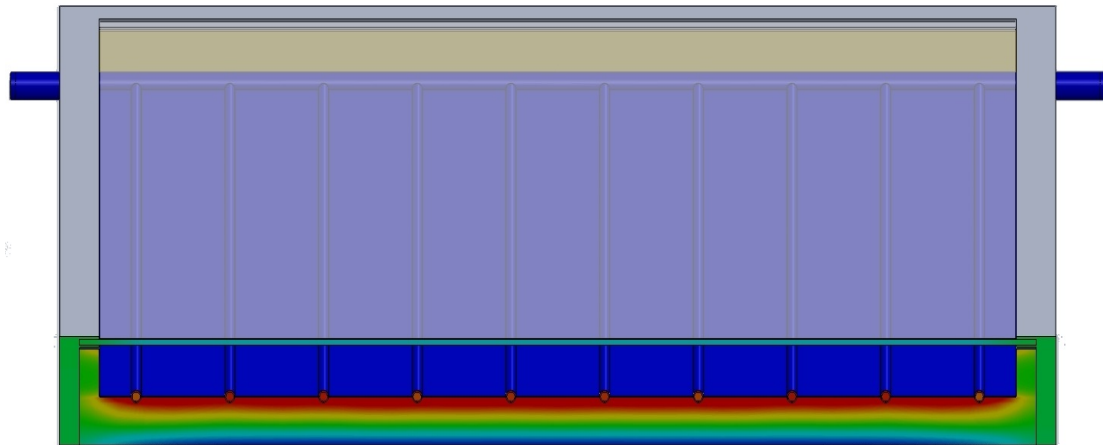




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Χρήση νανοϋλικών για τη βελτίωση της απόδοσης θερμικών
ηλιακών συλλεκτών στο Solidworks.



Επιμέλεια: Κωνσταντίνος Βέργος
Επιβλέπων καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

Αθήνα 2016

ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Μέρος.....	5
1.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	5
1.2 Ηλιακός συλλέκτης.....	5
1.2.1 Κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών.....	6
1.2.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.....	8
1.2.3 Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη.....	10
1.3 Πλάκα απορρόφησης.....	11
Κεφάλαιο 2: Κατασκευή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μέσω του Solidworks.....	12
2.1 Μέρη του ηλιακού συλλέκτη.....	12
2.1.1 Εξωτερικό περίβλημα.....	12
2.1.2 Πλάτη συλλέκτη.....	19
2.1.3 Μόνωση πλάτης.....	20
2.1.4 Πλευρική μόνωση.....	23
2.1.5 Απορροφητής.....	25
2.1.6 Σωληνώσεις απορροφητή (risers).....	28
2.1.7 Συλλέκτες (headers).....	30
2.1.8 Κάλυμμα.....	32
Κεφάλαιο 3: Συναρμολόγηση του ηλιακού συλλέκτη.....	33
3.1 Δημιουργία υδροσκελετού.....	34
3.2 Συναρμολόγηση υδροσκελετού-μόνωσης πλάτης.....	39
3.3 Εισαγωγή πλευρικής μόνωσης.....	42
3.4 Εισαγωγή πλάκας απορρόφησης.....	46
3.5 Εισαγωγή εξωτερικού περιβλήματος (πλασιού).....	48
3.6 Εισαγωγή πλάτης και καλύμματος.....	51
Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση μέσω του Flow Simulation.....	54
4.1 Επιλογή δεδομένων και αρχικών συνθηκών του προβλήματος.....	56
4.2 Ορισμός υπολογιστικού τομέα.....	62

4.3 Προσθήκη υλικών του ηλιακού συλλέκτη.....	64
4.4 Προσθήκη οριακών συνθηκών.....	68
4.5 Προσθήκη ακτινοβολούντων επιφανειών.....	72
4.6 Προσθήκη των στόχων του προβλήματος.....	77
4.7 Εισαγωγή πλέγματος.....	80
4.8 Τρέξιμο του προγράμματος.....	82
Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στα νανοϋλικά.....	85
5.1 Ιδιότητες των νανορευστών.....	86
5.2 Προσθήκη νέων ρευστών στο Solidworks.....	88
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα.....	94
6.1 Θερμικός βαθμός απόδοσης.....	94
6.2 Παράγοντες ηλιακού συλλέκτη.....	98
6.3 Συντελεστής συναγωγής h και αδιάστατοι αριθμοί της ροής του ρευστού.....	104
6.4 Κατανομές θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του συλλέκτη.....	109
6.4.1 Θερμοκρασία του ρευστού.....	109
6.4.2 Θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη.....	115
6.4.3 Θερμοκρασία πλάκας απορρόφησης.....	116
6.4.4 Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος	118
6.4.5 Θερμοκρασία σε διάφορες τομές του ηλιακού συλλέκτη....	120
6.5 Κατανομές ταχύτητας σε διάφορα σημεία του συλλέκτη.....	125
6.6 Γράφημα μήκους-θερμοκρασίας ρευστού του 5 ^{ου} σωλήνα για όλες τις θερμοκρασίες.....	127
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	132
ΠΗΓΕΣ.....	132
ΑΡΘΡΑ.....	132

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα μελετηθεί η επίδραση που έχουν τα νανοϋλικά, εάν προστεθούν σε ένα ρευστό, στον θερμικό βαθμό απόδοσης ενός ηλιακού συλλέκτη. Συγκεκριμένα, θα γίνει σύγκριση μεταξύ τριών διαφορετικών εργαζόμενων μέσων, νερού, λαδιού και νανορευστού τα οποία θα προσαχθούν σε έναν τυπικό επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, απλού καλύμματος και επιλεκτικής επιφάνειας απορροφητή. Η σχεδίαση θα γίνει μέσω του προγράμματος Solidworks και η προσομοίωση μέσω του Solidworks Flow Simulation.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει εισαγωγή στο αντικείμενο της ηλιακής ενέργειας και στη λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη. Στα επόμενα δύο κεφάλαια θα παρουσιασθεί ο τρόπος κατασκευής και συναρμολόγησης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, πάνω στον οποίο θα γίνει η μελέτη, μέσω του προγράμματος Solidworks. Στη συνέχεια, στο 4^ο κεφάλαιο θα μελετηθεί η προσομοίωση μέσω του Flow Simulation του Solidworks, ενώ στο 5^ο κεφάλαιο θα γίνει εισαγωγή στα νανοϋλικά και στις ιδιότητές τους. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δηλαδή οι θερμοκρασίες των ρευστών και των τμημάτων του ηλιακού συλλέκτη με σκοπό τον υπολογισμό των θερμικών βαθμών απόδοσης και τη σύγκρισή τους. Ακόμα, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των τριών διαφορετικών εργαζόμενων μέσων για διάφορα μεγέθη όπως θερμοκρασία και ταχύτητα σε διάφορες χαρακτηριστικές θέσεις του ηλιακού συλλέκτη με σκοπό να τονιστούν οι ιδιαιτερότητες του κάθε μέσου, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχουν.

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό Μέρος

1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας, η οποία εμφανίζεται είτε ως φωτεινή ενέργεια (φως), είτε ως θερμότητα είτε ως ενέργεια ακτινοβολίας. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες συστημάτων: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα δύο πρώτα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 1.1: Είδη ηλιακών συστημάτων

1.2 Ηλιακός συλλέκτης

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένας ειδικής μορφής εναλλάκτης θερμότητας, που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα (ενεργητικό ηλιακό σύστημα). Πιο αναλυτικά, η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει σε μια πλάκα η οποία απορροφά την ακτινοβολία κι έτσι αυξάνει τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι, η μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του ρευστού που διέρχεται μέσα στους σωλήνες οι

οποίοι βρίσκονται σε επαφή με το πίσω μέρος της πλάκας. Η προαναφερθείσα λειτουργία αφορά τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

1.2.1 Κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών

Οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίζονται στους επίπεδους συλλέκτες, τους πλαστικούς συλλέκτες και τους συλλέκτες σωλήνων κενού. Οι πλαστικοί συλλέκτες διαφέρουν από τους επίπεδους στο ότι αποτελούνται μόνο από τον απορροφητή, ο οποίος αναπτύσσει θερμοκρασίες 5-15°C πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και εφαρμόζονται κυρίως για τη θέρμανση πισινών. Οι συλλέκτες κενού διαφοροποιούνται από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες στον τρόπο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αποτελούνται από πολλούς γυάλινους σωλήνες, κάθε ένας από τους οποίους περιέχει μια απορροφητική επιφάνεια, από τους οποίους περνάει το θερμοαπαγωγό μέσο. Στον γυάλινο σωλήνα δημιουργείται κενό αέρος, εξού και η ονομασία τους.



Εικόνα 1.2: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης



Εικόνα 1.3: Πλαστικός ηλιακός συλλέκτης



Εικόνα 1.4: Ηλιακός συλλέκτης με σωλήνες κενού

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των ηλιακών συλλεκτών είναι σε επίπεδους και συγκεντρωτικούς. Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης είναι ακίνητος και συλλέγει την μέγιστη ακτινοβολία του ήλιου όταν τον έχει ακριβώς απέναντί του. Όλες τις άλλες φορές βλέπει τον ήλιο υπό γωνία και η ενεργή επιφάνεια είναι μικρότερη από την ολική με αποτέλεσμα το χάσιμο ενέργειας. Από την άλλη, στους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες η ηλιακή ακτινοβολία, αφού περάσει από το τζάμι, προσπίπτει σε κοίλη κυλινδρική κατοπτρική επιφάνεια όπου ανακλάται και συγκεντρώνεται σε γραμμική εστία. Στην εστία αυτή είναι τοποθετημένος ο αγωγός του απορροφητήρα που κυκλοφορεί το ρευστό. Στο κάτω μέρος των διάφανων σωλήνων κενού έχει τοποθετηθεί ανακλαστική κατοπτρική επιφάνεια. Έτσι, σε αυτή την επιφάνεια που

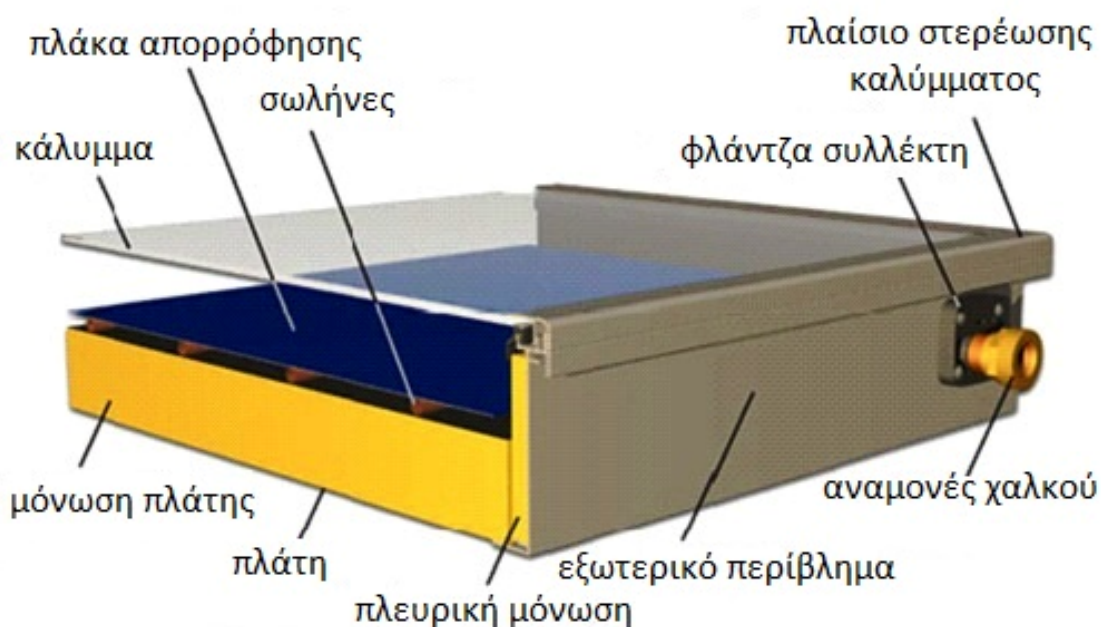
είναι σχετικά μικρότερη έχουμε αφ' ενός περισσότερη προσπίπτουσα ακτινοβολία αλλά και μικρότερες απώλειες προς το περιβάλλον. Αυτό είναι και το πλεονέκτημά τους. Το μειονέκτημά τους όμως είναι ότι συγκεντρώνουν μόνο την άμεση ακτινοβολία και όχι τη διάχυτη. Επίσης, χρειάζονται πολύπλοκοι μηχανισμοί που ανεβάζουν το κόστος.

1.2.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

Συγκεκριμένα, ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης ο οποίος και θα μελετηθεί, διαφέρει από τον συγκεντρωτικό συλλέκτη στα εξής: α) Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες δηλαδή μέχρι περίπου 100°C πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. β) Εκμεταλλεύονται και την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία. γ) Δεν απαιτούν μηχανισμό κίνησης για την παρακολούθηση του ηλίου και συνεπώς είναι μηχανικά απλούστεροι των συγκεντρωτικών συλλεκτών και απαιτούν μικρή μόνο συντήρηση. δ) Κύριες εφαρμογές των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση κτιρίων ενώ στις δυνατές εφαρμογές συμπεριλαμβάνεται ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Ο συλλέκτης αυτός περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται (πλάκα απορρόφησης). Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Ακόμα, ο συλλέκτης περιέχει μόνωση της πίσω επιφάνειας (πλάτης) και των παράπλευρων επιφανειών, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες, καθώς και πλαίσιο που περιβάλλει τον συλλέκτη. Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.

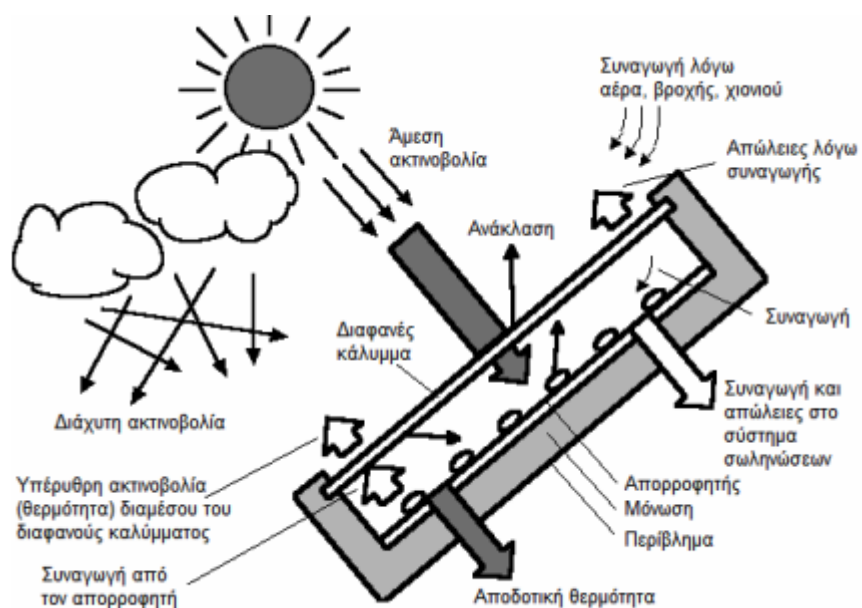
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται αναλυτικά τα μέρη ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.



Εικόνα 1.5: Μέρη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Οι επίπεδοι συλλέκτες τοποθετούνται εστραμμένοι προς τον ισημερινό ($\gamma=0^\circ$ για το βόρειο ημισφαίριο και $\gamma=180^\circ$ για το νότιο ημισφαίριο) και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, β , τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση του συλλέκτη. Συγκεκριμένα, για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή $\beta=\phi$. Για μέγιστη ενέργεια θέρους απαιτείται κλίση κατά 15° μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta=\phi-15^\circ$ και για μέγιστη ενέργεια χειμώνας απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους, $\beta=\phi+15^\circ$. Τυχόν αποκλίσεις από τις παραπάνω τιμές της κλίσης του συλλέκτη προκαλούν μικρές μειώσεις της ενέργειας. Για παράδειγμα, απόκλιση της κλίσης β κατά 15° μειώνει την ενέργεια μόνο κατά 5%.

1.2.3 Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη



Εικόνα 1.6: Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

Για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες υπάρχουν κάποιες κρίσιμες παράμετροι.

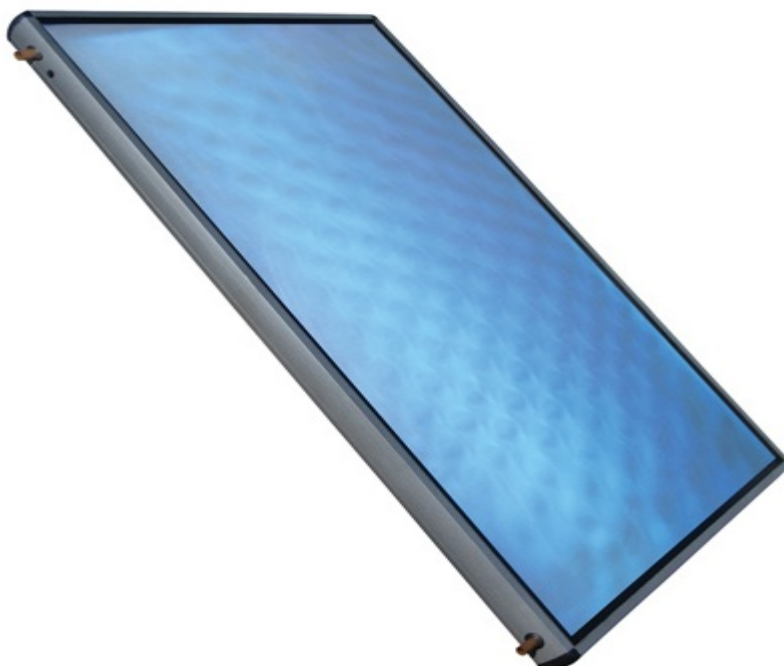
1. Η διαπερατότητα της γυάλινης επιφάνειας (καλύμματος) στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.
2. Η απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη.
3. Ο συντελεστής εκπομπής της πλάκας απορρόφησης για μεγάλα μήκη κύματος, ο οποίος θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερος.
4. Η διαπερατότητα της γυάλινης επιφάνειας για μεγάλα μήκη κύματος, η οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη.

Στη διαπερατότητα του καλύμματος και την απορροφητικότητα της πλάκας θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά στην ενότητα 4.5 στην προσθήκη των ακτινοβολούντων επιφανειών.

1.3 Πλάκα απορρόφησης

Η πλάκα απορρόφησης συνδέεται με τις σωληνώσεις κυκλοφορίας του ρευστού είτε με συγκόλληση είτε με μηχανική σύσφιξη. Για τη βελτιστοποίηση του ποσοστού της ακτινοβολίας που απορροφά ο συλλέκτης, η συλλεκτική επιφάνεια βάφεται μαύρη, αφού τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη ενέργεια.

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκε ειδική τεχνολογία βαφής των συλλεκτικών επιφανειών με ειδικές βαφές που απορροφούν πολύ μεγάλο ποσοστό από την εκπίπτουσα ακτινοβολία. Οι βαφές αυτές ονομάζονται επιλεκτικές και οι συλλέκτες που φέρουν συλλεκτική επιφάνεια βαμμένη με επιλεκτική βαφή, ονομάζονται επιλεκτικοί συλλέκτες. Η επιλεκτική βαφή προσφέρει πολύ υψηλό συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (~95%) μειώνοντας αντίστοιχα την ανακλώμενη ενέργεια καθώς και τις θερμικές απώλειες. Ο συντελεστής εκπομπής για μια επιλεκτική επιφάνεια είναι ίσος με 0,1 ενώ για μη επιλεκτική επιφάνεια απορρόφησης είναι ίσος με 0,95. Το χρώμα περιέχει τιτάνιο και εφαρμόζεται στη μεταλλική επιφάνεια με μοριακό βομβαρδισμό. Η επιλεκτική βαφή προσδίδει στον συλλέκτη ένα χαρακτηριστικό γαλαζο-μπλε χρώμα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.7: Επιλεκτική βαφή απορροφητή

Κεφάλαιο 2: Κατασκευή του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μέσω του Solidworks

Ο συλλέκτης που θα σχεδιαστεί είναι της εταιρείας SOL και έχει τις ακόλουθες διαστάσεις:

Μήκος=2050mm

Πλάτος=1010mm

Ύψος=90mm

Τα επιμέρους μέρη του ηλιακού συλλέκτη είναι τα εξής:

- Εξωτερικό περίβλημα
- Πλάτη συλλέκτη
- Μόνωση πλάτης
- Πλευρική μόνωση
- Απορροφητής
- Σωληνώσεις απορροφητή
- Συλλέκτες
- Διαφανές κάλυμμα

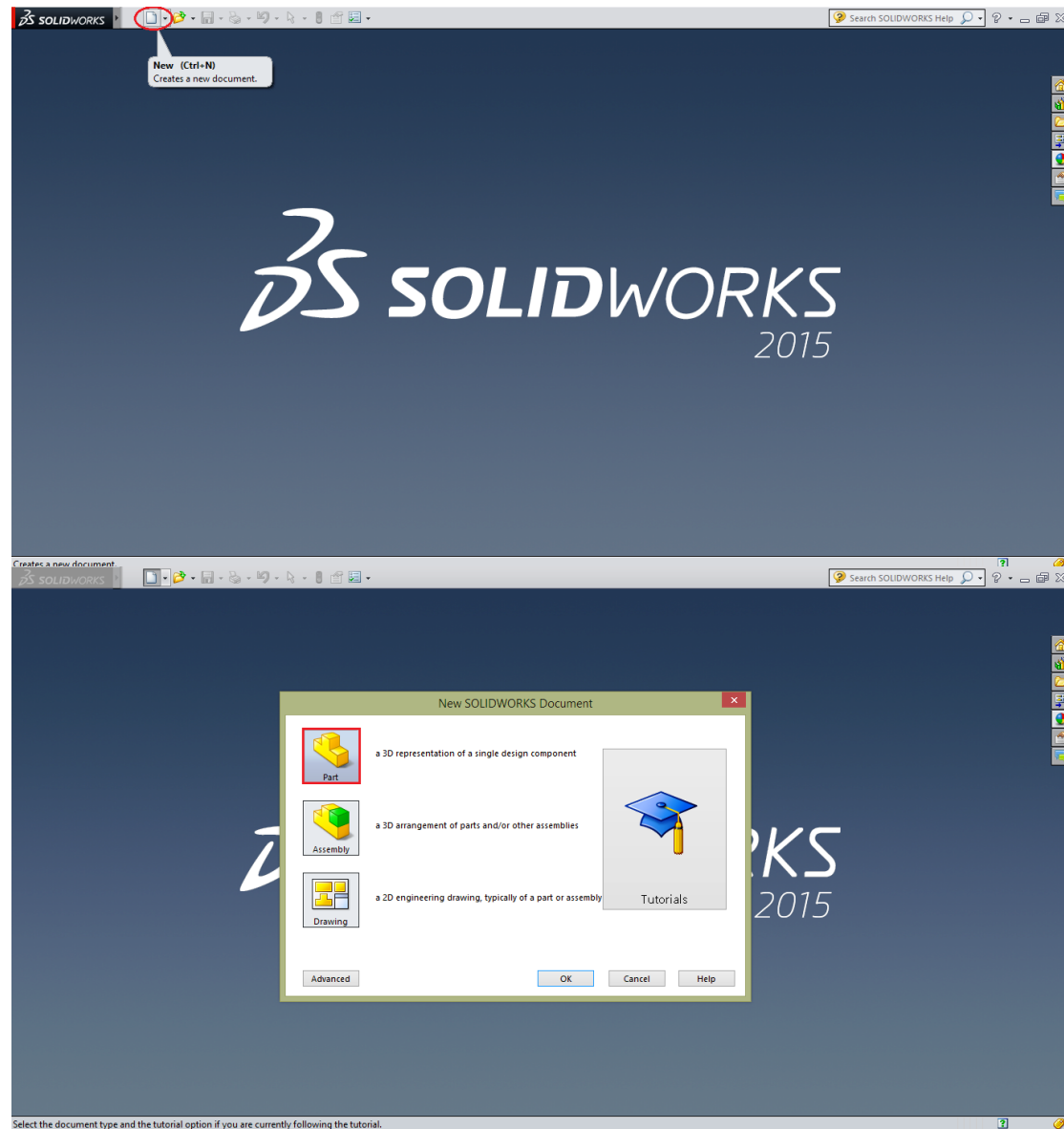
Το συνολικό βάρος του ηλιακού συλλέκτη είναι 121kg.

2.1 Μέρη του ηλιακού συλλέκτη

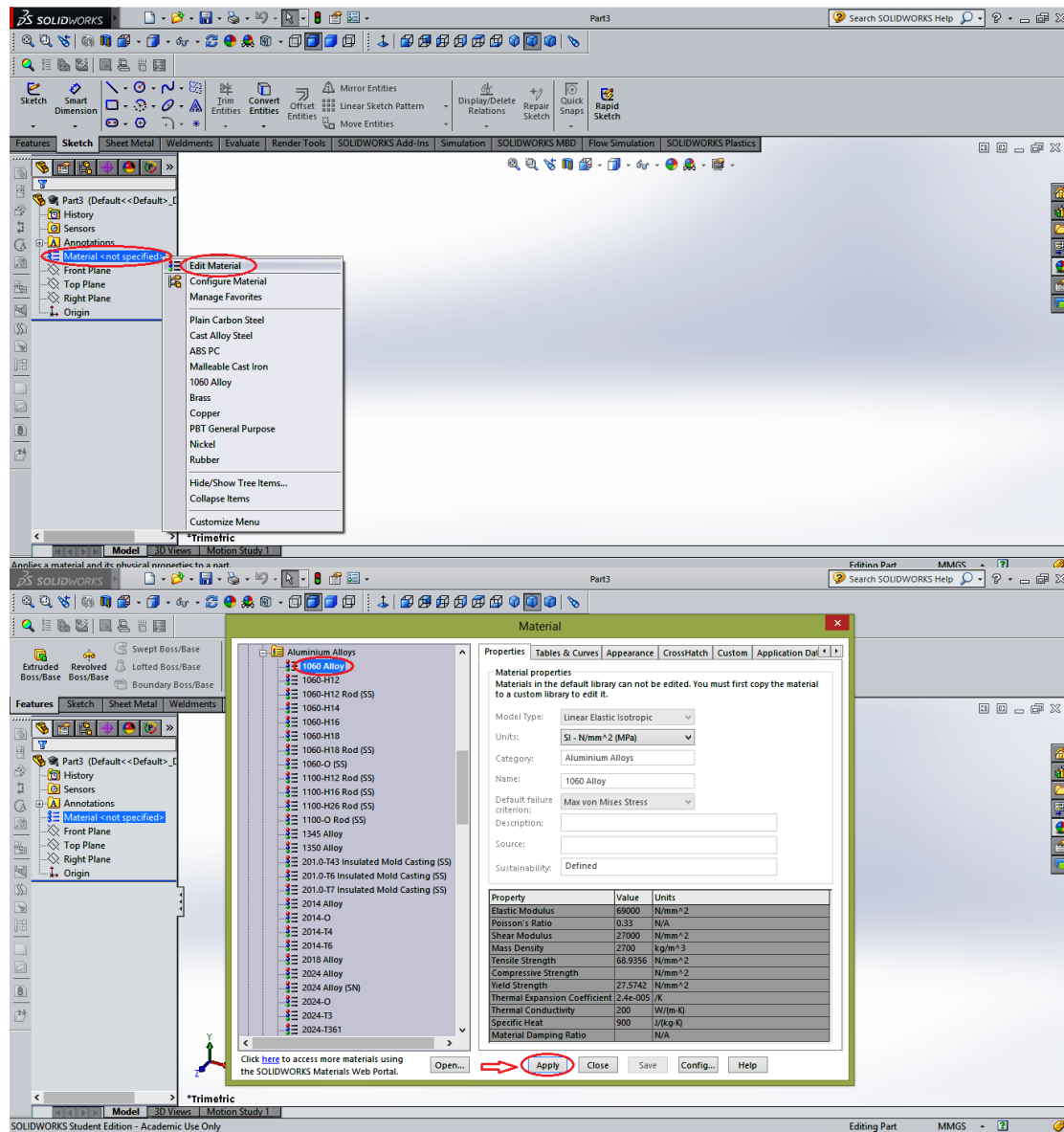
2.1.1 Εξωτερικό περίβλημα

- Υλικό: Ανοδιόμενο προφίλ αλουμινίου (1060 Alloy)
- Μήκος=2050mm
- Πλάτος=1010mm
- Ύψος=90mm
- Πάχος=40mm
- Διάμετρος οπών=22mm

Αρχικά, ανοίγεται νέο αρχείο και επιλέγεται το κομμάτι (**Part**). Ύστερα, προσδιορίζεται το υλικό του εξωτερικού περιβλήματος από τον πίνακα υλικών του Solidworks.

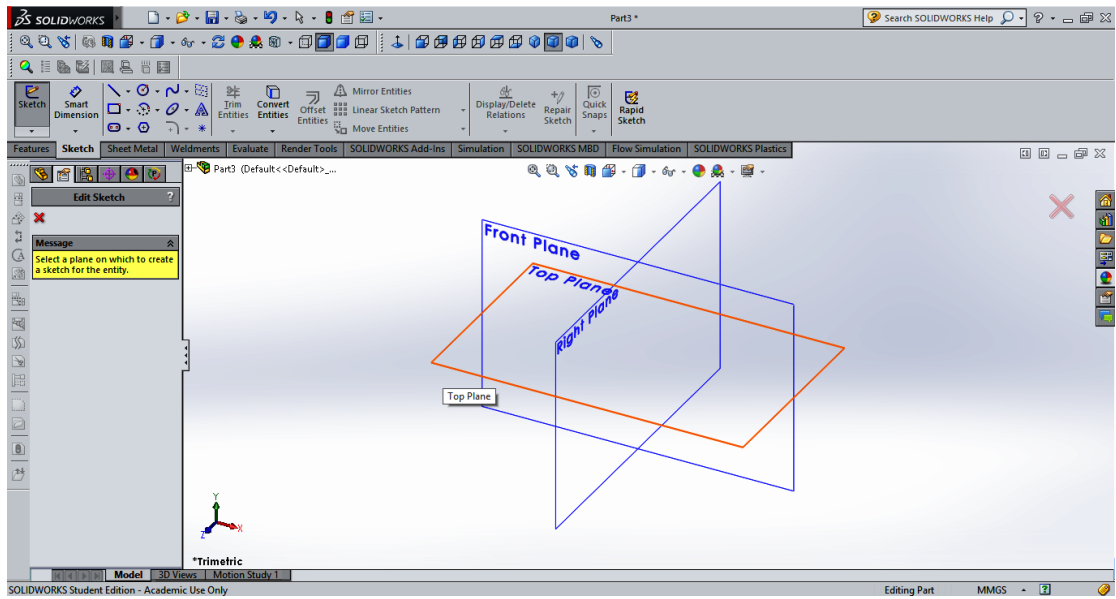


Εικόνα 2.1: Δημιουργία νέου κομματιού στο Solidworks

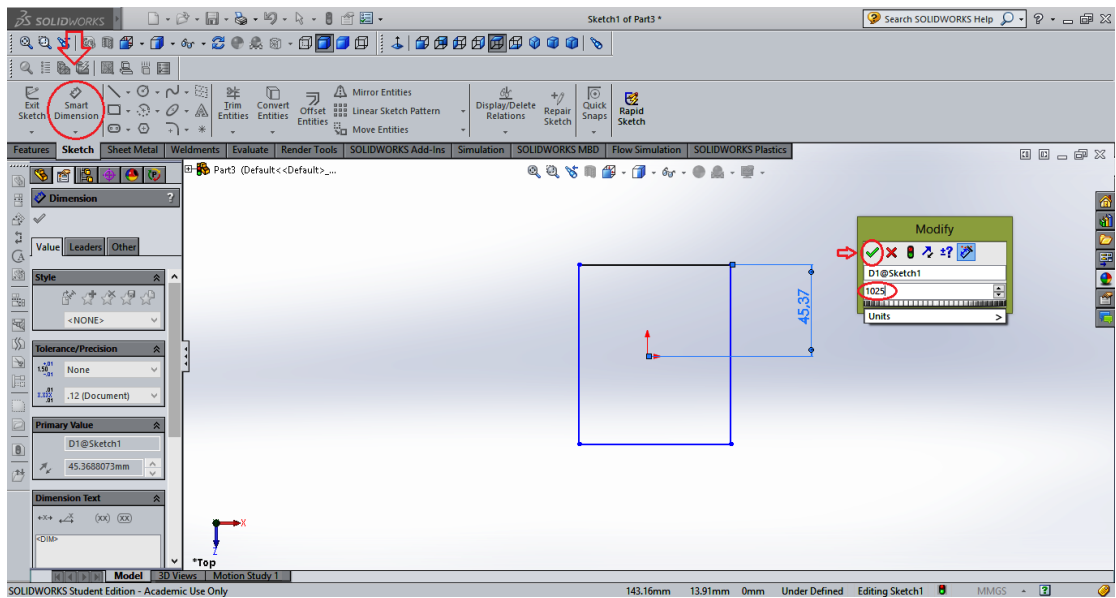


Εικόνα 2.2: Καθορισμός του υλικού του κομματιού

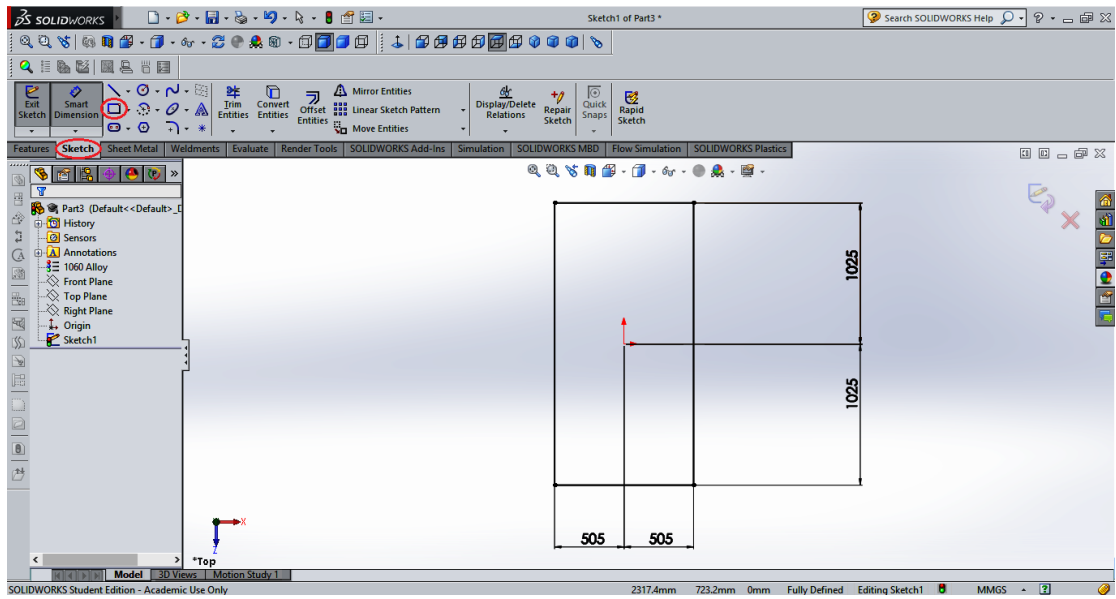
Με την εντολή **Sketch**, αφού πρώτα επιλεχτεί το επίπεδο **Top Plane**, σχεδιάζεται το εξωτερικό περίβλημα με τις αντίστοιχες διαστάσεις, οι οποίες ταυτίζονται με αυτές του ηλιακού συλλέκτη και με την εντολή **Extruded Boss** δίνεται ύψος στο σχέδιο. Για τον σχεδιασμό του εξωτερικού περιβλήματος, λόγω της γεωμετρίας του, χρησιμοποιείται στο Sketch το τετράγωνο (**Rectangle**). Για να ορίσουμε τις διαστάσεις του σχήματος χρησιμοποιούμε την επιλογή **Smart Dimension**.



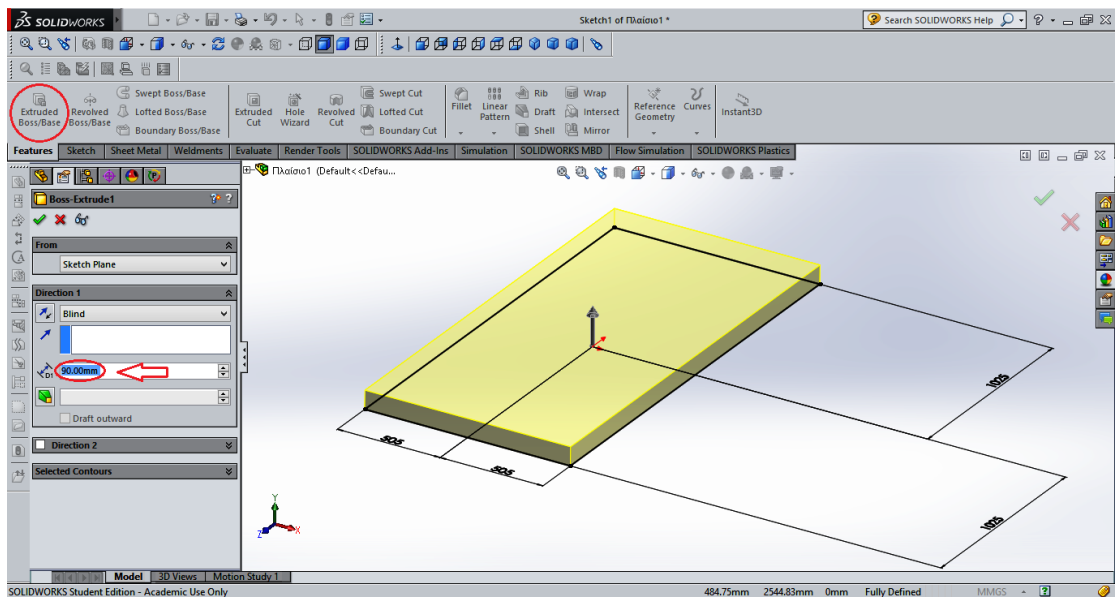
Εικόνα 2.3: Επιλογή επιφανείας αρχικού σχεδίου



Εικόνα 2.4: Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση του εξωτερικού περιβλήματος

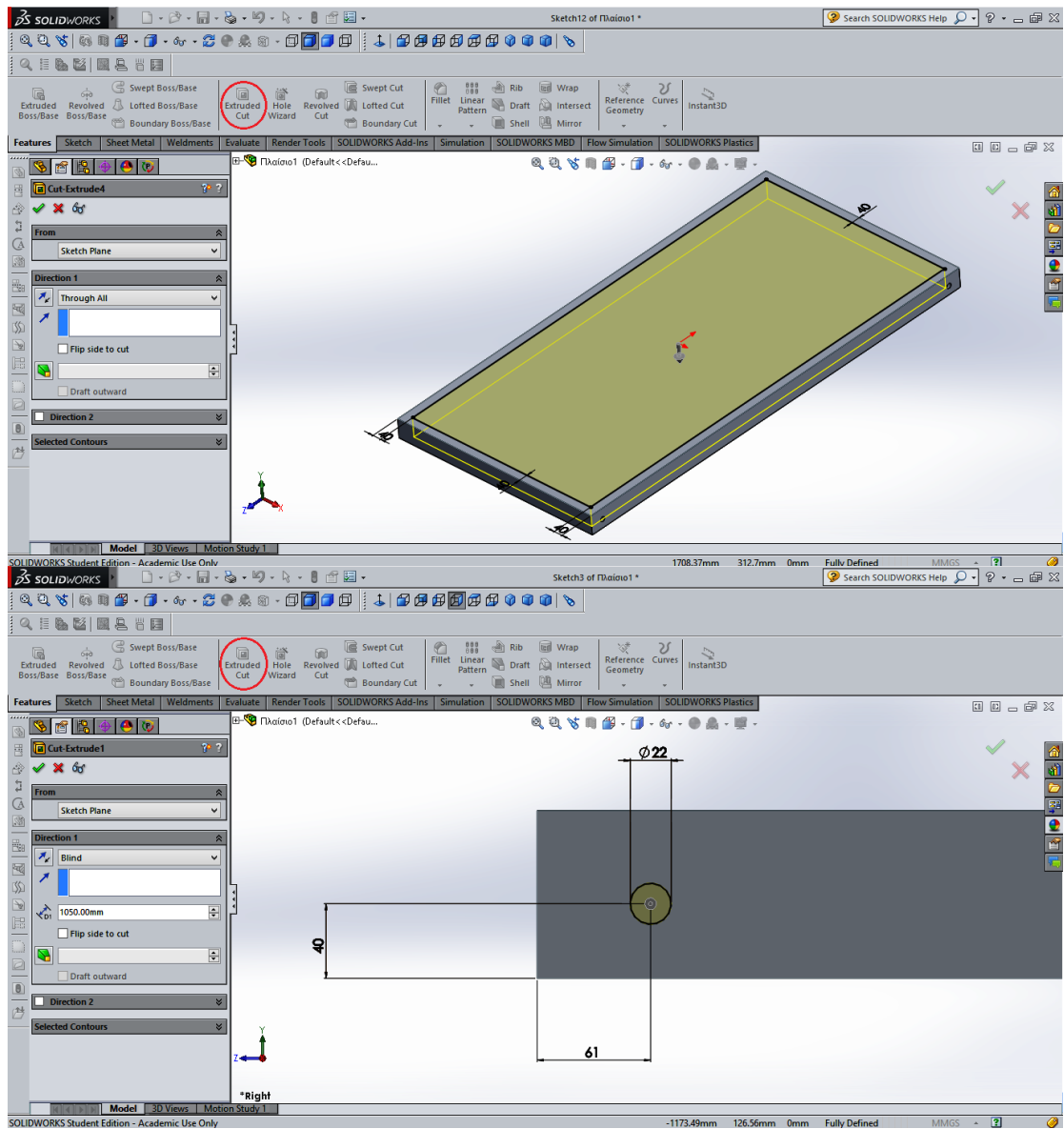


Εικόνα 2.5: Διαστασιολόγηση του εξωτερικού περιβλήματος



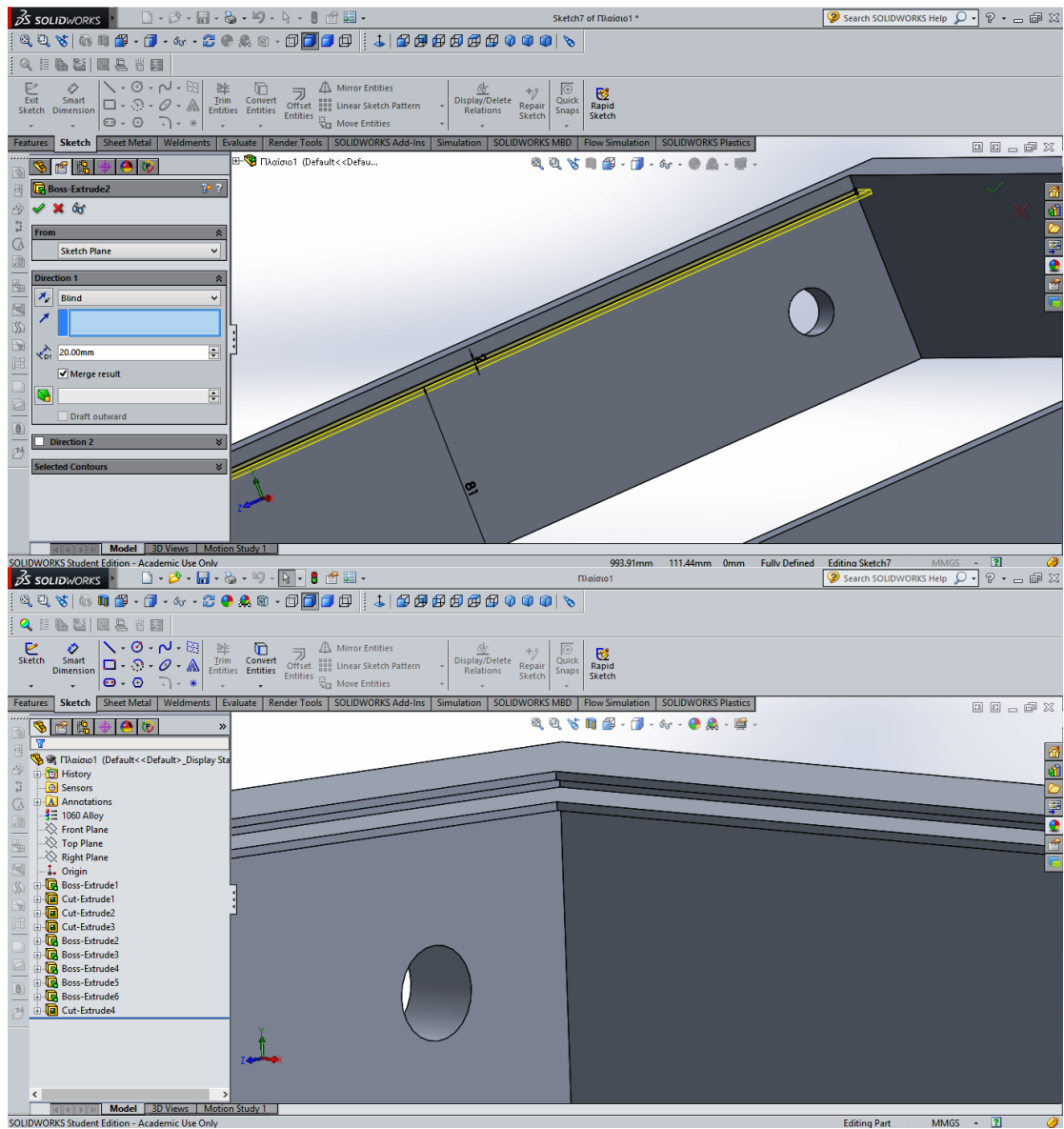
Εικόνα 2.6: Δημιουργία ύψους (εξώθηση) του εξωτερικού περιβλήματος

Στη συνέχεια κόβεται το κομμάτι σύμφωνα με τις απαραίτητες διαστάσεις με την εντολή **Extruded Cut**.



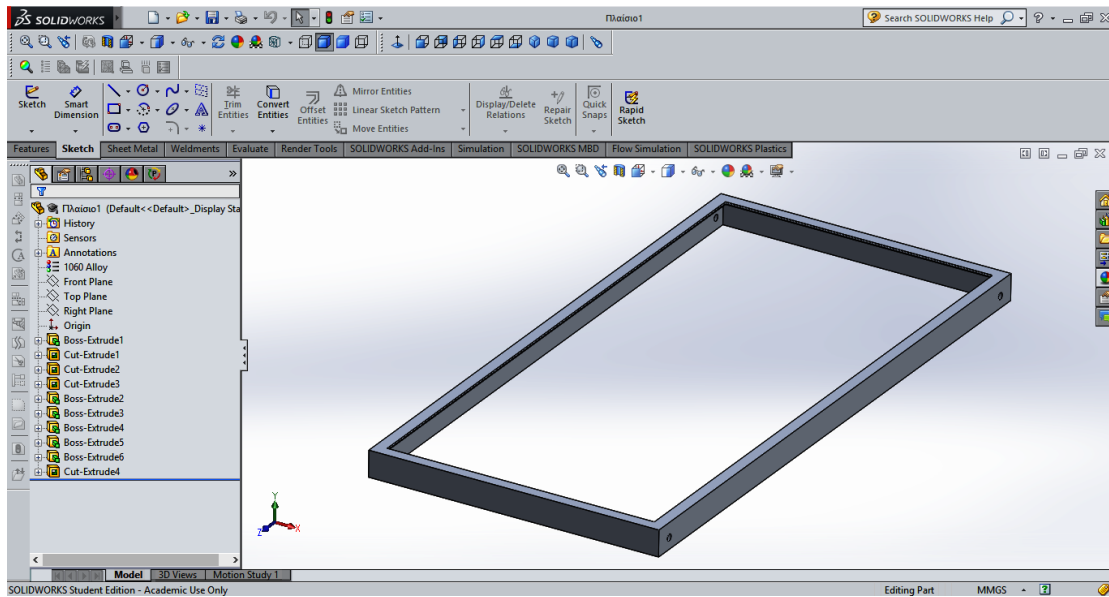
Εικόνα 2.7: Δημιουργία απαραίτητων τομών στο κομμάτι

Τέλος, προστίθενται στο εξωτερικό περίβλημα δύο εσοχές στις οποίες θα εφαρμόζει το κάλυμμα του συλλέκτη μέσω της εντολής Extruded Boss.



Εικόνα 2.8: Δημιουργία εσοχών για τη τοποθέτηση του καλύμματος

Παρακάτω φαίνεται ολοκληρωμένο το κομμάτι του εξωτερικού περιβλήματος (πλαισίου).



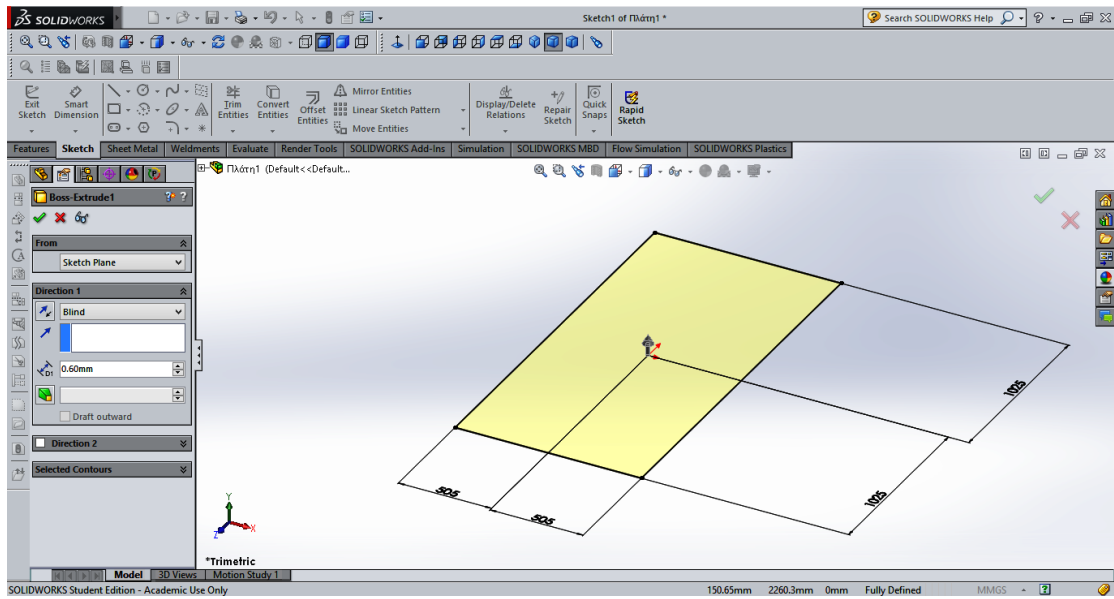
Εικόνα 2.9: Εικόνα του εξωτερικού περιβλήματος (πλαisiού)

Χάρη συντομίας, στα επόμενα μέρη του ηλιακού συλλέκτη θα παραλείπονται τα προκαταρκτικά βήματα.

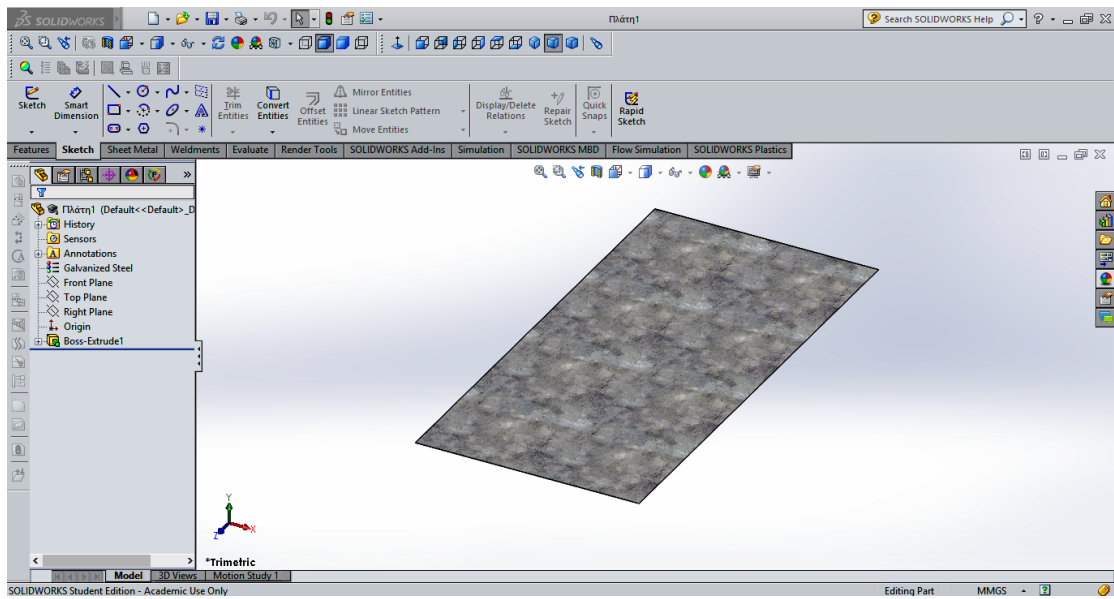
2.1.2 Πλάτη συλλέκτη

- Υλικό: Γαλβανισμένη λαμαρίνα (Galvanized Steel)
- Μήκος=2050mm
- Πλάτος=1010mm
- Ύψος=0,6mm

Παρόμοια, με τις εντολές Extruded Boss και Sketch φτιάχνεται η πλάτη του συλλέκτη.



Εικόνα 2.10: Σχεδιασμός της πλάτης του συλλέκτη και εξώθηση του σχεδίου κατά το απαραίτητο ύψος

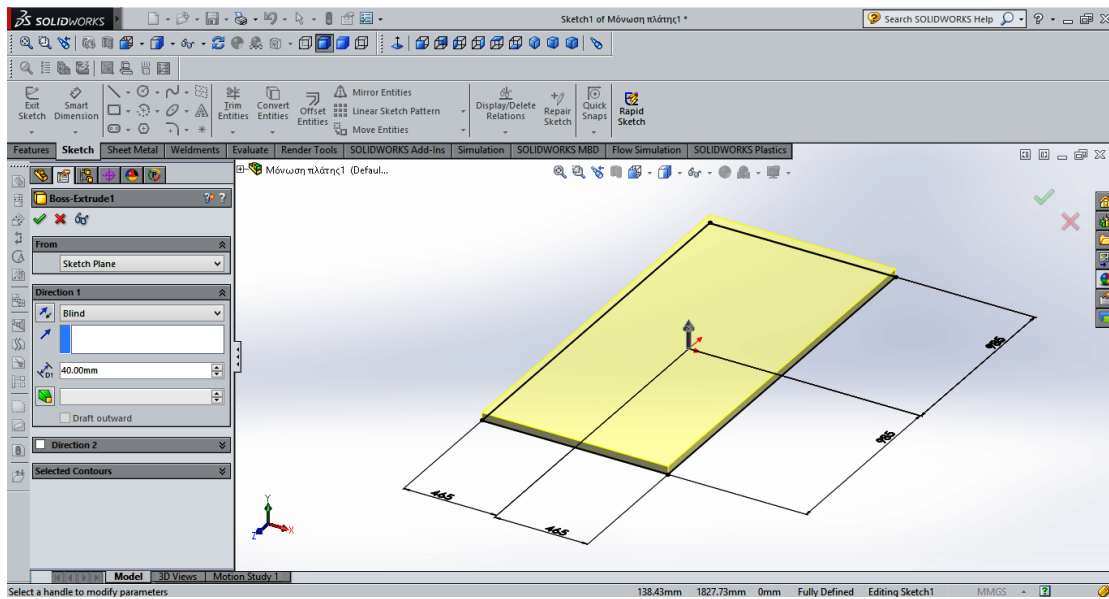


Εικόνα 2.11: Εικόνα της πλάτης του συλλέκτη

2.1.3 Μόνωση πλάτης

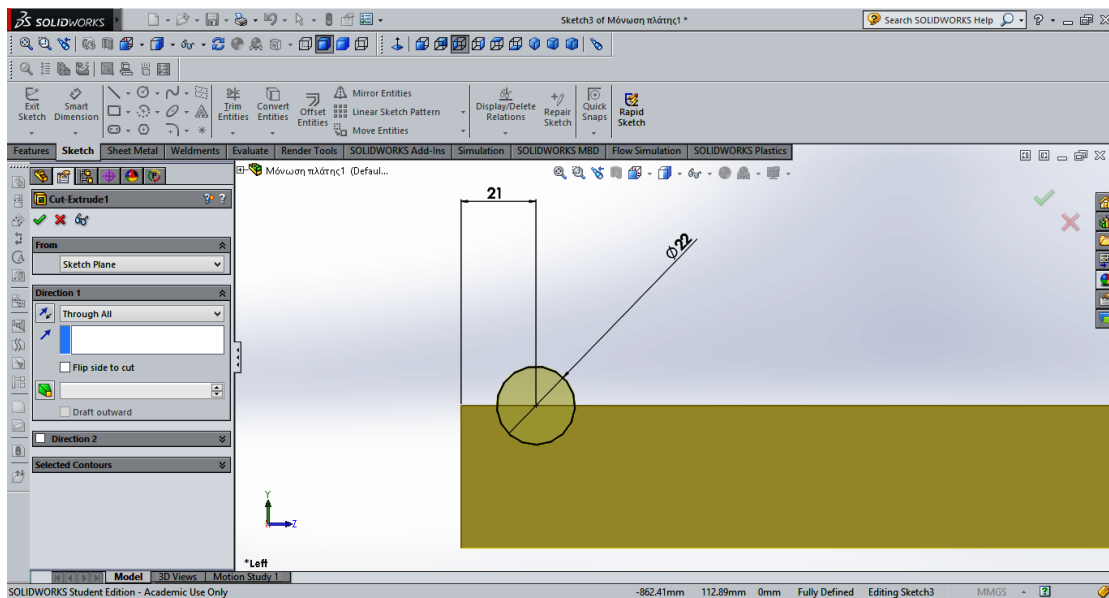
- Υλικό: Πετροβάμβακας (Polyurethane Foam Flexible)
- Μήκος=1970mm
- Πλάτος=930mm
- Ύψος=40mm

Αρχικά, με τις εντολές Extruded Boss και Sketch δίνεται το κατάλληλο σχήμα στην μόνωση πλάτης.



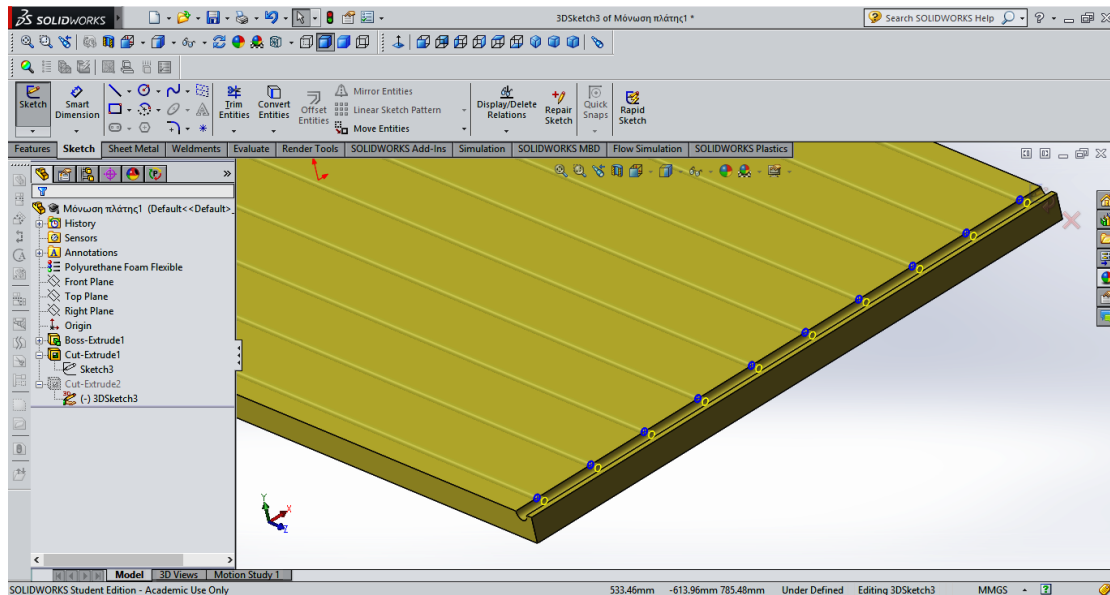
Εικόνα 2.12: Σχεδιασμός της μόνωσης πλάτης και εξώθηση του σχεδίου κατά το απαραίτητο ύψος

Ύστερα, θα δημιουργηθούν οι κατάλληλες αυλακώσεις στις οποίες θα εφαρμόζουν οι σωληνώσεις του απορροφητή και οι συλλέκτες μέσω της εντολής Extruded Cut.



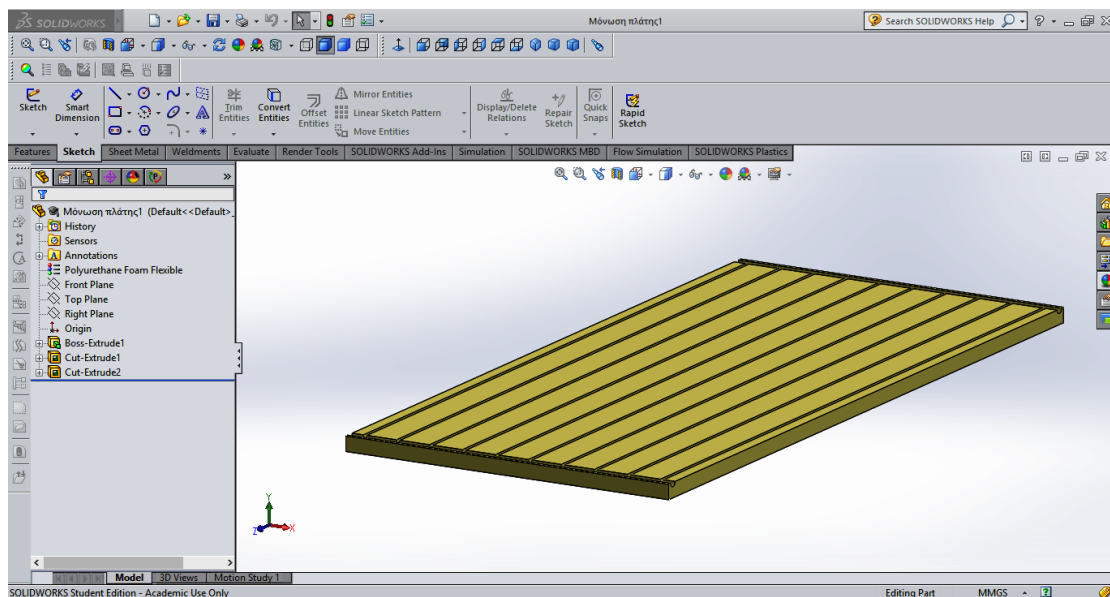
Εικόνα 2.13: Δημιουργία οπών (αυλακώσεων) στις οποίες θα εφαρμόζουν οι συλλέκτες

Αφού έχουν δημιουργηθεί οι σπές για τους δύο συλλέκτες, χρησιμοποιείται η εντολή 3D Sketch για τη δημιουργία των σπών των σωληνώσεων διότι η επιφάνεια που θα κοπεί δεν είναι επίπεδη.

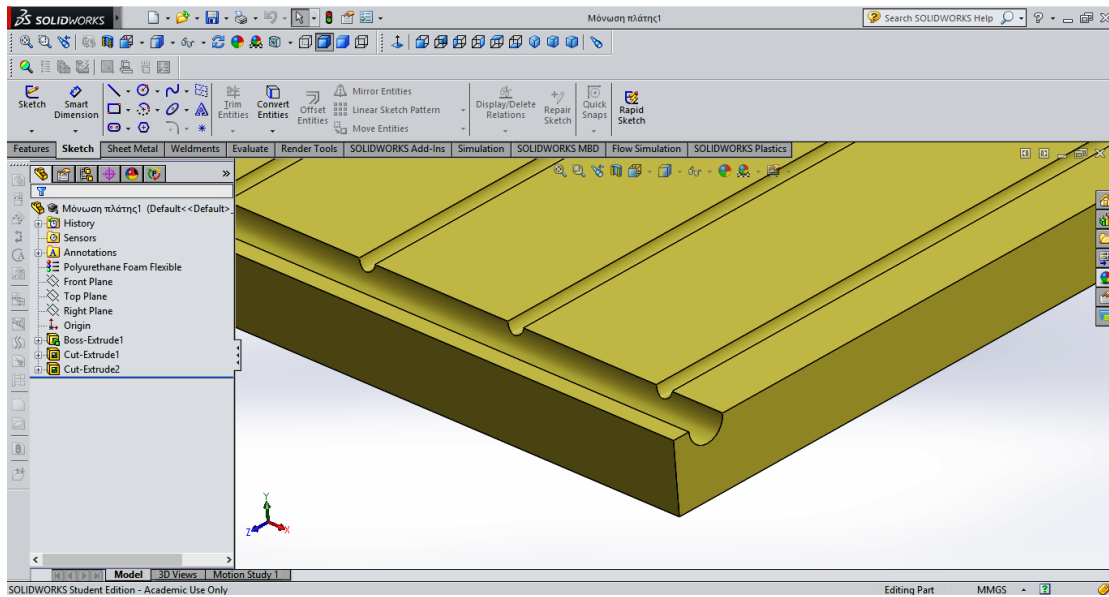


Εικόνα 2.14: Δημιουργία σπών (αυλακώσεων) για την τοποθέτηση των σωληνώσεων του απορροφητή

Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2.15: Εικόνα της μόνωσης πλάτης του ηλιακού συλλέκτη

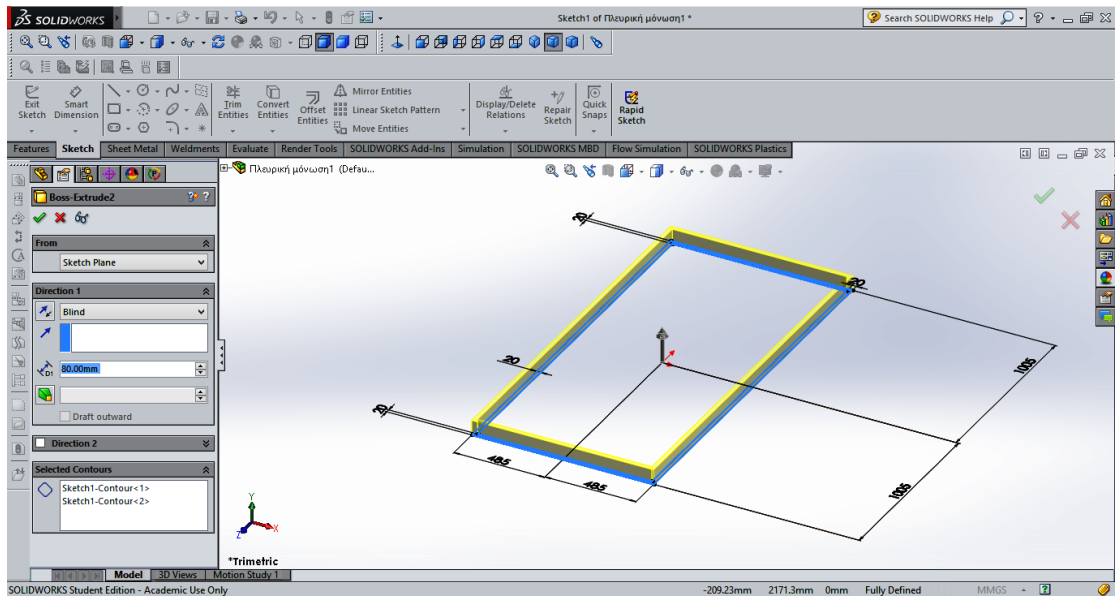


Εικόνα 2.16: Εικόνα της μόνωσης πλάτης του συλλέκτη

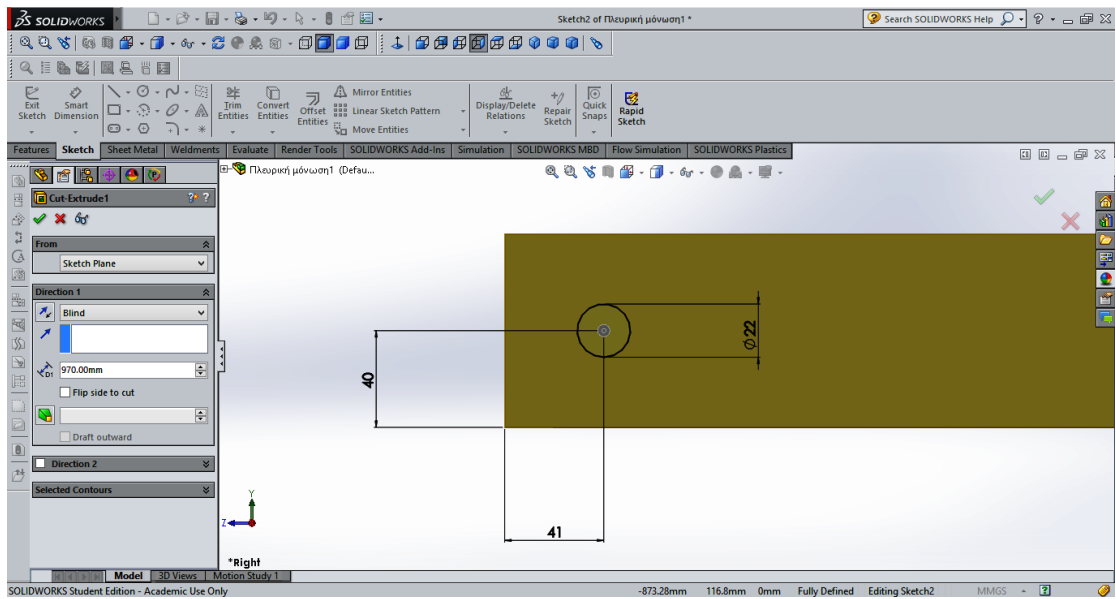
2.1.4 Πλευρική μόνωση

- Υλικό: Υαλοβάμβακας (Polyurethane Foam Flexible)
- Μήκος=2010mm
- Πλάτος=970mm
- Ύψος=80mm
- Πάχος=20mm
- Διάμετρος οπών=22mm

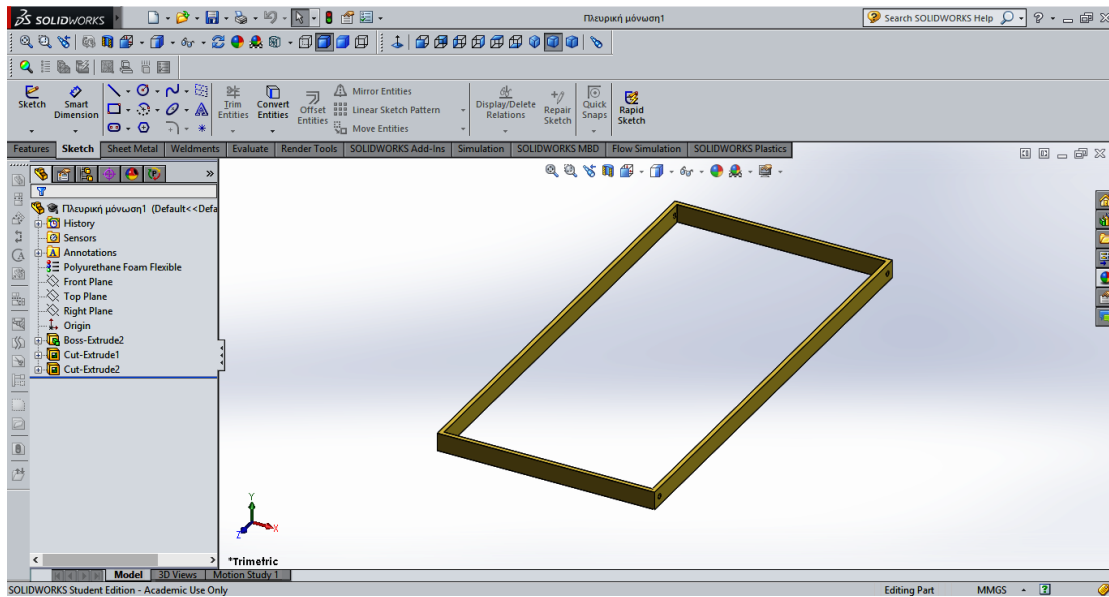
Παρόμοια με το εξωτερικό περίβλημα κατασκευάζεται και η πλευρική μόνωση του ηλιακού συλλέκτη με τις εντολές Sketch, Extruded Boss και Extruded Cut. Τα επιμέρους βήματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.17: Σχεδιασμός πλευρικής μόνωσης του ηλιακού συλλέκτη και εξώθηση του σχεδίου κατά το απαραίτητο ύψος



Εικόνα 2.18: Δημιουργία των απαραίτητων τομών από τις οποίες θα περνάνε οι συλλέκτες

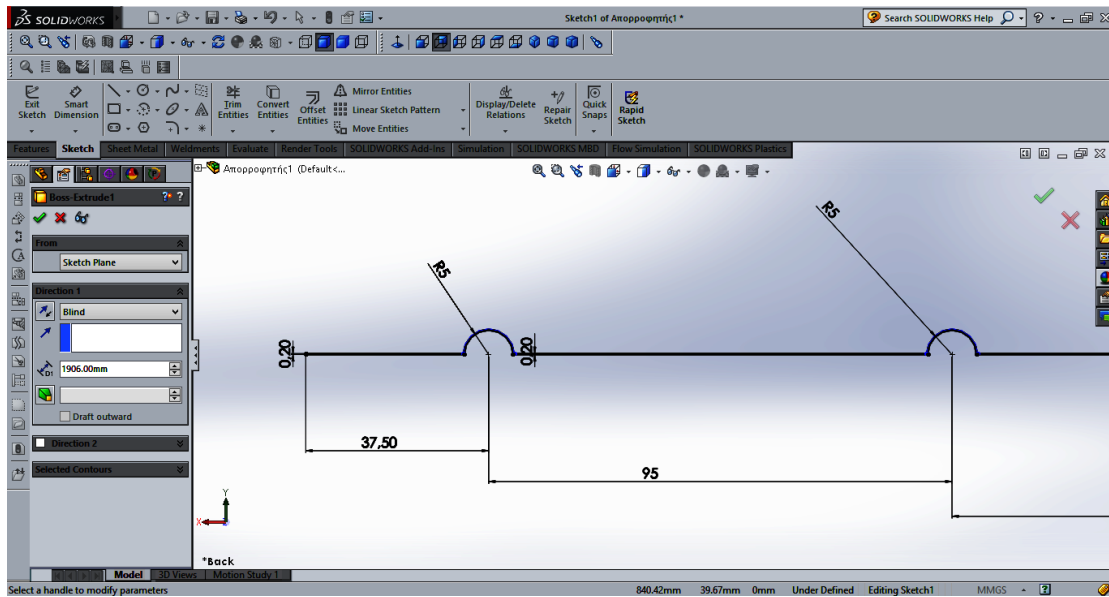


Εικόνα 2.19: Εικόνα της πλευρικής μόνωσης του ηλιακού συλλέκτη

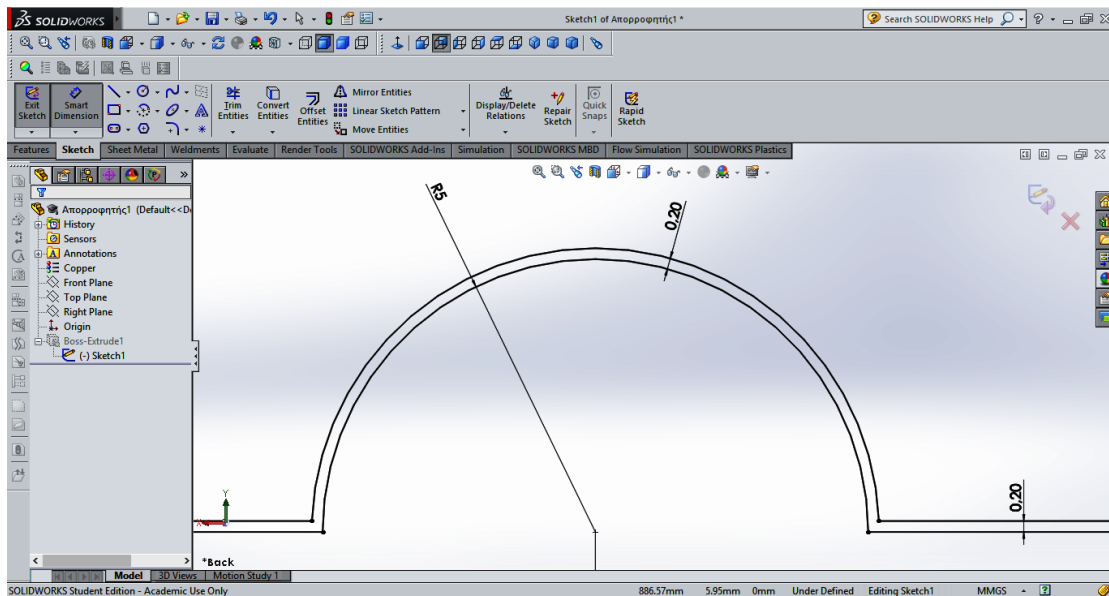
2.1.5 Απορροφητής

- Υλικό: Χαλκός (Copper)
- Μήκος=1906mm
- Πλάτος=930mm
- Ύψος=0,2mm
- Επιλεκτική επίστρωση τιτανίου (μπλε) (Titanium)

Με την εντολή Sketch σχεδιάζεται η πλάκα απορρόφησης, η οποία θα έχει τις κατάλληλες αυλακώσεις για την υποδοχή των σωληνώσεων. Παρακάτω, φαίνεται αναλυτικά το σχέδιο του απορροφητή.

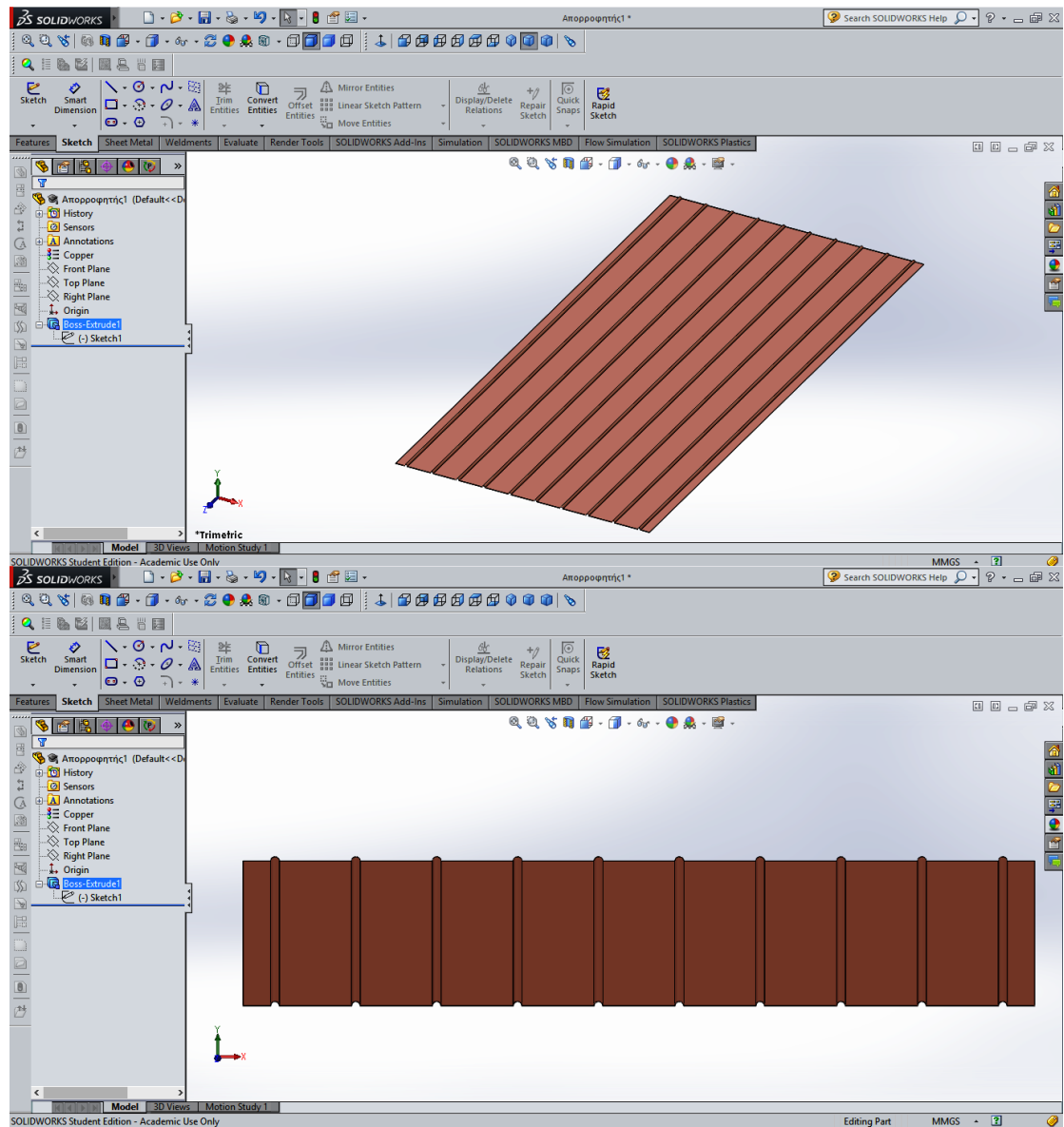


Εικόνα 2.20: Σχεδιασμός της πλάκας απορρόφησης και εξώθηση του σχεδίου κατά το απαραίτητο μήκος του απορροφητή



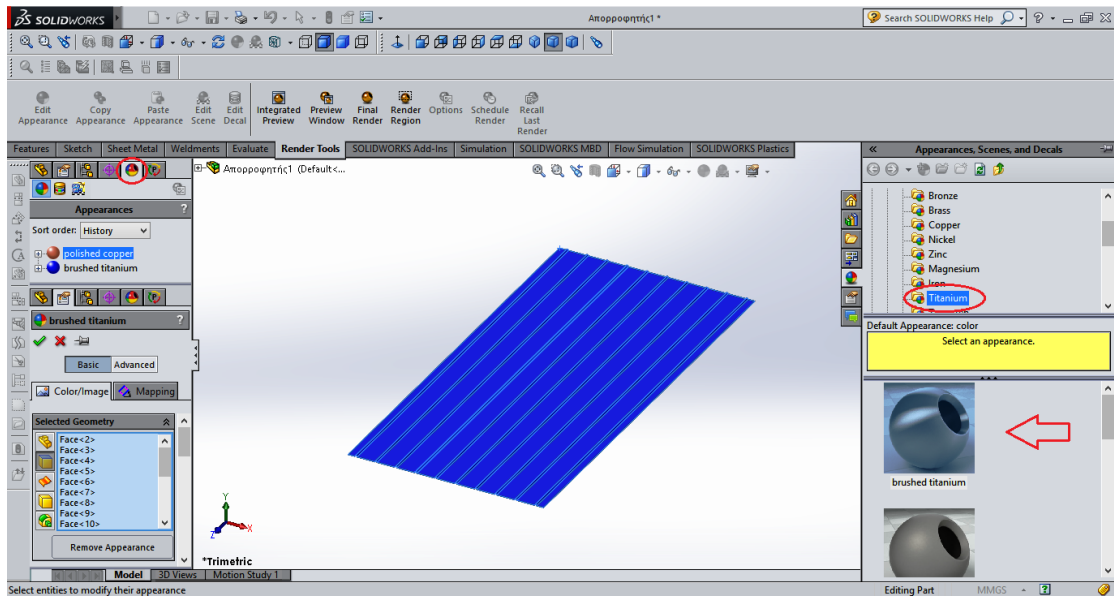
Εικόνα 2.21: Προβολή του σχεδιασμού της ημικυκλικής επιφάνειας του απορροφητή στην οποία θα εφαρμόζει ο κάθε σωλήνας

Οι συγκεκριμένες διαστάσεις εφαρμόζονται και στον υπόλοιπο απορροφητή, αλλά παρουσιάζεται ένα μόνο κομμάτι του γιατί φαίνεται πιο ξεκάθαρα. Στη συνέχεια, δίνεται όγκος στο σχέδιο με την εντολή Extruded Boss.

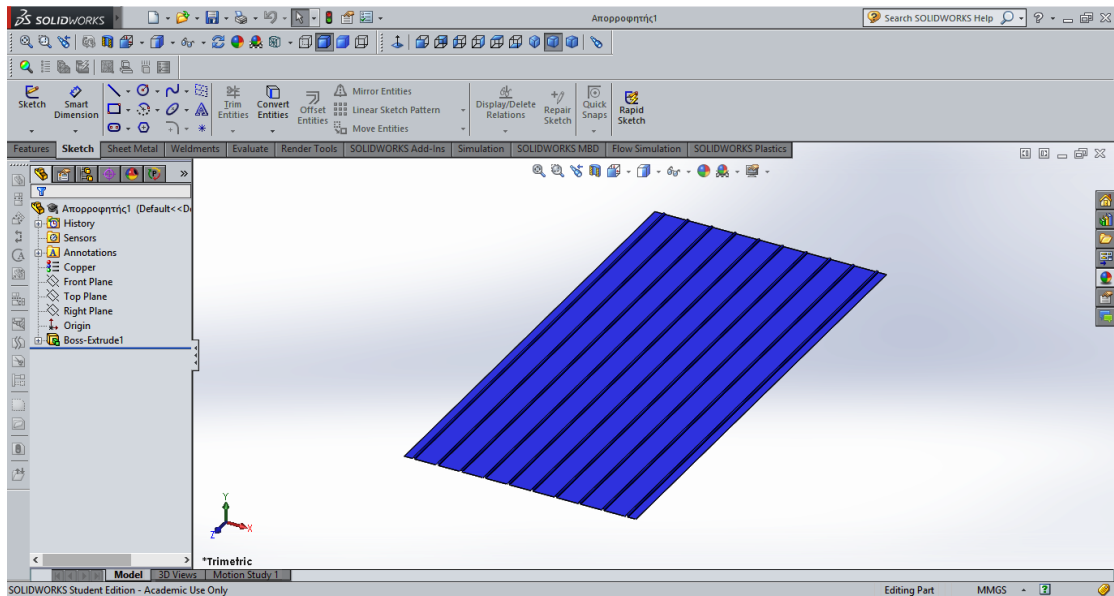


Εικόνα 2.22: Εικόνες του απορροφητή του ηλιακού συλλέκτη

Τέλος, βάφεται το πάνω μέρος της πλάκας απορρόφησης με επιλεκτική επιστρωση τιτανίου χρώματος μπλε.



Εικόνα 2.23: Βαφή της πλάκας απορρόφησης με επιλεκτική επιστρωση τιτανίου

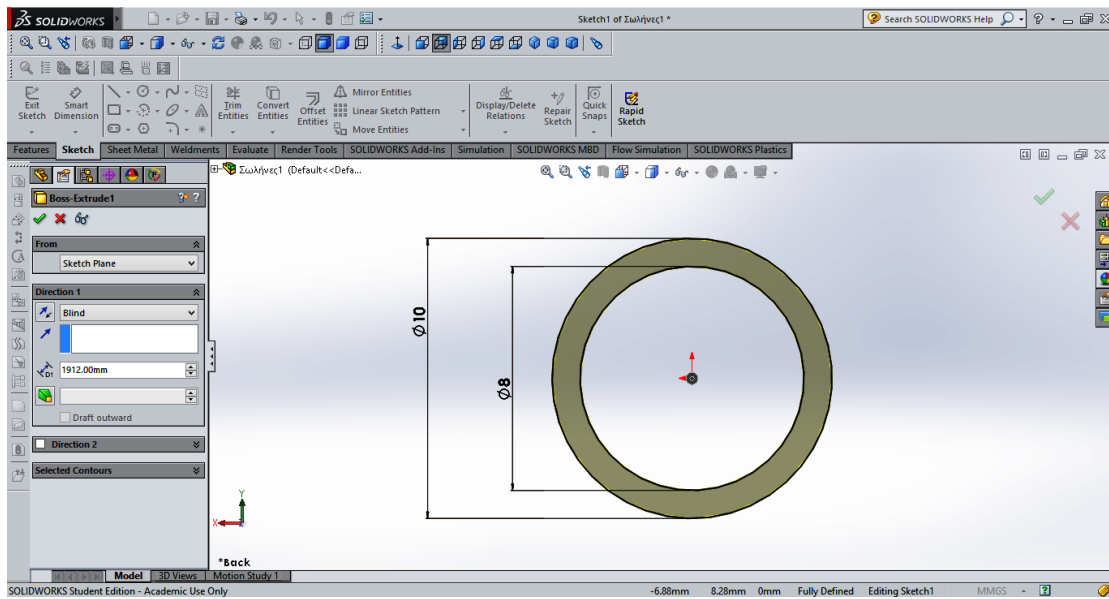


Εικόνα 2.24: Τελική εικόνα της πλάκας απορρόφησης του ηλιακού συλλέκτη

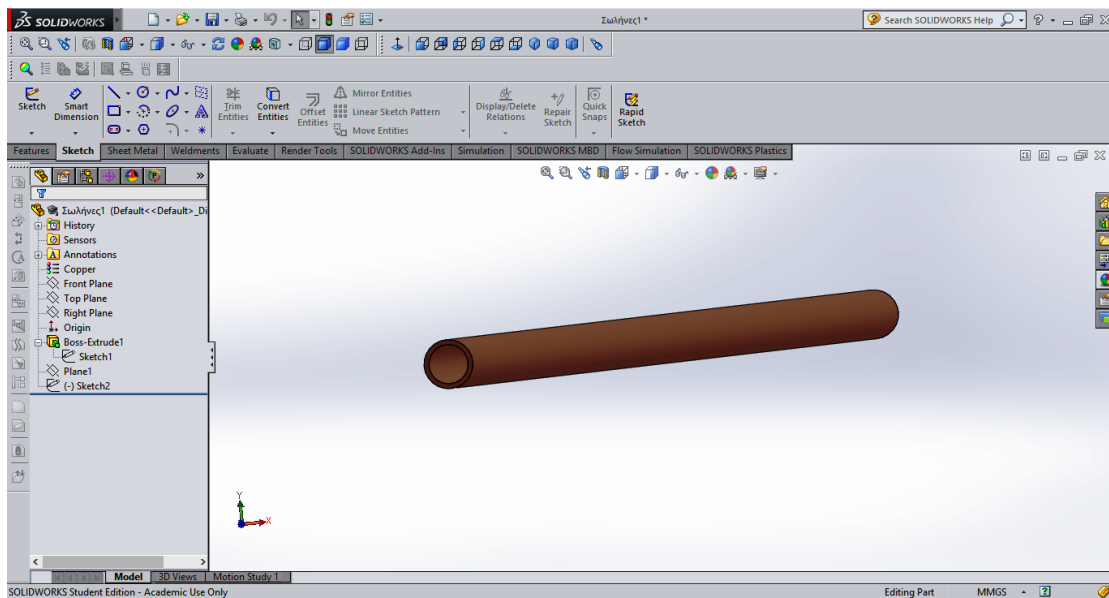
2.1.6 Σωληνώσεις απορροφητή (risers)

- Υλικό: Χαλκός (Copper)
- Μήκος=1912mm
- Εξωτερική διάμετρος=10mm
- Εσωτερική διάμετρος=8mm

Με τις εντολές Sketch και Extruded Boss σχεδιάζονται και δίνεται όγκος στους σωλήνες αντίστοιχα.



Εικόνα 2.25: Σχεδιασμός σωληνώσεων του απορροφητή και εξώθησή τους κατά το απαραίτητο μήκος τους

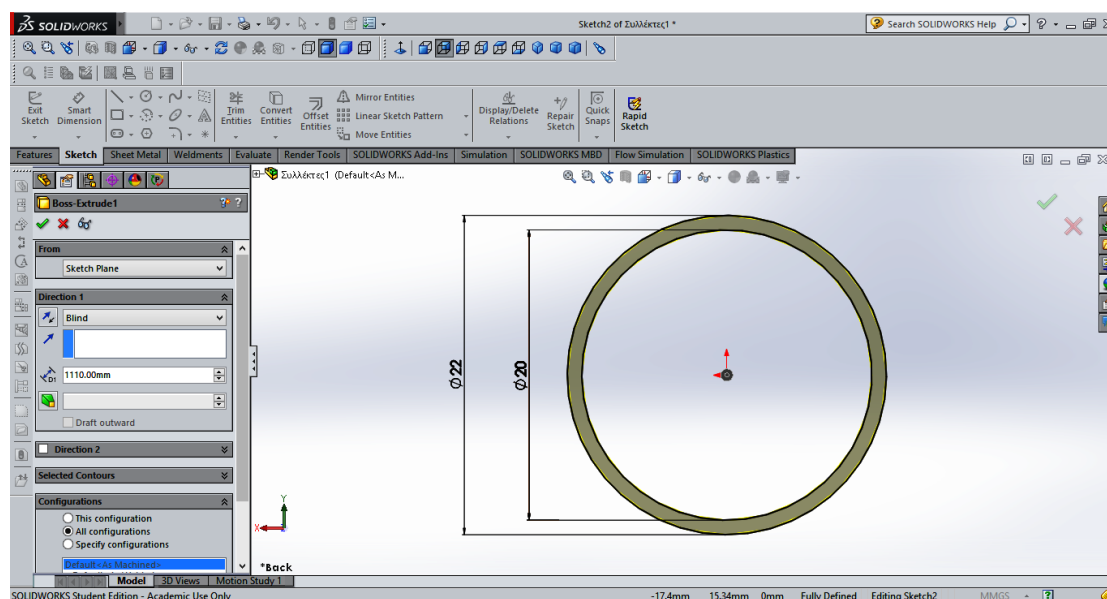


Εικόνα 2.26: Εικόνα των σωληνώσεων του απορροφητή

2.1.7 Συλλέκτες (headers)

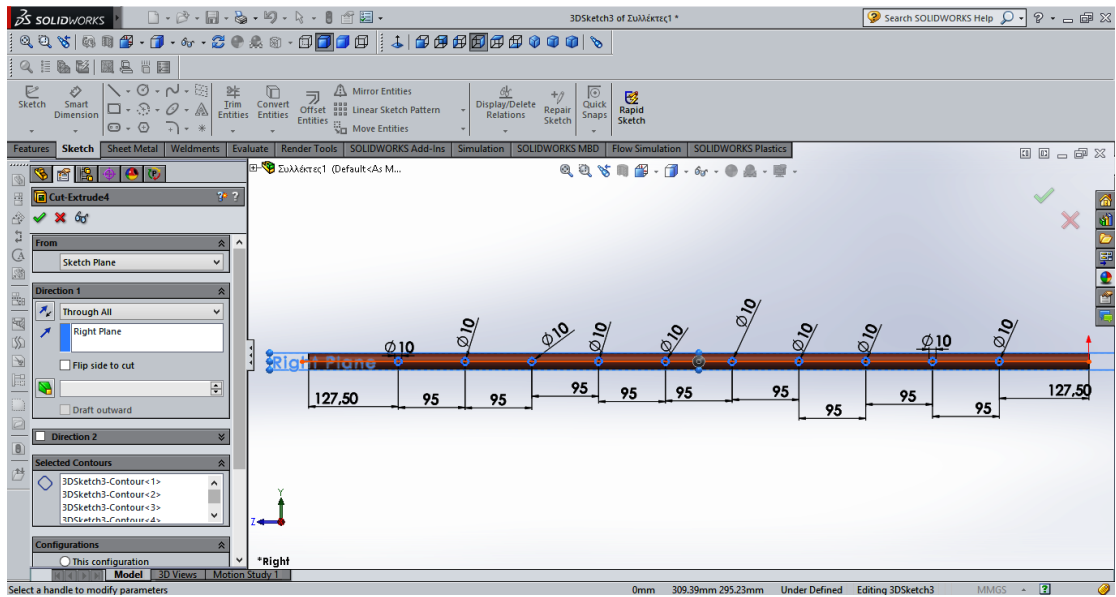
- Υλικό: Χαλκός (Copper)
- Μήκος=1110mm
- Εξωτερική διάμετρος=22mm
- Εσωτερική διάμετρος=20mm
- Διάμετρος οπών=10mm
- Επιλεκτική επίστρωση τιτανίου (μπλε)

Με τις εντολές Sketch και Extruded Boss σχεδιάζονται και δίνεται όγκος στους συλλέκτες αντίστοιχα.



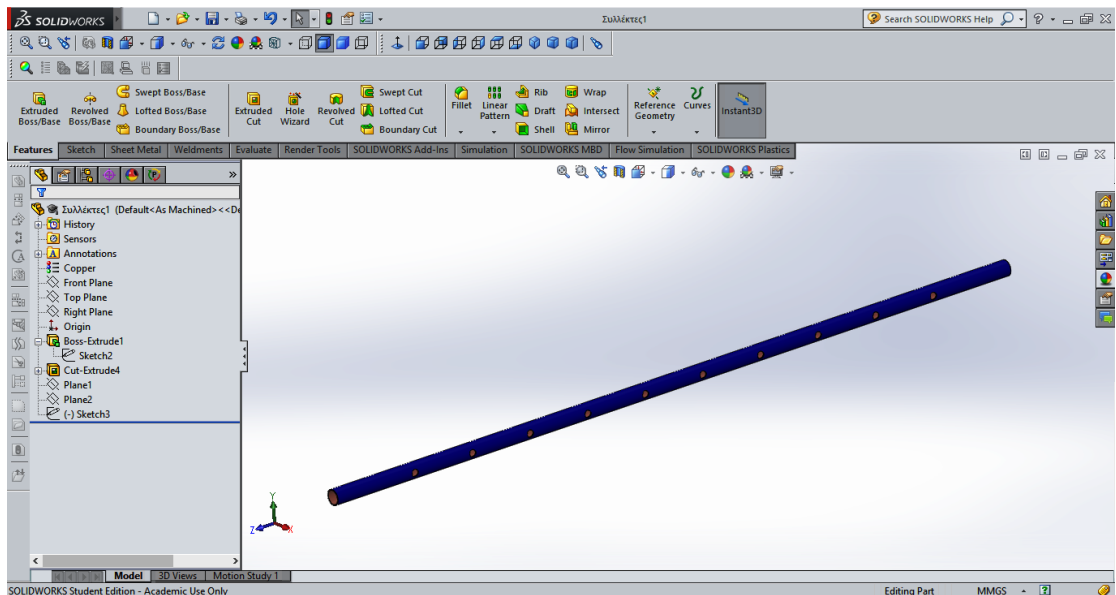
Εικόνα 2.27: Σχεδιασμός συλλεκτών και εξώθηση του σχεδίου κατά το μήκος τους

Στη συνέχεια, με την εντολή 3D Sketch σχεδιάζονται οι 10 οπές στις οποίες θα εφαρμόσουν οι σωλήνες (risers) κατά μήκος των συλλεκτών και με την εντολή Extruded Cut πραγματοποιούνται οι προαναφερθείσες οπές. Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι διαστάσεις στους συλλέκτες.



Εικόνα 2.28: Σχεδιασμός των κυκλικών οπών στις οποίες θα εφαρμόσουν οι σωληνώσεις του απορροφητή

Τέλος, βάφεται η εξωτερική επιφάνεια των συλλεκτών με επιλεκτική επιστρώση τιτανίου χρώματος μπλε.

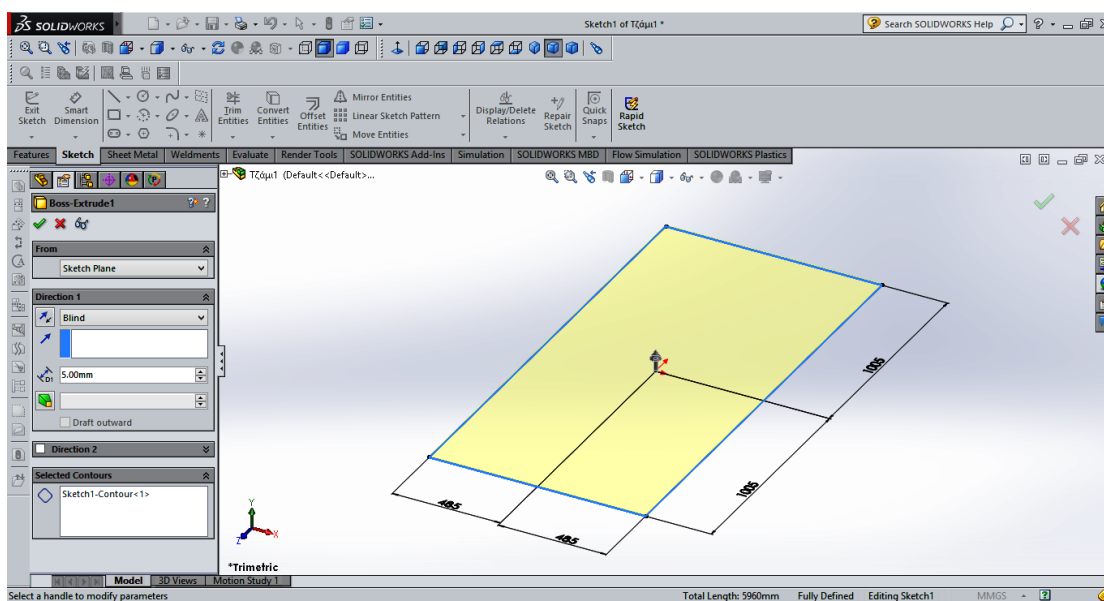


Εικόνα 2.29: Εικόνα των συλλεκτών του ηλιακού συλλέκτη

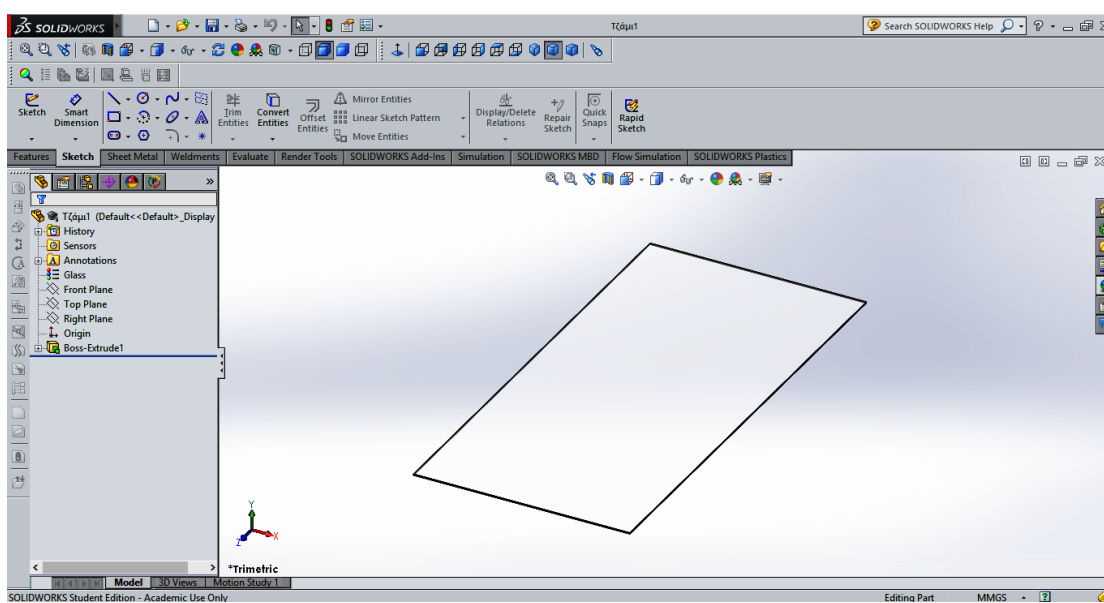
2.1.8 Κάλυμμα

- Υλικό: Γυαλί (Glass)
- Μήκος=2010mm
- Πλάτος=970mm
- Ύψος=5mm

Με τις εντολές Sketch και Extruded Boss σχεδιάζεται και δίνεται όγκος στο κάλυμμα του ηλιακού συλλέκτη αντίστοιχα.



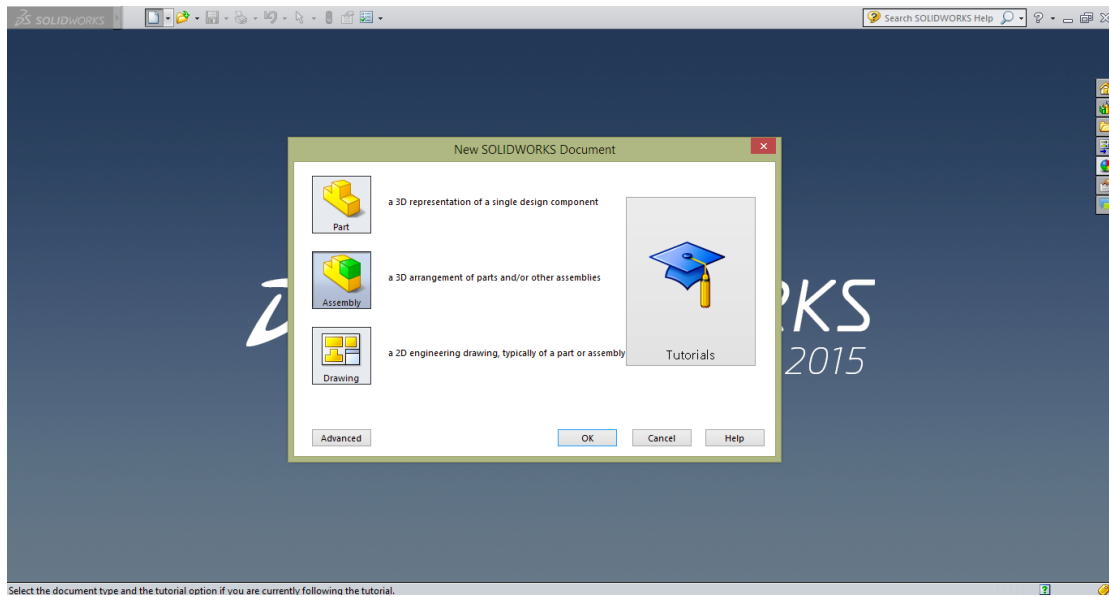
Εικόνα 2.30: Σχεδιασμός του καλύμματος και εξώθηση του σχεδίου κατά το απαραίτητο ύψος



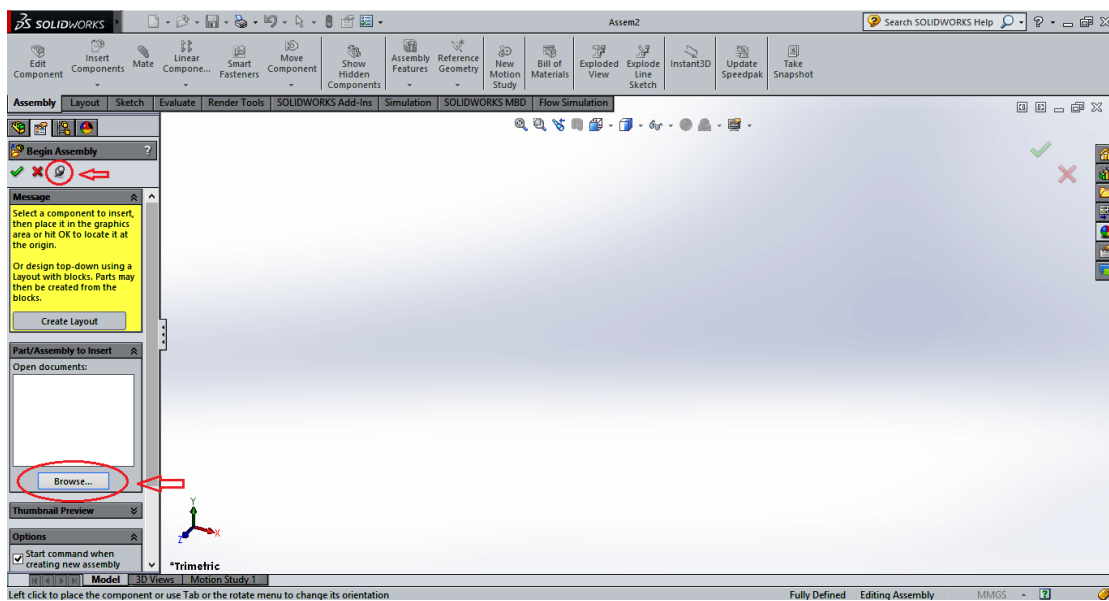
Εικόνα 2.31: Εικόνα του καλύμματος (τζαμιού) του ηλιακού συλλέκτη

Κεφάλαιο 3: Συναρμολόγηση του ηλιακού συλλέκτη

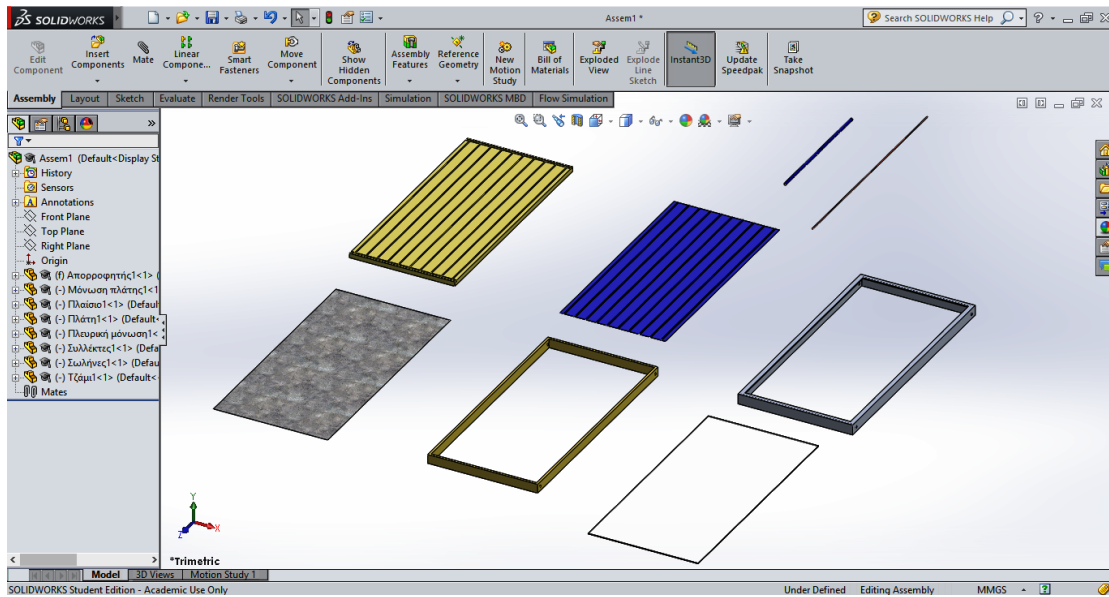
Πλέον, αφού έχουν κατασκευαστεί όλα τα επιμέρους κομμάτια, θα συναρμολογηθεί ολόκληρος ο ηλιακός συλλέκτης. Ανοίγεται νέο αρχείο, επιλέγεται το συναρμολογημένο κομμάτι (**Assembly**) και φορτώνονται ένα-ένα τα κομμάτια.



Εικόνα 3.1: Άνοιγμα νέου συναρμολογημένου κομματιού (**Assembly**)



Εικόνα 3.2: Ανέβασμα των επιμέρους κομματιών του ηλιακού συλλέκτη

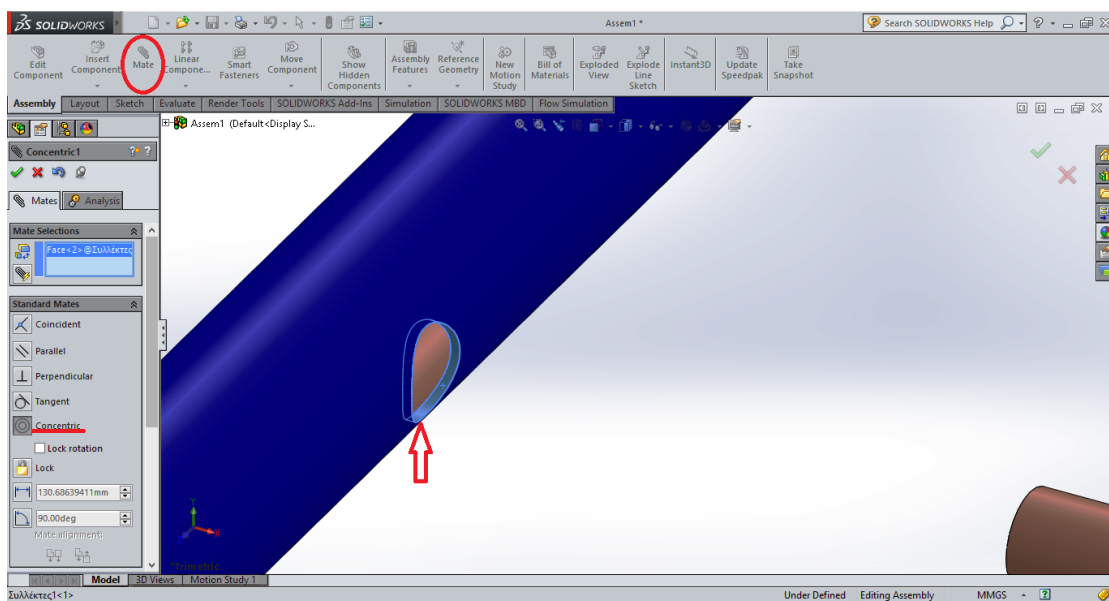


Εικόνα 3.3: Όλα τα επιμέρους κομμάτια του ηλιακού συλλέκτη έτοιμα για συναρμολόγηση

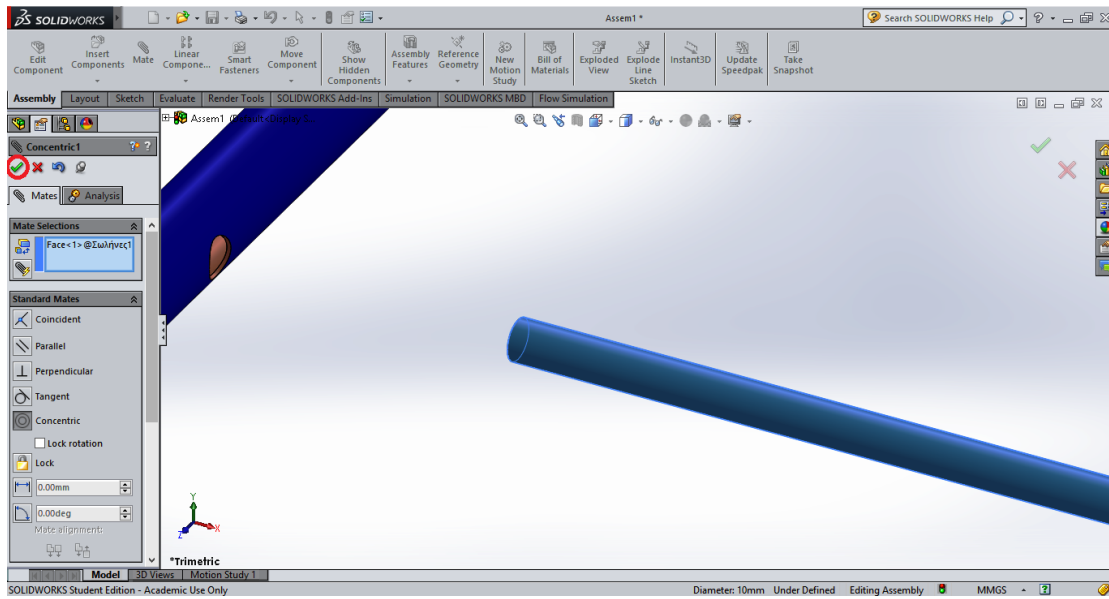
Στη συνέχεια θα πρέπει να συναρμολογηθούν ένα-ένα τα επιμέρους κομμάτια, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ο ηλιακός συλλέκτης.

3.1 Δημιουργία υδροσκελετού

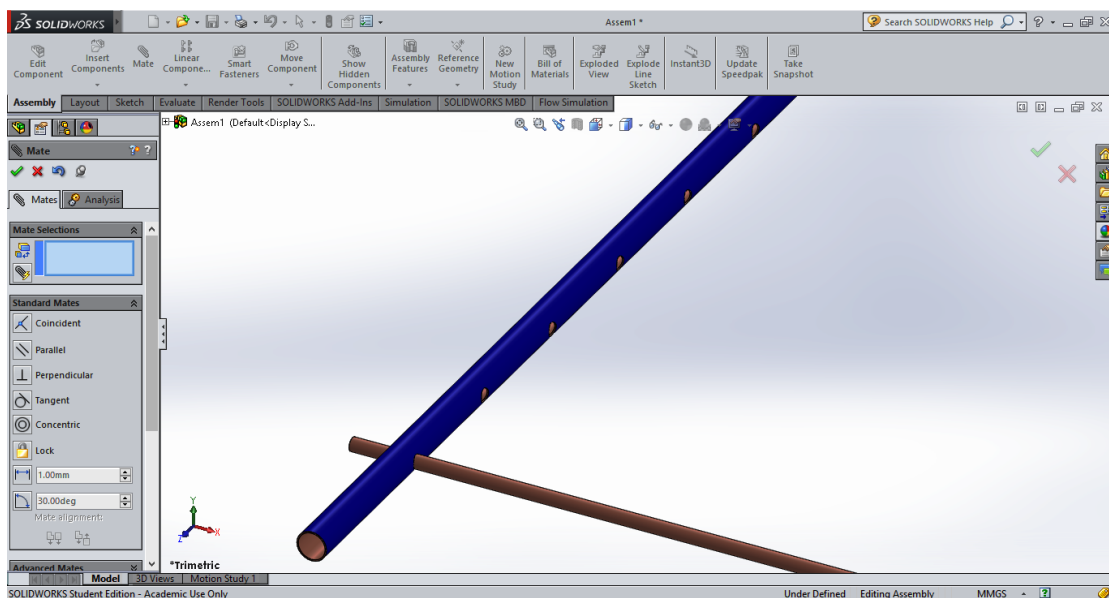
Αρχικά, επιλέγεται η εντολή **Mate** για το ταίριασμα των επιφανειών ή των ακμών που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση των επιθυμητών κομματιών. Έτσι, επιλέγεται η εσωτερική επιφάνεια της οπής του συλλέκτη και η εξωτερική επιφάνεια της μιας σωλήνωσης και θέτονται ομοαξονικές (**Concentric**), όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.4: Επιλογή της εσωτερικής επιφάνειας της οπής του συλλέκτη

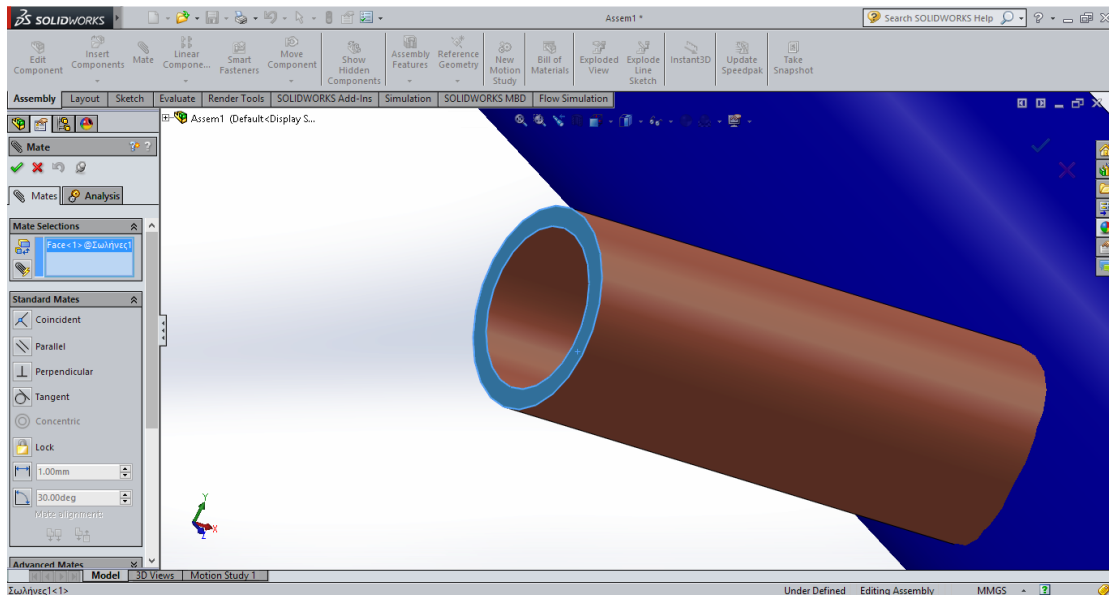


Εικόνα 3.5: Επιλογή της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

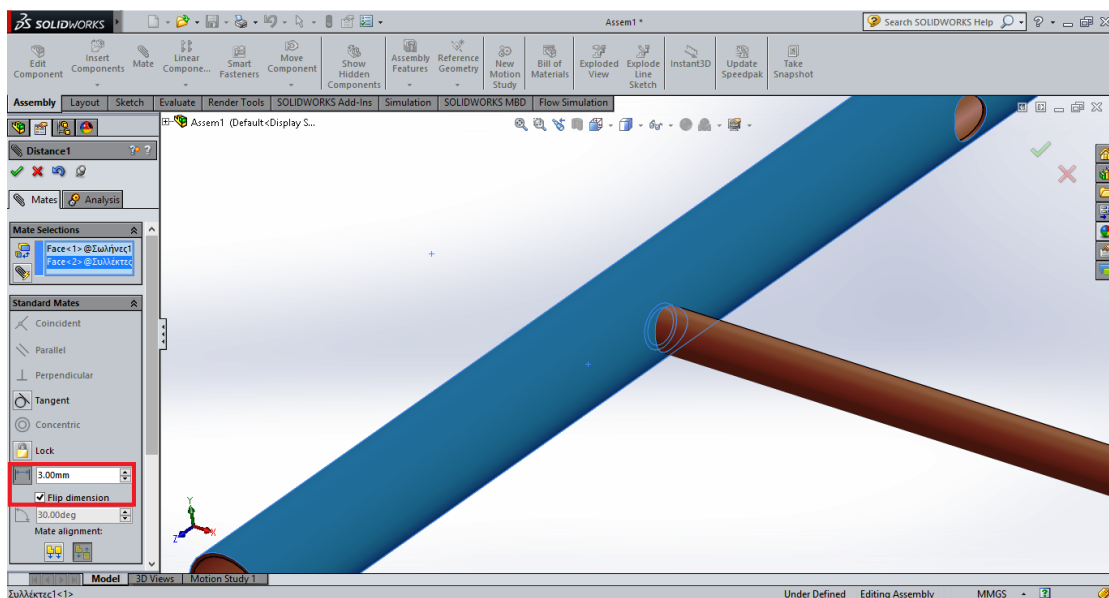


Εικόνα 3.6: Μερική σύνδεση του σωλήνα με τον συλλέκτη

Για να κολλήσουν τα δυο κομμάτια μεταξύ τους απαιτείται ένα ακόμα ταίριασμα κι έτσι επιλέγεται πλέον η εξωτερική επιφάνεια του συλλέκτη και η δισκοειδής επιφάνεια της σωλήνωσης που βλέπει προς τον συλλέκτη. Οι δύο αυτές επιφάνειες επιλέγονται να απέχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με 3mm. Δηλαδή, η σωλήνωση θα εισχωρήσει 3mm εσωτερικά του συλλέκτη.

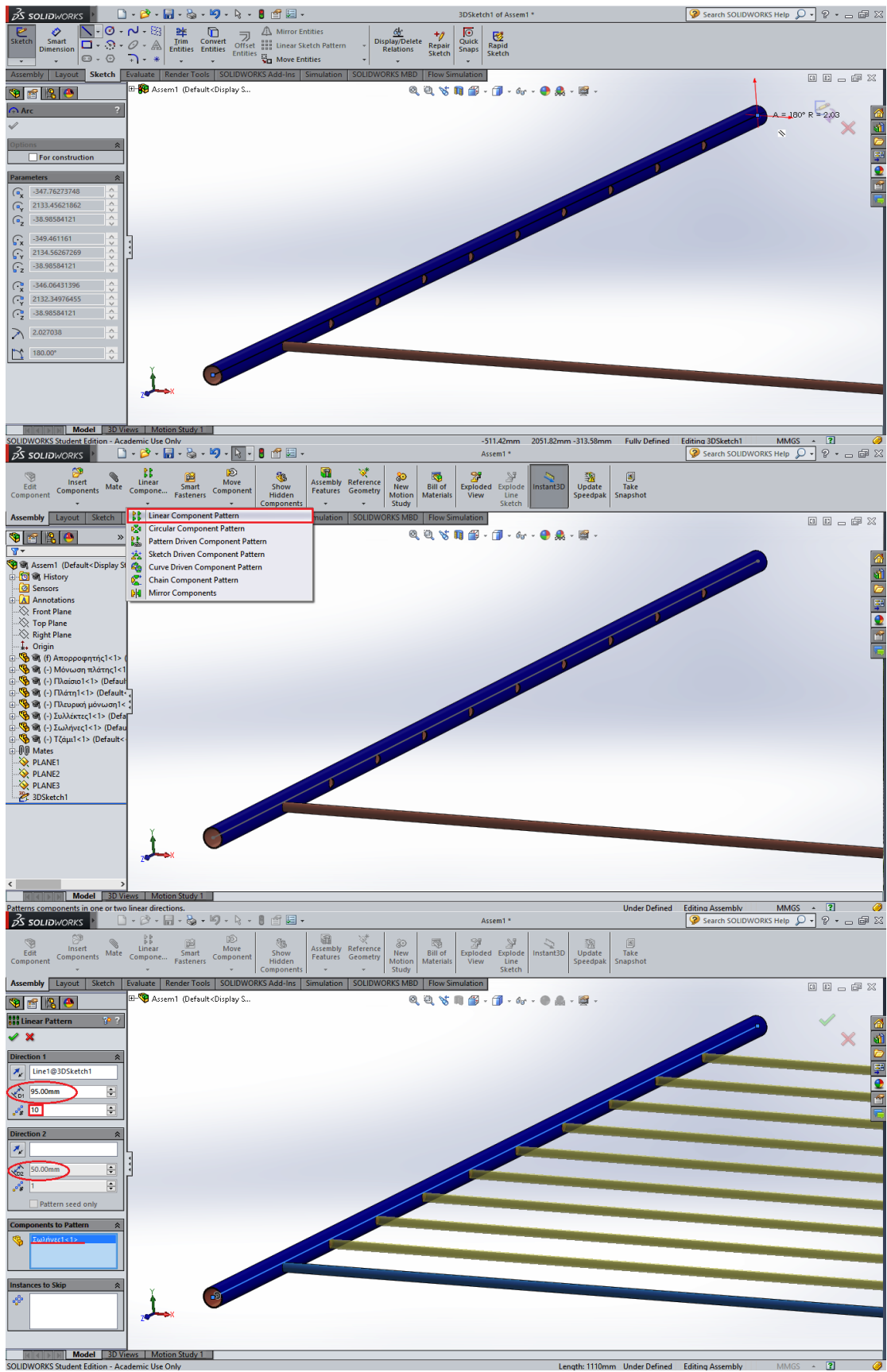


Εικόνα 3.7: Επιλογή της δισκοειδούς επιφάνειας του σωλήνα



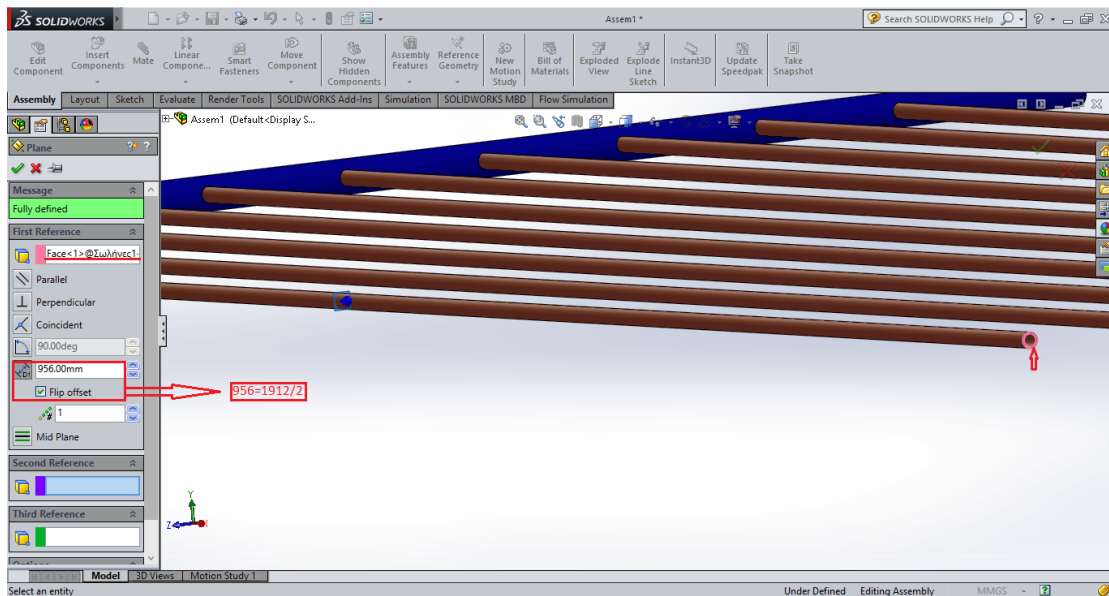
Εικόνα 3.8: Επιλογή της εξωτερικής επιφάνειας του συλλέκτη και τελική σύνδεση του σωλήνα με τον συλλέκτη

Στη συνέχεια, για να μην επαναληφθούν αυτά τα βήματα και για τους 10 σωλήνες, θα γίνει αντιγραφή μέσω της εντολής **Linear Component Pattern**. Για να οριστεί η κατεύθυνση της τοποθέτησης των υπόλοιπων 9 σωλήνων δημιουργείται μια 3D γραμμή που διαπερνά το κέντρο του συλλέκτη σε όλο το μήκος του.

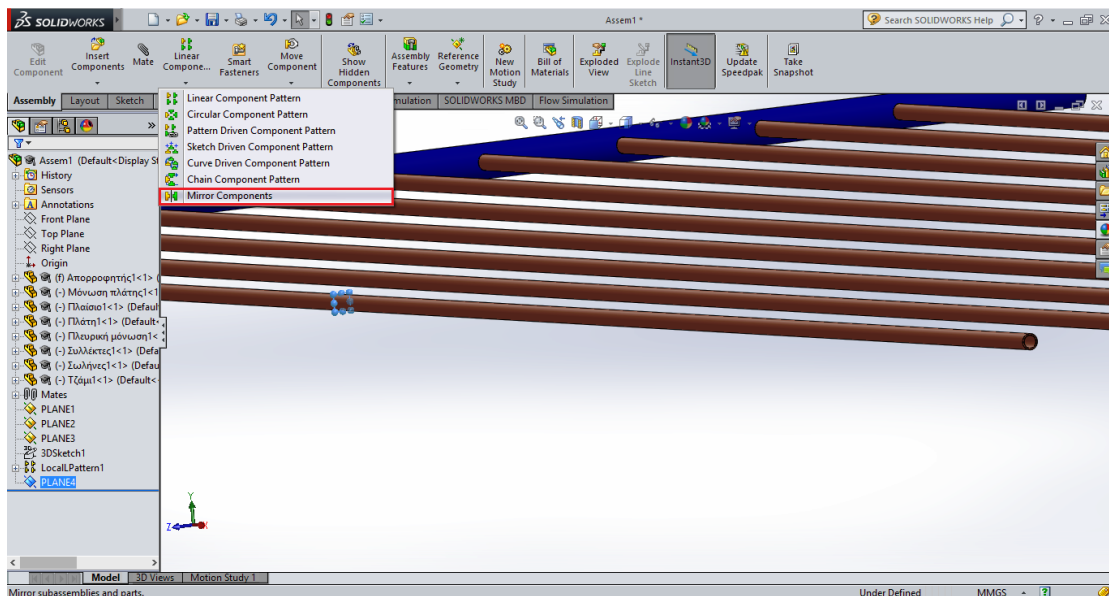


Εικόνα 3.9: Αντιγραφή των υπολοίπων 9 σωληνών μέσω της εντολής Linear Component Pattern

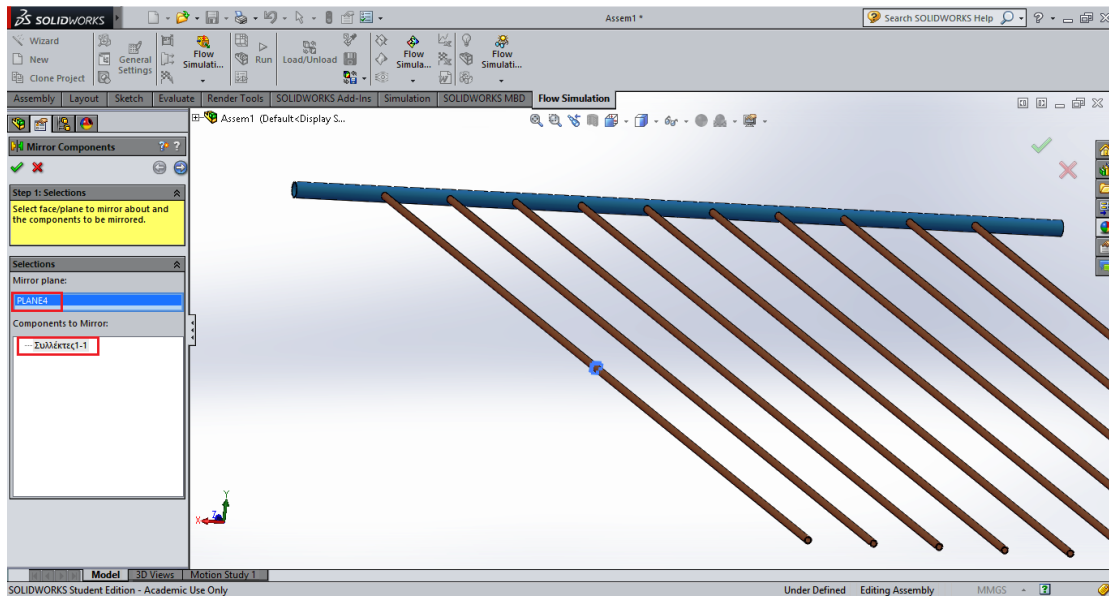
Ύστερα, αντιγράφεται ο συλλέκτης ακριβώς απέναντι με την εντολή **Mirror Components**, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί ο υδροσκελετός. Για να γίνει αυτό θα πρέπει πρώτα να ορισθεί μια επιφάνεια η οποία θα αποτελεί τον 'καθρέφτη' μεταξύ των δύο συλλεκτών, δηλαδή θα βρίσκεται στο μέσο της απόστασής τους κι επομένως στο μέσο του μήκους της σωλήνωσης.



Εικόνα 3.10: Δημιουργία επιφανείας στο μέσο του σωλήνα

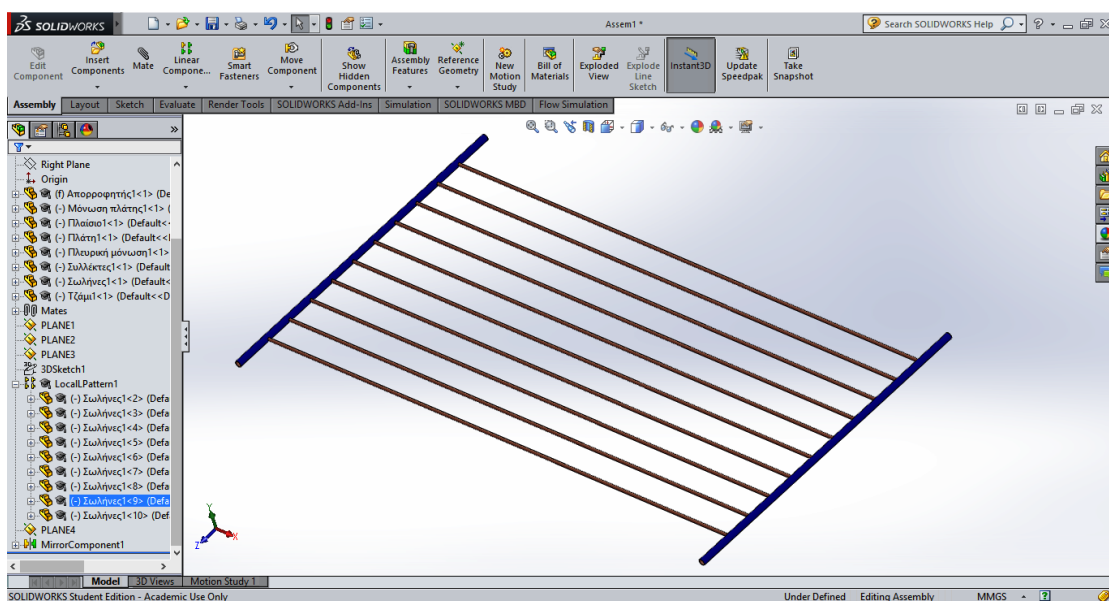


Εικόνα 3.11: Αντιγραφή του συλλέκτη ακριβώς απέναντι μέσω της εντολής Mirror Components



Εικόνα 3.12: Αντιγραφή του συλλέκτη ακριβώς απέναντι μέσω της εντολής Mirror Components

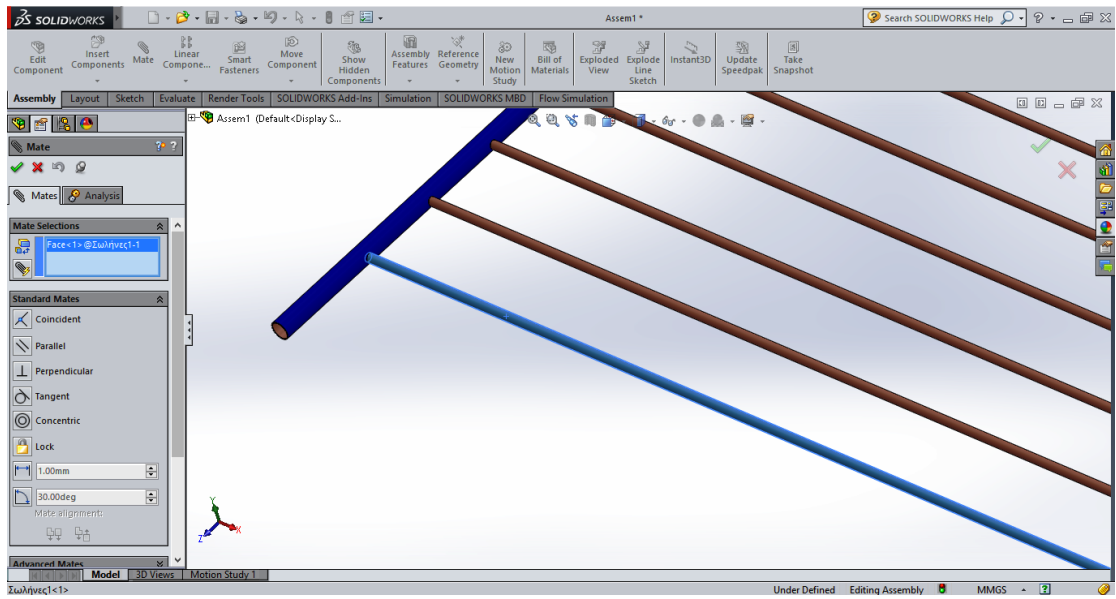
Ολοκληρώνεται λοιπόν ο υδροσκελετός, η εικόνα του οποίου φαίνεται παρακάτω.



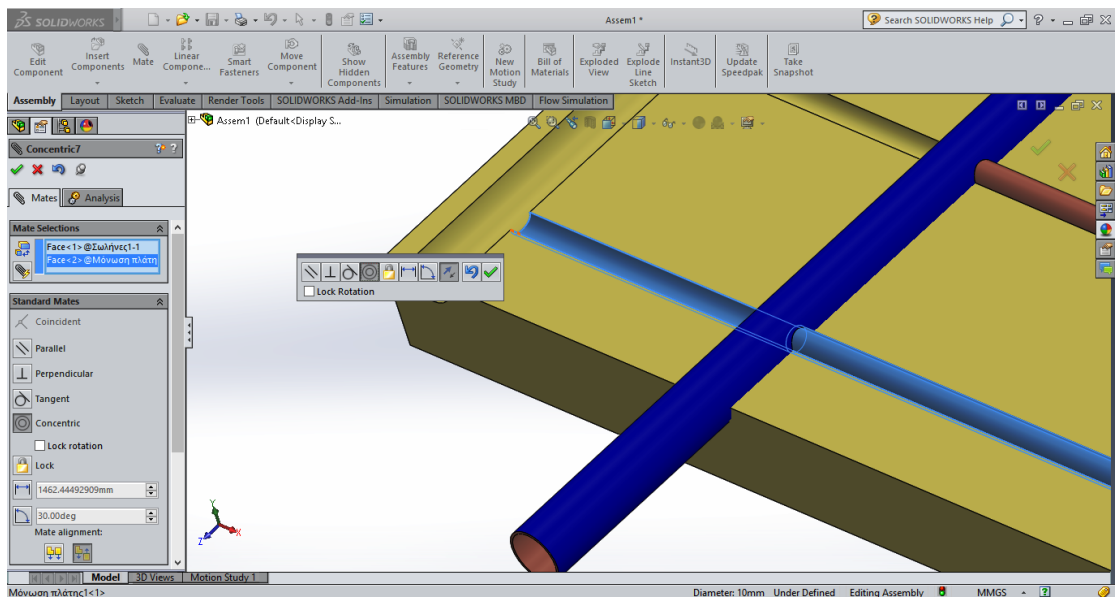
Εικόνα 3.13: Ολοκληρωμένος ο υδροσκελετός

3.2 Συναρμολόγηση υδροσκελετού-μόνωσης πλάτης

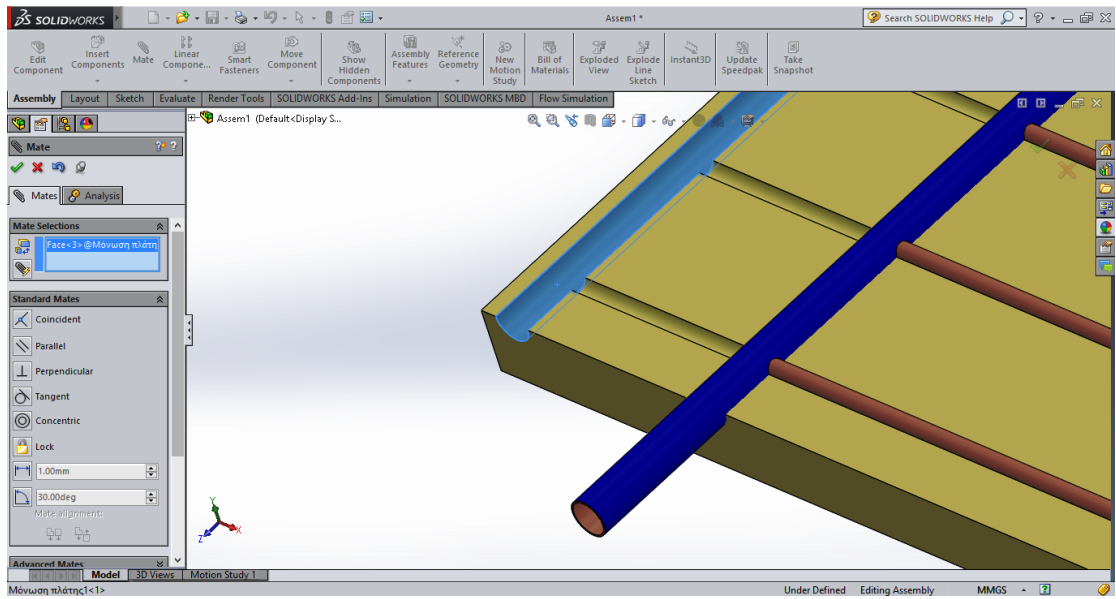
Για τη συναρμολόγηση του υδροσκελετού με τη μόνωση πλάτης συνδέεται αρχικά η εξωτερική επιφάνεια ενός σωλήνα με την αυλάκωση της μόνωσης στην αντίστοιχη θέση και ύστερα η εξωτερική επιφάνεια ενός συλλέκτη με την αυλάκωση του συγκεκριμένου συλλέκτη.



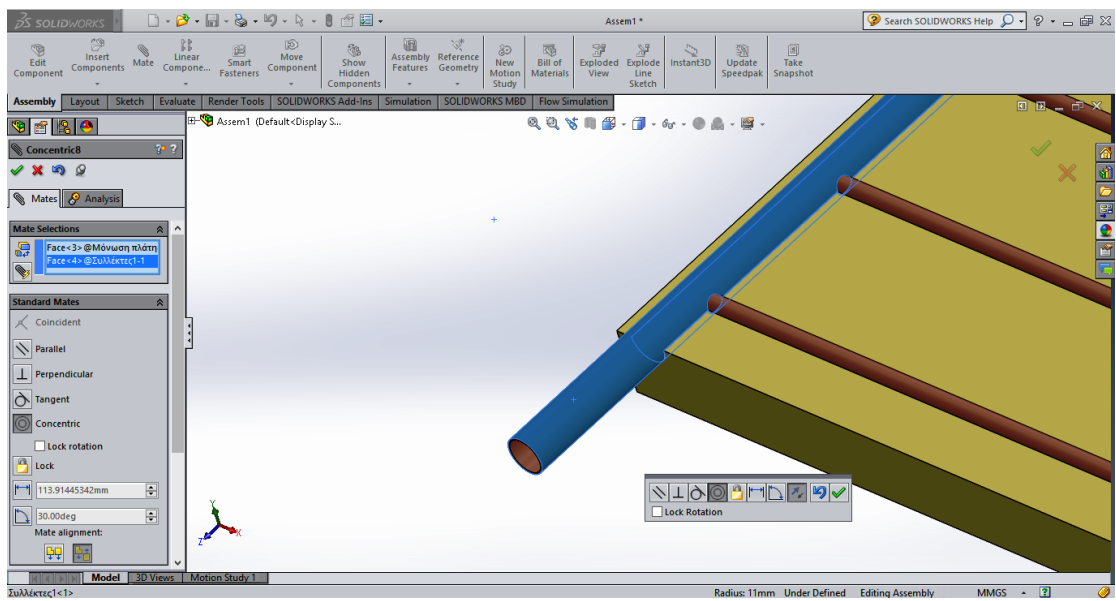
Εικόνα 3.14: Επιλογή της εξωτερικής επιφάνειας της σωλήνωσης



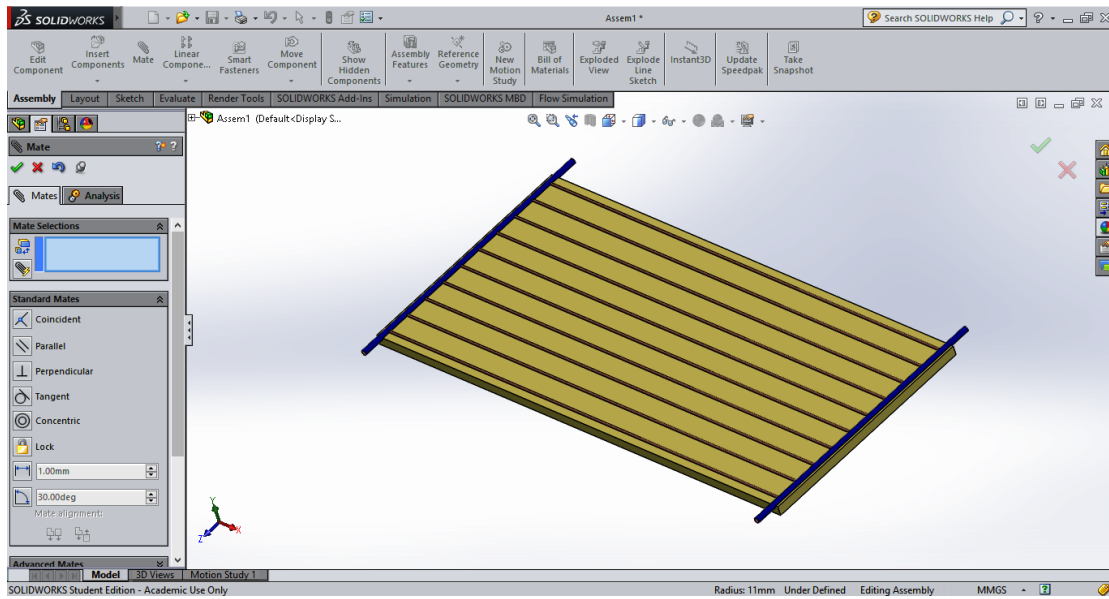
Εικόνα 3.15: Επιλογή της επιφάνειας της αυλάκωσης του σωλήνα που θα ταιριάζει



Εικόνα 3.16: Επιλογή της επιφάνειας της αυλάκωσης του συλλέκτη που θα ταιριάζει με αυτόν



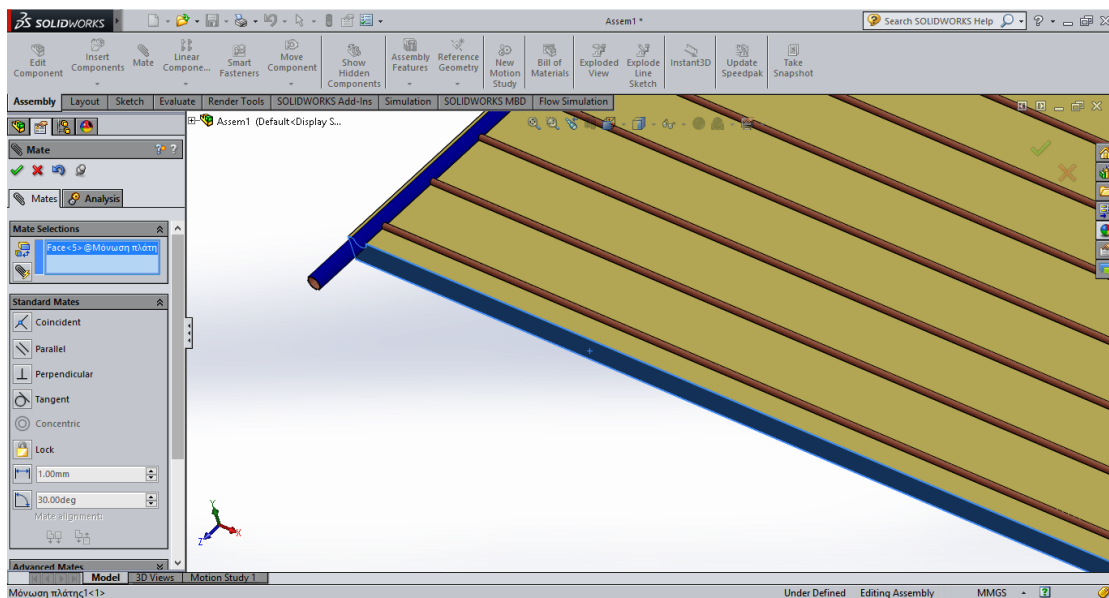
Εικόνα 3.17: Επιλογή της εξωτερικής επιφάνειας του συλλέκτη



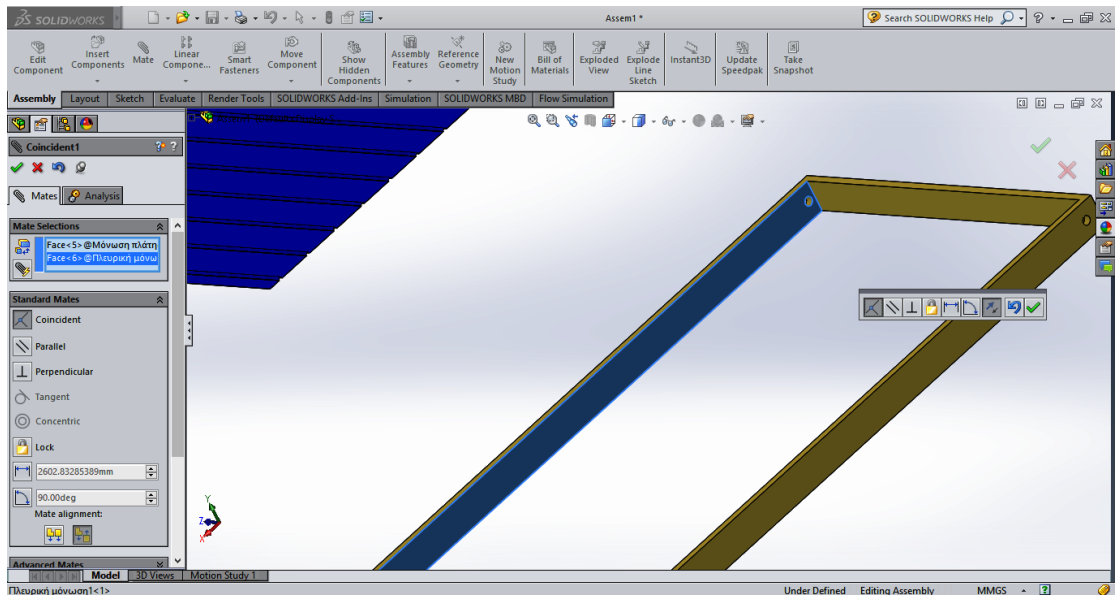
Εικόνα 3.18: Ολοκληρωμένη η σύνδεση του υδросκελετού με τη μόνωση πλάτης

3.3 Εισαγωγή πλευρικής μόνωσης

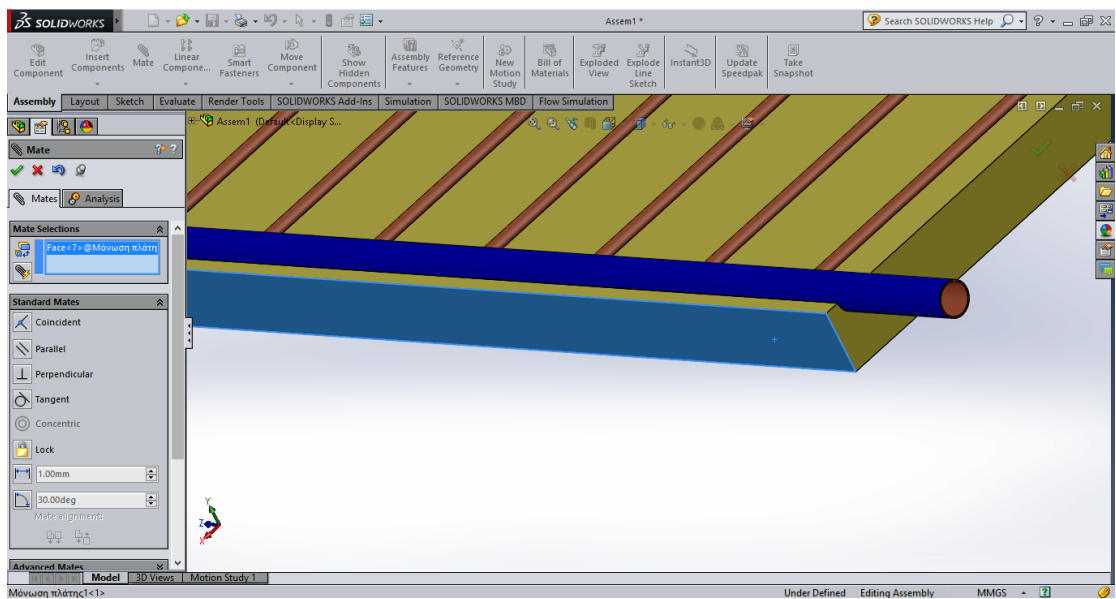
Για την εισαγωγή της πλευρικής μόνωσης στο μέχρι στιγμής κομμάτι θα ταιριάξουν δυο πλευρές μεταξύ τους και τέλος η εξωτερική επιφάνεια ενός συλλέκτη με την εσωτερική επιφάνεια της αντίστοιχης οπής της πλευρικής μόνωσης. Αναλυτικότερα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



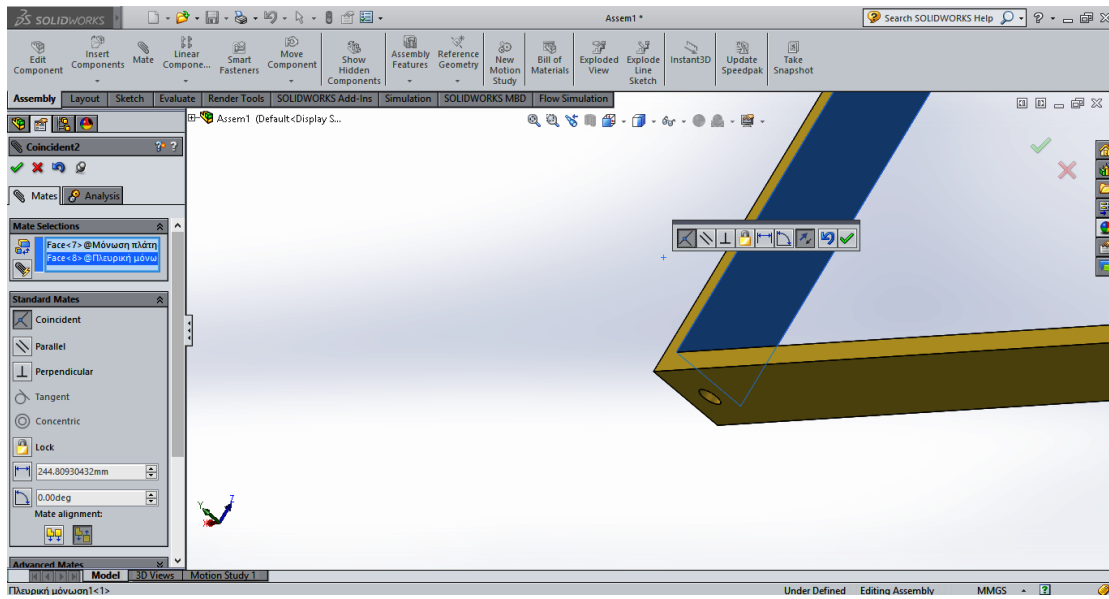
Εικόνα 3.19: Επιλογή μιας εξωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της μόνωσης πλάτης του συλλέκτη



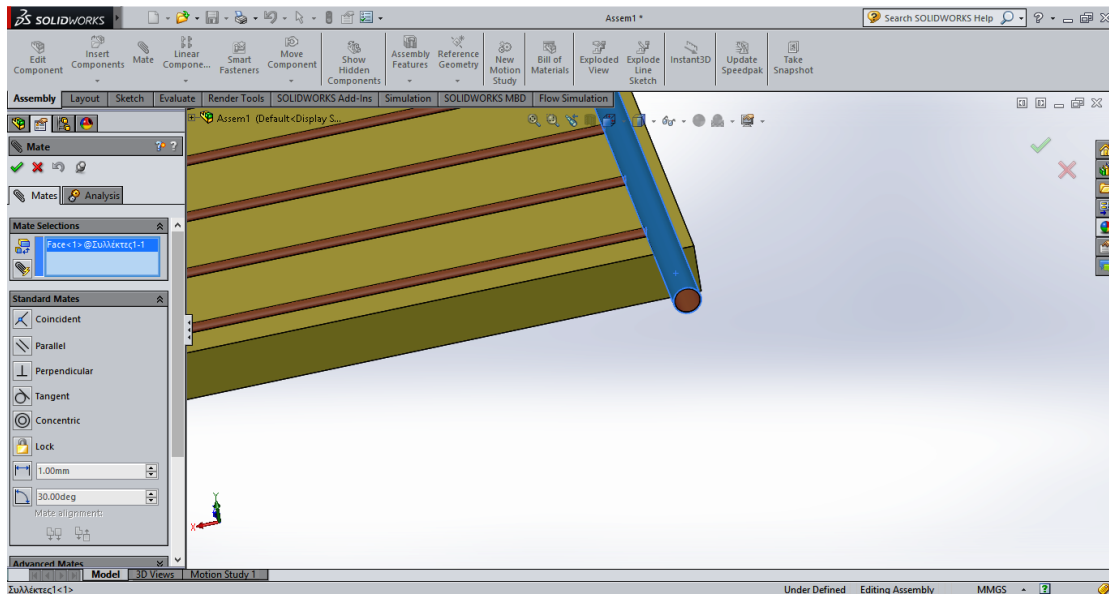
Εικόνα 3.20: Επιλογή της αντίστοιχης εσωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της πλευρικής μόνωσης



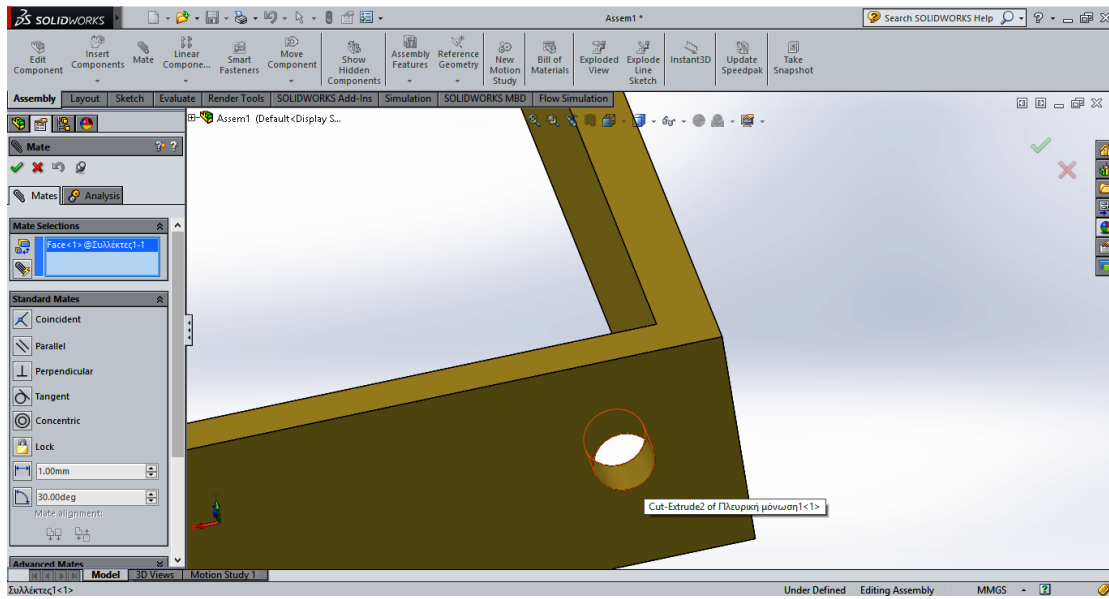
Εικόνα 3.21: Επιλογή μιας ακόμη εξωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της μόνωσης πλάτης του συλλέκτη



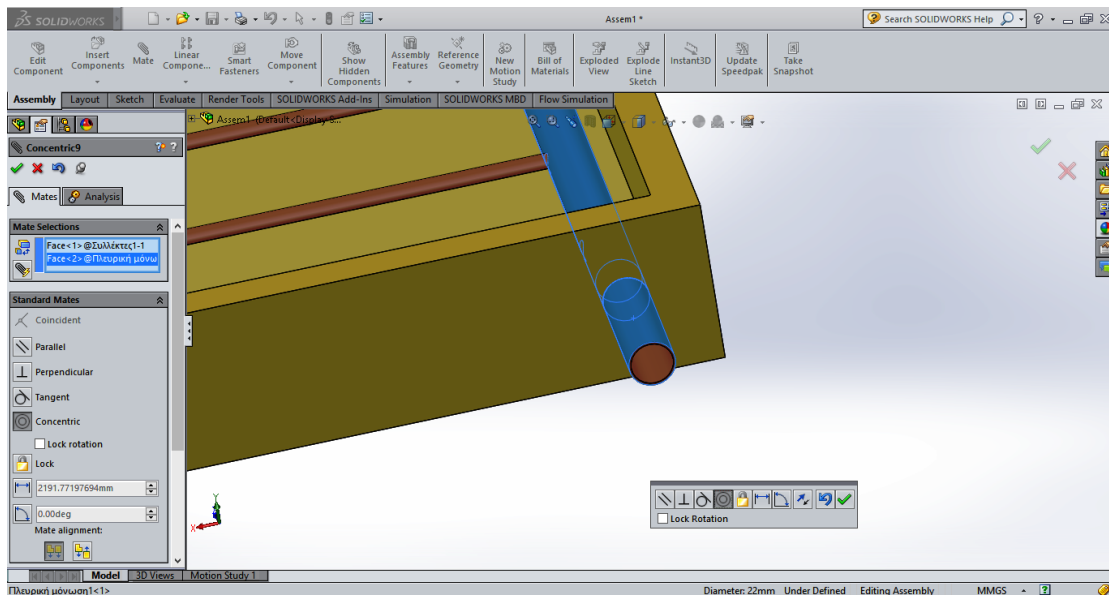
Εικόνα 3.22: Επιλογή της αντίστοιχης εσωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της πλευρικής μόνωσης



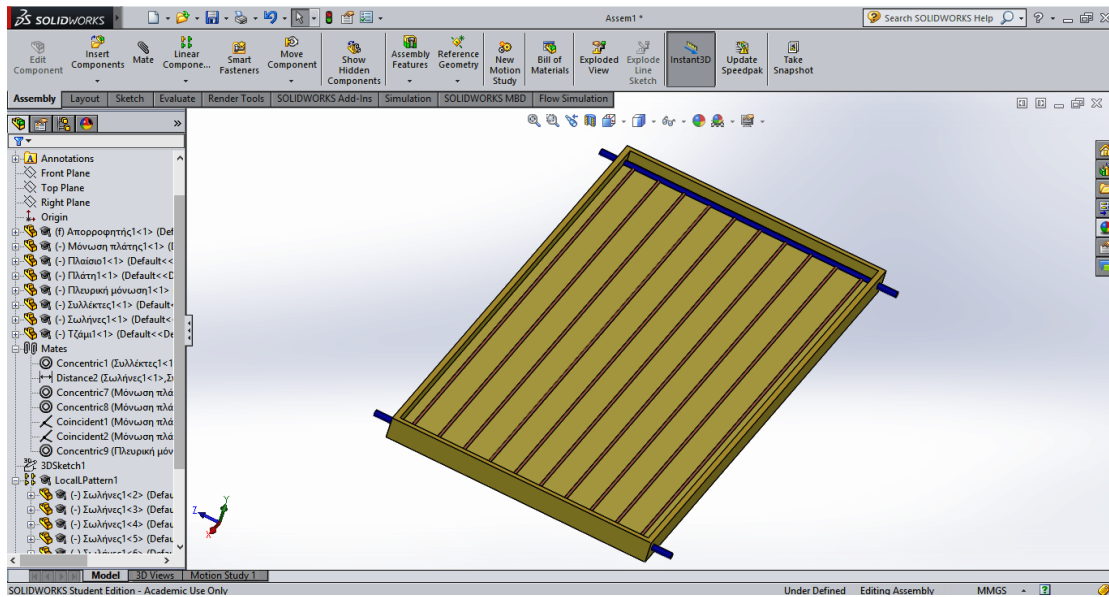
Εικόνα 3.23: Επιλογή της εξωτερικής επιφάνειας του ενός συλλέκτη



Εικόνα 3.24: Επιλογή της εσωτερικής επιφάνειας της οπής της πλευρικής μόνωσης από την οποία θα περάσει ο συλλέκτης



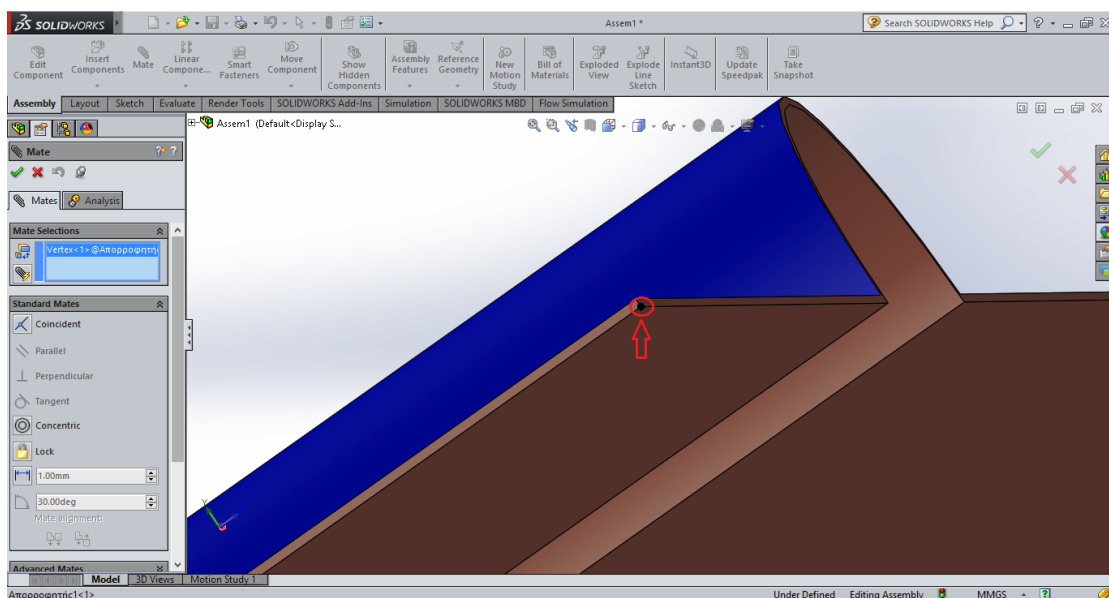
Εικόνα 3.25: Σύνδεση πλευρικής μόνωσης με το υπόλοιπο κομμάτι



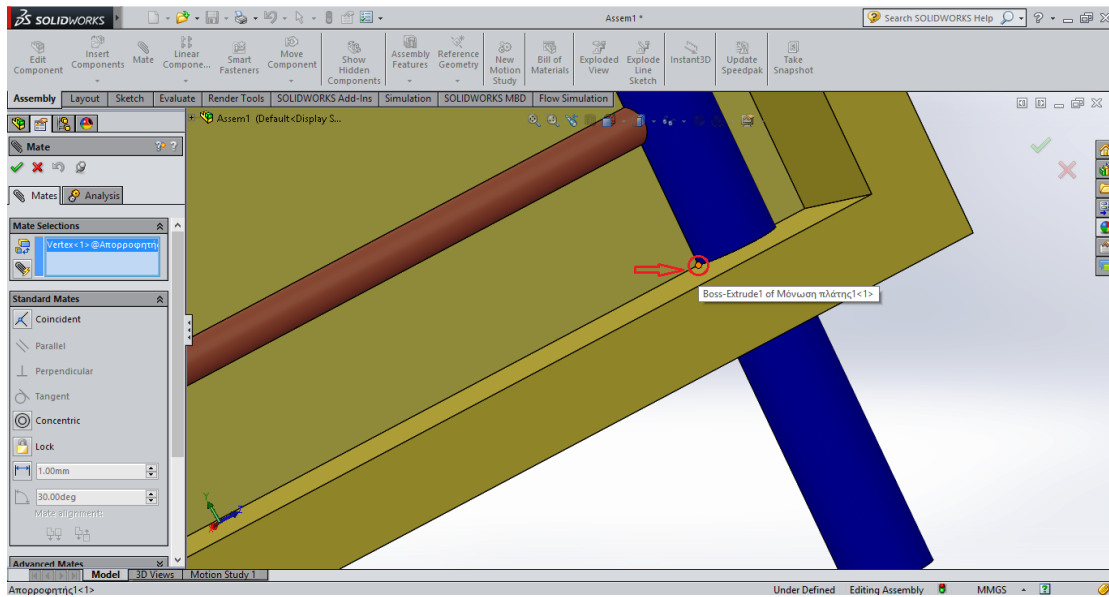
Εικόνα 3.26: Εικόνα του μέχρι στιγμής συναρμολογημένου κομματιού

3.4 Εισαγωγή πλάκας απορρόφησης

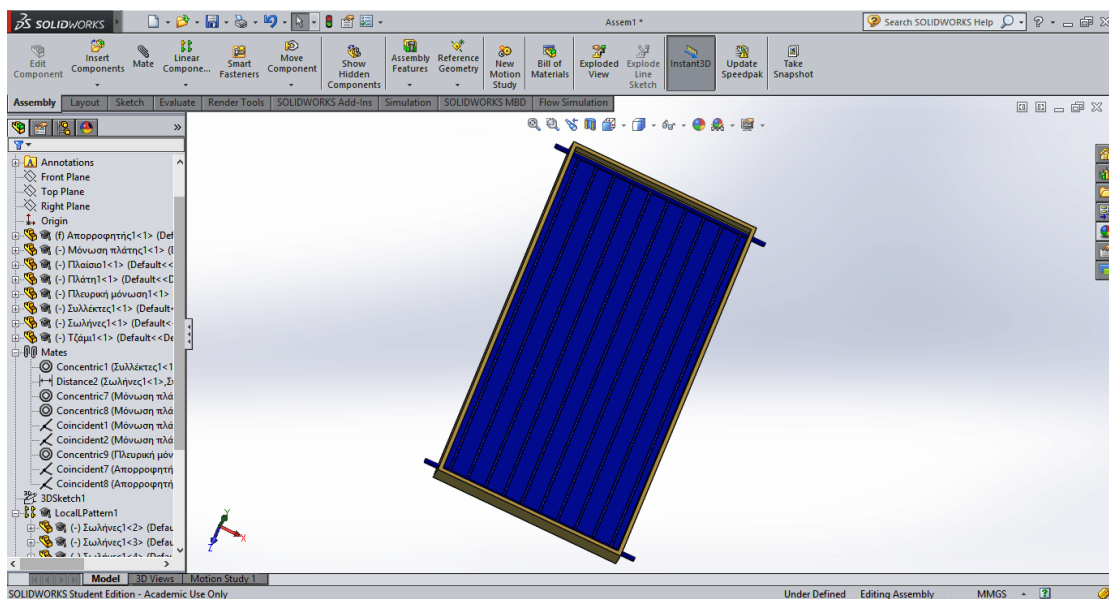
Για την εισαγωγή της πλάκας απορρόφησης χρησιμοποιείται ταίριασμα σημείων, δηλαδή για παράδειγμα η δεξιά γωνία του απορροφητή θα πρέπει να ακουμπά στη δεξιά γωνία που σχηματίζεται μεταξύ συλλέκτη, μόνωση πλάτης και πλευρικής μόνωσης. Το ίδιο κάνουμε για δύο ακόμα γωνίες, έτσι ώστε να κολλήσει ο απορροφητής.



Εικόνα 3.27: Επιλογή του σημείου της πάνω δεξιά γωνίας της πλάκας απορρόφησης



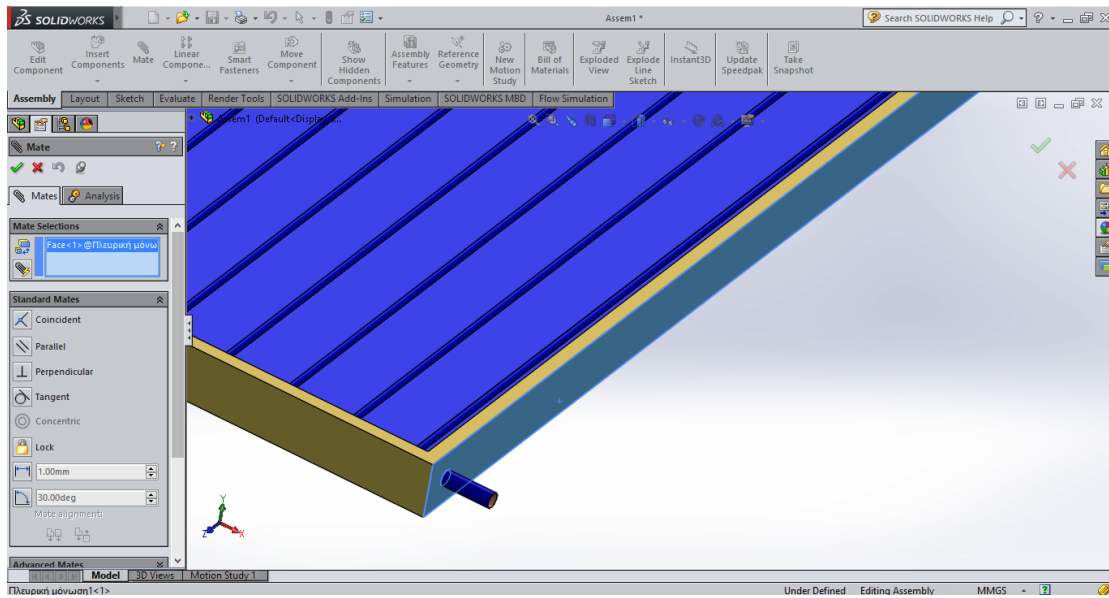
Εικόνα 3.28: Επιλογή του αντίστοιχου σημείου που θέλουμε να ταιριάξει το οποίο βρίσκεται στη γωνία της ένωσης συλλέκτη-μόνωσης πλάτης-πλευρικής μόνωσης



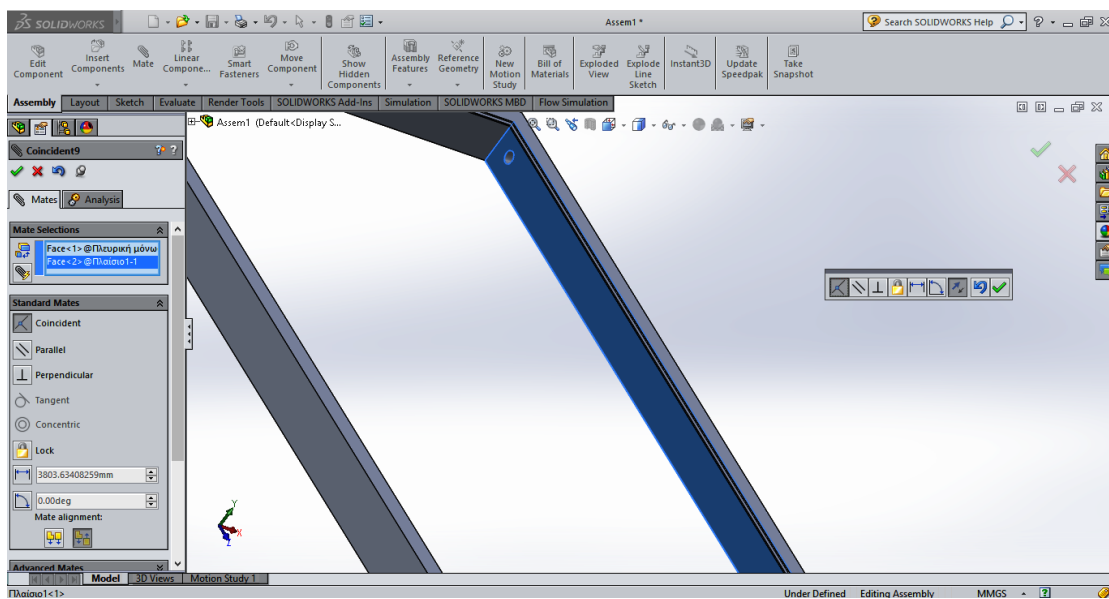
Εικόνα 3.29: Εικόνα του μέχρι στιγμής συναρμολογημένου κομματιού

3.5 Εισαγωγή εξωτερικού περιβλήματος (πλαϊσίου)

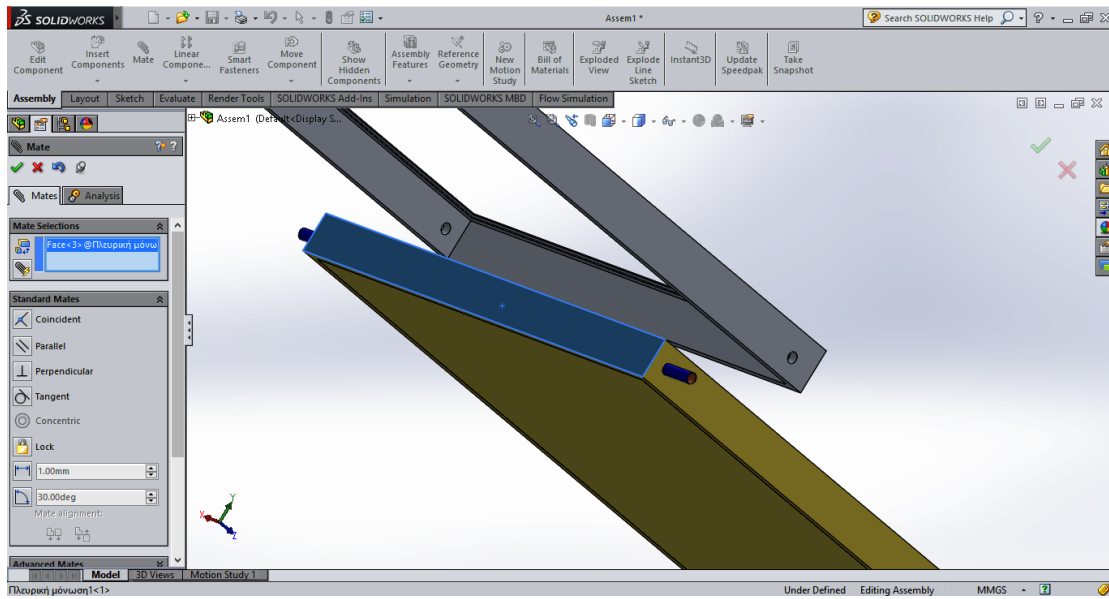
Για την εισαγωγή του πλαϊσίου στο μέχρι στιγμής κομμάτι θα ταιριάξουν δυο πλευρές μεταξύ τους και τέλος μία γωνία, όπως φαίνεται παρακάτω.



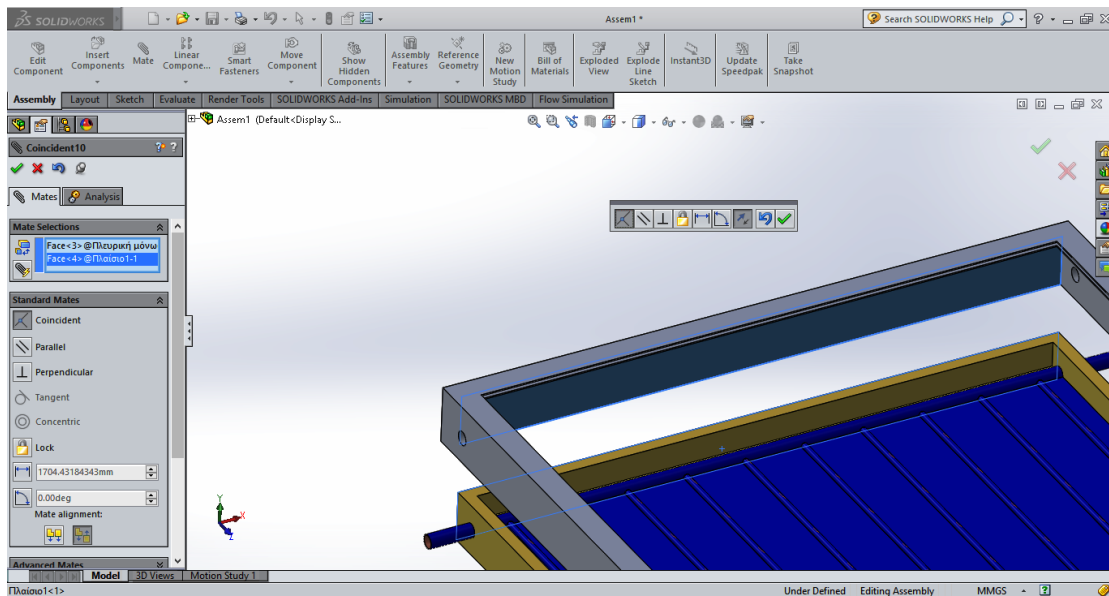
Εικόνα 3.30: Επιλογή μιας εξωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της πλευρικής μόνωσης του συλλέκτη



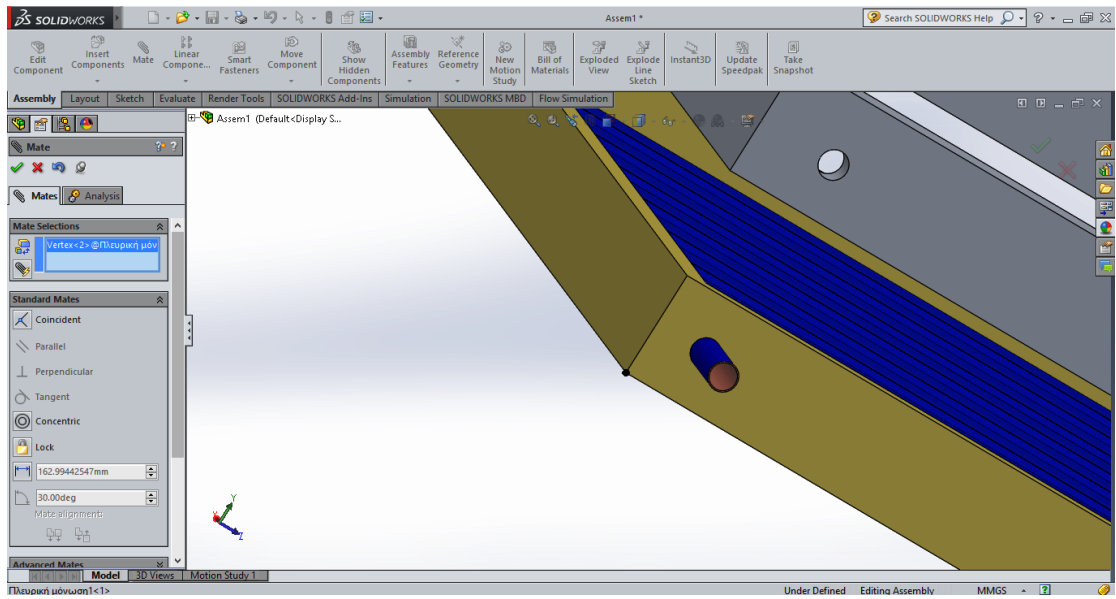
Εικόνα 3.31: Επιλογή της αντίστοιχης εσωτερικής πλαϊνής επιφάνειας του εξωτερικού περιβλήματος



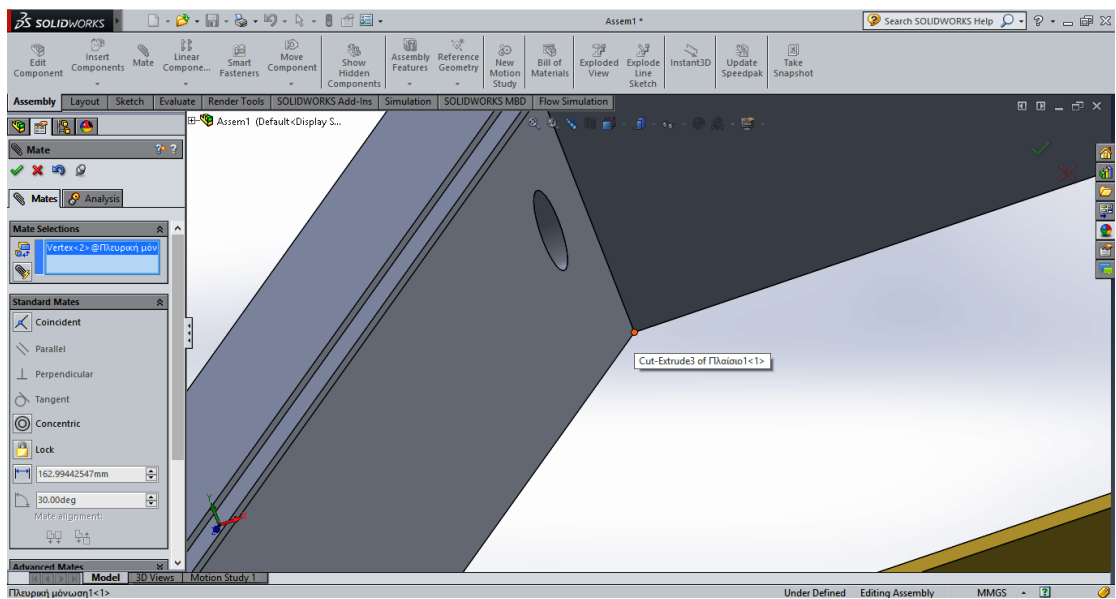
Εικόνα 3.32: Επιλογή μιας ακόμη εξωτερικής πλαϊνής επιφάνειας της πλευρικής μόνωσης του συλλέκτη



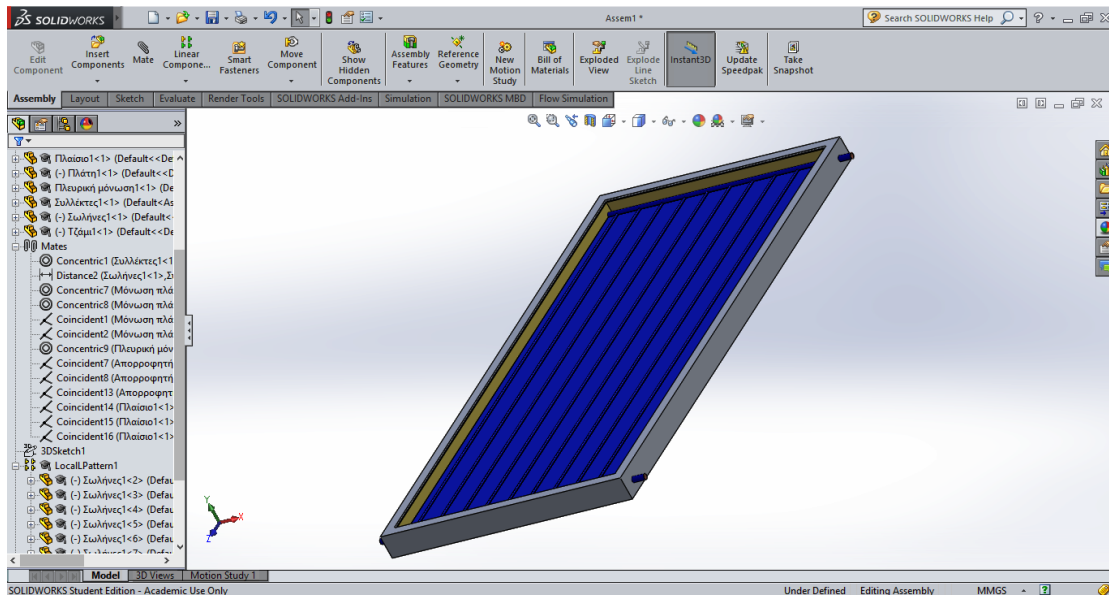
Εικόνα 3.33: Επιλογή της αντίστοιχης εσωτερικής πλαϊνής επιφάνειας του εξωτερικού περιβλήματος



Εικόνα 3.34: Επιλογή του σημείου της πάνω αριστερής γωνίας της πλευρικής μόνωσης



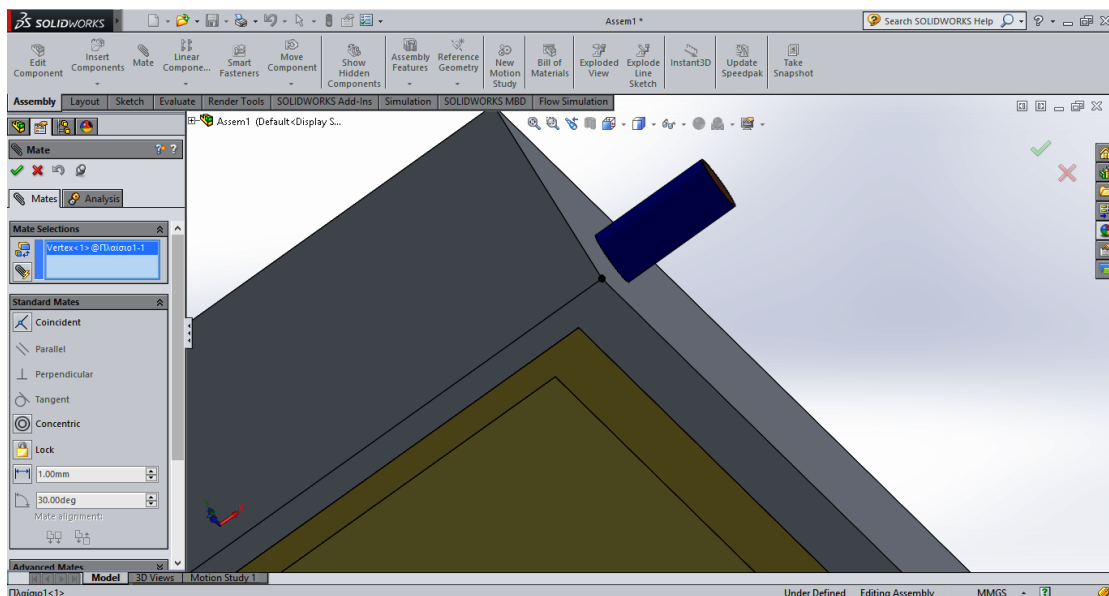
Εικόνα 3.35: Επιλογή του αντίστοιχου σημείου που θέλουμε να ταιριάζει το οποίο βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία του εξωτερικού περιβλήματος



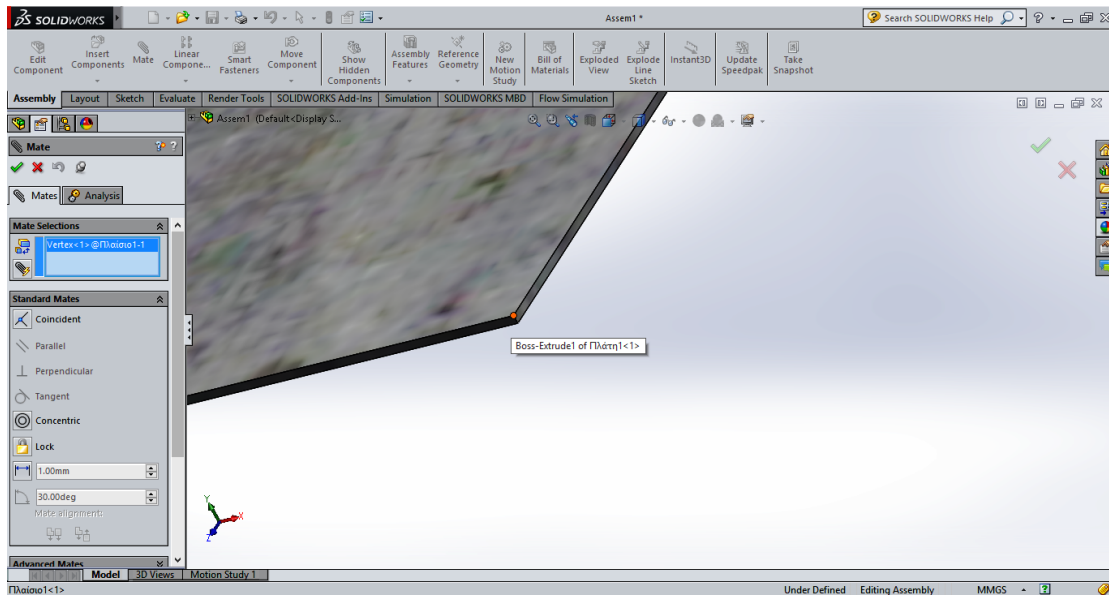
Εικόνα 3.36: Εικόνα του μέχρι στιγμής συναρμολογημένου κομματιού

3.6 Εισαγωγή πλάτης και καλύμματος

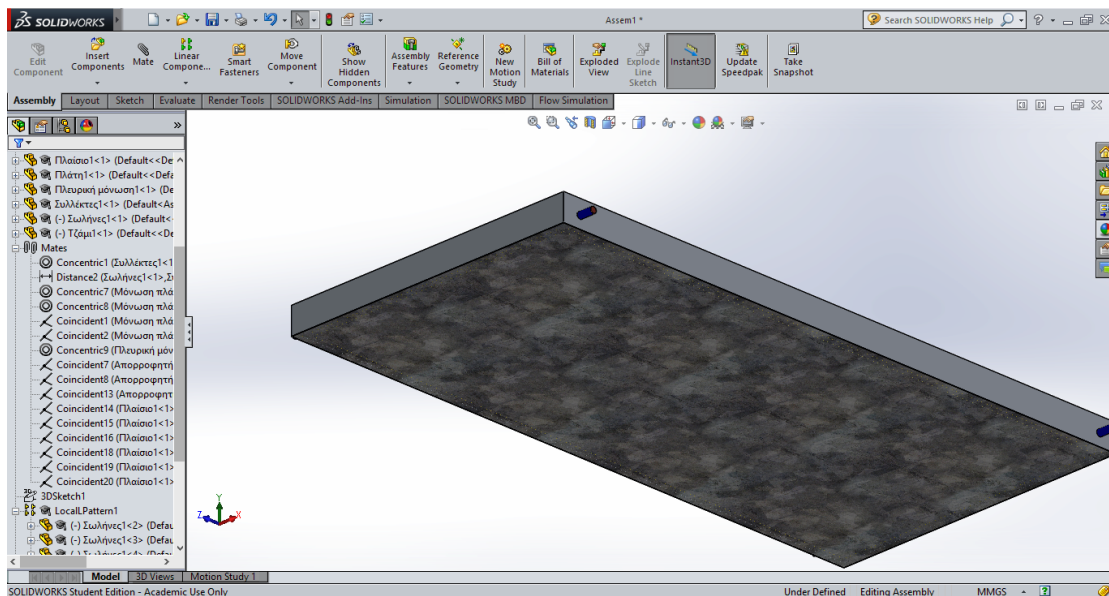
Για την εισαγωγή της πλάτης και του καλύμματος χρησιμοποιείται ταίριασμα σημείων στις γωνίες κάθε τεμαχίου.



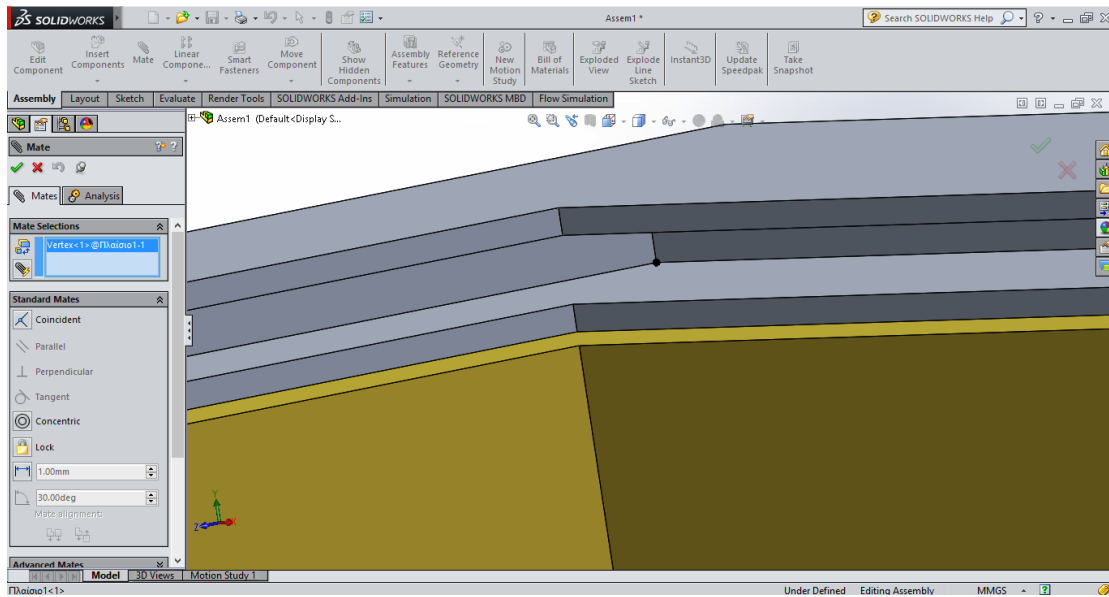
Εικόνα 3.37: Επιλογή του σημείου της κάτω δεξιά γωνίας του εξωτερικού περιβλήματος



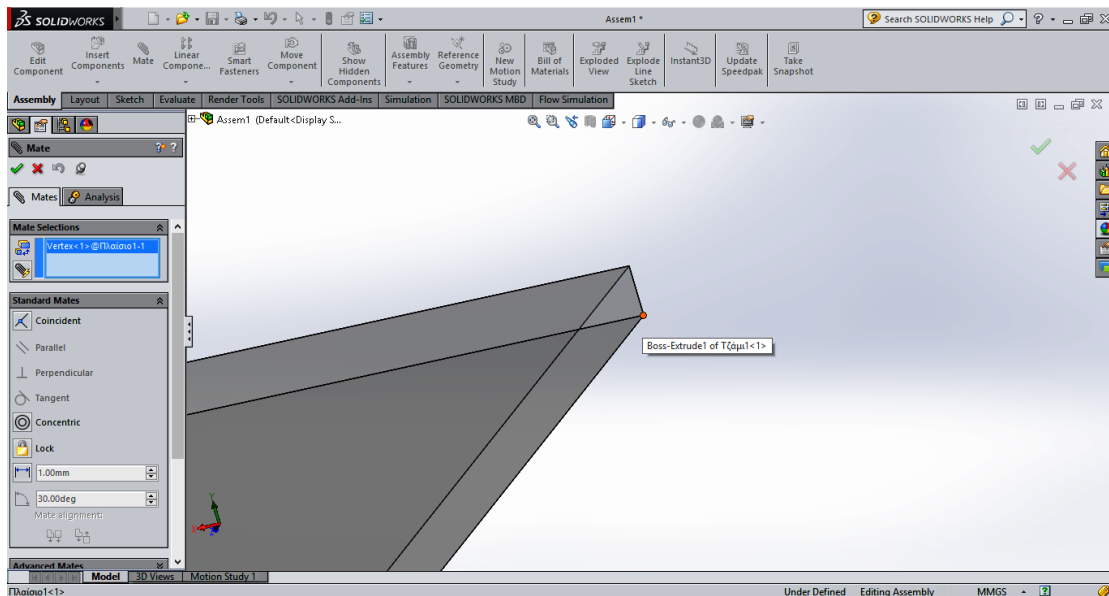
Εικόνα 3.38: Επιλογή του αντίστοιχου σημείου που θέλουμε να ταιριάξει το οποίο βρίσκεται στην κάτω δεξιά γωνία της πλάτης του συλλέκτη



Εικόνα 3.39: Εικόνα του μέχρι στιγμής συναρμολογημένου κομματιού

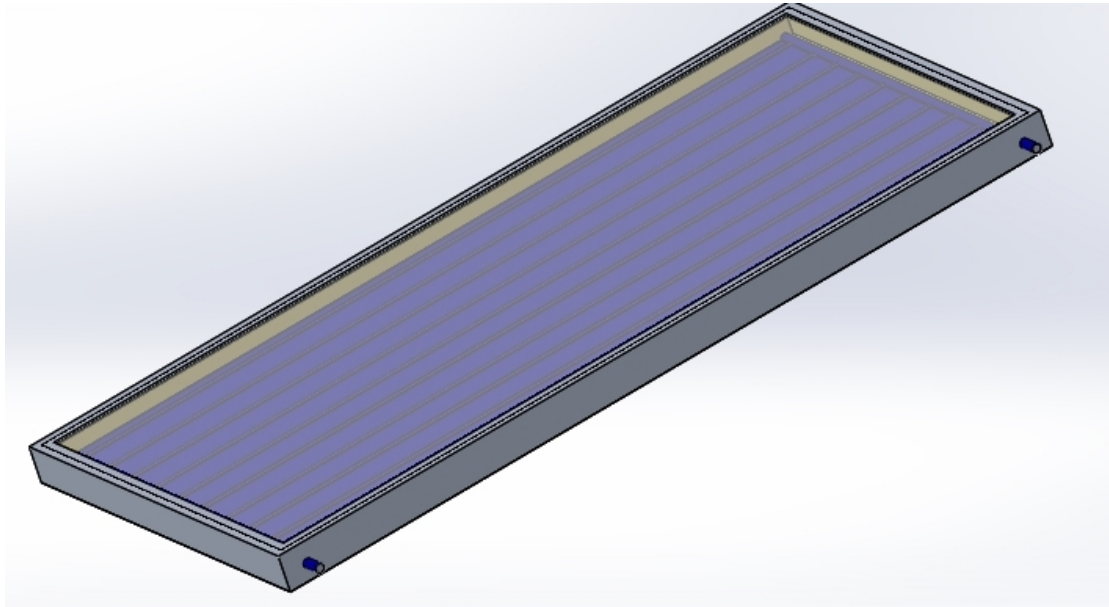


Εικόνα 3.40: Επιλογή του σημείου της πάνω αριστερής γωνίας που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο εσοχές του πλαισίου όπου θα εφαρμοστεί το κάλυμμα



Εικόνα 3.41: Επιλογή του αντίστοιχου σημείου που θέλουμε να ταιριάζει το οποίο βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία του καλύμματος του συλλέκτη

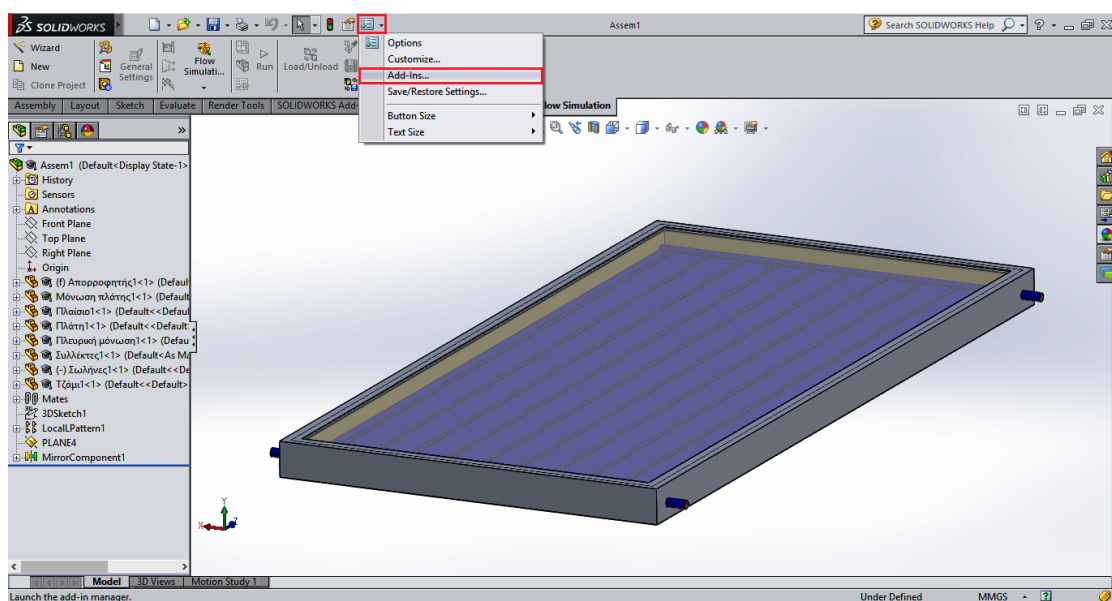
Παρακάτω φαίνεται ολοκληρωμένος ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.



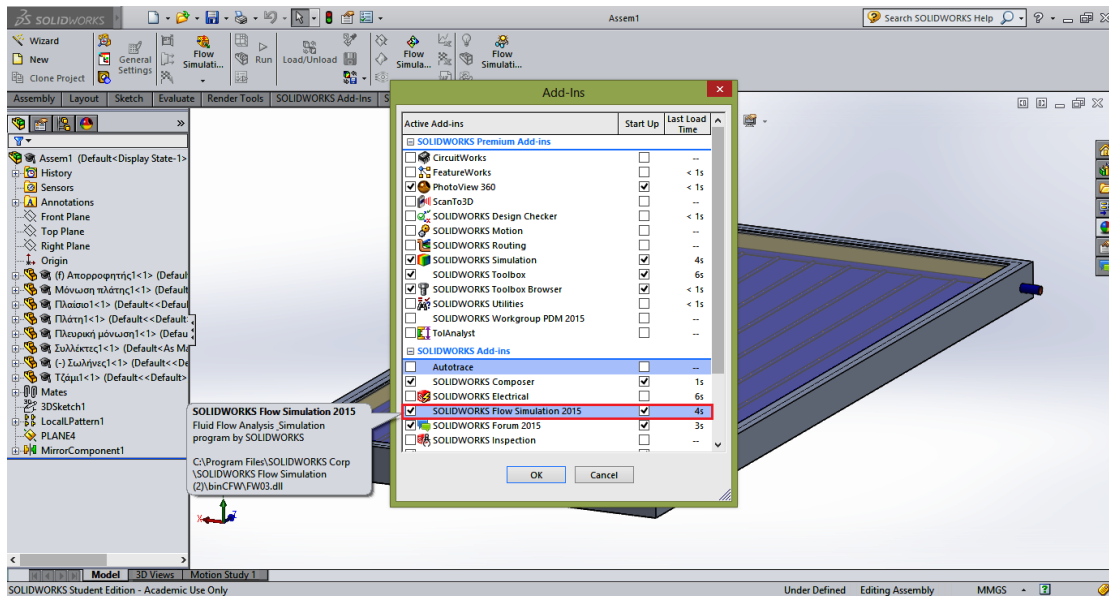
Εικόνα 3.42: Ολοκληρωμένος ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση μέσω του Flow Simulation

Για να ενεργοποιηθεί η καρτέλα του Flow Simulation, επιλέγονται στο πάνω μέρος του παραθύρου τα **Add-Ins** και τσεκάρεται το **Flow Simulation**.

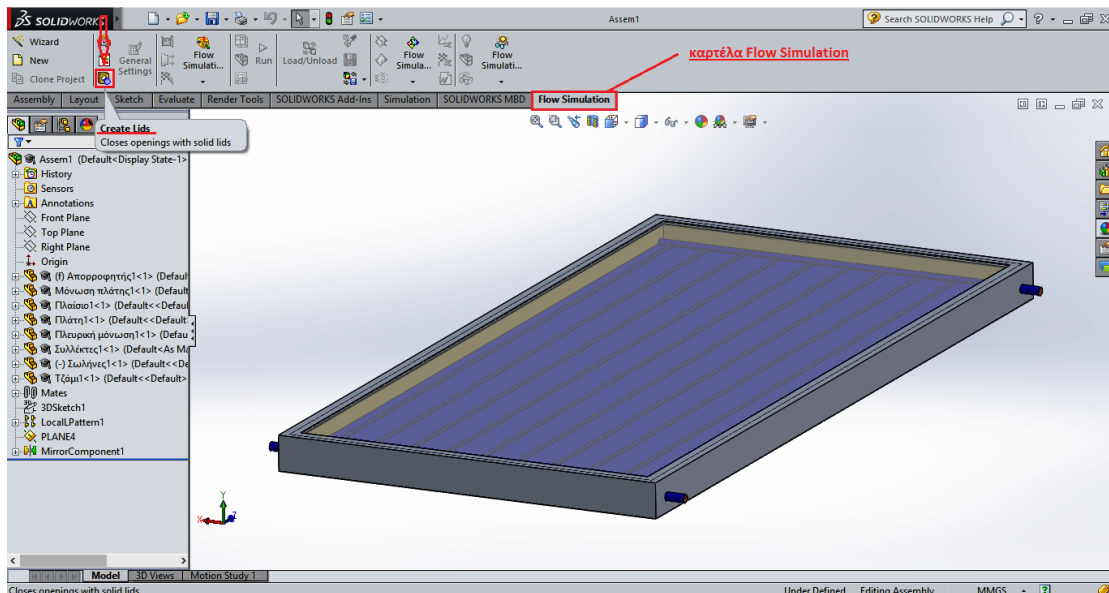


Εικόνα 4.1: Ενεργοποίηση του Flow Simulation

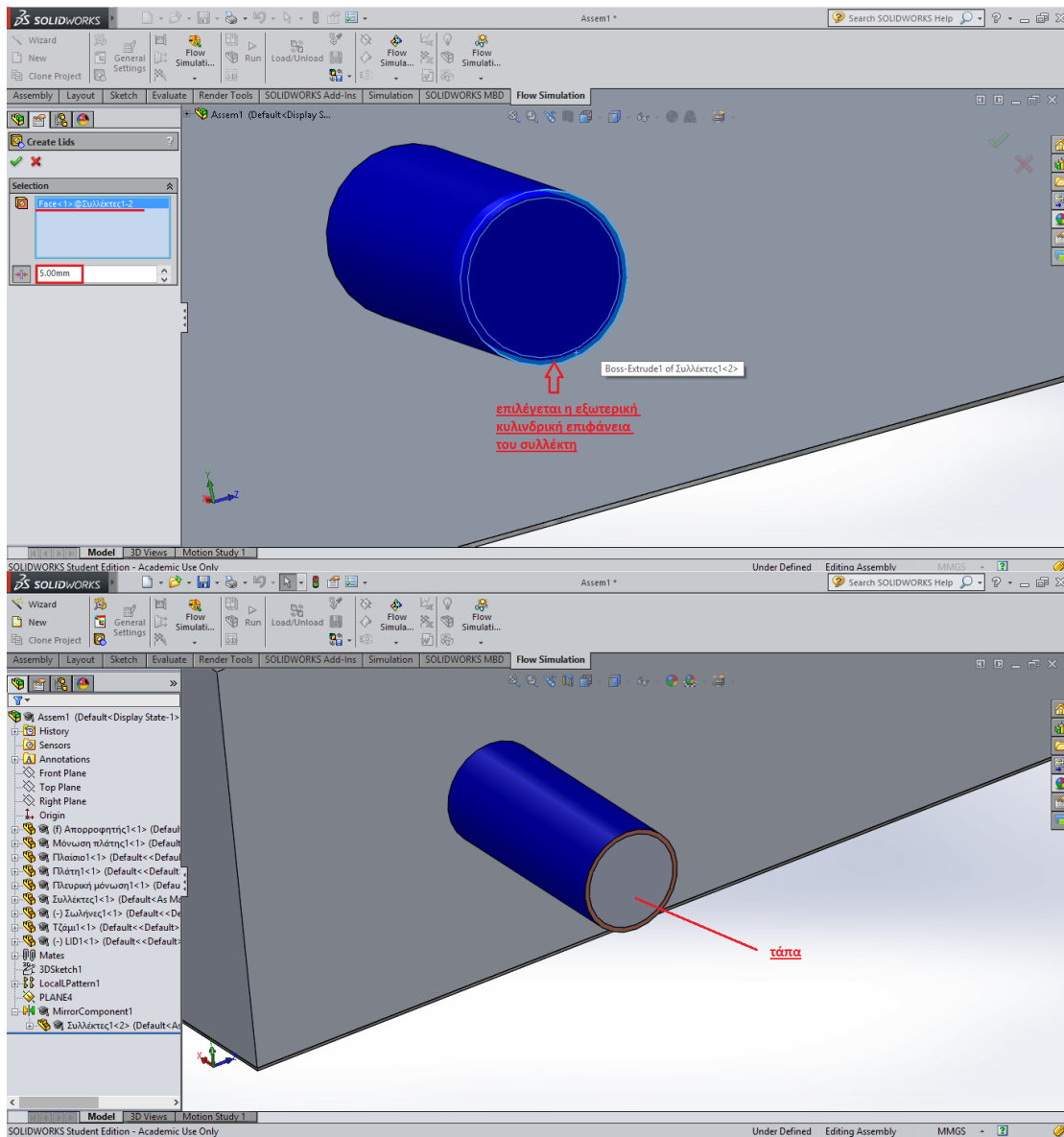


Εικόνα 4.2: Ενεργοποίηση του Flow Simulation

Στη συνέχεια, θα πρέπει να κλείσουν οι ανοιχτές οπές όπου θα διατρέχει το ρευστό, έτσι ώστε να μπορεί να τρέξει το πρόγραμμα. Αυτό γίνεται με την εντολή **Create Lids**. Το πάχος των ταπών επιλέγεται ίσο με 5mm και για τις 4 οπές των συλλεκτών. Στην πραγματικότητα ενδιαφέρουν μόνο οι 2 τάπες, μία της εισόδου του ρευστού και μία της εξόδου.



Εικόνα 4.3: Δημιουργία των ταπών



Εικόνα 4.4: Τοποθέτηση των ταπών

4.1 Επιλογή δεδομένων και αρχικών συνθηκών του προβλήματος

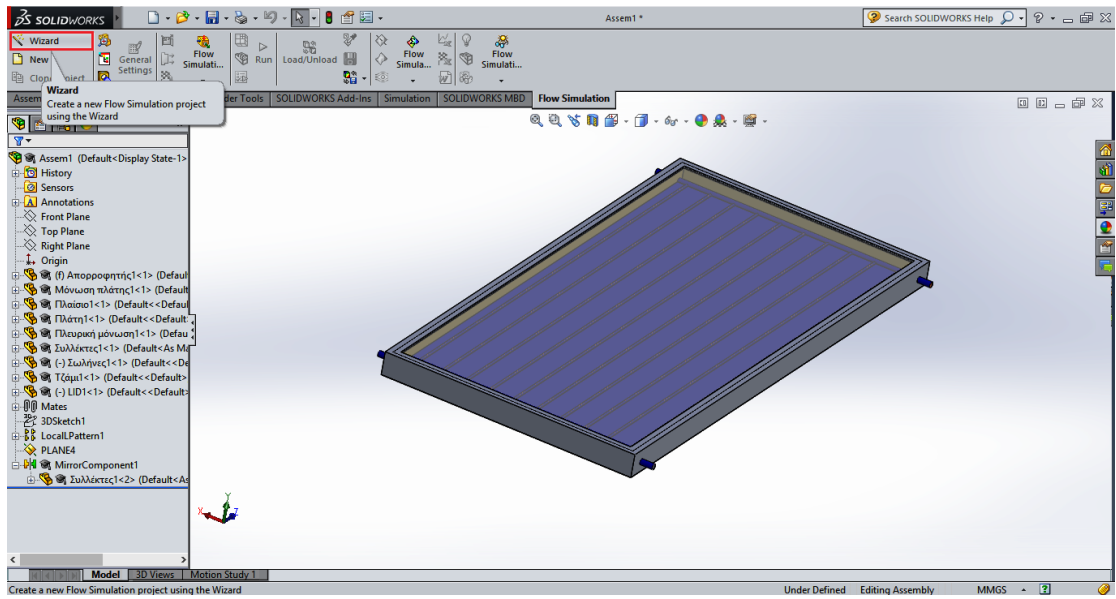
Για να δημιουργηθεί μια εργασία προσομοίωσης επιλέγεται η εντολή **Wizard**. Έπειτα, επιλέγονται τα κατάλληλα δεδομένα και οι επιθυμητές αρχικές συνθήκες για το πρόβλημα που θα επιλυθεί. Πριν παρουσιασθεί ο πίνακας με τα δεδομένα όμως, καλό είναι να δοθεί η ερμηνεία των δεικτών που θα χρησιμοποιηθούν.

Πίνακας 4.1: Σημασιολογία των δεικτών

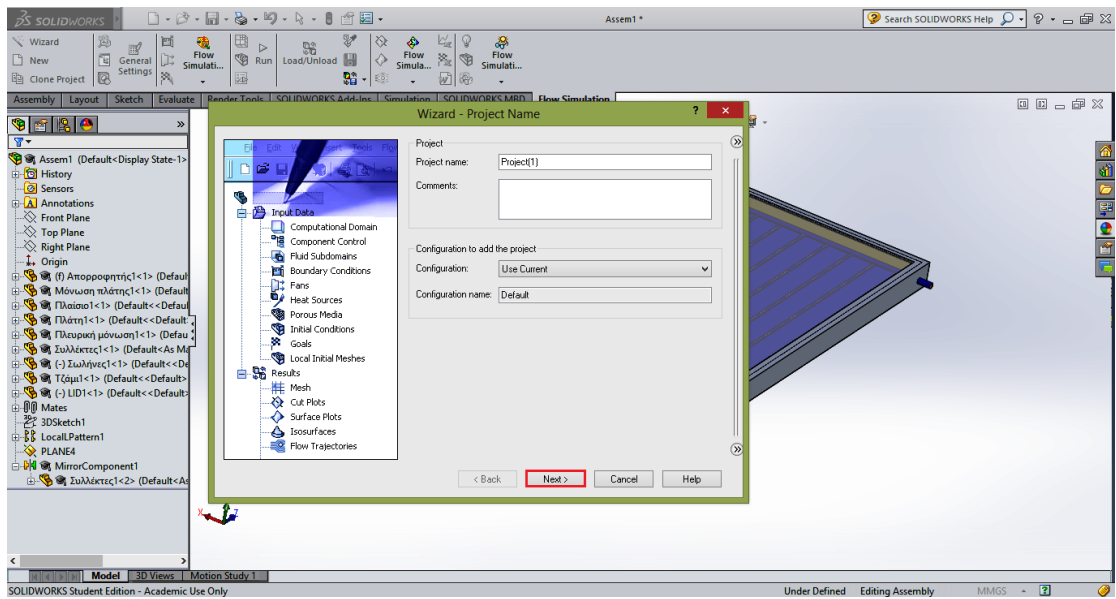
Δείκτες	Σημασία
a	περιβάλλον
p	απορροφητής
c	κάλυμμα
b	πλάτη
i	είσοδος ή εσωτερικά
o	έξοδος ή εξωτερικά
T	κεκλιμένη επιφάνεια

Πίνακας 4.2: Ορισμός βασικών μεγεθών

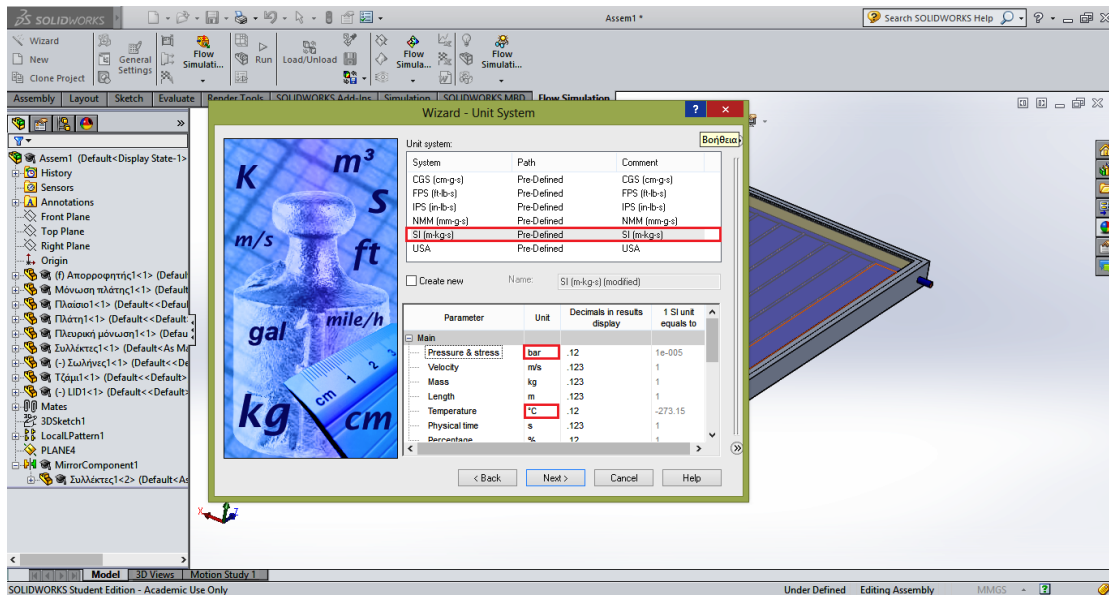
Μεγέθη	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες
Θερμοκρασία του περιβάλλοντος	T_a	10	$^{\circ}\text{C}$
Θερμοκρασία εισόδου του ρευστού	T_i	30-70	$^{\circ}\text{C}$
Παροχή μάζας του ρευστού	m	0.04	kg/s
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας καλύμματος και περιβάλλοντος	h_{co-a}	8	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας πλάτης και περιβάλλοντος	h_{b-a}	7	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ πλάκας απορρόφησης και εσωκλειόμενου αέρα	h_{p-ai}	8	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εσωτερικής επιφάνειας καλύμματος και εσωκλειόμενου αέρα	h_{ai-ci}	8	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Ολική στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένης επιφανείας	G_T	800	W/m^2



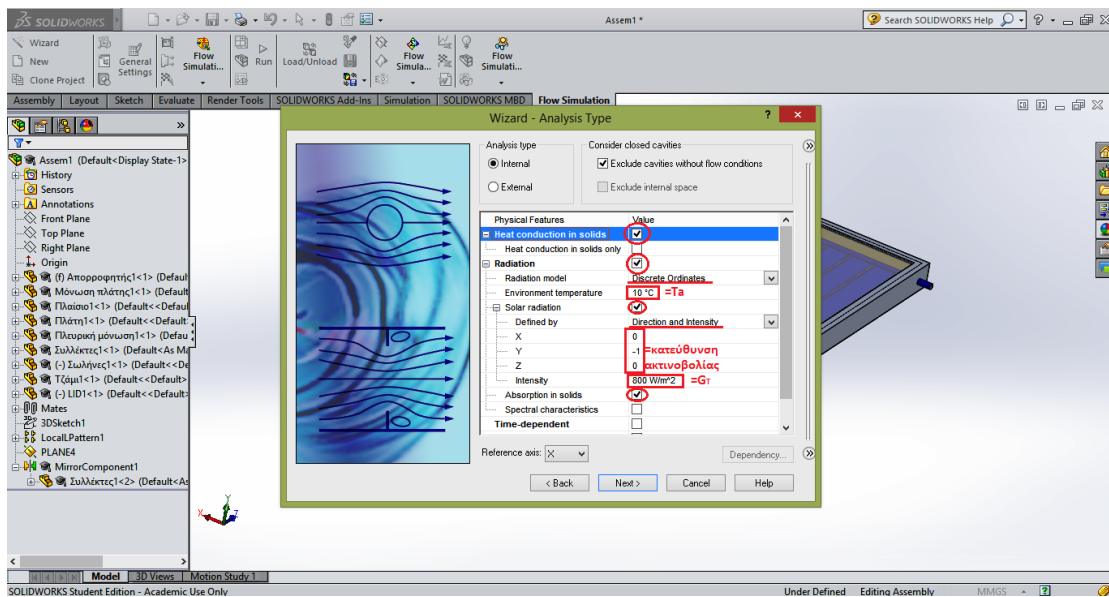
Εικόνα 4.5: Ενεργοποίηση της εντολής Wizard



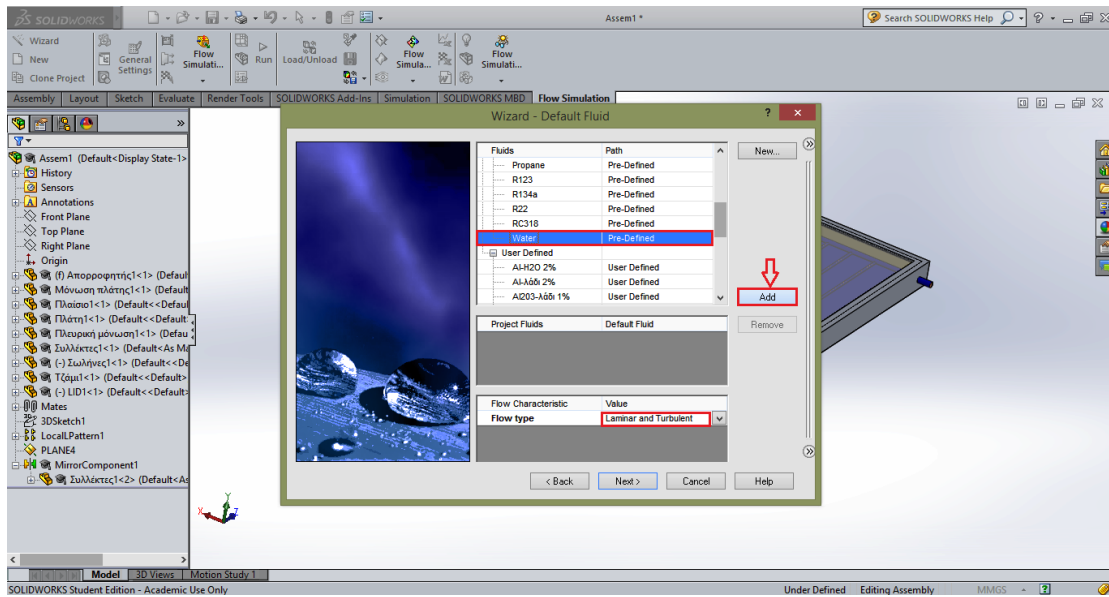
Εικόνα 4.6: Ονομασία της εργασίας προσομοίωσης



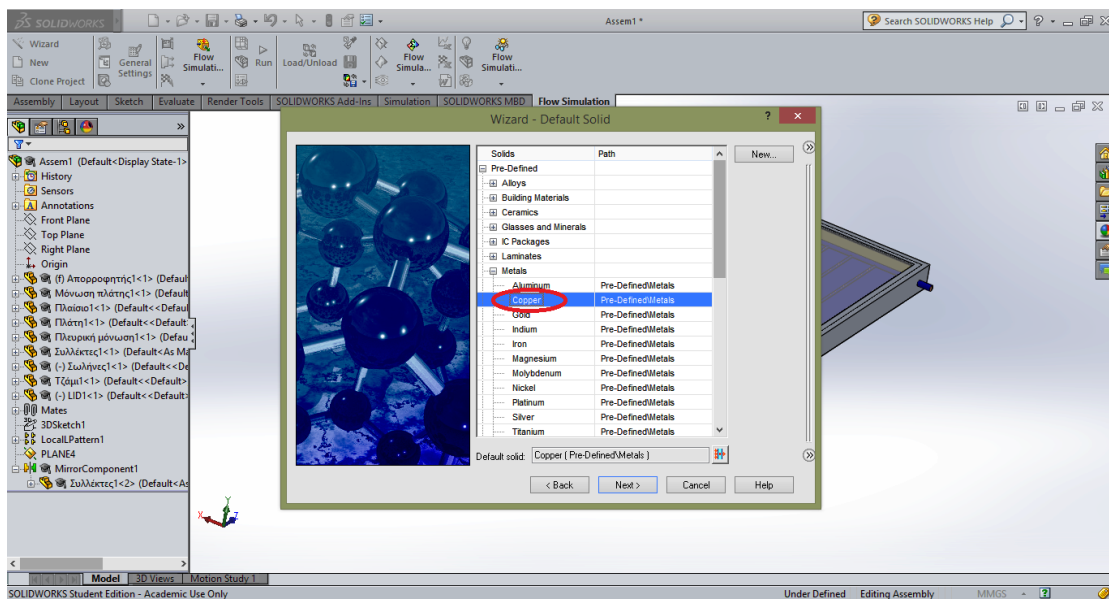
Εικόνα 4.7: Επιλογή συστήματος μονάδων μέτρησης



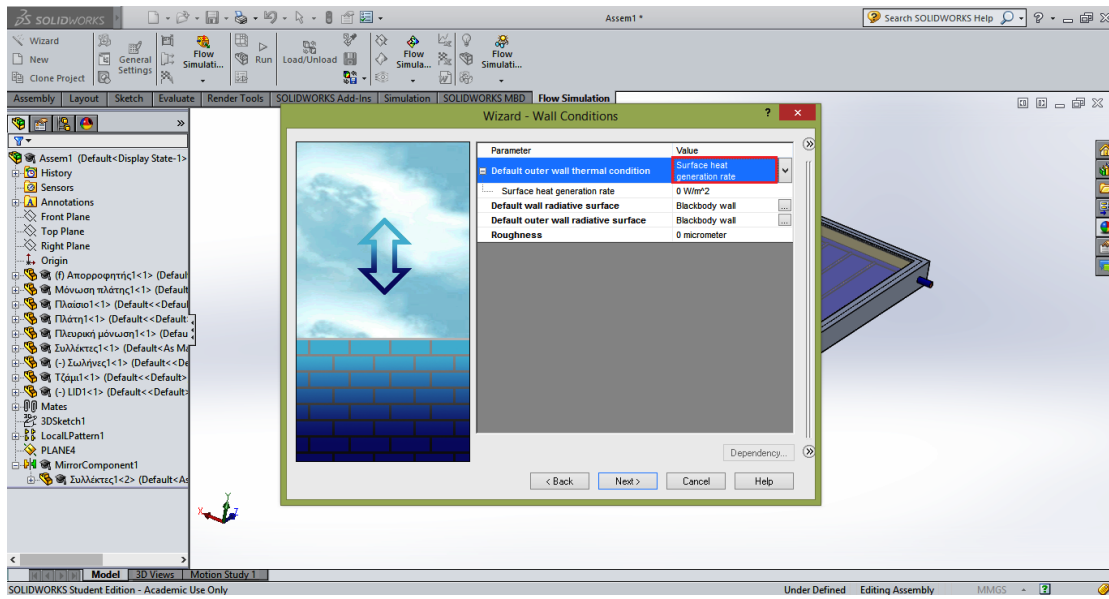
Εικόνα 4.8: Ορισμός αναγκαίων μεγεθών



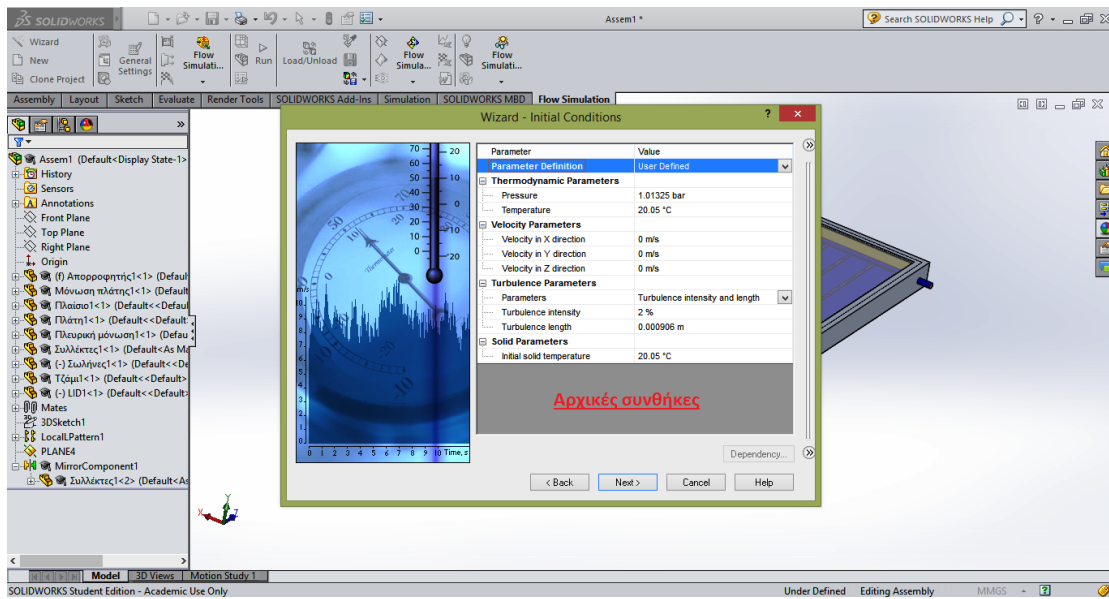
Εικόνα 4.9: Ορισμός ρευστού και τύπου ροής



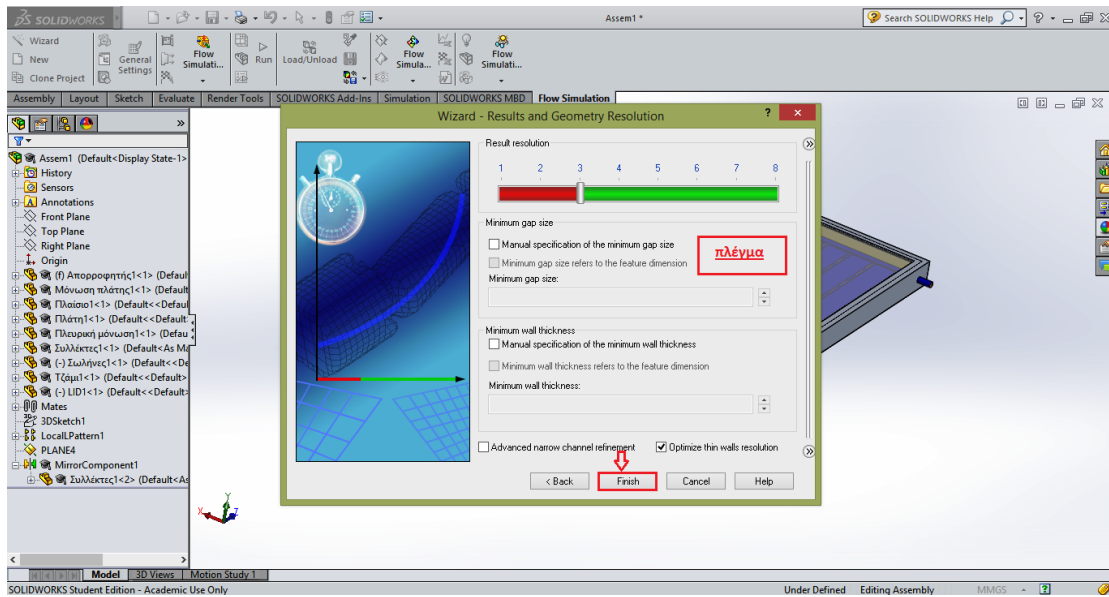
Εικόνα 4.10: Ορισμός στερεού υλικού



Εικόνα 4.11: Ορισμός του τύπου συνοριακής συνθήκης



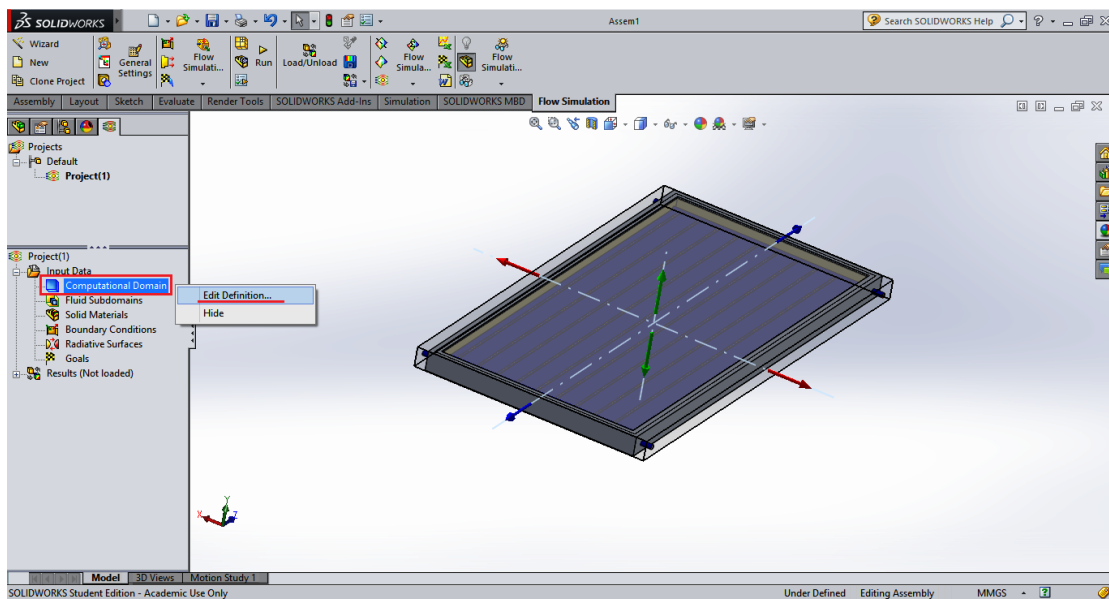
Εικόνα 4.12: Ορισμός αρχικών συνθηκών



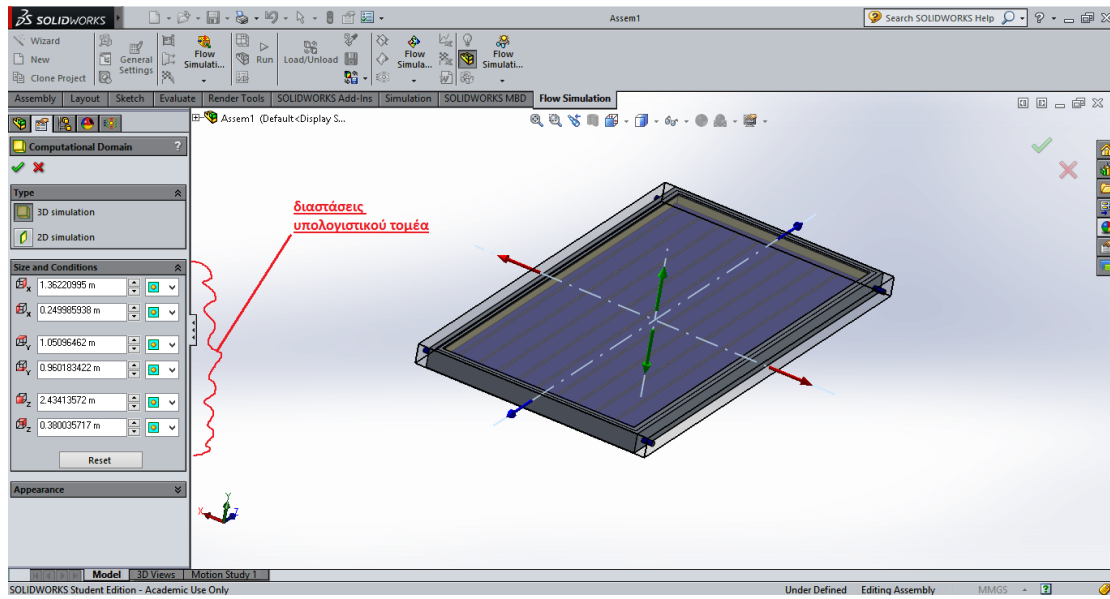
Εικόνα 4.13: Ορισμός πλέγματος

Πλέον αναλύονται μία-μία οι ενέργειες στο δέντρο της προσομοίωσης (**Input Data**). Η ενέργεια Fluid Subdomains αφορά τη προσθήκη επιπρόσθετων ρευστών αν χρειάζονται, όμως δε θα χρησιμοποιηθούν στο υπάρχον πρόβλημα κι έτσι δε θα αναλυθεί αυτή η ενέργεια.

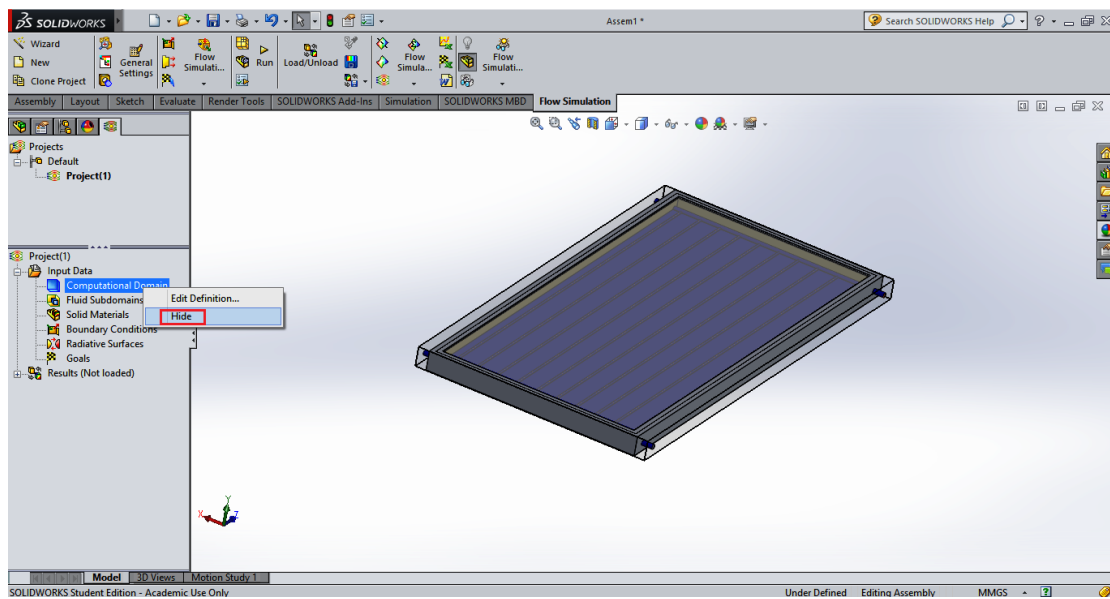
4.2 Ορισμός υπολογιστικού τομέα



Εικόνα 4.14: Ορισμός υπολογιστικού τομέα

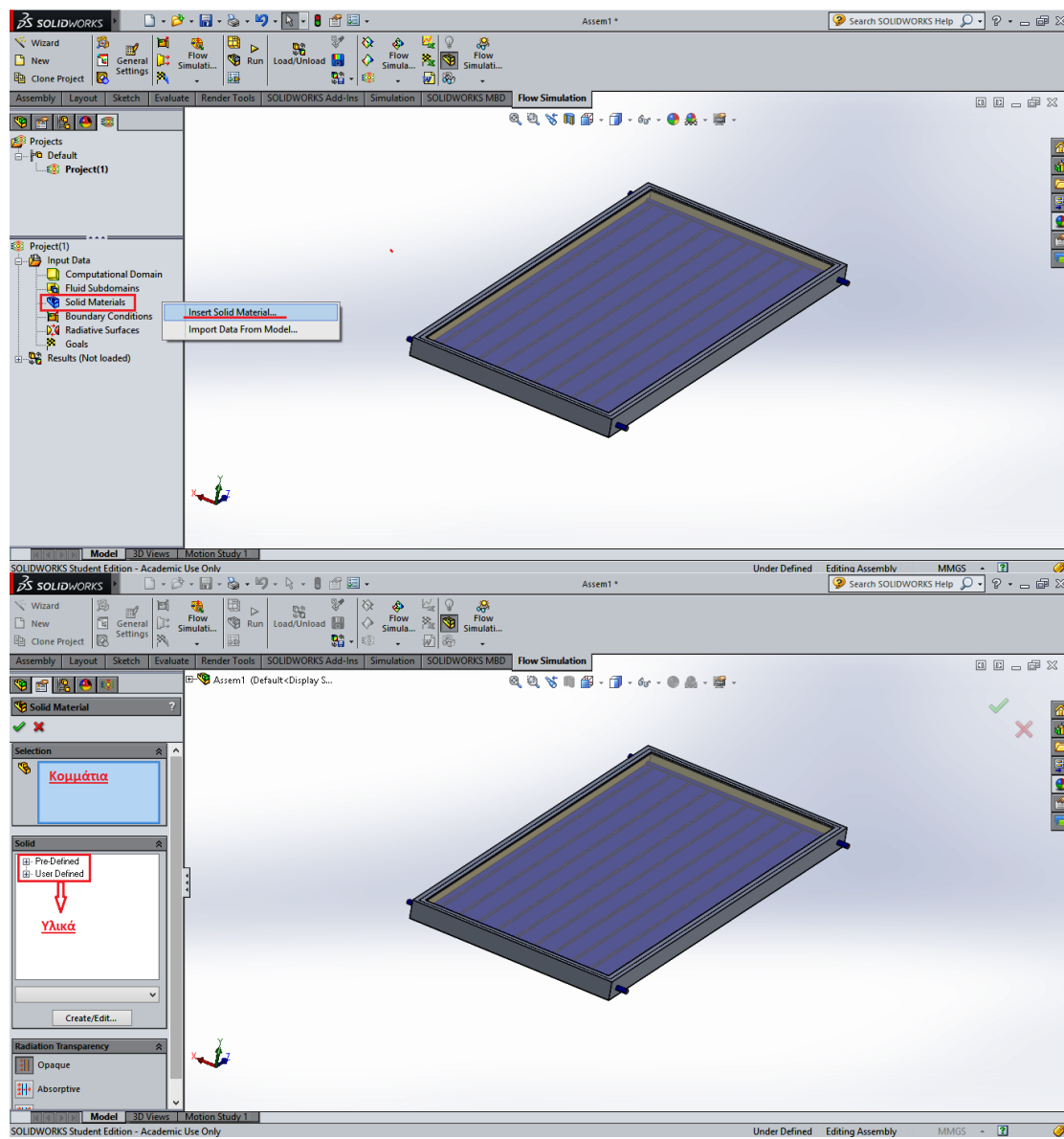


Εικόνα 4.15: Ορισμός διαστάσεων υπολογιστικού τομέα

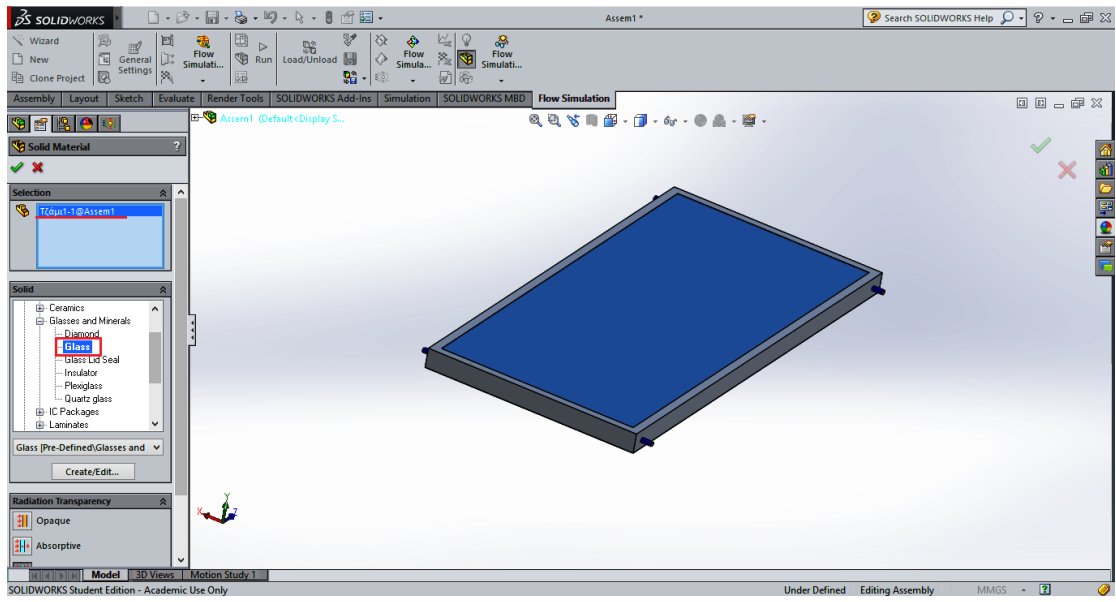


Εικόνα 4.16: Απόκρυψη του υπολογιστικού τομέα

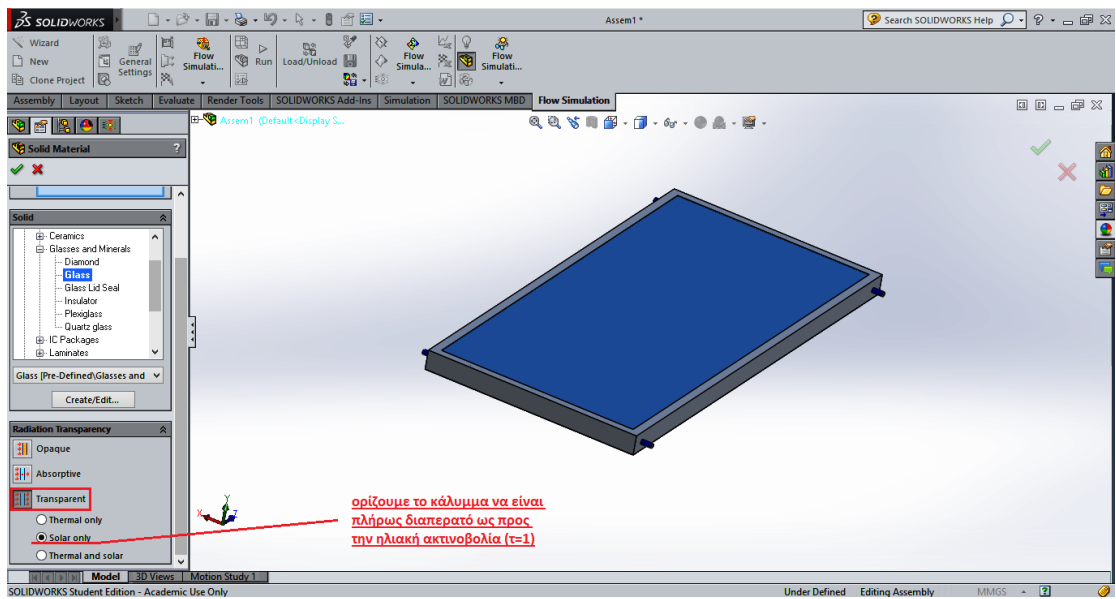
4.3 Προσθήκη υλικών του ηλιακού συλλέκτη



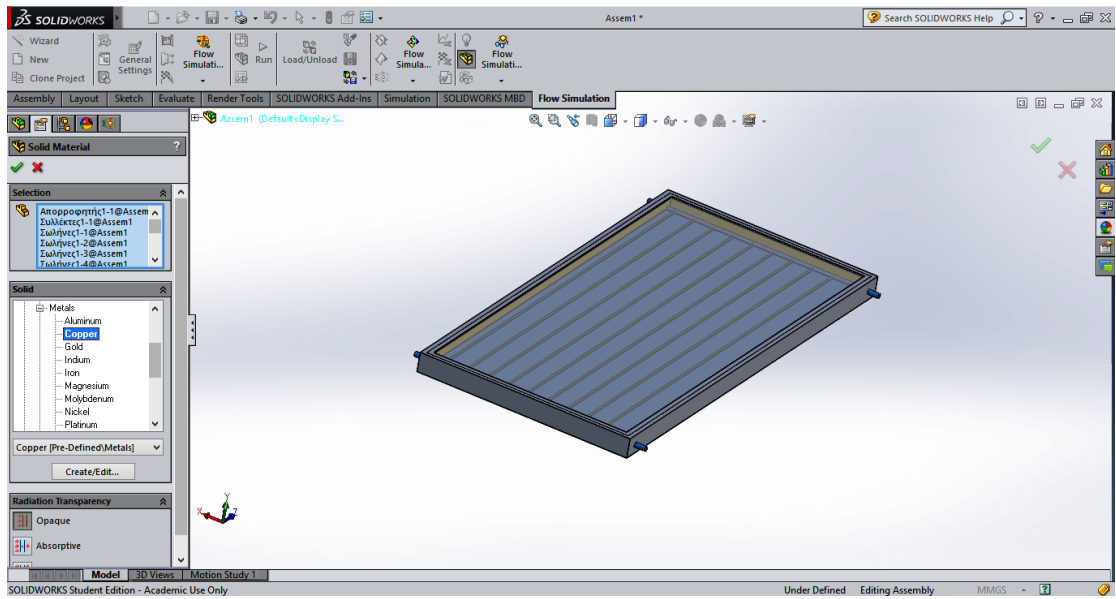
Εικόνα 4.17: Προσθήκη στερεών υλικών



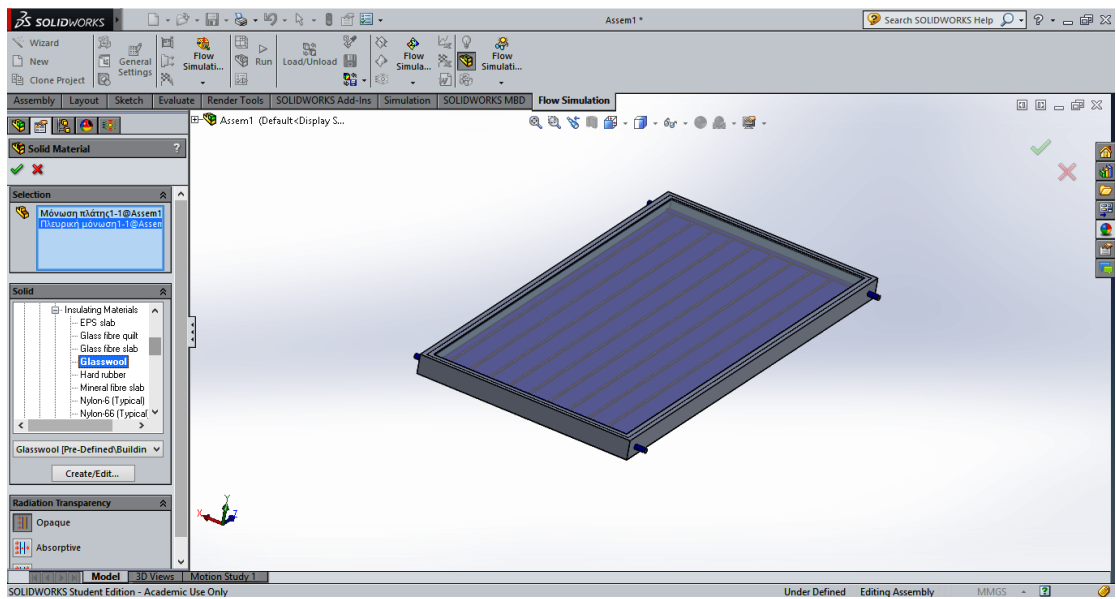
Εικόνα 4.18: Υλικό του καλύμματος



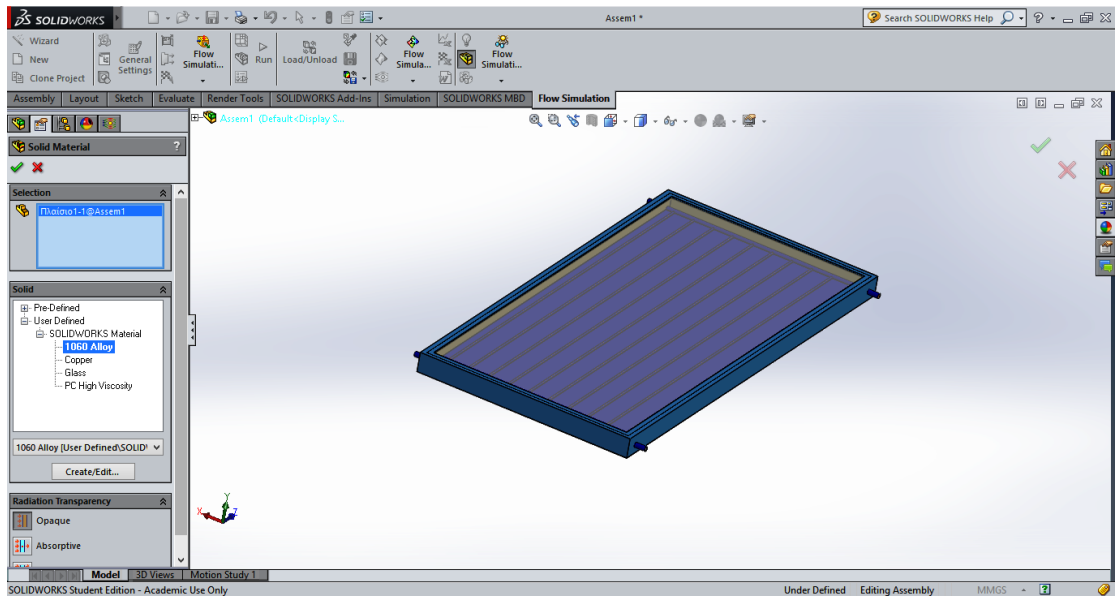
Εικόνα 4.19: Ορισμός διαπερατότητας του καλύμματος



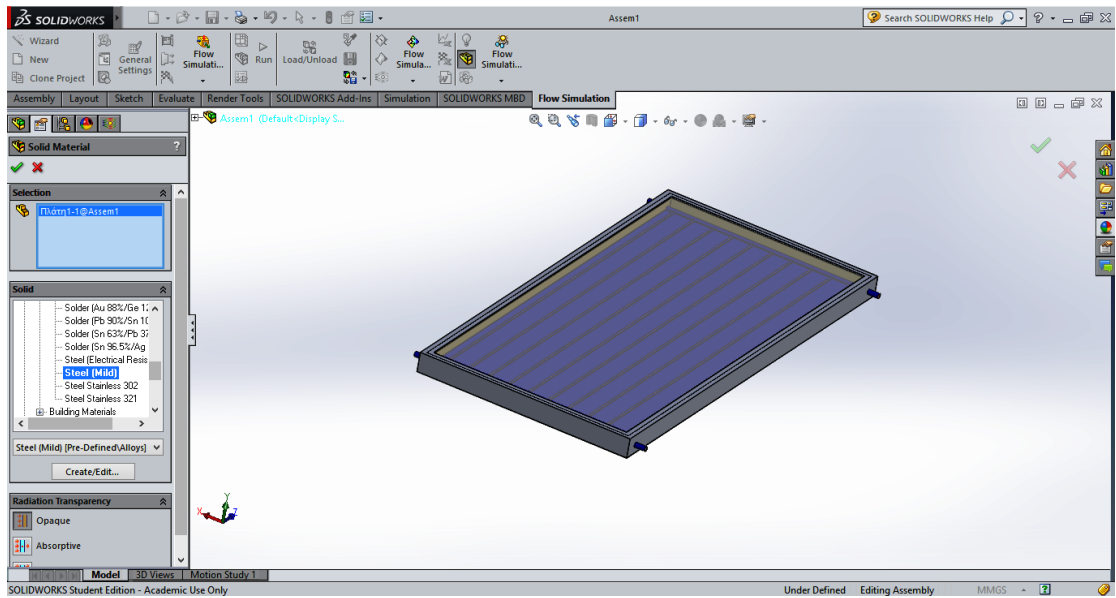
Εικόνα 4.20: Υλικό των σωληνώσεων, των συλλεκτών και του απορροφητή



Εικόνα 4.21: Υλικό της μόνωσης πλάτης και της πλευρικής μόνωσης

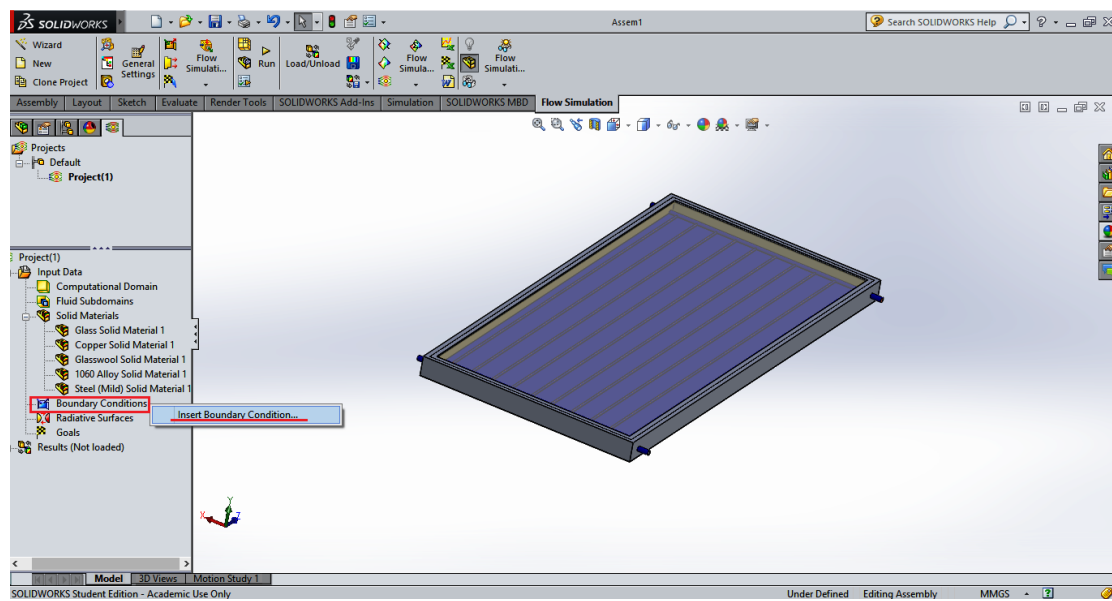


Εικόνα 4.22: Υλικό του εξωτερικού περιβλήματος (πλασιού) του συλλέκτη

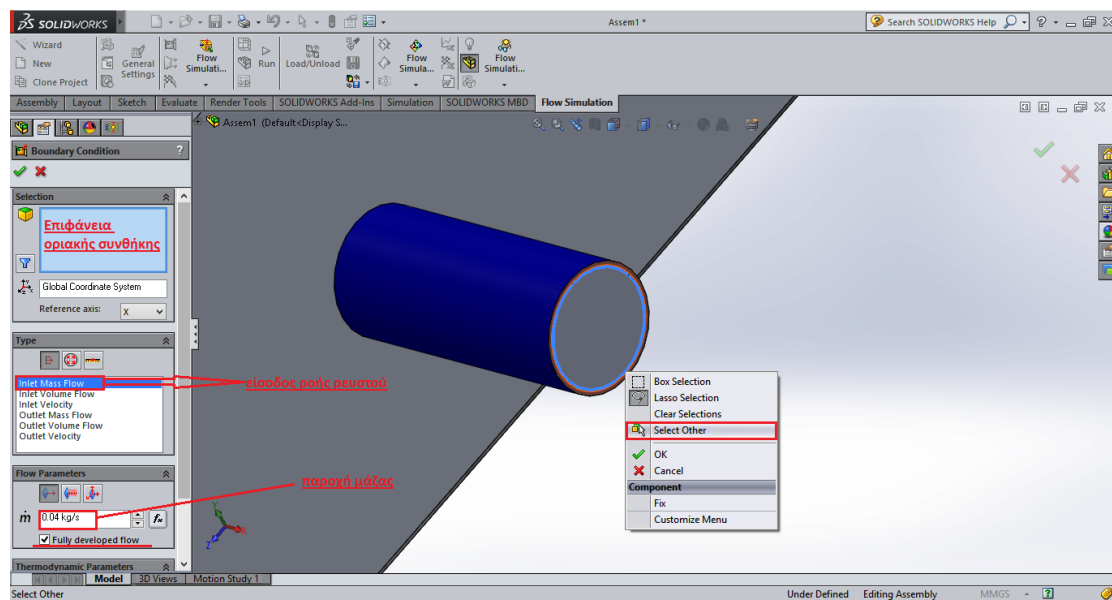


Εικόνα 4.23: Υλικό της πλάτης του συλλέκτη

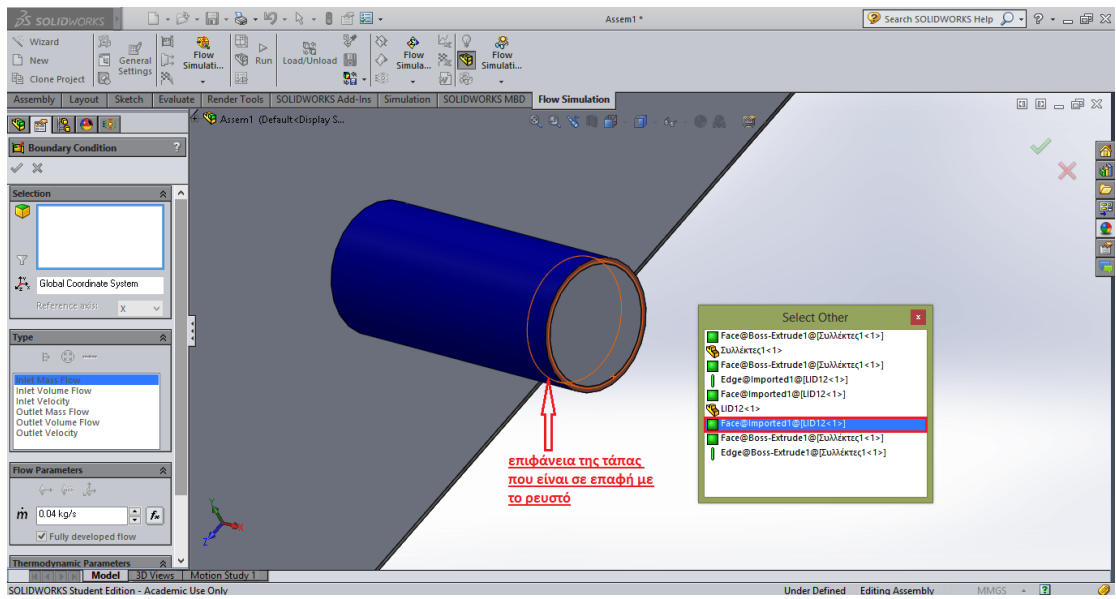
4.4 Προσθήκη οριακών συνθηκών



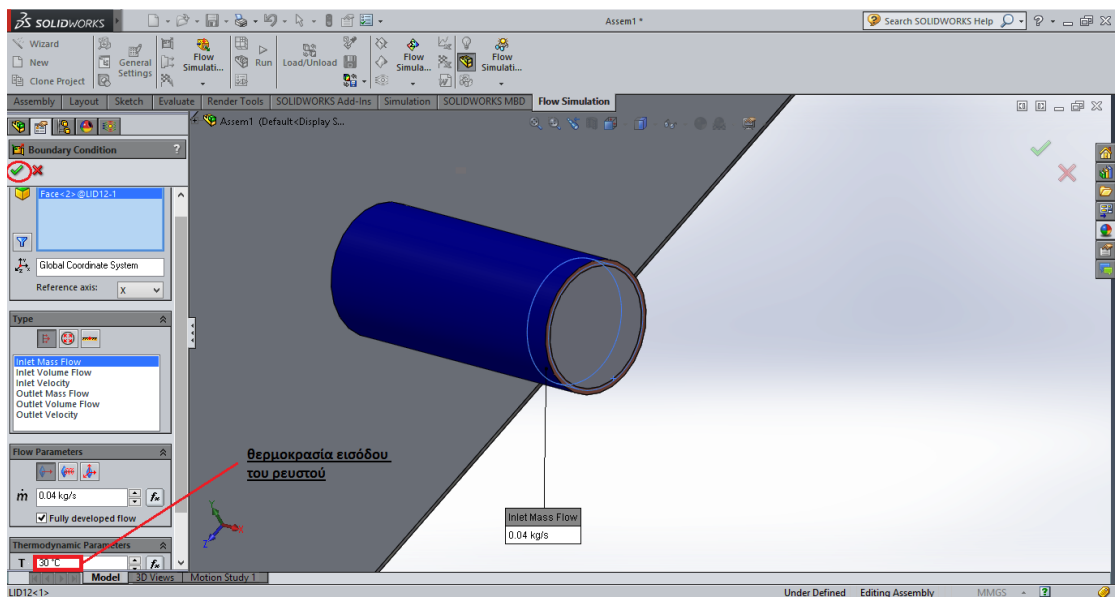
Εικόνα 4.24: Προσθήκη οριακών συνθηκών



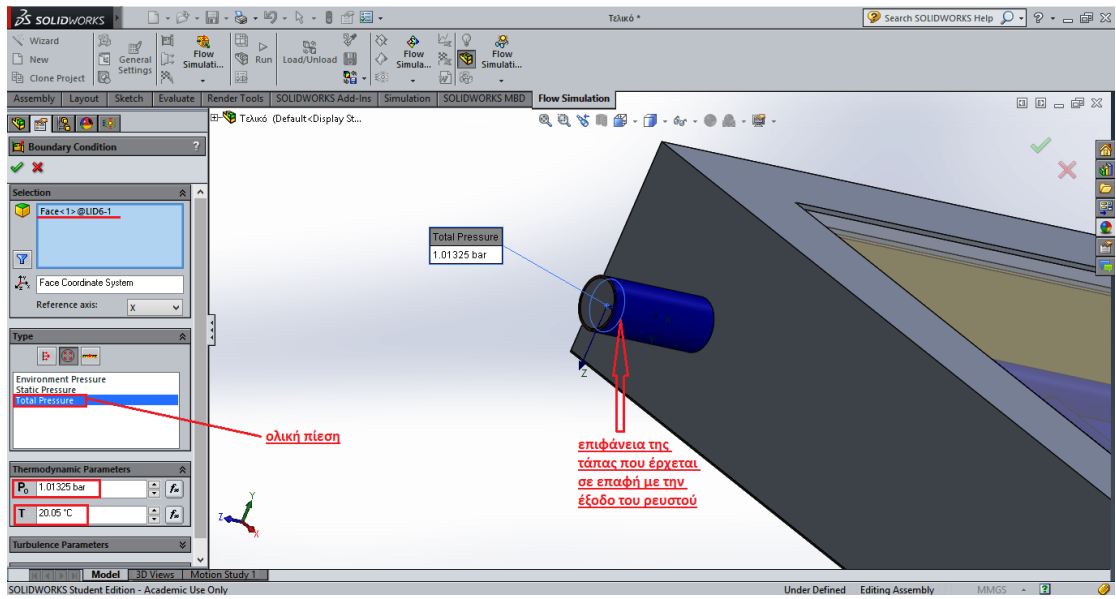
Εικόνα 4.25: Συνθήκη εισόδου



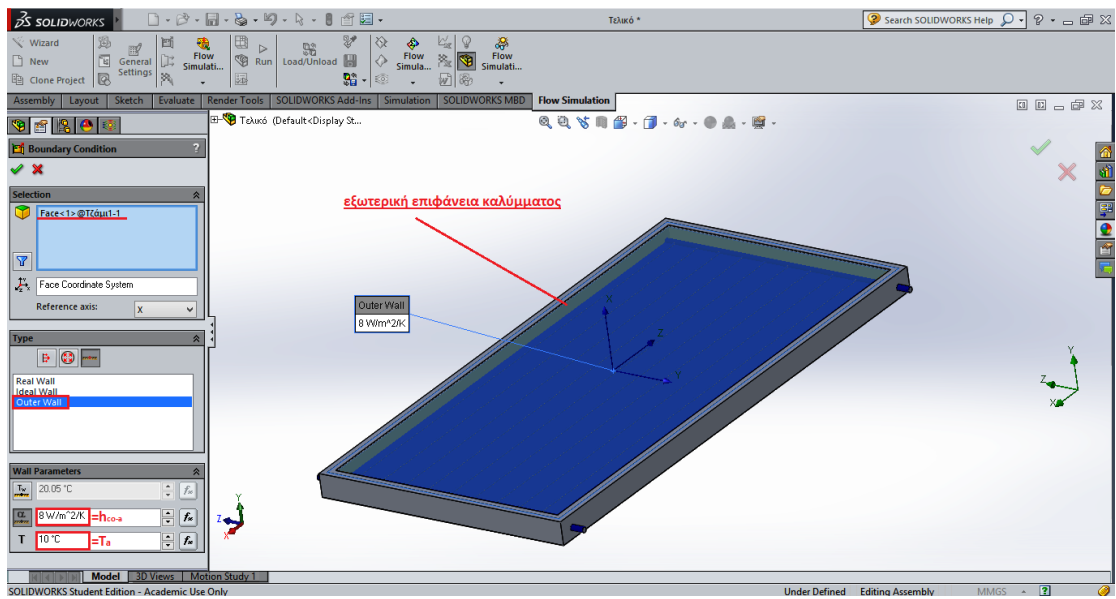
Εικόνα 4.26: Συνθήκη εισόδου



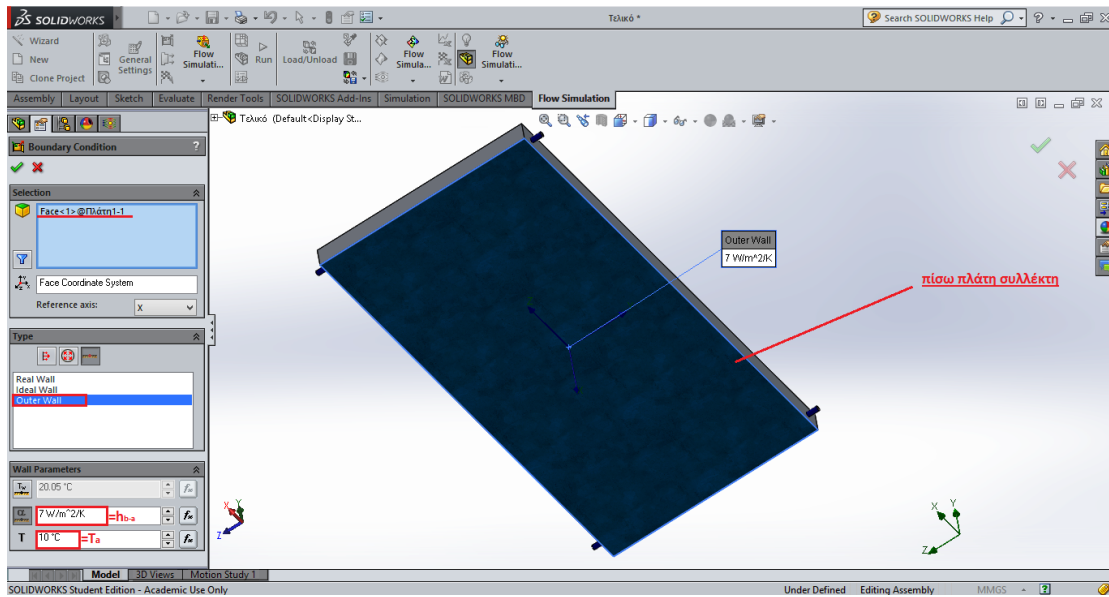
Εικόνα 4.27: Συνθήκη εισόδου



Εικόνα 4.28: Συνθήκη εξόδου



Εικόνα 4.29: Συνθήκη μετάδοσης θερμότητας μεταξύ καλύμματος και περιβάλλοντος



Εικόνα 4.30: Συνθήκη μετάδοσης θερμότητας μεταξύ πλάτης του συλλέκτη και περιβάλλοντος

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί πως υπήρχαν δυσκολίες στην εισαγωγή αέρα μεταξύ καλύμματος και απορροφητή, καθώς το πρόγραμμα έκανε υπερβολικό χρόνο για να συγκλίνει στις επιθυμητές λύσεις. Έτσι, ο αέρας θα εισαχθεί με έμμεσο τρόπο. Συγκεκριμένα, η παρουσία του αέρα θα προσομοιωθεί μέσω των απωλειών που υπάρχουν λόγω συναγωγής από την πλάκα απορρόφησης έως το κάλυμμα και αυτό θα γίνει οριζοντας δύο συντελεστές συναγωγής, έναν μεταξύ του υποτιθέμενου αέρα και του απορροφητή (h_{p-ai}), καθώς και έναν μεταξύ του αέρα και της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος (h_{ai-ci}).

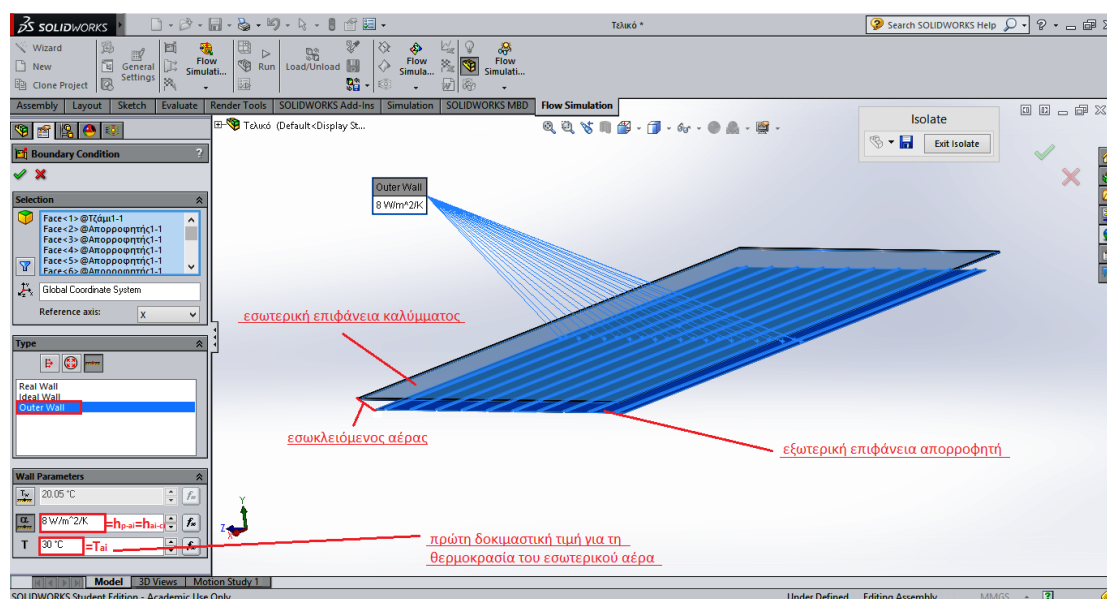
$$q_{p-ai} = h_{p-ai} \cdot (T_p - T_{ai}) = q_{ai-ci} = h_{ai-ci} \cdot (T_{ai} - T_{ci})$$

Λόγω της μικρής απόστασης πλάκας απορρόφησης-καλύμματος, θα θεωρηθεί ότι οι δύο συντελεστές συναγωγής είναι ίσοι μεταξύ τους ($h_{p-ai} = h_{ai-ci}$). Επίσης, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα μεταφερόμενα ποσά θερμότητας δια συναγωγής από την πλάκα στον αέρα και από τον αέρα στο κάλυμμα είναι περίπου ίσα ($q_{p-ai} = q_{ai-ci}$). Έτσι, από την επίλυση της πάνω εξίσωσης προκύπτει ότι η θερμοκρασία του αέρα μεταξύ

καλύμματος και απορροφητή είναι ίση με το ημίθροισμα των θερμοκρασιών της πλάκας απορρόφησης και της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος.

$$T_{ai} = \frac{T_p + T_{ci}}{2}$$

Η θερμοκρασία του αέρα θα προσδιορίζεται με δοκιμές (για συγκεκριμένη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού), μέχρις ότου ικανοποιηθεί η παραπάνω σχέση.

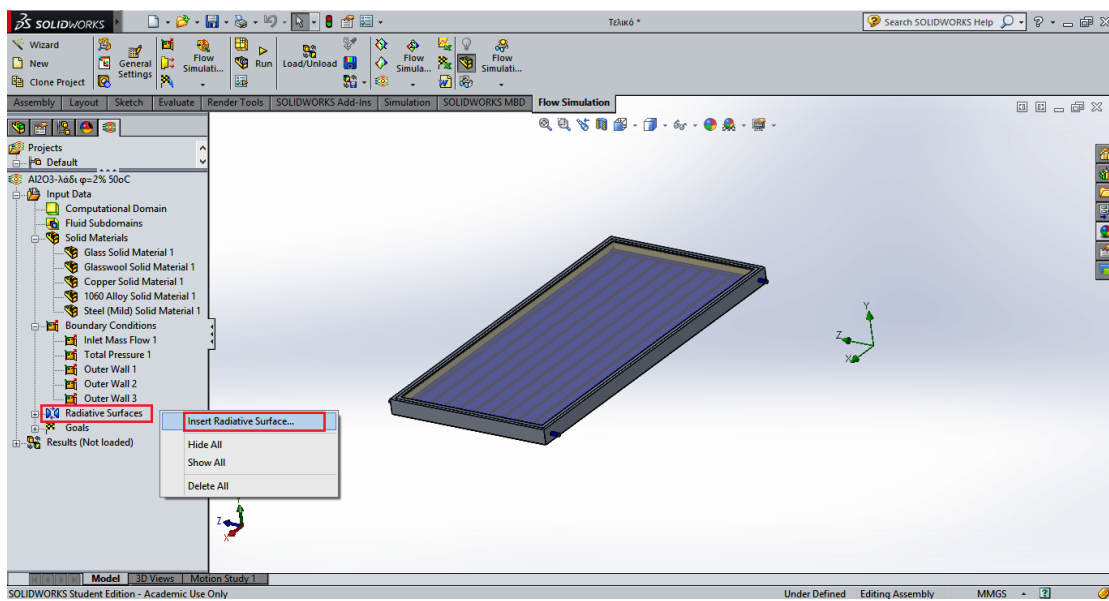


Εικόνα 4.31: Συνθήκη μετάδοσης θερμότητας μεταξύ πλάκας απορρόφησης και καλύμματος

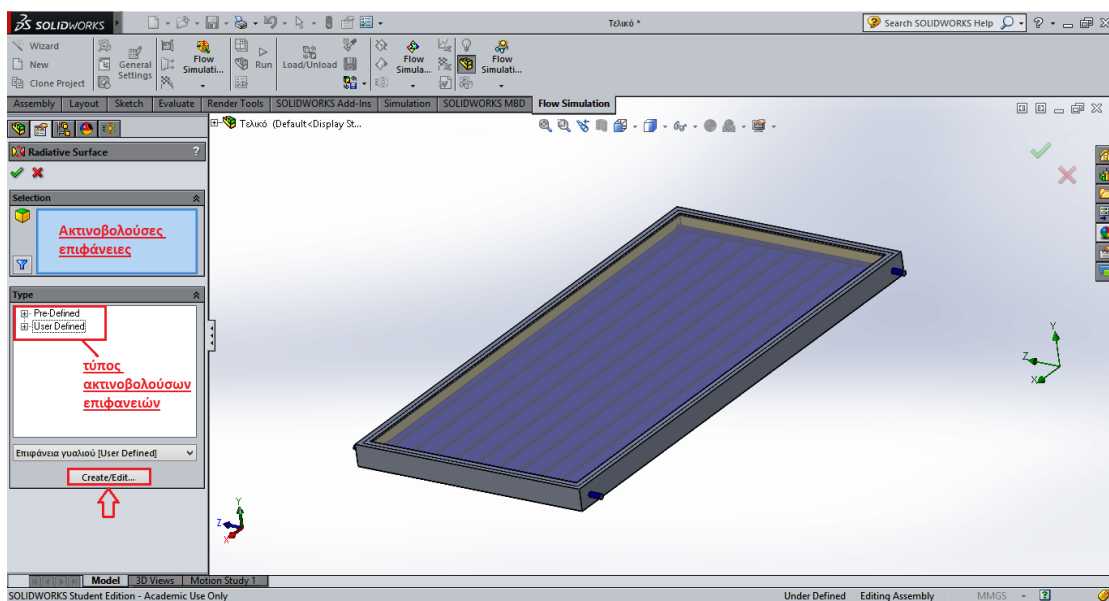
4.5 Προσθήκη ακτινοβολούντων επιφανειών

Το επόμενο βήμα είναι να οριστούν οι ακτινοβολούσες επιφάνειες, θα πρέπει πρώτα όμως να δοθούν κάποιιοι ορισμοί. Η ηλιακή ακτινοβολία αφού διαβεί το διαφανές κάλυμμα και φθάσει στην πλάκα απορρόφησης, χωρίζεται, και ένα μέρος της απορροφάται, ενώ ένα άλλο ανακλάται πίσω στο κάλυμμα προκαλώντας μια διαδοχική σειρά ανακλάσεων και απορροφήσεων. Ορίζεται το γινόμενο διάβασης-απορρόφησης (**τα**) ως: $(\tau\alpha) = 1.01 \cdot \tau \cdot \alpha$, όπου τ ο συντελεστής διάβασης (διαπερατότητας) του καλύμματος και α ο συντελεστής απορρόφησης της πλάκας απορρόφησης. Στην πραγματικότητα, το γινόμενο (**τα**) πρόκειται περί ανηγμένου

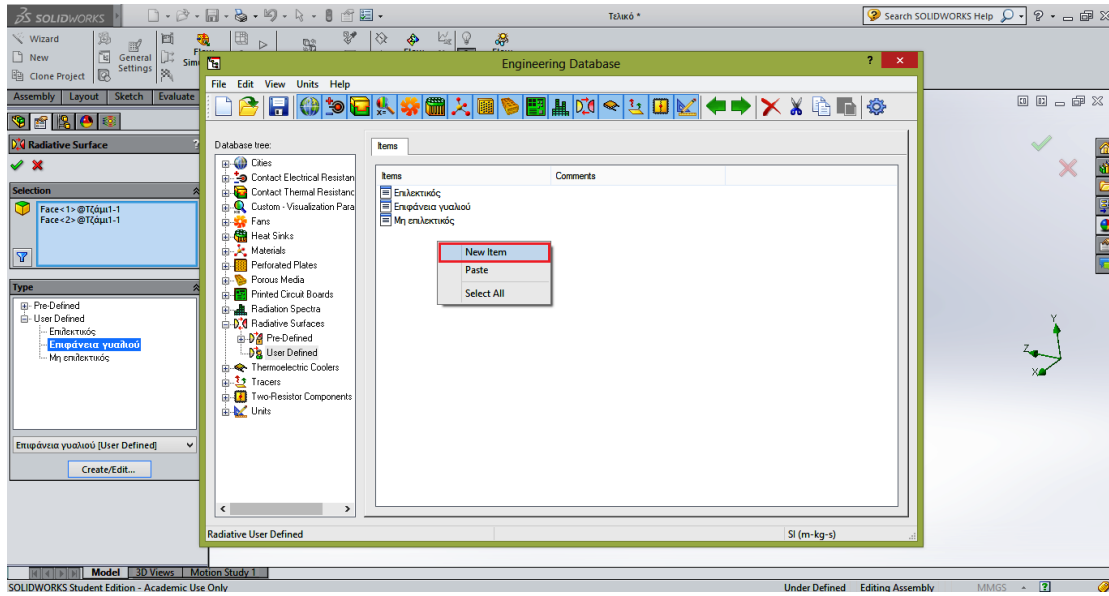
συντελεστή που εκφράζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που περνάει από το κάλυμμα και απορροφάται από την πλάκα απορρόφησης μετά από τις διαδοχικές ανακλάσεις. Για συμβατικούς λόγους έχει επικρατήσει να ονομάζεται γινόμενο (**τα**). Θα οριστούν 3 τύποι ακτινοβολούντων επιφανειών, μία για το γυάλινο κάλυμμα και δύο για τον απορροφητή (επιλεκτικός και μη). Στην εργασία θα χρησιμοποιηθούν μόνο οι δύο όμως, αφού έχει επιλεγεί επιλεκτική επιφάνεια της πλάκας απορρόφησης.



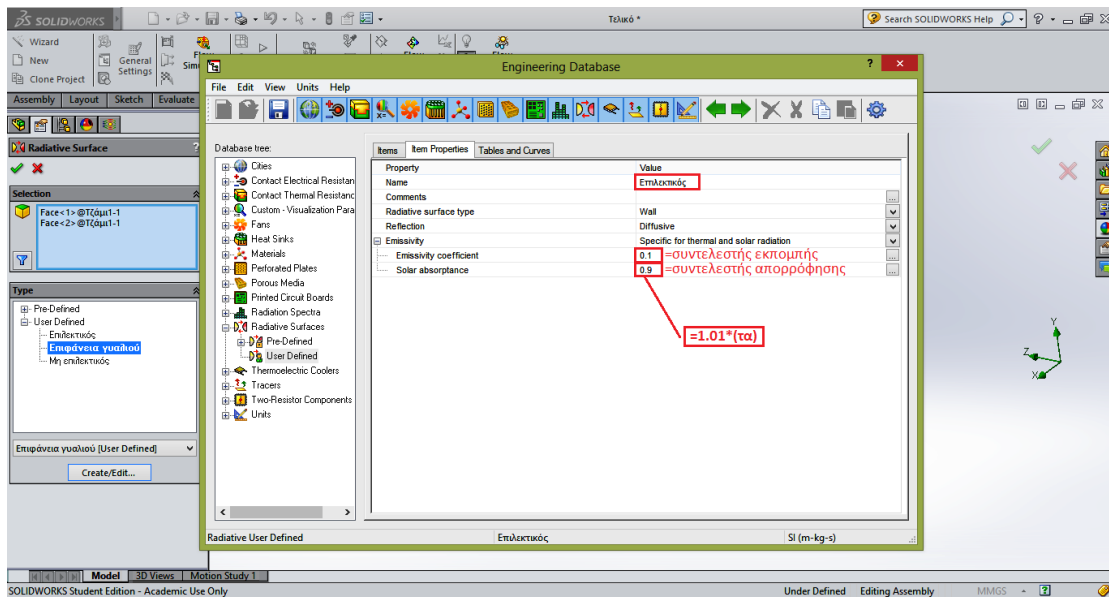
Εικόνα 4.32: Εισαγωγή ακτινοβολούντων επιφανειών



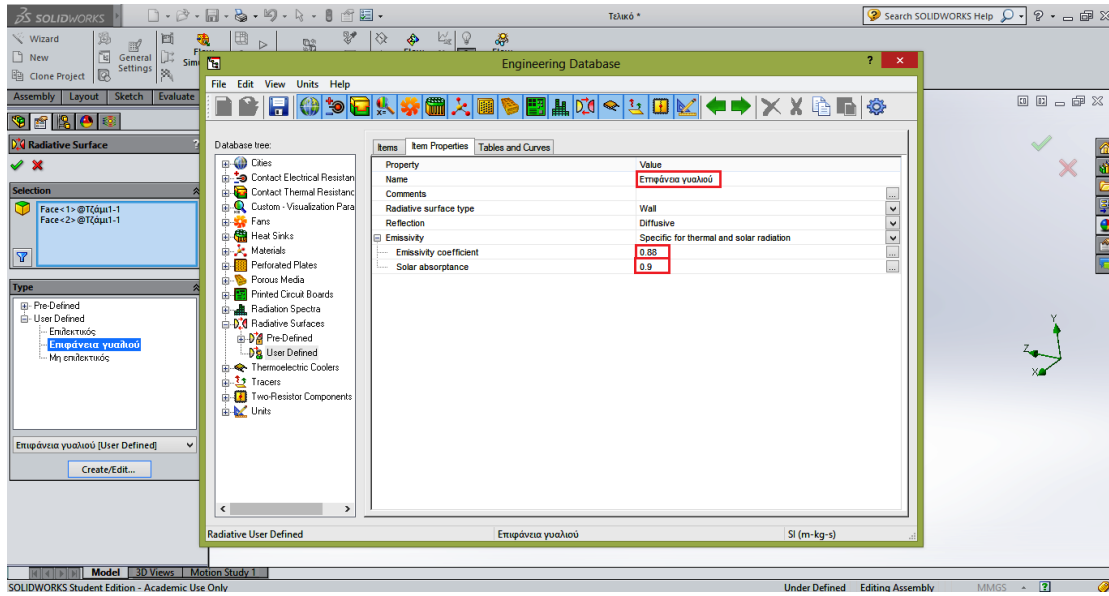
Εικόνα 4.33: Εισαγωγή ακτινοβόλουσων επιφανειών



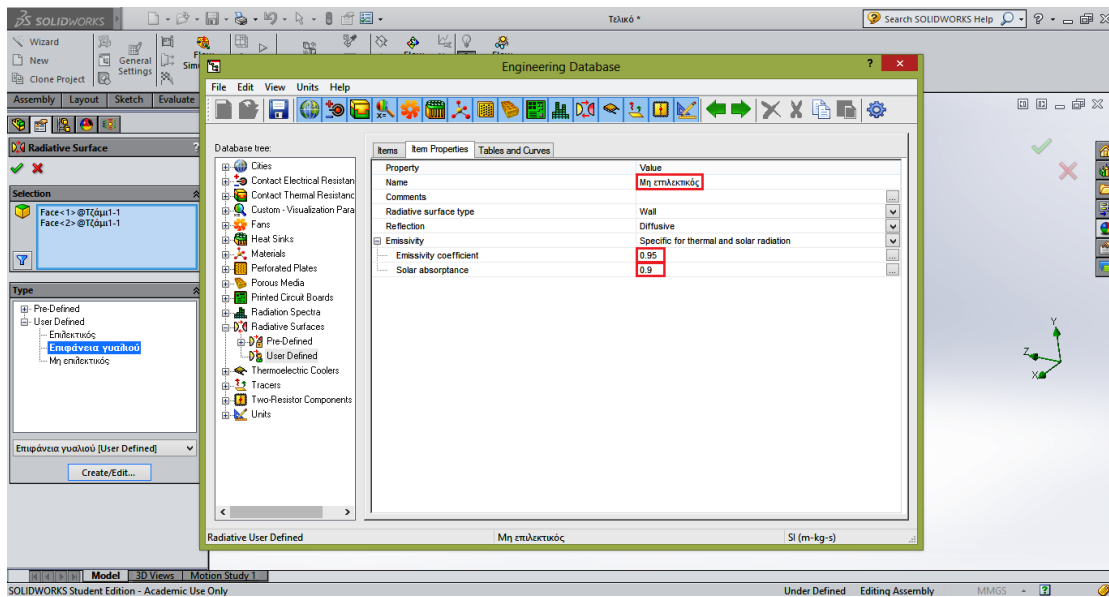
Εικόνα 4.34: Εισαγωγή νέου τύπου ακτινοβολούσας επιφάνειας



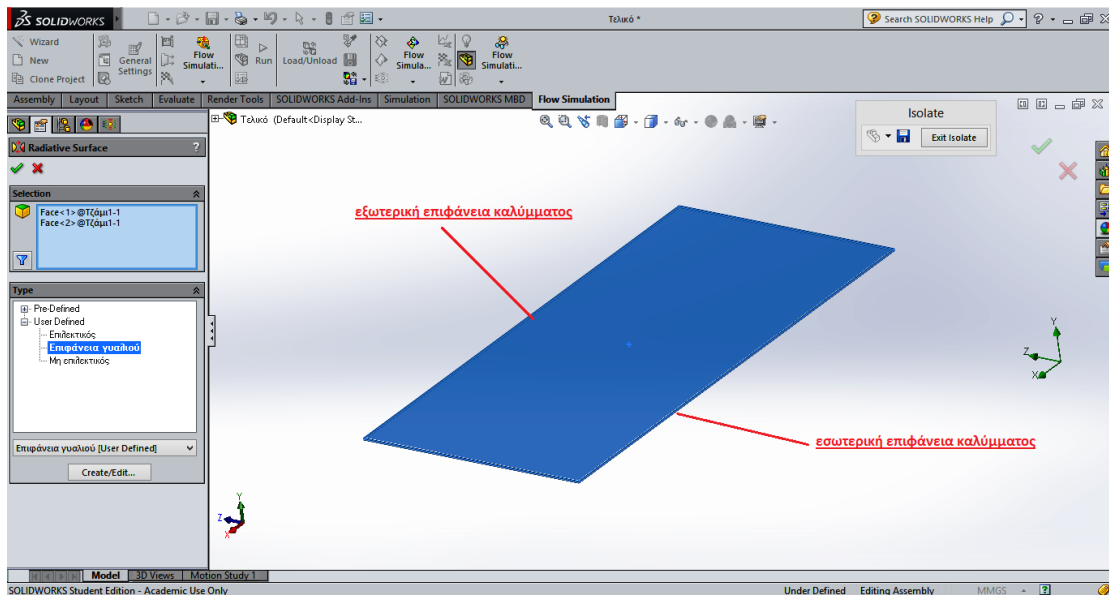
Εικόνα 4.35: Προσθήκη επιλεκτικής επιφάνειας του απορροφητή



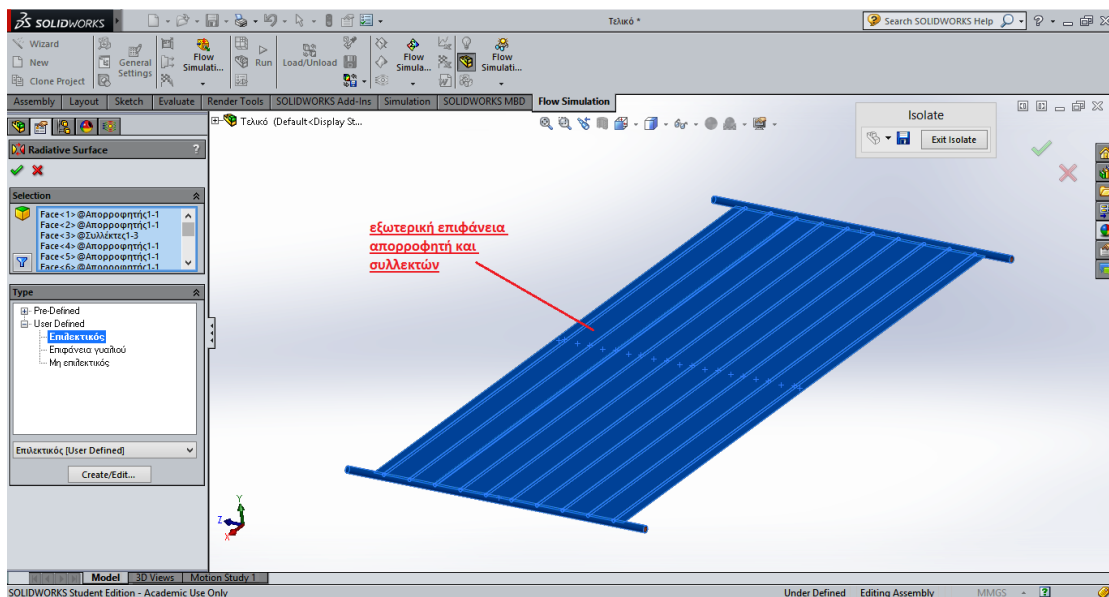
Εικόνα 4.36: Προσθήκη επιφάνειας του καλύμματος



Εικόνα 4.37: Προσθήκη μη επιλεκτικής επιφάνειας του απορροφητή



Εικόνα 4.38: Επιλογή των επιφανειών του καλύμματος που δέχονται ακτινοβολία

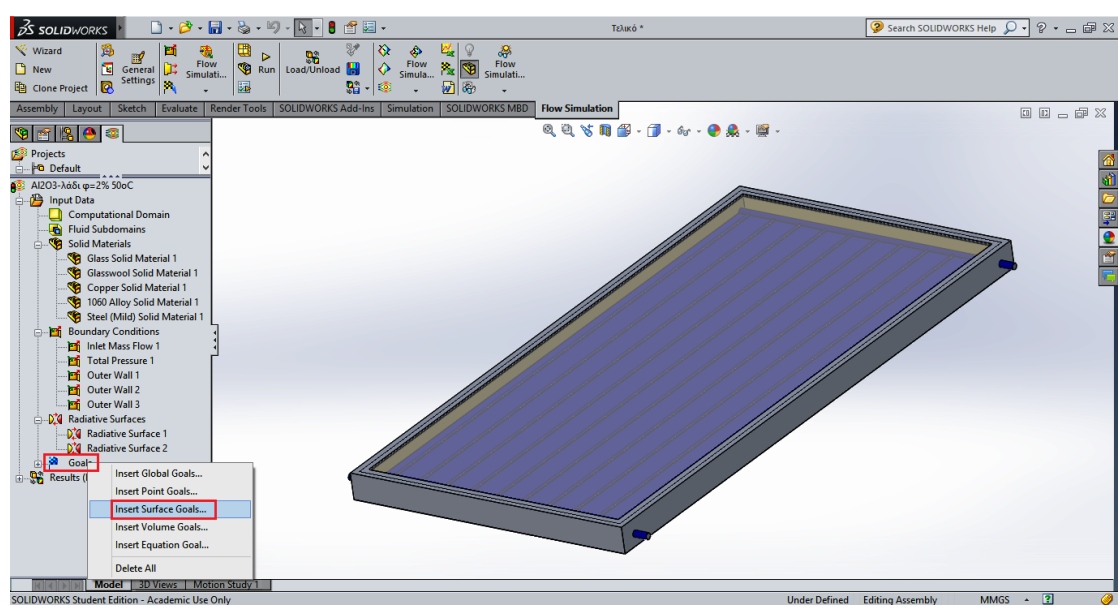


Εικόνα 4.39: Επιλογή των επιφανειών της πλάκας απορρόφησης και των συλλεκτών που δέχονται ακτινοβολία

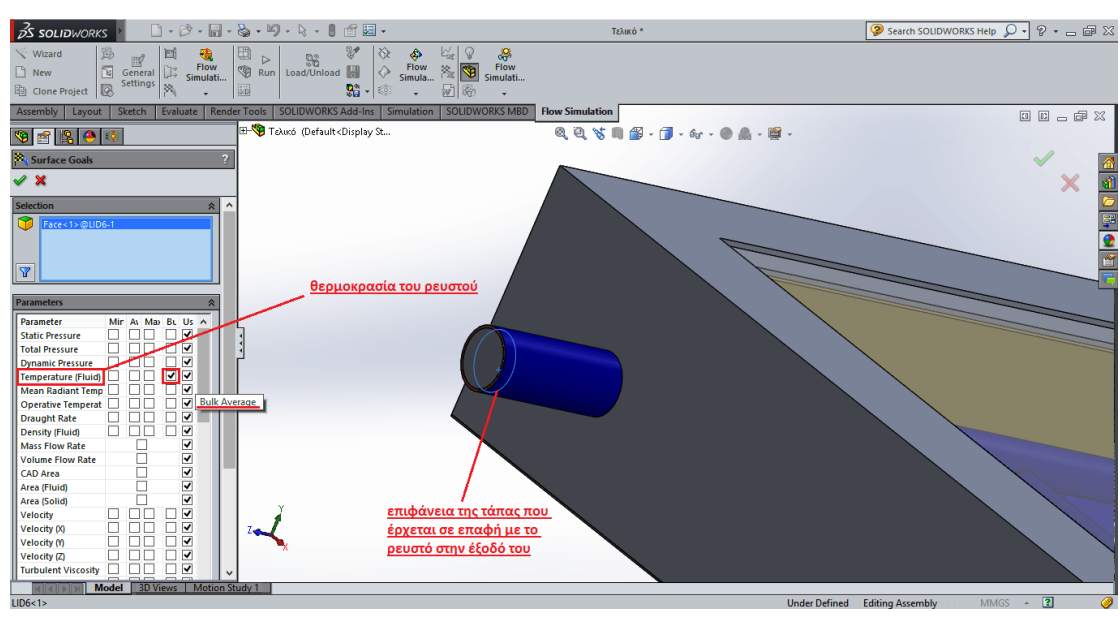
Στη συνέχεια θα οριστούν οι στόχοι που τίθενται προς επίλυση. Συγκεκριμένα, αυτοί είναι: α) η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, β) η θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης, γ) η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος, δ) η

θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος, ε) η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων και των συλλεκτών.

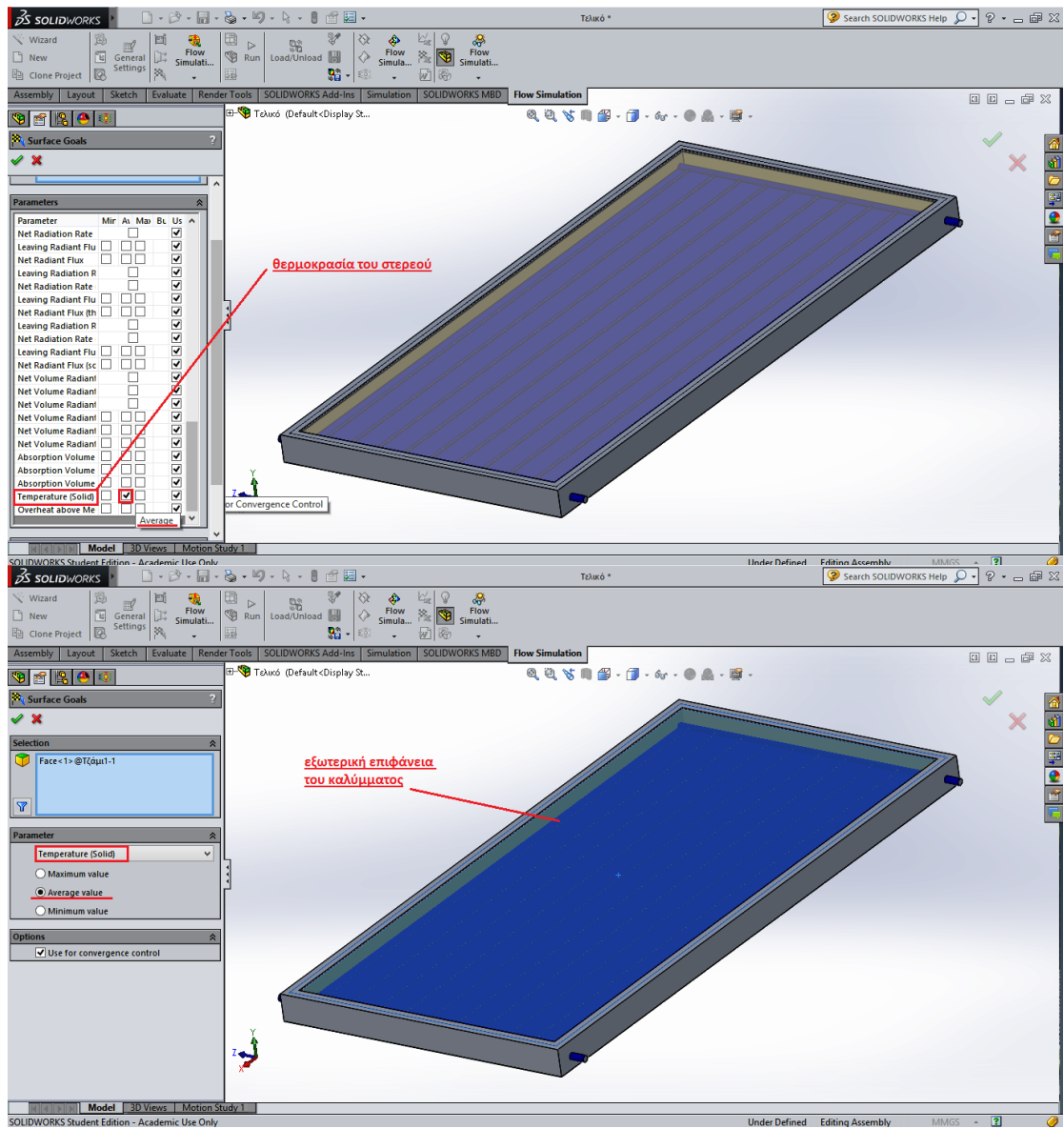
4.6 Προσθήκη των στόχων του προβλήματος



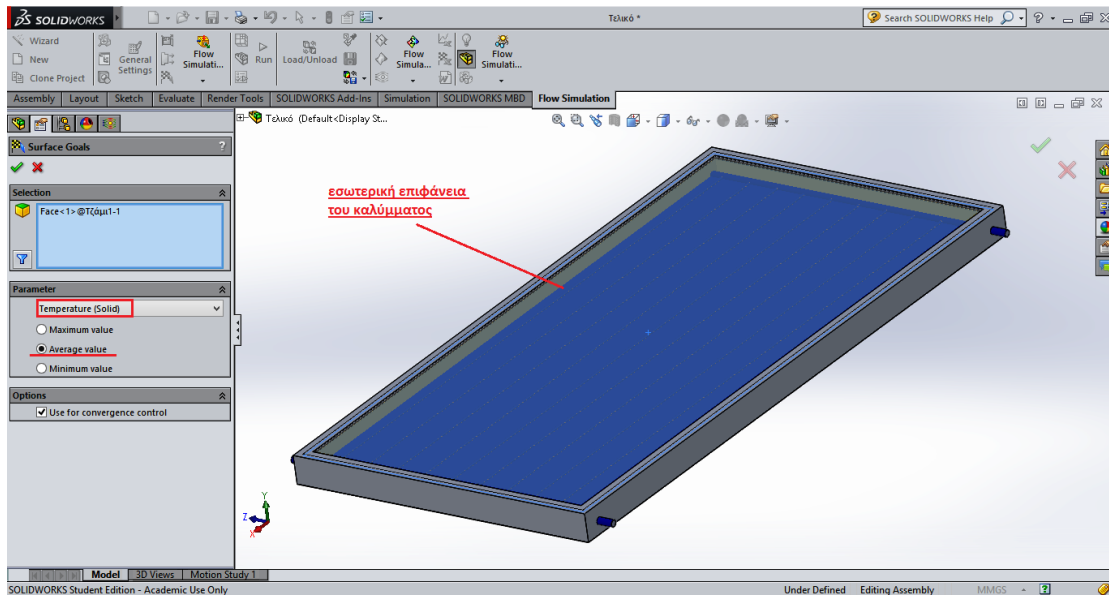
Εικόνα 4.40: Προσθήκη των στόχων



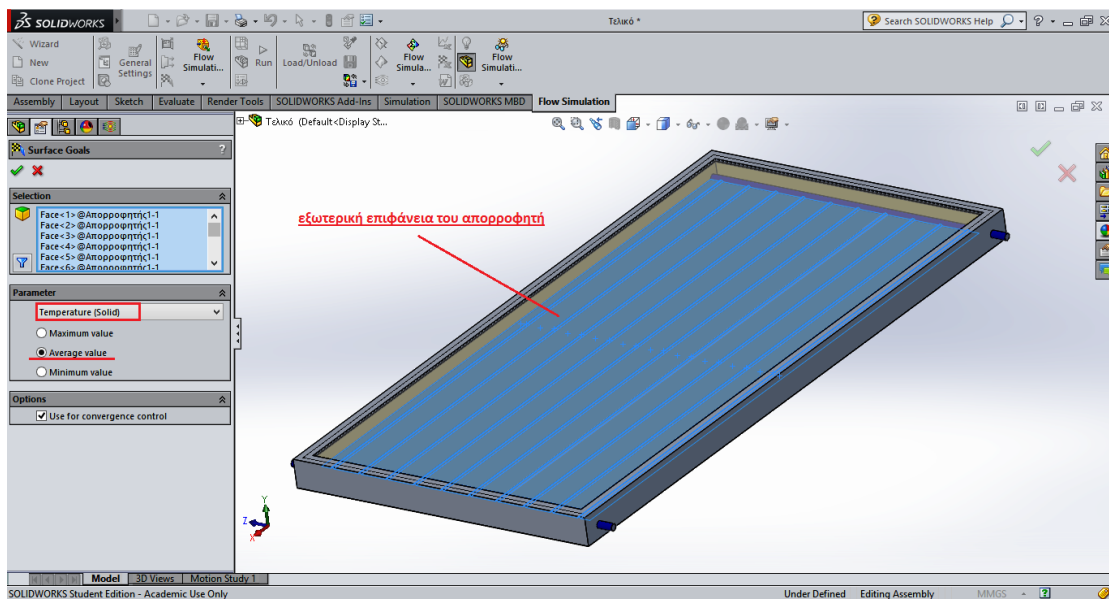
Εικόνα 4.41: Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού



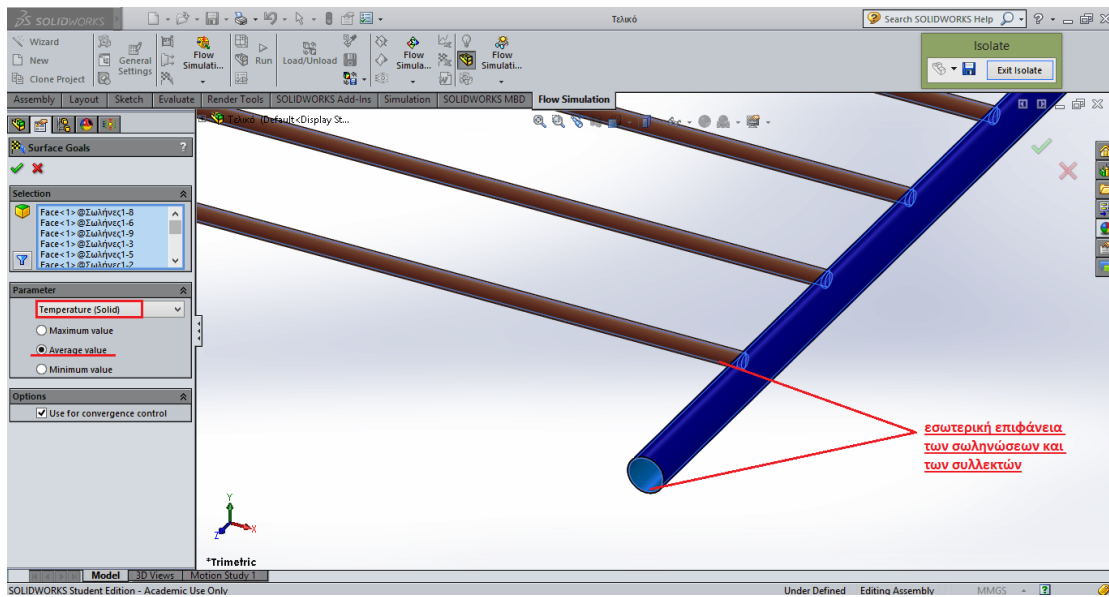
Εικόνα 4.42: Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος



Εικόνα 4.43: Θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος



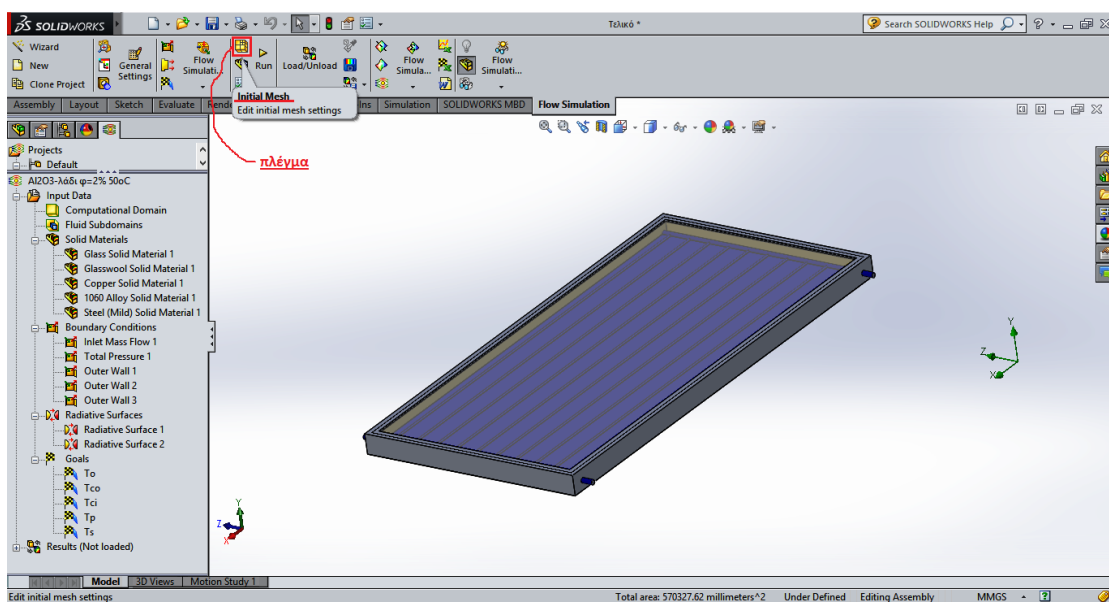
Εικόνα 4.44: Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του απορροφητή



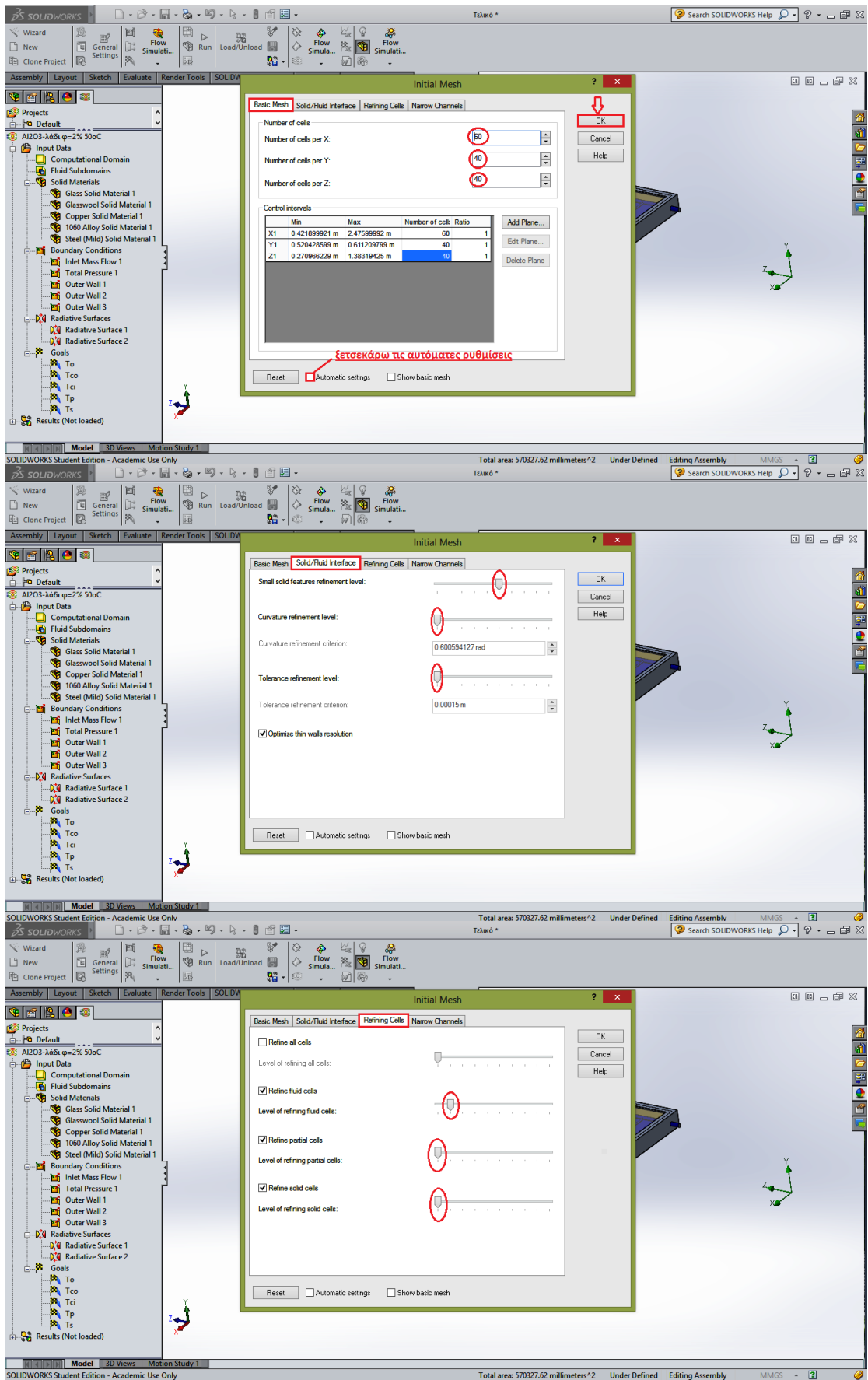
Εικόνα 4.45: Θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων και των συλλεκτών

4.7 Εισαγωγή πλέγματος

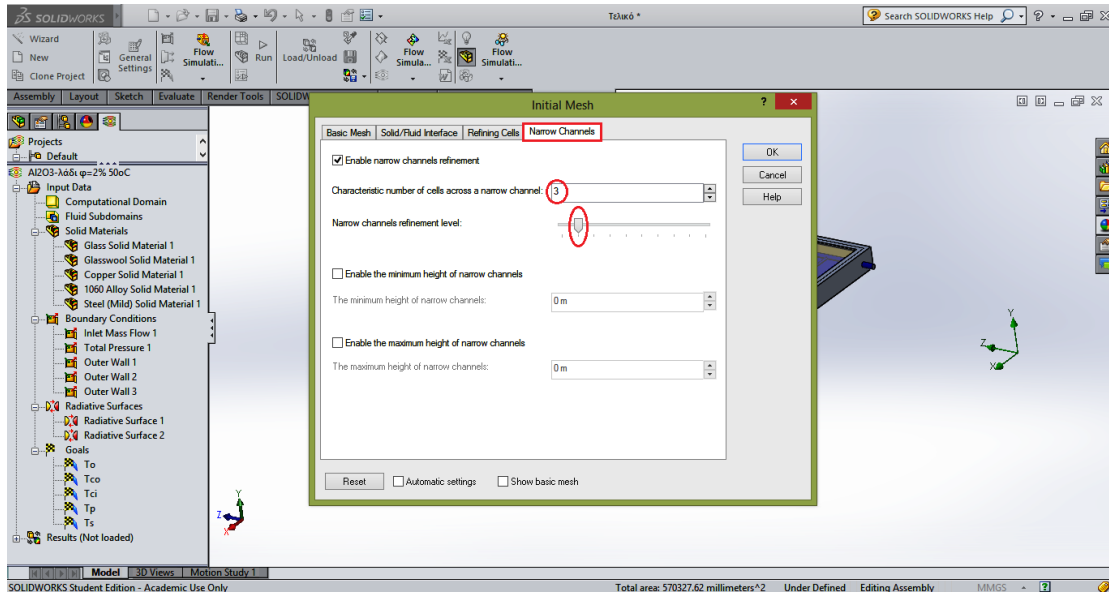
Πλέον απομένει να δημιουργηθεί το κατάλληλο πλέγμα για το πρόβλημα και να τρέξει το πρόγραμμα μέχρι να συγκλίνουν οι στόχοι που έχουν τεθεί.



Εικόνα 4.46: Προσθήκη πλέγματος για την επίλυση του προβλήματος

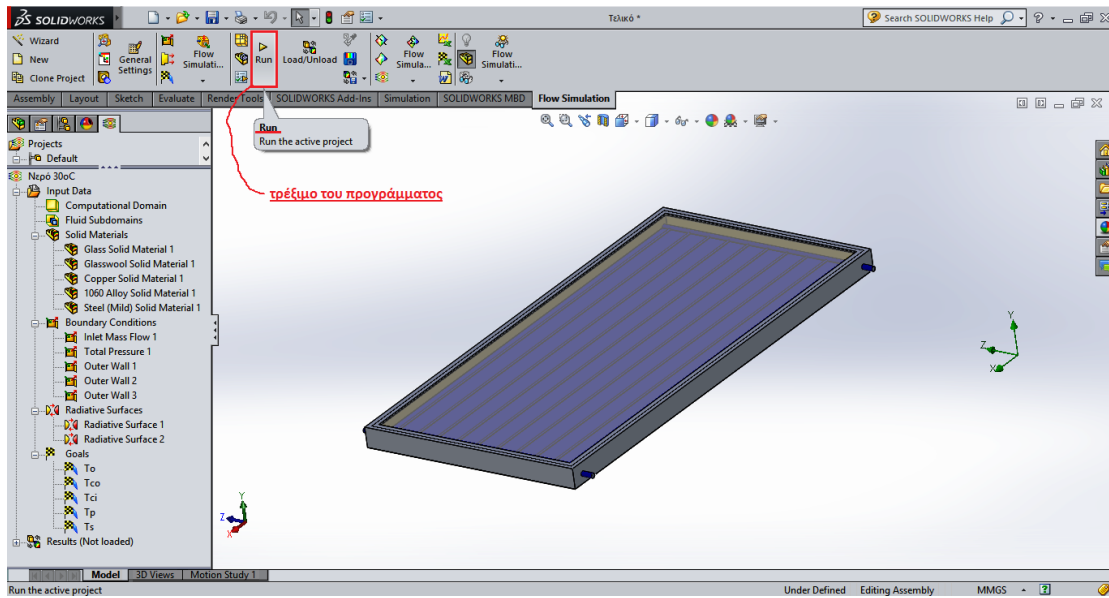


Εικόνα 4.47: Τροποποίηση του αρχικού πλέγματος

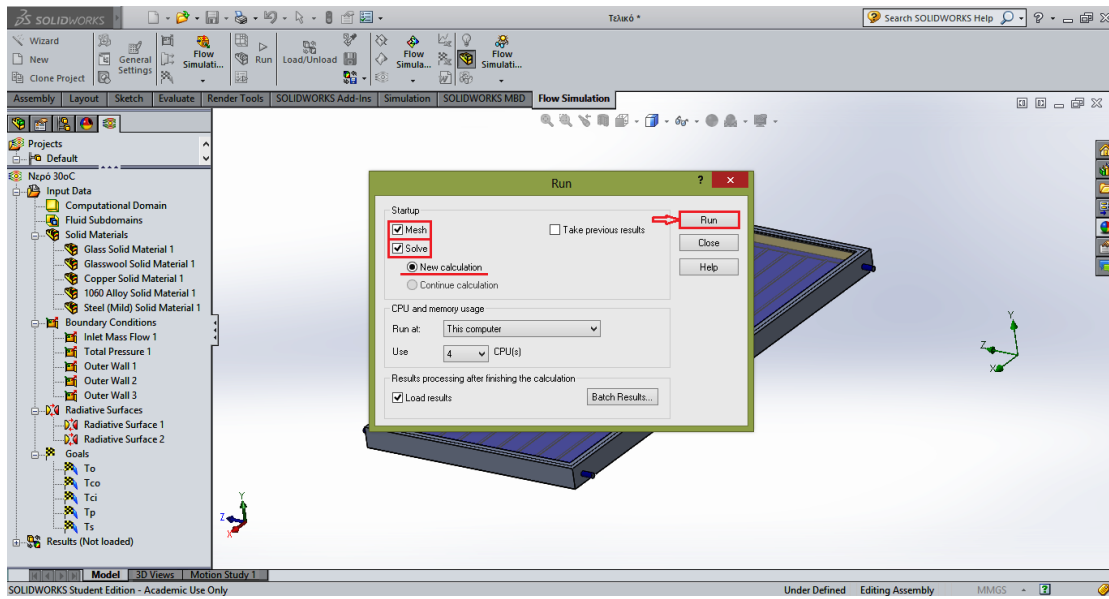


Εικόνα 4.48: Τροποποίηση του αρχικού πλέγματος

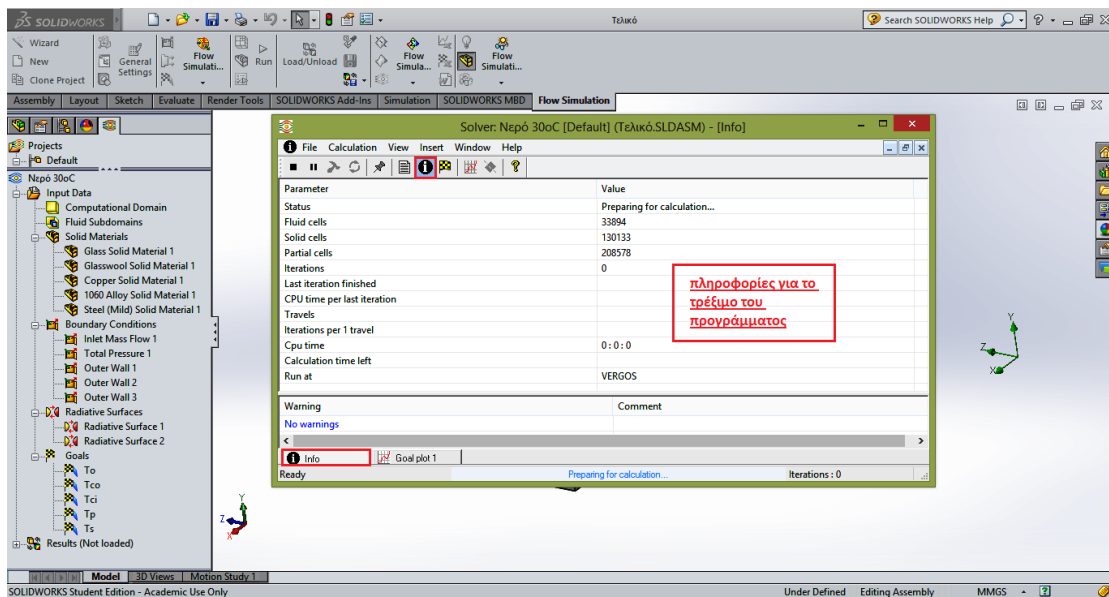
4.8 Τρέξιμο του προγράμματος



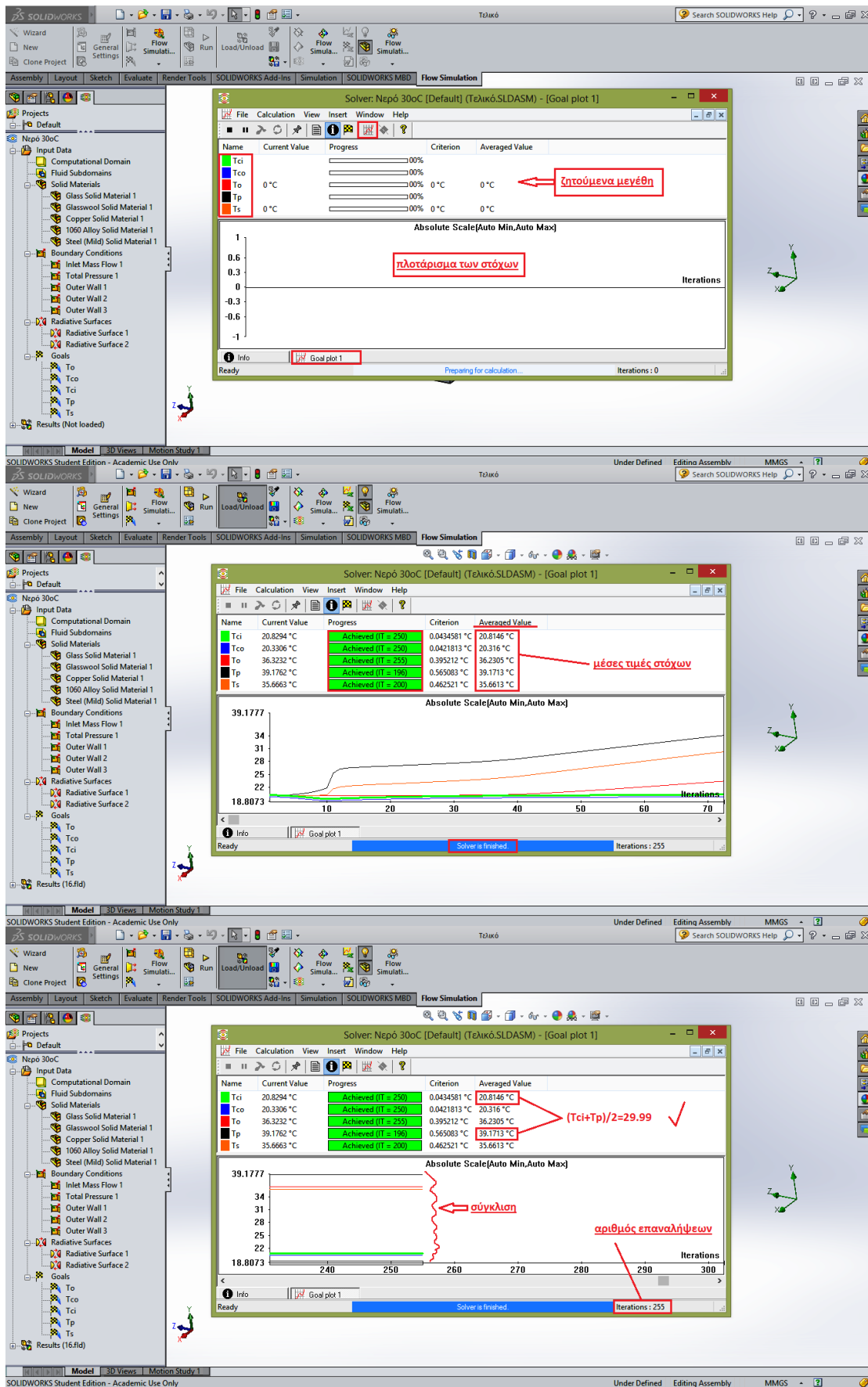
Εικόνα 4.49: Τρέξιμο του προγράμματος για την επίλυση του προβλήματος



Εικόνα 4.50: Τρέξιμο του προγράμματος για την επίλυση του προβλήματος



Εικόνα 4.51: Πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος



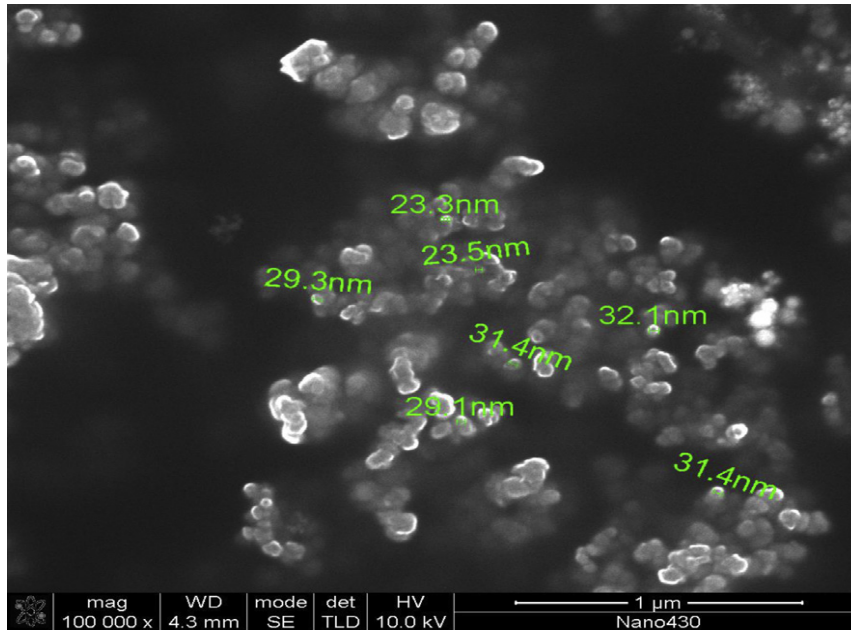
Εικόνα 4.52: Τρέξιμο του προγράμματος μέχρις ότου συγκλίνουν οι στόχοι που έχουν τεθεί

Στη συνέχεια, αφού επαναληφθεί το τρέξιμο και για 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, θα εισαχθούν στο Solidworks δύο νέα ρευστά, ένα θερμικό λάδι κι ένα νανορευστό. Ως θερμικό λάδι επιλέχτηκε το **THERMINOL VP-1**. Το VP-1 είναι ένα εύτηκτο μίγμα το οποίο αποτελείται από 73.5% οξείδιο διφαινυλαιθέρα και 26.5% διφαινυλαιθέρα. Είναι ένα ρευστό υγρής και αέριας φάσης το οποίο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μεταφοράς θερμότητας σε θερμοκρασίες άνω των 400°C. Η αέρια φάση είναι πιθανή για θερμοκρασίες άνω των 257°C οπότε δε θα απασχολήσει την παρούσα εργασία.

Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στα νανοϋλικά

Στην προσπάθεια αύξησης του θερμικού βαθμού απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών και με την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας, αναπτύχθηκε ένα νέο είδος ρευστού μεταφοράς θερμότητας, το νανορευστό. Πρόκειται για ρευστό το οποίο αποτελείται από το κατά βάση ρευστό και από νανοϋλικά περιεκτικότητας 1-100nm τα οποία προστίθενται σε αυτό. Από πειραματικές μελέτες προέκυψε ότι η θερμική αγωγιμότητα του ρευστού αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση νανοϋλικών.

Τα νανοϋλικά αυτά είναι γενικά μέταλλα ή οξείδια μετάλλων. Τα κυριότερα εξ' αυτών είναι το αλουμίνιο (Al), ο χαλκός (Cu), ο γραφίτης (C), ο άργυρος (Ag), το οξείδιο του αργιλίου (Al₂O₃), το διοξείδιο του τιτανίου (TiO₂), το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂), το καρβίδιο του ζirkονίου (ZrC) και οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNTs). Το αλουμίνιο και το οξείδιο του αλουμινίου είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο σε μελέτες και εφαρμογές. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται νανοσωματίδια χαλκού με μέση διάμετρο περίπου 25nm.



Εικόνα 5.1: Νανοσωματίδια χαλκού με μέση διάμετρο 25nm

5.1 Ιδιότητες των νανορευστών

Η προσθήκη νανοϋλικών (np) στο βασικό ρευστό (bf) οδηγεί στη βελτίωση των ιδιοτήτων του εξεταζόμενου ρευστού. Οι ιδιότητες του νανορευστού (nf) εξαρτώνται από την κατ' όγκο σύσταση των νανοσωματιδίων στο νανορευστό και αυτή συμβολίζεται με ϕ (vol %). Συνήθως παίρνει χαμηλές τιμές κοντά στο 1% -2%, αναλόγως βέβαια το είδος του νανοϋλικού, ενώ το εύρος τιμών της είναι από 0.1% έως 4%. Οι 4 βασικές ιδιότητες ενός ρευστού είναι η πυκνότητα (ρ), το δυναμικό ιξώδες (μ), η θερμική αγωγιμότητα (k) και η ειδική θερμοχωρητικότητα (C_p). Για τον υπολογισμό αυτών των ιδιοτήτων του νανορευστού υπάρχουν αρκετές εμπειρικές σχέσεις, όμως με ελάχιστες διαφορές στα τελικά αποτελέσματα. Αυτές που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

Πυκνότητα

$$\rho_{nf} = \rho_{bf} \cdot (1 - \phi) + \rho_{np} \cdot \phi \quad (1)$$

Ιξώδες

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} \cdot (1 + 2.5 \cdot \phi + 6.5 \cdot \phi^2) \quad (2)$$

Θερμική αγωγιμότητα

$$k_{nf} = \frac{k_{np} + 2 \cdot k_{bf} - 2 \cdot \varphi \cdot (k_{bf} - k_{np})}{\frac{k_{np}}{k_{bf}} + 2 + \frac{k_{bf} - k_{np}}{k_{bf}} \cdot \varphi} \quad (3)$$

Ειδική θερμοχωρητικότητα

$$C_{p,nf} = C_{p,np} \cdot \varphi + C_{p,bf} \cdot (1 - \varphi) \quad (4)$$

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ως νανορευστό το μίγμα του θερμικού λαδιού που προαναφέρθηκε με οξειδία του αργιλίου (Al₂O₃) περιεκτικότητας 2% κατ' όγκο. Τα νανοσωματίδια είναι σφαιρικού σχήματος με διάμετρο περίπου ίση με 20nm. Στο Solidworks έγινε προσθήκη τόσο του λαδιού όσο και του νανορευστού για θερμοκρασίες από 30°C έως 220°C για καλύτερη ακρίβεια. Παρακάτω φαίνονται οι ιδιότητες διαφόρων νανορευστών για κλάσμα όγκου 1% και 2% στις θερμοκρασίες αυτές.

		303,16 K				313,16 K				323,16 K				333,16 K			
		Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)
Al		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700	
Cu		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920	
Al ₂ O ₃		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000	
H ₂ O		4180,1	0,61547	995,6	0,000797	4179,6	0,6306	992,17	0,0006529	4181,6	0,64356	985,16	0,0005467	4185,1	0,65436	983,16	0,000466
Λαδι		1690	0,131	1024	0,001492	1690	0,134	1048	0,0026	1633	0,133	1040	0,00212	1662	0,132	1032	0,001761
Al-H ₂ O (φ=2%)		4114,498	0,652808	1029,688	0,000839	4114,008	0,6688469	1026,3266	0,0006872	4115,968	0,6825854	1019,4568	0,0005755	4119,398	0,6940339	1017,4968	0,000491
Al ₂ O ₃ -Λαδι (φ=2%)		1558,96	0,143181	1114,88	0,003453	1587,38	0,1421205	1107,04	0,0027368	1615,8	0,1410605	1099,2	0,0022315	1644,22	0,1400005	1091,36	0,001854
Cu-H ₂ O (φ=2%)		4104,238	0,652975	1154,088	0,000839	4103,748	0,6690229	1150,7266	0,0006872	4105,708	0,6827687	1143,8568	0,0005755	4109,138	0,6942234	1141,8968	0,000491
Al-Λαδι (φ=2%)		1561,5	0,143249	1088,88	0,003453	1589,92	0,1421877	1081,04	0,0027368	1618,34	0,1411267	1073,2	0,0022315	1646,76	0,1400657	1065,36	0,001854
Cu-Λαδι (φ=2%)		1551,24	0,143257	1213,28	0,003453	1579,66	0,1421957	1205,44	0,0027368	1608,08	0,1411346	1197,6	0,0022315	1636,5	0,1400735	1189,76	0,001854
Al ₂ O ₃ -H ₂ O (φ=2%)		4111,958	0,651432	1055,688	0,000839	4111,468	0,6674036	1052,3266	0,0006872	4113,428	0,6810833	1045,4568	0,0005755	4116,858	0,692482	1043,4968	0,000491
Al-H ₂ O (φ=1%)		4147,299	0,633952	1012,644	0,000818	4146,804	0,6495321	1009,2483	0,0006696	4148,784	0,6628775	1002,3084	0,0005608	4152,249	0,6739985	1000,3284	0,000478
Al ₂ O ₃ -Λαδι (φ=1%)		1566,98	0,139049	1085,44	0,003364	1595,69	0,1380197	1077,52	0,0026667	1624,4	0,13699	1069,6	0,0021744	1653,11	0,1359603	1061,68	0,001806
Cu-H ₂ O (φ=1%)		4142,169	0,634034	1074,844	0,000818	4141,674	0,6498183	1071,4483	0,0006696	4143,654	0,6629673	1064,5084	0,0005608	4147,119	0,6740914	1062,5284	0,000478
Al-Λαδι (φ=1%)		1568,25	0,139083	1072,44	0,003364	1596,96	0,1380526	1064,52	0,0026667	1625,67	0,1370224	1056,6	0,0021744	1654,38	0,1359922	1048,68	0,001806
Cu-Λαδι (φ=1%)		1563,12	0,139087	1134,64	0,003364	1591,83	0,1380565	1126,72	0,0026667	1620,54	0,1370263	1118,8	0,0021744	1649,25	0,135996	1110,88	0,001806
Al ₂ O ₃ -H ₂ O (φ=1%)		4146,029	0,633277	1025,644	0,000818	4145,534	0,6488245	1022,2483	0,0006696	4147,514	0,6621411	1015,3084	0,0005608	4150,979	0,6732377	1013,3284	0,000478

		343,16 K				353,16 K				363,16 K				373,16 K			
		Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	ρ(kg/m ³)	μ(Pas)
Al		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700	
Cu		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920	
Al ₂ O ₃		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000	
H ₂ O		4190,2	0,6631	977,73	0,0004038	4196,9	0,66999	971,76	0,0004	4205,3	0,67526	965,29	0,0003144	4215,7	0,6791	958,34	0,0002817
Λαδι		1690	0,131	1024	0,001492	1719	0,13	1015	0,0013	1747	0,129	1007	0,001119	1775	0,128	999	0,000985
Al-H ₂ O (φ=2%)		4124,396	0,70329862	1012,175	0,0004251	4130,962	0,7106021	1006,3248	0,0004	4139,194	0,716188	999,9842	0,0003309	4149,386	0,7202588	993,1732	0,0002965
Al ₂ O ₃ -Λαδι (φ=2%)		1671,66	0,13894054	1083,52	0,0015705	1700,08	0,1378805	1074,7	0,0014	1727,52	0,136821	1066,86	0,0011779	1754,96	0,1357605	1059,02	0,0010368
Cu-H ₂ O (φ=2%)		4114,136	0,70349315	1136,575	0,0004251	4120,702	0,7108007	1130,7248	0,0004	4128,934	0,71639	1124,3842	0,0003309	4139,126	0,7204628	1117,5732	0,0002965
Al-Λαδι (φ=2%)		1674,2	0,13900474	1057,52	0,0015705	1702,62	0,1379438	1048,7	0,0014	1730,06	0,136883	1040,86	0,0011779	1757,5	0,1358218	1033,02	0,0010368
Cu-Λαδι (φ=2%)		1663,94	0,13901239	1181,92	0,0015705	1692,36	0,1379513	1173,1	0,0014	1719,8	0,13689	1165,26	0,0011779	1747,24	0,1358291	1157,42	0,0010368
Al ₂ O ₃ -H ₂ O (φ=2%)		4121,856	0,70170579	1038,175	0,0004251	4128,422	0,7089767	1032,3248	0,0004	4136,654	0,714538	1025,9842	0,0003309	4146,846	0,7185897	1019,1732	0,0002965
Al-H ₂ O (φ=1%)		4157,298	0,68299827	994,9527	0,0004142	4163,931	0,690093	989,0424	0,0004	4172,247	0,69552	982,6371	0,0003224	4182,543	0,6994736	975,7566	0,0002889
Al ₂ O ₃ -Λαδι (φ=1%)		1680,83	0,13493056	1053,76	0,0015303	1709,54	0,1339009	1044,85	0,0013	1737,26	0,132871	1036,93	0,0011477	1764,98	0,1318414	1029,01	0,0010103
Cu-H ₂ O (φ=1%)		4152,168	0,68309359	1057,153	0,0004142	4158,801	0,6901903	1051,2424	0,0004	4167,117	0,695618	1044,8371	0,0003224	4177,413	0,6995735	1037,9566	0,0002889
Al-Λαδι (φ=1%)		1682,1	0,13496202	1040,76	0,0015303	1710,81	0,1339318	1031,85	0,0013	1738,53	0,132902	1023,93	0,0011477	1766,25	0,1318715	1016,01	0,0010103
Cu-Λαδι (φ=1%)		1676,97	0,13496577	1102,96	0,0015303	1705,68	0,1339355	1094,05	0,0013	1733,4	0,132905	1086,13	0,0011477	1761,12	0,1318785	1078,21	0,0010103
Al ₂ O ₃ -H ₂ O (φ=1%)		4156,028	0,68221739	1007,953	0,0004142	4162,661	0,6892961	1002,0424	0,0004	4170,977	0,69471	995,6371	0,0003224	4181,273	0,6986553	988,7566	0,0002889

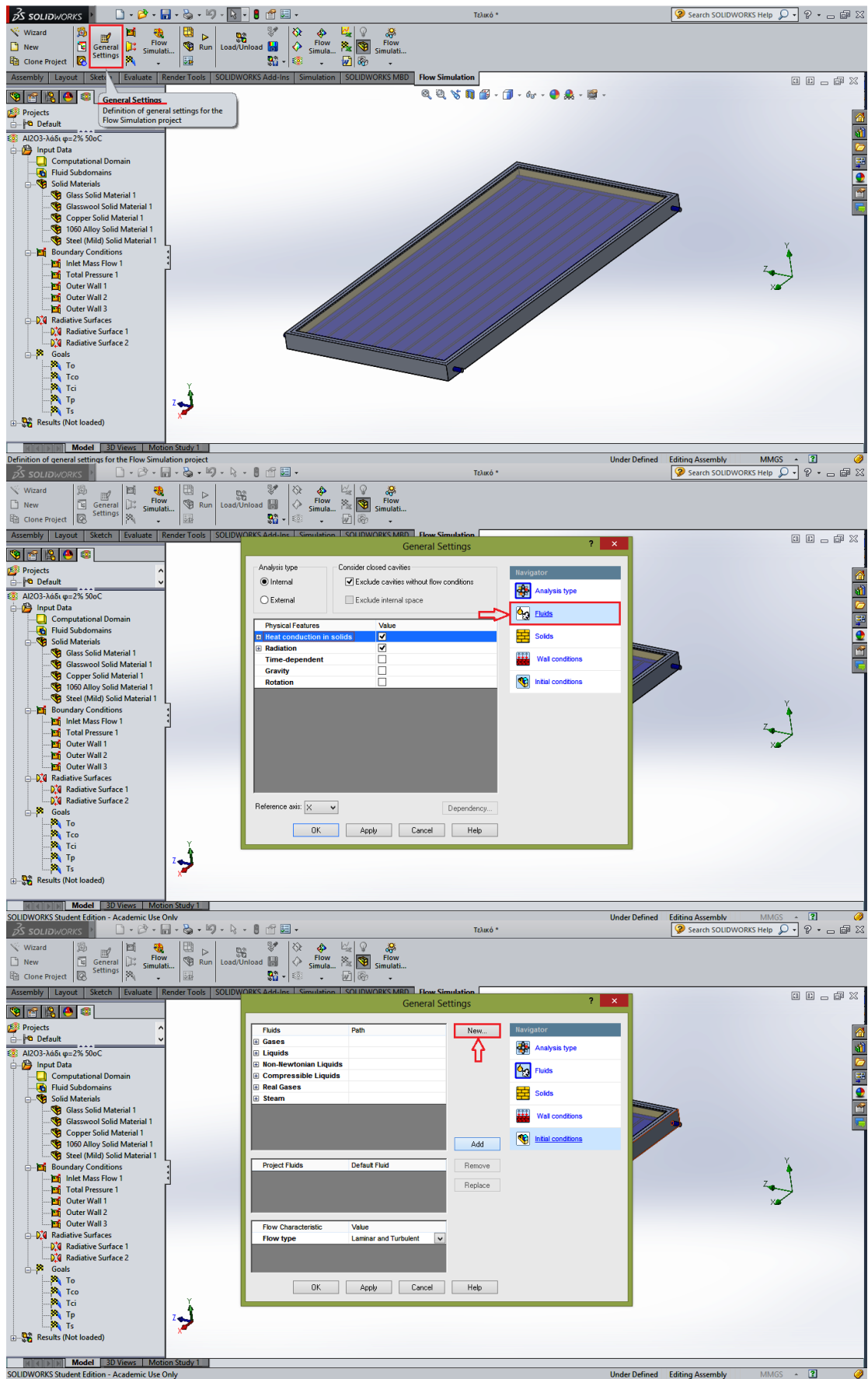
Εικόνα 5.2: Ιδιότητες διαφόρων νανορευστών για θερμοκρασίες από 30°C έως 220°C

383,16 K				393,16 K				403,16 K				413,16 K			
Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$
900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700	
387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920	
773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000	
4228.3	0.68169	950.94	0.0002547	4243.5	0.68139	943.1	0.000232	4261.5	0.6837	934.83	0.000213	4282.6	0.6833	926.13	0.0001965
1803	0.126	991	0.000875	1831	0.125	982	0.000784	1858	0.124	974	0.000707	1886	0.123	966	0.000642
4161.734	0.723004	985.9212	0.0002681	4176.63	0.7226862	978.238	0.0002442	4194.27	0.7251347	970.1334	0.000224	4214.948	0.724711	961.607	0.0002069
1782.4	0.13364	1051.18	0.000921	1809.84	0.1325803	1042.36	0.0008252	1836.3	0.1315202	1034.52	0.000744	1863.74	0.13046	1025.7	0.0006758
4151.474	0.72321	1110.3212	0.0002681	4166.37	0.7228915	1102.638	0.0002442	4184.01	0.7253415	1094.5334	0.000224	4204.688	0.724917	1086.01	0.0002069
1784.94	0.1337	1025.18	0.000921	1812.38	0.1326388	1016.36	0.0008252	1838.84	0.1315778	1008.52	0.000744	1866.28	0.130517	999.7	0.0006758
1774.68	0.133707	1149.58	0.000921	1802.12	0.1326458	1140.76	0.0008252	1828.58	0.1315847	1132.92	0.000744	1856.02	0.130524	1124.1	0.0006758
4159.194	0.721323	1011.9212	0.0002681	4174.09	0.7210061	1004.238	0.0002442	4191.73	0.7234435	996.1334	0.000224	4212.408	0.723021	987.607	0.0002069
4195.017	0.702141	968.4306	0.0002612	4210.065	0.7018316	960.669	0.000238	4227.885	0.7042102	952.4817	0.000218	4248.774	0.703798	943.869	0.0002016
1792.7	0.129782	1021.09	0.0008974	1820.42	0.1287522	1012.18	0.0008041	1847.15	0.1277225	1004.26	0.000725	1874.87	0.126693	995.35	0.0006585
4189.887	0.702241	1030.6306	0.0002612	4204.935	0.7019322	1022.869	0.000238	4222.755	0.7043115	1014.6817	0.000218	4243.644	0.7039	1006.07	0.0002016
1793.97	0.129811	1008.09	0.0008974	1821.69	0.1287809	999.18	0.0008041	1848.42	0.1277507	991.26	0.000725	1876.14	0.126721	982.35	0.0006585
1788.84	0.129815	1070.29	0.0008974	1816.56	0.1287843	1061.38	0.0008041	1843.29	0.1277541	1053.46	0.000725	1871.01	0.126724	1044.55	0.0006585
4193.747	0.701316	981.4306	0.0002512	4208.795	0.7010079	973.669	0.000238	4226.615	0.7033811	965.4817	0.000218	4247.504	0.70297	956.869	0.0002016
423,16 K				433,16 K				443,16 K				453,16 K			
Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$
900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700	
387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920	
773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000	
4307.1	0.68204	917	0.00018	4335.4	0.67995	907.44	0.00017	4367.9	0.67705	897.44	0.00017	4405	0.67332	886.99	0.00015013
1913	0.121	957	0.00059	1940	0.12	948	0.000537	1968	0.118	940	0.0005	1995	0.117	931	0.000457
4238.958	0.7233752	952.66	0.00019	4266.692	0.7211598	943.2912	0.000179	4298.542	0.718086	933.4912	0.00017	4334.9	0.714132	923.2502	0.00015803
1890.2	0.12834	1017.86	0.00062	1916.66	0.1272799	1009.04	0.000565	1944.1	0.12516	1001.2	0.0005	1970.56	0.1241	992.38	0.00048104
4228.698	0.7235809	1077.06	0.00019	4256.432	0.7213643	1067.6912	0.000179	4288.282	0.718289	1057.891	0.00017	4324.64	0.714333	1047.65	0.00015803
1892.74	0.1283948	991.86	0.00062	1919.2	0.1273338	983.04	0.000565	1946.64	0.125212	975.2	0.0005	1973.1	0.124151	966.38	0.00048104
1882.48	0.1284013	1116.26	0.00062	1908.94	0.1273402	1107.44	0.000565	1936.38	0.125218	1099.6	0.0005	1962.84	0.124157	1090.78	0.00048104
4236.418	0.7216919	978.66	0.00019	4264.152	0.7194866	969.2912	0.000179	4296.002	0.716427	959.4912	0.00017	4332.36	0.712491	949.2502	0.00015803
4273.029	0.7025009	934.83	0.00019	4301.046	0.7003488	925.3656	0.000175	4333.221	0.697363	915.4656	0.00017	4369.95	0.693522	905.1201	0.00015398
1901.6	0.1246333	987.43	0.0006	1928.33	0.1236035	978.52	0.000551	1956.05	0.121544	970.6	0.0005	1982.78	0.120514	961.69	0.00046872
4267.899	0.7026017	997.03	0.00019	4295.916	0.700449	987.5656	0.000175	4328.091	0.697462	977.6656	0.00017	4364.82	0.69362	967.3201	0.00015398
1902.87	0.1246601	974.43	0.0006	1929.6	0.1236299	965.52	0.000551	1957.32	0.12157	957.6	0.0005	1984.05	0.120539	948.69	0.00046872
1897.74	0.1246633	1036.63	0.0006	1924.47	0.1236331	1027.72	0.000551	1952.19	0.121573	1019.8	0.0005	1978.92	0.120542	1010.89	0.00046872
4271.759	0.7016757	947.83	0.00019	4299.776	0.6995286	938.3656	0.000175	4331.951	0.696549	928.4656	0.00017	4368.68	0.692717	918.1201	0.00015398
463,16 K				473,16 K				483,16 K				493,16 K			
Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$	Cp(J/kgK)	k(W/mK)	$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pas)$
900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700		900	205	2700	
387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920		387	401	8920	
773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000		773	40	4000	
4447.4	0.66875	876.06	0.0001418	4495.9	0.66331	864.65	0.0001343	4551.3	0.65696	852.71	0.0001276	4614.7	0.64964	840.21	0.0001215
2021	0.115	922	0.000424	2048	0.114	913	0.000395	2075	0.112	904	0.000368	2101	0.111	895	0.000345
4376.452	0.70928773	912.5388	0.0001492	4423.982	0.7036212	901.357	0.0001414	4478.274	0.69679	889.6568	0.000134312	4540.406	0.689030537	877.4058	0.0001279
1996.04	0.12197922	983.56	0.000463	2022.5	0.1209191	974.74	0.0004158	2048.96	0.118799	965.92	0.000387357	2074.44	0.117738516	957.1	0.0003631
4366.192	0.70948557	1036.9388	0.0001492	4413.722	0.7037159	1025.757	0.0001414	4468.014	0.696981	1014.056	0.000134312	4530.146	0.689217282	1001.8058	0.0001279
1998.58	0.12202874	957.56	0.000463	2025.04	0.1209677	948.74	0.0004158	2051.5	0.118846	939.92	0.000387357	2076.98	0.117784666	931.1	0.0003631
1988.32	0.12203464	1081.96	0.000463	2014.78	0.1209735	1073.14	0.0004158	2041.24	0.118851	1064.32	0.000387357	2066.72	0.117790163	1055.5	0.0003631
4373.912	0.70766818	938.5388	0.0001492	4421.442	0.7019274	927.357	0.0001414	4475.734	0.695226	915.6558	0.000134312	4537.866	0.687500479	903.4058	0.0001279
4411.926	0.68881614	894.2994	0.0001454	4459.941	0.6832145	883.0035	0.0001378	4514.787	0.676676	871.1829	0.000130873	4577.553	0.669138225	858.8079	0.0001246
2008.52	0.11845466	952.78	0.0004349	2035.25	0.1174249	943.87	0.0004051	2061.98	0.115385	934.96	0.000377439	2087.72	0.11433551	926.05	0.0003538
4406.796	0.68891308	956.4994	0.0001454	4454.811	0.6833099	945.2035	0.0001378	4509.657	0.676769	933.3829	0.000130873	4572.423	0.669229734	921.0079	0.0001246
2009.79	0.11847893	939.78	0.0004349	2036.52	0.1174487	930.87	0.0004051	2063.25	0.115388	921.96	0.000377439	2088.99	0.114358123	913.05	0.0003538
2004.66	0.11848182	1001.98	0.0004349	2031.39	0.1174516	993.07	0.0004051	2058.12	0.115391	984.16	0.000377439	2083.86	0.114360816	975.25	0.0003538
4410.656	0.68802217	907.2994	0.0001454	4458.671	0.6824331	896.0035	0.0001378	4513.517	0.675909	884.1829	0.000130873	4576.283	0.668388135	871.8079	0.0001246

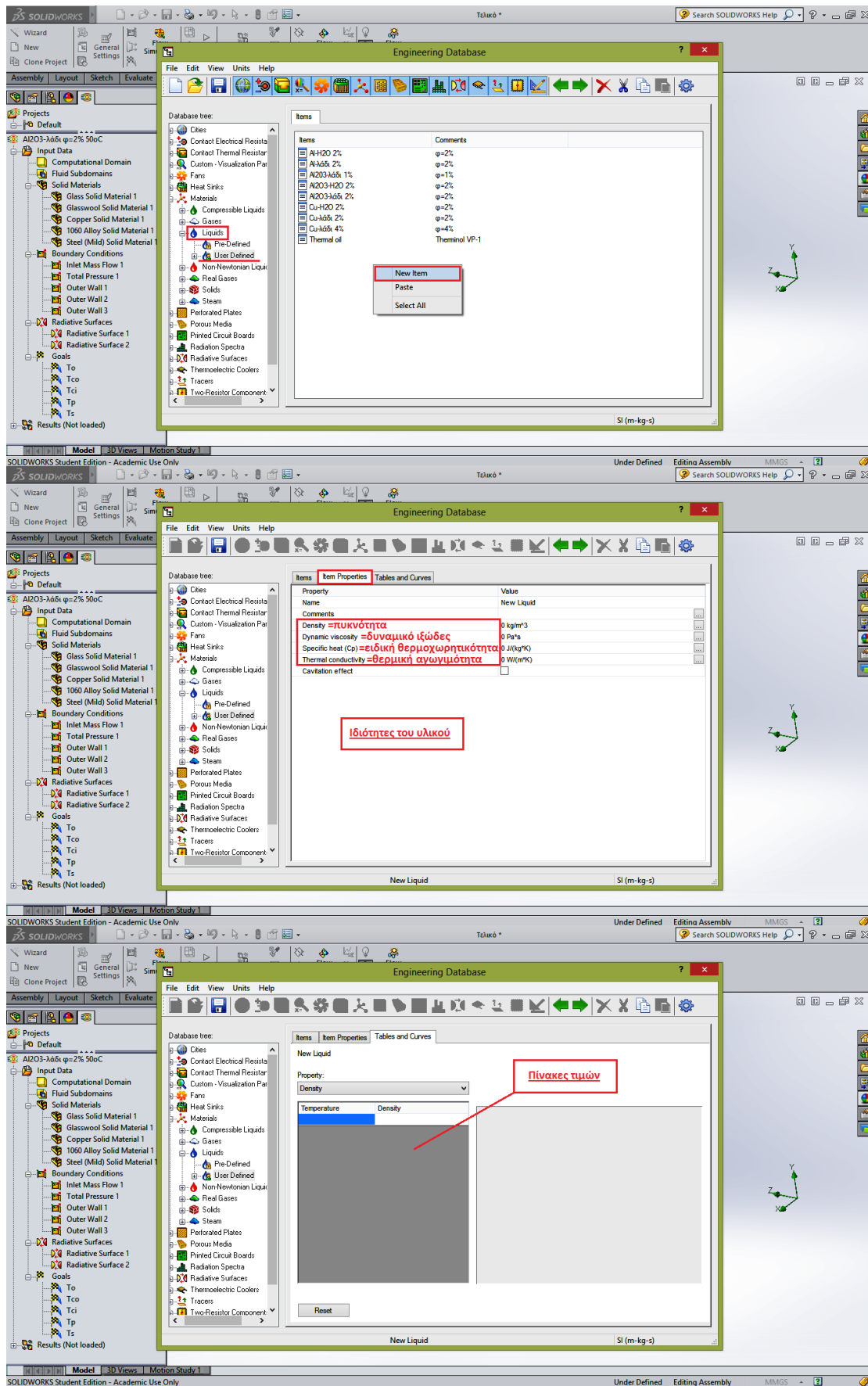
Εικόνα 5.3: Ιδιότητες διαφόρων νανορευμάτων για θερμοκρασίες από 30 °C έως 220 °C

5.2 Προσθήκη νέων ρευστών στο Solidworks

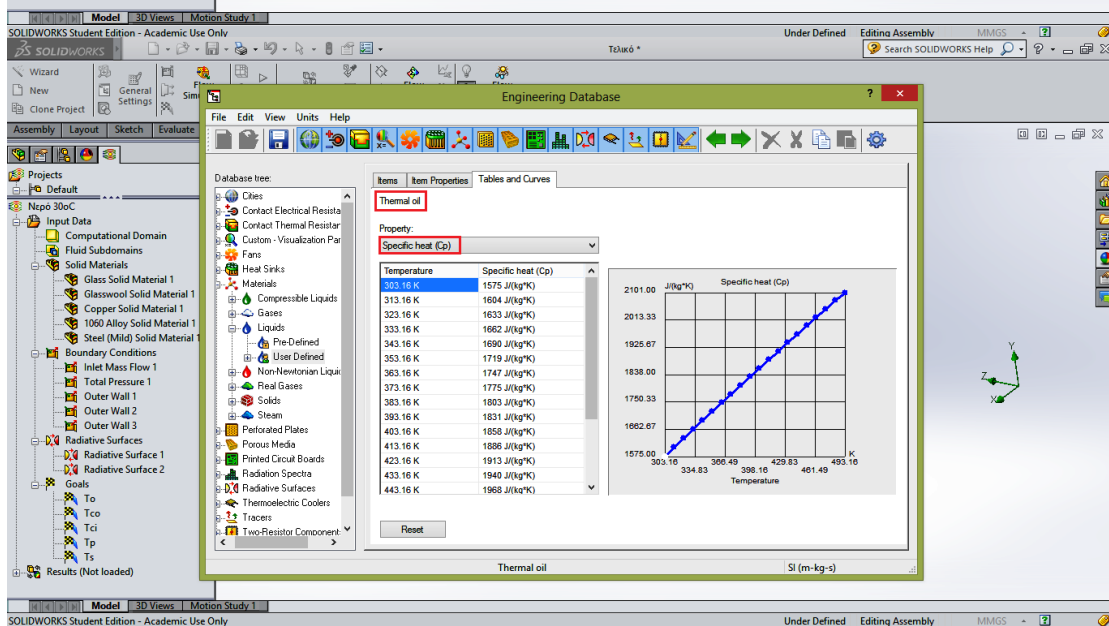
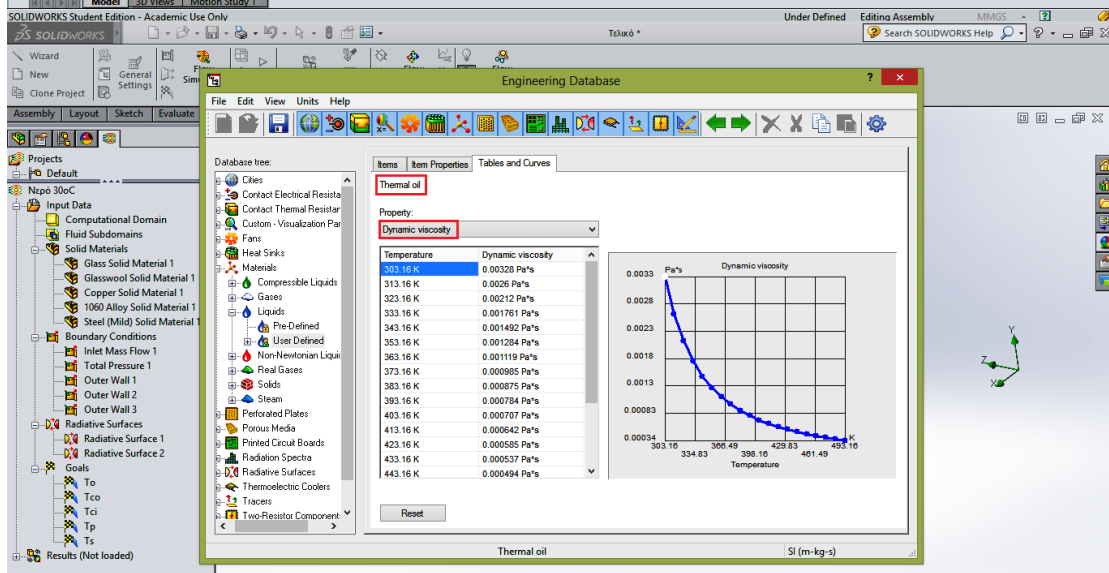
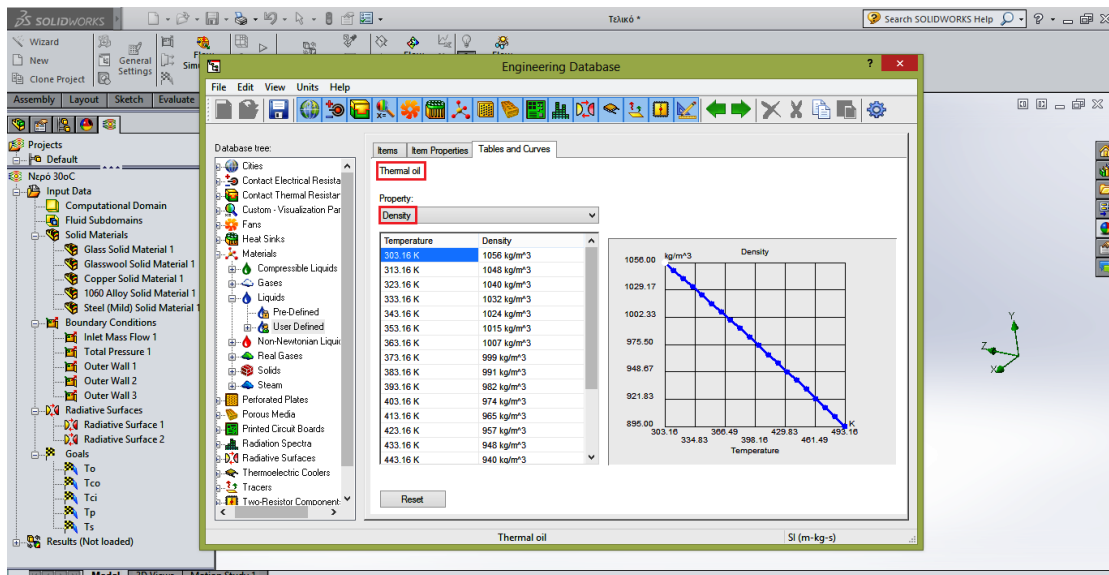
Εκτός από το νανορευστό **Λάδι-Al₂O₃ (φ=2%)** δοκιμάστηκαν και τα υπόλοιπα που φαίνονται στους παραπάνω πίνακες, όμως η απόδοση ήταν χαμηλότερη. Επίσης, για κατ' όγκο σύσταση 1% ο θερμικός βαθμός απόδοσης ήταν μικρότερος κι έτσι επιλέχτηκε τελικά φ=2%. Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία προσθήκης των νέων ρευστών στο Solidworks.



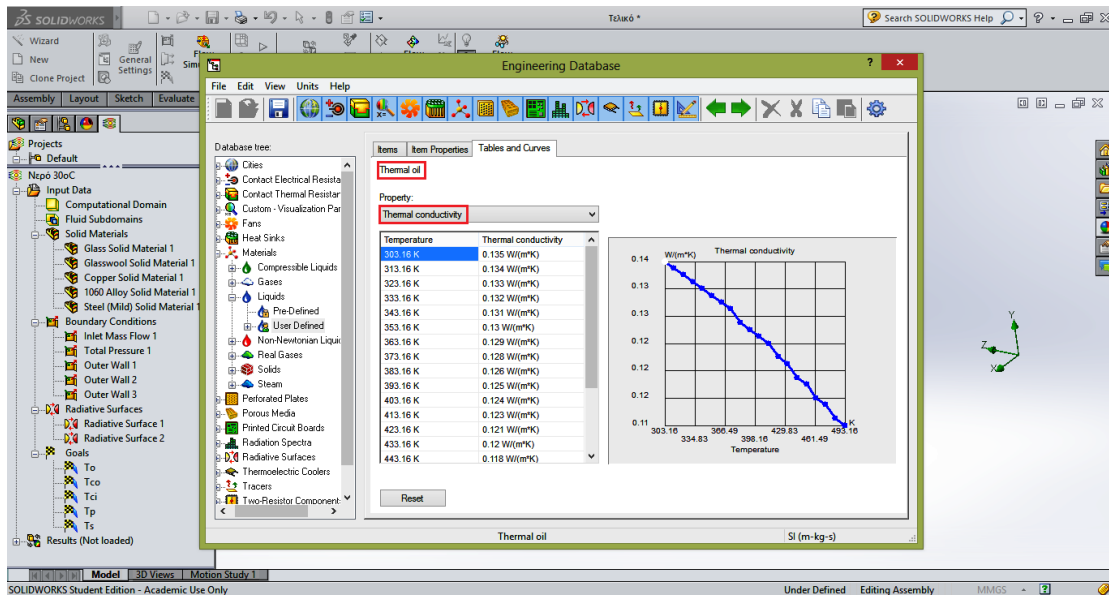
Εικόνα 5.4: Προσθήκη νέου ρευστού



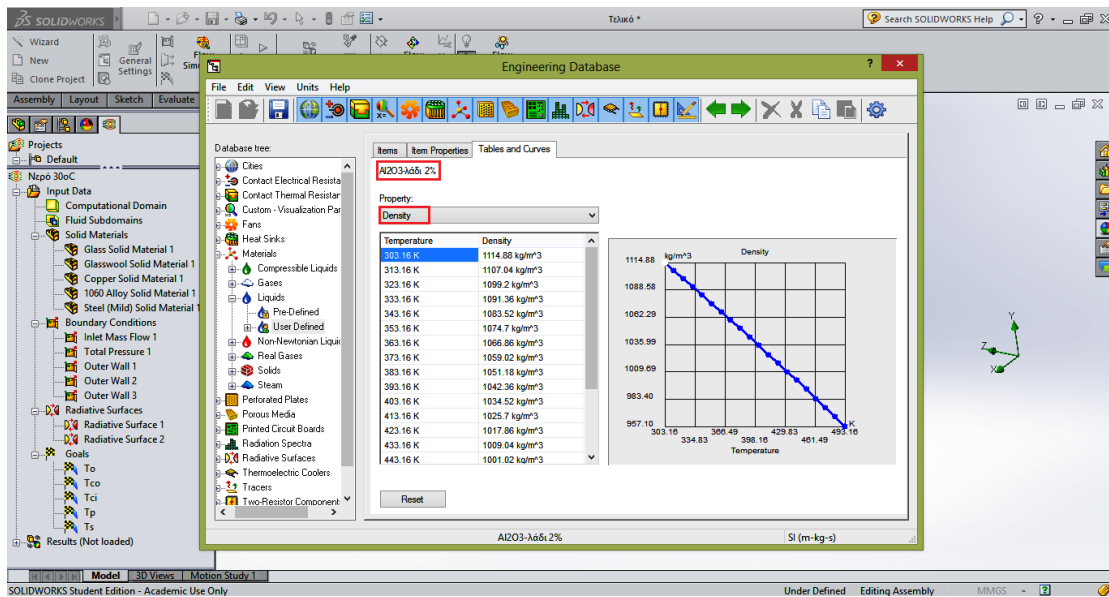
Εικόνα 5.5: Προσθήκη των βασικών ιδιοτήτων του ρευστού σε πίνακες



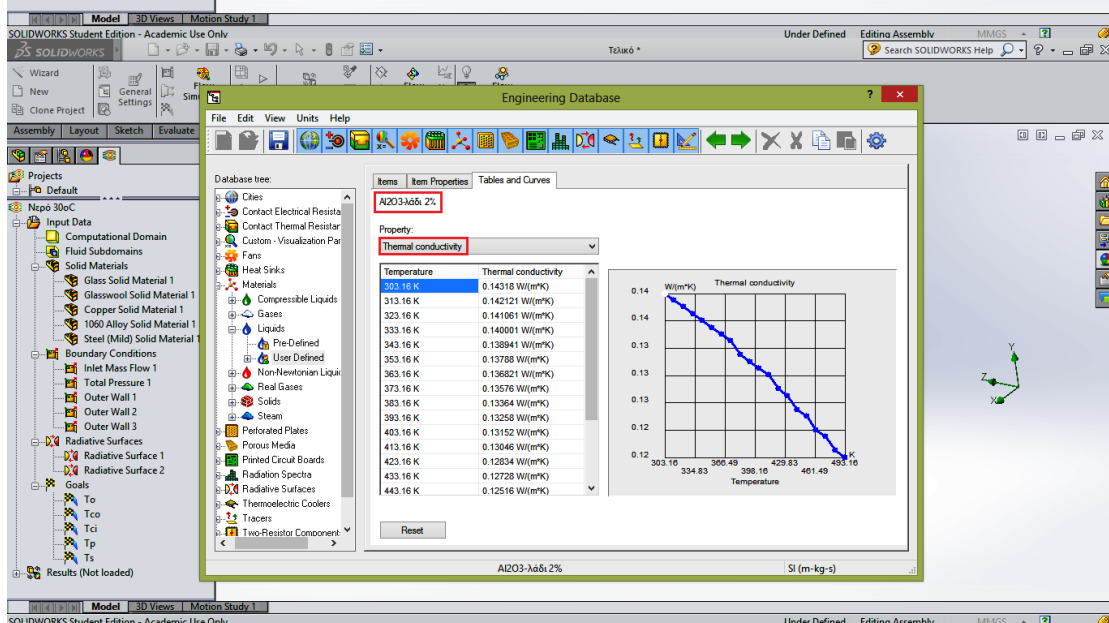
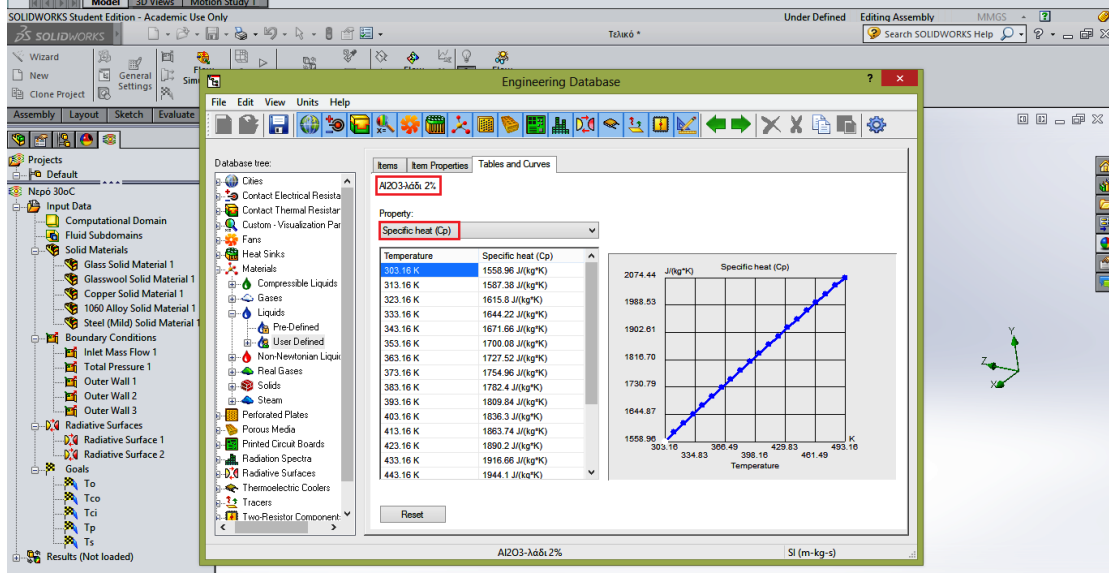
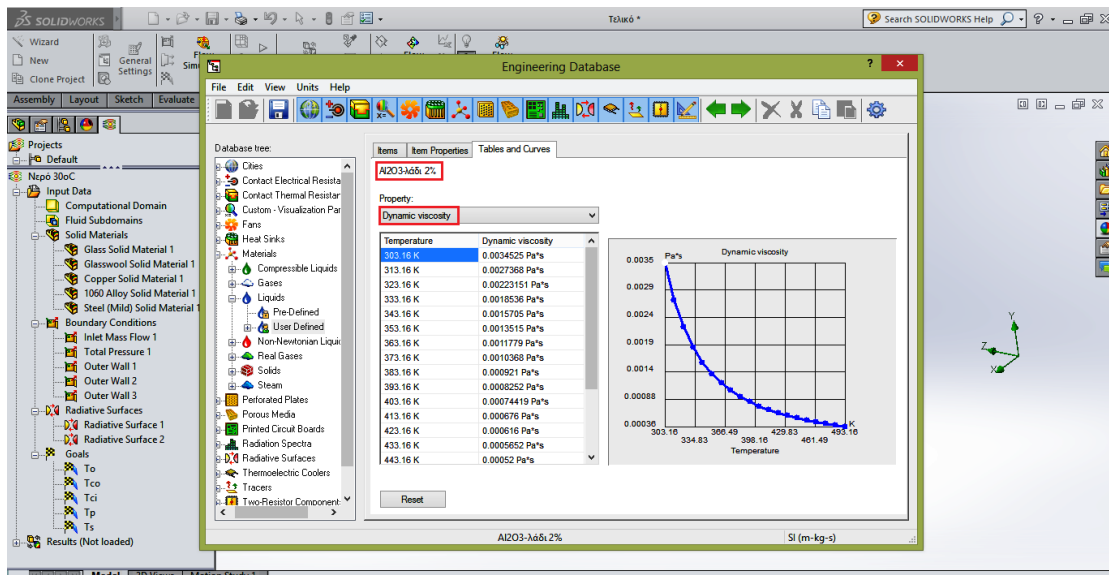
Εικόνα 5.6: Πίνακες και καμπύλες των βασικών ιδιοτήτων του θερμικού λαδιού



Εικόνα 5.7: Πίνακες και καμπύλες των βασικών ιδιοτήτων του θερμικού λαδιού



Εικόνα 5.8: Πίνακες και καμπύλες των βασικών ιδιοτήτων του ναυορευστού



Εικόνα 5.9: Πίνακες και καμπύλες των βασικών ιδιοτήτων του νανορευυστού

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα

Στη συνέχεια τρέχει το πρόγραμμα και για τα δύο νέα ρευστά κι έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα από το τρέξιμο του Flow Simulation για τα τρία διαφορετικά ρευστά

Νερό

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai}(^{\circ}\text{C})$	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{C})$	$T_{co}(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$
30	30	36,23	39,17	20,81	20,32	35,66
40	36	45,73	48,38	23,54	22,91	44,91
50	42	54,78	57,57	26,17	25,39	54,27
60	47,5	64,37	66,77	28,82	27,91	63,62
70	53,7	73,24	75,98	31,50	30,45	73,03

Λάδι

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai}(^{\circ}\text{C})$	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{C})$	$T_{co}(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$
30	38,25	44,60	52,21	24,20	23,51	49,05
40	43	53,00	59,86	26,28	25,48	56,87
50	48	61,44	67,66	28,45	27,53	64,88
60	53	69,87	75,58	30,64	29,58	73
70	58	78,32	83,57	32,84	31,66	81,21

Λάδι- Al_2O_3 ($\phi=2\%$)

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai}(^{\circ}\text{C})$	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_{ci}(^{\circ}\text{C})$	$T_{co}(^{\circ}\text{C})$	$T_s(^{\circ}\text{C})$
30	38,2	44,78	52,06	24,18	23,49	48,89
40	43	53,17	59,73	26,28	25,48	56,72
50	48	61,89	67,57	28,47	27,56	64,73
60	53	70,01	75,47	30,64	29,61	72,85
70	58	78,42	83,47	32,85	31,69	81,06

6.1 Θερμικός βαθμός απόδοσης

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης η_i του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος, Q_u , προς την αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, $A_c G_T$:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} \Rightarrow \eta_{th} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T} \quad (5)$$

, όπου $A_c=1.8321 \text{ m}^2$ η συλλεκτική επιφάνεια, $G_T=800 \text{ W/m}^2$, $m=0.04 \text{ kg/s}$.

Πίνακας 6.2: Τιμές του θερμικού βαθμού απόδοσης για τα τρία ρευστά

Νερό

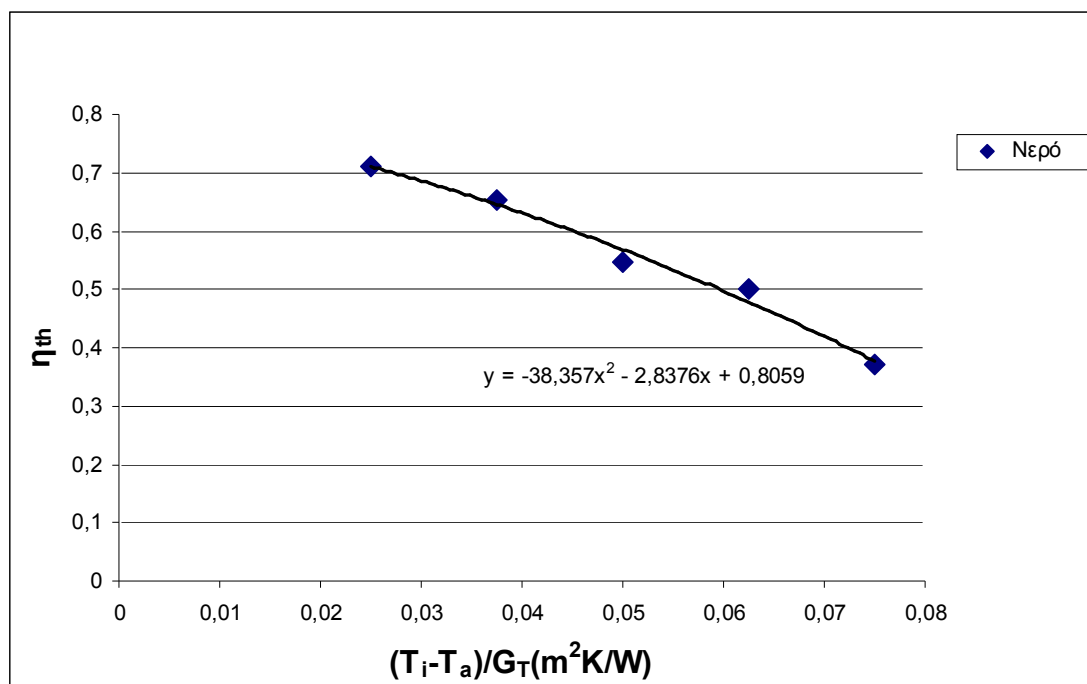
$T_i(^{\circ}\text{C})$	η_{th}
30	0,7104
40	0,6541
50	0,5460
60	0,4997
70	0,3705

Λάδι

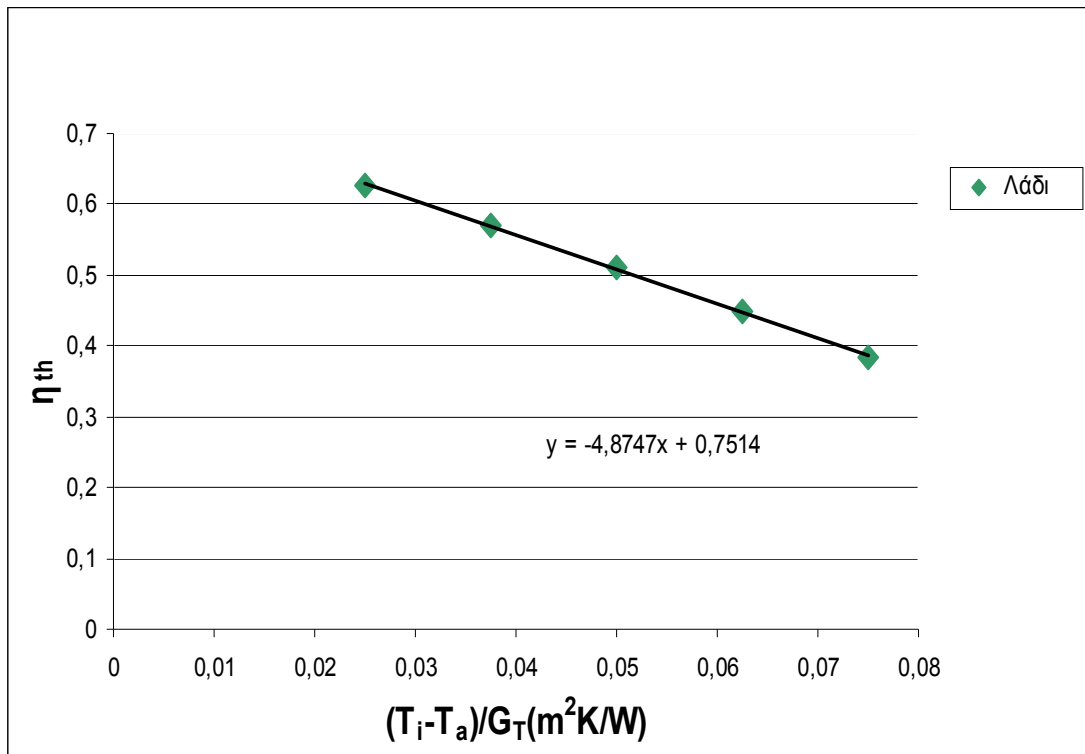
$T_i(^{\circ}\text{C})$	η_{th}
30	0,6275
40	0,5693
50	0,5101
60	0,4477
70	0,3836

Λάδι- Al_2O_3 ($\phi=2\%$)

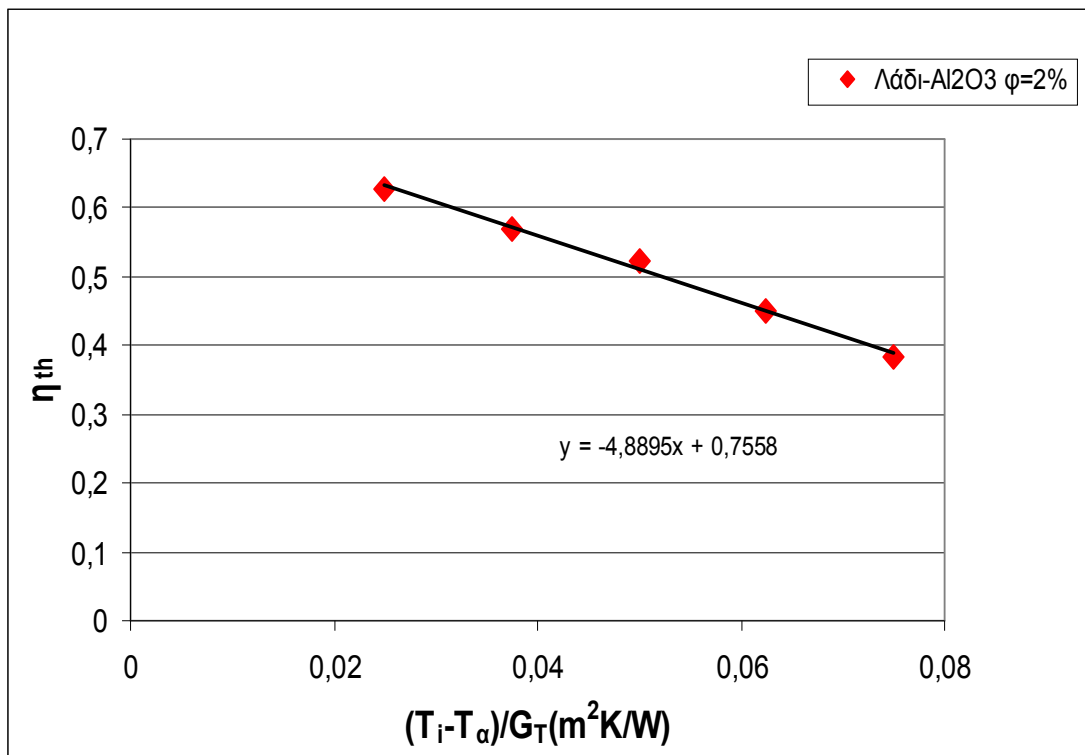
$T_i(^{\circ}\text{C})$	η_{th}
30	0,6288
40	0,5707
50	0,5242
60	0,4491
70	0,3840



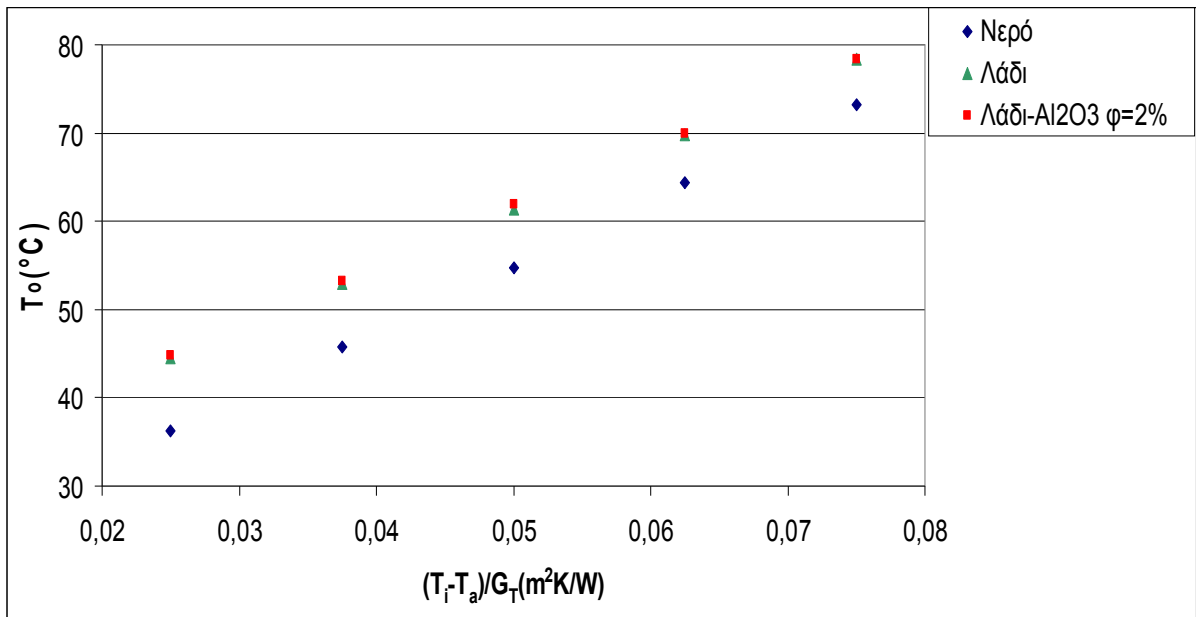
Διάγραμμα 6.1: Καμπύλη θερμικού βαθμού απόδοσης του νερού



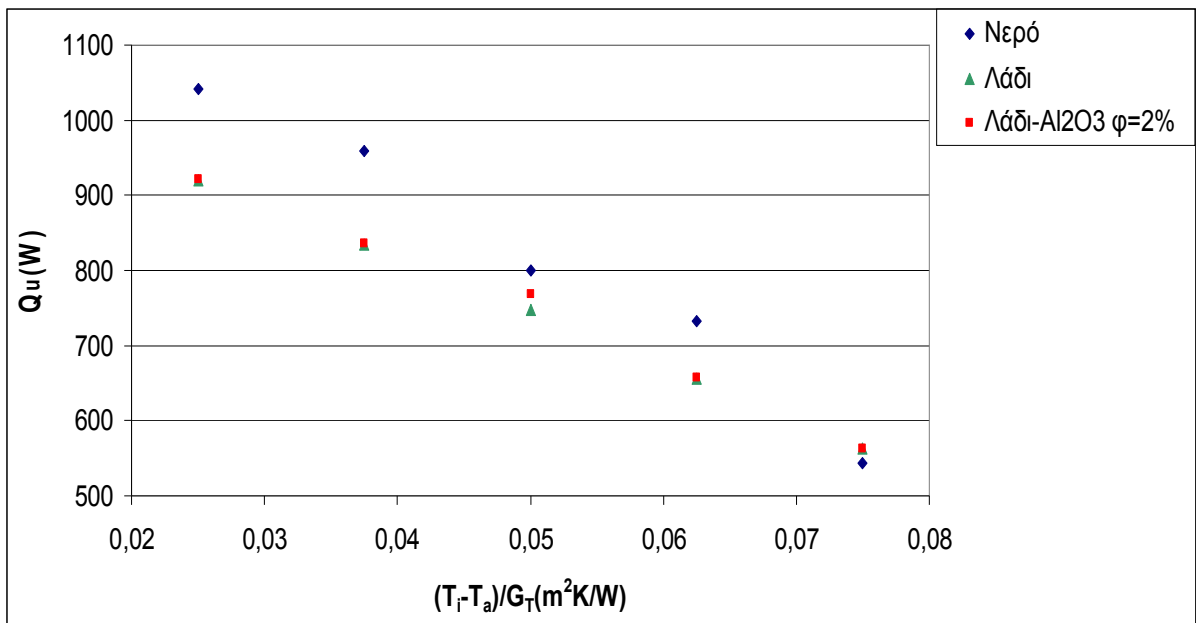
Διάγραμμα 6.2: Καμπύλη θερμοκού βαθμού απόδοσης του λαδιού



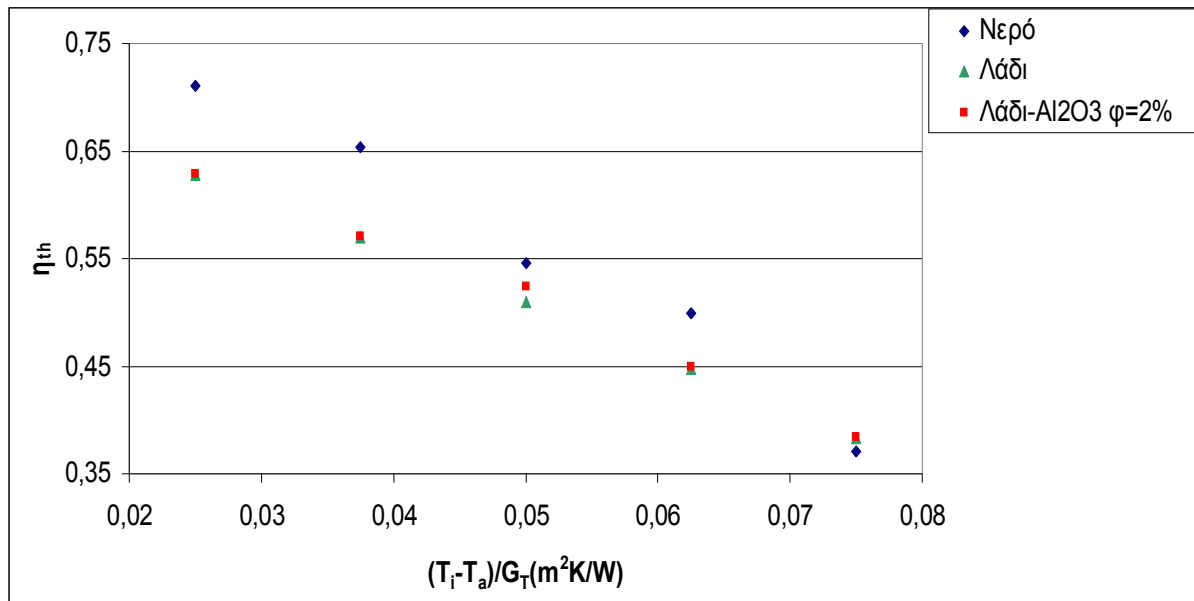
Διάγραμμα 6.3: Καμπύλη θερμοκού βαθμού απόδοσης του νανορευστού



Διάγραμμα 6.4: Καμπύλη σύγκρισης της θερμοκρασίας εξόδου των τριών ρευστών



Διάγραμμα 6.5: Καμπύλη σύγκρισης της αποδομένης ισχύος των τριών ρευστών



Διάγραμμα 6.6: Καμπύλη σύγκρισης του θερμικού βαθμού απόδοσης των τριών ρευστών

Παρατηρείται ότι ο βαθμός απόδοσης του νερού είναι υψηλότερος από το λάδι και το νανορευστό μέχρι και τους 60°C. Από εκεί και πέρα ο βαθμός απόδοσης μειώνεται αρκετά και είναι λογικό καθώς το νερό πλησιάζει στη θερμοκρασία βρασμού του. Όσον αφορά το λάδι και το νανορευστό, το δεύτερο έχει ελάχιστα αυξημένο βαθμό απόδοσης, με τη μεγαλύτερη διαφορά να συμβαίνει στους 50°C, όπου το νανορευστό έχει θερμικό βαθμό απόδοσης περίπου 1.5% παραπάνω.

6.2 Παράγοντες ηλιακού συλλέκτη

Ονομάζεται **παράγων θερμικής απολαβής** του συλλέκτη, F_R , ο λόγος της πραγματικής αποδομένης θερμικής ισχύος, Q_u , προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, T_i , δηλαδή:

$$F_R = \frac{Q_u}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_i - T_a)]} \Rightarrow F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_i - T_a)]} \quad (6)$$

, όπου $S=(\tau\alpha)G_\tau$ η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία και U_L ο συντελεστής **συνολικών θερμικών απωλειών** του συλλέκτη.

Από την εξίσωση ορισμού του F_R , προκύπτει η "εξίσωση του επίπεδου συλλέκτη", η οποία δίνει την πραγματικά αποδιδόμενη θερμική ισχύ Q_u :

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_i - T_a)] \quad (7)$$

Επομένως, ο θερμικός βαθμός απόδοσης μπορεί να γραφτεί και ως:

$$\eta_i = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_T} \quad (8)$$

Από την τελευταία εξίσωση μπορεί να υποτεθεί ότι ο βαθμός απόδοσης η_i είναι γραμμική συνάρτηση της μεταβλητής $(T_i - T_a)/G_T$, με κλίση $-F_R U_L$ και τομή με τον άξονα των τεταγμένων στη θέση $F_R(\tau\alpha)$. Από τις προσεγγίσεις των καμπυλών του βαθμού απόδοσης με τη βοήθεια ευθειών στο Excel, μπορούμε να υπολογίσουμε τα μεγέθη $-F_R U_L$ και $F_R(\tau\alpha)$. Για το νερό, η καμπύλη του βαθμού απόδοσης προσεγγίστηκε με δευτεροβάθμια εξίσωση λόγω μειωμένης γραμμικότητας, επομένως μπορεί να υπολογιστεί μόνο το $F_R(\tau\alpha)$.

Νερό:

$$F_R \cdot (\tau\alpha) = 0.8059 \Rightarrow F_R = \frac{0.8059}{0.89}$$

$$\Rightarrow \underline{F_R = 0.9055}$$

Λάδι:

$$F_R \cdot (\tau\alpha) = 0.7514 \Rightarrow F_R = \frac{0.7514}{0.89}$$

$$\Rightarrow \underline{F_R = 0.8443}$$

$$F_R \cdot U_L = 4.8747$$

$$\Rightarrow \underline{U_L = 5.774}$$

Λάδι-Al₂O₃:

$$F_R \cdot (\tau\alpha) = 0.7558 \Rightarrow F_R = \frac{0.7558}{0.89}$$

$$\Rightarrow \underline{F_R = 0.8492}$$

$$F_R \cdot U_L = 4.8895$$

$$\Rightarrow \underline{U_L = 5.7577}$$

Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη U_L μπορεί να υπολογιστεί από μία άλλη έκφραση της ωφέλιμης αποδιδόμενης ισχύος, η οποία εκφράζει τον καταμερισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, θερμικές απώλειες και οπτικές απώλειες:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_p - T_a)] \Rightarrow U_L = \frac{A_c \cdot S - Q_u}{A_c \cdot (T_p - T_a)} \quad (9)$$

Από τη σχέση (6) υπολογίζεται ο παράγων θερμικής απολαβής του συλλέκτη F_R . Προκύπτουν οι εξής τιμές:

Πίνακας 6.3: Συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών και παράγων θερμικής απολαβής του συλλέκτη για τα τρία ρευστά

Νερό:

T_i (°C)	U_L (W/m ² K)	F_R
30	4,9259	0,9264
40	4,9173	0,9270
50	5,7857	0,9089
60	5,5008	0,9148
70	6,2991	0,8873

Λάδι:

T_i (°C)	U_L (W/m ² K)	F_R
30	4,9748	0,8196
40	5,1461	0,8167
50	5,2711	0,8142
60	5,3964	0,8099
70	5,5064	0,8042

Λάδι-Al₂O₃:

T_i (°C)	U_L (W/m ² K)	F_R
30	4,9688	0,8211
40	5,1371	0,8184
50	5,0837	0,8244
60	5,3878	0,8117
70	5,5102	0,8054

Ο μέσος όρος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συλλέκτη για το νερό είναι ίσος με **0.9129**, ο οποίος είναι πολύ κοντά στο 0.9055 που έχει βρεθεί από τη γραμμή τάσης στο Excel. Ο μέσος όρος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συλλέκτη για το λάδι είναι ίσος με **0.8129**, ενώ του συντελεστή ολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη είναι ίσος με **5.259**. Τέλος, ο μέσος όρος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συλλέκτη για το λάδι είναι ίσος με **0.8162**, ενώ του συντελεστή ολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη είναι ίσος με **5.2175**.

Έχοντας υπολογίσει τον συντελεστή ολικών θερμικών απωλειών, υπολογίζονται οι συνολικές θερμικές απώλειες ανά τετραγωνικό μέτρο Q_L .

$$Q_L = U_L \cdot (T_p - T_a) \quad (10)$$

Πίνακας 6.4: Συνολικές θερμικές απώλειες ανά τετραγωνικό μέτρο του συλλέκτη για τα τρία ρευστά

Νερό:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$Q_L(\text{W/m}^2)$
30	143,697
40	188,741
50	275,226
60	312,268
70	415,596

Λάδι:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$Q_L(\text{W/m}^2)$
30	210,009
40	256,570
50	303,952
60	353,871
70	405,091

Λάδι-Al₂O₃:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$Q_L(\text{W/m}^2)$
30	208,999
40	255,450
50	292,676
60	352,737
70	404,833

Όπως είναι λογικό, οι συνολικές θερμικές απώλειες αυξάνονται συνεχώς με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού και τείνουν να είναι ίσες για τα 3 ρευστά στους 70°C.

Σε αυτό το σημείο μπορεί να αποδειχθεί βάση τύπων πως η αύξηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας ενός ρευστού οδηγεί στην αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$C_p \uparrow \Rightarrow \Delta T \downarrow \Rightarrow T_o \downarrow \Rightarrow T_{fm} \downarrow \Rightarrow T_p \downarrow \Rightarrow Q_L \downarrow \Rightarrow \eta_{th} \uparrow$$

Στη συνέχεια ορίζεται ο **παράγων απόδοσης του συλλέκτη F'**, ο οποίος παριστά το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης θερμικής ισχύος προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν κάθε σημείο της πλάκας απορρόφησης είχε την αντίστοιχη θερμοκρασία του ρευστού. Μια άλλη φυσική ερμηνεία του παράγοντα απόδοσης του συλλέκτη είναι ως ο λόγος της θερμικής αντίστασης από την πλάκα απορρόφησης μέχρι το περιβάλλον προς την θερμική αντίσταση από το ρευστό μέχρι το περιβάλλον. Δηλαδή:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_o}} = \frac{U_o}{U_L} \quad (11)$$

Επειδή όμως ο συντελεστής θερμικής αντίστασης από το ρευστό μέχρι το περιβάλλον U_o είναι άγνωστος δε μπορεί να υπολογιστεί ο παράγων απόδοσης του συλλέκτη από αυτόν τον τύπο. Θα χρησιμοποιηθεί μια εναλλακτική έκφραση του παράγοντα θερμικής απολαβής του συλλέκτη:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left[1 - e^{-(A_c \cdot U_L \cdot F') / (\dot{m} \cdot C_p)} \right] \quad (12)$$

Ο μόνος άγνωστος στην παραπάνω εξίσωση είναι ο παράγων απόδοσης του συλλέκτη F' . Προκύπτουν οι εξής τιμές:

Πίνακας 6.5: Παράγων απόδοσης του συλλέκτη για τα τρία ρευστά

	Νερό	Λάδι	Λάδι-Al₂O₃
T_i(°C)	F'	F'	F'
30	0,9477	0,8743	0,8759
40	0,9489	0,8666	0,8690
50	0,934	0,8646	0,8747
60	0,9395	0,8604	0,8629
70	0,914	0,8543	0,8564

Ορίζεται τέλος ο παράγων ροής του συλλέκτη F'' ως: $F'' = \frac{F_R}{F'}$ (13)

Πίνακας 6.6: Παράγων ροής του συλλέκτη για τα τρία ρευστά

	Νερό	Λάδι	Λάδι-Al₂O₃
T_i(°C)	F''	F''	F''
30	0,9775	0,9374	0,9374
40	0,9769	0,9425	0,9418
50	0,9731	0,9418	0,9425
60	0,9737	0,9414	0,9406
70	0,9708	0,9413	0,9405

6.3 Συντελεστής συναγωγής h και αδιάστατοι αριθμοί της ροής του ρευστού

Ο συντελεστής συναγωγής μεταξύ ρευστού και εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί μέσω μιας διαφορετικής έκφρασης της αποδιδόμενης θερμικής ισχύος:

$$Q_u = A_{in} \cdot h \cdot (T_p - T_{fm}) \Rightarrow h = \frac{Q_u}{A_{in} \cdot (T_p - T_{fm})} \quad (14)$$

, όπου $A_{in} = N \cdot \pi \cdot D_{in} \cdot L$ το συνολικό εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων του συλλέκτη (N ο αριθμός των σωλήνων του συλλέκτη) και T_{fm} η μέση θερμοκρασία του ρευστού. Ισχύει ότι:

$$T_{fm} = T_i + \frac{Q_u}{A_c \cdot U_L \cdot F_R} (1 - F^R) \quad (15)$$

Πίνακας 6.7: Μέση θερμοκρασία του ρευστού και συντελεστής συναγωγής μεταξύ ρευστού και εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα για τα τρία ρευστά

Νερό:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{fm}(^{\circ}\text{C})$	$h(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$
30	32,80	340,31
40	42,65	348,13
50	52,24	312,16
60	62,09	325,68
70	71,55	255,24

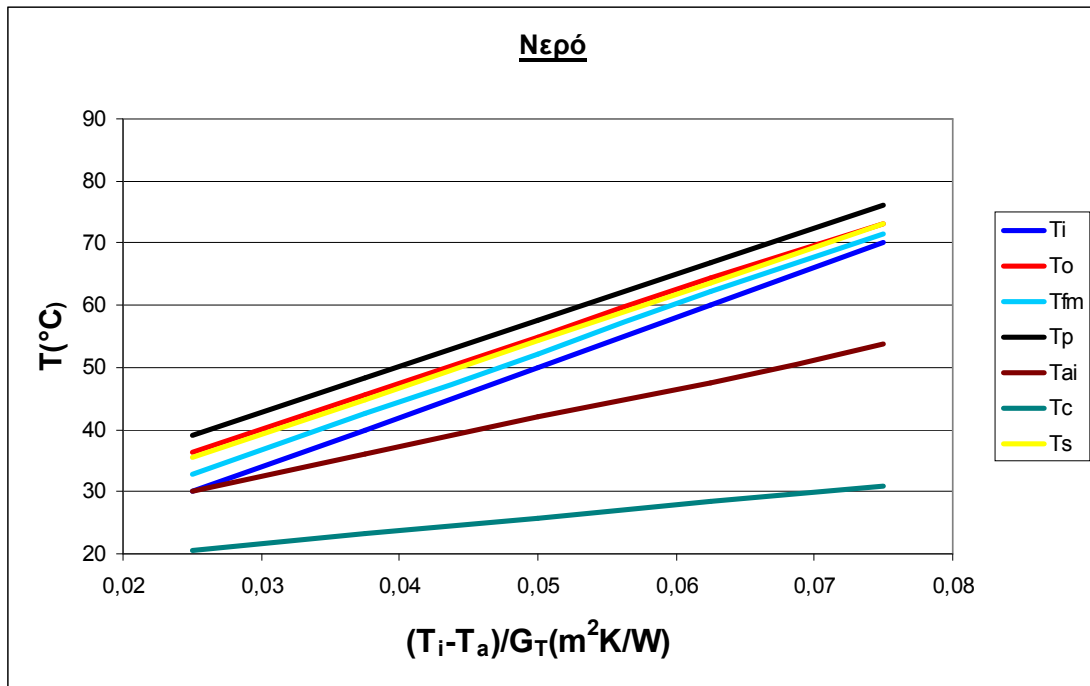
Λάδι:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{fm}(^{\circ}\text{C})$	$h(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$
30	37,71	131,96
40	46,23	127,45
50	55,54	128,28
60	64,80	126,77
70	74,07	123,14

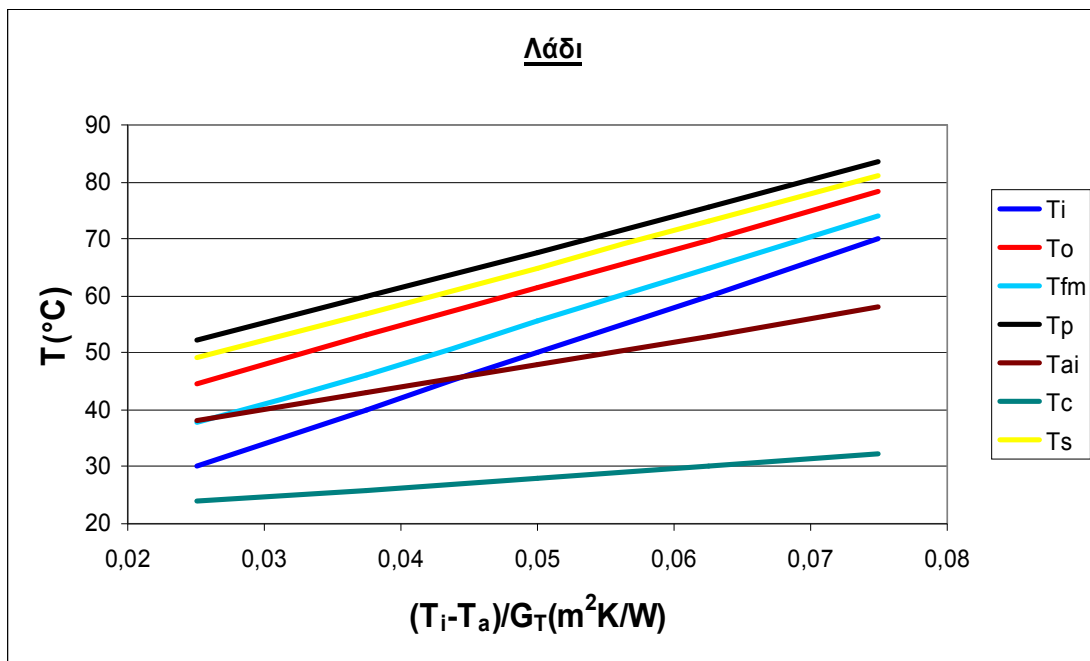
Λάδι- Al_2O_3 :

$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_{fm}(^{\circ}\text{C})$	$h(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$
30	37,72	133,73
40	46,33	129,89
50	55,76	135,32
60	64,88	129,34
70	74,12	125,25

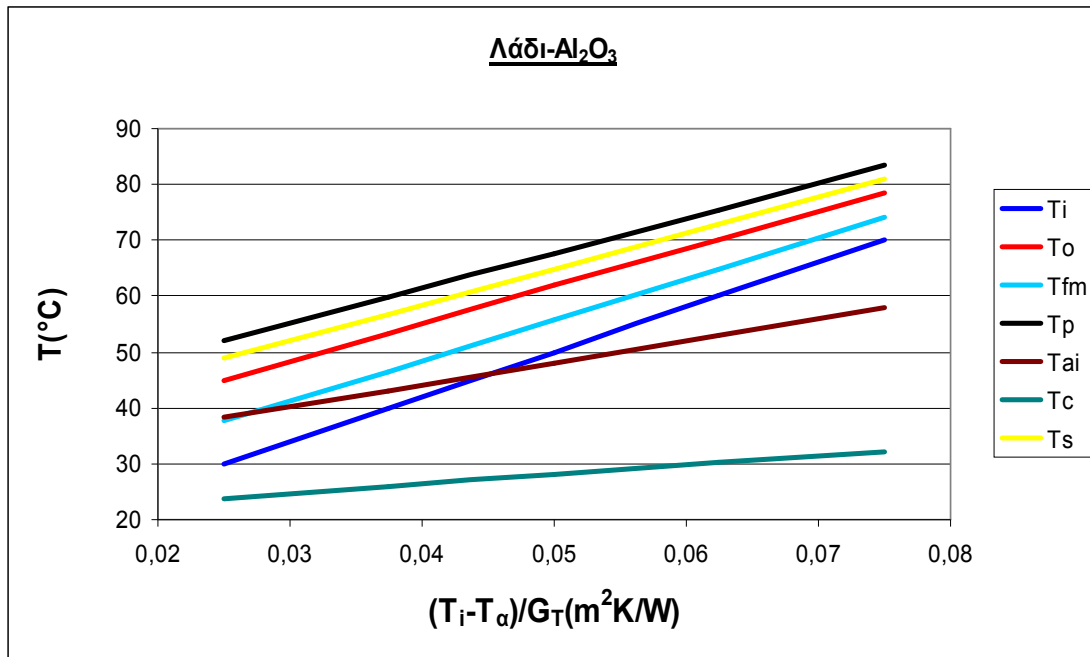
Συγκριτικά, οι θερμοκρασίες που έχουν υπολογιστεί μέχρι στιγμής για κάθε ρευστό φαίνονται παρακάτω, όπου T_c η μέση θερμοκρασία των T_{ci} και T_{co} .



Διάγραμμα 6.7: Καμπύλες των θερμοκρασιών που έχουν υπολογιστεί μέχρι στιγμής για το νερό



Διάγραμμα 6.8: Καμπύλες των θερμοκρασιών που έχουν υπολογιστεί μέχρι στιγμής για το λάδι



Διάγραμμα 6.9: Καμπύλες των θερμοκρασιών που έχουν υπολογιστεί μέχρι στιγμής για το νανορευστό

Στη συνέχεια μένει να υπολογιστούν οι **αδιάστατοι αριθμοί Reynolds και Nusselt** οι οποίοι ορίζονται ως:

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}}{N \cdot \pi \cdot D_{in} \cdot \mu} \quad (16)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D_{in}}{k} \quad (17)$$

, όπου N ο αριθμός των σωλήνων του συλλέκτη.

Πίνακας 6.8: Αδιάστατοι αριθμοί Reynolds και Nusselt για τα τρία ρευστά

Νερό:

T_i (°C)	Re	Nu
30	798,58	4,423
40	975,14	4,417
50	1164,39	3,880
60	1365,23	3,982
70	1576,49	3,079

Λάδι:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	Re	Nu
30	194,09	7,820
40	244,85	7,609
50	300,29	7,716
60	361,51	7,683
70	426,69	7,520

Λάδι-Al₂O₃:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	Re	Nu
30	184,39	7,472
40	232,62	7,311
50	285,29	7,674
60	343,45	7,391
70	405,37	7,212

Από τον τύπο του αριθμού Reynolds φαίνεται ότι εξαρτάται μόνο από το ιξώδες του ρευστού, καθώς τα υπόλοιπα μεγέθη είναι σταθερά. Έτσι, αφού με την αύξηση της θερμοκρασίας το ιξώδες μειώνεται, ο αριθμός Reynolds συνεχώς αυξάνεται. Η μεγαλύτερη του τιμή είναι για το νερό στους 70°C και είναι ίση με 1576.49. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι μικρότερη από 2300, οπότε η **ροή** είναι **στρωτή**.

Ο αριθμός Nusselt μπορεί να υπολογιστεί και από τη σχέση Hausen για στρωτή ροή, με την υπόθεση ότι η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα T_s είναι σταθερή.

$$Nu = 3.66 + \frac{0.0668 \cdot \frac{D_{in}}{L} \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0.04 \cdot \left(\frac{D_{in}}{L} \cdot Re \cdot Pr \right)^{\frac{2}{3}}} \quad (18)$$

, όπου Pr ο αριθμός Prandtl:
$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (19)$$

Με συνδυασμό των παραπάνω εξισώσεων προκύπτει:

Πίνακας 6.9: Αδιάστατοι αριθμοί Prandtl και Nusselt για τα τρία ρευστά

Νερό:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	Pr	Nu
30	5,414	4,607
40	4,327	4,588
50	3,553	4,572
60	2,982	4,560
70	2,552	4,550

Λάδι:

$T_i(^{\circ}\text{C})$	Pr	Nu
30	38,267	5,148
40	31,122	5,179
50	26,030	5,210
60	22,173	5,242
70	19,248	5,273

Λάδι- Al_2O_3 :

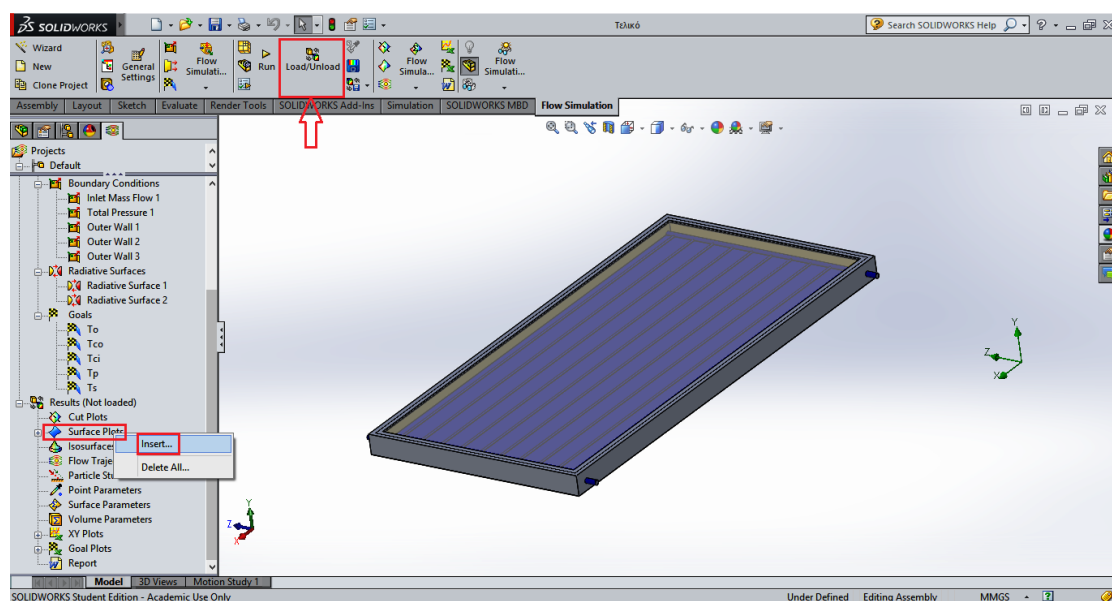
$T_i(^{\circ}\text{C})$	Pr	Nu
30	37,591	5,066
40	30,568	5,096
50	25,561	5,126
60	21,770	5,156
70	18,895	5,185

Παρατηρείται ότι κυρίως στο νερό, οι αριθμοί Nusselt με τους δύο διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Οι τυχόν διαφορές οφείλονται στο γεγονός ότι η T_s δεν είναι ακριβώς σταθερή.

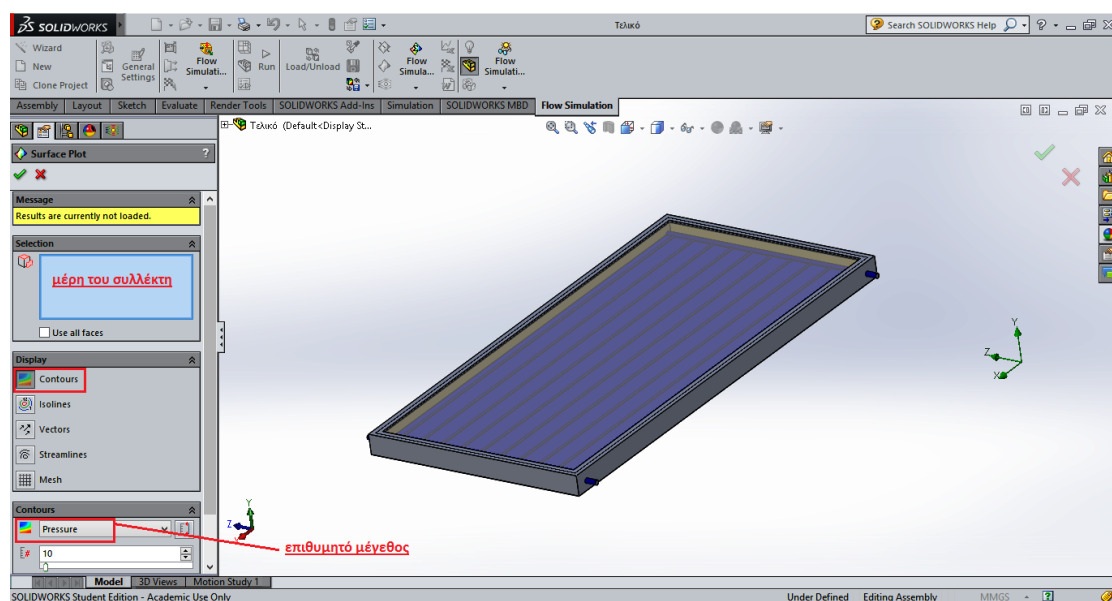
6.4 Κατανομές θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του συλλέκτη

6.4.1 Θερμοκρασία του ρευστού

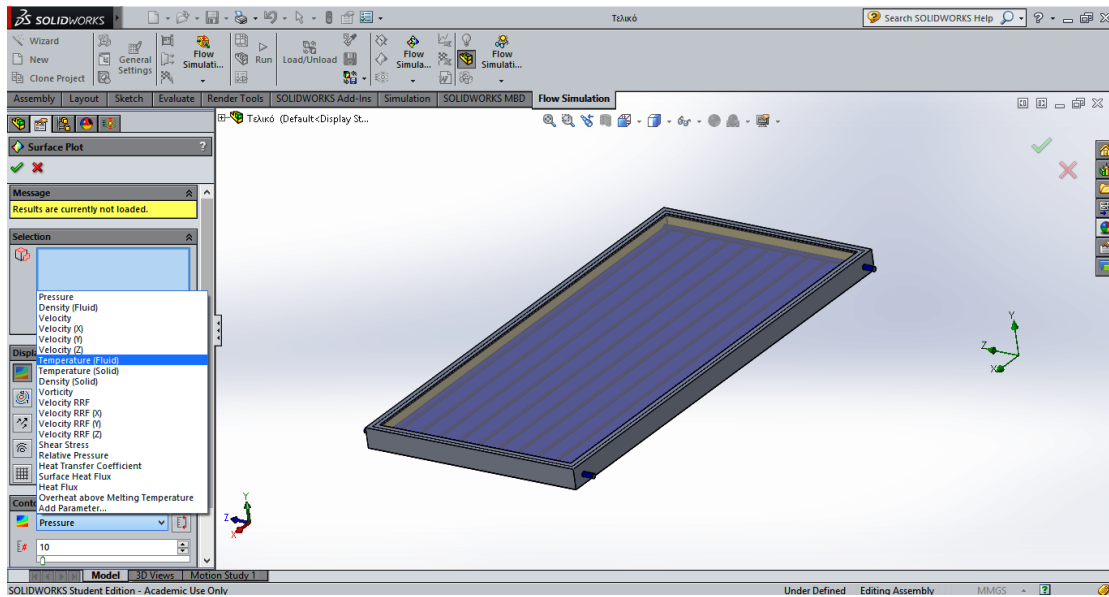
Για την προβολή της θερμοκρασίας του ρευστού καθ' όλο το μήκος του ηλιακού συλλέκτη θα χρησιμοποιηθούν τα χρωματιστά διαγράμματα (Contours), όπου το κάθε χρώμα συμβολίζει κι ένα διαφορετικό πεδίο τιμών. Στα αποτελέσματα της μελέτης (**Results**), επιλέγεται η εντολή **Surface Plots** και ύστερα επιλέγεται η επιφάνεια και το μέγεθος που ενδιαφέρει.



Εικόνα 5.1: Αποτελέσματα της μελέτης και προσθήκη Surface Plots



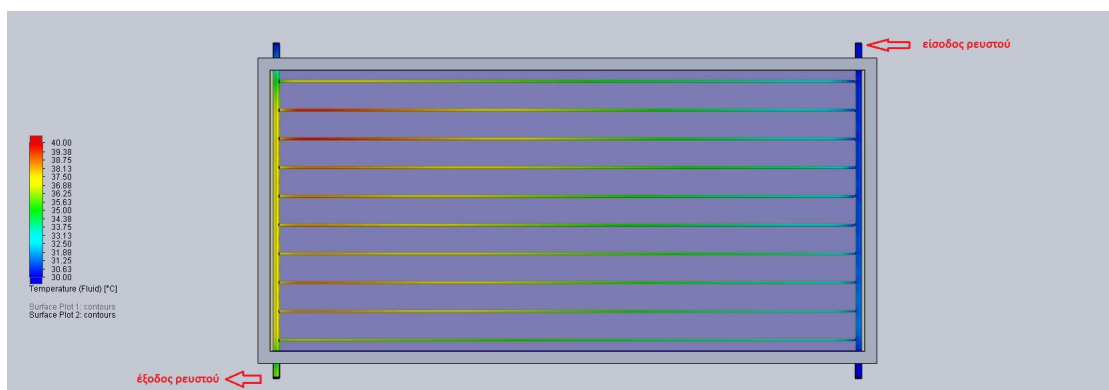
Εικόνα 6.2: Επιλογή των χρωματιστών διαγραμμάτων (Contours)



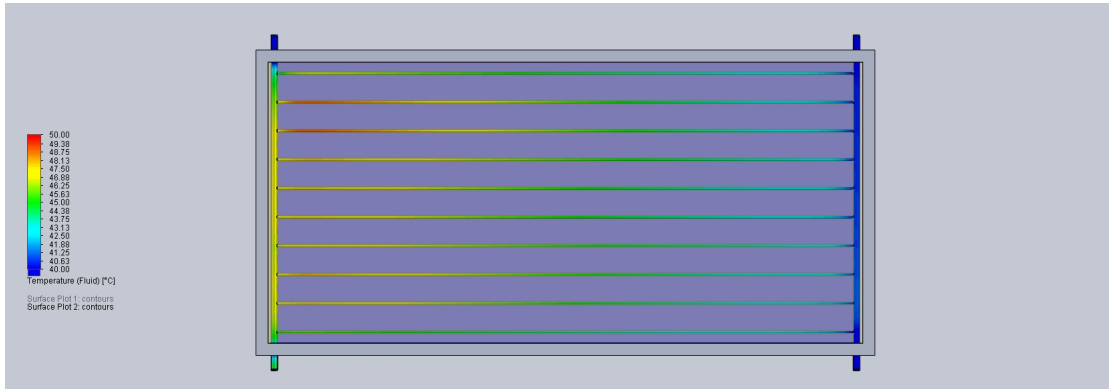
Εικόνα 6.3: Επιλογή της θερμοκρασίας του ρευστού ως το επιθυμητό μέγεθος προς εξέταση

Η λογική σε αυτή τη μελέτη ήταν να φανεί ότι ο θερμικός βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού. Αυτό πραγματοποιήθηκε με το να τοποθετηθούν σταθερά όρια στις τιμές της θερμοκρασίας του ρευστού, βάση των οποίων ο συλλέκτης αποκτά το κατάλληλο χρώμα. Ως κατώτατο όριο επιλέχτηκε η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού και ως ανώτατο 10°C πάνω από τη θερμοκρασία εισόδου, δηλαδή 10°C παραπάνω από το κατώτατο όριο κάθε φορά. Με αυτό τον τρόπο διαπιστώθηκε ότι τα χρώματα του συλλέκτη, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού, γίνονται και λιγότερο κόκκινα, δηλαδή η απόδοση του συλλέκτη συνεχώς πέφτει. Παρακάτω φαίνονται οι αντιπροσωπευτικές εικόνες.

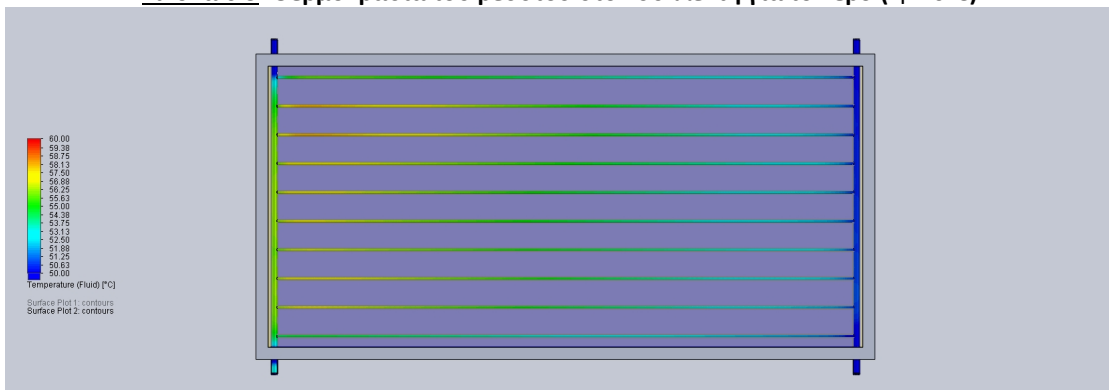
Νερό



Εικόνα 6.4: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νερό ($T_i=30^{\circ}\text{C}$)



Εικόνα 6.5: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νερό ($T_i=40^{\circ}\text{C}$)



Εικόνα 6.6: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νερό ($T_i=50^{\circ}\text{C}$)

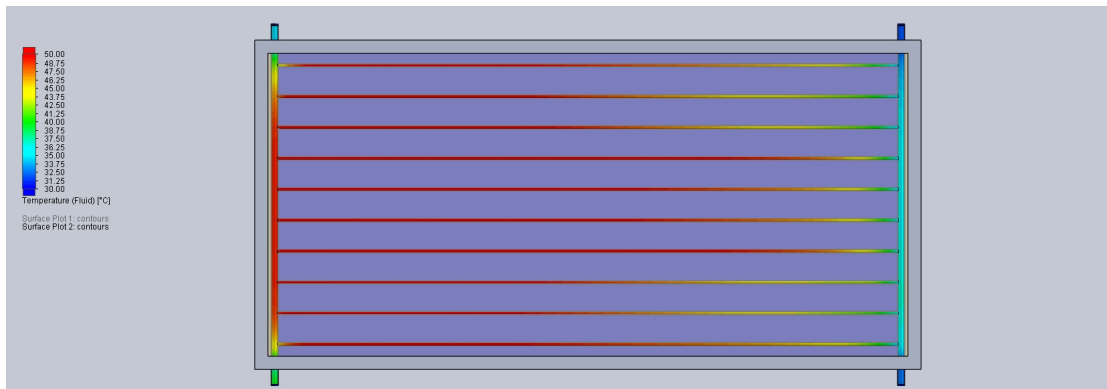


Εικόνα 6.7: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νερό ($T_i=60^{\circ}\text{C}$)



Εικόνα 6.8: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νερό ($T_i=70^{\circ}\text{C}$)

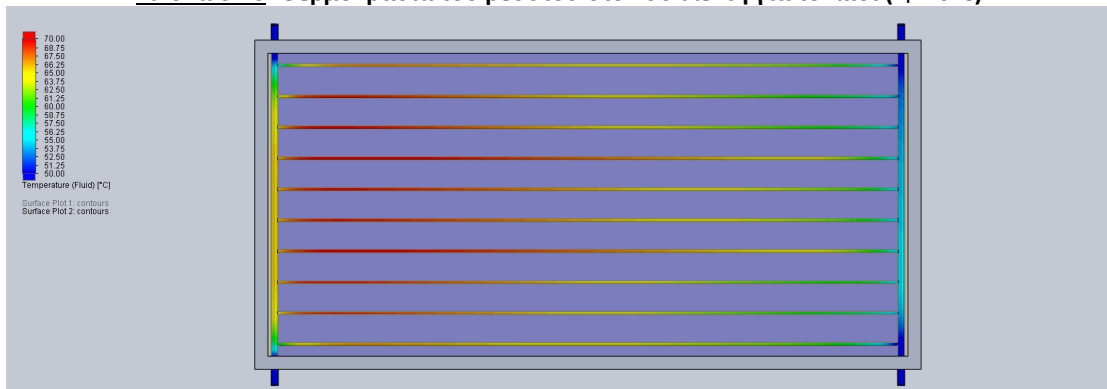
Λάδι



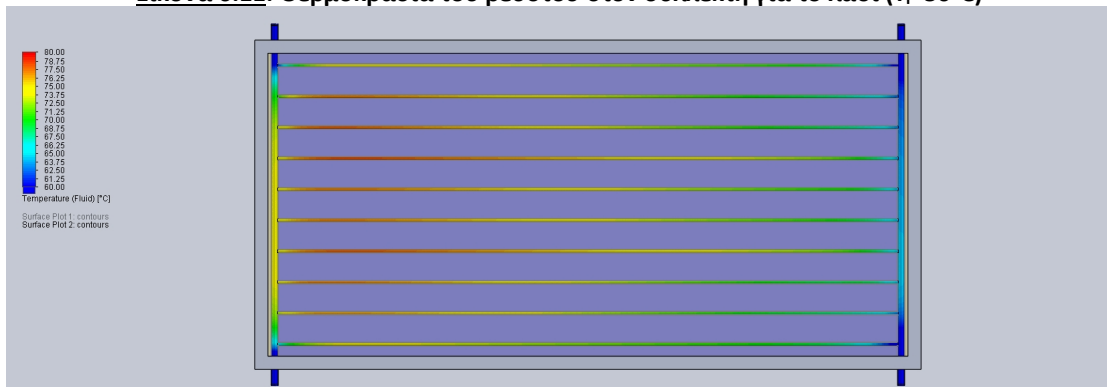
Εικόνα 6.9: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το λάδι ($T_i=30^\circ\text{C}$)



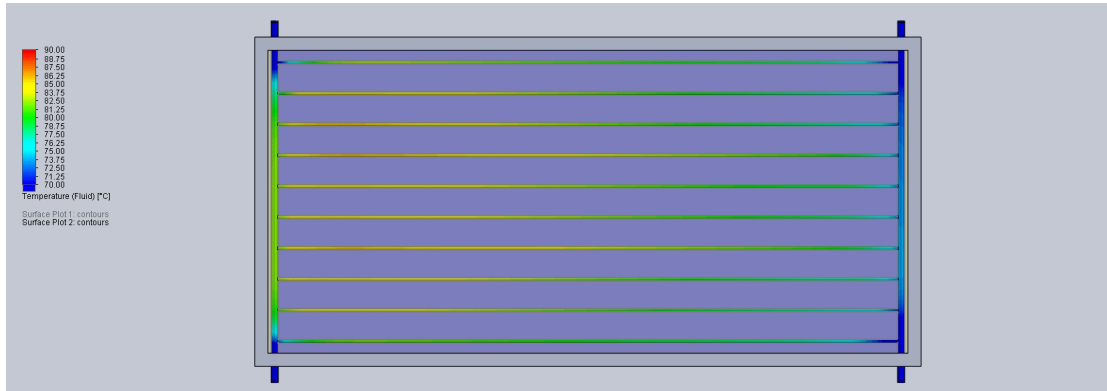
Εικόνα 6.10: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το λάδι ($T_i=40^\circ\text{C}$)



Εικόνα 6.11: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το λάδι ($T_i=50^\circ\text{C}$)

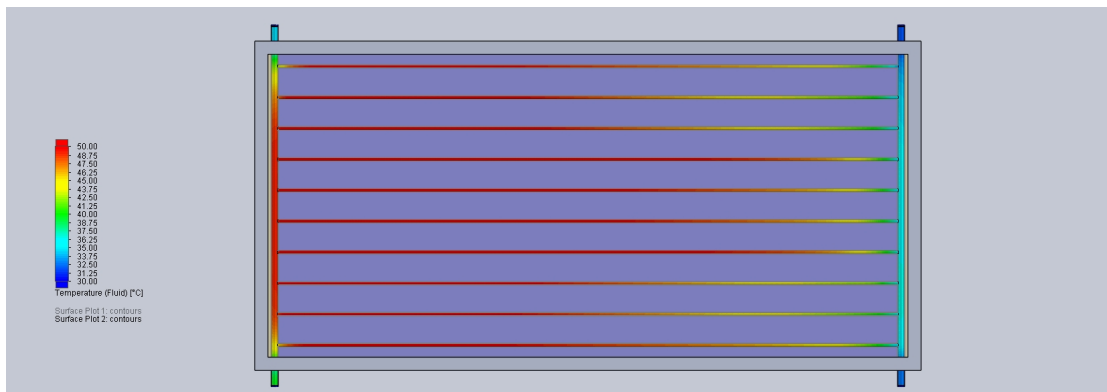


Εικόνα 6.12: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το λάδι ($T_i=60^\circ\text{C}$)

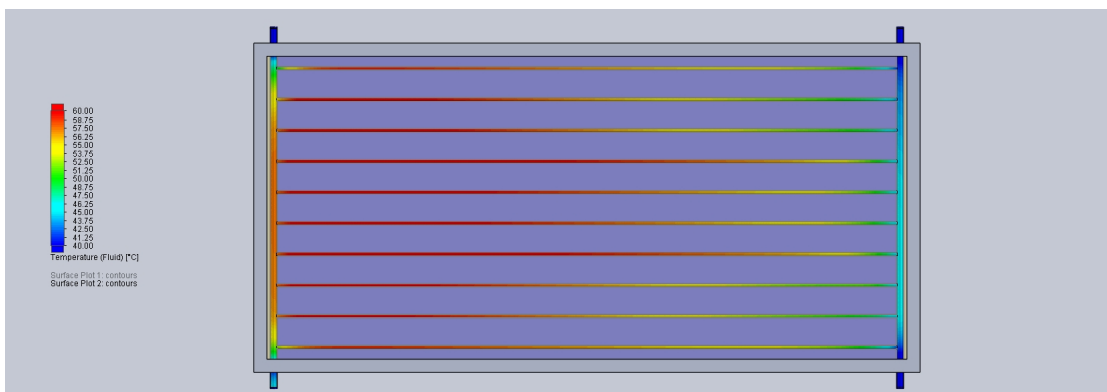


Εικόνα 6.13: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το λάδι ($T_i=70^\circ\text{C}$)

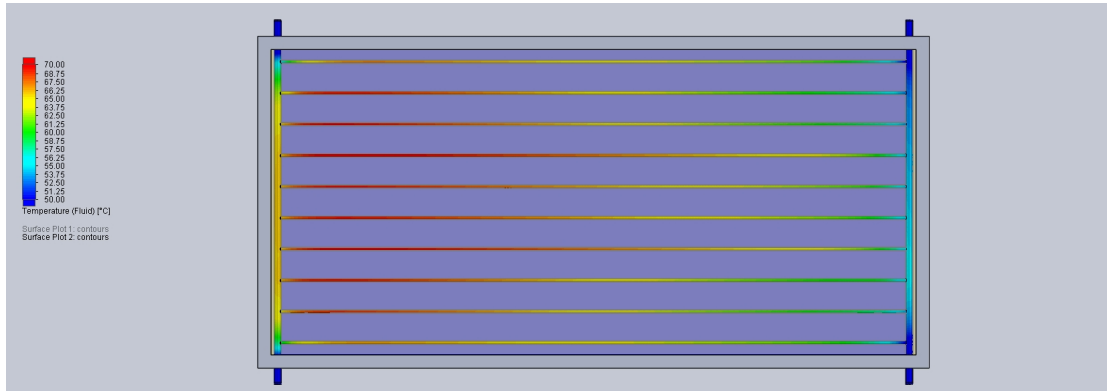
Λάδι- Al_2O_3



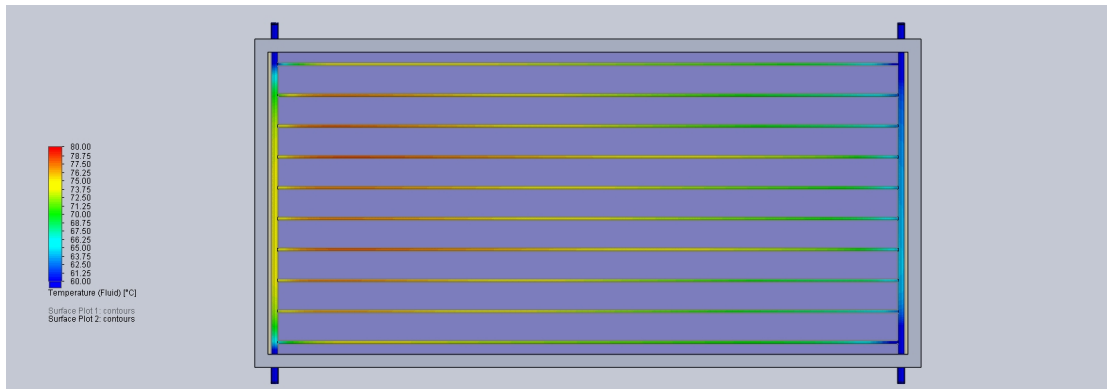
Εικόνα 6.14: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νανορευστό ($T_i=30^\circ\text{C}$)



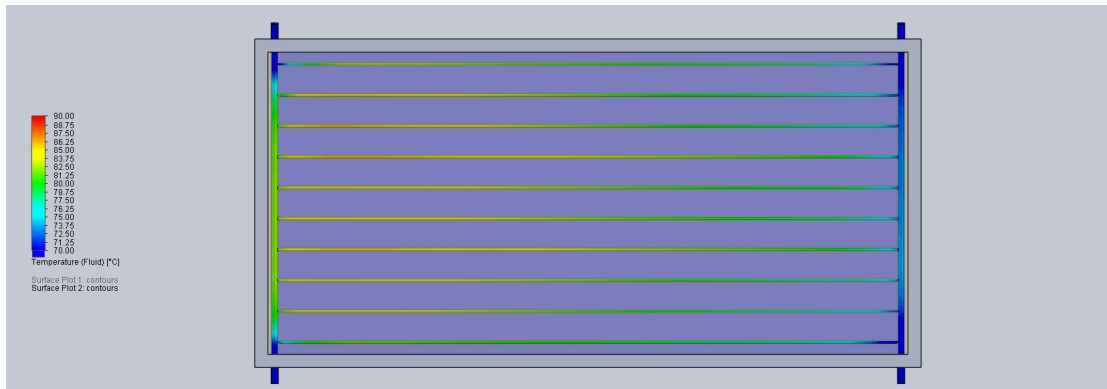
Εικόνα 6.15: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νανορευστό ($T_i=40^\circ\text{C}$)



Εικόνα 6.16: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νανορευστό ($T_i=50^\circ\text{C}$)



Εικόνα 6.17: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νανορευστό ($T_i=60^\circ\text{C}$)

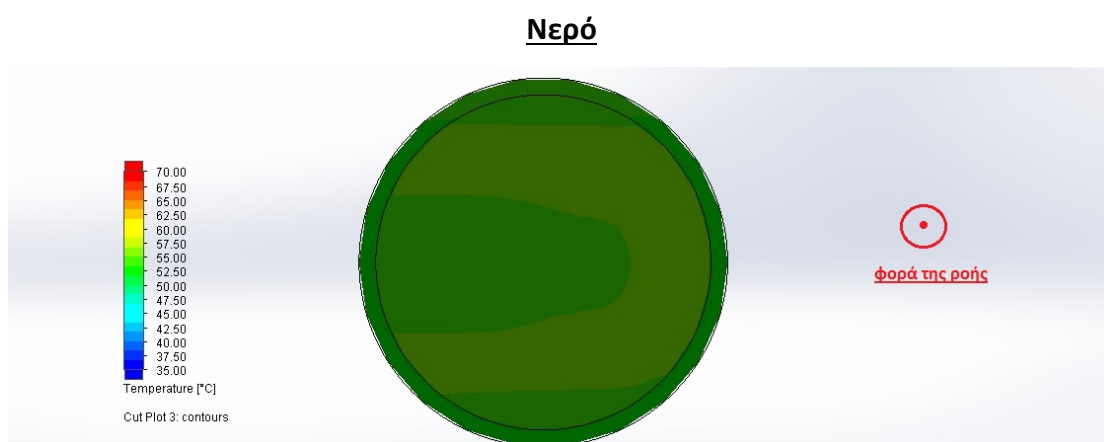


Εικόνα 6.18: Θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη για το νανορευστό ($T_i=70^\circ\text{C}$)

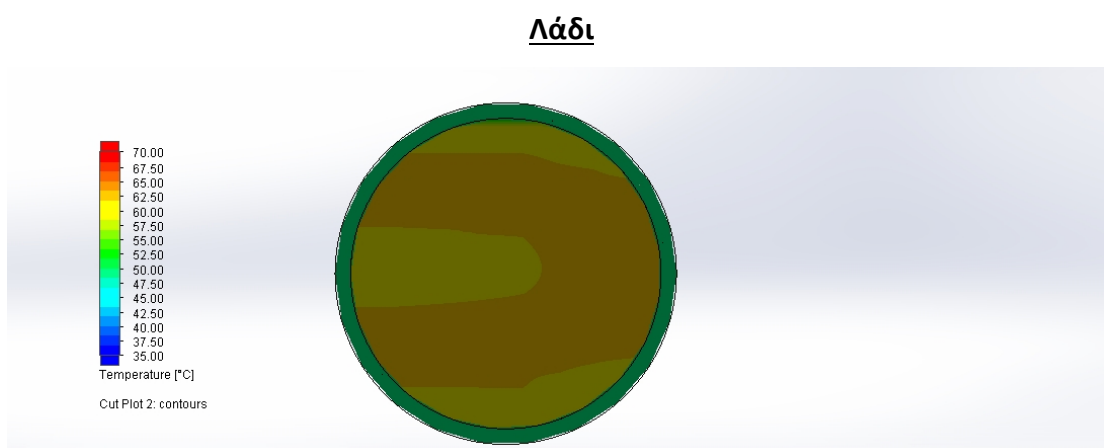
Οι επόμενες μελέτες θα γίνουν αποκλειστικά στους **50°C**, όπου σημειώθηκε και η μεγαλύτερη διαφορά στον θερμικό βαθμό απόδοσης με την προσθήκη νανοϋλικού στο λάδι.

6.4.2 Θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη

Για την προβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του συλλέκτη χρησιμοποιείται στα αποτελέσματα η εντολή **Cut Plots**. Έχει παρόμοια λειτουργία με την εντολή Surface Plots, μόνο που εδώ η μελέτη γίνεται στη διατομή που πραγματοποιείται η επιθυμητή τομή. Η τομή γίνεται στο σημείο που βρέχεται η τάπα από το ρευστό. Για να φανεί η διαφορά μεταξύ των τριών ρευστών, τα θερμοκρασιακά όρια είναι τα ίδια και επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να φαίνονται αναλυτικά οι διαφοροποιήσεις στις επιμέρους περιοχές της διατομής εξόδου του σωλήνα.

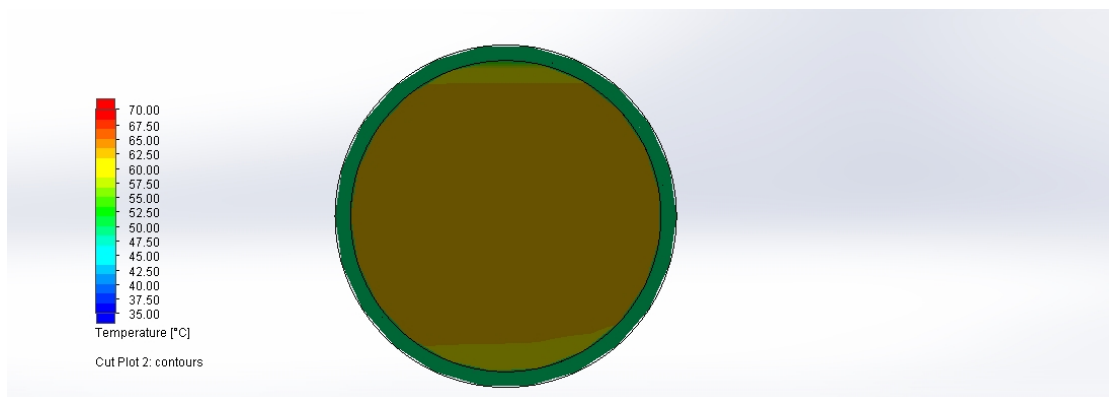


Εικόνα 6.19: Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού για το νερό



Εικόνα 6.20: Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃



Εικόνα 6.21: Θερμοκρασία εξόδου του ρευστού για το νανορευστό

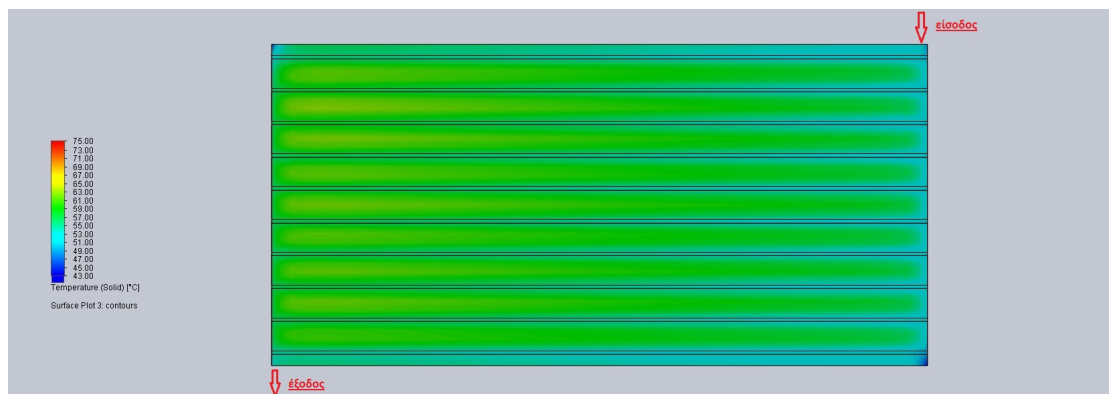
Από τις παραπάνω εικόνες πρέπει να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Το νερό είναι το λιγότερο θερμό ρευστό στην έξοδο του συλλέκτη, ενώ το νανορευστό το θερμότερο. Αυτό είναι λογικό καθώς το νερό έχει την υψηλότερη ειδική θερμοχωρητικότητα, ενώ το νανορευστό τη χαμηλότερη.
- Τα ρευστά είναι θερμότερα προς την πλευρά των σωληνώσεων. Αυτό φαίνεται κυρίως στο νερό και το λάδι.
- Το πάνω και το κάτω μέρος του ρευστού είναι λιγότερο θερμά. Αυτό φαίνεται κυρίως στο νανορευστό όπου είναι οι μόνες περιοχές που έχουν διαφορετικό χρώμα.
- Όσον αφορά το στερεό κομμάτι του σωλήνα, παρατηρείται ότι στο νερό είναι θερμότερο από τα άλλα δύο ρευστά και αυτό είναι λογικό καθώς στο νερό, ο συντελεστής συναγωγής h μεταξύ ρευστού και εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα είναι μεγαλύτερος.

6.4.3 Θερμοκρασία πλάκας απορρόφησης

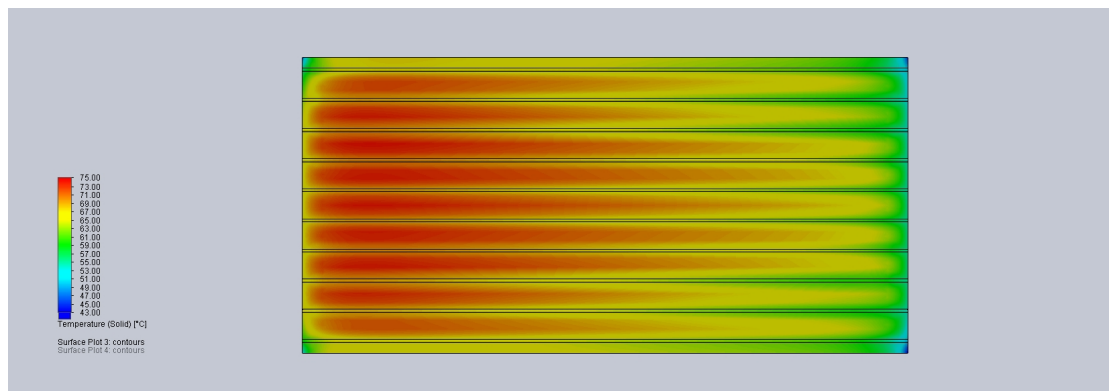
Εφαρμόζοντας ίδια τακτική με τη θερμοκρασία εξόδου του συλλέκτη, προκύπτει για τη θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης:

Νερό



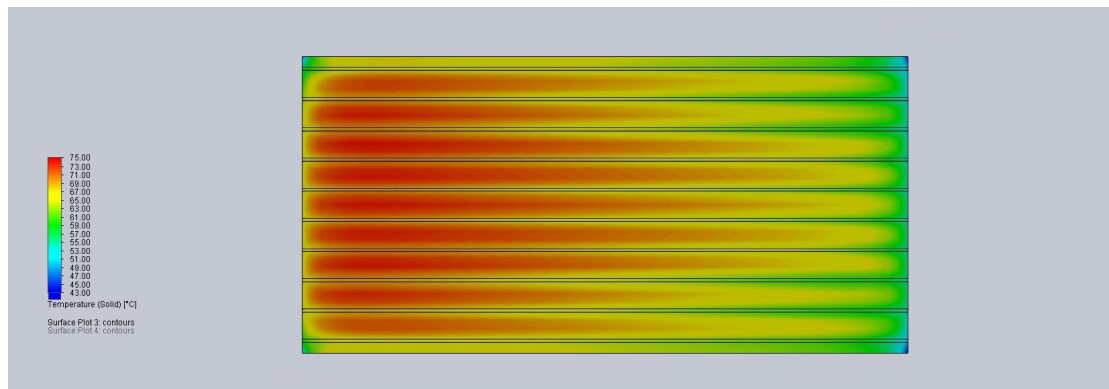
Εικόνα 6.22: Θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης για το νερό

Λάδι



Εικόνα 6.23: Θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃



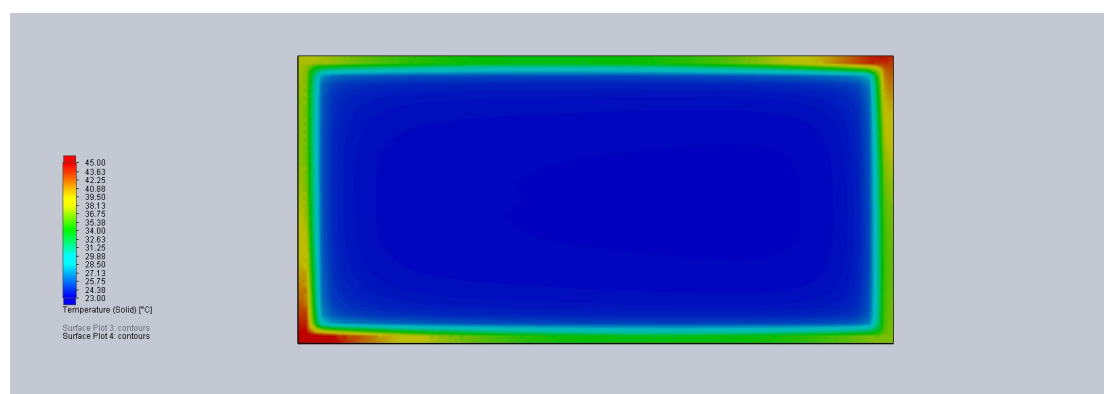
Εικόνα 6.24: Θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης για το ναυορευστό

Από τις παραπάνω εικόνες πρέπει να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Στο νερό, η θερμοκρασία του απορροφητή είναι χαμηλότερη, ενώ στο λάδι και το νανορευστό είναι παρόμοιες.
- Η θερμοκρασία του απορροφητή είναι μεγαλύτερη στη πλευρά του συλλέκτη εξόδου. Αυτό είναι λογικό καθώς μόλις το ρευστό εισέρχεται στον ηλιακό συλλέκτη δέχεται τη θερμότητα που έχει απορροφηθεί από την πλάκα απορρόφησης, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, με συνέπεια να αυξάνει συνεχώς τη θερμοκρασία του όσο προχωράει. Έτσι, από τη στιγμή που το ρευστό είναι θερμότερο προς την πλευρά εξόδου του ρευστού, λόγω μεταφοράς θερμότητας, θερμαίνεται και ο απορροφητής περισσότερο προς αυτή την πλευρά.
- Η πλάκα απορρόφησης πάνω από τις μεσαίες σωληνώσεις του απορροφητή είναι θερμότερη, διότι εκεί οι πλευρικές απώλειες είναι μικρότερες.
- Οι 4 γωνίες της πλάκας απορρόφησης είναι οι ψυχρότερες περιοχές, κυρίως λόγω αυξημένων πλευρικών απωλειών.

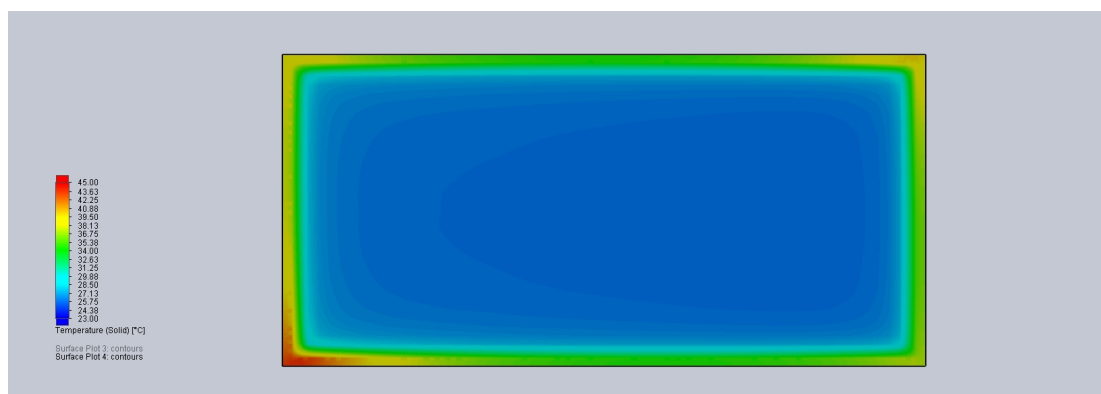
6.4.4 Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος

Νερό



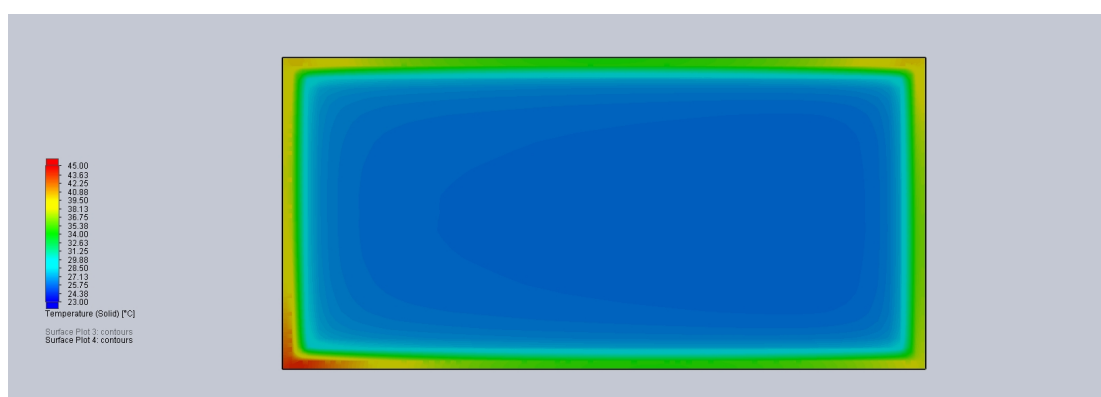
Εικόνα 6.25: Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος για το νερό

Λάδι



Εικόνα 6.26: Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃



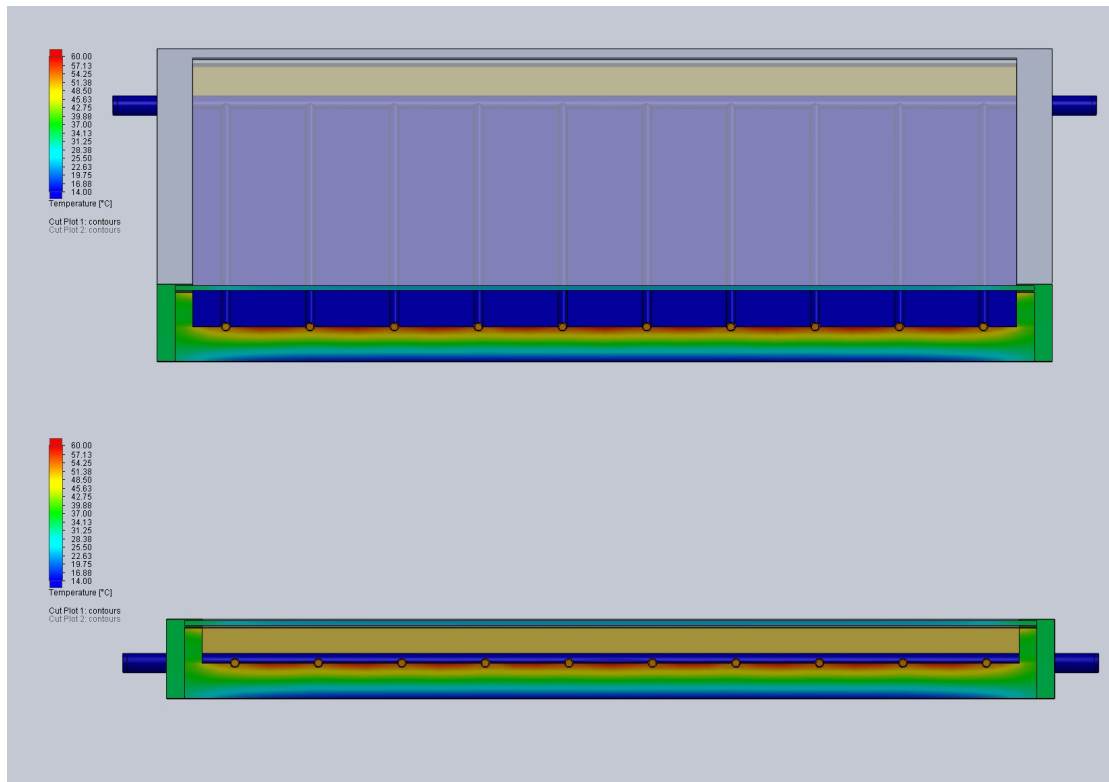
Εικόνα 6.27: Θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος για το νανορευστό

Από τις παραπάνω εικόνες πρέπει να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

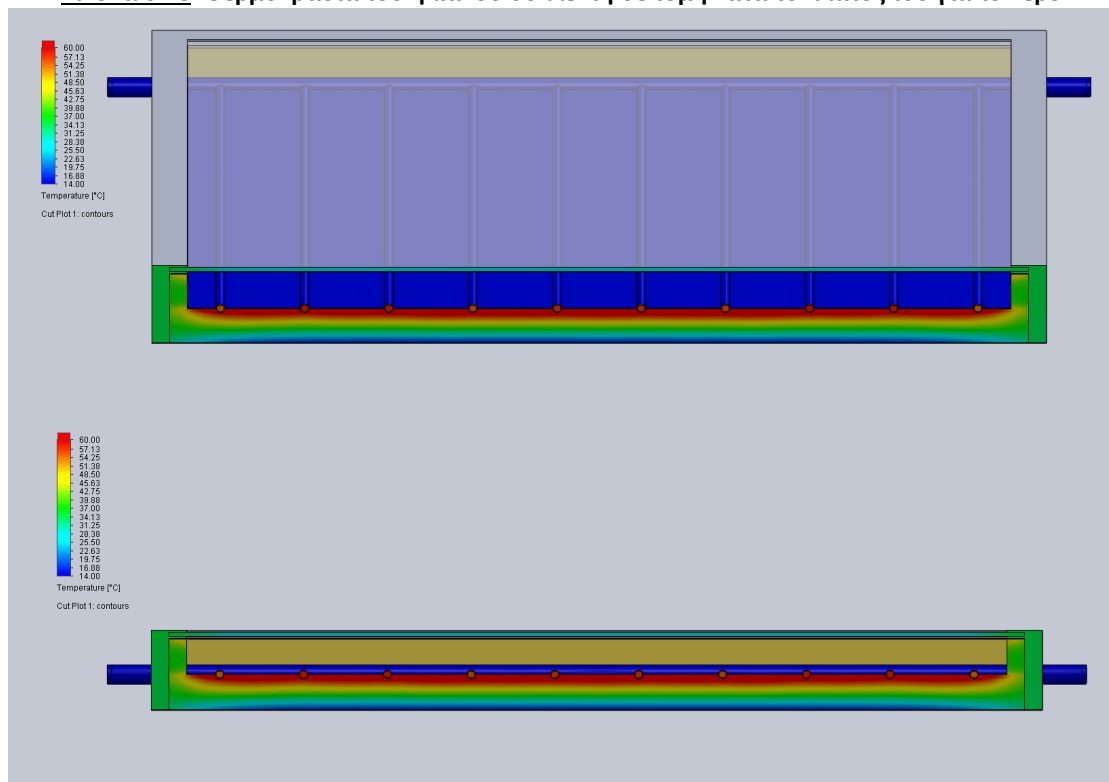
- Η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του καλύμματος για το νερό είναι χαμηλότερη από τα άλλα δυο ρευστά και αυτό γιατί η θερμοκρασία του αέρα που παγιδεύεται ανάμεσα στον απορροφητή και το κάλυμμα είναι χαμηλότερη στο νερό. Έτσι, από τη μεταφορά της θερμότητας μεταξύ του αέρα και του καλύμματος προκύπτει αυτό το αποτέλεσμα.
- Η περιοχή του καλύμματος που “κουμπώνει” στις εσοχές του πλαισίου (δηλαδή το περίγραμμα του καλύμματος) είναι θερμότερη λόγω της μεταφοράς θερμότητας από το πλαίσιο προς το κάλυμμα.
- Όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του καλύμματος, τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του.

6.4.5 Θερμοκρασία σε διάφορες τομές του ηλιακού συλλέκτη

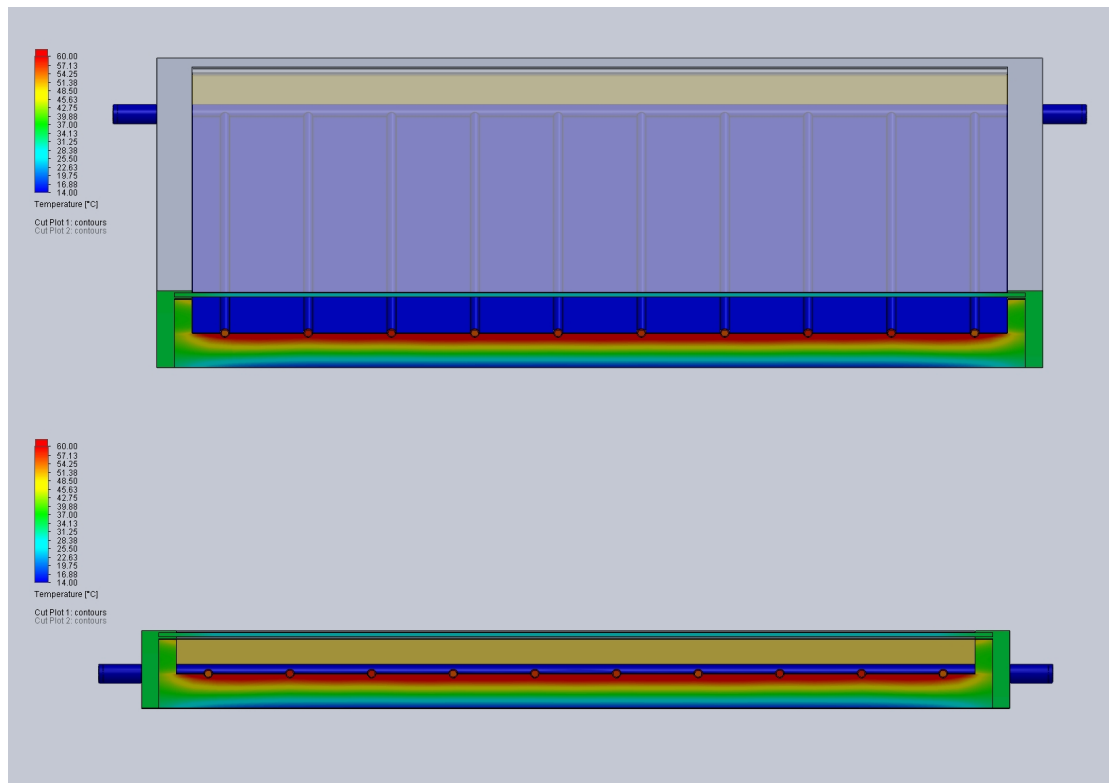
Αρχικά, πραγματοποιείται τομή κατά το πλάτος του ηλιακού συλλέκτη ακριβώς στο μισό του μήκους του, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 6.28: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το πλάτος του για το νερό



Εικόνα 6.29: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το πλάτος του για το λάδι

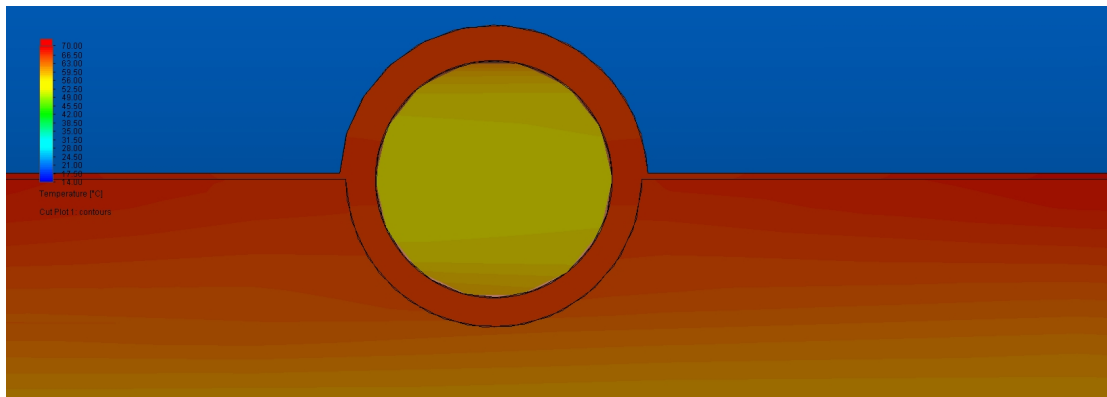


Εικόνα 6.30: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το πλάτος του για το νανορευστό

Παρατηρείται ότι:

- Στην μόνωση πλάτης σχηματίζονται θερμοκρασιακά πεδία κατά μήκος της λωρίδας, όπου τα πεδία αυτά γίνονται θερμότερα από κάτω προς τα πάνω, πράγμα λογικό.
- Η θερμοκρασία της μόνωσης πλάτης καθώς και του ρευστού είναι μεγαλύτερες για το λάδι και το νανορευστό, για λόγους που ήδη έχουν εξηγηθεί.

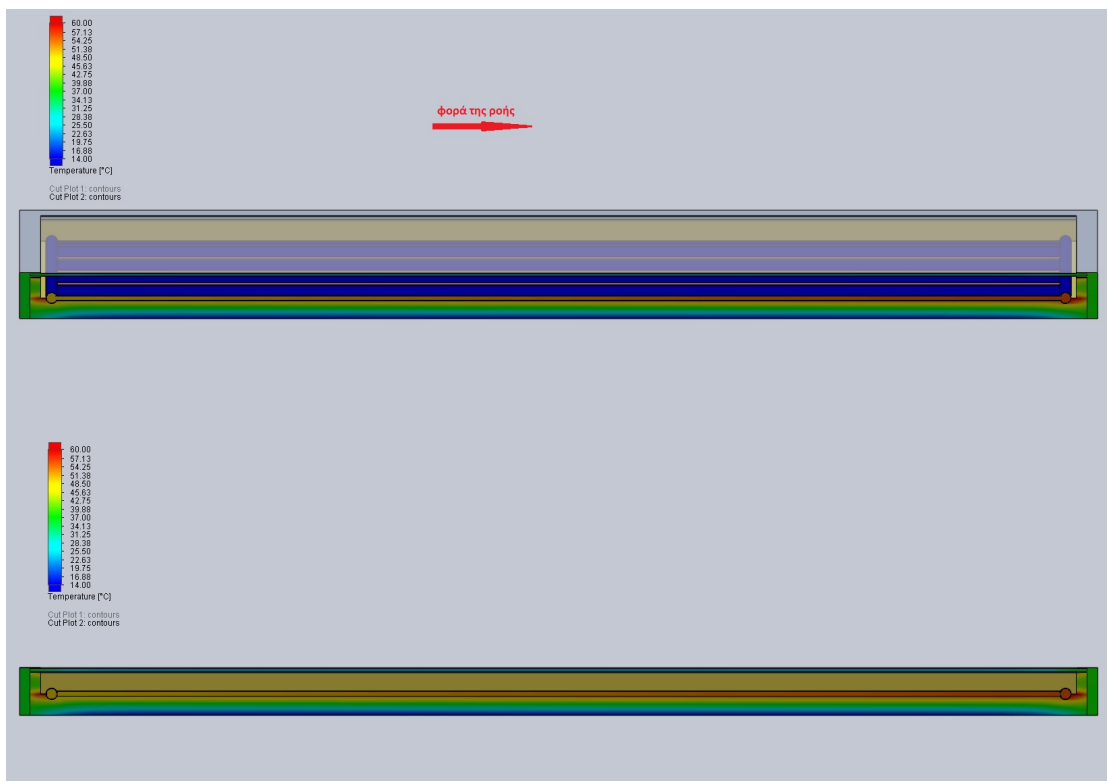
Αν γίνει μεγέθυνση σε έναν από τους σωλήνες (π.χ. στον 5^ο σωλήνα από αριστερά για το λάδι) και μεταβληθεί λίγο το άνω θερμοκρασιακό όριο των χρωμάτων, τότε φαίνεται αναλυτικά αυτή η διακύμανση των θερμοκρασιακών πεδίων. Επίσης, διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία του ρευστού στη μέση του σωλήνα είναι χαμηλότερη από το πάνω και το κάτω μέρος. Αυτό οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας από τον απορροφητή στον σωλήνα και από τον σωλήνα στο ρευστό αντίστοιχα.



Εικόνα 6.31: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το πλάτος του για το λάδι (γίνεται επικέντρωση στην περιοχή κοντά στον 5^ο σωλήνα από αριστερά)

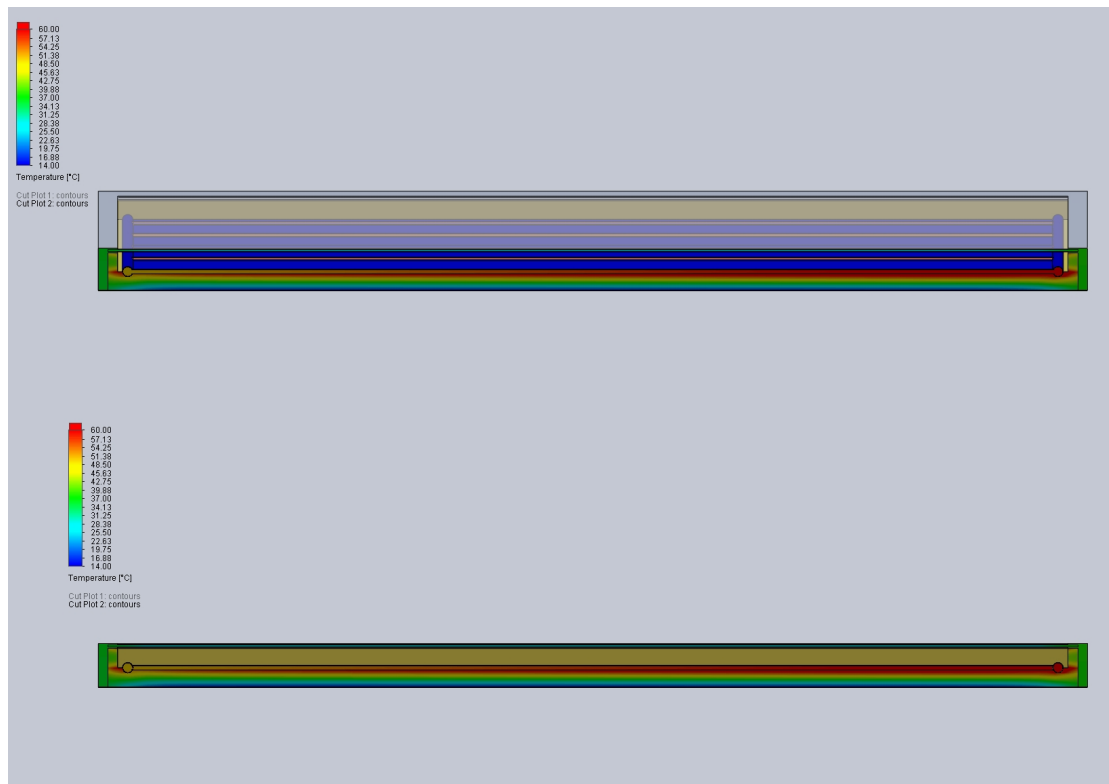
Ύστερα, πραγματοποιείται τομή κατά το μήκος του ηλιακού συλλέκτη περίπου στο μισό του πλάτους του και συγκεκριμένα στη μέση του 5^{ου} σωλήνα, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Νερό



Εικόνα 6.32: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το μήκος του για το νερό

Λάδι



Εικόνα 6.33: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το μήκος του για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃



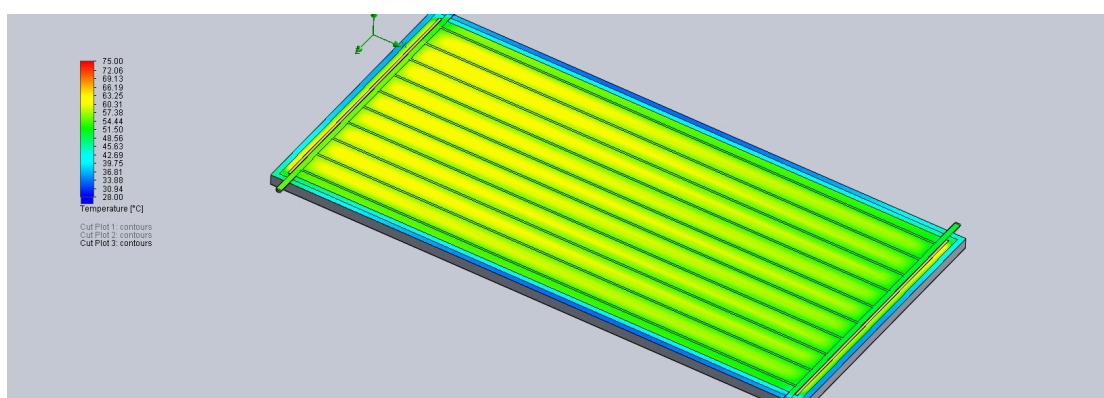
Εικόνα 6.34: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το μήκος του για το νανορευστό

Παρατηρείται ότι:

- Στην μόνωση πλάτης σχηματίζονται θερμοκρασιακά πεδία κατά μήκος της λωρίδας, όπου τα πεδία αυτά γίνονται θερμότερα από κάτω προς τα πάνω, πράγμα λογικό.
- Η θερμοκρασία της μόνωσης πλάτης καθώς και του ρευστού είναι μεγαλύτερες για το λάδι και το νανορευστό, για λόγους που ήδη έχουν εξηγηθεί.
- Το ρευστό θερμαίνεται συνεχώς καθώς προχωράει μέσα στους σωλήνες, δηλαδή από τα αριστερά προς τα δεξιά όπως φαίνονται οι εικόνες.

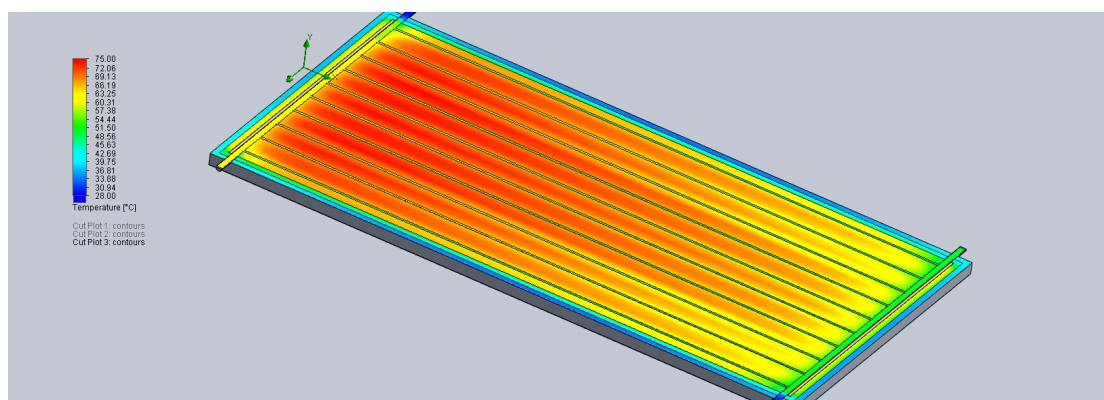
Ύστερα, πραγματοποιείται τομή κατά το ύψος του ηλιακού συλλέκτη και συγκεκριμένα στη μέση των σωλήνων, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Νερό



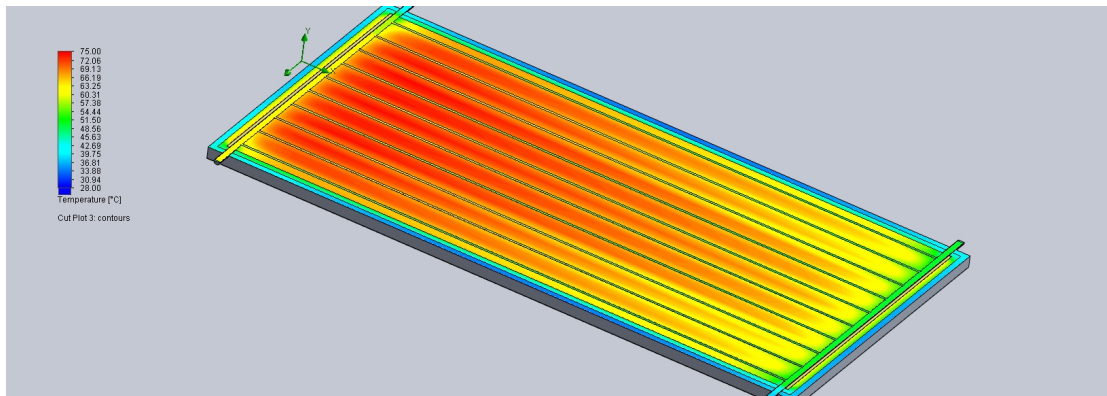
Εικόνα 6.35: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το ύψος του για το νερό

Λάδι



Εικόνα 6.36: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το ύψος του για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃

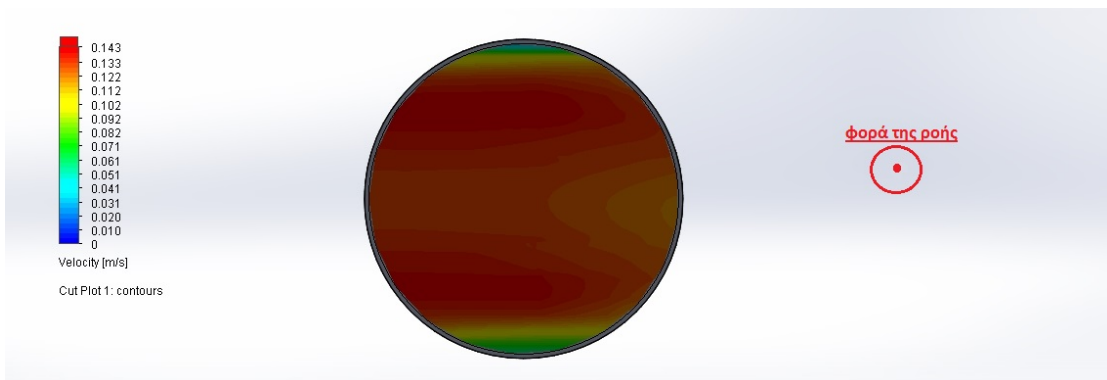


Εικόνα 6.37: Θερμοκρασία του ηλιακού συλλέκτη σε τομή κατά το ύψος του για το νανορευστό

6.5 Κατανομές ταχύτητας σε διάφορα σημεία του συλλέκτη

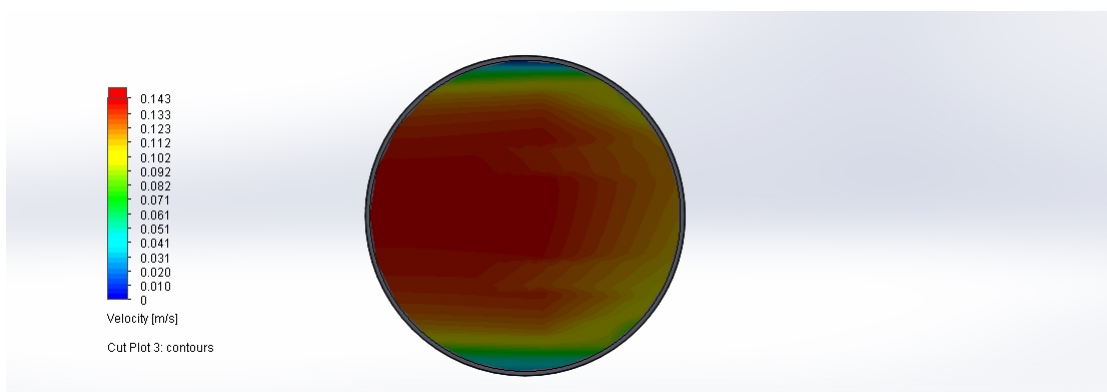
Ταχύτητα στην έξοδο του συλλέκτη

Νερό



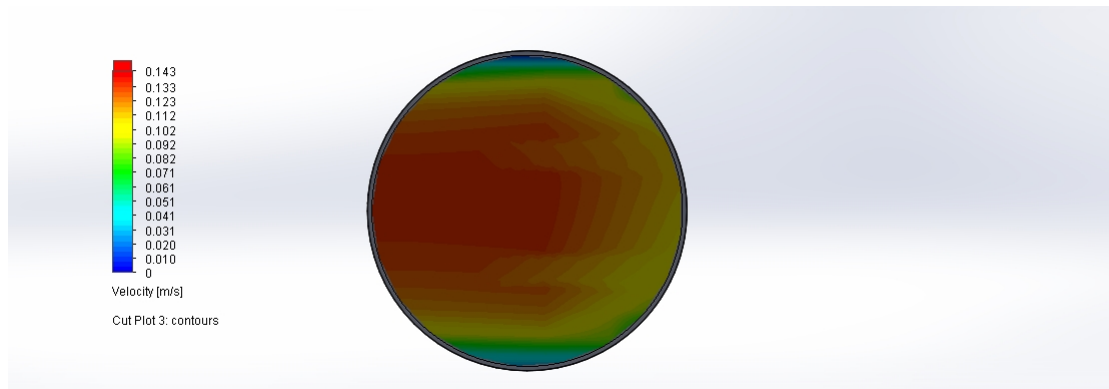
Εικόνα 6.38: Ταχύτητα στην έξοδο του συλλέκτη για το νερό

Λάδι



Εικόνα 6.39: Ταχύτητα στην έξοδο του συλλέκτη για το λάδι

Λάδι-Al₂O₃

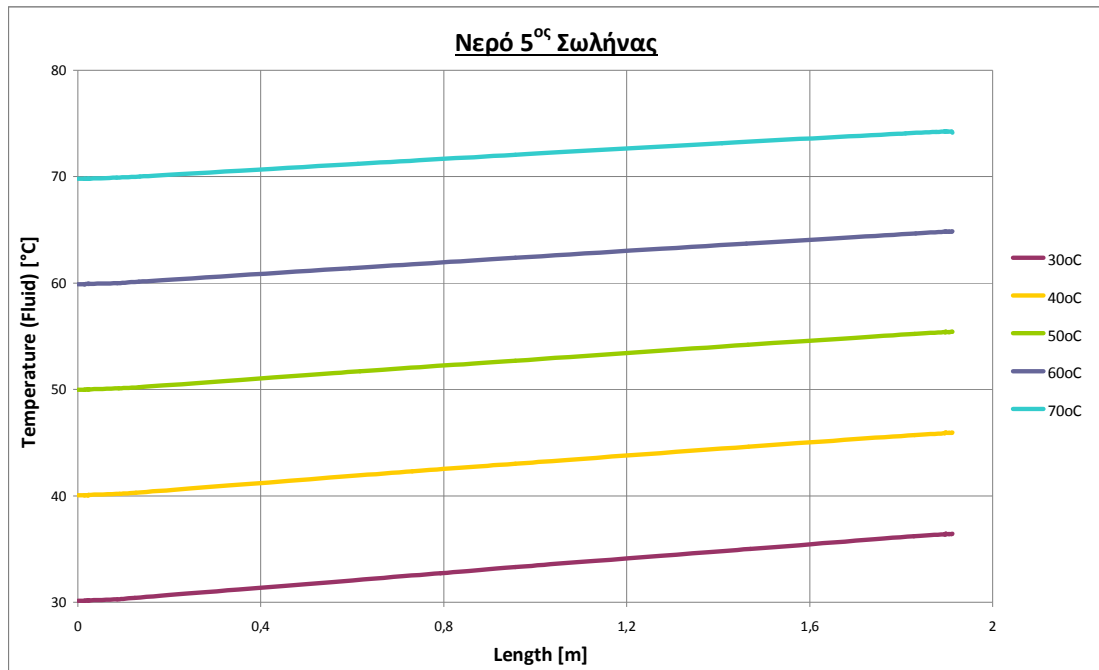


Εικόνα 6.40: Ταχύτητα στην έξοδο του συλλέκτη για το νανορευστό

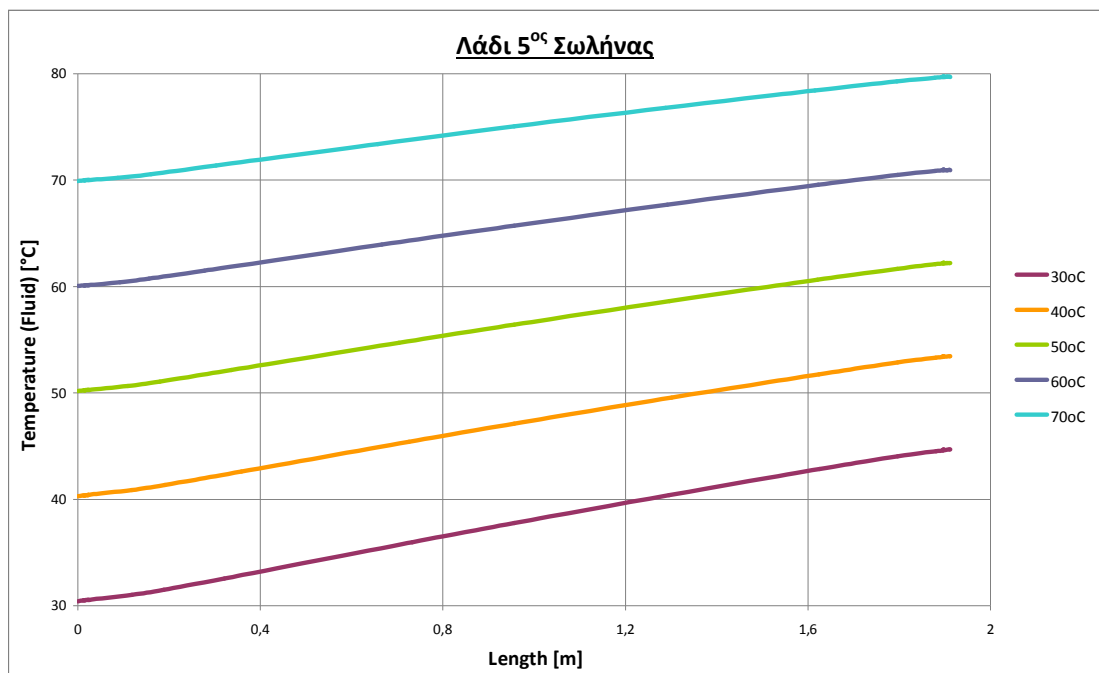
Από τις εικόνες προκύπτουν κάποια σημαντικά συμπεράσματα:

- Το νερό έχει τις μεγαλύτερες ταχύτητες, διότι έχει και το μικρότερο ιξώδες από τα άλλα δύο ρευστά, δηλαδή μικρότερη αντίσταση στη ροή. Αντίθετα, το νανορευστό για τον ίδιο λόγο έχει τις μικρότερες ταχύτητες.
- Επειδή η ροή παραμένει στρωτή και στις 3 περιπτώσεις, η ταχύτητα στο κέντρο του σωλήνα είναι μεγαλύτερη, ενώ όσο πλησιάζει τα δύο άκρα του σωλήνα, μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί.
- Στη πλευρά του συλλέκτη που ενώνεται με τις σωληνώσεις (δεξιά στις εικόνες), το ρευστό έχει χαμηλότερες ταχύτητες και αυτό οφείλεται στην αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής από τις σωληνώσεις προς τον συλλέκτη εξόδου.

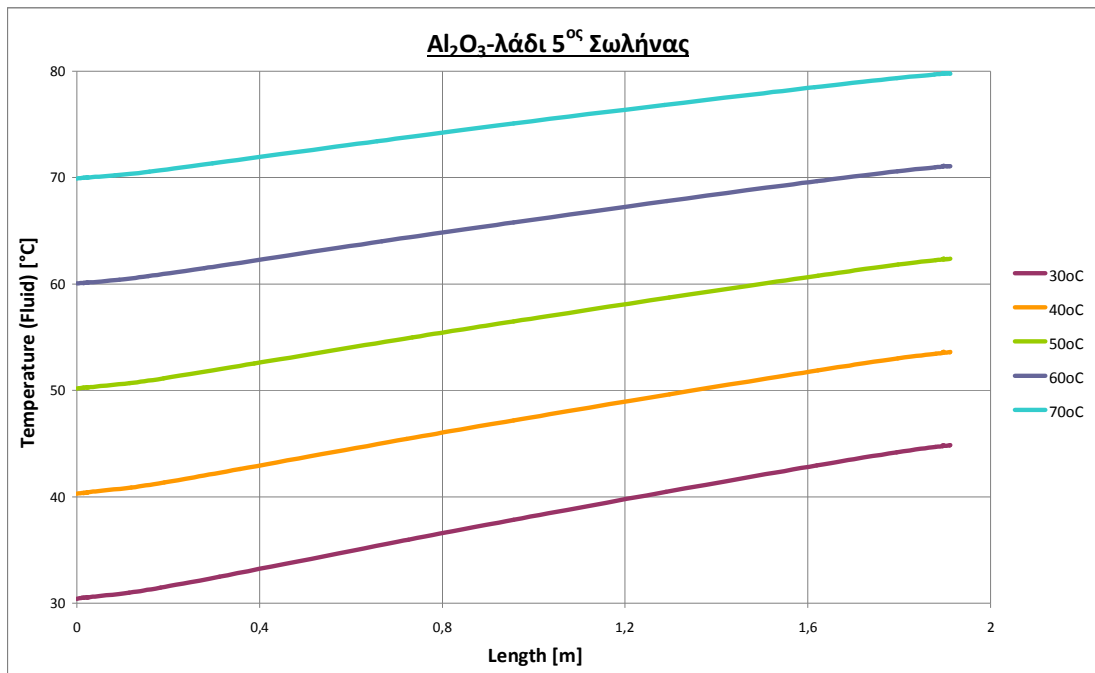
6.6 Γράφημα μήκους-θερμοκρασίας ρευστού του 5^{ου} σωλήνα για όλες τις θερμοκρασίες



Διάγραμμα 6.10: Καμπύλες μήκους-θερμοκρασίας του νερού για τον 5^ο σωλήνα



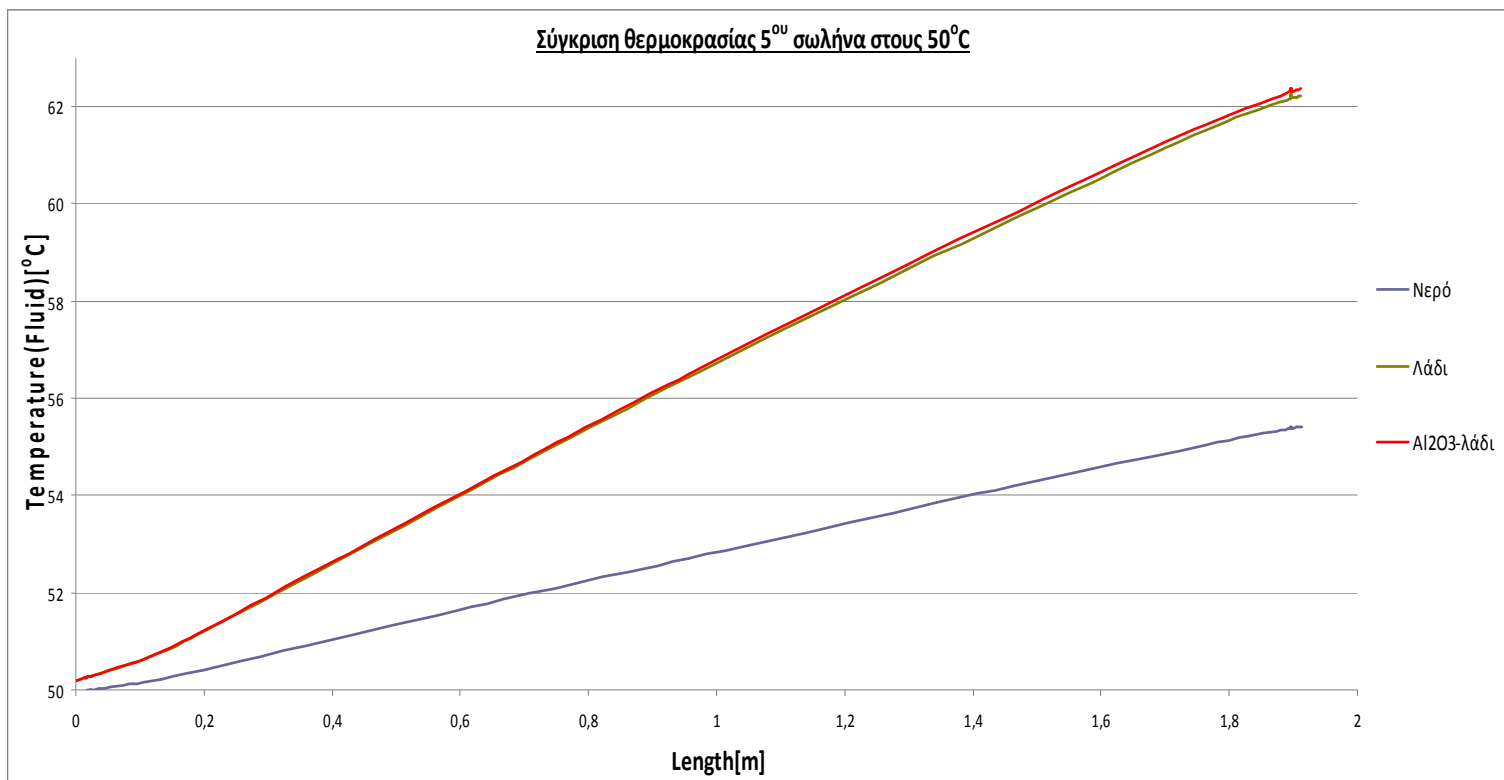
Διάγραμμα 6.11: Καμπύλες μήκους-θερμοκρασίας του λαδιού για τον 5^ο σωλήνα



Διάγραμμα 6.12: Καμπύλες μήκους-θερμοκρασίας του νανορευστού για τον 5° σωλήνα

Φαίνεται ότι καθ' όλο το μήκος των σωληνώσεων, η θερμοκρασία του ρευστού αυξάνεται διαρκώς. Επίσης, οι καμπύλες για το λάδι και το νανορευστό είναι πιο απότομες από το νερό και είναι λογικό λόγω μειωμένης θερμοχωρητικότητας.

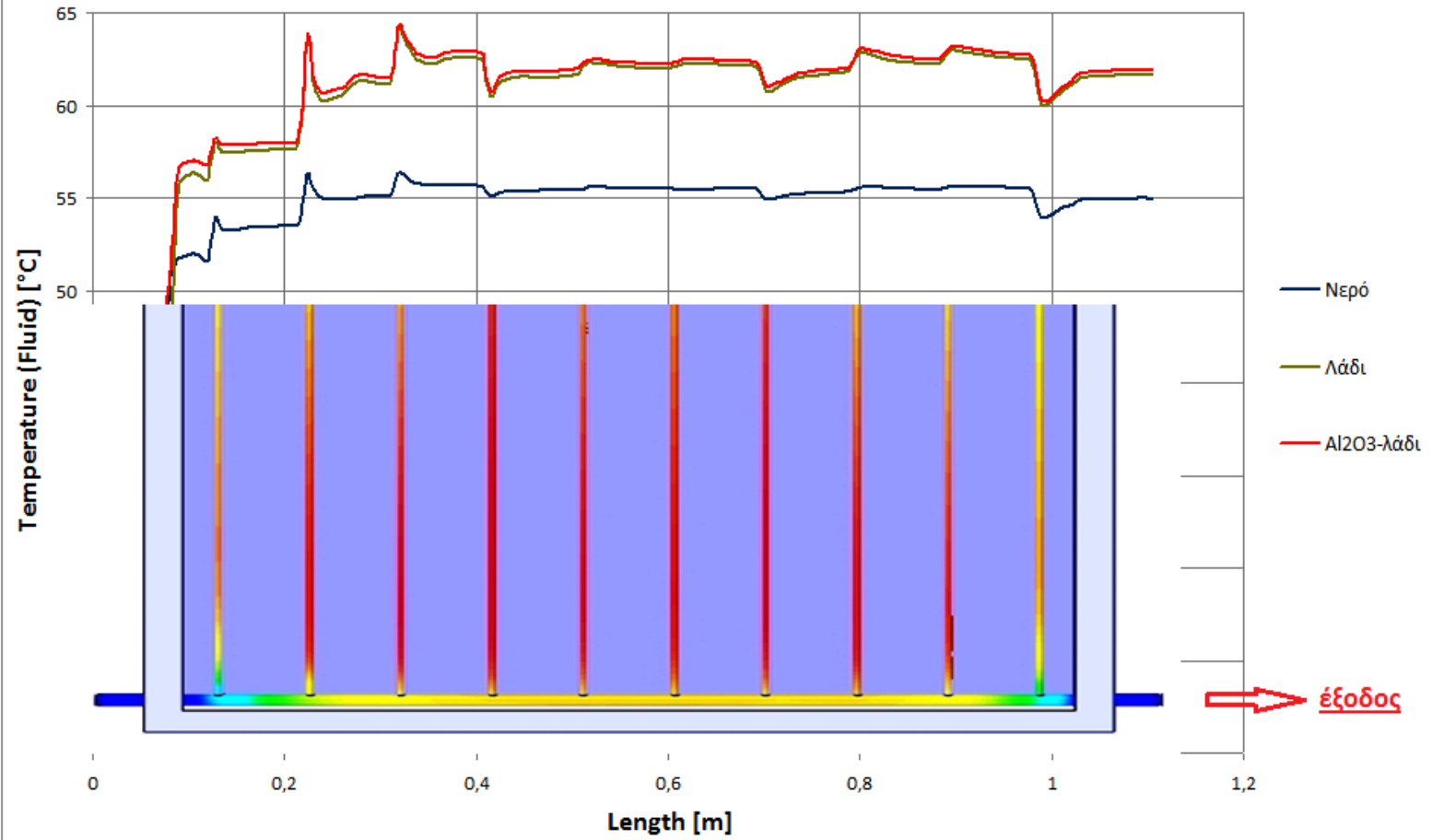
Παρακάτω γίνεται σύγκριση των τριών ρευστών σε ένα γράφημα για τους 50°C (δηλαδή ουσιαστικά οι 3 πράσινες καμπύλες των πάνω διαγραμμάτων).



Διάγραμμα 6.13: Καμπύλες της θερμοκρασίας των τριών ρευστών κατά μήκος του 5^{ου} σωλήνα

Τέλος, παρουσιάζεται η θερμοκρασία του ρευστού κατά μήκος του συλλέκτη εξόδου για θερμοκρασία εισόδου 50°C. Παρατηρείται ότι όταν οι σωληνώσεις του ηλιακού συλλέκτη συναντούν τον συλλέκτη εξόδου, η θερμοκρασία στιγμιαία είτε αυξάνεται είτε μειώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι ο συλλέκτης εξόδου βρίσκεται κοντά στην άκρη του συλλέκτη, όπου οι απώλειες είναι αυξημένες κι έτσι πραγματοποιείται ψύξη.

Θερμοκρασία του ρευστού κατά μήκος του συλλέκτη εξόδου για θερμοκρασία εισόδου 50°C



Διάγραμμα 6.14: Καμπύλες της θερμοκρασίας των τριών ρευστών κατά μήκος του συλλέκτη εξόδου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η προσθήκη νανοσωματιδίων σε ένα ρευστό έχει ως αποτέλεσμα α) τη μείωση της ειδικής θερμοχωρητικότητάς του, β) την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητάς του, γ) την αύξηση της πυκνότητάς του και δ) την αύξηση του δυναμικού ιξώδους του.
- Ο θερμικός βαθμός απόδοσης μειώνεται συνεχώς με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού.
- Η χρήση νανοϋλικών αυξάνει την αποδομένη ισχύ του συλλέκτη και επομένως και το θερμικό βαθμό απόδοσής του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία σημειώθηκε αύξηση μέχρι περίπου 1.5%, όμως με ένα πιο πυκνό πλέγμα για την προσομοίωση (πράγμα αδύνατο λόγω υπερβολικού υπολογιστικού χρόνου), η αύξηση θα ήταν μεγαλύτερη.
- Από όλο τον ηλιακό συλλέκτη οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στην πλάκα απορρόφησης και είναι λογικό καθώς απορροφά μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας κι έρχεται συνεχώς σε επαφή με τον θερμό αέρα που εγκλωβίζεται ανάμεσα στο κάλυμμα και στην πλάκα. Οι περιοχές κοντά στο πλαίσιο του ηλιακού συλλέκτη είναι λίγο ψυχρότερες λόγω αυξημένων πλευρικών απωλειών.
- Η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού είναι αντιστρόφως ανάλογη της ειδικής θερμοχωρητικότητας. Δηλαδή, το νανορευστό το οποίο έχει τη μικρότερη ειδική θερμοχωρητικότητα, έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία εξόδου, ενώ το νερό το αντίθετο.
- Τέλος, η χρήση νανοσωματιδίων στο ρευστό το επιβραδύνει καθώς αυξάνει το ιξώδες του. Αντίθετα, το νερό σημειώνει τις μεγαλύτερες ταχύτητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΚΙΜΩΝΑΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΘΕΡΜΙΚΑ–ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ, ΑΘΗΝΑ 2011
2. ΚΙΜΩΝΑΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ, ΑΘΗΝΑ 2008
3. ΞΕΝΟΦΩΝ ΚΑΚΑΤΣΙΟΣ, ΑΡΧΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΖΗΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ, ΑΘΗΝΑ 2006

ΠΗΓΕΣ

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Nanofluids_in_solar_collectors
2. <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=52>
3. <http://tw.t.mpei.ac.ru/tthb/hedh/htf-vp1.pdf>
4. <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1179>
5. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CF%83%CE%AF%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%B1%CF%82
6. https://www.solvolaris.com/index.php?route=product/category&path=94_95
7. <http://www.monachos.gr/forum/content.php/483-iliakoi-thermosifones>

ΑΡΘΡΑ

1. Qinbo He, Shequan Zeng, Shuangfeng Wang, Experimental investigation on the efficiency of flat-plate solar collectors with Nanofluids
2. S.A. Angayarkanni, John Philip, Review on thermal properties of Nanofluids: Recent developments

3. Wail Sami Sarsam, S.N. Kazi, A. Badarudin, A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors
4. Ravishankar Sathyamurthy, Nanofluids for Solar Collector Applications: A Review
5. K.Y. Leong, Hwai Chyuan Ong, N.H. Amer, M.J. Norazrina , M.S. Risby, K.Z. Ku Ahmad, An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges
6. Sayantan Mukherjee, Role of temperature on thermal conductivity of nanofluids: a brief literature review
7. Siddharth Mehta, K. Prashanth Chauhan, S. Kanagaraj, Modeling of thermal conductivity of nanofluids by modifying Maxwell's equation using cell model approach
8. Ali Akbar Alemrajabi, Analytical modeling and experimental investigation on optical properties of new class of nanofluids (Al₂O₃-CuO binary nanofluids) for direct absorption solar thermal energy
9. E. Bellos, C. Tzivanidis, K.A. Antonopoulos, G. Gkinis, Thermal enhancement of solar parabolic trough collectors by using nanofluids and converging-diverging absorber tube