



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

ΜΑΝΣΟΥΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τζιβανίδη Χρήστο για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την άμεση βοήθειά του και την καθοδήγησή του για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Δημήτρη Παλλαντζά, υποψήφιο διδάκτωρ του τομέα θερμότητας μηχανολόγων μηχανικών, για την βοήθειά του καθόλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δικούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν σε όλο αυτό το διάστημα, ώστε με τη βοήθεια του Θεού να καταφέρω να ολοκληρώσω το ταξίδι μέχρι την απόκτηση του πτυχίου.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου που πορευτήκαμε μαζί κατά την διάρκεια ολόκληρων των σπουδών, βιώνοντας παρόμοιες εμπειρίες και συναισθήματα, αποκτώντας ένα μοναδικό δέσιμο που θα μας συντροφεύει στην πορεία της ζωής μας.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
1. Περιβάλλον, ενέργεια και κτίρια.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Ενέργεια και κτίρια.....	7
1.3 Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων.....	8
1.4 Τύποι ενεργειακών κτιρίων.....	11
2. Σχεδιασμός στοιχείου.....	13
2.1 Εισαγωγή στον σχεδιασμό.....	13
2.2 Κριτήρια μηχανολογικού σχεδιασμού.....	13
2.3 Υλικά και μηχανολογικός σχεδιασμός.....	15
2.4 In-house εξαρτήματα.....	16
3. Σύνθεση.....	17
3.1 Αρχικός σχεδιασμός.....	17
3.2 Πλαίσιο: προφίλ αλουμινίου.....	17
3.3 Μόνωση.....	19
3.4 Στοιχείο θερμοδιακοπής.....	21
3.5 Καπάκι.....	23
3.6 Γωνία - ένωση.....	24
3.7 Σύνδεση με τοίχο.....	25
3.8 Connection plastic.....	26
3.9 Gaskets (ελαστομερή).....	26
3.10 Λαβή Μεταφοράς.....	28
4. Το λογισμικό Solidworks.....	29
4.1 Σχεδιασμός εξαρτήματος στο Solidworks.....	29
4.2 Σύνολο εξαρτημάτων στο Solidworks.....	39
4.3 Ελάσματα στο Solidworks (sheet metal).....	53
4.4 Δημιουργώντας σχέδιο από εξάρτημα.....	61
5. Θερμικές ιδιότητες.....	64
5.1 Τιμή U-value του στοιχείου.....	64
5.2 Προσομοίωση σε εξωτερική τοιχοποιία.....	66
5.3 Προσομοίωση για ελεύθερη συναγωγή.....	67
6. Σχέδια.....	71
6.1 Προφίλ.....	71
6.2 Μόνωση.....	71

6.3 Εξαρτήματα.....	72
6.4 Καπάκι.....	73
Part 2: BMP 1089-99-18.....	74
6.5 Βάση στήριξης πάνω.....	74
6.6 Βάση στήριξης κάτω.....	75
6.7 Λαβή.....	76
6.8 Connection plastic.....	77
6.9 Τομές στοιχείου.....	78
7. Κατασκευαστικό στάδιο.....	79
7.1 Accessories/cuttings.....	79
7.2 Frame milling.....	80
7.3 Framing.....	80
7.4 Τοποθέτηση λαβής.....	82
7.5 Τοποθέτηση πάνω βάσεων.....	82
7.6 Τοποθέτηση κάτω βάσεων.....	83
7.7 Τοποθέτηση connection plastic.....	83
7.8 Τοποθέτηση μόνωσης.....	84
7.9 Τοποθέτηση καπακιού.....	85
7.10 Τελικό στοιχείο.....	85
7.11 Μεταφορά.....	86
8. Τοποθέτηση.....	87
8.1 Περιγραφή τοποθέτησης.....	87
8.2 Σύγκριση με συνήθεις τρόπους τοποθέτησης.....	88
9. Αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA).....	90
9.1 Τι είναι το LCA.....	90
9.2 Αξιολόγηση κύκλου ζωής των προϊόντων του στοιχείου.....	91
9.2.1 LCA του αλουμινίου.....	91
9.2.2 LCA του PVC.....	92
10. Οικονομικά.....	95
10.1 Οικονομική αξιολόγηση.....	95
11. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	98
11.1 Συμπεράσματα.....	98
11.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	98
12. Βιβλιογραφία.....	99

Περίληψη

Στη διπλωματική αυτή εξετάζεται η σχεδίαση ενός προκατασκευασμένου στοιχείου εξωτερικής μόνωσης για την ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων.

Περιγράφονται και ακολουθούνται τα στάδια του μηχανολογικού σχεδιασμού από την σύλληψη της αρχικής ιδέας έως και τον τελικό σχεδιασμό της λύσης του προβλήματος της αναβάθμισης. Εξετάζεται η επιλογή των υλικών που χρησιμοποιηθούν και ο σχεδιασμός τους.

Στη συνέχεια αναπτύσσονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής και περιγράφεται η μεταξύ τους σύνδεση ώστε να δημιουργήσουν ένα ενιαίο στοιχείο και παρουσιάζεται ο τρόπος χρήσης του λογισμικού που χρησιμοποιείται.

Ακολούθως, μελετώνται οι θερμικές ιδιότητες του στοιχείου και εξετάζεται η επίδραση της εφαρμογής του στα κτίρια ως προς το θερμομονωτικό κομμάτι καθώς και οι απώλειες που παρουσιάζει λόγω σχεδίου κατασκευής.

Παρατίθενται τα κατασκευαστικά σχέδια για την κατασκευή ενός τέτοιου στοιχείου και παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά στάδια που χρειάζονται για ένα τέτοιο στοιχείο αλλά και για τη διαδικασία μαζικής παραγωγής του.

Περιγράφεται ο τρόπος τοποθέτησης των στοιχείων και στη συνέχεια γίνεται μία ανάλυση του κύκλου ζωής των υλικών του στοιχείου.

Τέλος πραγματοποιείται μια οικονομική ανάλυση και αξιολόγηση της εφαρμογής τέτοιων στοιχείων σε κτίρια και κατοικίες, εξάγονται συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

Abstract

In this diploma thesis, the design of a prefabricated external insulation element for the energy upgrade of buildings is considered.

The stages of engineering design are described and followed from the conception of the initial idea to the final design of the solution of the upgrade. The choice of materials used and their design are examined.

In the sequel, the individual elements of the construction are presented in detail and the connection between them is described to create a single element and a short manual of the software that is used is given.

Next, the thermal properties of the element are studied and the effect of its application in buildings is examined in terms of the thermal insulation part as well as the losses it presents due to the design.

The engineering drawings for the manufacture of this element are presented and the manufacturing stages needed for such an element as well as for its mass production process are presented.

The installation of the elements is described and then a life cycle assessment of the element's materials is taking place.

Finally, a financial analysis and evaluation of the application of such elements in buildings and residences is carried out, conclusions are drawn and suggestions are made for future research on the subject.

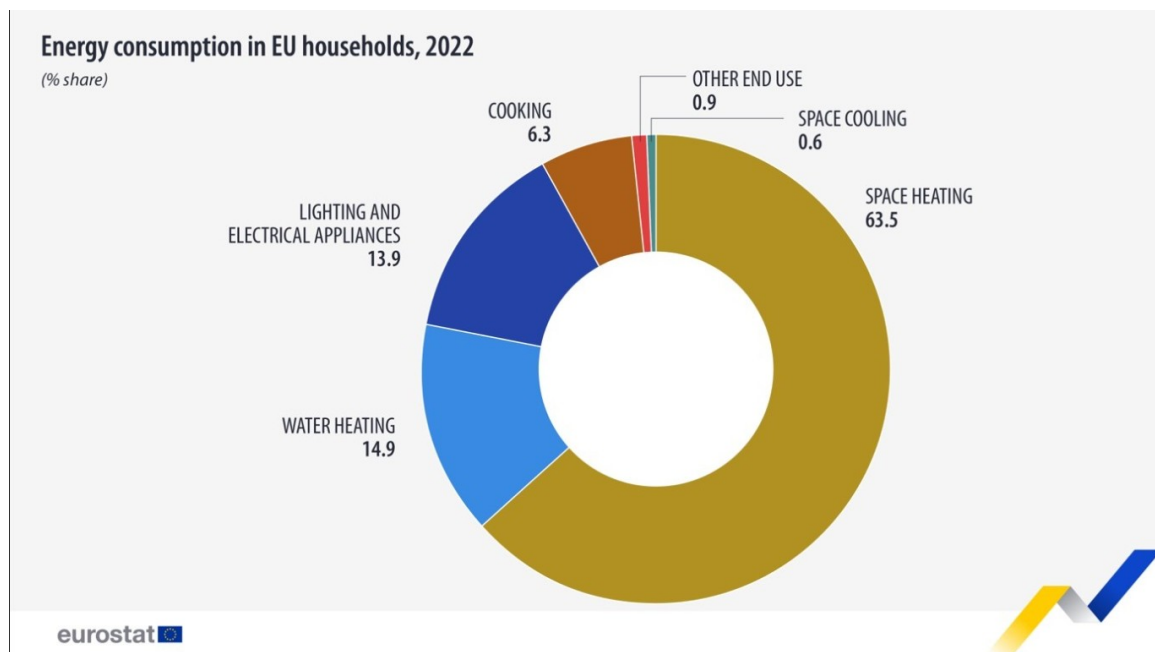
1. Περιβάλλον, ενέργεια και κτίρια

1.1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος από πάντα αλληλεπιδρούσε με το περιβάλλον. Τα αρχικά χρόνια της ανθρώπινης εξέλιξης δεν είχαν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς ο άνθρωπος δεν δημιουργούσε μεγάλες περιβαλλοντικές ζημιές. Τα τελευταία χρόνια αυτό έχει αλλάξει. Οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου πλέον δημιουργούν αρκετά σημαντικές περιβαλλοντικές ζημιές σε σημείο που το αποτύπωμά τους δεν προλαβαίνει να αποσβεστεί από τη φύση και συνεχώς αυξάνεται. Επομένως η ανθρωπότητα προσπαθεί πλέον να συντονιστεί συλλογικά ώστε να λυθεί το πρόβλημα της αποσταθεροποίησης του περιβάλλοντος. Αυτό συνοπτικά έγινε και γίνεται με διάφορες συμφωνίες όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο [1] , η Συμφωνία του Παρισιού [2] και άλλες συμφωνίες όπου έμμεσα ή άμεσα συμφωνείται η μείωση των ρύπων , της αύξησης της θερμοκρασίας και γενικά προκύπτει η ανάγκη για έκκληση πράσινης ενέργειας αλλά και ανάγκη για λιγότερη έκκληση ενέργειας γενικά.

1.2 Ενέργεια και κτίρια

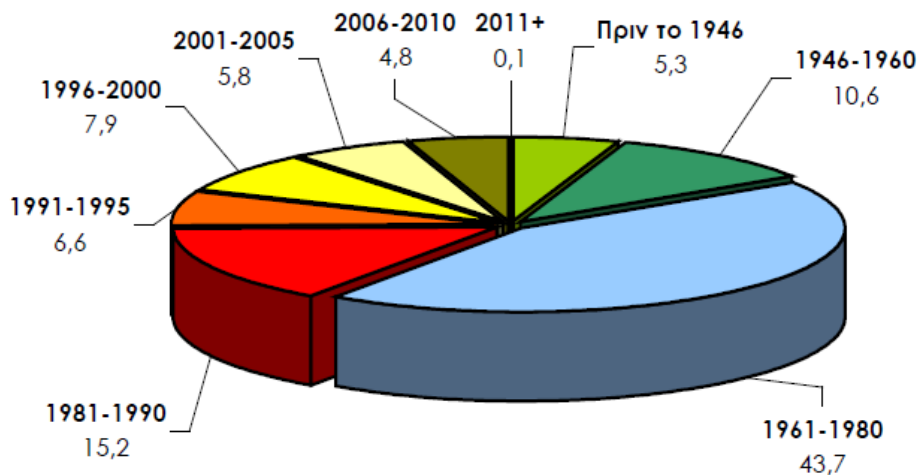
Η ενέργεια που καταναλώνουν τα κτίρια είναι 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται παγκοσμίως σύμφωνα με την iea (international energy agency). Επίσης σύμφωνα με μια έρευνα της eurostat [3] περίπου το 64% της ενέργειας που καταναλώνουν τα νοικοκυριά είναι για θέρμανση – κλιματισμό.



Εικόνα 1.1: Διάγραμμα κατανάλωσης ενέργειας σε κατοικίες στην Ευρώπη. [3]

Άλλη μία στατιστική έρευνα από την ΕΛΣΤΑΤ [4] δείχνει ότι όπως προέκυψε από τα στοιχεία της έρευνας, το 43,7% των κτιρίων έχει κατασκευαστεί /αποπερατωθεί τις δεκαετίες '60 και '70, ενώ μόλις το 18,6% από το 2000 και μετά. Επίσης το 52% των κατοικιών δεν είχε μόνωση. (αξίζει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία αυτά είναι από το 2011 δηλαδή πριν ισχύσει ο κανονισμός για καλύτερη μόνωση στην Ελλάδα κενακ. Αλλά είναι η πιο πρόσφατη έρευνα)

Γράφημα 6. Ποσοστιαία κατανομή (%) των κατοικιών κατά περίοδο κατασκευής



Εικόνα 1.2: Ποσοστιαία κατανομή των κατοικιών κατά περίοδο κατασκευής. [4]

1.3 Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων

Σύμφωνα με τον κ. Ιωάννη Κ. Καυκά, Μηχανολόγου Μηχανικού Π.Π. Meng, MSc, Τεχνικό Γραφείο ΑΚΚΙΔΑ [5]

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη βάση όχι μόνο στην συλλογή ενέργειας από κτιριακές εγκαταστάσεις (ηλιακά συστήματα , αιολικά συστήματα , γεωθερμία) αλλά και στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των κτιριακών εγκαταστάσεων. Για τα κτίρια που πρόκειται να χτιστούν στο μέλλον προβλέπονται λύσεις και σχεδιασμοί έτσι ώστε να είναι οικονομικά ως προς την ενέργεια που καταναλώνουν.

Τα ήδη υπάρχοντα κτίρια όμως έχουν πολύ μεγάλες ενεργειακές καταναλώσεις. Το κράτος προσπαθεί με διάφορα προγράμματα να ανακαινίσει τα ήδη υπάρχοντα κτίρια.

(π.χ. το πρόγραμμα «**Εξοικονομώ – Ανακαινίζω για νέους**» εντάσσεται στα έργα που υποστηρίζονται από το Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας και έχει ως στόχο την προώθηση της εθνικής και ενωσιακής ενεργειακής πολιτικής για την εξοικονόμηση ενέργειας, μέσω της αναβάθμισης της ενεργειακής κλάσης των νοικοκυριών, κατά τουλάχιστον 3 ενεργειακές κατηγορίες (πάνω από 30% εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας). Η συνολική επένδυση των προγραμμάτων “Εξοικονομώ” θα συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας κατά τουλάχιστον 213 ktoe (ισοδύναμοι τόνοι πετρελαίου) ετησίως και στην ενεργειακή ανακαίνιση κατ’ ελάχιστον 105.000 κατοικιών έως το 2025. Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται για τη στήριξη των φτωχών και

ευάλωτων νοικοκυριών με τη μορφή αυξημένου ποσοστού επιχορηγήσεων και χωριστού προϋπολογισμού 40 εκατομμυρίων Ευρώ.

Το Πρόγραμμα δίνει παράλληλα, τη δυνατότητα επιχορήγησης για εργασίες ανακαίνισης, σε κατοικίες που θα αναβαθμιστούν ενεργειακά, με σκοπό την ολοκληρωμένη αναβάθμισή τους (ενεργειακή – λειτουργική – αισθητική).

Η ενεργειακή αναβάθμιση συνήθως αποτελείται από μία ή περισσότερες από τις εξής ενέργειες:

1. **Πρόσθεση εξωτερικής θερμοπρόσοψης κελύφους (εξωτερική μόνωση).** Το σύστημα εξωτερικής θερμοπρόσοψης αποτελείται από θερμομονωτικό υλικό, όπως η διογκωμένη πολυστερίνη, ο πετροβάμβακας ή η εξηλασμένη πολυστερίνη, το οποίο «σοβατίζεται» με ένα πολυμερισμένο κονίαμα, για να προσφέρει ισχυρή μηχανική αντοχή και στεγανοποίηση. Εφαρμόζεται στην εξωτερική πλευρά των κτιρίων, σε νέες ή παλαιές κατοικίες και προστατεύει τις επιφάνειες από υγρασία, διότι δεν δημιουργούνται συνθήκες υγροποίησης υδρατμών. Με τον τρόπο αυτό, ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες του κτιρίου από τους εξωτερικούς τοίχους και έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα στην εξοικονόμηση ενέργειας κυρίως τους θερινούς μήνες, ως και 65% ανάλογα με το κτίριο, την περιοχή και τον προσανατολισμό του. Επίσης, μειώνει το κόστος συντήρησης του κτιρίου προστατεύοντας τα στοιχεία του σκυροδέματος από ρηγματώσεις.
2. **Θερμό-υγρομόνωση οροφής.** Η θερμομόνωση της οροφής και εν γένει της ταράτσας αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο. Λόγω καθημερινής καταπόνησης από τις καιρικές συνθήκες, το δώμα αποτελεί το πιο ευπαθές δομικό στοιχείο σε ένα κτίριο. Υπάρχουν σήμερα εξαιρετικές λύσεις θερμομόνωσης των δωματίων που μειώνουν σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Το δώμα πρέπει να θερμομονώνεται και για έναν πρόσθετο λόγο, αυτόν της προστασίας της πλάκας από τη διάβρωση και τις καιρικές μεταβολές που σταδιακά την αποσθρώνουν. Πρέπει να τονίσουμε ότι, όταν θερμομονώνουμε την πλάκα της ταράτσας επιτυγχάνεται παράλληλα και η υγρομόνωσή της, το αντίστροφο δεν ισχύει.
3. **Τοποθέτηση Φωτοβολταϊκών συστημάτων.** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να συλλέξουν ένα μέρος της ενέργειας από τον ήλιο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου.
4. **Τοποθέτηση Ηλιοθερμικών Συστημάτων.** Τα ηλιοθερμικά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια. Αυτά τα συστήματα δεν παράγουν ηλεκτρισμό αλλά ζεστό νερό για οικιακή χρήση.
5. **Αντικατάσταση Κουφωμάτων και υαλοπινάκων.** Τα χωρίς συγκεκριμένες προδιαγραφές παλαιά αλουμινένια ή ξύλινα κουφώματα με μονό απλό υαλοπίνακα αλλά και με ελλιπή αεροστεγανότητα ευνοώντας τον αθέλητο αερισμό αντικαθίστανται. Τα παλιά κουφώματα ευθύνονται, σε μεγάλο ποσοστό, για τις απώλειες θερμότητας ενός κτιρίου. Αντιθέτως, η αντικατάσταση των παλαιών κουφωμάτων με σύγχρονα, πιστοποιημένα και ενεργειακά αποδοτικά κουφώματα που διαθέτουν ενεργειακά τζάμια μικρής θερμοχωρητικότητας εξασφαλίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας.
6. **Τοποθέτηση Σκιάστρων.** Υπάρχουν πολυποίκιλα ήδη σκιάστρων όπως τα εξωτερικά (π.χ. περσίδες, στέγαστρα, τέντες, πατζούρια κ.α.) ή τα εσωτερικά (π.χ. περσίδες, κουρτίνες,

rollers κ.α.), τα κινητά ή/και τα σταθερά, τα διάτρητα ή τα συμπαγή. Τα εξωτερικά σκίαστρα τοποθετούνται για προστασία περισσότερο τους καλοκαιρινούς μήνες σε προσανατολισμούς (νότιους, νοτιοανατολικούς και νοτιοδυτικούς) με μεγάλη θερμική επιβάρυνση λόγω ηλιασμού. Πιο συνηθισμένη μορφή σκιάστρων είναι οι τέντες, οι οποίες τοποθετούνται πλέον χωρίς συγκεκριμένο προσανατολισμό με γνώμονα τον περιορισμό «προσβασιμότητας» και ελέγχου του ιδιωτικού χώρου των ενοίκων. Από την άλλη, με τα εσωτερικά σκίαστρα περιορίζεται η σκίαση μόνο στα σημεία των κουφωμάτων με συνέπεια το κέλυφος του κτιρίου να εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος, μια μορφή σκιάστρων είναι και ο πρόβολος των βεραντών, με το εκτιμώμενο κόστος να κυμαίνεται ανάλογα με το είδος, τον μηχανισμό και τον τρόπο εγκατάστασης εσωτερικά (περσίδες) ή εξωτερικά (τέντες-στέγαστρα).

7. **Εσωτερικοί και Εξωτερικοί Χρωματισμοί οικίας.** Η συνήθης πρακτική σε κάθε σπίτι, κάθε καλοκαίρι είναι ο χρωματισμός ή αλλιώς φρεσκάρισμα των επιφανειών του σπιτιού, είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά. Τώρα πια με αυτή την απλή διαδικασία και με πιο οικονομική λύση, μπορούμε ταυτόχρονα να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας των κτιρίων. Βάφοντας το κτίριο με χρώματα εξοικονόμησης ενέργειας και υψηλής αντανακλαστικότητας. Χρώματα τα οποία λόγω των υλικών τους παίρνουν ανοιχτές αποχρώσεις το καλοκαίρι για να αντανακλούν τον ήλιο (και να μη διαπερνάει η ακτινοβολία στο εσωτερικό) και σκουραίνουν τον χειμώνα ώστε να απορροφούν ηλιακή ενέργεια (και να ζεσταίνεται πιο πολύ το σπίτι). Επίσης μειώνουν τη θερμοκρασία των δομικών υλικών δημιουργώντας μια μεμβράνη προστασίας.
8. **Αναβάθμιση Συστήματος Θέρμανσης-Ψύξης.** Η αναβάθμιση των θερμικών συστημάτων, είτε είναι κεντρικά είτε αυτόνομα, θεωρείται μια από τις σημαντικές ενεργειακές παρεμβάσεις σε μια κατοικία. Τα συστήματα αυτά όσο περνάει ο χρόνος γίνονται όλο και περισσότερο ενεργοβόρα και για αυτό πρέπει να αντικατασταθούν με συστήματα νέας γενιάς, με πιστοποιημένες ιδιότητες και σύμφωνα με μελέτη εξειδικευμένου μηχανικού, ώστε να μην καταναλώνουν άσκοπα ενέργεια. Τα συμβατικά θερμικά συστήματα αποτελούνται από τον λέβητα – καυστήρα (πετρελαίου ή φυσικού αερίου), τις σωληνώσεις, τον κυκλοφορητή και τα θερμαντικά σώματα. Μια εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης θεωρείται επιτυχημένη, όταν θερμαίνει σωστά και όσο πρέπει και εφόσον λειτουργεί οικονομικά και με ασφάλεια. Ένα αρκετά διαδεδομένο σύστημα θέρμανσης είναι το φυσικό αέριο. Αρκετές πολυκατοικίες έχουν προβεί στην αντικατάσταση, είτε συλλογικά είτε μεμονωμένα ανά διαμέρισμα, του λέβητα-καυστήρα πετρελαίου, με καυστήρα φυσικού αερίου. Με το φυσικό αέριο εξοικονομείται χώρος στην κατοικία γιατί δε χρειάζεται δεξαμενή πετρελαίου, ενώ ένας μικρός επίτοιχος λέβητας μπορεί να θερμάνει χώρο ίσο με 200m². Επιπλέον η καύση του δημιουργεί τη μικρότερη ρύπανση σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα, προστατεύοντας το περιβάλλον. Το δεύτερο διαδεδομένο σύστημα θέρμανσης για μεμονωμένες κατοικίες, το οποίο και αποφέρει μεγάλη ενεργειακή αναβάθμιση αλλά και σύντομη απόσβεση στον χρήστη είναι η αντλία θερμότητας, η οποία μπορεί να αποφέρει και 65% ενεργειακή βελτίωση στην κατοικία.

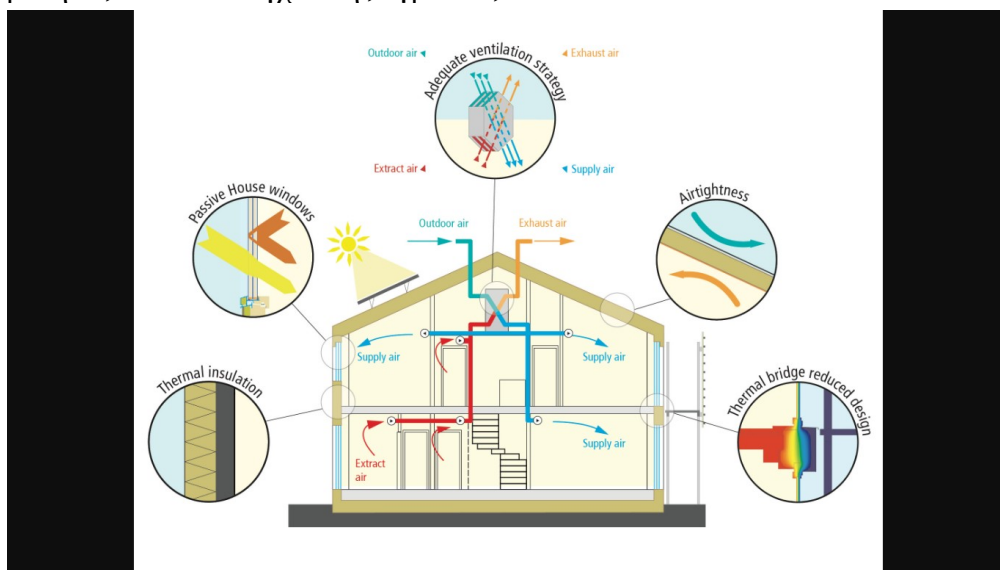
1.4 Τύποι ενεργειακών κτιρίων

Είναι σημαντικό να δοθούν οι 2 κυριότεροι τύποι κτιρίων που προσπαθούν να επιτευχθούν σήμερα ώστε να υπάρχει ένας στόχος για το πόσο κοντά σε αυτά μπορούν να βρεθούν τα ανακαινισμένα κτίρια.

Παθητικά κτίρια

Τα παθητικά κτίρια προσπαθούν να επιτύχουν μηδενικές απώλειες ενέργειας μεταξύ περιβάλλοντος και εσωτερικού του κτιρίου. Οι 5 βασικές αρχές για να το επιτύχουν είναι:

1. **Μόνωση:** Τα δομικά στοιχεία του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου πρέπει να έχουν πολύ καλή μόνωση. Η επαρκής μόνωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διατηρεί τη ζέστη μέσα στο κτίριο, ενώ το καλοκαίρι την εμποδίζει να εισέλθει μέσα σε αυτό. Η μόνωση του κτιρίου πρέπει να διαθέτει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\leq 0,1 \text{ W/mK}$, με στόχο η τιμή U του κελύφους να κυμαίνεται μεταξύ $0,10$ και $0,25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.
2. **Αεροστεγανότητα του κτιρίου:** Χρειάζεται να είναι σχεδιασμένα με τέτοιον τρόπο, ώστε να αποφεύγονται οι διαρροές αέρα στο κτιριακό κέλυφος και να εμποδίζεται η εμφάνιση ρευμάτων αέρα και φθορών από την υγρασία.
3. **Απουσία θερμογεφυρών:** Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του κτιριακού κελύφους στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των θερμογεφυρών, εξασφαλίζοντας ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας και άνεσης εσωτερικού χώρου, ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.
4. **Ενεργειακά κουφώματα και υαλοπίνακες:** Τα κουφώματα πρέπει να είναι καλά μονωμένα και να είναι εφοδιασμένα με υαλοπίνακες χαμηλής αντανάκλασης. Το προφίλ των υαλοπινάκων πρέπει να παρουσιάζει μέγιστη τιμή θερμικής διαπερατότητας $U=0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ και συνολική ηλιακή διαπερατότητα g -αξία (ποσοστό ηλιακής ενέργειας που διατίθεται στο δωμάτιο) γύρω στο $0,5$.
5. **Αερισμός με Ανάκτηση Θερμότητας:** Τα συστήματα αερισμού των Παθητικών κτιρίων χρειάζεται να παρέχουν καθαρό αέρα με μέγιστη ενεργειακή απόδοση μέσω της ανάκτησης θερμότητας και του ελέγχου της υγρασίας.

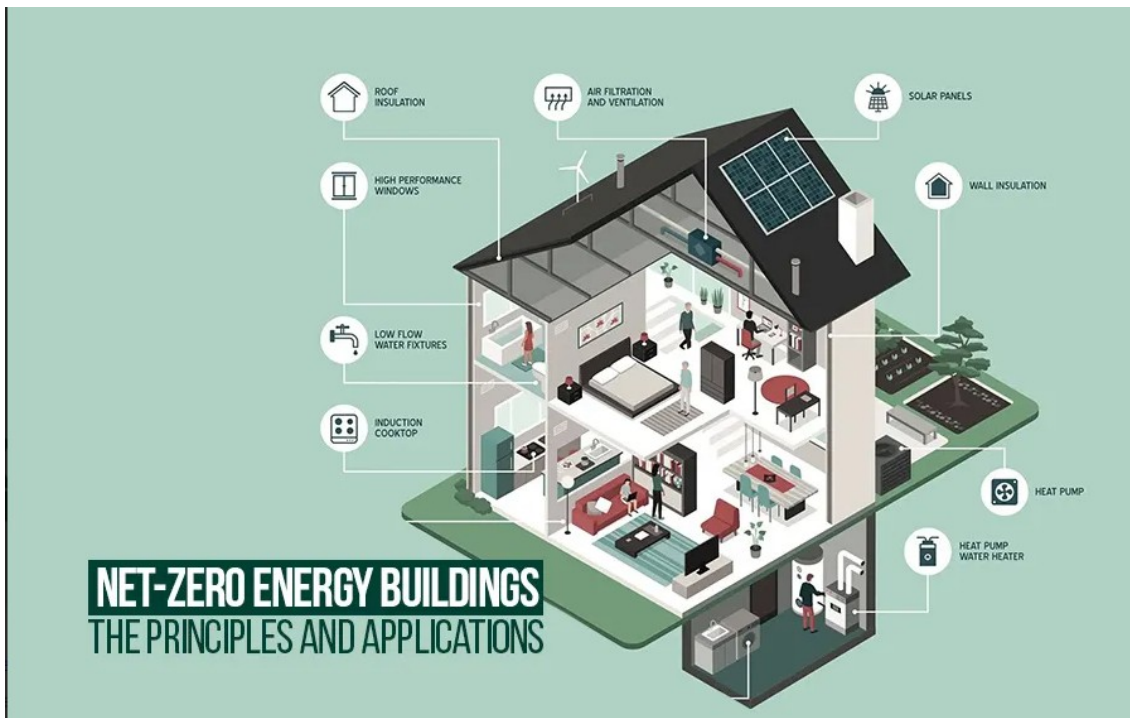


Εικόνα 1.3: Οι βασικές αρχές παθητικού κτιρίου [6]

Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης

Δεν υπάρχει ένας ξεκάθαρος ενιαίος ορισμός για το τι είναι ένα κτίριο μηδενικής κατανάλωσης. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των διαφορών ανάμεσα στα διάφορα κράτη, αλλά και λόγω των πολλών διαφορετικών κριτηρίων που μπορούν να εισαχθούν για τέτοια κτίρια. Η φιλοσοφία ωστόσο πίσω από αυτούς του ορισμούς είναι παρόμοια.

Γενικά, ως κτίριο μηδενικής κατανάλωσης χαρακτηρίζεται αυτό που στη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου παράγει όσο ποσό ενέργειας θα καταναλώσει στο διάστημα αυτό. Η χρονική αυτή περίοδος συνήθως αναφέρεται σε διάστημα ενός έτους. Η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 1.4: Παράδειγμα κτιρίου μηδενικής κατανάλωσης [7]

2. Σχεδιασμός στοιχείου

2.1 Εισαγωγή στον σχεδιασμό

Τα κύρια 7 στάδια του σχεδιασμού είναι τα εξής: [8]

1. Γενικός ορισμός προβλήματος: Αναγνώριση του προβλήματος και ανάγκη για λύση
2. Μηχανολογικός ορισμός: Τι ζητάμε τεχνικά από τη λύση
3. Ιδέες σχεδιαστικές: Ανάπτυξη διάφορων ιδεών που μπορεί να επιφέρουν λύση
4. Σύνθεση: Επιλογή μίας πρώτης ιδέας προς ανάλυση
5. Μοντέλο προς ανάλυση: Δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου της ιδέας για επίλυση
6. Ανάλυση , πείραμα και βελτιστοποίηση: Στοιχεία μηχανών , ανάλυση τάσεων-παραμορφώσεων , πεπερασμένα στοιχεία
7. Τελική παρουσίαση της ιδέας: Λεπτομερή σχέδια , κατάλογοι τεμαχίων

Ανατροφοδότηση και επαναλήψεις μπορούν να συμβαίνουν σε κάθε στάδιο

2.2 Κριτήρια μηχανολογικού σχεδιασμού

Επίσης αναφέρονται και τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού που πρέπει να τηρούνται και σχετίζονται άμεσα με την συνολική ποιότητα του τελικού προϊόντος/λύσης. [8]

1. Αντοχή
Η ικανοποίηση της θεμελιώδους ανισότητας της αντοχής είναι η βάση κάθε μηχανολογικού σχεδιασμού. Αυτή η ανισότητα μας λέει ότι οι τάσεις στο δυσμενέστερα καταπονούμενο σημείο ενός στοιχείου δεν πρέπει να υπερβαίνουν το όριο διαρροής ή το όριο θραύσης του στοιχείου και μάλιστα να απέχουν από το όριο N φορές όπου N ο συντελεστής ασφαλείας.
2. Αξιοπιστία
Αξιοπιστία είναι η ικανότητα που έχει ένα στοιχείο σύστημα ή διαδικασία να διατηρεί τις ιδιότητες , ικανότητες και τις λειτουργίες για τις οποίες έχει προδιαγραφεί
3. Ασφάλεια
Η ασφάλεια στη χρήση του προϊόντος είναι βασική προαπαίτηση κάθε επιτυχημένου σχεδιασμού.
4. Βάρος
Από όλες τις δυνατές λύσεις πάντα επιδιώκουμε εκείνη με το μικρότερο βάρος. Από μαθηματικής απόψεως, το βάρος μιας κατασκευής αποτελεί μια αντικειμενική συνάρτηση, της οποίας αναζητούμε την ελάχιστη τιμή.

5. Διάβρωση
Αν το προϊόν που πρόκειται να σχεδιαστεί θα λειτουργήσει σε διαβρωτικό περιβάλλον τότε απαιτείται κατάλληλη επιλογή αντιδιαβρωτικού υλικού.
6. Έλεγχος ποιότητας
Είναι ο δειγματοληπτικός έλεγχος των παραγόμενων προϊόντων ως προς την αξιοπιστία τους.
7. Επιφανειακή κατεργασία
Οι διάφορες επιφανειακές κατεργασίες που υπάρχουν δίνουν διάφορες ποιότητες επιφανειών, αντοχής, ψαθυρότητας και σκληρότητας.
8. Ευκαμψία
Εύκαμπτη κατασκευή είναι αυτή που σε επενέργεια εξωτερικού φορτίου παρουσιάζει μεγάλες μετατοπίσεις ενώ στιβαρή (δύσκαμπτη) εκείνη που παρουσιάζει μικρές. Άλλοτε επιθυμούμε μία κατασκευή να έχει μικρή παραμόρφωση και άλλοτε μεγάλη.
9. Στιβαρότητα
Ο σχεδιασμός ως προς τη στιβαρότητα είναι πολλές φορές πιο καθοριστικός όσον αφορά τις διαστάσεις από το σχεδιασμό σε αντοχή.
10. Θερμικές ιδιότητες
Κατά τον σχεδιασμό η θερμική αγωγιμότητα, οι μονωτικές ή όχι δυνατότητες και η δυνατότητα απαγωγής θερμότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.
11. Θόρυβος
Κατά την λειτουργία των μηχανών προκαλούνται μηχανικές ταλαντώσεις και θόρυβος. Ο σχεδιασμός έχει σαν στόχο αφ' ενός τη μείωση του παραγόμενου θορύβου και αφ' ετέρου την παρεμπόδιση της διάδοσης του θορύβου.
12. Κατεργασία
Ο σχεδιασμός πρέπει να προβλέπει τις απαραίτητες μηχανουργικές ή θερμικές κατεργασίες που είναι απαραίτητες για την κατασκευή. Ο σωστός σχεδιασμός επιταχύνει την κατασκευή.
13. Κόστος
Όπως επιδιώκεται το ελάχιστο βάρος, έτσι επιδιώκεται και εκείνη η λύση με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Από μαθηματικής απόψεως, το κόστος μιας κατασκευής αποτελεί μια αντικειμενική συνάρτηση, της οποίας αναζητούμε την ελάχιστη τιμή.
14. Λίπανση
Στοιχεία κατασκευών ή μηχανών τα οποία βρίσκονται ταυτόχρονα σε επαφή και σε σχετική κίνηση μεταξύ τους πρέπει να λιπαίνονται. Η λίπανση έχει ως αποτέλεσμα την απόσβεση των προκαλούμενων ταλαντώσεων, τη μείωση της φθοράς των στοιχείων και τη μικρότερη απώλεια ενέργειας.
15. Μέγεθος
Πολλές φορές το στοιχείο πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένους προσδιορισμούς διαστάσεων, ανάλογα με την αποστολή και το διαθέσιμο χώρο.

16. Μορφή

Η μορφή του στοιχείου πρέπει να ικανοποιεί τις λειτουργικές προδιαγραφές καθώς επίσης διατηρώντας τους βασικούς κανόνες αισθητικής.

17. Όγκος

Ο μικρός όγκος είναι επιθυμητός όταν δεν επηρεάζεται η απόδοση.

18. Στυλ-εμφάνιση

Η εμφάνιση, η αισθητική, η συμμετρία είναι βασικοί κανόνες σχεδιασμού που επηρεάζουν την απόδοση του προϊόντος.

19. Συντήρηση

Εκτός από το σχεδιασμό μιας μηχανής πρέπει να σχεδιάζεται και η συντήρησή της με συγκεκριμένες οδηγίες περιοδικών ελέγχων και αλλαγών. Η συντήρηση πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη και γρήγορη.

20. Τριβή

Στοιχεία που βρίσκονται σε συνθήκες τριβής μεταξύ τους πρέπει να σχεδιάζονται με το λιγότερο δυνατό συντελεστή τριβής και επομένως μεγαλύτερη απόδοση.

21. Φθορά

Η φθορά ενός στοιχείου είναι απαραίτητο να προδιαγραφεί. Άλλοτε επιθυμούμε γρήγορη φθορά ενός στοιχείου και άλλοτε το μικρότερο ρυθμό φθοράς.

22. Χρόνος ζωής

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος καθορίζει και τη διάρκεια ζωής κάθε στοιχείου του. Άλλοτε θεωρείται απαραίτητος ο “άπειρος χρόνος ζωής” και άλλοτε ο πεπερασμένος χρόνος.

2.3 Υλικά και μηχανολογικός σχεδιασμός

Η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε μία κατασκευή ανήκει στο κομμάτι του σχεδιασμού. Κάθε εφαρμογή έχει κάποιες επιθυμητές ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιεί (βάρους, ευκαμψία, μέγεθος κ.α.) και αυτές απορρέουν άμεσα από τα υλικά που αποτελείται.

Τα υλικά χωρίζονται σε μέταλλα, πολυμερή, ελαστομερή, κεραμικά, γυαλί και συνδυασμός αυτών που ονομάζονται σύνθετα υλικά.

Οι ιδιότητες των υλικών χωρίζονται σε κατηγορίες [8]

- Οι φυσικές ιδιότητες: πυκνότητα, θερμοκρασία τήξης και θερμοκρασία βρασμού κ.α.
- Οι μηχανικές ιδιότητες: το όριο θραύσης, διαρροής, το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο διάτμησης/στρέψης και ο λόγος Poisson
- Οι θερμικές ιδιότητες: ο συντελεστής διαστολής, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και η θερμοχωρητικότητα κ.α.
- Οι χημικές ιδιότητες: Συνήθως πέρα από τη διάβρωση και ειδικές εφαρμογές δεν έχουν σημασία για το μηχανολογικό σχεδιασμό.
- Επίσης το κόστος των υλικών μπορεί να τα κατηγοριοποιήσει σε φθηνά και ακριβά.

Η επιλογή του υλικού εξαρτάται από τις προδιαγραφές της κατασκευής, τα φορτία, τις συνδέσεις, την εμφάνιση και τις κατεργασίες της. Επίσης εξαρτάται από το κόστος (υλικού και διαδικασιών επεξεργασίας του) και από άλλους παράγοντες όπως η αισθητική. Δεν υπάρχει μοναδικό κατάλληλο υλικό για κάθε εφαρμογή.

2.4 In-house εξαρτήματα

Σε μία διαδικασία παραγωγής ο κατασκευαστής μπορεί να επιλέξει το στοιχείο που κατασκευάζει ή κάποια μέρη από αυτό να δημιουργούνται στο εργοστάσιο. Αντίθετα μπορεί να επιλέξει να εισάγει από άλλους κατασκευαστές ένα ή ακόμα και όλα τα μέρη που χρειάζεται για να κατασκευάσει το στοιχείο που θέλει.

Αν ένα εξάρτημα μπορεί να κατασκευαστεί in-house τότε αυτό έχει διάφορα πλεονεκτήματα όπως την ακρίβεια στον σχεδιασμό του ώστε να συνεργάζεται πλήρως με τα επιμέρους μέρη του στοιχείου, τη δυνατότητα πολύ καλού οικονομικού σχεδιασμού που έχει να κάνει με την κατασκευή και διάθεση του στοιχείου και άλλα.

Συνήθως ο κατασκευαστής δεν έχει τα απαραίτητα μέσα για να κατασκευάσει όλα τα μέρη In-house (λόγω έλλειψης τεχνογνωσίας, κατασκευαστικών εργαλείων, αρχικού κεφαλαίου, εγκαταστάσεων κ.α.). Οπότε πρέπει να συνεργαστεί με άλλους κατασκευαστές και να σχεδιάσει το στοιχείο του κατάλληλα ώστε να συνεργάζεται με τα κομμάτια που θα προμηθευτεί από αυτούς.

Γενικά η δυνατότητα να σχεδιάζονται όλα τα μέρη in-house είναι ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα σε μία κατασκευαστική εταιρεία. [8]

3. Σύνοψη

3.1 Αρχικός σχεδιασμός

- Γενικός ορισμός προβλήματος:

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα το πρόβλημα της ενεργειακής αναβάθμισης ολοένα και μεγαλώνει.

- Μηχανολογικός ορισμός:

Τεχνικά από τη λύση ζητάμε έναν τρόπο για εύκολη ενεργειακή αναβάθμιση. Το στοιχείο θα πρέπει να είναι γρήγορα τοποθετήσιμο χωρίς να χρειάζεται εξειδίκευση και θα πρέπει να είναι κατάλληλο για όλες τις κατοικίες. Επίσης είναι σημαντικό να είναι προϊόν μαζικής παραγωγής.

- Ιδέες σχεδιαστικές:

Η τελική πρόταση μπορεί να βασιστεί πάνω στους 8 τρόπους ενεργειακής αναβάθμισης των κατοικιών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα (1.3. Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων)

- Επιλογή σχεδιαστικής λύσης:

Η ιδέα βασίζεται στην πρόσθεση εξωτερικής θερμοπρόσοψης κελύφους και στην ευκολία που παρέχουν τα προκατασκευασμένα στοιχεία κτιρίων (προκάτ τοίχοι , παράθυρα κ.τλ.) για συναρμολόγηση , κόστος και στο χρόνο περάτωσης του έργου. Ουσιαστικά θα σχεδιαστεί ένα προκατ τμήμα τοίχου που θα μπορεί να τοποθετηθεί με ευκολία στο ήδη υπάρχον κτίριο βελτιώνοντας την ενεργειακή του απόδοση.

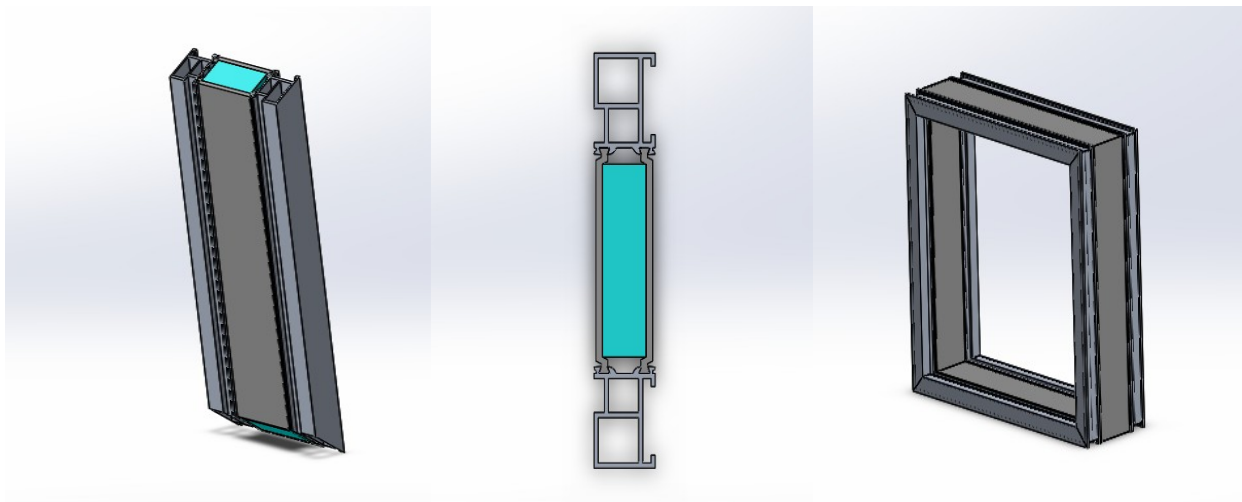
Στην αρχή η ιδέα είναι πολύ απλή και γενική. Θα είναι ένα δοχείο (κουτί) που θα περιέχει κομμάτι μόνωσης και θα συνδέεται με κάποιο τρόπο στον τοίχο της κατοικίας. Όσο όμως εφαρμόζονται τα κριτήρια σχεδιασμού πάνω στην ιδέα, αυτή γίνεται όλο και πιο συγκεκριμένη έως την τελική ιδέα.

Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται είναι το στοιχείο να είναι πολύ ελαφρύ και με πολύ μικρό κόστος. Επίσης ένας ακόμα επιθυμητός περιορισμός είναι ως προς το μέγεθος καθώς θα πρέπει να είναι εργονομικό και να μπορεί να διαχειρίζεται από έναν άνθρωπο.

3.2 Πλαίσιο: προφίλ αλουμινίου

Περιγραφή

Το εξωτερικό μέρος του στοιχείου θερμομόνωσης είναι το πλαίσιο. Το πλαίσιο του στοιχείου δέχεται όλες σχεδόν τις μηχανικές καταπονήσεις που μπορεί να δεχθεί το στοιχείο οπότε πρέπει να αντέχει. Επίσης αποτελεί και το πιο βαρύ μέρος του στοιχείου οπότε είναι σημαντικό να είναι όσο πιο ελαφρύ γίνεται. Το πλαίσιο αποτελείται από το προφίλ του αλουμινίου και ανάμεσα είναι η θερμοδιακοπή και μόνωση. Τα προφίλ ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματιστεί ένα πλαίσιο.



Εικόνα 3.1: Προφίλ και πλαίσιο αλουμινίου

Υλικό

Το αλουμίνιο είναι ένα πολύ συχνά καθορισμένο υλικό για χρήση σε εξώθηση και προφίλ σχήματος επειδή διαθέτει μηχανικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για τη διαμόρφωση του μετάλλου. Η υψηλή ευκαμψία του αλουμινίου σημαίνει ότι το μέταλλο μπορεί εύκολα να διαμορφωθεί σε μια ποικιλία τμημάτων χωρίς να δαπανά σημαντική ενέργεια στη διαδικασία εργαλείων ή σχηματισμού, και το σημείο τήξης του αλουμινίου είναι επίσης γενικά στη σειρά του μισού αυτού του συνηθισμένου χάλυβα. Και τα δύο αυτά γεγονότα σημαίνουν ότι η διαδικασία εξώθησης αλουμινίου έχει σχετικά χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα που μεταφράζεται σε χαμηλό κόστος εργαλείων και κατασκευής. Τέλος, το αλουμίνιο διαθέτει υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος, καθιστώντας το μια εξαιρετική επιλογή για βιομηχανικές εφαρμογές.

Κατεργασία διαμόρφωσης

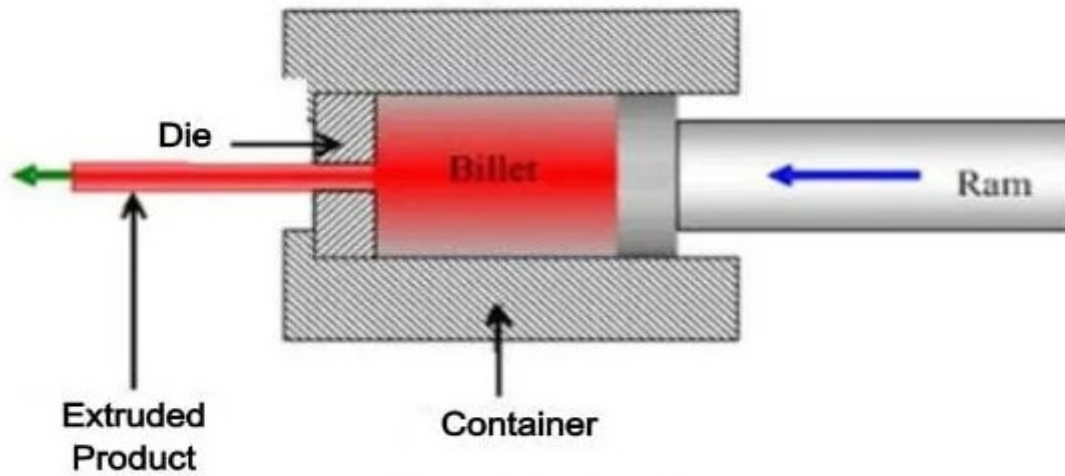
Η εξώθηση αλουμινίου είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει την ώθηση ενός μεταλλικού υλικού αλουμινίου μέσω ενός κυλίνδρου (μήτρας) συγκεκριμένης διατομής. Οι εξωθήσεις αλουμινίου μοιάζουν με ένα διογκωμένο εξάρτημα με περίπου το ίδιο πάχος με το άνοιγμα της μήτρας αλουμινίου.

Συνήθως, αυτή η διαδικασία εξώθησης περιλαμβάνει τη μετατροπή ενός πλινθώματος εξώθησης σε ένα αδιάκοπο κομμάτι της ομοιόμορφης διατομής ωθώντας το να τρέξει υπό εξαιρετικά υψηλή πίεση μέσω ενός ανοίγματος μήτρας σχεδιασμένου σε παρόμοια εμφάνιση με το άνοιγμα της μήτρας.

Η εξώθηση αλουμινίου μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεσα ή έμμεσα. Η πιο κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική εξώθησης αλουμινίου είναι η άμεση εξώθηση. Η κεφαλή της μήτρας διατηρείται ακίνητη μέσω έμμεσης εξώθησης, ενώ η πλάκα αλουμινίου οδηγείται μέσω της μήτρας από ένα κινούμενο έμβολο.

Το σχήμα του προφίλ είναι αρκετά απλό και εξυπηρετεί την αντοχή στα φορτία που θα δεχτεί και την σύνδεση με το στοιχείο της θερμοδιακοπής. Επίσης πρέπει να έχει κατάλληλη διαμόρφωση για να συνδέεται με το στοιχείο της γωνίας και τα (στοιχεία των ελαστικών). Έπειτα υπόκειται και σε διαδικασία κοπής κατά 45° στα άκρα.

Εικόνα 3.2:



Εξώθηση αλουμινίου [9]

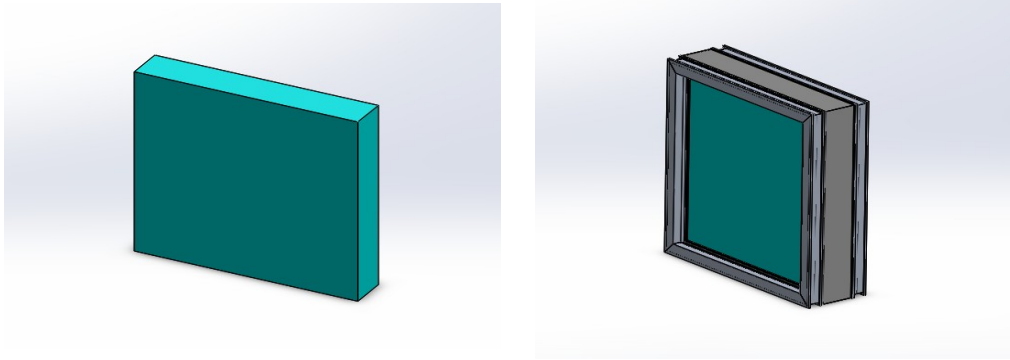


Εικόνα 3.3: Εξώθηση αλουμινίου [10]

3.3 Μόνωση

Περιγραφή

Η μόνωση είναι το κύριο μέρος του στοιχείου. Τα υλικά που παρέχουν καλή μόνωση είναι δύο. Η αυτά που έχουν πολύ αέρα σε ποσοστό μέσα τους (βαμβάκι, αφρολέξ, κ.α.) ή το κενό αέρος. Τα υλικά με κενό αέρος είναι πολύ ακριβά. Εδώ θα χρησιμοποιηθεί εξιλασμένη πολυστερίνη.



Εικόνα 3.4: Μόνωση μέσα στο πλαίσιο.

Υλικό

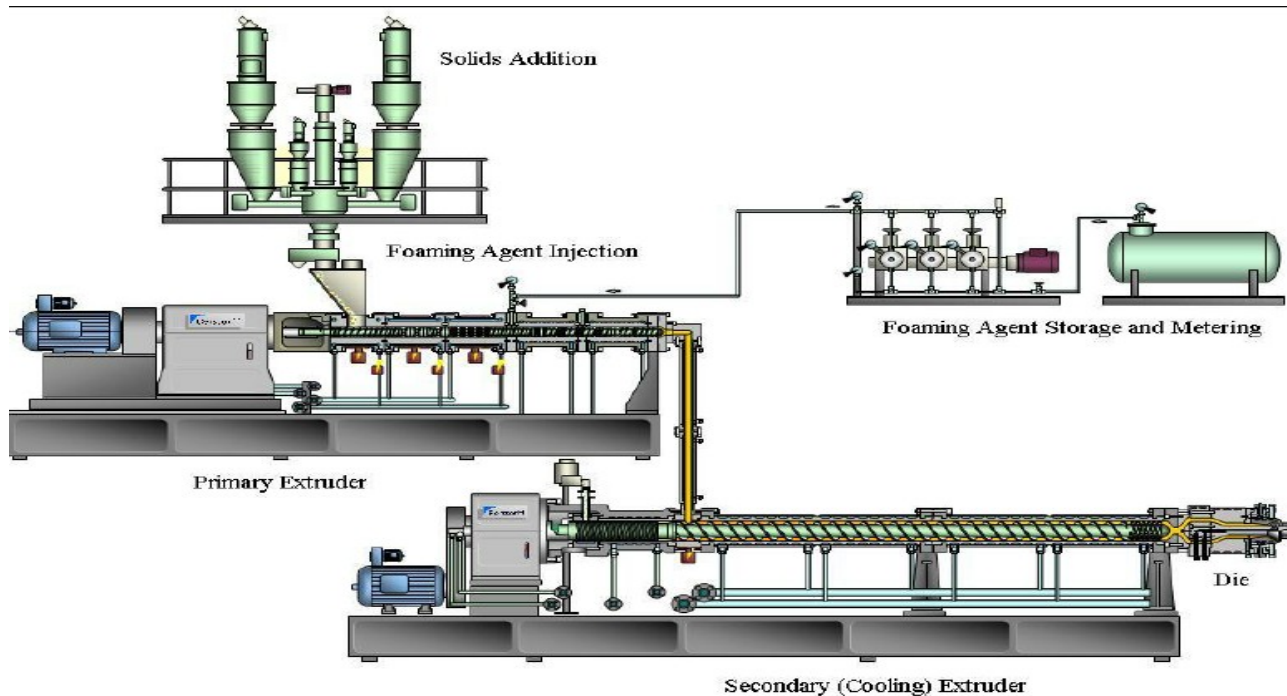
Η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS) είναι ένα αφρώδες συνθετικό υλικό, ευρύτατα διαδεδομένο παγκοσμίως με πολλές οικοδομικές χρήσεις. Είναι υλικό «κλειστής κυψελικής δομής», το οποίο με διαδικασία πολυμερισμού και διαρκούς εξέλασης παίρνει τη μορφή θερμομονωτικών πλακών.

Χάρη στην άψογη θερμομονωτική και μηχανική συμπεριφορά της, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται ευρέως σε πλήθος εφαρμογών, προσφέροντας αξιόπιστες κατασκευαστικές λύσεις σε αρχιτέκτονες, μηχανικούς, κατασκευαστές και τεχνίτες.



Εικόνα 3.5: Εξηλασμένη πολυστερίνη [11,12]

Η διαδικασία τήξης του πλαστικού σε έναν εξωθητήρα και στη συνέχεια προσθήκης μιας χημικής ουσίας που αφρίζει για να δημιουργηθεί μια κυτταρική δομή μέσα στο λιωμένο πλαστικό. Το αφρισμένο πλαστικό στη συνέχεια σχηματίζεται με μια διαδικασία εξώθησης ή χύτευσης. Η κυτταρική δομή σχηματίζεται με τη χρήση δύο τύπων διεργασιών αφρισμού. ένας φυσικός παράγοντας αφρισμού ή αέριο που εγχέεται απευθείας στο τηγμένο πλαστικό ή ένας χημικός παράγοντας αφρού που αποσυντίθεται κατά τη διαδικασία εξώθησης απελευθερώνοντας ένα διαστελλόμενο αέριο για να δημιουργήσει τον αφρό. Τα προϊόντα που κατασκευάζονται με διαδικασίες αφρισμού είναι μόνωση σωλήνων, προστατευτικές συσκευασίες, νουντς κολύμβησης, υποδήματα, χαλάκια γυμναστικής και πολλά άλλα.



Εικόνα 3.6: Διεργασία εξέλασης αφρού πολυστερίνης [13,14]

3.4 Στοιχείο θερμοδιακοπής

Περιγραφή

Το αλουμίνιο ως μέταλλο δεν έχει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες. Για να έχει το στοιχείο καλές θερμομονωτικές ιδιότητες προσθέεται θερμοδιακοπή ανάμεσα στα δύο προφίλ αλουμινίου. Έτσι αντί να υπάρχει ένα ενιαίο προφίλ αλουμινίου, υπάρχουν δύο και μεταξύ αυτών το στοιχείο της θερμοδιακοπής.

Υλικό

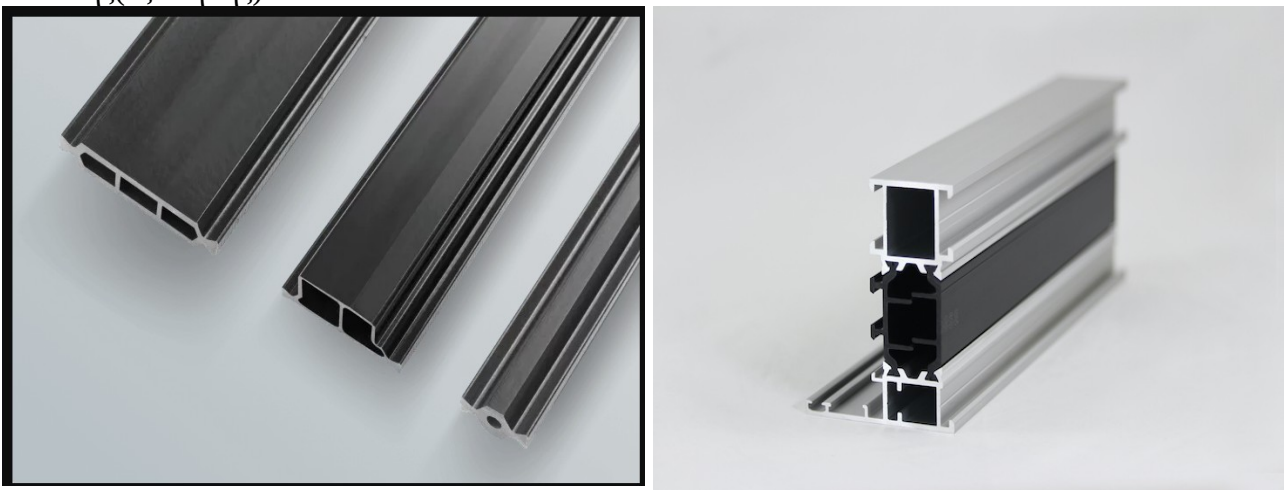
Το υλικό PA, πολυαμίδιο ή κοινώς αποκαλούμενο νάιλον, είναι ένα ημικρυσταλλικό θερμοπλαστικό με χαμηλή πυκνότητα και υψηλή θερμική σταθερότητα. Το νάιλον πλαστικό είναι ένα από τα πιο σημαντικά κατασκευαστικά πλαστικά λόγω της εξαιρετικής αντοχής στη φθορά, του καλού συντελεστή τριβής και της πολύ καλής αντοχής στη θερμοκρασία και αντοχή σε κρούση. Οι ονομασίες για πλαστικό πολυαμιδίου εμφανίζονται συχνά σε συνδυασμό με αριθμούς όπως PA 6, PA 66, PA 12 και PA 46. Αυτοί οι αριθμοί αναφέρονται στη μοριακή δομή του πολυμερούς PA. Κάθε τύπος δομής προσφέρει διαφορετικές ιδιότητες. Αυτές οι ιδιότητες πολυαμιδίου ποικίλλουν από το σκληρό και σκληρό PA 6.6 έως το πολυαμίδιο τύπου 6 έως το μαλακό και εύκαμπτο υλικό πολυαμιδίου 12. Ανάλογα με τον τύπο, το σημείο τήξης του PA είναι μεταξύ 220 °C και 260 °C. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή νάιλον είναι τα PA 6 και PA 66. Το πλαστικό PA 6 μπορεί να ληφθεί είτε ως εξωθνημένο, είτε ως χυτευμένο με έγχυση είτε ως χυτό νάιλον.

Επειδή το υλικό νάιλον μπορεί εύκολα να υποστεί επεξεργασία λόγω του προφίλ της ιδιότητάς του, υπάρχουν πολλές τροποποιήσεις πολυαμιδίου. Προσθέτοντας πρόσθετα όπως ίνες γυαλιού για νάιλον γεμάτο γυαλί ή ίνες άνθρακα για νάιλον γεμάτο άνθρακα, η αντοχή και η ακαμψία σε συγκεκριμένο βαθμό μπορούν να αυξηθούν πολλές φορές όπως απαιτείται.

Το υλικό PA χαρακτηρίζεται επίσης από πολύ καλή χημική αντοχή και είναι ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό σε χημικές αντιδράσεις στο λάδι. Χάρη σε αυτές τις εξαιρετικές ιδιότητες του πλαστικού πολυαμιδίου, ειδικά στον συνδυασμό υψηλής αντοχής, σκληρότητας και χαμηλού βάρους, το πλαστικό PA είναι ιδανικά κατάλληλο ως υποκατάστατο μετάλλου. Ανταλλακτικά αυτοκινήτων, βιομηχανικές βαλβίδες, μόνωση για στρωτήρες σιδηροδρόμου και άλλες τεχνικές εφαρμογές κατασκευάζονται από το πολυμερές πολυαμιδίου. Για εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιείται νάιλον ποιότητας τροφίμων.

Ένα τυπικό χαρακτηριστικό νάιλον είναι να απορροφά νερό. Ανάλογα με τον τύπο, το πολυαμίδιο απορροφά διαφορετικές ποσότητες υγρασίας. Επομένως, ο σχεδιασμός τέτοιων εξαρτημάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη την απορρόφηση νερού του νάιλον και τη σχετική αλλαγή στις διαστάσεις και τις μηχανικές ιδιότητες.

Κατεργασία διαμόρφωσης: Το στοιχείο θα διαμορφωθεί με την κατεργασία της διέλασης(εξώθησης) .



Εικόνα 3.7:Στοιχείο θερμοδιακοπής [15,16]

3.5 Καπάκι

Περιγραφή

Το καπάκι είναι το στοιχείο που διαχωρίζει τη μόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον (προστατεύει από υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία).

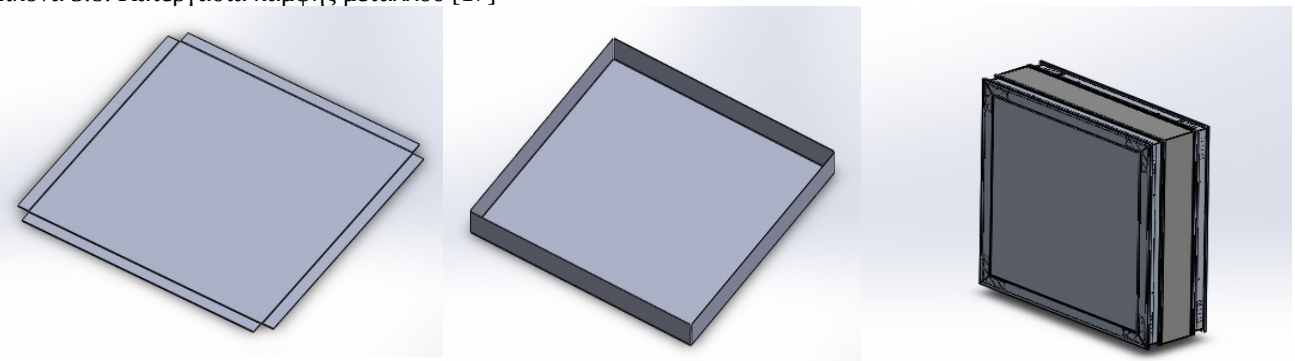
Υλικό

Επιλέγεται το αλουμίνιο καθώς είναι ελαφρύ και εύκολα κατεργάσιμο. Άλλα υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν : High density polyethylene (HDPE) ,Polypropylene (PP), acrylic, Polycarbonate (PC), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Το hdpe είναι μία εναλλακτική επιλογή που όμως σαν πλαστικό διαβρώνεται από τις ακτίνες υν του ηλίου. Με μία προστατευτική βαφή μπορεί να μεγαλώσει η διάρκεια αντοχής σε υν.

Κατεργασία διαμόρφωσης: Το αλουμίνιο στην αρχική του μορφή είναι σε φύλλα διαστάσεων (500*500(mm)),(το πάχος έχει σημασία μόνο για το βάρος). Υπόκειται σε κατεργασία κοπής και κάμψης ώστε να πάρει την τελική του μορφή. Χρησιμοποιούνται δύο καπάκια , ένα για κάθε πλευρά.



Εικόνα 3.8: Κατεργασία κάμψης μετάλλου [17]

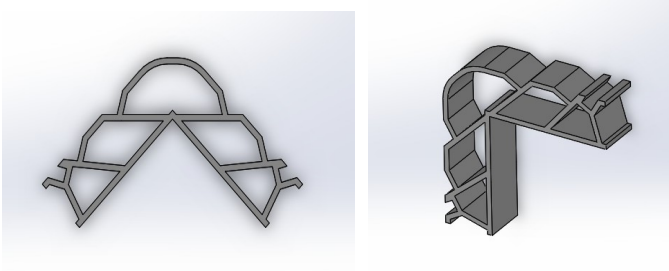


Εικόνα 3.9: Καπάκι στο πλαίσιο.

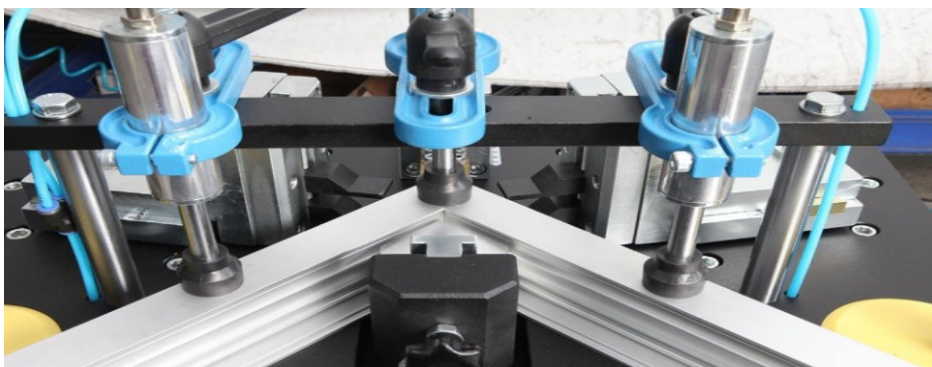
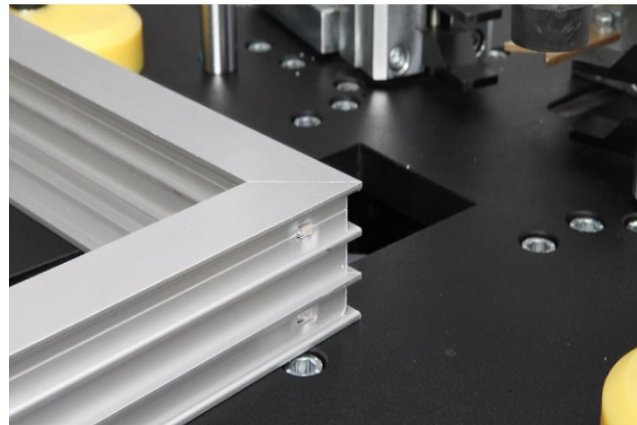
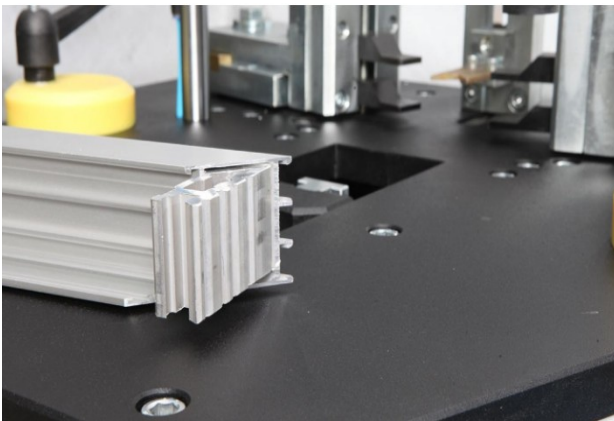
3.6 Γωνία - ένωση

Περιγραφή

Η γωνία είναι αυτή που κρατάει ενωμένα τα προφίλ μεταξύ τους. Τα προφίλ δεν είναι in-house κομμάτι και το προφίλ σχεδιάζεται έτσι ώστε να ταιριάζει με τις γωνίες. Υπάρχουν κατάλληλες εργαλειομηχανές που κάνουν αυτήν την κατεργασία. Επιλέγεται μία γωνία με διαστάσεις 19,6x17,3 mm.



Εικόνα 3.10: Γωνία σύνδεσης προφίλ αλουμινίου.



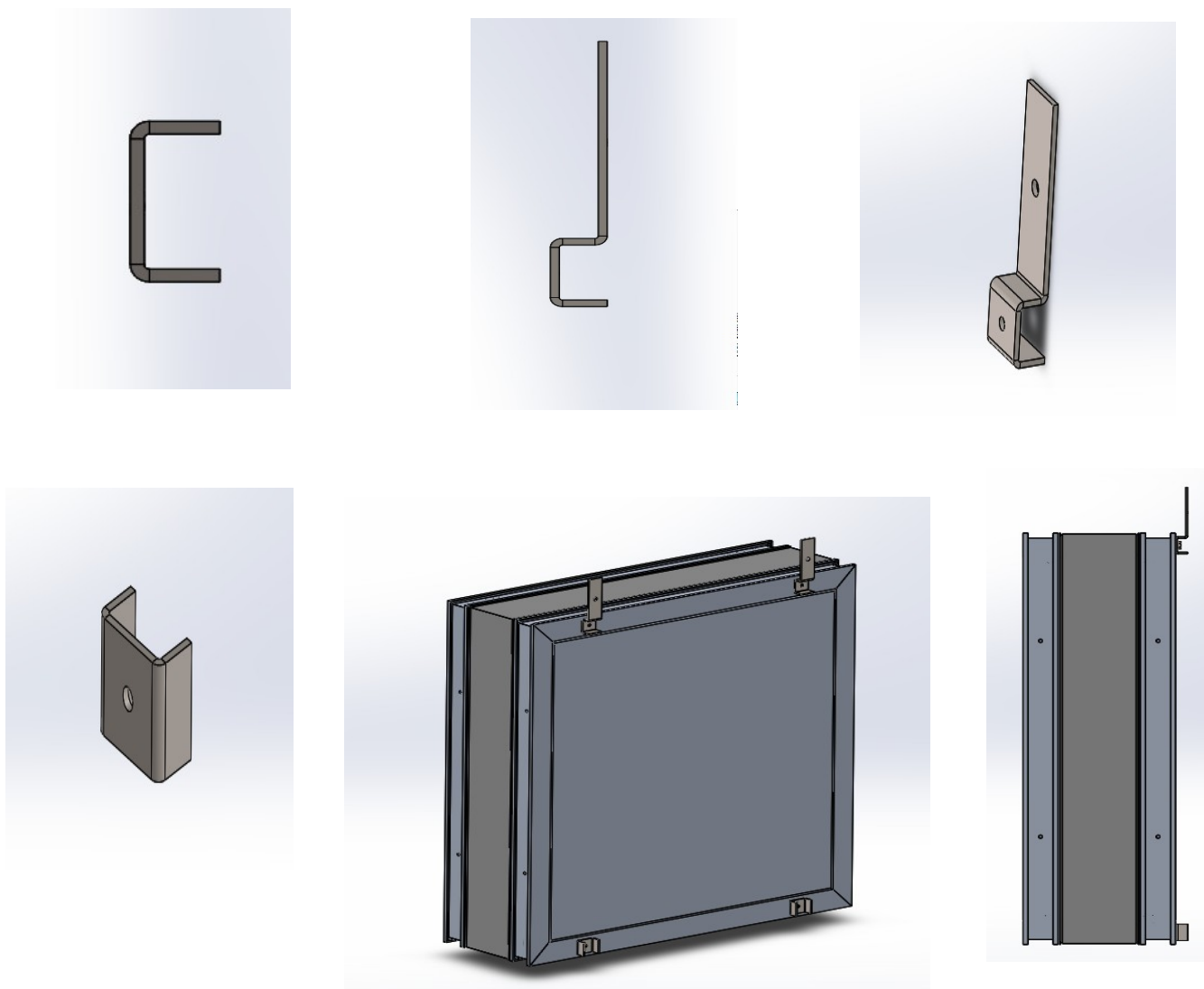
Εικόνα 3.10: Διεργασία σύνδεσης προφίλ με crimpmachine [18]

3.7 Σύνδεση με τοίχο

Η σύνδεση με τον τοίχο γίνεται με τέσσερα κομμάτια χάλυβα τα οποία βιδώνονται πάνω στο στοιχείο. Τα δύο που είναι στην πάνω μεριά έχουν οπές για να μπορεί να τοποθετηθεί στον τοίχο. Τα υπόλοιπα δύο είναι σχεδιασμένα για να στηρίζεται στον τοίχο.

Υλικό: Χάλυβας. Ο χάλυβας έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και είναι και πολύ οικονομικό υλικό.

Κατεργασία διαμόρφωσης: Κοπή, κάμψη και διάτρηση.



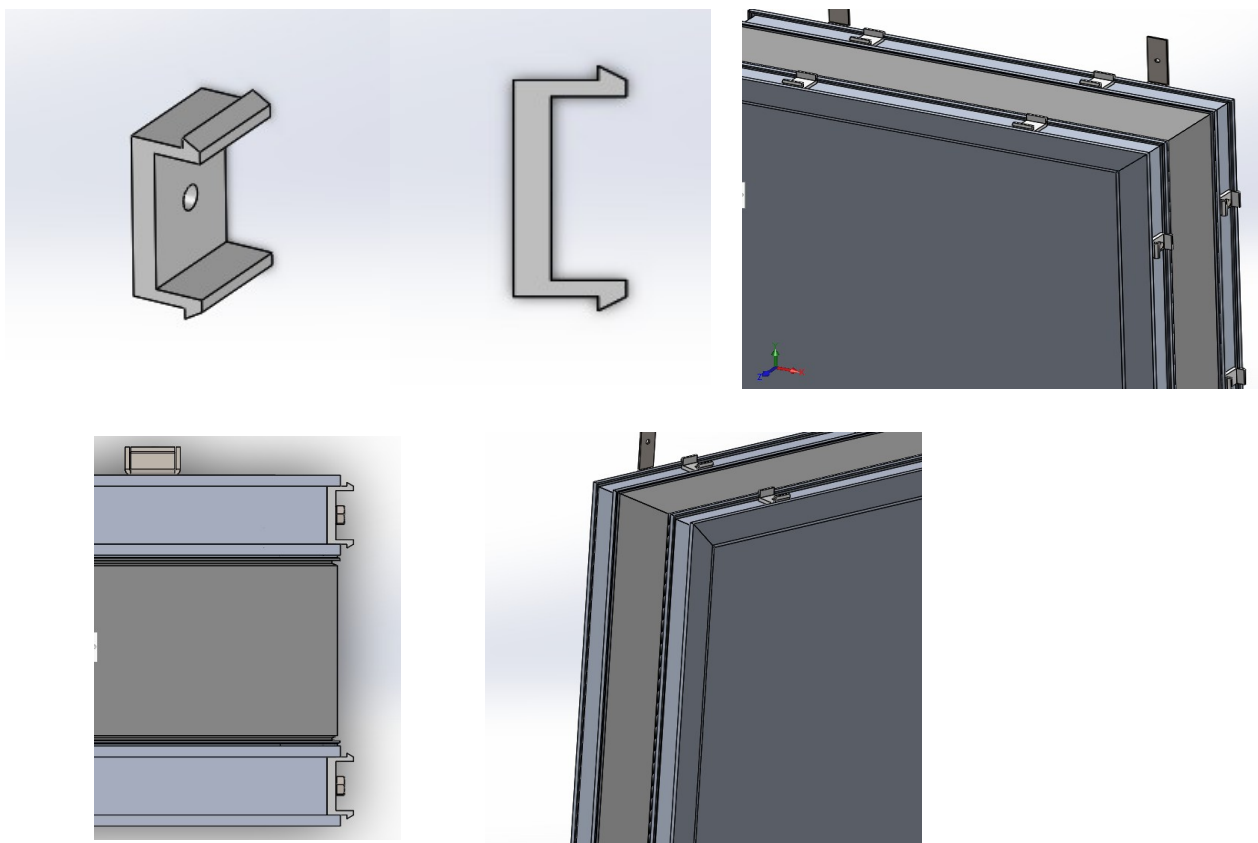
Εικόνα 3.11: Βάσεις στήριξης (προφίλ και πάνω στο πλαίσιο)

3.8 Connection plastic

Τα στοιχεία πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους κατάλληλα ώστε πρώτον να μην δημιουργούνται κενά και θερμογέφυρες και δεύτερον να διευκολύνουν την διαδικασία τοποθέτησης.

Κατεργασία διαμόρφωσης: 3d-printing.

Υλικό: PLA



Εικόνα 3.12: Connection plastic (προφίλ και πάνω στο πλαίσιο)

3.9 Gaskets (ελαστομερή)

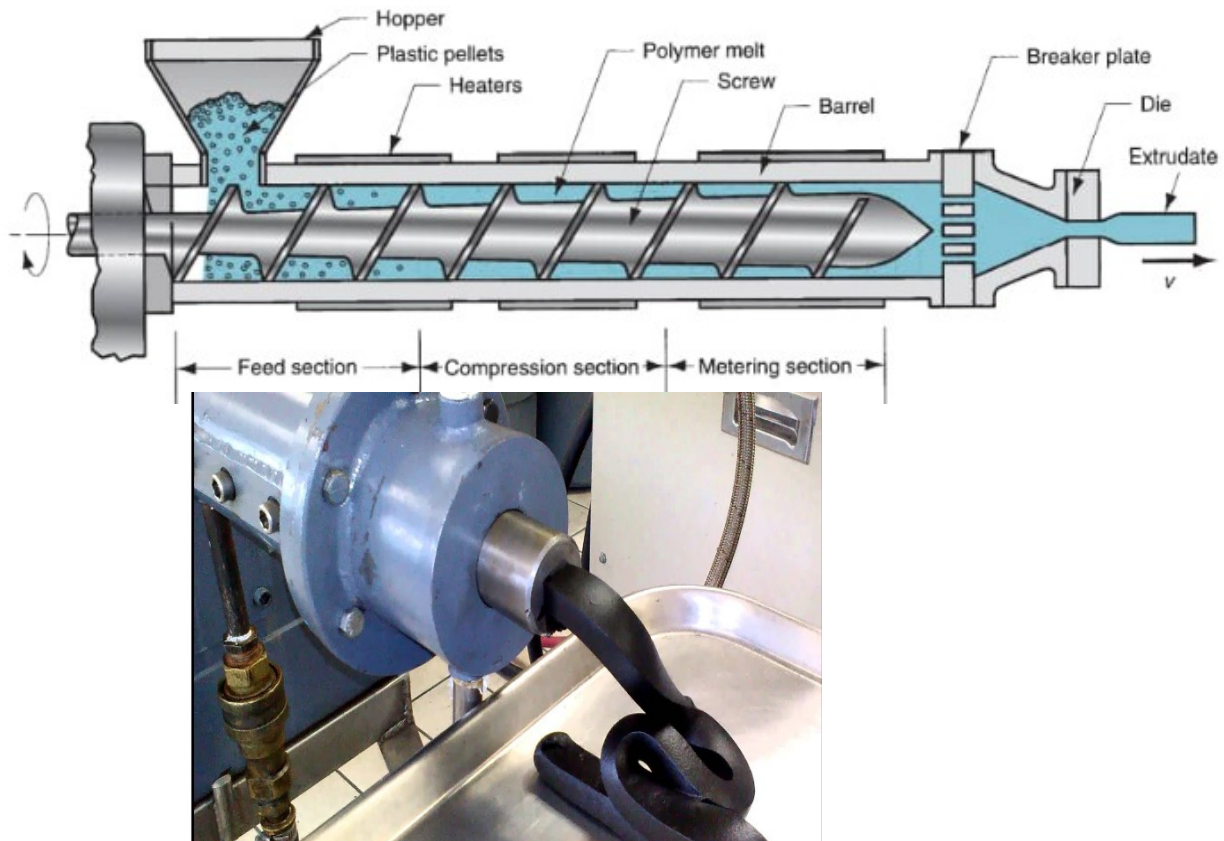
Περιγραφή

Τα ελαστικά μέρη (gaskets) σε ένα στοιχείο είναι απαραίτητα όταν υπάρχει επαφή μεταξύ δύο υλικών. Βοηθάνε στην ελαχιστοποίηση των τριβών. Επίσης εμποδίζουν την υγρασία να εισχωρήσει μέσα στο στοιχείο. Δεν είναι in-house στοιχείο αλλά υπάρχουν πολλές επιλογές για επιλογή. Χρησιμοποιούνται για να κλείνει το καπάκι.

Υλικό

Τα ελαστομερή είναι πολυμερή με ιξωδοελαστικότητα (δηλαδή και ιξώδες και ελαστικότητα) και με ασθενείς διαμοριακές δυνάμεις, γενικά χαμηλό συντελεστή Young (E) και υψηλή τάση αστοχίας σε σύγκριση με άλλα υλικά. Σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τέτοια λάστιχα είναι σχετικά συμβατά ($E \approx 3 \text{ MPa}$) και παραμορφώσιμα. Οι κύριες χρήσεις τους είναι για σφραγίδες, κόλλες και χυτευμένα εύκαμπτα μέρη.

Κατεργασία διαμόρφωσης: Μορφοποιούνται με την κατεργασία της διέλασης (εξώθησης) όπως αναφέρεται και με προηγούμενα υλικά.



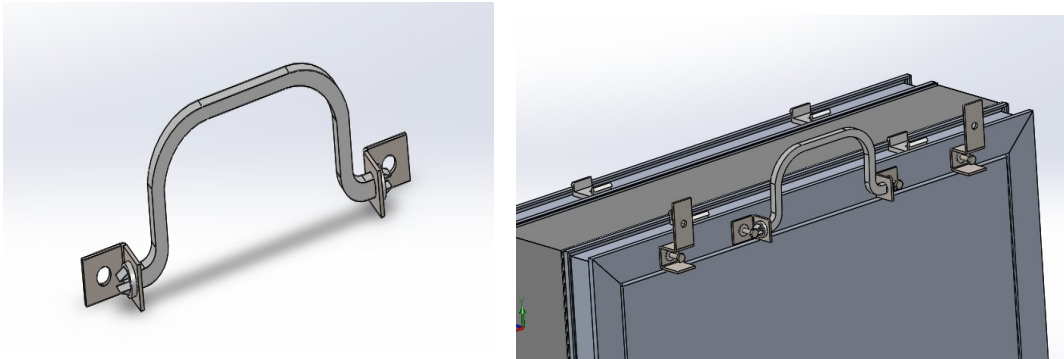
Εικόνα 3.13: Κατεργασία διέλασης ελαστομερών [19,20]



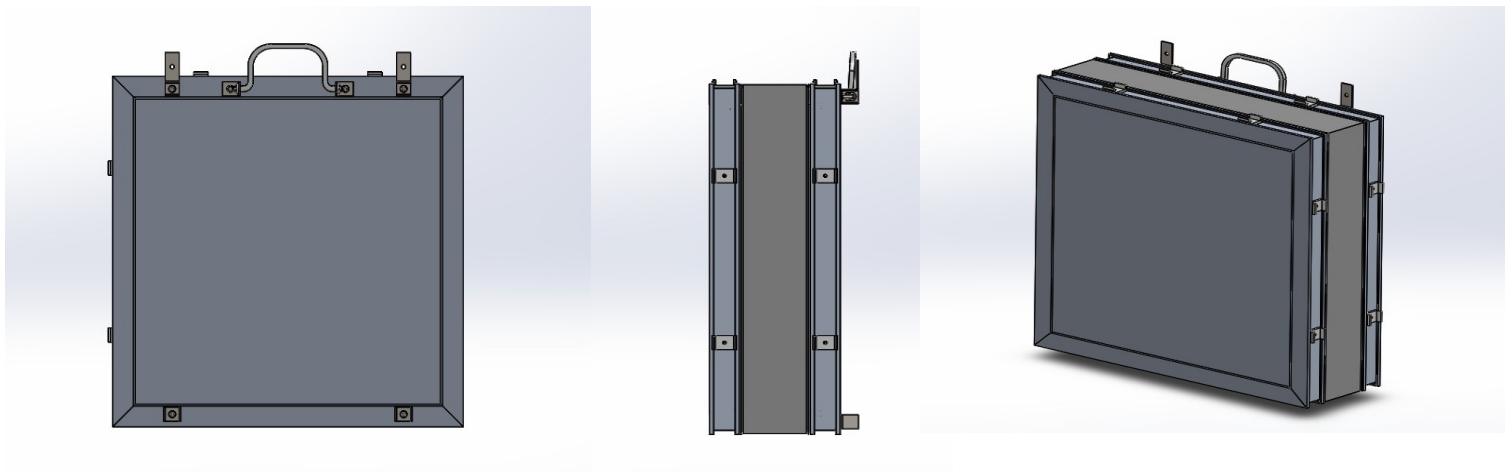
Εικόνα 3.14: Ελαστομερή, προφίλ και πάνω στο καπάκι

3.10 Λαβή Μεταφοράς

Η λαβή προστίθεται για ευκολότερη μεταφορά. Αποτελείται από 2 μέρη : τη λαβή, και τη βάση που στηρίζεται. Η λαβή είναι από υλικό πλαστικό PLA και κατασκευάζεται με 3d-printing και η βάση της είναι από χάλυβα.



Εικόνα 3.15: Λαβή και θέση λαβής στο στοιχείο



Εικόνα 3.16: Τελικό στοιχείο

4. Το λογισμικό Solidworks

Το λογισμικό solidworks είναι σχεδιαστικό και μπορεί να σχεδιάζει τρισδιάστατα εξαρτήματα, σύνολα εξαρτημάτων καθώς και να δημιουργεί μηχανολογικά σχέδια από αυτά. Έχει και άλλες λειτουργίες όπως λειτουργία θερμικών υπολογιστικών μοντέλων.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του στοιχείου είναι κυρίως τρεις:

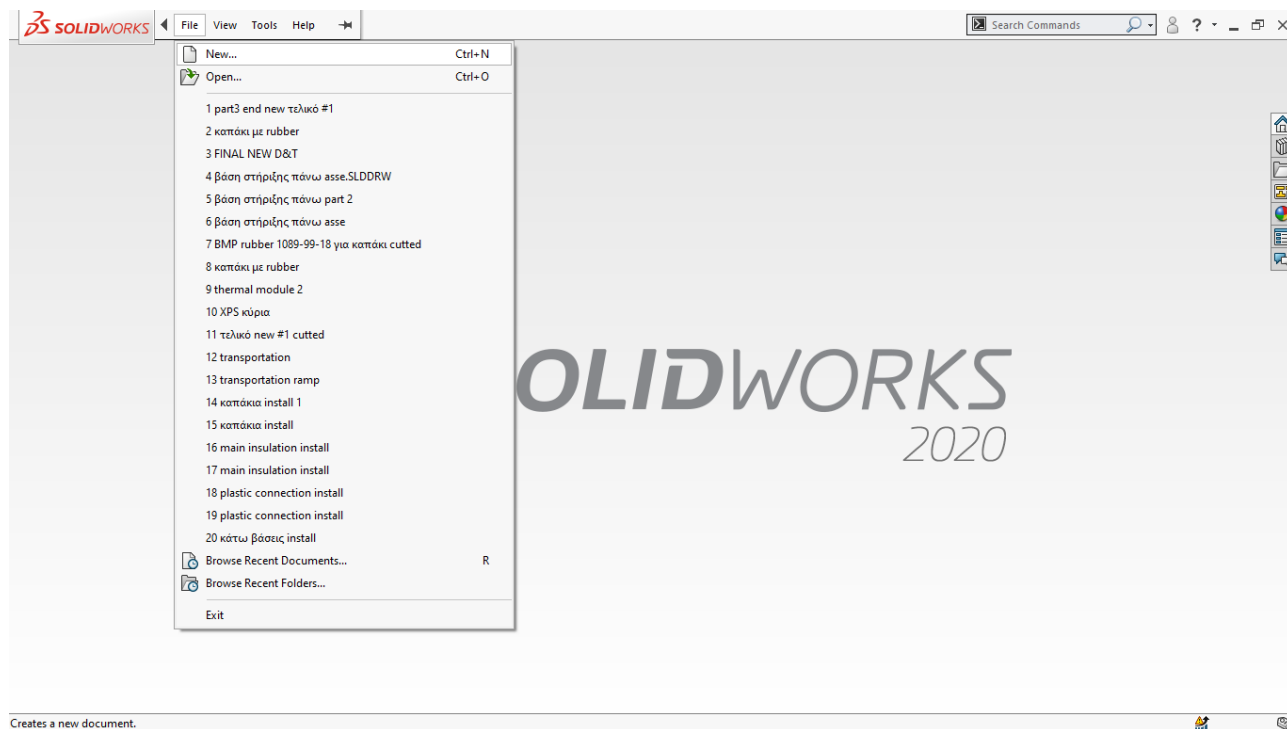
Η τεχνική boss extrude που χρησιμοποιείται για τα εξαρτήματα που κατασκευάζονται με εξώθηση (προφίλ αλουμινίου, εξιλασμένη πολυστερίνη, προφίλ θερμοδιακοπής, ελαστομερές (rubber)) καθώς και για αυτά που κατασκευάζονται με 3d-printing (λαβή, connection plastic).

Η τεχνική sheet metal που περιέχει δυνατότητες σχετικά με ελάσματα (βάσεις στήριξης, καπάκι)

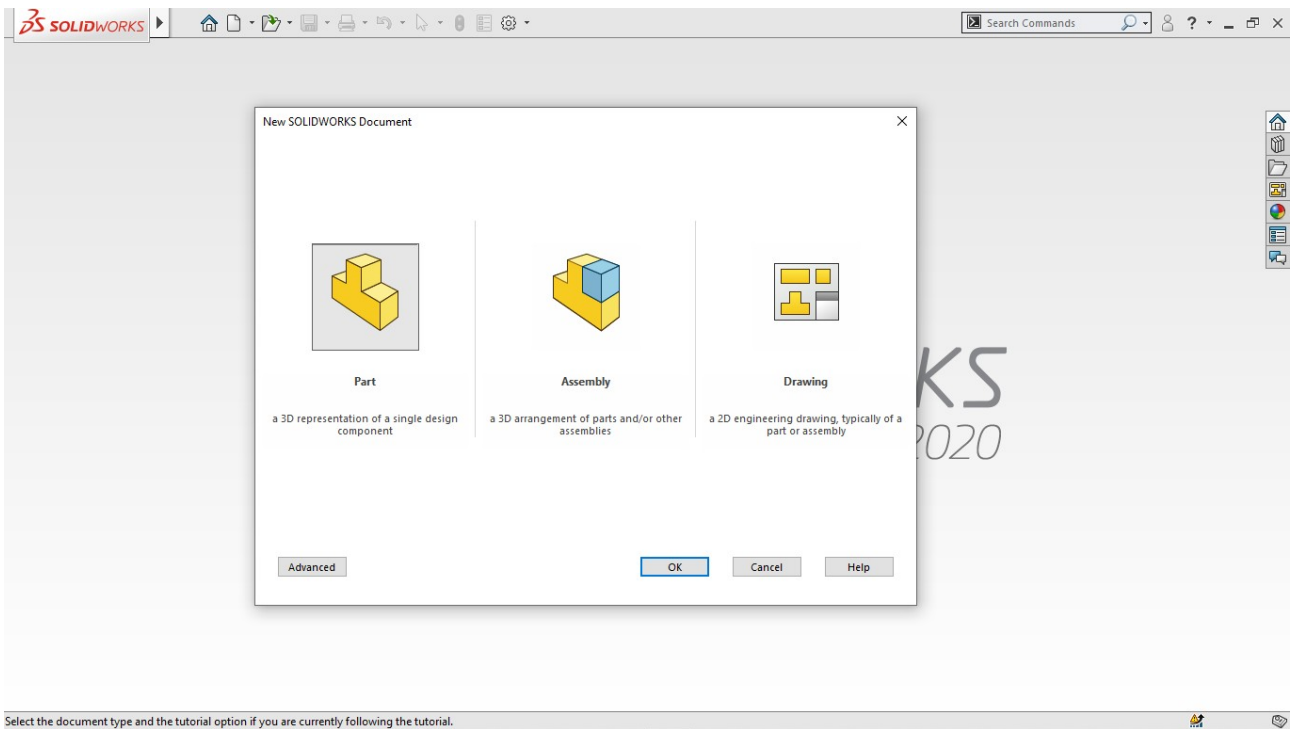
Η τεχνική cut extrude που δημιουργεί τρύπες και τομές.

4.1 Σχεδιασμός εξαρτήματος στο Solidworks

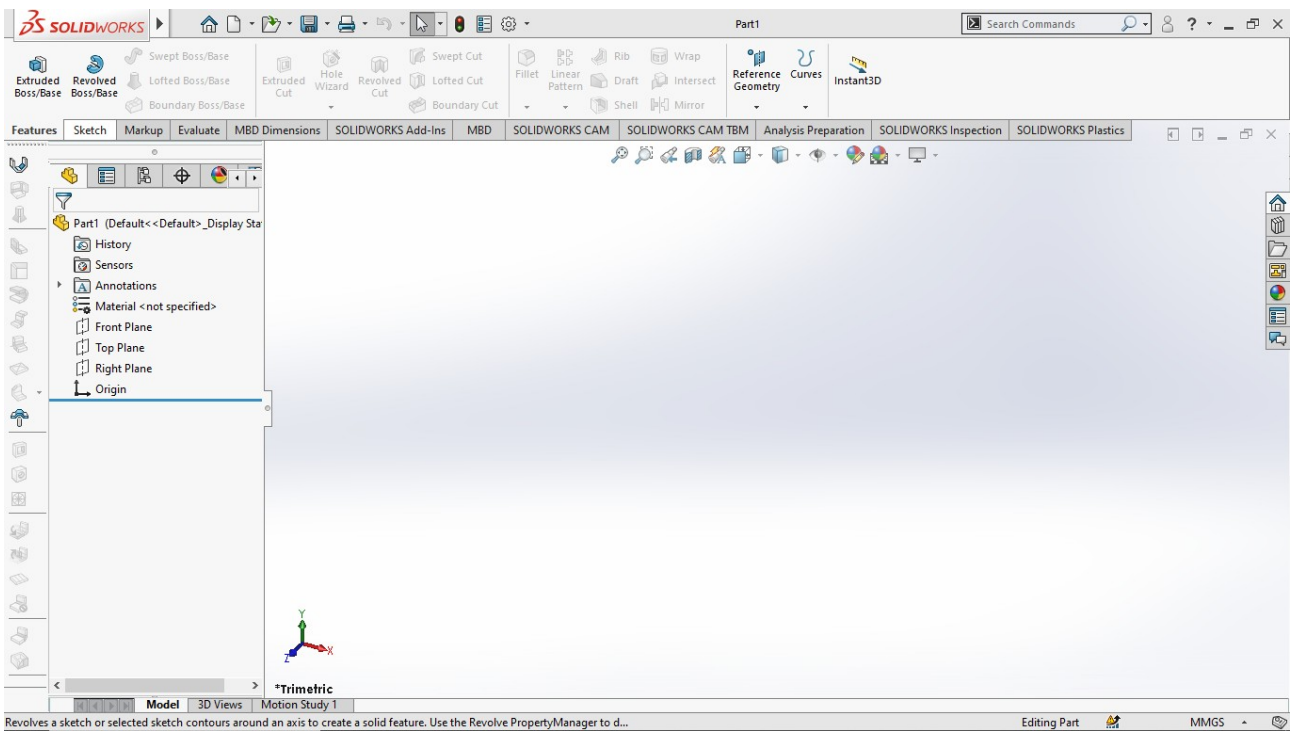
Για αρχή θα δολυμε πως να σχεδιάζουμε ένα εξάρτημα στο solidworks. Επιλέγεται το προφίλ αλουμινίου.



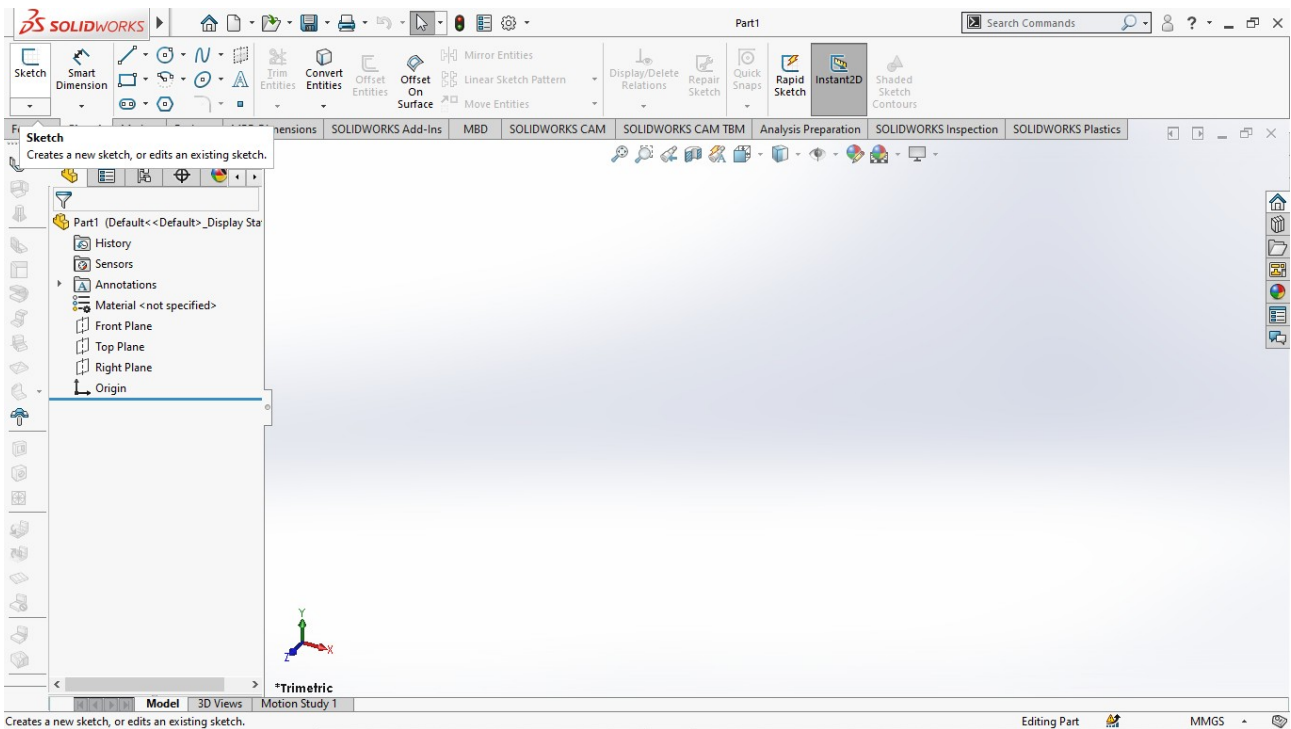
Αρχίζουμε με την επιλογή New... → Part



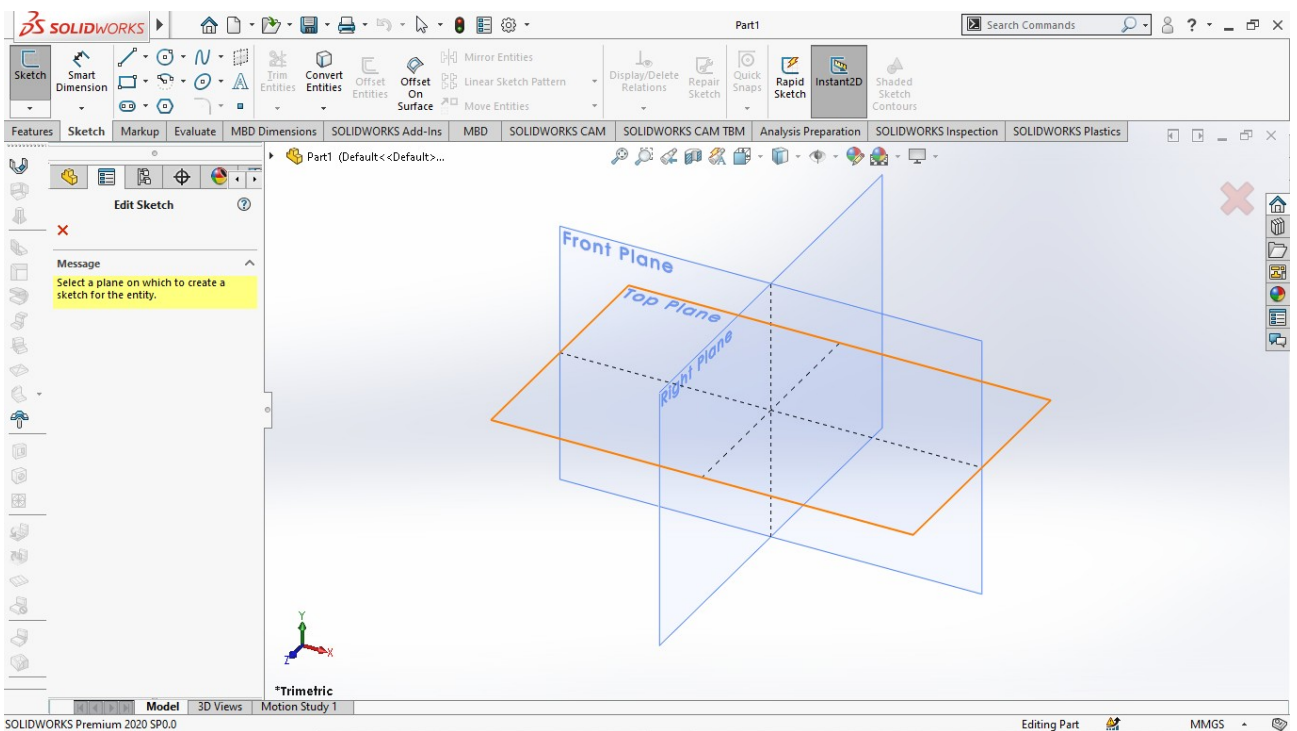
Select the document type and the tutorial option if you are currently following the tutorial.



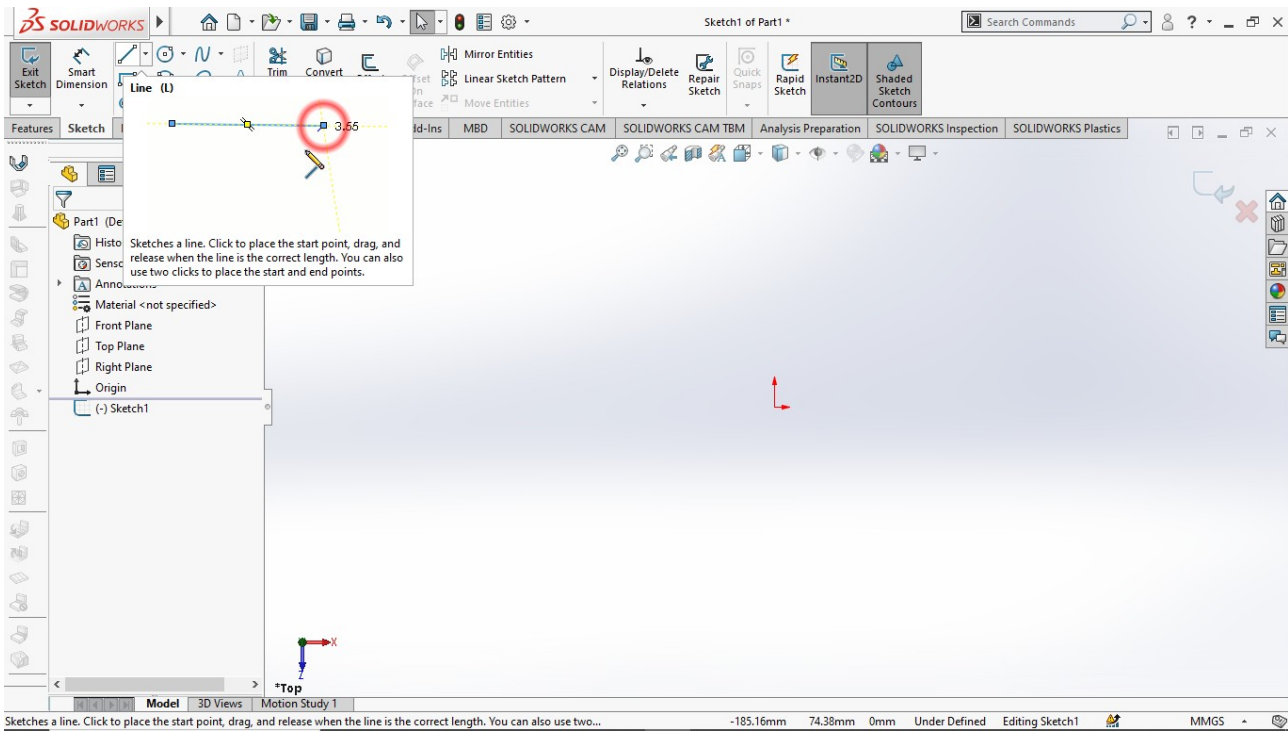
Στη συνέχεια δημιουργείται μια επιφάνεια εργασίας που μοιάζει σαν και αυτή. Επιλέγουμε την δεύτερη στήλη που λέει Sketch.



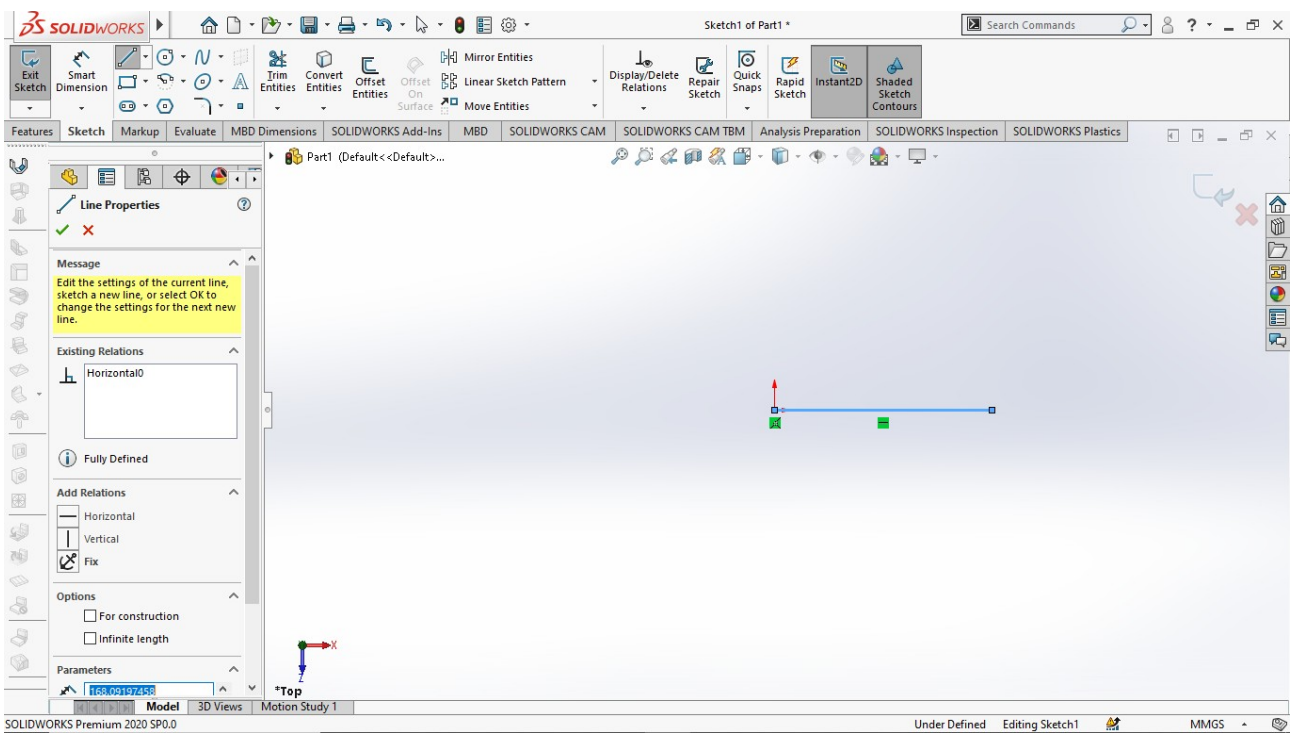
Υστερα από τις διάφορες επιλογές ξαναεπιλέγουμε Sketch πάνω αριστερά.



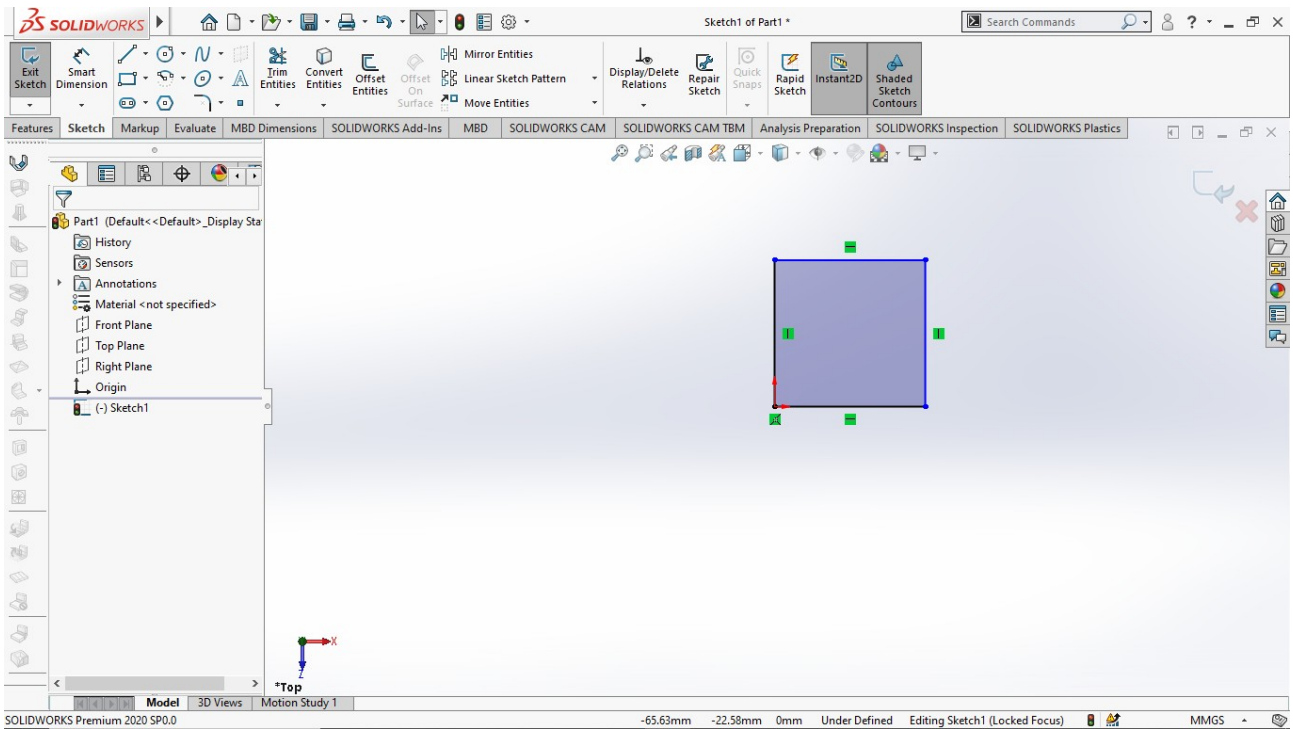
Εμφανίζονται τρεις επιφάνειες και μπορούμε να επιλέξουμε σε όποια θέλουμε για να σχεδιάσουμε επάνω. Επιλέγουμε την Top plane.



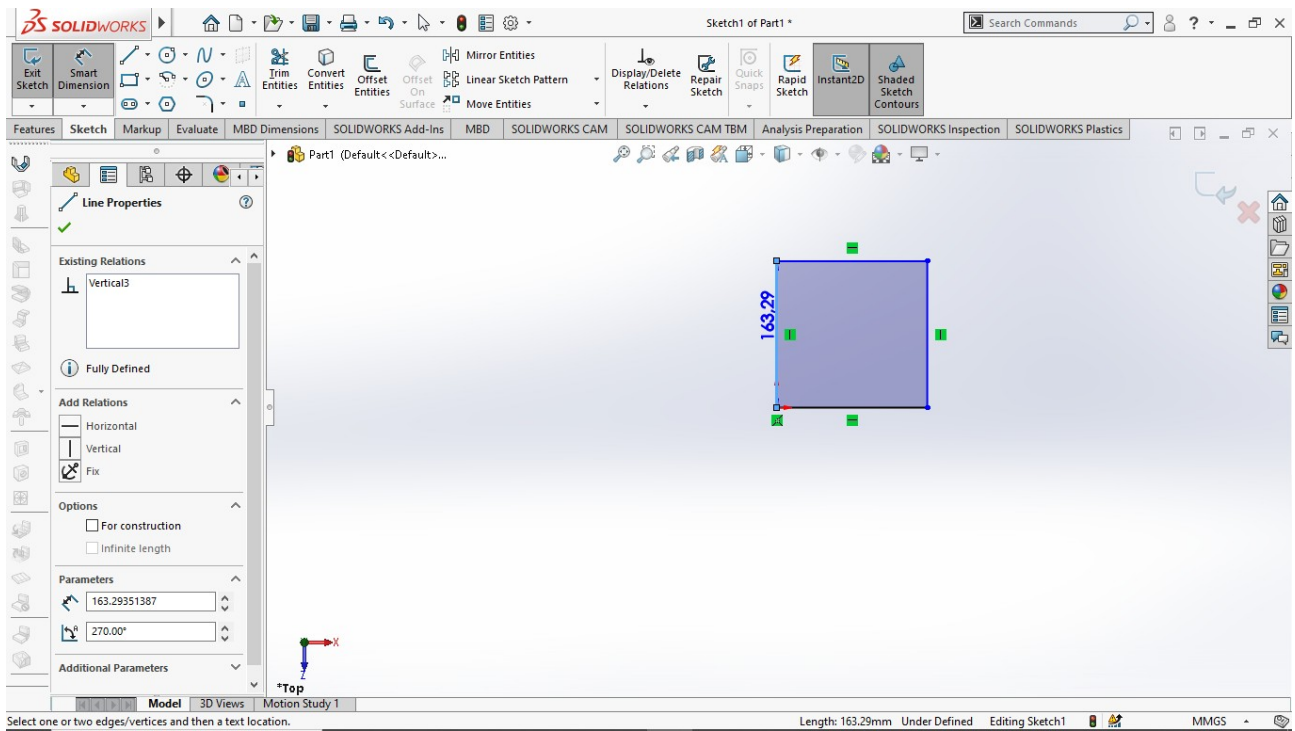
Έπειτα επιλέγουμε πάνω αριστερά την επιλογή Line (L) με αυτή σχεδιάζουμε γραμμές.



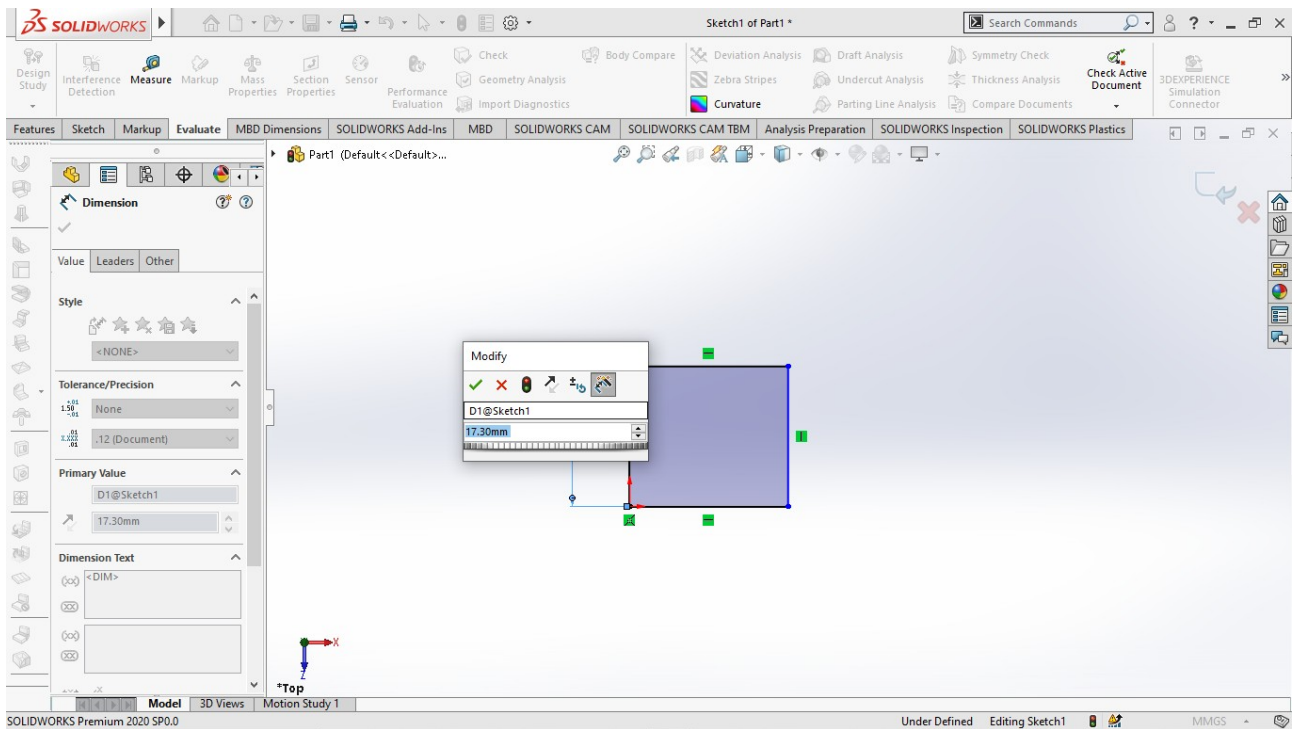
Σχεδιάζουμε μια γραμμή από την αρχή των αξόνων που φαίνεται στην επιφάνεια μέχρι ένα σημείο.



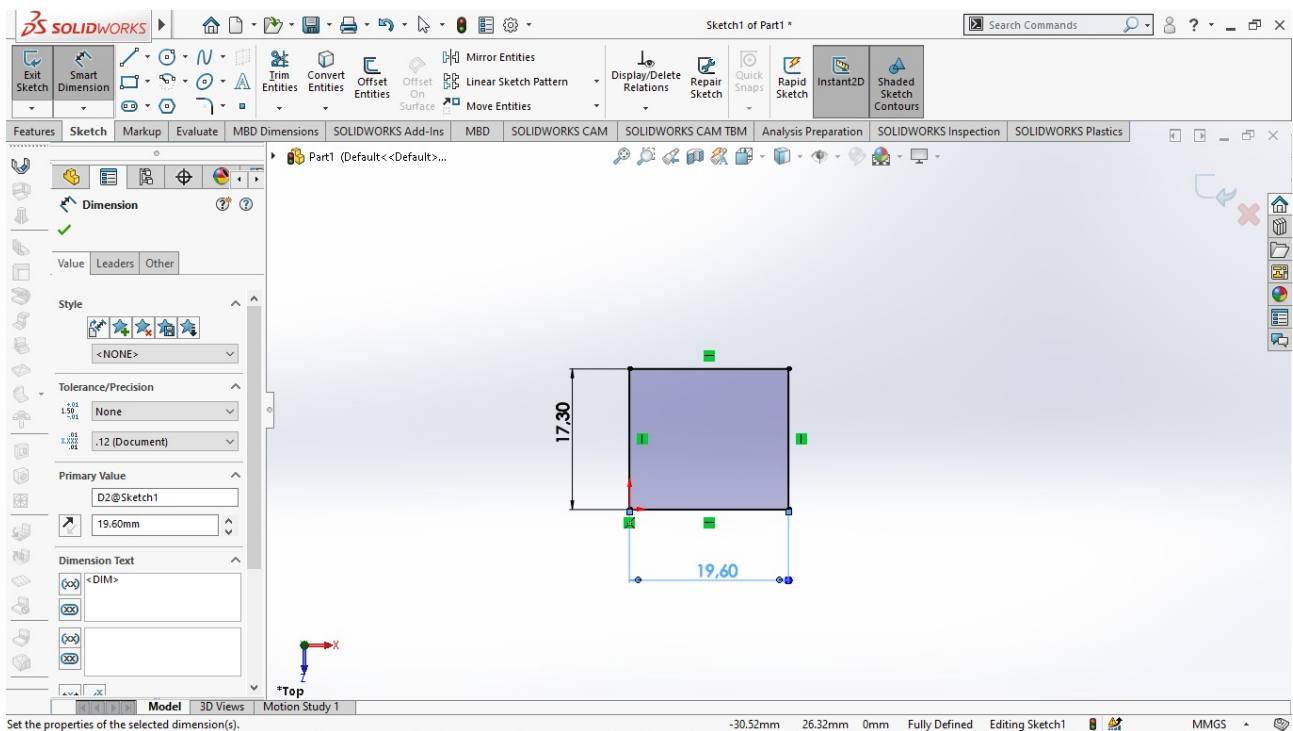
Συνεχίζουμε μέχρι να κλείσει το σχήμα και να είναι ορθογώνιο. Αυτή θα η τρύπα του προφίλ.



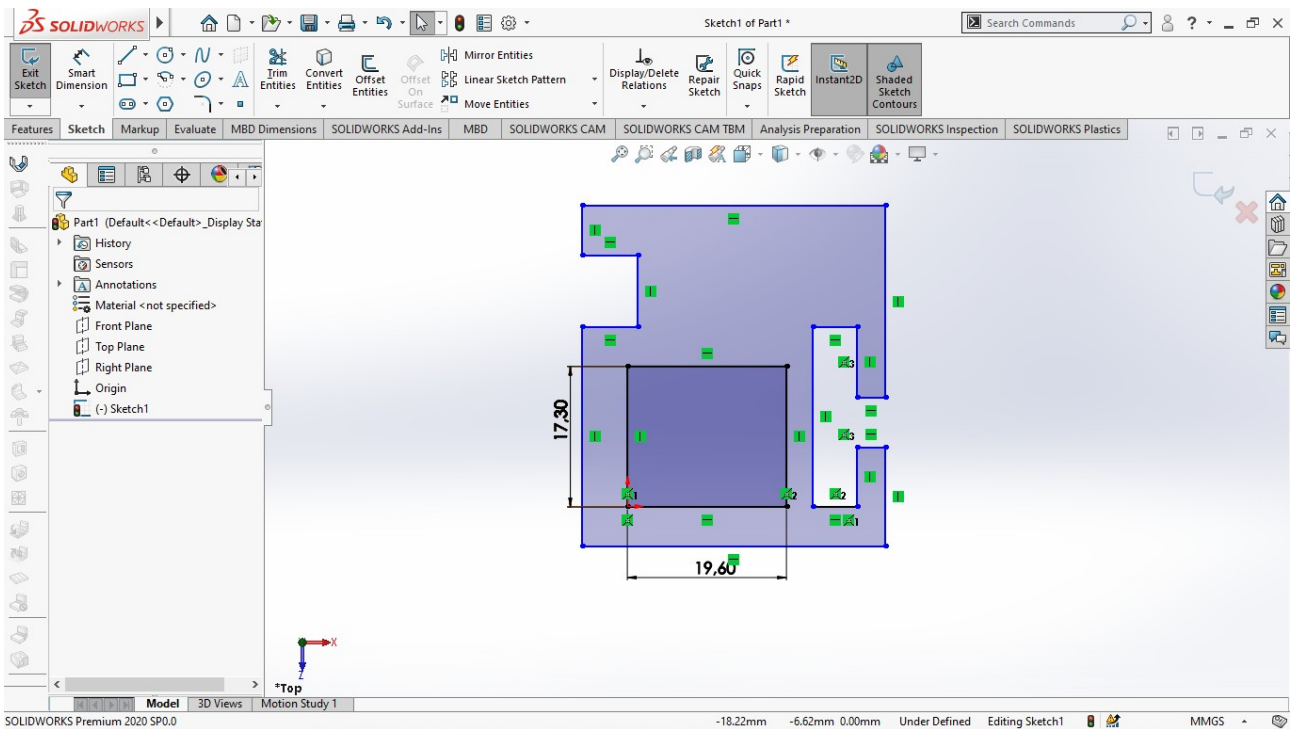
Στη συνέχεια επιλέγουμε πάνω αριστερά την επιλογή Smart Dimension. Αυτή δίνει διαστάσεις στα σχέδια.



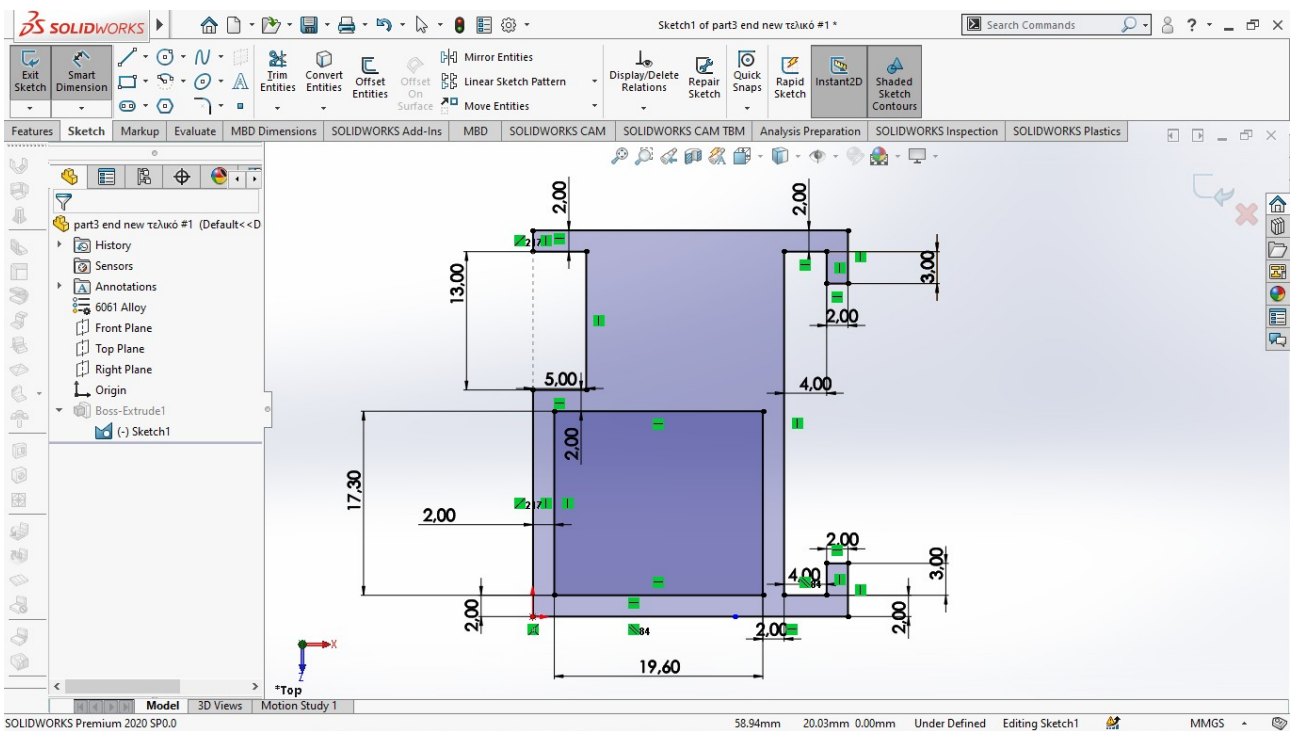
Έπειτα κάνουμε click σε μία πλευρά του ορθογωνίου. Θα εμφανιστεί ένα παράθυρο και θα επιλέξουμε τις διαστάσεις που θέλουμε να έχει. Επιλέγουμε 17,3 (είναι σε mm) για την κάθετη πλευρά.



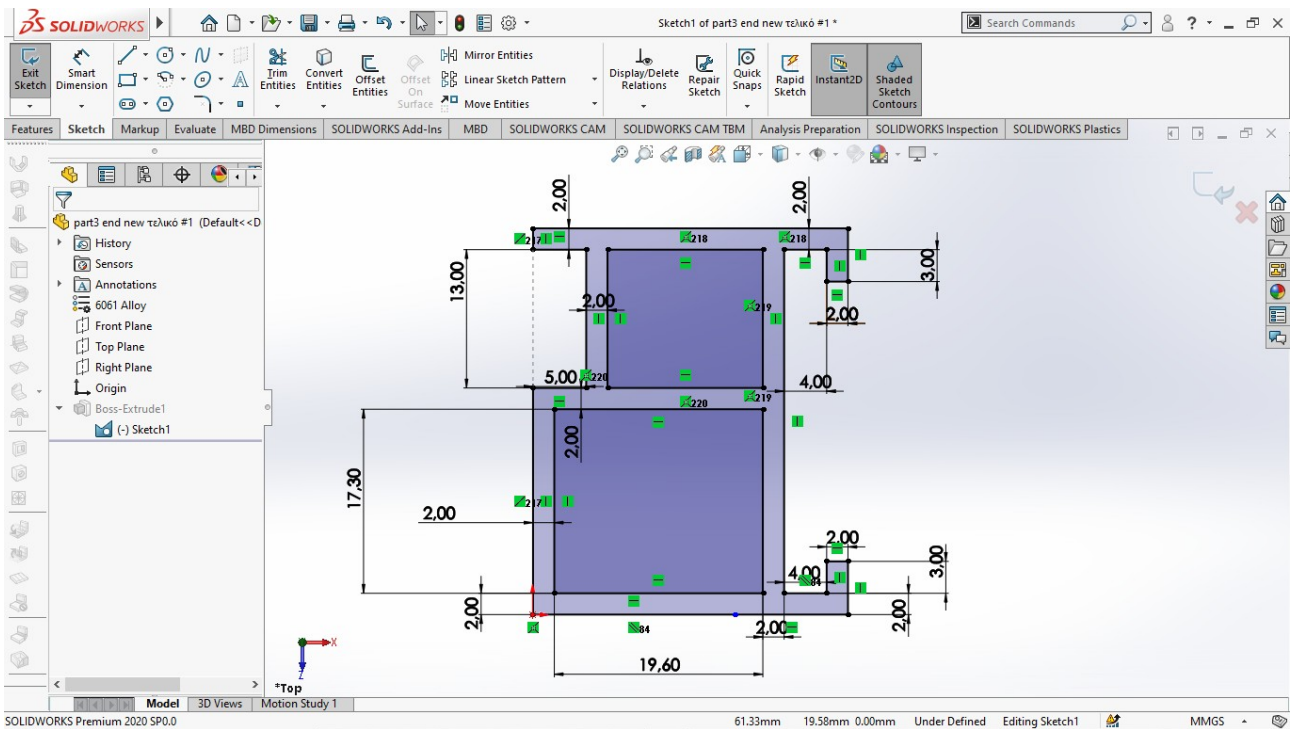
Κάνουμε click και στην άλλη πλευρά και επιλέγουμε 19,6. Το ορθογώνιο τώρα έχει διαστάσεις 19,6x17,3 (Αυτές οι διαστάσεις είναι για να συνεργάζεται με ένα άλλο εξάρτημα (γωνία 19,6x17,3))



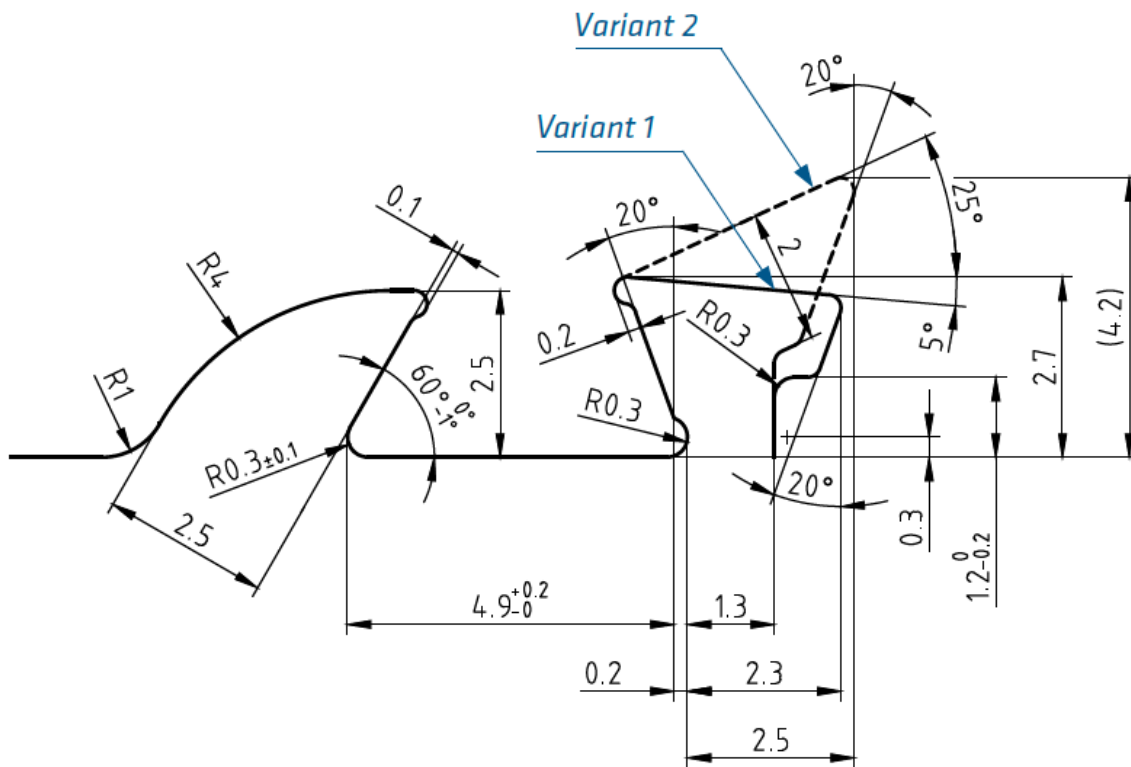
Στη συνέχεια με την εντολή *line* σχεδιάζουμε ένα πιο πολύπλοκο γύρω από το ορθογώνιο. Γενικά μπορούμε να δημιουργήσουμε πολύπλοκα σχήματα με γραμμές και καμπύλες με τα σχεδιαστικά βοηθήματα πάνω δεξιά. Επίσης το προφίλ αλουμινίου είναι με διαφορά το πιο πολύπλοκο σχήμα στο στοιχείο (τα υπόλοιπα είναι ορθογώνια κυρίως).



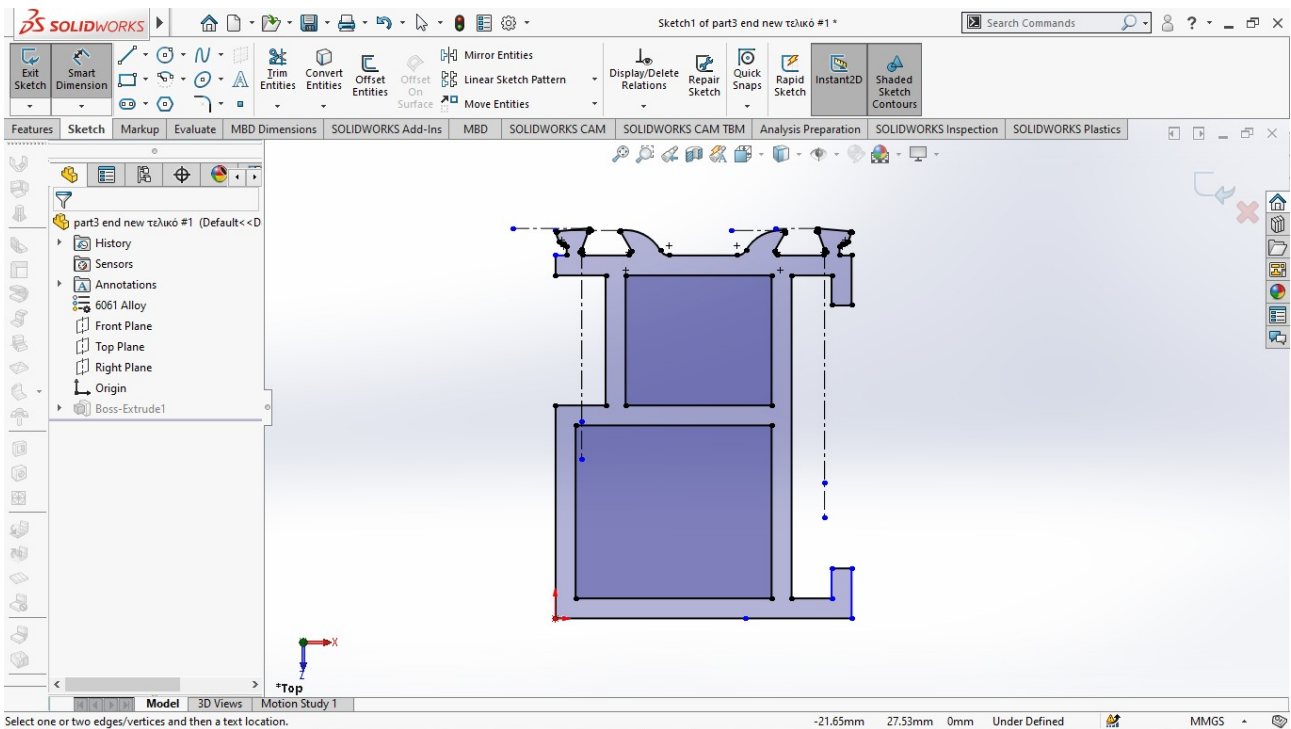
Με την εντολή *Smart dimension* δίνουμε διαστάσεις (κυρίως για το πάχος τοιχωμάτων και για άλλες σχεδιαστικές λεπτομέρειες όπως εμείς θέλουμε) μέχρι το προφίλ να πάρει την παραπάνω μορφή.



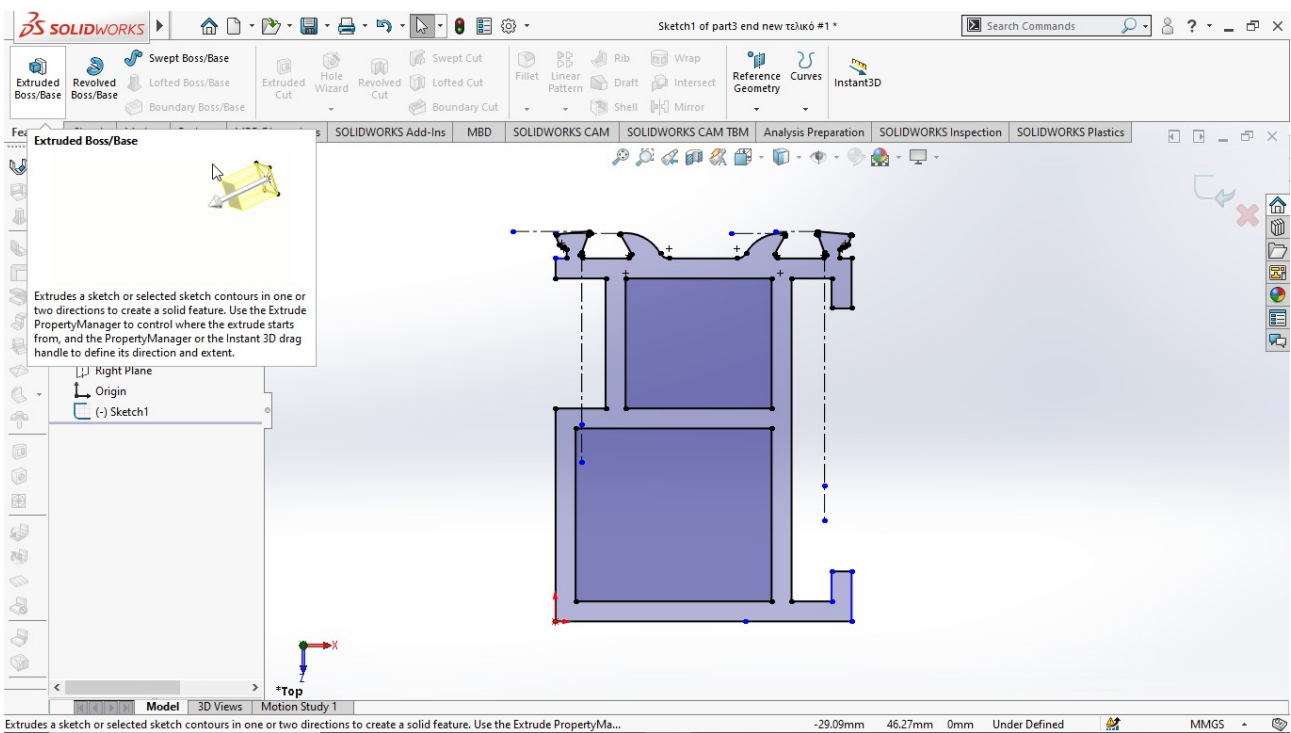
Δημιουργούμε άλλο ένα ορθογώνιο. Αυτό έχει ως στόχο τη μείωση του περιττού βάρους.



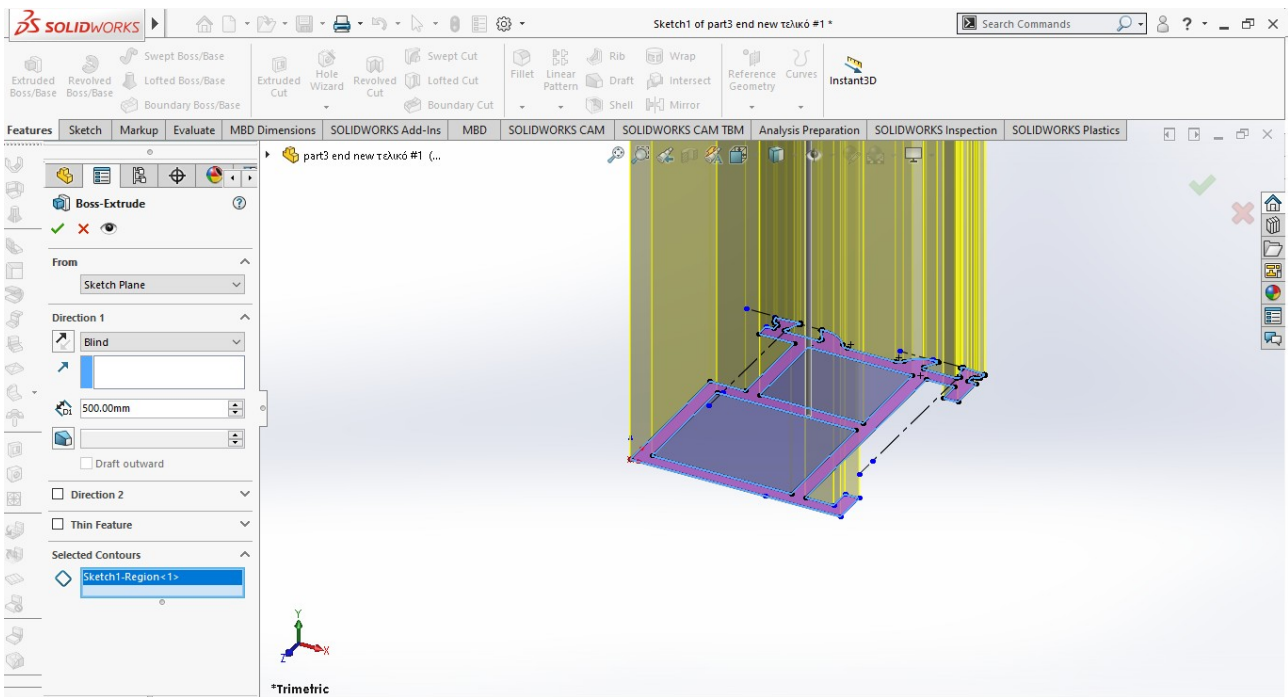
Στην συνέχεια μπορούμε να δημιουργήσουμε την ένωση με τη θερμοδιακοπή. Από πάνω φαίνεται σχεδιαστικά πως πρέπει να είναι το προφίλ. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο να γίνει μόνο αν χρειάζεται κατασκευαστικό σχέδιο ή ρεαλιστικά μοντέλα. Για πιο απλά μοντέλα μπορεί να παραλειφθεί.



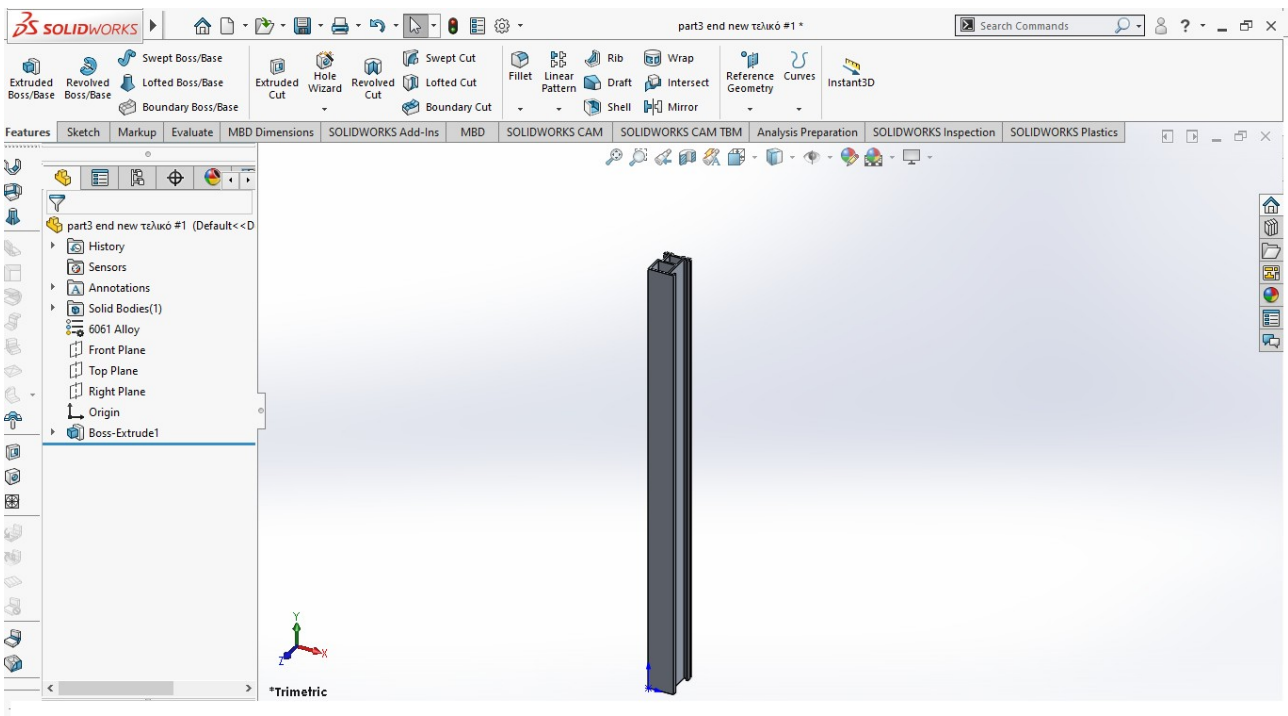
Με την προσθήκη της ένωσης με την θερμοδιακοπή το σχήμα θα είναι κάπως έτσι.



Στη συνέχεια επιλέγουμε αριστερά πάνω Features → Boss Extrude. Αυτό μας επιτρέπει το δισδιάστατο σχέδιο να το τραβήξουμε πάνω στον άλλο άξονα και να γίνει τρισδιάστατο (ακριβώς όπως λειτουργεί και η εξώθηση αλουμινίου).



Εμφανίζεται ένα παράθυρο και επιλέγουμε 500 (depth, είναι το μήκος που θέλουμε να έχει) και για selected contours κάνουμε click επάνω στην επιφάνεια που θέλουμε να τραβηχτεί (εδώ κάνουμε στα τοιχώματα και όχι στις τρύπες).

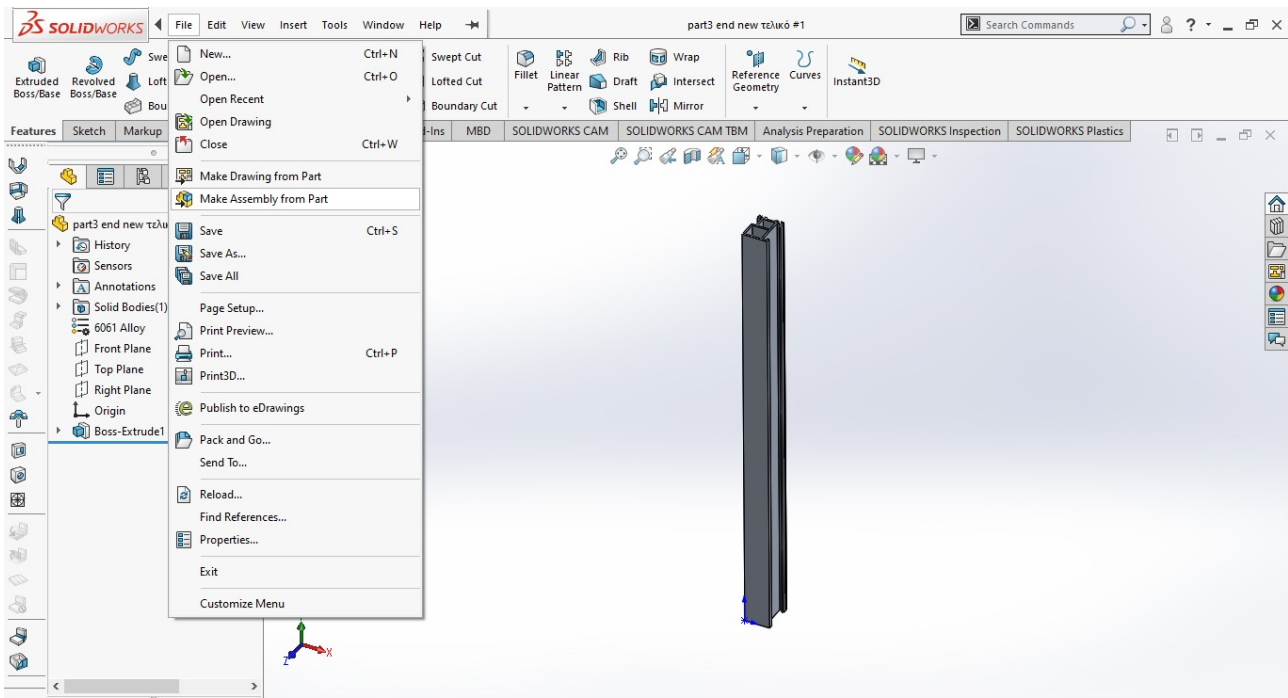


Πατάμε ok (το πράσινο βελάκι) και δημιουργούνται 500 mm από το προφίλ που θέλουμε. Πάνω αριστερά υπάρχει επιλογή για να αποθηκευτεί το εξάρτημα (σε όποιο φάκελο θέλουμε) για μελλοντικές χρήσεις.

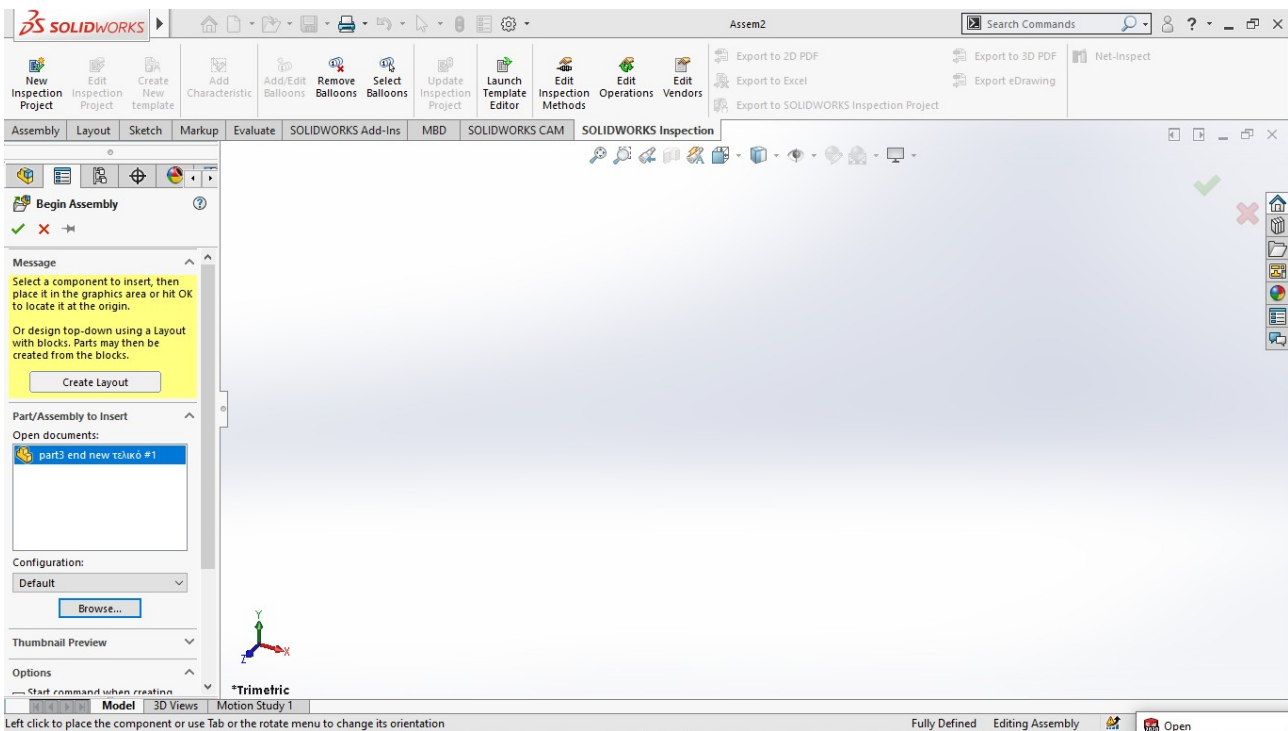
Με παρόμοιο τρόπο δημιουργούνται και τα υπόλοιπα εξαρτήματα με Boss extrude.

4.2 Σύνολο εξαρτημάτων στο Solidworks

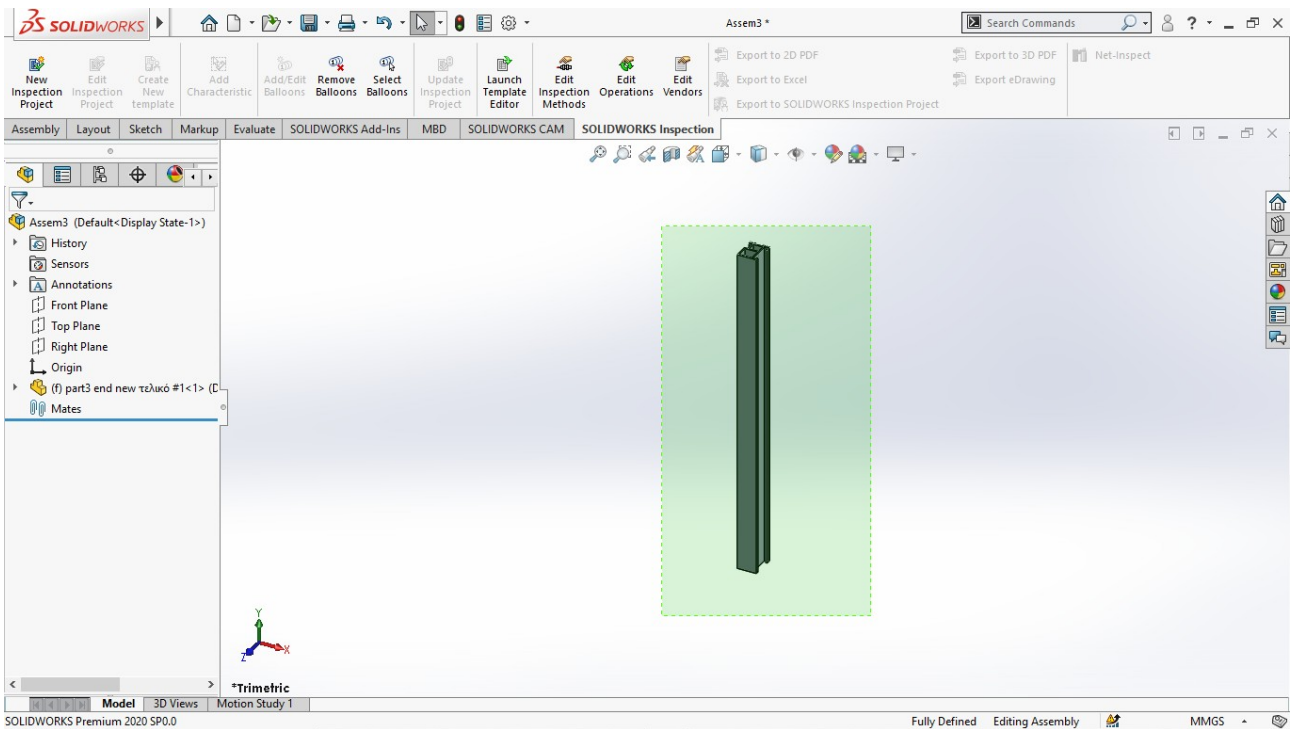
Τα εξαρτήματα που σχεδιάζουμε πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους για να προκύπτει ένα σύνολο. Εδώ θα δούμε πως συνδέουμε τη θερμοδιακοπή με το προφίλ.



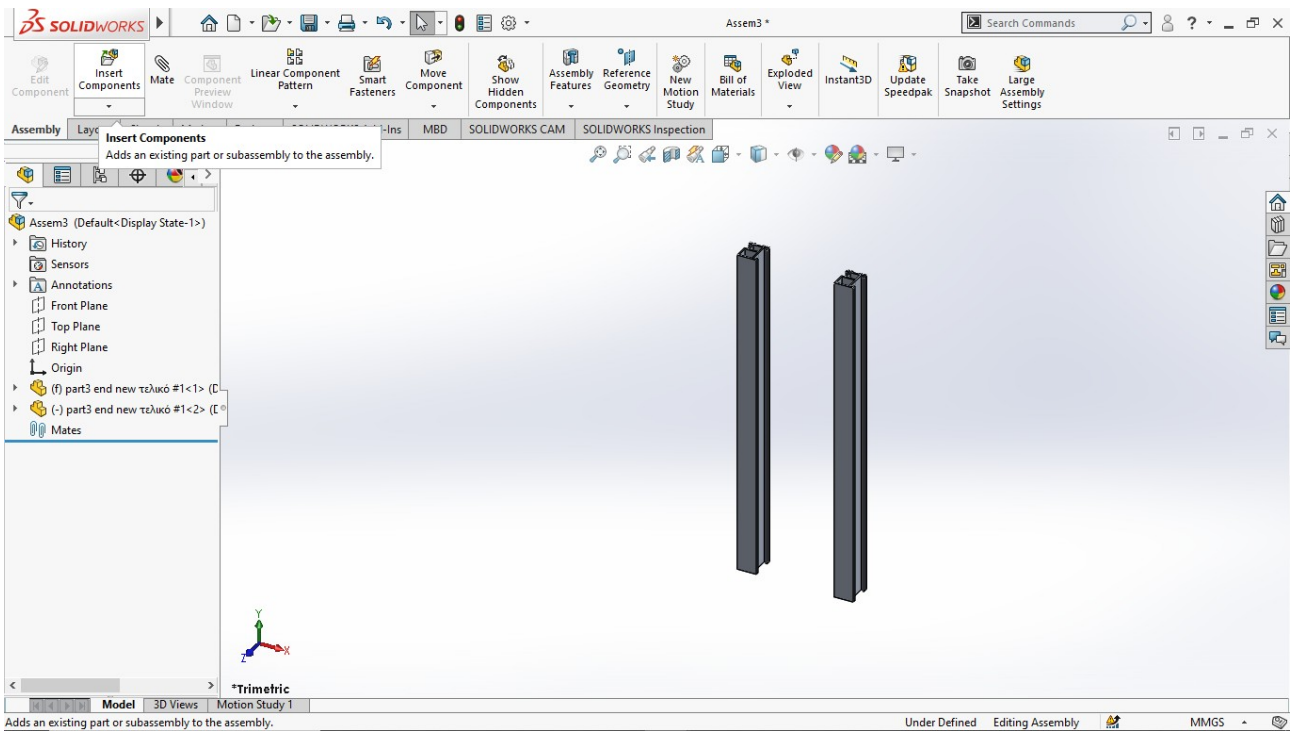
Επιλέγουμε Make Assembly from Part πάνω αριστερά.



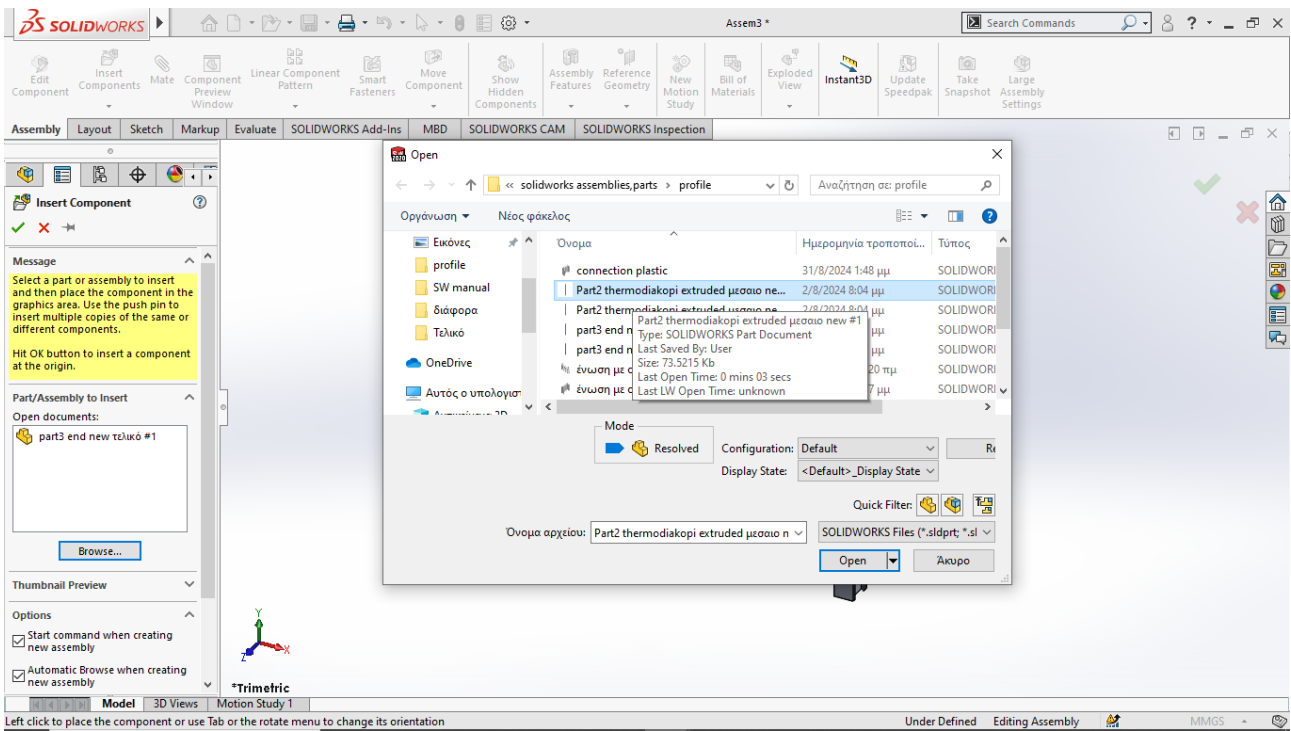
Επιλέγουμε ok αλλιώς μπορούμε να διαλέξουμε με την επιλογή browse κάποιο άλλο part.



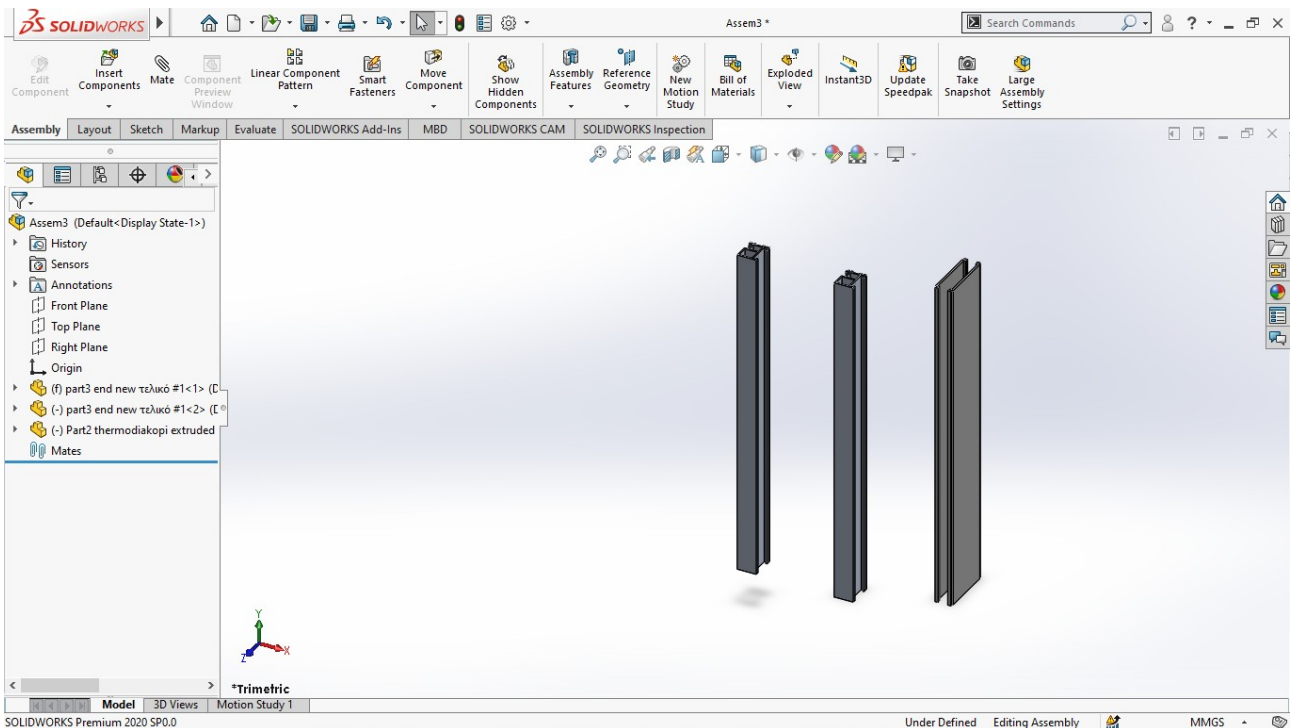
Εμφανίζεται το προφίλ που έχουμε σχεδιάσει. Με το βελάκι από δεξιά προς αριστερά επιλέγουμε το προφίλ και κάνουμε ctrl+c και ctrl+v για να το αντιγράψουμε και να το έχουμε δύο φορές.



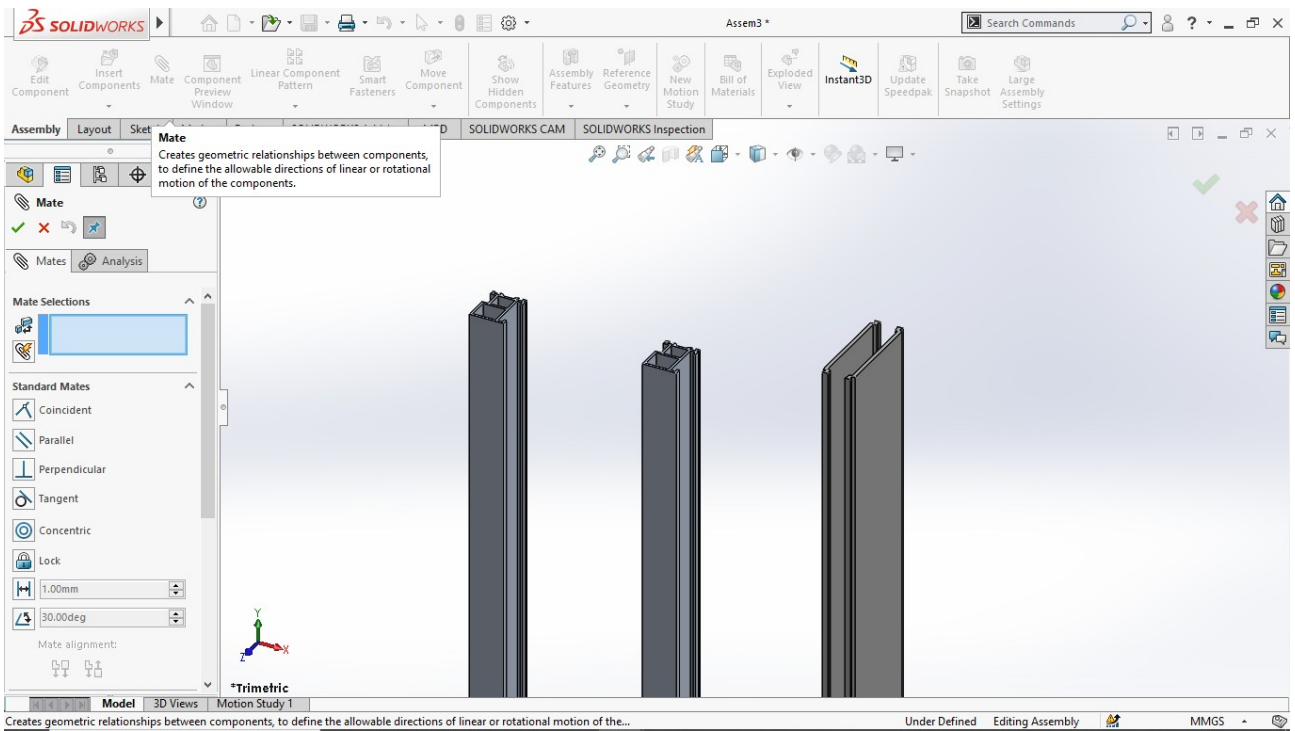
Τώρα έχουμε δύο προφίλ και θέλουμε και ένα στοιχείο θερμοδιακοπής για να τα ενώσουμε.



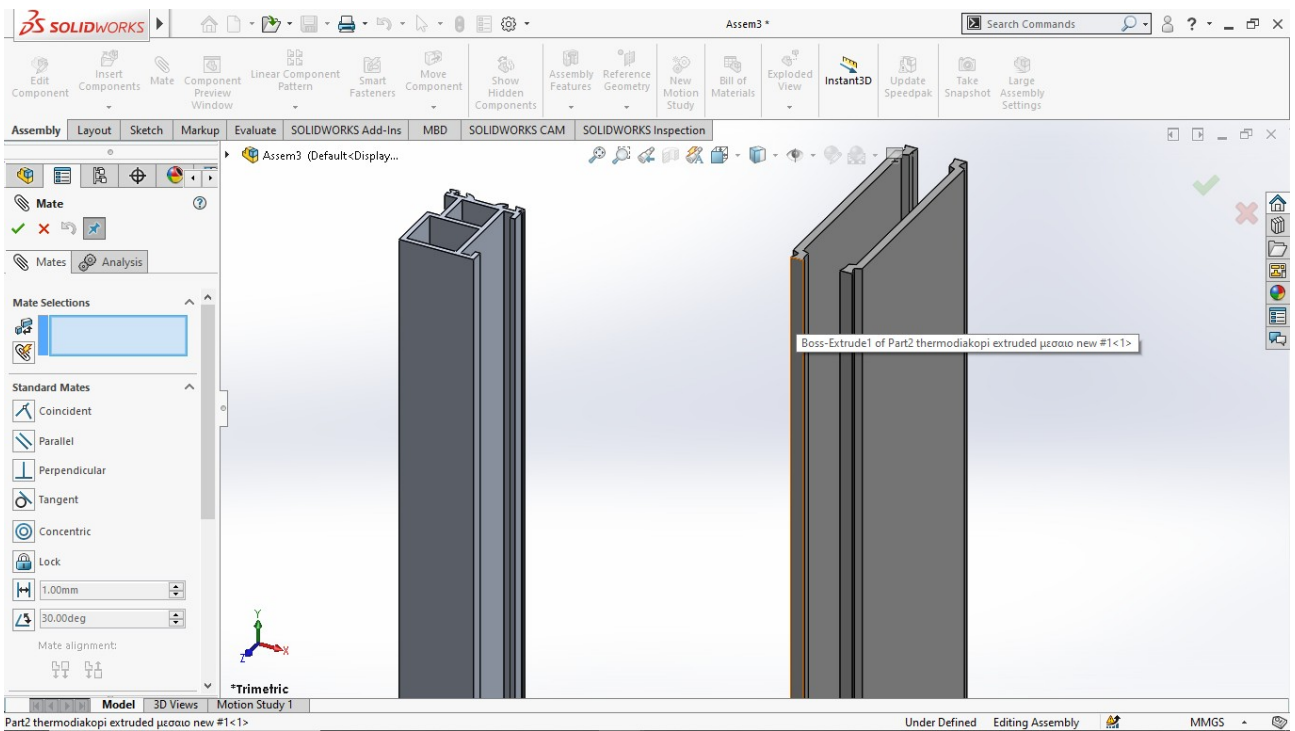
Επιλέγουμε Assembly → insert component. Επιλέγουμε browse και επιλέγουμε το part που θέλουμε να προσθέσουμε (τη θερμοδιακοπή).



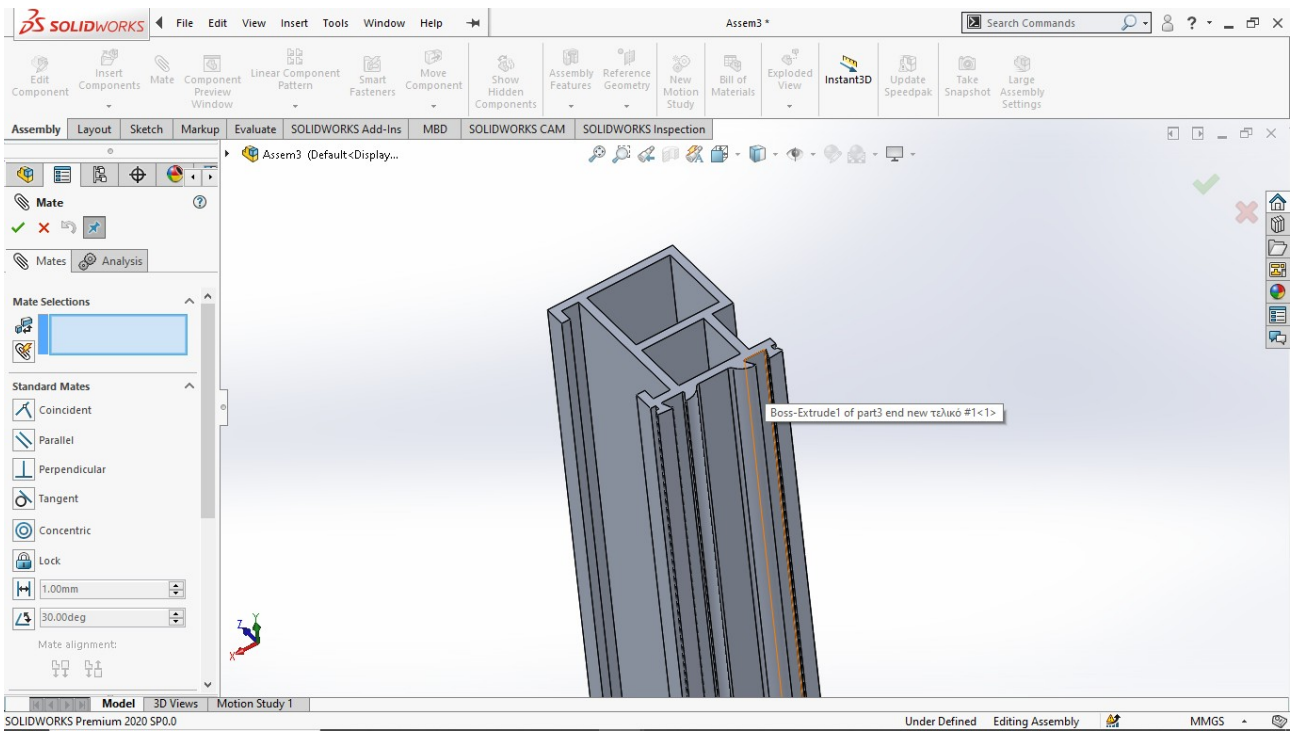
Αφού το επιλέξουμε εμφανίζεται στην οθόνη. Τώρα μένει να δημιουργήσουμε δεσμούς μεταξύ των εξαρτημάτων για να ενωθούν μεταξύ τους.



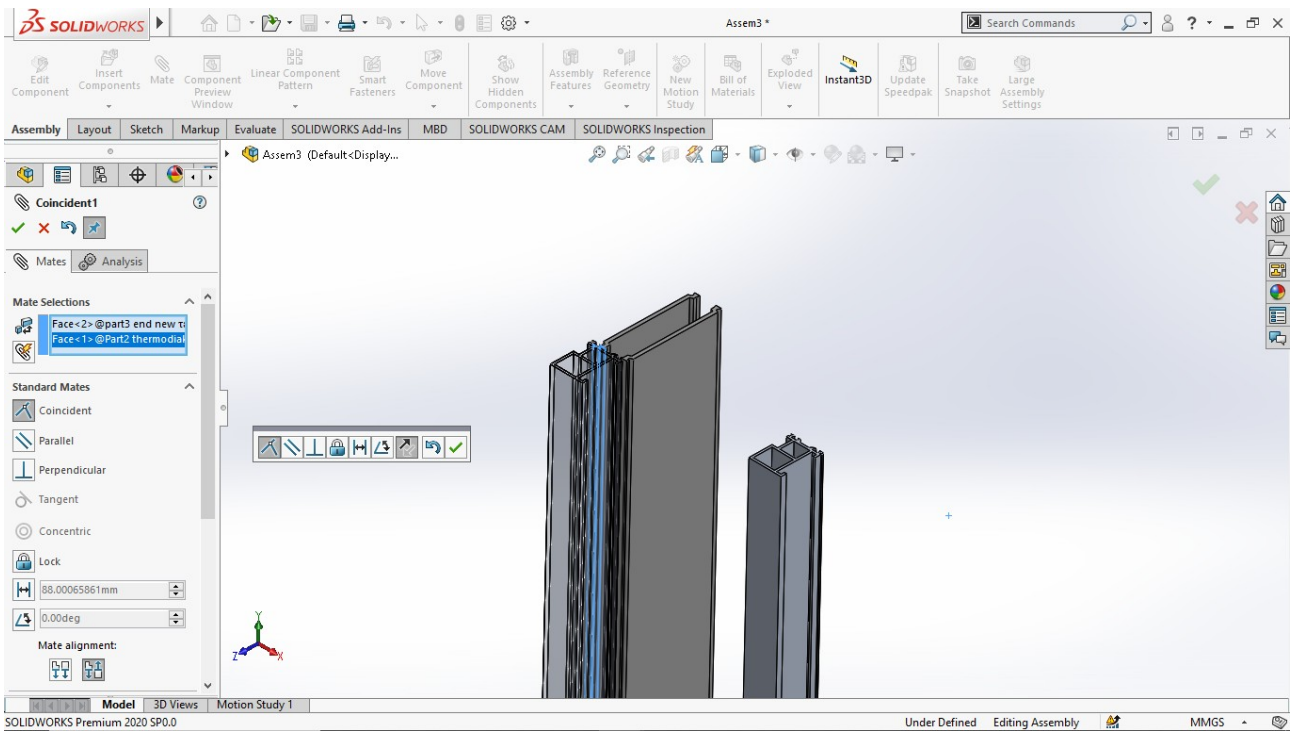
Επιλέγουμε την εντολή Mate πάνω αριστερά.



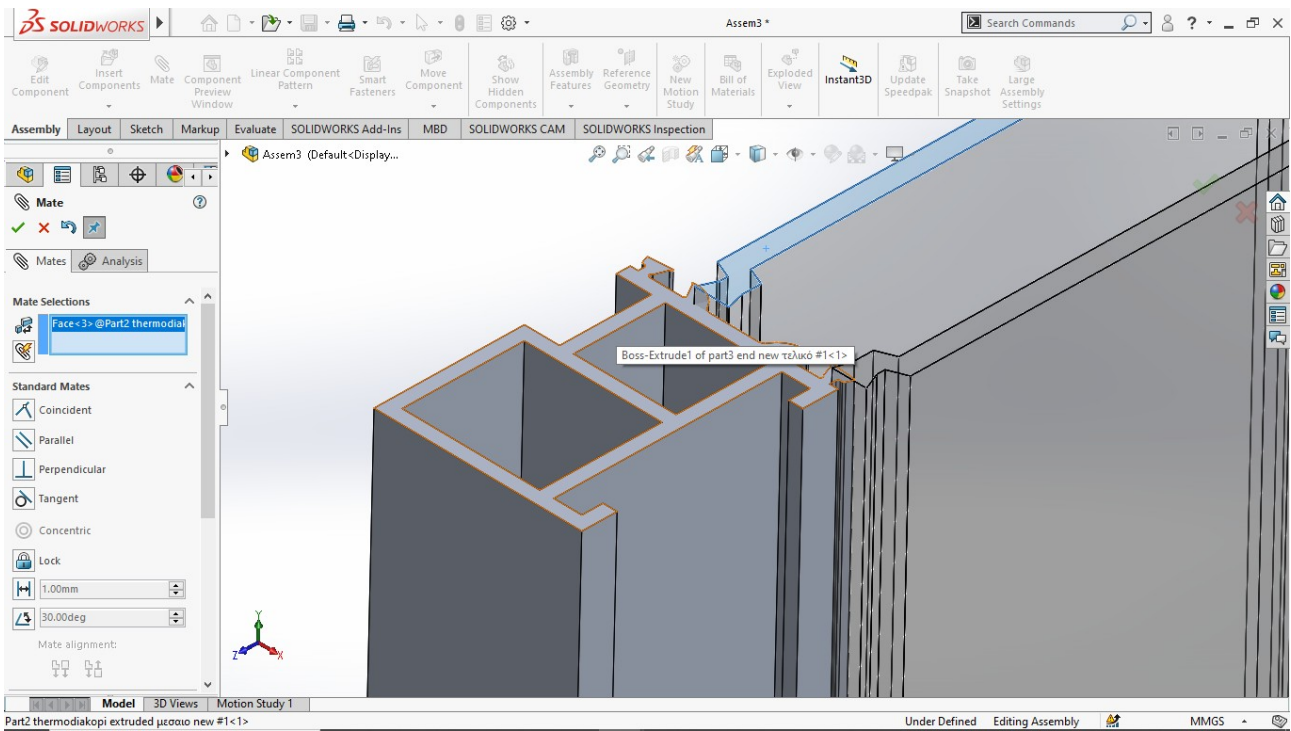
Στη συνέχεια επιλέγουμε μία πλευρά της θερμοδιακοπής.



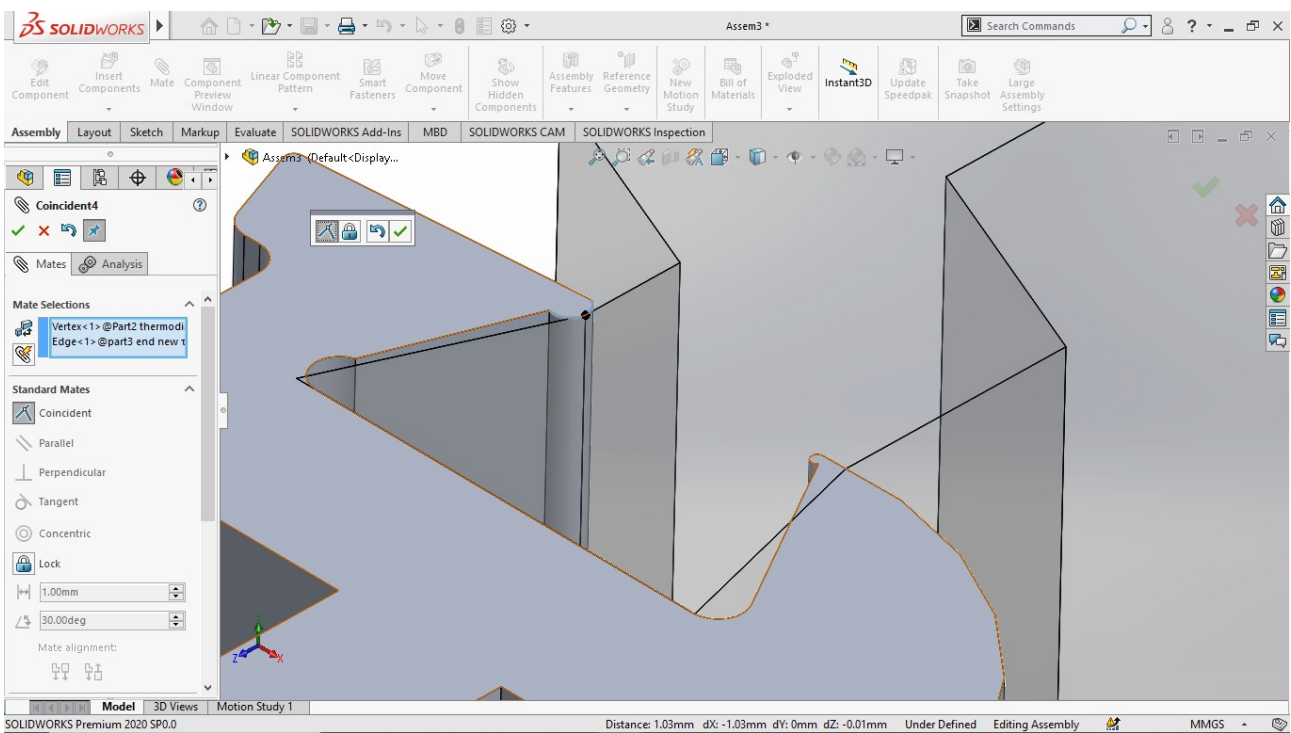
Έπειτα επιλέγουμε την πλευρά του προφίλ που θέλουμε να ακουμπάει με την πλευρά της θερμοδιακοπής.



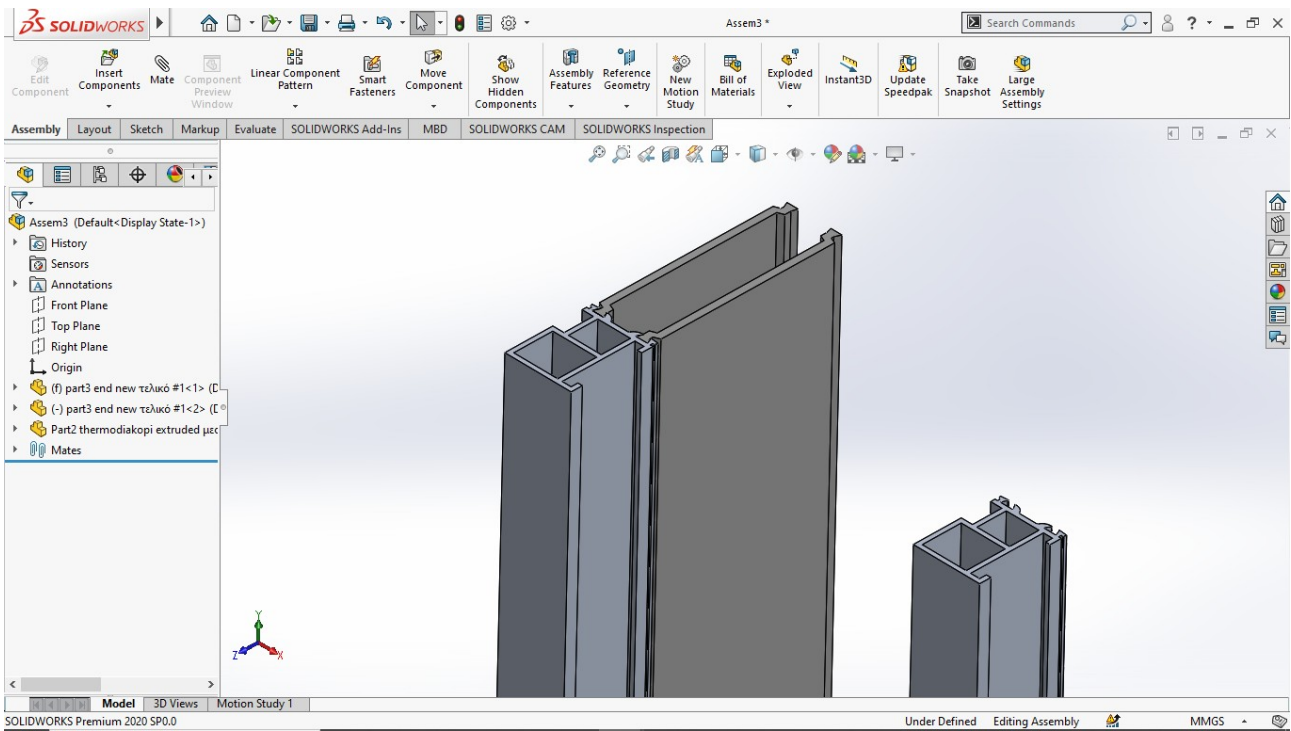
Το πρόγραμμα τα φέρνει κολλητά αυτόματα και είναι ήδη επιλεγμένη η επιλογή coincident ώστε να ακουμπάνε. Πατάμε ok.



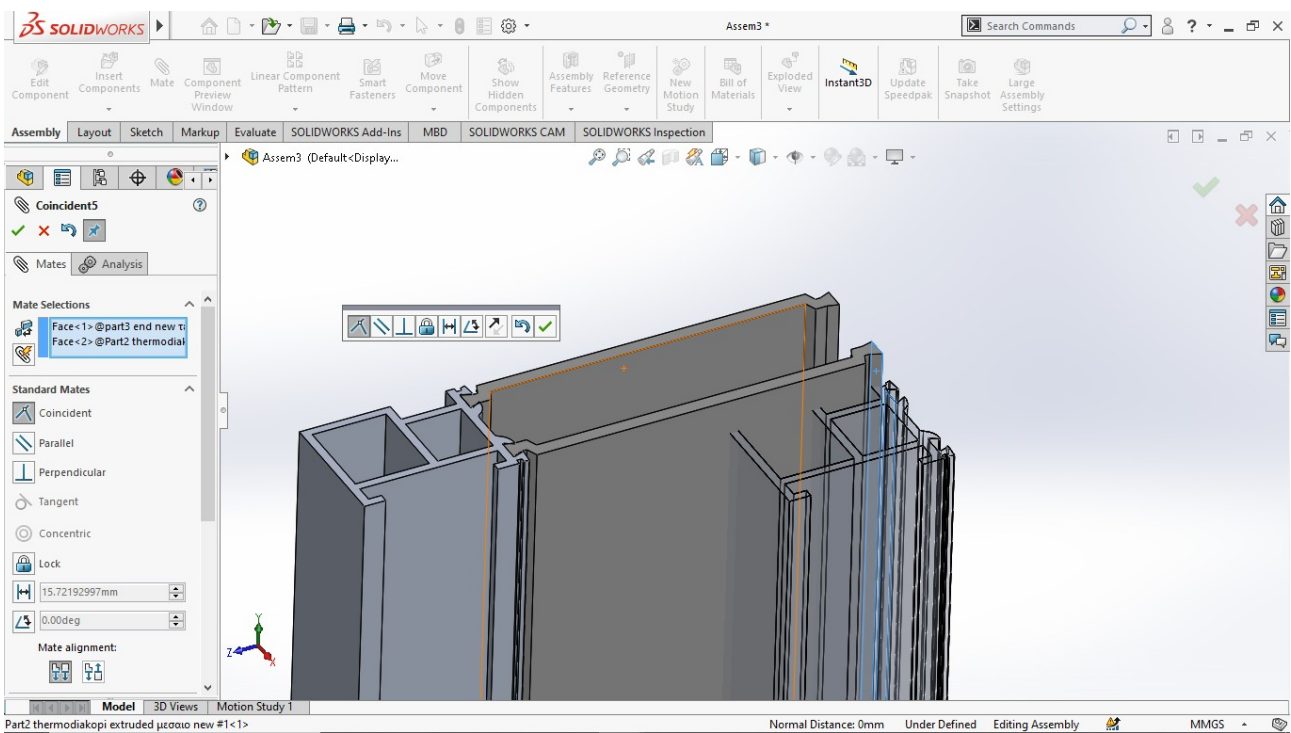
Ομοίως επιλέγουμε τις δύο πάνω πλευρές για να είναι παράλληλες.



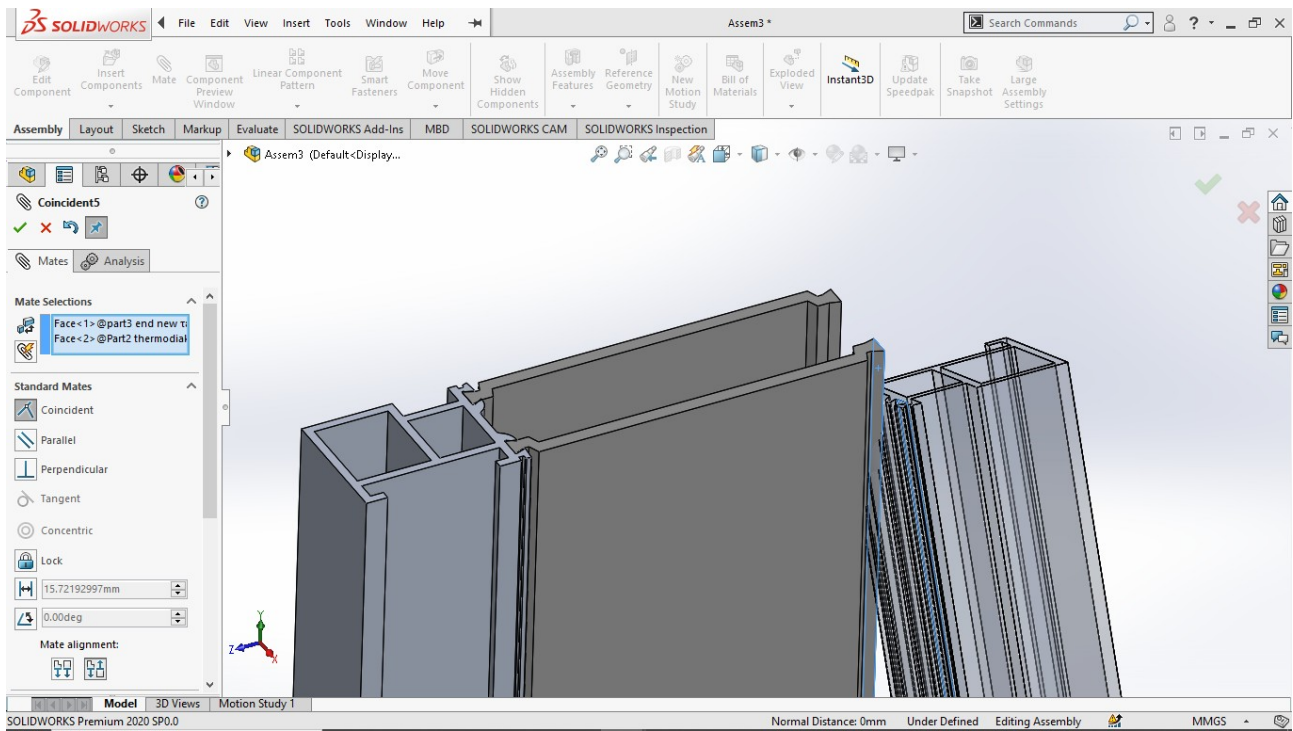
Τέλος επιλέγουμε ένα σημείο του προφίλ που ακουμπάει με τη θερμοδιακοπή στο σημείο που θέλουμε (Έτσι η θερμοδιακοπή δεν έχει άλλους βαθμούς ελευθερίας σχετικά με το προφίλ και κλειδώνει η θέση της)



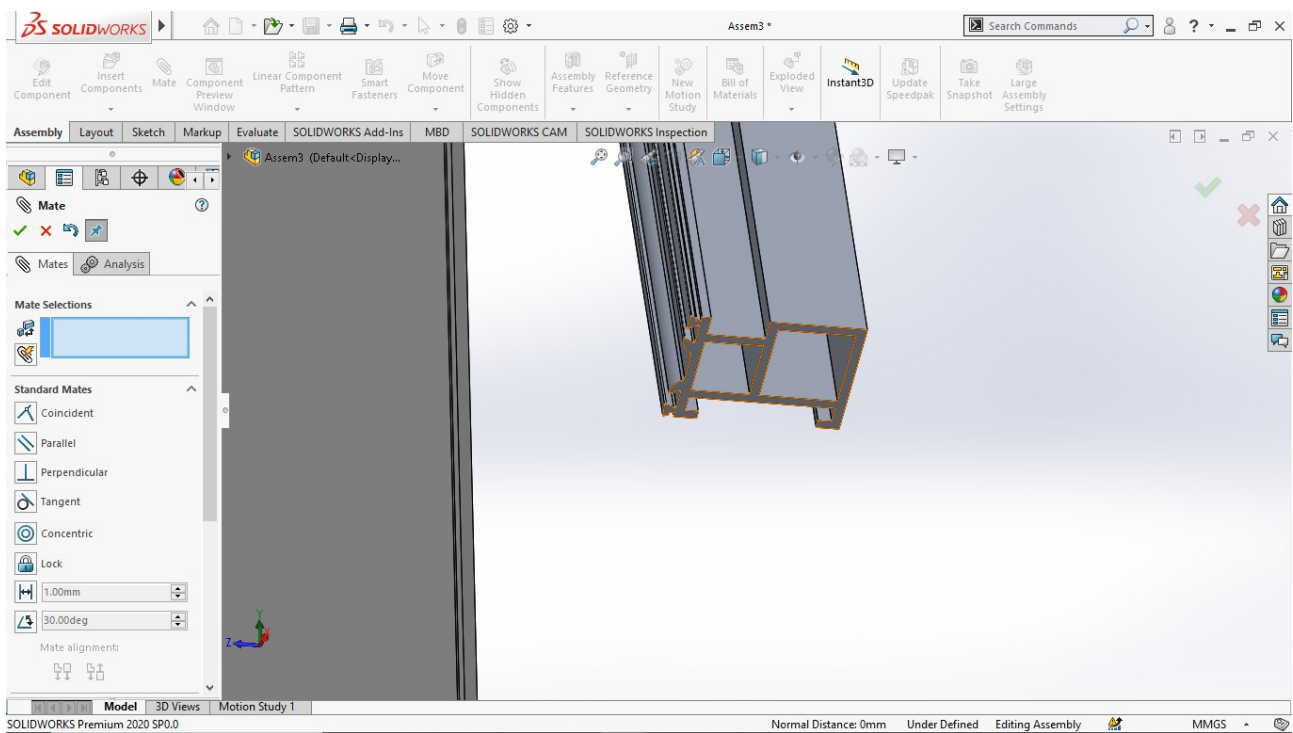
Το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτό. Τώρα πρέπει να ενωθεί και το άλλο προφίλ.



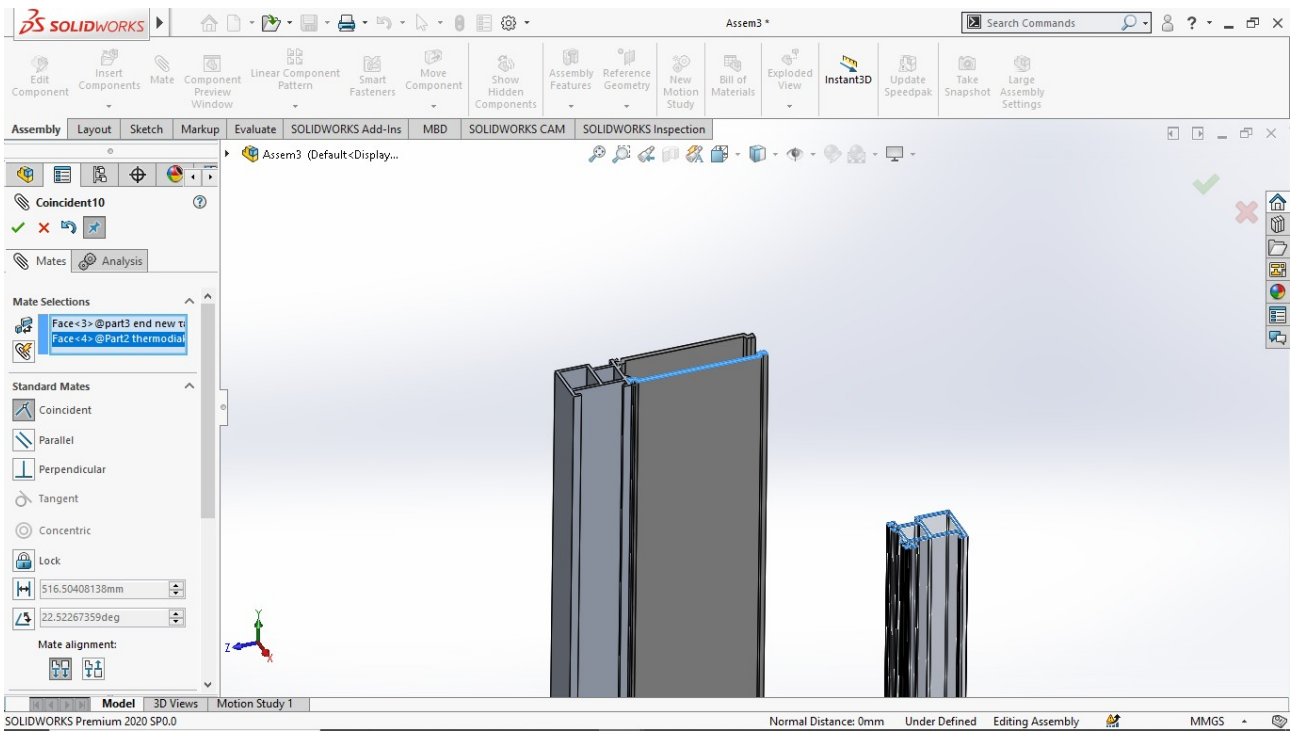
Επιλέγουμε όπως και πριν τις δύο πλευρές όμως παρατηρούμε ότι το προφίλ δεν έχει τον προσανατολισμό που θέλουμε.



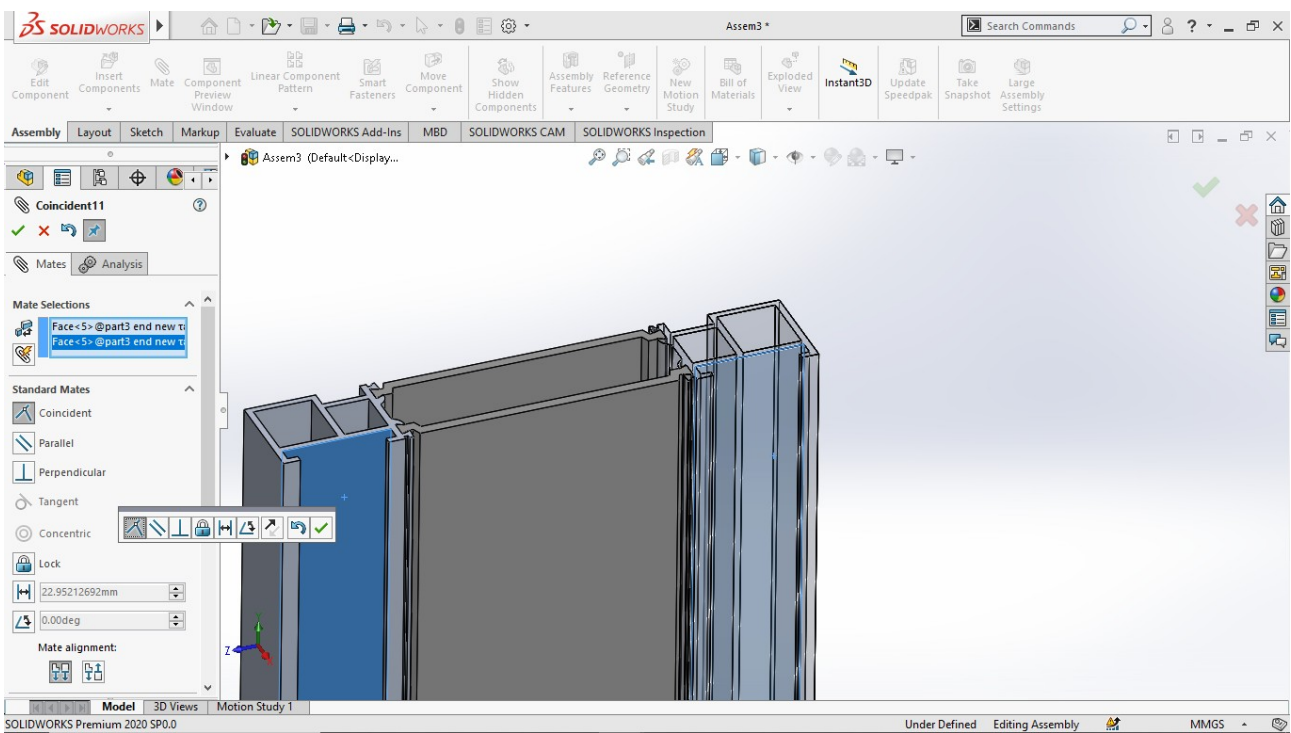
Με την επιλογή Mate alignment κάτω αριστερά αλλάζρι ο προσανατολισμός.



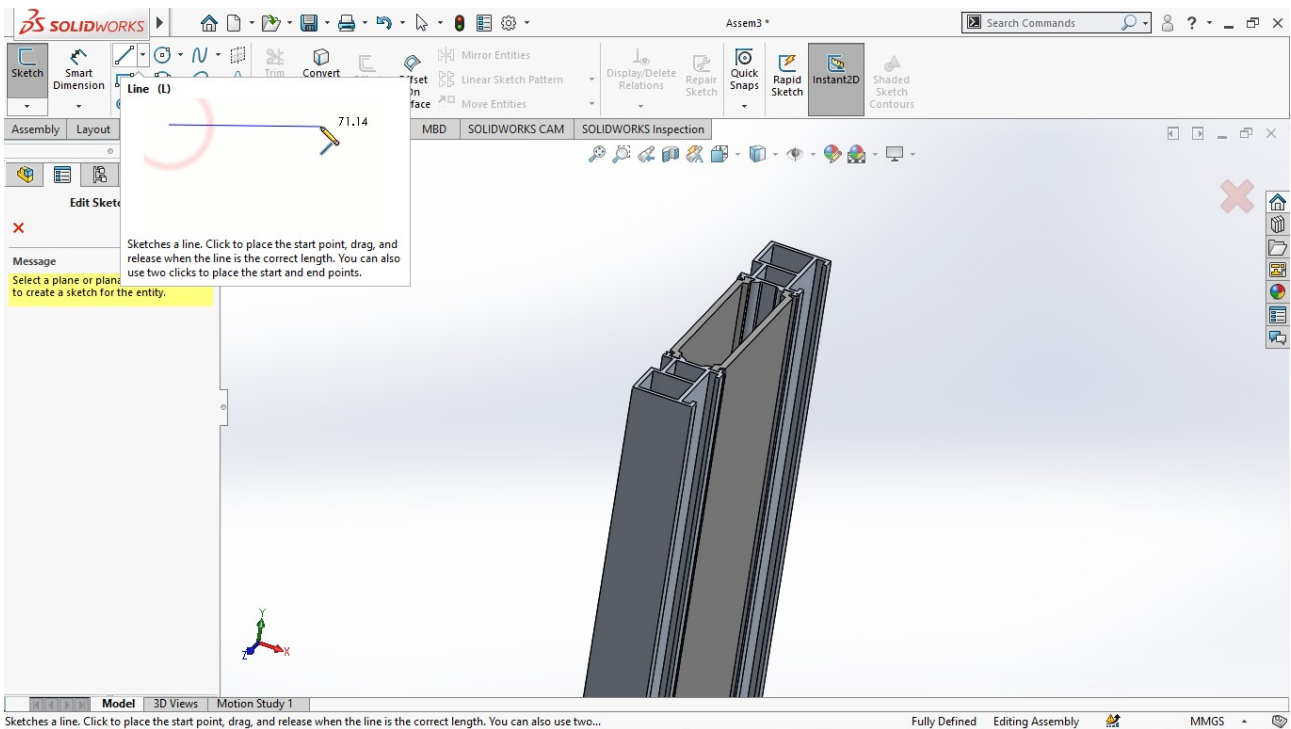
Στη συνέχεια επιλέγουμε την κάτω πλευρά του προφίλ για να ενωθεί με την πάνω πλευρά της θερμοδιακοπής έτσι ώστε να είναι συμμετρικό το αποτέλεσμα.



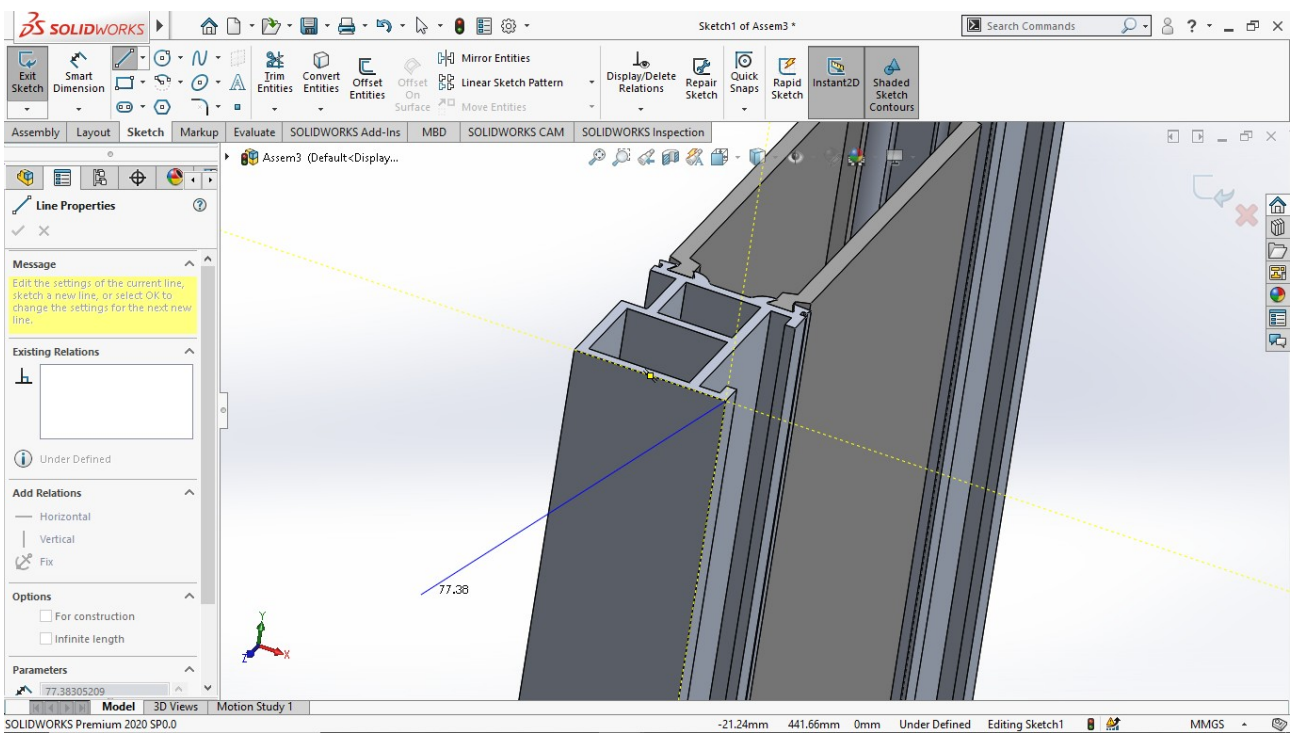
Επιλέγουμε και την πάνω πλευρά της θερμοδιακοπής για να δημιουργηθεί ο δεσμός.



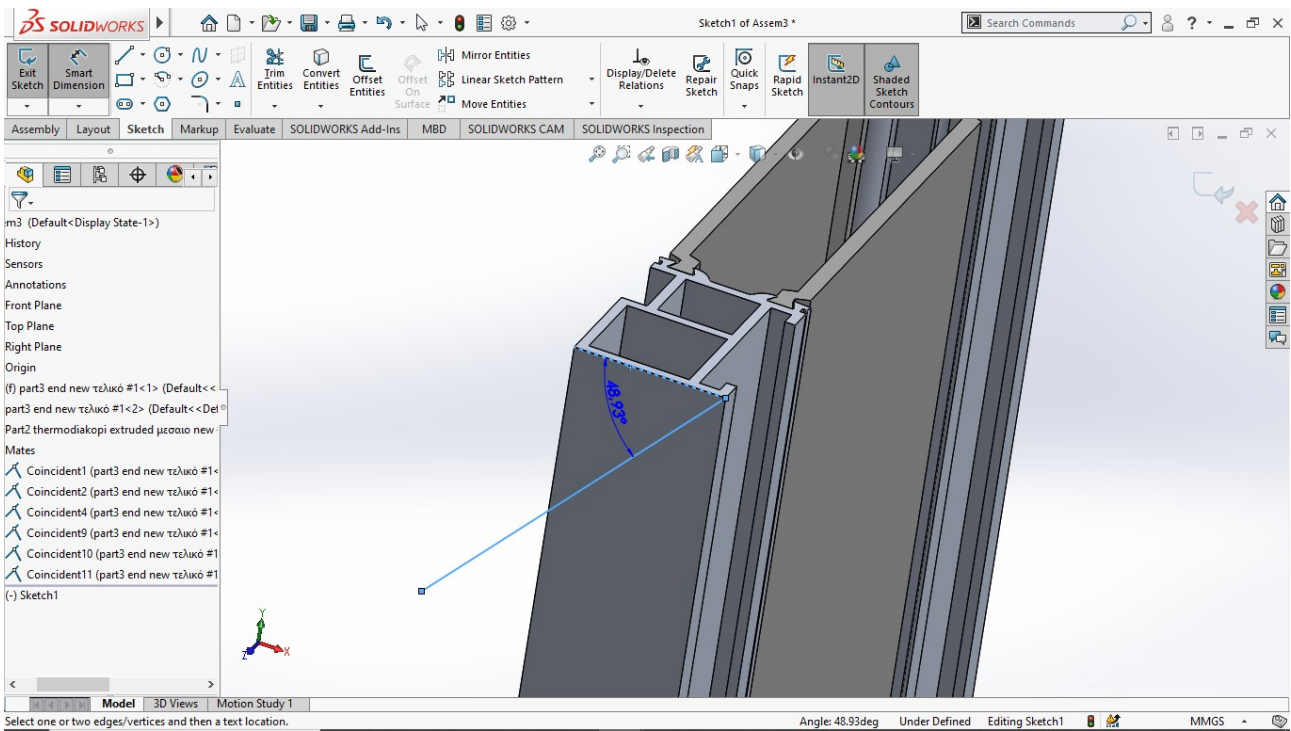
Τέλος επιλέγουμε τις δύο πλευρές των προφίλ ώστε να είναι παράλληλες.



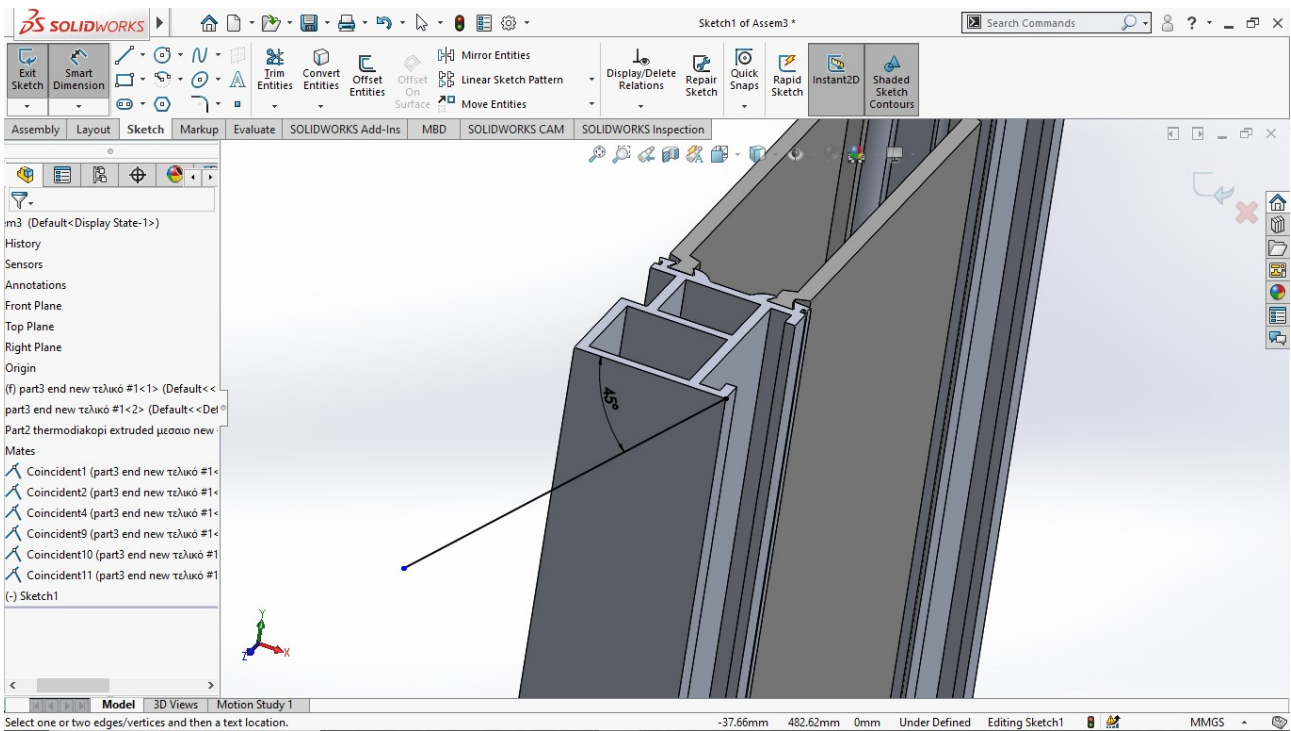
Τώρα θα εφαρμόσουμε κοπές στο σύνολο. Επιλέγουμε πάνω αριστερά sketch → Line.



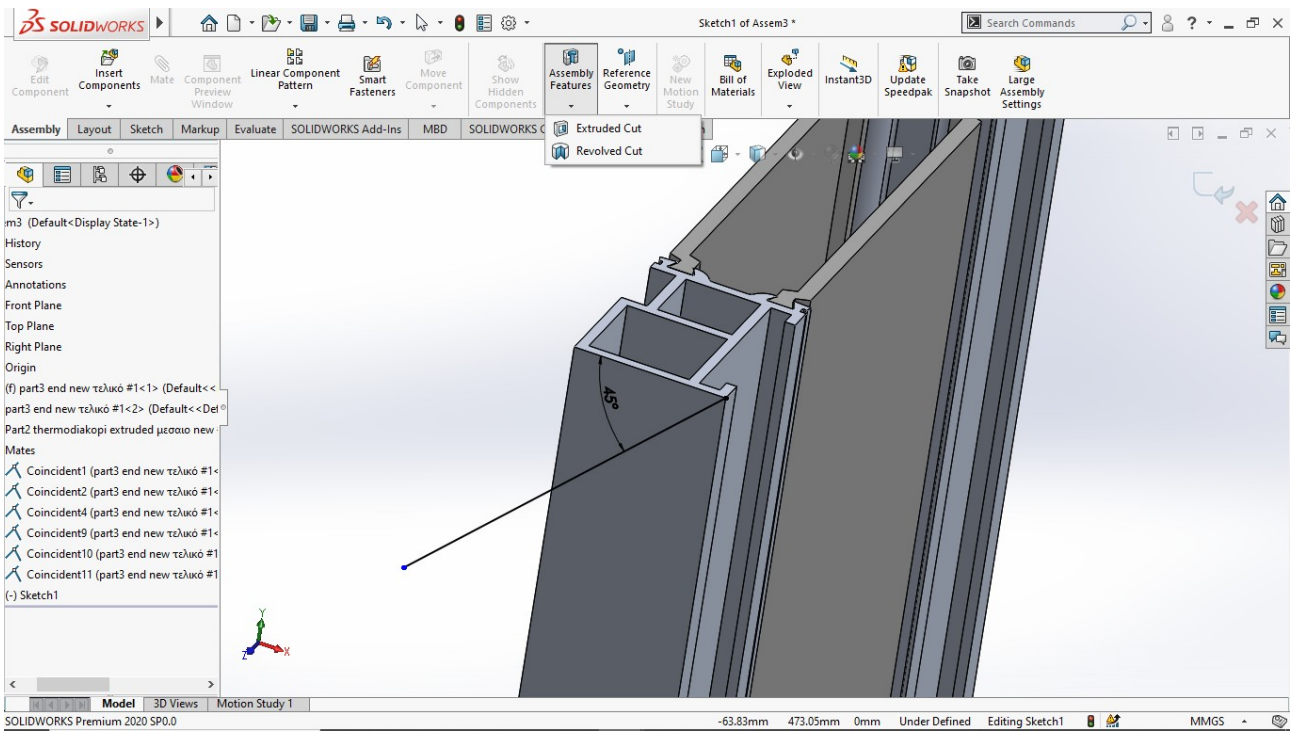
Μας ζητάει να επιλέξουμε το επίπεδο πάνω στο οποίο θα σχεδιάσουμε και επιλέγουμε την πλευρά του προφίλ. Στη συνέχεια κάνουμε μία γραμμή.



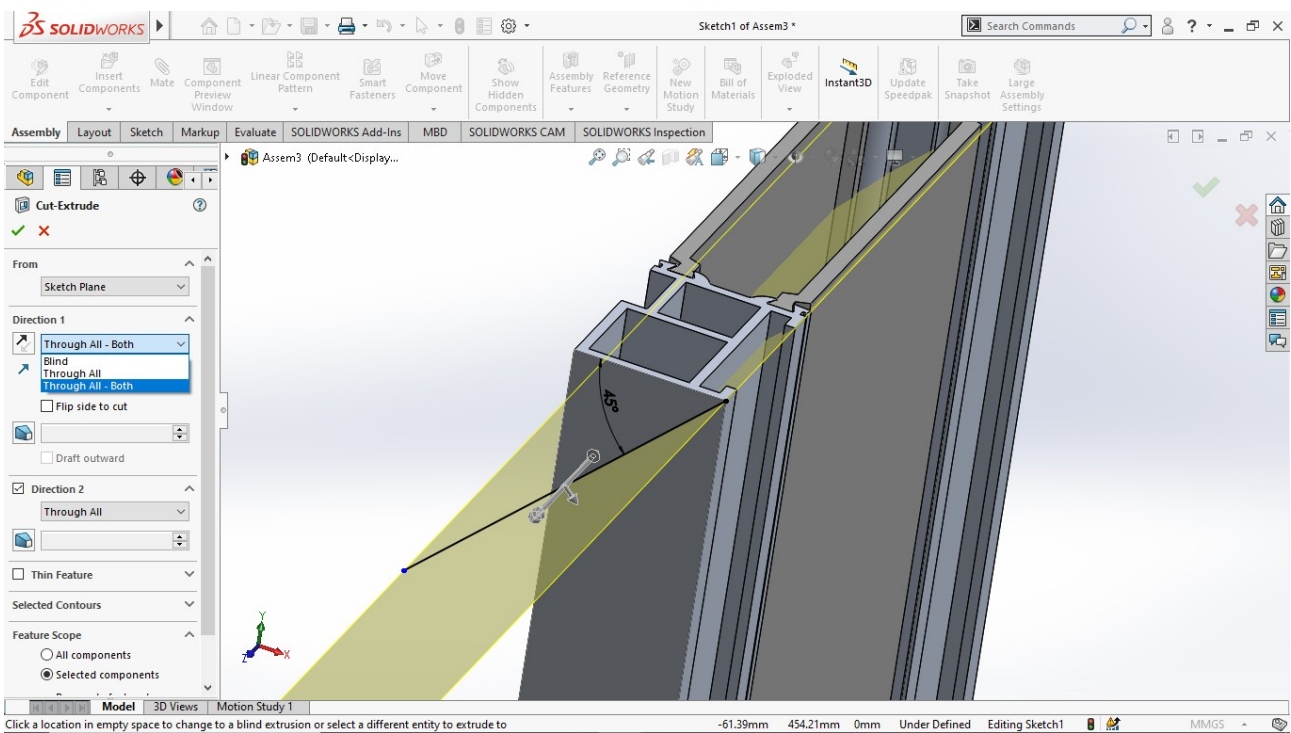
Με την επιλογή smart dimension επιλέγουμε τη γραμμή και την πάνω γραμμή του προφίλ. Έτσι βάζουμε τιμές για γωνίες.



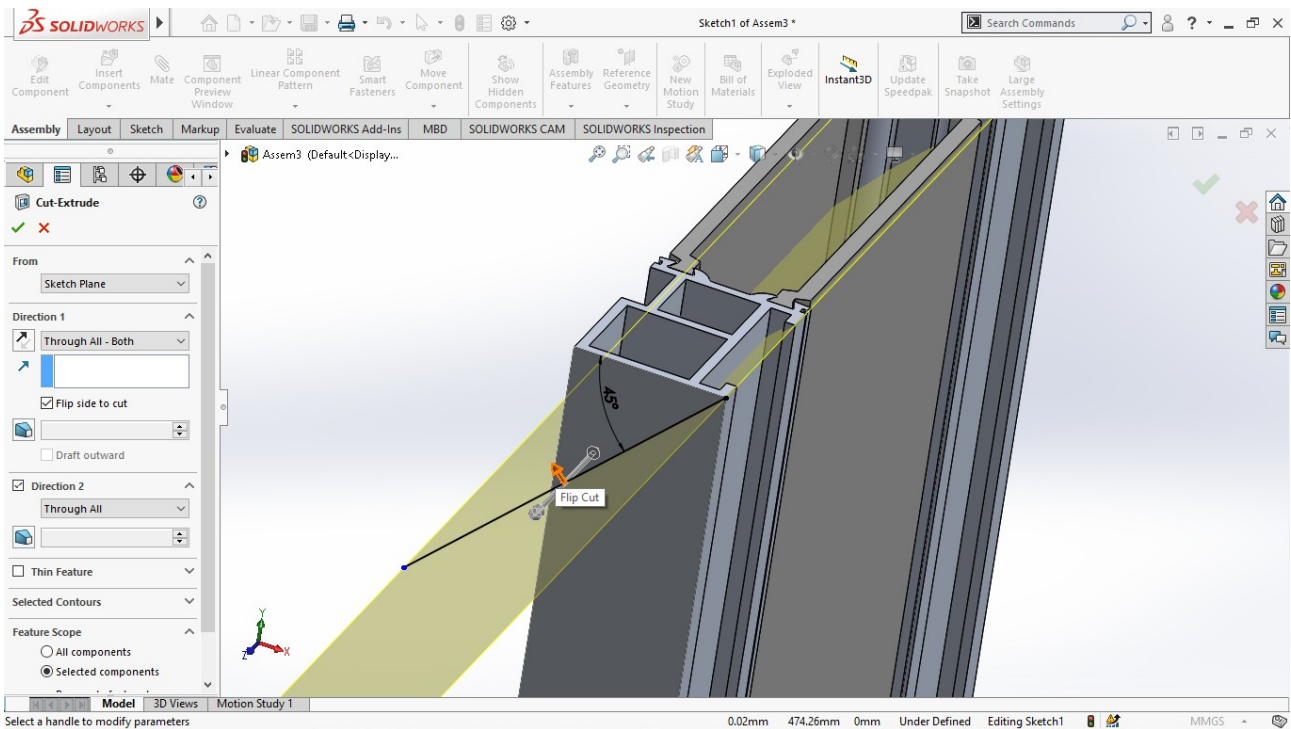
Βάζουμε 45°. Δεν χρειάζεται να βάλουμε μήκος γραμμής αρκεί να είναι μεγαλύτερο από το προφίλ.



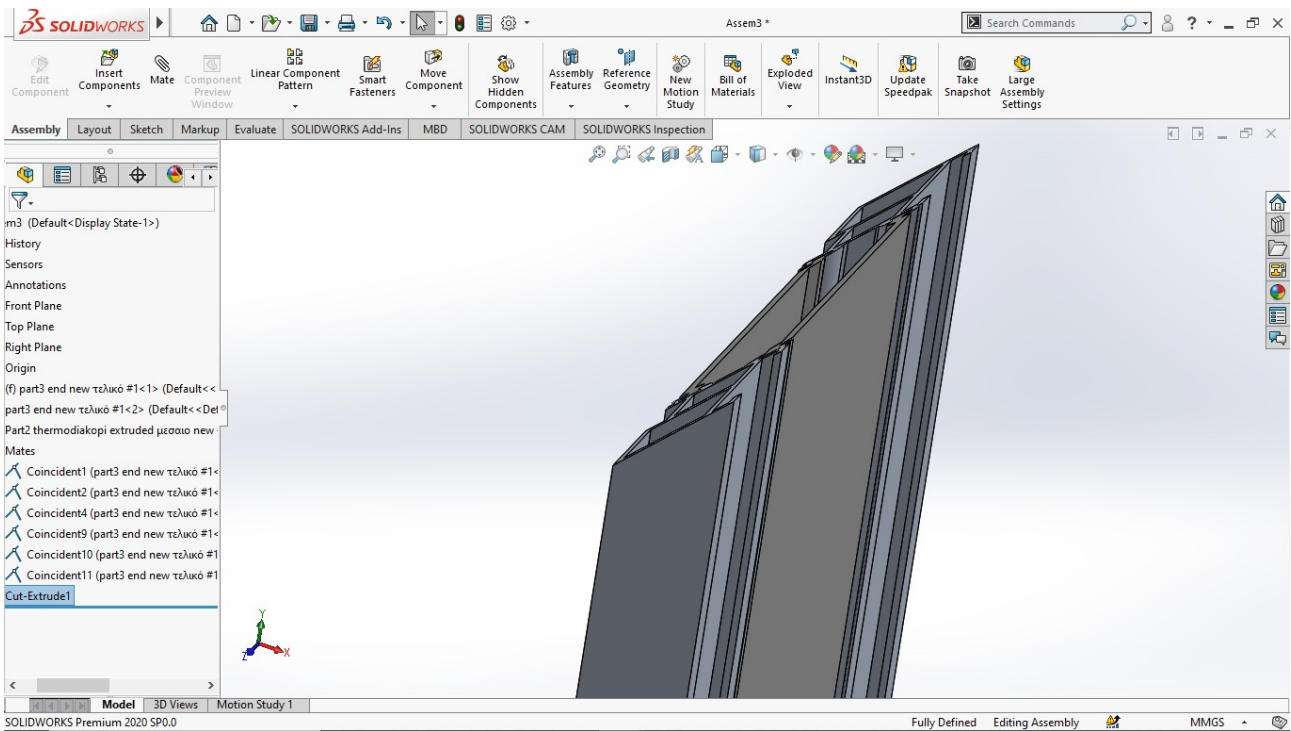
Στη συνέχεια επιλέγουμε Assembly → Assembly Features → Extruded cut.



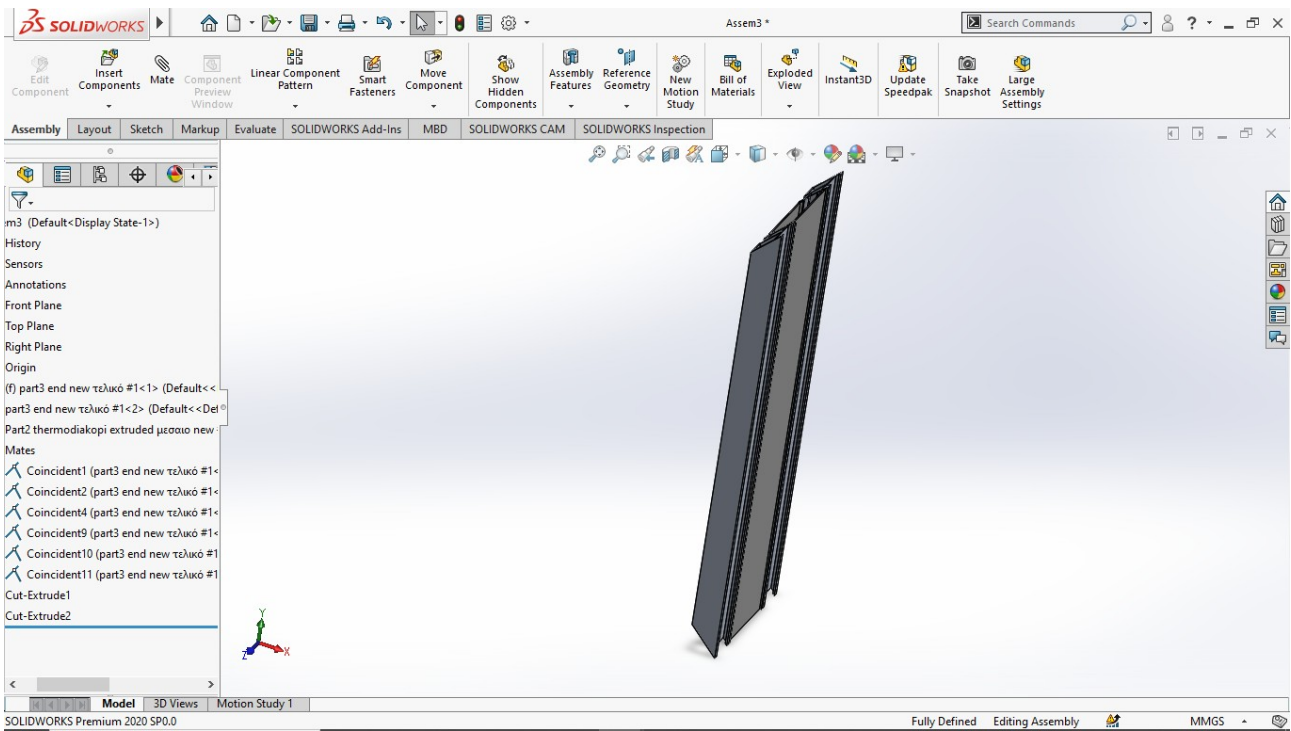
Μας εμφανίζει ένα παράθυρο και επιλέγουμε Direction: Through All-Both. Παρατηρούμε 3 γκριζα βελάκια στην οθόνη. Αυτά είναι οι κατευθύνσεις που θα γίνουν οι κοπές.



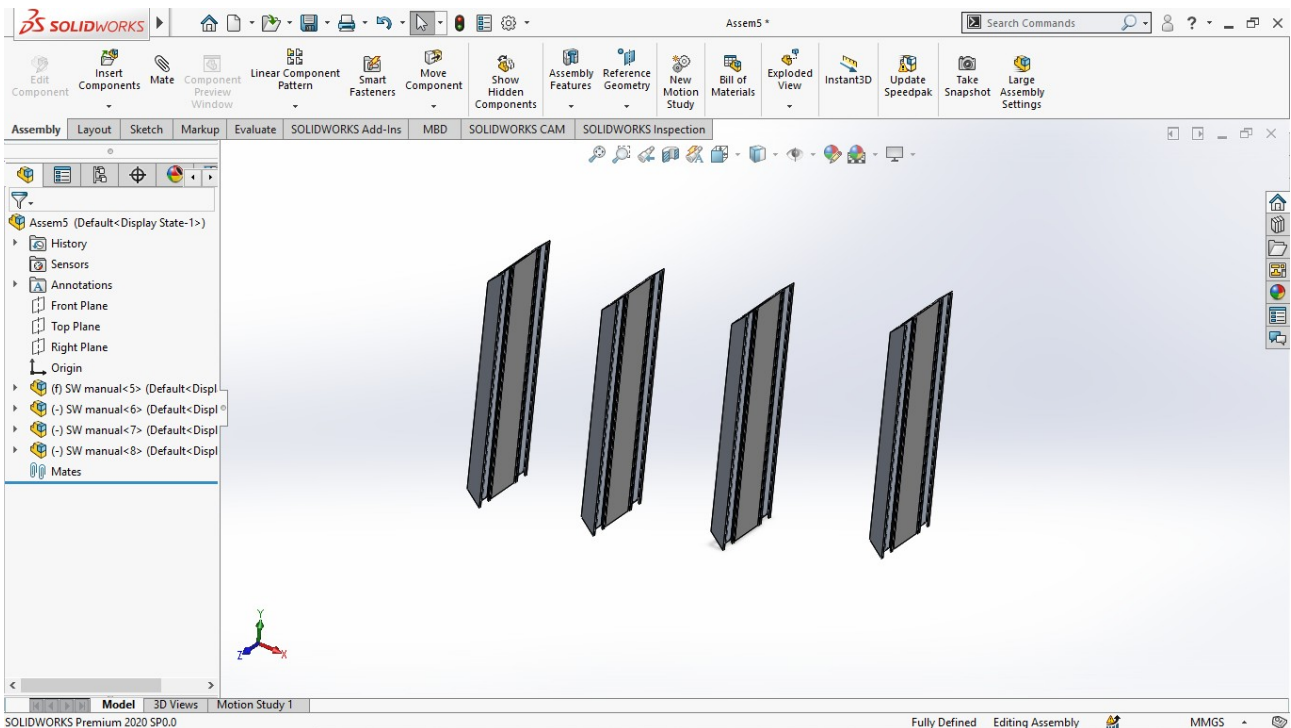
Πατάμε πάνω στο βελάκι που δείχνει προς τα κάτω και του αλλάζουμε τη φορά. Τώρα θα κοπεί το πάνω μέρος του προφίλ.



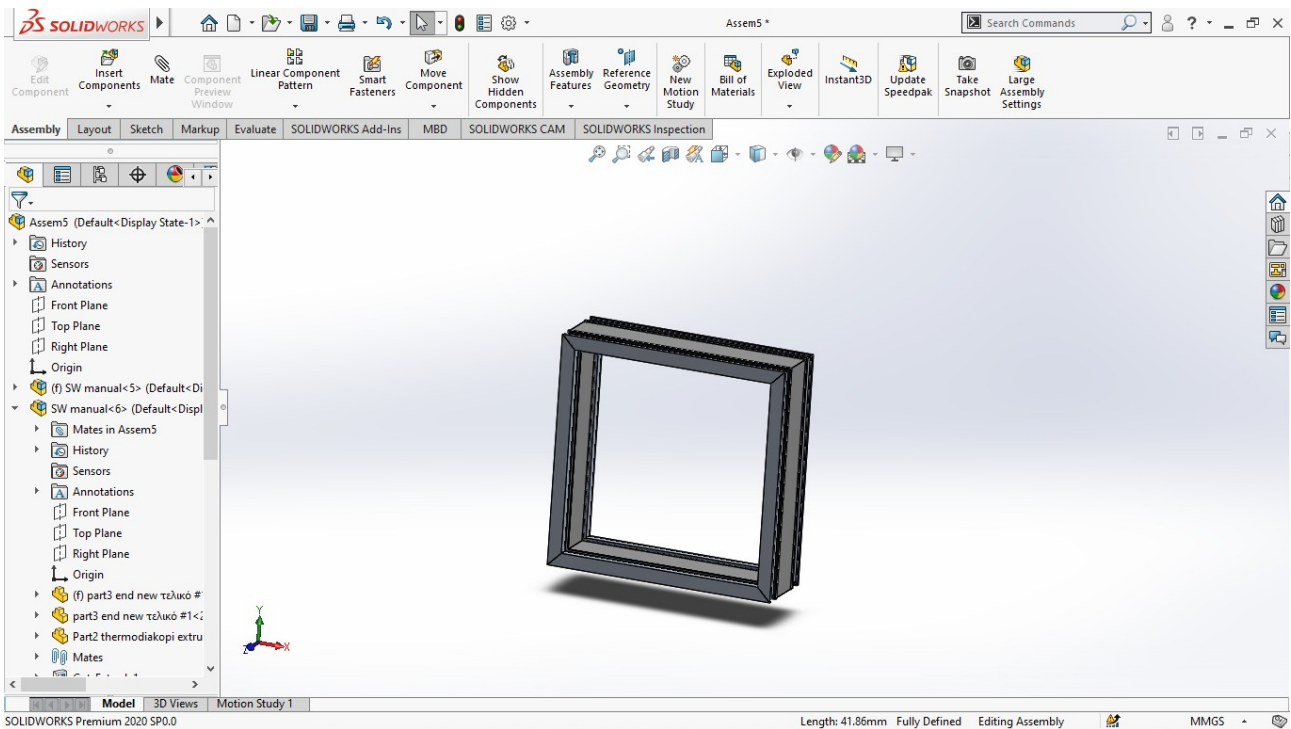
Πατάμε ok και εκτελείται η κοπή.



Ομοίως κόβουμε και το κάτω μέρος του προφίλ. Το assembly μπορεί να αποθηκευτεί για μελλοντικές χρήσεις.



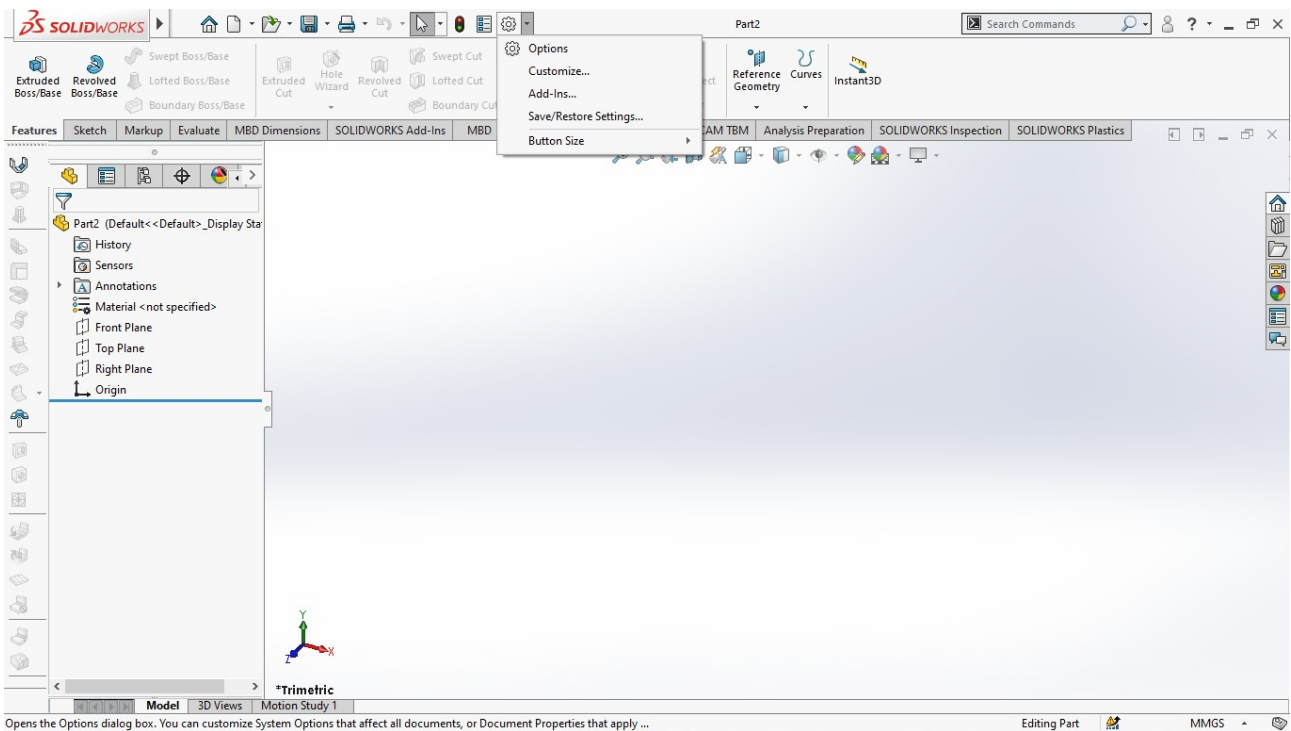
Σε ένα άλλο new assembly μπορούμε να εισάγουμε το προφίλ που φτιάξαμε τέσσερις φορές.



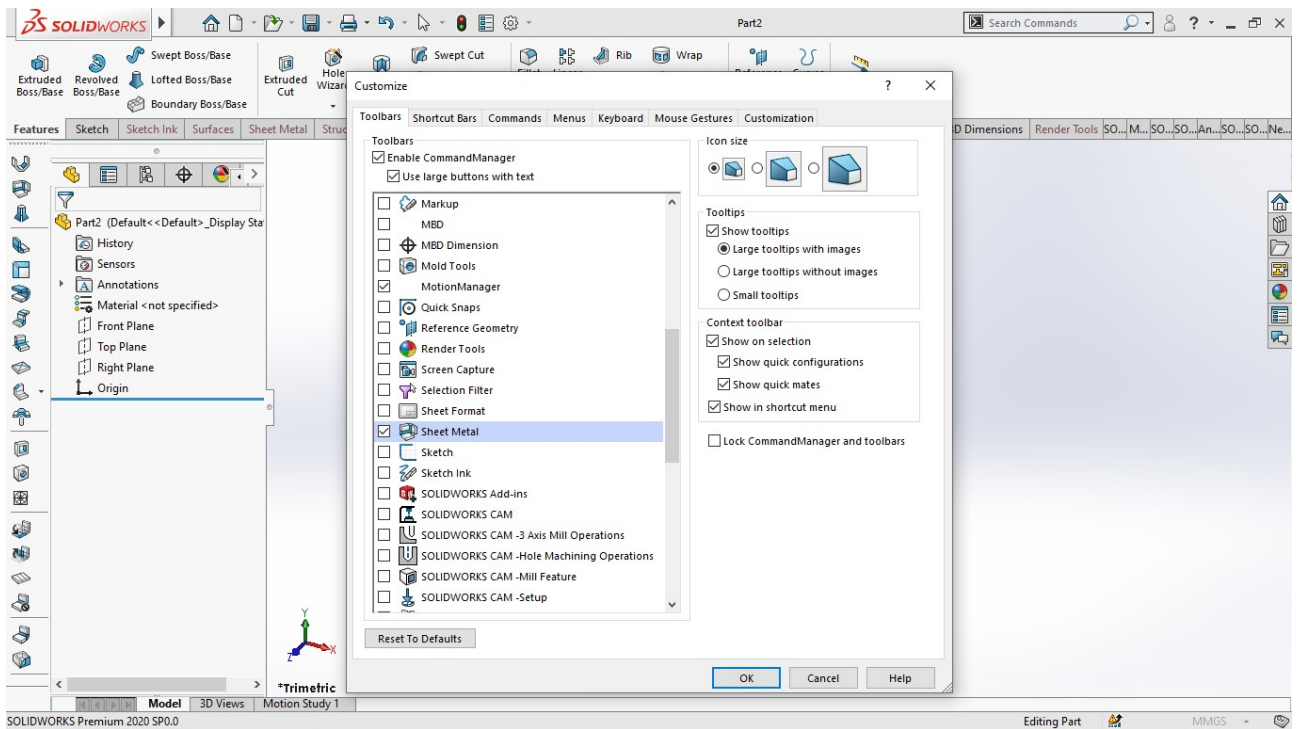
Αυτά με εφαρμογή δεσμών (mate) δημιουργούν το πλαίσιο του στοιχείου.

4.3 Ελάσματα στο Solidworks (sheet metal)

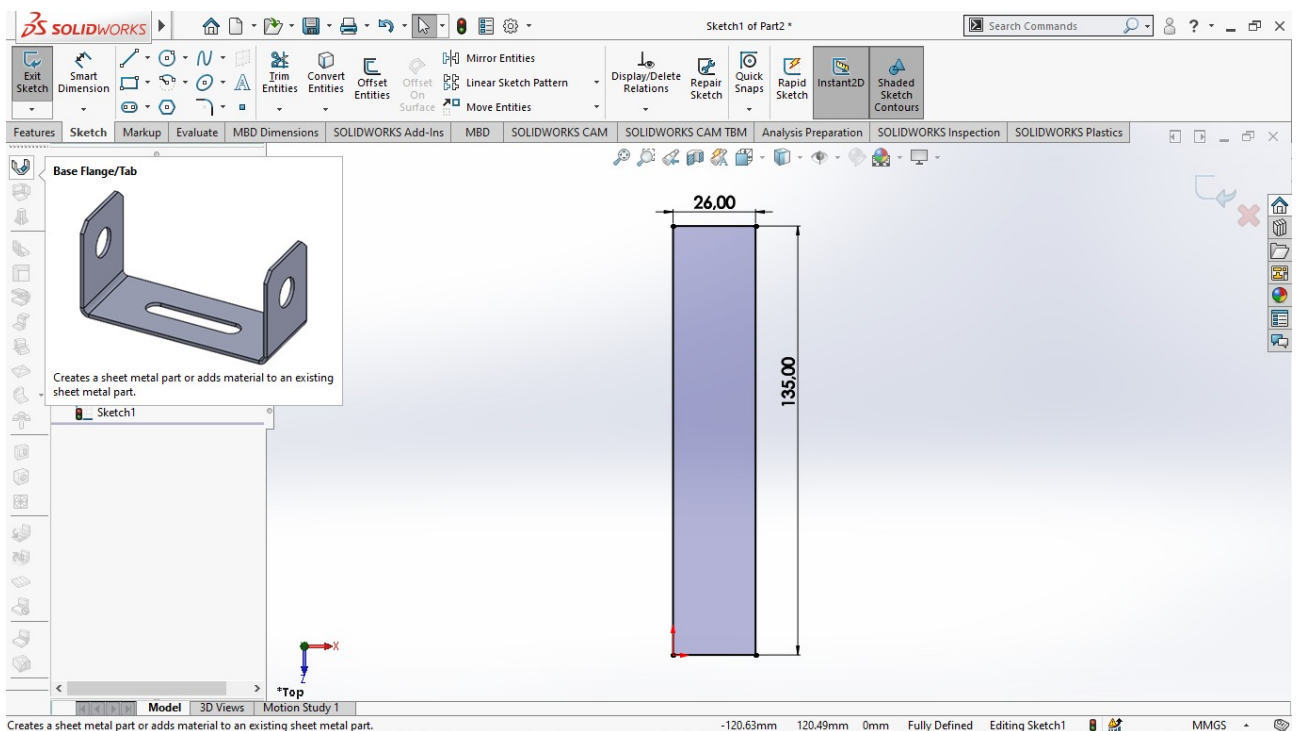
Η κατεργασία ελασμάτων είναι επίσης σημαντική για το στοιχείο. Εδώ θα δούμε πως σχεδιάζεται το Part 1 της πάνω βάσης στο λογισμικό solidworks.



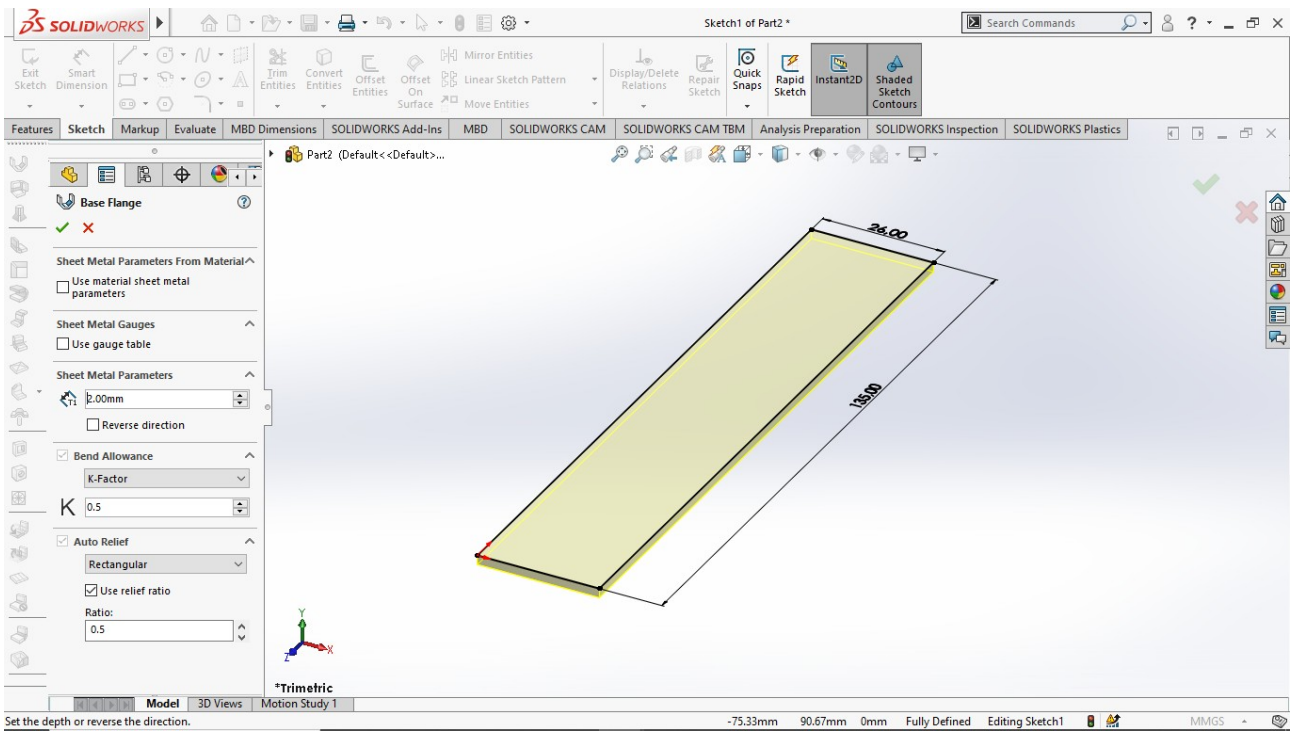
Σε νέο Part επιλέγουμε πάνω την επιλογή Options → Customize



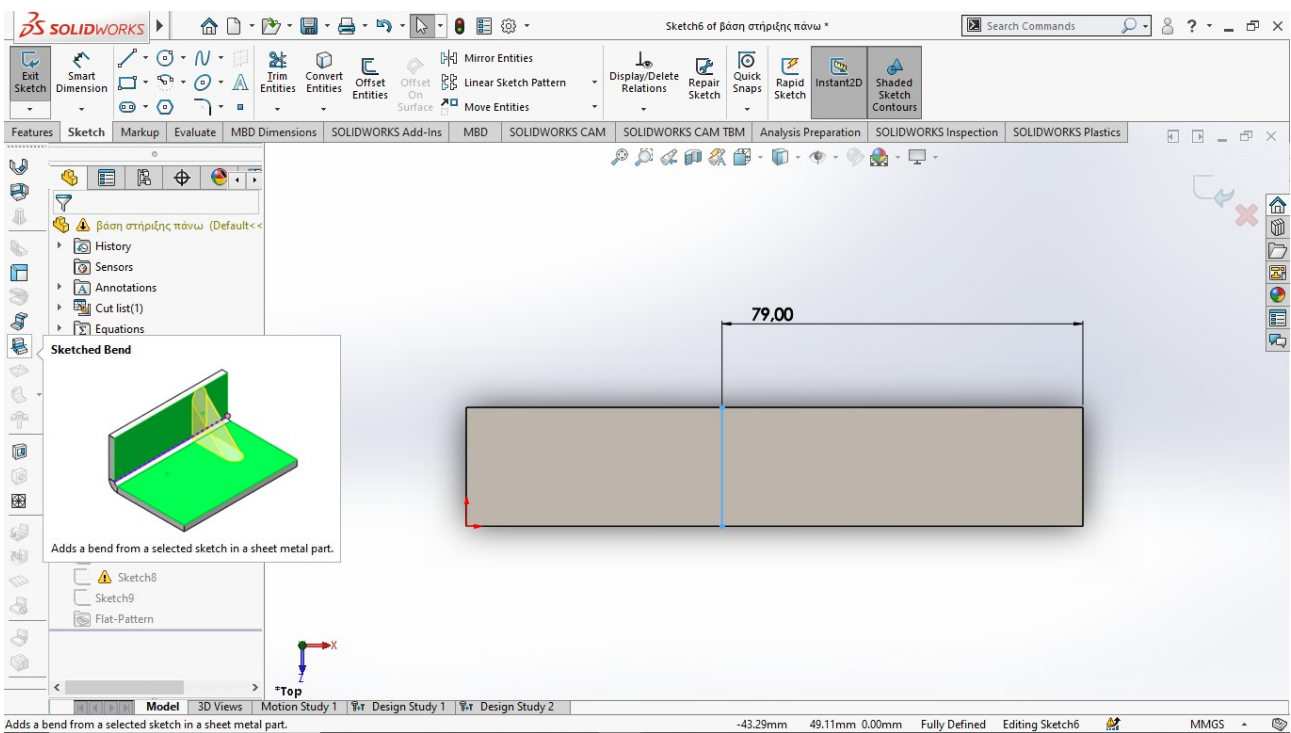
Βρίσκουμε την επιλογή Sheet Metal και κάνουμε tick αυτό την εμφανίζει δίπλα στην επιφάνεια εργασίας για εύκολη πρόσβαση σε επιλογές για sheet metal.



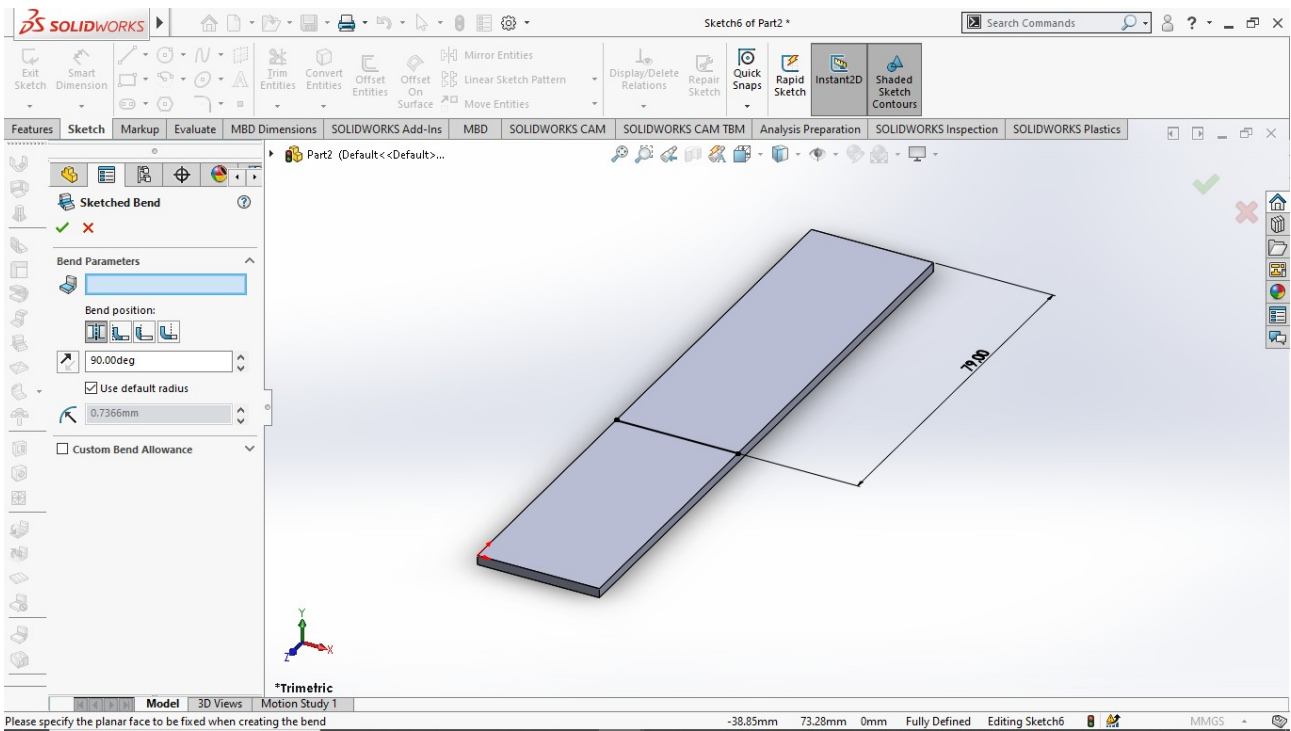
Δημιουργούμε όπως πριν ένα ορθογώνιο του δίνουμε και διαστάσεις και κάνουμε click στην επιλογή αριστερά Base Flange/Tab.



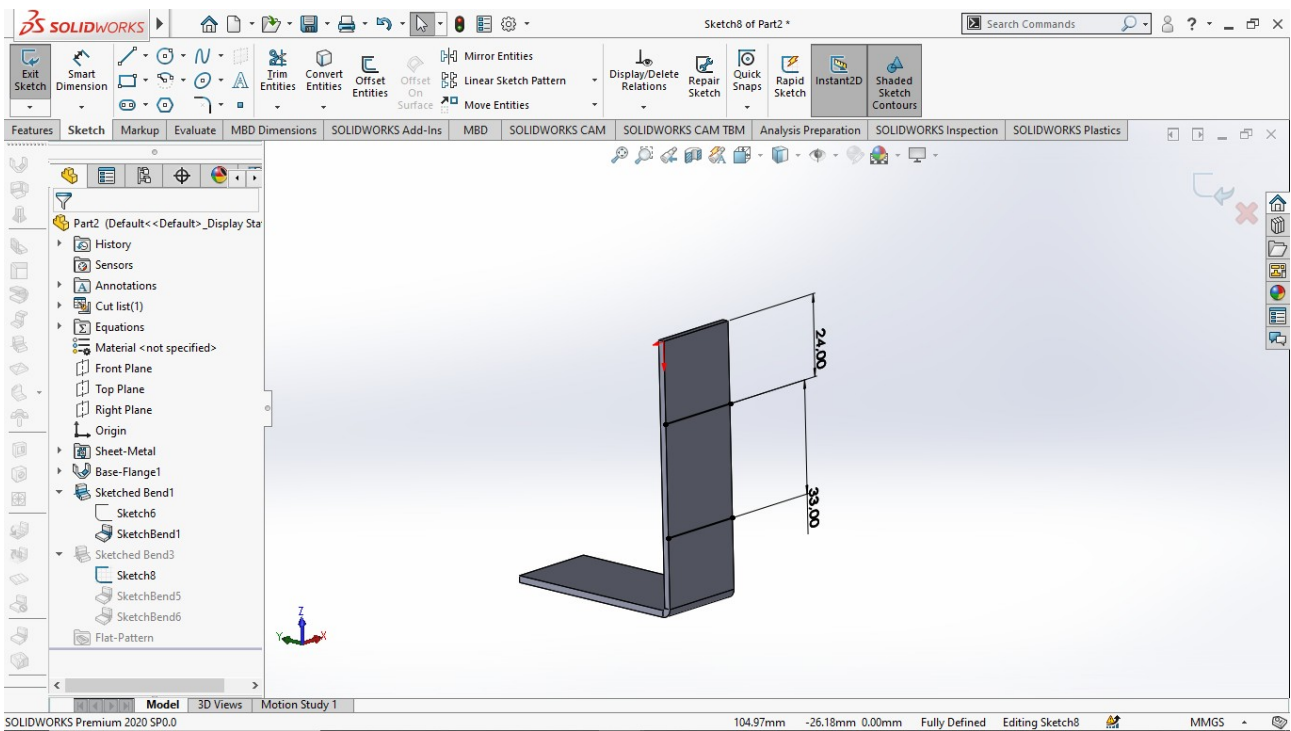
Αυτό δημιουργεί αυτόματα έλασμα πάχους 2mm (μπορούμε να το αλλάξουμε άμα θέλουμε).



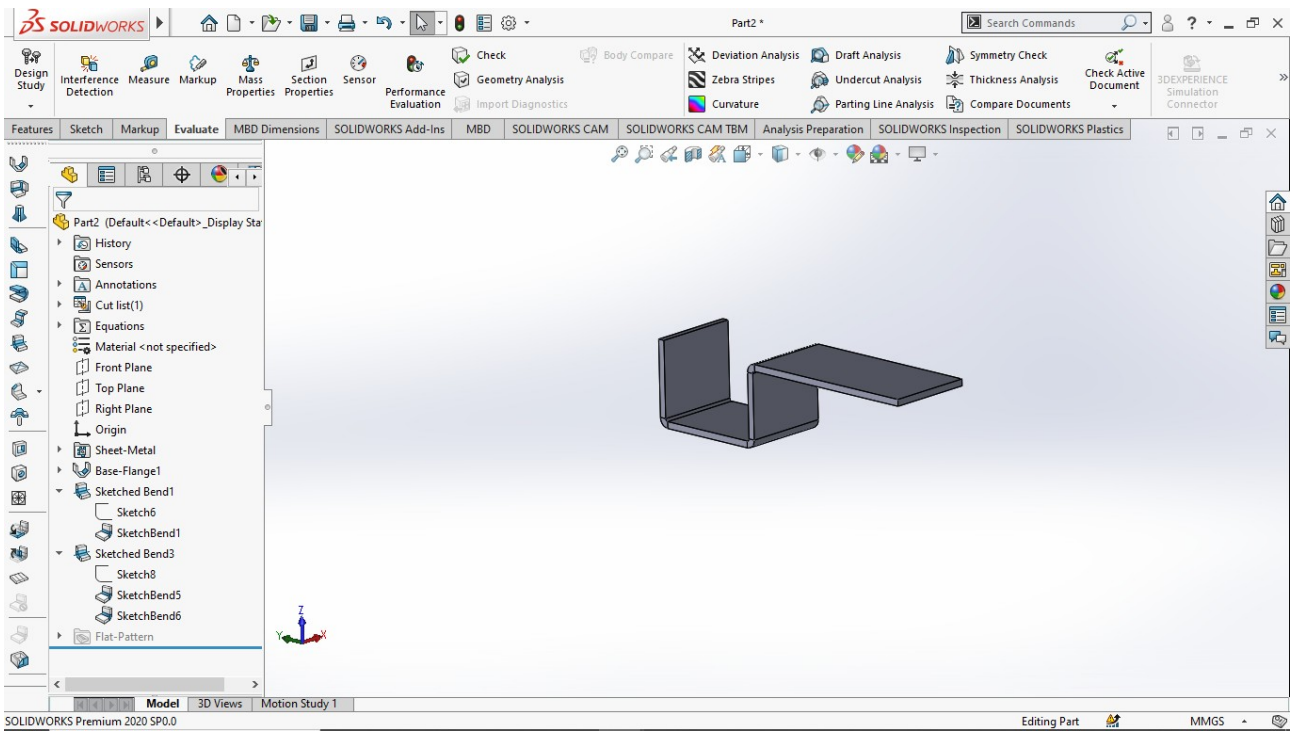
Στη συνέχεια κάνουμε με το sketch μία γραμμή πάνω στην επιφάνεια του ελάσματος και σε απόσταση 79 mm με το smart dimension. Επιλέγουμε αριστερά sketched bend και κάνουμε click.



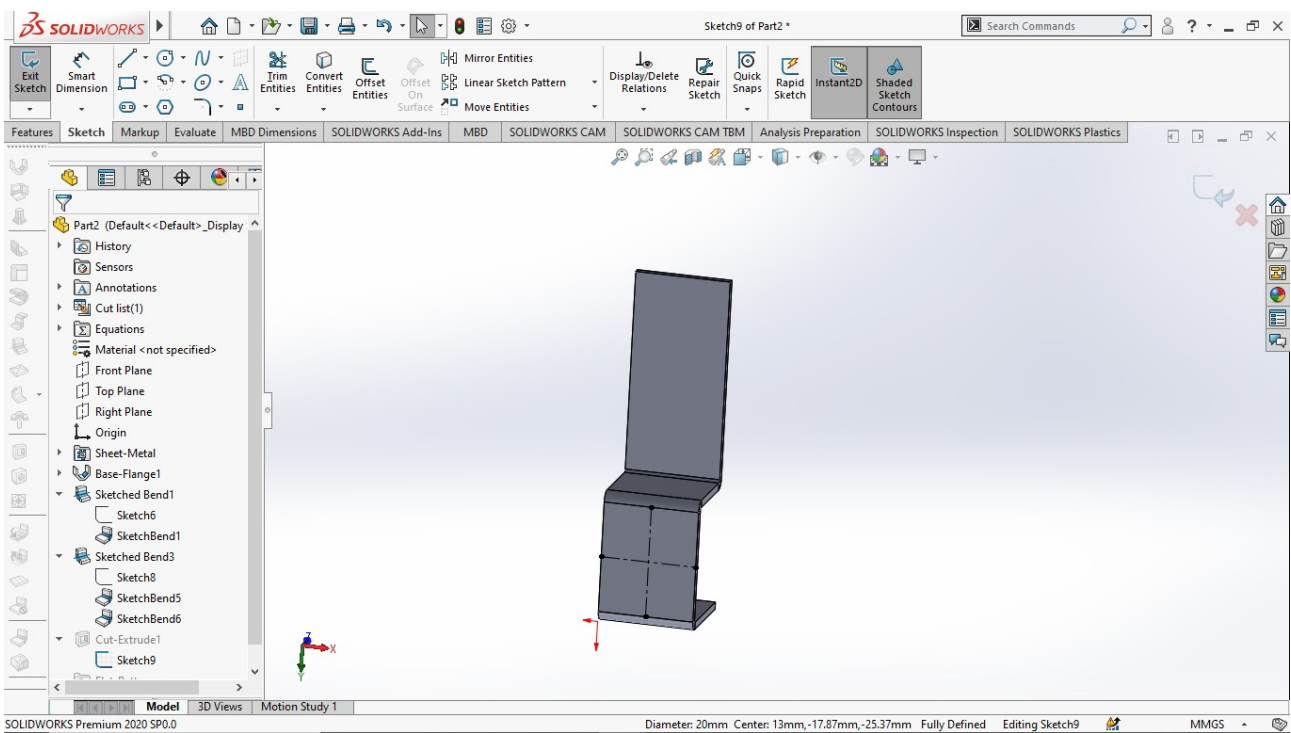
Πατάμε ok στις επιλογές που έχει και γίνεται κάμψη του ελάσματος.



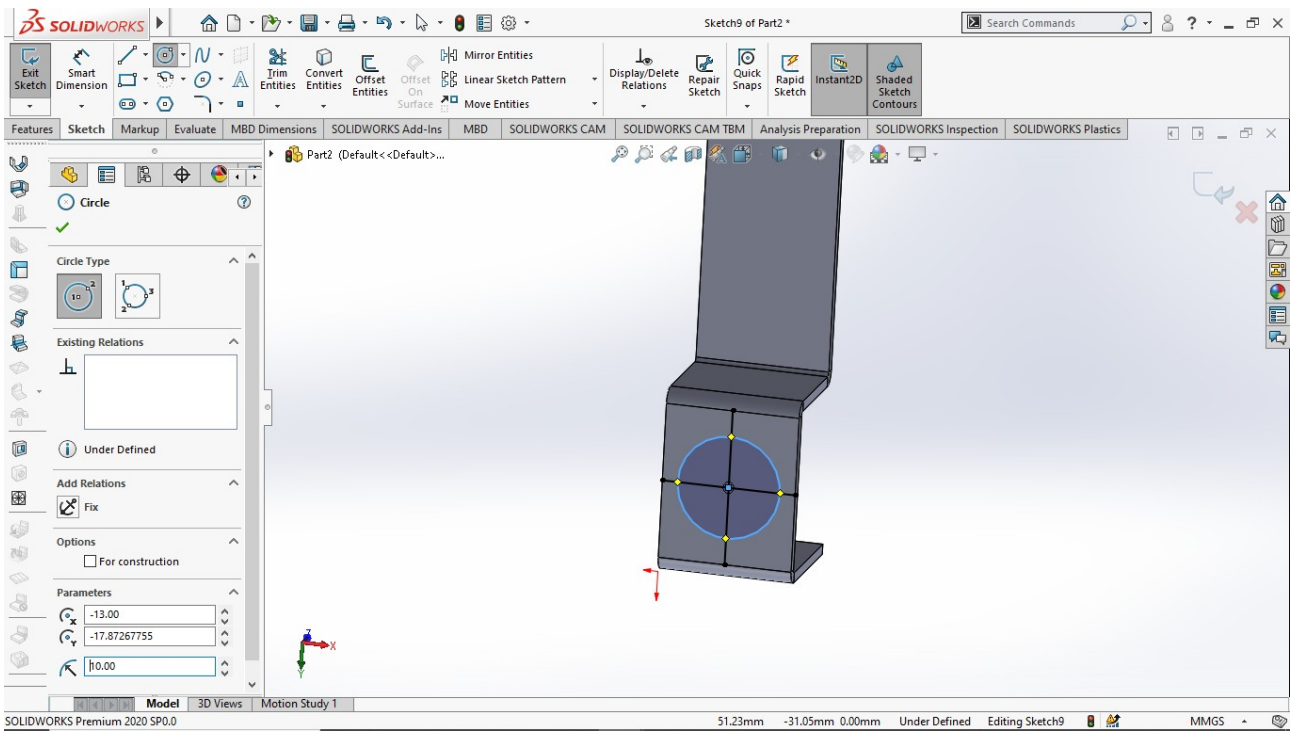
Στη συνέχεια σχεδιάζουμε στην πίσω πλευρά δύο γραμμές με διαστάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα.



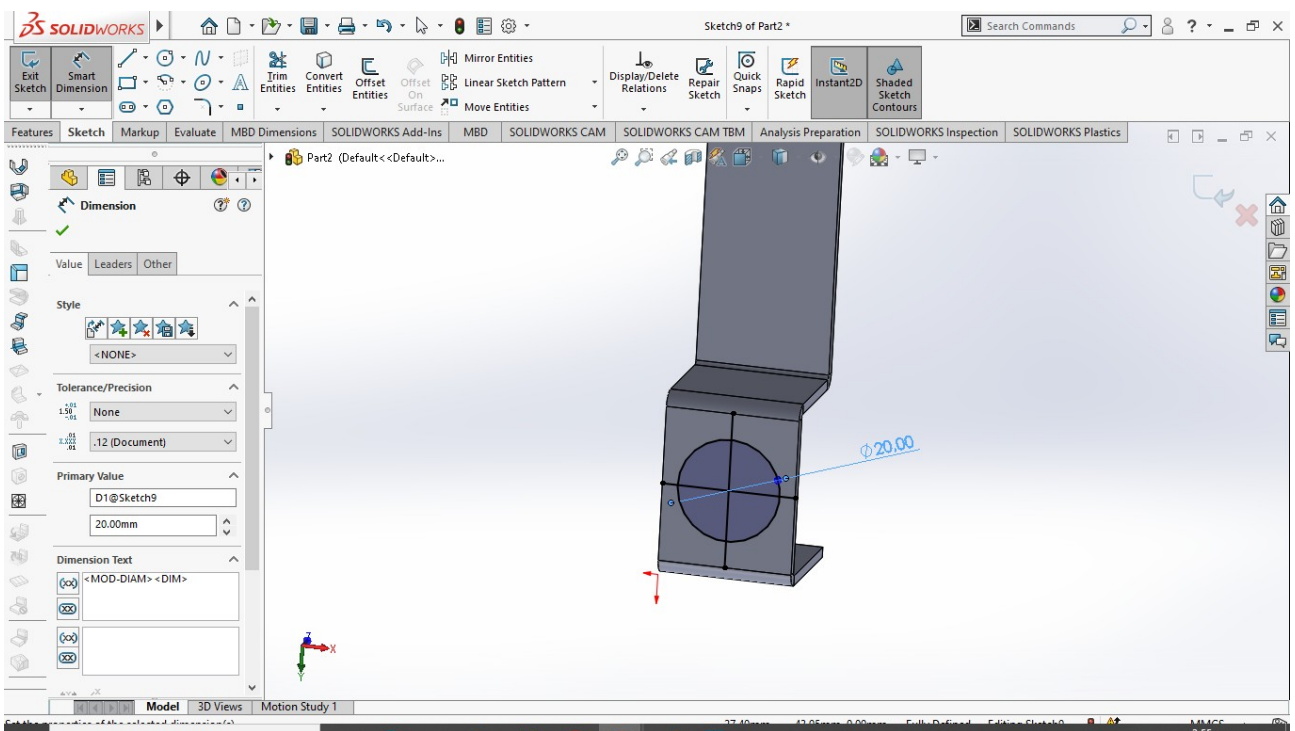
Δημιουργείται το παραπάνω έλασμα.



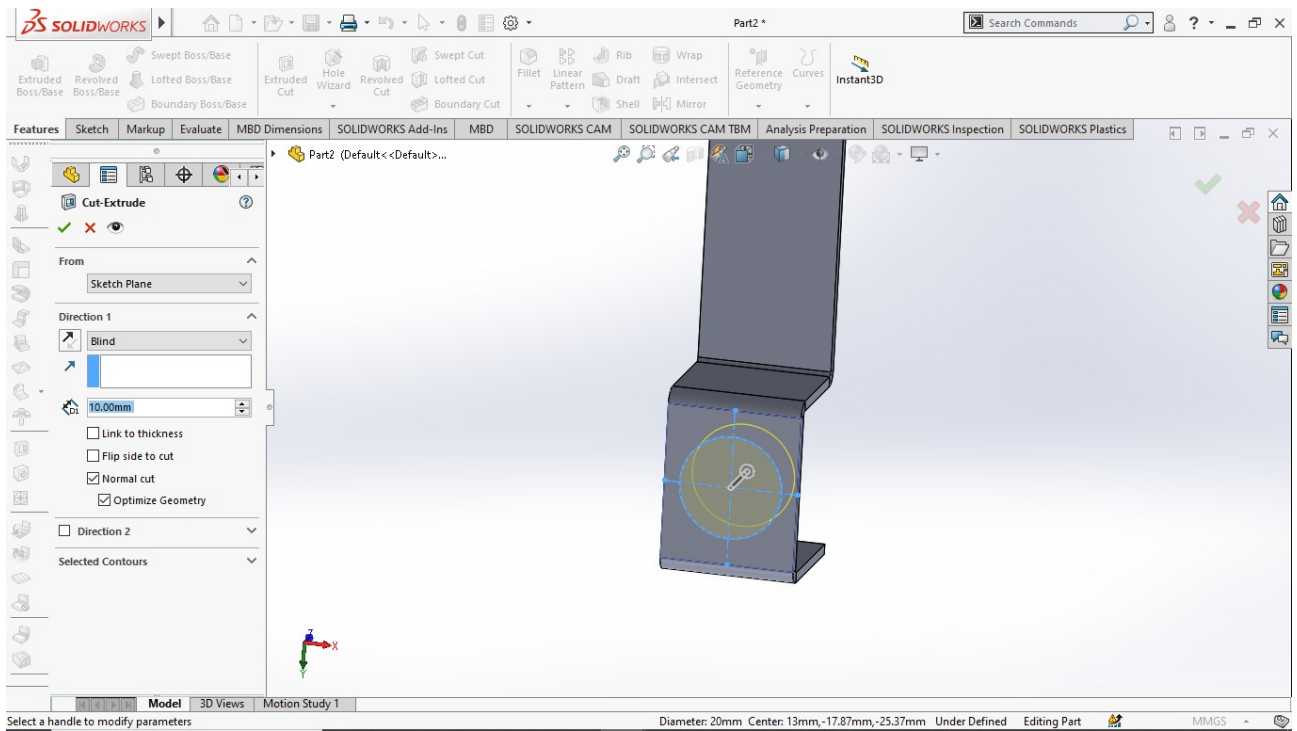
Για να δημιουργήσουμε τρύπα επιλέγουμε με sketch → line → centerline και πάνω στην επιφάνεια που θέλουμε σημαδεύουμε με δύο διακεκομμένες γραμμές.



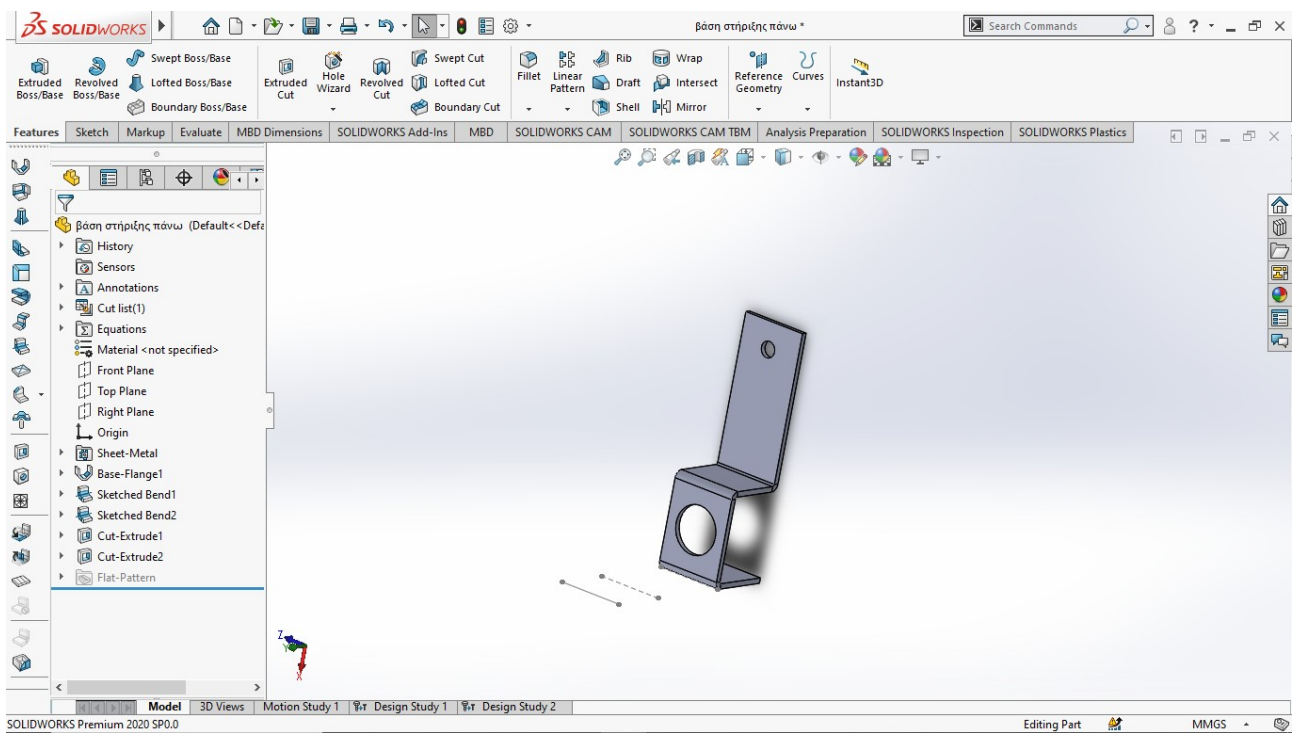
Μετά επιλέγουμε circle και σχεδιάζουμε ένα κύκλο στο κέντρο.



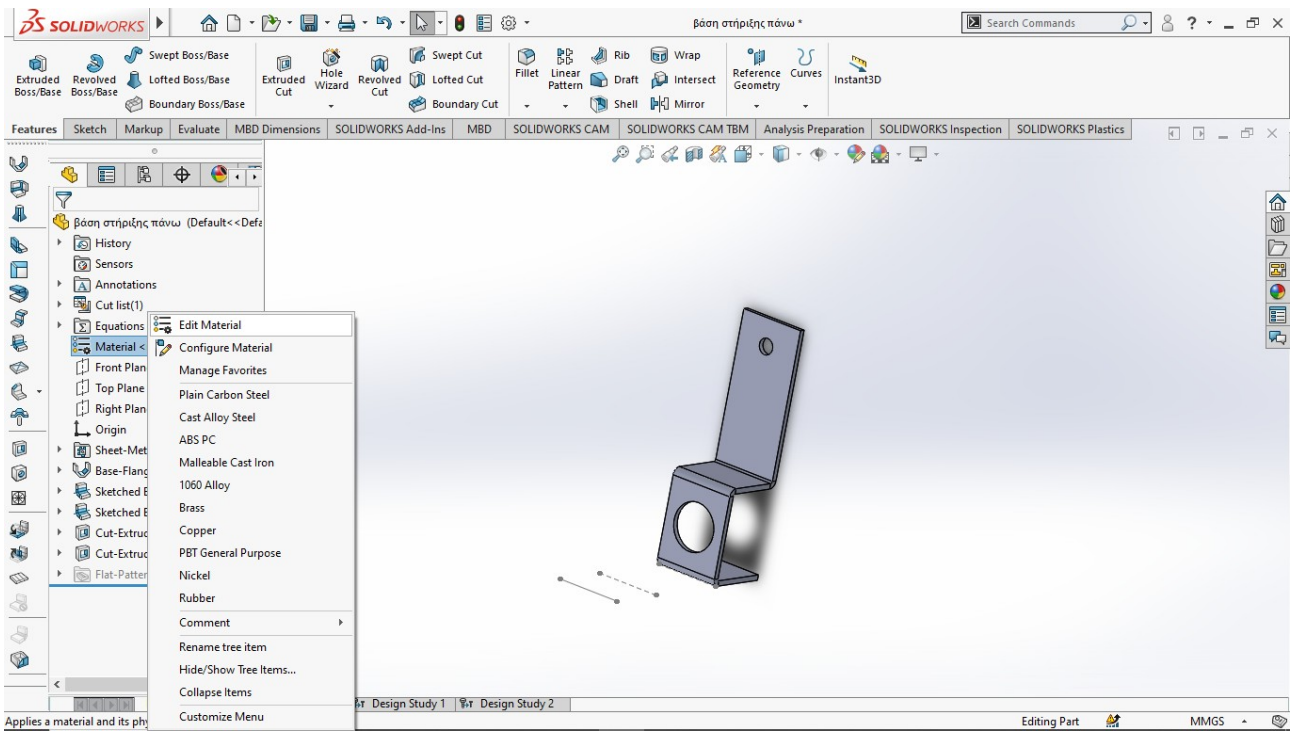
Με το smart dimension δίνουμε τις διαστάσεις που θέλουμε στον κύκλο.



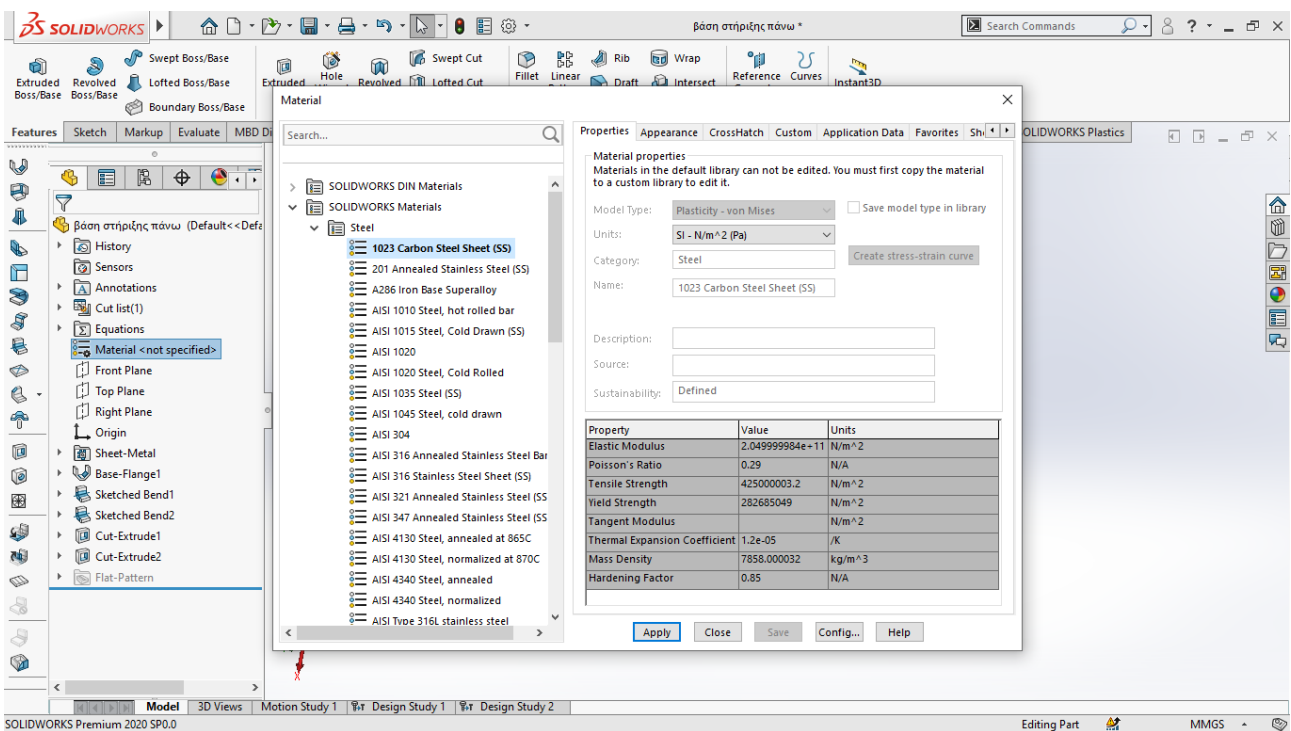
Με την εντολή cut extrude γίνεται η τρύπα



Ομοίως φτιάχνουμε και την άλλη τρύπα στη θέση που θέλουμε.

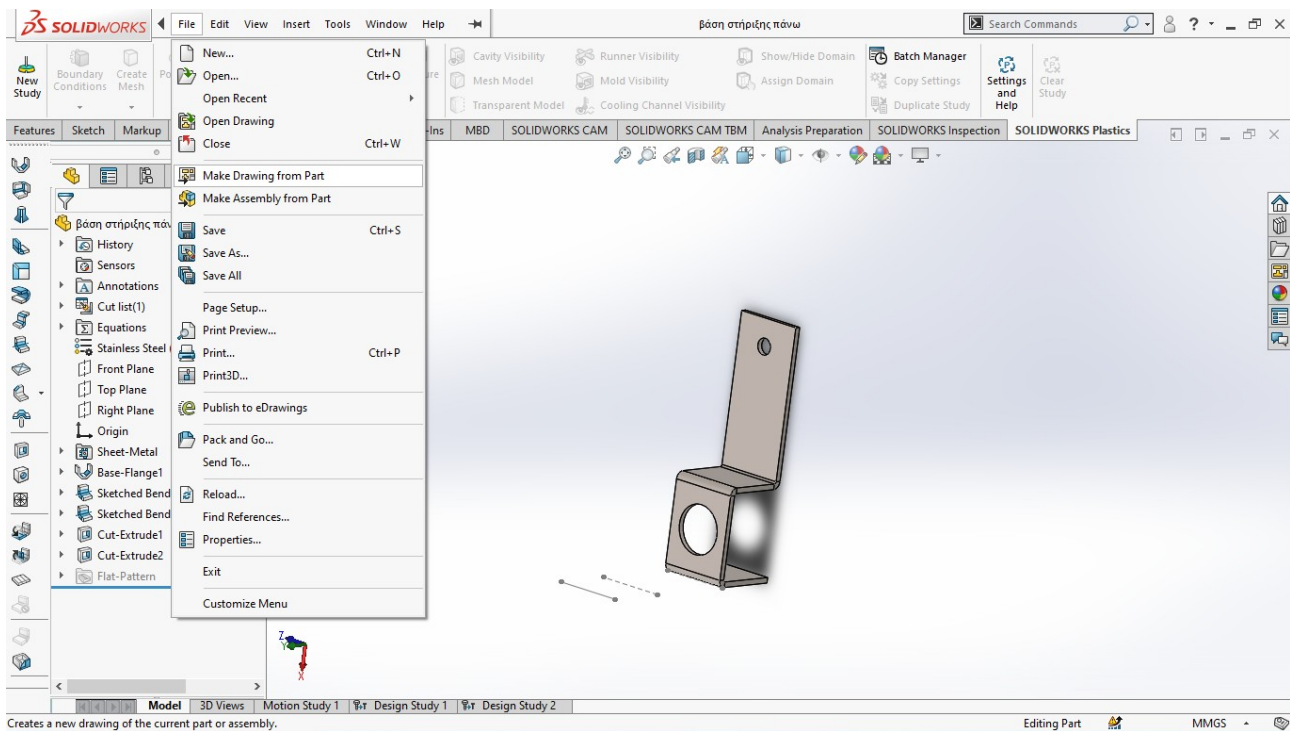


Για να επιλέξουμε υλικό πάμε αριστερά στην γραμμή Material → Edit material

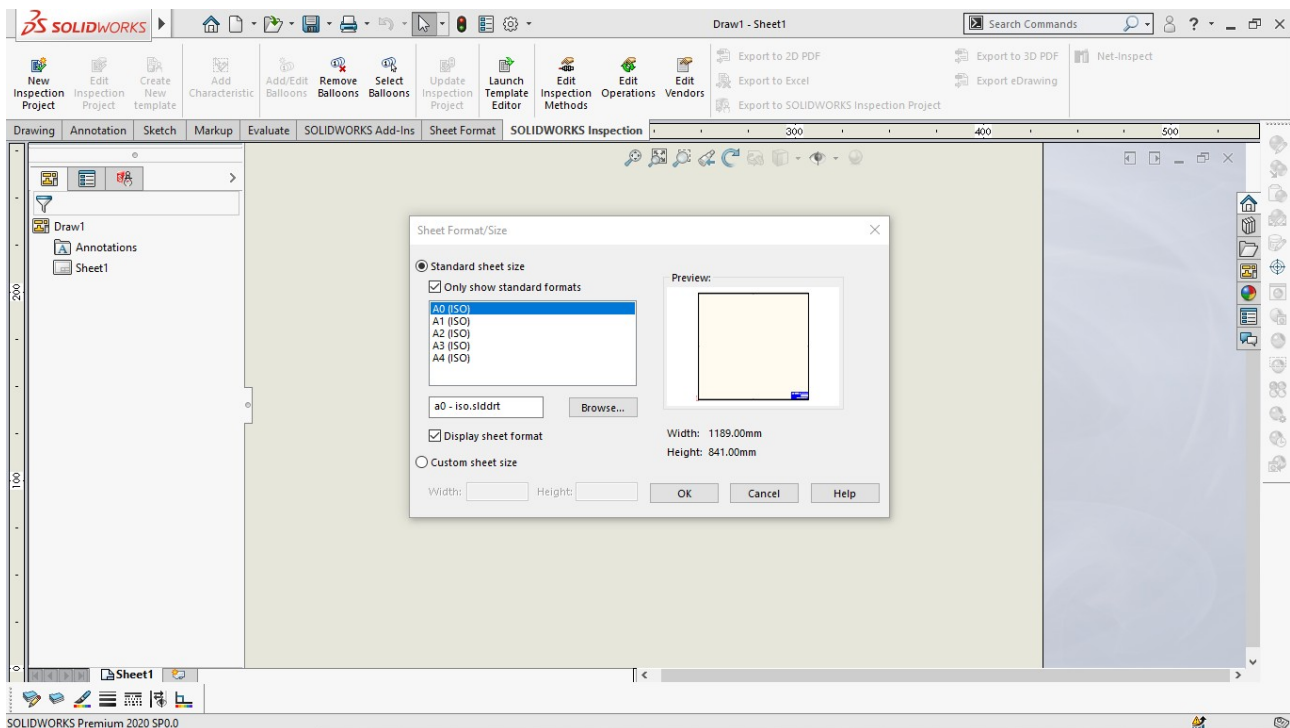


Εμφανίζεται ένα παράθυρο με διάφορα υλικά. Επιλέγουμε αυτό που θέλουμε και πατάμε apply.

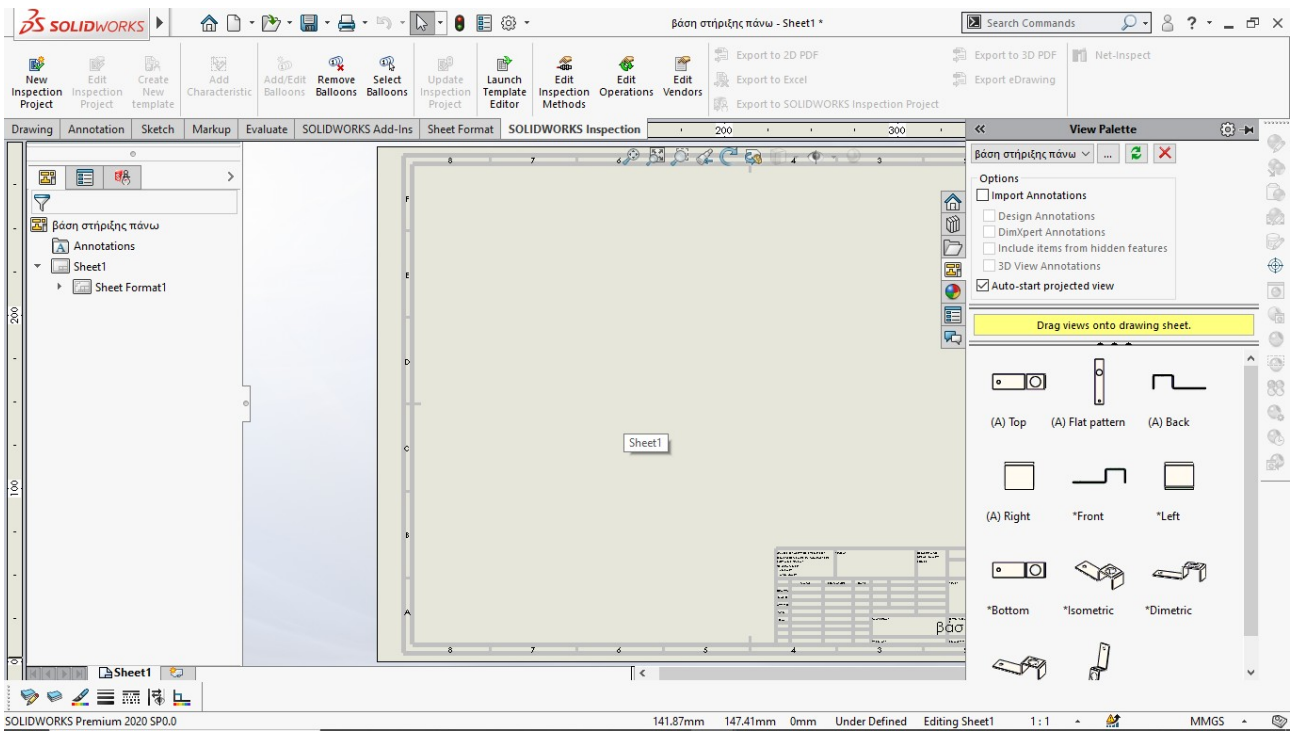
4.4 Δημιουργώντας σχέδιο από εξάρτημα



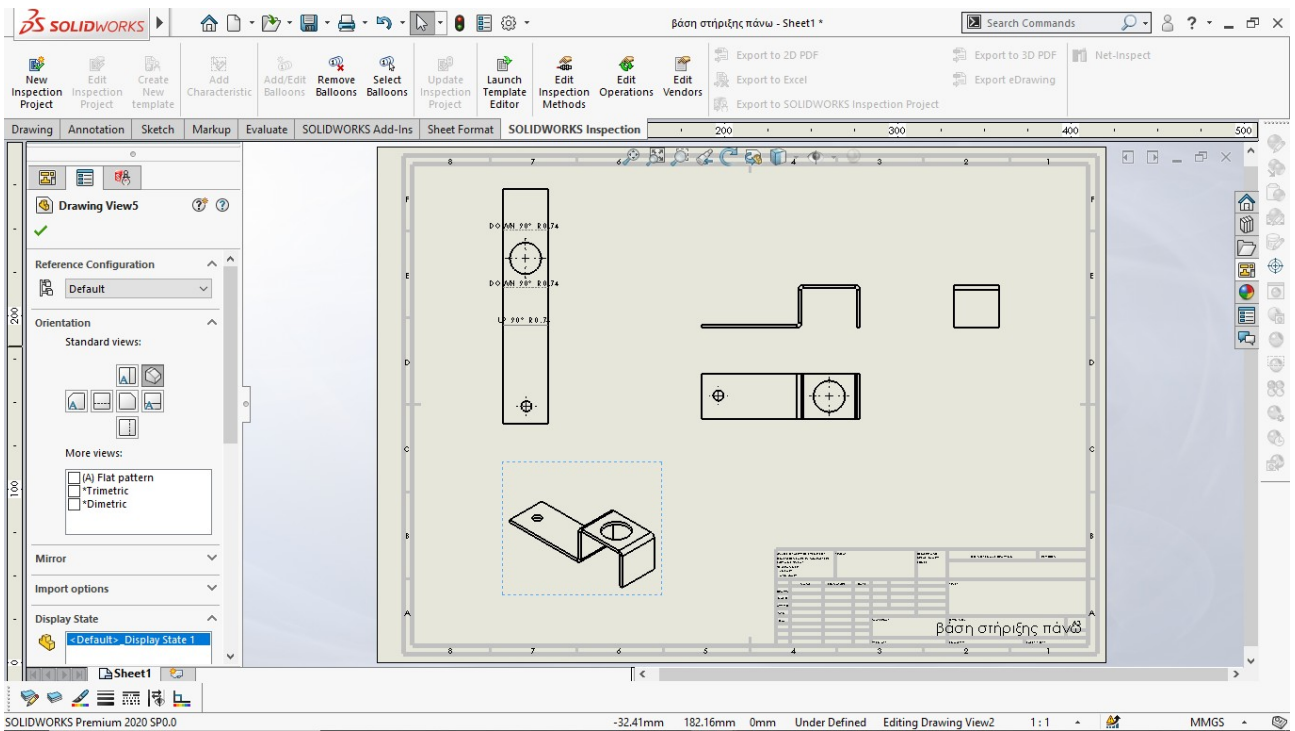
Για να δημιουργήσουμε σχέδιο πάμε File → Make drawing from Part.



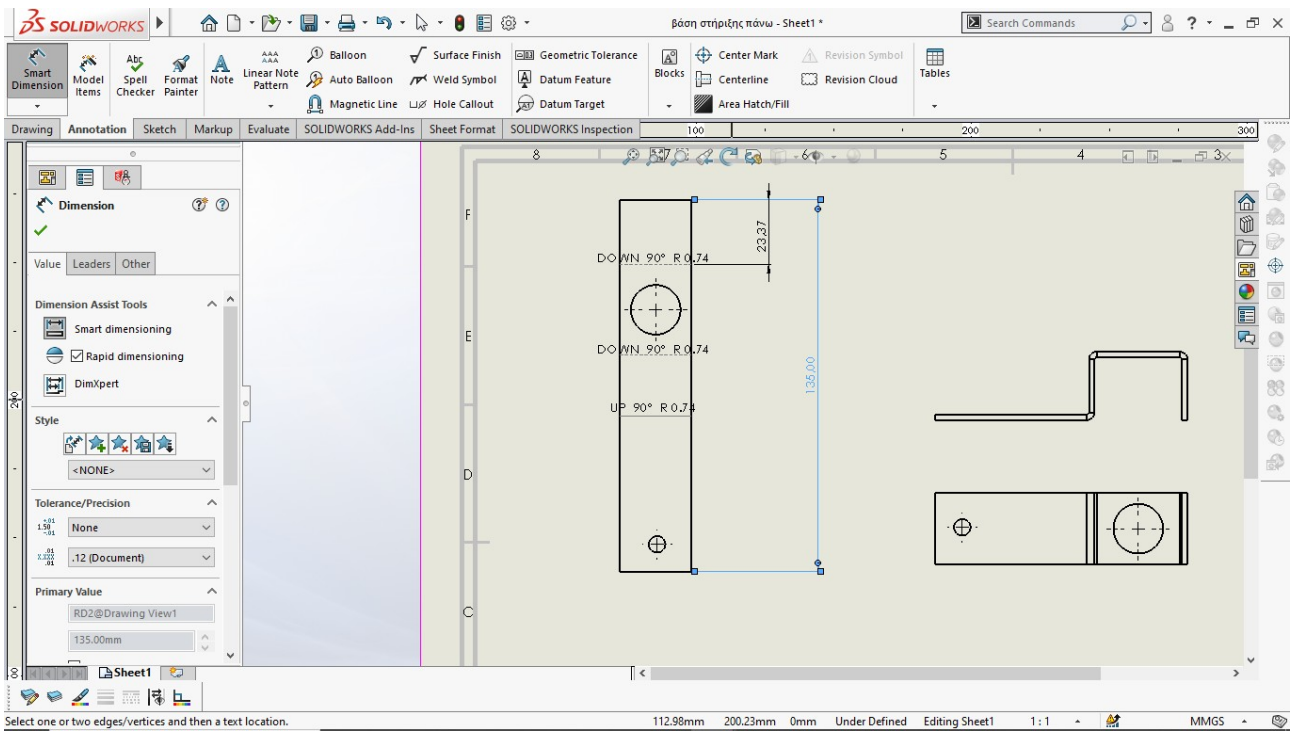
Εμφανίζεται μία νέα επιφάνεια εργασίας. Επιλέγουμε το μέγεθος του χαρτιού που θέλουμε να είναι το σχέδιο.



Στη συνέχεια εμφανίζονται δεξιά οι όψεις του εξαρτήματος. Τραβάμε με το βελάκι όσες θέλουμε να εμφανίζονται.



Τις τοποθετούμε όπως θέλουμε.



Με την επιλογή Annotation → Smart Dimension πάνω αριστερά μπορούμε να εμφανίσουμε τις διαστάσεις που θέλουμε να φαίνονται. Το σχέδιο μπορεί να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση.

5. Θερμικές ιδιότητες

5.1 Τιμή U-value του στοιχείου

Μελετάται η θερμική διαπερατότητα ή θερμοπερατότητα U (W/m^2K) του στοιχείου μόνωσης.

Η θερμοπερατότητα, επίσης γνωστή ως τιμή U (**U-value**), είναι η ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου που περνά μέσα από $1m^2$ στοιχείου κατασκευής με πάχος d (m) όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών αυτών είναι ίση με 1 K. Εκφράζεται W/m^2K .

Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού της θερμοπερατότητας για αδιαφανή υλικά δίνεται από την σχέση: $U = 1/R$ όπου R είναι η θερμική αντίσταση του υλικού και υπολογίζεται ως x/λ όπου x το μήκος(πάχος) του υλικού (σε m) και λ η θερμική αγωγιμότητα του υλικού σε (W/mK)

Η θερμοπερατότητα περιγράφεται από την σχέση:

$$\Phi = A \times U \times (T_1 - T_2)$$

όπου Φ είναι η μεταφορά θερμότητας σε W , U είναι η θερμοπερατότητα, T_1 είναι η θερμοκρασία στη μία πλευρά της δομής, T_2 είναι η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά της δομής και A είναι η επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα.

Πως δουλεύει ένα θερμικό υπολογιστικό μοντέλο

Τα υπολογιστικά μοντέλα λειτουργούν με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών. Στην αρχή χωρίζουν τα υλικά που τους δίνονται σε πολλά μικρότερα στοιχεία με αρχή και τέλος (τους κόμβους). Στη συνέχεια δίνονται οι σχέσεις που διέπουν αυτούς τους κόμβους. Και τέλος δίνονται οι οριακές συνθήκες για να είναι επιλύσιμο το σύστημα.

Η εξίσωση που λύνεται είναι η εξής: $\Phi = A \times U \times (T_1 - T_2)$ που σε πεπερασμένες διαφορές μπορεί να μεταφραστεί σε:

$$a * G_T + \frac{T_{out} - T_i}{\frac{1}{h_{out}} + \frac{dx_i}{2k_i}} - \frac{T_i - T_{i+1}}{\frac{dx_i}{2k_i} + \frac{dx_{i+1}}{2k_{i+1}}} = \rho_i * c_i * \Delta \frac{x_i * T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \quad \text{για τον πρώτο κόμβο του συστήματος}$$

$$\frac{T_{i-1} - T_i}{\frac{dx_{i-1}}{2k_{i-1}} + \frac{dx_i}{2k_i}} - \frac{T_i - T_{i+1}}{\frac{dx_i}{2k_i} + \frac{dx_{i+1}}{2k_{i+1}}} = \rho_i * c_i * \Delta \frac{x_i * T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \quad \text{για έναν ενδιάμεσο κόμβο και}$$

$$\frac{T_{i-1} - T_i}{\frac{dx_{i-1}}{2k_{i-1}} + \frac{dx_i}{2k_i}} - \frac{T_i - T_{in}^{n-1}}{\frac{dx_i}{2k_i} + \frac{1}{h_{in}}} = \rho_i * c_i * \Delta \frac{x_i * T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \quad \text{για τον τελευταίο όγκο.}$$

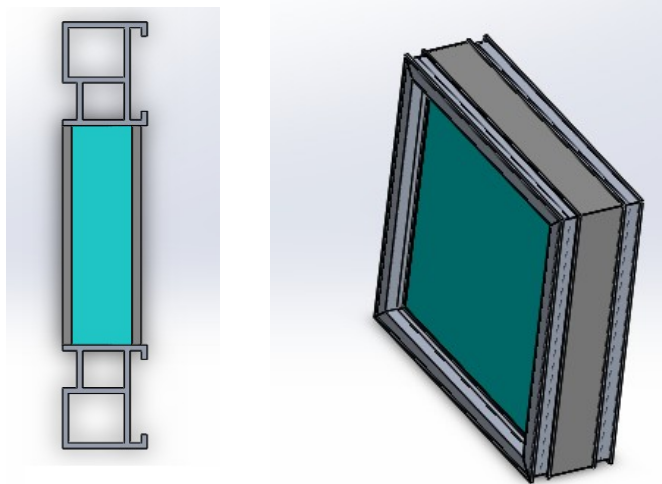
(όπου $\alpha * G_T$ η θερμότητα ανά τετραγωνικό μέτρο που δέχεται ο κόμβος

$T_{out}, T_{in}, h_{out}, h_{in}$ οι θερμοκρασίες και συντελεστές συναγωγής των οριακών συνθηκών που επιλέγουμε $dx/2k$ (x το μήκος, $2k$ η θερμική αγωγιμότητα) είναι η αντίσταση R ή $1/U$ του κάθε στοιχείου

ρ και c η πυκνότητα και η θερμική χωρητικότητα του στοιχείου

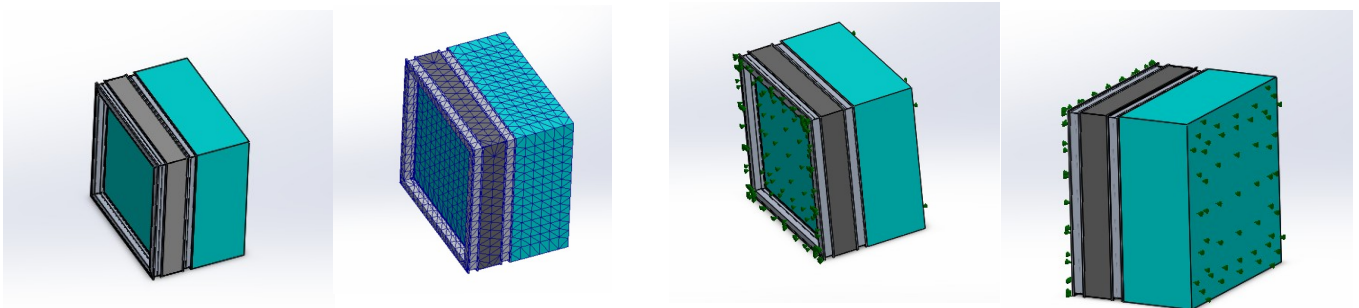
$\Delta T/\Delta t$ είναι ένας χρονικός παράγοντας για την επίλυση του συστήματος.

Εδώ το στοιχείο που θα μελετηθεί είναι απλοποιημένο, χωρίς την ειδική σύνδεση της θερμοδιακοπής με το αλουμίνιο, χωρίς τα καπάκια και χωρίς τις βάσεις. Αυτό συμβαίνει διότι είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθούν κόμβοι σε πολύπλοκα σχήματα και σε μικρές διαστάσεις.



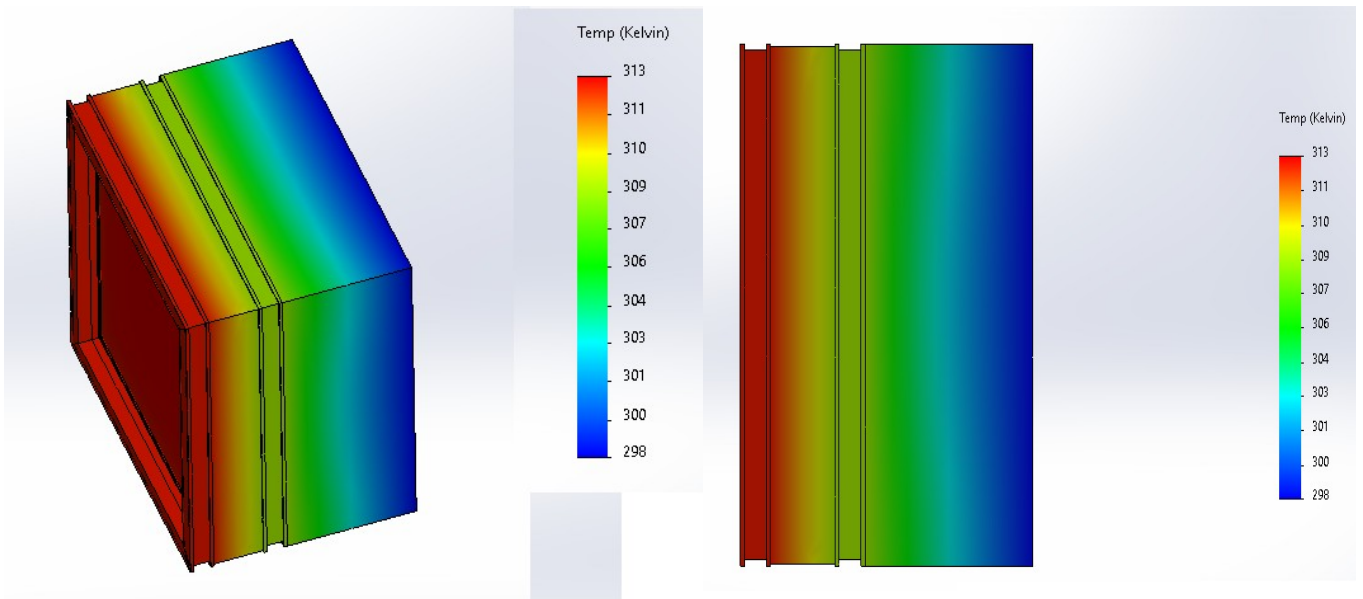
Εικόνα 5.1: Απλοποιημένο μοντέλο προφίλ αλουμινίου και πλαισίου

Τοποθετούνται μέσα στο πρόγραμμα παράλληλα με το στοιχείο και ένα μπλοκ διαστάσεων 500x500x200 mm από υλικό XPS με συντελεστή λ 0,034 W/mK. Οι οριακές συνθήκες είναι θερμοκρασία αέρα 313 K με συντελεστή συναγωγής 10 W/m²K από τη μία πλευρά και 298 K με 10 W/m²K από την άλλη πλευρά. Το μπλοκ έχει ίση επιφάνεια με το στοιχείο ώστε να απλοποιηθεί η εξίσωση. Οι πλάγιες όψεις δεν έχουν οριακές συνθήκες. (Αυτό συνήθως μεταφράζεται σε αδιαβατικές επιφάνειες σε υπολογιστικά προγράμματα).



Εικόνα 5.2: Παράλληλη τοποθέτηση μπλοκ μόνωσης, δημιουργία πλέγματος και εφαρμογή συνοριακών συνθηκών

Αποτελέσματα και υπολογισμός U value



Εικόνα 5.3: Προβολή αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στο στοιχείο είναι από 313 μέχρι 309 K ενώ στο μπλοκ XPS από 309 μέχρι 298 K. Από τον τύπο της θερμικής ροής υπολογίζεται:

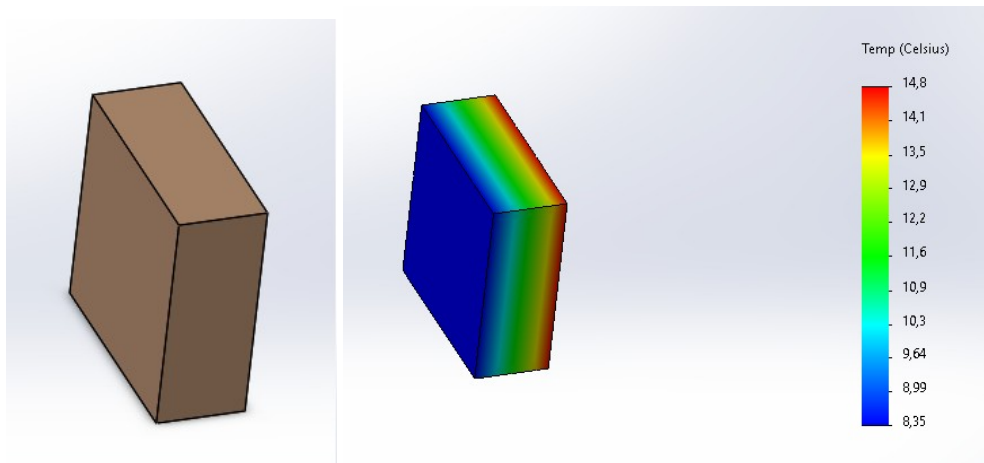
$$U_1 \cdot \Delta T_1 = U_2 \cdot \Delta T_2 \text{ άρα } U_1 = 0,034 / 0,2 \cdot (309 - 298) / (313 - 309) = 0,4675 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

5.2 Προσομοίωση σε εξωτερική τοιχοποιία

Υπολογίζεται η επίδραση που έχει το στοιχείο σε μία εξωτερική τοιχοποιία πάχους 200 mm και θερμικής αγωγιμότητας 2,5 W/mK .

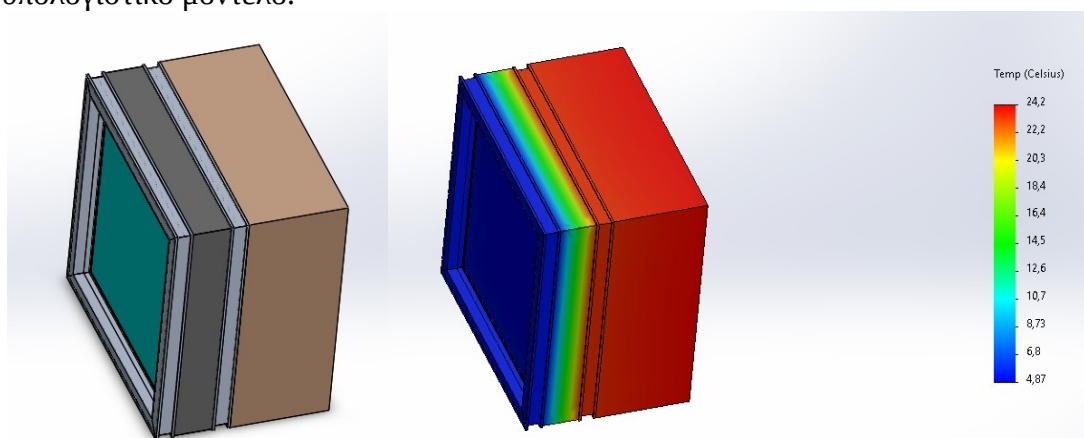
Αρχικά το μοντέλο τρέχει μόνο με το κομμάτι της τοιχοποιίας. Οι οριακές συνθήκες που επιλέγονται είναι θερμοκρασία αέρα 5 °C (278 K) με 23 W/m²K συναγωγή από τη μία πλευρά και 25 °C (298 K) με 8 W/m²K από τη άλλη πλευρά.

Παραθέτονται τα αποτελέσματα:



Εικόνα 5.4: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας και αποτελέσματα εφαρμογής συνθηκών πάνω του

Στη συνέχεια προστίθεται το στοιχείο μόνωσης και με τις ίδιες συνθήκες επαναλαμβάνεται το υπολογιστικό μοντέλο.



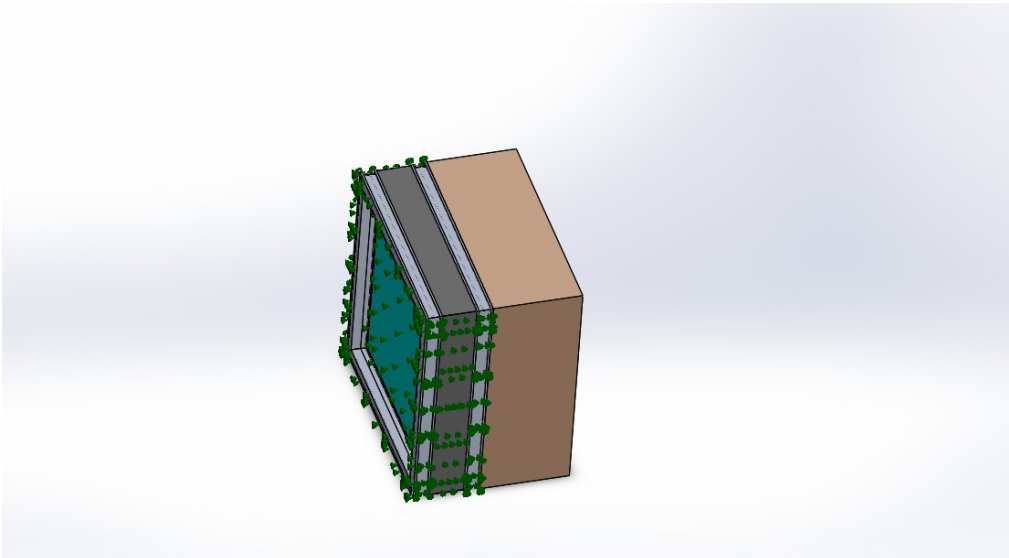
Εικόνα 5.5: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας με το στοιχείο της μόνωσης και αποτελέσματα εφαρμογής συνθηκών πάνω τους

Από τα αποτελέσματα φαίνεται η βελτίωση της θερμικής αντίστασης καθώς και ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας γίνονται στο στοιχείο με την μεγαλύτερη θερμική αντίσταση προστατεύοντας την τοιχοποιία από υγραποίηση του αέρα.

5.3 Προσομοίωση για ελεύθερη συναγωγή.

Το στοιχείο όπως εμφανίζεται στα σχέδια δεν έχει τρόπο να κλείσει στις άκρες. Αυτό δημιουργεί κενό ελεύθερου αέρα που έχει συναγωγή και επηρεάζει τις θερμικές ιδιότητες του συστήματος.

Θα γίνει μία σύγκριση μεταξύ του στοιχείου χωρίς κενά και μεταξύ του στοιχείου με κενά αέρα. Για τη σύγκριση αυτή αρχικά θα τρέξουμε μια προσομοίωση όπως η προηγούμενη αλλά με οριακές συνθήκες και από τα πλάγια του στοιχείου.



Εικόνα 5.6: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας με το στοιχείο της μόνωσης χωρίς εξωτερικό αέρα ενδιάμεσα και οι θέσεις εφαρμογής οριακών συνθηκών.

Στη συνέχεια θα χρειαστεί να δημιουργήσουμε ένα νέο Part που θα προσομοιάζει τον αέρα.

Θεωρείται μεταφορά θερμότητας με ελεύθερη συναγωγή σε κατακόρυφο σώμα.

Οι ιδιότητες του αέρα θα υπολογιστούν για θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref}=(278+300)/2=289$ K

$$\nu=14,32 \text{ m}^2/\text{s} * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta=1/T_{ref}=3,46 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k=0,025 \text{ W/mK}$$

$$Pr=0,711$$

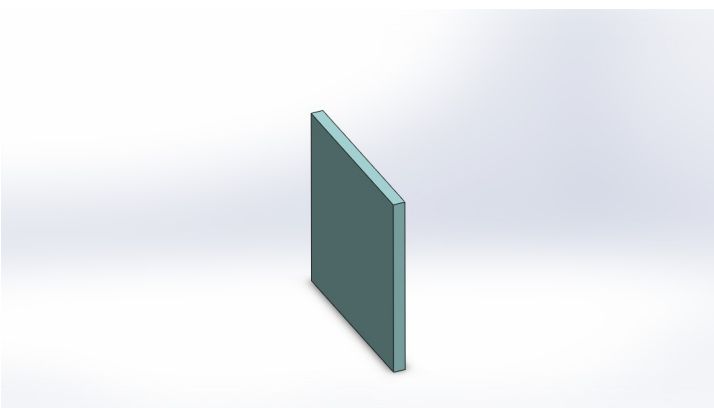
Ο αριθμός Grashof υπολογίζεται από τη σχέση $Gr=g*\beta*(T_{\infty}-T_{\alpha\epsilon\rho\alpha})*L^3/\nu^2=2,27*10^8$

Ο αριθμός Nusselt υπολογίζεται: $Nu_m=0,518*(Gr*Pr)^{1/4}$

Η συναγωγιμότητα h υπολογίζεται από τη σχέση:

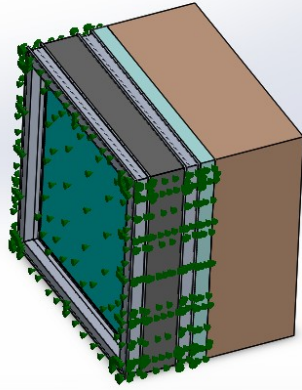
$$h_m=k/L*0,518*(Gr*Pr)^{1/4}=k/L*58,38=2,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Δημιουργείται στοιχείο που έχει τις θερμικές ιδιότητες του αέρα (αλλά είναι στερεό σώμα)



Εικόνα 5.7: Στοιχείο εξωτερικού αέρα που εφαρμόζεται ενδιάμεσα.

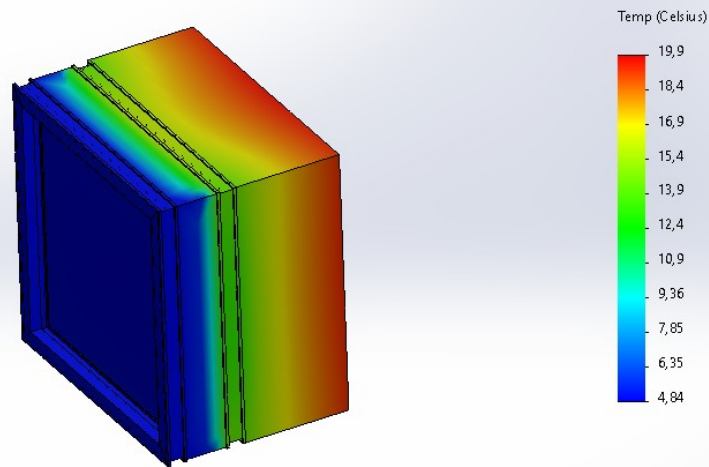
Για θερμική αγωγιμότητα του στοιχείου επιλέχθηκε $k=L \cdot h_m=1,46 \text{ W/mK}$
Οπότε το μοντέλο για σύγκριση είναι το παρακάτω:



Εικόνα 5.8: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας με το στοιχείο της μόνωσης με εξωτερικό αέρα ενδιάμεσα και οι θέσεις εφαρμογής οριακών συνθηκών.

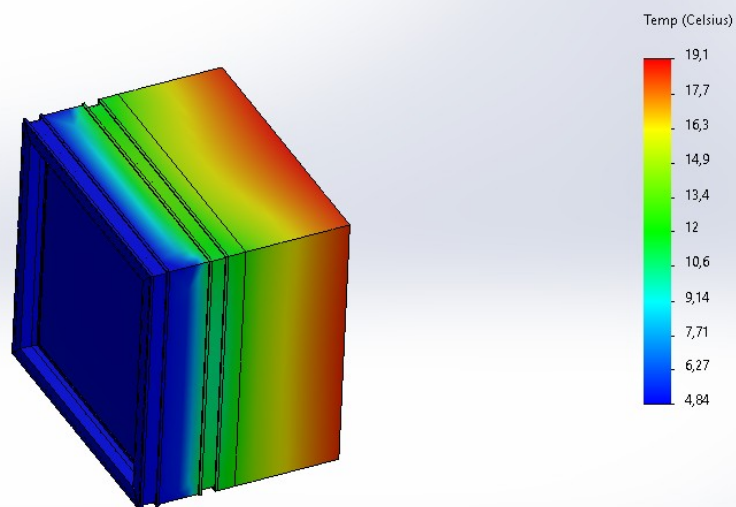
Γίνονται οι υπολογισμοί και παρατείνονται τα αποτελέσματα:

Model name: thermal module 5
Study name: Thermal 1(-Default-)
Plot type: Thermal Thermal1
Time step: 1



Εικόνα 5.9: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας με το στοιχείο της μόνωσης χωρίς εξωτερικό αέρα ενδιάμεσα

Model name: thermal module4 air convection
Study name: Thermal 1(-Default-)
Plot type: Thermal Thermal1
Time step: 1



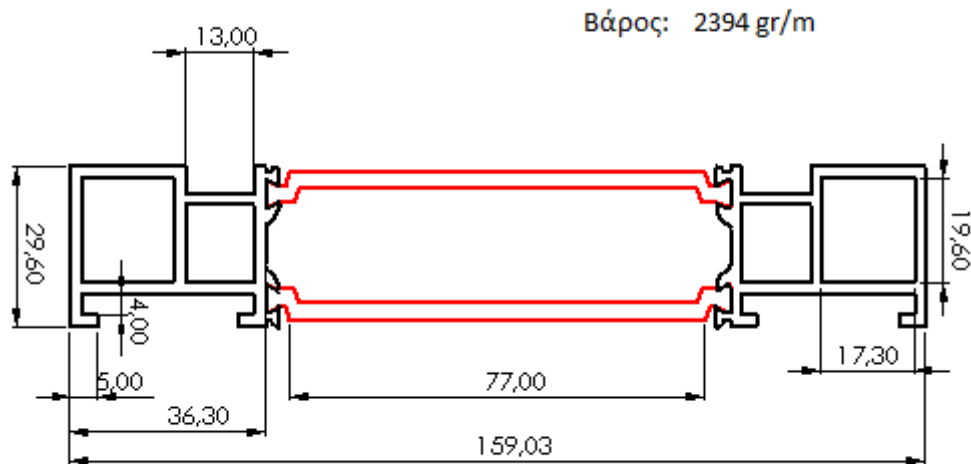
Εικόνα 5.10: Μοντέλο εξωτερικής τοιχοποιίας με το στοιχείο της μόνωσης με εξωτερικό αέρα ενδιάμεσα

Παρατηρείται ότι υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας 1 °C που είναι σημαντική. Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη για κάλυψη των άκρων ώστε να μην δημιουργείται μεταφορά θερμότητας λόγω ελεύθερου αέρα. Αυτό μπορεί να γίνει με δομικά υλικά ή και με την προσθήκη επιπρόσθετου εξαρτήματος στο στοιχείο.

6. Σχέδια

6.1 Προφίλ

Οι διαστάσεις 19,6x17,3 mm είναι για να συνεργάζεται με την γωνία και έτσι ξεκινάει ο σχεδιασμός του προφίλ. Έχει 2mm πάχος και επιπλέον 4 mm χώρο για να συνδέεται με τα άλλα προφίλ. 77 mm είναι η μεγαλύτερη θερμοδιακοπή που βρέθηκε. Το κενό 13 mm είναι για να συνεργάζεται με το καπάκι. Έτσι έχει τελικό μέγεθος 159,03x29,6 mm και βάρος 2394 gr/m.

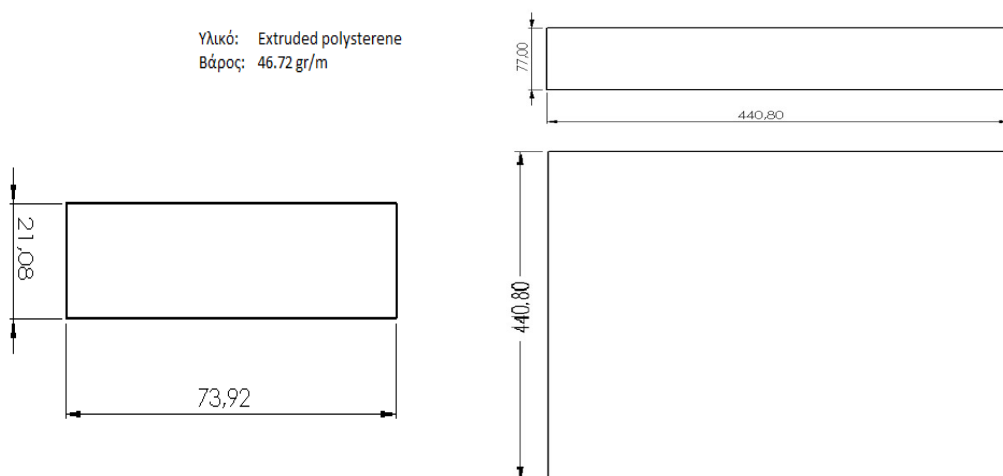


Εικόνα 6.1: Σχέδιο προφίλ αλουμινίου με θερμοδιακοπή

6.2 Μόνωση

Μόνωση για το προφίλ: Τοποθετείται ανάμεσα στη θερμοδιακοπή. Έτσι προκύπτουν οι διαστάσεις 73,92x21,08 mm

Κύρια μόνωση: Έχει διαστάσεις για να καλύπτει το μήκος της θερμοδιακοπής 77 mm. Επίσης έχει επιφάνεια 440,80x440,80 mm ώστε το τελικό στοιχείο να είναι 500x500 σε μέγεθος.



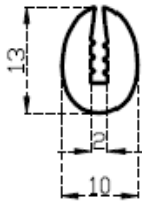
Εικόνα 6.2: Σχέδιο προφίλ αλουμινίου με θερμοδιακοπή

6.3 Εξαρτήματα

Τα gaskets και η γωνία δεν είναι in-house εξαρτήματα και τα σχέδια προσαρμόζονται κατάλληλα για αυτά.

Gasket PVC

γωνία: crimp corner cleat



BMP : 1089-99-18



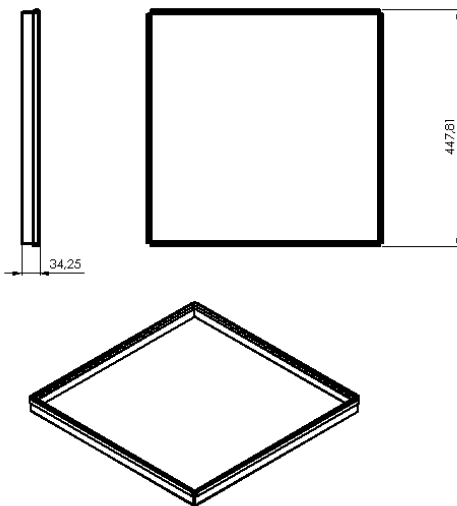
Alumil EX-1131917000

Εικόνα 6.3: Σχέδιο προφίλ ελαστομερούς

Πίνακας 6.1: Βίδες που περιέχονται στο στοιχείο.

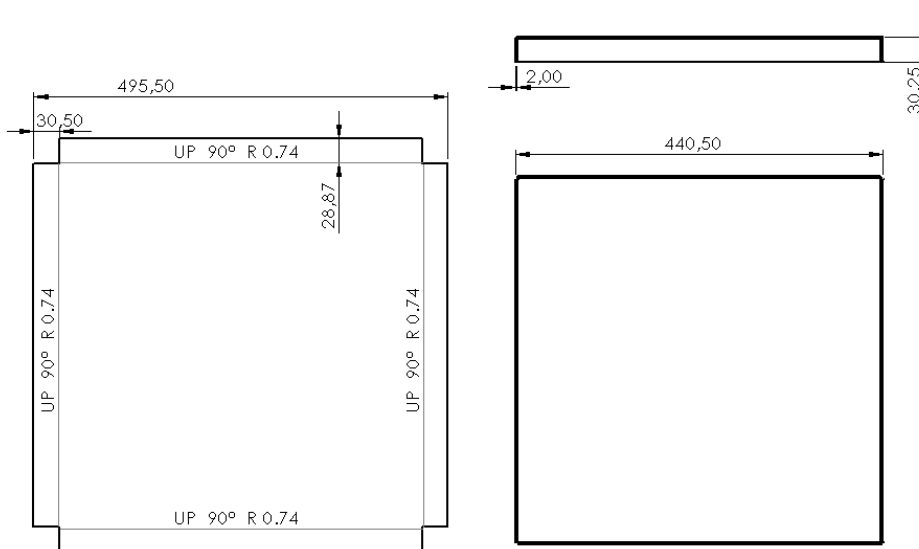
Concrete anchor M6x25 Για την στήριξη στον τοίχο	2 pieces per module	
Metal cavity anchor HM 4x32 S	4 pieces per module (λαβή, βάση στήριξης κάτω)	
Metal cavity anchor HM 4x45 SB	2 pieces per module (βάση στήριξης πάνω)	
DIN 466 - Knurled nuts, high type	2 pieces per module (βάση στήριξης πάνω)	

6.4 Καπάκι

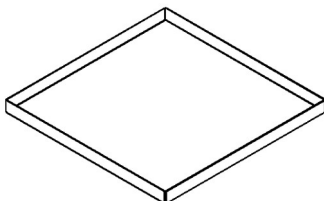


Εικόνα 6.4: Σχέδιο καπακιού

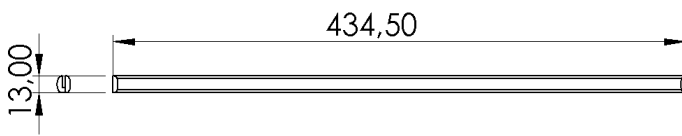
Part 1



Εικόνα 6.5: Σχέδιο καπακιού Part 1



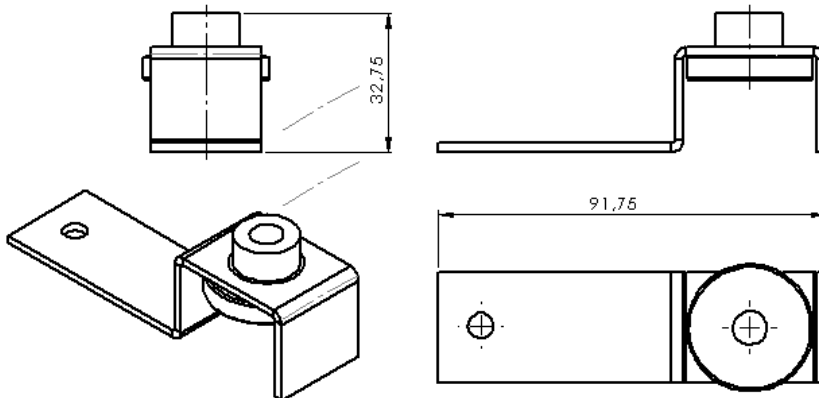
Part 2: BMP 1089-99-18



Εικόνα 6.6: Σχέδιο καπακιού Part 2

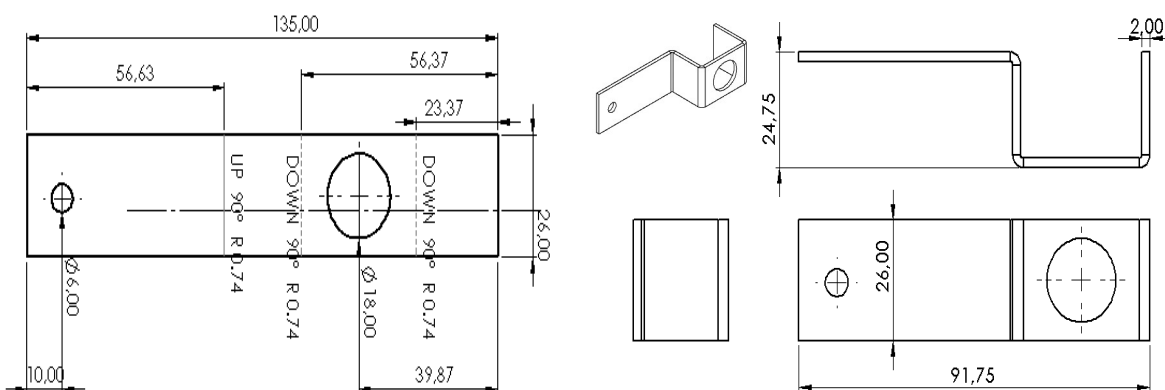
6.5 Βάση στήριξης πάνω

Το έλασμα έχει κάμπτεται έτσι ώστε να υπάρχει επαρκής χώρος για τις βίδες και για την εργασία κατά την τοποθέτηση.



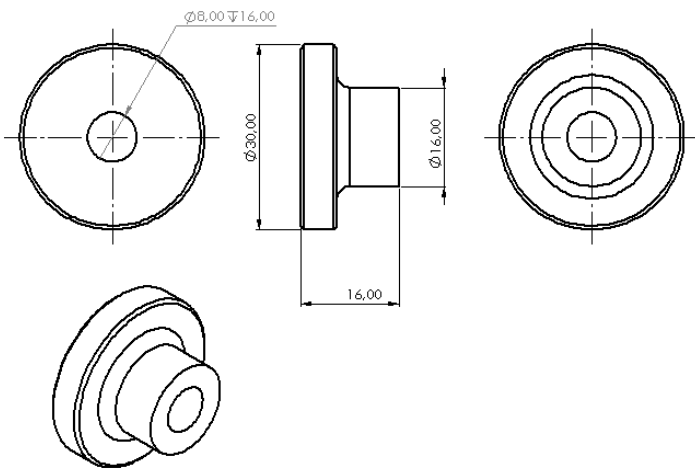
Εικόνα 6.7: Σχέδιο πάνω βάσης στήριξης

Part 1



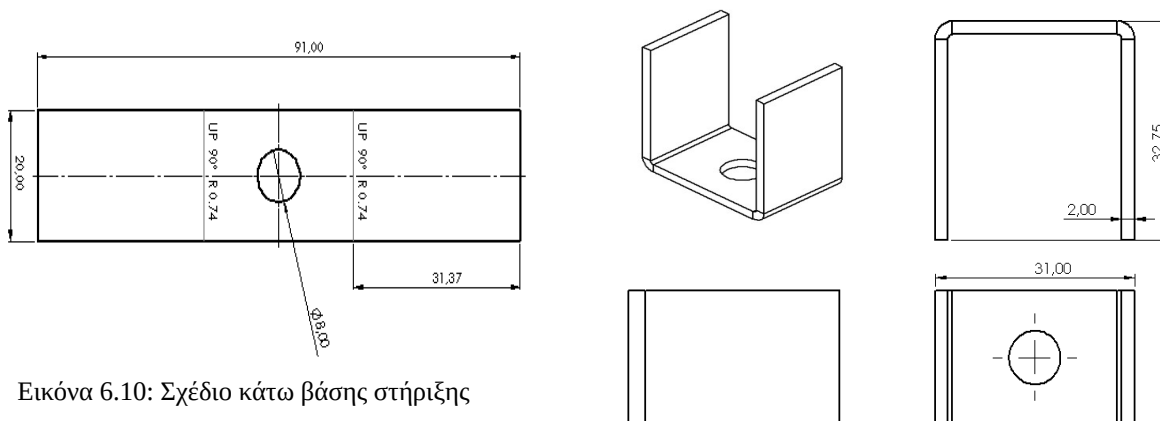
Εικόνα 6.8: Σχέδιο πάνω βάσης στήριξης Part 1

Part 2: DIN 466 - Knurled nuts, high type + hole cut



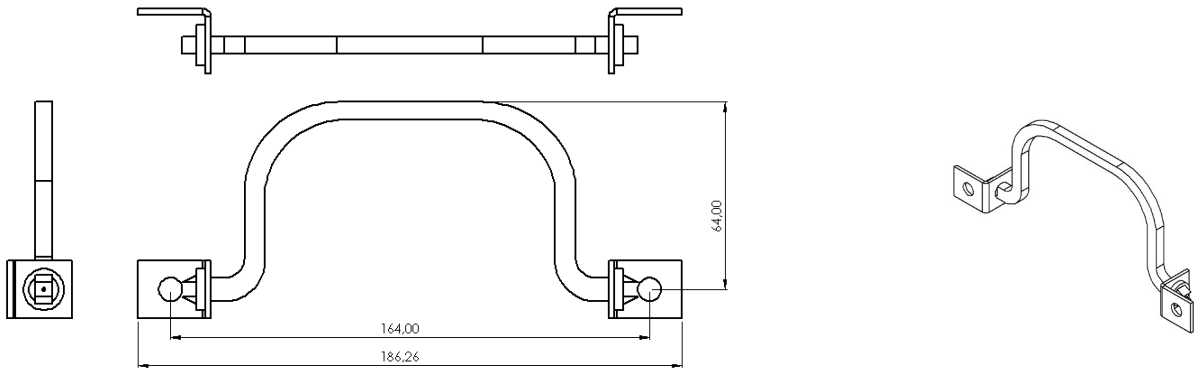
Εικόνα 6.9: Σχέδιο πάνω βάσης στήριξης Part 2

6.6 Βάση στήριξης κάτω



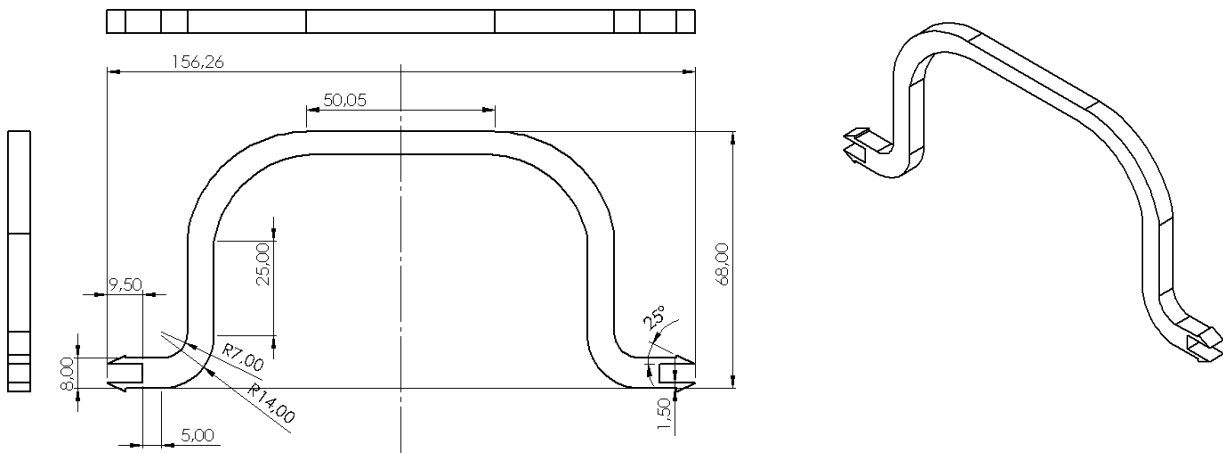
Εικόνα 6.10: Σχέδιο κάτω βάσης στήριξης

6.7 Λαβή



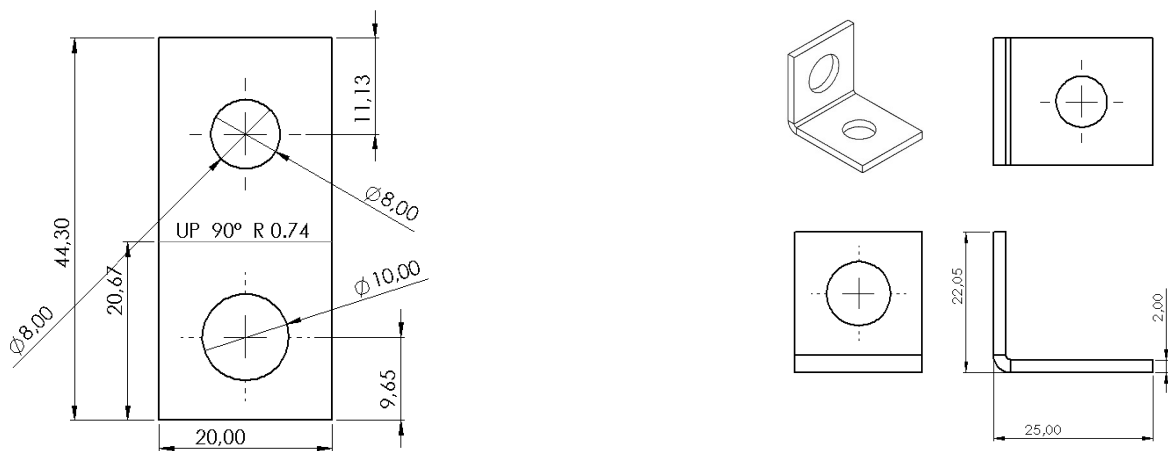
Εικόνα 6.11: Σχέδιο λαβής

Part 1



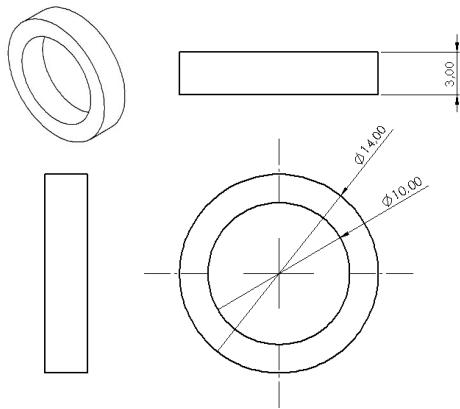
Εικόνα 6.12: Σχέδιο λαβής Part 1

Part 2



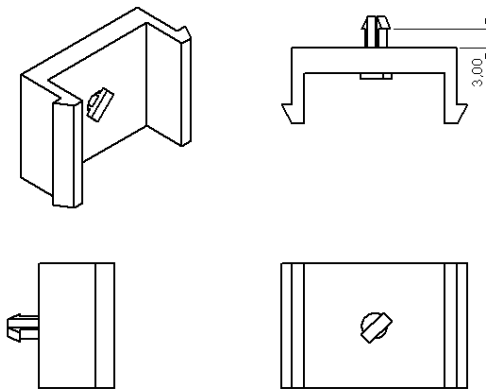
Εικόνα 6.13: Σχέδιο λαβής Part 2

Part 3



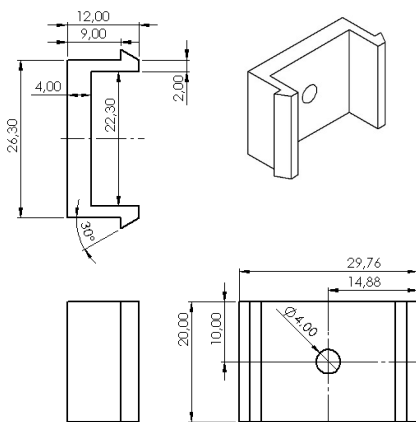
Εικόνα 6.14: Σχέδιο λαβής Part 3

6.8 Connection plastic



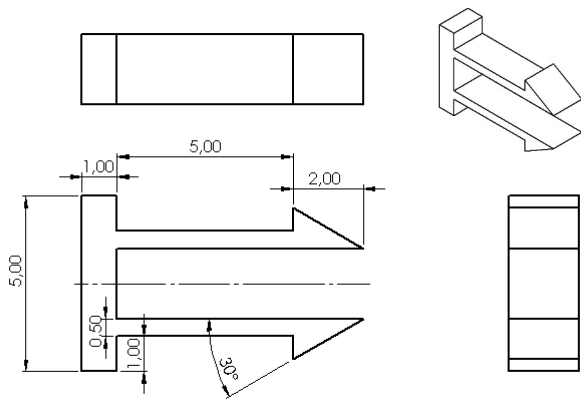
Εικόνα 6.15: Σχέδιο connection plastic

Part 1



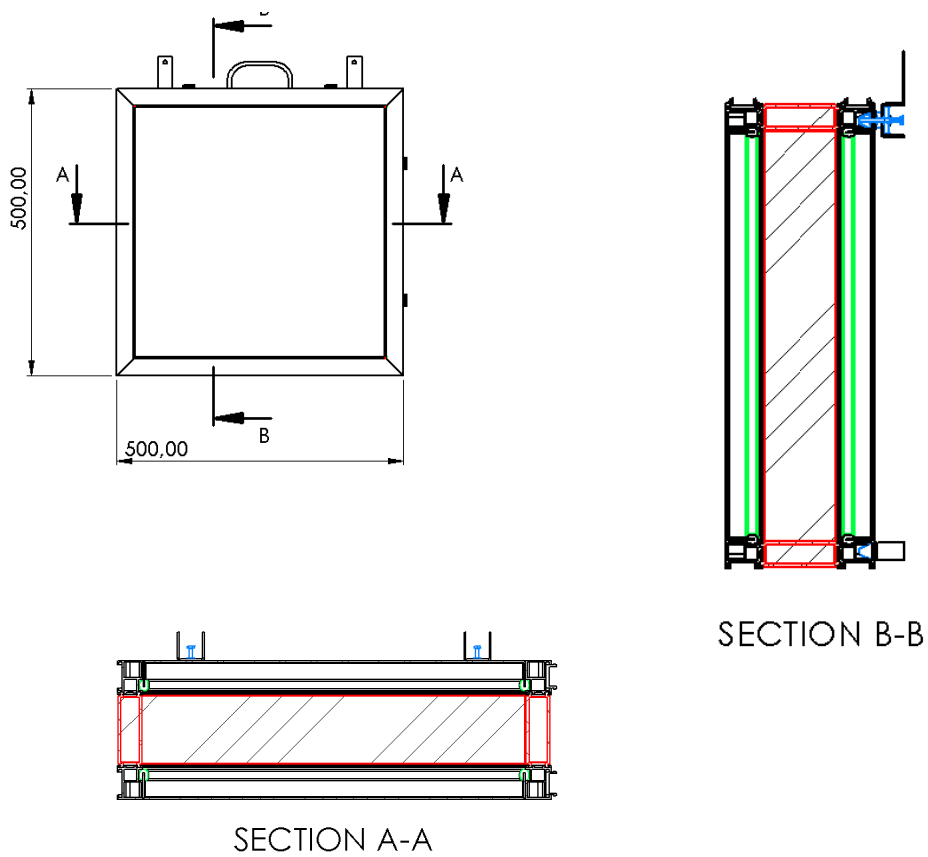
Εικόνα 6.16: Σχέδιο connection plastic Part 1

Part 2



Εικόνα 6.17: Σχέδιο connection plastic Part 2

6.9 Τομές στοιχείου




Εικόνα 6.18: Τομές στοιχείου

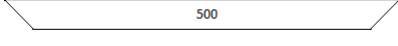
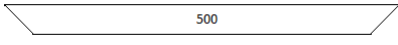
7. Κατασκευαστικό στάδιο

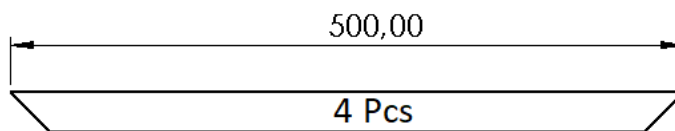
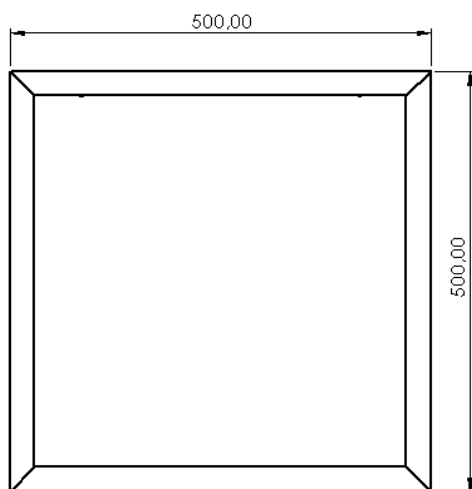
7.1 Accessories/cuttings

Πίνακας 7.1: Module accessories

	Περιγραφή	Ποσότητα
 Alumil EX-1131917000	Connection corner	4

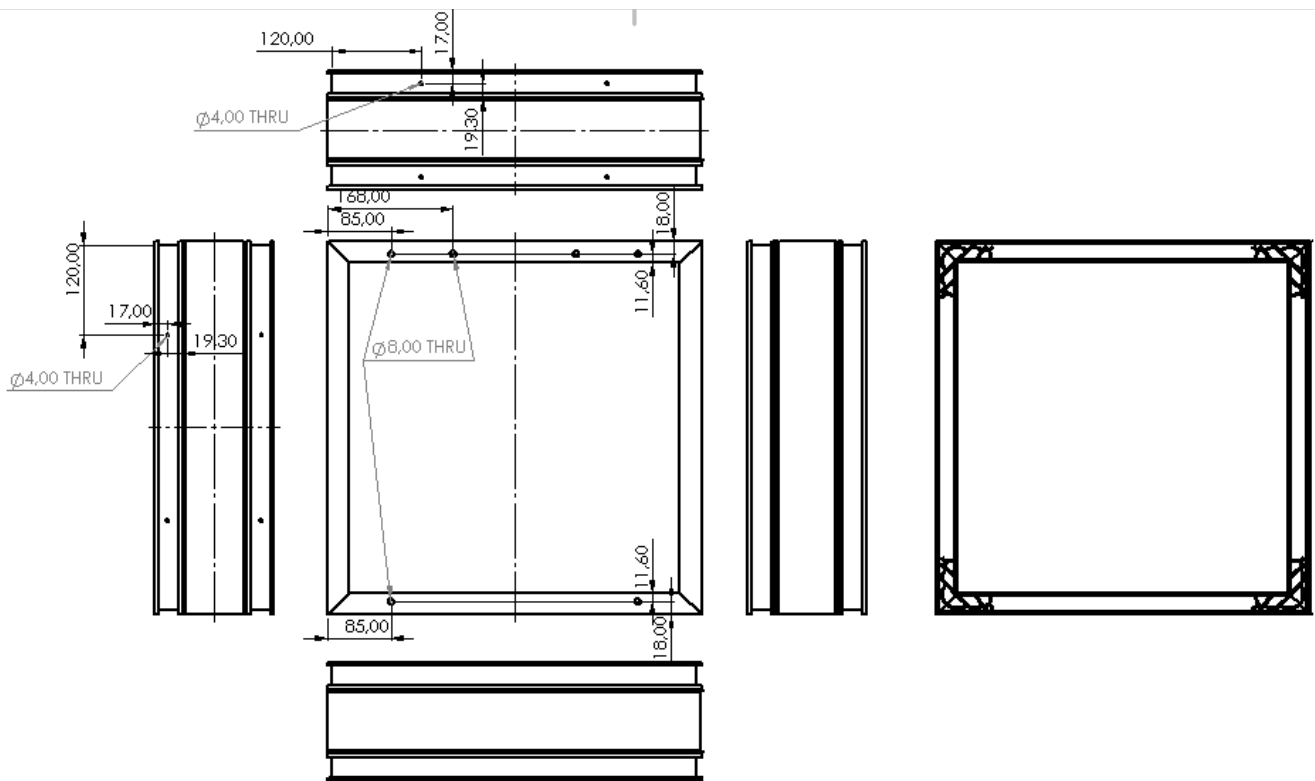
Πίνακας 7.2: Cuttings

Περιγραφή	Cutting	Ποσότητα
Προφίλ		4
Μόνωση για το προφίλ		4



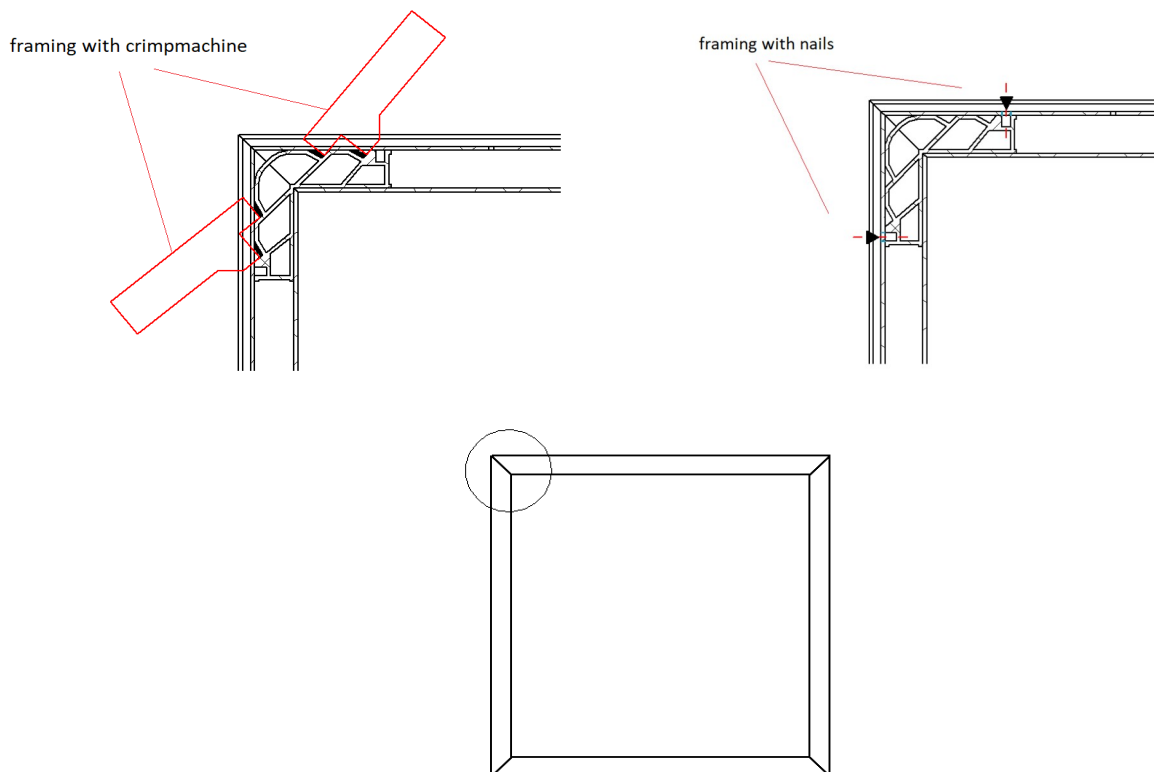
Εικόνα 7.1: Profile cutting

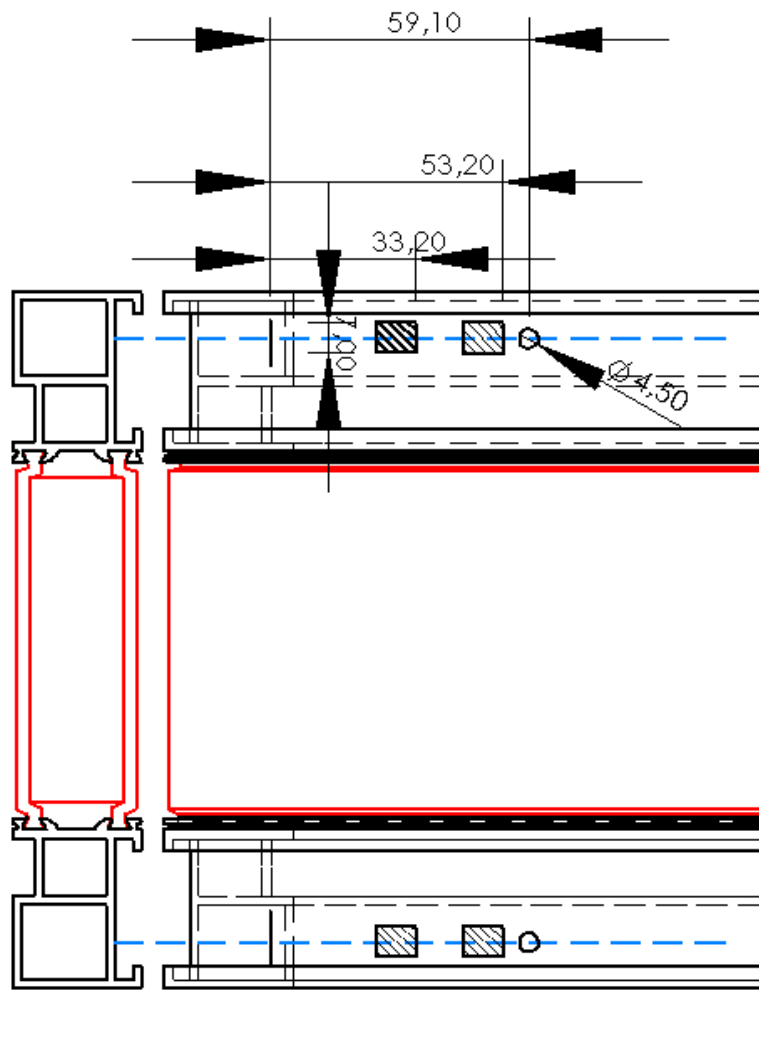
7.2 Frame milling



Εικόνα 7.2: Frame milling

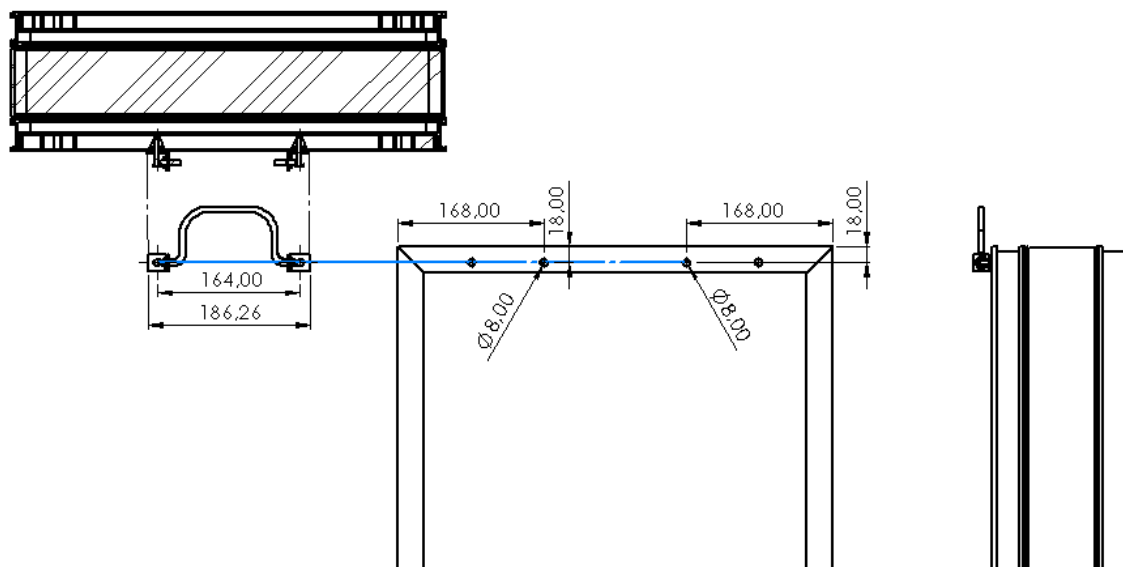
7.3 Framing





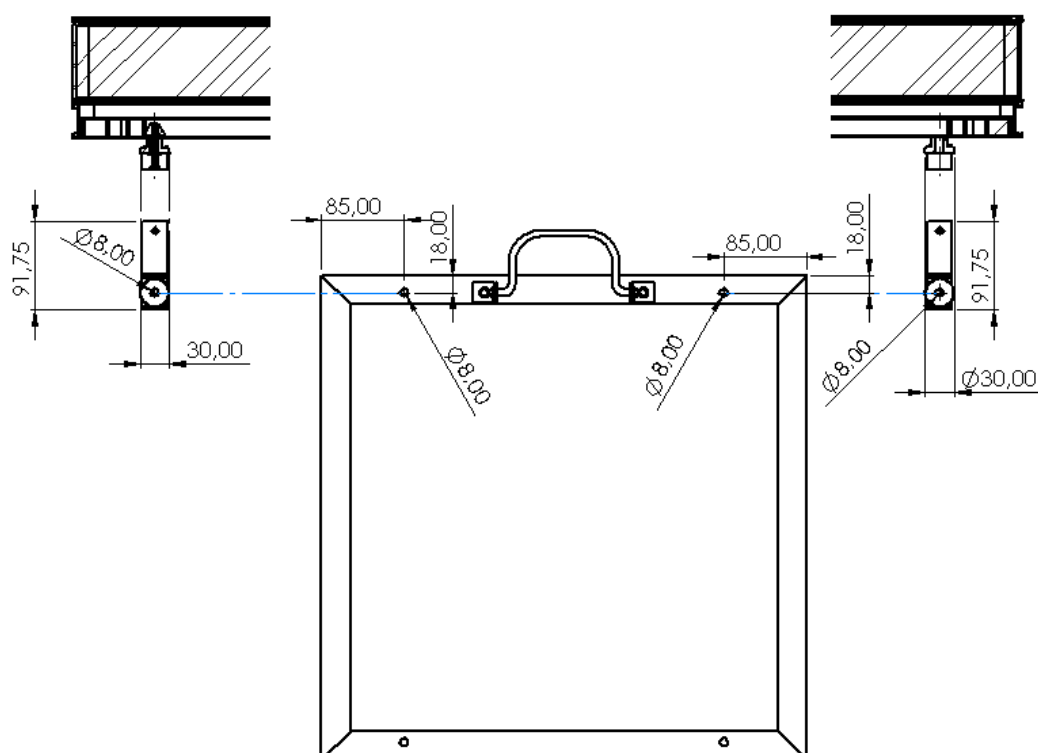
Εικόνα 7.3, 7.4: Framing

7.4 Τοποθέτηση λαβής



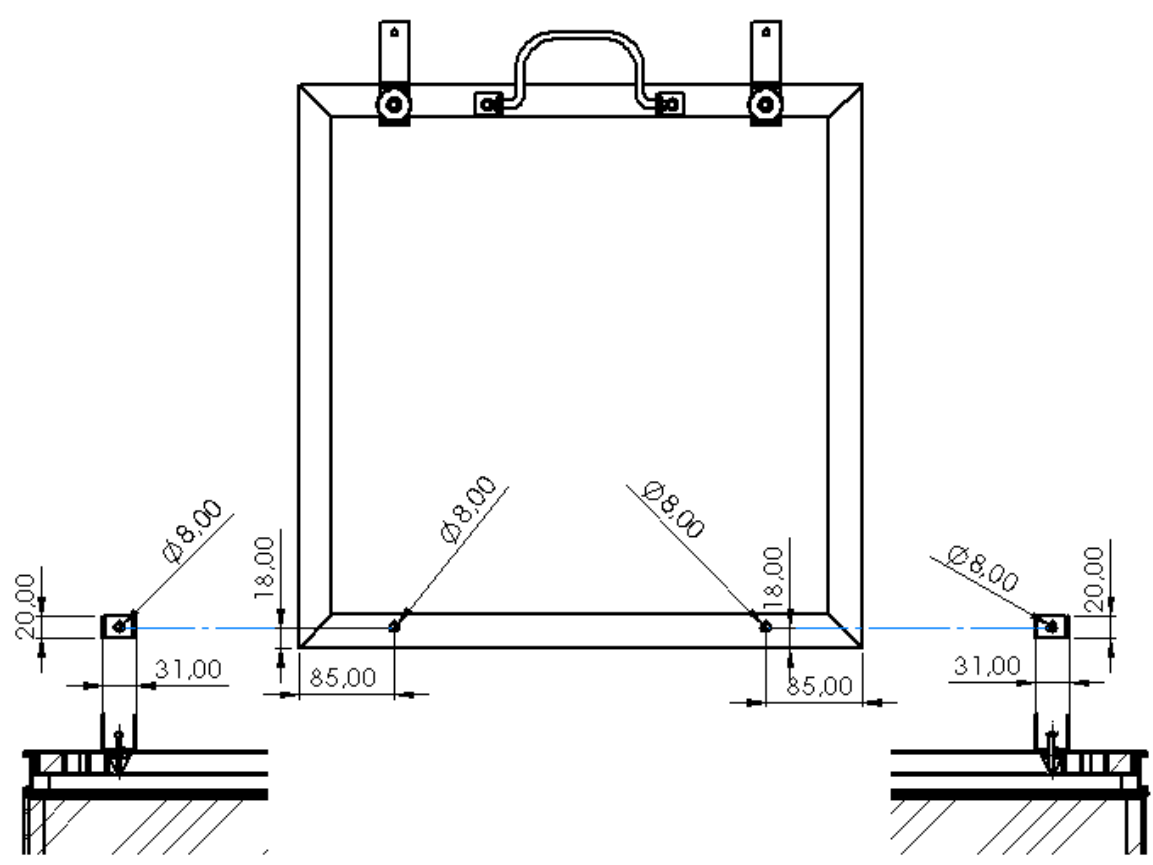
Εικόνα 7.5: Τοποθέτηση λαβής

7.5 Τοποθέτηση πάνω βάσεων



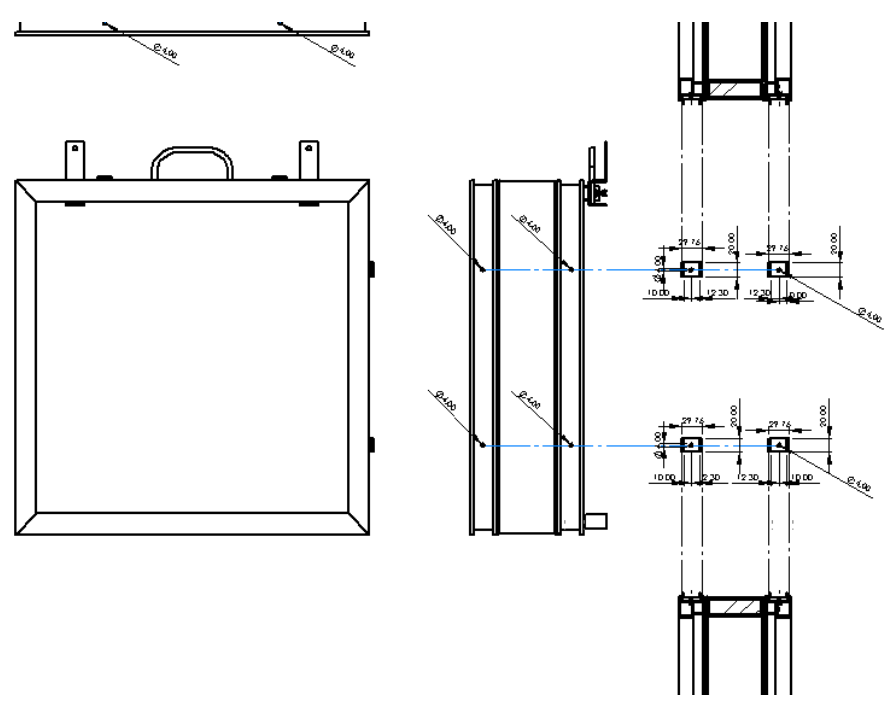
Εικόνα 7.6: Τοποθέτηση πάνω βάσεων

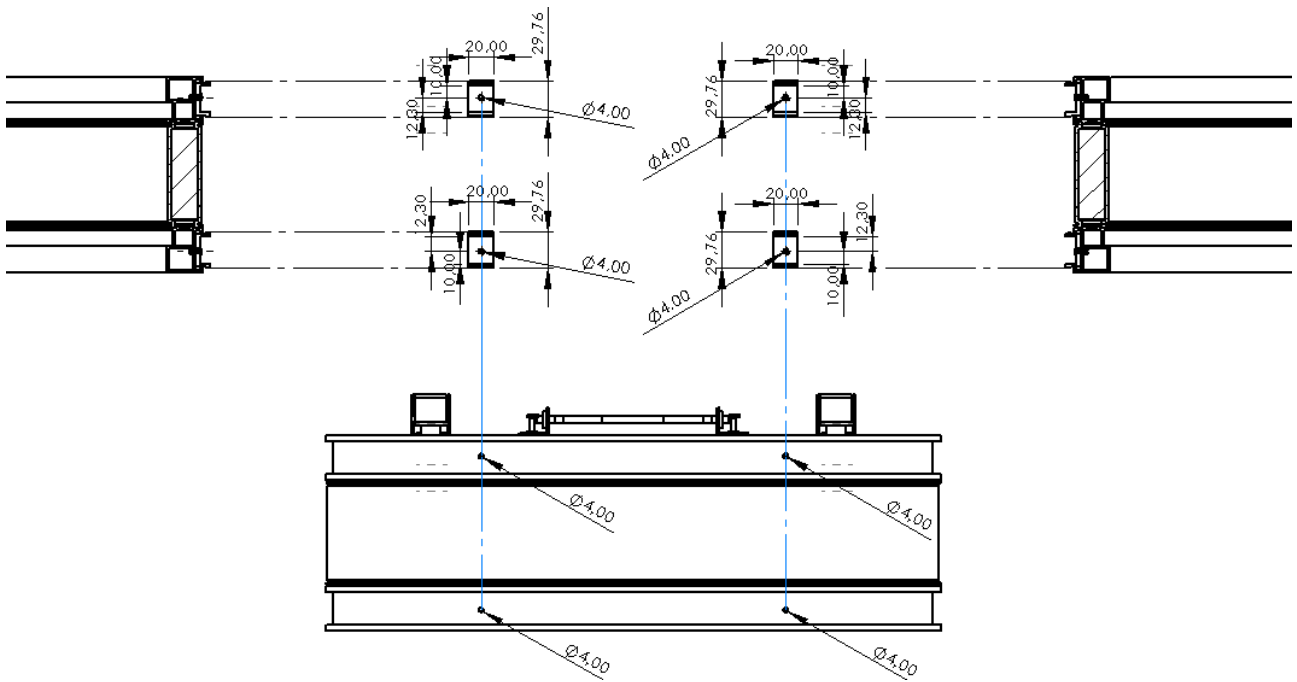
7.6 Τοποθέτηση κάτω βάσεων



Εικόνα 7.7: Τοποθέτηση κάτω βάσεων

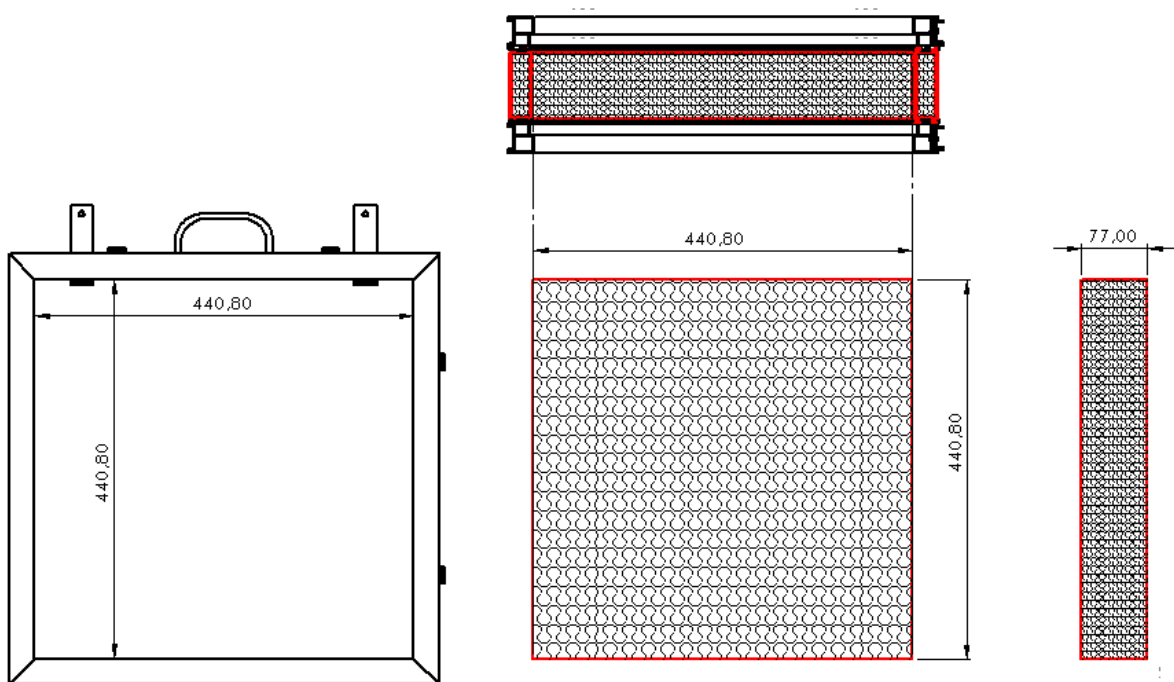
7.7 Τοποθέτηση connection plastic





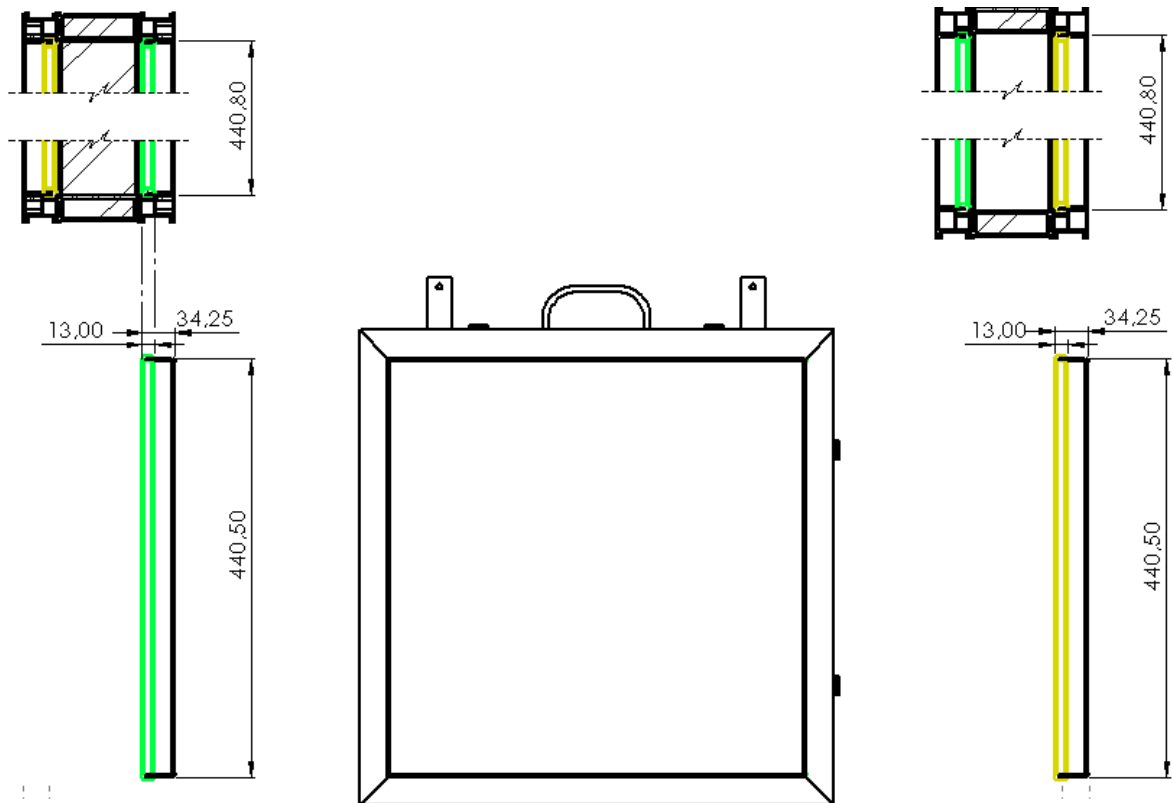
Εικόνα 7.8: Τοποθέτηση connection plastic

7.8 Τοποθέτηση μόνωσης



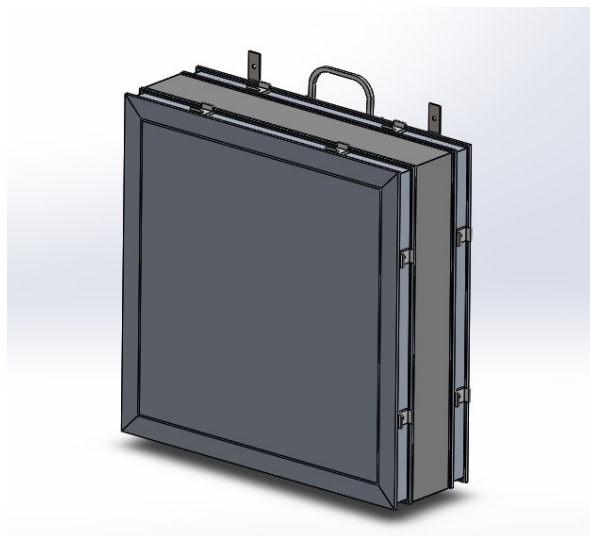
Εικόνα 7.9: Τοποθέτηση μόνωσης

7.9 Τοποθέτηση καπακιού



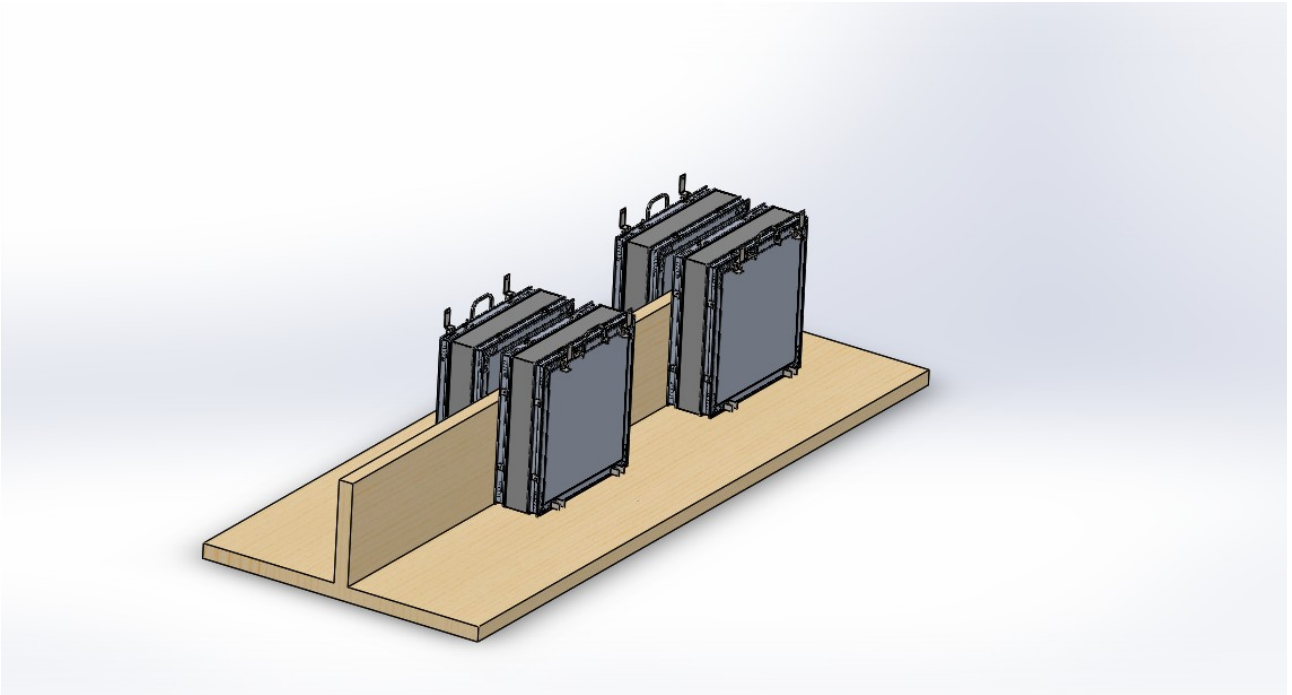
Εικόνα 7.10: Τοποθέτηση καπακιού

7.10 Τελικό στοιχείο



Εικόνα 7.11 Τελικό στοιχείο

7.11 Μεταφορά

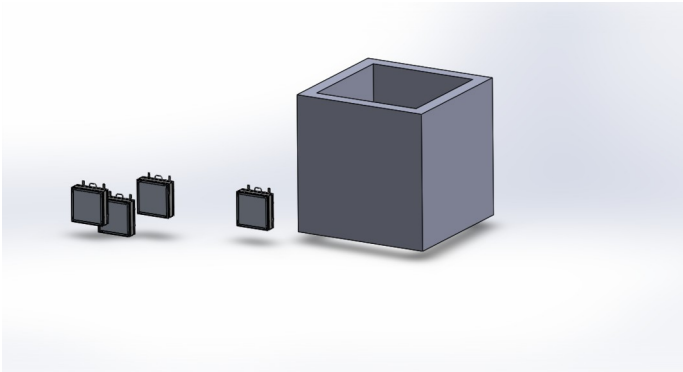


Εικόνα 7.12: Μεταφορά

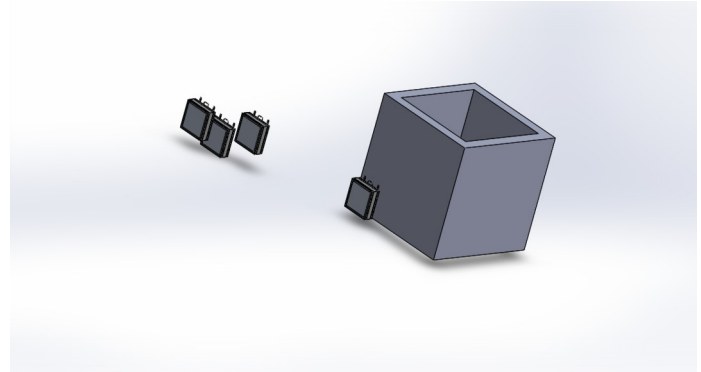
8. Τοποθέτηση

8.1 Περιγραφή τοποθέτησης

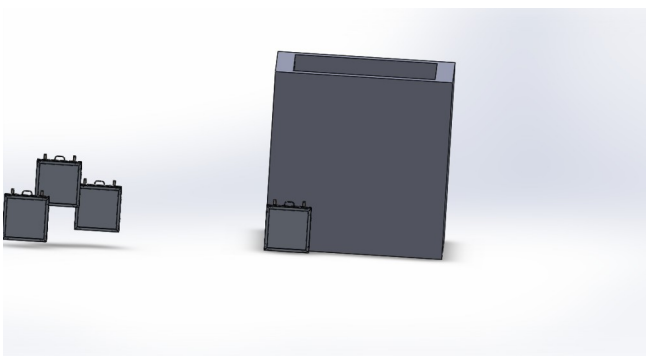
Η τοποθέτηση του στοιχείου είναι πολύ απλή. Χρειάζεται μόνο να αρχίσει από μία γωνία. Το στοιχείο ζυγίζει 8,5 kg και μπορεί να μετακινηθεί με τα χέρια. Το στοιχείο τοποθετείται και στη συνέχεια γίνονται τρύπες στον τοίχο. Δεν χρειάζεται να γίνουν μετρήσεις και να μετακινηθεί το στοιχείο οι πάνω βάσεις στήριξης κινούνται έτσι ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτηση. Αφού τοποθετηθεί το πρώτο στοιχείο μπορούν να μπουν τα επόμενα με ευκολία καθώς εφαρμόζουν μεταξύ τους όταν βρεθούν κολλητά. Χρησιμοποιούνται βίδες και για τα υπόλοιπα.



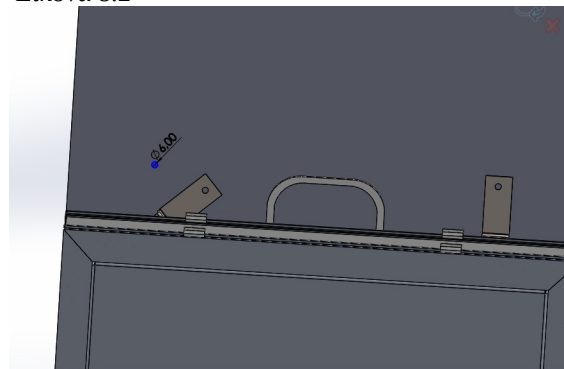
Εικόνα 8.1



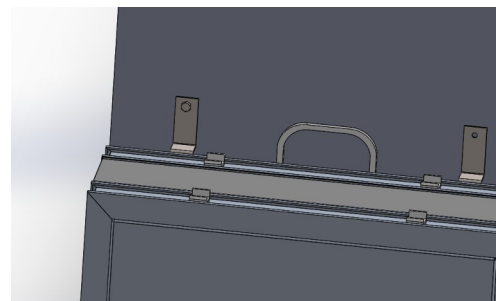
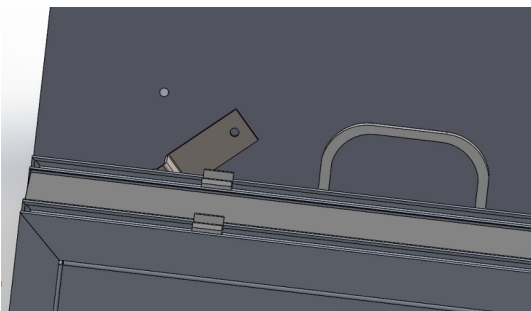
Εικόνα 8.2



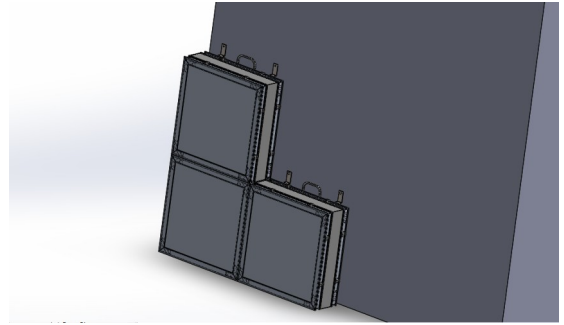
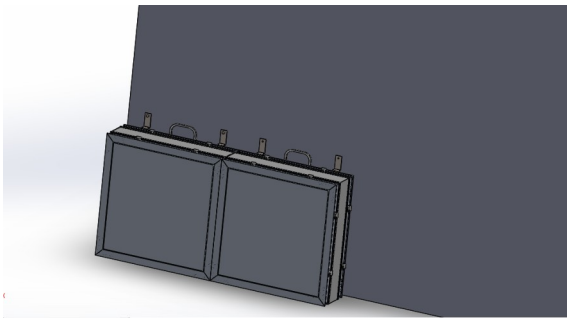
Εικόνα 8.3: Η αρχή της τοποθέτησης



Εικόνα 8.4: Η πάνω βάση γυρίζει για να γίνει η προβλεπόμενη τρύπα.



Εικόνα 8.5-8.6: Η πάνω βάση γυρίζει για να γίνει η προβλεπόμενη τρύπα.



Εικόνα 8.7-8.8: Τα επόμενα στοιχεία εφαρμόζουν με το πρώτο εύκολα.

8.2 Σύγκριση με συνήθεις τρόπους τοποθέτησης

Ο συνηθισμένος τρόπος τοποθέτησης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και κόλλες, σοβάδες και κατάλληλα εργαλεία.



Εικόνα 8.9: Συνήθης τρόπος τοποθέτησης εξωτερικής μόνωσης

Πίνακας 8.1: Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα απέναντι σε άλλες μεθόδους πρόσθετης εξωτερικής μόνωσης.

	Στοιχείο εξωτερικής μόνωσης	Συνήθεις τοποθετήσεις εξωτερικής μόνωσης
Πλεονεκτήματα	Τοποθέτηση χωρίς να χρειάζεται εκπαίδευση και ειδίκευση.	Γίνονται από εξειδικευμένο προσωπικό.
	Η τοποθέτηση μπορεί να διακοπεί για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα.	Πρέπει να ολοκληρωθούν χωρίς μεγάλη χρονική διακοπή.
	Δεν χρειάζεται προεργασία για την τοποθέτηση.	Συνήθως χρειάζεται να γίνει ένας προγραμματισμός για την τοποθέτηση.
	Γρήγορη τοποθέτηση.	Σχετικά πιο αργές.
	Τοποθέτηση από ένα μόνο άτομο.	Μπορεί να χρειαστεί πάνω από ένα άτομο.
	Η τοποθέτηση χρειάζεται μόνο ένα εργαλείο.	Χρειάζονται διάφορα εργαλεία και υλικά.
Μειονεκτήματα	Το στοιχείο έχει πιο μεγάλο πάχος ανά επιφάνεια.	Οι συνήθεις τοποθετήσεις έχουν περίπου ίδιο πάχος με τη μόνωση που επιφέρουν. Οπότε είναι και πολύ ελαφριές σε σχέση με το στοιχείο.
	Το στοιχείο έχει μεγαλύτερο βάρος ανά επιφάνεια.	

9. Αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA)

9.1 Τι είναι το LCA

Ως Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) ορίζεται η συστηματική ανάλυση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων ή υπηρεσιών κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους. [21]

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης κύκλου ζωής ενός προϊόντος, αξιολογούνται οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του (παραγωγή, διανομή, χρήση και φάσεις τέλους ζωής) ή υπηρεσίας. Αυτό περιλαμβάνει επίσης τις διαδικασίες διαχείρισης εισαγωγής (π.χ. προμηθευτές) και απωλειών (π.χ. διαχείριση απορριμμάτων) που σχετίζονται με την παραγωγή (π.χ. παραγωγή πρώτων, βοηθητικών και λειτουργικών υλικών), τη φάση χρήσης και τη διάθεση (π.χ. αποτέφρωση απορριμμάτων). [21]

Η αξιολόγηση επιπτώσεων στον κύκλο ζωής (LCIA) καλύπτει όλες τις σχετικές εισροές από το περιβάλλον (π.χ. μεταλλεύματα και αργό πετρέλαιο, νερό, χρήση γης) καθώς και τις εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου). Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) παρέχει κατευθυντήριες γραμμές και απαιτήσεις για τη διεξαγωγή αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA) σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 14040 και 14044. [21]

Οι κύριες φάσεις της αξιολόγησης του κύκλου ζωής είναι οι εξής: [21]

Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής

Σε αυτή τη φάση, ορίζεται το προϊόν ή την υπηρεσία που αξιολογείται, επιλέγεται μια λειτουργική βάση σύγκρισης και ορίζεται το απαιτούμενο επίπεδο λεπτομέρειας. Στη συνέχεια, ορίζεται ένας στόχος που καθορίζει το εύρος, συμπεριλαμβανομένου του στόχου, της εφαρμογής και του κοινού. Τέλος, καθορίζεται εάν πρέπει να υπάρχει κριτική αξιολόγηση αυτού του στόχου ή όχι.

Ανάλυση Αποθεμάτων

Εδώ εκτελείται μια συλλογή δεδομένων και μια ανάλυση αποθέματος εξαγωγών από και εκλύσεων στο περιβάλλον. Το τελικό αποτέλεσμα παρέχει μια λίστα με όλες τις εισροές και εκροές που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της υπηρεσίας.

Εκτίμηση Επιπτώσεων

Στην εκτίμηση επιπτώσεων, ταξινομείται η χρήση πόρων και οι εκπομπές που παράγονται σύμφωνα με τις πιθανές επιπτώσεις τους και ποσοτικοποιούνται για περιορισμένο αριθμό κατηγοριών επιπτώσεων, οι οποίες στη συνέχεια αξιολογούνται ως προς τη σχετική σημασία τους για τον στόχο της μελέτης ανάλυσης κύκλου ζωής.

Ερμηνεία

Με τις παραπάνω πληροφορίες, παρατείθονται τα αποτελέσματα όσον αφορά τις συνεισφορές, τη συνάφεια, την ευρωστία, την ποιότητα δεδομένων και τους περιορισμούς και αξιολογούνται συστηματικά τυχόν ευκαιρίες για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του προϊόντος ή της υπηρεσίας στο περιβάλλον αποφεύγοντας επιβάρυνση άλλων κατηγοριών επιπτώσεων ή φάσεων

του κύκλου ζωής. Η αποφυγή της επιβάρυνσης αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της προσέγγισης ανάλυσης κύκλου ζωής.

9.2 Αξιολόγηση κύκλου ζωής των προϊόντων του στοιχείου

Το στοιχείο αποτελείται από 541 γραμμάρια XPS (6,29% κατά βάρος)
1850 γραμμάρια PVC (21,51% κατά βάρος)
70 γραμμάρια PLA (0,81% κατά βάρος)
266 γραμμάρια χάλυβα (3,09%κατά βάρος)
5874 γραμμάρια αλουμίνιο (68,30% κατά βάρος)

Θα μελετηθεί επιγραμματικά η ανάλυση κύκλου ζωής του αλουμινίου και του πλαστικού PVC που αποτελούν το 90% του βάρους του προϊόντος.

Για το αλουμίνιο και τη βιομηχανία αλουμινίου αναλυτικά μία αξιολόγηση κύκλου ζωής: [22]
Για το PVC αναλυτικά μία αξιολόγηση κύκλου ζωής: [23]

9.2.1 LCA του αλουμινίου

Το αλουμίνιο έχει έναν κύκλο ζωής που λίγα άλλα μέταλλα μπορούν να ανταγωνιστούν. Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και μπορεί να ανακυκλωθεί ξανά και ξανά, απαιτώντας μόνο ένα κλάσμα της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του πρωτογενούς μετάλλου.

Αυτό καθιστά το αλουμίνιο εξαιρετικό υλικό – αναδιαμορφωμένο και επανασχεδιασμένο για να ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τις προκλήσεις διαφορετικών εποχών και προϊόντων. [24]

Φάση παραγωγής

Η παραγωγή αλουμινίου ξεκινά με την πρώτη ύλη βωξίτη, ο οποίος περιέχει 15-25% αλουμίνιο και βρίσκεται κυρίως σε μια ζώνη γύρω από τον ισημερινό. Υπάρχουν περίπου 29 δισεκατομμύρια τόνοι γνωστών αποθεμάτων βωξίτη και με τον σημερινό ρυθμό εξόρυξης, αυτά τα αποθέματα θα διαρκέσουν περισσότερα από 100 χρόνια. Υπάρχουν, ωστόσο, τεράστιοι άγνωστοι πόροι που μπορεί να επεκταθούν σε 250-340 χρόνια. [24]

Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία Bayer, η αλουμίνα (οξείδιο του αργιλίου) εξάγεται από τον βωξίτη σε ένα διυλιστήριο. Στη συνέχεια, η αλουμίνα χρησιμοποιείται για την παραγωγή του πρωτογενούς μετάλλου σε αναλογία 2:1 (2 τόνοι αλουμίνας = 1 τόνος αλουμίνιο). [24]

Το άτομο αλουμινίου στην αλουμίνα συνδέεται με το οξυγόνο και πρέπει να σπάσει με ηλεκτρόλυση για να παραχθεί μέταλλο αλουμίνιο. Αυτό γίνεται σε μεγάλες γραμμές παραγωγής και είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία που απαιτεί πολλή ηλεκτρική ενέργεια. [24]

Οι πιο συνηθισμένες χρήσεις του πρωτογενούς αλουμινίου είναι η εξώθηση, η έλαση και η χύτευση.

Φάση χρήσης

Το αλουμίνιο είναι ένα υλικό που υπερέχει σημαντικά από οποιοδήποτε άλλο υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή κουφωμάτων. Είναι ένα μέταλλο που δεν σκουριάζει και

χρειάζεται ελάχιστη έως καθόλου συντήρηση, που κάνει τη διάρκεια ζωής του μεγαλύτερη από αυτή του πλαστικού (PVC) και του ξύλου, με τα οποία, με την πάροδο του χρόνου, η φυσική φθορά είναι αναπόφευκτη και η συντήρηση είναι απαραίτητη ακόμη και σε ετήσια βάση. Στη φάση αυτή δεν καταναλώνονται υλικά ή ενέργεια καθώς δεν υπάρχει κόστος συντήρησης. [25]

Φάση τέλους ζωής

Στο τέλος ζωής τα προϊόντα αλουμινίου ανακυκλώνονται. Το αλουμίνιο ανακυκλώνεται σε ποσοστό 100% (!) και δικαίως χαρακτηρίζεται ως «**πράσινο**» **μέταλλο**. Το αλουμίνιο, κατά την ανακύκλωση του μπορεί εύκολα να διαχωριστεί από τα άλλα υλικά δίχως υψηλό κόστος. Επίσης, η ανακύκλωση μπορεί να επαναλαμβάνεται εσαεί παράγοντας μέταλλο με εφάμιλλες ιδιότητες με αυτές του πρωτότυπου. Τέλος, η παραγωγή μετάλλου που προέρχεται από επαναχύτευση μεταχειρισμένων προϊόντων και απορριμμάτων αλουμινίου (**scrap**), απαιτεί μόλις το 5% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή πρωτότυπου μετάλλου, δηλαδή εκείνου που παράγεται από τον βωξίτη. [25]

9.2.2 LCA του PVC

Τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα σχετικά με το PVC και τον κύκλο ζωής του μπορούν να εξαχθούν: [25]

- Εντός της αλυσίδας του κύκλου ζωής του PVC, η παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων, ιδιαίτερα οι διεργασίες από την εξόρυξη αργού πετρελαίου και ορυκτού άλατος έως την παραγωγή VCM (μονομερές χλωροαιθένιο), παίζει σημαντικό ρόλο για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Από την άποψη του κύκλου ζωής του PVC, η παραγωγή σταθεροποιητών και πλαστικοποιητών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, ενώ η παραγωγή χρωστικών προσφέρει ένα συγκριτικά χαμηλό δυναμικό βελτιστοποίησης, λόγω των μικρών όγκων που χρησιμοποιούνται.
- Υπάρχουν κάποιες νέες τεχνολογίες, π.χ. μηχανική ανακύκλωση με βάση την επιλεκτική διάλυση, για την ανακύκλωση PVC με οικονομικά εφικτό τρόπο. Ωστόσο, επί του παρόντος, μόνο μια μικρή ποσότητα απορριμμάτων PVC μετά την κατανάλωση ανακυκλώνεται. Η αποτέφρωση, σε συνδυασμό με τη διάθεση των αστικών απορριμμάτων, είναι μια απλή επιλογή που επιτρέπει τη μερική ανάκτηση ενέργειας και ουσιών, εάν εφαρμοστεί τεχνολογία αιχμής.
- Όσον αφορά τα θετικά αποτελέσματα της αύξησης των ποσοστών ανακύκλωσης, η μηχανική ανακύκλωση (ή ανακύκλωση υλικών), η οποία επαναφέρει το υλικό απευθείας σε νέους κύκλους ζωής, υποκαθιστά, σε κάποιο βαθμό, τις διαδικασίες εξόρυξης πόρων, ενδιάμεσης παραγωγής και κοκκοποίησης/πολυμερισμού κατά την παραγωγή από παρθένο υλικό. Η χημική ανακύκλωση (ανακύκλωση πρώτων υλών) είναι μια άλλη επιλογή ανακύκλωσης του PVC σε έναν άλλο κύκλο ζωής.
- Σε αντίθεση με ορισμένα μέταλλα, η αγορά ανακύκλωσης πλαστικών, άρα και η ζήτηση σε δευτερογενή υλικά, δεν έχει ακόμη καθιερωθεί με επαρκή τρόπο. Ωστόσο, σήμερα και στο

εγγύς μέλλον βλέπουμε έναν συνδυασμό μηχανικών και χημικών διαδρομών ανακύκλωσης και σύγχρονων διαδρομών απόρριψης ως τον πιο ευνοϊκό τρόπο βελτιστοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του PVC και των ανταγωνιστικών υλικών.

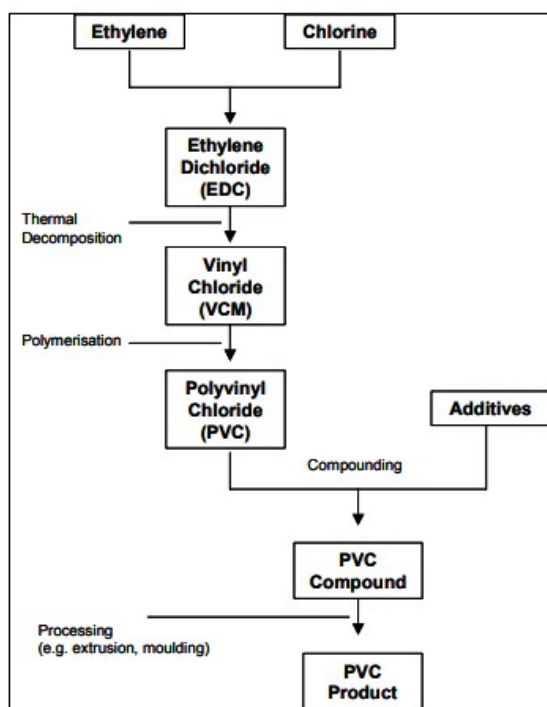
- Οι χρήστες δεν δέχονται ανακυκλωμένα προϊόντα με χαμηλότερη οπτική ή αισθητική ποιότητα (χρώμα, ποιότητα επιφάνειας), ακόμη και αν η τεχνική ποιότητα (μηχανικές ιδιότητες, αντοχή) είναι ίδια. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για προϊόντα κατασκευών, ηλεκτρονικών και αυτοκινήτων.

Συγκεκριμένα για κουφώματα:

Για τα κουφώματα, μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του PVC, οι διαθέσιμες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει «νικητής» όσον αφορά το προτιμώμενο υλικό, καθώς οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι κανένα από τα υλικά δεν έχει συνολικό πλεονέκτημα για τις τυπικές κατηγορίες επιπτώσεων. Η πιο πολλά υποσχόμενη δυνατότητα μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των παραθύρων αναμένεται μέσω της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού. Επομένως, η επιλογή του υλικού είναι μάλλον μικρής σημασίας, εφόσον το υλικό μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη ποιότητα συστήματος του παραθύρου.

Φάση παραγωγής

Το PVC παράγεται από δύο βασικές πρώτες ύλες, το αιθυλένιο και το χλώριο. Αυτά αντιδρούν στο σχηματισμό διχλωριούχου αιθυλενίου (EDC) το οποίο, κατά τη διάσπαση, αποδίδει μονομερές χλωροαιθένιο (VCM). Ελεύθερος ριζικός πολυμερισμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ίδιου του πολυμερούς PVC. [25]



Φάση χρήσης

Η διάρκεια ζωής των κουφωμάτων από PVC θεωρείται ότι είναι 30 χρόνια και οι τιμές απώλειας θερμότητας θεωρούνται ότι είναι $2,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Στη μελέτη IKP-D-6, η μέση διάρκεια ζωής ενός παραθύρου θεωρείται ότι είναι 40 χρόνια. Η φάση είναι μακράς χρήσης που σημαίνει ότι τα αποτελέσματά της έχουν πολύ μεγαλύτερο αντίκτυπο από τα προϊόντα με συγκριτικά σύντομη φάση χρήσης, όπως η συσκευασία. Υποδεικνύεται ότι ο χρόνος της φάσης χρήσης παραθύρου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπεριφορά του χρήστη. Η συντήρηση που αντικαθιστά το πιο αδύναμο εξάρτημα του συστήματος μπορεί να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής ολόκληρου του προϊόντος. Με την κανονική φροντίδα και συντήρηση το υλικό του πλαισίου δεν είναι ο περιοριστικός παράγοντας της διάρκειας ζωής ενός παραθύρου. Συνήθως, αλλαγές στην αξιοποίηση του κτιρίου, οπτικές απαιτήσεις, απαιτήσεις θερμικής αγωγιμότητας ή διαρροές, οδηγούν στην αντικατάσταση του παραθύρου. Τα παράθυρα και οι προσόψεις δεν καταναλώνουν υλικά ή ενέργεια κατά τη φάση χρήσης τους, αλλά αποτελούν μέρος του συστήματος «κτιρίου» και έχουν άμεση επίδραση στις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Με σχέδια PVC, μπορεί να επιτευχθεί χαμηλή θερμική αγωγιμότητα λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού σε συνδυασμό με προφίλ πολλαπλών θαλάμων. Δεν αναφέρεται συντήρηση για κουφώματα PVC. Ο χαμηλός αντίκτυπος του Δυναμικού Δημιουργίας Φωτοχημικού Όζοντος αξίζει να σημειωθεί όπου χρησιμοποιούνται συστήματα βαφής με βάση VOC. Τα παράθυρα PVC δεν χρειάζονται ειδική επιφανειακή επεξεργασία κατά την παραγωγή, σε σύγκριση με τα ξύλινα παράθυρα που πρέπει να επικαλυφθούν. [25]

Φάση τέλους ζωής

Υπάρχουν τρεις κύριες επιλογές όσον αφορά το τέλος ζωής των προϊόντων PVC, η υγειονομική ταφή (Landfill), η ανακύκλωση (Recycle), και η καύση (Incineration). Από αυτές το μόνο πλεονέκτημα της ταφής είναι η απλότητα της διαδικασίας ενώ η ανακύκλωση έως τώρα δεν έχει εδραιωθεί στην αγορά. Η ενέργεια από καύση έχει και αυτή μειονεκτήματα όπως τα απόβλητα της καύσης. Γενικά δεν έχει εδραιωθεί ακόμα κάποιος τρόπος για το τέλος ζωής του PVC. [25]

10. Οικονομικά

10.1 Οικονομική αξιολόγηση

Πραγματοποιείται μία οικονομική ανάλυση για να υπολογιστεί κατά πόσο είναι συμφέρουσα μία τέτοια επένδυση.

Παραδοχές

- Ο χρόνος ζωής της επένδυσης θεωρείται 30 χρόνια.
- Η τιμή της ενέργειας είναι 0,14 €/kWh και κάθε χρόνο αυξάνεται ανάλογα με τον πληθωρισμό.
- Το επιτόκιο σε τράπεζες είναι 3% και είναι σταθερό.
- Ο πληθωρισμός είναι 3% και είναι σταθερός.
- Το σπίτι που κάνει την επένδυση καταναλώνει $466 \text{ kWh/m}^2 * 156,8 \text{ m}^2 = 73069 \text{ kWh}$ ενέργειας ανά έτος.
- Με την μόνωση καταναλώνει $334 \text{ kWh/m}^2 * 156,8 \text{ m}^2 = 52371 \text{ kWh}$ ενέργειας ανά έτος.
- Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν από το ένα υπολογιστικό μοντέλο (pHpp) (Κλιματικά δεδομένα πόλης Καλαμάτας, ελάχιστη επιτρεπόμενη εσωτερική θερμοκρασία 23 °C, μέγιστη 27 °C ,τιμή U εξωτερικής τοιχοποιίας 2,8 W/m²K χωρίς μόνωση 0,4 W/m²K με τη μόνωση)
- Η εξωτερική τοιχοποιία είναι 219 m² που αναλογεί σε 876 κομμάτια μόνωσης.
- Η μόνωση δεν επιφέρει κανένα κέρδος στην αεροστεγανότητα του κτιρίου.

Δημιουργείται πίνακας τιμών:

Όνομα	Περιγραφή
Έτος	Ο αριθμός του έτους
Τιμή κιλοβατόρας	Η τιμή της κιλοβατόρας το έτος
Έσοδα	Τα έσοδα λόγω επένδυσης το έτος
Cash flow	Τα συνολικά έσοδα μέχρι αυτό το έτος
NPV (net present value)	Η αξία της επένδυσης μέχρι αυτό το έτος.

Οι τιμές τιμή κιλοβατόρας και έσοδα αυξάνονται εκθετικά λόγω πληθωρισμού με τον τύπο $(1+3\%)^X$ όπου X η τιμή του έτους.

Η τιμή cash flow μένει σταθερή (δεν χάνει αξία ανά έτος).

Το NPV είναι ένας απλός δείκτης αξιολόγησης μιας επένδυσης. Αν στο τέλος της επένδυσης είναι θετικός τότε σημαίνει ότι η επένδυση είναι επικερδής. Έχει τύπο $NPV = \sum (Cash\ flow) / ((1+3\%)^X) - initial\ investment$.

Σενάριο 1 NPV=0

Η επένδυση επιφέρει χρήματα ίσα με $(73.069-52.371) * (0,14 * (1+3\%)^{30}) = 137.860$ € σε 30 χρόνια.

Πίνακας 10.1:Σενάριο 1 NPV=0

Year	Price €/kWh	Income €	Cash Flow €	NPV €
0	0,14	2897,72	2.897,72	-84.002,28
5	0,16	3359,25	17.386,32	-69.513,68
10	0,19	3894,29	31.874,92	-55.025,08
20	0,25	5233,6	60.852,12	-26.047,88
29	0,33	6828,67	86.931,60	31,60

Σε αυτό το σενάριο η επένδυση μόλις που είναι κερδοφόρα με αρχική επένδυση 86.900 €. Η τιμή ενός στοιχείου μόνωσης είναι 99,20 €.

Σενάριο 2 IRR=12%

Ο δείκτης IRR είναι ένας οικονομικός δείκτης που βοηθάει στη σύγκριση μεταξύ επενδύσεων. Όσο μεγαλύτερος τόσο πιο σίγουρη θεωρείται η επένδυση. Προσθέτεται στην τιμή του πληθωρισμού όταν υπολογίζεται το NPV ($NPV = \sum (Cash\ flow) / ((1+3\%+IRR)^X) - initial\ investment$).

Πίνακας 10.2: Σενάριο 2 IRR=12%

Year	Price €/kWh	Income €	Cash Flow €	NPV €
0	0,14	2897,72	2.897,72	-23.852,28
5	0,16	3359,25	17.386,32	-9.363,68
9	0,18	3780,87	28.977,20	2.227,20
20	0,25	5233,6	60.852,12	34.102,12
29	0,33	6828,67	86.931,60	60.181,60

Σε αυτό το σενάριο η επένδυση είναι πολύ συμφέρουσα έχει δείκτη IRR=12%, κάνει απόσβεση στο δέκατο χρόνο της χρήσης και έχει αρχικό κόστος επένδυσης 26.750 € που αντιστοιχεί σε 30,50 € ανά στοιχείο.

Σύμφωνα με τα δύο σενάρια οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 30 € και 99 € ανά στοιχείο (ή 120 με 396 € ανά m²) καθιστά δυνατή την επένδυση.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η συμβατική εφαρμογή εξωτερικής μόνωσης είναι 30-50 € ανά m² και η τιμή υαλοπινάκων (αλουμινίου) επίσης έχει κόστος 30-50 € ανά m². Αν το στοιχείο έχει παρόμοιο εύρος τιμών λόγω της ομοιότητάς του με τους υαλοπίνακες και την εξωτερική μόνωση τότε η επένδυση είναι εξαιρετικά κερδοφόρα (αρχικό κόστος 8760 €) και κάνει απόσβεση μόλις στον τέταρτο χρόνο χρήσης.

11. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

11.1 Συμπεράσματα

Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιφέρει η σωστή μόνωση των κτιρίων καθιστά την εύρεση μίας λύσης για τα υπάρχοντα κτίρια άκρως επικερδή και αναγκαία. Ωστόσο οι μέχρι πρότινος λύσεις δεν έχουν εδραιωθεί στην αγορά και δεν εφαρμόζονται σε μεγάλο ποσοστό.

Το στοιχείο που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική <<μηδενίζει>> την δυσκολία προμήθειας και τοποθέτησης που υπάρχει έως τώρα με στόχο την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων.

Οι κυβερνήσεις όλων των κρατών έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα προκειμένου η λειτουργία των κτιρίων να είναι της φιλοσοφίας των κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια οι πολίτες έχουν έρθει σε άμεση επαφή με την φιλοσοφία αυτήν και τα κίνητρα μέσω των προγραμμάτων «Εξοικονομώ-Αυτονομώ».

11.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Με βάση την παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας η αντικατάσταση της κύριας μόνωσης XPS με άλλες μονώσεις όπως ο πετροβάμβακας και να γίνει μία σύγκριση αποτελεσμάτων σε ενεργειακό, οικονομικό ή και άλλα επίπεδα.

Επίσης θα μπορούσε να γίνει μία έρευνα για τρόπους σφραγίσματος στα άκρα του στοιχείου ώστε να μην υπάρχουν απώλειες ενέργειας καθώς και μία έρευνα που να μελετά τις επιδράσεις που έχει αυτό το στοιχείο στην αεροστεγανότητα και την υγρασία του κελύφους στο οποίο τοποθετείται.

12. Βιβλιογραφία

- (1) <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- (2) <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- (3) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households
- (4) www.statistics.gr
- (5) <https://www.4green.gr/news/data/g-ebuildings/101851.asp>
- (6) https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- (7) <https://www.re-thinkingthefuture.com/sustainable-architecture/a7110-net-zero-energy-buildings-the-principles-and-applications/>
- (8) Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, Στοιχεία μηχανών Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Μηχανών, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ ΤΟΜΟΣ Α΄, ISBN 978-960-418-175-9
- (9) <https://www.jtproto.com/el/buyer-guide/aluminum-extrusion-essential-details-you-need-to-know/>
- (10) <https://mmgextrusions.com/resources/aluminum-extrusion-die-types/>
- (11) <https://warm-international.com/products/xps/>
- (12) <https://xcairfilter.en.made-in-china.com/product/OnHYDxRGJvcB/China-High-Density-Sound-Absorption-XPS-Foam-Panel-Extruded-Polystyrene-Thermal-Insulation-Board.html>
- (13) http://myungil.koreasme.com/eng/product/XPS_Foam_Board_Line.html
- (14) https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-a-tandem-foam-extrusion-line-used-in-the-production-of-foam_fig1_260985730
- (15) <https://adler-his.com/polyamide-thermal-break>
- (16) <https://exlabesa.com/us/industria/capacidades-productivas/rotura-de-puente-termico/>
- (17) <https://xometry.pro/en-eu/articles/sheet-metal-bend-radius-table/>
- (18) <https://konaxpvc.com/language/en/corner-crimping-machine-for-aluminium-profiles/>
- (19) <https://www.walker-rubber.co.uk/knowledge-hub/extruding-rubber-parts-370>
- (20) <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=6toXFBhcVPI>
- (21) <https://sphera.com/resources/glossary/what-is-a-life-cycle-assessment-lca/>
- (22) Life cycle inventory data and environmental metrics for the primary aluminium industry 2019 data – Final November 2022 - <https://international-aluminium.org/resource/2019-life-cycle-inventory-lci-data-and-environmental-metrics/>
- (23) Dr. Martin Baitz, et al Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials Commissioned by the European Commission, April 2004
- (24) <https://www.hydro.com/en/global/aluminium/about-aluminium/aluminium-life-cycle/>
- (25) <https://www.alumil.com/greece/support/frequently-asked-questions>