση που οι αυλακώσεις είναι προς τις παράλληλες ακτίνες φωτός. Όταν η επίπεδη επιφάνεια είναι προς στην μεριά της εστίασης έχουμε της αυλακώσεις 'εκτός' όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6. Μπορούν παρόλα αυτά να κατασκευάζονται έτσι ώστε να διορθώνονται στην περίπτωση που οι αυλακώσεις είναι προς την μεριά της εστίασης, ενώ όταν η επίπεδη επιφάνεια είναι προς τις παράλληλες ακτίνες φωτός έχουμε αυλακώσεις 'εντός'. Σ' αυτήν την περίπτωση, δεν υπάρχει καθόλου διάθλαση στην επίπεδη μεριά και η δέσμη φωτός ταξιδεύει παράλληλα στον οπτικό άξονα. Η περίπτωση αυλακώσεις 'εκτός' είναι οπτικώς προτιμώμενη. Η κύρια διαφορά είναι ότι με τις αυλακώσεις 'εντός', οι αυλακώσεις στην εξωτερική περιφέρεια του φακού είναι κεκλιμένες σε πολύ μικρότερες γωνίες στην επίπεδη επιφάνεια απ' ότι θα ήταν σε σφαιρικούς ή φακούς με αυλακώσεις 'εκτός'.



Σχήμα 2.6: Φακός Fresnel με αυλακώσεις ‘εκτός’

2.2.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ FRESNEL

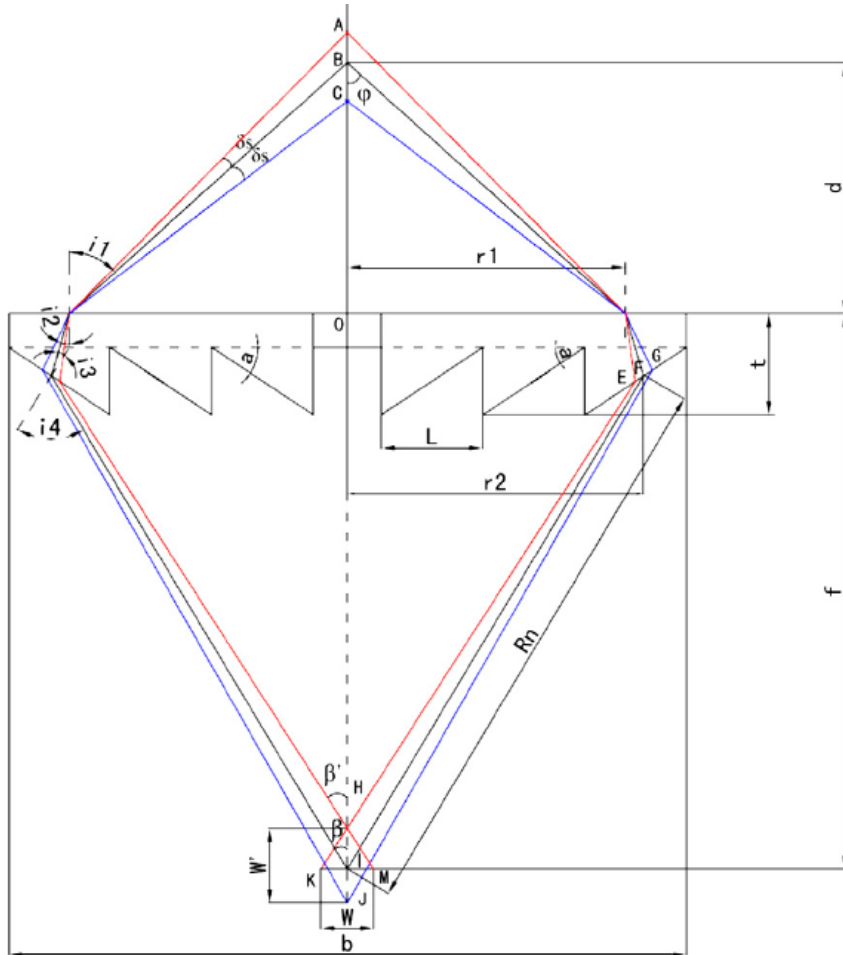
Τα τυπικά υλικά για της ορατού φωτός εφαρμογές είναι ακρυλικά, πολυανθρακικά και άκαμπτο βινύλιο. Αυτά τα υλικά είναι κατάλληλα για ορισμένες εφαρμογές κοντά στην υπέρυθη περιοχή.

Το πρώτο βήμα στην επιλογή ενός υλικού είναι να ταιριάζει με το υλικό στο φασματικό πεδίο της εφαρμογής. Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για εφαρμογή σε ηλιακούς συλλέκτες είναι το PMMA (πολυμεθυλομεθακρυλικό) διότι είναι πλαστικό χαμηλού βάρους, όγκου, χαμηλού κόστους σε μαζική παραγωγή και της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας.

2.2.5 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΦΑΚΩΝ FRESNEL

Οι φακοί Fresnel έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες που συγκεντρώνουν το φως από διάθλαση. η επιφάνεια ενός φακού Fresnel αποτελείται από πολλά μικρά ομόκεντρα αυλάκια που συμπεριφέρονται σαν πολλά πρίσματα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ένα σχηματικό διάγραμμα

ενός τυπικού φακού Fresnel για την εφαρμογή της ηλιακής συγκέντρωσης απεικονίζεται στο σχήμα 2.7 Στην περίπτωση αυτή, έχουμε ένα γραμμικής εστίασης φακό Fresnel όπου η επίπεδη πλευρά να είναι στραμμένη προς τα επάνω για να λαμβάνονται οι ηλιακές ακτίνες χωρίς χρωματική ή σφαιρική εκτροπή. Υποθέτουμε ότι ο δέκτης είναι ένα επίπεδο.



Σχήμα 2.7:Σχηματική απεικόνιση ενός τυπικού γραμμικής εστίασης φακού Fresnel, για εφαρμογές ηλιακής συγκέντρωσης

Ο γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} = \frac{b}{W} \quad (1)$$

Αν όλη η ηλιακή ακτινοβολία διαθλάται από τον φακό Fresnel μπορούσε να προσπίπτει στο επίπεδο θα είχαμε την εξής συνθήκη:

$$W' \geq 2R_n \tan \delta_s \quad (2)$$

όπου δ_s η ημιγωνία όρασης του ήλιου από την γη η οποία είναι $0,27^\circ$. Επειδή η β είναι περίπου ίση με την β' έχουμε ότι

$$\tan\beta = \tan\beta' = \frac{W}{W'} \quad (3)$$

Άρα ο λόγος συγκέντρωσης είναι:

$$C_g = \frac{b}{W'\tan\beta} = \frac{b}{2R_n \tan\delta_s \tan\beta} \quad (4)$$

αλλά λόγω της γεωμετρίας του σχήματος 2.7 έχουμε:

$$R_n = \left[r_2^2 + \left(f - t + L \tan \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\tan\beta = \frac{r_2}{f - t + L \tan \frac{a}{2}} \quad (6)$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (5),(6) στην (4) προκύπτει η εξής σχέση:

$$C_g = \frac{107,4 b (f - t + L \tan \frac{a}{2})}{r_2 \sqrt{r_2^2 + (f - t + L \tan \frac{a}{2})^2}} \quad (7)$$

Αν έχουμε σημειακής εστίασης φακό Fresnel, ο λόγος συγκέντρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$C'_g = C_g^2 = \left[\frac{107,4 b (f - t + L \tan \frac{a}{2})}{r_2 \sqrt{r_2^2 + (f - t + L \tan \frac{a}{2})^2}} \right]^2 = \frac{11540,9 b^2 (f - t + L \tan \frac{a}{2})^2}{r_2^2 [r_2^2 + (f - t + L \tan \frac{a}{2})^2]} \quad (8)$$

όπου α η κλίση της γωνίας σε κάθε αυλάκωση του φακού Fresnel και δίνεται από τον τύπο:

$$\tan\alpha = \frac{\sin\varphi + \sin\beta}{\sqrt{n^2 - \sin^2\varphi}} \quad (9)$$

όπου

$$\sin\beta = \frac{r_2^2}{\sqrt{r_2^2 + (f - t + L \tan \frac{\alpha}{2})^2}} \quad (9)$$

$$\cos\beta = \frac{f - t + L \tan \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{r_2^2 + (f - t + L \tan \frac{\alpha}{2})^2}} \quad (10)$$

$$\sin\varphi = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + d^2}} \quad (11)$$

Γενικότερα, η λεία πλευρά ενός φακού Fresnel είναι προς την πλευρά του ήλιο, προκειμένου να αποτρέψει τη σκόνη από την πτώση στις αύλακες η οποία μπορεί να προκαλέσει δυσκολία κατά τον καθαρισμό. Δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από περίπου παράλληλες ακτίνες φωτός, η οποία διεισδύει στην λεία πλευρά του φακού και περνά από την άλλη πλευρά, οπότε θέτουμε στις παραπάνω εξισώσεις $d=\infty$ και $\varphi=0$ και προκύπτει ο εξής τύπος:

$$\tan\alpha = \frac{\sin\beta}{n - \cos\beta} \quad (12)$$

Από τους παραπάνω τύπους η γωνία α προέρχεται από τις εξισώσεις 11,12 και 14 αν το r_2 είναι σταθερό και αντίστροφα, το r_2 μπορεί να προέρχεται, εάν η γωνία α είναι σταθερή, και ο γεωμετρικός λόγος συγκέντρωσης του φακού Fresnel μπορεί να ληφθεί εύκολα.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι, η ηλιακή θερμική μετατροπή είναι μία από τις περισσότερο εφαρμοσμένες λειτουργίες για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ψύξης, θέρμανσης, αφαλάτωσης, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κλπ. Ανάμεσα σε όλες αυτές τις εφαρμογές, μέσης και υψηλής θερμοκρασιακής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας ($\geq 250^{\circ}\text{C}$), θεωρούνται από της πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για μεγάλης κλίμακας χρήση της ηλιακής ενέργειας στο μέλλον.

3.2 ΧΡΗΣΗ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων των φακών Fresnel, όπως έχει προαναφερθεί, έχουν γίνει από τις καλύτερες επιλογές για εφαρμογές θερμικών ηλιακών συστημάτων μετατροπής. Οι πρώτες προσπάθειες χρησιμοποίησης των φακών Fresnel για την συλλογή ηλιακής ενέργειας συνέβη όταν υπήρχε δυνατότητα χρήσης πλαστικών όπως Polymethylmethacrylate (PMMA) το οποίο συνέβη το 1950. Το PMMA είναι ένα υλικό ανθεκτικό στο φως του ήλιου και παραμένει θερμικά σταθερό για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 80°C και η διαπερατότητα ταιριάζει με το ηλιακό φάσμα και ο δείκτης διάθλασης είναι περίπου 1,49 το οποίο είναι πολύ κοντά στον αντίστοιχο του γυαλιού. Κατά συνέπεια οι περισσότεροι σχεδιαστές φακών Fresnel για εφαρμογές συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας επιλέγουν PMMA για τους φακούς του λόγω της υψηλής οπτικής ποιότητας σε συνδυασμό με λιγότερο δαπανηρές τεχνολογίες κατασκευής. Γενικότερα, υπάρχουν δύο τύποι φακών Fresnel: τους γραμμικής και τους σημειακής εστίασης. Η πρώτη κατηγορία συνήθως χρησιμοποιούνται για χαμηλής έως μέσης συγκέντρωσης εφαρμογές (ο λόγος συγκέντρωσης είναι μικρότερη από 100) όπως φωτοβολταϊκά συστήματα, στα κτίρια και στα θερμοκήπια και στους θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες. Η δεύτερη κατηγορία φακού Fresnel χρησιμοποιείται συχνά για υψηλής συγκέντρωσης (ο λόγος συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος από 100) φωτοβολταϊκές εφαρμογές

ηλιακές θερμικές εφαρμογές όπως η τροποποίηση μεταλλικών επιφανειών και ηλιακοί συλλέκτες Fresnel. Οι φακοί Fresnel σημειακής εστίασης μπορούν να αποκτήσουν υψηλότερη θερμοκρασία για μια μικρότερη περιοχή από ένα γραμμικής εστίασης φακό Fresnel και είναι πιο κατάλληλο για υψηλής θερμοκρασίας ηλιακές εφαρμογές.

3.2.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Ο δέκτης είναι ένα από τα βασικότερα συστατικά ενός συγκεντρωτικού ηλιακού συστήματος και οι επιδόσεις του επηρεάζουν άμεσα την απόδοση όλου του συστήματος. Ωστόσο στα μέσης και υψηλής θερμοκρασίας ηλιακά θερμικά συστήματα μετατροπής θεωρείται ως ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Ο ηλιακός δέκτης έχει τρεις κύριους τύπους:

1. δέκτης με εκκενωμένους σωλήνες
2. δέκτης με σωλήνες απαγωγής θερμότητας
3. δέκτης κοιλότητας

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, οι απώλειες ακτινοβολίας μειώνουν την αποτελεσματικότητα του δέκτη. Ως εκ τούτου ο δέκτης κοιλότητας είναι η βέλτιστη λύση για τα ηλιακά θερμικά συστήματα. Σε έναν δέκτη κοιλότητας, η ακτινοβολία ανακλάται ή διαθλάται από τους οπτικούς ηλιακούς συγκεντρωτές και διέρχεται μέσω ενός ανοίγματος σε μια κατασκευή που μοιάζει με κουτί πριν προσκρούσει στην απορροφητική επιφάνεια του δέκτη. Στη συνέχεια, η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας απορροφά την συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια και την μεταφέρει στο εργαζόμενο μέσο (heat transfer fluid- HTF). Η γενική ιδέα του δέκτη κοιλότητας είναι να διανέμει ομοιόμορφα το υψηλής ροής ρευστό στο άνοιγμα πάνω από την μεγάλη εσωτερική επιφάνεια της κοιλότητας με σκοπό να μειωθεί η μέγιστη απορροφόμενη ροή σε κάθε ένα σημείο. Έτσι ο δέκτης κοιλότητας έχει αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή λόγω της απλής γεωμετρίας του, της οικονομικής του απόδοσης και τα καλά θερμικά και οπτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τους εκκενωμένους σωλήνα και απαγωγής θερμότητας δέκτες.

Στην ιδανική περίπτωση, σε μια καλά μονωμένη κοιλότητα, η θερμοκρασία είναι περίπου ομοιόμορφη και οι θερμικές απώλειες συμβαίνουν κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία από το άνοιγμα της κοιλότητας.

3.2.2 ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Ως οπτική απόδοση ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη με Fresnel, ορίζουμε τον λόγο της ενέργειας που απορροφάται από τον δέκτη προς την ενέργεια που προσπίπτει επί του ανοίγματος του συλλέκτη. Η οπτική απόδοση εξαρτάται από τις οπτικές ιδιότητες του φακού Fresnel, τη γεωμετρία του συλλέκτη, και τις διάφορες ατέλειες που προκύπτουν από την κατασκευή του συλλέκτη.

$$\eta_o = \tau\alpha\gamma[(1 - A_f \tan(\theta))\cos(\theta)]$$

όπου

τ = η διαπερατότητα του φακού

α = απορροφητικότητα του δέκτη

γ = παράγοντας σύλληψης, ο οποίος είναι το κλάσμα της ανακλώμενης ενέργειας που εισέρχεται ή προσκρούει στον δέκτη. Ένας κακού σχήματος συγκεντρωτής, ή ένας δέκτης πάρα πολύ μικρός θα κάνουν αυτό τον αριθμό σημαντικά μικρότερο από 1.

A_f = γεωμετρικός παράγοντας

θ = γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη

Αλλά στους ηλιακούς συγκεντρωτικούς συλλέκτες με πλήρη παρακολούθηση του ήλιου η γωνία πρόσπτωσης στον φακό Fresnel είναι $\theta=0$. Άρα

$$\eta_o = \tau\alpha\gamma$$

3.2.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι πολύ αποδοτικότεροι σε σχέση με τους επίπεδους διότι, η επιφάνεια του δέκτη που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ μικρότερη από την επιφάνεια της πλάκας συνεπώς και οι απώλειες είναι πολύ μικρότερες. Η θερμική ισχύς που αποδίδεται από τον συλλέκτη δίνεται από την σχέση:

$$Q_u = \eta_o G_B A_a - A_r U_L (T_r - T_a) = \dot{m} c_p [T_o - T_i] \text{ με}$$

A_α = επιφάνεια φακού Fresnel (m^2)

A_r = επιφάνεια του δέκτη (m^2)

T_r = η τοπική θερμοκρασία της επιφάνειας απορρόφησης του δέκτη

και G_B είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον συγκεντρωτικό ηλιακό συλλέκτη Fresnel. Αυτό είναι και ένα από τα μειονεκτήματα των συγκεντρωτικών συλλεκτών, το ότι δηλαδή δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Για έναν συγκεντρωτικό συλλέκτη όπως και για άλλες συσκευές μετατροπής ενέργειας, η θερμική απόδοση είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος μέτρησης απόδοσης του συλλέκτη. Ο βαθμός απόδοσης δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = \eta_o - U_L \frac{T_r - T_a}{G_B} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A_c G_B}$$

όπου T_r = η τοπική θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του δέκτη.

T_o = θερμοκρασία εξόδου από τον δέκτη

T_i = θερμοκρασία εισόδου στον δέκτη

T_a = θερμοκρασία της ατμόσφαιρας

A_c = εμβαδόν 'ανοίγματος', δηλαδή το εμβαδόν του φακού Fresnel

Ο βαθμός απόδοσης σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο δίνει τον λόγο της ισχύος που παίρνουμε από τον συλλέκτη προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον φακό Fresnel.

Είναι δύσκολο να προσδιορισθεί η αξία του T_b , ωστόσο, οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του συλλέκτη είναι σχετικά εύκολο να καθοριστούν. Κατά συνέπεια, η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι

$$T_{m,f} = \frac{T_i + T_o}{2} \text{ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικατασταθεί η } T_b \text{ στην}$$

εξίσωση απόδοσης του συλλέκτη, και μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta = F' \left[\eta_o - U_L \frac{T_{m,f} - T_a}{G_B} \right]$$

όπου ο παράγων απόδοσης συλλέκτη F' εκφράζει τον λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης θερμικής ισχύος προς την θερμική ισχύ που θα προέκυπτε εάν η επιφάνεια απορρόφησης του συλλέκτη είχε την τοπική θερμοκρασία του υγρού.

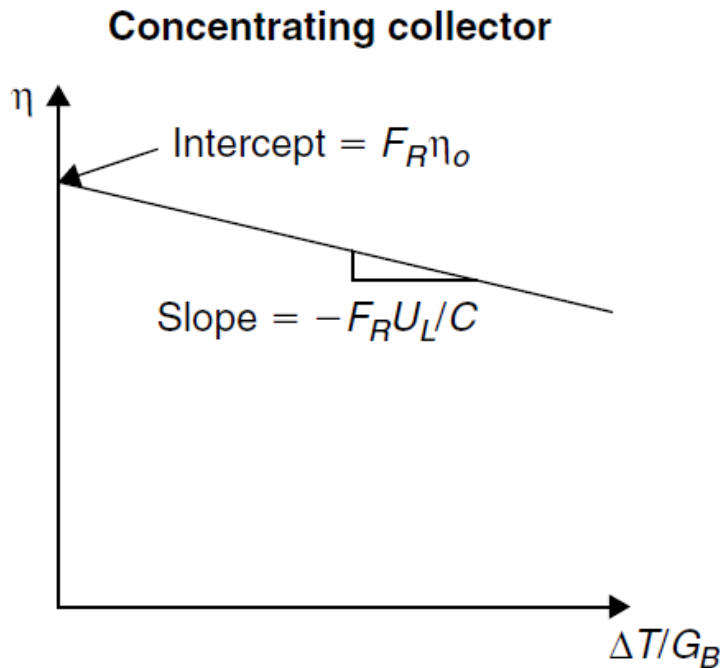
Παρά το γεγονός ότι η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη μπορεί εύκολα να μετρηθεί, η θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη ποικίλει ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία και μερικές φορές είναι δύσκολο να ελεγχθεί η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία εισόδου του συλλέκτη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αντιπροσωπεύσει την T_i και οι εξισώσεις θερμικής ισχύος που αποδίδεται στον συλλέκτη και του βαθμού απόδοσης θα είναι οι εξής:

$$Q_u = F_R [G_B \eta_o A_a - A_r U_L (T_i - T_a)] \text{ Watt} \quad (1)$$

$$\eta = F_R \eta_o - F_R U_L \frac{T_i - T_a}{C_g G_B} \quad (2)$$

Για λειτουργία του συλλέκτη σε σταθερή ηλιακή ακτινοβολία και παροχή μάζας, οι συντελεστές η_o , F_R , U_L μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν σταθεροί. Άρα η εξίσωση (2) μπορεί να θεωρηθεί ως μια ευθεία γραμμή της μορφής $y=ax+b$ όπου με ανεξάρτητη μεταβλητή τον λόγο $(T_i - T_a)/G_B$,

κλίση του γραφήματος $a = -\frac{F_R U_L}{C_g}$ και τομή με τον κάθετο άξονα $b = F_R \eta_o$



Σχήμα 3.1: Καμπύλη απόδοσης ενός ηλιακού συγκεντρωτικού συλλέκτη

Σύμφωνα με το σχήμα 3.1 ο βαθμός απόδοσης του συγκεντρωτικού συλλέκτη μεγιστοποιείται όταν η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη εξισωθεί με την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Στο σημείο τομής της γραμμής απόδοσης με τον οριζόντιο άξονα, η αποτελεσματικότητα του συλλέκτη είναι μηδέν. Αυτή η κατάσταση αντιστοιχεί σε ένα τέτοιο επίπεδο χαμηλής ακτινοβολίας, ή μια τέτοια υψηλή θερμοκρασία του υγρού εντός του συλλέκτη, ώστε οι θερμικές απώλειες ισούται ηλιακή απορρόφηση και ο συλλέκτης να μην παρέχει ωφέλιμη θερμότητα. Αυτή η κατάσταση, που συνήθως ονομάζεται στασιμότητα, συνήθως συμβαίνει όταν δεν υπάρχει ρευστό στον συλλέκτη.

Στην πραγματικότητα ο παράγων θερμικών απωλειών U_L δεν είναι σταθερός, αλλά είναι συνάρτηση, με εξαρτημένες μεταβλητές την θερμοκρασία εισόδου στον συλλέκτη και την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Η μορφή της συνάρτησης αυτής είναι $F_R U_L = c_1 + c_2(T_i - T_a)$. Άρα η εξίσωση της ωφέλιμης θερμικής ισχύος (1) θα έχει την μορφή:

$$Q_u = F_R [\eta_0 G_B A_a - A_r c_1 (T_i - T_a) - A_r c_2 (T_i - T_a)^2]$$

και ο βαθμός απόδοσης στον συγκεντρωτικό συλλέκτη είναι:

$$\eta = F_R \eta_o - \frac{c_1(T_i - T_a)}{C_g G_B} - \frac{c_2(T_i - T_a)^2}{C_g G_B}$$

οπότε θέτοντας ως $\chi = (T_i - T_a)/G_B$ και $k_o = F_R \eta_o$, $k_1 = c_1/C_g$, $k_2 = c_2/c$

άρα έχουμε την εξίσωση θερμικής απόδοσης $\eta = k_o - k_1 \chi - k_2 G_B \chi^2$

που είναι μια εξίσωση δευτέρου βαθμού.

Ο συντελεστής απομάκρυνσης θερμότητας του συλλέκτη ή παράγων θερμικής απολαβής F_R , αφορά την πραγματική ωφέλιμη ενός συλλέκτη εάν το σύνολο της επιφάνειας απορρόφησης του συλλέκτη ήταν σε μία θερμοκρασία ίση με την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού.

Ο παράγων θερμικής απολαβής F_R είναι μια αδιάστατη παράμετρος, η οποία υποδεικνύει τα χαρακτηριστικά της μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη και την επίδραση του ρευστού μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής. Σε γενικές γραμμές, ο συντελεστής απόδοσης του συλλέκτη F' είναι ένα μέτρο του πόσο καλή είναι η μεταφορά θερμότητας είναι μεταξύ του ρευστού και του δέκτη, ενώ ο παράγοντας θερμικής απολαβής του συλλέκτη F_R είναι ένα μέτρο απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη ως εναλλάκτης θερμότητας, καθώς αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ο λόγος της πραγματικής θερμότητας που μεταφέρετε την μέγιστη δυνατή μεταφορά θερμότητας.

Επιπλέον, και οι δύο παράγοντες θα μπορούσαν να αντανακλούν τα φυσικά χαρακτηριστικά κατασκευής, την οπτική απόδοση και τις παραμέτρους λειτουργίας ενός ηλιακού συλλέκτη,

και επηρεάζονται μόνο από τα χαρακτηριστικά του ηλιακού συλλέκτη όπως το είδος του υγρού και ο ρυθμός ροής του ρευστού.

Προκειμένου να μοντελοποιήσουμε τους ηλιακούς συλλέκτες που χρησιμοποιούν φακούς Fresnel σημειακής εστίασης με δέκτες κοιλότητας, μια σειρά από υποθέσεις με βάση της αρχές της φυσική πρέπει να ακολουθηθούν οι εξής:

1. Ο συλλέκτης είναι σε μια σταθερή κατάσταση.
2. Το δισδιάστατο πεδίο θερμοκρασίας της πλάκας του συλλέκτη διαιρείται σε δύο αμοιβαία ανεξάρτητα μονοδιάστατα θερμοκρασιακά πεδία: ένα κατά την x κατεύθυνση της πλάκας του συλλέκτη και ένα κατά την y κατεύθυνση της ροής του ρευστού.
3. Το γυάλινο κάλυμμα (εάν υπάρχει) είναι αδιαφανές στην υπέρυθρη.
4. Δεν έχουμε απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το γυάλινο κάλυμμα.

5. Η ροή θερμότητας μέσα από το γυάλινο κάλυμμα και στο πίσω μέρος της μόνωσης είναι μονοδιάστατη.
6. Η πτώση θερμοκρασίας μέσω του υάλινου καλύμματος είναι αμελητέα.
7. Ο ουρανός μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέλαν σώμα για την μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του ουρανού δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα πολύ, αυτό θεωρείται ίσο με το θερμοκρασία περιβάλλοντος.
8. Η κλίση της θερμοκρασίας γύρω από σωλήνες μπορεί να αγνοηθεί.
9. Οι απώλειες στο μπροστινό και πίσω μέρος είναι στην ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος

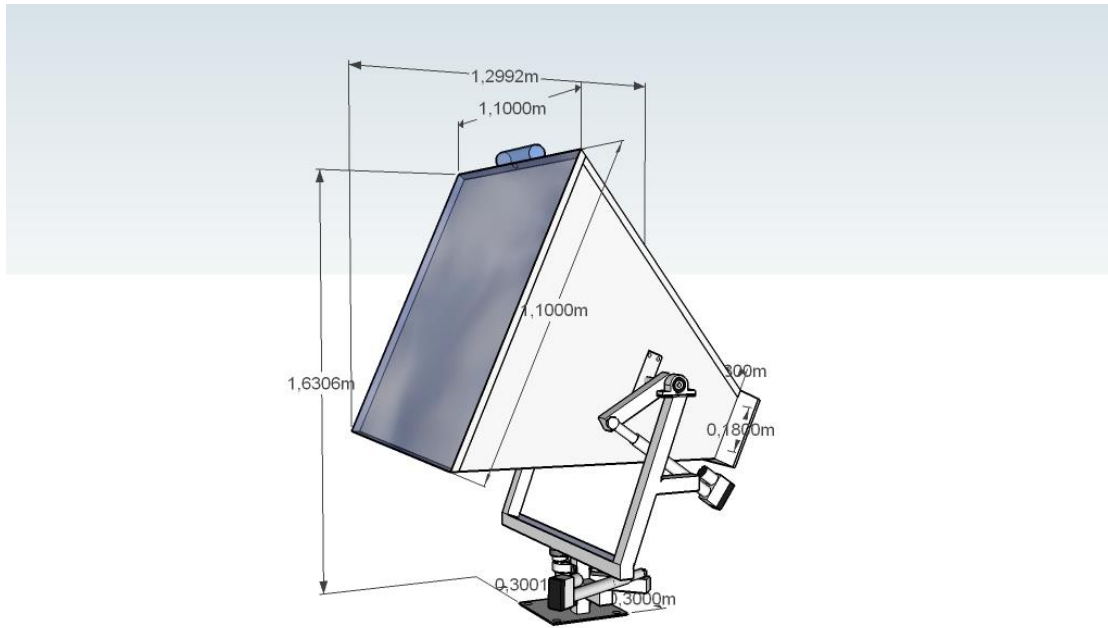
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΥΠΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

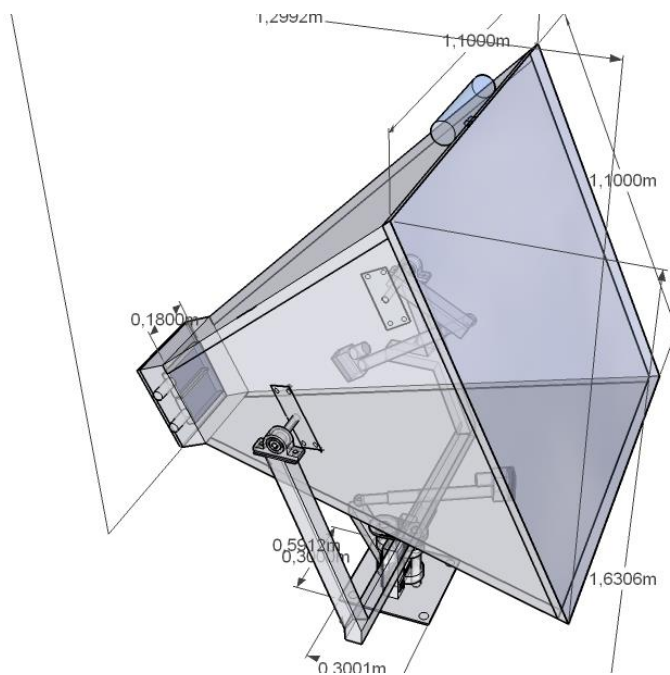
Ο συλλέκτης στον οποίο θα γίνει υπολογιστική προσομοίωση της μεταφοράς θερμότητας στο ρευστό μεταφοράς θερμότητας έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου από τον κύριο Δρογγίτη. Βρίσκεται στο εργαστήριο ηλιακών και άλλων ενεργειακών συστημάτων του εθνικού κέντρου έρευνας φυσικών επιστημών 'ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ', όπου γίνεται πειραματική μέτρηση της απόδοσης του ηλιακού αυτού συλλέκτη.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θα ασχοληθούμε με τον σχεδιασμό και την υπολογιστική προσομοίωση του δέκτη με την χρήση των προγραμμάτων solidworks και comsol multiphysics 4.3.

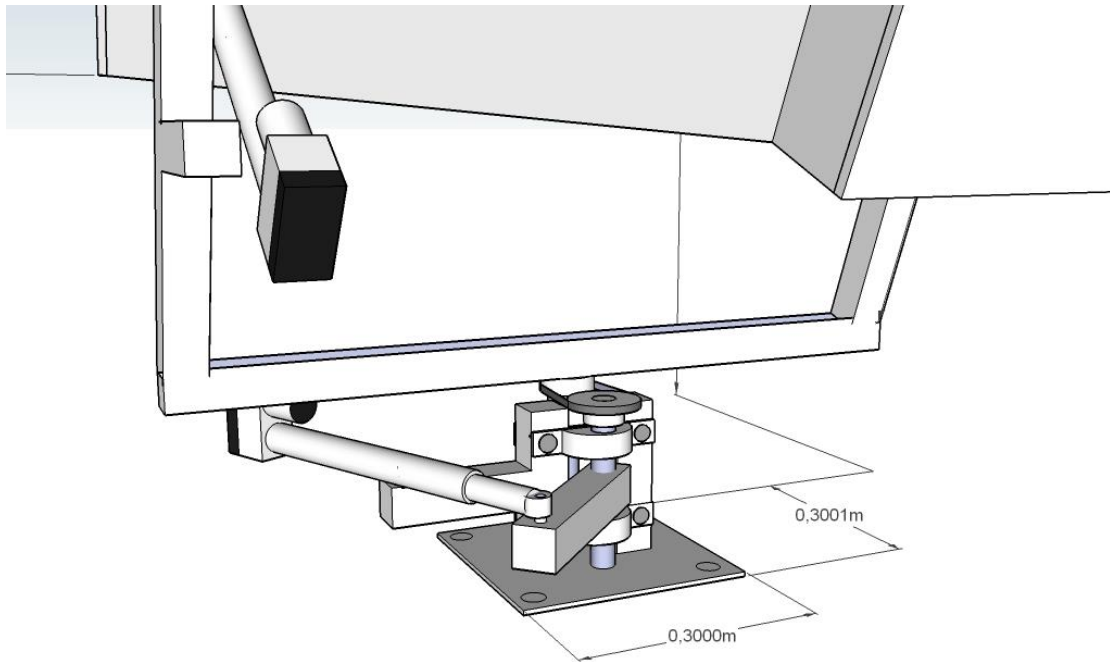
Ο συλλέκτης αυτός παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες όπως αυτές μας έχουν δοθεί από τον σχεδιαστή του ηλιακού αυτού συστήματος.



Σχήμα 4.1: Σχηματική απεικόνιση του συλλέκτη όπου στο αριστερό μέρος έχει τοποθετηθεί ο φακός Fresnel και στο δεξιό μέρος βρίσκεται ο δέκτης του συλλέκτη.

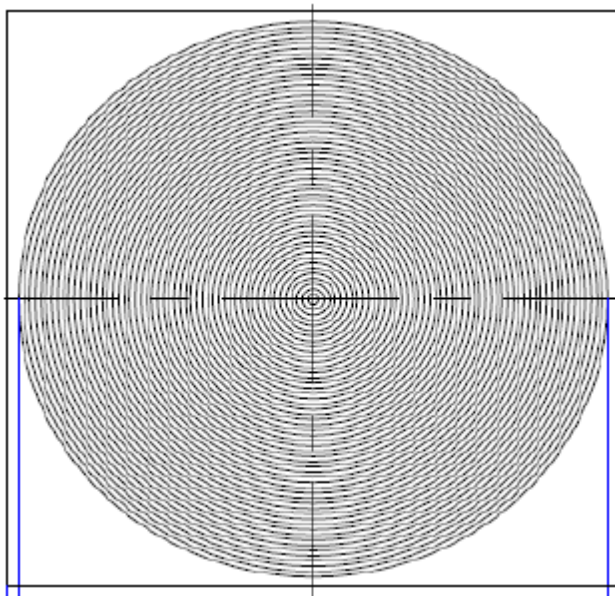


Σχήμα 4.2: Άλλη όψη του συλλέκτη



Σχήμα 4.3: Σχηματική απεικόνιση της βάσης του συλλέκτη

4.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΦΑΚΟΥ FRESNEL



Σχήμα 4.4: Χρησιμοποιούμενος φακός Fresnel

Ο σχεδιαστής του συλλέκτη έχει τοποθετήσει έναν θετικής εστιακής απόστασης φακό Fresnel με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέγεθος: 1000*1000 mm
- Πάχος: $5\pm 0,5$ mm
- Υλικό: PMMA
- Ύψος αυλάκωσης: 0,5 mm
- Αυλακώσεις 'εντός' (προς την μεριά του εστιακού σημείου)
- Εστίαση/μεγέθυνση: αριθμός $f=1,3$ m
- Διαπερατότητα (%): $\tau=92$ (για μήκη κύματος από 400-1100 nm)
- Δείκτης διάθλασης: $n=1,491$
- Τεχνολογίας: single point diamond turning

4.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Στον συγκεντρωτικό ηλιακό συλλέκτης είναι απαραίτητος ο ηλιακός προσανατολισμός σε δύο άξονες, έτσι ώστε να έχουμε την μέγιστη αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ενέργειας. Το εύρος της αζιμουθιακής γωνίας στον άξονα Ανατολή - Δύση είναι τουλάχιστον 220° και η κλίση του συλλέκτη είναι περίπου 80° ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Ο ηλιακός προσανατολισμός συμβάλει στο να :

- βρίσκεται το σημείο εστίασης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στον δέκτη συνεχώς.
- μεγιστοποιηθεί η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που συλλέγεται. Η συλλογή της ενέργειας γίνεται από νωρίς το πρωί μέχρι αργά το απόγευμα.

και γίνεται με δύο τρόπους:

Ο πρώτος είναι ο προσανατολισμός με τη χρήση απόλυτα ακριβούς ημερολογίου και γεωγραφικού στίγματος και ο άλλος με αισθητήρα θέσης του ήλιου.

Προτιμάται ο προσανατολισμός με αισθητήρα λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας. Σε κάθε περίπτωση όμως αναγκαίο είναι ένα σύστημα ελέγχου της θέσης του σημείου εστίασης πάνω στον απορροφητή.

Ο αισθητήρας της θέσης του ήλιου που χρησιμοποιείται συνήθως, αποτελείται από τέσσερις φωτοαισθητήρες τοποθετημένους γύρω από ένα σκίαστρο στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα. Οι φωτοαισθητήρες είναι ενωμένοι με μικροεπεξεργαστή ο οποίος χειρίζεται τα μοτέρ της βάσης που ελέγχει την κίνηση του συλλέκτη. Ανάλογα με το ποιός φωτοαισθητήρας βρίσκεται στη σκιά ή έχει περισσότερο φώς, ο επεξεργαστής χειρίζεται τα μοτέρ ώστε όλοι οι φωτοαισθητήρες να δείχνουν τη ίδια ένδειξη, γεγονός που σημαίνει ότι ο ηλιακός συλλέκτης είναι προσανατολισμένος προς τον ήλιο.

Σε δεύτερο στάδιο το σύστημα ελέγχου της θέσης του σημείου εστίασης πάνω στον απορροφητή, το οποίο μπορεί να αποτελείται από θερμομέτρα ή φωτοαισθητήρες τοποθετημένα γύρω από τον απορροφητή, επιβεβαιώνει ότι το σημείο εστίασης είναι πάνω στον απορροφητή, και αν χρειάζεται προβαίνει σε μικροδιορθώσεις της θέσης του ηλιακού συλλέκτη.

Έτσι μπορούμε να έχουμε ένα φθινό και αξιόπιστο ηλεκτρονικό σύστημα προσανατολισμού προς τον ήλιο, το οποίο είναι ικανό να διορθώνει απρόβλεπτες καταστάσεις, όπως μερική αλλοίωση των ενδείξεων των φωτοαισθητήρων (π.χ. έντονο λέρωμα του αισθητήρα κτλ).

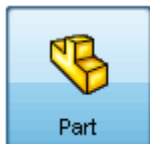
Η βάση χρησιμοποιεί δύο μοτέρ γραμμικής κίνησης (linear actuator) συνδυασμένα με ένα απλό σύστημα μετατροπής της γραμμικής κίνησής τους σε κυκλική, ώστε να κινείται η βάση και να παρακολουθεί τον ήλιο. Αυτό το σύστημα αποτελείται από μερικά ρουλεμάν, γρανάζια, αλυσίδα και μοχλούς. Αν και είναι πολύ εύκολο να κατασκευαστεί δίνει πολλές μοίρες ελευθερίας στην κίνηση της βάσης, και λόγω των μοχλών ελαφραίνει πολύ το φορτίο των μοτέρ και επίσης δεν μεταφέρει φορτία που μπορεί να προκύψουν π.χ. από έντονο άνεμο στα μοτέρ.

Παρόλο που το κόστος των μοτέρ και της βάσης είναι μικρό, είναι μια πολύ σταθερή και αξιόπιστη βάση η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές εγκαταστάσεις εδώ κα τρία χρόνια χωρίς κρίσιμες αστοχίες.

4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ(RECEIVER) ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΜΕ SOLIDWORKS

Για τον σχεδιασμό του δέκτη (receiver) του συλλέκτη, του σημαντικότερου στοιχείου του συγκεντρωτικού συλλέκτη, έγινε χρήση του προγράμματος solidworks 2012 student edition το οποίο είναι προσανατολισμένο στον κυρίως στον τομέα του ολοκληρωμένου σχεδιασμού μηχανημάτων και ενδείκνυται τόσο για δισδιάστατα (2D) όσο και για τρισδιάστατα (3D) σχέδια αλλά και στην εναλλαγή μεταξύ τους.

Ανοίγουμε το λογισμικό πακέτο solidworks και επιλέγουμε την δημιουργία νέου αντικειμένου (Part) από το βασικό μενού:



a 3D representation of a single design component

Σχήμα 4.5: Σχεδιασμός απλού τεμαχίου

Παρακάτω παραθέτουμε τα βήματα που ακολουθούμε για την κατασκευή του μοντέλου το οποίο αποτελείται από τρία parts τα οποία και θα συναρμολογήσουμε με την βοήθεια της επιλογής :



a 3D arrangement of parts and/or other assemblies

Σχήμα 4.6:Συναρμολόγηση απλών τεμαχίων

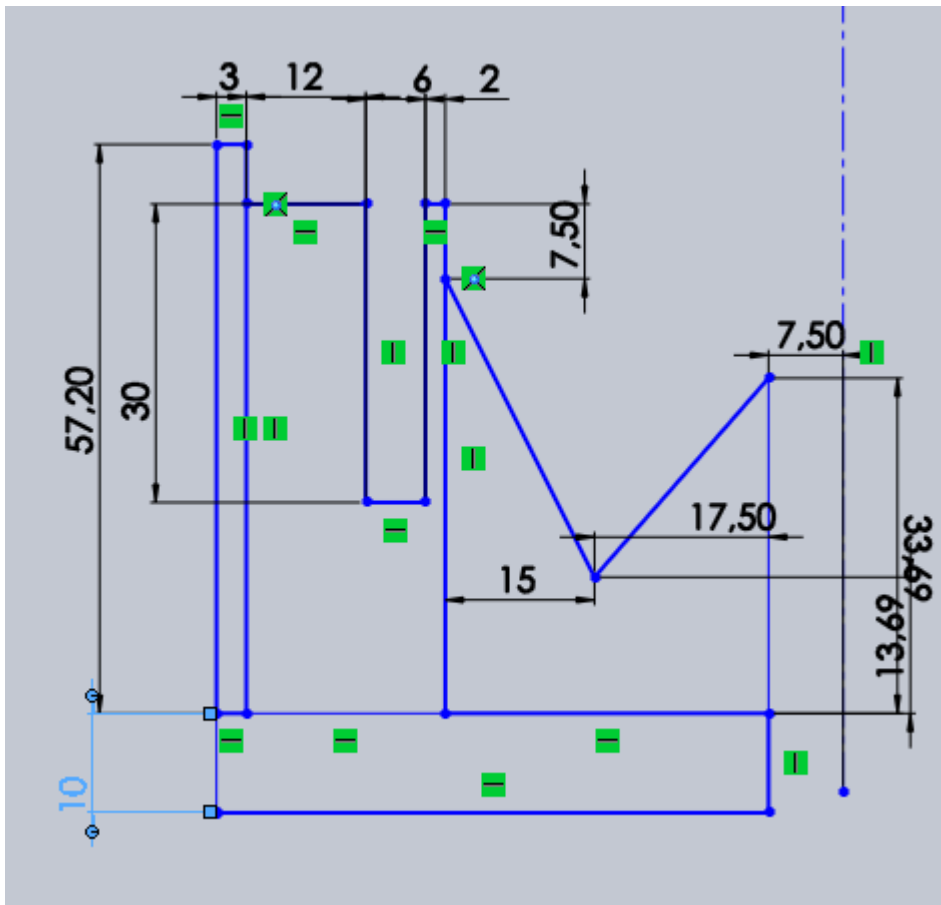
από το solidworks. Τα τρία μέρη (parts) από τα οποία αποτελείται ο δέκτης του συλλέκτη είναι: το κύριο μέρος του δέκτη, το καπάκι του δέκτη και το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον δέκτη. Η σημασία του σχεδιασμού του ρευστού σαν στερεό θα αναλυθεί παρακάτω.

4.3.1 ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ

Για τον σχεδιασμό του κύριου μέρους δέκτη του ηλιακού συλλέκτη στον οποίο θα γίνει η υπολογιστική προσομοίωση θα ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

4.3.1.1 ΒΗΜΑ 1^ο

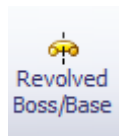
Δημιουργούμε ένα 2-DSketch στο επίπεδο XY (XY plane) και σχεδιάζουμε την εσωτερική γεωμετρία του δέκτη (την συμμετρική ως προς την αξονική γραμμή) όπως αυτή μας δίνεται από το κατασκευαστή του ηλιακού συλλέκτη.



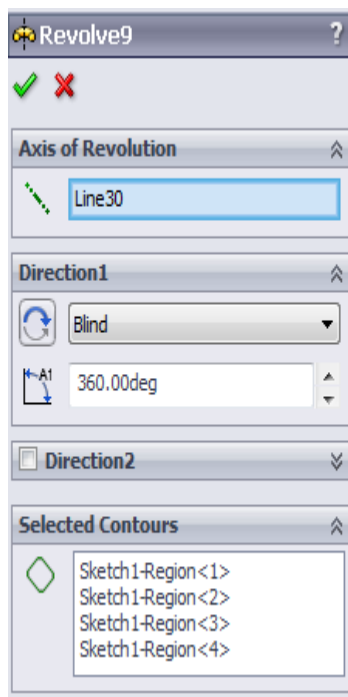
Σχήμα 4.7: Η εσωτερική γεωμετρία του δέκτη (η συμμετρική ως προς τον άξονα συμμετρίας του)

4.3.1.2 ΒΗΜΑ 2^ο

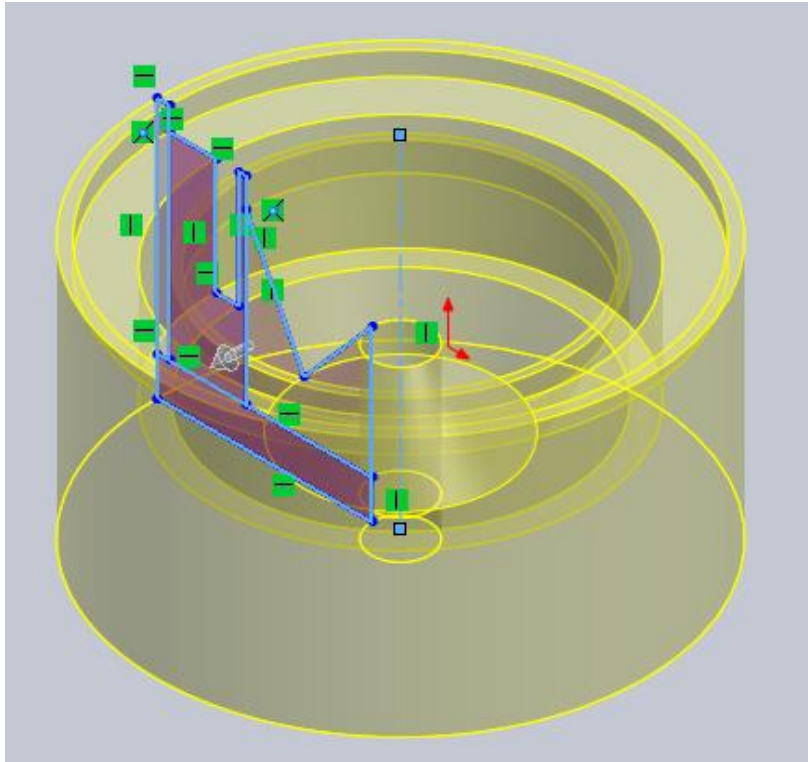
Επόμενο βήμα για τον σχεδιασμό του δέκτη με την χρήση της επιλογής:



ορίζοντας ως παραμέτρους τις επιφάνειες(selected contours) και τον άξονα συμμετρίας γύρω από τον οποίο γίνεται η περιστροφή 360^ο (axis of revolution)

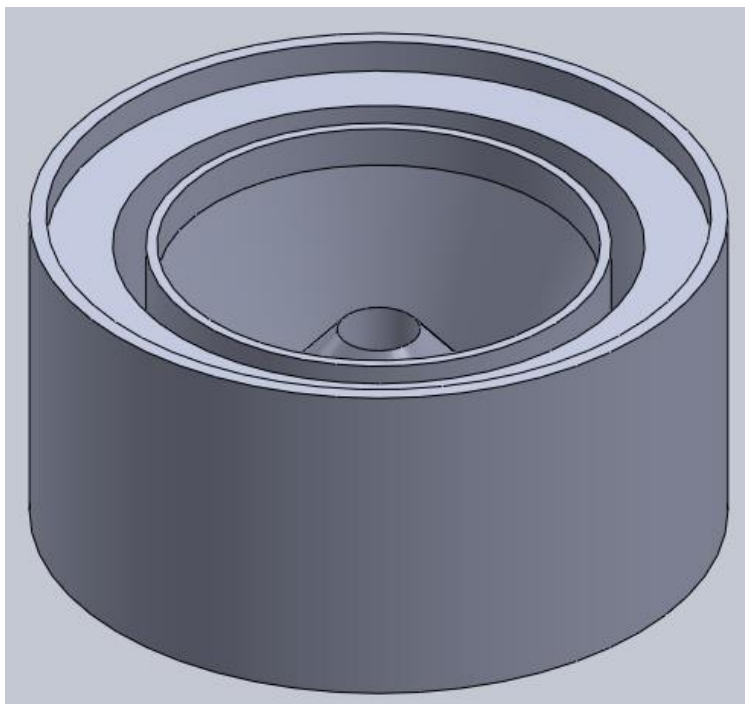


Σχήμα 4.8: Η επιλογή revolve και οι παράμετροι που εισάγουμε (Line 30: ο άξονας περιστροφής)



Σχήμα 4.9: Η δημιουργία του τρισδιάστατου δέκτη με την χρήση της επιλογής revolve

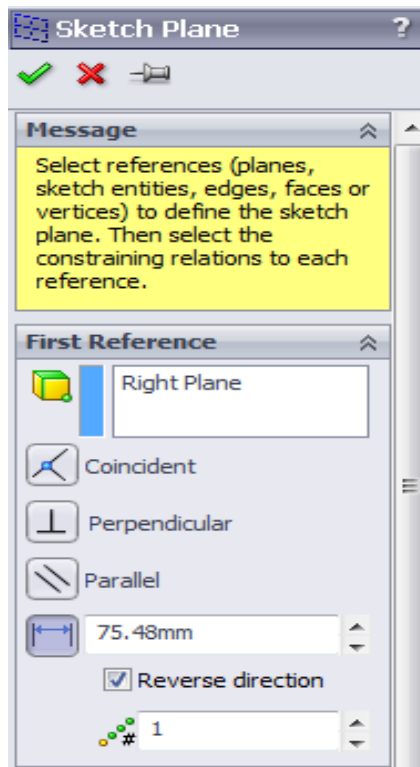
Άρα έχουμε το εξής αποτέλεσμα:



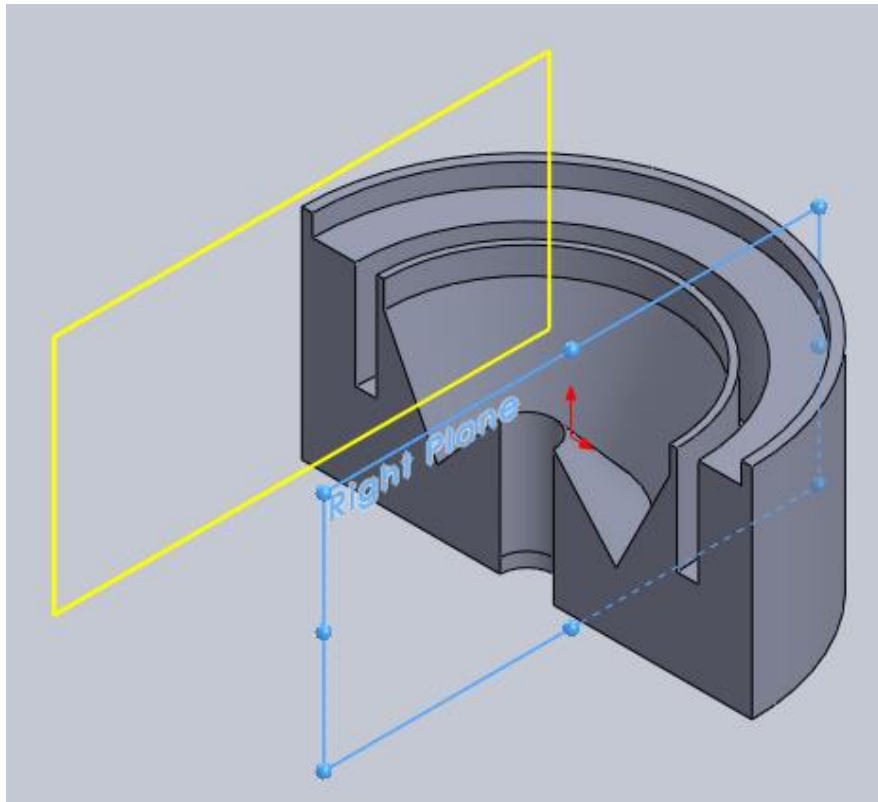
Σχήμα 4.10: Γεωμετρία μετά το τέλος του 2^{ου} βήματος

4.3.1.3 ΒΗΜΑ 3⁰

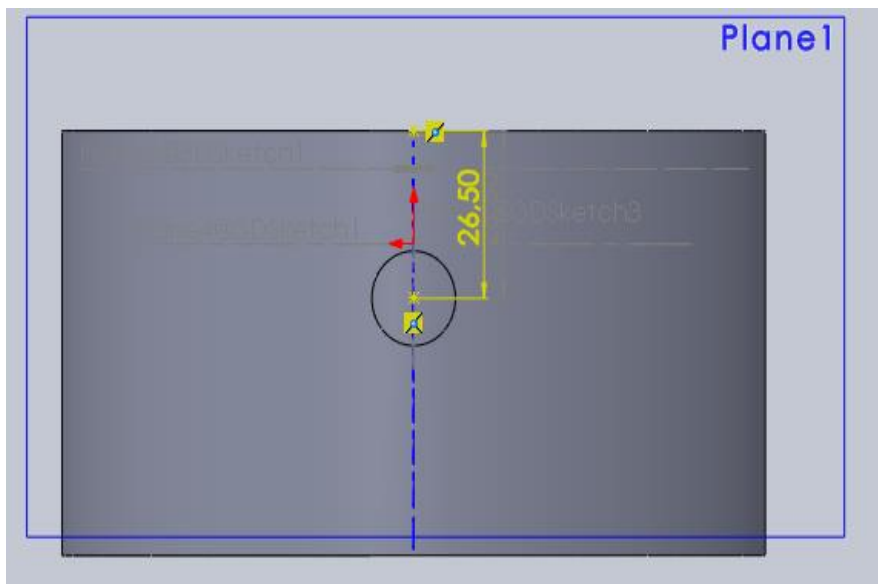
Στην συνέχεια θα σχεδιάσουμε το κανάλι εισόδου του εργαζόμενου ρευστού (νερό) στην αριστερή όψη του δέκτη σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή του συλλέκτη. Για να σχεδιάσουμε το κανάλι επιλέγουμε το επίπεδο που θα το σχεδιάσουμε. Το επίπεδο αυτό θα τοποθετηθεί σε απόσταση 75.48mm (Σχήμα 4.11) από το δεξιά επίπεδο (right plane). Η οπή που θα σχεδιάσουμε στο Plane1 θα είναι διαμέτρου $D=15\text{mm}$ (Σχήμα 4.13).



Σχήμα 4.11: Καθορισμός του επιπέδου στον οποίο θα δημιουργηθεί η οπή εισόδου του ρευστού στον δέκτη



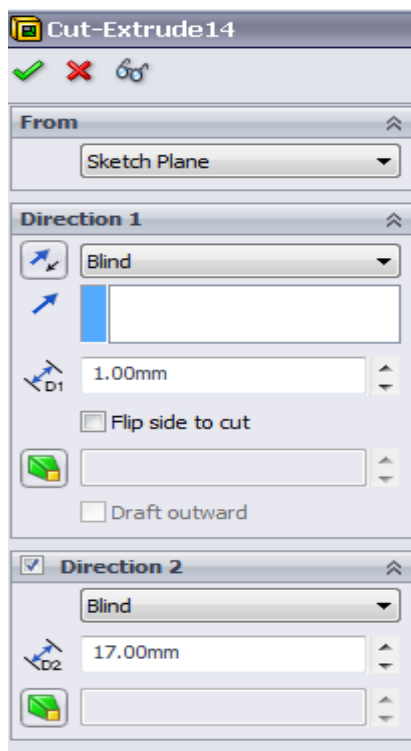
Σχήμα 4.12: Το επίπεδο σχεδιασμού (με κίτρινο χρώμα)



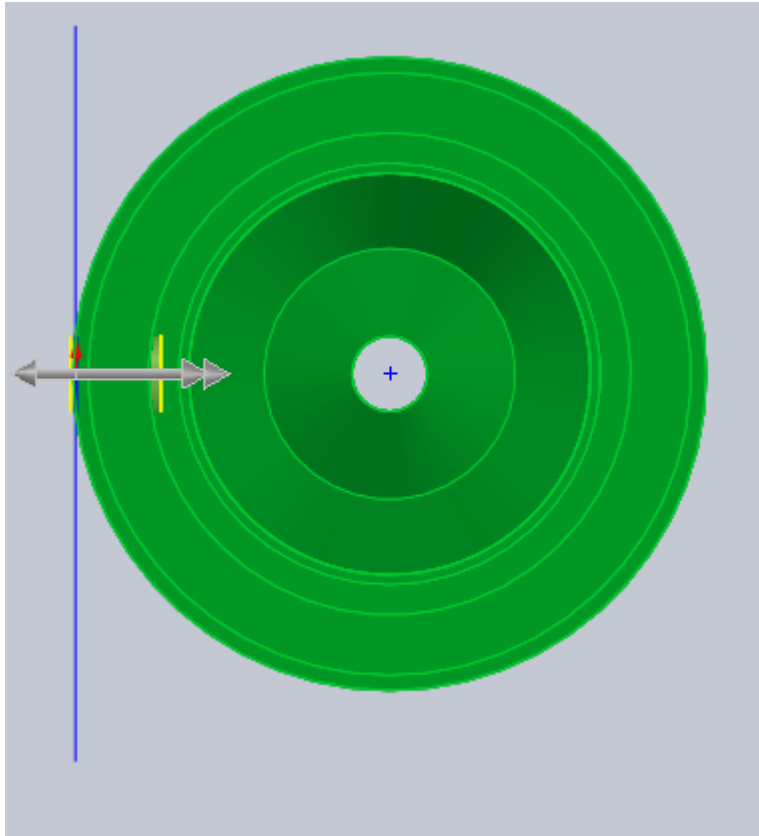
Σχήμα 4.13: Σχεδιασμό της οπής διαμέτρου $D=15\text{ mm}$

4.3.1.4 ΒΗΜΑ 4^ο

Στην συνέχεια με την επιλογή της εντολής cut-extrude δημιουργούμε μια σπή μήκους D2=17 mm, σύμφωνα με τα στοιχεία που μας δίνει ο κατασκευαστής του δέκτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14.



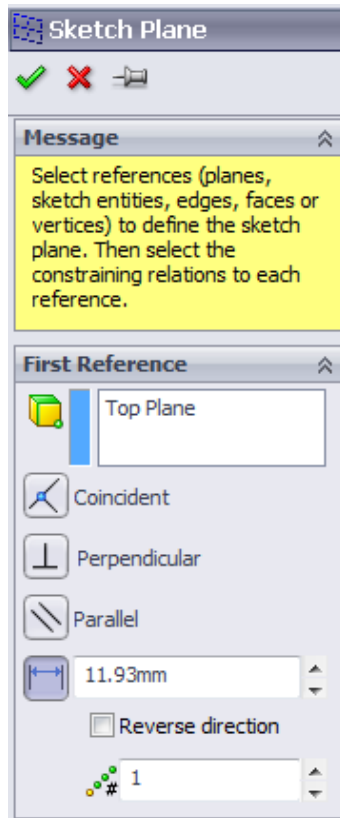
Σχήμα 4.14: Η χρήση της επιλογής Cut-Extrude και ο καθορισμός των παραμέτρων



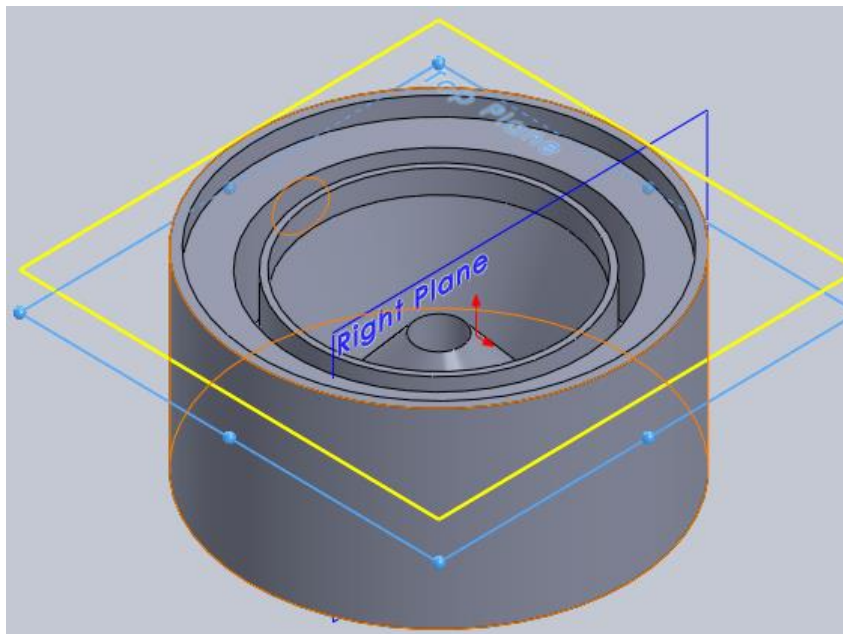
Σχήμα 4.15: Δημιουργία της οπής

4.3.1.5 ΒΗΜΑ 5^ο

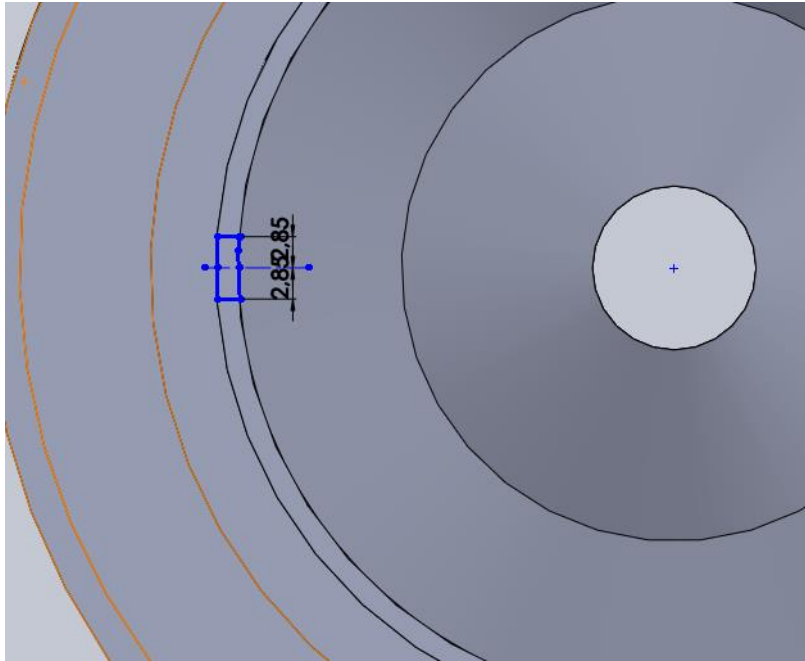
Στο βήμα αυτό θα σχεδιάσουμε τις εγκοπές χάρη στις οποίες το εργαζόμενο μέσο του συλλέκτη από το αυλάκι, μετά την είσοδο, του δέκτη, μετά από υπερχειλίση, εισέρχεται στο κύριο μέρος του δέκτη όπου και θα βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το καπάκι του δέκτη που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Όπως και στο βήμα 4 πρέπει να ορίσουμε το επίπεδο στο οποίο θα σχεδιάσουμε τις 8 εγκοπές όπως αυτές δίνονται από τον κατασκευαστή. Το επίπεδο αυτό θα βρίσκεται σε απόσταση 11.93 mm από το Top Plane. Οπότε στο επίπεδο αυτό που δημιουργήσαμε θα σχεδιάσουμε την μία εγκοπή με το μήκος του εσωτερικού τόξου να είναι $2.85 \cdot 2 = 5.7$ mm σύμφωνα με το σχήμα 4.18.



Σχήμα 4.16: Καθορισμός του επιπέδου σχεδιασμού των εγκοπών



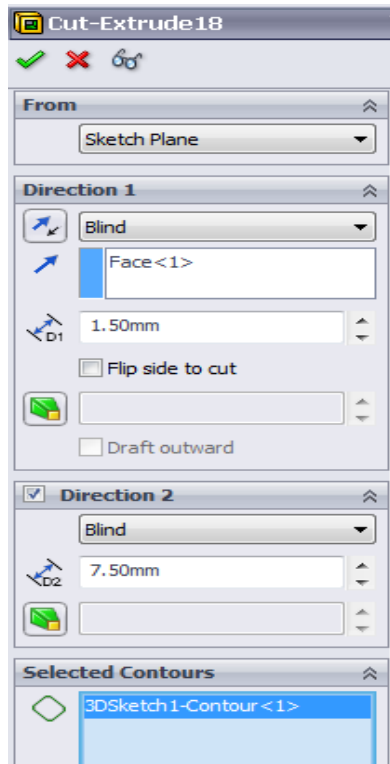
Σχήμα 4.17: Επίπεδο σχεδιασμού εγκοπών (κίτρινο χρώμα)



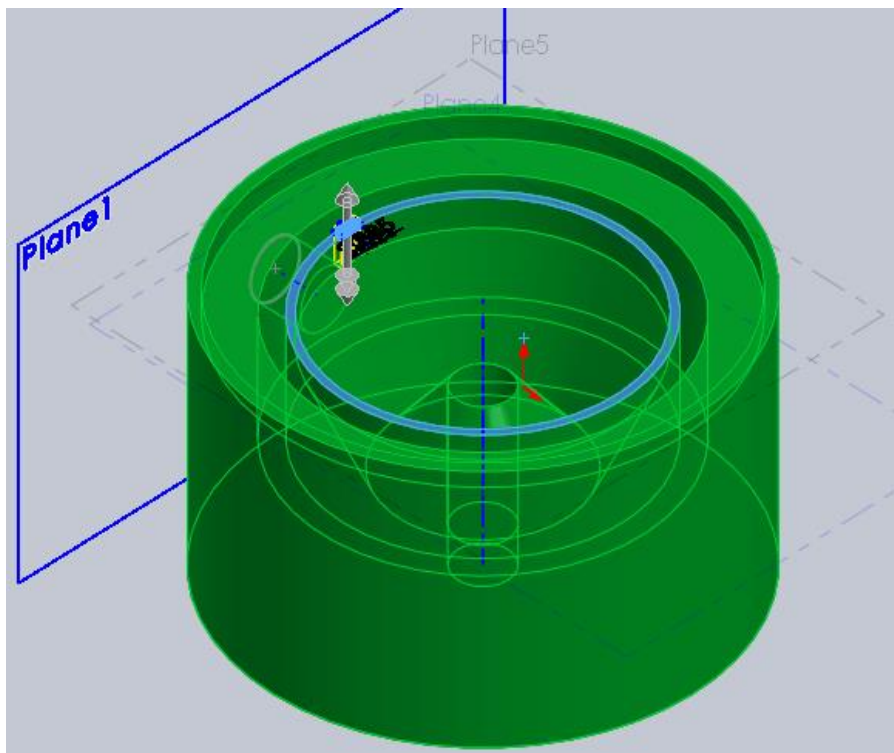
Σχήμα 4.18: Διαστάσεις εγκοπών

4.3.1.6 ΒΗΜΑ 6^ο

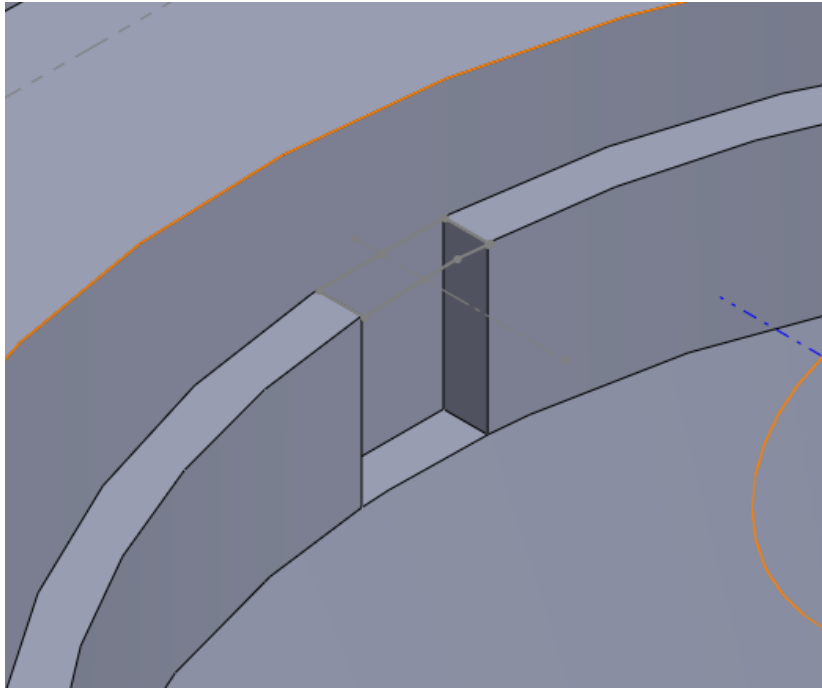
Στο βήμα αυτό με την χρήση της επιλογής extruded cut δημιουργήσουμε την μία εγκοπή με βάθος 7.5 mm όπως μας δίνεται από τον κατασκευαστή του συλλέκτη



Σχήμα 4.19: Χρήση της επιλογής Cut-Extrude και καθορισμός των παραμέτρων



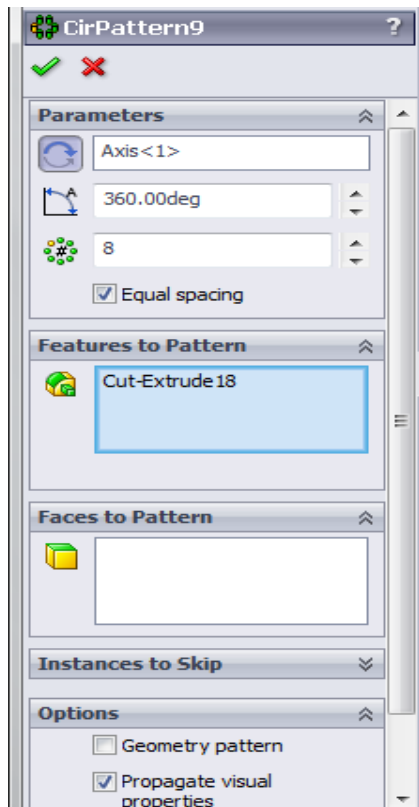
Σχήμα 4.20: Η δημιουργία της εγκοπής



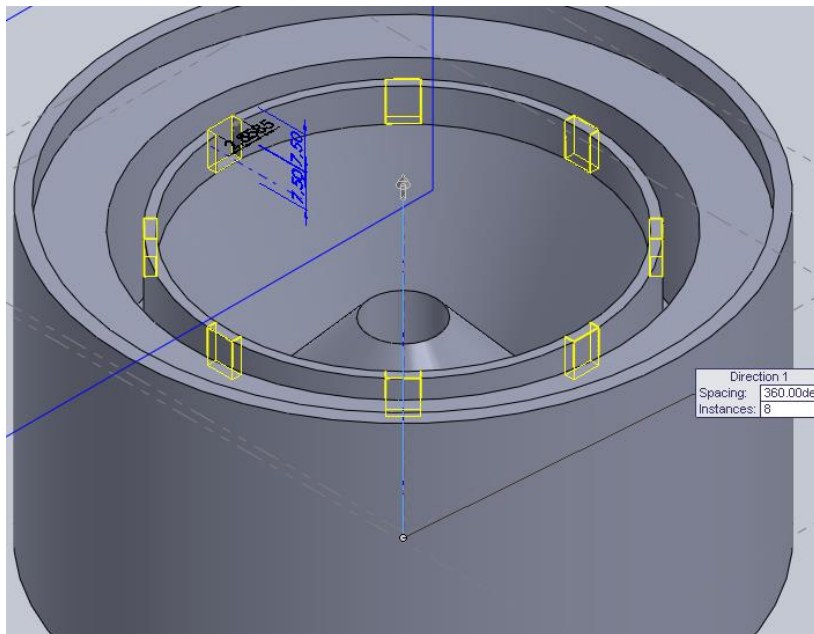
Σχήμα 4.21: Το τεμάχιο μετά το τέλος του 6^{ου} βήματος

4.3.1.7 ΒΗΜΑ 7^ο

Έως τώρα έχουμε σχεδιάσει την μία εγκοπή του δέκτη, αλλά από τον κατασκευαστή του γνωρίζουμε ότι ο δέκτης έχει 8 εγκοπές. Για τον σχεδιασμό τους θα γίνει χρήση την επιλογής CirPattern που μας επιτρέπει με βάση την μία εγκοπή που έχουμε σχεδιάσει στο προηγούμενο βήμα να έχουμε και τις υπόλοιπες εγκοπές σύμφωνα με το σχήμα 4.23.

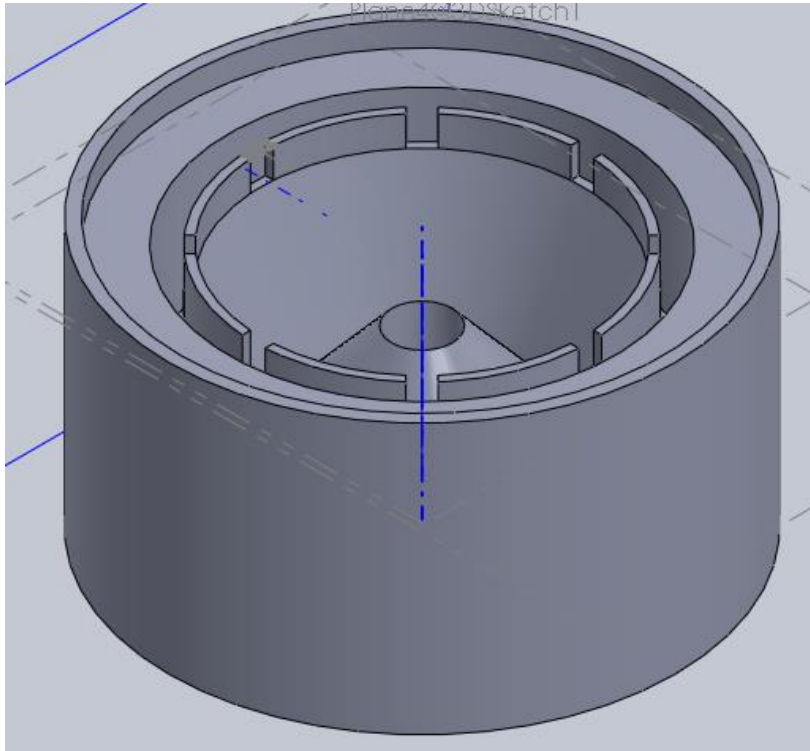


Σχήμα 4.22: Η χρήση της επιλογής CirPattern και ο καθορισμός των παραμέτρων



Σχήμα 4.23: Η δημιουργία των 8 συμμετρικών εγκοπών

Η διαμόρφωση του τεμαχίου μετά το βήμα 7 θα είναι αυτή που δίνεται στο σχήμα 4.24.



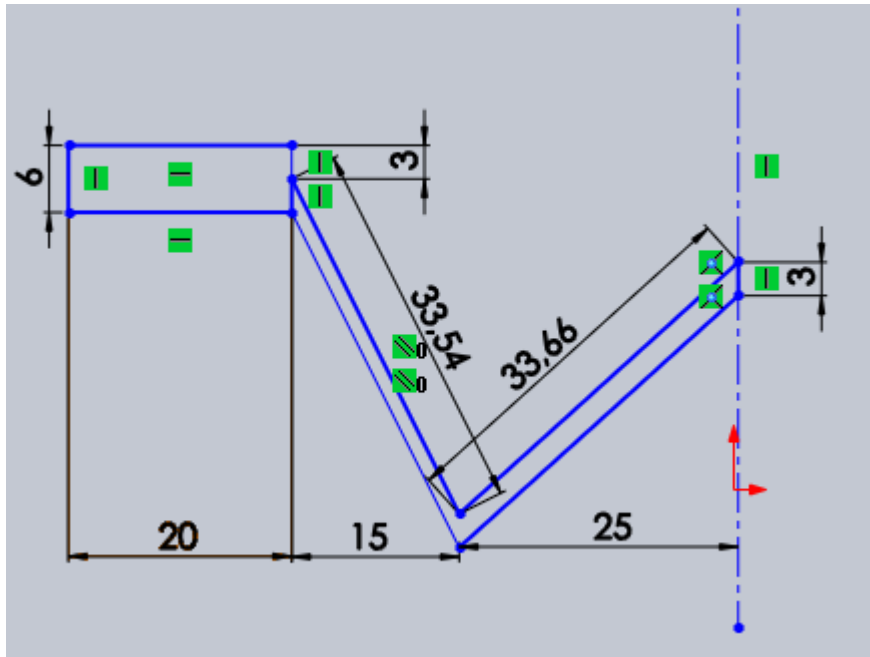
Σχήμα 4.24: Το τεμάχιο μετά το τέλος του 7^{ου} βήματος

4.3.2 ΚΑΠΑΚΙ ΔΕΚΤΗ

Είναι το 2^ο τεμάχιο από το οποίο αποτελείται ο δέκτης είναι το καπάκι στο οποίο προσπίπτει το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Για την δημιουργία του θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

4.3.2.1 ΒΗΜΑ 1^ο

Το καπάκι του δέκτη από τον οποίο εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μέσω των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας θα θερμάνει το νερό του συλλέκτη. Ομοίως με τον σχεδιασμό του κυρίου μέρους του δέκτη, θα σχεδιάσουμε την εσωτερική γεωμετρία (την συμμετρική ως προς αξονική γραμμή).

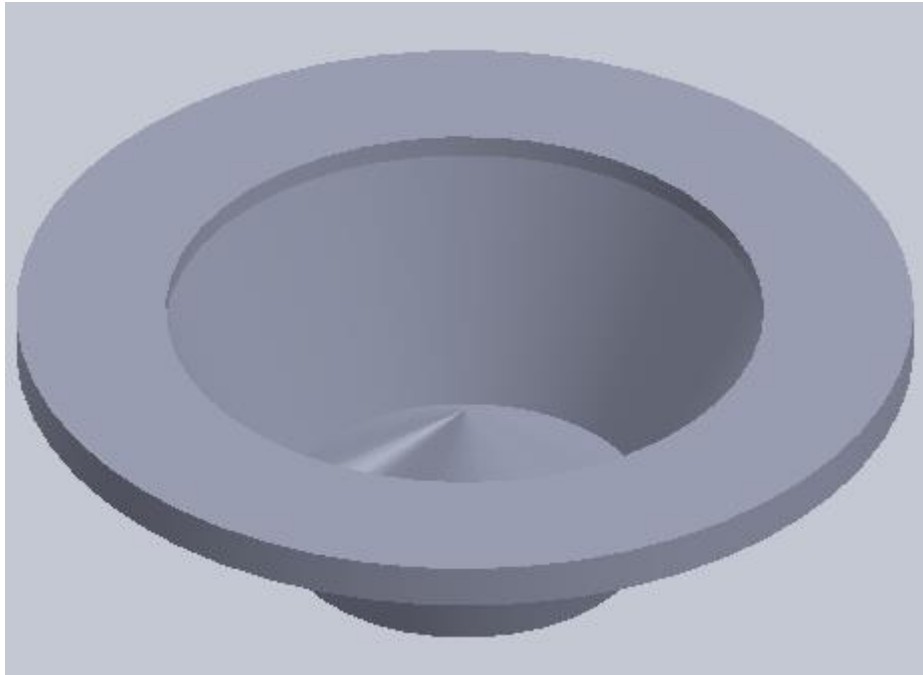


Σχήμα 4.25: Η εσωτερική γεωμετρία του καπακιού του δέκτη (η συμμετρική ως προς τον άξονα συμμετρίας)



Με την χρήση της επιλογής:

θα έχουμε ως τελικό αποτέλεσμα το καπάκι του δέκτη σύμφωνα με το σχήμα 4.25.



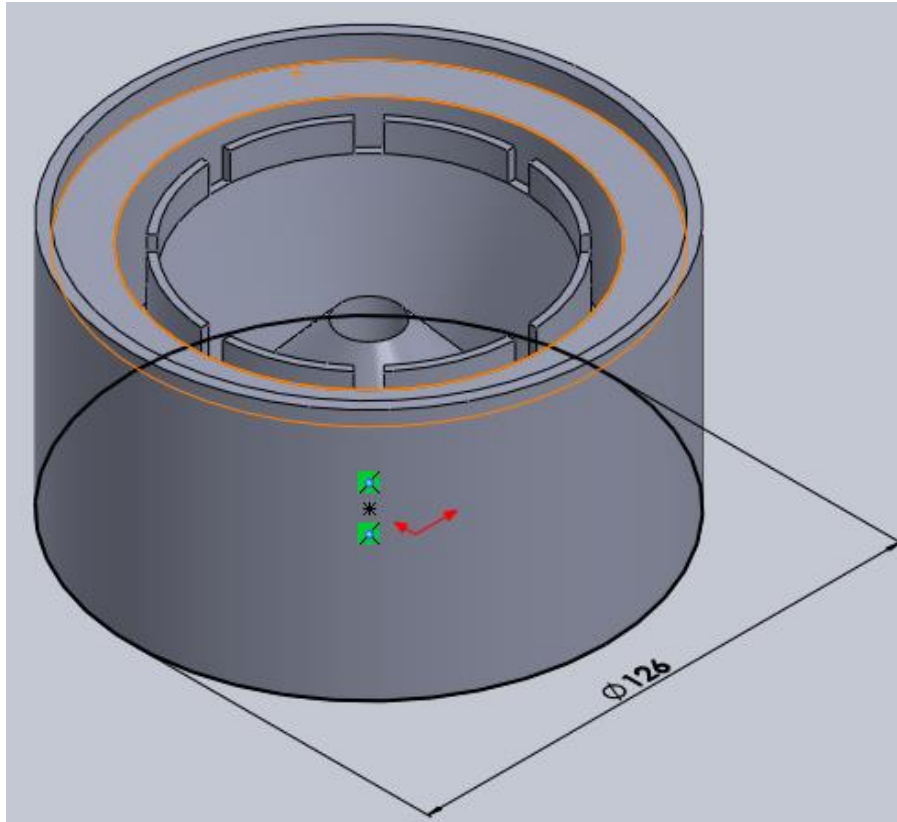
Σχήμα 4.25: Η τελική διαμόρφωση του καπακιού με χρήση της επιλογής **Revolved Boss/Base**

4.3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΕΥΣΤΟΥ (FLUID DOMAIN)

Ο σχεδιασμός του ρευστού που κυκλοφορεί μέσα στον δέκτη είναι απαραίτητος για την υπολογιστική προσομοίωση που θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια με την χρήση του προγράμματος comsol 4.3 multiphysics. Για την προσομοίωση του ρευστού στο solidworks θα το θεωρήσουμε ως ένα part και θα το σχεδιάσουμε σαν να πρόκειται για στερεό. Στην συνέχεια, θα γίνει συναρμολόγηση των τριών parts και θα έχουμε το μοντέλο έτοιμο για εισαγωγή (import) στο πρόγραμμα υπολογιστικής προσομοίωσης. Για τον σχεδιασμό του 3^{ου} part του μοντέλου ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα ομοίως με τα προηγούμενα part:

4.3.3.1 ΒΗΜΑ 1^ο

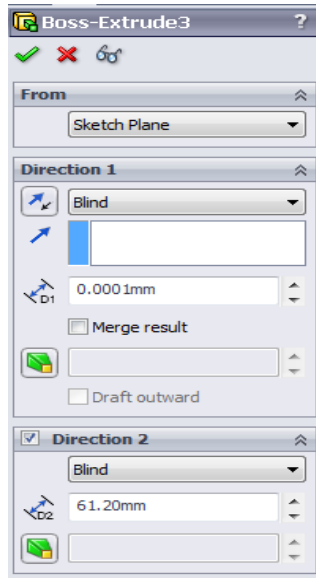
Ανοίγουμε το δέκτη που σχεδιάσαμε στην αρχή και σχεδιάζουμε ένα κύκλο διαμέτρου $D = 126 \text{ mm}$ στην βάση του δέκτη όπως φαίνεται στο σχήμα 4.26.



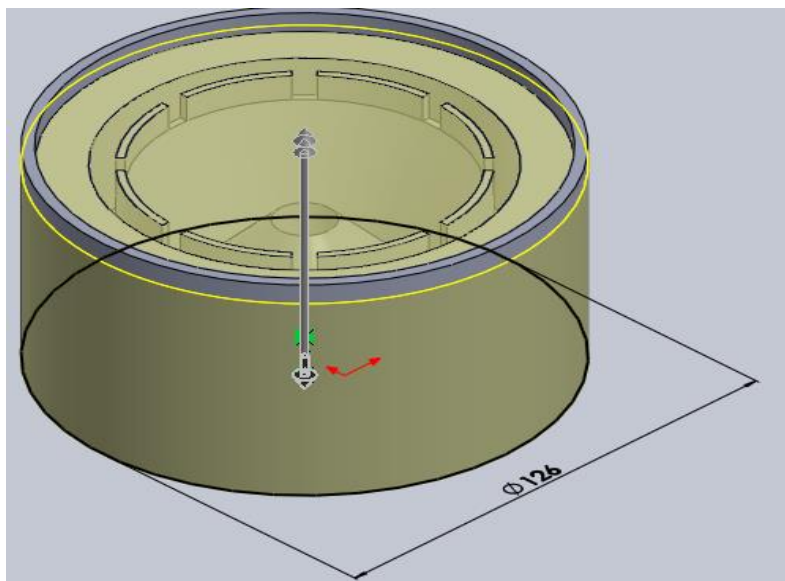
Σχήμα 4.26: Σχεδιασμός ενός κύκλου διαμέτρου 126 mm στην βάση του δέκτη

4.3.3.2 ΒΗΜΑ 2^ο

Στη συνέχεια με την χρήση της επιλογής extruded Boss/Base σύμφωνα με το σχήμα 4.27 σχεδιάζουμε ένα κύλινδρο ύψους $H=61,20$ mm.



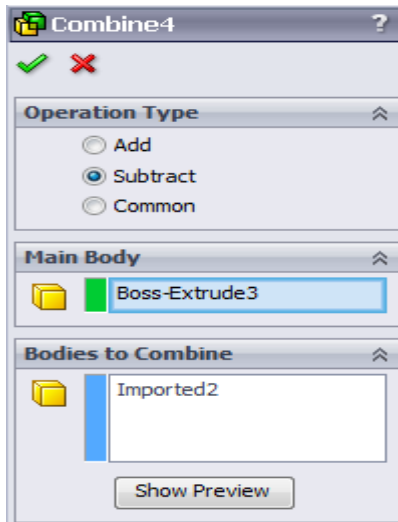
Σχήμα 4.27: Σχεδιασμός κυλίνδρου ύψους $H= 61,20$ mm με χρήση της επιλογής Boss-Extrude



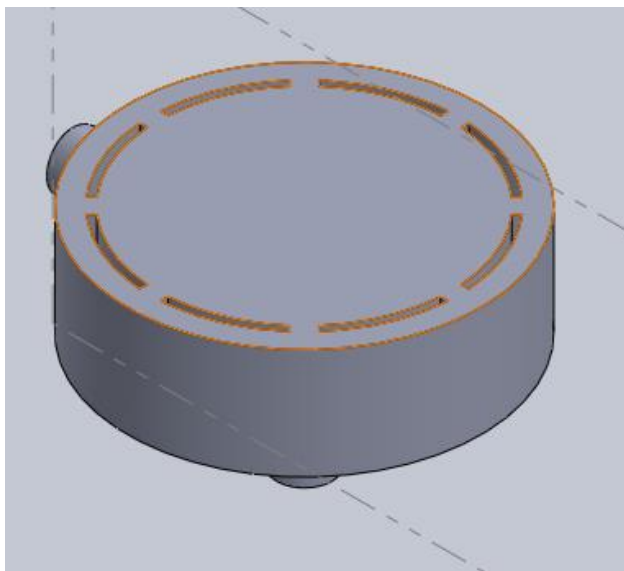
Σχήμα 4.28: Τέλος 2^{ου} βήματος

4.3.3.3 ΒΗΜΑ 3^ο

Στο βήμα αυτό θα γίνει χρήση της επιλογής combine, που μας δίνει την δυνατότητα να αφαιρέσουμε το τμήμα του στερεού που δεν χρειαζόμαστε και να κρατήσουμε το υπόλοιπο. Οπότε μετά το βήμα αυτό θα έχουμε το τεμάχιο του σχήματος 4.30.



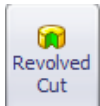
Σχήμα 4.29: Η χρήση της επιλογής Combine και ο καθορισμός των παραμέτρων



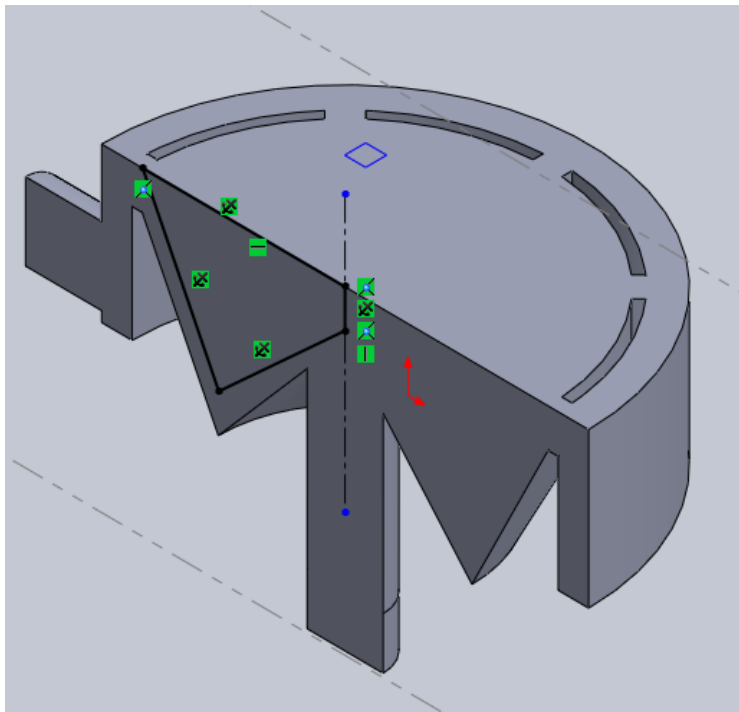
Σχήμα 4.30: Τεμάχιο μετά το τέλος του 3^{ου} βήματος

4.3.3.4 ΒΗΜΑ 4^ο

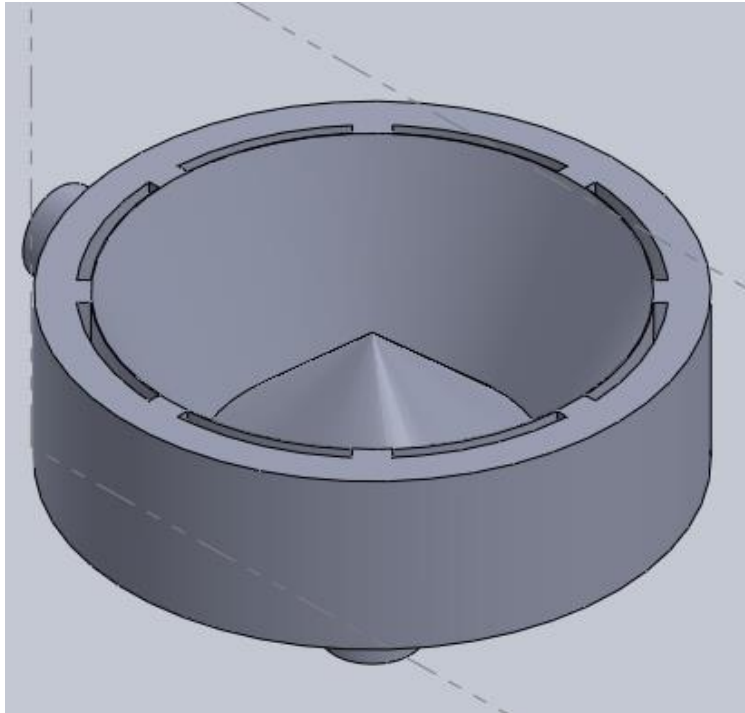
Τέλος, στο βήμα αυτό θα γίνει η τελική διαμόρφωση του ρευστού. Αρχικά θα δημιουργήσουμε το επίπεδο συμμετρίας του τεμαχίου στο οποίο θα σχεδιάσουμε την επιφάνεια την οποία με την επιλογή:



θα χρησιμοποιήσουμε για την διαμόρφωση του τεμαχίου όπως αυτό δίνεται από το σχήμα 4.31.



Σχήμα 4.31: Σχεδιασμός της γεωμετρίας στην οποία θέλουμε να κόψουμε το τεμάχιο



Σχήμα 4.32: Η τελική διαμόρφωση του fluid domain

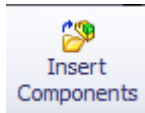
4.3.4 ΣΥΝΑΡΜΟΛΛΟΓΗΜΕΝΟ

Αφού πλέον έχουμε σχεδιάσει τα τρία parts του μοντέλου μας θα πρέπει να δημιουργήσουμε τον συναρμολογημένο τεμάχιο αποτελούμενο από το κύριο μέρος του δέκτη, το καπάκι και το ρευστό (fluid domain). Οπότε θα κάνουμε χρήση της επιλογής:



a 3D arrangement of parts and/or other assemblies

και στην συνέχεια θα εισάγουμε τα τρία parts με την χρήση της επιλογής :

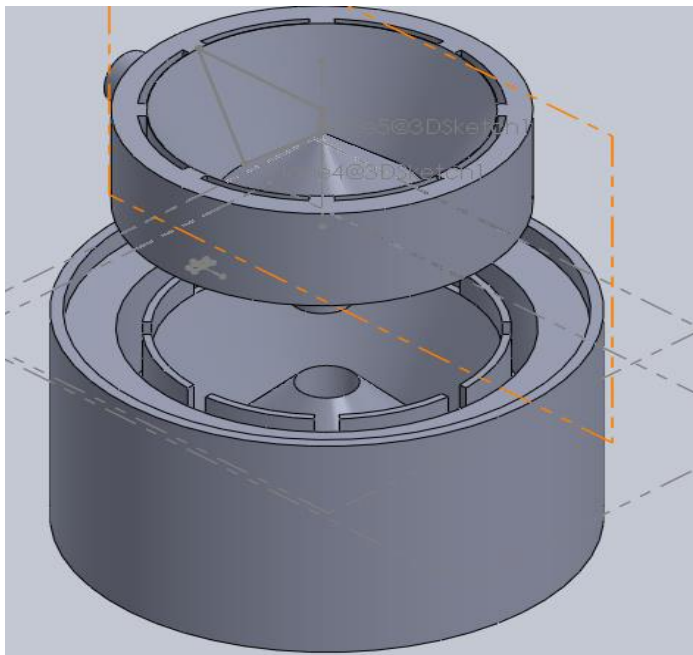


Σχήμα 4.33: Εισαγωγή των τριών parts που θέλουμε να συναρμολογήσουμε

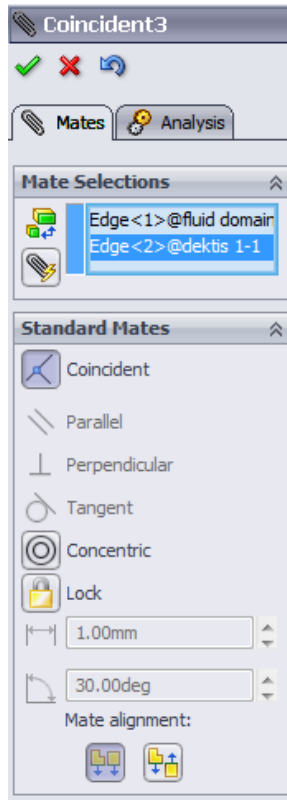
Η συναρμολόγηση των τεμαχίων θα γίνει με την επιλογή:



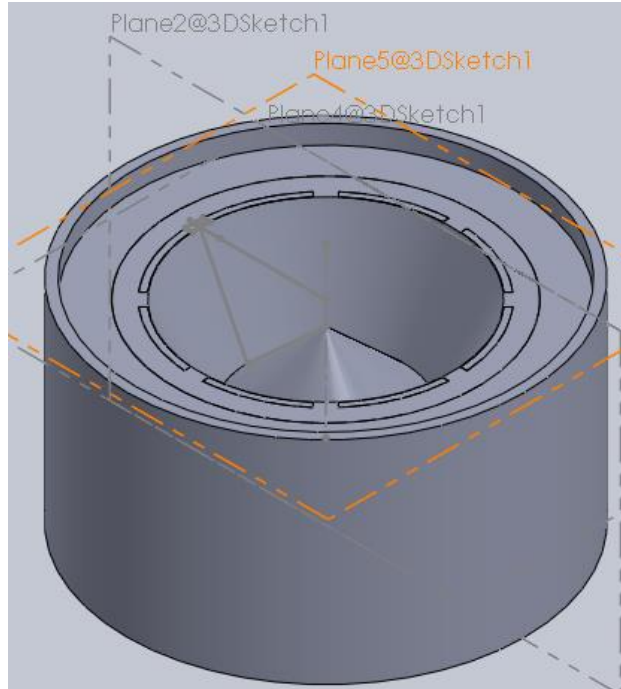
Αρχικά εισάγουμε τον δέκτη και το ρευστό και με την χρήση της επιλογής Coincident (Σχήμα 4.35) επιλέγουμε δύο ακμές από τα τεμάχια που εφαρμόζουν μεταξύ τους και έτσι έχουμε ως αποτέλεσμα το σχήμα 4.36. Στην συνέχεια εισάγουμε και το καπάκι του δέκτη και με την χρήση και πάλι της επιλογής Coincident (Σχήμα 4.38) επιλέγοντας δύο ακμές που εφαρμόζουν μεταξύ τους προκύπτει το μοντέλο μας πλήρως συναρμολογημένο. Το μοντέλο στην τελική μορφή του παρουσιάζεται στο σχήμα 4.39 σε τομή στο επίπεδο συμμετρίας έτσι ώστε να είναι εμφανής η εσωτερική γεωμετρία του.



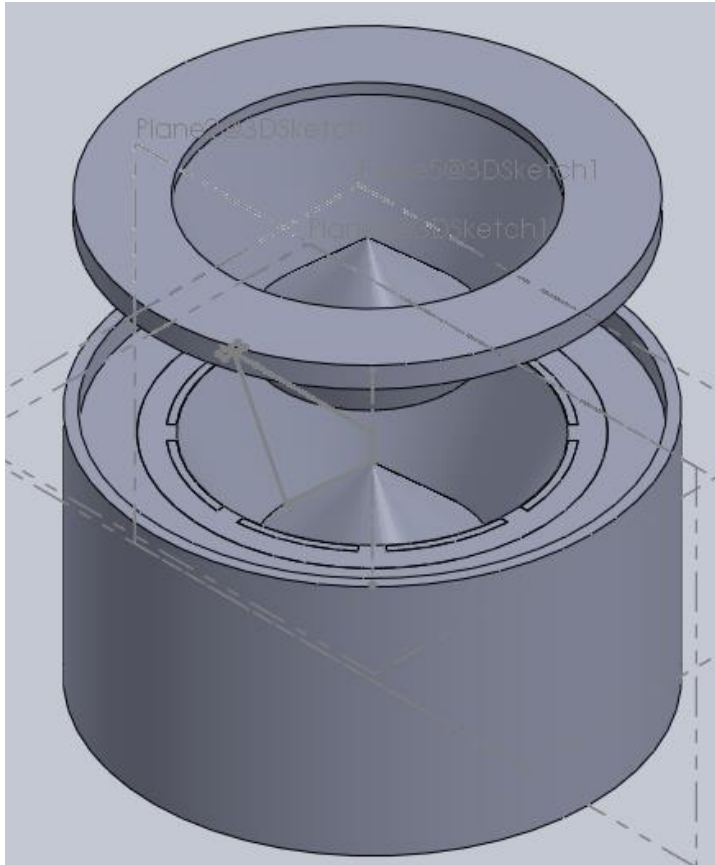
Σχήμα 4.34: Συναρμολόγηση δύο τεμαχίων του κύριου μέρους του δέκτη και του ρευστού



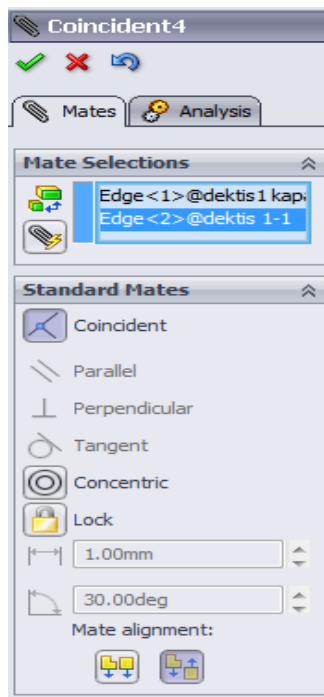
Σχήμα 4.35: Η χρήση της επιλογής Coincident και ο καθορισμός των παραμέτρων



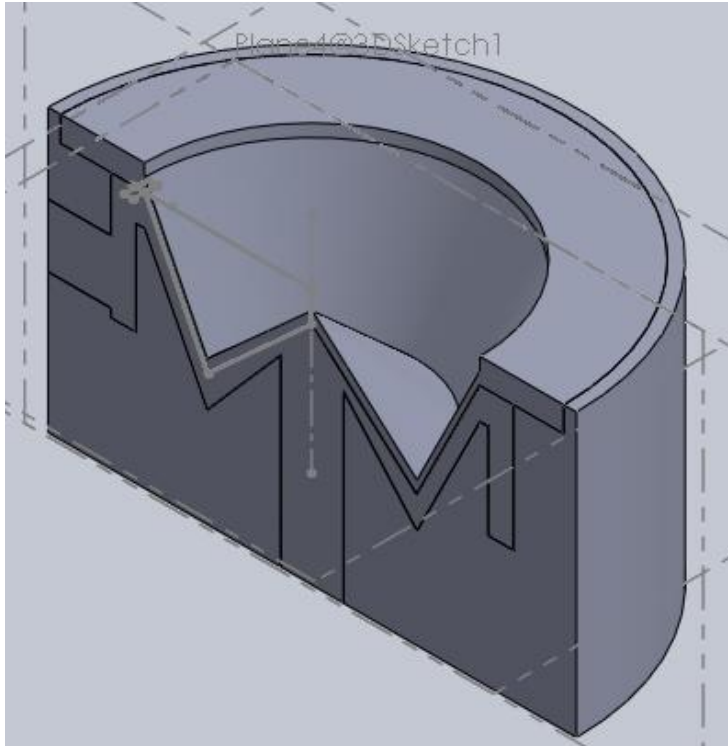
Σχήμα 4.36: Η ένωση των δύο τεμαχίων



Σχήμα 4.37: Εισαγωγή του καπακιού του δέκτη



Σχήμα 4.38: Η χρήση της επιλογής Coincident



Σχήμα 4.39: Η τομή στο επίπεδο συμμετρίας των τριών τεμαχίων

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ COMSOL MULTIPHYSICS

Για την υπολογιστική προσομοίωση της μεταφοράς θερμότητας από τον δέκτη του ηλιακού συλλέκτη στο νερό θα γίνει χρήση του προγράμματος Comsol multiphysics 4.3.



Σχήμα 5.1: Λογισμικό πακέτο Comsol Multiphysics 4.3

Με το λογισμικό αυτό μπορούμε να προσομοιώσουμε και να μοντελοποιήσουμε οποιοδήποτε σύστημα βασισμένο στη φυσική. Χρησιμοποιείται για την επίλυση φαινομένων μεταφοράς και χημικών αντιδράσεων, όπως επίσης και στην σύζευξη φαινομένων μεταφοράς μάζας, ορμής και ενέργειας επιλύοντας τις εξισώσεις Navier-Stokes. Επίσης, παρέχει εξειδικευμένη ανάλυση για την μετάδοση θερμότητας με αγωγή, με συναγωγή και ακτινοβολία. Περιλαμβάνονται εξισώσεις για μη ισοθερμική ροή, φαινόμενα μεταφοράς σε λεπτά στρώματα και κελύφη. Χρησιμοποιείται και στην ανάλυση ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων, στην προσομοίωση πεδίων εντάσεων και κυμάτων. Τέλος, χρησιμοποιείται σε προβλήματα στατικής και δυναμικής των κατασκευών και ακουστικής, προβλήματα χημικού μηχανικού αλλά και σύνθετα προβλήματα αλληλεπίδρασης ρευστών με κατασκευές ακόμα και σε τάξης μέγεθος νανόμετρων.

5.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο μοντέλο στο οποίο θα γίνει η προσομοίωση με Comsol είναι ένας δέκτης ηλιακής ακτινοβολίας προσαρμοσμένος στο εσωτερικό του συλλέκτη σε απόσταση

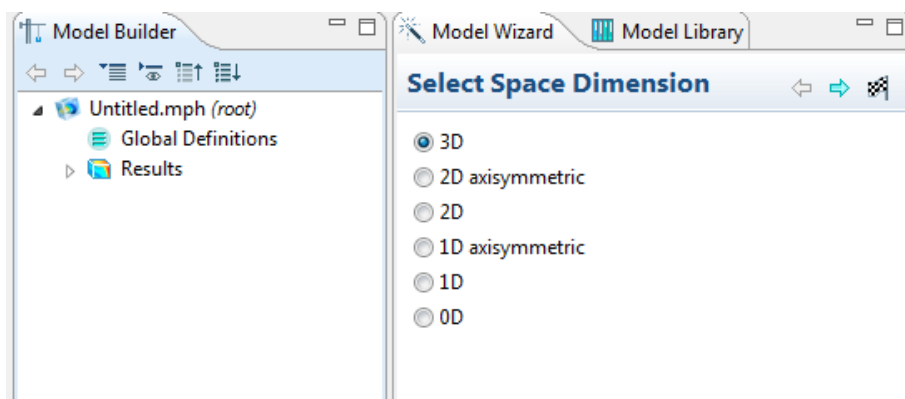
1,3 m από τον φακό Fresnel όσο δηλαδή το εστιακό μήκος που δίνεται από τον κατασκευαστή του φακού. Το ρευστό εισέρχεται από την οπή εισόδου στον δέκτη, με την βοήθεια ενός κυκλοφορητή ο οποίος αντλεί το ρευστό από την δεξαμενή αποθήκευσης του ρευστού όπως δηλαδή στους επίπεδους συλλέκτες. Η είσοδος του ρευστού γίνεται με πίεση περίπου 1,5 bar. Το ρευστό κινείται μεταξύ της κενής επιφάνειας που δημιουργούν τα δύο συναρμολογημένα τεμάχια: το κύριο μέρος του δέκτη και το καπάκι όπως φαίνεται και στο **σχήμα 4.39** στην τομή στο επίπεδο συμμετρίας των τριών τεμαχίων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα αυτό το ρευστό έρχεται σε επαφή με τα λεπτά τοιχώματα του καπακιού και έχουμε μεταφορά θερμότητας με αγωγή στο ρευστό. Τα υλικά που χρησιμοποίησε ο κατασκευαστής για τον δέκτη δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

Κύριο μέρος δέκτη	Polytetrafluoroethylene (PTFE)
Καπάκι δέκτη	Copper
Ρευστό	Water (liquid)

Πίνακας 3: Υλικά κατασκευής κάθε τεμαχίου του μοντέλου

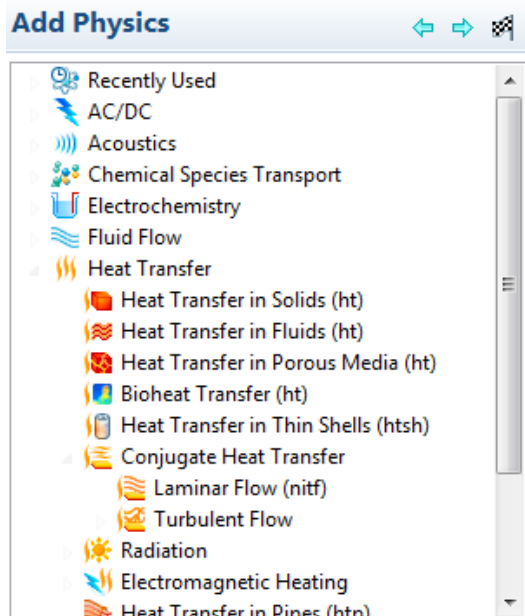
5.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Για την δημιουργία νέου μοντέλου θα ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία:




Σχήμα 5.2: Καθορισμός των διαστάσεων του μοντέλου

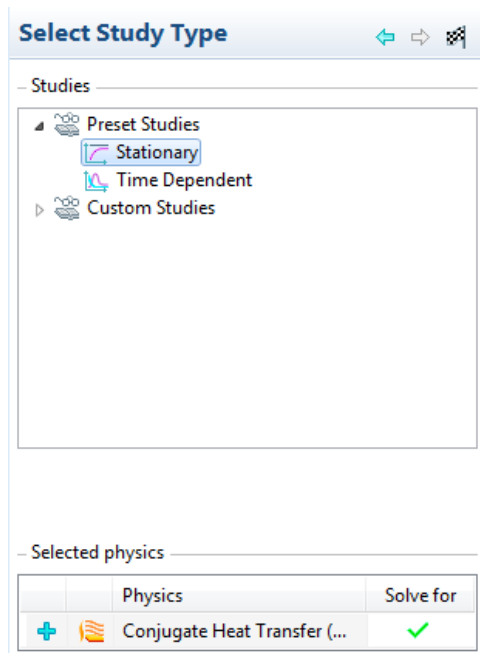
Επειδή έχουμε τρισδιάστατο μοντέλο θα επιλέγουμε 3D και στην συνέχεια το δεξί βέλος για να προσθέσουμε φυσικομαθηματικό μοντέλο με το οποίο περιγράφεται το φυσικό φαινόμενο.



Σχήμα 5.3: Επιλογή του φυσικομαθηματικού μοντέλου που περιγράφει το φαινόμενο

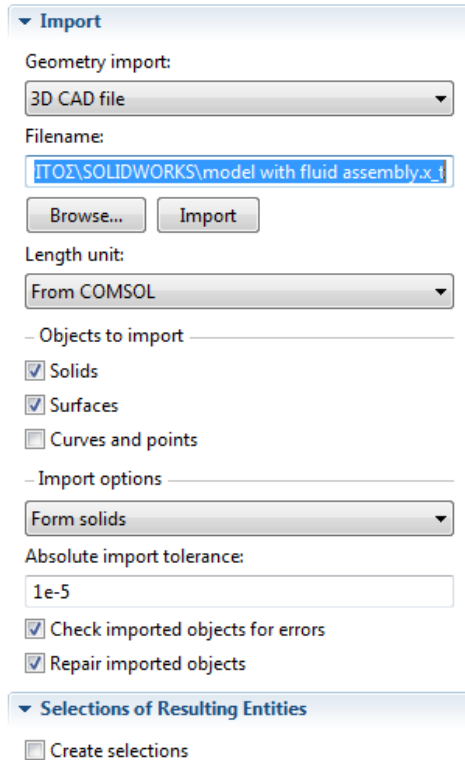
Στην δικιά μας περίπτωση έχουμε σύζευξη στρωτής ροής ρευστού με μεταφορά θερμότητας από στερεό στο ρευστό και αντίστροφα (Conjugate Heat Transfer→Laminar flow (nitf)). Η επιλογή της στρωτής ροής (laminar flow) δεν είναι τυχαία αλλά ύστερα από υπολογισμούς που θα γίνουν παρακάτω αποδεικνύεται ότι η ροή μέσα στον δέκτη είναι στρωτή.

Στην συνέχεια, επιλέγουμε επίλυση του φαινομένου στην μόνιμη κατάσταση, δηλαδή ανεξάρτητα του χρόνου (stationary) όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4. Τέλος, επιλέγουμε () και έχουμε έτοιμο το μοντέλο προς επεξεργασία.



Σχήμα 5.4: Καθορισμός της μόνιμης κατάστασης

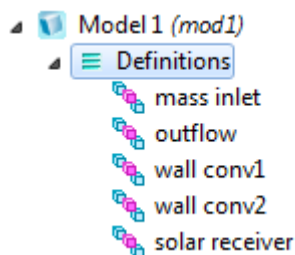
Αφού έχουμε έτοιμο το μοντέλο στην συνέχεια πρέπει να κάνουμε εισαγωγή της γεωμετρίας (**import**) η οποία έχει διαμορφωθεί όπως έχει προαναφερθεί στο solidworks. Για τη εισαγωγή στο Comsol η γεωμετρία θα πρέπει είναι αποθηκευμένη στην μορφή parasolid (.x_t).



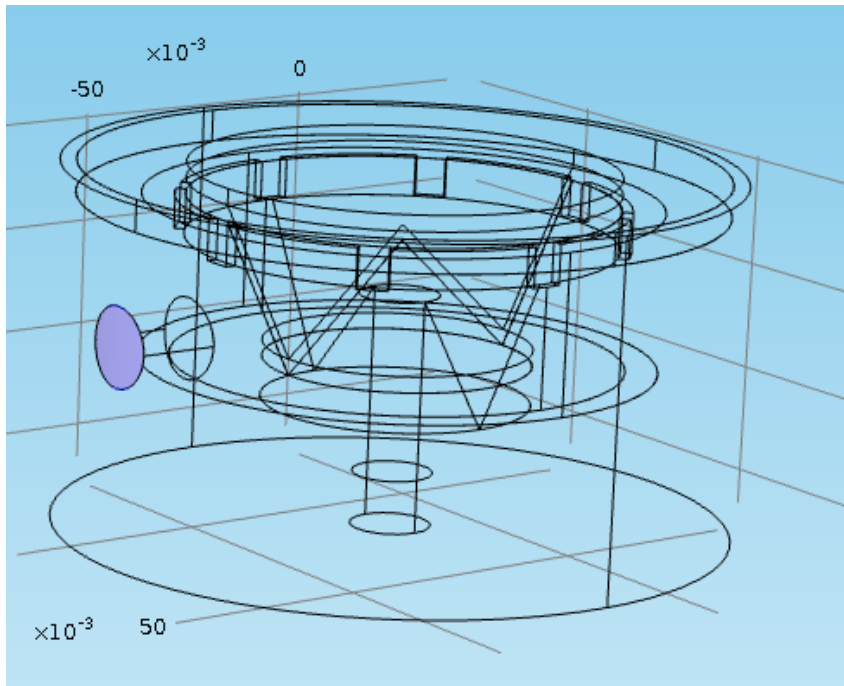
Σχήμα 5.5: Εισαγωγή της γεωμετρίας μας σε μορφή parasolid στο comsol

5.2.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

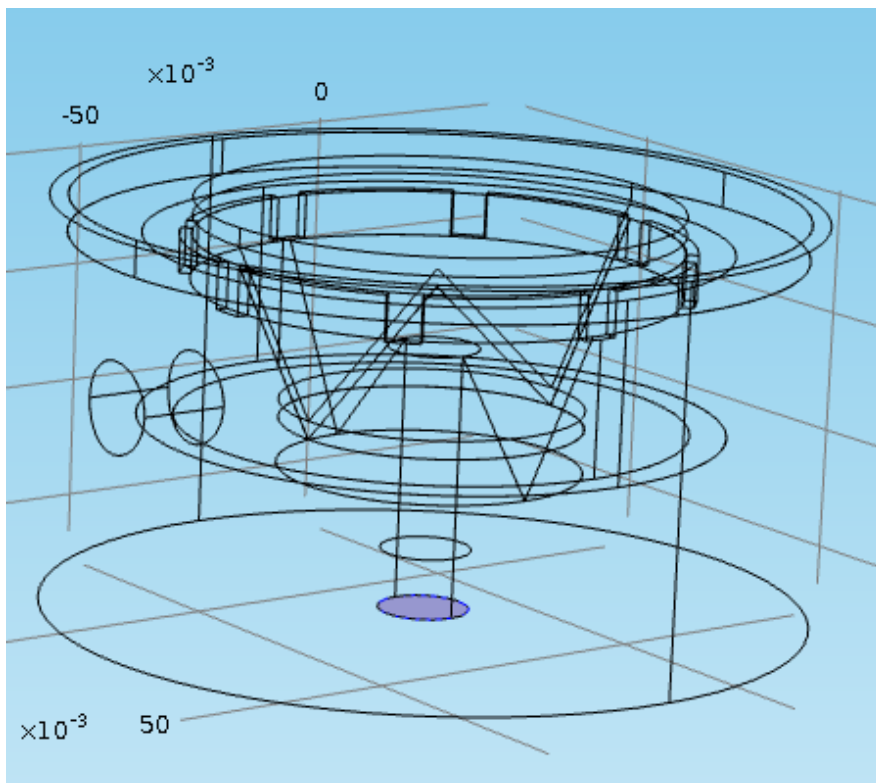
Στη συνέχεια θα πρέπει να καθορίσουμε τις επιφάνειες στις οποίες θα έχουμε οριακές συνθήκες και να τις ονομάσουμε ανάλογα με το τι εκφράζουν. Για τον καθορισμό των επιφανειών ακολουθούμε την εξής διαδικασία : κάνουμε δεξί κλικ στην επιλογή **Definitions**→ **Selections**→ **Explicit**. Η επιλογή των επιφανειών στις οποίες θα έχουμε οριακές συνθήκες δίνονται αναλυτικά στα σχήματα 5.7-5.11.



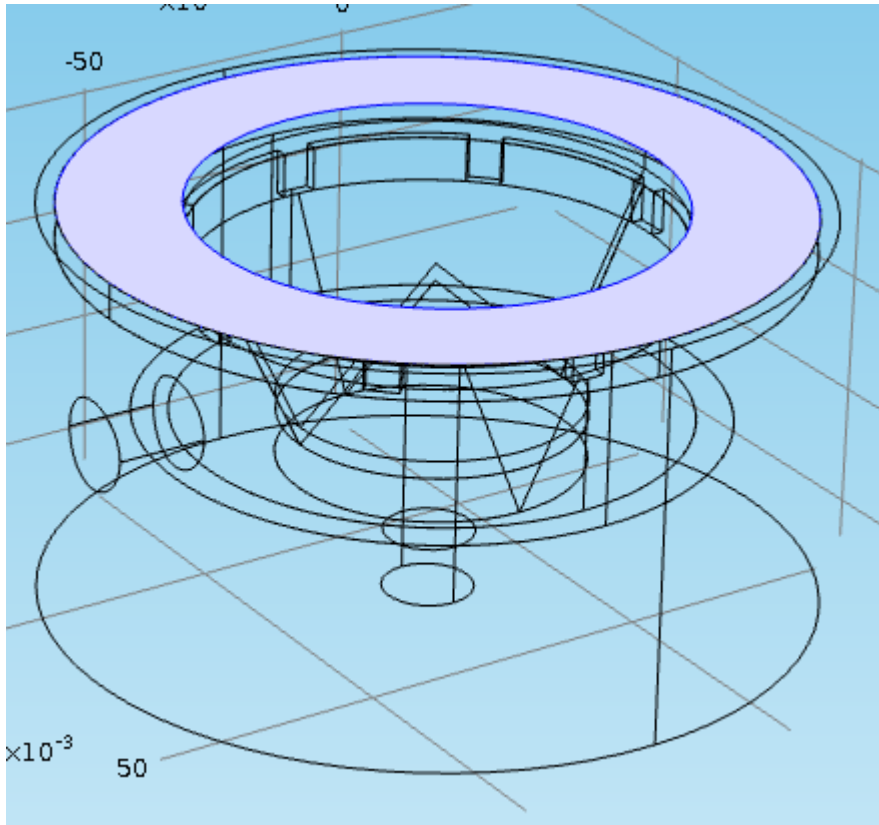
Σχήμα 5.6: Οι επιφάνειες στις οποίες έχουμε οριακές συνθήκες



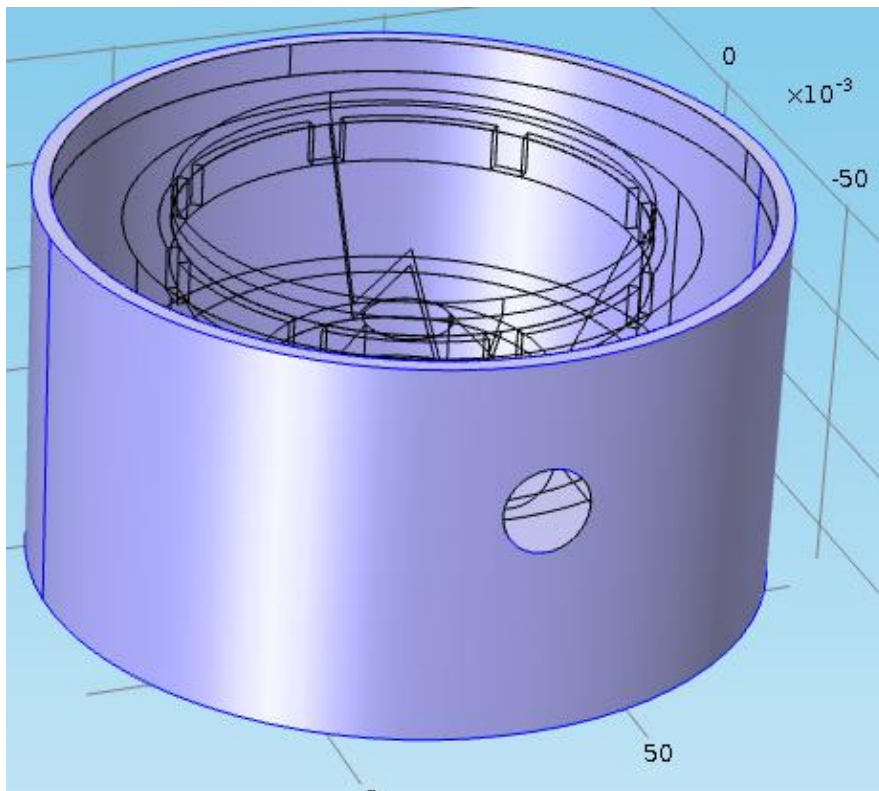
Σχήμα 5.7: Διατομή εισόδου του ρευστού στον δέκτη (mass inlet)



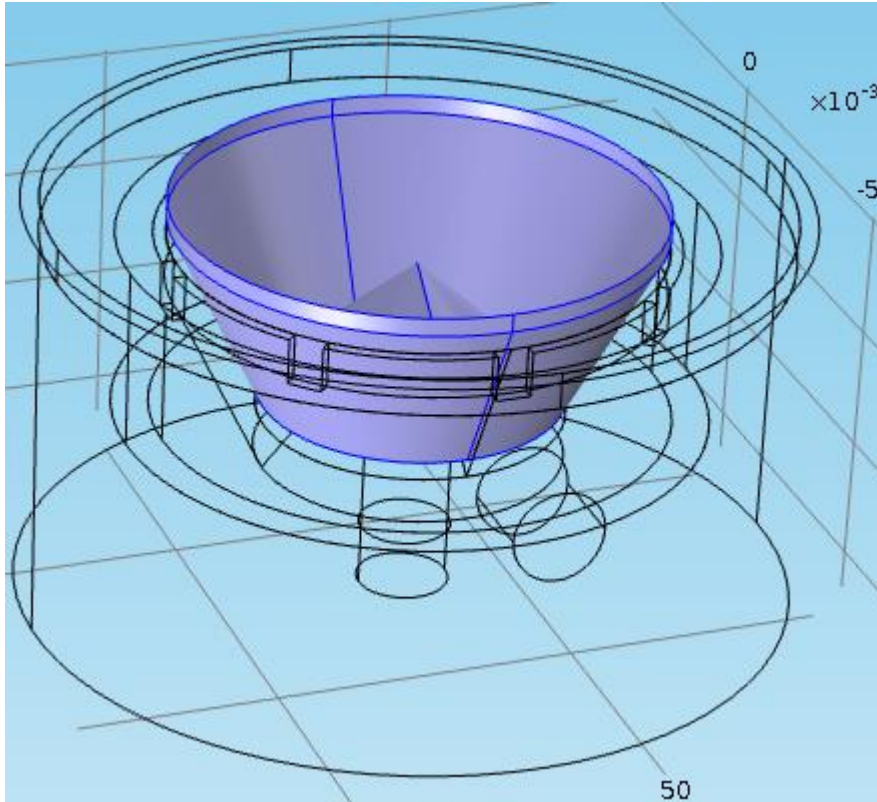
Σχήμα 5.8: Διατομή εξόδου του ρευστού από τον δέκτη(outlet)



Σχήμα 5.9: Επιφάνεια ελεύθερης συναγωγής με αέρα (wall conν1)




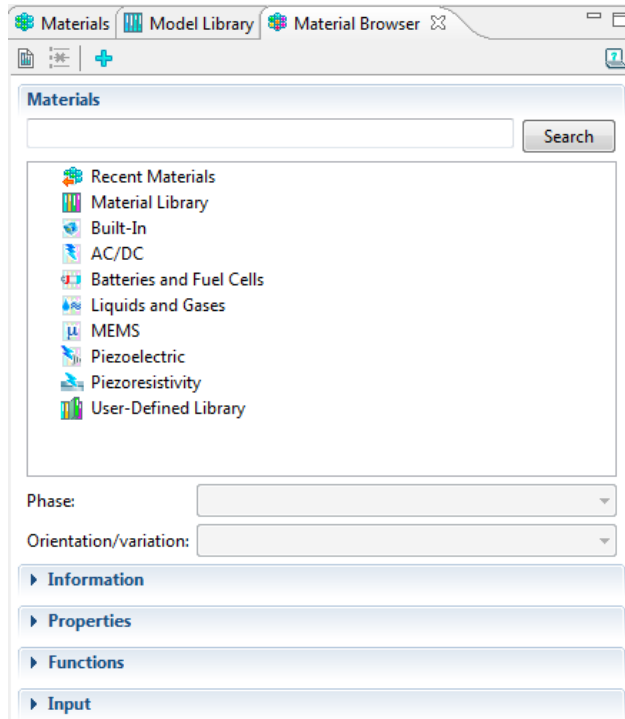
Σχήμα 5.10: Επιφάνεια ελεύθερης συναγωγής με αέρα (wall conν2)



Σχήμα 5.11: Επιφάνεια στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία (solar receiver) με εμβαδόν $A=0,012 \text{ m}^2$

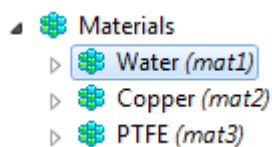
5.2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην συνέχεια θα πρέπει να καθορίσουμε κάθε domain(τεμάχιο) του μοντέλου μας από ποιο υλικό αντιπροσωπεύεται. Ένα μεγάλο μέρος των στερεών και ρευστών που υπάρχουν, καθώς και ένα μεγάλο μέρος των φυσικών και θερμικών ιδιοτήτων τους βρίσκονται αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων του Comsol. Η προσθήκη των υλικών γίνεται με χρήση της επιλογής: **Material Browser**→ **επιλογή υλικού** → 



Σχήμα 5.12: Τα υλικά τα οποία μας παρέχονται από την βάση δεδομένων του comsol

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 επιλέγουμε τα υλικά και καθορίζουμε κάθε υλικό ποιό domain αντιπροσωπεύει οπότε προκύπτει:



Σχήμα 4.13: Καθορισμός των υλικών των τριών domains

Επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε τις παραμέτρους του προβλήματος όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.14.

Name	Expression	Value	Description
po	1[atm]	1.0133E5 Pa	pressure
ho	20[W/K*m^2]	20.000 m ⁴ .kg...	heat transfer coefficient
flux	127937[W/m^2]	1.2794E5 W/...	solar heat flux
Tamb	28[degC]	301.15 K	ambient Temperature
g	9.81[m/s^2]	9.8100 m/s ²	acceleration of gravity
Tin	20[degC]	293.15 K	fluid inlet Temperature
vel	0.15[m/s]	0.15000 m/s	inlet velocity

Σχήμα 5.14: Ο καθορισμός των παραμέτρων του προβλήματος

όπου

po: η ατμοσφαιρική πίεση

ho: η ειδική συναγωγιμότητα του ακίνητου αέρα (ελεύθερη συναγωγή)

flux: η σταθερή θερμορροή με την οποία θα προσομοιώσουμε την ηλιακή ακτινοβολία για μια μέση ετήσια τιμή

Tamb: θερμοκρασία περιβάλλοντος

g: επιτάχυνση της βαρύτητας

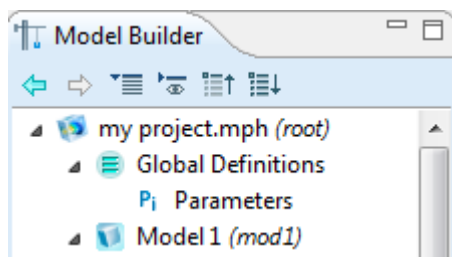
Tin: θερμοκρασία εισόδου του ρευστού

Vel: ταχύτητα εισόδου της ροής στον δέκτη

Τις τιμές των παραμέτρων, μπορούμε να τις μεταβάλουμε ανάλογα με τις διαφορετικές περιπτώσεις που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Εδώ έχουμε κάποιες ενδεικτικές τιμές όπου στο κεφάλαιο 6 θα μεταβληθούν ανάλογα με τις συνθήκες του προβλήματος.

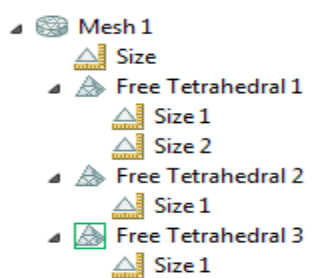
5.2.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Το επόμενο βήμα για την προετοιμασία του μοντέλου είναι η δημιουργία πλέγματος. Για την προσθήκη του πλέγματος με δεξί κλικ στην επιλογή **Model 1 (mod1)**→**Mesh**.



Σχήμα 5.15: Η δημιουργία του μοντέλου το οποίο θα επιλυθεί από το comsol

Για δημιουργήσουμε πλέγμα χωρίς σφάλματα θα πρέπει, για κάθε ένα από τα 3 domain του μοντέλου μας να δημιουργήσουμε ξεχωριστό πλέγμα και επιλέξουμε την πυκνότητα που θέλουμε με την επιλογή **Size**.



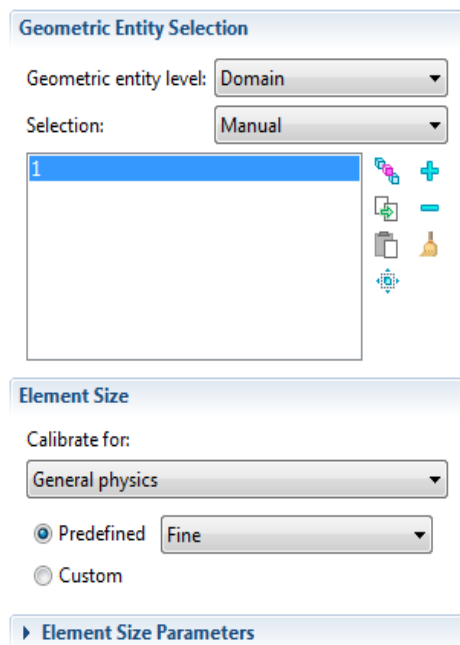
Σχήμα 5.16: Το είδος του πλέγματος για το κάθε domain

Θα εξετάσουμε την δημιουργία πλέγματος για το ένα domain και όμοια γίνονται και τα υπόλοιπα 2 domains. Επιλέγουμε την δημιουργία πλέγματος της μορφής **Free Tetrahedral** που χρησιμοποιείται για τρισδιάστατα μοντέλα όπως στην περίπτωση μας. Προφανώς υπάρχουν και άλλες επιλογές για την δημιουργία πλέγματος σε τρισδιάστατα μοντέλα αλλά επέλεξα την πιο εύκολα κατανοητή. Επιλέγουμε το **Size1** και στην επιλογή **Selection** πρέπει να υπάρχει μόνο ο αριθμός 1 που

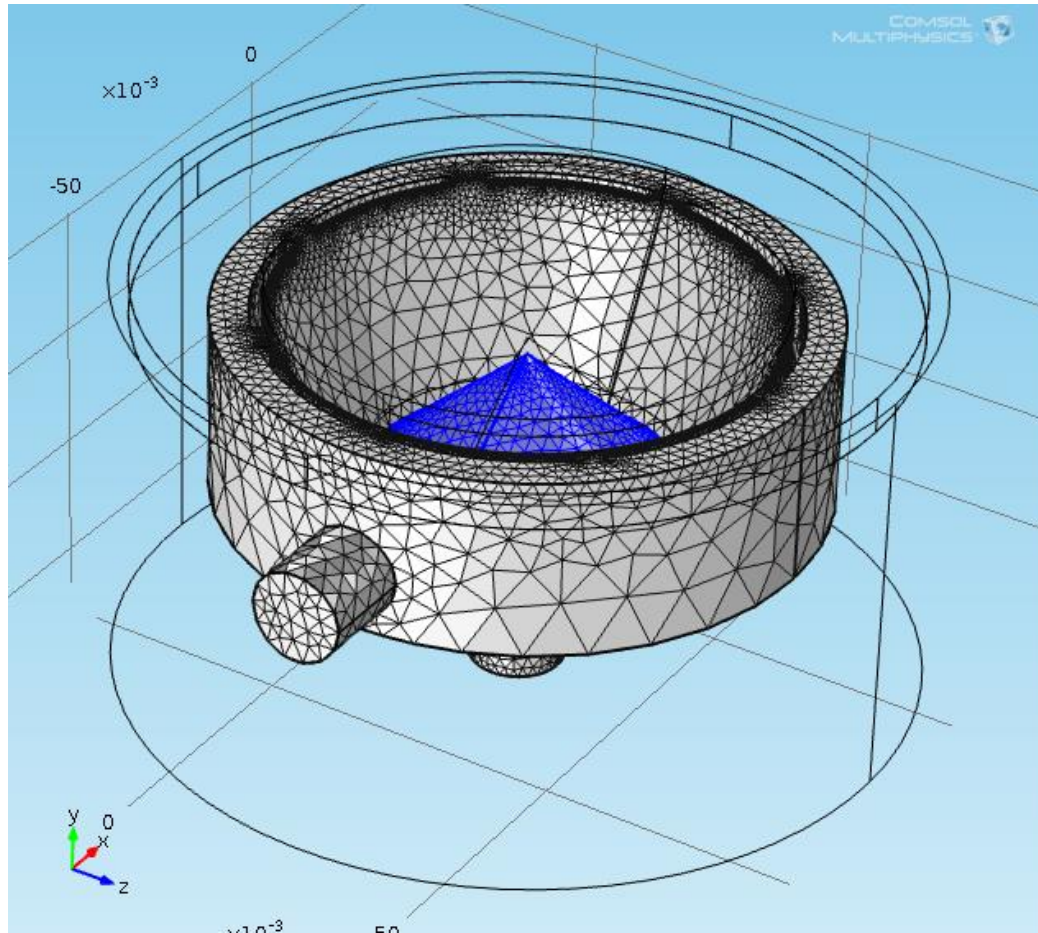
συμβολίζει το fluid domain (ρευστό). Το μέγεθος του πλέγματος επιλέγουμε να είναι **Fine**. Άλλες επιλογές που έχουμε ως προς την πυκνότητα του πλέγματος είναι από το πιο πυκνό στο πιο αραιό οι ακόλουθες: extremely fine, extra fine, finer, normal, coarse, coarser, extra coarse, extremely coarse. Επίσης, μπορούμε να καθορίσουμε εμείς την πυκνότητα του πλέγματος με την επιλογή **Custom**. Έτσι το πλέγμα στο domain 1 έχει την μορφή του σχήματος 5.18. Παρόμοια διαδικασία ακολουθούμε και για τα:

domain 2 → κύριο μέρος του δέκτη.

domain 3 → καπάκι του δέκτη.

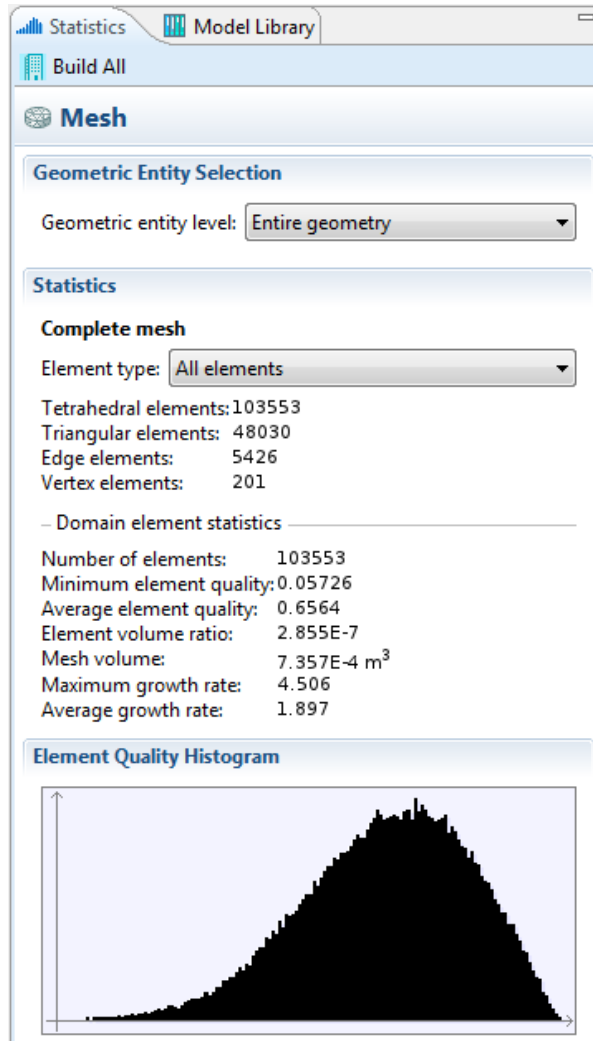


Σχήμα 5.17: Καθορισμός της πυκνότητας του πλέγματος



Σχήμα 5.18: Το πλέγμα στο ρευστό

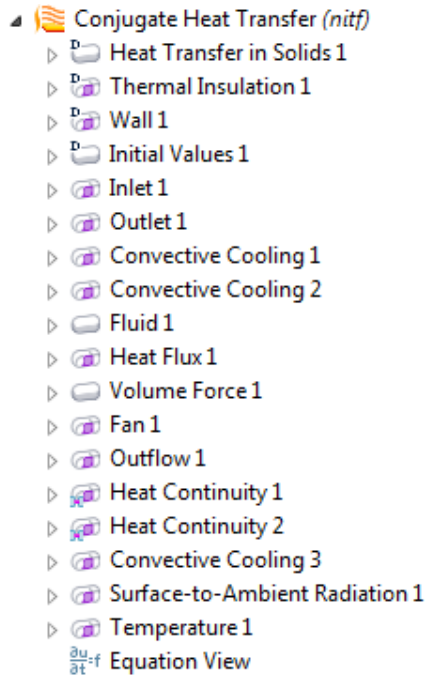
Τα στατιστικά στοιχεία του πλέγματος για όλα τα domains δίνονται στο σχήμα 5.19.



Σχήμα 5.19: Στατιστικά στοιχεία του πλέγματος

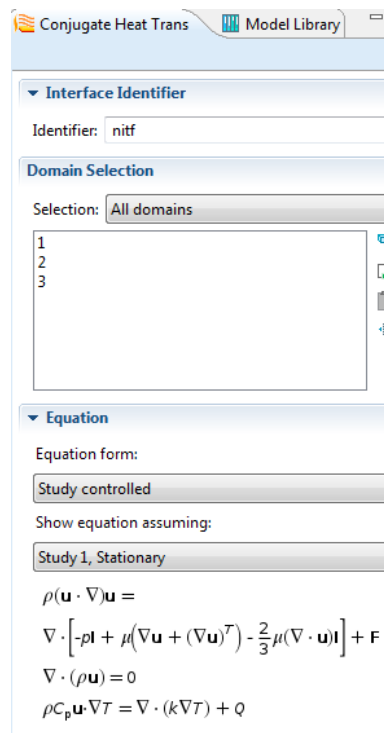
5.2.5 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Στο τελευταίο στάδιο της προετοιμασίας του μοντέλου έχουμε τον καθορισμό των οριακών συνθηκών, την αντιστοίχιση των domains με το ποιό είναι το στερεό και ποιό το ρευστό.



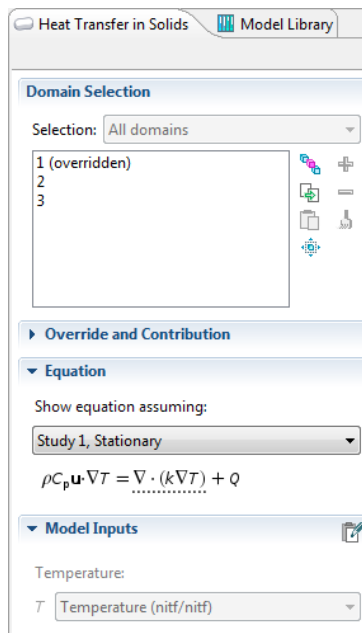
Σχήμα 5.20: Οι οριακές συνθήκες που επιβάλλουμε στο μοντέλο μας

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.21 οι εξισώσεις Navier-Stokes θα επιλυθούν και για τα 3 domains.



Σχήμα 5.22: Καθορισμός των domain στα οποία θα επιλυθούν οι εξισώσεις

Στην συνέχεια καθορίζουμε ποια domain του μοντέλου μας θα θεωρηθούν ως στερεά, δηλαδή όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.23 τα domains 2,3. Η εξίσωση που περιγράφει την μεταφορά θερμότητας στα στερεά δίνεται στο σχήμα 5.23.



Σχήμα 5.23: Καθορισμός των στερεών

Για να έχουμε στρωτή ροή στην είσοδο του δέκτη θα πρέπει ο αριθμός Reynolds να είναι μικρότερος ή ίσος του 2300.

Η είσοδος του ρευστού (inlet) γίνεται με την επιλογή: **laminar flow** → **inlet** σύμφωνα με το σχήμα 5.24.

Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να δικαιολογήσουμε την επιλογή της στρωτής ροής στο μοντέλο μας. Για να επιλέξουμε ανάμεσα στην τυρβώδη και στην στρωτή ροή θα πρέπει να υπολογίσουμε τον αριθμό Reynolds, στην διατομή εισόδου του δέκτη, ο οποίος δίνεται από τον τύπο: $Re = \frac{u \cdot D}{\nu}$

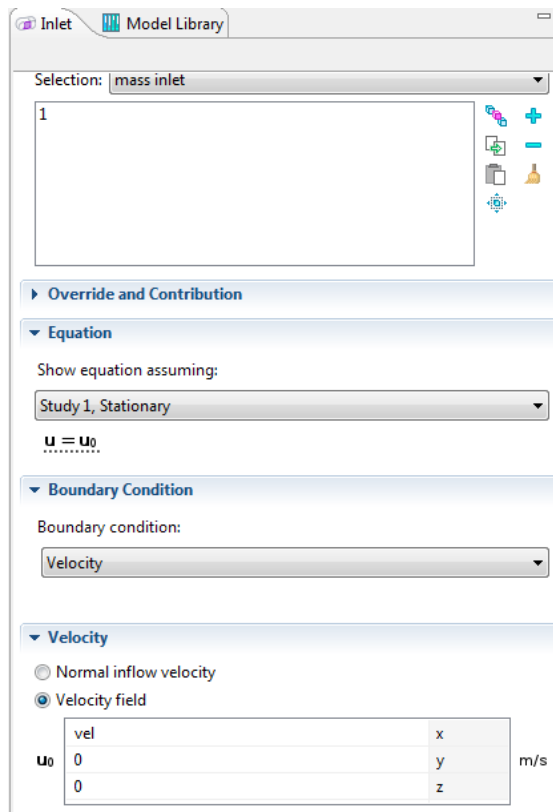
όπου u : η ταχύτητα της ροής (m/sec)

D : η διάμετρος της διατομής (m)

ν : η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού (m^2/sec)

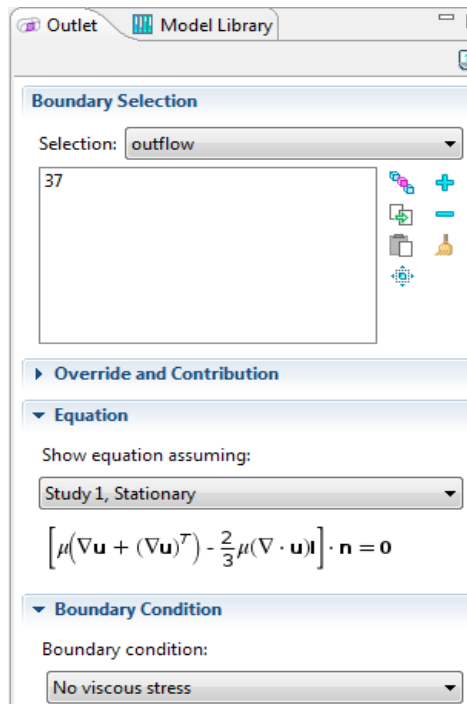
$$\text{Άρα } Re = \frac{0,15 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 2241$$

$$\text{όπου } \nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$



Σχήμα 5.24: Είσοδος της ροής

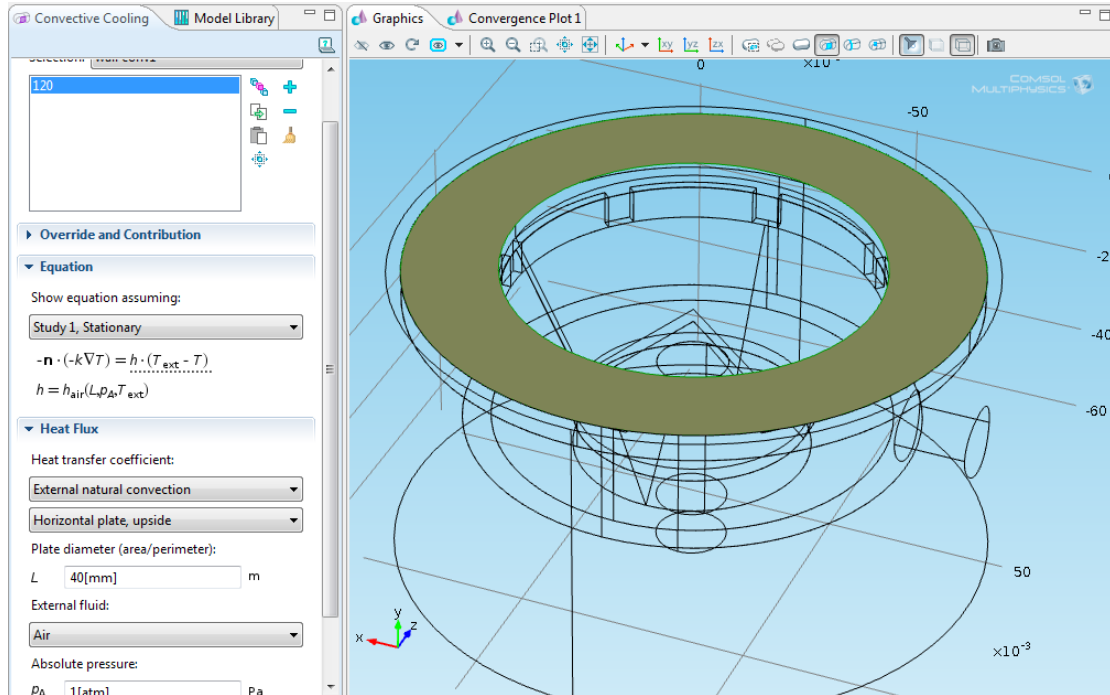
Στο επόμενο βήμα θα πρέπει να καθορίσουμε την έξοδο της ροής του νερού. Για την έξοδο δεν έχουμε πληροφορίες σχετικά με την πίεση ή την ταχύτητα εξόδου, οπότε θα επιλέξουμε ως οριακή συνθήκη: **no viscous stress**, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.25.



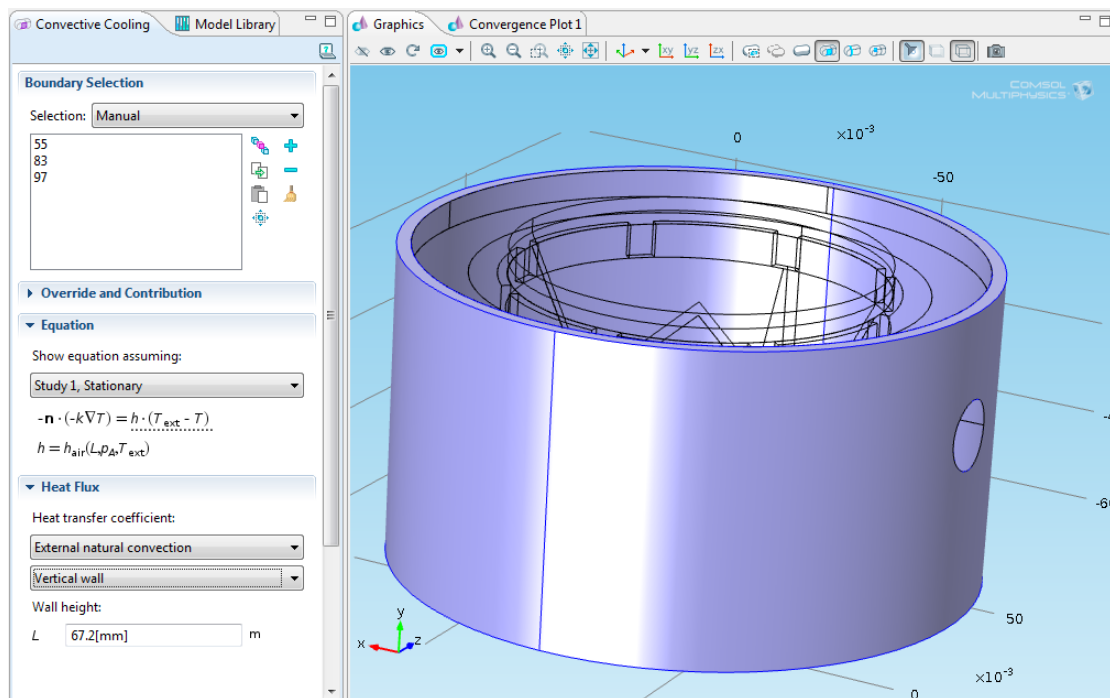
Σχήμα 5.25: Έξοδος της ροής

Στα σχήματα 5.26, 5.27, 5.28, 5.29 έχουμε θέσει ως οριακή συνθήκη ελεύθερη συναγωγή, δηλαδή μεταφορά θερμότητας μεταξύ στερεού και ρευστού. Οι εξωτερικές επιφάνειες του δέκτη έρχονται σε επαφή με ακίνητο αέρα, αφού ο δέκτης βρίσκεται σε κλειστό χώρο άρα δεν έχουμε κίνηση του ρευστού από κάποιο εξωτερικό αίτιο. Ως συντελεστή συναγωγής το Comsol μας δίνει την δυνατότητα να εισάγουμε σαν παραμέτρους τις διαστάσεις κάθε επιφάνειας, την εξωτερική πίεση και την εξωτερική θερμοκρασία έτσι ώστε να καθορίσει αυτόματα τον συντελεστή ελεύθερης συναγωγής.

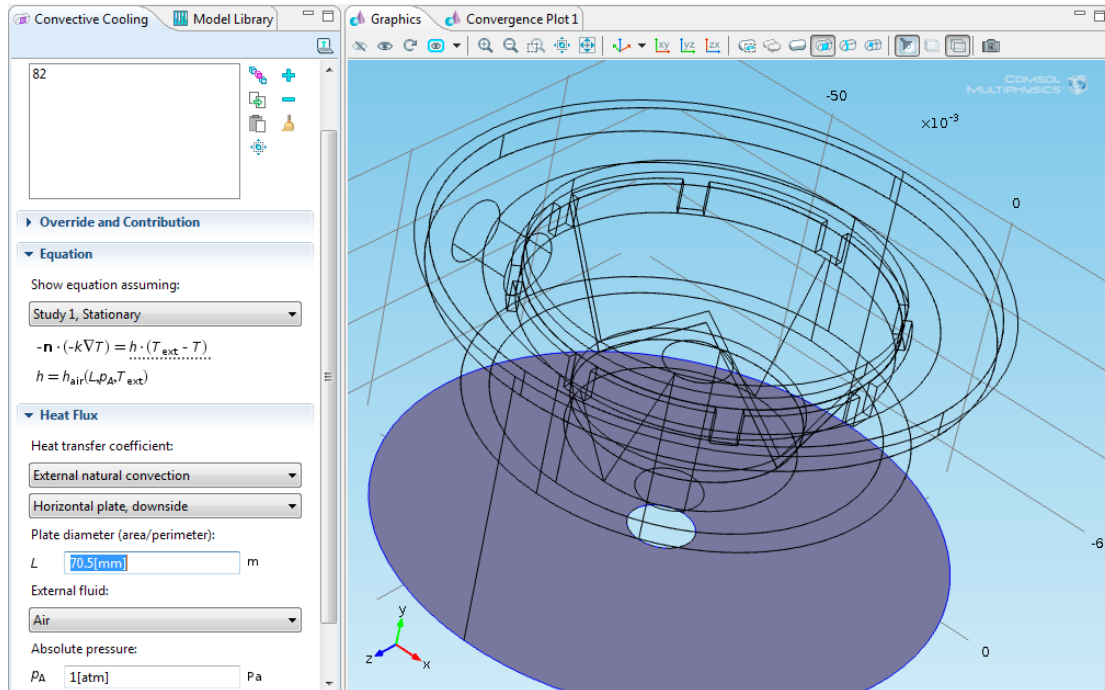
Άρα κάνουμε δεξί κλικ στην επιλογή **conjugate heat transfer → heat transfer in solids → convective cooling** και επιλέγουμε τις παραμέτρους που για κάθε επιφάνεια που έχουμε ανάλογα με το είδος της (οριζόντια, κάθετη, κεκλιμένη). Στο σχήμα 5.26 θα πρέπει να καθοριστεί η παράμετρος plate diameter (area/ perimeter), όπου ύστερα από υπολογισμούς προκύπτει ότι $L = 40 \text{ mm}$. Η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση είναι 28°C και 1atm αντίστοιχα. Παρόμοια θα γίνει και για της υπόλοιπες επιφάνειες στις οποίες έχουμε ελεύθερη συναγωγή στα σχήματα 5.27, 5.28.



Σχήμα 5.26: Οριακή συνθήκη συναγωγής 1

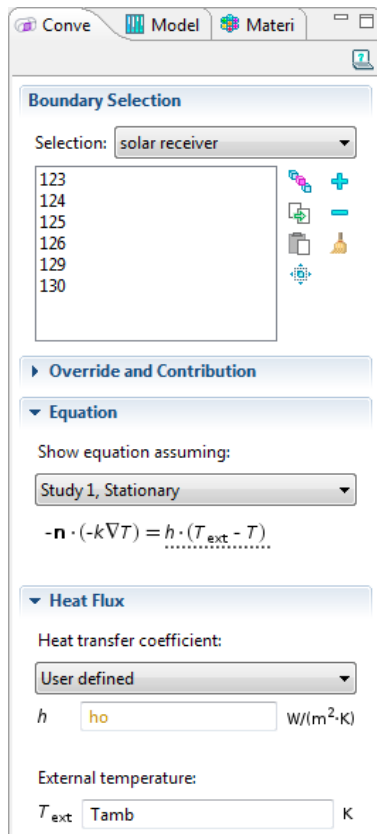


Σχήμα 5.27: Οριακή συνθήκη συναγωγής 2



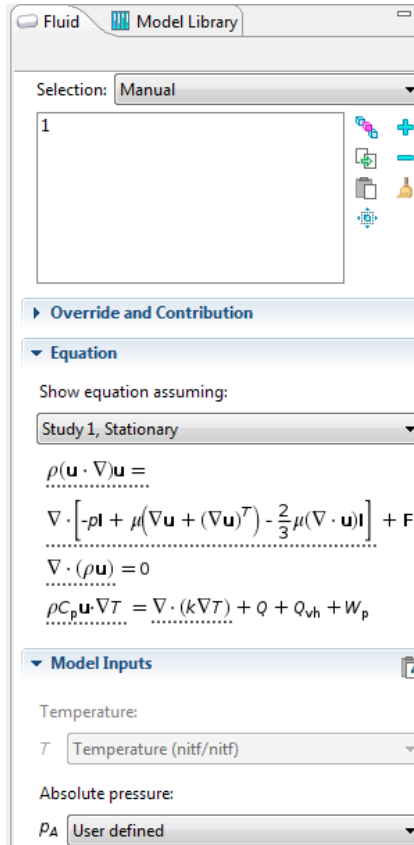
Σχήμα 5.28: Οριακή συνθήκη συναγωγής 3

Απώλειες λόγω συναγωγής όμως έχουμε και από την επιφάνεια του δέκτη που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Οι απώλειες αυτές είναι οι σημαντικότερες και μπορούν να μειωθούν τοποθετώντας ένα γυάλινο κάλυμμα στο πάνω μέρος της επιφάνειας του δέκτη, όπως γίνεται και στους οικιακούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Άρα έχουμε προσθήκη συναγωγιμότητας και στην επιφάνεια που έχουμε ορίσει ως solar receiver στο σχήμα 5.29. Άρα επιλέγουμε όπως και στις παραπάνω περιπτώσεις: **convective cooling**. Επειδή η επιφάνεια είναι σύνθετη θα ορίσουμε ως συντελεστή συναγωγιμότητας ένα τυπικό συντελεστή για ελεύθερη συναγωγή $h_o=20 \text{ W/m}^2\text{K}$.



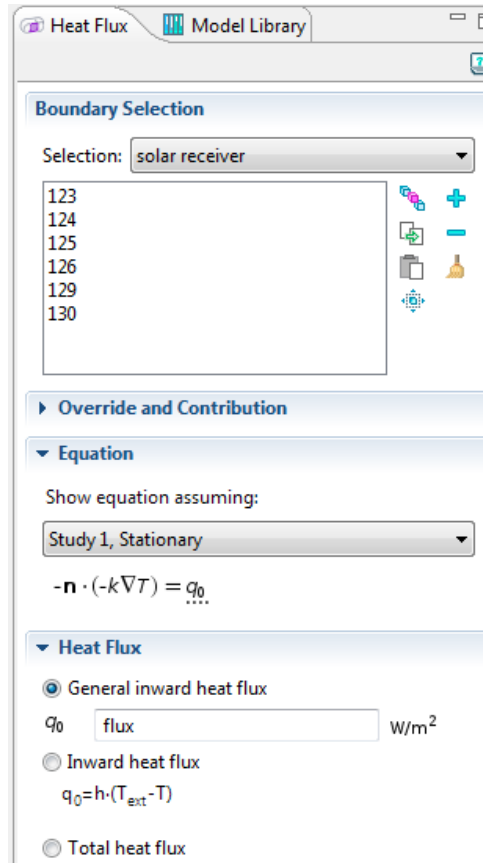
Σχήμα 5.29: Οριακή συνθήκη συναγωγής από την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός του ρευστού του μοντέλου μας. Όπως προαναφέρθηκε το ρευστό είναι το domain 1. Σαν εισόδους θεωρούμε την θερμοκρασία T και σαν απόλυτη πίεση $p_A = 1 \text{ atm}$.



Σχήμα 5.30: Καθορισμός του ρευστού

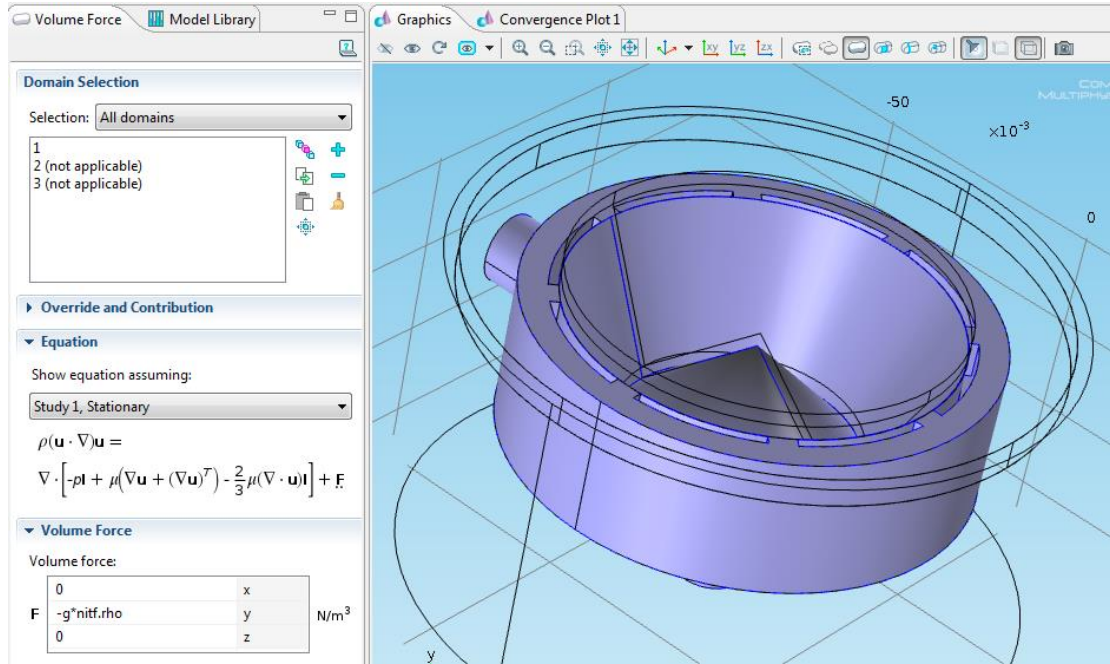
Η επόμενη οριακή συνθήκη που θα ορίσουμε στο μοντέλο μας όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.31 είναι η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο δέκτης. Για την προσομοίωση της ηλιακής ακτινοβολίας θα εισάγουμε μία θερμοροή κάνοντας δεξί κλικ στην επιλογή **conjugate heat transfer** και στην συνέχεια επιλέγουμε **heat flux**. Από τους παραμέτρους έχουμε ορίσει ως είσοδο: **flux**



Σχήμα 5.31: Οριακή συνθήκη σταθερής θερμοροής

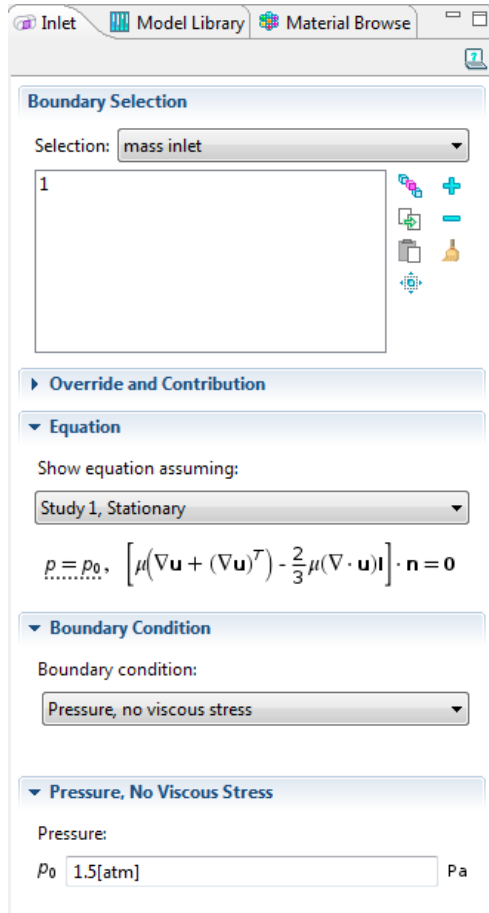
Στο ρευστό ασκούνται επίσης και δυνάμεις βαρύτητας οπότε θα πρέπει να προσθέσουμε την επιλογή *volume force*. Οπότε κάνουμε δεξί κλικ στην επιλογή **Conjugate Heat Transfer → Laminar Flow → Volume Force**. Σαν *volume force* θα ορίσουμε $F = -\rho g$ με κατεύθυνση τον άξονα $-y$,

όπου $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ περίπου στους 10°C . Επίσης στην επιλογή **domain selection** θα επιλέξουμε το domain 1 δηλαδή το ρευστό.



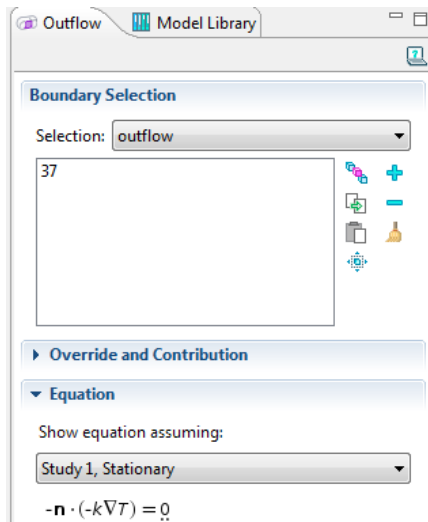
Σχήμα 5.32: Δυνάμεις βαρύτητας που ασκούνται στο ρευστό

Ο κυκλοφορητής (αντλία) της εγκατάστασης τροφοδοτεί τον δέκτη με νερό πίεσης 1,5 bar στην είσοδο. Έτσι θα πρέπει να κάνουμε δεξί κλικ στην επιλογή **Conjugate Heat Transfer** → **Laminar Flow** → **Inlet** και στην συνέχεια να προσθέσουμε ως παραμέτρους την διατομή εισόδου του ρευστού (mass inlet) και την πίεση εισόδου (input pressure) σε Pa.



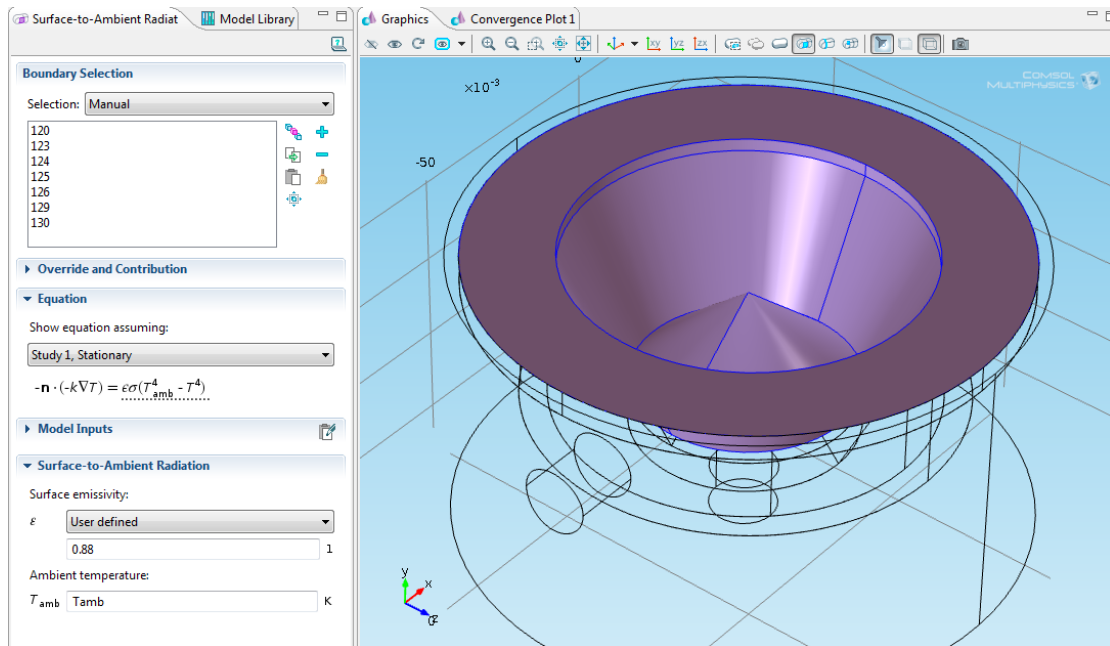
Σχήμα 5.33: Καθορισμός της πίεσης εισόδου

Στο σχήμα 5.34 έχουμε ορίσει σαν επιλογή για τη έξοδο του ρευστού κάνοντας δεξί κλικ **Conjugate Heat Transfer → Heat Transfer in Solids → Outflow**. Η χρήση αυτής της επιλογής παρέχει μια κατάλληλη οριακή συνθήκη για την συναγωγή που κυριαρχείται στα όρια εξόδου της ροής. Σε ένα μοντέλο με συναγωγής μεταφοράς θερμότητας, αυτό συνθήκη δηλώνει ότι η μόνη μεταφορά θερμότητας πάνω από ένα όριο είναι με συναγωγή. Συνήθως, είναι μια καλή προσέγγιση των συνθηκών σε ένα όριο εξόδου στο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας σε συνδυασμό με τη ροή του ρευστού.



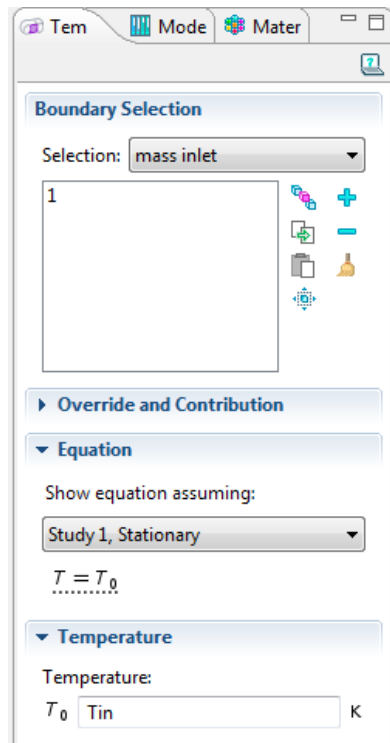
Σχήμα 5.34: Συνθήκη μεταφοράς θερμότητας για την έξοδο της ροής

Εκτός των απωλειών συναγωγής από την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία της οποίας ένα μέρος απορροφάται, από τον βαμμένο με μαύρο μεταλλικό χρώμα χαλκό. Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας εκπέμπεται από την επιφάνεια που έχουμε ορίσει ως solar receiver. Το ποσοστό που εκπέμπεται ορίζεται από τον συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας. Για την περίπτωση μας θα ορίσουμε ως συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας περίπου $\epsilon = 0,88$. Για να ορίσουμε τις απώλειες εκπομπής θα κάνουμε δεξί κλικ **Conjugate Heat Transfer** → **Heat Transfer in Solids** → **Surface-to-Ambient Radiation** και θα ορίσουμε τις παραμέτρους που απαιτούνται όπως δίνονται στο σχήμα 5.35.



Σχήμα 5.35: Καθορισμός απωλειών ακτινοβολίας από τον δέκτη στο περιβάλλον

Τέλος θα πρέπει να ορίσουμε και την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 20- 80 °C, χρησιμοποιώντας την επιλογή **Temperature** και ορίζοντας σαν παράμετρο την επιφάνεια που έχουμε ορίσει παραπάνω ως mass inlet σύμφωνα με το σχήμα 5.36.

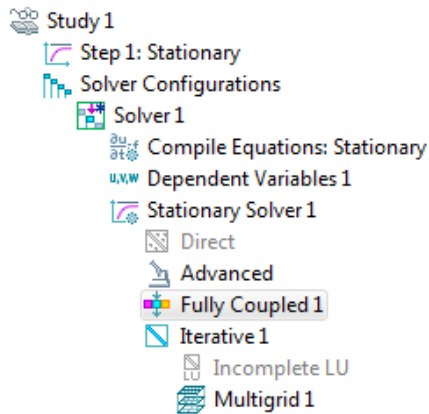


Σχήμα 5.36: Θερμοκρασία του ρευστού

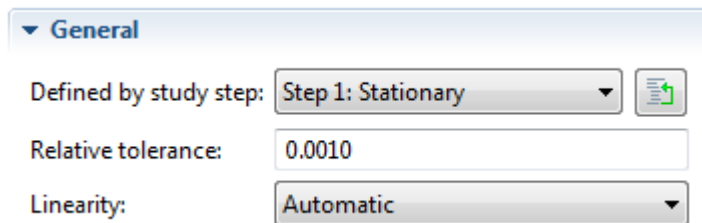
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6.1 ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΤΟΥ COMSOL

Για την επίλυση των εξισώσεων ενέργειας, ορμής και συνέχειας οι οποίες είναι μη γραμμικές θα χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα (αυτόματα) για την επίλυση του study1 είναι οι εξής: Iterative και GMRES.

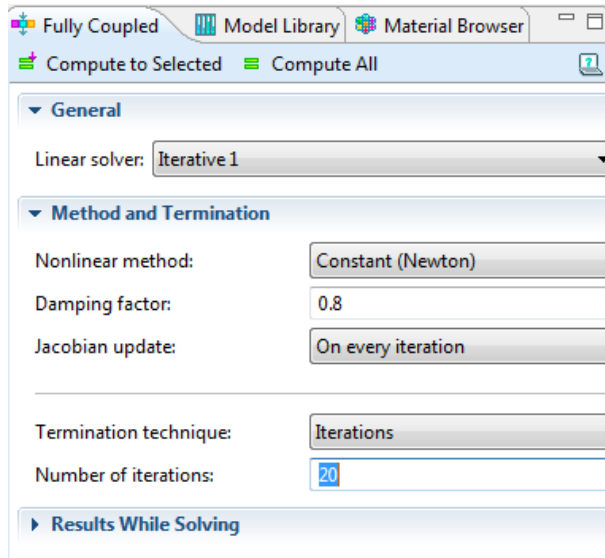


Σχήμα 6.1: Οι solvers που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των εξισώσεων



Σχήμα 6.2: Σχετικό σφάλμα των εξαρτημένων μεταβλητών 10^{-2} (by default)

Έχουμε ορίσει ως αριθμό επαναλήψεων για των τερματισμό του solver τις 20 επαναλήψεις διότι διαπιστώσαμε ότι στον αριθμό αυτό επέρχεται σύγκλιση των μεταβλητών του προβλήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν έχουμε σύγκλιση αυξάνουμε τον αριθμό των επαναλήψεων. Για να έχουμε σύγκλιση θα πρέπει η καμπύλη σφάλματος (errors) – επαναλήψεων (iterations) στον μη γραμμικό επιλυτή (non linear solver) να είναι φθίνουσα από κάποια επανάληψη και μετά.



Σχήμα 6.3: Τερματισμός της επίλυσης των εξισώσεων

6.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για την προσομοίωση θα θεωρήσουμε ως προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία G στον φακό Fresnel την τιμή που δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Προσπίπτουσα ακτινοβολία στο Fresnel G (W/m^2)
781

Η απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία:

$$S = (\tau\alpha) \cdot G$$

όπου

$\tau = 0.92$ η διαπερατότητα του φακού Fresnel και

$\alpha = 0,89$ η απορροφητικότητα της επιφάνειας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη

Η διάμετρος του φακού Fresnel είναι: $D=1000$ mm οπότε η επιφάνεια του 'παραθύρου' είναι:

$$A_a = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Η προσομοίωση έγινε θεωρώντας συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία (επιφάνεια solar receiver) $\epsilon=0,88$. Στις υπόλοιπες επιφάνειες του δέκτη οι οποίες έρχονται σε επαφή με τον αέρα θα θεωρήσουμε αμελητέες απώλειες ακτινοβολίας. Οι θερμοκρασίες εισόδου του ρευστού στον δέκτη:

T_{in} (°C)
20
25
30

Πίνακας 4: Θερμοκρασίες εισόδου του ρευστού στον δέκτη του συλλέκτη

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος που θα χρησιμοποιήσουμε στην προσομοίωση είναι: $T_{amb} = 28$ °C.

Ο λόγος συγκέντρωσης του συλλέκτη είναι:

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{\pi \cdot 0,04^2} = 156,25$$

Η πραγματική απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον δέκτη και η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση με Comsol δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S' = S \cdot C_g$$

αφού η πραγματική προσπίπτουσα στον δέκτη του συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι η προσπίπτουσα στον φακό πολλαπλασιαζόμενο με τον λόγο συγκέντρωσης του συλλέκτη.

Άρα στις επιλογή **flux** στις παραμέτρους του comsol με βάση τα παραπάνω δεδομένα θα έχουμε τις τιμές:

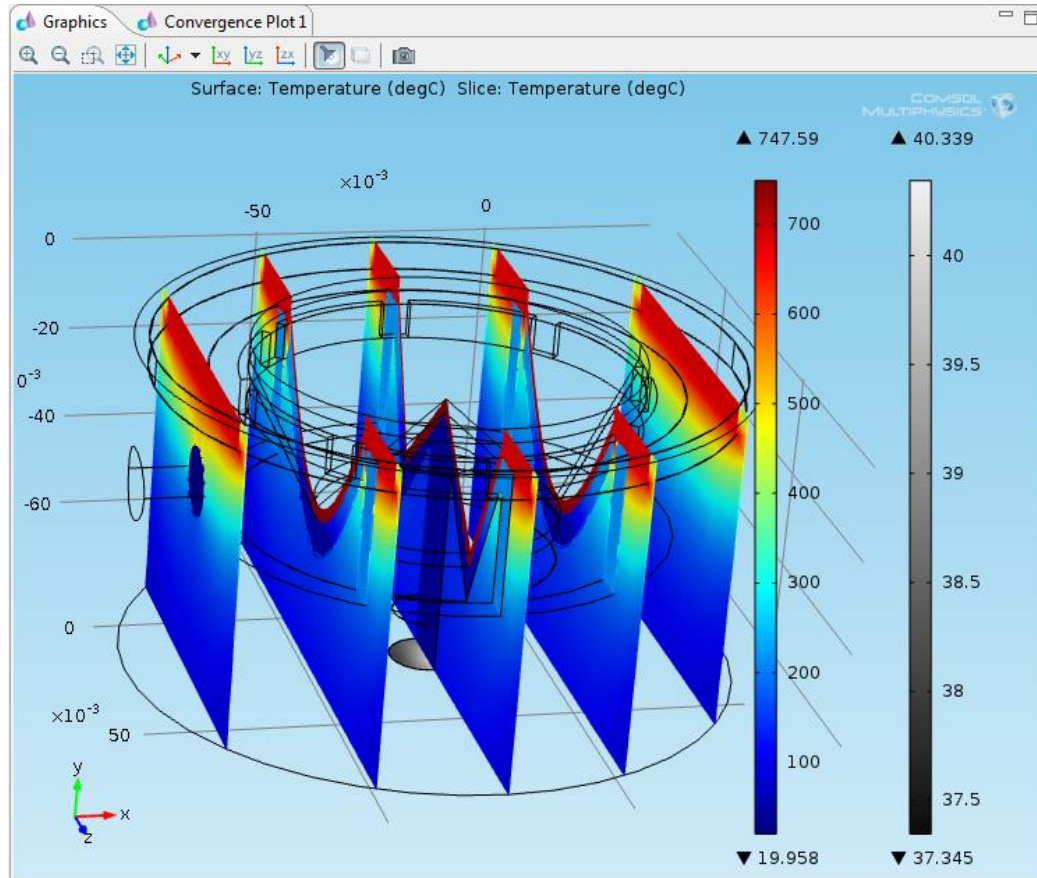
G (W/m ²)	S' (W/m ²)
781	100000

Ως οριακές συνθήκες στην έξοδο και στην είσοδο για όλες τις παρακάτω προσομοιώσεις θα θεωρήσουμε:

- Ταχύτητα εισόδου $v_{in} = 0.15$ m/sec
- Πίεση στην έξοδο της ροής $p_{out} = 1$ atm

6.2.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in} = 20$ °C

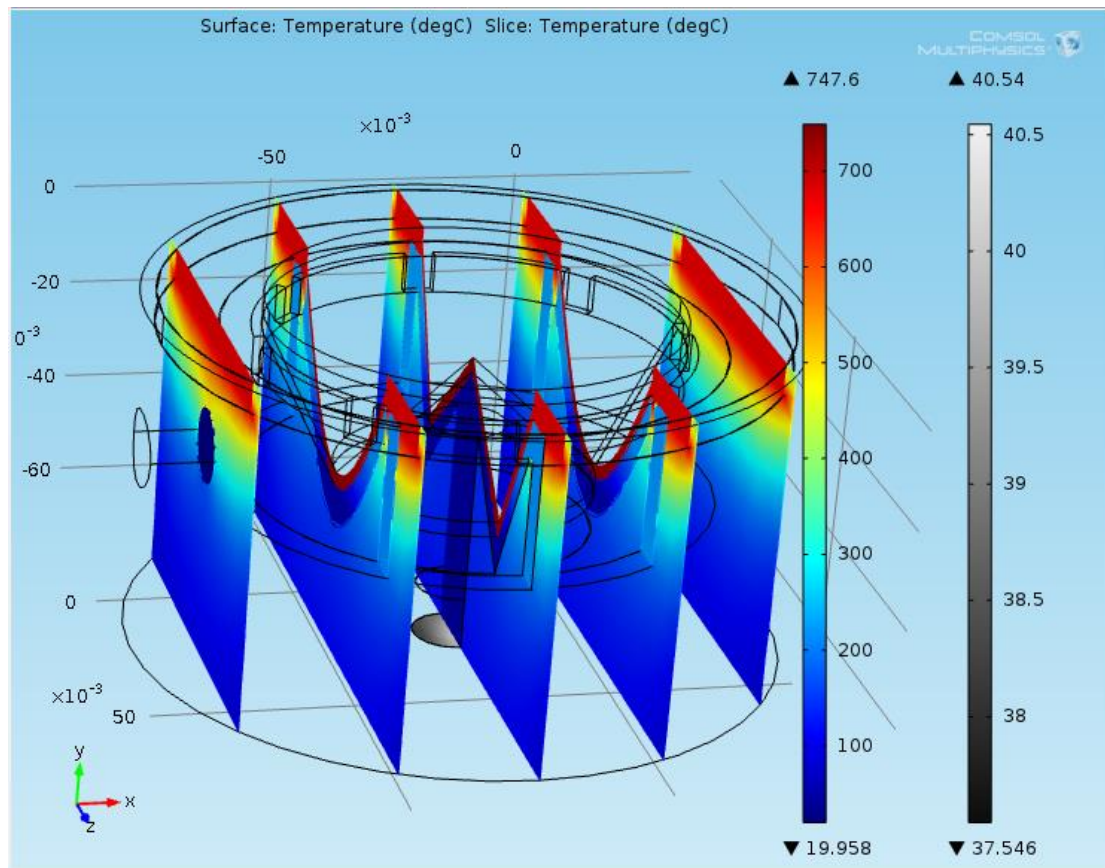
Η κατανομή των θερμοκρασιών στο κύριο μέρος του δέκτη, στο καπάκι και στο ρευστό δίνονται από το σχήμα 6.4. Για την προσομοίωση αυτή θα θεωρήσουμε ως θερμοκρασία εισόδου της ροής $T_{in} = 20$ °C. Οπότε από το σχήμα με γκρι παλέτα δίνεται η κατανομή της θερμοκρασίας στην έξοδο του δέκτη.



Σχήμα 6.4: Θερμοκρασίες του δέκτη και του ρευστού στο επίπεδο συμμετρίας του δέκτη (με γκρι παλέτα το πεδίο θερμοκρασιών στην έξοδο του δέκτη), με $T_{in}= 20^{\circ}\text{C}$

6.2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in}= 25^{\circ}\text{C}$

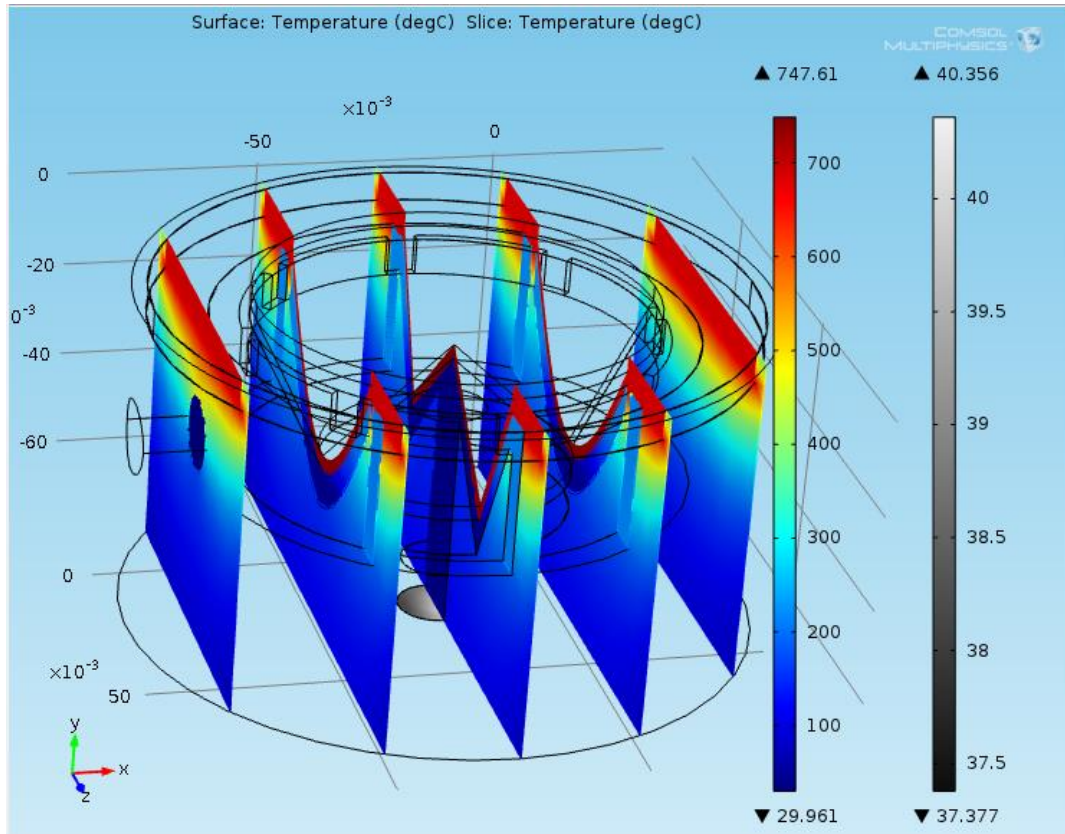
Ομοίως με την προηγούμενη παράγραφο, στο σχήμα 6.5 έχουμε την κατανομή της θερμοκρασίας στην γεωμετρία μας στο επίπεδο συμμετρίας για θερμοκρασία εισόδου $T_{in}= 25^{\circ}\text{C}$



Σχήμα 6.5: Θερμοκρασίες του δέκτη και του ρευστού στο επίπεδο συμμετρίας του δέκτη (με γκρι παλέτα το πεδίο θερμοκρασιών στην έξοδο του δέκτη), με $T_{in}= 25^{\circ}$

6.2.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ $T_{in}= 30^{\circ}\text{C}$

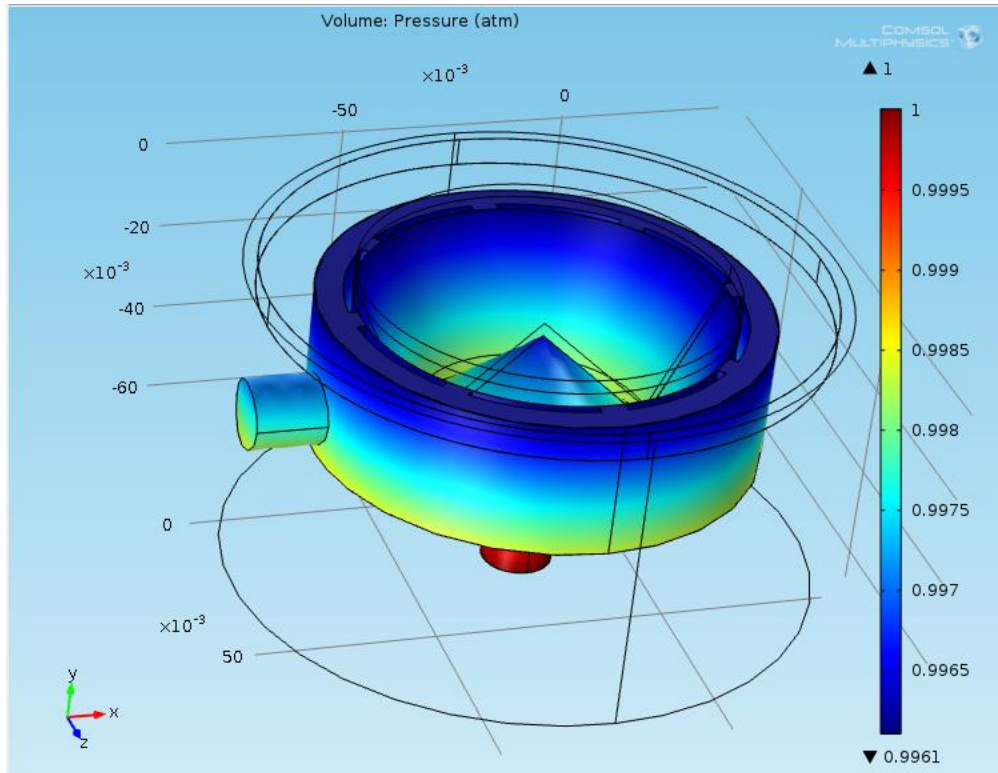
Η κατανομή της θερμοκρασίας για θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον δέκτη $T_{in}= 30^{\circ}\text{C}$, δίνεται από το σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6: Θερμοκρασίες του δέκτη και του ρευστού στο επίπεδο συμμετρίας του δέκτη (με γκρι παλέτα το πεδίο θερμοκρασιών στην έξοδο του δέκτη), $T_{in} = 30^\circ\text{C}$

6.2.4 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΥΣΤΟ

Στο σχήμα 6.7 έχουμε την σχηματική απεικόνιση της πτώσης πίεσης από την είσοδο έως της έξοδο της ροής η οποία σύμφωνα με το σχήμα είναι $\Delta p = 0,004 \text{ atm}$.

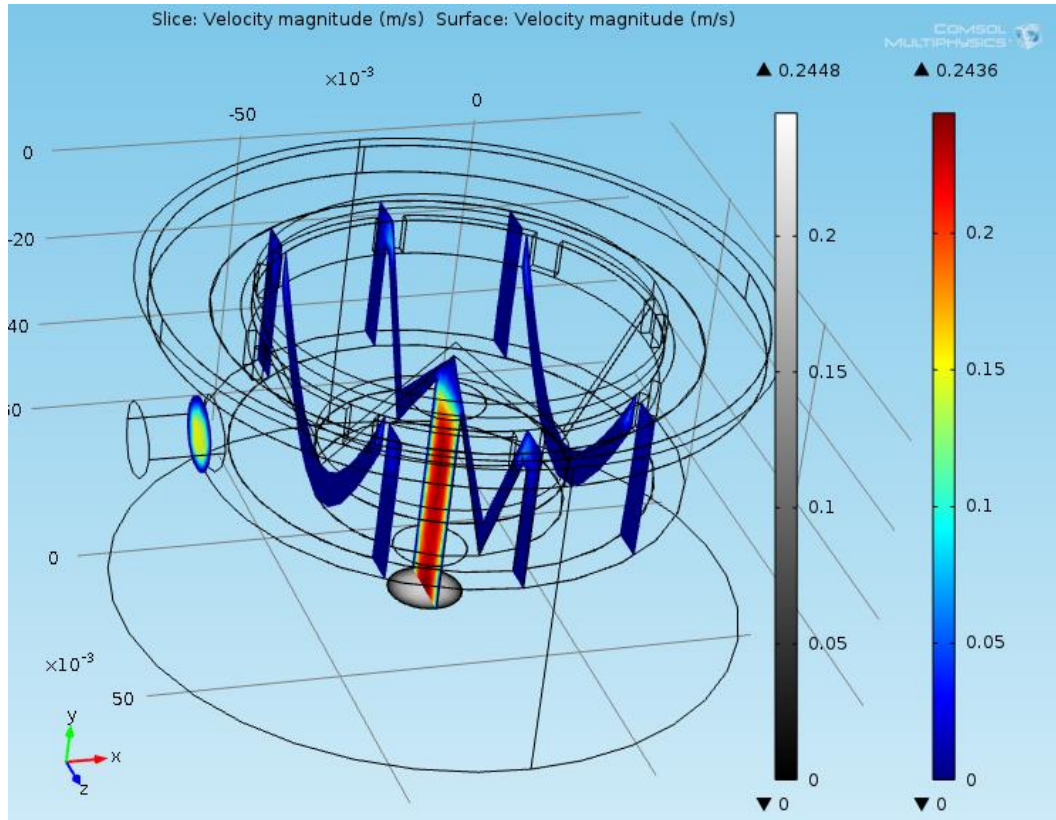


Σχήμα 6.7: Σχηματική απεικόνιση της ολικής πίεσης στο ρευστό με δεδομένη την πίεση εξόδου 1atm.

Στο σχήμα 6.8 δίνεται η ολική ταχύτητα της ροής σε διάφορα επίπεδα κατά μήκος του δέκτη. Η ολική ταχύτητα δίνεται από τον τύπο

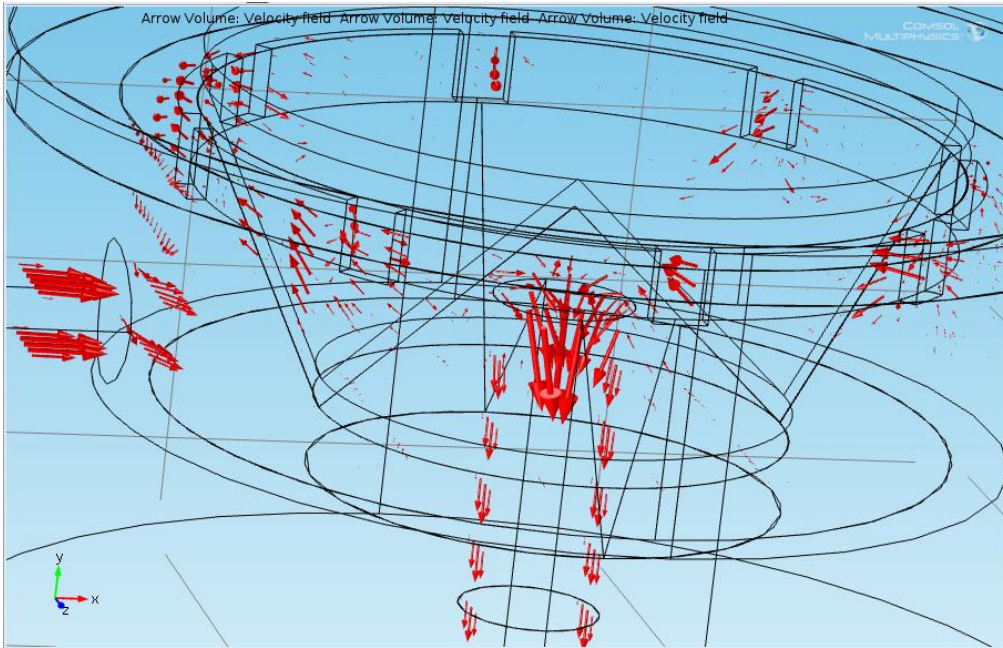
$$U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$$

όπου u, v, w οι συνιστώσες της ταχύτητας στους άξονες x, y, z αντίστοιχα

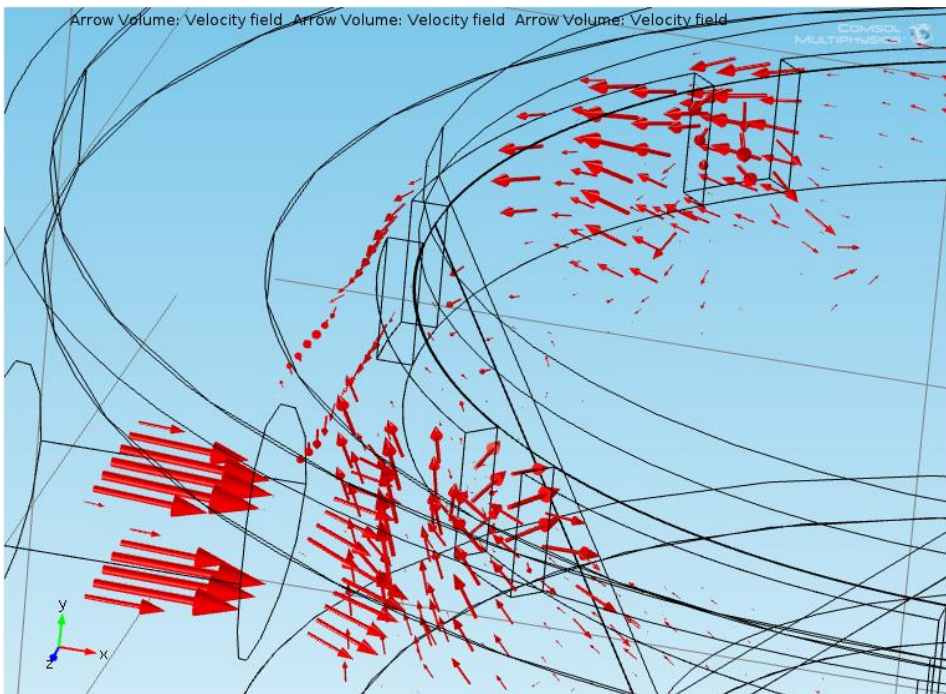


Σχημα 6.8: Σχηματική απεικόνιση της ταχύτητας της ροής από την είσοδο έως την έξοδο του δέκτη (με γκρι παλέτα η ταχύτητα στην έξοδο της ροής).

Στα σχήματα 6.9, 6.10 δείχνουν σχηματικά με την βοήθεια βελών την κίνηση του ρευστού μέσα στον δέκτη από την είσοδο έως την έξοδο της ροής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.9 το ρευστό διέρχεται μέσα από τις εγκοπές για να έρθει σε επαφή με το καπάκι του δέκτη, να θερμανθεί και να εξέλθει από τον δέκτη.



Σχήμα 6.9: Απεικόνιση της κίνησης του ρευστού μέσα στον δέκτη από την είσοδο έως την έξοδο (1)



Σχήμα 6.10: Απεικόνιση της κίνησης του ρευστού μέσα στον δέκτη από την είσοδο έως την έξοδο (2)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

1. “Θερμικά- Ηλιακά συστήματα”, Αθήνα 2008

Κίμωνας Αντωνόπουλος, καθηγητής Ε.Μ.Π.

2. “Solar energy engineering: Processes and Systems”

Soteris A. Kalogirou

3. “Energy Conversion and Management”

“Numerical and experimental analysis of a point focus solar collector using high concentration imaging PMMA Fresnel lens”

W.T. Xie , Y.J. Dai , R.Z. Wang

4. “Theoretical and experimental analysis on efficiency factors and heat removal factors of Fresnel lens solar collector using different cavity receivers”

W.T. Xie , Y.J. Dai , R.Z. Wang

5. “Fresnel Lenses”

Fresnel technologies inc. 2001-2013

6.<http://nf.nci.org.au/facilities/software/COMSOL/4.3/doc/pdf/mph/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf>

7. <http://www.solidworkstutorials.com/>

8. <http://bowlesphysics.com/images/UCF - SOLIDWORKS I.pdf>

9.http://www.unikassel.de/eecs/fileadmin/datas/fb16/remena/theses/batch2/MasterThesis_Ahmad_Yasin.pdf

