



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

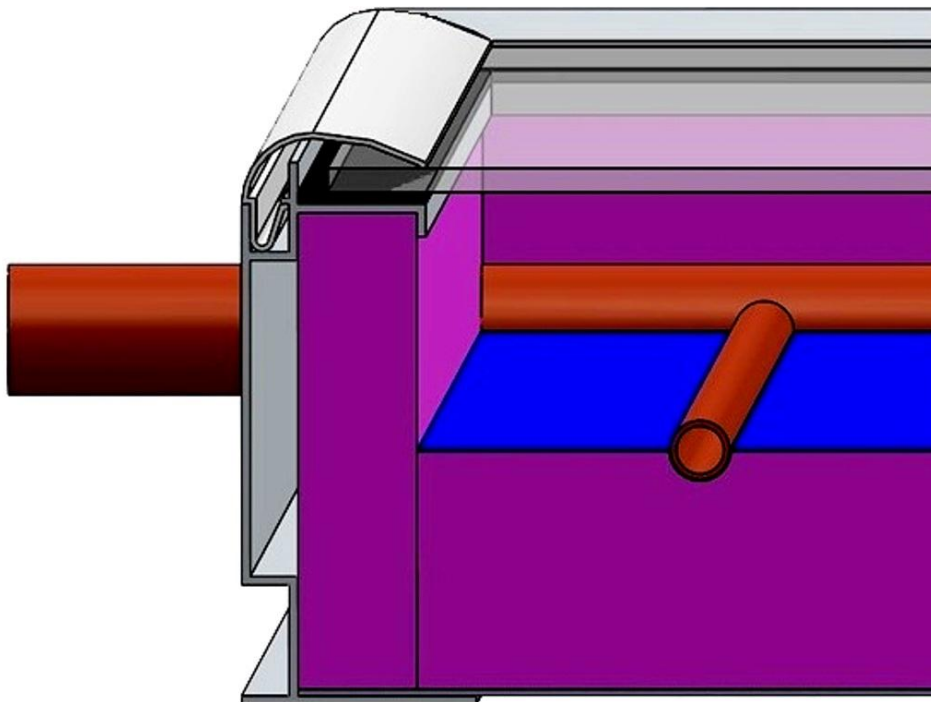
---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Σχεδίαση και προσομοίωση ενός επίπεδου  
ηλιακού συλλέκτη με τη βοήθεια του  
λογισμικού Solidworks**

---
















Επιμέλεια: **Δημήτρης Κορρές**

Επιβλέπων καθηγητής: **Χρήστος Τζιβανίδης**

**Αθήνα 2014**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	8
1.1. Ηλιακός συλλέκτης .....	8
1.2. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης .....	8
1.2.1. Κύρια μέρη .....	8
1.2.2. Περιγραφή λειτουργίας .....	9
1.3. Κάλυμμα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη .....	10
1.3.1. Χρησιμότητα καλύμματος .....	10
1.3.2. Ιδανικό κάλυμμα .....	11
1.3.3. Υλικά και τύποι καλύμματος .....	11
1.3.3.1. Τυπικό γυάλινο κάλυμμα .....	11
1.3.3.2. Γυάλινο κάλυμμα χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (low iron glass).....	12
1.3.3.3. Κάλυμμα από πολυκαρβονικά και ακρυλικά πλαστικά .....	12
1.3.3.4. Γυάλινο κάλυμμα με πρισματοειδή διαμόρφωση .....	13
1.3.3.5. Σύγκριση των οπτικών ιδιοτήτων τριών διαφορετικών τύπων καλύμματος.....	13
1.3.4. Ειδικές αντανάκλαστικές επιστρώσεις .....	15
1.3.4.1. Περιγραφή μηχανισμού των αντανάκλαστικών επιστρώσεων .....	15
1.3.4.2. Υλικά και επίδραση πορώδους .....	15
1.3.5. Επίδραση γωνίας πρόσπτωσης στις οπτικές ιδιότητες του καλύμματος .....	17
1.4. Επίδραση διακένου στην απόδοση του συλλέκτη .....	19
1.5. Πλάκα απορρόφησης .....	21
1.5.1. Σημασία ύπαρξης .....	21
1.5.2. Υλικά και πάχη απορροφητών .....	21
1.5.3. Μορφή απορροφητή και τρόποι σύνδεσης με τον υδροσκελετό .....	23
1.5.4. Ειδικές διαμορφώσεις.....	24
1.5.5. Ειδικές επιστρώσεις .....	24
1.6. Καθοδική διασκόρπιση (Sputtering) .....	27
1.6.1. Γενικά περί Sputtering.....	27
1.6.2. Περιγραφή μηχανισμού και απόδοση της διασκόρπισης .....	27
1.6.3. Είδη του sputtering .....	29

1.6.3.1.	DC Sputtering .....	29
1.6.3.2.	Magnetron Sputtering.....	31
1.6.3.3.	Magnetron sputtering με κυλινδρικούς στόχους .....	32
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ SOLIDWORKS .....	33
2.1.	Γενικές πληροφορίες .....	33
2.2.	Έναρξη του προγράμματος .....	33
2.2.1.	Αρχείο "Part" .....	34
2.3.	Βασικά γεωμετρικά σχήματα και εντολές σχεδίασης.....	34
2.4.	Δισδιάστατη σχεδίαση .....	35
2.4.1.	Έναρξη σχεδίασης .....	35
2.4.2.	Λειτουργία βασικών εντολών .....	36
2.4.2.1.	Εντολή "  Line " .....	36
2.4.2.2.	Εντολή "  Smart Dimension " .....	38
2.4.2.3.	Εντολή "  Move Entities " .....	41
2.4.2.4.	Εντολή "  Circle " .....	42
2.4.2.5.	Εντολή "  Trim Entities " .....	44
2.4.2.6.	Εντολή "  Mirror Entities " .....	45
2.4.2.7.	Εντολή "  Offset Entities " .....	46
2.5.	Παραγωγή στερεού σώματος .....	47
2.5.1.	Λήξη σχεδίασης και μετάβαση στην καρτέλα Features.....	47
2.5.2.	Βασικές εντολές παραγωγής και επεξεργασίας στερεού .....	48
2.5.2.1.	Εντολή "  Extruded Boss/Base " .....	48
2.5.2.2.	Εντολή "  Extruded Cut " .....	53
2.5.2.3.	Εντολή "  Fillet " .....	61
2.5.2.4.	Εντολή "  Revolved Boss/Base " .....	62
2.6.	Συναρμολόγηση αντικειμένων.....	64
2.6.1.	Αρχείο "Assembly".....	64
2.6.2.	Εισαγωγή αντικειμένων μέσω της εντολής Insert Components.....	65
2.6.3.	Σύνδεση αντικειμένων με τη βοήθεια της εντολής Mate.....	66
2.6.4.	Ορισμένες εντολές πολλαπλασιασμού αντικειμένων .....	68
2.6.4.1.	Εντολή "  Circular Component Pattern " .....	68
2.6.4.2.	Εντολή "  Mirror Components " .....	71
2.7.	Ορισμός υλικού .....	74
2.8.	Ορισμός είδους και χρώματος επιφανείας.....	75

3	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ .....	76
3.1.	Συνιστώσες συλλέκτη .....	76
3.2.	Σχεδίαση αγωγού(riser).....	76
3.3.	Σχεδίαση συλλέκτη(manifold) .....	79
3.4.	Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorbent plate).....	83
3.5.	Σχεδίαση πλαισίου (frame) .....	88
3.5.1.	Συνιστώσες πλαισίου .....	88
3.5.2.	Σχεδίαση κυρίως πλαισίου(ύψος).....	88
3.5.3.	Σχεδίαση κουμπώματος(ύψος) .....	98
3.5.4.	Σχεδίαση κυρίως πλαισίου(πλάτος).....	110
3.5.5.	Σχεδίαση κουμπώματος (πλάτος) .....	112
3.6.	Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation) .....	113
3.6.1.	Σχεδίαση πλαϊνής μόνωσης(ύψος) .....	113
3.6.2.	Σχεδίαση πλαϊνής μόνωσης(πλάτος) .....	116
3.7.	Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης(back insulation) .....	117
3.8.	Σχεδίαση τσιμουχών (sealing) .....	125
3.8.1.	Σχεδίαση τσιμούχας(ύψος) .....	125
3.8.2.	Σχεδίαση τσιμούχας(πλάτος) .....	128
3.9.	Σχεδίαση λαμαρίνας(πλάτης) και καλύμματος.....	130
3.9.1.	Σχεδίαση λαμαρίνας.....	130
3.9.2.	Σχεδίαση καλύμματος .....	131
3.10.	Συναρμολόγηση .....	133
3.10.1.	Δημιουργία υδροσκελετού.....	133
3.10.2.	Συναρμολόγηση υδροσκελετού-πλάκας απορρόφησης.....	142
3.10.3.	Συναρμολόγηση ολικού συλλέκτη .....	143
3.10.3.1.	Εισαγωγή κυρίως πλαισίου(ύψος, πλάτος) .....	143
3.10.3.2.	Εισαγωγή λαμαρίνας.....	144
3.10.3.3.	Εισαγωγή μονώσεων(πλαϊνές, οπίσθια).....	145
3.10.3.4.	Εισαγωγή συστήματος υδροσκελετού-πλάκας απορρόφησης ...	148
3.10.3.5.	Εισαγωγή τσιμουχών(ύψος, πλάτος) .....	149
3.10.3.6.	Συμμετρική αντιγραφή πλαισίου, πλαϊνών μονώσεων και τσιμουχών .....	149
3.10.3.7.	Εισαγωγή καλύμματος.....	151
3.10.3.8.	Εισαγωγή κουμπωμάτων(ύψος, πλάτος).....	154

3.10.3.9.	Συμμετρική αντιγραφή κουμπωμάτων.....	155
3.11.	Εικόνες του συλλέκτη .....	157
4	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	159
4.1.	Εισαγωγή .....	159
4.2.	Βασικές εξισώσεις .....	161
4.3.	Βασική ιδέα .....	162
4.4.	Παραδοχές.....	164
4.5.	Προσομοίωση λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη.....	165
4.5.1.	Ιδιότητες συνιστωσών της λωρίδας.....	165
4.5.2.	Δεδομένα του προβλήματος.....	165
4.5.3.	Ζητούμενα του προβλήματος .....	166
4.5.4.	Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης .....	167
4.5.4.1.	Ορισμός των υλικών.....	173
4.5.4.2.	Εισαγωγή οριακών συνθηκών .....	175
4.5.4.3.	Ορισμός ακτινοβολούντων επιφανειών .....	178
4.5.4.4.	Ορισμός στόχων .....	181
4.5.4.5.	Ορισμός πλέγματος.....	182
4.5.4.6.	Έναρξη επίλυσης .....	185
4.5.4.7.	Περιβάλλον επίλυσης .....	185
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	186
5.1.	Επιλεκτικός συλλέκτης .....	186
5.1.1.	Καμπύλη βαθμού απόδοσης.....	186
5.1.2.	Υπολογισμός των $F_{R,U_L}$ και $F_R(\tau_a)$ .....	187
5.1.2.1.	Καμπύλη συντελεστή ολικών απωλειών ( $U_L$ ) .....	188
5.1.3.	Καμπύλες θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού .....	188
5.1.4.	Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας πλάκας, νερού, καλύμματος και εσωτερικού αέρα.....	189
5.1.5.	Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής ( $h$ ) για $T_i= 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 85$ °C.....	190
5.1.5.1.	Καμπύλη συντελεστού συναγωγής.....	191
5.1.6.	Καμπύλη θερμοκρασιακής διαφοράς ( $T_{ai}-T_{ai,th}$ ) .....	192
5.1.7.	Διαγράμματα και κατανομές για $T_i = 50$ °C.....	193
5.1.7.1.	Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας του νερού κατά μήκος του αγωγού .....	193

5.1.7.2.	Καμπύλες θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας νερού κατά μήκος διαφόρων γραμμών ροής του .....	196
5.1.7.3.	Προφίλ θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας του νερού σε διάφορες θέσεις Z .....	201
5.1.7.4.	Θερμοκρασιακά πεδία πλάκας απορρόφησης .....	203
5.1.7.5.	Κατανομές σε διάφορα σημεία της λωρίδας .....	206
5.1.8.	Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων .....	208
5.2.	Σύγκριση επιλεκτικού-μη επιλεκτικού συλλέκτη .....	209
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....	210
	ΠΗΓΕΣ.....	214

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε με τη μελέτη ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη απλού καλύμματος, τόσο σε σχεδιαστικό όσο και σε επίπεδο ανάλυσης της θερμικής συμπεριφοράς, εργαζόμενοι με τη βοήθεια του λογισμικού σχεδίασης και προσομοίωσης **Solidworks**.

Κύριος στόχος μας είναι ο προσδιορισμός των θερμοκρασιακών πεδίων ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη απλού καλύμματος, μέσω της μελέτης ενός τμήματος αυτού.

Αρχικά, θα παρατεθούν τα κύρια μέρη που απαρτίζουν έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ενώ θα πραγματοποιηθεί μία εκτενής αναφορά σε ορισμένα από αυτά και στη λειτουργία του τελευταίου. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθούν τα θερμικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα εντός του συλλέκτη (φαινόμενο του θερμοσιφώνου, φαινόμενο του θερμοκηπίου), ενώ παράλληλα θα αναφερθούμε αναλυτικά τα κύρια στοιχεία που χαρακτηρίζουν το κάλυμμα και την πλάκα απορρόφησης (υλικά, πάχη, οπτικές ιδιότητες). Επίσης, θα γίνει και μία αναφορά στη σημασία του διακένου, όσον αφορά στις απώλειες λόγω συναγωγής που προκαλεί ο εσωκλειόμενος σε αυτό αέρας. Ακόμη, θα ασχοληθούμε με τη λειτουργία και τη δομή των αντανάκλαστικών και των επιλεκτικών επιστρώσεων που εναποτίθενται στην επιφάνεια του καλύμματος και του απορροφητή αντίστοιχα, ενώ στο τέλος θα περιγράψουμε τη μέθοδο φυσικής εναπόθεσης ατμών (PVD) **Sputtering**, μέσω της οποίας συνηθίζεται να πραγματοποιούνται οι προαναφερθείσες επιστρώσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει, μία αναφορά στις δυνατότητες και στα βασικά στοιχεία του προγράμματος **Solidworks** καθώς και μία εισαγωγή στο περιβάλλον αυτού. Πρώτα απ' όλα, θα περιγραφούν οι βασικές εντολές σχεδίασης που διέπουν το λογισμικό και στη συνέχεια θα αναλυθεί η λειτουργία τους καθώς και ο τρόπος χρήσης τους. Ύστερα, θα ασχοληθούμε με τις εντολές παραγωγής και επεξεργασίας στερεού σώματος, καθώς επίσης και με τη συναρμολόγηση αντικειμένων. Όλα αυτά θα αναλυθούν με τη βοήθεια λεπτομερών παραδειγμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο μπαίνουμε, πλέον, στο πρώτο αντικείμενο μελέτης της εν λόγω εργασίας που δεν είναι άλλο από τη σχεδίαση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη απλού καλύμματος. Στο κεφάλαιο αυτό, θα σχεδιάσουμε τις συνιστώσες του συλλέκτη μας, κάθε μία ξεχωριστά και εν τέλει θα τις συναρμολογήσουμε. Επίσης, θα περιγραφεί βήμα-βήμα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τόσο κατά τη σχεδίαση κάθε μιας συνιστώσας, όσο και κατά το στάδιο της συναρμολόγησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, ασχολούμαστε, πλέον, με το κομμάτι της προσομοίωσης, η οποία αποτελεί το δεύτερο και κύριο αντικείμενο μελέτης. Παρατίθενται, αρχικά, οι βασικές εξισώσεις που διέπουν τον επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η βασική ιδέα με την οποία προσεγγίζουμε το πρόβλημα και παράλληλα γίνονται οι απαραίτητες παραδοχές για την προσαρμογή του τελευταίου στο πρόγραμμα.

Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος, παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω πινάκων και διαγραμμάτων. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αντιστοιχούν στις περιπτώσεις όπου ο συλλέκτης μας είναι επιλεκτικός ή μη.

# 1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 1.1 Ηλιακός συλλέκτης

Πρόκειται για έναν ειδικής μορφής εναλλάκτη ο οποίος δεσμεύει τη δια ακτινοβολίας μεταφερόμενη θερμότητα από τον ήλιο, μέσω μιας επιφάνειας υψηλού συντελεστή απορρόφησης και την αποδίδει σε ένα ρευστό εργαζόμενο μέσο. Το εργαζόμενο αυτό μέσο (π.χ. αέρας, νερό, λάδι) το οποίο κυκλοφορεί εντός του συλλέκτη με φυσικό (λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και άρα πυκνότητας) ή με εξαναγκασμένο τρόπο (με φυσητήρα για αέρα, κυκλοφορητή για υγρό), χρησιμοποιείται είτε απευθείας για κατανάλωση, είτε για θέρμανση χώρων, είτε για ψύξη μέσω κύκλου απορρόφησης ή τέλος οδηγείται σε ένα δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας, μέσω του οποίου αποδίδει τη θερμότητά του στο νερό χρήσης ή σε οποιοδήποτε άλλο ρευστό επιθυμούμε να θερμάνουμε. [1]

## 1.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

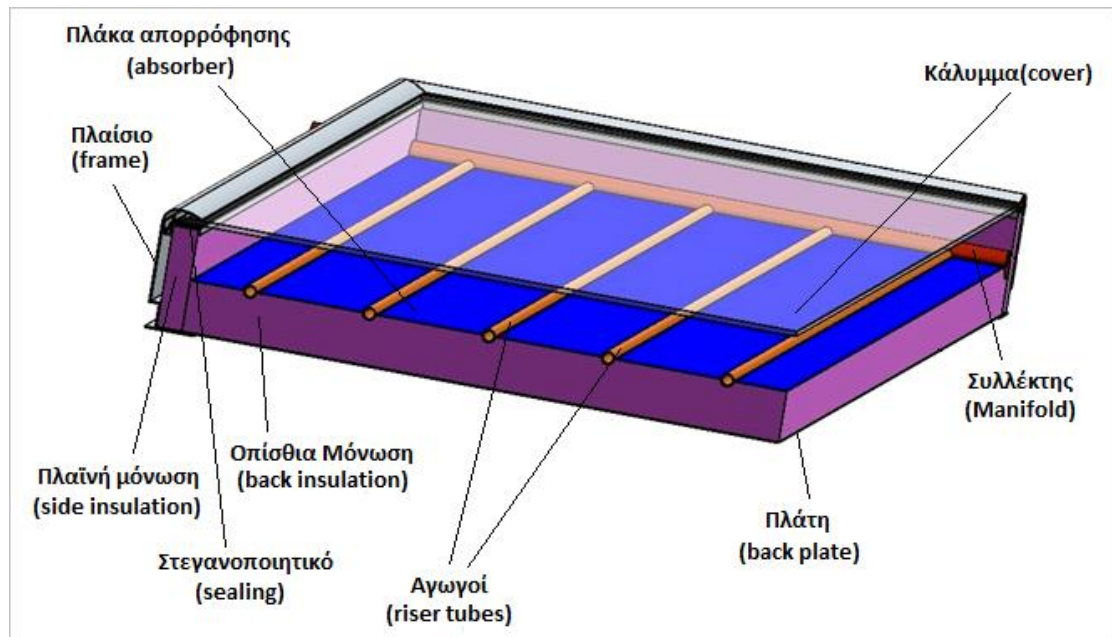
### 1.2.1 Κύρια μέρη

Τα κύρια μέρη που απαρτίζουν έναν τυπικό επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι τα ακόλουθα:

1. Κάλυμμα (cover)
2. Πλάκα απορρόφησης (absorber plate)
3. Αγωγοί (riser tubes)
4. Συλλέκτες (manifolds)
5. Μόνωση (insulation)
6. Πλαίσιο (frame)
7. Πλάτη (back plate)

Στο **ΣΧΗΜΑ 1.1** που ακολουθεί παρατίθεται η τομή ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη απλού καλύμματος και σημειώνονται τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν, για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση του θέματος.

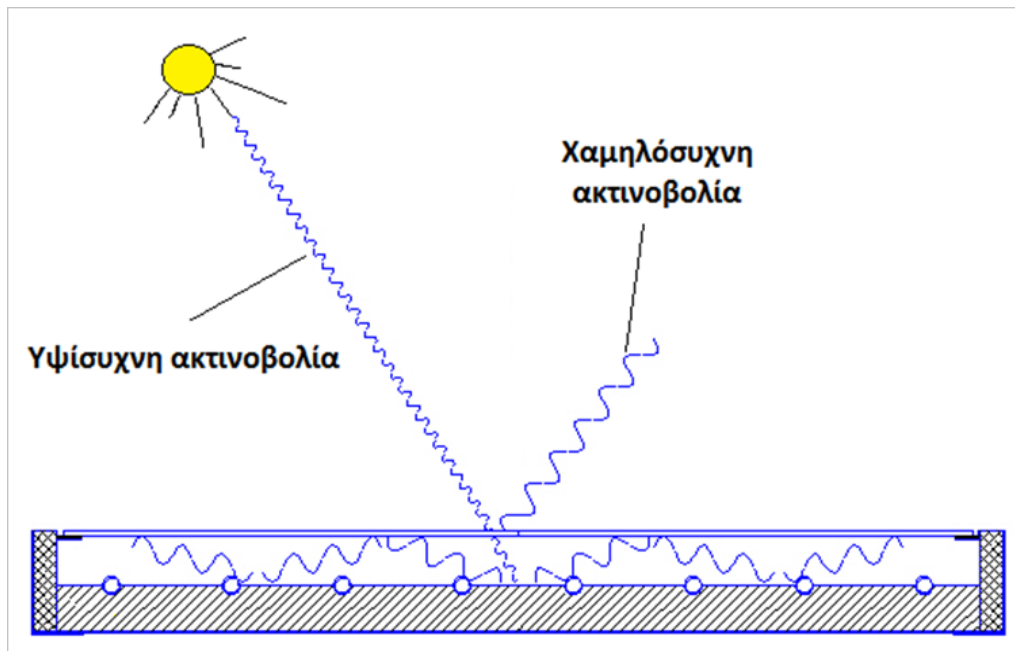




**ΣΧΗΜΑ 1.1:** Κύρια μέρη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.

### 1.2.2 Περιγραφή λειτουργίας

Ένα μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας στο συλλέκτη (υψίσυχνης) ηλιακής ακτινοβολίας διαπερνά το κάλυμμα και προσκρούει στην πλάκα απορρόφησης και στις τυχόν ακάλυπτες επιφάνειες των αγωγών και των σωλήνων σύλλεξης. Στη συνέχεια, το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από την πλάκα και τις σωληνώσεις, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται προς τυχαίες κατευθύνσεις και προσκρούει με τη σειρά του στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος. Δεδομένου ότι η ανακλώμενη αυτή ακτινοβολία καθώς και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πλάκα είναι πλέον μεγάλου μήκους κύματος (χαμηλής συχνότητας) και ότι το κάλυμμα είναι σε μεγάλο βαθμό αδιαφανές όσον αφορά στην ακτινοβολία αυτή, το μεγαλύτερο μέρος της τελευταίας ανακλάται από την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος προς την πλάκα, με αποτέλεσμα να παγιδεύεται εντός του διακένου (φαινόμενο θερμοκηπίου) και, τελικά, να απορροφάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την πλάκα και τους αγωγούς (**ΣΧΗΜΑ 1.2**). Η θερμότητα που δεσμεύεται από τον απορροφητή μεταφέρεται δια αγωγής στα τοιχώματα των αγωγών και στη συνέχεια δια συναγωγής στο ρευστό μας. Το κάτω μέρος του απορροφητή καθώς και η εσωτερική πλευρά του πλαισίου είναι καλά μονωμένα για τη μείωση των θερμικών απωλειών λόγω ακτινοβολίας και αγωγής. [1] [12]



**ΣΧΗΜΑ 1.2:** Εγκλωβισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του διακένου.

Το υγρό εργαζόμενο μέσο εντός ενός τυπικού επίπεδου ηλιακού συλλέκτη φυσικής κυκλοφορίας ρέει βάσει της αρχής του θερμοσιφώνου, σύμφωνα με την οποία το πρώτο (αρχικά ακίνητο), ευρισκόμενο εντός των σωλήνων του συλλέκτη και δεχόμενο θερμότητα από τα τοιχώματα των σωλήνων, αποκτά υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή που έχει το υπόλοιπο ρευστό εντός της δεξαμενής αποθήκευσης (για ανοικτό κύκλωμα) ή εντός του εναλλάκτη για τη θέρμανση νερού χρήσης (για κλειστό κύκλωμα), με αποτέλεσμα να υφίσταται διαφορά πυκνότητας και κατ' επέκταση ροή. Με λίγα λόγια, το θερμό υγρό ανέρχεται εντός του συλλέκτη κατευθυνόμενο προς το άνω άκρο της δεξαμενής και τη θέση του παίρνει το ψυχρό υγρό που βρίσκεται στον πυθμένα της. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ταχύτητες που αναπτύσσονται κατά τη φυσική αυτή συναγωγή είναι αρκετά μικρές, της τάξεως του 0.08m/s και άρα οι απώλειες, λόγω συνεκτικότητας, αμελητέες. [1] [12] [13]

### 1.3 Κάλυμμα επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

#### 1.3.1 Χρησιμότητα καλύμματος

Η ύπαρξη του καλύμματος είναι επιθυμητή για την όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας στο συλλέκτη ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, με τη χρήση καλύμματος μας δίνεται η δυνατότητα να εγκλωβίσουμε την προσπίπτουσα (στην πλάκα) ηλιακή ακτινοβολία εντός του διαμορφούμενου διακένου (μεταξύ της πλάκας απορρόφησης και του καλύμματος) και κατά συνέπεια να εκμεταλλευτούμε ένα μεγάλο μέρος αυτής.

Επίσης, οι διαφυγές της εκπεμπόμενης από την πλάκα ακτινοβολίας προς το περιβάλλον του ηλιακού συλλέκτη είναι περιορισμένες, καθώς το μεγαλύτερο μέρος αυτής επιστρέφει στην πλάκα όπως ακριβώς συμβαίνει και με την ανακλώμενη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αέρας που εσωκλείεται στο διάκενο δρα ως αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας λόγω συναγωγής από την πλάκα στο κάλυμμα, δεδομένης της αμελητέας φυσικής κυκλοφορίας που εμφανίζει. Τυπικά καλύμματα έχουν πάχος 3.2mm ή 4mm. [1] [12]

### 1.3.2 Ιδανικό κάλυμμα

Ένα ιδανικό κάλυμμα χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω στοιχεία:

1. Υψηλή διαπερατότητα στην υψίσυχη ακτινοβολία
2. Χαμηλή απορροφητικότητα
3. Χαμηλή διαπερατότητα στη χαμηλής συχνότητας ακτινοβολία
4. Χαμηλή ανακλαστικότητα στην υψίσυχη ακτινοβολία

Η έρευνα για την ταυτόχρονη ικανοποίηση των τεσσάρων παραπάνω χαρακτηριστικών έχει φέρει στο φως νέου τύπου **γυάλινα καλύμματα χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (low iron glass)**, νέα υλικά, όπως **πολυκαρβονικά και ακρυλικά πλαστικά**, καθώς και **ειδικές επιστρώσεις** ακριβείας. [23]

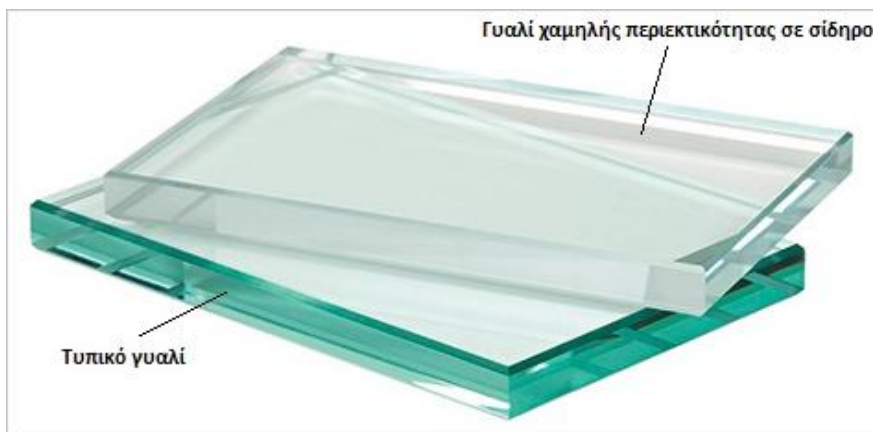
### 1.3.3 Υλικά και τύποι καλύμματος

#### 1.3.3.1 Τυπικό γυάλινο κάλυμμα

Το γυαλί είναι το πλέον σύνηθες χρησιμοποιούμενο υλικό καλύμματος, διότι επιτρέπει σε ένα μεγάλο μέρος της υψίσυχνης προσπίπτουσας ακτινοβολίας να το διαπεράσει, ενώ συμπεριφέρεται ακριβώς αντίθετα με τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται και ανακλάται από την πλάκα και την οποία θέλουμε να δεσμεύσουμε. Ένα τυπικό γυάλινο κάλυμμα πάχους 4mm διαπερνάται περίπου από το 83% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει υπό μηδενική γωνία (κάθετα) σε αυτό. Επίσης, εμφανίζει μεγάλη αντοχή όσον αφορά στη διάβρωση εξαιτίας περιβαλλοντικών παραγόντων καθώς και στα υψηλά θερμοκρασιακά πεδία. Τα γυάλινα καλύμματα υπόκεινται, συνήθως, σε ειδική θερμική κατεργασία σκλήρυνσης (tempered glass) για τη βελτίωση της αντιθραυστικής τους συμπεριφοράς. [1] [18] [22]

### 1.3.3.2 Γυάλινο κάλυμμα χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (low iron glass)

Το γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο παρουσιάζει υψηλότερη διαπερατότητα από τα συμβατικά γυαλιά, καθώς τα μόρια του σιδήρου αποτελούν εμπόδιο στη διάδοση του κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, πετυχαίνουμε αύξηση της διαπερατότητας του καλύμματος (σε σχέση με τα συμβατικά τζάμια) της τάξεως του 8.4% αφού μπορούμε να φτάσουμε σε διαπερατότητες κοντά στο 90% για μηδενική γωνία πρόσπτωσης. Η μείωση της περιεκτικότητας του σιδήρου γίνεται αντιληπτή δια γυμνού οφθαλμού, καθώς κοιτώντας από την άκρη του γυαλιού δεν θα φαίνεται, πλέον, έντονα η πρασινωπή απόχρωση που διακρίνεται στα συμβατικά τζάμια και οφείλεται στην ύπαρξη σιδήρου **(ΣΧΗΜΑ 1.3).**[1] [22] [43]



**ΣΧΗΜΑ 1.3:** Σύγκριση τυπικού γυαλιού με γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο.

### 1.3.3.3 Κάλυμμα από πολυκαρβονικά και ακρυλικά πλαστικά

Τα πλαστικά καλύμματα εμφανίζουν συνήθως μειωμένη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου. Η τελευταία είναι σε θέση να προκαλέσει διαστατικές αλλαγές στα εν λόγω καλύμματα, καθώς επίσης και αλλαγές που αφορούν στη σύνθεση του πλαστικού και κατ' επέκταση στις μηχανικές και οπτικές του ιδιότητες. Επίσης, οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι τύποι πλαστικών εμφανίζουν σχετικά μεγάλη διαπερατότητα, της τάξεως του 40%, εντός του φάσματος της θερμικής (μεγάλου μήκους κύματος) ακτινοβολίας, την οποία και θέλουμε να εγκλωβίσουμε στο διάκενο. Από την άλλη μεριά, τα συγκεκριμένα καλύμματα χαρακτηρίζονται από χαμηλό βάρος, ευκαμπτότητα και μεγάλη δυσθραυστότητα σε σχέση με τα γυάλινα, κάτι που καθιστά εύκολη την τοποθέτησή τους, καθώς και την περεταίρω πιθανή κατεργασία τους (π.χ. Physical Vapor Deposition) για την αντιστάθμιση ορισμένων αρνητικών τους χαρακτηριστικών. [1] [23] [44]

Ένα αντιπροσωπευτικό υλικό από την κατηγορία των πλαστικών αποτελεί ο πολύ-μεθυλ-μεθακρυλικός εστέρας ή αλλιώς **PMMA** (Poly-Methyl-MethAcrylate). Πρόκειται για ένα διαφανές θερμοπλαστικό (πολυμερές εύπλαστο υπό συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες), το οποίο χρησιμοποιείται συχνά αντί του γυαλιού, μιας και παρουσιάζει χαμηλότερο βάρος καθώς επίσης και καλύτερη αντιθραυστική συμπεριφορά από το τελευταίο. [18] [19]

#### 1.3.3.4 Γυάλινο κάλυμμα με πρισματοειδή διαμόρφωση

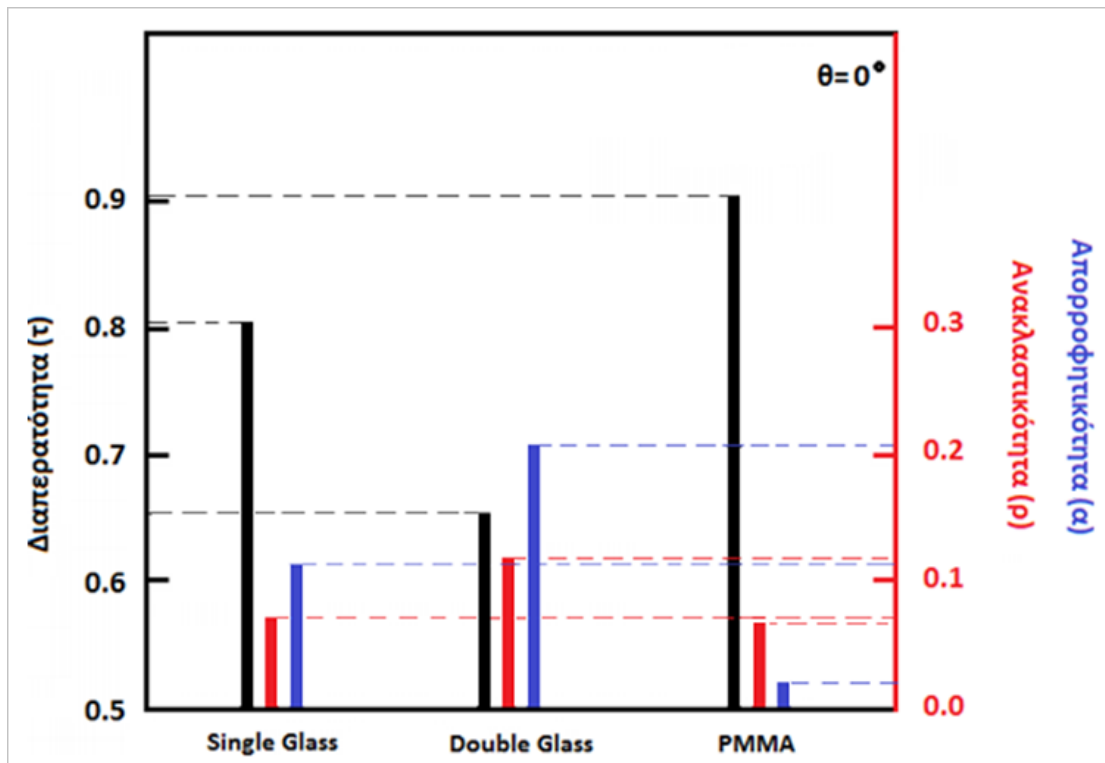
Για τον όσο το δυνατό αποδοτικότερο εγκλωβισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάκενο, συνηθίζεται να δίνεται μία πρισματοειδής μορφή (**ΣΧΗΜΑ 1.4**) στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος. Έτσι, ένα σημαντικό μέρος της προσπίπτουσας στην τελευταία ακτινοβολίας που διαφορετικά θα εγκατέλειπε το συλλέκτη, επιστρέφει κατά τρόπο διάχυτο στην πλάκα, συντελώντας στην αύξηση της ωφέλιμης ισχύος και κατά συνέπεια, του βαθμού απόδοσης του συλλέκτη.



**ΣΧΗΜΑ 1.4:** Γυαλί με πρισματοειδή διαμόρφωση.

#### 1.3.3.5 Σύγκριση των οπτικών ιδιοτήτων τριών διαφορετικών τύπων καλύμματος

Ύστερα από την επεξεργασία αποτελεσμάτων πειράματος [20] που διεξήχθη για την μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων(υπό διάφορες γωνίες πρόσπτωσης) ενός καλύμματος από **PMMA** πάχους 3mm και τη σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες που εμφανίζουν ένα μονό συμβατικό γυάλινο κάλυμμα (**Single Glass**) πάχους 4mm και ένα σύστημα δύο γυάλινων καλυμμάτων (**Double Glass**) σε απόσταση 25mm μεταξύ τους, με πάχος επίσης 4mm το καθένα, υπό τις ίδιες συνθήκες για κάθε περίπτωση, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.5**), στο οποίο παρατίθενται οι τιμές των συντελεστών **διαπερατότητας**, **ανακλαστικότητας** και **απορροφητικότητας** του καλύμματος για μηδενική γωνία πρόσπτωσης.



**ΣΧΗΜΑ 1.5:** Σύγκριση των οπτικών ιδιοτήτων τριών τύπων καλύμματος.

Από το παραπάνω διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.5**), με μια πρώτη ματιά, γίνεται φανερό ότι η χρήση διπλού καλύμματος, παρότι μας εξασφαλίζει μία πολύ καλή μόνωση όσον αφορά στις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής, συνοδεύεται από χαμηλή διαπερατότητα (0.654) και υψηλή ανακλαστικότητα (0.120) και απορροφητικότητα σε σχέση με τις δύο άλλες εναλλακτικές, κάτι που φανερώνει ότι ένα σημαντικό μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (κάτι παραπάνω από το ένα τρίτο (βλ. **ΣΧΗΜΑ 1.5**)) μένει ανεκμετάλλευτο.

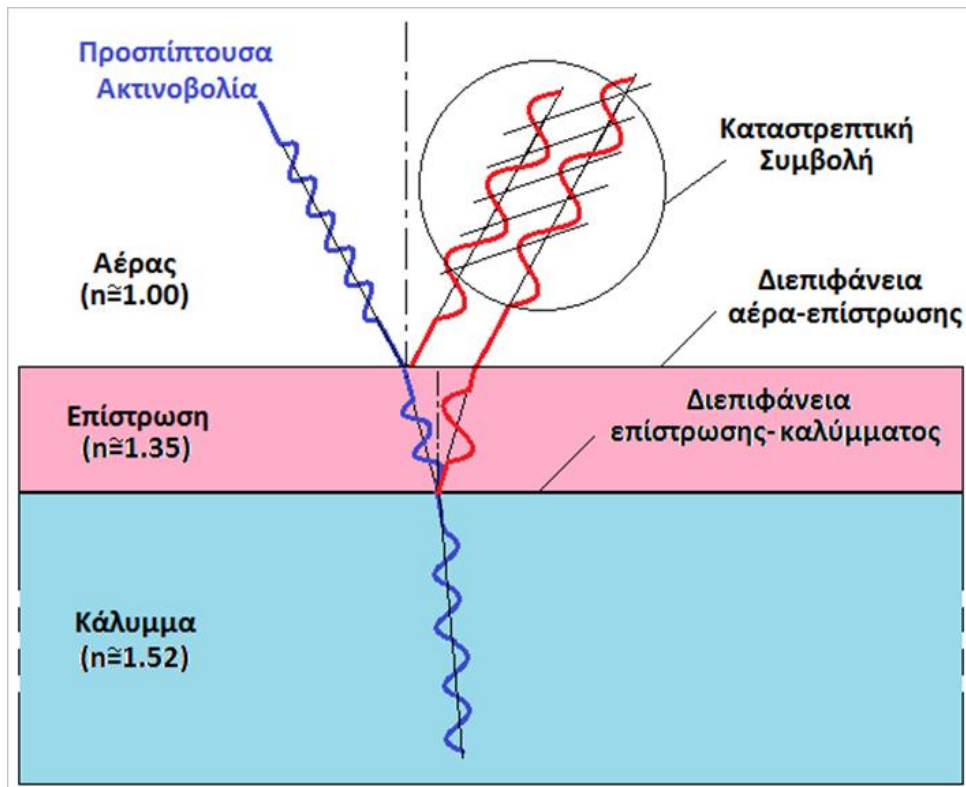
Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, το **PMMA** παρουσιάζει αρκετά υψηλή διαπερατότητα (0.905) καθώς και ικανοποιητικά χαμηλή απορροφητικότητα (περίπου 0.022), πράγμα που σημαίνει ότι τα θερμοκρασιακά πεδία που αναπτύσσονται επί του καλύμματος θα είναι χαμηλότερα από τα αντίστοιχα των δύο άλλων περιπτώσεων, ενώ ταυτόχρονα θα εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία στη μονάδα του χρόνου εντός του διακένου. Η ανακλαστικότητα του συγκεκριμένου καλύμματος φαίνεται ότι κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με του απλού (**Single Glass**) και όχι σε ικανοποιητικά χαμηλότερα κάτι, όμως, που υπερνικάται από την επίτευξη υψηλής διαπερατότητας.

Επίσης, κάτι που δε συνάγεται από το παραπάνω διάγραμμα αλλά προκύπτει από την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι ότι, η διαπερατότητα του **PMMA** επηρεάζεται λιγότερο από τη μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης σε σχέση με αυτή του συμβατικού γυαλιού. Συγκεκριμένα, για  $\theta=0^\circ$  είναι  $\tau_{PMMA}=0.905$  και  $\tau_{SG}=0.81$ , ενώ για  $\theta=60^\circ$   $\tau_{PMMA}=0.83$  και  $\tau_{SG}=0.72$ . Κατ' επέκταση, η ποσοστιαία μείωση της διαπερατότητας (για μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης από  $0^\circ$  έως  $60^\circ$ ) για το **PMMA** και το **συμβατικό γυαλί** θα είναι  $\Delta\tau_{PMMA}=8.3\%$  και  $\Delta\tau_{SG}=11.1\%$  αντίστοιχα.

### 1.3.4 Ειδικές αντανάκλαστικές επιστρώσεις

#### 1.3.4.1 Περιγραφή μηχανισμού των αντανάκλαστικών επιστρώσεων

Δεδομένου ότι, για την αύξηση της διαπερατότητας του καλύμματος είναι αναγκαία η μείωση της ανακλαστικότητας αυτού, έχουν αναπτυχθεί διάφορες ειδικές αντανάκλαστικές επιστρώσεις (Anti Reflective coatings). Η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο της καταστρεπτικής συμβολής, κατά το οποίο τα δύο κύματα που ανακλώνται από τις διεπιφάνειες αέρα-επίστρωσης και επίστρωσης-καλύμματος αλληλοαναιρούνται, λόγω του ότι το πάχος της επίστρωσης είναι τέτοιο, ώστε να υφίσταται διαφορά φάσης  $180^\circ$  μεταξύ τους (**ΣΧΗΜΑ 1.6**). [28], [29], [30], [36]-[39]



**ΣΧΗΜΑ 1.6:** Περιγραφή φαινομένου της καταστρεπτικής συμβολής.

#### 1.3.4.2 Υλικά και επίδραση πορώδους

Το ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό για τις εν λόγω επιστρώσεις είναι το διοξείδιο του πυριτίου<sup>1</sup> (silicon dioxide), το οποίο αναμειγνύεται με ένα πορογενές υλικό. Το τελευταίο απομακρύνεται από τη διαμορφούμενη επίστρωση ύστερα από θερμική κατεργασία ή προσθήκη διαλύτη, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πόροι εντός αυτής. [26]

<sup>1</sup> Συχνά, χρησιμοποιούνται και διάφορα πολυμερή όπως το PMMA [28]

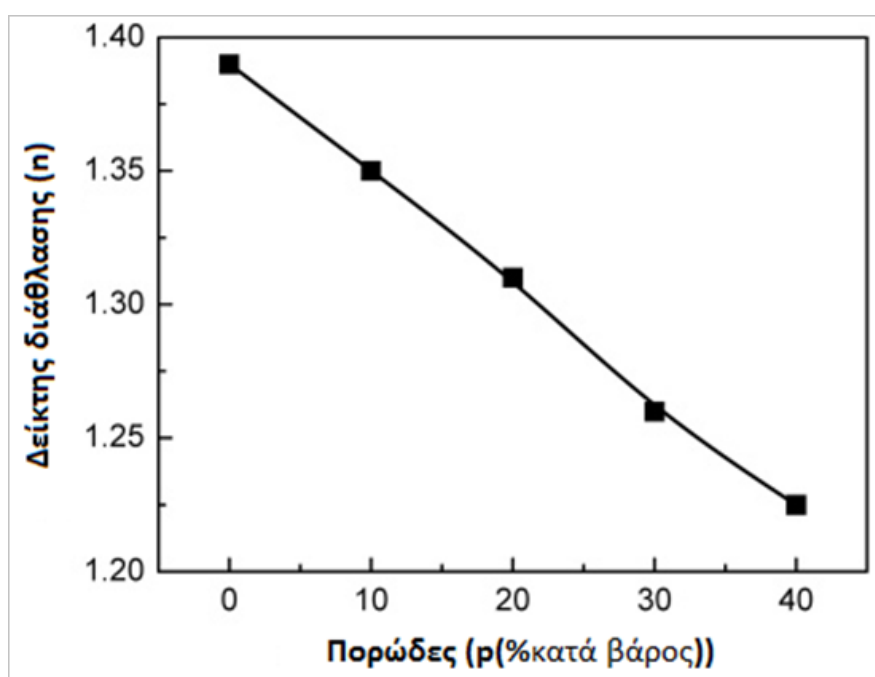
Το διαμορφούμενο αυτό πορώδες διαδραματίζει σημαντικό ρόλο όσον αφορά στις οπτικές ιδιότητες της επίστρωσης, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα διάδοσης του φωτός ( $u$ ) και άρα τόσο μικρότερος ο δείκτης διάθλασης ( $n$ ) εντός αυτής (βλ. **ΣΧΗΜΑ 1.7**), δεχόμενοι ότι στους πόρους έχουμε αέρα και δεδομένου ότι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στον αέρα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο υλικό της επίστρωσης.

$$n = \frac{c}{u}$$

Όπου,  $c = 3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  :ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό

και  $u$  : ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην επίστρωση

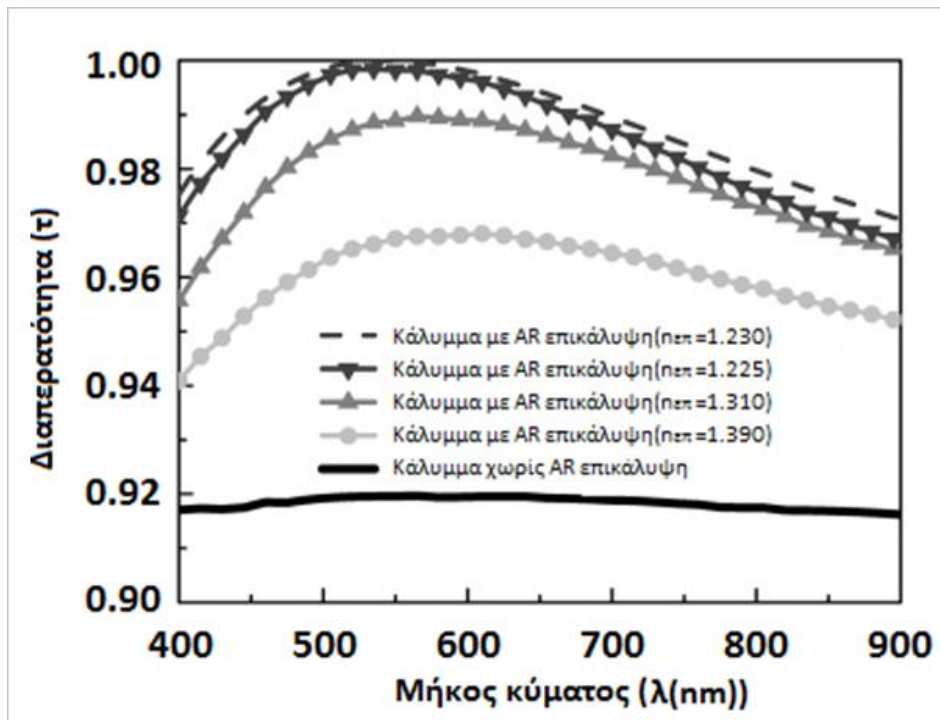
Στη συνέχεια, παρατίθεται διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.7**) προερχόμενο από πείραμα [27] που διεξήχθη για τη μελέτη της επίδρασης του πορώδους στο δείκτη διάθλασης τυπικής πυριτιούχου επίστρωσης.



**ΣΧΗΜΑ 1.7:** Επίδραση πορώδους στο δείκτη διάθλασης τυπικής πυριτιούχου επίστρωσης.

Πειραματικά [27] [28] έχει αποδειχθεί ότι μείωση του δείκτη διάθλασης μιας τυπικής επικάλυψης μέχρι την τιμή  $n_{\text{επ}}=1.23$ , συνεπάγεται μείωση της ανακλαστικότητας του καλύμματος και κατ' επέκταση αύξηση της διαπερατότητας αυτού, όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 1.8**, στο οποίο δίνεται η μεταβολή της διαπερατότητας του καλύμματος συναρτήσει του δείκτη διάθλασης της επίστρωσης, για ένα ορισμένο εύρος μήκους κύματος .



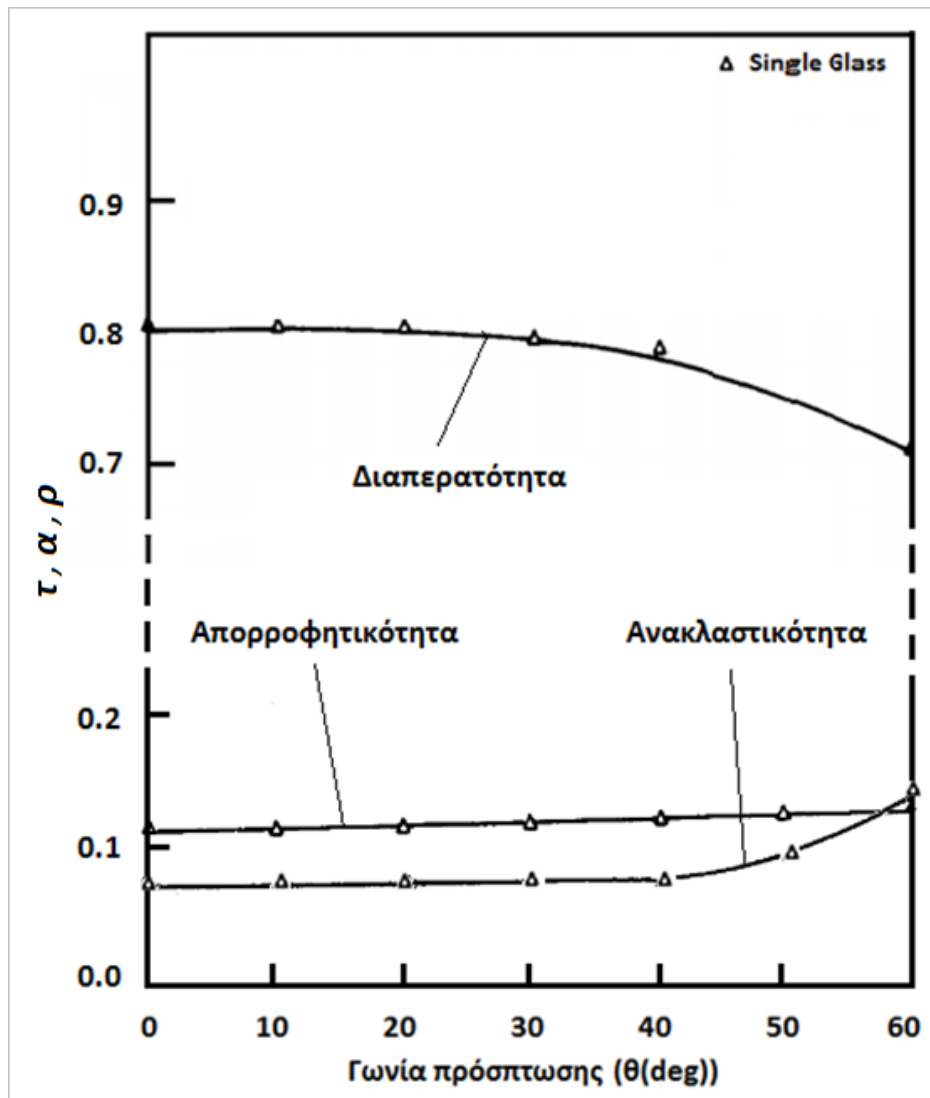


**ΣΧΗΜΑ 1.8:** Μεταβολή της διαπερατότητας του καλύμματος συναρτήσει του δείκτη διάθλασης της επίστρωσης, για ορισμένο εύρος μήκους κύματος.

Συνεπώς, σε μία αντί-ανακλαστική επικάλυψη, είναι επιθυμητή η αύξηση του πορώδους μέχρι μια συγκεκριμένη τιμή.

### 1.3.5 Επίδραση γωνίας πρόσπτωσης στις οπτικές ιδιότητες του καλύμματος

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του καλύμματος όσον αφορά στη διαπερατότητα, την ανακλαστικότητα και την απορροφητικότητα του είναι η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.[2] Έπειτα από περαιτέρω επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων του πειράματος [20] που αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.3.3.5, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα (ΣΧΗΜΑ 1.9), το οποίο αφορά στη μεταβολή των προαναφερθέντων ιδιοτήτων ενός μονού συμβατικού γυάλινου καλύμματος συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης.



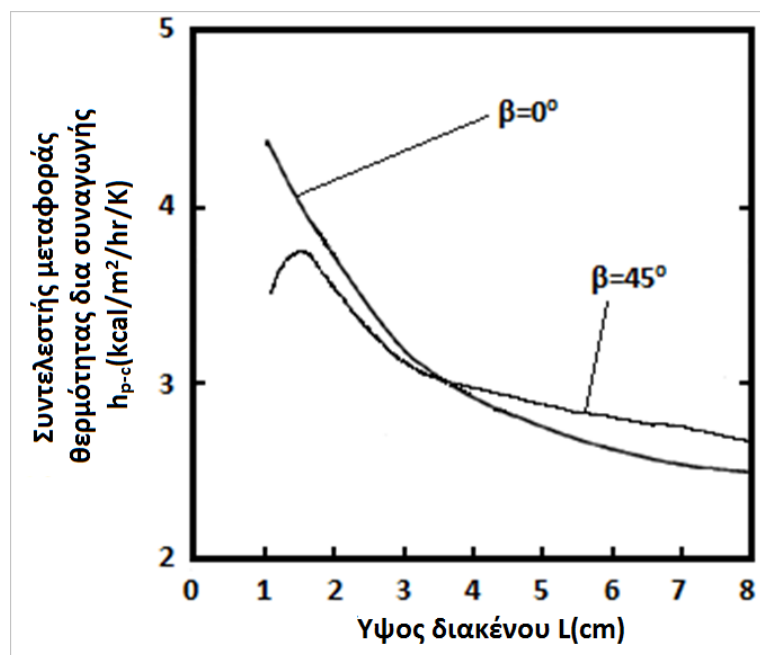
**ΣΧΗΜΑ 1.9:** Μεταβολή των οπτικών ιδιοτήτων ενός μονού συμβατικού γυάλινου καλύμματος συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Από το παραπάνω διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.9**) γίνεται φανερό ότι, αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης οδηγεί σε μείωση της διαπερατότητας και αύξηση της ανακλαστικότητας του καλύμματος. Αναλυτικότερα, φαίνεται ότι για μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης μέχρι περίπου  $\theta=35^{\circ}$ - $40^{\circ}$  η διαπερατότητα καθώς και η ανακλαστικότητα δε δείχνουν να επηρεάζονται σημαντικά. Αντίθετα, μετά τις  $40^{\circ}$  παρατηρείται μία ραγδαία αύξηση της ανακλαστικότητας καθώς και έντονη μείωση της διαπερατότητας. Οι δύο αυτές καμπύλες (διαπερατότητας, ανακλαστικότητας) δείχνουν, μάλιστα, να είναι σχεδόν κατοπτρικές ως προς οριζόντιο άξονα. Όσον αφορά στην απορροφητικότητα, δε φαίνεται να επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης. Η αμυδρή γραμμική αύξηση που σημειώνει η καμπύλη του συντελεστή απορρόφησης με την αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης, πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η τελευταία, τόσο μεγαλύτερη απόσταση διανύει εντός του καλύμματος η ακτινοβολία που προσπαθεί να το διαπεράσει, με αποτέλεσμα να δεσμεύεται (αποθηκεύεται) από (σε) αυτό ένα μεγαλύτερο κομμάτι αυτής. [20]

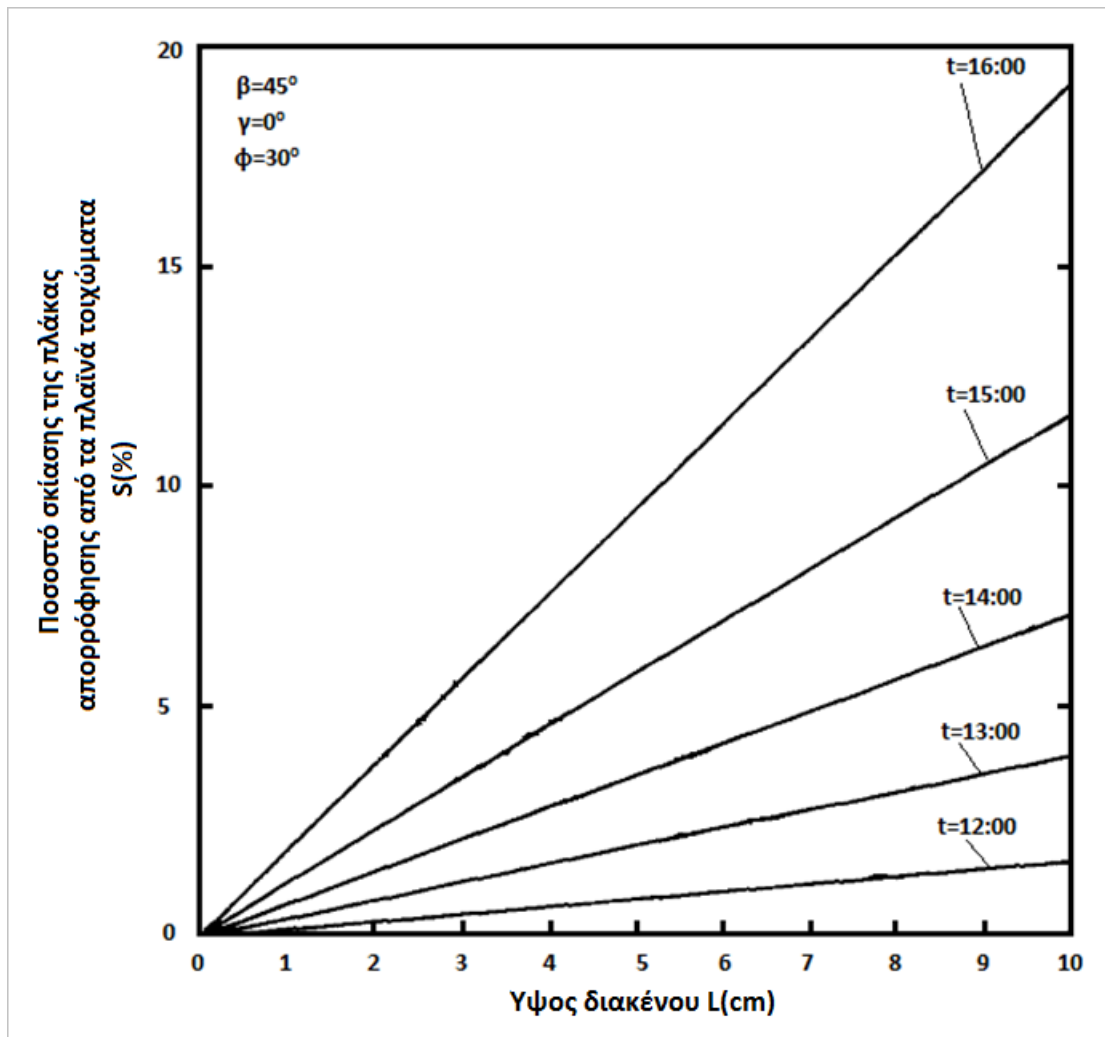
## 1.4 Επίδραση διακένου στην απόδοση του συλλέκτη

Είναι γεγονός ότι, η απόσταση μεταξύ καλύμματος και πλάκας απορρόφησης επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του συλλέκτη, καθώς καθορίζει τις θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής από την πλάκα στο κάλυμμα, μέσω του αέρα που εσωκλείεται στο διάκενο, καθώς επίσης και το πόση θα είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην πλάκα, δεδομένου ότι επηρεάζει άμεσα τη σκίαση της τελευταίας. [3] [7] [9]

Σύμφωνα με πειράματα [9] που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη της μεταφοράς θερμότητας λόγω συναγωγής από την πλάκα στο κάλυμμα, αλλά και της σκίασης του απορροφητή, για επίπεδο ηλιακό συλλέκτη απλού καλύμματος, προέκυψαν τα δύο παρακάτω διαγράμματα (**ΣΧΗΜΑ 1.10**, **ΣΧΗΜΑ 1.11**). Στο πρώτο απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής μεταξύ καλύμματος και απορροφητή ( $h_{p-c}$ ), συναρτήσει του ύψους του διακένου ( $L$ ) για διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ πλάκας απορρόφησης και καλύμματος  $\Delta T_{p-c} = 50$  K και κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ )  $0^\circ$  και  $45^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Το δεύτερο διάγραμμα αφορά στη μεταβολή του ποσοστού σκίασης ( $S$ ) της επιφάνειας απορρόφησης, συναρτήσει του ύψους του διακένου ( $L$ ), σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος  $\phi = 30^\circ$  για το μήνα Δεκέμβρη, για διάφορες ώρες της ημέρας και με προσανατολισμό του συλλέκτη τέτοιο, ώστε να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της απορροφούμενης ενέργειας το χειμώνα ( $\gamma = 0^\circ$ ,  $\beta = \phi + 15^\circ$ ).



**ΣΧΗΜΑ 1.10:** Καμπύλες μεταβολής του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής μεταξύ πλάκας και καλύμματος ( $h_{p-c}$ ), συναρτήσει του ύψους του διακένου, για θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των τελευταίων  $\Delta T_{p-c} = 50$  K και κλίση του συλλέκτη  $0^\circ$  και  $45^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο αντίστοιχα.



**ΣΧΗΜΑ 1.11:** Μεταβολή του ποσοστού σκίασης ( $S$ ) της επιφάνειας απορρόφησης, συναρτήσεως του ύψους του διακένου ( $L$ ), σε θόρειο γεωγραφικό πλάτος  $\phi=30^\circ$ , για το μήνα Δεκέμβρη, για διάφορες ώρες της ημέρας και με προσανατολισμό του συλλέκτη τέτοιο, ώστε να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της απορροφούμενης ενέργειας το χειμώνα ( $\gamma=0^\circ$ ,  $\beta=\phi+15^\circ$ ).

Από το πρώτο διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.10**) γίνεται φανερό ότι η αύξηση του ύψους του διακένου οδηγεί σε μείωση του συντελεστή συναγωγής και κατά συνέπεια, σε μείωση των θερμικών απωλειών του συλλέκτη. Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της φυσικής αυτής συναγωγής (για  $L>3.5\text{cm}$ ) παρουσιάζει εντονότερο χαρακτήρα, όταν ο συλλέκτης είναι υπό κλίση, κάτι που πιθανόν να οφείλεται στο ότι στον κεκλιμένο συλλέκτη δίνεται η δυνατότητα στον αέρα να διανύσει μεγαλύτερες αποστάσεις εντός του διακένου, με αποτέλεσμα να συμβαίνει εντονότερη κυκλοφορία αυτού και άρα εντονότερη συναγωγή.

Όσον αφορά στο δεύτερο διάγραμμα (**ΣΧΗΜΑ 1.11**), το ποσοστό σκίασης της πλάκας απορρόφησης μεγαλώνει με την αύξηση του ύψους του διακένου (υψηλότερα πλευρικά τοιχώματα), καθώς και με την πάροδο του χρόνου από το ηλιακό μεσημέρι (μείωση γωνίας ζενίθ).

Σημαντικός, λοιπόν, είναι ο προσδιορισμός ενός βέλτιστου ύψους ως αποτέλεσμα συμβιβασμού μεταξύ των απωλειών λόγω συναγωγής, του ποσοστού σκίασης της πλάκας καθώς και του κόστους του υλικού. Επιστημονική έρευνα επί του θέματος έχει δείξει ότι ένα εύρος 40-80mm ικανοποιεί τις τρεις τελευταίες παραμέτρους [7]. Από τα δεδομένα στα οποία βασίζονται τα δύο παραπάνω διαγράμματα, έχει βρεθεί ότι αύξηση του ύψους του διακένου από 10mm σε 30, 40, 50 και 80mm οδηγεί σε μείωση των απωλειών λόγω συναγωγής 11, 13, 14 και 20% και αύξηση του ποσοστού σκίασης 2.6, 4, 4.4 και 7% αντίστοιχα. Συνεπώς, ένα διάκενο 40-50mm φαίνεται να οδηγεί σε μείωση των απωλειών λόγω συναγωγής μεγαλύτερη από τη μείωση της απορροφούμενης από την πλάκα ακτινοβολίας, λόγω της αύξησης της σκίασης αυτής.[9]

## 1.5 Πλάκα απορρόφησης

### 1.5.1 Σημασία ύπαρξης

Ο απορροφητής αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συνιστώσες του συλλέκτη, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας (ακόμη και ολόκληρη η θερμότητα) που φτάνει στο εργαζόμενο μέσο προέρχεται από αυτόν.

### 1.5.2 Υλικά και πάχη απορροφητών

Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά πλακών απορρόφησης είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Μία τυπική τιμή για το πάχος μιας χάλκινης πλάκας απορρόφησης είναι τα 0.2mm, ενώ για μία πλάκα αλουμινίου το πάχος παίρνει μεγαλύτερες τιμές (0.5, 0.6, 1mm) (ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1) για λόγους αντοχής, δεδομένου ότι το αλουμίνιο παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλότερη ψαθυρότητα από το χαλκό.[10]

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1:** Υλικά και πάχη απορροφητών

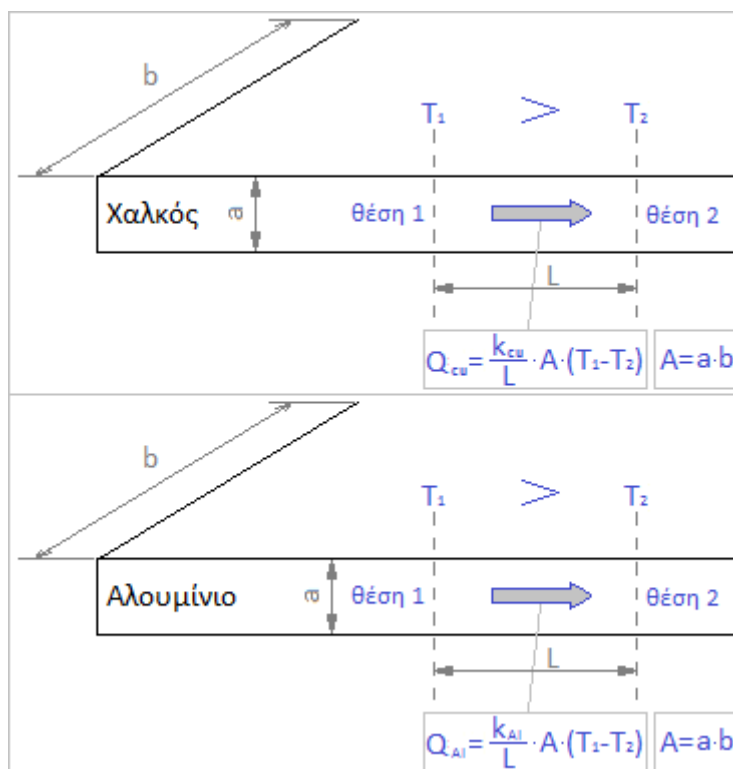
Υλικό απορροφητή	Πάχος (mm)	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Θερμική αγωγιμότητα (W/m/K)
Χαλκός	0.2	8920	380
Αλουμίνιο	1	2700	160
Χάλυβας	2	7860	50

Αξίζει, βεβαίως, να σημειωθεί ότι η αντοχή δεν είναι ο μόνος λόγος για τον οποίο οι πλάκες αλουμινίου είναι πιο παχιές από τις αντίστοιχες του χαλκού. Σύμφωνα με τον ΠΙΝΑΚΑ 1.1, το αλουμίνιο εμφανίζει αρκετά χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα από το χαλκό, κάτι που σημαίνει ότι η ροή της θερμότητας δια μέσω αυτού θα είναι εμφανώς μικρότερη από την αντίστοιχη στο χαλκό<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Αναφερόμενοι σε δύο πανομοιότυπα δοκίμια (ένα χάλκινο και ένα αλουμινένιο), όπου οι δύο διατομές κάθετα επί των οποίων ρέει η θερμότητα έχουν ακριβώς τις ίδιες διαστάσεις.

### Απόδειξη:

Έστω ότι έχουμε δύο πλάκες απορρόφησης, μία χάλκινη και μία αλουμινίου, ίδιων διαστάσεων  $a \times b \times c$  (πάχος  $\times$  μήκος  $\times$  πλάτος) και μελετάμε τη ροή θερμότητας κάθετα στη διατομή  $a \times b$ , για ένα μήκος  $L$  (**ΣΧΗΜΑ 1.12**).



**ΣΧΗΜΑ 1.12:** Ροή θερμότητας δια της εγκάρσιας διατομής δύο πλακών απορρόφησης από χαλκό και αλουμίνιο αντίστοιχα.

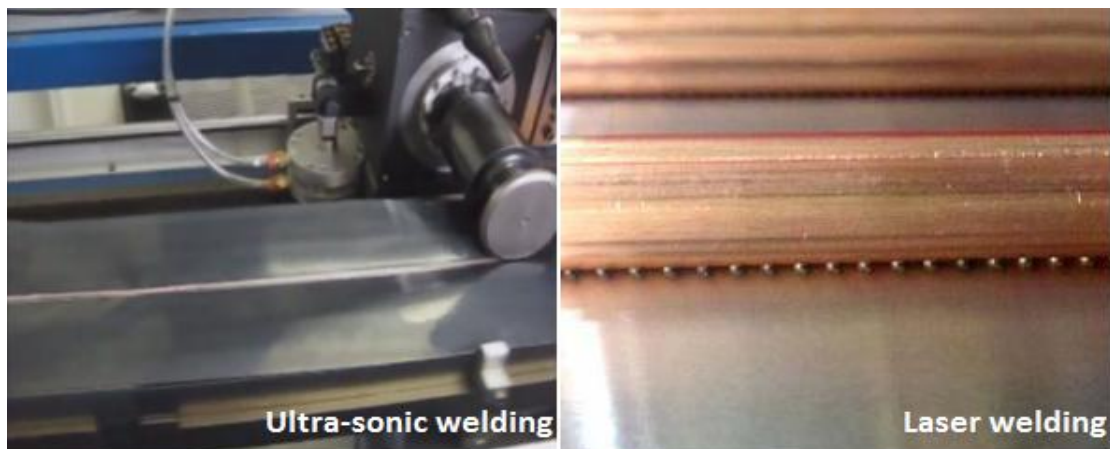
Όπως φαίνεται και στο **ΣΧΗΜΑ 1.12** το, μεταξύ των δύο θέσεων αναφοράς, μεταφερόμενο δια αγωγής ποσό θερμότητας στη μονάδα του χρόνου είναι ευθέως ανάλογο του συντελεστού θερμικής αγωγιμότητας ( $k$ ) και της κάθετης στην κατεύθυνση της ροής της θερμότητας διατομής ( $A$ ). Δεδομένης, λοιπόν, της υπεροχής του χαλκού όσον αφορά στη θερμική αγωγιμότητα (βλ. **ΠΙΝΑΚΑ 1.1**) θα ισχύει  $Q_{Al} < Q_{cu}$ , πράγμα που σημαίνει ότι στη χάλκινη πλάκα μεταφέρεται περισσότερη θερμότητα (ανά μονάδα επιφανείας) στη μονάδα του χρόνου σε σχέση με τη θερμότητα που μεταφέρεται στην αντίστοιχη πλάκα αλουμινίου, για το ίδιο μήκος ( $L$ ) και την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά ( $T_1 - T_2$ ). Συνεπώς, για να έχουμε  $Q_{Al} \geq Q_{cu}$  θα πρέπει το πάχος της πλάκας αλουμινίου να γίνει τουλάχιστον  $a_{Al} = \frac{k_{cu}}{k_{Al}} \cdot a_{cu}$ .

### 1.5.3 Μορφή απορροφητή και τρόποι σύνδεσης με τον υδросκελετό

Οι πλάκες απορρόφησης συνηθίζεται να απαρτίζονται από επιμέρους λωρίδες (**ΣΧΗΜΑ 1.13**) (μία λωρίδα ανά αγωγό), οι οποίες κολλιούνται μεταξύ τους, ενώ δεν είναι σπάνια και η περίπτωση τη ενιαίας πλάκας η οποία παρουσιάζει, βέβαια, μειονεκτήματα όσον αφορά στο κόστος κατασκευής της, τη μεταφορά της και τη δυσκολία κατά την κόλλησή της με τους αγωγούς (θερμικές συστολές/διαστολές). Η σύνδεση της κάθε λωρίδας με τον εκάστοτε αγωγό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο των υπερήχων (ultrasonic welding) , με συγκόλληση “Laser” (**ΣΧΗΜΑ 1.14**) ή τέλος με μηχανική σύσφιξη (με σφικτήρες, δεδομένου ότι η πλάκα απορρόφησης έχει λάβει κατάλληλη διαμόρφωση για την υποδοχή των αγωγών). Πολλές φορές συναντάται και η περίπτωση στην οποία απουσιάζουν οι αγωγοί και τη θέση τους παίρνουν αυλάκια ποικίλης γεωμετρίας, τα οποία αποτελούν διαμορφώσεις της ίδιας της πλάκας. [41]



**ΣΧΗΜΑ 1.13:** Σύστημα λωρίδων πλάκας απορρόφησης-υδροςκελετού.

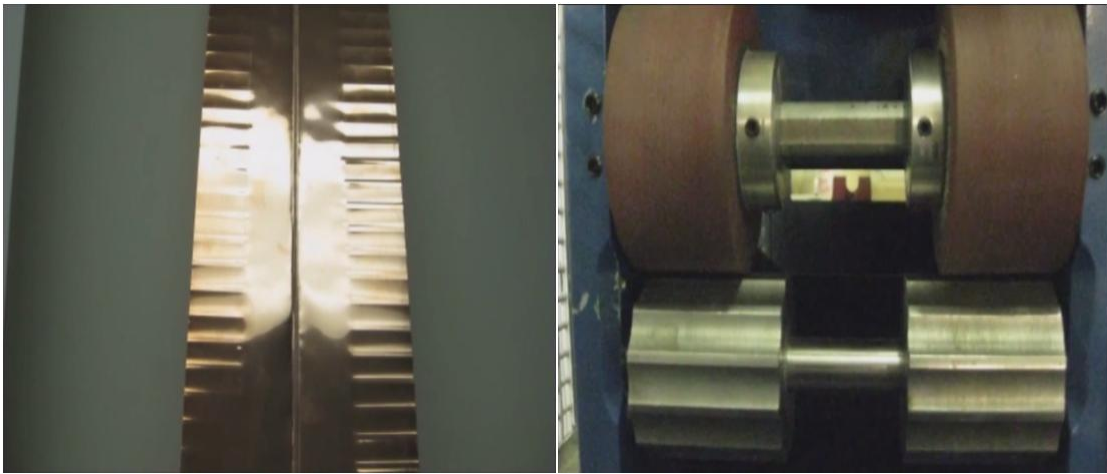


**ΣΧΗΜΑ 1.14:** Μέθοδοι συγκόλλησης πλάκας απορρόφησης-αγωγών.

#### 1.5.4 Ειδικές διαμορφώσεις

Η ανάγκη για αύξηση της απορροφούμενης ισχύος χωρίς χρήση επιπλέον υλικού, συντέλεσε στην αύξηση της προϋπάρχουσας απορροφητικής επιφάνειας, μέσω μηχανικών μεθόδων.[4]

Σε μία χάλκινη λωρίδα απορρόφησης που συνοδεύεται από έναν αγωγό, συνηθίζεται να προσδίδεται κυματοειδής διαμόρφωση εκατέρωθεν του τελευταίου (**ΣΧΗΜΑ 1.15**), μέσω ειδικών ραούλων διαμόρφωσης. Κάτι τέτοιο δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε αντίστοιχη λωρίδα αλουμινίου, προφανώς για λόγους αντοχής. Για το λόγο αυτό, οι επιφάνειες των πλακών αλουμινίου που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζονται συχνά λείες, ενώ σπάνια συναντώνται με διαμορφώσεις ορθών αυλακιών. [33]



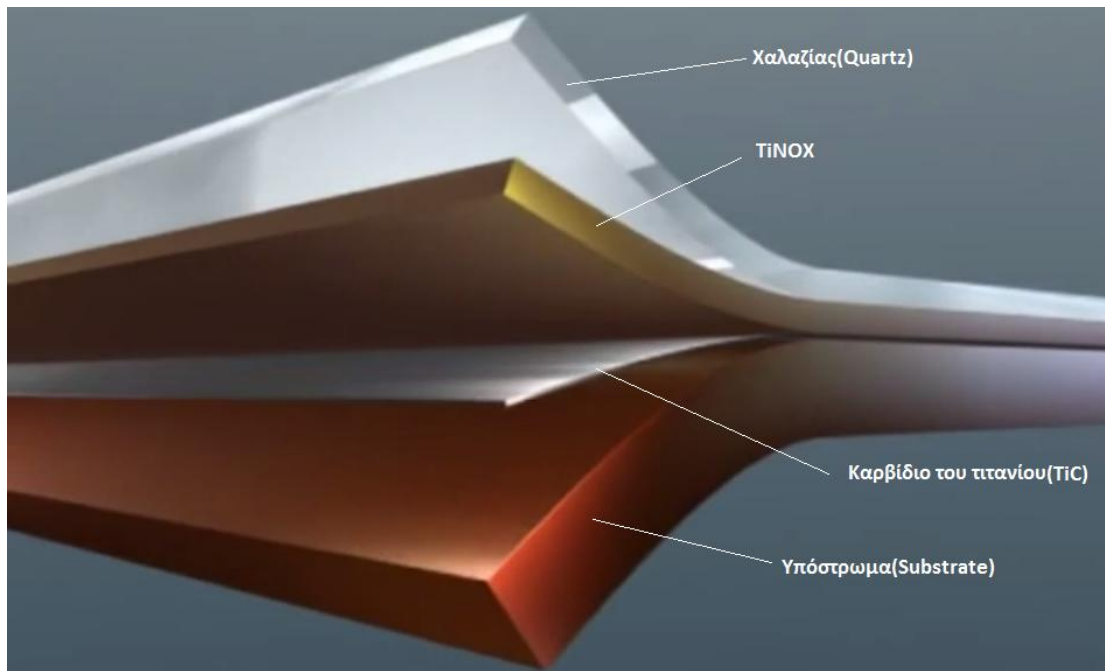
**ΣΧΗΜΑ 1.15:** Πρόσδωση κυματοειδούς διαμόρφωσης στις λωρίδες της πλάκας εκατέρωθεν του αγωγού, μέσω ειδικών ραούλων διαμόρφωσης.

#### 1.5.5 Ειδικές επιστρώσεις

Είναι γεγονός ότι, το κατά πόσο η πλάκα θα απορροφήσει την προσπίπτουσα σε αυτή ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και το πόση θερμική ακτινοβολία θα εκπέμψει, λόγω της θερμοκρασίας της, εξαρτάται άμεσα από το είδος της ανώτερής της επιφάνειάς.

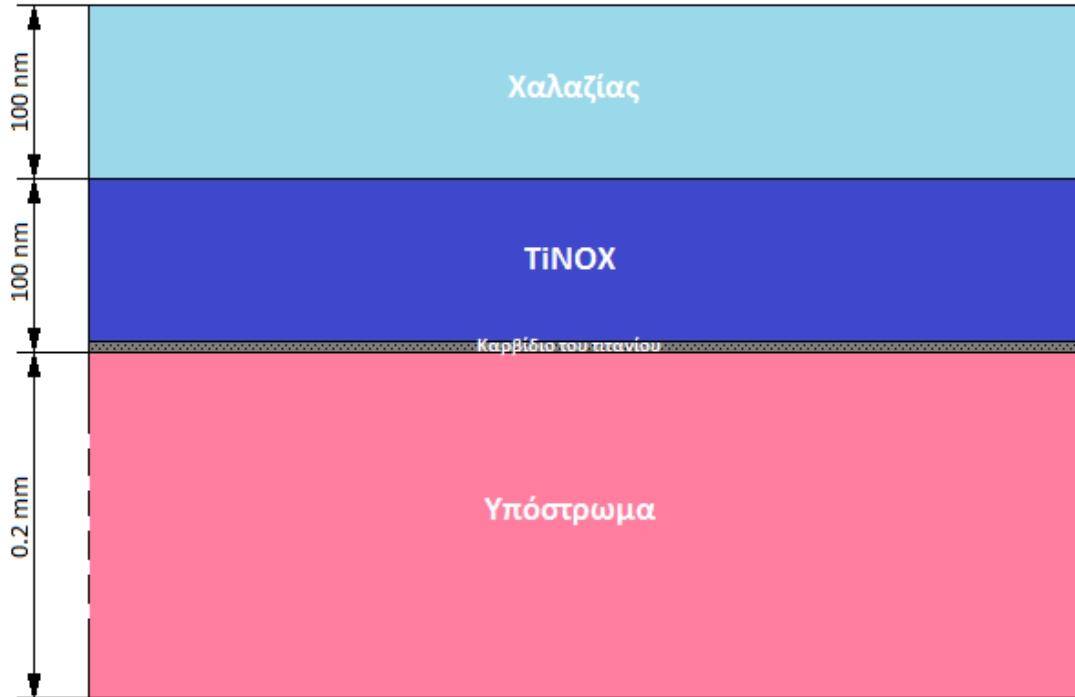
Έχουν αναπτυχθεί διάφορες ειδικές επιλεκτικές επιστρώσεις για τη δέσμευση του μεγαλύτερου δυνατού ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας, η πιο διαδεδομένη εκ των οποίων είναι η επικάλυψη τιτανίου (TiNOX). Πρόκειται για μία πολυστρωματική επικάλυψη που αποτελείται από τρεις ξεχωριστές επιστρώσεις (**ΣΧΗΜΑ 1.16** , **ΣΧΗΜΑ 1.17**).



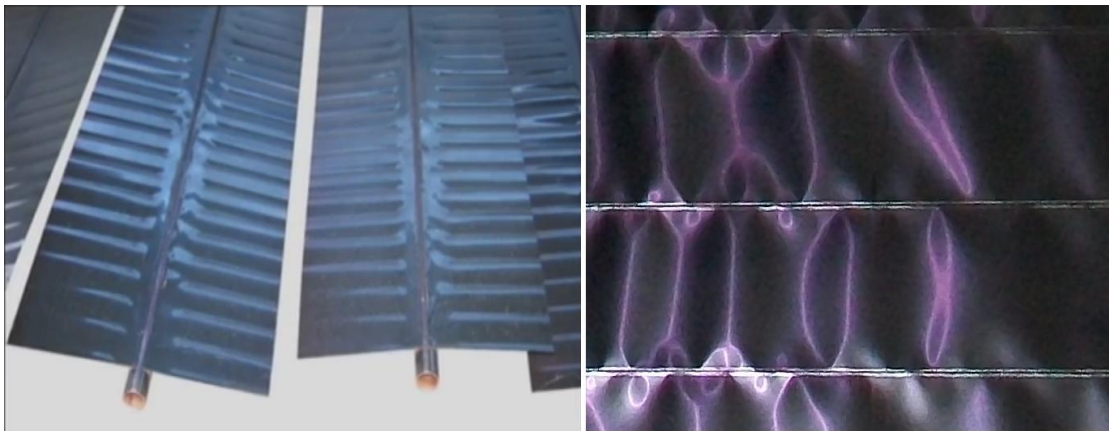


**ΣΧΗΜΑ 1.16:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των στρωμάτων που αποτελούν την επιλεκτική επικάλυψη TiNOX. [34]

Αρχικά, εναποτίθεται στην επιφάνεια του απορροφητή (υπόστρωμα, παραδείγματος χάριν χαλκός) ένα λεπτό “film” καρβιδίου του τιτανίου (μερικά νανόμετρα), το οποίο δρα ως συνδετικός κρίκος μεταξύ του υποστρώματος και του στρώματος TiNOX που έπεται, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί φράγμα όσον αφορά στη διάχυση μορίων από και προς το υπόστρωμα, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που σημειώνονται. Το στρώμα TiNOX που ακολουθεί αποτελείται από τρεις ενώσεις του τιτανίου με το οξυγόνο και το άζωτο ( $TiN+TiO+TiO_2$ ) και διαδραματίζει το ρόλο του απορροφητή, αφού η ανώτερη επιφάνεια αυτού δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος, ένα στρώμα χαλαζία έρχεται να ολοκληρώσει την επικάλυψη προσδίδοντάς της αντιανακλαστικές ιδιότητες και προστατεύοντάς τη από τη φθορά, δεδομένης της υψηλής σκληρότητας που το χαρακτηρίζει. Το πάχος των δύο τελευταίων στρωμάτων συνηθίζεται να είναι γύρω στα 100nm για το καθένα (**ΣΧΗΜΑ 1.17**). Ο συντελεστής εκπομπής ( $\epsilon$ ) της συγκεκριμένης επίστρωσης μπορεί να λάβει τιμές έως και  $\epsilon=0.05$ . [31] [32] [34] [40]



**ΣΧΗΜΑ 1.17:** Πάχη των επιμέρους στρωμάτων της επιλεκτικής επικάλυψης ΤΙΝΟΧ.



**ΣΧΗΜΑ 1.18:** Πλάκες απορρόφησης με επιλεκτική επικάλυψη ΤΙΝΟΧ.

Η εν λόγω επικάλυψη συνηθίζεται να γίνεται με διάφορες μεθόδους φυσικής εναπόθεσης ατμών (PVD) [1], η πιο διαδεδομένη εκ των οποίων είναι η καθοδική διασκόρπιση (Sputtering), η οποία αναλύεται στη συνέχεια.

## 1.6 Καθοδική διασκόρπιση (Sputtering)

### 1.6.1 Γενικά περί Sputtering

Sputtering (καθοδική διασκόρπιση) είναι μια διαδικασία φυσικής εναπόθεσης ατμών (PVD) που χρησιμοποιείται για την απόθεση υλικού επάνω σε μία επιφάνεια (υπόστρωμα). Συμβαίνει με εκβολή ατόμων του υλικού που θέλουμε να εναποθέσουμε (άτομα-στόχοι) σε ένα υπόστρωμα και συμπύκνωση των ατόμων αυτών επί του υποστρώματος σε ένα περιβάλλον κενού (το κενό είναι απαραίτητο για την “χαλάρωση” των δεσμών μεταξύ των μορίων της επιφάνειας του στόχου).

Η βασική διαδικασία έχει ως ακολούθως: Ένας στόχος ή διαφορετικά μία πηγή του υλικού που επιθυμούμε να εναποθέσουμε, βομβαρδίζεται με ενεργητικά ιόντα (τυπικά με ιόντα αδρανούς αερίου, όπως το αργό ( $Ar^+$ )) ενέργειας πολύ μεγαλύτερης των συμβατικών θερμικών ενεργειών (της τάξης των  $KeV$  ή και  $MeV$ ). Η δυναμική πρόσκρουση αυτών των ιόντων πάνω στο στόχο εκτινάσσει άτομα-στόχους εντός του χώρου που σχηματίζεται μεταξύ του στόχου και του υποστρώματος. Αυτά τα άτομα διανύουν στη συνέχεια κάποια απόσταση έως ότου φθάσουν στο υπόστρωμα (επιφάνεια που επιθυμούμε να επιμεταλλώσουμε) και αρχίζουν να συνθέτουν ένα φιλμ επί αυτού.

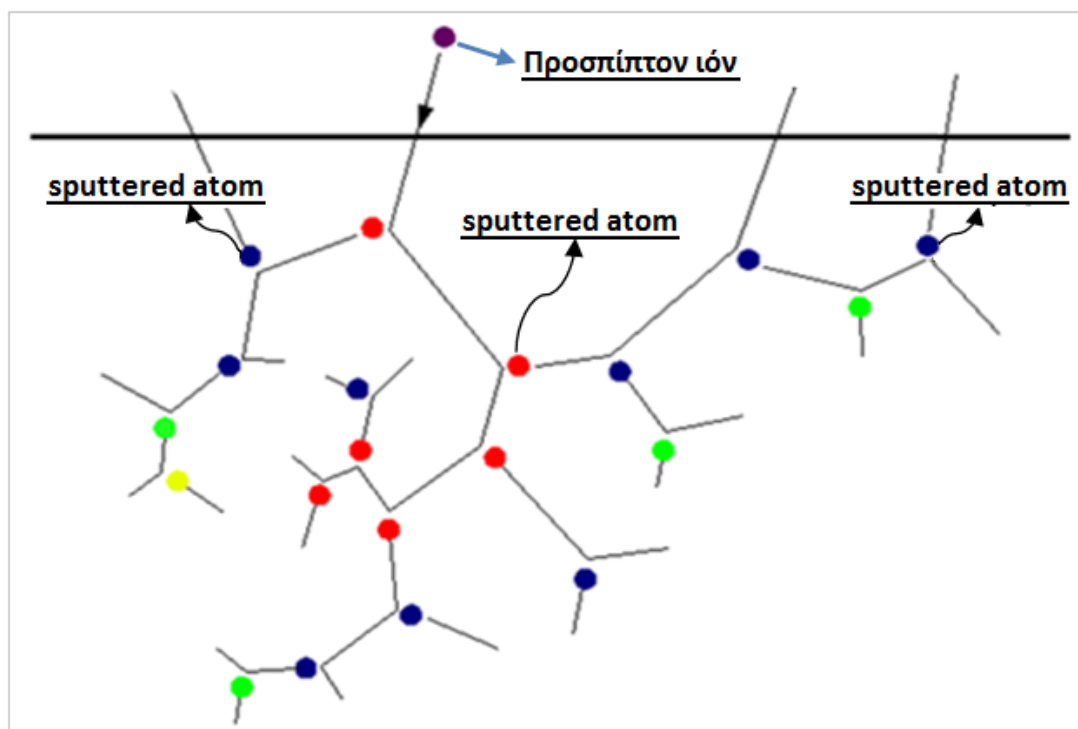
Καθώς όλο και περισσότερα άτομα συνενώνονται επί του υποστρώματος, αρχίζουν να προσδένονται το ένα με το άλλο, σε ατομικό και μοριακό επίπεδο, σχηματίζοντας ένα ισχυρών δεσμών στρώμα. Μία ή περισσότερες στιβάδες τέτοιων ατόμων μπορούν να δημιουργηθούν κατά βούληση ανάλογα με τον χρόνο ψεκασμού, επιτρέποντας την δημιουργία λεπτών μεμβρανών με μεγάλη ακρίβεια. [45]

### 1.6.2 Περιγραφή μηχανισμού και απόδοση της διασκόρπισης

Τα ιόντα που προσπίπτουν στην επιφάνεια του στόχου προκαλούν αλυσιδωτές συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων που απαρτίζουν το επιφανειακό στρώμα, με αποτέλεσμα όταν ορισμένα από τα άτομα αυτά φθάσουν στην επιφάνεια έχοντας ενέργεια μεγαλύτερη από την ενέργεια σύνδεσης να εγκαταλείπουν εκτινασσόμενα το στόχο κατά τρόπο διάχυτο (**ΣΧΗΜΑ 1.19**).

Το μέσο πλήθος των ατόμων που εγκαταλείπουν το στόχο ανά προσπίπτον ιόν ονομάζεται βαθμός απόδοσης της διασκόρπισης (sputtering yield) και εξαρτάται άμεσα από τη γωνία πρόσπτωσης και την ενέργεια του ιόντος, τη μάζα αυτού και των ατόμων του στόχου καθώς και από την ενέργεια σύνδεσης των ατόμων στην επιφάνεια του στόχου.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της διασκόρπισης είναι η κρυσταλλική δομή του στόχου καθώς καθορίζει το είδος των δεσμών μεταξύ των ατόμων και κατά συνέπεια την ισχύ τους. Τέλος, η υποπίεση που υφίσταται εντός του χώρου καθορίζει άμεσα την ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση των δεσμών με τους οποίους συνδέονται τα άτομα στην επιφάνεια του στόχου. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη υποπίεση έχουμε, τόσο πιο “χαλαροί” είναι οι δεσμοί αυτοί. [46]



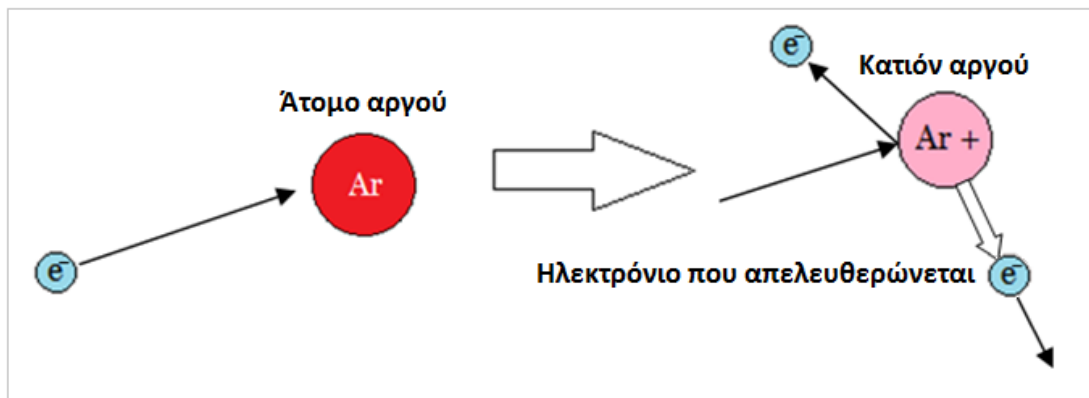
**ΣΧΗΜΑ 1.19:** Μηχανισμός του Sputtering.

Το μωβ κυκλάκι (**ΣΧΗΜΑ 1.19**) αντιπροσωπεύει το προσπίπτον στην επιφάνεια ιόν, ενώ τα υπόλοιπα αντιπροσωπεύουν τα άτομα του επιφανειακού στρώματος. Η παχιά γραμμή απεικονίζει την επιφάνεια, ενώ οι λεπτές γραμμές τις βαλλιστικές τροχιές κινήσεως των ατόμων. Τα άτομα των οποίων οι τροχιές καταλήγουν εκτός του λεπτού επιφανειακού στρώματος ονομάζονται sputtered atoms (διασκορπισμένα άτομα), λόγω του ότι εκτινάσσονται από την επιφάνεια με μεγάλη ταχύτητα προς τυχαίες κατευθύνσεις. [47]

### 1.6.3 Είδη του sputtering

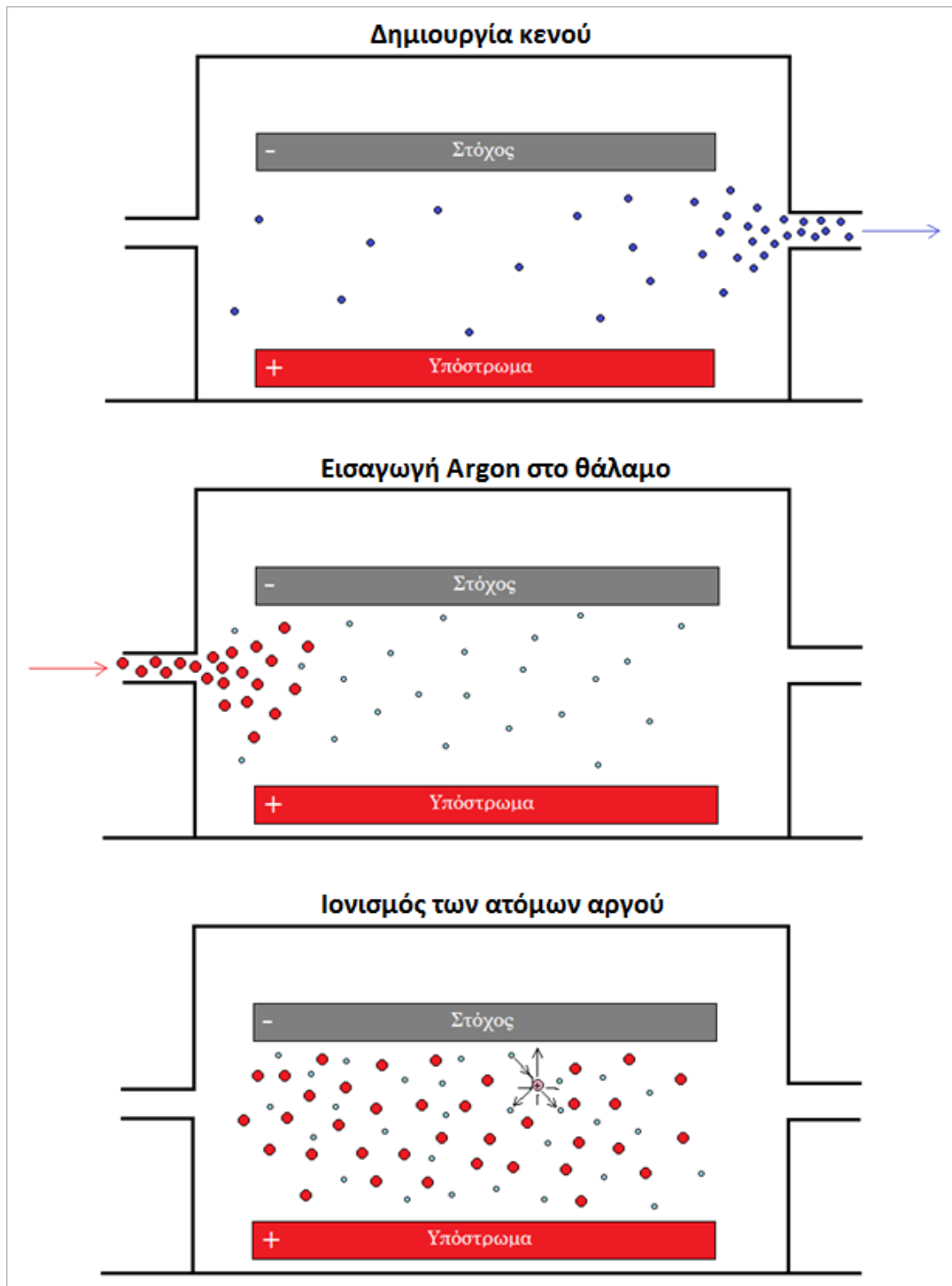
#### 1.6.3.1 *DC Sputtering*

Πρόκειται για την κλασική μέθοδο sputtering στην οποία ο στόχος φορτίζεται αρνητικά παίζοντας το ρόλο της καθόδου ενώ το υπόστρωμα θετικά αντιπροσωπεύοντας την άνοδο. Με την εφαρμογή υψηλής τάσης μεταξύ του στόχου και του υποστρώματος τα άτομα του αδρανούς αερίου (Argon) που έχουν εισαχθεί στο χώρο, αρχίζουν να χάνουν ηλεκτρόνια (ιονίζονται (βλ. **ΣΧΗΜΑ 1.20**)) καθώς συγκρούονται με ελεύθερα ηλεκτρόνια (τα οποία τίθενται σε επιταχυνόμενη κίνηση με φορά από τον στόχο προς το υπόστρωμα, λόγω της εφαρμογής της τάσεως), με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε κατιόντα (θετικά φορτισμένα ιόντα). Στη συνέχεια τα ιόντα αυτά κινούνται επιταχυνόμενα προς το στόχο, λόγω του αρνητικού φορτίου του τελευταίου και προσπίπτουν σε αυτόν προκαλώντας τις αλυσίδες συγκρούσεων που περιγράφηκαν προηγουμένως. [47] [48] [49]



**ΣΧΗΜΑ 1.20:** Κατιονισμός ατόμου Αργού.

Στο παρακάτω σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 1.21**) παρατίθενται τα βήματα της διαδικασίας του Sputtering.



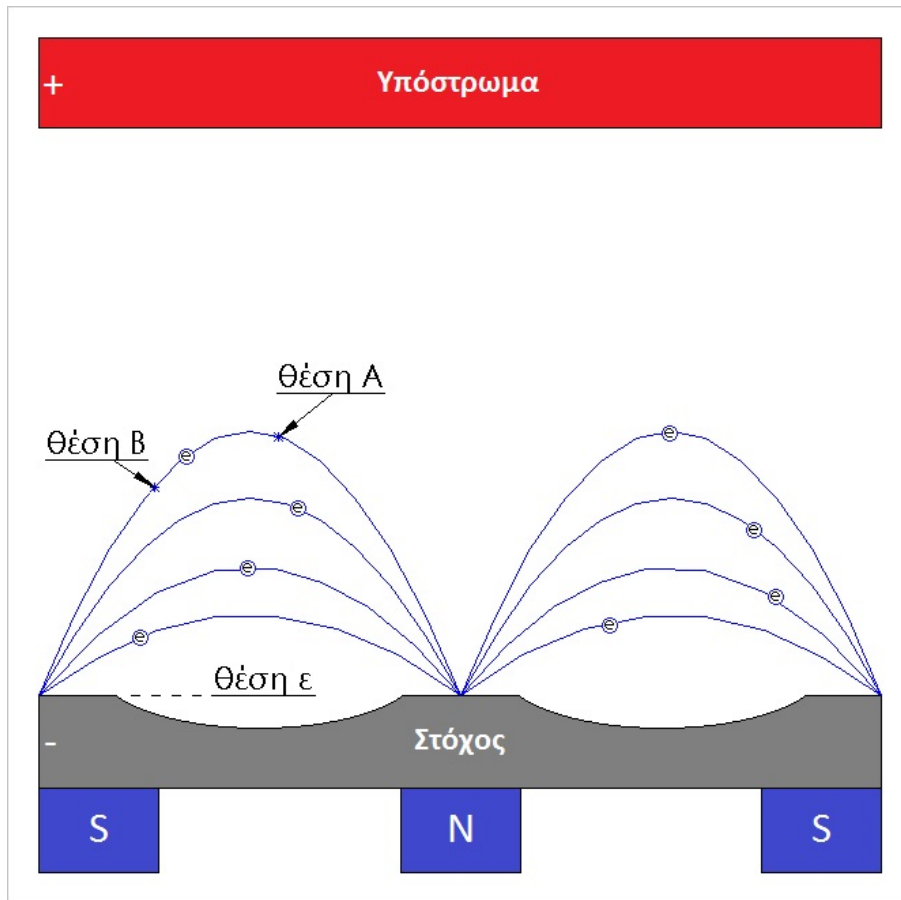
**ΣΧΗΜΑ 1.21:** Βήματα διαδικασίας Sputtering.

### 1.6.3.2 Magnetron Sputtering

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας γίνεται προσθήκη ισχυρών μαγνητών στο στόχο (**ΣΧΗΜΑ 1.22**). Το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται "κρατάει" (εγκλωβίζει) τα ηλεκτρόνια κοντά στο στόχο (σχετικά με την απόσταση μεταξύ στόχου και υποστρώματος), θέτοντάς τα σε κίνηση επί των μαγνητικών του γραμμών, αναιρώντας έτσι τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά λόγω του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας και τη συνεχή ανακυκλοφορία των ηλεκτρονίων κοντά στο στόχο. Κατά συνέπεια, αυξάνεται το πλήθος των επικείμενων ιονισμών, κάτι που οδηγεί στη δημιουργία περισσότερων κατιόντων αργού στην περιοχή αυτή. Η αύξηση της πυκνότητας των ιόντων αυτών συνεπάγεται μεγαλύτερο πλήθος συγκρούσεων με την επιφάνεια του στόχου και άρα σημαντική αύξηση του πλήθους των εκτινασόμενων από το στόχο ατόμων (sputtered atoms). [50] [51]

Υφίσταται, λοιπόν, μια αρκετά **πυκνή ροή** ατόμων (του στόχου) προς το υπόστρωμα, κάτι που μειώνει σημαντικά το χρόνο εναπόθεσης και κατά συνέπεια το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης. Επίσης, επειδή το plasma (συνονθύλευμα ιόντων αργού και ελεύθερων  $e^-$ ) σχηματίζεται μακριά από το υπόστρωμα, δεν επηρεάζει την ποιότητα της επικάλυψης.

Λόγω του έντονου χαρακτήρα της μεθόδου, χρησιμοποιείται κύκλωμα νερού για την ψύξη του στόχου.



**ΣΧΗΜΑ 1.22:** Δισδιάστατη αναπαράσταση της διάταξης του Magnetron Sputtering και των κύριων υφιστάμενων μαγνητικών γραμμών.

Παρατηρούμε (**ΣΧΗΜΑ 1.22**) ότι στην περιοχή ανάμεσα στους πόλους των μαγνητών διαμορφώνονται δύο αυλάκια επί του στόχου, των οποίων τα βάθη δείχνουν να είναι ανάλογα της απόστασης των μαγνητικών γραμμών από την επιφάνεια του στόχου.

#### Εξήγηση:

Κάθε άτομο αργού ξεκινά τη στιγμή που ιονίζεται μια μεταβαλλόμενη (επιταχυνόμενη) κίνηση.

Έστω, λοιπόν, ότι ένα άτομο αργού (άτομο A) υφίσταται ιονισμό στη θέση A (βλ. **ΣΧΗΜΑ 1.22**). Τη στιγμή αυτή αρχίζει να κινείται επιταχυνόμενο προς τον στόχο. Αμέσως πριν προσκρούσει στην επιφάνεια (θέση ε) έχει ταχύτητα ίση με  $V_{Aε}$ .

Έστω, τώρα, ένα άλλο άτομο αργού (άτομο B), το οποίο ιονίζεται στη θέση B. Αρχίζει καί αυτό να επιταχύνεται προς το στόχο και λίγο πριν φθάσει στην επιφάνεια αυτού εμφανίζει ταχύτητα ίση με  $V_{Bε}$ .

Δεδομένου ότι η θέση A βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από την επιφάνεια του στόχου από ό,τι η θέση B, θα ισχύει  $V_{Aε} > V_{Bε}$ . Συνεπώς, η μεταφορά ορμής λόγω της πρόσκρουσης του ιόντος A στην επιφάνεια θα είναι σαφώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που θα συνέβαινε λόγω της πρόσκρουσης του ιόντος B. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ιόν A θα προκαλέσει εκτίναξη περισσότερων ατόμων-στόχων από ότι το B. Έτσι, λοιπόν, εξηγείται η μορφή και η θέση των αυλακιών.

#### 1.6.3.3 Magnetron sputtering με κυλινδρικούς στόχους

Η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει τις ίδιες αρχές λειτουργίας με τις δύο προηγούμενες, με μόνη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιούμε δύο μη συμπαγείς περιστρεφόμενους κυλινδρικούς στόχους. Μέσα σε αυτούς τους δύο στόχους υπάρχουν σταθερές μπάρες ισχυρού μαγνήτη (για τους λόγους που εξηγήθηκαν στο Magnetron sputtering) ενώ ρέει νερό για ψυκτικούς λόγους. Το υπόστρωμα προωθείται εντός του θαλάμου με σταθερό βήμα για την όσο το δυνατό ομοιόμορφη επικάλυψή του. [52]

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής έναντι του Magnetron sputtering είναι η ομοιόμορφη φθορά που υφίσταται ο κάθε στόχος λόγω του ότι το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό ενώ ο ίδιος περιστρέφεται. Επίσης, το θερμοκρασιακό πεδίο που διαμορφώνεται επί της επιφάνειας του κάθε στόχου είναι χαμηλότερο και άρα η απαιτούμενη παροχή νερού ψύξης μικρότερη.




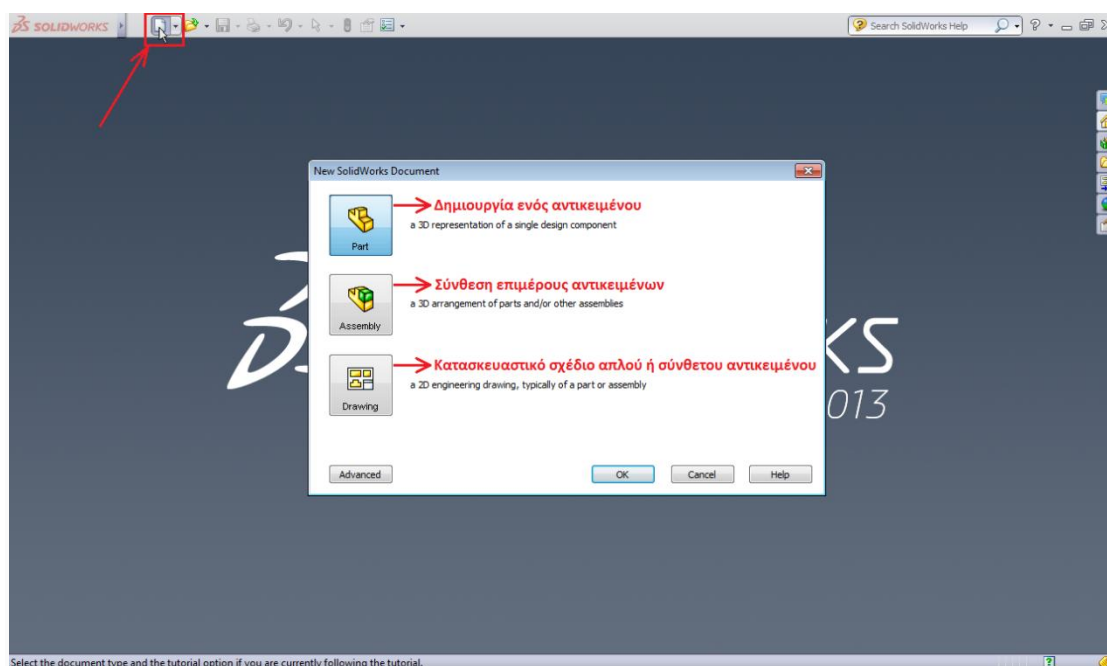
## 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ SOLIDWORKS

### 2.1 Γενικές πληροφορίες

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

### 2.2 Έναρξη του προγράμματος

Για να ξεκινήσουμε, επιλέγουμε το εικονίδιο  (**New**) που διακρίνεται δεξιά από το λογότυπο του προγράμματος, οπότε εμφανίζεται στην οθόνη μας μία καρτέλα που περιλαμβάνει τρεις επιλογές, οι οποίες και εξηγούνται στο **ΣΧΗΜΑ 2.1**.

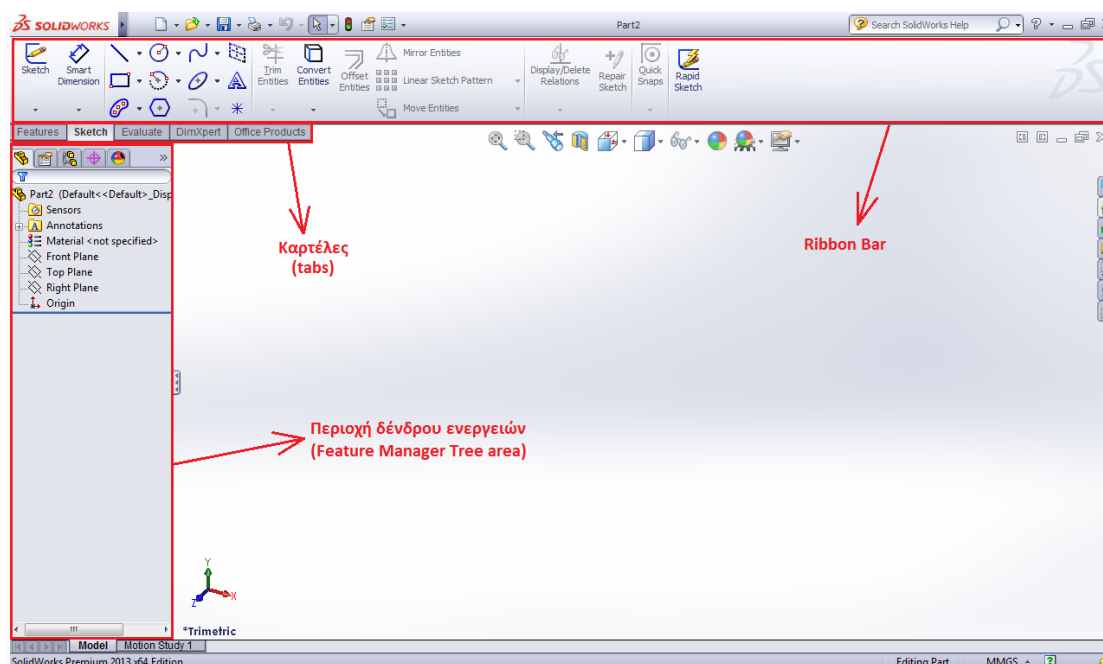


**ΣΧΗΜΑ 2.1:** Δημιουργία νέου αρχείου στο πρόγραμμα Solidworks.

## 2.2.1 Αρχείο “Part”

Στα πλαίσια της παρούσης ενότητας θα ξεκινήσουμε με την σχεδίαση ενός αντικειμένου (**Part**) και αργότερα θα παρουσιάσουμε τη λειτουργία και μίας εκ των δύο υπολοίπων επιλογών (**Assembly**).

Αφού επιλέξουμε το πρώτο εικονίδιο της καρτέλας (άνοιγμα αρχείου **Part**), στην οθόνη μας εμφανίζονται τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.2**).



**ΣΧΗΜΑ 2.2:** Κύρια στοιχεία που απαρτίζουν το περιβάλλον του προγράμματος Solidworks.

Στην κορυφή έχουμε το λεγόμενο **Ribbon bar**, το οποίο περιλαμβάνει μία πληθώρα **καρτελών** η καθεμία εκ των οποίων εξυπηρετεί μία συγκεκριμένη λειτουργία, παρέχοντας τα κατάλληλα εργαλεία, όπως θα δούμε παρακάτω. Πλάγια και κάτω, ακριβώς, από τις καρτέλες βρίσκεται το **δένδρο ενεργειών**, στο οποίο καταγράφεται κάθε βήμα που ακολουθούμε κατά τη σχεδίαση. [42]

## 2.3 Βασικά γεωμετρικά σχήματα και εντολές σχεδίασης

Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει μία πληθώρα εντολών, για την όσο το δυνατόν αποδοτικότερη και ευκολότερη σχεδίαση απλών ή και αρκετά σύνθετων γεωμετρικών σχημάτων.

Ορισμένες βασικές εντολές σχεδίασης παρατίθενται στη συνέχεια, ενώ η λειτουργία τους εξηγείται με παραδείγματα σε επόμενες ενότητες.

✎ **Line:** γραμμή σχεδίασης ή αξονική γραμμή

○ **Circle:** σχεδίαση κύκλου

□ **Corner Rectangle:** σχεδίαση ορθογωνίου παραλληλογράμμου

⊙ **Centerpoint Arc:** τόξο κύκλου

∩ **Spline:** καμπύλη με σημεία ελέγχου

✂ **Trim Entities:** περικοπή τμήματος καμπύλης

↔ **Smart Dimension:** εισαγωγή διαστάσεων

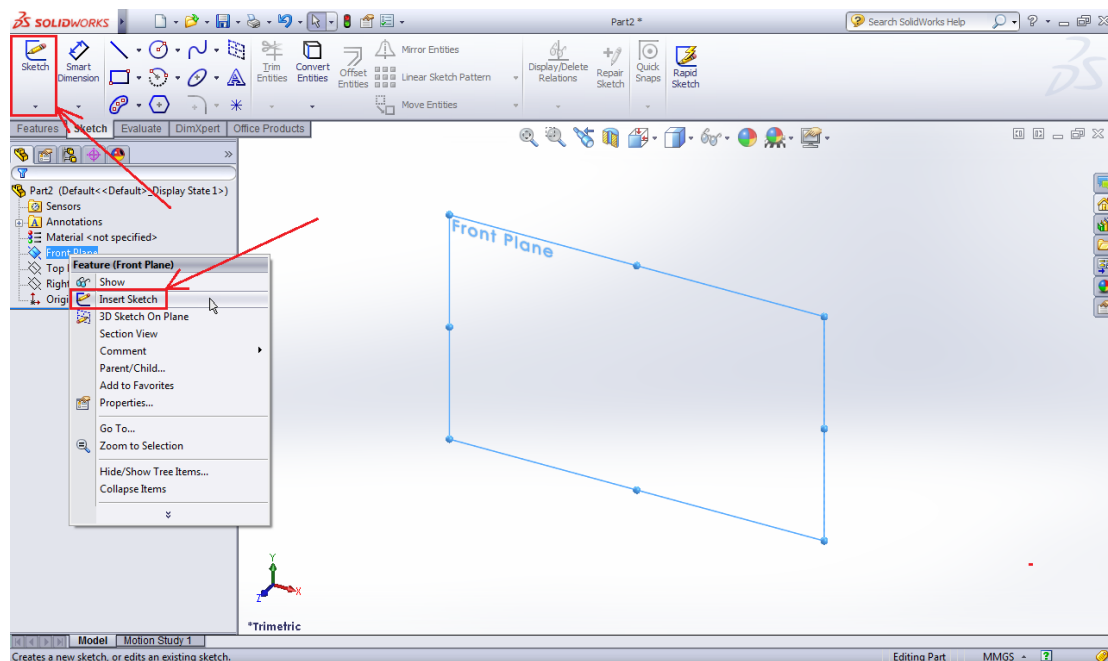
↶ **Offset Entities:** δημιουργία γεωμετρικά όμοιων σχημάτων

☞ **Mirror Entities:** αντιγραφή σχήματος ως προς άξονα συμμετρίας

## 2.4 Δισδιάστατη σχεδίαση

### 2.4.1 Έναρξη σχεδίασης

Αρχικά επιλέγουμε το επίπεδο στο οποίο επιθυμούμε να σχεδιάσουμε (**Front, Top** ή **Right**). Στη συνέχεια, είτε πατάμε δεξί κλικ επάνω στο όνομα του επιπέδου και επιλέγουμε την εντολή **Insert sketch**, είτε επιλέγουμε το εικονίδιο **Sketch** το οποίο βρίσκεται στην ομόνυμη καρτέλα, όπως φαίνεται παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.3**), ή απλούστερα επιλέγουμε απευθείας την εντολή σχεδίασης που μας εξυπηρετεί, από την περιοχή που ορίζει το **ΣΧΗΜΑ 2.4**.

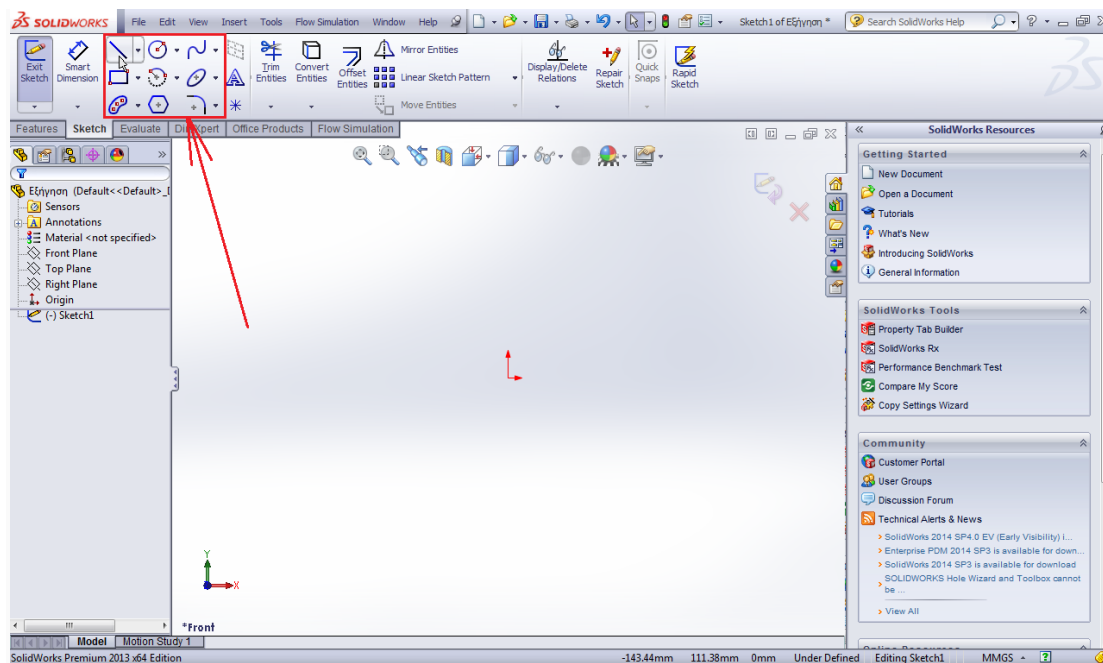


**ΣΧΗΜΑ 2.3:** Έναρξη σχεδίασης στο πρόγραμμα Solidworks.

## 2.4.2 Λειτουργία βασικών εντολών

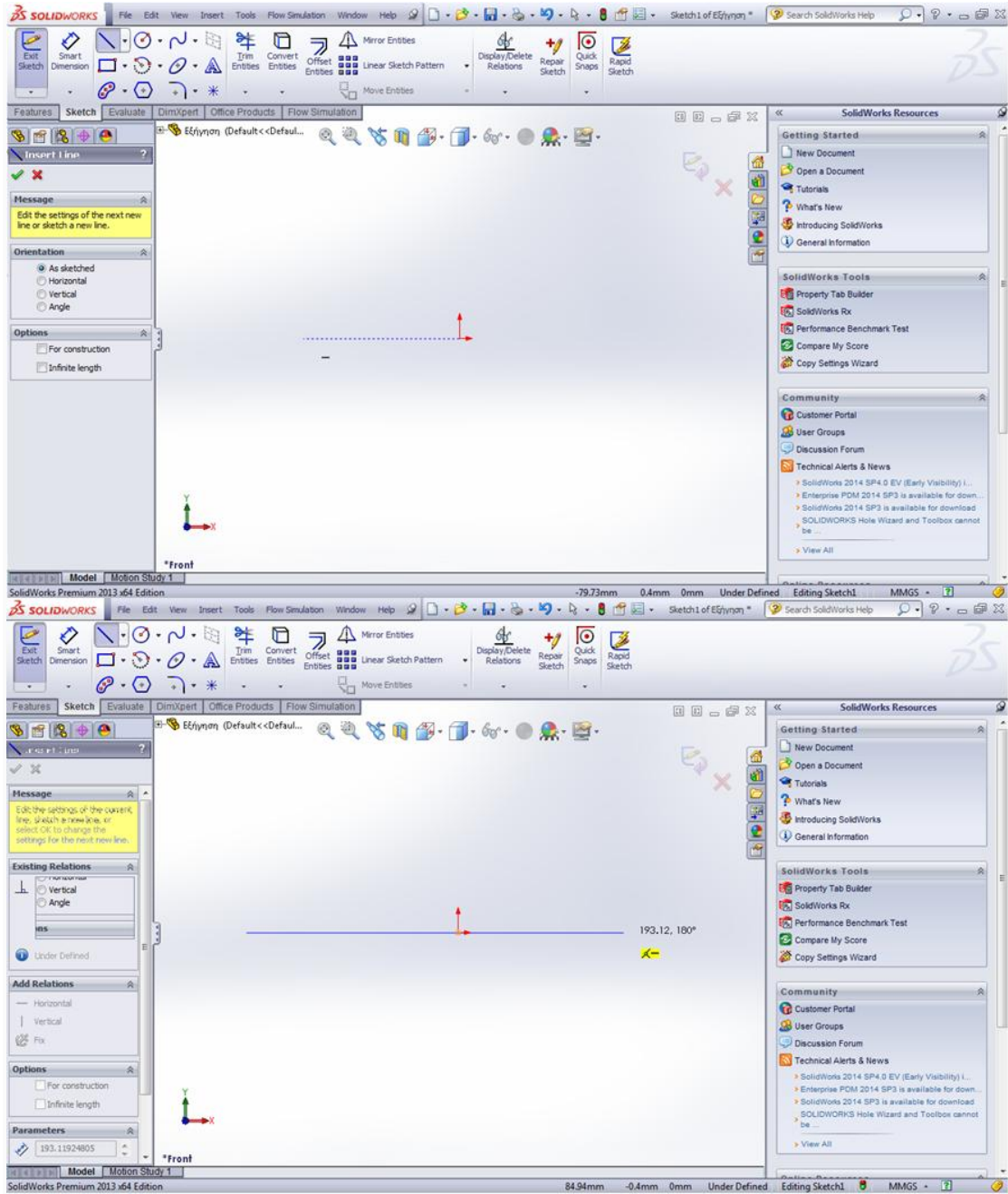
### 2.4.2.1 Εντολή “ \ Line ”

Επιλέγουμε, τώρα, (εάν δεν το έχουμε ήδη πράξει) το είδος της καμπύλης που θα σχεδιάσουμε σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 2.4**):



**ΣΧΗΜΑ 2.4:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

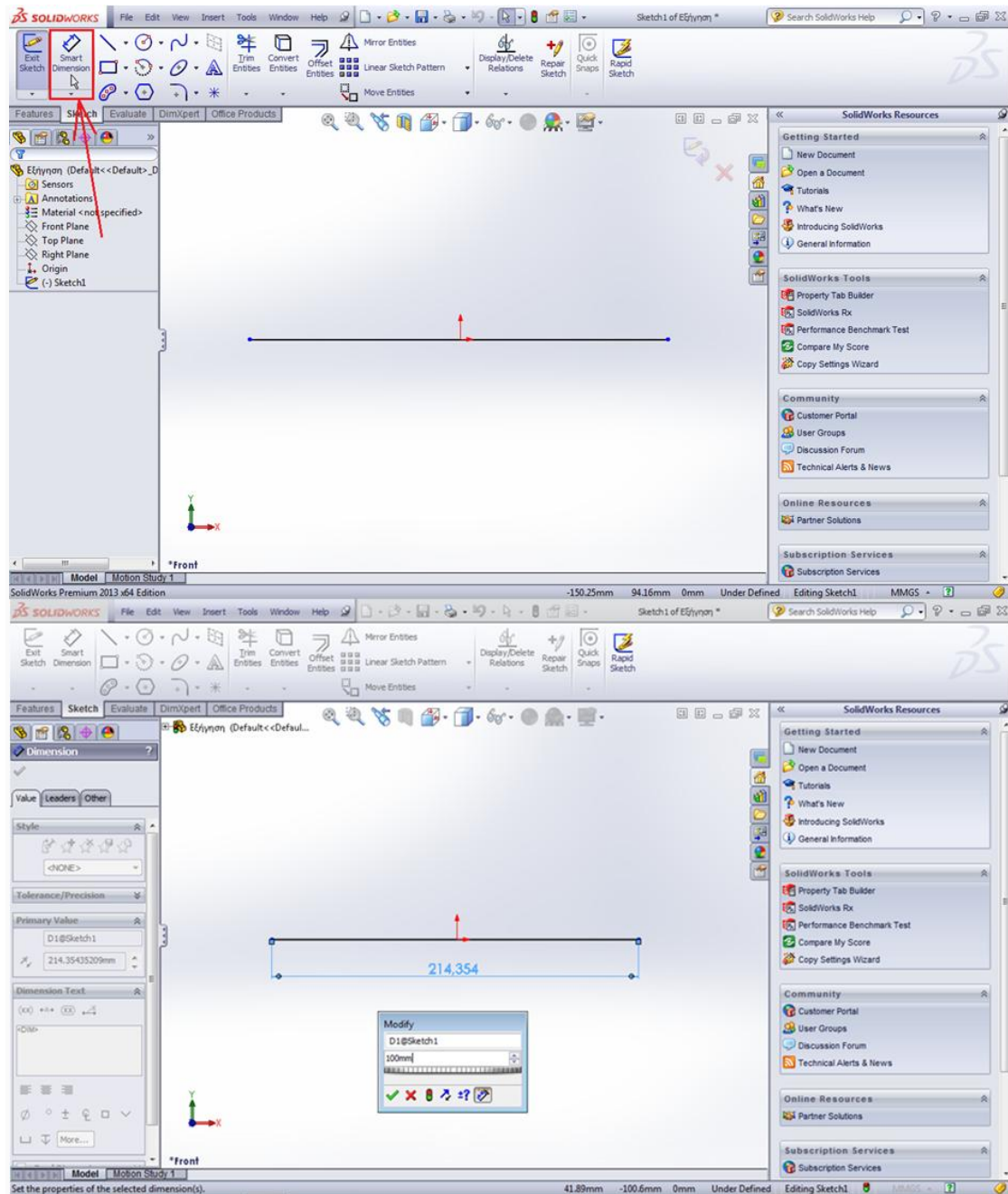
Αφού επιλέξουμε το εικονίδιο της ευθείας σχεδίασης, είμαστε σε θέση να χαράξουμε την ευθεία μας ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του επιπέδου στο οποίο εργαζόμαστε. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα μας βοηθάει εάν θέλουμε να σχεδιάσουμε τη γραμμή οριζόντια ή κατακόρυφη, καθώς μας δείχνει με διακεκομμένη γραμμή και με κατάλληλο σύμβολο, αλλά με την περιφορά του δείκτη του ποντικιού γύρω από την αρχή των αξόνων, από πού ουσιαστικά πρέπει να ξεκινήσουμε, ενώ ταυτόχρονα ο δείκτης μοιάζει να έλκεται από τη νοητή οριζόντια ευθεία που ορίζεται από το σημείο που ξεκινήσαμε να σχεδιάζουμε (**ΣΧΗΜΑ 2.5**).



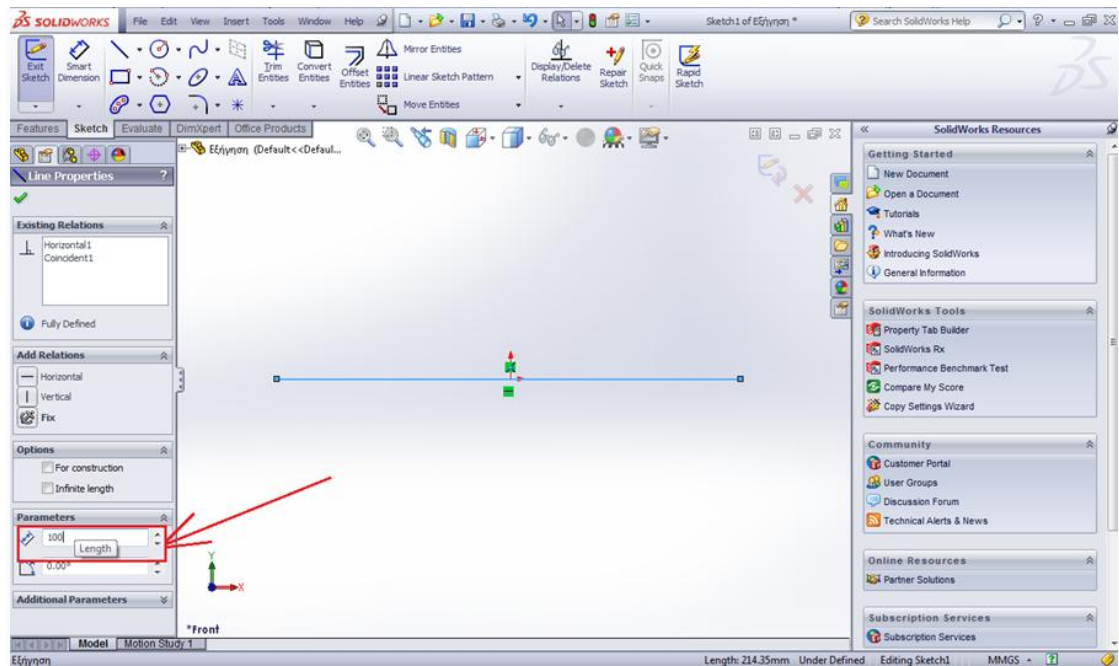
**ΣΧΗΜΑ 2.5:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.4.2.2 Εντολή “ Smart Dimension ”

Μετά τη χάραξη της ευθείας μας ορίζουμε το μήκος αυτής χρησιμοποιώντας, είτε την εντολή **Smart Dimension**, είτε επιλέγοντας την ίδια την ευθεία και πηγαίνοντας στις ιδιότητές της στην ενότητα **parameters**, όπως φαίνεται στα **ΣΧΗΜΑ 2.6** και **ΣΧΗΜΑ 2.7** αντίστοιχα.



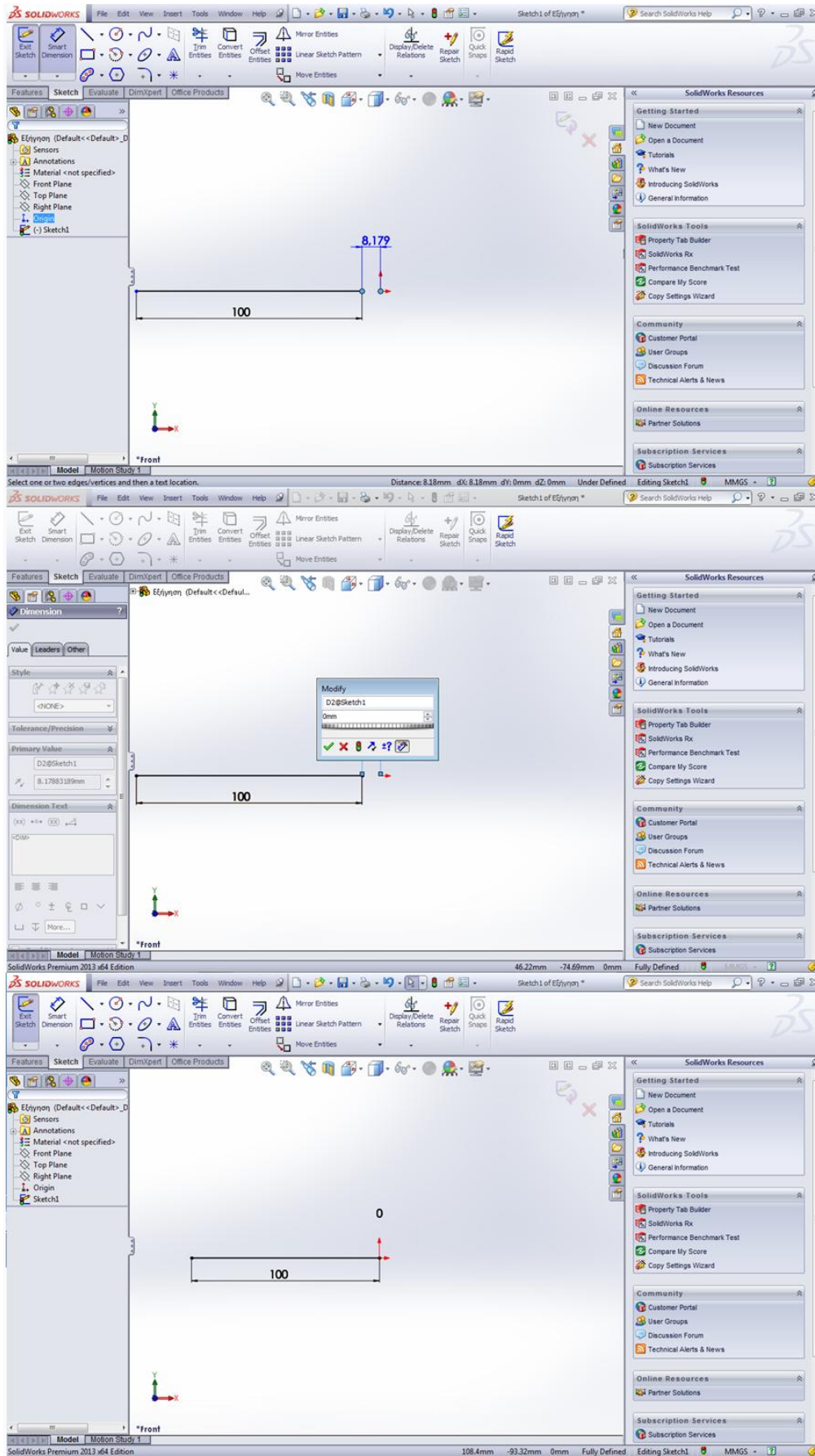
**ΣΧΗΜΑ 2.6:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.



**ΣΧΗΜΑ 2.7:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

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

Στο επόμενο σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 2.8**) εικονίζεται η διαδικασία κατά την οποία μεταθέτουμε την ευθεία, ουσιαστικά το δεξί της άκρο να συμπίπτει με την αρχή των αξόνων. Το τελευταίο επιτυγχάνεται μέσω της εντολής **Smart Dimension**, επιλέγοντας το δεξί άκρο της ευθείας και την αρχή των αξόνων και θέτοντας τη μεταξύ τους απόσταση ίση με το μηδέν.

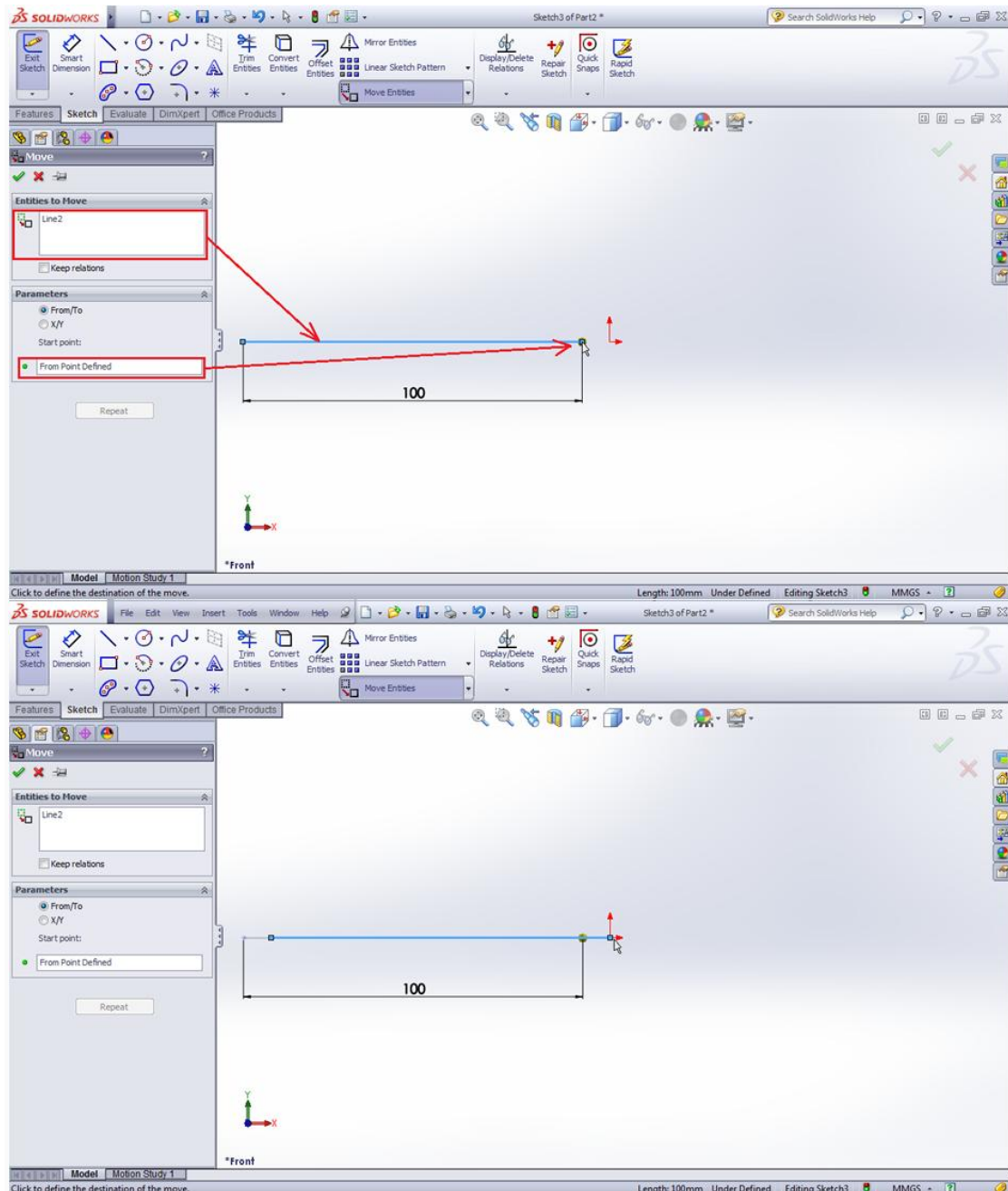


**ΣΧΗΜΑ 2.8:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.



### 2.4.2.3 Εντολή “ Move Entities “

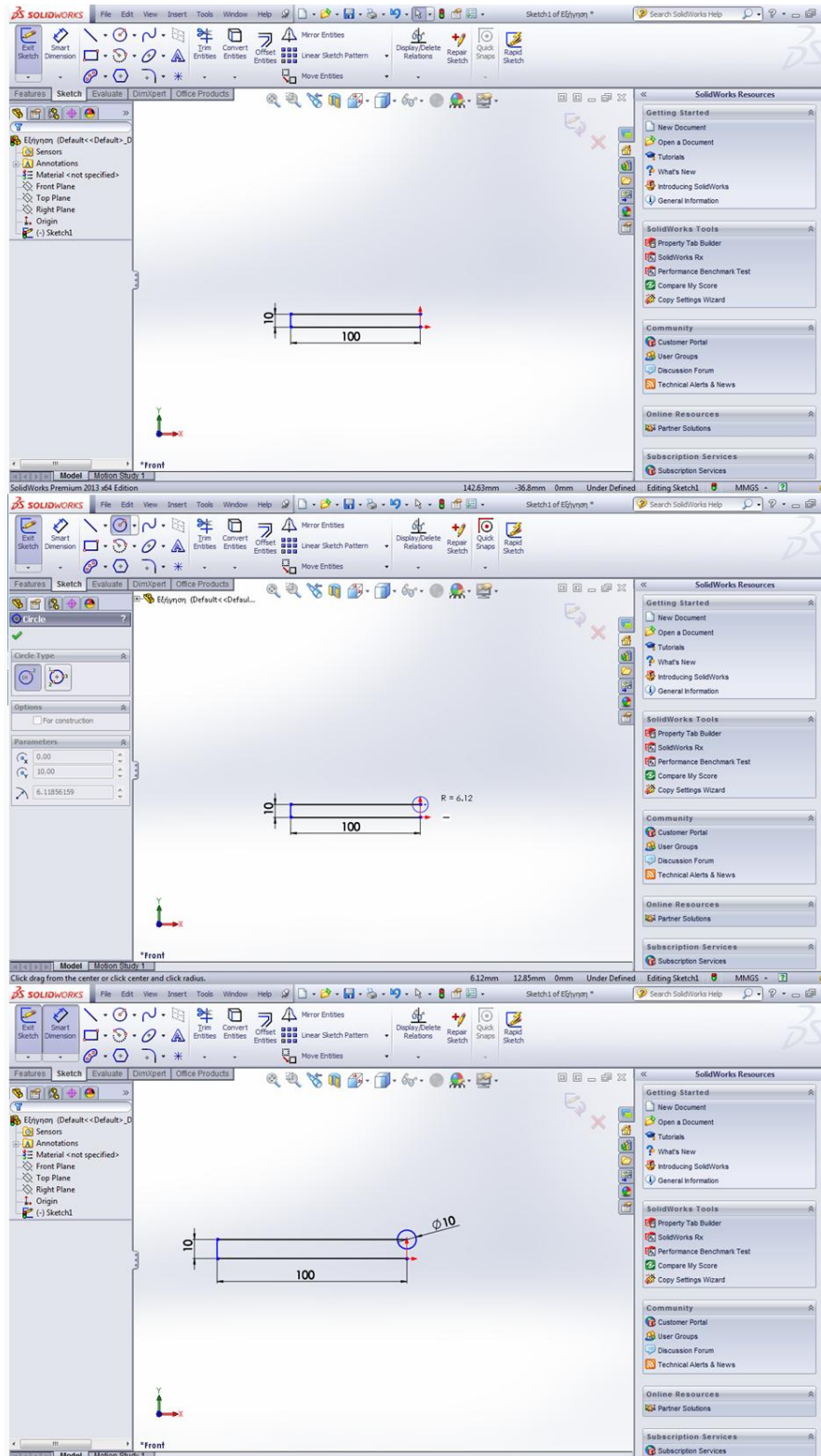
Η προηγούμενη ενέργεια μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την εντολή **Move Entities**, μέσω της οποίας ορίζουμε την καμπύλη ή το σύνολο των καμπυλών που επιθυμούμε να μεταφέρουμε, καθώς και το σημείο (start point) από το οποίο θα αρχίσουμε να μετακινούμε το επιλεγμένο σχήμα, όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 2.9**.



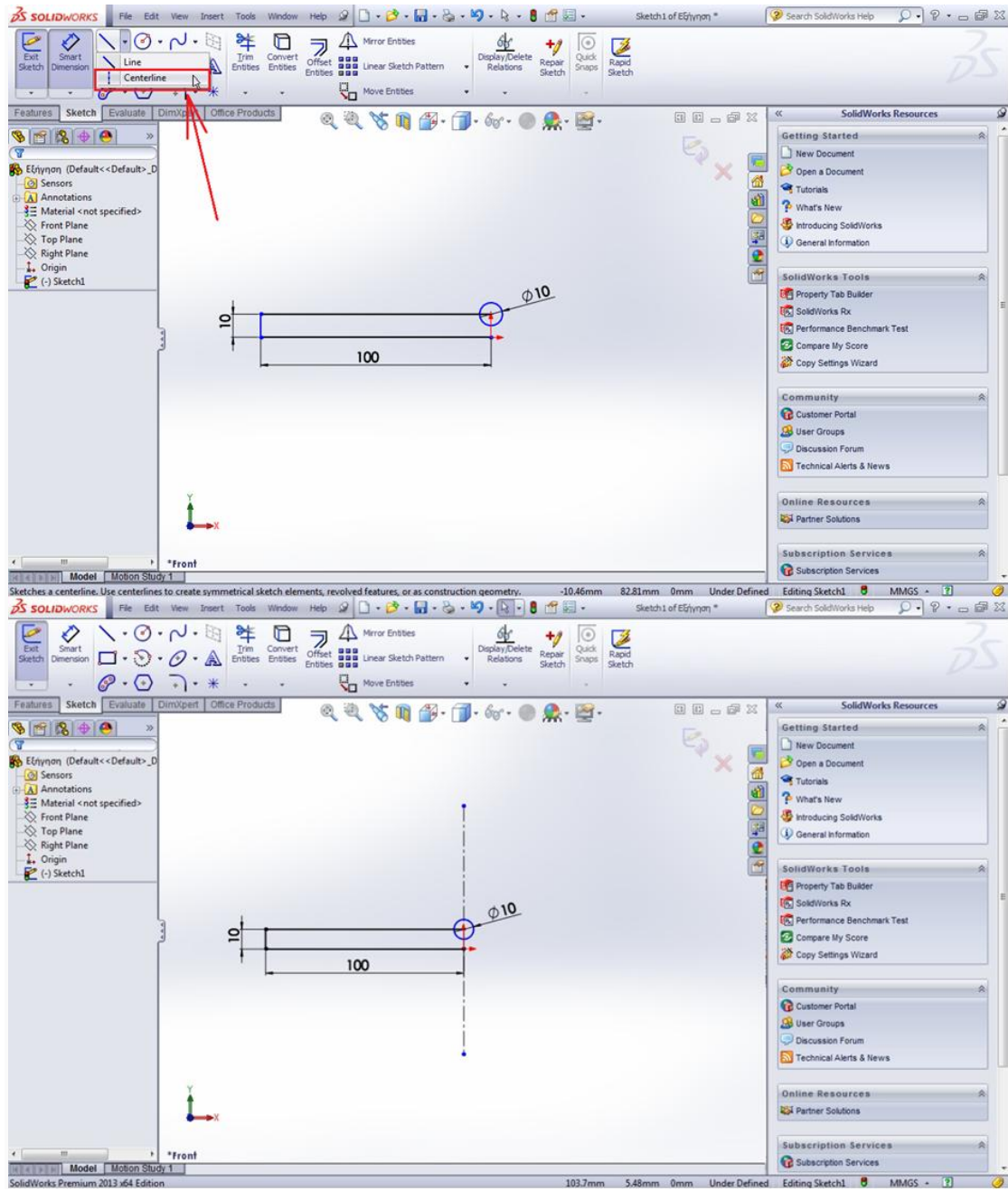
**ΣΧΗΜΑ 2.9:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

#### 2.4.2.4 Εντολή “ Circle ”

Όμοια σχεδιάζουμε και διαστασιολογούμε δύο ακόμη ευθείες κάθετα και παράλληλα στην ήδη υπάρχουσα, ενώ στη συνέχεια χαράσσουμε έναν κύκλο διαμέτρου 10mm καθώς και μία αξονική γραμμή ως ακολούθως (**ΣΧΗΜΑ 2.10** , **ΣΧΗΜΑ 2.11**).



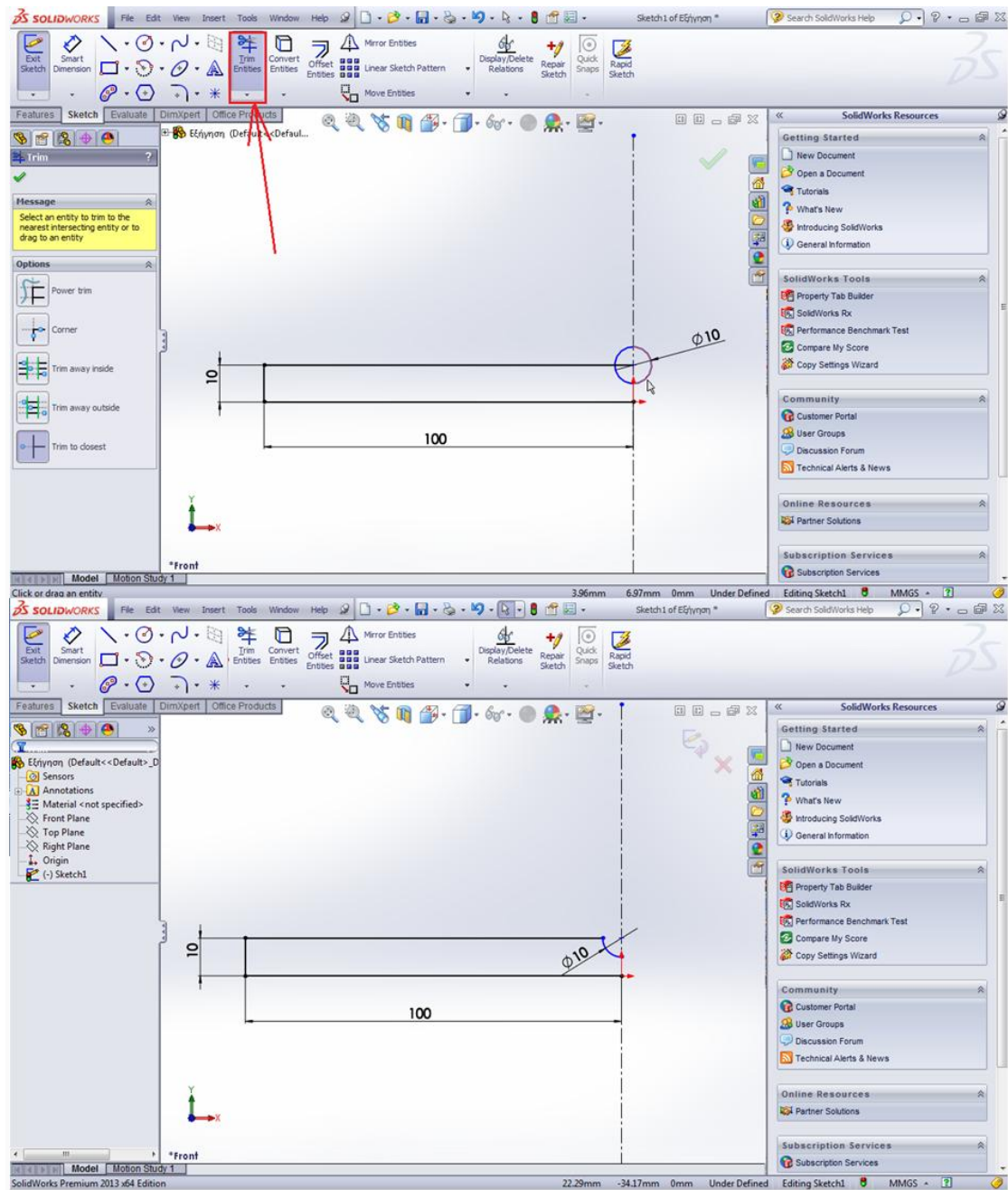
**ΣΧΗΜΑ 2.10:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.



**ΣΧΗΜΑ 2.11:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.4.2.5 Εντολή “ Trim Entities “

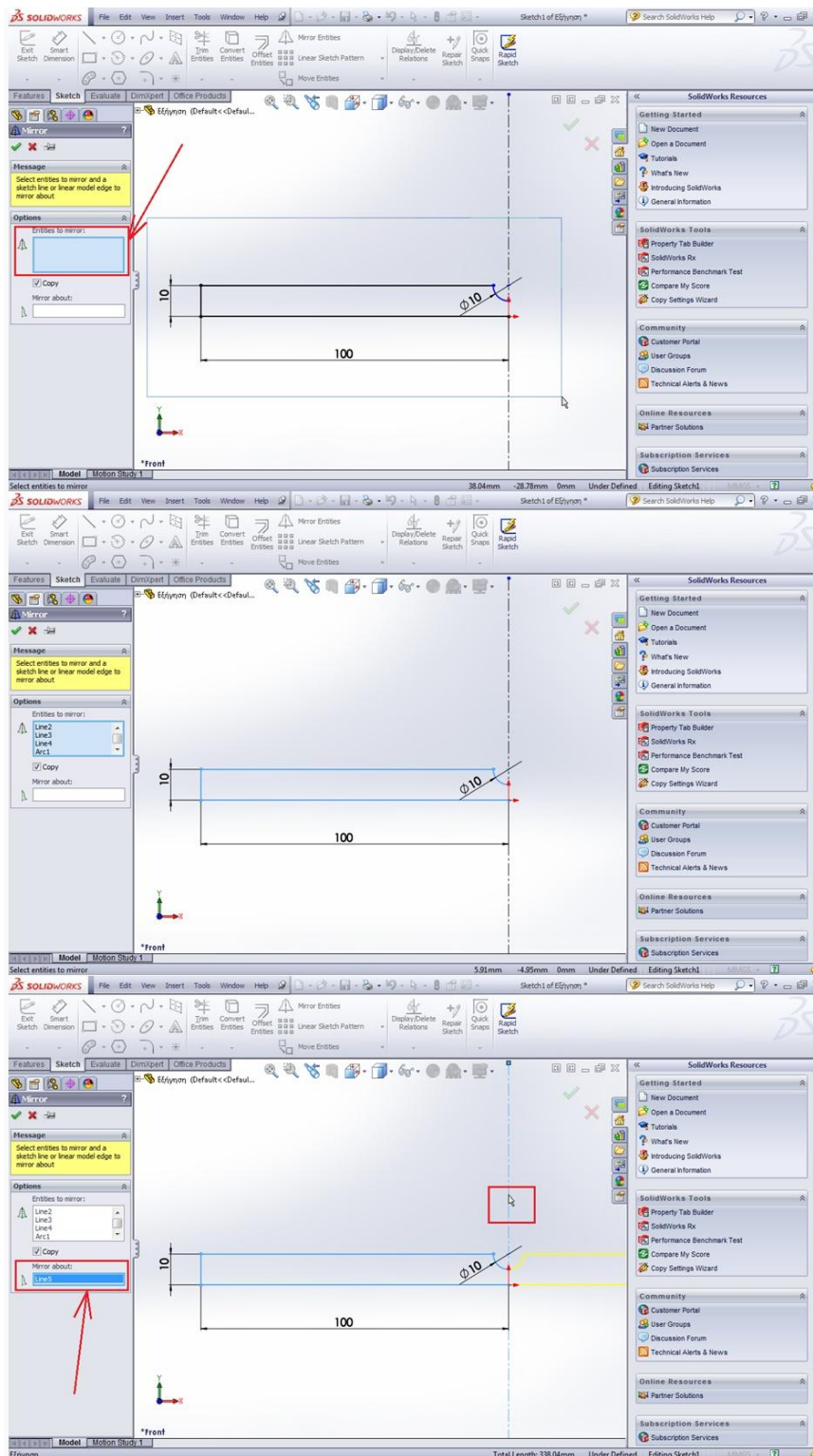
Με την εντολή **Trim Entities** μας δίνεται η δυνατότητα να περικόψουμε τμήματα καμπυλών που δεν μας είναι χρήσιμα (**ΣΧΗΜΑ 2.12**).



**ΣΧΗΜΑ 2.12:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.4.2.6 Εντολή “ Mirror Entities ”


Με την εν λόγω εντολή αντιγράφουμε το σχήμα που θέλουμε ως προς έναν άξονα συμμετρίας, ορίζοντας, αρχικά, τις καμπύλες που θέλουμε να αντιγράψουμε στην ενότητα **Entities to mirror** και εν συνεχεία τον άξονα συμμετρίας στην ενότητα **Mirror about** (ΣΧΗΜΑ 2.13).

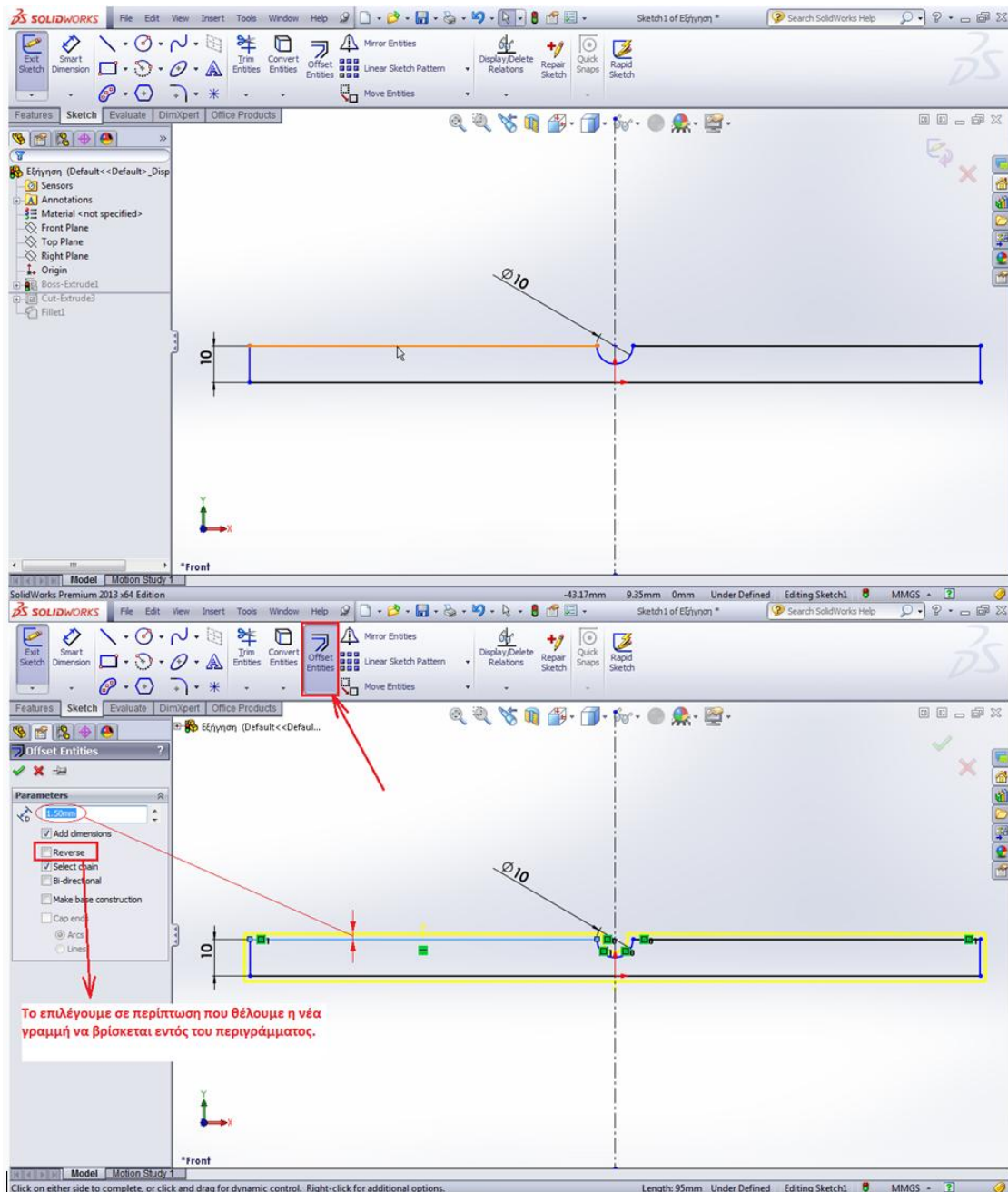


ΣΧΗΜΑ 2.13: Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.4.2.7 Εντολή “ Offset Entities “

Στη συγκεκριμένη ενότητα, θα γίνει μία απλή αναφορά στη λειτουργία της παραπάνω εντολής, η οποία δεν θα μας απασχολήσει στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Με την εν λόγω εντολή δημιουργούμε ένα γεωμετρικά όμοιο αντίγραφο του υπάρχοντος περιγράμματος, είτε προς το εσωτερικό είτε προς το εξωτερικό αυτού (ή και προς τις δύο κατευθύνσεις), απλά και μόνο επιλέγοντας μία από τις ακμές του και ύστερα το εικονίδιο , όπως φαίνεται στις επόμενες εικόνες (**ΣΧΗΜΑ 2.14**).

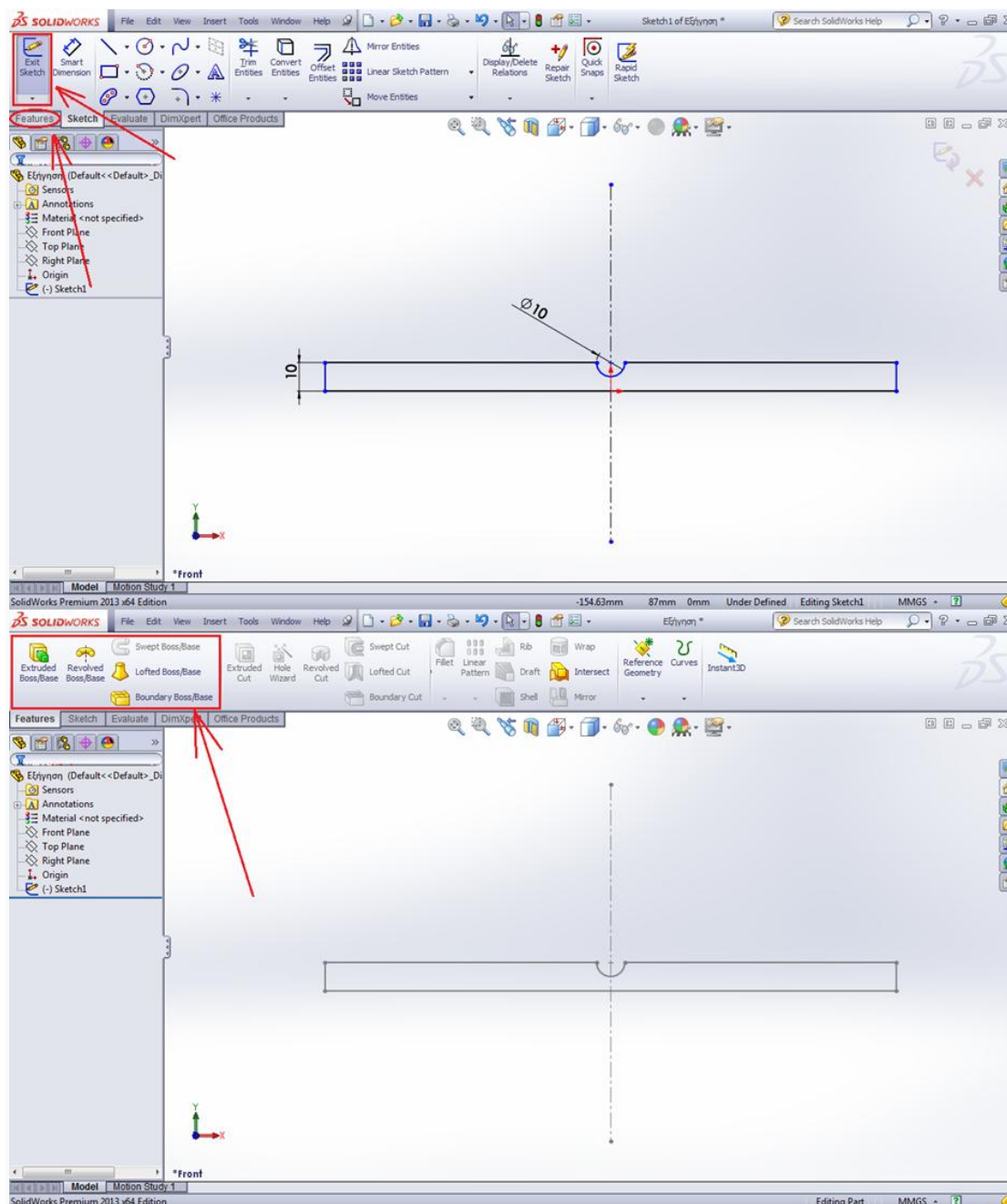


**ΣΧΗΜΑ 2.14:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 2.5 Παραγωγή στερεού σώματος

### 2.5.1 Λήξη σχεδίασης και μετάβαση στην καρτέλα Features

Αφού έχουμε έτοιμο το σχήμα μας, επιλέγουμε το εικονίδιο **Exit Sketch** για να βγούμε από το σχέδιο και στη συνέχεια επιλέγουμε την καρτέλα **Features**, όπου βρίσκονται οι εντολές για τη δημιουργία και την κατεργασία στερεού σώματος (**ΣΧΗΜΑ 2.15**).



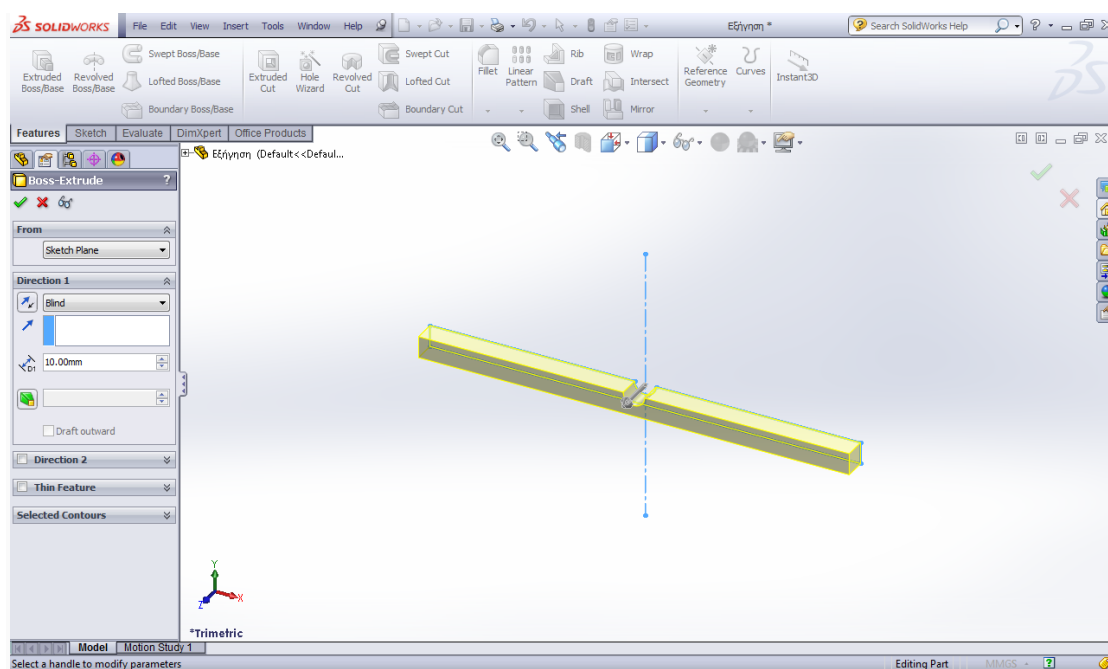
**ΣΧΗΜΑ 2.15:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 2.5.2 Βασικές εντολές παραγωγής και επεξεργασίας στερεού

### 2.5.2.1 Εντολή “ Extruded Boss/Base ”

Με τη συγκεκριμένη εντολή εξωθούμε ένα σχέδιο ή ένα περίγραμμα που έχουμε επιλέξει προς μία ή και δύο κατευθύνσεις, κάθετες στο επίπεδο του τελευταίου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στερεού σώματος.

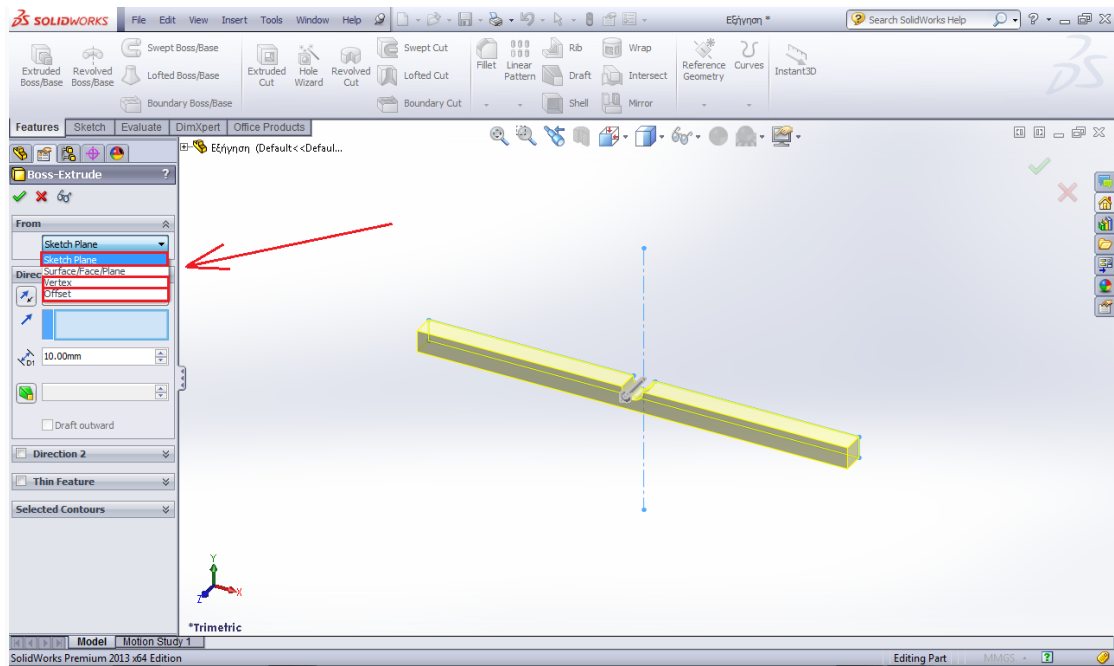
Για την περίπτωση μας, επιλέγουμε, αρχικά, το σχέδιό μας (**Sketch1**) και ύστερα την εντολή **Extruded Boss/Base**. Στην οθόνη εμφανίζονται τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.16**):



**ΣΧΗΜΑ 2.16:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

- Στην ενότητα **From** υπάρχουν τέσσερις επιλογές εκ των οποίων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις τρεις, καθώς η μία προϋποθέτει την ύπαρξη στερεάς επιφάνειας (**ΣΧΗΜΑ 2.17**).

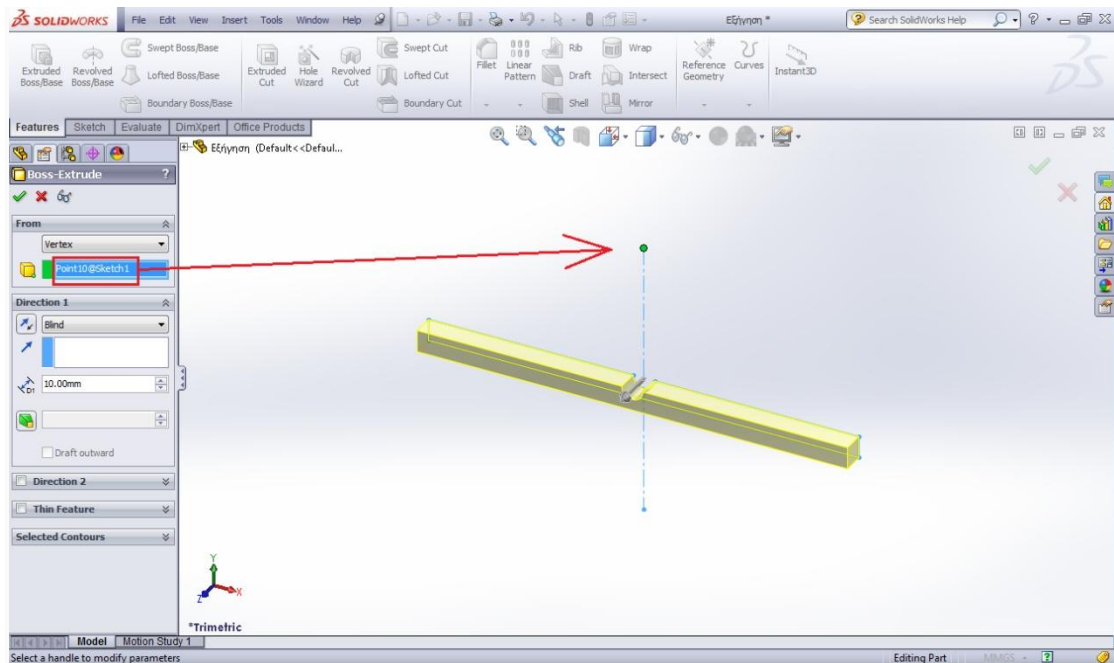




**ΣΧΗΜΑ 2.17:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

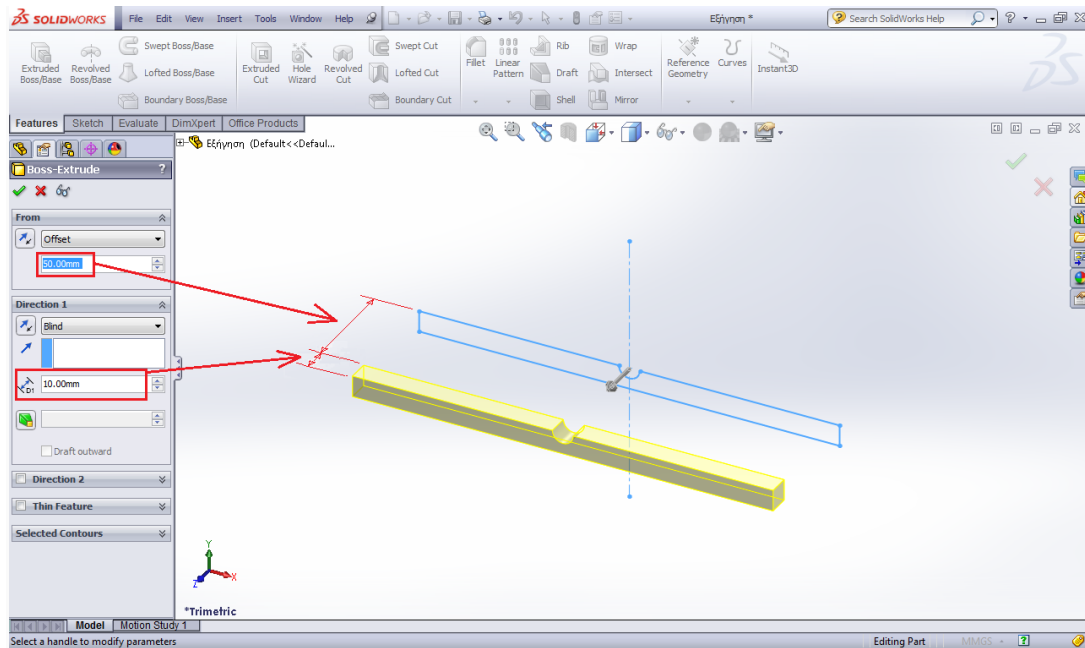
**Sketch plane:** δημιουργία στερεού από το επίπεδο στο οποίο ανήκει το σχέδιο μέχρι το μήκος που θα ορίσουμε όπως φαίνεται παραπάνω (**ΣΧΗΜΑ 2.18**).

**Vertex:** επιλέγουμε ένα σημείο που ανήκει στο σχέδιο (είτε στο περίγραμμα που θα εξωθήσουμε, είτε στην αξονική γραμμή) και παίρνουμε το ίδιο αποτέλεσμα με την προηγούμενη επιλογή (**ΣΧΗΜΑ 2.19**).




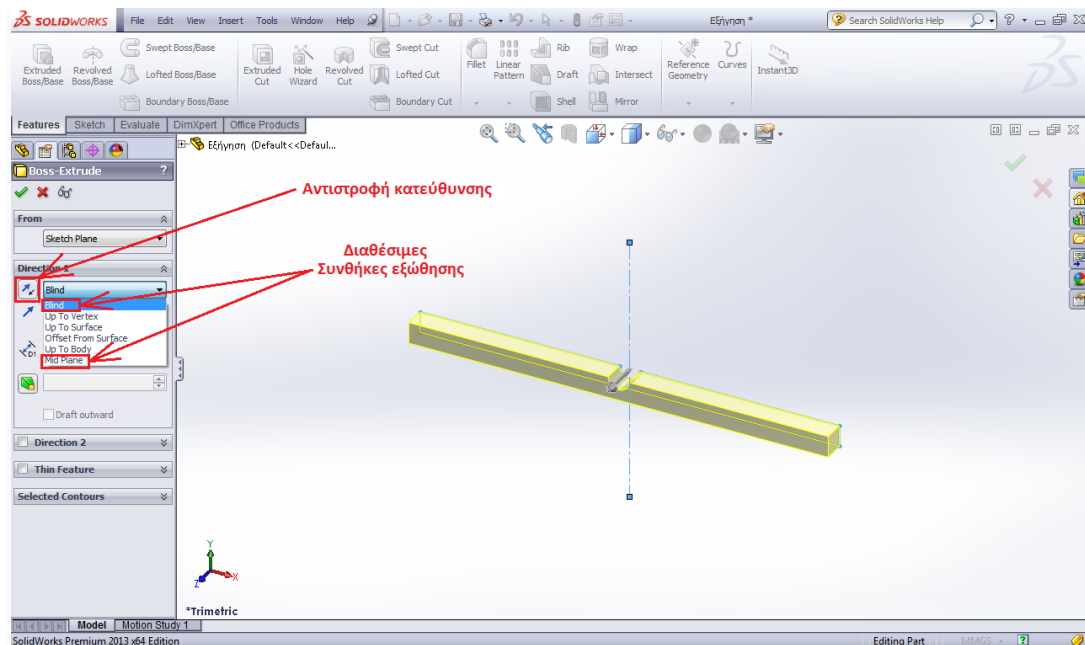
**ΣΧΗΜΑ 2.19:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

**Offset:** ορίζουμε την απόσταση που θέλουμε να έχει η γενεσιουργός επιφάνεια του στερεού από το επίπεδο σχεδίασης (**ΣΧΗΜΑ 2.20**).



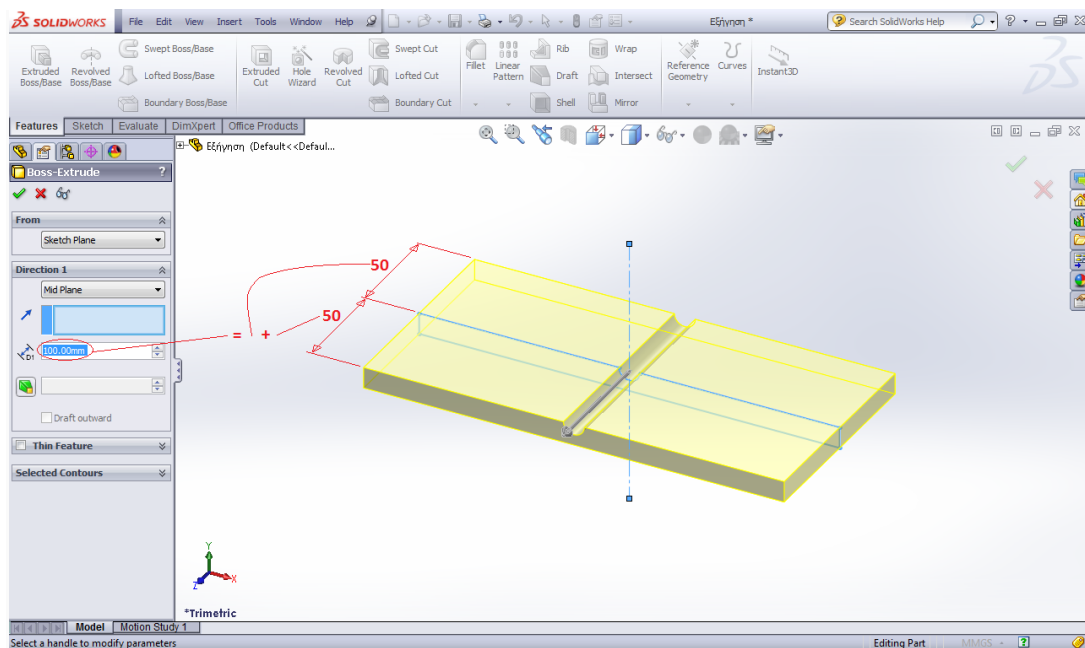
**ΣΧΗΜΑ 2.20:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

- Στην ενότητα **Direction 1** ορίζουμε το βάθος του στερεού όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 2.20**), καθώς και τη συνθήκη εξώθησης (στην προκειμένη περίπτωση **Blind** ή **Mid Plane** καθώς οι υπόλοιπες συνθήκες προϋποθέτουν την ύπαρξη στερεού) (**ΣΧΗΜΑ 2.21**). Επίσης, μπορούμε να αντιστρέψουμε την κατεύθυνση της εξώθησης επιλέγοντας το εικονίδιο  που βρίσκεται αριστερά της συνθήκης εξώθησης (**ΣΧΗΜΑ 2.21**).



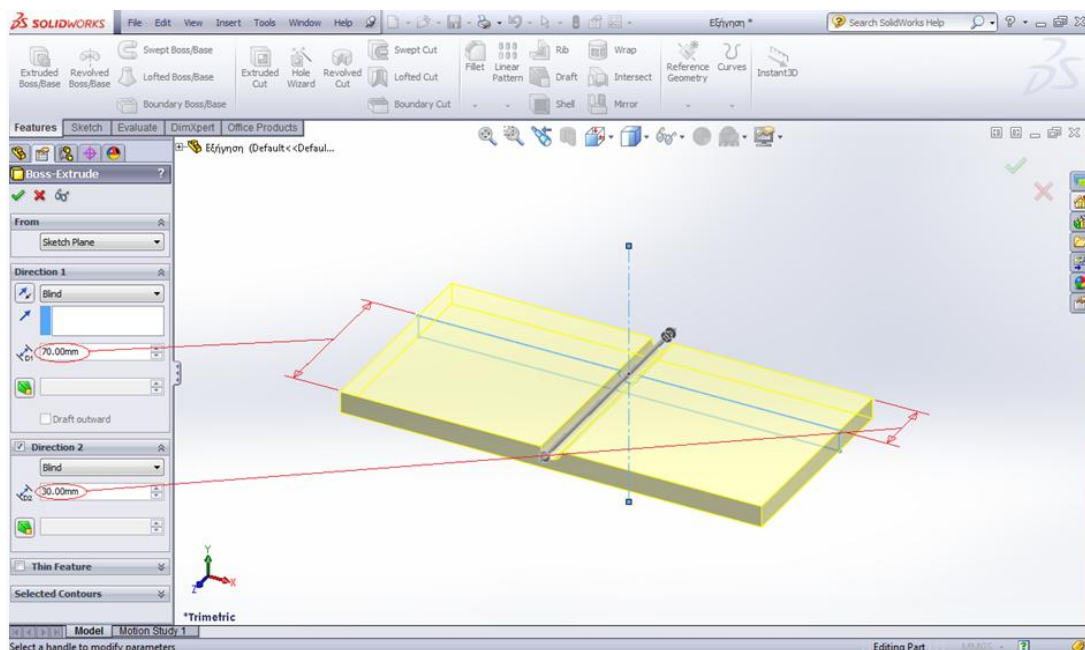
**ΣΧΗΜΑ 2.21:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Η συνθήκη **Mid Plane** μας επιτρέπει να εκτίνουμε το στερεό μας και προς τις δύο κάθετες στο επίπεδο σχεδίασης κατευθύνσεις, ενώ η διάσταση που ορίζουμε τώρα ισομοιράζεται στις δύο αυτές κατευθύνσεις (**ΣΧΗΜΑ 2.22**).



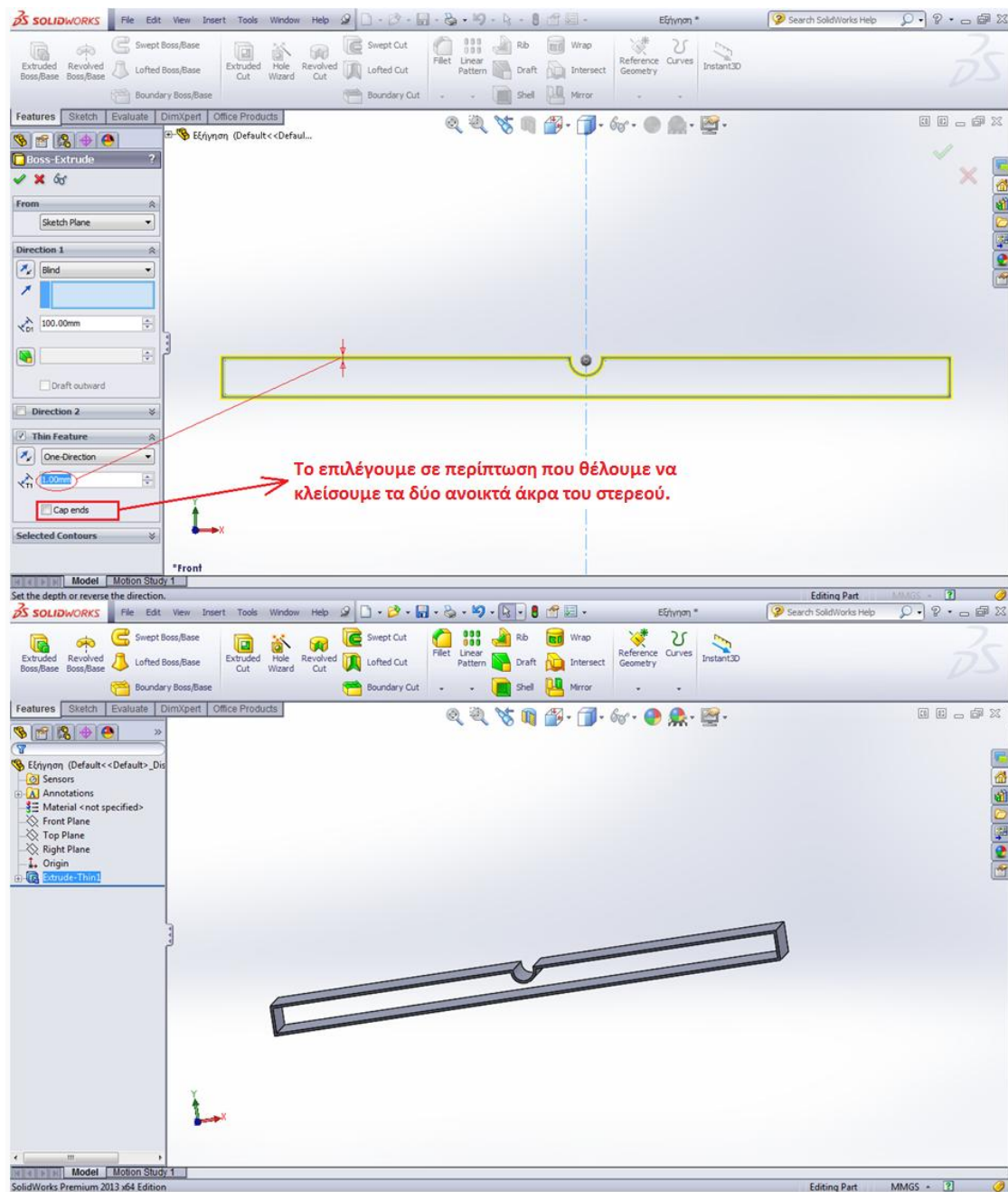
**ΣΧΗΜΑ 2.22:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

- Εάν θέλουμε το στερεό μας να εκτίνεται σε άνισα βάθη προς τις δύο κατευθύνσεις, τότε θα πρέπει να πάμε στην ενότητα **Direction 2** (η οποία για προφανείς λόγους δεν είναι διαθέσιμη όταν η συνθήκη μας είναι η **Mid Plane**) και να ορίσουμε εμείς το κατά πόσο το στερεό θα εκταθεί προς την αντίθετη της **Direction 1** κατεύθυνση (**ΣΧΗΜΑ 2.23**).



**ΣΧΗΜΑ 2.23:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.


- Εάν δεν θέλουμε να δώσουμε συμπαγή μορφή στο στερεό, επιλέγουμε την ενότητα **Thin Feature**, με την οποία το τελευταίο λαμβάνει κελυφοειδή μορφή (**ΣΧΗΜΑ 2.24**).

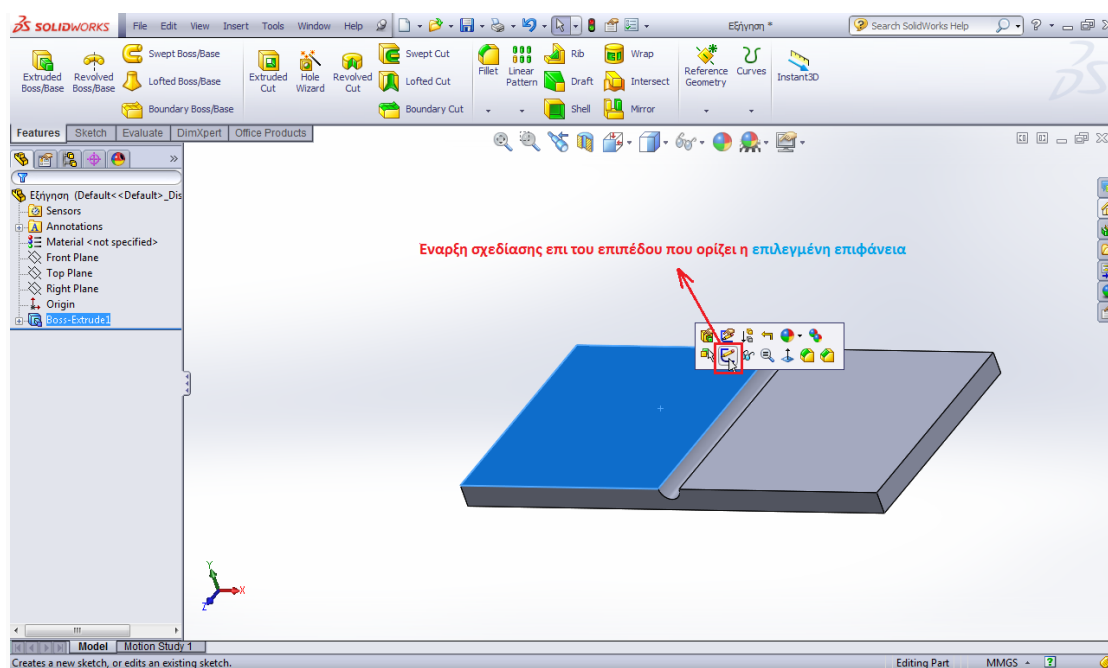


**ΣΧΗΜΑ 2.24:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.





### 2.5.2.2 Εντολή “ Extruded Cut “

Με την εντολή αυτή πραγματοποιούμε απότμηση ή διάτρηση σε ένα στερεό σώμα. Το μόνο που χρειάζεται είναι η σχεδίαση του κατάλληλου περιγράμματος όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

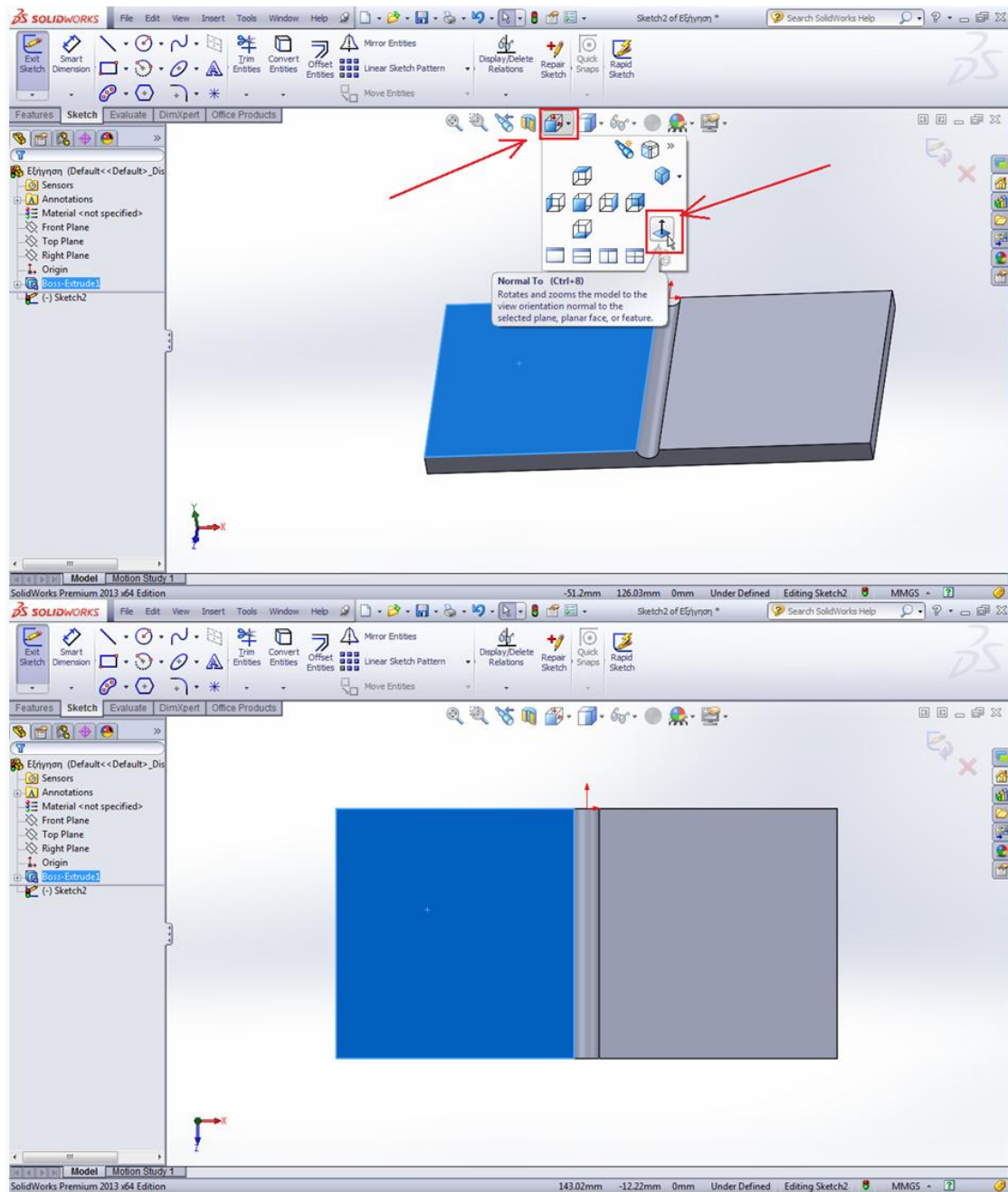
Επιλέγουμε, αρχικά, με αριστερό κλικ την επιφάνεια στην οποία θα σχεδιάσουμε το περίγραμμα που εξυπηρετεί τις ανάγκες μας. Εκείνη τη στιγμή εμφανίζεται ένα εικονίδιο, το οποίο περιέχει ορισμένες βασικές εντολές. Εμείς επιλέγουμε την εντολή <sup>3</sup>, για να ξεκινήσουμε να σχεδιάζουμε επί του επιπέδου που ορίζει η επιφάνεια που έχουμε επιλέξει (ΣΧΗΜΑ 2.25).



**ΣΧΗΜΑ 2.25:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

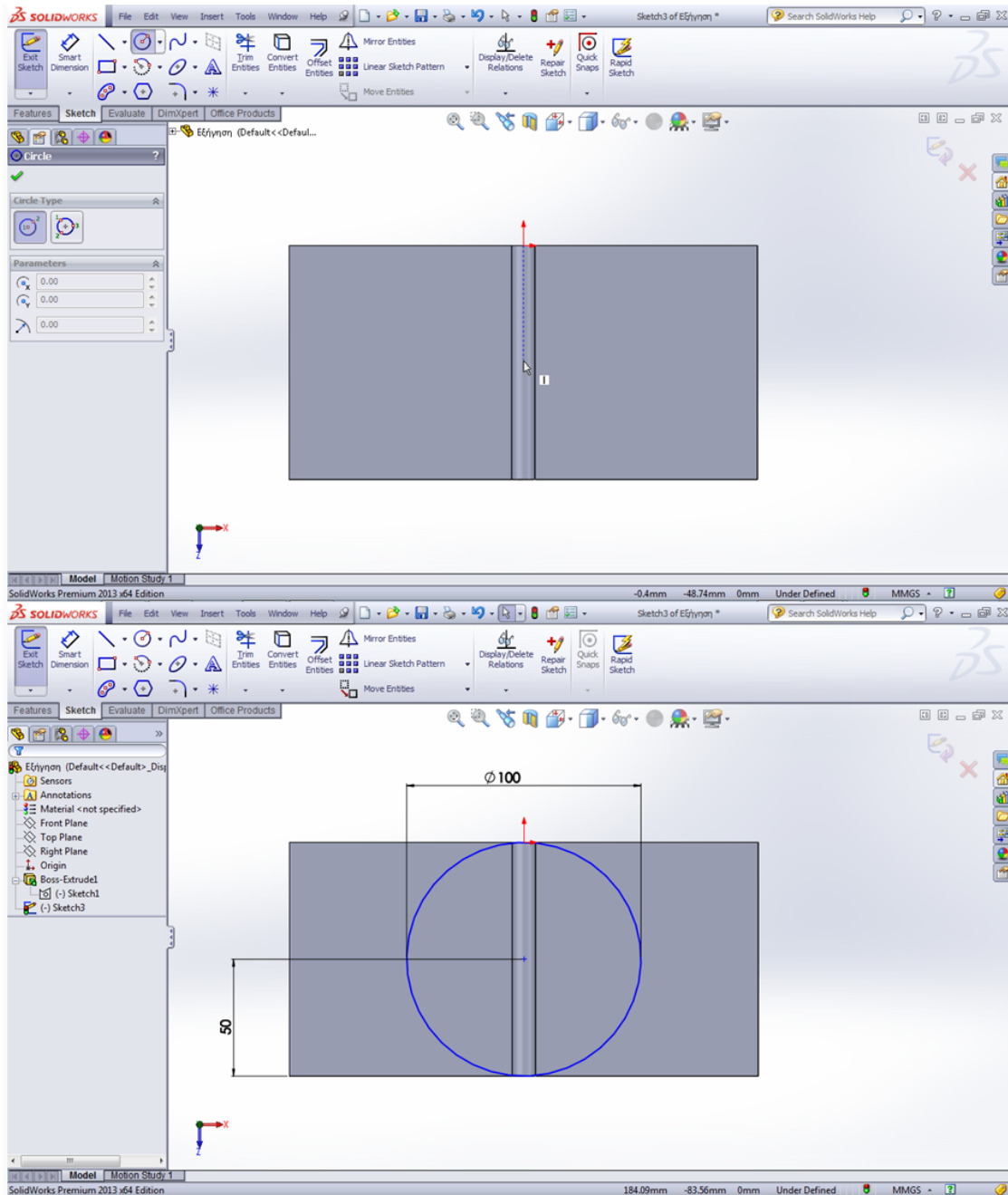
<sup>3</sup> Ακριβώς πάνω από την εντολή  **Sketch** βρίσκεται η εντολή  **Edit Sketch**, η επιλογή της οποίας έχει ως αποτέλεσμα το άνοιγμα του σχεδίου από το οποίο προήλθε το συγκεκριμένο στερεό. Η τελευταία μπορεί, επίσης, να επιλεγεί πηγαίνοντας στο δέντρο ενεργειών, πατώντας αριστερό κλικ στο Feature που αντιστοιχεί το σχέδιο που μας ενδιαφέρει, στην προκειμένη περίπτωση στο  **Boss-Extrude1**, και ύστερα επιλέγοντας το εικονίδιο  στο παράθυρο που θα εμφανιστεί.

Στη συνέχεια, με την εντολή **Normal To** καθιστούμε το επίπεδο σχεδίασης παράλληλο με το επίπεδο της οθόνης του υπολογιστή, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, για την όσο το δυνατόν ευκολότερη σχεδίαση (**ΣΧΗΜΑ 2.26**).



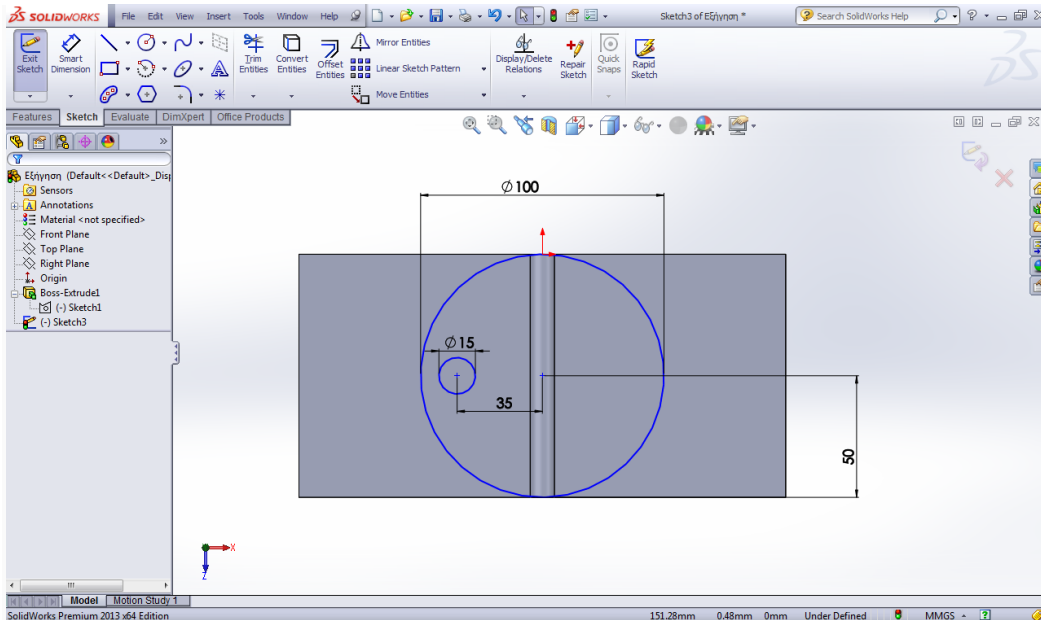
**ΣΧΗΜΑ 2.26:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Σχεδιάζουμε ένα κύκλο με το κέντρο του να ανήκει στη νοητή κατακόρυφη ευθεία από την αρχή των αξόνων, με τη βοήθεια της διακεκομμένης που εμφανίζεται. Στη συνέχεια, ορίζουμε την διάμετρο του κύκλου στα 100mm, καθώς και την απόσταση του κέντρου του από την κάτω ακμή του στερεού στα 50mm (**ΣΧΗΜΑ 2.27**).




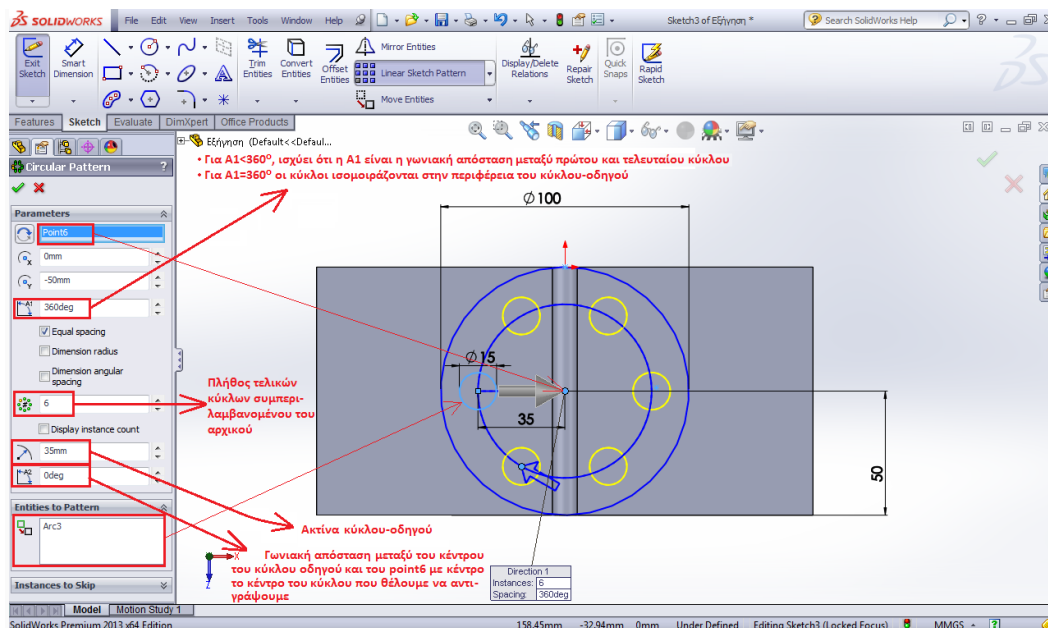
**ΣΧΗΜΑ 2.27:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Σχεδιάζουμε, τώρα, έναν ακόμη κύκλο διαμέτρου 15mm με το κέντρο του να απέχει 35mm από το κέντρο του προηγούμενου κύκλου και την ευθεία που ορίζεται από τα δύο κέντρα να είναι οριζόντια (με τη βοήθεια και πάλι της διακεκομμένης που εμφανίζεται) (**ΣΧΗΜΑ 2.28**).



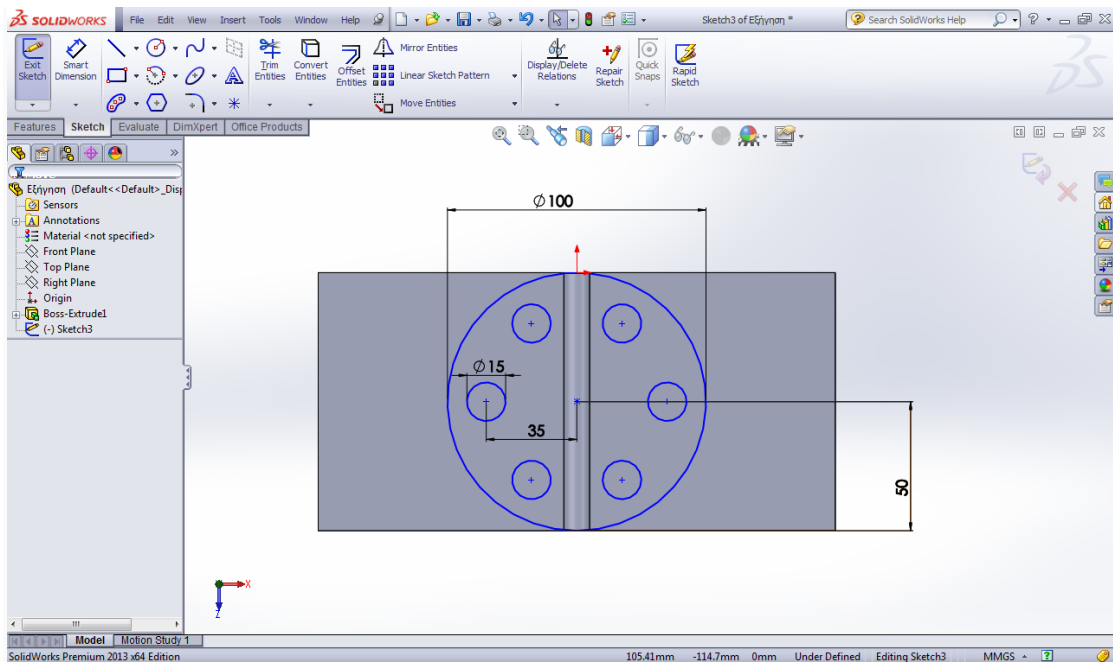
**ΣΧΗΜΑ 2.28:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Με την εντολή  **Circular Sketch Pattern** θα δημιουργήσουμε αντίγραφα του μικρού κύκλου, των οποίων τα κέντρα θα κατανεμηθούν επί της γραμμής κύκλου-οδηγού, ομόκεντρου του μεγάλου και ακτίνας 35mm, σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις (**ΣΧΗΜΑ 2.29**, **ΣΧΗΜΑ 2.30**).



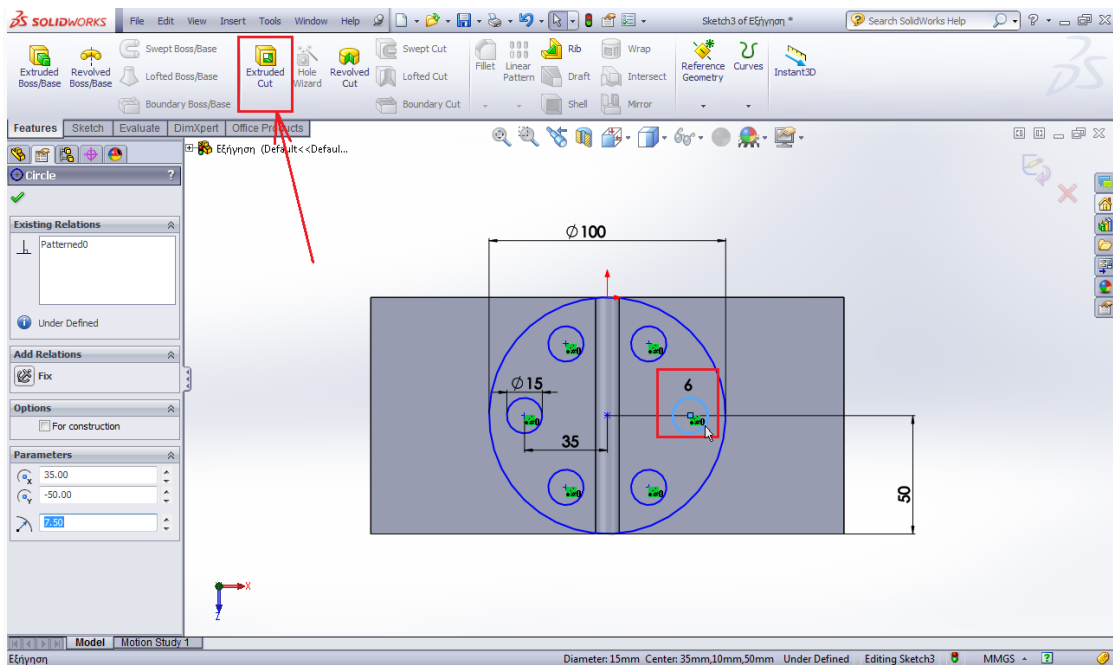
**ΣΧΗΜΑ 2.29:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.





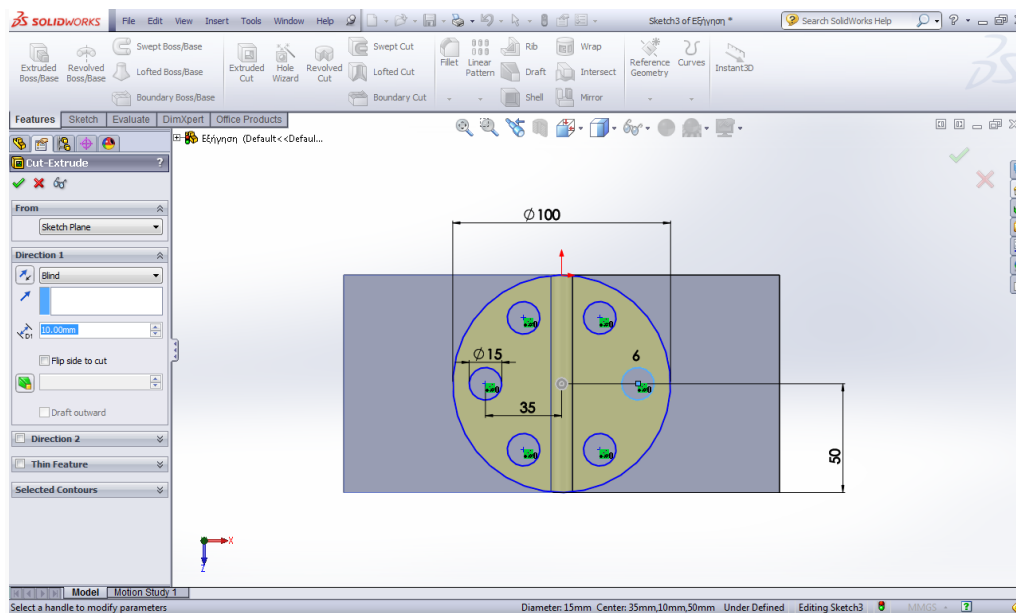
**ΣΧΗΜΑ 2.30:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Αν, τώρα, επιλέξουμε έναν από τους έξι μικρούς κύκλους, θα εμφανιστεί κοντά σε αυτούς το πλήθος τους, το οποίο με διπλό κλικ μπορούμε να μεταβάλλουμε (**ΣΧΗΜΑ 2.31**). Επίσης, αν αλλάξουμε τη διάσταση των 35mm, τότε θα αλλάξει αυτόματα και η θέση των υπολοίπων πέντε κύκλων.



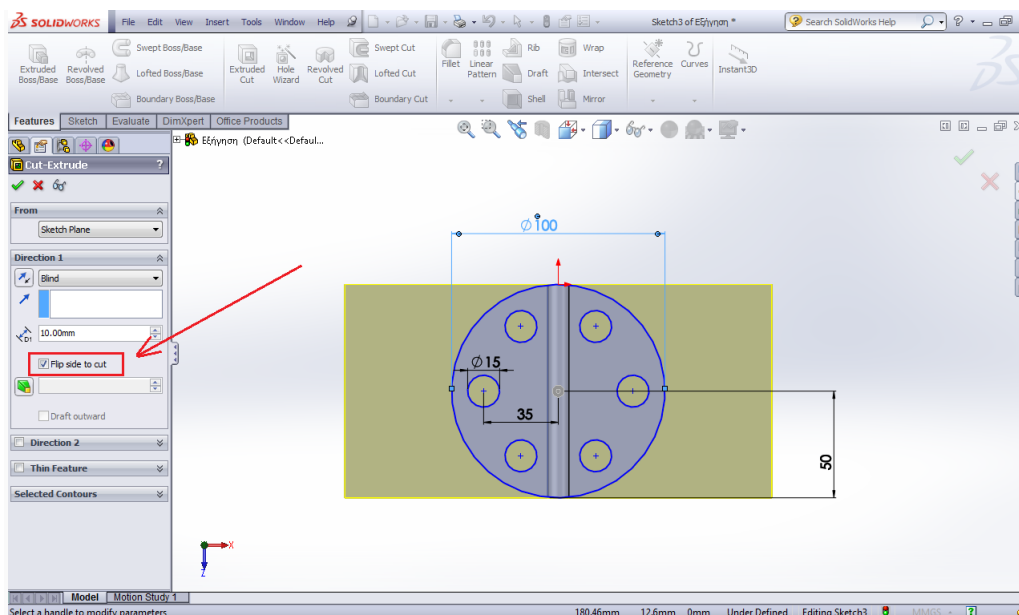
**ΣΧΗΜΑ 2.31:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Επιλέγουμε, λοιπόν, το εικονίδιο **Extruded Cut**, όπως φαίνεται παραπάνω (**ΣΧΗΜΑ 2.31**). Στην οθόνη μας εμφανίζονται τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.32**), όπου με αχνό κίτρινό εικονίζεται το κομμάτι που αφαιρείται.



**ΣΧΗΜΑ 2.32:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

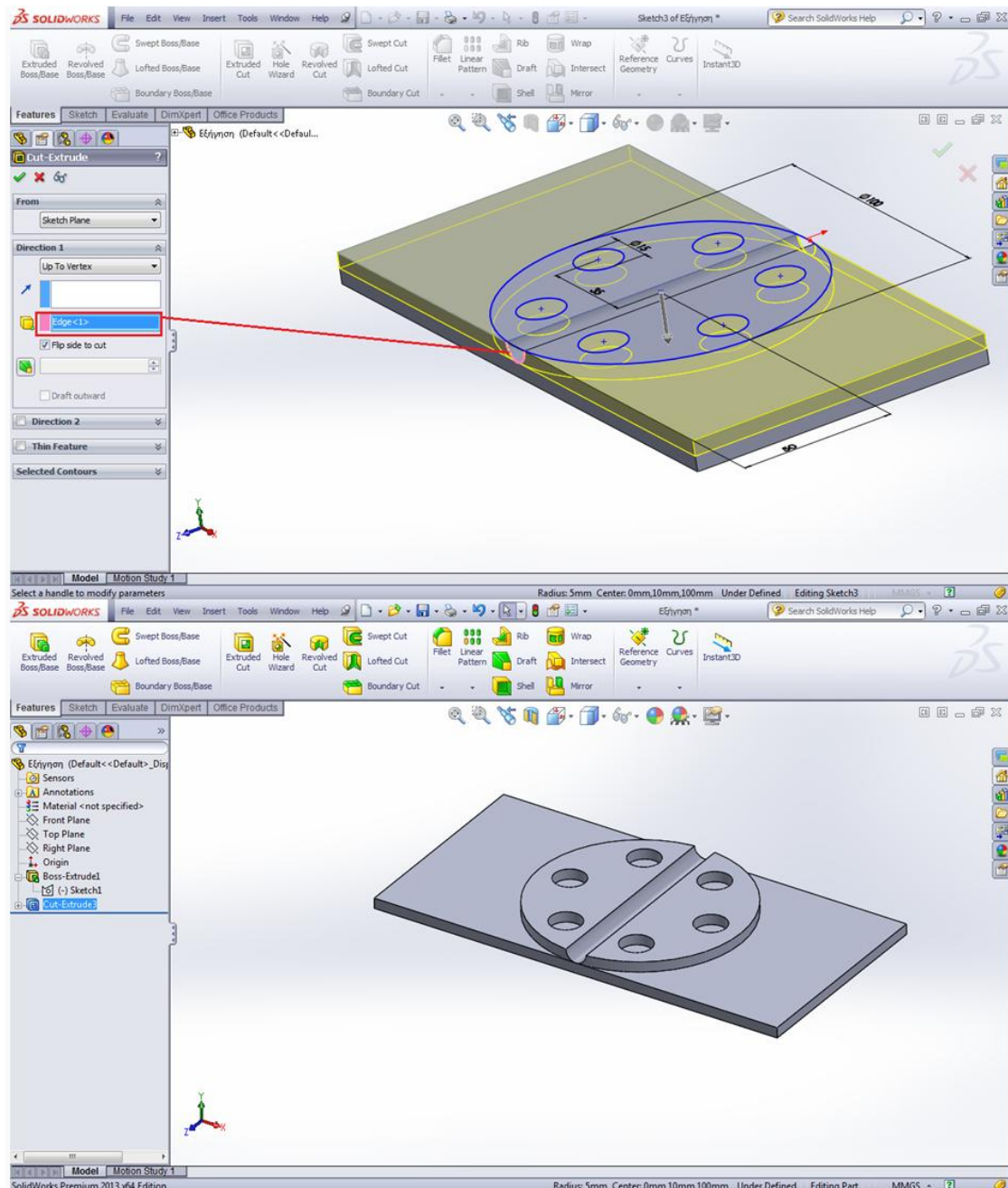
- Για την ενότητα **From** ισχύουν ακριβώς τα ίδια όπως στην **Extruded Boss/Base**
- Στην ενότητα **Direction1** καθορίζουμε τη συνθήκη αποκοπής, το βάθος αυτής, καθώς και το ποιες επιφάνειες θα κοπούν μέσω της εντολής **Flip side to cut**. Επιλέγοντας την τελευταία, κόβουμε τις αντίθετες, ακριβώς, επιφάνειες από αυτές του προηγούμενου σχήματος (**ΣΧΗΜΑ 2.33**).



**ΣΧΗΜΑ 2.33:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

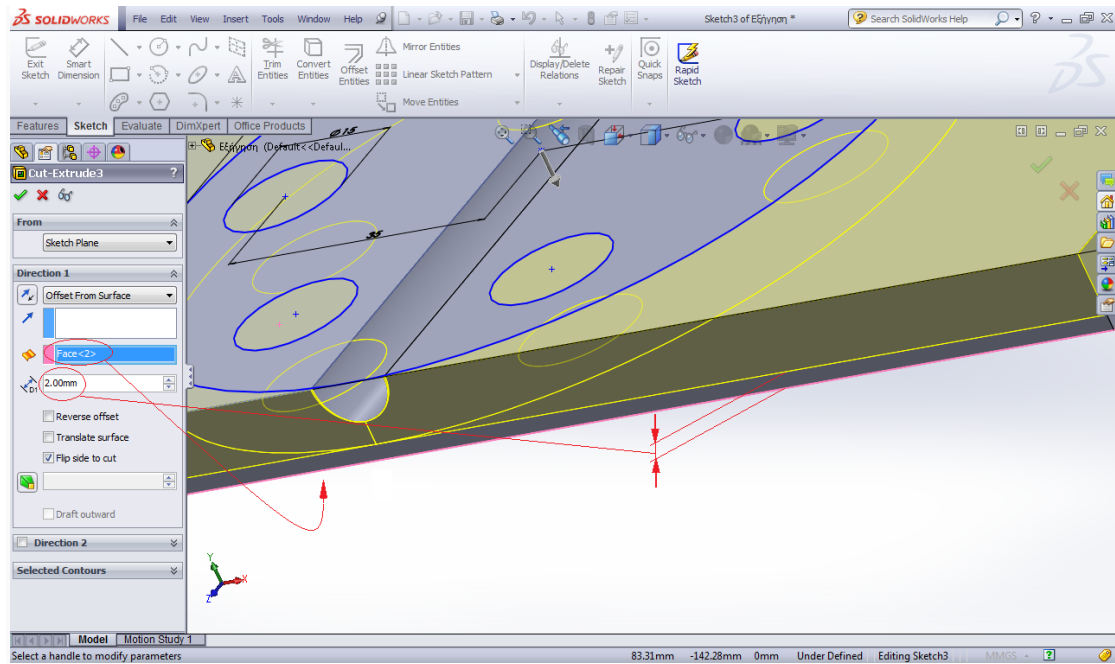
Όσον αφορά στις συνθήκες αποκοπής, δεν διαφέρουν σε τίποτα από τις αντίστοιχες συνθήκες εξώθησης του **Extruded Boss/Base**, παραμόνο στο ότι εδώ αναφερόμαστε σε αποβολή υλικού. Παρόλαυτά, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συνθήκες **Up To Vertex**, **Offset From Surface** και **Through All**.

**Up To Vertex:** αποκόπτουμε έως ένα συγκεκριμένο επίπεδο παράλληλο σε αυτό του περιγράμματος, το οποίο ορίζεται από σημείο, ακμή ή εφαπτομένη σε ακμή που έχουμε επιλέξει (**ΣΧΗΜΑ 2.34**).



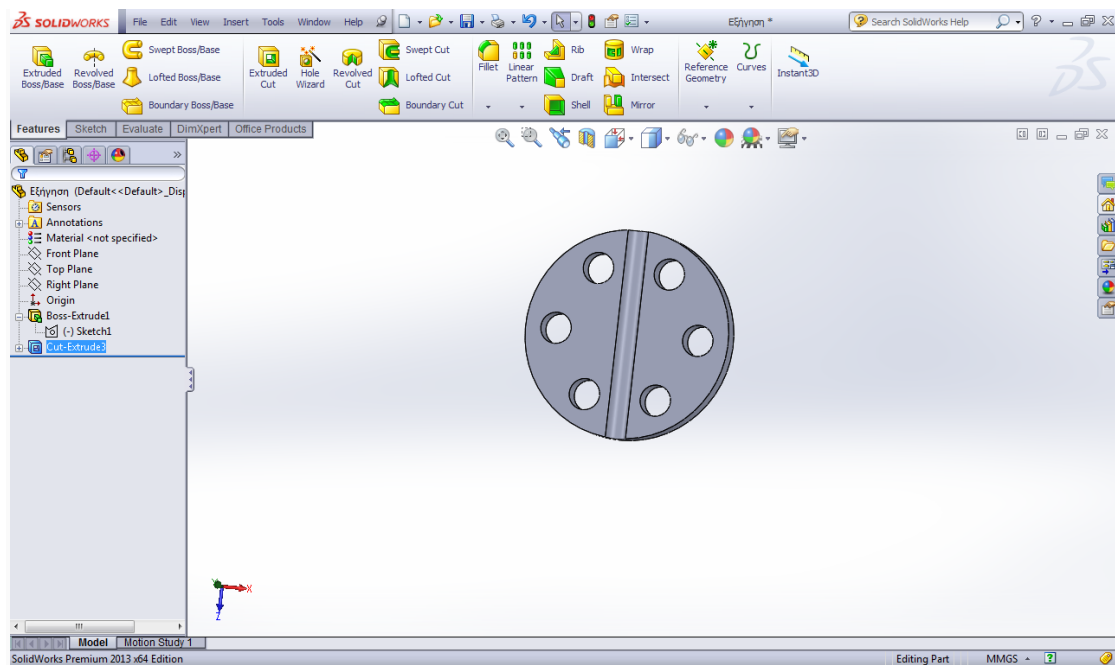
**ΣΧΗΜΑ 2.34:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

**Offset From Surface:** το βάθος κοπής εξαρτάται από την απόσταση που έχουμε ορίσει από επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση κοπής (**ΣΧΗΜΑ 2.35**).



**ΣΧΗΜΑ 2.35:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

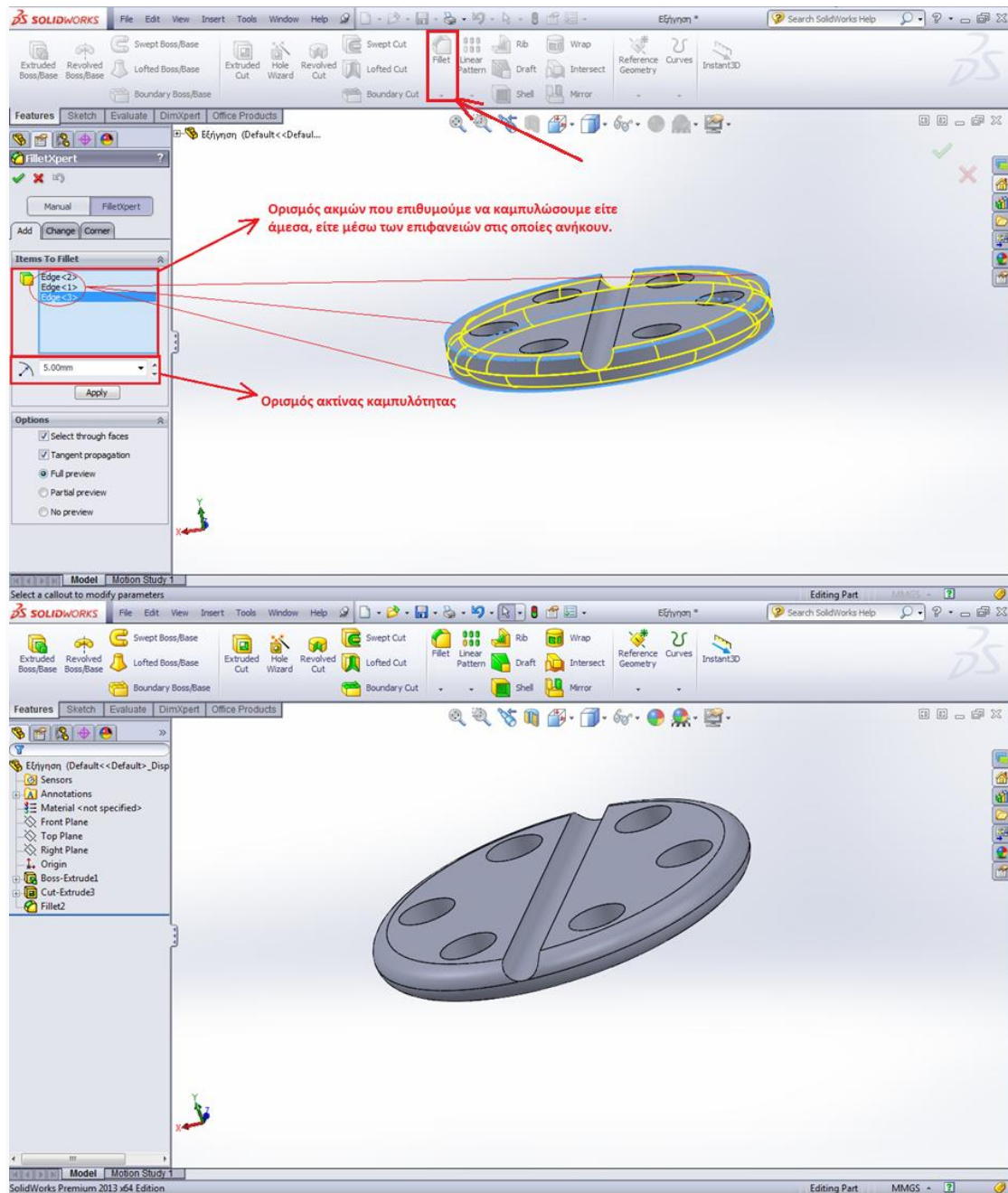
**Through All:** αποκοπή από πέρα έως πέρα (**ΣΧΗΜΑ 2.36**).



**ΣΧΗΜΑ 2.36:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.5.2.3 Εντολή “ Fillet ”

Με αυτή την εντολή έχουμε τη δυνατότητα να προσδώσουμε ακτίνα καμπυλότητας σε μία ή και περισσότερες ακμές του στερεού μας (**ΣΧΗΜΑ 2.37**).




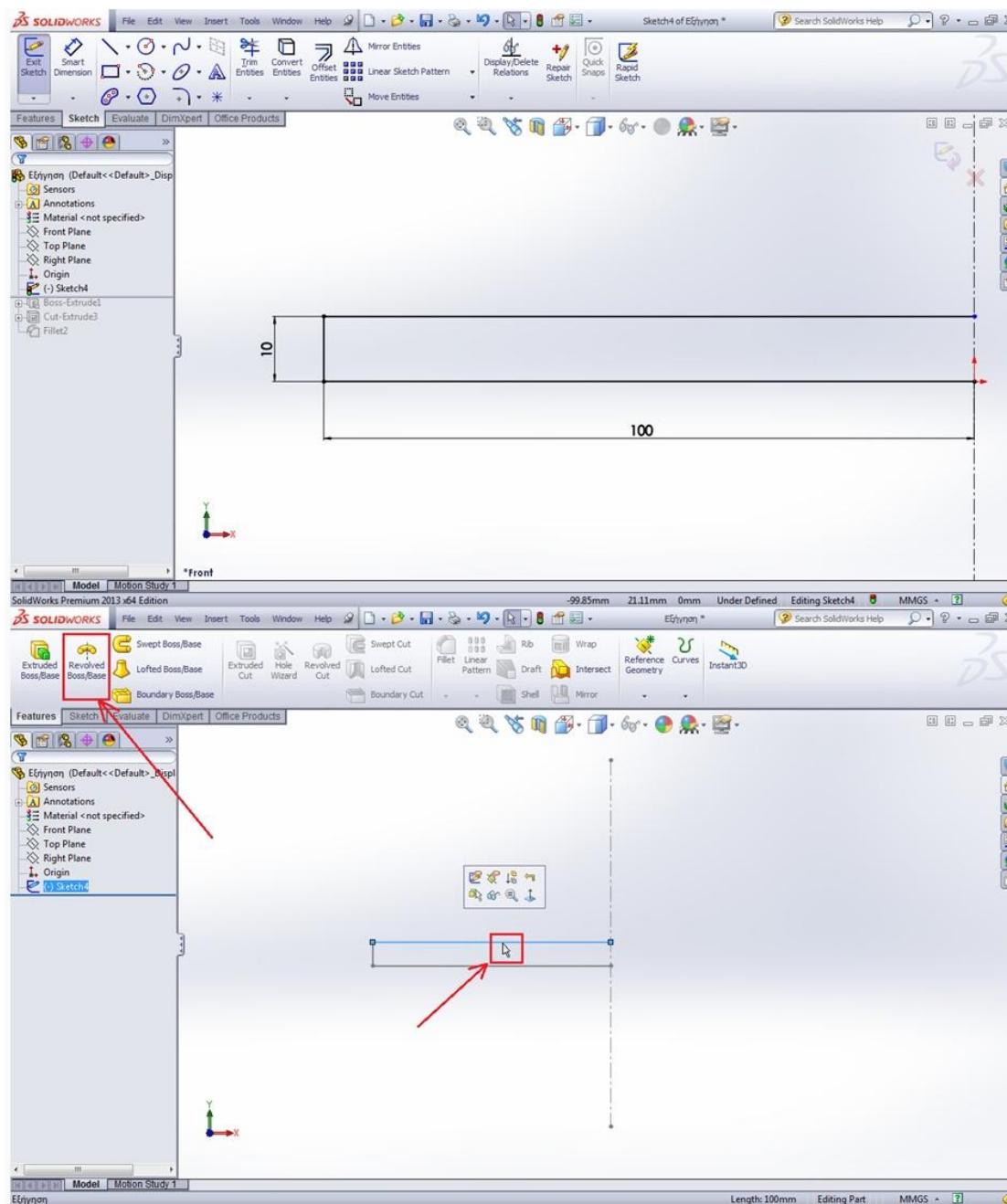
**ΣΧΗΜΑ 2.37:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

#### 2.5.2.4 Εντολή “ Revolved Boss/Base “

Η συγκεκριμένη εντολή μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα στερεό σώμα δια περιστροφής ενός **κλειστού** σχήματος περί συγκεκριμένο άξονα.

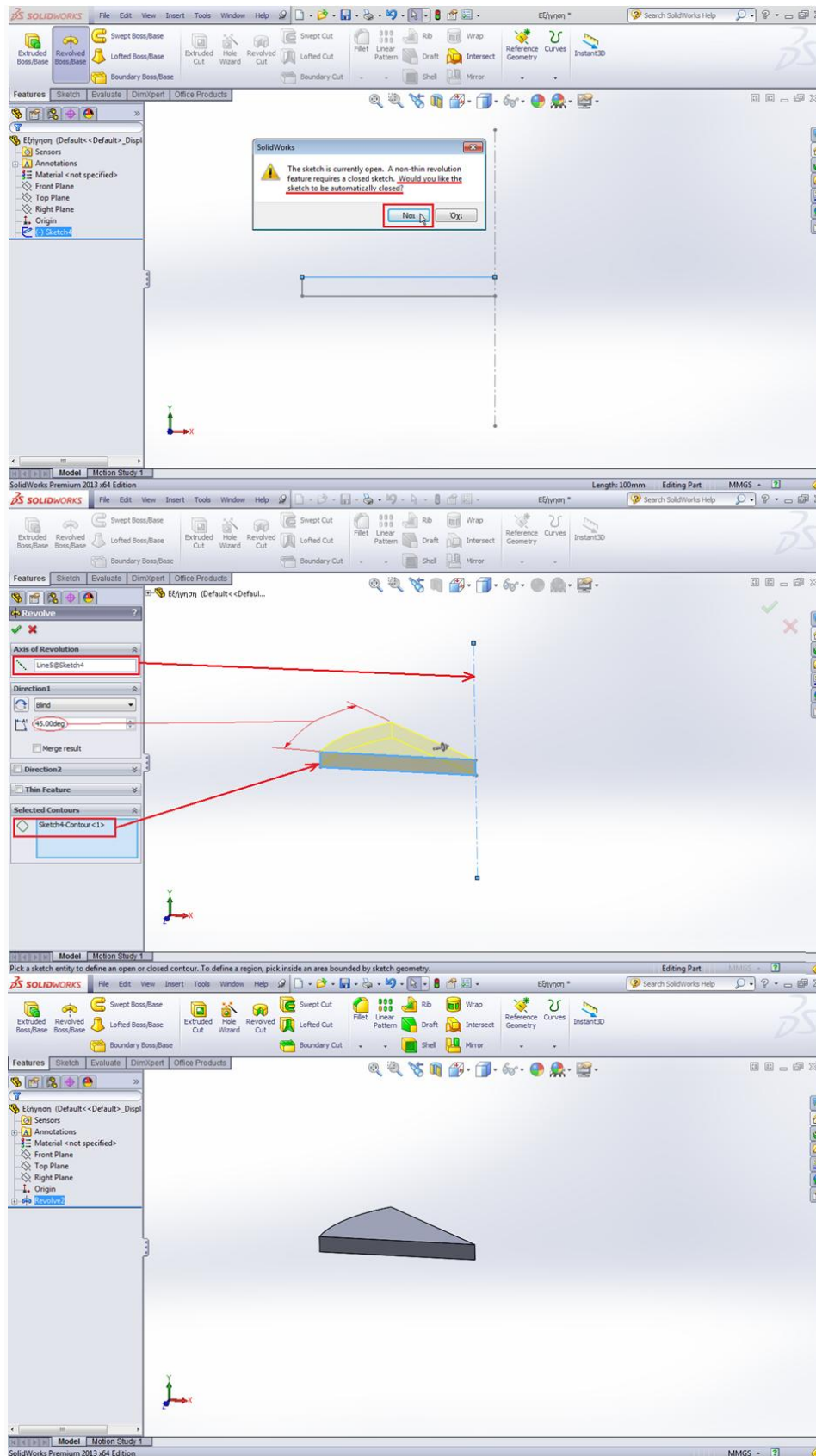
Στη συνέχεια, παρατίθεται παράδειγμα στο οποίο το σχήμα μας είναι αρχικά ανοικτό και κλείνει με τον τρόπο που θα δούμε στο **ΣΧΗΜΑ 2.39**.

Αρχικά, επιλέγουμε μία γραμμή του σχήματός μας και στη συνέχεια την εντολή  **Revolved Boss/Base** όπως φαίνεται παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.38**).



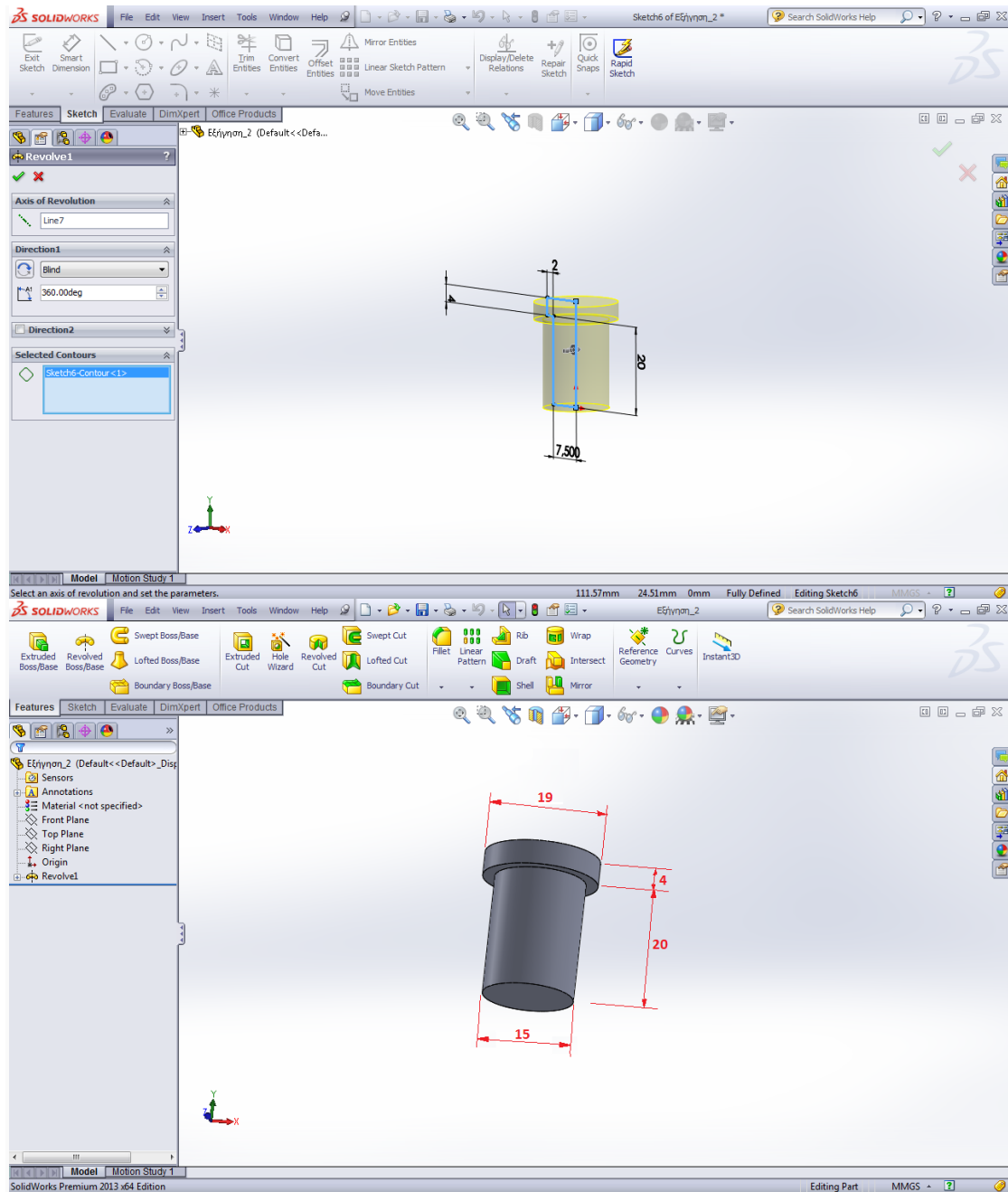
**ΣΧΗΜΑ 2.38:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Οπότε στην οθόνη μας εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα (**ΣΧΗΜΑ 2.39**) που αφορά στο αυτόματο κλείσιμο του σχεδίου, το οποίο και αποδεχόμαστε, ώστε να προχωρήσουμε .



**ΣΧΗΜΑ 2.39:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

Σε ένα καινούργιο αρχείο με όνομα **Εξήγηση\_2**, δημιουργούμε, μέσω της εντολής **Revolved Boss/Base**, το παρακάτω αντικείμενο (**ΣΧΗΜΑ 2.40**).



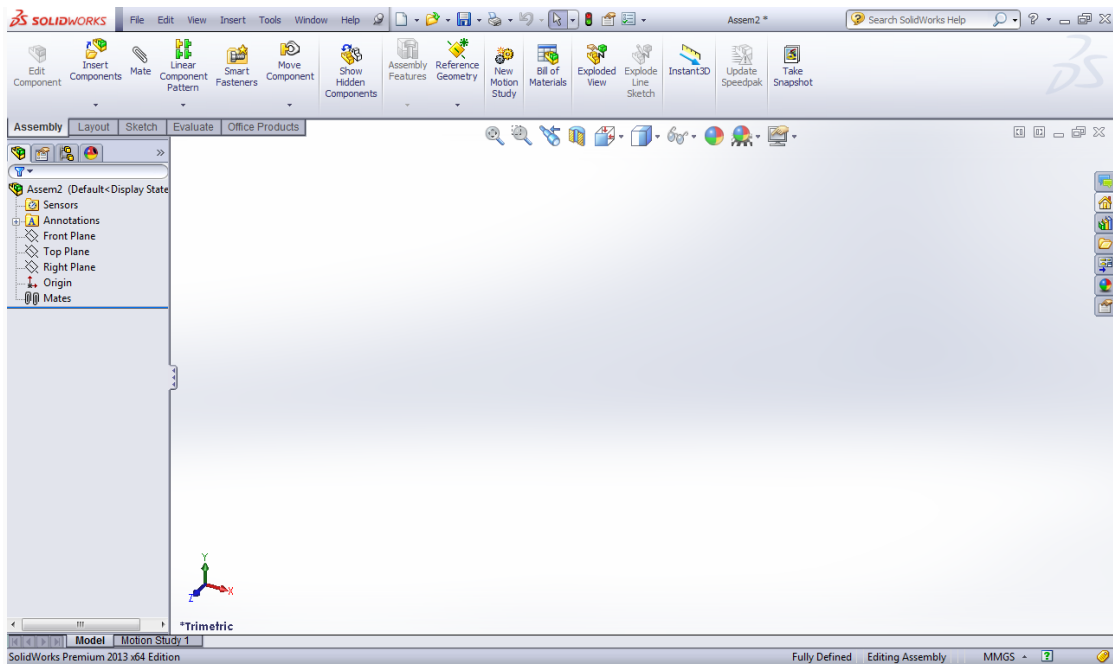
**ΣΧΗΜΑ 2.40:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 2.6 Συναρμολόγηση αντικειμένων

### 2.6.1 Αρχείο “Assembly”

Η συναρμολόγηση δύο ή περισσότερων αντικειμένων γίνεται εντός ενός αρχείου **Assembly**, το οποίο περιέχει τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 2.41**):

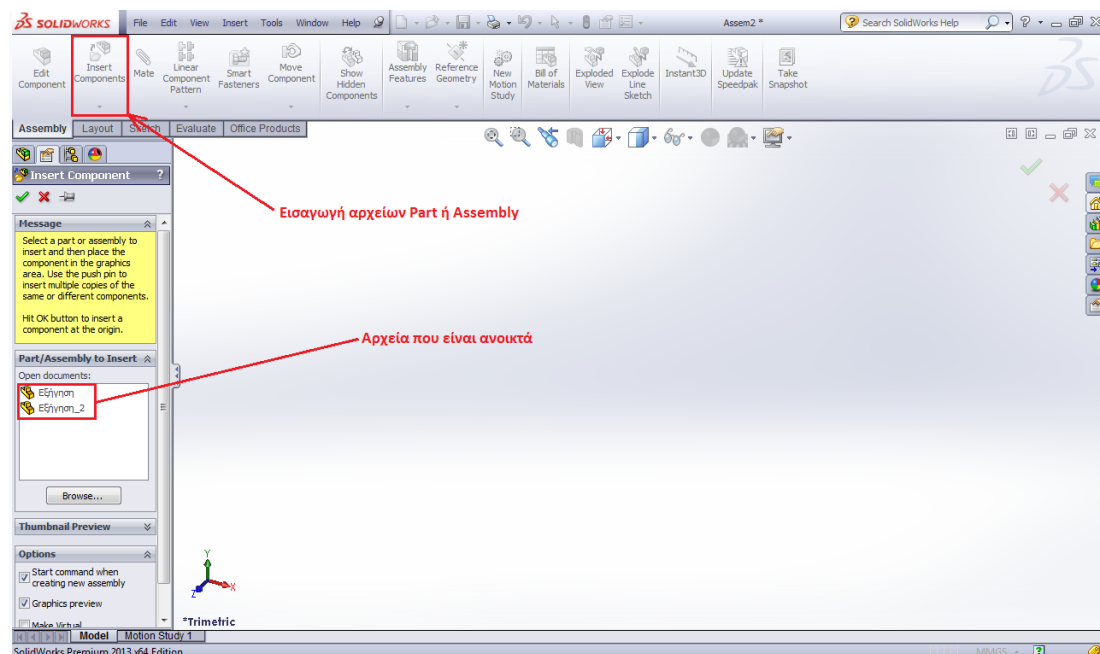




**ΣΧΗΜΑ 2.41:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

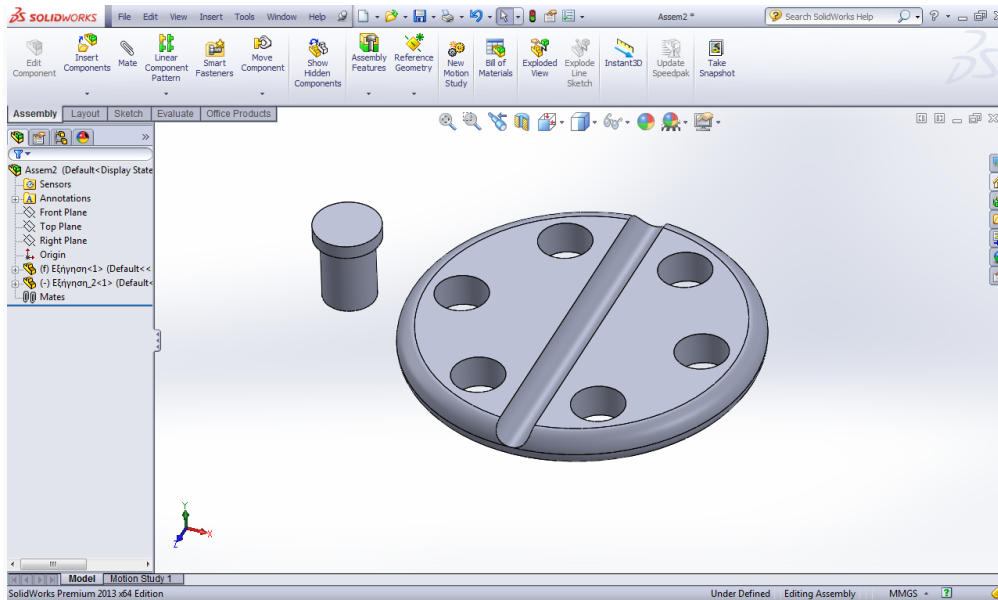
## 2.6.2 Εισαγωγή αντικειμένων μέσω της εντολής Insert Components

Με αυτή την εντολή εισάγουμε στο αρχείο Assembly τα προς συναρμολόγηση αντικείμενα (**ΣΧΗΜΑ 2.42**).



**ΣΧΗΜΑ 2.42:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

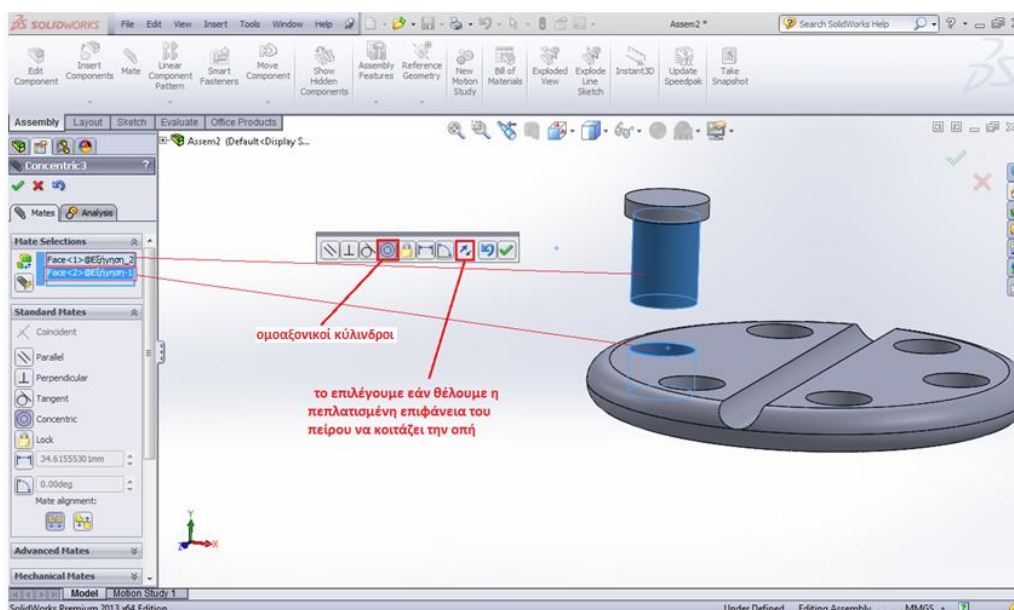
Επιλέγοντας ένα από τα δύο αρχεία (**Εξήγηση**, **Εξήγηση\_2**) και πηγαίνοντας στον χώρο της σχεδίασης παρατηρούμε ότι το αντικείμενο του επιλεγμένου αρχείου είναι ενσωματωμένο στο βελάκι επιλογής και κινείται μαζί με αυτό. Για να το αποδεσμεύσουμε πατάμε αριστερό κλικ στο σημείο του χώρου που θέλουμε να το τοποθετήσουμε και το αντικείμενο μένει πλέον εκεί (**ΣΧΗΜΑ 2.43**).



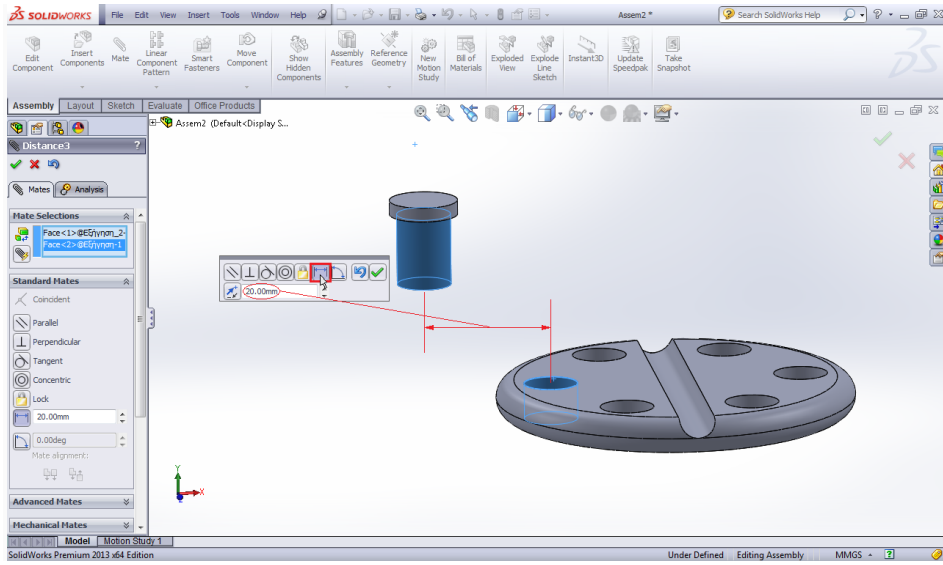
**ΣΧΗΜΑ 2.43:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.6.3 Σύνδεση αντικειμένων με τη βοήθεια της εντολής Mate

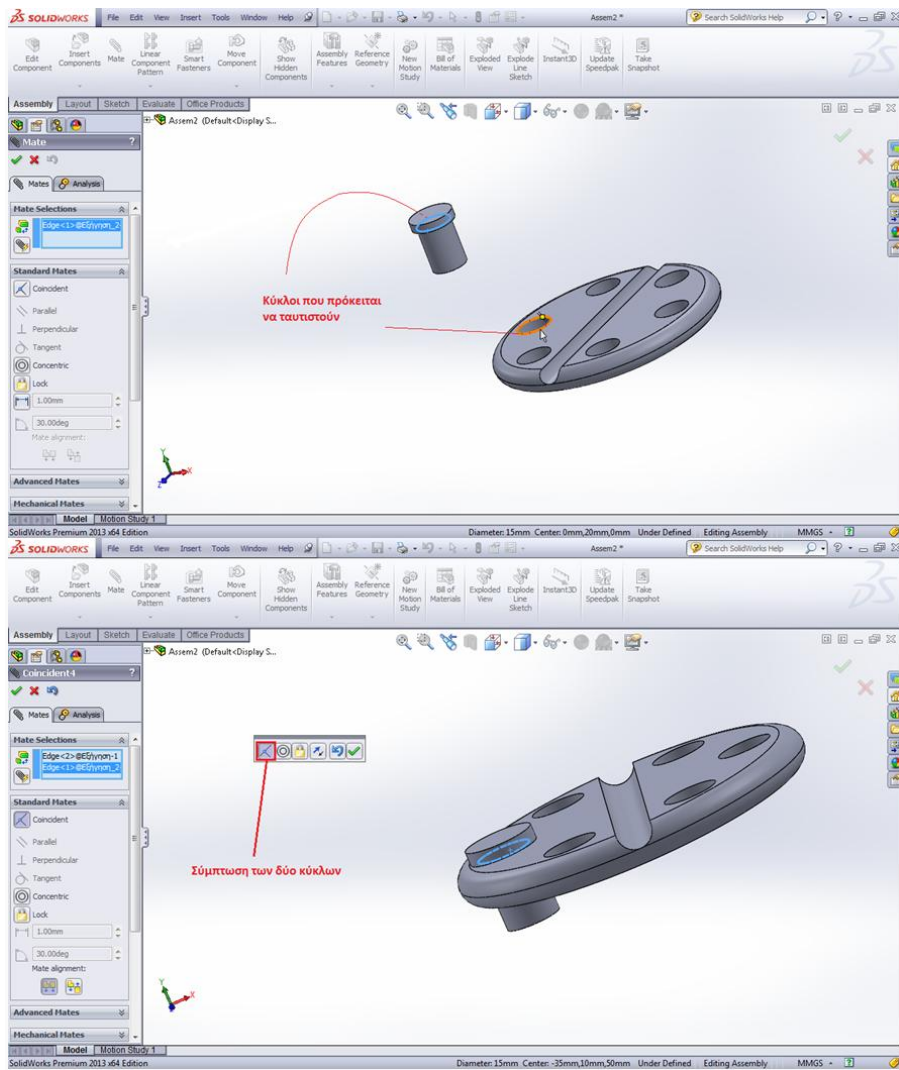
Με την εντολή αυτή, είμαστε σε θέση να δημιουργήσουμε σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των δύο συνιστωσών, είτε μέσω των επιφανειών, είτε των ακμών τους (**ΣΧΗΜΑΤΑ 2.44, 2.45, 2.46**).



**ΣΧΗΜΑ 2.44:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.



**ΣΧΗΜΑ 2.45:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

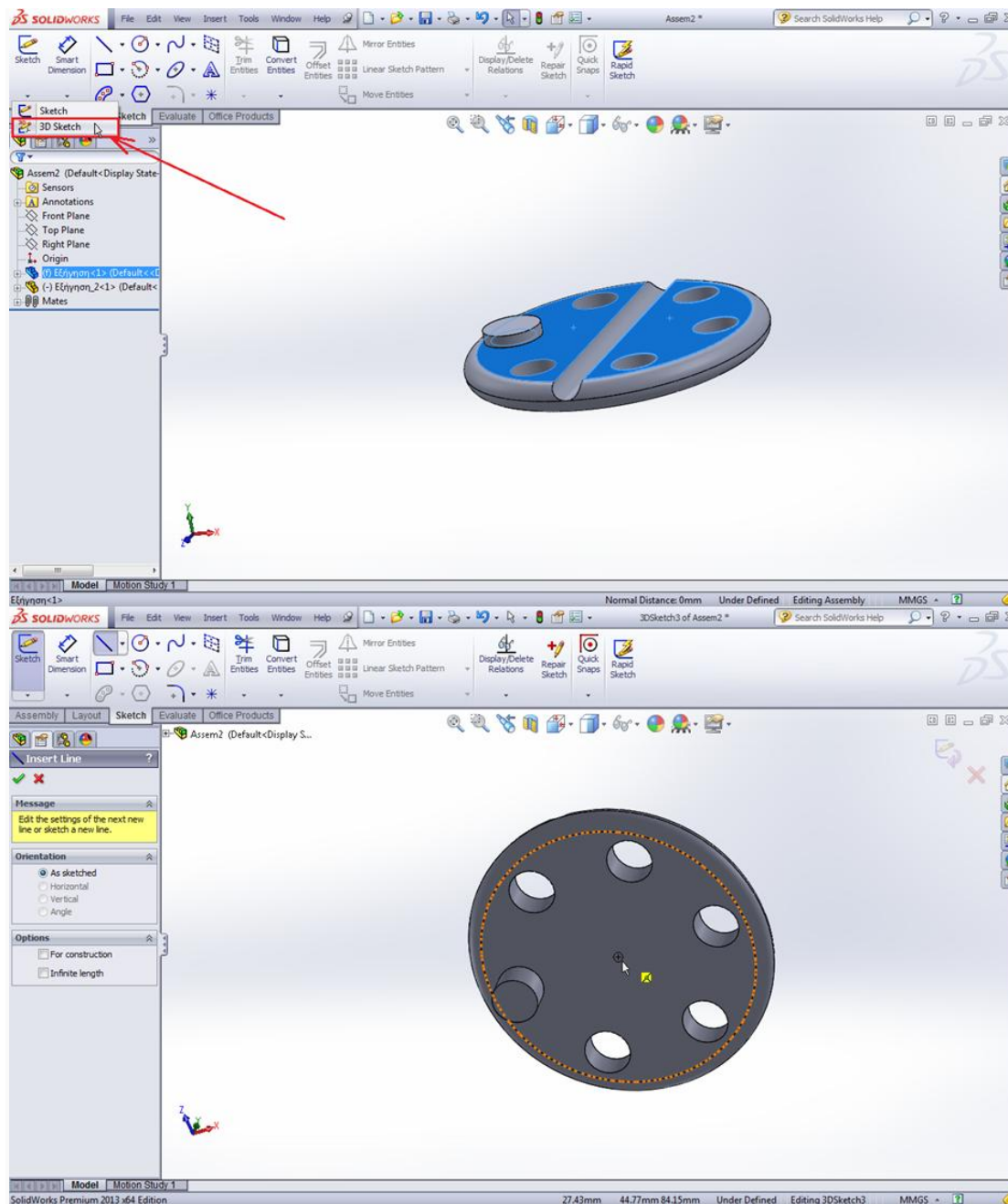


**ΣΧΗΜΑ 2.46:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

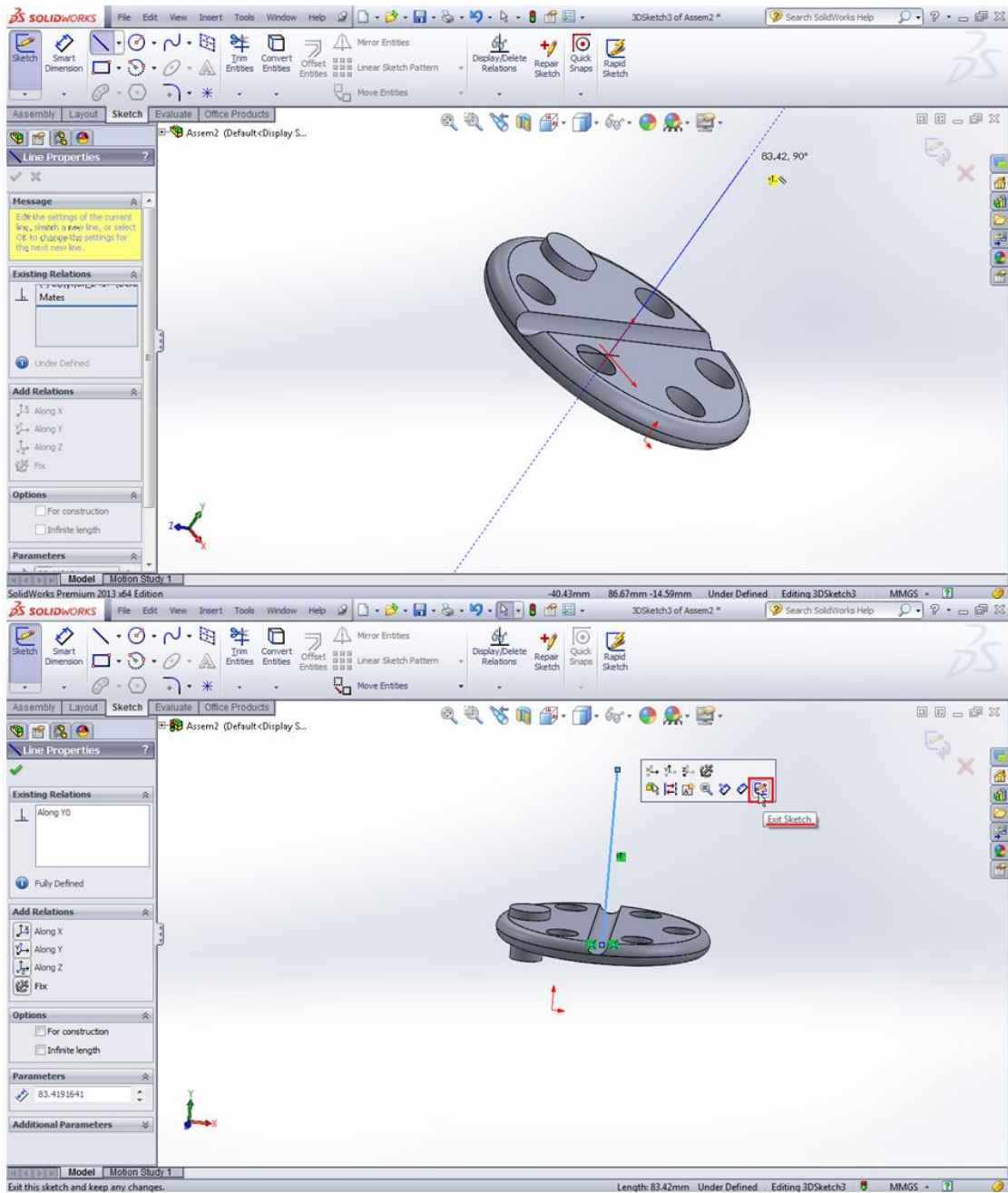
## 2.6.4 Ορισμένες εντολές πολλαπλασιασμού αντικειμένων

### 2.6.4.1 Εντολή “ Circular Component Pattern ”

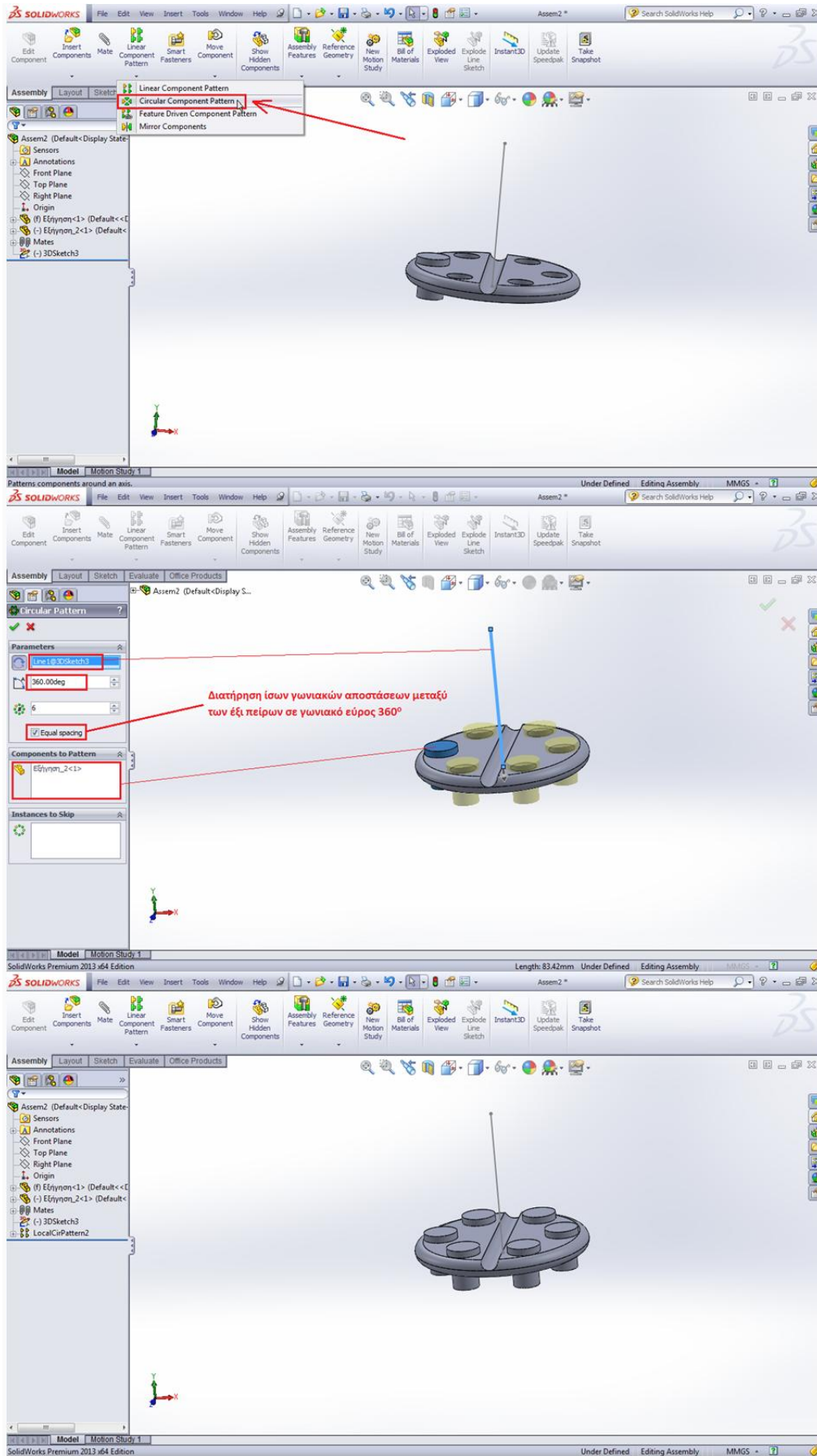
Με τη βοήθεια της τρισδιάστατης σχεδίασης θα σχεδιάσουμε έναν άξονα κάθετο στο επίπεδο που ορίζει η μπλε επιφάνεια (ΣΧΗΜΑ 2.47 , ΣΧΗΜΑ 2.48), ο οποίος θα ισαπέχει από τα κέντρα των επιμέρους οπών και έπειτα θα πραγματοποιήσουμε την κυκλική αντιγραφή όπως ορίζει το ΣΧΗΜΑ 2.49 .



**ΣΧΗΜΑ 2.47:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.



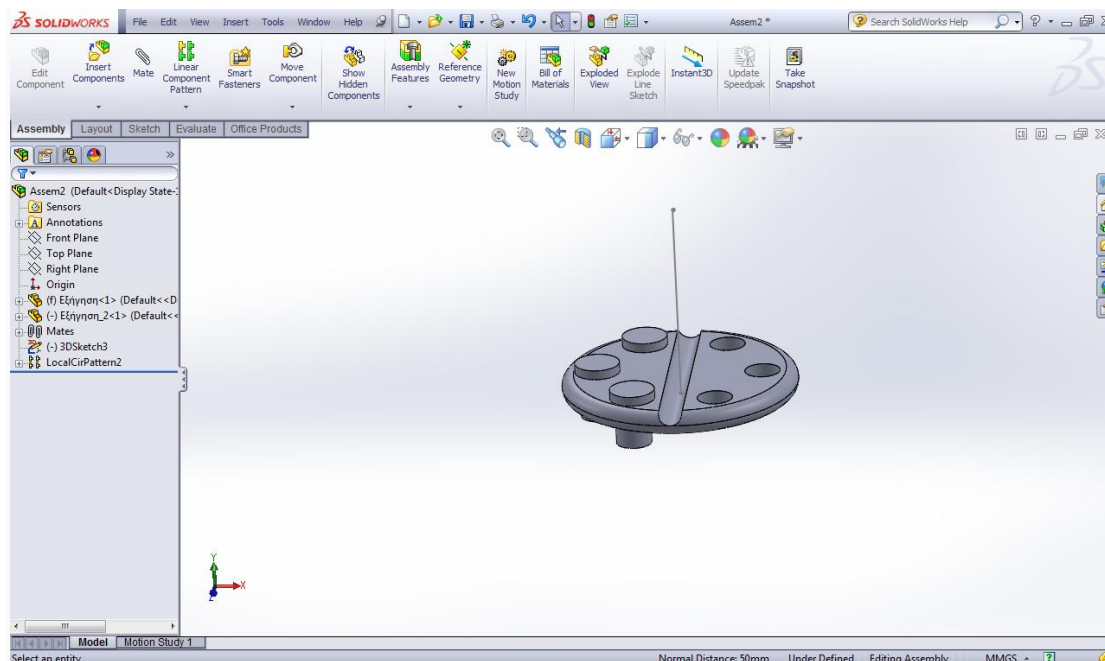
**ΣΧΗΜΑ 2.48:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.




**ΣΧΗΜΑ 2.49:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

### 2.6.4.2 Εντολή “ Mirror Components ”

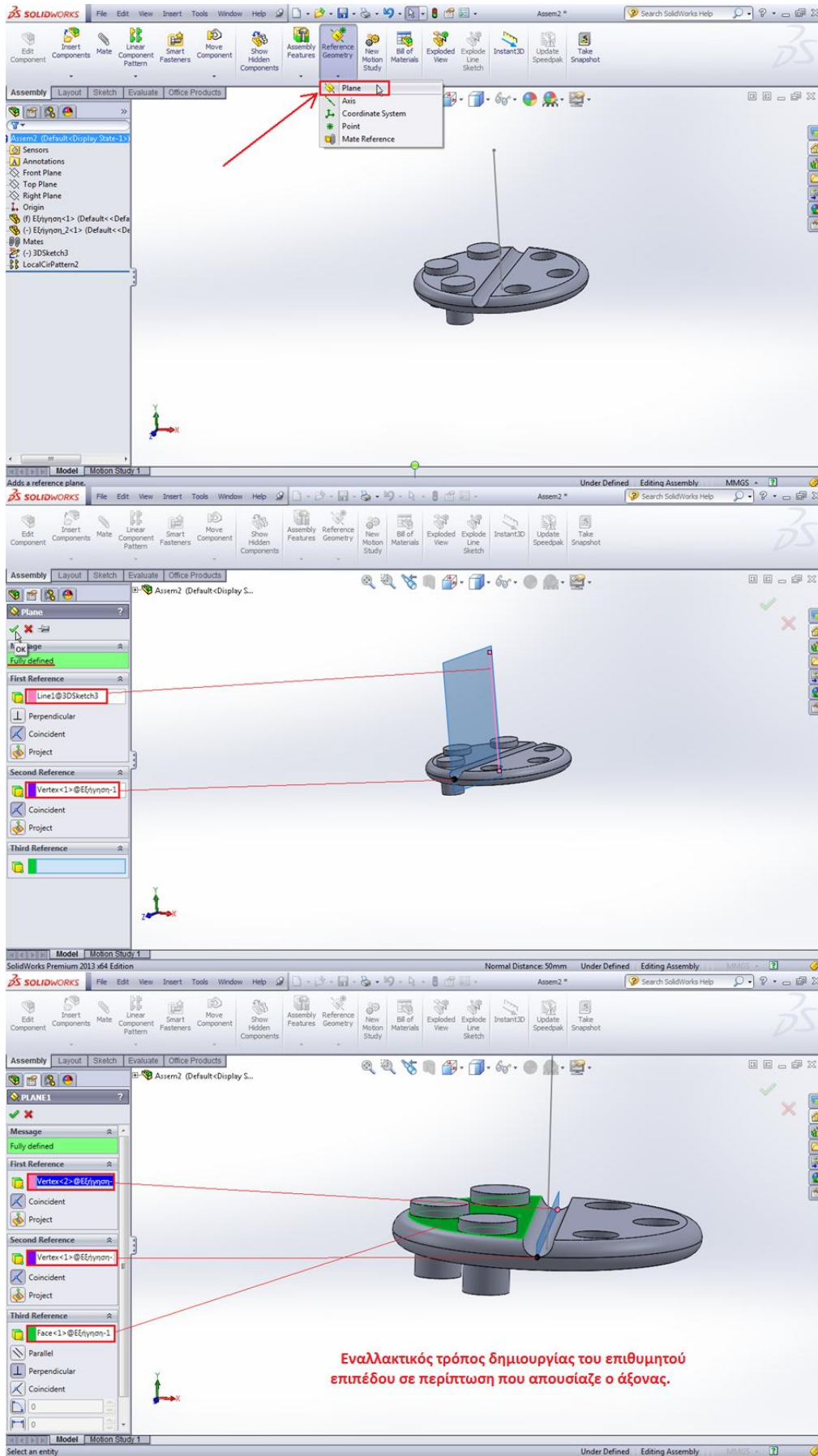
Έστω ότι έχουμε τοποθετήσει μόνο τους τρεις πείρους αριστερά του αυλακιού και θέλουμε να τοποθετήσουμε άλλους τρεις στην άλλη μεριά (**ΣΧΗΜΑ 2.50**).



**ΣΧΗΜΑ 2.50:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

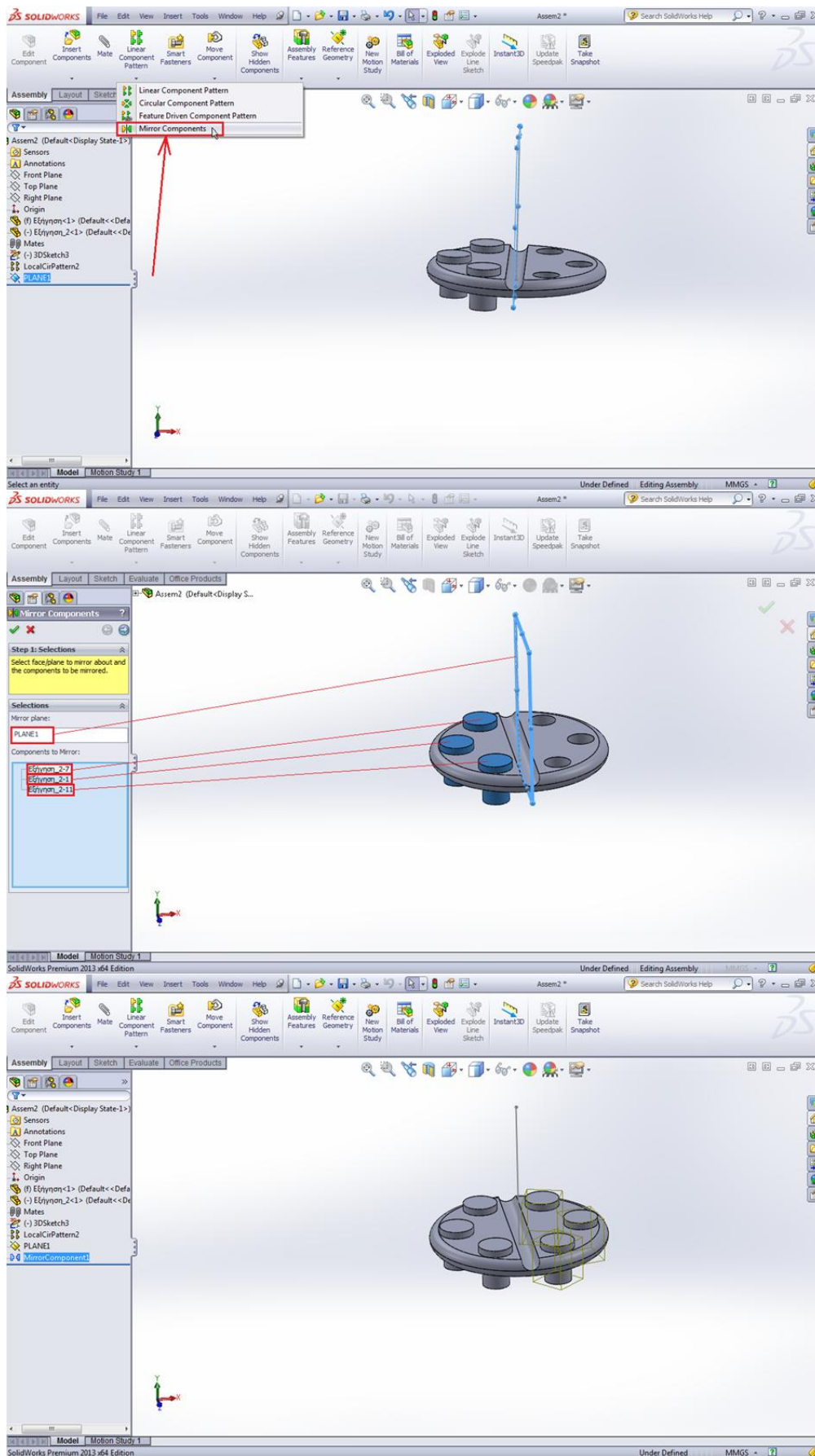
Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εντολής  **Mirror Components** ορίζοντας ένα επίπεδο συμμετρίας, καθώς και τα αντικείμενα που επιθυμούμε να αντιγράψουμε.

Δημιουργούμε, αρχικά, το επίπεδό μας, έτσι ώστε να προκύψει κάθετο στο επίπεδο των οπών και παράλληλο με την κατεύθυνση του αυλακιού (**ΣΧΗΜΑ 2.51**). Στη συνέχεια πραγματοποιούμε την κατοπτρική αντιγραφή σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 2.52**.



**ΣΧΗΜΑ 2.51:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

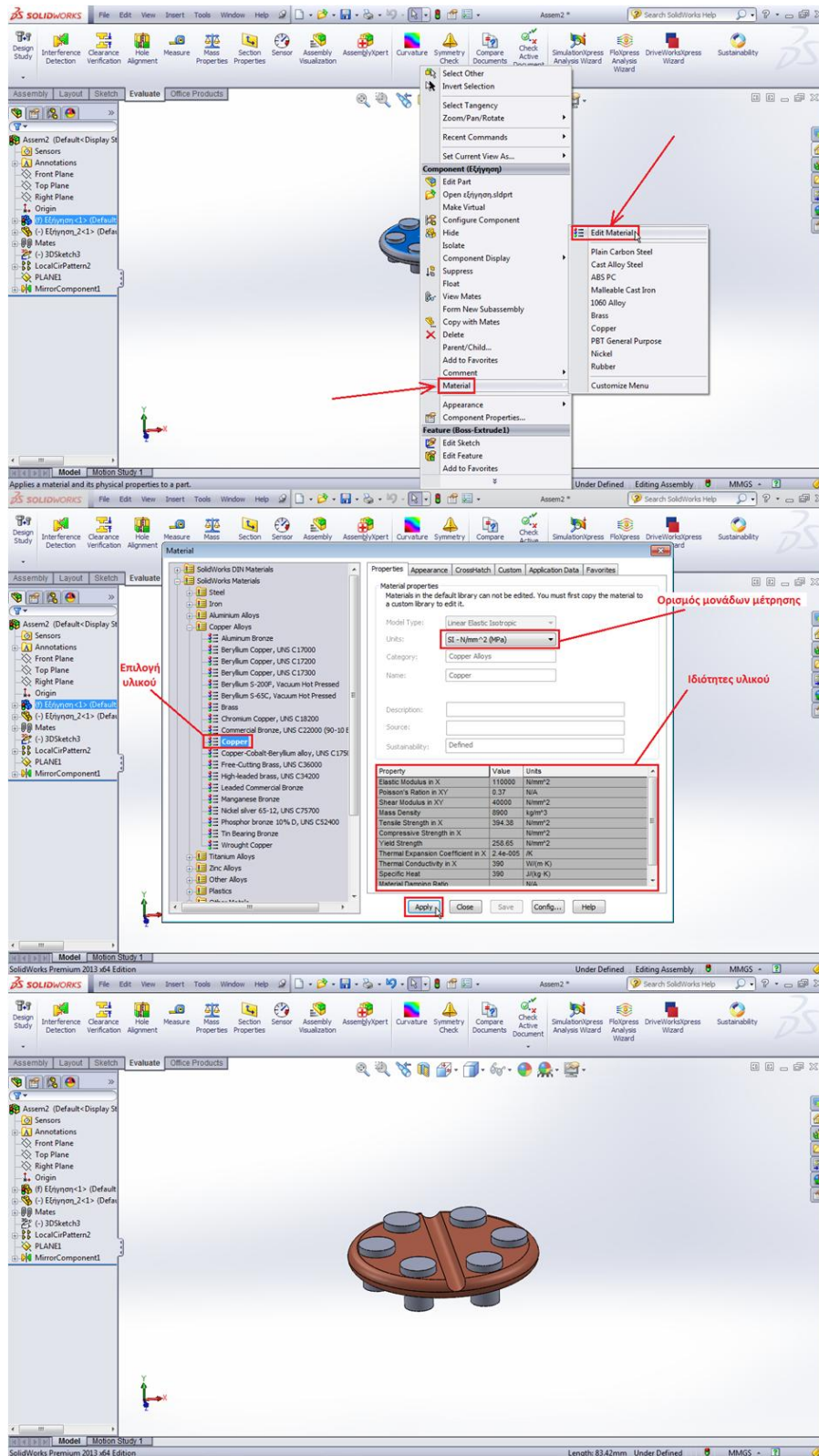




**ΣΧΗΜΑ 2.52:** Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 2.7 Ορισμός υλικού

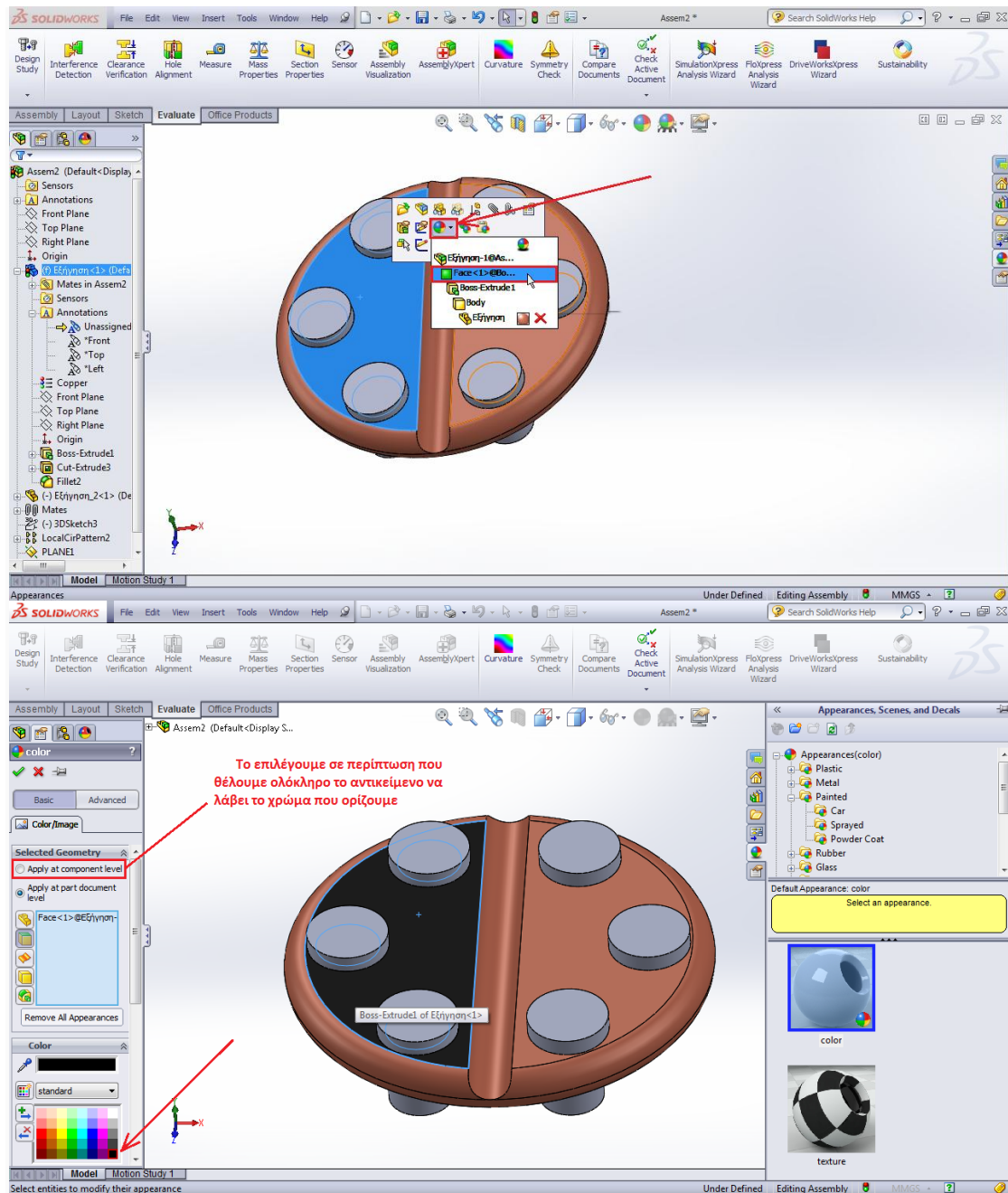
Για να ορίσουμε το υλικό ενός αντικειμένου πατάμε δεξί κλικ σε μία επιφάνεια αυτού και επιλέγουμε την εντολή “Edit Material” (ΣΧΗΜΑ 2.53).



ΣΧΗΜΑ 2.53: Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 2.8 Ορισμός είδους και χρώματος επιφανείας

Επιλέγουμε με αριστερό κλικ την επιφάνεια που θέλουμε να τροποποιήσουμε, οπότε στην οθόνη μας εμφανίζεται ένα εικονίδιο με ορισμένες εντολές. Εμείς επιλέγουμε την εντολή **appearances** και έτσι τροποποιούμε την επιφάνειά μας σύμφωνα με τις διαθέσιμες επιλογές (ΣΧΗΜΑ 2.54).



ΣΧΗΜΑ 2.54: Οθόνη σχεδίασης του προγράμματος Solidworks.

## 3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ

### 3.1 Συνιστώσες συλλέκτη



Στην εν λόγω ενότητα θα ασχοληθούμε με τη σχεδίαση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη απλού καλύμματος, ο οποίος αποτελείται από τις παρακάτω συνιστώσες:

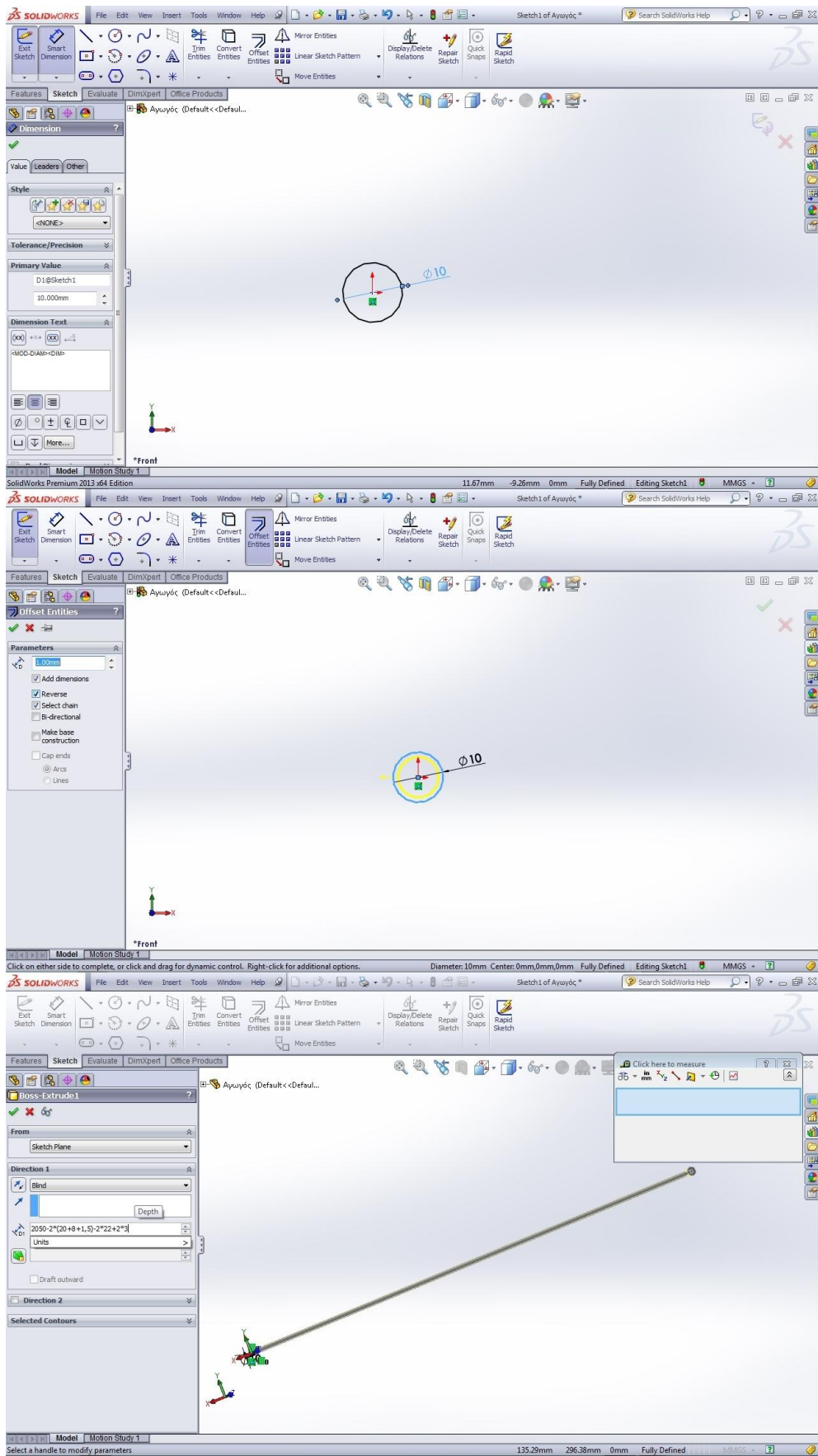
1. Υδροσκελετός
  - Αγωγός (riser tube)
  - Συλλέκτης (manifold)
2. Πλάκα απορρόφησης (absorbent plate)
3. Μόνωση (insulation)
  - Πλαϊνή (side)
    - i. Κατά πλάτος
    - ii. Κατά μήκος
  - Οπίσθια (back)
4. Πλαίσιο αλουμινίου (aluminium frame)
5. Πλάτη (back plate)
6. Τσιμούχα (sealing)
7. Κάλυμμα (glazing)
8. Κούμπωμα

### 3.2 Σχεδίαση αγωγού (riser)

**Χαρακτηριστικά αγωγού:**

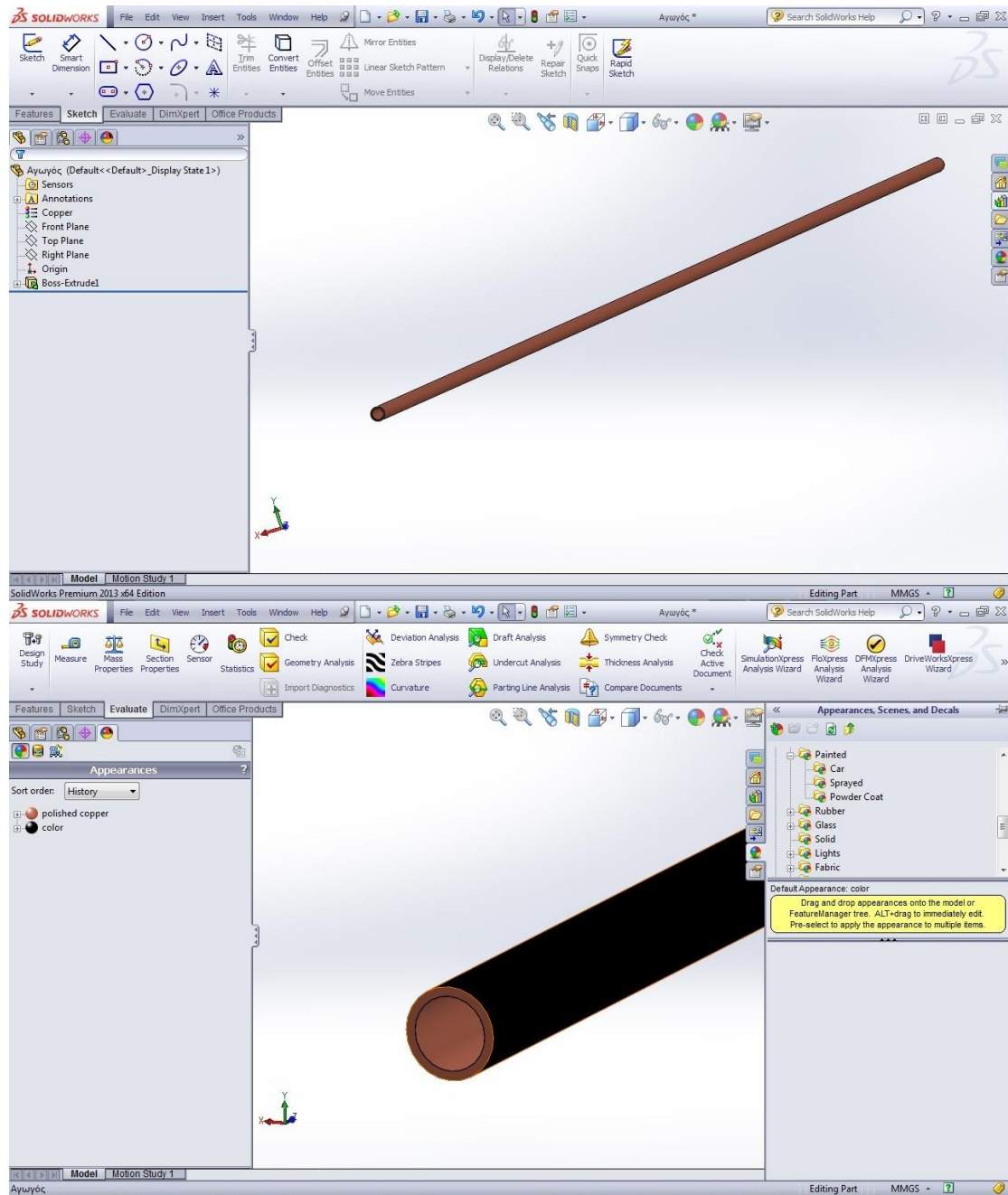
- **Εξωτερική διάμετρος:** 10mm
- **Εσωτερική διάμετρος:** 8mm
- **Μήκος:** 1953mm
- **Υλικό:** χαλκός
- **Επιφανειακή κατεργασία:** επιλεκτική επικάλυψη τιτανίου ή βαφή με μαύρη ματ μπογιά
- **Λεπτομέρειες:** -

Αρχικά, σχεδιάζουμε ένα κύκλο διαμέτρου 10mm με κέντρο την αρχή των αξόνων, επί του εμπρόσθιου επιπέδου (**Front Plane**) και στη συνέχεια, με την εντολή  **Offset Entities**, δημιουργούμε έναν εσωτερικό κύκλο διαμέτρου 8mm. Ύστερα, εξωθούμε την επιφάνεια μεταξύ των δύο κύκλων, μέσω της εντολής  **Extruded Boss/Base**, κατά 1953mm και προκύπτει, τελικά, ο αγωγός μας (**ΣΧΗΜΑ 3.1**).



**ΣΧΗΜΑ 3.1:** Σχεδίαση αγωγού (riser), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση δύο ομόκεντρων κύκλων και εξώθηση της προκύπτουσας δακτυλιοειδούς επιφάνειας.

Ορίζουμε, τώρα, το χρώμα της εξωτερικής επιφάνειας και το υλικό του αγωγού κατά τα γνωστά (**ΣΧΗΜΑ 3.2**).



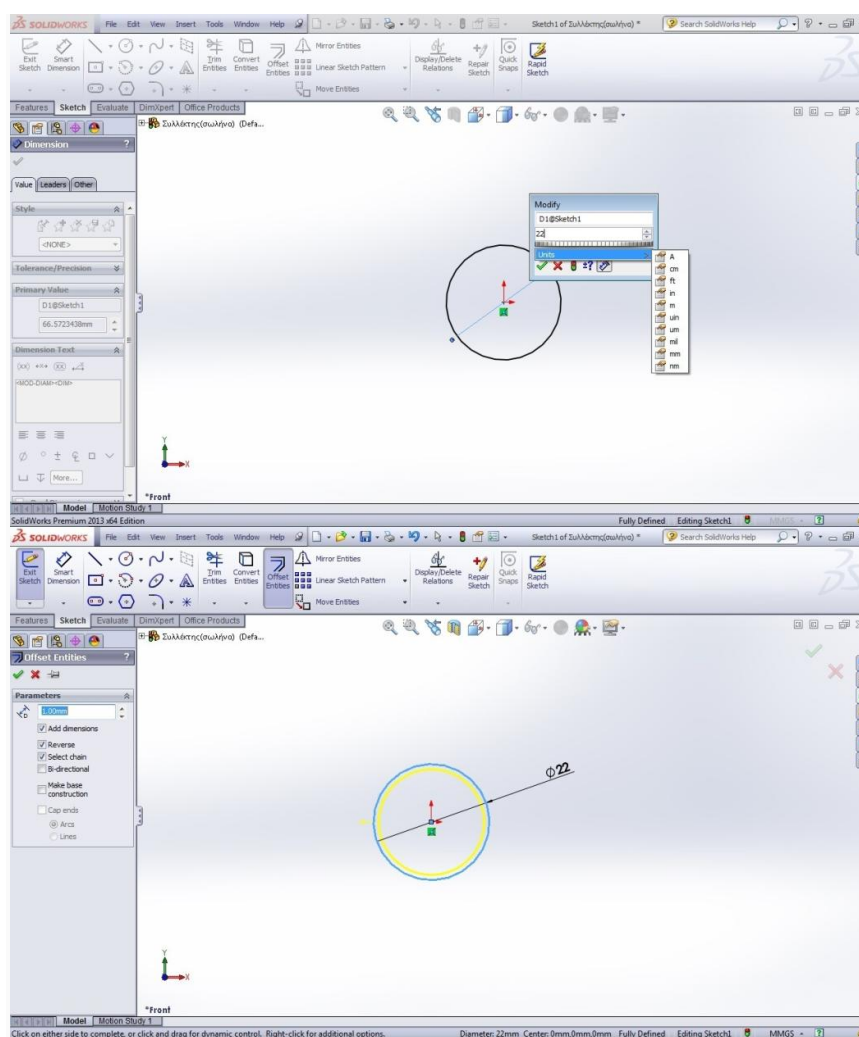
**ΣΧΗΜΑ 3.2:** Σχεδίαση αγωγού (riser), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Ορισμός υλικού και χρώματος εξωτερικής επιφάνειας.

### 3.3 Σχεδίαση συλλέκτη (manifold)

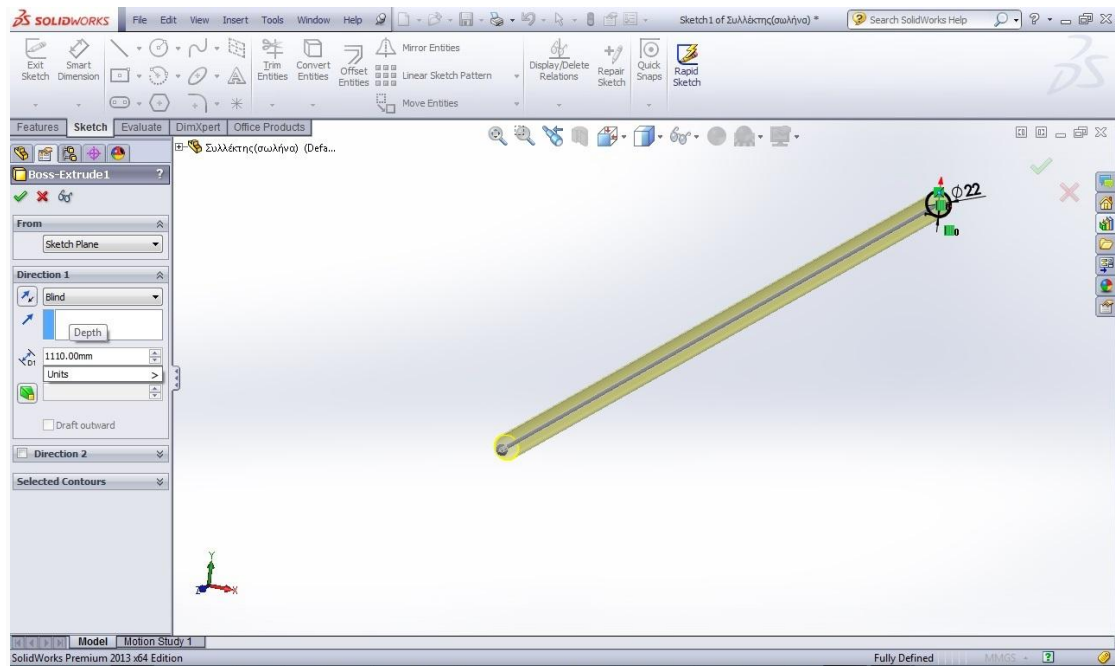
Χαρακτηριστικά συλλέκτη:

- **Εξωτερική διάμετρος:** 22mm
- **Εσωτερική διάμετρος:** 20mm
- **Μήκος:** 1110mm
- **Υλικό:** χαλκός
- **Επιφανειακή κατεργασία:** επιλεκτική επικάλυψη τιτανίου ή βαφή με μαύρη ματ μπογιά
- **Λεπτομέρειες:** περιλαμβάνει 10 μη διαμπερείς οπές διαμέτρου 10mm η κάθε μία, σε απόσταση 95.1mm μεταξύ τους, κατανεμημένες κατά μήκος του σωλήνα και συμμετρικά ως προς τα δύο του άκρα.

Σχεδιάζουμε, όμοια με πριν, δύο ομόκεντρους κύκλους, διαμέτρου 22mm και 20mm αντίστοιχα, με κέντρο την αρχή των αξόνων, επί του επιπέδου **Front** (**ΣΧΗΜΑ 3.3**). Στη συνέχεια, εκτίνουμε την επιφάνεια μεταξύ των δύο κύκλων κατά 1110mm (**ΣΧΗΜΑ 3.4**).



**ΣΧΗΜΑ 3.3:** Σχεδίαση συλλέκτη (manifold), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση δύο ομόκεντρων κύκλων.

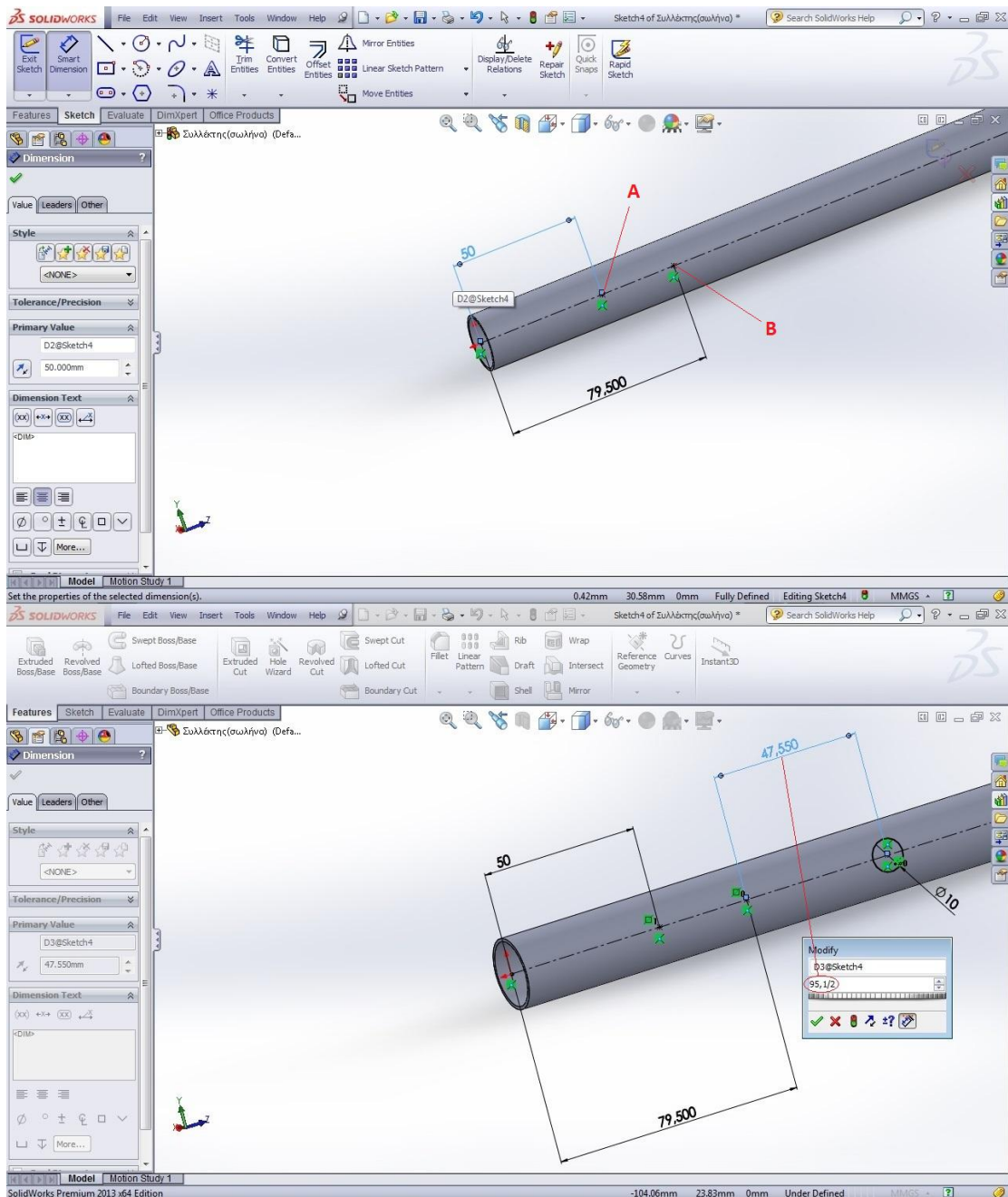


**ΣΧΗΜΑ 3.4:** Σχεδίαση συλλέκτη (manifold), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εξώθηση της προκύπτουσας δακτυλιοειδούς επιφάνειας.


Ύστερα, σχεδιάζουμε, επί του **Right Plane**, μία αξονική γραμμή, η οποία ταυτίζεται με τον άξονα συμμετρίας του σωλήνα, καθώς και δύο σημεία (A και B), τα οποία απέχουν 50mm και 79.5mm από το ένα άκρο του σωλήνα αντίστοιχα. Το πρώτο σημείο αντιπροσωπεύει τη θέση που πρόκειται να λάβει η εξωτερική πλευρά του πλαισίου, ενώ το δεύτερο τη θέση της εσωτερικής πλευράς της πλάγιας μόνωσης. Έπειτα, για λόγους πληρότητας αντιγράφουμε τα δύο αυτά σημεία και στην άλλη άκρη του σωλήνα, μέσω της εντολής **Mirror Entities**, αφού πρώτα σχεδιάσουμε μία αξονική γραμμή κάθετη στην ήδη υπάρχουσα που να διέρχεται από το μέσο του μήκους του σωλήνα.


Στη συνέχεια, χαράσσουμε, στο ίδιο επίπεδο, κύκλο διαμέτρου 10mm το κέντρο του οποίου απέχει 47.55mm ( $=95.1/2\text{mm}$ ) από το σημείο B, με κατεύθυνση προς το μέσο του σωλήνα (**ΣΧΗΜΑ 3.5**).

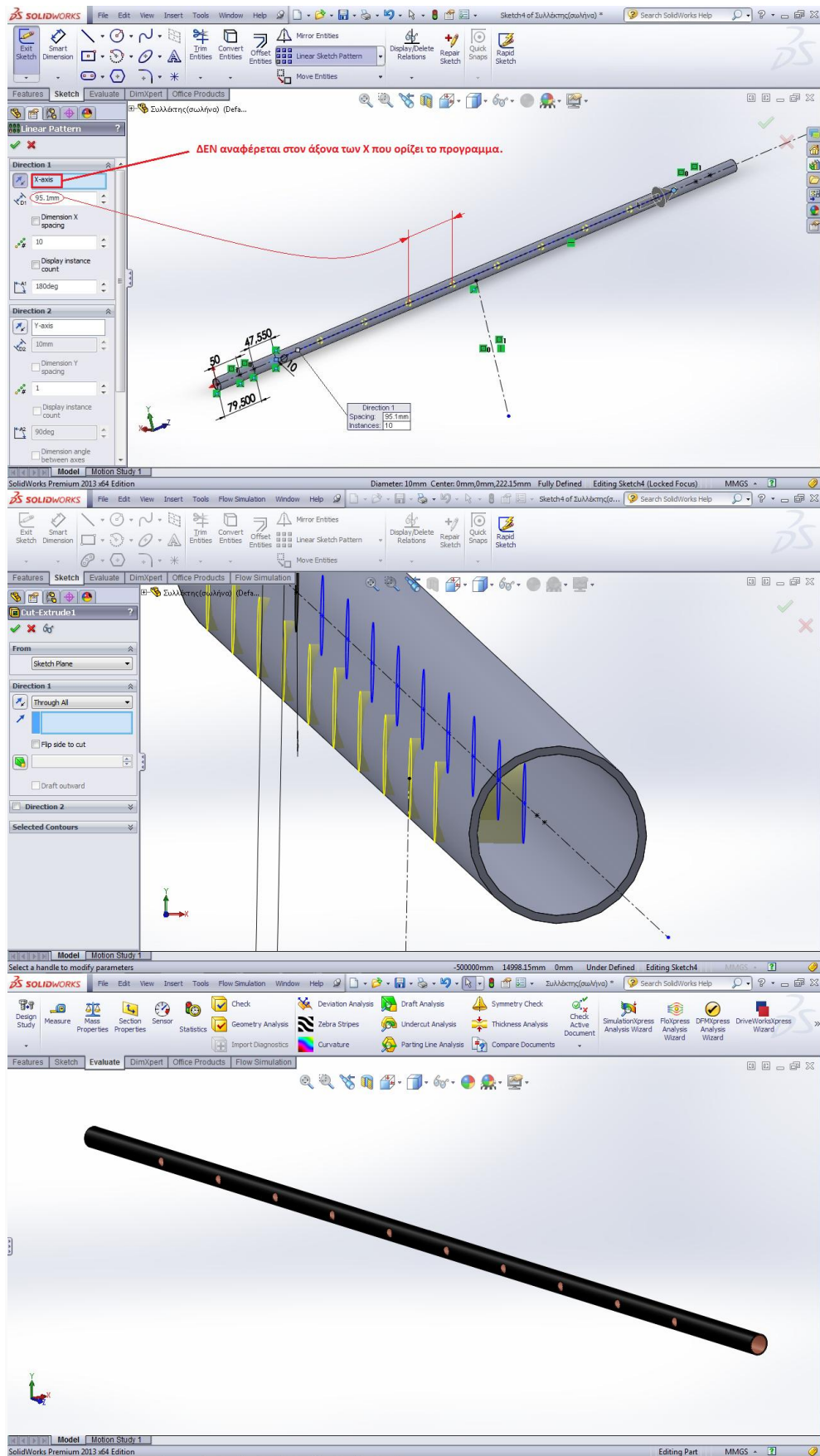




**ΣΧΗΜΑ 3.5:** Σχεδίαση συλλέκτη (manifold), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Διάνοξη οπών υποδοχής των αγωγών.

Με την εντολή  **Linear Sketch Pattern** δημιουργούμε εννέα αντίγραφα του εν λόγω κύκλου, τα κέντρα των οποίων (συμπεριλαμβανομένου και του αρχικού) θα ισοκατανεμηθούν κατά μήκος του άξονα συμμετρίας του σωλήνα, με την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κέντρων να είναι ίση με 95.1mm.

Τέλος, με την εντολή  **Extruded Cut** δημιουργούμε τις δέκα μη διαμπερείς οπές που αναφέρθηκαν στις λεπτομέρειες του σωλήνα (**ΣΧΗΜΑ 3.6**).






**ΣΧΗΜΑ 3.6:** Σχεδίαση συλλέκτη (manifold), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Διάνοιξη οπών υποδοχής των αγωγών.

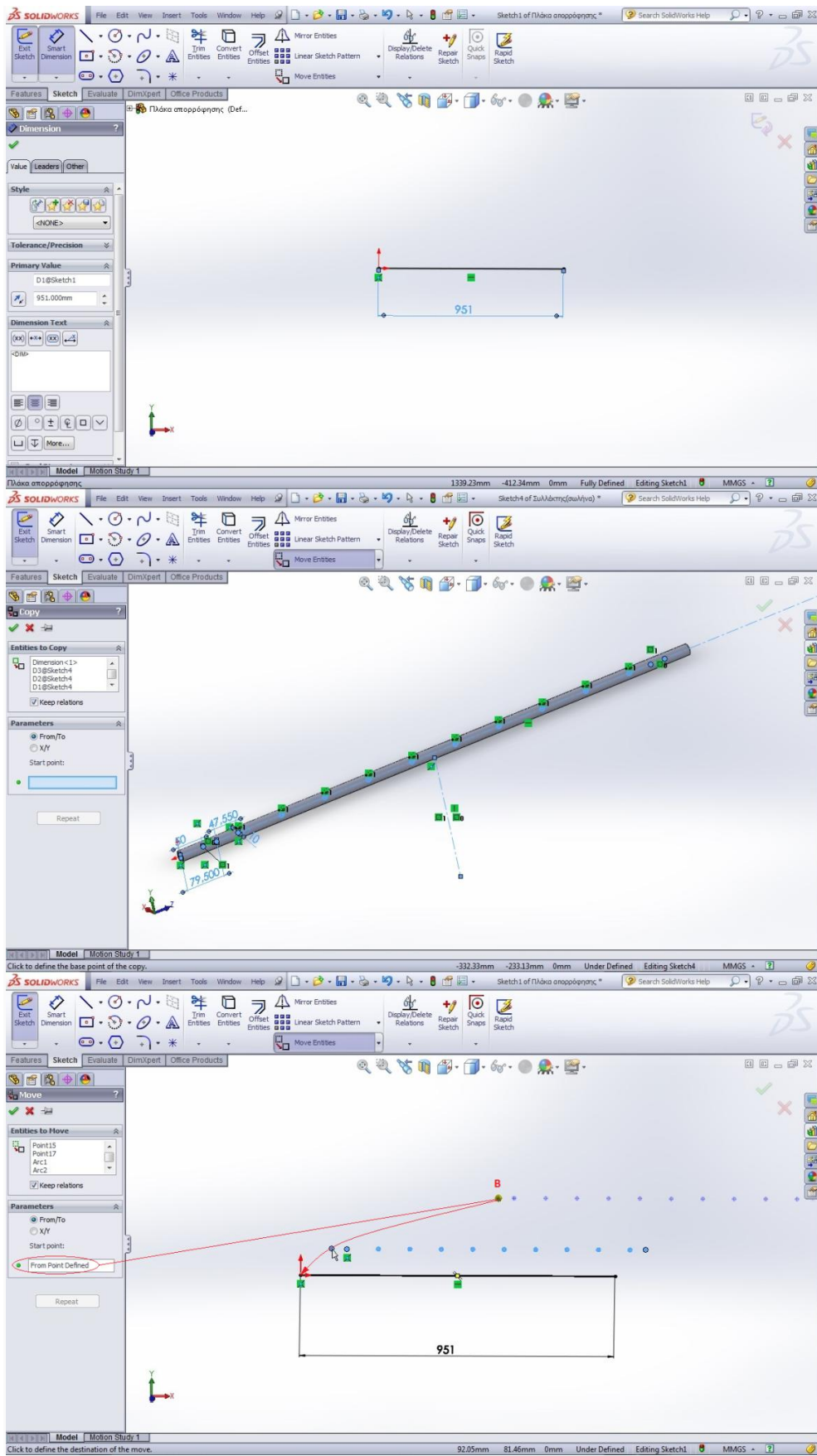
### 3.4 Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorbent plate)

#### Χαρακτηριστικά πλάκας απορρόφησης:

- **Μήκος:** 1947mm
- **Πλάτος:** 951mm
- **Πάχος:** 0.2mm
- **Υλικό:** χαλκός
- **Επιφανειακή κατεργασία:** επιλεκτική επικάλυψη τιτανίου ή βαφή με μαύρη ματ μπογιά
- **Λεπτομέρειες:** περιλαμβάνει δέκα στραντζαριστές εσοχές ημικυκλικής μορφής, διαμέτρου 10mm η κάθε μία, εντός των οποίων «φωλιάζουν» οι δέκα αγωγοί συγκρατώντας την , χωρίς την ανάγκη συγκόλλησης ή χρήσης σφικτήρων.

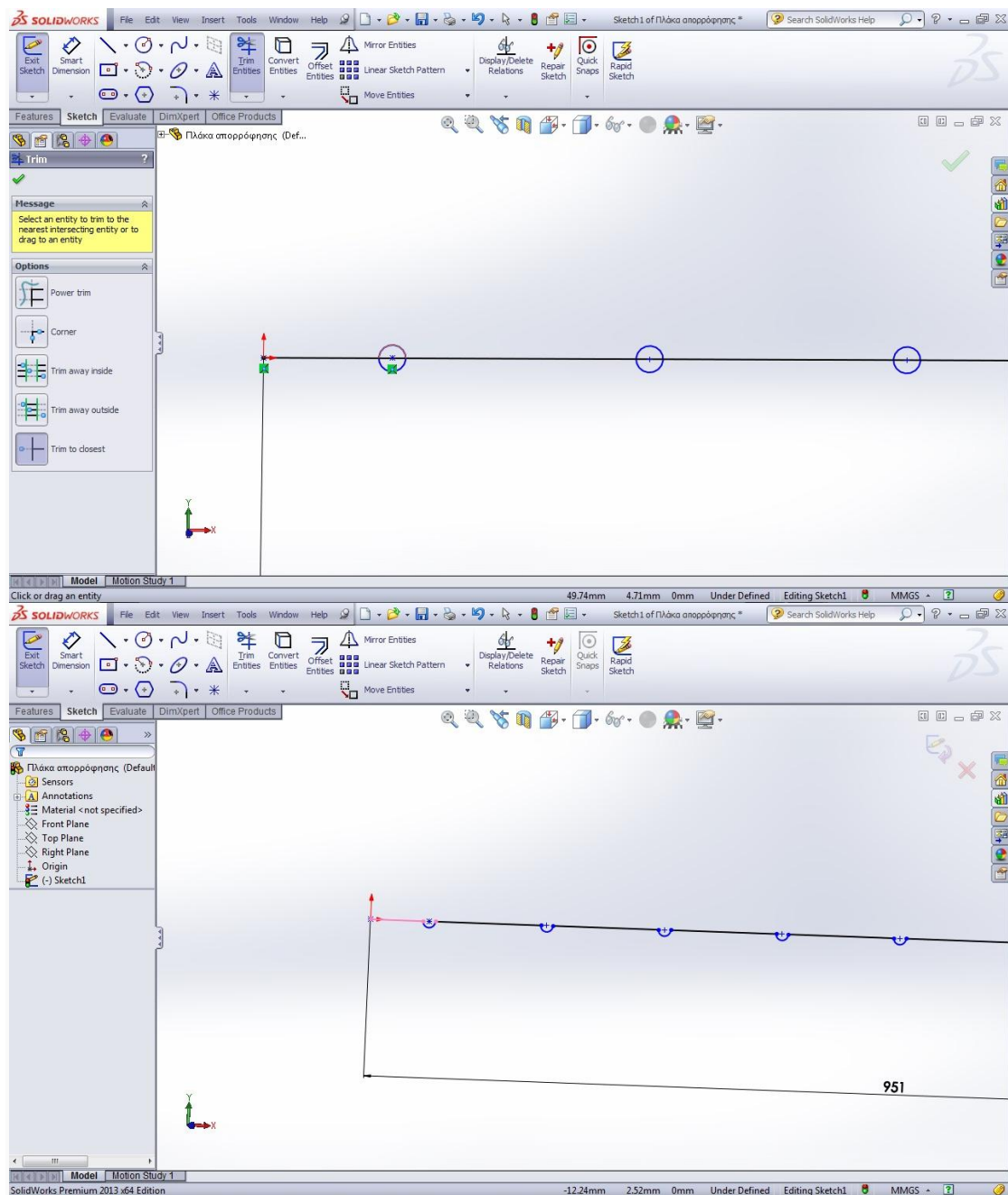
Κατ' αρχάς, σχεδιάζουμε μία ευθεία με μήκος 951mm (πλάτος πλάκας). Στη συνέχεια, πάμε στο αρχείο του συλλέκτη (manifold tube) και ανοίγουμε, κατά τα γνωστά με την εντολή  **Edit Sketch**, το σχέδιο των δέκα διαδοχικών κύκλων. Επιλέγουμε, ύστερα, όλο το σχέδιο και το αντιγράφουμε απλά πατώντας **Ctrl+C** ή επιλέγοντας την εντολή **Copy Entities** , όπως φαίνεται στο [ΣΧΗΜΑ 3.7](#). Αργότερα, πάμε στο αρχείο της πλάκας απορρόφησης και επικολλούμε το αντιγραμμένο σχέδιο με **Ctrl+V** όπου τοποθετήσουμε το βέλος του ποντικιού.

Διαγράφουμε, στη συνέχεια, είτε μέσω της εντολής  **Trim Entities** είτε, απλούστερα, με **Delete**, τόσες γραμμές και τόσα σημεία ώστε, τελικά, να μείνουν οι δέκα κύκλοι μαζί με το σημείο B και το αντίγραφο αυτού. Έπειτα, επιλέγουμε το απαλλαγμένο από τα περιττά σχέδιο και το μεταφέρουμε μέσω της εντολής  **Move Entities** με **Start Point** το σημείο B, έτσι ώστε το τελευταίο να συμπέσει με το αριστερό άκρο της υπάρχουσας ευθείας που βρίσκεται στην αρχή των αξόνων ([ΣΧΗΜΑ 3.7](#)).



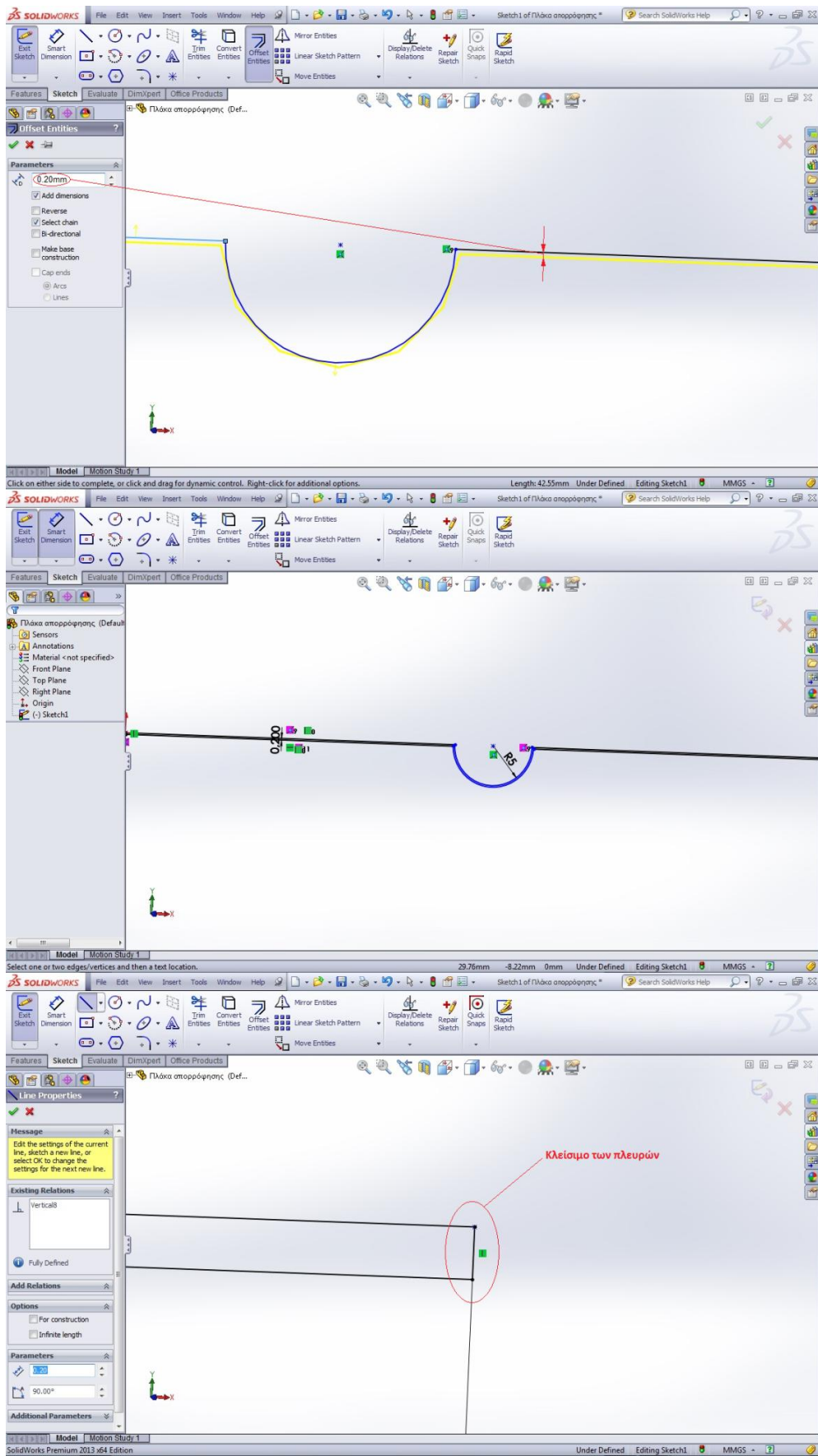
**ΣΧΗΜΑ 3.7:** Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorber plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση του προς εξώθηση περιγράμματος.

Στη συνέχεια, με την εντολή **Trim Entities**, αποκόπτουμε τα ευθύγραμμα τμήματα που εσωκλείονται στους κύκλους, καθώς και τα ημικύκλια που βρίσκονται πάνω από τη γραμμή, ώστε τελικά να προκύψει η ακόλουθη γεωμετρία (**ΣΧΗΜΑ 3.8**).

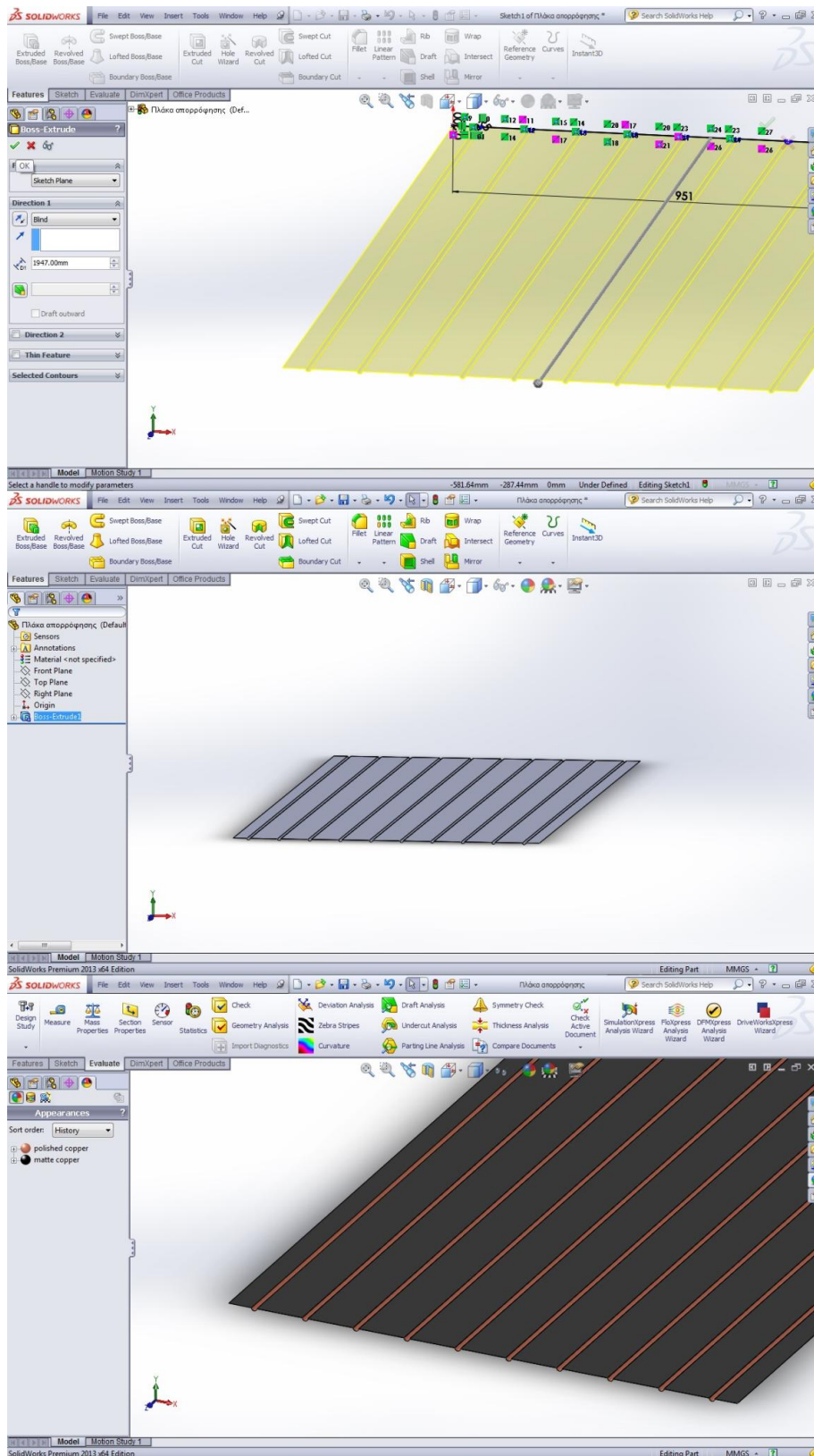


**ΣΧΗΜΑ 3.8:** Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorber plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση του προς εξώθηση περιγράμματος.

Τώρα, με την εντολή **Offset Entities**, δημιουργούμε ένα γεωμετρικά όμοιο αντίγραφο του σχήματός μας προς την κάτω μεριά αυτού, σε απόσταση 0.2mm. Στη συνέχεια, κλείνουμε τις πλευρές του σχήματος με δύο ευθύγραμμα τμήματα (**ΣΧΗΜΑ 3.9**) και εξωθούμε το κλειστό, πλέον, σχέδιο κατά 1947mm, με τη βοήθεια της **Extruded Boss/Base** (**ΣΧΗΜΑ 3.10**).



**ΣΧΗΜΑ 3.9:** Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorber plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση του προς εξώθηση περιγράμματος.



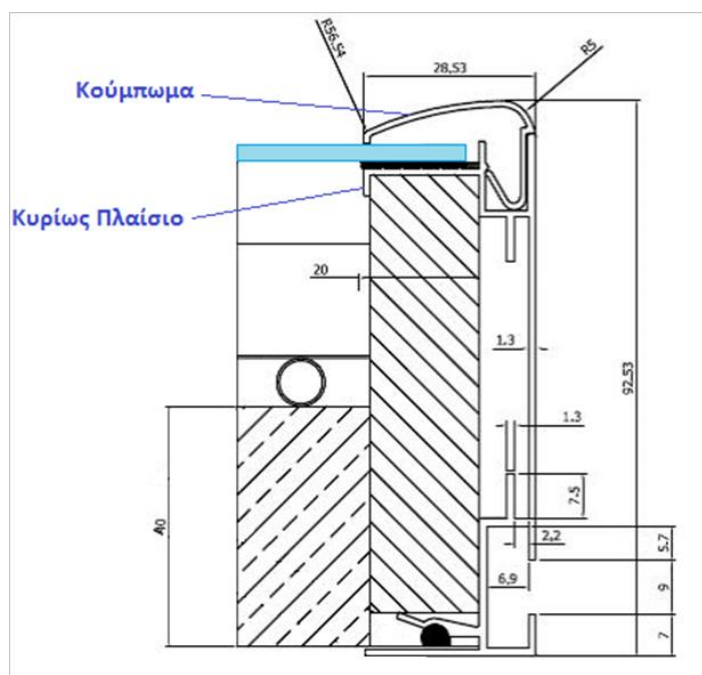
**ΣΧΗΜΑ 3.10:** Σχεδίαση πλάκας απορρόφησης (absorber plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Παραγωγή στερεού σώματος

**Σημείωση:** Η βαφή των μερών που απαρτίζουν το σύστημα πλάκας απορρόφησης-υδροσκελετού δεν συμβαίνει μεμονωμένα αλλά ύστερα από τη συναρμολόγηση αυτών.

## 3.5 Σχεδίαση πλαισίου (frame)

### 3.5.1 Συνιστώσες πλαισίου

Για τη σχεδίαση του προφίλ αλουμινίου λάβαμε ως πρότυπο το παρακάτω τυποποιημένο προφίλ (**ΣΧΗΜΑ 3.11**), το οποίο αποτελείται από δύο διακριτά μέρη, το **κυρίως πλαίσιο** και το **έλασμα συγκράτησης του καλύμματος (κούμπωμα)**:




**ΣΧΗΜΑ 3.11:** Προφίλ διακριτού πλαισίου της εταιρίας Quantasun.

### 3.5.2 Σχεδίαση κυρίως πλαισίου (ύψος)

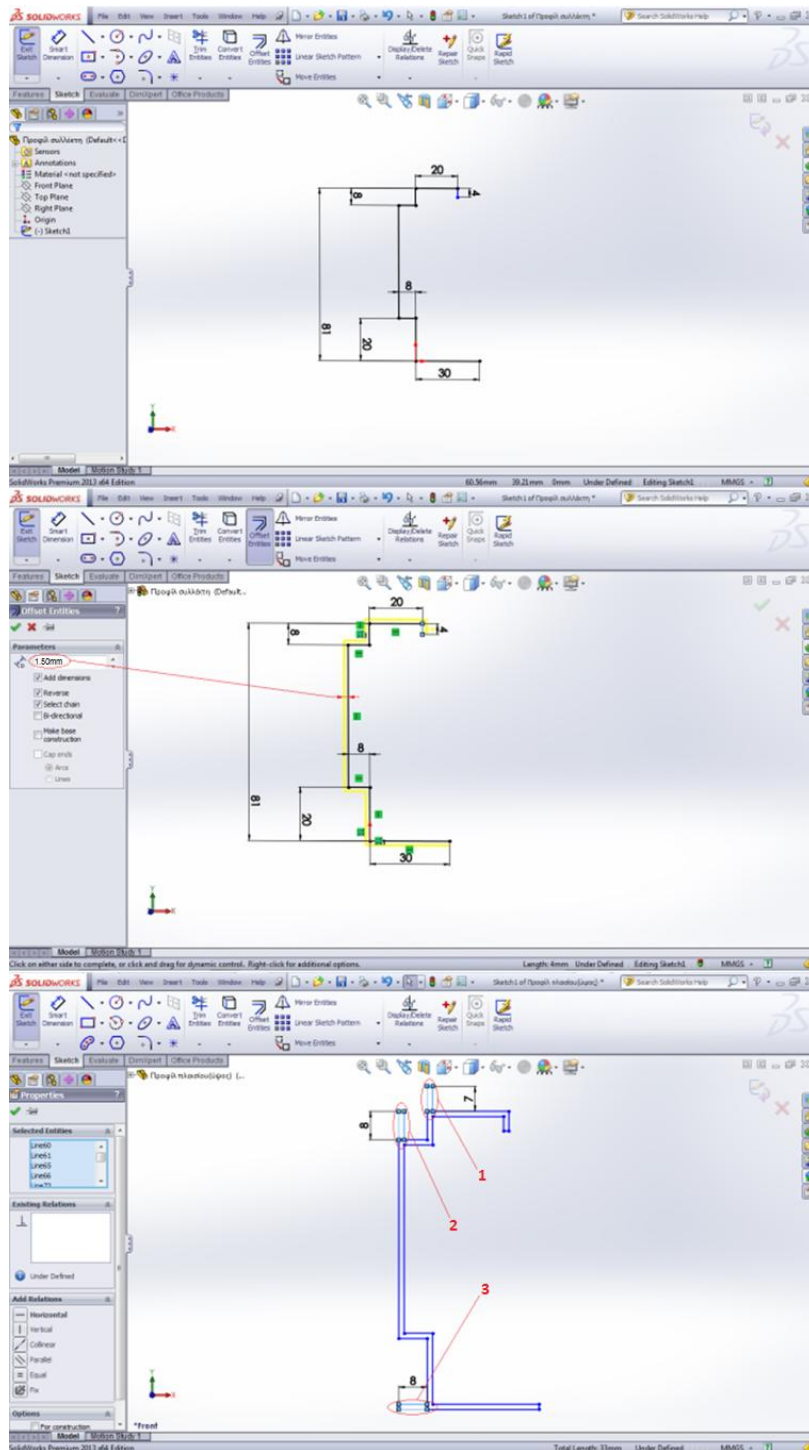
**Χαρακτηριστικά κυρίως πλαισίου (ύψος):**

- **Μήκος:** 2050mm
- **Πλάτος:** 39.5mm
- **Ύψος:** 91mm
- **Πάχος προφίλ:** 1.5mm
- **Υλικό:** κράμα αλουμινίου 6063-T5
- **Επιφανειακή κατεργασία:-**
- **Λεπτομέρειες:** περιλαμβάνει δύο σπές διαμέτρου 22mm η κάθε μία, μέσα από τις οποίες διέρχονται οι δύο συλλέκτες, καθώς και μία ειδική προεξοχή (νύχι), η οποία εξυπηρετεί στο κούμπωμα του ελάσματος συγκράτησης του καλύμματος. Επίσης, τα άκρα των λωρίδων του πλαισίου είναι «φάλτσο - κομένα» στις 45°.

Σχεδιάζουμε, αρχικά, το εσωτερικό περίγραμμα του προφίλ του κυρίως πλαισίου και με τη βοήθεια της εντολής  **Offset Entities** δημιουργούμε ένα γεωμετρικό αντίγραφο σε απόσταση 1.5mm από αυτό.



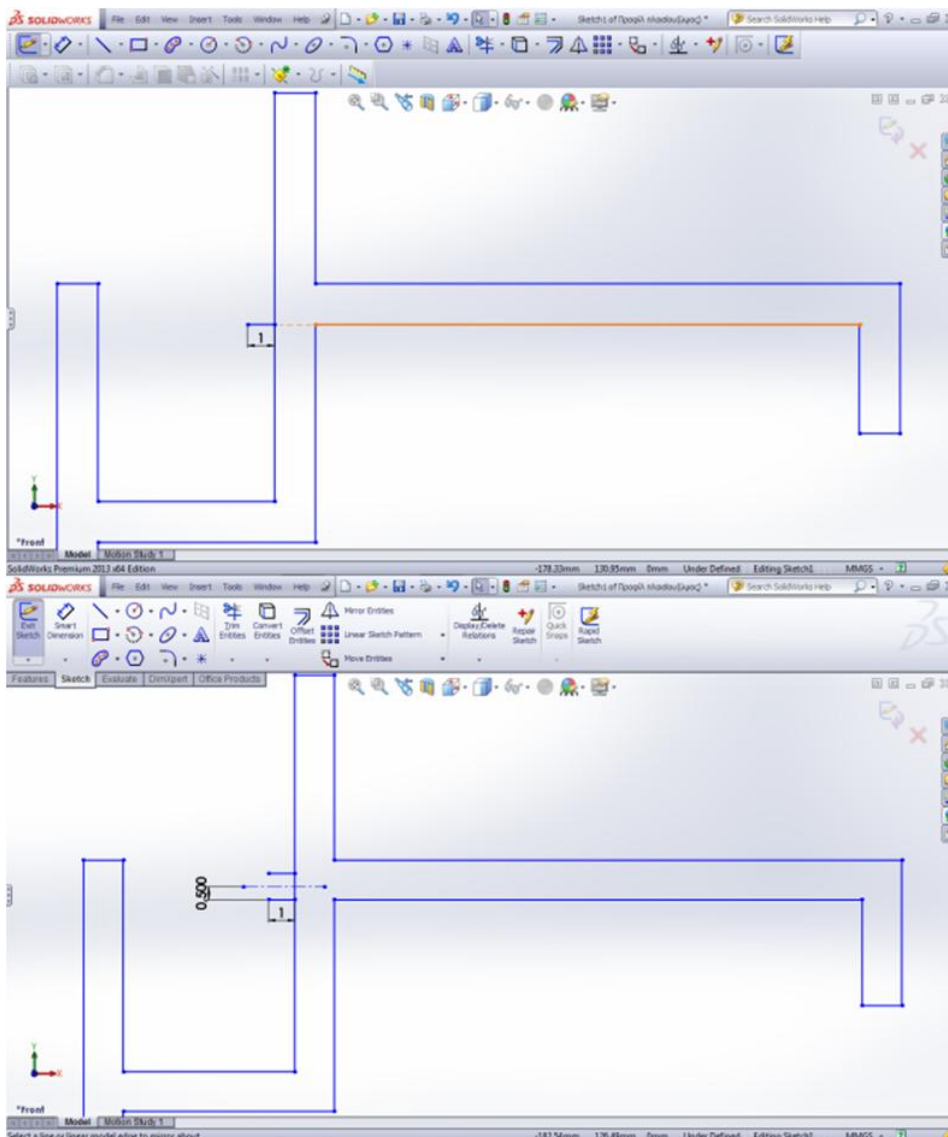
Στη συνέχεια, σχεδιάζουμε τρεις προεξοχές με μήκη 7, 8 και 8mm και πλάτος 1.5mm η κάθε μία. Η πρώτη (7mm) χρησιμεύει στη συγκράτηση της τσιμούχας, ενώ παράλληλα αποτελεί μια μορφή ασφάλειας (στοπ) για το κάλυμμα, ώστε το τελευταίο να μην ξεπεράσει κάποια συγκεκριμένα όρια. Η δεύτερη προεξοχή δημιουργεί το χώρο εντός του οποίου θα «φωλιάσει» το κούμπωμα του ελάσματος συγκράτησης του καλύμματος. Η τρίτη και τελευταία προεξοχή δεν είναι τίποτε άλλο από μία προέκταση της βάσης για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σταθερότητα της κατασκευής (**ΣΧΗΜΑ 3.12**).



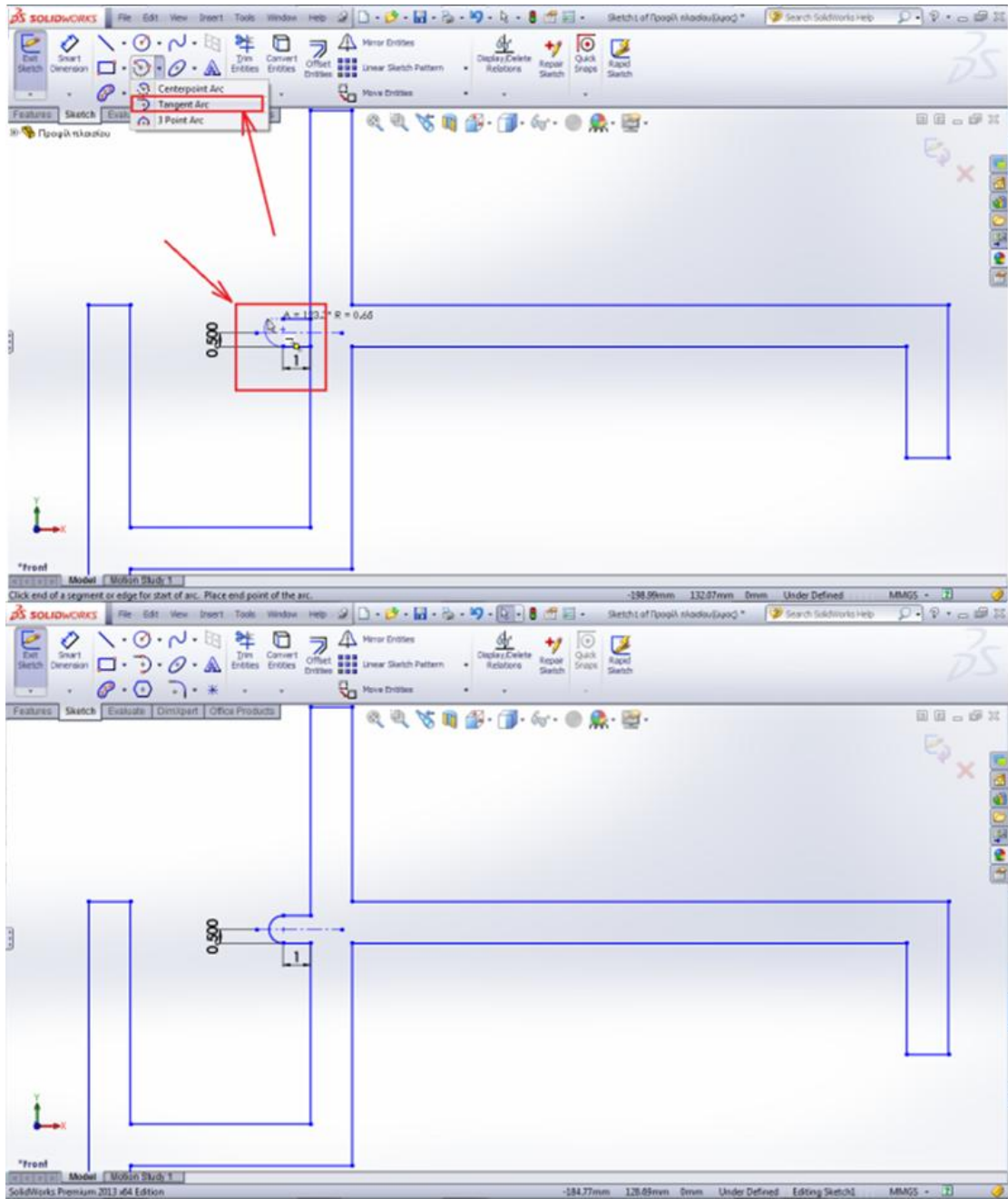
**ΣΧΗΜΑ 3.12:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περιγράμμα κυρίως πλαισίου.

Υστερα, σχεδιάζουμε μία προεξοχή («νύχι») πλάτους 1mm και ύψους 1.5mm ως ακολούθως:

Φέρνουμε, πρώτα, ένα ευθύγραμμο τμήμα μήκους ενός χιλιοστού, εντός του χώρου που πρόκειται να «κουμπώσει» το έλασμα συγκράτησης, επί του φορέα που ορίζει το πορτοκαλί ευθύγραμμο τμήμα, όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.13**. Έπειτα, χαράσσουμε αξονική γραμμή σε απόσταση μισού χιλιοστού από το ευθύγραμμο τμήμα που έχουμε σχεδιάσει (παράλληλη σε αυτό) και χρησιμοποιώντας την εντολή **Mirror Entities** αντιγράφουμε το τελευταίο (**ΣΧΗΜΑ 3.13**). Στη συνέχεια, με την εντολή **Tangent Arc** δημιουργούμε ημικύκλιο διαμέτρου ενός χιλιοστού, με αρχικό και τελικό σημείο τα ελεύθερα άκρα των δύο ευθυγράμμων τμημάτων που σχεδιάσαμε, απλά πατώντας επί αυτών των δύο σημείων και παρακολουθώντας τη διαθέσιμη προεπισκόπηση, ώστε να μη χαράξουμε εσφαλμένα την καμπύλη. Τέλος, όσον αφορά στη σχεδίαση του προφίλ του κυρίως πλαισίου, με την εντολή **Trim Entities**, αποκόπτουμε το ευθύγραμμο τμήμα που σχηματίζεται μεταξύ των δύο προηγούμενων ευθυγράμμων τμημάτων (**ΣΧΗΜΑ 3.14**).

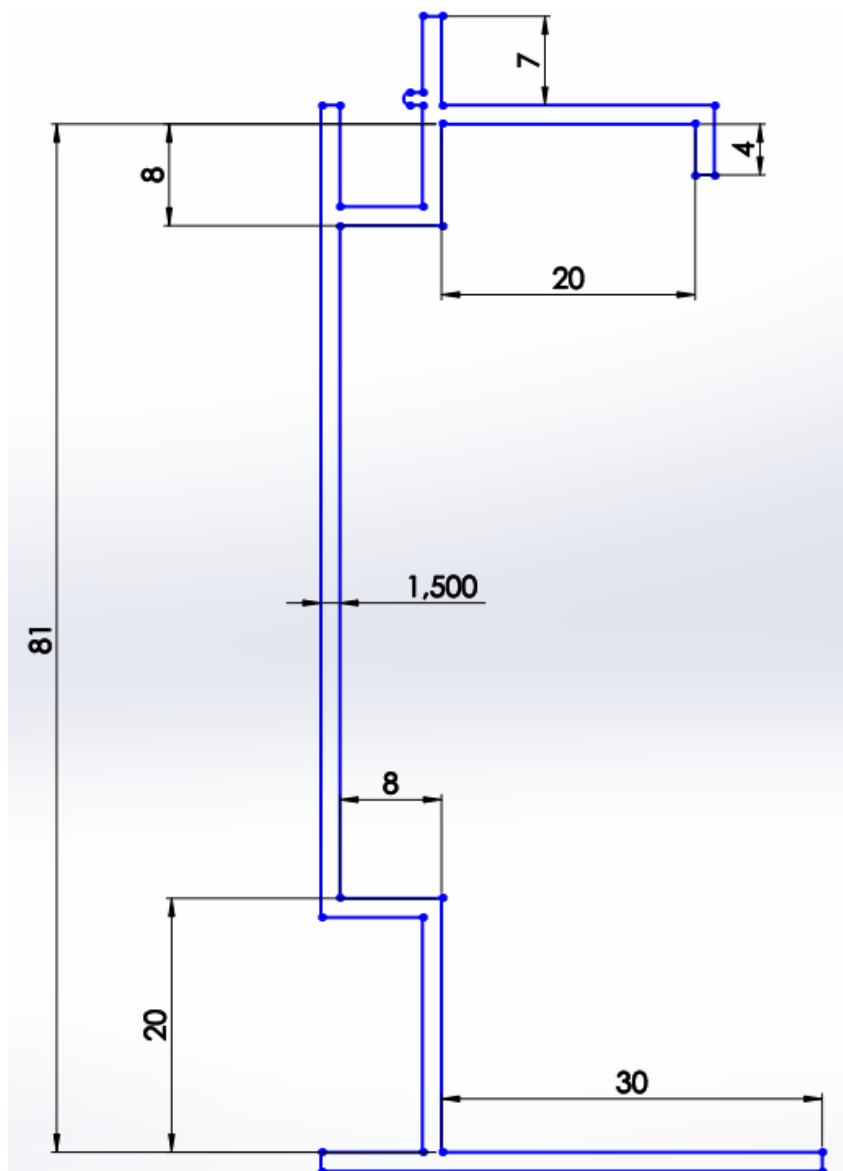


**ΣΧΗΜΑ 3.13:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / «Νύχι» για την εφαρμογή του κουμπώματος.




**ΣΧΗΜΑ 3.14:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / «Νύχι» για την εφαρμογή του κουμπώματος.

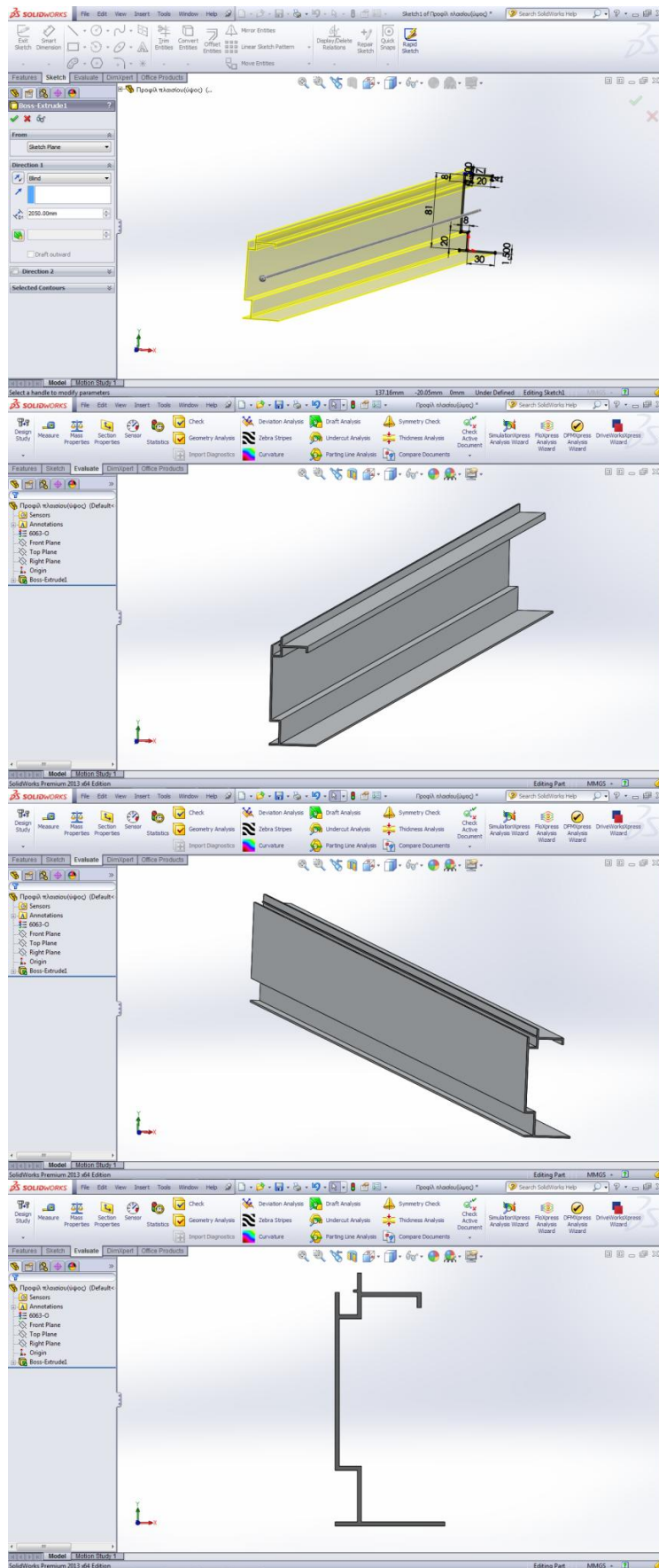
Η τελική μορφή του προφίλ του κυρίως πλαισίου δίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.15** που ακολουθεί.



**ΣΧΗΜΑ 3.15:** Τελικό προφίλ κυρίως πλαισίου.

**Σημείωση:** το «νύχι» που δημιουργήσαμε έχει στο τέλος του ημικυκλική μορφή, ώστε το έλασμα συγκράτησης, το οποίο εμφανίζει παρόμοια γεωμετρία στο αντίστοιχο σημείο, να μπορεί να κουμπώσει ομαλά.

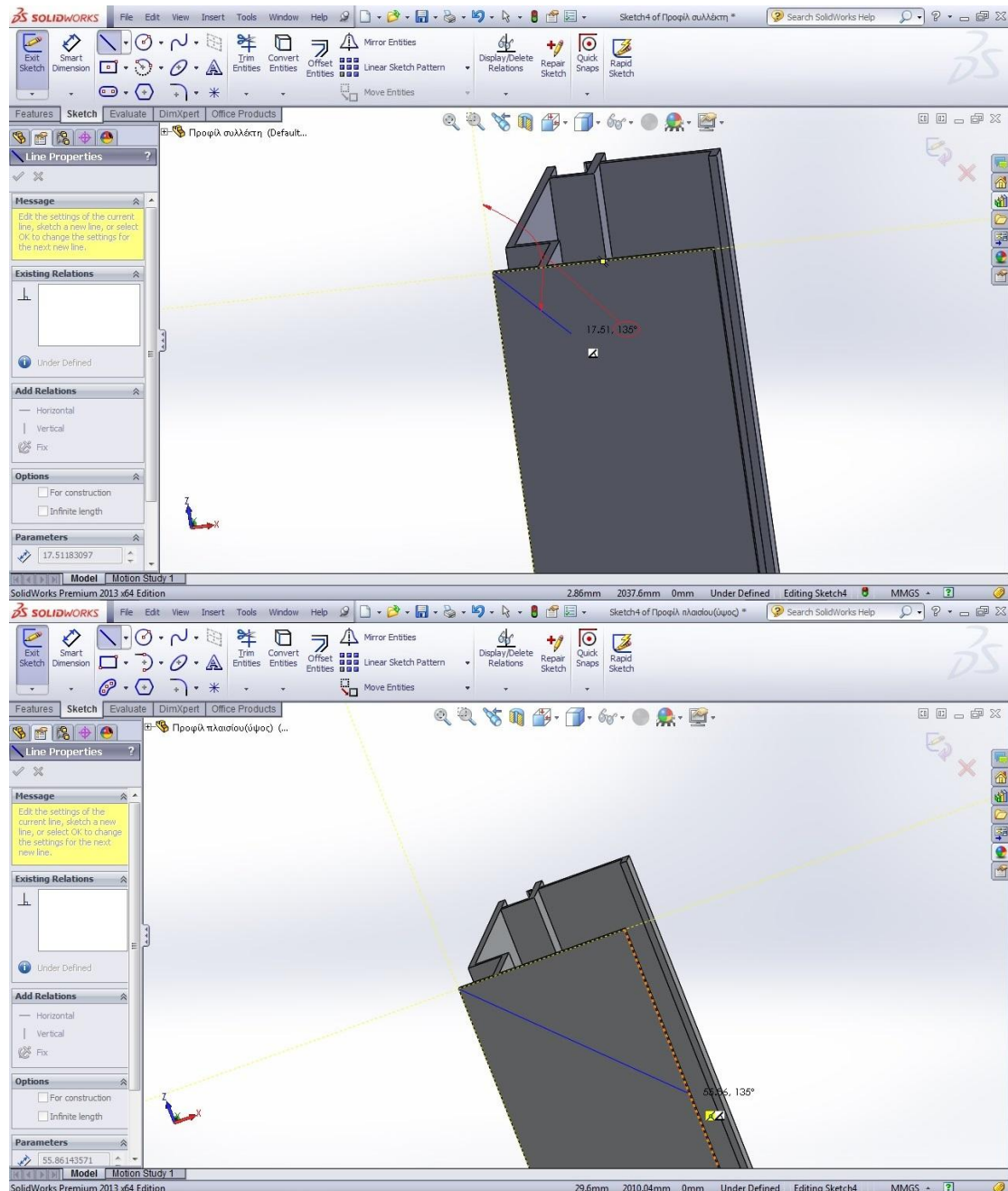
Εξωθούμε, λοιπόν, το παραπάνω κλειστό περίγραμμα κατά 2050mm, με τη βοήθεια της  **Extruded Boss/Base (ΣΧΗΜΑ 3.16)**.



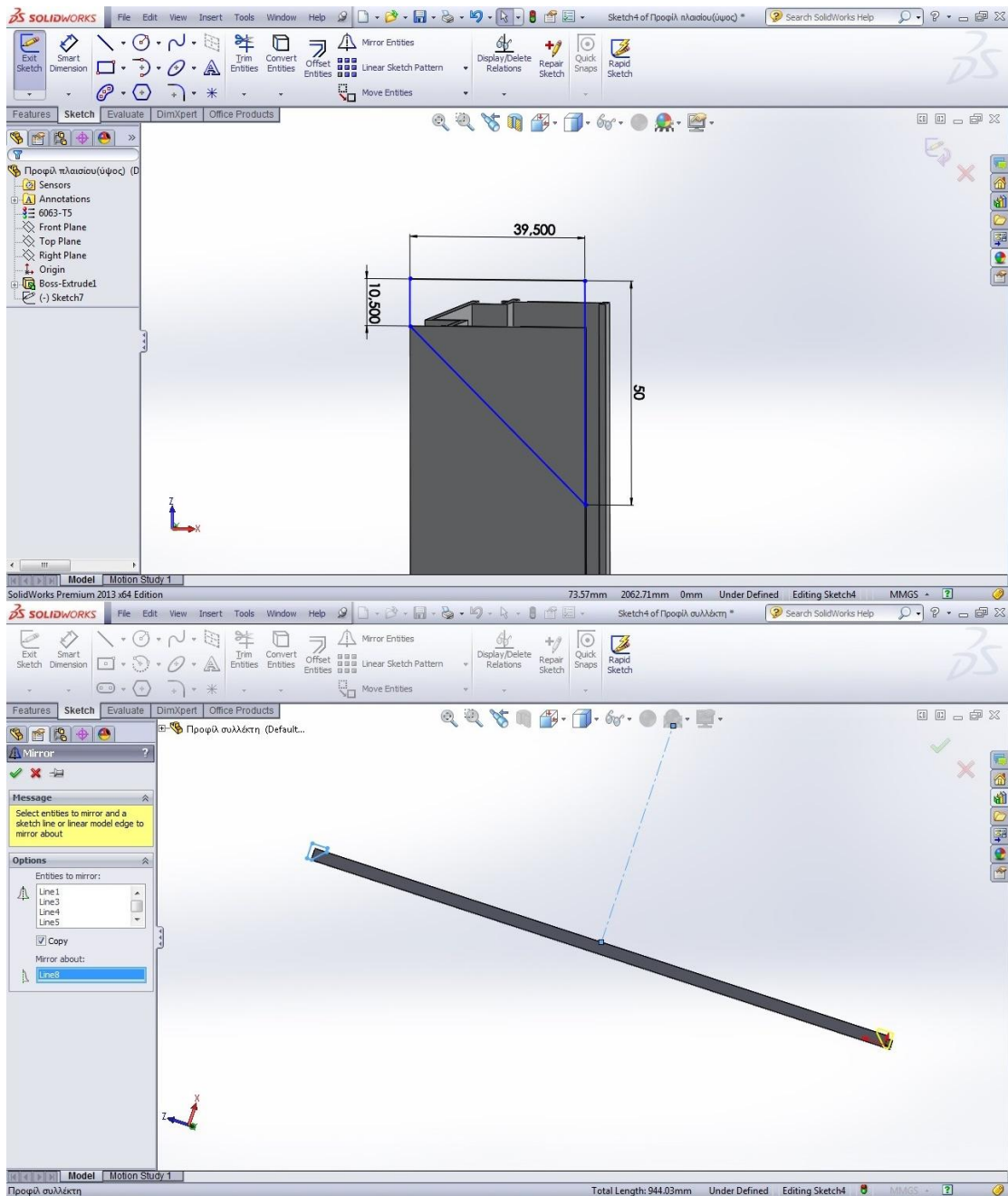
**ΣΧΗΜΑ 3.16:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εξώθηση προφίλ κυρίως πλαισίου.

Τώρα, είμαστε, πλέον, σε θέση να πραγματοποιήσουμε τα «φάλτσο- κοψίματα» στα δύο άκρα της λωρίδας του πλαισίου.


Σχεδιάζουμε και διαστασιολογούμε, πρώτα, το περίγραμμα με το οποίο θα κόψουμε, επί της επιφάνειας έδρασης της λωρίδας του πλαισίου και ύστερα, το αντιγράφουμε στην άλλη άκρη της έδρας, μέσω της εντολής **Mirror Entities**, φροντίζοντας η αξονική γραμμή που θα χαράξουμε να διέρχεται από το μέσο της λωρίδας, προφανώς για λόγους συμμετρίας, αλλά και λόγους που θα εξηγηθούν στη συνέχεια (**ΣΧΗΜΑ 3.17** και **ΣΧΗΜΑ 3.18**).

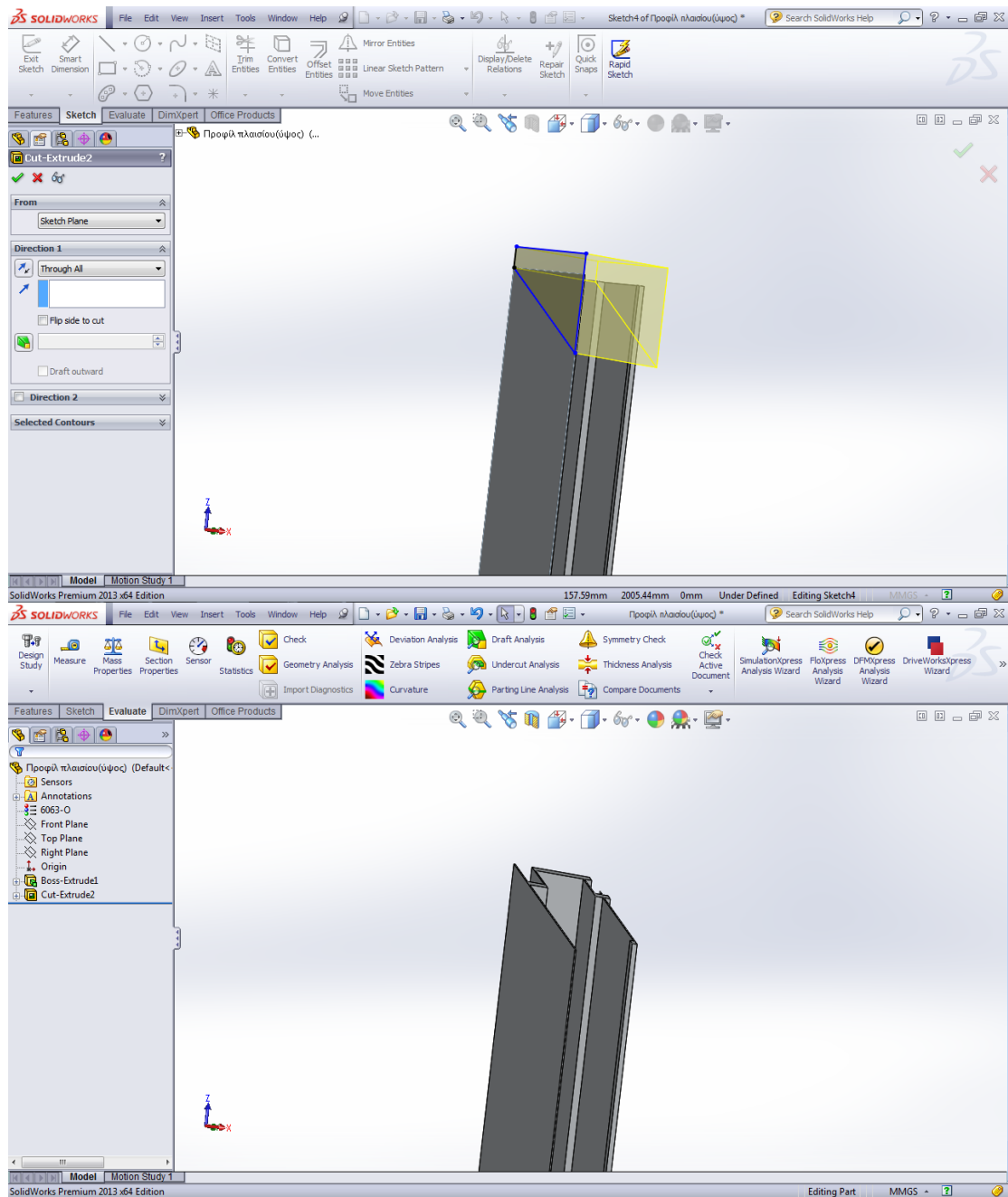


**ΣΧΗΜΑ 3.17:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα απότμησης στα άκρα του κυρίως πλαισίου (ύψος).





**ΣΧΗΜΑ 3.18:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα απότμησης στα άκρα του κυρίως πλαισίου (ύψος).

Στη συνέχεια, με την εντολή  **Extruded Cut** κόβουμε τις άκρες της λωρίδας όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.19** που ακολουθεί.

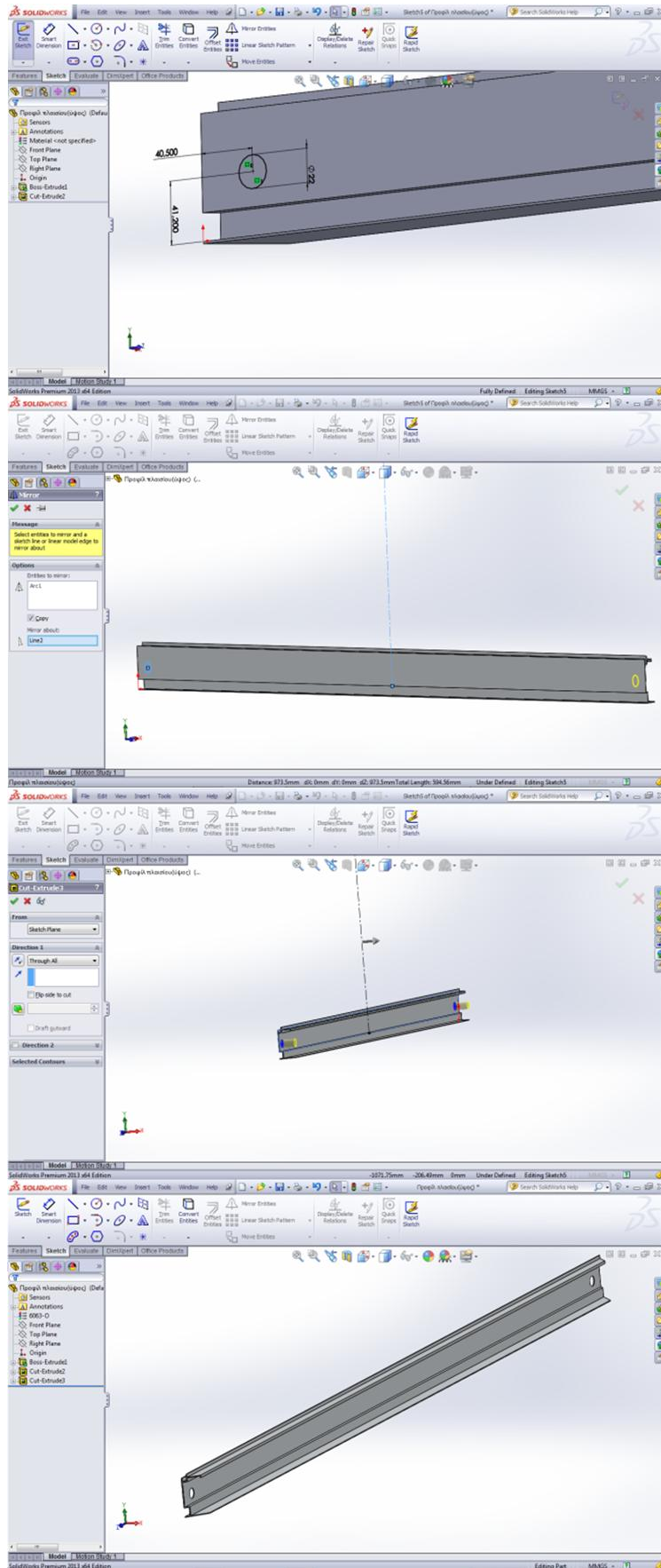


**ΣΧΗΜΑ 3.19:** Σχεδίαση πλαισίου (*frame*), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Απότμηση στα άκρα του κυρίως πλαισίου (ύψος).

**Σημείωση:** το «φάλτσο» αυτό κόψιμο γίνεται, ώστε κατά τη συναρμολόγηση δύο διαδοχικών λωρίδων, η μεταξύ τους γωνία να είναι ίση με  $90^\circ$ .

Σχεδιάζουμε, εν συνεχεία, επί της μεγαλύτερης εκ των κατακόρυφων πλάγιων εξωτερικών επιφανειών, κύκλο διαμέτρου 22mm, το κέντρο του οποίου απέχει από τα πλάγια 40.5mm και από τη βάση 41.2mm, ενώ με χρήση της εντολής  **Mirror Entities**, αντιγράφουμε τον εν λόγω κύκλο και στην άλλη άκρη της λωρίδας. Τέλος, με την εντολή  **Extruded Cut** πραγματοποιούμε τις επιθυμητές διατρήσεις (**ΣΧΗΜΑ 3.20**).





**ΣΧΗΜΑ 3.20:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Διάρθρωση οπών στο κυρίως πλαίσιο (ύψος), για την υποδοχή των συλλεκτών.

### 3.5.3 Σχεδίαση κουμπώματος (ύψος)

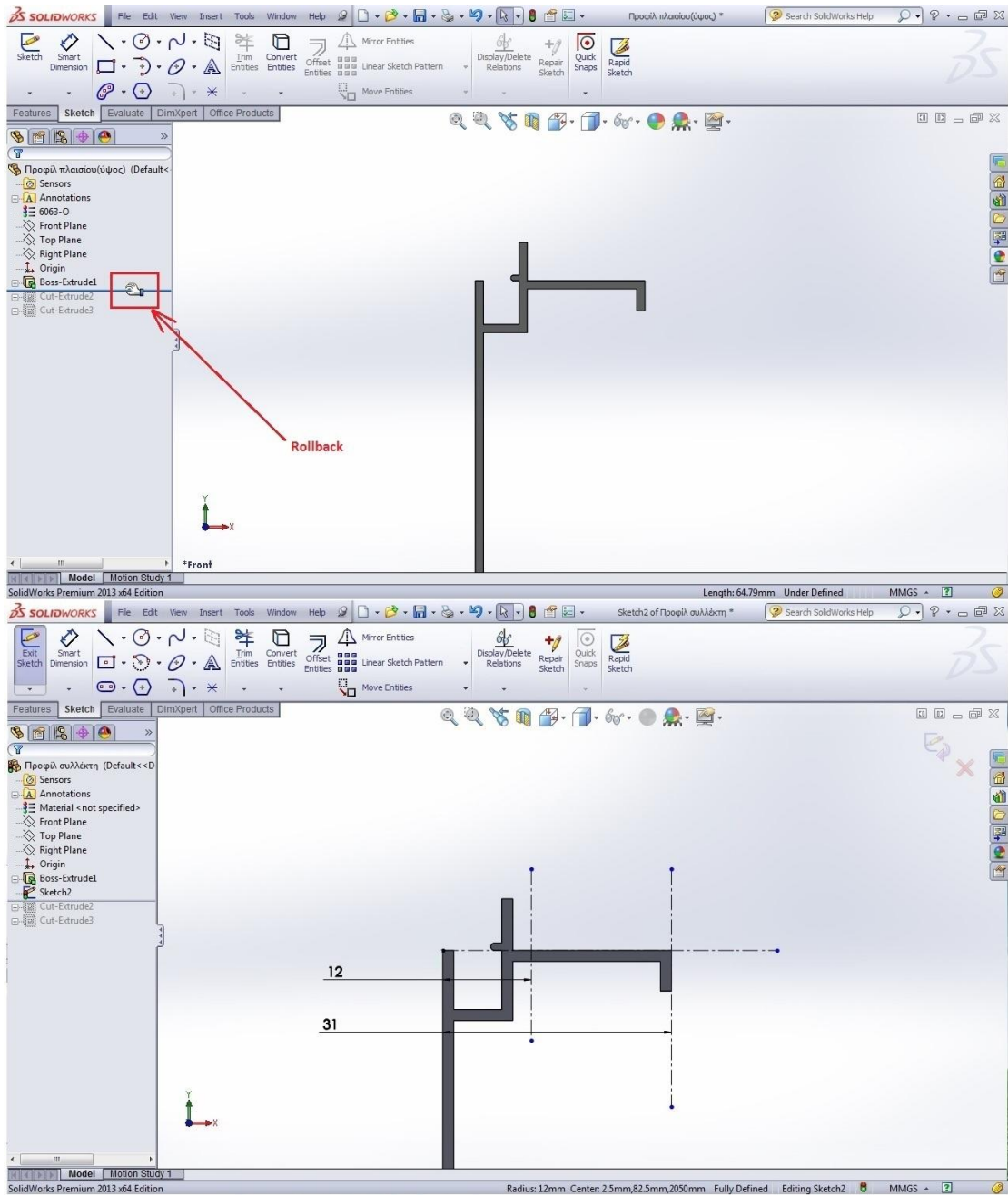
**Χαρακτηριστικά κουμπώματος (ύψος):**

- **Μήκος:** 2050mm
- **Πλάτος:** 31mm
- **Ύψος:** 20mm
- **Πάχος προφίλ:** 1mm
- **Υλικό:** κράμα αλουμινίου 6063-T5
- **Επιφανειακή κατεργασία:-**
- **Λεπτομέρειες:** Τα άκρα των κουμπωμάτων είναι «φάλτσο - κομένα» στις 45°.

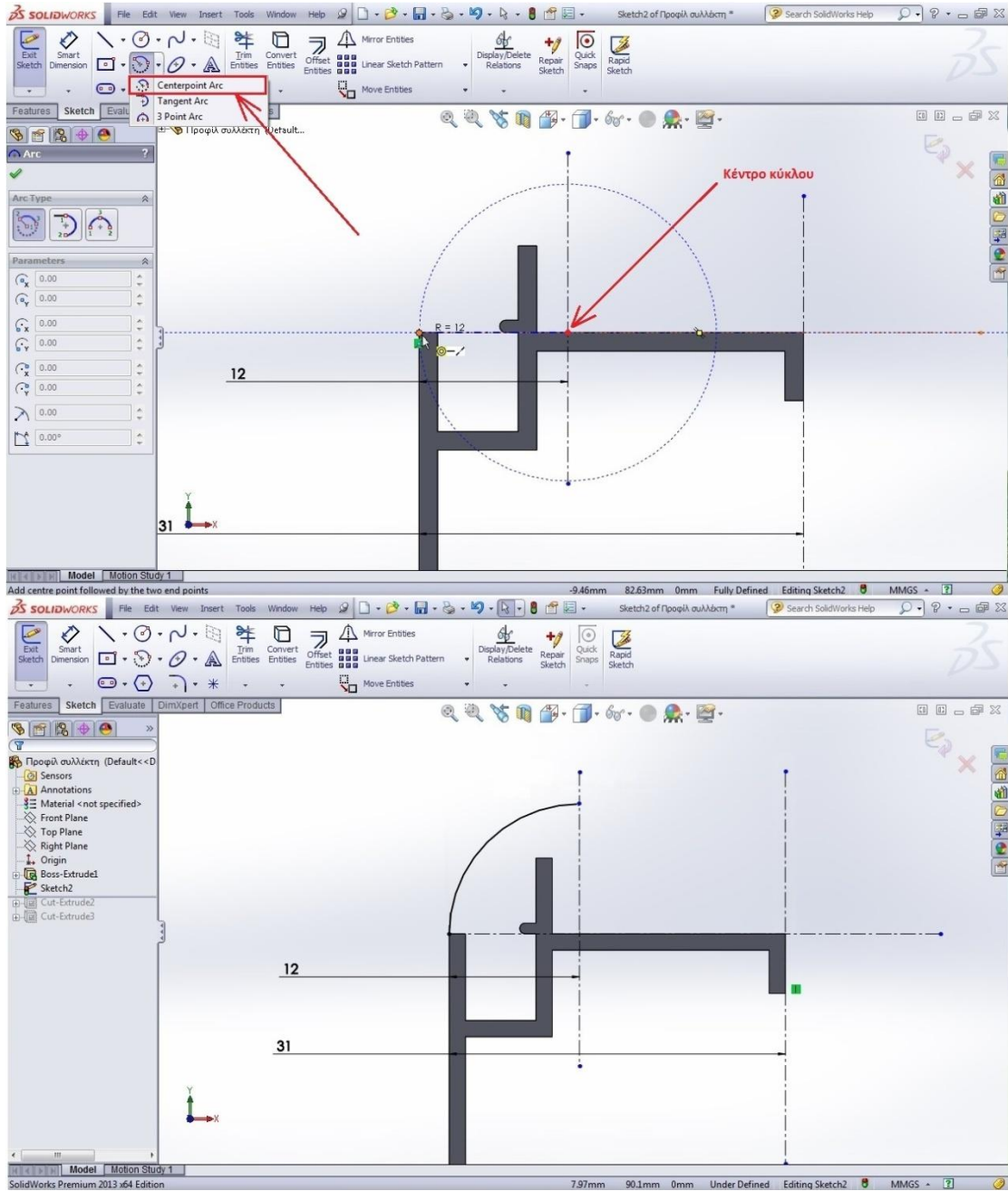
Για τον όσο το δυνατόν ευκολότερο σχεδιασμό του προφίλ του κουμπώματος, θα σχεδιάσουμε το τελευταίο επι του επιπέδου που ορίζεται από το προφίλ του κυρίως πλαισίου και στη συνέχεια θα το μεταφέρουμε σε ένα καινούργιο αρχείο για τα παρελκόμενα.

Αρχικά, καθιστούμε τη λωρίδα του κυρίως πλαισίου κάθετη στην οθόνη του υπολογιστή, κατά τα γνωστά (**Normal To**). Επειδή το επίπεδο της επιφάνειας του προφίλ που βλέπουμε δεν είναι κάθετο επι της οθόνης («φάλτσο-κόψιμο»), μεταθέτουμε τη μπάρα (**Rollback**) που βρίσκεται στην περιοχή του κέντρου ενεργειών, δύο ενέργειες πίσω (πριν τα **Cut Extrude**), ώστε το επίπεδο της επιφάνειας του προφίλ να γίνει παράλληλο με αυτό της οθόνης του υπολογιστή. Ύστερα, ξεκινούμε να σχεδιάζουμε επι του προτελευταίου.

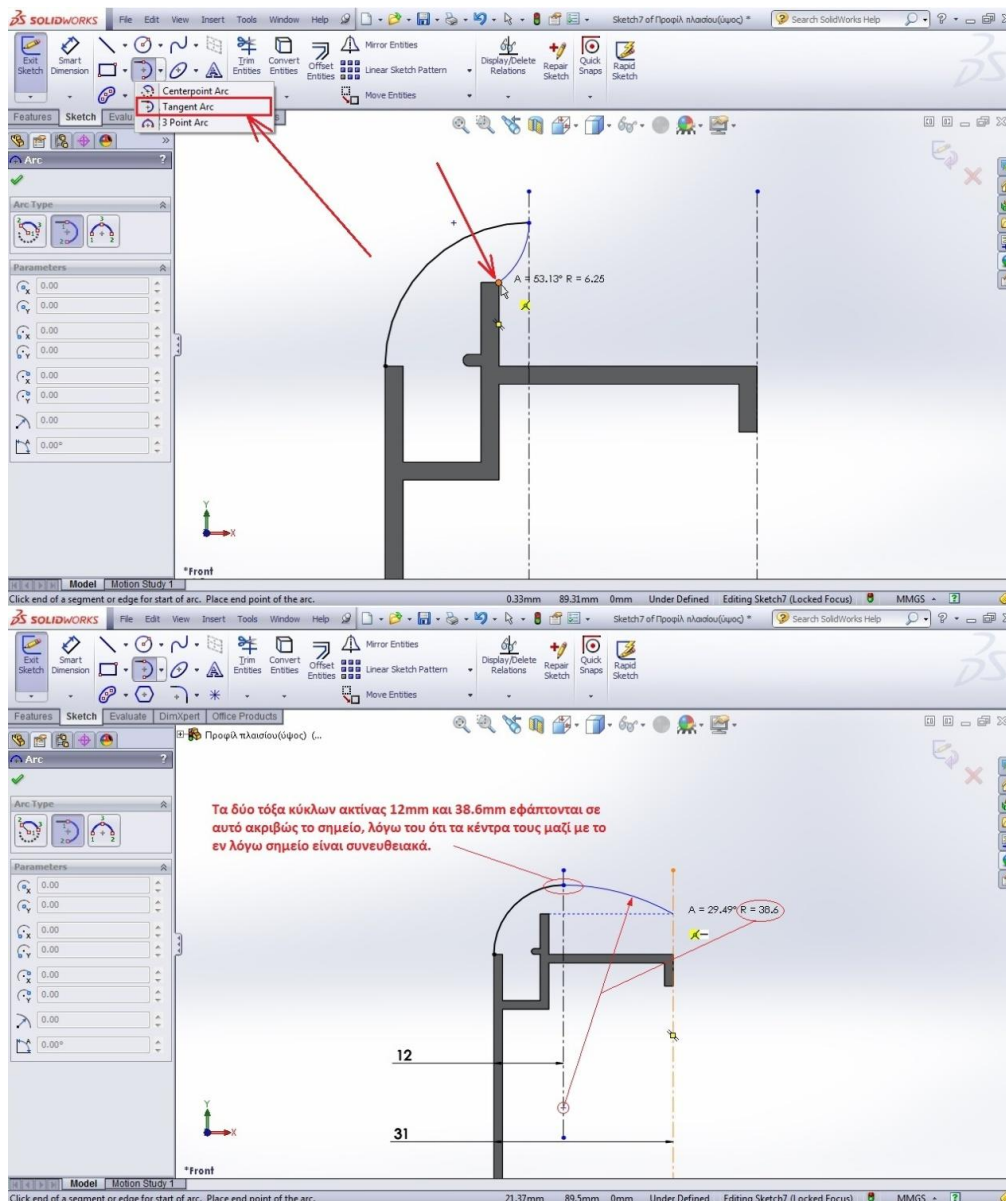
Σχεδιάζουμε, πρώτα, τρεις αξονικές γραμμές (μία οριζόντια και δύο κατακόρυφες), όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (**ΣΧΗΜΑ 3.21**). Οι κατακόρυφες απέχουν 12mm και 31mm από την εξωτερική πλάγια επιφάνεια του πλαισίου αντίστοιχα, ενώ η οριζόντια ανήκει στην επιφάνεια επι της οποίας πρόκειται να τοποθετηθεί η τσιμούχα. Στη συνέχεια, χαράσσουμε ένα τέταρτοκύκλιο ακτίνας 12mm, με κέντρο το σημείο τομής της πρώτης κατακόρυφης αξονικής γραμμής με την αντίστοιχη οριζόντια, μέσω της εντολής **Centerpoint Arc** (**ΣΧΗΜΑ 3.22**). Έπειτα, με την εντολή **Tangent Arc** δημιουργούμε ένα τόξο κύκλου διαμέτρου 38.6mm, το κέντρο του οποίου ανήκει επίσης στην πρώτη κατακόρυφη αξονική, δεδομένου ότι η εν λόγω εντολή καθιστά τα δύο τόξα εφαιπτόμενα στο σημείο από όπου ξεκινήσαμε τη σχεδίαση του δεύτερου τόξου (**ΣΧΗΜΑ 3.23**). Το πρώτο σημείο του δεύτερου τόξου ταυτίζεται με εκείνο το σημείο του πρώτου τόξου που ανήκει στην πρώτη κατακόρυφη αξονική γραμμή, ενώ το τελικό σημείο βρίσκεται επί της δεύτερης κατακόρυφης αξονικής, σε απόσταση επτά χιλιοστών από την αντίστοιχη οριζόντια. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός του παραπάνω σημείου γίνεται με τη βοήθεια της διακεκομμένης γραμμής που εμφανίζεται εάν περάσουμε το ποντίκι μας πάνω από ένα από τα δύο ανώτερα σημεία της πρώτης προεσοχής, όπως αυτή ορίσθηκε κατά τον σχεδιασμό του κυρίως πλαισίου (βλ. **ΣΧΗΜΑ 3.12**).



**ΣΧΗΜΑ 3.21:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα κουμπώματος.



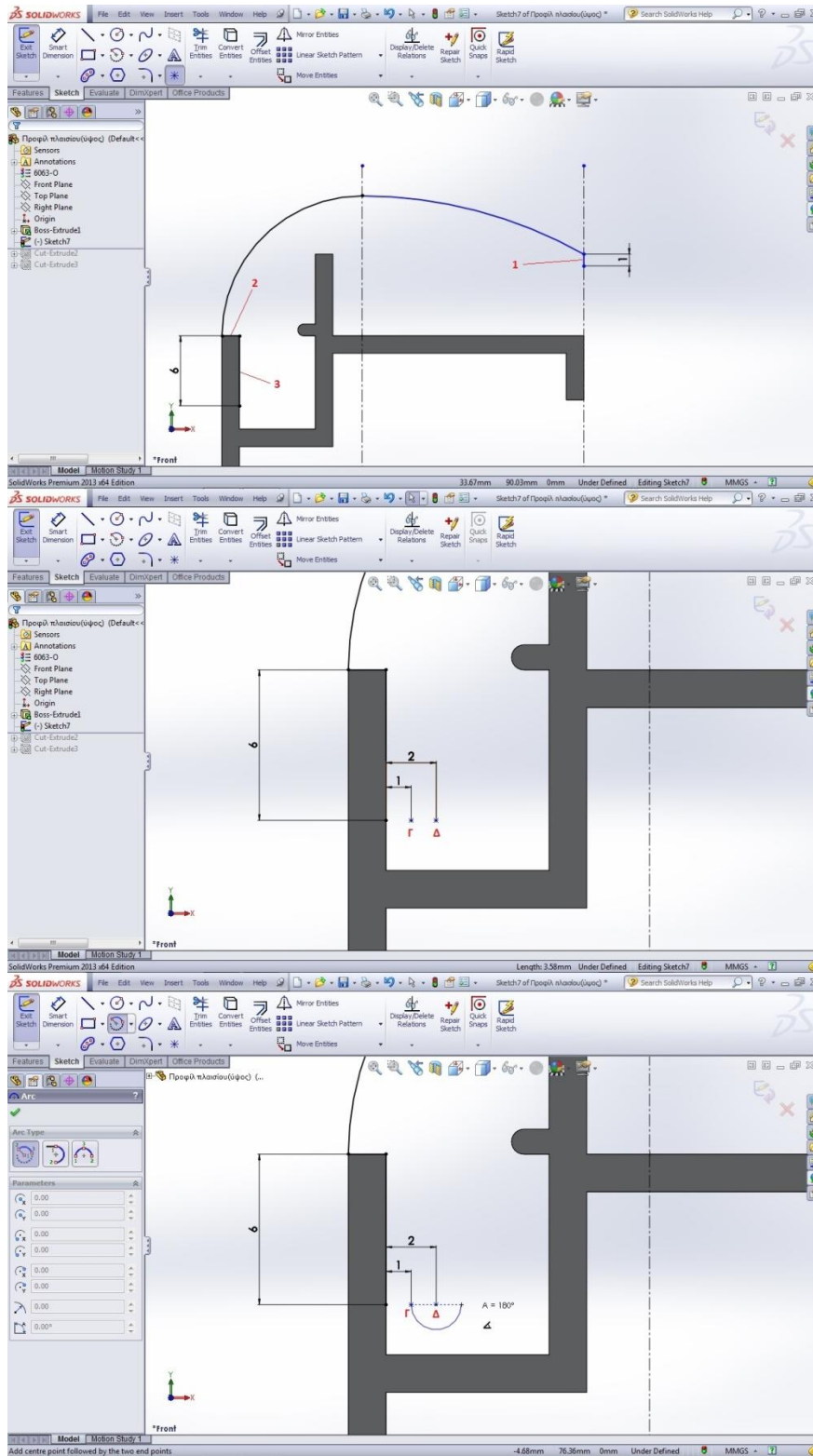
**ΣΧΗΜΑ 3.22:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περιγράμμα κομπώματος.



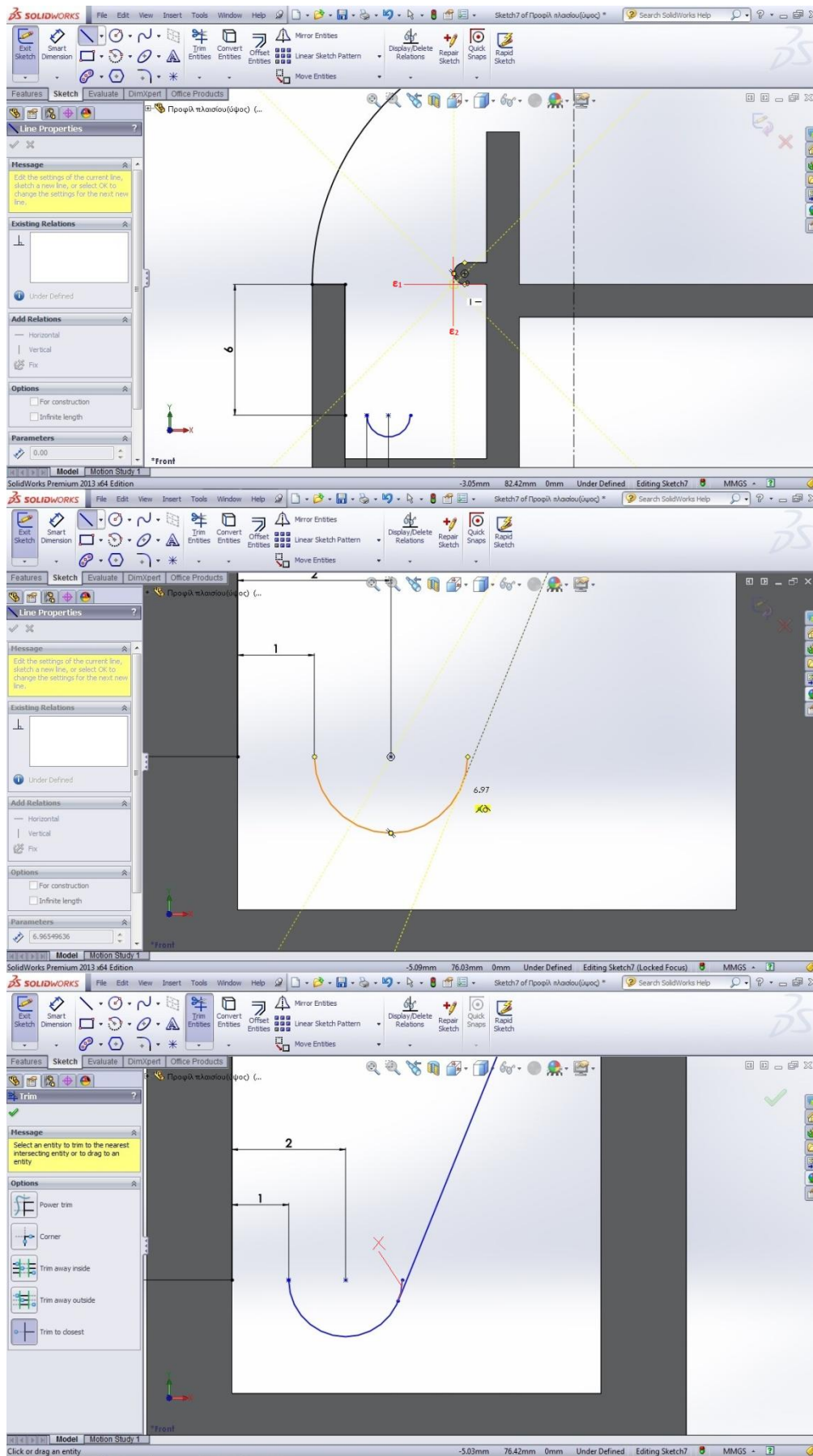
**ΣΧΗΜΑ 3.23:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περιγράμμα κουμπώματος.

Αργότερα, χαράσσουμε τρία ευθύγραμμα τμήματα μήκους 1, 1.5 και 6mm, όπως φαίνεται στην πρώτη εκ των παρακάτω εικόνων (**ΣΧΗΜΑ 3.24**). Εν συνεχεία, σχεδιάζουμε δύο σημεία(Γ και Δ), τα οποία απέχουν ένα και δύο χιλιοστά από την εσωτερική πλευρά της δεύτερης προεξοχής αντίστοιχα, ενώ και τα δύο ανήκουν στην οριζόντια ευθεία που ορίζεται από το πέρας του τρίτου εθυγράμμου τμήματος(6mm), δεδομένου ότι το τελευταίο σχεδιάστηκε με φορά από πάνω προς τα κάτω. Σχεδιάζουμε, λοιπόν, ένα ημικύκλιο, μέσω της εντολής **Centerpoint Arc**, με κέντρο το σημείο Δ, έτσι ώστε το ένα του άκρο να ταυτίζεται με το σημείο Γ (**ΣΧΗΜΑ 3.24**). Ύστερα, φέρνουμε μία ημιευθεία, με αρχικό σημείο την τομή δύο εφάπτομένων ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ) στο ημικύκλιο του «νυχιού», όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.25**, έτσι ώστε να εφάπτεται του ημικυκλίου που σχεδιάσαμε προηγουμένως, ενώ με την εντολή **Trim Entities** αποκόπτουμε το τμήμα του ημικυκλίου που δεν μας ενδιαφέρει.

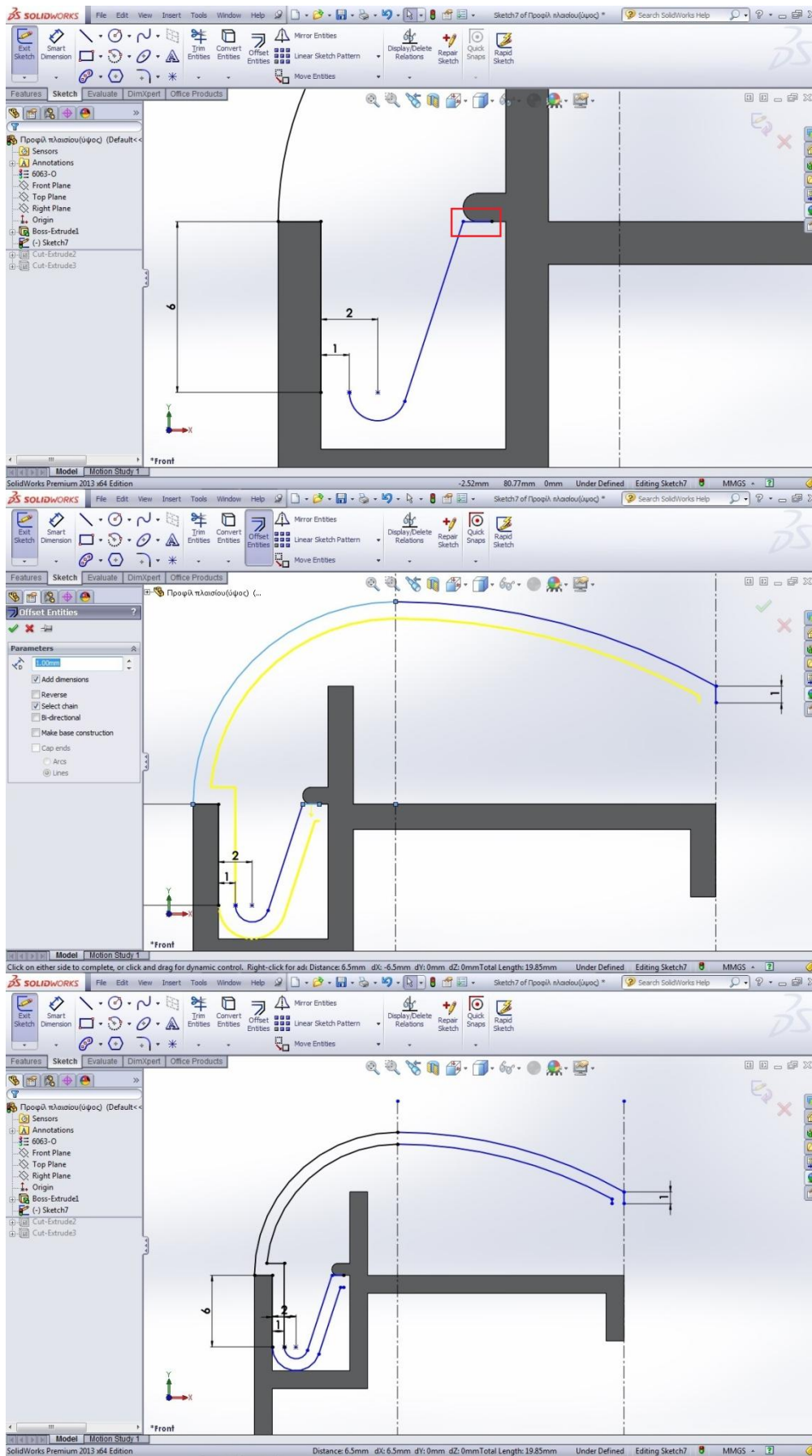
Σχεδιάζουμε, επίσης, ένα οριζόντιο ευθύγραμμο τμήμα μήκους ενός χιλιοστού προς τα δεξιά, ξεκινώντας από το αρχικό σημείο της προηγούμενης ημιευθείας. Στη συνέχεια, με την εντολή **Offset Entities**, αφού επιλέξουμε το προηγούμενο ευθύγραμμο τμήμα, καθώς και το τεταρτοκύκλιο ακτίνας 12mm, προκύπτει εν μέρει το προφίλ του κουμπώματος (**ΣΧΗΜΑ 3.26**).



**ΣΧΗΜΑ 3.24:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα κουμπώματος.



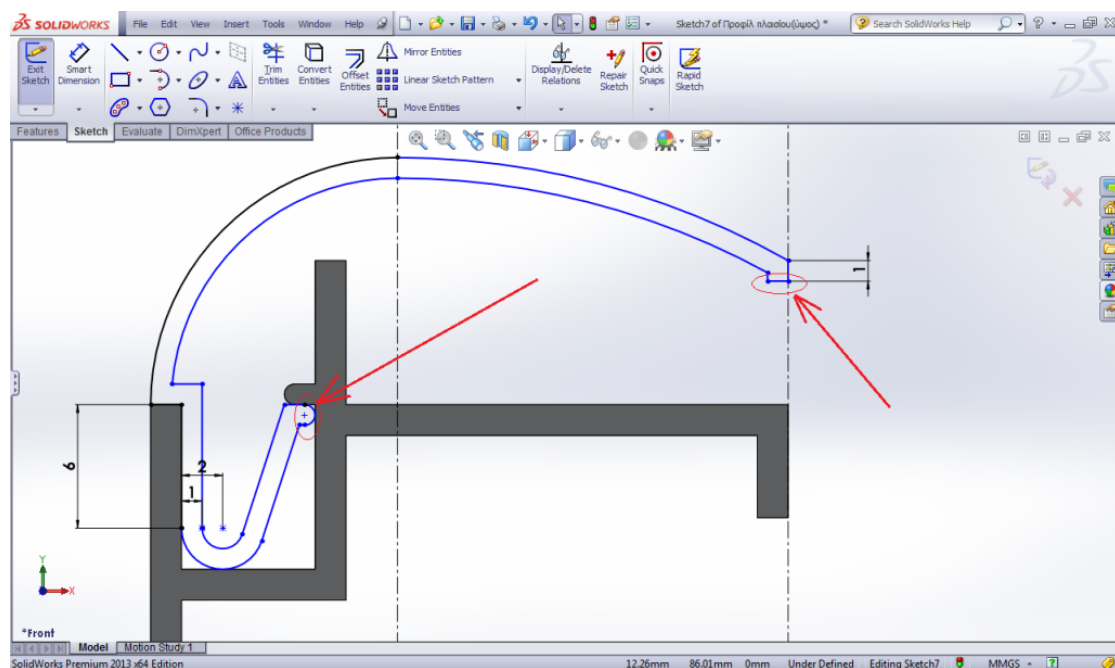
**ΣΧΗΜΑ 3.25:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα κουμπώματος.




**ΣΧΗΜΑ 3.26:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περιγράμμα κουμπώματος.

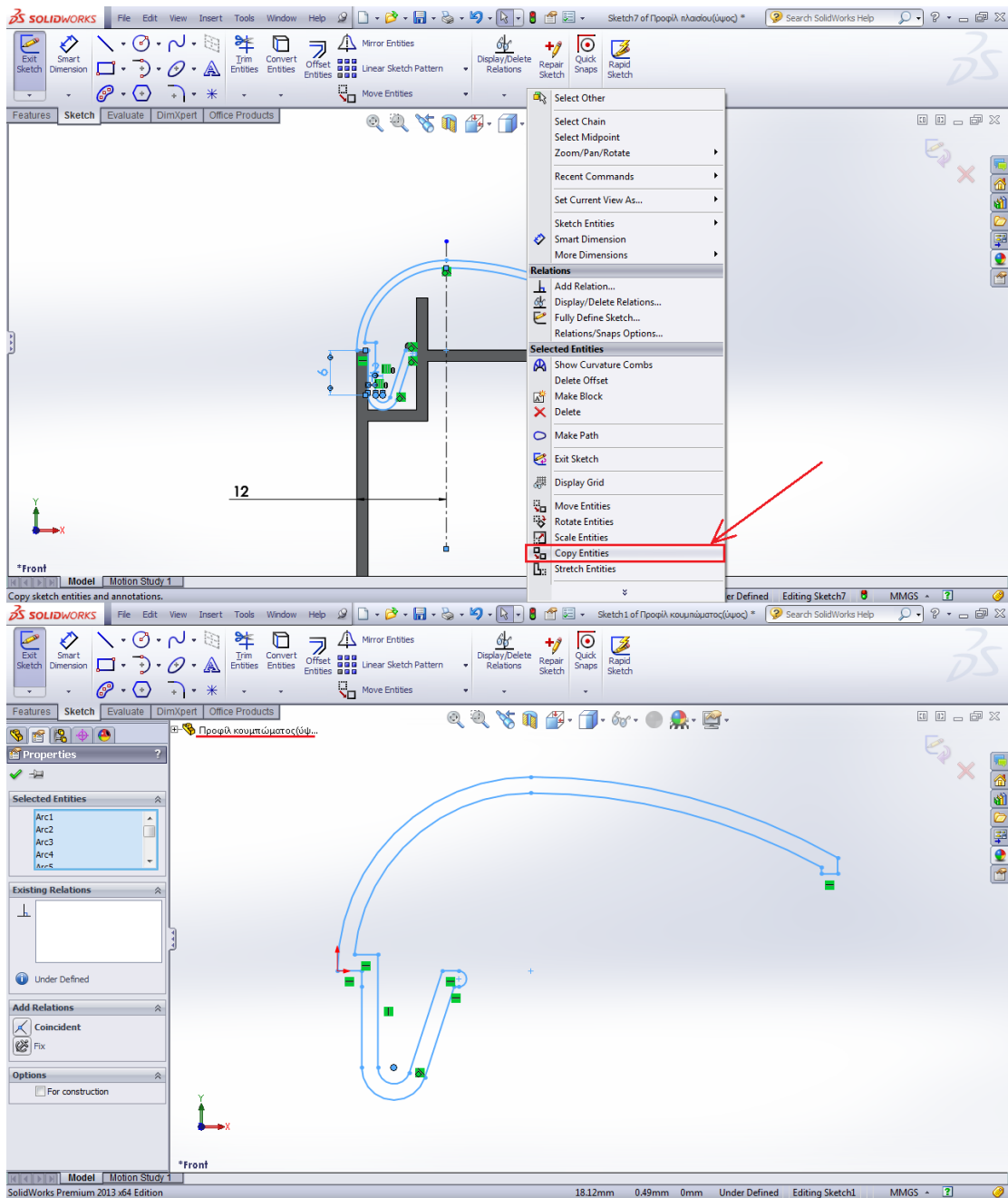


Το μόνο που εκκρεμεί είναι να «κλείσουμε» το προκύπτων σχήμα. Αυτό θα γίνει χαράσσοντας, στα δύο ανοιχτά του άκρα, ένα ευθύγραμμο τμήμα μήκους ενός χιλιοστού και ένα ημικύκλιο ακτίνας 0.5mm αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.27**.

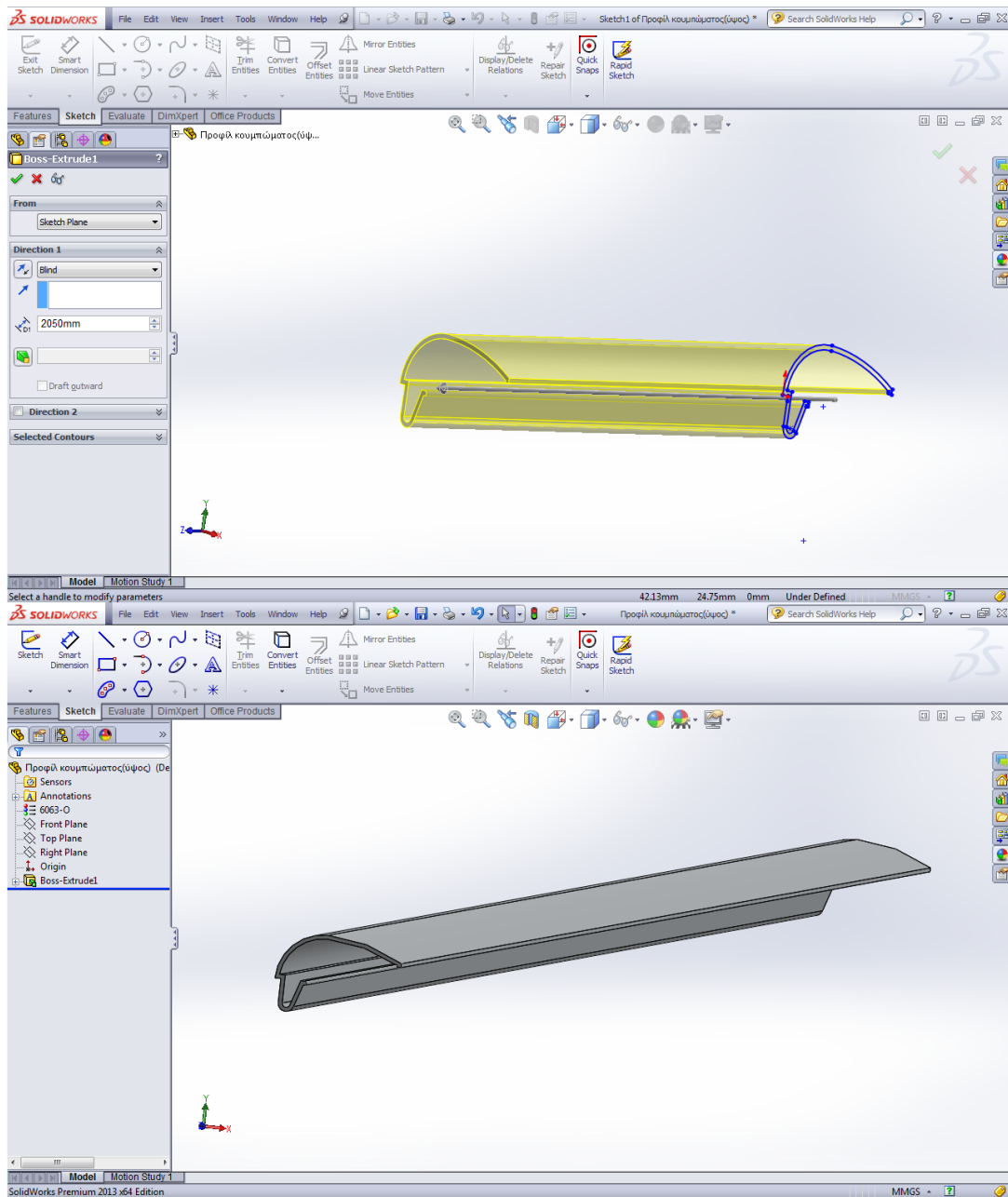


**ΣΧΗΜΑ 3.27:** Σχεδίαση πλαισίου (*frame*), μέσω του προγράμματος *Solidworks*. / Περίγραμμα κουμπώματος.

Έχοντας έτοιμο, λοιπόν, το περίγραμμα του προφίλ του κουμπώματος, το αντιγράφουμε και το επικολλούμε, κατά τα γνωστά, σε ένα καινούργιο αρχείο με όνομα **Προφίλ κουμπώματος (ύψος)** (**ΣΧΗΜΑ 3.28**) και στη συνέχεια το εξωθούμε κατά 2050mm, με τη βοήθεια της εντολής  **Extruded Boss/Base** (**ΣΧΗΜΑ 3.29**).

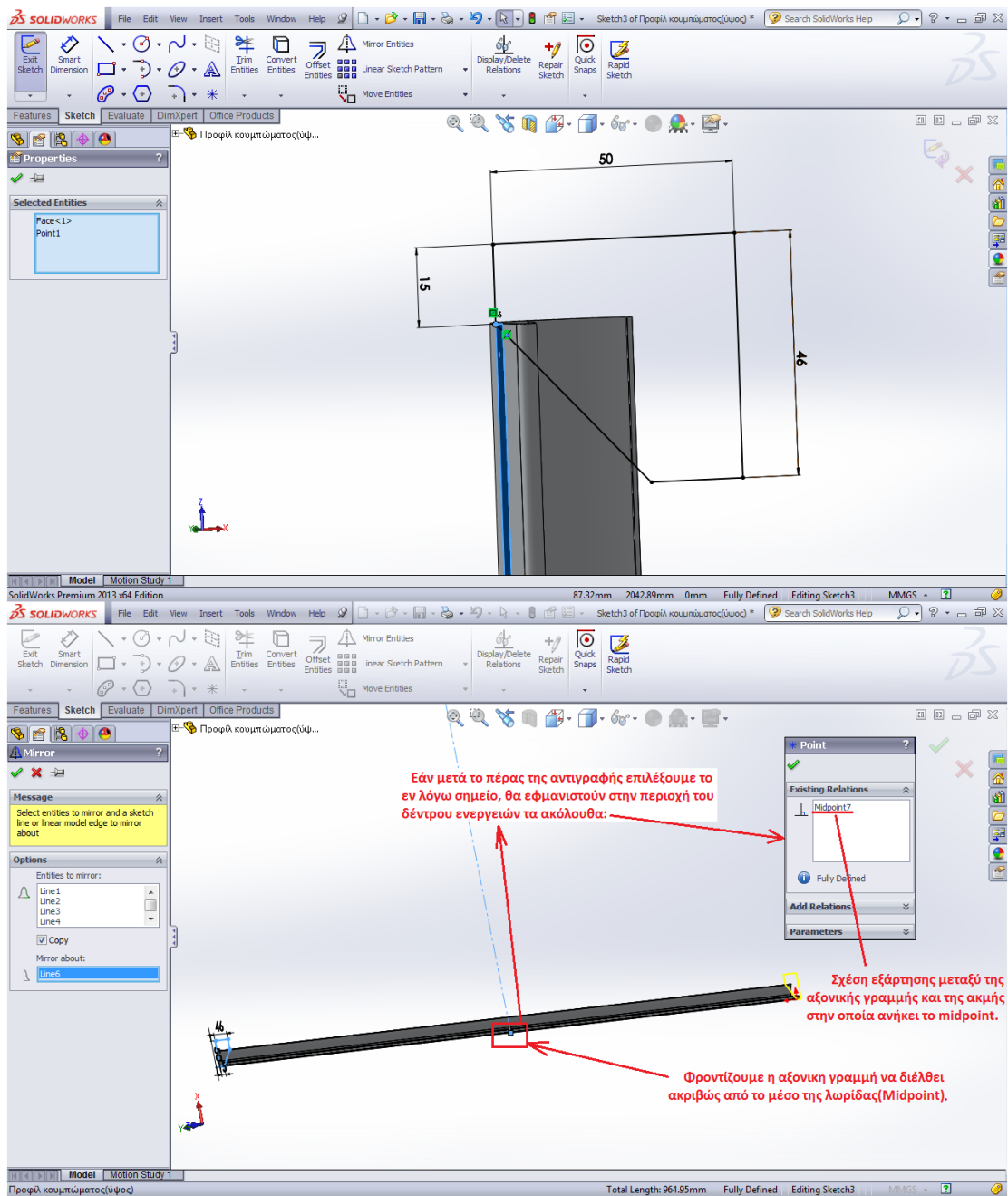


**ΣΧΗΜΑ 3.28:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Αποθήκευση περιγράμματος κουμπώματος σε νέο αρχείο με όνομα «κούμπωμα (ύψος)».

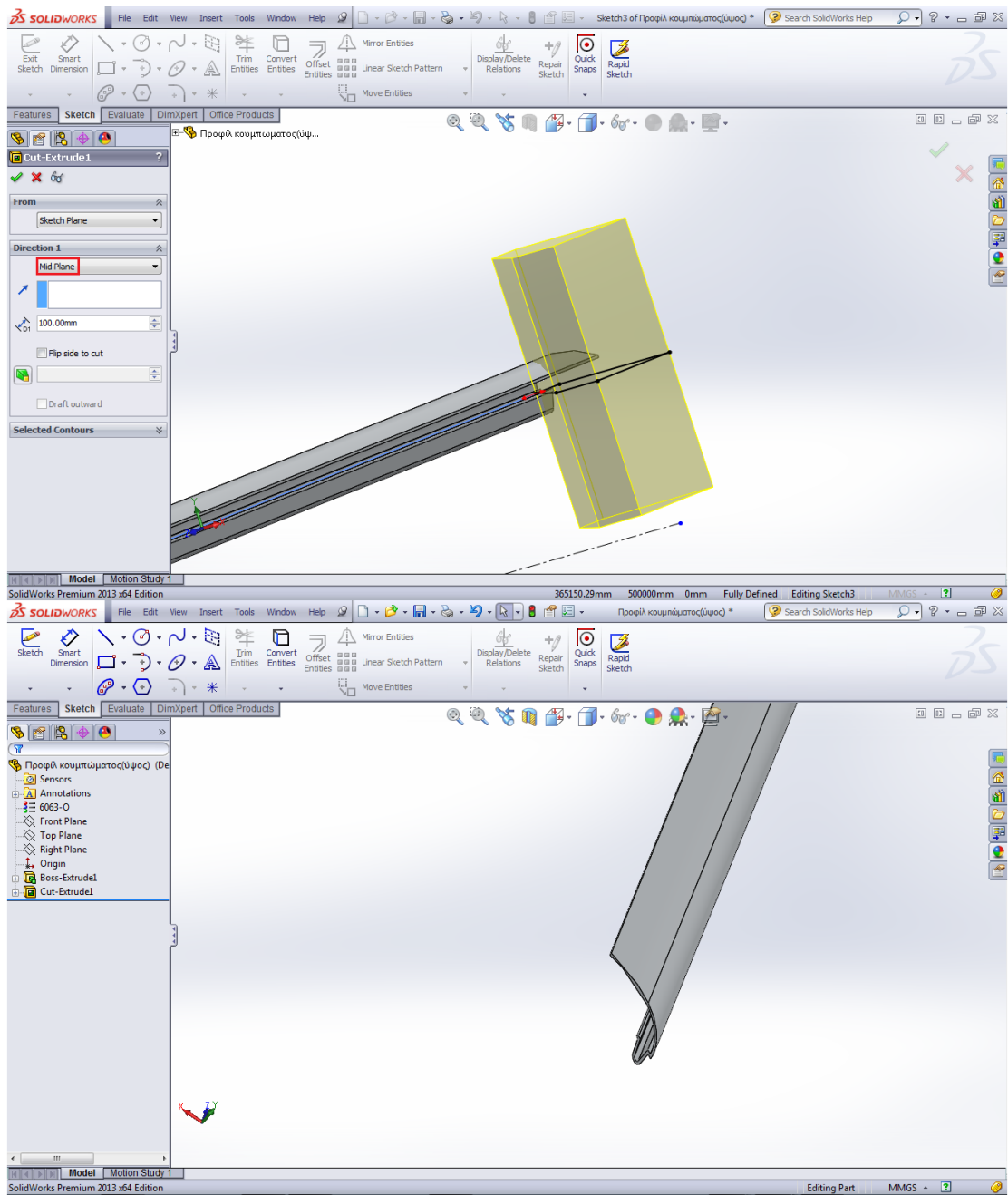


**ΣΧΗΜΑ 3.29:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εξώθηση περιγράμματος και ορισμός υλικού κουμπώματος (ύψος).

Έπειτα, επιλέγουμε την επίπεδη επιφάνεια του κουμπώματος που εικονίζεται (με μπλε χρώμα) στο **ΣΧΗΜΑ 3.30** και σχεδιάζουμε, επί του επιπέδου που ορίζει αυτή, το περίγραμμα με το οποίο θα κόψουμε τα άκρα του κουμπώματος (με κλίση  $45^\circ$  ως προς το κάθετο στην κατεύθυνση εξώθησης επίπεδο), ενώ αμέσως μετά, το αντιγράφουμε στην άλλη άκρη της λωρίδας, μέσω της εντολής **Mirror Entities**, φροντίζοντας η αξονική που θα χαράξουμε να διέρχεται από το μέσο της λωρίδας. Και εδώ όπως και στην περίπτωση του κυρίως πλαισίου, διαστασιολογούμε το περίγραμμα, ώστε να προκύψει πλήρως ορισμένο. Επειδή το επίπεδο του περιγράμματος βρίσκεται μεταξύ των δύο κατακόρυφων άκρων του κουμπώματος, θα κόψουμε με τη βοήθεια της **Extruded Cut**, επιλέγοντας ως συνθήκη κοπής τη **Mid Plane (ΣΧΗΜΑ 3.31)**.

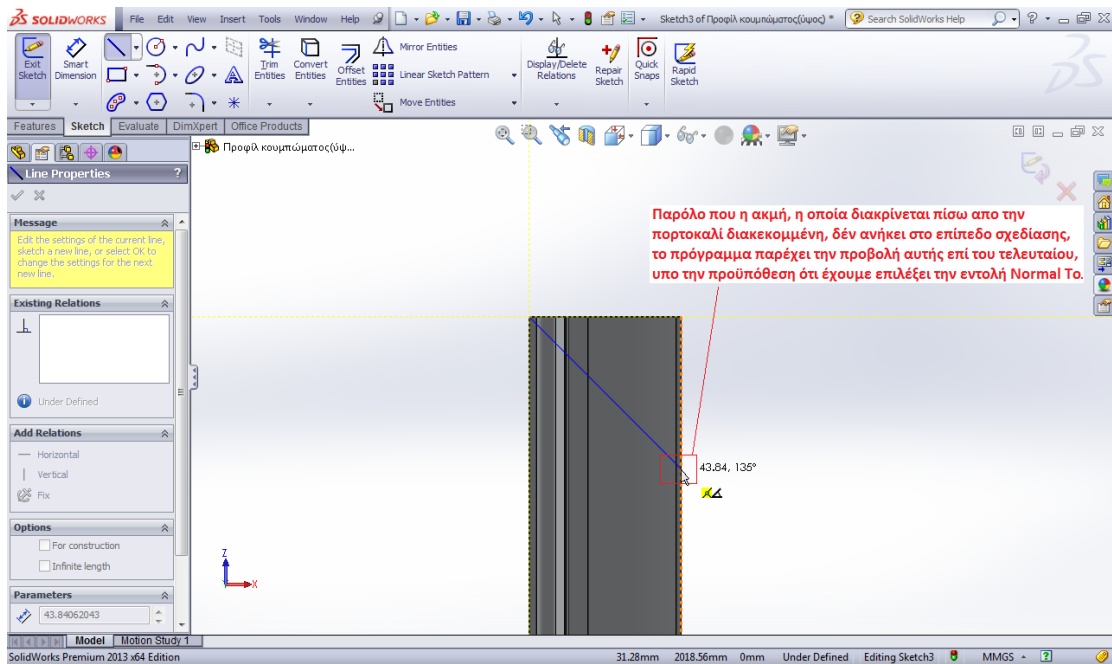


**ΣΧΗΜΑ 3.30:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα απότμησης στα άκρα του κουμπώματος (ύψος).



**ΣΧΗΜΑ 3.31:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Απότμηση στα άκρα του κουμπώματος (ύψος).

Στην επόμενο σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 3.32**) παρατίθεται το πώς σχεδιάζουμε την πρώτη γραμμή του περιγράμματος απότμησης, έχοντας στο πλευρό μας τις ευκολίες που παρέχει το λογισμικό.





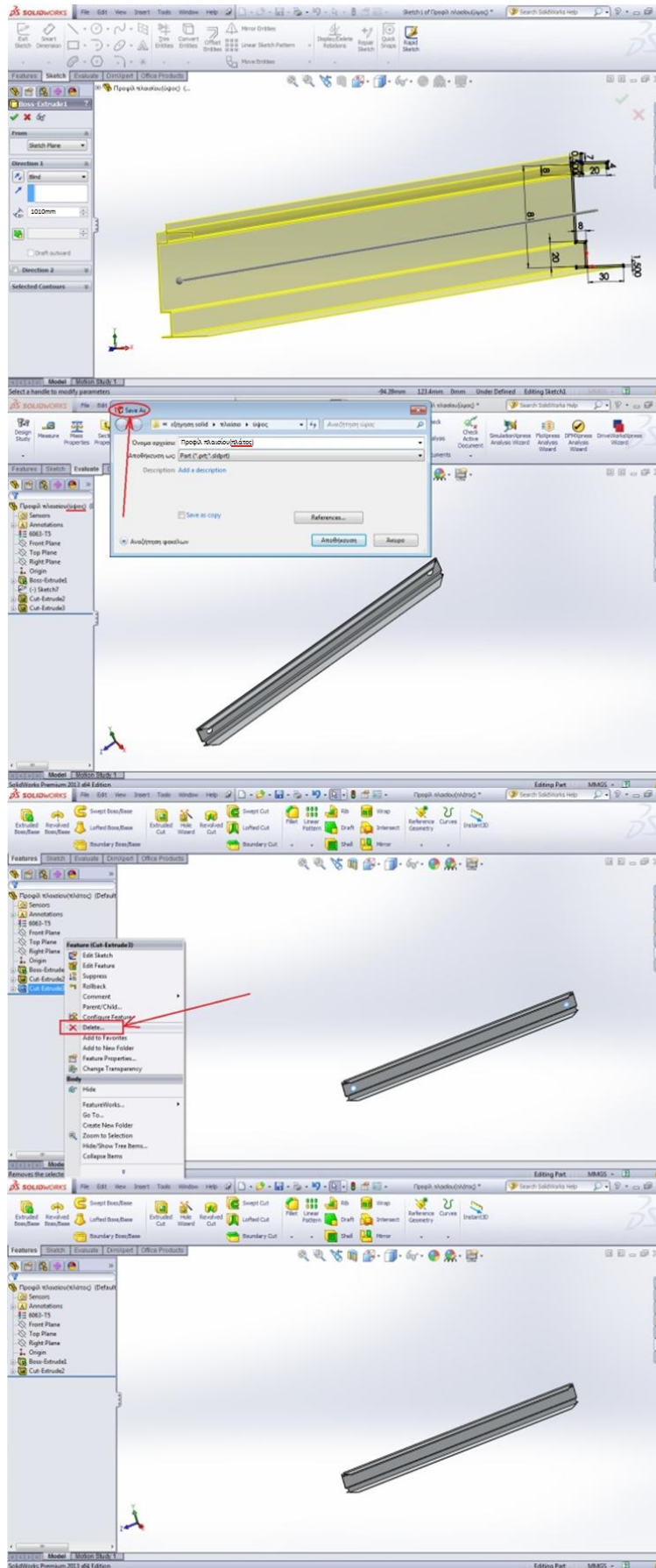
**ΣΧΗΜΑ 3.32:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εξήγηση τεχνικής με την οποία σχεδιάσαμε την πρώτη γραμμή του περιγράμματος απότμησης του κουμπώματος (ύψος).

### 3.5.4 Σχεδίαση κυρίως πλαισίου (πλάτος)

Χαρακτηριστικά κυρίως πλαισίου (πλάτος):

- **Μήκος:** 1010mm
- **Πλάτος:** 39.5mm
- **Ύψος:** 91mm
- **Πάχος προφίλ:** 1.5mm
- **Υλικό:** κράμα αλουμινίου 6063-T5
- **Επιφανειακή κατεργασία:-**
- **Λεπτομέρειες:** Τα άκρα των κουμπωμάτων είναι «φάλτσο – κομένα» στις 45°

Για τη σχεδίαση της κατά πλάτος λωρίδας του κυρίως πλαισίου, αλλάζουμε το όρισμα στη συνθήκη εξώθησης της ήδη υπάρχουσας κατά μήκος λωρίδας από 2050mm σε 1010mm, αποθηκεύουμε την αλλαγή αυτή σε ένα νέο αρχείο και διαγράφουμε το  **Cut-Extrude** που αφορά στη διάτρηση, όπως φαίνεται παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 3.33**). Η κατεργασία της απότμησης ακολουθεί τη συμμετρία μεταξύ των δύο άκρων, λόγω του ότι φροντίσαμε η αξονική γραμμή, με τη βοήθεια της οποίας αντιγράψαμε το περίγραμμα κοπής από τη μία μεριά στην άλλη (  **Mirror Entities**), να διέρχεται ακριβώς από το μέσο της λωρίδας. Επίσης, ο πλήρης διαστατικός ορισμός του περιγράμματος απότμησης, καθιστά τη μορφή αυτού αμετάβλητη απέναντι στην αλλαγή του μήκους της λωρίδας.



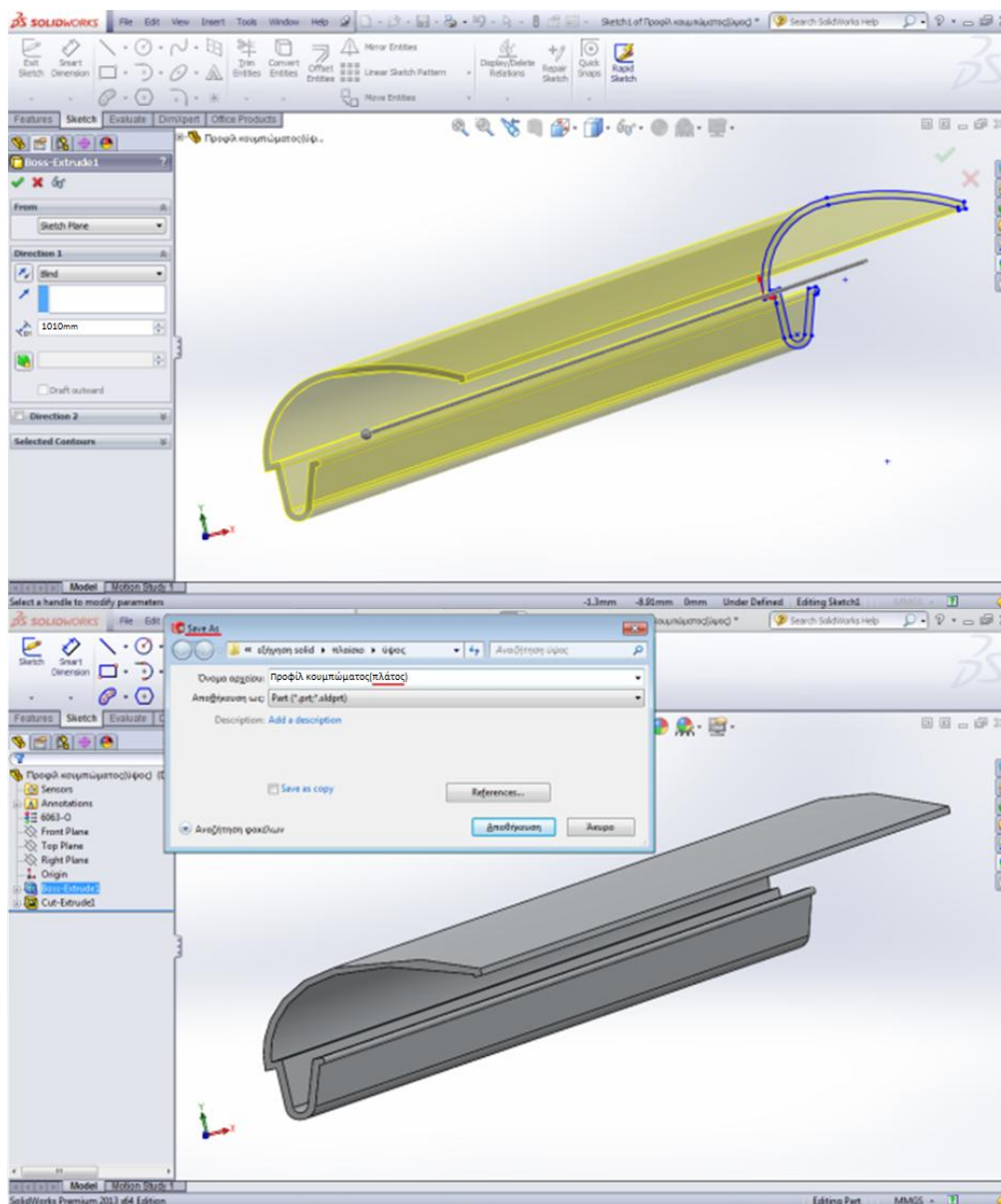
**ΣΧΗΜΑ 3.33:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Κυρίως πλαίσιο (πλάτος).

### 3.5.5 Σχεδίαση κουμπώματος (πλάτος)

Χαρακτηριστικά κουμπώματος (πλάτος):

- Μήκος: 1010mm
- Πλάτος: 31mm
- Ύψος: 20mm
- Πάχος προφίλ: 1mm
- Υλικό: κράμα αλουμινίου 6063-T5
- Επιφανειακή κατεργασία:-
- Λεπτομέρειες: Τα άκρα των κουμπωμάτων είναι φάλτσο-κομμένα στις 45°.

Για τη σχεδίαση του κουμπώματος κατά πλάτος (**ΣΧΗΜΑ 3.34**) εργαζόμαστε όμοια με τα προηγούμενα.



**ΣΧΗΜΑ 3.34:** Σχεδίαση πλαισίου (frame), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Κούμπωμα (πλάτος).






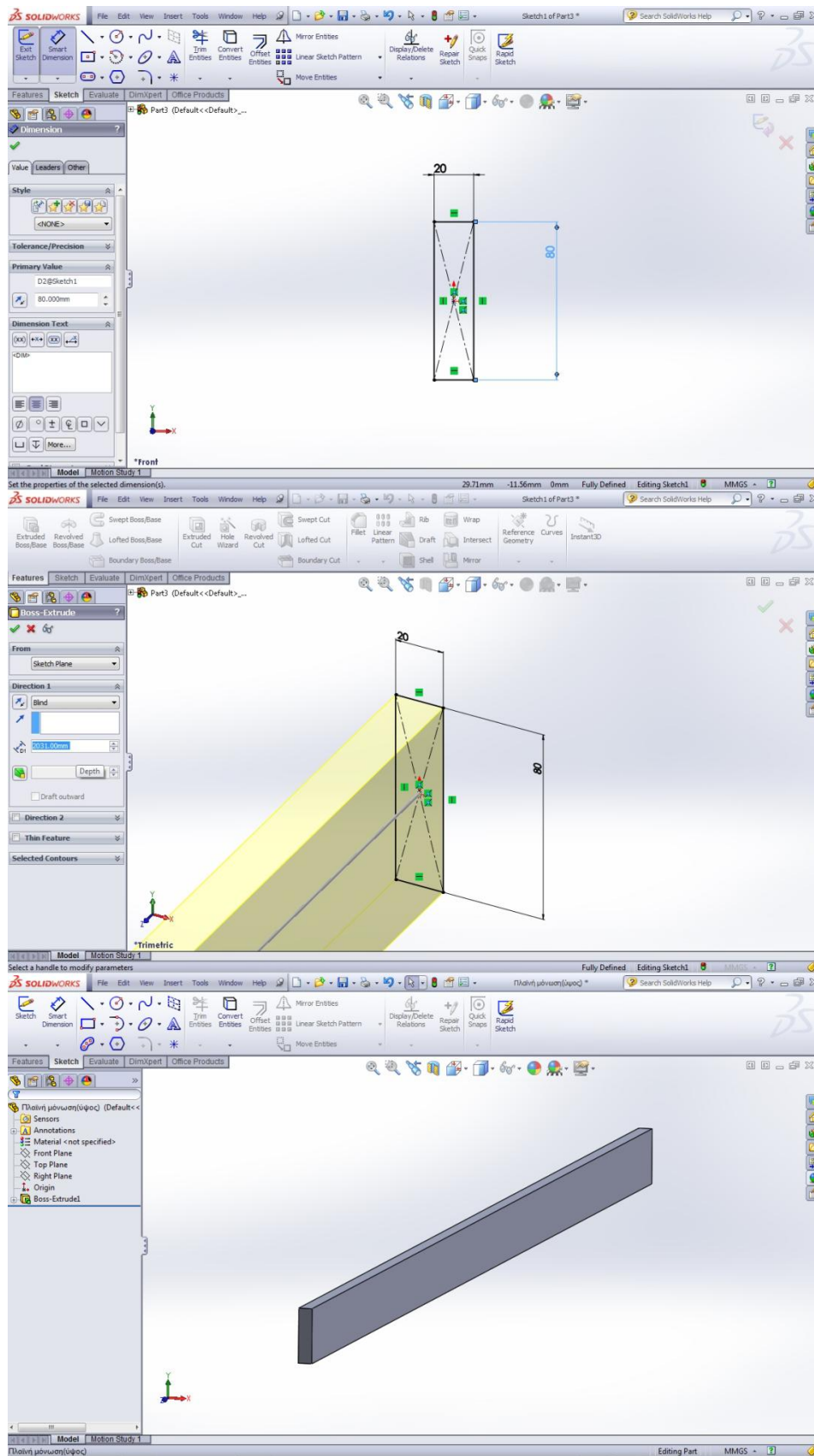
## 3.6 Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation)

### 3.6.1 Σχεδίαση πλαϊνής μόνωσης (ύψος)

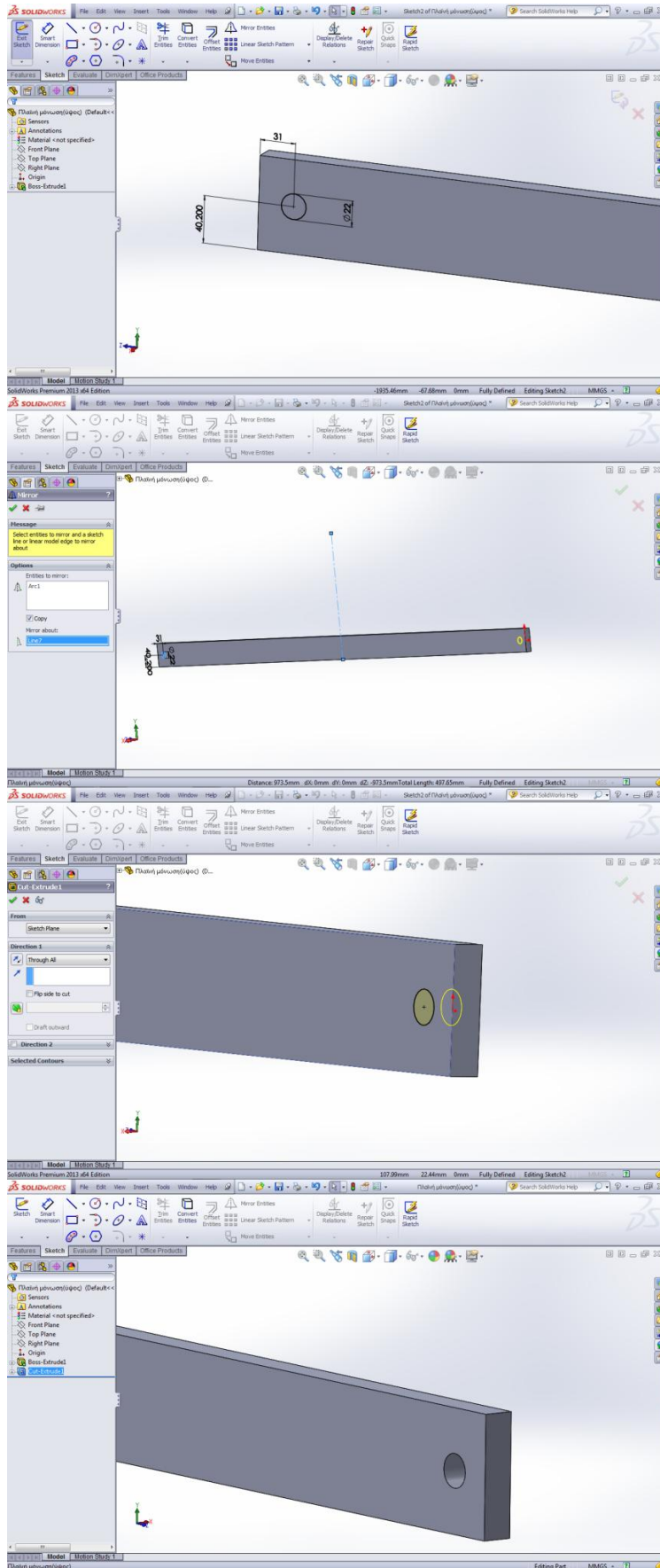
Χαρακτηριστικά πλαϊνής μόνωσης(ύψος):

- **Μήκος:** 2031mm
- **Πλάτος:** 80mm
- **Πάχος:** 20mm
- **Υλικό:** υαλοβάμβακας
- **Λεπτομέρειες:** περιλαμβάνει δύο οπές εκ των οποίων πρόκειται να διέλθουν οι επικεφαλής σωλήνες (headers). Επίσης, η εσωτερική του μεριά καλύπτεται από υαλοϋφασμα μαύρου χρώματος για λόγους αισθητικούς αλλά και πρακτικούς.

Σχεδιάζουμε, αρχικά, ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο ύψους 80mm και πλάτους 20mm, μέσω της εντολής  **Center Rectangle**, με το σημείο τομής των διαγωνίων του να ταυτίζεται με την αρχή των αξόνων και το εξωθούμε, με τη βοήθεια της εντολής  **Extruded Boss/Base**, κατά 2031mm (**ΣΧΗΜΑ 3.35**). Ύστερα, σχεδιάζουμε επί της μίας πλαϊνής επιφάνειας, διαστάσεων 80mm×2031mm, κύκλο διαμέτρου 22mm, το κέντρο του οποίου απέχει από τη γειτονική κατακόρυφη επιφάνεια 31mm και από τη βάση της μόνωσης 40.2mm. Στη συνέχεια, αντιγράφουμε τον εν λόγω κύκλο στην άλλη μεριά της μόνωσης και πραγματοποιούμε διάτρηση με την εντολή  **Extruded Cut** (**ΣΧΗΜΑ 3.36**).

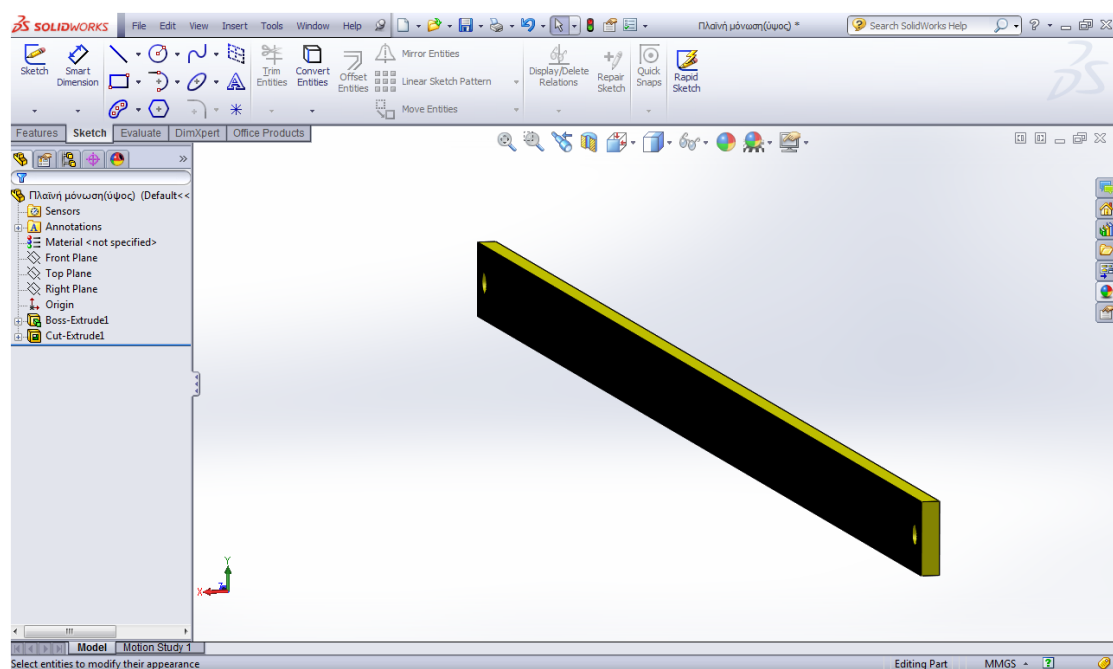


**ΣΧΗΜΑ 3.35:** Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση και εξώθηση περιγράμματος πλαϊνής μόνωσης (ύψος).



**ΣΧΗΜΑ 3.36:** Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Διάτρηση οπών στην πλαϊνή μόνωση (ύψος), για την υποδοχή των συλλεκτών.

Επειδή η συγκεκριμένη έκδοση του προγράμματος δεν περιλαμβάνει στη βιβλιοθήκη των υλικών τον υαλοβάμβακα, θα ορίσουμε απλά το χρώμα αυτού (**ΣΧΗΜΑ 3.37**). Εξάλλου, ο ορισμός των υλικών σε αυτή τη φάση είναι καθαρά τυπικός, αφού κατά την προσομοίωση θα γίνει εκ νέου ορισμός, μέσω άλλης ευρύτερης βιβλιοθήκης.



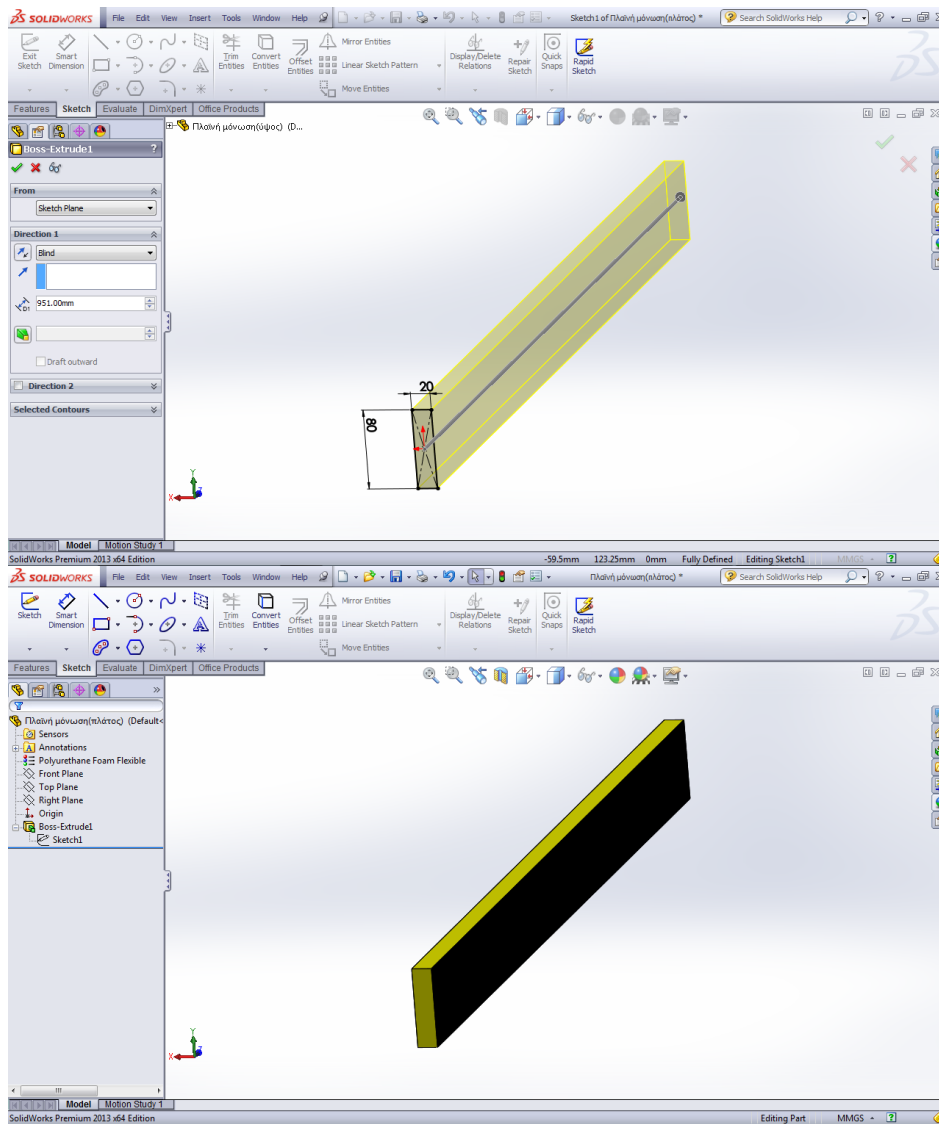
**ΣΧΗΜΑ 3.37:** Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Πρόσδωση τελικής εμφάνισης στην πλαϊνή μόνωση (ύψος).

### 3.6.2 Σχεδίαση πλαϊνής μόνωσης (πλάτος)

**Χαρακτηριστικά πλαϊνής μόνωσης (πλάτος):**

- **Μήκος:** 951mm
- **Πλάτος:** 80mm
- **Πάχος:** 20mm
- **Υλικό:** υαλοβάμβακας
- **Λεπτομέρειες:** Η εσωτερική του μεριά καλύπτεται από υαλοϋφασμα μαύρου χρώματος.

Για τη σχεδίαση του εν λόγω αντικειμένου (**ΣΧΗΜΑ 3.38**), θα εργασθούμε όμοια με την περίπτωση του κυρίως πλαισίου.



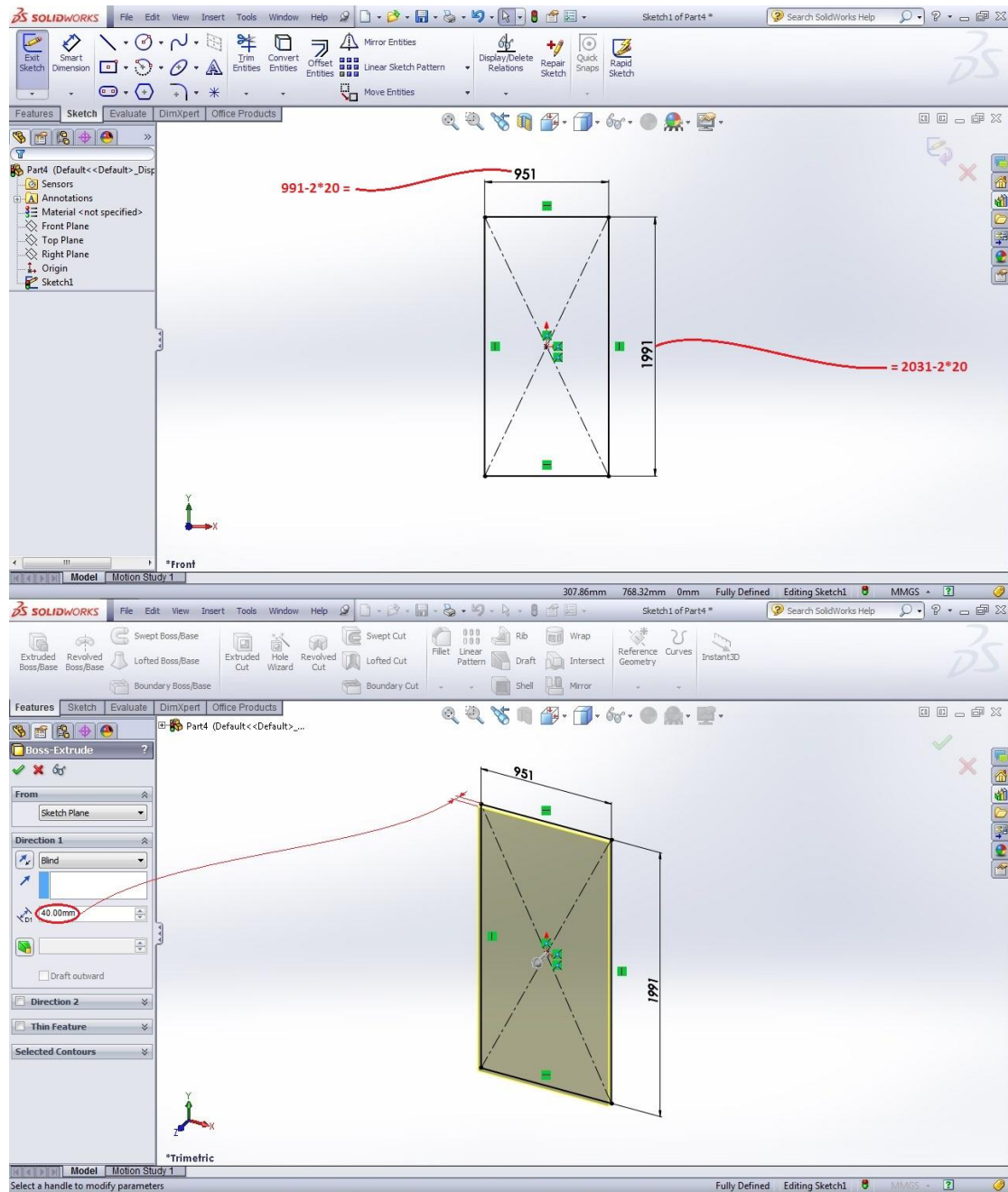
**ΣΧΗΜΑ 3.38:** Σχεδίαση πλαϊνών μονώσεων (side insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Πλαϊνή μόνωση (πλάτος).

### 3.7 Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation)

Χαρακτηριστικά οπίσθιας μόνωσης:

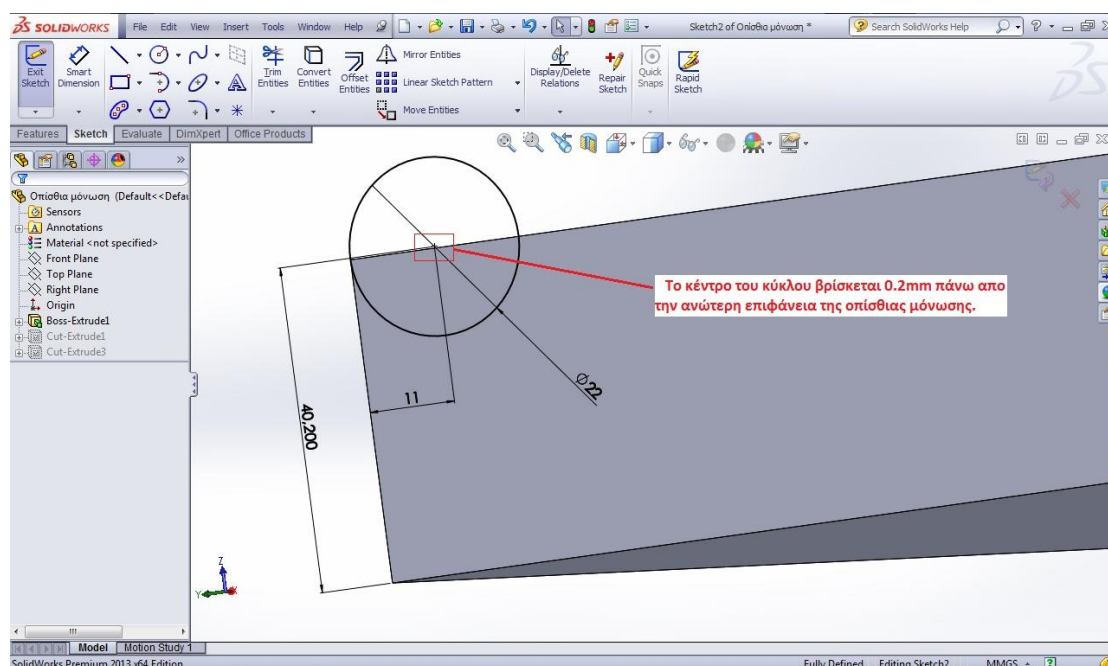
- **Μήκος:** 1991mm
- **Πλάτος:** 951mm
- **Πάχος:** 40mm
- **Υλικό:** υαλοβάμβακας
- **Λεπτομέρειες:** περιλαμβάνει δύο εσοχές κυλινδρικής μορφής, επί των οποίων εδράζονται οι δύο συλλέκτες, καθώς και δέκα αντίστοιχες εσοχές, επί των οποίων εδράζονται οι δέκα διαμορφώσεις που φέρει η πλάκα για την υποδοχή των αγωγών. Επίσης, οι επίπεδες επιφάνειες της μόνωσης που πρόκειται να έρθουν σε επαφή με την πλάκα απορρόφησης, καλύπτονται από υαλοϋφασμα μαύρου χρώματος για την αποφυγή διάβρωσης της πλάκας.

Αρχικά, σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων 1991mm×951mm, μέσω της εντολής **Center Rectangle** και το εξωθούμε κατά 40mm (**ΣΧΗΜΑ 3.39**).



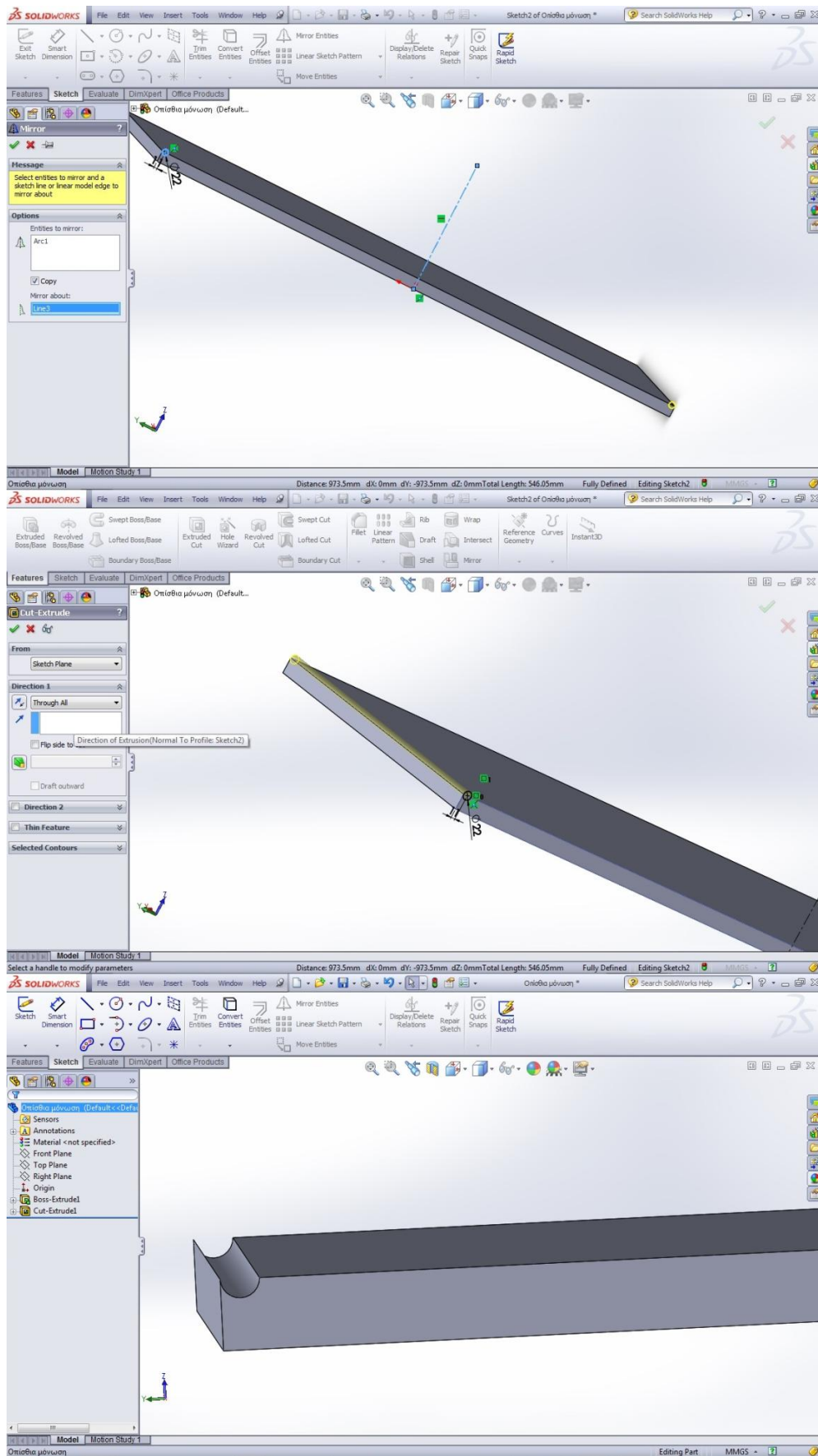
**ΣΧΗΜΑ 3.39 :** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Αρχικό περίγραμμα.

Στη συνέχεια, χαράσσουμε, επί μίας εκ των δύο επιφανειών διαστάσεων 1991mm×40mm, κύκλο διαμέτρου 22mm, το κέντρο του οποίου λαμβάνει τη θέση που φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.40**.



**ΣΧΗΜΑ 3.40:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακιών υποδοχής των συλλεκτών.

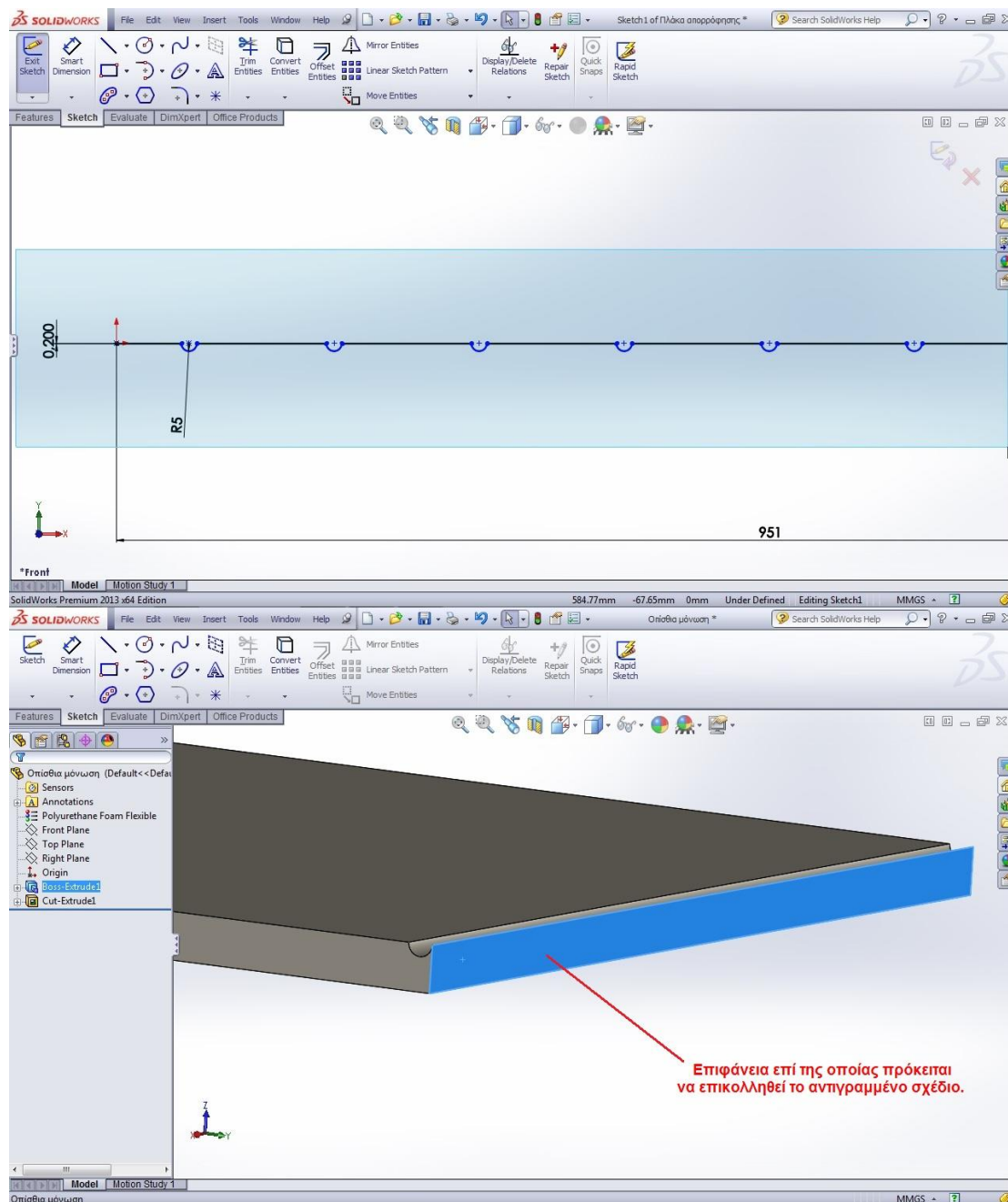
Ύστερα, αντιγράφουμε τον κύκλο αυτό με την εντολή **Mirror Entities** στην άλλη μεριά της επιφάνειας και πραγματοποιούμε κοπή, μέσω της **Extruded Cut**, δημιουργώντας έτσι τα δύο αυλάκια που πρόκειται να υποδεχθούν τους συλλέκτες (headers) (**ΣΧΗΜΑ 3.41**). Αξίζει να σημειωθεί ότι, το κέντρο του κύκλου αυτού βρίσκεται τόσα χιλιοστά πάνω από την ανώτερη επιφάνεια της μόνωσης, όσα αντιστοιχούν στο πάχος της πλάκας απορρόφησης (0.2mm), ώστε το επίπεδο που ορίζεται από τις ανώτερες επίπεδες επιφάνειες της τελευταίας, να διχοτομεί τους δύο συλλέκτες.



**ΣΧΗΜΑ 3.41:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακιών υποδοχής των συλλεκτών.

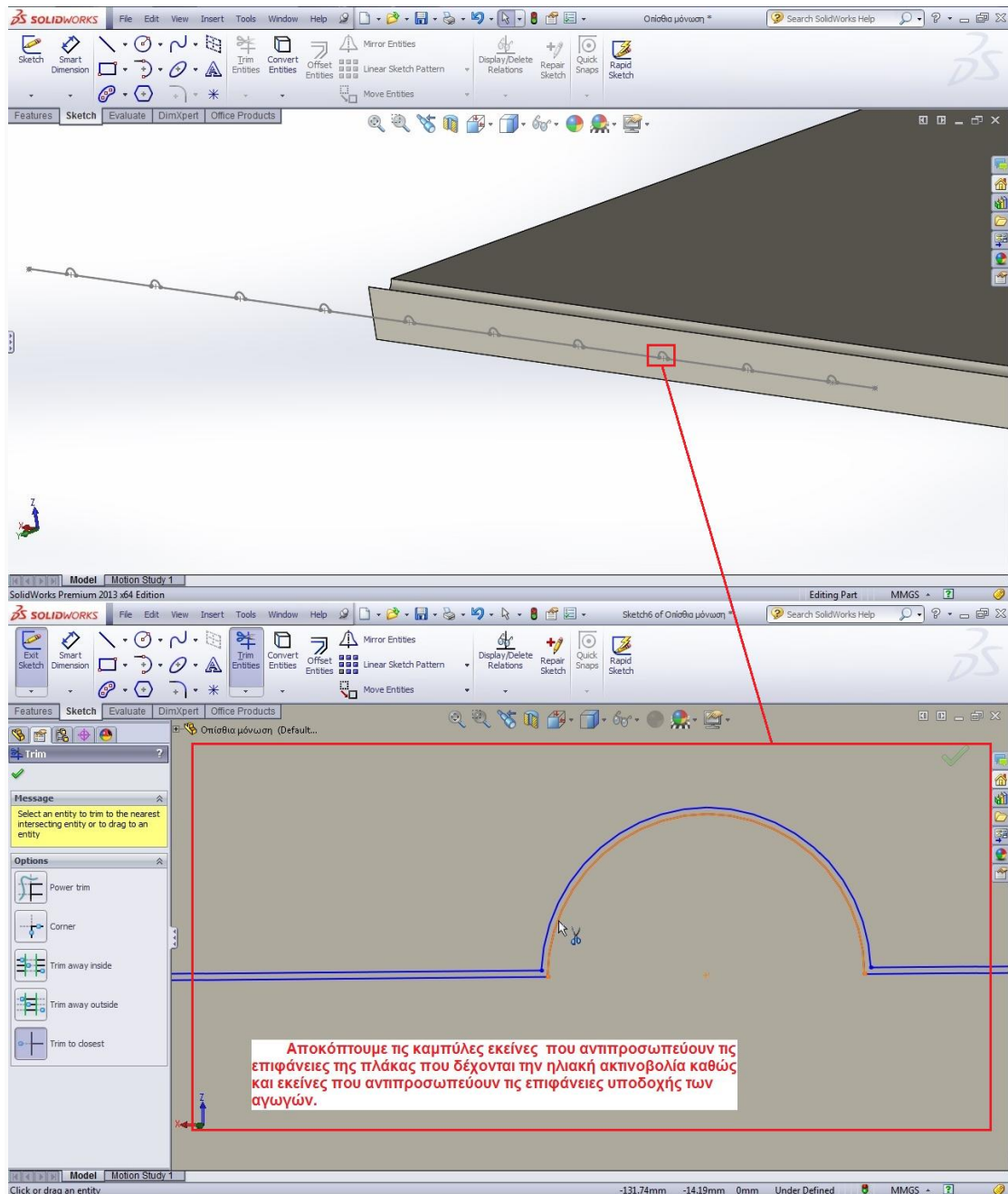


Έπειτα, θα δημιουργήσουμε τις δέκα εσοχές που αναφέρθηκαν στις λεπτομέρειες. Αρχικά, πηγαίνουμε στο αρχείο της πλάκας απορρόφησης, αντιγράφουμε το περίγραμμα από το οποίο προέκυψε αυτή και το επικολλούμε στο αρχείο της οπίσθιας μόνωσης, αφού πρώτα επιλέξουμε την επιφάνεια με την οποία θέλουμε να είναι παράλληλο το επίπεδο αυτού (ΣΧΗΜΑ 3.42).



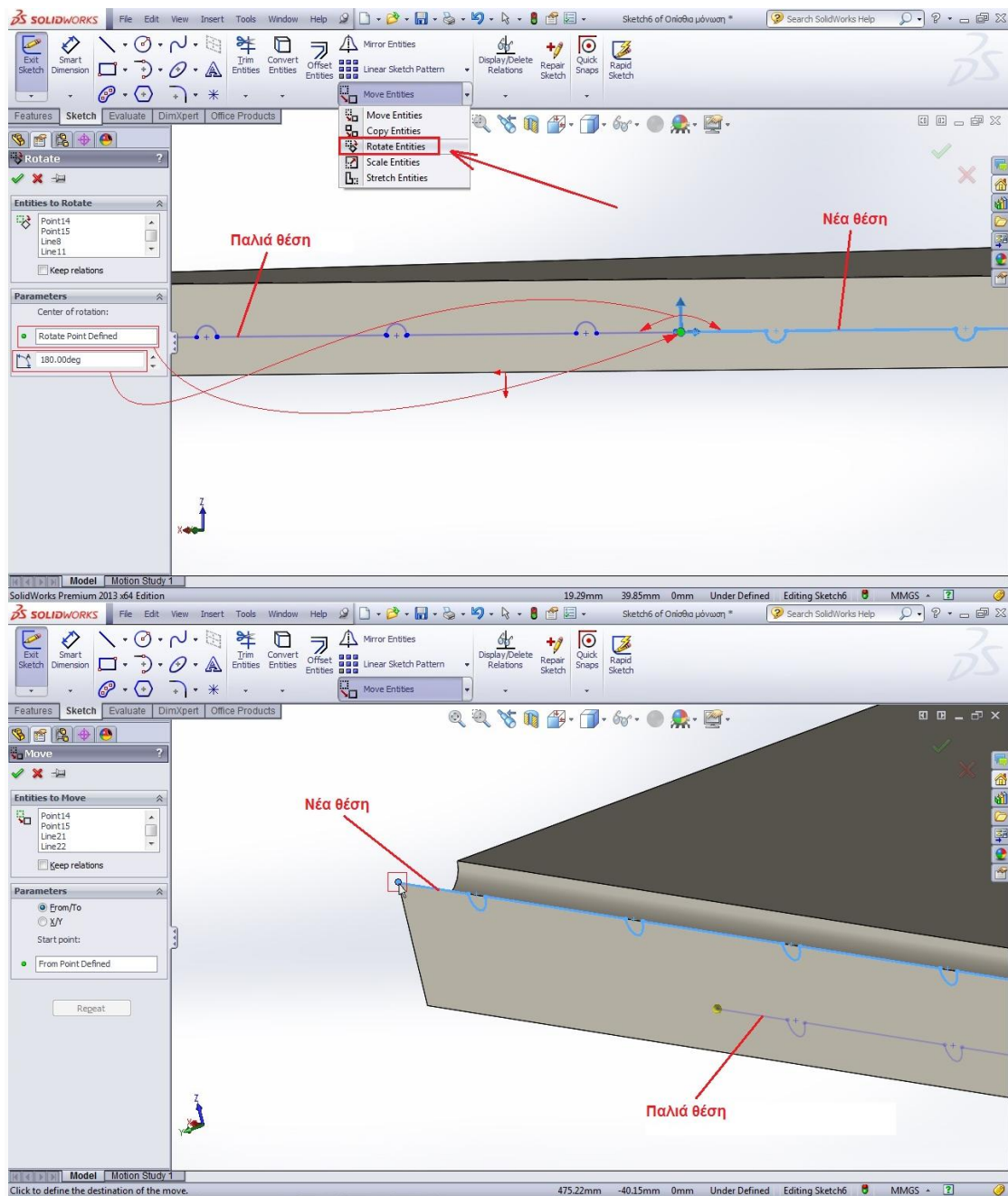
**ΣΧΗΜΑ 3.42:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακιών υποδοχής των διαμορφώσεων της πλάκας απορρόφησης.

Ύστερα, διαγράφουμε με την εντολή **Trim Entities** τα δέκα ημικύκλια διαμέτρου δέκα χιλιοστών το καθένα, τα ευθύγραμμα τμήματα που τα ενώνουν, καθώς και τα δύο κατακόρυφα ευθύγραμμα τμήματα μήκους 0.2mm το καθένα (ΣΧΗΜΑ 3.43).




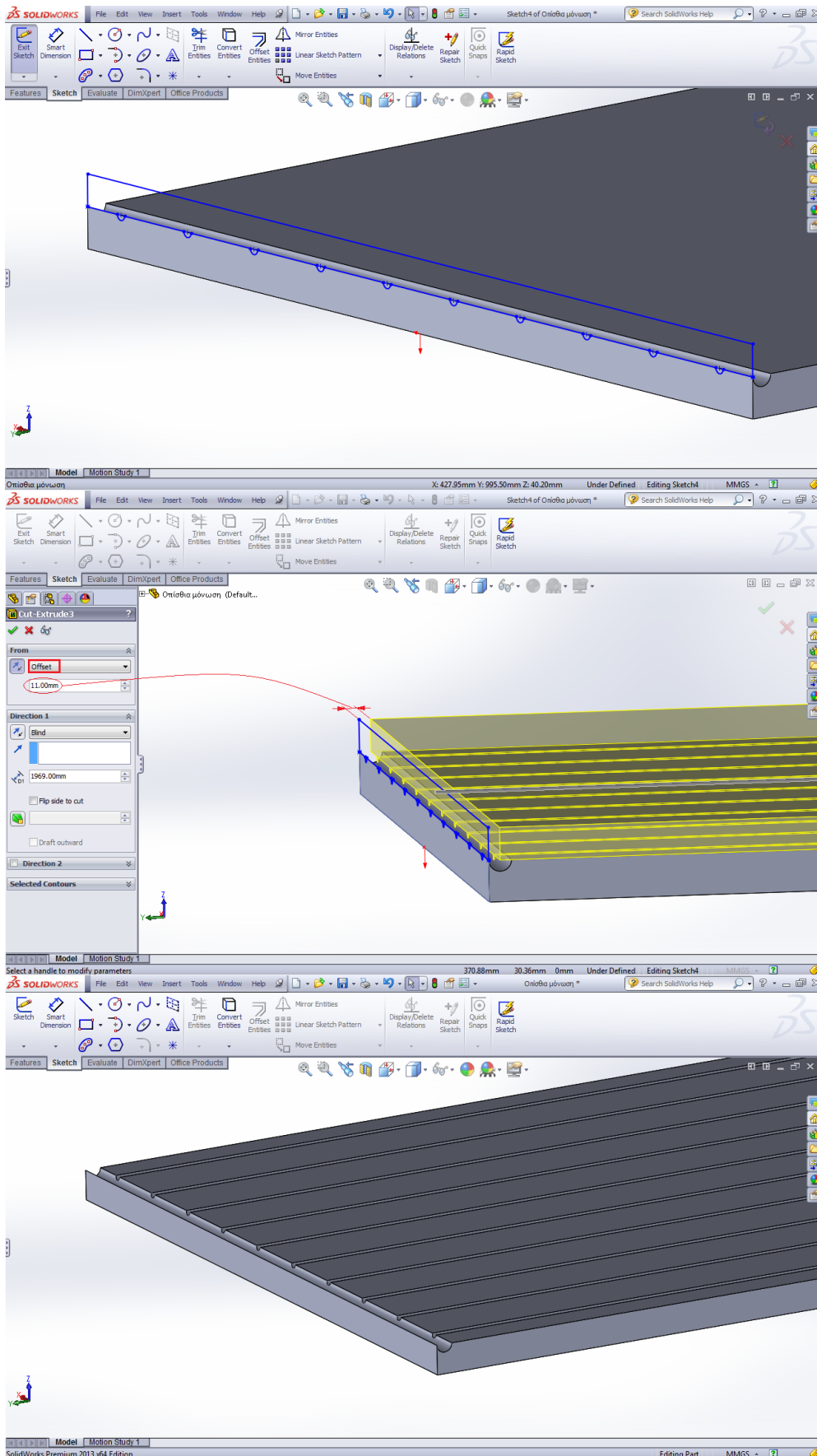
**ΣΧΗΜΑ 3.43:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακιών υποδοχής των διαμορφώσεων της πλάκας απορρόφησης.

Εν συνεχεία, περιστρέφουμε το προκύπτων ανοικτό σχήμα, μέσω της εντολής **Rotate Entities** και το μεταφέρουμε με τη βοήθεια της εντολής **Move Entities**, έτσι ώστε η αριστερή του άκρη να ταυτιστεί με την αντίστοιχη της οπίσθιας μόνωσης όπως φαίνεται παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 3.44**).

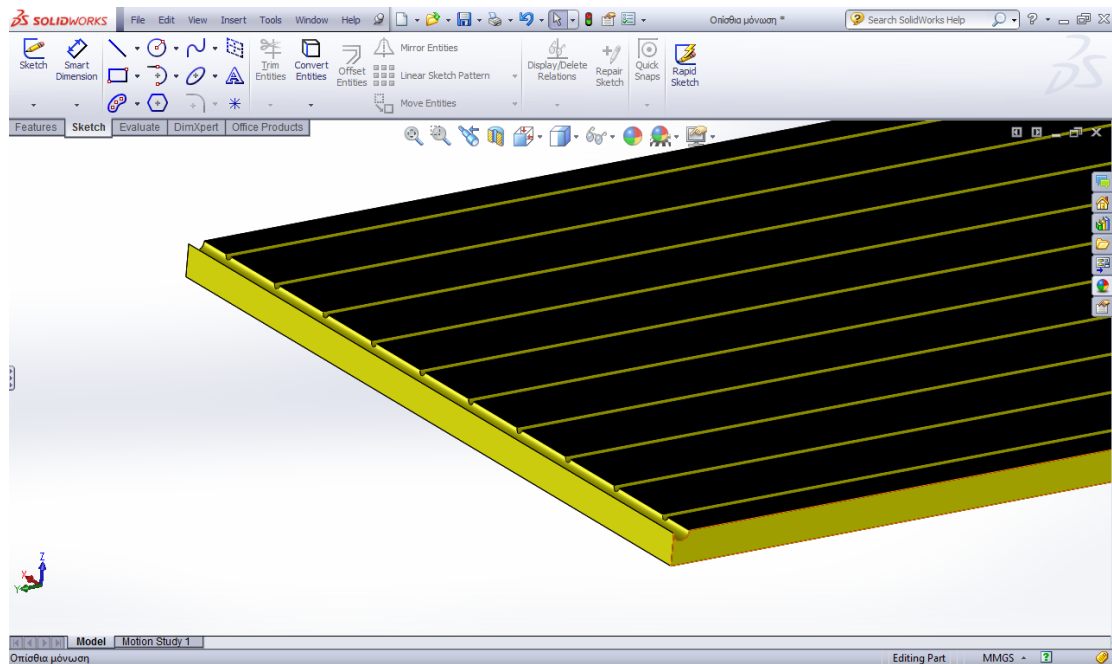


**ΣΧΗΜΑ 3.44 :** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακιών υποδοχής των διαμορφώσεων της πλάκας απορρόφησης.

Για να είμαστε σε θέση να κόψουμε τη μόνωση στα επιθυμητά σημεία, θα πρέπει, πρώτα από όλα, να δημιουργήσουμε ένα κλειστό περίγραμμα. Φέρνουμε, λοιπόν, τρία ευθύγραμμα τμήματα τέτοια ώστε να συνθέτουν, σε συνδυασμό με το προϋπάρχον σχέδιο, ένα κλειστό περίγραμμα. Στη συνέχεια, επιλέγουμε την εντολή  **Extruded Cut** για να πραγματοποιήσουμε την κοπή (**ΣΧΗΜΑ 3.45**). Αξίζει να σημειωθεί ότι, επειδή δεν θέλουμε να ξεκινήσουμε την κοπή από την επιφάνεια στην οποία ανήκει το σχέδιο, επιλέγουμε στην ενότητα **From** τη συνθήκη **Offset** και ορίζουμε την απόσταση από το επίπεδο σχεδίασης, στην οποία θέλουμε να αρχίσουμε να κόβουμε (11mm). Τέλος, ορίζουμε και την εμφάνιση του αντικειμένου, κατά τα γνωστά (**ΣΧΗΜΑ 3.46**).



**ΣΧΗΜΑ 3.45:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Δημιουργία αυλακίων υποδοχής των διαμορφώσεων της πλάκας απορρόφησης.




**ΣΧΗΜΑ 3.46:** Σχεδίαση οπίσθιας μόνωσης (back insulation), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Πρόσδωση τελικής εμφάνισης.

## 3.8 Σχεδίαση τσιμουχών (sealing)

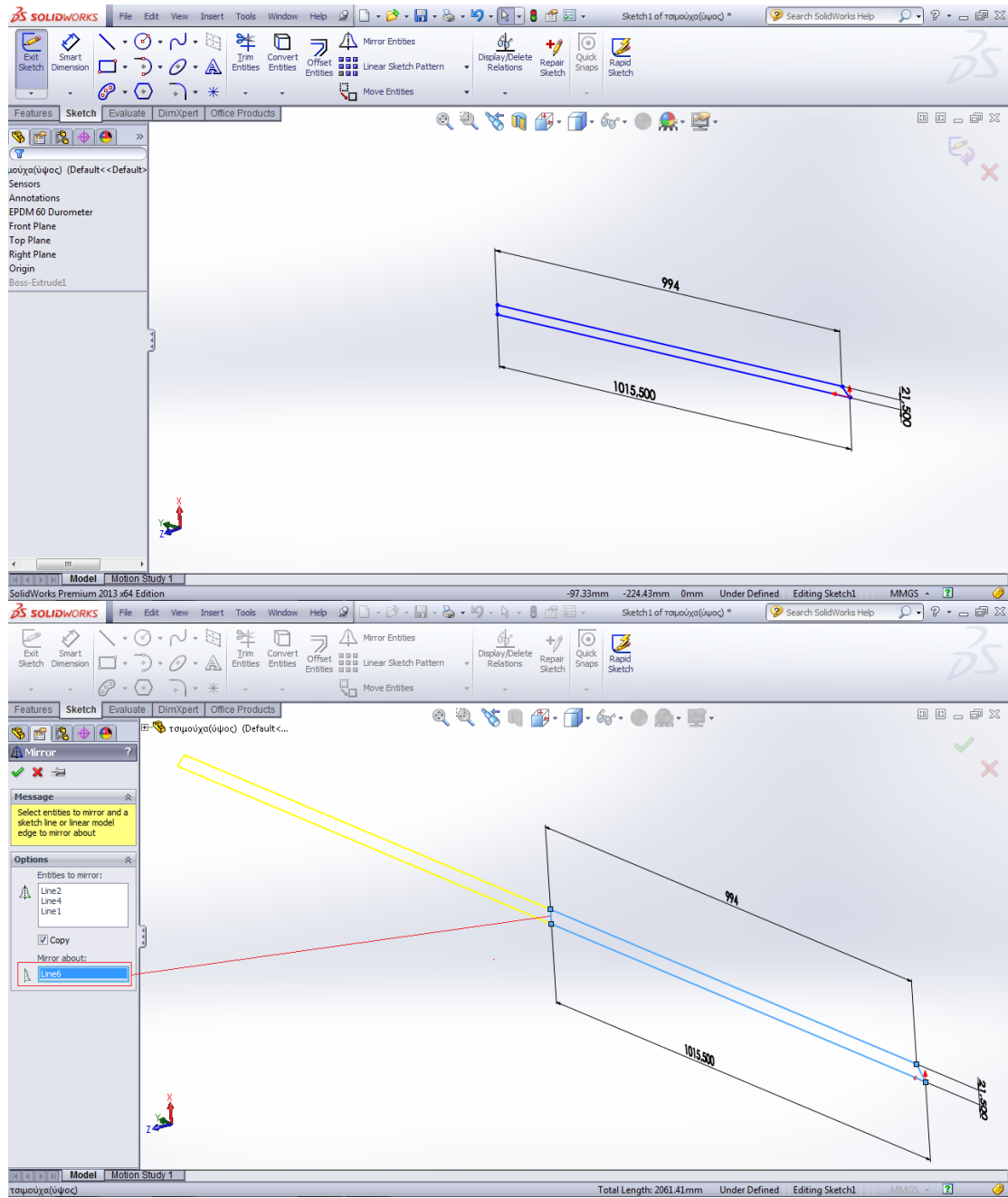
### 3.8.1 Σχεδίαση τσιμούχας (ύψος)

**Χαρακτηριστικά τσιμούχας (ύψος):**

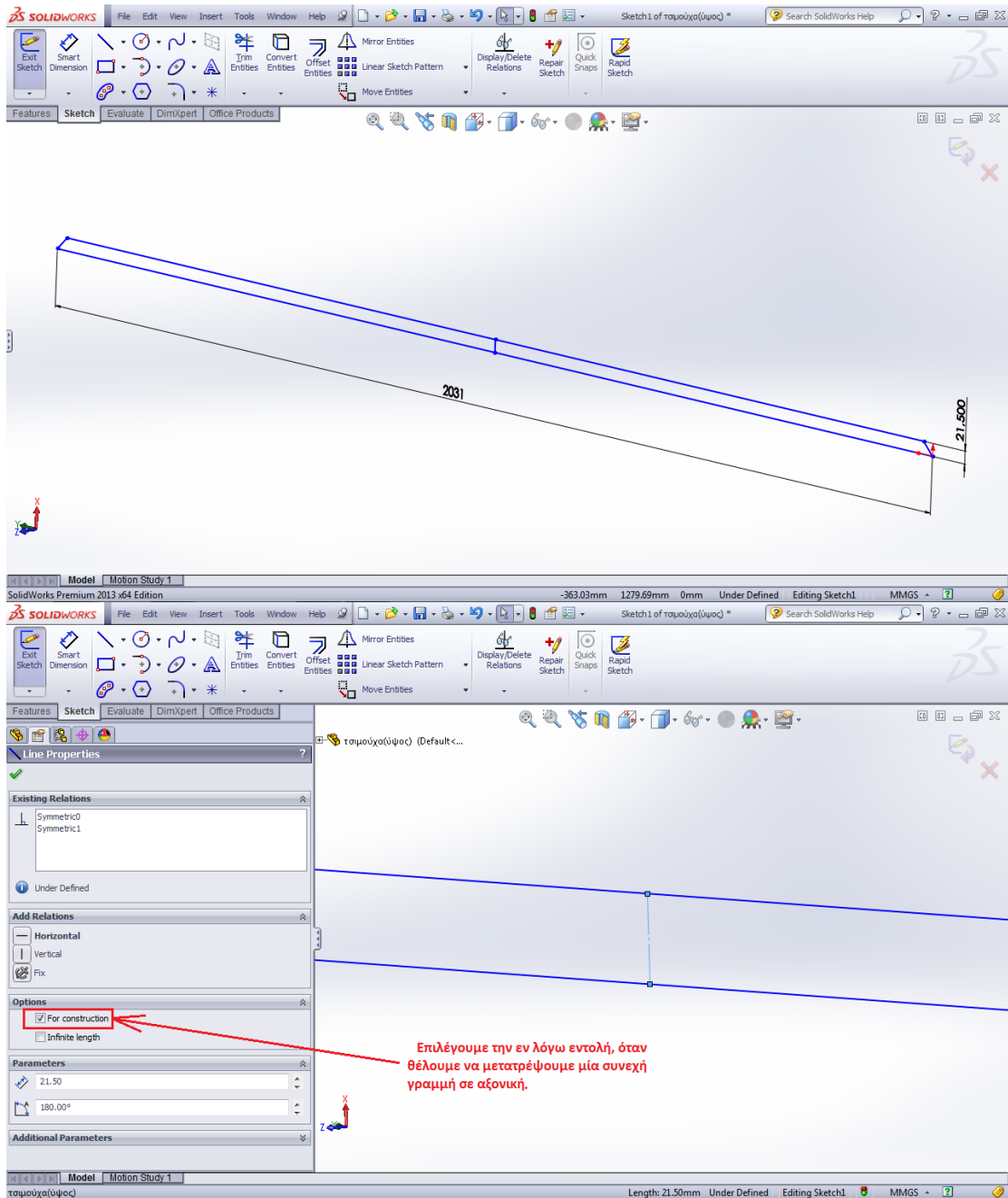
- **Μήκος:** 2031mm
- **Πλάτος:** 21.5mm
- **Πάχος:** 2mm
- **Υλικό:** EPDM-60
- **Λεπτομέρειες:** -

Σχεδιάζουμε, πρώτα, ένα ορθογώνιο τραπέζιο ύψους 21.5mm, με τις δύο βάσεις του να έχουν μήκος 1015.5mm και 994mm αντίστοιχα. Ύστερα, δημιουργούμε κατοπτρικό αντίγραφο αυτού, μέσω της εντολής  **Mirror Entities** (με άξονα συμμετρίας την ορθή του πλευρά), διαγράφοντας τις υπάρχουσες διαστάσεις και διαστασιολογώντας εκ νέου μία εκ των δύο βάσεων του προκύπτοντος ισοσκελούς τραπεζίου, για λόγους που θα φανερωθούν στη σχεδίαση της κατά πλάτος τσιμούχας (**ΣΧΗΜΑ 3.47**). Εκτίνουμε, στη συνέχεια, την επιφάνεια που εσωκλείεται στο προκύπτον ισοσκελές τραπέζιο κατά δύο χιλιοστά και, τέλος, ορίζουμε το υλικό της τσιμούχας (**ΣΧΗΜΑ 3.49**).

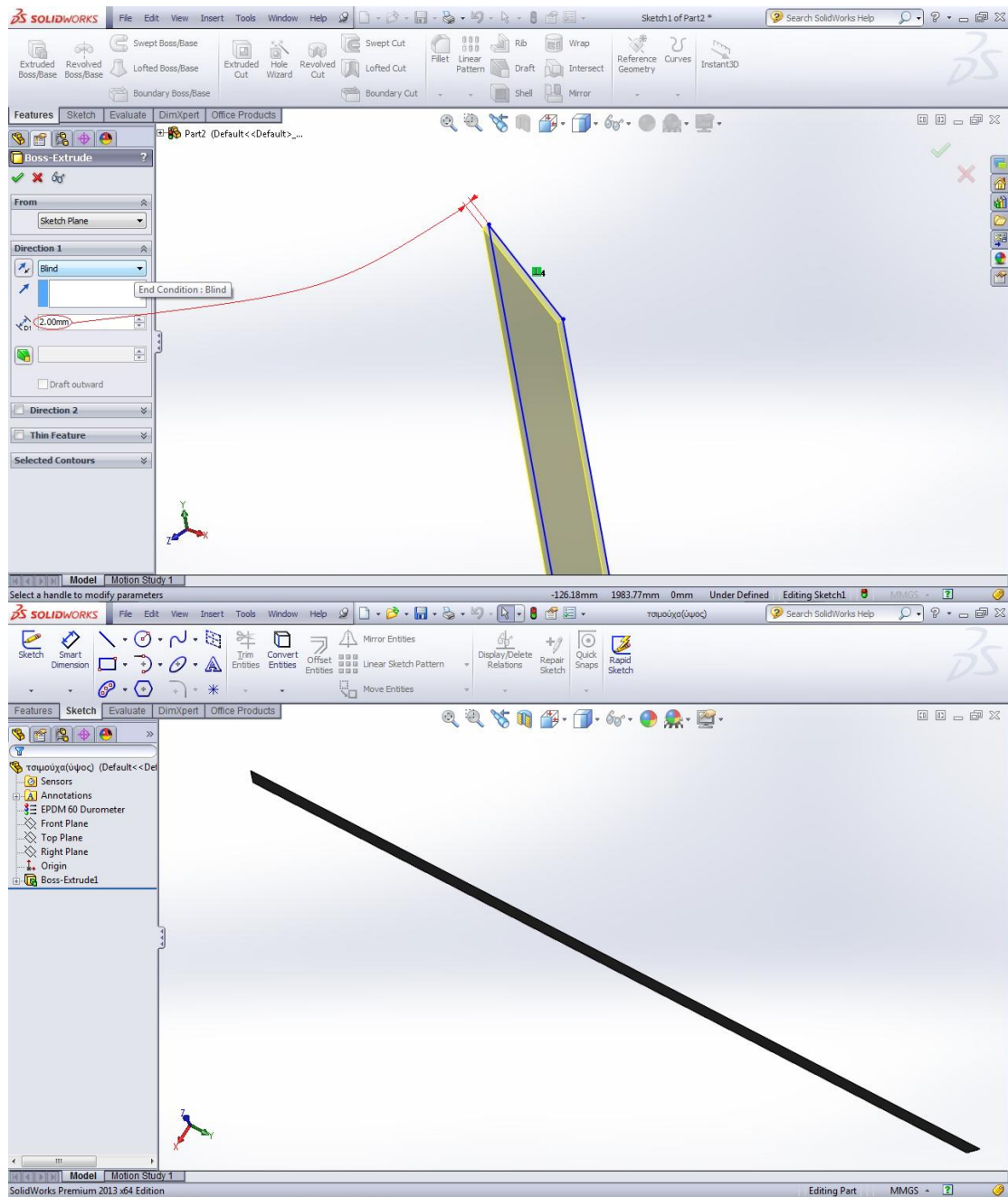
Πρέπει να σημειωθεί ότι, το ευθύγραμμο τμήμα που χρησιμοποιήθηκε ως άξονας συμμετρίας είναι απαραίτητο να μετατραπεί σε αξονική γραμμή, κάτι που γίνεται με τον τρόπο που φαίνεται στο **ΣΧΗΜΑ 3.48**.



**ΣΧΗΜΑ 3.47:** Σχεδίαση τσιμουχών (sealing), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περίγραμμα τσιμούχας (ύψος).



**ΣΧΗΜΑ 3.48:** Σχεδίαση τσιμουχών (sealing), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Περιγράμμα τσιμούχας (ύψος).



**ΣΧΗΜΑ 3.49:** Σχεδίαση τσιμούχων (sealing), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εξώθηση περιγράμματος και ορισμός υλικού τσιμούχας (ύψος).

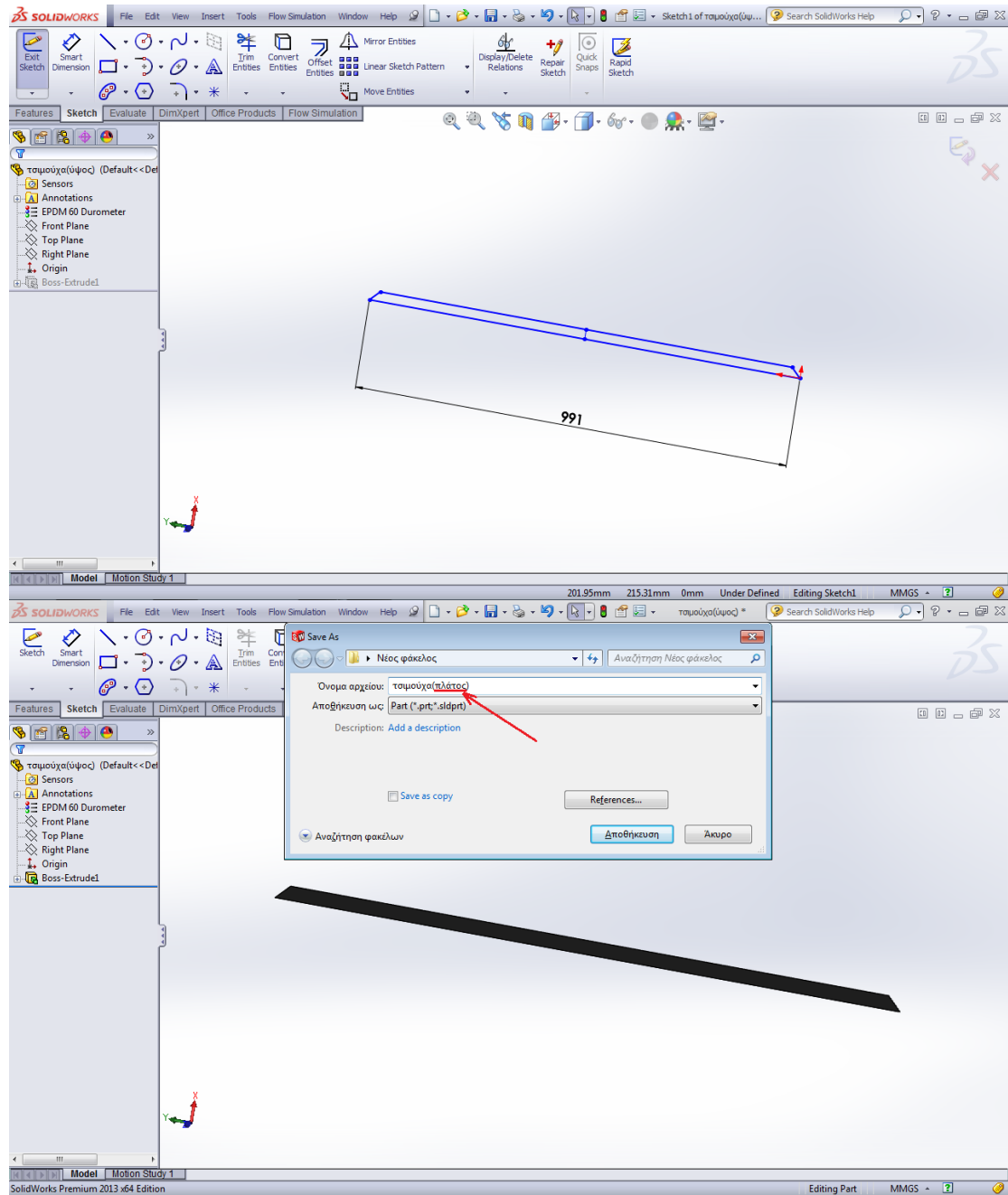
### 3.8.2 Σχεδίαση τσιμούχας (πλάτος)

Χαρακτηριστικά τσιμούχας (πλάτος):

- **Μήκος:** 991mm
- **Πλάτος:** 21.5mm
- **Πάχος:** 2mm
- **Υλικό:** EPDM-60
- **Λεπτομέρειες:** -



Για τη σχεδίαση της κατά πλάτος τσιμούχας, πηγαίνουμε στο αρχείο **τσιμούχα (ύψος)**, επιλέγουμε την εντολή **Edit Sketch** για να ανοίξουμε το σχέδιο, μεταβάλλουμε τη διάσταση του μέγιστου μήκους από 2031mm σε 991mm και κλείνουμε το σχέδιο οπότε προκύπτει η κατά πλάτος τσιμούχα. Τέλος, αποθηκεύουμε τις αλλαγές σε ένα νέο αρχείο με όνομα **τσιμούχα (πλάτος)** (ΣΧΗΜΑ 3.50).




**ΣΧΗΜΑ 3.50:** Σχεδίαση τσιμουχών (sealing), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Τσιμούχα (πλάτος).

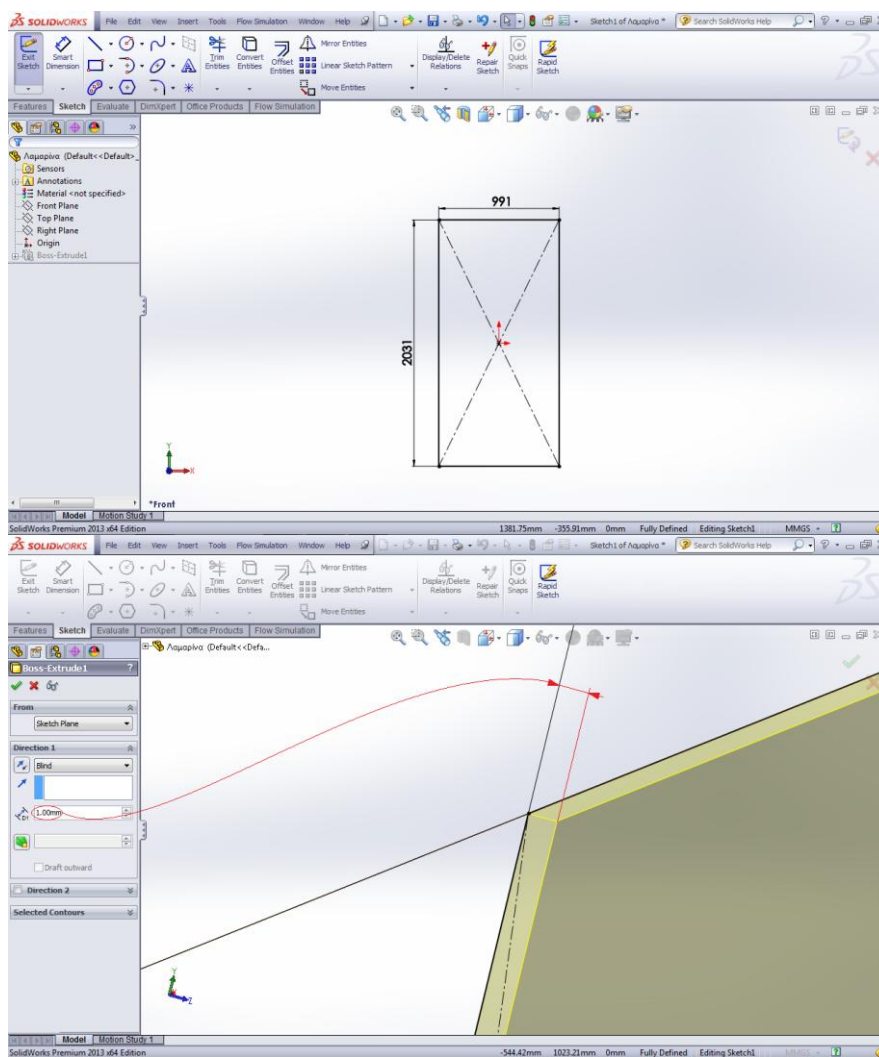
## 3.9 Σχεδίαση λαμαρίνας (πλάτης) και καλύμματος

### 3.9.1 Σχεδίαση λαμαρίνας

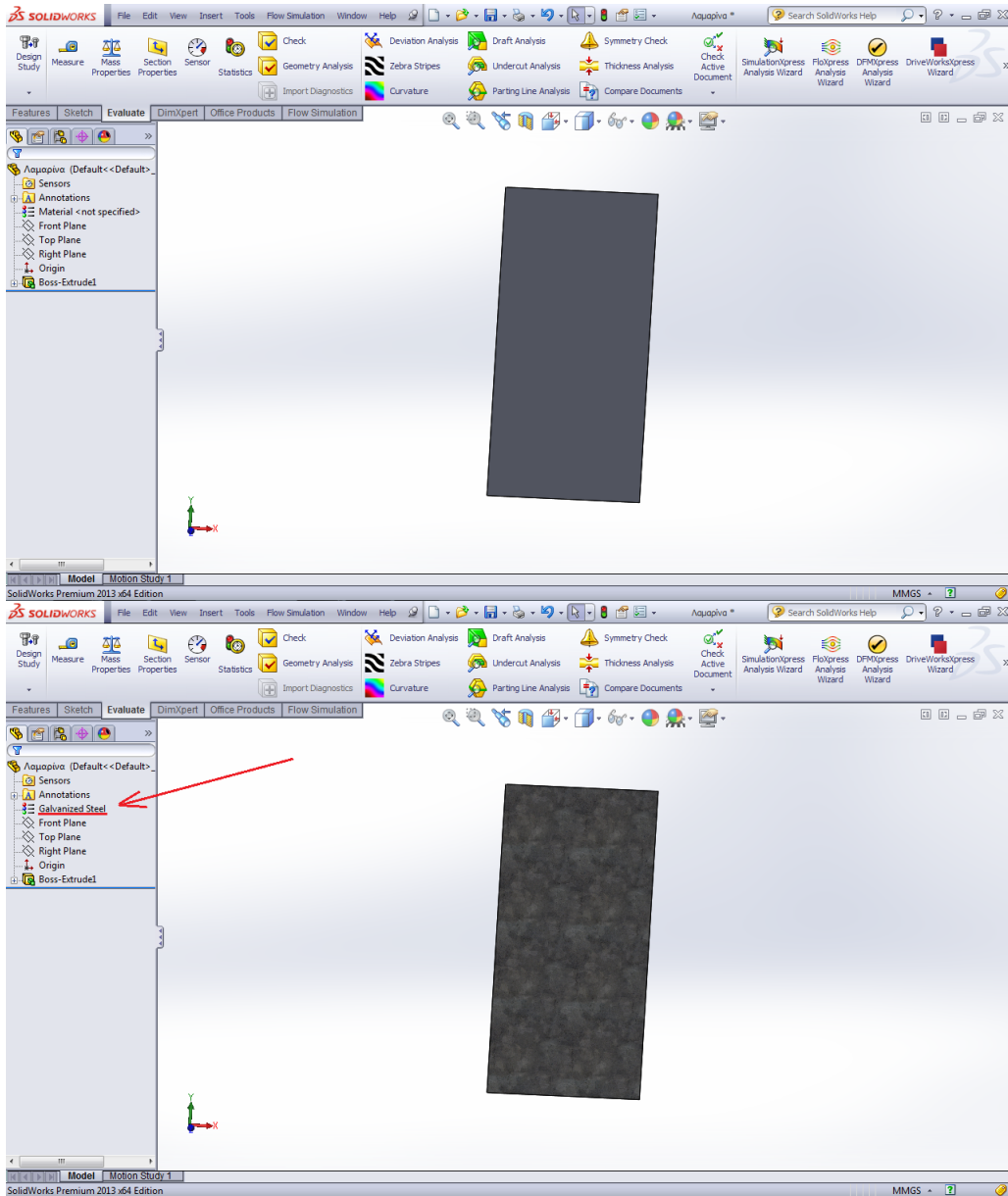
Χαρακτηριστικά λαμαρίνας:

- **Μήκος:** 2031mm
- **Πλάτος:** 991mm
- **Πάχος:** 1mm
- **Υλικό:** Γαλβανισμένος χάλυβας
- **Λεπτομέρειες:** -

Η σχεδίαση της λαμαρίνας βασίζεται στο πρώτο σκέλος της σχεδίασης της οπίσθιας μόνωσης. Αρχικά, σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων 2031mm x 991mm, μέσω της εντολής  **Center Rectangle**, το εξωθούμε κατά 1mm και τέλος ορίζουμε το υλικό αυτής (**ΣΧΗΜΑ 3.51**, **ΣΧΗΜΑ 3.52**).



**ΣΧΗΜΑ 3.51:** Σχεδίαση λαμαρίνας (back plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σχεδίαση και εξώθηση περιγράμματος.



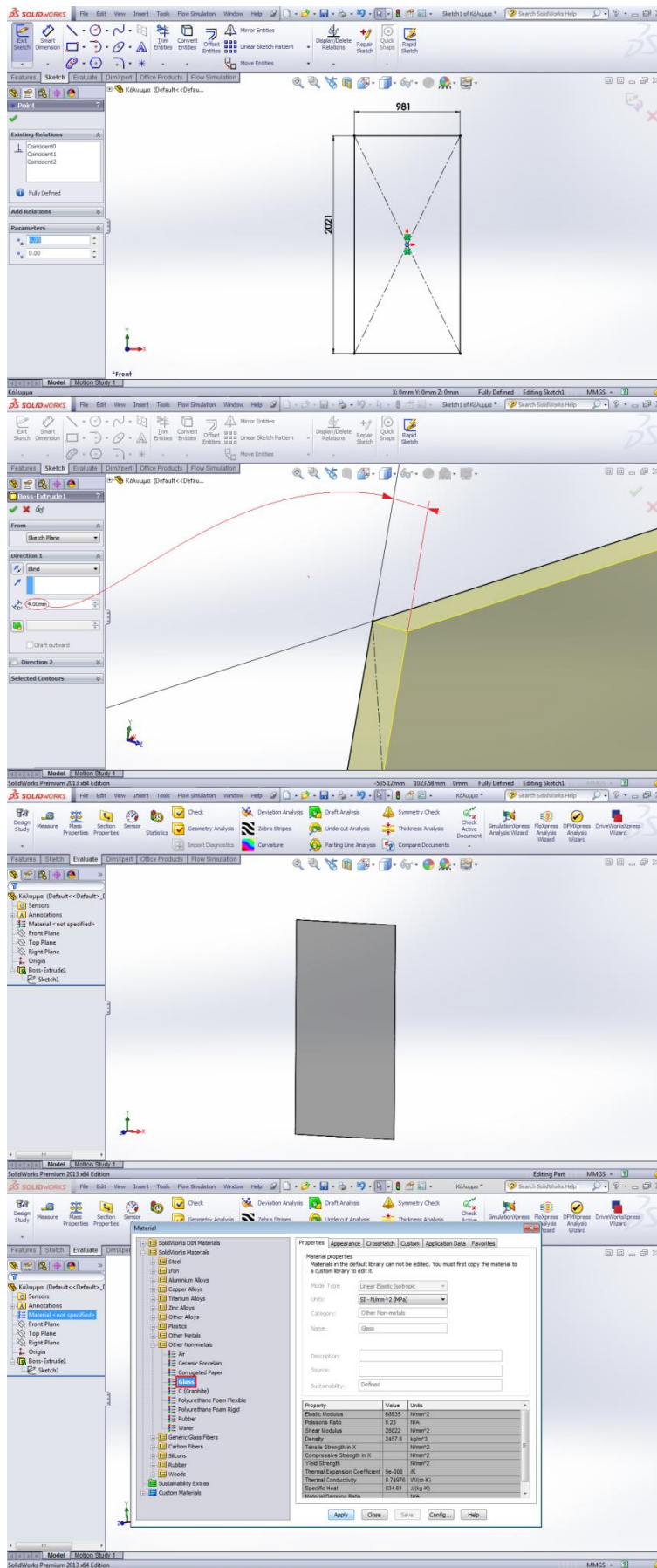
**ΣΧΗΜΑ 3.52:** Σχεδίαση λαμαρίνας (back plate), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Ορισμός υλικού.

### 3.9.2 Σχεδίαση καλύμματος

**Χαρακτηριστικά καλύμματος:**

- **Μήκος:** 2021mm
- **Πλάτος:** 981mm
- **Πάχος:** 4mm
- **Υλικό:** γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (low iron glass)
- **Λεπτομέρειες:** σκληρυμένο (tempered)

Όμοια με προηγουμένως, σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο διαστάσεων 2021mm×981mm, το οποίο και εξωθούμε κατά 4mm (**ΣΧΗΜΑ 3.53**).



**ΣΧΗΜΑ 3.53:** Σχεδίαση καλύμματος (cover), μέσω του προγράμματος Solidworks.

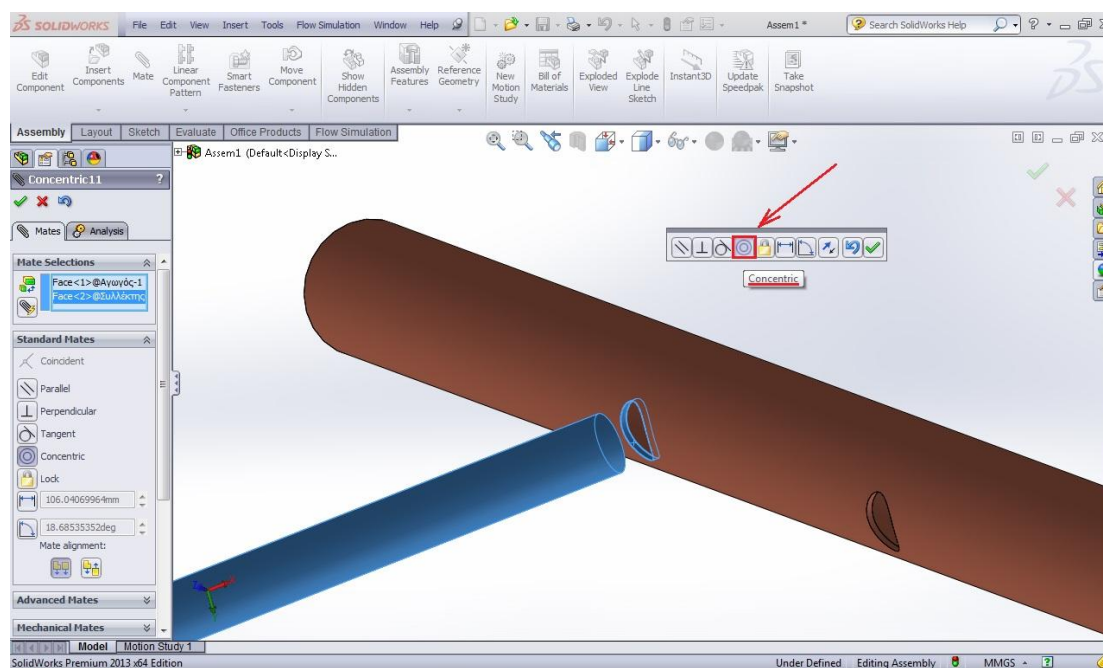
## 3.10 Συναρμολόγηση

### 3.10.1 Δημιουργία υδροσκελετού

**Χαρακτηριστικά υδροσκελετού:**

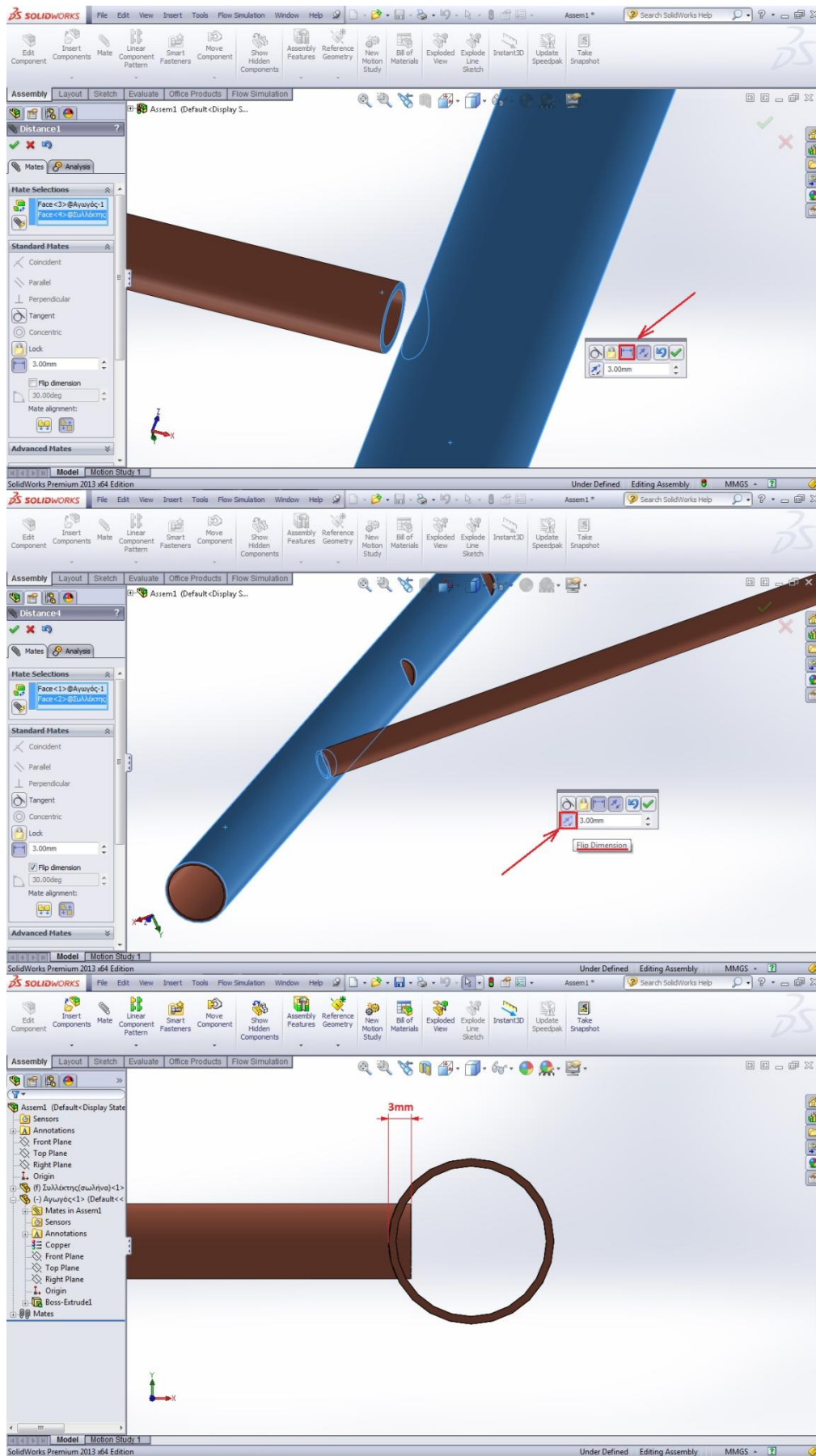
- **Μήκος:** 1991mm
- **Πλάτος:** 1110mm
- **Λεπτομέρειες:** Αποτελείται από τους δέκα αγωγούς και τους δύο συλλέκτες.

Αρχικά, ανοίγουμε ένα αρχείο **Assembly**, εισάγουμε, με τη βοήθεια της εντολής **Insert Components**, ένα συλλέκτη (manifold) και έναν αγωγό (riser) και με την εντολή **Mate** ξεκινούμε τη συναρμολόγηση. Επιλέγουμε πρώτα την εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια του αγωγού και στη συνέχεια την επιφάνεια του συλλέκτη που πρόκειται να υποδεχτεί τον αγωγό και τις θέτουμε ομοαξονικές (**ΣΧΗΜΑ 3.54**).



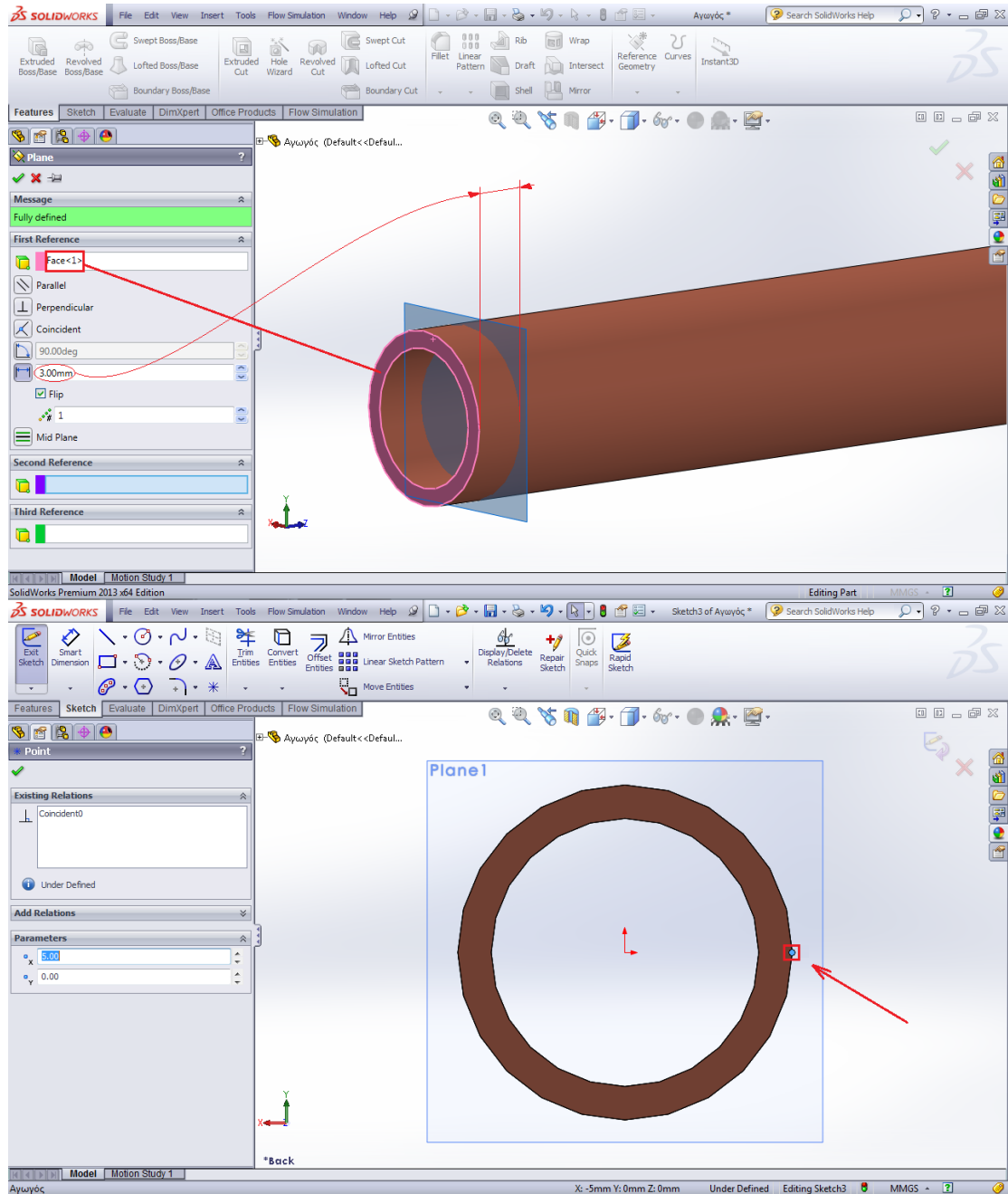
**ΣΧΗΜΑ 3.54:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.

Έπειτα, για να ορίσουμε το πόσο βαθιά θα εισέλθει στο συλλέκτη ο αγωγός, επιλέγουμε τη δισκοειδή επιφάνεια του τελευταίου που βλέπει προς το συλλέκτη και την εξωτερική κυλινδρική επιφάνεια του συλλέκτη, ορίζοντας τη μεταξύ τους απόσταση ίση με τρία χιλιοστά (απόσταση μεταξύ του παράλληλου στη δισκοειδή επιφάνεια του αγωγού επιπέδου που εφάπτεται στην εξωτερική επιφάνεια του συλλέκτη και της δισκοειδούς επιφάνειας του αγωγού) (**ΣΧΗΜΑ 3.55**).

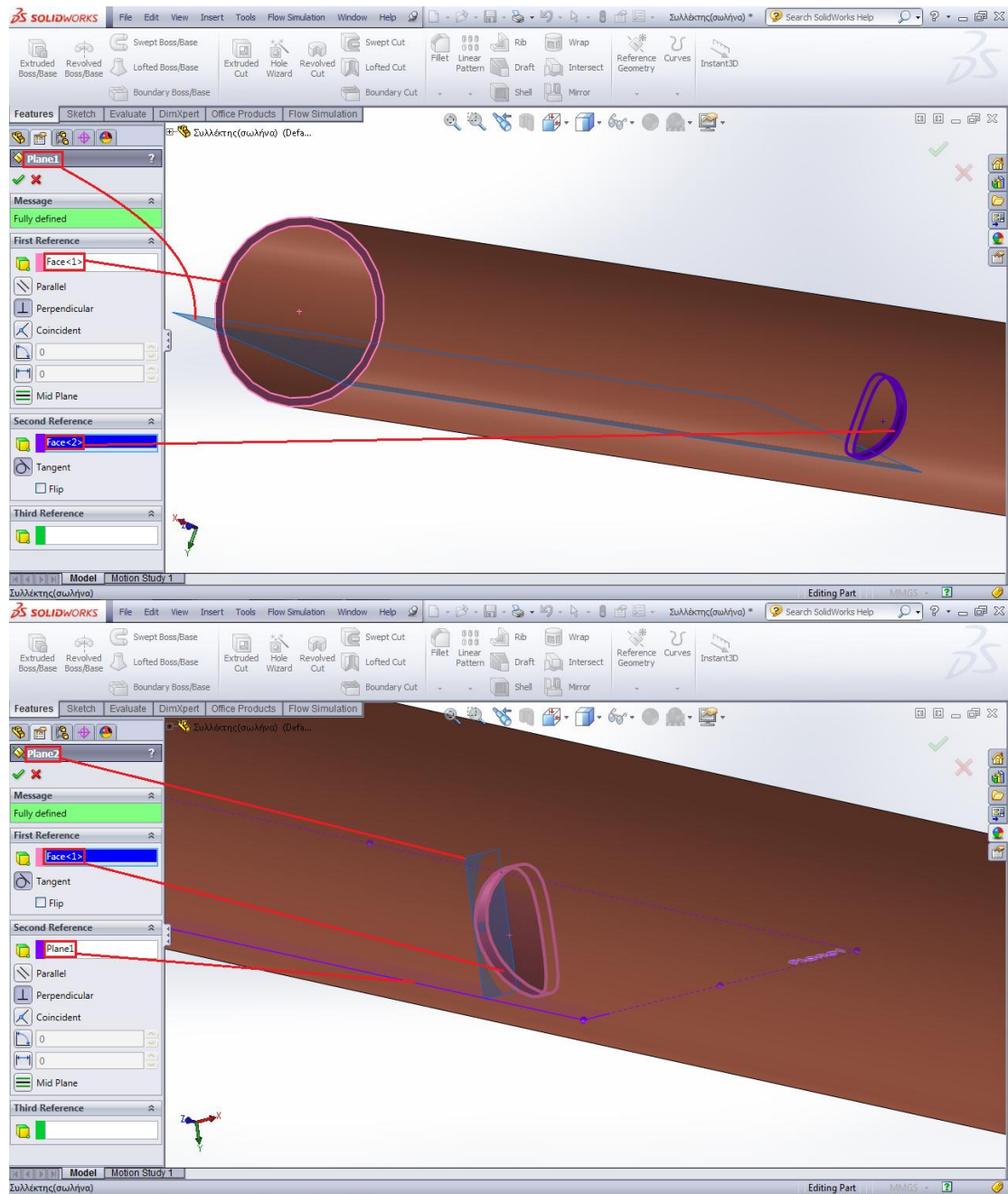


**ΣΧΗΜΑ 3.55:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.

Τώρα, επειδή με τα υπάρχοντα «Mates» δεν εξασφαλίζεται η μη περιστροφή του αγωγού περί τον άξονά του, θα σχεδιάσουμε επί αυτού καθώς και επί του συλλέκτη δύο σημεία (ένα και ένα), τα οποία και θα ορίσουμε να ταυτίζονται. Η σχεδίαση των δύο αυτών σημείων γίνεται σύμφωνα με τα **ΣΧΗΜΑΤΑ 3.56** και **3.57, 3.58** αντίστοιχα.

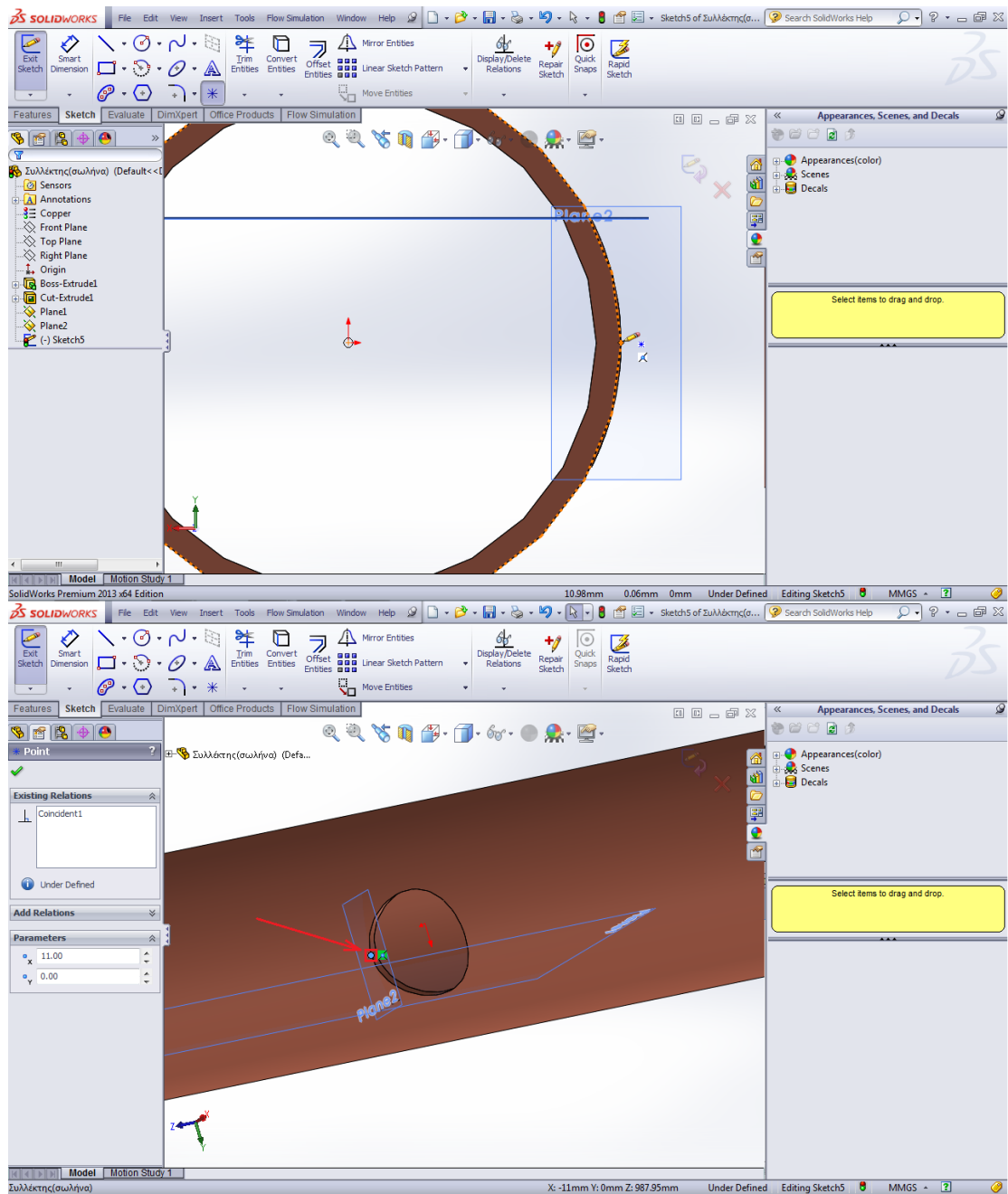


**ΣΧΗΜΑ 3.56:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.






**ΣΧΗΜΑ 3.57:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.

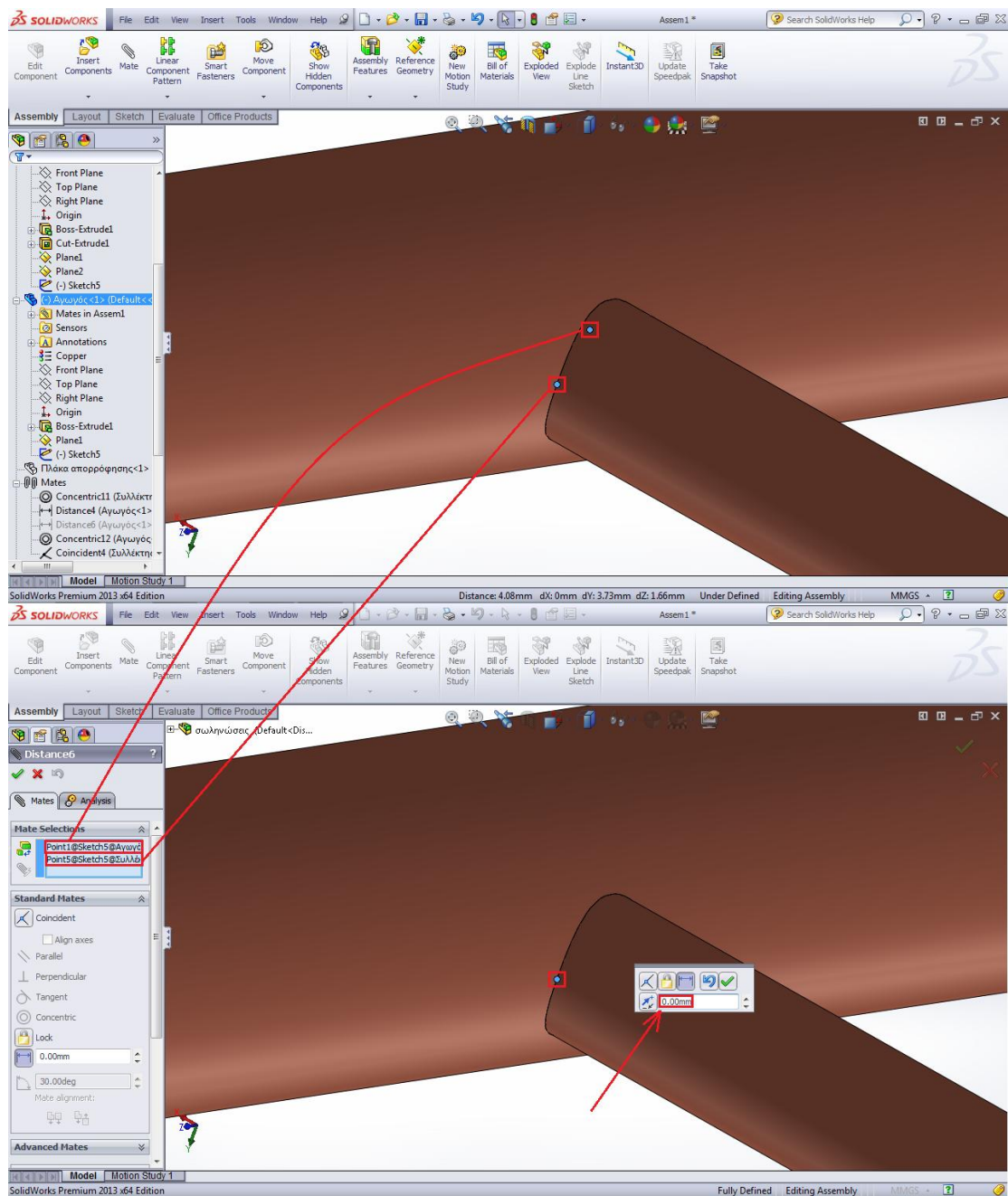




**ΣΧΗΜΑ 3.58:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.

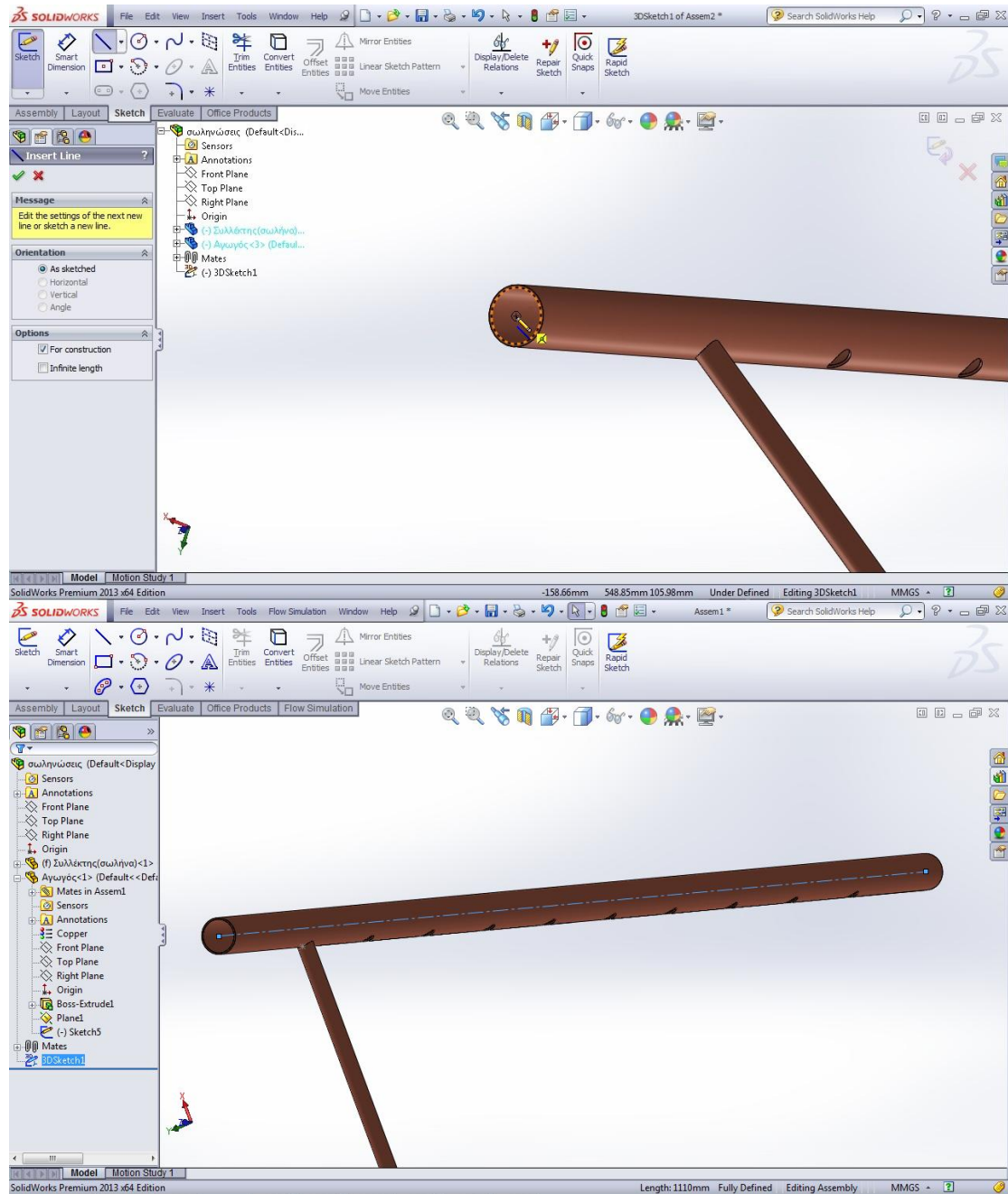
Ύστερα, πάμε στο αρχείο της συναρμολόγησης και με την εντολή  **Mate** καθιστούμε τα δύο παραπάνω σημεία ταυτόσημα<sup>4</sup> (**ΣΧΗΜΑ 3.59**).

<sup>4</sup> Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα δεν μας επιτρέπει να θέσουμε τα δύο σημεία ταυτόσημα μέσω της επιλογής  **Coincidence**, λόγω υπερδιαστασιοποίησης του συναρμολογημένου αντικειμένου. Για το λόγο αυτό, θα δουλέψουμε με την επιλογή  **Distance** ορίζοντας την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων ίση με το μηδέν.

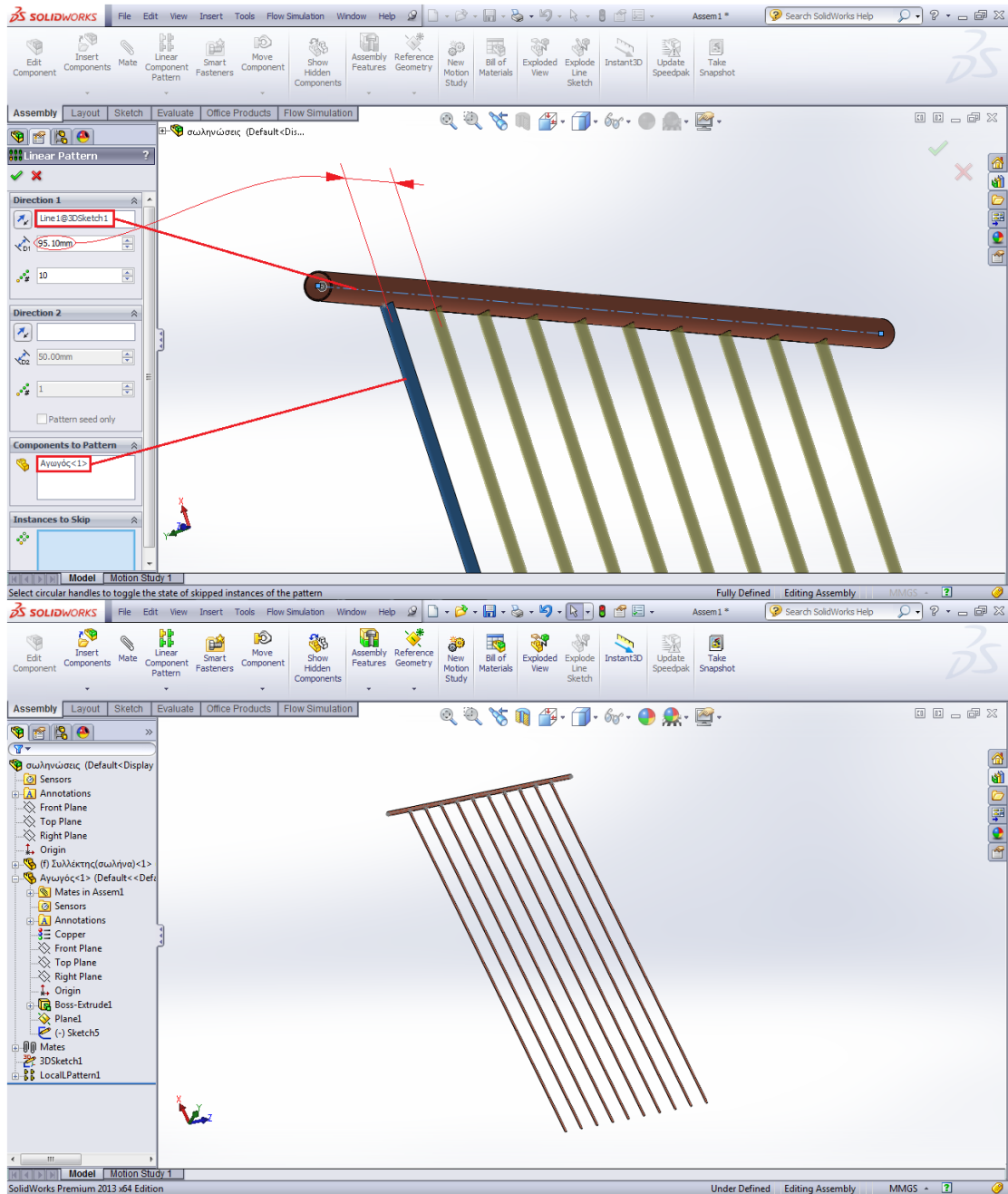


**ΣΧΗΜΑ 3.59:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Σύνδεση πρώτου αγωγού.

Στη συνέχεια, θα πρέπει να τοποθετήσουμε και τους υπόλοιπους εννέα αγωγούς, κάτι που θα πραγματοποιηθεί μέσω της εντολής **Linear Component Pattern** (ΣΧΗΜΑ 3.61). Απαραίτητη, όμως, προϋπόθεση για τη χρήση της τελευταίας είναι η δημιουργία μίας γραμμής που θα ορίζει την κατεύθυνση προς την οποία επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί η αντιγραφή. Για το λόγο αυτό, χαράσσουμε, με τη βοήθεια της τρισδιάστατης σχεδίασης, μία αξονική γραμμή, τέτοια ώστε να ταυτίζεται με το νοητό άξονα συμμετρίας του υπάρχοντος συλλέκτη (manifold) (ΣΧΗΜΑ 3.60).

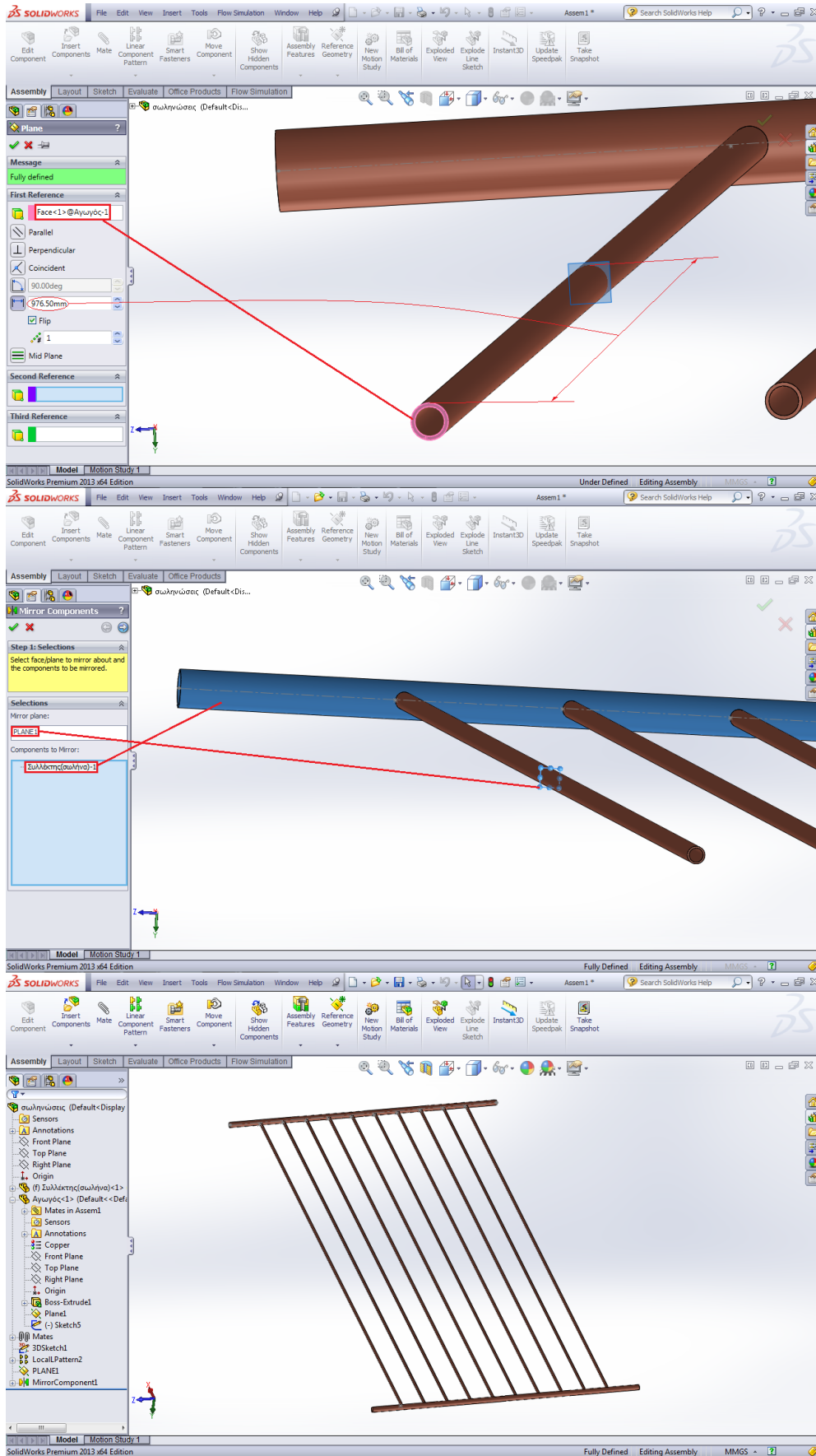


**ΣΧΗΜΑ 3.60:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Τοποθέτηση υπολοίπων αγωγών.



**ΣΧΗΜΑ 3.61:** Σχεδίαση υδросκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Τοποθέτηση υπολοίπων αγωγών.

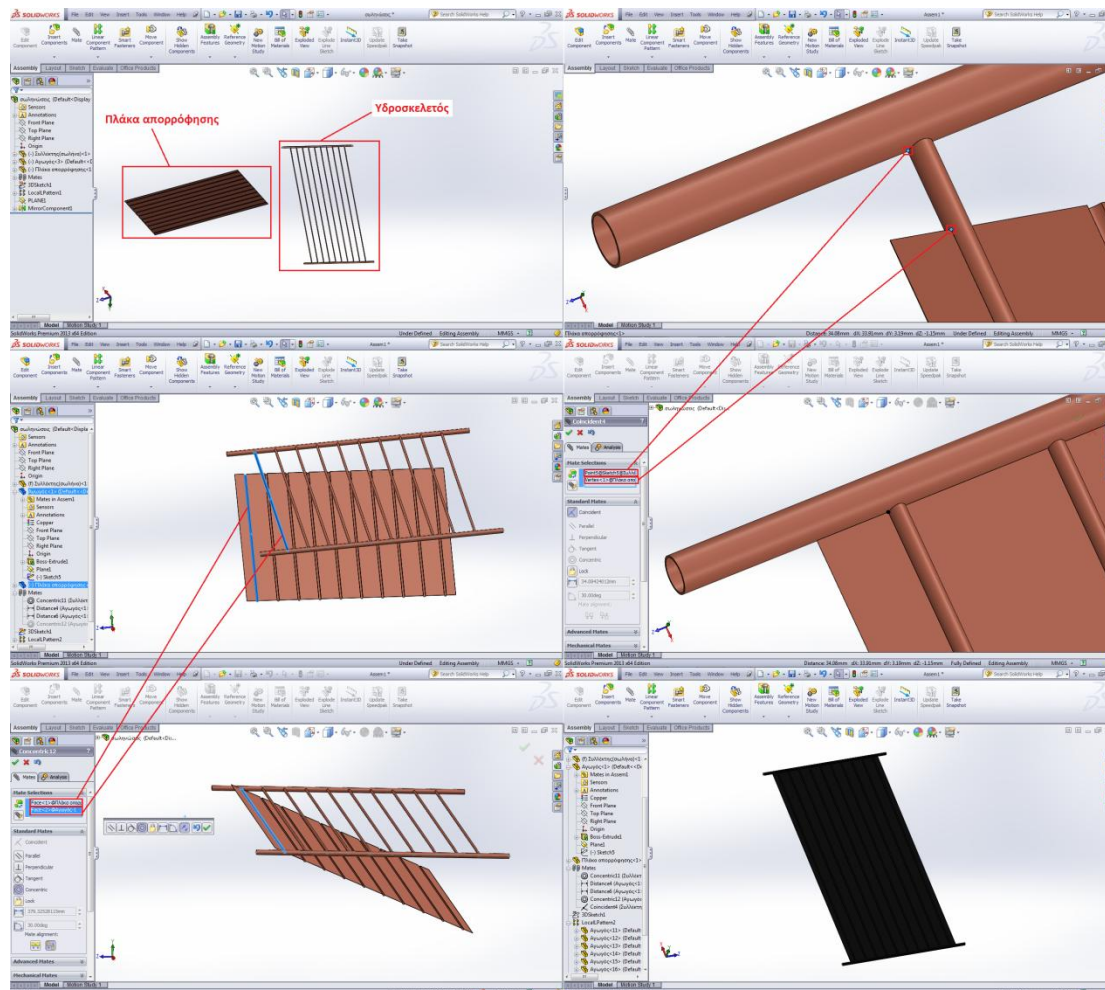
Έπειτα, θα δημιουργήσουμε ένα επίπεδο το οποίο θα τέμνει κάθετα τους δέκα αγωγούς και θα απέχει από τις ελεύθερες δισκοειδείς επιφάνειες αυτών  $976.5\text{mm}$  ( $1953\text{mm}/2$ ), ώστε να αντιγράψουμε το συλλέκτη (manifold) στην απέναντι πλευρά, μέσω της εντολής **Mirror Components**, κατά τα γνωστά (**ΣΧΗΜΑ 3.62**).



**ΣΧΗΜΑ 3.62:** Σχεδίαση υδροσκελετού, μέσω του προγράμματος Solidworks. / Αντιγραφή συλλέκτη στην απέναντι μεριά.

### 3.10.2 Συναρμολόγηση υδросκελετού-πλάκας απορρόφησης

Εισάγουμε, τώρα, την πλάκα απορρόφησης και πραγματοποιούμε τη συναρμογή με τον υδросκελετό, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 3.63**).



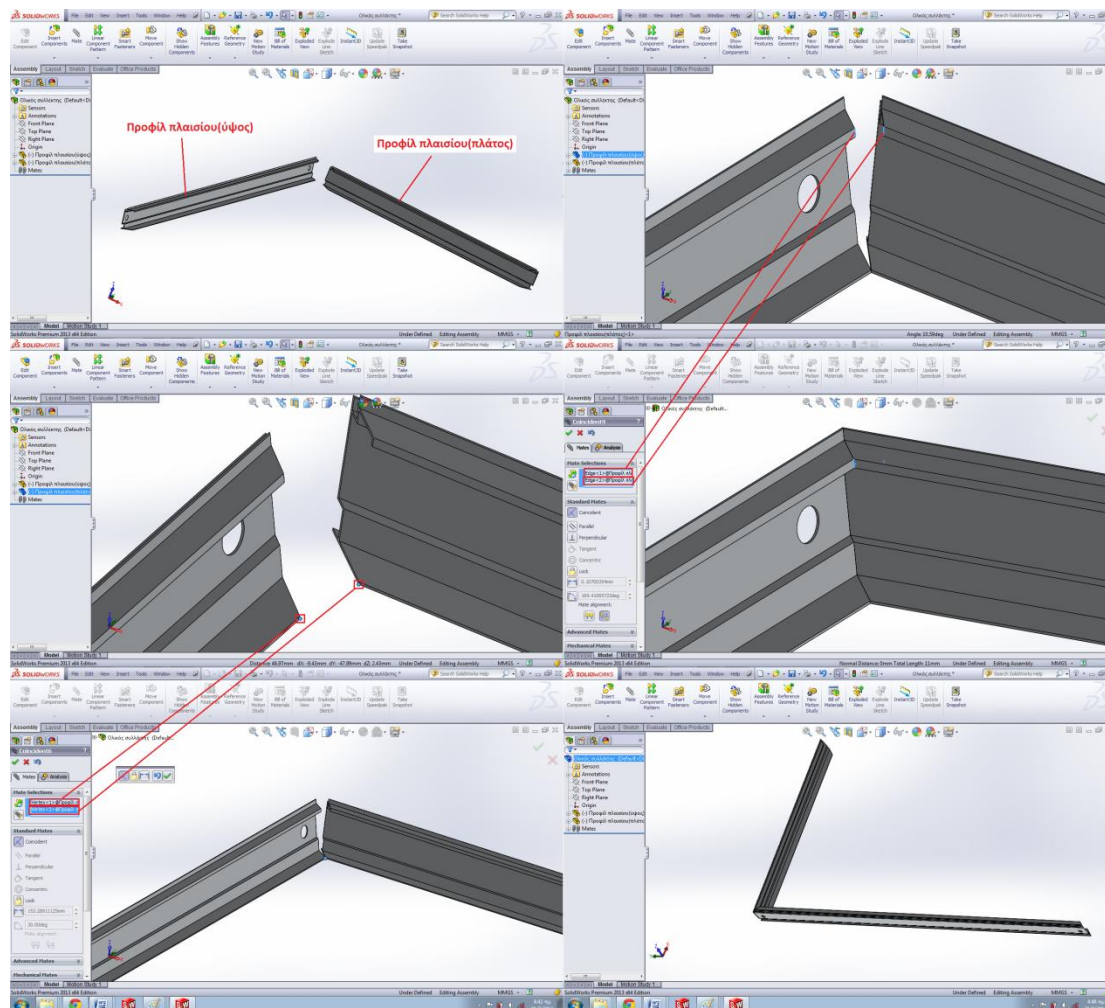
**ΣΧΗΜΑ 3.63:** Συναρμολόγηση υδροςκελετού-πλάκας απορρόφησης, μέσω του προγράμματος Solidworks.

### 3.10.3 Συναρμολόγηση ολικού συλλέκτη

#### 3.10.3.1 Εισαγωγή κυρίως πλαισίου (ύψος, πλάτος)

Ξεκινούμε, τώρα, να εισάγουμε σε ένα καινούργιο αρχείο **Assembly** τα αντικείμενα που απαρτίζουν το συλλέκτη και να τα συναρμολογούμε μεταξύ τους με μία λογική σειρά.

Εισάγουμε, αρχικά, δύο λωρίδες πλαισίου (κατά μήκος και πλάτος) και τις συνδέουμε σύμφωνα με τα παρακάτω<sup>5</sup> (**ΣΧΗΜΑ 3.64**).

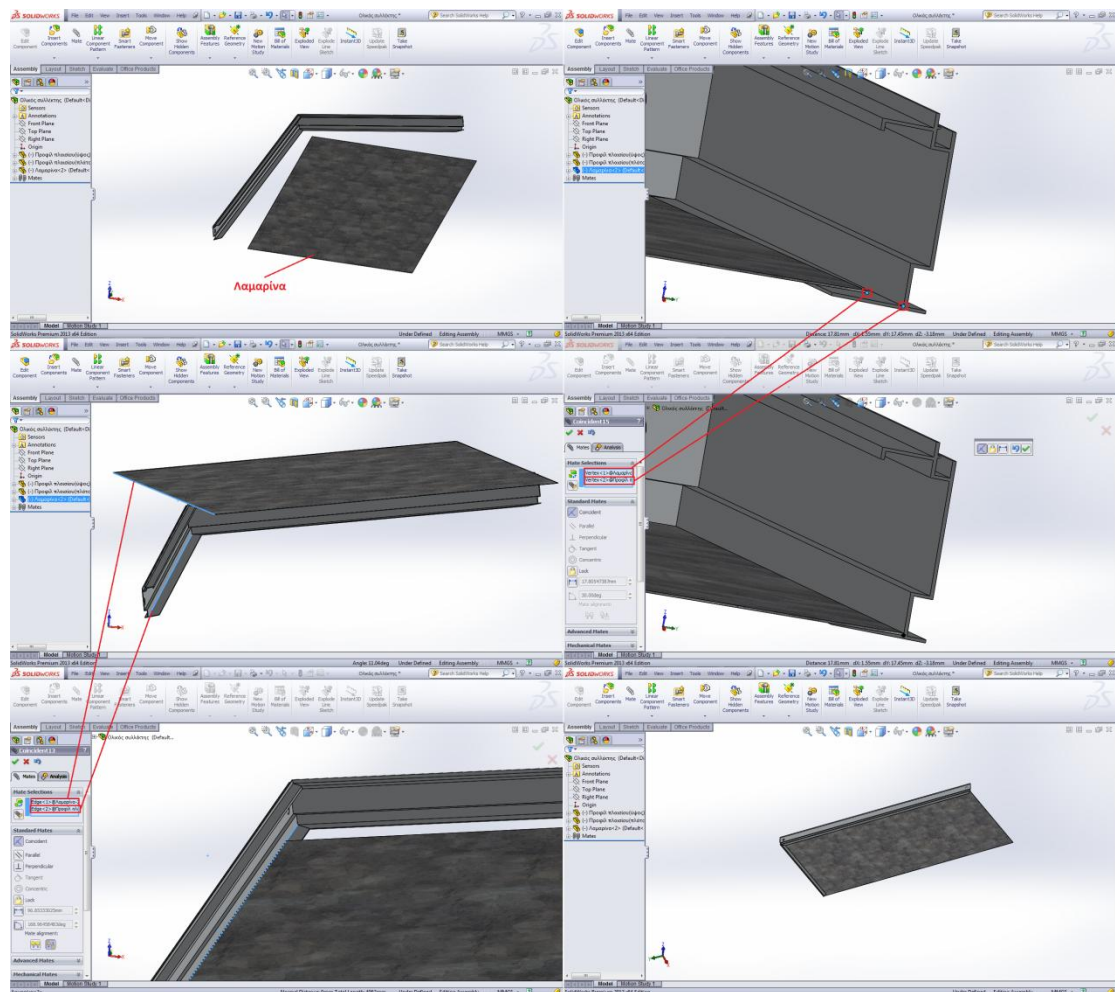


**ΣΧΗΜΑ 3.64:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή κυρίως πλαισίου (ύψος, πλάτος) .

<sup>5</sup> Γενικά, για να καταστήσουμε δύο αντικείμενα ακίνητα το ένα ως προς το άλλο με τα λιγότερα δυνατά «Mates», επιλέγουμε ένα κοινό σημείο και ένα κοινό ευθύγραμμο τμήμα, τέτοια ώστε το πρώτο να μην ανήκει στην προέκταση του δεύτερου. Το ίδιο αποτέλεσμα θα πάρουμε εάν επιλέξουμε δύο κοινά ευθύγραμμα τμήματα (στο κάθε αντικείμενο), τέτοια ώστε το ένα να μην ανήκει στην προέκταση του άλλου.

### 3.10.3.2 Εισαγωγή λαμαρίνας

Στη συνέχεια, εισάγουμε την πλάτη του συλλέκτη (λαμαρίνα) και την ενώνουμε με τα υπόλοιπα δύο αντικείμενα (**ΣΧΗΜΑ 3.65**), όπως ακριβώς πράξαμε και προηγουμένως.

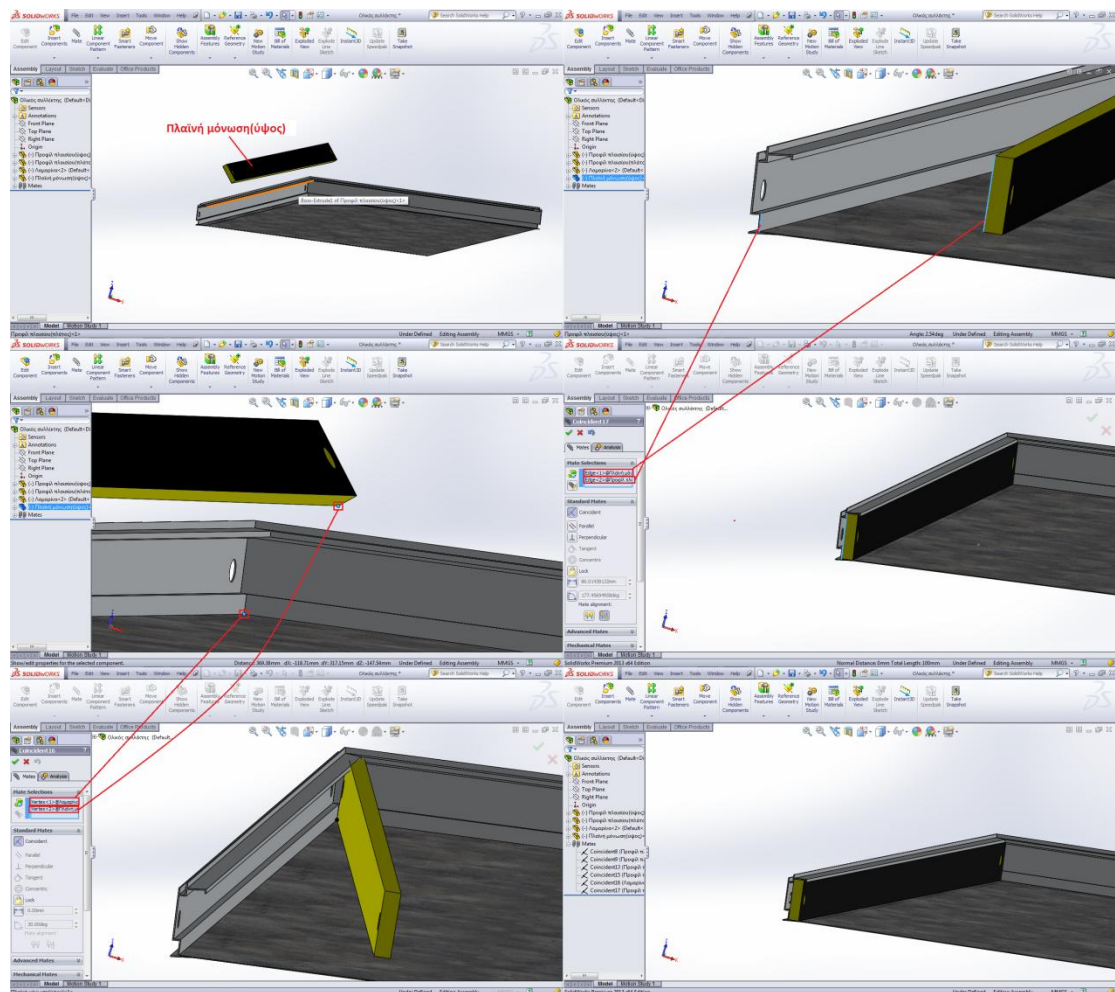


**ΣΧΗΜΑ 3.65:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή λαμαρίνας .

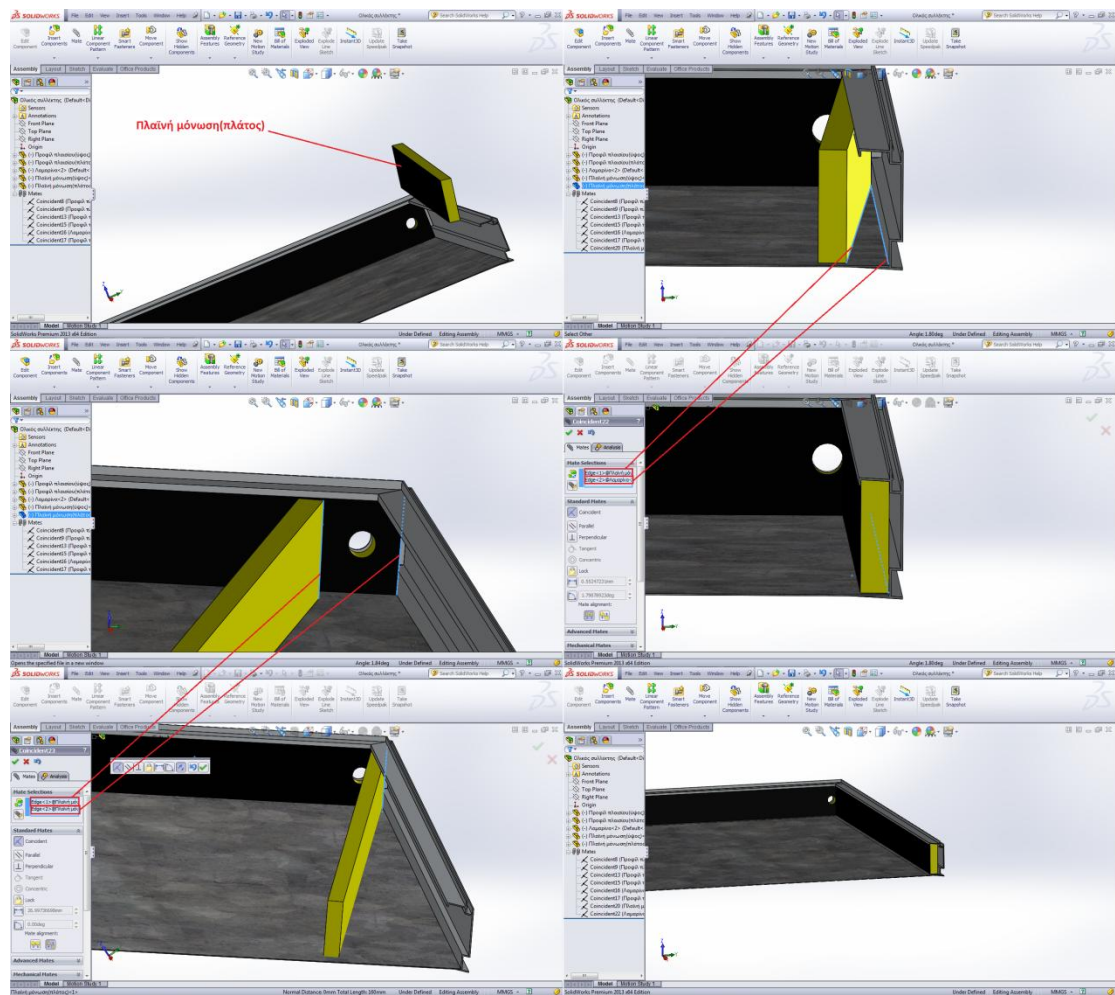


### 3.10.3.3 Εισαγωγή μονώσεων (πλαϊνές, οπίσθια)

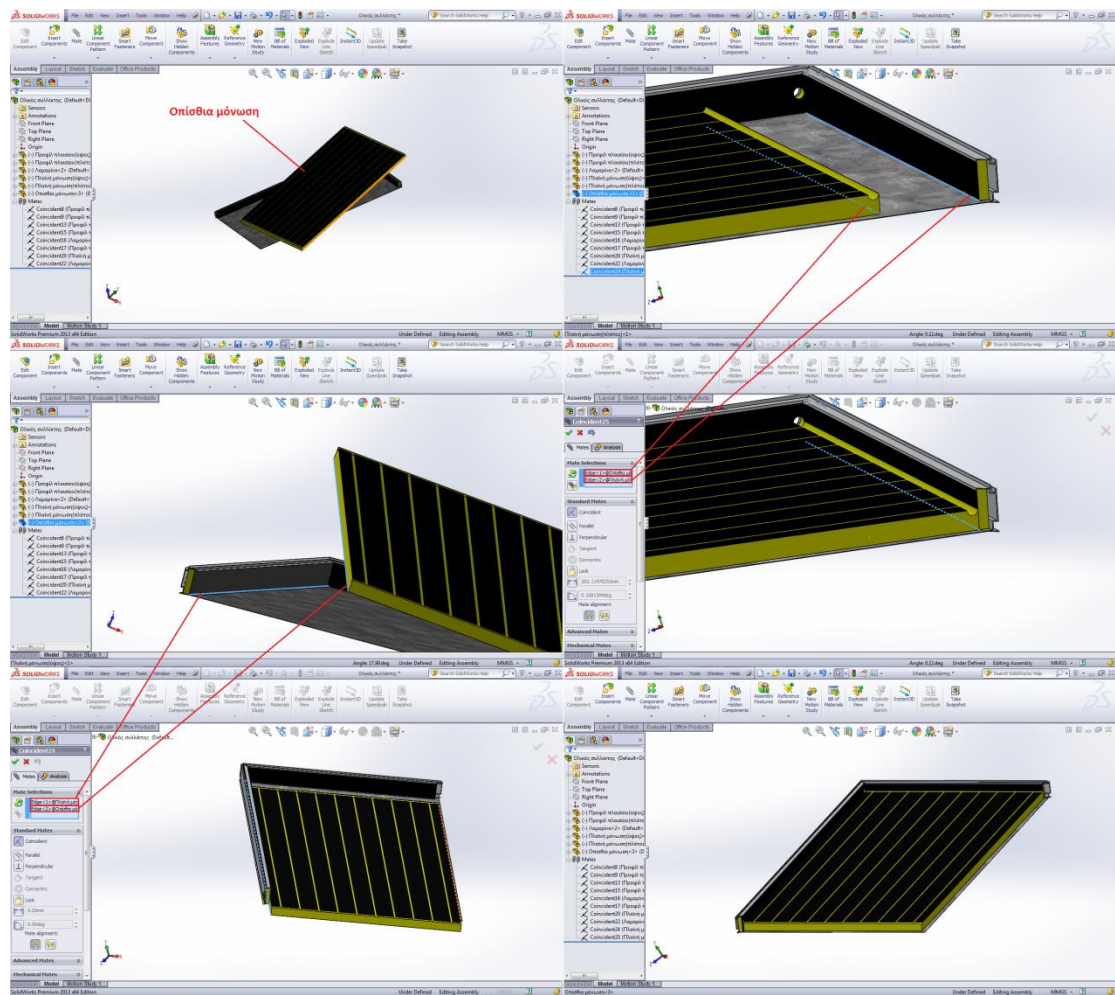
Συνεχίζοντας με την ίδια λογική, εισάγουμε και τοποθετούμε κατάλληλα όλες τις μονώσεις του συλλέκτη (πλαϊνές και οπίσθια) (**ΣΧΗΜΑΤΑ 3.66, 3.67, 3.68**).



**ΣΧΗΜΑ 3.66:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή πλαϊνής μόνωσης (ύψος).



**ΣΧΗΜΑ 3.67:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή πλατίνης μόνωσης (πλατίνος) .

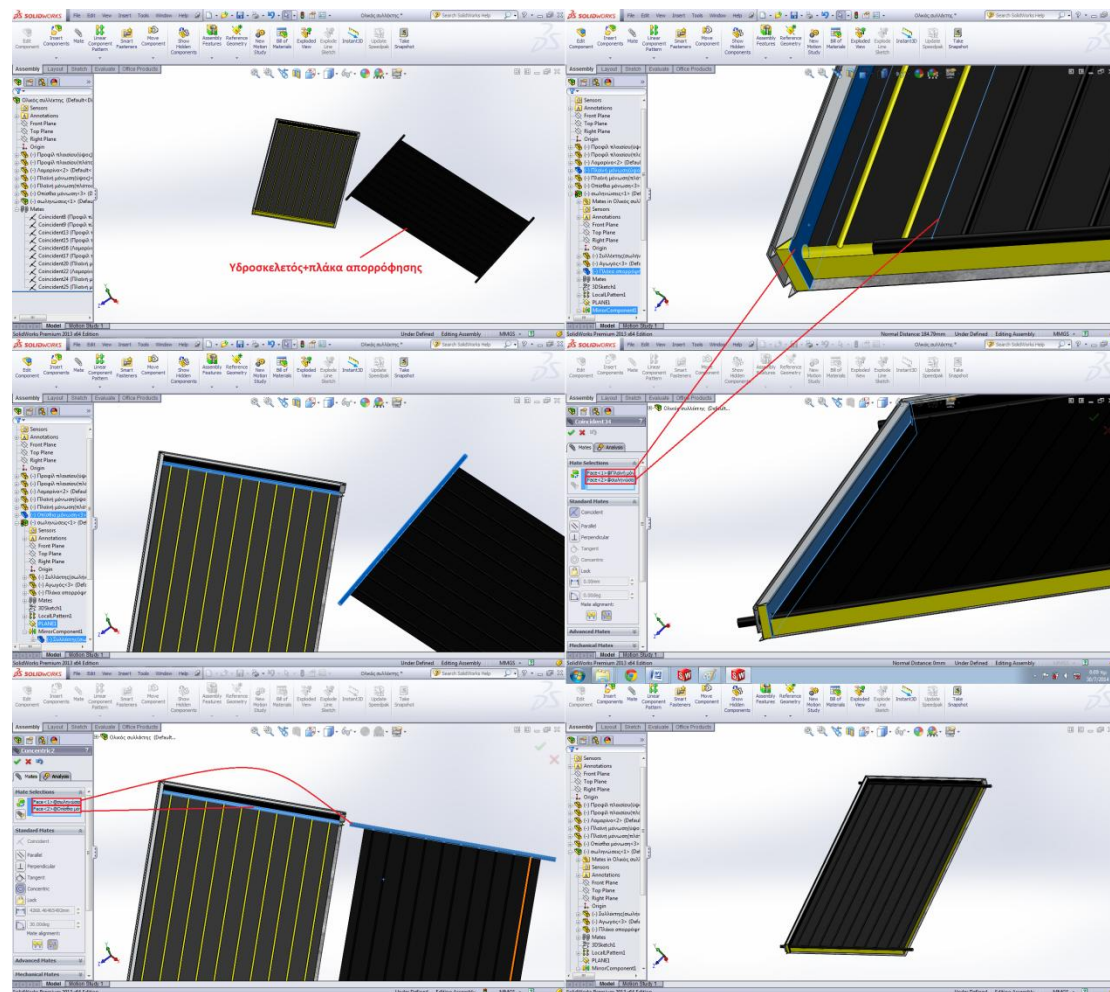


**ΣΧΗΜΑ 3.68:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή οπίσθιας μόνωσης.

### 3.10.3.4 Εισαγωγή συστήματος υδροσκελετού-πλάκας απορρόφησης

Στο σημείο αυτό, θα εισάγουμε το σύστημα **υδροσκελετού-πλάκας απορρόφησης** του συλλέκτη και θα το συνδέσουμε με τον υπόλοιπο συλλέκτη.

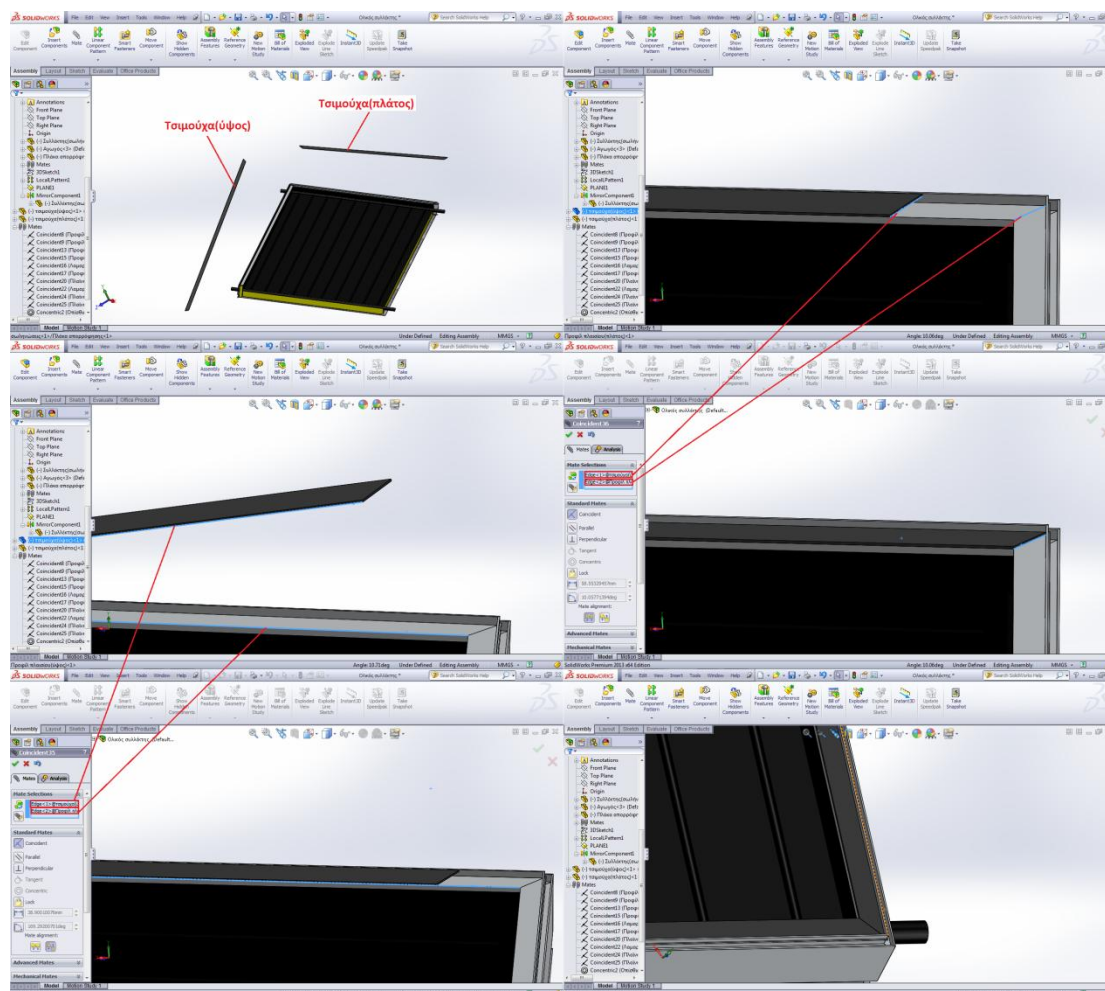
Αρχικά, καθιστούμε τις εξωτερικές επιφάνειες των δύο συλλεκτών του υδροσκελετού ομοαξονικές με τις αντίστοιχες επιφάνειες της οπίσθιας μόνωσης και στη συνέχεια ταυτίζουμε την πλαϊνή επιφάνεια τη πλάκας απορρόφησης, διαστάσεων 0.2mm×1947mm, με την αντίστοιχη επιφάνεια της πλαϊνής μόνωσης (**ΣΧΗΜΑ 3.69**).



**ΣΧΗΜΑ 3.69:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή συστήματος υδροσκελετού-πλάκας απορρόφησης.

### 3.10.3.5 Εισαγωγή τσιμουχών(ύψος, πλάτος)

Έπειτα, εισάγουμε και τοποθετούμε τις τσιμούχες εργαζόμενοι όμοια με τα παραπάνω **(ΣΧΗΜΑ 3.80)**.

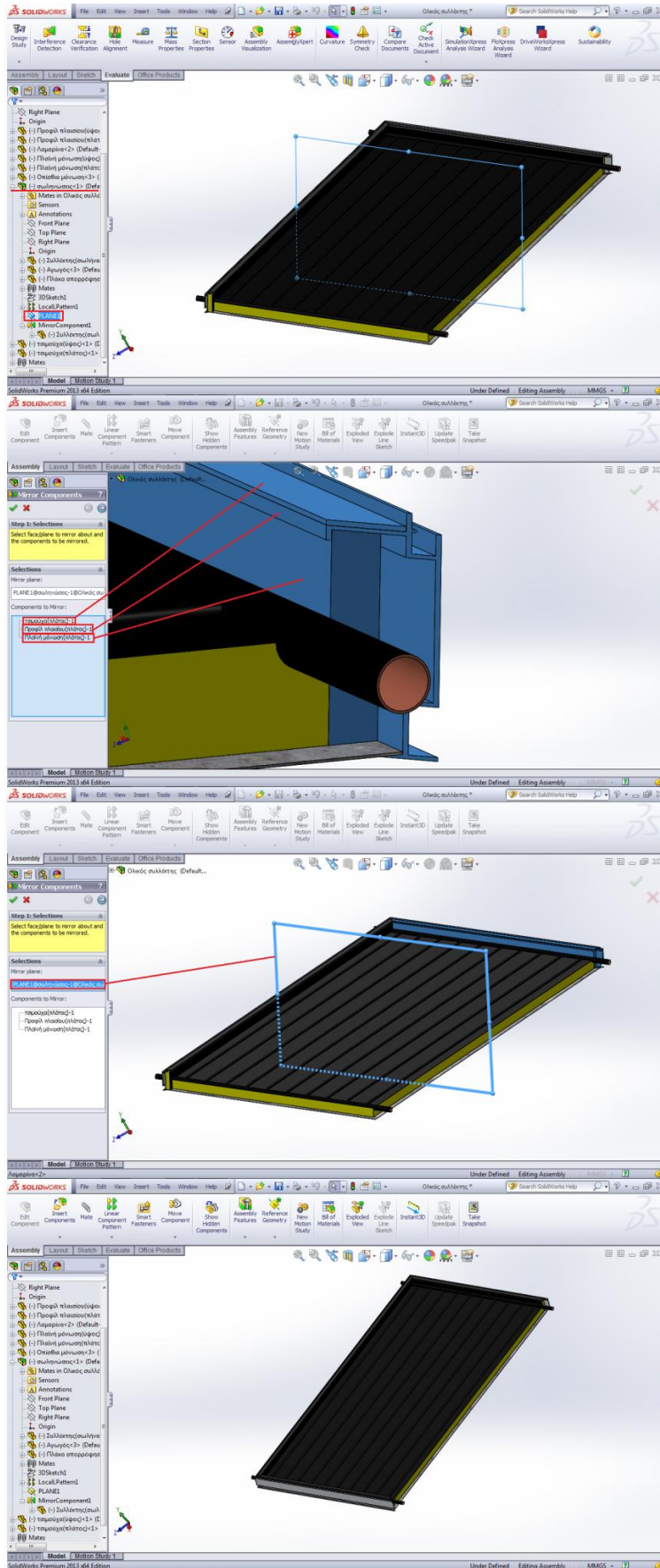


**ΣΧΗΜΑ 3.80:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή τσιμουχών (ύψος, πλάτος).

### 3.10.3.6 Συμμετρική αντιγραφή πλαισίου, πλαιϊνών μονώσεων και τσιμουχών

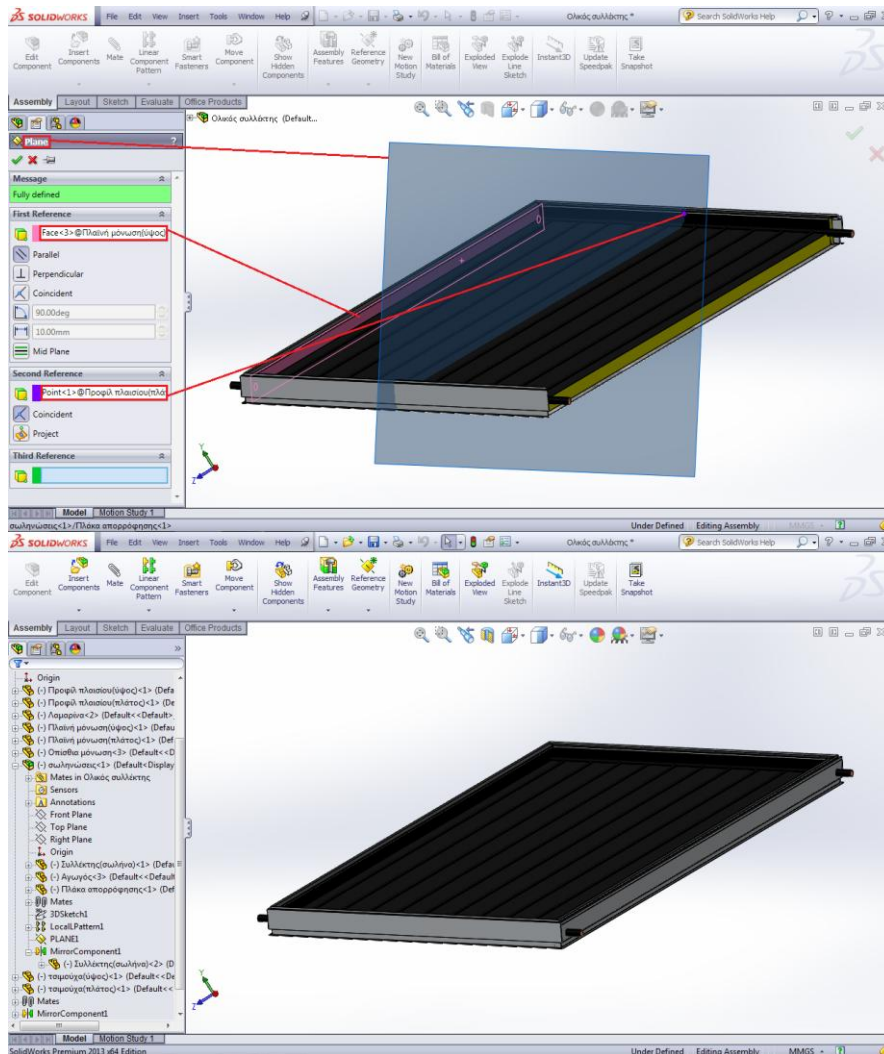
Στη συνέχεια, αντιγράφουμε συμμετρικά τα αντικείμενα που έχουμε τοποθετήσει στις δύο πλάγιες πλευρές (πλαιϊνές μονώσεις, πλαίσιο, τσιμούχες), μέσω της εντολής **Mirror Components**.

Αντιγράφουμε, πρώτα, τα κατά πλάτος στοιχεία του συλλέκτη στην απέναντι μεριά, χρησιμοποιώντας το επίπεδο με το οποίο αντιγράψαμε συμμετρικά το συλλέκτη(manifold) κατά τη σχεδίαση του υδrosκελετού **(ΣΧΗΜΑ 3.81)**.



**ΣΧΗΜΑ 3.81:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Συμμετρική αντιγραφή κυρίως πλαισίου, πλαϊνής μόνωσης και τσιμούχας (πλάτος) .

Υστερα, δημιουργούμε ένα επίπεδο κάθετο στο προηγούμενο, τέτοιο ώστε να διέρχεται από το κέντρο βάρους του συλλέκτη και αντιγράφουμε συμμετρικά, με τη βοήθεια αυτού, τα κατά μήκος στοιχεία (**ΣΧΗΜΑ 3.82**).

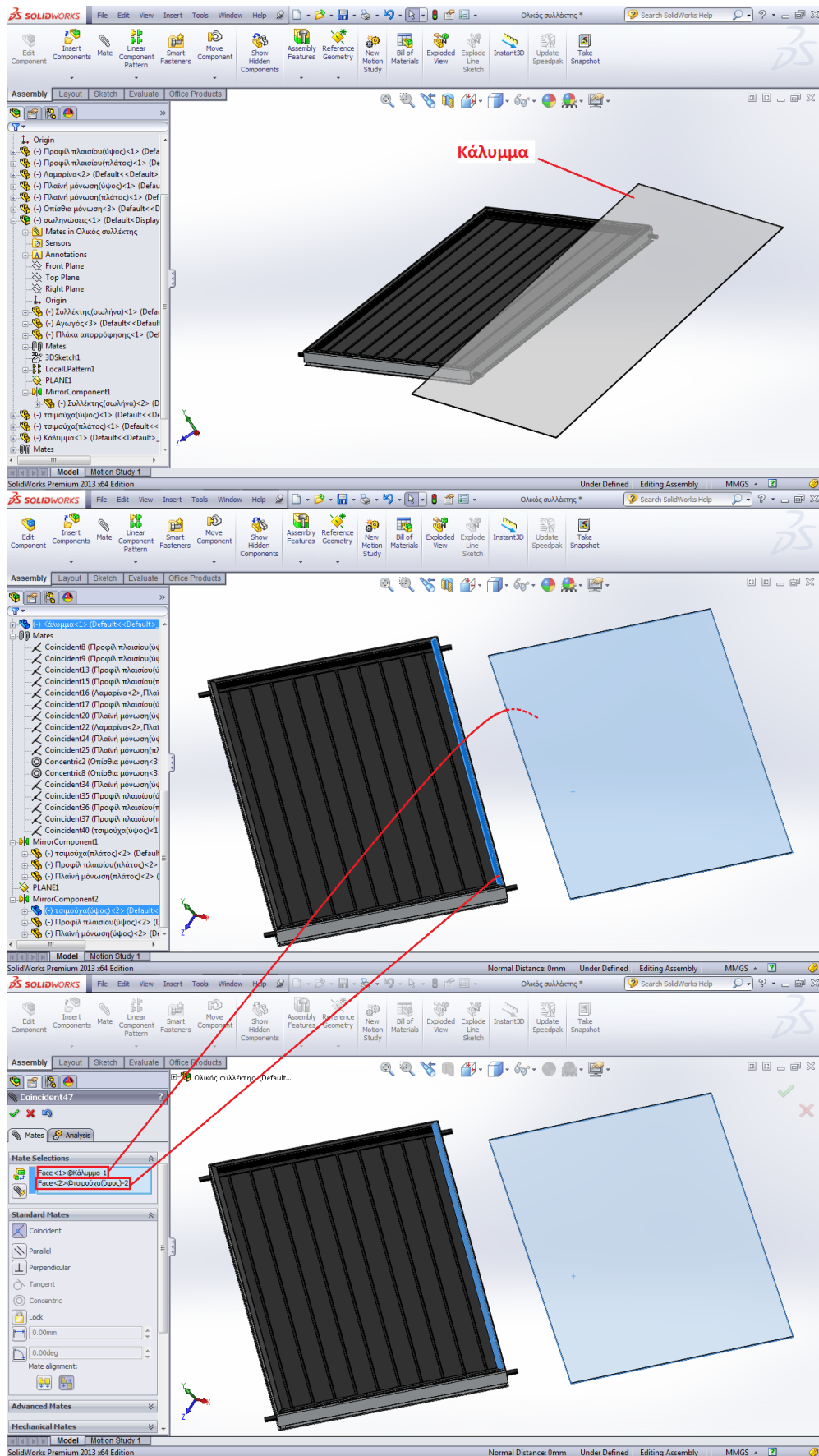


**ΣΧΗΜΑ 3.82:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Συμμετρική αντιγραφή κυρίως πλαισίου, πλαινής μόνωσης και σιμούχας (ύψος).

### 3.10.3.7 Εισαγωγή καλύμματος

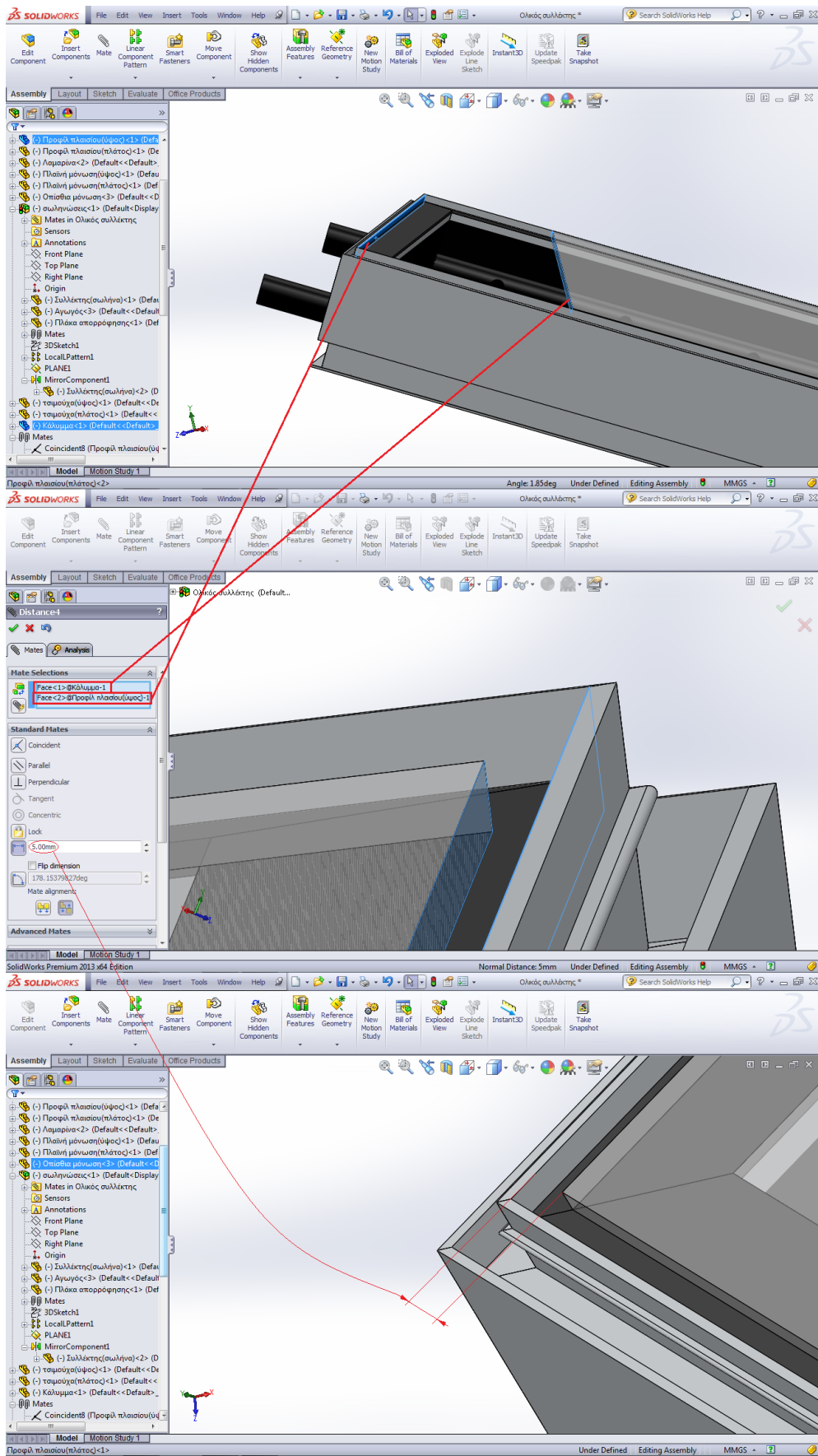
Είμαστε, πλέον, σε θέση να τοποθετήσουμε και το κάλυμμα του συλλέκτη, φροντίζοντας να έχει έναν «αέρα» πέντε χιλιοστών από τα τοιχώματα (του πλαισίου) που το περιβάλλουν<sup>6</sup> (**ΣΧΗΜΑΤΑ 3.83, 3.84**).

<sup>6</sup> Για να τοποθετήσουμε το κάλυμμα στην επιθυμητή θέση, δημιουργούμε τρία «Mates». Με το πρώτο καθιστούμε τη μία από τις δύο επιφάνειες του καλύμματος διαστάσεων 2021mm×981mm ταυτόσημη με την ανώτερη επιφάνεια ενός εκ των τεσσάρων στεγανοποιητικών, με χρήση της συνθήκης **Coincidence**, ενώ με τα υπόλοιπα δύο φροντίζουμε οι δύο από τις τέσσερις παράπλευρες επιφάνειες του καλύμματος να έχουν απόσταση 5mm από τις δύο αντίστοιχες επιφάνειες του πλαισίου, μέσω της συνθήκης **Distance**.



**ΣΧΗΜΑ 3.83:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή καλύμματος.

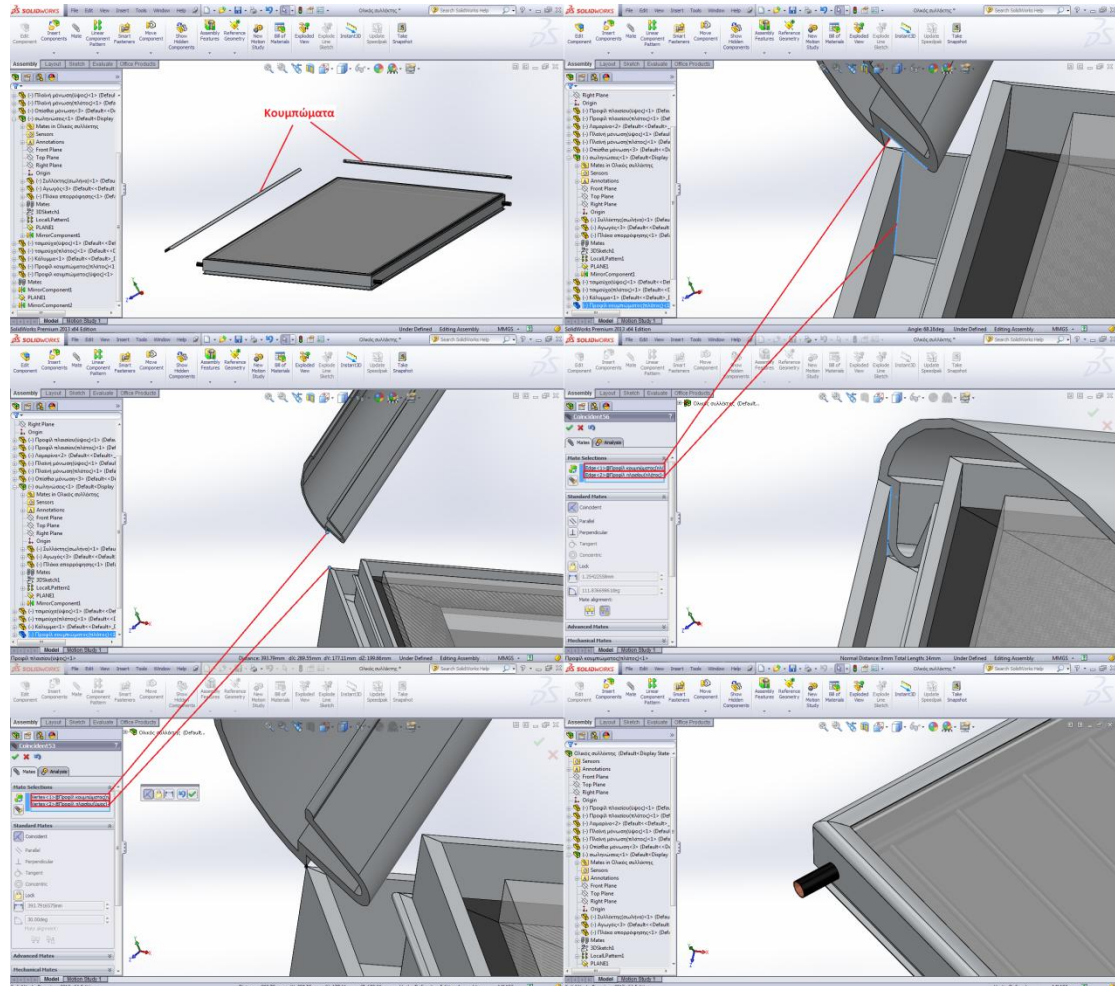




**ΣΧΗΜΑ 3.84:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή καλύμματος.

### 3.10.3.8 Εισαγωγή κουμπωμάτων (ύψος, πλάτος)

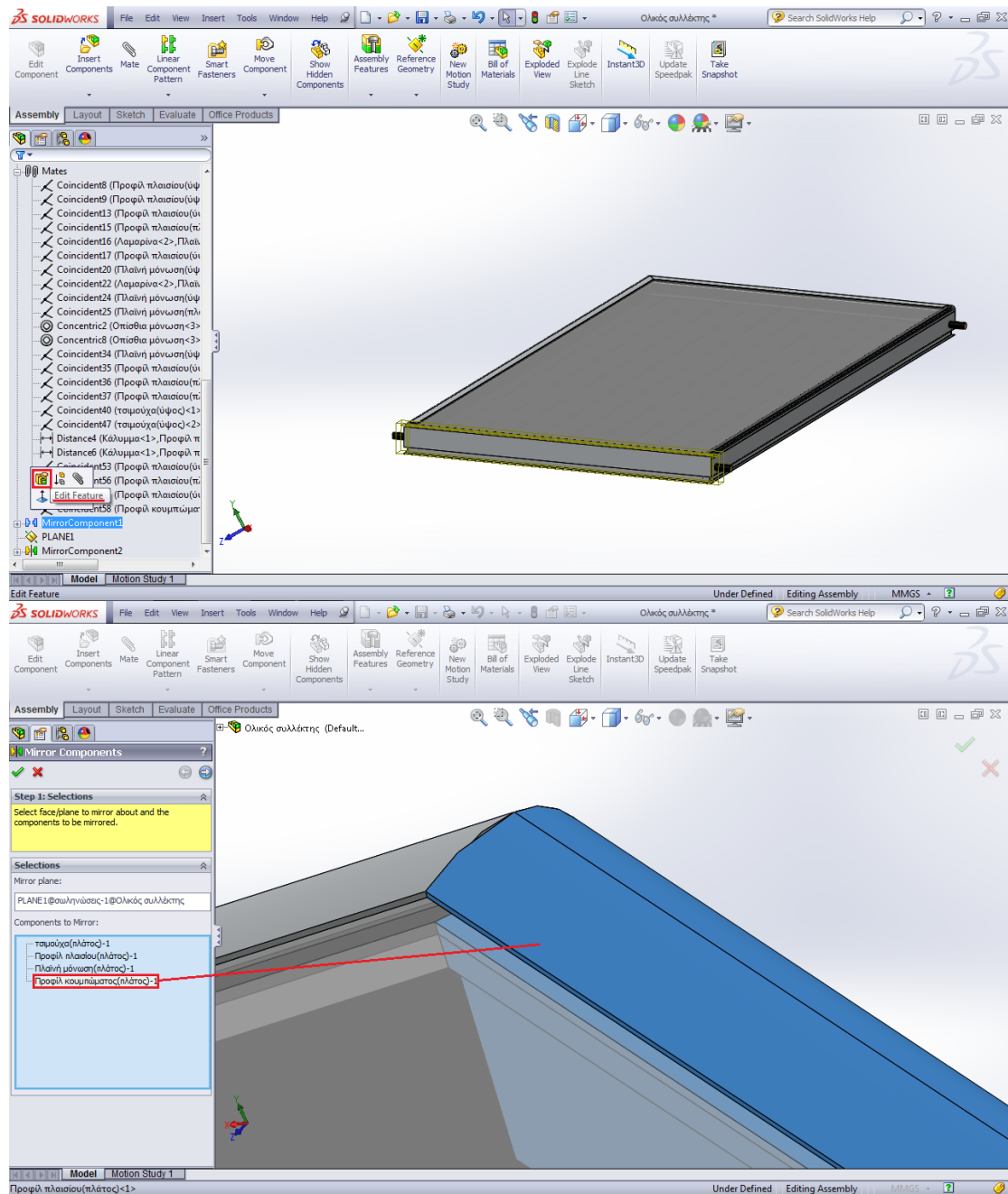
Εν συνεχεία, εισάγουμε στο αρχείο μας και δύο από τα τέσσερα κουμπώματα του συλλέκτη (κατά μήκος και πλάτος) και τα συνδέουμε κατάλληλα με το υπόλοιπο σύστημα (**ΣΧΗΜΑ 3.85**).



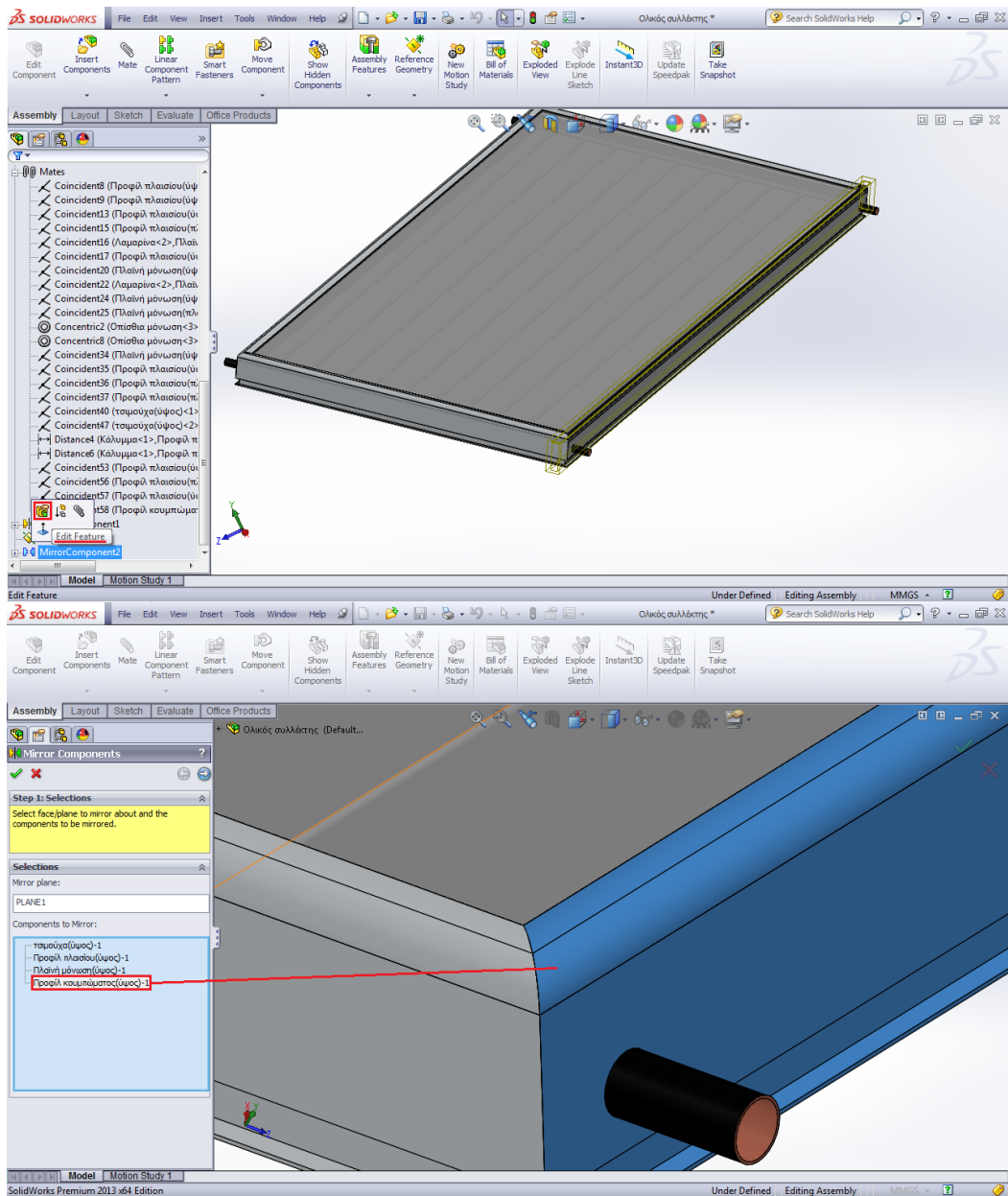
**ΣΧΗΜΑ 3.85:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Εισαγωγή κουμπωμάτων (ύψος, πλάτος).

### 3.10.3.9 Συμμετρική αντιγραφή κουμπωμάτων

Τέλος, αντιγράφουμε συμμετρικά τα δύο προηγούμενα κουμπώματα χωρίς εκ νέου τη χρήση της εντολής **Mirror Components**, αλλά προσθέτοντάς τα στα δύο αντίστοιχα **Mirrors** που πραγματοποιήθηκαν σε προηγούμενη φάση ως ακολούθως (**ΣΧΗΜΑ 3.86**, **ΣΧΗΜΑ 3.87**).

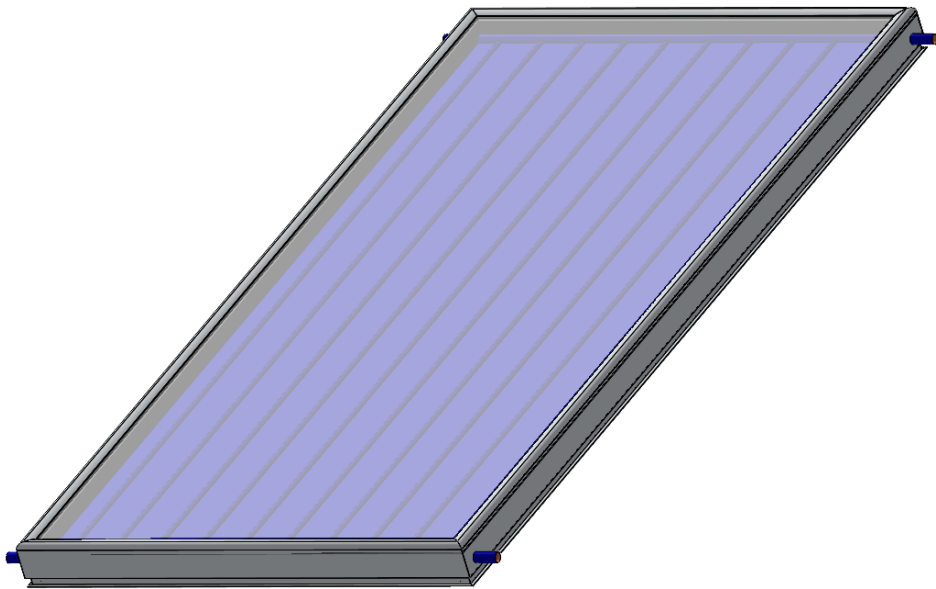


**ΣΧΗΜΑ 3.86:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Συμμετρική αντιγραφή κουμπώματος (ύψος).

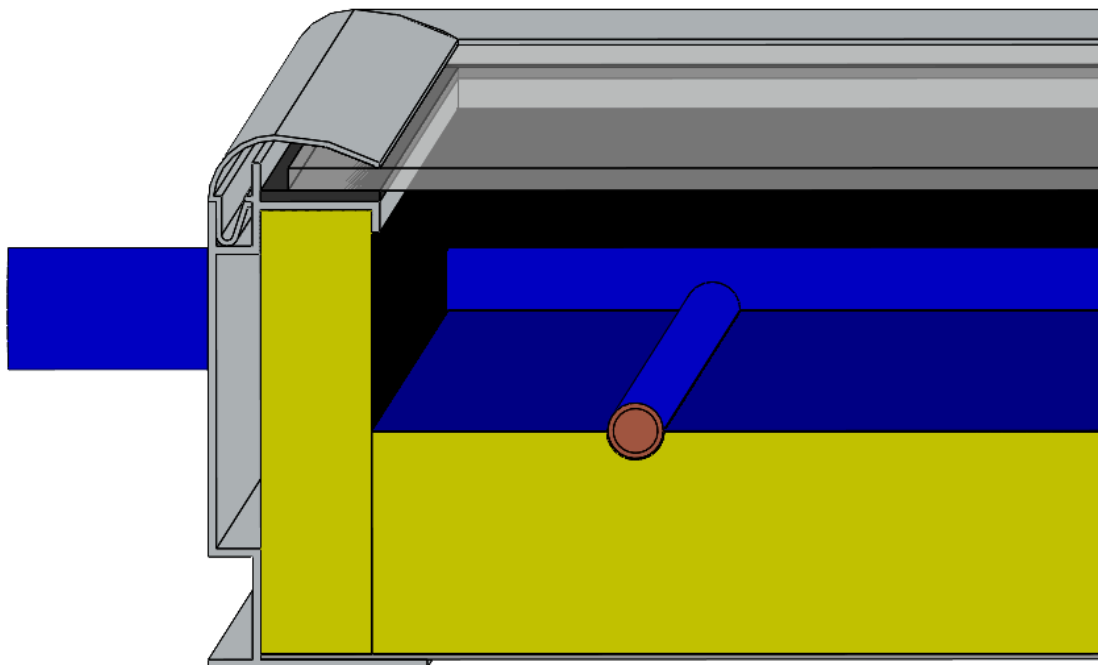


**ΣΧΗΜΑ 3.8Z:** Συναρμολόγηση συλλέκτη (collector), μέσω του προγράμματος Solidworks. / Συμμετρική αντιγραφή κουμπώματος (πλάτος).

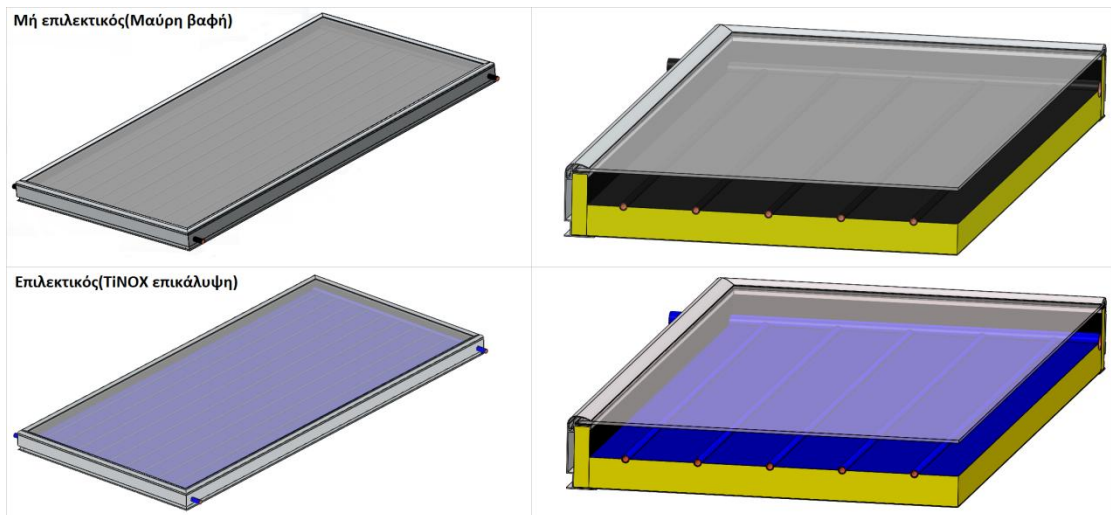
### 3.11 Εικόνες του συλλέκτη



**ΣΧΗΜΑ 3.88:** Επίπεδος επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης απλού καλύμματος υπό κλίση.



**ΣΧΗΜΑ 3.89:** Επίπεδος επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης απλού καλύμματος σε τομή.



**ΣΧΗΜΑ 3.90:** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (επιλεκτικός και μη) ολόκληρος και σε τομή.

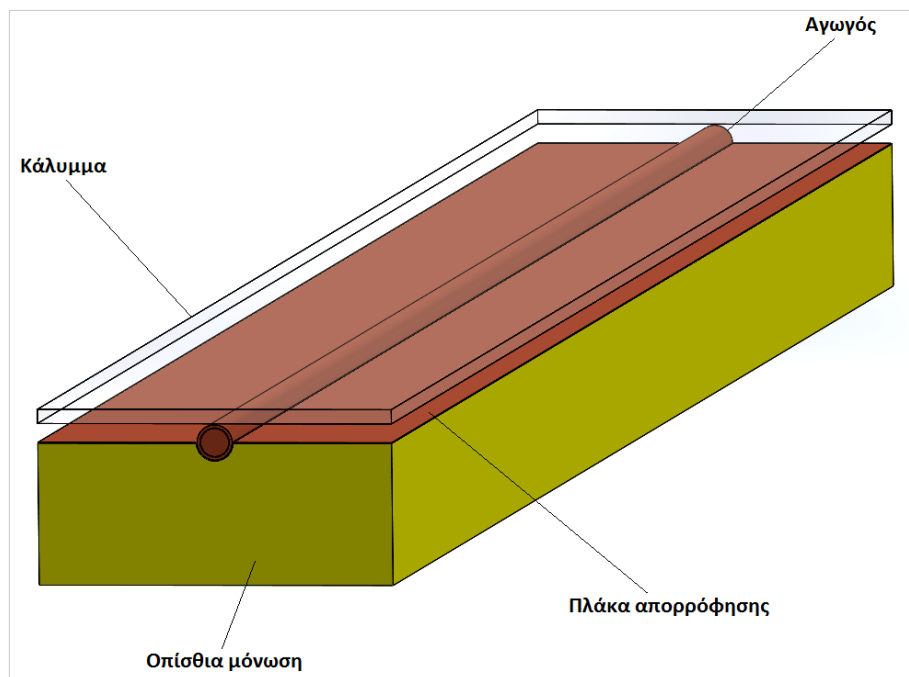
## 4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

### 4.1 Εισαγωγή

Στην εν λόγω ενότητα θα εισάγουμε μια νέα καρτέλα στο περιβάλλον του προγράμματος, της οποίας και θα περιγράψουμε συνοπτικά τη λειτουργία της. Πρόκειται για την καρτέλα **Flow Simulation**, μέσω της οποίας θα μας δοθεί η δυνατότητα να μελετήσουμε τη συμπεριφορά ενός ρευστού εργαζόμενου μέσου εντός μιας κοιλότητας, τόσο σε ροϊκό όσο και σε θερμικό επίπεδο, καθώς και των στερεών ή άλλων ρευστών που το περιβάλλουν.

Η λειτουργία και οι δυνατότητες της συγκεκριμένης καρτέλας θα αναλυθούν μέσω του αντικειμένου που πρόκειται να προσομοιώσουμε. Επειδή στα πλαίσια της παρούσης εργασίας η προσομοίωση ολόκληρου του συλλέκτη εμφανίζει σημαντικές δυσκολίες, **θα ασχοληθούμε με ένα τμήμα ενός ίδιου τύπου, αλλά μικρότερου στις εξωτερικές διαστάσεις συλλέκτη (1103mm×500mm).**

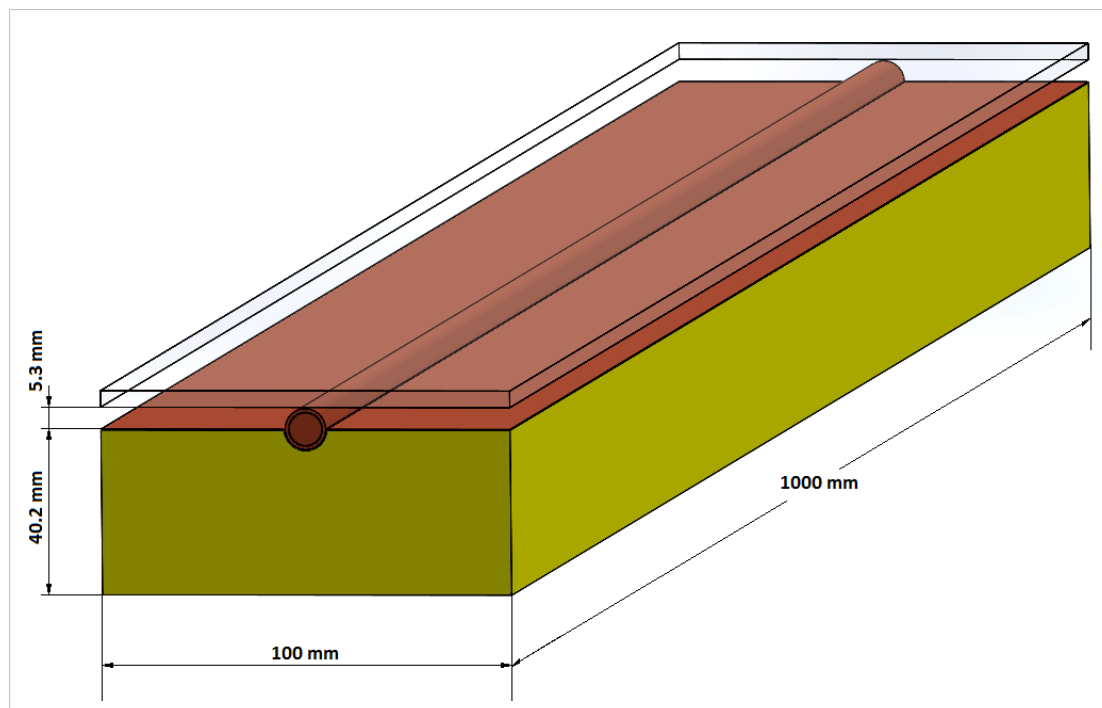
Συγκεκριμένα, θα προσομοιώσουμε μία λωρίδα μήκους ενός μέτρου και πλάτους 100mm<sup>7</sup>, η οποία απαρτίζεται από μία λωρίδα οπίσθιας μόνωσης, μία λωρίδα πλάκας απορρόφησης, έναν αγωγό και μία λωρίδα καλύμματος (βλ. **ΣΧΗΜΑ 4.1**). Η σχεδίαση των τελευταίων, καθώς και η συναρμολόγησή τους πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα όσα υπόθηκαν στα δύο προηγούμενα κεφάλαια.



**ΣΧΗΜΑ 4.1:** Λωρίδα συλλέκτη.

<sup>7</sup> Υπενθυμίζουμε ότι, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αγωγών στο συλλέκτη μας είναι 95.1mm, αλλά για την προσομοίωση παίρνουμε αυτή την απόσταση ίση με 100mm, για λόγους ευκολίας τόσο στην κατασκευή της λωρίδας, όσο και στο λογισμό της επιφάνειας απορρόφησης καθώς και των διαφόρων ποσών θερμότητας που θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, στο συλλέκτη που σχεδιάσαμε η απόσταση μεταξύ της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος και της επιφάνειας της πλάκας απορρόφησης που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία είναι ίση με 43.3mm. Στην περίπτωση, όμως, που πρόκειται να μελετήσουμε, η απόσταση αυτή λαμβάνεται ίση με 5.3mm (βλ. **ΣΧΗΜΑ 4.2**), για λόγους που θα εξηγηθούν στη συνέχεια.



**ΣΧΗΜΑ 4.2:** Κύριες διαστάσεις λωρίδας συλλέκτη.

Στον **ΠΙΝΑΚΑ 4.1** που ακολουθεί παρατίθενται οι βασικές διαστάσεις των τεσσάρων στοιχείων που αποτελούν τη λωρίδα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1:** Βασικές διαστάσεις συνιστωσών λωρίδας συλλέκτη.

<b>Κάλυμμα</b>	Πάχος=4mm
<b>Πλάκα απορρόφησης</b>	Πάχος=0.2mm
<b>Αγωγός</b>	$D_o=10\text{mm}$ $D_i=8\text{mm}$
<b>Μόνωση</b>	Πάχος=40mm



## 4.2 Βασικές εξισώσεις

Στη συγκεκριμένη παράγραφο παρατίθενται οι βασικές εξισώσεις που αφορούν στη μεταφορά θερμότητας που υφίσταται μεταξύ των συνιστωσών του συλλέκτη καθώς και μεταξύ του τελευταίου και του περιβάλλοντος του, ούτως ώστε να γίνει εύκολα κατανοητή η θερμική του συμπεριφορά, καθώς και η μεθοδολογία που πρόκειται να ακολουθήσουμε. (Η ερμηνεία των μεταβλητών παρατίθεται στους **ΠΙΝΑΚΕΣ 4.3 και 4.4** της ενότητας 4.5)

**Απορροφούμενη από το νερό ισχύς:**

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) = S \cdot A_c - U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a) \quad (4.1)$$

**Απορροφούμενη από την πλάκα ισχύς:**  $S = (\tau\alpha) \cdot G_T$  (4.2)

**Συντελεστής ολικών θερμικών απωλειών:**  $U_L = U_t + U_b + U_e$  (4.3)

**Συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής:**  $U_t = \frac{q_t}{(T_p - T_a)}$  (4.4)

**Συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένα:**  $U_b = \frac{1}{\frac{1}{h_{wd}} + \frac{L_{back\_ins}}{k_{back\_ins}}}$  (4.5)

Όπου:  $h_{wd}$  = συντελεστής συναγωγής μεταξύ πλάτης και περιβάλλοντος,  $L_{back\_ins}$  = πάχος οπίσθιας μόνωσης,  $k_{back\_ins}$  = θερμική αγωγιμότητα του υλικού της μόνωσης

**Απώλειες κορυφής:**

$$q_t = h_{wu} \cdot (T_{co} - T_a) + \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{co}^4 - T_a^4) = h_{pc} \cdot (T_p - T_{ci}) + \frac{\sigma \cdot (T_p^4 - T_{ci}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_p} - 1} \quad (4.6)$$

**Απώλειες λόγω συναγωγής μεταξύ πλάκας και εσωτερικού αέρα:**

$$q_{cnv1} = h_{cnv1} \cdot (T_p - T_{ai}) \quad (4.7)$$

**Απώλειες λόγω συναγωγής μεταξύ εσωτερικού αέρα και εσωτερικής επιφάνειας καλύμματος:**

$$q_{cnv2} = h_{cnv2} \cdot (T_{ai} - T_{ci}) \quad (4.8)$$

Αν θεωρηθεί αμελητέο το ποσό θερμότητας που συναλλάσσεται μεταξύ του εσωτερικού αέρα και των τοιχωμάτων της πλάγιας μόνωσης θα ισχύει:

$$q_{cnv1} = q_{cnv2} = h_{pc} \cdot (T_p - T_{ci}) \quad (4.9)$$

**Βαθμός απόδοσης του συλλέκτη:**

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{solar}} = \frac{(\tau\alpha) \cdot Q_{solar} - Q_{losses}}{Q_{solar}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{Q_{solar}} \quad (4.10)$$

$$Q_{solar} = A_c \cdot G_T \quad (4.11)$$

$$Q_{losses} = U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a) \quad (4.12)$$

### 4.3 Βασική ιδέα

Ο κύριος στόχος μας είναι να καταφέρουμε να λάβουμε ως αποτελέσματα της προσομοίωσης τα θερμοκρασιακά πεδία των κύριων μερών που απαρτίζουν το συλλέκτη μας (ο οποίος είναι εκτεθειμένος σε περιβάλλον συγκεκριμένης θερμοκρασίας και σε ηλιακή ακτινοβολία συγκεκριμένης ισχύος) και των δύο ρευστών (νερό, αέρας) που δρουν εντός αυτού, μελετώντας απλά μία λωρίδα του.

Η βασική δυσκολία που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι το ότι η δομή της λωρίδας δεν μας επιτρέπει την εισαγωγή αέρα μεταξύ καλύμματος και απορροφητή, καθώς το διάκενο στην προκειμένη περίπτωση είναι νοητό (χωρίς υλική υπόσταση) κατά την έννοια του μήκους και του πλάτους. Για το λόγο αυτό θα εισάγουμε τον αέρα με έναν έμμεσο τρόπο. Δεδομένου ότι, ο τελευταίος αποτελεί την αιτία ύπαρξης των απωλειών λόγω συναγωγής από την πλάκα μέχρι το κάλυμμα, θα προσομοιώσουμε την παρουσία του μέσω των εν λόγω απωλειών. Συγκεκριμένα, θα ορίσουμε δύο συντελεστές συναγωγής, έναν μεταξύ του υποτιθέμενου αέρα και του απορροφητή ( $h_{cnv1}$ ), καθώς και έναν μεταξύ του πρώτου και της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος ( $h_{cnv2}$ ), ενώ η θερμοκρασία του θα προσδιορίζεται με δοκιμές (για συγκεκριμένη θερμοκρασία εισόδου του νερού), έως ότου ικανοποιείται ο παρακάτω ενεργειακός ισολογισμός κάθε φορά (4.13).

$$\eta_1 = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T} = \frac{(\tau \cdot \alpha) \cdot G_T \cdot A_c - U_L \cdot A_c \cdot (T_p - T_a)}{A_c \cdot G_T} = \eta_2 \quad (4.13)$$

Εάν  $\eta_2 > \eta_1$ , τότε θα πρέπει να αυξήσουμε την  $T_{ai}$ , ούτως ώστε να μειωθεί ο  $\eta_2$  και ταυτόχρονα να αυξηθεί ο  $\eta_1$ , μέχρι αυτοί οι δύο να συγκλίνουν. Αυτό συμβαίνει, διότι, όταν εμείς ορίζουμε μια  $T_{ai2} > T_{ai1}$ , επιτρέπουμε στην πλάκα απορρόφησης να αποβάλλει λιγότερη θερμότητα από την αντίστοιχη που θα απέρριπτε αν ο εσωτερικός αέρας είχε θερμοκρασία  $T_{ai1}$ , με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της. Συνεπώς, η θερμοκρασία εξόδου του νερού ( $T_o$ ) αυξάνει προκαλώντας αύξηση του  $\eta_1$ . Από την άλλη μεριά, η αύξηση της  $T_p$  οδηγεί στην αύξηση των ολικών απωλειών του συλλέκτη, με αποτέλεσμα τη μείωση του  $\eta_2$ .

Δεδομένης της μικρής, σχετικά με την αρχική, απόστασης καλύμματος-απορροφητή, θεωρούμε ότι οι δύο προαναφερόμενοι συντελεστές συναγωγής έχουν την ίδια τιμή ( $h_{cnv}$ ). Επίσης, το μεταφερόμενο δια συναγωγής ποσό θερμότητας από την πλάκα στον αέρα ( $q_{cnv1}$ ) μπορεί να θεωρηθεί περίπου ίσο με το αντίστοιχο από τον αέρα στο κάλυμμα ( $q_{cnv2} = q_{cnv1} = q_{cnv}$ ), **δεχόμενοι ότι η λωρίδα μας επηρεάζεται ενεργειακά από τις υπόλοιπες λωρίδες και συνιστώσες που απαρτίζουν το συλλέκτη**<sup>8</sup>. Συνεπώς, η τιμή για τη θερμοκρασία του εσωκλειόμενου στο διάκενο αέρα ( $T_{ai}$ ) θα πρέπει θεωρητικά να ταυτίζεται με τη μέση τιμή των θερμοκρασιών της πλάκας και του καλύμματος.

$$q_{cnv} = h_{pc} \cdot (T_p - T_{ci}) = h_{cnv} \cdot (T_p - T_{ai}) = h_{cnv} \cdot (T_{ai} - T_{ci}) \quad (4.14)$$

<sup>8</sup> Αξίζει να σημειωθεί ότι η λωρίδα μας κατά την προσομοίωση θα είναι **απομονωμένη** από τον υπόλοιπο συλλέκτη και θα μελετηθεί εντελώς ανεξάρτητα και **απόλυτα εκτεθειμένη στο περιβάλλον (όσον αφορά στην ακτινοβολία)**.

Από την τελευταία ισότητα της προηγούμενης σχέσης (4.14), εάν λύσουμε ως προς  $T_{ci}$  προκύπτει:

$$T_{ci} = \frac{T_p - T_{ci}}{2} \quad (4.15)$$

Επίσης, η περίπτωση μας παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες, δεδομένου ότι η μελετώμενη λωρίδα είναι πλήρως εκτεθειμένη στο περιβάλλον. Η επιφάνεια του απορροφητή (επιφάνεια λωρίδας πλάκας απορρόφησης+αγωγός που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία) καθώς και η εσωτερική πλευρά του καλύμματος λαμβάνουν θερμική ακτινοβολία από το περιβάλλον θερμοκρασίας  $T_a$ .

Στην πραγματικότητα, όμως, η λωρίδα του απορροφητή, εκτός από τη θερμική ακτινοβολία που δέχεται από την εσωτερική επιφάνεια της λωρίδας καλύμματος που βρίσκεται ακριβώς απέναντί της, δέχεται μία επιπλέον θερμική ακτινοβολία από όλες τις εσωτερικές επιφάνειες των υπολοίπων λωρίδων καλύμματος που απαρτίζουν το κάλυμμα του συλλέκτη. Είναι προφανές ότι η τελευταία θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που θα δεχόταν η πλάκα από το περιβάλλον, δεδομένου ότι  $T_{ci} > T_a$ . Όμοια, η ακτινοβολία που δέχεται το κάλυμμα προερχόμενη από τις λωρίδες απορροφητή (πλην της αντικριστής της) θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που θα δεχόταν από το περιβάλλον, λόγω του ότι  $T_p > T_a$ .

Συνεπώς, οι τιμές των θερμοκρασιών που θα προκύψουν κατά την προσομοίωση θα εμφανίζουν απόκλιση από τις πραγματικές. Διαισθητικά, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι τα θερμοκρασιακά πεδία της προσομοίωσης θα εμφανίζονται χαμηλότερα από τα πραγματικά, κάτι που θα μας απασχολήσει αργότερα.

Η απόκλιση, όμως, αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί σχεδόν αμελητέα, διότι έχουμε φροντίσει το κάλυμμα να βρίσκεται πολύ κοντά στην πλάκα, ούτως ώστε η συναλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ πλάκας-περιβάλλοντος και εσωτερικής πλευράς καλύμματος-περιβάλλοντος να είναι ελάχιστη. Αυτό συμβαίνει, διότι ο συντελεστής θέασης (view factor (4.16)) μεταξύ των επιφανειών καλύμματος και απορροφητή είναι περίπου 0.95 (κοντά στη μονάδα), πράγμα που σημαίνει ότι το 95% της ακτινοβολίας που φεύγει από τον απορροφητή καταλήγει στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος και αντίστροφα.

**Συντελεστής θέασης:**

$$F = \frac{\sqrt{B^2 + 1} - 1}{B} \quad (4.16)^9$$

όπου  $B = \frac{W}{L}$ ,  $W$  = πλάτος καλύμματος  $L$  = απόσταση καλύμματος – απορροφητή

Οπότε, για  $L = 5.3mm$  και  $W = 100mm$  θα έχουμε  $B = 18.87$  και  $F = 0.948$

<sup>9</sup> Η συγκεκριμένη σχέση ισχύει όταν οι δύο πλάκες που εξετάζονται έχουν το ίδιο πλάτος και η μεταξύ τους απόσταση είναι πολύ μικρότερη του μήκους τους .

## 4.4 Παραδοχές

Στο συγκεκριμένο σημείο είναι απαραίτητο να αναφέρουμε τις παραδοχές που πρέπει να γίνουν, ώστε να προσομοιώσουμε τη λειτουργία της απομονωμένης λωρίδας σαν αυτή να βρισκόταν εντός του συλλέκτη.

Πρώτα απ' όλα, η ροή του νερού εντός του αγωγού λογίζεται ως στρωτή, δεδομένων των μικρών<sup>10</sup> πεδίων ταχυτήτων που αναπτύσσονται εντός του αγωγού και πλήρως ανεπτυγμένη, δεδομένης της μικρής σχετικά με το μήκος του αγωγού διαμέτρου του.

Επίσης, οι παράπλευρες επιφάνειες της όλης λωρίδας θεωρούνται αδιαβατικές ( $U_e=0$ ) και μη ενεργές στη συναλλαγή ακτινοβολίας με το περιβάλλον. Το τελευταίο γίνεται διότι οι περισσότερες εκ των επιφανειών αυτών αποτελούν τομές στερεών μερών του συλλέκτη, πράγμα που σημαίνει ότι δεν συμμετέχουν στην ακτινοβολία. Η αδιαβατικότητα επιβάλλεται, λόγω του ότι οι δύο τομές κατά την έννοια του πλάτους πραγματοποιήθηκαν στις δύο θέσεις, 50mm εκατέρωθεν του αγωγού η κάθε μία, όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες μεταξύ δύο αγωγών. Συνεπώς, η ροή θερμότητας λόγω αγωγής δια μέσου των δύο αυτών τομών είναι μηδενική. Όσον αφορά στις κατά μήκος τομές, οι προκύπτουσες επιφάνειες πληρούν και αυτές την αδιαβατικότητα, καθώς ορισμένες είναι μονωμένες, ενώ στις υπόλοιπες υφίσταται ελάχιστη ροή θερμότητας.

Τέλος, οι οπτικές απώλειες ( $\tau \cdot \alpha$ ) του συλλέκτη καθώς και η προσαύξηση αυτών ( $0.01 \cdot (\tau \cdot \alpha)$ )<sup>11</sup>, λόγω των πολλαπλών ανακλάσεων της θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ καλύμματος και απορροφητή, ορίζονται αποκλειστικά μέσω του συντελεστού απορρόφησης της πλάκας ( $\alpha$ ), καθώς το πρόγραμμα δεν μας επιτρέπει παρά μόνο να λάβουμε τη διαπερατότητα του καλύμματος στην ηλιακή ακτινοβολία ίση με τη μονάδα.

---

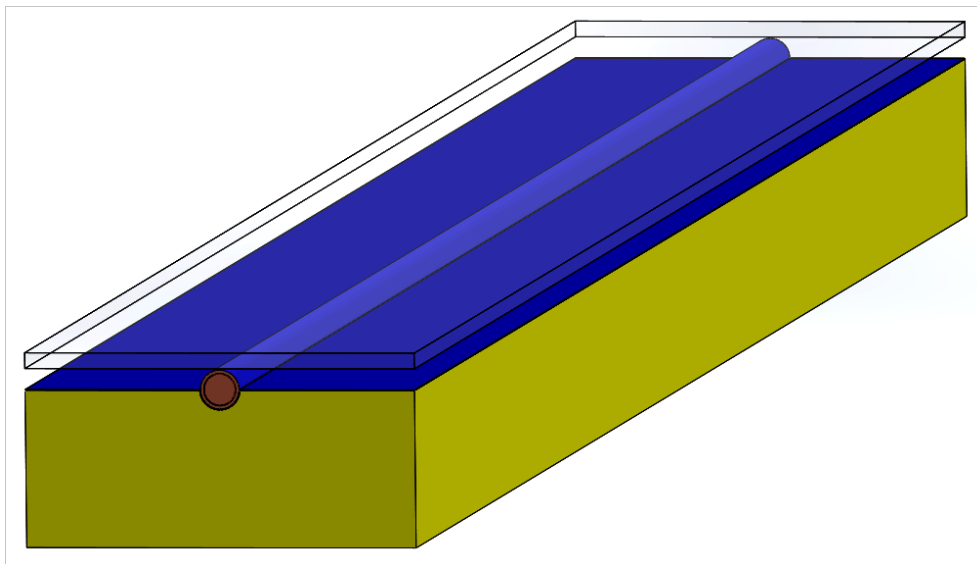
<sup>10</sup> Οι ταχύτητες εντός του αγωγού είναι της τάξεως των 0.08m/s. Συνεπώς, ο αριθμός Reynolds για μία ακραία περίπτωση ( $T_f=80^\circ\text{C}$ ) θα είναι  $Re = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{0.08\text{m/s} \cdot 0.008\text{m}}{0.365 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} = 1753 < 2300$ .

<sup>11</sup> Η προσαύξηση αυτή χρησιμοποιείται για συνήθεις πρακτικές εφαρμογές [53].

## 4.5 Προσομοίωση λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη

### 4.5.1 Ιδιότητες συνιστωσών της λωρίδας

Θα ασχοληθούμε, πρώτα, με τη λωρίδα του επιλεκτικού συλλέκτη (**ΣΧΗΜΑ 4.3**) και εν συνεχεία θα μελετήσουμε και το μη επιλεκτικό.



**ΣΧΗΜΑ 4.3:** Λωρίδα επιλεκτικού συλλέκτη.

Οι κύριες ιδιότητες των τριών συνιστωσών (κάλυμμα, απορροφητής<sup>12</sup>, μόνωση) που απαρτίζουν τη λωρίδα μας παρατίθενται στον **ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2** που ακολουθεί.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2:** Οπτικές και θερμικές ιδιότητες συνιστωσών.

Συνιστώσα	Ιδιότητες
Κάλυμμα	$\tau=0.90$ , $\epsilon_c=0.88$
Απορροφητής	$\alpha=0.88$ , $\epsilon_p=0.1$
Μόνωση	$k=0.04$ W/m/K

### 4.5.2 Δεδομένα του προβλήματος

Τα δεδομένα του προβλήματος, τα οποία, κατά κύριο λόγο, αποτελούν τις οριακές συνθήκες του προγράμματος, δίνονται στον **ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3** .

<sup>12</sup> Πλάκα απορρόφησης+αγωγός

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3:** Δεδομένα προβλήματος.

Όνομασία	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	$T_a$	10	°C
Θερμοκρασία εισόδου νερού	$T_i$	10 ÷ 90 Με βήμα 5	°C
Παροχή μάζας νερού	$\dot{m}$	0.004	kg/s
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας καλύμματος και περιβάλλοντος	$h_{wu}$	8	W/m <sup>2</sup> /K
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας πλάτης (back plate) και περιβάλλοντος <sup>13</sup>	$h_{wd}$	7	W/m <sup>2</sup> /K
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ πλάκας απορρόφησης και εσωκλειόμενου αέρα.	$h_{cnv1}$	8	W/m <sup>2</sup> /K
Συντελεστής συναγωγής μεταξύ εσωτερικής επιφάνειας καλύμματος και εσωκλειόμενου αέρα.	$h_{cnv2}$	8	W/m <sup>2</sup> /K
Ολική στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία	$G_T$	800	W/m <sup>2</sup>

### 4.5.3 Ζητούμενα του προβλήματος

Τα ζητούμενα του προβλήματος, τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4**).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4:** Ζητούμενα προβλήματος.<sup>14</sup>

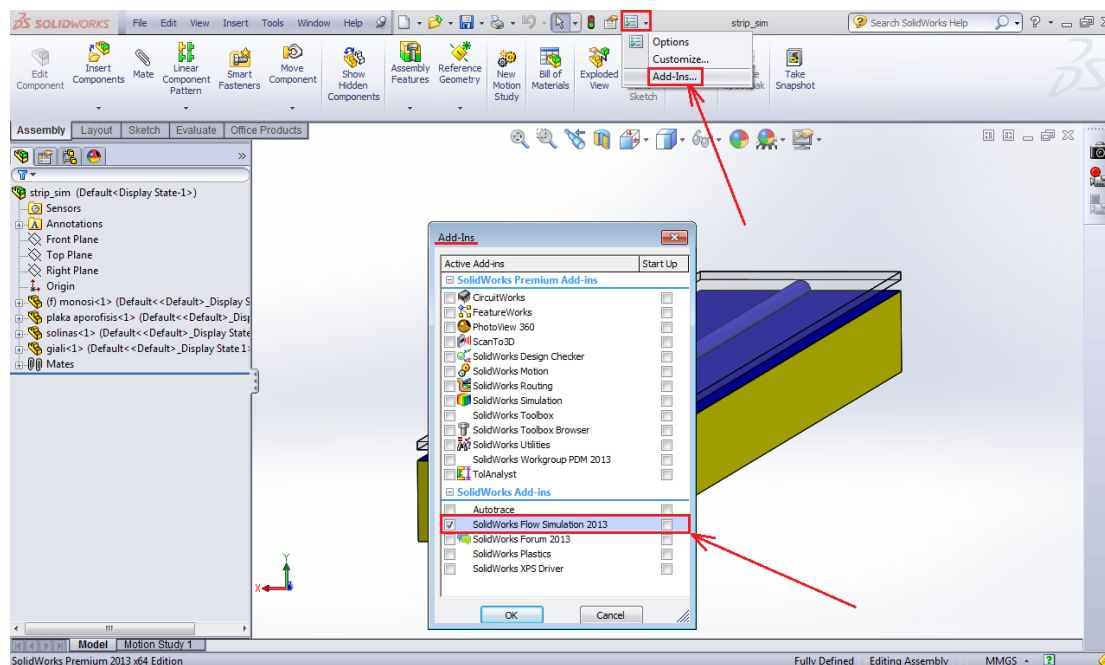
Όνομασία	Σύμβολο
Θερμοκρασία εξόδου νερού	$T_o$
Θερμοκρασία πλάκας	$T_p$
Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας καλύμματος	$T_{ci}$
Θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας καλύμματος	$T_{co}$
Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα	$T_{ai}$

<sup>13</sup> Στη λωρίδα μας δεν έχουμε προσθέσει την πλάτη, δεδομένου ότι η θερμική της αντίσταση είναι μόλις  $\frac{\text{Πάχος πλάτης}}{k_{st}} = \frac{0.001 \text{ m}}{60 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} \approx 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}$ , κάτι που σημαίνει ότι η θερμική αντίσταση λόγω της συναγωγής θα είναι περίπου ίση με τη θερμική αντίσταση από την κάτω πλευρά της μόνωσης έως το περιβάλλον. Έτσι με ένα απειροελάχιστο σφάλμα εξασφαλίζουμε μία μικρή πλην σημαντική μείωση του υπολογιστικού κόστους.

<sup>14</sup> Αναφερόμαστε σε μέσες ή και σταθμισμένες τιμές.

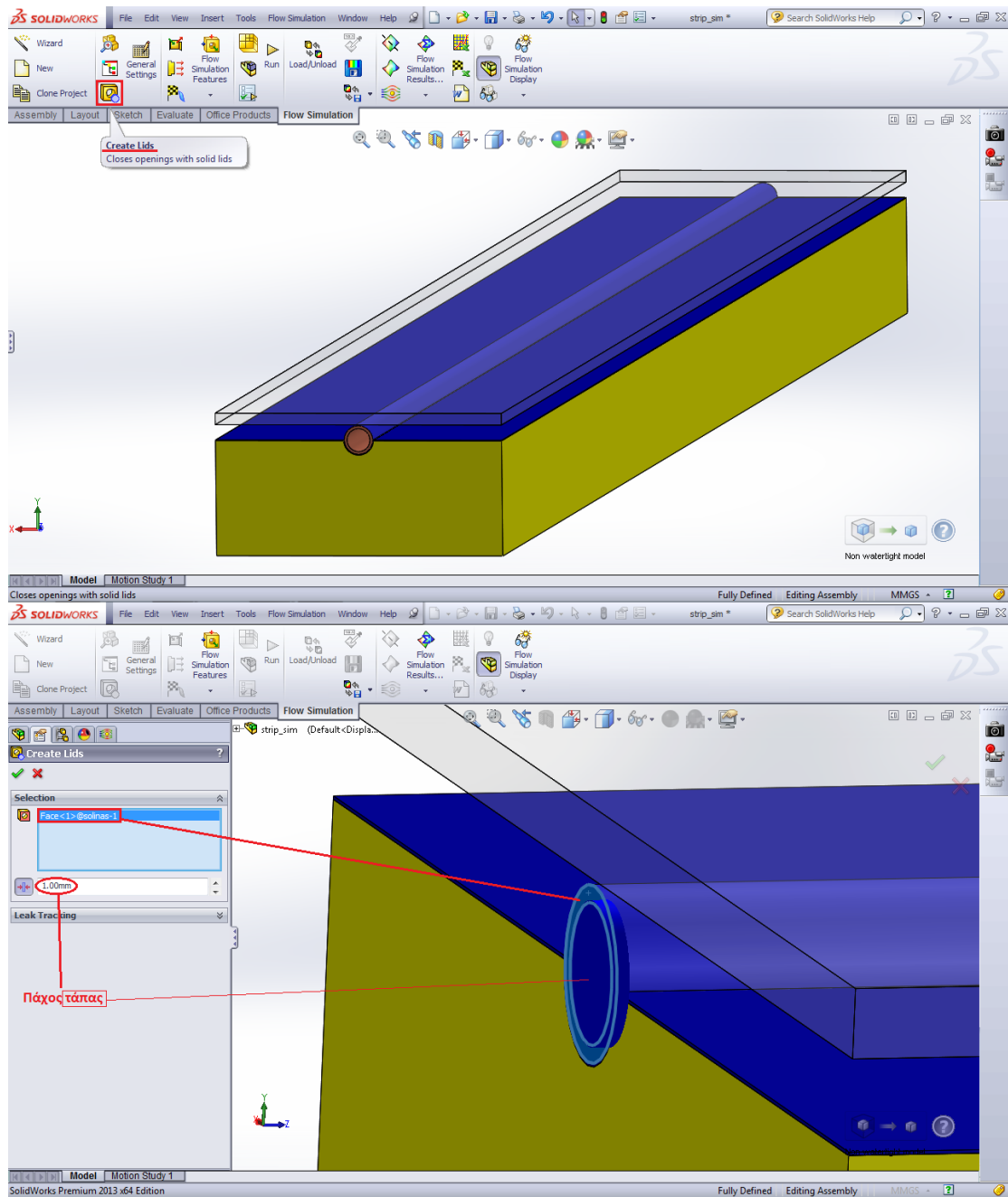
#### 4.5.4 Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης

Αρχικά, ανοίγουμε το αρχείο της προς μελέτη λωρίδας (strip\_sim.sldasm) και εισάγουμε στο περιβάλλον του προγράμματος την καρτέλα **Flow Simulation** σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 4.4**.



**ΣΧΗΜΑ 4.4:** Ενεργοποίηση της καρτέλας “Flow Simulation” του προγράμματος Solidworks.

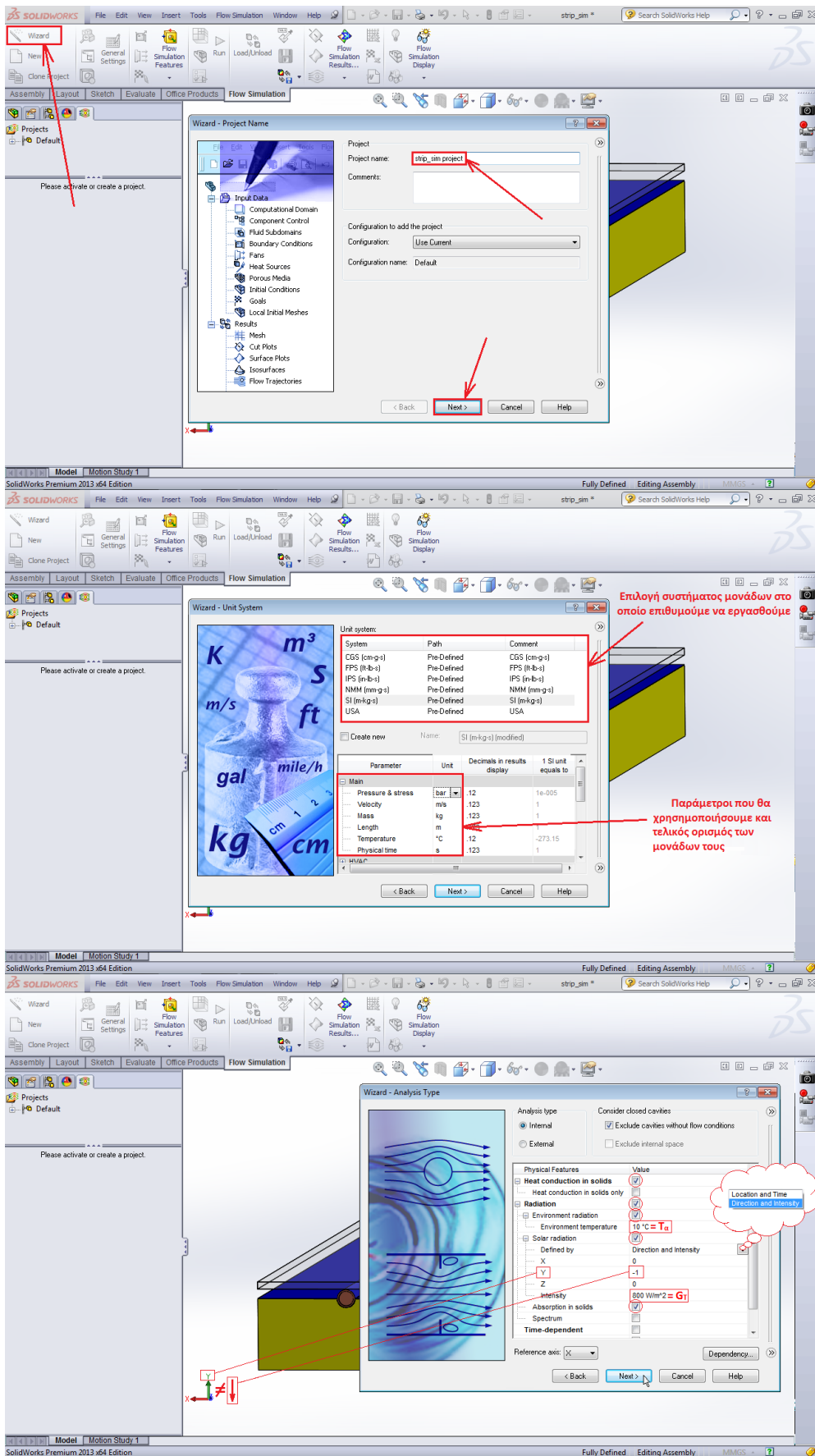
Έπειτα, κλείνουμε (στεγανοποιούμε) τα δύο ανοικτά άκρα του σωλήνα, μέσω της εντολής **Create Lids** (βλ. **ΣΧΗΜΑ 4.5**), η οποία βρίσκεται στην καρτέλα **Flow simulation**, ώστε να μπορέσουμε να εισάγουμε το νερό.



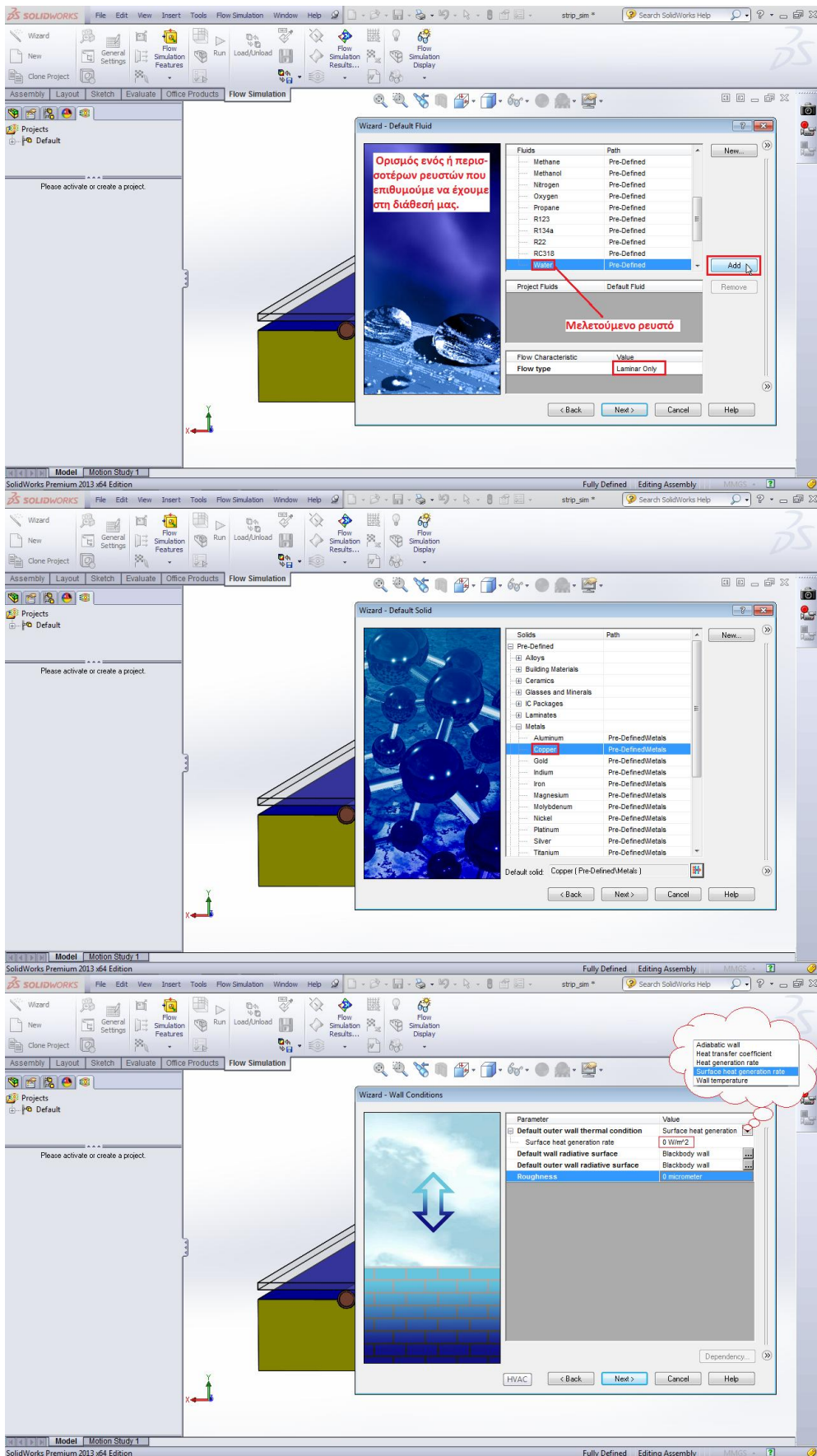
**ΣΧΗΜΑ 4.5:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Κλείσιμο των δύο άκρων του αγωγού.

Ύστερα, ξεκινούμε τη δημιουργία μιας **εργασίας προσομοίωσης ροής (Flow simulation project)**, μέσω της εντολής **Wizard**, η οποία βρίσκεται στην καρτέλα **Flow simulation**, σύμφωνα με τα **ΣΧΗΜΑΤΑ 4.6, 4.7, 4.8**.

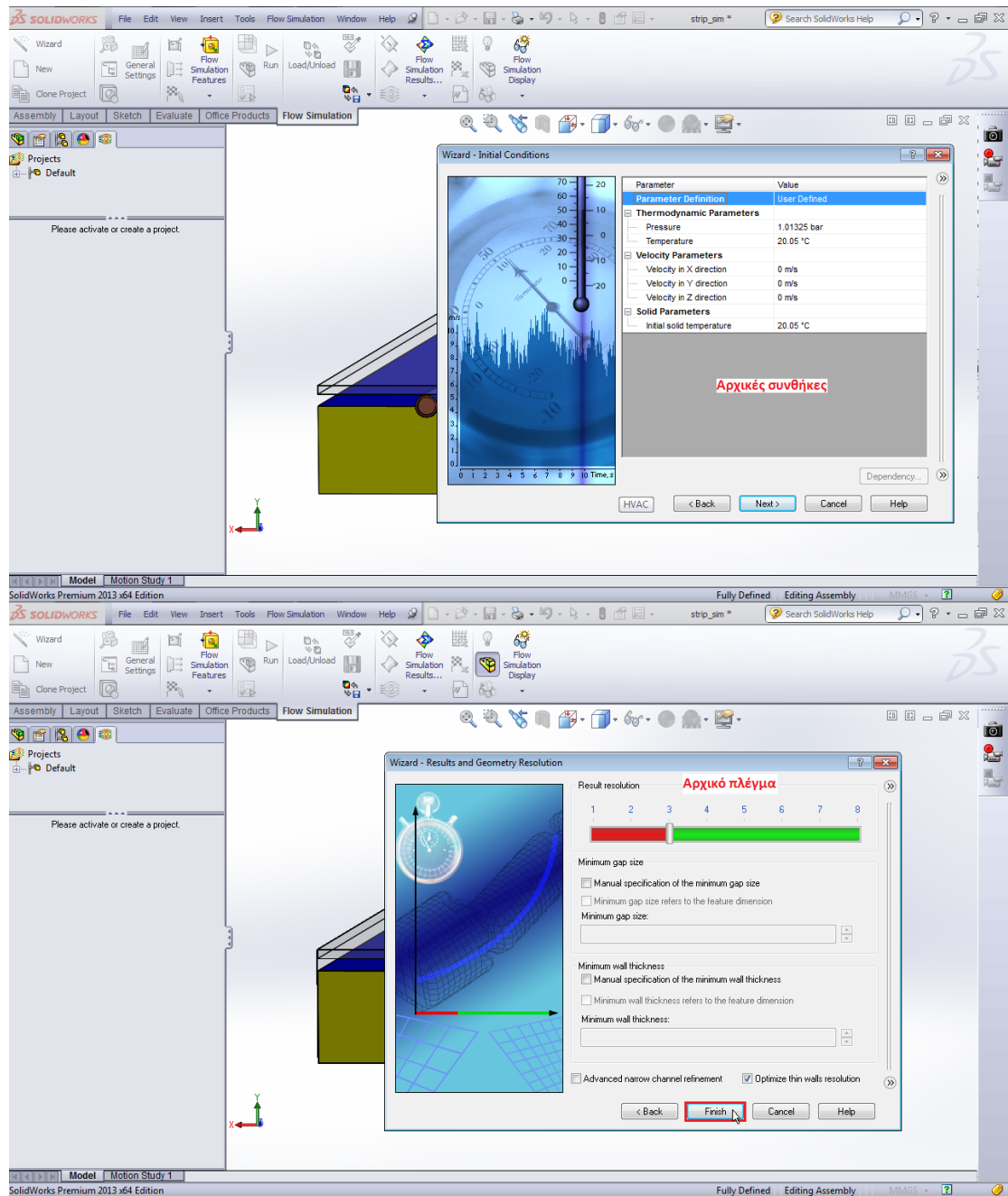




**ΣΧΗΜΑ 4.6:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης.

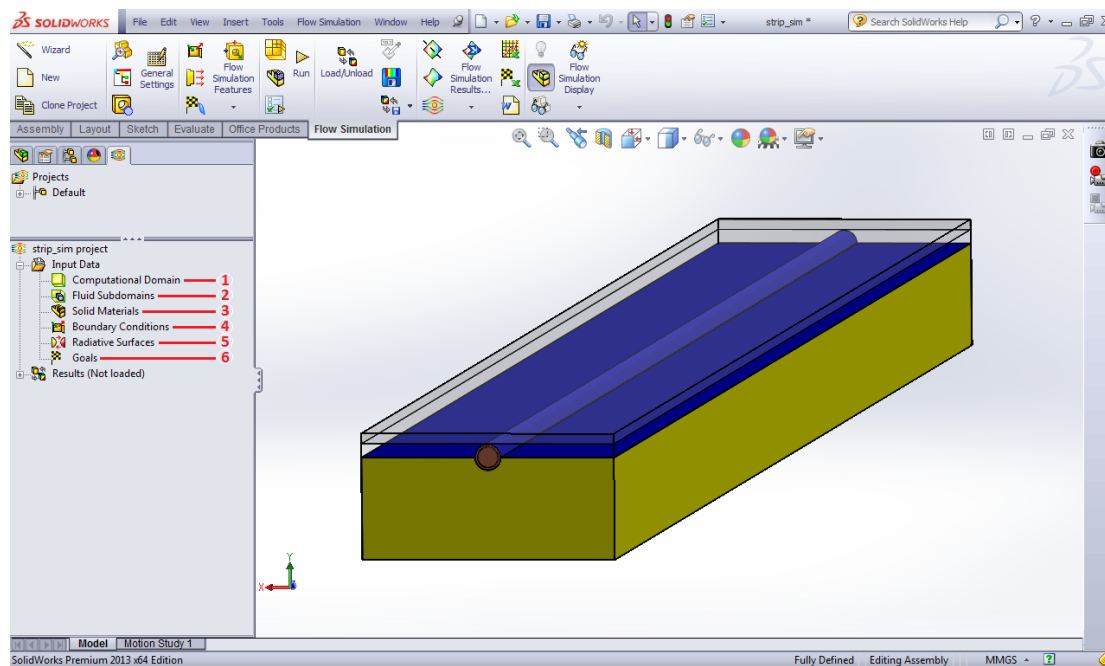


**ΣΧΗΜΑ 4.7:** : Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης.



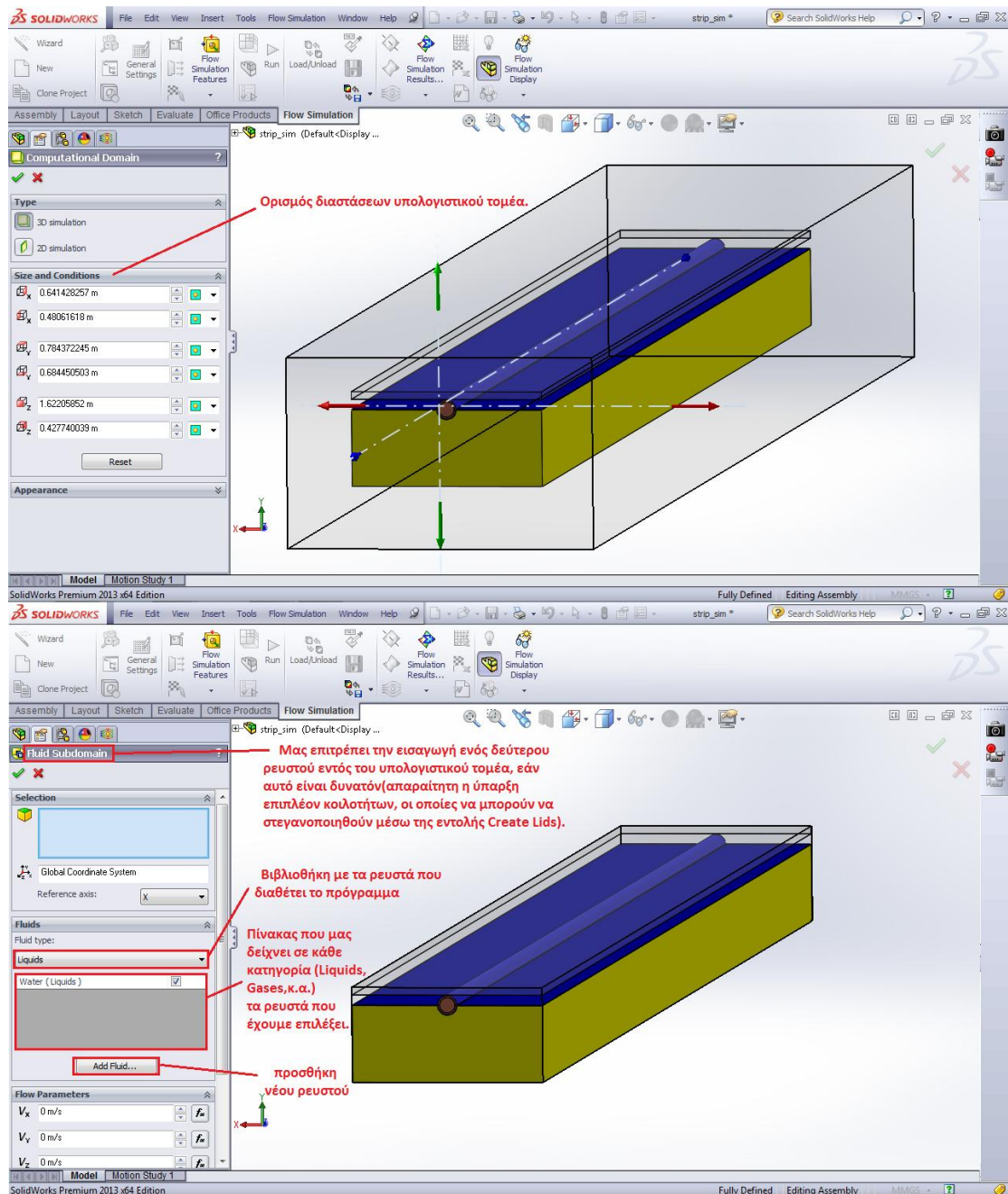
**ΣΧΗΜΑ 4.8:** : Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης.

Οπότε, στην οθόνη μας βλέπουμε τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 4.9**).



**ΣΧΗΜΑ 4.9** : Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Δέντρο ενεργειών αρχείου προσομοίωσης.

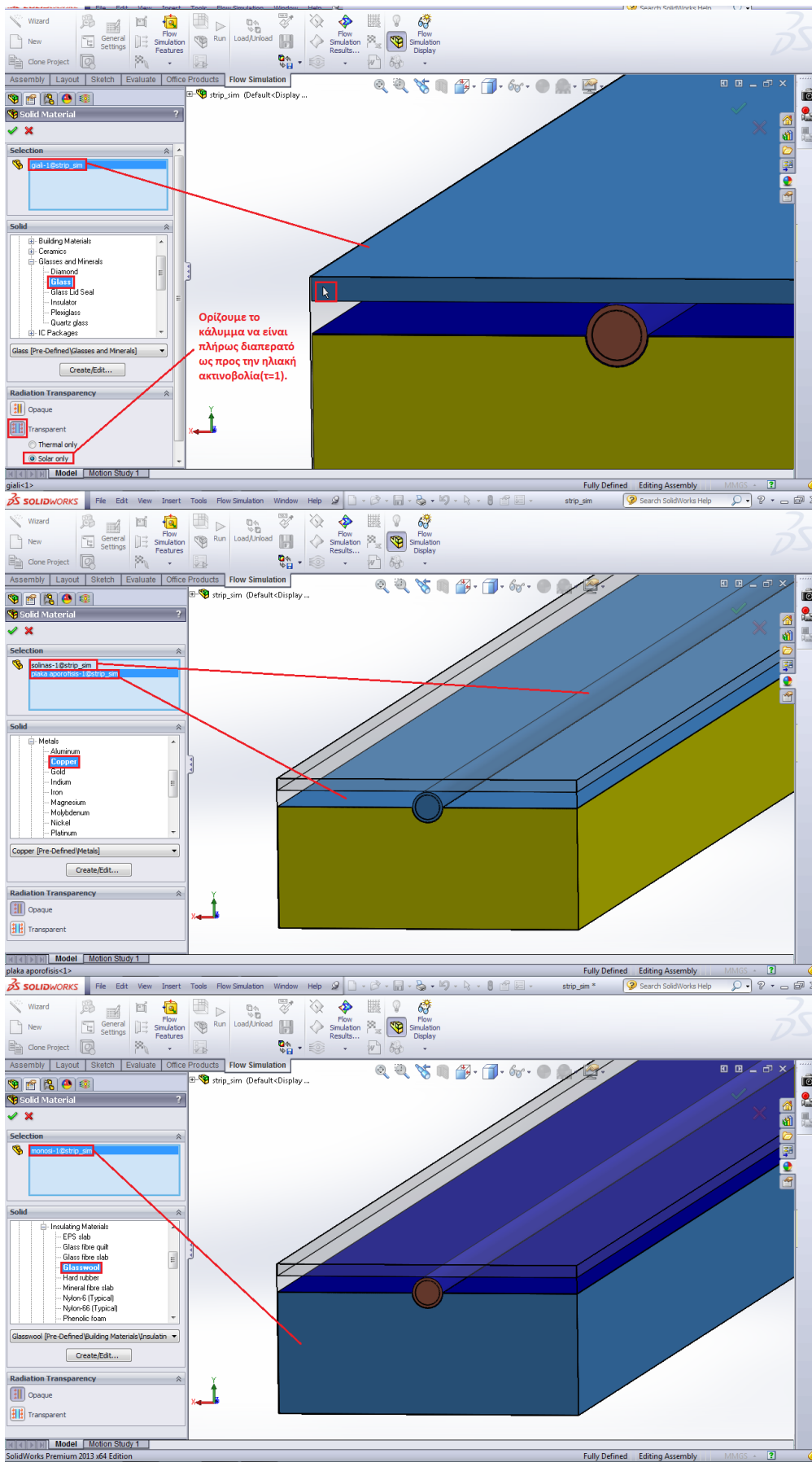
Το δέντρο ενεργειών της συγκεκριμένης εργασίας προσομοίωσης που εμφανίζεται στα αριστερά της οθόνης περιλαμβάνει δύο βασικούς κλάδους, τον κλάδο **Input Data** και τον **Results**. Ο πρώτος απαρτίζεται από έξι παρακλάδια (βλ. **ΣΧΗΜΑ 4.9**), τα δύο πρώτα εκ των οποίων αναλύονται στο επόμενο σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 4.10**).



**ΣΧΗΜΑ 4.10:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / “Computational Domain” και “Fluid Subdomain”.

#### 4.5.4.1 Ορισμός των υλικών

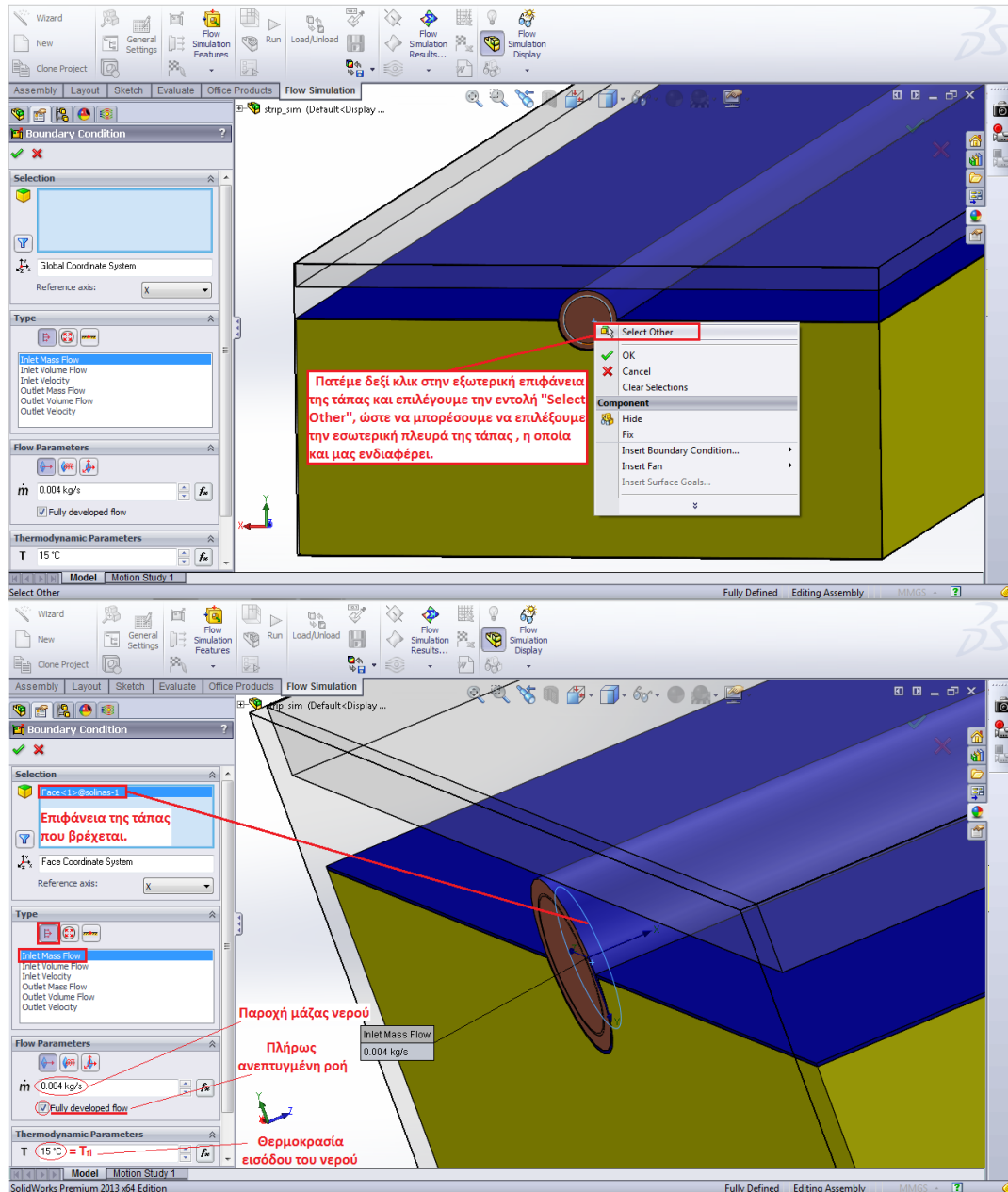
Δεδομένου ότι ο ορισμός των υλικών κατά τη φάση της σχεδίασης είναι καθαρά τυπικός, αποκτά ουσία στο συγκεκριμένο σημείο (**ΣΧΗΜΑ 4.11**).



**ΣΧΗΜΑ 4.11:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός των υλικών.

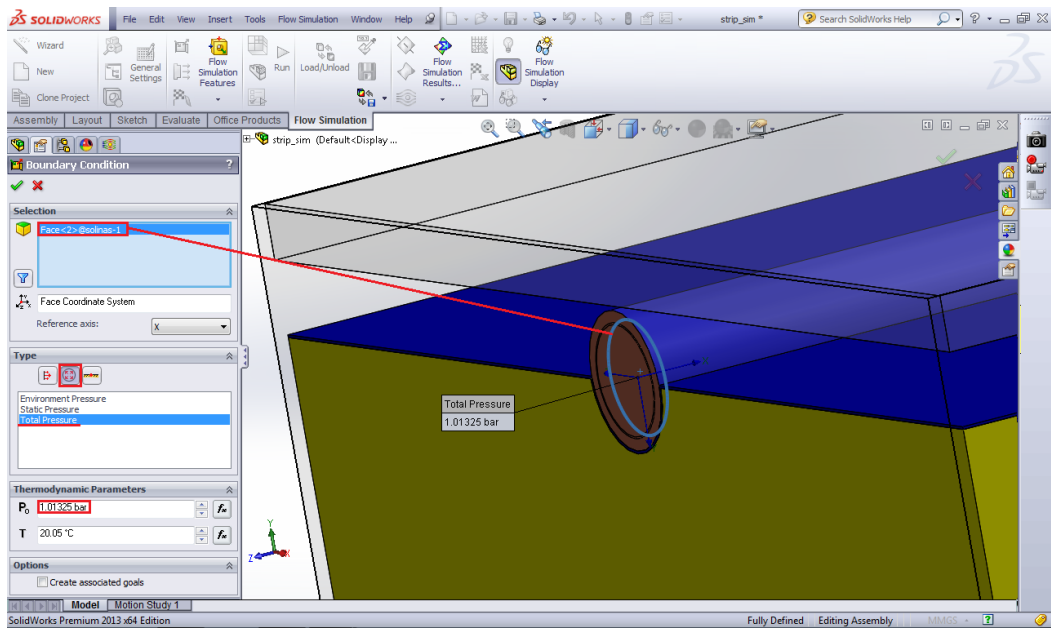
#### 4.5.4.2 Εισαγωγή οριακών συνθηκών

Στο σημείο αυτό θα ορίσουμε τις οριακές συνθήκες του προβλήματος, ξεκινώντας με την εισερχόμενη παροχή μάζας του νερού ( $\dot{m}$ ) και τη θερμοκρασία εισόδου του ( $T_i$ ), ο ορισμός των οποίων γίνεται σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 4.12**.



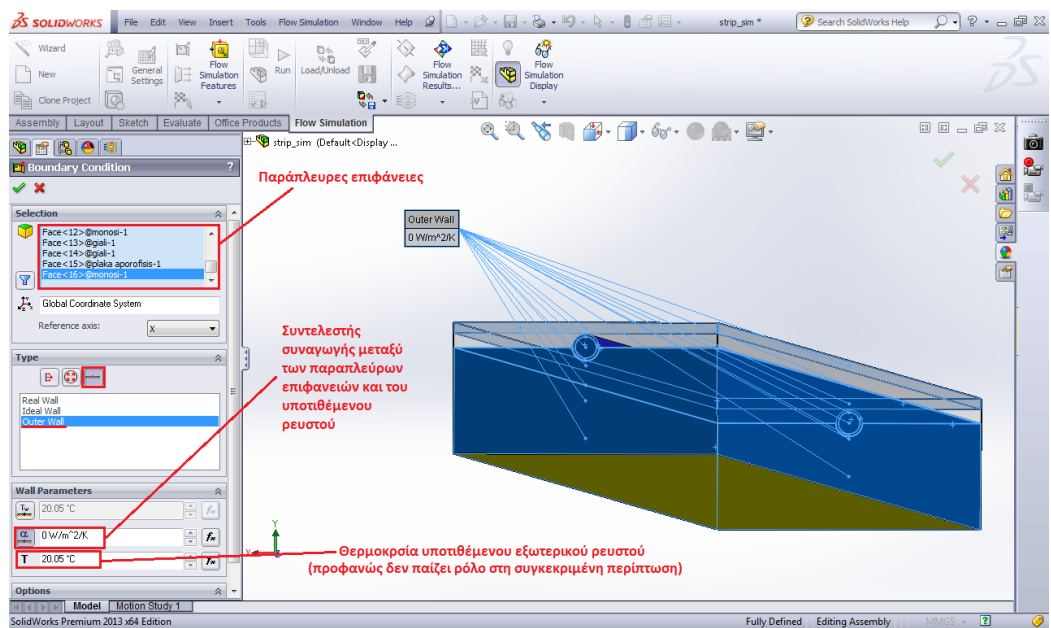
**ΣΧΗΜΑ 4.12:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Εισαγωγή οριακών συνθηκών.

Στη συνέχεια, επειδή το πρόγραμμα απαιτεί τον ορισμό της πίεσης στην έξοδο του αγωγού, θα θεωρήσουμε ότι αυτή είναι ολική και ίση με 1.01325 bar (**ΣΧΗΜΑ 4.13**). Επίσης, θα πρέπει να ορίσουμε και μια θερμοκρασία αντιπροσωπευτική του περιβάλλοντος στο οποίο καταλήγει το νερό ύστερα από την έξοδό του από τον αγωγό, η οποία, ωστόσο, **δεν** επηρεάζει σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματά μας.



**ΣΧΗΜΑ 4.13:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Εισαγωγή οριακών συνθηκών.

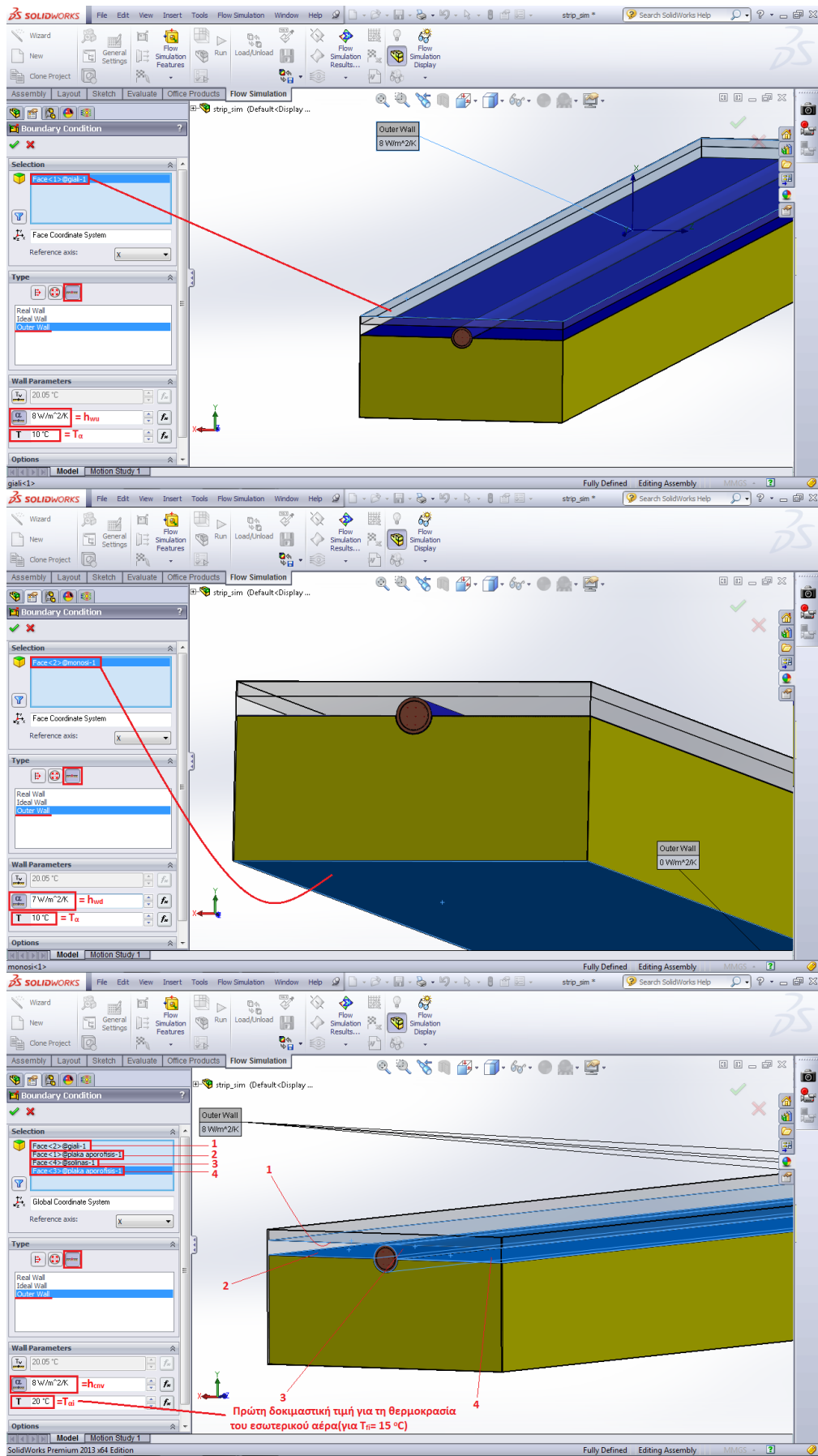
Τώρα, θα ορίσουμε τις παράπλευρες επιφάνειες ως αδιαβατικές, θέτοντας τον συντελεστή συναγωγής μεταξύ αυτών και ενός υποτιθέμενου εξωτερικού ρευστού, τη θερμοκρασία του οποίου ορίζουμε εμείς, ίσο με το μηδέν, σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 4.14**.



**ΣΧΗΜΑ 4.14:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Εισαγωγή οριακών συνθηκών.

Ύστερα, ορίζουμε τους συντελεστές συναγωγής καλύμματος-εξωτερικού αέρα ( $h_{wu}$ ), πλάτης-εξωτερικού αέρα ( $h_{wd}$ ) και απορροφητή-εσωτερικού αέρα (=εσωτερικού αέρα-καλύμματος ( $h_{civ}$ )), ενώ κατά τον ορισμό του τελευταίου θα δοθεί και η πρώτη δοκιμαστική τιμή για τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα (βλ. **ΣΧΗΜΑ 4.15**).





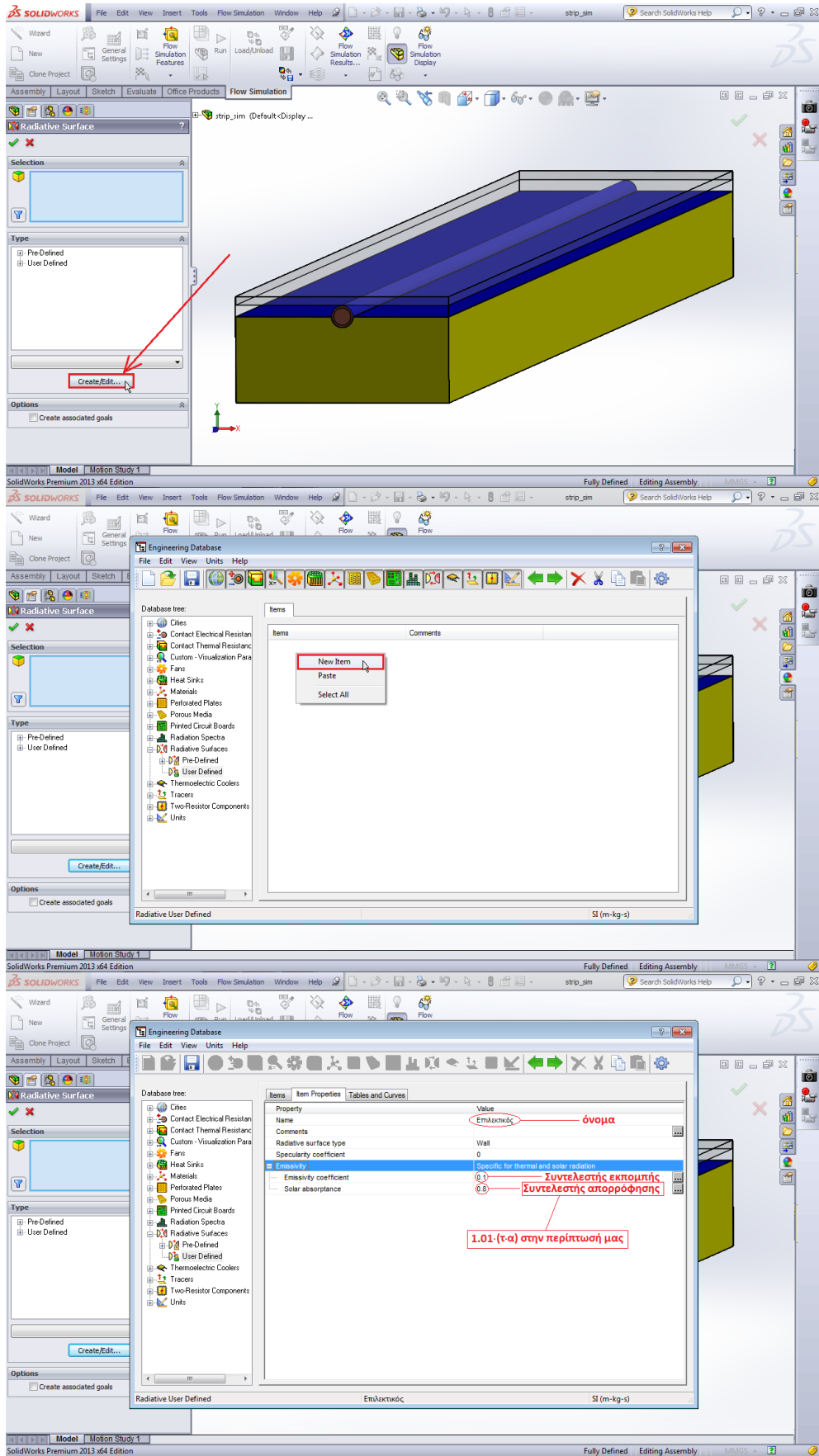
**ΣΧΗΜΑ 4.15:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Εισαγωγή οριακών συνθηκών.

#### 4.5.4.3 Ορισμός ακτινοβολούντων επιφανειών

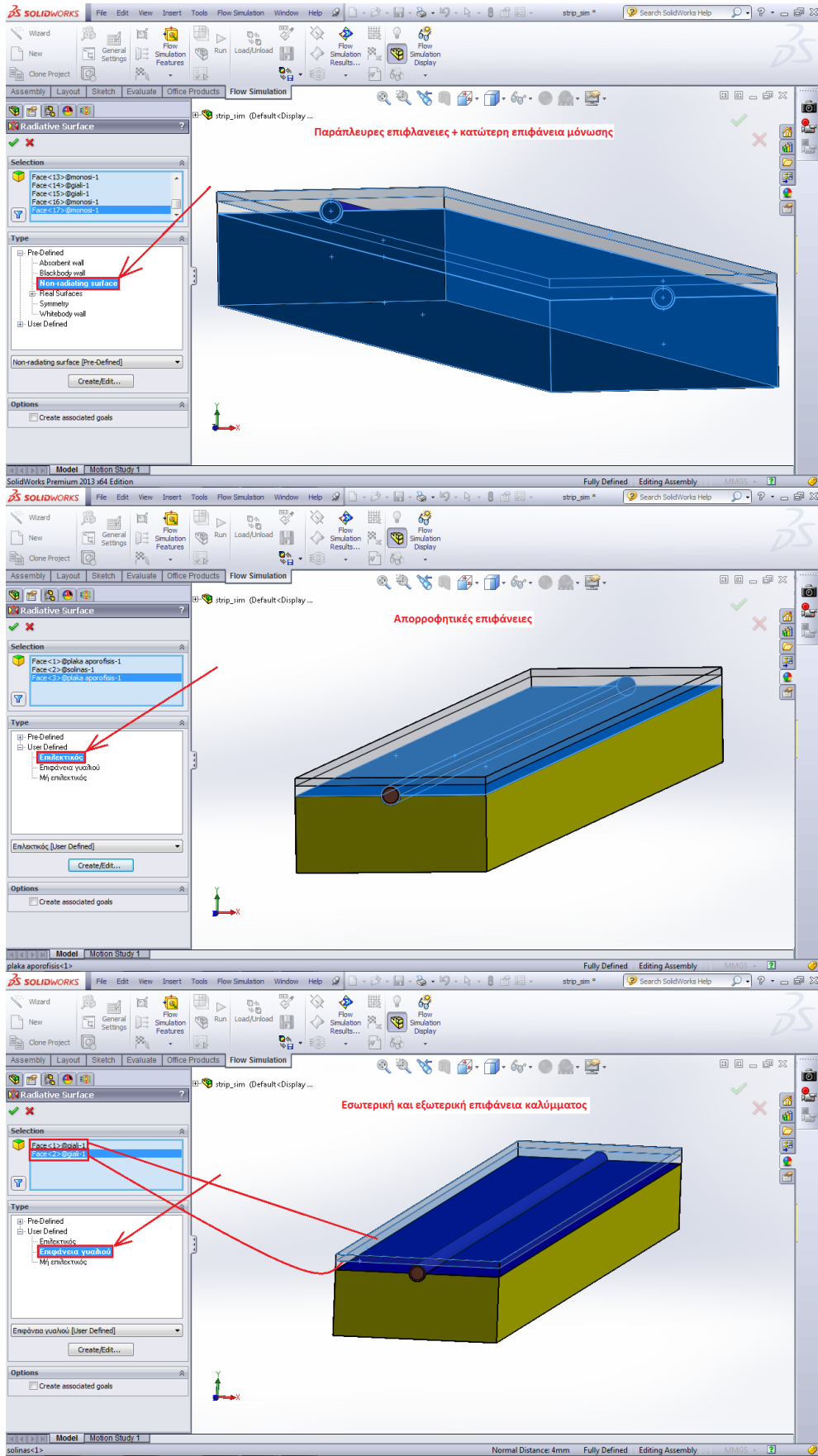
Αφού ολοκληρώσουμε τον ορισμό των οριακών συνθηκών, ορίζουμε ποιες επιφάνειες συμμετέχουν στην ακτινοβολία και κατά πόσο.

Ξεκινούμε, πρώτα, με τον ορισμό εκείνων των επιφανειών που παρουσιάζουν μηδενική συναλλαγή ακτινοβολίας και δεν είναι άλλες από τις παράπλευρες επιφάνειες της λωρίδας, καθώς και την επιφάνεια της μόνωσης που έρχεται σε επαφή με την πλάτη.

Έπειτα, για την επιφάνεια του απορροφητή και τις δύο επιφάνειες του καλύμματος (εσωτερική, εξωτερική), θα πρέπει να δημιουργήσουμε τρεις νέους τύπους ακτινοβολούντων επιφανειών, δύο για τον απορροφητή (επιλεκτικός ( $\epsilon_p=0.1$ ,  $1.01 \cdot (\tau \cdot \alpha)=0.8$ ), μη επιλεκτικός ( $\epsilon_p=0.9$ ,  $1.01 \cdot (\tau \cdot \alpha)=0.8$ )) και έναν για το κάλυμμα ( $\epsilon_c=0.88$ ). Στο **ΣΧΗΜΑ 4.16** που ακολουθεί παρατίθεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούμε τον πρώτο τύπο, σύμφωνα με τον οποίο θα δημιουργηθούν και οι υπόλοιποι. Ο τελικός ορισμός των ακτινοβολούντων επιφανειών παρατίθεται στο **ΣΧΗΜΑ 4.17**.



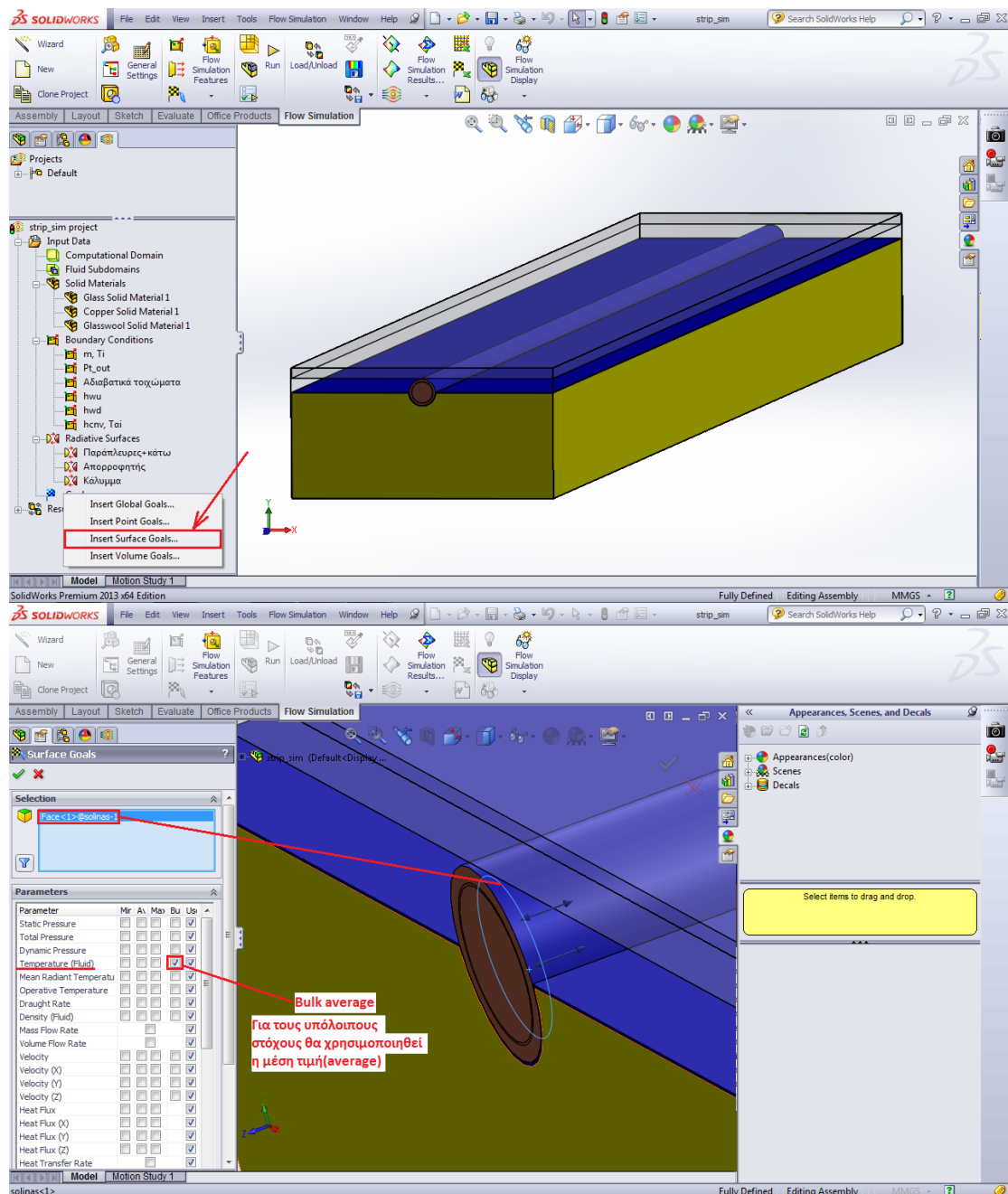
**ΣΧΗΜΑ 4.16:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Δημιουργία τύπου ακτινοβολούσας επιφάνειας.



**ΣΧΗΜΑ 4.17:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός ακτινοβολούντων επιφανειών.

#### 4.5.4.4 Ορισμός στόχων

Στο σημείο αυτό, επιλέγουμε τί θέλουμε το πρόγραμμα να μας εμφανίζει ως αποτελέσματα μετά το πέρας μιας επίλυσης (ενός τρεξίματος). Εμείς θα ορίσουμε τέσσερις στόχους, τόσους όσες είναι και οι ζητούμενες μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_{ci}$ ,  $T_{co}$ ). Στο **ΣΧΗΜΑ 4.18** που ακολουθεί παρατίθεται ο τρόπος με τον οποίο εισάγουμε τον πρώτο στόχο ( $T_o$ ).

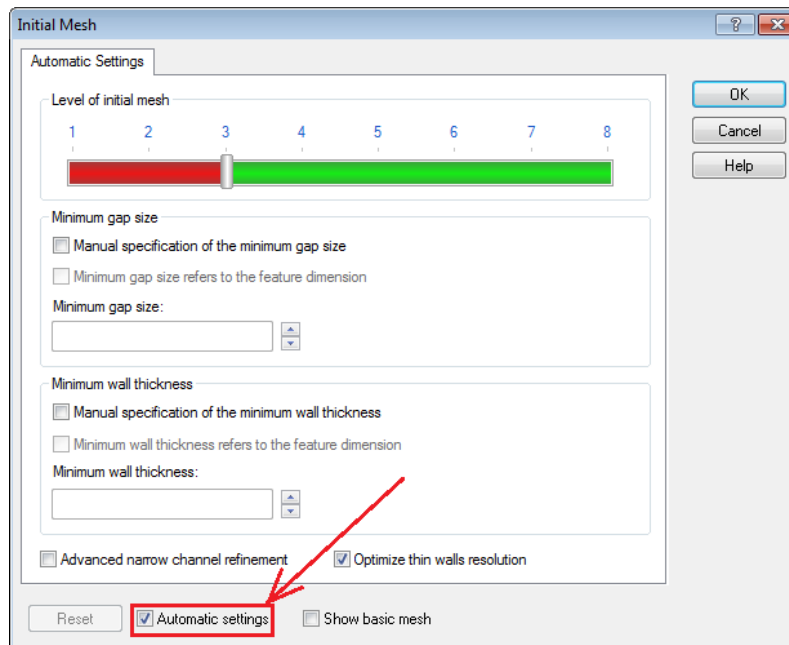


**ΣΧΗΜΑ 4.18:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός στόχων.

Όμοια πραγματοποιείται η εισαγωγή και των υπολοίπων στόχων.

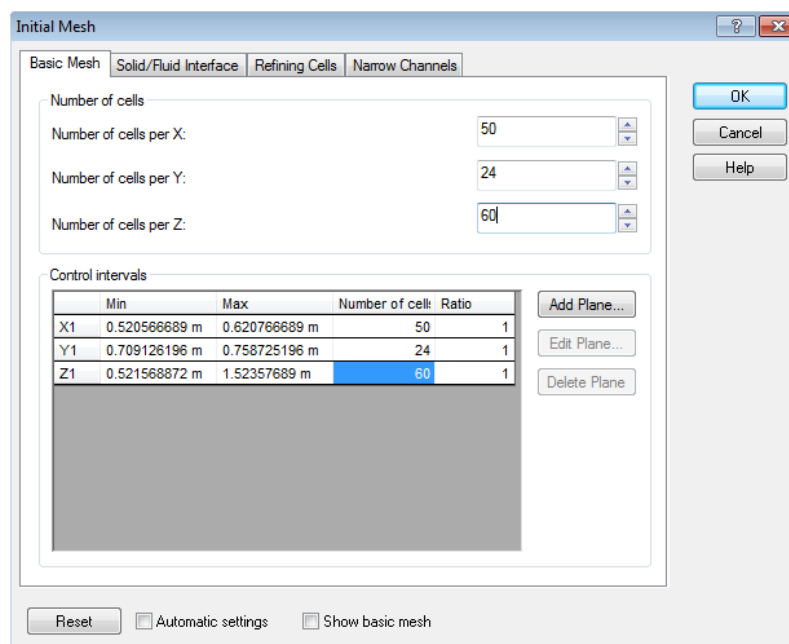
#### 4.5.4.5 Ορισμός πλέγματος

Στη συνέχεια, θα επεξεργαστούμε το πλέγμα μας, με στόχο να λάβουμε όσο το δυνατόν πιο ακριβή αποτελέσματα. Επιλέγουμε, αρχικά, την εντολή **Initial Mesh** και εμφανίζεται στην οθόνη μας το παρακάτω ταμπλό (**ΣΧΗΜΑ 4.19**), στο οποίο και απενεργοποιούμε την εντολή **Automatic Settings**.



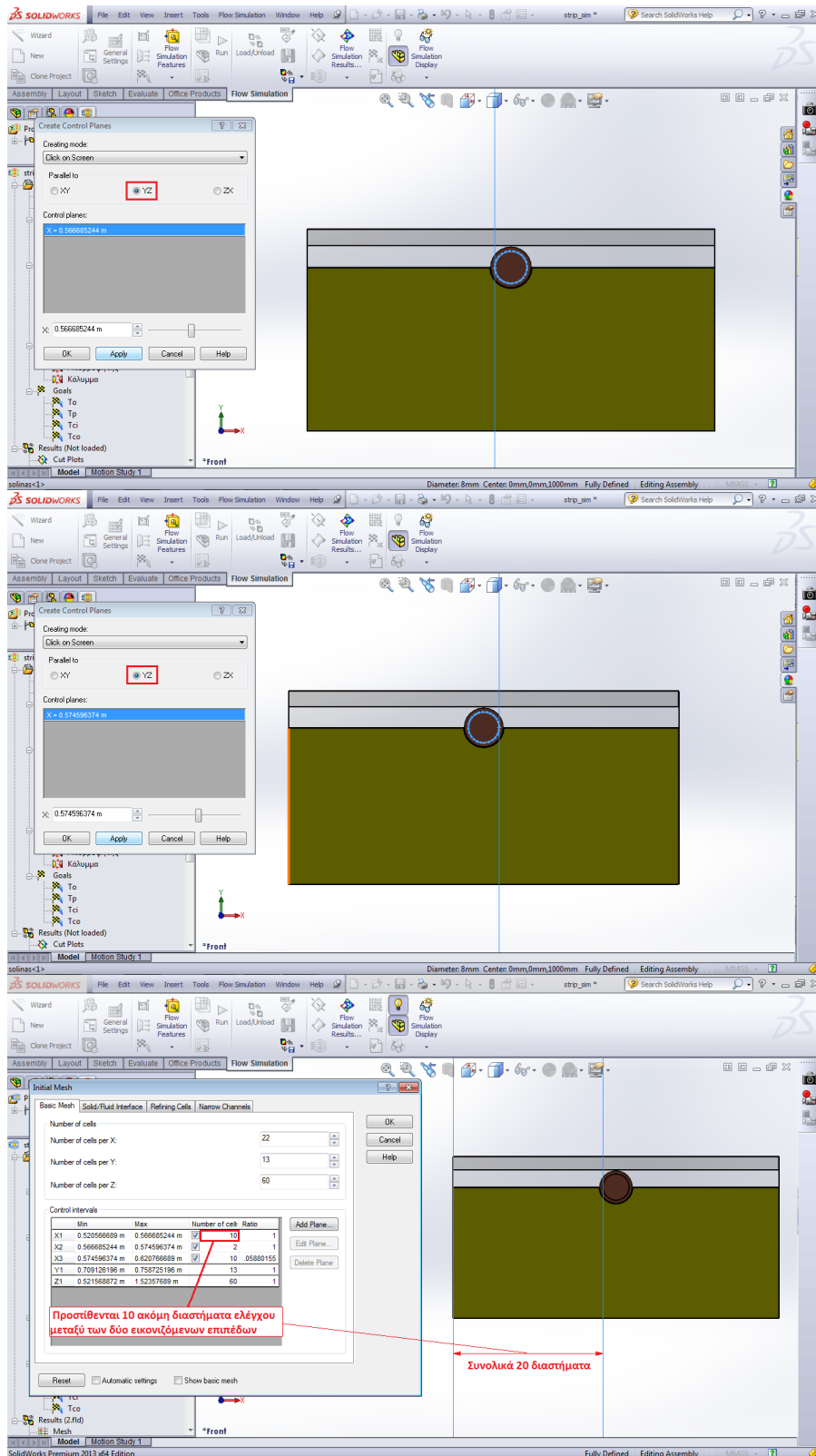
**ΣΧΗΜΑ 4.19:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός πλέγματος.

Οπότε έχουμε τα παρακάτω (**ΣΧΗΜΑ 4.20**).



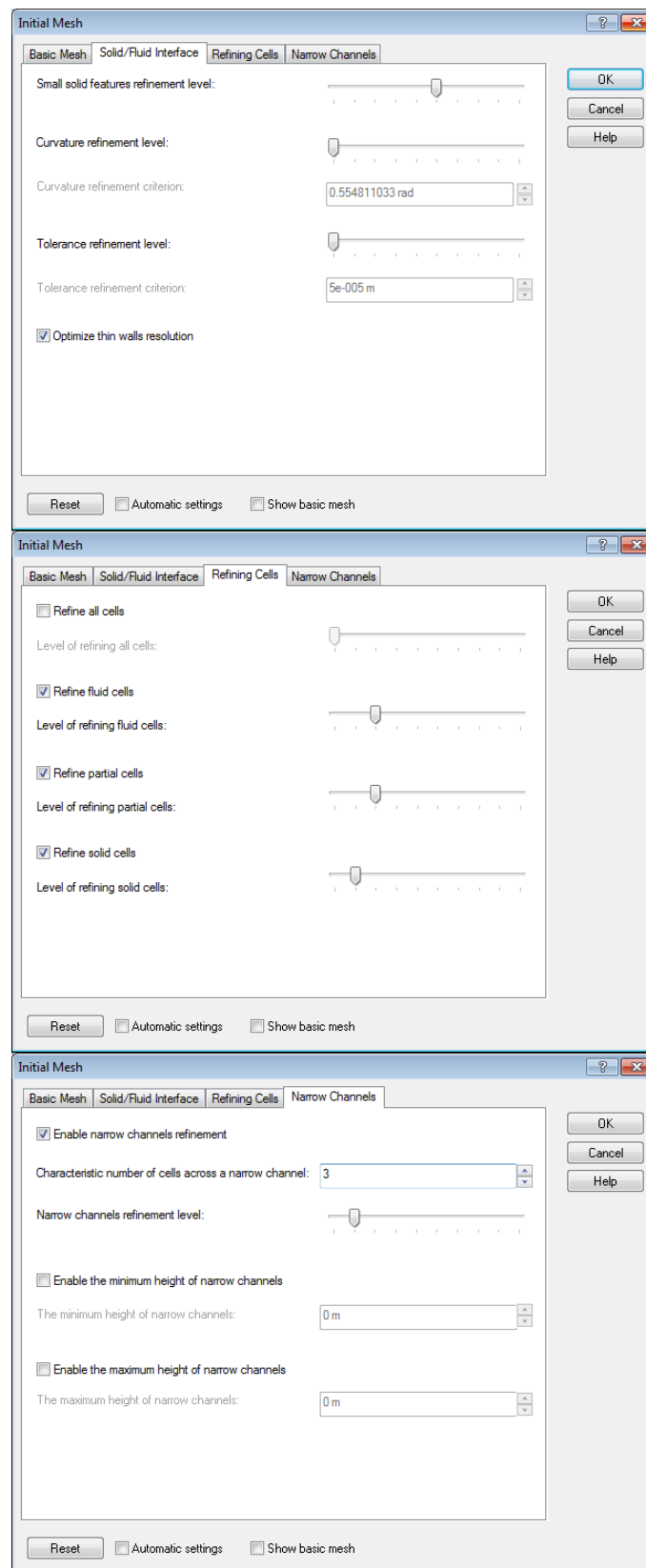
**ΣΧΗΜΑ 4.20:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός πλέγματος.

Θέτουμε, αρχικά, το βασικό πλέγμα  $(X, Y, Z)=(22, 13, 60)$  και στη συνέχεια προσθέτουμε δύο επίπεδα (μέσω της επιλογής **Add Plane**) κάθετα στην κατεύθυνση του πλάτους της λωρίδας (παράλληλα στο επίπεδο  $YZ$ ), εκατέρωθεν και εφαπτομενικά της εσωτερικής επιφάνειας του αγωγού, ώστε να πυκνώσουμε το πλέγμα κατά πλάτος (**ΣΧΗΜΑ 4.21**).



**ΣΧΗΜΑ 4.21:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός πλέγματος.

Επίσης, ρυθμίζουμε και τις υπόλοιπες τρεις καρτέλες (**Solid/Fluid Interface, Refining Cells, Narrow Channels**) που βρίσκονται στο ταμπλό του αρχικού πλέγματος, σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 4.22**.

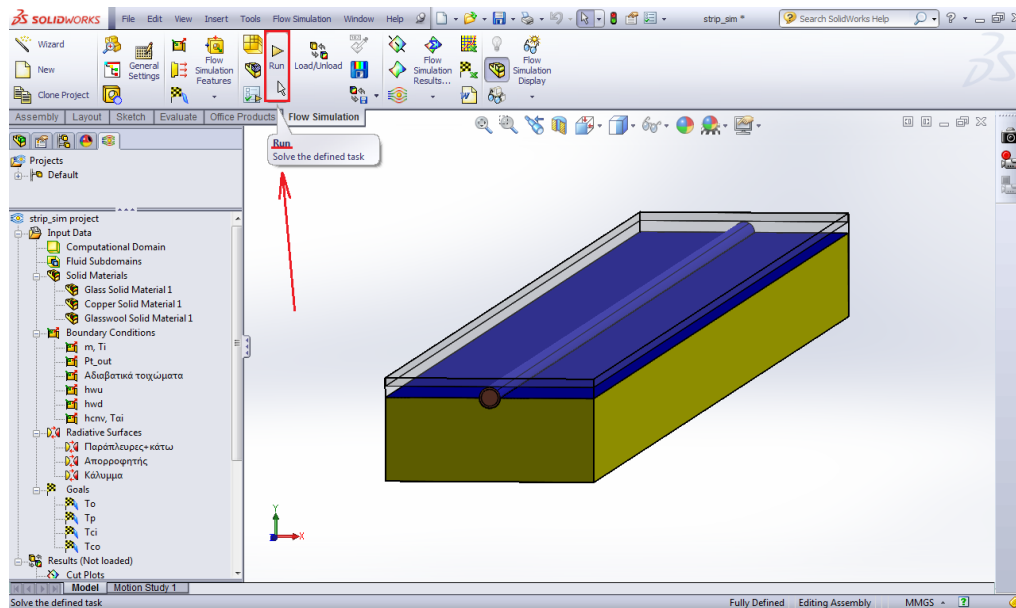


**ΣΧΗΜΑ 4.22:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Ορισμός πλέγματος.



#### 4.5.4.6 Έναρξη επίλυσης

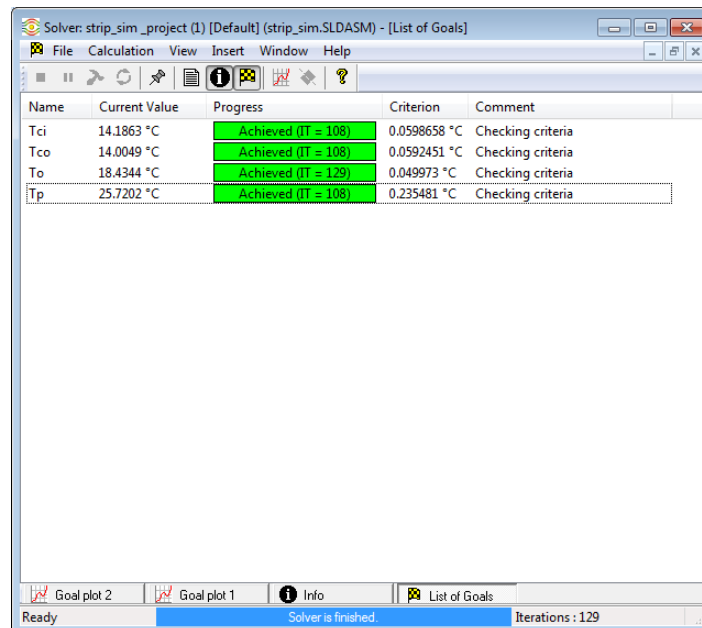
Είμαστε, πλέον, σε θέση να τρέξουμε το πρόγραμμά μας, επιλέγοντας απλά την εντολή **Run** σύμφωνα με το **ΣΧΗΜΑ 4.23** που έπεται.



**ΣΧΗΜΑ 4.23:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Έναρξη επίλυσης.

#### 4.5.4.7 Περιβάλλον επίλυσης

Τα αποτελέσματα που έχουμε επιλέξει να εμφανίζονται αμέσως μετά το πέρας της επίλυσης παρατίθενται στην παρακάτω καρτέλα (**ΣΧΗΜΑ 4.24**), η οποία αποτελεί και το περιβάλλον της τελευταίας.



Name	Current Value	Progress	Criterion	Comment
Tci	14.1863 °C	Achieved (IT = 108)	0.0598658 °C	Checking criteria
Tco	14.0049 °C	Achieved (IT = 108)	0.0592451 °C	Checking criteria
To	18.4344 °C	Achieved (IT = 129)	0.049973 °C	Checking criteria
Tp	25.7202 °C	Achieved (IT = 108)	0.235481 °C	Checking criteria

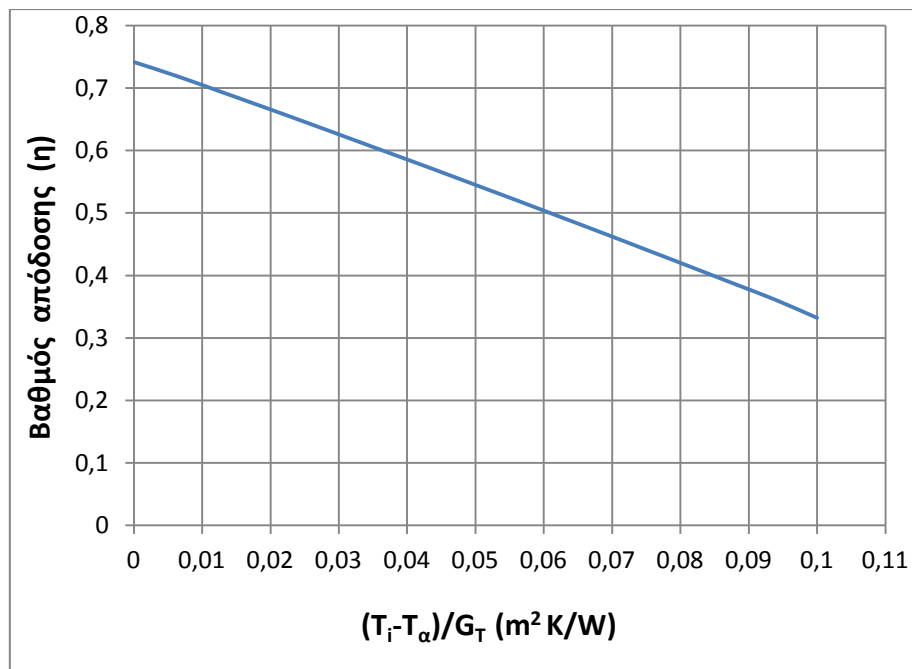
**ΣΧΗΜΑ 4.24:** Προσομοίωση λωρίδας συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks. / Περιβάλλον επίλυσης.

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 5.1 Επιλεκτικός συλλέκτης

#### 5.1.1 Καμπύλη βαθμού απόδοσης

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λωρίδας του επιλεκτικού συλλέκτη ξεκινώντας με το διάγραμμα του βαθμού απόδοσης ( $\eta$ ) συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$  (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1**).



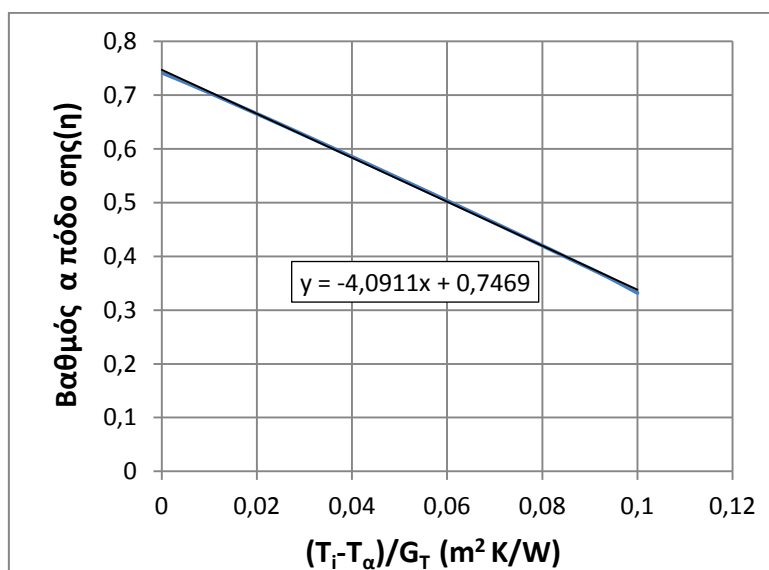
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1:** Καμπύλη βαθμού απόδοσης λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη.

Από το παραπάνω διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.1**) γίνεται φανερό ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον αγωγό, δεδομένου ότι η τελευταία προκαλεί έμμεσα<sup>15</sup> αύξηση των θερμικών απωλειών και κατά συνέπεια μείωση της ωφέλιμης ισχύος.

<sup>15</sup> Μέσω της αύξησης της  $T_p$

### 5.1.2 Υπολογισμός των $F_R U_L$ και $F_R(\tau\alpha)$

Υπολογίζουμε, τώρα, τις παραμέτρους  $F_R U_L$  και  $F_R(\tau\alpha)$  με τη βοήθεια της εξίσωσης της γραμμής τάσης της καμπύλης του βαθμού απόδοσης (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2**).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.2:** Γραμμή τάσης της καμπύλης βαθμού απόδοσης λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη.

Δεδομένου ότι, η παράμετρος  $F_R U_L$  αντιπροσωπεύει την κλίση της γραμμής τάσης και η  $F_R(\tau\alpha)$  την τομή της τελευταίας με τον άξονα του βαθμού απόδοσης, θα ισχύουν τα παρακάτω:

$$F_R U_L = 4.0911 \frac{W}{m^2 K}$$

$$F_R(\tau\alpha) = 0.7469$$

Έχοντας ως δεδομένο το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητή(τα) υπολογίζουμε και τον συντελεστή των ολικών απωλειών της λωρίδας:

$$\tau\alpha = 0.8$$

$$F_R = \frac{0.7469}{0.8} \rightarrow F_R = 0.9336$$

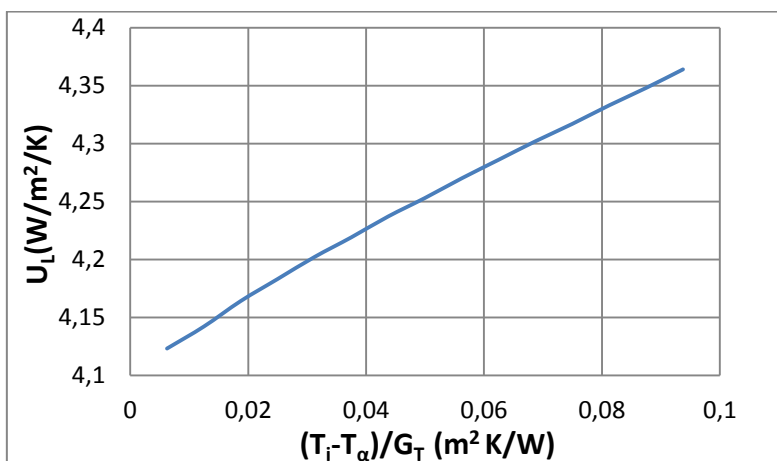
$$U_L = \frac{4.0911 \frac{W}{m^2 K}}{0.9336} \rightarrow U_L = 4.3821 \frac{W}{m^2 K}$$

Η μέση τιμή του συντελεστή των ολικών απωλειών που προκύπτει από επεξεργασία των αποτελεσμάτων του προγράμματος είναι κοντά στην παραπάνω τιμή και ίση με:

$$U_L = 4.2609 \frac{W}{m^2 K}$$

### 5.1.2.1 Καμπύλη συντελεστή ολικών απωλειών ( $U_L$ )

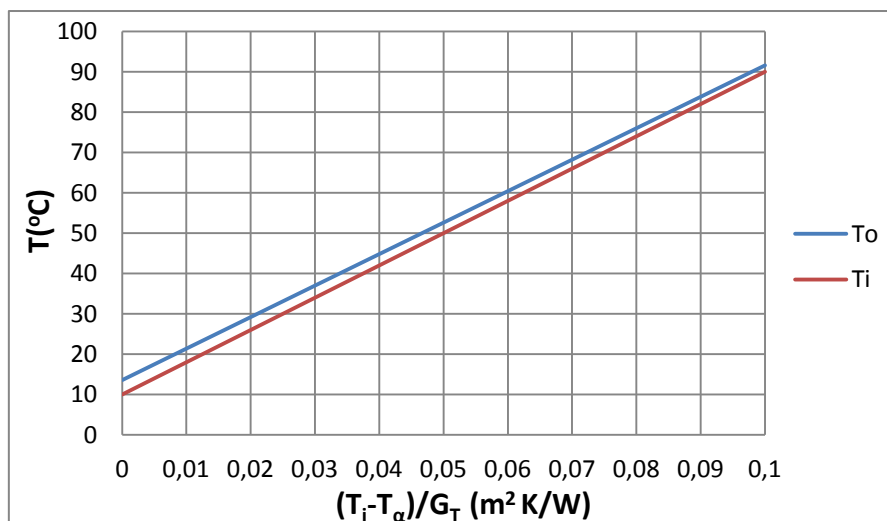
Στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3** που έπεται παρατηρείται η αύξηση του συντελεστή ολικών απωλειών ( $U_L$ ) με την αύξηση της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ , γεγονός απόλυτα λογικό, δεδομένης της αύξησης της θερμοκρασίας των συνιστωσών της λωρίδας<sup>16</sup>.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3:** Καμπύλη μεταβολής του συντελεστή ολικών απωλειών ( $U_L$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .

### 5.1.3 Καμπύλες θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού

Στο επόμενο διάγραμμα παρατίθενται οι καμπύλες των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού ( $T_i$  και  $T_o$  αντίστοιχα), συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$  (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4**).



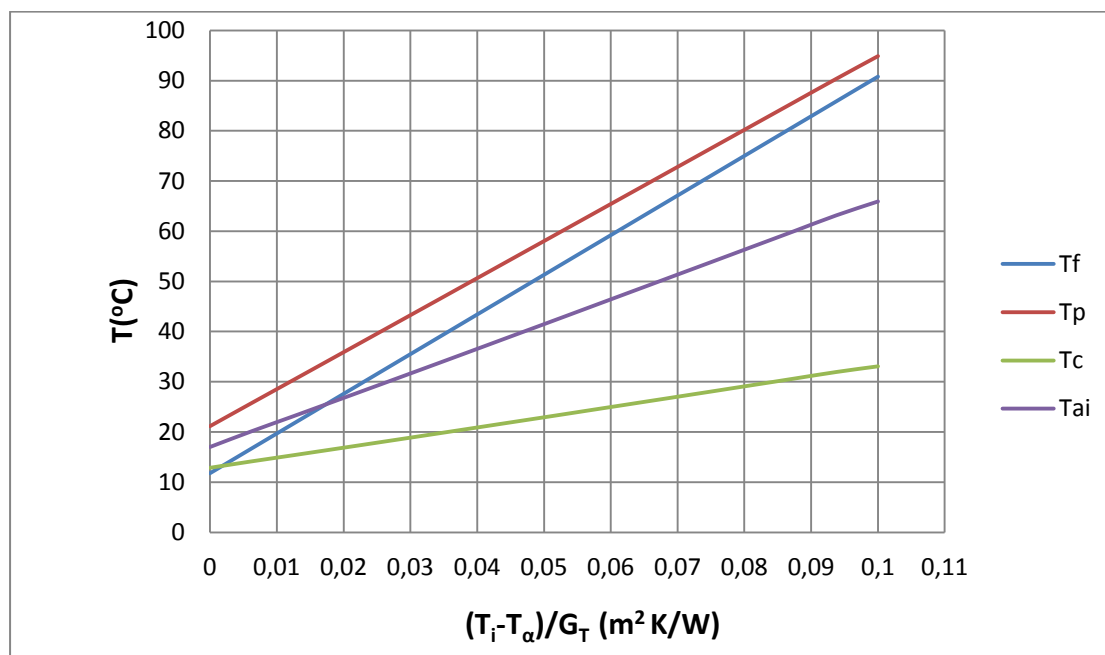
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.4:** Καμπύλες μεταβολής των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου νερού λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .

<sup>16</sup> Μία έκφραση για τις απώλειες κορυφής αποτελεί η σχέση  $q_t = h_{wu} \cdot (T_c - T_a) + \epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_a^4)$ . Δεδομένου ότι, οι ολικές απώλειες εκφράζονται από τη σχέση  $q_L = U_L \cdot (T_p - T_a) = q_t + U_b \cdot (T_p - T_a)$  και ότι το  $U_b$  είναι ανεξάρτητο της  $T_i$ , αύξηση της τελευταίας, συνεπάγεται αύξηση των ολικών απωλειών, η οποία και είναι μεγαλύτερη (ποσοστιαία) από την αντίστοιχη της θερμοκρασιακής διαφοράς  $T_p - T_a$ , με αποτέλεσμα την αύξηση του  $U_L$ .

Παρατηρούμε ότι οι δύο καμπύλες συγκλίνουν με την αύξηση της  $T_i$ . Αυτό συμβαίνει, διότι όσο πιο θερμό είναι το εισερχόμενο νερό, τόσο λιγότερη θερμότητα απάγει από την πλάκα και άρα τόσο λιγότερο θερμαίνεται.

#### 5.1.4 Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας πλάκας, νερού, καλύμματος και εσωτερικού αέρα

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται οι καμπύλες μέσης θερμοκρασίας της πλάκας ( $T_p$ ), του νερού ( $T_f$ ), του καλύμματος ( $T_c$ ) και του εσωτερικού αέρα ( $T_{ai}$ ) συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$  (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5**).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.5:** Καμπύλες μεταβολής μέσης θερμοκρασίας πλάκας, νερού, καλύμματος και εσωτερικού αέρα λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .

Πρώτα από όλα, γίνεται φανερό ότι οι καμπύλες  $T_c$ ,  $T_{ai}$  και  $T_p$  αποκλίνουν μεταξύ τους, γεγονός που οφείλεται στο ότι το κάλυμμα έρχεται σε επαφή με τον κρύο (σχετικά με τις θερμοκρασίες των συνιστωσών του συλλέκτη) εξωτερικό αέρα, ο οποίος δεν επιτρέπει στη θερμοκρασία αυτού να αυξηθεί με έντονο ρυθμό, λόγω των απωλειών που προσθέτει. Η επιρροή αυτή δείχνει να εξασθενεί (κατά κάποιο τρόπο) καθώς οδηγούμαστε προς τα ενδότερα της λωρίδας, κάτι που φαίνεται από την όλο και μεγαλύτερη κλίση που σημειώνουν οι καμπύλες από το κάλυμμα μέχρι την πλάκα απορρόφησης.

Παρατηρούμε, επίσης, ότι η θερμοκρασιακή διαφορά  $T_p - T_f$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στον αγωγό ( $T_i$ ). Η μείωση αυτή αντιπροσωπεύει έμμεσα την μείωση της ωφέλιμης ισχύος, δεδομένου ότι η τελευταία μπορεί να εκφραστεί, κατά μία έννοια, μέσω της εν λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (5.1).

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_f) \quad (5.1)$$

$h$ : συντελεστής συναγωγής μεταξύ νερού και εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα

$A_s$ : επιφάνεια εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα

$T_s$ : μέση θερμοκρασία εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, η συναγωγή μεταξύ του τελευταίου και του εσωτερικού τοιχώματος του σωλήνα γίνεται εντονότερη, με αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση του συντελεστού συναγωγής ( $h$ )<sup>17</sup>. Αν λάβουμε, τώρα, υπόψη μας και τη μείωση που υφίσταται η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T_f = T_o - T_i$ , για του λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, συμπεραίνουμε ότι η θερμοκρασιακή διαφορά  $\Delta T_{fs} = T_s - T_f$  δεν μπορεί παρά να μειώνεται. Όμως, η θερμοκρασία της πλάκας ( $T_p$ ) παρουσιάζει την ίδια περίπου συμπεριφορά με τη θερμοκρασία  $T_s$  (ως προς το ρυθμό αύξησης), πράγμα που σημαίνει ότι και η θερμοκρασιακή διαφορά  $T_p - T_f$  θα μειώνεται.

### 5.1.5 Υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής ( $h$ ) για $T_i = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 85$ °C

Δεδομένης της θερμοκρασίας  $T_s$  που προκύπτει από το πρόγραμμα, υπολογίζουμε κάθε φορά τον συντελεστή συναγωγής ( $h$ ), μέσω της παρακάτω σχέσης (5.2).

$$h = \frac{Q_u}{A_s \cdot (T_s - T_f)} \quad (5.2)$$

$$A_s = \pi \cdot D_i \cdot L \quad \text{όπου} \quad D_i = 0.008 \text{ m} \quad \text{και} \quad L = 1 \text{ m}$$

Έχουμε, λοιπόν, τα ακόλουθα (**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1**):

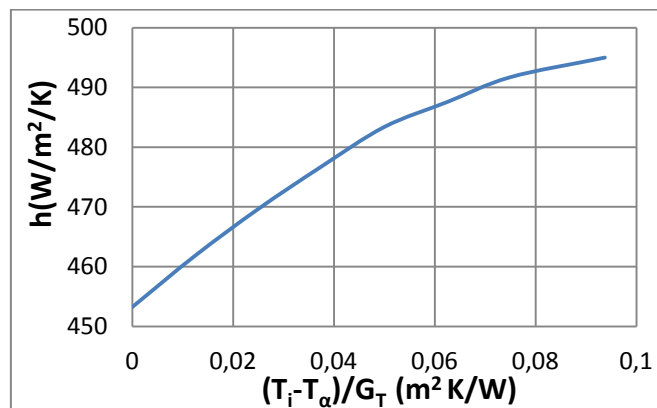
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1:** Τιμές συντελεστή συναγωγής ( $h$ ) μεταξύ τοιχωμάτων σωλήνα και νερού για διάφορες θερμοκρασίες εισόδου του τελευταίου.

$T_i$ (°C)	$(T_i - T_a) / G_T$ (m <sup>2</sup> K/W)	$T_f$ (°C)	$T_s$ (°C)	$Q_u$ (W)	$h$ (W/m <sup>2</sup> /K)
10	0	11.774	16.98	59.306	453.224
20	0.0125	21.662	26.45	55.577	461.850
30	0.025	31.545	35.92	51.648	469.663
40	0.0375	41.425	45.4	47.635	476.754
50	0.05	51.303	54.89	43.577	483.397
60	0.0625	61.180	64.4	39.459	487.585
70	0.075	71.055	73.91	35.283	491.739
85	0.09375	85.865	88.19	28.926	495.023

<sup>17</sup> Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνεπάγεται μείωση της κινηματικής του συνεκτικότητας και κατ' επέκταση αύξηση του αριθμού Reynolds. Η τελευταία προκαλεί αύξηση του αριθμού Nusselt, η οποία, σε συνδυασμό με την αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $k$ ), αυξάνει τον συντελεστή συναγωγής **νερού-εσωτερικού τοιχώματος σωλήνα ( $h$ )**, δεδομένης τη σχέσης  $Nu = \frac{h \cdot D_i}{k} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{D_i}$ , όπου  $D_i$  η εσωτερική διάμετρος του αγωγού.

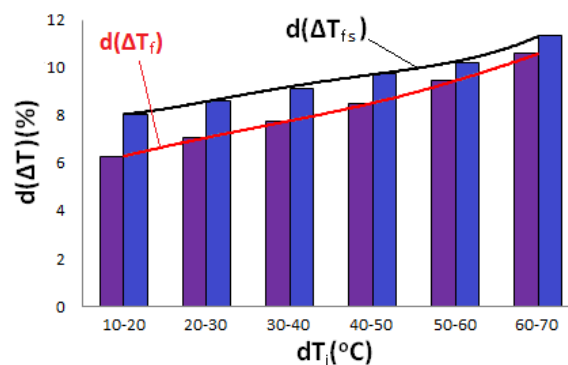
### 5.1.5.1 Καμπύλη συντελεστού συναγωγής

Από τον **ΠΙΝΑΚΑ 5.1** προκύπτει το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6**.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.6:** Καμπύλη μεταβολής του συντελεστή συναγωγής νερού-εσωτερικού τοιχώματος σωλήνα λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .

Παρατηρούμε ότι, ο συντελεστής συναγωγής  $h$  αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού ως όφειλε. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι ο ρυθμός αύξησης του  $h$  υφίσταται μία συνεχή μείωση, η οποία και αποκτά εντονότερο χαρακτήρα μετά από την τιμή  $T_i=50^\circ\text{C}$ . Το πρώτο επαληθεύεται από το γεγονός ότι ο ρυθμός μείωσης του  $\Delta T_f$  μεταξύ δύο διαδοχικών θερμοκρασιών εισόδου εμφανίζει χαμηλότερες τιμές από τον αντίστοιχο του  $\Delta T_{fs}$  ( $=T_s - T_i$ ), ενώ το δεύτερο από το ότι ο πρώτος ρυθμός αυξάνει εντονότερα από τον τελευταίο με την αύξηση της  $T_i$ <sup>18</sup>, όπως φαίνεται στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7** που ακολουθεί, στο οποίο παρατίθεται η μεταβολή της ποσοστιαίας μείωσης του  $\Delta T_f$  ( $d(\Delta T_f)$ ) και του  $\Delta T_{fs}$  ( $d(\Delta T_{fs})$ ) συναρτήσει των διαστημάτων (ανά  $10^\circ\text{C}$ ) θερμοκρασιών εισόδου του νερού ( $dT_i$ ). Η αύξηση των ρυθμών αυτών έγκειται στην αύξηση του ρυθμού μεταβολής του  $q_L$ .

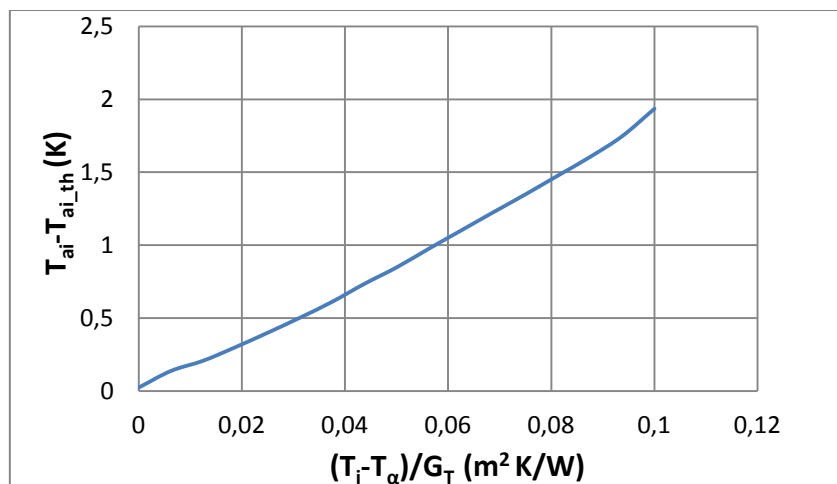


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.7:** Καμπύλες μεταβολής της ποσοστιαίας μείωσης του  $\Delta T_f$  και του  $\Delta T_{fs}$  λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει των διαστημάτων (ανά  $10^\circ\text{C}$ ) θερμοκρασιών εισόδου του νερού ( $dT_i$ ).

<sup>18</sup> Ισχύει:  $h = \frac{\dot{m} \cdot c_p}{A_s} \cdot \frac{\Delta T_f}{\Delta T_{fs}}$ , οπότε για δύο διαδοχικές θερμοκρασίες εισόδου ( $T_{i,j}$ ,  $T_{i,j+1}$ ) θα είναι  $\frac{h_{j+1} - h_j}{\dot{m} \cdot c_p / A_s} = \frac{\Delta T_{f,j+1}}{\Delta T_{fs,j+1}} - \frac{\Delta T_{f,j}}{\Delta T_{fs,j}} = \frac{\Delta T_{f,j}}{\Delta T_{fs,j+1}} \left( \frac{\Delta T_{f,j+1}}{\Delta T_{f,j}} \right) - \frac{\Delta T_{f,j}}{\Delta T_{fs,j+1}} \left( \frac{\Delta T_{fs,j+1}}{\Delta T_{fs,j}} \right) = \left( d(\Delta T_{fs})_j^{j+1} - d(\Delta T_f)_j^{j+1} \right) \frac{\Delta T_{f,j}}{\Delta T_{fs,j+1}} = A \cdot B$ . Το A μειώνεται ποσοστιαία περισσότερο από όσο αυξάνεται το B (πειραματικά αποδεδειγμένο), οπότε  $\Delta h \downarrow$  για  $T_i \uparrow$ . Για τις μεταβλητές του όρου A ισχύει:  $d(\Delta T)_j^{j+1} = \frac{\Delta T_j - \Delta T_{j+1}}{\Delta T_j}$ .

### 5.1.6 Καμπύλη θερμοκρασιακής διαφοράς ( $T_{ai} - T_{ai,th}$ )

Στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8** που έπεται δίνεται η μεταβολή της διαφοράς μεταξύ της θεωρητικής τιμής και της τιμής της θερμοκρασίας του εσωκλειόμενου στο διάκενο της λωρίδας αέρα που προκύπτει από την προσομοίωση, συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8:** Καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασιακής διαφοράς  $T_{ai} - T_{ai,th}$  λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει της μεταβλητής  $(T_i - T_a)/G_T$ .

Παρατηρούμε ότι, η εν λόγω θερμοκρασιακή διαφορά βαίνει αυξανόμενη, γεγονός που οφείλεται στο ότι η αύξηση της  $T_i$  προκαλεί ταυτόχρονη αύξηση των απωλειών λόγω ακτινοβολίας μεταξύ καλύμματος, πλάκας και περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, η εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος καθώς και η ανώτερη επιφάνεια του απορροφητή της λωρίδας θα δέχονταν, στην πραγματικότητα, ακτινοβολία από τις αντίστοιχες επιφάνειες και των υπολοίπων λωρίδων και συνιστωσών που απαρτίζουν το συλλέκτη. Στο πρόγραμμα, όμως, η ακτινοβολία αυτή αντικαθίσταται από εκείνη του περιβάλλοντος, η οποία παραμένει ίδια για όλες τις θερμοκρασίες εισόδου του νερού. Έτσι, η θερμοκρασία του αέρα θα αποκλίνει (θετικά) ολοένα και περισσότερο από την θεωρητική του τιμή, ώστε να καλύπτονται μέσω της συναγωγής οι συγκεκριμένες απώλειες ακτινοβολίας κάθε φορά.

Με άλλα λόγια, η καθαρή<sup>19</sup> δια ακτινοβολίας θερμότητα που χάνει ο απορροφητής είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της αποκομμένης (από το συλλέκτη) λωρίδας από εκείνη που χάνεται στην πραγματικότητα. Αντίστοιχα, η καθαρή θερμότητα δια ακτινοβολίας που δέχεται το κάλυμμα στην περίπτωση της απομονωμένης λωρίδας είναι μικρότερη από εκείνη που δέχεται αυτό στην πραγματικότητα. Οπότε, έχοντας, εντός του διακένου, υψηλότερη θερμοκρασία αέρα από τη θεωρητική, επιτρέπουμε στον απορροφητή να αποβάλλει λιγότερη θερμότητα δια συναγωγής ( $Q_{cnv1}$ ), ενώ στο κάλυμμα να απορροφήσει περισσότερη ( $Q_{cnv2}$ ) από ό,τι στην πραγματικότητα ( $Q_{cnv\_real}$ ). Με αυτόν τον τρόπο, όσο αυξήθηκαν οι απώλειες ακτινοβολίας της πλάκας, τόσο μειώθηκαν οι απώλειες συναγωγής αυτής με τον εσωτερικό αέρα, ενώ για το κάλυμμα θα ισχύει ότι, όσο μειώθηκε η καθαρή εισερχόμενη δια ακτινοβολίας θερμότητα, τόσο αυξήθηκε η αντίστοιχη δια συναγωγής.

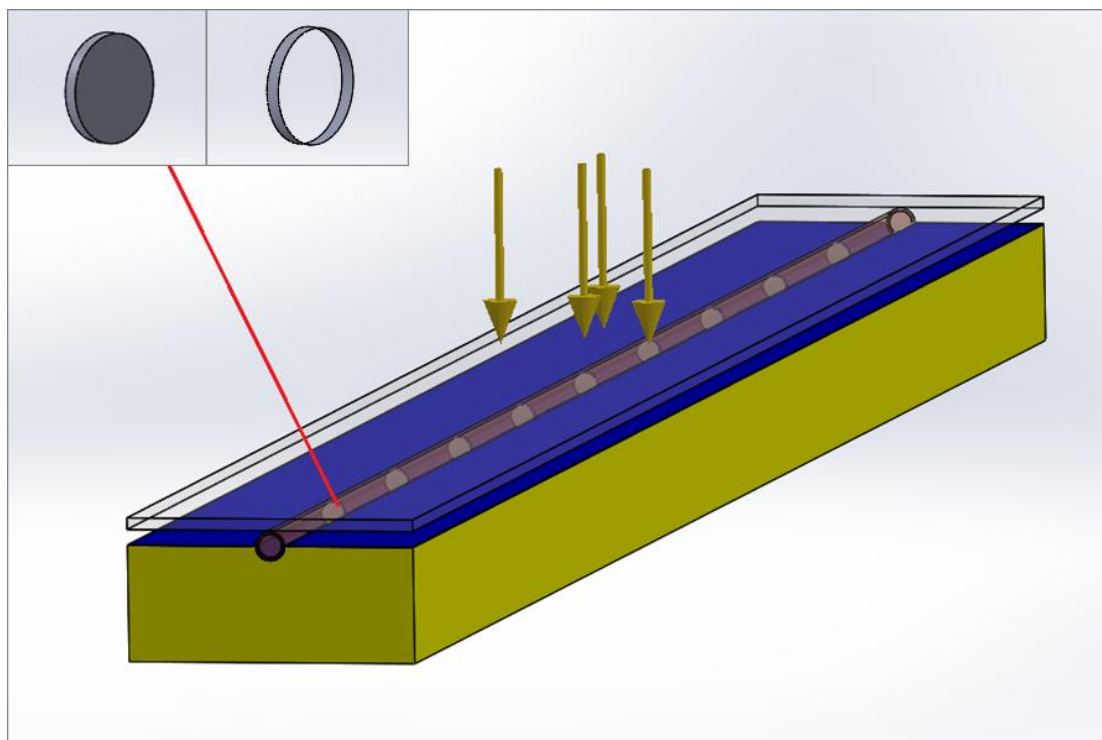
<sup>19</sup> Η απόλυτη τιμή της διαφοράς μεταξύ εισερχόμενης και εξερχόμενης.



## 5.1.7 Διαγράμματα και κατανομές για $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$

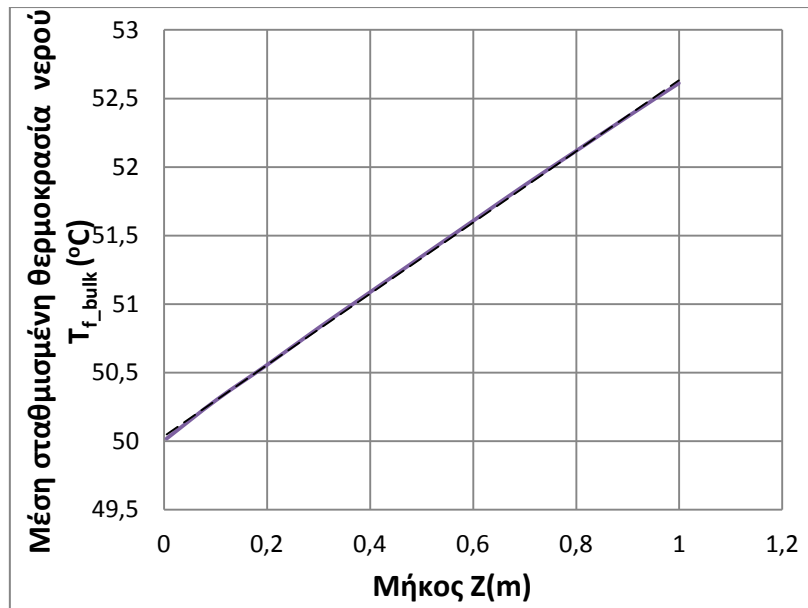
### 5.1.7.1 Καμπύλες μέσης θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας του νερού κατά μήκος του αγωγού

Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων που θα δούμε στη συνέχεια λειτουργήσαμε με έναν έμμεσο τρόπο, καθώς το πρόγραμμα δεν μας επέτρεψε διαφορετικά. Συγκεκριμένα, για τα **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 5.9, 5.11 και 5.12** δημιουργήσαμε, σε ένα καινούργιο αρχείο, μία «τάπα» διαμέτρου 8mm (όση και η εσωτερική διάμετρος του αγωγού) και πάχους 1mm, την οποία αντιγράψαμε και τοποθετήσαμε κατά μήκος του αγωγού ανά δέκα περίπου εκατοστά, αφού επιλύσαμε ξανά για  $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ . Όσον αφορά στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10** σχεδιάσαμε έναν δακτύλιο εσωτερικής διαμέτρου 8mm και πάχους 1mm, τον οποίο αντιγράψαμε και τοποθετήσαμε στις ίδιες θέσεις με τις τάπες. Αυτά τα τεχνάσματα έγιναν, διότι το πρόγραμμα μας επιτρέπει να διαβάσουμε τη θερμοκρασία του νερού μόνο στις επιφάνειες και τις καμπύλες που βρέχονται από το τελευταίο (**ΣΧΗΜΑ 5.1**).



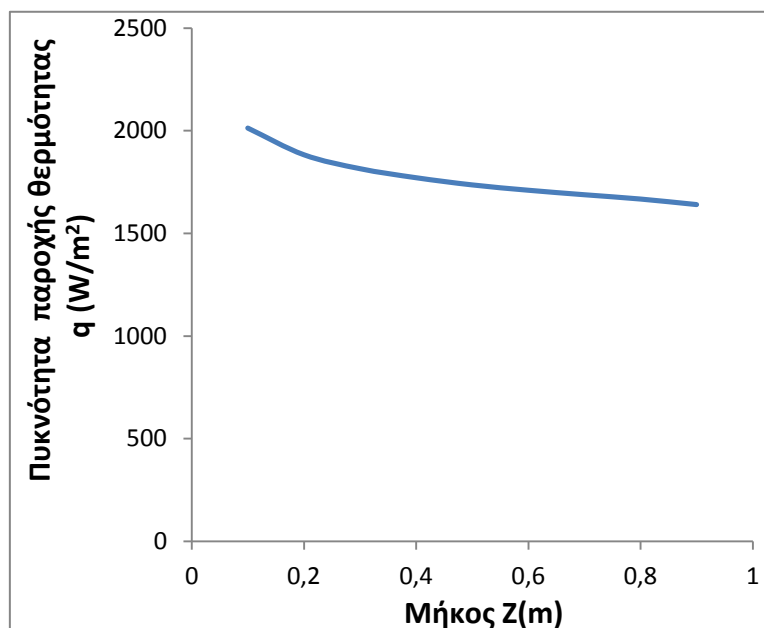
**ΣΧΗΜΑ 5.1:** Μέτρηση μεγεθών με ένθετες τάπες και δακτυλίου.

Στο πρώτο διάγραμμα παρατίθεται η καμπύλη της μέσης σταθμισμένης θερμοκρασίας του νερού ( $T_{f\_bulk}$ ) σε συνάρτηση με το μήκος ( $Z$ ) του αγωγού (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.9**).



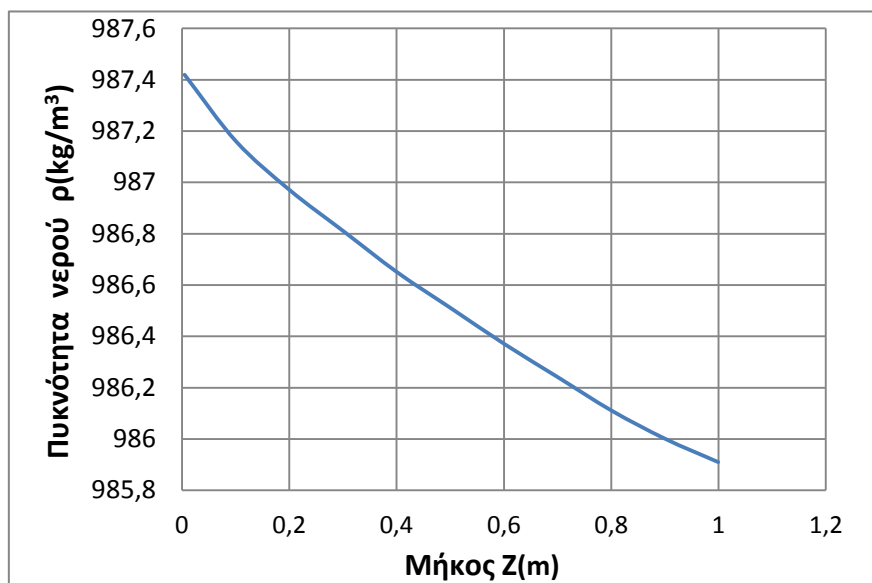
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.9:** Καμπύλη μεταβολής της μέσης σταθμισμένης θερμοκρασίας του νερού ( $T_{f\_bulk}$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50$  °C.

Γίνεται φανερό (με τη βοήθεια της διακεκομμένης ευθείας γραμμής τάσης) η ελαφρά μείωση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας του νερού, κάτι που οφείλεται στο ότι η μεταφορά θερμότητας, από το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα προς το νερό, εξασθενεί όσο πλησιάζουμε προς την έξοδο, λόγω της όλο και υψηλότερης θερμοκρασίας που αποκτά το τελευταίο. Η εξασθένιση αυτή φαίνεται και στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10** που ακολουθεί, στο οποίο παρατίθεται η κατά μήκος της ροής μεταβολή της μέσης πυκνότητας παροχής της θερμότητας που μεταφέρεται ακτινικά από τα τοιχώματα του σωλήνα στο νερό στη μονάδα του χρόνου ( $q$ ).

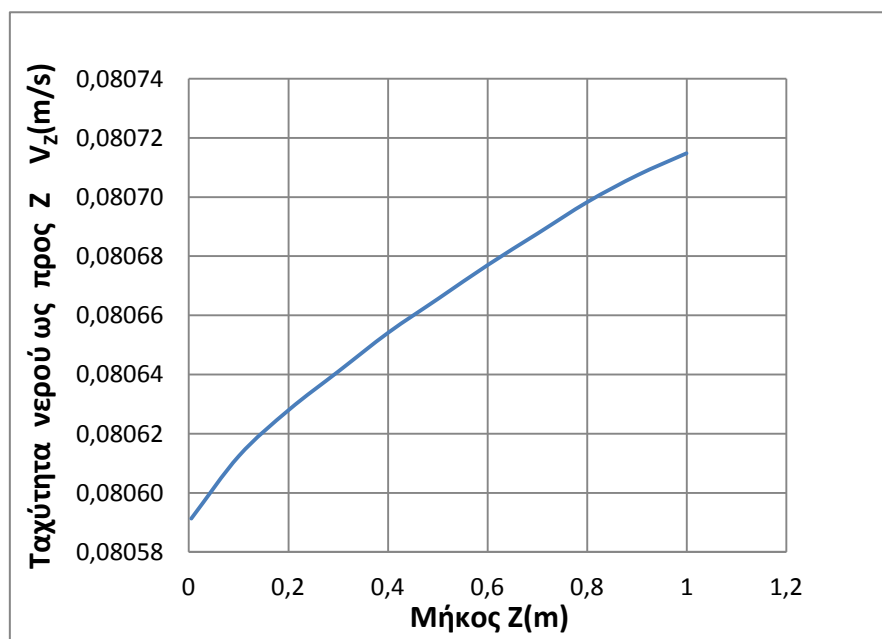


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10:** Καμπύλη μεταβολής μέσης πυκνότητας παροχής θερμότητας που ρέει ακτινικά προς στο νερό ( $q$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50$  °C.

Στα δύο επόμενα διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της πυκνότητας (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.11**) και της ταχύτητας (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.12**) του νερού κατά μήκος του σωλήνα.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.11:** Καμπύλη μεταβολής της μέσης πυκνότητας ( $\rho$ ) του νερού λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ .

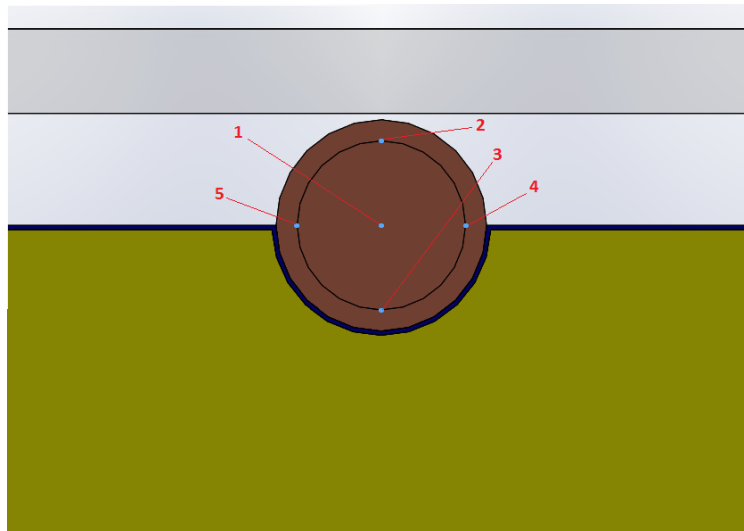


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.12:** Καμπύλη μεταβολής της μέσης ταχύτητας ( $V_z$ ) του νερού λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ .

Όπως ήταν φυσικό, η πυκνότητα μειώνεται και η ταχύτητα αυξάνει κατά μήκος του σωλήνα μας, προφανώς λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του ρευστού. Και εδώ συμβαίνει μείωση του ρυθμού μεταβολής των δύο μεγεθών, καθώς οδεύουμε προς την έξοδο του αγωγού, για τον ίδιο ακριβώς λόγο όπως και στη θερμοκρασία.

### 5.1.7.2 Καμπύλες θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας νερού κατά μήκος διαφόρων γραμμών ροής του

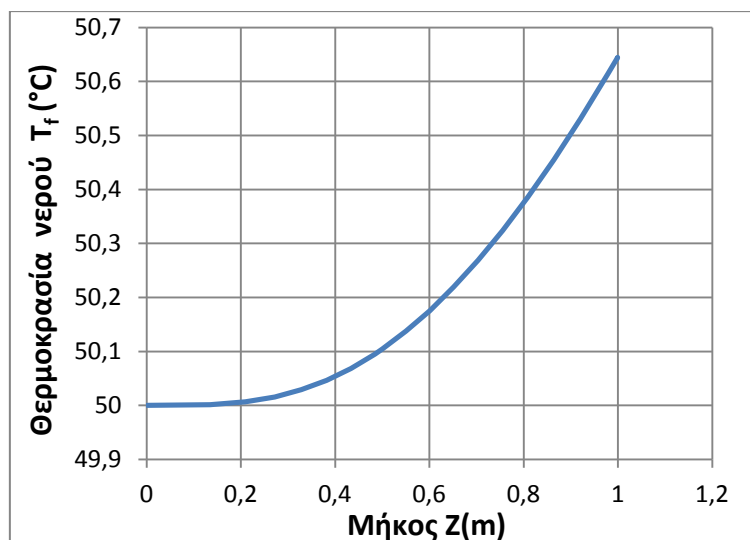
Θα ασχοληθούμε με πέντε γραμμές ροής του ρευστού μας. Η πρώτη ταυτίζεται με τον άξονα συμμετρίας του αγωγού, η δεύτερη και η τρίτη βρίσκονται στην ανώτερη και κατώτερη θέση εντός του αγωγού αντίστοιχα, ενώ η τέταρτη και η πέμπτη βρίσκονται στις δύο ακραίες θέσεις δεξιά και αριστερά (κοιτάζοντας προς την έξοδο) εντός του αγωγού αντίστοιχα, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα (**ΣΧΗΜΑ 5.2**).



**ΣΧΗΜΑ 5.2:** Θέσεις εξεταζόμενων γραμμών ροής.

#### Γραμμή ροής 1:

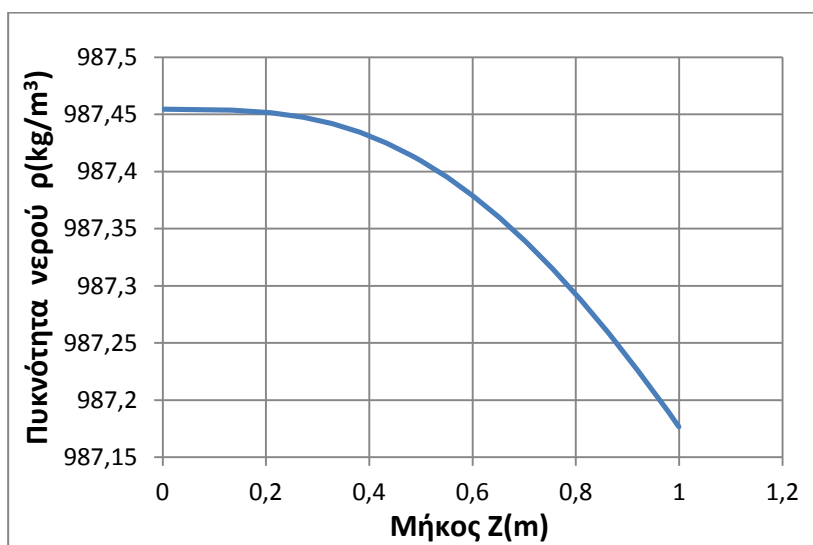
Αρχικά, παρατίθεται το διάγραμμα της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το μήκος του αγωγού (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.13**).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.13:** Καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού ( $T_f$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ , για τη Γραμμή ροής 1.

Είναι εμφανές ότι η θερμοκρασία του νερού στο κέντρο του αγωγού αυξάνει κατά τον ομόρου όπως περιμέναμε. Αξίζει, όμως, να σημειωθεί ότι η αύξηση που σημειώνεται είναι μικρή σχετικά με τους 52.61 °C που έχουμε σαν μέση σταθμισμένη θερμοκρασία στην έξοδο, καθώς και το γεγονός ότι ο ρυθμός αύξησης γίνεται εντονότερος όσο πλησιάζουμε την έξοδο. Το πρώτο οφείλεται στο ότι το ρευστό που βρίσκεται στο κέντρο του αγωγού δεν έρχεται άμεσα σε επαφή με τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Η υστέρηση, όμως, που εμφανίζει η αύξηση της θερμοκρασίας υφίσταται, λόγω του ότι η μεταφορά θερμότητας από το νερό που βρέχει τα τοιχώματα του σωλήνα μέχρι το νερό στο κέντρο του τελευταίου απαιτεί χρόνο.

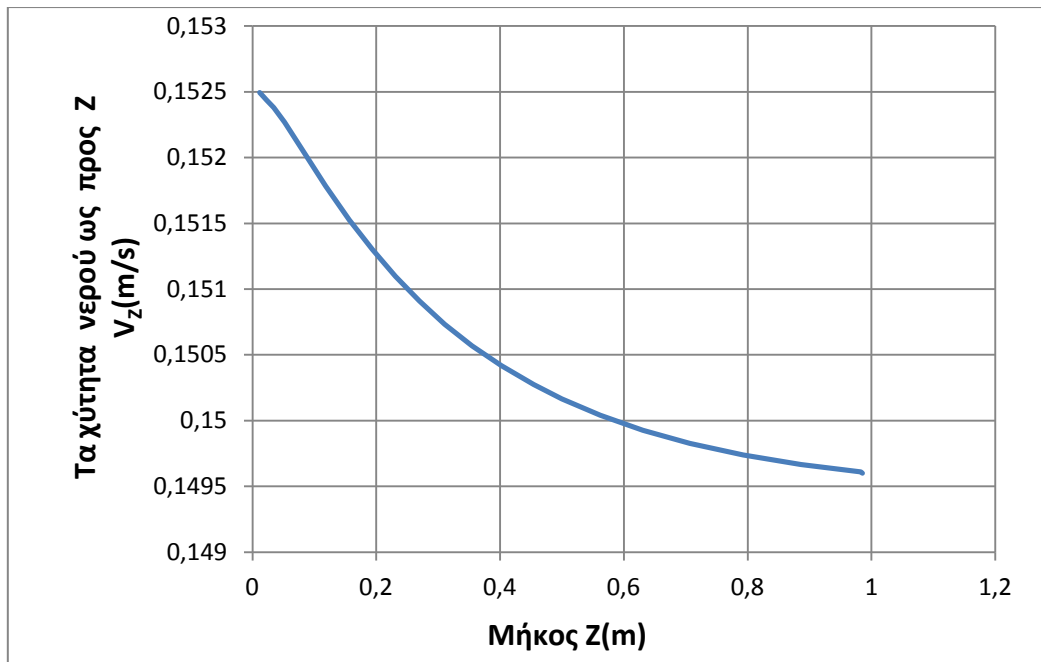
Στο επόμενο διάγραμμα παρατίθεται η μεταβολή της πυκνότητας συναρτήσει του μήκους του αγωγού (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.14**).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.14:** Καμπύλη μεταβολής της πυκνότητας του νερού ( $\rho$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ , για τη Γραμμή ροής 1.

Από το παραπάνω διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.14**) γίνεται φανερό η μείωση της πυκνότητας, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης θερμοκρασίας κατά μήκος του σωλήνα. Και εδώ ο ρυθμός μεταβολής αυξάνει κατευθυνόμενοι προς την έξοδο, για τον ίδιο ακριβώς λόγο όπως και στη θερμοκρασία.

Στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15** που ακολουθεί δίνεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας συναρτήσει του μήκους του αγωγού.

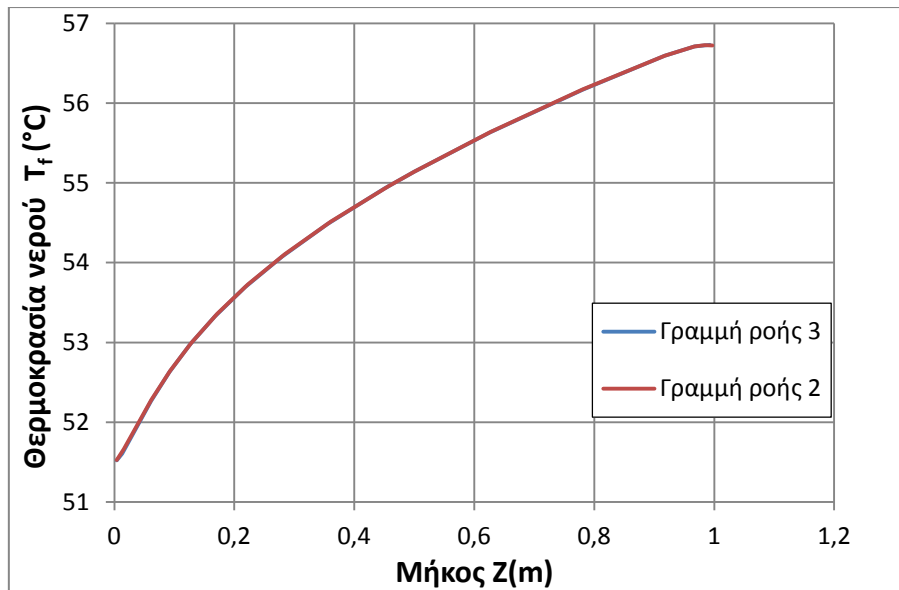


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15:** Καμπύλη μεταβολής της ταχύτητας του νερού ( $V_z$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ , για τη Γραμμή ροής 1.

Με μια πρώτη ματιά, το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15** θα μπορούσε να θεωρηθεί λανθασμένο, δεδομένης της πτώσης της πυκνότητας και της αρχής διατήρησης της μάζας. Η τελευταία, όμως, δεν ισχύει τοπικά αλλά συνολικά για κάθε διατομή του αγωγού που εξετάζουμε. Δεδομένου, λοιπόν, ότι το νερό που βρίσκεται κοντά στα τοιχώματα θερμαίνεται άμεσα, η κινηματική του συνεκτικότητα θα μειώνεται εντονότερα (κατά μήκος του αγωγού), από ό,τι η αντίστοιχη του κεντρικού νερού, με αποτέλεσμα η ροή του να χαρακτηρίζεται από λιγότερες απώλειες λόγω τριβών σε σχέση με αυτή του τελευταίου. Συνεπώς, η παροχή μάζας που διέρχεται περιφερειακά θα αυξάνει με αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστοιχης που περνά από το κέντρο. Έτσι, λοιπόν, εξηγείται η ταυτόχρονη μείωση πυκνότητας και ταχύτητας.

### Γραμμές ροής 2 και 3:

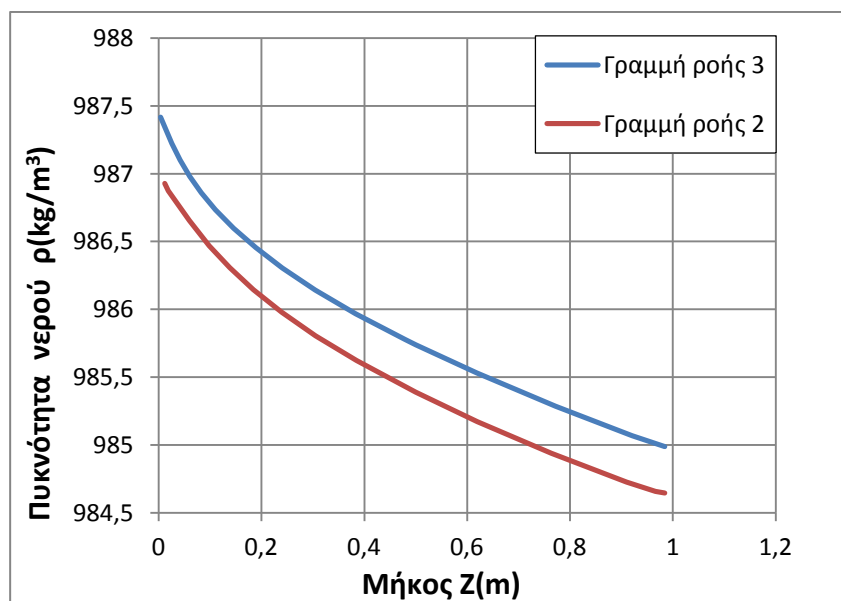
Αρχικά, παρατίθεται το διάγραμμα της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το μήκος του αγωγού (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.16**).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.16:** Καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού ( $T_f$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ , για τις Γραμμές ροής 2 και 3.

Παρατηρούμε ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας βαίνει μειούμενος καθώς προχωράμε προς την έξοδο του αγωγού, λόγω της μείωσης που υφίσταται τότε η μεταφερόμενη από το σωλήνα στο νερό θερμότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δύο καμπύλες φαίνεται να ταυτίζονται, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο ότι ο αγωγός θερμαίνεται στο άνω μέρος του μέσω της ακτινοβολίας του ήλιου, ενώ στο κάτω μέσω της πλάκας απορρόφησης, με αποτέλεσμα τα θερμοκρασιακά πεδία των δύο ακραίων θέσεων να παρουσιάζουν ομοιογένεια.

Στη συνέχεια, δίνεται η μεταβολή της πυκνότητας συναρτήσει του μήκους του αγωγού (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.17**).

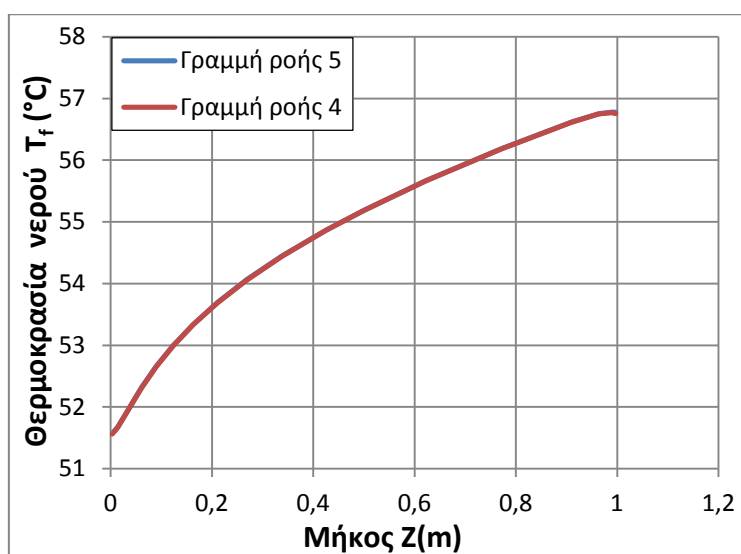


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.17:** Καμπύλη μεταβολής της πυκνότητας του νερού ( $\rho$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ , για τις Γραμμές ροής 2 και 3.

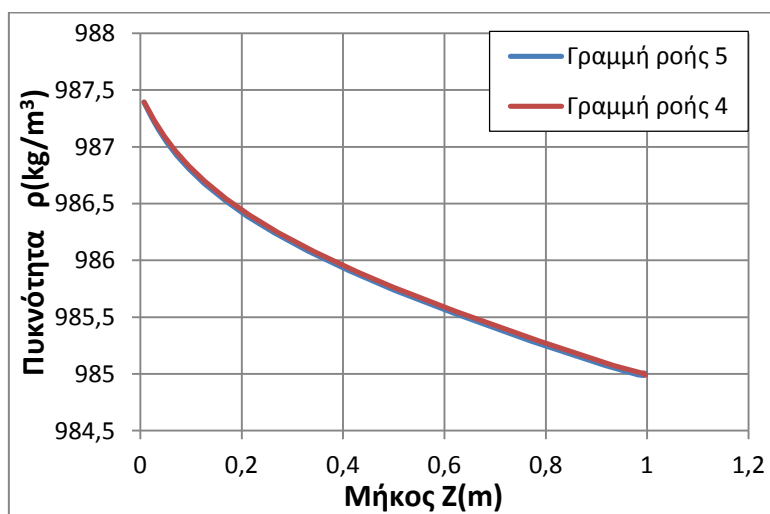
Είναι εμφανές ότι η πυκνότητα μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την είσοδο ως όφειλε. Και εδώ ο ρυθμός μεταβολής μειώνεται κατευθυνόμενοι προς την έξοδο, για τον ίδιο ακριβώς λόγο όπως και στη θερμοκρασία. Παρατηρούμε, επίσης, ότι η καμπύλη που αντιπροσωπεύει την ανώτερη θέση βρίσκεται πιο κάτω από την αντίστοιχη της κατώτερης, πράγμα που δηλώνει ότι η ενέργεια δια ακτινοβολίας που δέχεται η άνω πλευρά του αγωγού είναι πιθανόν (ελάχιστα) μεγαλύτερη από την ενέργεια δια αγωγής που διοχετεύεται στο κάτω μέρος του αγωγού από την πλάκα.

#### Γραμμές ροής 4 και 5:

Τα διαγράμματα για τις εν λόγω γραμμές ροής (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.18**, **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.19**) δεν παρουσιάζουν καμία ιδιαιτερότητα σε σχέση με τα αντίστοιχα προηγούμενα, γι' αυτό και παρατίθενται χωρίς σχολιασμό.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.18:** Καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού ( $T_f$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50$  °C, για τις Γραμμές ροής 4 και 5.

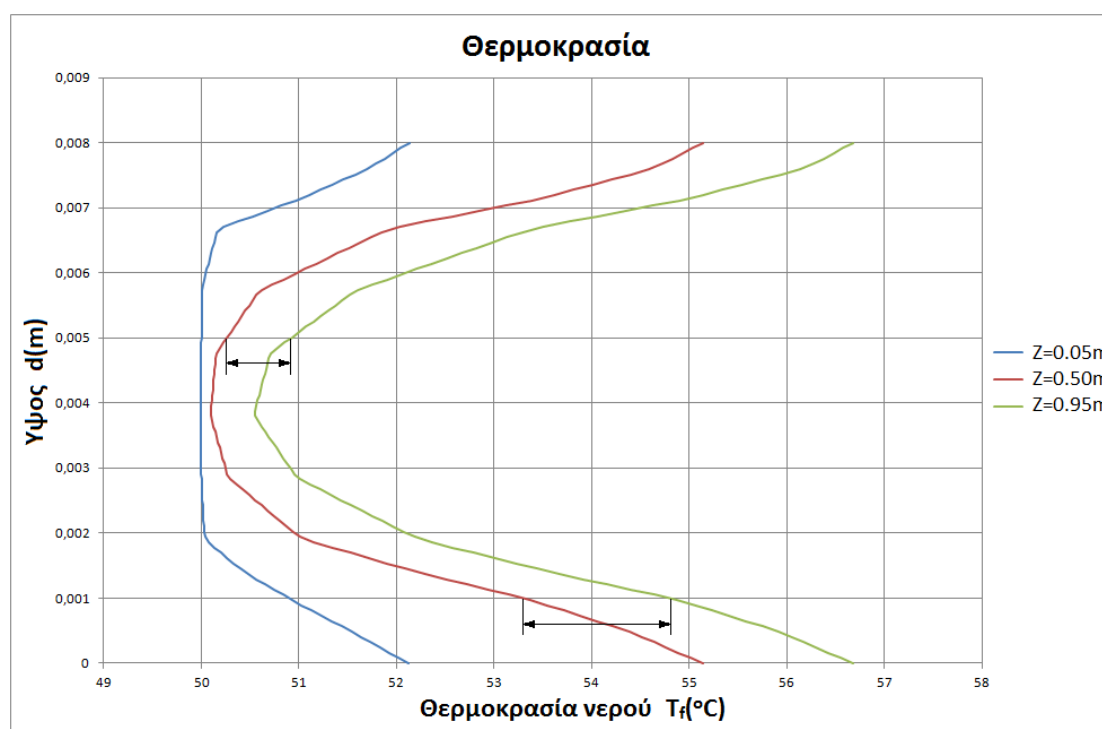


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.19:** Καμπύλη μεταβολής της πυκνότητας του νερού ( $T_f$ ) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50$  °C, για τις Γραμμές ροής 4 και 5.



### 5.1.7.3 Προφίλ θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας του νερού σε διάφορες θέσεις Z

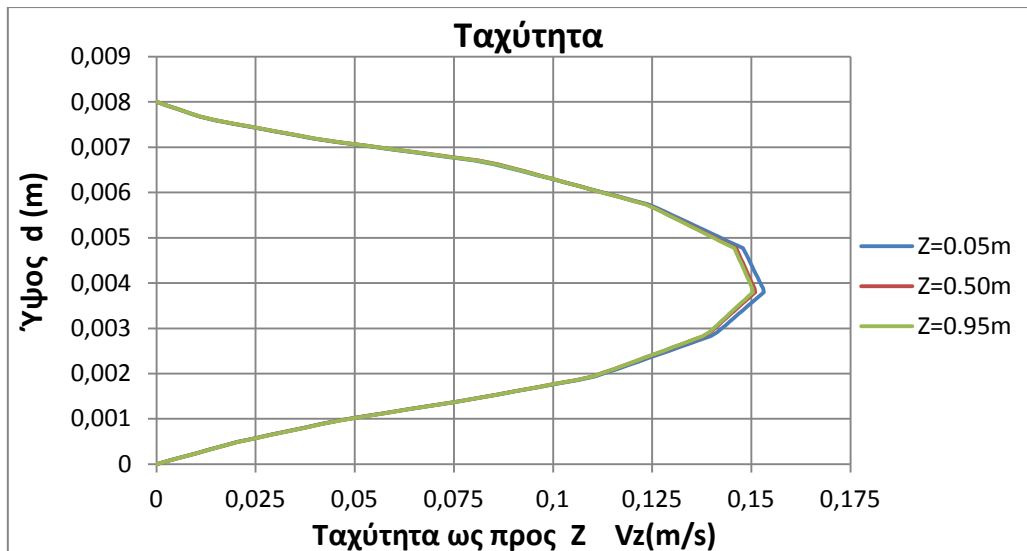
Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται τρία διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται τα προφίλ (κατά την έννοια της διαμέτρου από τη γραμμή ροής 3 ( $d=0\text{mm}$ ) έως τη 2 ( $d=8\text{mm}$ )) θερμοκρασίας, πυκνότητας και ταχύτητας (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.20 , ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.21 , ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.22 αντίστοιχα), για τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του αγωγού ( $Z=0.05\text{m}$  ,  $Z=0.50\text{m}$  ,  $Z=0.95\text{m}$ ).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.20:** Προφίλ θερμοκρασίας νερού (κατά την έννοια της διαμέτρου από το κατώτερο ( $d=0\text{mm}$ ) στο ανώτερο σημείο ( $d=8\text{mm}$ ) του αγωγού) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη, για  $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , για τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του αγωγού ( $Z=0.05\text{m}$  ,  $Z=0.50\text{m}$  ,  $Z=0.95\text{m}$ ).

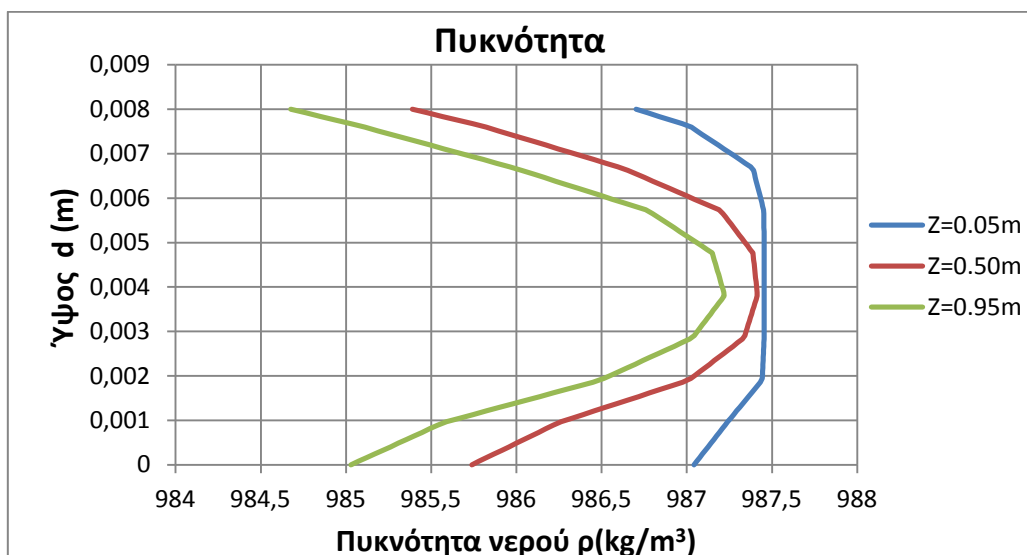
Από το ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.20 γίνεται φανερό ότι, όσο κατευθυνόμαστε από το κέντρο προς την περιφέρεια, καθώς και από την είσοδο προς την έξοδο του αγωγού, η θερμοκρασία αυξάνει. Επίσης, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας κατά μήκος του αγωγού αυξάνει όσο πλησιάζουμε τα τοιχώματα αυτού, γεγονός που οφείλεται στο ότι η μεταφορά θερμότητας τότε γίνεται όλο και πιο έντονη.

Χαρακτηριστικό είναι, ακόμη, το ότι οδηγούμαστε όλο και σε πιο «μυτερές» καμπάνες κατά την απομάκρυνσή μας από την είσοδο, κάτι που φανερώνει, με έμμεσο τρόπο, την ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα μεταξύ των μορίων του ρευστού.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.21:** Προφίλ ταχύτητας νερού (κατά την έννοια της διαμέτρου από το κατώτερο ( $d=0mm$ ) στο ανώτερο σημείο ( $d=8mm$ ) του αγωγού) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη, για  $T_i = 50^\circ C$ , για τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του αγωγού ( $Z=0.05m$ ,  $Z=0.50m$ ,  $Z=0.95m$ ).

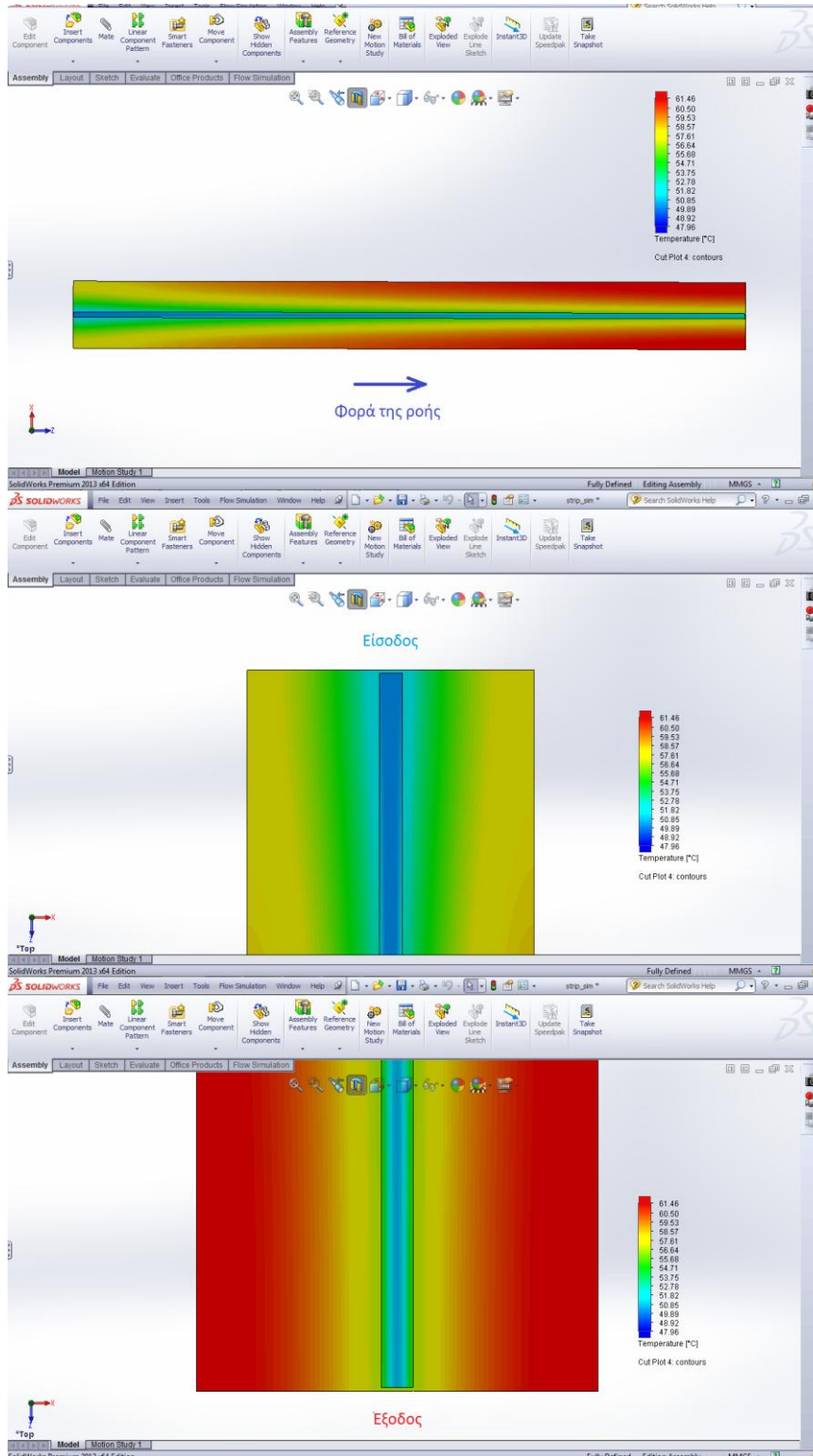
Στο παραπάνω διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.21**) παρατηρούμε ότι όσο πιο κοντά στην έξοδο βρισκόμαστε, τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη ταχύτητα ροής, γεγονός που επαληθεύει τα όσα υποθήκαν για το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15**. Αξίζει, βέβαια, να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.21**) δεν αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη διατομή, αλλά ένα ελάχιστο μέρος της, πράγμα που σημαίνει ότι, αν θέλαμε να βγάλουμε συμπέρασμα για της παροχές σε κάθε ύψος  $d$ , θα έπρεπε να φτιάξουμε το παραβολοειδές προφίλ ταχυτήτων ολόκληρης της διατομής, κάτι που δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της παρούσης εργασίας.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.22:** Προφίλ πυκνότητας νερού (κατά την έννοια της διαμέτρου από το κατώτερο ( $d=0mm$ ) στο ανώτερο σημείο ( $d=8mm$ ) του αγωγού) λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη, για  $T_i = 50^\circ C$ , για τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του αγωγού ( $Z=0.05m$ ,  $Z=0.50m$ ,  $Z=0.95m$ ).

Στο εν λόγω διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.22**) γίνεται φανερή η μείωση της πυκνότητας όσο πηγαίνουμε σε μεγαλύτερα μήκη Z καθώς και σε μεγαλύτερα ύψη d, κάτι που οφείλεται στη συμπεριφορά που παρουσιάζει η θερμοκρασία.

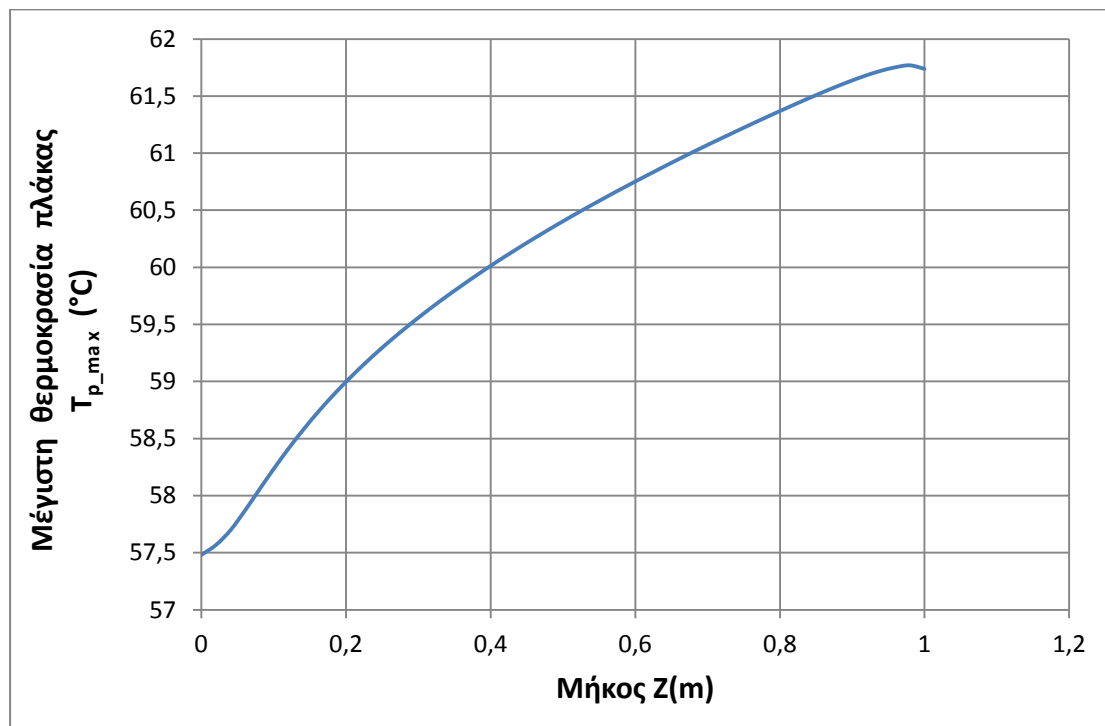
#### 5.1.7.4 Θερμοκρασιακά πεδία πλάκας απορρόφησης



**ΣΧΗΜΑ 5.3:** Θερμοκρασιακά πεδία πλάκας απορρόφησης λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks, για  $T_i = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Από το **ΣΧΗΜΑ 5.3** γίνεται φανερό ότι η θερμοκρασία της πλάκας αυξάνει από την είσοδο προς την έξοδο, γεγονός που οφείλεται στο ότι το νερό απάγει ολοένα και λιγότερη θερμότητα από αυτή, λόγω της συνεχώς αυξανόμενης θερμοκρασίας του.

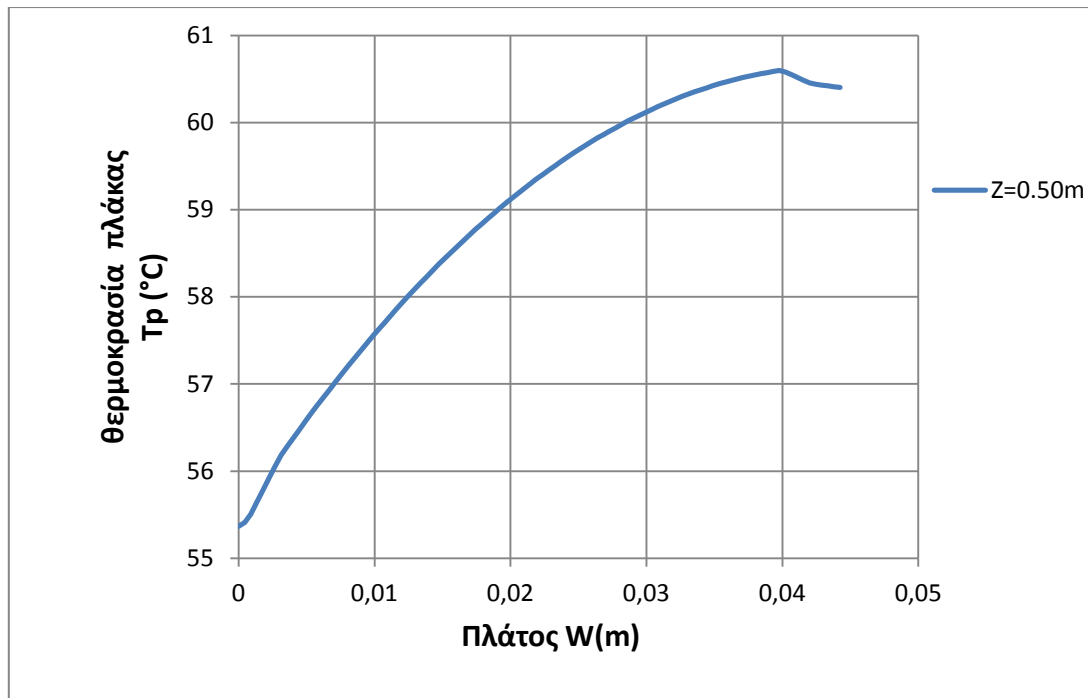
Το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.23** που παρατίθεται στη συνέχεια δίνει τη μεταβολή της μέγιστης θερμοκρασίας της πλάκας συναρτήσει του μήκους της λωρίδας ( $Z$ ).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.23:** Καμπύλη μεταβολής μέγιστης θερμοκρασίας πλάκας απορρόφησης λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του μήκους ( $Z$ ) του αγωγού, για  $T_i = 50^\circ\text{C}$ .

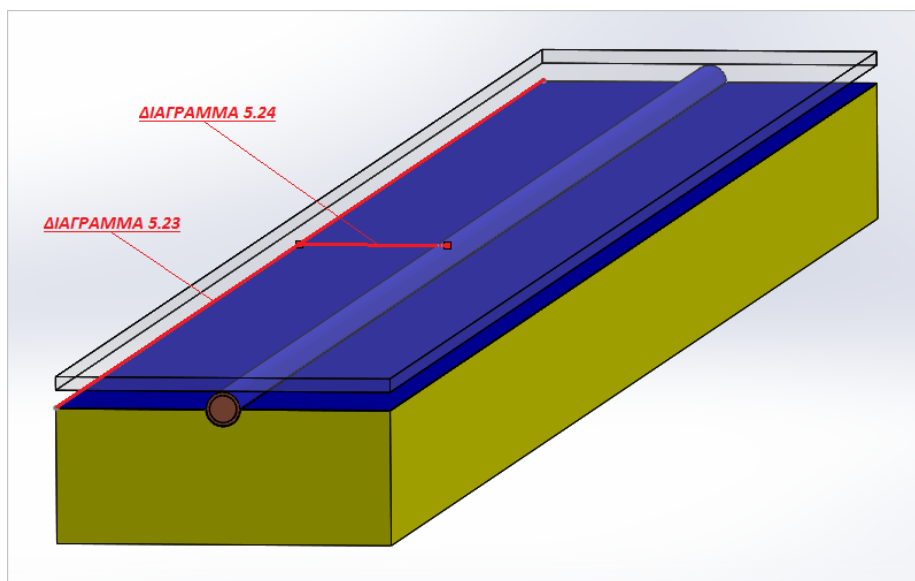
Από το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.23** φαίνεται ότι η μέγιστη θερμοκρασία της πλάκας αυξάνει με μειούμενο ρυθμό, κάτι που επιβεβαιώνει, ακόμα μια φορά, την εξασθένηση που σημειώνει η μεταφορά θερμότητας κατά τη φορά της ροής. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι ο χαμηλός, σχετικά με τις αμέσως επόμενες τιμές, ρυθμός αύξησης στην αρχή και η απότομη μείωση του τελευταίου στο τέλος είναι απόρροια των τοπικά αυξημένων απωλειών λόγω ακτινοβολίας, καθώς, στις δύο αυτές θέσεις, η πλάκα εκτίθεται κατά το μέγιστο βαθμό στο περιβάλλον (όσον αφορά στην ακτινοβολία).

Στο επόμενο διάγραμμα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.24**) δίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας της πλάκας από το εξωτερικό τοίχωμα του αγωγού έως την άκρη της, κατά την κατεύθυνση του πλάτους ( $W$ ) και για  $Z=0.50\text{m}$ .



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.24:** Καμπύλη μεταβολής θερμοκρασίας πλάκας απορρόφησης λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη συναρτήσει του πλάτους ( $W$ ) ( $W=0mm$  (ακμή πλάκας λόγω διαμόρφωσης υποδοχής του αγωγού),  $W=45mm$  (άκρη πλάκας)), για  $Z=0.50m$  και  $T_i = 50^\circ C$ .

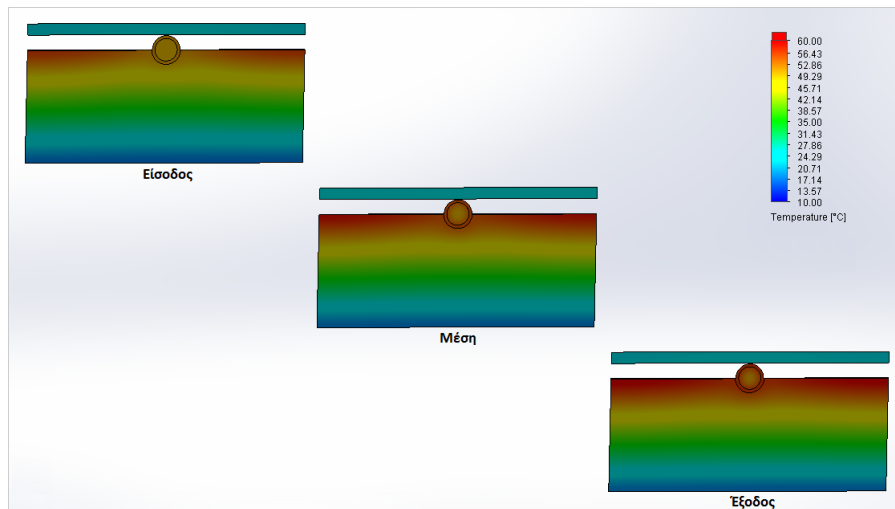
Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία της πλάκας αυξάνει κατά την κατεύθυνση του πλάτους καθώς απομακρυνόμαστε από τον αγωγό, γεγονός απόλυτα λογικό. Επίσης, ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας μειώνεται όσο πλησιάζουμε την ακμή όπου σημειώνεται η μέγιστη θερμοκρασία της πλάκας, διότι απομακρυνόμαστε από την καταβόθρα θερμότητας που δεν είναι άλλη από το νερό. Οι διαταραχές που εμφανίζονται στο τέλος, αφορούν στις απώλειες ακτινοβολίας όπως και προηγουμένως.



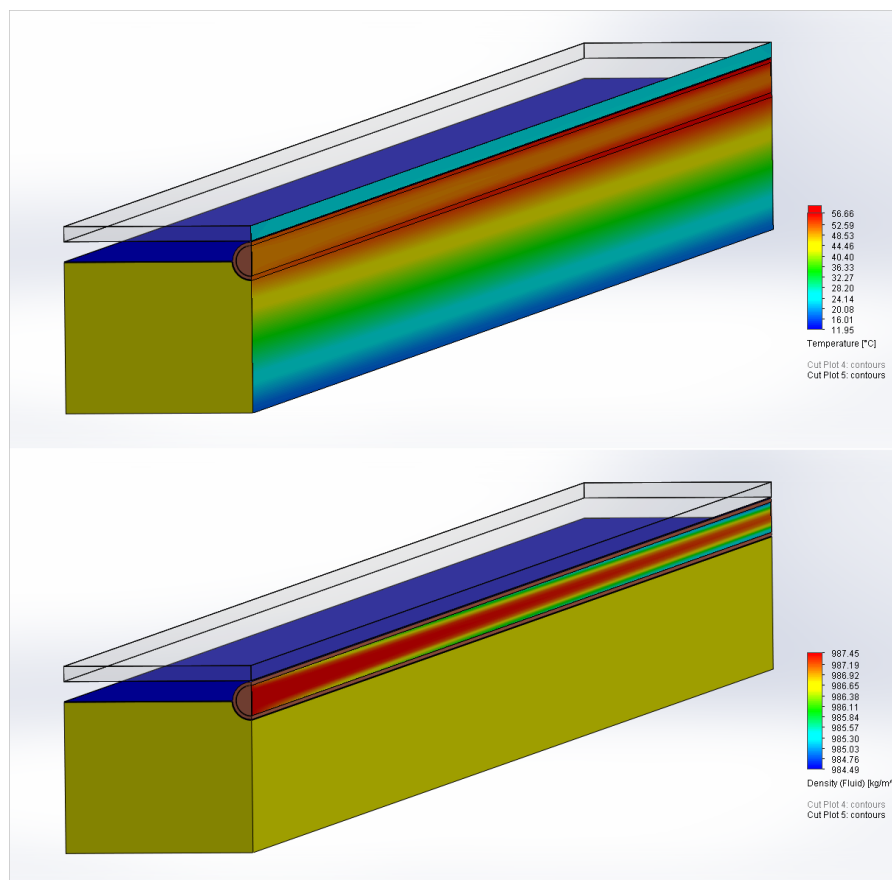
**ΣΧΗΜΑ 5.4:** Γραμμές επί των οποίων μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες για τα διαγράμματα 5.23 και 5.24 .

### 5.1.7.5 Κατανομές σε διάφορα σημεία της λωρίδας

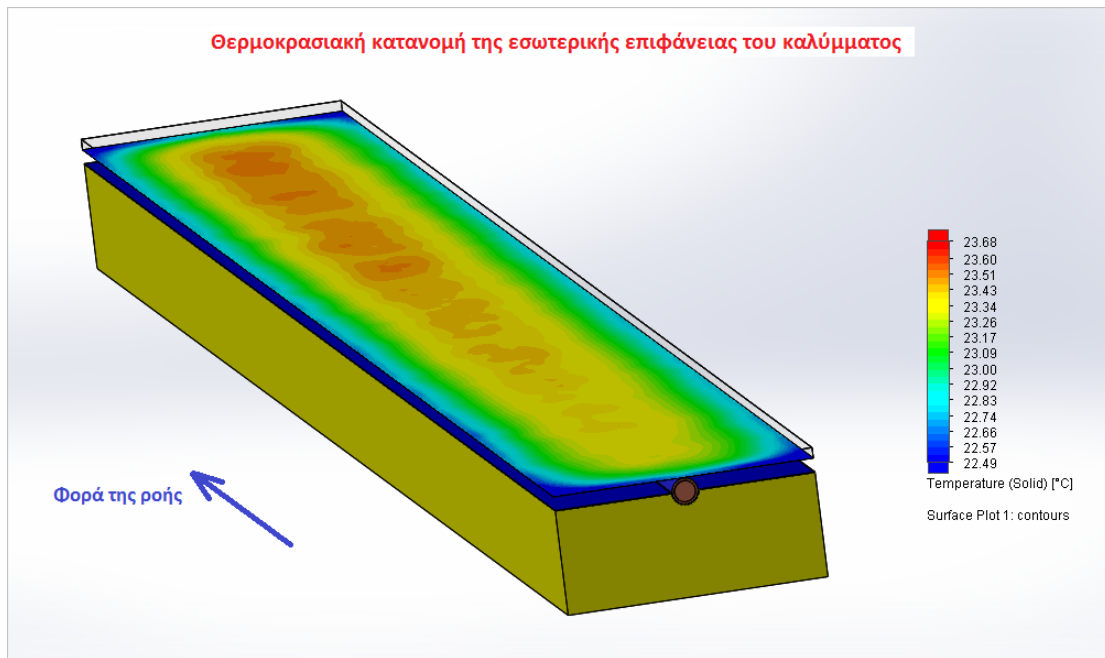
Στην εν λόγω ενότητα παρατίθενται ορισμένες κατανομές πυκνότητας και θερμοκρασίας σε διάφορες τομές και επιφάνειες της λωρίδας, για λόγους πληρότητας.



**ΣΧΗΜΑ 5.5:** Θερμοκρασιακή κατανομή λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks, για τρεις διαφορετικές θέσεις (Είσοδος, Μέση, Έξοδος) και  $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ .



**ΣΧΗΜΑ 5.6:** Κατανομές πυκνότητας (νερού) και θερμοκρασίας επί της διαμήκου τομής που διέρχεται από τον άξονα συμμετρίας του αγωγού λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks, για  $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ .



**ΣΧΗΜΑ 5.7:** Θερμοκρασιακή κατανομή εσωτερικής επιφάνειας καλύμματος λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη στο πρόγραμμα Solidworks, για  $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Τα παραπάνω σχήματα υπόθηκαν λίγο πολύ μέσω των διαγραμμάτων και των αναλύσεων που παραθέσαμε προηγουμένως. Ωστόσο, αξίζει να σχολιαστεί το τελευταίο εξ' αυτών (**ΣΧΗΜΑ 5.7**).

Σύμφωνα με το εν λόγω σχήμα, οι μέγιστες θερμοκρασίες του καλύμματος, κατά τη διεύθυνση του πλάτους, σημειώνονται ακριβώς στη μέση αυτού, κάτι που εκ πρώτης όψεως δείχνει να είναι μη ορθό, δεδομένου ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες της πλάκας σημειώνονται στα άκρα αυτής. Στην περίπτωσή μας, όμως, το κάλυμμα βρίσκεται πολύ πιο κοντά στον αγωγό από ό,τι στην πλάκα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται περισσότερο από τον προτελευταίο όσον αφορά στη συναλλαγή ακτινοβολίας.

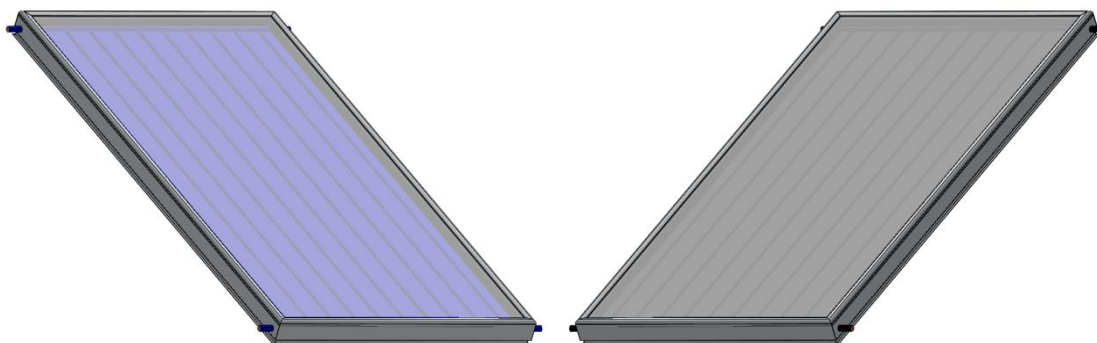
### 5.1.8 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων λωρίδας επιλεκτικού συλλέκτη.

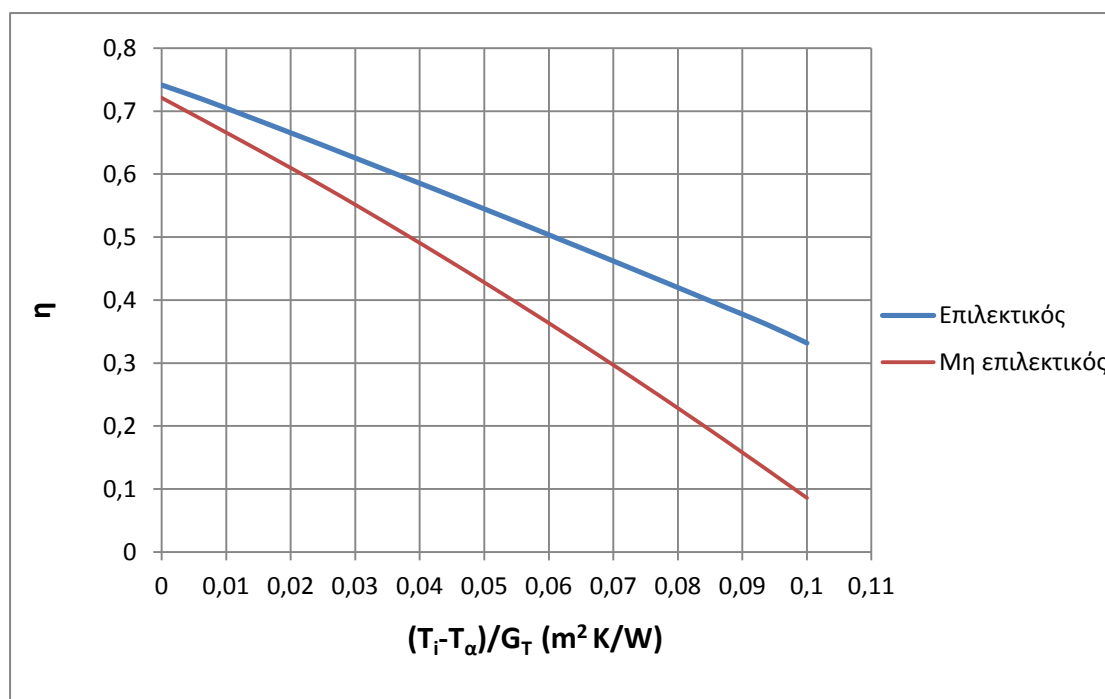
$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_{fm}(^{\circ}\text{C})$	$(T_i - T_o)/G_T$ ( $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ )	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai}(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai\_th}(^{\circ}\text{C})$	$T_{ai} - T_{ai\_th}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$Q_u$ ( $\text{W}$ )	$U_L$ ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ )	$\eta$	$Q_{c\text{nv}1}$ ( $\text{W}$ )	$Q_{c\text{nv}2}$ ( $\text{W}$ )
10	13.547	11.774	0	21.118	12.858	16.98	16.957	0.023	59.306	4.167	0.7413	3.310	3.348
15	18.44	16.720	0.00625	25.737	14.142	20.123	19.986	0.137	57.517	4.123	0.7190	4.491	4.711
20	23.324	21.662	0.0125	30.335	15.371	23.12	22.913	0.207	55.577	4.142	0.6947	5.772	6.104
25	28.207	26.604	0.01875	34.939	16.615	26.15	25.850	0.300	53.621	4.164	0.6703	7.031	7.511
30	33.089	31.545	0.025	39.546	17.865	29.19	28.791	0.399	51.648	4.183	0.6456	8.285	8.923
35	37.969	36.485	0.03125	44.156	19.119	32.24	31.738	0.502	49.642	4.202	0.6205	9.533	10.336
40	42.849	41.425	0.0375	48.769	20.380	35.30	34.689	0.611	47.635	4.219	0.5954	10.775	11.754
45	47.7286	46.364	0.04375	53.385	21.650	38.38	37.646	0.734	45.622	4.237	0.5703	12.004	13.179
50	52.6063	51.303	0.05	58.002	22.919	41.45	40.603	0.847	43.577	4.253	0.5447	13.242	14.598
55	57.484	56.242	0.05625	62.621	24.196	44.54	43.565	0.975	41.532	4.270	0.5192	14.465	16.026
60	62.36	61.180	0.0625	67.242	25.478	47.63	46.530	1.100	39.459	4.286	0.4932	15.690	17.450
65	67.236	66.118	0.06875	71.862	26.760	50.72	49.495	1.225	37.386	4.302	0.4673	16.914	18.874
70	72.1102	71.055	0.075	76.482	28.046	53.81	52.462	1.348	35.283	4.317	0.4410	18.138	20.294
75	76.9841	75.992	0.08125	81.103	29.340	56.91	55.434	1.476	33.174	4.333	0.4147	19.354	21.717
80	81.857	80.929	0.0875	85.723	30.635	60.01	58.406	1.604	31.049	4.348	0.3881	20.570	23.138
85	86.73	85.865	0.09375	90.344	31.940	63.13	61.383	1.747	28.926	4.364	0.3616	21.771	24.567
90	91.59	90.795	0.1	94.86	33.070	65.90	63.965	1.935	26.585	4.417	0.3320	23.168	26.264



## 5.2 Σύγκριση επιλεκτικού-μη επιλεκτικού συλλέκτη



Επειδή η ανάλυση και του μη επιλεκτικού συλλέκτη δεν είναι δυνατή στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, θα δημιουργήσουμε, κατά τα γνωστά, την καμπύλη του βαθμού απόδοσης και θα τη συγκρίνουμε με την αντίστοιχη του επιλεκτικού στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.25**, που ακολουθεί.






**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.25:** Σύγκριση βαθμών απόδοσης μεταξύ λωρίδων επιλεκτικού και μη επιλεκτικού συλλέκτη.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι ο μη επιλεκτικός συλλέκτης παρουσιάζει χαμηλότερη απόδοση από την αντίστοιχη του επιλεκτικού, η καμπύλη της οποίας αποκλίνει από την καμπύλη απόδοσης του τελευταίου, με εμφανώς αυξανόμενο ρυθμό. Αυτό συμβαίνει λόγω των πολύ μεγαλύτερων απωλειών ακτινοβολίας που υφίστανται στο μη επιλεκτικό συλλέκτη σε σχέση με εκείνες του επιλεκτικού.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Στο σημείο αυτό θα παρατεθούν τα βασικά συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από την εκπόνηση της εν λόγω εργασίας, όσον αφορά στη σχεδίαση του συλλέκτη μας, την προσομοίωση αυτού και τα αποτελέσματα της τελευταίας.

### Σχεδίαση και συναρμολόγηση συλλέκτη:

- Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος σχεδίασης των περιγραμμάτων απότμησης των άκρων των λωρίδων του πλαισίου. Τα τελευταία ακολουθούν τη συμμετρία μεταξύ των δύο άκρων οποιοδήποτε και αν είναι το μήκος της λωρίδας, διατηρώντας τη μορφή τους αναλλοίωτη, καθώς φροντίσαμε η αξονική γραμμή, μέσω της οποίας αντιγράψαμε το περίγραμμα κοπής από τη μία μεριά στην άλλη (  **Mirror Entities**), να διέρχεται ακριβώς από το μέσο της λωρίδας (**Coincidence: Midpoint**), ενώ ταυτόχρονα ορίσαμε πλήρως τις διαστάσεις του περιγράμματος απότμησης.
- Αξίζει, επίσης, να αναφερθεί η ιδέα με την οποία εξασφάλισαμε τη μη περιστροφή μεταξύ του πρώτου αγωγού και μίας εκ των οπών υποδοχής που φέρει ο συλλέκτης (manifold) που εισάγαμε αρχικά, καθώς και η δυσκολία που αντιμετωπίσαμε κατά την υλοποίησή της. Ο μόνος τρόπος για την εξασφάλιση της εν λόγω μη περιστροφής ήταν η σχεδίαση δύο σημείων, ένα στον αγωγό και ένα στο συλλέκτη, τέτοια ώστε να μπορούμε να τα καταστήσουμε ταυτόσημα. Το τελευταίο δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί μέσω της επιλογής  **Coincidence**, λόγω περιορισμών του προγράμματος, γι' αυτό και δουλέψαμε με την επιλογή  **Distance**, ορίζοντας την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων ίση με το μηδέν.
- Γενικά, όσον αφορά στη συναρμολόγηση, παρατηρήσαμε ότι για να καταστήσουμε δύο αντικείμενα ακίνητα το ένα ως προς το άλλο με τα λιγότερα δυνατά «**Mates**», θα πρέπει να επιλέξουμε είτε ένα κοινό σημείο και ένα κοινό ευθύγραμμο τμήμα, τέτοια ώστε το πρώτο να μην ανήκει στην προέκταση του δεύτερου, είτε δύο κοινά ευθύγραμμα τμήματα (στο κάθε αντικείμενο), τέτοια ώστε το ένα να μην ανήκει στην προέκταση του άλλου.

### Προσομοίωση:

- Η κύρια δυσκολία που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε στην ενότητα της προσομοίωσης ήταν το γεγονός ότι η δομή της μελετώμενης λωρίδας δεν μας άφηνε περιθώρια εισαγωγής αέρα εντός του διακένου, λόγω της «ανοιχτής» μορφής του τελευταίου, κάτι που, όμως, ξεπεράσαμε με έναν ιδιαίτερο τρόπο, ορίζοντας τον αέρα μέσω των απωλειών συναγωγής που αυτός εισάγει. Ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας του τελευταίου καθώς και των θερμοκρασιακών πεδίων ολόκληρης της λωρίδας πραγματοποιήθηκε με δοκιμές, τα αποτελέσματα των οποίων εξετάζονταν για την ορθότητά τους, με τη βοήθεια συγκεκριμένου ενεργειακού ισολογισμού.
- Σημαντικό είναι, επίσης, το γεγονός ότι η εξεταζόμενη λωρίδα ήταν πλήρως απομονωμένη από τον υπόλοιπο συλλέκτη και εξετάστηκε εντελώς ανεξάρτητα και απόλυτα εκτεθειμένη στο περιβάλλον (όσον αφορά στην ακτινοβολία), κάτι που δημιούργησε την ανάγκη για εισαγωγή ορισμένων βασικών τροποποιήσεων και παραδοχών, για την καλύτερη δυνατή προσαρμογή του προγράμματος στις απαιτήσεις του προβλήματος.
- Μία τροποποίηση που επιβλήθηκε στη δομή της λωρίδας ήταν η μείωση της απόστασης μεταξύ καλύμματος και απορροφητή, για την ελαχιστοποίηση των απωλειών ακτινοβολίας των δύο συνιστωσών προς το περιβάλλον, καθώς και την ικανοποίηση ορισμένων παραδοχών.

### Αποτελέσματα:

$$T_i = 10 \div 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Στην εν λόγω ενότητα, παρατηρήσαμε ότι ο επιλεκτικός συλλέκτης εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης για διάφορες θερμοκρασίες εισόδου ( $T_i$ ) από τον αντίστοιχο μη επιλεκτικό, κάτι που οφείλεται στις αυξημένες απώλειες ακτινοβολίας του τελευταίου (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.25**).
- Είδαμε, επίσης, ότι οι θερμοκρασίες εισόδου-εξόδου του νερού και της πλάκας συγκλίνουν όλες μεταξύ τους κατά την κατεύθυνση της ροής (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 5.4 5.5**), γεγονός που οφείλεται στο ότι όσο πιο θερμό είναι το νερό τόσο λιγότερη θερμότητα απάγεται δια συναγωγής από τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα και κατ' επέκταση από την πλάκα.

- Δεν θα πρέπει να παραληφθεί, ακόμη, το ότι οι τιμές για τη θερμοκρασία του εσωκλειόμενου στο διάκενο αέρα (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.8**) που προκύπτουν από το πρόγραμμα εμφανίζονται ολοένα και μεγαλύτερες (για αύξηση της  $T_i$ ) από τις αντίστοιχες που θα είχαμε θεωρητικά, κάτι που φανερώνει ότι το πρόγραμμα, σε συνεργασία με την επαλήθευση που πραγματοποιείται μέσω των δύο εκφράσεων του βαθμού απόδοσης (σχέση (4.13)), διορθώνει, κατά κάποιο τρόπο, τις απώλειες ακτινοβολίας, εξισορροπώντας τις κατάλληλα, μέσω της συναγωγής που εισάγει ο εσωτερικός αέρας.
- Αξίζει να σημειωθεί ότι, αν η λωρίδα μας είχε απόσταση καλύμματος-απορροφητή ( $\delta$ ) ίση με 43.3mm, θα εμφάνιζε μεγαλύτερες απώλειες ακτινοβολίας από τις αντίστοιχες της λωρίδας με  $\delta=5.3$ mm, οι οποίες, όμως, θα εξισορροπούσαν επίσης, δεδομένης της προαναφερθείσας εξισορρόπησης, μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του εσωτερικού της αέρα ( $T_{ai\_43.3}$ ), για την οποία θα ίσχυε  $T_{ai\_43.3} > T_{ai\_5.3}$ , για κάθε  $T_i$ . Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο λωρίδων που θα έπρεπε να λάβουμε υπόψη μας είναι οι συντελεστές συναγωγής  $h_{cnv1}$  και  $h_{cnv2}$  που σε αυτή την περίπτωση θα ήταν διαφορετικοί (πιθανόν μικρότεροι) και, ίσως, άνισοι.

$T_i=50$  °C

- Επιπλέον, είδαμε από το **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.10** ότι η μεταφερόμενη, από το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα προς το νερό, θερμότητα, μειώνεται καθώς πλησιάζουμε προς την έξοδο, λόγω της όλο και υψηλότερης θερμοκρασίας που αποκτά το νερό, κάτι που οδηγεί στη μείωση του ρυθμού αύξησης της τελευταίας (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.9**).
- Επιπρόσθετα, παρατηρήσαμε στο **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.13** ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του αγωγού σημειώνει μικρή (σχετικά με το  $\Delta T_f=T_o-T_i$ ) αύξηση, ο ρυθμός της οποίας ολοένα και μεγαλώνει, γεγονός που έγκειται στο ότι το ρευστό που βρίσκεται στο κέντρο του αγωγού δεν έρχεται άμεσα σε επαφή με τα τοιχώματα του κυλίνδρου και κατά συνέπεια η μεταφορά θερμότητας προς αυτό εμφανίζει υστέρηση, δεδομένου ότι εντείνεται προς την έξοδο του αγωγού.
- Επίσης, βρέθηκε (**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.15**) ότι η ταχύτητα στο κέντρο του αγωγού βαίνει μειούμενη. Δεδομένου ότι, η ταχύτητα του περιφερειακού νερού αυξάνει όχι μόνο λόγω της μείωσης της πυκνότητας αυτού, αλλά και **λόγω της μείωσης των τριβών του με τα τοιχώματα του σωλήνα**, θα αυξάνει, συνεχώς, η διερχόμενη εκ της περιφέρειας παροχή μάζας, με αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστοιχης κεντρικής. Έτσι, λοιπόν, δικαιολογείται η μείωση της ταχύτητας παράλληλα με την αντίστοιχη της πυκνότητας.

- Ακόμη, φαίνεται ότι το άνω μέρος του αγωγού θερμαίνεται περισσότερο από το κάτω, λόγω του ότι το νερό εμφανίζει χαμηλότερες πυκνότητες στην εσωτερική πλευρά του πρώτου, σύμφωνα με τα **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 5.17 και 5.22**. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια δια ακτινοβολίας που δέχεται η άνω πλευρά του αγωγού είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια δια αγωγής που προσδίδεται στο κάτω μέρος αυτού από την πλάκα. Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ των δύο ενεργειών είναι αμελητέα, καθώς γίνεται αντιληπτή μόνο μέσω των πυκνοτήτων. Συνεπώς, τα θερμοκρασιακά πεδία των δύο ακραίων θέσεων παρουσιάζουν ομοιογένεια, κάτι που καθιστά τη ροή ομοιόμορφη και τονίζει το βασικό πλεονέκτημα της κατασκευαστικής διάταξης.
- Τέλος, η μέγιστη θερμοκρασία της πλάκας απορρόφησης δείχνει να έχει την ίδια συμπεριφορά με αυτή του νερού (μείωση του ρυθμού αύξησης), λόγω της εξασθένησης που σημειώνει η μεταφορά θερμότητας κατά την κατεύθυνση της ροής.

## ΠΗΓΕΣ

- [1] Solar thermal collectors and applications (Soteris A. Kalogirou)
- [2] Prediction of flat-plate collector performance parameters using artificial neural networks (Soteris A. Kalogirou)
- [3] Cover systems for high temperature flat-plate solar collectors (R. Gani and J. G. Symons)
- [4] Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects (Oussama Ibrahim , Farouk Fardoun, Rafic Younes, Hasna Louahlia-Gualous)
- [5] Simulation of an enhanced flat-plate solar liquid collector with wire-coil insert devices (R. Herrero Martin, J. Perez-Garcia, A. Garcia, F.J. Garcia-Soto, E. Lopez-Galiana)
- [6] A dynamic performance simulation model of flat-plate solar collectors for a heat pump system (E. A. Arinze, G. J. Schoenau, Shahab Sokhansanj, S. S. Adefila and S. M. Mumah)
- [7] The effect of inclination on the heat loss from flat-plate solar collectors (P. I. Cooper)
- [8] Analytical models for the computation and optimization of single and double glazing flat plate solar collectors with normal and small air gap spacing (Alison Subiantoro, Ooi Kim Tiow)
- [9] Free convection and shading due to gap spacing between an absorber plate and the cover glazing in solar energy flat-plate collectors (N. M. Nahar and H. P. Garg)
- [10] Water flat plate PV–thermal collectors: A review (Niccoló Aste, Claudio del Pero, Fabrizio Leonforte)
- [11] Εγκατάσταση και μελέτη εργαστηριακού ηλιακού συστήματος θερμικών καταναλώσεων (ΤΖΑΜΑΛΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ)
- [12] Ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης χώρου με χρήση υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης. (ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ)
- [13] Φυσική Συναγωγή (Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Μηχανικών Μηχανολογίας και Κατασκευαστικής, Σημειώσεις μαθήματος Μεταφοράς Θερμότητας)
- [14] Wavelength-Wikipedia
- [15] The influence of process parameters and coating properties of double glazing coated with transparent conducting oxides on the efficiency of solar-thermal flat-plate collectors (N. Ehrmann ., R. Reineke-Koch, S. Föste, F. Giovannetti)
- [16] Flat Plate Solar Collectors - The Absorption of Solar Radiation (docstoc.com)
- [17] Solar Collectors (INFORSE-EUROPE)
- [18] Poly-methyl-methacrylate (Wikipedia)
- [19] Thermoplastic (Wikipedia)
- [20] Performance of a solar collector with different glazing materials and their degradation under the condition prevailing in a solar collector (S. K. Das and A. Chakraverty)
- [21] Flow Design and Collector Performance of a Natural Circulation Solar Water Heater (Bukola O. Bolaji)
- [22] Solar thermal energy systems for building integration (Helena Gajbert)
- [23] Silica low-reflection coatings for collector covers, by a dip-coating process(K. Cathro, D. Constable and T. Solaga)
- [24] The effectiveness of the sustainable flowing water film in improving the solar-optical properties of glazing in the tropics (Abdultawab Qahtan, S.P. Rao, Nila Keumala)

- [25] High transmittance, low emissivity glass covers for flat plate collectors: Applications and performance (F. Giovannetti, S. Föste, N. Ehrmann, G. Rockendorf)
- [26] Surface modification of porous antireflective coatings for solar glass covers (G. San Vicente, R. Bayón, N. Germán, A. Morales)
- [27] Thermally Stable Antireflective Coatings Based on Nanoporous Organosilicate Thin Films (Suhan Kim, Jinhan Cho, and Kookheon Char)
- [28] Anti-reflecting and photonic nanostructures (S. Chattopadhyay, Y.F. Huang, Y.J. Jend, A. Ganguly, K.H. Chen, L.C. Chen)
- [29] AR Coating (NIDEK)
- [30] Reflectance (Amateur Telescope Optics)
- [31] TiNOX energy-solar absorber coatings (ALMECO SOLAR brochure)
- [32] The most efficient way of transforming sunlight into heat (TiNOX Titan-Absorber brochure)
- [33] Flat Panel Solar Absorber Ultrasonic Metal Weld Systems (Sonic Tool Company) (youtube.com)
- [34] TiNOX High Selective Coating. (youtube.com)
- [35] An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings (Madhukeshwara N., E. S. Prakash)
- [36] Improved device performance of AlGaInP-based vertical light-emitting diodes with low-n ATO antireflective coating layer (Hee Kwan Lee, Myung Sub Kim, Jae Su Yu)
- [37] Preparation of hydrophobic and abrasion-resistant silica antireflective coatings by using a cationic surfactant to regulate surface morphologies (Xiaoshan Meng, Yan Wang, Hongning Wang, Jing Zhong, Ruoyu Chen)
- [38] Large-scale antireflective coatings on glass produced by reactive magnetron sputtering (J. Szczyrbowski, G. Brauer, G. Teschner, A. Zmelty)
- [39] A novel route to prepare weather resistant, durable antireflective films for solar glass (Chongfei Xin, Cheng Peng, Yudong Xu, Jianqing Wu)
- [40] Solar Hot Water: Flat Plate Collectors in Depth (youtube.com)
- [41] Full plate ultrasonic welding for solar collector (youtube.com)
- [42] 1.1-Launch the solidworks for the first time (Solidworks Corporation video)
- [43] Low iron glass (Wiki answers)
- [44] UV degradation (Wikipedia)
- [45] Brown University – Physics Department
- [46] Sputtering (Wikipedia)
- [47] Physical Synthesis Techniques Physical Synthesis Techniques Thin Film Processes (Vossen & Kern, Academic Press)
- [48] A Supercharged Metal-Ion Generator (Berkeley lab)
- [49] PVD Sputtering Deposition (ETAFILM Technology)
- [50] Magnetron Sputtering (Materials science)
- [51] Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications (P.J Kelly , R.D Arnell)
- [52] Thin film preparation by pulsed laser deposition Sputter H (youtube.com)
- [53] Solar Engineering of Thermal Process (John A. Duffie, William A. Beckman)
- [54] Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης (Ξενοφών Κακάτσιος)