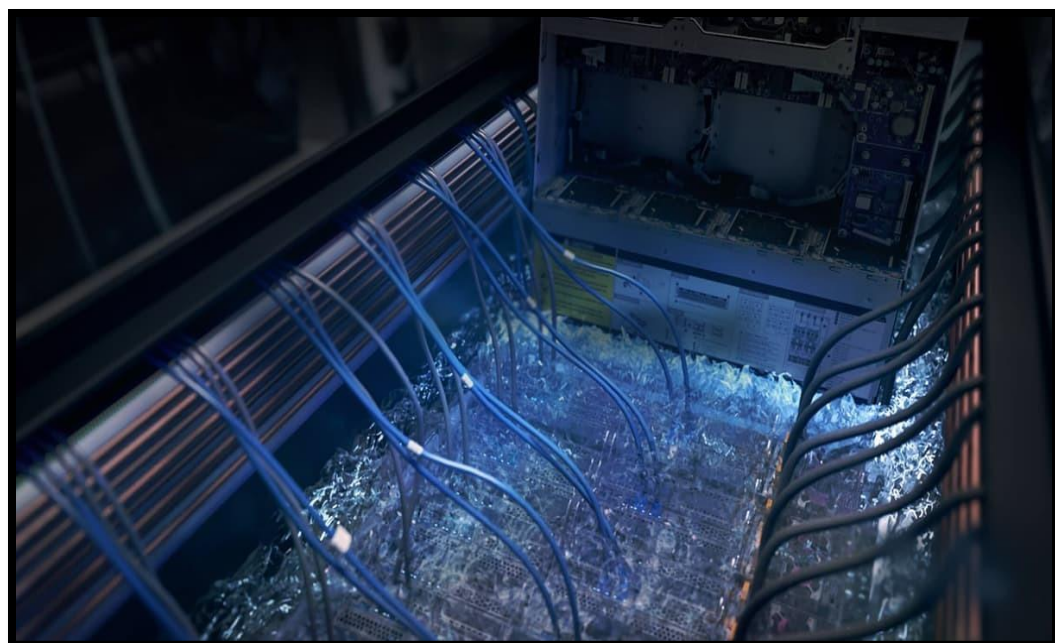


ΨΥΞΗ ΜΕ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2023



Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Όνοματεπώνυμο : Άγγελος Βαγιάκης

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	6
Abstract	7
Ψύξη διακομιστών με εμβάπτιση	8
3.1 Διάταξη εγκατάστασης	8
3.2 Σύγκριση ψύξης με εμβάπτιση έναντι λοιπών μεθόδων	10
3.2.1 Πλεονεκτήματα	10
3.2.2 Μειονεκτήματα	10
Εισαγωγή στο λογισμικό Solidworks	12
4.1 Έναρξη προγράμματος	12
4.2 Βασικές εντολές σχεδιασμού στο Solidworks	14
Σχεδίαση Διακομιστή σε ράφι	19
5.1 Συνιστώσες Διακομιστή σε ράφι	19
5.1.1 Μητρική πλακέτα	20
5.1.2 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας	23
5.1.2.1 Υποδοχή κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Socket LGA3647-0)	23
5.1.2.2 Υπόστρωμα-Πλακέτα κεντρικής μονάδας επεξεργασίας	31
5.1.2.3 Κάλυμμα Μικροεπεξεργαστή (Integrated Heat Spreader)	33
5.1.2.4 Μικροεπεξεργαστής	37
5.1.2.5 Θερμικό υλικό διεπιφάνειας (TIM)	39
5.1.2.6 Ψύκτρα (Heatsink)	40
5.1.3 Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM)	45
5.1.3.1 Βάση υποδοχής μνήμης τυχαίας προσπέλασης	45
5.1.3.2 Πλακέτα μνήμης τυχαίας προσπέλασης	51
5.1.4 Τροφοδοτικό (PSU)	53
5.1.5 Κεντρικός ελεγκτής πλατφόρμας (PCH)	54
5.1.5.1 Υπόστρωμα-πλακέτα	54
5.1.5.2 Τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	57
5.1.5.3 Θερμικό υλικό διεπιφάνειας	58
5.1.5.4 Ψύκτρα	58
5.1.6 Εξωτερικό κάλυμμα μονάδας (Casing)	61
5.1.7 Μονάδα δίσκου σταθερής κατάστασης (SSD)	65
5.1.7.1 Θύρες υποδοχής δίσκου σταθερής κατάστασης	65
5.1.7.2 Δίσκος σταθερής κατάστασης	67
Προσομοίωση	70
6.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης	70
6.1.1 Υλικά στερεών σωμάτων	71
6.1.2 Πηγές θερμότητας συστήματος	71
6.1.3 Σύγκριση μελετώμενων ρευστών προσομοίωσης	72
6.2 Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης	77
6.3 Ορισμός υπολογιστικού χωρίου	82
6.4 Ορισμός υλικών	84
6.5 Ορισμός θερμικών πηγών	93
6.6 Ορισμός οριακών συνθηκών	97
6.7 Ορισμός στόχων σύγκλισης	99

6.8	Ορισμός υπολογιστικού πλέγματος	101
6.9	Έναρξη επίλυσης	106
6.10	Παραδοχές	108
	Αποτελέσματα προσομοίωσης	109
7.1	Σύγκριση οριακών συνθηκών	109
7.2	Θερμική και ροϊκή συμπεριφορά εργαζόμενων μέσων	113
7.3	Θερμοκρασιακές κατανομές	117
	Συμπεράσματα	122
	Κατάλογος Πινάκων	124
	Κατάλογος Εικόνων	125
	Κατάλογος Αναφορών	127

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ κατά το ακαδημαϊκό έτος 2023. Την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας είχε ο Καθηγητής, κύριος **Τζιβανίδης Χρήστος**, τον οποίο θα ήθελα πρωταρχικά να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση του θέματος, για την εξαιρετική καθοδήγηση του, την αμεσότητα και τη αδιάληπτη υποστήριξη και προθυμία σε κάθε ζήτημα που προέκυψε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τον διδάκτορα κύριο **Κορρέ Δημήτρη** για την συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας με την παροχή πολύτιμων γνώσεων και συμβουλών. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για τη αδιάληπτη υποστήριξη τους τόσο σε μορφωτικό όσο και διαπροσωπικό επίπεδο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. Περίληψη

Σήμερα με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας σε τομείς όπως την τεχνητή νοημοσύνη και την βιομηχανία, η ανάγκη δημιουργίας όλο και ταχύτερων υπερυπολογιστών αυξάνεται ραγδαία [1]. Αυτό το φαινόμενο επιφέρει τη συνεχή πύκνωση της διαθέσιμης ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο επιφέροντας αυξήσεις στη θερμοκρασία των μικροσίπ σε επίπεδα όπου απειλείται η αξιοπιστία του συστήματος [2]. Ο παραδοσιακός τρόπος ψύξης των κέντρων δεδομένων είναι η απορρόφηση θερμότητας από τα εξαρτήματα μέσω της κυκλοφορίας ψυχρού αέρα. Ωστόσο, επειδή η κατανάλωση ενέργειας των κέντρων δεδομένων (Data Center) ανέρχεται στο 1.3% της παγκόσμιας κατανάλωσης από τα οποία το 40% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν προέρχεται από την ψυκτική εγκατάσταση [3], είναι επιτακτική η αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων ψύξης. Στη παρούσα εργασία μελετάται ο εναλλακτικός τρόπος ψύξης των κέντρων δεδομένων με εμβάπτιση ενός διακομιστή σε διηλεκτρικό υγρό υπό σταθερή φάση. Σκοπός της εργασίας είναι πρώτον ο ρεαλιστικός σχεδιασμός του διακομιστή βάση μοντέλων του εμπορίου και κατά δεύτερον η διευκρίνιση του κατά πόσο μια τέτοια λύση είναι εφικτή στο να επιτύχει την σωστή ψύξη των εξαρτημάτων του διακομιστή διατηρώντας τα επιτρεπτά επίπεδα λειτουργίας. Ταυτόχρονα εξετάζεται μέσω εννιά σεναρίων η επίδραση των οριακών συνθηκών δηλαδή της εισερχόμενης παροχής και της θερμοκρασίας του ρευστού σε ένα εύρος από 1-3 lpm και 20-40 °C αντίστοιχα. Παράλληλα από τα εξής σενάρια μελετάται ποιο επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση σε σχέση με το ποσό εναλλασσόμενης ισχύος. Επιπροσθέτως στη εργασία συγκρίνονται τρία διαφορετικά διηλεκτρικά υγρά (EC-130, FC-40, mineral oil) που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες εφαρμογές ώστε να αποφανθεί ποιες παράμετροι των θερμικών τους ιδιοτήτων επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας. Το λογισμικό στο οποίο κατασκευάζεται ο διακομιστής αλλά και επιλύεται η ροή βάση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής είναι το **Solidworks**. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η γενική διάταξη ενός συστήματος ψύξης με εμβάπτιση ενώ στη συνέχεια αντιπαραβάλλονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εν λόγω τεχνικής με τις αντίστοιχες συμβατικές μεθόδους. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη εισαγωγή στο λογισμικό Solidworks και στις βασικές εντολές σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στο τρίτο κεφάλαιο όπου παρουσιάζεται ο αναλυτικός σχεδιασμός του συστήματος στο περιβάλλον του λογισμικού. Έπειτα στο τέταρτο κεφάλαιο ορίζονται όλοι οι απαραίτητοι παράμετροι για την έναρξη της προσομοίωσης από τα υλικά και τα εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούνται έως τις ρυθμίσεις που απαιτούνται στο λογισμικό. Επακόλουθα στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω γραφημάτων και εικόνων από το λογισμικό. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

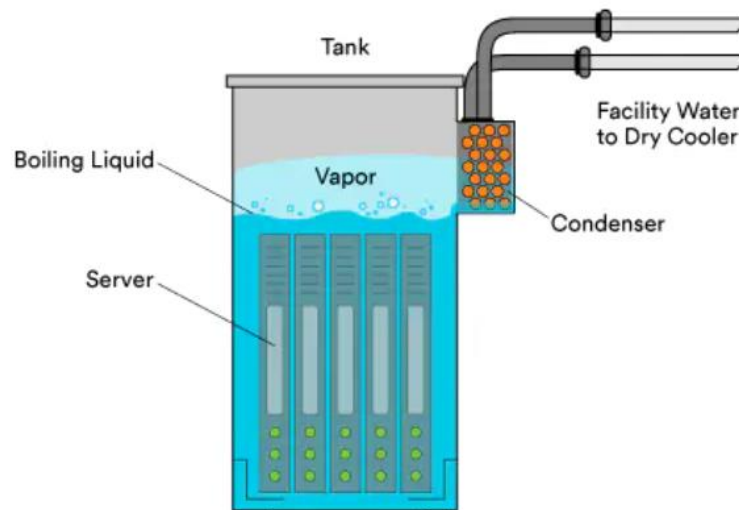
2. Abstract

Today, with the continuous development of technology in areas such as artificial intelligence and industry, the need of constructing faster supercomputers is growing rapidly [1]. This phenomenon brings about the continuous densification of the available power per square meter resulting in increases in microchip temperature to levels where system reliability is threatened [2]. The traditional way of cooling data centers is to absorb heat from the components through the circulation of cold air. However, because the energy consumption of data centers amounts to 1.3% of the global consumption of which 40% of the total energy consumed comes from the cooling system [3], it is imperative to search for alternative cooling methods. In this paper, the alternative way of cooling data centers is by immersing an Intel server in dielectric liquid in single phase mode. The purpose of the paper is firstly to realistically design the server based on commercial models and secondly to clarify whether such a solution is feasible in achieving proper cooling of the server components while maintaining allowable operating levels. At the same time, the effect of boundary conditions i.e. inlet flow rate and fluid temperature is investigated by means of nine scenarios in a range of 1-3 lpm and 20-40 °C respectively. Moreover an investigation from the previous scenarios takes place in order to clarify which one achieves the highest energy savings in accordance to the exchanged heat power. Additionally, the paper compares three different dielectric fluids (EC-130, FC-40, mineral oil) used in respective applications to determine which parameters of their thermal properties affect heat transfer. The computational software in which the server is built and the flow is solved is **Solidworks**. The first chapter analyses the general layout of an immersion cooling system and then compares the advantages and disadvantages of this technique with the corresponding conventional methods. The second chapter provides a first introduction to the Solidworks software and the basic design commands used in the third chapter where the analytical design of the system in the software environment is presented. Then in chapter four all the necessary parameters to start the simulation are defined from the materials and working fluids used, to the settings required in the software. Consequently, chapter five presents the results of the simulation through graphs and images from the software. Finally, chapter six summarizes the conclusions drawn from the simulation results.

3. Ψύξη διακομιστών με εμβάπτιση

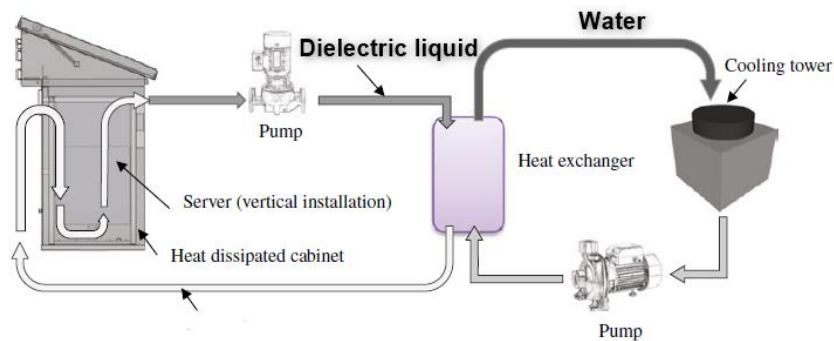
3.1 Διάταξη εγκατάστασης

Η τεχνολογία της ψύξης με εμβάπτιση χρησιμοποιεί συγκεκριμένα διηλεκτρικά υγρά ως ψυκτικά μέσα απευθείας απαγωγής της θερμότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που βρίσκονται βυθισμένα στο εκάστοτε ψυκτικό μέσο. Η απορροφούμενη θερμότητα απάγεται μέσω του συστήματος σε εξωτερικές ψυχρές πηγές, απελευθερώνοντας την θερμότητα στο περιβάλλον. Ο διακομιστής τοποθετείται κάθετα μέσα στη δεξαμενή και είναι πλήρως βυθισμένος στο υγρό ώστε να ενισχυθεί και το φαινόμενο της φυσικής συναγωγής κατά τη μεταφορά θερμότητας. Σήμερα δύο είναι οι κυρίαρχες παραλλαγές της ψύξης με εμβάπτιση, η μονή (single phase immersion cooling) και η διπλή φάση (two-phase immersion cooling). Κατά τη διπλή φάση το διηλεκτρικό ρευστό που χρησιμοποιείται έχει χαμηλό σημείο βρασμού ώστε να εξατμίζεται και να συμπυκνώνεται ύστερα μέσα στη δεξαμενή αλλάζοντας φάση αυξάνοντας έτσι εκθετικά την απόδοση λόγω της αξιοποίησης της λανθάνουσας θερμότητας. Ο παραγόμενος ατμός συμπυκνώνεται σε ένα εναλλάκτη θερμότητας που διαρρέεται από νερό μέσα στη δεξαμενή ώστε να υγροποιηθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί στο σύστημα [4]. Το θερμαινόμενο νερό απομακρύνεται μέσω του εξωτερικού συστήματος για εναπόθεση της θερμότητας του στο περιβάλλον ή σε κάποια άλλη ανάγκη σύμφωνα και με τη **Εικόνα 1**.



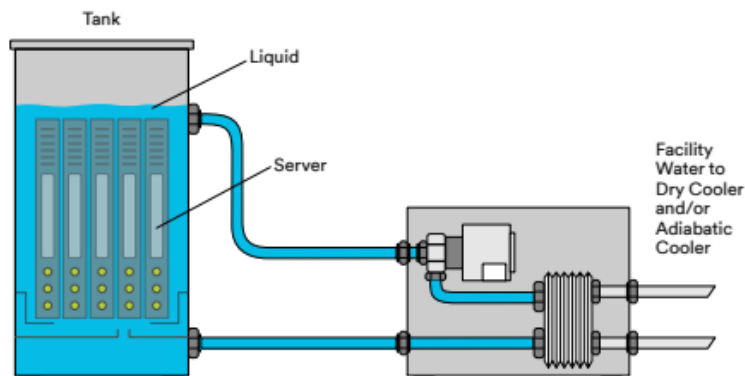
Εικόνα 1 Ψύξη διπλής φάσης με εμβάπτιση διακομιστή σε δεξαμενή
 Πηγή : [Immersion Cooling with 3M Fluids for Data Centers | 3M-US](#)

Η εναλλακτική επιλογή είναι η μονή φάση όπου το χρησιμοποιούμενο ρευστό παρουσιάζει υψηλό σημείο βρασμού και η φάση του παραμένει στη υγρή κατάσταση. Το διηλεκτρικό ρευστό κυκλοφορεί μέσω ενός συστήματος αντλιών παρέχοντας και αποβάλλοντας το ρευστό εισόδου-εξόδου από τις οπές της κλειστής δεξαμενής προς τον εναλλάκτη όπου θερμότητα ανταλλάσσεται με το δεύτερο κύκλωμα ψύξης. Από αυτό το σύστημα που το διαρρέει συνήθως νερό, έχοντας λάβει την θερμότητα από το διηλεκτρικό υγρό, το θερμό νερό οδηγείται μέσω μια αντλίας στο πύργο ψύξης όπου αποβάλλει την θερμότητα στο περιβάλλον [5]. Η εν λόγω διάταξη απεικονίζεται και στη **Εικόνα 2**. Η συσκευή απόρριψης θερμότητας στο περιβάλλον μπορεί να είναι είτε πύργος ψύξης (Cooling Tower) ή ψύκτης νερού (Water Chiller) είτε Drycooler όπως φαίνεται και στη **Εικόνα 3**. Παρόλο που η διάταξη διπλής φάσης παρουσιάζει καλύτερα θερμικά χαρακτηριστικά από της μονής φάσης λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης, την ασφάλεια και τη δυσκολία συντήρησης δεν προτιμάται σε εμπορικές και μεγάλης κλίμακας εφαρμογές [6].



Εικόνα 2 Διάταξη ψύξης με εμβάπτιση μονής φάσης με χρήση πύργου ψύξης

Πηγή : Data Center Handbook Plan, Design, Build, And Operations Of A Smart Data Center



Εικόνα 3 Διάταξη ψύξης με εμβάπτιση μονής φάσης με χρήση Dry Cooler

Πηγή : [Immersion Cooling with 3M Fluids for Data Centers | 3M-US](https://www.3m.com/US/en/immersion-cooling-with-3m-fluids-for-data-centers)

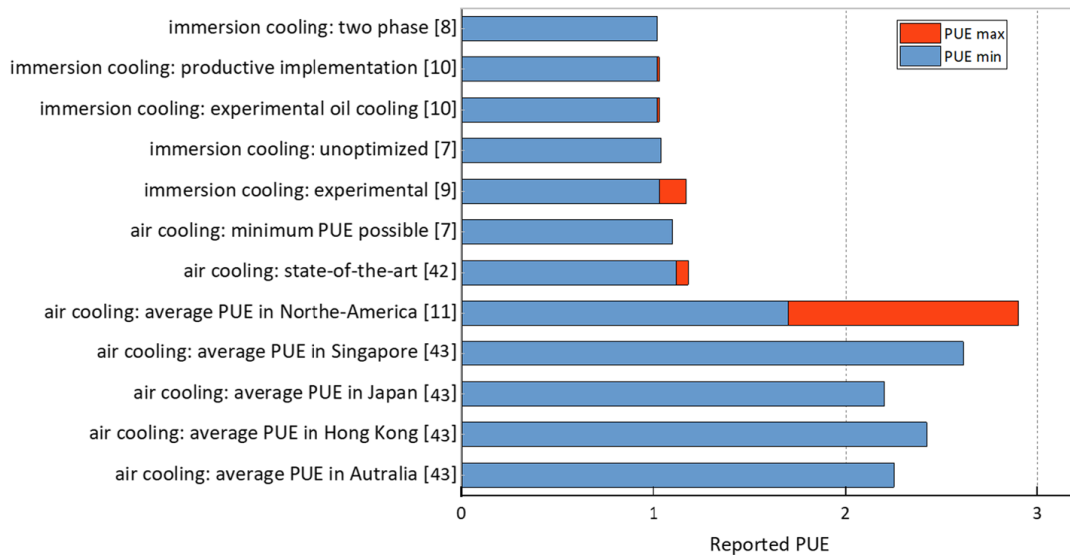
3.2 Σύγκριση ψύξης με εμβάπτιση έναντι λοιπών μεθόδων

3.2.1 Πλεονεκτήματα

1. Στη ψύξη με εμβάπτιση λόγω της άμεσης επαφής μεταξύ της θερμικής πηγής και του ψυκτικού μέσου, ο βαθμός απόδοσης της θερμικής συναλλαγής είναι σαφώς βελτιωμένος.
2. Τα χρησιμοποιούμενα διηλεκτρικά υγρά έχουν πολύ μεγαλύτερη θερμική χωρητικότητα σε σχέση με τον αέρα οπότε είναι δυνατή η επίλυση προβλημάτων υπερθέρμανσης σε πυκνωμένα θερμικά συστήματα. Ως αποτέλεσμα είναι η αύξηση της παραγόμενης ισχύος του χώρου έως και $250 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}$ ανά διακομιστή .
3. Σε τέτοιες διατάξεις η απουσία υψηλά ενεργοβόρων εγκαταστάσεων και μηχανημάτων όπως οι ρυθμιστές υγρασίας, η κυκλοφορία και το φιλτράρισμα του αέρα και οι ψύκτες οδηγούν σε μια απλούστερη αρχιτεκτονική των δωματίων. Συνεπώς το κόστος κατασκευής είναι πολύ μικρότερο από τα αντίστοιχα ψυχόμενα δωμάτια με αέρα.
4. Η έλλειψη των ανεμιστήρων στο σύστημα οδηγεί σε σημαντική μείωση της ηχορύπανσης στα κέντρα δεδομένων.
5. Η ενεργειακή εξοικονόμηση σε σχέση με τη παραδοσιακή ψύξη με αέρα κυμαίνεται μεταξύ του 90-95%. Ο λόγος της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας προς την ενέργεια που καταναλώνεται στα ηλεκτρικά εξαρτήματα (PUE) δύναται να φτάσει τιμές κοντά στο 1.03.
6. Πλήρης εξάλειψη της σπατάλης νερού για ψύξη των κέντρων δεδομένων καθώς αποφεύγονται μέθοδοι όπως η ψύξη με εξάτμιση (evaporative cooling).
7. Ευκολότερη συντήρηση καθώς αποφεύγεται η συσσώρευση σκόνης και ακάθαρτων στοιχείων μέσω των αεραγωγών.

3.2.2 Μειονεκτήματα

1. Το υψηλό κόστος των διηλεκτρικών υγρών σε συνδυασμό με την απώλεια του εργαζόμενου μέσου από διαρροές.
2. Η δύσκολη και οικονομικά μη βιώσιμη εναλλαγή ενός υπάρχοντος κέντρου δεδομένων από ψυχόμενο μέσω αέρα σε εμβαπτισμένο, δεν επιτρέπει την ραγδαία μετακίνηση σε νέες μεθόδους.
3. Ορισμένα υλικά και εξαρτήματα όπως η μονάδα οπτικών ινών, δεν είναι συμβατά με το ψυκτικό υγρό, προκαλώντας είτε διαβρώσεις ή διακοπή της λειτουργίας τους.



Εικόνα 4 Σύγκριση ενεργειακής απόδοσης μεθόδων ψύξης ανά το κόσμο
 Πηγή: Enough hot air: the role of immersion cooling

Medium	Air	Liquid coolant
CPU power (W)	120	120
Inlet temperature (°C)	22	35
Outlet temperature rise (°C)	17	5
Volume rate (m ³ /h)	21.76	0.053
CPU heat sink temperature (°C)	46	47
CPU temperature (°C)	77	75

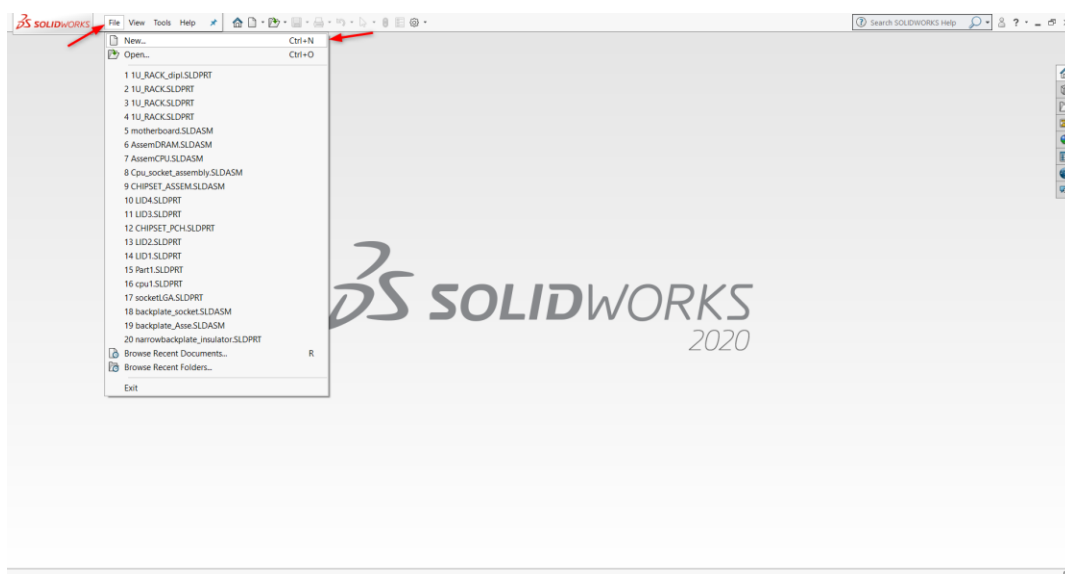
Εικόνα 5 Σύγκριση απορριπτόμενης θερμότητας μεταξύ εμβάπτισης και ψύξης με αέρα
 Πηγή : Data Center Handbook Plan, Design, Build, And Operations Of A Smart Data Center

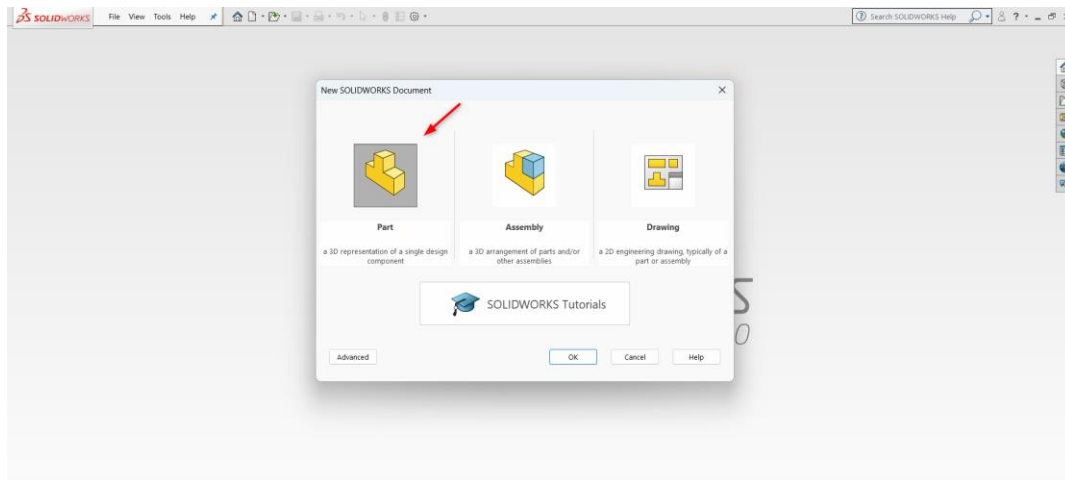
4. Εισαγωγή στο λογισμικό Solidworks

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που δίνει στο χρήστη την δυνατότητα σχεδιασμού τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη μορφή. Είναι κατασκευασμένο από την εταιρεία Dassault Systèmes SolidWorks και απευθύνεται τόσο στο βιομηχανικό τομέα αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο χαρακτήρας σχεδιασμού του Solidworks είναι δυναμικός καθώς επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των διαστάσεων και των αντικειμένων, διευκολύνοντας οποιαδήποτε μετατροπή. Επιπλέον ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει διαφορετικά αντικείμενα (parts) και ύστερα να τα συνδέσει σε ένα κοινό τεμάχιο (assembly), εφαρμόζοντας σχέσεις σύζευξης μεταξύ τους. Παράλληλα το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να διεξάγει μελέτες προσομοίωσης όπως θερμικές, δυναμικές καταπονήσεις, ροή διαφορετικών εργαζόμενων μέσων υπό την παροχή μιας πληθώρας πληροφοριών από έτοιμες τυποποιημένες βιβλιοθήκες.

4.1 Έναρξη προγράμματος

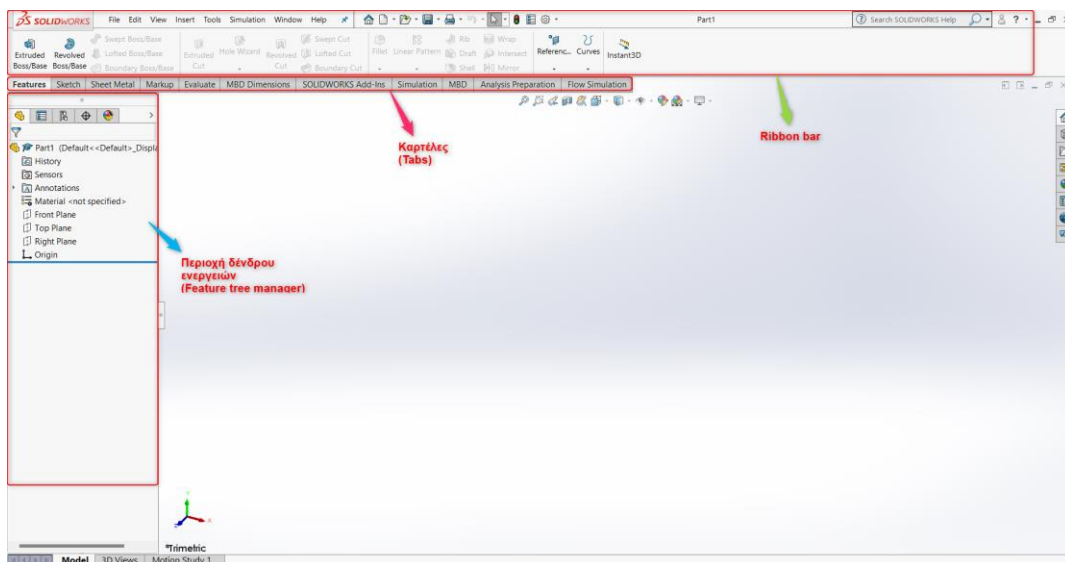
Κατά την έναρξη του προγράμματος επιλέγεται από την καρτέλα (**File**) της αρχικής επιφάνειας εργασίας η επιλογή (**New**). Η νέα αναδυόμενη καρτέλα παρουσιάζει τρεις επιλογές (Part, Assembly, Drawing) δηλαδή δημιουργία είτε ενός αντικειμένου είτε σύνθετου αντικειμένου ή κατασκευαστικού σχεδίου απλού ή σύνθετου αντικειμένου. Από αυτές επιλέγεται σύμφωνα με την **Εικόνα 6** το **Part** εφόσον θα δημιουργηθεί ένα ενιαίο αντικείμενο.





Εικόνα 6 Δημιουργία νέου αρχείου στο πρόγραμμα Solidworks

Έχοντας ανοίξει το **Part**, ο χρήστης οδηγείται στο κύριο περιβάλλον σχεδίασης (**Εικόνα 7**) στο οποίο εντοπίζονται τρεις διακριτές περιοχές. Η πρώτη είναι η περιοχή δένδρου ενεργειών (**Feature tree manager**), στην οποία απεικονίζονται όλα τα βήματα σχεδίασης που πραγματοποίησε ο χρήστης. Έπειτα είναι η περιοχή των καρτελών (**tabs**) και του **Ribbon bar** όπου εντοπίζονται μια πληθώρα εντολών σχεδίασης και επιλογών προσομοίωσης του μοντέλου.



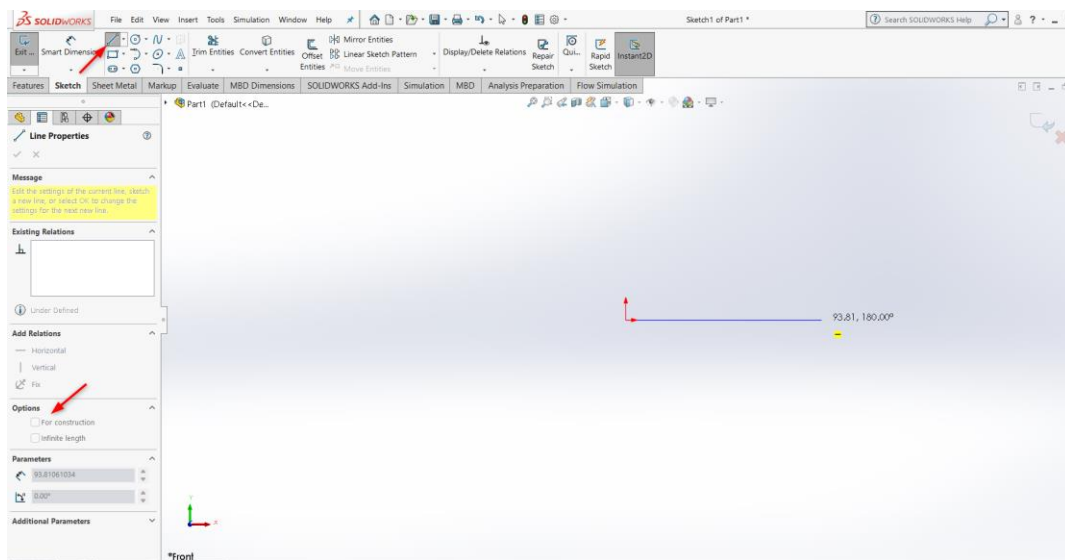
Εικόνα 7 Κύριο περιβάλλον σχεδίασης λογισμικού Solidworks

4.2 Βασικές εντολές σχεδιασμού στο Solidworks

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται μερικές από τις πιο βασικές εντολές σχεδίασης του λογισμικού. Λόγω της τεράστιας πληροφορίας και των διαφορετικών δυνατοτήτων του Solidworks, θα επεξηγηθούν εντολές οι οποίες χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στο κεφάλαιο σχεδίασης που ακολουθεί.

4. Εντολή Line

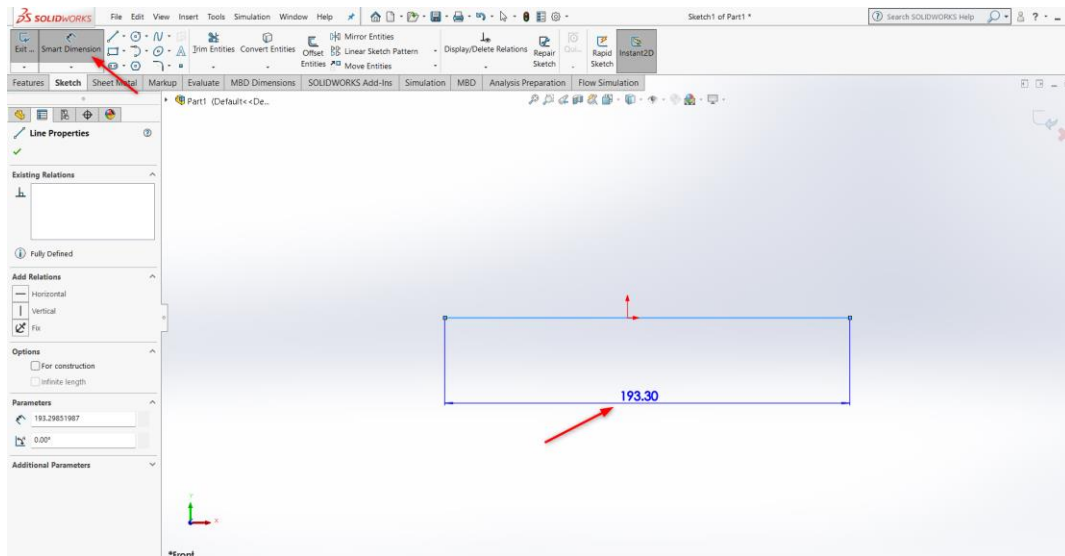
Με την εξής εντολή ο χρήστης έχει την δυνατότητα να σχηματίζει πάνω στο επίπεδο σχεδίασης ευθύγραμμα τμήματα ενώ αν επιλεγεί η δυνατότητα **for construction** τότε η γραμμή μετατρέπεται σε διακεκομμένη αξονική (**Εικόνα 8**).



Εικόνα 8 Εντολή Line

5. Εντολή Smart Dimension

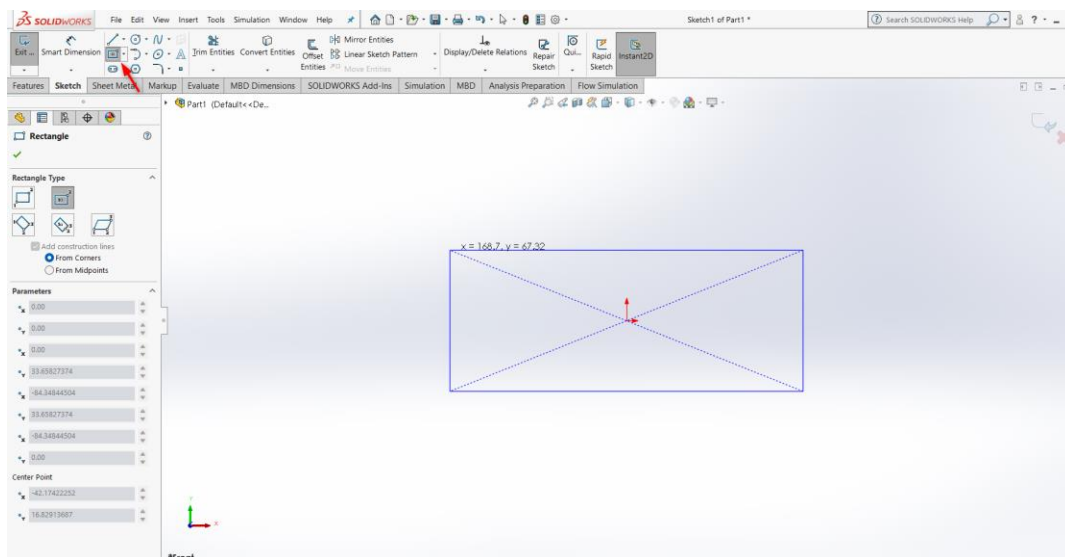
Αποτελώντας μια από τις σημαντικότερες εντολές, δίνει την δυνατότητα στο χειριστή να διαστασιολογήσει ευθύγραμμα τμήματα, γωνίες, καμπύλες απλά επιλέγοντας το στοιχείο ή τα άκρα του (**Εικόνα 9**).



Εικόνα 9 Εντολή Smart dimension

6. Εντολή Rectangle

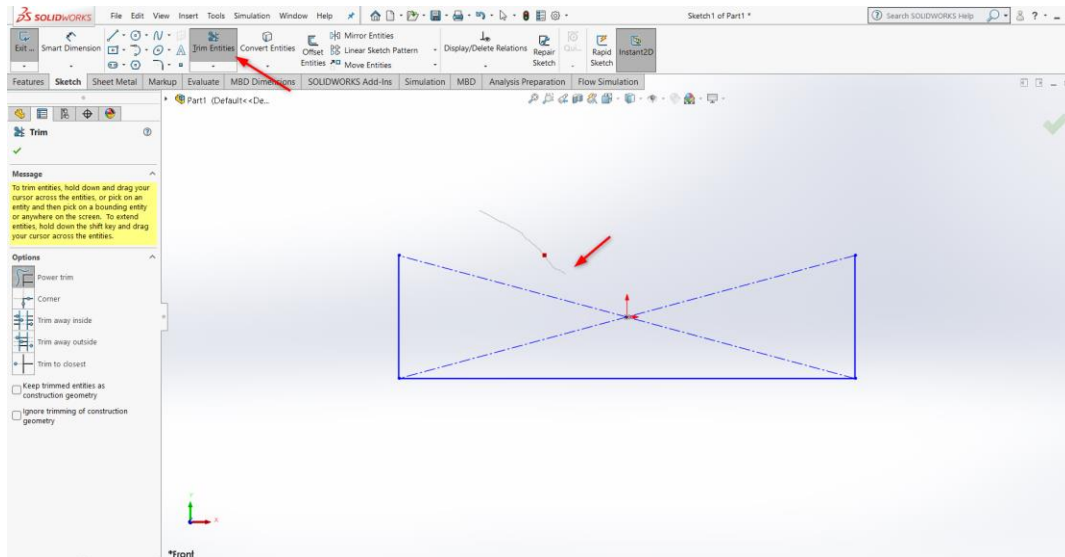
Η παρούσα εντολή (Εικόνα 10) δημιουργεί ένα ορθογώνιο είτε προσδιορίζοντας το κέντρο του σε αρχικό σημείο (**center rectangle**) είτε την μία από τις τέσσερις γωνίες του (**corner rectangle**).



Εικόνα 10 Εντολή Center rectangle

7. Εντολή Trim entities

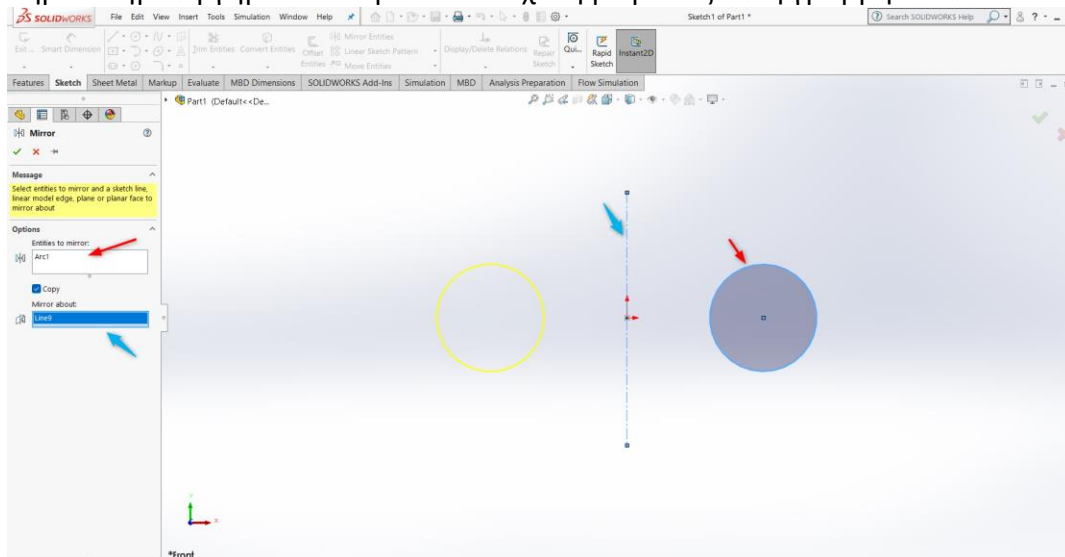
Με την εντολή trim entities, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περικόψει ευθύγραμμα τμήματα τα οποία δεν του είναι χρήσιμα ώστε να δημιουργήσει συγκεκριμένες λεπτομέρειες και γεωμετρίες (**Εικόνα 11**).



Εικόνα 11 Εντολή Trim entities

8. Εντολή mirror entities

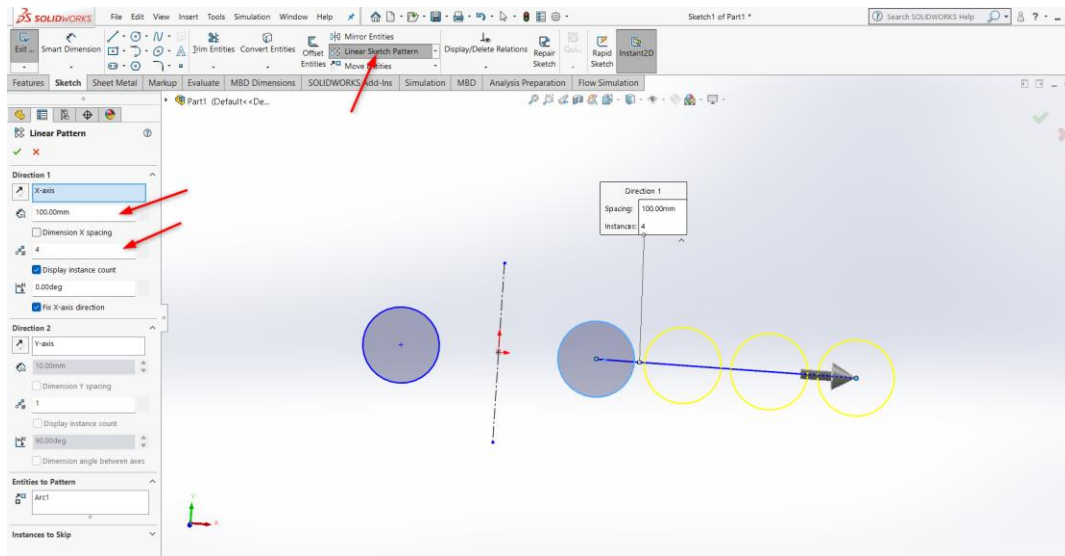
Η συγκεκριμένη εντολή αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο εξοικονόμησης χρόνου καθώς επιτρέπει την αντιγραφή είτε κάποιων συγκεκριμένων ακμών ενός σχεδίου είτε ολόκληρων δημιουργημένων σωμάτων σε σχέση με μία αξονική γραμμή.



Εικόνα 12 Εντολή mirror entities

9. Εντολή Linear sketch pattern

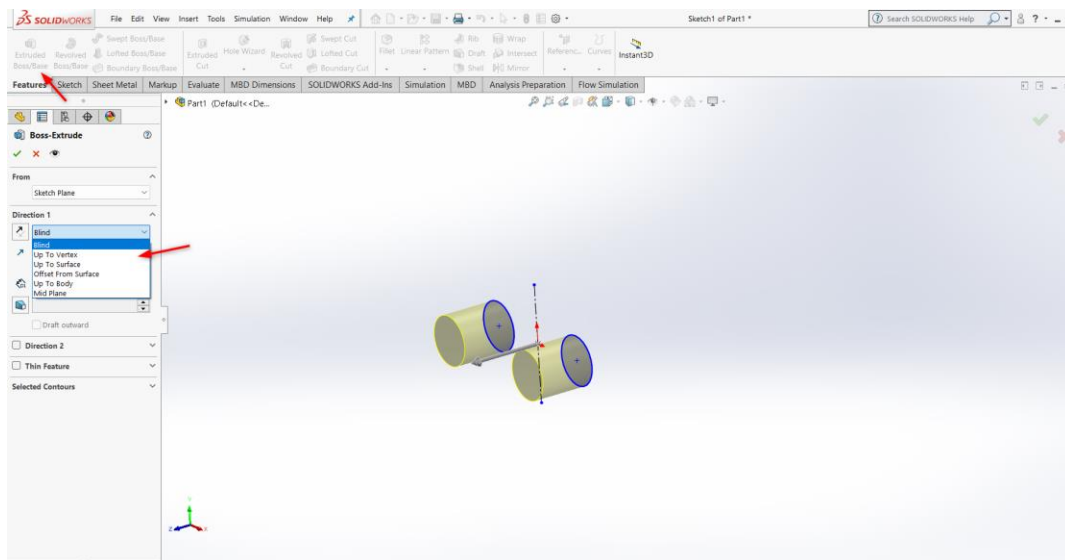
Δημιουργεί ένα γραμμικό μοτίβο ενός επιλεγμένου στοιχείου του σχεδίου ως προς μια κατεύθυνση. Για την εκτέλεση απαιτείται ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης, του αριθμού των επαναλαμβανόμενων στοιχείων και της απόστασης μεταξύ των κέντρων των στοιχείων (Εικόνα 13).



Εικόνα 13 Εντολή Linear sketch pattern

10. Εντολή Extruded Boss/Base

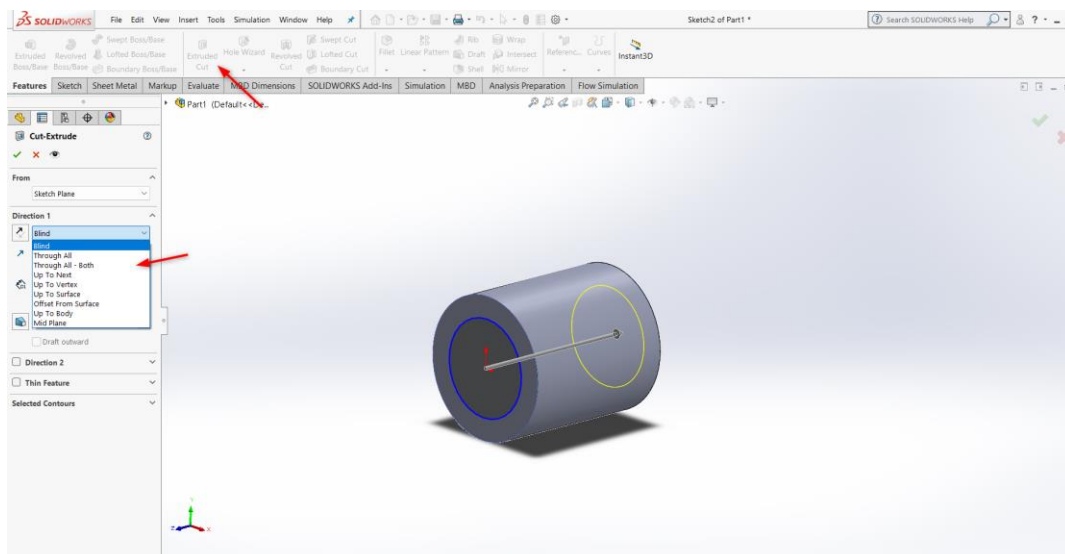
Η συγκεκριμένη εντολή αναφέρεται στο κομμάτι της τρισδιάστατης δημιουργίας του αντικειμένου. Αφότου έχει οριστεί πλήρως το σχέδιο ο χρήστης εξωθεί το σχέδιο σε κατεύθυνση κάθετη με την επιφάνεια σχεδίασης. Η κατεύθυνση δημιουργίας του στερεού σώματος προσδιορίζεται από πέντε επιλογές (**Blind**, **Up to vertex**, **Up to surface**, **Offset from surface**, **Up to body**, **Midplane**) σύμφωνα με την Εικόνα 14. Οι πρώτες δύο δημιουργούν το στερεό από το επίπεδο σχεδίασης έως μια απόσταση που ορίζει ο ίδιος ο χρήστης ωστόσο η ειδοποιός διαφορά είναι ότι στη επιλογή **Up to vertex** χρειάζεται να επιλεγεί ένα σημείο μόνο που ανήκει στο σχέδιο. Η συνθήκη **Up to surface** εξωθεί το σχέδιο έως μια επιφάνεια και όμοια η **Up to body** έως το επόμενο σώμα. Τώρα η επιλογή **Offset from surface** εξωθεί το αντικείμενο ξεκινώντας από μια απόσταση παράλληλη στην επιφάνεια σχεδίασης ενώ η **Midplane** ισομοιράζει το μήκος εξώθησης και ως προς τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 14 Εντολή Extruded Boss/Base

11. Εντολή Extruded Cut

Αποτελεί το αντίστροφο της προηγούμενης εντολής καθώς σε αυτή τη περίπτωση αντί να δημιουργείται ένα στερεό βάση του περιγράμματος, αποκόπτεται (Εικόνα 15). Οι επιλογές κατεύθυνσης είναι οι ίδιες με πριν ωστόσο προστίθενται οι **Through all/Both** που κόβουν όλα τα μέρη του αντικειμένου αν πρόκειται για σύνθετο είτε στη μία είτε και στις δύο κατευθύνσεις και η **Up to next** που αποτιμήζει έως το επόμενο στερεό σώμα.



Εικόνα 15 Εντολή Extruded cut

5. Σχεδίαση Διακομιστή σε ράφι

5.1 Συνιστώσες Διακομιστή σε ράφι

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται και σχεδιάζονται τα κύρια μέρη ενός διακομιστή σε ράφι διαστάσεων 1U (4.4 cm ύψος). Το δίκτυο αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

1. Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)
 - Υποδοχή κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Socket LGA3647-0)
 - Μικροεπεξεργαστής (CPU Die Chip)
 - Κάλυμμα Μικροεπεξεργαστή (Integrated Heat Spreader)
 - Ψύκτρα (Heatsink)
 - Υπόστρωμα-πλακέτα (Substrate board)
 - Θερμικό υλικό διεπιφάνειας (Thermal Interface Material)
2. Μητρική πλακέτα (Motherboard)
3. Τροφοδοτικό (Power Supply Unit)
4. Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM)
 - Πλακέτα (Board)
 - Βάση υποδοχής (Socket)
5. Μονάδα δίσκου σταθερής κατάστασης (SSD)
 - Υποδοχή δίσκου σταθερής κατάστασης
 - Δίσκος σταθερής κατάστασης
6. Εξωτερικό κάλυμμα μονάδας (Casing)
7. Κεντρικός ελεγκτής πλατφόρμας (Chipset Platform Controller Hub)
 - Υπόστρωμα-πλακέτα (Substrate board)
 - Τσιπ (chip die)
 - Ψύκτρα (heatsink)
 - Θερμικό υλικό διεπιφάνειας (Thermal Interface Material)

Όλος ο σχεδιασμός έχει βασιστεί σε προϊόντα που υπάρχουν στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων των υπερυπολογιστών. Ποιο συγκεκριμένα ο διακομιστής βασίζεται στο μοντέλο **Intel® Server System M50FCP1UR** [7], η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι σχεδιασμένη βάση των μηχανολογικών σχεδίων της σειράς **Intel Xeon Scalable Family Processors** [8] ενώ η μητρική πλακέτα είναι η **Intel® Server Board M50FCP2SBSTD** [9]. Όσον αφορά την μονάδα δίσκου σταθερής κατάστασης επιλέχθηκε η εταιρεία **KIOXIA** της σειράς **CD8-V Series (KCD81RUG960G)** [10] που είναι συμβατή με το

σύστημα. Παράλληλα ο κεντρικός ελεγκτής πλατφόρμας βασίστηκε στο μοντέλο **Intel® 7 Series/C216 Chipset** [11] ενώ η μνήμη τυχαίας προσπέλασης που υπάγεται στη τεχνολογία **DDR5 SDRAM**, ορίστηκε σύμφωνα με τα σχέδια της εταιρείας **Micron** [12] και της **TE Connectivity** [13]. Τέλος επειδή η Intel παρέχει μόνο το είδος του τροφοδοτικού (1300 AC Titanium) από τα αρχεία του διακομιστή, επιλέχθηκε ένα συμβατό μοντέλο από την εταιρεία **Murata** [14] για τον προσδιορισμό των εξωτερικών διαστάσεων.

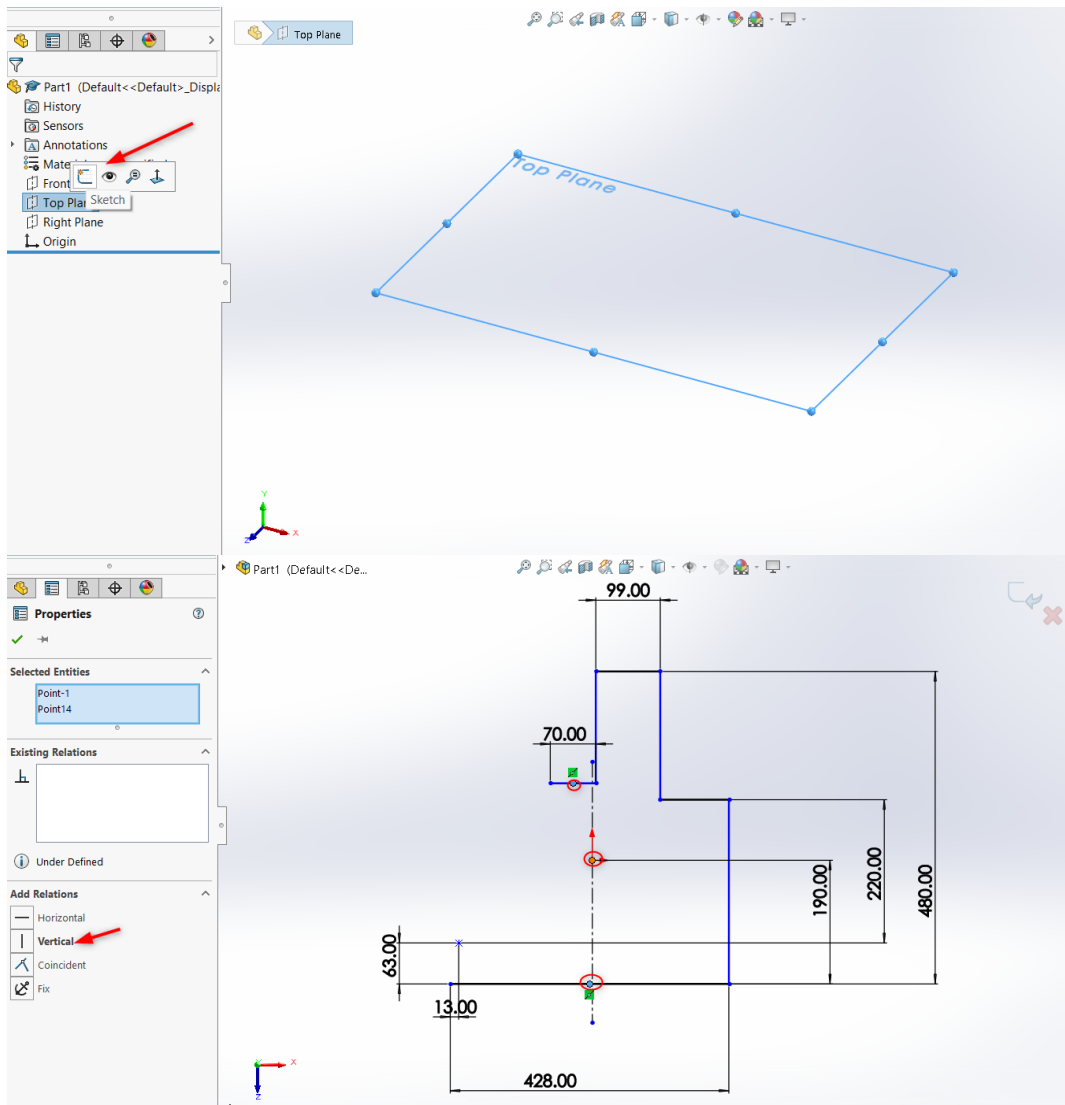
Για λόγους εξοικονόμησης υπολογιστικού χρόνου αλλά και λόγω της έλλειψης της απαραίτητης υπολογιστικής δύναμης για την προσομοίωση, η τοποθέτηση των εξαρτημάτων πάνω στη μητρική πλακέτα τροποποιήθηκε ελαφρώς σε σχέση με τα κατασκευαστικά σχέδια ώστε όλο το μοντέλο να είναι συμμετρικό εκατέρωθεν. Αυτή η συγκεκριμένη ενέργεια αναλύεται περαιτέρω στο κεφάλαιο της προσομοίωσης.

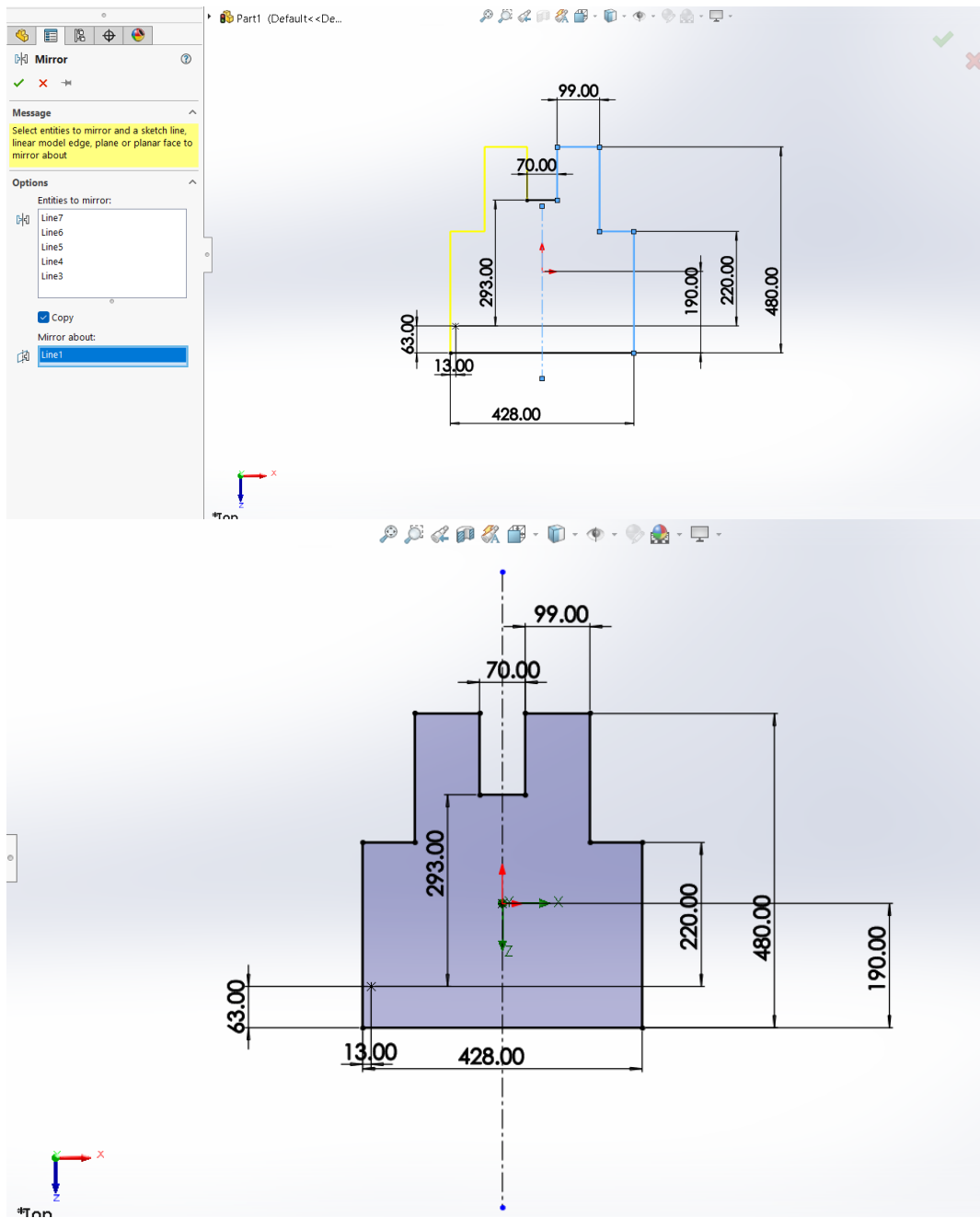
5.1.1 Μητρική πλακέτα

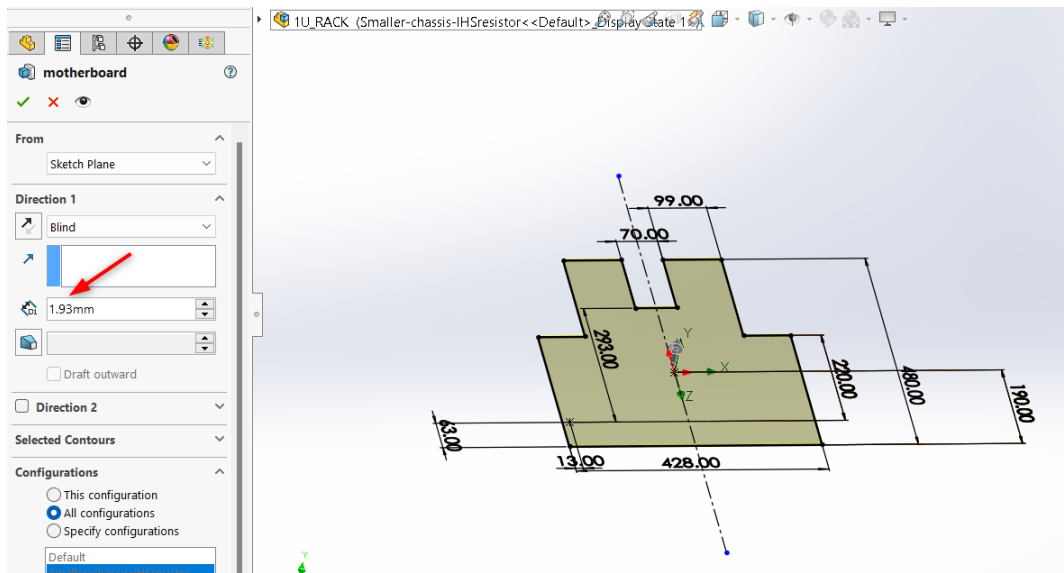
Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 428mm
- Ύψος: 480mm
- Πάχος: 1.93mm
- Υλικό: FR4 με στρώσεις χαλκού

Η σχεδίαση ξεκινάει επιλέγοντας ως επίπεδο σχεδίασης το άνω επίπεδο (**Top plane**) και επιλέγοντας την εντολή **sketch**. Ύστερα με την εντολή **centerline**, σχεδιάζεται η διακεκομμένη γραμμή που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και ορίζει το επίπεδο συμμετρίας ώστε με την εντολή **line** να αρχίσει η σχεδίαση του περιγράμματος της πλακέτας. Σύμφωνα με τα σχέδια τοποθετείται ένα σημείο που απέχει 13mm από την αριστερή πλευρά και 63mm κατά ύψος, ως αφετηρία μέτρησης των υπόλοιπων διαστάσεων. Το σημείο τοποθετείται μέσω της εντολής **point** ενώ η διαστασιολόγηση από την εντολή **smart dimension**. Προκειμένου το περίγραμμα να είναι πλήρως συμμετρικό σε σχέση με την αρχή των αξόνων, αρχικά εφαρμόζεται η συνθήκη καθετότητας μεταξύ των δύο οριζόντιων πλευρών και της αρχής των αξόνων και ύστερα για να κλείσει το περίγραμμα χρησιμοποιείται η εντολή **mirror entities**. Έχοντας δημιουργήσει το σχέδιο, με την εντολή **extruded boss/base** εξωθείται η πλακέτα κατά 1.93mm όπως φαίνεται στην **Εικόνα 16**.







Εικόνα 16 Σχεδιασμός μητρικής πλακέτας

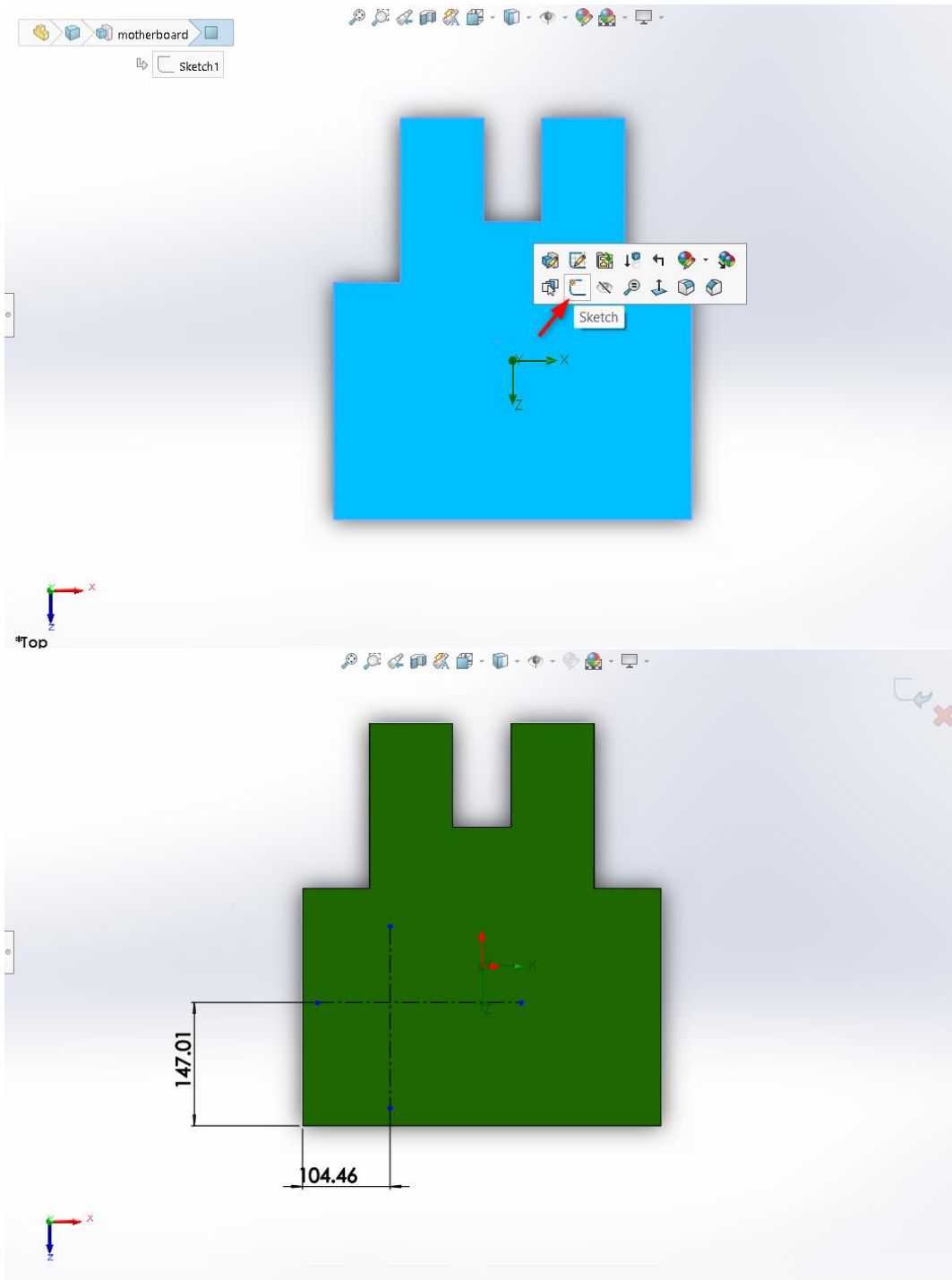
5.1.2 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

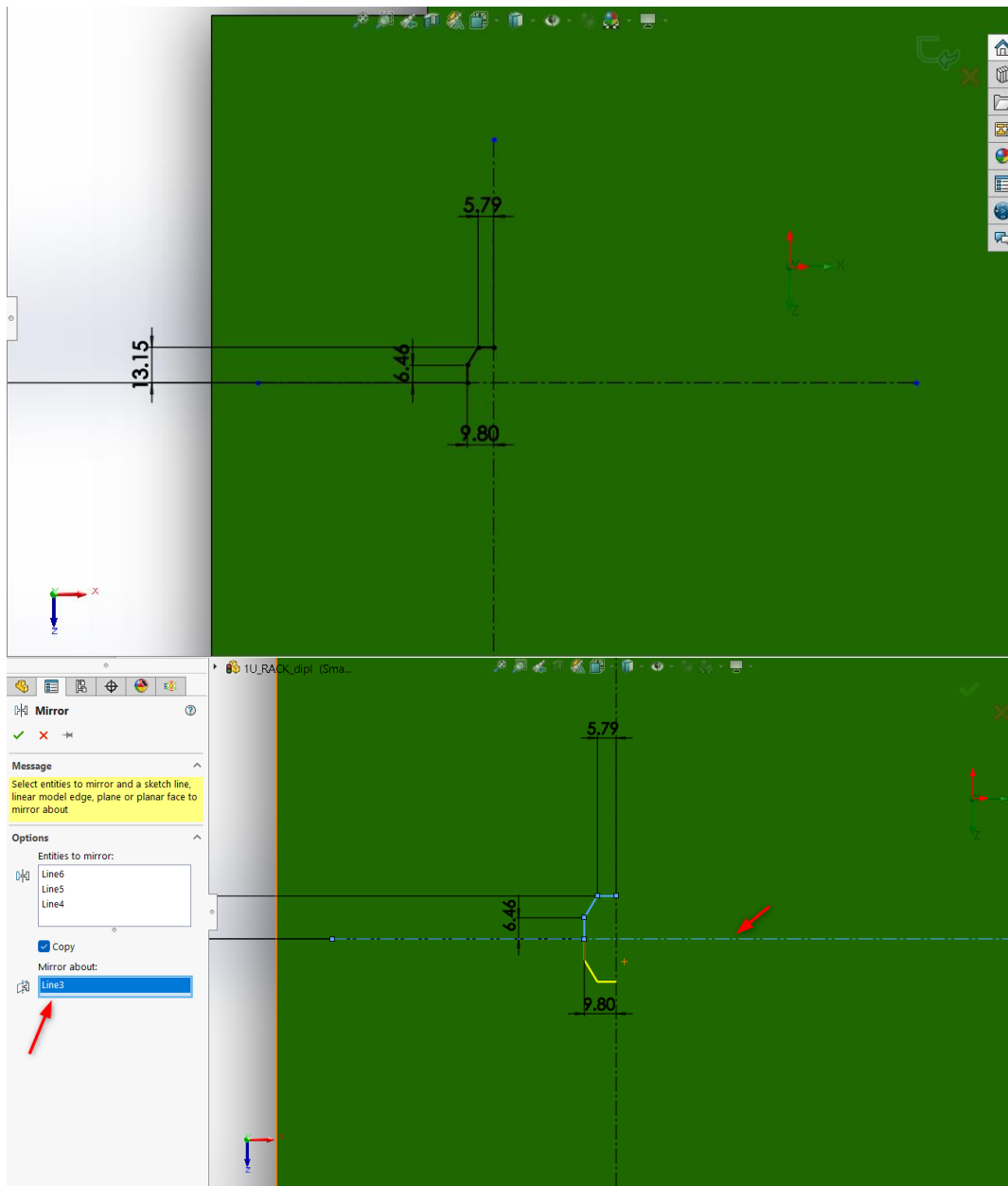
5.1.2.1 Υποδοχή κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Socket LGA3647-0)

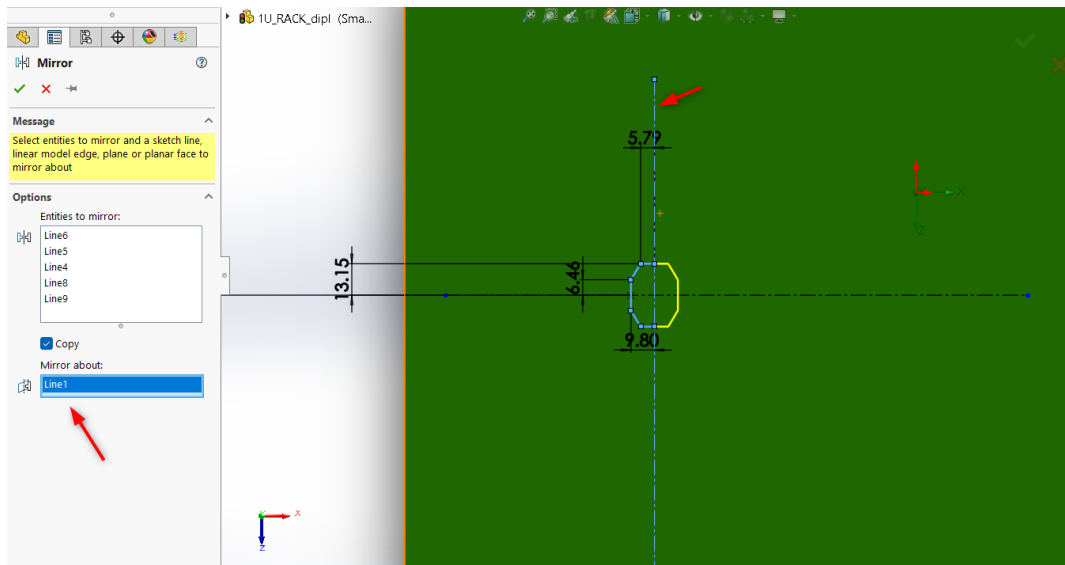
Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 62mm
- Πλάτος: 82mm
- Πάχος: 2.70mm
- Υλικό: Vectra E840i

Ως επίπεδο σχεδίασης επιλέγεται η άνω επιφάνεια της μητρικής πλακέτας. Για να οριστεί το κέντρο της βάσης, σχεδιάζεται μια οριζόντια και μια κάθετη διακεκομμένη γραμμή με την εντολή **centerline**, απέχοντας κατά μήκος 104.46mm και κατά πλάτος 147.01mm από το κάτω αριστερό άκρο της πλακέτας. Έπειτα με την εντολή **line** δημιουργείται το $\frac{1}{4}$ του εσωτερικού κενού της βάσης που είναι σε μορφή δεκάγωνου, δίνοντας τις κατάλληλες διαστάσεις του σχεδίου. Ύστερα με την εντολή **mirror entities** αντικατοπτρίζεται το $\frac{1}{4}$ και $\frac{1}{2}$ του περιγράμματος ως προς την οριζόντια και κάθετη διακεκομμένη όπως δείχνει η **Εικόνα 17**.

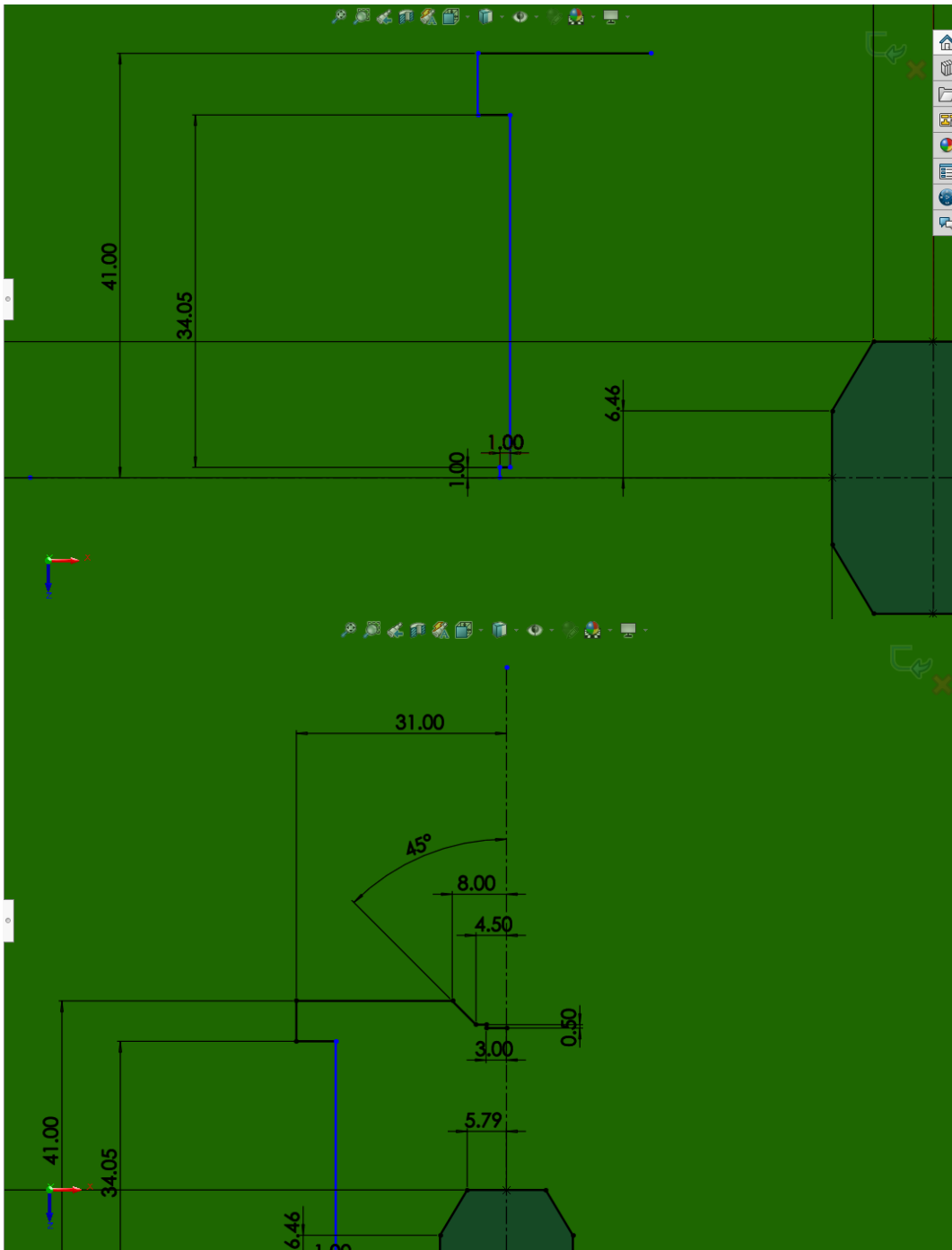


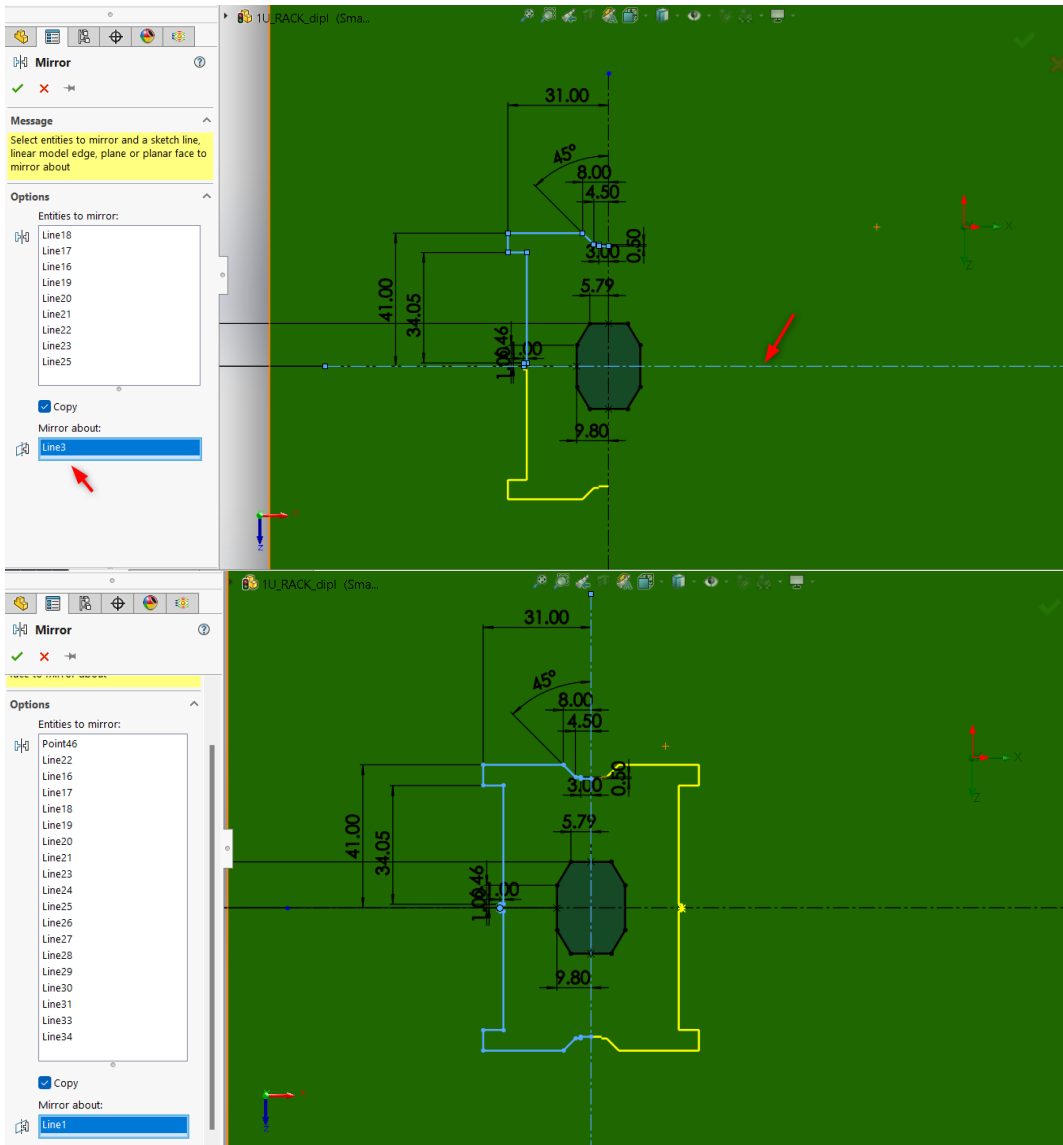


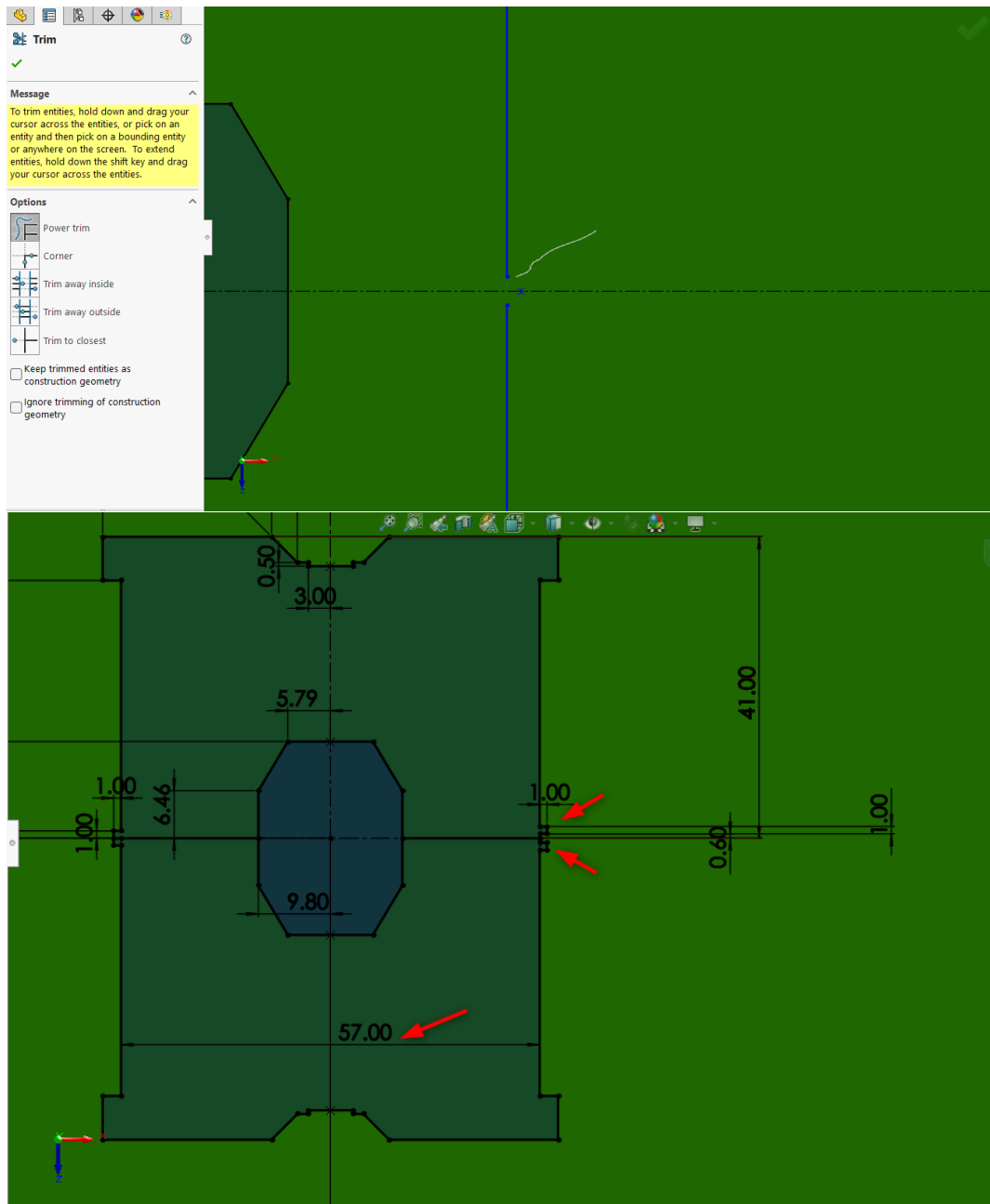


Εικόνα 17 Σχεδιασμός εσωτερικής κοιλότητας της υποδοχής της ΚΜΕ

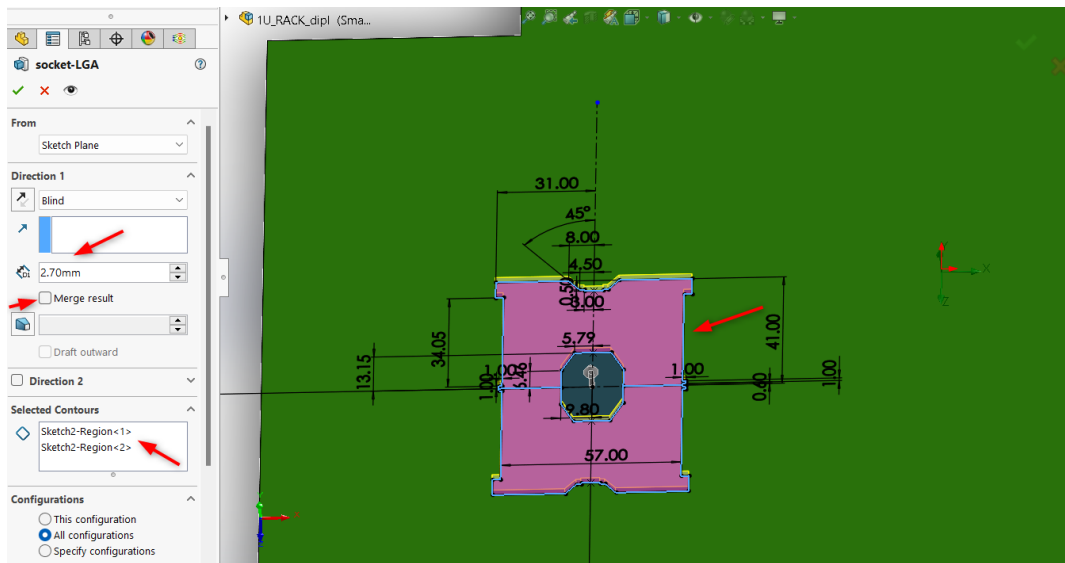
Για την εξωτερική επιφάνεια της βάσης, από την οριζόντια διακεκομμένη σχεδιάζεται μια κάθετη και μία οριζόντια γραμμή 1mm έκαστος, εκτείνοντας την κατά 34.05mm ενώ παρόμοια απεικονίζεται και η υπόλοιπη διαμόρφωση. Για τον ορισμό της γωνίας 45° μεταξύ της κεκλιμένης ευθείας και της κάθετης διακεκομμένης, χρειάζεται ταυτόχρονα με **CTRL** η επιλογή των δύο ευθειών και η εντολή **smart dimension**. Αφότου έχει ορισθεί το περίγραμμα όπως και πριν με το **mirror entities**, δημιουργείται συμμετρικά ως προς τους άξονες το υπόλοιπο αντικείμενο. Ωστόσο επειδή η δεξιά πλευρά της βάσης διαφοροποιείται, με την εντολή **trim entities** αφαιρούμε το τετράγωνο 1x1mm και επανασχεδιάζουμε δύο όμοια τετράγωνα 1x1mm που απέχουν 0.6mm εκατέρωθεν του οριζόντιου άξονα όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 18. Τέλος ορίζεται το πλάτος των εσωτερικών πλευρών της υποδοχής ίσο με 57mm και εξωθείται το σχέδιο κατά 2.7mm, αποεπιλέγοντας όμως την επιλογή **merge result** σύμφωνα με την Εικόνα 19 ώστε να δημιουργηθεί ξεχωριστά το σώμα από τη μητρική πλακέτα.





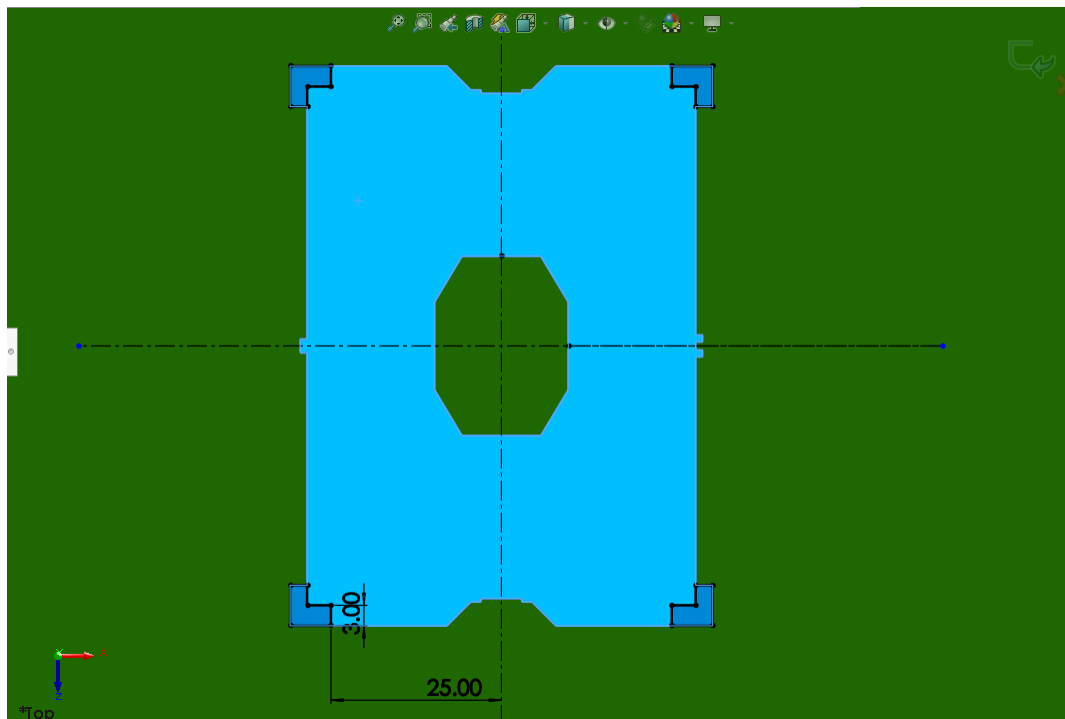


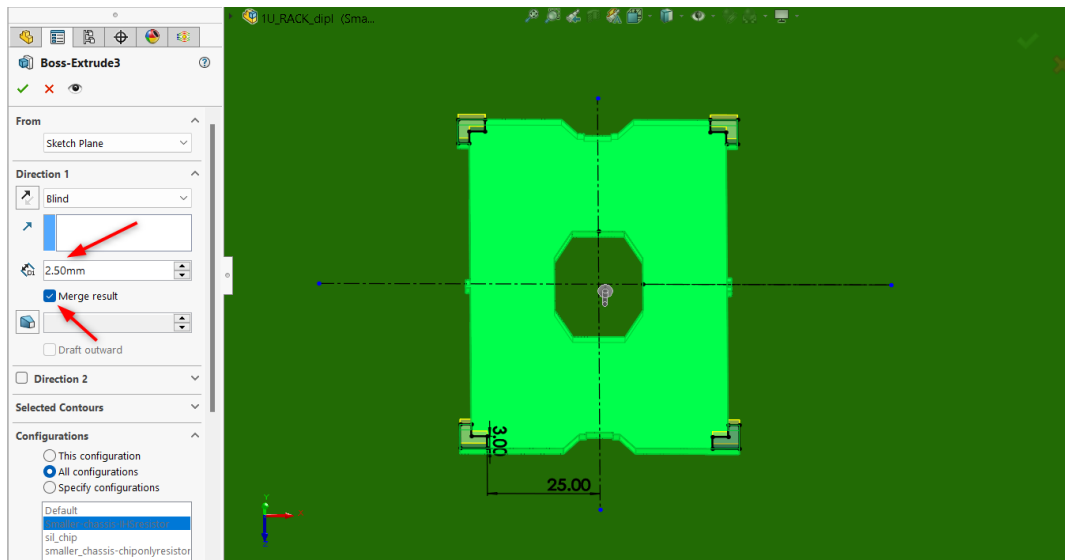
Εικόνα 18 Σχεδιασμός εξωτερικής επιφάνειας υποδοχής της ΚΜΕ



Εικόνα 19 Τρισδιάστατη δημιουργία της υποδοχής της ΚΜΕ

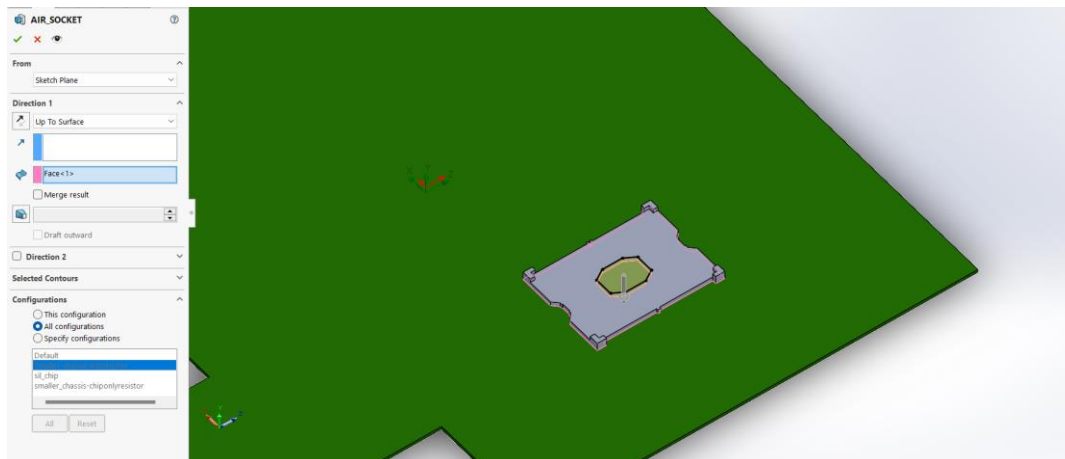
Έχοντας δημιουργήσει την υποδοχή της ΚΜΕ, επιλέγεται η άνω επιφάνεια της ως επίπεδο σχεδίασης για τις γωνίες συγκράτησης του υποστρώματος-πλακέτας της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας που κατασκευάζεται στη συνέχεια. Αυτή την φορά κατά την τρισδιάστατη δημιουργία των γωνιών με ύψος 2.50mm, η επιλογή **merge result** μένει επιλεγμένη όπως επισημαίνει η **Εικόνα 20**, καθώς οι προεκτάσεις αποτελούν ενιαίο σώμα με την βάση.





Εικόνα 20 Δημιουργία τελικού τεμαχίου υποδοχής της ΚΜΕ

Για λόγους απλοποίησης του πλέγματος και της διευκόλυνσης της σύγκλισης της προσομοίωσης που αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο, επιλέγεται το κενό της υποδοχής της ΚΜΕ να καλυφθεί. Στο βήμα της προσομοίωσης στο εν λόγω συμπαγές κομμάτι ανατίθενται ιδιότητες αέρα. Επομένως με την εντολή **convert entities** από την **Εικόνα 21** μεταφέρεται το περίγραμμα του κενού στη νέα σχεδίαση και εξωθείται έως τη μητρική πλακέτα.



Εικόνα 21 Κάλυψη κενού υποδοχής ΚΜΕ

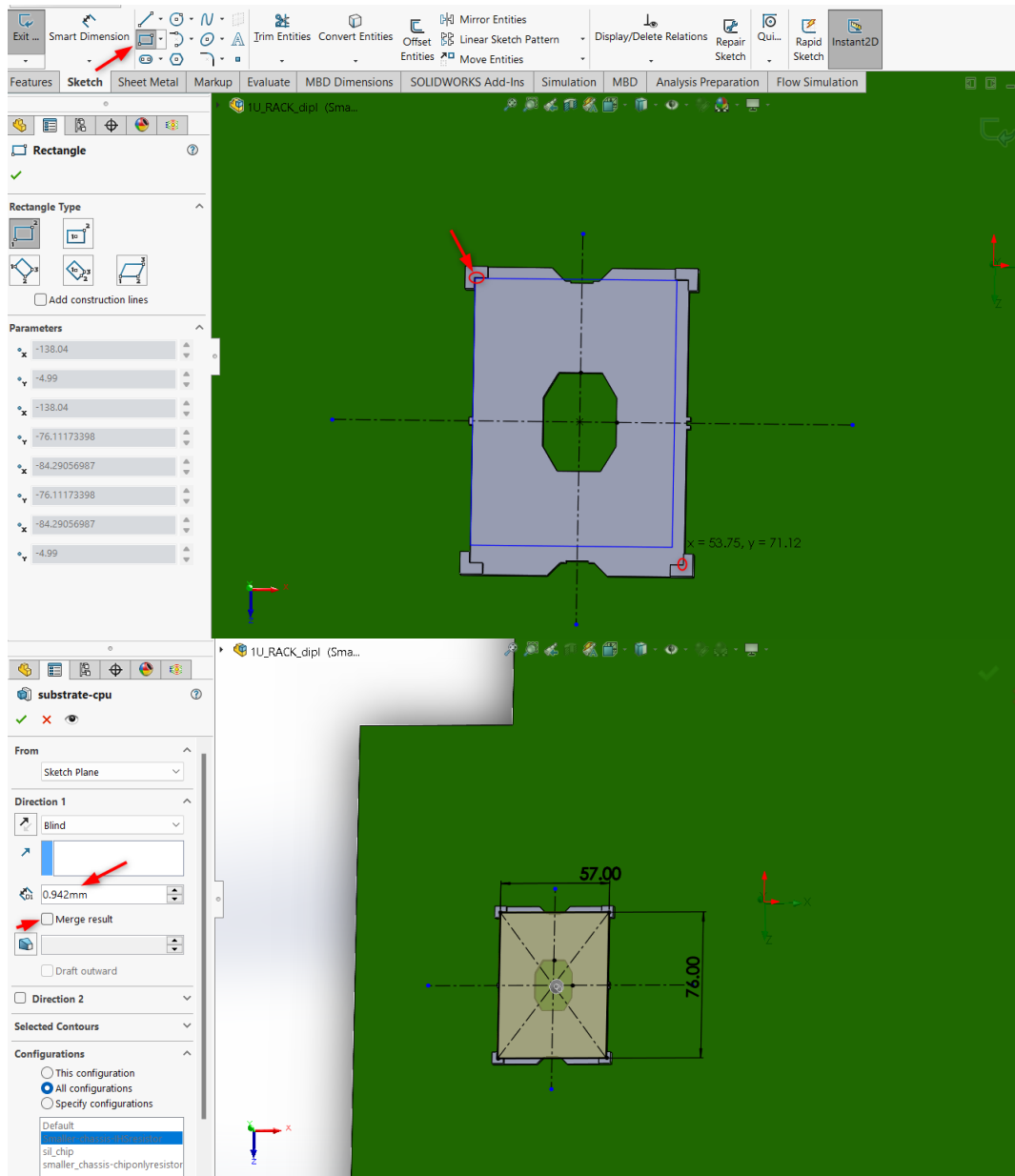
5.1.2.2 Υπόστρωμα-Πλακέτα κεντρικής μονάδας επεξεργασίας

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 57mm
- Πλάτος: 76mm

- Πάχος: 0.942mm
- Υλικό: Εποξειδική ρητίνη (Epoxy resin)

Χρησιμοποιώντας την εντολή **corner rectangle** δημιουργείται ορθογώνιο με άκρες τις γωνίες της βάσης στήριξης που δημιουργήθηκαν προηγουμένως. Ομοίως με πριν βάση την **Εικόνα 22**, εξωθείται η πλακέτα κατά απόσταση όσο και το πάχος της χωρίς την επιλογή του **merge result** εφόσον πρόκειται για ξεχωριστό νέο τεμάχιο.



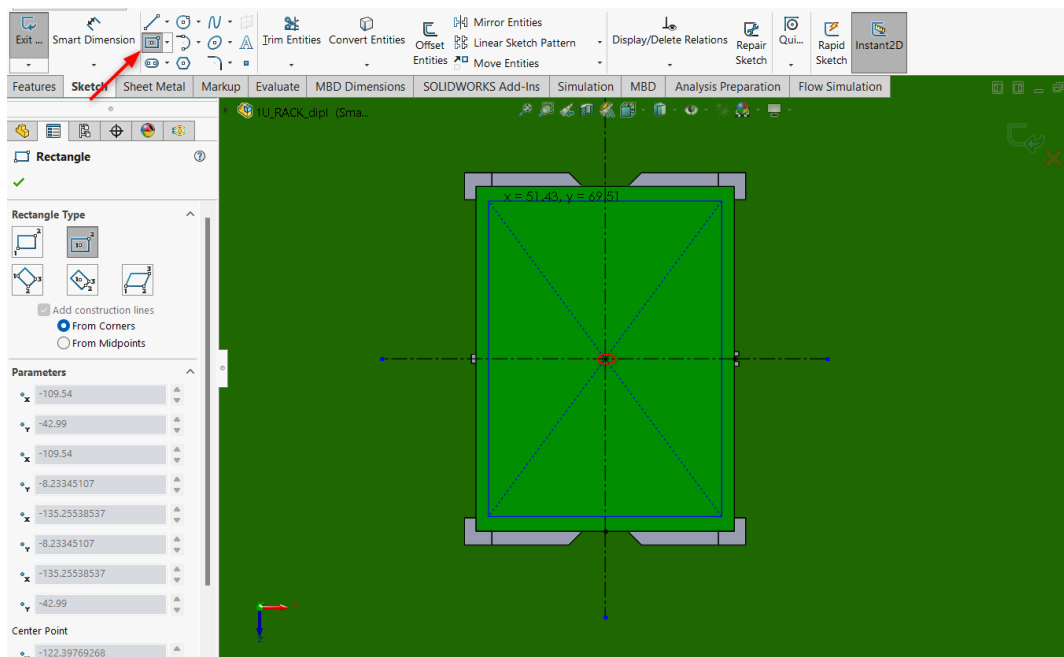
Εικόνα 22 Δημιουργία υποστρώματος κεντρικής μονάδας επεξεργασίας

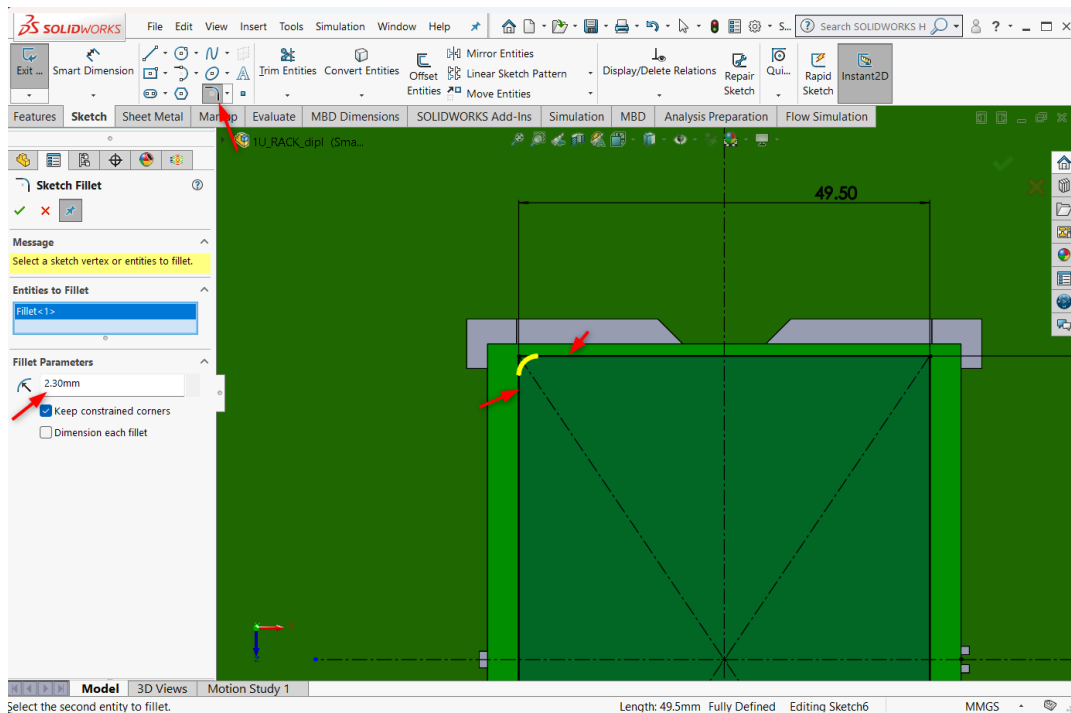
5.1.2.3 Κάλυμμα Μικροεπεξεργαστή (Integrated Heat Spreader)

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 49.50mm
- Πλάτος: 73.10mm
- Πάχος: 4.583mm
- Υλικό: επιμεταλλωμένο νικέλιο (nickel plated cover)

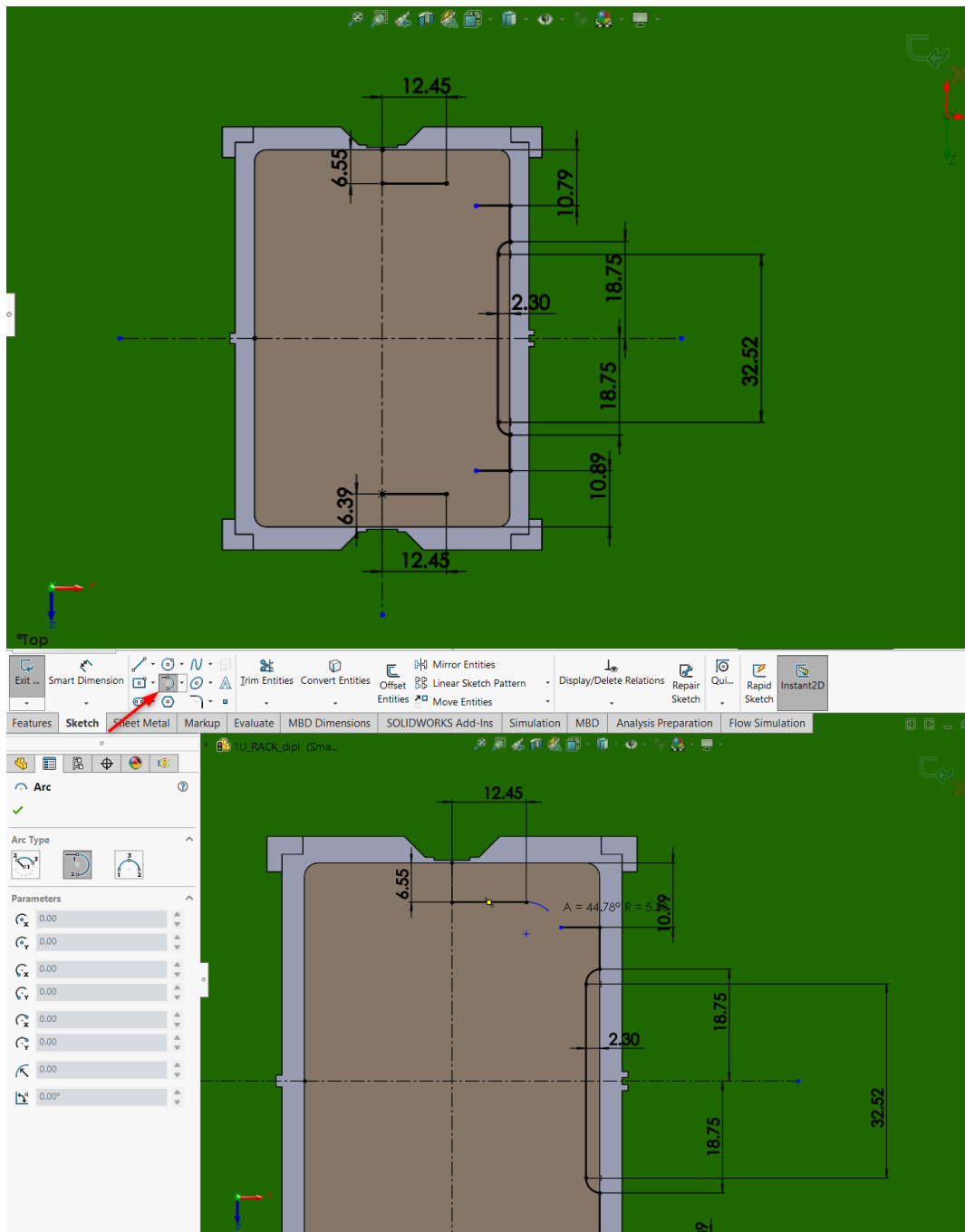
Συνεχίζοντας την σχεδίαση της συνολικής συναρμογής, επιλέγεται η πάνω επιφάνεια του υποστρώματος της κεντρικής μονάδας. Κατά τα γνωστά με την εντολή **sketch** στην επιφάνεια, χαράσσονται οι διακεκομμένες ευθείες των αξόνων ώστε να προσδιοριστεί το κέντρο της πλακέτας. Στη συνέχεια με την εντολή **center rectangle**, αποτυπώνεται ένα ορθογώνιο με πλευρές 49.50mm, 73.10mm και κέντρο που ταυτίζεται με το κέντρο της πλακέτας. Από την **Εικόνα 23** με την εντολή **sketch fillet** επιλέγονται οι τέσσερις πλευρές, εφαρμόζοντας καμπυλότητα ίση με ακτίνα 2.30mm ώστε το τεμάχιο να εξωθεί κατά 3.083mm με την εντολή **extruded boss**.

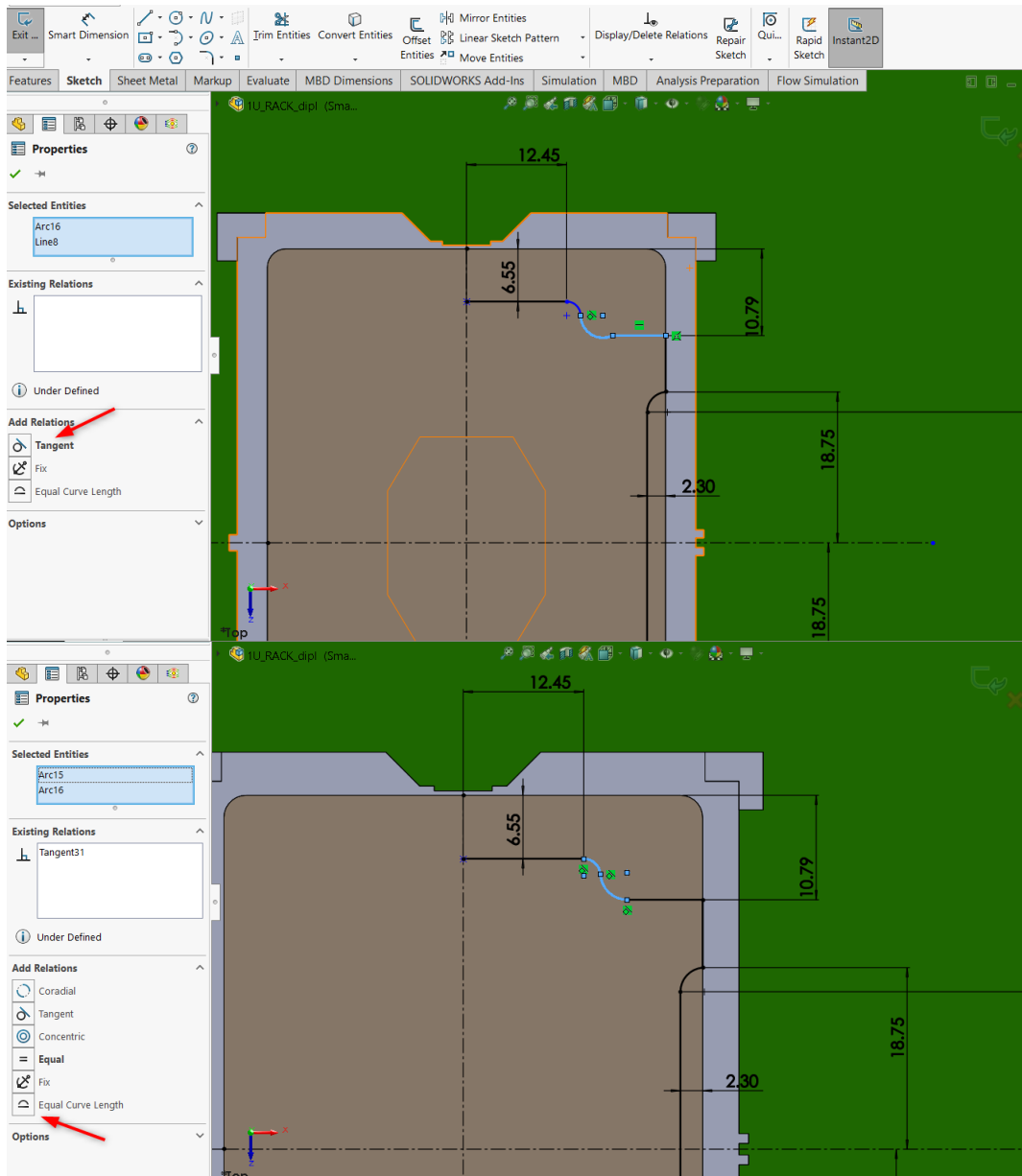


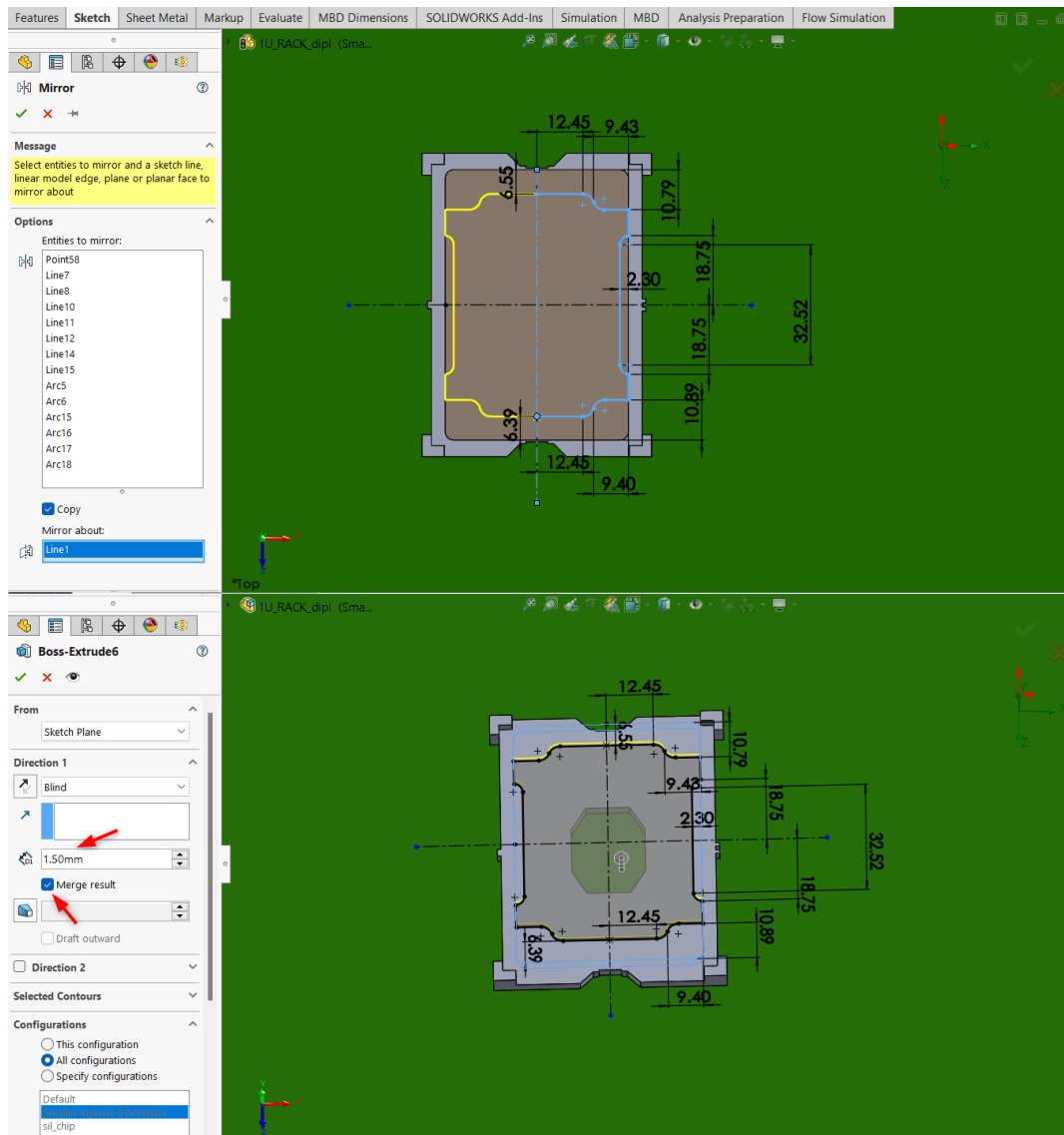


Εικόνα 23 Σχεδιασμός κάτω μέρους καλύμματος ΚΜΕ

Αφότου έχει δημιουργηθεί η βάση του καλύμματος, διαστασιολογείται η άνω επιφάνεια της βάσης. Η επιφάνεια αυτή αποτελείται από αρκετές εφαπτόμενες καμπύλες που δημιουργούνται με την εντολή **tangent arc**. Στο σημείο σύνδεσης της οριζόντιας ευθείας με την καμπύλη εφαρμόζεται μέσω της επιλογής **tangent**, συνθήκη εφαπτομενικότητας ενώ παράλληλα επειδή οι καμπύλες είναι ίσου μήκος εφαρμόζεται η ιδιότητα **equal curve length**. Εφόσον έχει ορισθεί πλέον το ένα μισό, κατά τα γνωστά με χρήση του **mirror entities** και **extruded boss**, υλοποιείται το τελικό κομμάτι σύμφωνα με την **Εικόνα 24**.







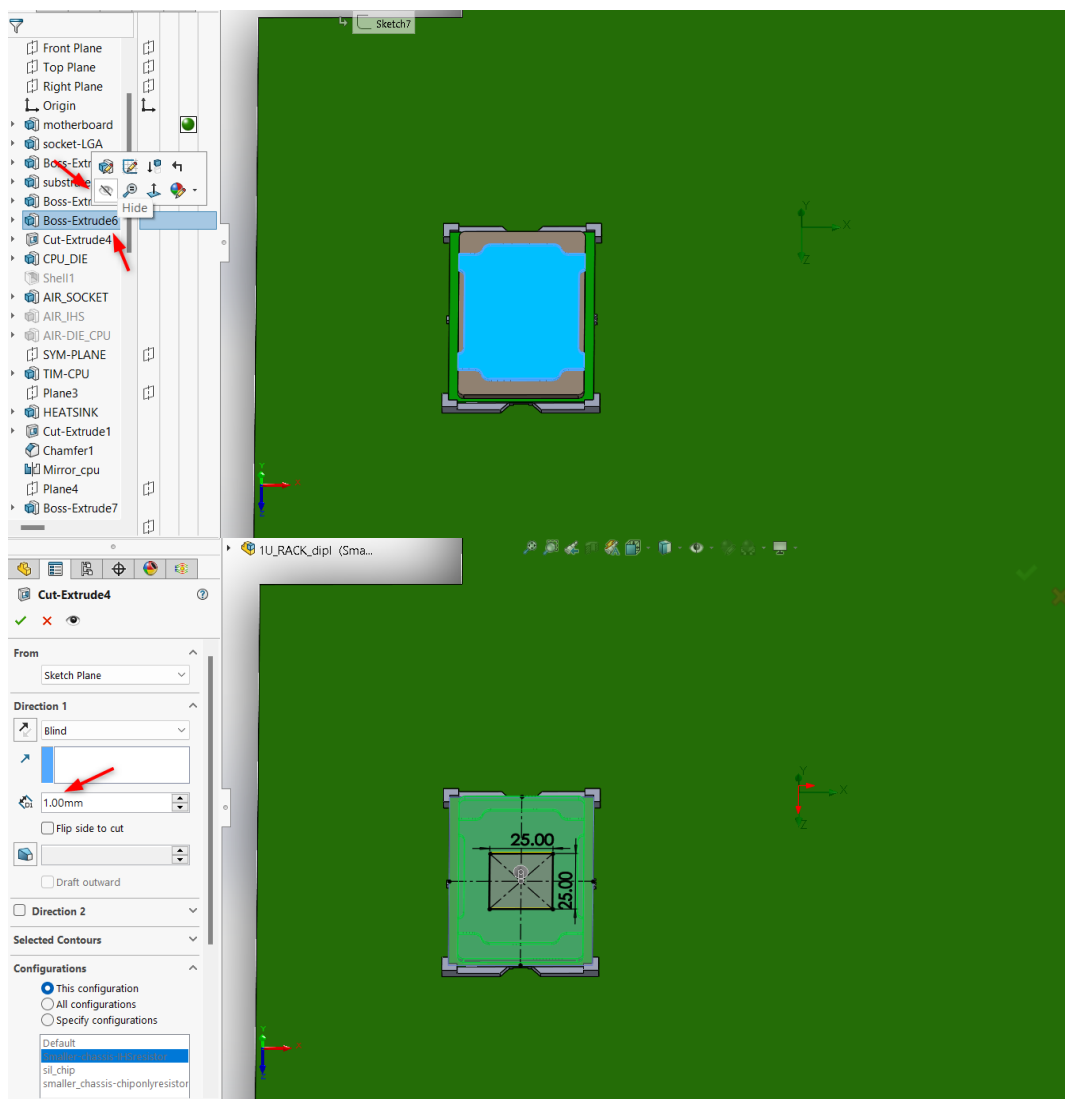
Εικόνα 24 Σχεδιασμός άνω επιφάνειας καλύμματος ΚΜΕ

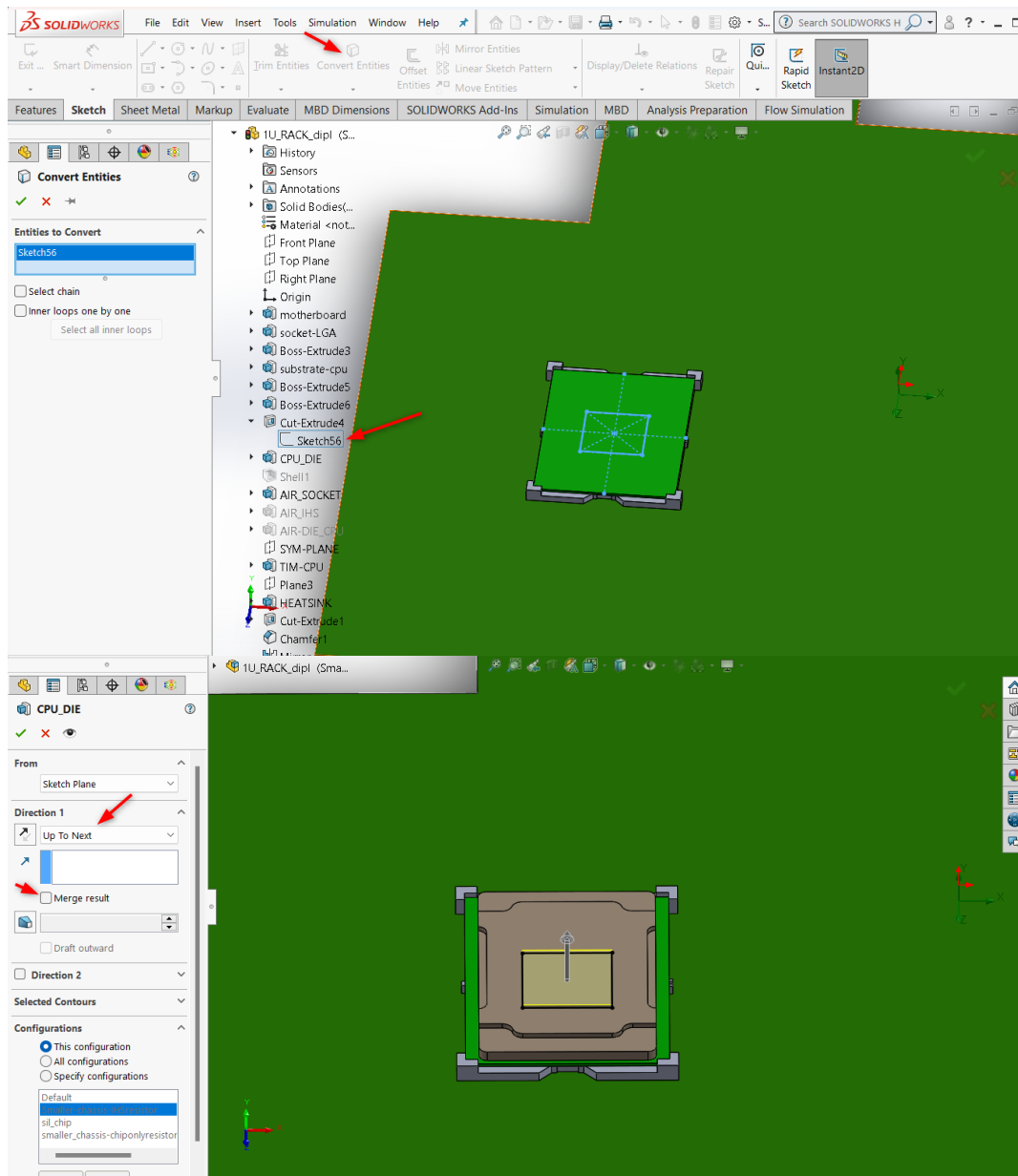
5.1.2.4 Μικροεπεξεργαστής

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 25mm
- Πλάτος: 25mm
- Πάχος: 1mm
- Υλικό: Σιλικόνη

Επειδή ο μικροεπεξεργαστής (τσιπ) συνδέεται στη πάνω επιφάνεια του υποστρώματος και εφάπτεται στο κάλυμμα, αρχικά με την εντολή **hide** κρύβουμε το σώμα του καλύμματος για να είναι δυνατός ο σχεδιασμός πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος. Μετέπειτα δημιουργείται ένα τετράγωνο 25x25mm με την εντολή **center rectangle**, για να δημιουργηθεί η κατακόρυφη τομή στο κάλυμμα με την εντολή **cut-extrude** κατά 1mm δηλαδή όσο θα είναι το πάχος του τσιπ. Τελευταίο βήμα όπως απεικονίζει η **Εικόνα 25** είναι η δημιουργία του σχεδίου για την εξώθηση του τσιπ. Η ενέργεια γίνεται μέσω της εντολής **convert entities** που αντιγράφει τις ακμές του σχεδίου που χρησιμοποιήθηκε στο βήμα της κοπής (**cut-extrude**) ώστε με ένα **boss extrude** έως την επόμενη επιφάνεια (**direction1: up to next**) να δημιουργηθεί ο μικροεπεξεργαστής.





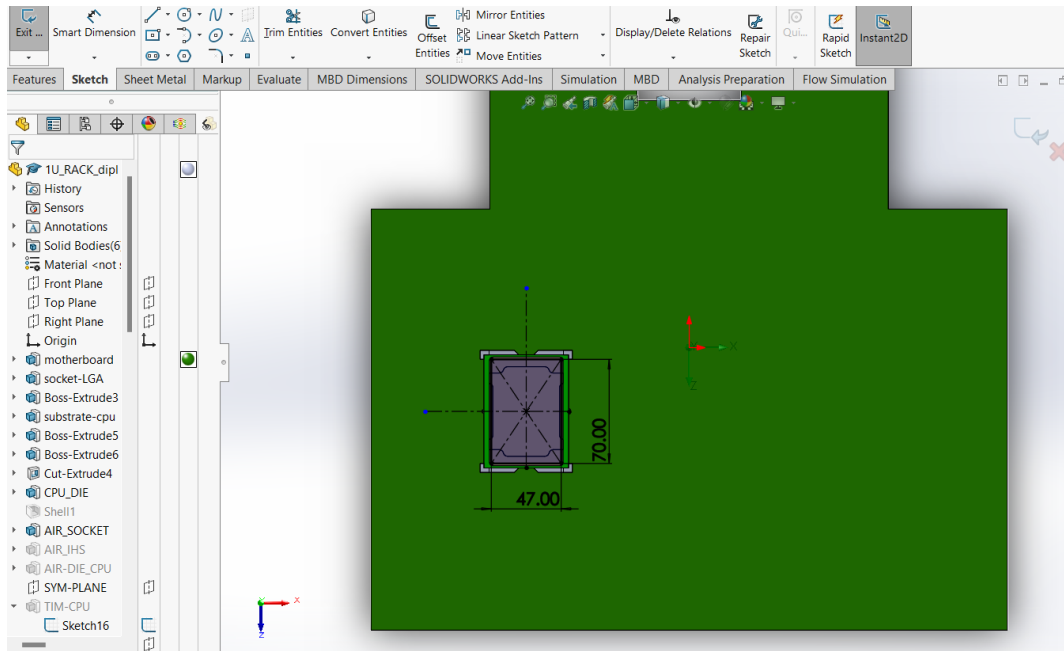
Εικόνα 25 Σχεδιασμός μικροεπεξεργαστή

5.1.2.5 Θερμικό υλικό διεπιφάνειας (TIM)

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 47mm
- Πλάτος: 70mm
- Πάχος: 0.25mm
- Υλικό: PCM45-F

Ομοίως με πριν δημιουργείται στην πάνω επιφάνεια του καλύμματος του επεξεργαστή, ένα ορθογώνιο με διαστάσεις 47x70mm και πάχος 0.25mm.



Εικόνα 26 Σχεδιασμός υλικού θερμικής διεπιφάνειας

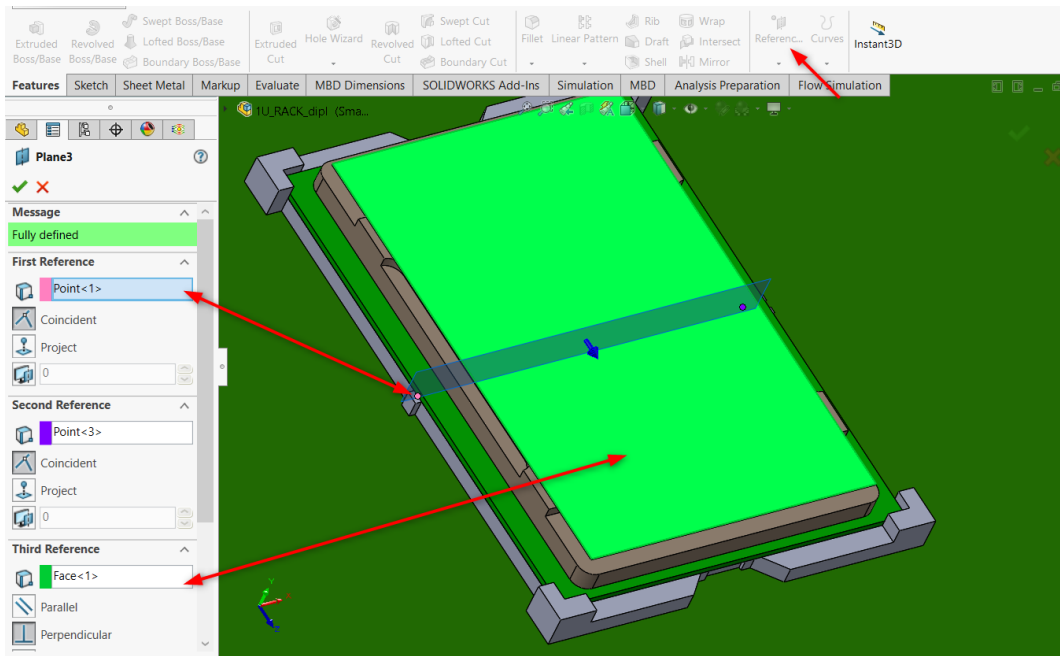
5.1.2.6 Ψύκτρα (Heatsink)

Βασικά χαρακτηριστικά :

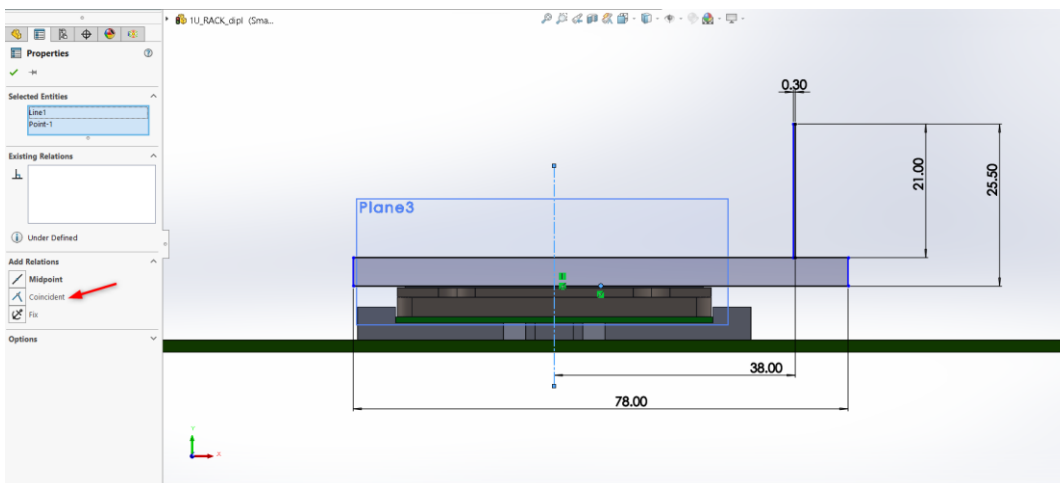
- Μήκος: 78mm
- Πλάτος: 108mm
- Ύψος: 25.50 mm
- Υλικό: Χαλκός

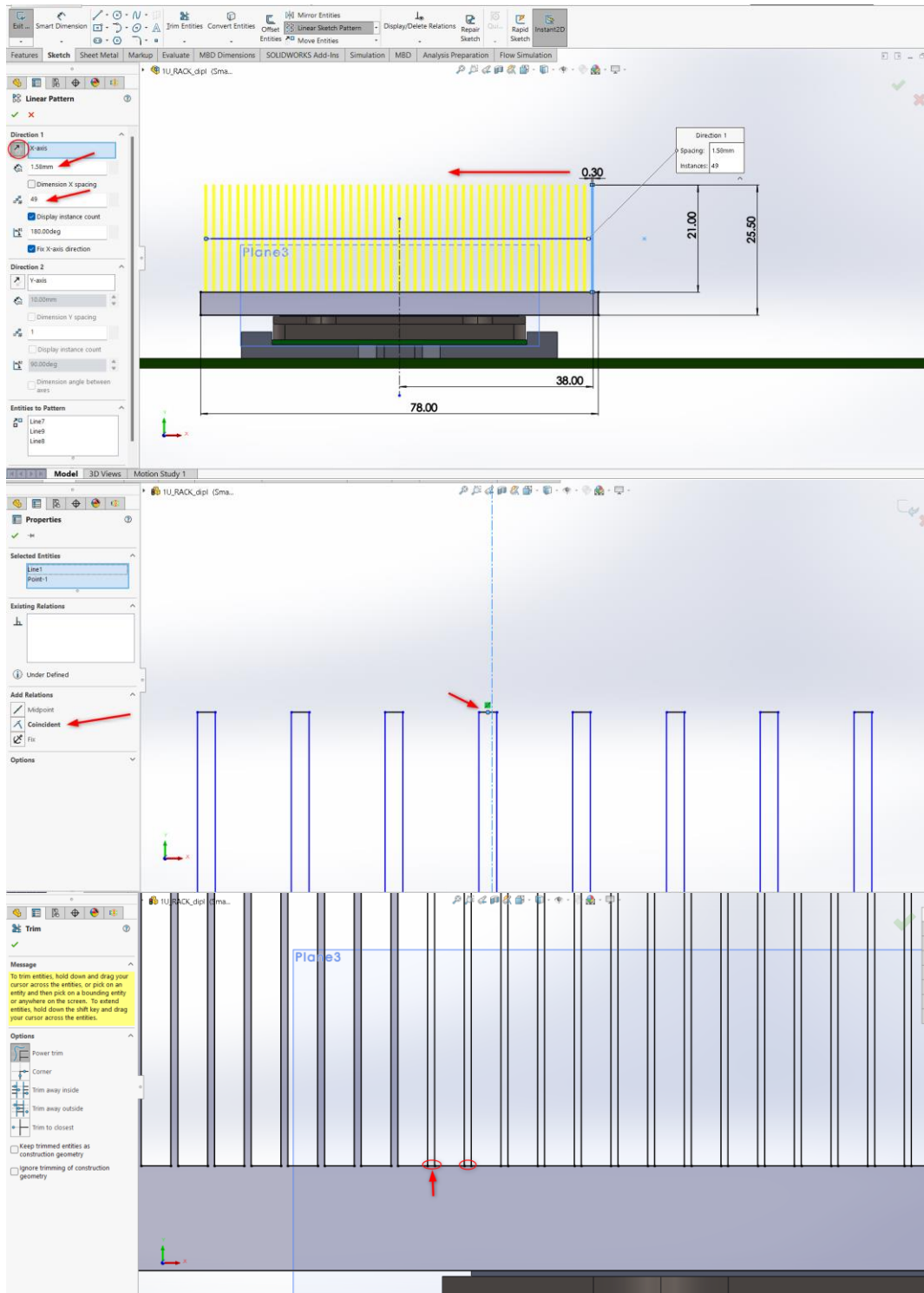
Για την ψύκτρα απαιτείται η δημιουργία ενός νέου επίπεδου σχεδίασης, στο οριζόντιο επίπεδο. Συνεπακόλουθα από την επιλογή **references-plane**, απαιτείται ο ορισμός τριών σημείων αναφοράς, εκ των οποίων τα δύο είναι το μέσον της κατά πλάτος πλευράς του υποστρώματος ενώ η τρίτη είναι η επιφάνεια του θερμικού υλικού διεπιφάνειας σύμφωνα με την **Εικόνα 27**. Επακόλουθα διαστασιολογείται η βάση και τα πτερύγια της ψύκτρας, όπου εφαρμόζεται η εντολή **linear sketch pattern**, κατά την οποία δημιουργείται το επαναλαμβανόμενο μοτίβο των 49 πτερυγίων σε απόσταση 1.5mm από κάθε κέντρο. Επιπλέον για λόγους συμμετρίας, με την επιλογή **coincident**, ευθυγραμμίζεται η διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή που διέρχεται από το κέντρο της συνολικής συναρμογής με το κέντρο της βάσης της ψύκτρας αλλά και με το κέντρο του ενδιάμεσου πτερυγίου. Επόμενο βήμα είναι η διαγραφή του κοινού ευθύγραμμου τμήματος της βάσης

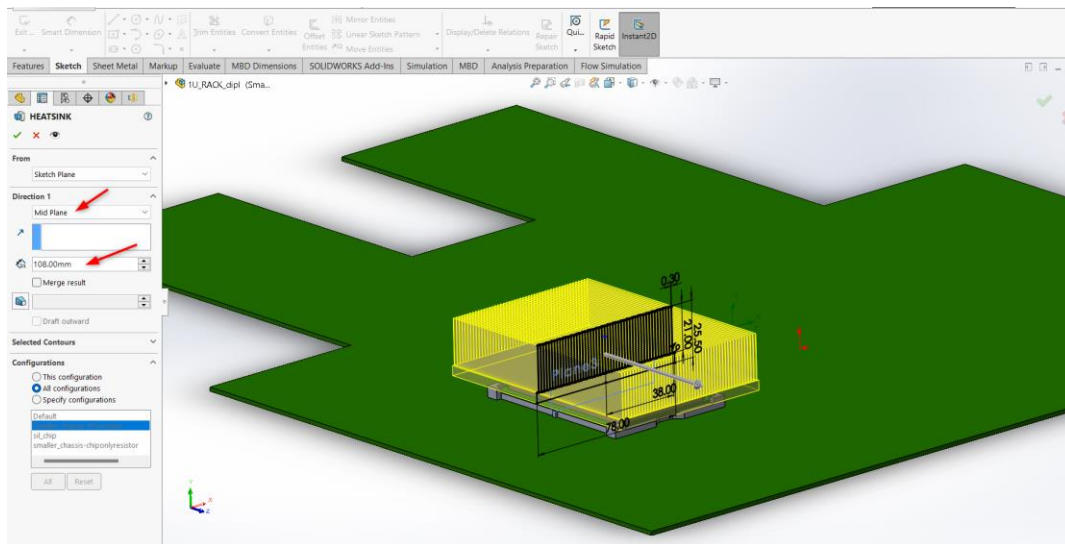
με το κάθε περύγιο μέσω της εντολής **trim**, καθιστώντας το σχέδιο έτοιμο για εξώθηση. Αυτή την φορά στην εντολή **extruded boss base**, όπως παρουσιάζεται στην **Εικόνα 28** στο πεδίο **direction** εφαρμόζεται η επιλογή **midplane** διότι το επίπεδο σχεδίασης ταυτίζεται με το κέντρο του αντικειμένου.



Εικόνα 27 Δημιουργία επίπεδου σχεδίασης για την ψύκτρα

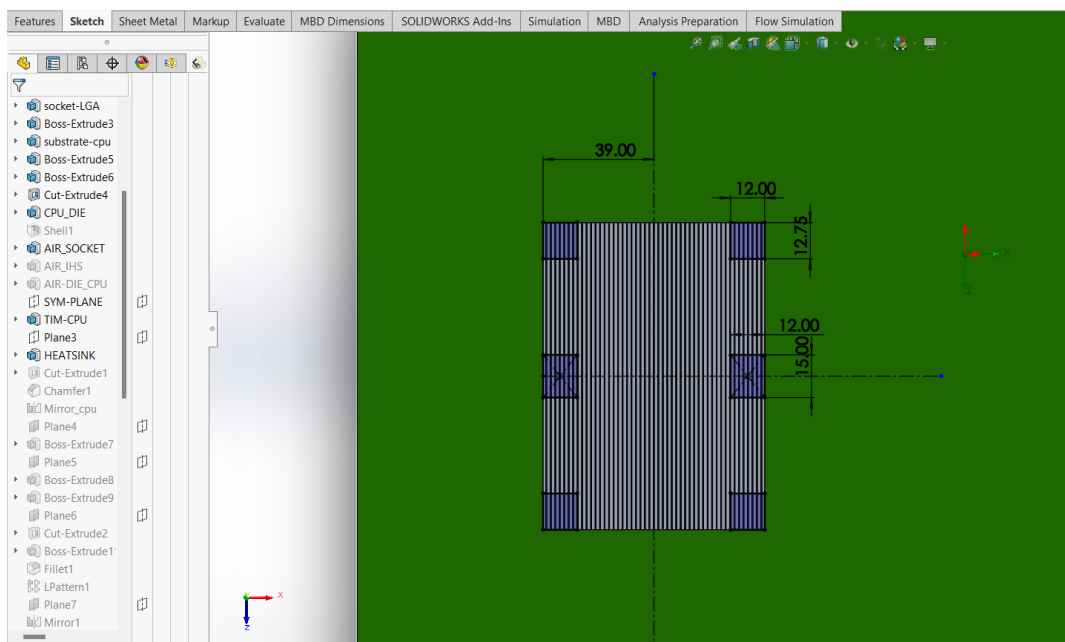


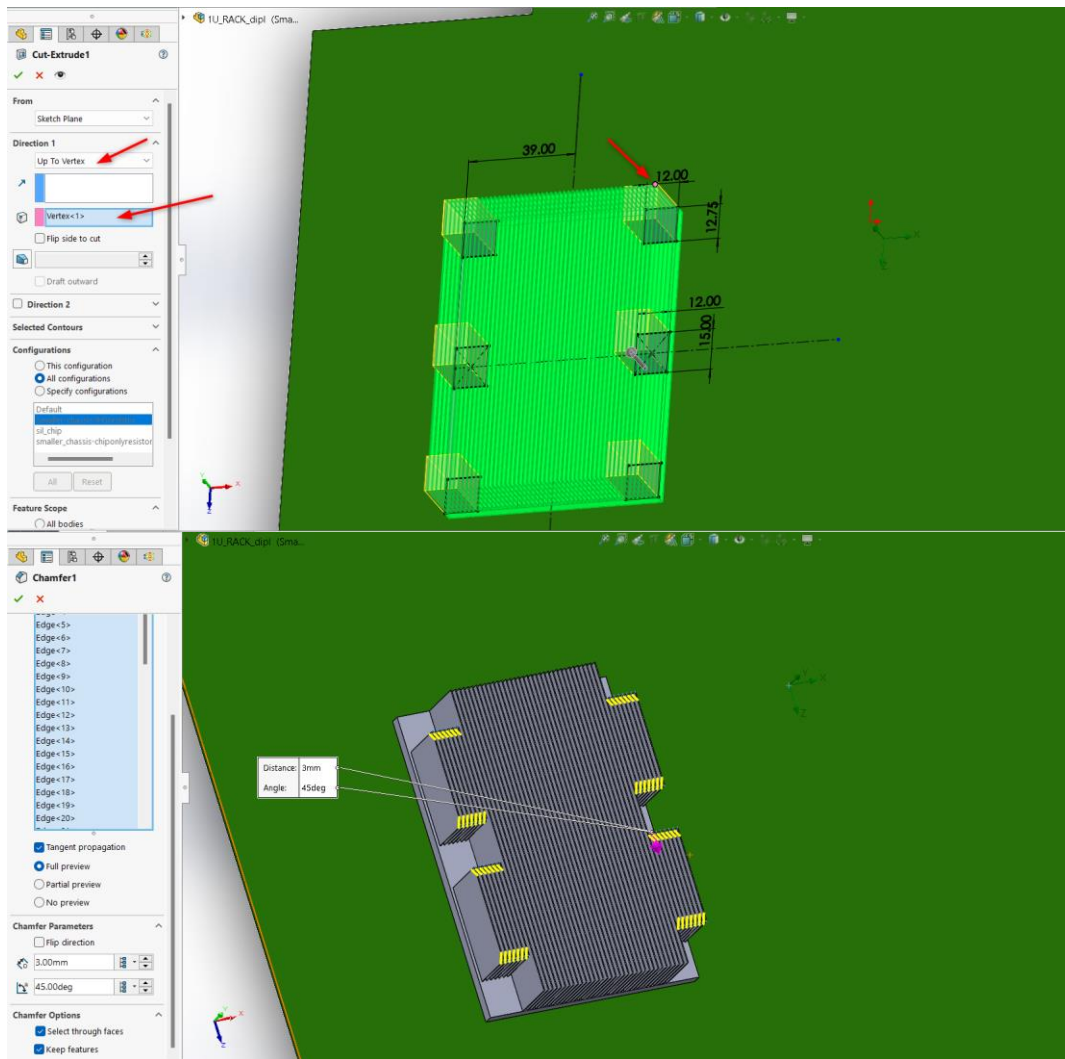




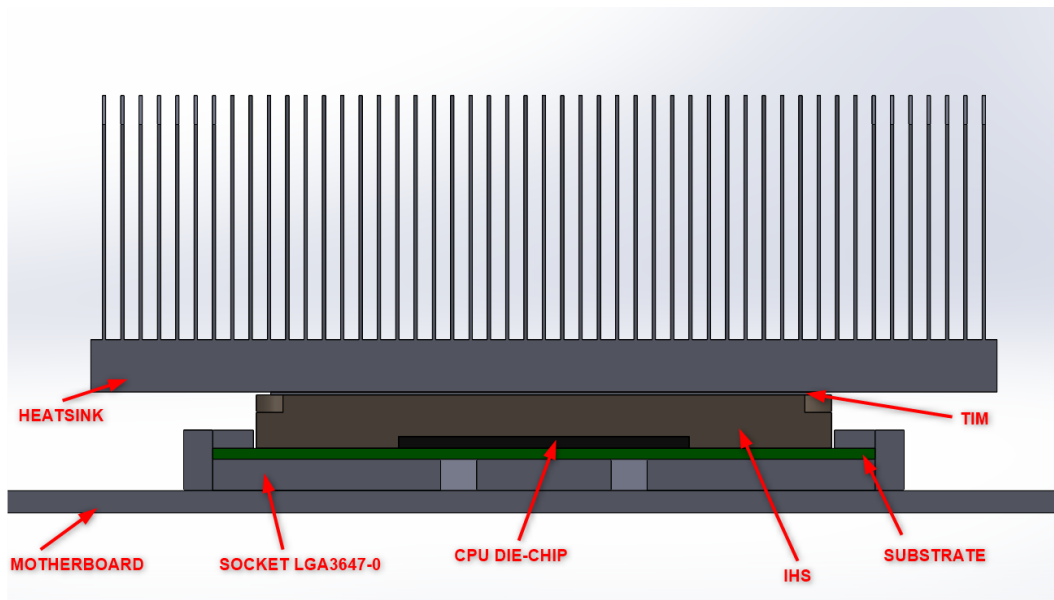
Εικόνα 28 Σχεδιασμός περυγίων και βάσης ψύκτρας

Τελικό βήμα είναι η διενέργεια των έξι εγκοπών σε μορφή ορθογωνίου, από την άνω επιφάνεια της βάσης έως τα περύγια ώστε σε επόμενη φάση να δημιουργηθεί η λοξοτομή των περυγίων σε απόσταση 3mm και 45° με την εντολή **chamfer** σύμφωνα με την **Εικόνα 29**. Η συνολική διάταξη της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας παρατίθεται στην **Εικόνα 30**.





Εικόνα 29 Σχεδιασμός εγκοπών και λοξοτομή πτερυγίων ψύκτρας



Εικόνα 30 Τομή διάταξης κεντρικής μονάδας επεξεργασίας

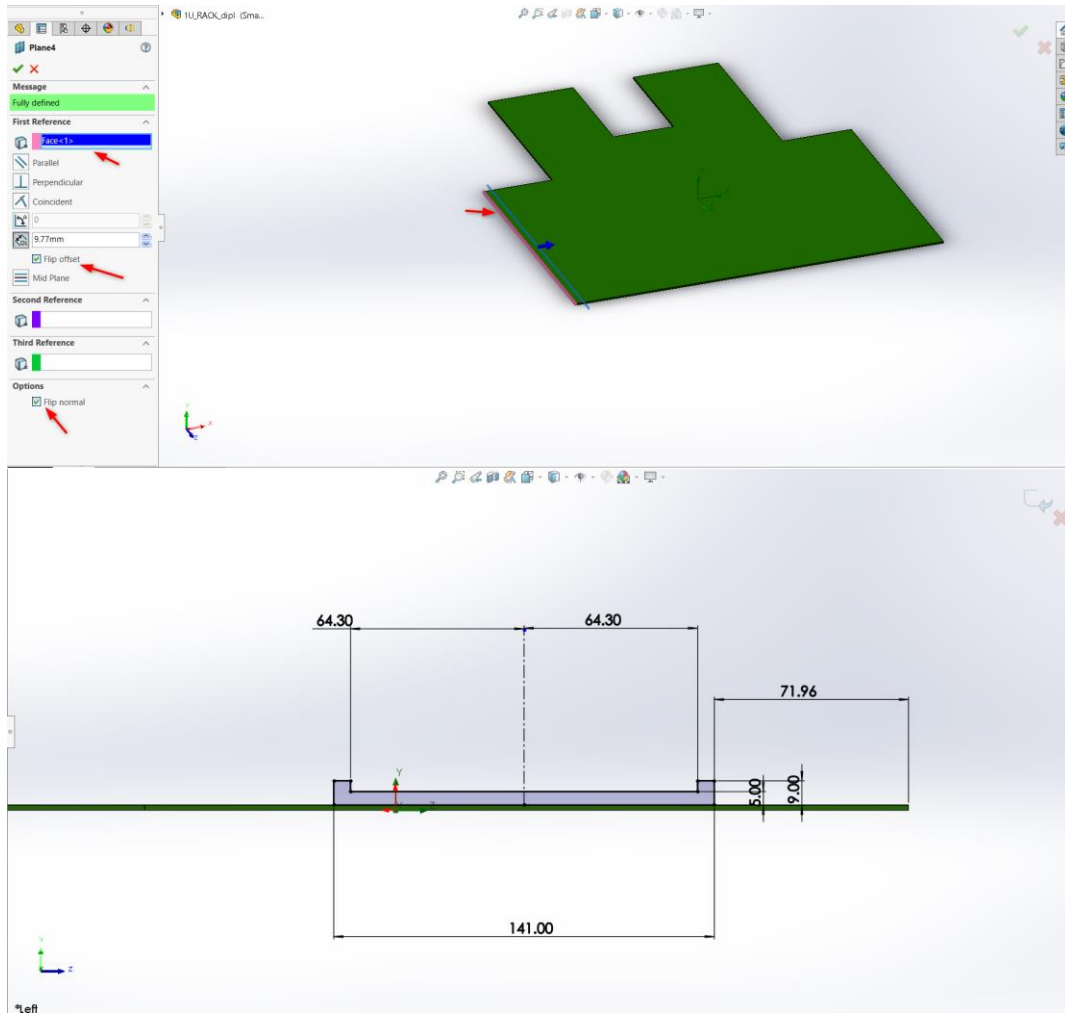
5.1.3 Μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM)

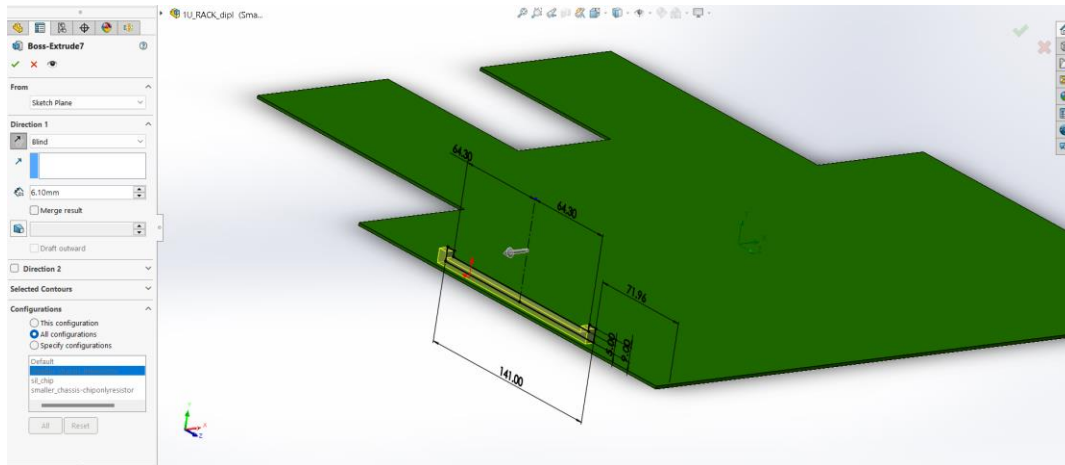
5.1.3.1 Βάση υποδοχής μνήμης τυχαίας προσπέλασης

Βασικά χαρακτηριστικά :

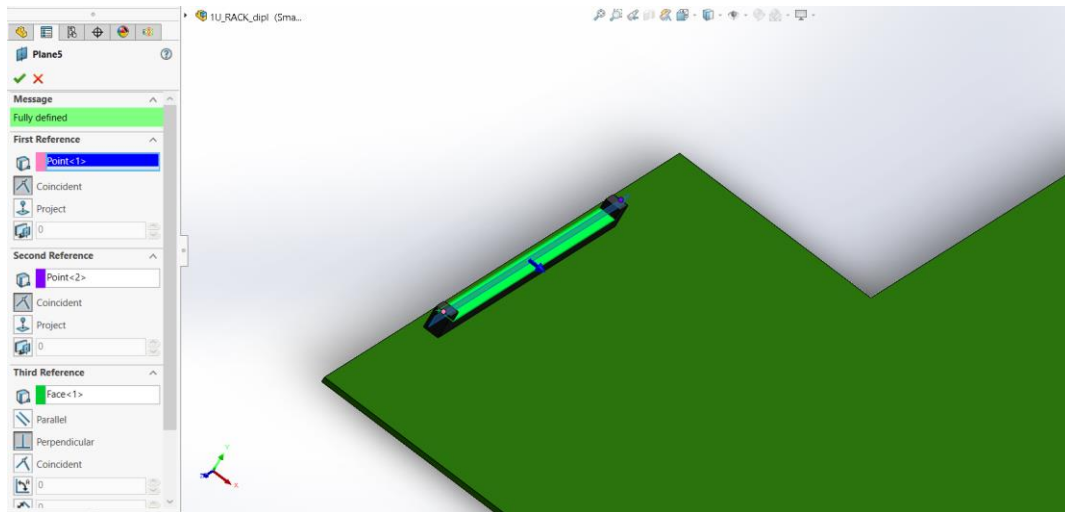
- Μήκος: 141mm
- Πλάτος: 9mm
- Πάχος: 6.10mm
- Υλικό: UL-Nylon 94V-0

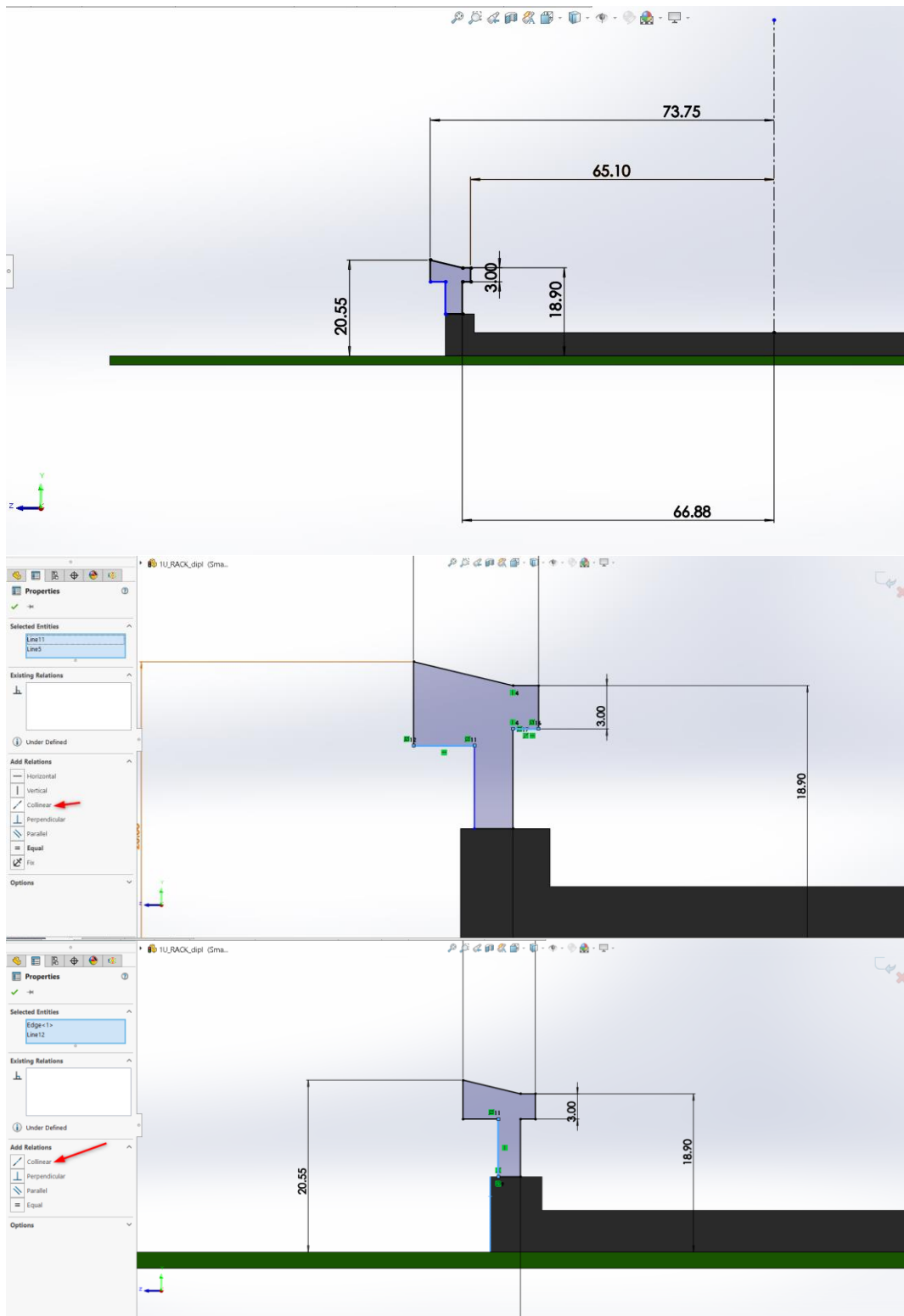
Πρωταρχικά ορίζεται το επίπεδο σχεδίασης το οποίο απέχει 9.77mm από την αριστερή πλευρά της μητρικής πλακέτας με κατεύθυνση προς αυτήν. Για αυτό το σκοπό επιλέγεται η επιλογή **Flip offset** βάση την **Εικόνα 31**. Έπειτα διαστασιοποιείται το σχέδιο της βάσης και εφαρμόζεται πάχος 6.10mm. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα νέο επίπεδο σχεδίασης στο μέσον της βάσης, πάνω στο οποίο κατασκευάζονται οι λεπτομέρειες των άγκιστρων της με τη πλακέτα μνήμης. Για τον πλήρη ορισμό του σχεδίου των άγκιστρων χρησιμοποιείται η ιδιότητα **colinear** μεταξύ των ευθειών όπου χρίζεται να είναι συνευθειακές ενώ η αντιγραφή στην αντιδιαμετρική πλευρά επιτυγχάνεται με την επιλογή **mirror entities**. Κατά την εξώθηση, σύμφωνα με την **Εικόνα 32** εφόσον πρόκειται για ενιαίο τεμάχιο η ιδιότητα **merge result** παραμένει επιλεγμένη. Ως τελική κίνηση είναι η επιβολή με την εντολή **fillet**, ακτίνα καμπυλότητας 0.65mm στα άγκιστρα.

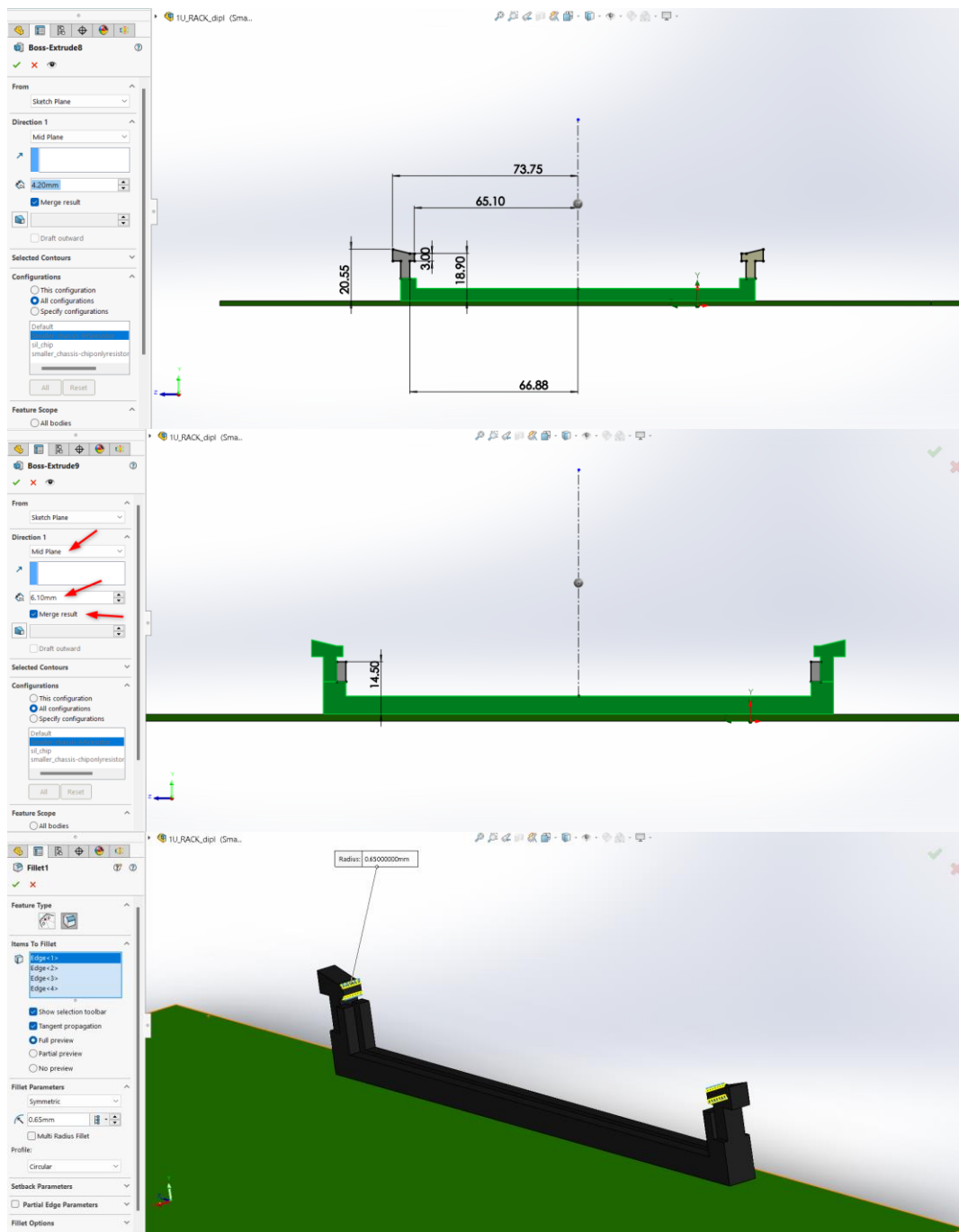




Εικόνα 31 Κατασκευή βάση υποδοχής μνήμης τυχαίας προσπέλασης



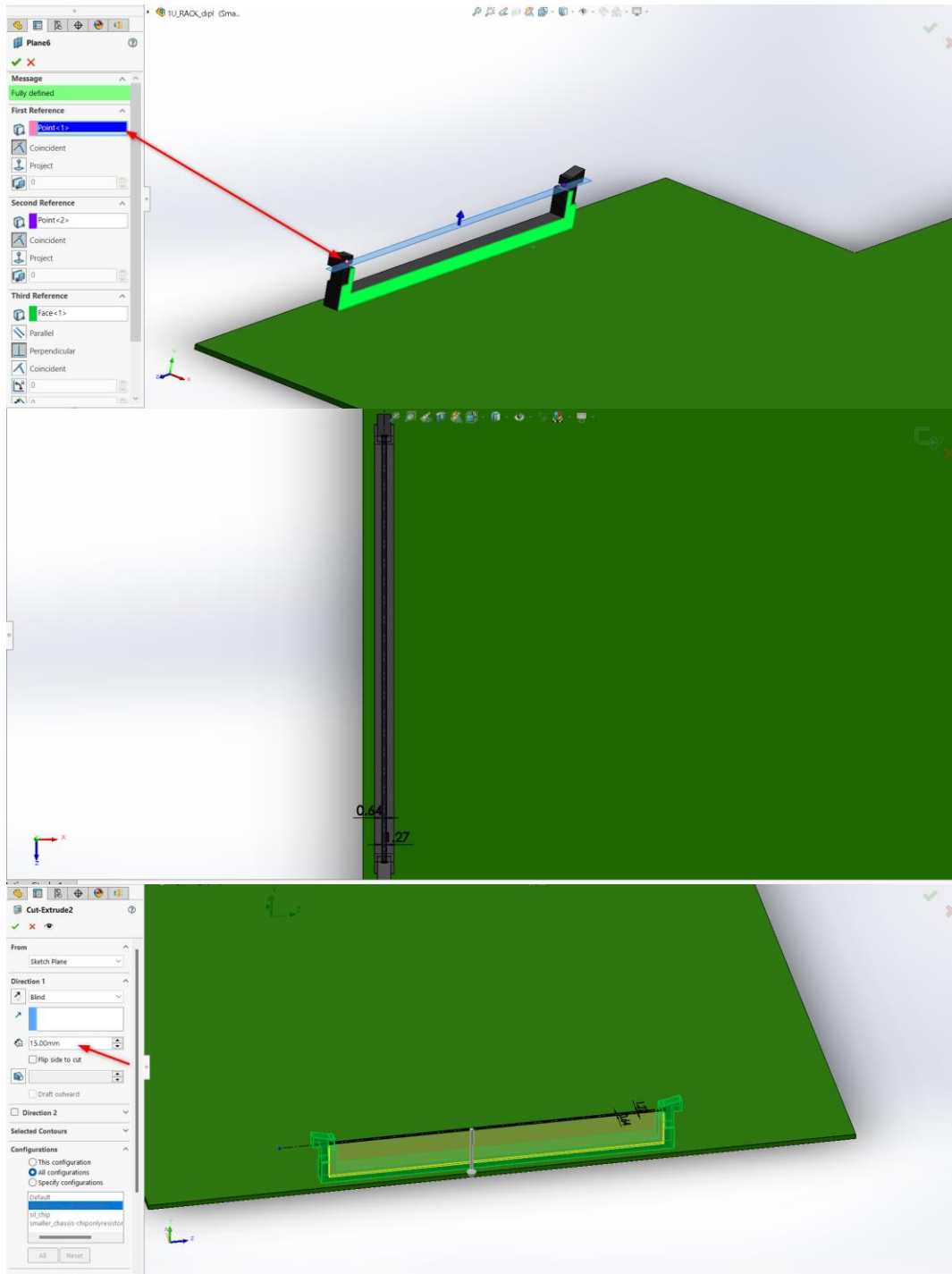




Εικόνα 32 Κατασκευή άγκιστρων βάσης τυχαίας μήμης προσπέλασης

Για να εισαχθεί η πλακέτα στη βάση είναι αναγκαία η δημιουργία ενός νέου επιπέδου σχεδίασης για την πραγματοποίηση της κοπής. Το επίπεδο σχεδίασης ορίζεται από τα κέντρα των ακμών των άγκιστρων στη κάτω επιφάνεια τους και την παράλληλη επιφάνεια της βάσης στο δεξί επίπεδο (**right plane**). Η εγκοπή όπως παρουσιάζει η **Εικόνα 33** είναι σε

σχήμα ορθογώνιου παραλληλόγραμμου με βάθος 15mm και με πάχος 1.27mm όσο η πλακέτα που θα εισαχθεί ύστερα.



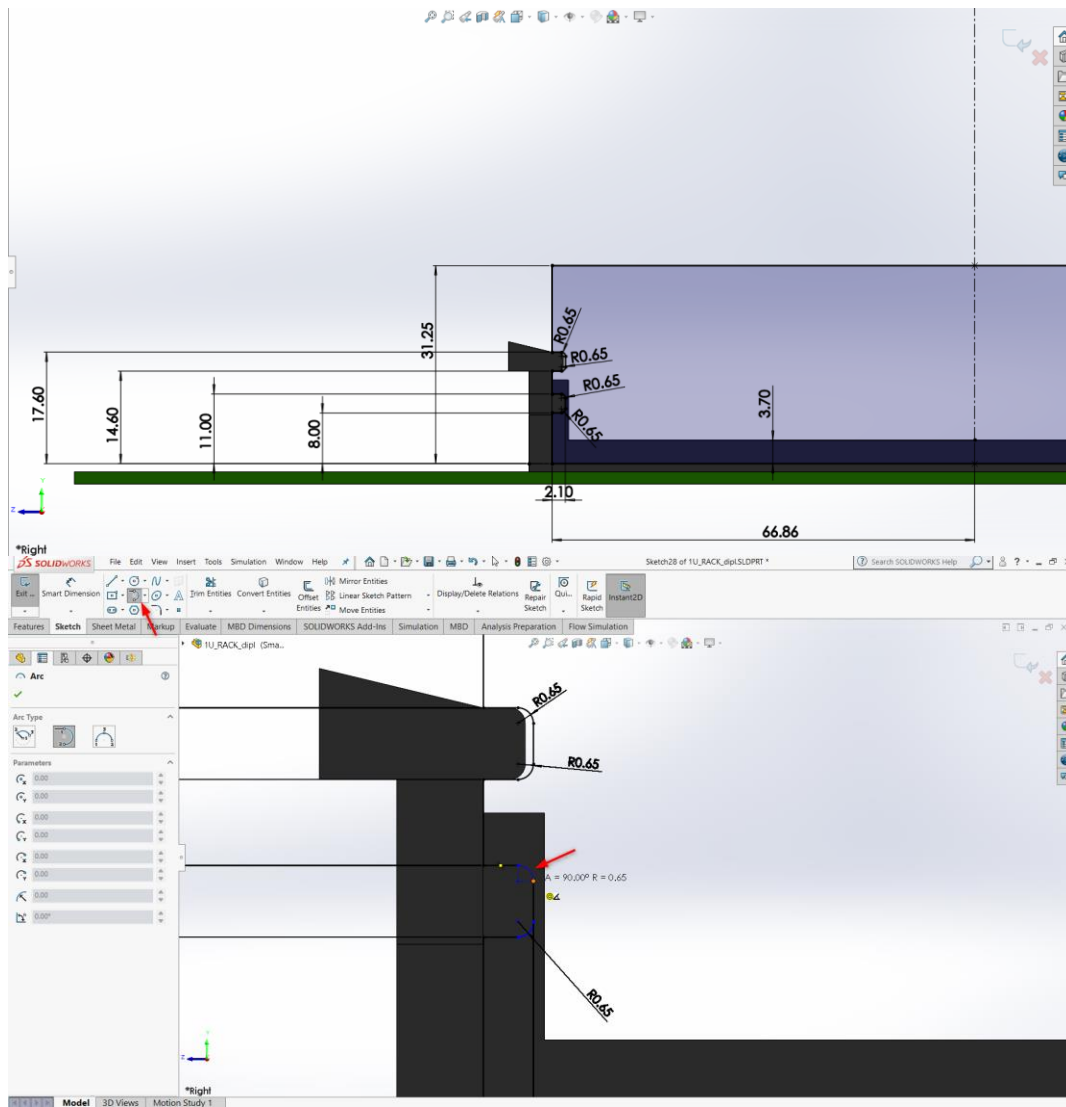
Εικόνα 33 Σχεδίαση εγκοπής βάσης τυχαίας μνήμης προσπέλασης

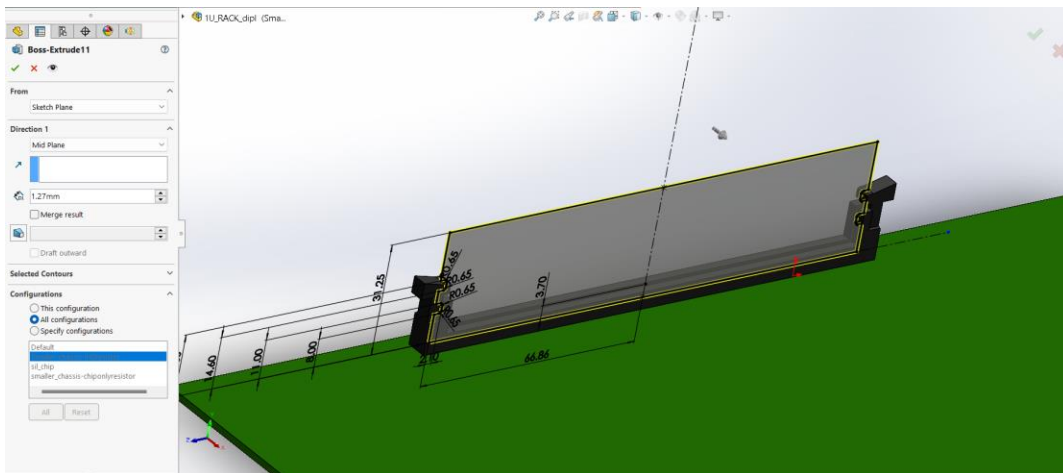
5.1.3.2 Πλακέτα μνήμης τυχαίας προσπέλασης

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 133.72mm
- Πάχος: 1.27mm
- Ύψος: 31.25mm
- Υλικό: FR4

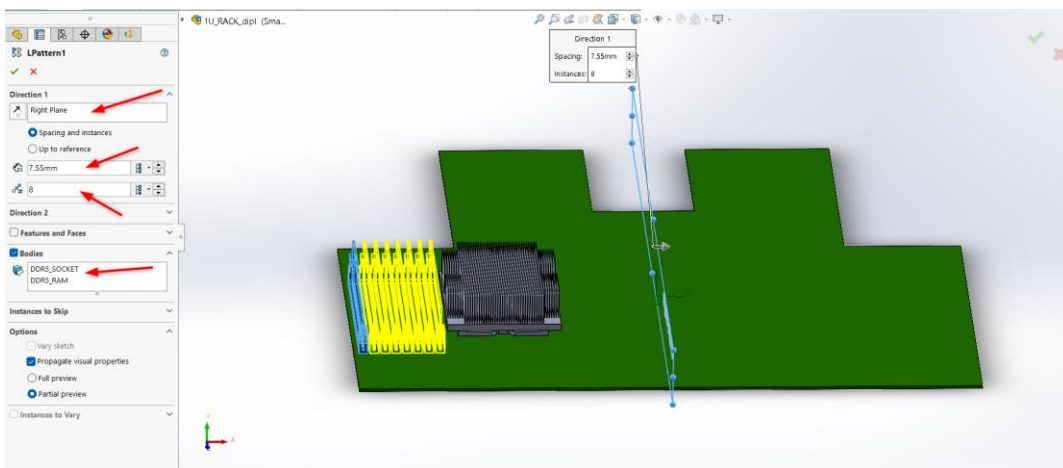
Αφότου η βάση έχει ολοκληρωθεί, σχεδιάζεται η πλακέτα της μνήμης σύμφωνα με τα βήματα στη **Εικόνα 34**. Οι καμπυλότητες της πλακέτας που εισέρχονται στα άγκιστρα της βάσης δημιουργούνται από την εντολή **tangent arc** με ακτίνα 0.65mm. Η απόσταση 3.70mm υποδηλώνει το μήκος εισχώρησης της πλακέτας στην εγκοπή της βάσης.

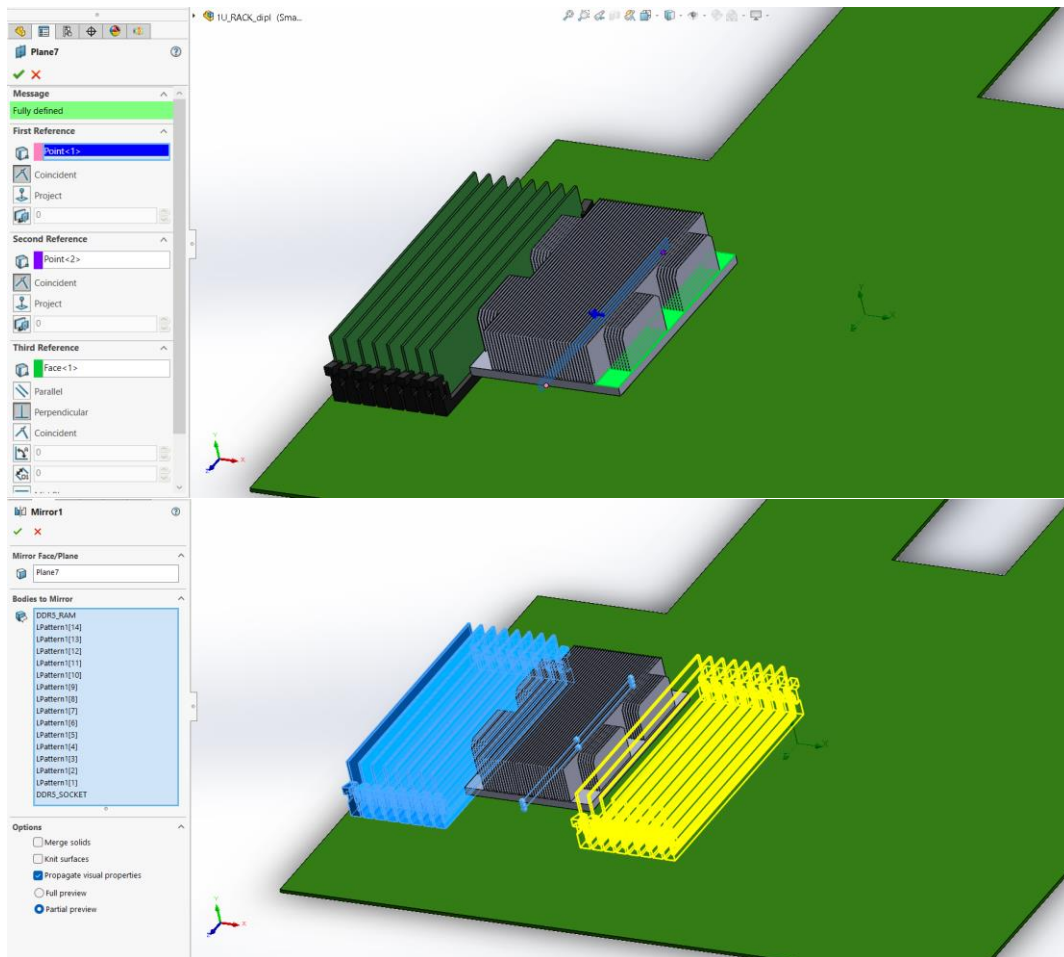




Εικόνα 34 Δημιουργία πλακέτας μνήμης τυχαίας προσπέλασης

Έχοντας δημιουργήσει το συνολικό κομμάτι της μνήμης τυχαίας προσπέλασης, με την εντολή **linear pattern** δημιουργούνται άλλα επτά όμοια τεμάχια σε απόσταση 7.55mm με κατεύθυνση το δεξιό επίπεδο (**right plane**) της μητρικής πλακέτας. Στη συνέχεια, σύμφωνα με την **Εικόνα 35** ορίζεται επίπεδο σχεδίασης συμμετρικό της ψύκτρας ως προς το **right plane** ώστε να χρησιμοποιηθεί για αντιγραφή της διάταξης της μνήμης τυχαίας προσπέλασης ως προς την ψύκτρα.





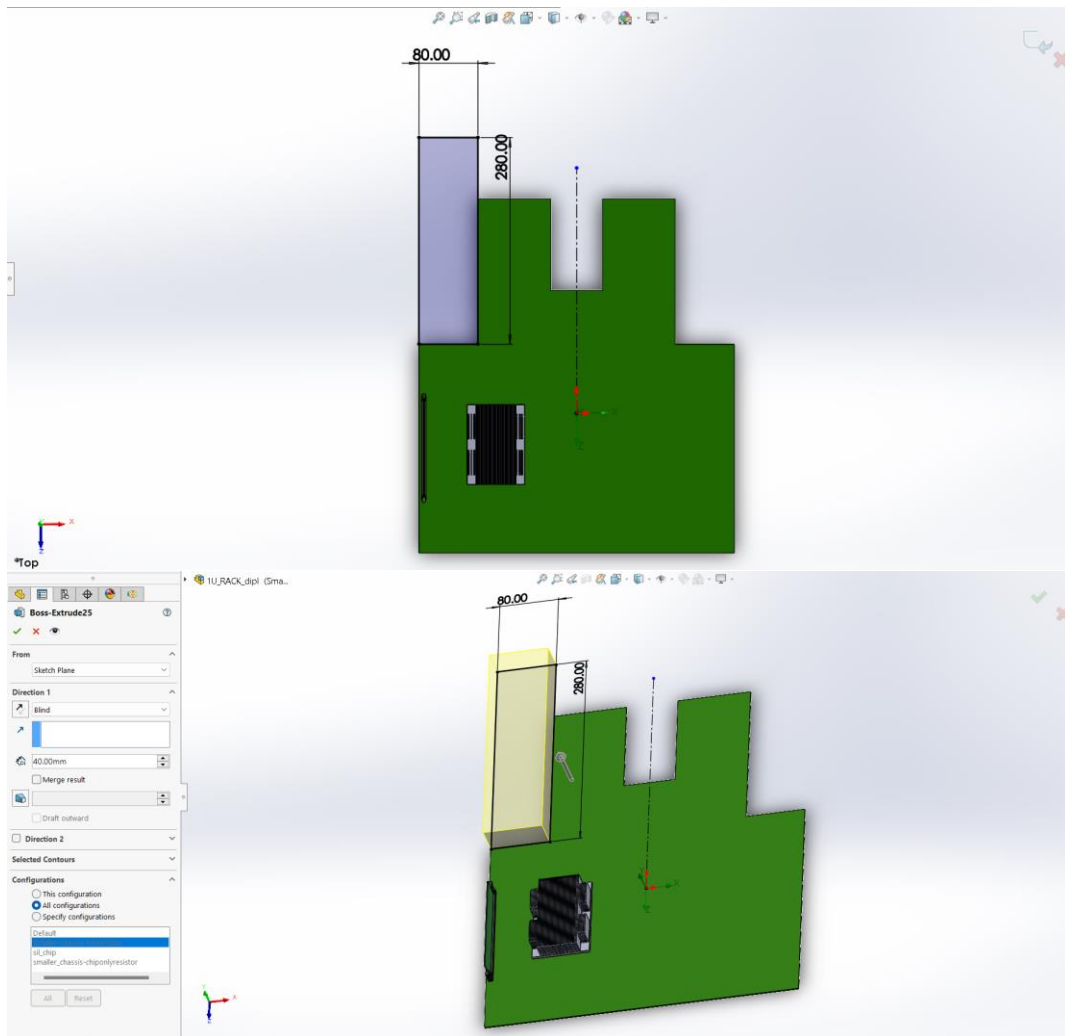
Εικόνα 35 Δημιουργία μοτίβου μνήμης τυχαίας προσπέλασης ως προς την ψύκτρα

5.1.4 Τροφοδοτικό (PSU)

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 80mm
- Πλάτος: 280mm
- Ύψος: 40mm
- Υλικό: AISI 1020 χάλυβας ψυχρής έλασης (steel cold-rolled)

Το τροφοδοτικό καθίσταται σαν ένα απλό ορθογώνιο που εφάπτεται στην εσοχή της μητρικής πλακέτας όπως απεικονίζει η **Εικόνα 36**.



Εικόνα 36 Σχεδιασμός τροφοδοτικού

5.1.5 Κεντρικός ελεγκτής πλατφόρμας (PCH)

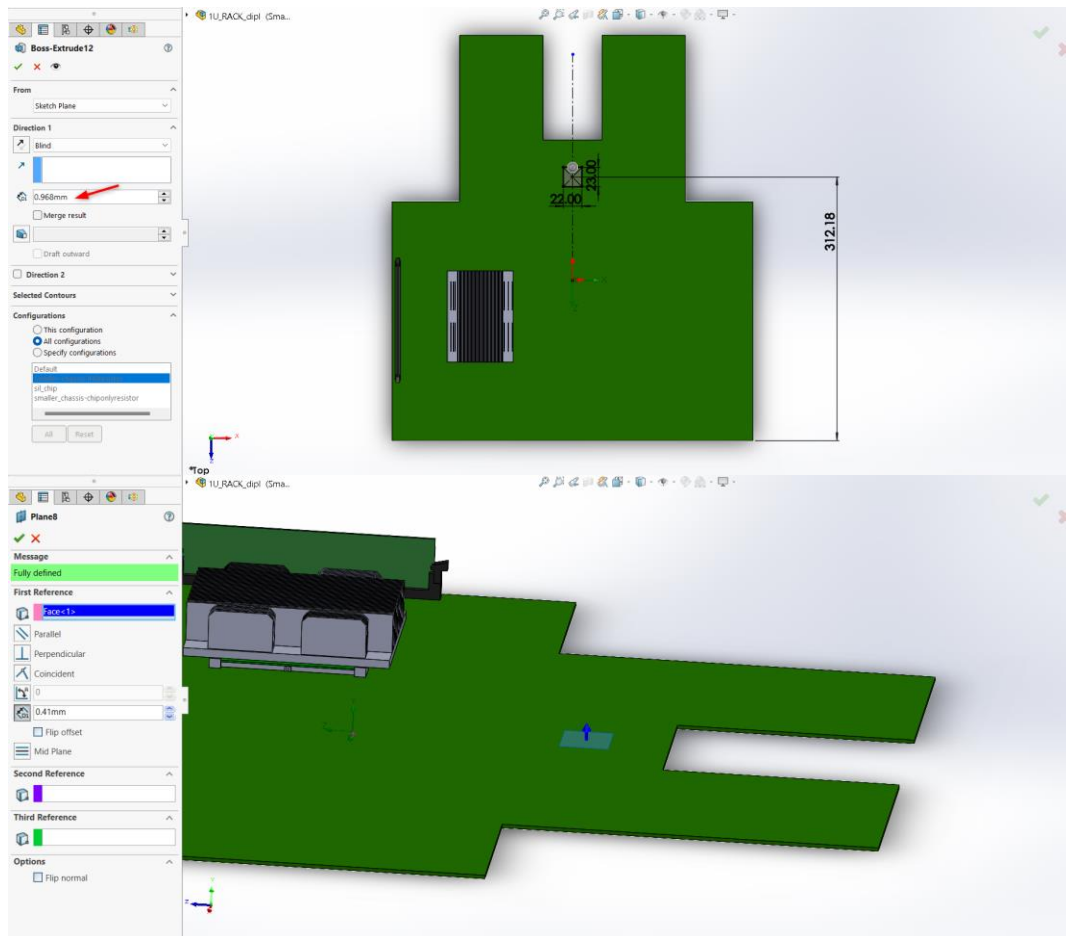
5.1.5.1 Υπόστρωμα-πλακέτα

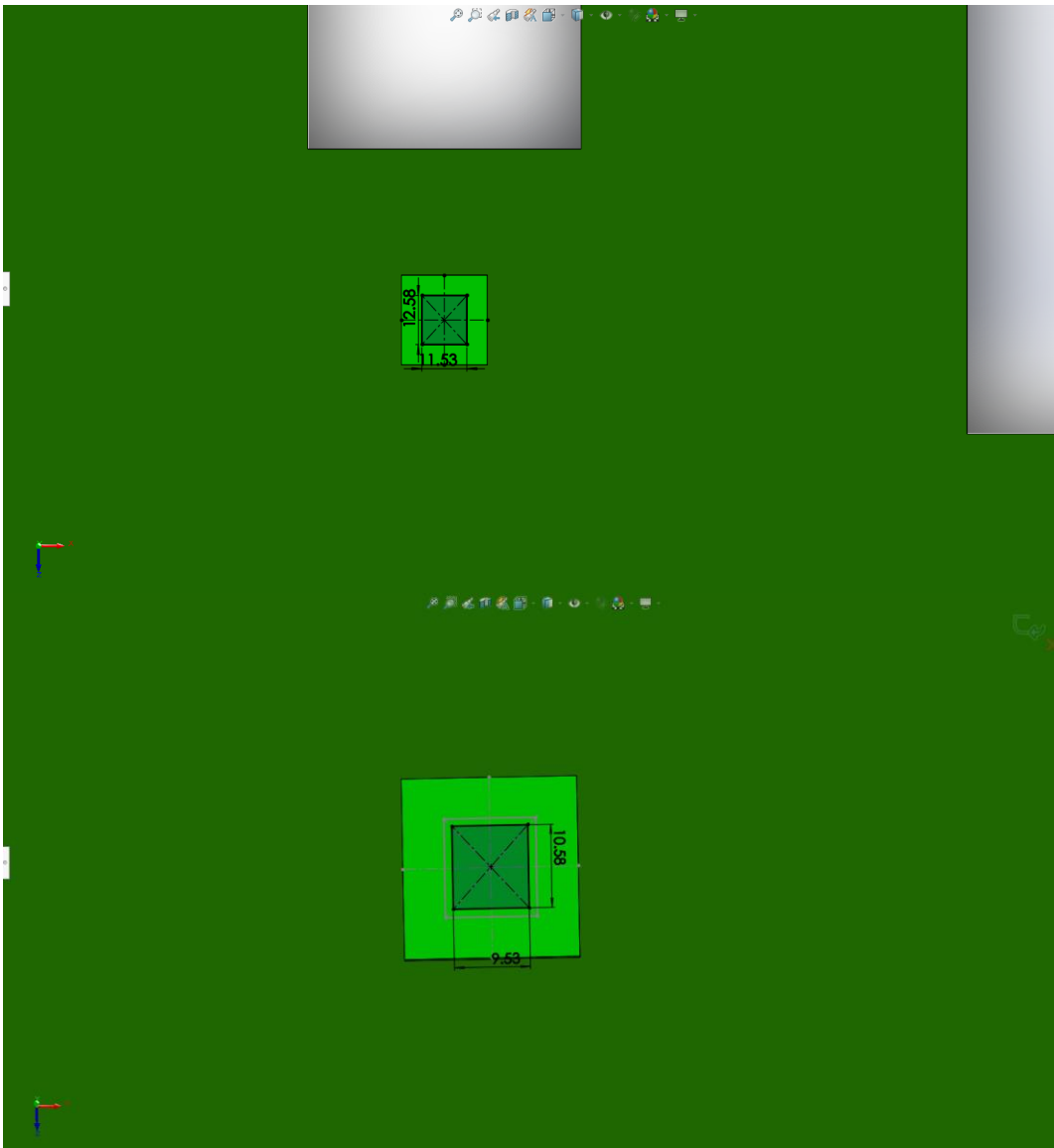
Βασικά χαρακτηριστικά :

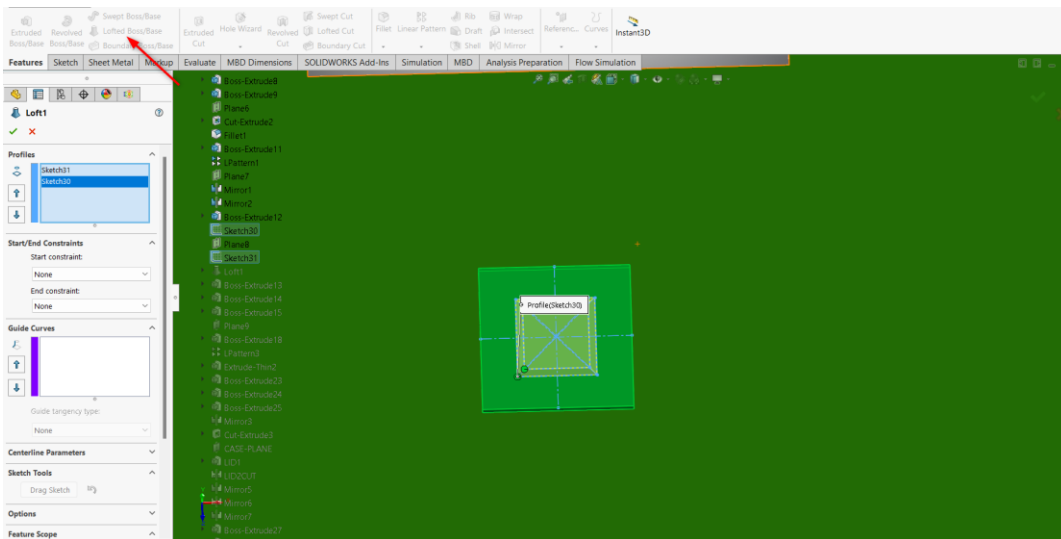
- Μήκος: 22mm
- Πλάτος: 23mm
- Ύψος: 0.968mm
- Υλικό: Εποξειδική ρητίνη (Epoxy resin)

Το τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας είναι συμμετρικό με την μητρική πλακέτα και απέχει 312.18mm από το κάτω άκρο της. Το υπόστρωμα αποτελείται από τρία ορθογώνια επίπεδα. Το πρώτο που είναι σε επαφή με τη μητρική πλακέτα έχει διαστάσεις 22x23mm²

και πάχος 0.968mm, το δεύτερο διαστάσεων 11.53x12.58mm² είναι εφαπτόμενο με το πρώτο ενώ το τρίτο βρίσκεται κατά 0.41mm ανυψωμένο από τη επιφάνεια της μητρικής πλακέτας και με διαστάσεις 9.53x10.58mm². Για την δημιουργία της επίπεδης πυραμίδας μεταξύ του δεύτερου και τρίτου επίπεδο αφότου έχει δημιουργηθεί το δεύτερο επίπεδο, ορίζεται το επίπεδο σχεδίασης (**plane**) που απέχει 0.41mm από την μητρική πάνω στο οποίο σχεδιάζεται το ορθογώνιο 9.53x10.58mm². Μετέπειτα με την εντολή **lofted boss base** όπως παρουσιάζει η **Εικόνα 37**, ενώνονται τα δύο σχέδια δημιουργώντας την βάση υποδοχής του τσιπ.







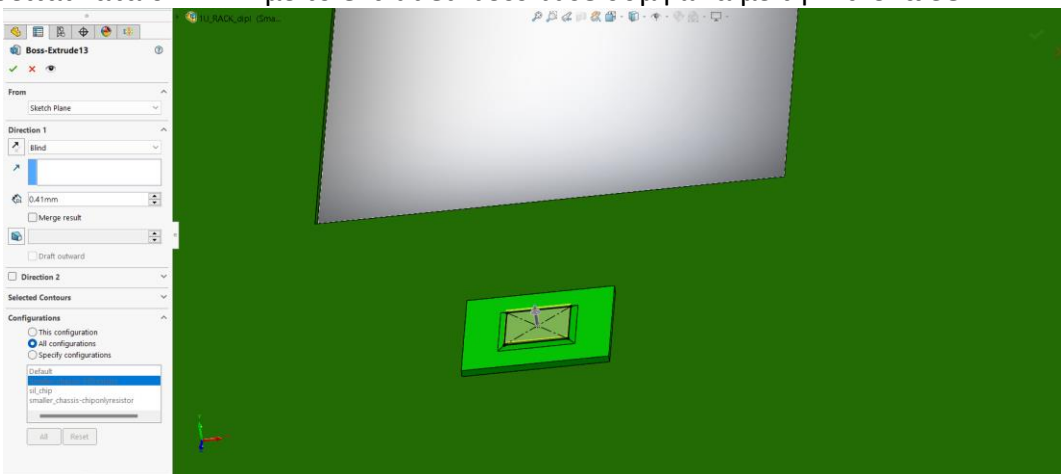
Εικόνα 37 Σχεδιασμός υποστρώματος κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

5.1.5.2 Τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 9.53mm
- Πλάτος: 10.58mm
- Ύψος: 0.41mm
- Υλικό: Σιλικόνη

Το τσιπ έχει ίδιες διαστάσεις με το τρίτο επίπεδο του υποστρώματος, οπότε με την εντολή **convert entities** μεταφέρεται το σχέδιο στην άνω επιφάνεια του υποστρώματος και εξωθείται κατά 0.41mm με το **extruded boss base** σύμφωνα με την Εικόνα 38.



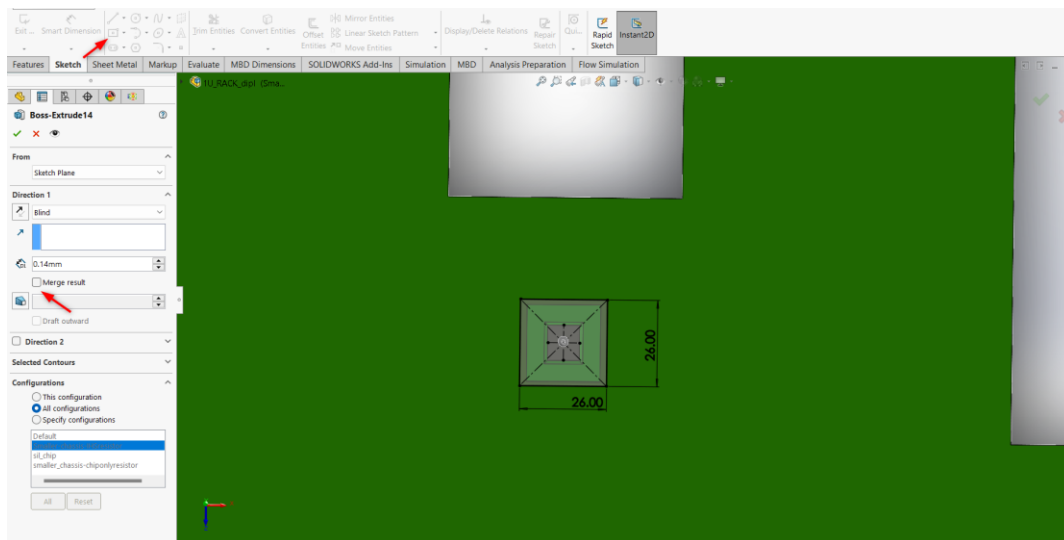
Εικόνα 38 Σχεδιασμός τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

5.1.5.3 Θερμικό υλικό διεπιφάνειας

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 26mm
- Πλάτος: 26mm
- Πάχος: 0.14mm
- Υλικό: T710

Με παρόμοια διαδικασία με πριν, από την **Εικόνα 39** με την εντολή **center rectangle** δημιουργείται ένα τετράγωνο με κέντρο ίδιο με του τσιπ και του υποστρώματος και εξωθείται κατά 0.14mm.



Εικόνα 39 Σχεδιασμός θερμικού υλικού διεπιφάνειας κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

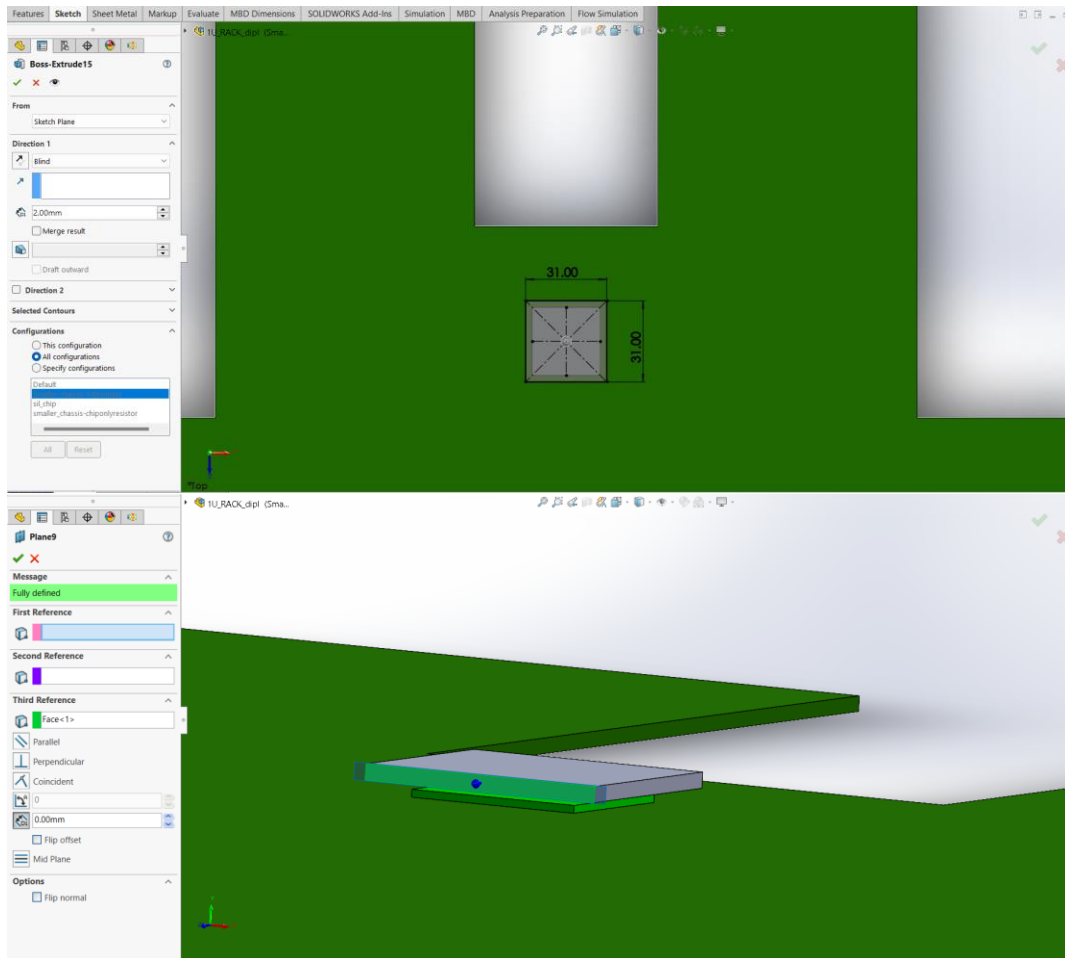
5.1.5.4 Ψύκτρα

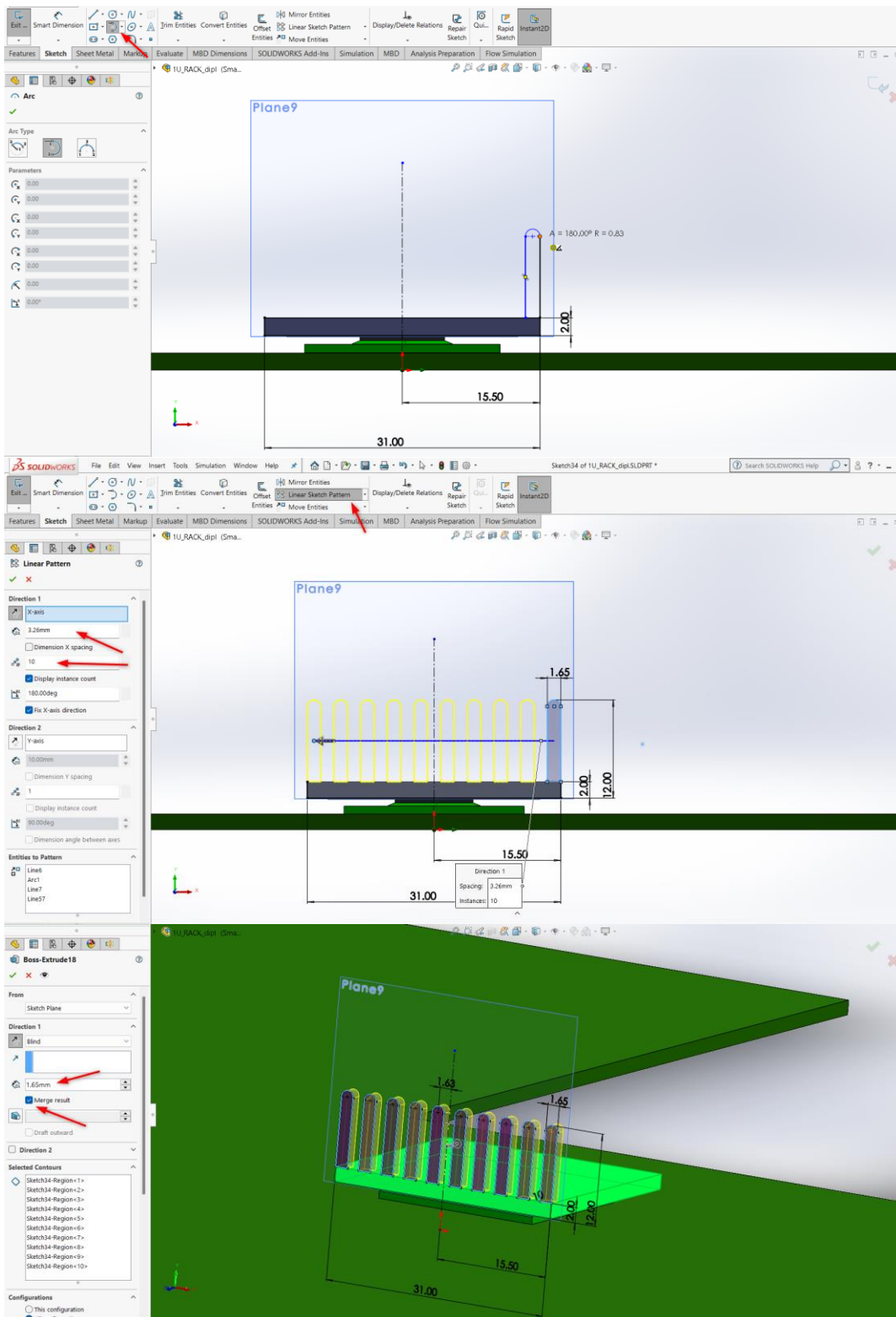
Βασικά χαρακτηριστικά :

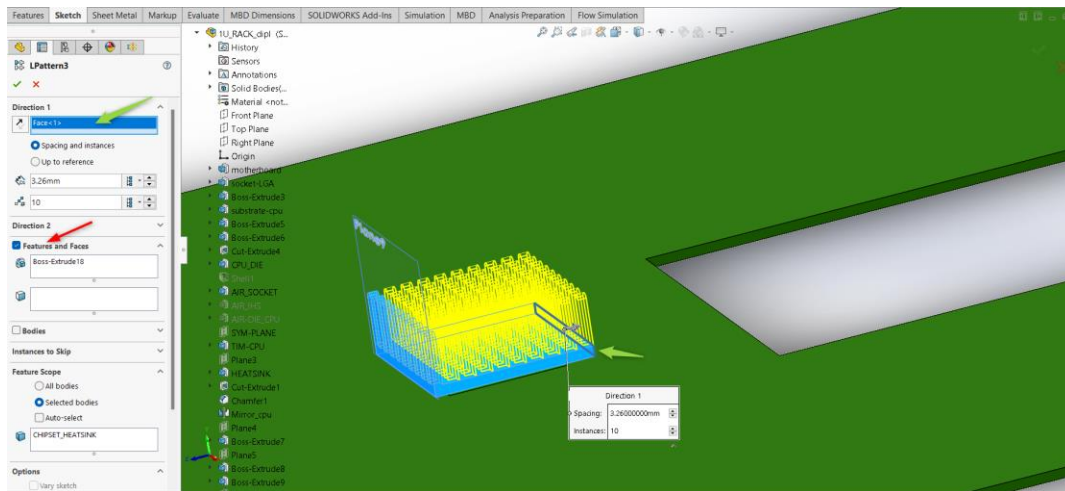
- Μήκος: 31mm
- Πλάτος: 31mm
- Ύψος: 12mm
- Υλικό: Αλουμίνιο 6063 T5

Παραπλήσια με πριν δημιουργείται ένα νέο σχέδιο πάνω στην επιφάνεια του υλικού θερμικής διεπιφάνειας. Για την κατασκευή των πτερυγίων της ψύκτρας πρωταρχικά ορίζεται ένα νέο επίπεδο σχεδίασης παράλληλο με την επιφάνεια της βάσης της ψύκτρας στη διεύθυνση του **front plane**. Πάνω σε αυτή την επιφάνεια σχεδιάζεται το πρώτο

περυγίο ώστε έπειτα με την εντολή **linear sketch pattern**, να αποτυπωθούν άλλα εννέα όμοια περυγία σε απόσταση 3.26mm το καθένα. Αφότου έχει δημιουργηθεί η πρώτη σειρά περυγίων, επιλέγονται ένα προς ένα τα περυγία για εξώθηση κατά 1.65mm ώστε σε τελικό βήμα όπως επισημαίνει η **Εικόνα 40**, πάλι με την εντολή **linear sketch pattern** να αντιγραφεί το στερεό σώμα των περυγίων άλλες εννέα φορές σε απόσταση 3.26mm και με κατεύθυνση την απέναντι πλευρά της βάσης.







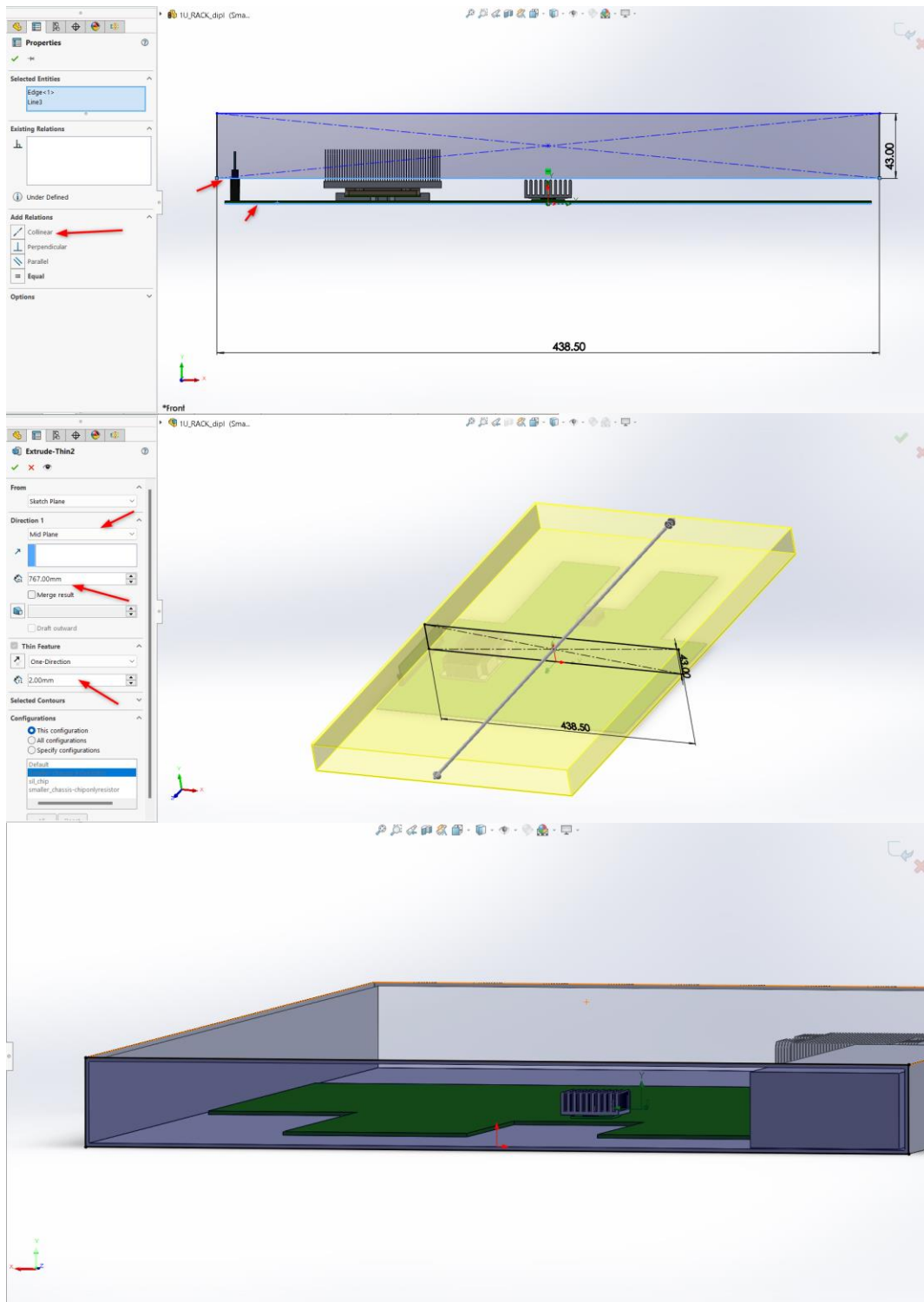
Εικόνα 40 Δημιουργία ψύκτρας κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

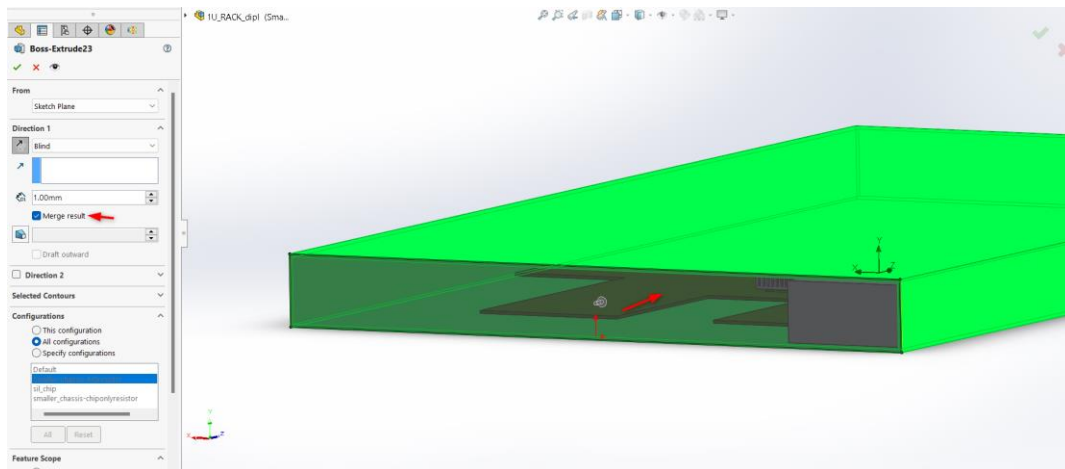
5.1.6 Εξωτερικό κάλυμμα μονάδας (Casing)

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 763mm
- Πλάτος: 438.50mm
- Ύψος: 43mm
- Υλικό: AISI 1020 χάλυβας ψυχρής έλασης (steel cold-rolled)

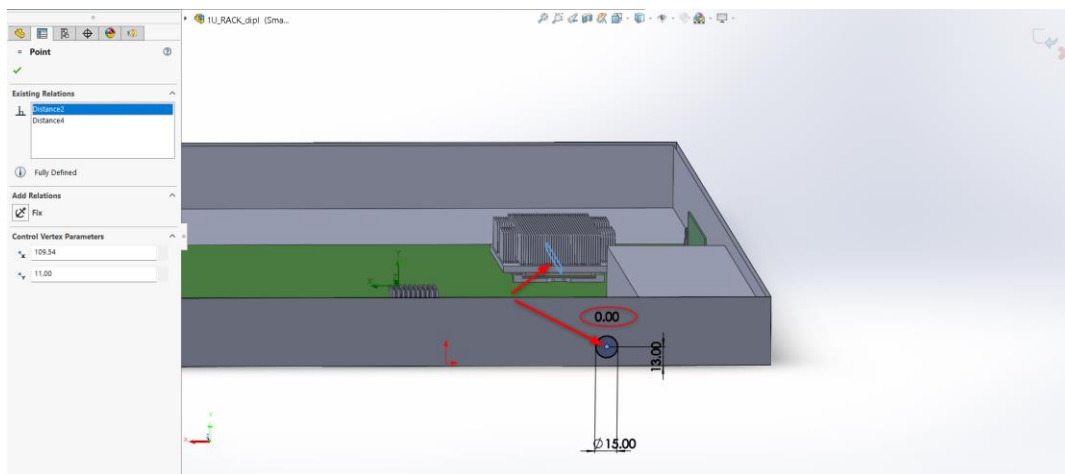
Για τον προσδιορισμό του εξωτερικού καλύμματος, σχεδιάζεται ένα ορθογώνιο με διαστάσεις $438.5 \times 43 \text{mm}^2$ όπου το κάτω ευθύγραμμο τμήμα του ορθογωνίου ανήκει στην ίδια ευθεία με την κατά μήκος πλευρά της κάτω πλευράς της μητρικής πλακέτας. Από την **Εικόνα 41** επιλέγεται το κάλυμμα να έχει πάχος 2mm προς τα έξω. Για το εμπρόσθιο και πίσω κάλυμμα του κουτιού σχεδιάζεται ένα ορθογώνιο εφαπτόμενο στο κενό της εισόδου-εξόδου και εξωθείται κατά 1mm προς τα μέσα. Η άνω επιφάνεια του καλύμματος έχει οριστεί ως διάφανη για την ευκολία εποπτείας της διάταξης των εξαρτημάτων στο εσωτερικό του.





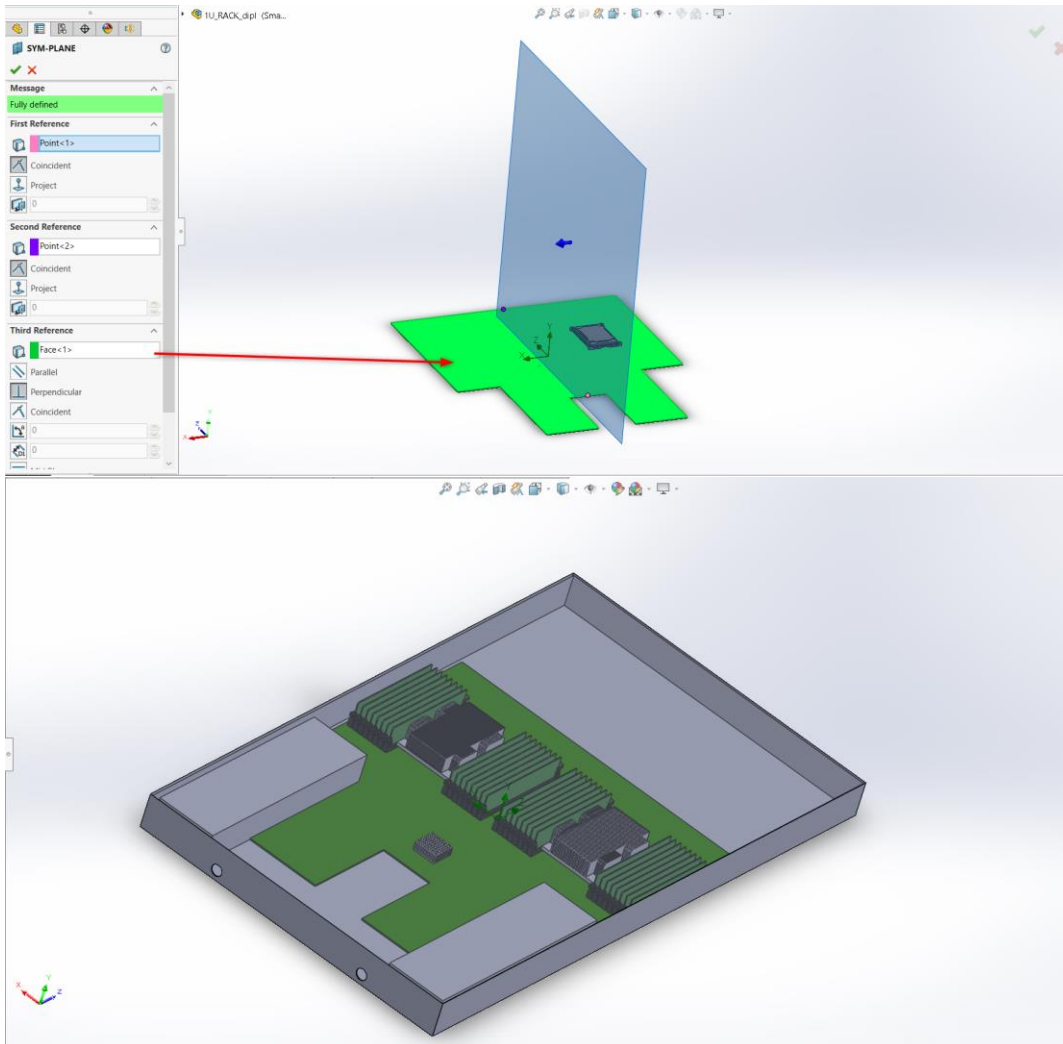
Εικόνα 41 Σχεδιασμός καλύμματος εξωτερικής μονάδας

Για την είσοδο-έξοδο του ρευστού στη διάταξη, απαιτείται η διάτρηση 4 οπών (2 είσοδοι-2 έξοδοι) πάνω στο εξωτερικό κάλυμμα. Βάση της **Εικόνα 42** η οπή έχει διάμετρο 15mm, απέχει 13mm από τη κάτω πλευρά και είναι ευθυγραμμισμένη με το συμμετρικό επίπεδο **right plane** της **Εικόνα 35** που διέρχεται από τη διάταξη της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, προσδίδοντας μηδενική απόσταση από το **smart dimension**.



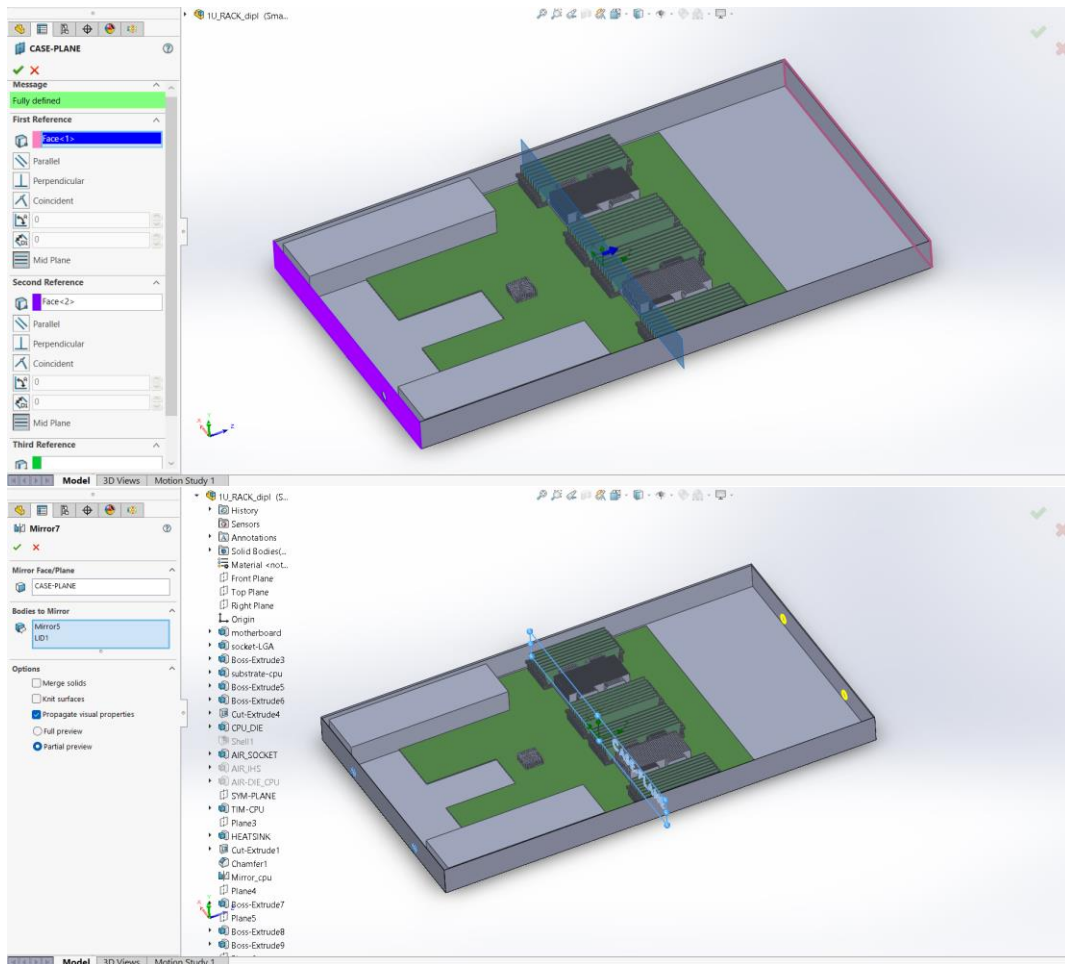
Εικόνα 42 Διαστασιολόγηση οπών εισόδου-εξόδου

Στη συνέχεια ορίζεται το συμμετρικό επίπεδο ως προς το z άξονα της μητρικής πλακέτας βάση του οποίου υλοποιείται η αντιγραφή όλων των επιμέρους κομματιών (ΚΜΕ, τροφοδοτικό, μνήμη τυχαίας προσπέλασης, οπής) στο δεξί μέρος της μητρικής πλακέτας (**Εικόνα 43**).



Εικόνα 43 Αντικατοπτρισμός στοιχείων στο δεξί μέρος της μητρικής πλακέτας

Για την διάνοιξη των οπών στη απέναντι πλευρά του εξωτερικού καλύμματος, δημιουργείται ένα επιπλέον επίπεδο σχεδίασης (**Εικόνα 44**) συμμετρικό ως προς το x άξονα του καλύμματος που θα χρησιμοποιηθεί με την εντολή **mirror entities** για την αντιγραφή των οπών στη απέναντι επιφάνεια εισόδου.



Εικόνα 44 Δημιουργία σπών εισόδου

5.1.7 Μονάδα δίσκου σταθερής κατάστασης (SSD)

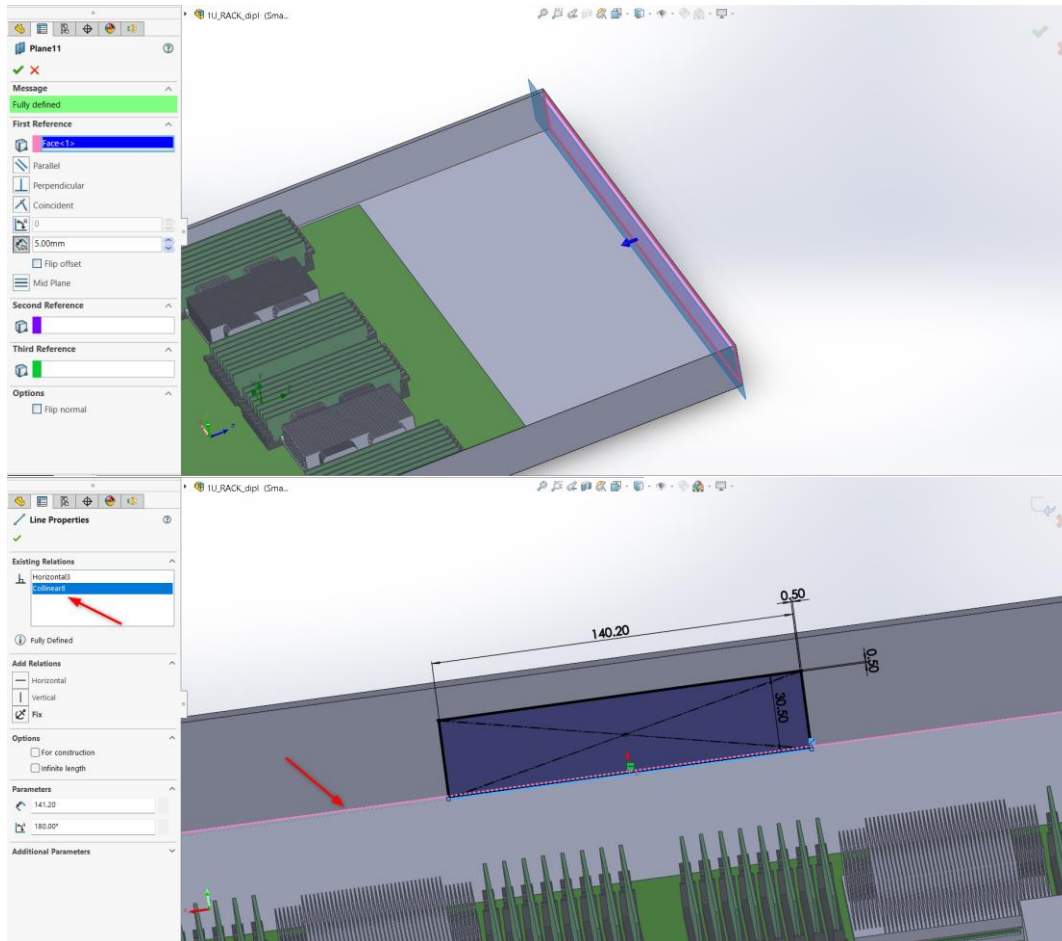
5.1.7.1 Θύρες υποδοχής δίσκου σταθερής κατάστασης

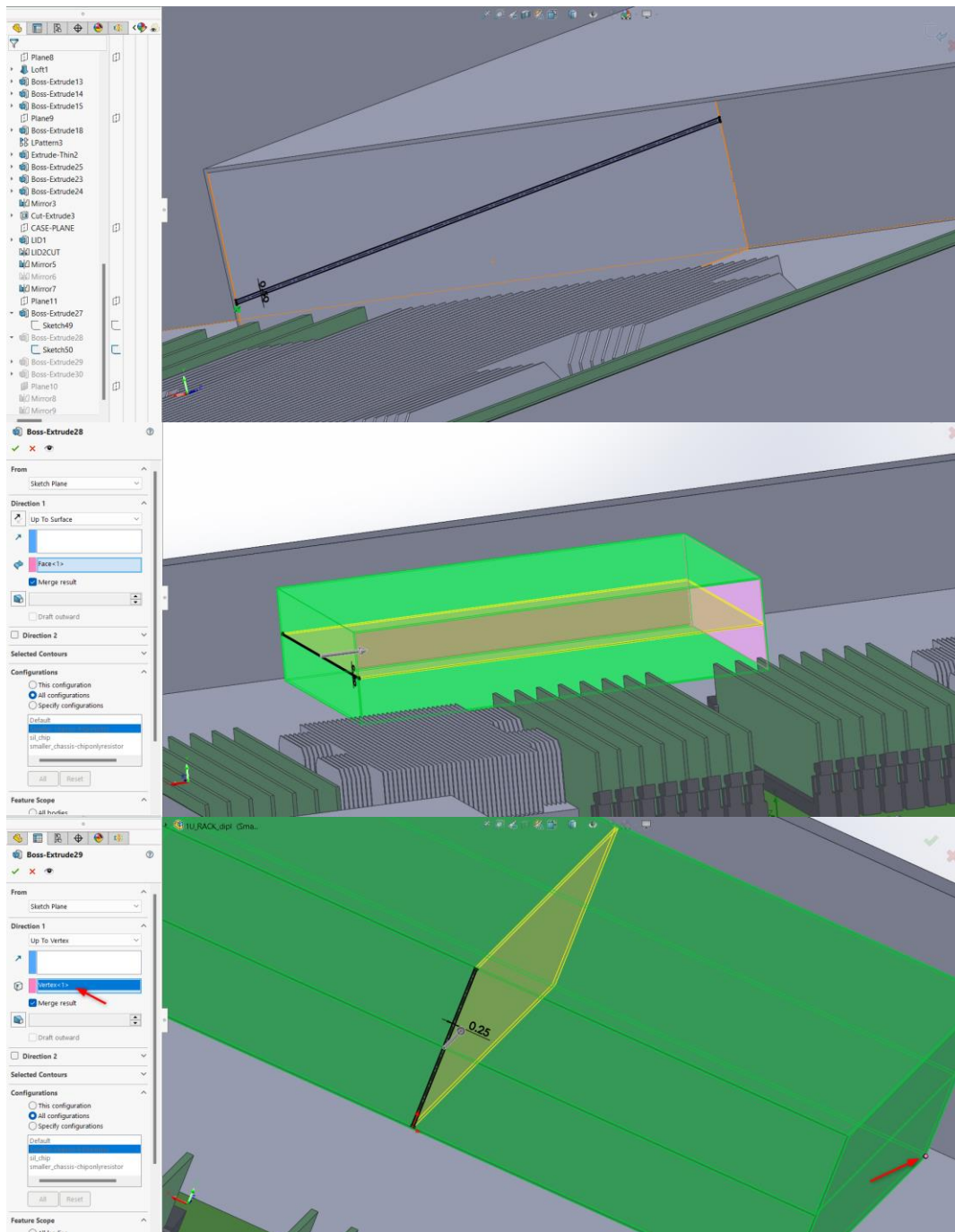
Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 100mm
- Πλάτος: 140.22mm
- Ύψος: 30.50mm
- Υλικό: AISI 1020 χάλυβας ψυχρής έλασης (steel cold-rolled)

Για λόγους ευκολίας σχεδιασμού και μετέπειτα πειραματισμού και βελτιστοποίησης, εφαρμόζεται ως επίπεδο σχεδίασης μια επιφάνεια παράλληλη με την άνω πλευρά του εξωτερικού καλύμματος και σε απόσταση 5mm από αυτήν. Πάνω σε αυτό σχεδιάζεται ένα

ορθογώνιο έλασμα με πάχος 0.5mm σε κάθε πλευρά και συμμετρικό ως προς την αρχή των αξόνων. Για πλήρη ορισμό του σχεδίου, επιβάλλεται η κάτω ακμή του ελάσματος να είναι συννευθιακή με αυτή της εισόδου του καλύμματος ώστε στη συνέχεια να εξωθηθεί κατά 100mm. Μετέπειτα απεικονίζονται σύμφωνα με την **Εικόνα 45**, τα διαχωριστικά ελάσματα των δίσκων σταθερής κατάστασης καθένα πάχους 0.5mm.





Εικόνα 45 Δημιουργία θύρας υποδοχής δίσκου σταθερής κατάστασης

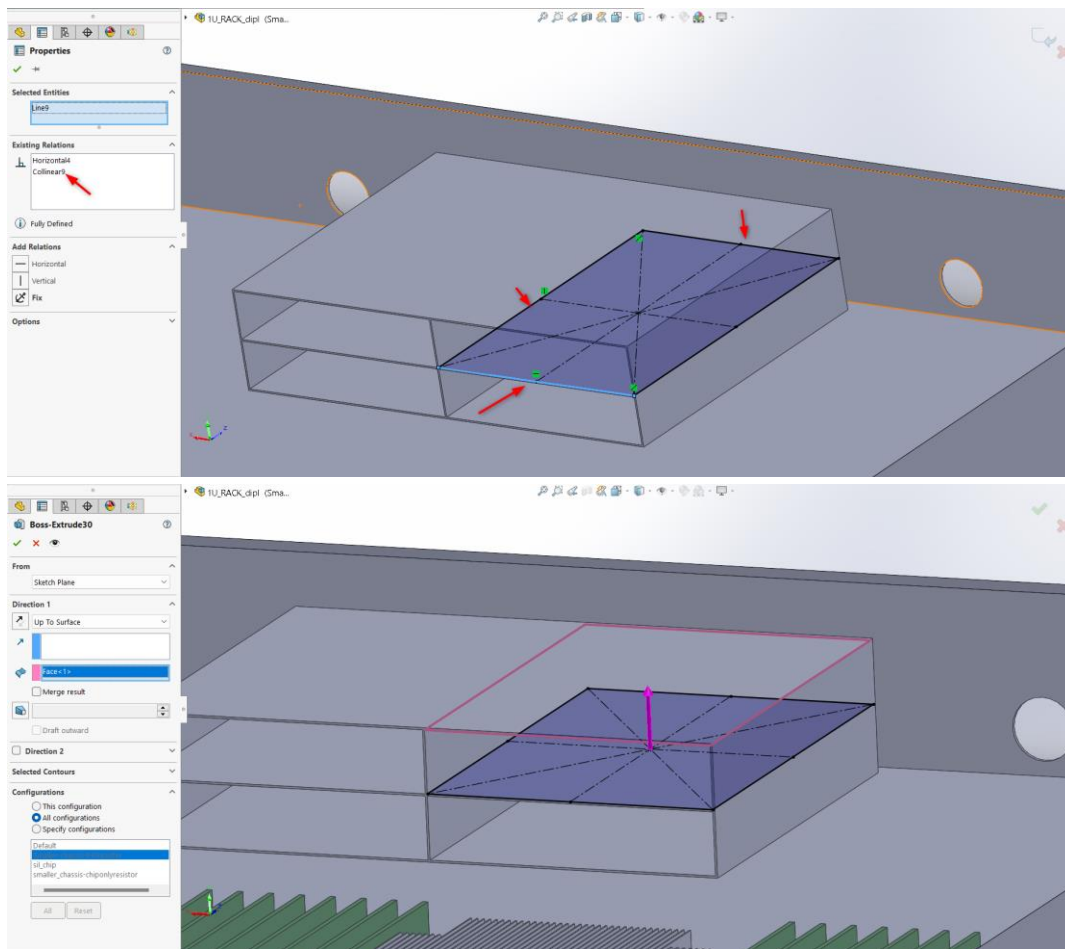
5.1.7.2 Δίσκος σταθερής κατάστασης

Βασικά χαρακτηριστικά :

- Μήκος: 69.85mm
- Πλάτος: 100mm

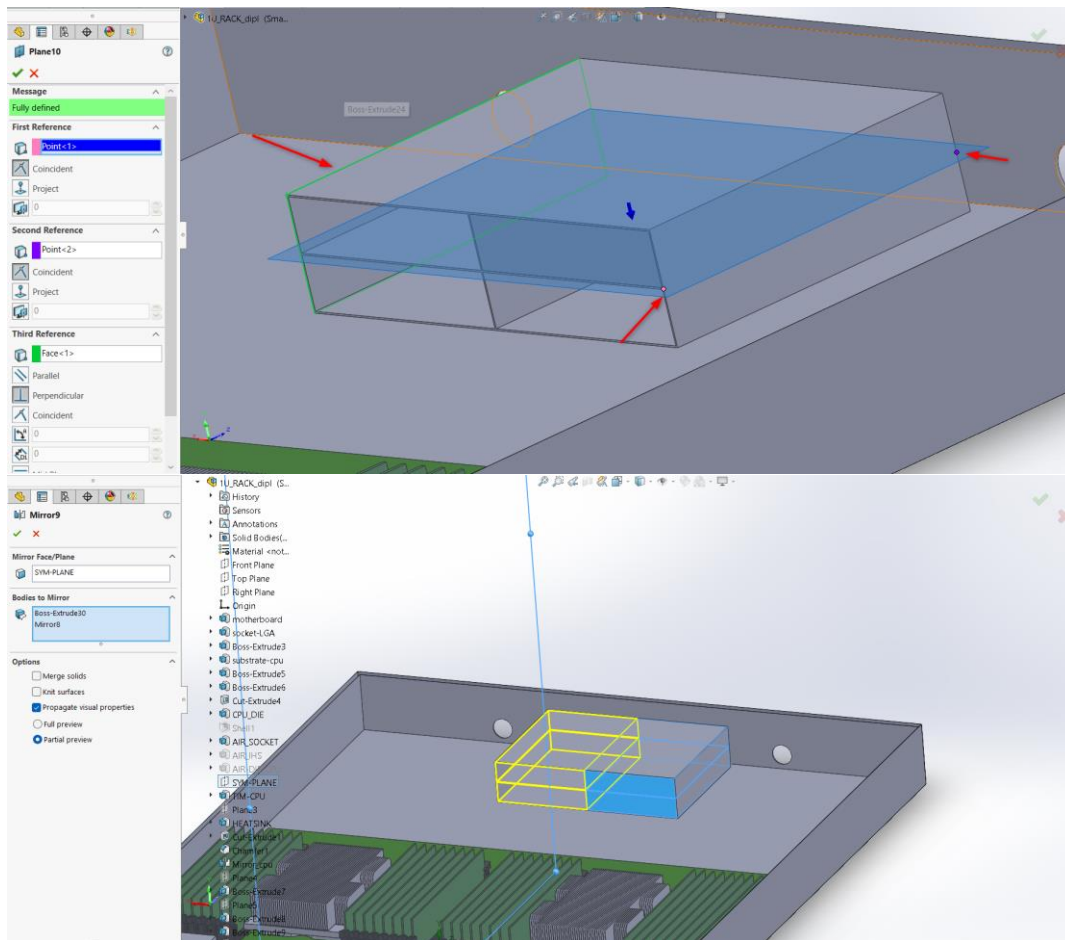
- Ύψος: 15mm
- Υλικό: Αλουμίνιο

Ομοίως με πριν με την εντολή **center rectangle**, δημιουργείται ένα σχέδιο στην πάνω επιφάνεια του ελάσματος με κέντρο ίδιο με αυτού και ακμές συνευθειακές με αυτές του ελάσματος. Με αυτό το τρόπο το ορθογώνιο καλύπτει όλη την εσωτερική επιφάνεια και ανυψώνεται κατά 15mm έως δηλαδή την αμέσως επόμενη επιφάνεια.

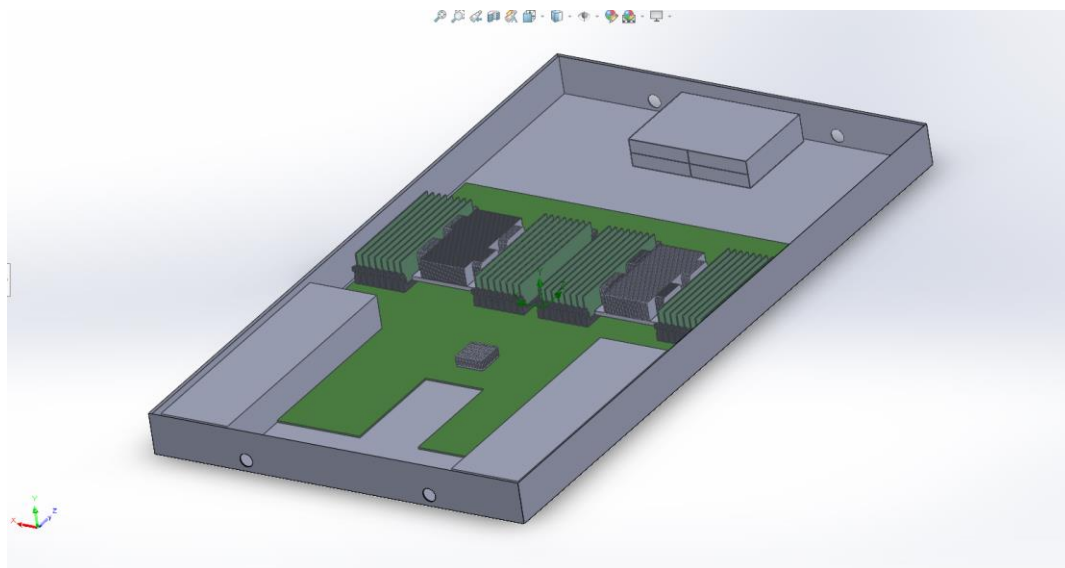


Εικόνα 46 Σχεδιασμός δίσκου σταθερής κατάστασης

Η ίδια διαδικασία δύναται να επαναληφθεί και για τις υπόλοιπες θύρες αλλιώς για εξοικονόμηση χρόνου δημιουργείται ένα νέο επίπεδο που διέρχεται οριζοντίως από το μέσον των θυρών υποδοχής ώστε με ένα **mirror entities** να αντιγραφεί η μονάδα δίσκου στο αποκάτω έλασμα και ύστερα από το επίπεδο της **Εικόνα 43** με όμοια μεθοδολογία να συμπληρωθούν οι υπόλοιποι δύο δίσκοι στη άλλη πλευρά.



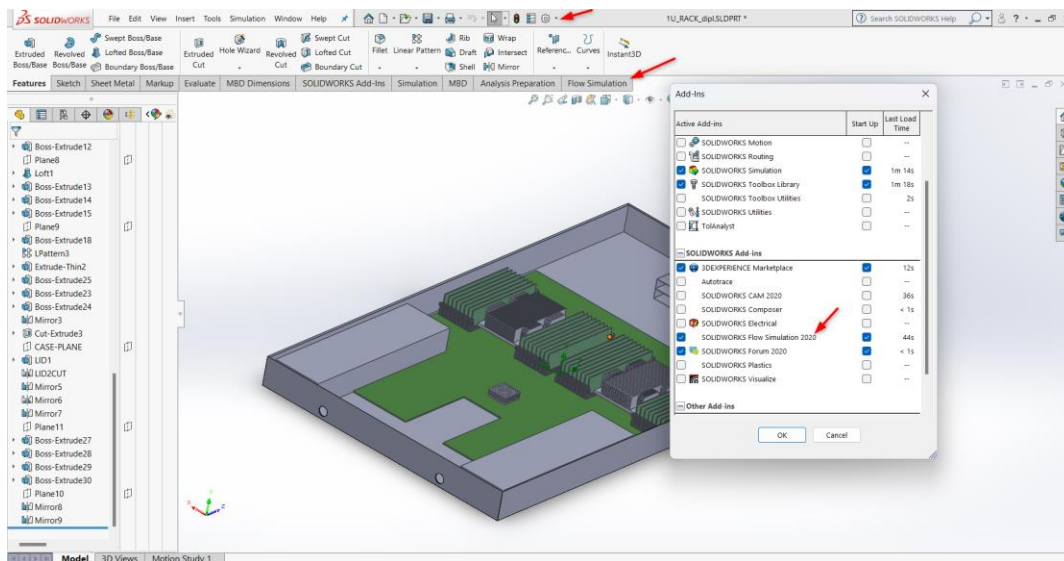
Εικόνα 47 Δημιουργία υπόλοιπων δίσκων σταθερής κατάστασης



Εικόνα 48 Τελικό τεμάχιο διακομιστή σε ράφι

6. Προσομοίωση

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί μια νέα καρτέλα στο περιβάλλον του Solidworks, το **Flow Simulation**. Πρόκειται για μια επιπρόσθετη λειτουργία του προγράμματος στην οποία μελετάται η συμπεριφορά ενός εργαζόμενου μέσου εντός μιας κοιλότητας τόσο σε ροϊκό όσο και σε θερμικό επίπεδο. Με άλλα λόγια αναλύεται η αλληλεπίδραση του ροϊκού μέσου με τα περιβάλλοντα στερεά λαμβάνοντας υπόψη την γεωμετρία και τις ιδιότητες του ρευστού. Για την ενεργοποίηση της καρτέλας **Flow Simulation** επιλέγεται από τις ρυθμίσεις (options → add-ins → **Flow Simulation**).



Εικόνα 49 Ενεργοποίηση λειτουργίας Flow Simulation

6.1 Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης

Προτού ξεκινήσει η διαδικασία καθορισμού της προσομοίωσης απαιτείται η εισαγωγή των θερμικών ιδιοτήτων όλων των υλικών που επιλέγονται για τα σώματα όσο και το ρευστό που θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό το βήμα ακολουθείται μόνο στη περίπτωση που η βιβλιοθήκη του προγράμματος δεν περιέχει τα υλικά και το επιθυμητό ρευστό. Μέσα από την **Εικόνα 51** περιγράφεται η όλη διαδικασία.

6.1.1 Υλικά στερεών σωμάτων

ΥΛΙΚΟ	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ [W/mK]	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ [kg/m ³]	ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ [J/kgK]	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ [Ohm*m]
PCM45F	2.5	2200	1	8.2E+12
T710	1.34	1150	1	1E+12
Nickel plated	29.2	8940	380	3.75E-7
Vectra E840i	0.3	1797	1200	2E+14
UL-Nylon 94V-0	0.49	1360	1700	1E+14
AISI 1020 Steel cold rolled	51.9	7870	486	1.59E-7
Aluminum 6063 T5	208.9	2700	900	3.15E-8

Πίνακας 1 Θερμικές ιδιότητες υλικών

Οι ιδιότητες των θερμικών υλικών διεπιφάνειας T710 και PCM45F λήφθηκαν από τα αρχεία των κατασκευαστών [15], [16], ομοίως το επιμεταλλωμένο νικέλιο [17], [18] ενώ τα υπόλοιπα από την πλατφόρμα matweb [19]. Τα εναπομείναντα υλικά που αναφέρθηκαν στο στάδιο σχεδιασμού, εντοπίζονται προ-εγκατεστημένα στη βιβλιοθήκη του Solidworks κατά κύριο λόγο σε μορφή πίνακα συναρτήσεως της θερμοκρασίας (**Εικόνα 52**).

6.1.2 Πηγές θερμότητας συστήματος

Ύστερα στο **Πίνακας 2** αναφέρονται τα ποσά θερμότητας των πηγών του συστήματος όπου το ρευστό κλίνεται να παραλάβει. Εκτός από το τροφοδοτικό οι τιμές θερμότητας για τα υπόλοιπα εξαρτήματα παρέχονται απευθείας από τους κατασκευαστές [7], [10], [20], [21]. Για το τροφοδοτικό παρέχεται ο βαθμός απόδοσης ίσος με 94.14% για πλήρες φορτίο και τα εξερχόμενα 1300W που παρέχονται στο σύστημα άρα ισχύει ότι:

$$n = \frac{W_{out}}{W_{in}} \rightarrow W_{in} = \frac{1300}{0.9414} = 1379.9 \text{ W}$$

$$Q_{heat} = W_{in} - W_{out} = 79.9 \text{ W}$$

ΕΞΑΡΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ [W]
ΤΣΙΠ ΚΜΕ	165
ΜΝΗΜΗ ΤΥΧΑΙΑΣ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ	9
ΔΙΣΚΟΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	11
ΤΣΙΠ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ	11
ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ	79.90

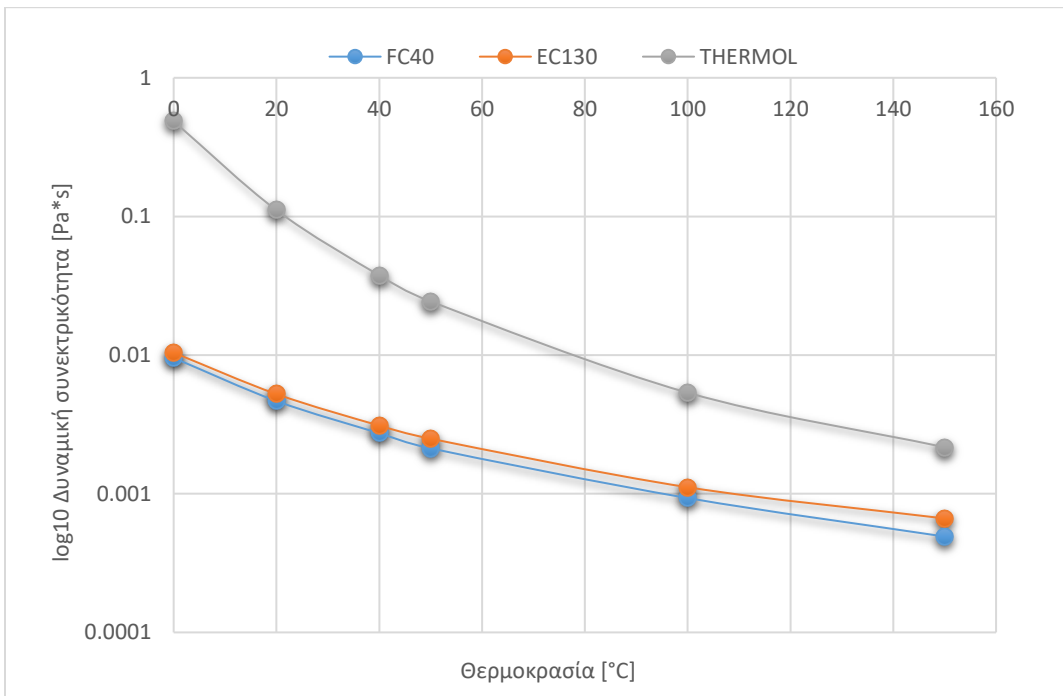
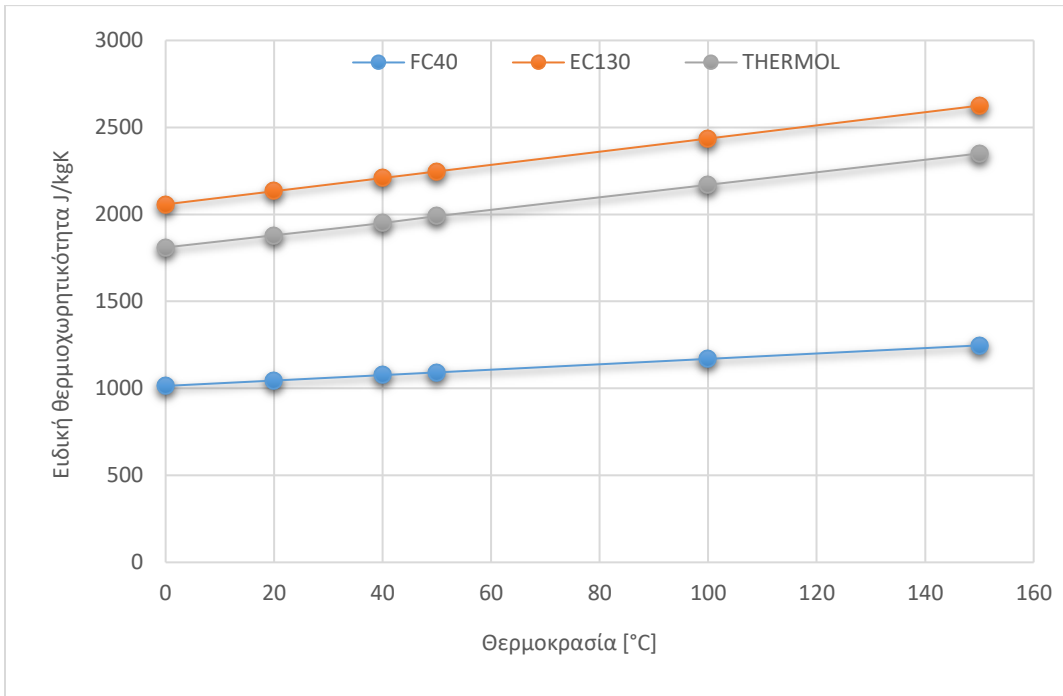
Πίνακας 2 Θερμότητα αποβολής στοιχείων

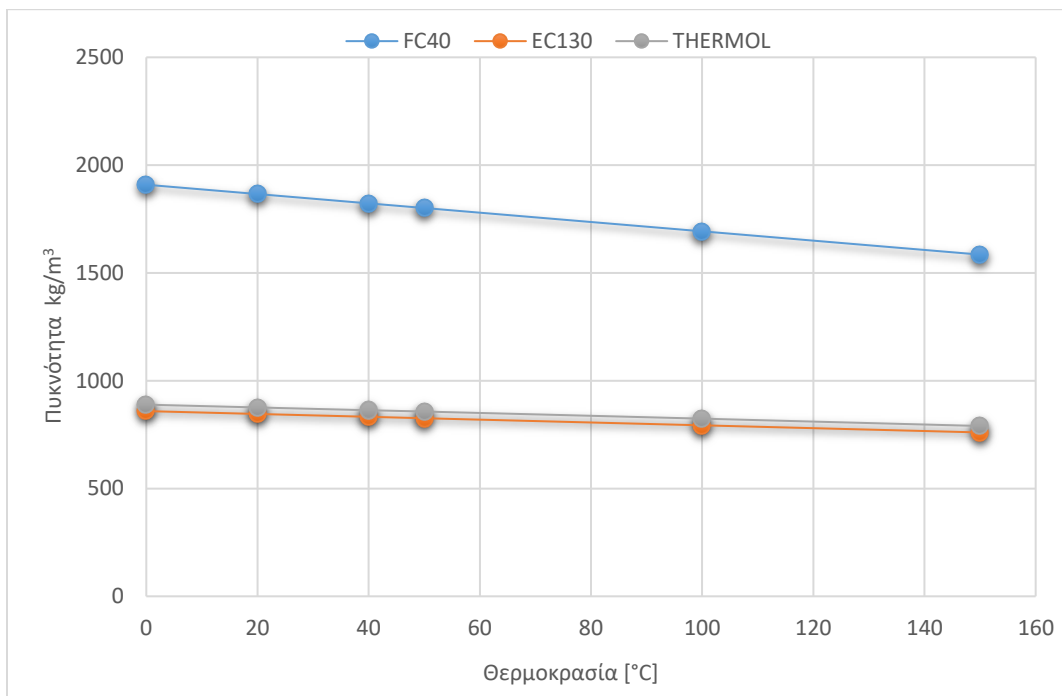
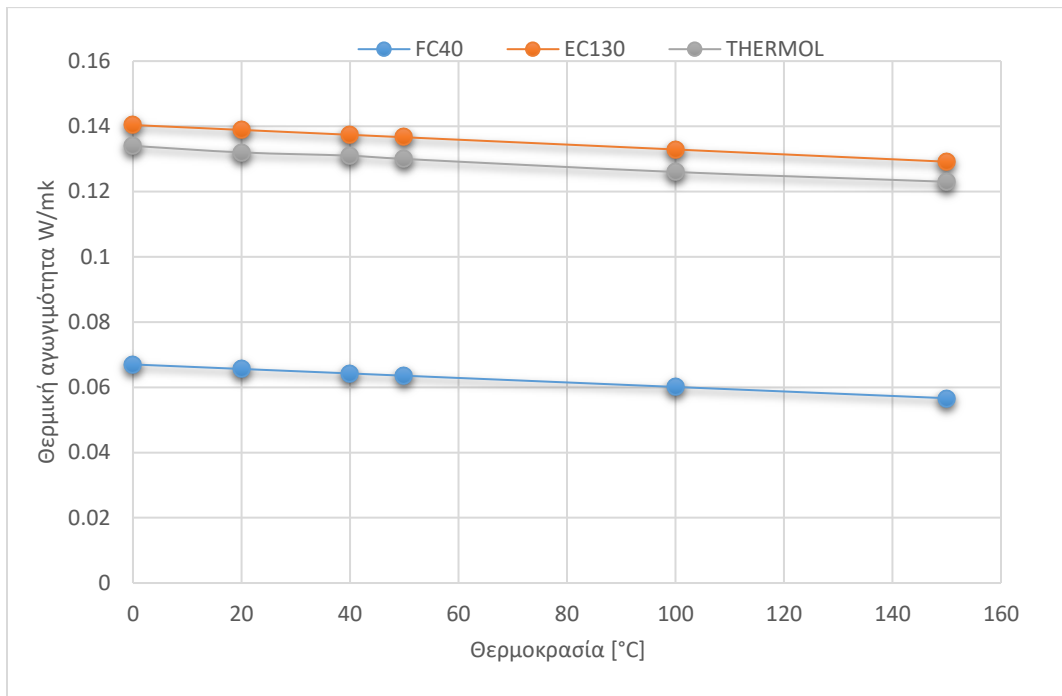
6.1.3 Σύγκριση μελετώμενων ρευστών προσομοίωσης

Όσον αφορά το εργαζόμενο μέσο μελετώνται και συγκρίνονται τρία διαφορετικά ρευστά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ψύξης με εμφάνιση των κέντρων δεδομένων [6], [22]. Αναλυτικότερα είναι το ορυκτέλαιο της MOL [23], το περφλουοριωμένο υγρό Fluorinert FC-40 της εταιρείας 3M [24] και το συνθετικό λάδι EC-130 [25]. Και τα τρία ρευστά είναι διηλεκτρικά, δηλαδή δεν είναι αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα στο σύστημα των ηλεκτρονικών. Κάθε ένα ρευστό παρουσιάζει διαφορετικές θερμικές ιδιότητες σύμφωνα με το Πίνακας 3 ωστόσο όλα τα εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα σε σχέση με το συμβατικό σύστημα ψύξης του αέρα συνεπώς μπορούν να ανταλλάσσουν πολύ μεγαλύτερα ποσά θερμότητας με μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας τους. Ακόμα λόγω του υψηλού σημείου βρασμού τους κρίνονται κατάλληλα για τέτοιου είδους εφαρμογές καθώς αποτρέπεται η εξάτμιση τους. Από περιβαλλοντικής άποψης το υγρό EC-130 είναι 98% βιοδιασπώμενο, μη τοξικό, μη αλογενή, και 100% ασφαλές για το όζον. Επιπλέον, η χρήση και η κατασκευή των διηλεκτρικών ψυκτικών υγρών ElectroCool δεν απελευθερώνει τοξικά απόβλητα ή ατμούς στο χώρο εργασίας ή στο περιβάλλον, καθιστώντας τα ψυκτικά υγρά εύκολα στη μεταφορά, τη χρήση και τον καθαρισμό. Από την άλλη το υγρό FC-40 είναι μη-εύφλεκτο, μη-διαβρωτικό, με χαμηλή τοξικότητα, υψηλής καθαρότητας και καλής συμβατότητας με τα υλικά. Όμως ως περφλουοριωμένη ένωση (PFC) αν και έχει μηδενική επιβάρυνση στο όζον, έχει υψηλή δυνατότητα πρόκλησης του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP) και μακρά διάρκεια παραμονής στην ατμόσφαιρα. Στον αντίποδα το ορυκτέλαιο παρόλο που είναι μη τοξικό, δεν είναι πλήρως βιοδιασπώμενο και η απόθεση του έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον αν δεν πραγματοποιηθεί υπό αυστηρές προδιαγραφές. Ομοίως για ορισμένα μέταλλα και πλαστικά το ορυκτέλαιο είναι μη συμβατό και οδηγεί στην αστοχία τους ενώ η υψηλή συνεκτικότητα του αποτελεί ένα επιπρόσθετο μειονέκτημα.

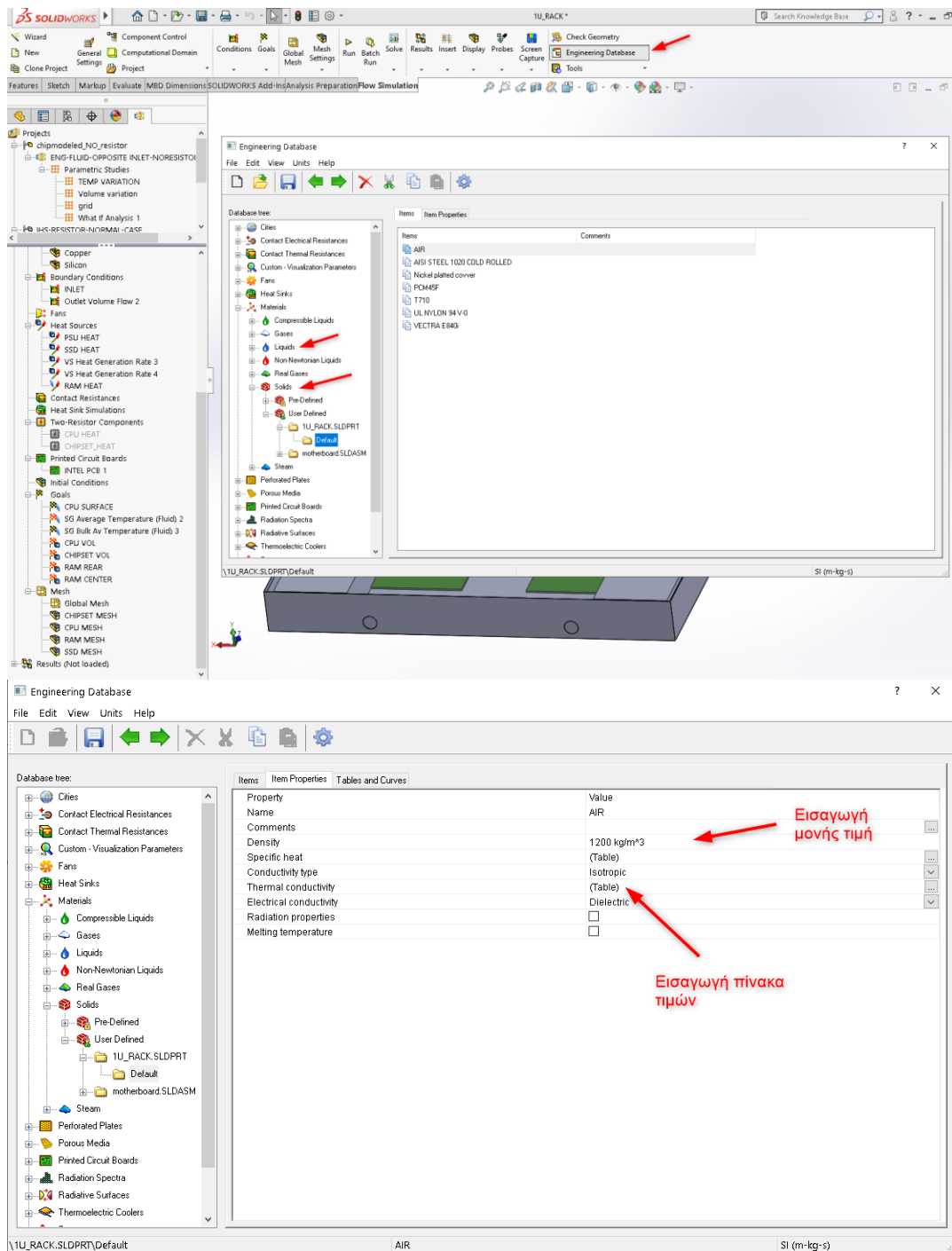
Θερμοκρασία [°C]	Δυναμική συνεκτικότητα [Pa*s]	Πυκνότητα kg/m ³	Ειδική θερμική χωρητικότητα J/kgK	Θερμική αγωγιμότητα W/mk
0	0.48602	889.00	1810.00	0.1340
20	0.11093	876.00	1880.00	0.1320
40	0.03763	863.00	1950.00	0.1310
50	0.02438	857.00	1990.00	0.1300
100	0.00536	824.00	2170.00	0.1260
150	0.00216	790.00	2350.00	0.1230
Θερμοκρασία [°C]	FC40			
0	0.00955	1909.00	1014.00	0.0670
20	0.00466	1865.80	1045.08	0.0656
40	0.00273	1822.60	1076.16	0.0642
50	0.00213	1801.00	1091.70	0.0636
100	0.00093	1693.00	1169.40	0.0601
150	0.00049	1585.00	1247.10	0.0567
Θερμοκρασία [°C]	EC130			
0	0.01041	859.06	2057.67	0.1404
20	0.00524	845.86	2133.33	0.1389
40	0.00310	832.66	2209.00	0.1374
50	0.00249	826.06	2246.83	0.1367
100	0.00111	793.06	2436.00	0.1329
150	0.00066	760.06	2625.17	0.1292

Πίνακας 3 Ιδιότητες εργαζόμενων μέσων

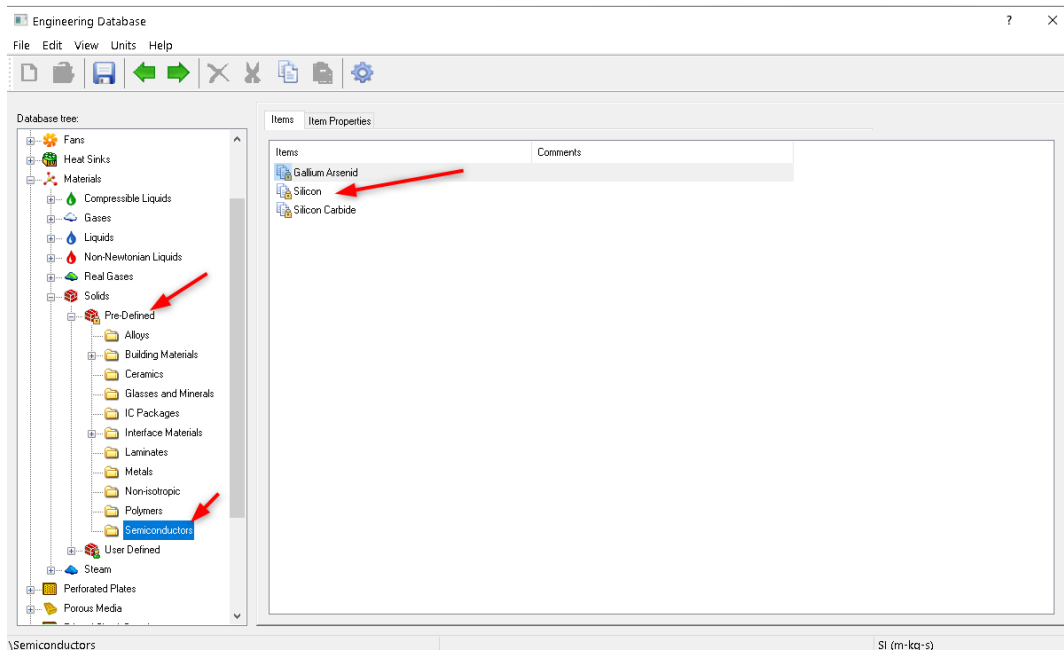




Εικόνα 50 Ιδιότητες εργαζόμενων μέσων



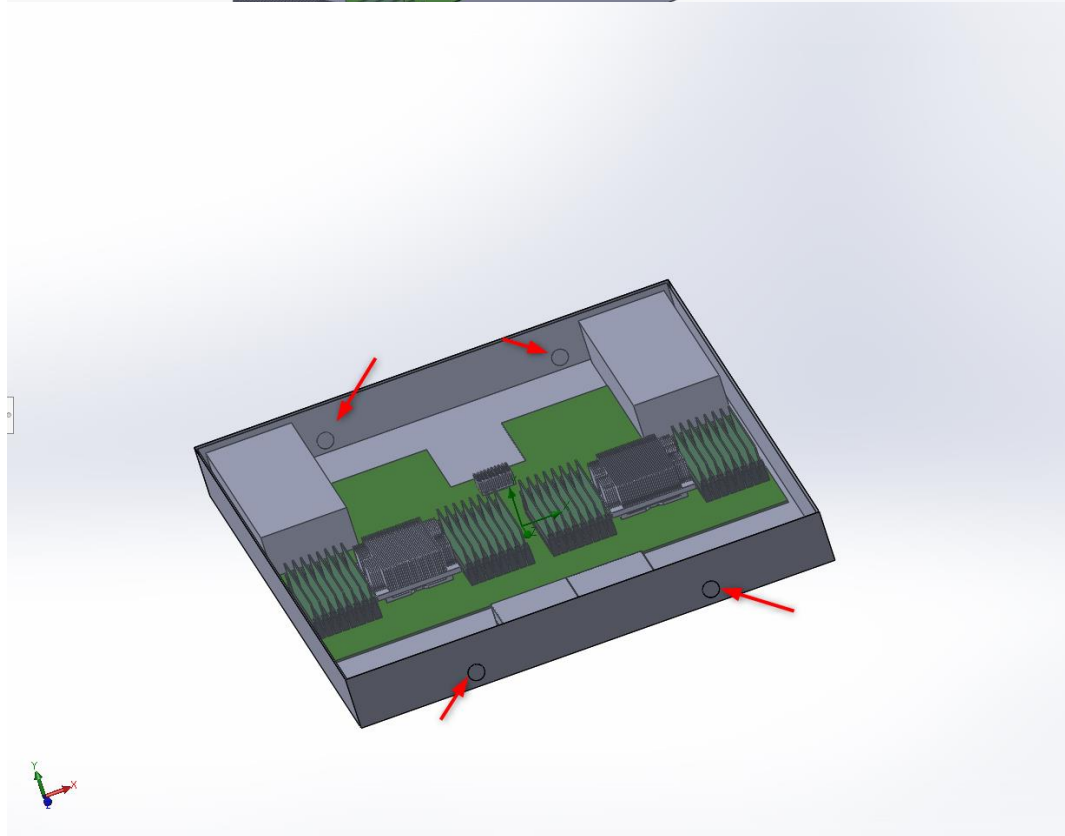
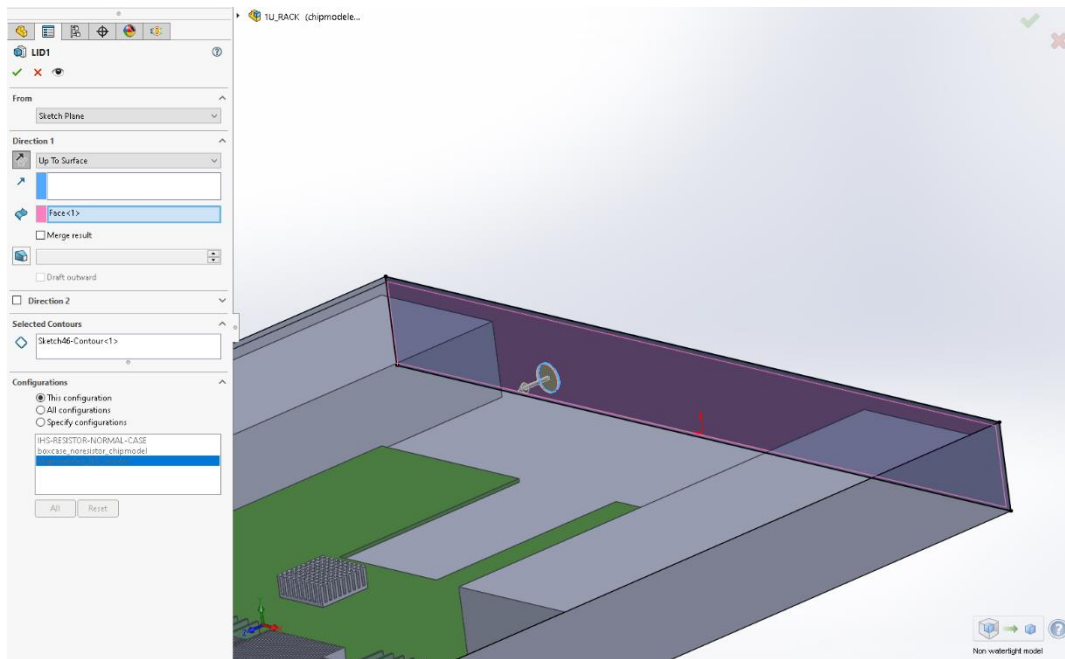
Εικόνα 51 Εισαγωγή ιδιοτήτων ρευστού και στερεών υλικών



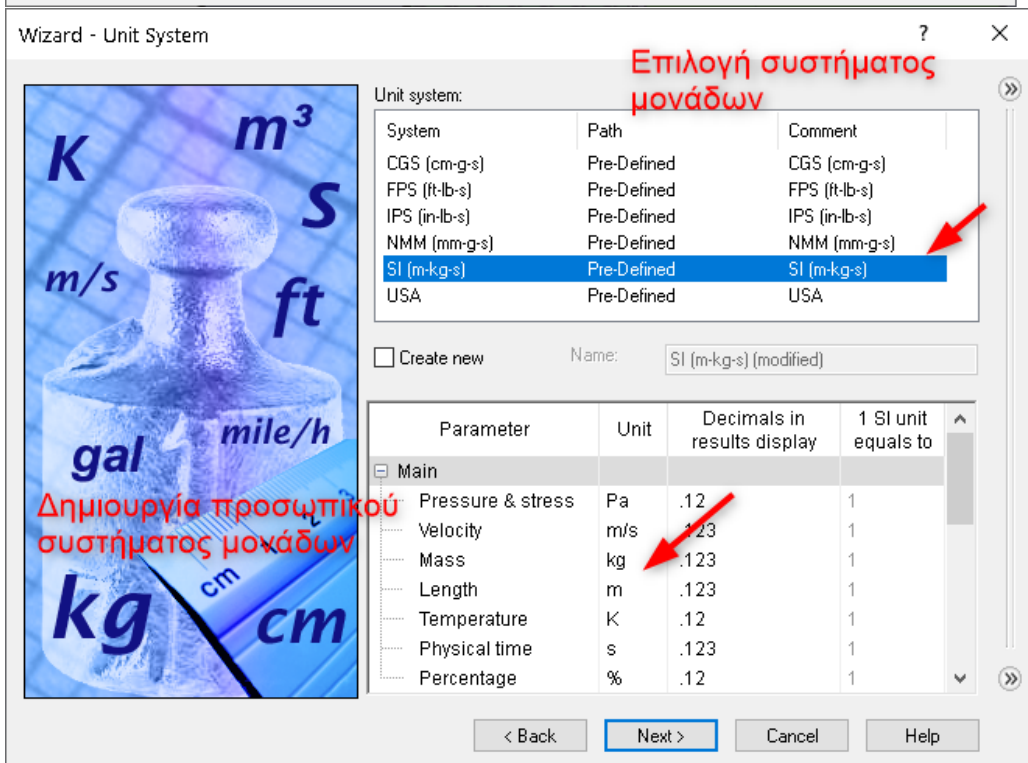
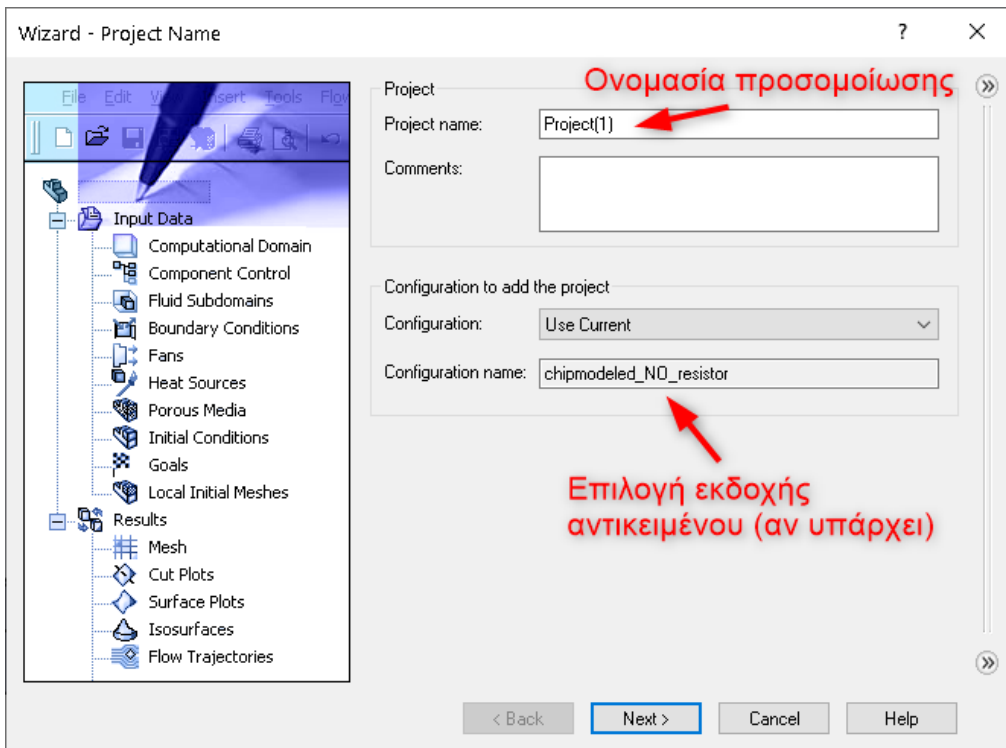
Εικόνα 52 Προ-εγκατεστημένα στερεά βιβλιοθήκης Solidworks

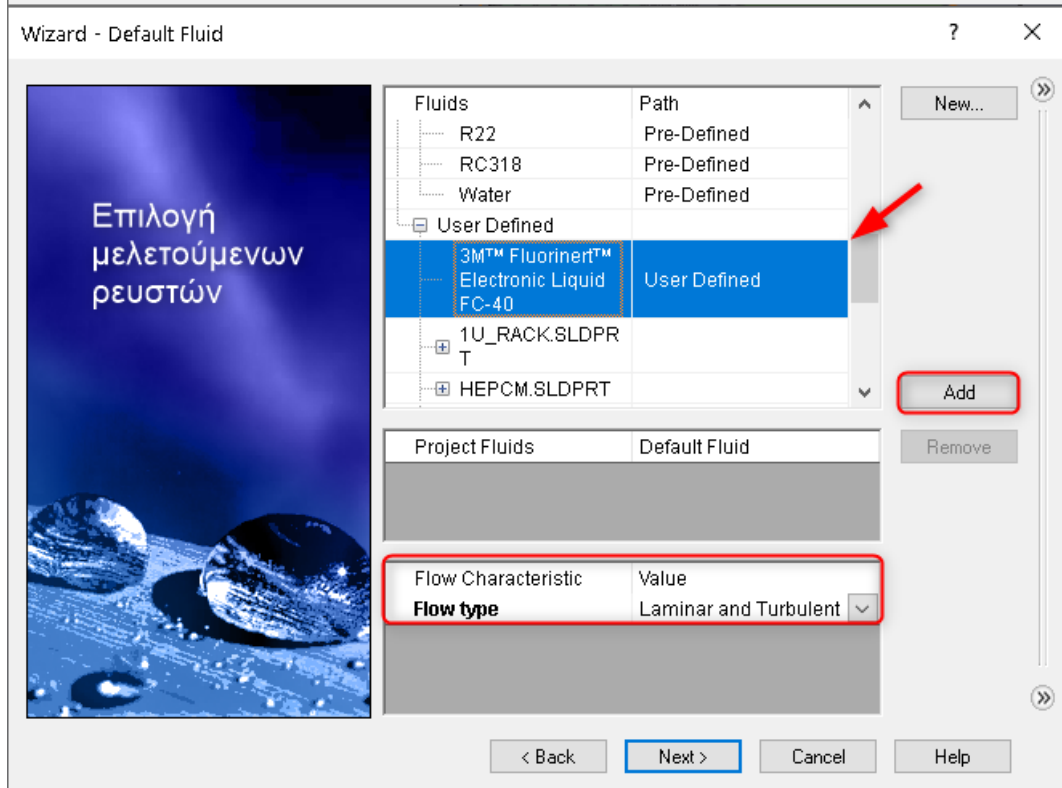
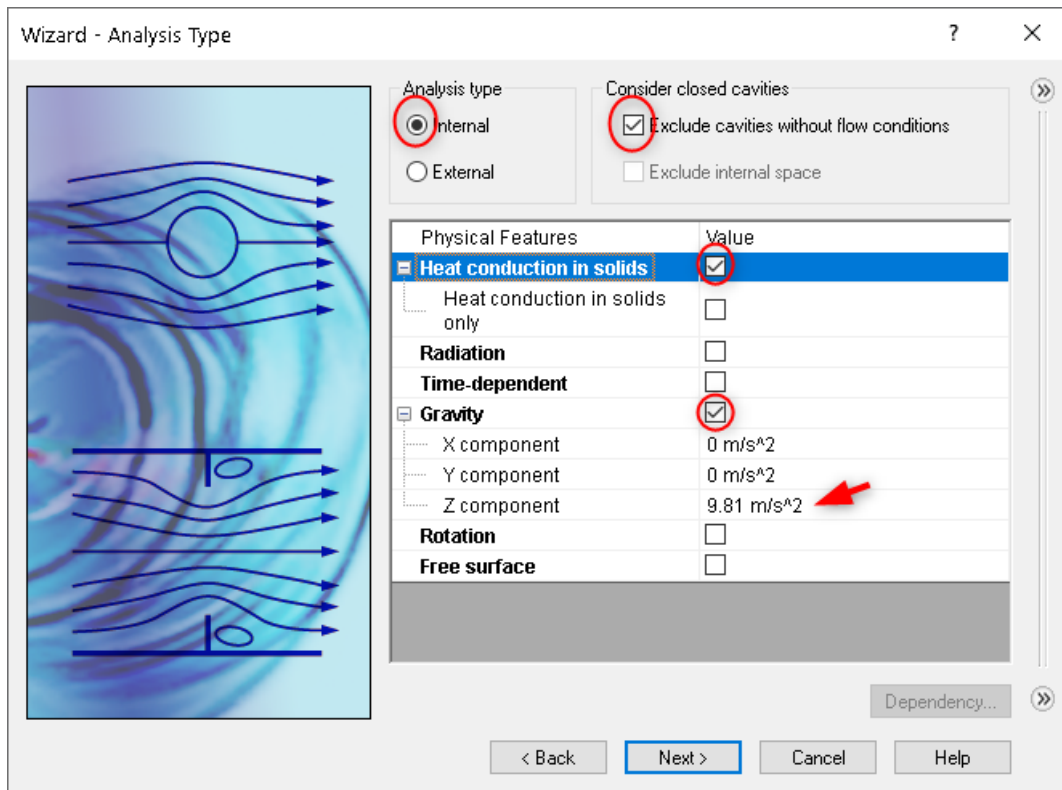
6.2 Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης

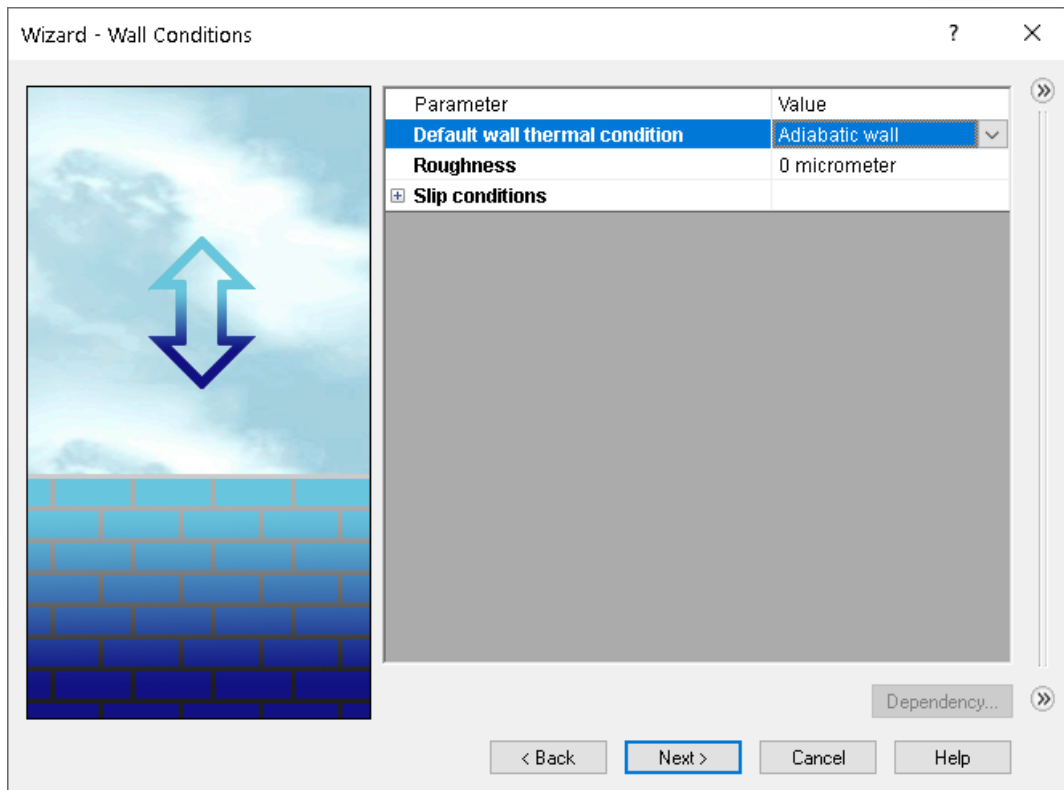
Απαραίτητη προϋπόθεση για εκκίνηση της προσομοίωσης είναι η στεγανοποίηση δηλαδή το κλείσιμο όλων των ανοιχτών οπών του τεμαχίου. Για αυτό το λόγο δημιουργούνται τέσσερις τάπες διαμέτρου και πάχους όσο είναι οι οπές. Επομένως σύμφωνα με την **Εικόνα 53** κατά τα γνωστά με την εντολή **convert entities** από το βήμα διάνοιξης των οπών και με **extruded boss** έως την μέσα επιφάνεια του καλύμματος εισόδου-εξόδου. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες οπές. Ύστερα δημιουργείται η νέα εργασία προσομοίωσης της ροής επιλέγοντας την εντολή **wizard**, συμπληρώνοντας τα πεδία βάση της **Εικόνα 54**.

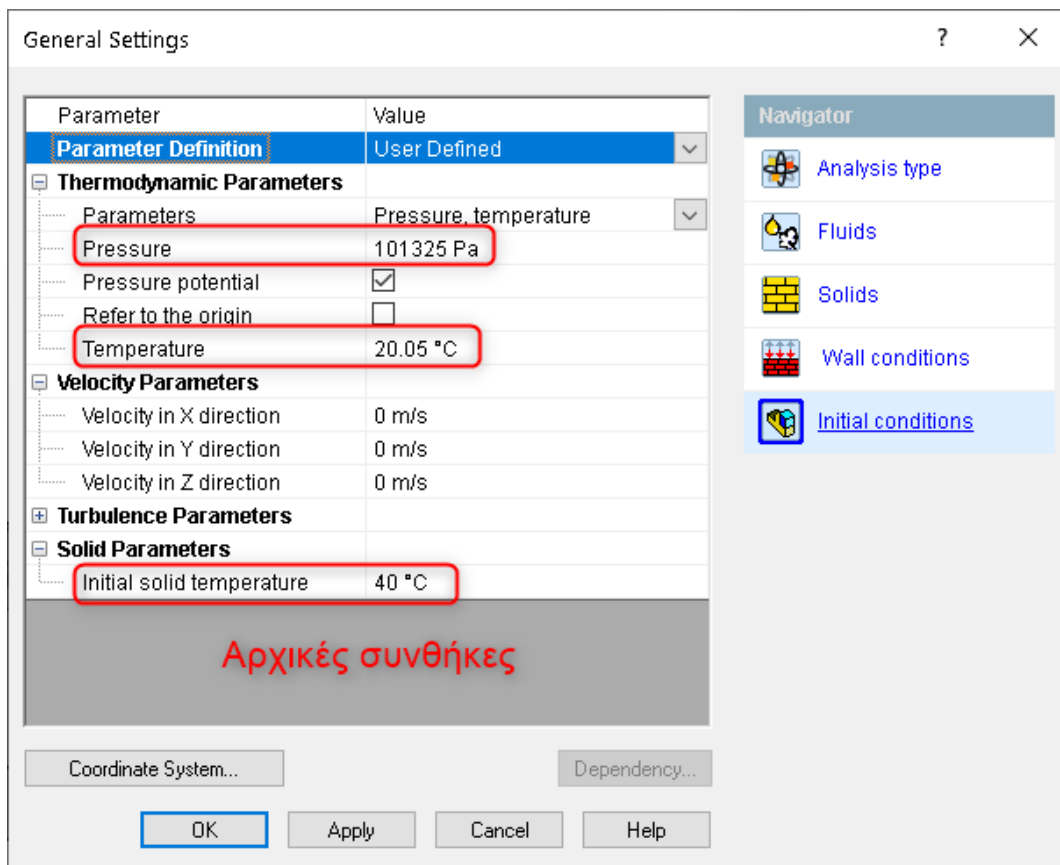


Εικόνα 53 Στεγανοποίηση τεμαχίου





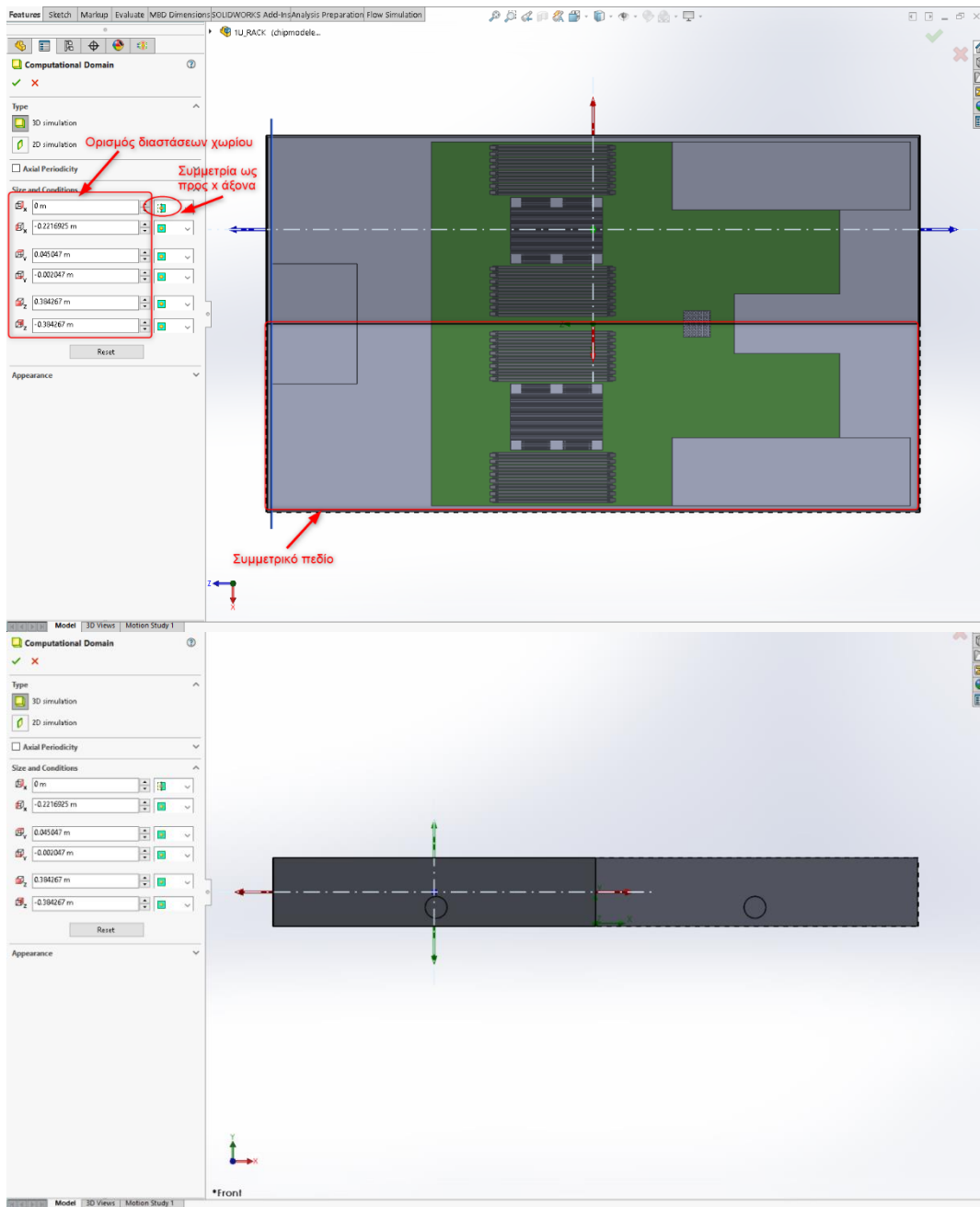




Εικόνα 54 Αρχικές παράμετροι προσομοίωσης

6.3 Ορισμός υπολογιστικού χωρίου

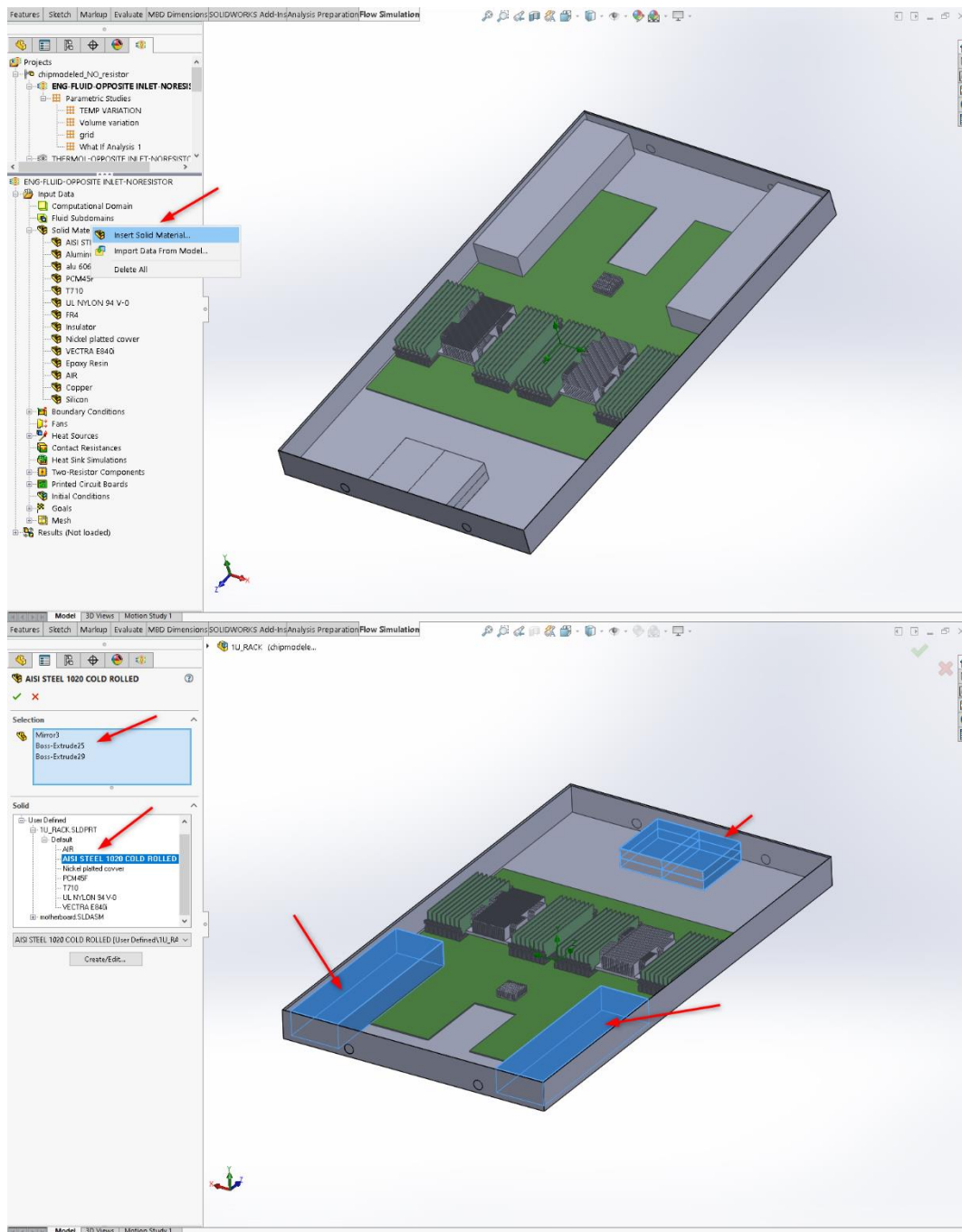
Αφότου έχουν ορισθεί οι αρχικοί παράμετροι σχεδίασης, απαιτείται να προσδιορισθεί το υπολογιστικό χωρίο στο οποίο το πρόγραμμα επιλύει το πρόβλημα. Επειδή ο σχεδιασμός όλου του διακομιστή είναι συμμετρικός ως προς το x άξονα τόσο στη τοποθέτηση των αντικειμένων όσο και στη ροή, χρησιμοποιείται η επιλογή **symmetry** από της καρτέλα Computational Domain σύμφωνα με την **Εικόνα 55** ενώ τα μήκη για τους υπόλοιπους άξονες ορίζονται έτσι ώστε να καλύπτουν πλήρως όλα τα μέρη του διακομιστή. Αξιοποιώντας αυτή την ιδιότητα, ο υπολογιστικός χρόνος μειώνεται στο ήμισυ και τα αποτελέσματα της μίας πλευράς θα είναι ταυτόσημα με αυτά της συμμετρικής.

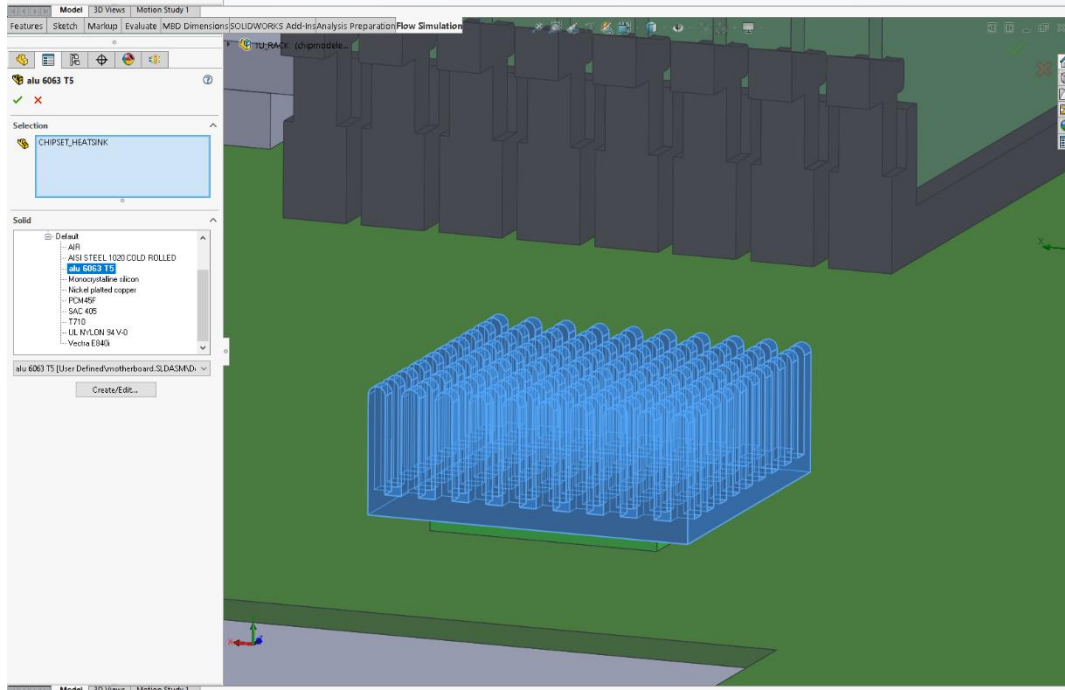
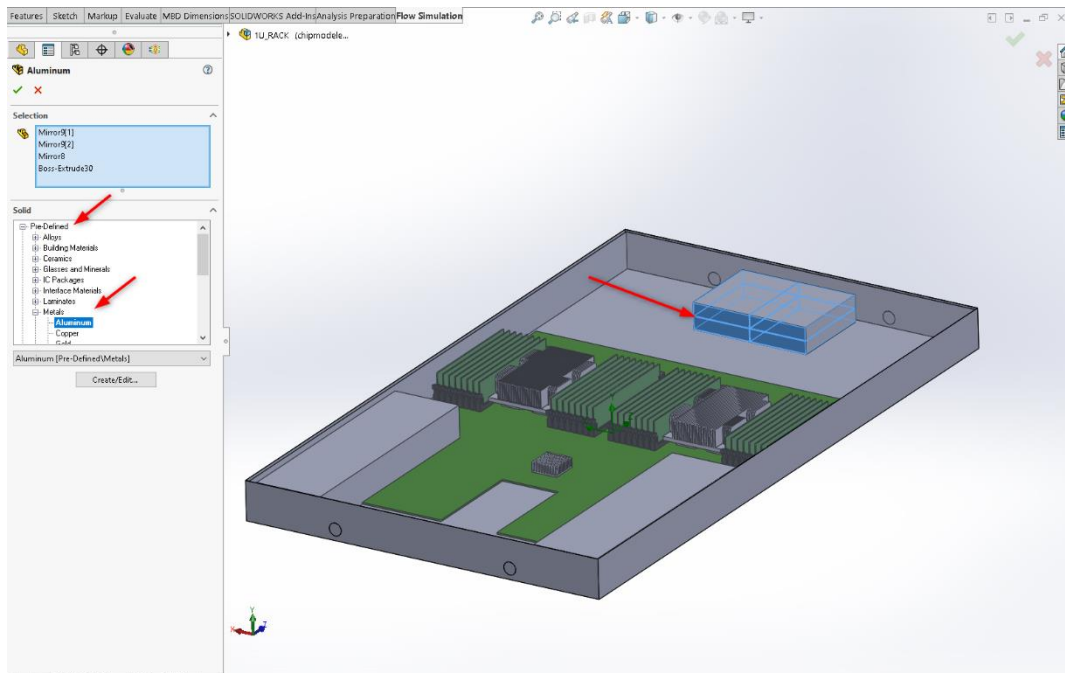


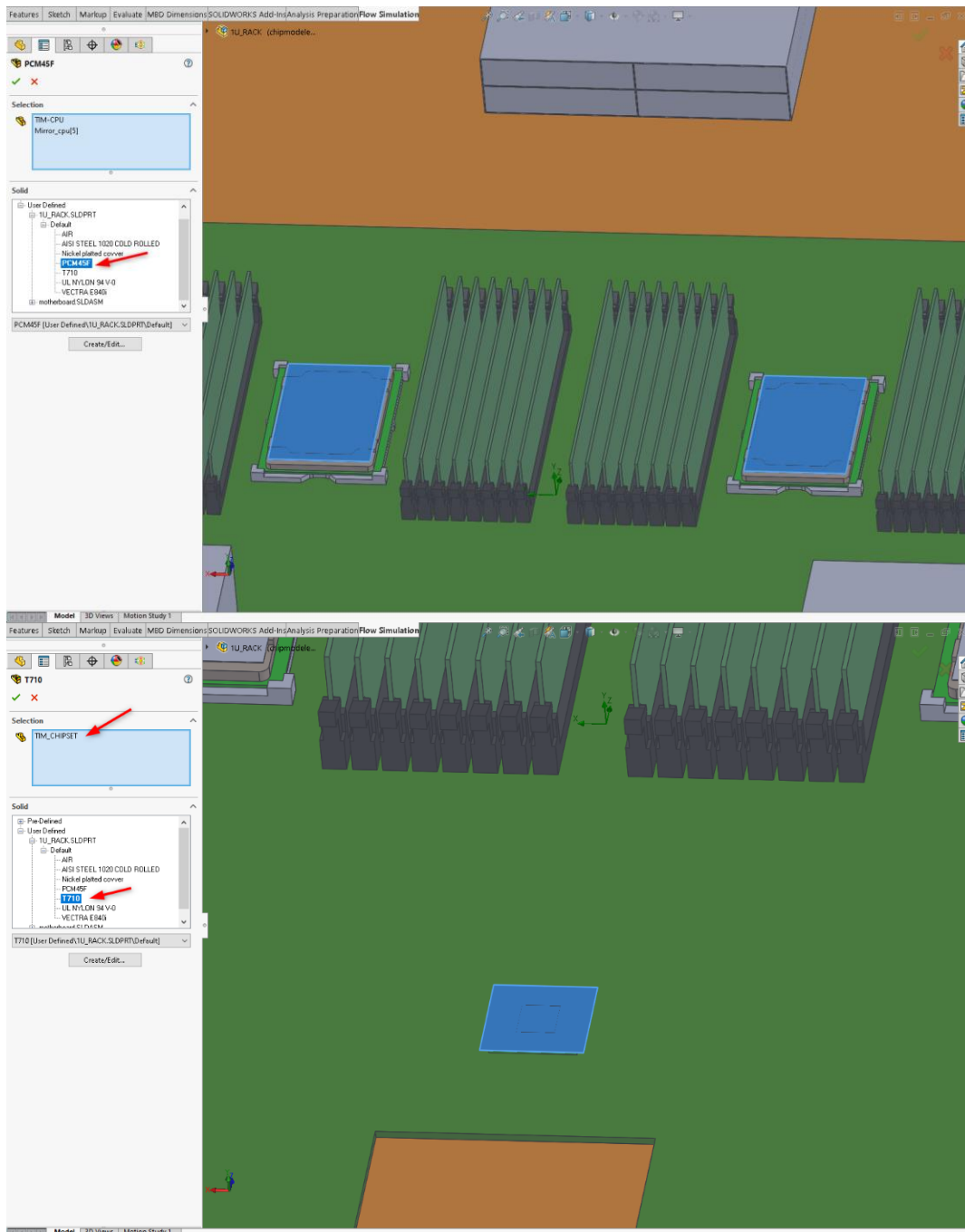
Εικόνα 55 Οριοθέτηση υπολογιστικού χωρίου

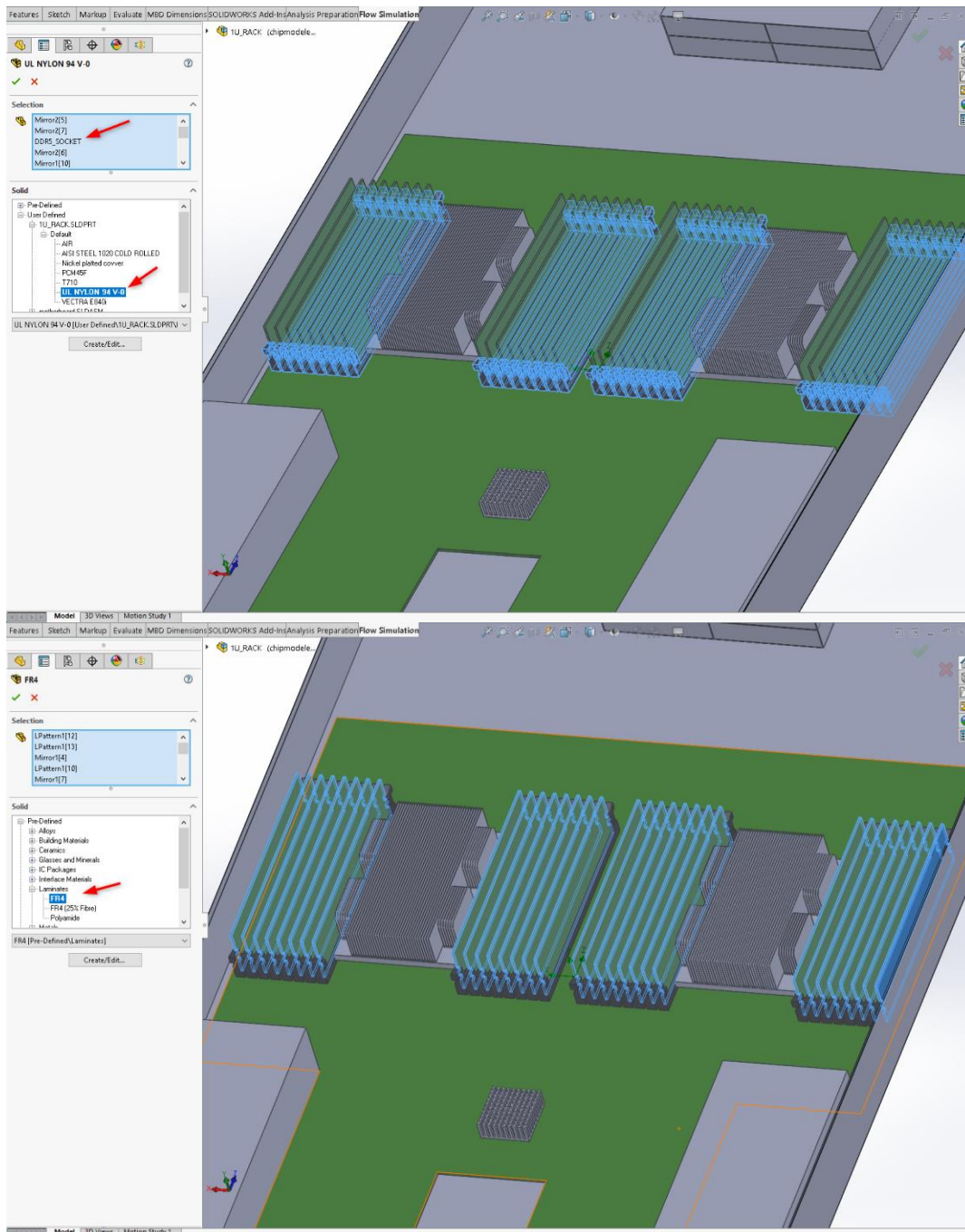
6.4 Ορισμός υλικών

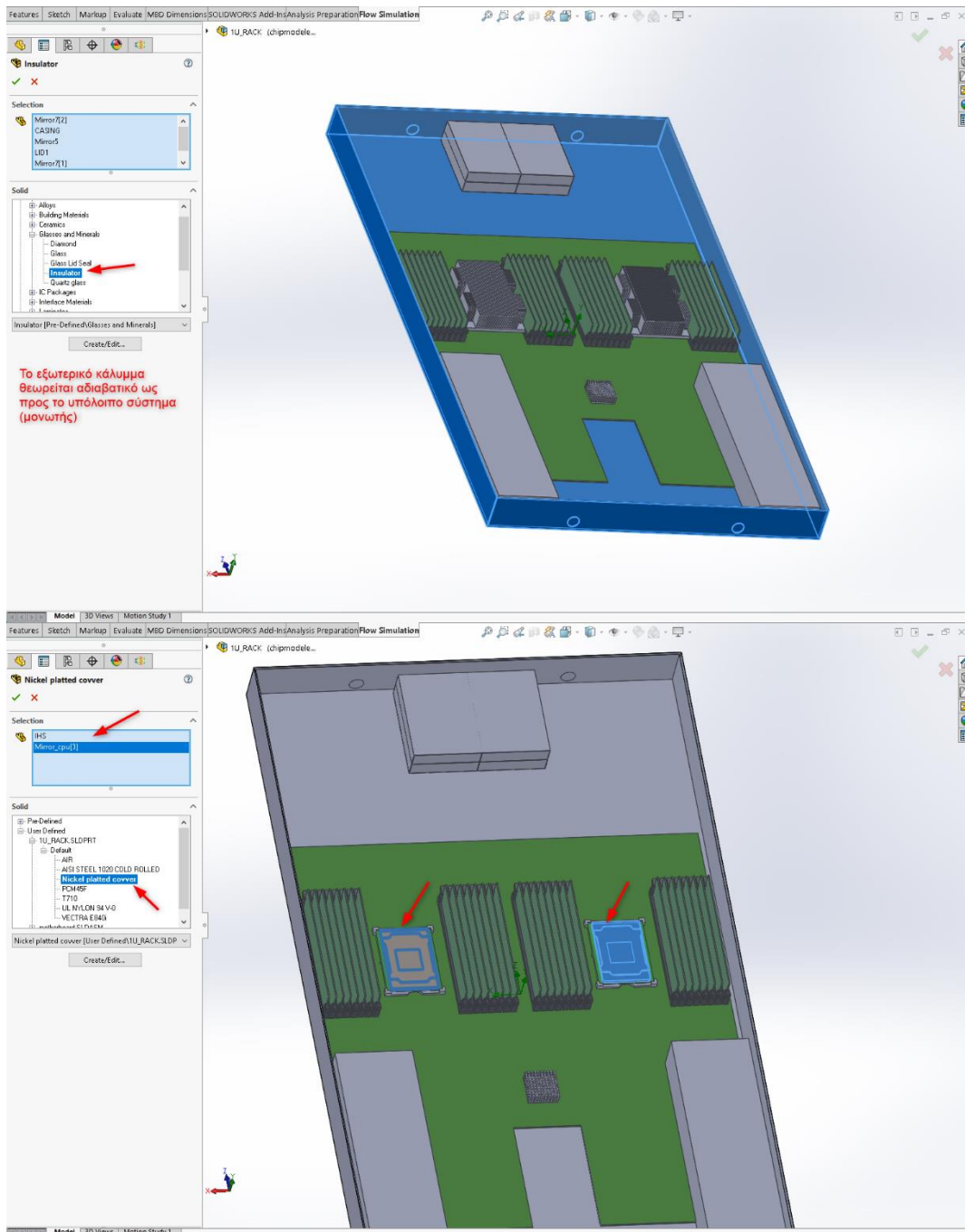
Έχοντας ορίσει τις ιδιότητες των προαναφερθέντων υλικών, απαιτείται η ανάθεση αυτών στα στερεά σώματα της διάταξης. Η **Εικόνα 56** περιγράφει την διαδικασία ορισμού όλων των στοιχείων.

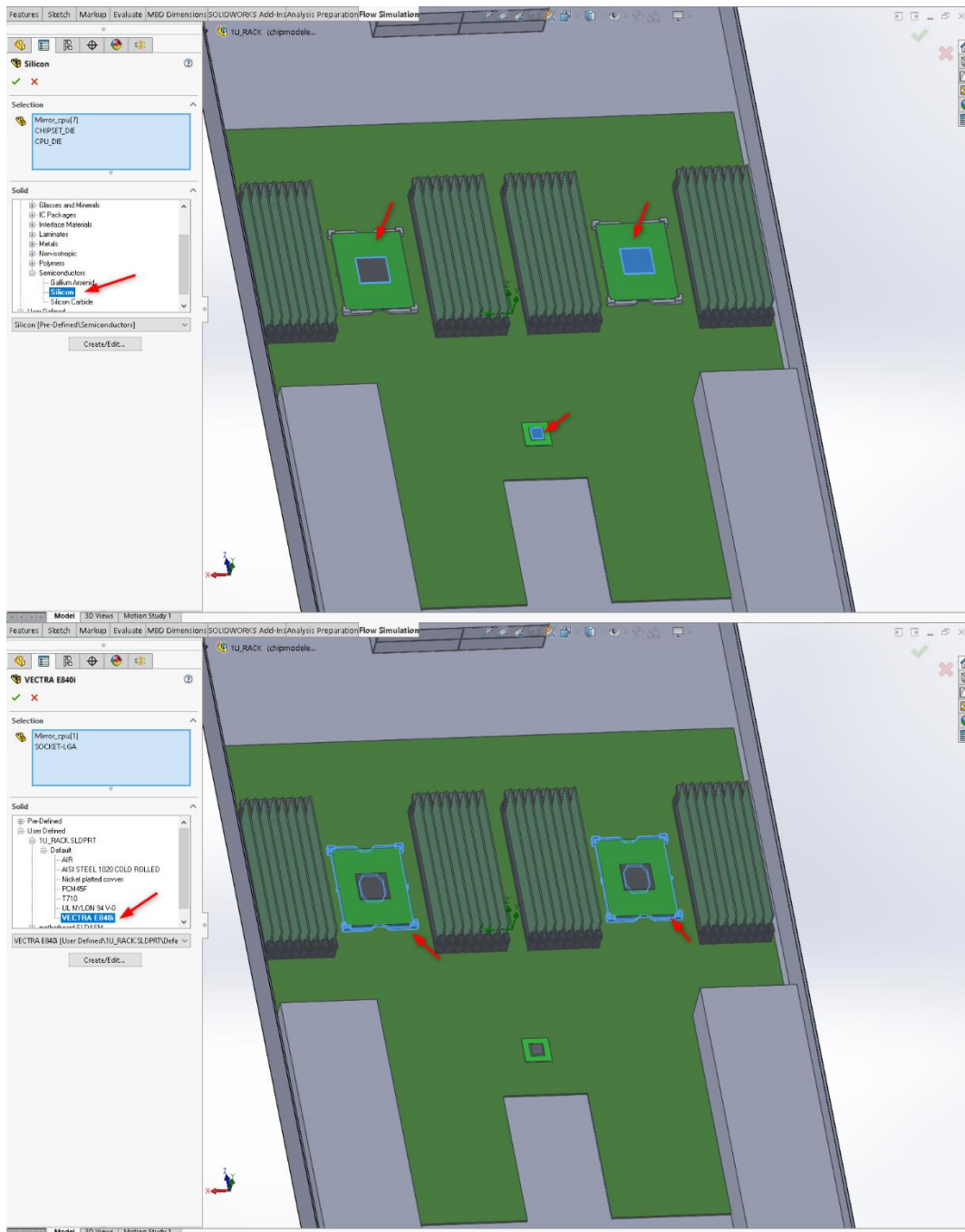


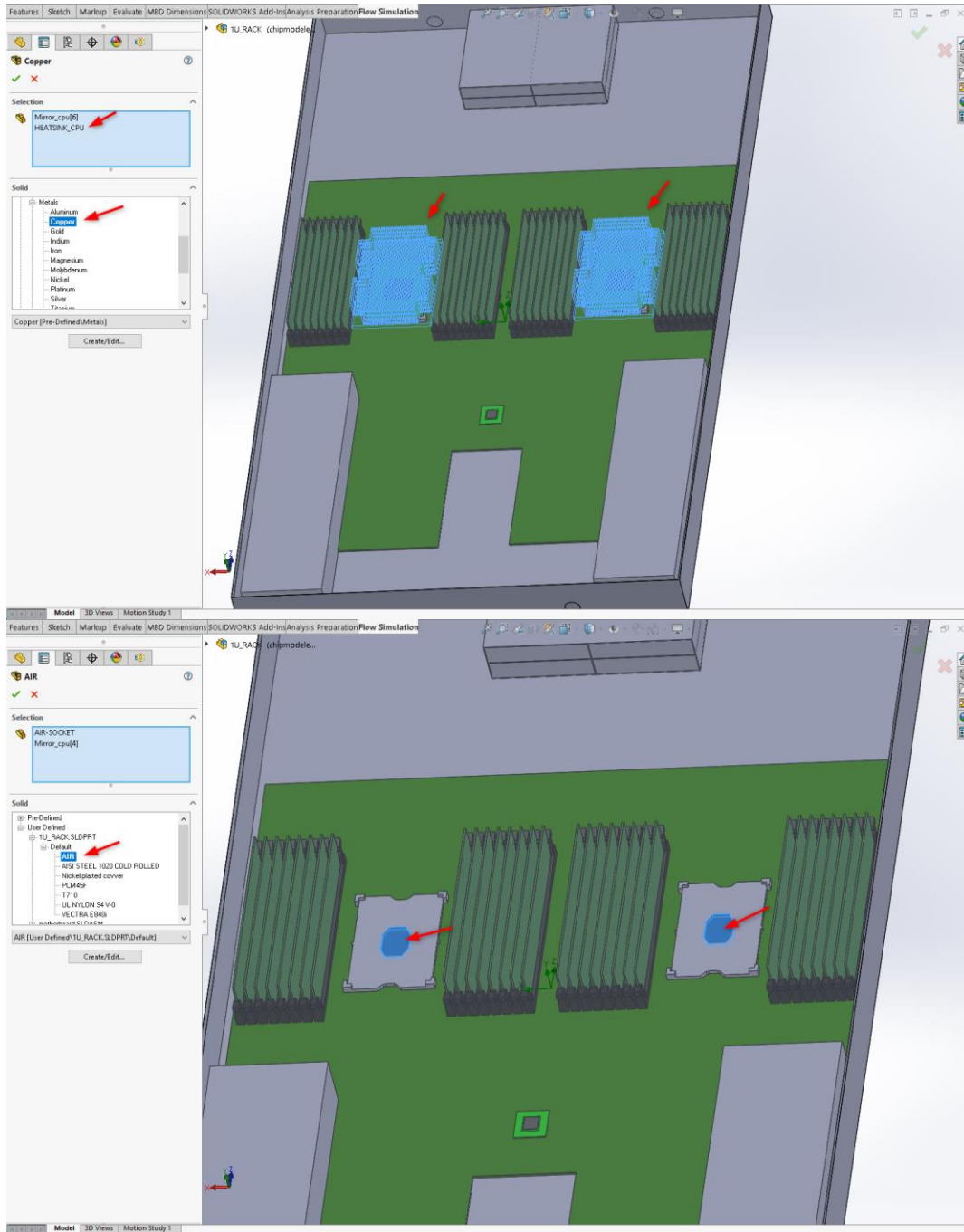


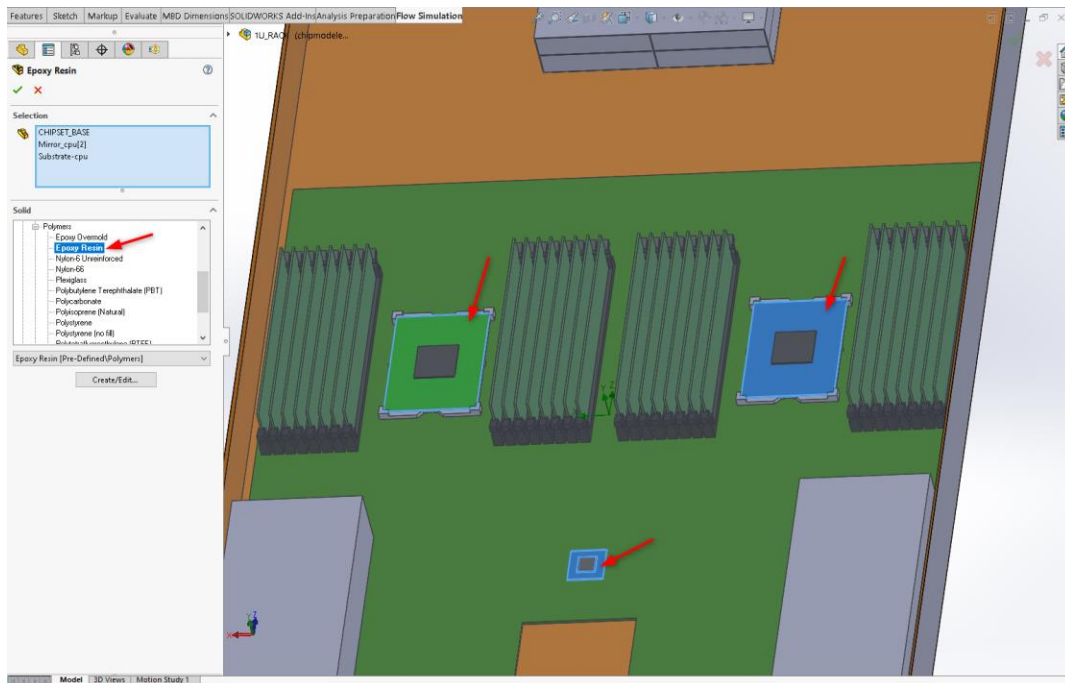






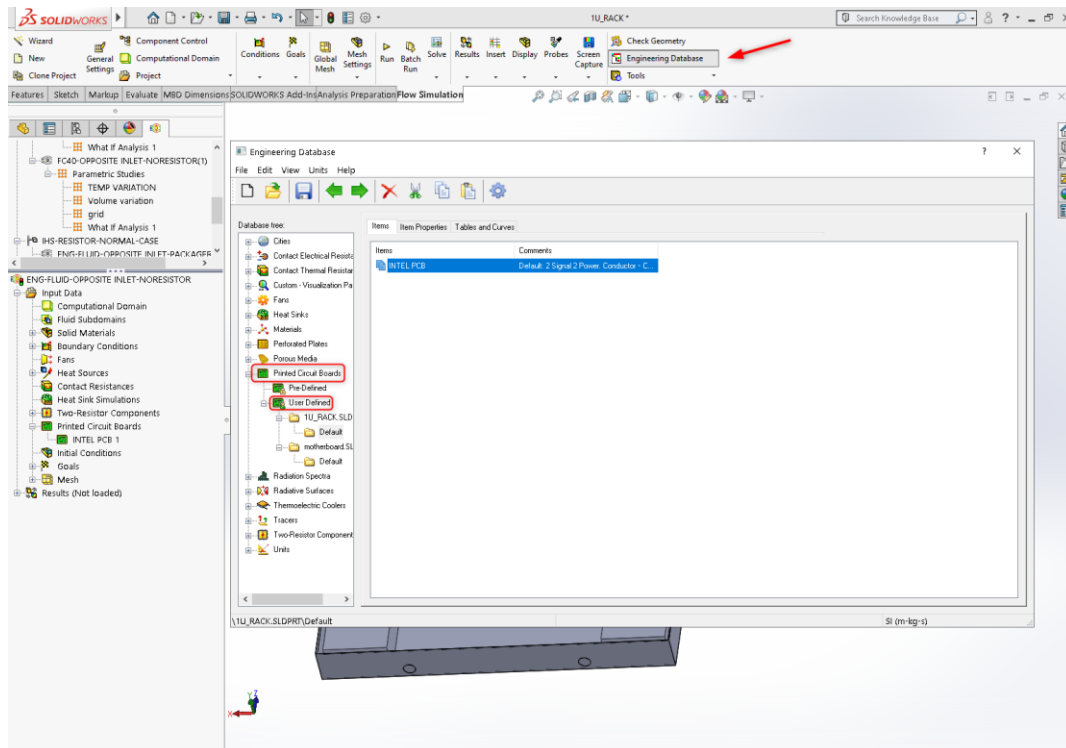






Εικόνα 56 Ορισμός υλικών στερεών σωμάτων

Εξάιρεση στη παραπάνω διαδικασία αποτελεί η μητρική πλακέτα η οποία ορίζεται μέσω μιας ειδικής καρτέλας του προγράμματος Solidworks την **Printed Circuit Board**, η οποία είναι ειδικά σχεδιασμένη για μητρικές πλακέτες. Επειδή μια πλακέτα αποτελείται από αλληπάλληλα στρώματα χαλκού και FR4 αλλά και λόγω του ανισοτροπικού χαρακτήρα της θερμική αγωγιμότητας της, είναι αδύνατος ο ορισμός της με τη προαναφερθέντα διαδικασία εφόσον δεν επιτρέπεται ο ορισμός πάνω από ενός υλικού για ένα σώμα. Ωστόσο βάση της **Εικόνα 57** ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει τη πυκνότητα, τη θερμοχωρητικότητα και την θερμική αγωγιμότητα των δύο υλικών που απαρτίζουν την πλακέτα ώστε σε συνδυασμό με την συνολική μάζα και το όγκο της πλακέτας να υπολογισθούν από το πρόγραμμα αυτόματα η ενεργή πυκνότητα, η ενεργή θερμοχωρητικότητα και η θερμική αγωγιμότητα εντός (In-plane conductivity) και διαμέσου του επιπέδου (Through-plane conductivity) [26].



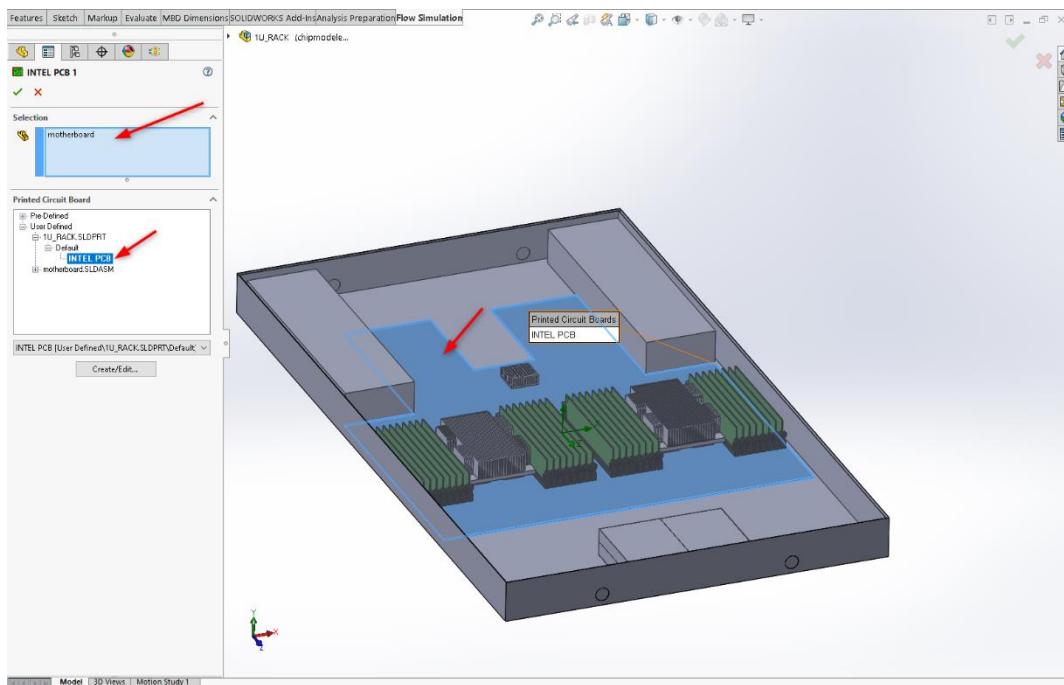
SOLIDWORKS Education Edition - Instructional Use Only

Engineering Database

Property	Value
Name	INTEL PCB
Comments	Default: 2.Signal 2.Power Conductor - Conner Dielectric - FR4
Type	Board Mass
Dielectric material density	1200 kg/m ³
Dielectric material specific heat	800 J/(kg*K)
Dielectric material conductivity	0.3 W/(m*K)
Conductor material density	8960 kg/m ³
Conductor material specific heat	385 J/(kg*K)
Conductor material conductivity	401 W/(m*K)
PCB total mass	0.925 kg
PCB total volume	0.00032 m ³
In-plane (planar) conductivity	87.5981234 W/(m*K)
Through-plane (normal) conductivity	0.383485114 W/(m*K)
Effective density	2890.625 kg/m ³
Effective specific heat	545.722597 J/(kg*K)

Εισαγόμενα δεδομένα

Αποτελέσματα

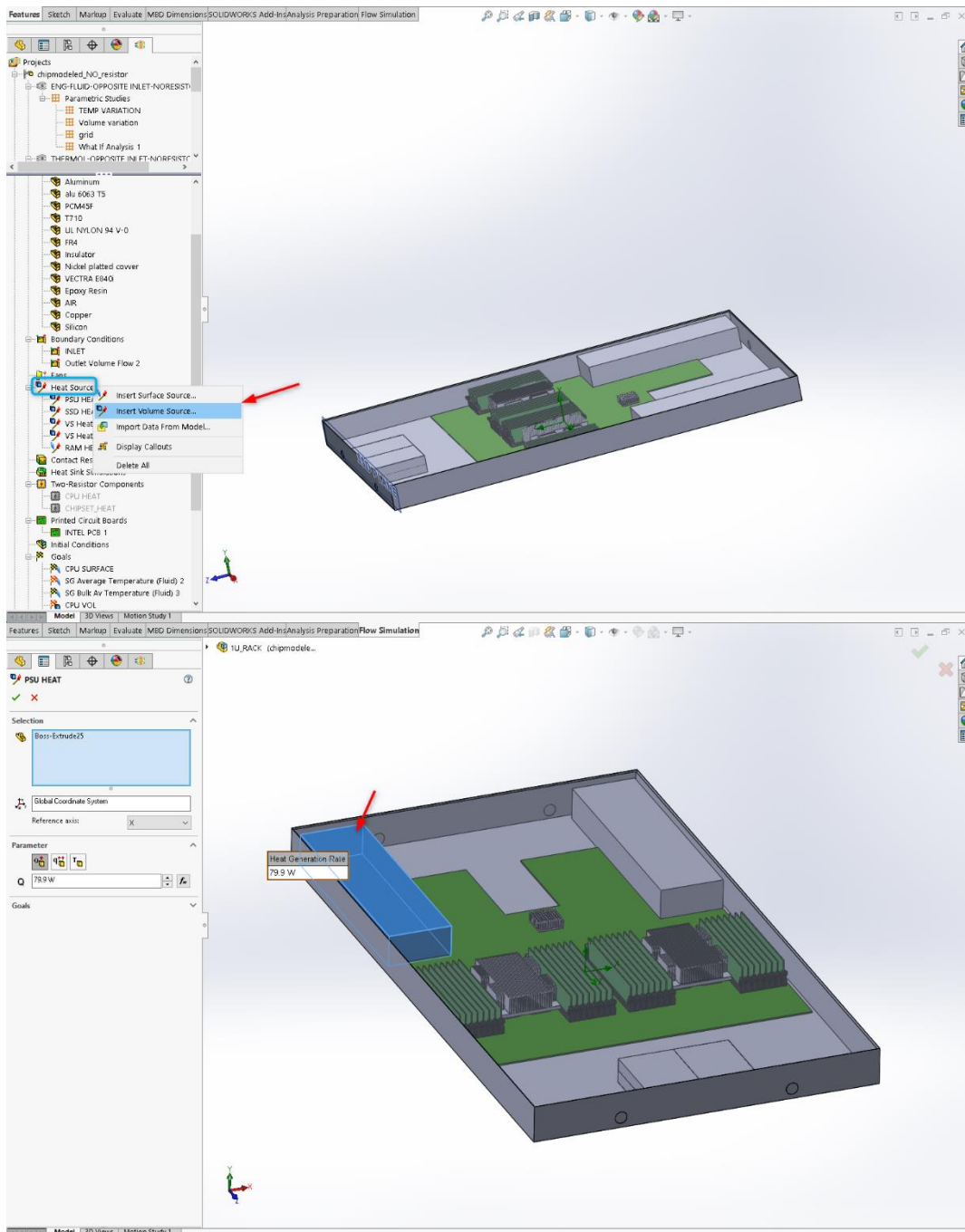


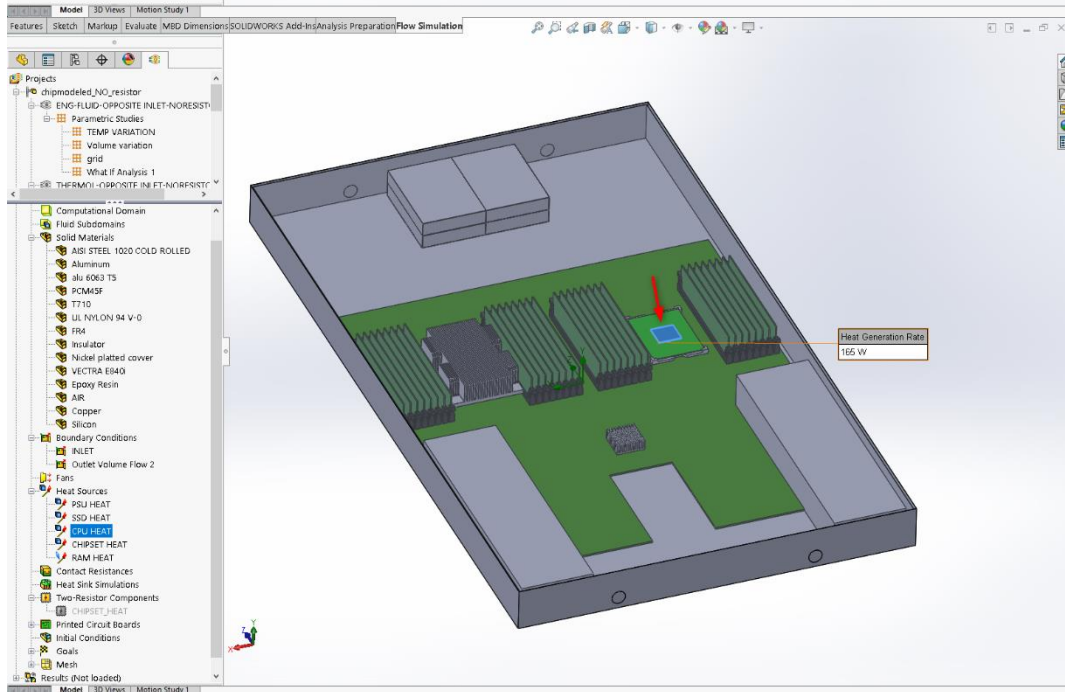
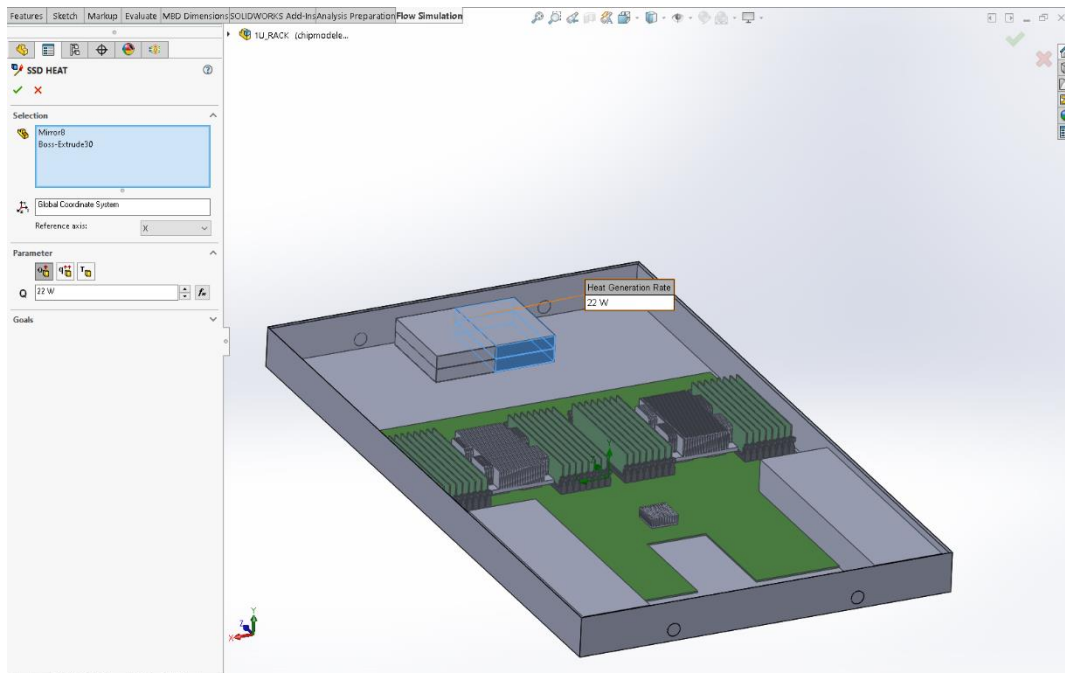
Εικόνα 57 Ορισμός υλικού μητρικής πλακέτας

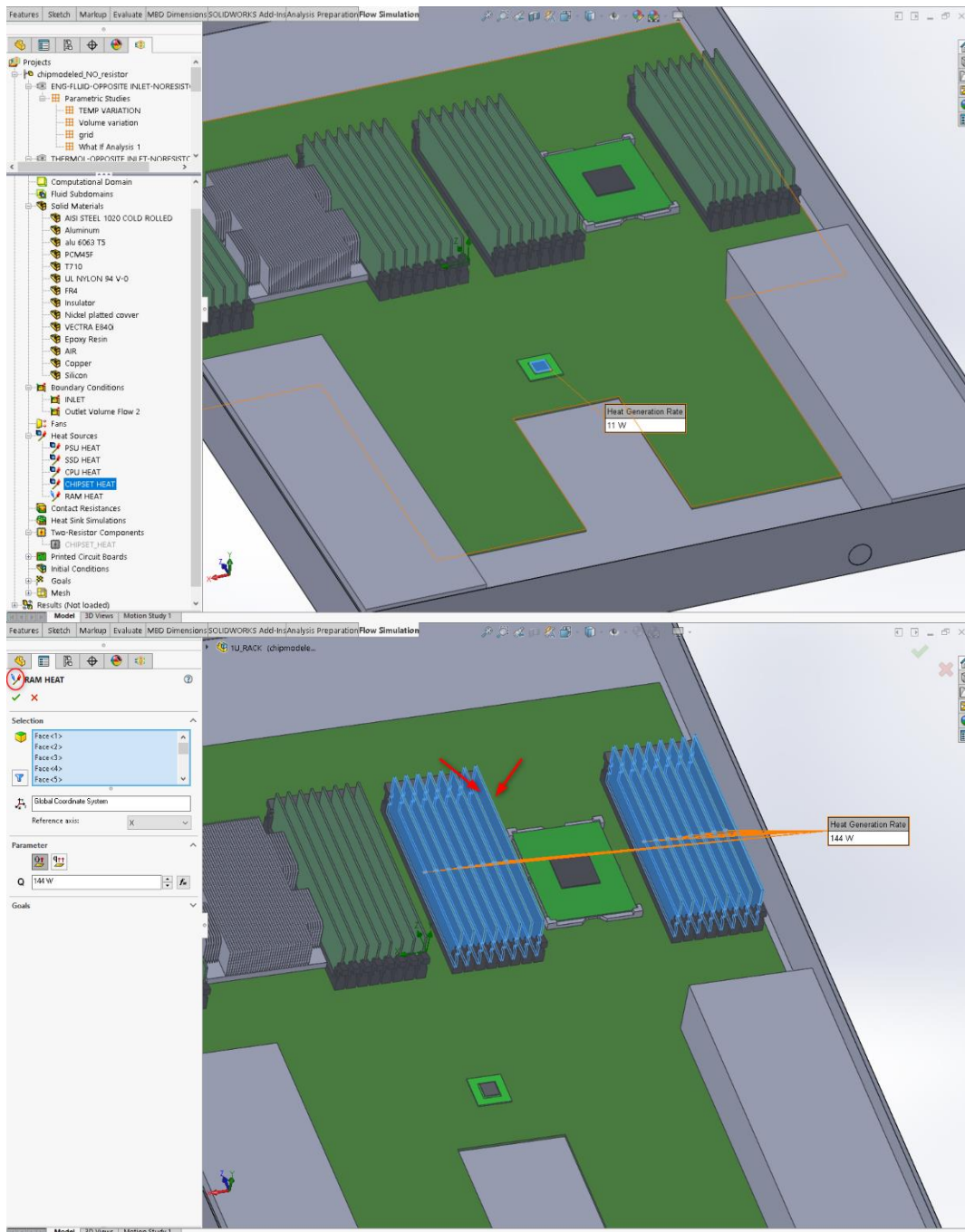
6.5 Ορισμός θερμικών πηγών

Προηγουμένως από το Πίνακας 2 παρουσιάστηκαν οι πηγές θερμότητας κάθε ενός εξαρτήματος ξεχωριστά ώστε το επόμενο βήμα να είναι η εφαρμογή τους στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Ωστόσο επειδή το πρόγραμμα λύνει στο μισό χωρίο, θα τοποθετηθούν μόνο οι πηγές που βρίσκονται σε αυτό. Η προσθήκη των πηγών επιτυγχάνεται μέσω της εντολής **Heat Sources** όπου ο χρήστης επιλέγει είτε την προσθήκη θερμικής πηγής που εκλείεται από επιφάνεια (**Surface Source**) είτε από ένα ολόκληρο όγκο (**Volume Source**). Στη συγκεκριμένη περίπτωση για όλες τις πηγές εκτός της μνήμης τυχαίας προσπέλασης επιλέγεται η **Volume Source** εφόσον η θερμότητα σε αυτά τα στοιχεία εκλείεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αντίθετα στη μνήμη τυχαίας προσπέλασης επειδή η θερμότητα κανονικά εκλείεται από πολυάριθμα μικρά τσιπ πάνω στις δυο μεγάλες παράπλευρες επιφάνειες τις πλακέτας (στο σχεδιασμό λόγω του πολύ μικρού πάχους τους έχουν αμεληθεί) επιλέγεται η **Surface Source** για τις δύο πλευρές. Σύμφωνα και με την Εικόνα 58 για κάθε ένα είδος δημιουργείται ένα διαφορετικό Source όπου περιέχει όλα τα στοιχεία καθενός και με τιμή παραγόμενης θερμότητας ίση με το γινόμενο του Πίνακας 2 με τον αριθμό των στοιχείων.

$$\begin{aligned}
 \text{RAM} &\rightarrow Q = 9 \text{ W} \ \& \ N = 16 \rightarrow Q_{tot} = 9 * 16 = 144 \text{ W} \\
 \text{SSD} &\rightarrow Q = 11 \text{ W} \ \& \ N = 2 \rightarrow Q_{tot} = 11 * 2 = 22 \text{ W} \\
 \text{CPU} &\rightarrow Q = 165 \text{ W} \ \& \ N = 1 \rightarrow Q_{tot} = 165 * 1 = 165 \text{ W} \\
 \text{CHIPSET} &\rightarrow Q = 11 \text{ W} \ \& \ N = 1 \rightarrow Q_{tot} = 11 * 1 = 11 \text{ W} \\
 \text{POWER SUPPLY} &\rightarrow Q = 79.9 \text{ W} \ \& \ N = 1 \rightarrow Q_{tot} = 79.9 * 1 = 79.9 \text{ W}
 \end{aligned}$$



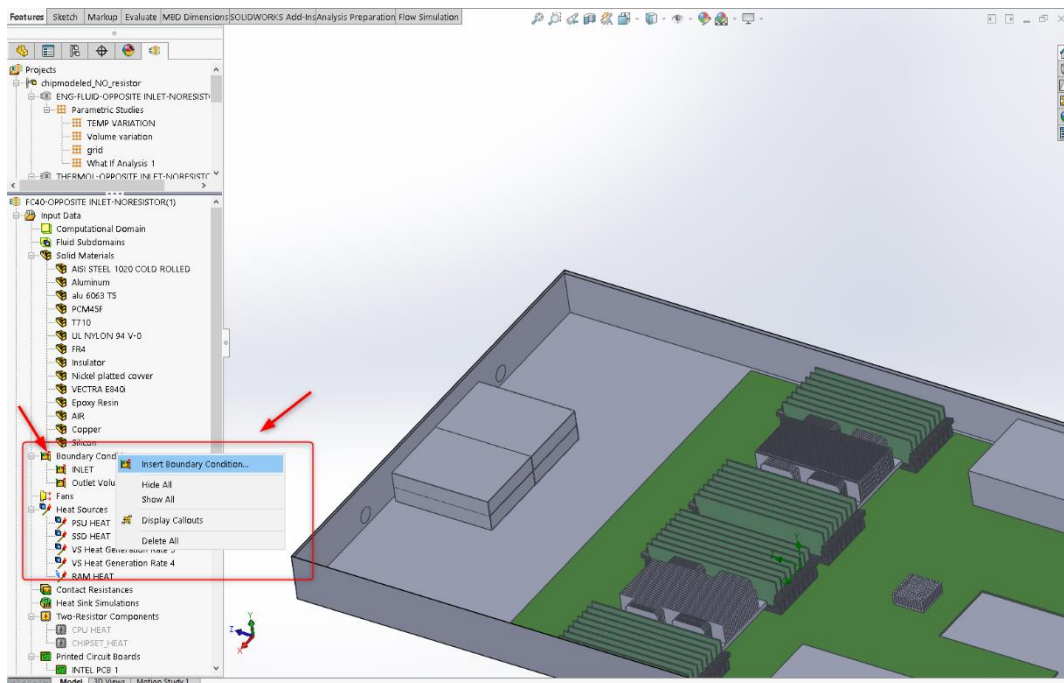


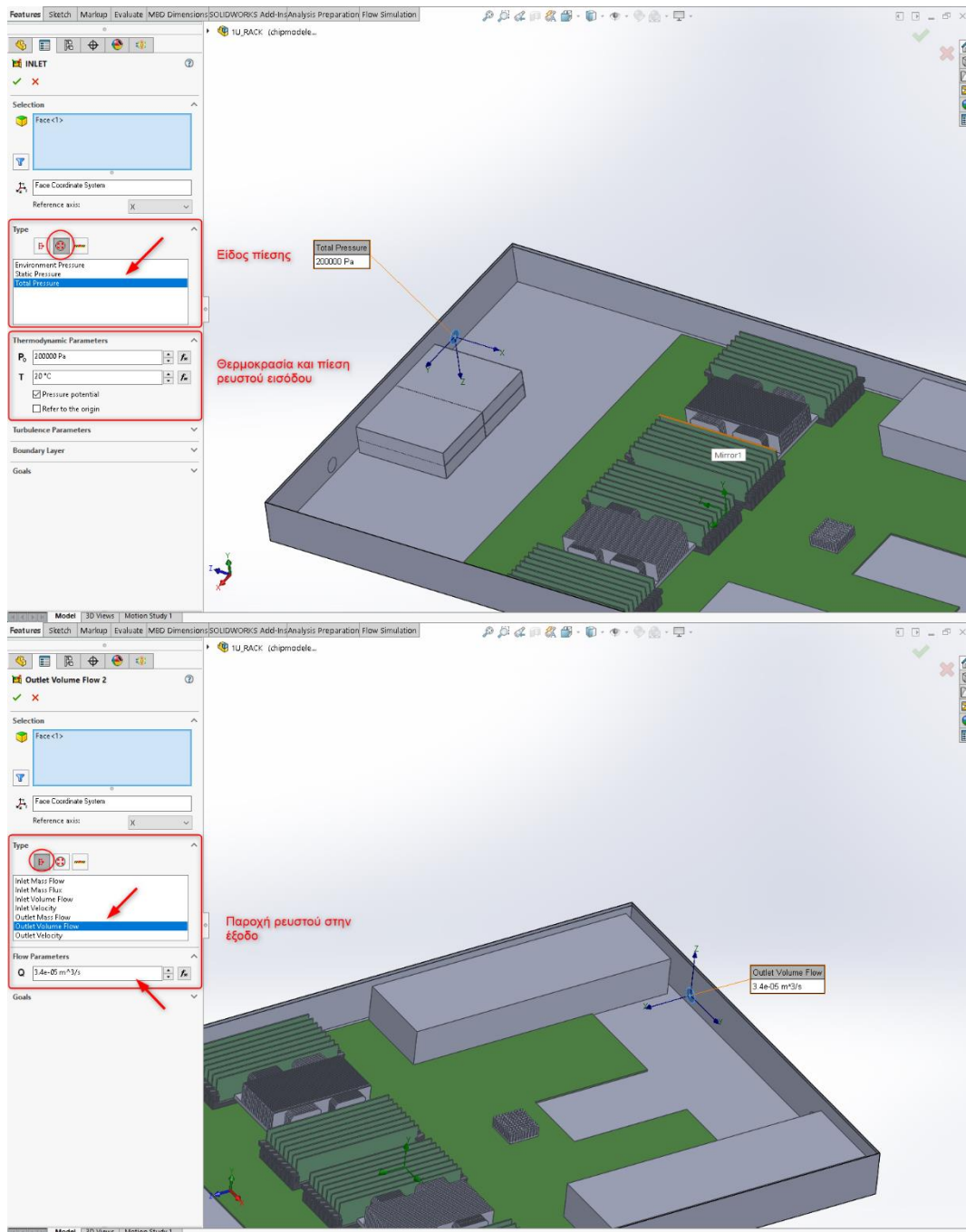


Εικόνα 58 Ορισμός θερμικών πηγών συστήματος

6.6 Ορισμός οριακών συνθηκών

Προκειμένου να ξεκινήσει η προσομοίωση είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι οριακές συνθήκες του συστήματος. Όπως και προηγουμένως λόγω της συμμετρικότητας ορίζονται μόνο οι οπές εισόδου-εξόδου στο μισό τμήμα του διακομιστή. Για την οπή εισόδου επιλέγεται να προσδιοριστεί η απόλυτη πίεση του ρευστού στην είσοδο της οπής και η αρχική του θερμοκρασία ενώ για την οπή εξόδου ορίζεται η ογκομετρική παροχή του ρευστού. Η παραπάνω διαδικασία υλοποιείται μέσω της εντολής **Boundary Conditions** όπως απεικονίζεται η **Εικόνα 59**. Για τις τιμές των οριακών συνθηκών της θερμοκρασίας και της παροχής σύμφωνα με την βιβλιογραφία από αντίστοιχες μελέτες και πειραματικές διατάξεις πάνω στη εμφάνιση πλακετών σε διηλεκτρικό ρευστό, η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού κυμαίνεται από 20-40 βαθμούς κελσίου ενώ η παροχή ανακυκλοφορίας από 1-3 lpm [1], [27], [28]. Από την άλλη η πίεση εισόδου παραμένει σταθερή και ίση με 2 bar εφόσον η ροή του ρευστού υποκινείται από μια αντλία χαμηλής πίεσης. Πολύ μεγάλες πιέσεις αλλά και τεράστιες παροχές είναι μη επιτρεπτές καθώς η αναπτυσσόμενη ταχύτητα του ρευστού θα αποκολλούσε τα εξαρτήματα των ηλεκτρονικών που συνδέονται στη μητρική πλακέτα.

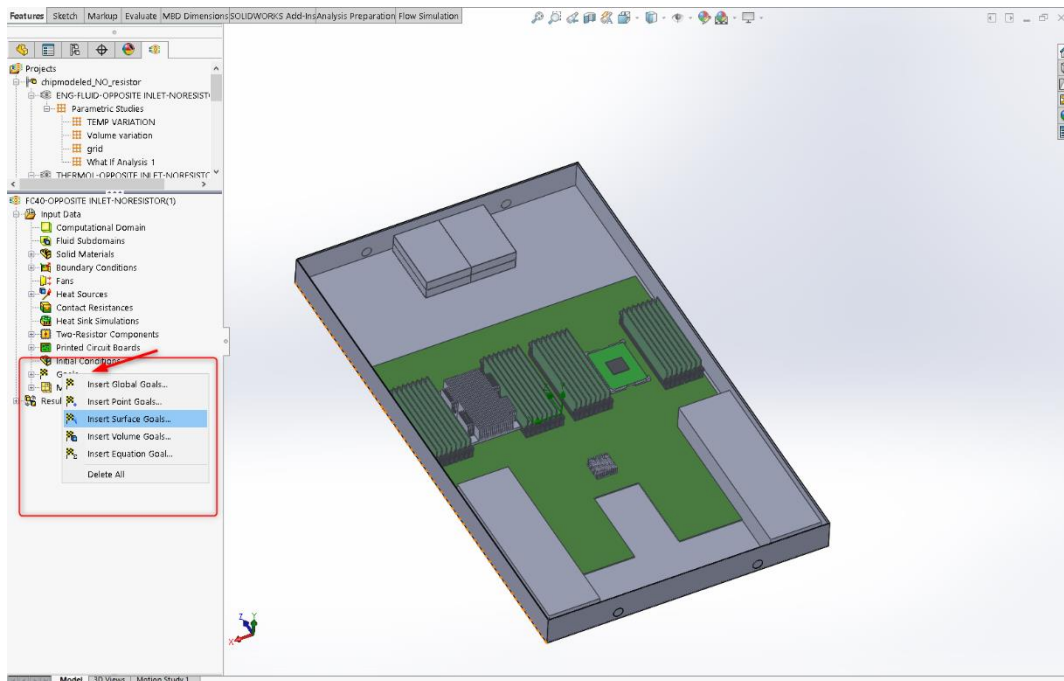


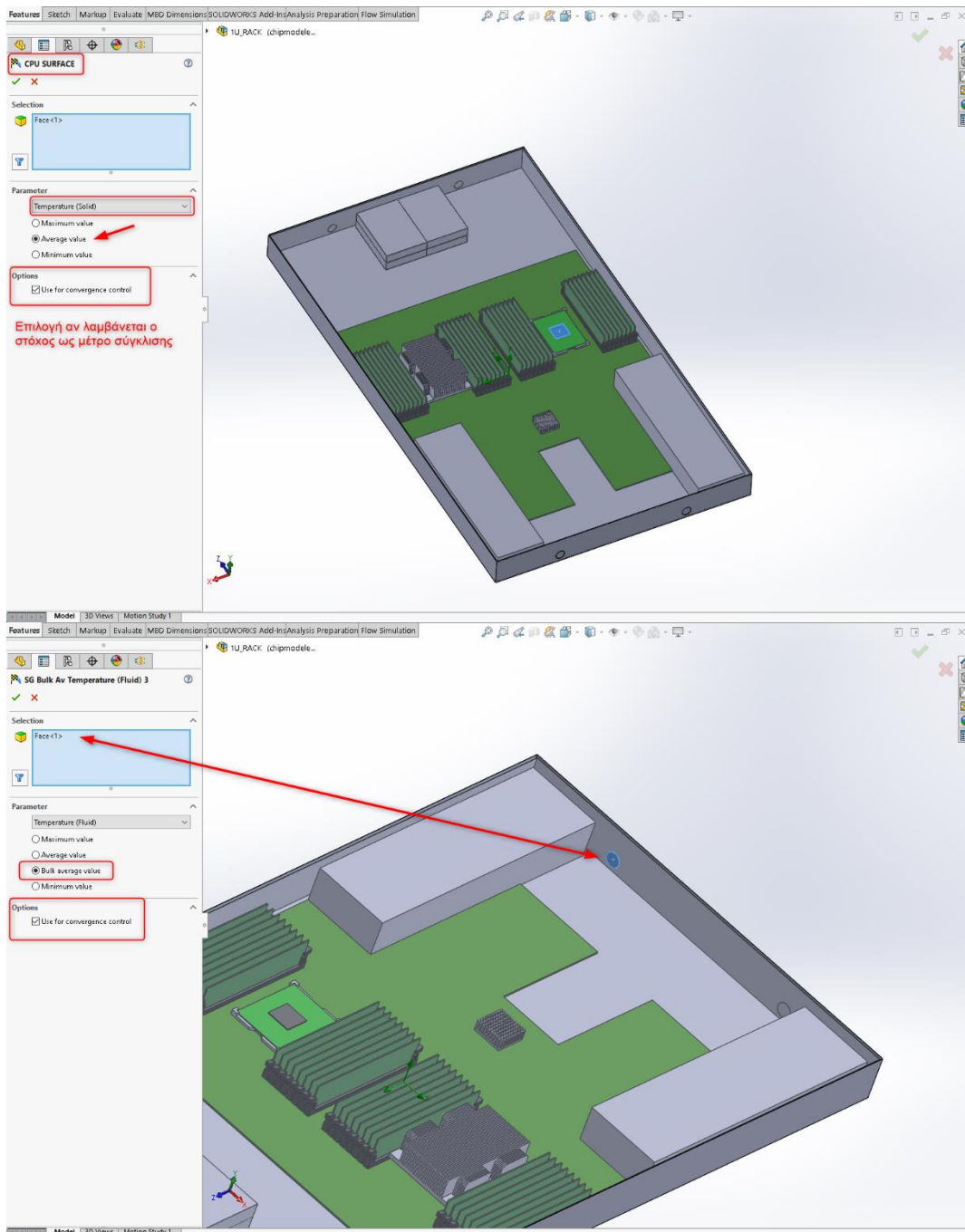


Εικόνα 59 Προσδιορισμός οριακών συνθηκών εισόδου-εξόδου

6.7 Ορισμός στόχων σύγκλισης

Στο σημείο αυτό ορίζονται τα αποτελέσματα που επιθυμεί ο χρήστης να λάβει μετά το πέρας της προσομοίωσης. Οι στόχοι μπορούν είτε να προσδιοριστούν ώστε να βοηθήσουν στην σύγκλιση είτε απλά να απεικονισθούν ως αποτελέσματα στο τέλος της προσομοίωσης. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η μέση θερμοκρασία του ρευστού στην οπή της εξόδου και η άνω επιφάνεια του τσιπ του μικροεπεξεργαστή της ΚΜΕ ως μέτρο σύγκλισης. Για την εισαγωγή των στόχων από την εντολή **Goals** → **Insert Surface/Volume Goals** βάσει τη **Εικόνα 60**.





Εικόνα 60 Ορισμός στόχων σύγκλισης

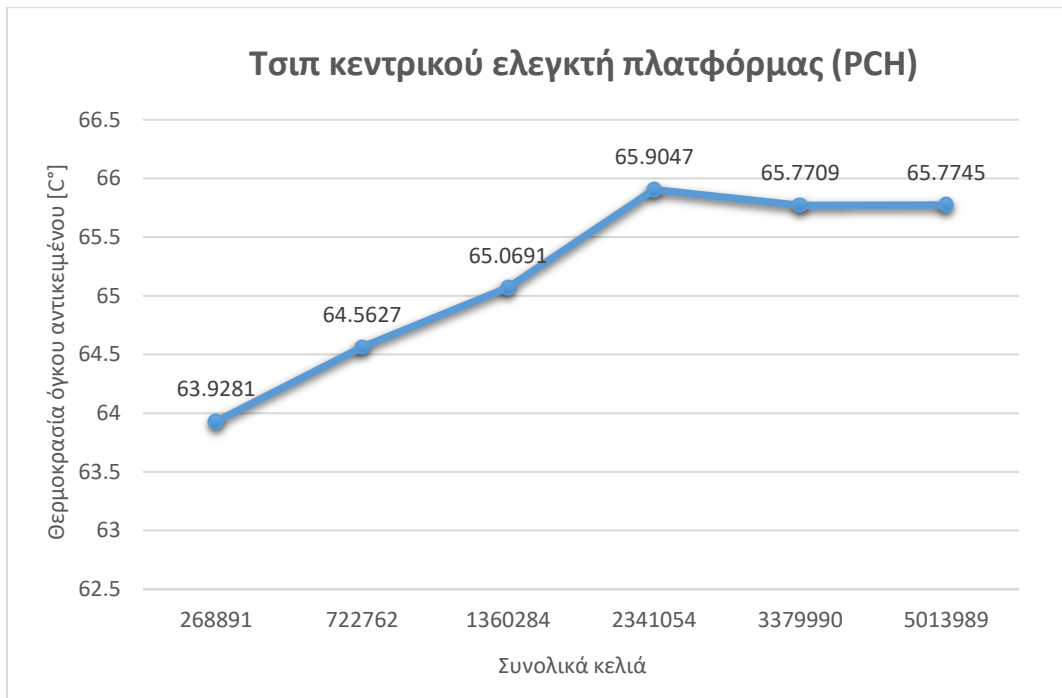
6.8 Ορισμός υπολογιστικού πλέγματος

Προκειμένου οι λύσεις της προσομοίωσης να είναι ακριβείς, απαιτείται να προσδιοριστεί η κατάλληλη πυκνότητα πλέγματος ώστε να εντοπισθεί η χρυσή τομή μεταξύ υπολογιστικού χρόνου και ακρίβειας. Όσο το πλέγμα αυξάνεται τόσο επιβαρύνεται και ο υπολογιστικός χρόνος επίλυσης, ωστόσο από το σημείο που οι λύσεις δε μεταβάλλονται αισθητά η επιπλέον πυκνωση του πλέγματος είναι ανούσια. Ως αρχικό πλέγμα από την εντολή **Mesh** → **Global Mesh** επιλέγεται κατά το x άξονα να έχει 44 κελιά, κατά το y άξονα 10 κελιά και κατά το z άξονα 100 (**Εικόνα 63**). Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν βάση των διαστάσεων του χωρίου, των λεπτομερειών των εξαρτημάτων (πτερύγια ψυκτρών) και της κατεύθυνσης της ροής. Παράλληλα με τον ορισμό του βασικού πλέγματος, ορίσθηκαν άλλα τέσσερα τοπικά πλέγματα (**Mesh** → **Insert Local Mesh**) για την περιοχή της ΚΜΕ, του σκληρού δίσκου, το τσιπ κεντρικού ελεγκτή και τις πλακέτες της τυχαίας μνήμης προσπέλασης για μεγαλύτερη ακρίβεια (**Εικόνα 64**). Τα τοπικά πλέγματα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου επιθυμείτε περαιτέρω πυκνωση του βασικού πλέγματος (global mesh) σε συγκεκριμένες περιοχές του χωρίου. Ακολουθήσαν πέντε νέες προσομοιώσεις όπου το πλέγμα σε κάθε μία ήταν πολλαπλάσιο του αρχικού πλέγματος σε ένα εύρος τιμών από x [0.5, 0.75, 1.25, 1.5, 1.75]. Από τα αποτελέσματα των τρεξιμάτων από το **Πίνακας 4** παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του ρευστού στην έξοδο και η μέση θερμοκρασία στον όγκο του τσιπ του κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας (PCH Chip) σε σχέση με το πλέγμα.

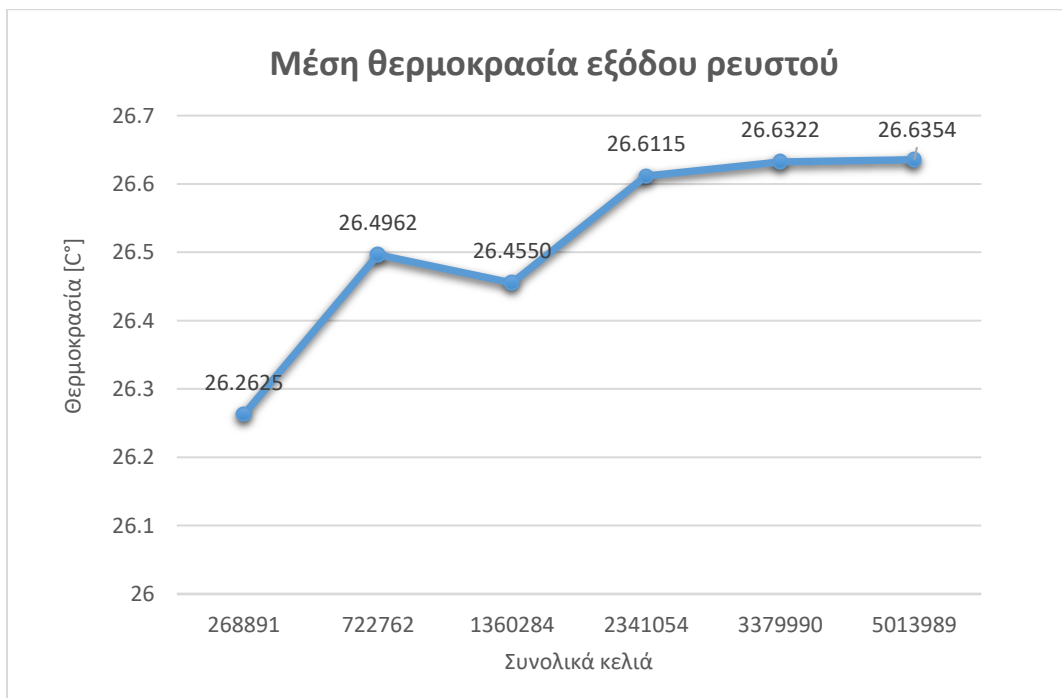
ΠΛΕΓΜΑ	x0.5	x0.75	x1	x1.25	x1.5	x1.75
Αριθμός κελιών κατά X	22	33	44	55	66	77
Αριθμός κελιών κατά Y	5	8	10	13	15	18
Αριθμός κελιών κατά Z	50	75	100	125	150	175
Μέση θερμοκρασία ρευστού [°C]	26.2625	26.4962	26.4550	26.6115	26.6322	26.6354
Θερμοκρασία όγκου του PCH [°C]	63.9281	64.5627	65.0691	65.9047	65.7709	65.7745
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΕΛΙΑ	268891	722762	1360284	2341054	3379990	5013989

Πίνακας 4 Αποτελέσματα ανεξαρτησίας πλέγματος

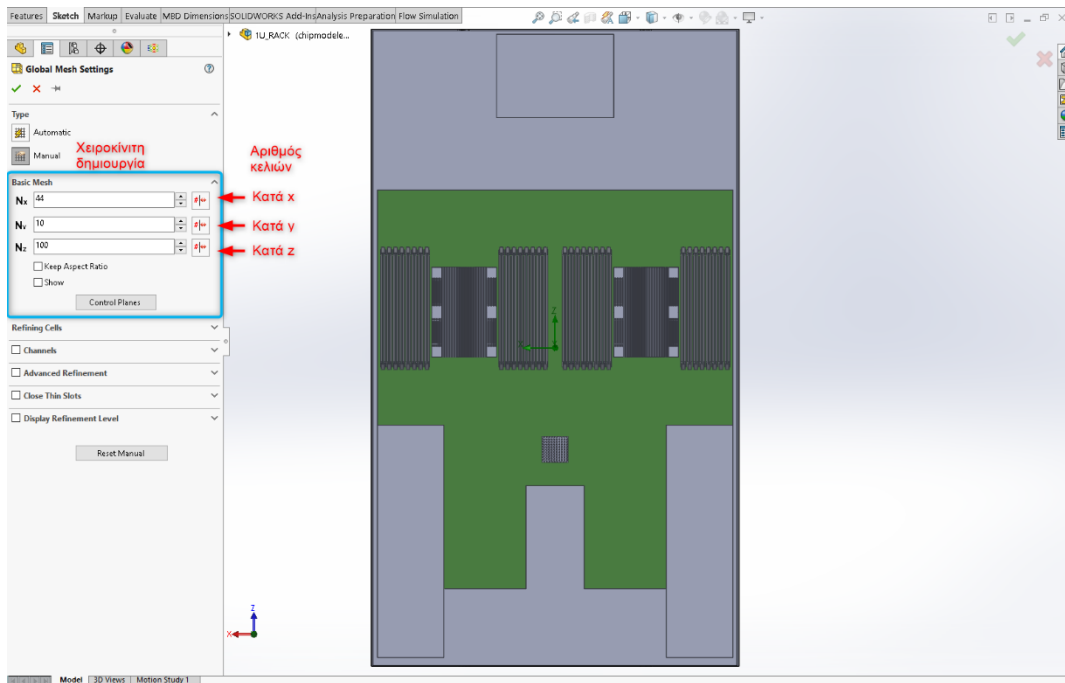
Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με την **Εικόνα 61** και **Εικόνα 62** επαληθεύει ότι για πλέγμα από x1.5 και ύστερα οι καμπύλες γίνονται οριζόντιες και τα αποτελέσματα συγκλίνουν. Συνεπώς επιλέγεται το πλέγμα 66, 15, 150 κατά x, y, z άξονα με συνολικά 3379990 κελιά (**Εικόνα 65**).



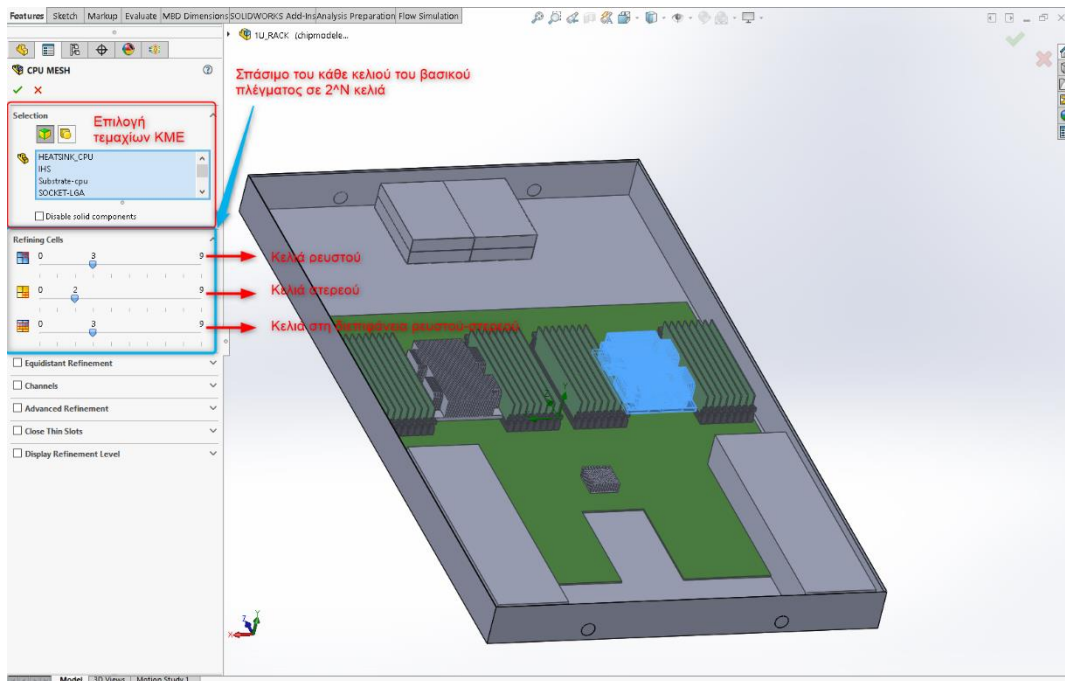
Εικόνα 61 Ανεξαρτησία πλέγματος τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας

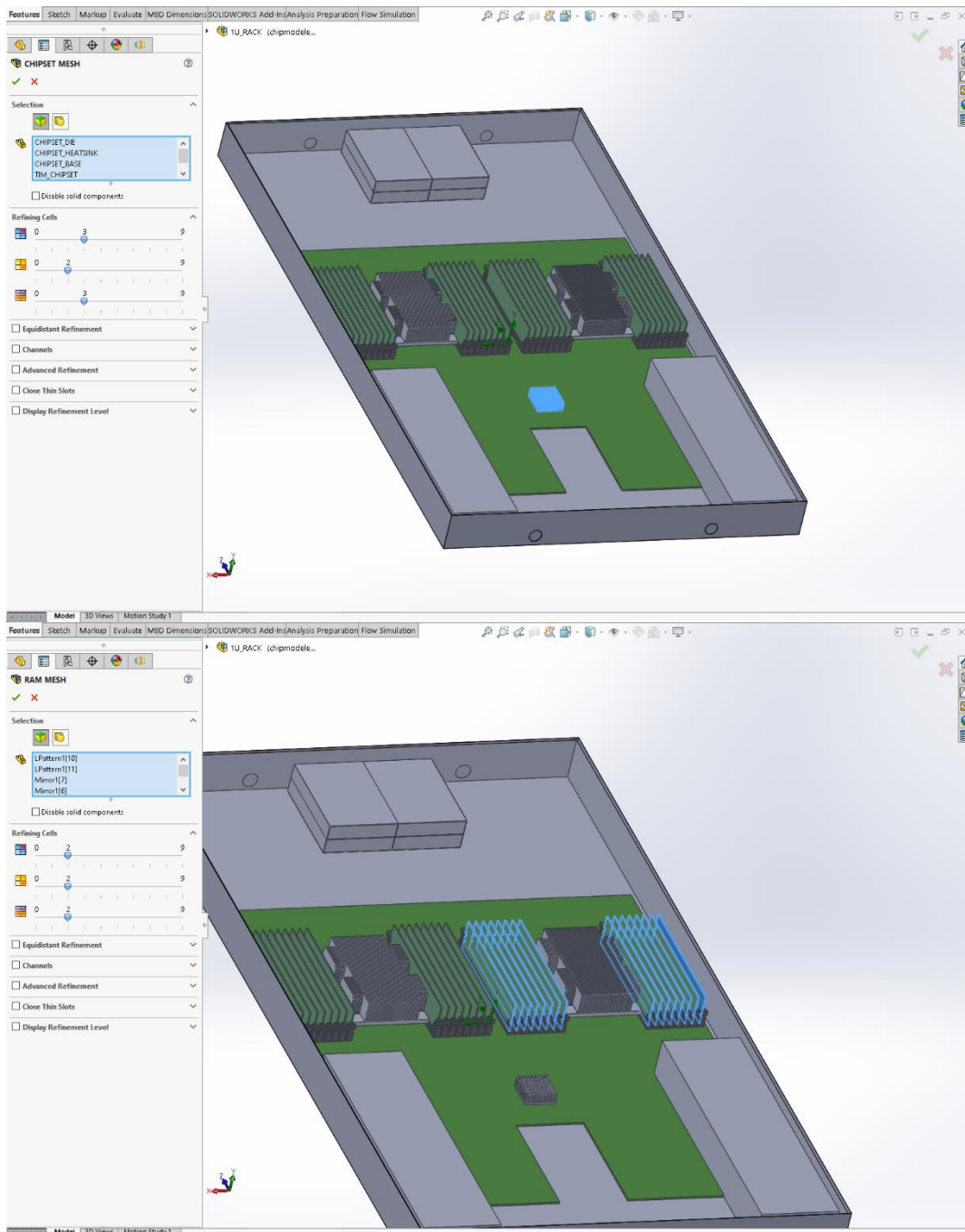


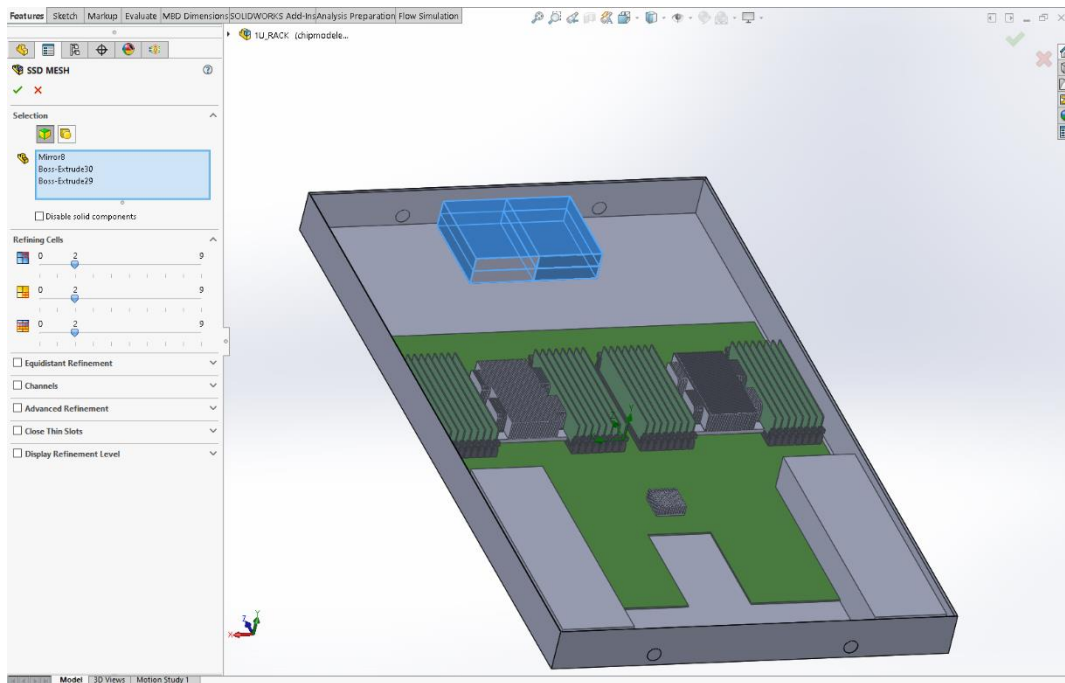
Εικόνα 62 Ανεξαρτησία πλέγματος ρευστού



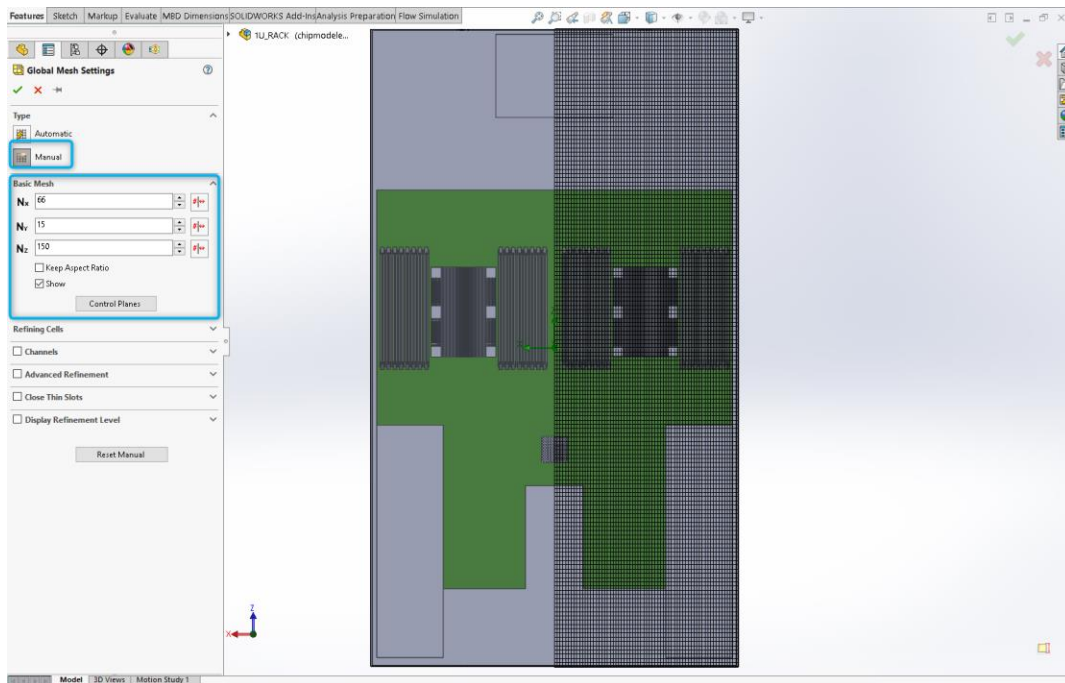
Εικόνα 63 Ορισμός βασικού πλέγματος

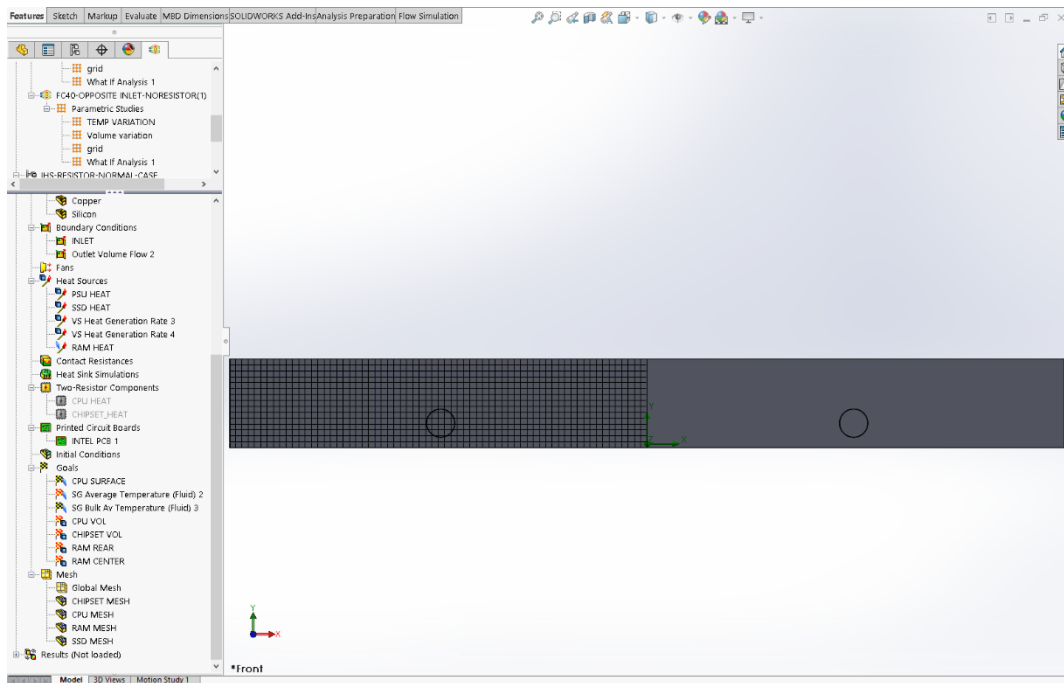






Εικόνα 64 Ορισμός τοπικού πλέγματος

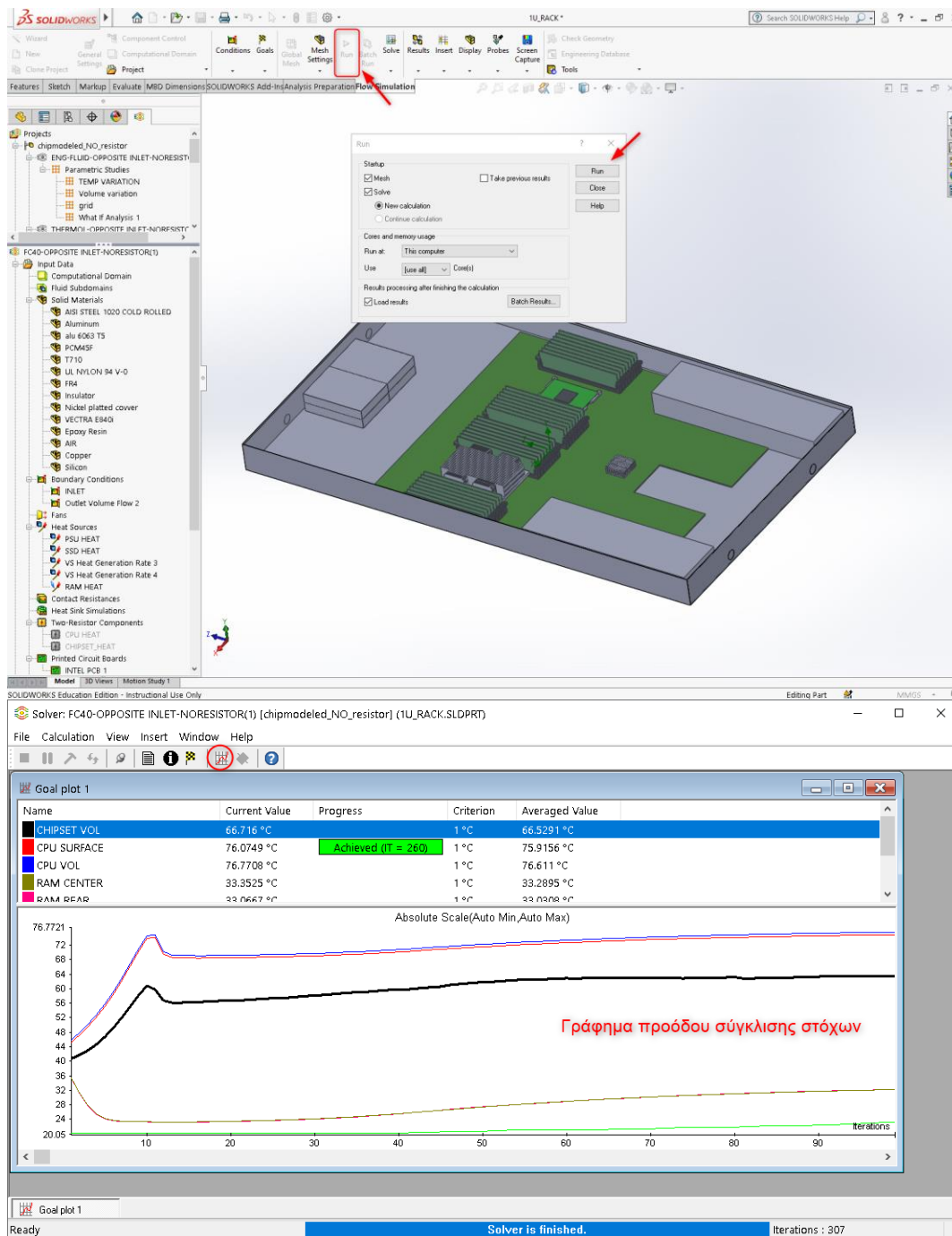




Εικόνα 65 Τελικό πλέγμα σύγκλισης

6.9 Έναρξη επίλυσης

Έχοντας ορίσει κάθε μία παράμετρο του προβλήματος, έπεται η εκκίνηση της επίλυσης. Από την επιλογή **Run** στο Ribbon bar γίνεται η έναρξη. Με το που ξεκινάει η επίλυση αναδύεται ένα παράθυρο το οποίο παρουσιάζει την πρόοδο σύγκλισης των στόχων και την τρέχουσα επανάληψη της επίλυσης όπως απεικονίζει η **Εικόνα 66**.



Εικόνα 66 Έναρξη επίλυσης

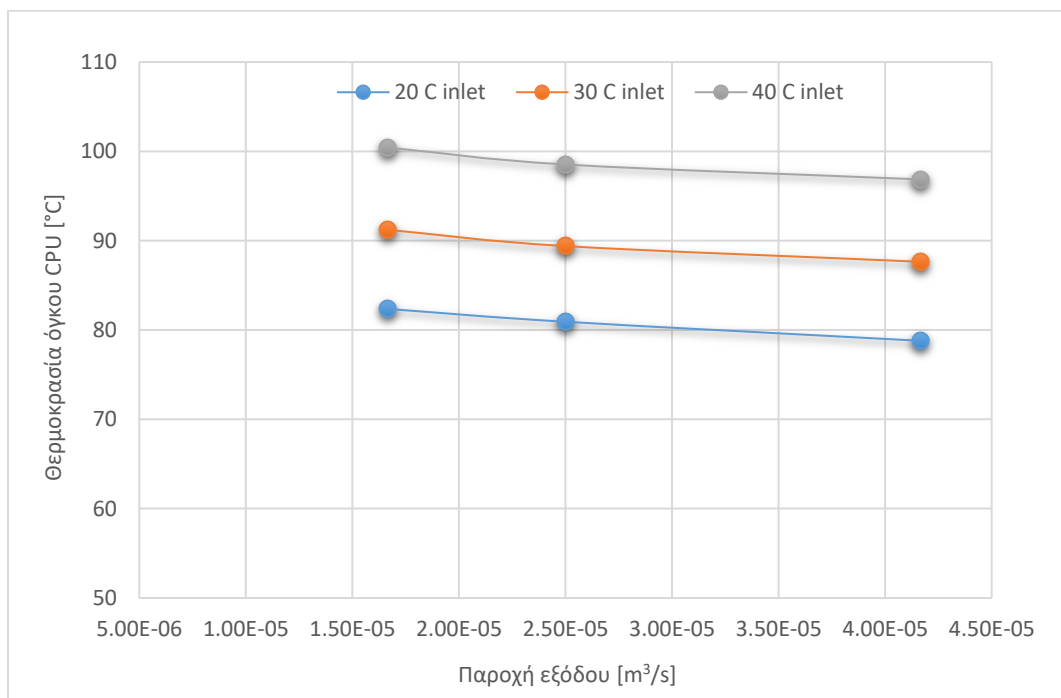
6.10 Παραδοχές

Όπως αναφέρθηκε και στη ενότητα σχεδίασης του διακομιστή, τα σημεία τοποθέτησης των εξαρτημάτων μετατοπίστηκαν κατά λίγα χιλιοστά ώστε το σύστημα να είναι πλήρως συμμετρικό ως προς το z άξονα. Αυτή η ενέργεια ήταν απαραίτητη ώστε να αξιοποιηθεί η ιδιότητα συμμετρίας του πλέγματος προκειμένου να είναι δυνατή η εκτέλεση της προσομοίωσης καθώς απαιτείται τεράστια υπολογιστική δύναμη που δεν είναι διαθέσιμη. Έπειτα μια δεύτερη παραδοχή είναι η θεώρηση ότι το εξωτερικό κάλυμμα είναι πλήρως μονωμένο (insulator) με το περιβάλλον και δεν εναλλάσσει θερμότητα. Η θεώρηση αυτή έγινε διότι στη παρούσα εργασία κύριος στόχος είναι η μελέτη της εναλλασσόμενης θερμότητας και της ροϊκής συμπεριφοράς του μέσου στο εσωτερικό του διακομιστή και όχι με το εξωτερικό περιβάλλον.

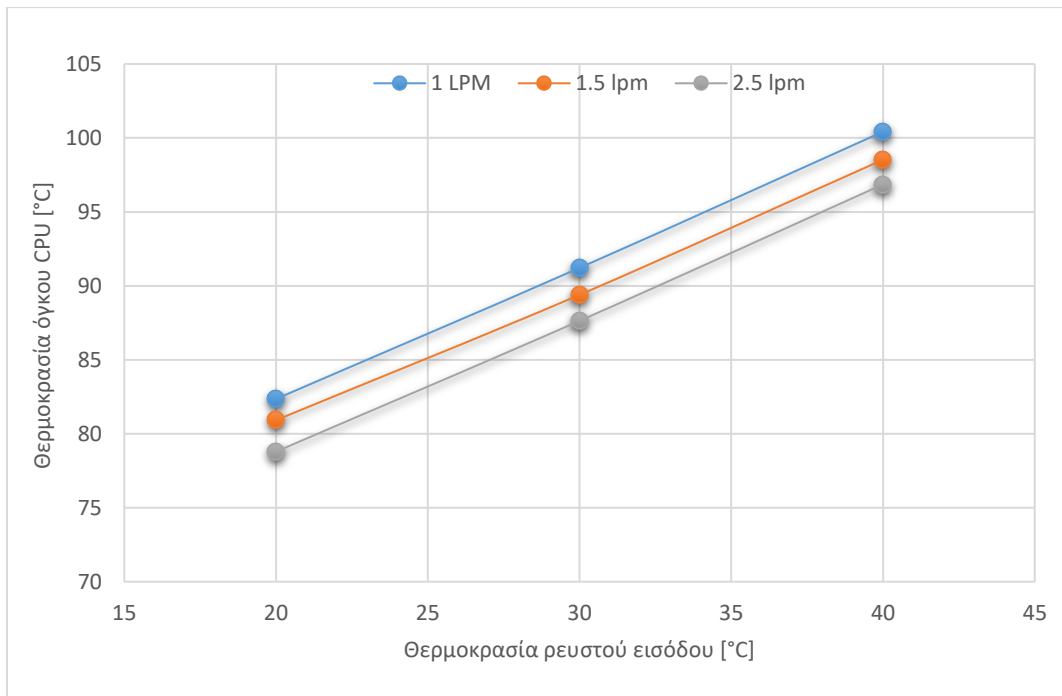
7. Αποτελέσματα προσομοίωσης

7.1 Σύγκριση οριακών συνθηκών

Πραγματοποιήθηκαν εννιά προσομοιώσεις για συνολικά τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες και τρεις διαφορετικές παροχές εξόδου με ρευστό το EC-130 ώστε να μελετηθεί η επίδραση της αύξησης ή μείωσης τους στη θερμική ανταπόκριση του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα το εύρος των θερμοκρασιών είναι [20, 30, 40] °C ενώ η παροχή [1, 1.5, 2.5] lpm, τιμές δηλαδή όμοιες με αυτές στο κεφάλαιο των οριακών συνθηκών. Τα αποτελέσματα του **Πίνακα 5** δείχνουν ότι η αύξηση της παροχής μειώνει την θερμοκρασία του τσιπ της ΚΜΕ ενώ η μείωση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού επιτυγχάνει το ίδιο αποτέλεσμα. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από τις αντίστοιχες έρευνες [1], [6], [28]. Ωστόσο είναι εμφανές και από την κλίση των καμπύλων ότι ο παράγοντας της θερμοκρασίας εισόδου, έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική συναλλαγή. Αναλυτικότερα βάση τη **Εικόνα 67** η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20 °C βαθμούς στους 30 °C ή από τους 30 °C στους 40 °C για σταθερή παροχή οδηγεί σε μια μεταβολή περίπου των 10 °C. Αντίθετα η αύξηση της παροχής για σταθερή θερμοκρασία από 1-1.5 lpm ή 1.5-2.5 lpm οδηγεί σε μια μέγιστη μεταβολή περίπου 2°C (**Εικόνα 68**).



Εικόνα 67 Μεταβολή θερμοκρασίας τσιπ με παροχή



Εικόνα 68 Μεταβολή θερμοκρασίας τσιπ με θερμοκρασία εισόδου ρευστού

Θερμοκρασία εισόδου [°C]	Ογκομετρική παροχή εξόδου [m ³ /s]	Θερμοκρασία όγκου τσιπ ΚΜΕ [°C]	Θερμοκρασία όγκου ΡCH [°C]	Θερμοκρασία όγκου κεντρικής RAM [°C]	Θερμοκρασία άνω επιφάνειας τσιπ ΚΜΕ [°C]	Μέση θερμοκρασία ρευστού εξόδου [°C]
20	1.667E-05	8.236E+01	7.216E+01	3.302E+01	8.164E+01	3.397E+01
20	2.500E-05	8.092E+01	6.775E+01	3.197E+01	8.021E+01	2.905E+01
20	4.167E-05	7.879E+01	6.494E+01	3.115E+01	7.809E+01	2.538E+01
30	1.667E-05	9.122E+01	8.131E+01	4.253E+01	9.047E+01	4.348E+01
30	2.500E-05	8.939E+01	7.662E+01	4.140E+01	8.866E+01	3.856E+01
30	4.167E-05	8.764E+01	7.364E+01	4.037E+01	8.691E+01	3.478E+01
40	1.667E-05	1.004E+02	9.084E+01	5.243E+01	9.965E+01	5.346E+01
40	2.500E-05	9.853E+01	8.611E+01	5.121E+01	9.776E+01	4.853E+01
40	4.167E-05	9.686E+01	8.279E+01	5.008E+01	9.610E+01	4.465E+01

Πίνακας 5 Αποτελέσματα μεταβολής οριακών συνθηκών

Πρωτεύον μέλημα είναι οι συνθήκες του ρευστού να είναι ικανές να ψύξουν όλα τα εξαρτήματα του διακομιστή στα επιτρεπτά επίπεδα λειτουργίας του, όπως παρουσιάζονται στο Πίνακα 6. Ωστόσο ήδη από την Εικόνα 67 και Εικόνα 68 παρατηρείται ότι η 40 °C του ρευστού στη είσοδο είναι απαγορευτική για το σύστημα καθώς ξεπερνάτε η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία των 95 °C του τσιπ της ΚΜΕ.

Εξάρτημα	Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας [°C]
Τσιπ ΚΜΕ	95
Τροφοδοτικό	50
Πλακέτα DDR5	95
Σκληρός δίσκος	75
Τσιπ ΡCH	85
Μητρική πλακέτα	60

Πίνακας 6 Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας εξαρτημάτων

Με σκοπό να ερευνηθεί ποιος συνδυασμός παροχής και θερμοκρασίας είναι πιο αποδοτικός για το σύστημα, υπολογίζεται η συναλλασσόμενη θερμική ισχύς του ρευστού από την είσοδο έως την έξοδο της οπής. Ο τύπος υπολογισμού είναι:

$$Q = \dot{m} * c_p * \Delta T$$

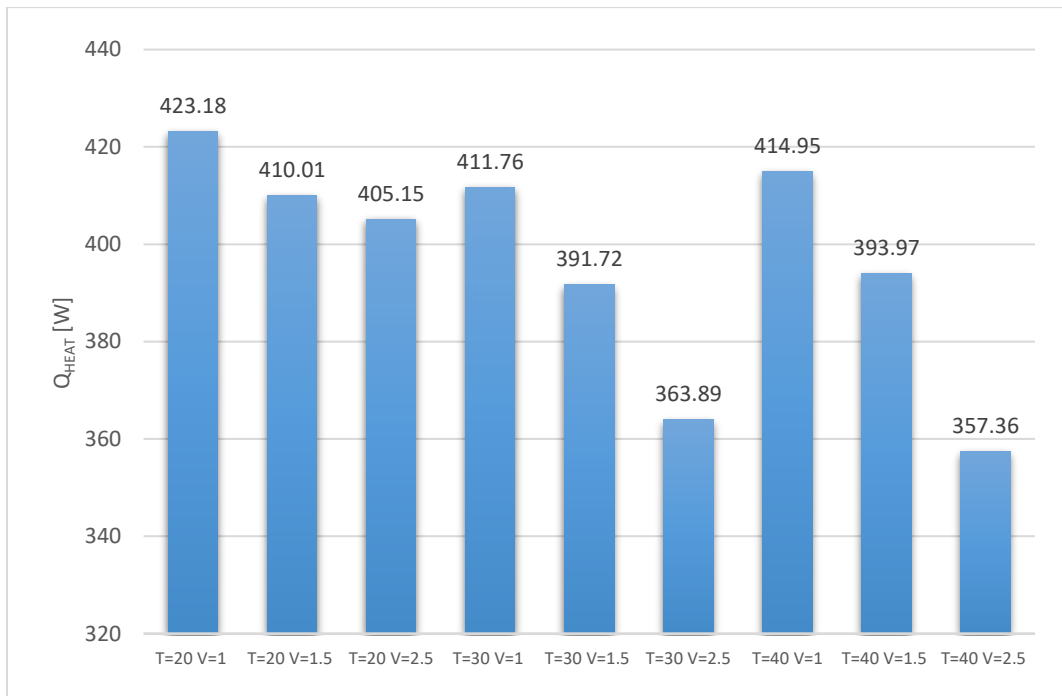
Όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας του ρευστού και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V}$$

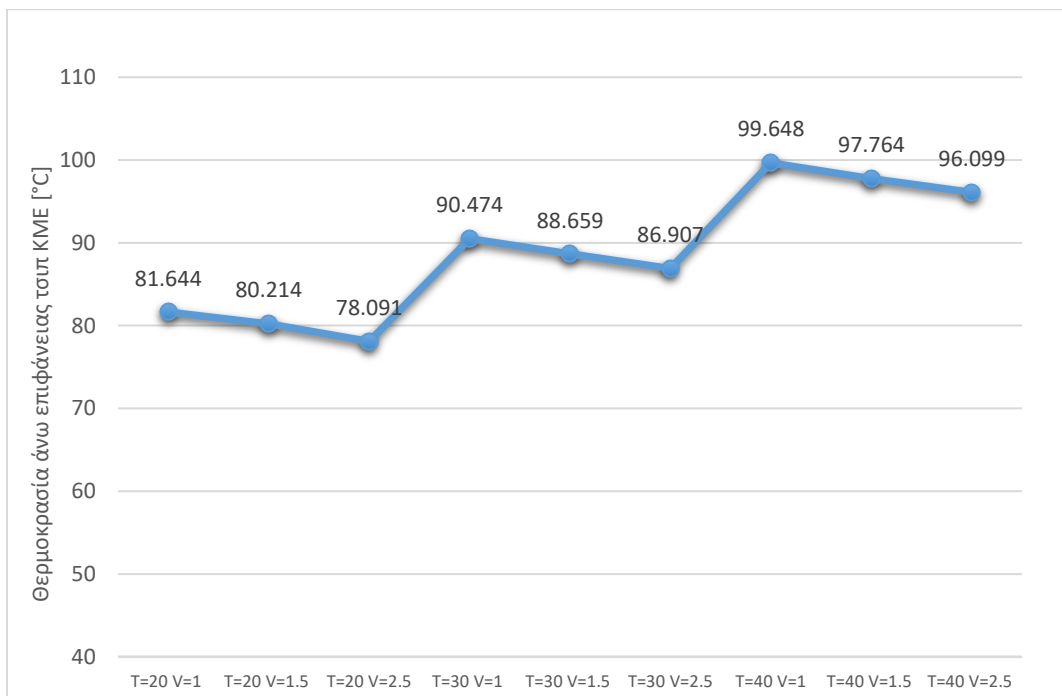
Με ρ συμβολίζεται η πυκνότητα και \dot{V} η ογκομετρική παροχή στη έξοδο. Για την ειδική θερμοχωρητικότητα c_p και την πυκνότητα ρ επειδή εξαρτώνται από την θερμοκρασία, λαμβάνεται ο μέσος όρος στο εύρος τιμών της διαφοράς θερμοκρασίας ΔT εισόδου-εξόδου του ρευστού.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5	Σενάριο 6	Σενάριο 7	Σενάριο 8	Σενάριο 9
C_p [J/kgK]	2159.82	2150.36	2142.79	2195.76	2188.99	2180.63	2233.59	2226.03	2218.46
ρ [kg/m ³]	841.24	842.89	844.21	834.97	836.29	837.61	828.37	829.69	831.01
\dot{V} [m ³ /s]	1.667E-05	2.500E-05	4.167E-05	1.667E-05	2.500E-05	4.167E-05	1.667E-05	2.500E-05	4.167E-05
\dot{m} [kg/s]	0.0140	0.0211	0.0352	0.0139	0.0209	0.0349	0.0138	0.0207	0.0346
ΔT [°C]	13.975	9.048	5.375	13.475	8.559	4.781	13.456	8.532	4.652
Q [W]	423.184	410.014	405.146	411.760	391.722	363.894	414.950	393.967	357.361

Πίνακας 7 Συναλλασσόμενη θερμικής ισχύς ανά σενάριο



Εικόνα 69 Συναλλασσόμενη θερμικής ισχύς ανά σενάριο

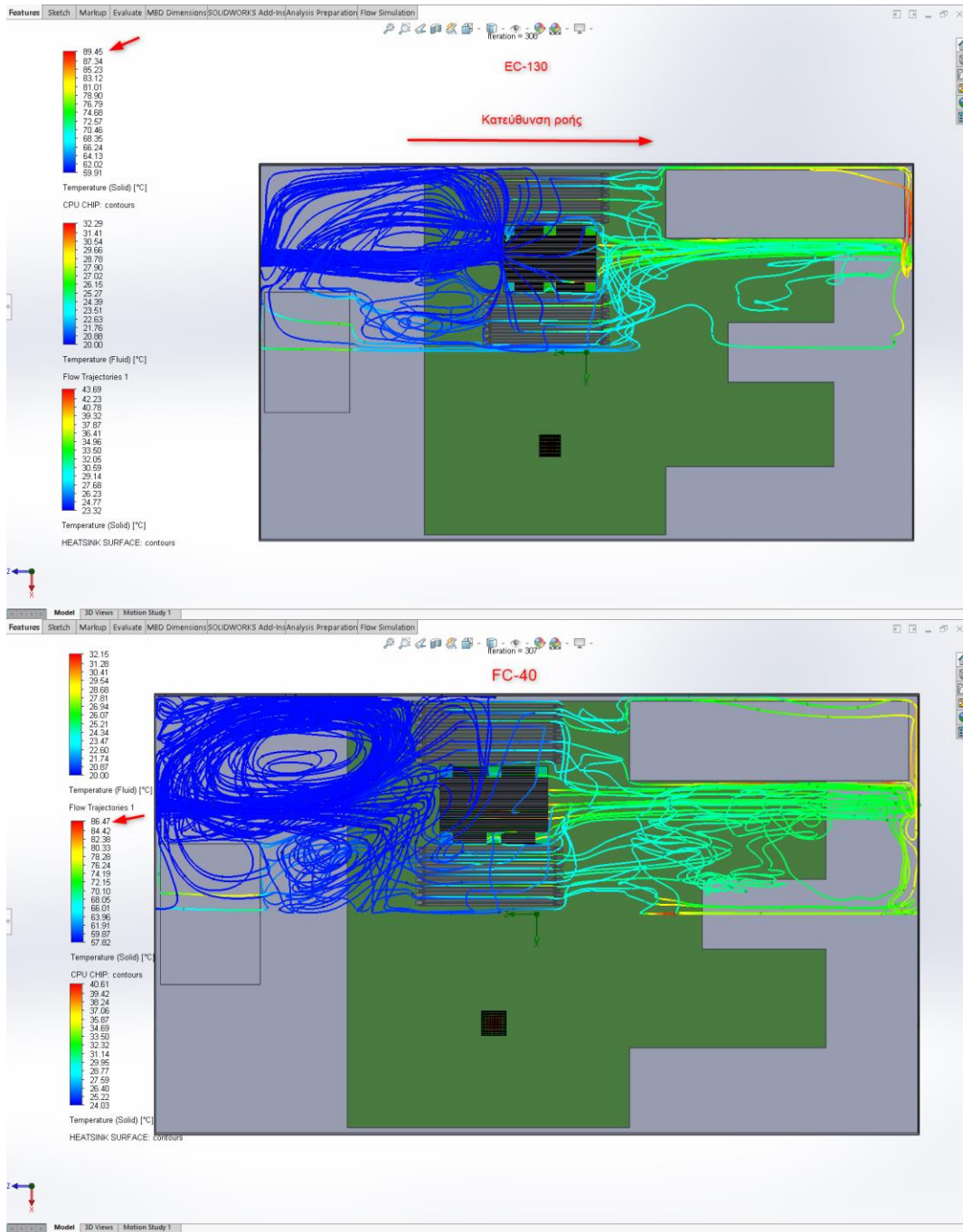


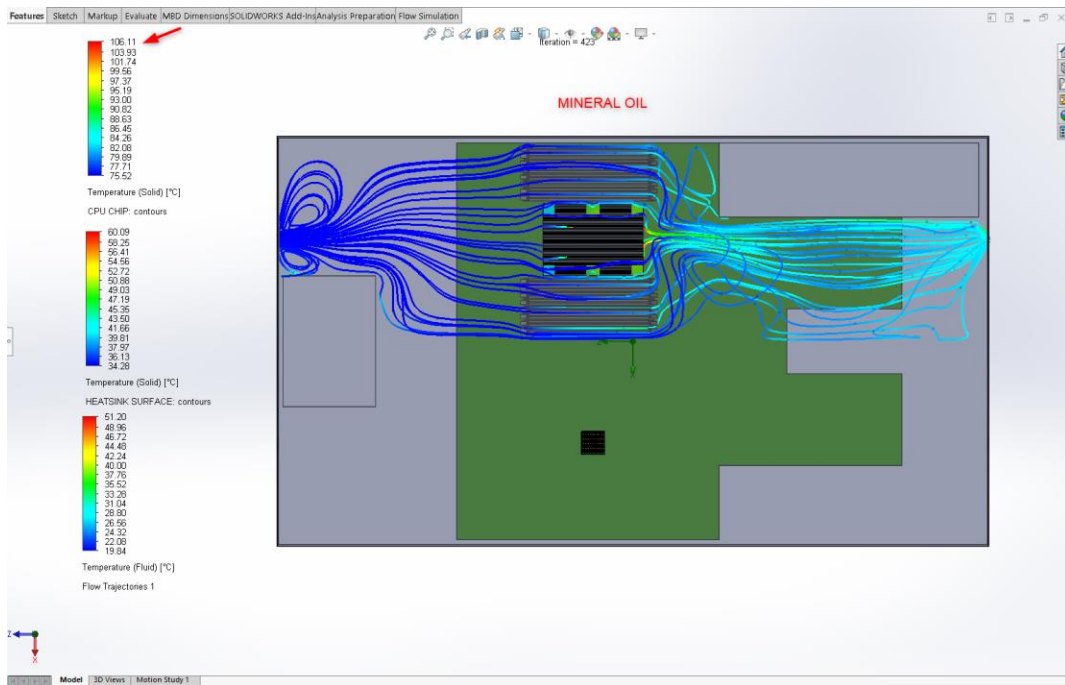
Εικόνα 70 Μέση θερμοκρασία άνω επιφάνειας τσιπ ΚΜΕ για κάθε σενάριο

Βάση τη **Εικόνα 69** είναι εμφανές ότι η πιο αποδοτική συνθήκη είναι αυτή για είσοδο στους 20 βαθμούς και παροχή 1 lpm καθώς η εναλλασσόμενη ισχύ του ρευστού με το σύστημα είναι η μεγαλύτερη. Παράλληλα παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η παροχή σε σταθερή θερμοκρασία εισόδου τόσο πέφτει η ισχύς ενώ ο ρυθμός πτώσης μεγαλώνει αν αυξηθεί η θερμοκρασία. Αντίθετα η μείωση της απορροφούμενης θερμότητας όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού με ίδια παροχή δεν είναι σταθερή διότι στους 40 °C βαθμούς παρατηρείται μια ελαφρώς αύξηση σε σχέση με τους 30 °C. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στη μεγαλύτερη κινητικότητα των μορίων του ρευστού με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενισχύοντας τα φαινόμενα διάχυσης και συναγωγής της θερμότητας.

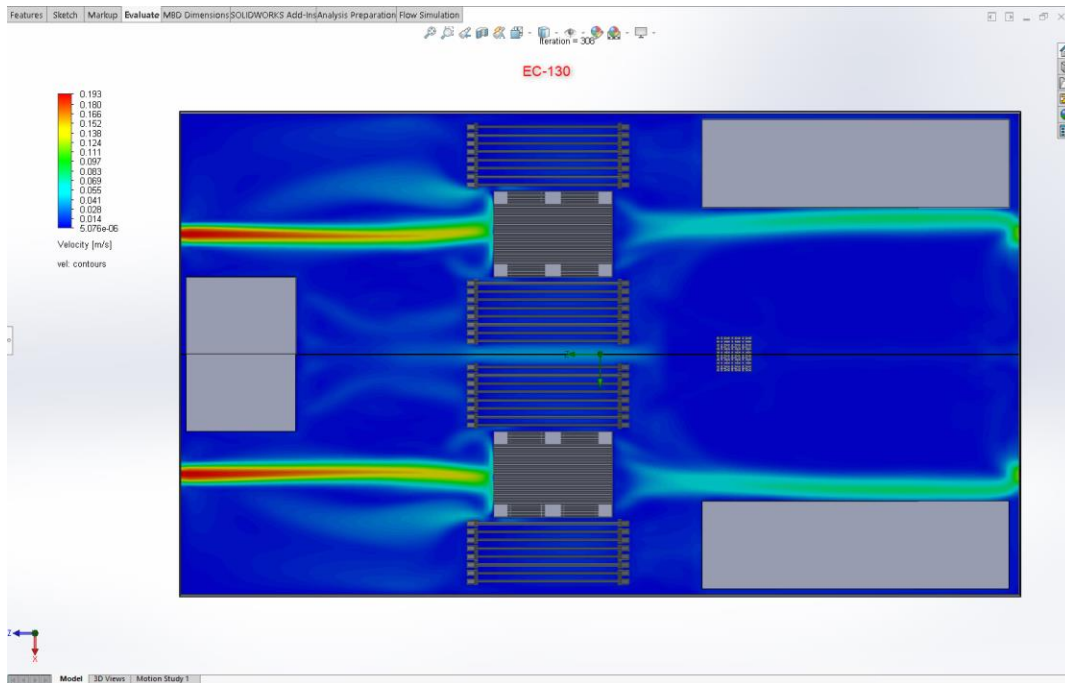
7.2 Θερμική και ροϊκή συμπεριφορά εργαζόμενων μέσων

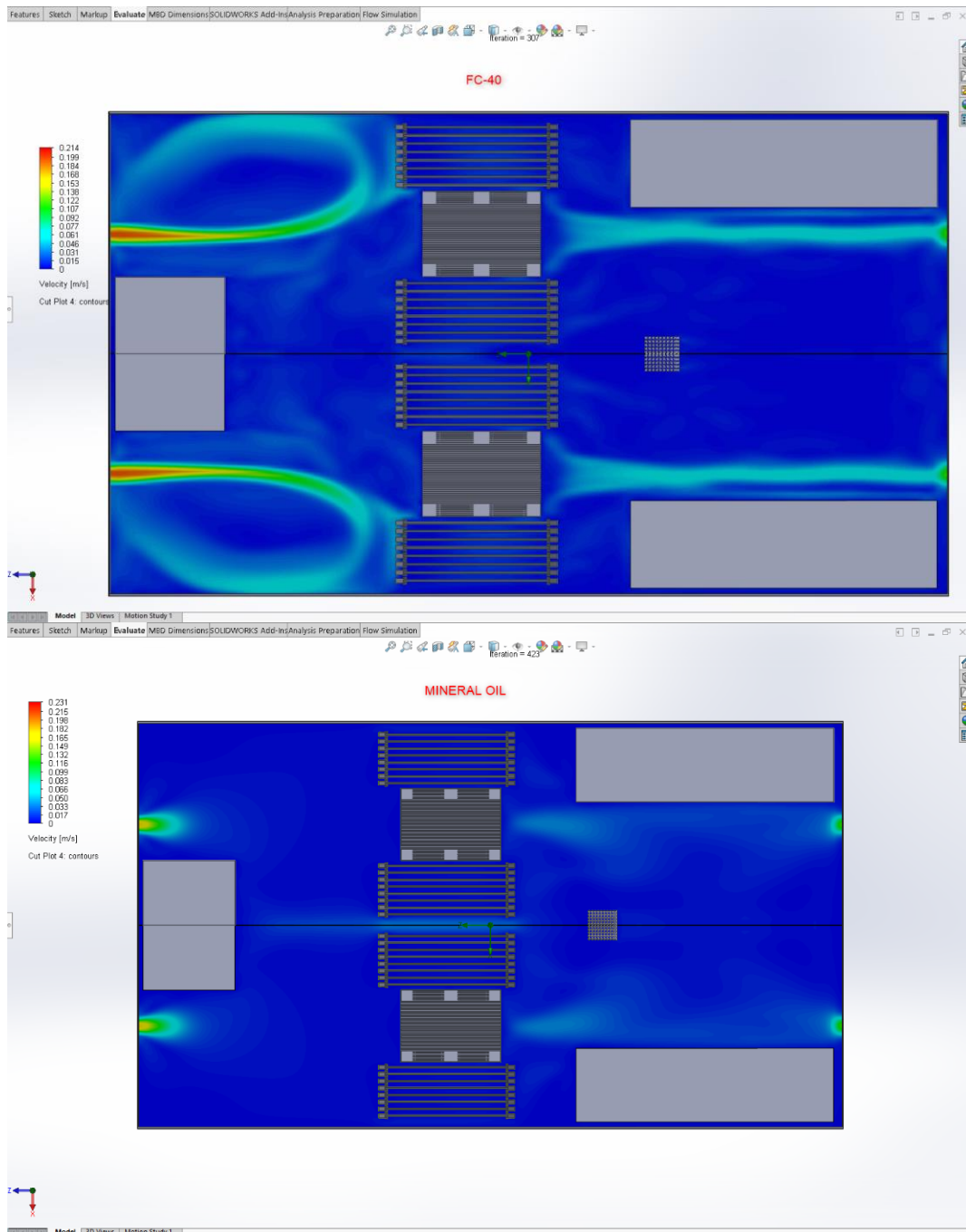
Στην ενότητα σύγκρισης των μελετώμενων ρευστών, παρουσιάστηκαν οι φυσικές και θερμικές ιδιότητες τους. Σε αυτή την ενότητα συγκρίνεται η ροϊκή συμπεριφορά του εργαζόμενου μέσου αλλά και η ικανότητα απαγωγής θερμότητας του από τις πηγές. Όλες οι απεικονίσεις που ακολουθούν και στα επόμενα κεφάλαια είναι για οριακές συνθήκες 20 °C βαθμών στη είσοδο και ογκομετρική παροχή εξόδου 2 lpm. Βασιζόμενη στη βιβλιογραφία, η αύξηση της συνεκτικότητας ενός ρευστού οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας των εξαρτημάτων [6], [22]. Η παραπάνω διαπίστωση επαληθεύεται και στη προκειμένη προσομοίωση καθώς σύμφωνα με τη **Εικόνα 71** το ορυκτέλαιο το οποίο έχει πολύ μεγαλύτερη συνεκτικότητα σε σχέση με το FC-40 και EC-130, επιφέρει μέγιστη θερμοκρασία στο τσιπ της ΚΜΕ ίση με 106.11 °C ενώ για τα άλλα δύο ρευστά 89.45 °C και 86.47 °C. Ενδιαφέρον είναι ότι παρόλο που το EC-130 έχει πολύ μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα από το FC-40 λόγω της μικρής διαφοράς στη συνεκτικότητα επιφέρει μια επιπλέον μείωση της θερμοκρασίας κατά 3 °C βαθμούς. Όσον αφορά στη ροή του ρευστού και στις τρεις περιπτώσεις παρατηρείται η δημιουργία δινών στην είσοδο εξαιτίας της τάσης του ρευστού να ακολουθεί την διαδρομή με την μικρότερη αντίσταση. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο εμφανές με φθίνουσα σειρά για το FC-40 ύστερα για το EC-130 και τέλος για το ορυκτέλαιο. Επιπρόσθετα παρατηρείται ότι κατεύθυνση της ροής κυρίως του EC-130 αλλά και του FC-40 παραμένει στο μεγαλύτερο εύρος σταθερή με αυτή της εισόδου ενώ στο ορυκτέλαιο διαχέεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος έχοντας ως αποτέλεσμα την μη σωστή ψύξη της ΚΜΕ που είναι το πιο καίριο εξάρτημα του διακομιστή [29]. Εφόσον τα αποτελέσματα είναι συμμετρικά, έχουν αποκρυφθεί τα αντικείμενα του άλλου μισού της πλακέτας εκτός του τσιπ της ΚΜΕ για εποπτικούς σκοπούς.





Εικόνα 71 Απεικόνιση ροϊκών γραμμών εντός του διακομιστή





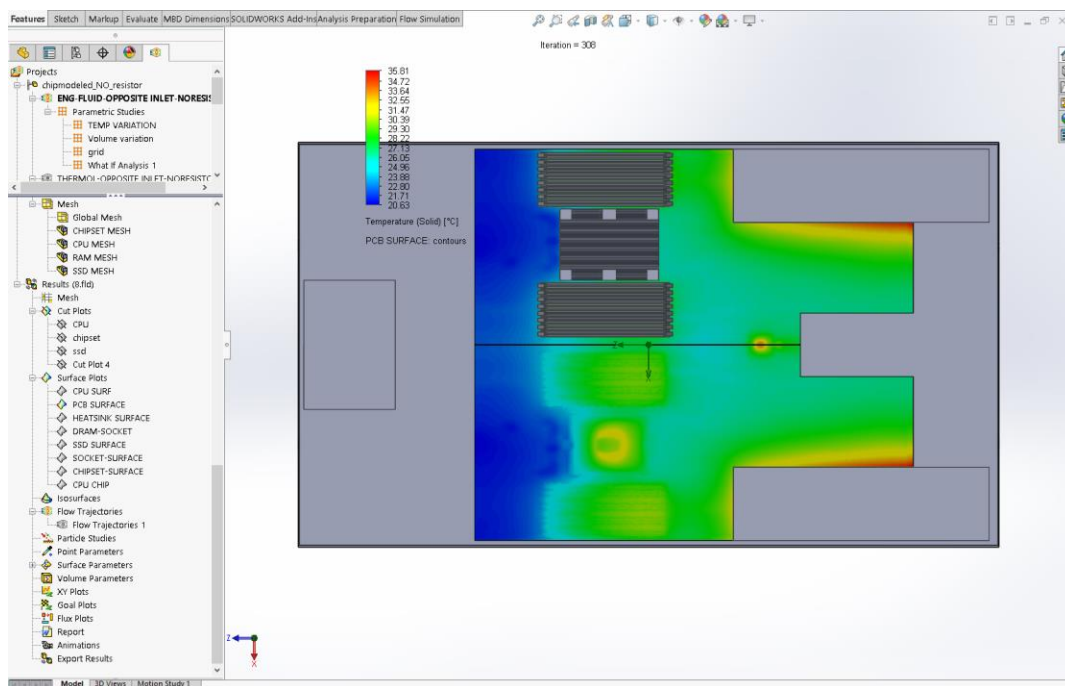
Εικόνα 72 Απεικόνιση πεδίου ταχυτήτων εντός του διακομιστή

Ομοίως τα παραπάνω συμπεράσματα επαληθεύονται και από το πεδίο ταχυτήτων της **Εικόνα 72**. Η μεγαλύτερη ταχύτητα όπως ήταν φυσικό εντοπίζεται στο FC-40 που έχει τη μικρότερη συνεκτικότητα ενώ για το ορυκτέλαιο η ταχύτητα σε όλο σχεδόν το διακομιστή

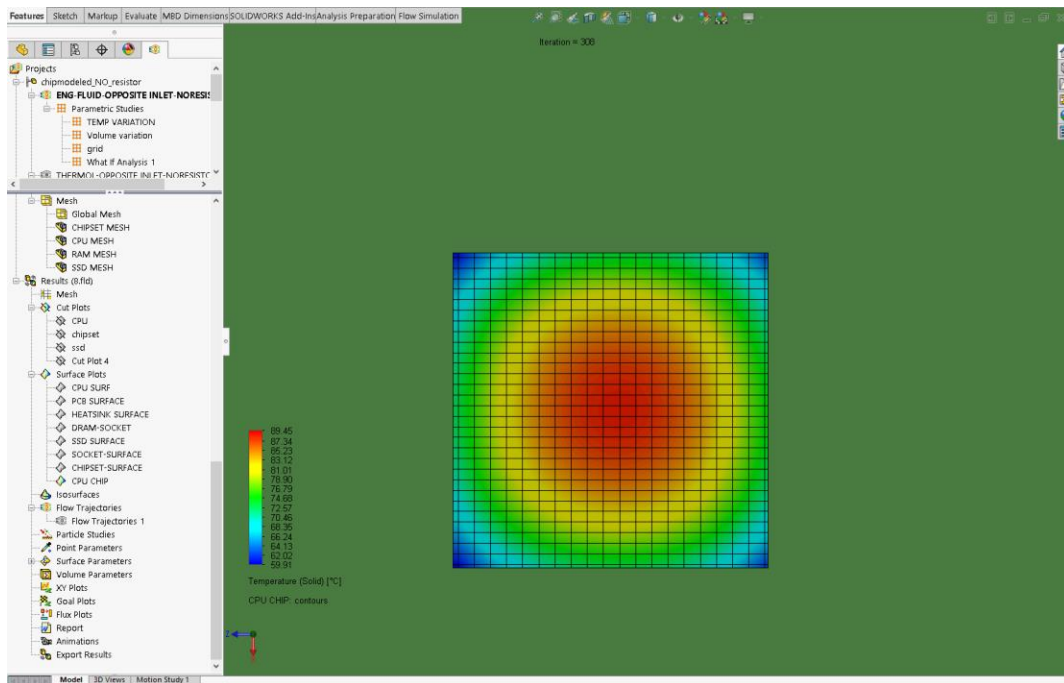
εκτός από την είσοδο είναι πολύ μικρή. Συνεπάγεται ότι στη περίπτωση αυτή το φαινόμενο της φυσικής συναγωγής κυριαρχεί έναντι της εξαναγκασμένης.

7.3 Θερμοκρασιακές κατανομές

Στη παρούσα ενότητα απεικονίζονται οι θερμοκρασιακές κατανομές των αντικειμένων για οριακές συνθήκες 20 °C βαθμών στη είσοδο και ογκομετρική παροχή εξόδου 2 lpm με εργαζόμενο μέσο το EC-130. Από την **Εικόνα 73** της κατανομής της μητρικής πλακέτας όπως ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται είτε κοντά στις θερμικές πηγές ιδιαίτερα των τσιπ της ΚΜΕ και του κεντρικού ελεγκτή είτε προς τη μεριά της εξόδου όπου το ρευστό έχει ανεβάσει θερμοκρασία και η ανταλλαγή θερμότητας είναι εξασθενημένη. Κοντά στην είσοδο του ρευστού επικρατούν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες της πλακέτας κοντά στους 21 °C βαθμούς. Ύστερα στην **Εικόνα 74** παρουσιάζεται το πλέγμα και η κατανομή της θερμοκρασίας γύρω από το τσιπ της ΚΜΕ. Η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το κέντρο του τσιπ βαίνοντας μειούμενη προς τις άκρες ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι τα θερμοκρασιακά επίπεδα είναι ομόκεντροι κύκλοι.

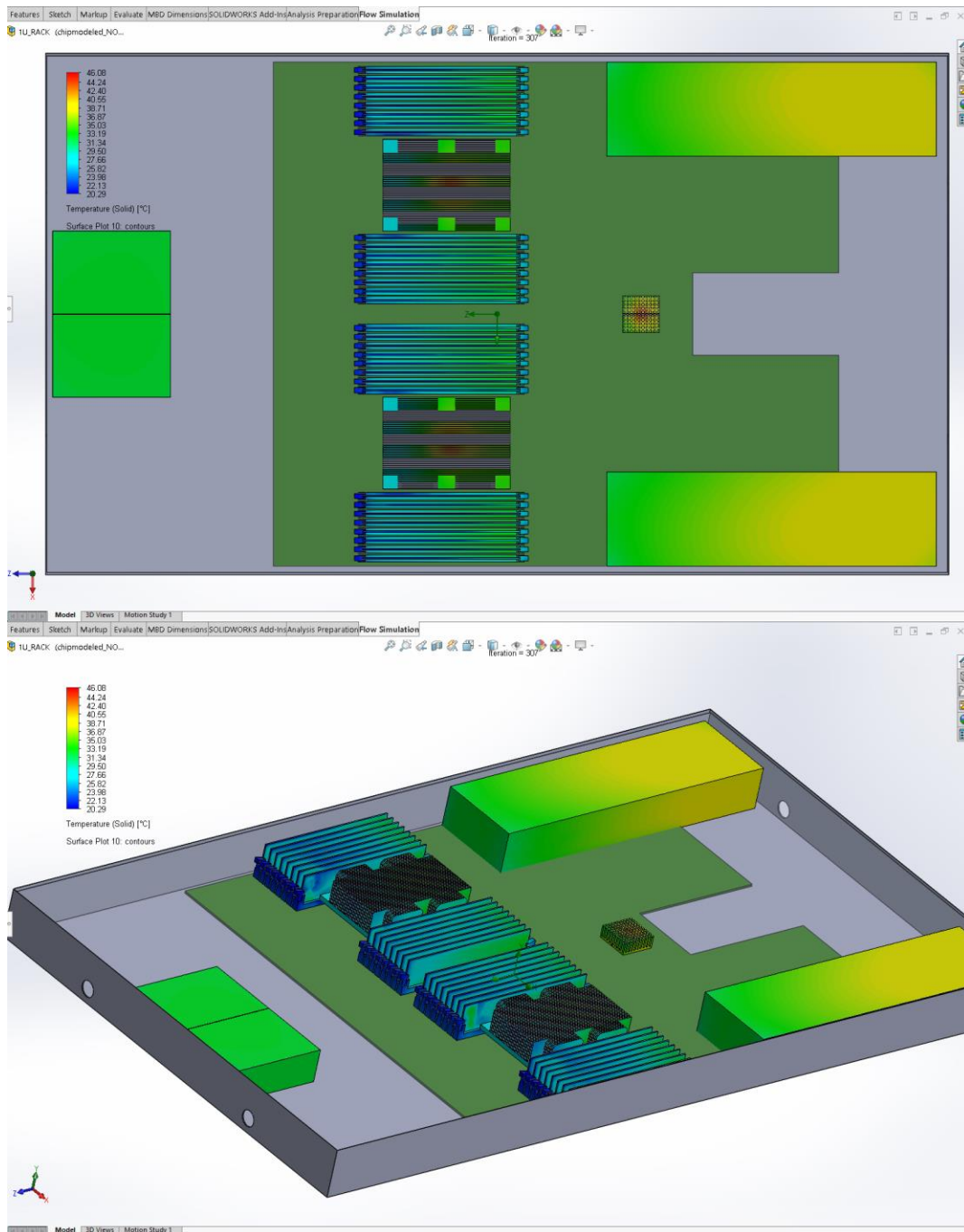


Εικόνα 73 Θερμοκρασιακή κατανομή μητρικής πλακέτας

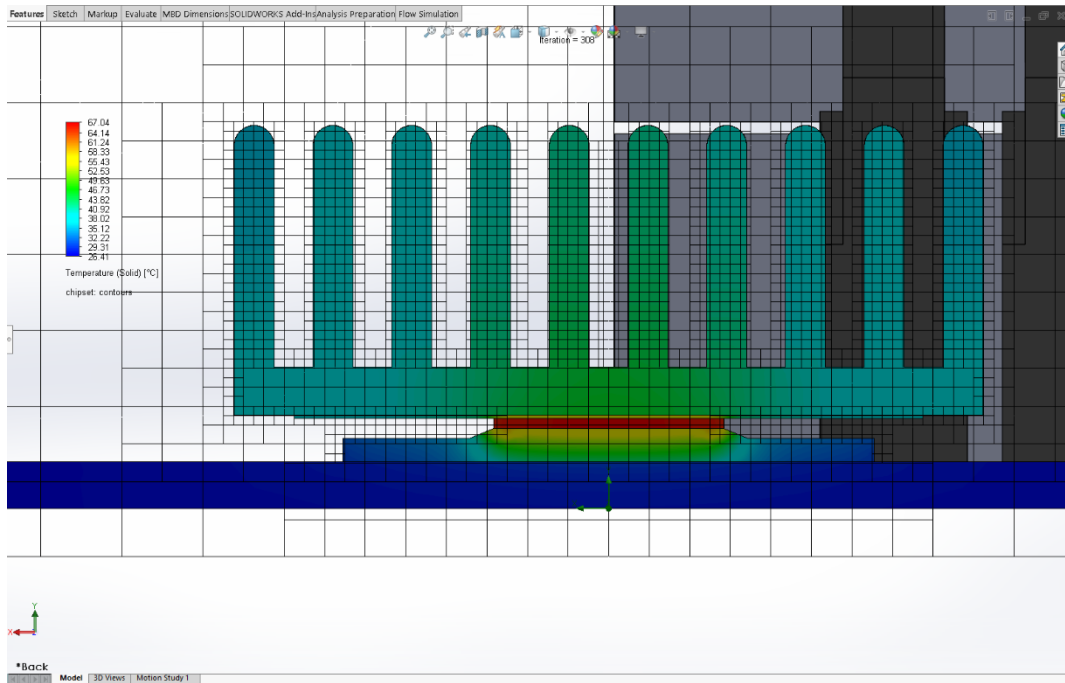


Εικόνα 74 Θερμοκρασιακή κατανομή τσιπ ΚΜΕ

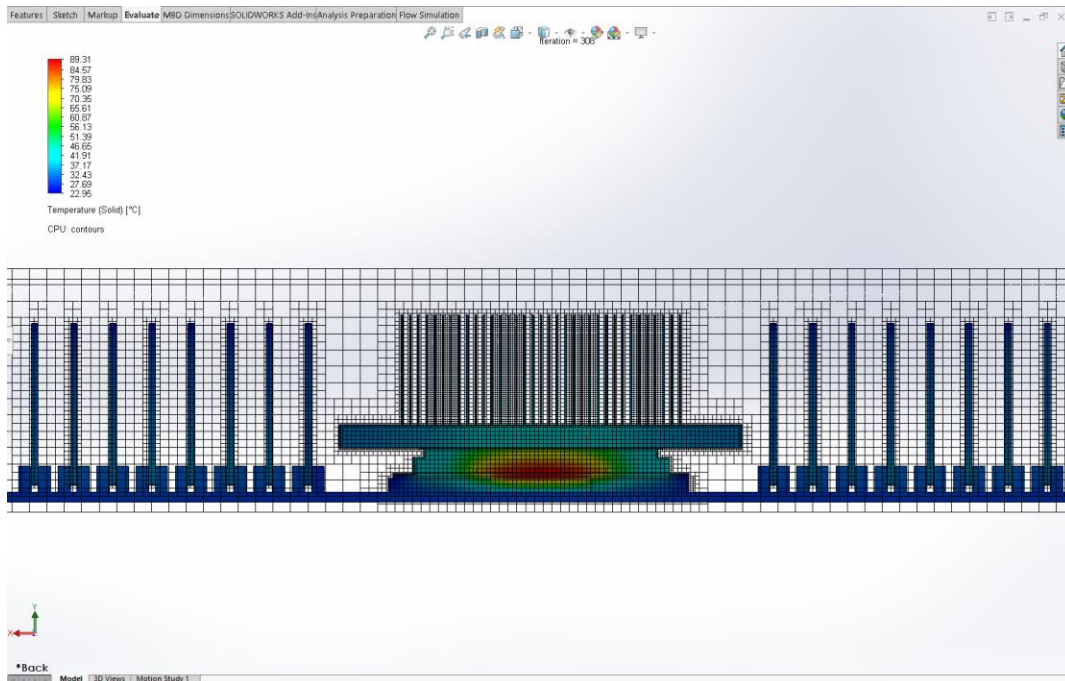
Επακόλουθα στην **Εικόνα 75** εντοπίζονται οι θερμοκρασιακές κατανομές των εξωτερικών επιφανειών των ψυκτών της ΚΜΕ και του κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας, του τροφοδοτικού, της μνήμης τυχαίας προσπέλασης και του καλύμματος υποδοχής των σκληρών δίσκων. Όπως και προηγουμένως, μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε κάθε ένα αντικείμενο παρουσιάζονται προς την πλευρά εξόδου του εργαζόμενου μέσου. Όσον αφορά την ομοιομορφία της θερμοκρασίας, μόνο η θύρα υποδοχής των σκληρών δίσκων διατηρείται στους 33 °C, ωστόσο επειδή η θύρα βρίσκεται δίπλα από τις οπές εισόδου και διότι κάθε ένα άλλο αντικείμενο της εικόνας αποτελεί ή βρίσκεται πάνω από μία πηγή θερμότητας, τότε οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας καθώς η θερμότητα διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις είναι λογική. Η μεγαλύτερη ανομοιομορφία εμφανίζεται στις πλακέτες της μνήμης τυχαίας προσπέλασης. Επειδή οι πλακέτες βρίσκονται πολύ κοντά η μία με την άλλη αλλά και διότι κάθε μία αποτελεί πηγή θερμότητας, η αλληλεπίδραση της εκλυόμενης θερμότητας μεταξύ αυτών σε συνδυασμό με την δυσκολία του εργαζόμενου μέσου να περάσει από τις μικρές κοιλοότητες, επιφέρει την εμφάνιση τοπικών περιοχών συσσωρευμένης θερμότητας (hot spots) πάνω τους.



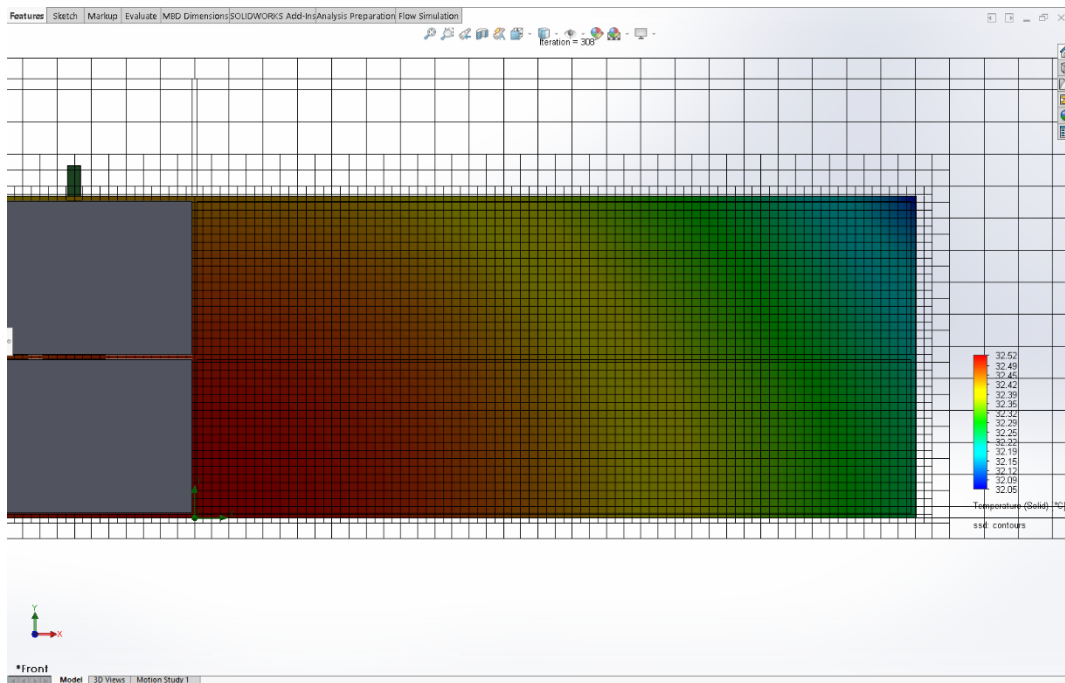
Εικόνα 75 Θερμοκρασιακή κατανομή τροφοδοτικού-ψυκτρών-μνήμης



Εικόνα 76 Cut-plot PCH



Εικόνα 77 Cut-plot CPU



Εικόνα 78 Cut-plot SSD

Στη **Εικόνα 76-Εικόνα 77-Εικόνα 78** προβάλλονται οι τομές κατά y της ΚΜΕ με την μνήμη τυχαίας προσπέλασης, το σκληρό δίσκο μαζί με τις θύρες υποδοχής και τη διάταξη του κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας. Όλες οι τομές βρίσκονται στο μέσο κατά τον z άξονα του κάθε αντικειμένου. Από αυτές τις όψεις είναι δυνατόν να κατανοηθεί η θερμοκρασιακή κατανομή των αντικειμένων καθ' ύψος τόσο στο φαινόμενο της αγωγής όσο και στη συναγωγή του ρευστού με τα εξωτερικά τοιχώματα. Γενικά σε τέτοιου είδους διατάξεις όπως η ΚΜΕ και ο κεντρικός ελεγκτής, η συναρμογή σχεδιάζεται έτσι ώστε η θερμότητα να μεταφέρεται από το τσιπ προς τα άνω επίπεδα δηλαδή την ψύκτρα, όπου τα υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με την βάση της. Από εκεί τα αντικείμενα μέσω συναγωγής ανταλλάζουν την θερμότητα με το ρευστό και ψύχονται. Διεξοδικότερα ο σκληρός δίσκος και η μνήμη τυχαίας προσπέλασης παρουσιάζουν μια σχεδόν ομοιόμορφη θερμοκρασία καθ' ύψος σε όλο το εύρος τους σε σχέση με την ΚΜΕ και το κεντρικό ελεγκτή πλατφόρμας. Κατ' επέκταση είναι διακριτό το πως πυκνώνουν τα κελιά του τοπικού πλέγματος από το εσωτερικό του στερεού στην διεπιφάνεια στερεού-υγρού σε κάθε μία περίπτωση, βάση των συνθηκών που ορίστηκαν στα τοπικά πλέγματα. Αθροιστικά αν εξετασθούν τα θερμοκρασιακά επίπεδα κάθε εξαρτήματος σύμφωνα με τις προηγούμενες εικόνες, συνεπάγεται ότι η παρούσα διαδικασία ψύξης είναι αποτελεσματική εφόσον τηρούνται όλα τα μέγιστα όρια λειτουργίας του **Πίνακας 6**.

8. Συμπεράσματα

Πραγματοποιώντας την προσομοίωση του παρόντος διακομιστή, δόθηκε η δυνατότητα μελέτης και κατανόησης του αναπτυσσόμενου θερμικού πεδίου εντός μιας περιοχής με πυκνωμένες πηγές θερμότητας. Πρωταρχικό συμπέρασμα της διαδικασίας είναι ότι ως παράμετροι ελέγχου, η θερμοκρασία εισόδου διαδραματίζει το μεγαλύτερο ρόλο εφόσον επιφέρει μεταβολές της τάξης των 10°C στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ανά 10°C αύξησης της θερμοκρασίας του ρευστού. Αντίθετα η παροχή συμβάλει σε μικρότερο ποσοστό καθώς επιφέρει το πολύ 2°C μείωση της θερμοκρασίας από 1 lpm σε 1.5 lpm παροχή, ιδιότητα η οποία φθίνει όσο η παροχή αυξάνει πέρα από ένα όριο. Επιπλέον από τη μελέτη της συναλλασσόμενης ισχύος μεταξύ συστήματος και ρευστού, προέκυψε ότι η πιο αποδοτική συνθήκη είναι αυτή για την μικρότερη θερμοκρασία εισόδου και παροχής δηλαδή 20 °C και 1 lpm. Η ταυτόχρονη αύξηση της παροχής και της θερμοκρασίας δυσχεραίνουν αισθητά την απόδοση του συστήματος, ωστόσο η ίδια τάση δεν ακολουθείται στη περίπτωση όπου αυξηθεί η θερμοκρασία και η παροχή μείνει σταθερή καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 30 °C στους 40 °C επέφερε αύξηση της ανταλλασσόμενης θερμικής ισχύος. Η παραπάνω διατύπωση δίνει το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη ως προς την ενεργειακή εξοικονόμηση που δύναται να επιτευχθεί εφόσον δεν απαιτείται η υπερβολική ψύξη του εργαζόμενου μέσου ώστε να διαχειριστεί την αποβαλλόμενη θερμότητα. Παράλληλα υπό αυτή τη συνθήκη, το εξερχόμενο ψυκτικό μέσο λόγω της υψηλής θερμοκρασίας έχει την δυνατότητα να αξιοποιηθεί σε εναλλακτικές ανάγκες του χώρου μέσω ενός εναλλάκτη. Όμως ανάλογα την εγκατάσταση και τα ποσά θερμότητας που απαιτείται να διαχειριστεί όπως και στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι υψηλές θερμοκρασίες εισόδου δεν μπορούν να διαχειριστούν τα τόσο μεγάλα φορτία. Από τα εννέα σενάρια που προσομοιώθηκαν και βάση του **Πίνακα 5** και του **Πίνακα 6** το παρών σύστημα έχει τη δυνατότητα να δουλέψει έως τους 30 °C είσοδο με παροχή από 1.5-2.5 lpm για ασφαλή λειτουργία σε περίπτωση απότομης διαταραχής ενώ η 40 °C είναι μη ρεαλιστική λόγω των υψηλών αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών. Όσον αφορά το εργαζόμενο μέσο, διαπιστώνεται ότι η συνεκτικότητα του αποτελεί το πρώτιστο παράγοντα για αποτελεσματική ψύξη. Αν και το EC-130 έχει ευνοϊκότερες θερμικές ιδιότητες σε σχέση με το FC-40, εξαιτίας της κατά λίγο μεγαλύτερης συνεκτικότητας του παρουσιάζει κατά 2 °C μεγαλύτερη θερμοκρασία στο τοιπ της ΚΜΕ. Παρόλα αυτά όμως αν κανείς αναλογιστεί το περιβαλλοντικό αντίκτυπο, η επιλογή του EC-130 είναι επιτακτική διότι δεν επιφέρει καμία επιβάρυνση στο περιβάλλον. Τέλος αναφερόμενοι στις θερμοκρασιακές κατανομές εντός του διακομιστή από τα γραφήματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι επικρατεί γενικά μια ομοιομορφία χωρίς να παρουσιάζονται επικίνδυνα σημεία συσσώρευσης θερμότητας, δίνοντας το πλεονέκτημα έναντι της ψύξης μέσω αέρα. Συγκεντρωτικά η διάταξη της ΚΜΕ και του κεντρικού ελεγκτή παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λόγω της σημαντικής εκλυόμενης θερμότητας $q \frac{W}{m^2}$ ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία κυμαίνονται στους 5-6 °C διαφορά.

Αναλογιζόμενη την περαιτέρω έρευνα που απαιτείται να γίνει πάνω στο τομέα της ψύξης με εμβάπτιση, η παρούσα εργασία θέτει τα θεμέλια για μια αρχική προσέγγιση. Σε μεταγενέστερο κεφάλαιο ως μελλοντική πρόταση, θα είναι η μελέτη του ενιαίου συστήματος με το εξωτερικό περιβάλλον είτε εξερευνώντας την παράλληλη χρήση της αντλίας μέσα στη θήκη του διακομιστή ενώ είναι βυθισμένος σε μία δεξαμενή με διηλεκτρικό υγρό είτε σε περιβάλλον με αέρα. Επιπλέον, ενδιαφέρον θα είναι να πραγματοποιηθεί μια τεχνοοικονομική μελέτη για το διφασικό σύστημα στο κατά πόσο η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η μείωση του αρχικού κόστους σε συνδυασμό με την αυξημένη απόδοση του θα μπορούσε να επικρατήσει έναντι του μονοφασικού συστήματος. Συνάμα μια πολύ σημαντική πρόταση είναι η διεξαγωγή μιας έρευνας βελτιστοποίησης με θέμα το εντοπισμό της βέλτιστης τοποθέτησης των εξαρτημάτων του διακομιστή ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα φαινόμενα των δινών για την αποτελεσματικότερη εναλλαγή θερμότητας με το εργαζόμενο μέσο. Ομοίως η έρευνα πάνω σε εναλλακτικά υλικά για συστήματα όπως η διάταξη της ΚΜΕ όπου η μεταφορά θερμότητας με αγωγή διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο αλλά και ο πειραματισμός με το πάχος και τη πύκνωση των πτερυγίων των ψυκτών είναι θέματα που δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά και θα συμβάλουν στη περαιτέρω αύξηση της απόδοσης. Τέλος όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης του κατάλληλου συνδυασμού αρχικών συνθηκών ώστε το εξερχόμενο ρευστό να εξέρχεται σε μια υψηλή θερμοκρασία που είναι ιδανική για χρήση σε δευτερογενής ανάγκες όπως το ζεστό νερό ή για τη θέρμανση των χώρων χρήσης του προσωπικού μέσω ενός εναλλάκτη που χρειάζεται να σχεδιασθεί κατάλληλα για την εφαρμογή.

9. Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Θερμικές ιδιότητες υλικών	71
Πίνακας 2 Θερμότητα αποβολής στοιχείων	72
Πίνακας 3 Ιδιότητες εργαζόμενων μέσων	73
Πίνακας 4 Αποτελέσματα ανεξαρτησίας πλέγματος	101
Πίνακας 5 Αποτελέσματα μεταβολής οριακών συνθηκών.....	110
Πίνακας 6 Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας εξαρτημάτων.....	111
Πίνακας 7 Συναλλασσόμενη θερμικής ισχύς ανά σενάριο.....	111

10. Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Ψύξη διπλής φάσης με εμβάπτιση διακομιστή σε δεξαμενή	8
Εικόνα 2 Διάταξη ψύξης με εμβάπτιση μονής φάσης με χρήση πύργου ψύξης	9
Εικόνα 3 Διάταξη ψύξης με εμβάπτιση μονής φάσης με χρήση Dry Cooler	9
Εικόνα 4 Σύγκριση ενεργειακής απόδοσης μεθόδων ψύξης ανά το κόσμο	11
Εικόνα 5 Σύγκριση απορριπτόμενης θερμότητας μεταξύ εμβάπτισης και ψύξης με αέρα.	11
Εικόνα 6 Δημιουργία νέου αρχείου στο πρόγραμμα Solidworks	13
Εικόνα 7 Κύριο περιβάλλον σχεδίασης λογισμικού Solidworks	13
Εικόνα 8 Εντολή Line	14
Εικόνα 9 Εντολή Smart dimension	15
Εικόνα 10 Εντολή Center rectangle	15
Εικόνα 11 Εντολή Trim entities	16
Εικόνα 12 Εντολή mirror entities	16
Εικόνα 13 Εντολή Linear sketch pattern	17
Εικόνα 14 Εντολή Extruded Boss/Base	18
Εικόνα 15 Εντολή Extruded cut	18
Εικόνα 16 Σχεδιασμός μητρικής πλακέτας	23
Εικόνα 17 Σχεδιασμός εσωτερικής κοιλότητας της υποδοχής της ΚΜΕ	26
Εικόνα 18 Σχεδιασμός εξωτερικής επιφάνειας υποδοχής της ΚΜΕ	29
Εικόνα 19 Τρισδιάστατη δημιουργία της υποδοχής της ΚΜΕ	30
Εικόνα 20 Δημιουργία τελικού τεμαχίου υποδοχής της ΚΜΕ	31
Εικόνα 21 Κάλυψη κενού υποδοχής ΚΜΕ	31
Εικόνα 22 Δημιουργία υποστρώματος κεντρικής μονάδας επεξεργασίας	32
Εικόνα 23 Σχεδιασμός κάτω μέρους καλύμματος ΚΜΕ	34
Εικόνα 24 Σχεδιασμός άνω επιφάνειας καλύμματος ΚΜΕ	37
Εικόνα 25 Σχεδιασμός μικροεπεξεργαστή	39
Εικόνα 26 Σχεδιασμός υλικού θερμικής διεπιφάνειας	40
Εικόνα 27 Δημιουργία επίπεδου σχεδίασης για την ψύκτρα	41
Εικόνα 28 Σχεδιασμός πτερυγίων και βάσης ψύκτρας	43
Εικόνα 29 Σχεδιασμός εγκοπών και λοξοτομή πτερυγίων ψύκτρας	44
Εικόνα 30 Τομή διάταξης κεντρικής μονάδας επεξεργασίας	45
Εικόνα 31 Κατασκευή βάση υποδοχής μνήμης τυχαίας προσπέλασης	47
Εικόνα 32 Κατασκευή άγκιστρων βάσης τυχαίας μνήμης προσπέλασης	49
Εικόνα 33 Σχεδίαση εγκοπής βάσης τυχαίας μνήμης προσπέλασης	50
Εικόνα 34 Δημιουργία πλακέτας μνήμης τυχαίας προσπέλασης	52
Εικόνα 35 Δημιουργία μοτίβου μνήμης τυχαίας προσπέλασης ως προς την ψύκτρα	53
Εικόνα 36 Σχεδιασμός τροφοδοτικού	54
Εικόνα 37 Σχεδιασμός υποστρώματος κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	57
Εικόνα 38 Σχεδιασμός τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	57
Εικόνα 39 Σχεδιασμός θερμικού υλικού διεπιφάνειας κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	58

Εικόνα 40 Δημιουργία ψύκτρας κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	61
Εικόνα 41 Σχεδιασμός καλύμματος εξωτερικής μονάδας.....	63
Εικόνα 42 Διαστασιολόγηση οπών εισόδου-εξόδου	63
Εικόνα 43 Αντικατοπτρισμός στοιχείων στο δεξί μέρος της μητρικής πλακέτας.....	64
Εικόνα 44 Δημιουργία οπών εισόδου.....	65
Εικόνα 45 Δημιουργία θύρας υποδοχής δίσκου σταθερής κατάστασης	67
Εικόνα 46 Σχεδιασμός δίσκου σταθερής κατάστασης.....	68
Εικόνα 47 Δημιουργία υπόλοιπων δίσκων σταθερής κατάστασης.....	69
Εικόνα 48 Τελικό τεμάχιο διακομιστή σε ράφι.....	69
Εικόνα 49 Ενεργοποίηση λειτουργίας Flow Simulation.....	70
Εικόνα 50 Ιδιότητες εργαζόμενων μέσω.....	75
Εικόνα 51 Εισαγωγή ιδιοτήτων ρευστού και στερεών υλικών.....	76
Εικόνα 52 Προ-εγκατεστημένα στερεά βιβλιοθήκης Solidworks	77
Εικόνα 53 Στεγανοποίηση τεμαχίου	78
Εικόνα 54 Αρχικές παράμετροι προσομοίωσης.....	82
Εικόνα 55 Οριοθέτηση υπολογιστικού χωρίου	83
Εικόνα 56 Ορισμός υλικών στερεών σωμάτων.....	91
Εικόνα 57 Ορισμός υλικού μητρικής πλακέτας	93
Εικόνα 58 Ορισμός θερμικών πηγών συστήματος	96
Εικόνα 59 Προσδιορισμός οριακών συνθηκών εισόδου-εξόδου	98
Εικόνα 60 Ορισμός στόχων σύγκλισης.....	100
Εικόνα 61 Ανεξαρτησία πλέγματος τσιπ κεντρικού ελεγκτή πλατφόρμας	102
Εικόνα 62 Ανεξαρτησία πλέγματος ρευστού	102
Εικόνα 63 Ορισμός βασικού πλέγματος	103
Εικόνα 64 Ορισμός τοπικού πλέγματος.....	105
Εικόνα 65 Τελικό πλέγμα σύγκλισης.....	106
Εικόνα 66 Έναρξη επίλυσης	107
Εικόνα 67 Μεταβολή θερμοκρασίας τσιπ με παροχή	109
Εικόνα 68 Μεταβολή θερμοκρασίας τσιπ με θερμοκρασία εισόδου ρευστού	110
Εικόνα 69 Συναλλασσόμενη θερμικής ισχύς ανά σενάριο	112
Εικόνα 70 Μέση θερμοκρασία άνω επιφάνειας τσιπ ΚΜΕ για κάθε σενάριο	112
Εικόνα 71 Απεικόνιση ροϊκών γραμμών εντός του διακομιστή	115
Εικόνα 72 Απεικόνιση πεδίου ταχυτήτων εντός του διακομιστή.....	116
Εικόνα 73 Θερμοκρασιακή κατανομή μητρικής πλακέτας.....	117
Εικόνα 74 Θερμοκρασιακή κατανομή τσιπ ΚΜΕ	118
Εικόνα 75 Θερμοκρασιακή κατανομή τροφοδοτικού-ψυκτρών-μνήμης.....	119
Εικόνα 76 Cut-plot PCH	120
Εικόνα 77 Cut-plot CPU	120
Εικόνα 78 Cut-plot SSD.....	121

11. Κατάλογος Αναφορών

- [1] A. Chhetri, D. Kashyap, A. Mali, C. Agarwal, C. Ponraj, and N. Gobinath, “Numerical simulation of the single-phase immersion cooling process using a dielectric fluid in a data server,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2022, pp. 1532–1538. doi: 10.1016/j.matpr.2021.10.325.
- [2] J. W. Elliott, M. T. Lebon, and A. J. Robinson, “Optimising integrated heat spreaders with distributed heat transfer coefficients: A case study for CPU cooling,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 38, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102354.
- [3] M. Kuzay *et al.*, “Retrofitting of an air-cooled data center for energy efficiency,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 36, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102228.
- [4] N. A. Pambudi, A. Sarifudin, R. A. Firdaus, D. K. Ulfa, I. M. Gandidi, and R. Romadhon, “The immersion cooling technology: Current and future development in energy saving,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 12. Elsevier B.V., pp. 9509–9527, Dec. 01, 2022. doi: 10.1016/j.aej.2022.02.059.
- [5] “Data Center Handbook_ Plan, Design, Build, And Operations Of A Smart Data Center”.
- [6] Y. Huang, J. Ge, Y. Chen, and C. Zhang, “Natural and forced convection heat transfer characteristics of single-phase immersion cooling systems for data centers,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 207, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124023.
- [7] “Intel® Server System M50FCP1UR Technical Product Specification Delivering Breakthrough Data Center System Innovation-Experience What’s Inside!,” 2023. Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/content-details/710134/intel-server-system-m50fcp1ur-technical-product-specification.html>
- [8] “Intel® Xeon® Processor Scalable Family Thermal Mechanical Specifications and Design Guide,” 2019. Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/guides/xeon-scalable-thermal-guide.pdf>
- [9] “Intel® Server Board M50FCP2SBSTD Technical Product Specification.” Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0CAIQw7AJahcKEwi4q_jh2ZaAAxUAAAAAHQAAAAAQAw&url=https%3A%2F%2Fcd.rdrv2-public.intel.com%2F710135%2FIntel_Server_Board_M50FCP2SBSTD_TPS_Rev1_2.p

df&psig=AOvVaw0TeScIVsz5Mjzn7vm9wQVf&ust=1689716251401845&opi=89978449

- [10] KIOXIA, “DataCenterSSD_DataSheet_E”, Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: https://europe.kioxia.com/content/dam/kioxia/shared/business/ssd/data-center-ssd/asset/datasheet/DataCenterSSD_DataSheet_E.pdf
- [11] “Intel® 7 Series / C216 Chipset Platform Controller Hub (PCH) Thermal Mechanical Specifications and Design Guidelines (TMSDG),” 2012. Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/design-guides/7-series-chipset-pch-thermal-design-guide.pdf>
- [12] Micron, “288-Pin DDR5 RDIMM Core Product Description Products and specifications discussed herein are subject to change by Micron without notice. DDR5 SDRAM RDIMM Core Product Description,” 2020. Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: https://media-www.micron.com/-/media/client/global/documents/products/datasheet/modules/rDIMM/ddr5/ddr5_rDIMM_core.pdf?rev=dc8b0e51b80f44678605c50f31effcdc.
- [13] TE connectivity, “ENG_CD_2317336_A1-3050199”, Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: https://gr.mouser.com/datasheet/2/418/8/ENG_CD_2317336_A1-3050199.pdf
- [14] MURATA, “D1U3CS-W-1300F-12-Hx4EC Series.” Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.murata.com/en-eu/products/productdetail?partno=D1U3CS-W-1300F-12-HA4EC>
- [15] H. International Inc, “Thermal Interface Materials Honeywell TIMs Serve Multiple Applications Consumer Electronics.” Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://thermalmanagement.honeywell.com/content/dam/thermalmanagement/en/documents/document-lists/technical/PCM45F-ThermalManagement-Datasheet.pdf>
- [16] PARKER, “Thermal Interface Materials For Electronics Cooling Products & Custom Solutions Catalog.” Accessed: Jul. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Chomerics/Parker-Chomerics-Thermal-Catalog.pdf>
- [17] NICKEL INSTITUTE, “Mechanical Properties of copper-nickel alloys.” <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/copper-nickel-alloys/mechanical-properties-of-copper-nickel-alloys/> (accessed Jul. 21, 2023).
- [18] Copper Development Association Inc., “Copper-Nickel Alloys: Properties, Processing, Applications.”

- https://www.copper.org/applications/marine/cuni/properties/DKI_booklet.html (accessed Jul. 21, 2023).
- [19] “Matweb.” <https://matweb.com/> (accessed Jul. 19, 2023).
- [20] “Intel® C741 Chipset.” <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/227842/intel-c741-chipset/specifications.html> (accessed Jul. 21, 2023).
- [21] “Intel® Xeon® Gold 5418N Processor.” <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/232392/intel-xeon-gold-5418n-processor-45m-cache-1-80-ghz/specifications.html> (accessed Jul. 21, 2023).
- [22] H. Shrigondekar, Y. C. Lin, and C. C. Wang, “Investigations on performance of single-phase immersion cooling system,” *Int J Heat Mass Transf*, vol. 206, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.123961.
- [23] Thermol, “MOL Thermol 46 heat transfer oil,” 2021. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: https://mol.hu/images/content/LUB_repo/TDS_MOL%20Thermol%2046_GB.pdf
- [24] “3M™ Fluorinert™ Electronic Liquid FC-40.” Accessed: Jul. 24, 2023. [Online]. Available: <https://multimedia.3m.com/mws/media/648880/3m-fluorinert-electronic-liquid-fc40.pdf>
- [25] ElectroCool, “ElectroCool® Dielectric Coolants Heat Transfer Fluids for use in Immersive Cooling of Electrical Devices,” 2017. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.engineeredfluids.com/products/electrocool/>
- [26] “TECHNICAL REFERENCE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION 2021.” Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.cati.com/wp-content/uploads/2021/04/swflow2021-technical-reference.pdf>
- [27] R. Eiland, J. E. Fernandes, M. Vallejo, A. Siddarth, D. Agonafer, and V. Mulay, “Thermal Performance and Efficiency of a Mineral Oil Immersed Server over Varied Environmental Operating Conditions,” *Journal of Electronic Packaging, Transactions of the ASME*, vol. 139, no. 4, Dec. 2017, doi: 10.1115/1.4037526.
- [28] D. Gandhi *et al.*, “Computational analysis for thermal optimization of server for single phase immersion cooling,” in *ASME 2019 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems, InterPACK 2019*, American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2019. doi: 10.1115/IPACK2019-6587.

- [29] X. Li, Z. Xu, S. Liu, X. Zhang, and H. Sun, "Server performance optimization for single-phase immersion cooling data center," *Appl Therm Eng*, vol. 224, p. 120080, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120080.