

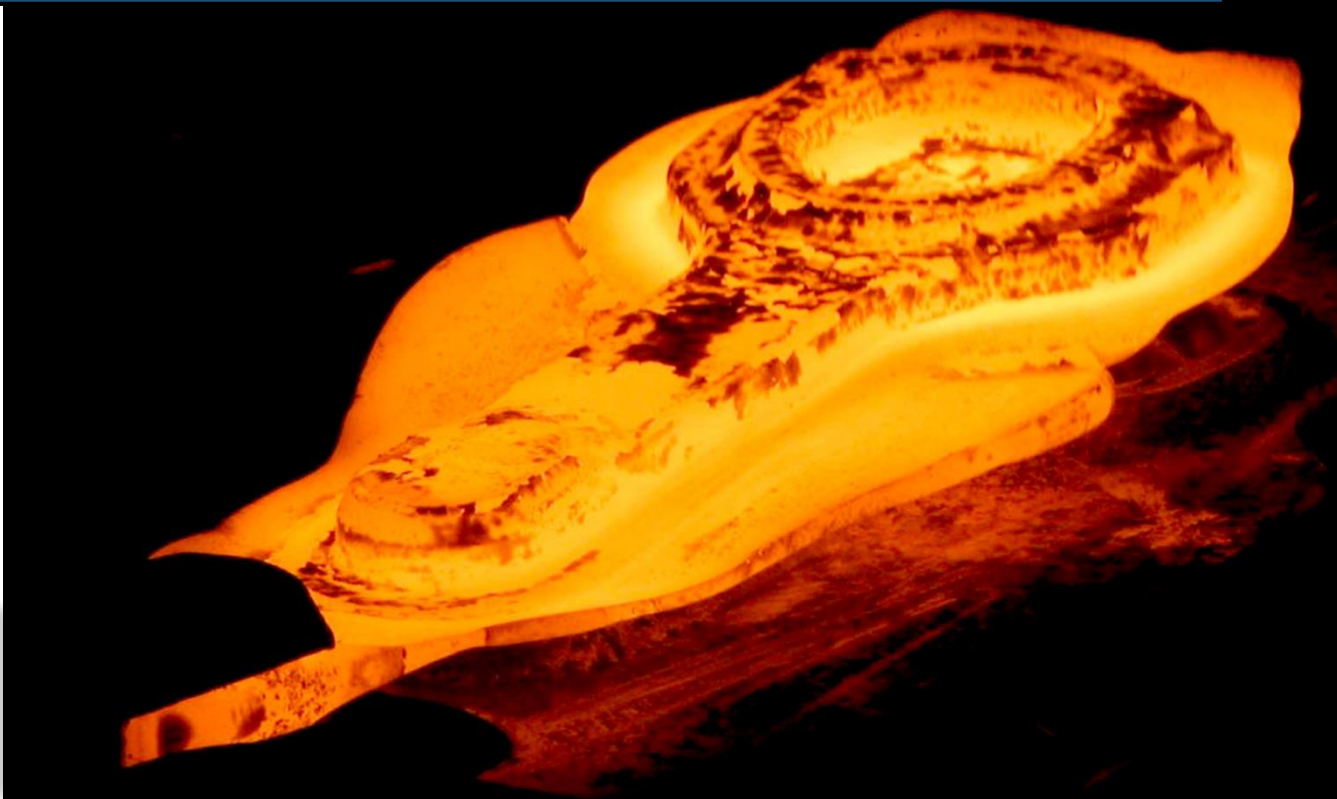


ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

Πτυχιακή Εργασία

Κριτική ανάλυση σχεδίων CAD εξαρτημάτων
μηχανολογικού εξοπλισμού με κριτήριο την
«κατασκευασιμότητα» και το «οικονομικό κόστος»



Σπουδαστές:

Σκουράκης Νικόλαος

Αρ.Μητρώου:28234

Καλογερή Άννα

Αρ.Μητρώου:35397

Εισηγητής:

Σκιττίδης Φιλήμων

Αιγάλεω 2016

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	1
Κεφάλαιο 1 Η Ιστορία της Σφυρηλάτησης	4
1.1 Πρώτα βήματα	4
1.2 Η Σφυρηλάτηση το Μεσαίωνα	4
1.3 Η Σφυρηλάτηση τον 19ο αιώνα	5
1.4 Η Εξέλιξη στην παραγωγή χάλυβα και πώς βοήθησε τη βιομηχανία διαμόρφωσης με σφυρηλάτηση	6
1.5 Εφεύρεση της πρέσας σφυρηλάτησης	6
1.6 Σύγχρονη σφυρηλάτηση από μηχανές ελεγχόμενες από Η/Υ	7
Κεφάλαιο 2 Σφυρηλάτηση (forging)	8
2.1 Πρακτική Σφυρηλάτησης Ανοικτής-Μήτρας (Open-die Forging Practice) ..	9
2.2 Σφυρηλάτηση με Μήτρα-Αποτύπωσης (Impression-die Forging)	11
2.3 Σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή (φύρα) (Forging Hammers)	15
2.4 Σφύρες, Πρέσες και Μήτρες (Hammers, Presses and Forging Dies)	17
2.4.1 Σφύρες Σφυρηλάτησης (Forging Hammers)	17
2.4.2 Πρέσες Σφυρηλάτησης (Forging Presses)	18
2.4.3 Μήτρες Σφυρηλάτησης (Forging Dies)	19
Κεφάλαιο 3 Δομικό στοιχείο 1	21
3.1 Σχέδια Δομικού στοιχείου 1	22
3.1.1 Αρχικός κορμός μετάλλου	22
3.1.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1	24
3.1.2.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου 1	25
3.1.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο 2	26
3.1.3.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου 2	27
3.1.4 Τελικό Δοκίμιο	28
3.1.4.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου	29
3.2 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 6061	30
3.2.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 6061	30
3.2.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 Al 6061	30
3.2.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο 2 Al 6061	31
3.2.4 Τελικό Δοκίμιο Al 6061	31
3.3 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων Al 6061	32
3.4 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 7075	33
3.4.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 7075	33

3.4.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 ΑΙ 7075	33
3.4.3	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΑΙ 7075	34
3.4.4	Τελικό Δοκίμιο ΑΙ 7075	34
3.5	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 7075	35
3.6	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Ti6Al4Vα	36
3.6.1	Αρχικός κορμός μετάλλου από Ti6Al4Vα	36
3.6.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 Ti6Al4Vα	36
3.6.3	Πρεσαριστό Δοκίμιο 2 Ti6Al4Vα	37
3.6.4	Τελικό Δοκίμιο Ti6Al4Vα	37
3.7	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων Ti6Al4Vα	38
Κεφάλαιο 4 Δομικό στοιχείο 2		39
4.1	Σχέδια Δομικού στοιχείου 2	40
4.1.1	Αρχικός κορμός μετάλλου	40
4.1.1.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Αρχικού κορμού μετάλλου	41
4.1.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο	42
4.1.2.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου	43
4.1.3	Τελικό Δοκίμιο	44
4.1.3.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου	45
4.2	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από ΑΙ 6061	46
4.2.1	Αρχικός κορμός μετάλλου από ΑΙ 6061	46
4.2.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΑΙ 6061	46
4.2.3	Τελικό Δοκίμιο ΑΙ 6061	46
4.3	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 6061	47
4.4	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από ΑΙ 7075	48
4.4.1	Αρχικός κορμός μετάλλου ΑΙ 7075	48
4.4.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΑΙ 7075	48
4.4.3	Τελικό Δοκίμιο ΑΙ 7075	48
4.5	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 7075	49
4.6	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Ti6Al4Vα	50
4.6.1	Αρχικός κορμός μετάλλου Ti6Al4Vα	50
4.6.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο Ti6Al4Vα	50
4.6.3	Τελικό Δοκίμιο Ti6Al4Vα	50
4.7	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων Ti6Al4Vα	51
Κεφάλαιο 5 Δομικό στοιχείο 3		52
5.1	Σχέδια Δομικού στοιχείου	53

5.1.1	Αρχικός κορμός μετάλλου.....	53
5.1.1.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Αρχικού κορμού μετάλλου	54
5.1.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο.....	55
5.1.2.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου	56
5.1.3	Τελικό Δοκίμιο.....	57
5.1.3.1	Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου	58
5.2	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από ΑΙ 6061	59
5.2.1	Αρχικός κορμός μετάλλου από ΑΙ 6061	59
5.2.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΑΙ 6061.....	59
5.2.3	Τελικό Δοκίμιο ΑΙ 6061.....	59
5.3	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 6061.....	60
5.4	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από ΑΙ 7075	61
5.4.1	Αρχικός κορμός μετάλλου ΑΙ 7075.....	61
5.4.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΑΙ 7075.....	61
5.4.3	Τελικό Δοκίμιο ΑΙ 7075.....	61
5.5	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 7075.....	62
5.6	Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από ΤΙ6ΑΙ4Vα.....	63
5.6.1	Αρχικός κορμός μετάλλου ΤΙ6ΑΙ4Vα	63
5.6.2	Πρεσαριστό Δοκίμιο ΤΙ6ΑΙ4Vα	63
5.6.3	Τελικό Δοκίμιο ΤΙ6ΑΙ4Vα	63
5.7	Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμίων ΤΙ6ΑΙ4Vα	64
	Βιβλιογραφία.....	65
	Παράρτημα 1.....	66
	Παράρτημα 2.....	75

Κεφάλαιο 1 Η Ιστορία της Σφυρηλάτησης

Η σφυρηλάτηση ως μορφή τέχνης ξεκίνησε με την επιθυμία να παραχθούν διακοσμητικά αντικείμενα από πολύτιμα μέταλλα. Σήμερα, η σφυρηλάτηση είναι ένας κύριος κλάδος της παγκόσμιας παραγωγής που έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη του ανθρώπου.

1.1 Πρώτα βήματα

Όπως και η πολιτισμική ιστορία της ανθρωπότητας, η ιστορία της σφυρηλάτησης πρωτοεμφανίζεται στην περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη που ονομαζόταν Μεσοποταμία. Τα πρώτα σημάδια επεξεργασίας μετάλλων χρονολογούνται περίπου στο 4500π.χ.



Εικόνα 1

Μεταλλικά εργαλεία προϊόντα σφυρηλάτησης από την περιοχή της Μεσοποταμίας

Κάτοικοι αυτής της εύφορης κοιλάδας ήταν οι Σουμέριοι, ένας λαός μείγμα πολλών εθνικών υποβάθρων. Οι Σουμέριοι ήταν οι θεμελιωτές της μεταλλουργίας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα.

1.2 Η Σφυρηλάτηση το Μεσαίωνα



Εικόνα 2

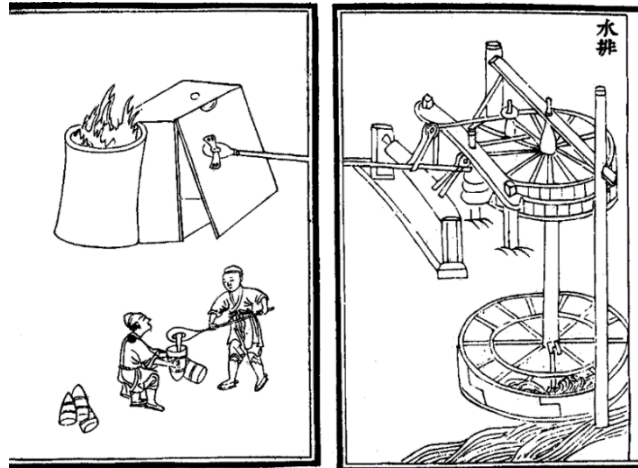
Σφυρηλάτηση σπαθιών το Μεσαίωνα

Η τέχνη της σφυρηλάτησης, η μορφοποίηση δηλαδή μετάλλου με τη χρήση θερμότητας και πίεσης, προόδευσε και τον Μεσαίωνα: τη στιγμή που βιομηχανική, επιστημονική και πολιτιστική πρόοδος σταμάτησε. Μέχρι τότε ακόμη κι η κατοχή μετάλλων θεωρούνταν σύμβολο πλούτου. Υπήρχαν ακόμα και θεοί αφιερωμένοι στην μεταλλουργία με κυριότερους τον Ήφαιστο των αρχαίων Ελλήνων και τον Vulcan των Ρωμαίων.

Κατά τον Μεσαίωνα η παραγωγή όπλων άνθησε. Ο ευρωπαϊκός πολιτισμός και βιομηχανία έμειναν αρκετά πίσω εξαιτίας των

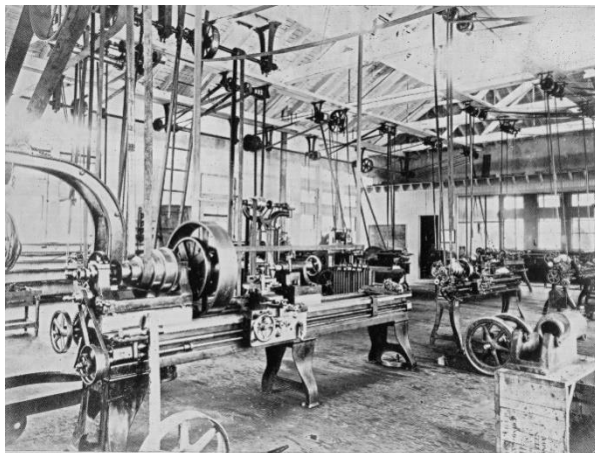
συνεχών πολέμων. Αντιθέτως η βιομηχανία μετάλλων όπως ο σίδηρος έμεινε ανεπηρέαστη λόγω της μεγάλης ανάγκης σε όπλα.

Μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις προήλθε από τον συνδυασμό της ρωμαϊκής ανακάλυψη της υδροδυναμικής και την σφυρηλάτηση μετάλλων. Υδροδυναμική χρησιμοποιείται για να λειτουργήσουν φυσερά και μηχανικές σφύρες. Αυτή η σημαντική ανακάλυψη ήρθε σε χρήση μεταξύ του 10ου και 12ου αιώνα μ.χ. μερικές υδροδυναμικές σφύρες εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούνται στον 20ο αιώνα.



Εικόνα 3 (από κινέζικο έργο του 1313 μ.χ.).
Μεταλλουργικό φυσερό που, τροφοδοτείται από μια οριζόντια φτερωτή νερού, την εποχή της δυναστείας του Yuan (1271-1368)

1.3 Η Σφυρηλάτηση τον 19ο αιώνα



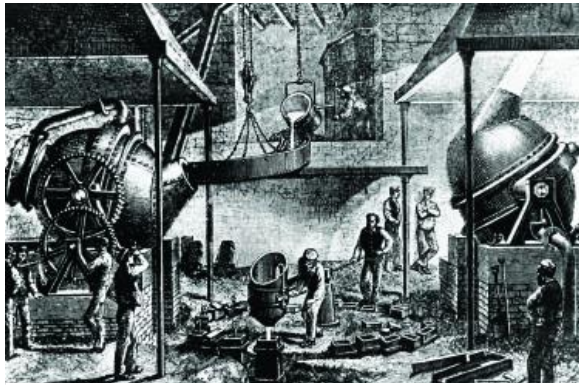
Εικόνα 4
Μηχανουργείο με ατμοκίνητες εργαλειομηχανές

Η εφεύρεση τον 19ο αιώνα της ατμομηχανής μας έφερε στο κατώφλι της σύγχρονης σφυρηλάτησης όπως την ξέρουμε. Φυσικά, για να γίνει αυτό χρειάστηκε πρώτα την έναρξη παραγωγής και χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματικά έβγαλε τη σφυρηλάτηση από τον Μεσαίωνα.

Οι σιδεράδες του 19^{ου} αιώνα ήταν ειδικευμένοι στη σφυρηλασία χειρός καθώς και στην πρακτική σφυρηλάτησης ανοικτής – μήτρας σε σφυρήλατο σίδηρο. Επειδή ο σφυρήλατος σίδηρος παραγόταν μόνο σε κομμάτια μέχρι 50kg οι σιδεράδες ειδικευτήκαν στη σφυρήλατη συγκόλληση και η παραγωγή σφυρήλατων αξόνων βάρους 10 τόνων γινόταν σταδιακά από μια διαδικασία σφυρηλάτησης και σφυρήλατης συγκόλλησης. Η εφεύρεση της διαδικασίας παραγωγής χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer το 1856 ήταν ένα σημαντικό επίτευγμα για την βιομηχανία σφυρηλάτησης σιδηρούχων. Οι σιδεράδες τώρα είχαν άφθονη

προσφορά χαμηλού κόστους χάλυβα για την παραγωγή μεγάλου όγκου σφυρηλάτων. Έχει γίνει αποδεκτό ότι οι πρώτη χρήση στην πρακτική σφυρηλάτησης κλειστής – μήτρας ξεκίνησε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1862 για την παραγωγή εξαρτημάτων για το περίστροφο Colt.

1.4 Η Εξέλιξη στην παραγωγή χάλυβα και πώς βοήθησε τη βιομηχανία διαμόρφωσης με σφυρηλάτηση



Εικόνα 5
Παραγωγή χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer

Η περαιτέρω εξέλιξη της διαδικασίας Bessemer με την εφεύρεση της βασικής τεχνικής παραγωγή χάλυβα σήμαινε ότι οι φθηνότερες προμήθειες σιδηρομεταλλεύματος που περιέχουν υψηλά επίπεδα φωσφόρου και θείου θα μπορούσε να τηχθεί για την παραγωγή καλής ποιότητας χάλυβα.

Η ταυτόχρονη ανάπτυξη της διαδικασίας παραγωγής χάλυβα ανοικτής εστία προς το τέλος του 19ου αιώνα σήμαινε ότι η βιομηχανία σφυρηλάτησης είχε πλέον μια αξιόπιστη, χαμηλού κόστους, μεγάλου όγκου πρώτων υλών.

1.5 Εφεύρεση της πρέσας σφυρηλάτησης

Με την εισαγωγή των μηχανοκίνητων οχημάτων και ιδίως του Model T του Henry Ford έφερε σημαντική ζήτηση για σφυρήλατα τα πρώτα χρόνια του 20ου αιώνα. Μέχρι το 1930, όταν η National Machinery Company των ΗΠΑ παρουσίασε την πρώτη πρέσα σφυρηλάτησης (Maxi-press), όλα τα σφυρήλατα παράγονταν σε σφυριά. Το πλεονέκτημα της



Εικόνα 6
Σφυρηλάτηση μιας ράβδου έλξης από την ατμοκίνητη πρέσα στο σιδηρουργείο του Santa Fe Railroad shops, Albuquerque, NM, 1943.

πρέσας σφυρηλάτησης ήταν μεγάλο με υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής και σε

μικρότερο βαθμό επιδεξιότητα του εργάτη στην παραγωγή σφυρήλατων, σε σύγκριση με σφυρηλάτηση με σφυρί.

1.6 Σύγχρονη σφυρηλάτηση από μηχανές ελεγχόμενες από Η/Υ

Σήμερα έχουμε σφυριά που ελέγχονται από υπολογιστή και πρέσες σε θέση να παράγουν ένα ευρύ φάσμα των εξαρτημάτων σε μια ποικιλία υλικών για πολλές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων και των αεροδιαστημικών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, των ορυχείων και της γεωργίας, για να αναφέρουμε μερικές.

(Πηγή: ALL METALS & FORGE GROUP. ALL METALS & FORGE GROUP. Ανάκτηση (06/01/2016) από:
<http://www.steelforge.com/literature/history-of-forgings/>)

Κεφάλαιο 2 Σφυρηλάτηση (forging)

Σφυρηλάτηση είναι η κατεργασία διαμόρφωσης στην οποία η πρώτη ύλη συμπιέζεται μεταξύ δύο μητρών, χρησιμοποιώντας είτε κρούση είτε σταδιακή πίεση για να σχηματιστεί το αντικείμενο. Σήμερα, η σφυρηλάτηση είναι μία σημαντική βιομηχανική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί μία σειρά αντικειμένων υψηλής αντοχής για αυτοκίνητα, την αεροδιαστημική και άλλες εφαρμογές. Με την μέθοδο κατασκευάζονται π.χ. στροφαλοφόροι άξονες κινητήρων και διωστήρες, οδοντωτοί τροχοί, κατασκευαστικά μέρη αεροσκαφών, και εξαρτήματα για τουρμπίνες μηχανών τζετ. Εξάλλου, οι βιομηχανίες χάλυβα και άλλες βιομηχανίες βασικών μετάλλων χρησιμοποιούν την σφυρηλάτηση για να δημιουργήσουν τις βασικές μορφές σε μεγάλα αντικείμενα που στη συνέχεια κατεργάζονται μηχανικά ως προς το τελικό σχήμα και τις διαστάσεις τους.

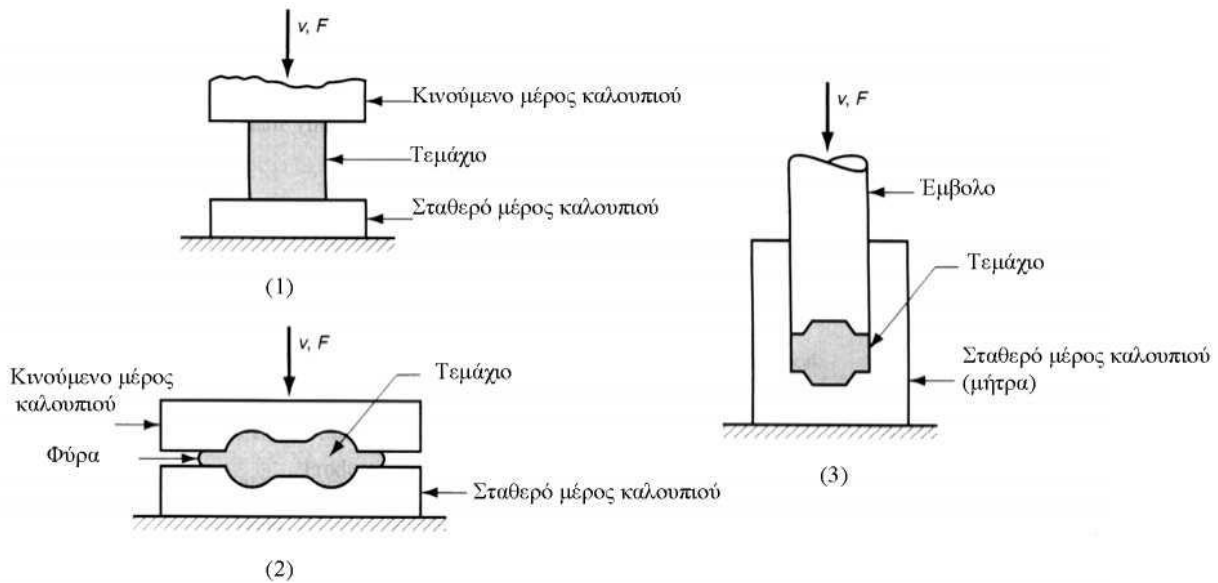
Η σφυρηλάτηση γίνεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι να ταξινομηθεί η σφυρηλάτηση με βάση τη θερμοκρασία που γίνεται. Οι περισσότερες κατεργασίες σφυρηλάτησης γίνονται με υψηλή θερμοκρασία, λόγω της σημαντικής παραμόρφωσης που απαιτείται από την μέθοδο και της ανάγκης να μειωθεί η αντοχή και να αυξηθεί η ελατότητα του μετάλλου. Ωστόσο, η σφυρηλάτηση εν ψυχρώ είναι επίσης πολύ συνηθισμένη για συγκεκριμένα προϊόντα. Το πλεονέκτημα της σφυρηλάτησης εν ψυχρώ είναι η αυξημένη αντοχή που είναι το αποτέλεσμα της σκλήρυνσης από την διαμόρφωση του κομματιού. Στη σφυρηλάτηση χρησιμοποιείται είτε κρούση είτε σταδιακή πίεση. Η διαφορά προέρχεται περισσότερο από τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται παρά σε διαφορές στην τεχνολογία της μεθόδου. Σφύρα σφυρηλάτησης καλείται η μηχανή σφυρηλάτησης που εφαρμόζει ένα φορτίο κρούσης, ενώ πρέσα καλείται η μηχανή που εφαρμόζει σταδιακή πίεση.

Μία άλλη διαφορά ανάμεσα στις λειτουργίες σφυρηλάτησης είναι το πως περιορίζεται η ροή του μετάλλου από τις μήτρες. Με βάση αυτή την ταξινόμηση, υπάρχουν τρεις τύποι σφυρηλάτησης:

- σφυρηλάτηση ανοικτής-μήτρας
- σφυρηλάτηση μήτρας-αποτύπωσης
- σφυρηλάτηση χωρίς εκτόνωση (φύρα)

Οι τρεις τύποι σφυρηλάτησης φαίνονται στην Εικόνα 7

Στη σφυρηλάτηση ανοικτής-μήτρας, το κομμάτι συμπιέζεται μεταξύ δύο



Εικόνα 7

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται τρεις τύποι σφυρηλάτησης:

1. Σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας.
2. Σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης.
3. Σφυρηλάτηση χωρίς εκτόνωση (φύρα).

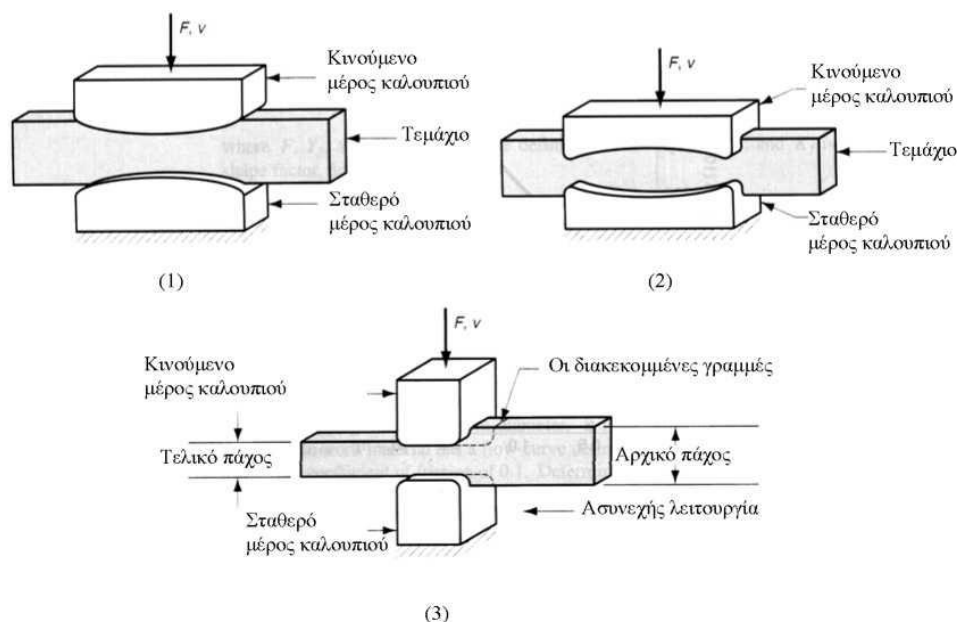
επίπεδων (ή σχεδόν επίπεδων) μητρών, επιτρέποντας έτσι στο μέταλλο να ρέει χωρίς περιορισμό σε μία πλευρική διεύθυνση σε σχέση με τις επιφάνειες της μήτρας. Στη σφυρηλάτηση μήτρας-αποτύπωσης, οι επιφάνειες της μήτρας έχουν ένα σχήμα ή μία αποτύπωση που μεταδίδεται στο υλικό κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, περιορίζοντας έτσι την ροή μετάλλου σε ένα σημαντικό βαθμό. Σε αυτό τον τρόπο κατεργασίας, ένα τμήμα του μετάλλου ρέει πέρα από την αποτύπωση της μήτρας και σχηματίζει προεξοχή, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η προεξοχή είναι επιπλέον μέταλλο (φύρα) που πρέπει να αποκοπεί στη συνέχεια. Στη σφυρηλάτηση χωρίς εκτόνωση, η πρώτη ύλη περιορίζεται εντελώς μέσα στη μήτρα και δεν δημιουργείται προεξοχή. Ο όγκος της αρχικής πρώτης ύλης πρέπει να ελέγχεται πολύ καλά έτσι ώστε να ταιριάζει στον όγκο της κοιλότητας της μήτρας. Αν ο όγκος της πρώτης ύλης είναι πολύ μικρός, δεν θα γεμίσει την κοιλότητα της μήτρας, ενώ αν ο όγκος είναι πολύ μεγάλος, μπορεί να καταστρέψει τη μήτρα ή το έμβολο πίεσης.

2.1 Πρακτική Σφυρηλάτησης Ανοικτής-Μήτρας (Open-die Forging Practice)

Η σφυρηλάτηση εν θερμώ ανοικτής-μήτρας είναι μία σημαντική βιομηχανική μέθοδος. Απλές εφαρμογές που προέρχονται από κατεργασίες ανοικτής-μήτρας είναι π.χ.

άξονες, δίσκοι και δακτυλίδια. Σε μερικές εφαρμογές, οι μήτρες έχουν ελαφρώς περιγραμματικές επιφάνειες που βοηθούν να αποκτήσει σχήμα η πρώτη ύλη. Επιπλέον, η εργασία πρέπει συχνά να ελέγχεται (π.χ. να περιστρέφεται) για να αποκτήσει η επιθυμητή αλλαγή του σχήματος. Η ικανότητα του χειριστή είναι ένας παράγοντας στην επιτυχία αυτών των λειτουργιών. Ένα παράδειγμα σφυρηλάτησης ανοικτής-μήτρας στην βιομηχανία χάλυβα είναι η μορφοποίηση μεγάλων, τετράγωνων χελωνών σε στρογγυλή διατομή. Οι κατεργασίες σφυρηλάτησης ανοικτής-μήτρας δίνουν ακατέργαστες μορφές και απαιτούνται στη συνέχεια εργασίες για να αποκτήσουν τα αντικείμενα την τελική γεωμετρία και διαστάσεις. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα στη σφυρηλάτηση εν θερμώ ανοικτής-μήτρας είναι ότι δημιουργεί μία ευνοϊκή ροή κόκκου και μεταλλουργική δομή στο μέταλλο.

Οι διαμορφώσεις που ταξινομούνται σαν σφυρηλάτηση ανοικτής-μήτρας ή οι σχετικές κατεργασίες είναι: η καμπύλωση, η κύρτωση και η οδόντωση (δημιουργία βαθμίδων), όπως φαίνονται στην Εικόνα 8. Καμπύλωση είναι μία λειτουργία σφυρηλάτησης που γίνεται για να μειωθεί η διατομή και να αναδιανεμηθεί το μέταλλο σε ένα αντικείμενο για την προετοιμασία για επόμενη σφυρηλάτηση απόκτησης σχήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με μήτρες με κυρτές επιφάνειες. Οι καμπυλότητες σε μήτρες κύρτωσης συχνά σχεδιάζονται μέσα σε μήτρες αποτύπωσης πολλών κοιλοτήτων, έτσι ώστε η αρχική ράβδος να μπορεί να γίνεται κατά προσέγγιση, πριν αποκτήσει το τελικό της



Εικόνα 8

Εφαρμογές της σφυρηλάτησης με ανοικτή μήτρα:

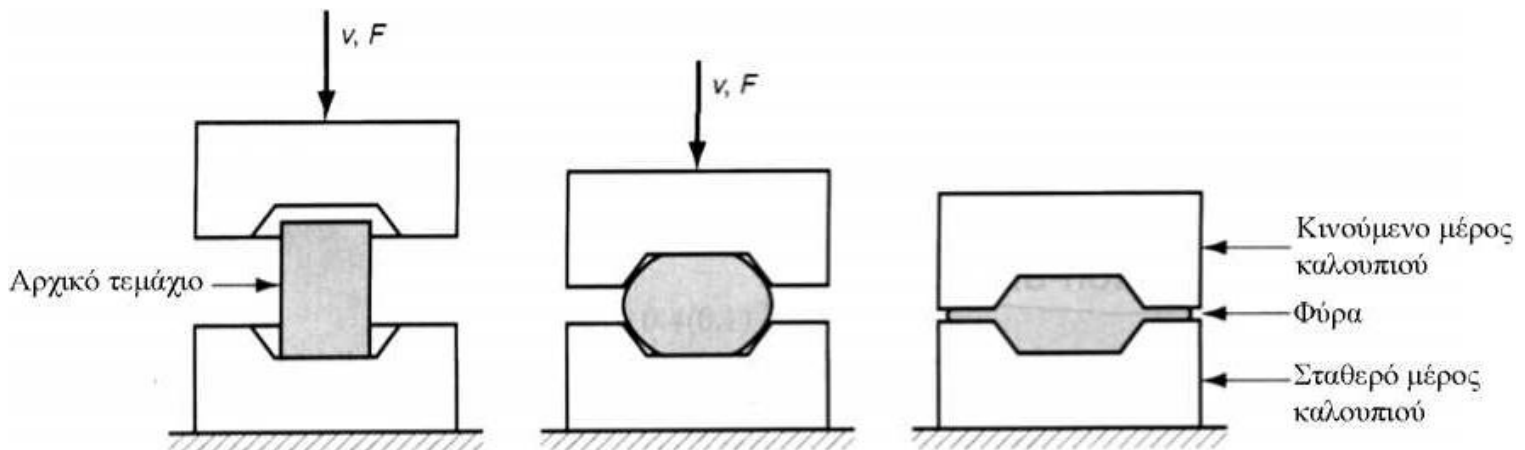
1. Καμπύλωση
2. Κύρτωση
3. Οδόντωση (δημιουργία διαβαθμίσεων)

σχήμα. Η κύρτωση είναι παρόμοια με την καμπύλωση, εκτός από το ότι οι μήτρες έχουν κοίλες επιφάνειες.

Μία κατεργασία οδόντωσης (δημιουργία διαβαθμίσεων) αποτελείται από μία σειρά συμπίεσεων σφυρηλάτησης κατά μήκος του αντικειμένου για να μειωθεί η διατομή και να αυξηθεί το μήκος. Στην βιομηχανία χάλυβα χρησιμοποιείται συχνά για την παραγωγή χελωνών συμπαγών δοκών και πλακών. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ανοικτές μήτρες με επίπεδες ή με μικρή πατούρα επιφάνειες. Για την μέθοδο αυτή μερικές φορές χρησιμοποιείται ο όρος *αυξητική σφυρηλάτηση*.

2.2 Σφυρηλάτηση με Μήτρα-Αποτύπωσης (Impression-die Forging)

Η σφυρηλάτηση με μήτρα-αποτύπωσης, που μερικές φορές ονομάζεται *σφυρηλάτηση κλειστής-μήτρας*, διεξάγεται σε μήτρες που περιέχουν το αντίστροφο του επιθυμητού σχήματος του αντικειμένου. Η σειρά των τριών βημάτων της μεθόδου φαίνεται στο Εικόνα 9. Το προς κατεργασία υλικό φαίνεται σαν ένα κυλινδρικό αντικείμενο παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στην προηγούμενη κατεργασία ανοικτής-μήτρας. Καθώς η μήτρα κλείνει στην τελική της θέση, σχηματίζεται μια προεξοχή από το μέταλλο που ρέει πέρα από την κοιλότητα της μήτρας και μέσα σε ένα μικρό κενό μεταξύ των πλακών της μήτρας. Αν και αυτή η προεξοχή πρέπει να αποκοπεί από το αντικείμενο σε επόμενη κατεργασία αποκοπής,



Εικόνα 9

Διαδοχικές φάσεις του κομματιού με μήτρα αποτύπωσης

παρ' όλα αυτά εξυπηρετεί πραγματικά σαν ένας σημαντικός παράγοντας στη σφυρηλάτηση μήτρας-αποτύπωσης. Καθώς η προεξοχή ξεκινά να σχηματίζεται στο κενό της μήτρας, η τριβή αντιστέκεται στη συνεχιζόμενη ροή του μετάλλου μέσα στο κενό, αναγκάζοντας έτσι το υλικό να παραμείνει μέσα στην κοιλότητα της μήτρας. Στη σφυρηλάτηση εν θερμώ, η ροή μετάλλου περιορίζεται ακόμα περισσότερο επειδή η προεξοχή ψύχεται γρήγορα στις πλάκες της μήτρας, αυξάνοντας έτσι τη αντίστασή του στην παραμόρφωση. Ο περιορισμός της ροής του μετάλλου στο κενό συνεπάγεται ότι οι θλιπτικές πιέσεις στο αντικείμενο θα αυξηθούν σημαντικά, με αποτέλεσμα το μέταλλο να γεμίζει καλύτερα πιθανές περίπλοκες λεπτομέρειες της κοιλότητας της μήτρας και να εξασφαλίζει ένα υψηλής ποιότητας προϊόν.

Συχνά απαιτούνται αρκετά βήματα στη σφυρηλάτηση σε μήτρα αποτύπωσης για να μετατραπεί η πρώτη ύλη στην επιθυμητή τελική γεωμετρία. Για κάθε βήμα στη μήτρα χρειάζονται ξεχωριστές κοιλότητες. Τα πρώτα βήματα σχεδιάζονται για να αναδιανείμουν το μέταλλο στο αντικείμενο, έτσι ώστε να επιτευχθεί μία ομοιόμορφη παραμόρφωση και επιθυμητή μεταλλουργική δομή στα επόμενα βήματα. Τα τελικά βήματα προσδίδουν στο αντικείμενο την τελική του γεωμετρία. Εξ άλλου, όταν χρησιμοποιείται μηχανική σφυρηλάτηση, για κάθε βήμα μπορεί να απαιτηθούν αρκετά χτυπήματα της σφύρας. Όταν η σφυρηλάτηση σε μήτρα αποτύπωσης γίνεται με το χέρι, όπως γίνεται συχνά, απαιτείται μεγάλη ικανότητα από τον χειριστή, κάτω από δύσκολες συνθήκες, για να επιτευχθούν τα σωστά αποτελέσματα.

Λόγω του σχηματισμού της προεξοχής στη σφυρηλάτηση σε μήτρα αποτύπωσης αλλά και των πιο περίπλοκων σχημάτων του αντικειμένου που γίνονται με αυτές τις μήτρες, οι δυνάμεις σε αυτή τη μέθοδο είναι σημαντικά μεγαλύτερες και είναι πιο δύσκολο να αναλυθούν από ό,τι στη σφυρηλάτηση ανοικτής-μήτρας. Για να υπολογιστούν οι δυνάμεις στη σφυρηλάτηση σε μήτρα αποτύπωσης, χρησιμοποιούνται συχνά απλοί σχετικά τύποι και συντελεστές σχεδιασμού. Ο τύπος της δύναμης είναι ίδιος με αυτόν για την σφυρηλάτηση σε ανοικτή μήτρα, αλλά με μικροδιαφορές:

$$F = K_f Y_f A \text{ (1)}$$

Όπου:

F = η μέγιστη δύναμη κατεργασίας σε (N) (lb)

A = επιφάνεια της προεξοχής του αντικειμένου σε (mm²) (in²)

Y_f = πίεση ροής στο υλικό σε (MPa) (lb/in²)

K_f = συντελεστής σχήματος σφυρηλάτησης

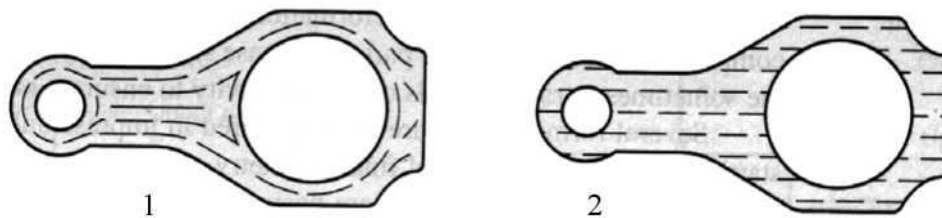
Στη σφυρηλάτηση εν θερμώ, η κατάλληλη τιμή του Y_f είναι η προκύπτουσα αντοχή του μετάλλου στην αυξημένη θερμοκρασία. Σε άλλες περιπτώσεις, η επιλογή της κατάλληλης τιμής για την πίεση ροής είναι δύσκολη επειδή η καταπόνηση δεν είναι ίδια παντού στο αντικείμενο για περίπλοκα σχήματα. Το K στην Εξ. ① είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του τις αυξήσεις στη δύναμη που απαιτείται όταν σφυρηλατηθούν αντικείμενα με διάφορα περίπλοκα σχήματα. Ο Πίνακας 1 δίνει τις τιμές του K για διαφορετική γεωμετρία αντικειμένου. Προφανώς, το πρόβλημα του καθορισμού της κατάλληλης τιμής του K για ένα δεδομένο αντικείμενο περιορίζει την ακρίβεια της εκτίμησης (υπολογισμού) της δύναμης.

Η εξίσωση ① εφαρμόζεται στη μέγιστη δύναμη κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, επειδή αυτό είναι το φορτίο που θα καθορίσει την απαιτούμενη απόδοση του μηχανισμού ή της σφύρας που χρησιμοποιείται στην κατεργασία. Η μέγιστη δύναμη είναι στο τέλος της διαδρομής σφυρηλάτησης όταν το προεξέχον τμήμα είναι μεγαλύτερο και η τριβή μέγιστη.

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή K για διάφορα σχήματα τα τεμαχίων για σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης και με μήτρα για σφυρηλάτηση χωρίς φύρα

Σχήμα τεμαχίου	K_f
Με μήτρα αποτύπωσης	
• Απλά σχήματα με φύρα	6.0
• Πολύπλοκα σχήματα με φύρα	8.0
• Πολύ πολύπλοκα σχήματα με φύρα	10.0
Με μήτρα αποτύπωσης για κατεργασία χωρίς φύρα	
• Νομισματοκοπή (πάνω και κάτω επιφάνεια)	6.0
• Πολύπλοκα σχήματα	8.0

Η σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης δεν είναι κατάλληλη για εργασία με μικρές ανοχές και απαιτείται συχνά μηχανική κατεργασία για να επιτευχθούν οι ακρίβειες που χρειάζονται. Η βασική γεωμετρία του αντικειμένου επιτυγχάνεται με την μέθοδο σφυρηλάτησης, ενώ στα τμήματα του αντικειμένου που απαιτούν ακρίβεια γίνεται με μηχανική κατεργασία (π.χ. τρύπες, σπειρώματα και επιφάνειες που να ταιριάζουν σε άλλα τμήματα). Τα πλεονεκτήματα της σφυρηλάτησης, σε σύγκριση με την εξ ολοκλήρου μηχανική κατεργασία στο αντικείμενο, είναι οι υψηλότεροι ρυθμοί παραγωγής, η διατήρηση μετάλλου, η μεγαλύτερη αντοχή και ο ευνοϊκός προσανατολισμός του κόκκου του μετάλλου που είναι το αποτέλεσμα της σφυρηλάτησης. Μία σύγκριση της ροής του κόκκου στη σφυρηλάτηση και στη μηχανική κατεργασία φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η ροή των κόκκων στην:

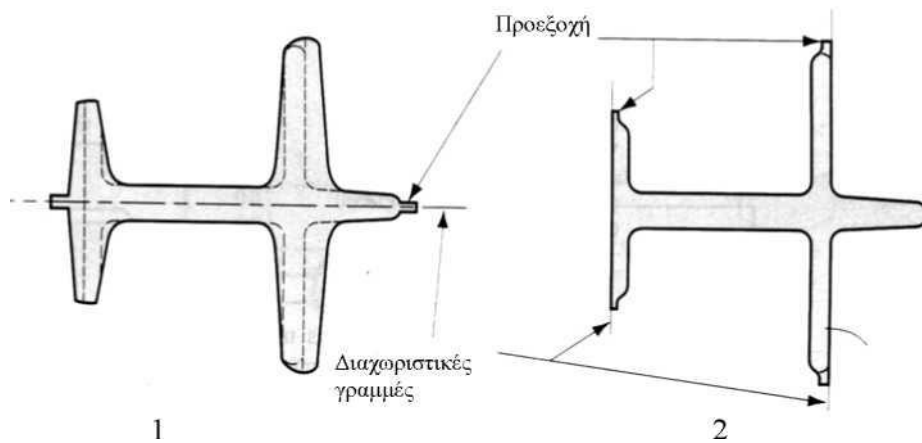
1. σφυρηλάτηση εν θερμό
2. κατασκευή με μηχανική κατεργασία

Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία της σφυρηλάτησης σε μήτρα αποτύπωσης είχε σαν αποτέλεσμα την δυνατότητα παραγωγής σφυρηλάτων αντικειμένων με λεπτότερες διατομές, πιο περίπλοκη γεωμετρία, δραστικές μειώσεις στις σχεδιαστικές απαιτήσεις της μήτρας, μικρότερες ανοχές, καθώς και την ουσιαστική εξάλειψη των επιτρεπόμενων ορίων της μηχανικής κατεργασίας. Οι μέθοδοι σφυρηλάτησης με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι γνωστές σαν *σφυρηλάτηση ακριβείας*. Τα συνηθισμένα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για τη σφυρηλάτηση ακριβείας είναι το αλουμίνιο και το τιτάνιο.

Μία σύγκριση της σφυρηλάτησης ακριβείας και της σφυρηλάτησης με μήτρα αποτύπωσης φαίνεται στο Εικόνα 11. Παρατηρούμε ότι η σφυρηλάτηση ακριβείας σε αυτό το παράδειγμα δεν εξαλείφει την προεξοχή του υλικού, αν και το μειώνει. Κάποιες κατεργασίες σφυρηλάτησης ακριβείας επιτυγχάνονται χωρίς την δημιουργία προεξοχής. Ανάλογα αν απαιτείται ή όχι μηχανική κατεργασία για την τελική

γεωμετρία του αντικειμένου, οι σφυρηλατήσεις ακριβείας ταξινομούνται σαν μέθοδοι:

- σχεδόν τελικού σχήματος και
- τελικού σχήματος



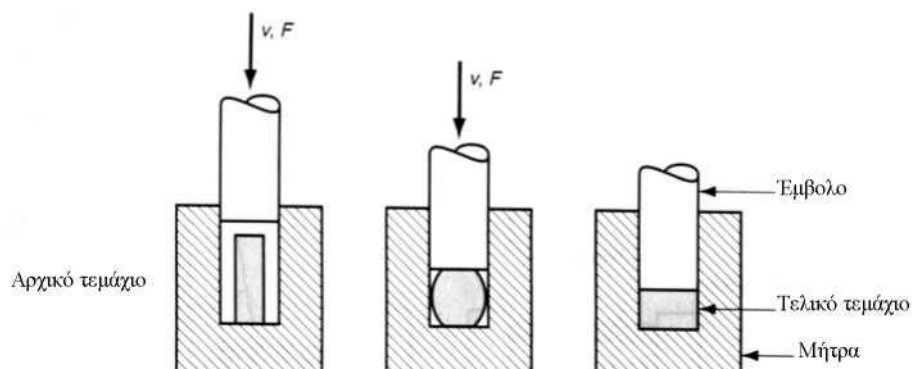
Εικόνα 11

Σφυρηλάτηση με:

1. μήτρα αποτύπωσης
2. μήτρα ακριβείας

2.3 Σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή (φύρα) (Forging Hammers)

Η σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης μερικές φορές ονομάζεται σφυρηλάτηση κλειστής-μήτρας στην βιομηχανική ορολογία. Ωστόσο, υπάρχει μία τεχνική διάκριση μεταξύ της σφυρηλάτησης με μήτρα αποτύπωσης και την πραγματική σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας. Η διάκριση είναι ότι στη σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας η πρώτη ύλη περιέχεται εντελώς μέσα στην κοιλότητα της μήτρας κατά τη διάρκεια της συμπίεσης και δεν σχηματίζεται καθόλου φύρα. Η μέθοδος απεικονίζεται στην Εικόνα 12. Ο όρος σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή είναι κατάλληλος για να περιγράψει αυτή τη μέθοδο.



Εικόνα 12

Βήματα σφυρηλάτησης χωρίς φύρα

Σύμβολα:

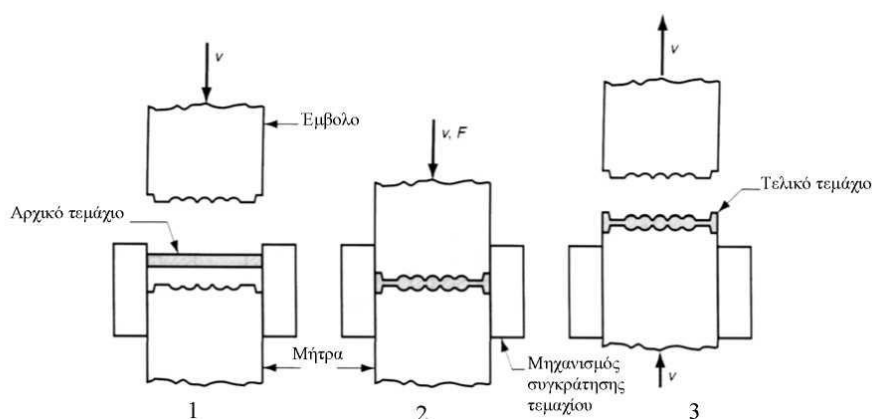
v : ταχύτητα

F : απαιτούμενη δύναμη

Η σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή (φύρα) απαιτεί ο έλεγχος της μεθόδου να είναι περισσότερο σχολαστικός από ό,τι στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης. Το πιο σημαντικό είναι ότι ο όγκος εργασίας πρέπει να είναι ίσος με το χώρο στην κοιλότητα της μήτρας μέσα σε πολύ μικρές ανοχές. Αν το αρχικό υλικό προς σφυρηλάτηση είναι πολύ μεγάλο, τότε οι πολύ μεγάλες πιέσεις μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην μήτρα ή στην πρέσα. Αν το υλικό είναι πολύ μικρό, η κοιλότητα δεν θα γεμίσει. Λόγω των ειδικών απαιτήσεων από την σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή, η μέθοδος είναι καλύτερη για γεωμετρία αντικειμένων που είναι συνήθως απλή και συμμετρική και με υλικά όπως το αλουμίνιο και το μαγνήσιο και τα κράματά τους. Η σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή χαρακτηρίζεται συχνά σαν μία μέθοδος σφυρηλάτησης ακριβείας.

Οι δυνάμεις στη σφυρηλάτηση χωρίς προεξοχή φτάνουν σε τιμές συγκρίσιμες με αυτές στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης. Οι υπολογισμοί αυτών των δυνάμεων μπορούν να γίνουν με τις ίδιες μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης [Εξ. ① και Πίνακας 1].

Η νομισματοκοπή είναι μία ειδική εφαρμογή σφυρηλάτησης χωρίς προεξοχή στην οποία διάφορες λεπτομέρειες στη μήτρα αποτυπώνονται στην κορυφή και στο κάτω μέρος του αντικειμένου. Η ροή του μετάλλου σε αυτή τη μέθοδο είναι μικρή, παρ' όλα αυτά οι πιέσεις που απαιτούνται για να αναπαραχθούν οι επιφανειακές λεπτομέρειες στην κοιλότητα της μήτρας είναι μεγάλες, όπως φαίνεται από την τιμή



Εικόνα 13

Διαδικασία νομισματοκοπής

του Κ στον Πίνακα 1. Μία συνηθισμένη εφαρμογή της νομισματοκοπής, φαίνεται στην Εικόνα 13. Η μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης για να δώσει καλό τελείωμα επιφάνειας και ακρίβεια στις διαστάσεις σε διάφορα αντικείμενα που κατασκευάζονται από άλλες κατεργασίες.

2.4 Σφύρες, Πρέσες και Μήτρες (Hammers, Presses and Forging Dies)

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη σφυρηλάτηση αποτελείται από μηχανήματα σφυρηλάτησης, που ταξινομούνται σαν:

- σφύρες
- πρέσες και
- μήτρες σφυρηλάτησης, που είναι ειδικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα μηχανήματα.

Επιπλέον, απαιτείται βοηθητικός εξοπλισμός, όπως είναι κλίβανοι για θέρμανση, μηχανικές συσκευές φόρτωσης και εκφόρτωσης των υλικών, καθώς και αποκοπής της προεξοχής στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης.

2.4.1 Σφύρες Σφυρηλάτησης (Forging Hammers)



Εικόνα 14

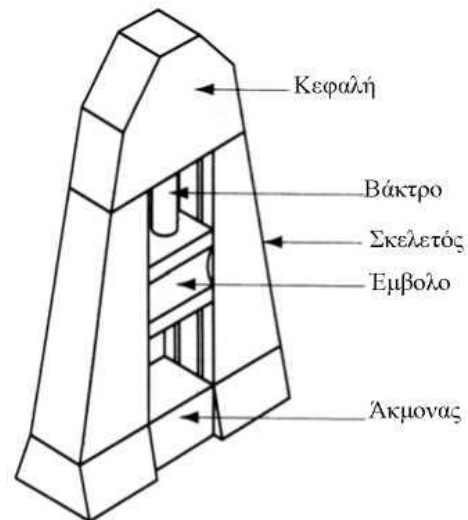
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται μία μηχανή σφυρηλάτησης ελεύθερης πτώσης

σφυρηλάτησης εφαρμόζεται στο έμβολο και το κάτω μέρος στον άκμονα. Κατά την λειτουργία, η πρώτη ύλη τοποθετείται στην κάτω μήτρα και το έμβολο σηκώνεται και μετά πέφτει. Όταν η πάνω μήτρα χτυπάει το υλικό, η ενέργεια κρούσης πιέζει το αντικείμενο να λάβει τη μορφή της κοιλότητας της μήτρας. Για να έχουμε την επιθυμητή αλλαγή στο σχήμα απαιτούνται συχνά αρκετά χτυπήματα του σφυριού.

Τα μηχανικά σφυριά μπορούν να ταξινομηθούν σαν:

- σφυριά βαρύτητας και
- σφυριά ισχύος

Τα μηχανικά σφυριά βαρύτητας επιτυγχάνουν την ενέργειά τους με το βάρος που πέφτει από ένα βαρύ έμβολο. Η δύναμη του κτυπήματος καθορίζεται από το ύψος της πτώσης και το βάρος του εμβόλου. Τα μηχανικά σφυριά ισχύος (δύναμης) επιταχύνουν το έμβολο με πεπιεσμένο αέρα ή ατμό. Ένα μειονέκτημα των μηχανικών σφυριών είναι ότι ένας μεγάλος βαθμός της ενέργειας κρούσης μεταφέρεται διαμέσου του άκμονα και στο δάπεδο του κτιρίου.



Εικόνα 15
Κύρια μέρη μίας μηχανής σφυρηλάτησης ελεύθερης πτώσης.

2.4.2 Πρέσες Σφυρηλάτησης (Forging Presses)

Οι πρέσες σφυρηλάτησης εφαρμόζουν σταδιακή πίεση, παρά απότομη κρούση, για να επιτύχουν την σφυρηλάτηση. Οι κατηγορίες πρεσών σφυρηλάτησης είναι:

- μηχανικές πρέσες,
- υδραυλικές πρέσες και
- ελικοειδείς (κοχλιωτές) πρέσες

Οι μηχανικές πρέσες λειτουργούν μέσω έκκεντρων, στροφάλων, ή αρθρωτών συνδέσεων, που μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση ενός κινητήρα στη κατακόρυφη κίνηση ενός εμβόλου. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι παρόμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται στις θλιπτικές πρέσες.

Οι μηχανικές πρέσες συνήθως επιτυγχάνουν πολύ μεγάλες δυνάμεις στο τέλος της διαδρομής σφυρηλάτησης. Οι υδραυλικές πρέσες χρησιμοποιούν ένα υδραυλικά ελεγχόμενο κύλινδρο για να ενεργοποιηθεί το έμβολο. Οι κοχλιωτές πρέσες εφαρμόζουν δύναμη από ένα κοχλιωτό μηχανισμό που κινεί το κάθετο έμβολο. Τόσο η κοχλιωτή κίνηση όσο και η υδραυλική κίνηση λειτουργούν με σχετικά χαμηλές ταχύτητες εμβόλου και μπορούν να δώσουν μία σταθερή δύναμη σε όλη τη κίνηση. Αυτά τα μηχανήματα είναι κατά συνέπεια κατάλληλα για κατεργασίες σφυρηλάτησης (και άλλες αντίστοιχες κατεργασίες) που απαιτούν μεγάλη διαδρομή.

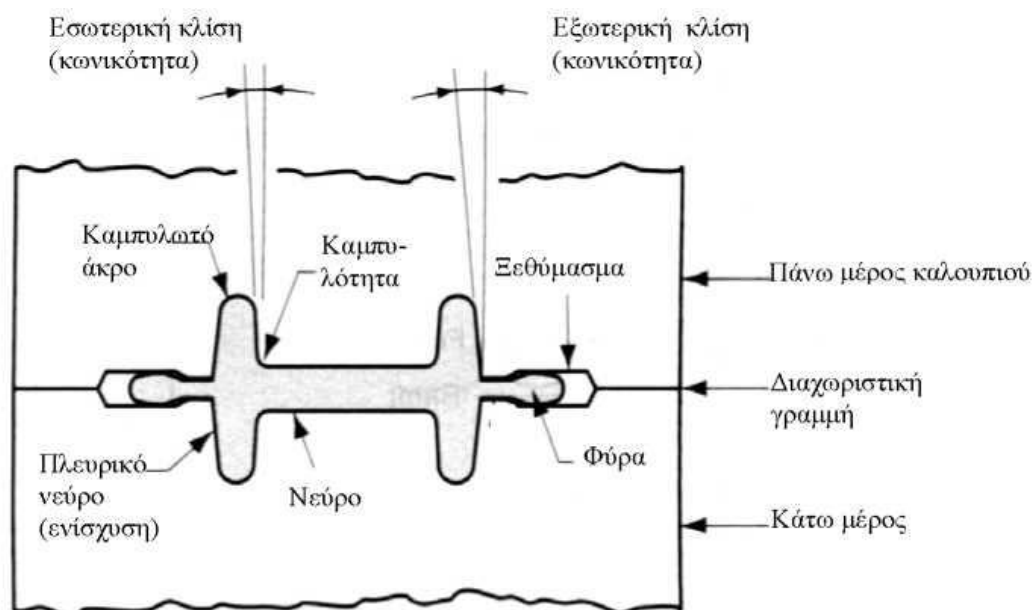
2.4.3 Μήτρες Σφυρηλάτησης (Forging Dies)

Ο σωστός σχεδιασμός της μήτρας είναι σημαντικός για την επιτυχία της κατεργασίας σφυρηλάτησης. Αντικείμενα που θα σφυρηλατηθούν θα πρέπει να σχεδιάζονται με βάση την γνώση στις αρχές και στους περιορισμούς αυτής της μεθόδου. Ο σκοπός μας εδώ είναι να περιγράψουμε κάποια από την ορολογία και κάποιες κατευθυντήριες οδηγίες που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό των σφυρηλατήσεων και στις μήτρες σφυρηλάτησης. Ο σχεδιασμός των ανοικτών μητρών είναι γενικά εύκολος όταν οι μήτρες είναι σχετικά απλές σε σχήμα. Τα σχόλιά μας ισχύουν για μήτρες αποτύπωσης και κλειστές μήτρες. Η Εικόνα 16 μας δίνει κάποια από την ορολογία σε μία μήτρα αποτύπωσης.

Κάποιες αρχές και περιορισμοί στο σχεδιασμό της μήτρας, που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό του αντικειμένου ή στην επιλογή της σφυρηλάτησης σαν την μέθοδο κατασκευής του αντικειμένου, φαίνονται στην ακόλουθη ορολογία της μήτρας σφυρηλάτησης:

- **Διαχωριστική γραμμή.** Η διαχωριστική γραμμή είναι το επίπεδο που διαχωρίζει την πάνω μήτρα από την κάτω μήτρα. Γραμμή προεξοχής στη σφυρηλάτηση με μήτρες αποτύπωσης, είναι το επίπεδο όπου συναντιούνται τα δύο μισά της μήτρας. Η επιλογή της από το σχεδιαστή επηρεάζει τη ροή κόκκου στο αντικείμενο, το απαιτούμενο φορτίο και τον σχηματισμό προεξοχής.
- **Κωνικότητα.** Κωνικότητα είναι το ποσοστό μείωσης στις πλευρές του αντικειμένου που απαιτείται για να μετακινηθεί αυτό από τη μήτρα. Ο όρος αυτός εφαρμόζεται επίσης στην μείωση στις πλευρές της κοιλότητας της μήτρας. Οι τυπικές γωνίες είναι (3°) σε αντικείμενα αλουμινίου και μαγνησίου και (5÷7)° σε αντικείμενα από χάλυβα. Οι γωνίες σε σφυρηλατήσεις ακριβείας είναι κοντά στο μηδέν.
- **Νευρώσεις και πλευρικές ενισχύσεις.** Μία νευρώση είναι ένα λεπτό τμήμα της σφυρηλάτησης που είναι παράλληλο προς τη διαχωριστική γραμμή, ενώ η πλευρική ενίσχυση είναι ένα λεπτό τμήμα που είναι κάθετο προς την διαχωριστική γραμμή. Αυτά τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου δυσκολεύουν τη ροή του μετάλλου καθώς γίνονται λεπτότερα.

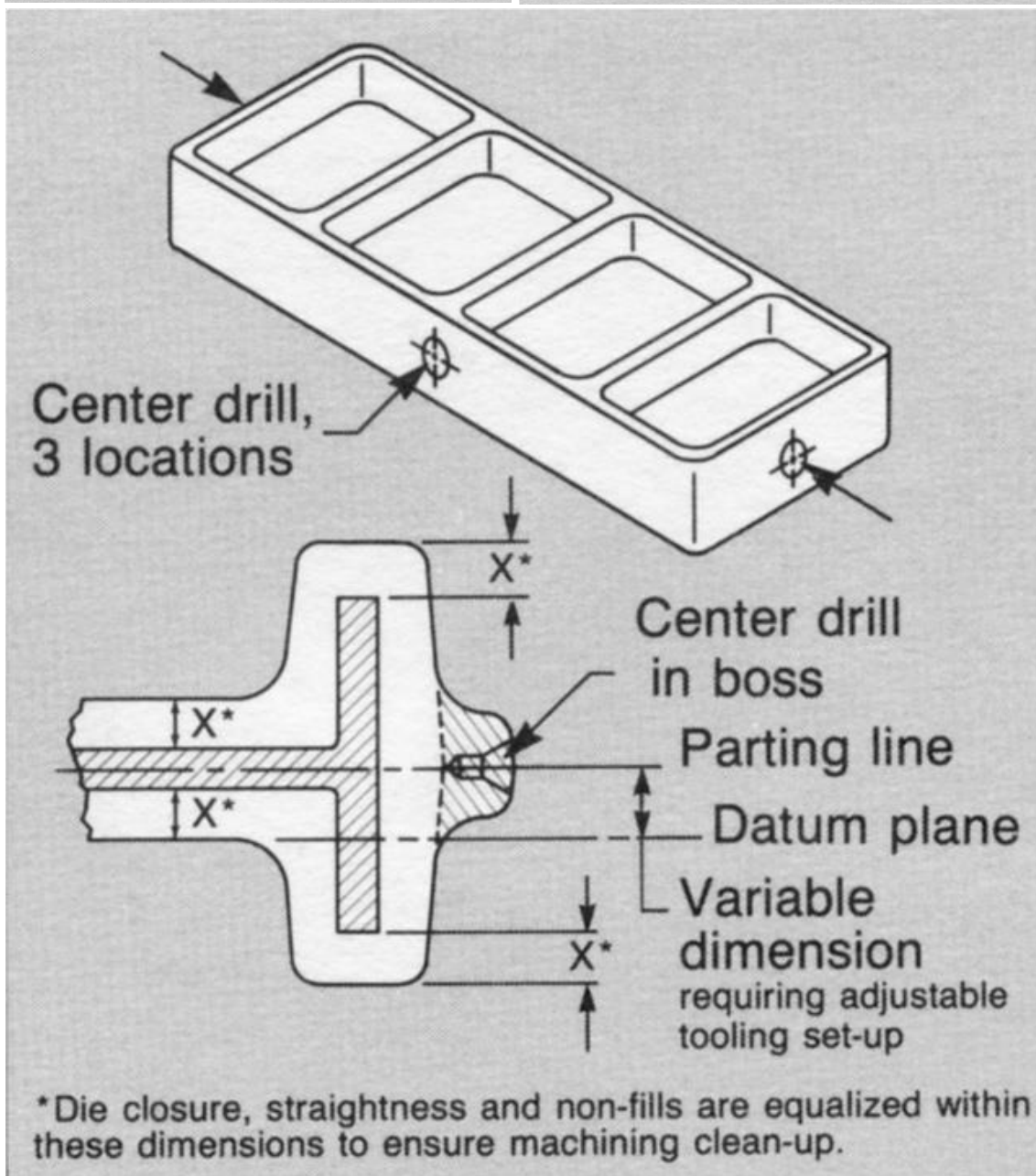
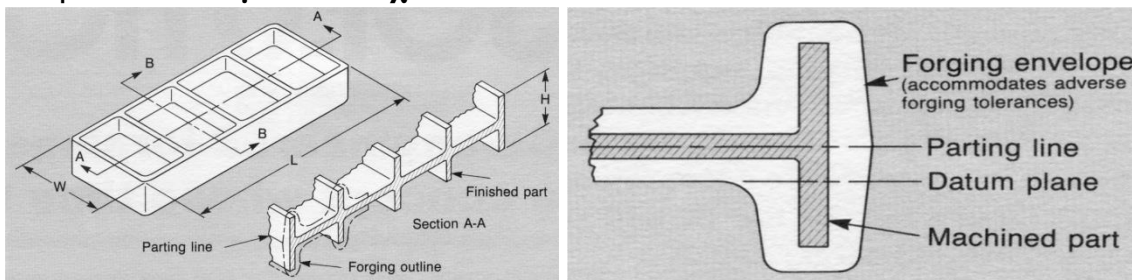
- **Καμπυλωτό άκρο και ακτίνες καμπυλότητας.** Αυτά απεικονίζονται στο σχήμα 10. Η μικρή ακτίνα έχει την τάση να περιορίζει τη ροή του μετάλλου και να αυξάνει τις καταπονήσεις στις επιφάνειες της μήτρας κατά τη διάρκεια της σφυρηλάτησης.
- **Προεξοχή.** Ο σχηματισμός προεξοχής παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης προκαλώντας πίεση μέσα στη μήτρα με αποτέλεσμα το γέμισμα της κοιλότητας. Αυτή η πίεση ελέγχεται σχεδιάζοντας ένα χώρο προεξοχής (flash land) και μια αυλάκωση μέσα στη μήτρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16. Ο χώρος της προεξοχής καθορίζει την επιφάνεια κατά μήκος του οποίου γίνεται η πλευρική (εγκάρσια) ροή του μετάλλου, ελέγχοντας έτσι την αύξηση της πίεσης μέσα στη μήτρα. Η αυλάκωση επιτρέπει το επιπλέον υλικό να διοχετευθεί, χωρίς έτσι το φορτίο σφυρηλάτησης να φτάσει σε πολύ μεγάλες τιμές.



Εικόνα 16
Ορολογία στη σφυρηλάτηση με μήτρα αποτύπωσης

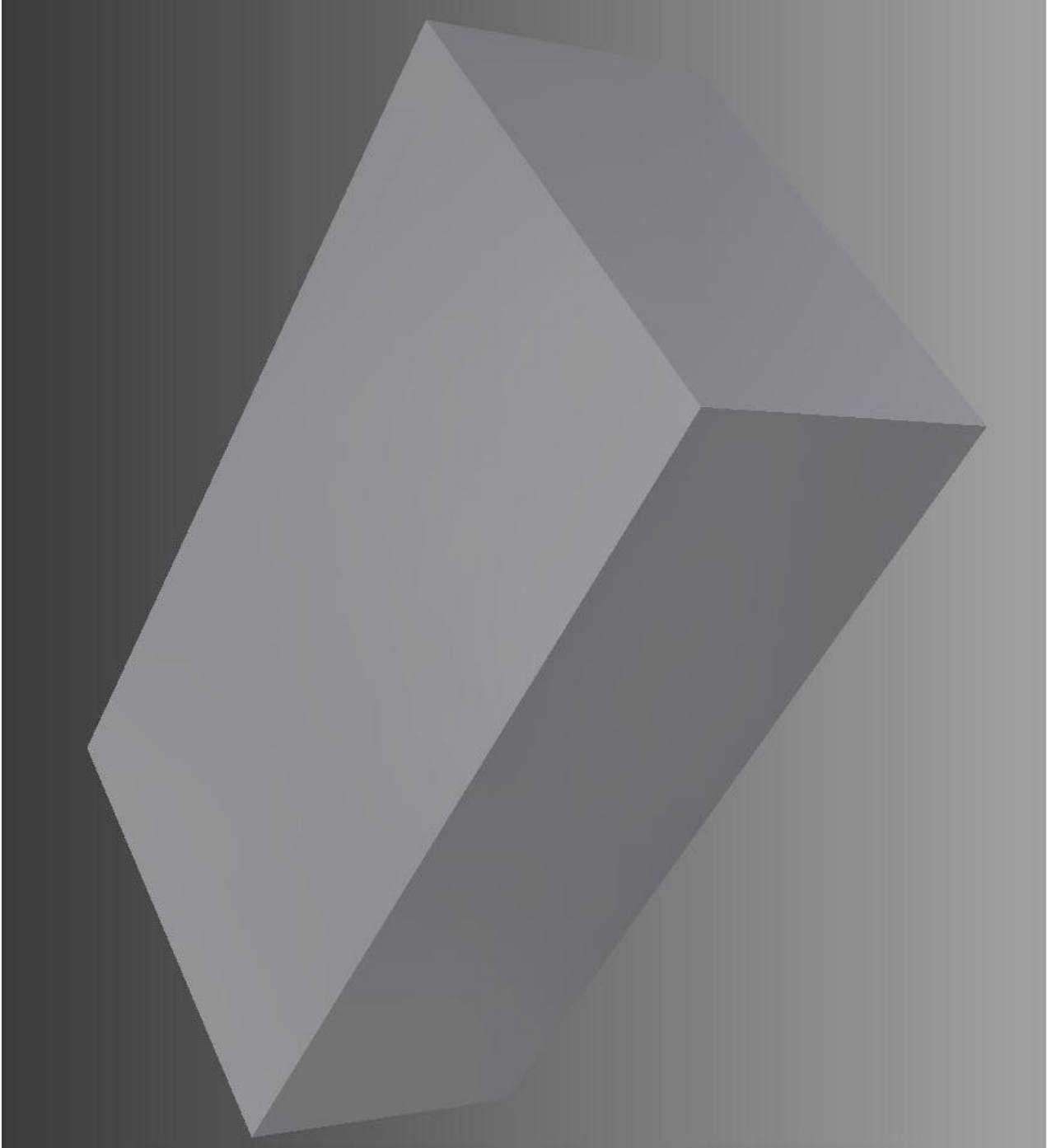
(Πηγή: Σκιττίδης, Φ. Χ. (2001). Στοιχεία Εργαλειομηχανών και Διαμορφωτικής Μηχανολογίας.)

Κεφάλαιο 3 Δομικό στοιχείο 1

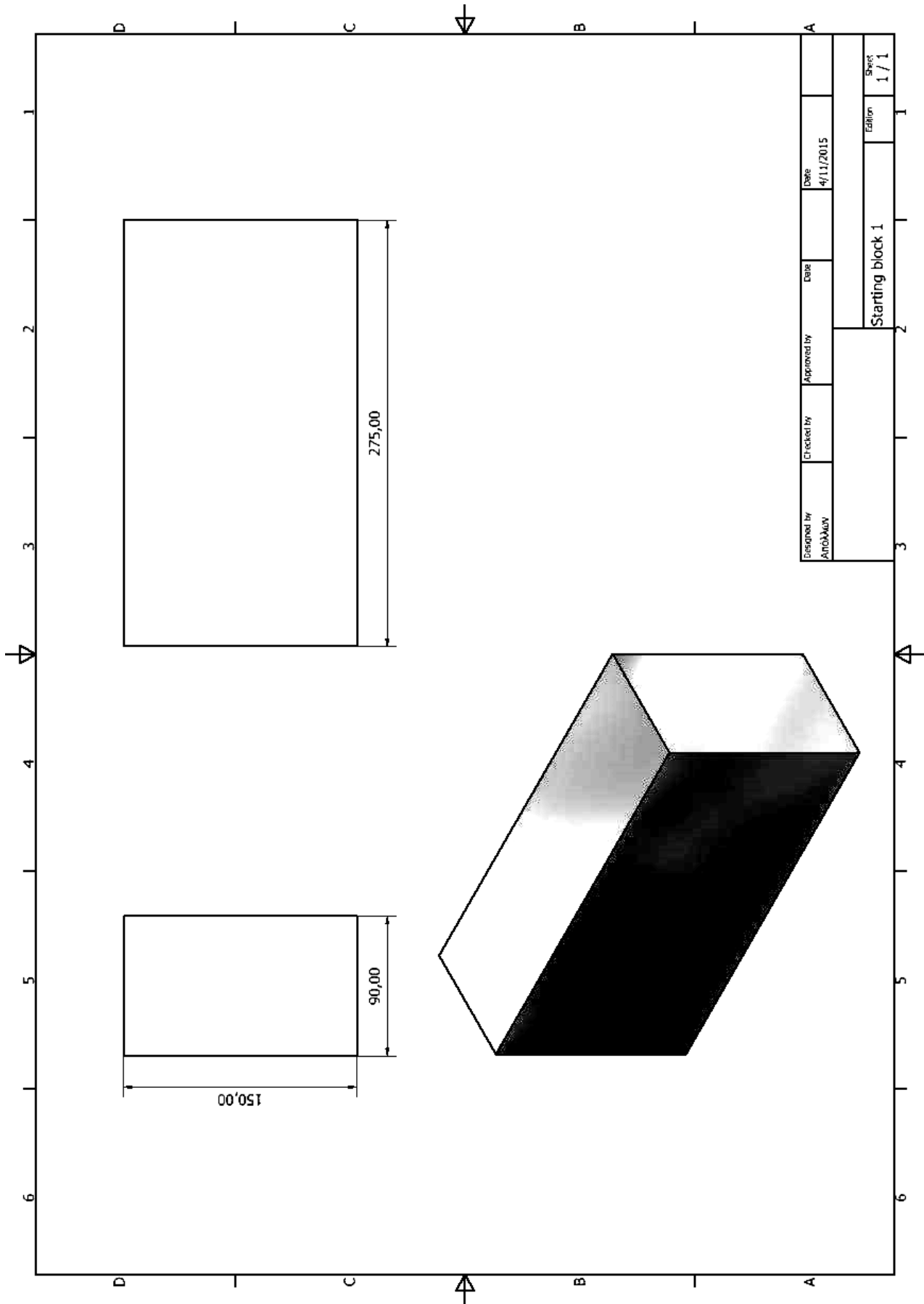


3.1 Σχέδια Δομικού στοιχείου 1

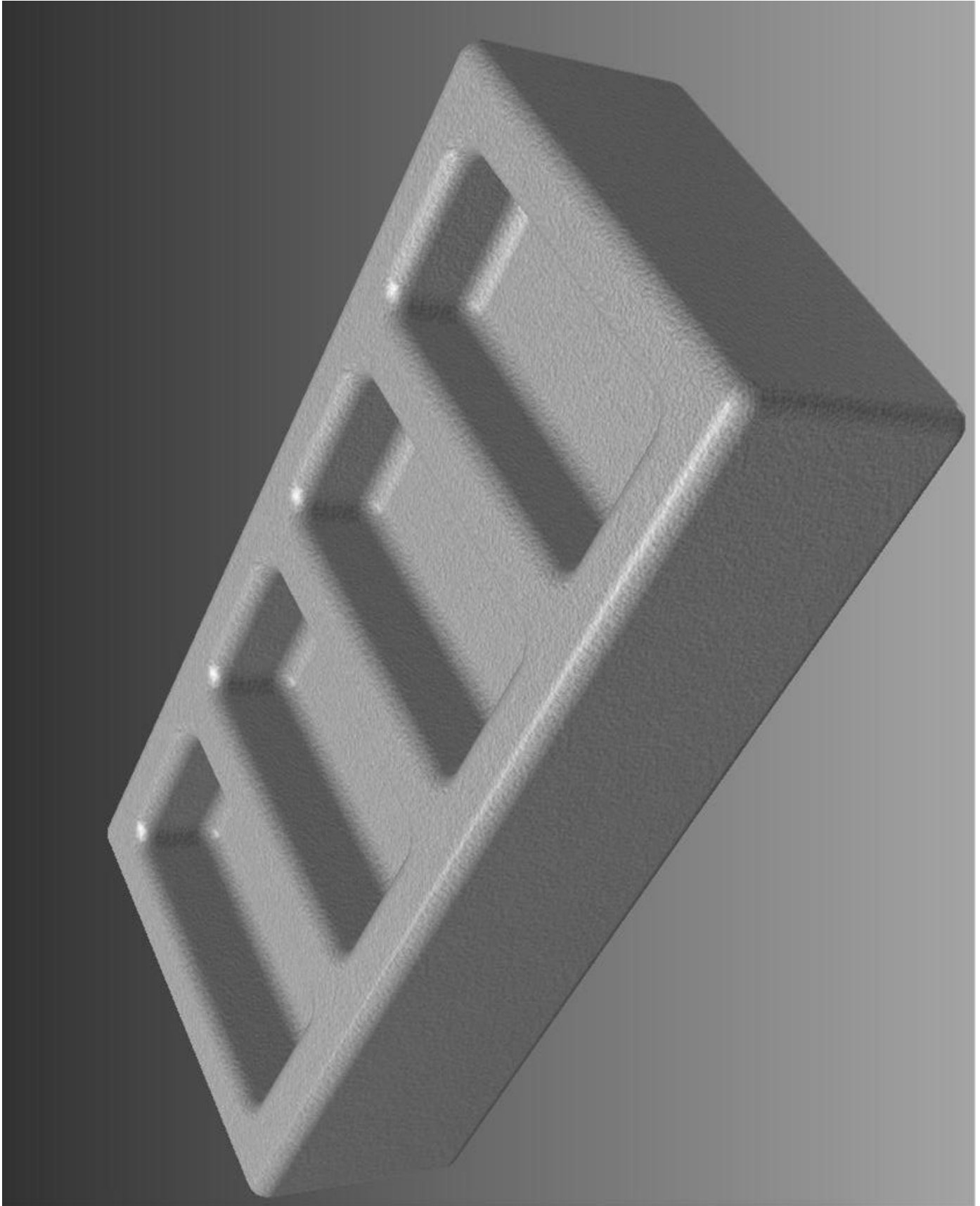
3.1.1 Αρχικός κορμός μετάλλου



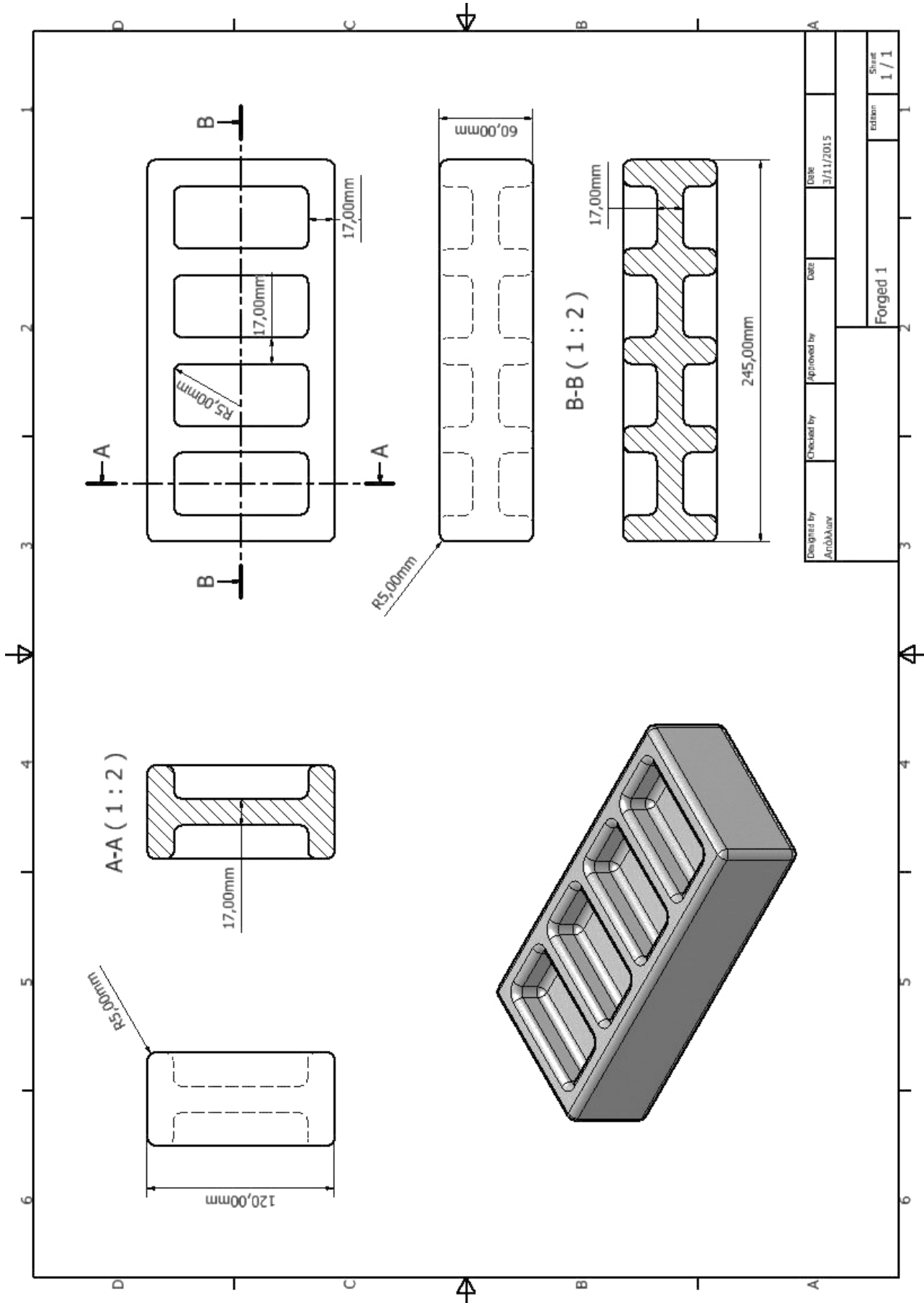
3.1.1.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Αρχικού κορμού μετάλλου



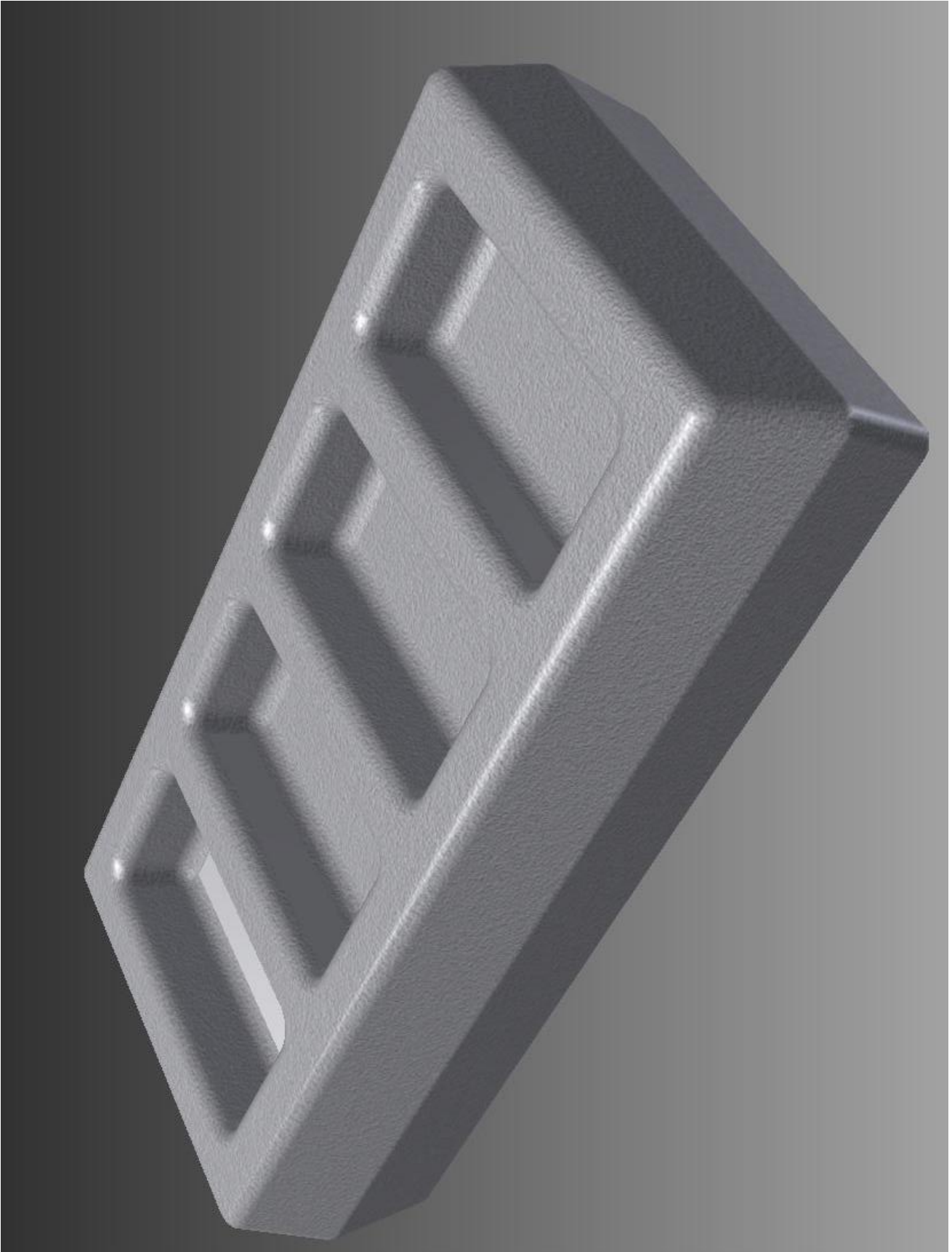
3.1.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1



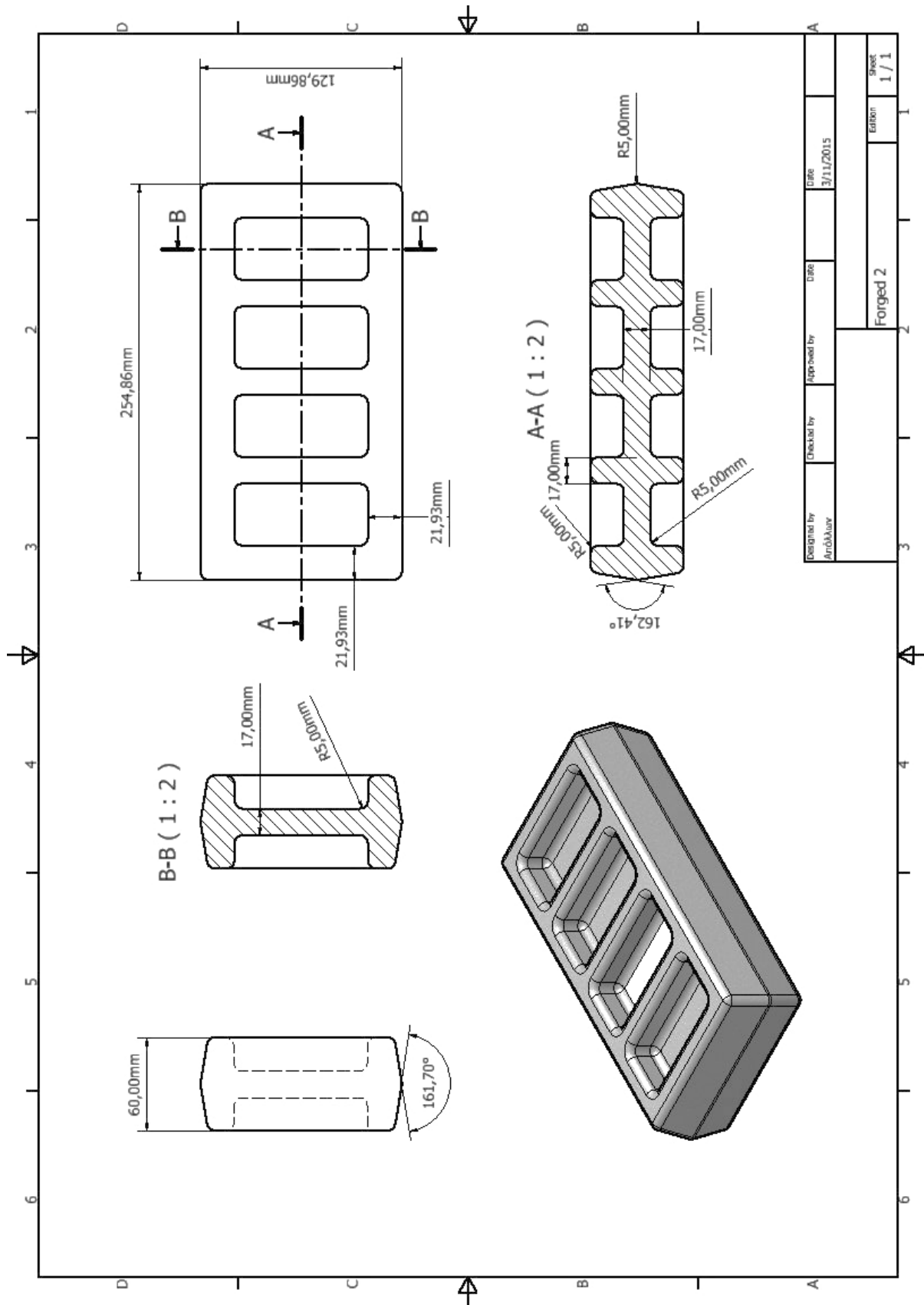
3.1.2.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου 1



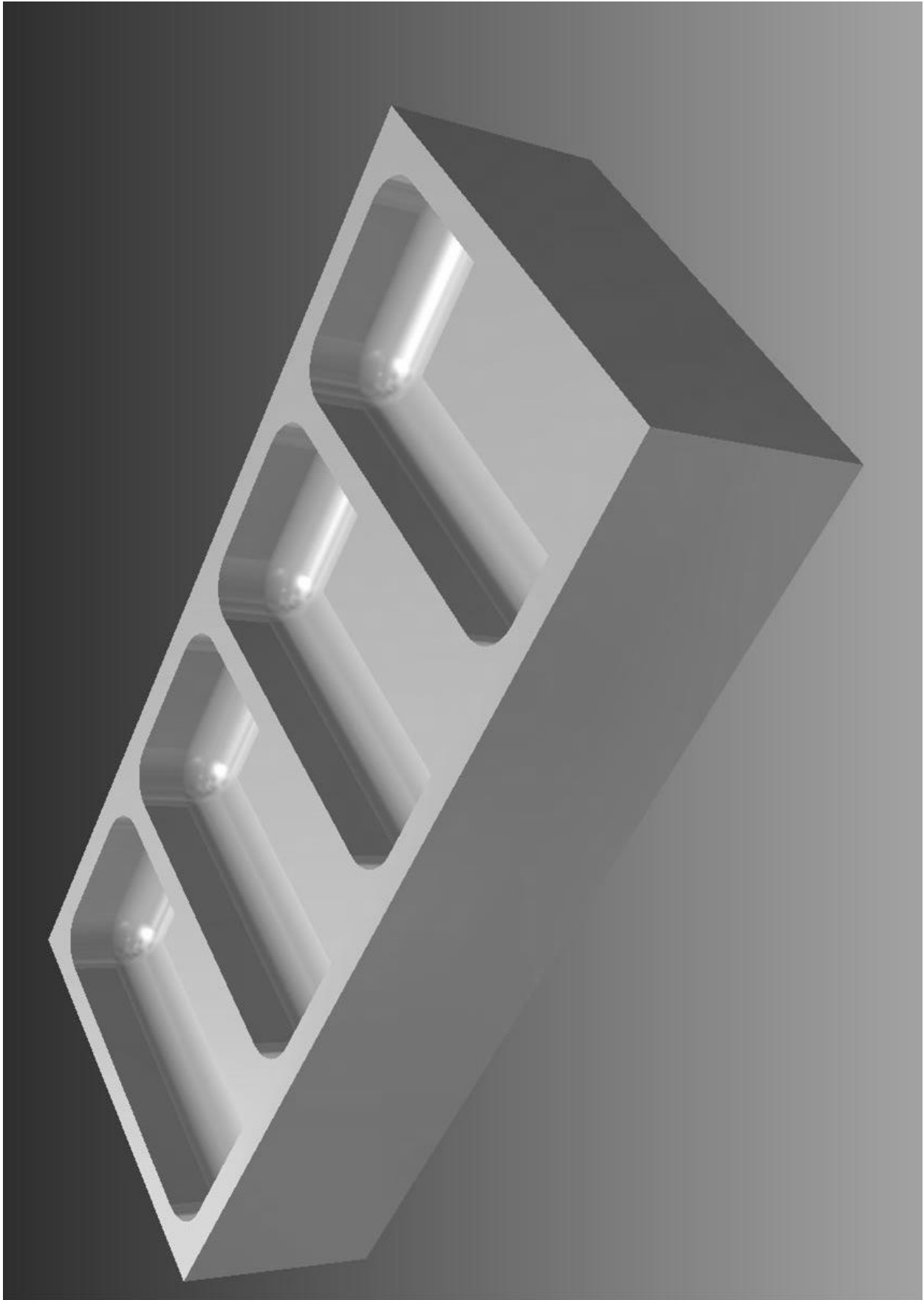
3.1.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο 2



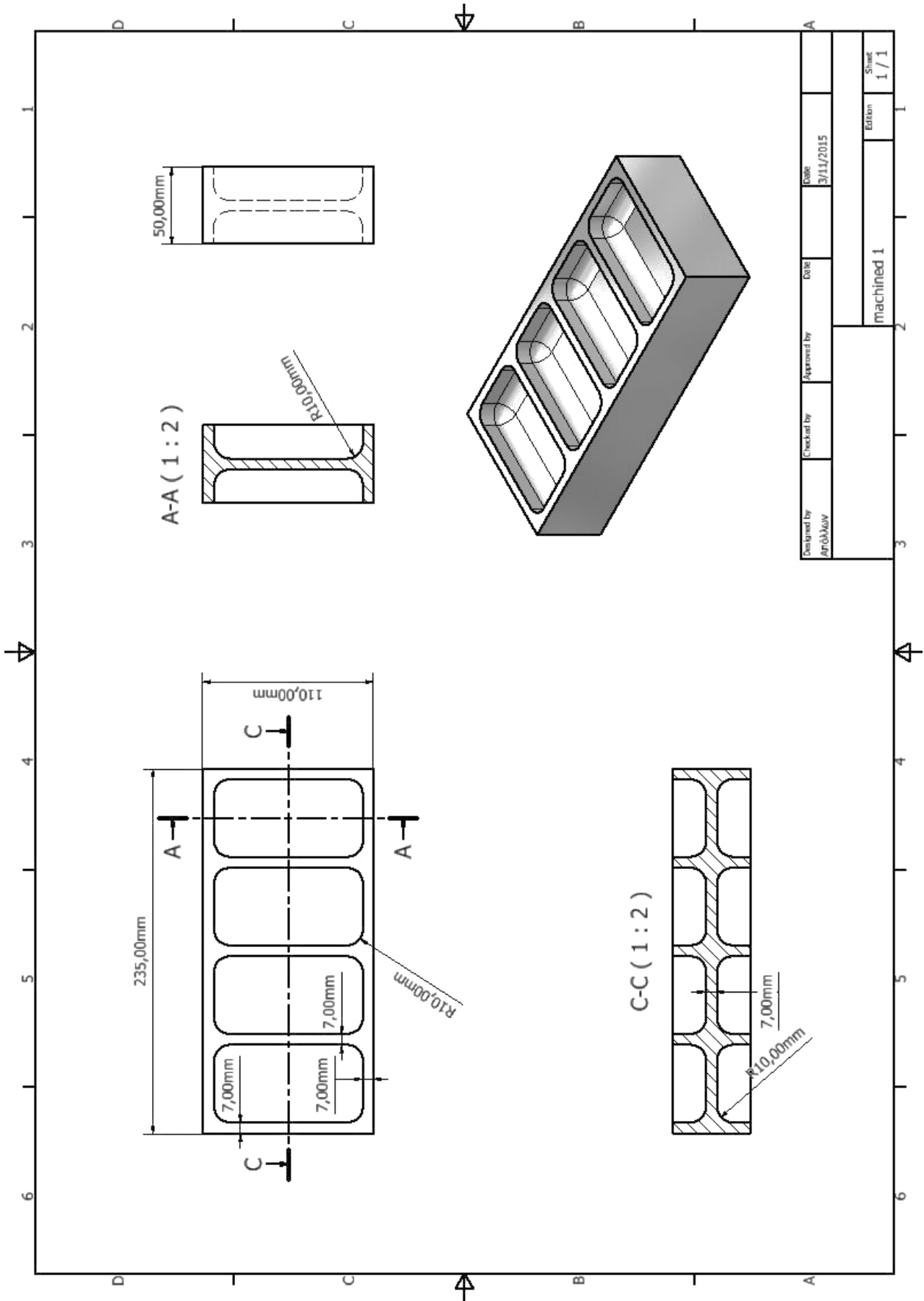
3.1.3.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκιμίου 2



3.1.4 Τελικό Δοκίμιο

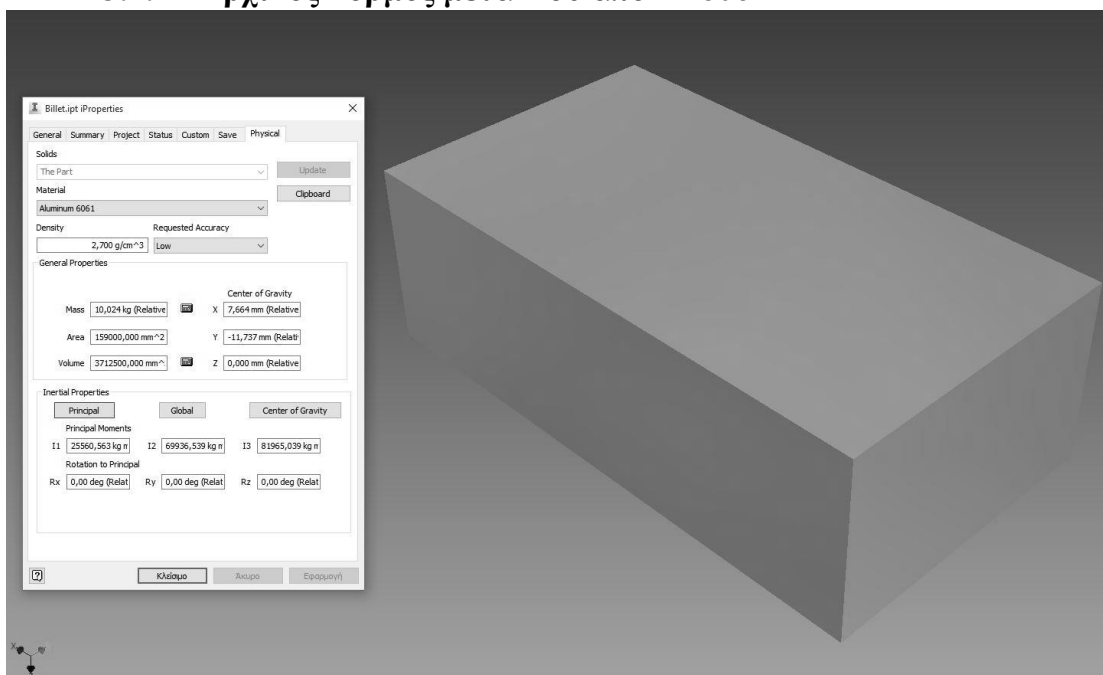


3.1.4.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου

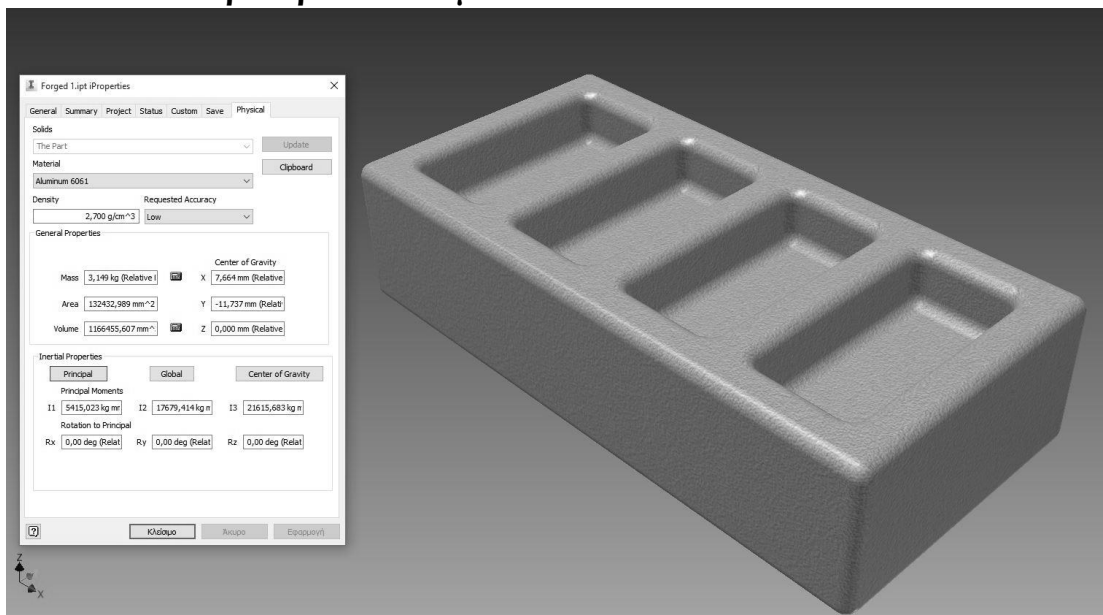


3.2 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 6061

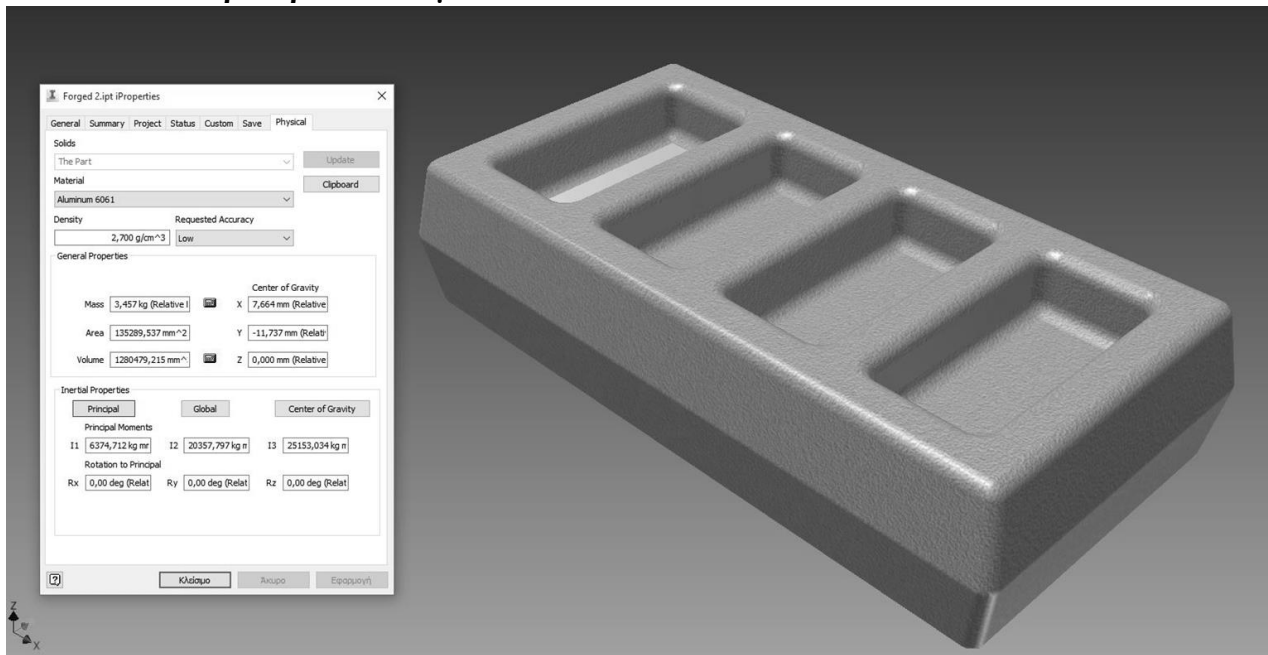
3.2.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 6061



3.2.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 Al 6061




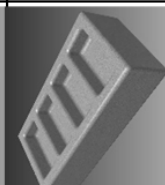
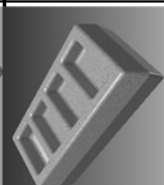
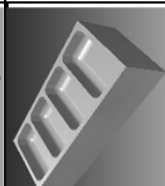
3.2.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο 2 Al 6061



3.2.4 Τελικό Δοκίμιο Al 6061

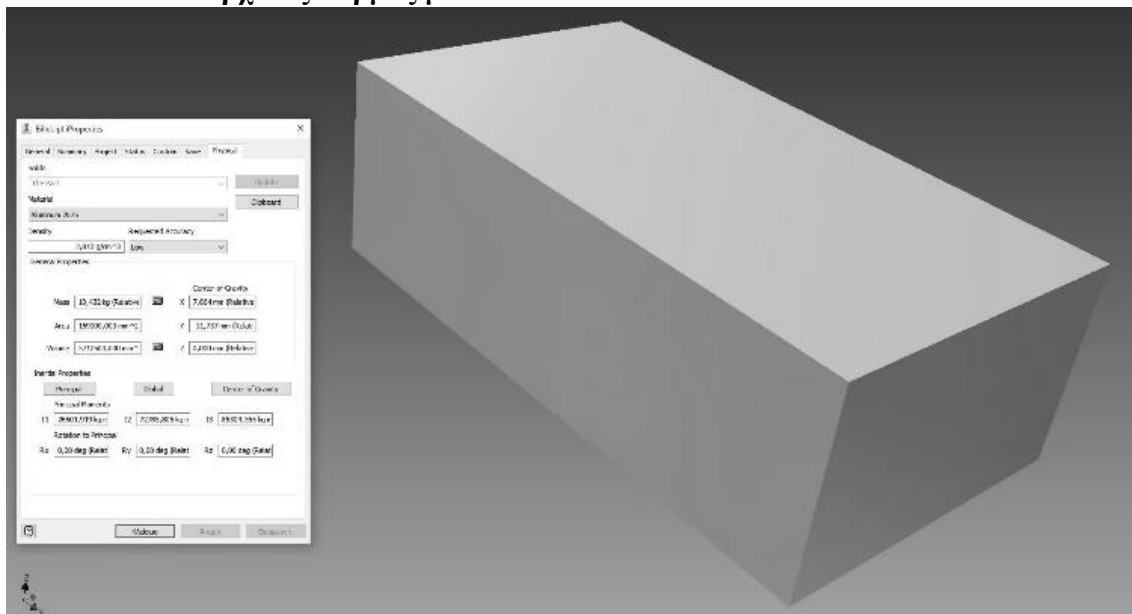


3.3 Πίνακας Φυσικών Ιδιοτήτων Δοκιμίων ΑΙ 6061

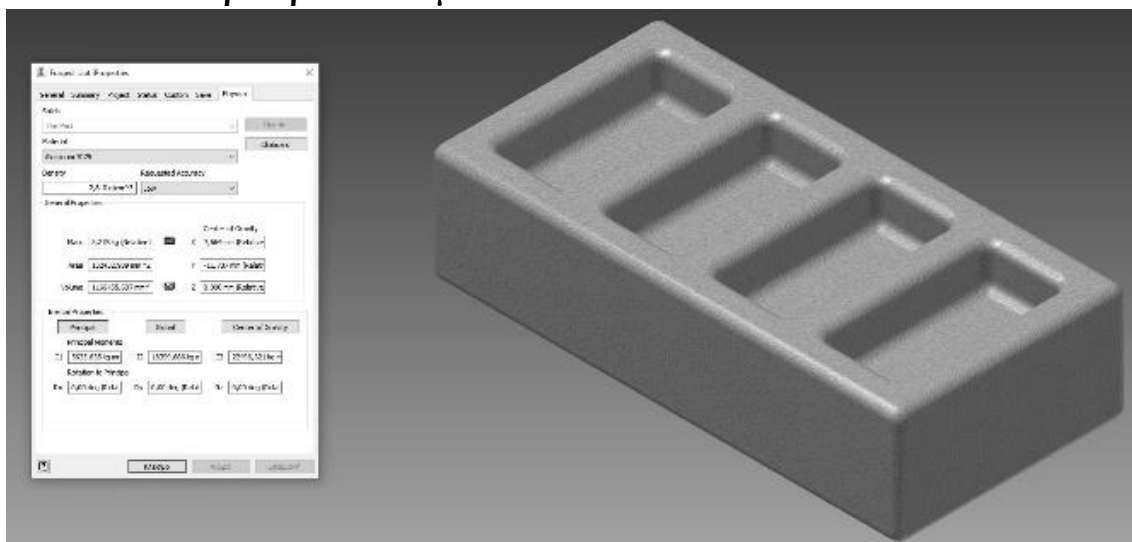
Δοκίμιο	Μήκος mm	Πλάτος mm	Ύψος mm	Πάχος Νεύρου mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	275,00	150,00	90,00	0,00	3.712.500,000	3.712,500000	2,7	10.023,750	10,024
	245,00	120,00	60,00	17,00	1.166.455,607	1.166,455607	2,7	3.149,430	3,149
	254,86	129,86	60,00	17,00	1.280.479,000	1.280,479000	2,7	3.457,293	3,457
	235,00	110,00	50,00	7,00	526.438,000	526,438000	2,7	1.421,383	1,421

3.4 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 7075

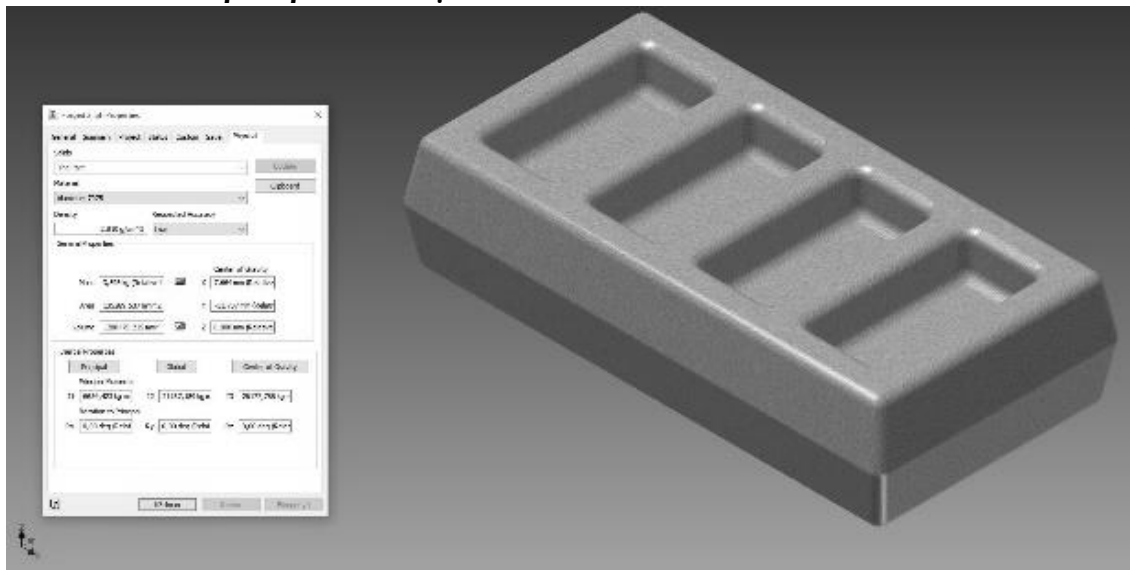
3.4.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 7075



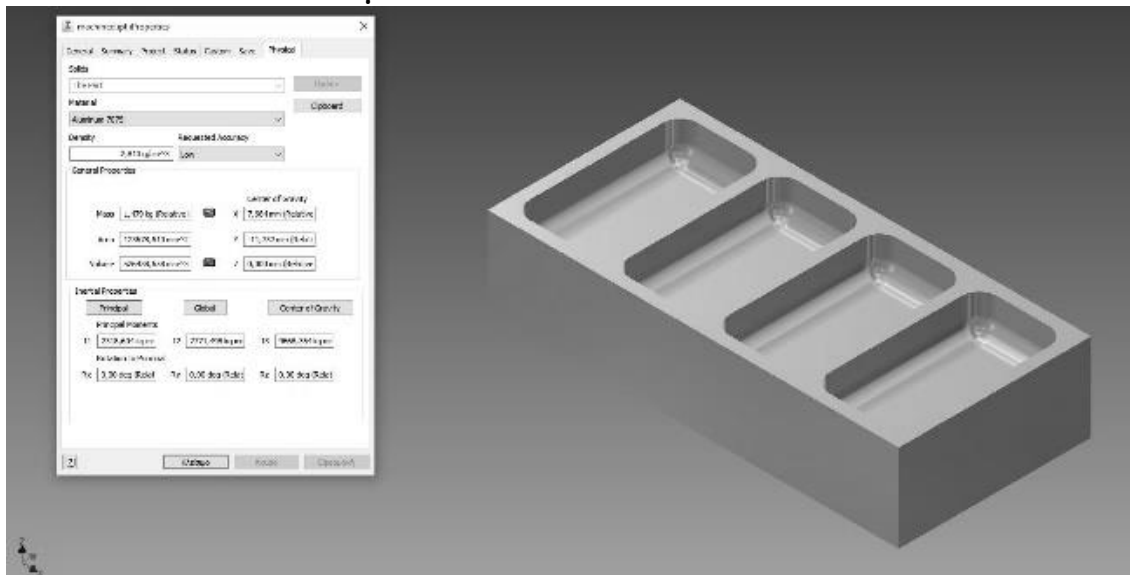
3.4.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 Al 7075




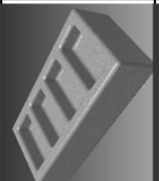
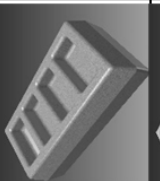
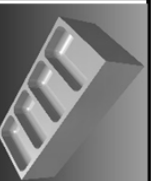
3.4.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο Al 7075



3.4.4 Τελικό Δοκίμιο Al 7075

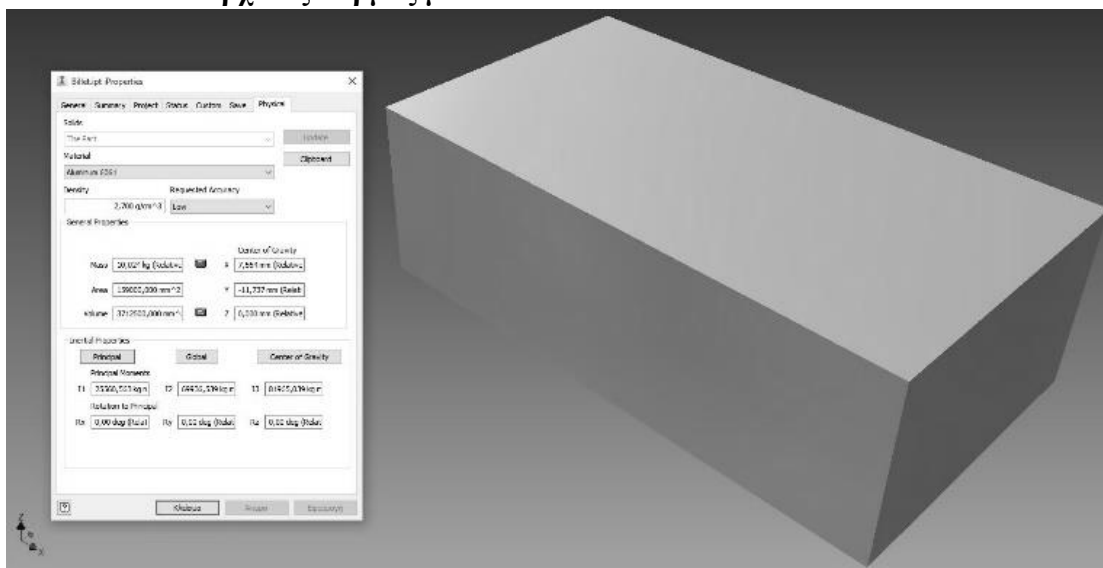


3.5 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκίμων ΑΙ 7075

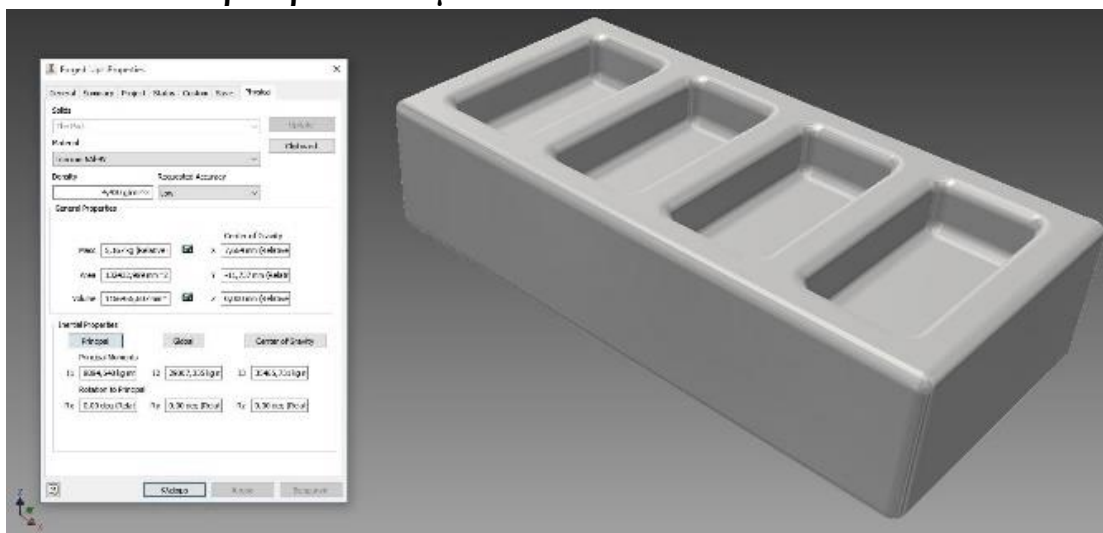
Δοκίμιο	Μήκος mm	Πλάτος mm	Ύψος mm	Πάχος Νεύρου mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	275,00	150,00	90,00	0,00	3.712.500,000	3.712,500000	2,81	10.432,125	10,432
	245,00	120,00	60,00	17,00	1.166.455,607	1.166,455607	2,81	3.277,740	3,278
	254,86	129,86	60,00	17,00	1.280.479,000	1.280,479000	2,81	3.598,146	3,598
	235,00	110,00	50,00	7,00	526.438,000	526,438000	2,81	1.479,291	1,479

3.6 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Ti6Al4Vα

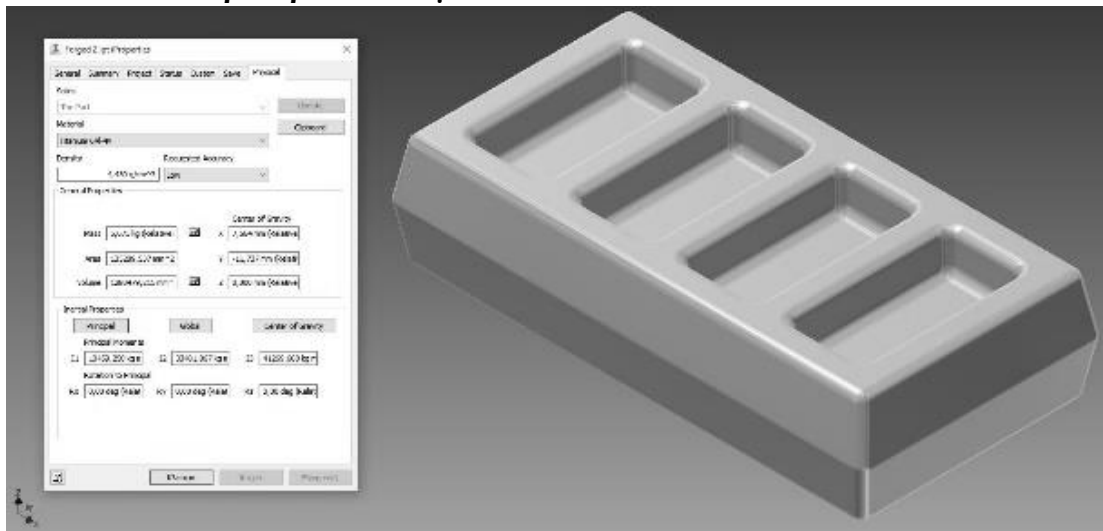
3.6.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Ti6Al4Vα



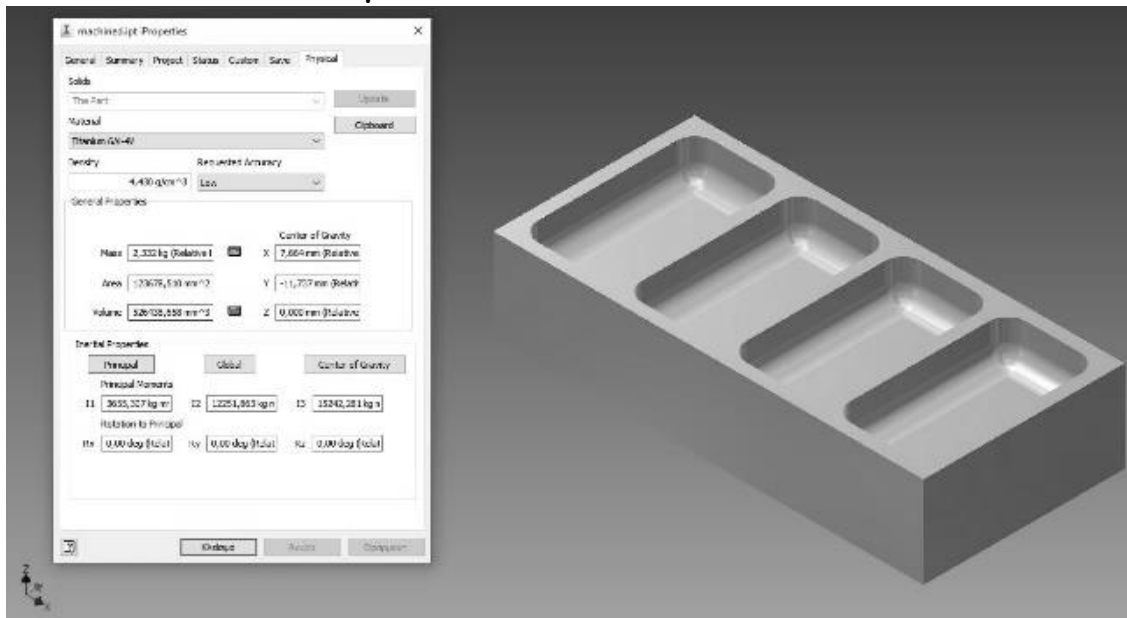
3.6.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο 1 Ti6Al4Vα




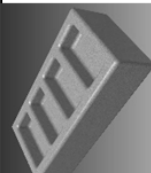
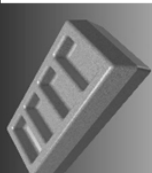
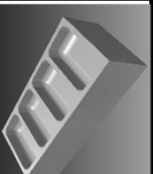
3.6.3 Πρεσαριστό Δοκίμιο 2 Τι6Al4V



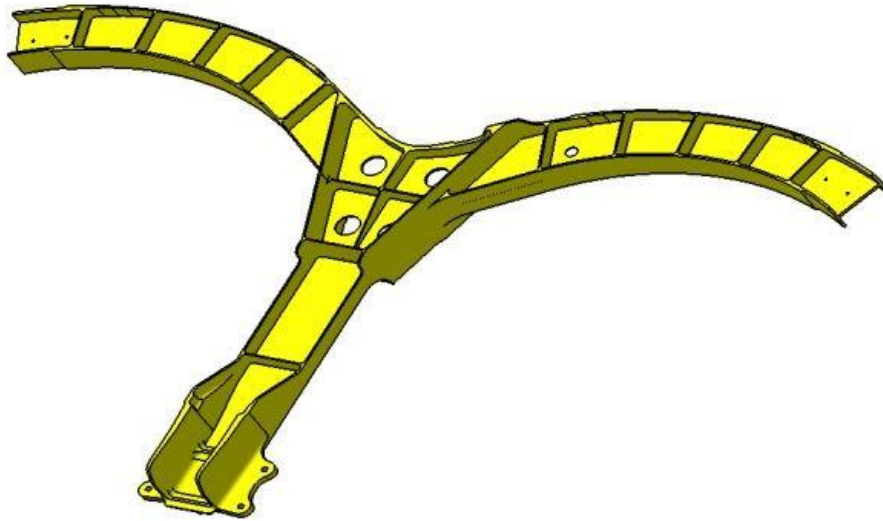
3.6.4 Τελικό Δοκίμιο Τι6Al4V



3.7 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκμίων Ti6Al4Vα

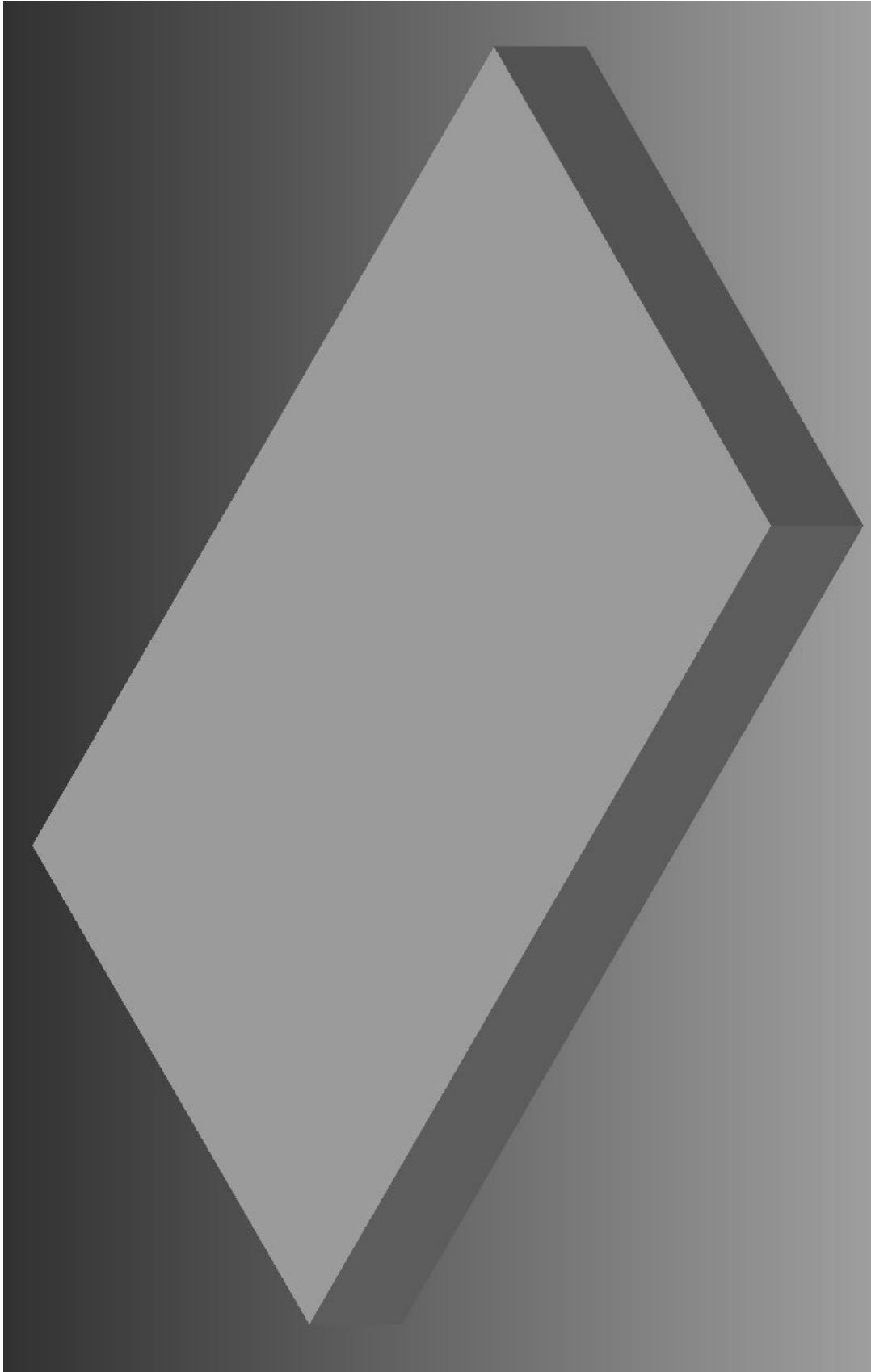
Δοκίμιο	Μήκος mm	Πλάτος mm	Ύψος mm	Πάχος Νεύρου mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	275,00	150,00	90,00	0,00	3.712.500,000	3.712,500000	4,42	16.409,250	16,409
	245,00	120,00	60,00	17,00	1.166.455,607	1.166,455607	4,42	5.155,734	5,156
	254,86	129,86	60,00	17,00	1.280.479,000	1.280,479000	4,42	5.659,717	5,660
	235,00	110,00	50,00	7,00	526.438,000	526,438000	4,42	2.326,856	2,327

Κεφάλαιο 4 Δομικό στοιχείο 2

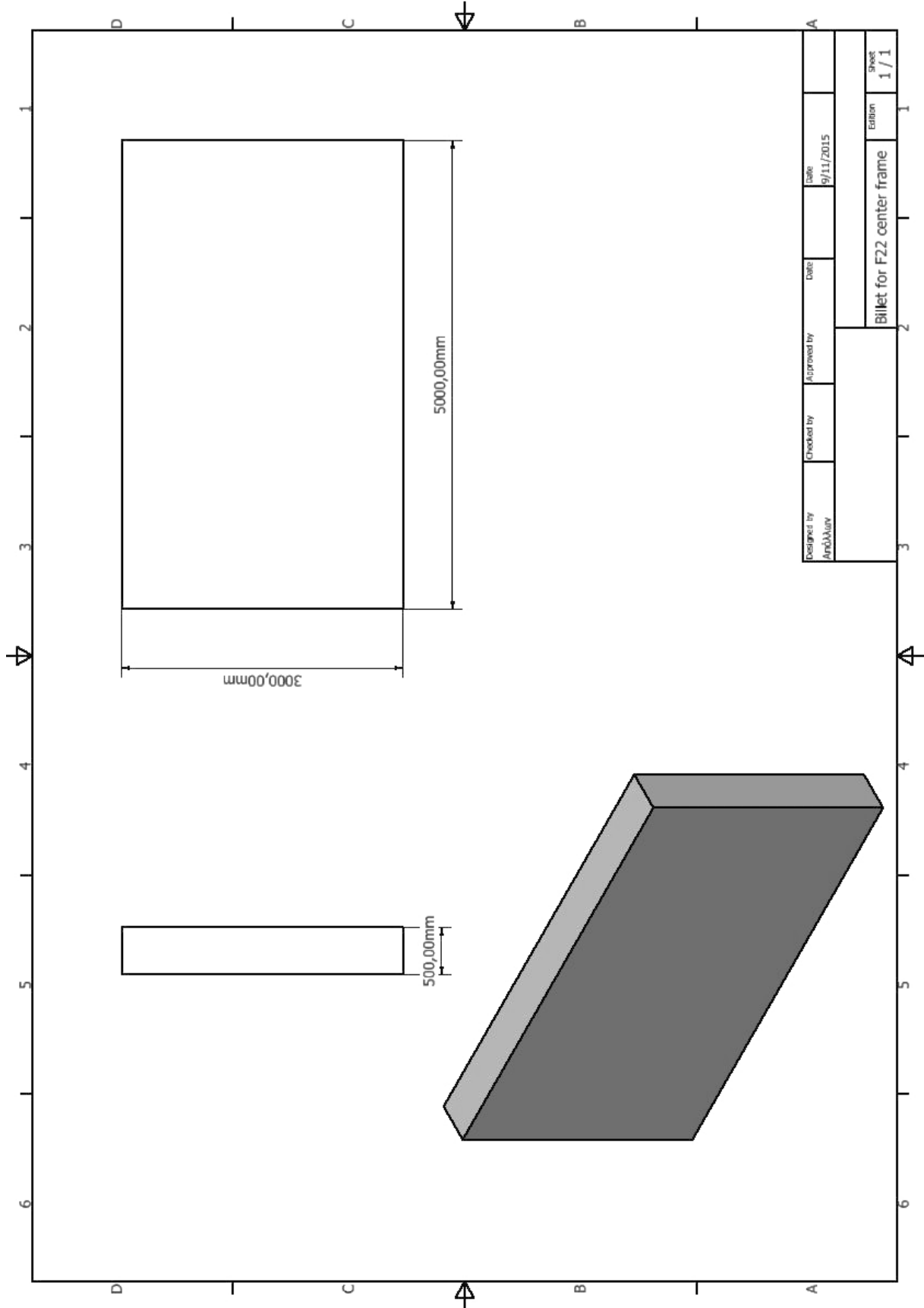


4.1 Σχέδια Δομικού στοιχείου 2

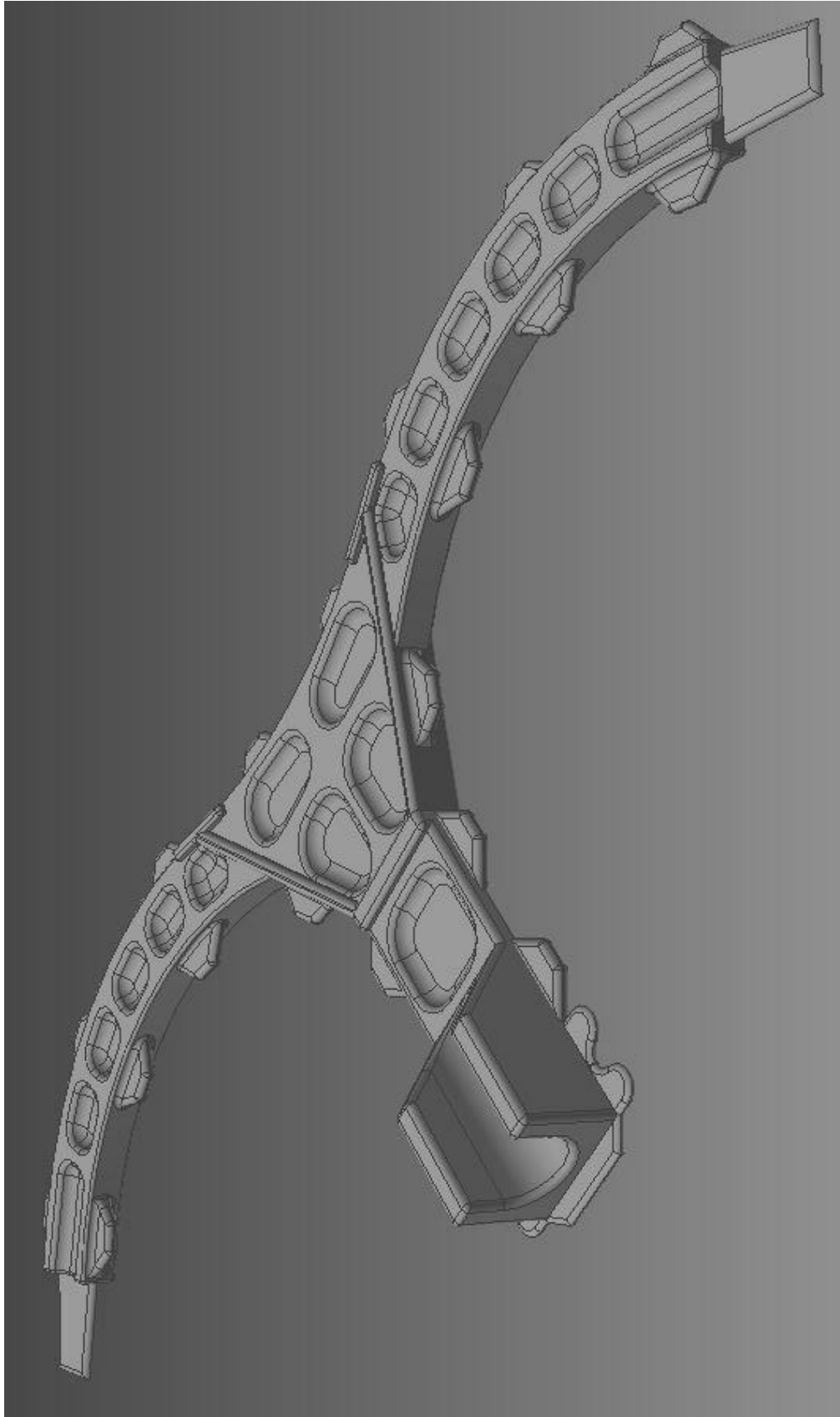
4.1.1 Αρχικός κορμός μετάλλου



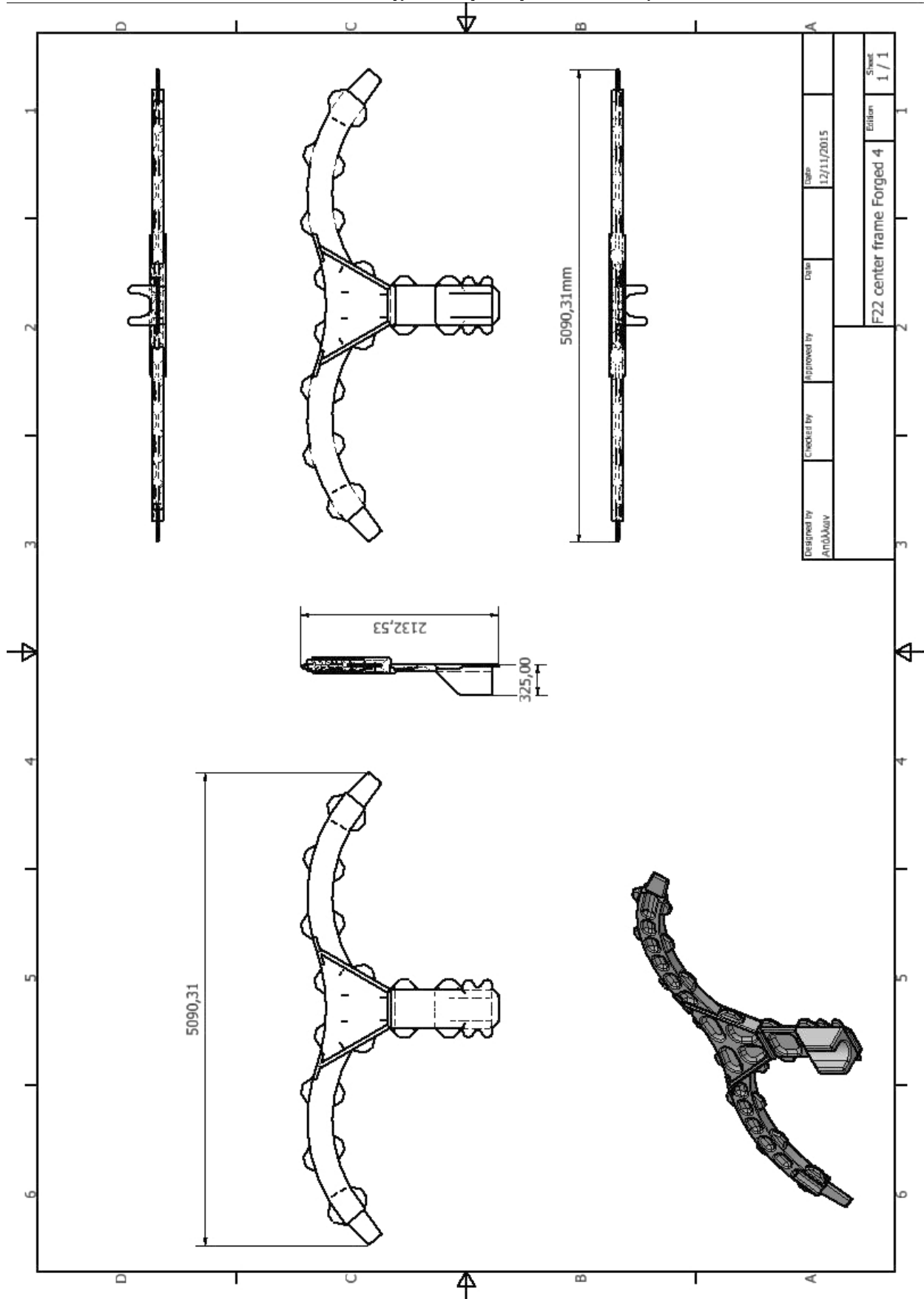
4.1.1.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Αρχικού κορμού μετάλλου



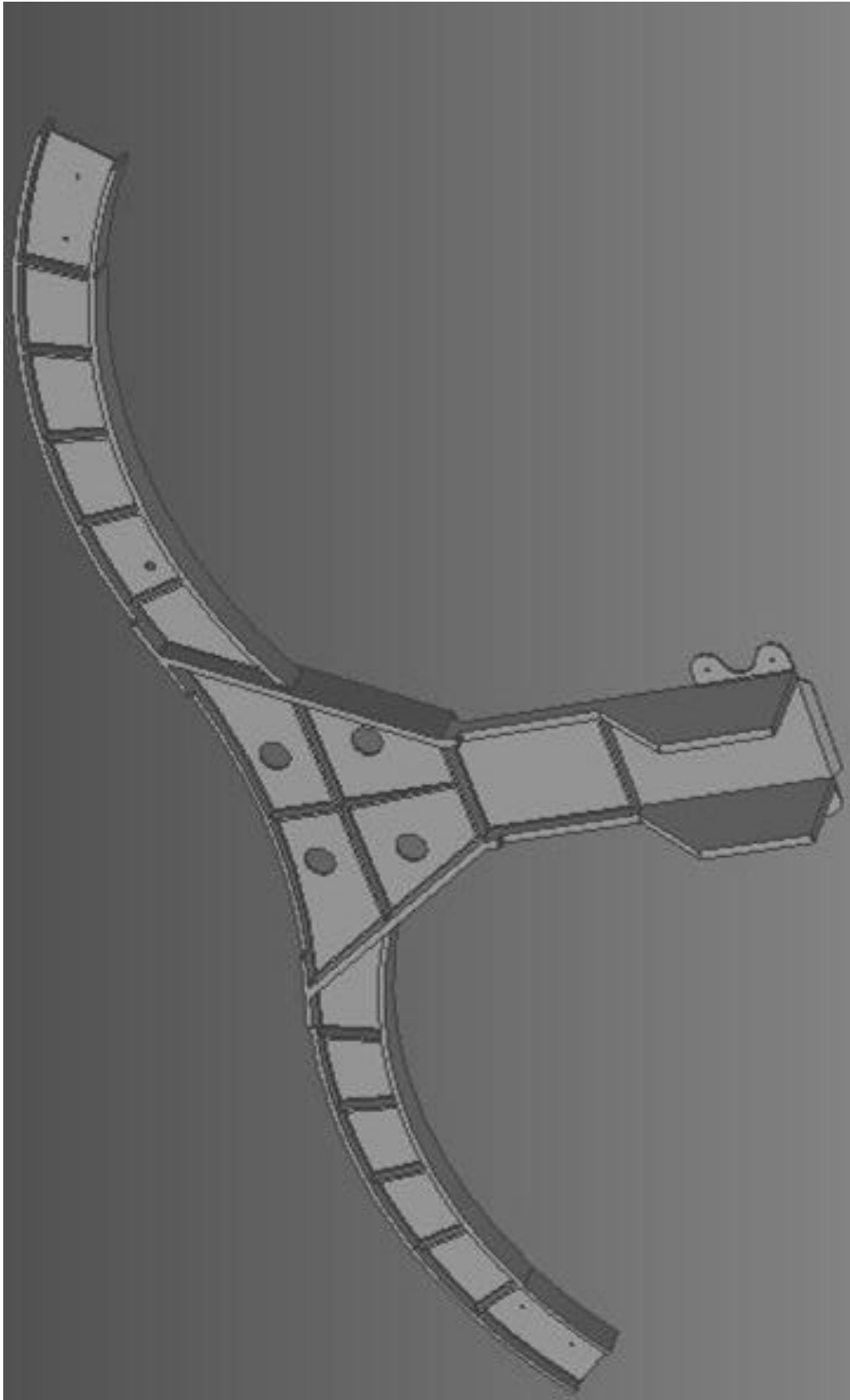
4.1.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο



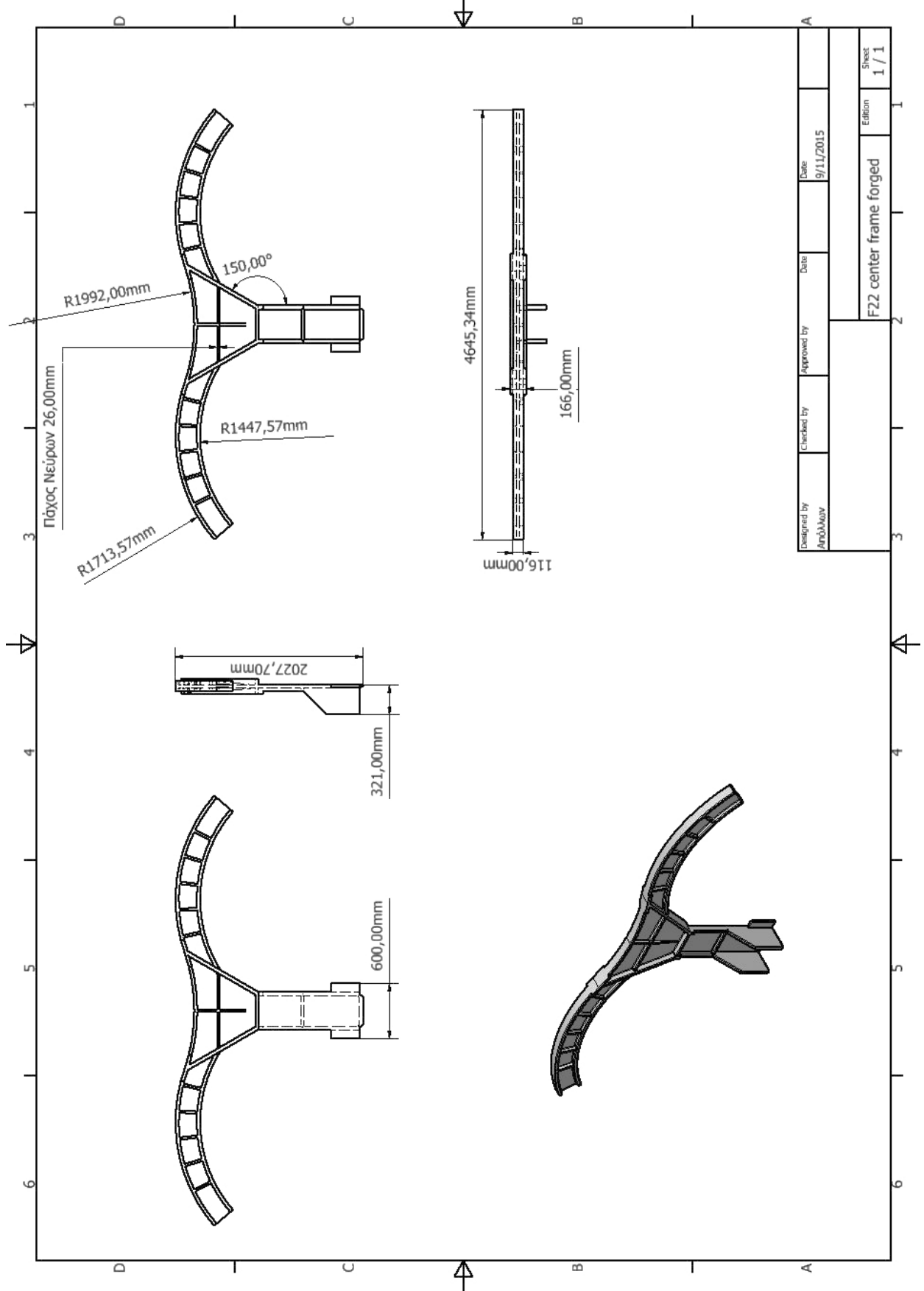
4.1.2.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκμίου



4.1.3 Τελικό Δοκίμιο



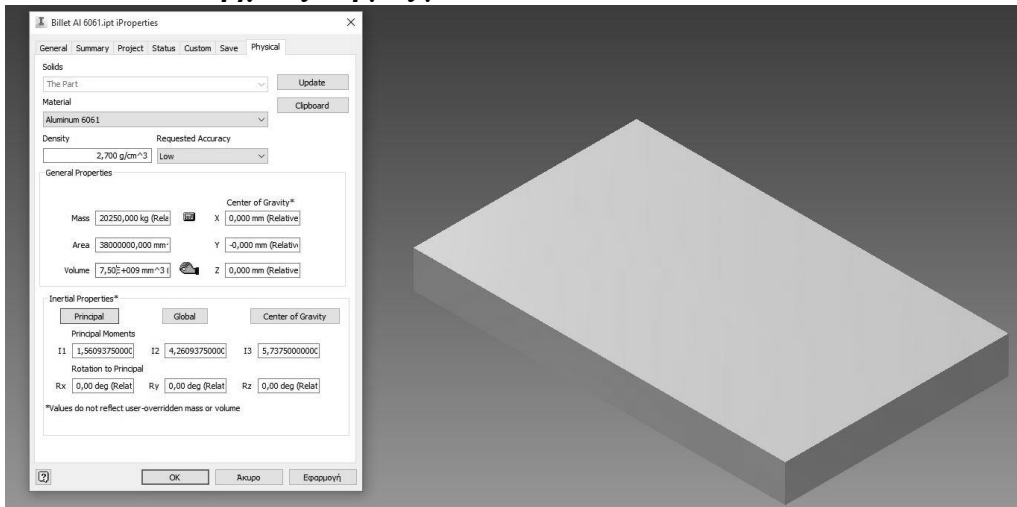
4.1.3.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου



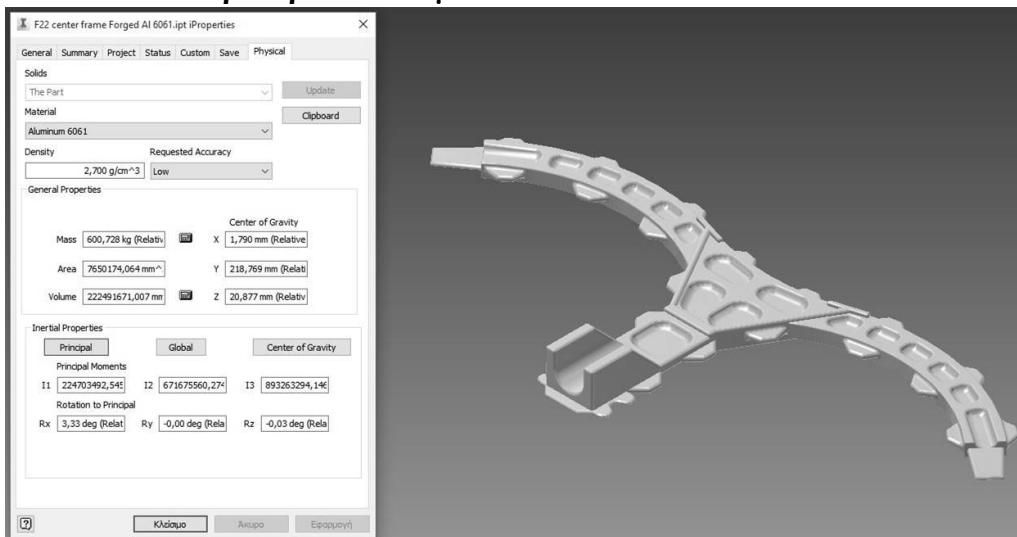
Designed by Απόλλων	Checked by	Approved by	Date 9/11/2015	Sheet 1 / 1
F22 center frame forged				Edition 1 / 1

4.2 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 6061

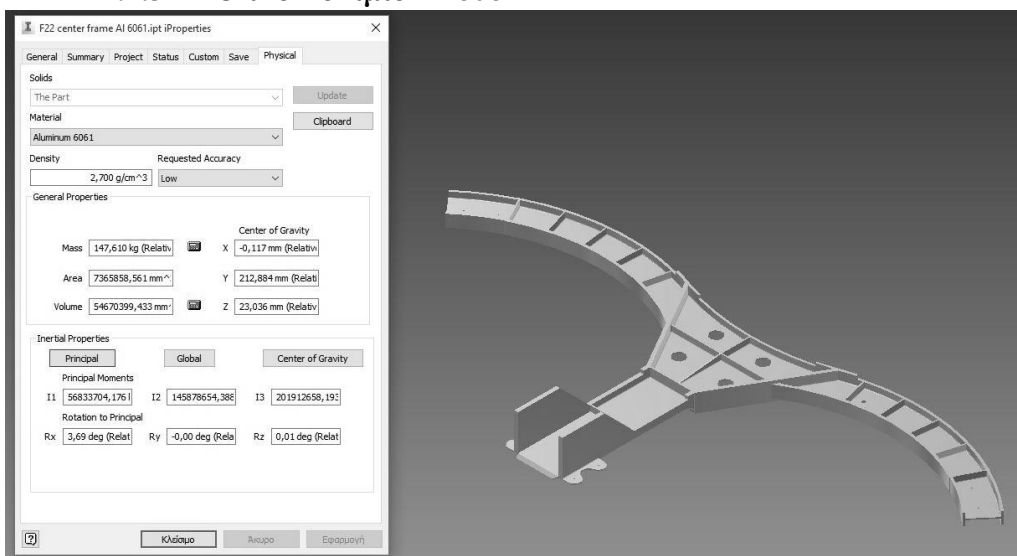
4.2.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 6061





4.2.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο Al 6061



4.2.3 Τελικό Δοκίμιο Al 6061

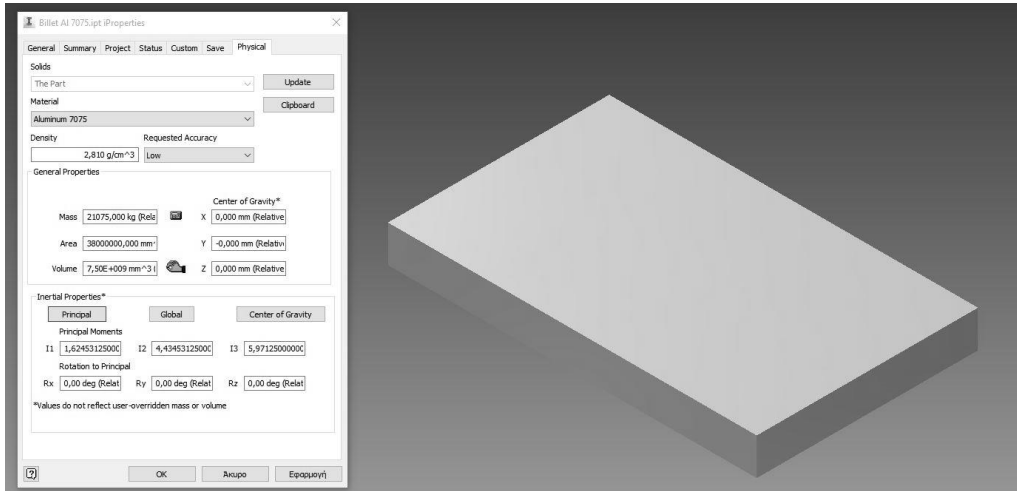


4.3 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμών ΑΙ 6061

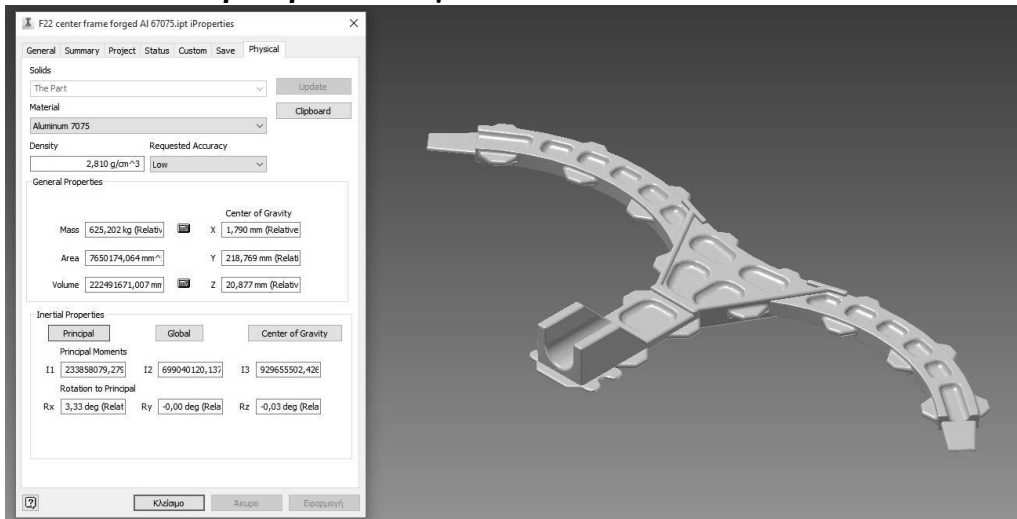
Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	3000,00	5000,00	500	7.500.000.000,00	7.500.000,00	2,70	20.250.000,00	2.025,00
	2132,53	5090,31	325	222.491.671,01	222.491,67	2,70	600.727,51	600,73
	2011,70	4624,20	305	54.670.399,43	54.670,40	2,70	147.610,08	147,61

4.4 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμών από Al 7075

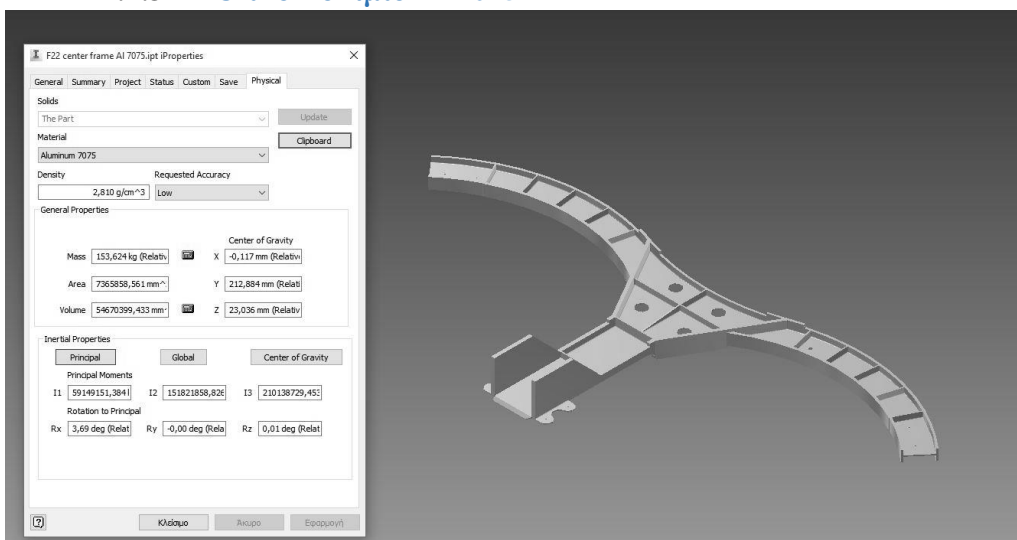
4.4.1 Αρχικός κορμός μετάλλου Al 7075



4.4.2 Πρεσαριστό Δοκίμο Al 7075



4.4.3 Τελικό Δοκίμο Al 7075

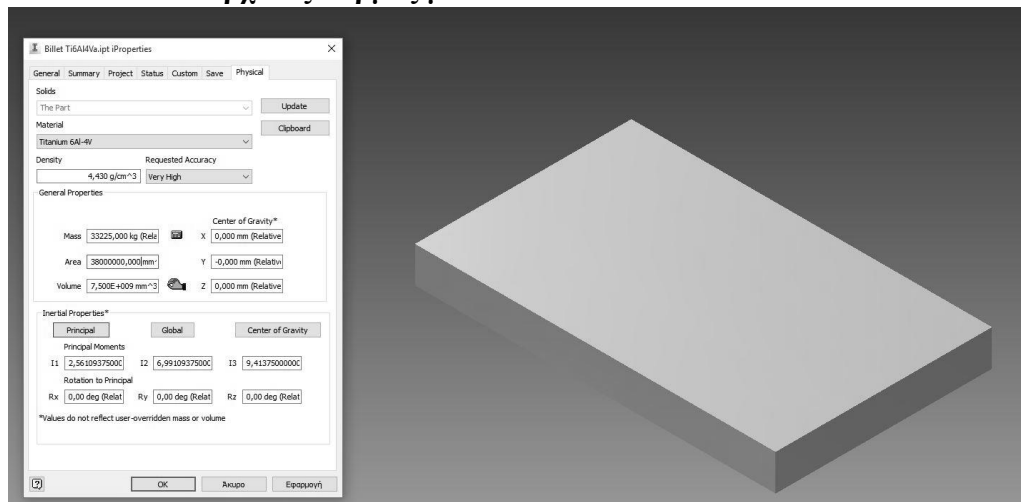


4.5 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμών ΑΙ 7075

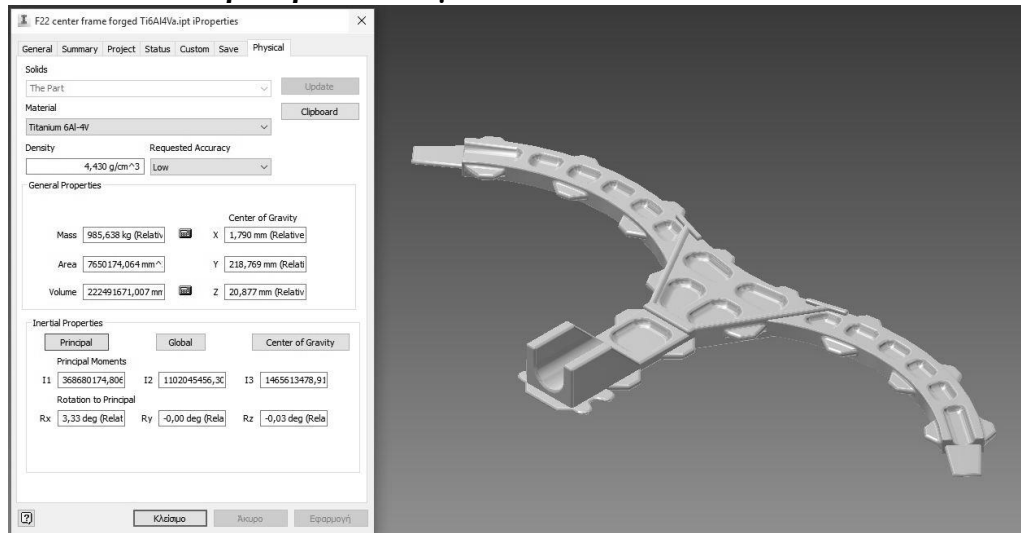
Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	3000,00	5000,00	500	7.500.000.000,00	7.500.000,00	2,81	21.075.000,00	21.075,00
	2132,53	5090,31	325	222.491.671,01	222.491,67	2,81	625.201,60	625,20
	2011,70	4624,20	305	54.670.399,43	54.670,40	2,81	153.623,82	153,62

4.6 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Ti6Al4Vα

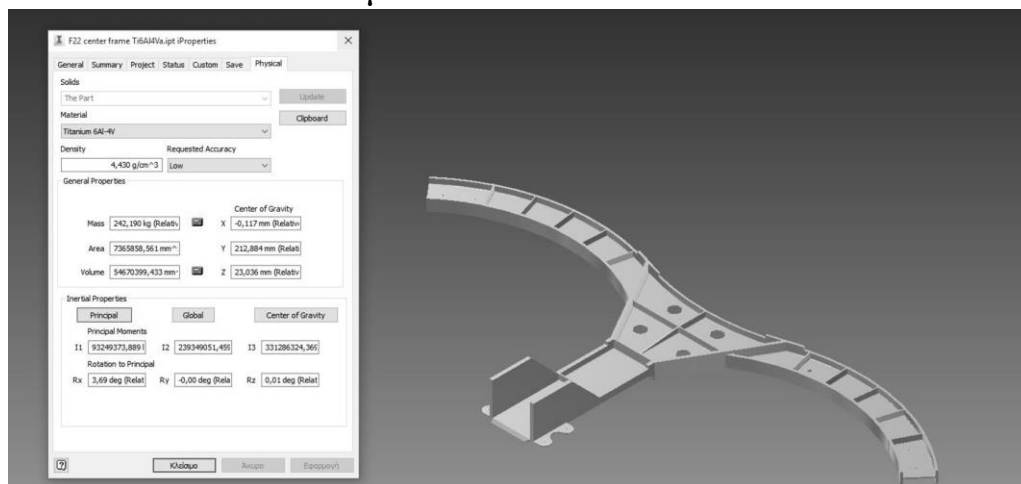
4.6.1 Αρχικός κορμός μετάλλου Ti6Al4Vα




4.6.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο Ti6Al4Vα



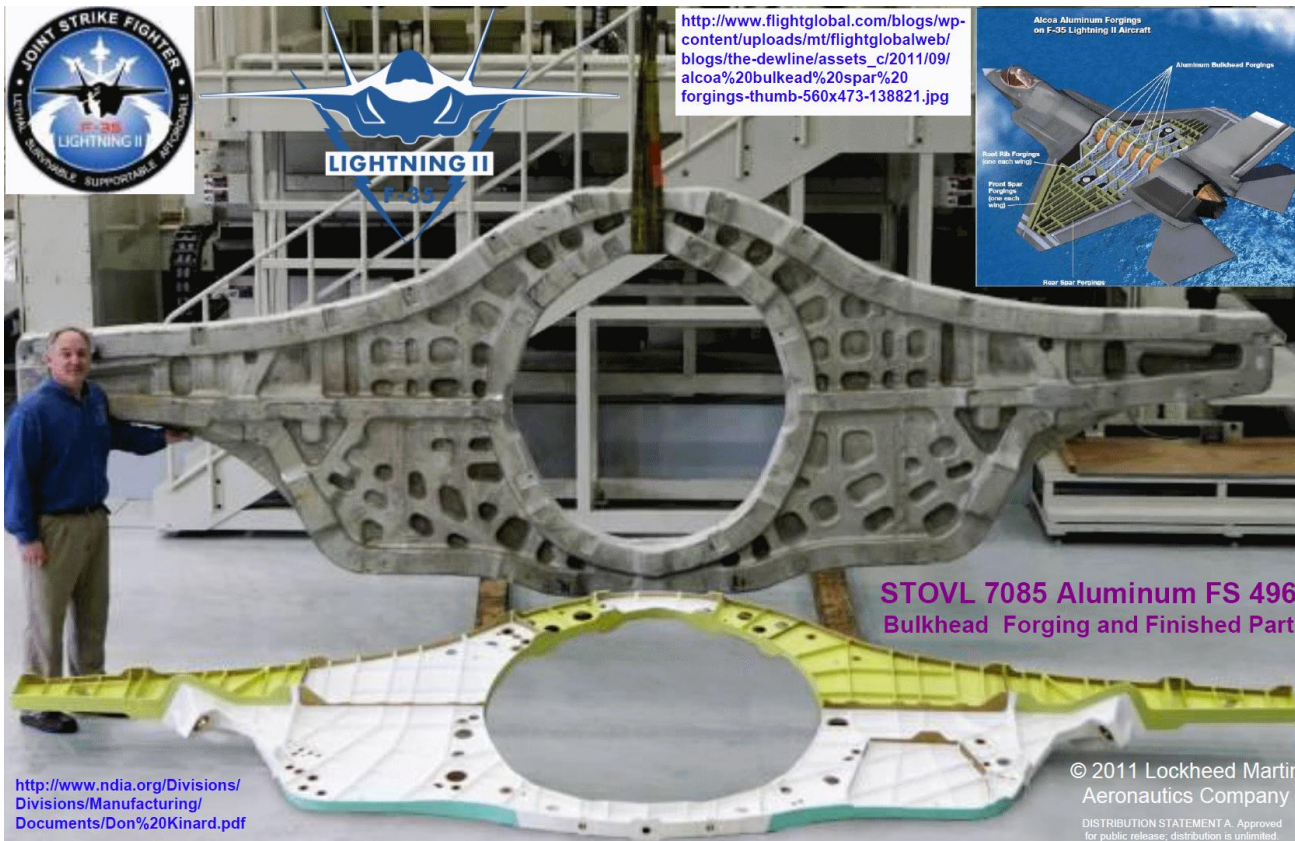
4.6.3 Τελικό Δοκίμιο Ti6Al4Vα



4.7 Πίνακας Φυσικών Ιδιοτήτων Δοκιμών Ti6Al4Vα

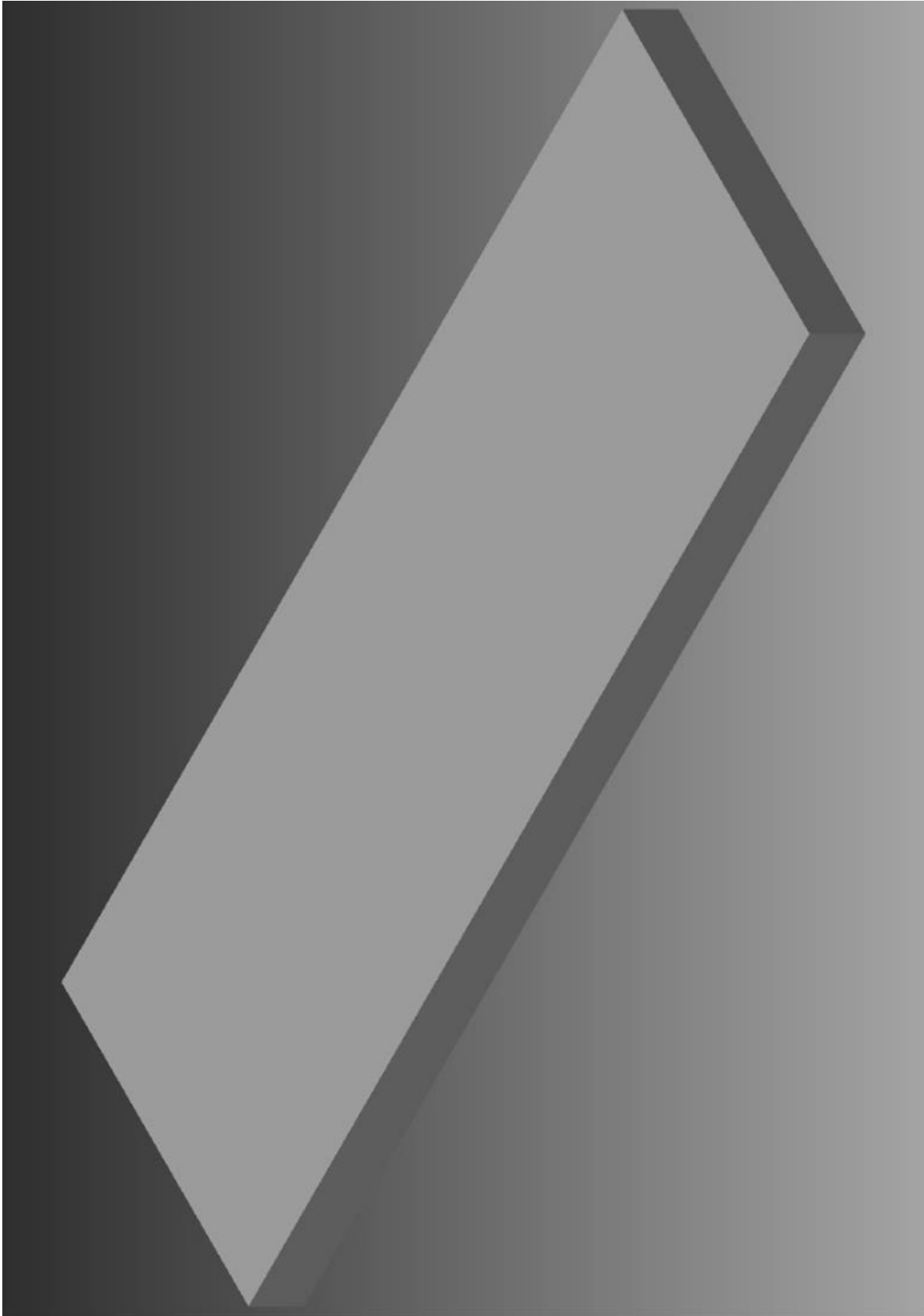
Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	3000,00	5000,00	500	7.500.000.000,00	7.500.000,00	4,43	33.225.000,00	33.225,00
	2132,53	5090,31	325	222.491.671,01	222.491,67	4,43	985.638,10	985,64
	2011,70	4624,20	305	54.670.399,43	54.670,40	4,43	242.189,87	242,19

Κεφάλαιο 5 Δομικό στοιχείο 3

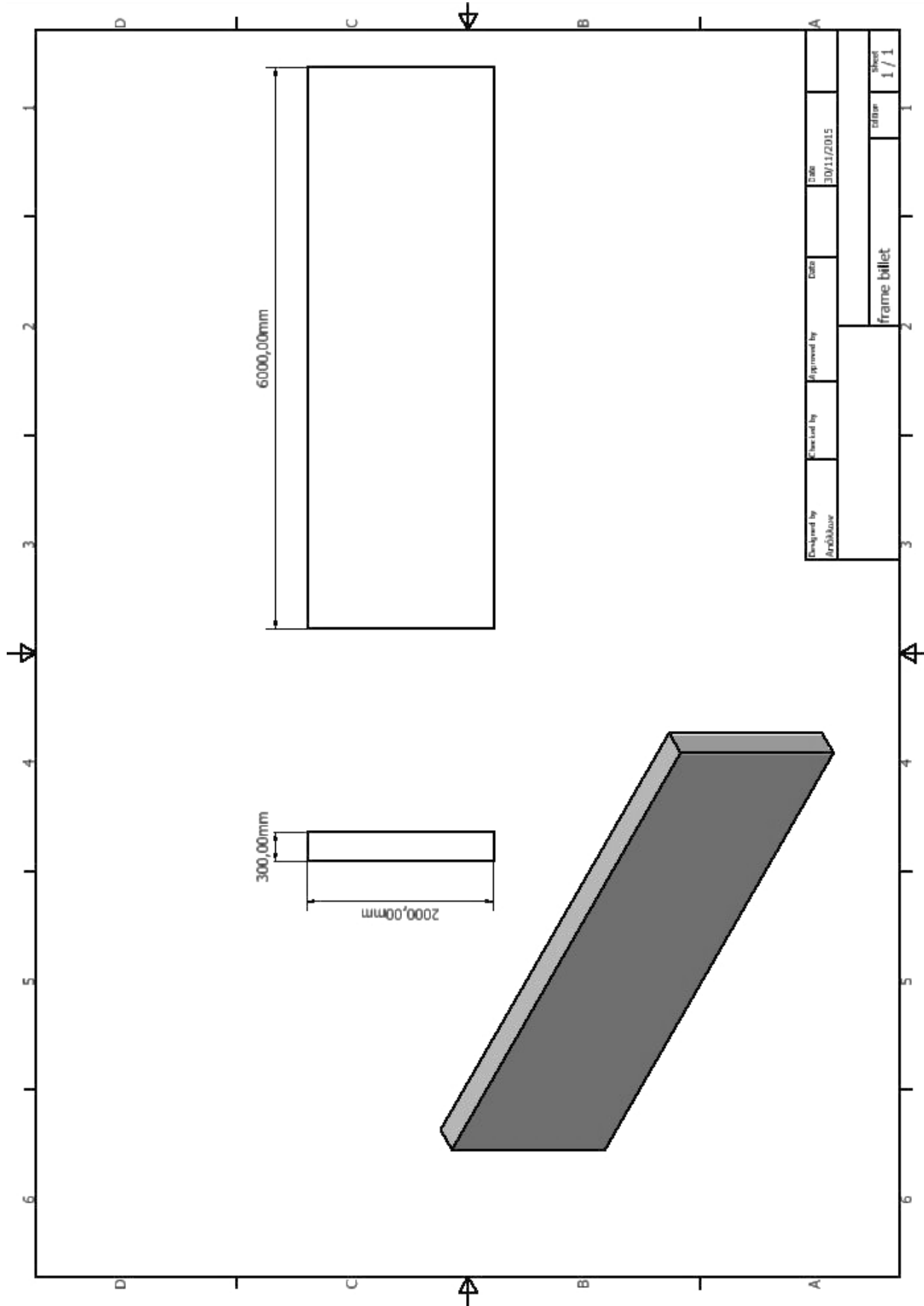


5.1 Σχέδια Δομικού στοιχείου

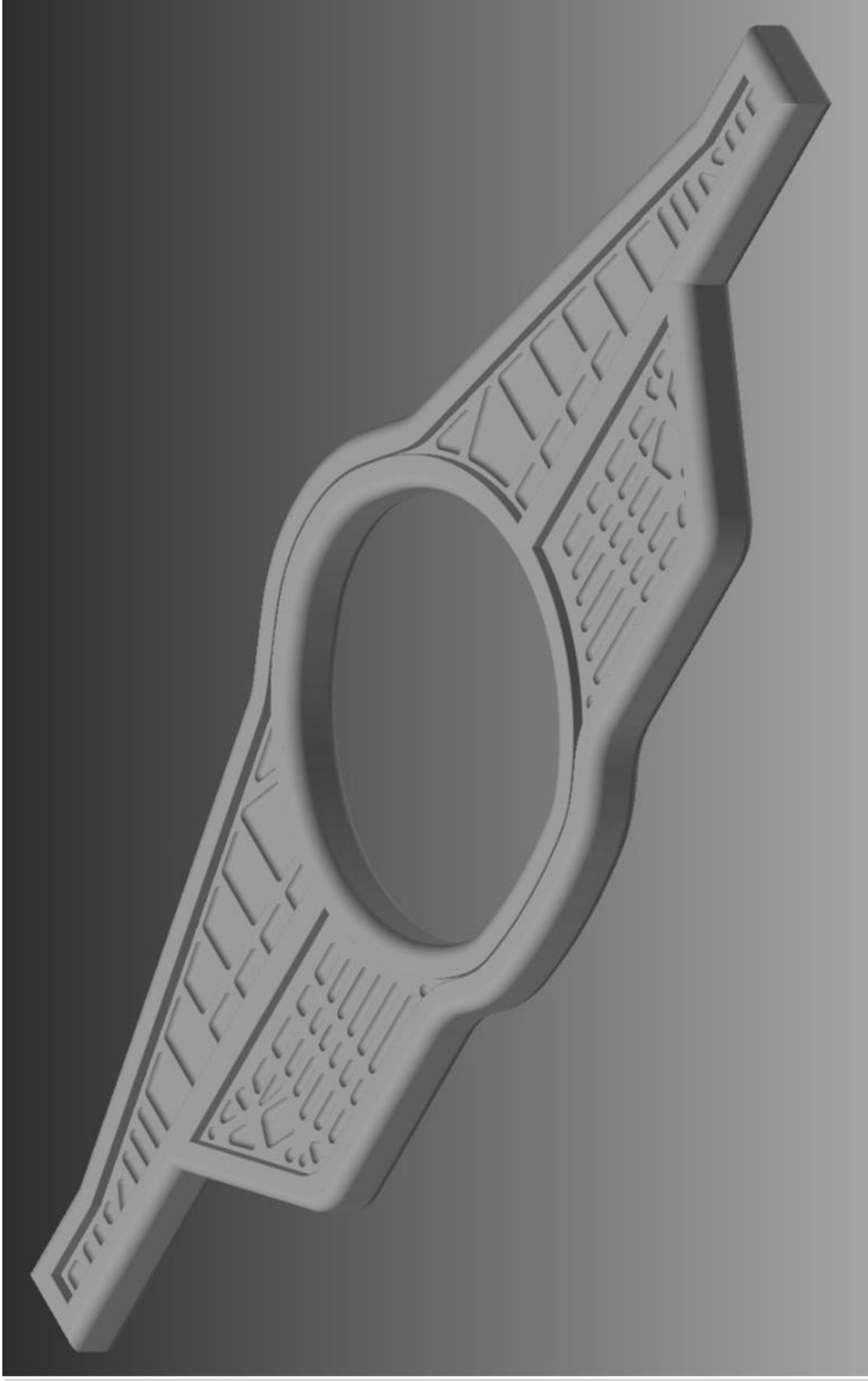
5.1.1 Αρχικός κορμός μετάλλου



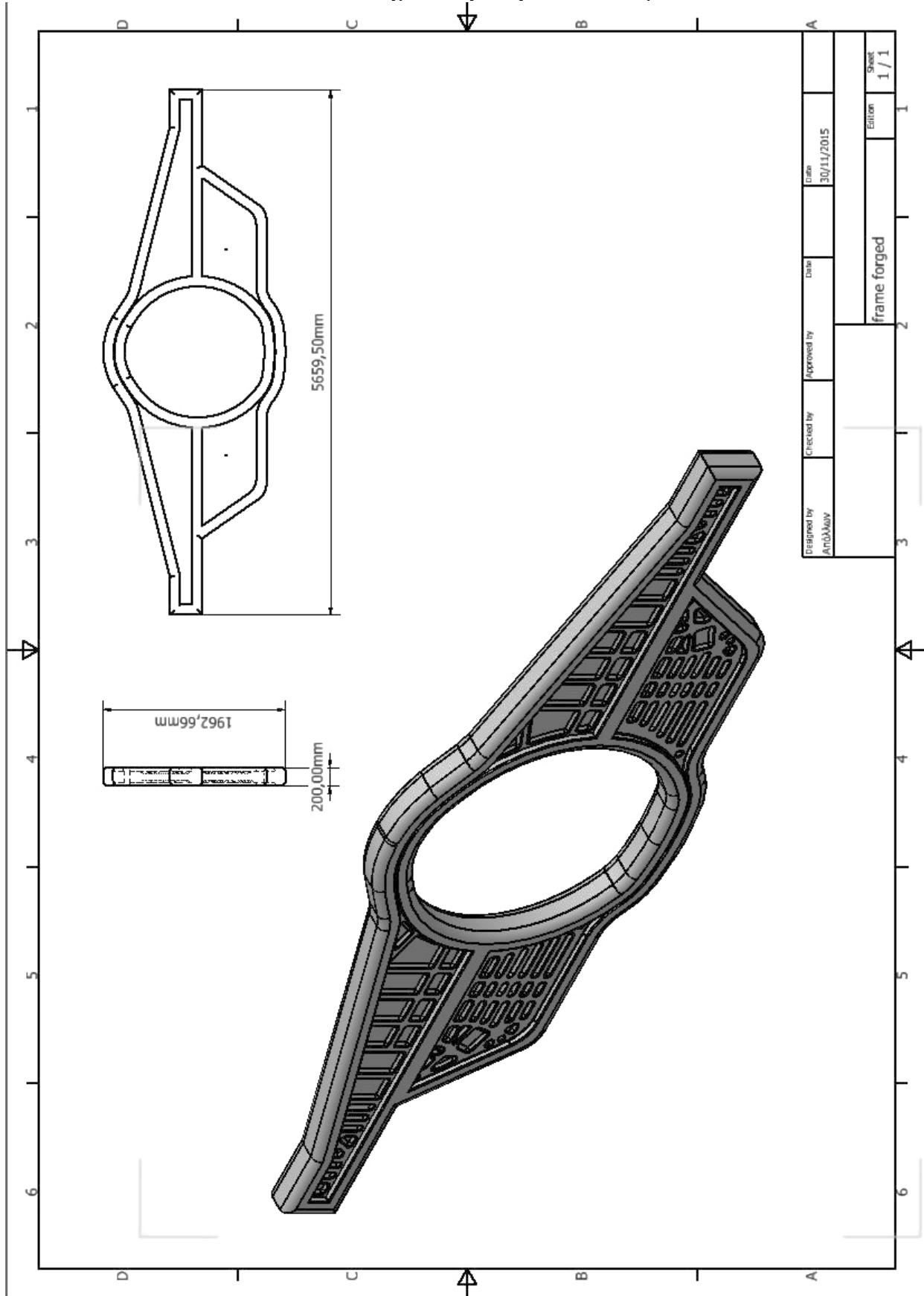
5.1.1.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Αρχικού κορμού μετάλλου



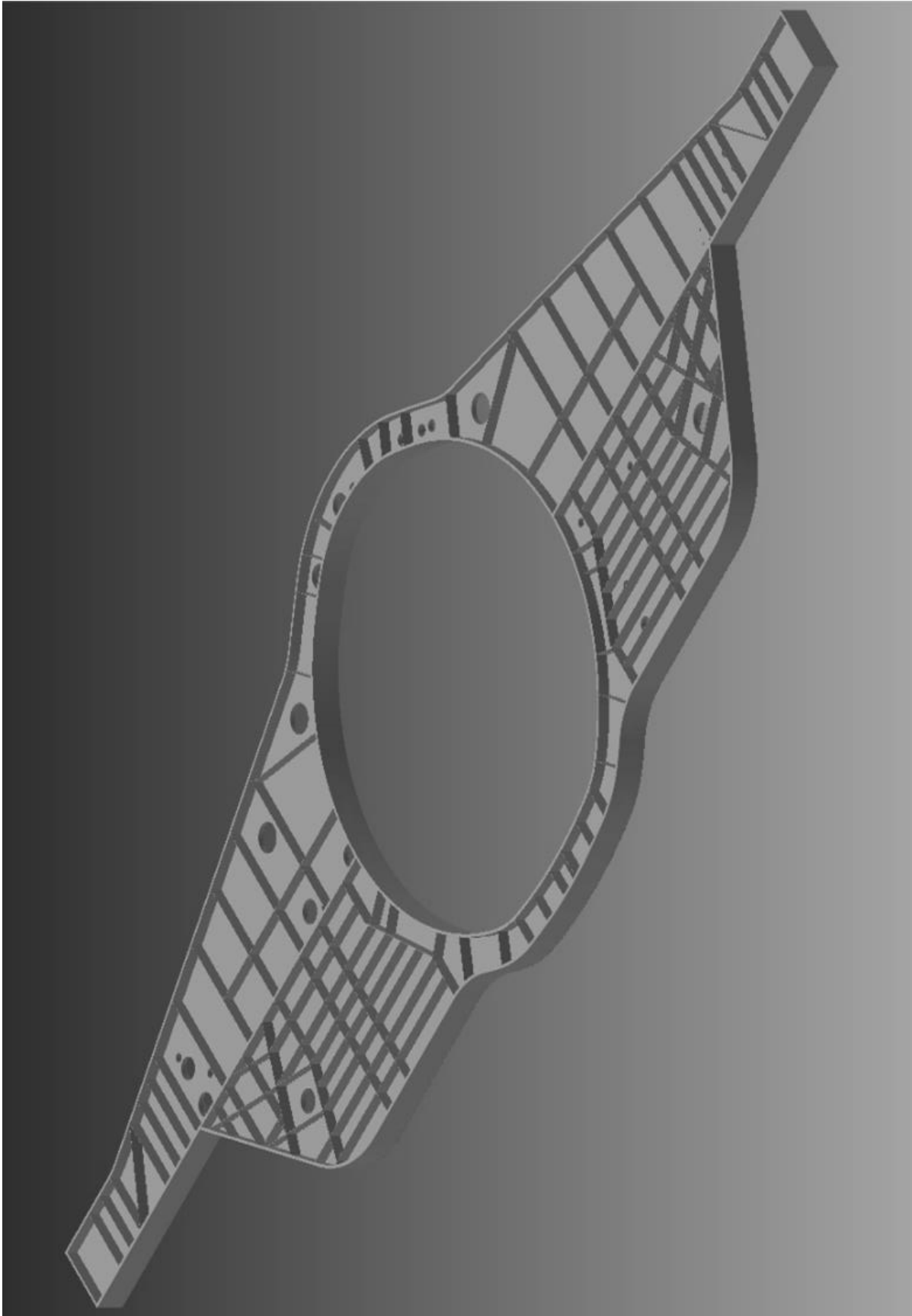
5.1.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο



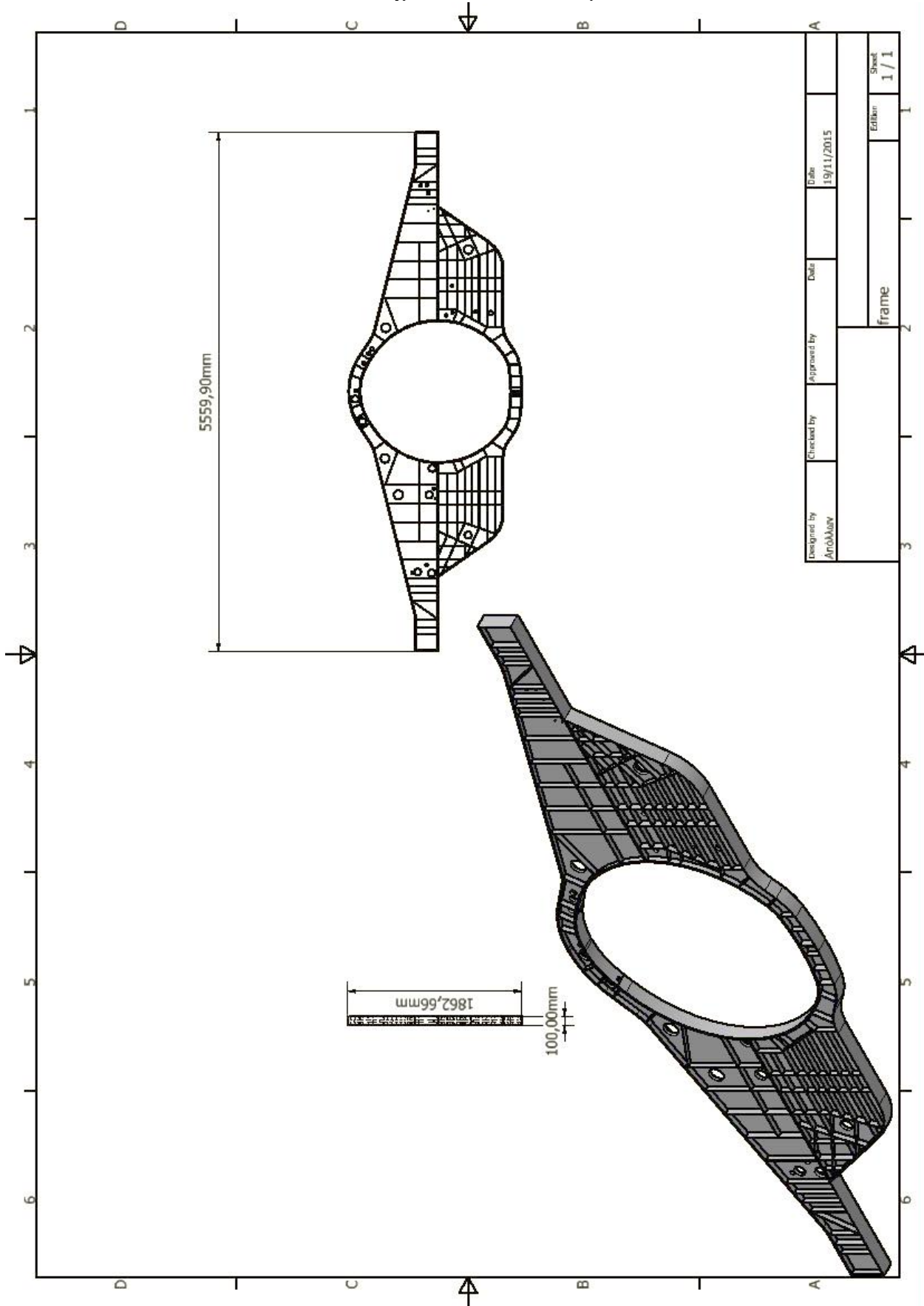
5.1.2.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Πρεσαριστού Δοκμίου



5.1.3 Τελικό Δοκίμιο

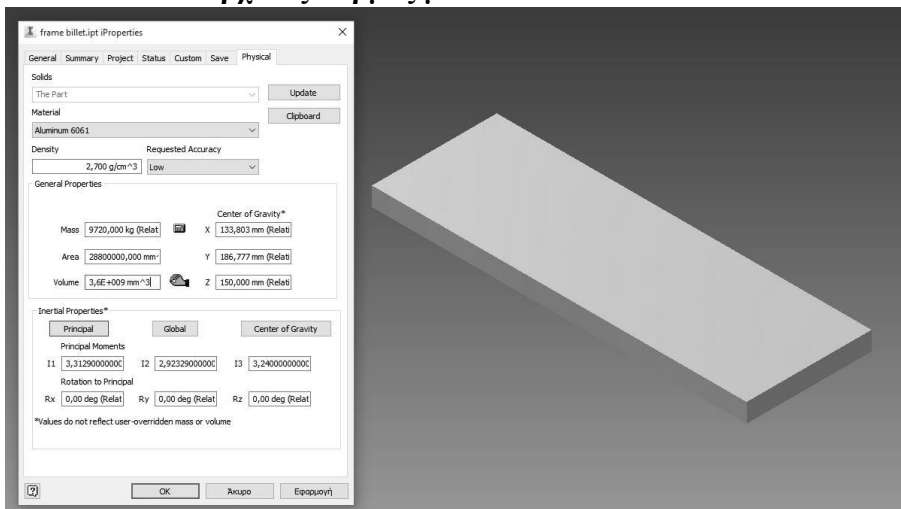


5.1.3.1 Κατασκευαστικό Σχέδιο Τελικού Δοκιμίου

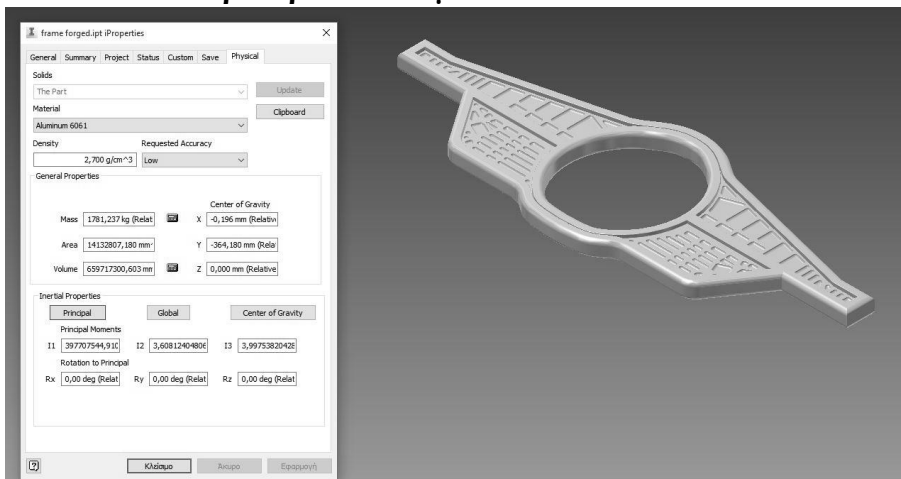


5.2 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 6061

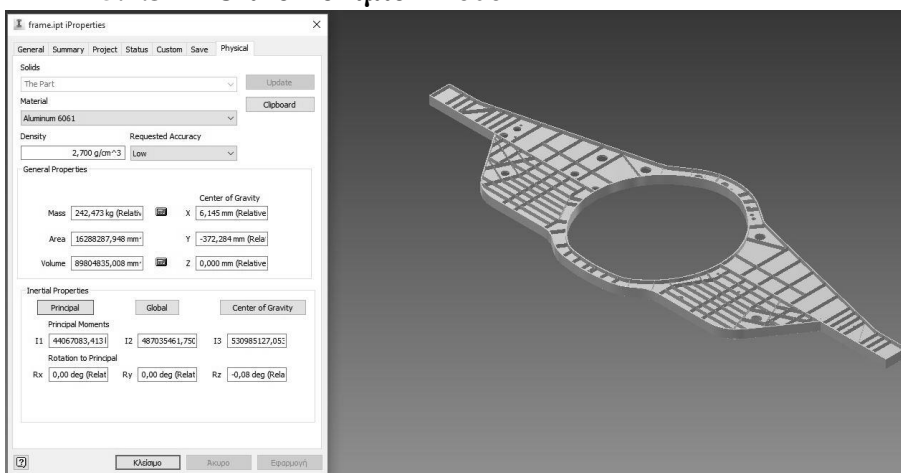
5.2.1 Αρχικός κορμός μετάλλου από Al 6061




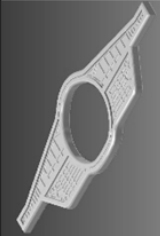

5.2.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο Al 6061



5.2.3 Τελικό Δοκίμιο Al 6061

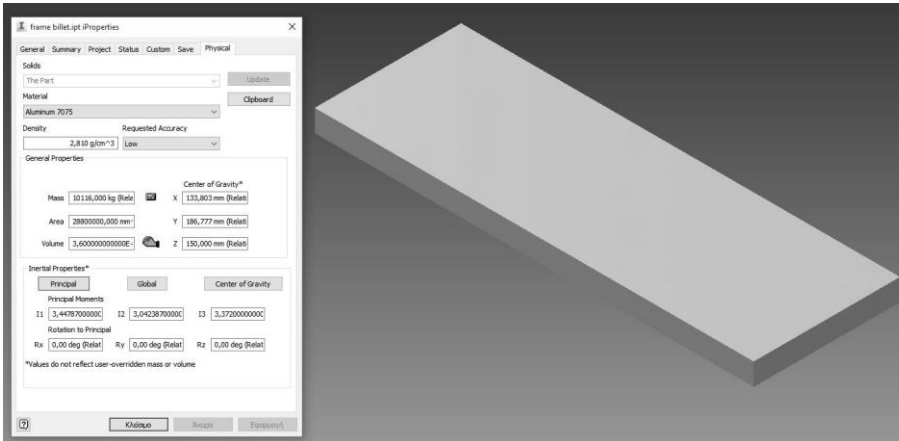


5.3 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμών Al 6061

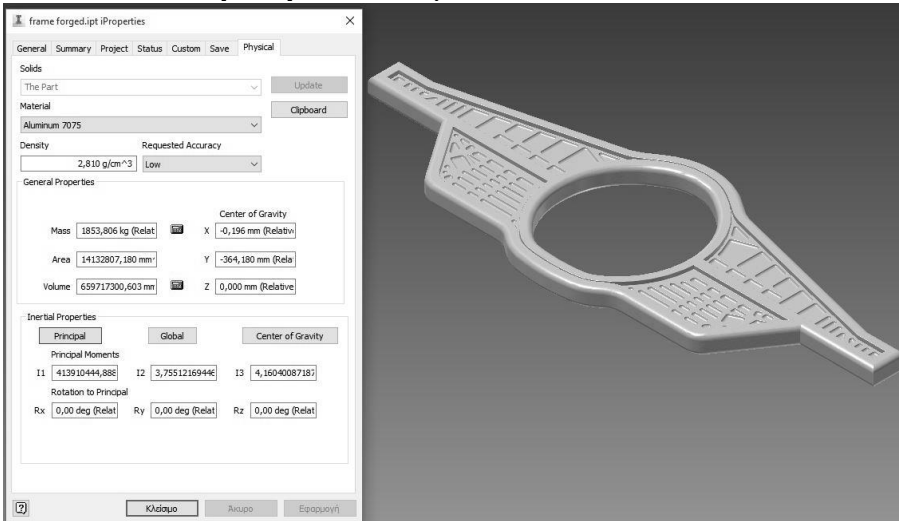
Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	2000,00	6000,00	300	3.600.000.000,00	3.600.000,00	2,70	9.720.000,00	972,00
	1963,66	5659,50	200	659.717.300,60	659.717,30	2,70	1.781.236,71	1.781,24
	1862,66	5559,90	100	89.804.835,01	89.804,84	2,70	242.473,05	242,47

5.4 Φυσικές ιδιότητες Δοκιμίων από Al 7075

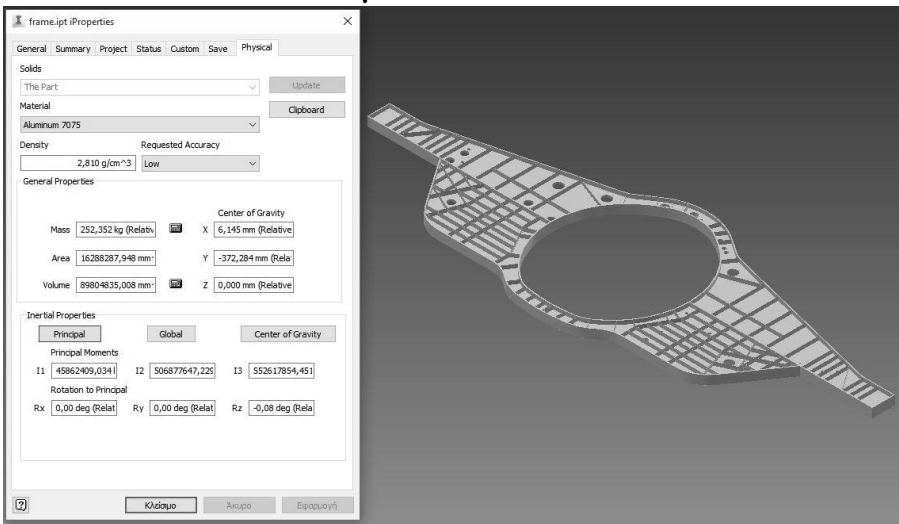
5.4.1 Αρχικός κορμός μετάλλου Al 7075






5.4.2 Πρεσαριστό Δοκίμιο Al 7075




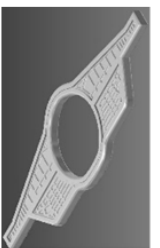

5.4.3 Τελικό Δοκίμιο Al 7075



5.5 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμών Al 7075

Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	2000,00	6000,00	300	3.600.000.000,00	3.600.000,00	2,81	10.116.000,00	10.116,00
	1963,66	5659,50	200	659.717.300,60	659.717,30	2,81	1.853.805,61	1.853,81
	1862,66	5559,90	100	89.804.835,01	89.804,84	2,81	252.351,59	252,35

5.7 Πίνακας Φυσικών ιδιοτήτων Δοκιμών Ti6Al4Vα

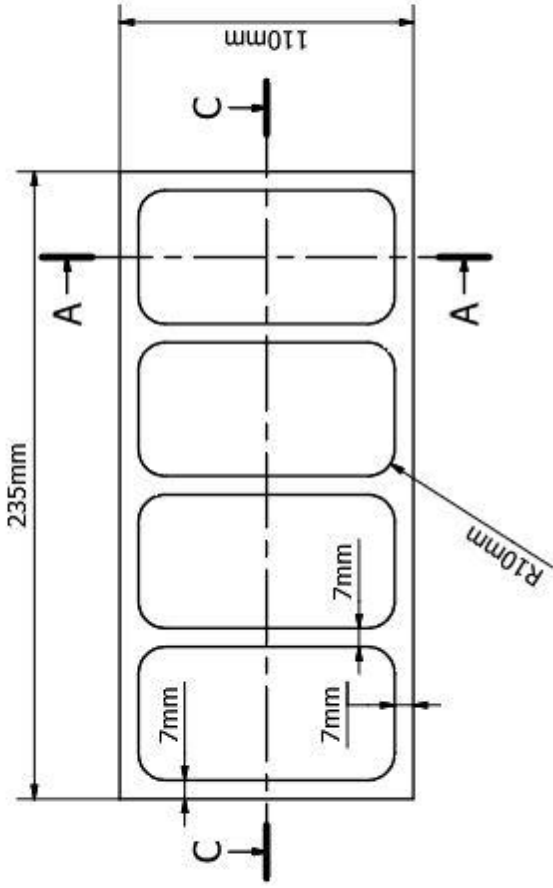
Δοκίμιο	Μέγιστο Μήκος mm	Μέγιστο Πλάτος mm	Μέγιστο Ύψος mm	Όγκος mm ³	Όγκος cm ³	Ειδικό βάρος g/cm ³	Βάρος g	Βάρος Kg
	2000,00	6000,00	300	3.600.000.000,00	3.600.000,00	4,43	15.948.000,00	15.948,00
	1963,66	5659,50	200	659.717.300,60	659.717,30	4,43	2.922.547,64	2.922,55
	1862,66	5559,90	100	89.804.835,01	89.804,84	4,43	397.835,42	397,84

Βιβλιογραφία

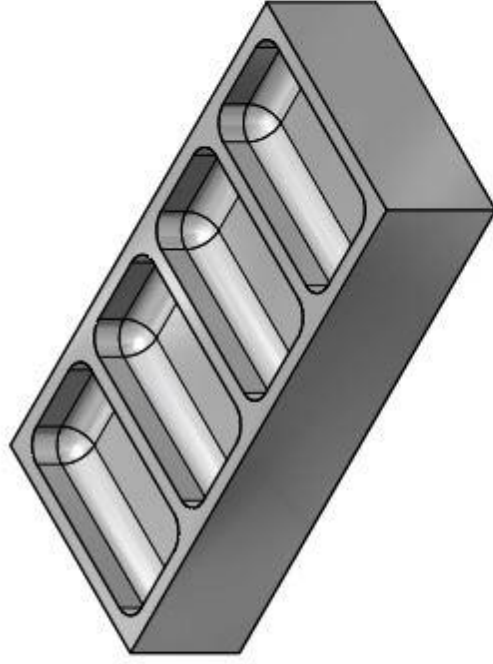
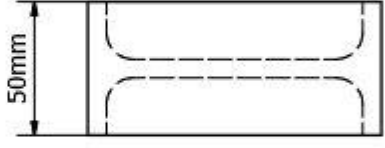
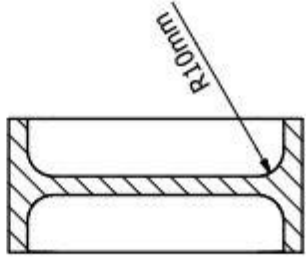
- Adams, J. L. (2016, Ιανουάριος 06). *Homo Sapiens and the Things They Make*. Ανάκτηση από
<http://jamesladams.typepad.com>:
<http://jamesladams.typepad.com/blog/2012/11/stanford-product-realization-laboratory-1-the-birth.html>
- ALL METALS & FORGE GROUP. (2016, Ιανουάριος 06). *ALL METALS & FORGE GROUP*.
Retrieved from <http://www.steelforge.com>:
<http://www.steelforge.com/literature/history-of-forgings/>
- Clements, J. (2015, Δεκέμβριος 16). *ARMA - the Association for Renaissance Martial Arts*.
Retrieved from <http://www.thearma.org>:
http://www.thearma.org/essays/How_Were_Swords_Made.htm#.Vo0vshWLSHu
- Delano, J. 1.-1. (2015, Δεκέμβριος 30). *Hammering out a draw bar on the steam drop hammer in the blacksmith shop, Santa Fe R.R. shops*. Ανάκτηση από
<https://en.wikipedia.org/>:
https://en.wikipedia.org/wiki/Blacksmith#/media/File:SFRR_shop.jpg
- Hansen, R. D. (2015, Δεκέμβριος 28). *waterhistory.org*. Retrieved from
<http://www.waterhistory.org>: <http://www.waterhistory.org/histories/waterwheels/>
- Σκιττίδης, Φ. Χ. (2001). *Στοιχεία Εργαλειομηχανών και Διαμορφωτικής Μηχανολογίας*.

Παράρτημα 1

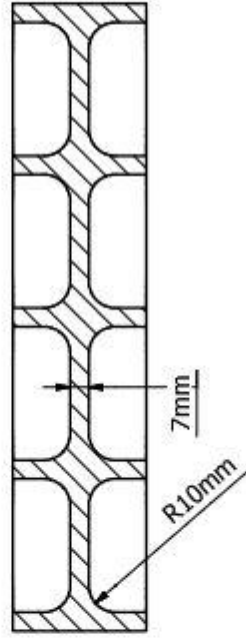
ΜΗΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ



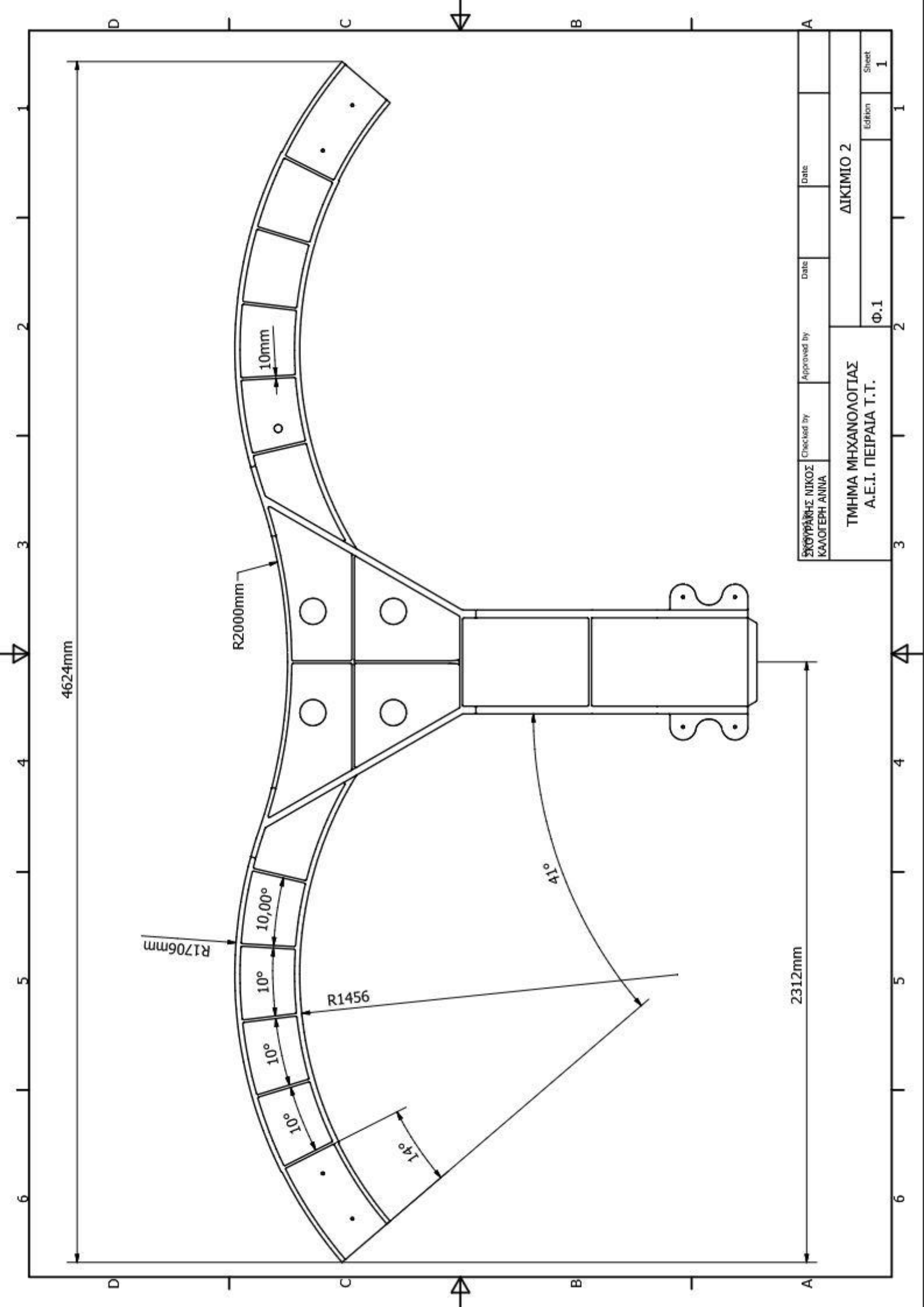
A-A (1:2)



C-C (1:2)



ΣΧΕΥΡΑΡΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date	ΔΟΚΙΜΙΟ 1	Edition	Sheet 1
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.							



4624mm

2312mm

R1706mm

R1456

R2000mm

10mm

10,00°

10°

10°

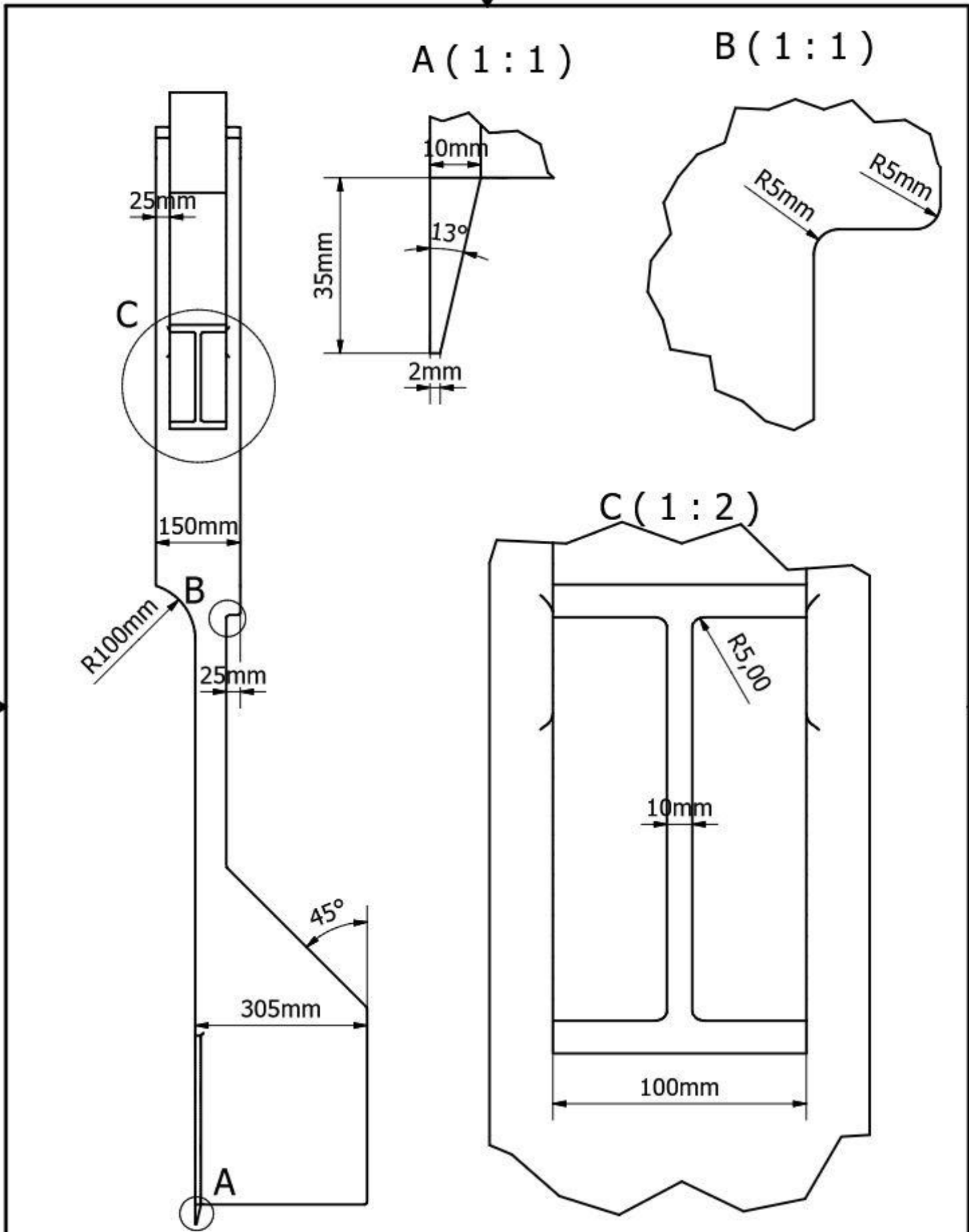
10°

10°

41°

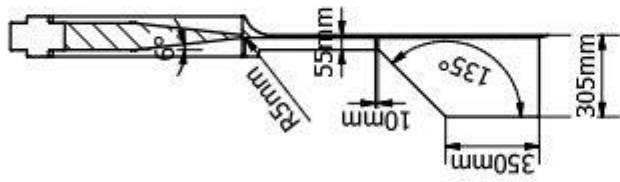
14°

ΕΚΟΥΥΡΑΪΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date	ΔΙΚΙΜΙΟ 2
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.					Φ.1
					Edition
					Sheet
					1

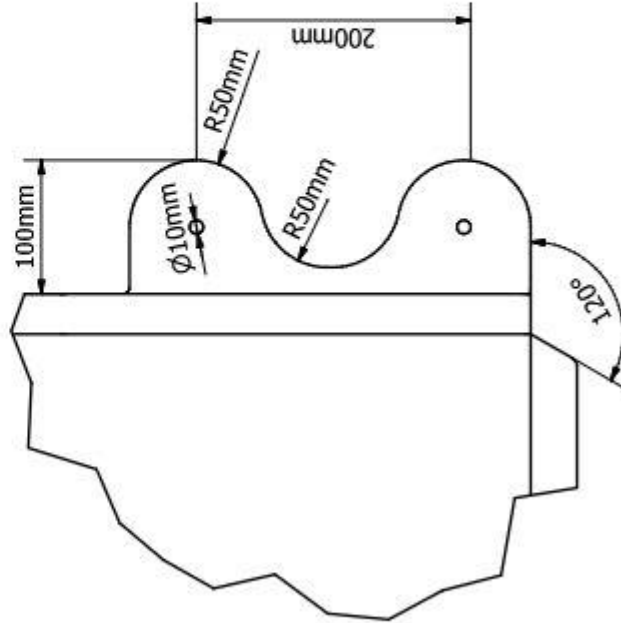


Designed by ΣΚΟΥΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date	
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.			ΔΟΚΙΜΙΟ 2		
			Φ.2	Edition	Sheet 2

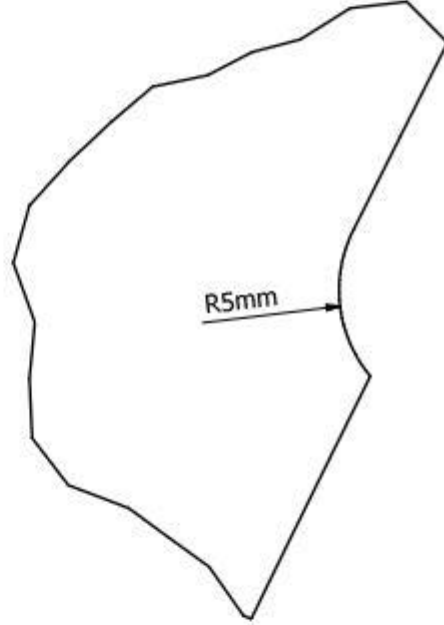
A-A (1 : 20)



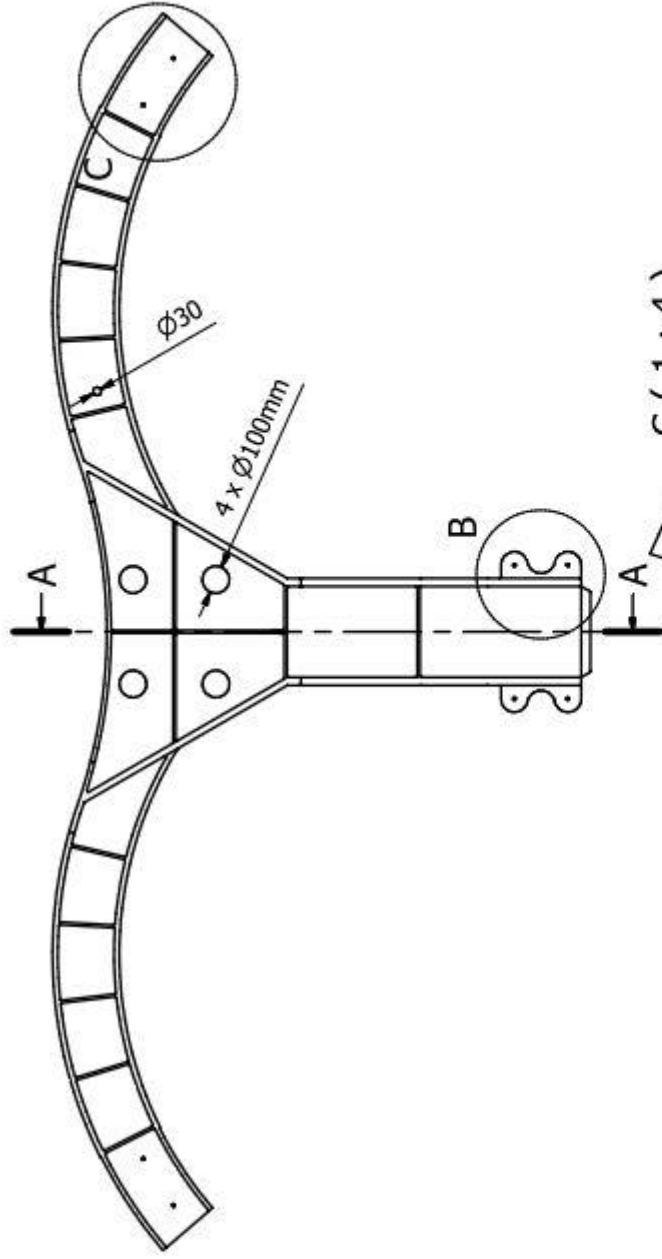
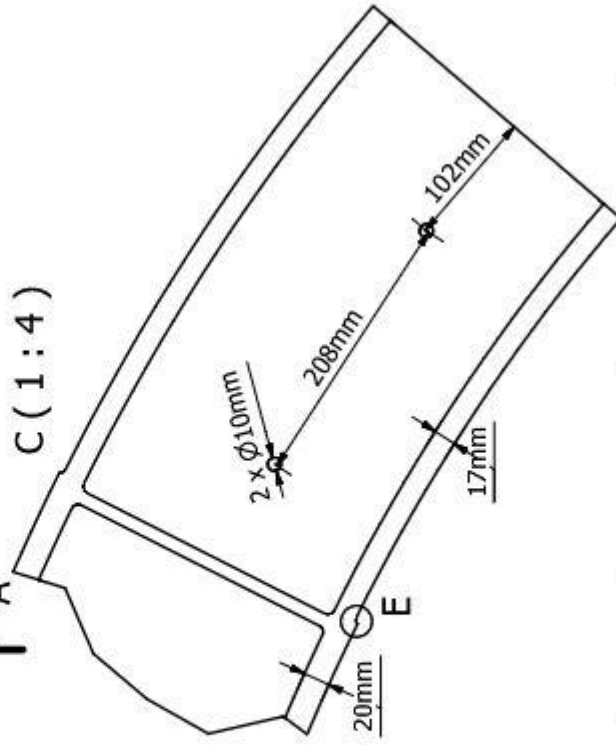
B (1 : 4)



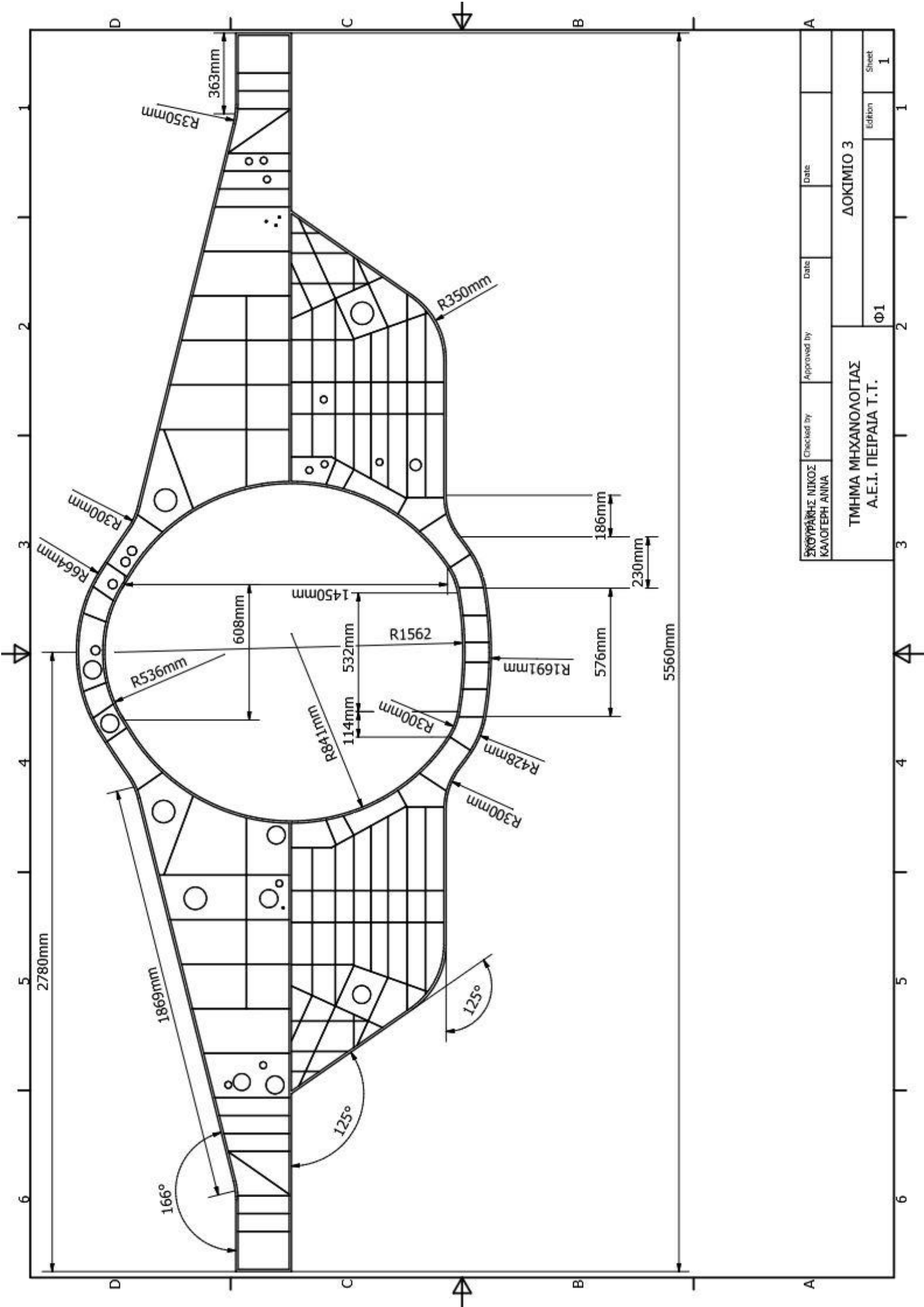
E (5 : 1)



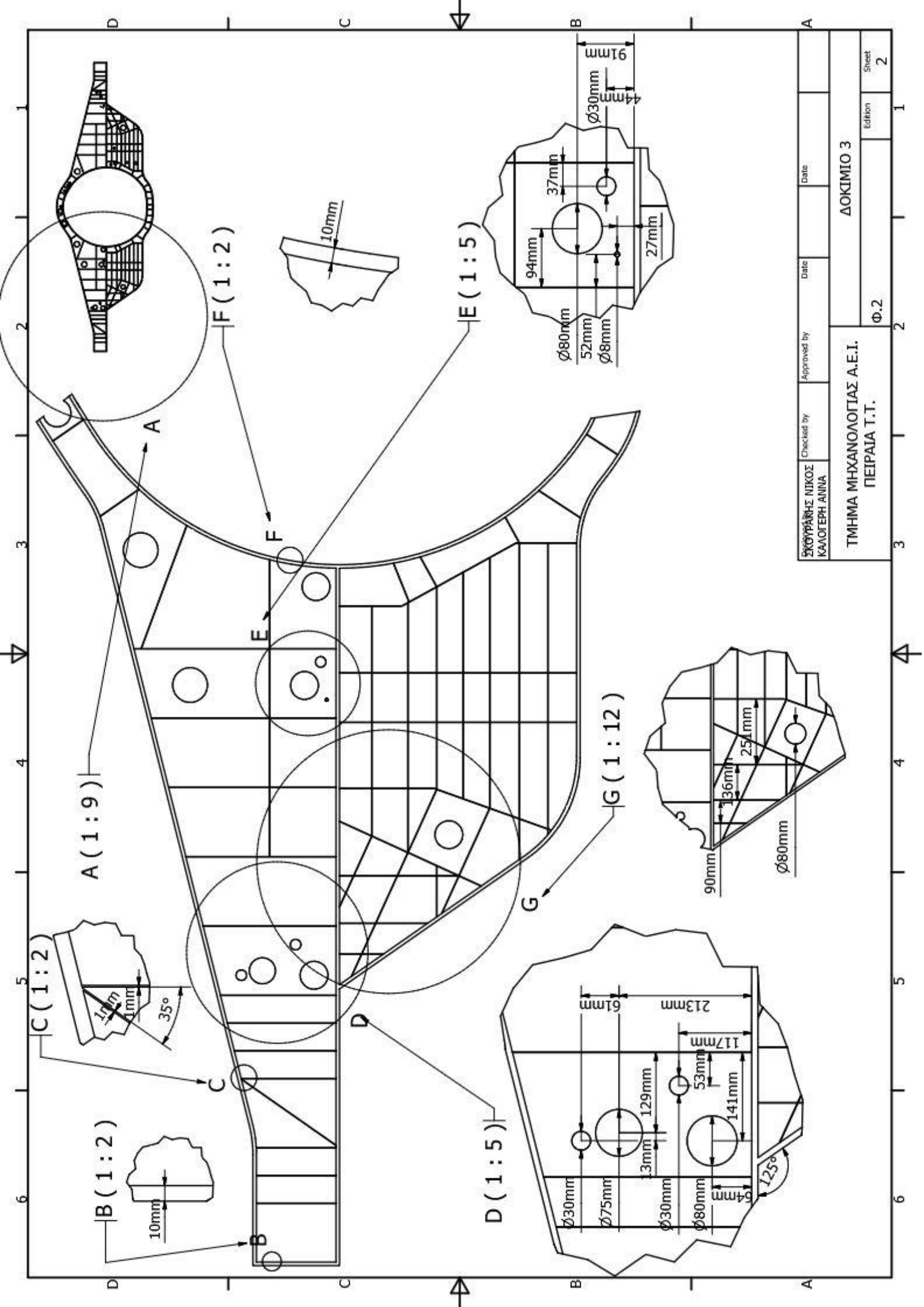
C (1 : 4)



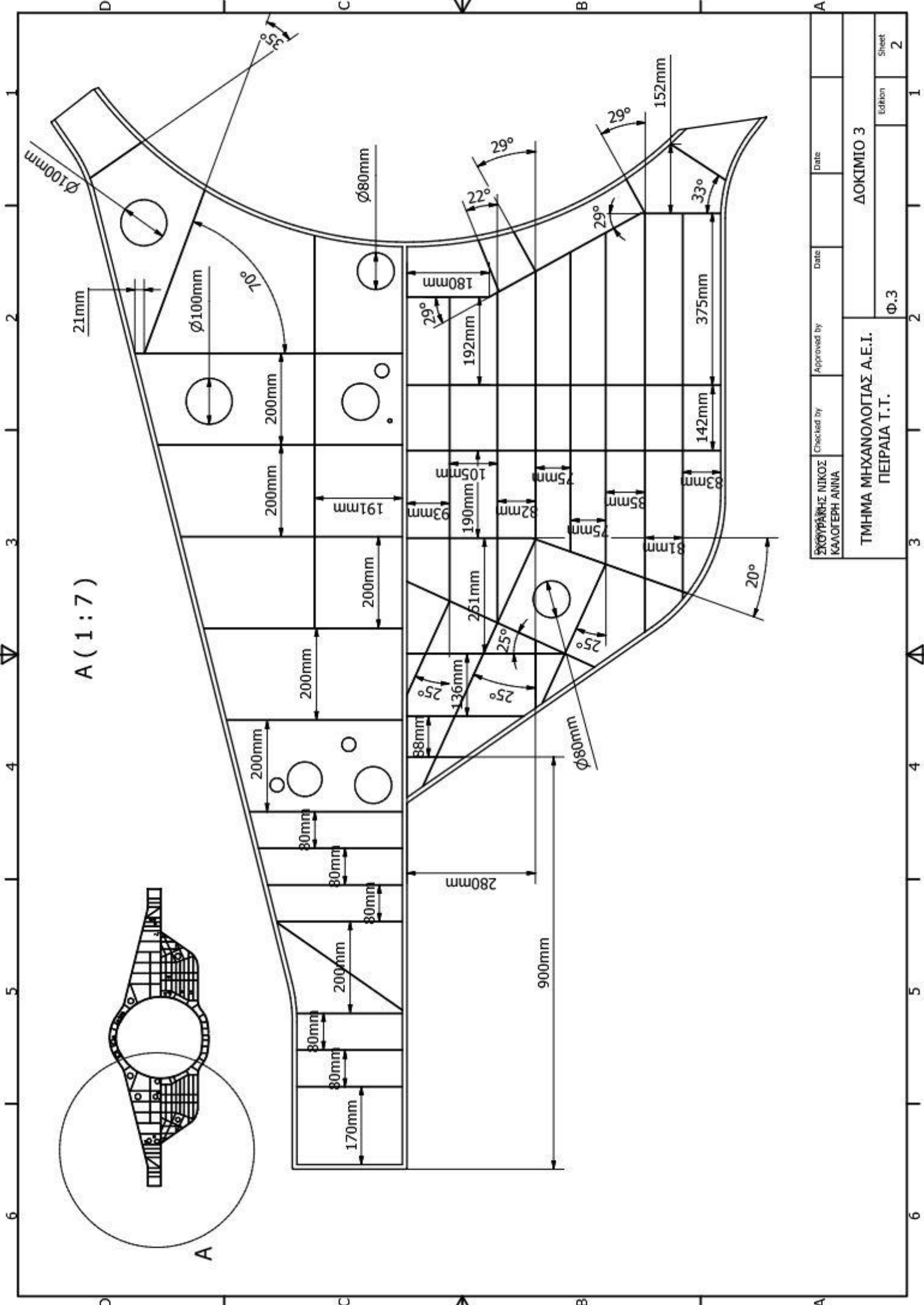
ΣΚΟΠΙΑΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ANNA	Checked by	Approved by	Date	19/1/2016
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.			ΔΟΚΙΜΙΟ 2	
Φ.3			Edition	3
Sheet			3	



ΕΚΟΥΡΑΡΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date	ΔΟΚΙΜΙΟ 3
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.					Φ1
					Sheet 1

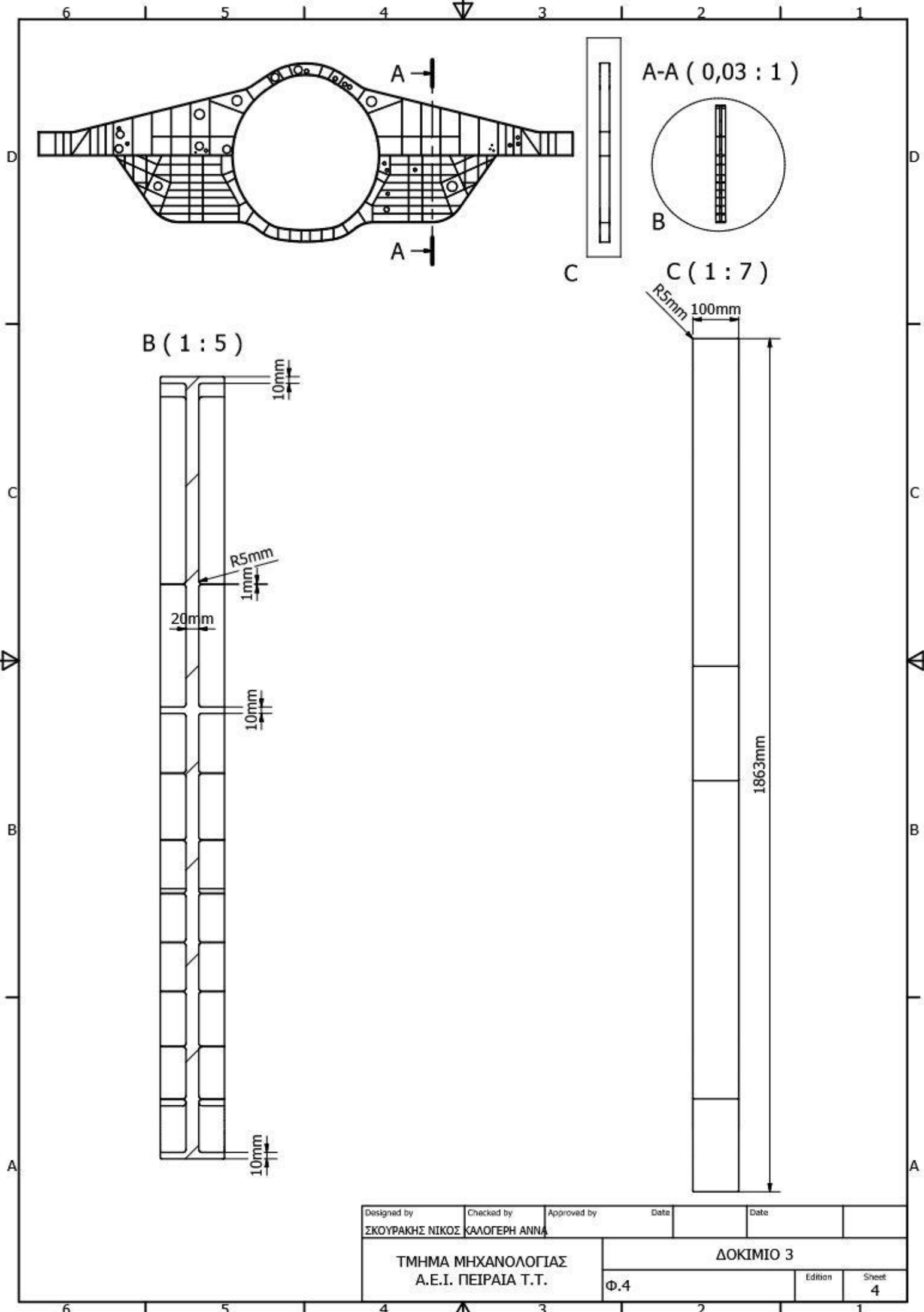


ΕΚΟΥΡΑΡΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.			Φ.2	2
ΔΟΚΙΜΙΟ 3			Edition	2
			Sheet	2



A (1:7)

ΕΚΔΡΑΣΗΣ ΝΙΚΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΙΝΑ	Checked by	Approved by	Date	Date
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.			Φ.3	1
ΔΟΚΙΜΙΟ 3			Εdition	Sheet
			2	2



Designed by ΣΚΟΥΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΣ	Checked by ΚΑΛΟΓΕΡΗ ΑΝΝΑ	Approved by	Date	Date	
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.			ΔΟΚΙΜΙΟ 3		
			Φ.4	Edition	Sheet 4

Παράρτημα 2

ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ ΣΧΕΔΙΩΝ CAD

