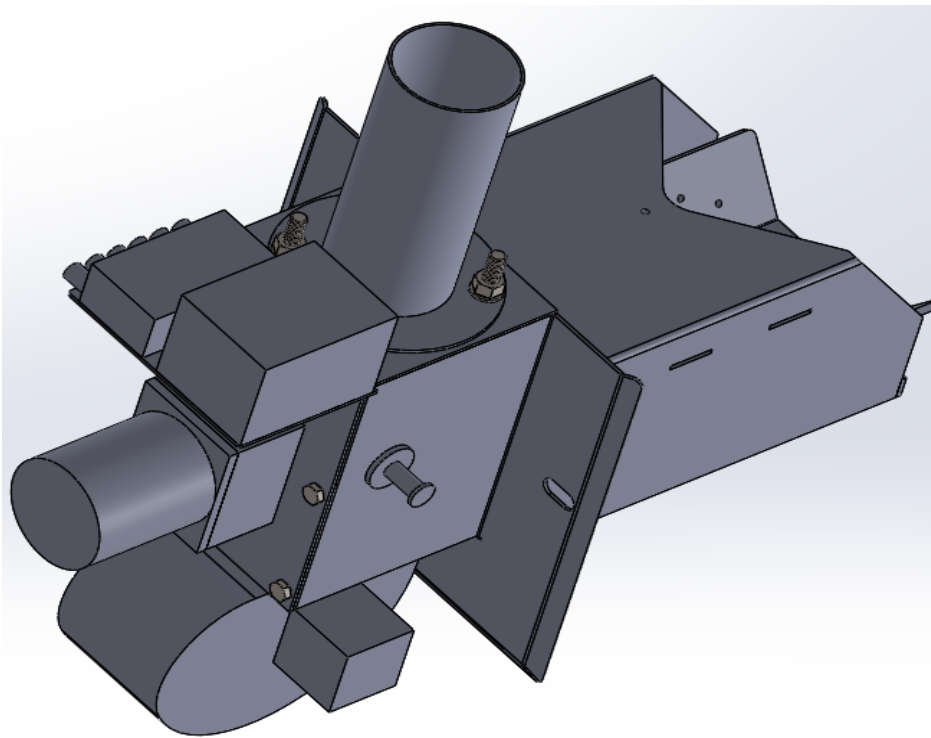


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΕΛΕΤΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (PELLET)



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΛΑΧΟΣ (Α.Μ: 6270)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΥ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του τμήματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην κατασκευή καυστήρα πέλλετ. Είναι γνωστό το ότι το πετρέλαιο δεν αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και στο μέλλον θα πρέπει να βρεθούν λύσεις για την απεμπλοκή της ενεργειακής κάλυψης από αυτό. Το πέλλετ καθώς προέρχεται από το ξύλο αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και το ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα καίγοντας πέλλετ είναι μηδενικό. Θα μπορούσε σαν καύσιμο να συντελέσει στην μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη παρατηρείται η ολοένα και αυξανόμενη χρήση του για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε κατοικίες, στην αγροτική παραγωγή (θερμοκήπια) και στην βιομηχανία. Η τάση αυτή έχει εμφανιστεί και στην χώρα μας καθώς η τιμή του πετρελαίου είναι αρκετά υψηλή. Το ενδιαφέρον για οικονομικότερο καύσιμο είναι ιδιαίτερα μεγάλο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή Ευθυμίου Ανδρέα κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα πρόσωπα της οικογένειάς μου, τα οποία με στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη, σε όσους στάθηκαν δίπλα μου με κάθε τρόπο και με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ιωάννης Βλάχος  
Απρίλιος 2017

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Ιωάννης Βλάχος

.....

(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και κατασκευή καυστήρα πέλλετ. Περιλαμβάνει την μελέτη κατασκευής και τα βήματα της υλοποίησης του καυστήρα. Ο καυστήρας που κατασκευάστηκε μπορεί να αντικαταστήσει καυστήρες πετρελαίου σε υπάρχοντες λέβητες. Η παρουσίαση του θέματος γίνεται μέσα από δέκα κεφάλαια.

Στην αρχή γίνεται μία εισαγωγή στο θέμα ώστε ο αναγνώστης να εξοικειωθεί με τους όρους και τα βασικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται μέσα από την εργασία.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της καύσης ως χημική αντίδραση. Παρουσιάζονται οι διάφοροι τρόποι τροφοδοσίας με αέρα της καύσης και εμφανίζεται ο όρος του συντελεστή απόδοσης της καύσης και το πώς αυτός σχετίζεται με την περίσσια αέρα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται θεωρητική προσέγγιση όλων των ειδών των καυστήρων. Παρουσιάζονται οι καυστήρες αέριων, υγρών και στερεών καυσίμων. Είναι σημαντικό να έχουμε μια συνολική θεώρηση των ειδών των καυστήρων πριν προχωρήσουμε την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του καυστήρα πέλλετ.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των διάφορων λεβήτων. Ο λέβητας αποτελεί τον εναλλάκτη θερμότητας που αναλαμβάνει να παραλάβει το θερμικό φορτίο από τα καπναέρια και να το μεταφέρει είτε στο νερό είτε στον αέρα είτε στον ατμό ανάλογα με το είδος του λέβητα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχει παρουσίαση του καυσίμου πέλλετ. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά του οι διάφορες ποιότητες καυσίμου που υπάρχουν στην αγορά και οι διάφορες κατηγοριοποιήσεις του. Γίνεται αναφορά και στις πιστοποιήσεις του καυσίμου πέλλετ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο ξεκινά η μελέτη για τον καυστήρα πέλλετ. Αναλύεται η λειτουργία του καυστήρα πέλλετ που κατασκευάστηκε. Στη συνέχεια γίνεται και αναφορά στα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε και στα εξαρτήματα με τα οποία είναι εφοδιασμένος.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη διαστάσεων της κατασκευής. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα τρισδιάστατα σχέδια κατασκευασμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks μέσα από τα οποία έγινε ένα μέρος της μελέτης διαστάσεων.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη των μηχανουργικών κατασκευών του καυστήρα (κοπής και κάμψης ελασμάτων). Παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά την κάμψη (στρατζάρισμα) των ελασμάτων στο μηχανουργικό εργαστήριο του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη της κατασκευής μέσα από τα σχέδια συναρμολόγησης που έγιναν στο SolidWorks και αναλύεται ο τρόπος συναρμολόγησης των τμημάτων που αποτελούν τον καυστήρα.

Τέλος στο ένατο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της παρούσας εργασίας με σκοπό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>		1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>ΚΑΥΣΗ – ΕΞΩΘΕΡΜΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ</b>	3
1.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ	3
1.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΗΣ	3
1.3	ΑΕΡΑΣ ΚΑΥΣΗΣ	4
1.4	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ</b>	7
2.1	ΓΕΝΙΚΑ	7
2.2	ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	7
2.3	ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	9
2.3.1	Βασικές αρχές καύσης σε καυστήρες πετρελαίου	9
2.3.2	Βασικές αρχές σε καυστήρες μαζούτ	9
2.3.3	Κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά καυστήρων υγρών καυσίμων	11
2.4	ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>ΧΡΗΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ</b>	16
3.1	ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ	16
3.2	ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ	17
3.3	ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>ΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ PELLEΤ</b>	23
4.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PELLEΤ	23
4.2	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ PELLEΤ	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ PELLEΤ</b>	26
5.1	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΠΕΛΛΕΤ	26
5.2	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ	28
5.3	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ	29
5.3.1	Ηλεκτρικός κινητήρας	29
5.3.2	Φυσητήρας για την εισαγωγή αέρα	30
5.3.3	Ηλεκτρική αντίσταση για την έναυση του πέλλετ	31
5.3.4	Φωτοαισθητήριο	31
5.3.5	Θερμοστάτης ασφάλειας	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ</b>	33
6.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΗΤΗΡΑ	33
6.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΥ ΚΑΥΣΗΣ	35

6.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	36
6.4	ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	<b>ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΑ</b>	<b>63</b>
7.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕ LASER	63
7.1.1	Ιστορικά στοιχεία	63
7.1.2	Αρχή λειτουργίας	63
7.1.3	Ισχύς του Laser	64
7.1.4	Είδος και πίεση του αερίου κοπής	65
7.1.5	Η θέση της εστίας της δέσμης σε σχέση με την επιφάνεια	65
7.2	ΚΑΜΨΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ (ΣΤΡΑΤΖΑΡΙΣΜΑ)	65
7.2.1	Γενικά	65
7.2.2	Ουδέτερος άξονας	65
7.2.3	Αναπήδηση του υλικού	67
7.2.4	Υπολογισμοί κατά την κάμψη	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	<b>ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ</b>	<b>73</b>
8.1	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ	73
8.2	ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	84
8.3	ΤΟΜΕΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ	85
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>87</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>		<b>88</b>



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την κατασκευή ενός καυστήρα πέλλετ. Ο καυστήρας θα λειτουργεί αυτόματα ελεγχόμενος από ηλεκτρονικό controller. Η εργασία ευελπιστεί να συμβάλει έστω και σε μικρό βαθμό στην διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων για την ενεργειακή κάλυψη.

Η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας και συγκεκριμένα για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης είναι συνυφασμένη με τον ανθρώπινο πολιτισμό (Κασίμης κ.α. 2006). Υπάρχουν μαρτυρίες (κυρίως από τοιχογραφίες) ότι ο άνθρωπος κατέφευγε στη χρήση της φωτιάς για να ζεσταθεί. Από την αρχαιότητα η εστία είχε κυρίαρχο ρόλο στο κέντρο κάθε σπιτιού, μάλιστα δεν λείπουν οι αναφορές κατά τις οποίες η φωτιά λατρευόταν ως θεότητα. Με την πάροδο των χρόνων εξελίχθηκαν διάφορες συσκευές με τις οποίες οι άνθρωποι θερμαίνονταν. Κατά την εξέλιξη των συσκευών αυτών η χρήση του καυσίμου (κυρίως ξύλου ή κάρβουνου) γινόταν όλο και πιο αποδοτική και όλο και πιο ασφαλής. Κατά την εξέλιξη αυτή υπήρξε η ανάγκη η καύση να αυτοματοποιηθεί ώστε να μην χρειάζεται ο άνθρωπος να τροφοδοτεί την καύση με καύσιμο συνεχώς. Τα υγρά καύσιμα κυρίως το πετρέλαιο καθώς και τα αέρια καύσιμα βοήθησαν στην αυτοματοποίηση της καύσης καθώς είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα. Αργότερα όταν η καύση του πετρελαίου άρχισε να έχει σημαντικά μειονεκτήματα διαφάνηκε η λύση του πέλλετ. Καθώς το πέλλετ είναι στερεό καύσιμο αλλά υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί λειτουργήσει έχοντας ιδιότητες ρευστού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από καυστήρες με αυτοματοποιημένη λειτουργία. Η αυτοματοποιημένη λειτουργία αποτελεί ισχυρό πλεονέκτημα καθώς δεν χρειάζεται να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση για την έναυση και τροφοδοσία του καυστήρα. Ως συνέπεια αυτού ο καυστήρας μπορεί να λαμβάνει εντολή για έναυση ή σβήσιμο ανάλογα με τις ανάγκες για θέρμανση ενός χώρου από έναν θερμοστάτη χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση (Κουρεμένου 1979).

Το πέλλετ είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς προέρχεται από ξυλεία. Το ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) από τη χρήση πέλλετ είναι μηδενικό. Αυτό σημαίνει ότι αν δεν χρησιμοποιούνταν η ξυλεία για την παραγωγή πέλλετ και την καύση του, κάποια στιγμή θα ελευθερωνόταν στην ατμόσφαιρα η ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από τους αποικοδομητές που θα μετέτρεπαν την οργανική ύλη του ξύλου σε ανόργανη. Πρέπει να υπάρξει πρόβλεψη για φύτευση δέντρων τα οποία στη συνέχεια θα αναπτυχθούν και κατόπιν θα αποτελέσουν την πρώτη ύλη για την κατασκευή καυσίμου πέλλετ. Με αυτόν τον τρόπο θα εκλείψει και ο κίνδυνος της υπερβολικής ξύλευσης των δασών για άντληση ενέργειας από την ξυλεία τους.

Καθώς τα κοιτάσματα πετρελαίου είναι περιορισμένα, και δεν είναι δυνατόν να τροφοδοτούν τις ανθρώπινες δραστηριότητες με ενέργεια για πάντα είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν και άλλοι τρόποι άντλησης ενέργειας πλην των ορυκτών καυσίμων. Άλλωστε το αργό πετρέλαιο μπορούμε να πούμε ότι είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για να το καίμε καθώς από αυτό προέρχονται πάρα πολλά προϊόντα. Τα

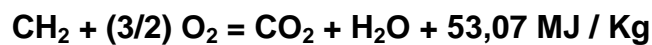
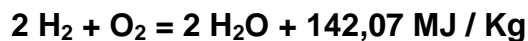
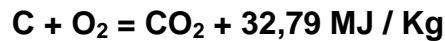
προϊόντα αυτά είναι από πλαστικά για πάρα πολλές χρήσεις όπως ιατρική ή αεροναυπηγική μέχρι συνθετικές ύλες για ρουχισμό και υπόδηση. Ιδιαίτερα η καύση του πετρελαίου για θέρμανση αποτελεί «σπατάλη» καθώς θερμική ενέργεια μπορεί να παραχθεί από την καύση πολλών άλλων καυσίμων ανάμεσα σε αυτά και το πέλλετ. Ίσως θα ήταν δυσκολότερη η απεμπλοκή από τα προϊόντα του πετρελαίου ως αναφορά τις μετακινήσεις και ιδιαίτερα τις αεροπορικές καθώς μέχρι στιγμής δεν διαφαίνεται κάποια άλλη ενεργειακή πηγή που θα μπορούσε να κινήσει τα αεροπλάνα.

Μέσα από την παρούσα εργασία προτείνεται η λύση της αυτοματοποιημένης καύσης του πέλλετ το οποίο προέρχεται από ξύλο για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών που σχετίζονται με την παραγωγή θερμικού φορτίου (θέρμανση, ξήρανση, παραγωγή ατμού κ.α.).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΑΥΣΗ – ΕΞΩΘΕΡΜΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

## 1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΗΣ

Καύση χαρακτηρίζεται η εξώθερμη χημική αντίδραση του οξυγόνου με κάποιο είδος καυσίμου ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται ενέργεια.  
Χαρακτηριστικά παραδείγματα καύσης είναι τα ακόλουθα:



## 1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΗΣ

Χαρακτηριστικό μέγεθος του κάθε καυσίμου είναι η θερμογόνος δύναμη που εκλύεται κατά την καύση ενός κιλού καυσίμου. Στα προϊόντα της καύσης υπάρχει νερό, το νερό συνήθως διαφεύγει ως υδρατμοί μαζί με τα υπόλοιπα προϊόντα με τα καπναέρια. Για τον υπολογισμό της θερμογόνου δύναμης του κάθε καυσίμου λαμβάνεται υπόψη και η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την ατμοποίηση του νερού των προϊόντων της καύσης (Κουμούτσου, 1987).

Όταν η καύση είναι τέλεια και δεν περισσεύει οξυγόνο τότε χαρακτηρίζεται ως στοιχειομετρική. Στην πράξη δεν μπορούμε να έχουμε στοιχειομετρική καύση και αυτό οφείλεται στην αδυναμία της πλήρους ανάμιξης του καυσίμου με τον αέρα. Αν η καύση γίνεται με μικρότερη από την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου τότε χαρακτηρίζεται ως ατελής και σε αυτήν την περίπτωση έχουμε μειωμένη απόδοση. Αυτό οφείλεται στο ότι διαφεύγει ποσότητα καυσίμου το οποίο δεν έχει καεί πλήρως. Για να αποφευχθεί η ατελής καύση διοχετεύεται στον χώρο καύσης μεγαλύτερη ποσότητα αέρα από την στοιχειομετρική. Η ποσότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως περίσσεια αέρα. Η περίσσεια δίνεται από τον τύπο:

$$\lambda = \frac{L}{L_0} \tag{1.1}$$

Όπου:

$\lambda$ : περίσσεια αέρα

$L$ : πραγματικά χρησιμοποιούμενος αέρας

$L_0$ : θεωρητικά αναγκαία ποσότητα αέρα (στοιχειομετρική ποσότητα)

Ορισμένες ενδεικτικές τιμές περίσσειας αέρα δίνονται στον Πίν. 1.1

**Πίνακας 1.1:** Καύσιμο – περίσσεια αέρα

Είδος καυσίμου	Περίσσεια αέρα
Φυσικό αέριο	1,05
Πετρέλαιο	1,07 - 1,15
Λιγνίτης	1,25 - 1,3
Λιθάνθρακας	1,1 - 1,2

### 1.3 ΑΕΡΑΣ ΚΑΥΣΗΣ

Σημαντικό ρόλο για την απόδοση της καύσης παίζει η ποσότητα της περίσσειας αέρα. Η περίσσεια του αέρα δεν μπορεί να είναι υψηλή διότι θα μειωθεί η απόδοση. Αυτό θα συμβεί διότι η περίσσεια αέρα θα μειώσει την θερμοκρασία των καπναερίων και άρα ο εναλλάκτης δεν θα μπορέσει να αντλήσει υψηλό ποσό θερμότητας από αυτά. Ένας ακόμη λόγος που η υψηλή περίσσεια αέρα θα μειώσει την απόδοση είναι ότι η ταχύτητα των καπναερίων θα είναι μεγάλη κατά την διέλευσή τους μέσα από τον εναλλάκτη με συνέπεια και πάλι την μικρή απόδοση. Οι απώλειες θερμότητας στα καυσαέρια, οι οποίες είναι και οι πιο βασικές, ελαχιστοποιούνται όταν υπάρχει στην καύση η μικρότερη δυνατή περίσσεια αέρα, σε σχέση πάντοτε με την στοιχειομετρική ποσότητα αέρα.

Η διοχέτευση του αέρα στον χώρο καύσης πραγματοποιείται με δύο κυρίως τρόπους:

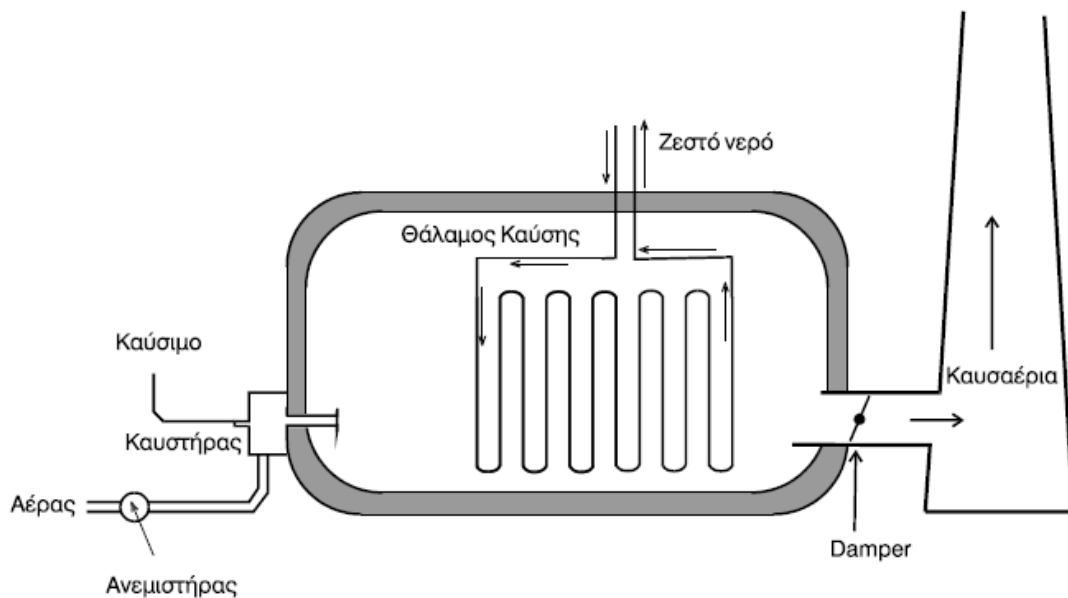
1. Με φυσική κυκλοφορία
2. Με εξαναγκασμένη κυκλοφορία

**Φυσική κυκλοφορία:** χρησιμοποιείται σε μικρούς κυρίως λέβητες – συνήθως ξυλολέβητες λόγω του ότι δεν προσφέρει έλεγχο της καύσης, συνήθως η καύση γίνεται με μεγάλη περίσσεια αέρα πράγμα που όπως αναφέρθηκε νωρίτερα μειώνει την απόδοση. Ξυλολέβητας καύσης με φυσική κυκλοφορία φαίνεται στην Εικ. 1.1.



**Εικόνα 1.1:** Ξυλολέβητας με ρυθμιστή φυσικής ροής αέρα [2]

**Εξαναγκασμένη κυκλοφορία:** υπάρχει κάποια διάταξη, συνήθως κάποιος ηλεκτρικός φυσητήρας αέρα ο οποίος πολλές φορές έχει ρυθμιζόμενο αριθμό στροφών το οποίο εξασφαλίζει την σωστή ποσότητα αέρα για την καύση. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει και διάταξη αυξομείωσης ροής (damper) των καπναερίων είτε χειροκίνητα είτε αυτοματοποιημένα.



**Σχήμα 1.1:** Σχηματική απεικόνιση λέβητα με τεχνητό ελκυσμό [3]



**Εικόνα 1.2:** Ξυλολέβητας με ηλεκτρικό φυσητήρα για βεβιασμένη εισροή αέρα καύσης [2]

#### 1.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

Ο συντελεστής απόδοσης της καύσης είναι το μέγεθος που μας δείχνει το πόσο καλά κάποιο σύστημα εκμεταλλεύεται την προσφερόμενη σε αυτό ενέργεια.

$$\text{Συντελεστής απόδοσης} = \frac{\text{Εκμεταλεύσιμη θερμότητα}}{\text{Προσφερόμενη θερμότητα}} \times 100 \quad (1.2)$$

Ο μεγαλύτερος συντελεστής απόδοσης επιτυγχάνεται όταν η ανάμιξη του αέρα με το καύσιμο είναι η καλύτερη δυνατή και η περίσσεια αέρα έχει την κατάλληλη ποσότητα. Αν η ανάμιξη του αέρα δεν είναι καλή τότε θα έχουμε εστίες ατελούς καύσης με συνέπεια να εξέρχονται με τα καπναέρια μόρια καυσίμου που δεν έχουν πλήρως καεί. Αυτό έχει αρνητικές συνέπειες τόσο στην απόδοση της καύσης όσο και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Για τον έλεγχο της καύσης γίνεται ανάλυση καυσαερίων. Αν τα καυσαέρια περιέχουν μεγάλη ποσότητα οξυγόνου ( $O_2$ ) αυτό σημαίνει υψηλή περίσσεια αέρα αν περιέχουν υψηλή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) αυτό σημαίνει ατελής καύση. Υπάρχουν συστήματα καυστήρων - λεβήτων που είναι εφοδιασμένα με αισθητήρα  $l$  ο οποίος μετρά συνεχώς το οξυγόνο ( $O_2$ ) στα καυσαέρια. Το αποτέλεσμα της μέτρησης το λαμβάνει ένας ηλεκτρονικός εγκέφαλος ο οποίος προσαρμόζει την ποσότητα του αέρα καύσης μέσω των στροφών του φυσητήρα ή της θέσης του αυξομειωτή ροής (damper).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Οι καυστήρες είναι οι μηχανές που πραγματοποιούν την καύση δηλαδή την οξείδωση του καυσίμου. Τα είδη των καυστήρων είναι πολλά ανάλογα με το είδος του καυσίμου που καίνε, του μεγέθους τους, της διαδικασίας έναυσης, της μεθόδου ανάμειξης του καυσίμου με τον αέρα, της λειτουργίας τους κ.α.

Η πρώτη και κυριότερη διάκριση είναι ανάλογα με το είδος του καυσίμου το οποίο προορίζεται να καίει ο καυστήρας. Οι κυριότεροι είναι:

- Καυστήρες στερεών καυσίμων (pellet, βιομάζας, κονιοροτοποιημένου γαιάνθρακα)
- Καυστήρες υγρών καυσίμων
- Καυστήρες αερίων καυσίμων
- Μεικτοί καυστήρες (υγρών και αερίων καυσίμων)

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας οι καυστήρες διακρίνονται σε μονοβάθμιους, διβάθμιους, πολυβάθμιους και αυτόματους.

- Καυστήρες μονοβάθμιοι, είναι οι καυστήρες που η ισχύς τους δεν αλλάζει ανάλογα με το φορτίο. Η παροχή καυσίμου και αέρα είναι σταθερή.
- Καυστήρες διβάθμιοι, είναι οι καυστήρες που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν σε δύο επίπεδα ισχύος ανάλογα με το φορτίο.
- Καυστήρες πολυβάθμιοι, είναι οι καυστήρες που μπορούν να λειτουργήσουν δε πολλά διακριτά επίπεδα ισχύος.
- Καυστήρες αυτόματοι, είναι οι καυστήρες που μπορούν να προσαρμόσουν την ισχύ λειτουργίας τους ανάλογα με το φορτίο κατά τρόπο συνεχή.

### **2.2 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

Είναι καυστήρες που χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια και μέχρι πρότινος κυρίως στη βιομηχανία ή σε αγροτικές εφαρμογές (θερμοκήπια). Τα τελευταία περίπου δέκα χρόνια η χρήση τους είναι ολοένα και αυξανόμενη λόγω της ανάπτυξης του pellet ως στερεού καυσίμου. Από την είσοδο του pellet ως στερεό καύσιμο στην αγορά η χρήση καυστήρων pellet έχει εισέλθει και σε αστικές περιοχές. Εκτενέστερη αναφορά στους καυστήρες pellet θα γίνει στο κεφάλαιο 6. Συχνή είναι η χρήση καυστήρων που λειτουργούν με υποπροϊόντα από την παραγωγή ελαιολάδου. Οι καυστήρες αυτοί καίνε το κουκούτσι της ελιάς καθώς και την ψίχα αυτής αφού αφαιρεθεί το ελαιόλαδο. Το μίγμα αυτό συνήθως ονομάζεται «πυρήνας». Ο «πυρήνας» έχει μεγάλες διακυμάνσεις ως προς το ποσοστό υγρασίας που εμπεριέχει. Αν το μίγμα αυτό έχει ξηρανθεί σε ξηραντήριο η ποιότητά του είναι καλύτερη καθώς το ποσοστό της υγρασίας μειώνεται. Ένας επιβαρυντικός

παράγοντας για την ποιότητα του «πυρήνα» είναι ότι ως υποπροϊόν της διαδικασίας παραγωγής ελαιολάδου δεν δίνεται μεγάλη σημασία στην αξία του, έτσι δεν αποθηκεύεται σε σιλό αλλά συνήθως στο έδαφος. Στη συνέχεια φορτώνεται με φορτωτές με συνέπεια να εισχωρούν σε αυτό ξένα σώματα όπως χώμα ή πέτρες. Οι πέτρες υποβαθμίζουν δραματικά την ποιότητα του καυσίμου καθώς μπορούν να μπλοκάρουν το σύστημα των κοχλιών που χρησιμοποιούνται για την προώθηση του καυσίμου στον χώρο καύσης. Στις αγροτικές περιοχές που παράγονται ροδάκινα και λειτουργούν κονσερβοποιεία υπάρχουν πολλοί καυστήρες που καίνε κουκούτσια. Οι καυστήρες στερεών καυσίμων εκτός από αυτούς που καίνε pellet συνήθως έχουν χαμηλή απόδοση διότι λειτουργούν με υψηλή περίσσεια αέρα καθώς είναι δύσκολη η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα καύσης.

Η έναυση στους καυστήρες στερεών καυσίμων συνήθως γίνεται με ηλεκτρική αντίσταση. Η αντίσταση θερμαίνεται και στην συνέχεια θερμαίνει τον αέρα που συνεχώς ρέει γύρω της, ο αέρας έρχεται σε επαφή με το καύσιμο και όταν αυτό φτάσει σε θερμοκρασία αυτανάφλεξης αναφλέγεται και ξεκινά η καύση. Πολλοί από τους καυστήρες στερεών καυσίμων έχουν χειροκίνητη έναυση. Πρέπει ο χρήστης να βάλει φωτιά με χειροκίνητο τρόπο. Για να μην χρειάζονται συνεχείς εναύσεις ο καυστήρας είναι εφοδιασμένος με έναν χρονοδιακόπτη που ακόμη και όταν δεν υπάρχει φορτίο τροφοδοτεί την καύση με καύσιμο ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να μην σβήσει η φωτιά στο χώρο του καυστήρα. Αυτό έχει ως συνέπεια την αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και κατά συνέπεια την μείωση της απόδοσης (Ιωαννίδη, Γεωργακάκη, 1954).



**Εικόνα 2.1:** Λέβητας στερεών καυσίμων [2]



## 2.3 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΥΓΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Οι καυστήρες υγρών καυσίμων καταναλώνουν κυρίως πετρέλαιο ή σπανιότερα μαζούτ. Η βασική τους λειτουργία βασίζεται στον διασκορπισμό του καυσίμου σε κατάλληλα λεπτά σταγονίδια, η έντονη ανάμιξή του με την ενδεδειγμένη ποσότητα αέρα και η έναυση και διατήρηση της καύσης.

### 2.3.1 Βασικές αρχές καύσης σε καυστήρες πετρελαίου

Η καύση του πετρελαίου πραγματοποιείται με φλόγα. Σαν φλόγα του πετρελαίου μπορούμε να ορίσουμε τον χώρο μέσα στον οποίο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις καύσης του. Κατά τις αντιδράσεις αυτές απελευθερώνεται θερμική, κινητική και ηχητική ενέργεια. Αυτή η τυρβώδης φλόγα πετρελαίου δεν έχει σταθερά όρια. Αντίθετα αποτελείται από τυρβώδεις σφαίρες που αλληλωθούν και μεταβάλλουν τα όρια της φλόγας συνεχώς. Αυτή η διεργασία απορροφά μικρό τμήμα της ενέργειας του καυσίμου υπό μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ συγχρόνως ένα άλλο μικρό τμήμα τάξης εκατομμυριοστού, μετατρέπεται σε ηχητική ενέργεια και παρουσιάζεται σαν θόρυβος καύσης.

Οι διάφορες επί μέρους διεργασίες που αποτελούν την καύση του πετρελαίου, είναι κατά χρονική σειρά οι εξής:

- Δημιουργία μείγματος καυσίμου και αέρα
- Θέρμανση του μείγματος μέχρι τη θερμοκρασία έναυσης
- Έναυση στο μέτωπο της φλόγας
- Διεργασίες οξείδωσης
- Απόδοση θερμότητας

Πρέπει να επισημανθεί ότι με το οξυγόνο του αέρα αντιδρούν μόνο αέρια και ατμοί. Έτσι η δημιουργία μείγματος προϋποθέτει τη μετάβαση του υγρού καυσίμου στην αέρια φάση. Είναι λοιπόν αναγκαίο να προηγηθούν ατμοποίηση του πετρελαίου, διασκορπισμός και ανάμειξη.



Εικόνα 2.2: Καυστήρας πετρελαίου μικρής ισχύος [4]



**Εικόνα 2.3:** Καυστήρας πετρελαίου μεγάλης ισχύος [4]

### **2.3.2 Βασικές αρχές σε καυστήρες μαζούτ**

Το μαζούτ ή αλλιώς βαρύ πετρέλαιο είναι υπόλειμμα της κλασματικής απόσταξης του πετρελαίου. Είναι ένα από τα βαρύτερα κλάσματα του αργού πετρελαίου. Λαμβάνεται κατά την διαδικασία της απόσταξης μετά το πετρέλαιο Diesel και πριν τα λιπαντέλαια, ορυκτέλαια και την άσφαλτο. Το ιξώδες του είναι σημαντικά μεγαλύτερο από αυτό του ελαφρού πετρελαίου.

Στην περίπτωση του μαζούτ η διεργασία της καύσης διαφέρει σε σχέση με αυτήν του ελαφρού πετρελαίου. Το μαζούτ αρχικά διασκορπίζεται σε σταγόνες όπως γίνεται και με το πετρέλαιο. Από την σταγόνα με ατμοποίηση φεύγει ό,τι μπορεί να ατμοποιηθεί. Οι υδρογονάνθρακες με υψηλό σημείο ατμοποίησης πολυμερίζονται σε ένα βιτουμενικό υπόλειμμα, το οποίο με την προσαγωγή των καπναερίων εξαεριώνεται. Όταν η ατμοποίηση και η εξαερίωση έχουν πραγματοποιηθεί κατά 80%, σκληρύνεται ο πυρήνας της σταγόνας προς ένα στερεό σφαιρίδιο με διάμετρο το 60% της αρχικής. Αυτό το σφαιρίδιο συνεχίζει να εξαεριώνεται μέχρι να μειωθεί ο όγκος του στο 50% και το βάρος του στο 10% του αρχικού του βάρους. Τέλος ολοκληρώνεται η καύση αυτού του ανθρακικού σκελετού, που περιλαμβάνει και την τέφρα του καυσίμου. Για την ταχύτητα της καύσης των σταγόνων του πετρελαίου, παίζει σημαντικό ρόλο η σχετική ταχύτητα σταγόνας – αέρα καύσης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των καυστήρων μαζούτ είναι ότι προθερμαίνουν το μαζούτ πριν την είσοδό του στον χώρο καύσης έτσι ώστε να μικρύνει το ιξώδες του και να είναι δυνατή η διέλευσή του μέσα από ακροφύσιο και κατά συνέπεια ο διασκορπισμός του.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το 2011 απαγορεύθηκε η χρήση μαζούτ για θέρμανση κτιρίων με τον νόμο 2654/Β/9-11-11. Πλέον η χρήση του μαζούτ έχει περιοριστεί για βιομηχανική χρήση.



**Εικόνα 2.4:** Καυστήρας μαζούτ [5]

### **2.3.3 Κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά καυστήρων υγρών καυσίμων**

Οι καυστήρες πετρελαίου είναι ηλεκτροκίνητες συσκευές που διαθέτουν τον αναγκαίο εξοπλισμό και τους κατάλληλους αυτοματισμούς για την προσαγωγή, τον διασκορπισμό, την ανάμειξη με τον αέρα και την καύση του πετρελαίου (Σπ. Πρεβεζάνος, 1994). Ο διασκορπισμός και η ανάμειξη των σταγονιδίων με τον αέρα, λαμβάνουν χώρα μέσα στον φλογοθάλαμο του λέβητα. Η σχετική διαδικασία πραγματοποιείται με τρεις τρόπους, οι οποίοι και αποτελούν χαρακτηριστικά λειτουργίας των καυστήρων, δηλαδή οδηγούν στη διάκριση σε:

- Καυστήρες εξάτμισης
- Καυστήρες διασκορπισμού
- Καυστήρες περιστροφής

Εκτός από την παραπάνω βασική διαφοροποίηση, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στους διάφορους τύπους καυστήρων, στο κύκλωμα τροφοδοσίας του καυσίμου και του αέρα, τη μορφή των ακροφυσίων, τα συστήματα ανάμειξης καυσίμου – αέρα και το σύστημα ελέγχου της φλόγας.

Τα κυριότερα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας καυστήρας πετρελαίου είναι τα εξής:

- Το κέλυφος του καυστήρα, το οποίο περιβάλλει όλα τα εξαρτήματα του καυστήρα. Συνήθως είναι κατασκευασμένο από ελάσματα χάλυβα ή σε πολλές περιπτώσεις είναι πλαστικό. Το κέλυφος προστατεύει όσους προσεγγίζουν τον καυστήρα από κινούμενα μέρη και ηλεκτρικές επαφές, αλλά προστατεύει και τους μηχανισμούς από σκόνης και κτυπήματα. Το κέλυφος συνήθως είναι εύκολο να αφαιρεθεί για την επιθεώρηση, τον καθαρισμό, επισκευή, ρύθμιση ή συντήρηση του καυστήρα.
- Άνοιγμα προσαγωγής αέρα με ρυθμιζόμενο διάφραγμα (damper). Το διάφραγμα, καθορίζει σε κάποια όρια, την ποσότητα του προσαγόμενου αέρα.

- Ο ηλεκτρικός κινητήρας ο οποίος συνδέει λειτουργικά τον άξονα του ανεμιστήρα με την αντλία καυσίμου.
- Ο ανεμιστήρας με κεκλιμένα πτερύγια, ο οποίος εξασφαλίζει την αναγκαία ροή αέρα.
- Ο ηλεκτρικός πίνακας αυτόματης λειτουργίας, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα όργανα (ρελέ, αντιστάσεις κ.λ.π.), που ρυθμίζουν τη λειτουργία του καυστήρα τη διακόπτουν σε περίπτωση έλλειψης φλόγας ή καυσίμου ή για άλλο λόγο.
- Ο μετασχηματιστής έναυσης, ο οποίος εξασφαλίζει την αναγκαία τάση (6000 – 10000 Volt) για τη δημιουργία ηλεκτρικού σπινθήρα, μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται κοντά στο ακροφύσιο και είναι αναγκαία για την έναυση.
- Η αντλία καυσίμου, απορροφά το καύσιμο από τη δεξαμενή και δια του ακροφυσίου διασκορπισμού το εκτινάσσει με πίεση 10 – 12 bar. Η παροχή της αντλίας είναι πάντα μεγαλύτερη από εκείνη του ακροφυσίου και υπάρχει πρόβλεψη ώστε η περίσσεια του καυσίμου να επιστρέφει στη δεξαμενή.
- Το ακροφύσιο διασκορπισμού (μπεκ), είναι το τμήμα του καυστήρα από το οποίο εξέρχεται το καύσιμο. Μετατρέπει την υψηλή πίεση του καυσίμου σε υψηλή ταχύτητα. Η διαμόρφωση του ακροφυσίου επιτρέπει στο καύσιμο τον διασκορπισμό του με τη μορφή μικρών σταγονιδίων τα οποία αναμειγνύονται με τον αέρα.

Στο εσωτερικό του ακροφυσίου υπάρχει στόμιο εξόδου σταθερής διαμέτρου, το οποίο εκλέγεται ανάλογα με την επιθυμητή παροχή καυσίμου. Γι' αυτό τα ακροφύσια χαρακτηρίζονται με μονάδες παροχής (σε lt/h ή gal/h). Στην περιοχή εξόδου του καυσίμου διαμορφώνεται κόλινος κώνος και ειδική διαμόρφωση η οποία δίνει στο καύσιμο σπειροειδή συγκλίνουσα κίνηση. Ο τύπος του κώνου καθορίζει τη γωνία του κώνου διασκορπισμού, ο οποίος είναι επίσης χαρακτηριστικό στοιχείο του ακροφυσίου διασκορπισμού.

- Το φωτοκύτταρο εντοπισμού της φλόγας, παρακολουθεί την εξέλιξη της καύσης και όσο υπάρχει φλόγα, επιτρέπει τη ροή καυσίμου. Εάν η φλόγα εκλείψει, το φωτοκύτταρο επεμβαίνει στο ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο διακόπτει τη λειτουργία του καυστήρα.
- Η κεφαλή καύσης πρέπει να εξασφαλίζει την πλήρη ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα, τη σταθεροποίηση της φλόγας και γενικότερα την ικανοποιητική λειτουργία της καύσης. Το σημαντικότερο στοιχείο της κεφαλής καύσης είναι ο σταθεροποιητής ή δίσκος ανάμειξης. Αποτελείται από ένα χαλύβδινο δίσκο που διαθέτει ομόκεντρο στόμιο και σε διάφορες αποστάσεις από το κέντρο διάφορες οπές. Προκαλεί διαφοροποίηση της ταχύτητας ροής ποσοτήτων αέρα και υποβοηθάει την ανάμειξη με το καύσιμο.

## 2.4 ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα τελευταία χρόνια λόγω της χρήσης του φυσικού αερίου ως καυσίμου για θέρμανση στις οικίες παρατηρείται άνοδος στη χρήση καυστήρων φυσικού αερίου. Επίσης σημειώνεται άνοδος στη χρήση επιτοίχιων λεβήτων αερίου οι οποίοι είναι ένα ενιαίο σύστημα καυστήρα - λέβητα σε μια συσκευή. Η άνοδος αυτή στη χρήση φυσικού αερίου συμβαίνει λόγω του ότι το δίκτυο φυσικού αερίου καλύπτει ολοένα και μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή στην χώρα μας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι έως τα μέσα του 2016 είναι διασυνδεδεμένες με το δίκτυο του φυσικού αερίου οι πόλεις:

Θεσσαλονίκη, Αθήνα, Λάρισα και Βόλος. Την ίδια στιγμή σχεδιάζεται η επέκταση του δικτύου φυσικού αερίου σε πόλεις της βορείου και κεντρικής Ελλάδας. Τα οφέλη από την χρήση φυσικού αερίου ως καυσίμου για θέρμανση είναι σημαντικά τόσο από πλευράς οικονομίας όσο και από περιβαλλοντικής πλευράς. Το φυσικό αέριο είναι οικονομικό καύσιμο σε σχέση με το πετρέλαιο θέρμανσης. Από περιβαλλοντικής σκοπιάς είναι καλύτερο καύσιμο λόγω της σχεδόν τέλει καύσης που επιτυγχάνεται. Η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα καύσης είναι εύκολη και άρα δεν χρειάζεται μεγάλη περίσσεια αέρα ως εκ τούτου η καύση είναι αποδοτική σε σχέση με άλλα καύσιμα. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι υδρογονάνθρακες που εξέρχονται χωρίς να έχουν καεί στο περιβάλλον.



**Εικόνα 2.5:** Επιτοίχιος λέβητας – καυστήρας αερίου [6]

Στην περίπτωση των αερίων καυσίμων, δεν έχουμε διαδικασίες αεριοποίησης του καυσίμου, όπως πρέπει αναγκαστικά να συμβεί για την καύση πετρελαίου. Έτσι κύριος στόχος των καυστήρων καύσης αερίων είναι να φέρουν σε επαφή το αέριο με τον αέρα της καύσης.

Γι' αυτό λόγω της ευελιξίας που παρέχει το καύσιμο μπορεί να υπάρχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις όπως π.χ.:

- μακριά έντονη φλόγα, με χαμηλή θερμοκρασία
- κοντή σκληρή φλόγα, με υψηλή θερμοκρασία
- πολύ φωτεινή φλόγα, ισχυρά ακτινοβολούσα
- μη φωτεινή φλόγα
- μεγάλη ταχύτητα των προϊόντων της καύσης

Αυτά βέβαια αφορούν στη θερμική διεργασία. Για την ασφαλή όμως λειτουργία, πρέπει οι καυστήρες αερίου να εξασφαλίζουν:

- καλή συμπεριφορά όσον αφορά την έναυση, δηλαδή ασφαλή έναυση σε κάθε περίπτωση και απαγόρευση ροής αερίου στην εστία, αν δεν εξασφαλίζεται η έναυσή του.
- σταθερότητα της φλόγας, δηλαδή εξασφάλιση από διακοπή της ή από οπισθανάφλεξη.

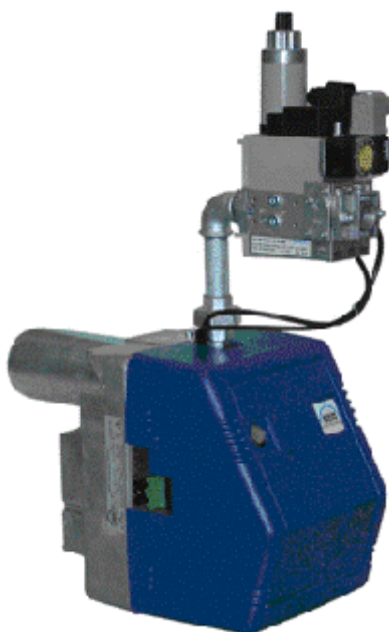
- καλή ποιότητα καύσης.

Για να μπορέσει να υπάρξει καύση, είναι απαραίτητο να δημιουργείται μίγμα εντός των ορίων ανάφλεξης και να ανέβει η θερμοκρασία του, άνω του σημείου έναυσης.

Όσον αφορά στην ανάμειξη αερίου – αέρα διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις (και αντίστοιχα είδη καυστήρων):

- Ανάμειξη αερίου και αέρα στον χώρο καύσης, χωρίς προανάμειξη (φλόγες διάχυσης).
- Μερική προανάμειξη σε ιδιαίτερο χώρο ή σωλήνα. Τότε μιλάμε για προσαγωγή πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αέρα.
- Πλήρη προανάμειξη αερίου και αέρα.

Ο χώρος τον οποίο γεμίζει η δημιουργούμενη από τον καυστήρα ζώνη καύσης, περιγράφεται από τη μορφή και το είδος της φλόγας. Κυρίως επηρεάζεται στις μεν φλόγες που προέρχονται από προανάμειξη από την ισορροπία μεταξύ ταχύτητας ροής και ταχύτητας προόδου του μετώπου καύσης, στις δε φλόγες που δεν προέρχονται από προανάμειξη από την πορεία της ροής και της μείξης αερίου και αέρα.



**Εικόνα 2.6:** Καυστήρας αερίου [6]

Διακρίνουμε εν γένει νηματικές και τυρβώδεις φλόγες. Στις νηματικές φλόγες γίνεται η ανάμειξη καυσίμου και αέρα κυρίως με διάχυση, οπότε σχηματίζονται μακριές, μαλακές φλόγες, που εν γένει είναι και αθόρυβες. Τέτοιες φλόγες χρησιμοποιούμε π.χ. για βοηθητικές φλόγες έναυσης άλλων καυσίμων. Η συνήθης όμως περίπτωση είναι οι τυρβώδεις φλόγες, όπου καύσιμο και αέρας αναμειγνύονται με δαπάνη κινητικής ενέργειας. Είναι φλόγες πιο κοντές και πιο θορυβώδεις.

Η ποιότητα της καύσης χαρακτηρίζεται από την περιεκτικότητα των καπναερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Οι απαιτήσεις για την ποιότητα καύσης είναι γενικώς μεγάλες αφού οι παράγοντες της απόδοσης και της προστασίας του περιβάλλοντος είναι καθοριστικοί για την ποιότητα ενός καυστήρα. Μόνο σε

ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπεται CO=0,1% κατ' όγκο στα ξηρά καπναέρια κατά μέγιστο. Οι καυστήρες αερίου διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- a) Τους **καυστήρες διάχυσης**, που στην ουσία αποτελούνται από σωλήνες που έχουν τρύπες με  $d=0,5$  έως  $0,8\text{mm}$  σε απόσταση μεταξύ τους τέτοια ώστε να μεταπηδά η φλόγα από τη μία τρύπα στην άλλη.
- b) Τους **καυστήρες με εγχυήρες**, όπου με την έξοδο του αερίου από το ακροφύσιο δημιουργείται υποπίεση (εγχυτήρας) και αναρροφάται ποσοστό του αέρα της καύσης (πρωτεύων αέρας). Στην κεφαλή σχηματίζεται η φλόγα. Αυτή αποτελείται από ένα εσωτερικό κώνο που δημιουργείται από το καιόμενο μείγμα και που περιβάλλεται από φλόγα διάχυσης (με δευτερεύοντα αέρα). Η προσαγωγή και ανάμειξη μπορεί να γίνει με παράλληλη ή διασταυρούμενη (σταυρωτή) ροή.
- c) Τους **καυστήρες πλήρους ανάμειξης**, που μπορεί να αναρροφούν οι ίδιοι τον αέρα, αν και ως επί το πλείστον αυτός προσάγεται με ανεμιστήρα κυρίως στις μεγάλες εστίες.

Τα αέρια καύσιμα είναι εξαιρετικής ποιότητας πηγές θερμικής ενέργειας, με πάρα πολλά πλεονεκτήματα, που όμως συναρτώνται και με ένα σοβαρό μειονέκτημα: Δημιουργούν εκρηκτικά μείγματα και γι' αυτό περικλείουν κινδύνους. Δεν επιτρέπουν με κανένα τρόπο αμέλειες, προχειρότητες ή ανευθυνότητες. Γι' αυτό οι ανεπτυγμένες χώρες καλύπτουν όλο το πεδίο με αυστηρούς κανονισμούς. Ειδικώς για τους καυστήρες, είτε αυτοί έχουν, είτε δεν έχουν ανεμιστήρα αέρα, οι κανονισμοί προβλέπουν ειδικά εξαρτήματα και διατάξεις ρύθμισης έναυσης και ασφάλειας.

Οι καυστήρες αερίου μπορεί να είναι:

- **Πλήρως αυτόματοι**, δηλαδή η επίβλεψη της φλόγας, οι διατάξεις έναυσης να επενεργούν αυτόματα. Η θέση σε λειτουργία και εκτός λειτουργίας του καυστήρα γίνεται σε συνάρτηση με τιμή που παίρνει το εκάστοτε ρυθμιζόμενο μέγεθος (π.χ. θερμοκρασία νερού ή αέρα), χωρίς την επέμβαση προσωπικού.
- **Μερικώς αυτόματοι**, (ή ημιαυτόματοι) στους οποίους η θέση σε λειτουργία γίνεται με το χέρι, με επέμβαση προσωπικού και η θέση εκτός λειτουργίας μπορεί να γίνει χειροκίνητα. Κατά τα λοιπά υπάρχει πλήρης αυτοματισμός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΧΡΗΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΩΝ

Οι καυστήρες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποιον λέβητα. Το ένα τμήμα του καυστήρα βρίσκεται εκτός του λέβητα και ένα τμήμα - αυτό που παράγει την φλόγα βρίσκεται στο εσωτερικό του λέβητα. Από την χημική αντίδραση της καύσης παράγονται θερμά καυσαέρια. Τα οποία διοχετεύονται στο εσωτερικό μέρος του λέβητα. Από τα θερμά καυσαέρια πρέπει να ληφθεί το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής τους ενέργειας ώστε να μπορέσει χρησιμοποιηθεί για την εκάστοτε εφαρμογή. Η λήψη της θερμότητας από τα καπναέρια γίνεται εντός του λέβητα. Ο λέβητας είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, καπναερίων – νερού εάν πρόκειται για λέβητα νερού ή καπναερίων – αέρα εάν πρόκειται για αερολέβητα ή καπναερίων – ατμού για ατμολέβητα. Οι λέβητες των κεντρικών θερμάνσεων που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις θέρμανσης κτηρίων προορίζονται για θέρμανση νερού μέχρι θερμοκρασίας 110° C και πίεση λειτουργίας μέχρι 6 bar.

### 3.1 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία λεβήτων (Σελούντου, ΚΕΝΤΡΙΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΕΙΣ, 1981) ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, τη μορφή του θαλάμου καύσης και το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, το μέγεθός τους, τη διαδρομή που ακολουθούν τα καυσαέρια, τη διαμόρφωση του υδροθαλάμου, ειδικά κατασκευαστικά και λειτουργικά στοιχεία. Ειδικότερα:

- Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους οι λέβητες διακρίνονται σε **χυτοσιδηρούς** (ή μαντεμένιους) και **χαλύβδινους**. Στα εμπορικά έντυπα μάλιστα, το πρώτο στοιχείο που δηλώνουν οι κατασκευαστές είναι ακριβώς το υλικό κατασκευής του φλογοθαλάμου του λέβητα, γιατί αυτό καθορίζει μια σειρά από άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του (π.χ. το βάρος).
- Ανάλογα με το καύσιμο ή τα καύσιμα για τα οποία προορίζονται οι λέβητες, προκύπτει ειδική διαμόρφωση του θαλάμου καύσης, ενώ τα λειτουργικά του στοιχεία επηρεάζονται σημαντικά από το είδος (στερεό, υγρό, αέριο) και τη θερμική απόδοση (θερμογόνο δύναμη του καυσίμου), αλλά και από τα αναμενόμενα κατάλοιπα της καύσης, την ποσότητα, το είδος το είδος και την θερμοκρασία των καπναερίων.
- Ανάλογα με τη θερμική τους ισχύ, που βρίσκεται σε σχετική αναλογία και με τις γεωμετρικές τους διαστάσεις, οι λέβητες χωρίζονται σε κατηγορίες. Η θερμική ισχύς του λέβητα καθορίζεται (με βάση αυστηρά πρότυπα) σε kW ή kcal/h. Η οδηγία EN 303 και η EN 304, με κριτήριο την ισχύ διακρίνουν τους λέβητες σε:
  - Μικρούς λέβητες, όταν η θερμική ισχύς τους είναι κατώτερη των 60 kW.
  - Μεσαίου μεγέθους λέβητες, όταν η θερμική ισχύς κυμαίνεται από 60 έως 350kW
  - Μεγάλους λέβητες, όταν η θερμική τους ισχύς είναι μεγαλύτερη των 350kw.
- Με βάση το φορέα της θερμότητας, οι λέβητες διακρίνονται σε λέβητες θερμού νερού υψηλών ή χαμηλών θερμοκρασιών, ατμού χαμηλής πίεσης και ατμού υψηλής πίεσης.





**Εικόνα 3.1:** Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου καυστήρα λέβητα της εταιρίας Thermostahl [7]

### 3.2 ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ

Οι χυτοσιδηροί λέβητες κατασκευάζονται από συναρμολογούμενα χυτά τεμάχια, τα οποία συναρμολογούνται με αυστηρές προδιαγραφές και σχηματίζουν τον στεγανό υδροθάλαμο και τον θάλαμο καύσης.

Πριν από αρκετά χρόνια, όλοι οι λέβητες ήταν χυτοσιδηροί. Με τη βελτίωση της ποιότητας των ελασμάτων από χάλυβα, των συγκολλήσεων και γενικά της τεχνολογίας διαμόρφωσης ελασμάτων χάλυβα, φάνηκε προς στιγμή ότι οι χυτοσιδηροί λέβητες θα υποκατασταθούν πλήρως από τους χαλύβδινους.

Σήμερα μπορεί να λεχθεί ότι υπάρχει μια σχετική ισορροπία και ένας σκληρός ανταγωνισμός. Οι κατασκευαστές κάθε κατηγορίας, προβάλλουν πλήθος πλεονεκτημάτων των κατασκευών τους και επισημαίνουν αδυναμίες της άλλης πλευράς. Η αλήθεια είναι ότι κάθε κατηγορία παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, των οποίων η αξιολόγηση διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου εμφανώς είναι ενδεδειγμένη η χρήση χυτοσιδηρού λέβητα ή αντίστροφα, όπως υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η επιλογή μπορεί να αφεθεί στις υποκειμενικές προτιμήσεις του μελετητή ή του χρήστη (Κοντορούπη, 1980).

Τα κύρια πλεονεκτήματα τα οποία προβάλλουν οι κατασκευαστές χυτοσιδηρών λεβήτων είναι:

- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση, με συνακόλουθο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- Συγκροτούνται από απλά στοιχεία, των οποίων η συναρμολόγηση μπορεί να γίνει μέσα στο λεβητοστάσιο. Με τον τρόπο αυτό απλοποιούνται σημαντικά τα προβλήματα μεταφοράς και διαδρομής μέχρι την τελική θέση που θα εγκατασταθούν. Όσον αφορά στη μεταφορά, είναι αυτονόητο ότι η μεταφορά μεγάλου μεγέθους και βάρους μονάδων (όπως είναι σχεδόν πάντοτε οι λέβητες), συνεπάγεται σημαντικό κόστος φορτοεκφορτώσεων.

Το σημαντικότερο και συχνότερα εμφανιζόμενο πρόβλημα όμως, είναι η μεταφορά του λέβητα μέσα στο λεβητοστάσιο. Οι διαθέσιμες διαδρομές (διάδρομος, ανοίγματα κ.λ.π.) είναι συνήθως ανεπαρκών διαστάσεων, ακόμη και όταν μοναδικό πρόβλημα είναι ο όγκος και όχι το βάρος. Ακόμη όμως και στις περιπτώσεις που θα μεταφερθεί ο λέβητας στο χώρο του λεβητοστασίου πριν κτιστούν οι τελικοί τοίχοι «στα μπετά», παραμένει το πρόβλημα στην περίπτωση που χρειαστεί επισκευή ή αντικατάσταση του λέβητα.

Αυτός είναι ο κύριος λόγος που προτιμώνται γενικώς οι λυόμενοι λέβητες, τουλάχιστον σε λεβητοστάσια αστικών κτιρίων. Συνοψίζοντας τα κυριότερα πλεονεκτήματα των χυτοσιδηρών λεβήτων είναι:

- Επιτρέπουν την αντικατάσταση φθαρμένων ή κατεστραμμένων τμημάτων, με σχετικά εύκολο τρόπο.
- Επιτρέπουν την αυξομείωση (εντός ορίων) της θερμικής τους ισχύος, με την προσθήκη (ή αφαίρεση) όμοιων στοιχείων.

Στα κύρια μειονεκτήματα των χυτοσιδηρών λεβήτων αναφέρονται:

- Η σχετικά υψηλή τιμή που προκύπτει τόσο από τη μέθοδο κατασκευής τους, όσο και από την αυξημένη ποσότητα σιδήρου ο οποίος απαιτείται για την κατασκευή τους.
- Το αυξημένο βάρος τους, σε σύγκριση με χαλύβδινους λέβητες της αυτής θερμικής ισχύος.
- Η ευθραυστότητα των στοιχείων τους (ευπάθεια στις κρούσεις και τις απότομες τοπικές θερμοκρασιακές μεταβολές).
- Η αδυναμία επισκευής τεμαχίων που παρουσιάζουν διαρροή, γιατί δεν είναι δυνατή η προσθήκη υλικών ή τεμαχίων με συγκόλληση. Κάθε φθαρμένο στοιχείο πρέπει να αντικατασταθεί με νέο, ακριβώς όμοιο (πράγμα όχι ιδιαίτερα απλό για λέβητες παλαιούς και μοντέλα που δεν κατασκευάζονται πλέον).



**Εικόνα 3.2:** Χυτοσιδηρός λέβητας της εταιρίας Torrenr [8]

Μεγάλοι κατασκευαστές χυτοσιδηρών λεβήτων, σε έντυπα που υπογράφουν κορυφαίοι μηχανικοί – στελέχη τους, υπεραμύνονται με πάθος, αλλά και σοβαρά επιχειρήματα, των πλεονεκτημάτων των χυτοσιδηρών λεβήτων.

Η Buderus [1] π.χ. αναφερόμενη στα πλεονεκτήματα των χυτοσιδηρών λεβήτων, έναντι των χαλύβδινων, αναφέρει:

#### **α) Έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις διαβρώσεις χημικών ουσιών:**

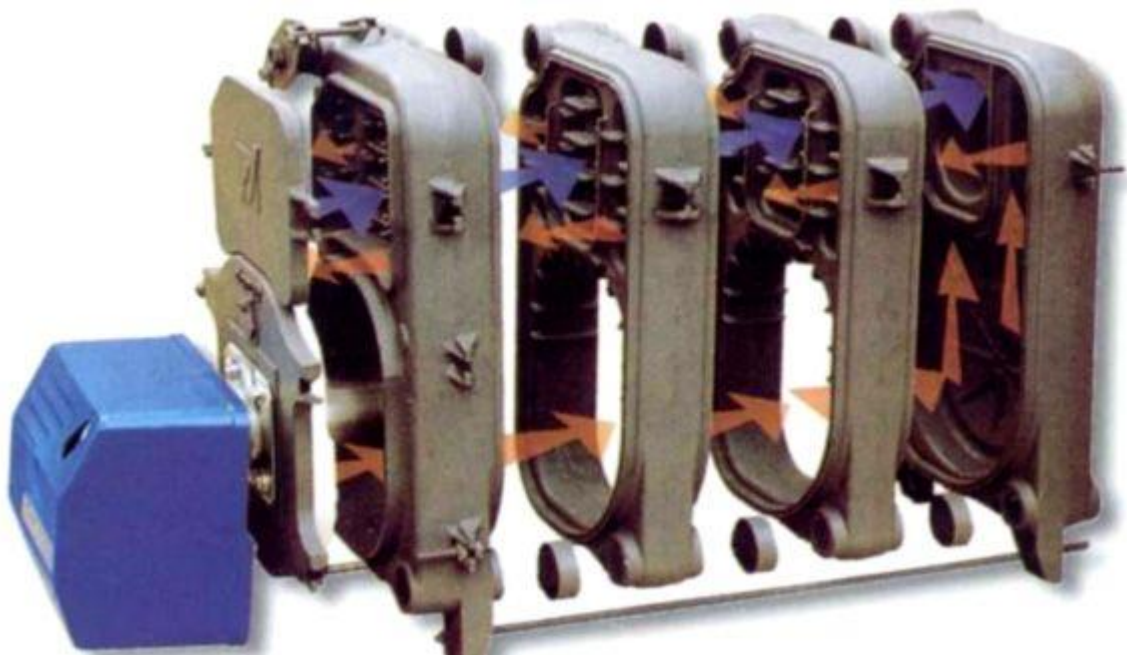
Από παλαιά είναι γνωστή η μεγάλη ανθεκτικότητα του χυτοσιδήρου – σε αντίθεση με τον χάλυβα στις διαβρώσεις χημικών ενώσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο επιφανειακό στρώμα χυτοσιδήρου που σχηματίζεται κατά τη χύτευση. Το στρώμα αυτό εφόσον παραμείνει ακατέργαστο έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο (Si), στο οποίο και οφείλει την πολύ μεγάλη του ανθεκτικότητα στις προσβολές των διάφορων χημικών ενώσεων.

Οι ενώσεις αυτές (ενώσεις θείου, αζώτου καθώς και διάφορα άλατα), σχηματίζονται κατά την υγροποίηση των καυσαερίων, είτε εντός του λέβητα – όταν λειτουργεί σε χαμηλές (οικονομικές) θερμοκρασίες – είτε εκτός, από τις υγροποιήσεις ακατάλληλων καπνοδόχων (παλαιές κατασκευές μεγάλων διαστάσεων, αμόνωτες κ.λπ.). Οι ενώσεις αυτές προκαλούν σημαντικές διαβρώσεις σε πολλά σημεία του λέβητα και κυρίως στις πολλές κολλήσεις των χαλύβδινων λεβήτων, με αποτέλεσμα τη ραγδαία συντόμευση της ζωής τους.

Ούτε και οι ανοξειδωτοί θάλαμοι μερικών χαλύβδινων λεβήτων παρέχουν επαρκή προστασία στο σύνολο του λέβητα. Δεν προστατεύουν τις κολλήσεις και το πίσω μέρος του λέβητα. Χημικές ενώσεις όπως, τριχλωραιθυλαίνιο, οξειδία του θείου, διάφορα σπρέι με θειούχα και χλωριούχα οξειδία του άνθρακα κ.λπ., που απαντώνται σε περιοχές που βρίσκονται σχετικά εργοστάσια, βιοτεχνίες, κομμωτήρια κ.λπ., προσβάλλουν και τον ανοξειδωτο χάλυβα.

#### **β) Σωστή διαμόρφωση του θαλάμου καύσης**

Ο χυτοσίδηρος (μαντέμι) επιτρέπει, σε αντίθεση με τον χάλυβα, τη διαμόρφωση του εσωτερικού χώρου καύσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις της θερμοδυναμικής. Πέραν αυτού καθιστά δυνατή την κατασκευή του λέβητα σε στοιχεία (φέτες) συναρμολογούμενα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται κλιμάκωση των θερμικών αποδόσεων, αντίστοιχη των θερμικών απαιτήσεων (αύξηση θερμικών αποδόσεων με την προσθήκη νέων στοιχείων). Σε σπάνιες περιπτώσεις φθοράς, δεν αχρηστεύεται ολόκληρος ο λέβητας. Αλλάζει μόνο το φθαρμένο στοιχείο.



**Εικόνα 3.3:** Σχηματική αναπαράσταση ροής καπναερίων σε χυτοσιδηρό λέβητα [8]

#### **γ) Εύκολη μεταφορά και τοποθέτηση**

Οι χυτοσιδηροί λέβητες μεταφέρονται εύκολα σε στοιχεία και τοποθετούνται επίσης πολύ εύκολα και στα πιο δύσκολα προσβάσιμα λεβητοστάσια, γιατί μπορούν να συναρμολογηθούν επί τόπου.

#### **δ) Αθόρυβη λειτουργία**

Είναι πολύ πιο αθόρυβοι κατά τη λειτουργία τους από τους χαλύβδινους και τούτο οφείλεται στα παχιά τοιχώματα αφ' ενός και στη διαμόρφωση του εσωτερικού χώρου αφ' ετέρου.

#### **ε) Είναι ανθεκτικότεροι στη θερμική καταπόνηση**

Ο χυτοσίδηρος είναι ανθεκτικότερος από τον χάλυβα στις θερμικές καταπονήσεις, γιατί ο συντελεστής θερμικής διαστολής του είναι μικρότερος εκείνου του χάλυβα. Λόγω της πολύ υψηλής θερμοκρασίας στον φλογοθάλαμο, παρατηρούνται στους χαλύβδινους λέβητες, πέρα από την επιφανειακή φθορά και φαινόμενα παραμόρφωσης των χαλύβδινων ελασμάτων.

#### **ζ) Έχουν μικρότερη αντίθλιψη έναυσης – λειτουργίας**

Η αντίθλιψη των χυτοσίδηρων λεβήτων είναι μικρότερη εκείνης των χαλύβδινων τόσο κατά την έναυση, όσο και κατά τη λειτουργία. Οι μεγάλες αντιθλίψεις δημιουργούν αιθάλη στο εσωτερικό, που ρυπαίνει τον λέβητα και δυσκολεύει την απρόσκοπτη λειτουργία του καυστήρα, με αποτέλεσμα μια κακή καύση.

## η) Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής

Ένας κοινός μαντεμένιος λέβητας, ζει συνήθως τριπλάσιο έως τετραπλάσιο χρόνο από έναν καλό χαλύβδουνο.

### 3.3 ΧΑΛΥΒΔΙΝΟΙ ΛΕΒΗΤΕΣ

Οι χαλύβδινι λέβητες κατασκευάζονται με συγκόλληση προδιαμορφωμένων ελασμάτων και συνήθως παραδίδονται έτοιμα ενιαία τεμάχια. Οι μεγαλύτερες μονάδες χαλύβδινων λεβήτων, παραδίδονται και σε τεμάχια τα οποία συγκολλούνται μέσα στο λεβητοστάσιο (Χαλικιά, 1983).

Ανάλογα με τη μορφή του φλογοθαλάμου και του υδροθαλάμου, επομένως και της διαδρομής των καυσαερίων, οι χαλύβδινι λέβητες διακρίνονται σε αεριαυλωτούς και υδραυλωτούς. Εάν δηλαδή τα καυσαέρια οδεύουν προς την καπνοδόχο μέσα σε αυλούς (σωλήνες) που περιβάλλονται από νερό (βρίσκονται στον υδροθάλαμο), πρόκειται για αεριαυλωτούς λέβητες. Εάν μέσα από τους αυλούς κυκλοφορεί το νερό και γύρω από τους αυλούς κινούνται τα καυσαέρια, πρόκειται για υδραυλωτούς λέβητες.



**Εικόνα 3.4:** Χαλύβδινος λέβητας κατά την φάση της κατασκευής του πριν τοποθετηθεί μόνωση και καλύμματα [9]

Οι χαλύβδινι λέβητες πλεονεκτούν σημαντικά στην περίπτωση λειτουργίας με υψηλότερες πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες. Ακόμη όμως και σε μικρά μεγέθη, διατίθεται εξαιρετικά επιτυχημένοι χαλύβδινι λέβητες, κυρίως γιατί ο χάλυβας εξασφαλίζει διαμορφώσεις, που δεν επιτυγχάνονται με χύτευση (Σελούντου, ΚΕΝΤΡΙΚΑΙ ΘΕΡΜΑΝΣΕΙΣ, 1981).

Ο χάλυβας γενικά επιτρέπει μεγαλύτερες καταπονήσεις από τον χυτοσίδηρο και αφήνει ευρύτερα περιθώρια για λειτουργικά σφάλματα (π.χ. τροφοδότηση με κρύο νερό ή και προς στιγμήν έλλειψη νερού). Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των

χαλύβδινων λεβήτων είναι ότι πρόκειται για ενιαίες κατασκευές και σπάνια αποτελούνται από στοιχεία που μπορεί να συνδεθούν επί τόπου, μέσα στο λεβητοστάσιο. Αυτό σημαίνει, ότι πρέπει να υπάρχει δίοδος που να επιτρέπει την είσοδο και την έξοδο τους από το λεβητοστάσιο (που δεν υπάρχει σε όλες τις περιπτώσεις).



**Εικόνα 3.5:** Χαλύβδινος λέβητας της εταιρίας Thermolen στην φωτογραφία διακρίνονται και οι καθυστερηγτές καπναερίων εντός των αεριαυλών [9]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ PELLETT**

Το pellet έχει κυλινδρικό σχήμα με διάμετρο 6 έως 8mm (συνήθως 6mm) και μήκος 10 έως 30mm. Αποτελείται από πεπιεσμένο πριονίδι.

### **4.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PELLETT**

Η Εύρεση της πρώτης ύλης είναι ο βασικότερος παράγοντας που πρέπει να εξασφαλισθεί για την απρόσκοπτη λειτουργία μιας μονάδας παραγωγής καύσιμου pellet. Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα ξυλείας οικοδομικής ή επιπλοποιίας ενώ σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και πρωτογενής ξυλεία. Η ποιότητα της ξυλείας που θα χρησιμοποιηθεί παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αν η ξυλεία που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνει δέντρα όπως ιτιές ή λεύκες τα οποία έχουν την ιδιότητα να αποβάλουν με την λειτουργία της αναπνοής μεγάλες ποσότητες νερού τότε η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι υποβαθμισμένη. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς τα δέντρα απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού από το έδαφος μαζί συμπαρασύρουν και χώμα ή άμμο το οποίο τελικά θα υπάρχει μέσα στο τελικό προϊόν (καθώς είναι αδύνατο να απομακρυνθεί). Η άμμος ή το χώμα καθώς το pellet καίγεται συσσωρεύεται στο σημείο της καύσης. Η άμμος είναι βαρύτερη από την στάχτη και δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθεί με τον φουσητήρα αέρα κατά την λειτουργία του καθαρισμού, ως αποτέλεσμα αυτού η συσσωρευμένη άμμος και το χώμα δημιουργούν πρόβλημα στην καύση.

Η πρώτη φάση κατασκευής του pellet είναι ο θρυμματισμός των ξύλων. Τα ξύλα εισέρχονται σε σπαστήρα ο οποίος σταδιακά κονιορτοποιεί την πρώτη ύλη. Στη συνέχεια το πριονίδι εισέρχεται σε ξηραντήριο ώστε η υγρασία του να κατέλθει σε επίπεδο περίπου 10%. Κατόπιν το πριονίδι εισέρχεται σε πρέσα η οποία αναλαμβάνει να το συμπιέσει. Το πριονίδι υπό υψηλή πίεση συγκολλείται και εξέρχεται από την πρέσα σε μορφή κυλίνδρων διαμέτρου 6 – 8mm. Τέλος ζυγίζεται και συσκευάζεται.

### **4.2 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ PELLETT**

Από το 2010 έχει καθιερωθεί το πρότυπο EN Plus A1 – A2 – EN B. Η πιστοποίηση αυτή βασίστηκε στο προηγούμενο Γερμανικό πρότυπο Din Plus. Το πρότυπο αυτό ελέγχεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Βιομάζας (AEBIOM). Παρακάτω στον πιν. 4.1 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά του καυσίμου ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει σύμφωνα με το πρότυπο EN Plus.

**Πίνακας 4.1:** Τιμές χαρακτηριστικών πέλλετ σε σχέση με το πρότυπο EN Plus [10]

Χαρακτηριστικό	Μονάδα Μέτρησης	EN PLUS A1	EN PLUS A2	EN-B
Διάμετρος	Mm	6±1 ή 8±1		
Μήκος	Mm	3.15<L<40		
Περιεκτικότητα Υγρασίας	w-%	<10		
Περιεκτικότητα Στάχτης	w-%	<0,7	<1,2	<2,0
Μηχανική Αντοχή	w-%	≥98	≥97,5	
Θερμογόνος Δύναμη	KWh/Kg	≥4,6		
Πυκνότητα	kg/m <sup>3</sup>	600<ρ<750		
Περιεκτικότητα Αζώτου	w-%	<0.3	<0.5	<1
Περιεκτικότητα Θείου	w-%	<0.04	<0.05	
Περιεκτικότητα Χλωρίου	w-%	<0.02		<0.03
Θερμοκρασία Τήξης Τέφρας	C	>1200	>1100	
Περιεκτικότητα Αρσενικού	mg/kg	≤1		
Περιεκτικότητα Κάδμιου	mg/kg	≤0,5		
Περιεκτικότητα Χρώμιου	mg/kg	≤10		
Περιεκτικότητα Χαλκού	mg/kg	≤10		
Περιεκτικότητα Μολύβδου	mg/kg	≤10		
Περιεκτικότητα Υδράργυρος	mg/kg	≤0,1		
Περιεκτικότητα Νικέλιο	mg/kg	≤10		
Περιεκτικότητα Ψευδαργύρου	mg/kg	≤100		

Προϊόντα πέλλετ χαμηλότερης κατηγορίας από την EN Plus B προορίζονται μόνο για βιομηχανική και αγροτική χρήση. Απαγορεύεται η χρήση τους σε οικιστικό περιβάλλον. Οι καταναλωτές προτιμούν τη χρήση πιστοποιημένου καυσίμου ώστε να γνωρίζουν τι καίνε, άλλωστε πολλοί κατασκευαστές δεν καλύπτουν με εγγύηση τα προϊόντα τους αν διαπιστωθεί ότι έχει χρησιμοποιηθεί καύσιμο μη πιστοποιημένο. Αν χρησιμοποιηθεί καύσιμο μη πιστοποιημένο με υψηλό ποσοστό υγρασίας η απώλεια για τον καταναλωτή είναι διπλή. Ένα σημαντικό μέρος της μάζας του προϊόντος που αγόρασε ως καύσιμο είναι νερό και στη συνέχεια πρέπει να δαπανηθεί ενέργεια από το ίδιο το καύσιμο ώστε η περιεχόμενη υγρασία στο καύσιμο να φτάσει σε



θερμοκρασία βρασμού κατά την καύση, να ατμοποιηθεί και να αποβληθεί στο περιβάλλον διαμέσου των καπναερίων.



**Εικόνα 4.1:** Schweighofer - ένα από τα πιο αναγνωρίσιμα πέλλετ της αγοράς με πιστοποίηση EN Plus A1 [11]

Το πέλλετ είναι επαναστατικό ως ιδέα διότι προέρχεται από στερεό καύσιμο, το ξύλο αλλά λειτουργεί ως ρευστό. Δηλαδή οι καυστήρες πέλλετ μπορούν να τροφοδοτούνται αυτόματα και να εισάγουν στον χώρο καύσης όση ποσότητα καυσίμου χρειάζεται την εκάστοτε στιγμή όπως ακριβώς συμβαίνει με τους καυστήρες ρευστών καυσίμων (πετρελαίου και αερίου). Κάτι που δεν μπορεί να συμβεί στους λέβητες στερεών καυσίμων όπως τους ξυλολέβητες. Εκεί η τροφοδοσία δεν μπορεί να είναι αυτόματη αλλά ο χρήστης πρέπει να τροφοδοτεί ο ίδιος με ξύλα τον λέβητα ανά τακτά χρονικά διαστήματα της τάξεως των 2 – 8 ωρών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ PELLET

Οι καυστήρες pellet μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης χώρων, παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, παραγωγής ατμού και παραγωγής θερμού αέρα. Καυστήρες pellet μπορούν να τοποθετηθούν σε λέβητες νερού, σε αμολέβητες και σε αερολέβητες για οικιακή, βιομηχανική ή γεωργική χρήση. Οι καυστήρες pellet κατατάσσονται στους καυστήρες στερεών καυσίμων. Ένας καυστήρας pellet έχει ως ρόλο να δέχεται το καύσιμο να πραγματοποιεί έναυσή του και στη συνέχεια να διατηρεί τη φλόγα στο απαιτούμενο επίπεδο ισχύος. Όταν πλέον δεν απαιτείται θερμότητα ο καυστήρας πρέπει με ασφάλεια να μπορεί να διακόπτει την φλόγα και να τίθεται σε αναμονή για νέα έναυση.

### 5.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ PELLEΤ

Ο καυστήρας που κατασκευάστηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας τροφοδοτείται με pellet από έναν εξωτερικό τροφοδότη κοχλία ο οποίος έχει μήκος 1,80m. Ο εξωτερικός τροφοδότης βρίσκεται τοποθετημένος έτσι ώστε το κατώτερο τμήμα του να είναι εντός δεξαμενής με πέλλετ. Ο καυστήρας περιλαμβάνει τα εξής ηλεκτρικά στοιχεία:

- Ηλεκτρικό κινητήρα για την προώθηση του πέλλετ στον χώρο καύσης
- Ηλεκτρικός φυσητήρας για την εισαγωγή αέρα καύσης
- Ηλεκτρική αντίσταση για την έναυση του πέλλετ
- Φωτοαισθητήρα για την επιτήρηση της φλόγας
- Θερμοστάτη για την διακοπή λειτουργίας του καυστήρα σε περίπτωση υπερθέρμανσης του.

Τα παραπάνω ηλεκτρικά στοιχεία καθώς και ο εξωτερικός τροφοδότης – κοχλίας ελέγχονται από ηλεκτρονικό controller. Το ηλεκτρονικό controller είναι της εταιρίας Master και είναι το μοντέλο PWC – 2500 (Εικ. 6.1)



**Εικόνα 5.1:** Ηλεκτρονικό controller Master PWC – 2500 [11]

Όλες οι λειτουργίες του καυστήρα ελέγχονται και δίνεται εντολή για να πραγματοποιηθούν μέσω του ηλεκτρονικού controller. Το controller δέχεται την εντολή έναυσης του καυστήρα από τον θερμοστάτη χώρου που πρέπει να θερμανθεί. Στη συνέχεια ελέγχει την θερμοκρασία του λέβητα μέσω εμβαπτιζόμενου αισθητηρίου και κατόπιν αν η θερμοκρασία του λέβητα είναι μικρότερη από αυτήν που έχει οριστεί ως μέγιστη εκκινεί τον καυστήρα. Η διαδικασία έναυσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

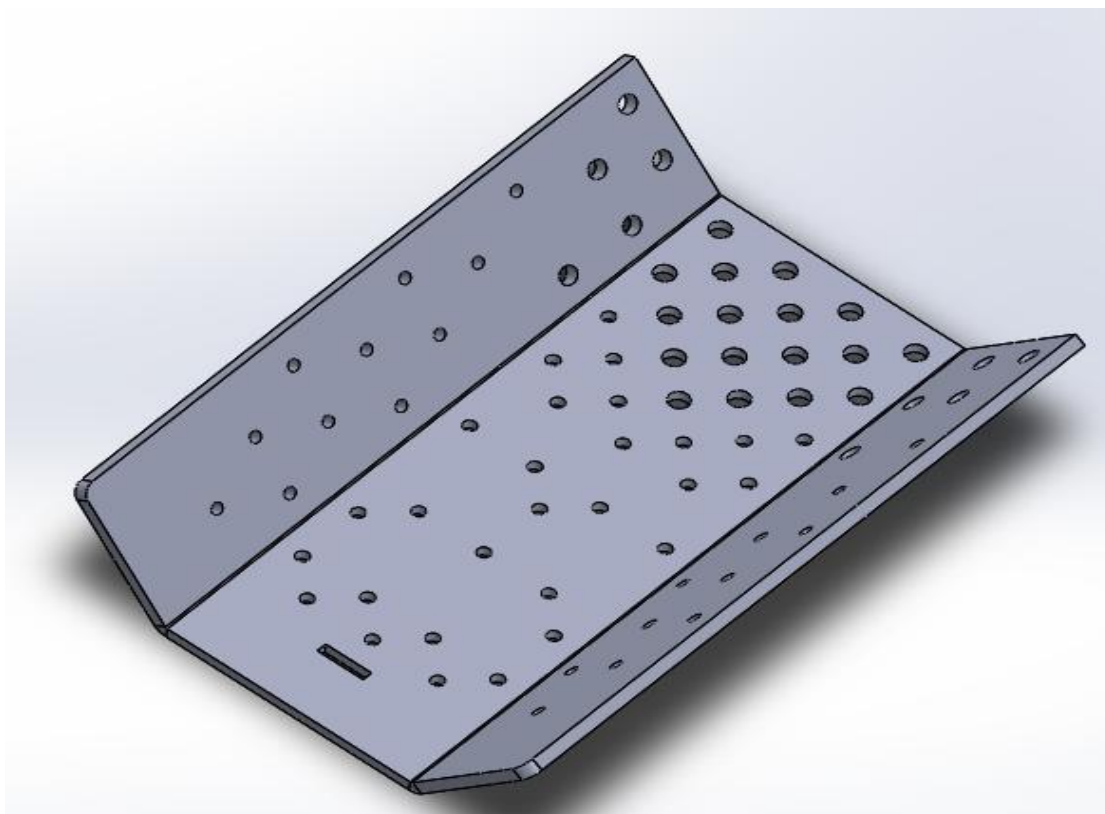
- ενεργοποίηση του φυσητήρα του καυστήρα στο 100% της ισχύος του για ορισμένα δευτερόλεπτα ώστε το ρεύμα αέρα να καθαρίσει πλήρως τον χώρο καύσης του καυστήρα
- ενεργοποίηση της ηλεκτρικής αντίστασης
- ενεργοποίηση του εξωτερικού και εσωτερικού κοχλία για ορισμένα δευτερόλεπτα ώστε να έρθει πέλλετ στον χώρο καύσης
- ενεργοποίηση του φυσητήρα στο 25% της ισχύος του ώστε ο αέρας να περνά γύρω από την πυρακτωμένη αντίσταση να θερμαίνεται και στη συνέχεια να έρχεται σε επαφή με το καύσιμο.
- αύξηση θερμοκρασίας του πέλλετ στην περιοχή μπροστά από την αντίσταση
- ανάφλεξη του πέλλετ όταν έλθει σε θερμοκρασία αυτανάφλεξης  $\sim 250^{\circ}\text{C}$
- ενεργοποίηση του φωτοαισθητήρα από την ύπαρξη φλόγας
- διακοπή λειτουργίας της ηλεκτρικής αντίστασης
- συνέχιση καύσης με την επιπλέον τροφοδοσία καυσίμου και αέρα.

Κατά τη λειτουργία του ο καυστήρας δέχεται πέλλετ από τον εξωτερικό κοχλία και στη συνέχεια το προωθεί με την περιστροφή του εσωτερικού ατέρμονα κοχλία στον χώρο καύσης. Ο εσωτερικός κοχλίας ξεκινά την λειτουργία του όταν ξεκινά και εξωτερικός κοχλίας αλλά σταματά να λειτουργεί ορισμένα δευτερόλεπτα μετά την παύση λειτουργίας του εξωτερικού τροφοδότη. Αυτό συμβαίνει για να μην μείνει πέλλετ στην περιοχή του εσωτερικού κοχλία ώστε να αποτραπεί η πιθανότητα να

υπάρξει φλόγα στην περιοχή του εσωτερικού κοιλία του καυστήρα. Κατά την λειτουργία του ο καυστήρας προσαρμόζει την ισχύ του μέσω του controller σε σχέση με κάποιες παραμέτρους. Όταν γίνει έναυση του καυστήρα η ισχύς του αυξάνει προοδευτικά μέχρι την μέγιστη. Αυτό γίνεται για να επιτευχθεί σταδιακή έναυση του πέλλετ διότι αν δεν έχει ανάψει όλο το καύσιμο που βρίσκεται στο σημείο της καύσης και πέσει νέο καύσιμο υπάρχει πιθανότητα η φλόγα να σβήσει. Η αρχική αυτή φάση καύσης διαρκεί 10 λεπτά. Κατά την αρχική καύση δηλαδή τα πρώτα δέκα λεπτά καύσης έχει οριστεί αυξημένη παροχή αέρα καύσης και αυτό διότι κατά την αρχική αυτή χρονική περίοδο η καμινάδα εξαγωγής των καυσαερίων είναι κρύα και δεν δημιουργεί ελκυσμό. Λόγω του μειωμένου ελκυσμού της καμινάδας κατά την αρχική καύση ο φλογοθάλαμος του λέβητα γεμίζει καυσαέρια και μπορεί να υπάρξει απώλεια φλόγας λόγω της έλλειψης οξυγόνου. Με την αυξημένη ταχύτητα του φυσητήρα αναγκάζονται τα καυσαέρια να φύγουν από τον φλογοθάλαμο διαμέσου της καμινάδας. Όταν περάσουν τα 10 λεπτά (τα οποία μπορούν τα αυξομειωθούν ανάλογα με το ύψος της καμινάδας) μειώνονται οι στροφές του φυσητήρα ώστε να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της απόδοσης. Όταν η θερμοκρασία του νερού του λέβητα αυξηθεί και φτάσει σε θερμοκρασία κατά 5°C μικρότερη από την μέγιστη που έχουμε ορίσει τότε η ισχύς του καυστήρα μειώνεται με στόχο και πάλι την μεγιστοποίηση της απόδοσης. Μια άλλη παράμετρος που επηρεάζει την ισχύ του καυστήρα είναι ο θερμοκρασία των καυσαερίων. Στην έξοδο των καυσαερίων προς την καμινάδα στον καπναγωγό τοποθετείται ένα αισθητήριο θερμοκρασίας καπνού, αν η θερμοκρασία του καπνού ξεπεράσει κάποιο όριο που ορίζουμε συνήθως στους 170°C τότε η ισχύς του καυστήρα μειώνεται ώστε να μην ξοδεύεται άσκοπα ενέργεια αφού ο εναλλάκτης του λέβητα δεν μπορεί να διαχειριστεί την αυξημένη ισχύ του καυστήρα. Αν η θερμοκρασία του νερού πέσει και πάλι κάτω από 5°C από την θερμοκρασία που έχουμε ορίσει για το νερό του λέβητα τότε και πάλι ο καυστήρας τίθεται σε πλήρη ισχύ. Αν η θερμοκρασία του νερού του λέβητα αυξηθεί και φτάσει στην μέγιστη θερμοκρασία που έχουμε ορίσει ή αν δοθεί εντολή από τον θερμοστάτη χώρου τότε ο καυστήρας θα πρέπει να σβήσει. Για να σβήσει ο καυστήρας διακόπτεται η παροχή καυσίμου αλλά ο φυσητήρας συνεχίζει την λειτουργία του μέχρι το φωτοαισθητήριο να σταματήσει να δέχεται φως από την ύπαρξη φλόγας. Αφού συμβεί αυτό ο φυσητήρας θα συνεχίσει την λειτουργία του για μερικά δευτερόλεπτα ακόμα σε πλήρη ισχύ ώστε να καθαριστεί ο χώρος καύσης από την στάχτη και να είναι έτοιμος για νέα έναυση.

## 5.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

Τα περισσότερα μεταλλικά τμήματα του καυστήρα αποτελούνται από ανοξείδωτο χάλυβα A-301. Ο κοιλίας αποτελείται από χάλυβα St-37 και το σχαράκι πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η καύση είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο πυράντοχο χάλυβα A-310. Η επιλογή του ανοξείδωτου χάλυβα έγινε για να αποφευχθεί η οξείδωση του καυστήρα καθώς βαφή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αφού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών κάτι τέτοιο δεν θα ήταν εφικτό. Για το διάτρητο έλασμα Εικ. 5.2 πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η καύση επιλέχθηκε ο πυράντοχος ανοξείδωτος χάλυβας ώστε να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς βρίσκεται στην εστία της καύσης. Ο κοιλίας μεταφοράς του καυσίμου επιλέχθηκε να κατασκευαστεί από St-37 ώστε να είναι εύκολο να διαμορφωθεί το έλασμα και να του δοθεί η τελική του μορφή.



**Εικόνα 5.2:** Πυράντοχο έλασμα

## **5.3 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΤΗΡΑ**

### **5.3.1 Ηλεκτρικός κινητήρας**

Ο καυστήρας είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος περιστρέφει τον ατέρμονα κοχλία για την προώθηση του καυσίμου στον χώρο καύσης. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ισχύος 6W και φέρει μειωτή στροφών 120/1. Ο ηλεκτρικός κινητήρας περιστρέφεται με 1200rpm ενώ ο άξονας του μειωτή με 10rpm. Ο άξονας του κινητήρα είναι συνδεδεμένος ομοαξονικά με τον άξονα του κοχλία. Καθώς ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί, περιστρέφεται ο κοχλίας προωθώντας το πέλλετ στον χώρο καύσης. Η ροπή του συγκεκριμένου κινητήρα στον άξονα του μειωτή είναι 10Nm. Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος κινητήρας κατόπιν δοκιμών που έγιναν με τέσσερις διαφορετικούς ηλεκτρικούς κινητήρες. Ο κινητήρας επιλέχθηκε με κριτήρια: να μπορεί να αποδίδει την απαιτούμενη ροπή στον κοχλία ακόμη και όταν αυτός είναι γεμάτος με πέλλετ, να είναι αξιόπιστος, να έχει σχετικά χαμηλό κόστος και να είναι σχετικά μικρός και ελαφρύς ώστε να μην προσθέτει περιττό βάρος στην τελική κατασκευή. Οι δοκιμές που έγιναν για την επιλογή του ηλεκτρικού κινητήρα έγιναν με πραγματικές συνθήκες καθώς τοποθετήθηκαν οι κινητήρες στον καυστήρα και τέθηκαν σε λειτουργία για να ελεγχθεί ότι μπορούν να ανταπεξέλθουν στην απρόσκοπτη προώθηση του καυσίμου. Ο συγκεκριμένος κινητήρας δεν έχει δυνατότητα αυξομείωσης των στροφών. Όταν κάνει ρίψη του πέλλετ που βρίσκεται

στο εσωτερικό τμήμα του καυστήρα, στον χώρο καύσης και δεν χρειάζεται να λειτουργεί πλέον, διακόπτεται η λειτουργία του.



**Εικόνα 5.3:** Ηλεκτρικός κινητήρας εσωτερικού κοχλίου [11]

### **5.3.2 Ηλεκτρικός φυσητήρας για την εισαγωγή αέρα.**

Στον καυστήρα έχει τοποθετηθεί ηλεκτρικός φυσητήρας ισχύος 38W και παροχής 98m<sup>3</sup> αέρα/ώρα. Ο συγκεκριμένος φυσητήρας τοποθετήθηκε κατόπιν υπολογισμού της απαιτούμενης παροχής του αέρα καύσης. Ο υπολογισμός αναλύεται παρακάτω στην μελέτη διαστάσεων. Ο φυσητήρας λειτουργεί με τάση  $V=220V$ . Ο φυσητήρας έχει δυνατότητα αυξομείωσης των στροφών του ανάλογα με την τάση οδήγησής του. Από τον αριθμό των στροφών καθορίζεται και ο παρεχόμενος αέρας, αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του καυστήρα. Κατά την διαδικασία της έναυσης ο φυσητήρας πρέπει να παρέχει λίγο αέρα καθώς αν η ροή του αέρα είναι μεγάλη γύρω από την αντίσταση, θα την ψύχει και ο αέρας που εξέρχεται από την αντίσταση και προσπίπτει στο πέλλετ δεν θα μπορέσει να το ανάψει καθώς δεν θα βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία. Αν η παροχή του αέρα είναι χαμηλότερη από κάποιο όριο κινδυνεύει να καεί σύντομα η αντίσταση καθώς δεν ψύχεται επαρκώς. Κατά την καύση ο καυστήρας προσαρμόζει την ισχύ του ανάλογα με τις απαιτούμενες ανάγκες της εγκατάστασης άρα και ο φυσητήρας πρέπει να παρέχει λιγότερο ή περισσότερο αέρα.



**Εικόνα 5.4:** Φουσητήρας [11]

### **5.3.3 Ηλεκτρική αντίσταση για την έναυση του πέλλετ**

Στο εσωτερικό του καυστήρα έχει τοποθετηθεί κυλινδρική ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 250W μήκους 130mm και διαμέτρου 10mm. Κατά τη φάση της έναυσης ενεργοποιείται η αντίσταση από το controller και θερμαίνεται. Ο αέρας που ρέει γύρω από την αντίσταση θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου 300°C. Στη συνέχεια ο θερμός αέρας έρχεται σε επαφή με το καύσιμο και αυτό αφού θερμανθεί αναφλέγεται. Η αντίσταση δεν βρίσκεται στον χώρο καύσης και δεν έρχεται σε επαφή με το καύσιμο και με την φλόγα, αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την αύξηση της διάρκειας ζωής της. Η ηλεκτρική αντίσταση έχει διάρκεια ζωής περίπου για 1500 εναύσεις. Συνήθως διαρκεί για περισσότερο από ένα χρόνο λειτουργίας του καυστήρα.



**Εικόνα 5.5:** Ηλεκτρική αντίσταση [11]

### **5.3.4 Φωτοαισθητήριο**

Ο καυστήρας είναι εφοδιασμένος με ένα φωτοαισθητήριο ώστε να αντιλαμβάνεται την ύπαρξη φλόγας. Το φωτοαισθητήριο που επιλέχθηκε είναι της εταιρίας Siemens. Η επιλογή έγινε με κριτήριο τις διαστάσεις, την ευαισθησία και το κόστος. Το φωτοαισθητήριο αποτελείται από μια φωτοαντίσταση τοποθετημένη σε ένα πλαστικό

διάφανο περίβλημα. Η φωτοαντίσταση έχει μεταβαλλόμενη αντίσταση σε σχέση με το φως που προσπίπτει επάνω της. Όταν προσπίπτει φως στην επιφάνεια της φωτοαντίστασης που είναι κατασκευασμένη από ημιαγωγούς τότε τα ηλεκτρόνια των ατόμων της επιφάνειας αποκτούν ενέργεια και είναι πιο εύκολο να κινηθούν. Τα κινούμενα ηλεκτρόνια αποτελούν ηλεκτρικό ρεύμα και με τον τρόπο αυτό όταν υπάρχει φως η τιμή της ωμικής αντίστασης μειώνεται και διαρρέεται από περισσότερο ρεύμα.



**Εικόνα 5.6:** Φωτοσθητήρας [11]

### 5.3.5 Θερμοστάτης ασφάλειας

Στην εξωτερική επιφάνεια του καυστήρα στον χώρο που πέφτει το πέλλετ από τον εξωτερικό τροφοδότη έχει τοποθετηθεί ένας θερμοστάτης ασφάλειας. Ο θερμοστάτης βρίσκεται σε θερμική επαφή με το σασί του καυστήρα καθώς ανάμεσά τους υπάρχει θερμοαγώγιμη αλοιφή. Αν ο θερμοστάτης θερμανθεί σε θερμοκρασία 60°C διακόπτεται η ροή του πέλλετ αλλά συνεχίζει η λειτουργία του εσωτερικού κοχλίου και του βεντιλατέρ ώστε αν υπάρχει φλόγα στο εσωτερικό του κοχλίου το αναμμένο καύσιμο να προωθηθεί στον χώρο καύσης. Όταν η φλόγα σβήσει στο controller ανάβει η ένδειξη alarm και ο καυστήρας δεν εκκινεί αν δεν επιδιορθωθεί το πρόβλημα.



**Εικόνα 5.7:** Θερμοστάτης ασφάλειας [11]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

### 6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΗΤΗΡΑ

Ο καυστήρας που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία είναι ισχύος  $P=30kW$ , με αυτό ως δεδομένο έγινε η μελέτη των διαστάσεών του. Για την επίτευξη της ισχύος των  $30kW$  και με δεδομένη την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου πέλλετ  $4,8kWh/kg$  υπολογίζεται η ποσότητα πέλλετ ανά ώρα που πρέπει να καίει ο καυστήρας. Αυτό προκύπτει από τον ακόλουθο υπολογισμό:

$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow E = P \cdot t \quad (6.1)$$

Όπου  $P$  η ισχύς,  $E$  η ενέργεια και  $t$  ο χρόνος.

Η σχεδιαζόμενη ισχύς είναι  $30kW$ , ο υπολογισμός της καταναλισκόμενης μάζας καυσίμου ανά ώρα γίνεται μέσω της δαπανώμενης ενέργειας.

$$E = P \cdot t \Rightarrow E = 30kW \cdot 1h \Rightarrow E = 30kWh \quad (6.2)$$

Για να έχουμε έκλυση ενέργειας  $E=30kWh$  θα πρέπει να καούν  $m=6,25kg$  πέλλετ. Αυτό υπολογίζεται αν διαιρέσουμε την απαιτούμενη ενέργεια με την ειδική ενέργεια του καυσίμου  $\epsilon_{καυσίμου}$  δηλαδή την ενέργεια που περιέχεται στο πέλλετ ανά κιλό ή αλλιώς την θερμογόνο δύναμη του πέλλετ.

$$m = \frac{E}{\epsilon_{καυσίμου}} \Rightarrow m = \frac{30kWh}{4,8kWh/kg} \Rightarrow m = 6,25kg \quad (6.3)$$

Άρα ο καυστήρας θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να καίει επαρκώς  $6,25kg$  πέλλετ την ώρα.

Η σύνθεση του πέλλετ είναι ίδια με του ξύλου άρα σύμφωνα με μελέτη έχει ως εξής:

Πίνακας 6.1: Σύνθεση pellet [12]

Συστατικό	% περιεκτικότητα κατά βάρος
Άνθρακας (C)	49,9
Υδρογόνο (H)	6,5
Άζωτο (N)	1,4
Θείο (S)	0,04 (αμελητέο)
Οξυγόνο (O)	38,5
Λοιπά στοιχεία	3,66

Με δεδομένη την παραπάνω ανάλυση υπολογίζονται οι ποσότητες  $O_2$  που είναι απαραίτητες για την πλήρη καύση του άνθρακα και του υδρογόνου, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:

- $C + O_2 = CO_2$  (12kg C απαιτούν 32kg  $O_2$  και παράγουν 44kg  $CO_2$ )
- $H_2 + (1/2) O_2 = H_2O$  (2kg  $H_2$  απαιτούν 32/2=16kg  $O_2$  και παράγουν 18kg  $H_2O$ )

Για να υπολογιστούν οι αναλογίες των στοιχείων για την πλήρη καύση ελήφθησαν υπόψη τα ατομικά βάρη των στοιχείων. (πιν. 6.2)

**Πίνακας 6.2:** Ατομικά βάρη

Στοιχείο	Ατομικό Βάρος
Άνθρακας (C)	12
Οξυγόνο (O)	16
Υδρογόνο (H)	1

Λαμβάνοντας υπόψη την επί της % στοιχειακή ανάλυση του πέλλετ (πιν. 6.2) προκύπτουν:

$$(49,9) C + (49,9 \times 32/12) O_2 = 182,97 CO_2$$

$$(6,5) H_2 + (6,5 \times 16/2) O_2 = (6,5 \times 9) H_2O$$

Από τα παραπάνω προκύπτει η συνολική ποσότητα του απαιτούμενου οξυγόνου για τις αντιδράσεις πλήρους καύσης 100kg του καυσίμου πέλλετ είναι:

$$49,9 \times 32/12 + 6,5 \times 16/2 = 185 \text{ kg } O_2$$

Επειδή στα 100kg καυσίμου πέλλετ περιέχονται 38,5kg οξυγόνου αφαιρούνται από τα 185kg και έτσι προκύπτει η επιπλέον ποσότητα οξυγόνου:

$$185\text{kg} - 38,5\text{kg} = 146,5\text{kg } O_2$$

Λαμβάνοντας υπόψη την κατά βάρος σύσταση του αέρα (23,1%  $O_2$ , και 75,5%  $N_2$ ) η απαιτούμενη ποσότητα αέρα θα είναι:

$$146,5 \text{ kg } O_2 / 0,232 = 631,5 \text{ kg αέρα για } 100 \text{ kg καυσίμου πέλλετ}$$

ή

$$6,32 \text{ kg αέρα για } 1 \text{ kg καυσίμου πέλλετ.}$$

Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας για να έχουμε πλήρη καύση χρειαζόμαστε περίσσεια αέρα. Αν υποθεθεί ότι για την καύση του πέλλετ χρειάζεται περίσσεια αέρα 20% τότε η συνολική ποσότητα αέρα ανά κιλό καυσίμου ανέρχεται στα:

$$6,32\text{kg} \cdot 1,2 = 7,58 \text{ kg αέρα}$$

Η πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία 20°C και πίεση μίας ατμόσφαιρας είναι  $\rho=1,2\text{kg/m}^3$  για την πλήρη καύση 1kg πέλλετ απαιτούνται:

$$7,58 \text{ kg} / 1,2 \text{ kg/m}^3 = 6,32 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Για την πλήρη καύση 6,25 kg πέλλετ απαιτούνται:

$$6,25 \text{ kg} \cdot 6,32 \text{ m}^3/\text{kg} = 39,5 \text{ m}^3 \text{ αέρα.}$$

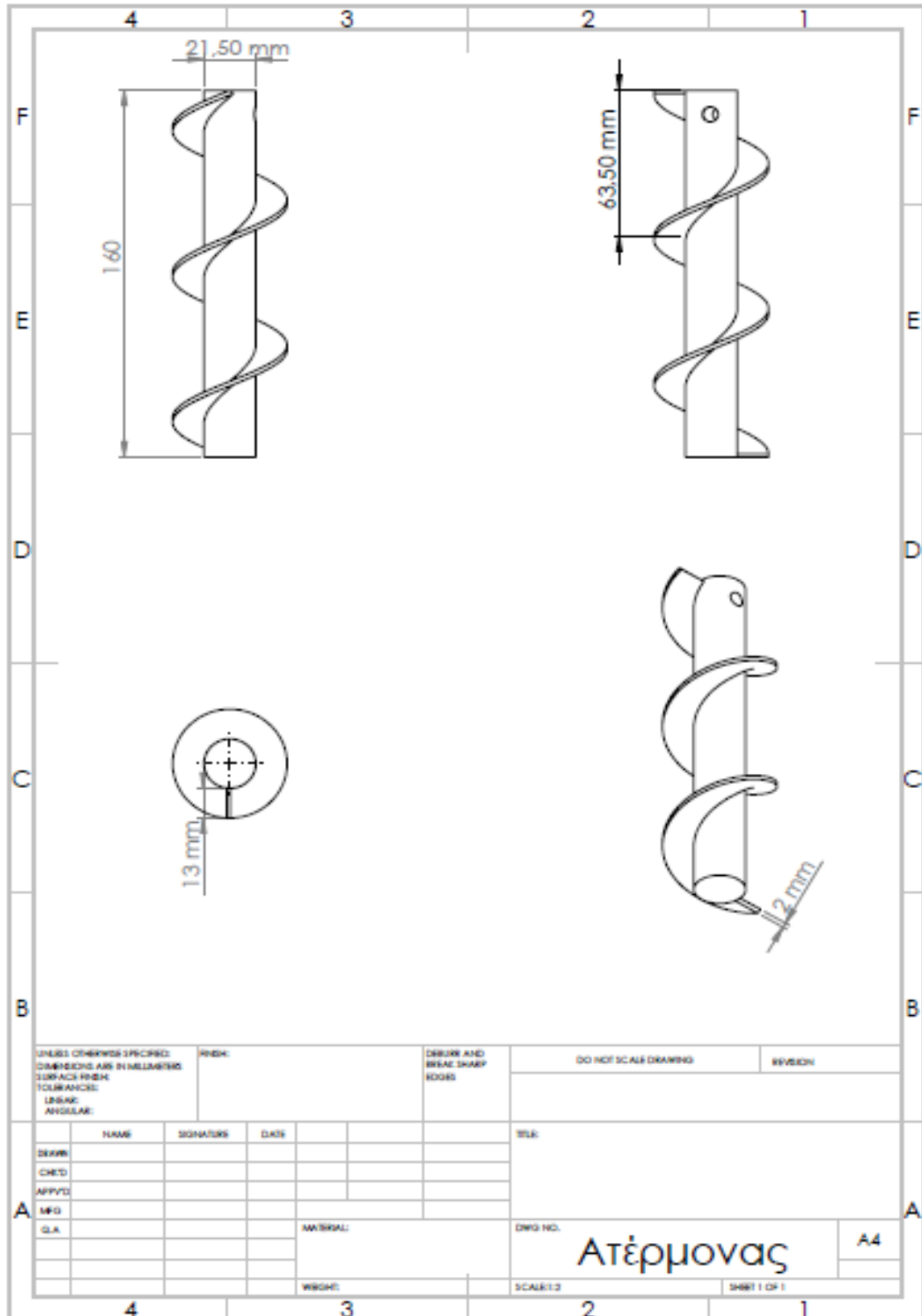
Ο φουσητήρας που έχει επιλεγθεί για τον εφοδιασμό του καυστήρα είναι ρυθμιζόμενης ισχύος και μπορεί κατά την μέγιστη ισχύ λειτουργίας του να παρέχει  $98\text{m}^3/\text{h}$ . Ο φουσητήρας έχει διπλάσια ικανότητα παροχής αέρα από τον απαιτούμενο διότι περιοδικά τίθεται σε πλήρη ισχύ ώστε το ρεύμα αέρα να παρασύρει τα υπολείμματα στάχτης από το σημείο της καύσης.

## 6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΥ ΚΑΥΣΗΣ

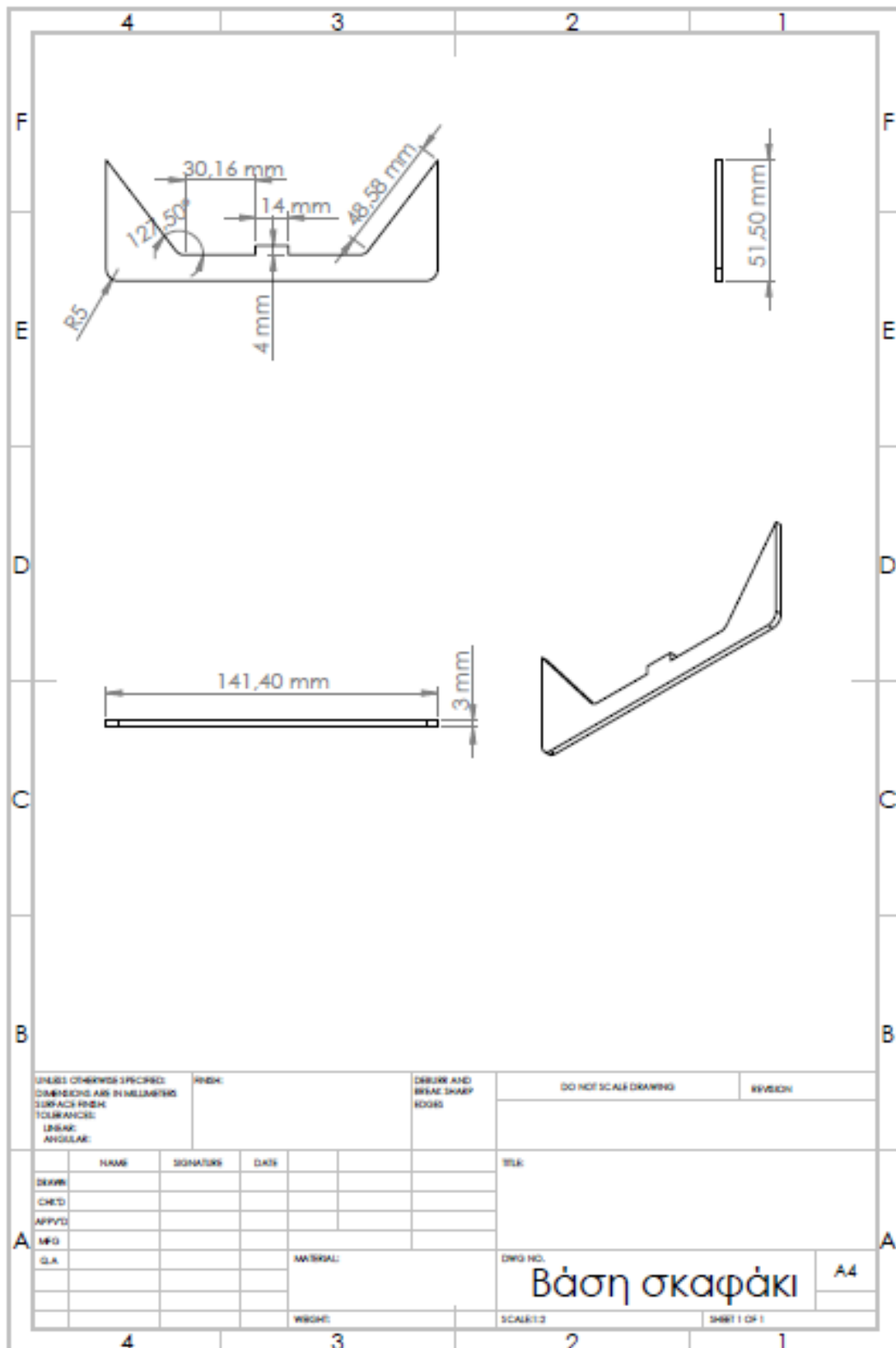
Το πέλλετ όπως αναφέρεται και στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο είναι κύλινδροι διαμέτρου 6 – 8mm και μήκους 10 – 30 mm. Ο χρόνος που χρειάζεται για να καεί πλήρως ένας κύλινδρος πέλλετ είναι 8min. Ο χώρος πάνω στον οποίο πέφτει το πέλλετ και γίνεται η καύση του πρέπει να έχει διαστάσεις τέτοιες ώστε να χωρά το καύσιμο και αυτό να δέχεται την απαιτούμενη ποσότητα αέρα ώστε η καύση να είναι πλήρης και όχι ατελής. Το πέλλετ που πέφτει στο χώρο καύσης πρέπει να παραμείνει σε αυτόν τουλάχιστον 8min. Αν διαιρεθεί η ώρα που περιέχει 60min με τα 8min προκύπτει ότι ο χώρος καύσης μπορεί να γεμίσει 10 φορές κατά τη διάρκεια μιας ώρας. Η ποσότητα του καυσίμου που πρέπει να καίει ο καυστήρας σε μία ώρα είναι 6,25kg άρα όταν ο καυστήρας λειτουργεί σε πλήρη ισχύ πρέπει στον χώρο καύσης να βρίσκονται 625g πέλλετ. Η μάζα αυτή προκύπτει από τη διαίρεση της ποσότητας πέλλετ που πρέπει να καεί σε μία ώρα με τον αριθμό δέκα που είναι οι φορές που μπορεί να γεμίσει το ο χώρος καύσης με πέλλετ. Βεβαίως το γέμισμα και το άδειασμα το χώρου καύσης δεν γίνεται με ασυνεχή τρόπο ανά 8min λειτουργίας αλλά συνεχώς ο καυστήρας τροφοδοτείται με νέο καύσιμο. Κατόπιν δοκιμών που έγιναν προσδιορίστηκε ότι ο χώρος καύσης πρέπει να έχει εμβαδόν τουλάχιστον  $20000\text{mm}^2$ . Με αυτό ως δεδομένο σχεδιάστηκε το σχαράκι πάνω στο οποίο γίνεται η καύση. Οι διαστάσεις του οποίου φαίνονται παρακάτω στο αντίστοιχο κατασκευαστικό σχέδιο. Έχοντας ως δεδομένες τις διαστάσεις του χώρου καύσης σχεδιάστηκε ο υπόλοιπος καυστήρας με το κατασκευαστικό πρόγραμμα solidworks. Παρακάτω ακολουθούν τα σχέδια του καυστήρα. Πρώτα φαίνονται τα σχέδια των μεμονωμένων τμημάτων του καυστήρα σε κατασκευαστική μορφή στη συνέχεια σε μορφή SolidWorks και κατόπιν φαίνεται η πορεία συναρμολόγησης του καυστήρα σε μορφή SolidWorks.

### 6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

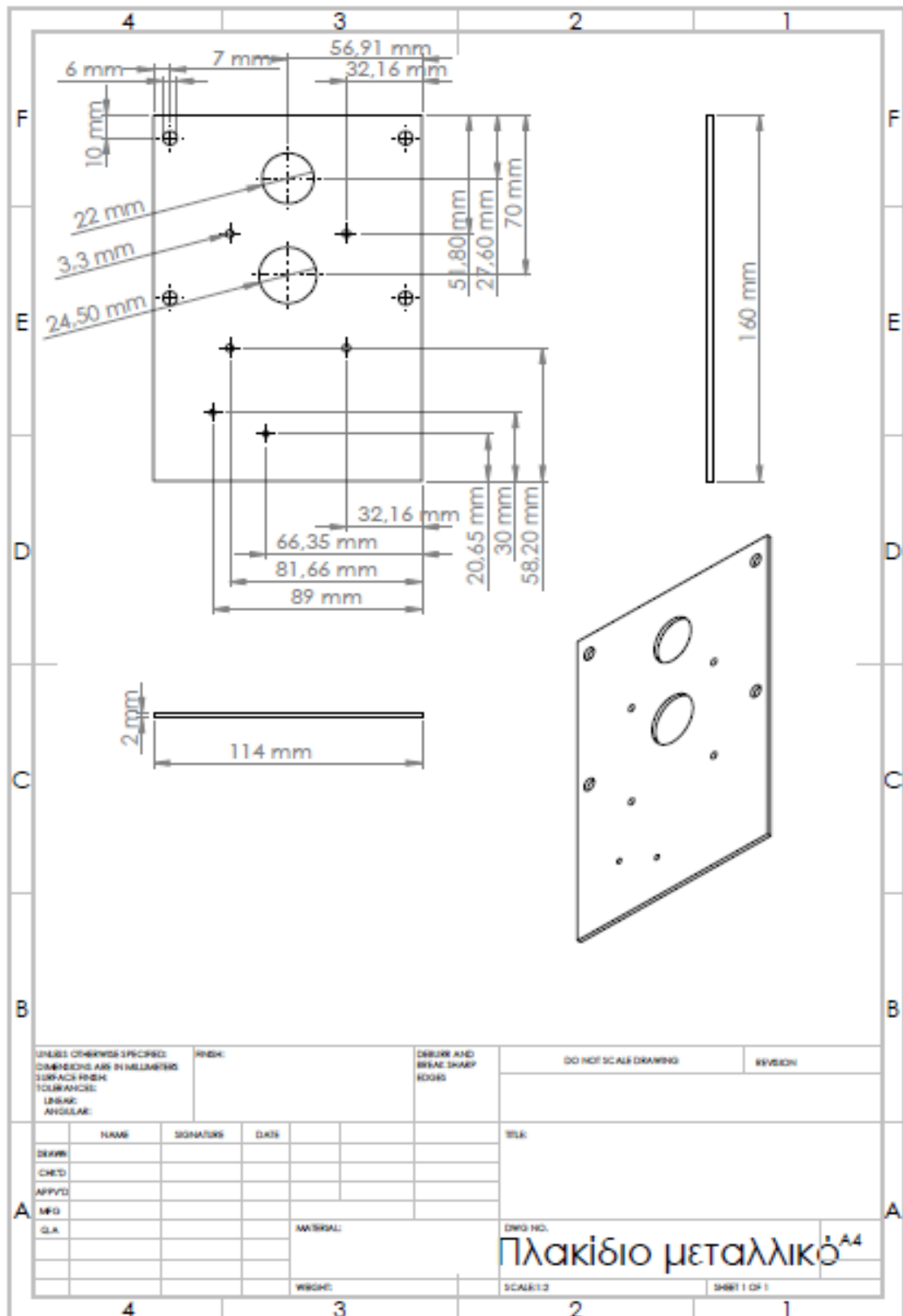
Στη συνέχεια της παρούσης παραγράφου ακολουθούν τα κατασκευαστικά σχέδια των τμημάτων του καυστήρα.



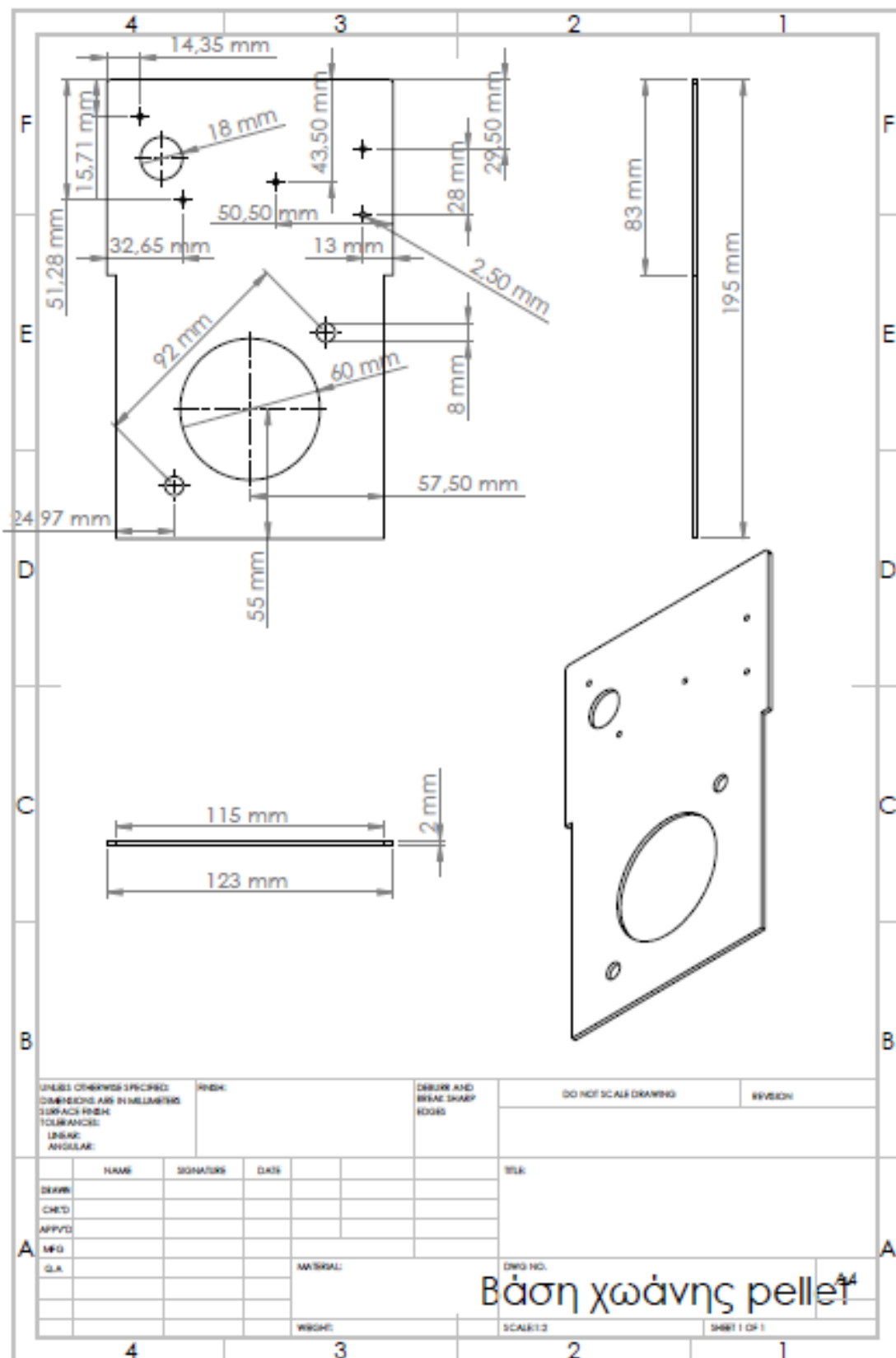
Σχήμα 6.1: Κατασκευαστικό σχέδιο ατέρμονα κοχλία (τμήμα 1)



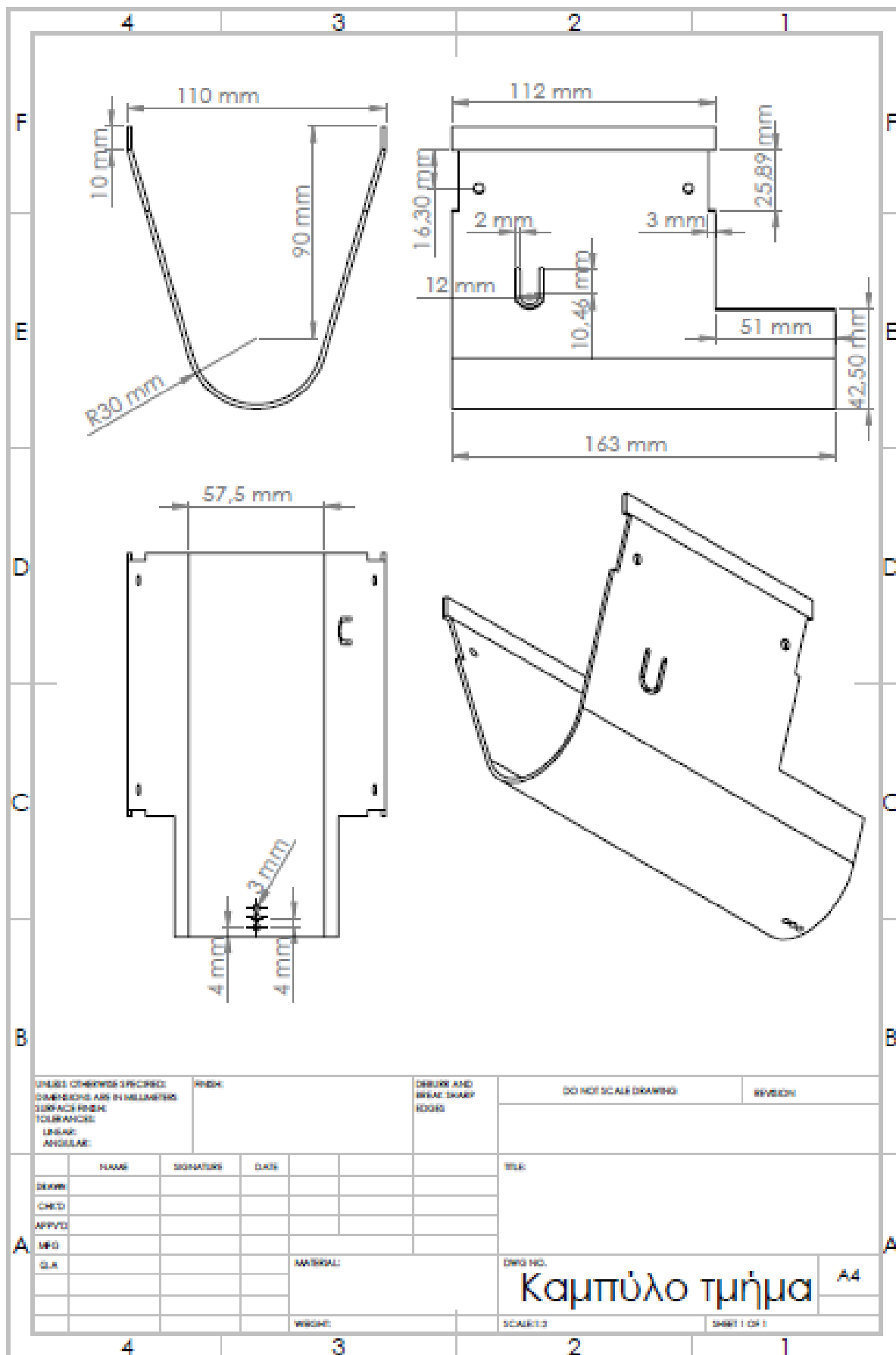
Σχήμα 6.2: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 2



Σχήμα 6.3: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 3

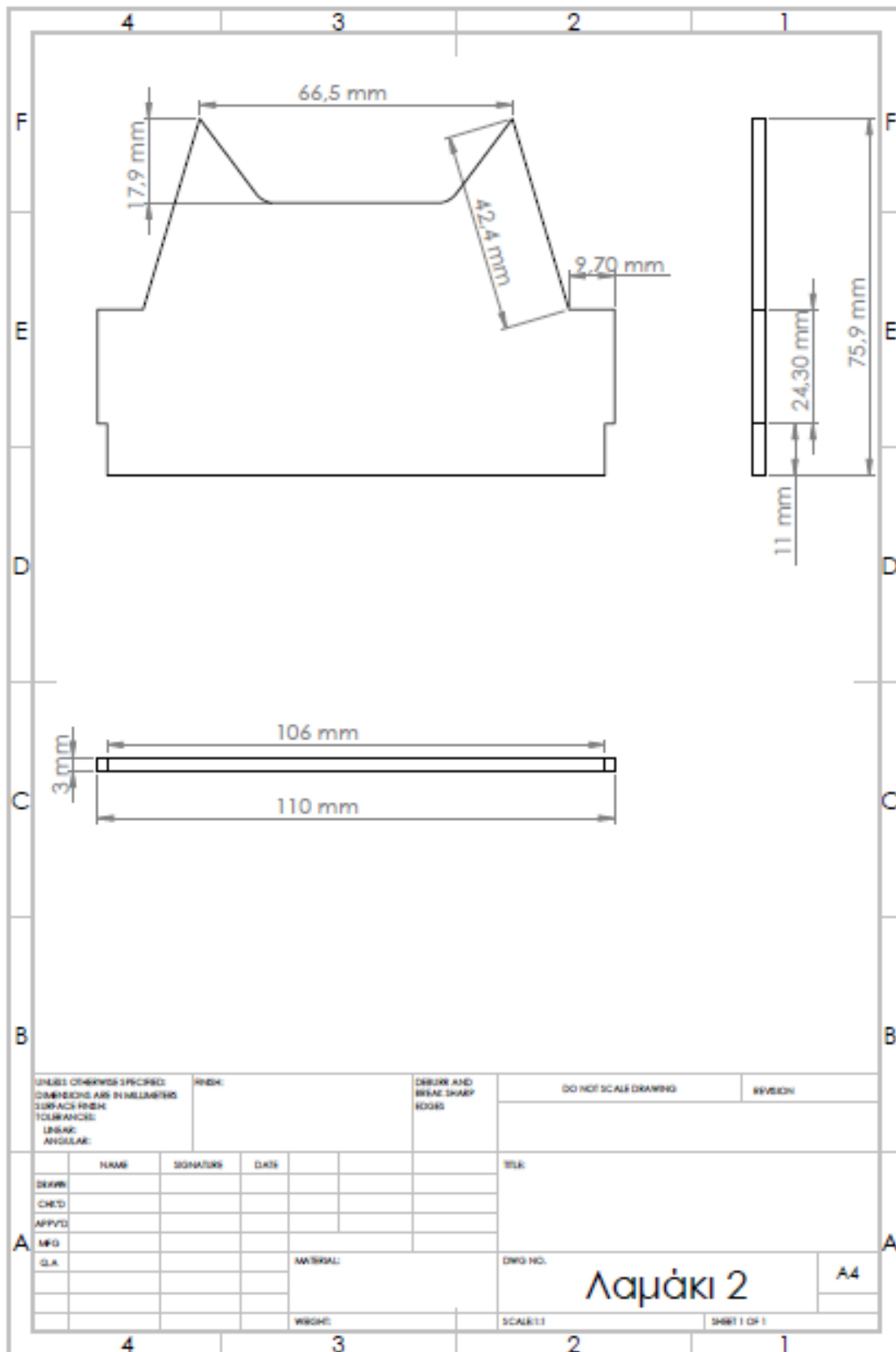


Σχήμα 6.4: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 4

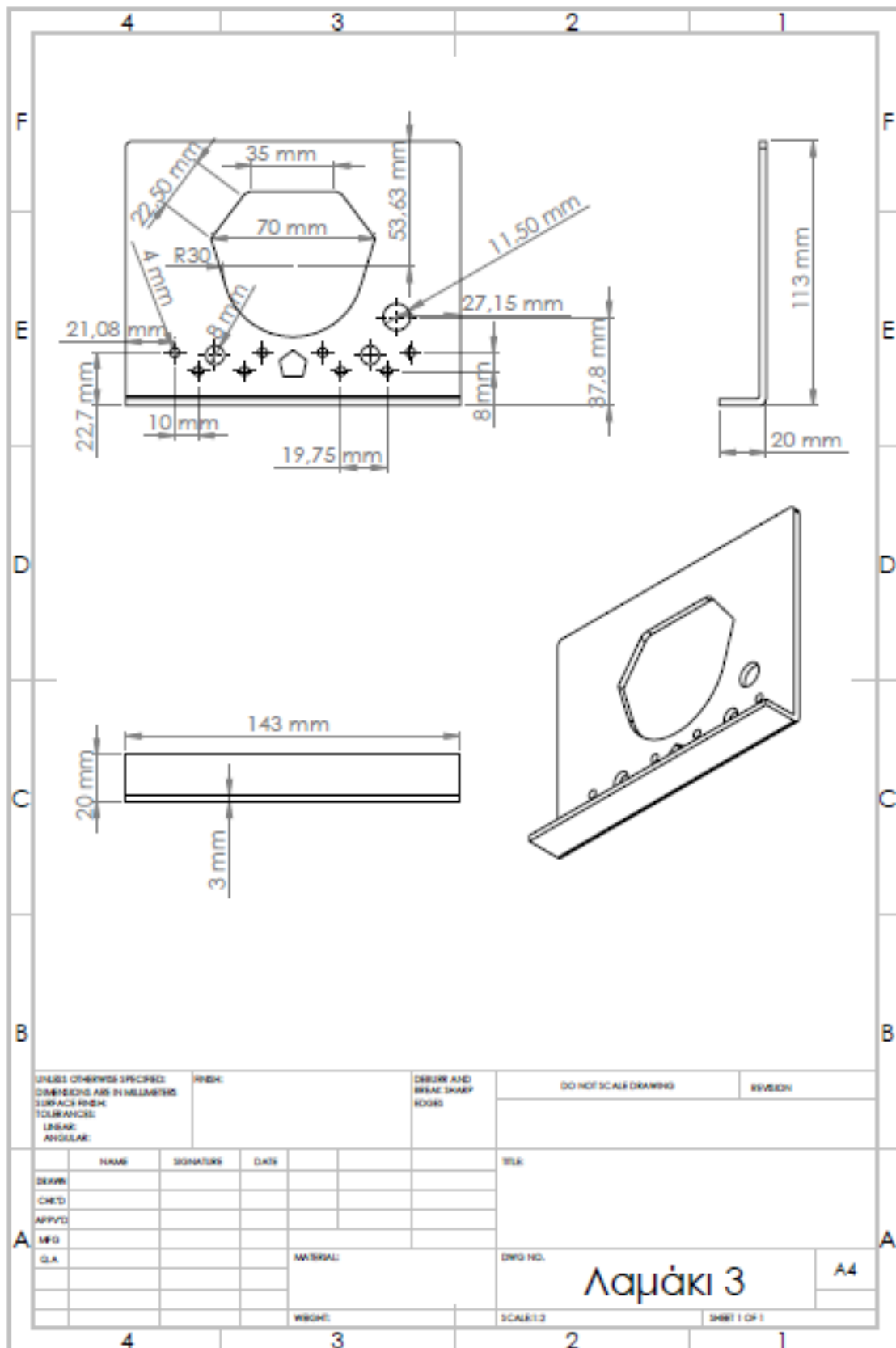


Σχήμα 6.5: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 5

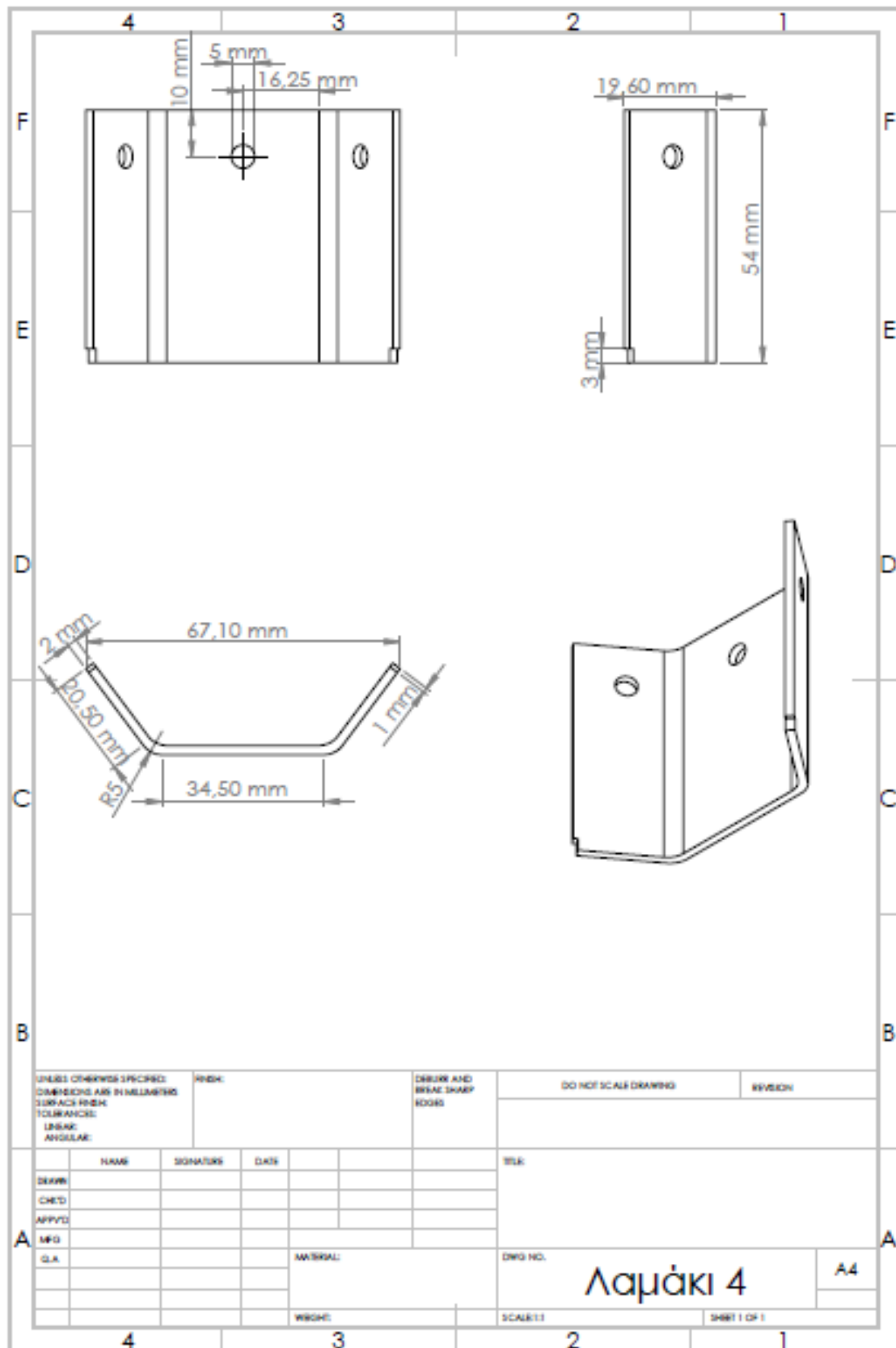




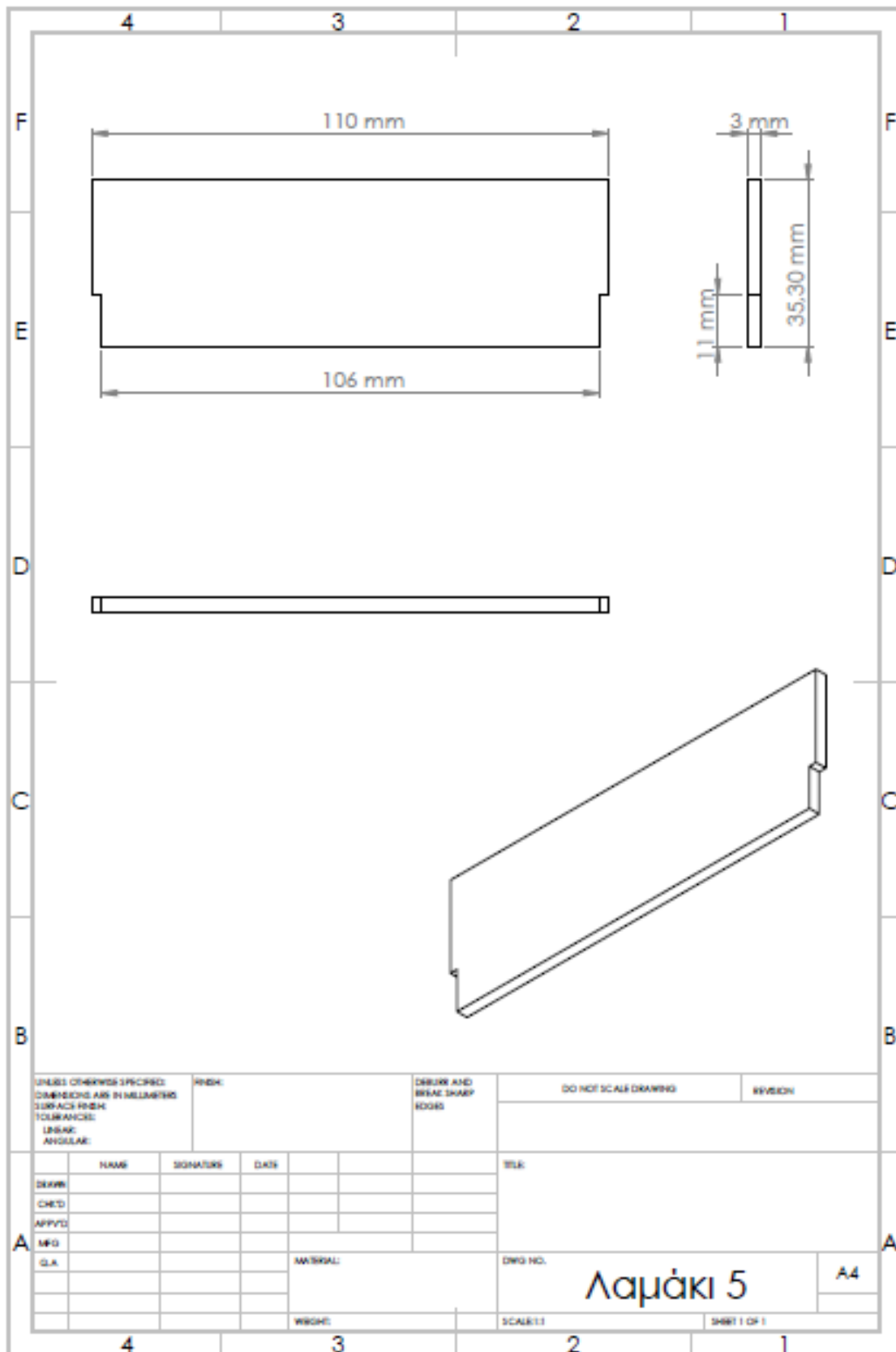
Σχήμα 6.6: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 6



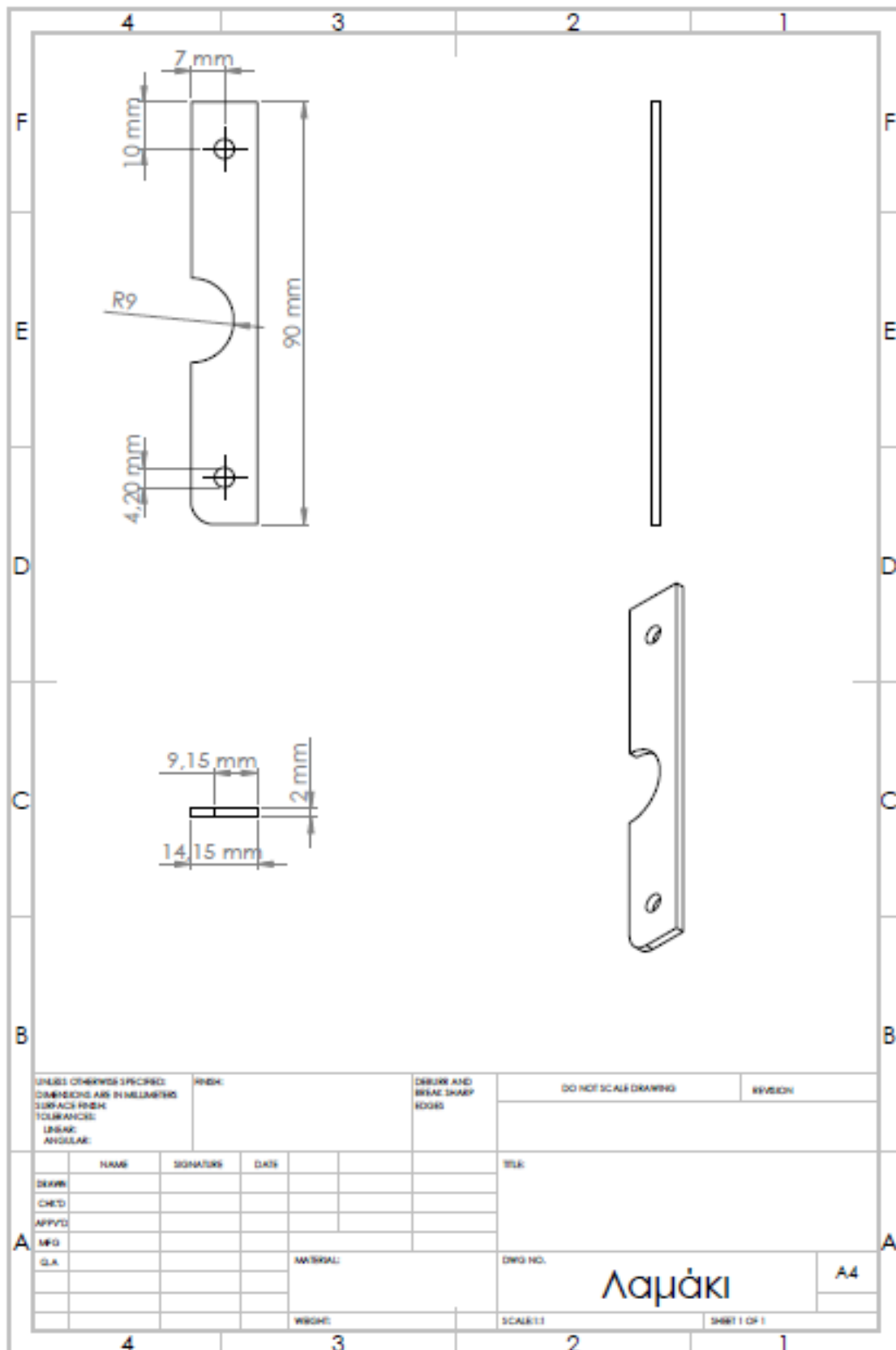
Σχήμα 6.7: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 7



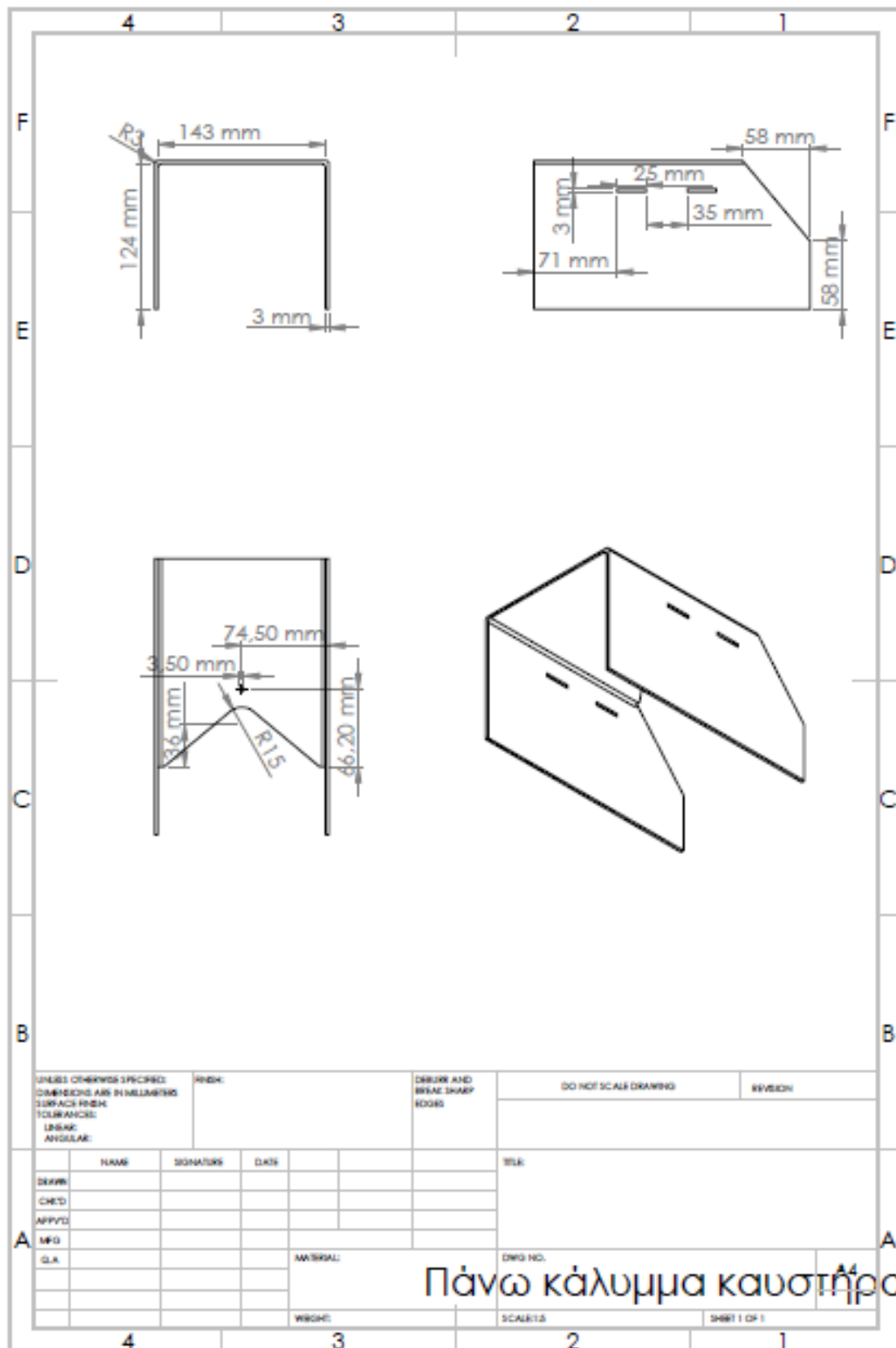
Σχήμα 6.8: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 8



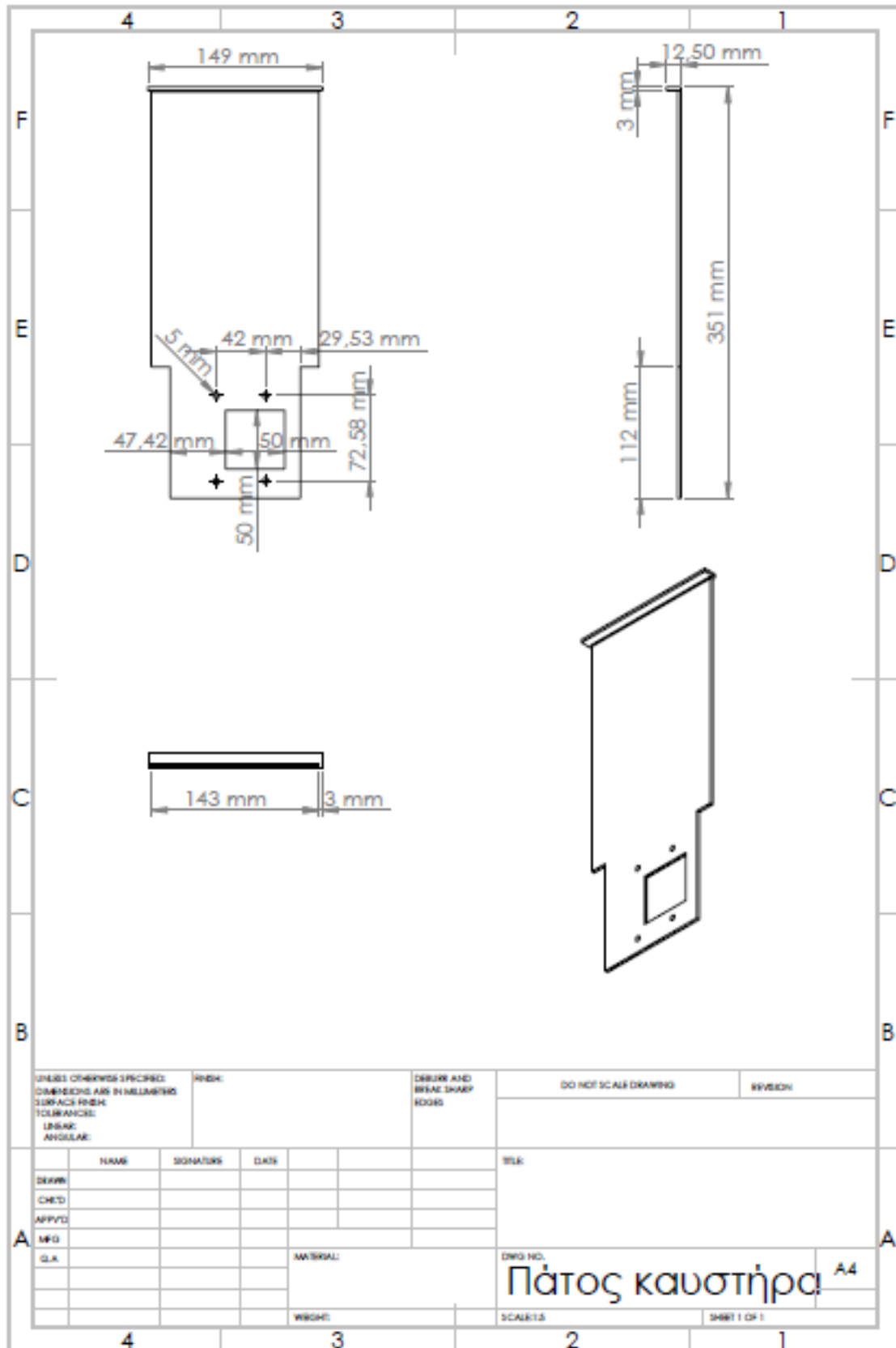
Σχήμα 6.9: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 9



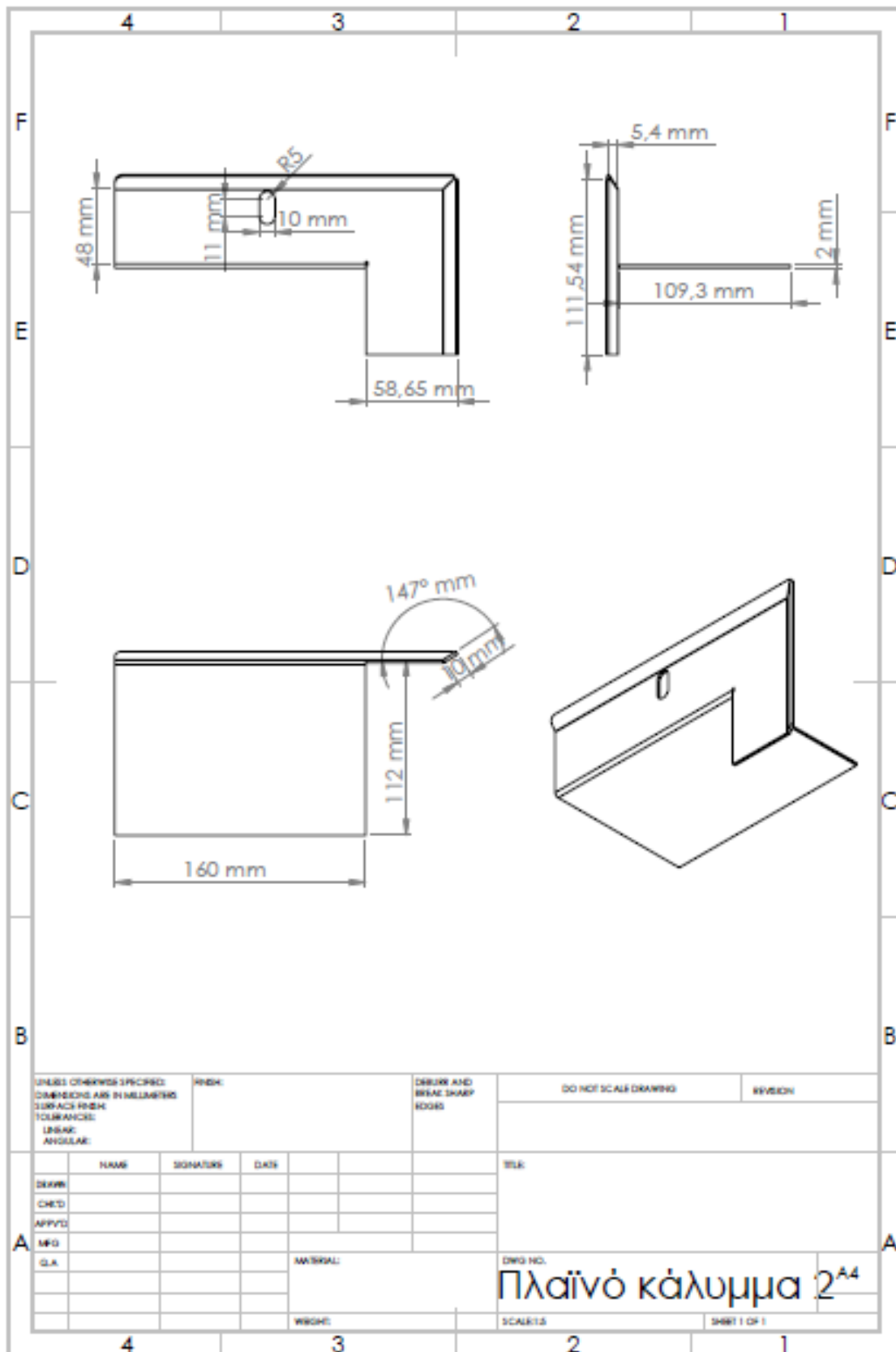
Σχήμα 6.10: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 10



Σχήμα 6.11: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 11

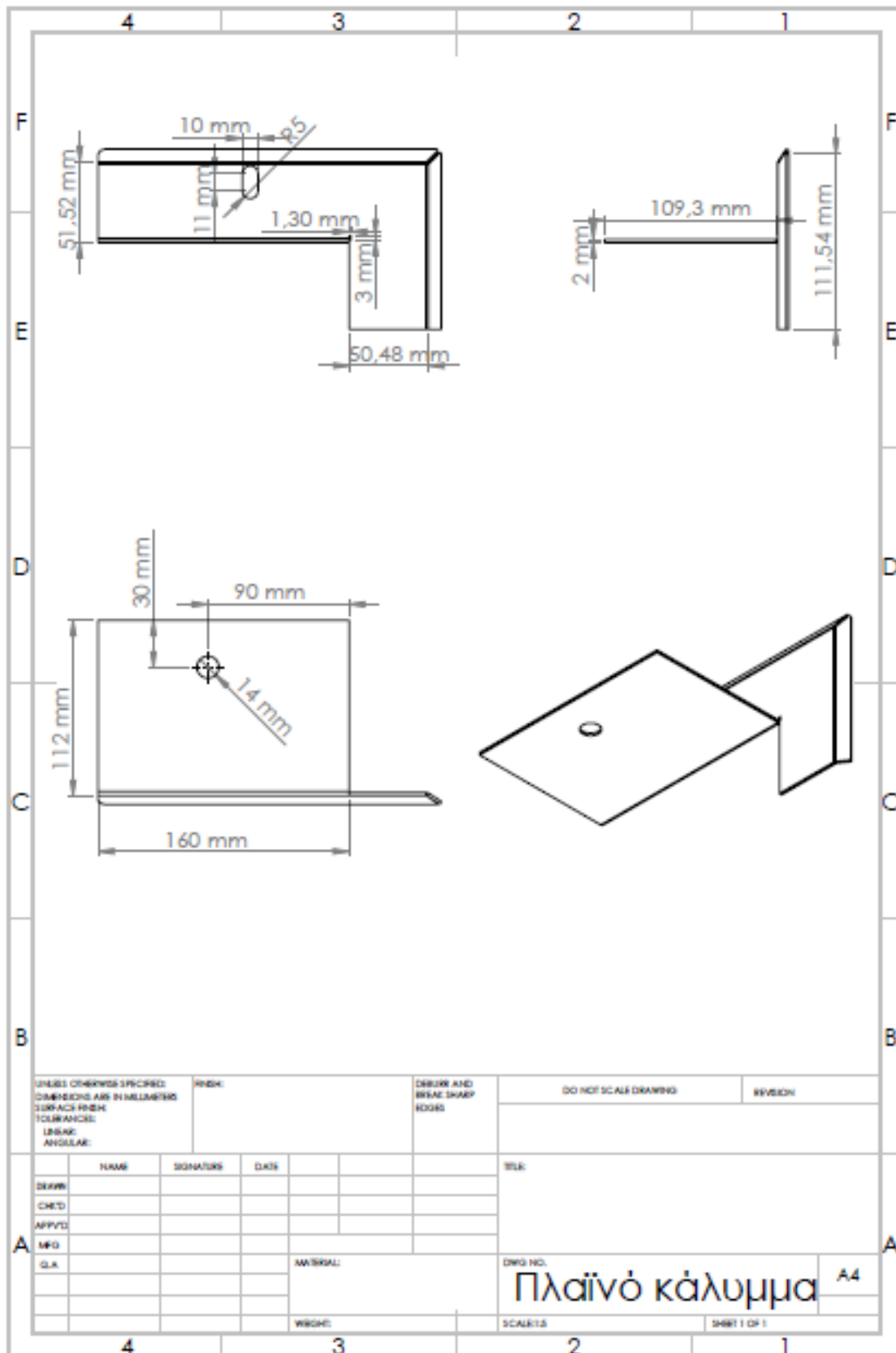


Σχήμα 6.12: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 12

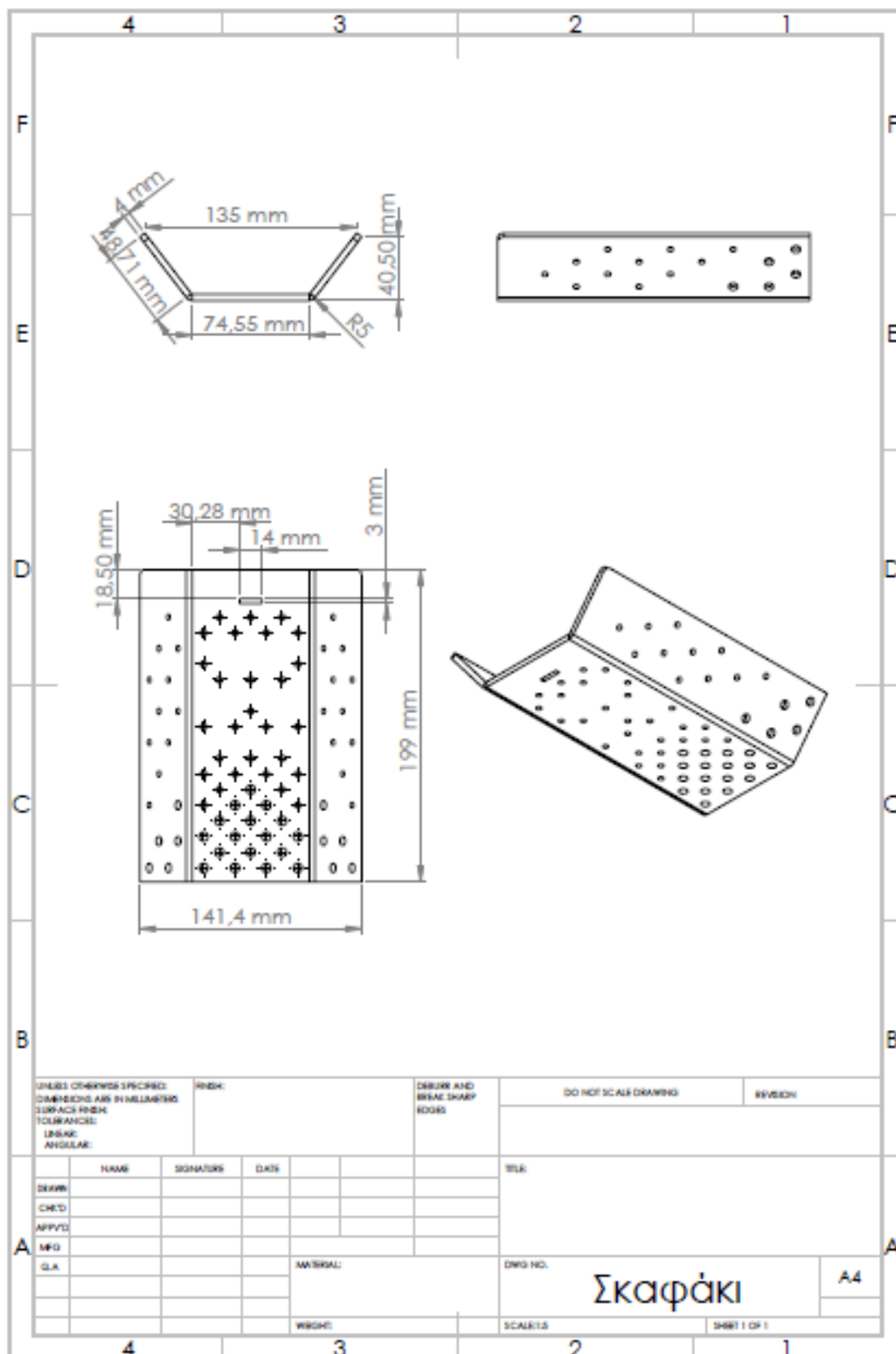


Σχήμα 6.13: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 13

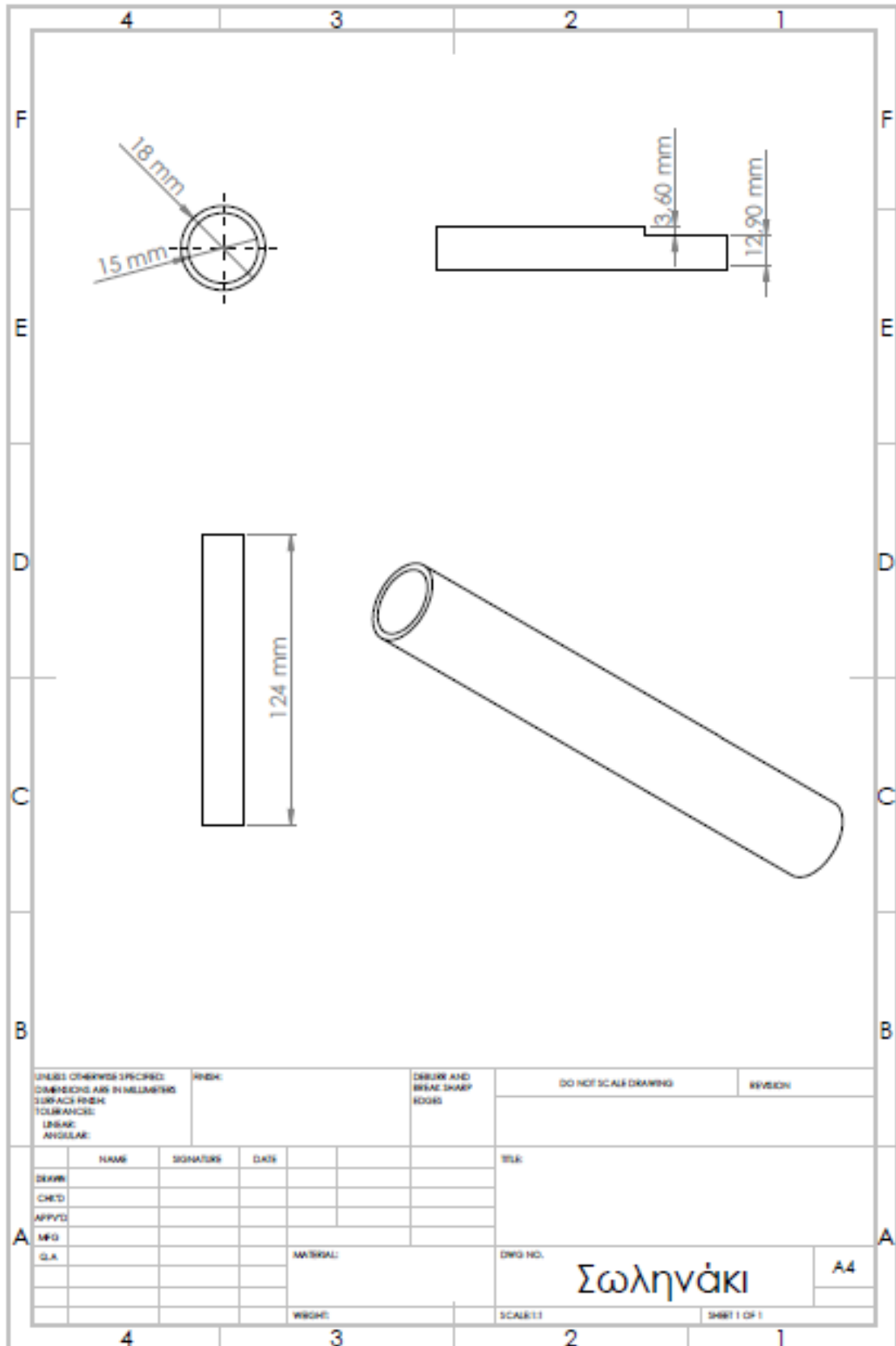




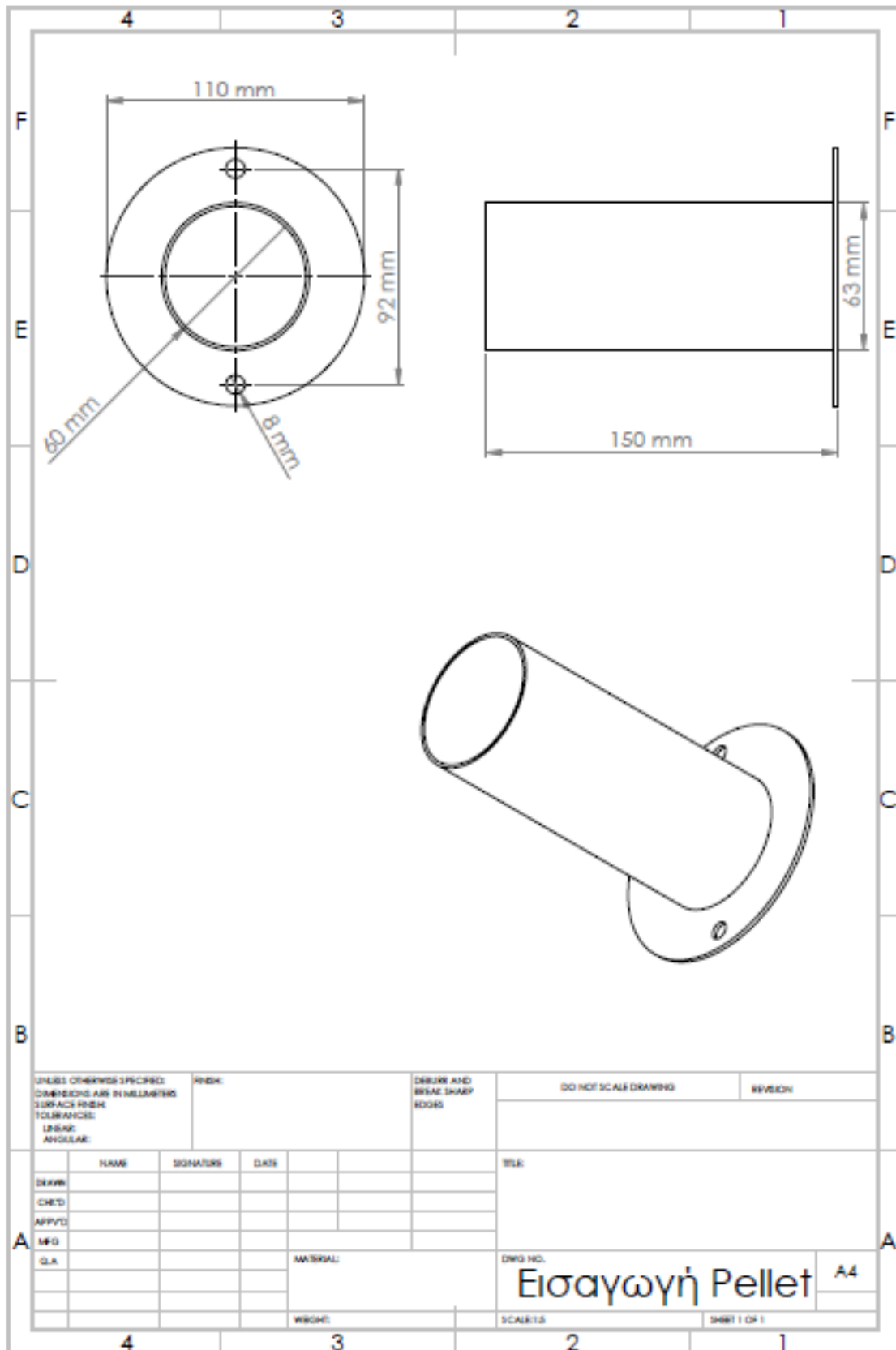
Σχήμα 6.14: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 14



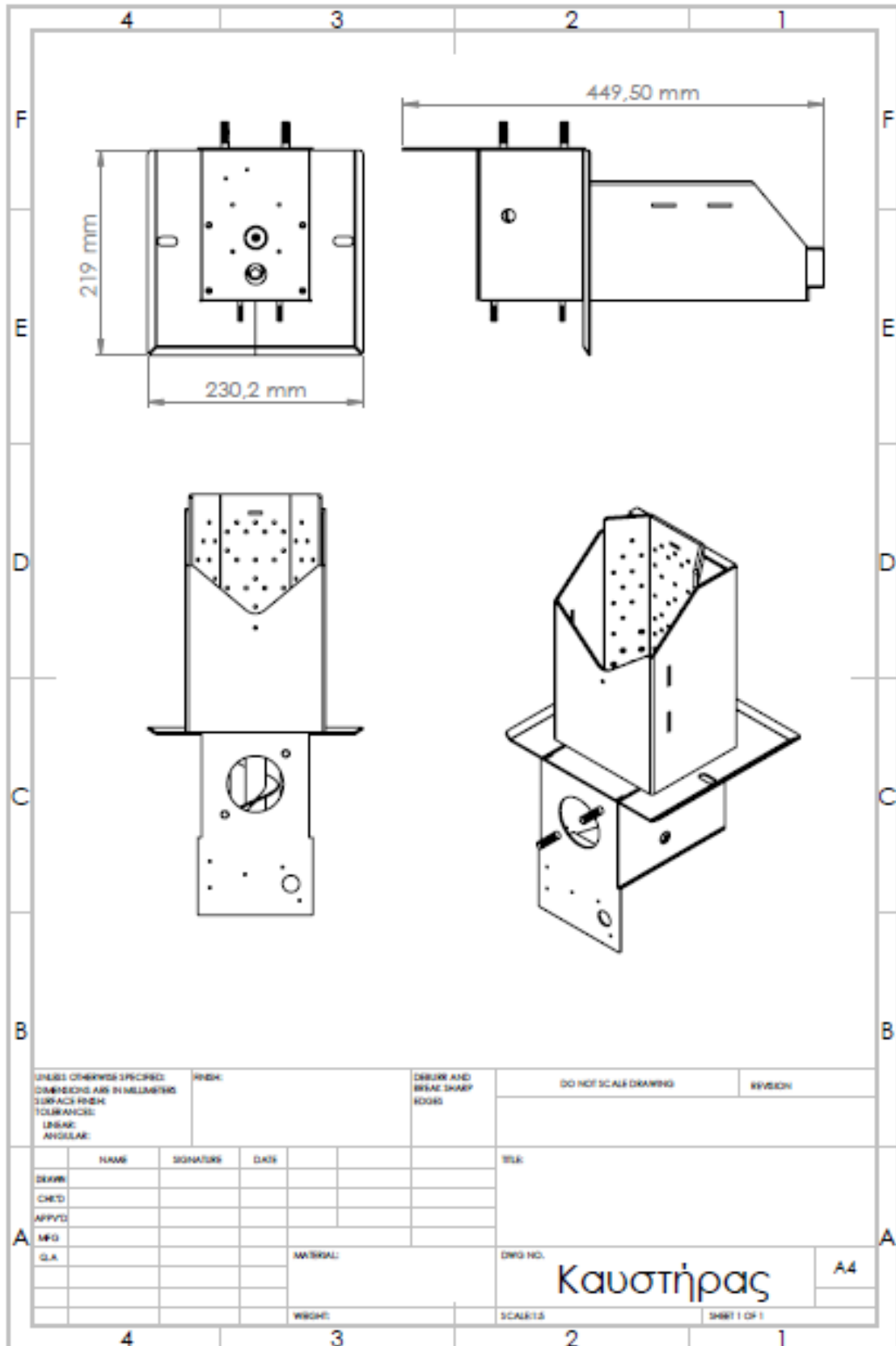
Σχήμα 6.15: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 15



Σχήμα 6.16: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 16



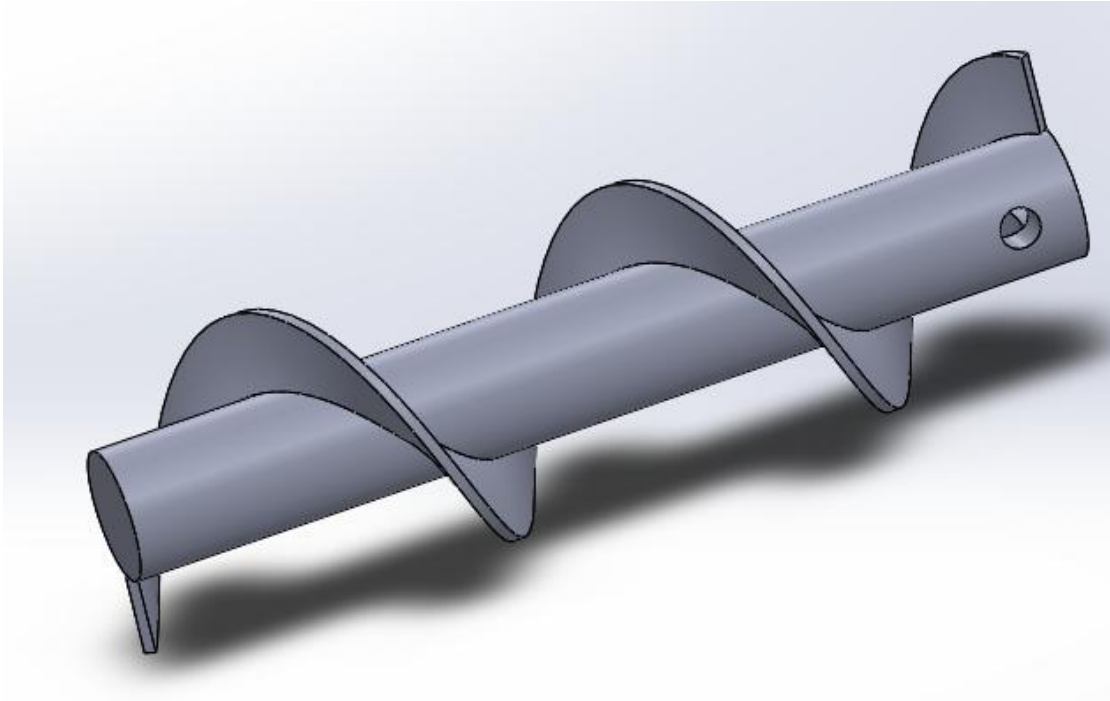
Σχήμα 6.17: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος 17



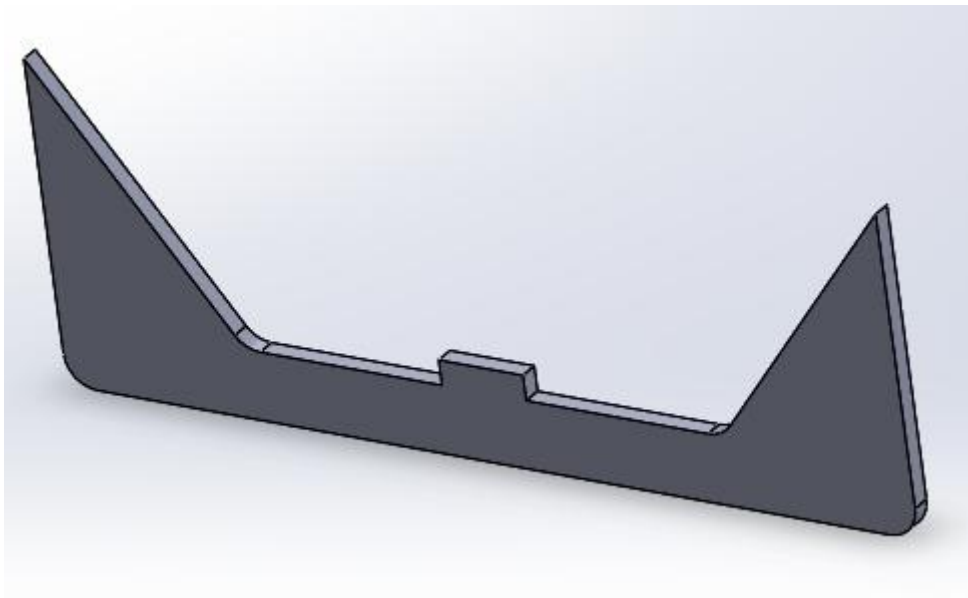
Σχήμα 6.18: Κατασκευαστικό σχέδιο καυστήρα

#### 6.4 ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

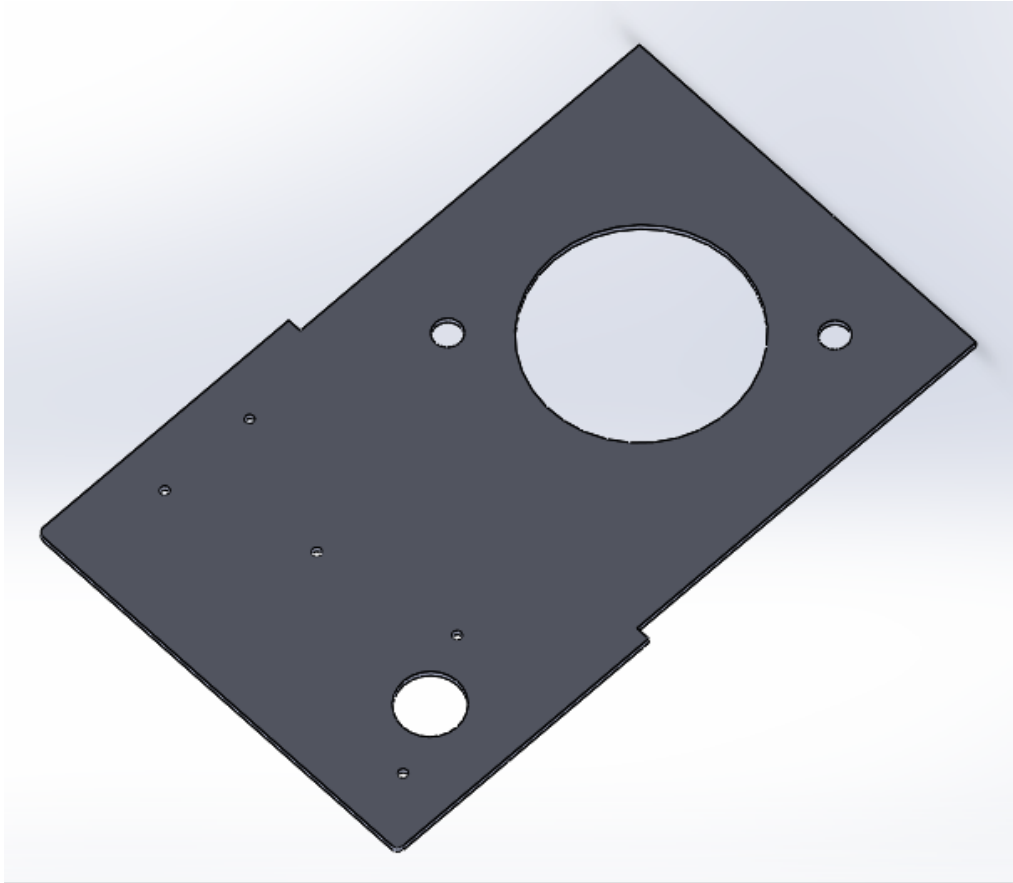
Στη συνέχεια ακολουθούν τα σχέδια των εξαρτημάτων του καυστήρα σχεδιασμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks.



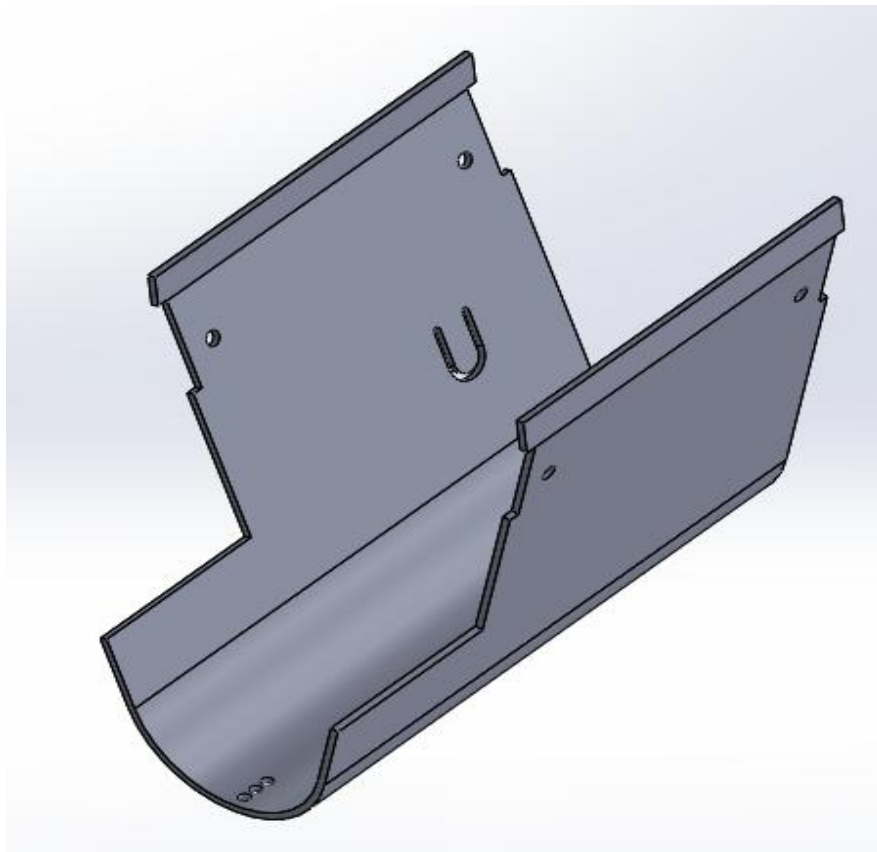
**Εικόνα 6.1:** Ατέρμονας κοχλίας (τμήμα 1)



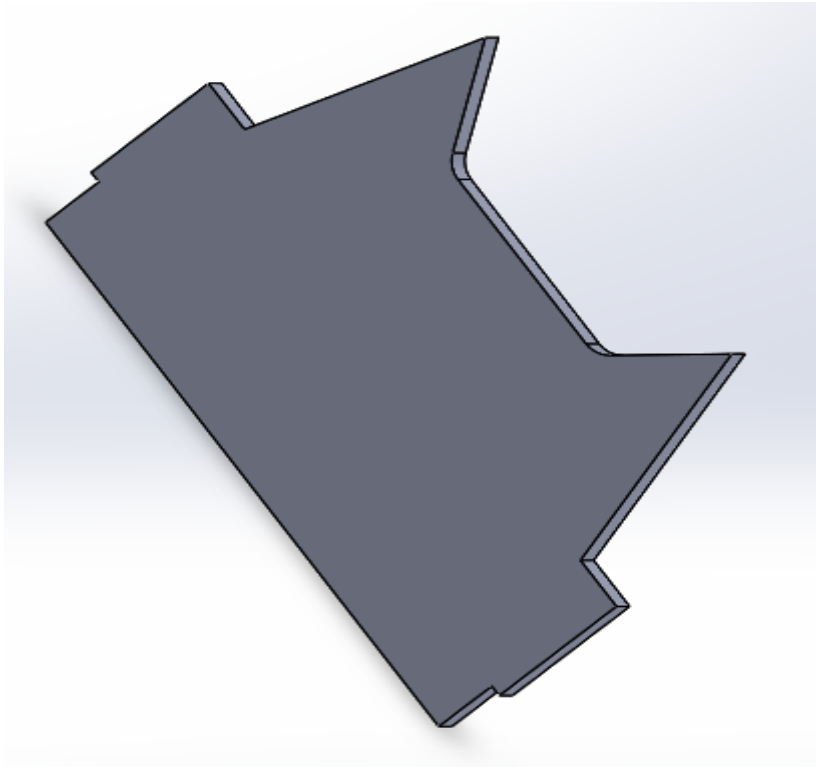
**Εικόνα 6.2:** Βάση στήριξης (τμήμα 2)



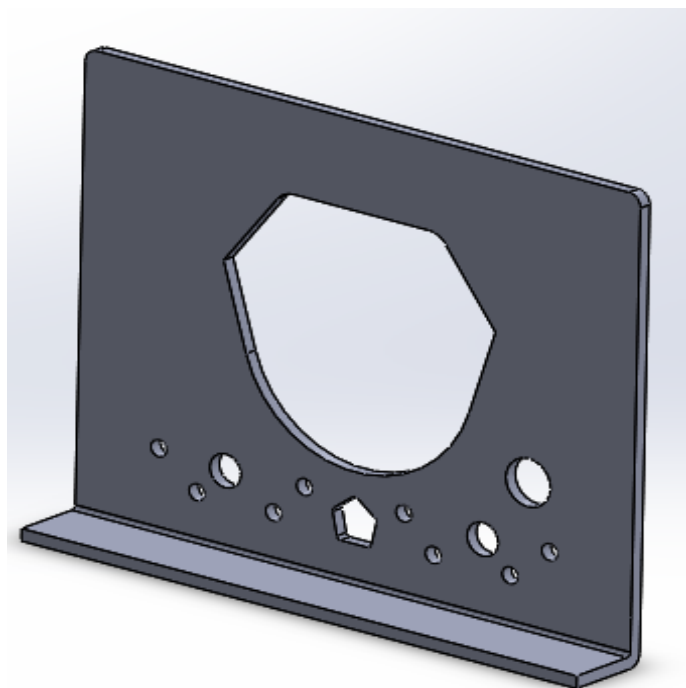
**Εικόνα 6.3:** Έλασμα (τμήμα 3)



**Εικόνα 6.4:** Κοιλότητα pellet (τμήμα 4)

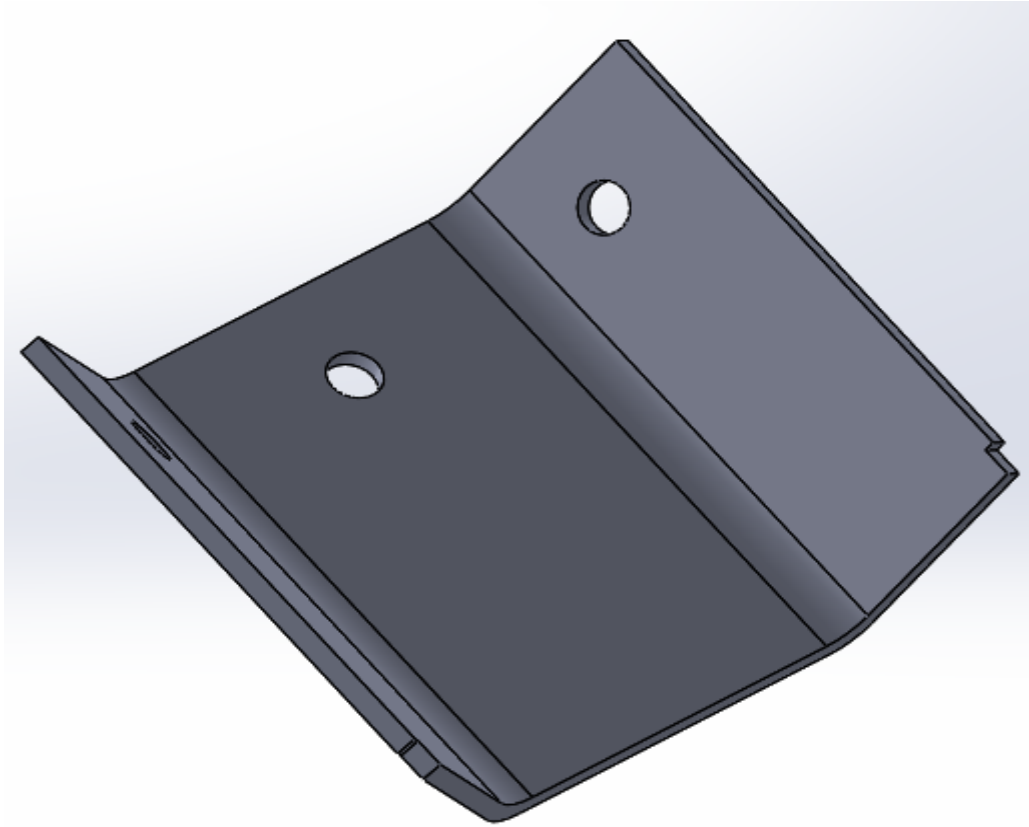


**Εικόνα 6.5:** Έλασμα (τμήμα 5)

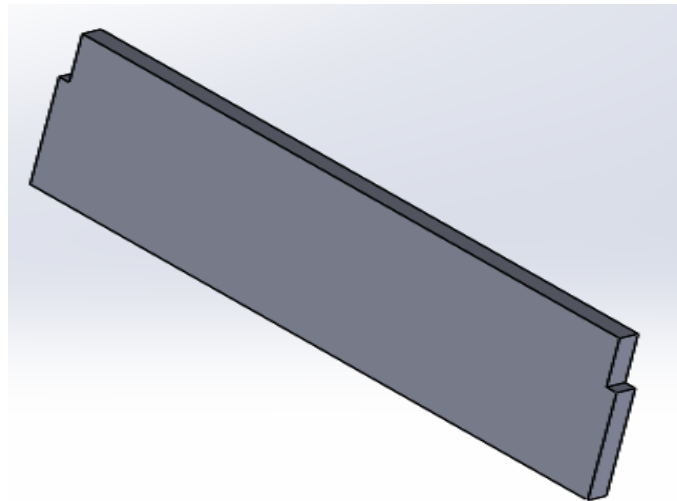


**Εικόνα 6.6:** Έλασμα (τμήμα 6)

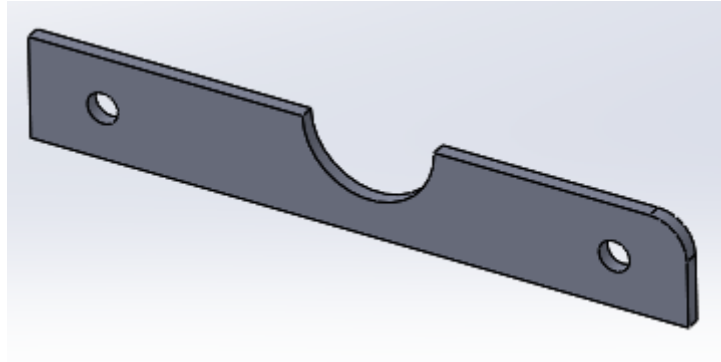




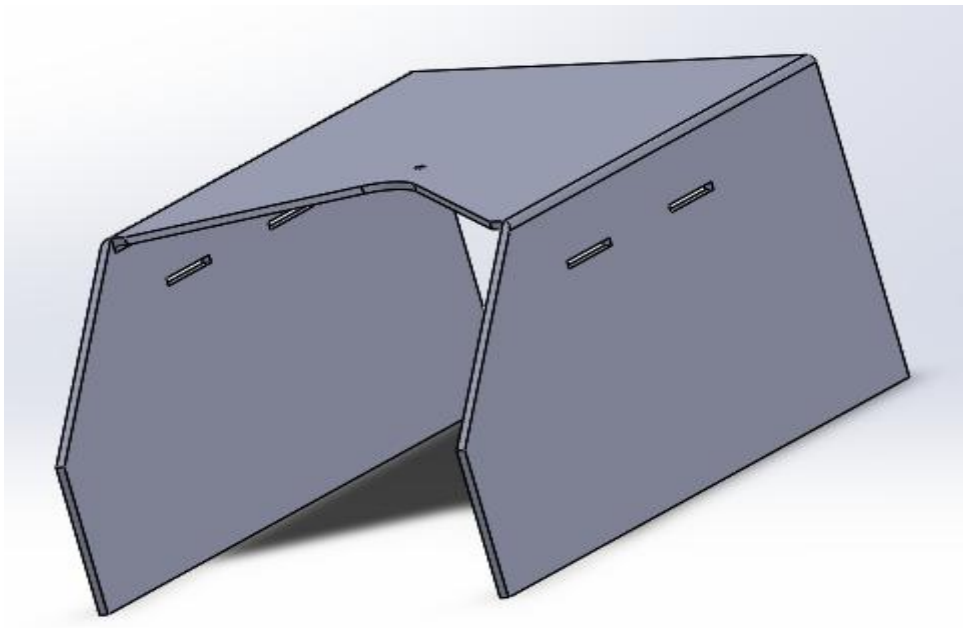
**Εικόνα 6.7:** Έλασμα (τμήμα 7)



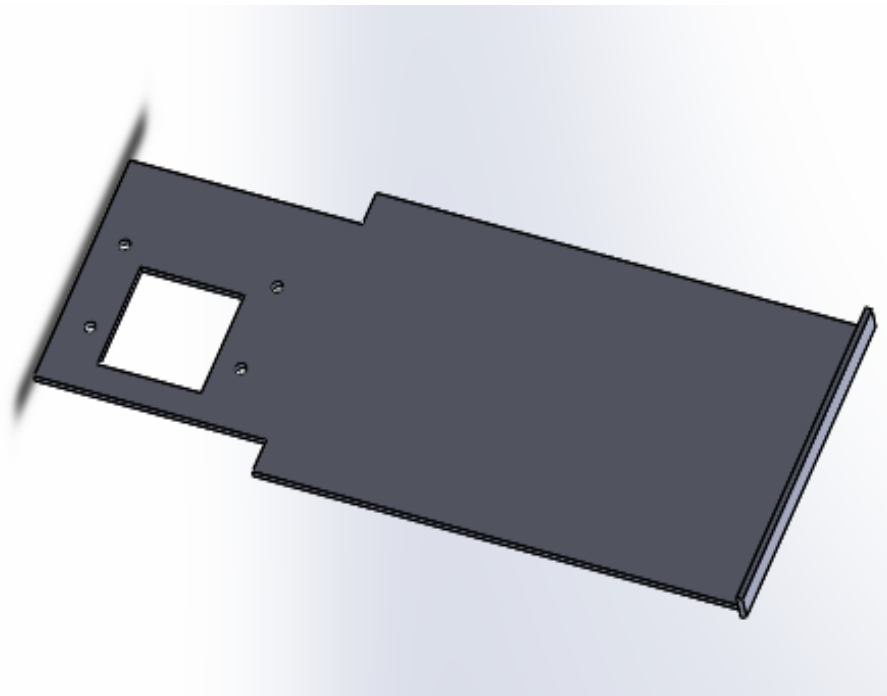
**Εικόνα 6.8:** Έλασμα (τμήμα 8)



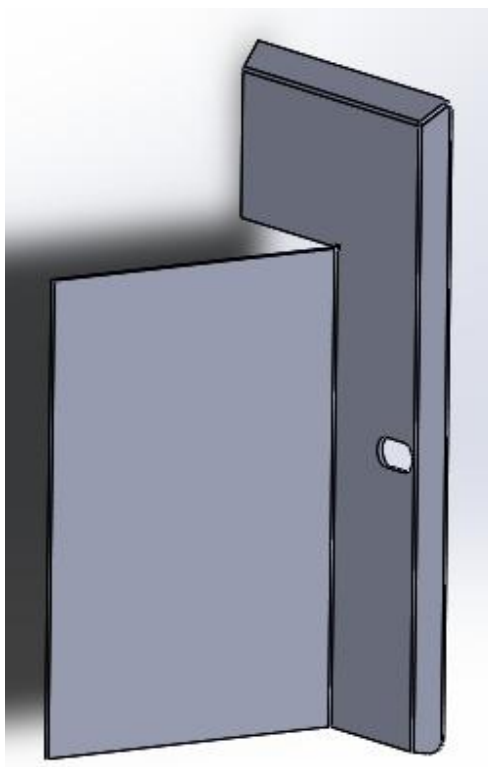
**Εικόνα 6.9:** Έλασμα (τμήμα 9)



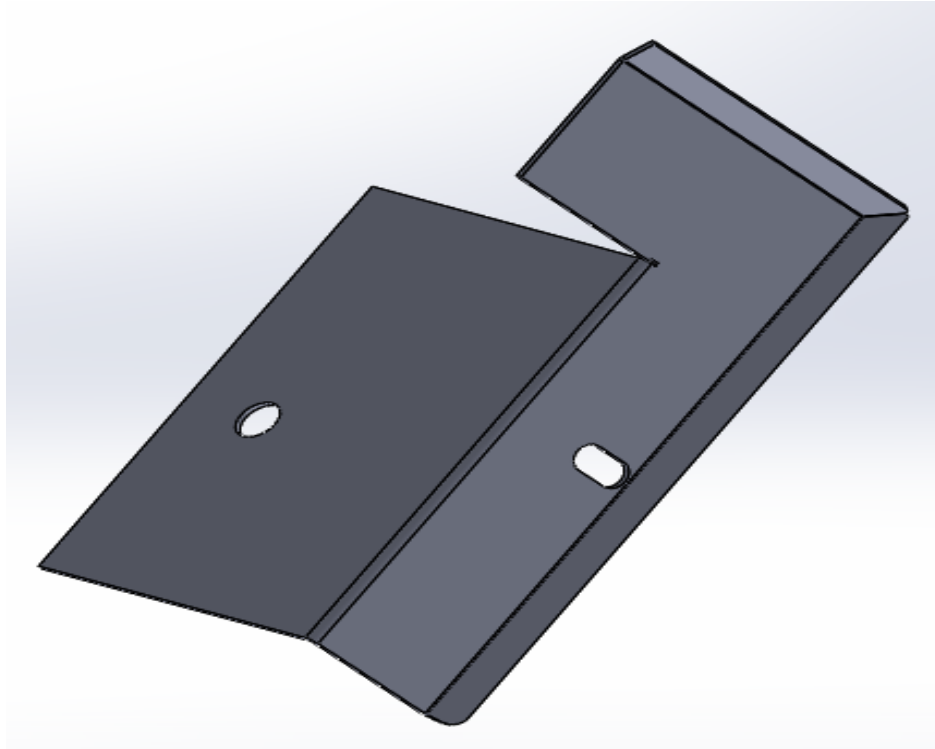
**Εικόνα 6.10:** Έλασμα (τμήμα 10)



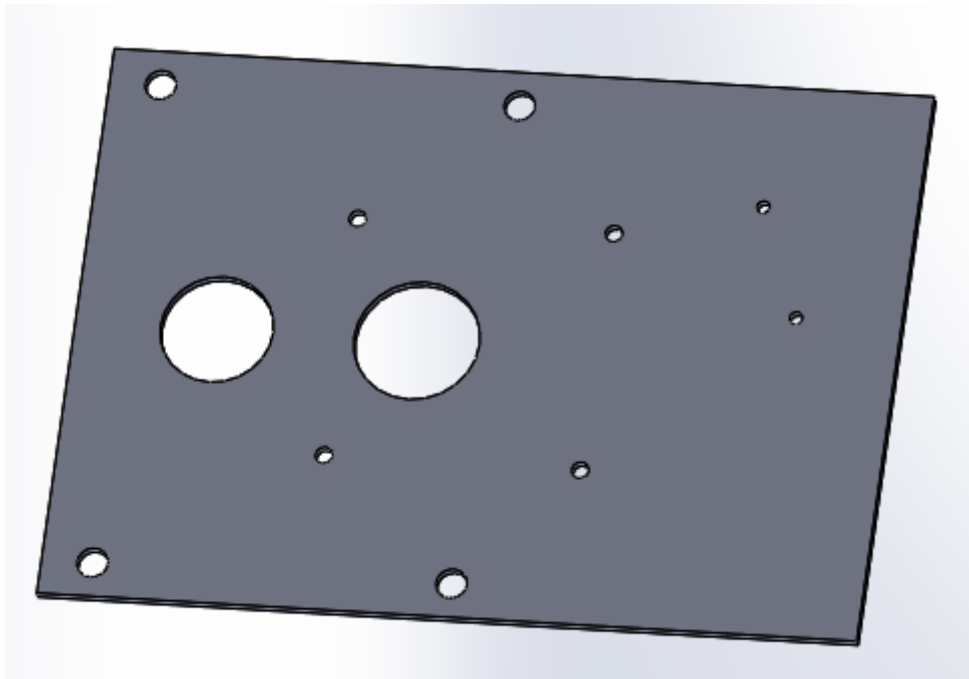
**Εικόνα 6.11:** Έλασμα (τμήμα 11)



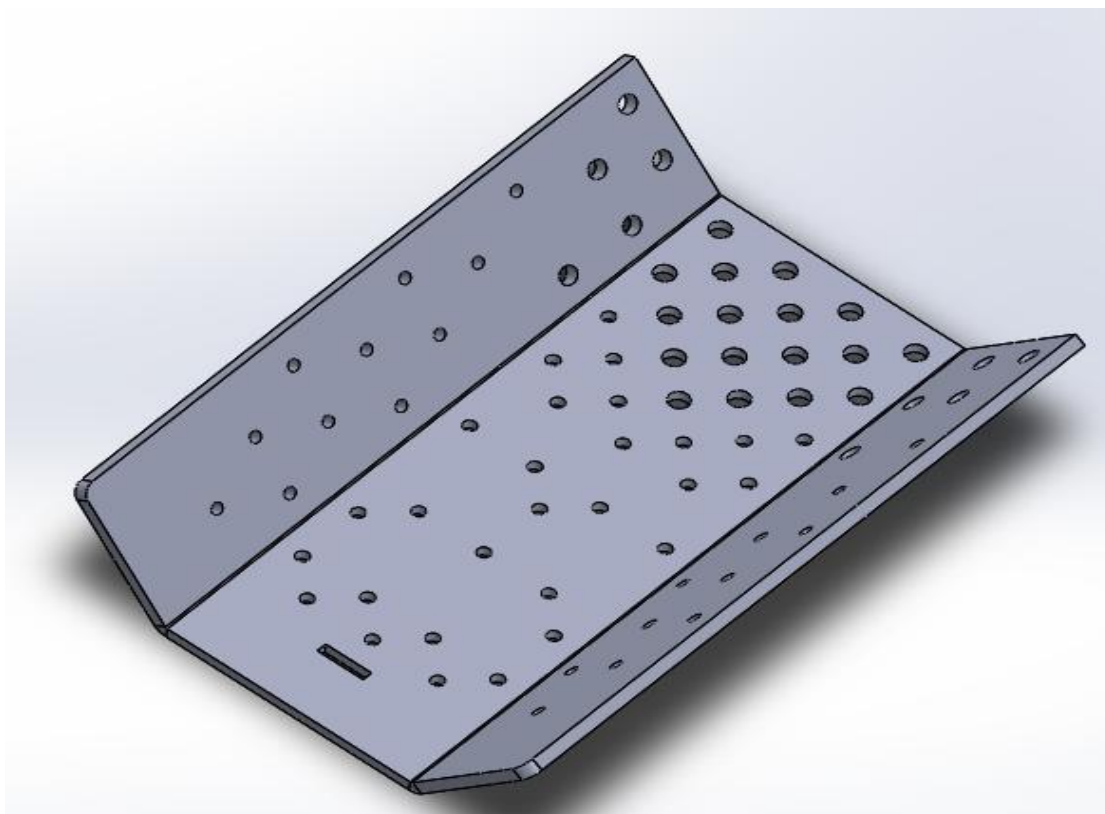
**Εικόνα 6.12:** Έλασμα (τμήμα 12)



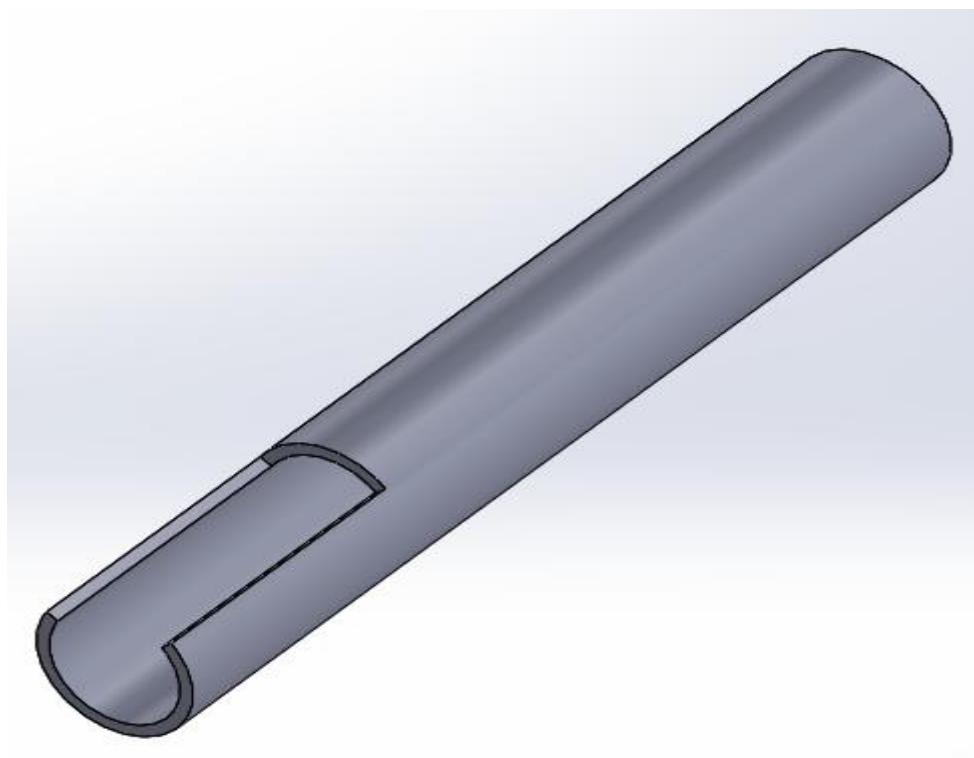
**Εικόνα 6.13:** Έλασμα (τμήμα 13)



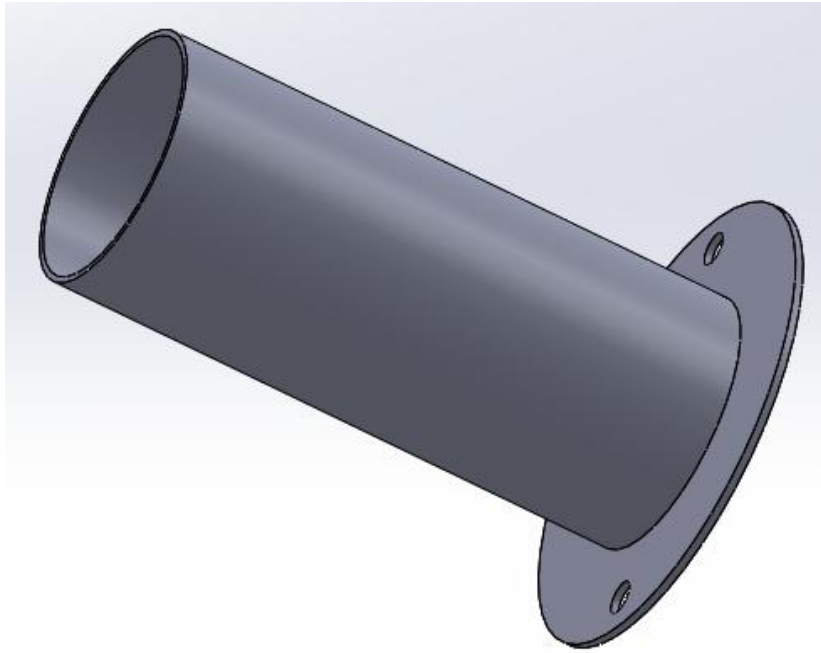
**Εικόνα 6.14:** Έλασμα (τμήμα 14)



**Εικόνα 6.15:** Έλασμα (τμήμα 15)



**Εικόνα 6.16:** Σωληνάκι (τμήμα 16)



**Εικόνα 6.17:**Εισαγωγή pellet (τμήμα 17)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΤΗΡΑ

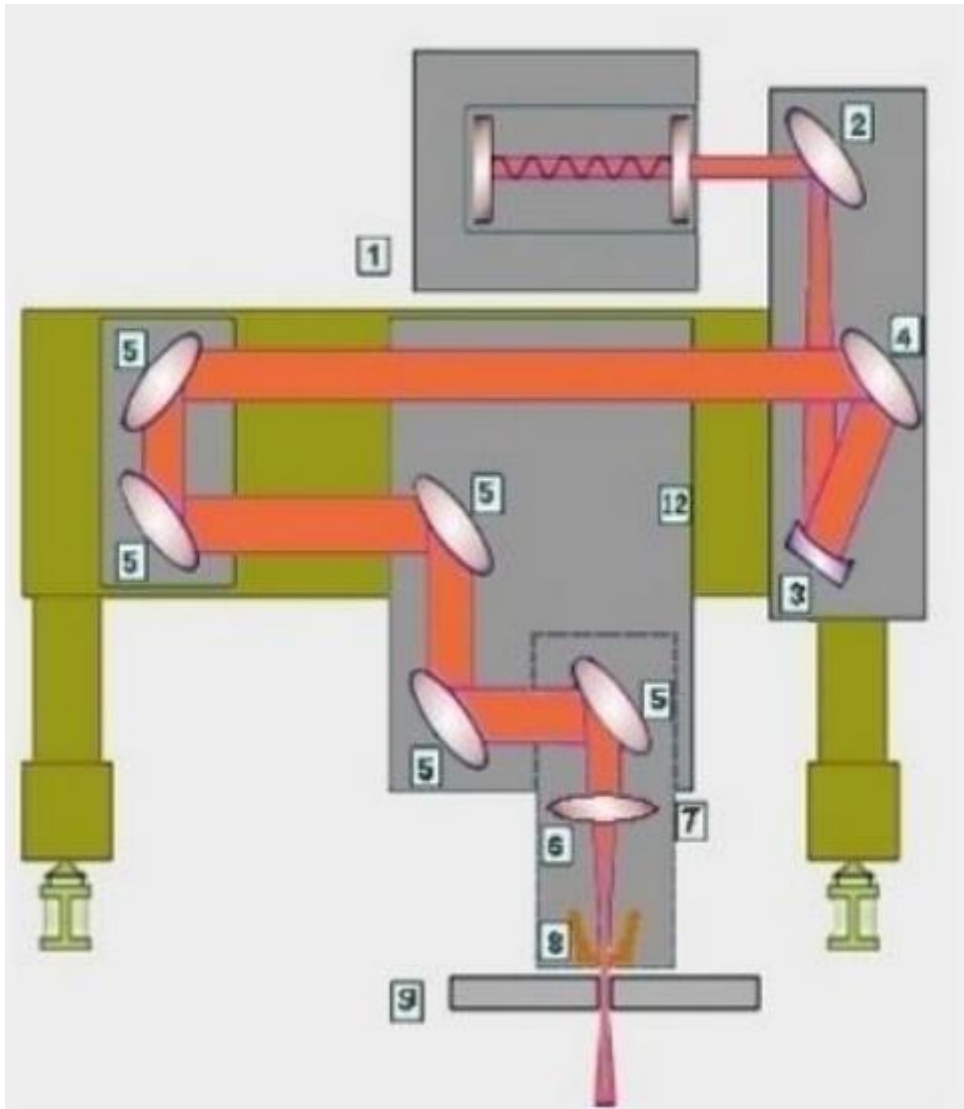
## 7.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕ LASER

### 7.1.1 Ιστορικά στοιχεία

Τα ελάσματα που αποτελούν τμήματα του καυστήρα αφού σχεδιάστηκαν κόπηκαν με την μέθοδο κοπής με δέσμη Laser. Ο όρος Laser προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation που αποδίδεται στα ελληνικά ως ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο όρος Laser αναφέρεται και στην συσκευή παραγωγής της ακτινοβολίας και στην ίδια την ακτινοβολία. Το θεωρητικό υπόβαθρο για την ανακάλυψη του Laser είχε τεθεί από το 1917 από τον Einstein. Η πρώτη συσκευή παραγωγής Laser ανακαλύφθηκε αρκετά αργότερα το 1960 ακολούθησε τεράστια ενασχόληση της επιστημονικής κοινότητας με την συγκεκριμένη ανακάλυψη και σύντομα προέκυψαν πολλές τεχνολογικές εφαρμογές της.

### 7.1.2 Αρχή λειτουργίας

Η συσκευή αποτελείται από μια κοιλότητα η οποία στο εσωτερικό της περιέχει ένα ενεργό υλικό το οποίο είναι μίγμα αερίων. Η κοιλότητα έχει κυλινδρική μορφή, στα δύο άκρα του κυλίνδρου υπάρχουν δύο κάτοπτρα. Το ένα από αυτά είναι ημιπερατό ώστε να επιτρέπει σε ένα μέρος της ακτινοβολίας που υπάρχει στο εσωτερικό της κοιλότητας να εξέλθει από αυτή. Στο εσωτερικό της κοιλότητας παράγεται μονοχρωματική συμφασική ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας αυτής βρίσκεται στο εσωτερικό της κοιλότητας και πηγαινοέρχεται ανάμεσα στα δύο κάτοπτρα. Το ημιπερατό κάτοπτρο έχει μια μικρή οπή στο κέντρο του από την οποία εξέρχεται ένα μέρος της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή η οποία είναι μια εξαιρετικά ισχυρή ακτίνα φωτός καθοδηγείται και εστιάζεται από ένα σύστημα φακών. Η ενέργεια που μεταφέρει η ακτίνα αυτή του laser καθώς έχει μεγάλη πυκνότητα ισχύος προσβάλλει θερμικά το προς επεξεργασία υλικό και το υλικό τήκεται. Με την ταυτόχρονη ροή κάποιου αερίου υπό υψηλή πίεση το υλικό απομακρύνεται από την τομή που έχει δημιουργήσει η ακτίνα.



**Σχήμα 7.1:** Σχεδιάγραμμα συστήματος παραγωγής ακτίνας Laser [13]

Στο σημείο εστίασης [9] επιτυγχάνεται πυκνότητα ισχύος της τάξης των  $5\text{kW}/\text{mm}^2$ . Το υλικό που κόβεται τοποθετείται στο τραπέζι της συσκευής και η κεφαλή που φέρει τη συσκευή laser καθώς και το ακροφύσιο του αερίου κινείται σύμφωνα με το προγραμματισμένο σχέδιο από ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC).

### 7.1.3 Ισχύς του Laser

Η Ισχύς του Laser προσαρμόζεται ανάλογα με το υλικό, το πάχος του, την ακρίβεια που πρέπει να επιτευχθεί και την πολυπλοκότητα του σχεδίου. Όσο μεγαλύτερο το πάχος του υλικού τόσο υψηλότερη ισχύς απαιτείται. Μείωση της ισχύς απαιτείται όταν κόβονται μικρά σχήματα ή η ακρίβεια πρέπει να είναι υψηλή.



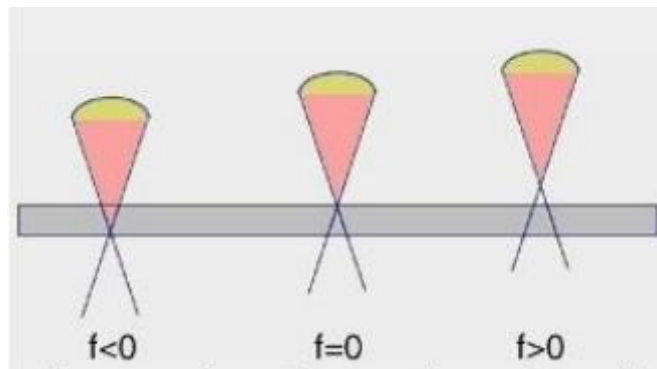
#### 7.1.4 Είδος και πίεση του αερίου κοπής

Το είδος του αερίου κοπής εξαρτάται από το υλικό που κόβεται. Αν για παράδειγμα γίνεται κοπή ή χάραξη ξύλου το αέριο κοπής δεν μπορεί να είναι το οξυγόνο ( $O_2$ ) καθώς το ξύλο θα άναβε φωτιά. Στην περίπτωση επεξεργασίας ξύλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί άζωτο ( $N_2$ ) ή διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ). Το οξυγόνο ( $O_2$ ) χρησιμοποιείται συχνότερα στην κοπή μετάλλων. Ανάλογα με το πάχος του ελάσματος που κόβεται ρυθμίζεται και η πίεση του αερίου. Αν η πίεση του αερίου είναι πολύ χαμηλή υπάρχει ο κίνδυνος να μην παρασυρθεί το τηγμένο υλικό αν η πίεση είναι υψηλή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις ακμές της κοπής.

#### 7.1.5 Η θέση της εστίας της δέσμης σε σχέση με την επιφάνεια

Ανάλογα με το πάχος και το είδος του υλικού η δέσμη εστιάζεται είτε στην επιφάνειά του είτε στο εσωτερικό του. Στην περίπτωση κοπής χάλυβα ισχύουν χονδρικά τα ακόλουθα:

- α) Για πάχος ελάσματος έως 6mm η δέσμη εστιάζεται στην επιφάνεια του υλικού
- β) Για πάχος ελάσματος μεγαλύτερο των 8mm η δέσμη εστιάζεται υψηλότερα από την επιφάνεια του υλικού.
- γ) Στην περίπτωση κοπής ανοξειδωτού χάλυβα η δέσμη εστιάζεται στο εσωτερικό του υλικού.



Σχήμα 7.2: εστίαση σε σχέση με την επιφάνεια του υλικού [13]

## 7.2 ΚΑΜΨΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ (ΣΤΡΑΤΖΑΡΙΣΜΑ)

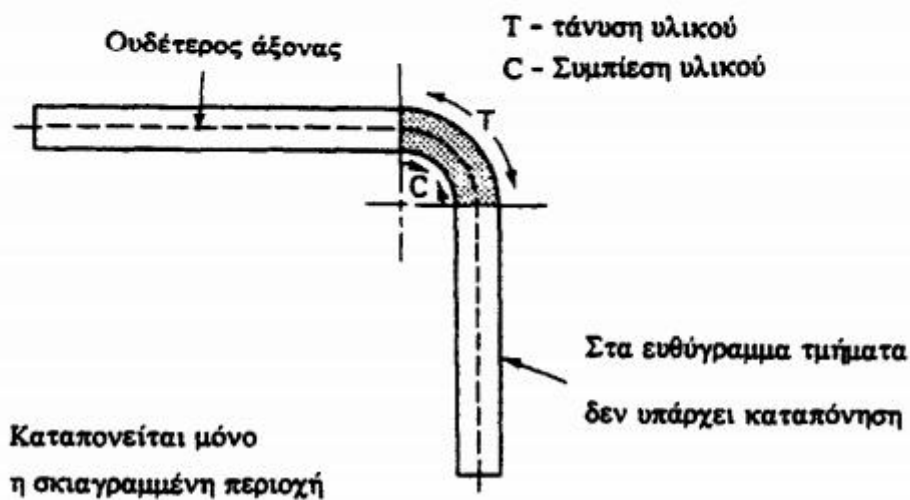
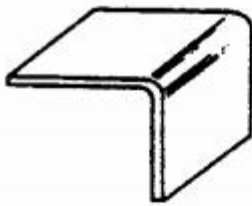
### 7.2.1 Γενικά

Ο όρος κάμψη αναφέρεται σε μόνιμη παραμόρφωση ελάσματος η οποία πραγματοποιείται με περιστροφή τμήματος του υλικού γύρω από ευθύγραμμο άξονα που βρίσκεται στο ουδέτερο επίπεδο της διατομής του και είναι κάθετος σε αυτή. Η κάμψη είναι η ευκολότερη κατεργασία μεταλλικών φύλλων καθώς μπορεί να γίνει με καλούπια σε πρέσες.

## 7.2.2 Ουδέτερος άξονας

Όταν μία λαμαρίνα κάμπτεται η μία πλευρά της καταπονείται σε εφελκυσμό και η άλλη σε θλίψη. Ανάμεσα στις δύο επιφάνειες υπάρχει μια γραμμή στην οποία συμβαίνει αναστροφή τάσεων. Αυτή είναι η κεντρική γραμμή πάνω στην οποία η τάση είναι μηδέν. Η γραμμή αυτή πάνω στην οποία η τάση είναι μηδενική ονομάζεται ουδέτερος άξονας.

Ο ουδέτερος άξονας χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των διαστάσεων του αναπτύγματος καθώς δεν μεταβάλλονται οι διαστάσεις του κατά την κάμψη. Η εξωτερική επιφάνεια του προς κατεργασία υλικού μεγαλώνει κατά την κάμψη αφού υφίσταται εφελκυσμό ενώ η εσωτερική επιφάνεια μικραίνει καθώς υπόκειται σε θλίψη.



Σχήμα 7.3: Καταπονήσεις κατά την κάμψη [14]

Ο ουδέτερος άξονας στην αρχή της κάμψης βρίσκεται στο κέντρο του πάχους της λαμαρίνας καθώς η κάμψη προχωρά ο ουδέτερος άξονας μετακινείται προς την εσωτερική πλευρά της κάμψης. Γενικά ισχύει ότι ο άξονας μετακινείται προς την εσωτερική πλευρά κάμψης όσο:

- αυξάνει το πάχος της λαμαρίνας
- αυξάνει η γωνία κάμψης
- μειώνεται η γωνία καμπυλότητας της κάμψης

Ο ουδέτερος άξονας κατά την κάμψη πάντοτε μετακινείται έτσι είναι αδύνατος ο ακριβής προσδιορισμός του. Είναι πιθανό χρειαστεί να γίνει επανυπολογισμός των διαστάσεων του φύλλου μετά από δοκιμή.

### 7.2.3 Αναπήδηση του υλικού

Με τον όσο αναπήδηση του υλικού περιγράφεται η τάση του υλικού να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση μετά την διαδικασία της κατεργασίας. Το έλασμα κατά την κάμψη του υπόκειται σε πλαστική παραμόρφωση, υπάρχει μια μικρή περιοχή γύρω από τον ουδέτερο άξονα που υφίσταται ελαστική παραμόρφωση κάτω από το όριο ροής του υλικού. Το υλικό που βρίσκεται στην περιοχή αυτή τείνει να επαναφέρει το έλασμα στην αρχική του κατάσταση.

Οι μεταβλητές και τα αποτελέσματά τους στην αναπήδηση έχουν ως εξής:

- 1) Όσο πιο σκληρό είναι το μέταλλο τόσο μεγαλύτερη αναπήδηση παρουσιάζεται καθώς το όριο ελαστικότητας σε αυτά είναι υψηλότερο.
- 2) Όσο μικρότερη η ακτίνα κάμψης τόσο μικρότερη η αναπήδηση καθώς αναπτύσσεται μεγαλύτερη πλαστική ζώνη.
- 3) Όσο μεγαλώνει το πάχος του ελάσματος τόσο μικραίνει η αναπήδηση καθώς η περιοχή που έχει υποστεί ελαστική παραμόρφωση αποτελεί μικρότερο ποσοστό του συνολικού πάχους του ελάσματος που κάμφθηκε.

Στον πίν. 7.1 παρουσιάζονται οι βαθμοί αναπήδησης σε σχέση με την γωνία κάμψης

**Πίνακας 7.1:** Βαθμός αναπήδησης σε σχέση με την γωνία κάμψης [14]

Γωνία κάμψης	Βαθμός αναπήδησης
20°	0,2045
40°	0,1150
60°	0,0817
90°	0,0589

Οι μέθοδοι για την αντιμετώπιση της αναπήδησης είναι:

- α) κάμψη σε μεγαλύτερη γωνία από την επιθυμητή
- β) κάμψη με κρούση
- γ) κάμψη με ταυτόχρονη τάνυση της λαμαρίνας

### 7.2.4 Υπολογισμοί κατά την κάμψη

Οι υπολογισμοί κατά την κάμψη αφορούν δύο διαφορετικά μεγέθη. Το ένα είναι οι διαστάσεις που πρέπει να έχει το ανάπτυσμα ώστε το κατεργασμένο κομμάτι να έχει τις επιθυμητές διαστάσεις και το δεύτερο είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κάμψη.

Αρχικά θα ασχοληθούμε με τις διαστάσεις του κομματιού. Μετά την κατεργασία της κάμψης αν το κομμάτι μετρηθεί πάνω στον ουδέτερο άξονα τότε η διάσταση αυτή ταυτίζεται με τη αρχική διάσταση του αναπτύγματος. Στα τμήματα του κομματιού που έχουν υποστεί κάμψη θεωρούμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στο 0,4 του πάχους της λαμαρίνας μετρώντας από την εσωτερική πλευρά της κάμψης. Το μήκος του τόξου του ουδέτερου άξονα ισούται με:

$$\lambda = \frac{\text{γωνία κάμψης}}{360} \cdot 2\pi(r + 0,4t) \quad (7.1)$$

Όπου  $r$  η γωνία κάμψης και  $t$  το πάχος του ελάσματος.

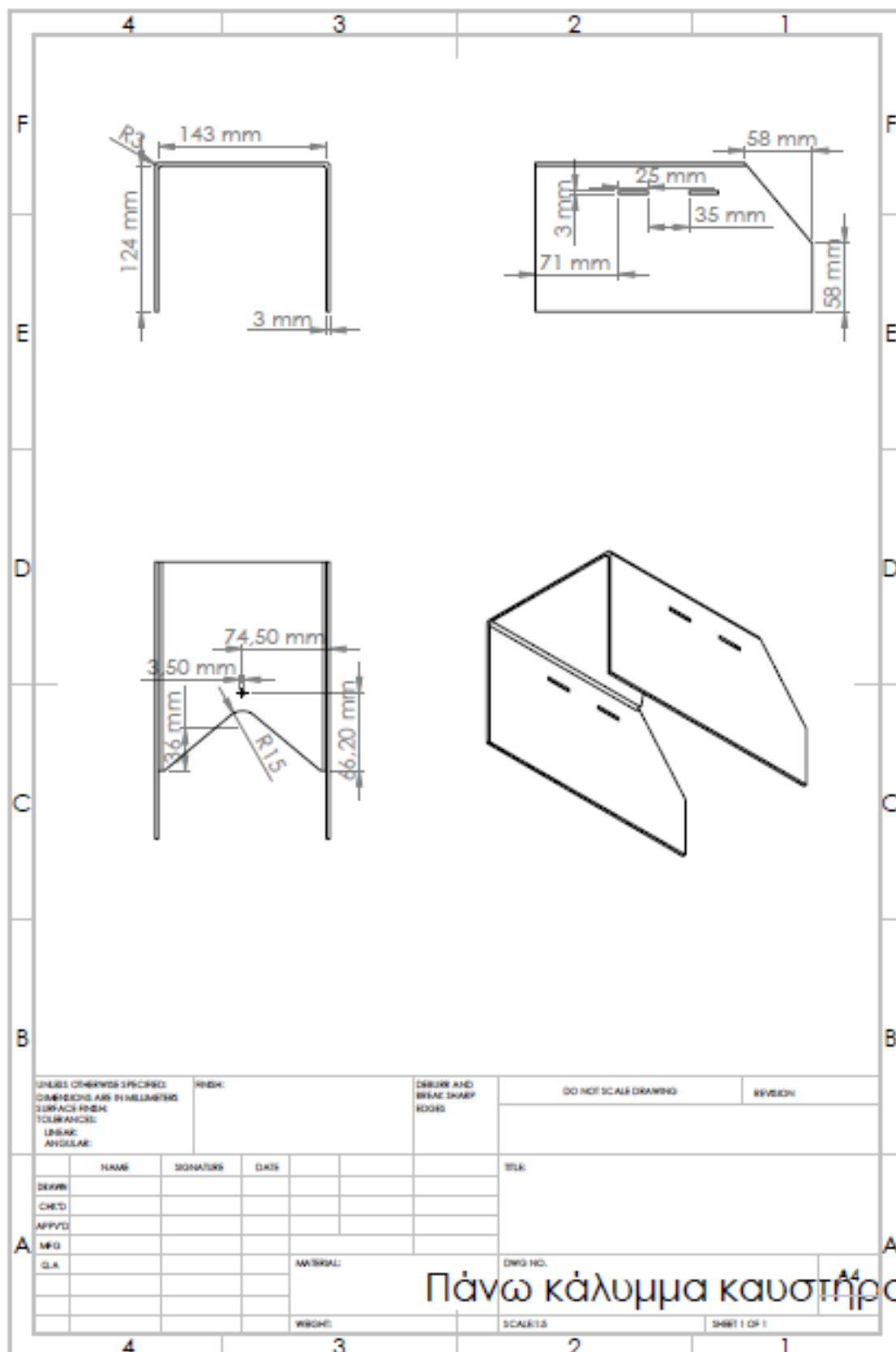
Για το παρακάτω εξάρτημα του καυστήρα υπολογίζεται το αρχικό μήκος του αναπτύγματος. Ο υπολογισμός έγινε για ένα από τα εξαρτήματα με όμοιο τρόπο υπολογίστηκαν όλα τα αρχικά αναπτύγματα των εξαρτημάτων του καυστήρα.

Η ακτίνα καμπυλότητας είναι  $r=1\text{mm}$  και το πάχος της λαμαρίνας είναι  $t=3\text{mm}$

$$\lambda = \frac{90}{360} \cdot 2\pi(1 + 0,4 \cdot 3) \Rightarrow \lambda = 3,5\text{mm} \quad (7.2)$$

Συνολικό μήκος ουδέτερου άξονα:

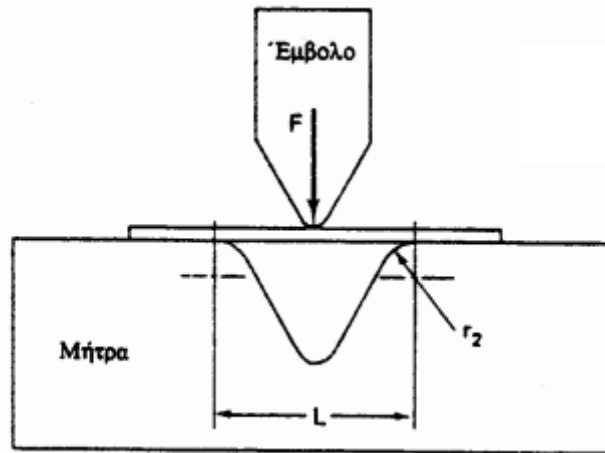
$$124\text{mm} + 3,5\text{mm} + 143\text{mm} + 3,5\text{mm} + 124\text{mm} = 398\text{mm}$$



Πάνω κάλυμμα καυστήρα

Σχήμα 7.4: Έλασμα με κατεργασία κάμψης

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι καμπτικές δυνάμεις. Το καλούπι της πρέσας του εργαστηρίου όπου πραγματοποιήθηκαν οι κάμψεις είναι V μορφής όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 7.5 που ακολουθεί.



**Σχήμα 7.5:** Καλούπι πρέσας V μορφής

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η δύναμη την οποία πρέπει να ασκήσει η πρέσα για να επιτευχθεί η κατεργασία είναι:

$$F = 1,33 \cdot \frac{S \cdot w \cdot t^2}{L} \quad (7.3)$$

Όπου S το ονομαστικό όριο αντοχής σε εφελκυσμό του υλικού,  
w το πλάτος του ελάσματος που κάμπτεται,  
t το πάχος του ελάσματος και  
L το άνοιγμα που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Γίνεται υπολογισμός για το ίδιο τμήμα που έγινε και παραπάνω για την διάσταση του ουδέτερου άξονα.

$$F = 1,33 \cdot \frac{S \cdot w \cdot t^2}{L} \Rightarrow F = 1,33 \cdot \frac{500MPa \cdot 236mm \cdot 3mm^2}{30mm} \Rightarrow F = 47082N \Rightarrow \quad (7.5)$$

$$F = 4,8tn$$

Η παραπάνω δύναμη που απαιτείται από την πρέσα για την συγκεκριμένη κατεργασία είναι κατά πολύ μικρότερη από την δυναμικότητα της πρέσας του εργαστηρίου που είναι **60tn**. Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζεται η πρέσα του εργαστηρίου και η κατεργασία της κάμψης του ελάσματος για το οποίο έγινε ο υπολογισμός της καμπτικής δύναμης.



**Εικόνα 7.1:** Στράτζα εργαστηρίου ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



**Εικόνα 7.2:** Κάμψη τμήματος του καυστήρα



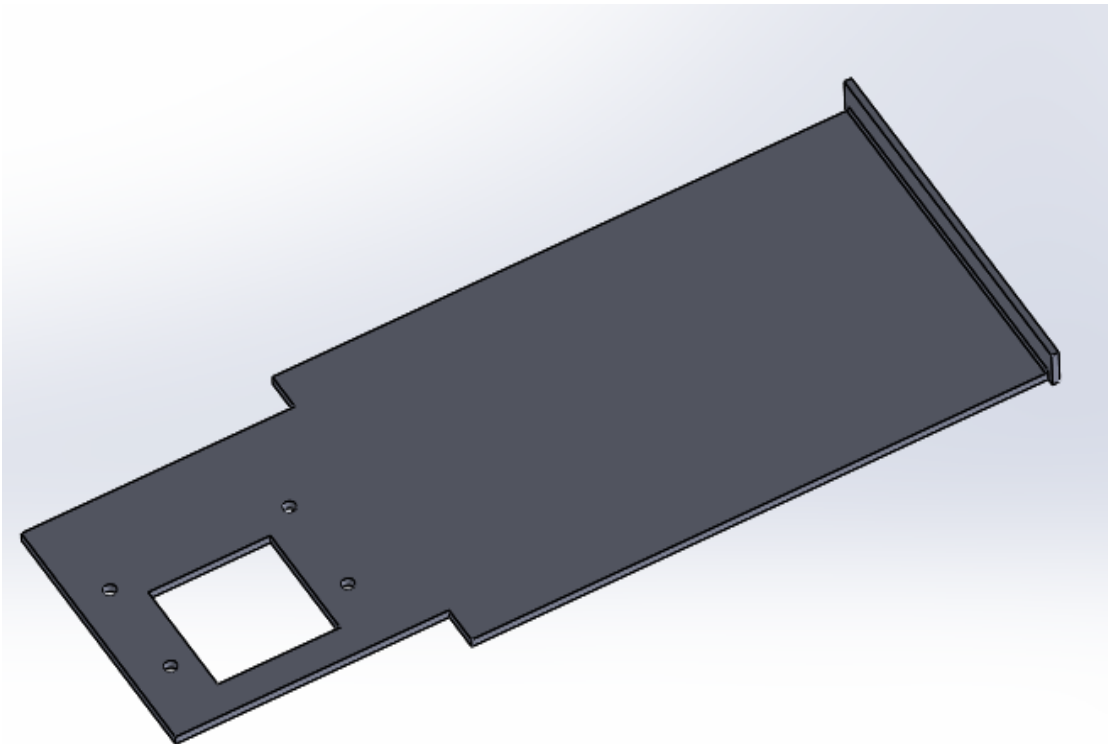
**Εικόνα 7.3:** Κάμψη τμήματος του καυστήρα



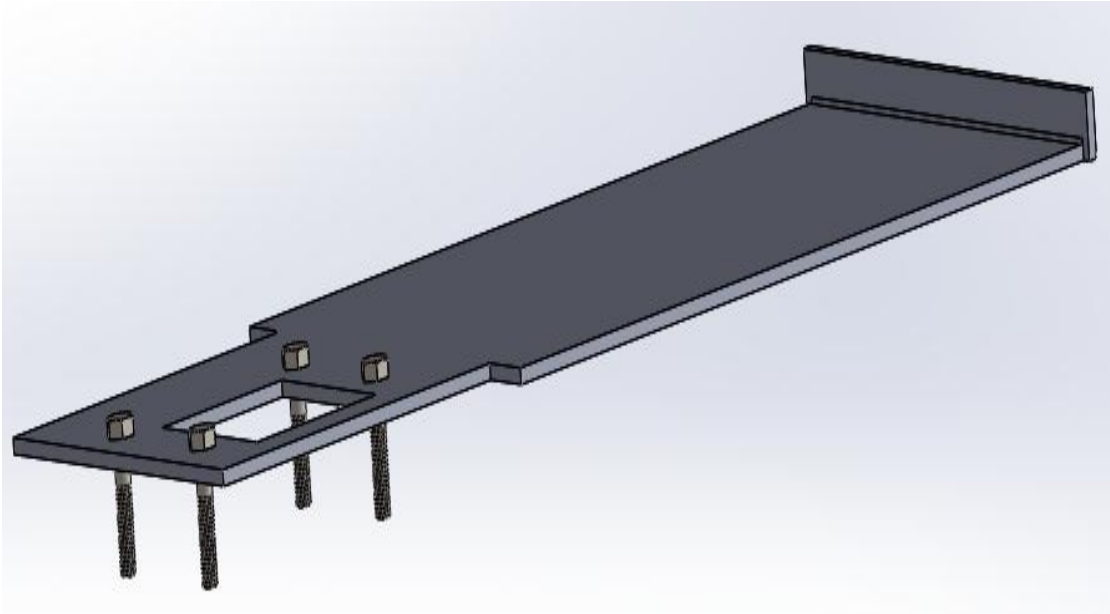
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 8.1 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ

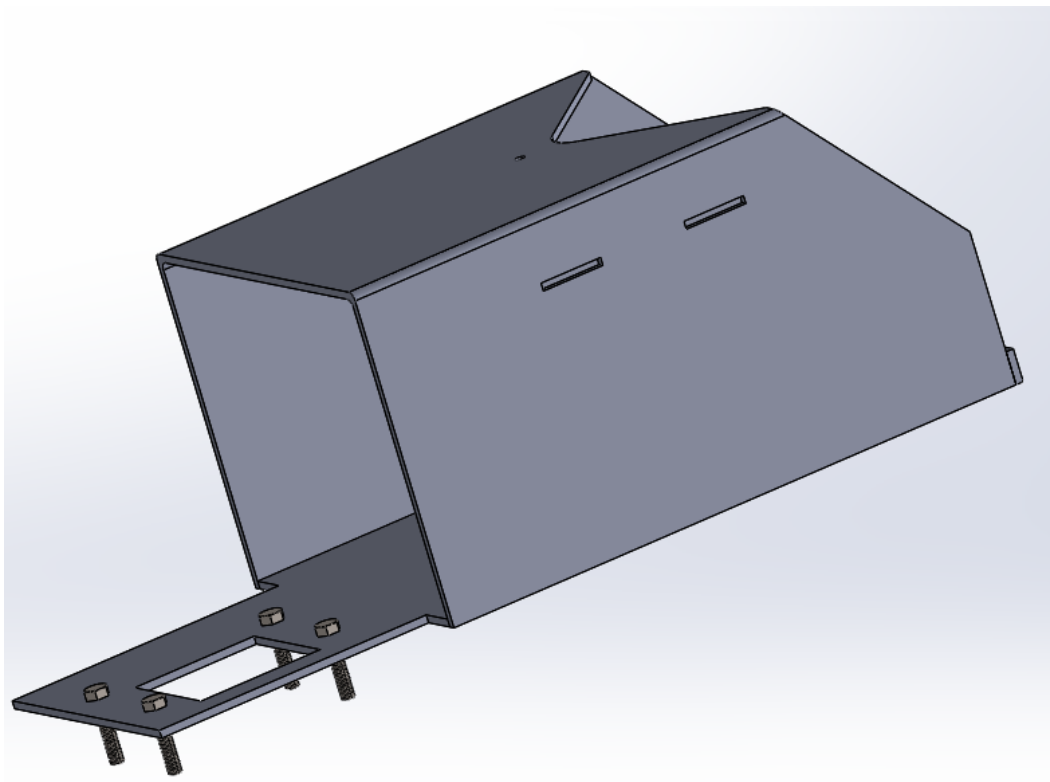
Η συναρμολόγηση της κατασκευής του καυστήρα έγινε σύμφωνα με την διαδοχική διαδικασία που φαίνεται στα σχέδια που ακολουθούν. Τα παρακάτω σχέδια σχεδιάστηκαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks. Η συναρμολόγηση του καυστήρα περιλαμβάνει σταθερές και λυόμενες συνδέσεις. Οι σταθερές συνδέσεις έγιναν με ηλεκτροσυγκόλληση μεταξύ των ελασμάτων. Το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιήθηκε είναι ανοξείδωτο ώστε να διασφαλιστεί η ασφαλής συγκόλληση των ελασμάτων.



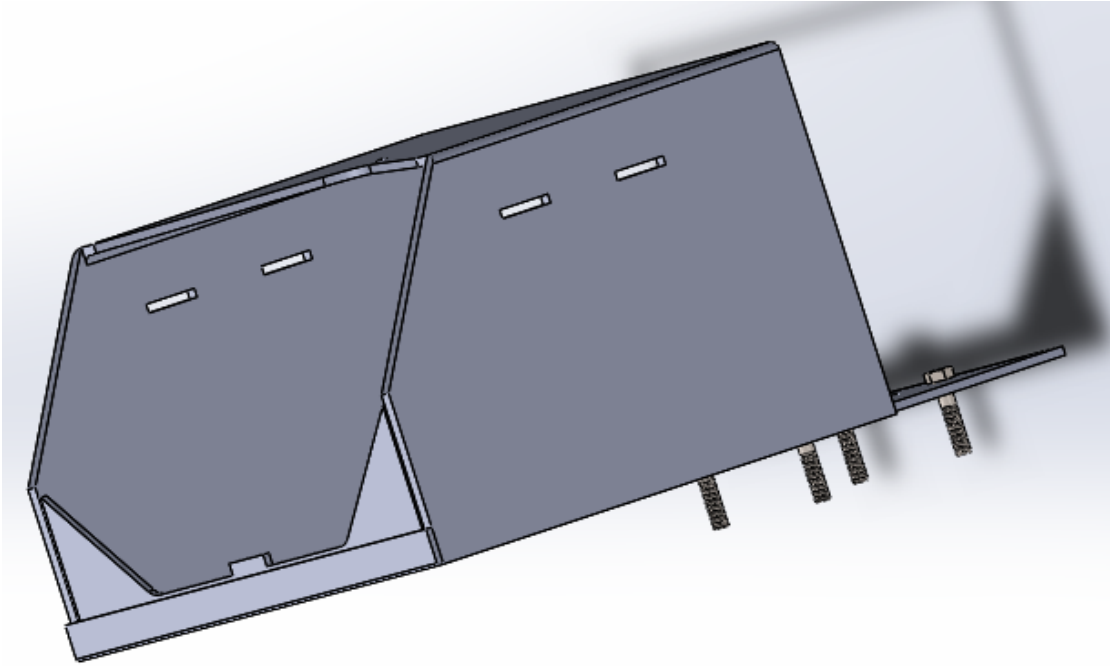
Εικόνα 8.1: Βάση καυστήρα



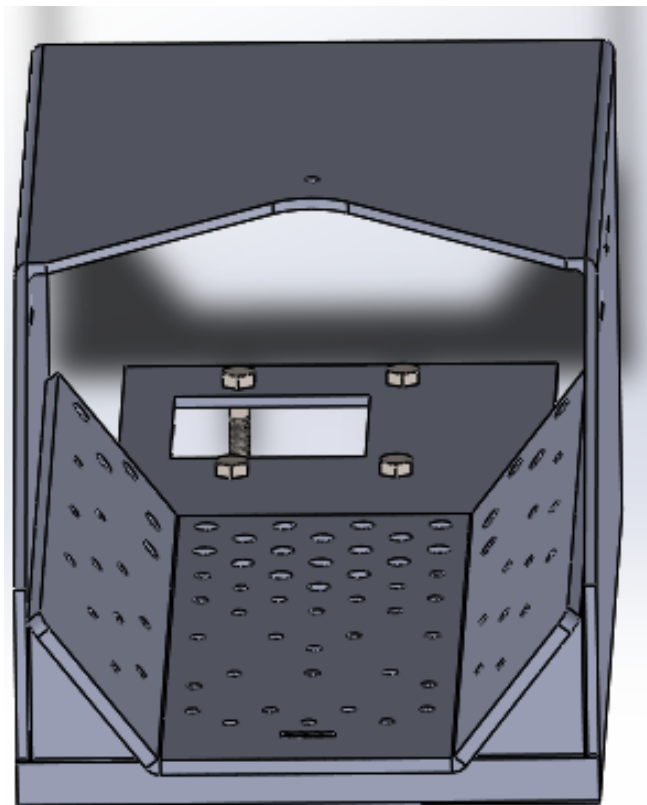
**Εικόνα 8.2:** Τοποθέτηση κοχλιών στη βάση



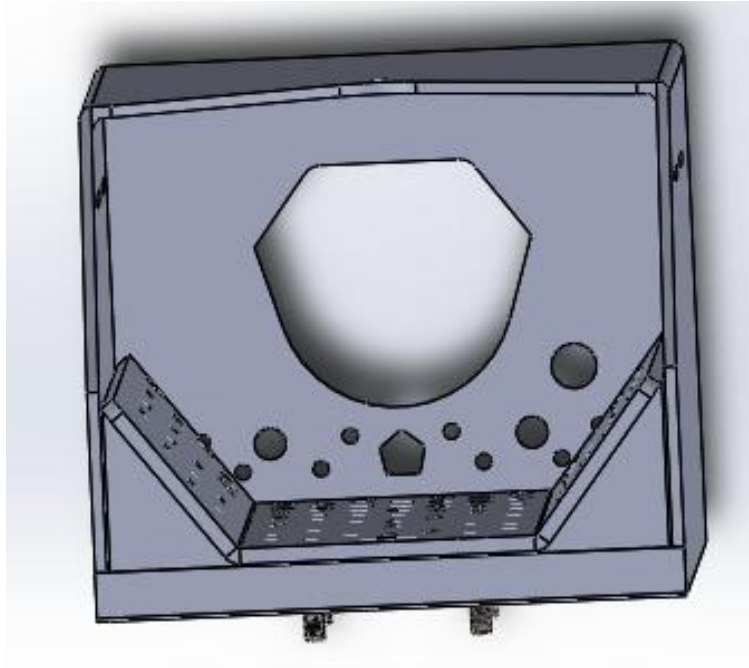
**Εικόνα 8.3:** Τοποθέτηση καλύμματος καυστήρα



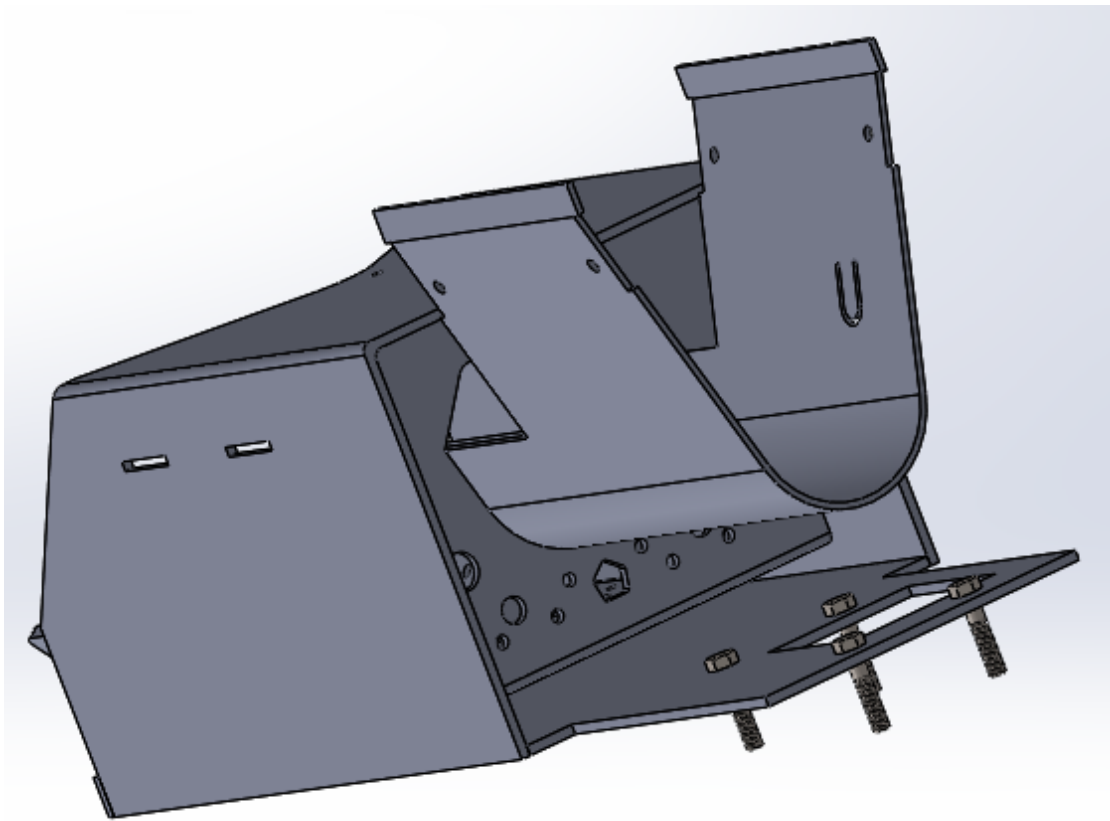
**Εικόνα 8.4:** Τοποθέτηση της βάσης για το σκαφάκι



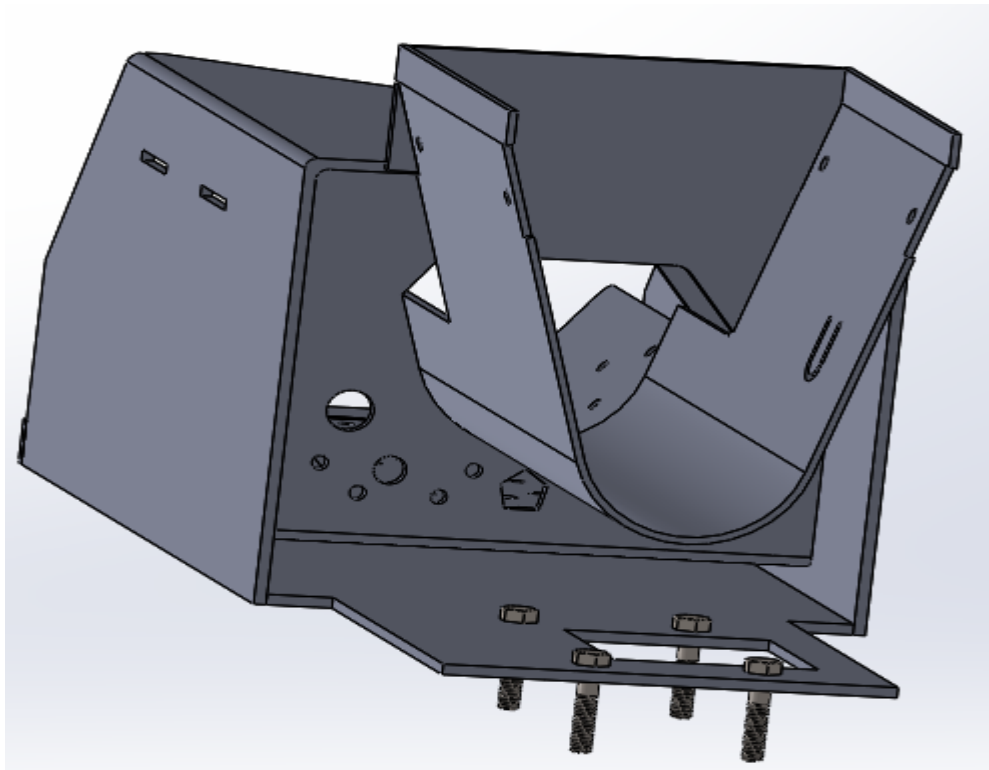
**Εικόνα 8.5:** Τοποθέτηση σκάφης



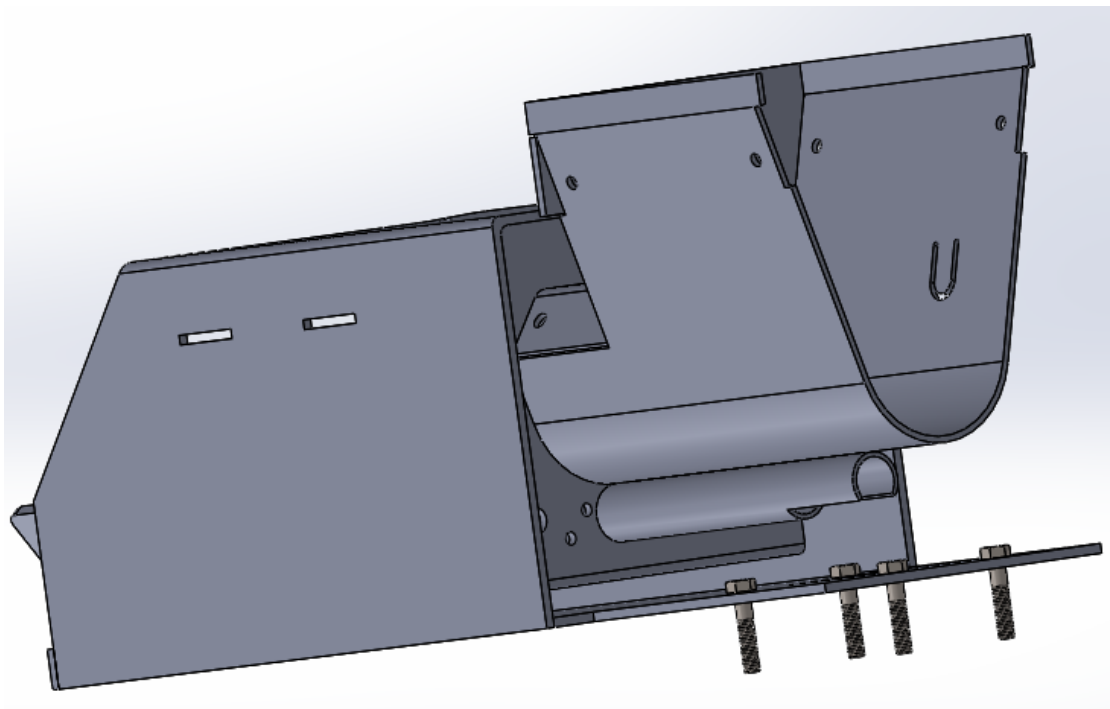
**Εικόνα 8.6:** Τοποθέτηση Διαχωριστικού θαλάμου καύσης



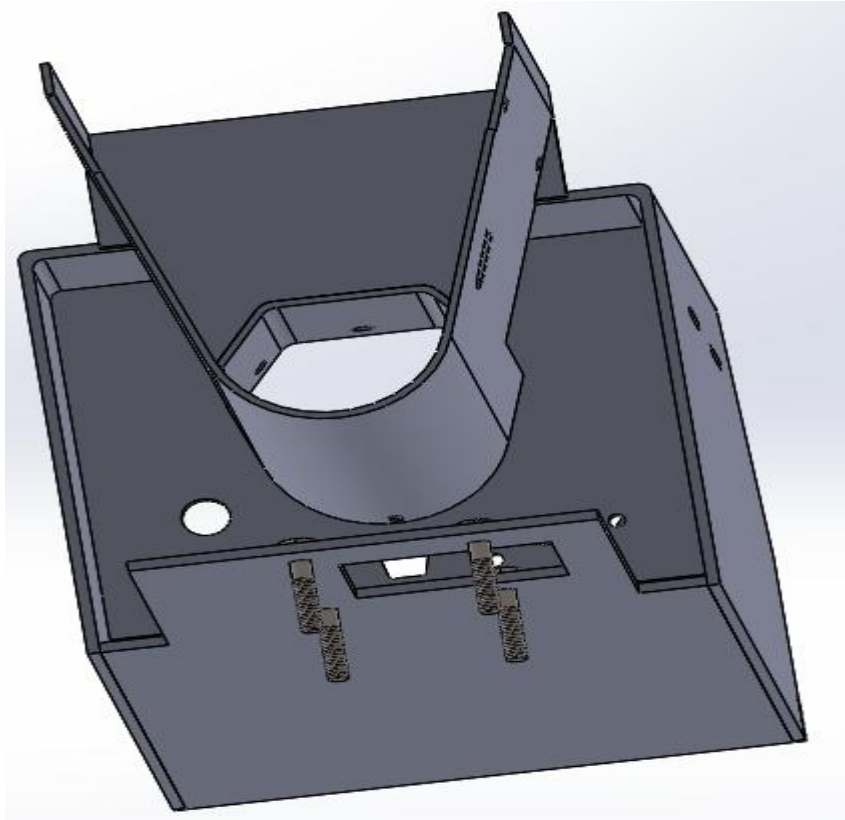
**Εικόνα 8.7:** Τοποθέτηση κοίλου τμήματος



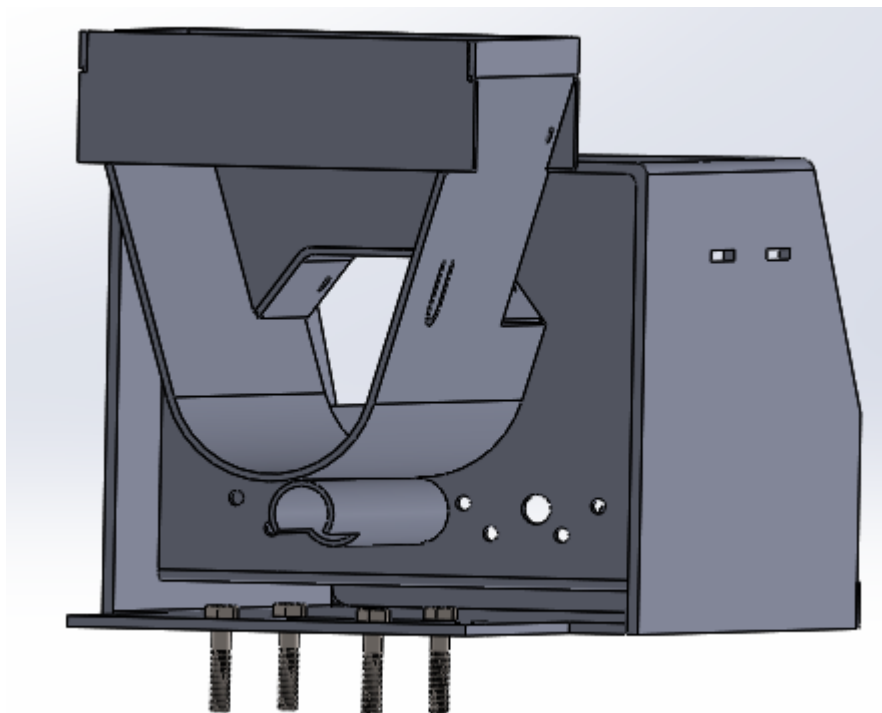
**Εικόνα 8.8:** Τοποθέτηση ελασματος κοίλου τμήματος



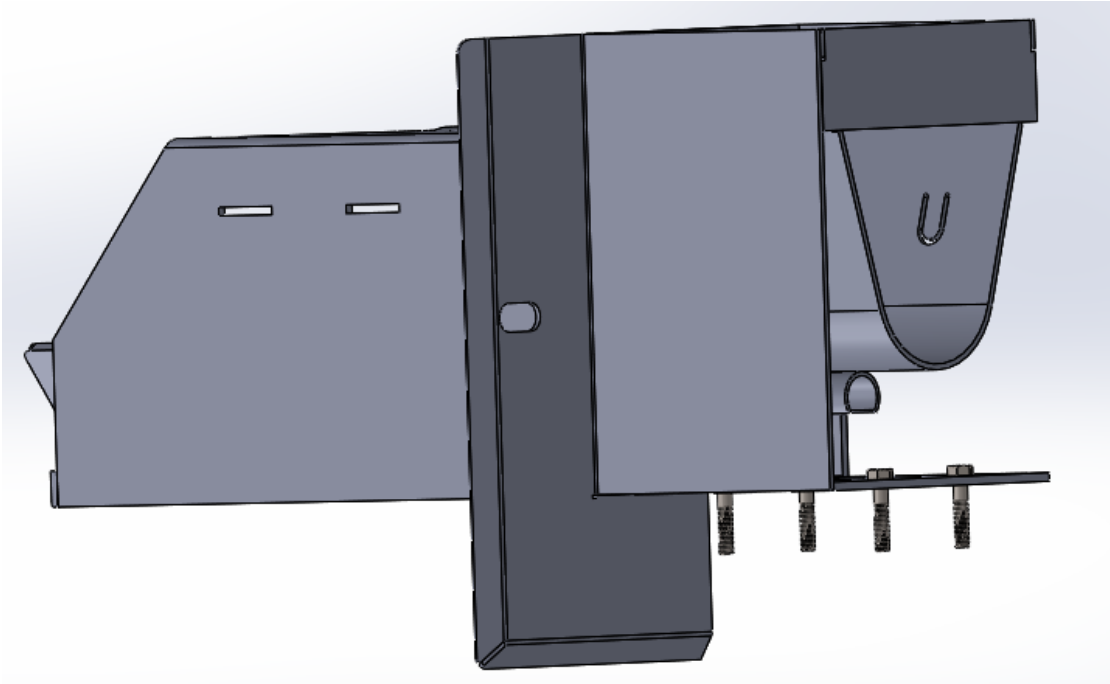
**Εικόνα 8.9:** Τοποθέτηση του σωλήνα για τον αισθητήρα



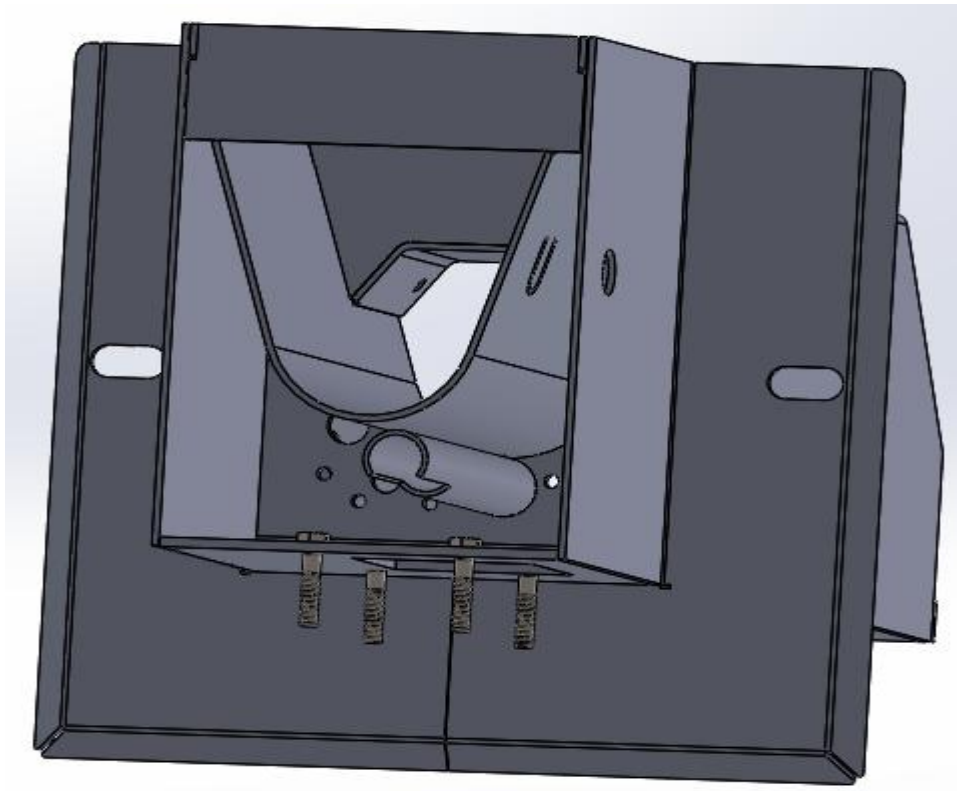
**Εικόνα 8.10:** Τοποθέτηση καλύμματος κοίλου τμήματος



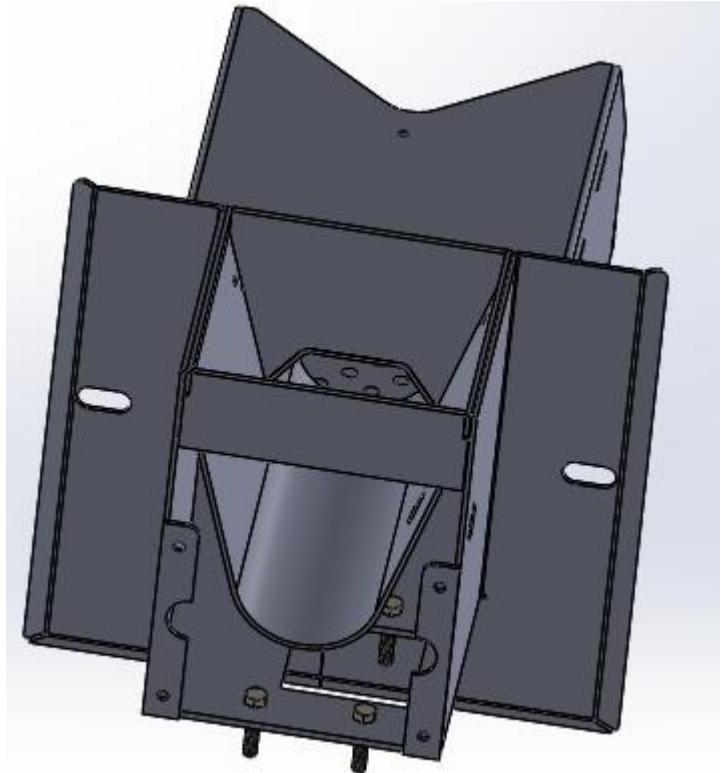
**Εικόνα 8.11:** Τοποθέτηση ελάσματος κοίλου τμήματος



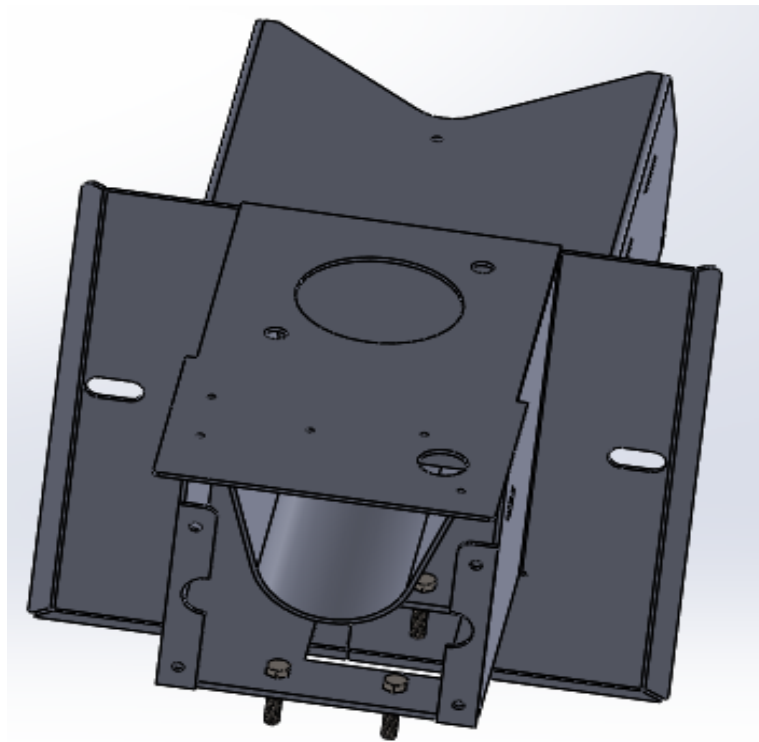
**Εικόνα 8.12:** Τοποθέτηση αριστερού καλύμματος



**Εικόνα 8.13:** Τοποθέτηση δεξιού καλύμματος

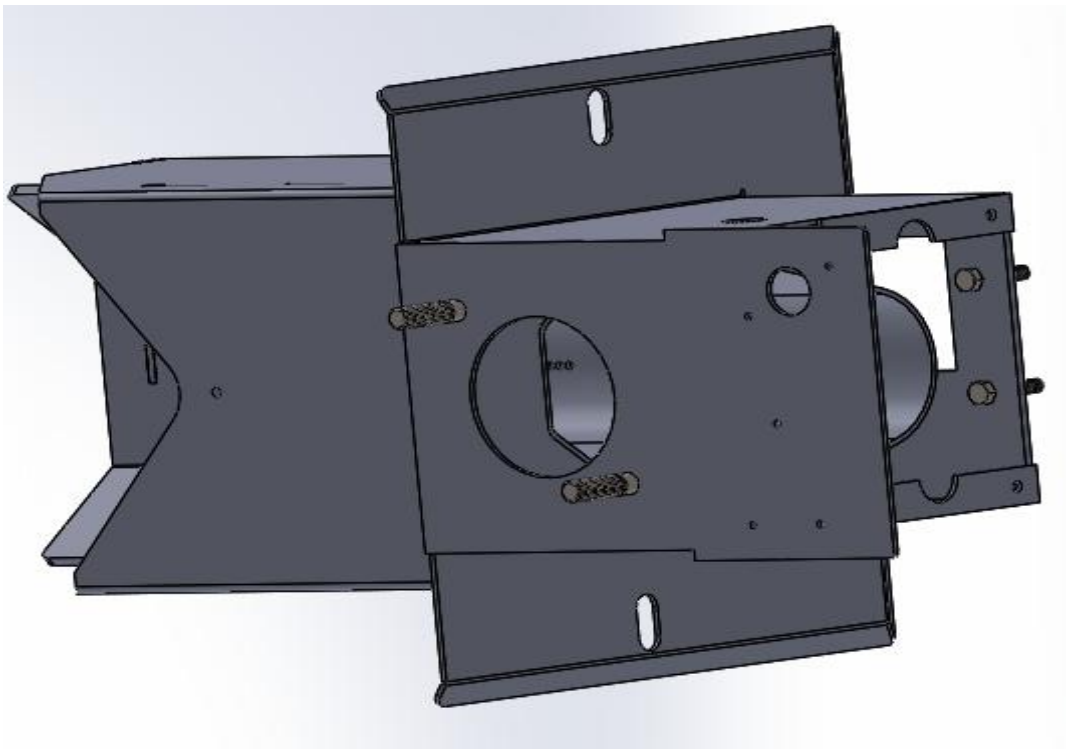


**Εικόνα 3.14:** Τοποθέτηση βάσεων στήριξης

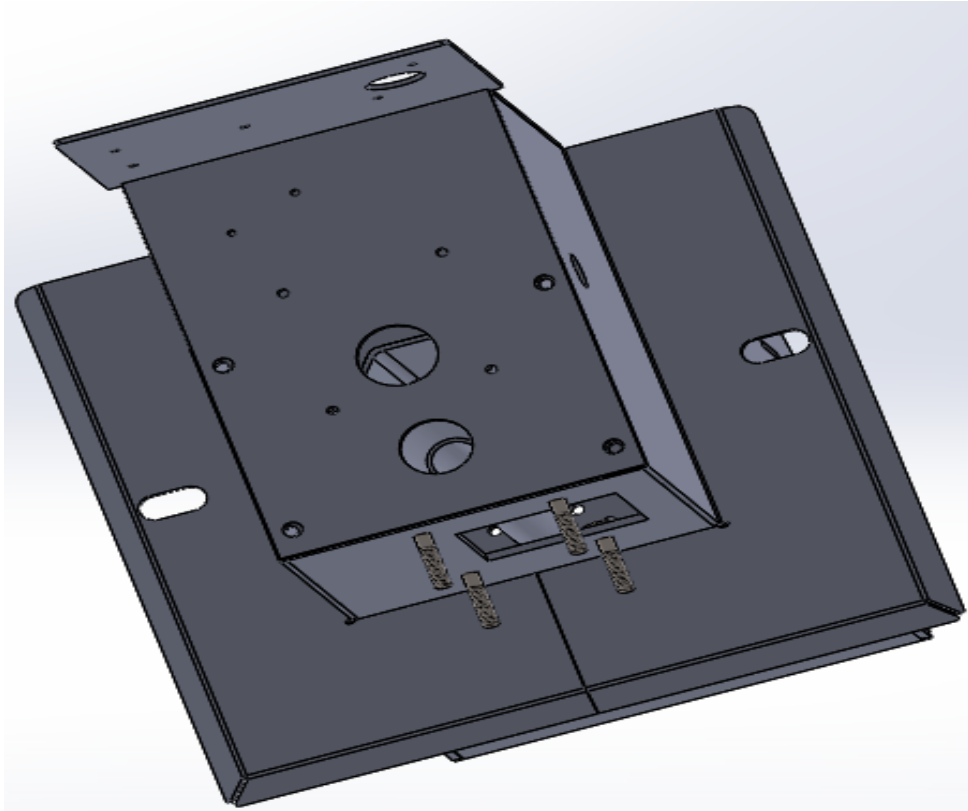


**Εικόνα 8.15:** Τοποθέτηση βάσης χοάνης Pellet

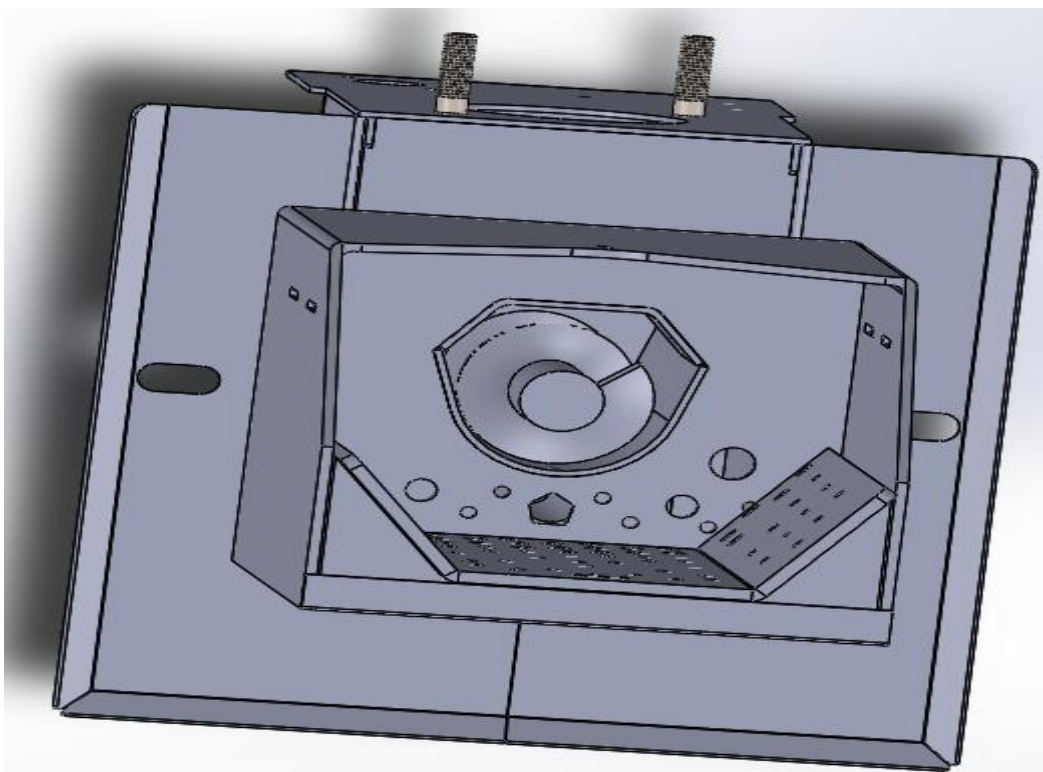




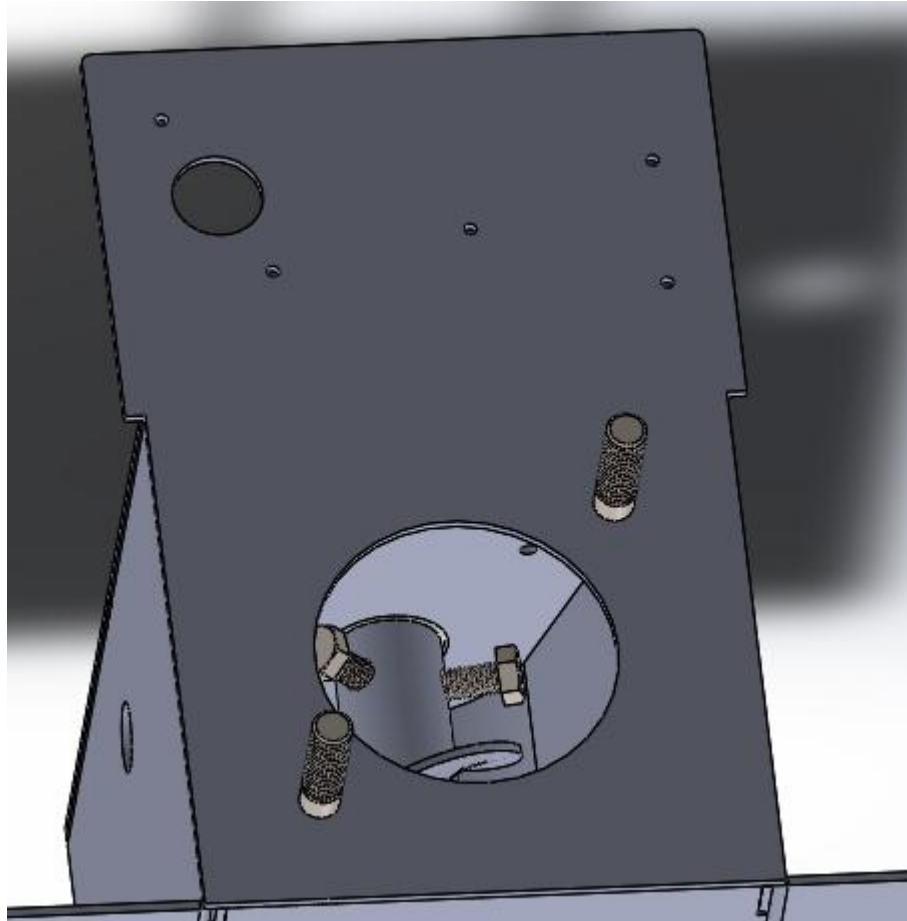
**Εικόνα 8.16:** Τοποθέτηση κοχλιών στην βάση της χοάνης



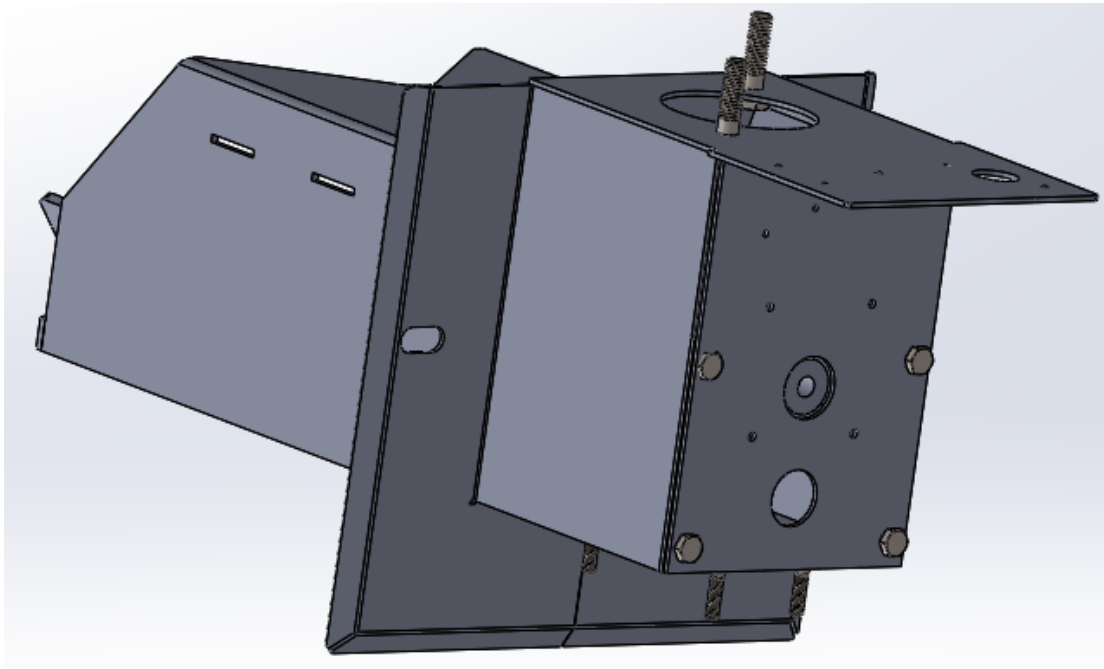
**Εικόνα 8.17:** Τοποθέτηση βάσης ηλεκτρικού κινητήρα



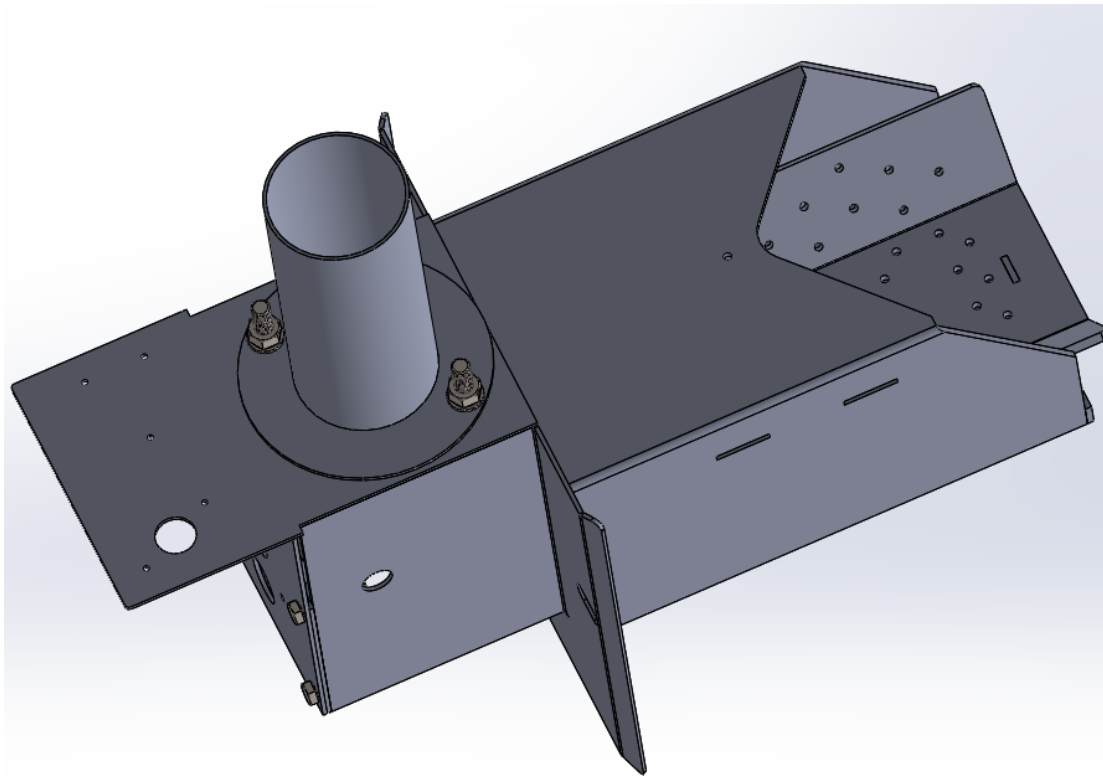
**Εικόνα 8.18:** Τοποθέτηση ατέρμωνα



**Εικόνα 8.19:** Τοποθέτηση κοχλιών ατέρμονα



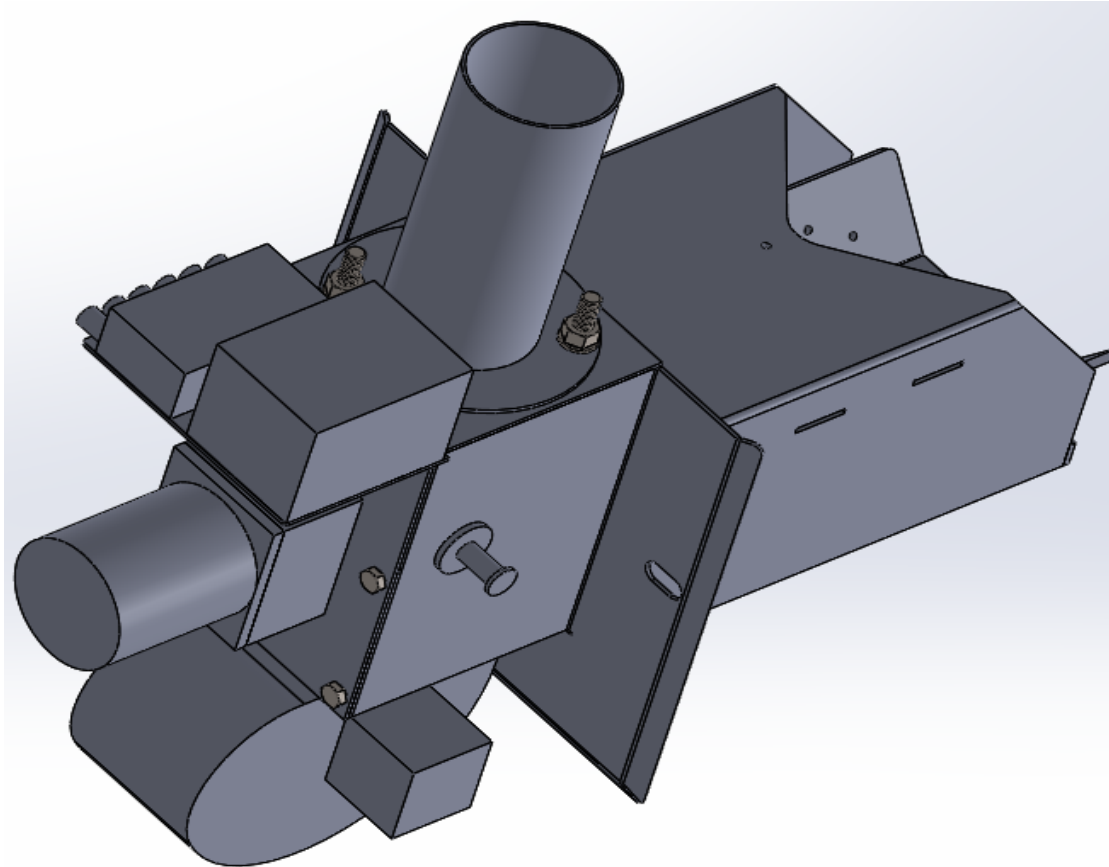
**Εικόνα 8.20:** Τοποθέτηση κοχλιών βάσης κινητήρα



**Εικόνα 8.21:** Τοποθέτηση εισαγωγής Pellet

## **8.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

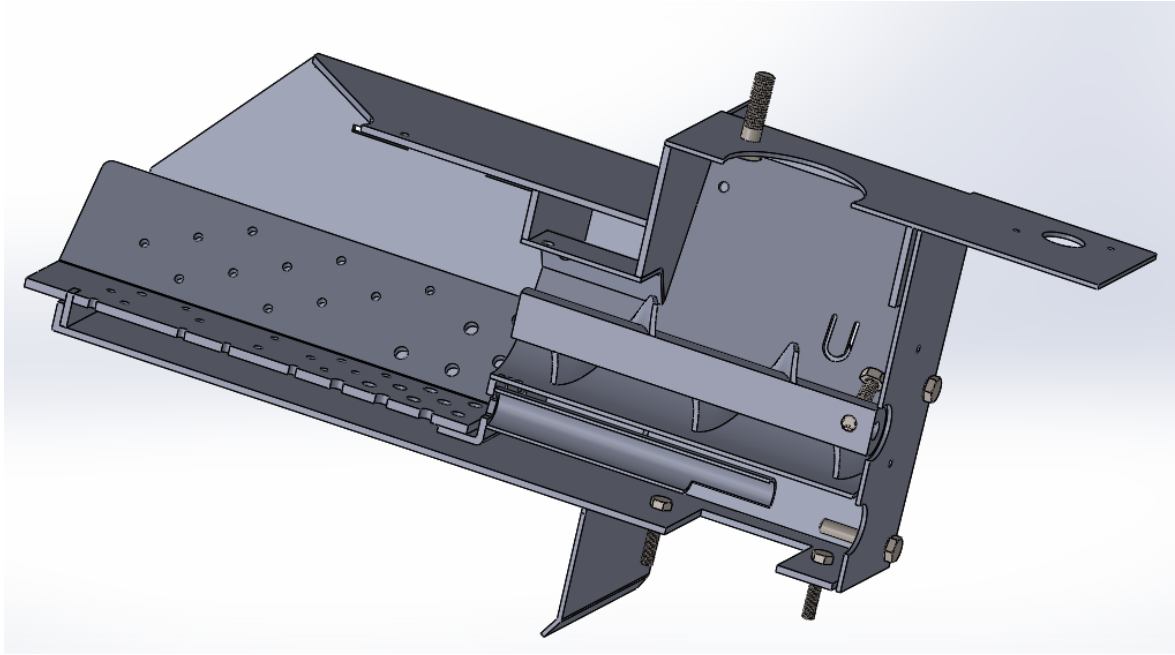
Στη συνέχεια ακολούθησε η προσαρμογή των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και η σύνδεσή τους. Στο μεταλλικό πλακίδιο όπου γίνεται η προσαρμογή του ηλεκτρικού κινητήρα υπάρχουν οπές με διάμετρο  $\Phi 3,3\text{mm}$  σε αυτές τις οπές δημιουργείται σπείρωμα με έναν σπειροτόμο M4. Στο σπείρωμα αυτό συγκρατείται ο ηλεκτρικός κινητήρας. Κατόπιν τοποθετούνται η ηλεκτρική αντίσταση, το φωτοαισθητήριο, το θερμικό ασφαλείας, ο φυσητήρας, η επταπολική φύσα με την οποία ο καυστήρας συνδέεται με το controller και ένα κουτί πλαστικό μέσα στο οποίο γίνονται οι ηλεκτρικές συνδέσεις. Η προσαρμογή των ηλεκτρικών εξαρτημάτων φαίνεται στα παρακάτω σχέδια.



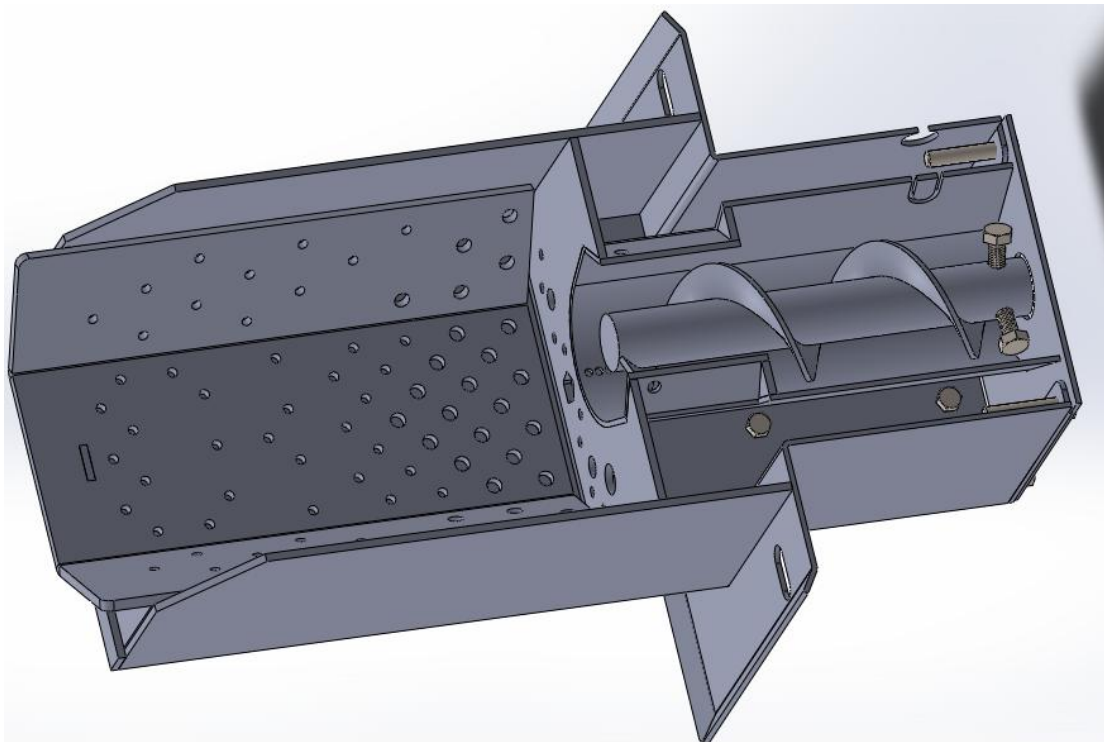
**Εικόνα 8.22:** Τοποθέτηση αισθητήρων, κινητήρα και ηλεκτρολογικών συνδέσεων

### **8.3 ΤΟΜΕΣ ΚΑΥΣΤΗΡΑ**

Στα παρακάτω σχέδια φαίνονται δύο τομές του καυστήρα ώστε να γίνει κατανοητή η εσωτερική του δομή.



**Εικόνα 8.23:** Πλάγια τομή για απεικόνιση του εσωτερική του καυστήρα



**Εικόνα 8.24:** Τομή στον Z άξονα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε ο σχεδιασμός ενός καυστήρα πέλλετ. Αρχικά ο καυστήρας σχεδιάστηκε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks. Κατόπιν έγινε η κοπή των ελασμάτων με την μέθοδο Laser. Στη συνέχεια έγινε η τελική κατεργασία των τμημάτων του καυστήρα. Κατόπιν έγινε η συναρμολόγηση η οποία περιελάμβανε και συγκόλληση κάποιων τμημάτων. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση των ηλεκτρικών εξαρτημάτων.

Το συμπέρασμα της παρούσας εργασίας είναι ότι είναι δυνατόν να παραχθούν καυστήρες πέλλετ οι οποίοι μπορούν να αντικαταστήσουν καυστήρες πετρελαίου καθώς το πέλλετ είναι οικονομικότερο καύσιμο έναντι του πετρελαίου. Αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ότι ένα προϊόν που μπορεί να έχει σημαντική διείσδυση στην αγορά κατασκευάστηκε στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Ως προτροπή θα μπορούσε να ειπωθεί ότι θα είναι θετικό να υπάρξει η περαιτέρω ενασχόληση με την εξέλιξη και παραγωγή καυστήρων οι οποίοι θα καίνε υλικά εκτός από το πετρέλαιο που είναι μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Δ. Ι. Ιωαννίδη, Μ. Ι. Γεωργακάκη, Θερμάνσεις, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα 1954.
2. Γ. Κασίμης, Ε. Κρέπιας, Α. Νικητάκης, Θερμικές Εγκαταστάσεις, Έκδοση ΟΕΔΒ, Αθήνα, ΣΤ΄ Έκδοση, 2006
3. Γ. Μ. Κοντορούπη, Θερμικές Εγκαταστάσεις Κτιρίων, Αθήνα 1980
4. Ν. Γ. Κουμούτσου, Εφηρμοσμένη Θερμοδυναμική, Έκδοση Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1987.
5. Δ. Κουρεμένου, Ψυκτικές Μηχανές και Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, Αθήνα 1979
6. Σπ. Πρεβεζάνου, Μονάδες Εσωτερικής Καύσης, Αθήνα 1994.
7. Β. Η. Σελούντου, Κεντρικά Θερμάνσεις, Επιστημονικές Εκδόσεις, Αθήνα, Ε΄ Έκδοση, 1981
8. Β. Η. Σελούντος, Θέρμανση – Κλιματισμός, Γ΄ Έκδοση, Εκδόσεις ΤεΚΔΟΤΙΚΗ, 2002
9. Σπ. Ν. Χαλικιά, Θέρμανση – Ψύξη – Αερισμός, Έκδοση ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1983

## **ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ**

1. <http://www.buderus.gr/products/boilers/condensing-boilers/oliologanogb105.html>
2. <http://www.sidirotechniki.com>
3. [http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS\\_LEBHTES.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_LEBHTES.pdf)
4. <http://www.telethermanssi.gr/>
5. <http://www.idorthermiki.gr/ell/product/>
6. <http://www.climastore.gr>
7. <http://www.thermostahl.gr/>
8. <http://www.mirisiotis.gr/component/virtuemart>
9. <http://www.toptsis.gr/product-category>



10. <http://www.enplus-pellets.eu/about-enplus/handbook-2-0-to-3-0/>
11. <http://www.pelleton.gr/>
12. <http://www.metal.ntua.gr/uploads/4622/1127/course4.pdf>
13. <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/1834/1/012014031.pdf>
14. <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/>