



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική εργασία με θέμα :

**Σχεδίαση και προσομοίωση συγκεντρωτικού ηλιακού
συλλέκτη τύπου CPC στο Solidworks**


ΛΙΤΣΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ











Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1. Ηλιακή ακτινοβολία.....	7
1.1. Εισαγωγή.	7
1.2. Ηλιακή σταθερά.	7
1.3. Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας.	8
1.4. Διακύμανση της ακτινοβολίας.	9
1.5. Ηλιακός χρόνος.....	10
1.6. Ορισμοί και βασικές σχέσεις.	10
1.7. Ολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.	13
1.8. Απόσβεση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	14
Κεφάλαιο 2. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	16
2.1. Εισαγωγή.	16
2.2. Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου (FMSC) (Fixed-mirror solar collector).....	16
2.3. Ηλιακός συλλέκτης μετακινούμενου κατόπτρου και στατικού δέκτη (SLATS)(Moving reflector stationary receiver).....	18
2.4. Συλλέκτης σταθερού κατόπτρου και μετακινούμενου εστιακού σημείου (FMDF).....	19
2.5. Ηλιακός πύργος ισχύος.	20
2.6. Ηλιακός δίσκος/μηχανή.	22
2.7. Παραβολικά ηλιακά κοίλα.....	23
2.8. Συλλέκτης Φρεσνέλ (FRESNEL).....	25
2.9. Ηλιακή καμινάδα.....	27
2.10. Συλλέκτης τύπου CPC.....	28
Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.....	36
3.1. Εισαγωγή στο Solidworks.	36
3.2. Έναρξη του προγράμματος.....	36
3.2.1. Αρχείο “  Part”.....	37
3.3. Βασικά γεωμετρικά σχήματα και εντολές σχεδίασης.....	37

3.3.1. Έναρξη σχεδίασης.....	38
3.3.2. Εντολή  Line.....	39
3.3.3. Εντολή  “ Smart Dimension ”.....	40
3.3.4. Εντολή  “ Move Entities ”.....	44
3.3.5. Εντολή  “ Circle”.....	45
3.3.6. Εντολή  “ Trim Entities”.....	46
3.3.7. Εντολή  “ Mirror Entities ”.....	47
3.3.8. Εντολή  “ Offset Entities”.....	48
3.3.9. Εντολή  “ Centerpoint Arc ”.....	49
3.4. Παραγωγή στερεού σώματος.....	50
3.4.1. Λήξη σχεδίασης και μετάβαση στην καρτέλα Features.....	50
3.4.2. Εντολή  “ Extruded Boss/Base ”.....	51
3.4.3. Εντολή  “ Fillet”.....	53
3.5. Δισδιάστατος σχεδιασμός του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.....	55
3.6. Τρισδιάστατος σχεδιασμός του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.....	64
3.7. Δισδιάστατη και τρισδιάστατη σχεδίαση των στηριγμάτων του απορροφητή και του συλλέκτη.....	70
3.8. Ορισμός είδους και χρώματος επιφανείας.....	73
3.9. Διάφορες όψεις και τομές του ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.....	74
3.10. Μεμονωμένη παρουσίαση των διάφορων σκελών του σχεδίου.....	78
Κεφάλαιο 4. Προσομοίωση συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.....	81
4.1. Εισαγωγή.....	81
4.2. Βασικές εξισώσεις.....	82
4.3. Ιδιότητες των συνιστωσών του ηλιακού συλλέκτη.....	84
4.4. Δεδομένα του προβλήματος.....	84
4.5. Ζητούμενα του προβλήματος.....	85
4.6. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης.....	85
4.7. Ορισμός του πλέγματος.....	91

4.8. Εισαγωγή οριακών συνθηκών.....	93
4.9. Ορισμός των υλικών.....	96
4.10. Ορισμός ακτινοβολούμενων επιφανειών.....	97
4.11. Ορισμός στόχων.....	101
4.12. Έναρξη επίλυσης.....	104
4.13. Αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	105
4.13.1. Καμπύλη του βαθμού απόδοσης.....	105
4.13.2. Καμπύλη συντελεστή ολικών απωλειών (U_L).....	106
4.13.3. Καμπύλη απωλειών κορυφής (Q_t).....	107
4.13.4. Καμπύλη ωφέλιμης ισχύος ($Q_{\omega\phi}$).....	108
4.13.5. Καμπύλη ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p).....	108
4.13.6. Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας του ρευστού, του γυαλιού και του απορροφητή.....	109
4.13.7. Θερμοκρασιακά πεδία του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC. ...	110
4.13.8. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.....	114
4.13.9. Παραμετρική ανάλυση.....	114
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	119
Βιβλιογραφία.....	121

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη σχεδίαση και προσομοίωση ενός συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC, με τη βοήθεια του λογισμικού σχεδίασης και προσομοίωσης Solidworks.

Αρχικά, αναφέρονται γενικά στοιχεία περί ηλιακής ενέργειας που αφορούν τον ήλιο, την ηλιακή σταθερά, την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας, τη διακύμανση της ακτινοβολίας, τον ηλιακό χρόνο και τις βασικές σχέσεις που διέπουν το φαινόμενο, ενώ τέλος γίνεται αναφορά στην άμεση, διάχυτη και ολική ακτινοβολία καθώς και στην απόσβεση αυτής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται η λειτουργία και οι ιδιότητες διάφορων ειδών συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών όπως είναι ο ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου (FMSC), ο ηλιακός συλλέκτης μετακινούμενου κατόπτρου και στατικού δέκτη (SLATS), ο ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου και μετακινούμενου εστιακού σημείου (FMDF), ο ηλιακός πύργος ισχύος, ο ηλιακός δίσκος μηχανή, τα παραβολικά ηλιακά κοίλα, ο συλλέκτης Φρεσνέλ (FRESNEL) και η ηλιακή καμινάδα. Τέλος, δίνεται έμφαση στους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες τύπου CPC που αποτελούν και τη βάση της παρούσας εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο Solidworks αναλύοντας τις βασικές εντολές, τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο επίπεδο, για την εξοικείωση του αναγνώστη με το πρόγραμμα. Ακολούθως, αναφέρονται αναλυτικά τα βήματα του δισδιάστατου και του τρισδιάστατου σχεδιασμού του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC παραθέτοντας βήμα-βήμα τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση κάθε μιας συνιστώσας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιλαμβάνεται το κομμάτι της προσομοίωσης, η οποία αποτελεί το δεύτερο και κύριο αντικείμενο μελέτης. Παρατίθενται, αρχικά, οι βασικές εξισώσεις που διέπουν το συγκεντρωτικό ηλιακό συλλέκτη τύπου CPC, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η βασική ιδέα με την οποία προσεγγίζουμε το πρόβλημα και παράλληλα γίνονται οι απαραίτητες παραδοχές για την προσαρμογή του τελευταίου στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω πινάκων και διαγραμμάτων, ενώ γίνεται και μια παραμετρική ανάλυση.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015.

Την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας είχε ο Επίκουρος Καθηγητής, κύριος Τζιβανίδης Χρήστος, τον οποίο θα ήθελα εκ των προτέρων να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση αυτού του θέματος, την αμεσότητα της συνεργασίας μας, την άψογη καθοδήγησή του καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Μπέλλο Ευάγγελλο για την συνεχή επίβλεψη και άριστη συνεργασία σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για όσα μου έχουν προσφέρει στη διάρκεια των σπουδών μου και για την υποστήριξή τους σε κάθε στάδιο της ζωής μου.

Κεφάλαιο 1. Ηλιακή ακτινοβολία.

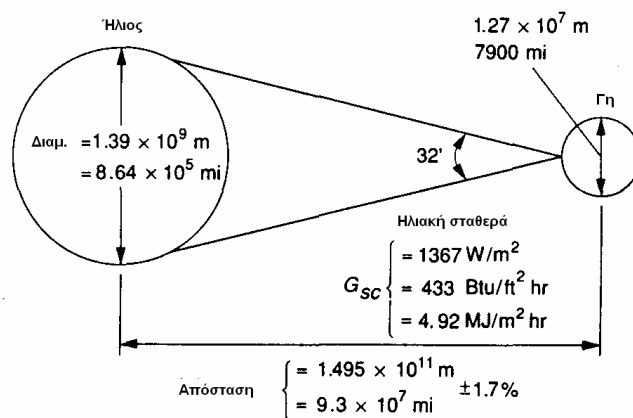
1.1. Εισαγωγή.

Ο ήλιος είναι μια σφαίρα αποτελούμενη από πυκνή και καυτή αέρια ύλη διαμέτρου $1.39 \cdot 10^9$ m και είναι σε μια μέση απόσταση $1.5 \cdot 10^{11}$ m από την γη. Όπως φαίνεται από την γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες. Παρ' όλα αυτά, δεν περιστρέφεται σαν ένα συμπαγές στερεό σώμα, αλλά ο ισημερινός περιστρέφεται σε 27 μέρες ενώ οι περιοχές κοντά στους πόλους σε 30 μέρες περίπου.

Ο ήλιος έχει μια ενεργή θερμοκρασία μέλανος σώματος στους 5777K. Η θερμοκρασία στο κεντρικό εσωτερικό του μέρος υπολογίζεται χονδρικά μεταξύ $8 \cdot 10^6$ με $40 \cdot 10^6$ K και η πυκνότητά του 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του νερού. Ο ήλιος είναι ένας αντιδραστήρας σύντηξης, με τα αέρια που τον απαρτίζουν να αποτελούν το "περιέχον κέλυφος" το οποίο συντηρείται εξαιτίας βαρυτικών δυνάμεων. Πολλές αντιδράσεις σύντηξης έχουν προταθεί με επικρατέστερη αυτήν κατά την οποία δύο άτομα υδρογόνου (δηλ. τέσσερα πρωτόνια) ενώνονται σε ένα άτομο ηλίου, η μάζα του ηλίου που προκύπτει είναι λιγότερη από τα τέσσερα αρχικά πρωτόνια και έτσι η απώλεια αυτή της μάζας μετατρέπεται σε ενέργεια.

Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας σε θερμοκρασίες πολλών εκατομμυρίων βαθμών K πρέπει να μεταφερθεί στην επιφάνεια και εν συνεχεία να ακτινοβοληθεί στο διάστημα. Μια διαδοχική διαδικασία ακτινοβολίας και συναγωγής συμβαίνει με διαδοχική εκπομπή, απορρόφηση και επανακτινοβολία. Η ακτινοβολία στον πυρήνα του ήλιου είναι στο φάσμα των ακτινών X και Γαμμα, με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας να μεγαλώνει όσο η θερμοκρασία μειώνεται και η ακτίνα αυξάνει.[4,5,15].

1.2. Ηλιακή σταθερά.



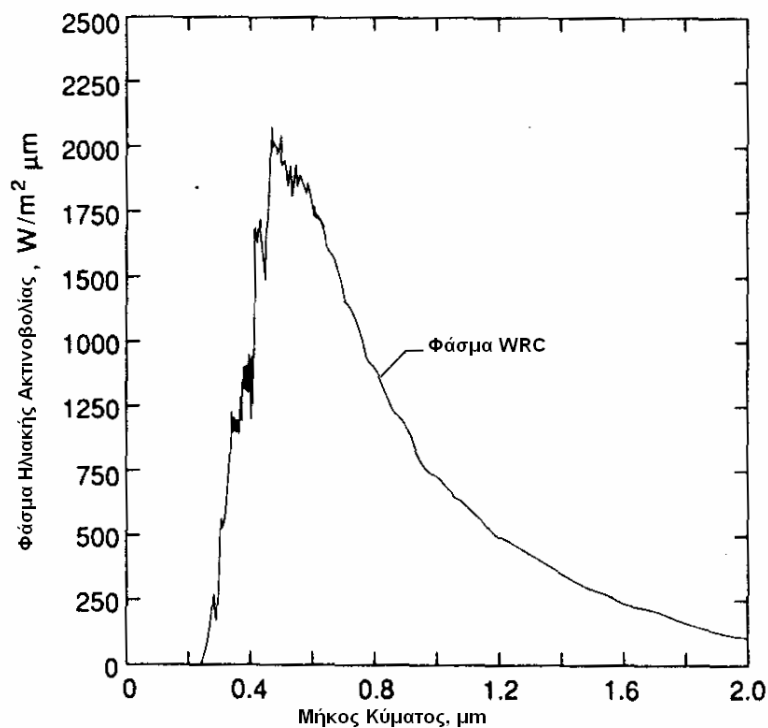
Σχήμα 1.1. Σχέσεις μεταξύ Ήλιου – Γης.[1]

Η εκκεντρότητα της τροχιάς της γης είναι τέτοια ώστε η απόσταση μεταξύ ήλιου και γης να μεταβάλλεται κατά $\pm 1,7\%$. Σε απόσταση μίας αστρονομικής μονάδας, $1.495 \cdot 10^{11}$ m (δηλ. την μέση απόσταση ήλιου – γης) ο ήλιος είναι απέναντι από ένα σημείο πάνω στην γη κατά μία γωνία $32'$. Η εκπεμπόμενη από τον ήλιο ακτινοβολία και η χωρική της σχέση στην γη έχει ως αποτέλεσμα μια σχεδόν σταθερή τιμή έντασής της έξω από την ατμόσφαιρα της γης. Η ηλιακή σταθερά, G_{sc} , είναι η ενέργεια στη μονάδα του χρόνου που εκπέμπεται από τον ήλιο και λαμβάνεται από μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση της πρόσπτωσής της σε μία μέση απόσταση έξω από την ατμόσφαιρα της γης.

Στο παρελθόν οι μετρήσεις για τον καθορισμό της ηλιακής σταθεράς, γίνονταν από όργανα τοποθετημένα στην επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα ένα ποσοστό της ακτινοβολίας να έχει ήδη απορροφηθεί και σκεδαστεί. Αργότερα πρόσθετες μελέτες έγιναν πάνω σε βουνά με μεγάλο υψόμετρο, προσπάθεια που βοήθησε στην καλύτερη εκτίμηση της σταθεράς. Αρχικά η τιμή που δόθηκε για την ηλιακή σταθερά από τον C.G. Abbot και τους συνεργάτες του ήταν 1322 W/m^2 . Αργότερα ο Johnson (1954) αναθεώρησε αυτήν την τιμή στις 1395 W/m^2 . Πολλές ερευνητικές προσπάθειες έγιναν για την εκτίμηση της τιμής της ηλιακής σταθεράς, ενώ παράλληλα υπάρχουν ακόμα και σήμερα διαφωνίες μεταξύ των ερευνητών για τον καθορισμό της τιμής αυτής. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς που έχει γίνει γενικώς αποδεκτή είναι 1367 W/m^2 , σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO 1978).[1,15]

1.3. Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας.

Εκτός από την ηλιακή σταθερά, είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο φάσμα της συχνότητας. Ένα πρότυπο διάγραμμα για αυτόν τον λόγο έχει συνταχθεί βασισμένο σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε μεγάλο υψόμετρο και στο διάστημα.[6,1] Το πρότυπο διάγραμμα του Παγκοσμίου Κέντρου Ακτινοβολίας (World Radiation Center, WRC) φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 1.2. Φάσμα εξωγήινης ακτινοβολίας.[6]

1.4. Διακύμανση της ακτινοβολίας.

Δύο πηγές διακύμανσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας εξωτερικά της ατμόσφαιρας πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η πρώτη είναι διακύμανση στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και οφείλεται στην δραστηριότητα των ηλιακών κηλίδων (sunspots). Η οποία όμως για εφαρμογές μηχανικής μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Ενώ η δεύτερη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μεταβολές της τάξης του $\pm 3\%$ στην ακτινοβολία, οφείλεται στην μεταβολή της απόστασης Ήλιου-Γης. Έτσι, η εξάρτηση της ακτινοβολίας από τον χρόνο δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.1)$$

Όπου G_{on} η ακτινοβολία εξωτερικά της ατμόσφαιρας, η οποία μετράται σε ένα επίπεδο κάθετο στο επίπεδο πρόσπτωσης την n -στή μέρα του χρόνου.[1]

1.5. Ηλιακός χρόνος.

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί τον υπολογισμό της ακριβούς θέσης του ήλιου ως προς τη θέση μίας επιφάνειας πάνω στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός της βασίζεται στον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων που προκύπτουν από την ηλιακή γεωμετρία.

Σε όλους τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιείται ο πραγματικός ηλιακός χρόνος (H_x). Η Γη χωρίζεται σε 24 ζώνες. Κάθε μία από αυτές τις ζώνες έχει γεωγραφικό μήκος 15° (δηλαδή 1 ώρα, αφού η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της κατά 15° την ώρα). Για κάθε μία από αυτές τις ζώνες χρησιμοποιείται η ίδια τοπική ώρα. Ο ηλιακός χρόνος (H_x) δεν συμπίπτει με τον τοπικό χρόνο (T_x). Συνεπώς, χρειάζεται να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις σύμφωνα με την σχέση:

$$H_x = T_x \pm 4 \cdot (L_{GT} - L_T) + E_T \quad (1.2)$$

(+) στο δυτικό ημισφαίριο και (-) στο ανατολικό ημισφαίριο, όπου L_{GT} είναι ο μεσημβρινός για τη ζώνη χρόνου της περιοχής, L_T είναι ο τοπικός μεσημβρινός. Επίσης, μπορεί να χρειαστεί και μία ακόμα διόρθωση του τοπικού χρόνου για τη θερινή ώρα.

Η παράμετρος E_T υπολογίζεται από την εξίσωση του χρόνου, με την οποία λαμβάνεται υπ' όψη η ελλειπτική τροχιά και η εκκεντρότητα της τροχιάς της Γης γύρω από τον ήλιο. Η εξίσωση του χρόνου (εξίσωση του Watt) υπολογίζεται σε λεπτά χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$E_T = 9.87 \cdot \sin(2B) - 7.53 \cdot \cos(B) - 1.5 \cdot \sin(B) \quad (1.3)$$

$$\text{όπου } B = 360 \cdot \frac{(D-81)}{364} \quad (1.4)$$

και D είναι η μέρα του χρόνου.[15]

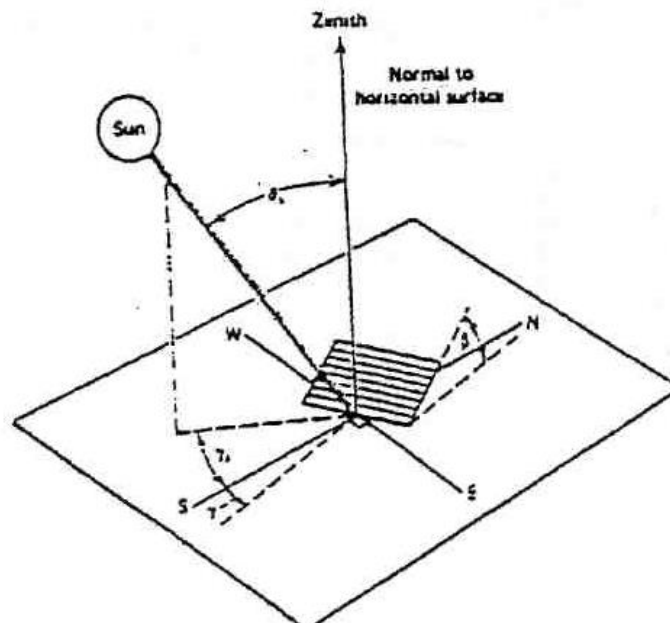
1.6. Ορισμοί και βασικές σχέσεις.

Στην συνέχεια δίνονται οι ορισμοί και οι σχέσεις υπολογισμού βασικών μεγεθών που αφενός μεν χαρακτηρίζουν την ηλιακή ακτινοβολία και αφετέρου δε χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια υαλοστασίου. Τα βασικά αυτά μεγέθη είναι τα εξής:

- **Γωνία ζενίθ , θ_z** : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφο και την ευθεία όρασης του ήλιου.

- **Ηλιακό ύψος, $90^\circ - \theta_z$** : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο.
- **Αζιμούθιο επιφανείας, γ** : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. Για όλα τα σημεία του ορίζοντα ισχύει ότι $-180^\circ < \gamma < 180^\circ$ με $\gamma = 0^\circ$ στο νότο, $\gamma = 90^\circ$ στη δύση, $\gamma = 180^\circ$ στο βορρά και $\gamma = -90^\circ$ στην ανατολή.
- **Αζιμούθιο ηλίου, γ_s** : Είναι η γωνία μεταξύ της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο και της νότιας κατεύθυνσης.
- **Κλίση επιπέδου, β** : Είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδη επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Ισχύει ότι $0^\circ < \beta < 180^\circ$. Για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^\circ$, ενώ για το κατακόρυφο $\beta = 90^\circ$.

Όλα τα παραπάνω μεγέθη φαίνονται στο σχήμα 1.3, το οποίο ακολουθεί:



Σχήμα 1.3. Γωνία ζενίθ θ_z , ηλιακό ύψος $90^\circ - \theta_z$, αζιμούθιο επιφανείας γ , αζιμούθιο ηλίου γ_s και κλίση επιπέδου β . [1]

- **Ωριαία γωνία, ω** : Είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονα της με ρυθμό $15^\circ/h$ το οποίο ισοδυναμεί με $0.25 / \text{min}$. Υπολογίζεται δε από την παρακάτω σχέση :

$$\omega = 0,25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \quad (1.5)$$

Λαμβάνεται $\omega > 0$ για τις ώρες μετά το ηλιακό μεσημέρι και $\omega < 0$ για τις ώρες πριν το ηλιακό μεσημέρι.

- **Ηλιακή απόκλιση , δ** : Είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Επειδή το επίπεδο αυτό είναι κεκλιμένο κατά $23,45^\circ$ ως προς το επίπεδο της τροχιάς της γης περί τον ήλιο, η ηλιακή απόκλιση δ μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ των ορίων $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$ με θετικές τιμές προς το βορρά. Υπολογίζεται δε από τη σχέση :

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (1.6)$$

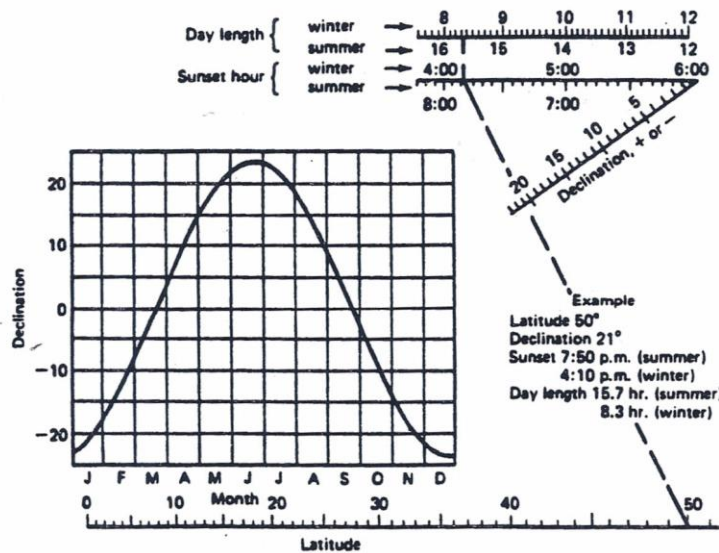
όπου ο n συμβολίζει τον αύξοντα αριθμό μιας οποιασδήποτε μέρας του έτους. Επομένως λοιπόν ο παράγοντας n δέχεται τιμές από 1 : 365.

Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τον αύξοντα αριθμό κάθε ημέρας του έτους, την μέση ημέρα κάθε μήνα και την αντίστοιχη τιμή της αντίστοιχης ηλιακής απόκλισης.

Μήνας	Μέρα του χρόνου	Ημερομηνία	N	Απόκλιση δ ($^\circ$)
Ιανουάριος	i	17	17	-20.9
Φεβρουάριος	31+i	16	47	-13.0
Μάρτιος	59+i	16	75	-2.4
Απρίλιος	90+i	15	105	9.4
Μάιος	120+i	15	135	18.8
Ιούνιος	151+i	11	162	23.1
Ιούλιος	181+i	17	198	21.2
Αύγουστος	212+i	16	228	13.5
Σεπτέμβριος	243+i	15	258	2.2
Οκτώβριος	273+i	15	288	-9.6
Νοέμβριος	304+i	14	318	-18.9
Δεκέμβριος	334+i	10	344	-23.0

Πίνακας 1.1. Αύξοντας αριθμός ημέρας του έτους, n . Μέση ημέρα κάθε μήνα και αντίστοιχη τιμή της ηλιακής απόκλισης δ .

Η μεταβολή αυτή του δ έχει σαν αποτέλεσμα την εναλλαγή των εποχών του έτους και την άνιση διάρκεια ημέρας και νύχτας. Στο σχήμα 1.4 φαίνεται η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης κατά την διάρκεια του έτους :



Σχήμα 1.4. Νομογράφημα εύρεσης του χρόνου δύσης του ηλίου και της διάρκειας της ημέρας, καθώς και η μεταβολή της ηλιακής απόκλισης κατά την διάρκεια του έτους.[1]

- **Γωνία πρόσπτωσης , θ** : Η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας πάνω σε μια επιφάνεια είναι η γωνία που δημιουργείται από τις προσπίπτουσες ηλιακές ακτίνες και την κάθετη στην επιφάνεια. Υπολογίζεται δε από την εξής σχέση :

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \quad (1.7)$$

όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το οποίο λαμβάνει τιμές μεταξύ $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$. Για την Αθήνα ισχύει ότι $\varphi = 37.58^\circ$. [1,15] Για οριζόντιες επιφάνειες ($\beta = 0^\circ$) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με τη γωνία ζενίθ και άρα ισχύει ότι:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega \quad (1.8)$$

1.7. Ολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, χωρίζεται στην άμεση και στη διάχυτη ακτινοβολία. Η στιγμιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας μετριέται σε W/m^2 . Χρησιμοποιείται συνήθως το σύμβολο "G", με κατάλληλους δείκτες σε περίπτωση που αναφερόμαστε στη άμεση (b, beam) ή στη διάχυτη (d, diffuse) ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ενέργεια σε μία επιφάνεια ανά μονάδα επιφάνειας, για μία χρονική περίοδο (π.χ. μία ώρα ή

μία ημέρα), μετριέται σε J/m^2 . Χρησιμοποιείται συνήθως το σύμβολο “I” για τις ωριαίες τιμές και το σύμβολο “H” για ημερήσιες τιμές με κατάλληλους δείκτες.

Άμεση ακτινοβολία (G_b ή I_b ή H_b): Ορίζουμε την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια εξαρτάται από:

- την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα,
- το ύψος του ήλιου,
- το γεωγραφικό πλάτος του τόπου,
- το υψόμετρο του τόπου,
- την κλίση της επιφάνειας,
- την απόσταση ήλιου – Γης και
- την απόκλιση του ήλιου.

Διάχυτη ακτινοβολία (G_d ή I_d ή H_d): Ορίζουμε την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνσή της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα, και από ανάκλαση στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- το ύψος του ήλιου,
- το υψόμετρο του τόπου,
- τη λευκαύγεια (δηλαδή το συντελεστή ανάκλασης της επιφάνειας) του εδάφους,
- το ποσό και το είδος των νεφών και
- το ποσό και το είδος των σωματιδίων και των αερίων της ατμόσφαιρας.

Ολική ακτινοβολία (G ή I ή H): Ορίζουμε το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Για μία οριζόντια επιφάνεια ισχύει, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας :

$$I = I_b + I_d \quad (1.9)$$

Το ίδιο ισοζύγιο ισχύει χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές και για άλλες χρονικές περιόδους, δηλαδή στιγμιαίες εντάσεις ή ημερήσιες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας.[1,4,5,15]

1.8. Απόσβεση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσπίπτει κάθετα σε μία επιφάνεια πάνω στην επιφάνεια της γης, υπόκειται σε ίδιες αιτίες διακύμανσης με την ακτινοβολία που προσπίπτει εξωτερικά της ατμόσφαιρας, όπως αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.4, και σε δύο επί πρόσθετα και πιο σημαντικά φαινόμενα, αυτά (1) της ατμοσφαιρικής σκέδασης από μόρια του αέρα, του νερού και της σκόνης και (2) της ατμοσφαιρικής απορρόφησης από το O_3 , το H_2O και το CO_2 .

Η σκέδαση της ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις αυτής με μόρια του αέρα, του νερού (ατμού ή σταγονίδια), και της σκόνης. Ο βαθμός της σκέδασης είναι συνάρτηση του μήκους της διαδρομής μέσω της οποίας η ακτινοβολία περνάει και του μεγέθους των σωματιδίων σχετικά με το λ , το μήκος κύματος δηλαδή της ακτινοβολίας. Το μήκος της διαδρομής μέσω της οποίας η ακτινοβολία περνάει μετράται με την αέρια μάζα (m). Ο αριθμός των μορίων του νερού και της σκόνης που συναντά η ακτινοβολία κατά το πέρασμά της εξαρτάται λοιπόν τόσο από την αέρια μάζα όσο και από τις ποσότητες σκόνης και υγρασίας της ατμόσφαιρας οι οποίες είναι συνάρτηση της συγκεκριμένης περιοχής και της ώρας.

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας στο φάσμα της ηλιακής ενέργειας οφείλεται κυρίως στο όζον για το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας και στο νερό και το διοξείδιο του άνθρακα για το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Υπάρχει σχεδόν απόλυτη απορρόφηση των χαμηλού-μήκους κύματος ακτινοβολιών από το όζον στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας σε μήκη κύματος μικρότερα από 0,29 μm . Η απορρόφηση του όζοντος μειώνεται όσο αυξάνεται το λ σε τιμές μεγαλύτερες από 0,29 μm , ενώ σε μεγαλύτερες τιμές από 0,35 μm είναι μηδενική. Υπάρχει επίσης μια ασθενής ζώνη απορρόφησης του όζοντος κοντά στα 0,6 μm .

Οι υδρατμοί απορροφούν κυρίως στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας με ισχυρές απορροφητικές ζώνες με κέντρα στα 1,0, 1,4 και 1,8 μm . Πέρα από τα 2,5 μm , η περατότητα της ατμόσφαιρας είναι μικρή εξαιτίας της απορρόφησης από το H_2O και το CO_2 . Εξάλλου, η ενέργεια στο φάσμα της ακτινοβολίας της, εξωτερικά από την ατμόσφαιρα για λ μεγαλύτερα από 2,5 μm είναι λιγότερη από 5% της ολικής ενέργειας, έτσι και η ενέργεια που λαμβάνεται από το έδαφος για αυτά τα μήκη κύματος είναι πολύ μικρή.

Έτσι, η κάθετη ακτινοβολία που προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γης έχει φασματική κατανομή όπως αυτή παρουσιάστηκε στο σχήμα 1.2. Όμως το φάσμα των ακτινών X και των άλλων πολύ χαμηλού μήκους ακτινοβολιών απορροφάται σε μεγάλο υψόμετρο στην ιονόσφαιρα από το άζωτο, το οξυγόνο και τα άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφάται από το όζον. Σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 2,5 μm , ένα συνδυασμός μικρής εξωγήινης ακτινοβολίας και ισχυρής απορρόφησης από το CO_2 έχει ως αποτέλεσμα μικρά ποσά ενέργειας να φτάνουν στο έδαφος. Έτσι, από την σκοπιά των εφαρμογών στην επιφάνεια της γης, μόνο η ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεταξύ 0,29 και 2,5 μm πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. [5]

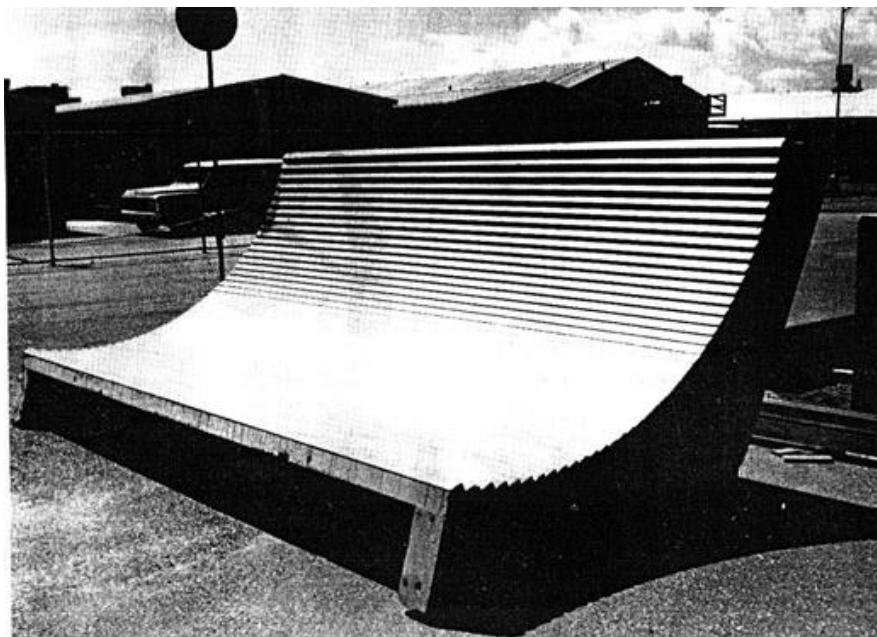
Κεφάλαιο 2. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.

2.1. Εισαγωγή.

Στο παρών κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα είδη συγκεντρωτικών συλλεκτών και θα δοθεί έμφαση στους συγκεντρωτικούς παραβολικούς ηλιακούς συλλέκτες τύπου CPC που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ξεκινώντας, λοιπόν, παρουσιάζονται συνοπτικά οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες και στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά στοιχεία τους.[16] Οι κύριοι συγκεντρωτικοί συλλέκτες είναι οι εξής :

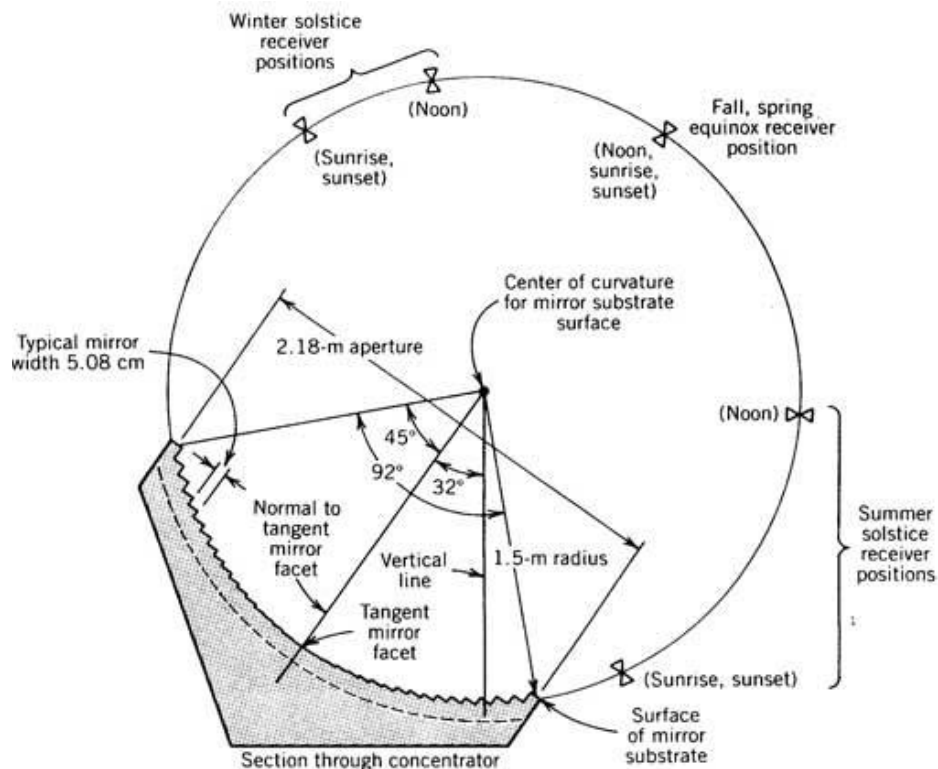
- Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου (FMSC)
- Ηλιακός συλλέκτης μετακινούμενου κατόπτρου και στατικού δέκτη (SLATS)
- Συλλέκτης σταθερού κατόπτρου και μετακινούμενου εστιακού σημείου (FMDF)
- Ηλιακός πύργος ισχύος
- Ηλιακός δίσκος μηχανή
- Παραβολικά ηλιακά κοίλα
- Συλλέκτης Φρεσνέλ (FRESNEL)
- Ηλιακή καμινάδα
- Συλλέκτες τύπου CPC

2.2. Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου (FMSC) (Fixed-mirror solar collector).



Σχήμα 2.1. Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου χωρίς να έχει εγκατεστημένο δέκτη.[7]

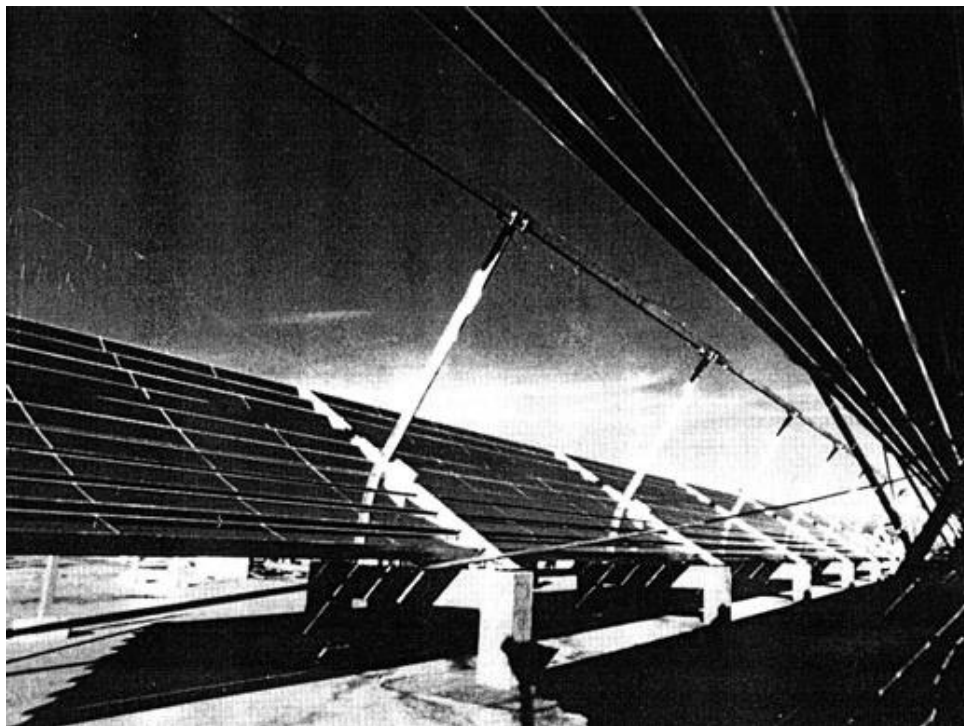
Ο όρος “Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου” είναι ο γενικός όρος που εφαρμόζεται στο είδος του συλλέκτη σταθερού ανοίγματος όπως αυτός στο παραπάνω σχήμα. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο άνοιγμα του συλλέκτη και συγκεντρώνεται σε ένα γραμμικό δέκτη με ανάκλαση από επίπεδα κάτοπτρα. Τα κάτοπτρα παράγουν μια γραμμή συγκεντρωμένου φωτός η οποία μετακινείται κατά μήκος μιας κυκλικής διαδρομής κατά τη διάρκεια της μέρας εξαιτίας της πορείας του ήλιου στον ουρανό. Τα κάτοπτρα είναι τοποθετημένα σε μια κυλινδρική στήριξη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η γραμμή εστίασης των κατόπτρων βρίσκεται στο περίγραμμα αυτού του κυλίνδρου. Ο άξονας περιστροφής του δέκτη βρίσκεται στο κέντρο της καμπυλότητας. Διάφορες θέσεις του δέκτη σε διαφορετικές εποχές του χρόνου φαίνονται επίσης στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2. Ηλιακός συλλέκτης σταθερού κατόπτρου που δείχνει τις ημερήσιες και ετήσιες θέσεις του δέκτη.[7]

Η ευθυγράμμιση κάθε κατόπτρου στην κυλινδρική στήριξη είναι συνάρτηση της θέσης του. Το πρώτο βήμα για να καθορισθεί ο κατάλληλος προσανατολισμός είναι να εντοπιστεί το επαπτόμενο κάτοπτρο όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (tangent mirror facet). Η επιφάνεια αυτού του κατόπτρου είναι επαπτόμενη της επιφάνειας του κυλίνδρου που ορίζεται από το περίγραμμα της κυλινδρικής στήριξης. Η κάθετη στην επιφάνεια του επαπτόμενου κατόπτρου διέρχεται εξ' ορισμού από το κέντρο της καμπυλότητας της κυλινδρικής στήριξης, και κατά συνέπεια από τον άξονα περιστροφής του δέκτη. Ο προσανατολισμός της κάθετης κάθε άλλου κατόπτρου συνδέεται με τη γωνιακή απόσταση από το επαπτόμενο κάτοπτρο.[7]

2.3. Ηλιακός συλλέκτης μετακινούμενου κατόπτρου και στατικού δέκτη (SLATS)(Moving reflector stationary receiver).

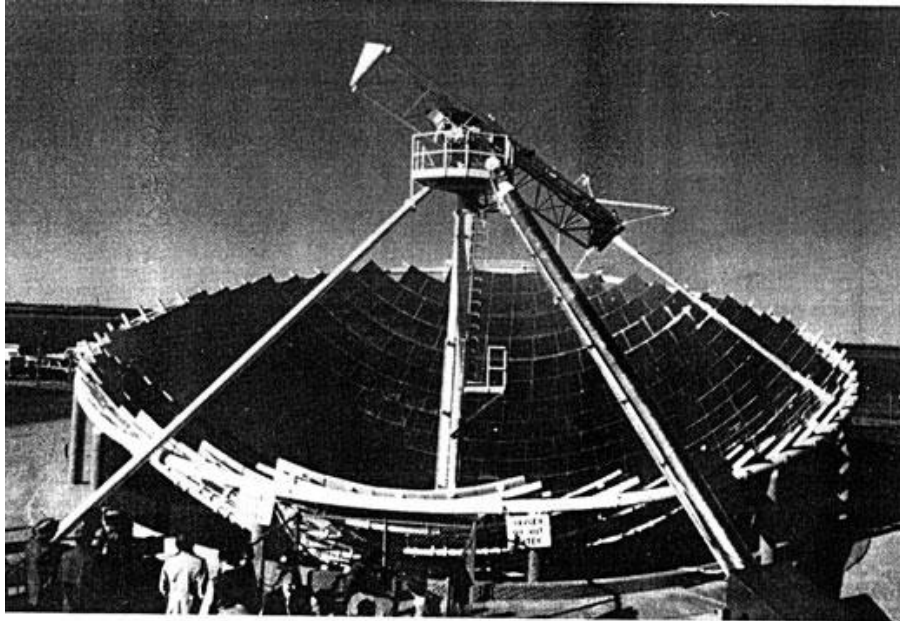


Σχήμα 2.3. Συλλέκτης SLATS.[7]

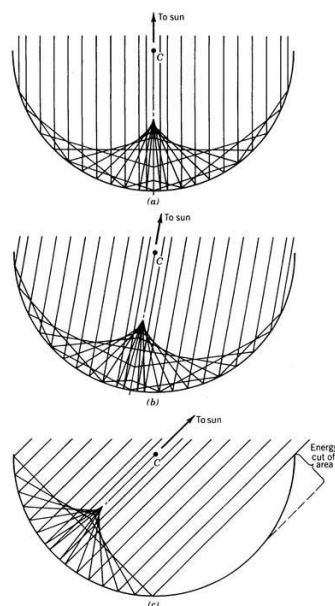
Η συγκεκριμένη ιδέα βασίζεται σε μεμονωμένα κινούμενα κάτοπτρα που εστιάζουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ένα γραμμικό δέκτη όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Παρόλο που τα μεμονωμένα κάτοπτρα περιστρέφονται περί γραμμικών αξόνων για να επικεντρώσουν την προσπίπτουσα δέσμη ηλιακής ακτινοβολίας στο στατικό δέκτη, το πλαίσιο (και άρα το άνοιγμα του ανακλαστήρα) που τα συγκρατεί παραμένει σταθερό. Άρα η ιδέα αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ως συγκεντρωτής σταθερού ανοίγματος, όπου το άνοιγμα του συγκεντρωτή ορίζεται από το ορθογώνιο πλαίσιο του ανακλαστήρα. Καθώς τα μεμονωμένα κάτοπτρα μετακινούνται για να διατηρήσουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προς το δέκτη, η σκίαση και τα κενά που μπορούν να δημιουργηθούν στο συγκεντρωτή παράγουν τα ίδια αποτελέσματα με τη γωνιακή πρόσπτωση σε ένα σταθερό επίπεδο πλαίσιο που έχει κλίση με την ίδια γωνία. Έτσι με βάση την επιφάνεια του ανακλαστήρα ένας τέτοιος συγκεντρωτής έχει προσπίπτουσα ακτινοβολία στο άνοιγμά του ίση με την ακτινοβολία ενός επίπεδου συλλέκτη που έχει κλίση με την ίδια γωνία.[7]

2.4. Συλλέκτης σταθερού κατόπτρου και μετακινούμενου εστιακού σημείου (FMDF).

Ο συλλέκτης αυτός αποτελείται από ένα κάτοπτρο σχήματος σφαιρικού καπέλου, το οποίο συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία σε μια εστιακή γραμμή που διέρχεται από το κέντρο της σφαίρας και δείχνει τον ήλιο. Ένας τέτοιος συλλέκτης σταθερού κατόπτρου και μετακινούμενου εστιακού σημείου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, ενώ η ιδέα για το πως λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα γίνεται εύκολα κατανοητή από τα παρακάτω διαγράμματα.

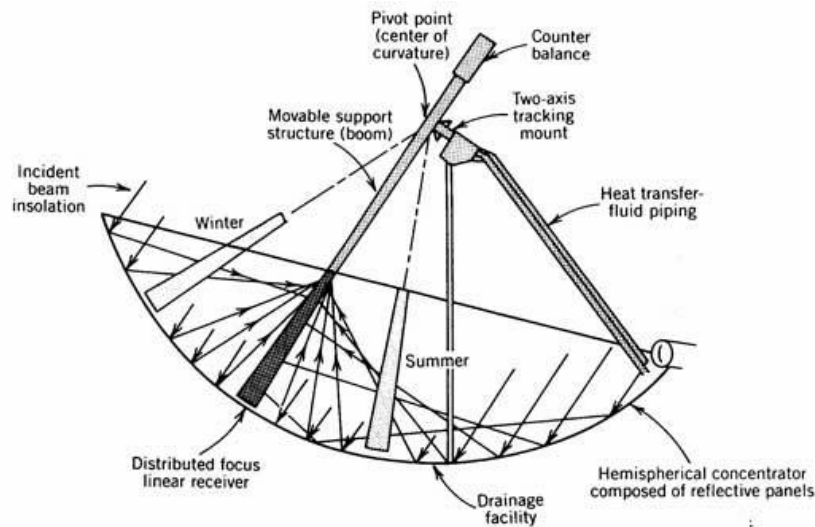


Σχήμα 2.4. Συλλέκτης FMDF.[7]



Σχήμα 2.5. Χαρακτηριστικά των σφαιρικών οπτικών.[7]

Η δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο άνοιγμα ενός σφαιρικού ανακλαστήρα ανακλάται σε μια γραμμή που περνάει από το κέντρο της καμπυλότητας και δείχνει τον ήλιο. Έτσι ο δέκτης πρέπει να είναι ρυθμισμένος ώστε να συλλαμβάνει την ενέργεια που περνά από το εστιακό σημείο. Ακόμα, από τη στιγμή που η εστιακή γραμμή μετακινείται αφού αλλάζει η σχετική θέση του ήλιου, ο γραμμικός δέκτης πρέπει να έχει τη δυνατότητα να κινείται με δύο βαθμούς ελευθερίας. Τυπικά η κίνηση του δέκτη επιτυγχάνεται περιστρέφοντας τη κατασκευή του δέκτη περί του κέντρου καμπυλότητας όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.[7]



Σχήμα 2.6. Κίνηση του δέκτη σε ένα συλλέκτη FMDF.[7]

2.5. Ηλιακός πύργος ισχύος.



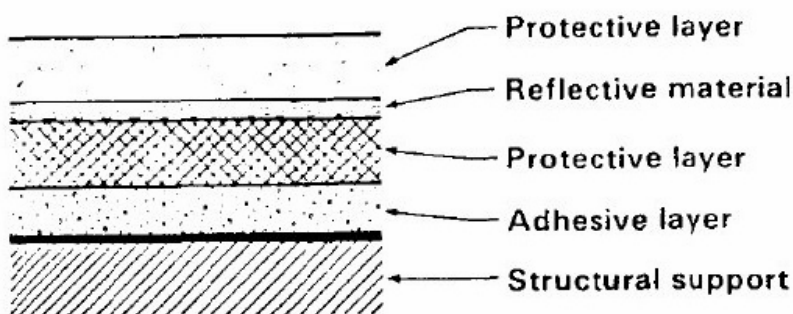
Σχήμα 2.7. Ηλιακός πύργος ισχύος.[8]

Οι ηλιακοί πύργοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια επικεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν εναλλάκτη θερμότητας που τοποθετείται πάνω σε έναν πύργο. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί από εκατοντάδες έως χιλιάδες καθρέπτες, τους ηλιοστάτες, οι οποίοι ανακλούν το φως του ήλιου στο δέκτη. Εκεί οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μετατρέπουν το νερό σε ατμό ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε γεννήτριες για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για εφαρμογές στο εύρος των 30-400 MWe.

Ο ηλιοστάτης είναι μια συσκευή που παρακολουθεί την κίνηση του ήλιου. Η συσκευή χρησιμοποιεί ένα καθρέπτη ο οποίος μπορεί κατά τη διάρκεια της ημέρας να προσανατολίζεται και να ανακατευθύνει το ηλιακό φως προς το δέκτη. Οι απλούστεροι ηλιοστάτες χρησιμοποιούν μια ισημερινή βάση, δηλαδή βάση που παρακολουθεί την περιστροφή της γης έχοντας έναν άξονα περιστροφής παράλληλο με τον άξονα περιστροφής της γης, καθώς και ένα μηχανισμό ρολογιού για να ανιχνεύουν την κίνηση του ήλιου. Πιο ανεπτυγμένοι ηλιοστάτες ανιχνεύουν την κίνηση του ήλιου απευθείας χρησιμοποιώντας αισθητήρες.

Οι ηλιακοί πύργοι λόγω του μεγέθους τους έχουν τη δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος αποθήκευσης της περισσευούμενης κατά τη διάρκεια της μέρας θερμότητας για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Το ηλιοστατικό πεδίο που περιβάλλει τον πύργο είναι διατεταγμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιείται η ετήσια απόδοση της μονάδας. Το μέγεθος του πεδίου και του δέκτη εξαρτώνται από τις ανάγκες της εγκατάστασης. Σε μια τυπική εγκατάσταση η συλλογή ηλιακής ενέργειας υπερβαίνει το ανώτατο όριο που απαιτείται για να παρέχεται ατμός στο στρόβιλο. Συνεπώς το σύστημα θερμικής αποθήκευσης μπορεί να φορτίζεται την ίδια στιγμή που η εγκατάσταση βρίσκεται σε πλήρη παραγωγή ενέργειας. Ο λόγος της θερμικής ενέργειας που παρέχεται από το σύστημα συλλογής προς τη μέγιστη θερμική ενέργεια που απαιτείται από το στρόβιλο λέγεται ηλιακό πολλαπλάσιο. Το ηλιοστατικό πεδίο είναι υπεύθυνο για το μισό περίπου κόστος κεφαλαίου. Οπότε είναι τεράστια η σημασία των υλικών από τα οποία αποτελείται ένας ηλιοστάτης. Τα κύρια υλικά ενός ηλιοστάτη είναι 87 % προϊόντα χάλυβα και καθρέπτες και η ανακλαστική επιφάνεια βρίσκεται πίσω από ένα διαφανές υπόστρωμα. Η δομή της κατασκευής αποτελείται από μια στήριξη από χάλυβα, ένα συγκολλητικό στρώμα, ένα προστατευτικό στρώμα από χαλκό, μια στρώση από ανακλαστικό ασήμι και ένα προστατευτικό στρώμα από χοντρό γυαλί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.8. Υλικά της ανακλαστικής επιφάνειας.[7]

Το ανακλαστικό υλικό πρέπει να αντανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία με ελάχιστες απώλειες και οι εγγενείς οπτικές ιδιότητές έχουν προφανώς μεγάλη σημασία. Επιπλέον η ανάκλαση δεν πρέπει να εξαρτάται από την αλληλεπίδραση με την υγρασία, την υπεριώδη ακτινοβολία, το φως, τη θερμοκρασία και άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Οι πύργοι ισχύος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι για να είναι οικονομικοί. Υστερούν σε αυτόν τον τομέα σε σχέση με τις τεχνολογίες των παραβολικών κοίλων και των παραβολικών πιάτων. Ιδανικά μέρη για την κατασκευή ηλιακών πύργων είναι αυτά που έχουν υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλό κόστος γης.[7,8]

2.6. Ηλιακός δίσκος/μηχανή.



Σχήμα 2.9. Ηλιακός δίσκος.[9]

Οι ηλιακοί δίσκοι μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία σε μηχανική ενέργεια και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια με τον ίδιο τρόπο που οι συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας μετατρέπουν τη θερμική ενέργεια λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό. Το σύστημα του ηλιακού δίσκου χρησιμοποιεί μια σειρά καθρεπτών για να ανακλάσουν και να επικεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη με σκοπό να επιτευχθούν θερμοκρασίες που είναι απαραίτητες για να μετατρέψουν αποτελεσματικά τη θερμότητα σε έργο. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε ένα κινητήρα.

Τα συστήματα ηλιακού δίσκου χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοτικότητα, αυτόνομη λειτουργία και μια εγγενής υβριδική ικανότητα, δηλαδή την ικανότητα να λειτουργούν με

ηλιακή ενέργεια ή με ορυκτό καύσιμο ή και με τα δύο. Από όλες τις ηλιακές τεχνολογίες τα συστήματα ηλιακού δίσκου μηχανής έχουν επιδείξει αποδοτικότητα όσον αφορά τη μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική 29,4 % και ως εκ τούτου έχουν τη δυνατότητα να καταστούν μια από τις φθηνότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας.

Τα συστήματα ηλιακού δίσκου/μηχανής χρησιμοποιούν συγκεντρωτικούς συλλέκτες που ακολουθούν την πορεία του ήλιου σε δύο άξονες. Μια ανακλαστική επιφάνεια από μεταλλοποιημένο γυαλί ή πλαστικό αντανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή περιοχή που ονομάζεται εστία. Το μέγεθος του ηλιακού συγκεντρωτή εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής. Οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν μια ανακλαστική επιφάνεια από αλουμίνιο ή ασήμι το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε γυαλί ή πλαστικό. Οι πιο ανθεκτικές ανακλαστικές επιφάνειες είναι ο καθρέπτης ασημιού/γυαλιού. Επειδή οι συγκεντρωτικοί δίσκοι έχουν μικρό μήκος εστίασης, απαιτούνται σχετικά μικροί καθρέπτες (πάχος 1 mm) για να επιτύχουν τις απαιτούμενες καμπύλες. Επιπλέον προκειμένου να βελτιωθεί η ανάκλαση είναι επιθυμητό το γυαλί να περιέχει μικρή ποσότητα σιδήρου. Εξαρτώμενοι από το πάχος και την περιεκτικότητα σε σίδηρο οι επαργυρωμένοι ηλιακοί καθρέπτες έχουν τιμές ηλιακής ανάκλασης 90% - 94%. Το ιδανικό σχήμα του συγκεντρωτή είναι παραβολοειδές εκ περιστροφής. Σε κάποιους ηλιακούς συγκεντρωτές δημιουργείται αυτό το σχήμα με πολλαπλά σφαιρικά κάτοπτρα τα οποία στηρίζονται σε ένα σκελετό από μεταλλικές δοκούς ενίσχυσης.

Ο δέκτης απορροφά την ηλιακή ενέργεια που ανακλάται στο συγκεντρωτή και τη μεταφέρει στο ρευστό με το οποίο λειτουργεί η μηχανή. Η επιφάνεια απορρόφησης τοποθετείται πίσω από την εστίαση του συγκεντρωτή με σκοπό να μειώσει την τυχαία προσπίπτουσα ροή.

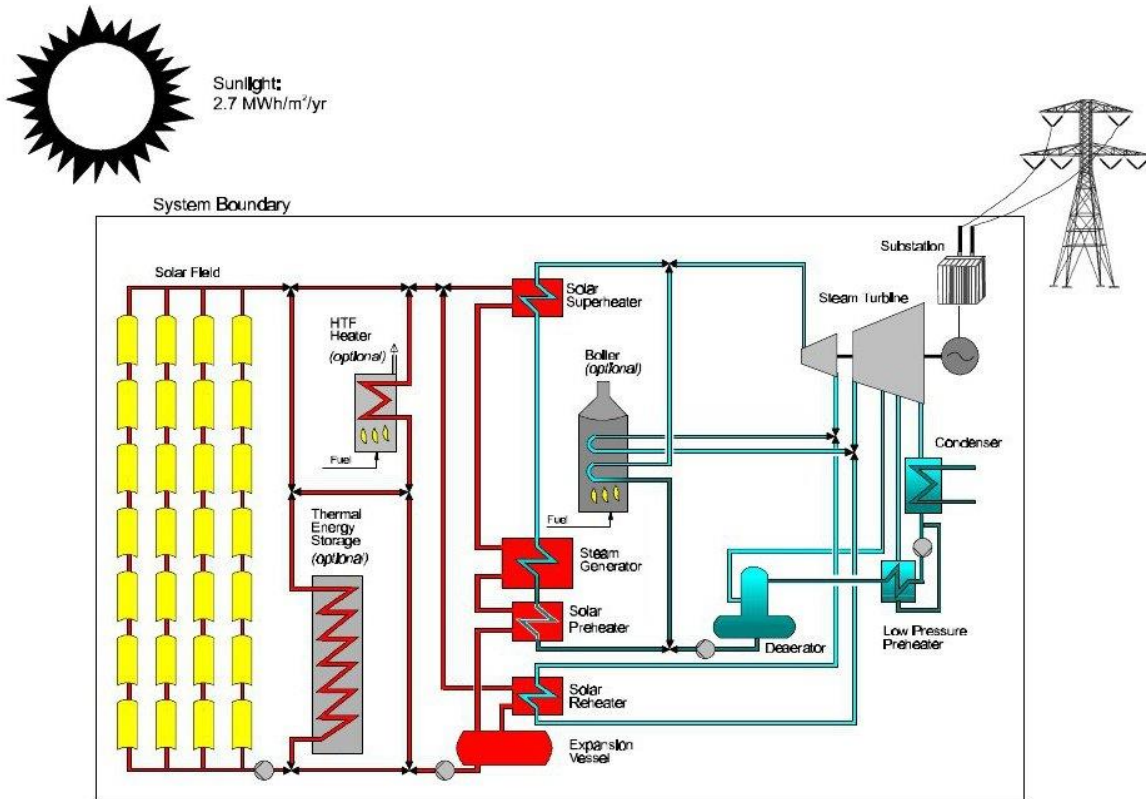
Τα συστήματα δίσκου/μηχανής διαθέτουν τα χαρακτηριστικά της υψηλής απόδοσης, της ευελιξίας και της δυνατότητας για υβριδική λειτουργία. Η υψηλή απόδοση συμβάλλει σε αυξημένη παραγωγή και χαμηλότερο κόστος, σε σύγκριση με άλλες ηλιακές τεχνολογίες. Ανάλογα με το σύστημα και την τοποθεσία, τα συστήματα δίσκου/μηχανής απαιτούν περίπου 1.2 με 1.6 εκτάρια γης ανά MWe. Το εγκατεστημένο κόστος του συστήματος θα μπορούσε να πλησιάσει τα 1,400 \$/kW για υβριδικά συστήματα μαζικής παραγωγής. Αυτή η δυνατότητα για χαμηλό κόστος είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα της υψηλής απόδοσης του συστήματος.[9]

2.7. Παραβολικά ηλιακά κοίλα.



Σχήμα 2.10. Παραβολικά ηλιακά κοίλα.[10]

Η τεχνολογία των παραβολικών κοίλων είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία ηλιακής θερμικής ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό οφείλεται κυρίως σε εννέα ευρείας εμπορικής κλίμακας συστήματα ηλιακής ενέργειας, το πρώτο από τα οποία λειτουργεί στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών στην έρημο Mojave από το 1984. Αυτά τα συστήματα, τα οποία εξακολουθούν να λειτουργούν σε καθημερινή βάση έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 14 έως 80MW και αντιστοιχούν σε δυναμικότητα εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος 354MW. Μεγάλα πεδία με παραβολικούς κοίλους συλλέκτες τροφοδοτούν με την απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την παραγωγή ατμού για μια στροβιλογεννήτρια που λειτουργεί με βάση το κύκλο του Rankine.



Σχήμα 2.11. Σύστημα παραβολικών κοίλων.[7]

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τη λειτουργία του συστήματος που είναι αντιπροσωπευτικό για τη πλειοψηφία των συστημάτων παραβολικών κοίλων που λειτουργούν σήμερα. Το πεδίο του συλλέκτη συνίσταται από ένα μεγάλο πεδίο από παραβολικούς κοίλους ηλιακούς συλλέκτες που έχουν έναν άξονα παρακολούθησης. Το ηλιακό πεδίο αποτελείται από πολλές παράλληλες σειρές ηλιακών συλλεκτών ευθυγραμμισμένες στον οριζόντιο άξονα βορρά - νότου. Κάθε ηλιακός συλλέκτης έχει μια παραβολικού-σχήματος γραμμική ανακλαστική επιφάνεια που εστιάζει την άμεση ακτινοβολία του ήλιου σε έναν γραμμικό δέκτη (συνήθως κυλινδρικό) που βρίσκεται κατά μήκος της εστιακής γραμμής. Οι συλλέκτες παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου από την ανατολή στη δύση κατά τη διάρκεια της μέρας για να εξασφαλιστεί ότι ο ήλιος είναι συνεχώς εστιασμένος στο γραμμικό δέκτη. Ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας (εργαζόμενο μέσο) θερμαίνεται καθώς κυκλοφορεί μέσω του δέκτη

και επιστρέφει σε μια σειρά από εναλλάκτες θερμότητας, όπου το υγρό χρησιμοποιείται για να παραχθεί υπέρθερμος ατμός υψηλής πίεσης. Ο υπέρθερμος ατμός στη συνέχεια τροφοδοτεί μια συμβατική στροβιλογεννήτρια αναθερμαινόμενου ατμού για τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Στη συνέχεια ο ατμός που διέρχεται από το στρόβιλο συμπυκνώνεται σε ένα συμπυκνωτή και επιστρέφει στους εναλλάκτες θερμότητας μέσω αντλιών για να μετατραπεί ξανά σε ατμό. Η ψύξη στο συμπυκνωτή επιτυγχάνεται από πύργους ψύξης.

Τα συστήματα παραβολικών κοίλων έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια ως την κύρια πηγή ενέργειας για τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρη ονομαστική ισχύ χρησιμοποιώντας μόνο ηλιακή ενέργεια με δεδομένη την επάρκειά της. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τα συστήματα συνήθως λειτουργούν από 10 έως 12 ώρες τη μέρα σε πλήρη ηλεκτρική παραγωγή. Ωστόσο μέχρι σήμερα όλες οι μονάδες είναι υβριδικές χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και ορυκτά καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι έχουν μια βοηθητική δυνατότητα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπληρωθεί η ηλιακή ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Στο παραπάνω σχήμα ο προαιρετικός θερμαντήρας φυσικού αερίου βρίσκεται σε παράλληλη σύνδεση με το ηλιακό πεδίο. Τα ορυκτά καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια συννεφιάς ή κατά τις νυχτερινές περιόδους. Στο προηγούμενο σχήμα βλέπουμε επίσης ότι μια πιθανή λύση για να λυθεί το πρόβλημα της διακοπτόμενης παραγωγής είναι η προσθήκη θερμικής αποθήκευσης.[7,10]

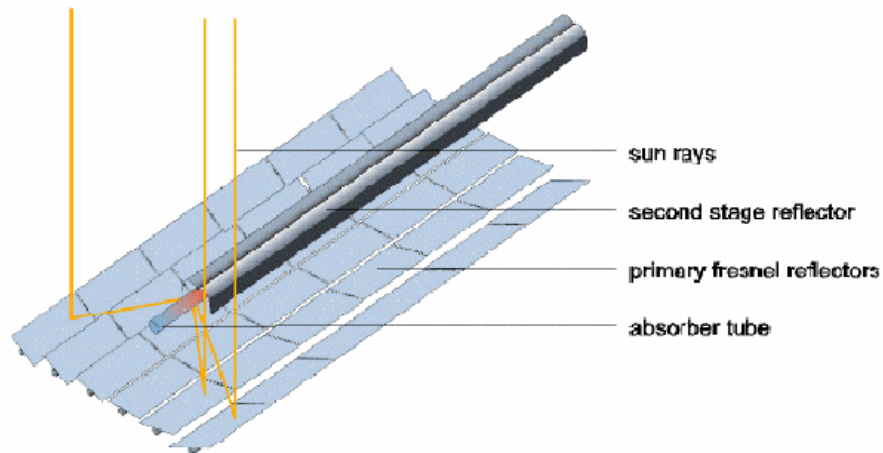
2.8. Συλλέκτης Φρεσνέλ (FRESNEL).



Σχήμα 2.12. Ηλιακοί συγκεντρωτές Φρεσνέλ.[11]

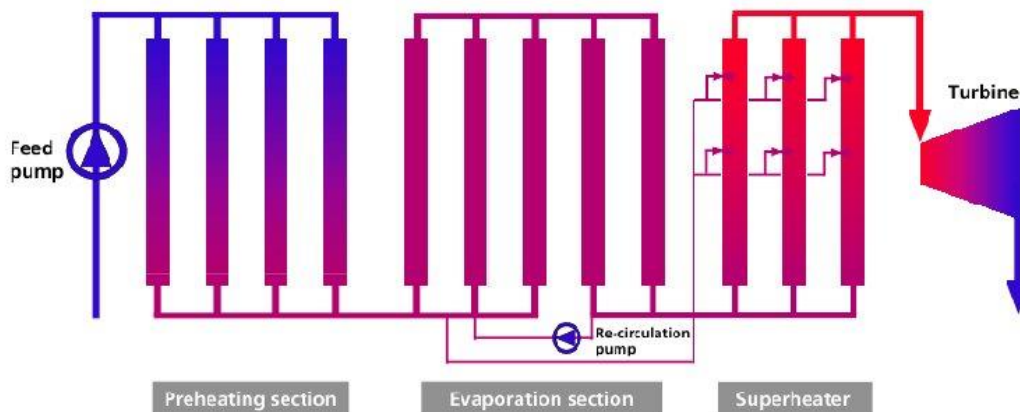
Σε ένα συλλέκτη Φρεσνέλ μεγάλα πεδία ανακλαστήρων συγκεντρώνουν τη δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα στατικό δέκτη που βρίσκεται αρκετά μέτρα ψηλότερα από το έδαφος. Ο δέκτης περιέχει ένα δεύτερο ανακλαστήρα που συγκεντρώνει όλη την εισερχόμενη ακτινοβολία σε ένα σωληνωτό απορροφητήρα. Τα κάτοπτρα δεν είναι εντελώς επίπεδα αλλά

έχουν μικρή καμπύλη η οποία επιτυγχάνεται με μηχανική κάμψη. Ο δεύτερος συγκεντρωτής δεν μεγαλώνει απλά το στόχο για τους ανακλαστήρες Φρεσνέλ αλλά επιπλέον μονώνει τον απορροφητικό σωλήνα. Στο πίσω μέρος του είναι καλυμμένος με μια αδιαφανή μόνωση ενώ στο μπροστινό ένας υαλοπίνακας μειώνει τις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής.



Σχήμα 2.13. Αρχή λειτουργίας συλλέκτη Φρεσνέλ.[12]

Ο σχεδιασμός μιας εγκατάστασης συλλεκτών Φρεσνέλ για άμεση παραγωγή ατμού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στο σχήμα αυτό ένα ηλιακό πεδίο για μια μονάδα των 50 MW θα κατασκευαστεί με 12 σειρές συλλεκτών όπου η κάθε μία έχει μήκος 1000 m. Οι σειρές μπορούν να κατασκευαστούν η μία κοντά στην άλλη ώστε να μειωθεί η χρήση γης καθώς το ηλιακό πεδίο δεν είναι πρακτικά μεγαλύτερο από την περιοχή των κατόπτρων. Οι σειρές των συλλεκτών είναι συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα και το ηλιακό πεδίο είναι χωρισμένο σε τρία μέρη για την προθέρμανση, την εξάτμιση και την υπερθέρμανση.



Σχήμα 2.14. Σύνδεση συλλέκτη Φρεσνέλ.[11]

Τα κύρια πλεονεκτήματα του συλλέκτη Fresnel, σε σύγκριση με τους παραβολικούς κοίλους συλλέκτες είναι:

- Ανέξοδοι επίπεδοι καθρέφτες και απλό σύστημα παρακολούθησης
- Σταθερός σωλήνας απορρόφησης χωρίς την ανάγκη για ευέλικτες συνδέσεις υψηλής πίεσης
- Καμία τεχνολογία κενού και χωρίς σφράγιση γυαλιού-μετάλλου
- Ένας μόνο σωλήνας απορρόφησης χωρίς την ανάγκη για θερμική διαστολή τόξου
- Λόγω της επιπεδότητας του ανακλαστήρα, τα φορτία ανέμου μειώνονται σημαντικά, ώστε το πλάτος για έναν σωλήνα απορρόφησης του ανακλαστήρα μπορεί εύκολα να είναι τρεις φορές το πλάτος της γούρνας
- Λόγω της άμεσης παραγωγής ατμού δεν είναι απαραίτητος ο εναλλάκτης θερμότητας
- Αποδοτική χρήση της γης, δεδομένου ότι οι συλλέκτες μπορούν να τοποθετηθούν ο ένας δίπλα στον άλλο

Αυτά τα πλεονεκτήματα μπορούν να οδηγήσουν σε έως και 50% της μείωσης του κόστους όσον αφορά το ηλιακό πεδίο σε σχέση με τα παραβολικά κοίλα. Περαιτέρω μείωση του κόστους είναι εφικτή λόγω οικονομίας κλίμακας και βέλτιστου σχεδιασμού του συλλέκτη. Επιπλέον, εκτός από το μειωμένο κόστος του ηλιακού πεδίου υπάρχει και η εξοικονόμηση πόρων εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους λειτουργίας και συντήρησης.[11,12]

2.9. Ηλιακή καμινάδα.



Σχήμα 2.15. Ηλιακή καμινάδα.[13]

Η Ηλιακή Καμινάδα είναι μια ηλιακή θερμική μονάδα που χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό ηλιακών συλλεκτών αέρα και ενός κεντρικού κάθετου κυλινδρικού σωλήνα (καμινάδα). Αρχικά εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία για να θερμάνει στρώματα αέρα, που βρίσκονται κάτω από μια μεγάλη γυάλινη επιφάνεια. Στη συνέχεια ο θερμός αέρας κινείται ανοδικά στην

καμινάδα όπου κινεί κάποιες τουρμπίνες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Παρόμοια είναι η αρχή λειτουργίας των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

Τα τρία σημαντικά στοιχεία μιας εγκατάστασης ηλιακής καμινάδας είναι :

- ο ηλιακός συλλέκτης αέρα,
- η καμινάδα/πύργος και
- οι αεριοστρόβιλοι.

Ο συνδυασμός τους για την παραγωγή ενέργειας έχει περιγραφεί ήδη από το 1931. Ένας τέτοιος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προτείνεται για εγκατάσταση σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και με διαθέσιμες μεγάλες επίπεδες εκτάσεις γης όπως στις ερήμους, όπου εκμεταλλεύεται την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και ελαχιστοποιεί την όχληση, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ενεργειακές λύσεις σε κοινωνίες που σήμερα δεν έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες ηλεκτρισμού. Με την τεχνολογία της ηλιακής καμινάδας είναι εφικτή η δημιουργία ακόμη και μεγάλων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής της τάξης των 200-400 MW. Για μια μονάδα 200 MW απαιτείται μια γυάλινη επιφάνεια διαμέτρου 7 km και μια καμινάδα 1000 m. Με την τοποθέτηση κάτω από την γυάλινη επιφάνεια απλών σωληνώσεων, στις οποίες υπάρχει νερό, μπορεί να εξασφαλιστεί συνεχής λειτουργία, ακόμη και τις νυχτερινές ώρες. Αυτό επειδή την ημέρα με την ηλιοφάνεια θερμαίνεται το νερό και το βράδυ αποδίδει την θερμότητα πίσω στον αέρα κάτω από την γυάλινη επιφάνεια, προκαλώντας και πάλι το φαινόμενο της καμινάδας.[13]

2.10. Συλλέκτης τύπου CPC.



Σχήμα 2.16. Συλλέκτης τύπου CPC.[13]

Οι σύνθετοι παραβολικοί συγκεντρωτές (Compound Parabolic Concentrators) είναι συλλέκτες μέσης θερμοκρασίας και περιέχουν στοιχεία τόσο από συγκεντρωτικούς συλλέκτες όσο και από επίπεδους συλλέκτες. Αυτό γιατί δεν συγκεντρώνουν απλά την ηλιακή δέσμη στο δέκτη με ένα ανακλαστήρα αλλά αξιοποιούν και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, όπως οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες. Η αξιοποίηση γίνεται υπό ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης και έτσι υπάρχουν ελάχιστες απαιτήσεις για την παρακολούθηση του ήλιου. Ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτών χωρίς είδωλο και επιτυγχάνουν μικρούς λόγους συγκέντρωσης. Οι συγκεντρωτές με δύο άξονες μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερους λόγους συγκέντρωσης αλλά η επιβάρυνση και τα προβλήματα της συντήρησης του εξοπλισμού τους κάνουν λιγότερο αποδοτικούς οικονομικά.

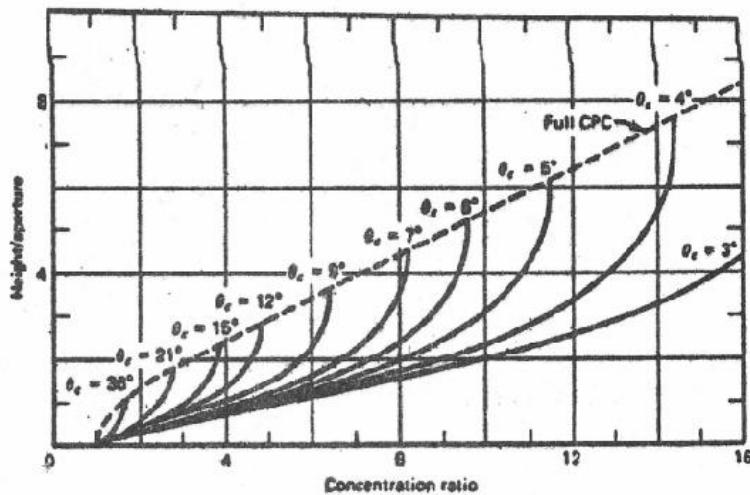
Η συνηθέστερη μορφή των συλλεκτών CPC είναι η δισδιάστατη τύπου σκάφης. Κάθε πλευρά του CPC είναι τμήμα παραβολής. Και οι δύο παραβολικές επιφάνειες εκτείνονται μέχρι να γίνουν παράλληλες προς τον άξονα συμμετρίας του CPC. Η γωνία που σχηματίζεται από τον άξονα του CPC και την ευθεία που συνδέει την εστία της μιας παραβολής με το απέναντι άκρο του ανοίγματος, ονομάζεται ημιγωνία αποδοχής θ_c . Αν οι παραβολικές ανακλαστικές επιφάνειες είναι (οπτικά) τέλειες, τότε η ακτινοβολία που εισέρχεται στο άνοιγμα υπό γωνία θ , έτσι ώστε $-\theta_c < \theta < \theta_c$, ανακλάται προς το δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στη βάση του CPC.

Για $\theta < -\theta_c$ ή $\theta > \theta_c$ η ακτινοβολία δεν φτάνει στο δέκτη. Ο λόγος συγκέντρωσης για ένα (οπτικά) τέλειο επιμήκη CPC δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{1}{\sin \theta_c} \quad (2.1)$$

Τα άνω άκρα των παραβολικών πλευρών του CPC συνεισφέρουν ελάχιστα στην ανάκλαση της ακτινοβολίας προς τον δέκτη και συνεπώς μπορούν να αποκοπούν. Έτσι, το ύψος του CPC μπορεί να μειωθεί με ελάχιστη μείωση στην απόδοση, αλλά σημαντική μείωση στο κόστος κατασκευής. Η αποκοπή των άνω άκρων:

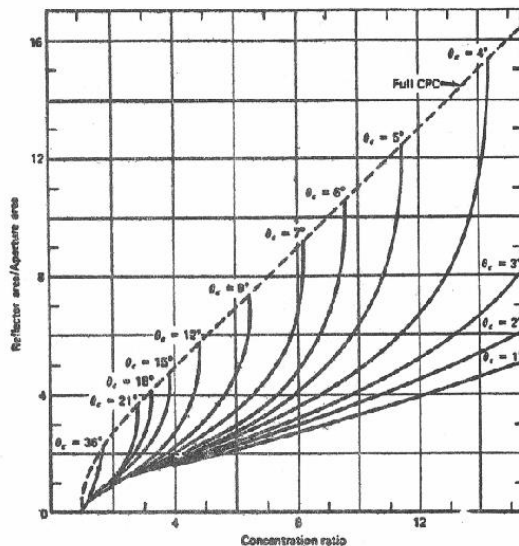
- i. δεν μεταβάλλει την ημιγωνία αποδοχής
- ii. μεταβάλλει το λόγο του ύψους προς το άνοιγμα
- iii. μεταβάλλει το λόγο συγκέντρωσης
- iv. μεταβάλλει το μέσο αριθμό ανακλάσεων που υφίσταται η ακτινοβολία μέχρι να φτάσει στον απορροφητήρα.



Λόγος του ύψους προς το άνοιγμα για πλήρεις και αποκομμένους CPC, συναρτήσει του λόγου συγκέντρωσης και της ημιγωνίας αποδοχής.

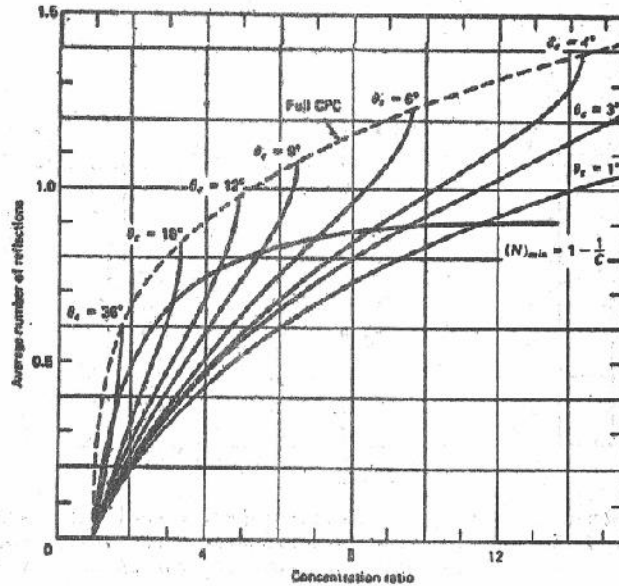
Σχήμα 2.17. Ο λόγος του ύψους προς το άνοιγμα.[1]

Ο λόγος του ύψους προς το άνοιγμα, ο λόγος της ανακλαστικής επιφάνειας προς την επιφάνεια του ανοίγματος και ο μέσος αριθμός ανακλάσεων δίδονται στα σχήματα 2.17, 2.18, 2.19 αντίστοιχα συναρτήσει του λόγου συγκέντρωσης και με παράμετρο την ημιγωνία αποδοχής θ_c , για πλήρεις και αποκομμένους, τέλειους, CPC. Εάν η αποκοπή των άκρων του CPC είναι τέτοια ώστε να προκύπτει μέσος αριθμός ανακλάσεων κάτω από την καμπύλη N_{min} του 2.18 τότε πρέπει να λαμβάνεται η τιμή N_{min} .



Λόγος της ανακλαστικής επιφάνειας προς την επιφάνεια του ανοίγματος για πλήρεις και αποκομμένους CPC, συναρτήσει του λόγου συγκέντρωσης και της ημιγωνίας αποδοχής.

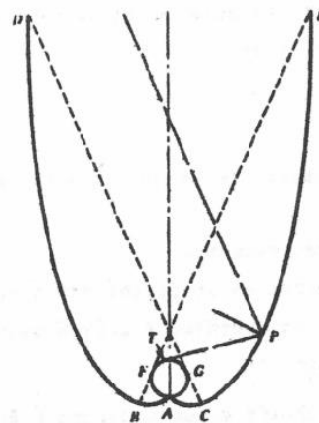
Σχήμα 2.18. Ο λόγος της ανακλαστικής επιφάνειας προς την επιφάνεια του ανοίγματος.[1]



Μέσος αριθμός ανακλάσεων για ελθρεις και αποκομμένους CPC, συναρτήσει του λόγου συγκέντρωσης και της ημιγωνίας αποδοχής.

Σχήμα 2.19. Ο μέσος αριθμός ανακλάσεων.[1]

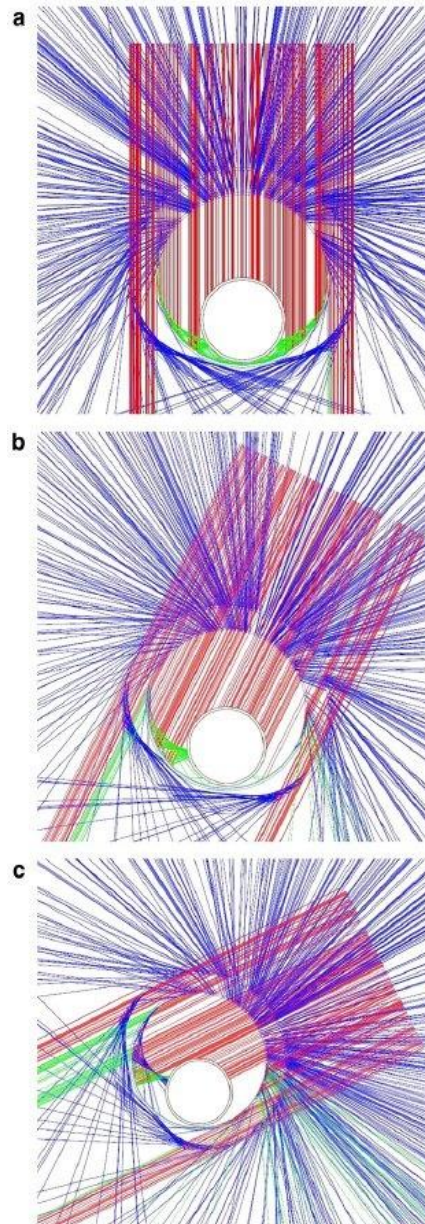
Στο σχήμα 2.20 φαίνεται ένας συλλέκτης τύπου CPC με κυλινδρικό δέκτη, στον οποίο φαίνεται και ο τρόπος γένεσης του σχήματος της ανακλαστικής επιφάνειας που απαιτείται για τον δέκτη αυτό. Έτσι, στο τυχόν σημείο P της επιφάνειας CE πρέπει η κάθετος στο κάτοπτρο να διχοτομεί τη γωνία που σχηματίζει η επαπτομένη στον απορροφητήρα, PT, και η ευθεία που διέρχεται από το P και σχηματίζει γωνία θ_c με τον άξονα του CPC. Η παραπάνω μέθοδος γένεσης της ανακλαστικής επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε σχήμα κυρτού δέκτη, δημιουργώντας έτσι συλλέκτες τύπου CPC, οι οποίοι δεν είναι κατ' ανάγκη παραβολικοί.



CPC με κυλινδρικό δέκτη (σωλήνα)

Σχήμα 2.20. CPC με κυλινδρικό δέκτη.[1]

Ο CPC του παραπάνω σχήματος χρησιμοποιείται συνήθως αποκομμένος με σωληνοειδή δέκτη κενού και μάλιστα σε συστοιχία πολλών ομοίων CPC, η οποία φέρει επίπεδο υάλινο κάλυμμα. Στο σχήμα 2.21 βλέπουμε τα αποτελέσματα της ανίχνευσης των ακτινών φωτός για γωνίες πρόσπτωσης (a) 0° , (b) 30° , (c) 60° . Με κόκκινο χρώμα είναι οι προσπίπτουσες ακτίνες, με πράσινο οι ανακλώμενες στον απορροφητήρα και με μπλε οι διαθλώμενες και ανακλώμενες ακτίνες προς το περιβάλλον.[3]



Σχήμα 2.21. Οι ακτίνες φωτός σε ένα συλλέκτη CPC για γωνίες πρόσπτωσης a) 0° , b) 30° , c) 60° . [3]

Απορροφούμενη ακτινοβολία.

Οι συλλέκτες CPC τοποθετούνται συνήθως με τον διαμήκη άξονα οριζόντιο και προσανατολισμένο κατά την Ανατολή - Δύση. Το επίπεδο του ανοίγματος είναι στραμμένο προς τον ισημερινό, σχηματίζοντας γωνία β με το οριζόντιο επίπεδο. Συνήθως υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης (περιστροφής) περί τον επιμήκη άξονα, έτσι ώστε η άμεση ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει εντός των ορίων που επιβάλλει η γωνία αποδοχής $2\theta_c$. Αυξανόμενου του λόγου συγκέντρωσης μειώνεται η θ_c με συνέπεια την απαίτηση συχνότερης ρύθμισης. Ο υπολογισμός της ακτινοβολίας που απορροφά ο δέκτης του CPC, με προσανατολισμό όπως περιγράφεται παραπάνω, γίνεται ως εξής :

- i. Ελέγχεται αν η άμεσος ακτινοβολία προσπίπτει εντός των επιβαλλομένων ορίων. Αυτό συμβαίνει αν πληρείται η συνθήκη :

$$(\beta - \theta_c) \leq \tan^{-1}(\tan \theta_z \cos \gamma_s) \leq (\beta + \theta_c) \quad (2.2)$$

όπου θ_z είναι η γωνία ζενίθ και γ_s είναι το αζιμούθιο του ήλιου που υπολογίζεται συναρτήσει της ηλιακής απόκλισης δ , του γεωγραφικού πλάτους ϕ και της ωριαίας γωνίας ω από τη σχέση :

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \theta_z} \quad (2.3)$$

$$\tan \gamma_s = \frac{\sin \omega}{\sin \phi \cos \omega - \cos \phi \tan \delta} \quad (2.4)$$

- ii. Υπολογίζεται η αξιοποιούμενη προσπίπτουσα άμεση ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας του ανοίγματος $G_{b,CPC}$ από τη σχέση:

$$G_{b,CPC} = F G_{bn} \cos \theta \quad (2.5)$$

όπου:

F = συνάρτηση ελέγχου που λαμβάνει την τιμή 1 ή 0 αν ικανοποιείται ή όχι η συνθήκη

G_{bn} = άμεση ακτινοβολία καθέτου επιπέδου

θ = η γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ακτινοβολίας στο άνοιγμα

- iii. Υποθέτοντας ότι η διάχυτη ακτινοβολία είναι ισότροπη υπολογίζεται η αξιοποιούμενη διάχυτη ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας του ανοίγματος $G_{d,CPC}$ από τη σχέση :

$$G_b = \frac{G_d}{C} \quad \text{αν } \beta + \theta_c < 90^\circ \quad (2.6)$$

ή

$$G_{b,CPC} = G_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + G_p \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \text{ αν } \beta + \theta_c > 90^\circ \quad (2.7)$$

Όπου c είναι ο λόγος συγκέντρωσης, G_d η ισότροπη διάχυτη ακτινοβολία, G η ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και ρ ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση της εξίσωσης (2.6), επειδή $\beta + \theta_c < 90^\circ$ εισέρχεται στο CPC μόνο η διάχυτη προερχόμενη από τον ουρανό, ενώ στην περίπτωση της εξίσωσης (2.7) λαμβάνεται υπόψη και η διάχυτη από τον ουρανό και η διάχυτη που προκύπτει από ανάκλαση της ολικής ακτινοβολίας στο έδαφος.

- iv. Τέλος, υπολογίζεται η συνολική ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας του ανοίγματος, S , την οποία απορροφά ο απορροφητήρας του συλλέκτη από τη σχέση:

$$S = (G_{b,CPC} \cdot \tau_{cb} \cdot \alpha_b + G_{d,CPC} \cdot \tau_{cd} \cdot \alpha_d) \cdot \tau_{CPC} \quad (2.8)$$

Όπου $\tau_{cb} \cdot \alpha_b$ = γινόμενο, για άμεση ακτινοβολία, της διαπερατότητας του καλύμματος που συνήθως τοποθετείται πάνω από τη συστοιχία των CPC, επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα.

$\tau_{cd} \cdot \alpha_d$ = το αντίστοιχο γινόμενο για διάχυτη ακτινοβολία

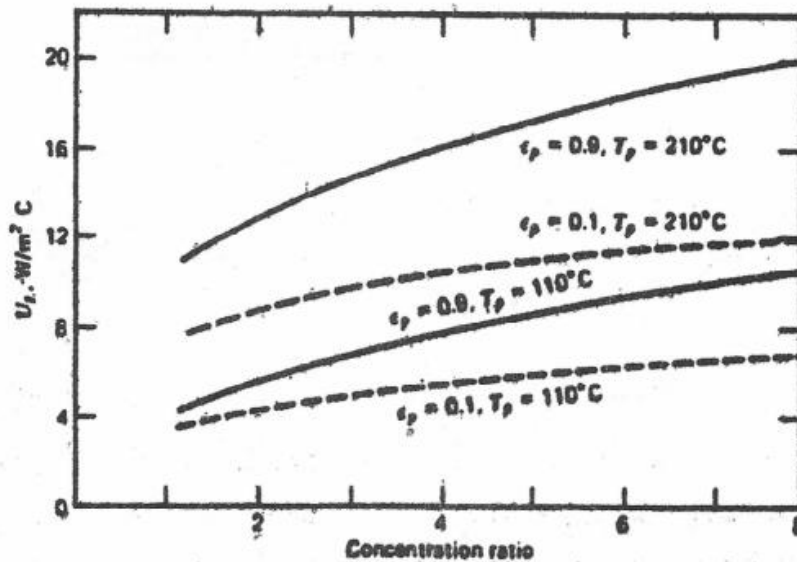
τ_{CPC} = διαπερατότητα του συγκεντρωτή, η οποία λαμβάνει υπόψη τις απώλειες ανάκλασης. Έτσι, αν ρ είναι ο συντελεστής ανάκλασης του ανακλαστήρα και N ο μέσος όρος ανακλάσεων, ισχύει :

$$\tau_{CPC} = \rho^N \quad (2.9)$$

Ορισμένες παραλλαγές συλλεκτών CPC απαιτούν ενδεχομένως τροποποιήσεις στους παραπάνω γενικούς υπολογισμούς. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση του CPC με σωληνοειδή δέκτη κενού, όπου πρέπει να ληφθεί υπόψη και το επιπρόσθετο κάλυμμα του δέκτη.

Αποδιδόμενη θερμική ισχύς.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται ως παράδειγμα οι τιμές του U_L ανά μονάδα επιφάνειας του απορροφητήρα, συναρτήσεως του λόγου συγκέντρωσης, τις οποίες υπολόγισε ο Rabl για συλλέκτες CPC με επίπεδο απορροφητήρα. Οι καμπύλες αντιστοιχούν σε δύο τιμές του συντελεστή εκπομπής και δύο τιμές της θερμοκρασίας του απορροφητήρα.



Σχήμα 2.22. Συντελεστές θερμικών απωλειών συναρτήσει του λόγου συγκέντρωσης για συλλέκτες CPC με επίπεδο απορροφητήρα.[1]

Για συλλέκτες CPC με σωληνοειδή δέκτη κενού και κυλινδρική απορροφητική επιφάνεια, ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_L είναι της τάξης του $1\text{W/m}^2\text{K}$, δηλαδή σημαντικά μικρότερος από τις τιμές του παραπάνω σχήματος.

Ο υπολογισμός της αποδιδόμενης θερμικής ισχύος των συλλεκτών CPC μπορεί να συνοψισθεί ως εξής:


1. Υπολογίζεται η απορροφούμενη ακτινοβολία S από την εξίσωση (2.8)
2. Λαμβάνεται κατ'εκτίμηση η μέση θερμοκρασία απορροφητήρα, T_p
3. Για την εκτιμηθείσα τιμή T_p , λαμβάνεται από το σχήμα 2.22 ή από άλλη πηγή ή υπολογίζεται ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_L
4. Υπολογίζεται ο παράγων θερμικής απολαβής F_R
5. Υπολογίζεται η αποδιδόμενη θερμική ισχύς Q_u
6. Με βάση τη Q_u υπολογίζεται νέα θερμοκρασία απορροφητήρα, T_p , και εφόσον η νέα T_p διαφέρει από την εκτίμηση του βήματος 2 επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί μέχρι συγκλίσεως.[1,3]

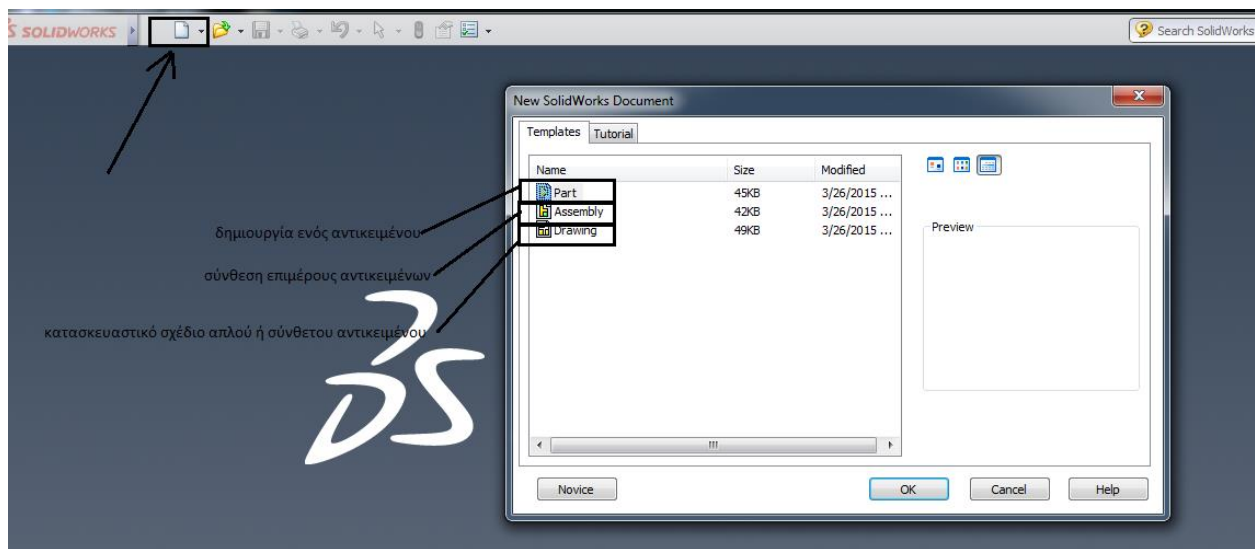
Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

3.1. Εισαγωγή στο Solidworks.

Πρόκειται για ένα λογισμικό σχεδίασης και προσομοίωσης, το οποίο δημιουργήθηκε και αναπτύσσεται από την εταιρία Dassault Systèmes Solidworks και χρησιμοποιείται τόσο στον εκπαιδευτικό όσο και στον βιομηχανικό τομέα. Το Solidworks δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη του να σχεδιάσει σε δύο ή και τρεις διαστάσεις σχήματα και αντικείμενα ποικίλης γεωμετρίας, καθώς και να τα συνθέσει σε ένα κοινό αρχείο (assembly). Η λειτουργία του παρουσιάζει παραμετρικό χαρακτήρα, ο οποίος επιτρέπει τη δημιουργία «σχέσεων εξάρτησης» μεταξύ των διαφόρων καμπύλων που απαρτίζουν ένα σχήμα, καθώς και των διαστάσεων αυτών, με αποτέλεσμα οι οποιοσδήποτε λογικές αλλαγές επί των σχέσεων αυτών, κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, να προκαλούν αυτόματη αλλαγή στις διαστάσεις του στερεού που γίνεται η μελέτη. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνει, επίσης, τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις για τη μελέτη της μηχανικής αντοχής ή της θερμικής συμπεριφοράς απλών ή συναρμολογημένων αντικειμένων, καθώς και της ροής διαφόρων εργαζόμενων μέσων.


3.2. Έναρξη του προγράμματος.

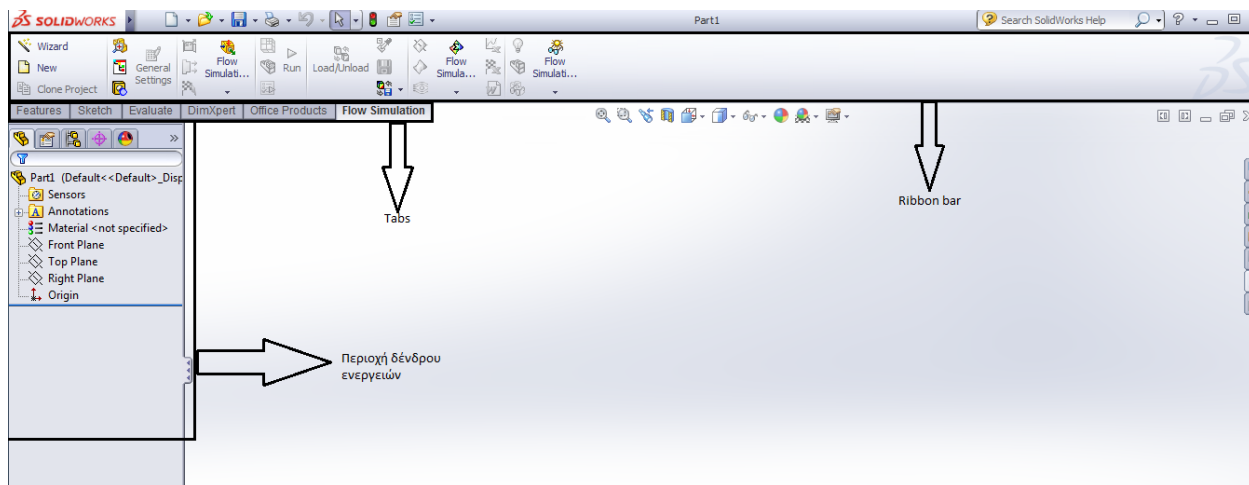
Κατά το ξεκίνημα, επιλέγεται το εικονίδιο ( **New**) που διακρίνεται δεξιά από το λογότυπο του προγράμματος, οπότε εμφανίζεται στην οθόνη μία καρτέλα που περιλαμβάνει τρεις επιλογές, οι οποίες και εξηγούνται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.1. Δημιουργία νέου αρχείου στο πρόγραμμα Solidworks.

3.2.1. Αρχείο “ Part”.

Στα πλαίσια της παρούσης ενότητας σχεδιάζεται ένα αντικείμενο ( **Part**). Αφού επιλεγεί το πρώτο εικονίδιο της καρτέλας (άνοιγμα αρχείου **Part**), στην οθόνη εμφανίζονται τα παρακάτω (*Σχήμα 3.2*).














Σχήμα 3.2. Κύρια στοιχεία που απαρτίζουν το περιβάλλον του προγράμματος Solidworks.

Στην κορυφή υπάρχει το λεγόμενο **Ribbon bar**, το οποίο περιλαμβάνει μία πληθώρα καρτελών η καθεμία εκ των οποίων εξυπηρετεί μία συγκεκριμένη λειτουργία, παρέχοντας τα κατάλληλα εργαλεία, όπως θα φανεί παρακάτω. Πλάγια και κάτω, ακριβώς, από τις καρτέλες (**Tab**s) βρίσκεται το **δένδρο ενεργειών**, στο οποίο καταγράφεται κάθε βήμα που ακολουθούμε κατά τη σχεδίαση.[14]

3.3. Βασικά γεωμετρικά σχήματα και εντολές σχεδίασης.

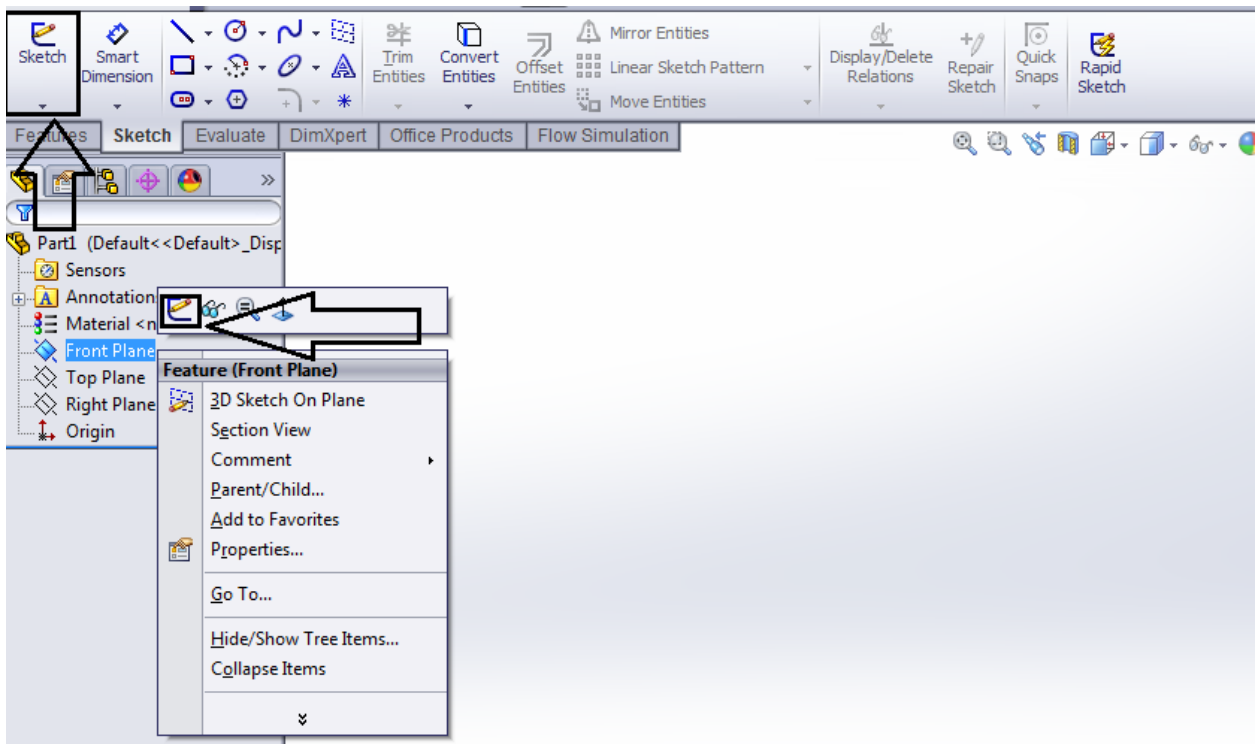
Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει μία πληθώρα εντολών, για την όσο το δυνατόν αποδοτικότερη και ευκολότερη σχεδίαση απλών ή και αρκετά σύνθετων γεωμετρικών σχημάτων. Ορισμένες βασικές εντολές σχεδίασης παρατίθενται στη συνέχεια:

-  **Line:** γραμμή σχεδίασης ή αξονική γραμμή
-  **Circle:** σχεδίαση κύκλου
-  **Corner Rectangle:** σχεδίαση ορθογωνίου παραλληλογράμμου
-  **Centerpoint Arc:** τόξο κύκλου
-  **Spline:** καμπύλη με σημεία ελέγχου
-  **Trim Entities:** περικοπή τμήματος καμπύλης

-  **Smart Dimension:** εισαγωγή διαστάσεων
-  **Move Entities:** μετακίνηση του σχεδίου
-  **Offset Entities:** δημιουργία γεωμετρικά όμοιων σχημάτων
-  **Mirror Entities:** αντιγραφή σχήματος ως προς άξονα συμμετρίας
-  **Parabola:** σχεδίαση παραβολής.

3.3.1. Έναρξη σχεδίασης.

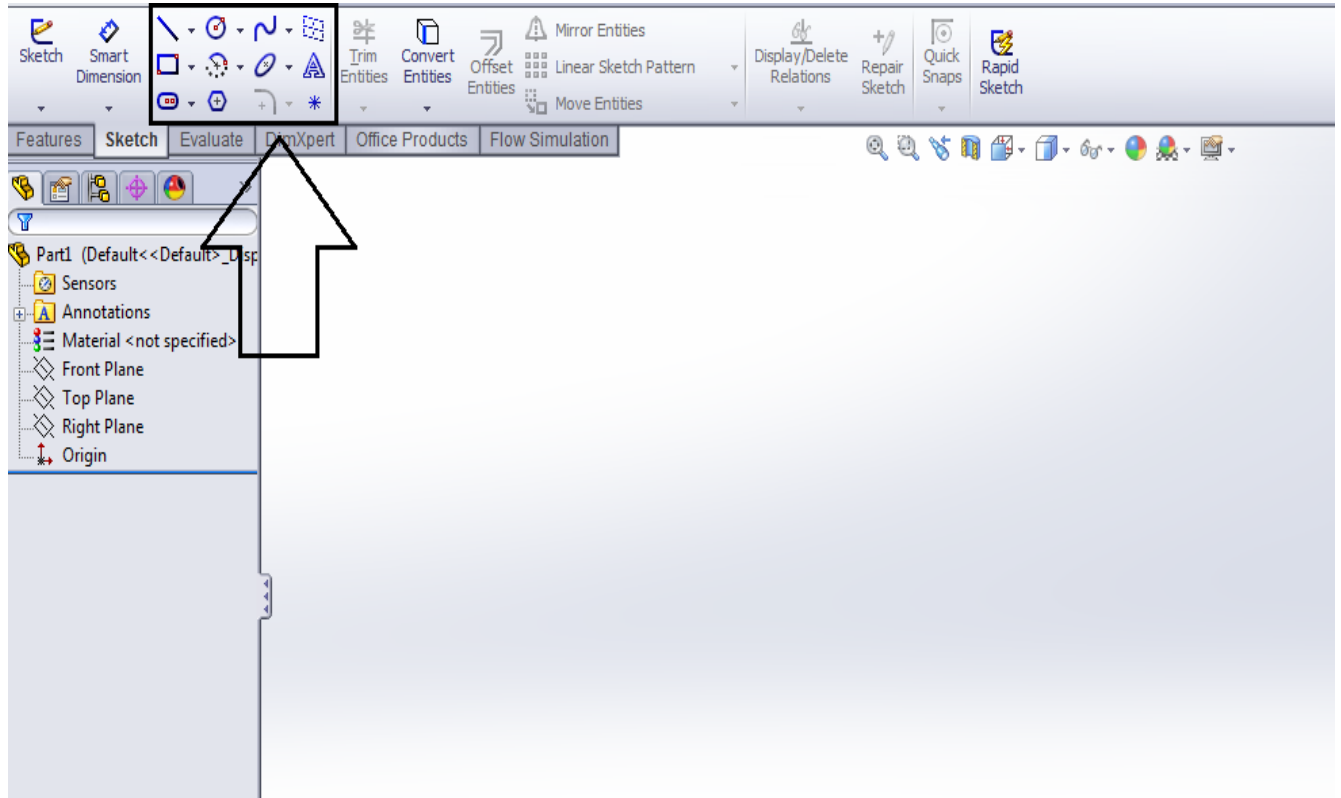
Αρχικά επιλέγεται το επίπεδο της σχεδίασης (**Front, Top** ή **Right**). Στη συνέχεια, είτε με δεξί κλικ επάνω στο όνομα του επιπέδου επιλέγεται η εντολή **Sketch**, είτε επιλέγεται το εικονίδιο **Sketch** το οποίο βρίσκεται στην ομώνυμη καρτέλα, όπως φαίνεται παρακάτω (**Σχήμα 3.3**), ή απλούστερα επιλέγεται απευθείας η εντολή σχεδίασης που εξυπηρετεί, από την περιοχή που ορίζει το **Σχήμα 3.4**.



Σχήμα 3.3. Έναρξη σχεδίασης στο πρόγραμμα Solidworks.

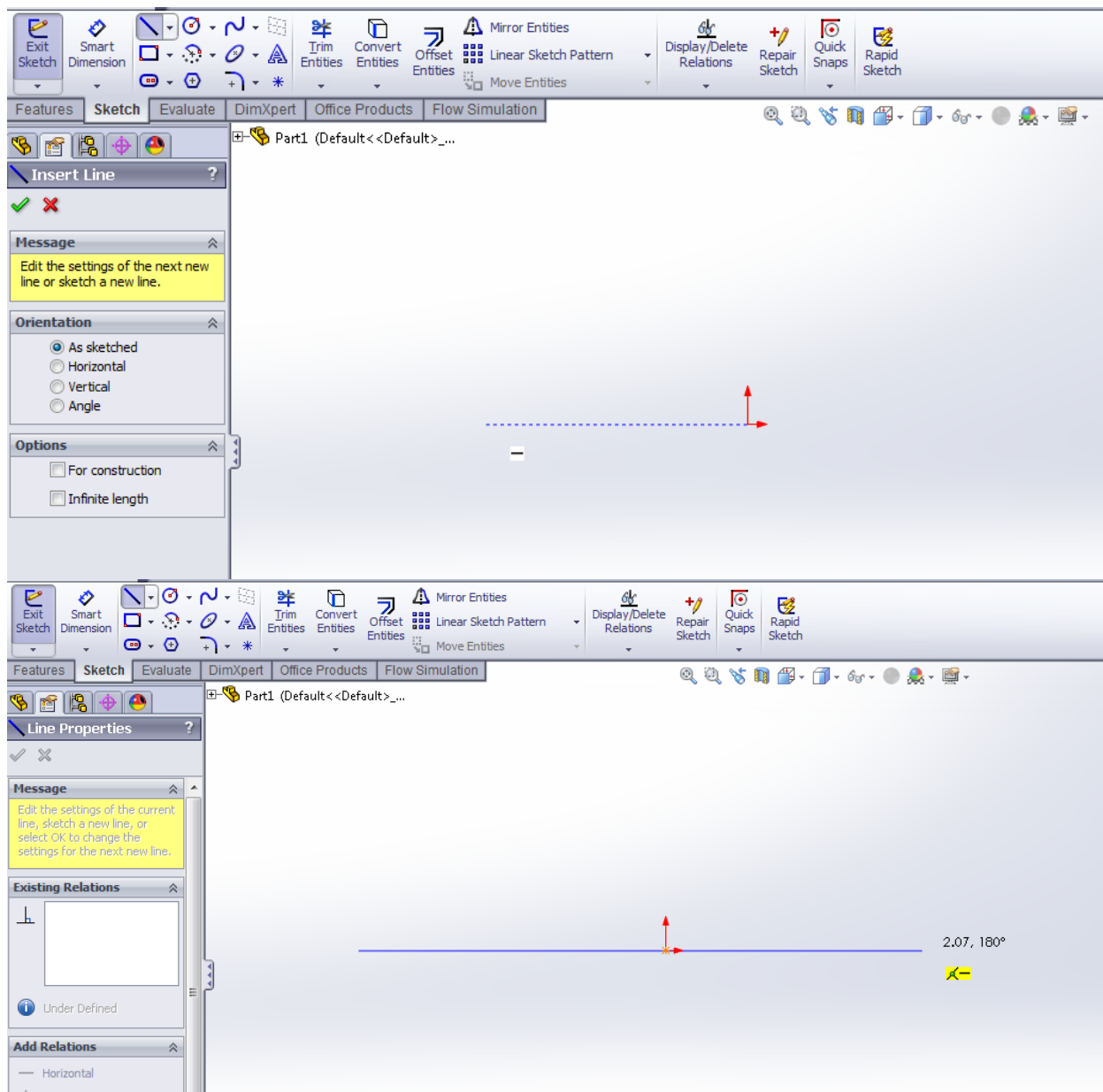
3.3.2. Εντολή Line.

Επιλέγεται τώρα το είδος της καμπύλης που θα σχεδιασθεί με βάση το **Σχήμα 3.4**.



Σχήμα 3.4. Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

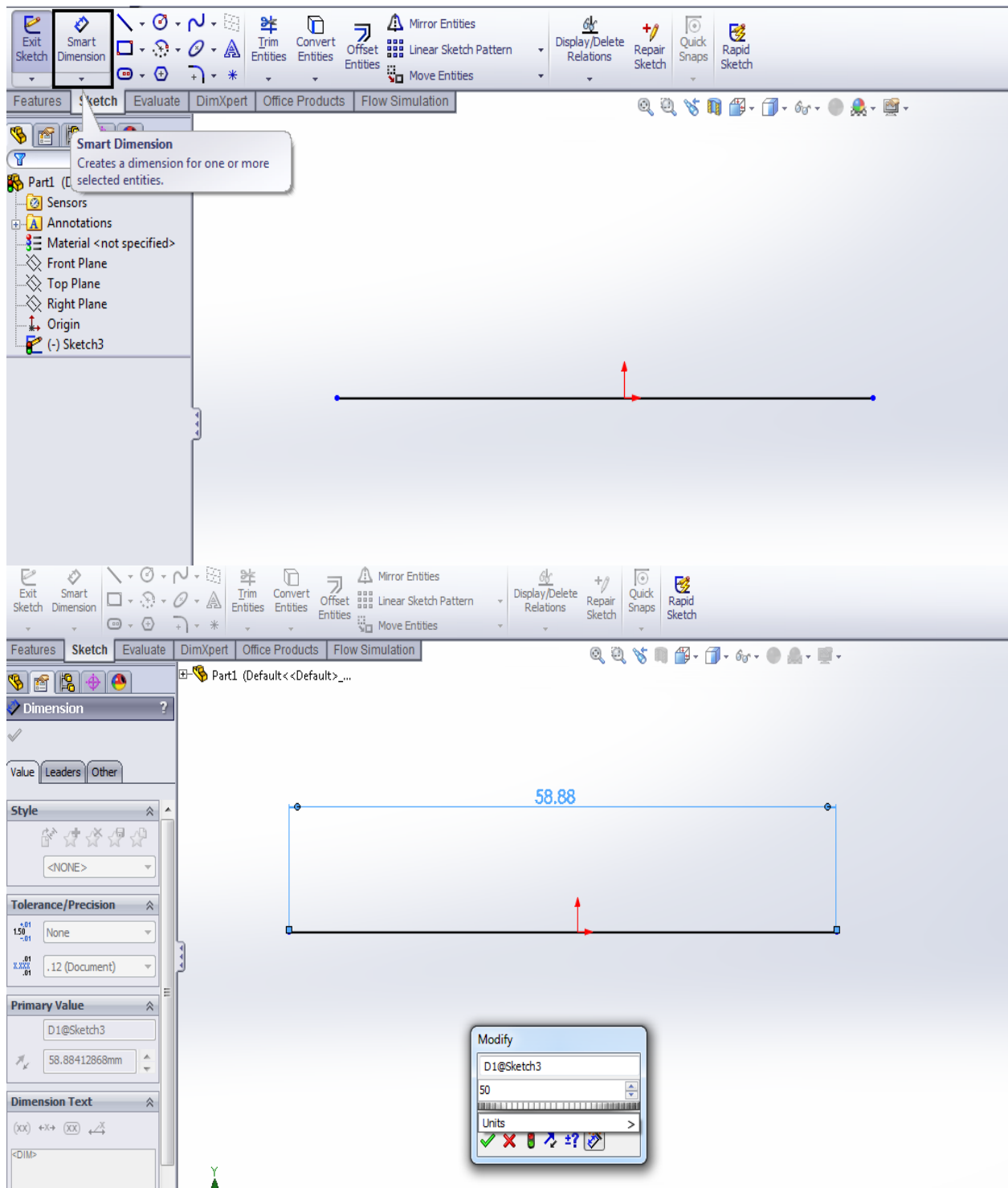
Αφού επιλεγεί το εικονίδιο της ευθείας σχεδίασης, μπορεί να χαραχθεί η ευθεία ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα βοηθάει στη σχεδίαση των οριζόντιων ή κατακόρυφων γραμμών, καθώς δείχνει με διακεκομμένη γραμμή και με κατάλληλο σύμβολο, απλά με την περιφορά του δείκτη του ποντικιού γύρω από την αρχή των αξόνων, από πού ουσιαστικά πρέπει να γίνει η έναρξη της σχεδίασης, ενώ ταυτόχρονα ο δείκτης μοιάζει να έλκεται από τη νοητή οριζόντια ευθεία που ορίζεται από το σημείο που έγινε η έναρξη της σχεδίασης. (**Σχήμα 3.5**).



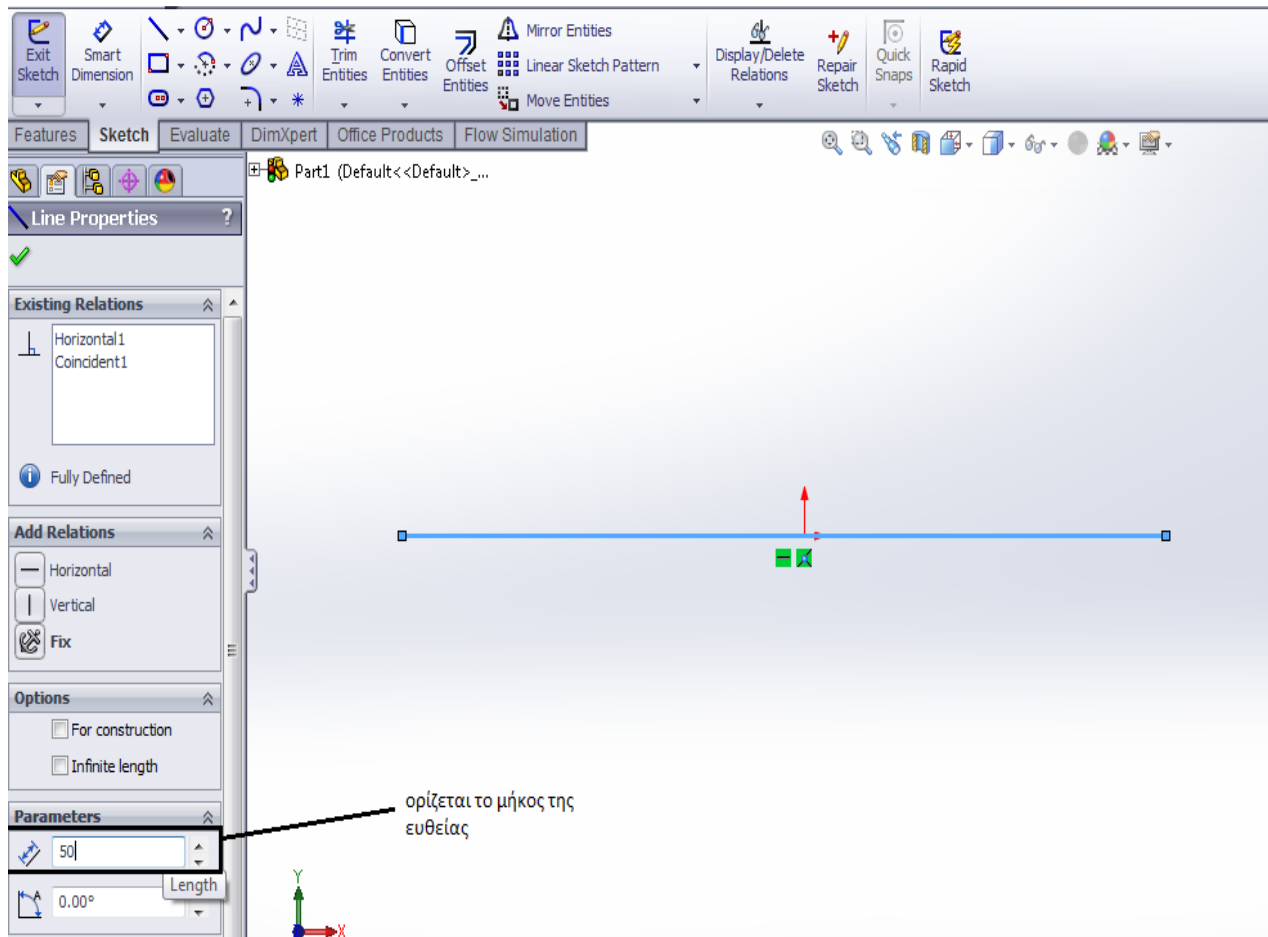
Σχήμα 3.5. Εντολή  Line.

3.3.3. Εντολή " Smart Dimension ".

Μετά τη χάραξη της ευθείας ορίζεται το μήκος αυτής χρησιμοποιώντας, είτε την εντολή **Smart Dimension**, είτε επιλέγοντας την ίδια την ευθεία και πηγαίνοντας στις ιδιότητες της στην ενότητα **Parameters**, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.6** και **Σχήμα 3.7** αντίστοιχα.



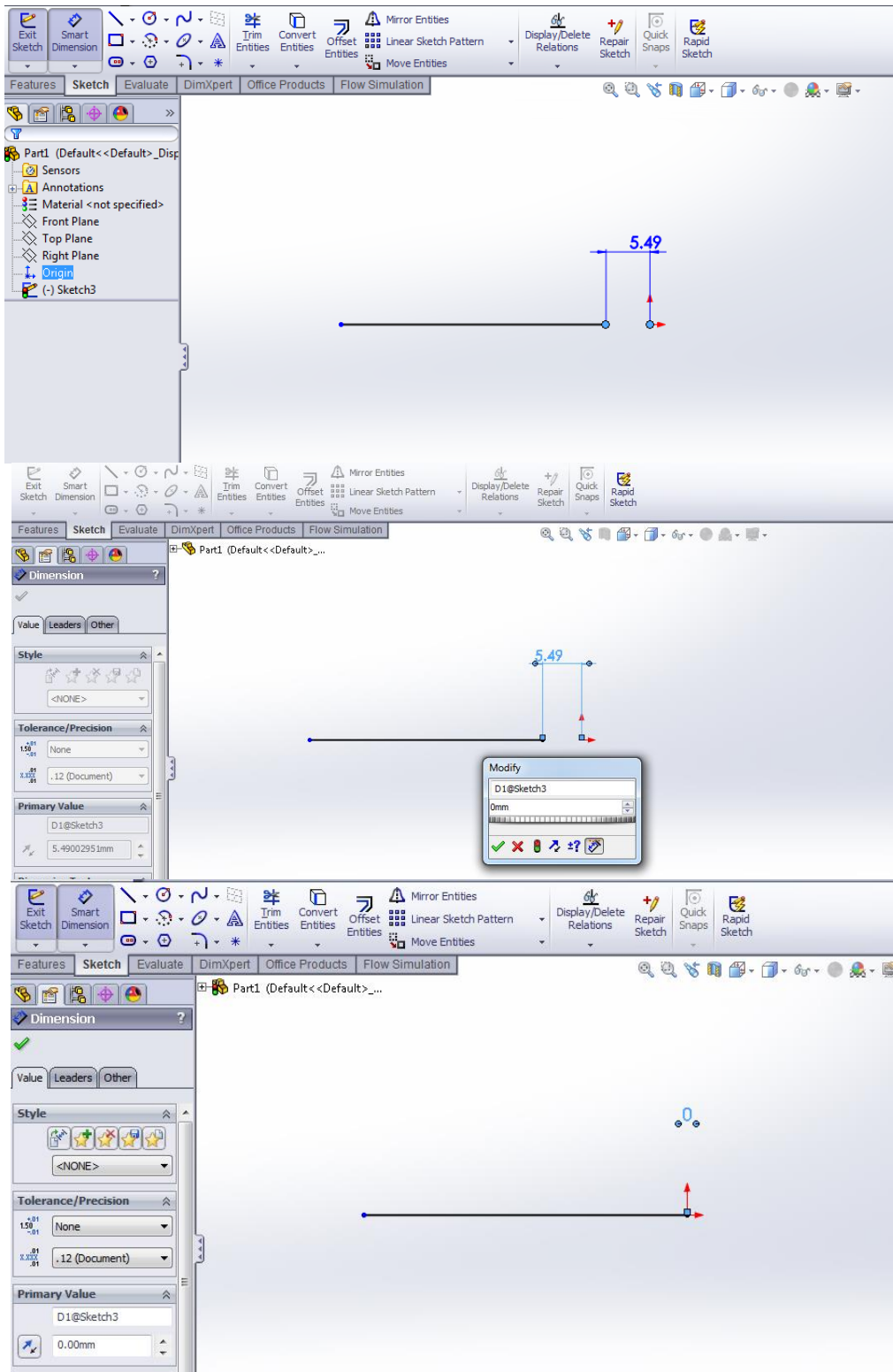
Σχήμα 3.6. Εντολή “  Smart Dimension ”.



Σχήμα 3.7. Το μήκος της ευθείας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι προτιμότερο η διάσταση της ευθείας να ορισθεί μέσω της εντολής **Smart Dimension**, καθώς οποιαδήποτε αλλαγή και αν επέλθει στη θέση της ευθείας στο επίπεδο, το μήκος της θα μένει αμετάβλητο.

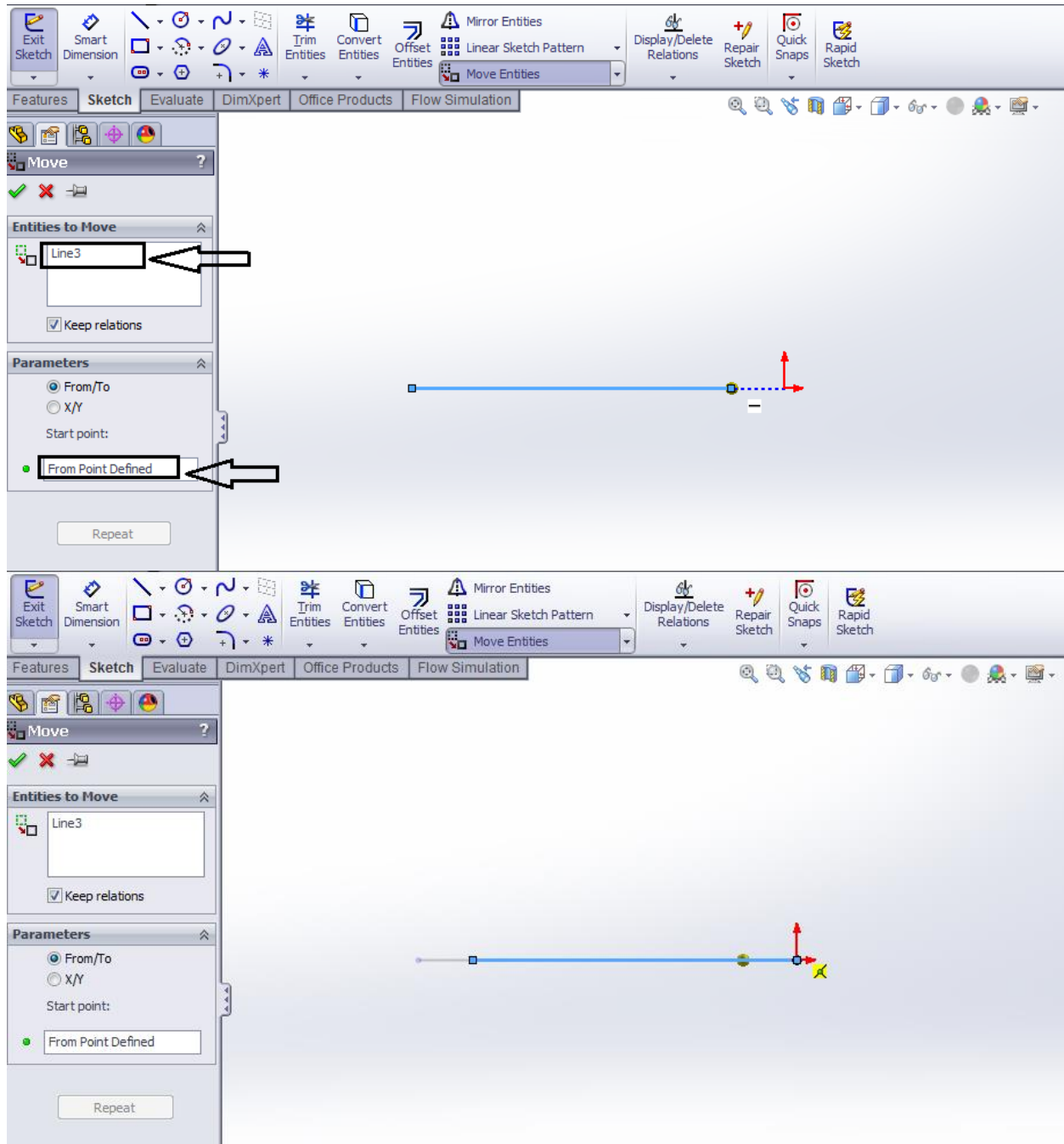
Στο επόμενο σχήμα (**Σχήμα 3.8**) εικονίζεται η διαδικασία κατά την οποία μετακινείται η ευθεία, ούτως ώστε το δεξί της άκρο να συμπέσει με την αρχή των αξόνων. Το τελευταίο επιτυγχάνεται μέσω της εντολής **Smart Dimension**, επιλέγοντας το δεξί άκρο της ευθείας και την αρχή των αξόνων και θέτοντας τη μεταξύ τους απόσταση ίση με το μηδέν.



Σχήμα 3.8. Εντολή "  Smart Dimension ".

3.3.4. Εντολή “ Move Entities “.

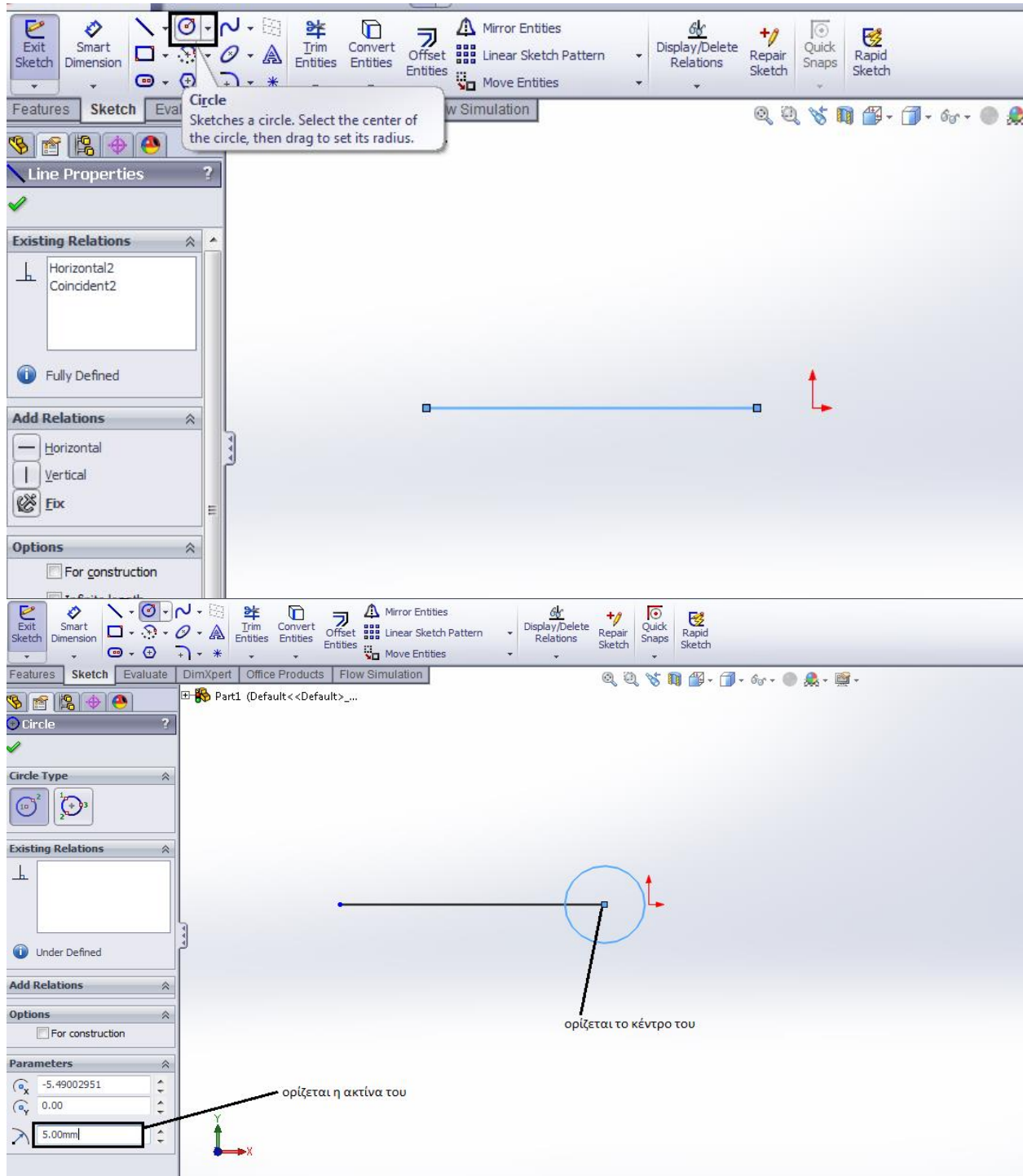
Η προηγούμενη ενέργεια μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την εντολή **Move Entities**, μέσω της οποίας ορίζεται η καμπύλη ή το σύνολο των καμπυλών που θα μεταφερθούν, καθώς και το σημείο (**Start point**) από το οποίο θα ξεκινήσει να μετακινείται το επιλεγμένο σχήμα, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.9**.



Σχήμα 3.9. Εντολή “  Move Entities “.

3.3.5. Εντολή “ Circle”.

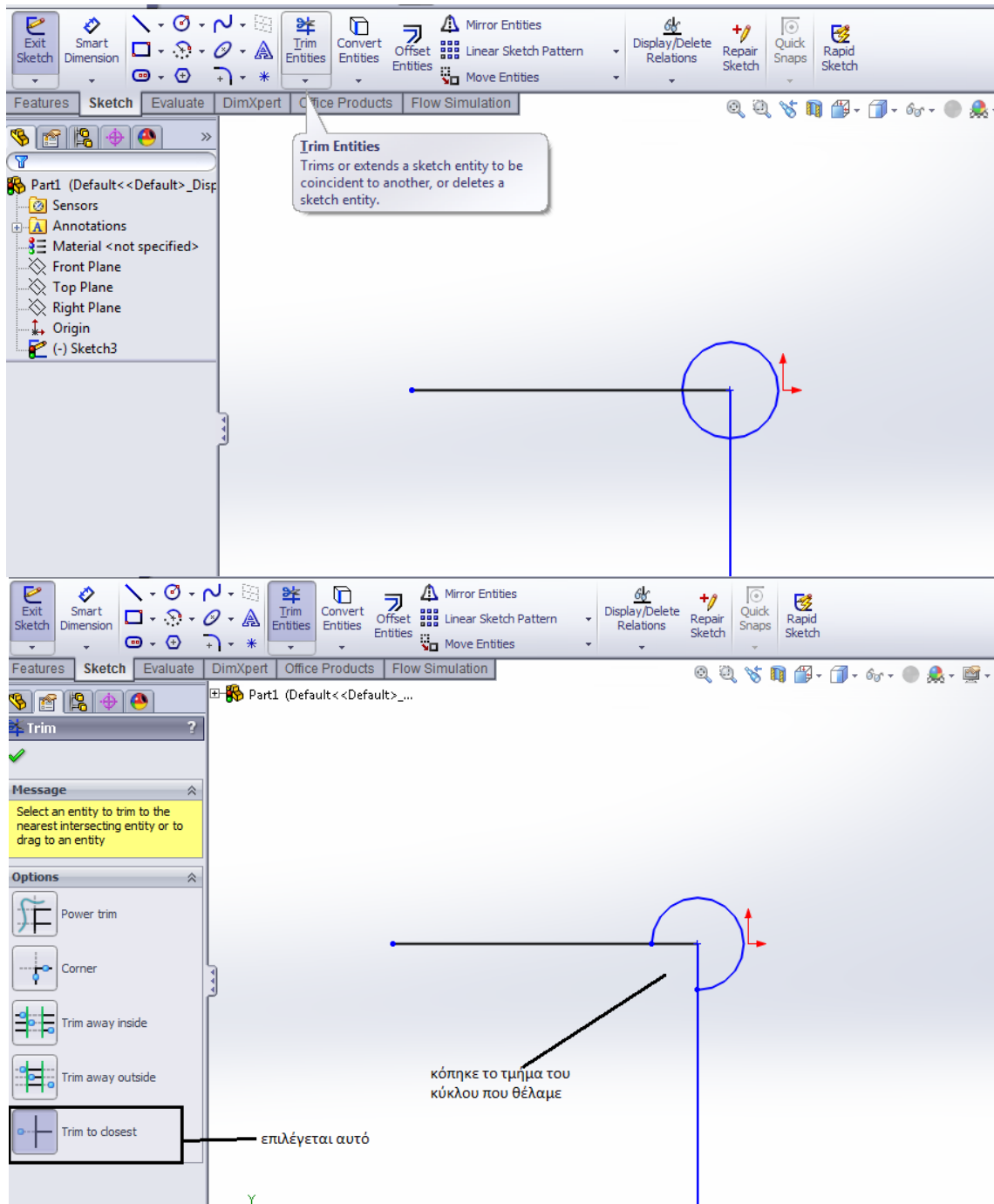
Με παρόμοιο τρόπο δουλεύει και η εντολή **Circle**. Επιλέγεται αρχικά το αντίστοιχο εικονίδιο, ενώ στη συνέχεια ορίζεται το κέντρο και η ακτίνα του (**Σχήμα 3.10**).



Σχήμα 3.10. Εντολή “ Circle”.

3.3.6. Εντολή “ Trim Entities”.

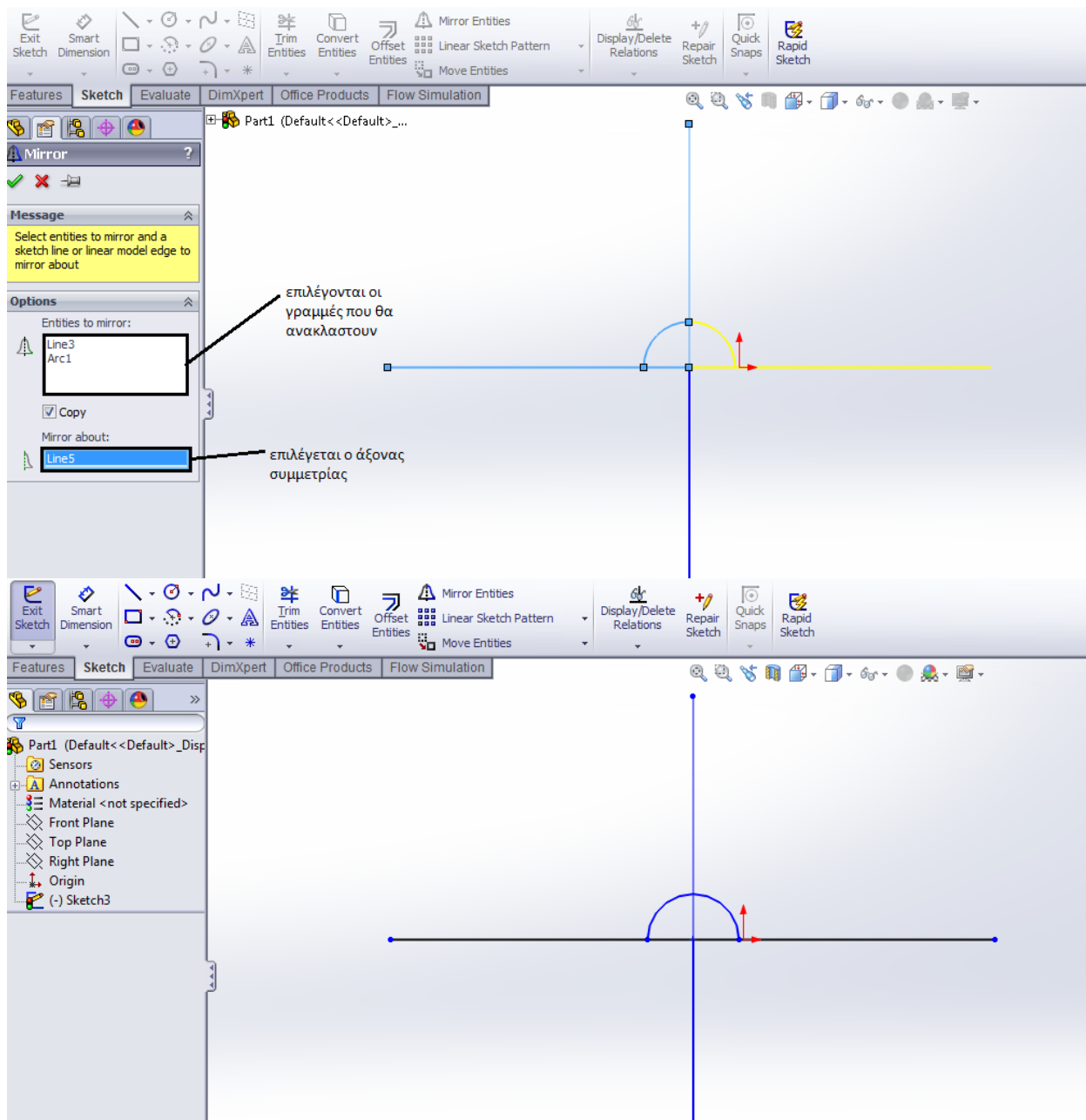
Με την εντολή **Trim Entities** δίνεται η δυνατότητα να περικοπούν τμήματα καμπυλών που δεν είναι χρήσιμα (**Σχήμα 3.11**).



Σχήμα 3.11. Εντολή “ Trim Entities”.

3.3.7. Εντολή “ Mirror Entities ”.


Με την εν λόγω εντολή αντιγράφεται το σχήμα ως προς έναν άξονα συμμετρίας, ορίζοντας, αρχικά, τις καμπύλες που θα αντιγραφούν στην ενότητα **Entities to mirror** και εν συνεχεία τον άξονα συμμετρίας στην ενότητα **Mirror about** (Σχήμα 3.12).

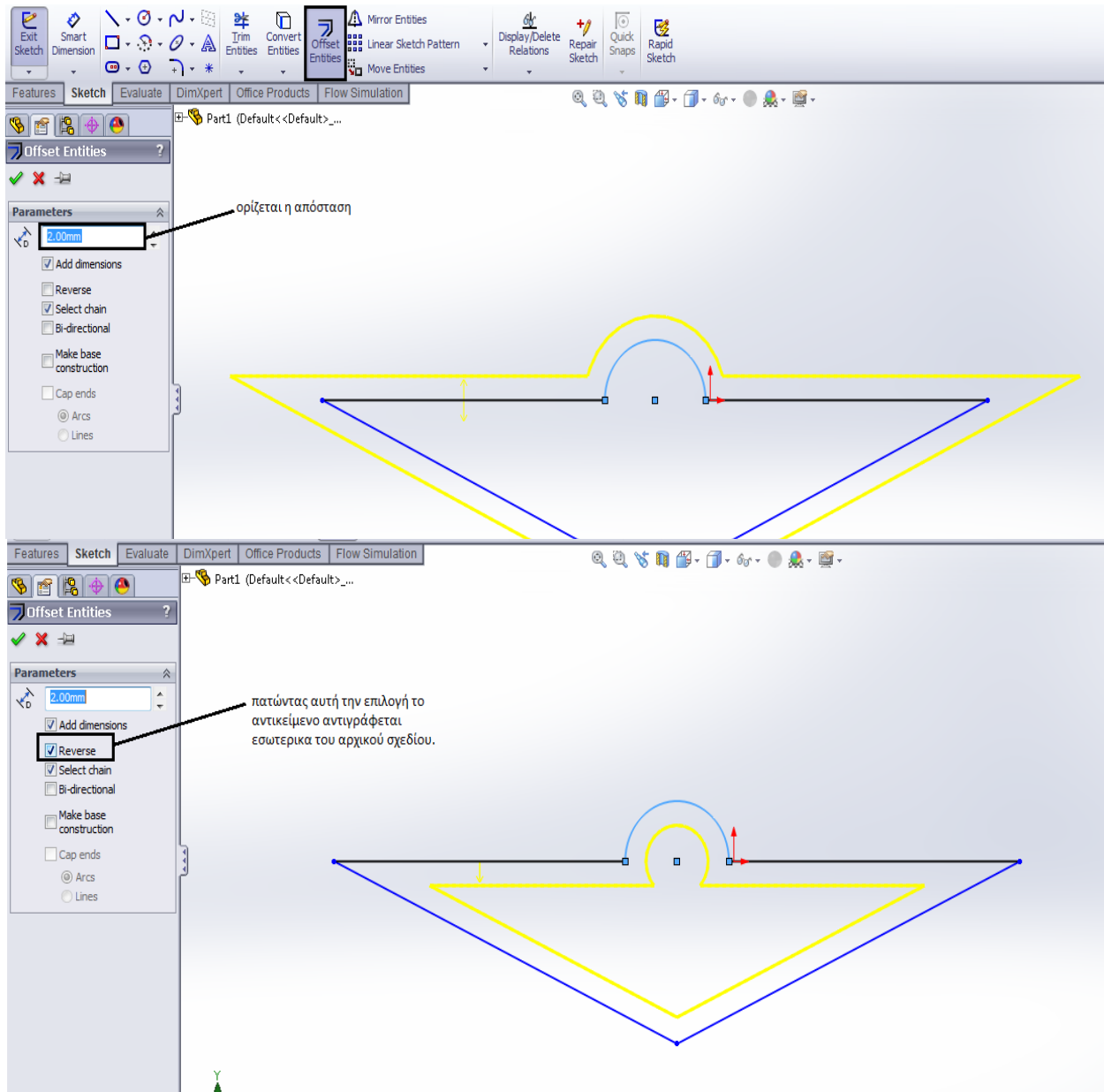


Σχήμα 3.12. Εντολή “  Mirror Entities ”.

3.3.8. Εντολή “ Offset Entities”.

Με την εν λόγω εντολή δημιουργείται ένα γεωμετρικά όμοιο αντίγραφο του υπάρχοντος περιγράμματος, είτε προς το εσωτερικό είτε προς το εξωτερικό αυτού (ή και προς τις δύο κατευθύνσεις), αλλά και μόνο επιλέγοντας μία από τις ακμές του και ύστερα το εικονίδιο

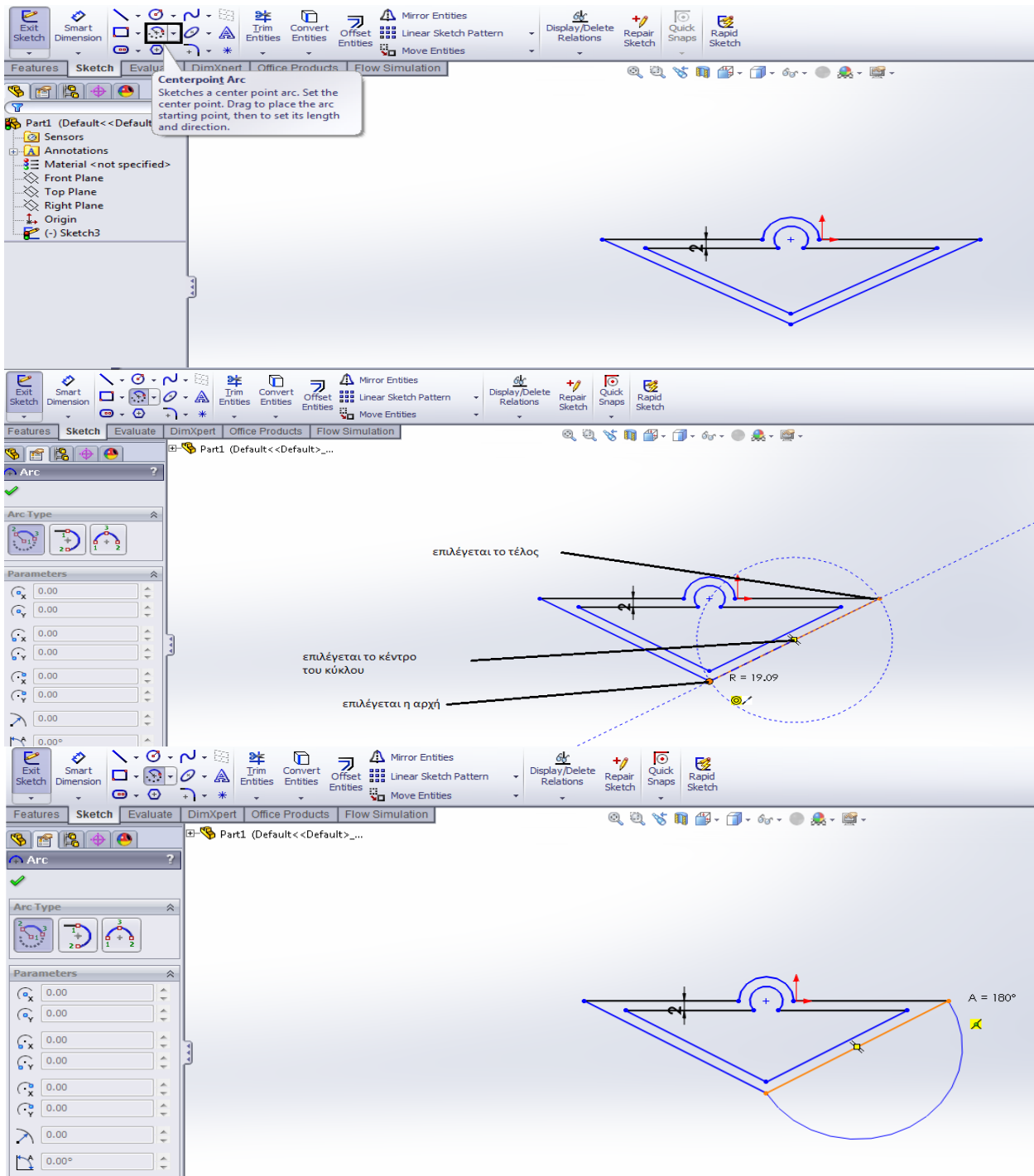
, όπως φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.13. Εντολή “  Offset Entities”.

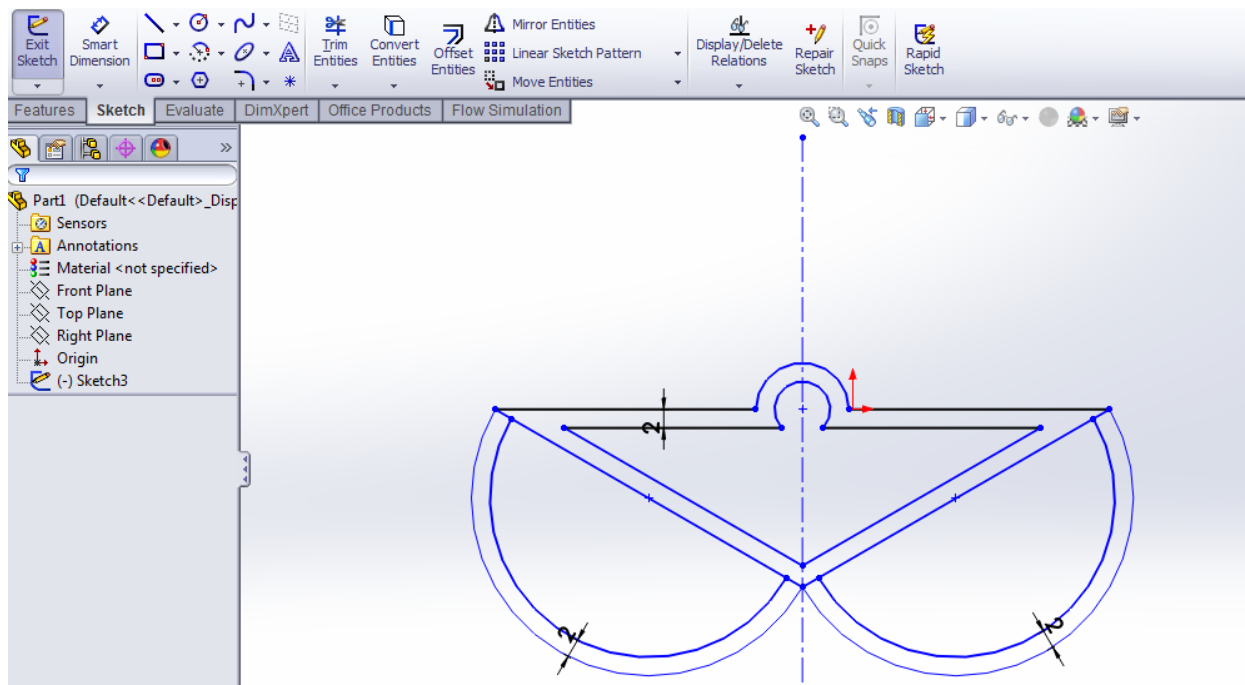
3.3.9. Εντολή “ Centerpoint Arc”.

Με αυτή την εντολή δημιουργείται τόξο ενός κύκλου επιλέγοντας αρχικά το κέντρο του τόξου του κύκλου, έπειτα την αρχή του και μετά το τέλος του (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14. Εντολή “ Centerpoint Arc”.


Χρησιμοποιώντας ξανά τις εντολές **Mirror Entities** και **Offset Entities** δημιουργείται το εξής σχέδιο. (Σχήμα 3.15).

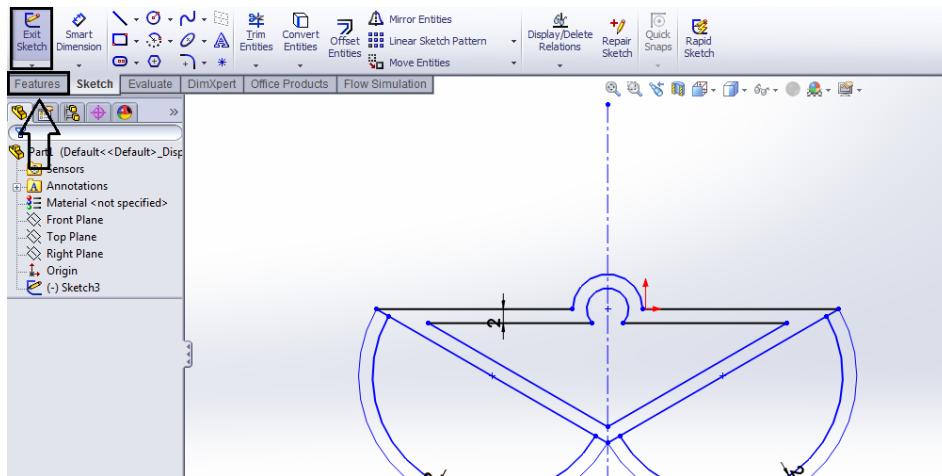


Σχήμα 3.15. Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

3.4. Παραγωγή στερεού σώματος.


3.4.1. Λήξη σχεδίασης και μετάβαση στην καρτέλα Features.

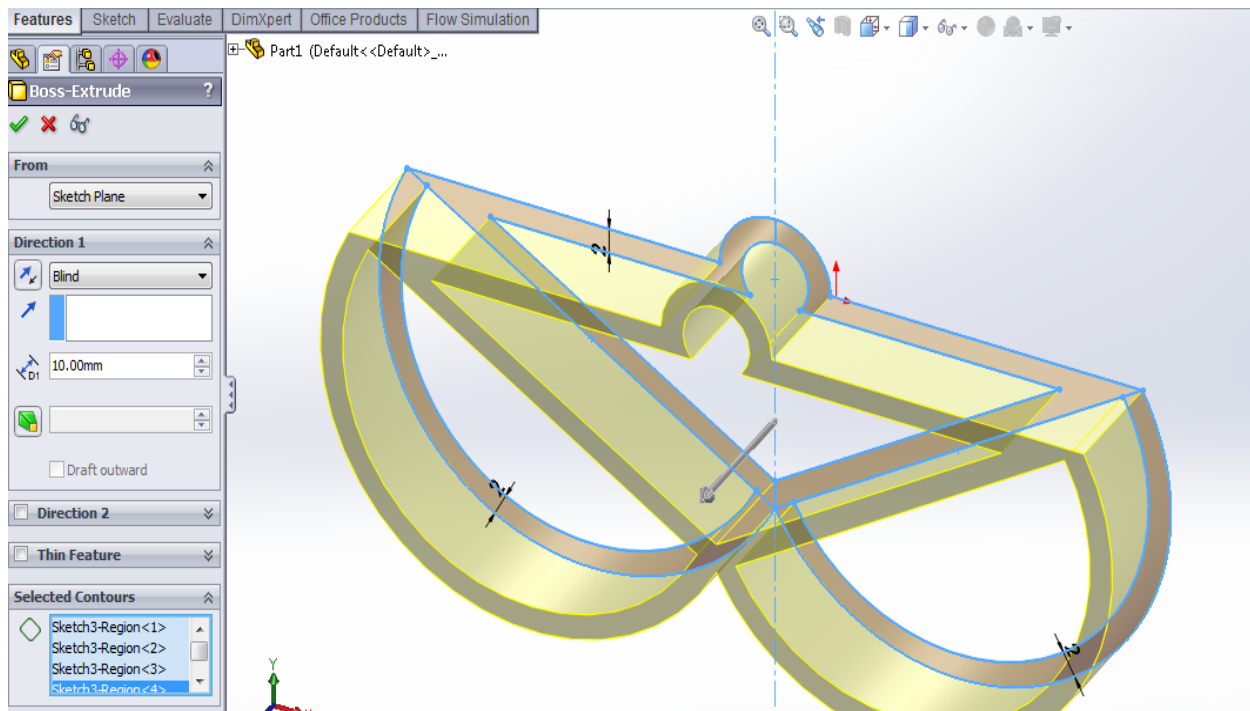
Αφού είναι έτοιμο το σχήμα, επιλέγεται το εικονίδιο  **Exit Sketch** για την έξοδο από το σχέδιο και στη συνέχεια επιλέγεται η καρτέλα **Features**, όπου βρίσκονται οι εντολές για τη δημιουργία και την κατεργασία στερεού σώματος (Σχήμα 3.16).




Σχήμα 3.16. Έξοδος από το δισδιάστατο και είσοδος στον τρισδιάστατο σχεδιασμό.

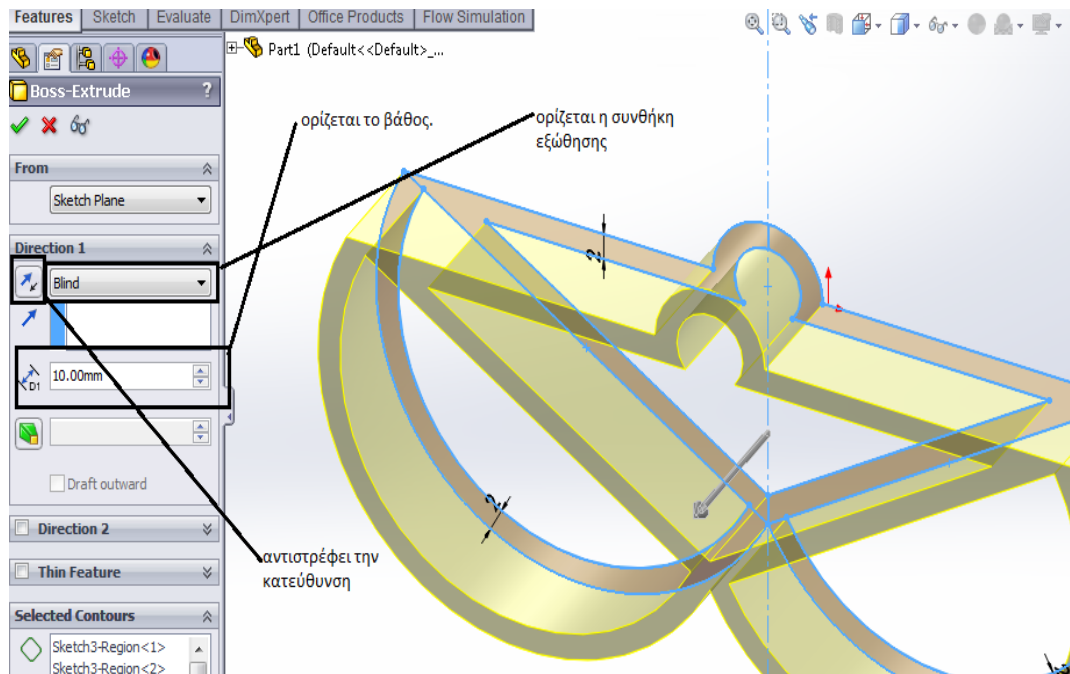
3.4.2. Εντολή “ Extruded Boss/Base ”.

Με τη συγκεκριμένη εντολή εξωθείται ένα σχέδιο ή ένα περίγραμμα που έχει επιλεγεί προς μία ή και δύο κατευθύνσεις, κάθετες στο επίπεδο του τελευταίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στερεού σώματος. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται, αρχικά, το σχέδιό (**Sketch3**) και ύστερα η εντολή  **Extruded Boss/Base**. Στην οθόνη εμφανίζονται τα παρακάτω (Σχήμα 3.17).



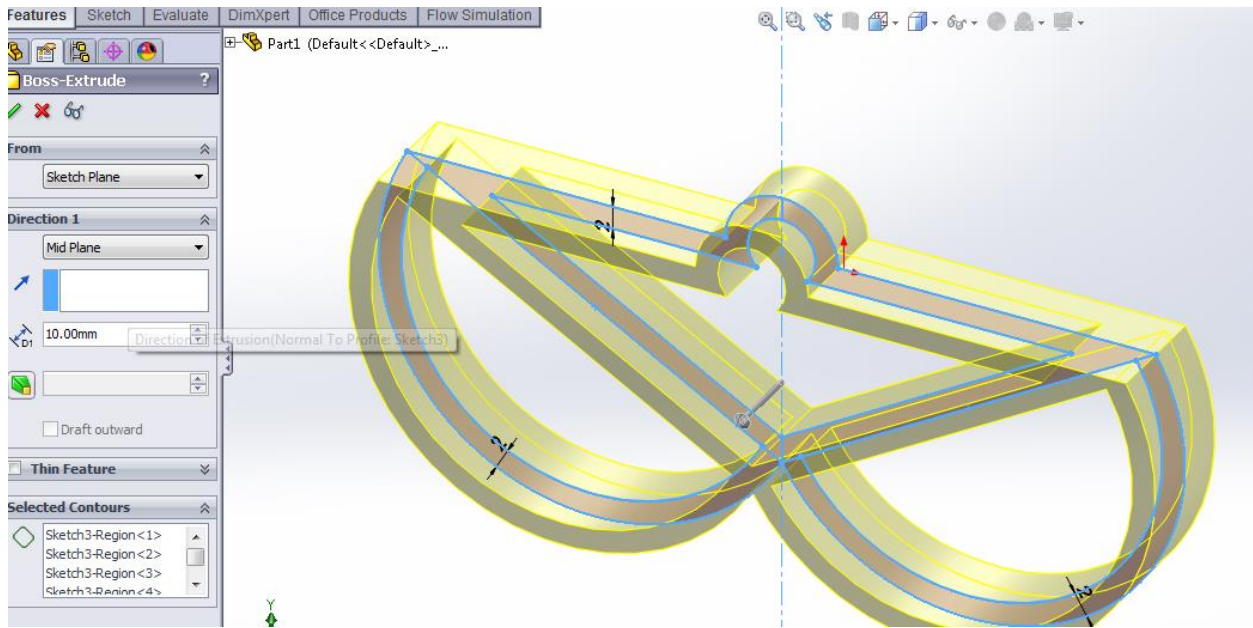
Σχήμα 3.17. Εντολή “  Extruded Boss/Base ”.

Στην ενότητα **Direction 1** ορίζεται το βάθος του στερεού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 3.18**), καθώς και η συνθήκη εξώθησης (στην προκειμένη περίπτωση **Blind** ή **Mid Plane** καθώς οι υπόλοιπες συνθήκες προϋποθέτουν την ύπαρξη στερεού). Επίσης, μπορεί να αντιστραφεί η κατεύθυνση της εξώθησης επιλέγοντας το εικονίδιο  που βρίσκεται αριστερά της συνθήκης εξώθησης (**Σχήμα 3.18**).



Σχήμα 3.18. Η ενότητα Direction 1.

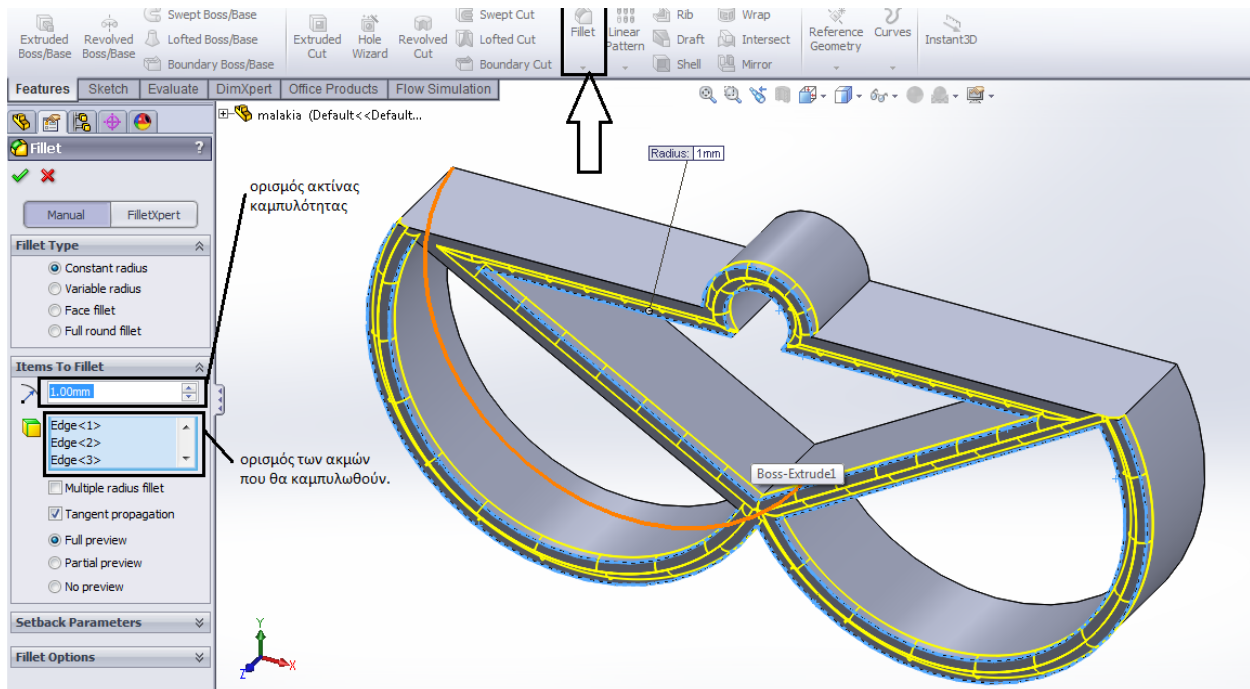
Η συνθήκη **Mid Plane** επιτρέπει την επέκταση του στερεού και προς τις δύο κάθετες στο επίπεδο σχεδίασης κατευθύνσεις, ενώ η διάσταση που ορίζεται τώρα ισομοιράζεται στις δύο αυτές κατευθύνσεις (**Σχήμα 3.19**).

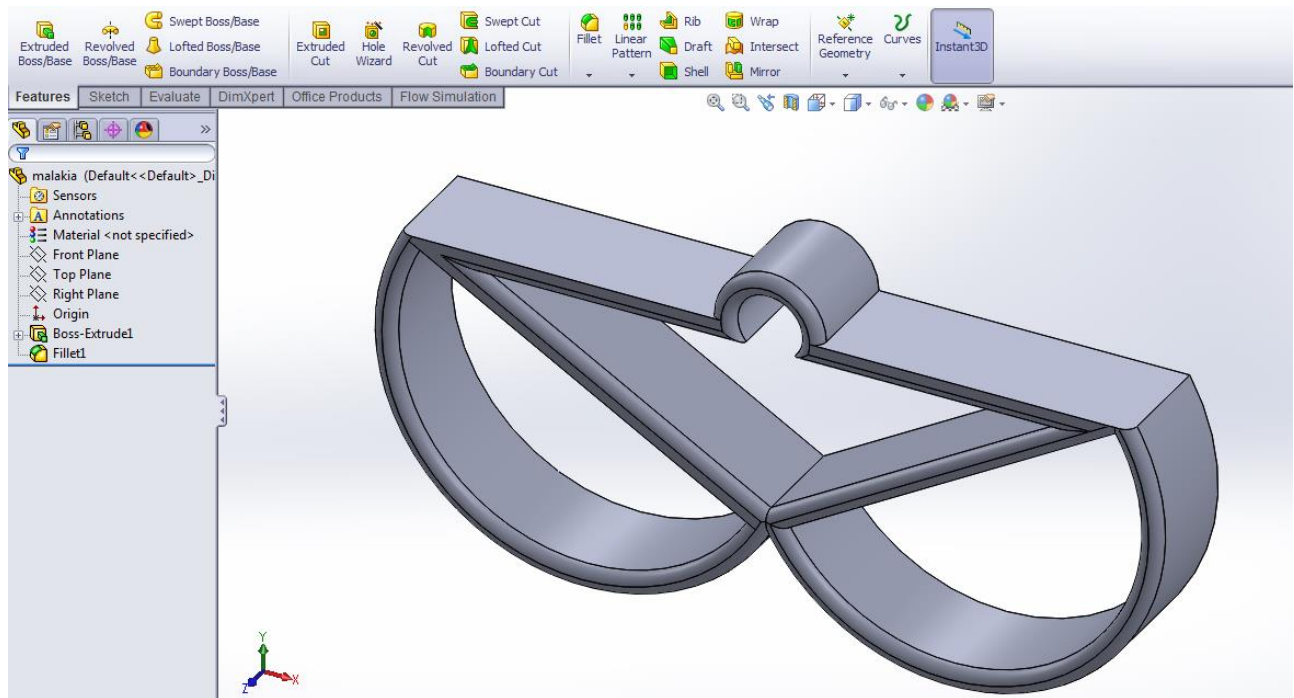


Σχήμα 3.19. Η συνθήκη Mid Plane.

3.4.3. Εντολή “ Fillet”.

Με αυτή την εντολή δίνεται η δυνατότητα να προσδοθεί ακτίνα καμπυλότητας σε μία ή και περισσότερες ακμές του στερεού (Σχήμα 3.20).

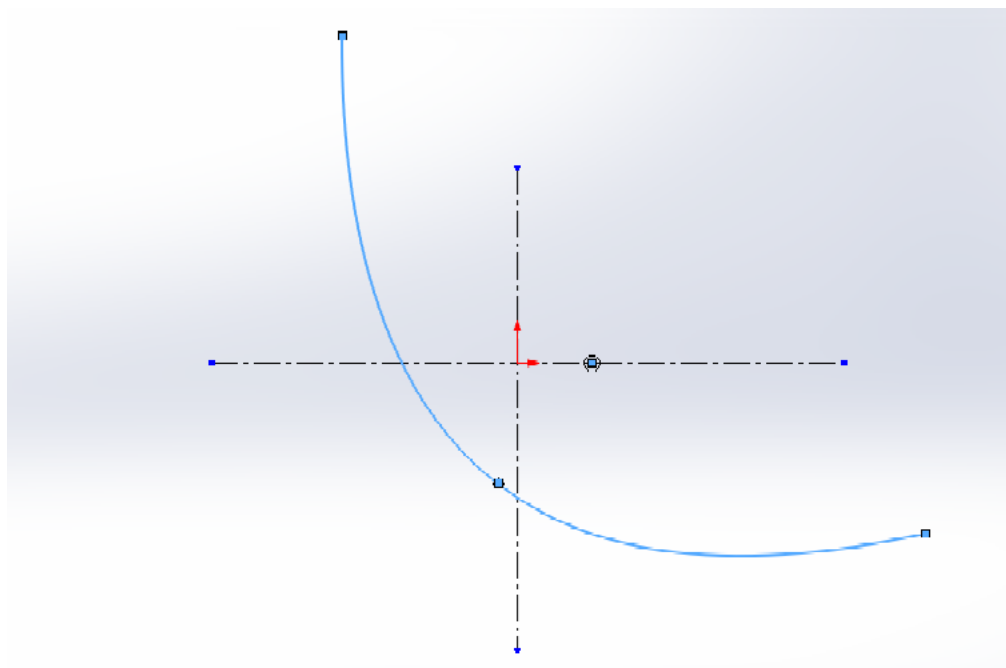




Σχήμα 3.20. Η εντολή “  Fillet “.

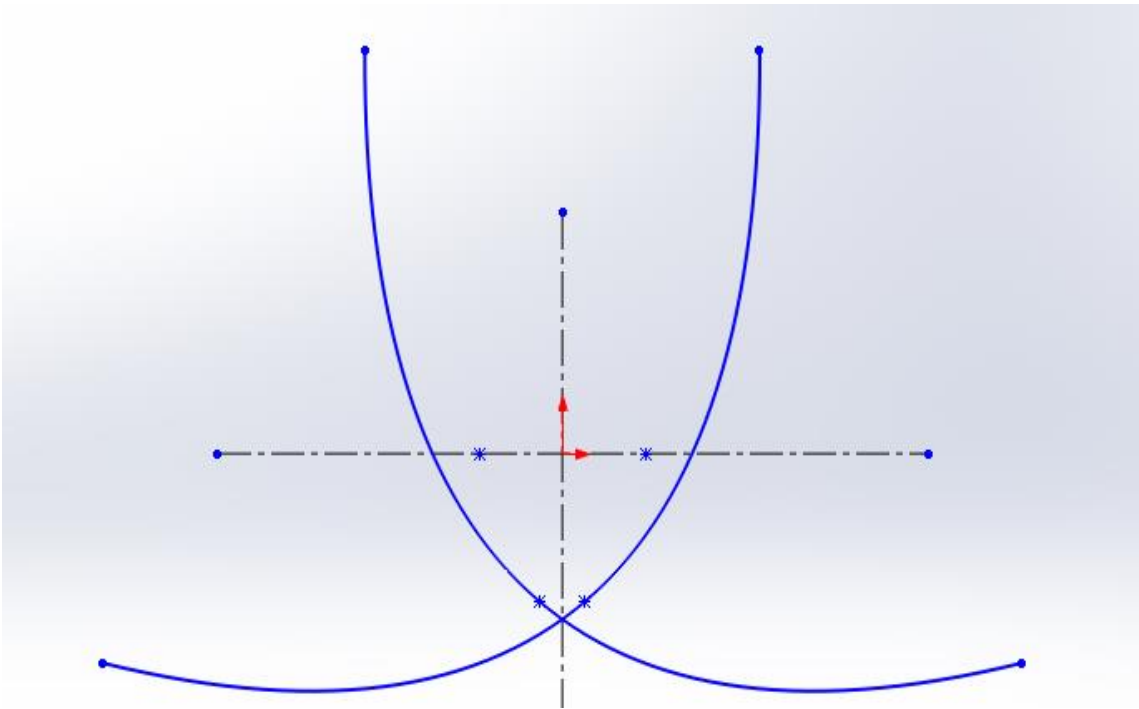
3.5. Δισδιάστατος σχεδιασμός του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

Η σχεδίαση του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη γίνεται στο Solidworks. Αρχικά φέρονται οι άξονες συμμετρίας και χαράσσεται μια παραβολή της οποίας η εστία βρίσκεται πάνω στον οριζόντιο άξονα όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

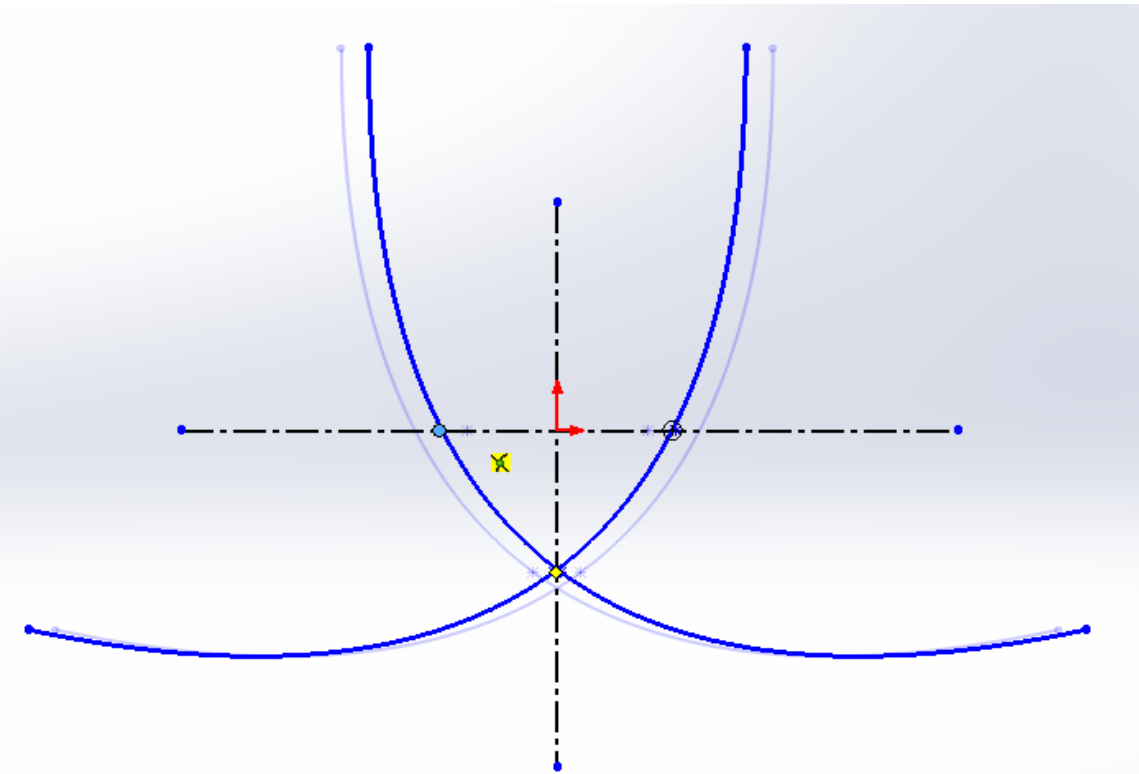


Σχήμα 3.21. Χάραξη αξόνων και της παραβολής.

Στη συνέχεια με την εντολή **Mirror Entities** του Solidworks χαράσσεται η δεύτερη παραβολή. Σε αυτή την εντολή πρέπει να δοθεί ο άξονας συμμετρίας ο οποίος εδώ είναι ο κατακόρυφος άξονας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι η κάθε παραβολή πρέπει να περνάει από την εστία της άλλης, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται τραβώντας με το ποντίκι την εστία της μιας παραβολής μέχρι να πέσει πάνω στην άλλη παραβολή. Για την κατανόηση των παραπάνω δίνονται τα εξής σχήματα:

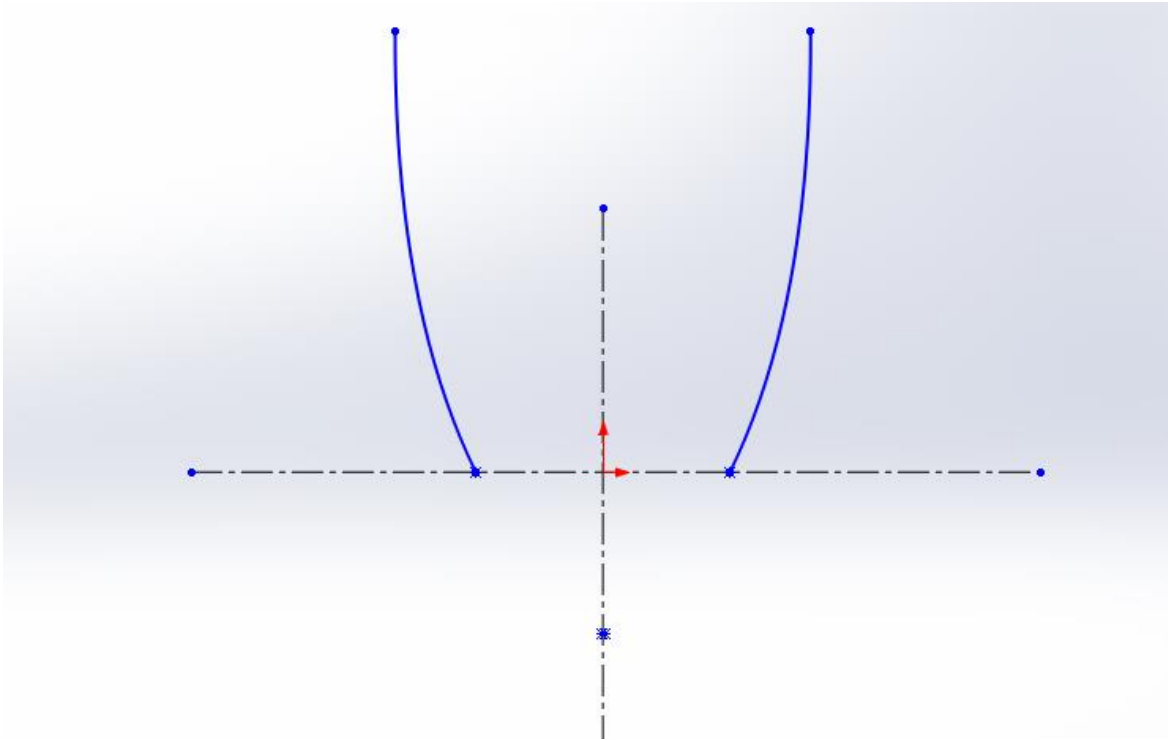


Σχήμα 3.22. Με την εντολή *mirror entities* δημιουργείται η δεύτερη παραβολή.




Σχήμα 3.23. Σύρεται με το ποντίκι η εστία της μιας παραβολής μέχρι να εμφανιστεί το σύμβολο που δείχνει την τομή της εστίας με την παραβολή και τον άξονα.

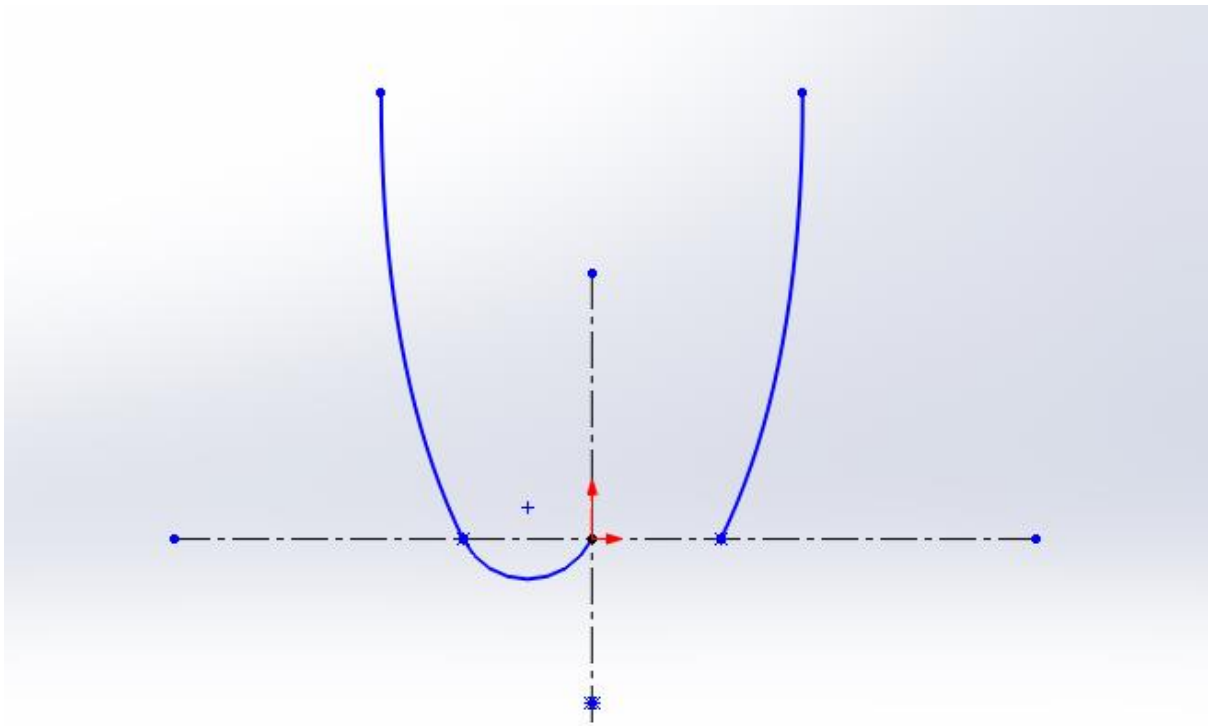
Ακολουθώντας με την εντολή **Trim entities** κόβονται τα κομμάτια του σχεδίου που βρίσκονται κάτω από τον οριζόντιο άξονα ώστε έπειτα να σχεδιαστούν τα ημικύκλια του συλλέκτη. Αυτά τα ημικύκλια θα πρέπει να εφάπτονται μεταξύ τους.



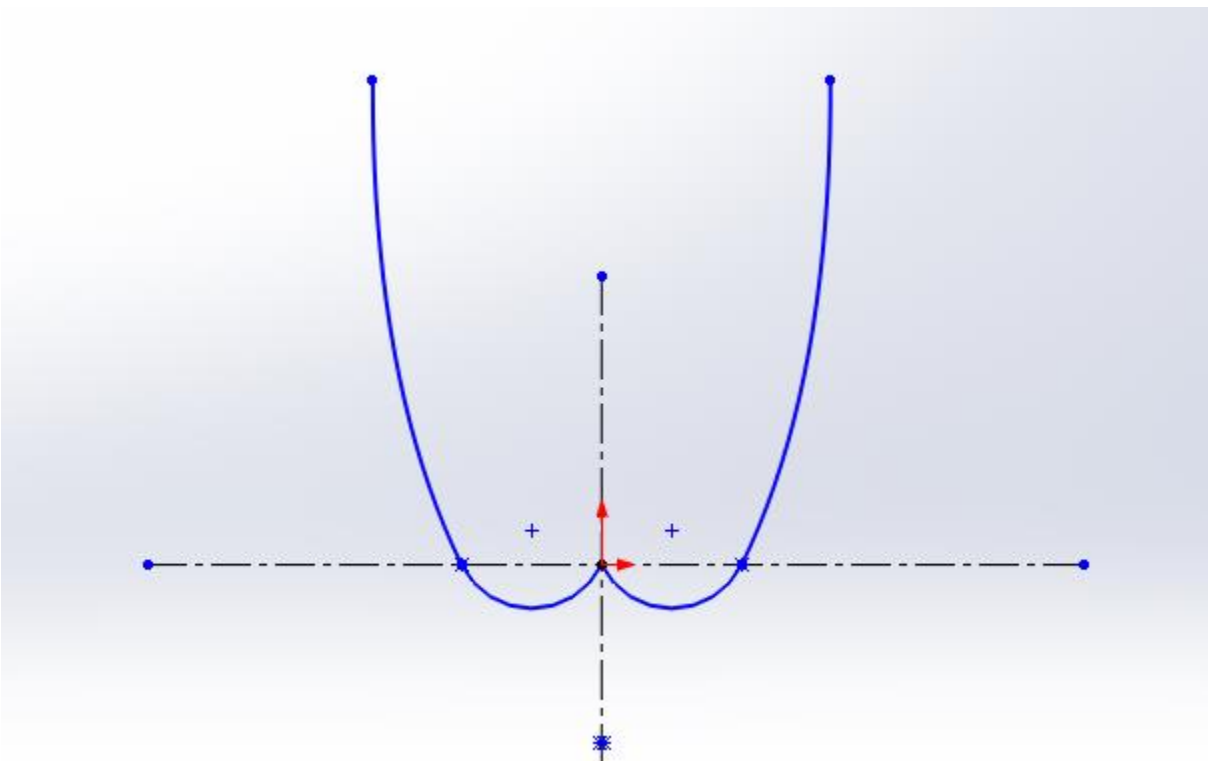
Σχήμα 3.24. Μετά την εντολή *trim entities* μένουν τα δύο κομμάτια παραβολών.

Όσον αφορά τα ημικύκλια, τα οποία πρέπει να παρουσιάζουν και μια ομαλότητα με τα κομμάτια των παραβολών που φαίνονται παραπάνω, σχεδιάζονται ως εξής :

Με την εντολή  **Tangentarc** σχεδιάζεται το πρώτο, με αρχή την εστία της μιας παραβολής και τέλος το κέντρο των αξόνων, ενώ το δεύτερο σχεδιάζεται με την εντολή **Mirror Entities** με άξονα συμμετρίας τον κατακόρυφο άξονα. Τα δύο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζουν τα όσα προαναφέρθηκαν.

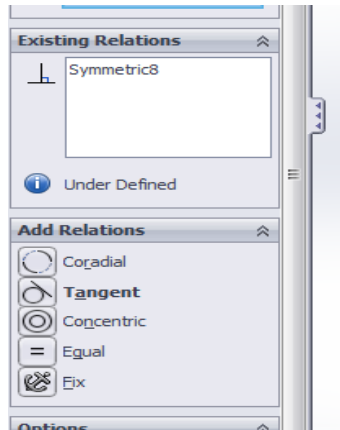


Σχήμα 3.25. Το ένα ημικόκλιο με αρχή την εστία της παραβολής και τέλος το κέντρο των αξόνων.



Σχήμα 3.26. Με την εντολή *mirror entities* χαράσσεται το δεύτερο ημικόκλιο.

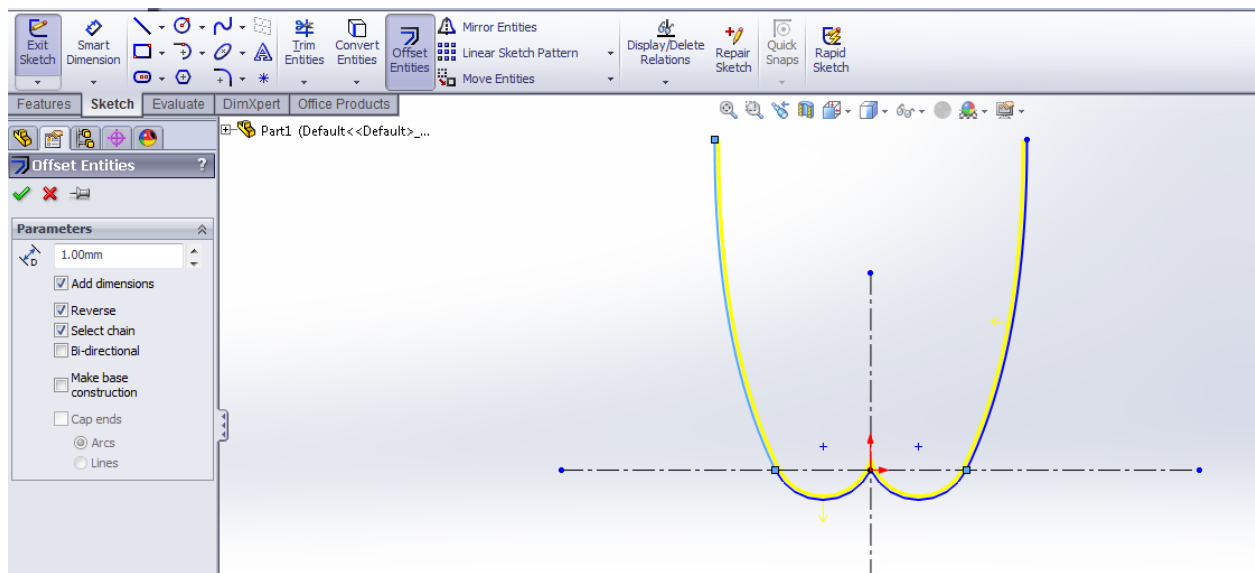
Παρατήρηση: Πρέπει να επιλέξουμε τα δυο ημικύκλια και να δούμε αν είναι εφαπτόμενα μεταξύ τους. Αυτό φαίνεται στο Solidworks στο αριστερό μέρος της οθόνης :



Σχήμα 3.27. Η επιλογή tangent.

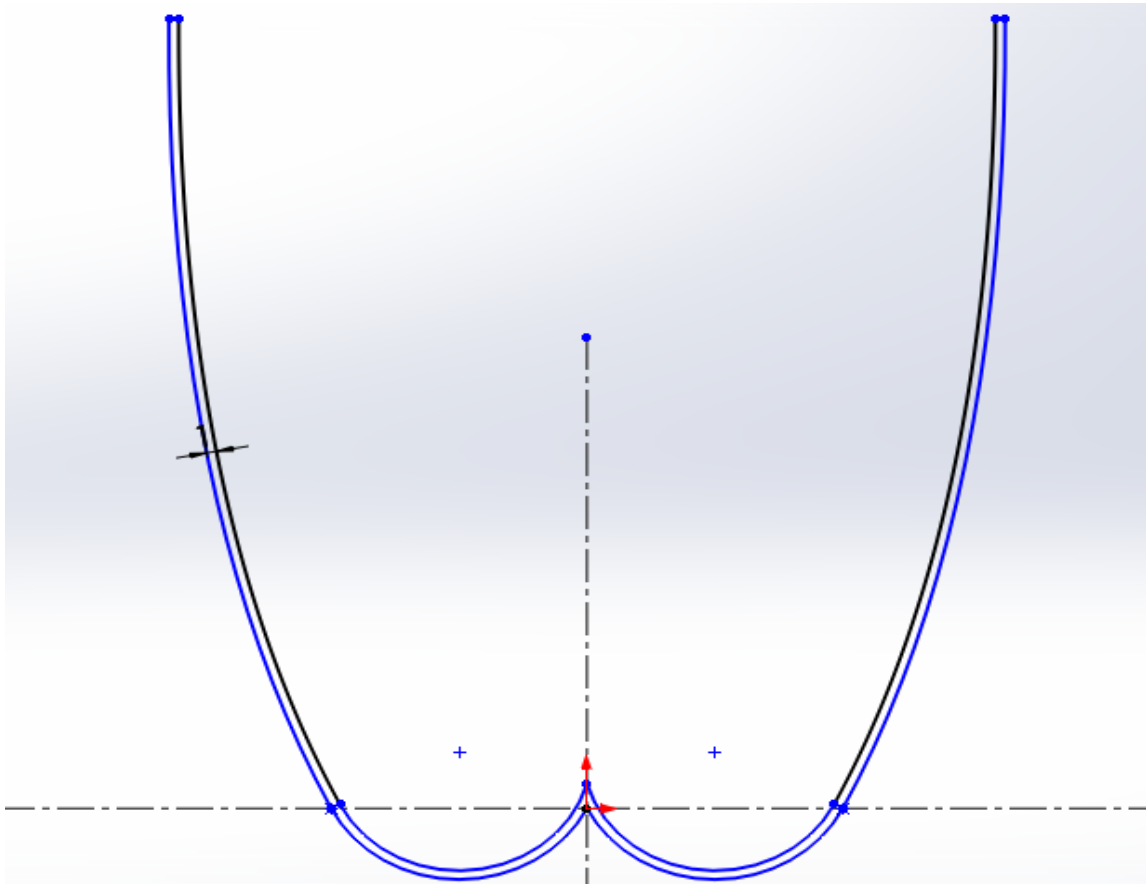
Εδώ βλέπουμε ότι όντως είναι εφαπτόμενα μεταξύ τους .

Το κύριο μέρος τους συλλέκτη λοιπόν έχει σχεδιαστεί. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί ένα πάχος. Αυτό γίνεται με την εντολή **Offset Entities**. Έτσι επιλέγεται η προαναφερθείσα εντολή, δίνεται ένα πάχος και ταυτόχρονα επιλέγεται και το **Reverse** ώστε να γίνει το παράλληλο του σχεδίου από την εσωτερική πλευρά όπως φαίνεται παρακάτω.



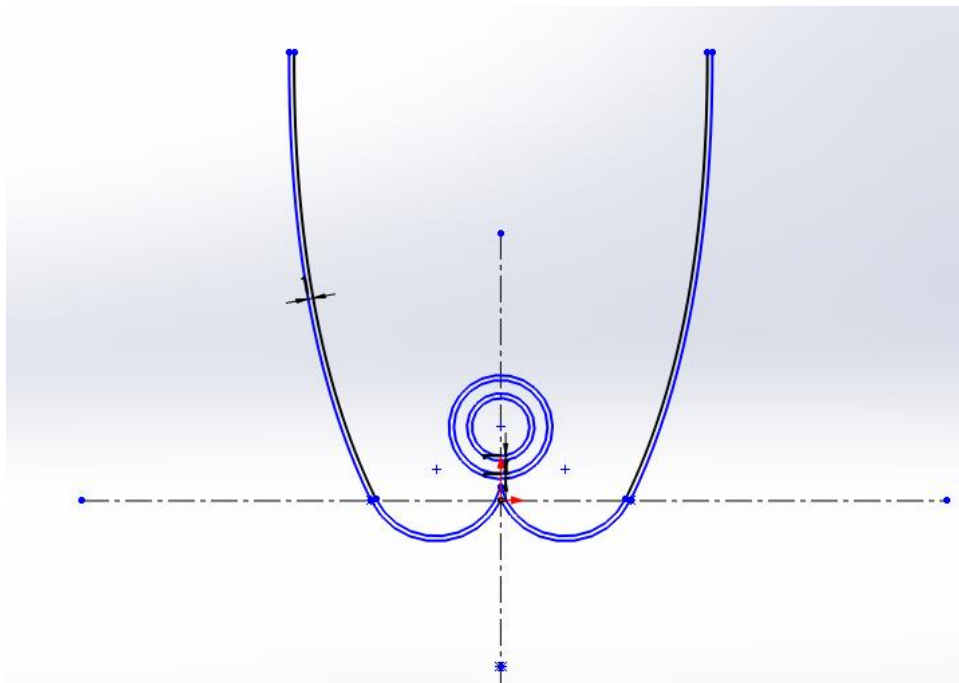
Σχήμα 3.28. Το πάχος του ηλιακού συλλέκτη με την εντολή offset entities.

Τώρα πρέπει να ενωθούν και τα άκρα ώστε να υπάρχει κλειστή κατασκευή για να μπορέσει στη συνέχεια να γίνει τρισδιάστατο σχήμα με την εντολή **Extruded Boss/Base**.



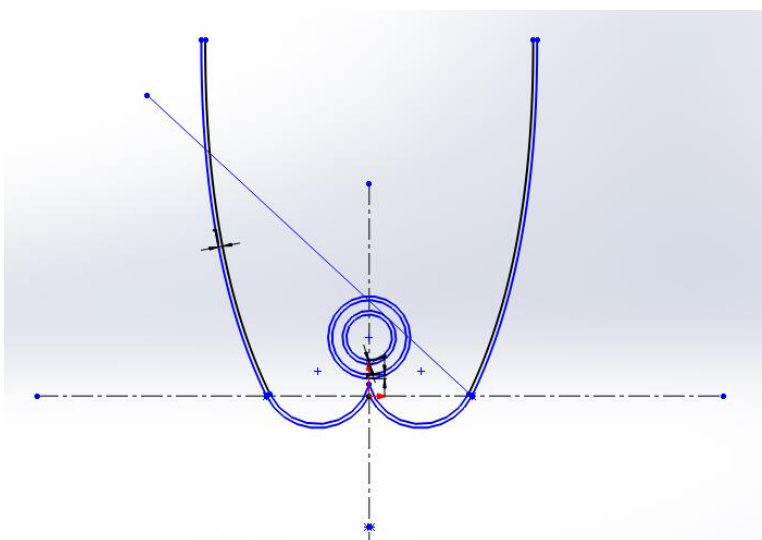
Σχήμα 3.29. Ένωση των άκρων.

Εν συνεχεία θα σχεδιασθεί ο σωλήνας νερού, ο οποίος περιβάλλεται από τον σωλήνα κενού. Αυτό το ζεύγος σωλήνων σχεδιάζεται σε μικρή απόσταση από το κέντρο των αξόνων ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εκμετάλλευση των ακτίνων του ηλίου. Αρχικά σχεδιάζεται ο σωλήνας κενού με την εντολή **Circle** και κέντρο ένα σημείο πάνω στον κατακόρυφο άξονα, ενώ δίνεται και εδώ ένα πάχος με την εντολή **Offset entities** να λειτουργεί όπως και πριν. Έπειτα με το ίδιο κέντρο σχεδιάζεται ο σωλήνας νερού, ο οποίος με τη σειρά του πρέπει να πάρει ένα πάχος μέσω του **Offset Entities**. Έτσι προκύπτει το ακόλουθο σχήμα :

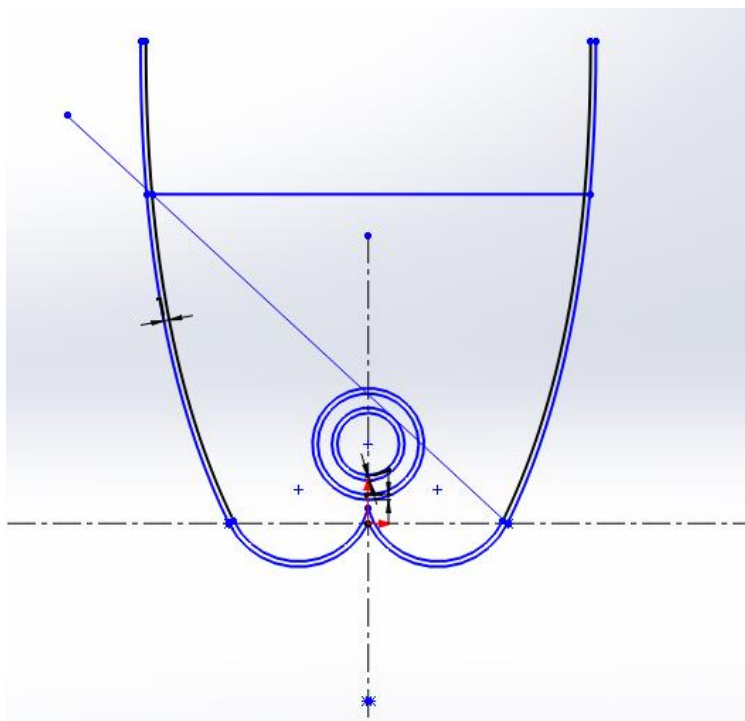


Σχήμα 3.30. Το ζεύγος σωλήνων κενού-νερού με τα αντίστοιχα πάχη τους.

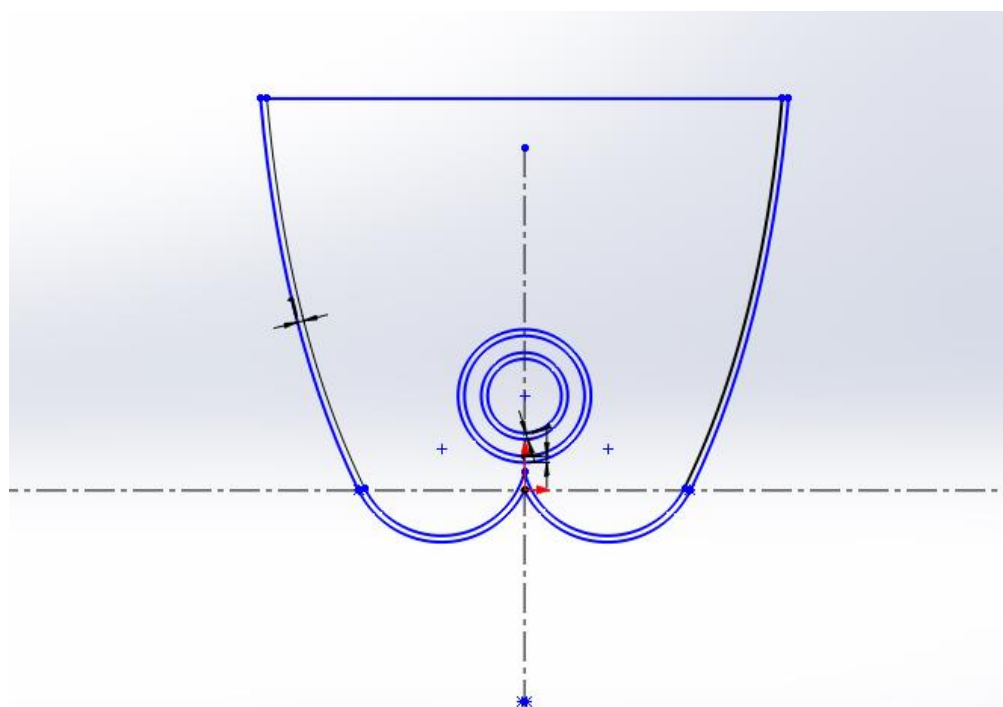
Σε αυτό το σημείο πρέπει να υπολογιστεί το ύψος στο οποίο φτάνει ο συλλέκτης ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των ακτινών του ηλίου. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής : Φέρεται μια ευθεία από την εστία της μιας παραβολής η οποία πρέπει να εφάπτεται με τον σωλήνα νερού και όπου κόψει τον ηλιακό συλλέκτη εκεί πρέπει να είναι το μέγιστο ύψος του. Τα σχήματα που ακολουθούν επεξηγούν τα όσα αναφέρθηκαν.



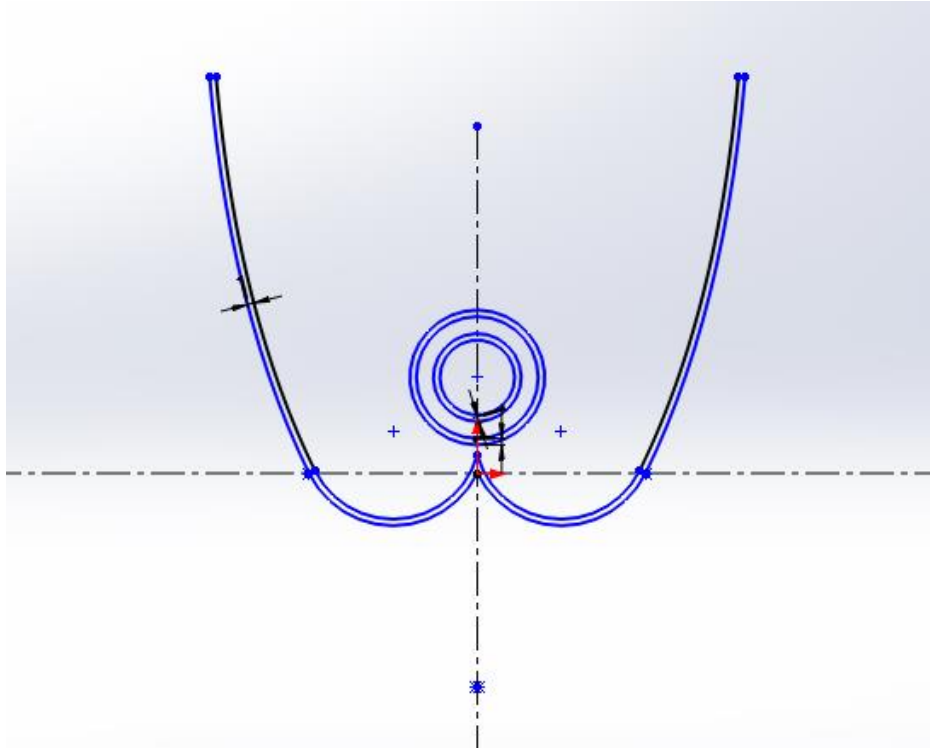
Σχήμα 3.31. Το μέγιστο ύψος του συλλέκτη μέσω της εφαπτομένης στο σωλήνα νερού.



Σχήμα 3.32. Στο σημείο που κόβει τον ηλιακό συλλέκτη η προέκταση της ευθείας που εφάπτεται στο σωλήνα κενού φέρεται η οριζόντια.

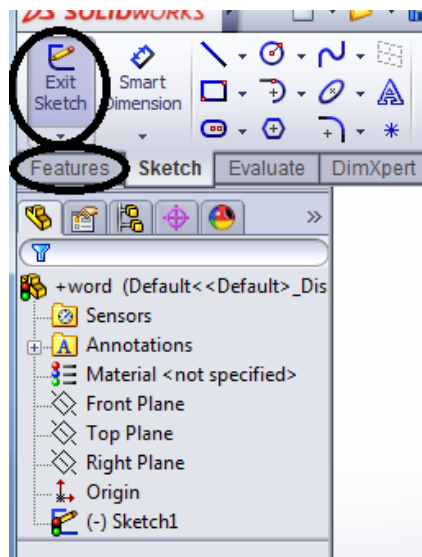


Σχήμα 3.33. Με την εντολή *trim entities* κόβονται τα τμήματα του συλλέκτη πάνω από την οριζόντια γραμμή του Σχήματος 3.32.



Σχήμα 3.34. Με την εντολή *delete* διαγράφεται η οριζόντια και ξανακλείνονται τα άκρα του συλλέκτη με την εντολή *line*.

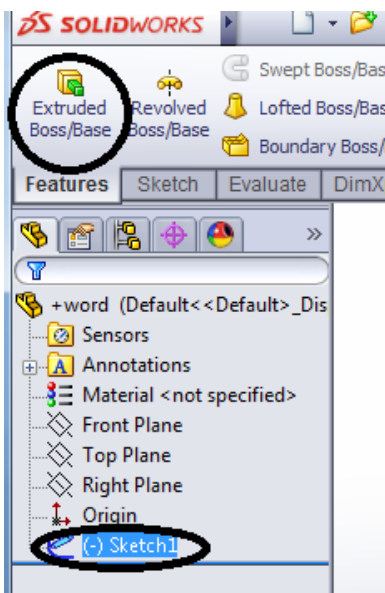
Το δισδιάστατο σχήμα λοιπόν είναι έτοιμο. Για να σχεδιασθεί το αντίστοιχο τρισδιάστατο πρέπει αρχικά από το **Ribbon bar** να επιλέγει το **Exit Sketch** και στη συνέχεια από τα **Tabs** να επιλέγει το **Features**.



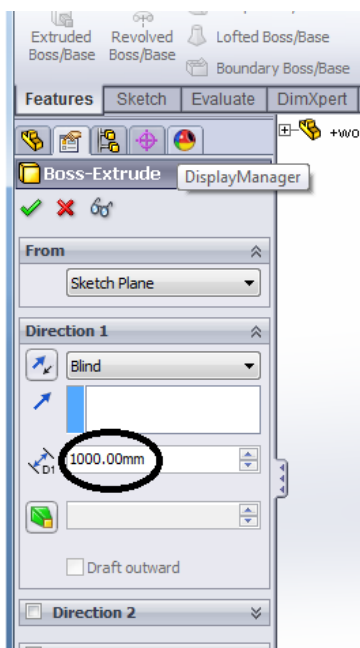
Σχήμα 3.35. Έξοδος από το δισδιάστατο και είσοδος στο τρισδιάστατο σχέδιο.

3.6. Τρισδιάστατος σχεδιασμός του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

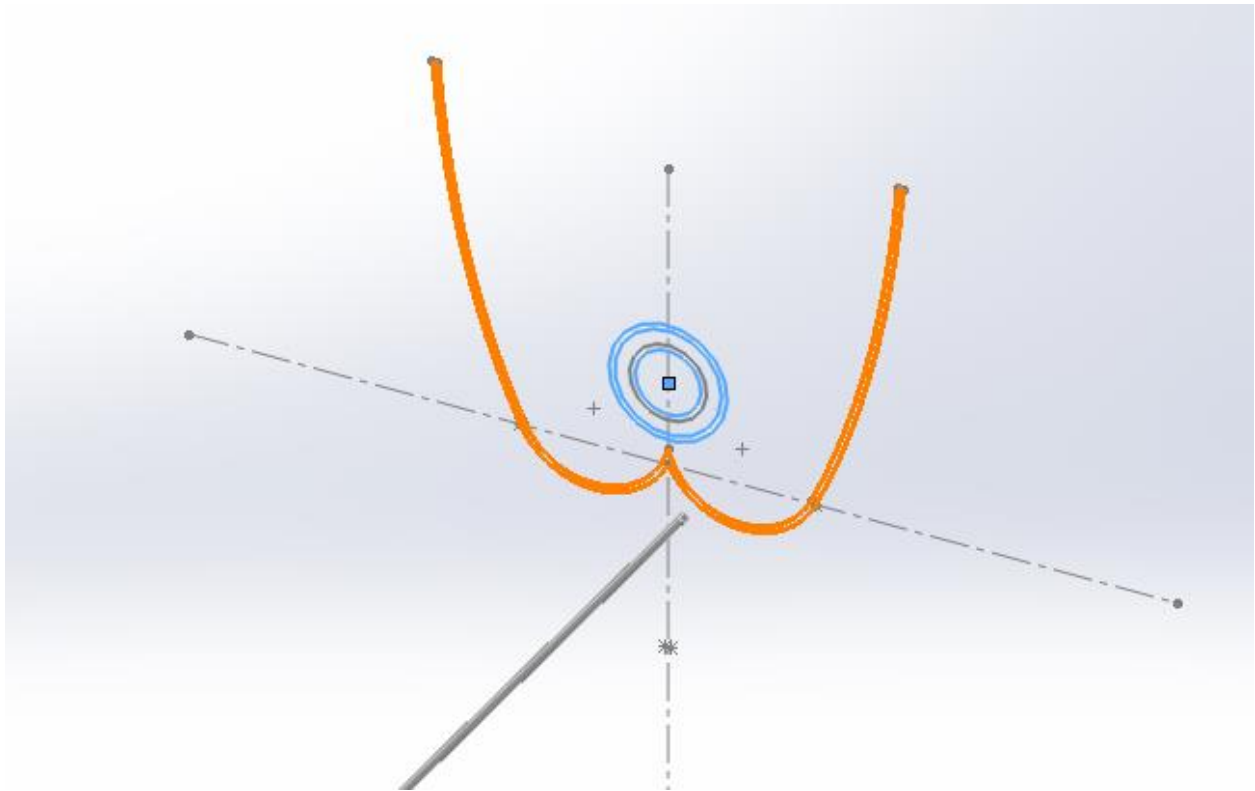
Για τη δημιουργία του στερεού σώματος επιλέγεται αρχικά το σχέδιο “Sketch 1” και στη συνέχεια η εντολή **Extruded Boss/Base**. Στη συνέχεια ορίζεται το βάθος που θα λάβει το στερεό σώμα μέσω του **Direction 1**.



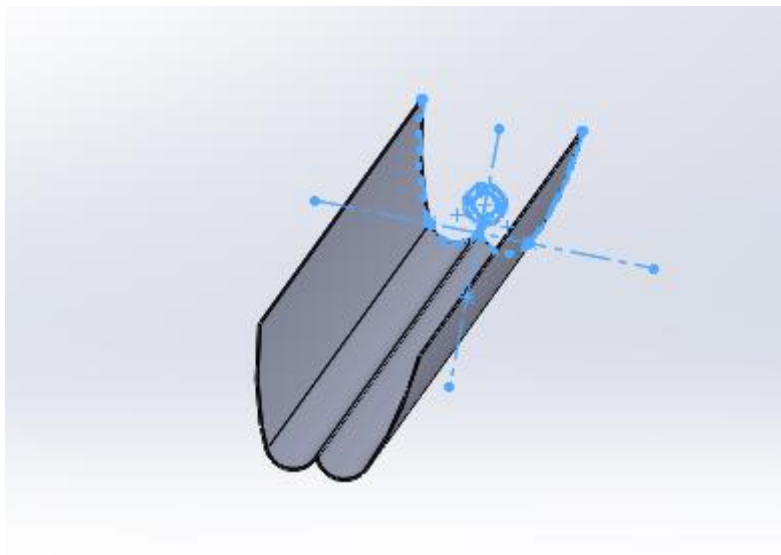
Σχήμα 3.36. Επιλογή του sketch 1 και ύστερα του extruded boss/base.



Σχήμα 3.37. Το βάθος που θα λάβει το στερεό σώμα.



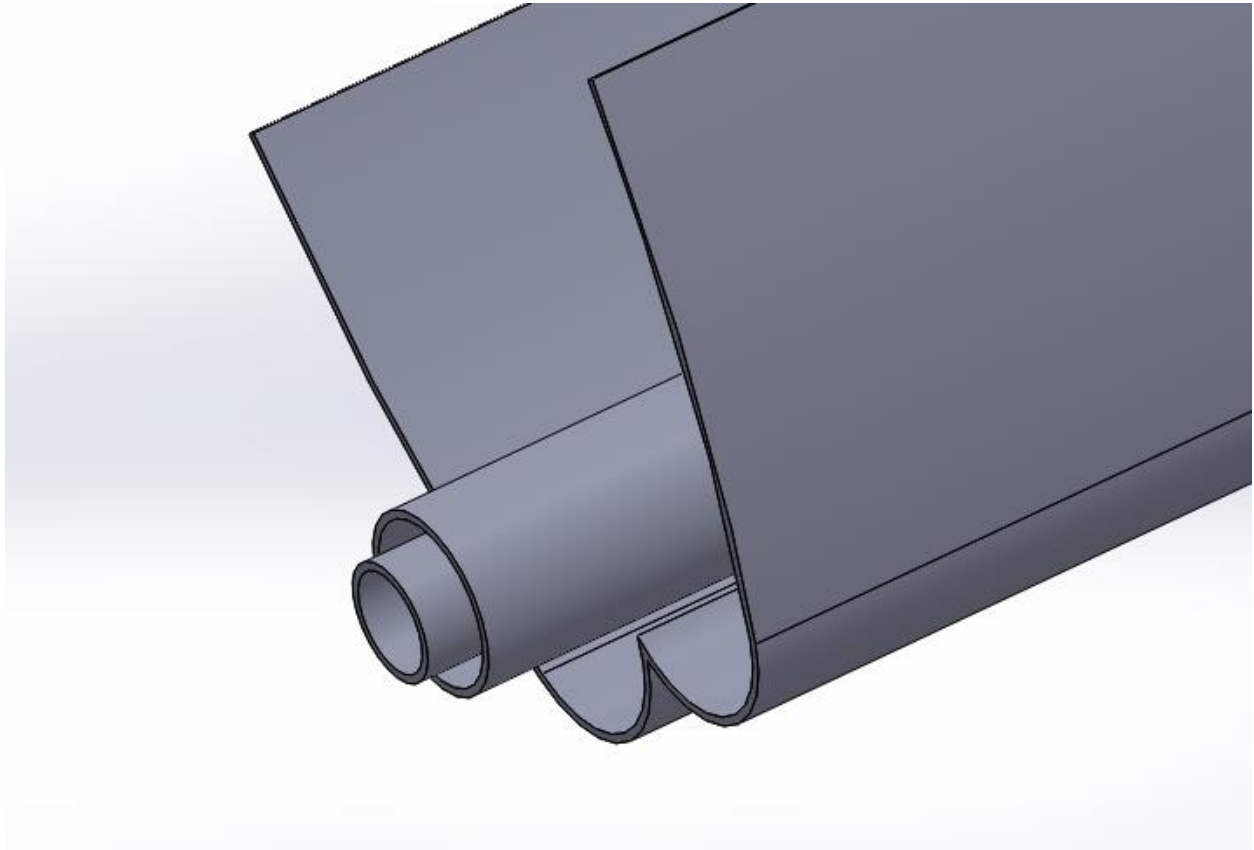
Σχήμα 3.38. Επιλογή της επιφάνειας που θα αναπτυχθεί σε στερεό σώμα.



Σχήμα 3.39. Το βάθος του συλλέκτη.

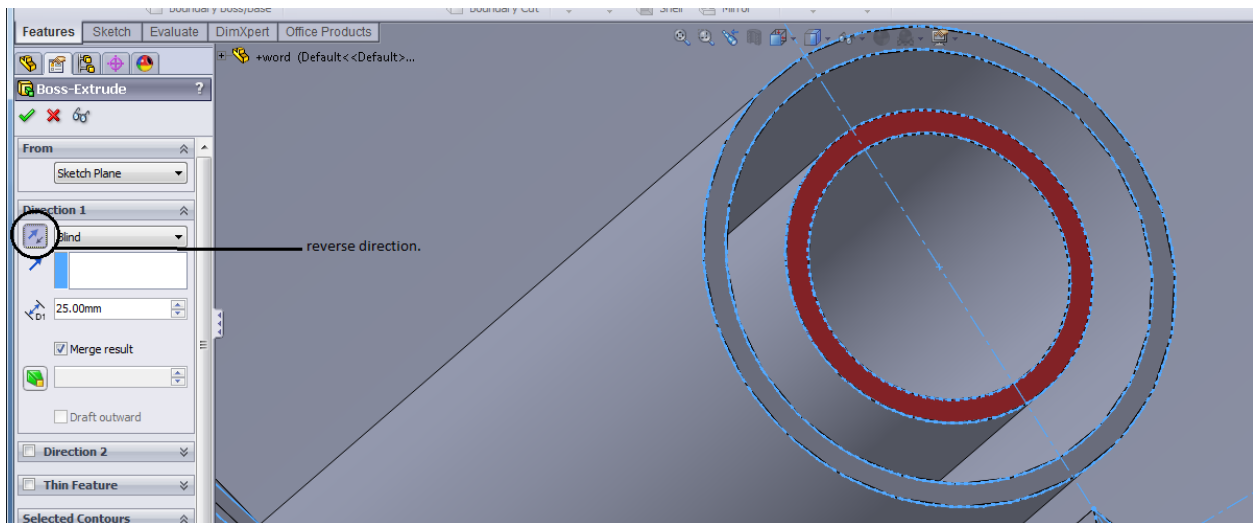
Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η ανάπτυξη του σωλήνα νερού και του σωλήνα κενού. Προσοχή όμως γιατί τόσο ο σωλήνας νερού, όσο και ο σωλήνας κενού πρέπει να προεξέχουν από τον συλλέκτη. Έτσι ενώ ο συλλέκτης σχεδιάστηκε με βάθος 1000 mm, ο σωλήνας κενού

σχεδιάζεται με βάθος 1020 mm, και ο σωλήνας νερού με βάθος 1025mm ώστε στην πορεία να μπορέσουν να λάβουν και το στήριγμα.

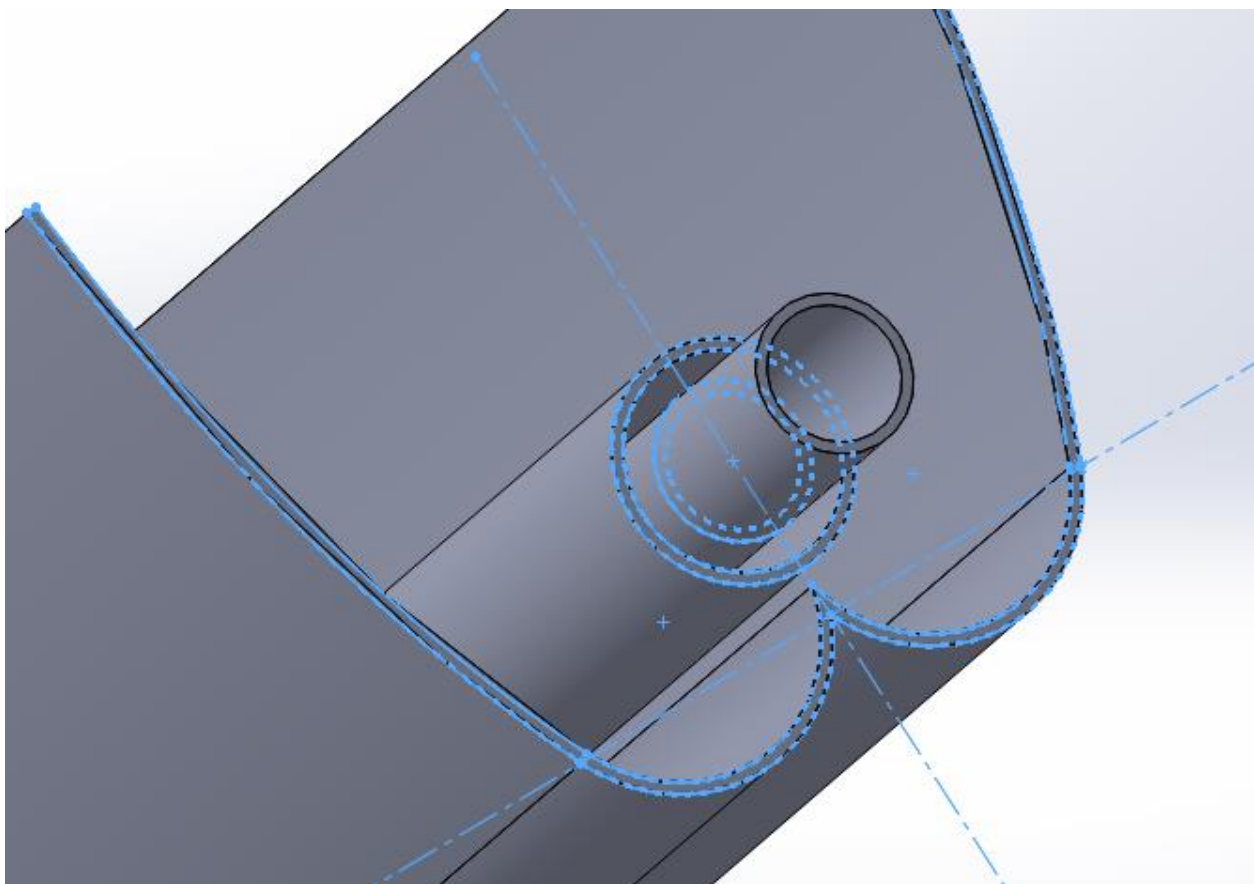


Σχήμα 3.40. Οι σωλήνες νερού και κενού με το αντίστοιχα βάθη τους.

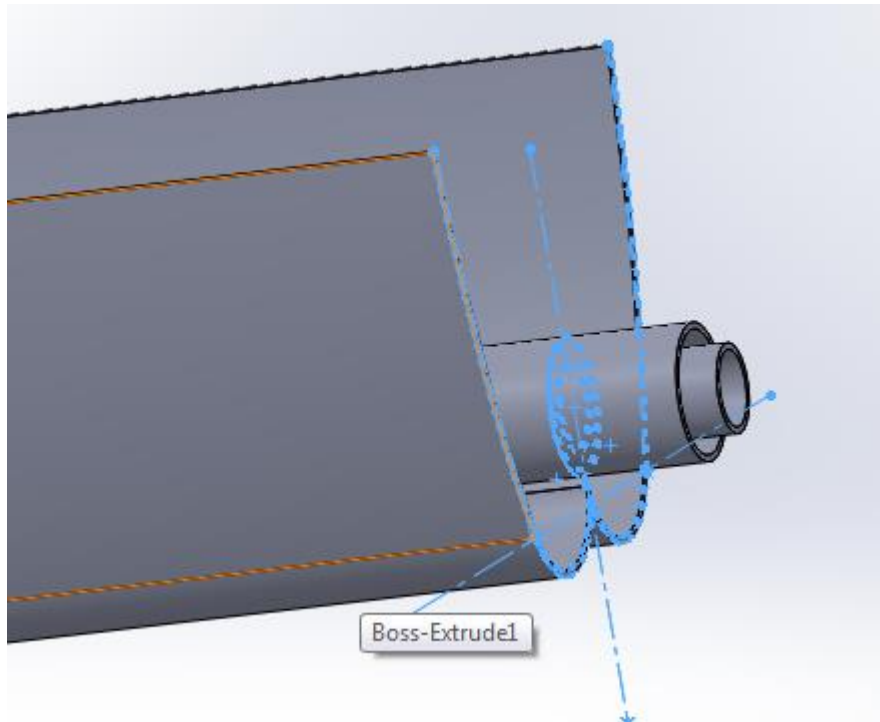
Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η ανάπτυξη των σωλήνων και από την άλλη πλευρά. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο μόνο που αυτή τη φορά στο **Direction 1** επιλέγεται και το **Reverse Direction** ορίζοντας ανάλογα τα αντίστοιχα βάθη. (25 mm για το σωλήνα νερού και 20 mm για το σωλήνα κενού).



Σχήμα 3.41. Με επιλεγμένο το *reverse direction* και αφού έχει ορισθεί το βάθος επιλέγεται η επιφάνεια που θα αναπτυχθεί.

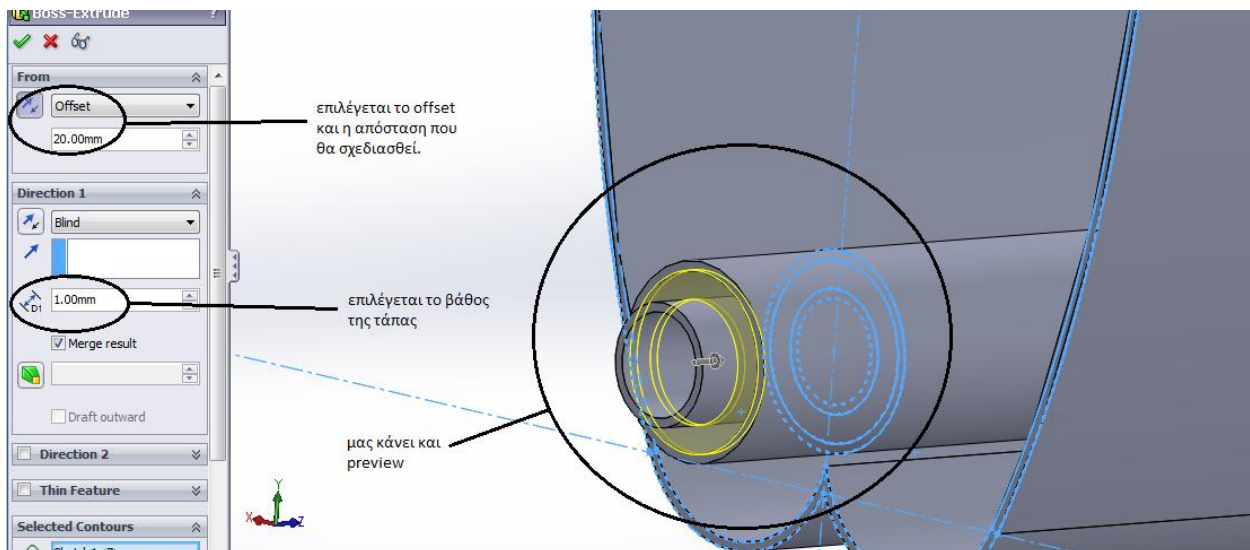


Σχήμα 3.42. Η ανάπτυξη του σωλήνα νερού και από την άλλη πλευρά.



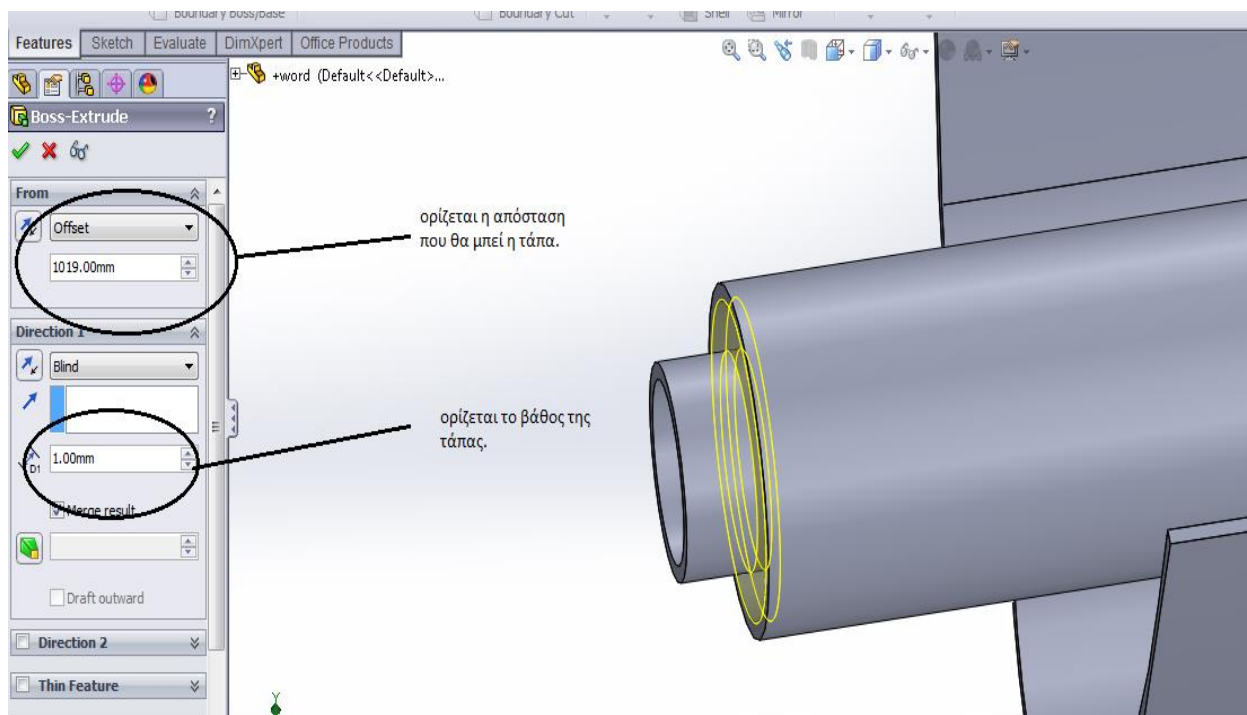
Σχήμα 3.43. Η ανάπτυξη του σωλήνα κενού και από την άλλη πλευρά.

Ύστερα από την εξώθηση του ηλιακού συλλέκτη και των σωλήνων πρέπει να τοποθετηθεί μια τάπα στο σωλήνα κενού ώστε να κλείσει και από τα δυο άκρα. Δημιουργείται λοιπόν μια τάπα 1 mm, όσο και το πάχος δηλαδή του σωλήνα κενού, απλά επιλέγοντας στο **Direction 1** το επιθυμητό πάχος, ενώ ταυτόχρονα στην περιοχή **From** επιλέγεται το **Offset** και η απόσταση στην οποία θα σχεδιασθεί η τάπα.



Σχήμα 3.44. Η σχεδίαση της τάπας του σωλήνα κενού.

Αντίστοιχα σχεδιάζεται η τάπα και από την άλλη πλευρά με παρόμοιο τρόπο. Το πάχος της τάπας πάλι ορίζεται 1 mm από το **Direction 1**, ενώ από το **From** μέσω του **Offset** ορίζεται το που θα μπει η τάπα. Και εδώ το preview που διαθέτει το Solidworks μας βοηθάει να δούμε που πέφτει η τάπα.

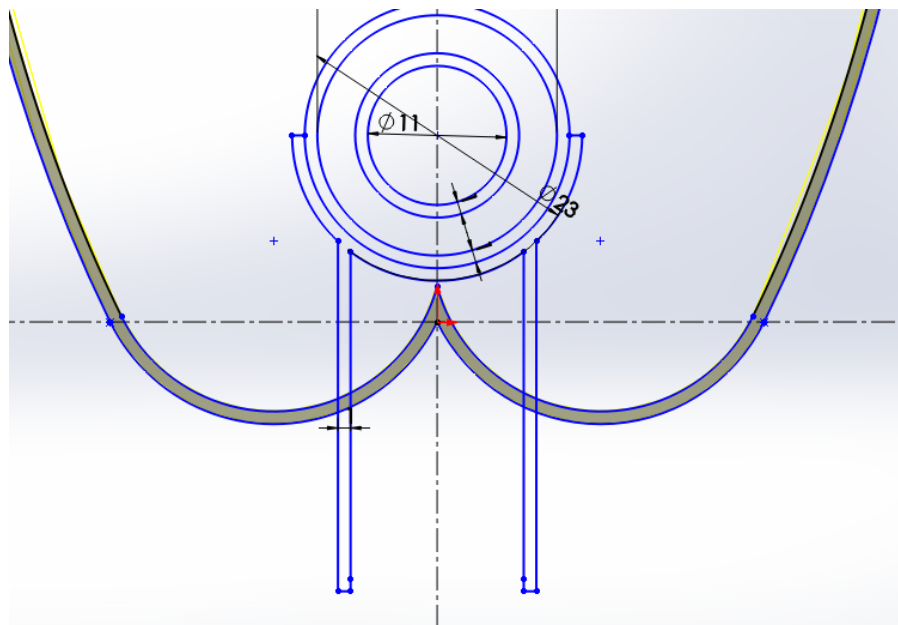


Σχήμα 3.45. Η σχεδίαση της άλλης τάπας με αλλαγή στην απόσταση του offset σε σχέση με πριν.

Η τρισδιάστατη σχεδίαση του ηλιακού συλλέκτη και του απορροφητή είναι έτοιμη. Αυτό που απομένει είναι να σχεδιασθούν τα στηρίγματα για τον ηλιακό συλλέκτη και για τον απορροφητή αντίστοιχα. Σε πρώτη φάση λοιπόν σχεδιάζονται σε δύο διαστάσεις και γίνεται η εξώθησή τους σε τρεις διαστάσεις κατά τα γνωστά.

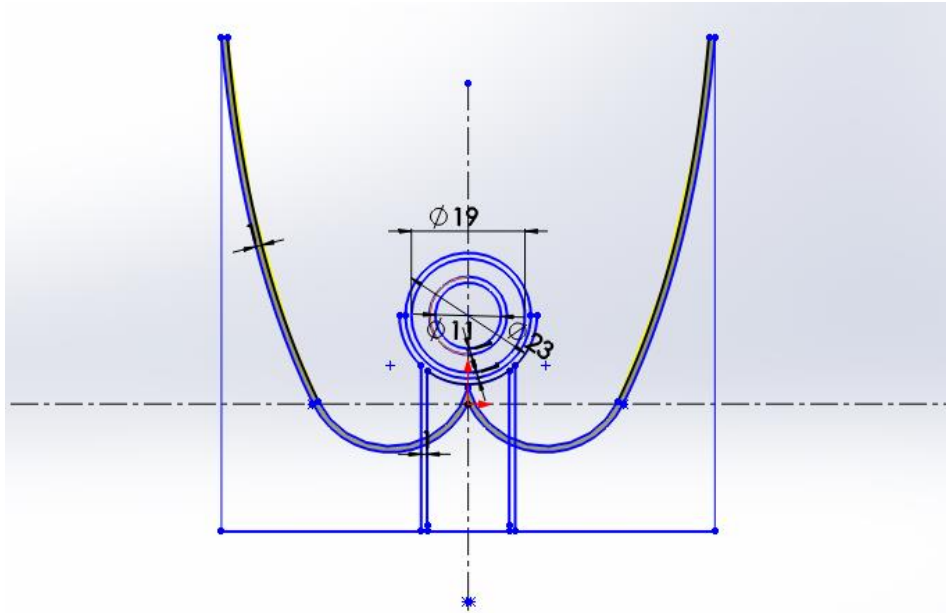
3.7. Δισδιάστατη και τρισδιάστατη σχεδίαση των στηριγμάτων του απορροφητή και του συλλέκτη.

Αρχικά σχεδιάζεται το στήριγμα του απορροφητή σε δύο διαστάσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



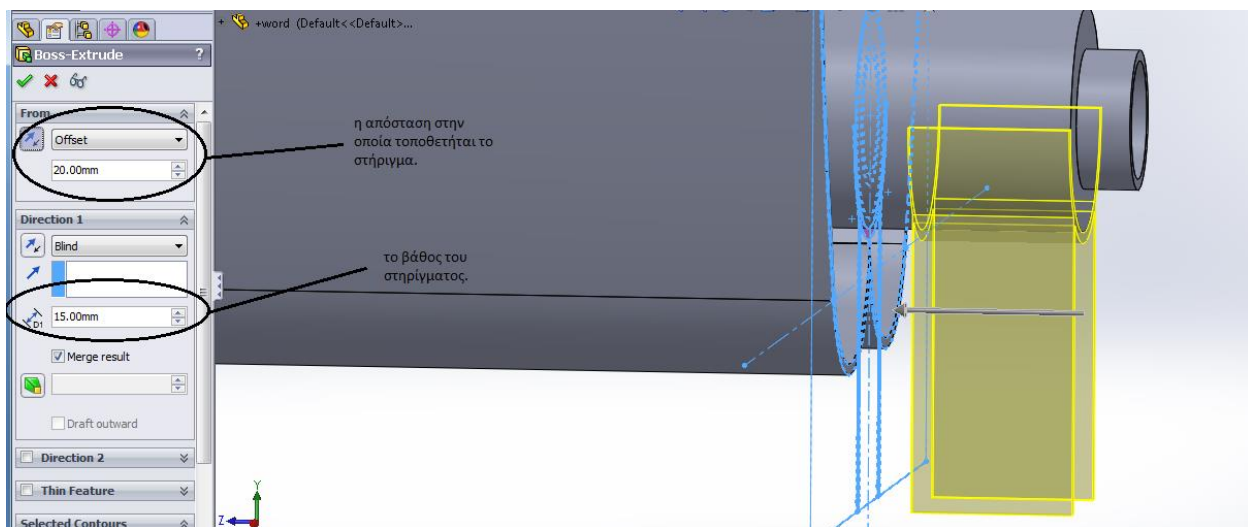
Σχήμα 3.46. Δισδιάστατη σχεδίαση του στηρίγματος του απορροφητή.

Ύστερα σχεδιάζεται το στήριγμα του συλλέκτη. Παρατηρείται εδώ ότι ο συλλέκτης στις περισσότερες των περιπτώσεων περικλείεται από συμπαγές υλικό, ενώ λίγες είναι οι περιπτώσεις που στηρίζεται τοπικά. Έτσι λοιπόν το στήριγμά του φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

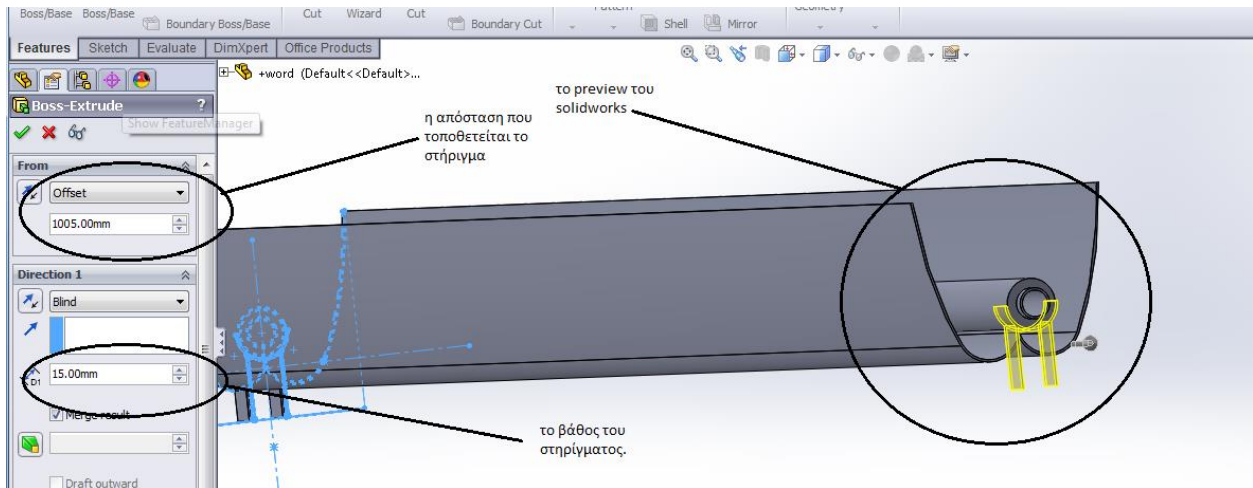


Σχήμα 3.47. Δισδιάστατη σχεδίαση του στηρίγματος του ηλιακού συλλέκτη.

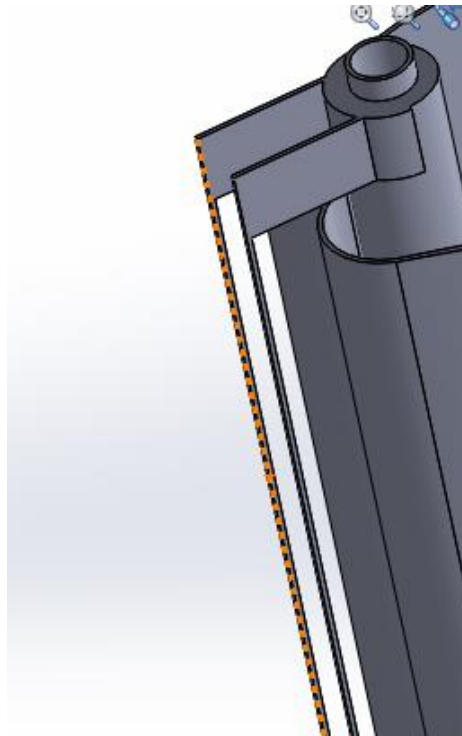
Αφού έγινε λοιπόν ο δισδιάστατος σχεδιασμός των στηριγμάτων, μπορεί πλέον να γίνει η εξώθησή τους σε τρισδιάστατο.



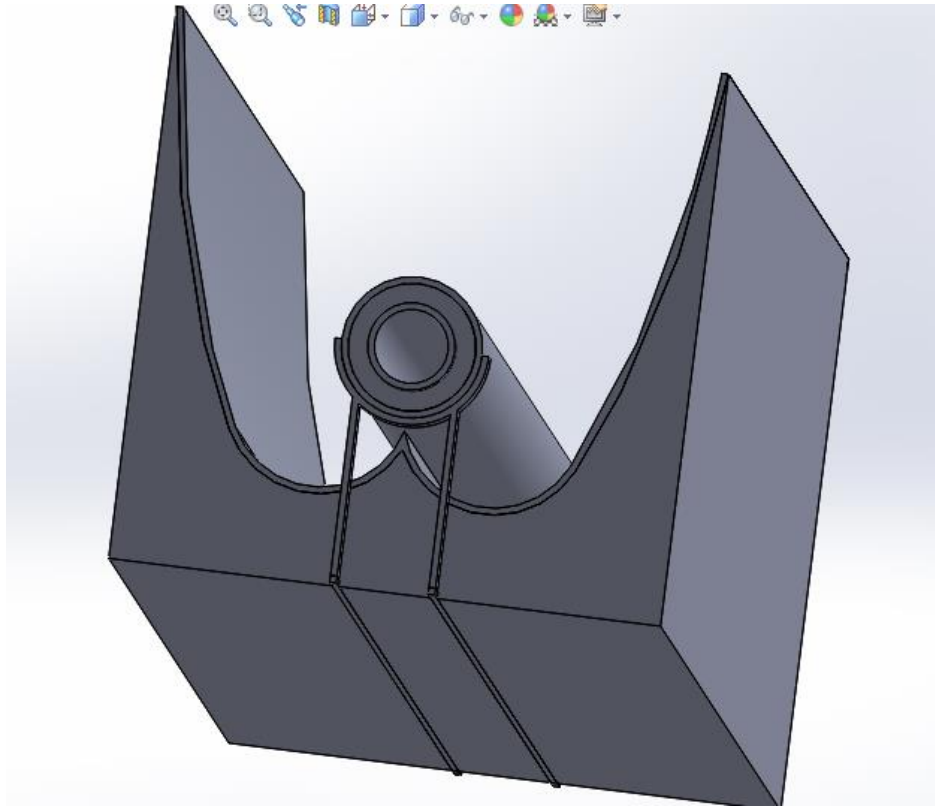
Σχήμα 3.48. Τρισδιάστατος σχεδιασμός του στηρίγματος του απορροφητή.



Σχήμα 3.49. Τρισδιάστατος σχεδιασμός του δεύτερου στηρίγματος του απορροφητή.



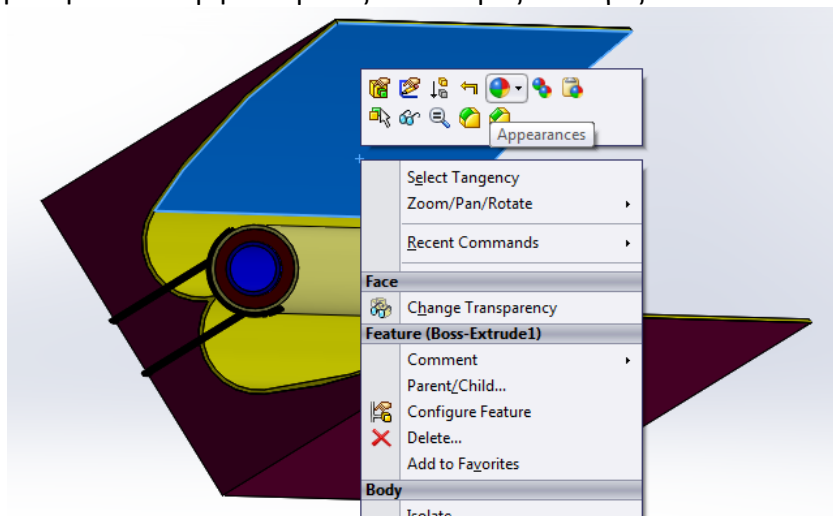
Σχήμα 3.50. Ολοκλήρωση του τρισδιάστατου σχεδιασμού των στηριγμάτων του απορροφητή ενώνοντάς τα, κάτω από τον συλλέκτη.



Σχήμα 3.51. Τρισδιάστατος σχεδιασμός του στηρίγματος του ηλιακού συλλέκτη.

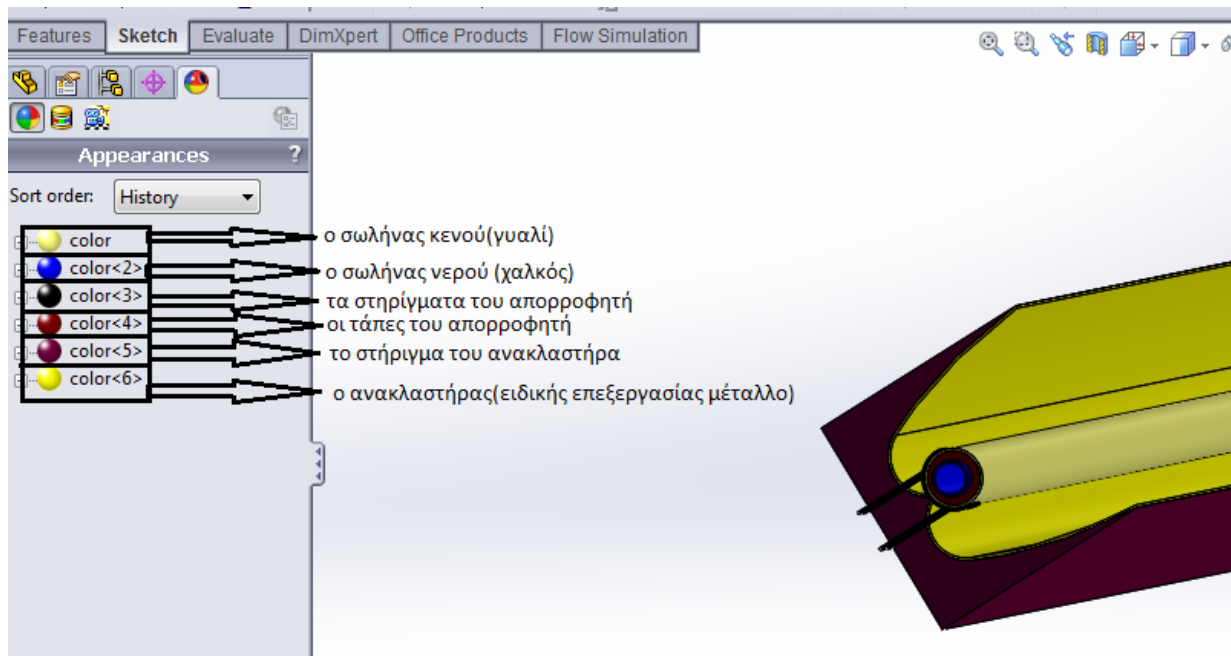
3.8. Ορισμός είδους και χρώματος επιφανείας.

Επιλέγεται με αριστερό κλικ η επιφάνεια που πρέπει να τροποποιηθεί, οπότε στην οθόνη εμφανίζεται ένα εικονίδιο με ορισμένες εντολές. Επιλέγοντας την εντολή **Appearances** τροποποιείται η επιφάνεια σύμφωνα με τις διαθέσιμες επιλογές.



Σχήμα 3.52. Επιλέγεται με αριστερό κλικ η επιφάνεια και μετά με την εντολή *appearances* μπαίνει χρώμα στην αντίστοιχη επιφάνεια.

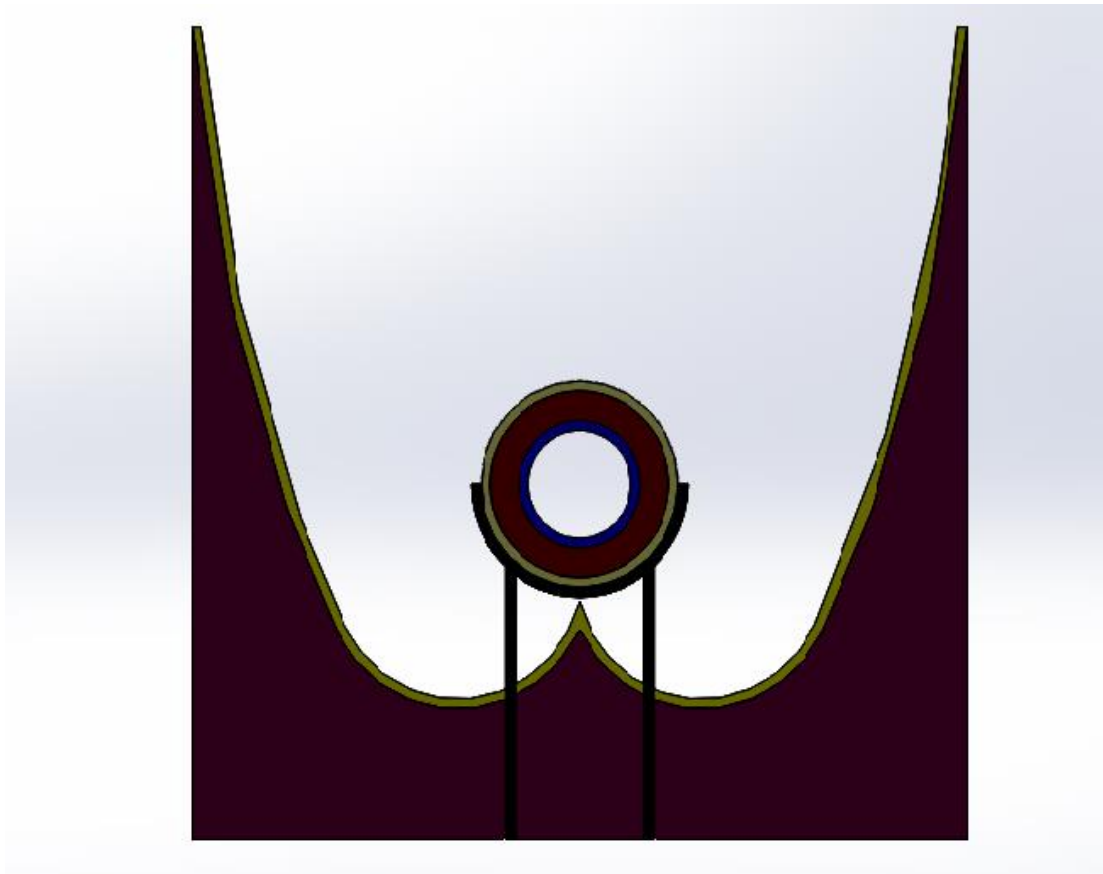
Επιλέγονται διαφορετικά χρώματα για κάθε είδους επιφάνεια. Στο συγκεκριμένο ηλιακό συλλέκτη έχουν χρησιμοποιηθεί 6 χρώματα καθένα από τα οποία αναπαριστούν ένα διαφορετικό σκέλος του **(Σχήμα 3.53)**.



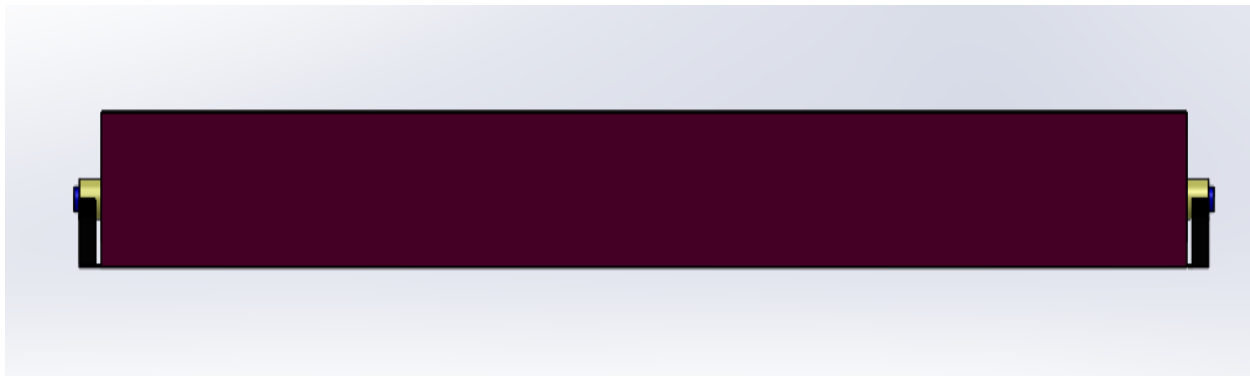
Σχήμα 3.53. Τα χρώματα του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη και η επεξήγησή τους.

3.9. Διάφορες όψεις και τομές του ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

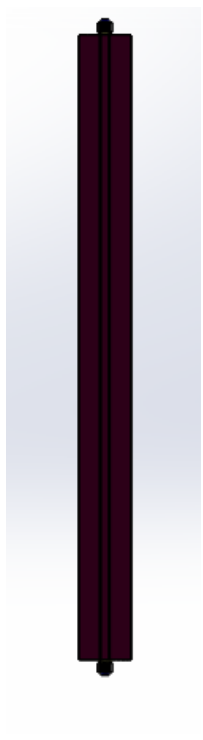
Σε αυτή την παράγραφο παρατίθενται αρχικά οι όψεις του ηλιακού συλλέκτη στα σχήματα που ακολουθούν.



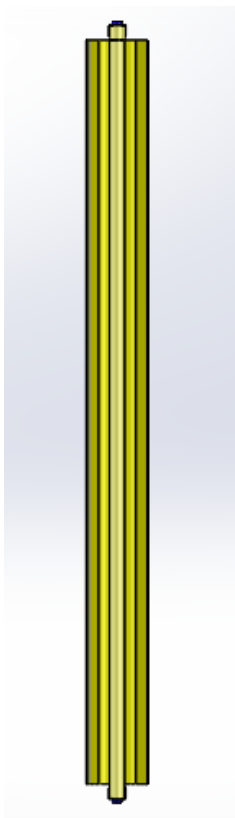
Σχήμα 3.54. Η πρόοψη του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.



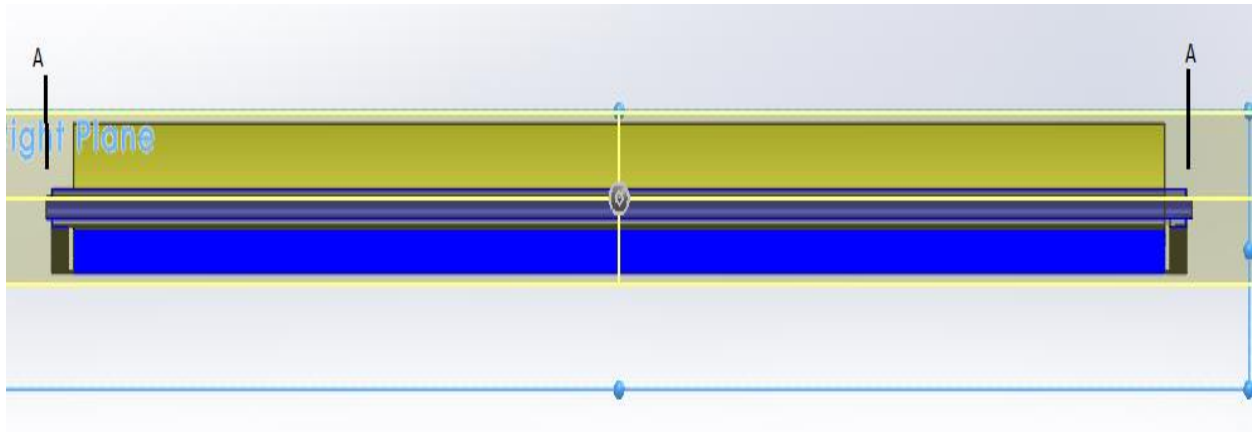
Σχήμα 3.55. Η πλάγια όψη του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.



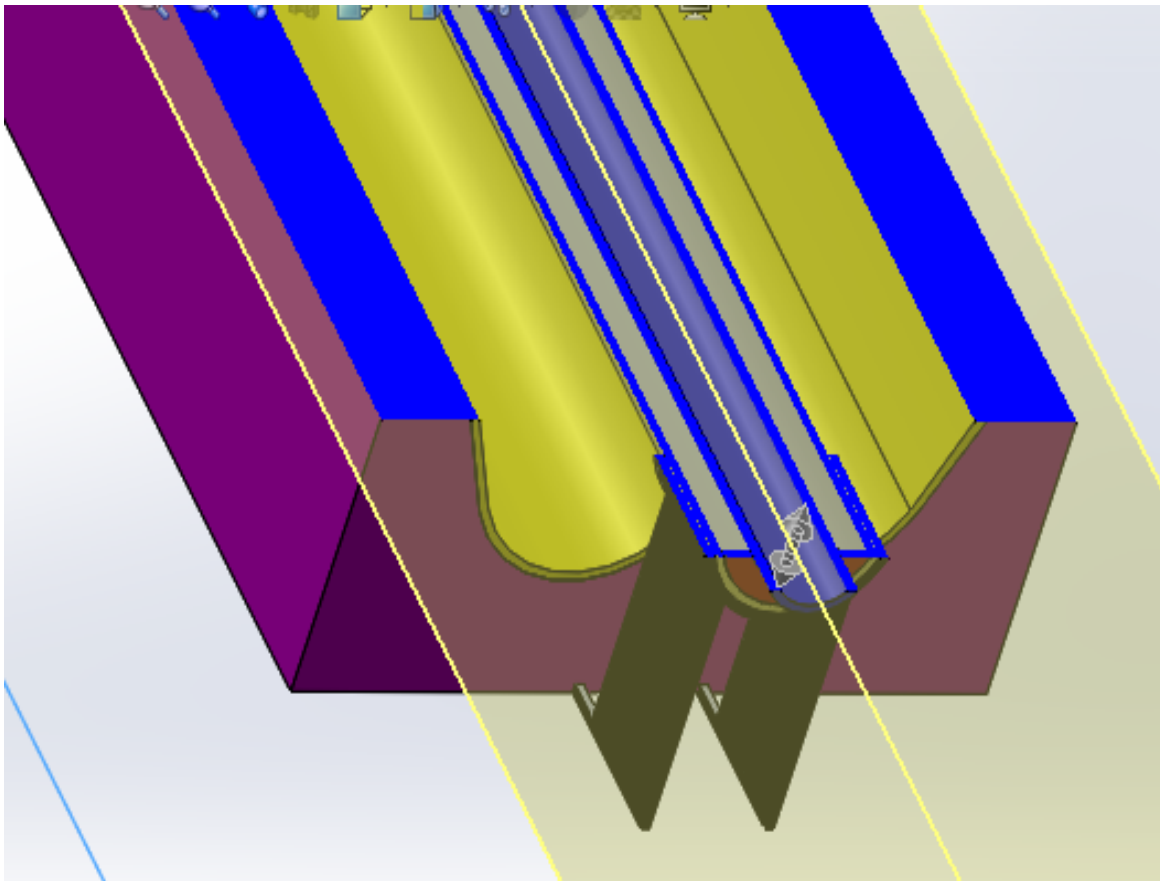
Σχήμα 3.56. Η άνοιξη του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.



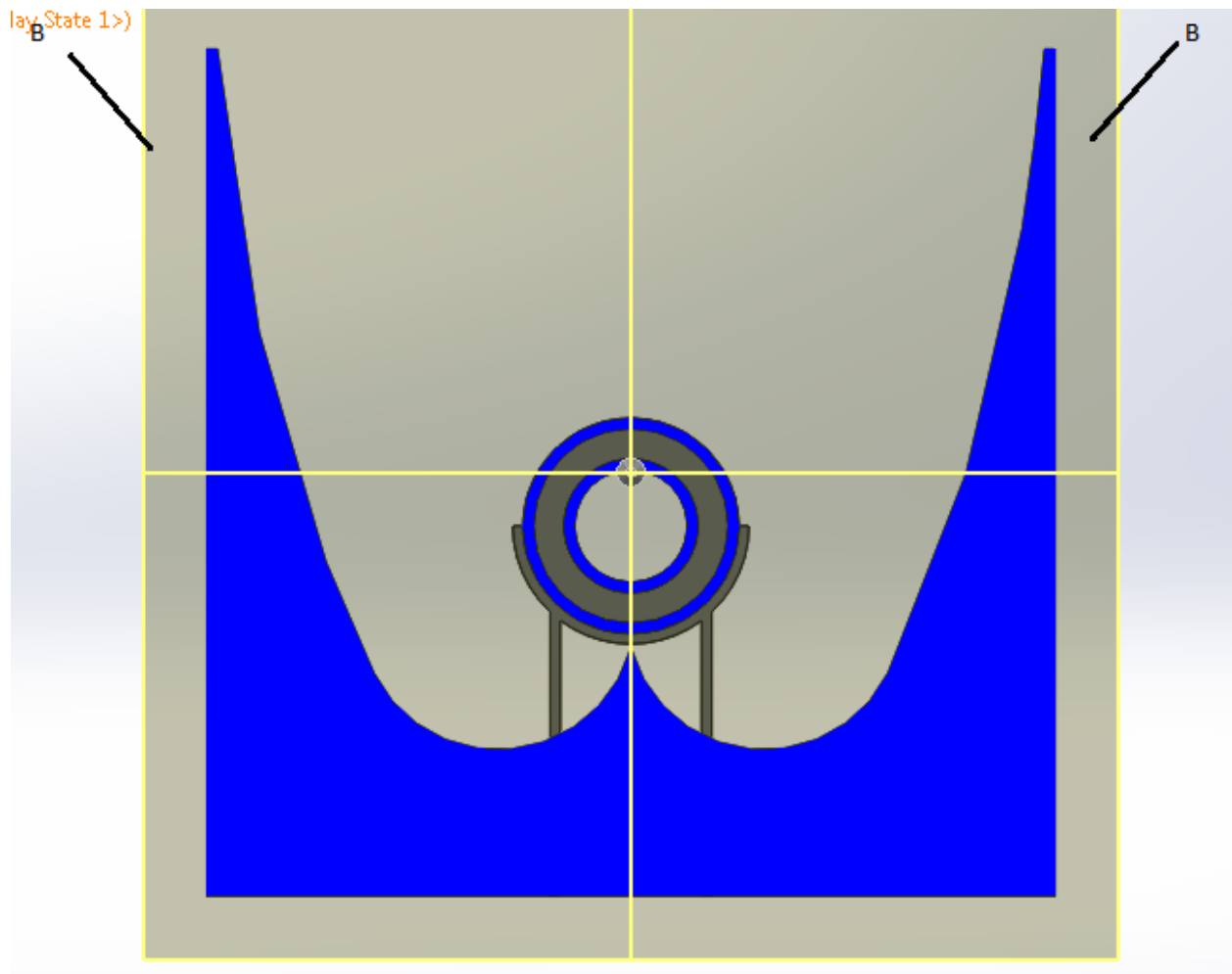
Σχήμα 3.57. Η κάτωψη του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.



Σχήμα 3.58. Η τομή A-A του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.




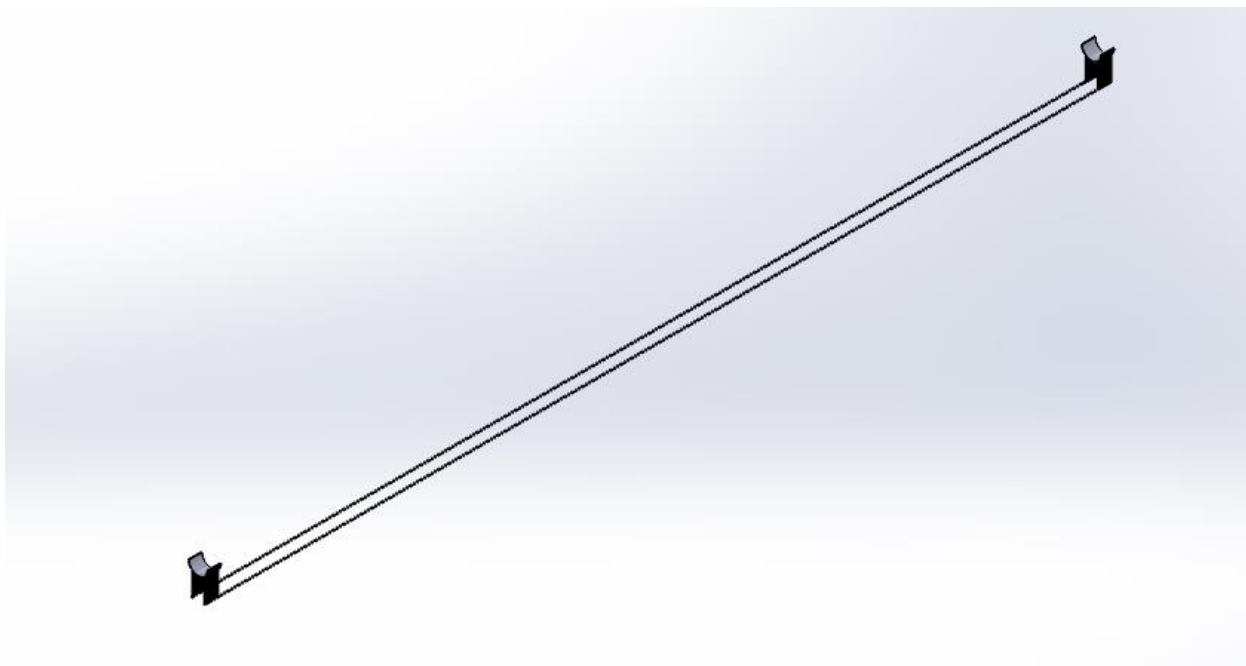
Σχήμα 3.59. Η τομή καθ' ύψος του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.



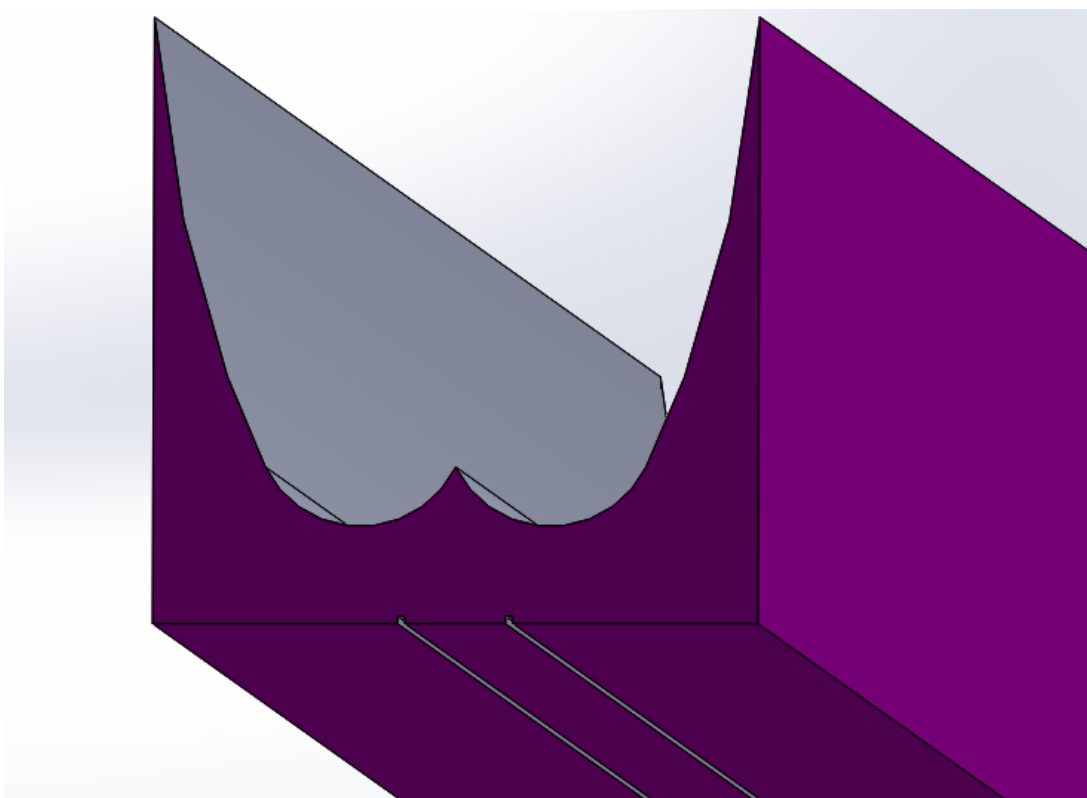
Σχήμα 3.60. Η τομή B-B του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.

3.10. Μεμονωμένη παρουσίαση των διάφορων σκελών του σχεδίου.

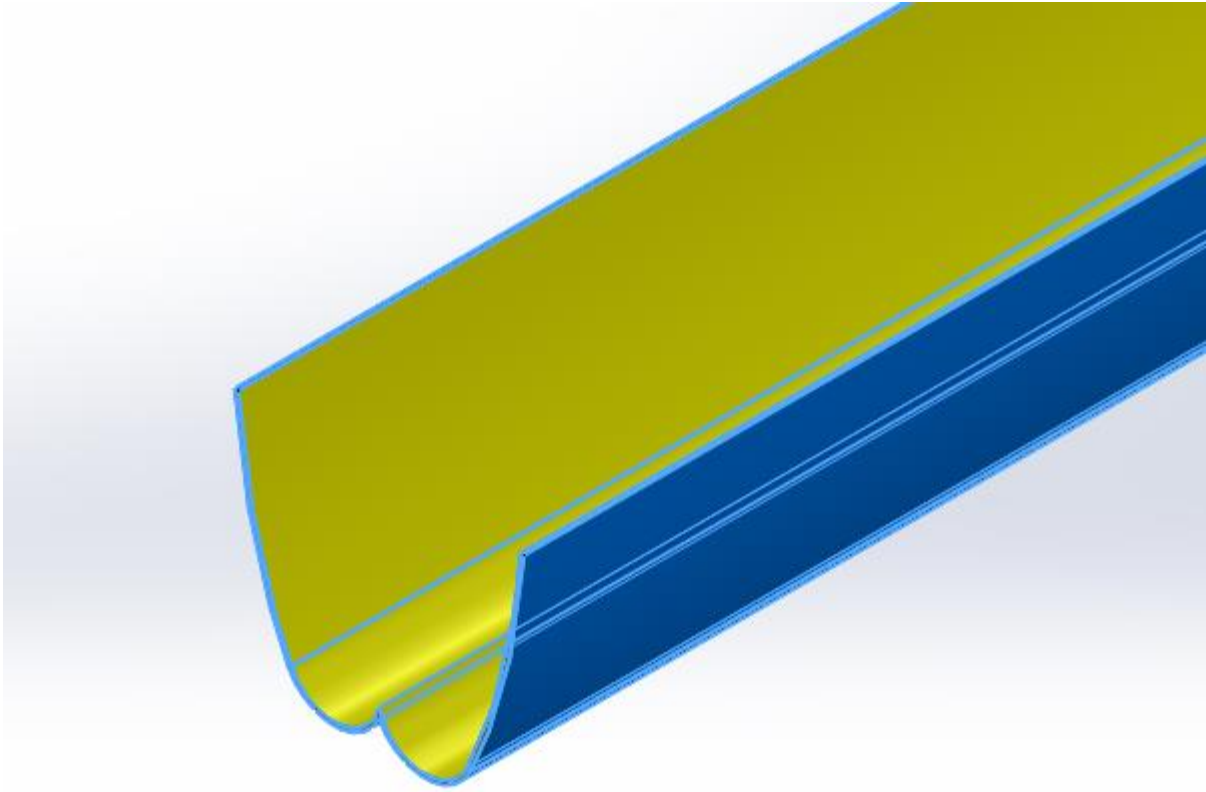
Χρησιμοποιώντας την εντολή **Hide**  του Solidworks μπορούν να κρυφτούν διάφορα μέρη του συλλέκτη και να κρατηθούν κάποια άλλα. Έτσι στα σχήματα που ακολουθούν χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη εντολή μπορούν να φανούν μόνο τα στηρίγματα του ανακλαστήρα και του απορροφητή ή να φανεί μόνο ο σωλήνας νερού κτλ.



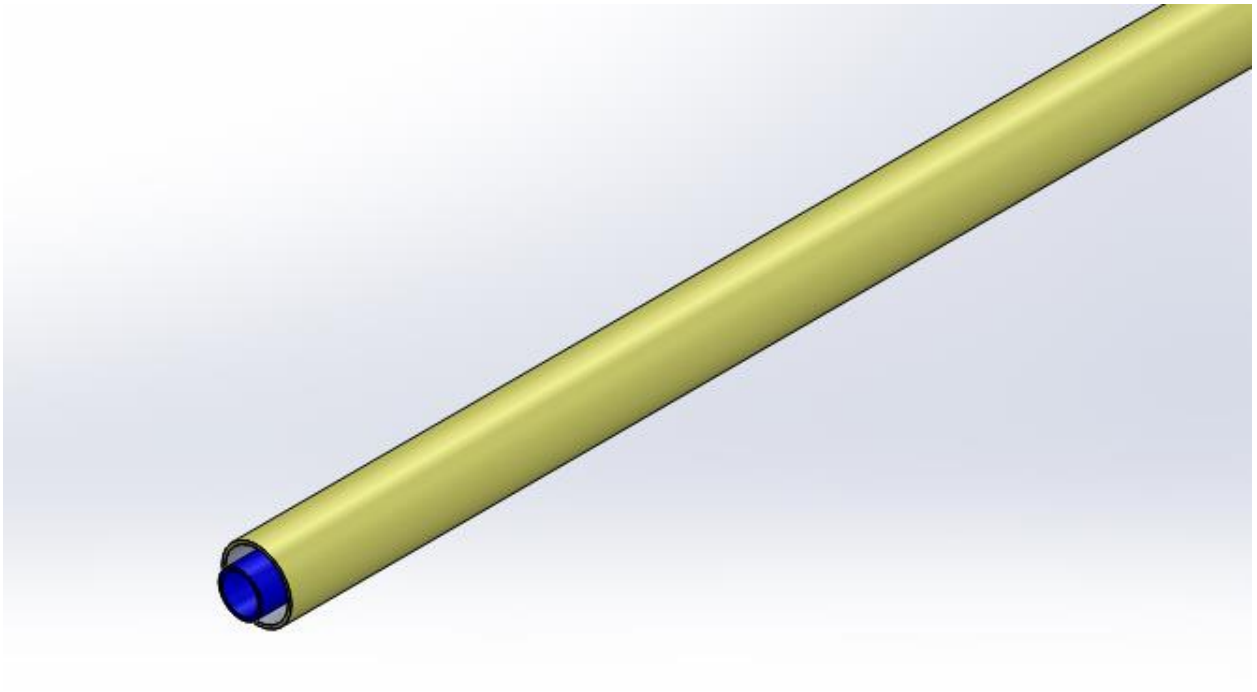
Σχήμα 3.61. Το στήριγμα του απορροφητή.



Σχήμα 3.62. Το στήριγμα του ανακλαστήρα.



Σχήμα 3.63. Ο ανακλαστήρας.

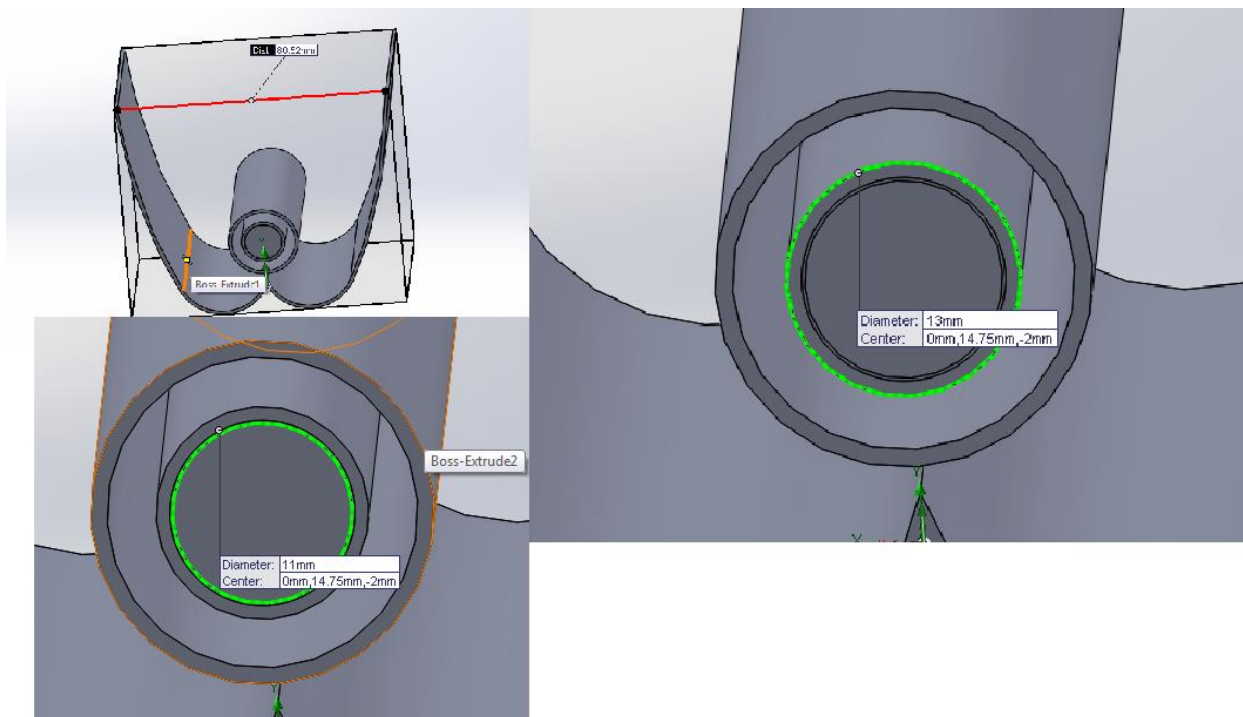


Σχήμα 3.64. Ο απορροφητής και ο σωλήνας κενού.

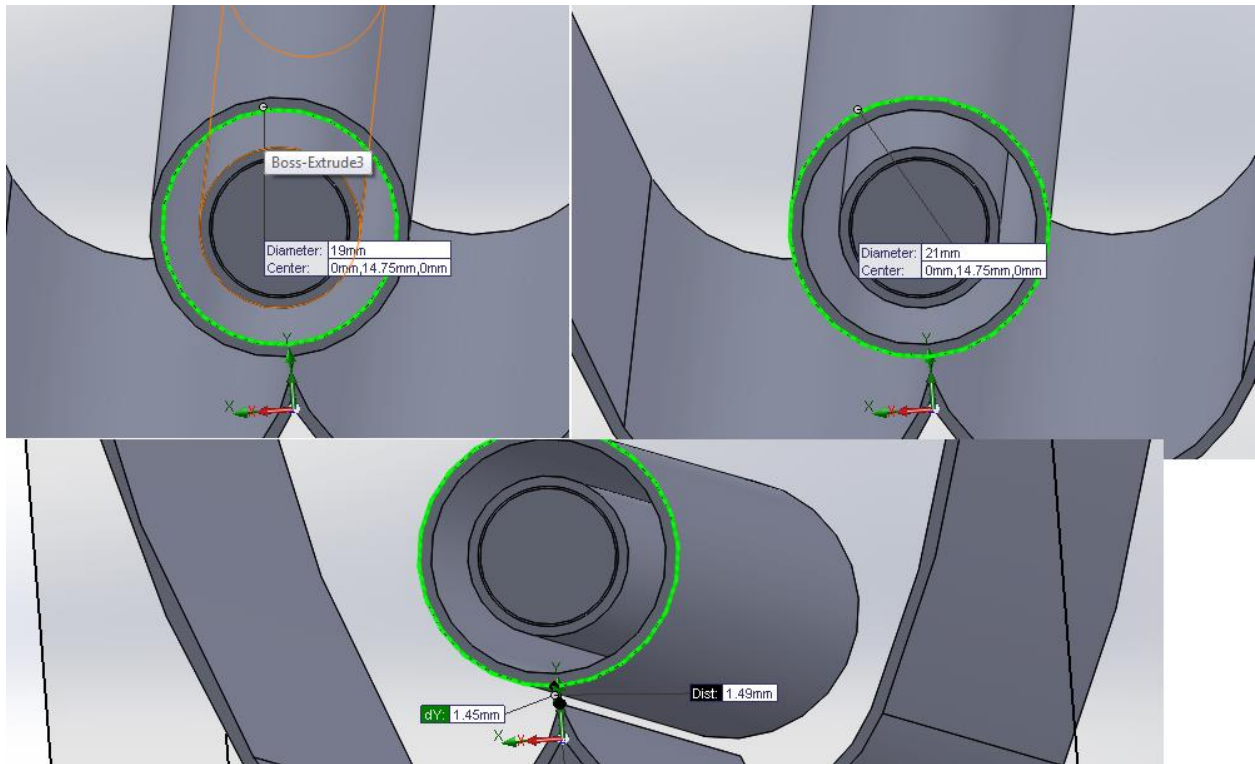
Κεφάλαιο 4. Προσομοίωση συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

4.1. Εισαγωγή.

Στην εν λόγω ενότητα εισάγεται μια νέα καρτέλα στο περιβάλλον του προγράμματος, της οποίας και θα περιγραφεί συνοπτικά η λειτουργία της. Πρόκειται για την καρτέλα **Flow Simulation**, μέσω της οποίας θα δοθεί η δυνατότητα να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός ρευστού εργαζόμενου μέσου εντός μιας κοιλότητας, τόσο σε ροϊκό όσο και σε θερμικό επίπεδο, καθώς και των στερεών ή άλλων ρευστών που το περιβάλλουν. Η λειτουργία και οι δυνατότητες της συγκεκριμένης καρτέλας θα αναλυθούν μέσω του αντικειμένου που πρόκειται να προσομοιωθεί. Συγκεκριμένα θα προσομοιωθεί ένας συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης τύπου **CPC** ο οποίος παρουσιάζει άνοιγμα **W=80,52 mm** και έχει μήκος **L=1000 mm**. Ο απορροφητής αποτελείται από ένα χάλκινο σωλήνα, που μέσα του ρέει νερό, με εσωτερική διάμετρο **D_{rin}=11 mm** και εξωτερική διάμετρο **D_{rou}t=13 mm**. Ο εν λόγω σωλήνας περικλείεται από ένα σωλήνα γυαλιού με εσωτερική διάμετρο **D_{gin}=19 mm** και εξωτερική διάμετρο **D_{gout}=21 mm**. Ανάμεσα στους 2 σωλήνες υπάρχει κενό. Η σχεδίαση των όσων αναφέρθηκαν πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι διαστάσεις που προαναφέρθηκαν.



Σχήμα 4.1. Διαστασιολόγηση στο άνοιγμα του συλλέκτη και στις διαμέτρους του χαλκοσωλήνα.



Σχήμα 4.2. Διαστασιολόγηση στις διαμέτρους του γυαλιού και στο ύψος που τοποθετείται ο απορροφητής.

Για το κεφάλαιο της προσομοίωσης του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC πολύτιμη ήταν η βοήθεια του εργαστηρίου της ηλιακής ενέργειας.[17,18]

4.2. Βασικές εξισώσεις.

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρατίθενται οι βασικές εξισώσεις που αφορούν στη μεταφορά θερμότητας που υφίσταται μεταξύ των συνιστωσών του συλλέκτη καθώς και μεταξύ του τελευταίου και του περιβάλλοντος του, ούτως ώστε να γίνει εύκολα κατανοητή η θερμική του συμπεριφορά, καθώς και η μεθοδολογία που πρόκειται να ακολουθηθεί.

(Η ερμηνεία των μεταβλητών παρατίθεται στους **Πίνακες 4.1, 4.2 και 4.3**).

Απορροφούμενη από το νερό ισχύς:

$$Q_{\omega\phi} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4.1)$$

Συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής:

$$U_t = \frac{Q_t}{A_{ro} \cdot (T_r - T_{am})} \quad (4.2)$$

Συντελεστής ολικών θερμικών απωλειών: $U_L \approx U_t$ (4.3)

Ο λόγος συγκέντρωσης: $c = \frac{A_a}{A_{ro}}$ (4.4)

Η θεωρητική ακτινοβολία που δέχεται ο απορροφητής:

$$Q_{in,th} = 0.81 \cdot Q_{solar} \quad (4.5)$$

Η πραγματική ακτινοβολία που δέχεται ο απορροφητής:

$$Q_{in} = Q_{\omega\phi} + Q_t \quad (4.6)$$

Ο λόγος της ακτινοβολίας που δέχεται ο απορροφητής προς αυτήν που θεωρητικά θα δεχόταν αν όλες οι ανακλώμενες ακτίνες φτάνουν σε αυτόν:

$$\gamma = \frac{Q_{in}}{Q_{in,th}} \quad (4.7)$$

Απώλειες κορυφής:

$$Q_t = A_{ro} \cdot \sigma \cdot \frac{(T_r^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{1 - \varepsilon_c \cdot A_{ro}}{\varepsilon_c \cdot A_{gi}}} = [hca \cdot (T_g - T_{am}) + \sigma \cdot \varepsilon_c \cdot (T_g^4 - T_{am}^4)] \quad (4.8)$$

Μέση θερμοκρασία ρευστού: $\bar{T}_f = \frac{T_{out} + T_{in}}{2}$ (4.9)

Βαθμός απόδοσης του συλλέκτη:

$$\eta = \frac{Q_{\omega\phi}}{Q_{solar}} \quad (4.10)$$

$$Q_{solar} = A_a \cdot G \quad (4.11)$$

Επιφάνεια ανοίγματος του συλλέκτη:

$$A_a = w \cdot L \quad (4.12)$$

Επιφάνεια του δέκτη, δηλαδή η επιφάνεια που απορροφά τη συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία:

$$A_{ro} = \pi \cdot D_{ro} \cdot L \quad (4.13)$$

4.3. Ιδιότητες των συνιστωσών του ηλιακού συλλέκτη.

Οι κύριες ιδιότητες των τριών συνιστωσών (ανακλαστήρας, απορροφητής, σωλήνας κενού) που απαρτίζουν τον ηλιακό συλλέκτη δίνονται στον **Πίνακα 4.1** που ακολουθεί :

Μέγεθος	Τιμή
ρ ·(τα)	0.81
ϵ_p	0.1
ϵ_g	0.88

Πίνακας 4.1. Οπτικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες του συλλέκτη

4.4. Δεδομένα του προβλήματος.

Τα δεδομένα του προβλήματος, τα οποία, κατά κύριο λόγο, αποτελούν τις οριακές συνθήκες του προγράμματος, δίνονται στον **Πίνακα 4.2**.

Ονομασία	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	T_{am}	10	°C
Θερμοκρασία εισόδου του νερού	T_{in}	20-90	°C
Παροχή μάζας νερού	\dot{m}	0.01	kg/s
Ολική στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία	G_T	1000	W/m ²
Πίεση	p	1,01325	bar
Συντελεστής συναγωγής γυαλιού-περιβάλλοντος	h_w	10	W/m ² K

Πίνακας 4.2. Δεδομένα του προβλήματος.

4.5. Ζητούμενα του προβλήματος.

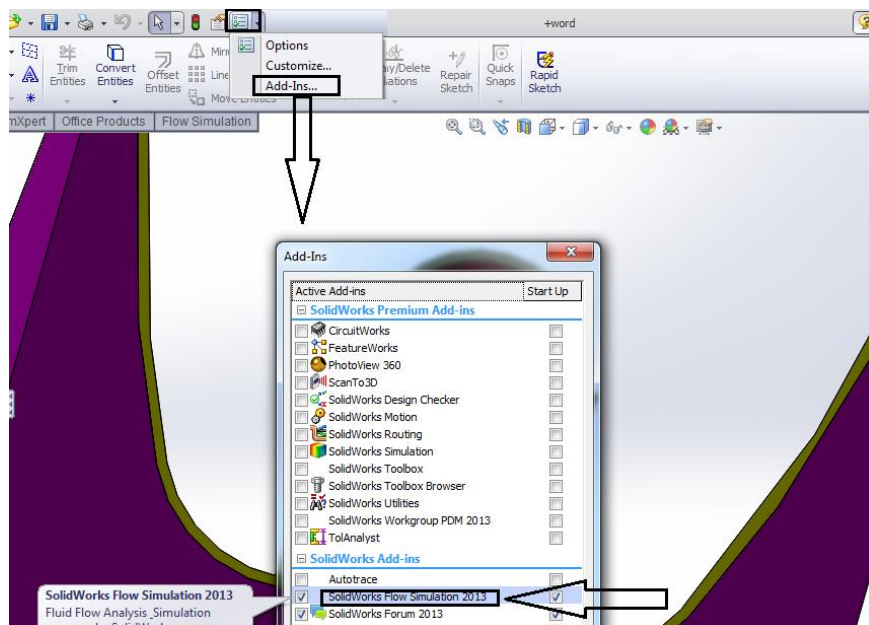
Τα ζητούμενα του προβλήματος, τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4.3**).

Όνομασία	Σύμβολο
Θερμοκρασία εξόδου του νερού	T_{out}
Θερμοκρασία απορροφητή	T_r
Θερμοκρασία γυαλιού	T_g
Απώλειες κορυφής	Q_t


Πίνακας 4.3. Ζητούμενα του προβλήματος.

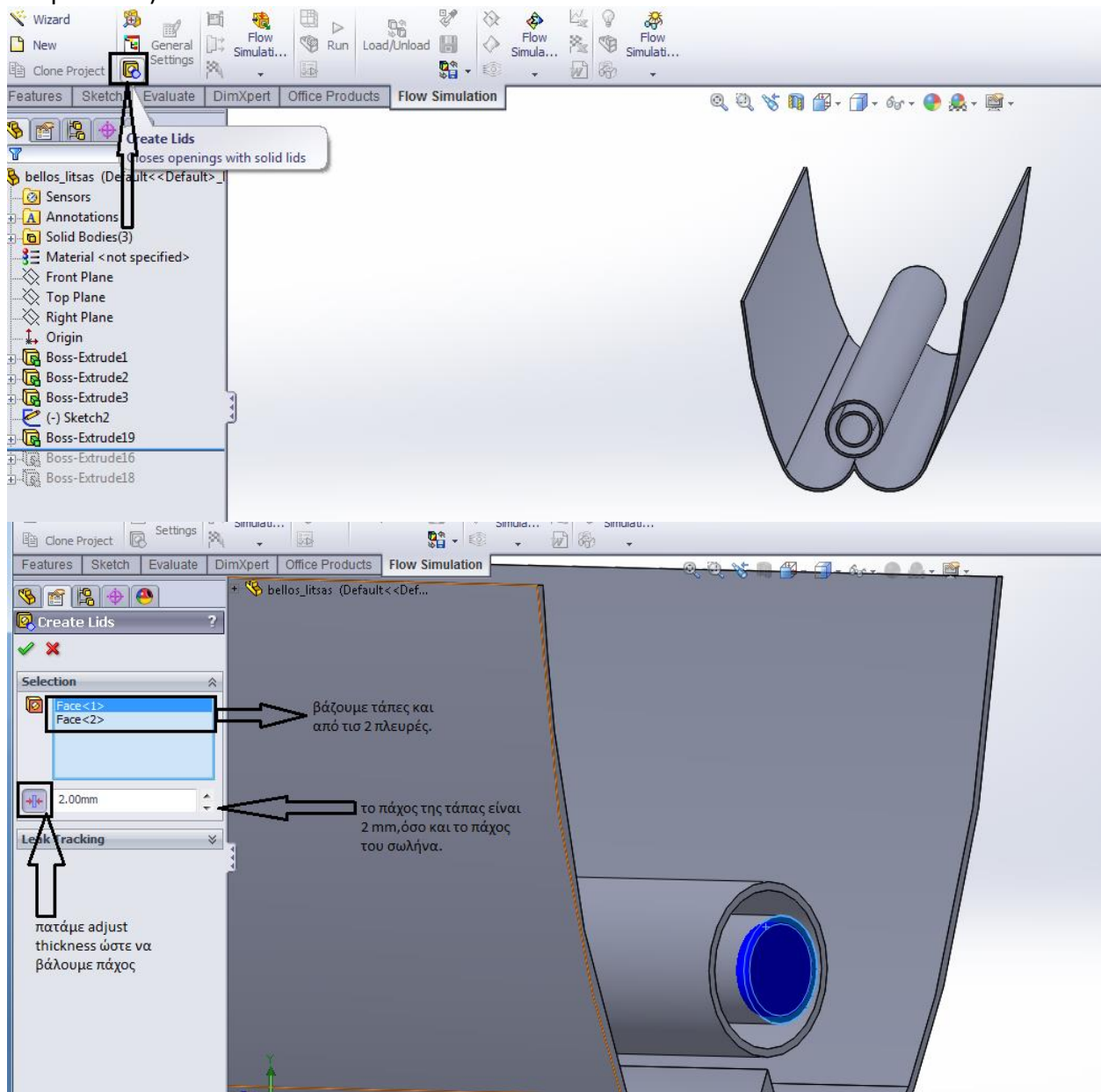
4.6. Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης.

Αρχικά, ανοίγεται το αρχείο του προς μελέτη σχεδίου και εισάγεται στο περιβάλλον του προγράμματος η καρτέλα **Flow Simulation** σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.[19,20]



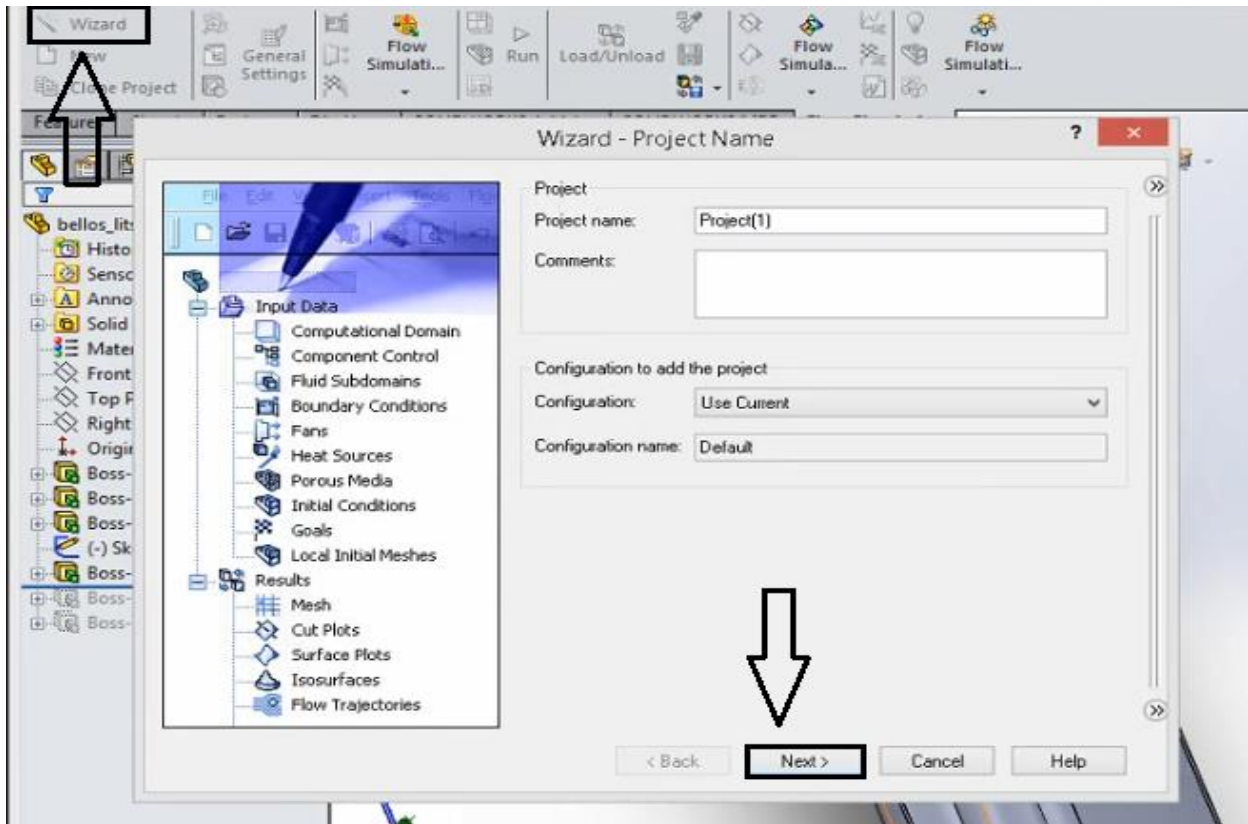
Σχήμα 4.3. Ενεργοποίηση της καρτέλας "Flow Simulation" του προγράμματος Solidworks.

Έπειτα, κλείνονται (στεγανοποιούνται) τα δύο ανοικτά άκρα του σωλήνα νερού, μέσω της εντολής  **Create Lids** (βλ. *Σχήμα 4.4*), η οποία βρίσκεται στην καρτέλα **Flow simulation**, ώστε να μπορέσει να εισαχθεί το νερό (πρέπει το πρόγραμμα να μπορέσει να καταλάβει τον όγκο του ρευστού).

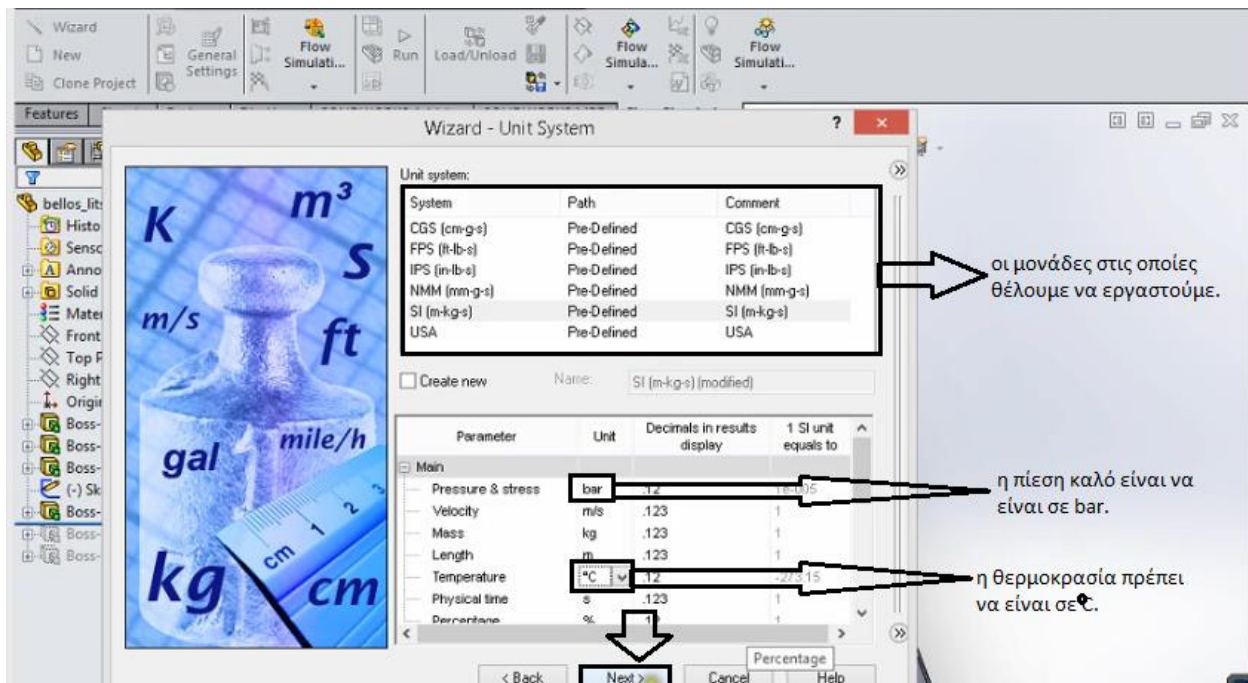


Σχήμα 4.4. Κλείσιμο των δύο άκρων του σωλήνα νερού με τάπες.

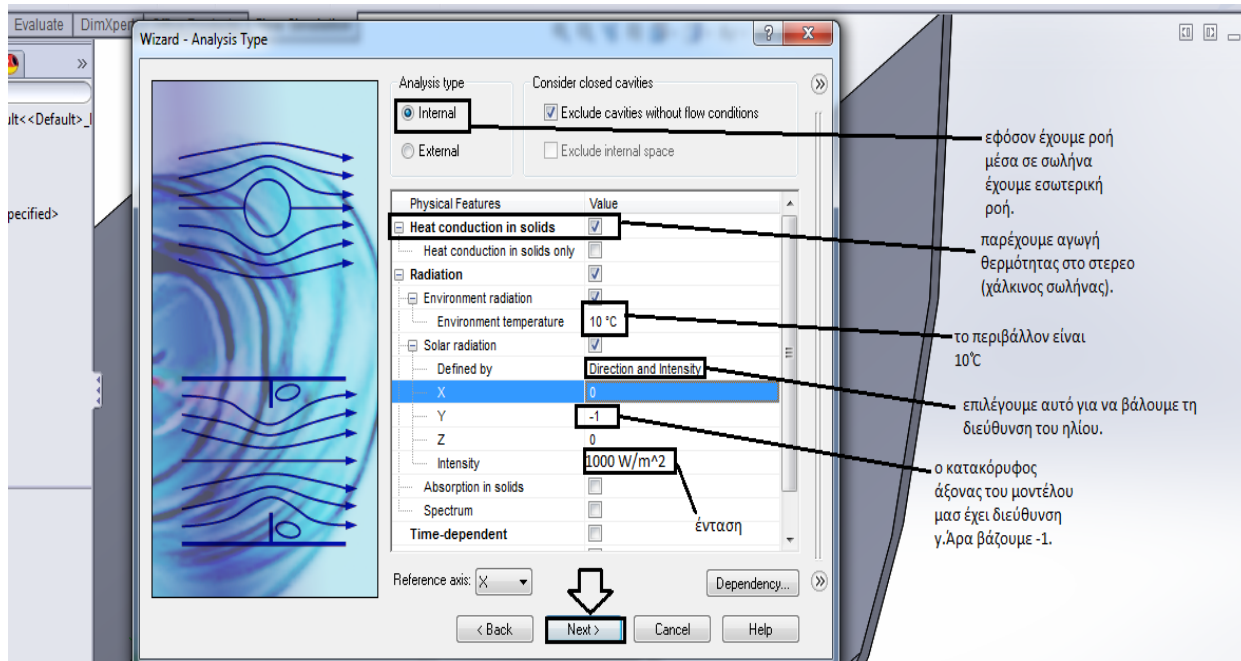
Ύστερα, δημιουργείται μια **εργασία προσομοίωσης ροής (Flow simulation project)**, μέσω της εντολής **Wizard**, η οποία βρίσκεται στην καρτέλα **Flow simulation**, σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.5. Flow simulation project.



Σχήμα 4.6. Flow simulation project (συνέχεια).



εφόσον έχουμε ροή μέσα σε σωλήνα έχουμε εσωτερική ροή.

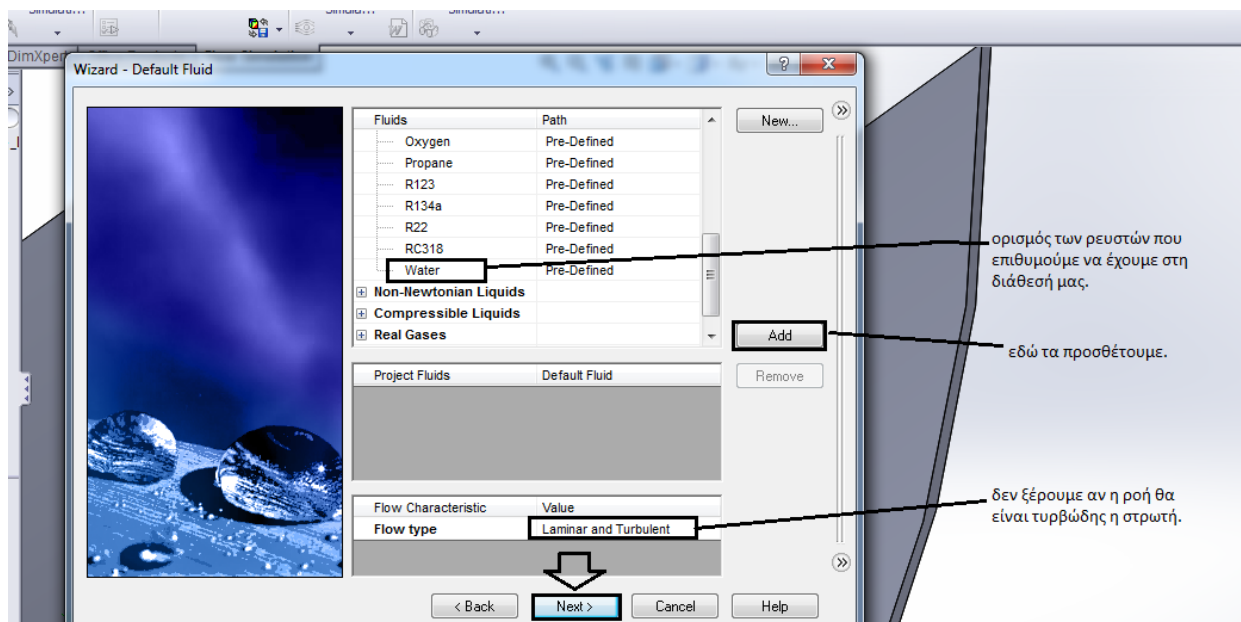
παρέχουμε αγωγή θερμότητας στο στερεό (χάλκινος σωλήνας).

το περιβάλλον είναι 10°C

επιλέγουμε αυτό για να βάλουμε τη διεύθυνση του ηλίου.

ο κατακόρυφος άξονας του μοντέλου μας έχει διεύθυνση γ.Αρα βάζουμε -1.

Σχήμα 4.7. Flow simulation project (συνέχεια).

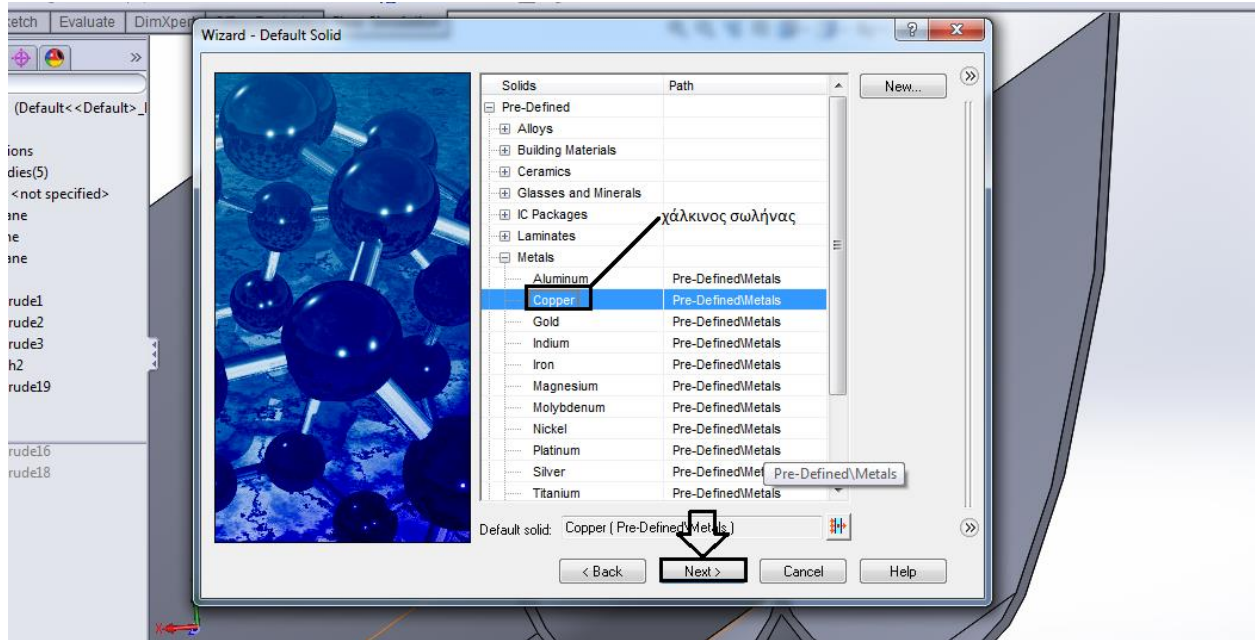


ορισμός των ρευστών που επιθυμούμε να έχουμε στη διάθεσή μας.

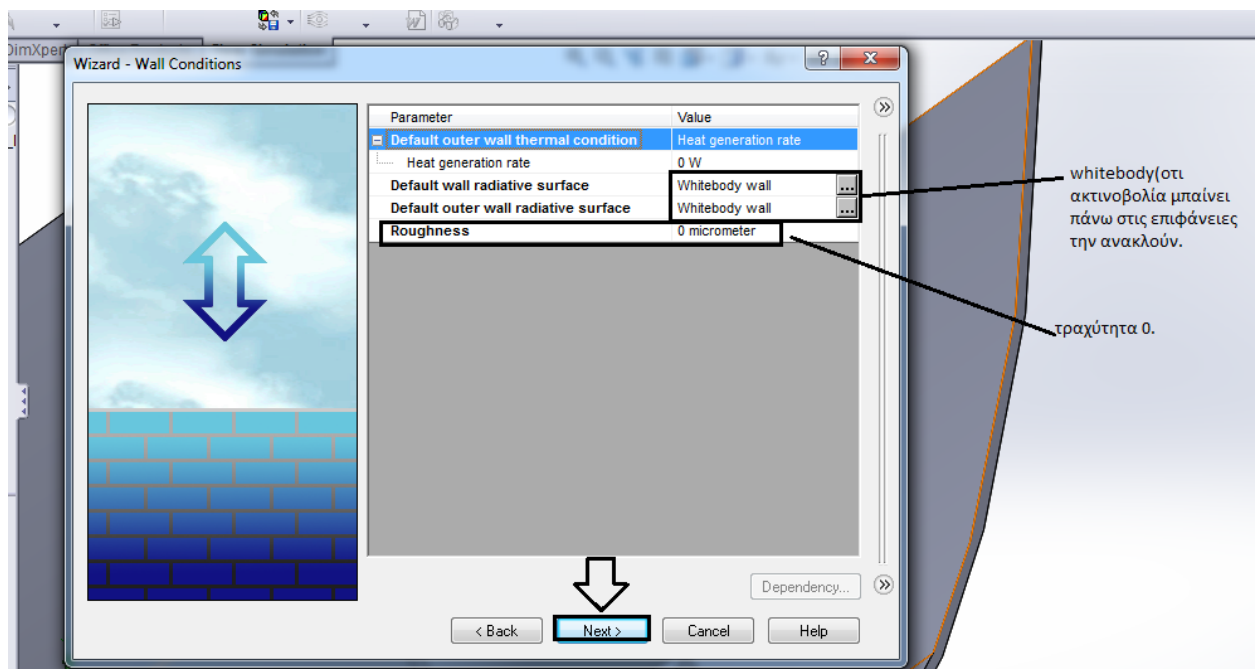
εδώ τα προσθέτουμε.

δεν ξέρουμε αν η ροή θα είναι τυρβώδης ή στρωτή.

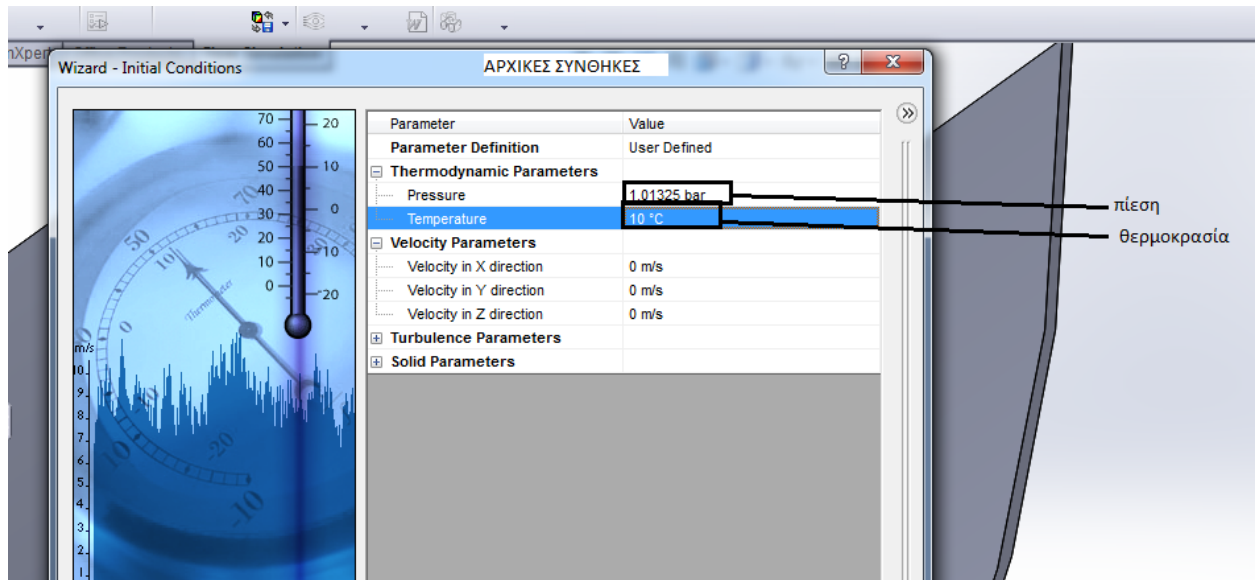
Σχήμα 4.8. Flow simulation project (συνέχεια).



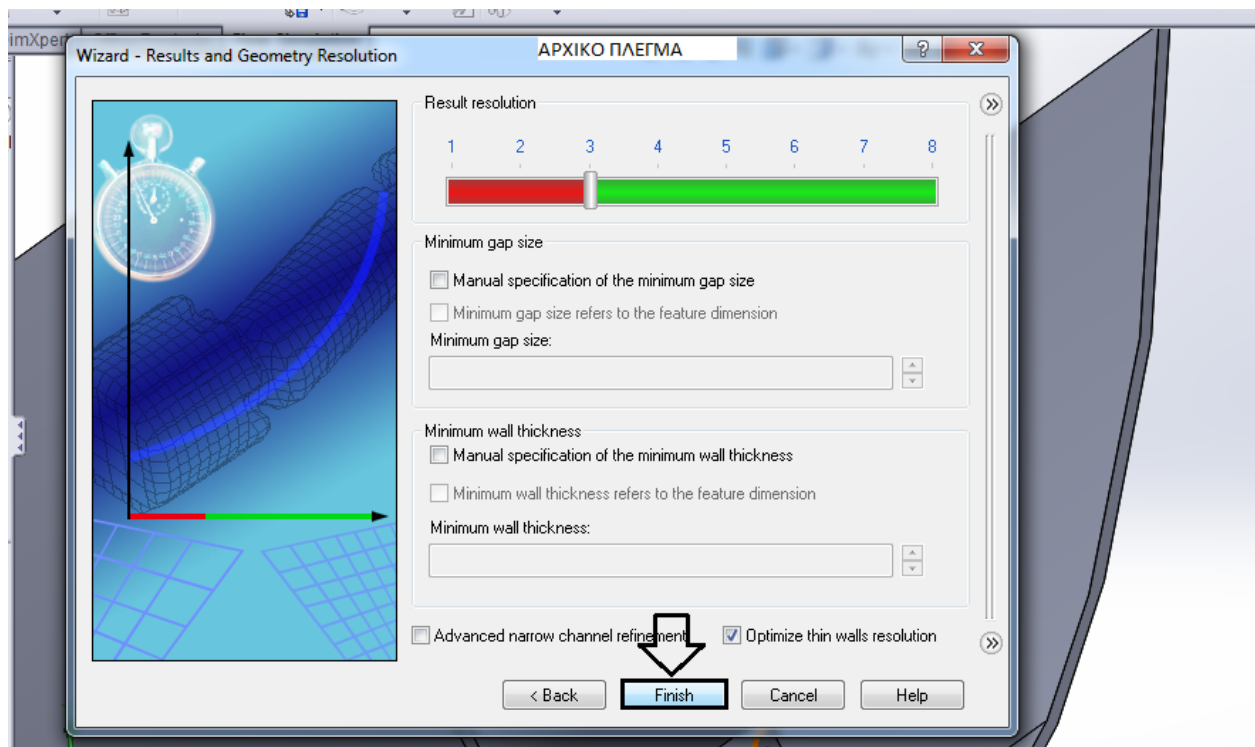
Σχήμα 4.9. Flow simulation project (συνέχεια).



Σχήμα 4.10. Flow simulation project (συνέχεια).

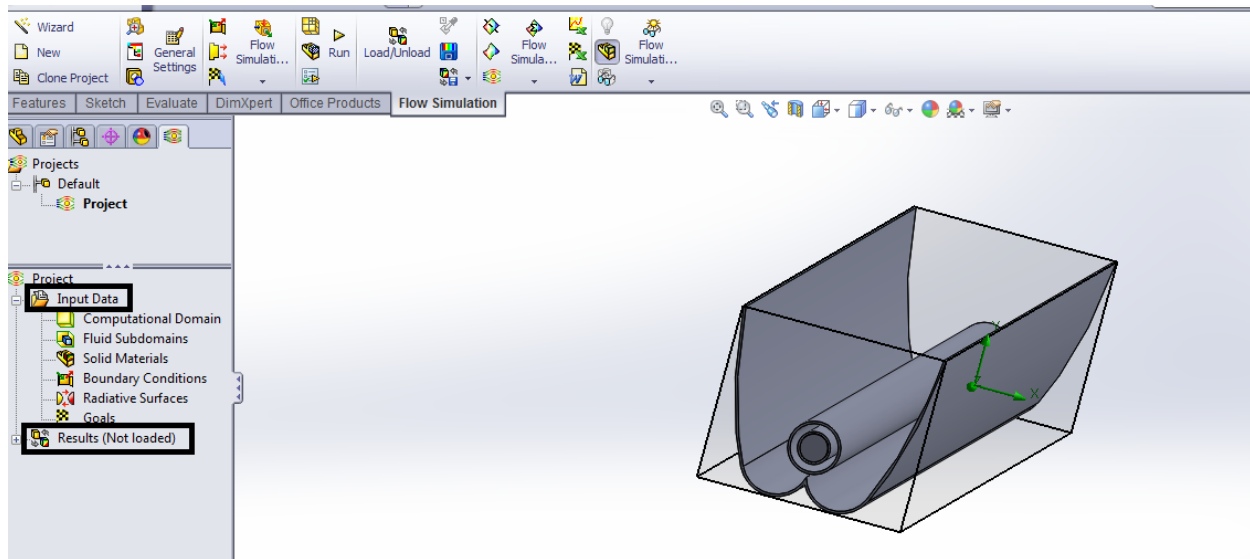


Σχήμα 4.11. Flow simulation project (συνέχεια).



Σχήμα 4.12. Flow simulation project (συνέχεια).

Οπότε, στην οθόνη εμφανίζεται το παρακάτω.

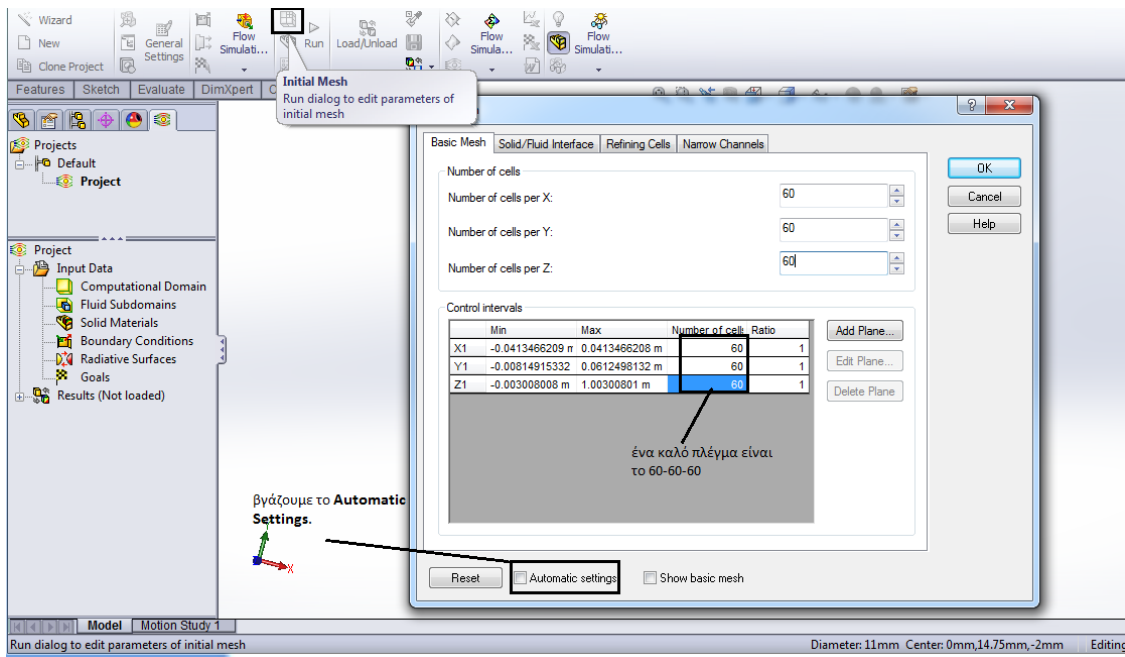


Σχήμα 4.13. Δέντρο ενεργειών αρχείου προσομοίωσης.

Το δέντρο ενεργειών της συγκεκριμένης εργασίας προσομοίωσης που εμφανίζεται στα αριστερά της οθόνης περιλαμβάνει δύο βασικούς κλάδους, τον κλάδο **Input Data** και τον **Results**. Ο πρώτος απαρτίζεται από έξι παρακλάδια, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα.

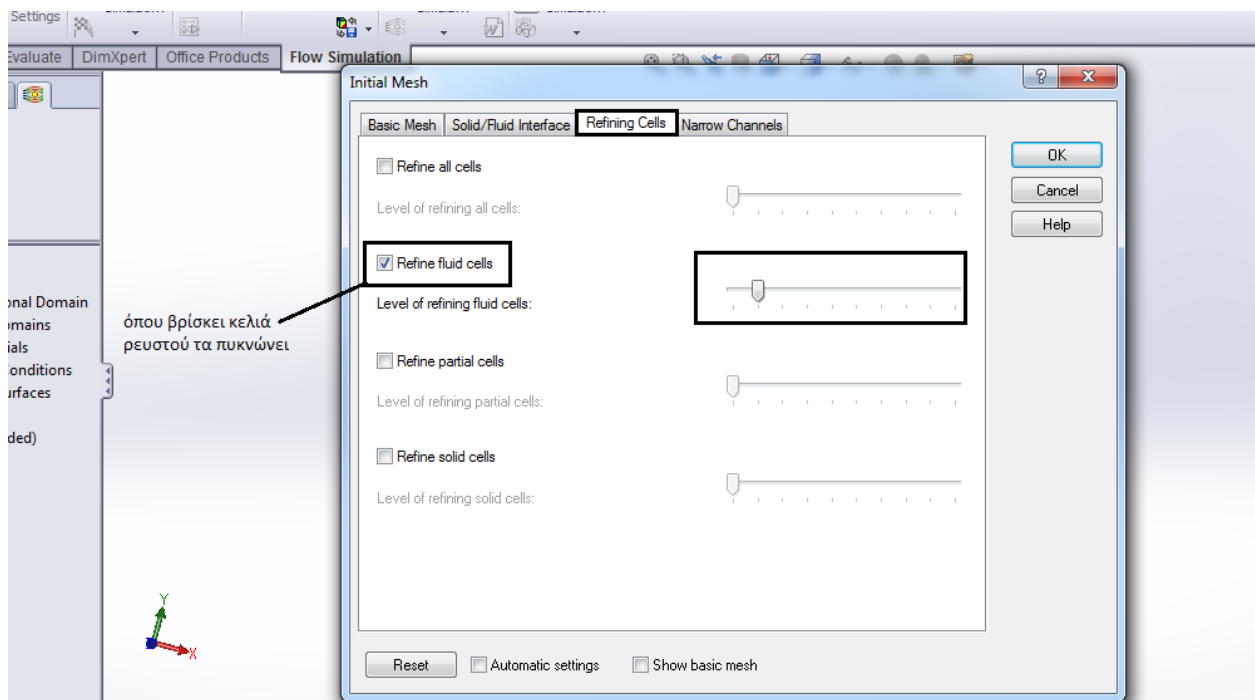
4.7. Ορισμός του πλέγματος.

Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία του πλέγματος, με στόχο να υπάρξουν όσο το δυνατόν πιο ακριβή αποτελέσματα. Επιλέγεται, αρχικά, η εντολή **Initial Mesh** και εμφανίζεται στην οθόνη το παρακάτω ταμπλό (Σχήμα 4.14), στο οποίο και απενεργοποιείται η εντολή **Automatic Settings**. Το αρχικό πλέγμα που παρουσιάστηκε λίγο παραπάνω έχει λίγους κόμβους και πιθανόν να μην δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.14. Διαμόρφωση του πλέγματος.

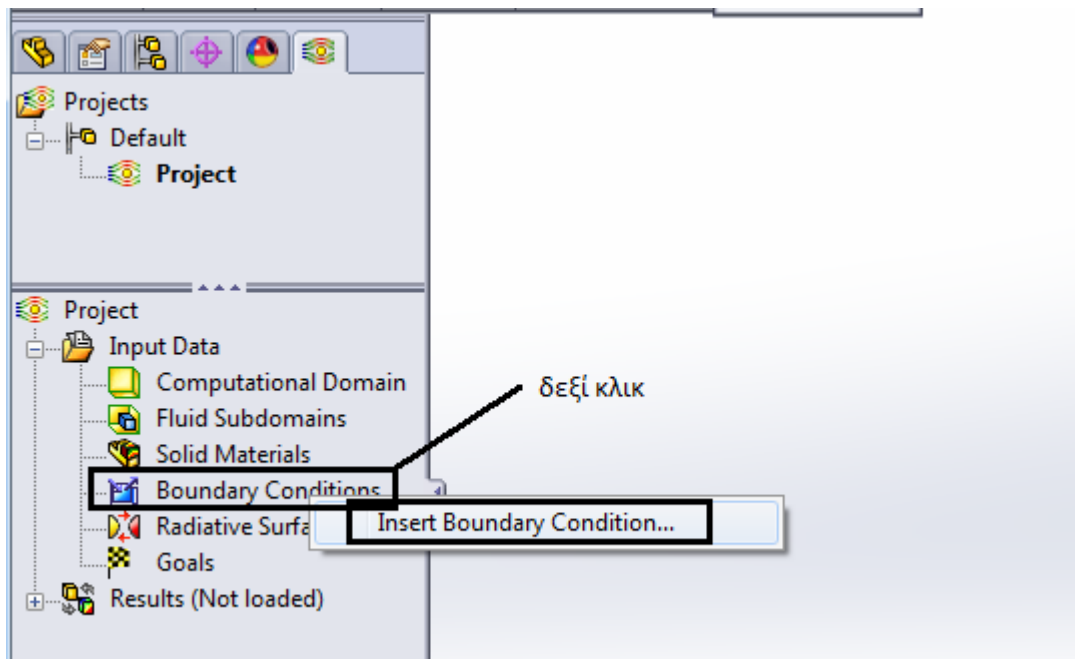
Επίσης στο πλέγμα επιλέγεται από το **Refining cells** το **Refine fluid cells** και του δίνεται μια μεγαλύτερη τιμή από την αρχική ώστε όπου βρίσκει κελιά ρευστού να τα πυκνώνει όπως φαίνεται παρακάτω.



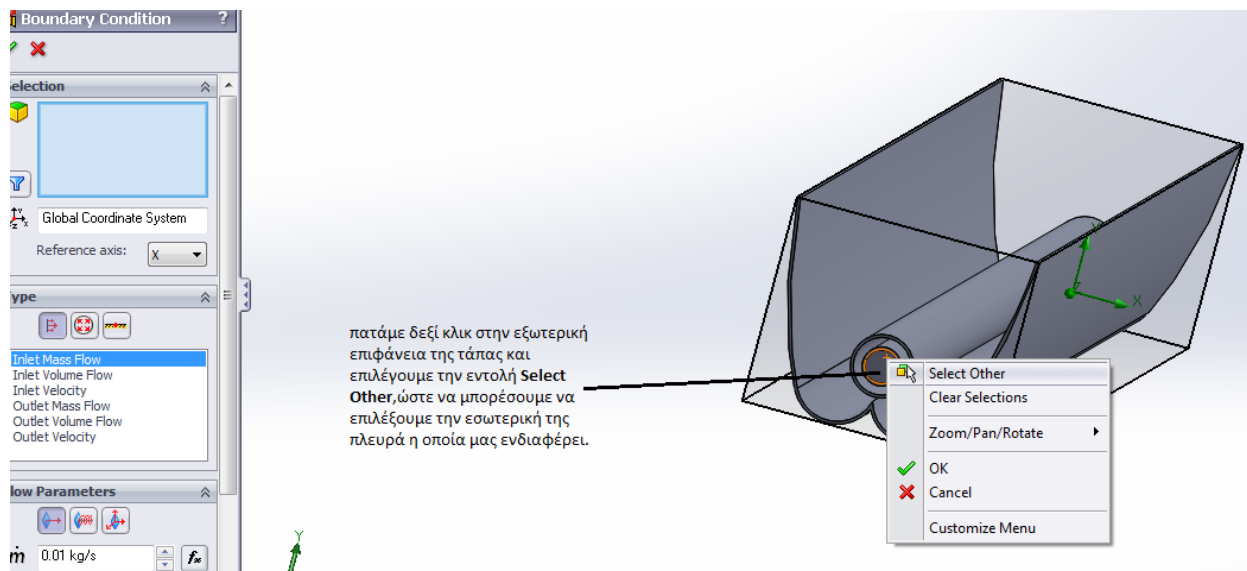
Σχήμα 4.15. Διαμόρφωση του πλέγματος (συνέχεια).

4.8. Εισαγωγή οριακών συνθηκών.

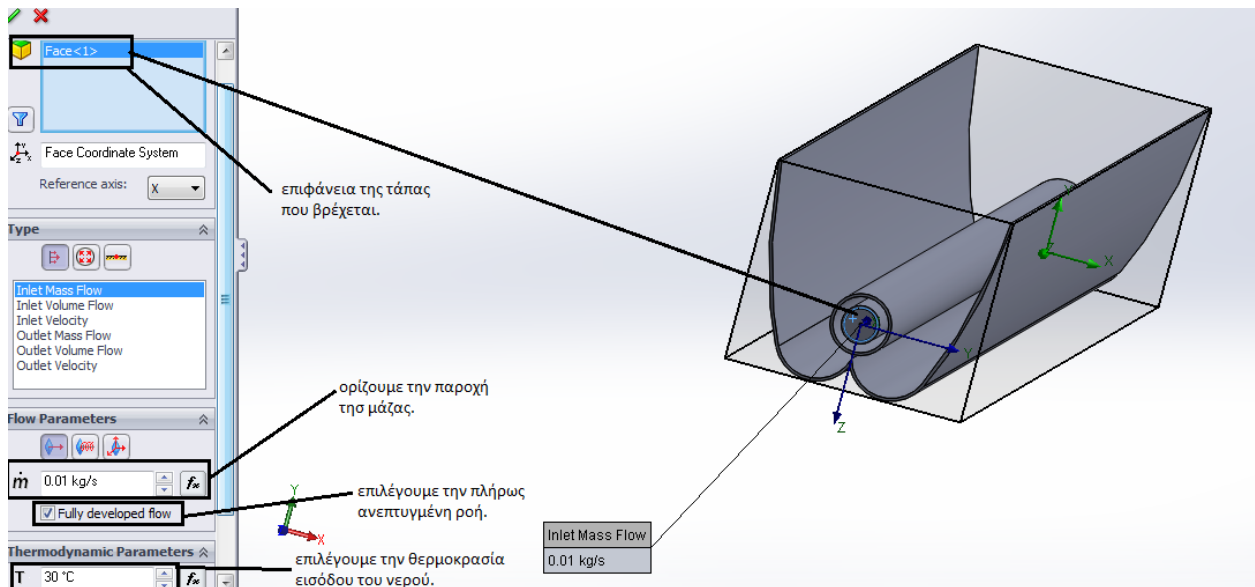
Στο σημείο αυτό ορίζονται οι οριακές συνθήκες του προβλήματος, ξεκινώντας με την εισερχόμενη παροχή μάζας του νερού (\dot{m}) και τη θερμοκρασία εισόδου του (T_{in}), ο ορισμός των οποίων γίνεται σύμφωνα με το **Σχήμα 4.16**. Σε πρώτη φάση επιλέγεται από το δένδρο ενεργειών με δεξί κλικ το **Boundary Conditions** και στη συνέχεια το **Insert Boundary Condition**.



Σχήμα 4.16. Οριακές συνθήκες.

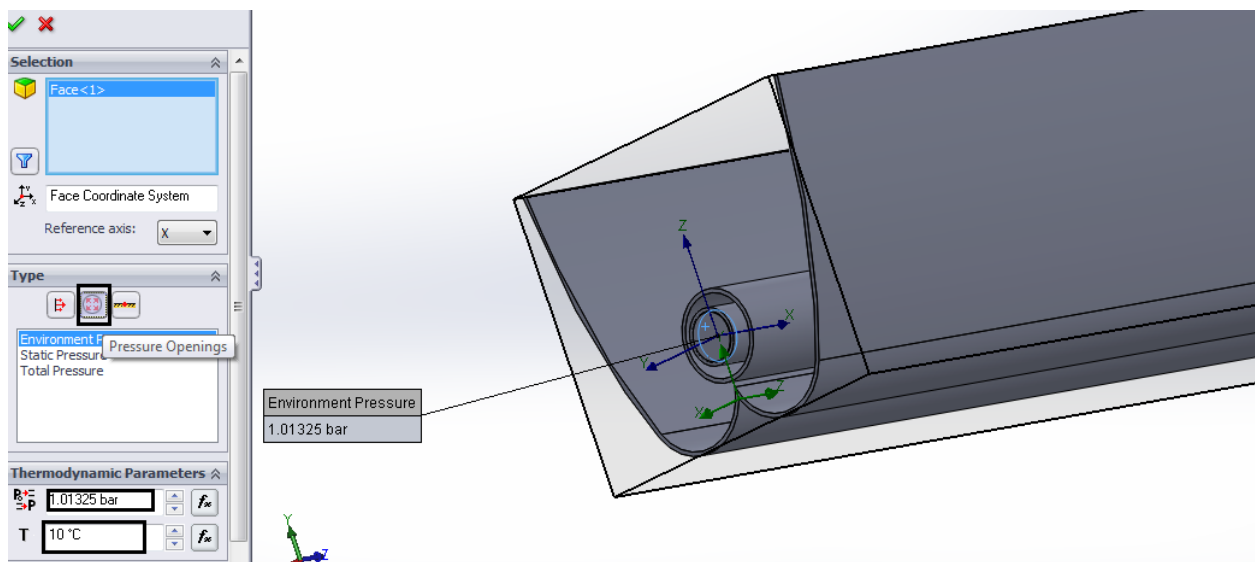


Σχήμα 4.17. Οριακές συνθήκες (συνέχεια).



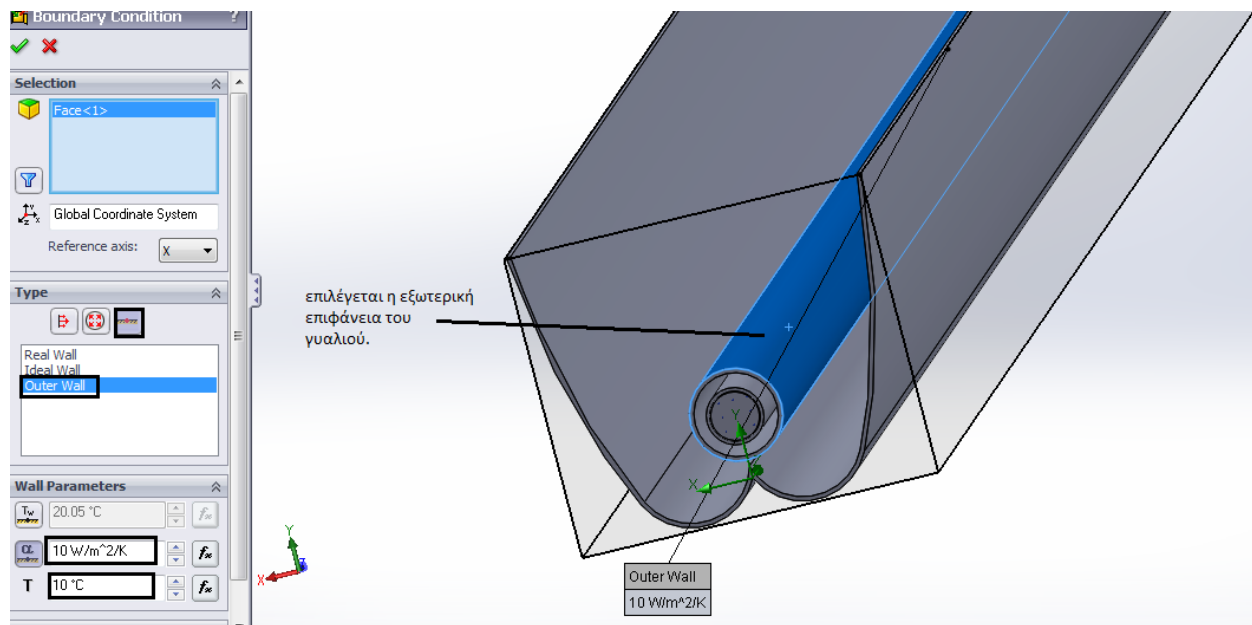
Σχήμα 4.18. Οριακές συνθήκες (συνέχεια).

Στη συνέχεια, επειδή το πρόγραμμα απαιτεί τον ορισμό της πίεσης στην έξοδο του αγωγού, θα θεωρηθεί ότι αυτή είναι ολική και ίση με 1.01325 bar. Επίσης, θα πρέπει να οριστεί και μια θερμοκρασία αντιπροσωπευτική του περιβάλλοντος στο οποίο καταλήγει το νερό ύστερα από την έξοδό του από τον αγωγό, η οποία, ωστόσο, **δεν** επηρεάζει σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματά. Η οριακή αυτή συνθήκη ορίζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και πριν. Μόνο που εδώ επιλέγεται το εικονίδιο **Pressure Openings** και εισάγονται τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν. Φυσικά αυτά γίνονται στο εσωτερικό της άλλης τάπας του απορροφητή.



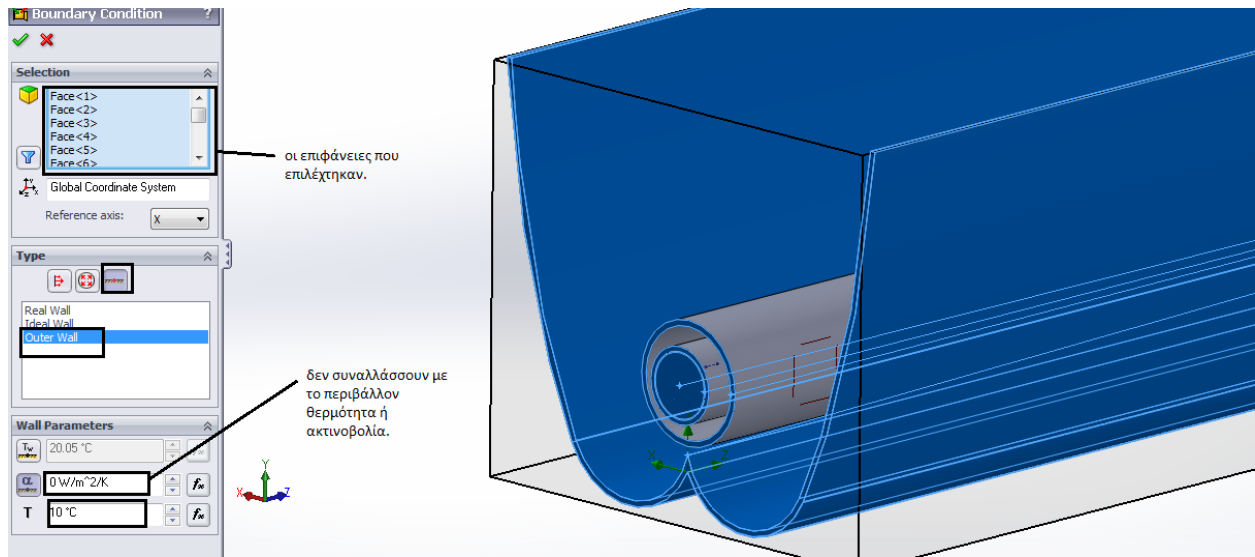
Σχήμα 4.19. Οριακές συνθήκες (συνέχεια).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να ορισθούν οι οριακές συνθήκες του σωλήνα κενού. Ο σωλήνας κενού συναλλάσσει ακτινοβολία με το περιβάλλον. Συνεπώς μπαίνει μια οριακή συνθήκη επιλέγοντας την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού και πατώντας το **wall** επιλέγεται το **outer wall**. Στη συνέχεια μπαίνει ένας συντελεστής συναγωγής με το περιβάλλον της τάξεως των **10 W/m²K**, ενώ στο περιβάλλον μπαίνει η τιμή **10 °C** για θερμοκρασία όπως φαίνονται και στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.20. Οριακές συνθήκες (συνέχεια).

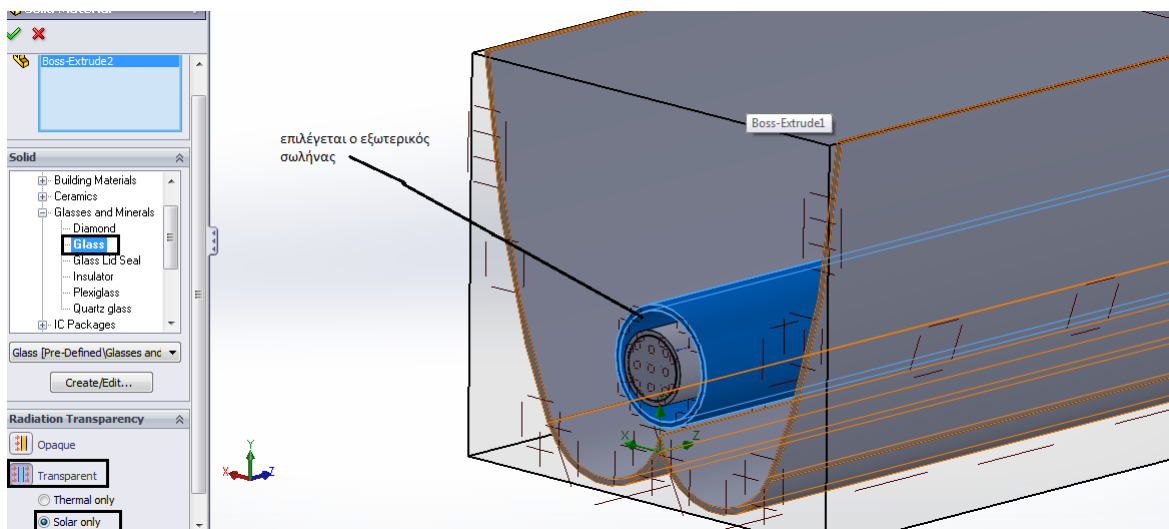
Ύστερα θα μπει μια οριακή συνθήκη η οποία θα περιέχει όλο τον ανακλαστήρα καθώς και τα παράπλευρα κομμάτια του σωλήνα, και θα επιλέγει να μην συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Αυτά τα κομμάτια λοιπόν θα είναι σαν μονωμένα για να μην υπάρξουν απώλειες. Αφού επιλέγονται αυτά λοιπόν, πατώντας το **wall** επιλέγεται το **outer wall**. Στη συνέχεια μπαίνει ένας συντελεστής συναγωγής με το περιβάλλον **0 W/m²/K**, ενώ στο περιβάλλον μπαίνει η τιμή **10 °C** για θερμοκρασία.



Σχήμα 4.21. Οριακές συνθήκες (συνέχεια).

4.9. Ορισμός των υλικών.

Μέχρι στιγμής έχει ήδη ορισθεί από το **Default Solid** του **Wizard** ο χαλκός. Συνεπώς αυτό που μένει να ορισθεί είναι το γυαλί του σωλήνα κενού. Για το σκοπό αυτό ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Αρχικά επιλέγεται με δεξί κλικ το **Solid Materials** και ύστερα το **Insert Solid Material**. Αφού στη συνέχεια επιλέγεται ο εξωτερικός σωλήνας, από το **Pre-Defined** επιλέγεται το γυαλί. Επίσης πρέπει να επιλεχθεί το **Transparent**, καθώς το γυαλί είναι διαπερατό, και να ορισθεί και το ότι είναι διαπερατό στον ήλιο (**solar only**).



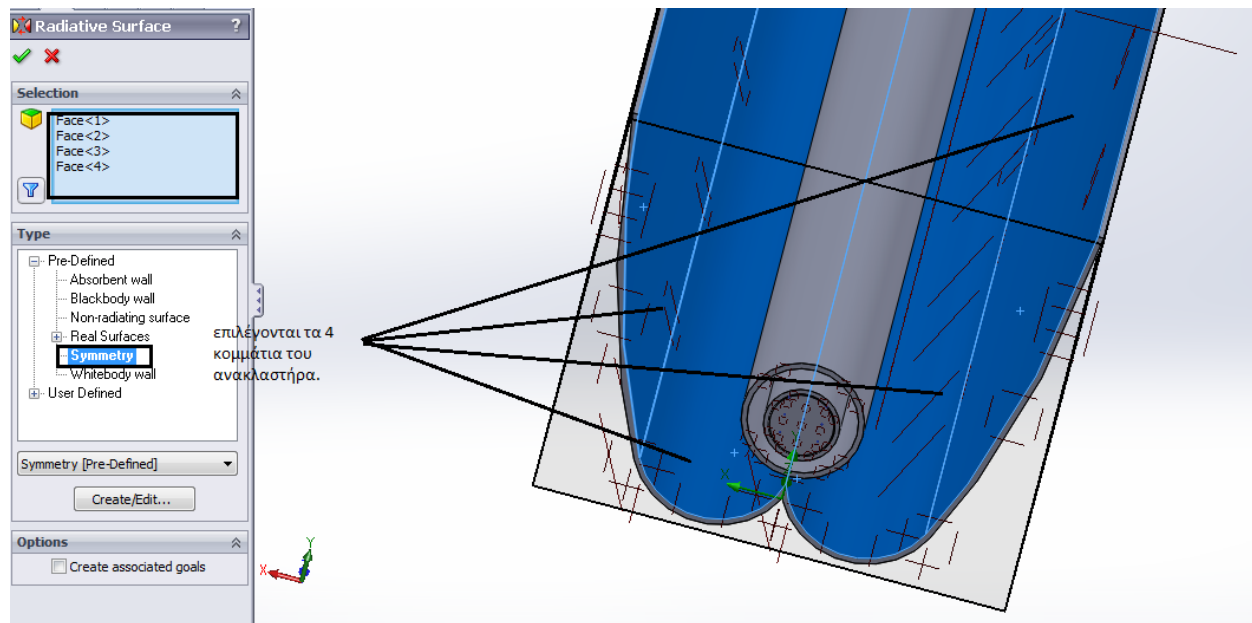
Σχήμα 4.22. Ορισμός υλικού.

Παρατήρηση:

Αν βάζαμε να είναι διαπερατό το γυαλί και στη θερμότητα θα σήμαινε ότι δεν συναλλάσσει ακτινοβολία με το περιβάλλον το οποία φυσικά είναι λάθος.

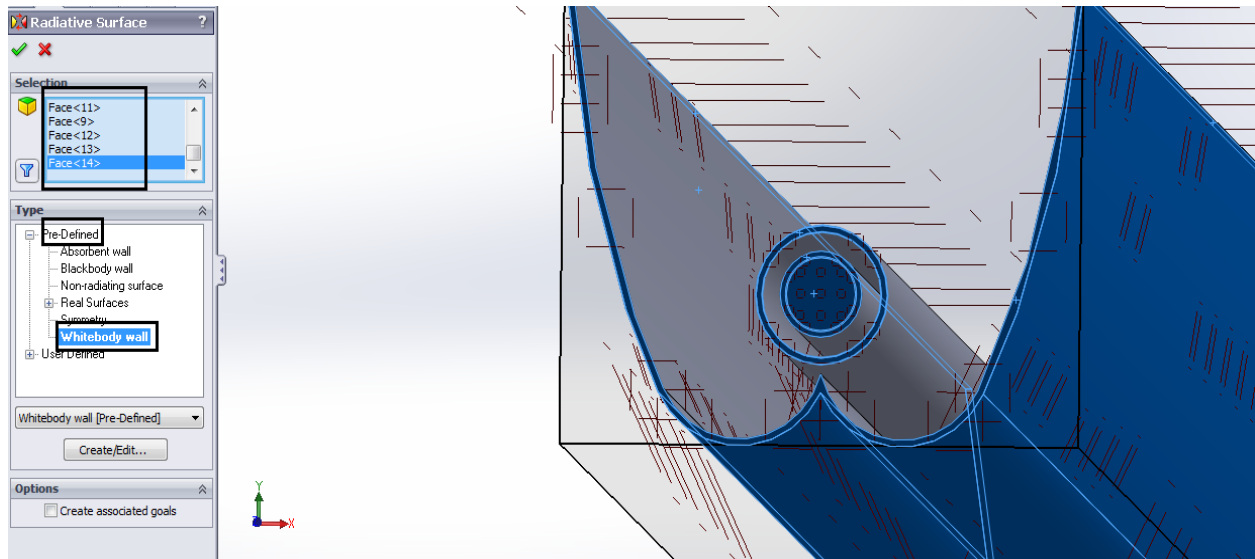
4.10. Ορισμός ακτινοβολούμενων επιφανειών.

Σε αυτή την παράγραφο θα ορισθούν οι επιφάνειες οι οποίες ακτινοβολούν. Ξεκινώντας λοιπόν, επιλέγονται τα τέσσερα κομμάτια του ανακλαστήρα που ανακλούν τις ακτίνες του ηλίου και κάνοντας στη συνέχεια δεξί κλικ στο **Radiative Surfaces** → **Insert Radiative Surface** από το **Pre-Defined** επιλέγεται το **Symmetry**. Το **Symmetry** δηλώνει ότι γίνονται ανακλάσεις.



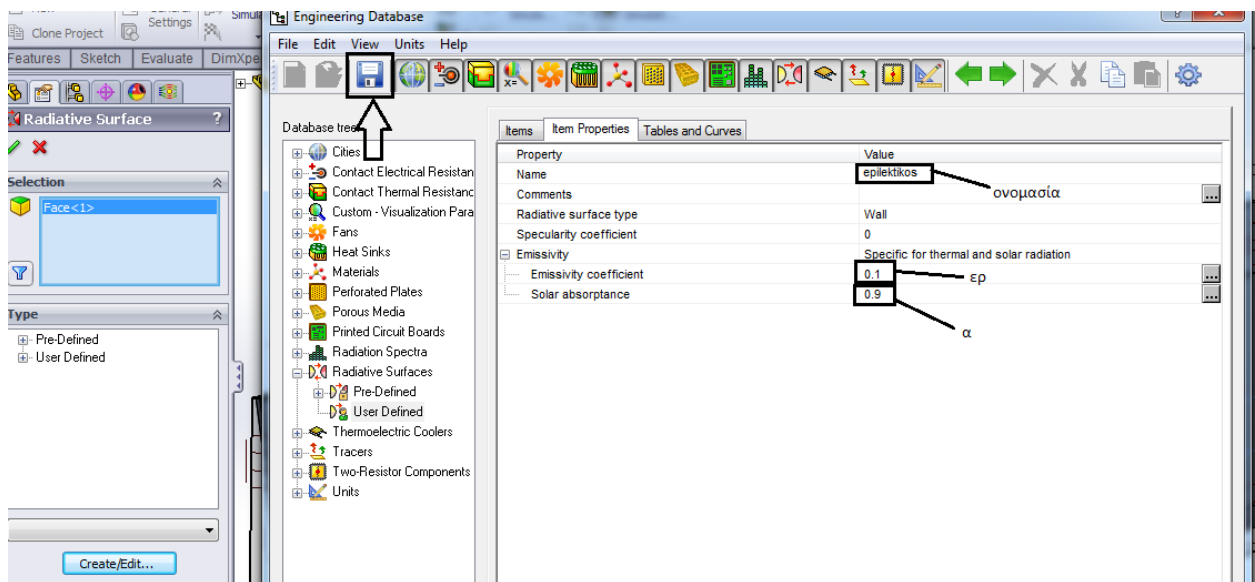
Σχήμα 4.23. Ορισμός ακτινοβολούμενων επιφανειών.

Στη συνέχεια γίνονται όλες οι άλλες επιφάνειες που δεν ακτινοβολούν **Whitebody**, όπως ήδη έχει προαναφερθεί. Αυτό γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως στο **Σχήμα 4.23**. Δεξί κλικ στο **Radiative Surfaces** → **Insert Radiative Surface** και από το **Pre-Defined** επιλέγεται το **Whitebody**.



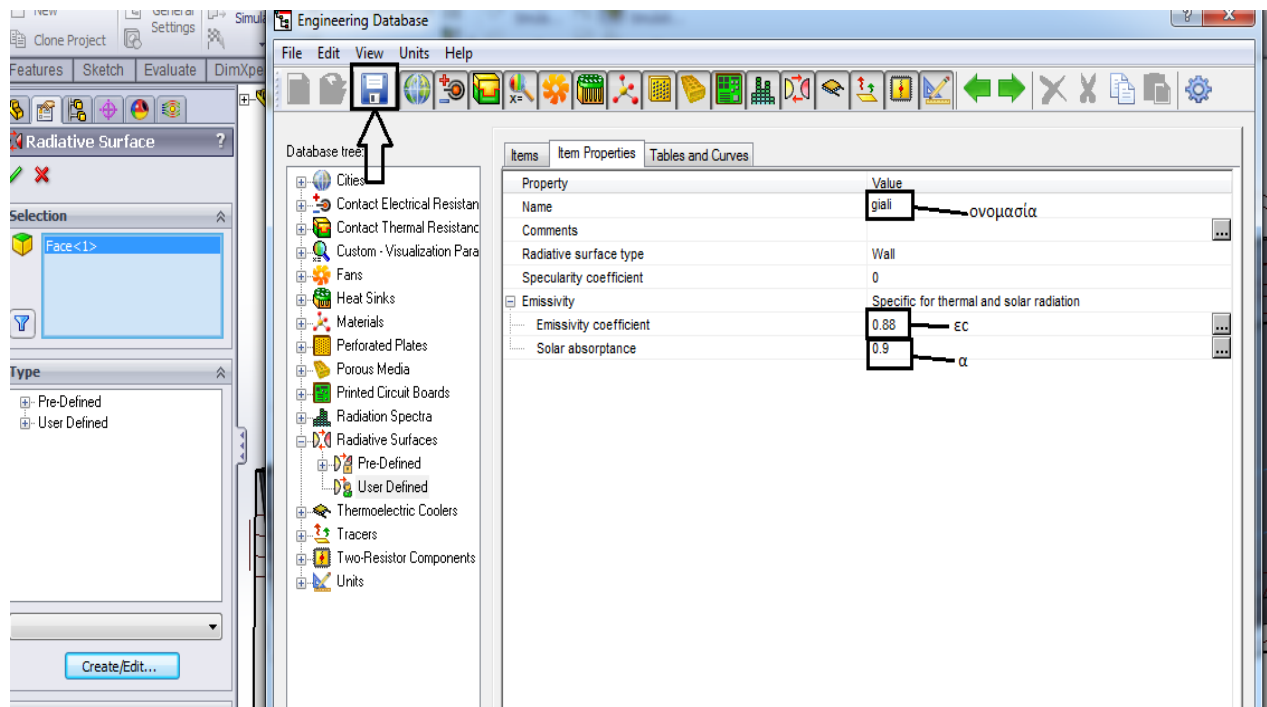
Σχήμα 4.24. Ορισμός μη ακτινοβολούμενων επιφανειών.

Στο σημείο αυτό είναι πολύ σημαντικό να ορισθεί η μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας για τον απορροφητή και το γυαλί. Αυτό γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως στο **Σχήμα 4.23**. Δεξί κλικ στο **Radiative Surfaces** → **Insert Radiative Surface** και από το **Pre-Defined** θα μπορούσε να επιλεγεί το **Blackbody**, καθώς είναι μια καλή προσέγγιση για το μοντέλο. Όμως ο απορροφητής απορροφάει θερμότητα με ένα συντελεστή της τάξεως $\sim 0,9$ και διώχνει ακτινοβολία, εφόσον είναι επιλεκτικός, με ένα συντελεστή της τάξεως $\sim 0,1$ ανάλογα με τη θερμοκρασία. Έτσι δεν επιλέγεται το **Blackbody** αλλά ακολουθείτε η εξής διαδικασία: Γίνεται δεξί κλικ **Create/Edit** → **User Defined** → **New Item** → **Item Properties**. Σε αυτή την καρτέλα γίνεται η επεξεργασία των στοιχείων όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.25**.



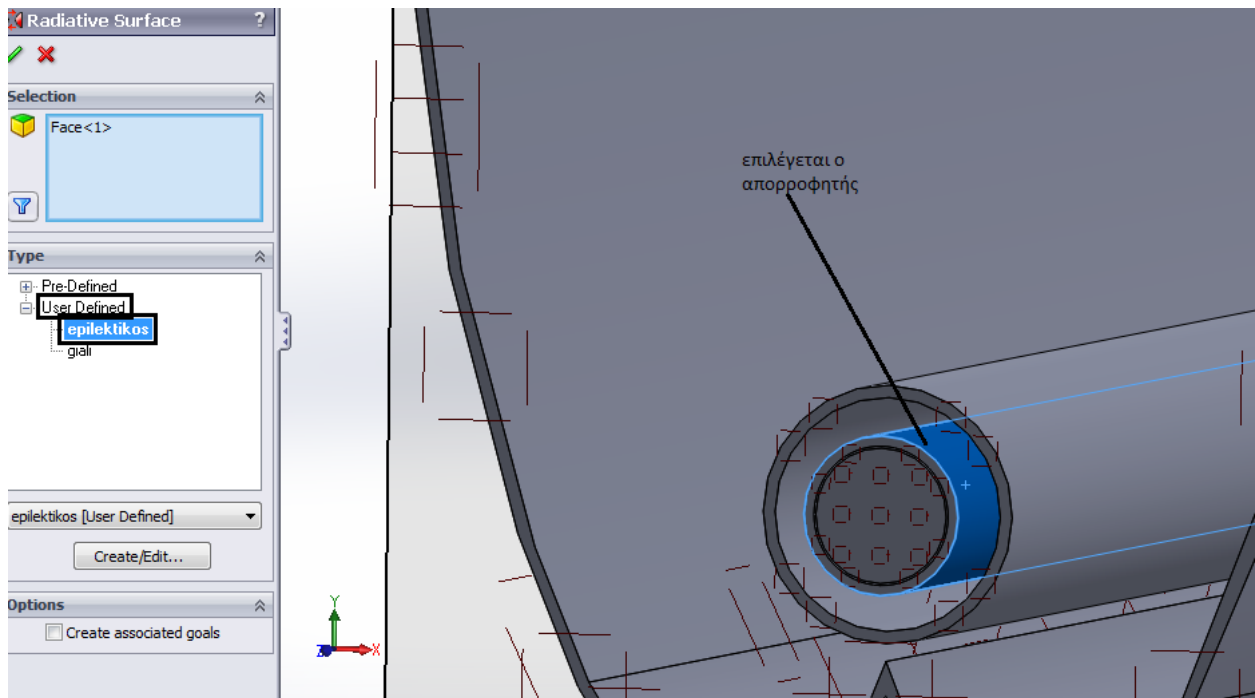
Σχήμα 4.25. Εισαγωγή νέων στοιχείων (*epilektikos*) στο **User Defined**.

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να ορισθεί και το γυαλί. **Create/Edit** → **User Defined** ^{δεξί κλικ} → **New Item** → **Item Properties**. Σε αυτή την καρτέλα γίνεται η επεξεργασία των στοιχείων για το γυαλί όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.26**.



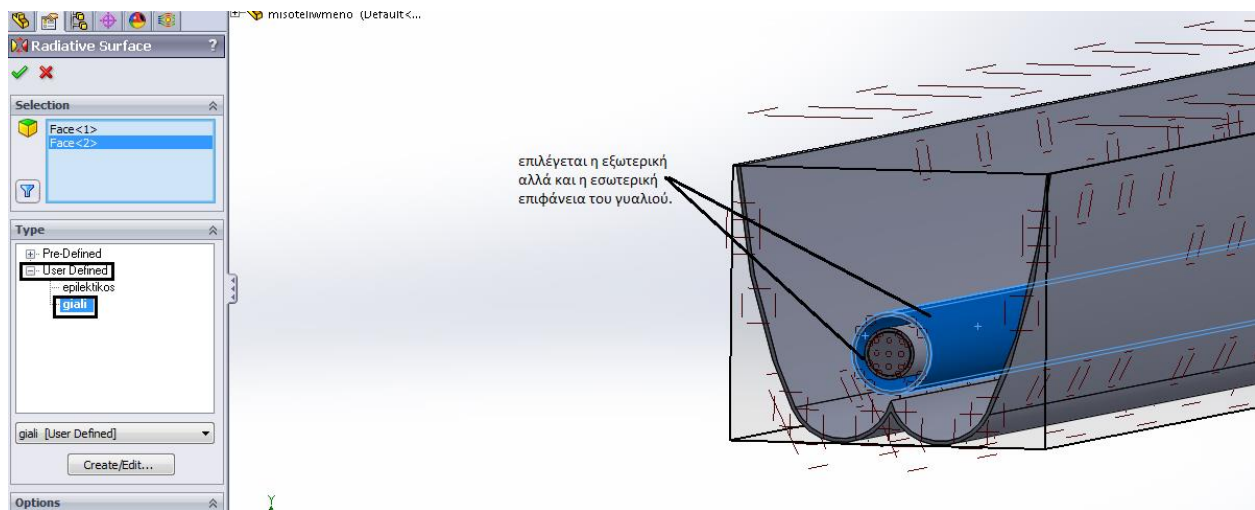
Σχήμα 4.26. Εισαγωγή νέων στοιχείων (**giali**) στο **User Defined**.

Αφού έχουν εισαχθεί λοιπόν αυτά τα νέα στοιχεία πρέπει τώρα να ενσωματωθούν στις επιφάνειες που αντιστοιχούν. Έτσι επιλέγεται ο απορροφητής και στη συνέχεια με δεξί κλικ στο **Radiative Surfaces** → **Insert Radiative Surface** από το **User Defined** επιλέγεται το **epilektikos** όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.27**.



Σχήμα 4.27. Ορισμός του επιλεκτικού απορροφητή.

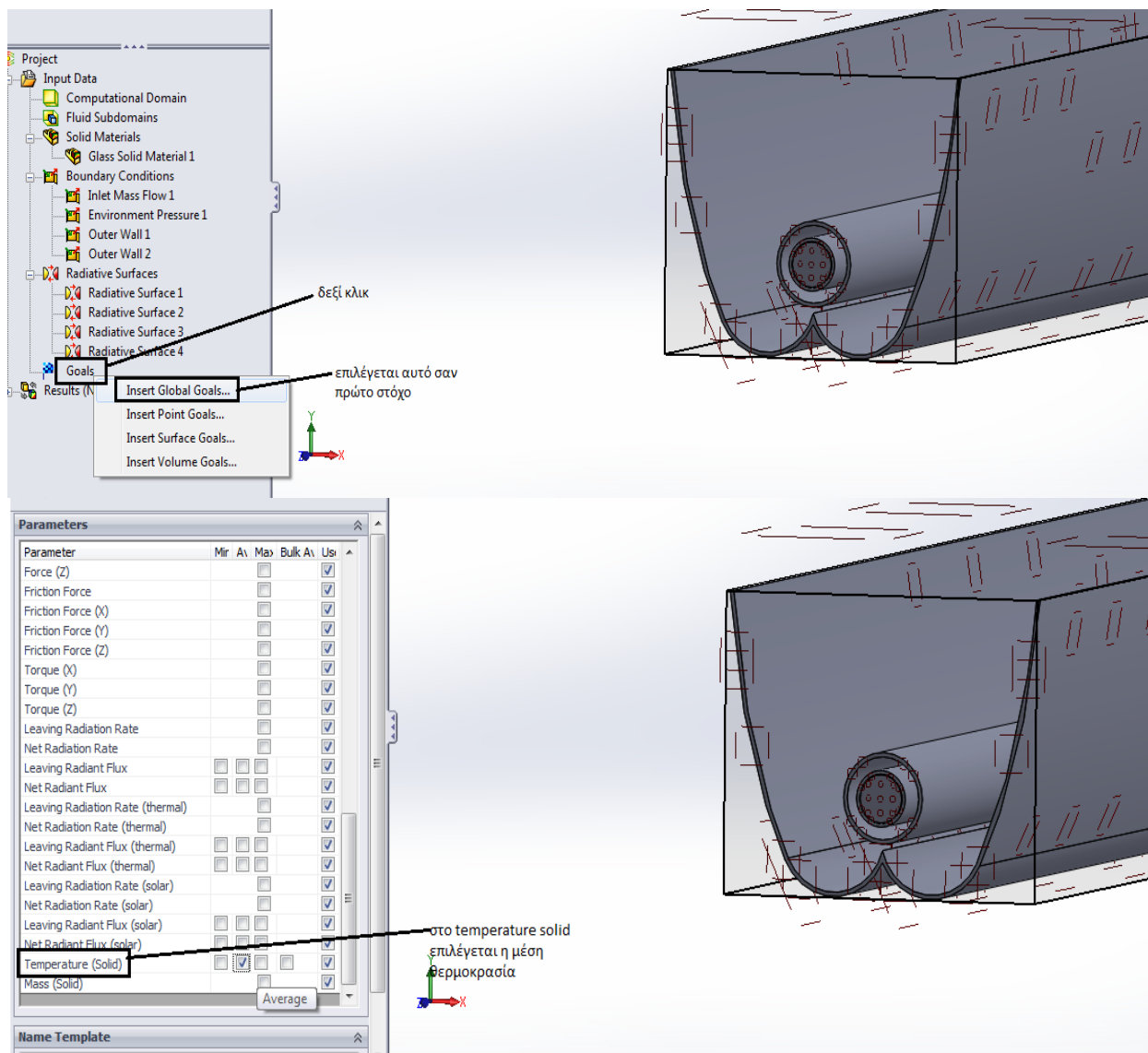
Στη συνέχεια πρέπει να ορισθεί το γυαλί. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία (δεξί κλικ στο **Radiative Surfaces** → **Insert Radiative Surface** από το **User Defined** επιλέγεται το **giali**. (Σχήμα 4.28).



Σχήμα 4.28. Ορισμός του γυαλιού.

4.11. Ορισμός στόχων.

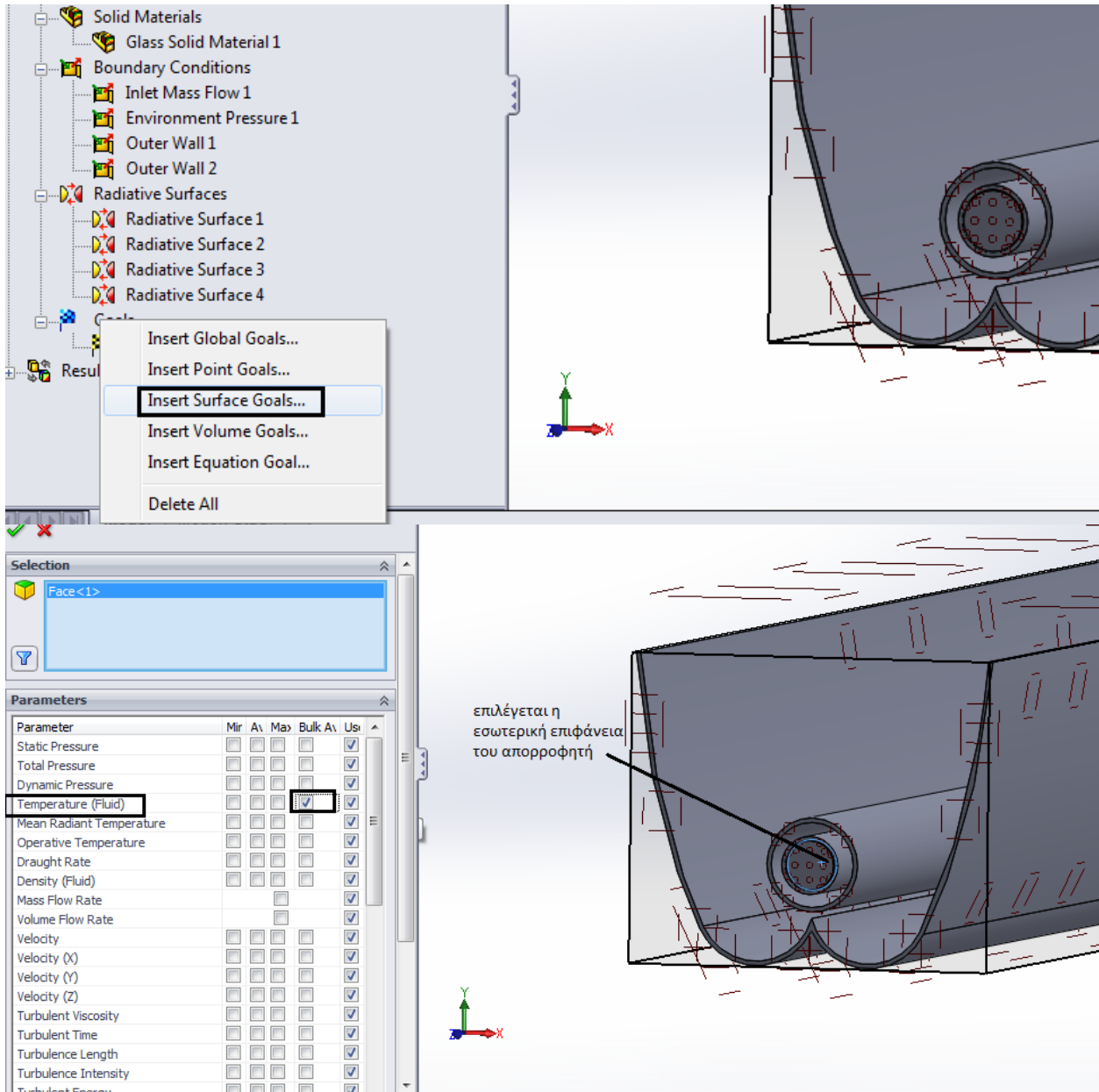
Στο σημείο αυτό, επιλέγουμε τι θέλουμε το πρόγραμμα να εμφανίζει ως αποτελέσματα μετά το πέρας μιας επίλυσης (ενός τρεξίματος). Ορίζονται λοιπόν τέσσερις στόχοι, τόσοι όσες είναι και οι ζητούμενες μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν (T_o , T_{out} , T_r , T_g). Στο **Σχήμα 4.29** που ακολουθεί παρατίθεται ο τρόπος με τον οποίο εισάγεται ο πρώτος στόχος **Global Goals**.



Σχήμα 4.29. Ορισμός των στόχων.

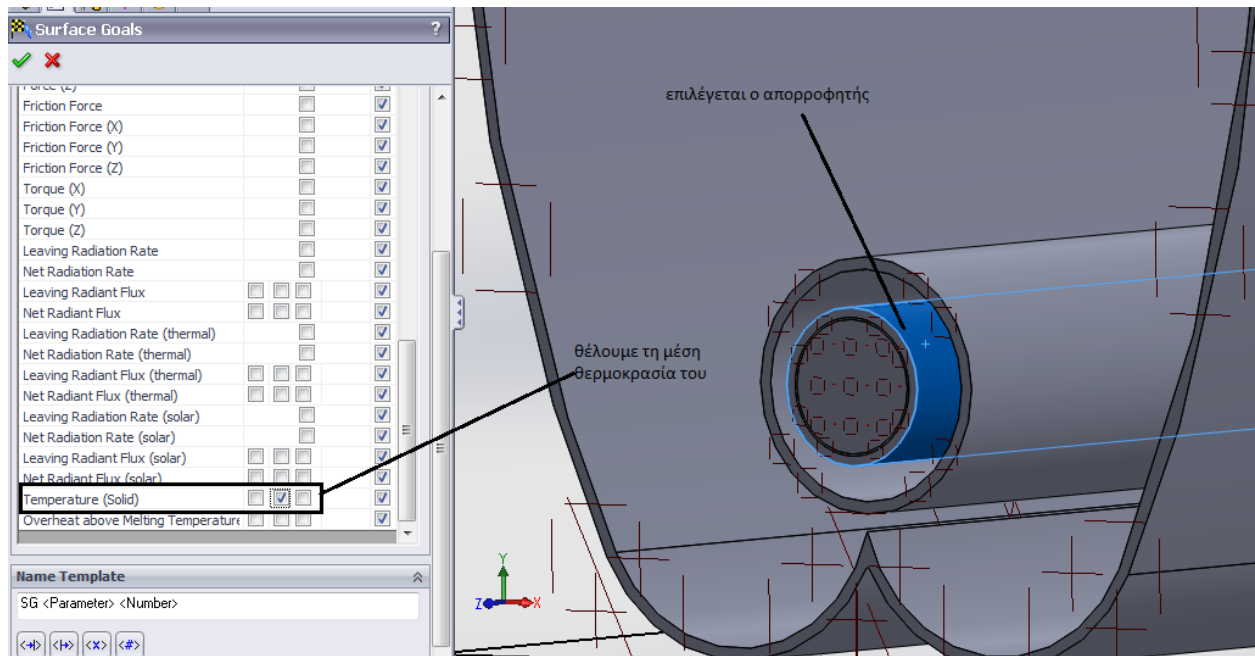
Με αυτή την επιλογή το σύστημα θα προσπαθεί να συγκλίνει τη μέση θερμοκρασία του, που είναι μια πολύ βασική παράμετρος.

Στη συνέχεια πολύ βασικός στόχος που θα συνέφερε, είναι η θερμοκρασία στην έξοδο. Αυτός ο στόχος λοιπόν ορίζεται ως εξής : **Goals** ^{δεξί κλικ} → **Insert Surface Goals** και στη συνέχεια επιλέγεται η επιφάνεια. Από το **Temperature Fluid** επιλέγεται το **Bulk** γιατί το **Bulk** αντιπροσωπεύει τη σταθμισμένη θερμοκρασία με βάση την παροχή. (Σχήμα 4.30).



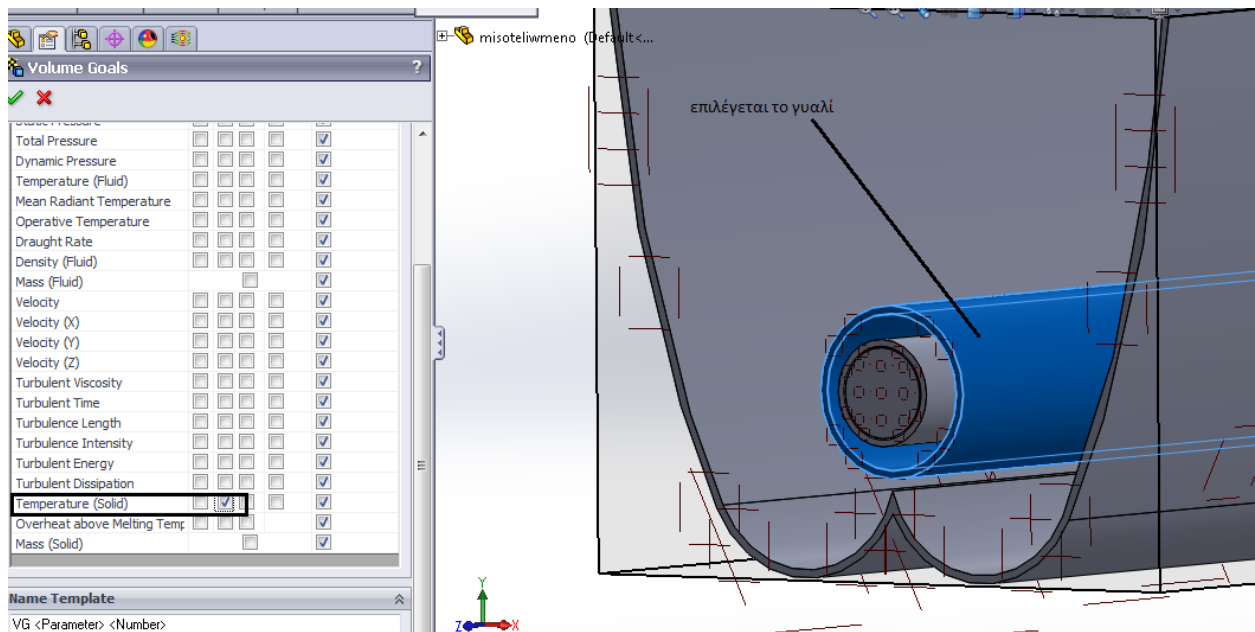
Σχήμα 4.30. Ορισμός των στόχων (συνέχεια).

Επόμενος στόχος, που ορίζεται με τον ίδιο τρόπο, είναι ο απορροφητής (Σχήμα 4.31).



Σχήμα 4.31. Ορισμός των στόχων (συνέχεια).

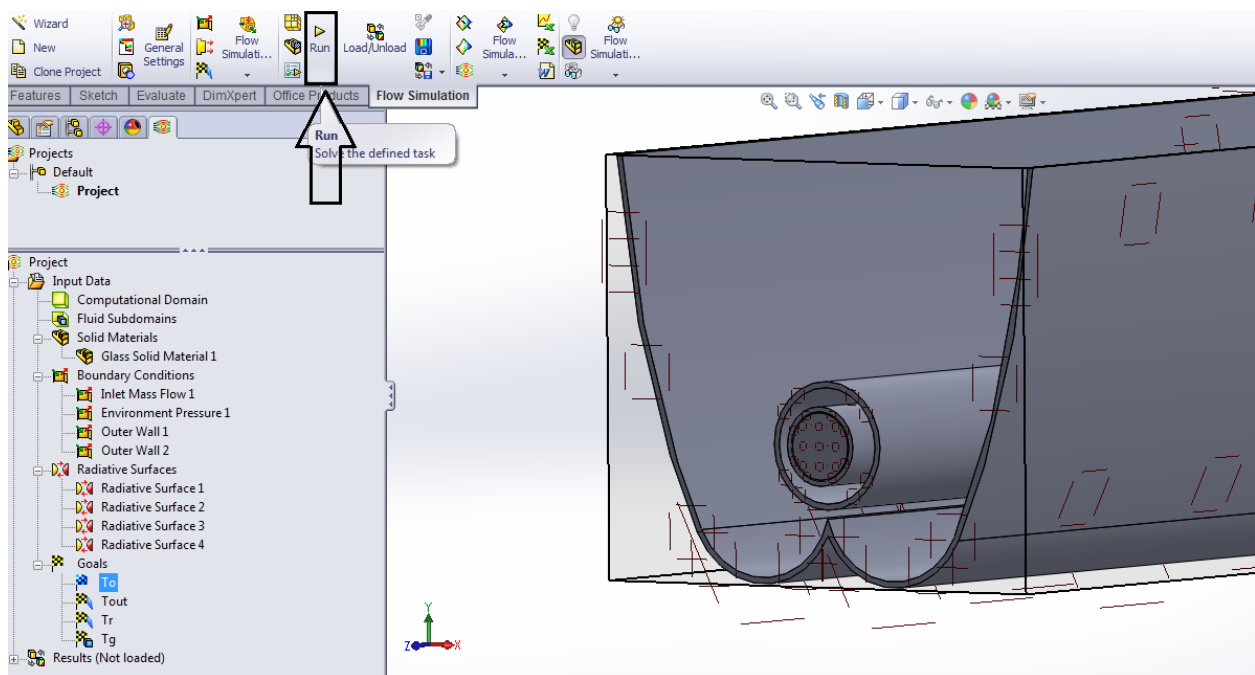
Ο τελευταίος στόχος που πρέπει να ορισθεί είναι το γυαλί. Με παρόμοιο τρόπο ^{δεξί κλικ} **Goals** → **Insert Volume Goals** επιλέγεται το γυαλί και επιλέγεται η μέση θερμοκρασία του. (Σχήμα 4.32).



Σχήμα 4.32. Ορισμός των στόχων (συνέχεια).

4.12. Έναρξη επίλυσης.

Το πρόγραμμα είναι πλέον έτοιμο να τρέξει, επιλέγοντας απλά την εντολή **Run** σύμφωνα με το Σχήμα 4.33 που έπεται.



Σχήμα 4.33. Έναρξη επίλυσης.

Τα αποτελέσματα που έχουν επιλεγθεί να εμφανίζονται αμέσως μετά το πέρας της επίλυσης παρατίθενται στην παρακάτω καρτέλα (Σχήμα 4.34), η οποία αποτελεί και το περιβάλλον της τελευταίας.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Comment
GG Av Temperature (Solid) 1	19.4482 °C	00%	0 °C	No convergence info
Tg	17.3083 °C	00%	0 °C	No convergence info
Tout	10.0067 °C	00%	0 °C	No convergence info
Tr	19.9731 °C	00%	0 °C	No convergence info

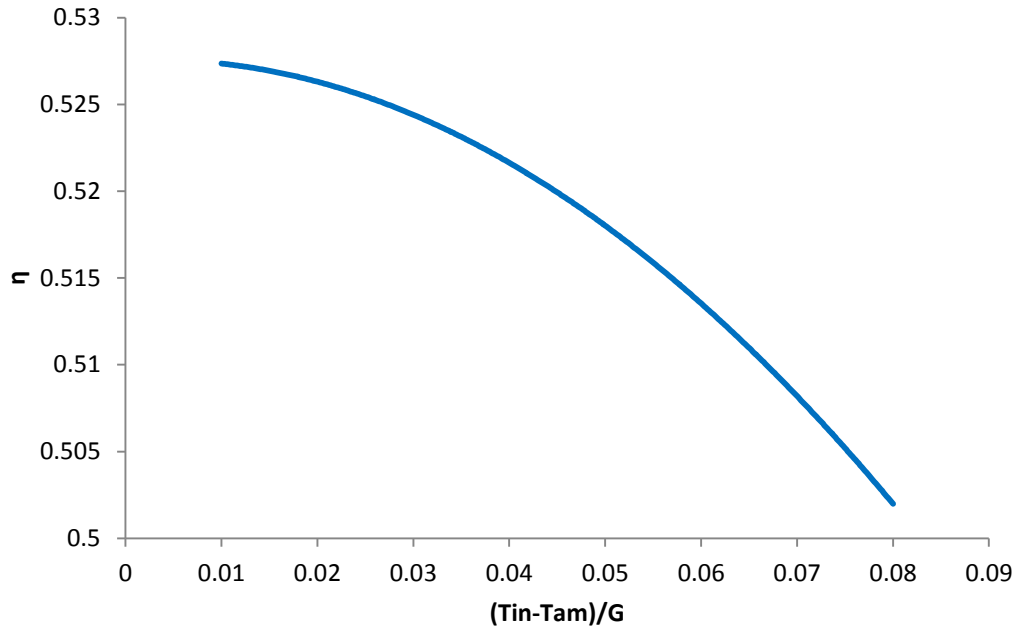
Σχήμα 4.34. Περιβάλλον επίλυσης.

4.13. Αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Στο σημείο αυτό, αφού προηγήθηκαν όλα τα παραπάνω, είναι πλέον εφικτό να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ξεκινώντας από την καμπύλη του βαθμού απόδοσης.

4.13.1. Καμπύλη του βαθμού απόδοσης.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα του βαθμού απόδοσης (η) συναρτήσει της μεταβλητής $(T_{in}-T_{am})/G_T$.

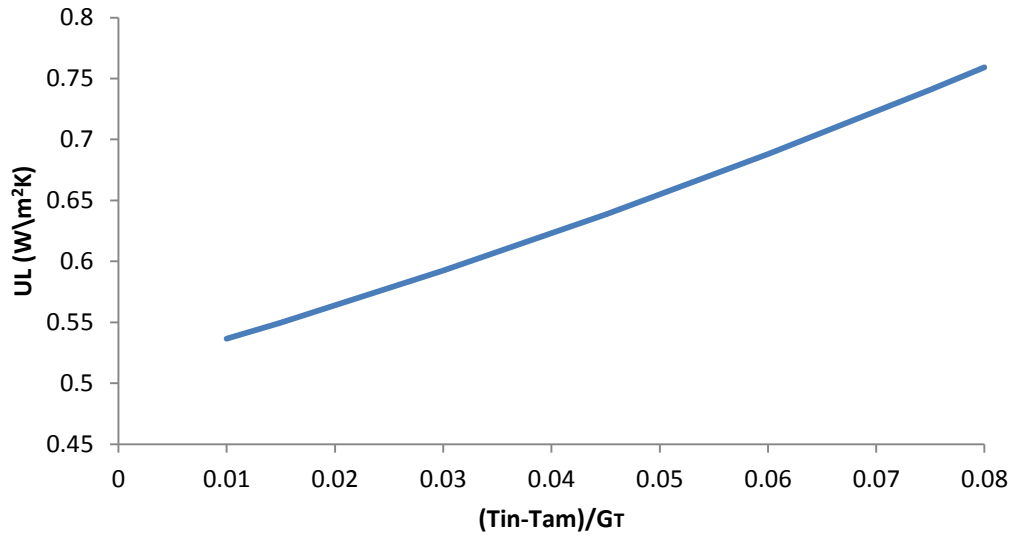


Διάγραμμα 4.1. Καμπύλη του βαθμού απόδοσης του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη.

Από το παραπάνω διάγραμμα (**Διάγραμμα 4.1**) γίνεται φανερό ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον αγωγό, δεδομένου ότι η τελευταία προκαλεί έμμεσα αύξηση των θερμικών απωλειών και κατά συνέπεια μείωση της ωφέλιμης ισχύος.

4.13.2. Καμπύλη συντελεστή ολικών απωλειών (U_L).

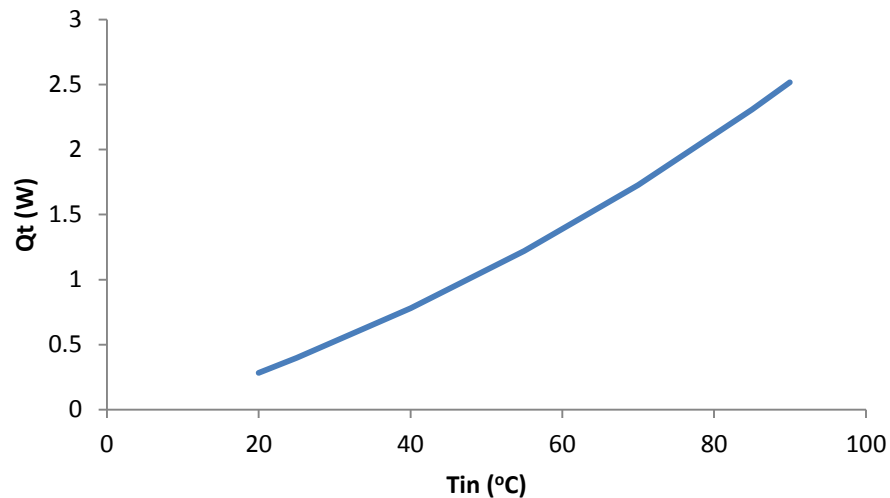
Στο **Διάγραμμα 4.2** που έπεται παρατηρείται η αύξηση του συντελεστή ολικών απωλειών (U_L) με την αύξηση του συντελεστή $(T_{in}-T_{am})/G$, γεγονός απόλυτα λογικό, δεδομένης της αύξησης της θερμοκρασίας των συνιστωσών του συλλέκτη.



Διάγραμμα 4.2. Καμπύλη συντελεστή ολικών απωλειών (U_L) του συλλέκτη.

4.13.3. Καμπύλη απωλειών κορυφής (Q_t).

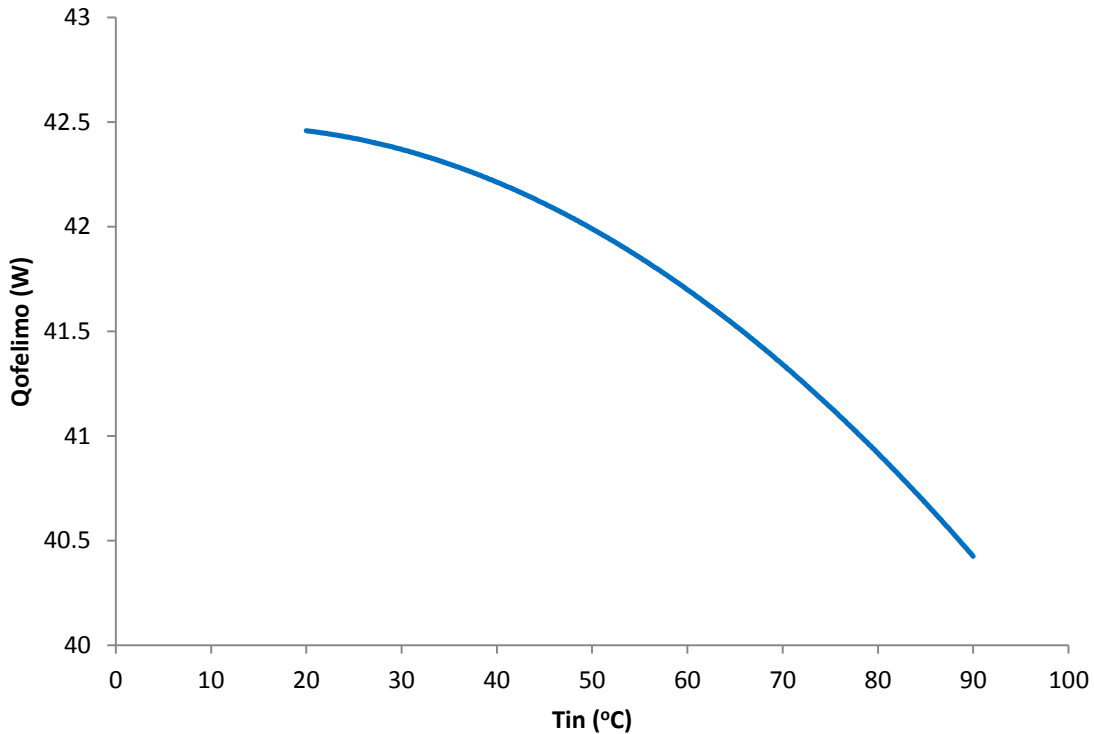
Στο **Διάγραμμα 4.3** παρουσιάζονται οι απώλειες κορυφής του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται πάλι αύξηση των απωλειών κορυφής με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν στην ενότητα 4.13.2.



Διάγραμμα 4.3. Καμπύλη απωλειών κορυφής Q_t του συλλέκτη.

4.13.4. Καμπύλη ωφέλιμης ισχύος ($Q_{\omega\phi}$).

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα της ωφέλιμης ισχύος ($Q_{\omega\phi}$) συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή (T_{in}).



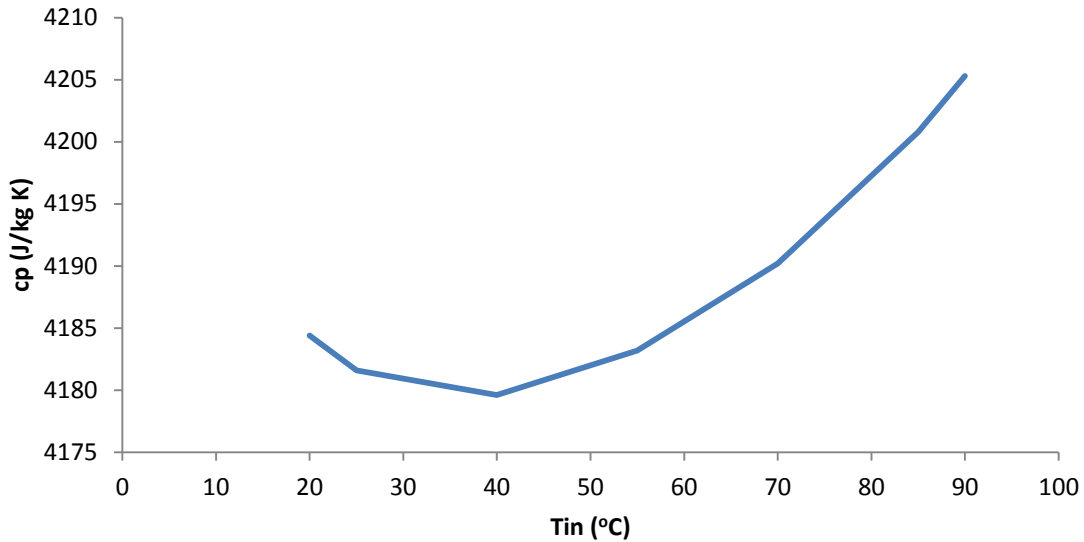
Διάγραμμα 4.4. Καμπύλη ωφέλιμης ισχύος συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου του νερού.

Από το **Διάγραμμα 4.4** φαίνεται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή μειώνεται η ωφέλιμη ισχύς, γεγονός απόλυτα λογικό, καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή μειώνεται τελικά η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_{out} - T_{in}$) έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της ωφέλιμης ισχύος.

$$Q_{\omega\phi} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4.14)$$

4.13.5. Καμπύλη ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p).

Στο **Διάγραμμα 4.5** που ακολουθεί παρουσιάζεται η καμπύλη της ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p) συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή (T_{in}).

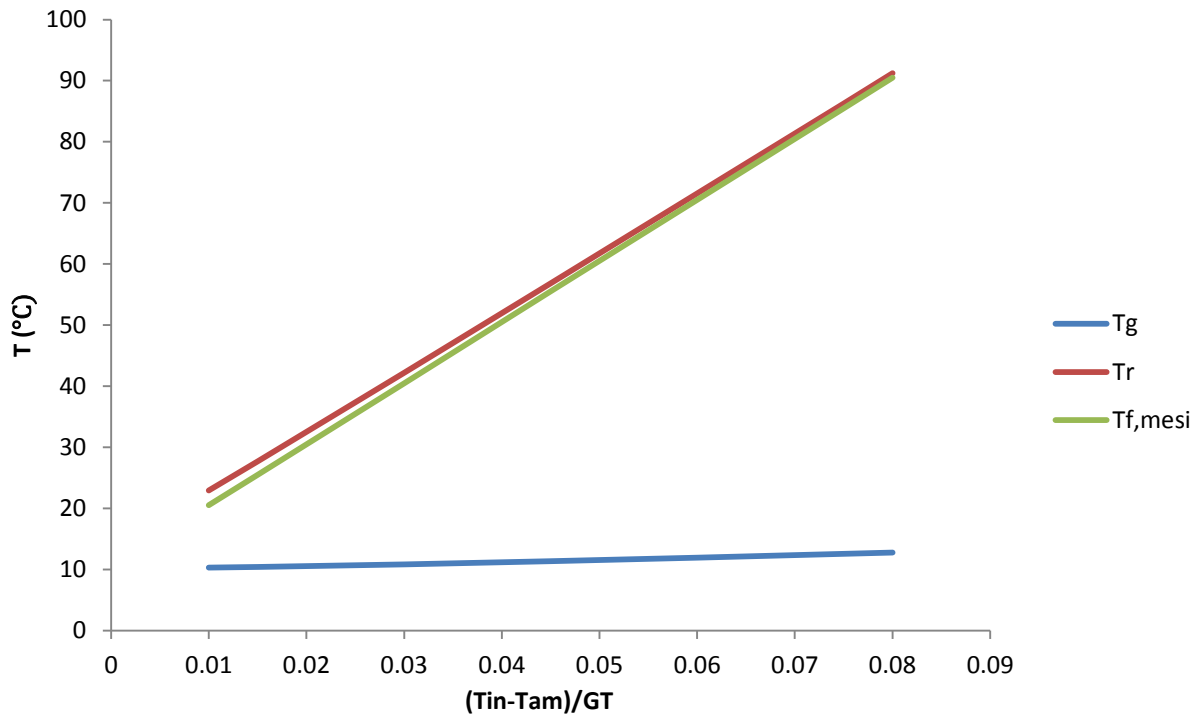


Διάγραμμα 4.5. Καμπύλη ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p) συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου του νερού.

Η καμπύλη αυτή της ειδικής θερμοχωρητικότητας (C_p) προέκυψε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος.

4.13.6. Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας του ρευστού, του γυαλιού και του απορροφητή.

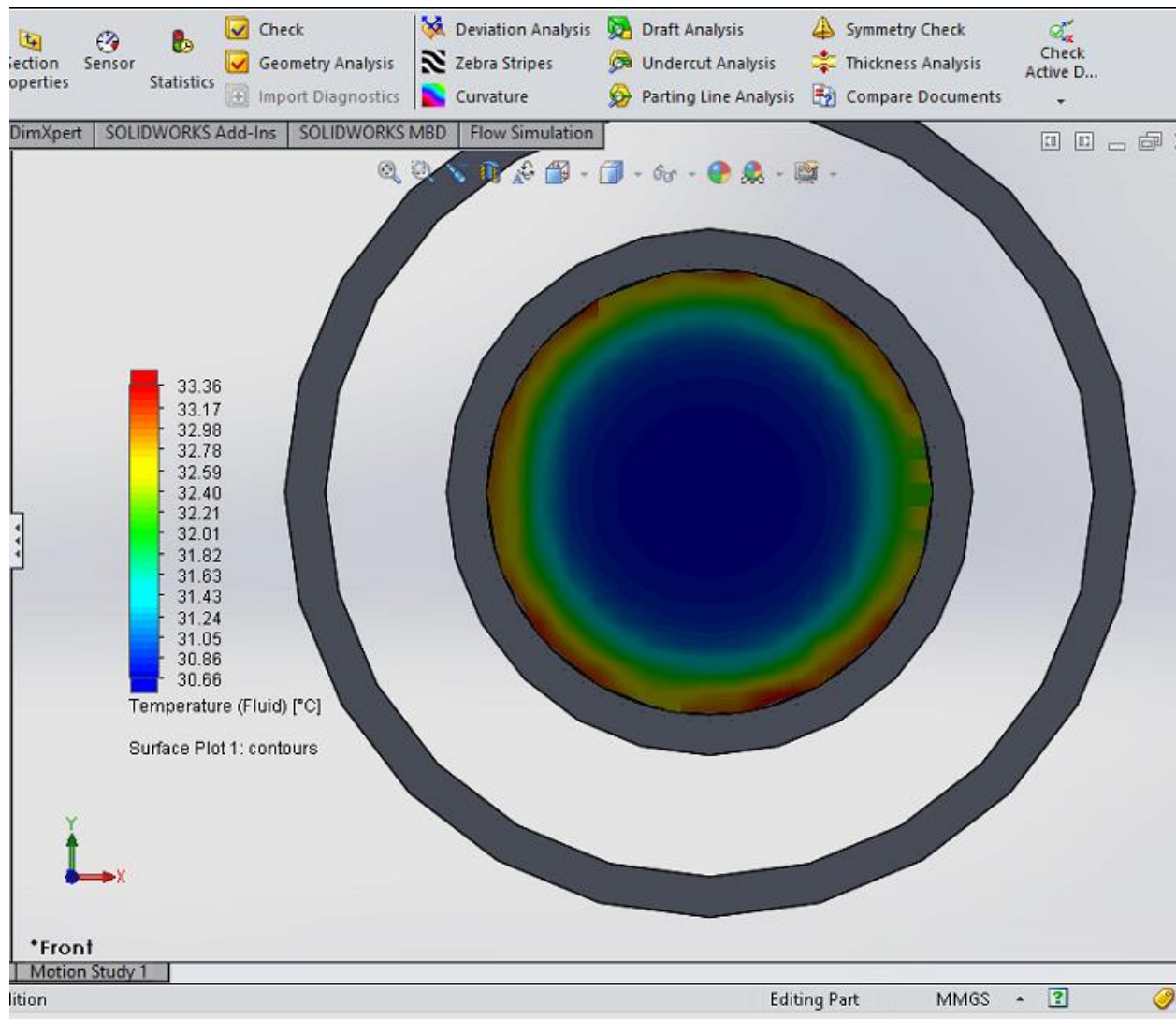
Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι καμπύλες μέσης θερμοκρασίας του ρευστού ($T_{f,mes}$), του γυαλιού (T_g), και του απορροφητή (T_r), συναρτήσει της μεταβλητής $(T_{in-T_{am}})/G_T$ (Διάγραμμα 4.6).



Διάγραμμα 4.6. Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας του ρευστού, του γυαλιού και του απορροφητή.

4.13.7. Θερμοκρασιακά πεδία του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC.

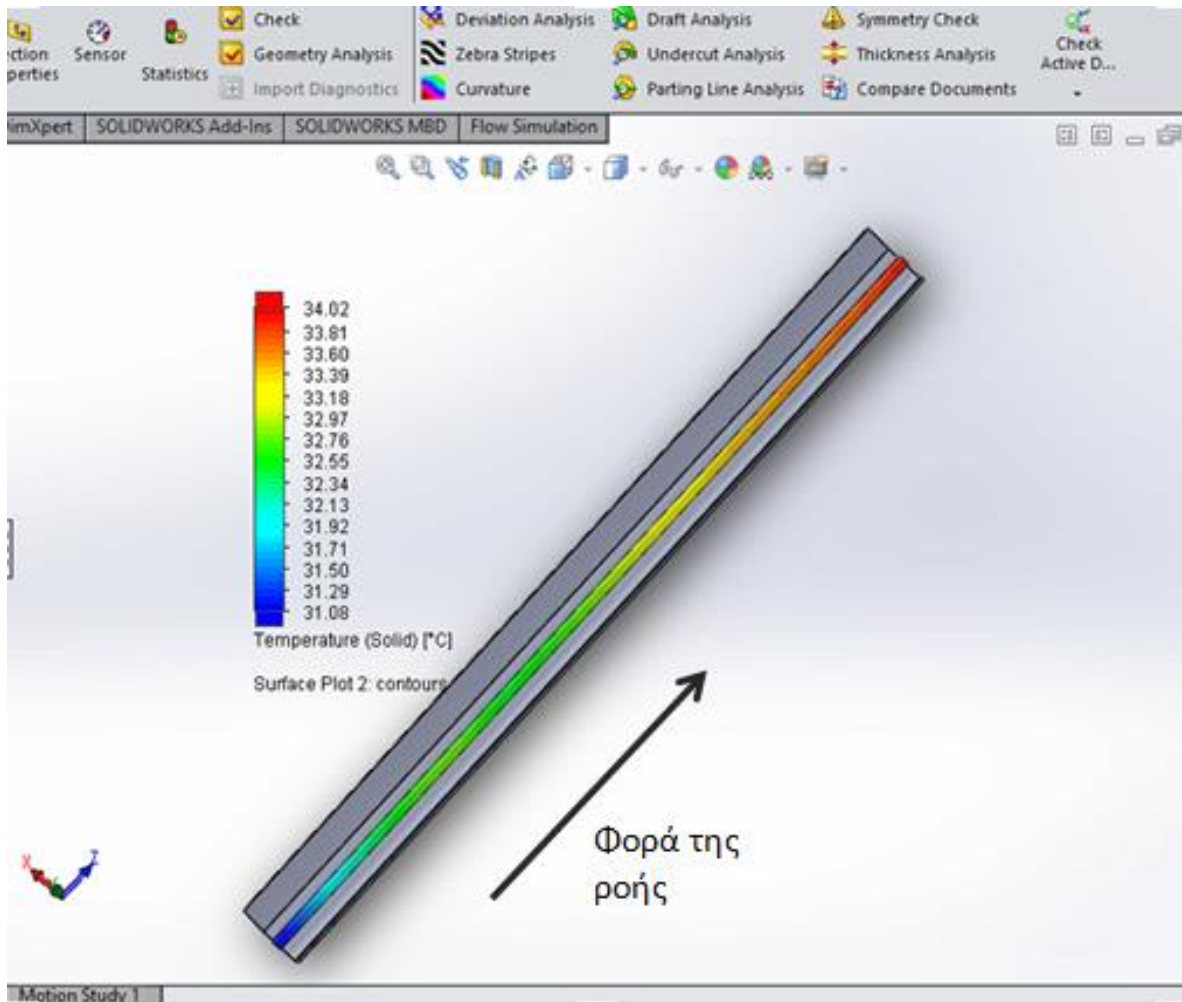
Παρακάτω παρατίθενται οι κατανομές των θερμοκρασιακών πεδίων για μέση θερμοκρασία νερού 30°C. Αρχικά δίνεται το θερμοκρασιακό πεδίο του απορροφητή σε πρόοψη.



Σχήμα 4.35. Θερμοκρασιακό πεδίο του απορροφητή σε πρόοψη.

Στο **Σχήμα 4.35** παρατηρείται ότι όσο πιο κοντά βρισκόμαστε στον άξονα του απορροφητή η θερμοκρασία έχει χαμηλότερες τιμές, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από τον άξονα και πλησιάζουμε τα τοιχώματα του χαλκοσωλήνα η θερμοκρασία αυξάνεται. Αυτό είναι απόλυτα λογικό καθώς η θερμότητα μέσω ακτινοβολίας που φτάνει στον απορροφητή πρώτα προσβάλλει τα τοιχώματα εξωτερικά και στη συνέχεια εισχωρεί δια αγωγής στο εσωτερικό των τοιχωμάτων. Τέλος μέσω συναγωγής ζεσταίνεται το νερό.

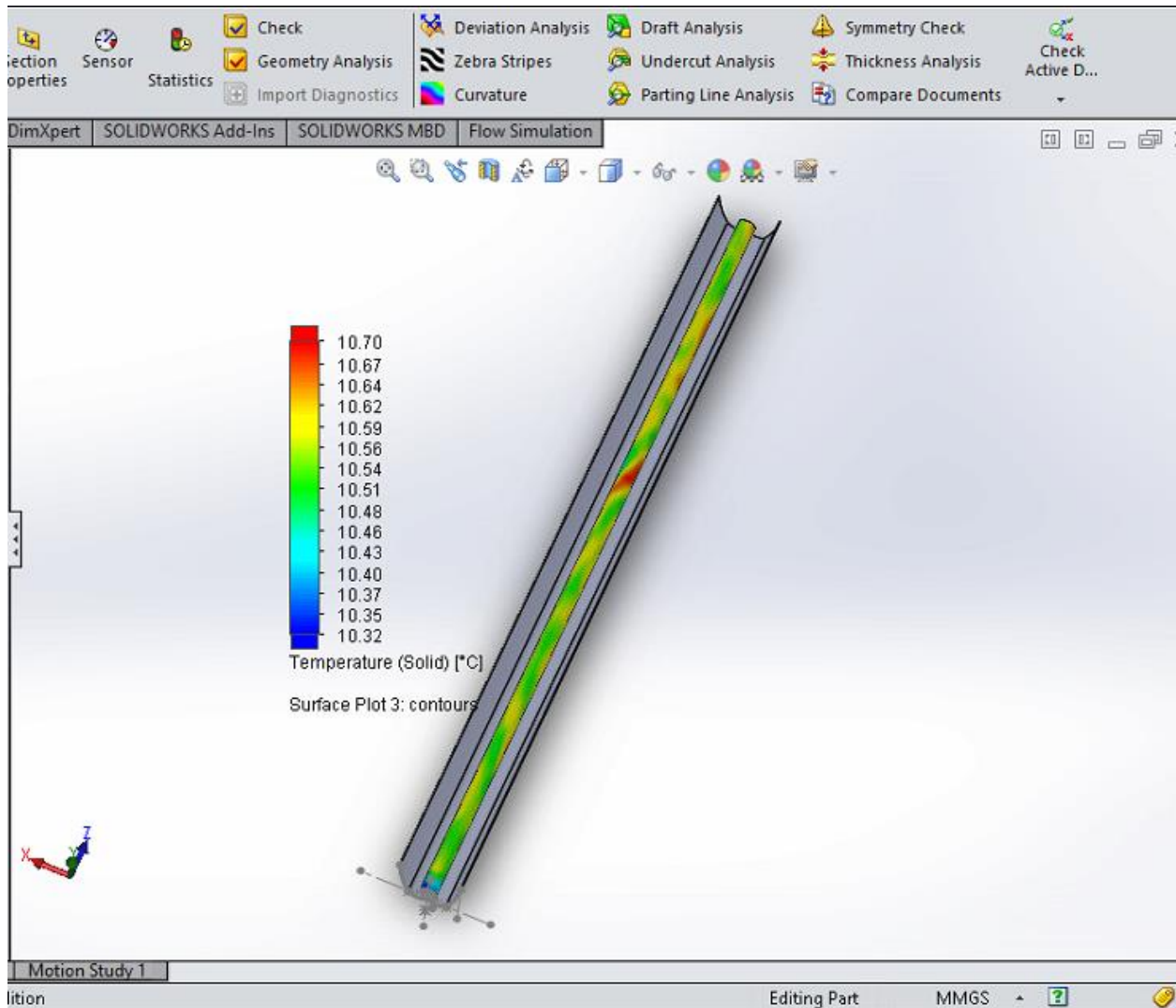
Στη συνέχεια δίνεται το θερμοκρασιακό πεδίο του απορροφητή σε κάτοψη.



Σχήμα 4.36. Θερμοκρασιακό πεδίο του απορροφητή σε κάτοψη.

Στο **Σχήμα 4.36** παρατηρείται ότι όσο προχωράμε προς την έξοδο του απορροφητή τόσο πιο θερμός είναι αυτός (κόκκινο χρώμα). Και αυτό καθώς στην είσοδο του απορροφητή το νερό εισέρχεται με μια θερμοκρασία $\sim 31^{\circ}\text{C}$ και μέσω της θερμότητας που φτάνει στον απορροφητή λόγω των ανακλάσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, βγαίνει το νερό με μια θερμοκρασία $\sim 34^{\circ}\text{C}$.

Τέλος, δίνεται το θερμοκρασιακό πεδίο του γυαλιού. (Σχήμα 4.37).



Σχήμα 4.37. Θερμοκρασιακό πεδίο του γυαλιού.

Η θερμοκρασία του γυαλιού δεν παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση γι'αυτό και δεν μπορούν να φανούν στο διάγραμμα οι θερμοκρασιακές διαφορές. Παρόλα αυτά στο διάγραμμα παρατηρείται ότι σε κάποια σημεία το γυαλί είναι πιο θερμό και σε κάποια άλλα πιο ψυχρό.

4.13.8. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

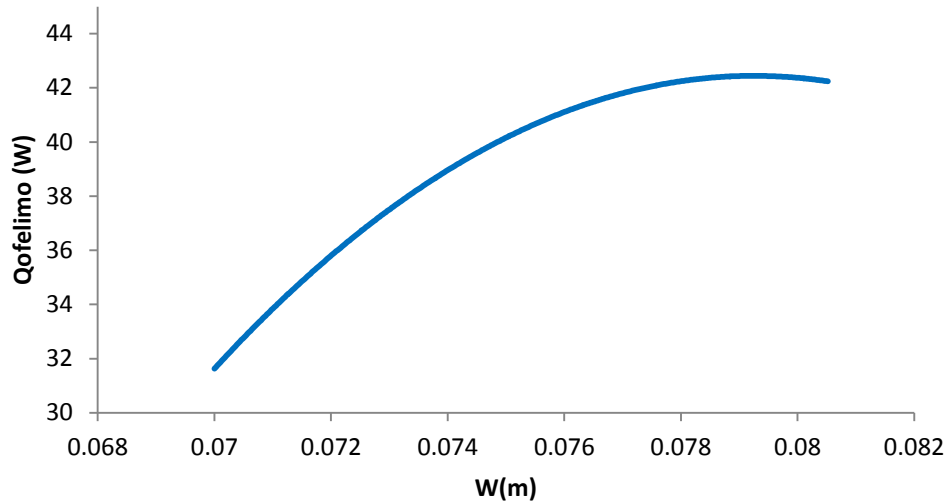
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

	Design Point 1	Design Point 2	Design Point 3	Design Point 4	Design Point 5	Design Point 6	Design Point 7
Temperature (Inlet Mass Flow 1) [°C]	20	25	40	55	70	85	90
Tg [°C]	10.3132805	10.4405794	10.86487109	11.3555422	11.91707001	12.55748552	12.79031729
Tout [°C]	21.01470059	26.01483877	41.00912481	56.00099126	70.98692752	85.96790914	90.9614804
Tr [°C]	22.94135984	27.71215784	42.23612455	56.83519459	71.51267329	86.27046513	91.22333331
Qt [W]	0.283577776	0.397615128	0.779898351	1.221310954	1.728388917	2.307528809	2.518419706
Cp	4184.4	4181.6	4179.6	4183.2	4190.2	4200.8	4205.3
Qsolar	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2	85.2
Qabsorbed(theoretical)	69.012	69.012	69.012	69.012	69.012	69.012	69.012
Qofelimo	42.45913149	42.43649809	42.17738058	41.87346649	41.35423707	40.65992726	40.43313542
η	0.498346614	0.498080964	0.495039678	0.491472611	0.485378369	0.477229193	0.474567317
Qabsorbed(real)	42.74270927	42.83411322	42.95727893	43.09477745	43.08262599	42.96745606	42.95155513
γ	0.619351841	0.620676306	0.622461006	0.624453391	0.624277314	0.622608475	0.622378067
U _L	0.536536684	0.549665613	0.592382635	0.63850024	0.68799299	0.740794721	0.759196929
Tf,mesi	20.5073503	25.50741939	40.50456241	55.50049563	70.49346376	85.48395457	90.4807402
(Tin-Tam)/Gr	0.01	0.015	0.03	0.045	0.06	0.075	0.08

Πίνακας 4.4. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

4.13.9. Παραμετρική ανάλυση.

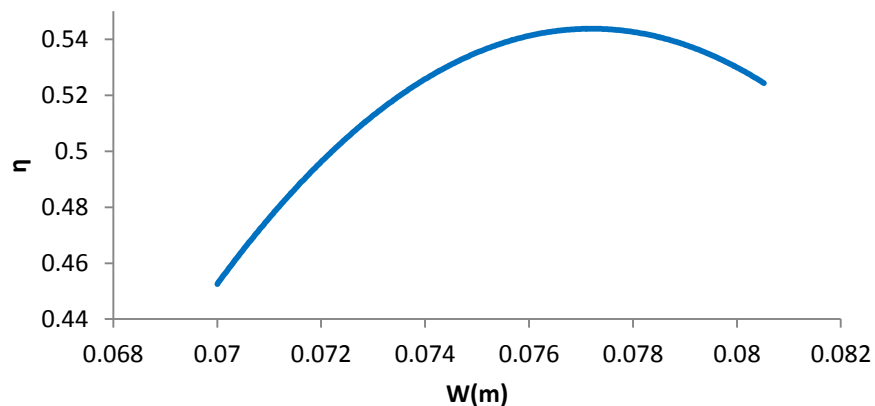
Στην παρούσα παράγραφο γίνεται μια παραμετρική ανάλυση του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC. Η παραμετρική ανάλυση γίνεται για θερμοκρασία εισόδου του νερού 40°C. Σε πρώτο στάδιο η παράμετρος που θα επηρεάσει τα αποτελέσματα είναι το άνοιγμα του συλλέκτη **W**. Έτσι λοιπόν, δίνονται διάφορες τιμές στο άνοιγμα του συλλέκτη από 0,07 m έως 0,08052 m που είναι και το τελικό άνοιγμα του συλλέκτη μας. Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω (Διάγραμμα 4.7) φαίνεται ότι μετά από ένα σημείο όσο και να μεγαλώσει το άνοιγμα δεν αυξάνεται το Q_{ωφέλιμο}.



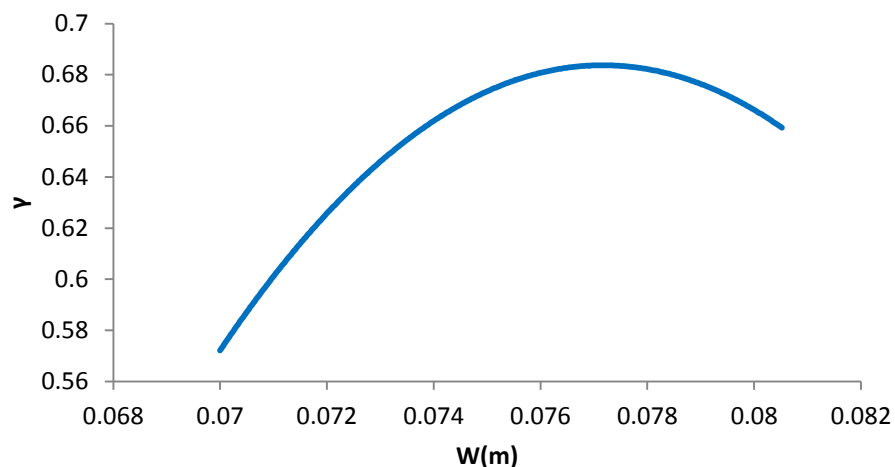
Διάγραμμα 4.7. Το $Q_{\omega\text{φέλιμο}}$ συναρτήσει του ανοίγματος του συλλέκτη.

Παρατηρείται εδώ ότι μετά την τιμή που έχει επιλεγθεί να είναι το άνοιγμα του συλλέκτη 0.08052 m η γραμμή τείνει να γίνει οριζόντια, που σημαίνει ότι δεν δίνει άλλη ωφέλιμη ενέργεια.

Στη συνέχεια παρατίθενται δύο διαγράμματα. Το ένα αφορά το βαθμό απόδοσης του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει του ανοίγματός του (Διάγραμμα 4.8) και το άλλο το συντελεστή γ , που είναι το πηλίκο της ενέργειας που φτάνει στον απορροφητή προς την ανακλώμενη ενέργεια, συναρτήσει του ανοίγματος του συλλέκτη (Διάγραμμα 4.9).

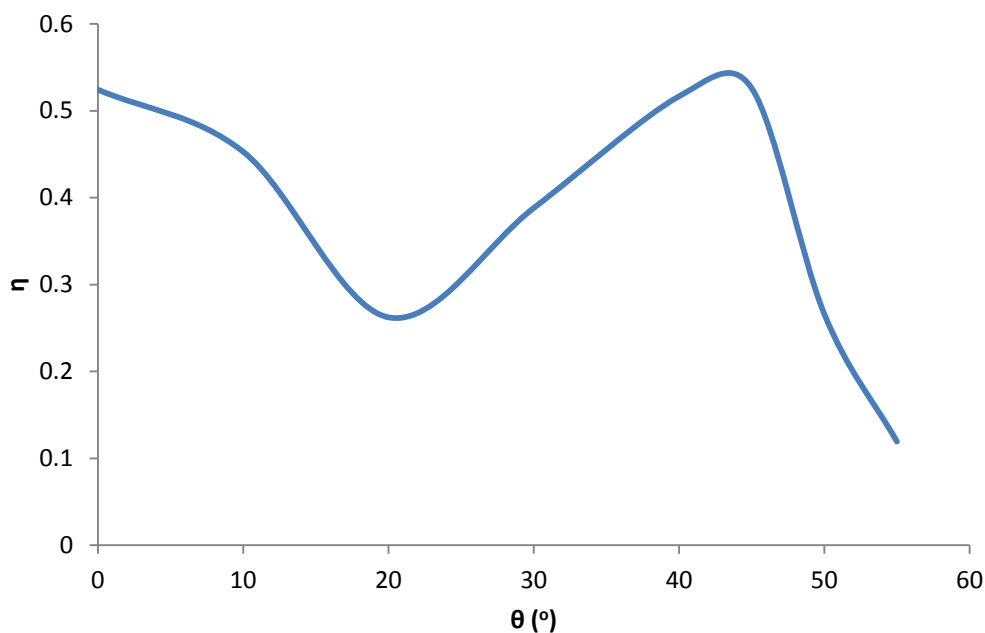


Διάγραμμα 4.8. Ο βαθμός απόδοσης συναρτήσει του ανοίγματος του συλλέκτη.

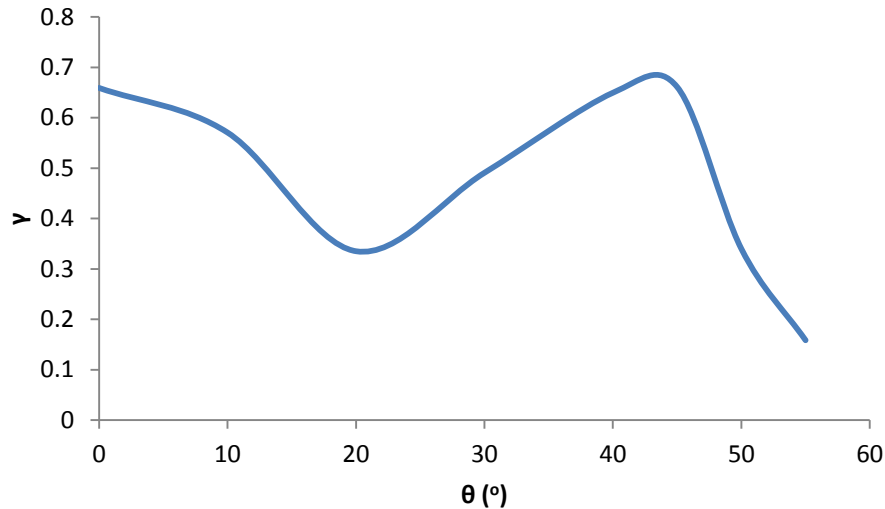


Διάγραμμα 4.9. Ο συντελεστής γ συναρτήσει του ανοίγματος του συλλέκτη.

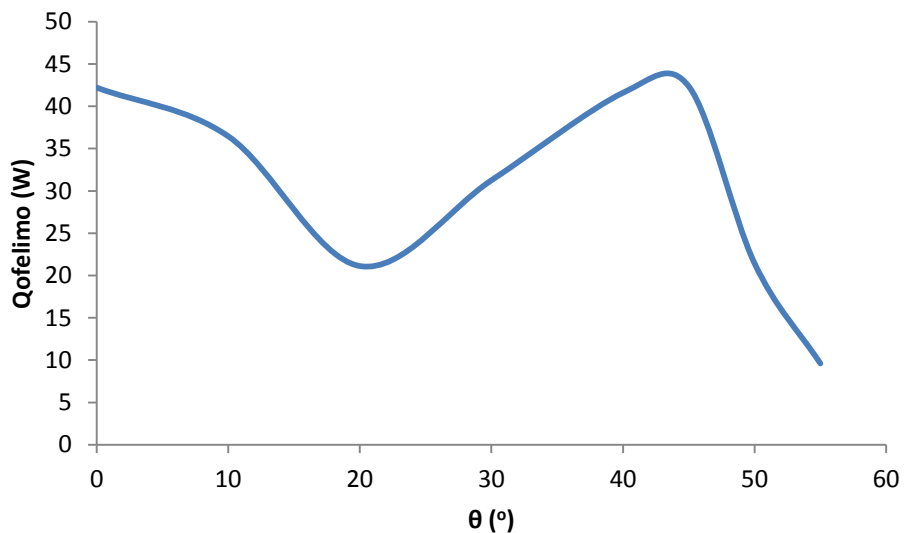
Η επόμενη παραμετρική ανάλυση που γίνεται αφορά τη γωνία του ήλιου. Αλλάζοντας, λοιπόν, τη γωνία του ήλιου δίνονται διαγράμματα που διαφοροποιούν το βαθμό απόδοσης (Διάγραμμα 4.10), το συντελεστή γ (Διάγραμμα 4.11) και το $Q_{\omega\phi\epsilon\lambda\iota\mu\omicron}$ του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη (Διάγραμμα 4.12).



Διάγραμμα 4.10. Ο βαθμός απόδοσης συναρτήσει της γωνίας του ήλιου.

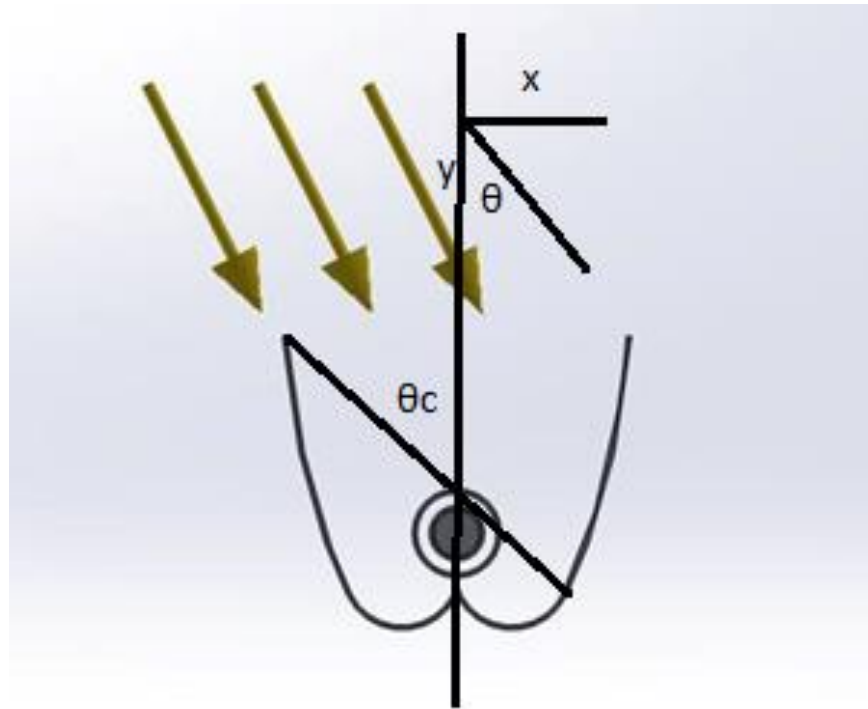


Διάγραμμα 4.11. Ο συντελεστής γ συναρτήσει της γωνίας του ήλιου.



Διάγραμμα 4.12. Το $Q_{\omega\text{φέλιμο}}$ συναρτήσει της γωνίας του ήλιου.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται μια ανωμαλία που οφείλεται στη γεωμετρία του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη (κατά κάποιον τρόπο ασύμμετρος). Η συγκεκριμένη παραμετρική ανάλυση έγινε για γωνίες του ήλιου $0^\circ \sim 90^\circ$. Παρόλα αυτά στα διαγράμματα φαίνεται ότι η γωνία φτάνει έως 55° . Και αυτό καθώς μετά από αυτή τη γωνία χάνονται πολλές ακτίνες του ήλιου με αποτέλεσμα να μη δίνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται πως στρέφεται ο ήλιος πάνω από τον συγκεντρωτικό ηλιακό συλλέκτη τύπου CPC.



Σχήμα 4.38. Στροφή του ήλιου πάνω από τον CPC (εγκάρσια κατεύθυνση).

Η γωνία θ υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\tan\theta = \frac{x}{-y} \quad (4.15)$$

και κυμαίνεται μεταξύ 0° και 90° .

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάσθηκε και προσομοιώθηκε ένας συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης τύπου CPC. Αρχικά αναφέρθηκαν γενικά στοιχεία περί ηλιακής ενέργειας και περιγράφηκαν διάφορα είδη συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών, δίνοντας έμφαση στους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες τύπου CPC. Στη συνέχεια έγινε ο δισδιάστατος και ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του συλλέκτη CPC, αφού πρώτα έγινε μια εισαγωγή στο solidworks για την καλύτερη κατανόηση του προγράμματος. Σε αυτή την εισαγωγή περιγράφηκαν οι σημαντικότερες και πολυσύχναστες εντολές ώστε να δημιουργηθεί μια κατανοητή ροή στο κείμενο. Έπειτα έγινε ο δισδιάστατος και ο τρισδιάστατος σχεδιασμός του συλλέκτη περιγράφοντας αναλυτικά κάθε βήμα που ακολουθήθηκε (ανακλαστήρας, απορροφητής). Στο δισδιάστατο σχεδιασμό, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, πρέπει να υπολογιστεί το ύψος στο οποίο φτάνει ο συλλέκτης ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των ακτινών του ηλίου. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής : Φέρεται μια ευθεία από την εστία της μιας παραβολής η οποία πρέπει να εφάπτεται με τον σωλήνα νερού και όπου κόψει τον ηλιακό συλλέκτη εκεί πρέπει να είναι το μέγιστο ύψος του. Αφού ολοκληρώθηκε ο δισδιάστατος σχεδιασμός βάζοντας και τα στηρίγματα με τις εντολές που έχουν ήδη περιγραφεί, στη συνέχεια έγινε το τρισδιάστατο μοντέλο.

Μετά την ολοκλήρωση αυτών χρησιμοποιώντας το **Flow simulation** του Solidworks έγινε η προσομοίωση του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC. Αρχικά δημιουργήθηκε το αρχείο της προσομοίωσης (flow simulation project), ενώ έπειτα ορίσθηκε το πλέγμα, οι οριακές συνθήκες, τα υλικά, οι ακτινοβολούμενες επιφάνειες και οι στόχοι. Αφού λοιπόν έγιναν αυτά όλα ήταν έτοιμα για την επίλυση. Κάνοντας τα τρεξίματα καταλήξαμε σε κάποια αποτελέσματα που παρουσιάσθηκαν παραπάνω.

Ο συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης τύπου CPC που σχεδιάσθηκε παρουσιάζει άνοιγμα **W=80,52 mm** και έχει μήκος **L=1000 mm**. Ο απορροφητής αποτελείται από ένα χάλκινο σωλήνα, που μέσα του ρέει νερό, με εσωτερική διάμετρο **D_{rin}=11 mm** και εξωτερική διάμετρο **D_{rout}=13 mm**. Ο εν λόγω σωλήνας περικλείεται από ένα σωλήνα γυαλιού με εσωτερική διάμετρο **D_{gin}=19 mm** και εξωτερική διάμετρο **D_{gout}=21 mm**. Ανάμεσα στους 2 σωλήνες υπάρχει κενό.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συλλέκτη, μας οδήγησαν στα ακόλουθα συμπεράσματα :

1. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον αγωγό, δεδομένου ότι η τελευταία προκαλεί έμμεσα αύξηση των θερμικών απωλειών και κατά συνέπεια μείωση της ωφέλιμης ισχύος.

2. Παρατηρείται η αύξηση του συντελεστή ολικών απωλειών (U_L) με την αύξηση του συντελεστή $(T_{in}-T_{am})/G_T$, γεγονός απόλυτα λογικό, δεδομένης της αύξησης της θερμοκρασίας των συνιστωσών του συλλέκτη.
3. Παρατηρείται αύξηση των απωλειών κορυφής με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου για τους ίδιους λόγους.
4. Με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή μειώνεται η ωφέλιμη ισχύς, γεγονός απόλυτα λογικό καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον απορροφητή μειώνεται τελικά η θερμοκρασιακή διαφορά ($T_{out} - T_{in}$) έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της ωφέλιμης ισχύος.

Ακόμα στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε και παραμετρική ανάλυση του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη τύπου CPC. Στην ανάλυση αυτή αρχικά αλλάζαμε την τιμή του ανοίγματος W του συλλέκτη, ενώ έπειτα αλλάζαμε τη γωνία του ήλιου.

Όσον αφορά το άνοιγμα του συλλέκτη λοιπόν, διαπιστώθηκε ότι μετά από κάποιο σημείο όσο και να μεγαλώσει αυτό δεν αυξάνεται το $Q_{\omega\text{φέλιμο}}$. Αυτή η τιμή είναι και η τιμή που έχει επιλεγεί για το σχεδιασμό του συλλέκτη.

Όσον αφορά τη γωνία του ήλιου η ανάλυσή μας έδωσε διαγράμματα (4.9,4.10,4.11) που παρουσιάζουν ανωμαλίες. Αυτές οι ανωμαλίες στα διαγράμματα οφείλονται στην ασυμμετρία του συλλέκτη, καθώς και στη διαφορετική συμπεριφορά αυτού σε διαφορετικές γωνίες του ήλιου. Βέβαια υπάρχει η δυνατότητα για μελλοντική βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη ώστε να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα.

Φυσικά υπάρχουν περιθώρια για μελλοντική έρευνα των συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών τύπου CPC που θα στοχεύουν στην καλύτερη γεωμετρία, ενώ μπορεί να γίνει και η ανάλυσή τους σε πραγματικές συνθήκες (π.χ. στην περιοχή της Αθήνας) και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (π.χ. ολόκληρη τη μέρα). Μια τελευταία περίπτωση που μπορεί να μελετηθεί είναι η σύνδεση του συλλέκτη με δοχείο, ώστε να μελετηθεί η ημερήσια θερμική απολαβή.

Βιβλιογραφία.

1. “Θερμικά-ηλιακά Συστήματα μέρος πρώτο”, (Κ. Α. Αντωνόπουλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2004)
2. “Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators”, N. K. Abdul-Jabbar, S. A. Salman, (Energy Conversion and Management 39 (10) (1998) 1073– 1079)
3. “An evaluation on thermal performance of CPC solar collector”, Yong Kim, Gui Young Han, Taebeom Seo, International Communications in Heat and Mass Transfer 35 (2008) 446 – 457
4. “Solar engineering of thermal processes” (2nd Edition, J. A. Duffie-W. A. Beckman, Wiley 1991)
5. “Συμβατικές & Ήπιες μορφές ενέργειας” (Κ. Α. Μπαλάρας - Α. Α. Αργυρίου - Φ.Ε.Καραγιάννης, Αθήνα 2006)
6. “Φυσική της ατμόσφαιρας”, (Α. Μπάη, Δ. Μπαλή, Κ. Τουρπάλη, Θεσσαλονίκη 2011)
7. “Power From The Sun Book”, William B. Stine και Michael Geyer (<http://www.powerfromthesun.net/book.htm>)
8. “Technology Characterization Solar Power tower”, SolarPACES, (<http://www.solarpaces.org>)
9. “Technology Characterization Solar Dish Systems”, SolarPACES, (<http://www.solarpaces.org>)
10. “Technology Characterization Solar Parabolic Trough”, SolarPACES (<http://www.solarpaces.org>)
11. “Pilot Plants for Solar Steam Generation Stations, Solar Energy” (Francia G. 1968)
12. “High Power solar installations, Solar Energy” (Baum V. A. 1957)
13. Wikipedia the free encyclopedia (<http://www.wikipedia.org>)
14. 1.1-Launch the solidworks for the first time (Solidworks Corporation video)
15. “Solar thermal collectors and applications” (Soteris A. Kalogirou)
16. “Concentrating solar power technology” (Woodhead Publishing Limited, 2012)
17. E. Bellos, C. Tzivanidis, K. A. Antonopoulos, Thermal performance of a direct-flow coaxial evacuated tube with solidworks flow simulation, 6th International Conference on “Experiments/Process/System Modelling/Simulation/Optimization, Athens, 8-11 July, 2015
18. E. Bellos, C. Tzivanidis, D. Korres, K. A. Antonopoulos, Thermal analysis of a flat plate collector with Solidworks and determination of convection heat coefficient between water and absorber, ECOS Conference 2015, Pau, France
19. Solidworks flow simulation 2012 tutorial
20. Solidworks flow simulation 2014 tutorial