



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
CNC ΠΑΝΤΟΓΡΑΦΟΥ 3-ΑΞΟΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΠΗ
ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ (Α.Μ.:44071)

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΠΑΠΑΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ (Α.Μ.: 43797)

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΟΥΛΟΣ (Α.Μ.: 43785)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Δρ ΠΑΝΔΩΡΑ Π. ΨΥΛΛΑΚΗ

ΑΙΓΑΛΕΩ, 2019



Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Συγκολλήσεων του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών (Σ.Τ.ΕΦ) του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α). Καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας αποκομίσαμε πληθώρα εμπειριών, οι οποίες θα αποτελέσουν σημαντικά εφόδια στην μετέπειτα επαγγελματική μας πορεία. Για το λόγο αυτό αισθανόμαστε την υποχρέωση να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που γνωρίσαμε, συνεργαστήκαμε μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση της.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την υπεύθυνη καθηγήτρια της πτυχιακής εργασίας, Δρ. Πανδώρα Ψυλλάκη, αναπληρώτρια καθηγήτρια του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών (Σ.Τ.ΕΦ) του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α), για την ευκαιρία που μας έδωσε να υλοποιήσουμε την πτυχιακή εργασία και την εκτίμηση που έδειξε στις δυνατότητες μας. Επιπλέον, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Λουκά Λουκίδη, πανεπιστημιακό υπότροφο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α), για την πολύτιμη βοήθεια του.

Ένας ακόμα άνθρωπος που θα θέλαμε να εκφράσουμε τη βαθιά μας ευγνωμοσύνη είναι ο κ. Αθανάσιος Μουρλάς, πανεπιστημιακός υπότροφος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (Πα.Δ.Α), ο οποίος στάθηκε σημαντικός αρωγός στην προσπάθειά μας και μας υποστήριξε σε όλη την πορεία με κάθε δυνατό τρόπο. Η καθοδήγηση και η βοήθεια του ήταν πολύτιμη και τον ευχαριστούμε πολύ για την ευκαιρία που μας δόθηκε να συνεργαστούμε μαζί του.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ο καθένας ξεχωριστά την οικογένεια και τους φίλους μας για την ηθική υποστήριξη καθ' όλη την προπτυχιακή μας πορεία και την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

Αιγάλεω, Μάρτιος 2019

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την κατασκευή παντογράφου αριθμητικού ελέγχου μέσω χρήσης H/Y, τριών αξόνων κατεργασίας X, Y και Z . Με άλλα λόγια, ο σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή παντογράφου αριθμητικού ελέγχου η οποία θα χρησιμοποιείται είτε για χάραξη είτε για συγκόλληση μετάλλων.

Για τη δημιουργία ενός τέτοιου μηχανήματος λαμβάνονται υπόψη όλες οι προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα τέτοιου είδους μηχάνημα, όπως είναι το υλικό της κατασκευής, το μέγεθος και η ακρίβεια του. Αρχικά, λοιπόν, αφού ο παντογράφος σχεδιαστεί σε κατάλληλο πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού και μετέπειτα κατασκευάζεται το μηχανολογικό μέρος με τα μέσα που διαθέτε το εργαστήριο σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια. Γενικά, όλες οι μηχανές CNC υποστηρίζονται με ειδικά προσαρμοσμένα προγράμματα σχεδίασης και κατεργασίας CAD-CAM , ώστε οι μηχανές αυτές να αξιοποιούνται στο μέγιστο βαθμό. Επόμενο βήμα είναι η σχεδίαση του ηλεκτρονικού κυκλώματος του μηχανήματος και επιλέγεται η κάρτα οδήγησης που αναλαμβάνει την σύνδεση με τον H/Y. Το τελευταίο στάδιο αφορά στη ρύθμιση της μηχανής μέσω του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αυτή έτσι ώστε το μηχάνημα να μπορεί να εκτελεί τις εντολές του χρήστη με ακρίβεια. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως στην παραπάνω μηχανή μπορεί να προσαρμοστεί κατ' επιλογή, συγκόλληση ή και laser (με κατάλληλη προσαρμογή) για την επεξεργασία αντικειμένων.

Καθώς οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος της βιομηχανικής παραγωγής την σημερινή εποχή, οι γνώσεις που αποκτήθηκαν για την παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελούν μία καλή βάση για το μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: Παντογράφος, CNC, κατασκευή, μηχανικό μέρος, ηλεκτρονικό-ηλεκτρολογικό μέρος, βηματικοί κινητήρες, κάρτα ελέγχου οδήγησης



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη	4
Περιεχόμενα.....	6
1 Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου	11
1.1 Γενικά στοιχεία για τα συστήματα αυτόματου ελέγχου (Σ.Α.Ε.).....	11
1.2 Ιστορική αναδρομή Ρομποτικής.....	12
1.3 Εργαλειομηχανές CNC.....	13
1.3.1 Ιστορική αναδρομή εργαλειομηχανών CNC	13
1.3.2 Κριτήρια επιλογής εργαλειομηχανών CNC	14
1.3.2.1 Πλεονεκτήματα εργαλειομηχανών CNC.....	14
1.3.2.2 Μειονεκτήματα εργαλειομηχανών CNC	14
1.3.3 Πεδίο εφαρμογής εργαλειομηχανών CNC	15
1.4 Λογισμικό χειρισμού εργαλειομηχανών CNC.....	16
1.4.1 Κύρια χαρακτηριστικά.....	17
1.4.2 Έλεγχος εξοπλισμού	17
1.4.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά.....	17
1.5 Καθορισμός των Αξόνων	17
1.6 Κώδικας λειτουργίας CNC εργαλειομηχανών	18
1.6.1 Κωδικοί τύπου M.....	19
1.6.2 Ομάδες κωδικών μεταφοράς.....	20
1.7 CNC Παντογράφοι.....	22
1.7.1 Αναλογικός παντογράφος.....	22
1.7.2 CNC παντογράφος	24
2 Μεθοδολογία/Σχεδιασμός Αξονικού Παντογράφου	25
2.1 Σχεδιασμός.....	25
2.2 Μεθοδολογία κατασκευής μηχανικού μέρους κατασκευής.....	25
2.3 Αντίστοιχες Κατασκευές CNC Παντογράφων.....	25
2.3.1 Ez -Router	26
2.3.2 PlasmaCam	27
2.3.3 Μηχανισμοί γραμμικών οδηγών.....	28
2.4 Παρουσίαση μηχανήματος.....	29
2.4.1 Βασικός Σκελετός.....	29

2.4.2	Σύστημα μετάδοσης κίνησης άξονα y	31
2.4.3	Σύστημα μετάδοσης κίνησης άξονα x	34
2.4.4	Μηχανισμός συστήματος άξονα z	37
2.4.5	Μηχανισμοί που δεν αξιοποιήθηκαν	39
2.5	Υποδομή τοποθέτησης των ηλεκτρονικών/ηλεκτρολογικών.....	41
2.5.1	Τοποθέτηση ερπυστριών καλωδίουσης	41
2.5.2	Τοποθέτηση τερματικών διακοπών.....	42
2.5.3	Βάση στήριξης ηλεκτρολογικού πίνακα και H/Y	44
2.6	Εσχάρα στήριξης υλικών προς επεξεργασία.....	45
2.7	Έλεγχος καθετότητας πλευρών	46
3	Ηλεκτρονικά-Ηλεκτρολογικά κυκλώματα	50
3.1	Ηλεκτρονικός/ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.....	50
3.1.1	Ηλεκτρονική κάρτα ελέγχου οδήγησης.....	50
3.1.1.1	Χαρακτηριστικά ηλεκτρονικής κάρτας ελέγχου οδήγησης.....	50
3.1.1.2	Δυνατότητες ηλεκτρονικής κάρτας ελέγχου οδήγησης.....	51
3.1.1.3	Ανάλυση σημάτων θύρας LTP.....	52
3.1.2	Δυνατότητες ρυθμίσεων	53
3.1.3	Τελικές ρυθμίσεις	53
3.2	Ηλεκτρικοί κινητήρες.....	56
3.2.1	Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (dc motors)	56
3.2.2	Σερβοκινητήρες (servo motors)	57
3.2.3	Βηματικοί κινητήρες (stepper motors)	58
3.2.4	Επιλογή κατάλληλου ηλεκτρικού κινητήρα	60
3.2.5	Επιλεγμένοι βηματικοί κινητήρες.....	60
3.3	Παρουσίαση συνδεσμολογίας.....	61
3.4	Εισαγωγή αρχείου στο πρόγραμμα για εκτέλεση από τον CNC παντογράφου 65	
3.5	Βήματα εκκίνησης/απενεργοποίησης μηχανής.....	66
4	Στόχοι που επιτεύχθηκαν.....	66
5	Μελλοντικές βελτιώσεις μηχανής	67
6	Βιβλιογραφία	68

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1	Καρτεσιανό σύστημα αξόνων εργαλειομηχανής CNC	18
Σχήμα 1.2	Παντογράφος	22
Σχήμα 1.3	Ειδογράφος (eidograph)	23
Σχήμα 2.1	CNC Παντογράφος ez Router	26
Σχήμα 2.2	Μηχανισμός κινητήρα CNC Παντογράφου (ez Router)	26
Σχήμα 2.3	Ένσφαιρός τριβέας V - Groove	27
Σχήμα 2.4	CNC Παντογράφος PlasmaCam	27
Σχήμα 2.5	Βαγόني γέφυρας CNC Παντογράφου (PlasmaCam)	28
Σχήμα 2.6	Αυτοσχέδια γραμμικά έδρανα ολίσθησης	28
Σχήμα 2.7	Αυτοσχέδιος μηχανισμός γέφυρας	29
Σχήμα 2.8	Βασικός σκελετός	30
Σχήμα 2.9	Γραμμικός οδηγός - Νεύρο στήριξης	30
Σχήμα 2.10	Γαλβανισμένα ελάσματα	31
Σχήμα 2.11	Γωνιά γέφυρας	32
Σχήμα 2.12	Έλασμα ενεργοποίησης τερματικών	32
Σχήμα 2.13	Κουζινέτο UCF	33
Σχήμα 2.14	Βηματικός κινητήρας άξονα y	33
Σχήμα 2.15	Μηχανικά τερματικά άξονα y	34
Σχήμα 2.16	Βαγόني άξονα χ	35
Σχήμα 2.17	Κατασκευή βαγονιού άξονα χ	36
Σχήμα 2.18	Πλακίδιο σύνδεσης άξονα z	37
Σχήμα 2.19	Μηχανισμός συστήματος άξονα z	38
Σχήμα 2.20	Ακραίο τμήμα γέφυρας	39
Σχήμα 2.21	Επιπρόσθετο τμήμα κουζινέτου UCF	40
Σχήμα 2.22	Προγενέστερη ιδέα βαγονιού άξονα x	41
Σχήμα 2.23	Τμήμα στήριξης ερπύστριας στον κινητήρα του άξονα x	42
Σχήμα 2.24	Τερματικοί διακόπτες άξονα x	43
Σχήμα 2.25	Τερματικοί διακόπτες άξονα y	43
Σχήμα 2.26	Βραχίονας βάσης στήριξης	44
Σχήμα 2.27	Βάση στήριξης	44
Σχήμα 2.28	Ολοκληρωμένη τοποθέτηση βάσης στήριξης	45
Σχήμα 2.29	Βάση στήριξης υλικών προς επεξεργασία	46
Σχήμα 2.30	Μηχανισμός προσαρμογής εργαλείου επεξεργασίας	47
Σχήμα 2.31	Αναλογίες πλευρών ορθογωνίου τριγώνου σύμφωνα με πυθαγόρειο θεώρημα	47
Σχήμα 2.32	Επαλήθευση αποστάσεων για καθετότητα	48
Σχήμα 2.33	Διαδικασία γωνιάσματος	48
Σχήμα 2.34	Υψομετρικός Χαρακτήρας	49
Σχήμα 3.1	Κάρτα ηλεκτρονικών LV8727T4V3	51
Σχήμα 3.2	Σήματα θύρας LTP	52
Σχήμα 3.3	Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικού κινητήρα άξονα x μέσω Mach3	55
Σχήμα 3.4	Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικού κινητήρα άξονα y μέσω Mach3	56

Σχήμα 3.5 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC motor)	57
Σχήμα 3.6 Σερβοκινητήρας (servo motor)	58
Σχήμα 3.7 Βηματικός κινητήρας (stepper motor)	59
Σχήμα 3.8 Επιλεγμένος βηματικός κινητήρας άξονα x	60
Σχήμα 3.9 Επιλεγμένος βηματικός κινητήρας άξονα y	61
Σχήμα 3.10 Καλωδίωση-Ερπύστριες	62
Σχήμα 3.11 Ηλεκτρολογικός πίνακας	62
Σχήμα 3.12 Συνδεσμολογία ρελέ	63
Σχήμα 3.13 Αποτύπωση ηλεκτρολογικού-ηλεκτρονικού σχεδίου	64
Σχήμα 3.14 Απεικόνιση επεξεργασίας αρχείου για την έναρξη λειτουργίας	65

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1 Παράδειγμα G-code	21
Πίνακας 3.1 Ανάλυση σημάτων θύρας LTP	52
Πίνακας 3.2 Τέσσερις τύποι λειτουργίας (ρύθμιση ισχύος)	53
Πίνακας 3.3 Ρύθμιση υποδιαίρεσης βήματος	53
Πίνακας 3.4 Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικών κινητήρων μέσω κάρτας	54

1 Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (Σ.Α.Ε.) καθώς και ιστορική ανάδρομη της ρομποτικής όπως και των εργαλειομηχανών CNC. Επιπλέον, γίνεται μια περιγραφή του συστήματος αξόνων όπως και του κώδικα λειτουργίας των συγκεκριμένων εργαλειομηχανών.

1.1 Γενικά στοιχεία για τα συστήματα αυτόματου ελέγχου (Σ.Α.Ε.)

Ως Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου (Σ.Α.Ε.) ονομάζεται κάθε διάταξη φυσικών στοιχείων τα όποια είτε πραγματοποιούν αυτορρύθμιση και αυτοέλεγχο είτε έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν και να ελέγχουν άλλα είδη συστημάτων έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν με έναν συγκεκριμένο τρόπο. Το σύστημα αυτόματου ελέγχου μπορεί να εντοπιστεί σε διαφορές κατηγορίες. Κάποιες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Οικιακές συσκευές όπως κουζίνα , ψυγείο πλυντήριο
- Σύστημα οδήγησης αυτοκίνητου (κιβώτιο ταχυτήτων)
- Αυτόματα συστήματα πυρόσβεσης ,παρκινγκ , ποτίσματος κλπ.

Κάποια ιστορικά στοιχεία που έχουν να κάνουν με τα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου και είναι άξια παρατήρησης είναι:

Το διάστημα 1868 – 1930, με τις εργασίες των Maxwell, Vyshnegradskii και Routh ήταν καθοριστικό για την τεκμηρίωση των συστημάτων αυτόματου ελέγχου με πρακτικό παράδειγμα τον φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας του Watt.

Το διάστημα 1930 – 1960 έγινε η ανάπτυξη της κλασικής θεωρίας (Nyquist, Black, Nichols, Bode) αυτόματου ελέγχου η οποία έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με:

- Συστήματα μιας εισόδου μιας εξόδου (SISO)
- Χρήση γραφικών μεθόδων σχεδίασης όπως π.χ. διαγράμματα Nyquist, Bode, Nichols κλπ
- Ανάλυση και σχεδίαση στο πεδίο της συχνότητας

Τέλος το 1960 και ύστερα αφορά την ανάπτυξη της σύγχρονης θεωρίας (Kalman, Jury, Kailath) αυτόματου ελέγχου η οποία εξετάζει, μεταξύ άλλων με:

- Συστήματα περισσότερων εισόδων και περισσότερων εξόδων (MIMO)
- Περισσότερο αναλυτικές μεθόδους σχεδίασης όπως π.χ. σχεδίαση στο χώρο κατάστασης , προσαρμοστικό έλεγχος
- Χρήση ψηφιακών μικροϋπολογιστών που έχουν να κάνουν με τον έλεγχο και την επίλυση συστημάτων (γραμμικών και μη)

1.2 Ιστορική αναδρομή Ρομποτικής

Ο όρος ρομπότ πρωτοεμφανίζεται σε ένα θεατρικό έργο επιστημονικής φαντασίας του Τσέχου συγγραφέα Κάρελ Τσάπεκ το 1921 και προέρχεται από τη σλαβική λέξη *robota* που σημαίνει εργασία. Η αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας στις βιομηχανίες μαζικής παραγωγής αντικαθιστά τους ανθρώπους με εξειδικευμένες μηχανές που εκτελούν μια προκαθορισμένη σειρά κατεργασιών στα προϊόντα που παράγονται. Στόχος της αυτοματοποίησης, η οποία γίνεται εφικτή με την ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας τον 20ό αιώνα, είναι η αυξημένη παραγωγικότητα, η βελτιωμένη ποιότητα, η αύξηση του κέρδους των επιχειρήσεων αλλά και η ελεγχιμότητα των μέσων παραγωγής.

Το 1961 κατασκευάζεται και τίθεται σε λειτουργία το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ. Σύμφωνα με έναν ευρέως αποδεκτό ορισμό, χρονολογούμενο από το 1980, ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη μηχανή σχεδιασμένη να μετακινεί αντικείμενα, εργαλεία ή διατάξεις μέσω μιας ποικιλίας προγραμματιζόμενων κινήσεων, για την εκτέλεση εργασιών. Ο ορισμός αυτός αντανάκλα την τρέχουσα χρήση των ρομπότ στη βιομηχανία, η οποία αποτελεί έναν αναπτυσσόμενο και ώριμο τομέα εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας και των προϊόντων της. Τυπικές εφαρμογές τους στη βιομηχανία περιλαμβάνουν τη φόρτωση - εκφόρτωση προϊόντων, τη βαφή, την κοπή κ.τ.λ.

Άλλοι τομείς εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας είναι η εξερεύνηση του διαστήματος, η ιατρική, οι αγροτικές εφαρμογές, η έρευνα και διάσωση κ.τ.λ. Η ρομποτική τεχνολογία στους τομείς αυτούς, παρά την ύπαρξη πρωτοτύπων, είναι ακόμη σε πρωταρχικό στάδιο. Τα αίτια για το γεγονός αυτό μπορούν να αναζητηθούν στην έλλειψη βαθύτερης κατανόησης των μηχανισμών ελέγχου που επιτρέπουν στον άνθρωπο να χειρίζεται επιδέξια μια ποικιλία αντικειμένων στην καθημερινότητά του. Για παράδειγμα, ο επιτυχής χειρισμός ενός ποτηριού αποτελεί μια καθημερινή ενέργεια ενός ανθρώπου, χωρίς ο ίδιος να είναι σε θέση να εξηγήσει τις λεπτομέρειες και την αλληλουχία των ενεργειών που είχαν ως αποτέλεσμα την επιτυχή έκβαση της δράσης του. Η ερευνητική δραστηριότητα για την προαγωγή της επιστήμης και της τεχνολογίας σ αυτόν τον τομέα είναι, επομένως, ιδιαίτερα έντονη.[1]

1.3 Εργαλειομηχανές CNC

Ο όρος “Μηχανές Αριθμητικού Ελέγχου” αναφέρεται στα μηχανήματα τα οποία συνοδεύονται με συστήματα ψηφιακής καθοδήγησης του μηχανολογικού εξοπλισμού και αποδίδεται στη διεθνή ορολογία με τον όρο Computer Numerically Controlled Systems (CNC-Systems). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ειδικό υπολογιστή μέσω του οποίου μεταβιβάζονται ηλεκτρονικά διάφορες εντολές στα μέσα κατεργασίας του μηχανήματος και εκτελούνται οι διάφορες μορφές κατεργασίας. Τα κυριότερα μηχανήματα CNC είναι οι φρέζες, οι τόννοι, οι πολυεργαλειομηχανές, τα δρόπανα, οι παντογράφοι κτλ.

Στις μηχανές CNC (Computer Numerical Control Machines) όλες οι λειτουργίες ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η μηχανή αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: το υλικό και λογισμικό του ελεγκτή (controller) και την ίδια την εργαλειομηχανή. Ο ελεγκτής είναι ένας H/Y που υπολογίζει τις ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν στην μηχανή και ελέγχει και οδηγεί τους μηχανισμούς κίνησης του εργαλείου ώστε η μηχανή να είναι κάτω από συνολικό έλεγχο. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι συνήθως το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων των τριών αξόνων που τέμνονται σε ορθή γωνία (βλ. Κεφάλαιο 1.5). Ένα μηχανήμα CNC έχει τουλάχιστον τρεις άξονες κίνησης των μέσων κατεργασίας, τους X και Y που αναφέρονται στην οριζόντια κίνηση και τον Z που αναφέρεται στην κατακόρυφη κίνηση. Ο κάθε άξονας προσδίδει στην μηχανή ένα βαθμό ελευθερίας. Οι περισσότερες μηχανές αριθμητικού ελέγχου προγραμματίζονται με απλές γλώσσες προγραμματισμού. Ωστόσο οι κώδικες προγραμματισμού διαφέρουν στους διάφορους κατασκευαστές μηχανών CNC, τόσο στην εντολή που καθορίζει η κάθε λέξη όσο και στην μορφή τους.[2]

1.3.1 Ιστορική αναδρομή εργαλειομηχανών CNC

Η πρώτη εργαλειομηχανή με υπολογιστή κατασκευάστηκε το 1952 στις Η.Π.Α., για την κατασκευή τμημάτων αεροπλάνων που ήταν δύσκολο να κατασκευαστούν με το χέρι. Οι πρώτες αυτόματες μηχανές ονομάζονταν NC (Numerical Control) και λειτουργούσαν με διάτρητες ταινίες. Το κόστος των μηχανημάτων αυτών ήταν υψηλό και η απόδοσή τους χαμηλή. Στη συνέχεια, με την εξέλιξη των microchip και την ανάπτυξη των λειτουργικών συστημάτων, μειώθηκε κατά πολύ το κόστος λειτουργίας τους, ενώ αυξήθηκε η αξιοπιστία, η λειτουργικότητα και οι δυνατότητές τους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας επέτρεψε στο χρήστη να κάνει τον προγραμματισμό χωρίς την χρήση διάτρητων ταινιών. Οι εργαλειομηχανές αυτές διαφέρουν από τις αντίστοιχες προγενέστερες μηχανές και ονομάζονται πλέον CNC (Computer Numerical Control). Η τελευταία γενιά μηχανημάτων ψηφιακής καθοδήγησης έχει την δυνατότητά να συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός H/Y. Τα μηχανήματα αυτά νέας γενεάς ονομάζονται DNC (Direct Numerical Control).[2]

1.3.2 Κριτήρια επιλογής εργαλειομηχανών CNC

Η αγορά ενός μηχανήματος CNC είναι ένα εξαιρετικά σοβαρό εγχείρημα, όχι μόνο λόγω της απαιτούμενης δαπάνης αλλά και της “διαταραχής” που ενδέχεται να προκαλέσει στην γραμμή παραγωγής. Ένας βασικός λόγος της απόκτησής του είναι η αναβάθμιση της επιχείρησης ή η αντικατάσταση ενός παλαιότερου μηχανήματος. Η τεχνολογία των CNC έχει φέρει επαναστατικές αλλαγές στη δομή των μοντέρνων βιομηχανικών μονάδων σε όλο τον κόσμο, όπως:[3]

- Αύξηση της παραγωγικότητας
- Βελτίωση της ποιότητας
- Βελτίωση της ακρίβειας
- Τυποποίηση των προϊόντων
- Κατασκευή πολύπλοκων εξαρτημάτων σε χαμηλό κόστος.

Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής μίας εργαλειομηχανής CNC είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

1.3.2.1 Πλεονεκτήματα εργαλειομηχανών CNC

Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα των CNC εργαλειομηχανών, τα οποία οδήγησαν στην ένταξή τους στις βιομηχανίες είναι τα εξής:

- Απαιτούν σχετικά μικρή χρονική προετοιμασία
- Έχουν πιο αποδοτική λειτουργία
- Εργάζονται με όλη τους τη δυναμικότητα
- Διεκπεραιώνουν την εργασία πιο σύντομα
- Έχουν ακριβή έλεγχο παραγωγής
- Επιτυγχάνουν μεγάλη ακρίβεια
- Περιορίζουν τα απόβλητα
- Χρησιμοποιούν πολύ πιο απλές ιδιοσυσκευές
- Δεν απαιτείται μεγάλος χρόνος ειδίκευσης των χειριστών
- Περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις σπατάλες.

1.3.2.2 Μειονεκτήματα εργαλειομηχανών CNC

Αν και η χρήση των εργαλειομηχανών CNC φέρει πολλά πλεονεκτήματα, αυτό δε σημαίνει ότι η επιλογή τους δεν έχει και μειονεκτήματα. Κάποια από αυτά είναι:

- Απαιτούνται πολύ ψηλά κόστη επένδυσης
- Απαιτούνται ψηλά κόστη συντήρησης
- Δε μπορεί ο χειριστής να επέμβει στις επιμέρους λειτουργίες
- Απαιτείται πολύ προσεκτικός και μελετημένος προγραμματισμός
- Ο χειρισμός του μηχανήματος γίνεται από προσωπικό με γνώσεις πάνω σε υπολογιστές και σε τεχνικά θέματα, κυρίως στα κοπτικά.

-
- Ο τρόπος που θα χρησιμοποιείτε το CNC στην παραγωγή, συνήθως πρέπει να αλλάξει ο τρόπος οργάνωσης της παραγωγής.
 - Δεν μπορούν να είναι παραγωγικά τέτοιου είδους μηχανήματα όταν βγάζουν μικρές ποσότητες από τα διάφορα προϊόντα. Αν η εταιρεία που χρησιμοποιεί την εργαλειομηχανή δεν μπορεί να συγχρονιστεί με την νέα πραγματικότητα τότε το κόστος στην παραγωγή θα είναι μεγάλο.

1.3.3 Πεδίο εφαρμογής εργαλειομηχανών CNC

Όπως έχει αποδειχτεί με το πέρασμα του χρόνου και την ραγδαία εξέλιξη των εργαλειομηχανών CNC, είναι πλέον αντιληπτό ότι αυτές οι μηχανές απευθύνονται σε ένα ευρύ φάσμα ανθρώπων. Ιδιώτες, ερασιτέχνες, μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις μέχρι και εργοστάσια ή βιομηχανίες είναι κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα. Μια μεγάλη ποικιλία CNC μηχανών είναι διαθέσιμη από την οποία μπορεί ο καθένας να βρει το κατάλληλο μηχάνημα το οποίο ταιριάζει και καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες του. Είναι άξιο να σημειωθεί πώς η πρόοδος που σημειώθηκε στο μεταποιητικό τομέα οφείλεται κυρίως στην εξέλιξη της τεχνολογίας CNC. [4]

Κάποιες από τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν εργαλειομηχανές CNC είναι οι εξής: [5]

Βιομηχανίες απομάκρυνσης μετάλλων: Οι βιομηχανίες απομάκρυνσης μετάλλων αφαιρούν το μέταλλο από την πρώτη ύλη για να του δώσουν το επιθυμητό προϊόν, σύμφωνα με τις απαιτήσεις. Τέτοιου είδους βιομηχανίες μπορεί να είναι οι βιομηχανίες για την κατασκευή των αξόνων, των οδοντωτών τροχών και πολλών άλλων εξαρτημάτων. Άλλο ένα παράδειγμα είναι οι κατασκευαστικές βιομηχανίες που είναι υπεύθυνες για την κατασκευή των διάφορων στρογγυλεμένων, τετραγώνων, ορθογωνίων επιφανειών, σπειρωμάτων και άλλων αναλώσιμων. Υπάρχουν πολλές άλλες βιομηχανίες στις οποίες εκτελούνται οι εργασίες απομάκρυνσης μετάλλων. Όλες αυτές οι εργασίες εκτελούνται από διάφορα μηχανήματα όπως τόννο, φρέζα, μηχανή διάτρησης, μηχανή διαμόρφωσης, μηχανή κοπής κλπ. Παραδοσιακά αυτές οι διεργασίες εκτελούνταν από τους χειριστές στις παλαιότερου τύπου μηχανές τόννου και φρέζας, αλλά πλέον χρησιμοποιούνται εκτεταμένα οι εκδόσεις CNC όλων αυτών των μηχανών. Πλέον μπορούν να εκτελεστούν σχεδόν όλες οι εργασίες κατεργασίας με μηχανές CNC. Μπορούν ακόμα να πραγματοποιηθούν εργασίες όπως διάτρηση, περιστροφικές διεργασίες, δημιουργία αυλακώσεων και σπειροτομήσεις. Επίσης, στις φρέζες CNC μπορούν να πραγματοποιηθούν διεργασίες λείανσης της εσωτερικής διαμέτρου, της εξωτερικής διαμέτρου και άλλων επίπεδων επιφανειών. Η τεχνολογία λείανσης περιγράμματος επιτρέπει να λειανθούν επιφάνειες όλων των σχημάτων.

Βιομηχανίες κατασκευής μετάλλων: Σε πολλές βιομηχανίες απαιτούνται λεπτές πλάκες όπως χαλύβδινες. Στις βιομηχανίες κατασκευών οι εργασίες κατεργασίας πραγματοποιούνται σε τέτοιες πλάκες. Σε αυτές τις βιομηχανίες οι μηχανές CNC χρησιμοποιούνται για διάφορες εργασίες επεξεργασίας, όπως κοπή με πλάσμα, διάτρηση, κοπή με λέιζερ, διαμόρφωση, συγκόλληση και πολλές άλλες εφαρμογές.

Οι πλάκες διαμορφώνονται στο τελικό τους σχήμα συνήθως με χρήση λέιζερ CNC και πυρσούς πλάσματος CNC. Για την διάνοιξη οπών όλων των μεγεθών στις πλάκες χρησιμοποιούνται πρέσες από μηχανές CNC. Σε μερικές περιπτώσεις, οι οπίσθιοι μηχανισμοί ρύθμισης συνδέονται με τις μηχανές κοπής έτσι ώστε να επιτρέπει τον έλεγχο του μήκους της πλάκας που πρόκειται να κοπεί.

Μηχανική κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση (EDM) Βιομηχανία: Τα μηχανήματα EDM αφαιρούν το μέταλλο δημιουργώντας σπινθήρες που καίνε το μέταλλο. Υπάρχουν δύο τύποι EDM με τον αυτοματισμό CNC: Vertical EDM και Wire EDM. Το Vertical EDM χρειάζεται ηλεκτρόδιο του σχήματος και του μεγέθους της κοιλότητας που θα γίνει στην εργασία. Το Wire EDM χρησιμοποιείται για να κάνει διατρήσεις.

Άλλες βιομηχανίες όπου χρησιμοποιούνται μηχανές CNC: Οι μηχανές CNC χρησιμοποιούνται επίσης εκτεταμένα στις βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών όπως κοπή (παρόμοια με την λείανση) και διάτρηση. Υπάρχουν επίσης μηχανές CNC για τη βιομηχανία ηλεκτρικού ρεύματος, όπως μηχανές περιέλιξης πηνίων CNC και μηχανές συγκόλλησης CNC.

1.4 Λογισμικό χειρισμού εργαλειομηχανών CNC

Τα μοντέρνα προγράμματα σχεδίασης CAD και λογισμικού ανάλυσης CAE είναι αναπόσπαστο τμήμα της σημερινής διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων. Υπάρχει ποικιλία εργαλείων λογισμικού CAD όπως το SolidWorks TM, Pro / EngineerTM κλπ καθώς και εργαλείων λογισμικού ανάλυσης CAE, όπως AnsysTM και NXNastran TM, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία. Τις περισσότερες φορές, ένας μηχανικός σχεδιασμού πρέπει να χρησιμοποιήσει δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα πακέτα λογισμικού για μοντελοποίηση και ανάλυση και συνεπώς πρέπει να διατηρήσει τη συσχέτιση ελέγχοντας τους περιορισμούς που εφαρμόζεται σε όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας. Στα σύγχρονα εργαλεία λογισμικού CAE, η γεωμετρία που δημιουργείται σε CAD μπορεί να ληφθεί άμεσα για ανάλυση. Παρ' όλα αυτά, αν η γεωμετρία που λαμβάνεται είναι σύνθετη, πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να απλουστευθεί για να γίνει λειτουργική.[22]

Το λογισμικό Mach3 μετατρέπει έναν τυπικό υπολογιστή σε ελεγκτή μηχανής CNC. Εκμεταλλευόμενο την δοθείσα γεωμετρία από λογισμικό CAD (μέσω του G-code) μπορεί να την αναπαράγει με την επιθυμητή επεξεργασία. Έχει πληθώρα χαρακτηριστικών και είναι χρήσιμο σε όσους χρειάζονται ένα πακέτο ελέγχου CNC. Το Mach3 λειτουργεί στους περισσότερους Η/Υ που λειτουργούν με Windows για να ελέγχει την κίνηση των κινητήρων (stepper & servo) με την επεξεργασία του G-Code (βλ. Κεφάλαιο 1.6). Ενώ περιλαμβάνει πολλές προηγμένες λειτουργίες, είναι το πιο εύχρηστο διαθέσιμο λογισμικό ελέγχου CNC. Το Mach3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές με πολυάριθμους τύπους υλικών.[6]

1.4.1 Κύρια χαρακτηριστικά

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά που παρέχει το Mach3 είναι τα εξής:

- Μετατρέπει έναν υπολογιστή σε έναν πλήρως εξοπλισμένο ελεγκτή CNC 6 αξόνων.
- Επιτρέπει την άμεση εισαγωγή αρχείων DXF, BMP, JPG και HPGL μέσω του LazyCam
- Διαθέτει οθόνη Visual Gcode
- Δημιουργεί G-code μέσω LazyCam ή Wizards
- Διαθέτει πλήρως προσαρμόσιμη διεπαφή
- Μπορούν να προσαρμοστούν κωδικοί M και μακροεντολές με χρήση του VBscript

1.4.2 Έλεγχος εξοπλισμού

Το Mach3 δίνει τη δυνατότητα ελέγχου/χειρισμού μέσω του H/Y στις εξής μηχανές:

- Τόρνοι
- Φρέζες
- Κοπτικά
- Λείζερ
- Πλάσματος
- Χαράκτες
- Κοπής γκραναζιών

1.4.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά

Πέρα από τις βασικές λειτουργίες, το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης κάποιων επιπρόσθετων χαρακτηριστικών όπως:

- Έλεγχος στροφών άξονα
- Πολλαπλός έλεγχος ρελέ
- Χειροκίνητη παραγωγή παλμών
- Οθόνη βίντεο της μηχανής
- Ικανότητα οθόνης αφής
- Επιλογή πλήρους οθόνης

1.5 Καθορισμός των Αξόνων

Το σύστημα αξόνων συντεταγμένων και ο καθορισμός της θετικής κατεύθυνσης κίνησης για εργαλειομηχανές NC αναλύονται στο πρότυπο ISO-841 του 1974. Η θετική κατεύθυνση λοιπόν ορίζεται ως το δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα των

τριών κύριων αξόνων X, Y και Z (Σχήμα 1.1). Οι γραμμικοί άξονες μιας εργαλειομηχανής είναι:

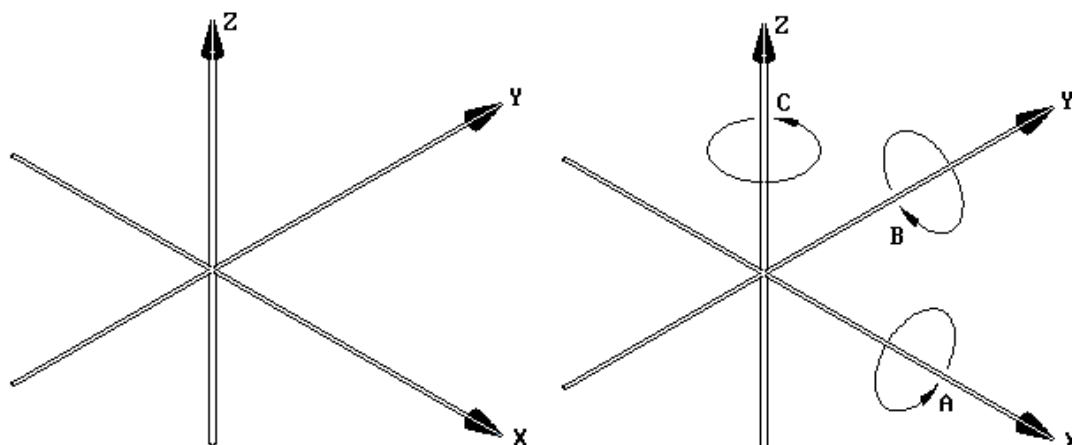
οι κύριοι X, Y, Z

οι δευτερεύοντες U, V, W, παράλληλοι προς τις διευθύνσεις X, Y, Z αντίστοιχα.

οι βοηθητικοί P, Q και R., όχι απαραίτητα παράλληλοι προς τις διευθύνσεις X, Y, Z.

οι άξονες περιστροφής A, B, και C, παράλληλοι προς τις κύριες καρτεσιανές διευθύνσεις X, Y, Z.

Η θετική κατεύθυνση περιστροφής για τους άξονες A, B, και C προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία κοιτώντας προς τη θετική κατεύθυνση των αξόνων X, Y, Z αντίστοιχα. Ο άξονας R (Reference = αναφορά) συχνά αξιοποιείται αντί του Z ώστε να δηλωθεί το επίπεδο αναφοράς από το οποίο αποσύρεται το εργαλείο επεξεργασίας μετά την ολοκλήρωση της και πριν την έναρξη της επόμενης και πάνω από το οποίο το εργαλείο κινείται με μέγιστη πρόωση.[7]



Σχήμα 1.1 Καρτεσιανό σύστημα αξόνων εργαλειομηχανής CNC

1.6 Κώδικας λειτουργίας CNC εργαλειομηχανών

Ο κώδικας G είναι μια γλώσσα προγραμματισμού για το CNC που δίνει εντολή στις μηχανές για το πώς να μετακινούνται. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας τύπων των μηχανών CNC που λειτουργούν με G-code είναι φυσικό να ποικίλει αντίστοιχα και ο ίδιος ο κώδικας. Έτσι οι κωδικοί ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο, τη μάρκα και το μοντέλο. Συνεπώς, κάθε μηχανή συνοδεύεται από ένα εγχειρίδιο οδηγιών που δείχνει τον συγκεκριμένο κωδικό μηχανής για μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Ο G-code σημαίνει "γεωμετρικός κώδικας" και ακολουθεί κάποια παραλλαγή του αλφαριθμητικού προτύπου:[8]

N ## G ## X ## Y ## Z ## F ## S ## T ## M ##

N: Αριθμός γραμμής
G: Κίνηση
X: Οριζόντια θέση
Y: Κατακόρυφη θέση
Z: Βάθος
F: Τροφοδοσία
S: Ταχύτητα ατράκτου
T: Επιλογή εργαλείου
M: Διάφορες λειτουργίες
I και J: Αύξουσα κέντρο ενός τόξου
R: Ακτίνα τόξου

Οι αλφαριθμητικοί κωδικοί χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό, καθώς είναι ένας απλός τρόπος για: [8]

1. Ορισμό κίνησης και λειτουργίας (G ##)
2. Δήλωση μιας θέσης (X ## Y ## Z ##)
3. Ορισμό μιας τιμής (F ## και / ή S ##)
4. Επιλογή ενός εργαλείου (T ##)
5. Ενεργοποίηση και Απενεργοποίηση ενεργειών (M ##), όπως ψύξη, περιστροφή ατράκτου, κίνηση ευθυγράμμισης κ.λπ.

Οτιδήποτε μπορεί να κάνει μια μηχανή βασίζεται σε τρεις βασικούς τύπους κίνησης:

- **Ταχεία κίνηση:** μια γραμμική κίνηση σε μια θέση XYZ όσο το δυνατόν γρηγορότερα
- **Μετακίνηση τροφοδοσίας:** μια γραμμική κίνηση σε μια θέση XYZ με καθορισμένο ρυθμό τροφοδοσίας
- **Κυκλική κίνηση:** μια κυκλική κίνηση σε μια καθορισμένη ταχύτητα τροφοδοσίας

1.6.1 Κωδικοί τύπου M

Η γραμμή ενός προγράμματος περιλαμβάνει M- codes, οι οποίοι είναι γενικά κώδικες που δίνουν εντολή σε μια μηχανή πώς να εκτελέσει μια ενέργεια. Παρόλο που δεν είναι απαραίτητα ίδιοι σε όλες τις μηχανές, μερικοί συνήθεις, χαρακτηριστικοί M-codes είναι: [8]

M00: Διακοπή προγράμματος
M01: Προαιρετική διακοπή προγράμματος
M02: Τέλος προγράμματος
M03: Δεξιόστροφη στρέψη ατράκτου
M04: Αριστερόστροφη στρέψη άξονα
M05: Σταμάτημα ατράκτου

M06: Αλλαγή εργαλείου
M08: Ενεργοποίηση του ψυκτικό υγρού
M09: Απενεργοποίηση του ψυκτικού υγρού
M30: Τέλος προγράμματος / επιστροφή στην αρχή
M41: Περιοχή χαμηλών ταχυτήτων του άξονα
M42: Περιοχή υψηλών ταχυτήτων του άξονα

1.6.2 Ομάδες κωδικών μεταφοράς

Κάθε G-code λέει στο μηχάνημα ποια είναι η μεταβολή αυτών των βασικών κινήσεων και πώς να το εκτελέσει.

Οι λειτουργίες του G-code (στους ελεγκτές που υποστηρίζουν τον τρόπο λειτουργίας) παραμένουν ενεργοί μέχρι να απενεργοποιηθούν από άλλο κώδικα. Με άλλα λόγια, μόνο μία λειτουργία μπορεί να είναι ενεργή ανά πάσα στιγμή. Για να απενεργοποιηθεί μια λειτουργία, απλώς πρέπει να επιλεγεί μια νέα. Για παράδειγμα, ένας κώδικας ξεκινά με μια γραμμική ταχεία κίνηση στο X1 Y1 (G00 X1 Y1). Εάν η επόμενη λειτουργία είναι άλλη γραμμική γρήγορη κίνηση, δεν είναι απαραίτητο να γραφεί ξανά το G00. Μόλις οριστεί μια κατάσταση παραμένει ενεργή μέχρι να απενεργοποιηθεί ή μια άλλη κατάσταση να την παρακάμπτει.

Οι ομάδες κωδικών επιτρέπουν να υπάρχουν πολλαπλοί κωδικοί σε μία γραμμή, αλλά μπορεί να υπάρχει μόνο ένας κωδικός από κάθε ομάδα σε μια γραμμή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κωδικοί μιας ομάδας θα υπερισχύουν ο ένας τον άλλον.

Οι ομάδες για τους κώδικες g είναι: [8]

Ομάδα 1 (κίνηση): G00, G01, G02, G03, G80, G81, G82, G84, G85, G86, G87, G88, G89

Ομάδα 2 (επιλογή επιπέδου - XY, YZ, ZX): G17, G18, G19

Ομάδα 3 (απόλυτος / βαθμιαίος τρόπος λειτουργίας): G90, G91

Ομάδα 5 (τρόπος τροφοδοσίας): G93, G94

Ομάδα 6 (μονάδες - ίντσες / χιλιοστά): G20, G21

Ομάδα 7 (αντιστάθμιση ακτίνας κοπής - CRC): G40, G41, G42

Ομάδα 8 (μετατόπιση μήκους εργαλείου - TLO): G43, G49

Ομάδα 12 (επιλογή συστήματος συντεταγμένων εργασίας - WCSS): G54, G55, G56, G57, G58, G59)

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα G-code καθώς και η επεξήγηση κάθε σειράς του:[9]

Πίνακας 1.1 Παράδειγμα G-code

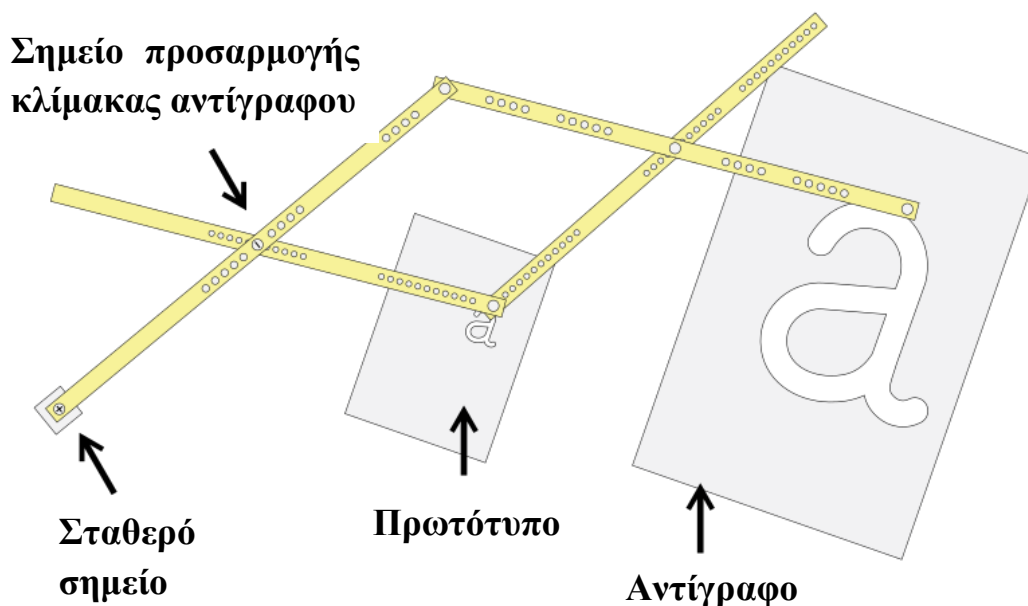
G-code	Επεξήγηση
% o0001	N/A
G20 G40 G90 G94 G54	(Ίντσες, κοπής αντιστάθμισης ακύρωση, μετακίνηση αξόνων σε συντεταγμένη μηχανής, τροφοδοσία ανά λεπτό, σύστημα συντεταγμένων προέλευσης)
M06 T01	(Αλλαγή εργαλείου με το εργαλείο νούμερο 1)
G43 H01	(Αντιστάθμιση μήκους εργαλείου. σε θετική κατεύθυνση, αντιστάθμιση μήκους για εργαλείο)
M03 S1200	(Περιστροφή ωρολογιακά ατράκτου με 1200RPM)
G00 X0. Y0.	(Γρήγορη μεταφορά στις συντεταγμένες X=0. Y=0.)
G00 Z.5	(Γρήγορη μεταφορά στις συντεταγμένες z=.5)
G00 X1. Y-.75	(Γρήγορη μεταφορά στις συντεταγμένες X1. Y-.75)
G01 Z-.1 F10	(Διείσδυση του κοπτικού στις συντεταγμένες Z-.25 με ταχύτητα 10 ίντσες ανά λεπτό.)
G03 X.875 Y-.5 I.1875 J-.75	(Αντιωρολογιακή κοπή τόξου στις συντεταγμένες X.875 Y-.5 με ακτίνα και αναφορά τις συντεταγμένες I.625 J-.75)
G03 X.5 Y-.75 I0.0 J0.0	(Αντιωρολογιακή κοπή τόξου στις συντεταγμένες X.5 Y-.75 με ακτίνα και αναφορά τις συντεταγμένες I0.0 J0.0)
G03 X.75 Y-.9375 I0.0 J0.0	(Αντιωρολογιακή κοπή τόξου X.75 Y-.9375 με ακτίνα και αναφορά τις συντεταγμένες I0.0 J0.0)
G02 X1. Y-1.25 I.75 J-1.25	(Ωρολογιακή κοπή τόξου στις συντεταγμένες X1. Y-1.25 με ακτίνα και αναφορά τις συντεταγμένες I.75 J-1.25)
G02 X.75 Y-1.5625 I0.0 J0.0	(Ωρολογιακή κοπή τόξου στις συντεταγμένες X.75 Y-1.5625 με ίδια ακτίνα και αναφορά συντεταγμένων με το προηγούμενο τόξο)
G02 X.5 Y-1.25 I0.0 J0.0	(Ωρολογιακή κοπή τόξου στις συντεταγμένες με ίδια ακτίνα και αναφορά συντεταγμένων με το προηγούμενο τόξο)
G00 Z.5	(Γρήγορη μεταφορά στις συντεταγμένες z.5)
M05	(Σταμάτημα περιστροφής ατράκτου)
M30	(Τέλος προγράμματος)
%G00 X0.0 Y0.0	(Επιστροφή του κοπτικού στην αρχή των συντεταγμένων)

1.7 CNC Παντογράφοι

Από την εποχή που εμφανίστηκαν οι CNC παντογράφοι, η κατασκευαστική βιομηχανία έχει εξελιχθεί. Οι ανάγκες των κατασκευών γίνονται όλο και πιο δύσκολες, συνεπώς απαιτούνται αποτελεσματικές λύσεις που μπορούν να ανταποκριθούν στη σύγχρονη εποχή. Οι ανάγκες αυτές περιλαμβάνουν την ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγικότητας και της τελικής ποιότητας. Ο προσαρμοστικός έλεγχος, η υψηλή ταχύτητα ελέγχου και η βελτιστοποίηση του ρυθμού τροφοδοσίας είναι κάποιες από τις μεθόδους που μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες αυτές. Οι μέθοδοι αυτοί αυξάνουν την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων και συνεπώς απαιτείται μεγαλύτερη και καλύτερη υπολογιστική απόδοση. Κατά συνέπεια, η λειτουργικότητα του CNC παντογράφου έχει επεκταθεί σημαντικά. Τα σύγχρονα συστήματα είναι σε θέση να πραγματοποιούν σύνθετους ελέγχους και άρα απαιτούνται υψηλές δυνατότητες της πλατφόρμας επεξεργασίας. Συνεπώς, οι CNC παντογράφοι αποτελούν τη σύγχρονη εναλλακτική της συμβατικής μηχανής σε κατεργασίες που απαιτούν υψηλή ακρίβεια και πολυπλοκότητα. Επιπλέον, έχουν συμβάλει στη μείωση του χρόνου κατεργασίας.[23]

1.7.1 Αναλογικός παντογράφος

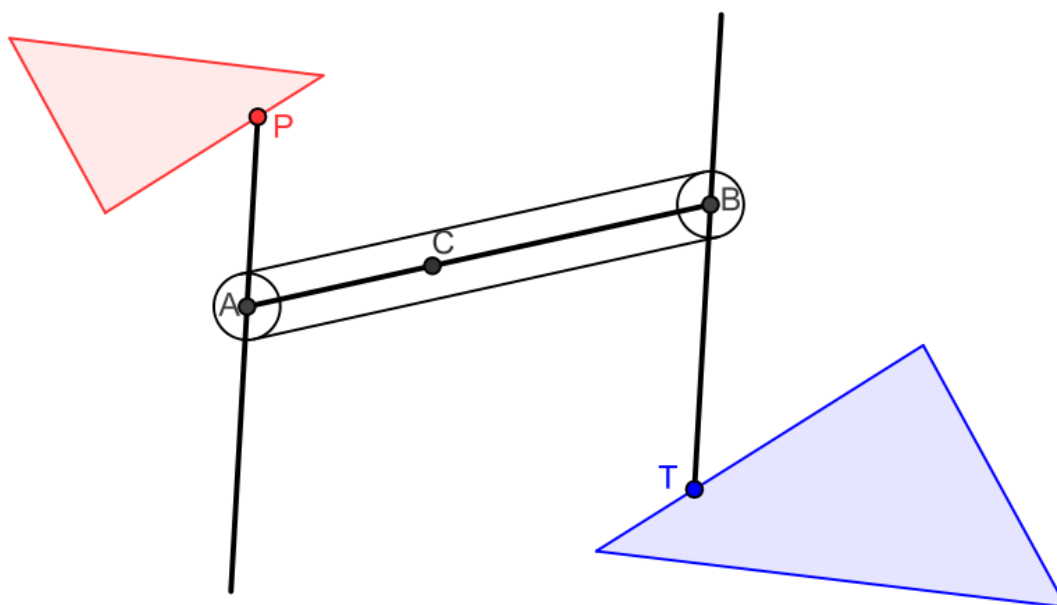
Ένας παντογράφος είναι ένας μηχανικός σύνδεσμος συνδεδεμένων παραλληλογράμμων έτσι ώστε να κινήσει ένα στυλό, για να αντιγράψει μια εικόνα, παράγοντας πανομοιότυπες κινήσεις σε ένα δεύτερο στυλό. Αν ένα σχέδιο γραμμής (περίγραμμα) εντοπίζεται από το πρώτο σημείο, θα αναπαραχθεί ένα πανομοιότυπο, σε μεγέθυνση ή σε σμίκρυνση αντίγραφο με ένα στυλό στερεωμένο στο δεύτερο σημείο. Ακολουθώντας την ίδια αρχή, χρησιμοποιούνται διαφορετικά είδη παντογράφων για άλλες μορφές αλληλοεπικάλυψης σε τομείς όπως στην κοπή και την χάραξη (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2 Παντογράφος

Ο πρώτος παντογράφος κατασκευάστηκε το 1603 από τον Christoph Scheiner, ο οποίος τον χρησιμοποίησε για να αντιγράψει και να αλλάξει κλίμακα σε διαγράμματα. Για την εφεύρεσή του αυτή, όμως, έγραψε 27 χρόνια αργότερα, στο βιβλίο του "Pantographice" (Ρώμη 1631). Ο βραχίονας του παντογράφου περιείχε ένα μικρό «δείκτη», ενώ ο άλλος βραχίονας κρατούσε ένα εργαλείο σχεδίασης και με τη μετακίνηση του «δείκτη» πάνω σε ένα διάγραμμα, ένα αντίγραφο του διαγράμματος σχεδιάζόταν σε ένα άλλο κομμάτι χαρτιού. Αλλάζοντας τις θέσεις των βραχιόνων στη σύνδεση μεταξύ του βραχίονα «δείκτη» και του άλλου βραχίονα, η κλίμακα της παραγόμενης εικόνας μπορούσε να αλλάξει.

Το 1821, ο καθηγητής William Wallace (1768-1843) εφηύρε τον ειδογράφο (eidograph) για να βελτιώσει την πρακτική χρησιμότητα του παντογράφου. Ο ειδογράφος (eidograph) (Σχήμα 1.3) μετατοπίζει το σταθερό σημείο στο κέντρο του παραλληλογράμμου και χρησιμοποιεί ένα στενό παραλληλόγραμμο για να παρέχει βελτιωμένα μηχανικά πλεονεκτήματα.



Σχήμα 1.3 Ειδογράφος (eidograph)

1.7.2 CNC παντογράφος

Μια μεταγενέστερη τρισδιάστατη εκδοχή του παντογράφου, αποτελείται από έναν μεγάλο βραχίονα συνδεδεμένο με ένα σταθερό σημείο στο ένα άκρο, ο οποίος φέρει δύο περιστρεφόμενες βελόνες κατάδειξης σε αυθαίρετα σημεία κατά μήκος αυτού. Προσαρμόζοντας τις βελόνες διαφορετικά, μπορεί να επιτευχθεί μεγέθυνση ή σμίκρυνση. Η συσκευή αυτή έχει ξεπεραστεί σε μεγάλο βαθμό από υπολογιστή που μπορεί να σαρώσει ένα μοντέλο και να το παράγει σε μεγάλη ποικιλία υλικών και σε οποιοδήποτε μέγεθος επιθυμείται. Εφευρέθηκε από τον πρωτοπόρο James Watt (1736 – 1819) και τελειοποιήθηκε από τον Benjamin Cheverton (1796- 1876) το 1836. Η μηχανή του Cheverton ήταν εφοδιασμένη με ένα περιστρεφόμενο κομμάτι κοπής και μπορούσε να χαράξει εκδόσεις γνωστών γλυπτών σε σμίκρυνση. Ένας τρισδιάστατος παντογράφος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μεγέθυνση γλυπτών με την εναλλαγή της θέσης του μοντέλου και του αντιγράφου.

Σε μια μεταγενέστερη μορφή του παντογράφου, μια μηχανή χάραξης ενσωματώνεται σε αυτόν με περιστρεφόμενο κοπήρα αντί για στυλό στο άκρο του δείκτη. Την πορεία που θα ακολουθήσει ο δέκτης θα την πραγματοποιήσει και ο κοπήρας αντίστοιχα. Έτσι μέσω του παντογράφου, το «αντίγραφο» αναπαράγεται σε μια αναλογία στην οποία έχουν ρυθμιστεί οι βραχίονες του παντογράφου. Το τυπικό εύρος αναλογίας είναι: μέγιστο 1:1 και ελάχιστο 50: 1. Με αυτόν τον τρόπο, οι μηχανικοί μπορούν να χαράξουν με ακρίβεια αριθμούς, γράμματα ή σχέδια σε ένα μέρος. Οι παντογράφοι δεν χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως στη σύγχρονη χάραξη, χάρη στη χρήση κεφαλής λείζερ.

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής ακολουθείται παρόμοια λογική. Πιο συγκεκριμένα, μέσω του λογισμικού χειρισμού (Mach3), ο CNC παντογράφος καλείται να «αντιγράψει» μέσω του κώδικα G το δοθέν σχέδιο σε διαστάσεις οι οποίες προκαθορίζονται σύμφωνα με το σχέδιο που εισάγεται σε αυτόν, πραγματοποιώντας την σύνδεση μιας CNC μηχανής με τον «μηχανισμό» ενός παντογράφου.

2 Μεθοδολογία/Σχεδιασμός Αξονικού Παντογράφου

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται το τμήμα της σχεδίασης του CNC παντογράφου και παρουσιάζεται εκτενώς το μηχανικό μέρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα υλικά που αξιοποιήθηκαν, τα προβλήματα που προέκυψαν και οι διάφορες εκτιμήσεις και εναλλακτικές προτάσεις που αξιοποιήθηκαν στην κατασκευή και συνεπώς διαμόρφωσαν το τελικό σχέδιο.

2.1 Σχεδιασμός

Προκειμένου να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ο CNC παντογράφος εξετάστηκαν πολλές ιδέες καθώς και η λειτουργικότητά τους για την ολοκλήρωση της μηχανής. Οι ιδέες αυτές εξετάστηκαν λαμβάνοντας υπόψη όλα τα επιμέρους τμήματα της συγκεκριμένης κατασκευής.

2.2 Μεθοδολογία κατασκευής μηχανικού μέρους κατασκευής

Αρχικά, λαμβάνοντας υπόψη τη μηχανή που πρέπει να κατασκευαστεί, έγινε έρευνα αντίστοιχων μηχανημάτων στο διαδίκτυο και εκτιμήθηκαν οι διάφοροι μηχανισμοί που αξιοποιούνται σε αυτά. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι μηχανισμοί που μπορούσαν να φανούν χρήσιμοι στη κατασκευή και ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα

- Πραγματοποίηση σχεδιαστικού μέρους σε πλατφόρμα τρισδιάστατης σχεδίασης.
- Έρευνα αγοράς των πρώτων υλών και του μηχανικού εξοπλισμού της κατασκευής.
- Αγορά των πρώτων υλών και του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Επεξεργασία των πρώτων υλών στα κατάλληλα μηχανολογικά εργαστήρια.
- Τοποθέτηση του μηχανολογικού εξοπλισμού και συναρμολόγηση όλων των επιμέρους κομματιών του μηχανήματος.

2.3 Αντίστοιχες Κατασκευές CNC Παντογράφων

Οι εργαλειομηχανές αξιοποιούνται για διάφορες κατεργασίες υλικών, κάποιες εκ των οποίων είναι η κοπή, η διάτρηση, η αποβολή υλικού κ.α. Η αρχική σύλληψη του σχεδιασμού του CNC παντογράφου στηρίχτηκε στη σύγκριση παρόμοιων μηχανημάτων στον βιομηχανικό τομέα αλλά και σε άλλα αυτοσχέδια (μη βιομηχανικού τομέα) ύστερα από σχετική αναζήτηση στο διαδίκτυο και έπειτα από επαφές με τον εμπορικό τομέα. Στη συνέχεια, χρειάστηκε να τροποποιηθεί, καθώς κρίσιμο ρόλο έπαιξαν όχι μόνο τα υλικά που επιλέχθηκαν για τη υλοποίηση της κατασκευής αλλά και ο διαθέσιμος εξοπλισμός ο οποίος μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα.

2.3.1 Ez -Router

Το σύστημα κοπής ez-PLasma Green Machine (Σχήματα 2.1 και 2.2) είναι ένα βιομηχανικό σύστημα κοπής. Αποτελεί μια ανθεκτική κατασκευή συγκολλημένου χάλυβα αμερικάνικης προέλευσης. Η μετάδοση κίνησης στον άξονα y πραγματοποιείται με τη χρήση δύο ηλεκτρικών κινητήρων εκατέρωθεν της γέφυρας. Για την επίτευξη μεγάλης ακρίβειας στη μηχανή ο κατασκευαστής αξιοποιεί ένσφαιρους τριβείς V – Groove (Σχήμα 2.3) οι οποίοι ολισθαίνουν πάνω σε γραμμικούς οδηγούς.[11]



Σχήμα 2.1 CNC Παντογράφος ez Router

Σχήμα 2.2 Μηχανισμός κινητήρα CNC Παντογράφου (ez Router)



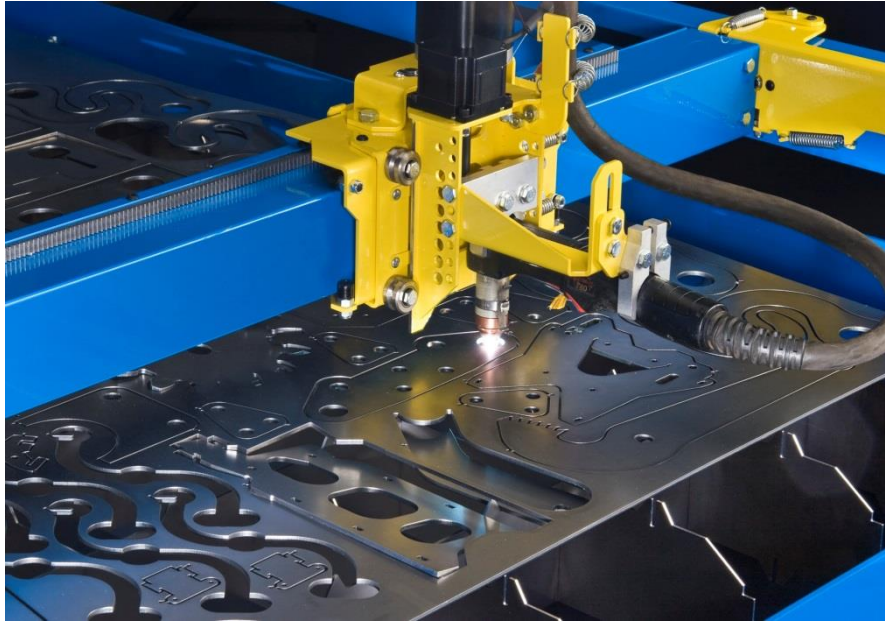
Σχήμα 2.3 Ένσφαιρός τριβέας V - Groove

2.3.2 PlasmaCam

Ο CNC παντογράφος κοπής PlasmaCAM (Σχήματα 2.4 και 2.5) διαθέτει ένα πυρσό πλάσματος και λειτουργεί μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αυτό το μηχάνημα διαθέτει πολύ εντυπωσιακό λογισμικό για την εισαγωγή και αναπαραγωγή σχεδόν οποιουδήποτε σχήματος από εικόνες που μπορούν να εισαχθούν σε αυτό, γραμματοσειρές υπολογιστή σε κοινά προγράμματα σχεδίασης. Για να αναπτύξει την καλύτερη δυνατή μηχανή κοπής πλάσματος CNC, η PlasmaCAM έχει σχεδιάσει ολόκληρο το σύστημα από το μηδέν. Όλη η μηχανή, τα ηλεκτρονικά και το λογισμικό έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά από την εταιρία για αυτό το μηχάνημα.[12]



Σχήμα 2.4 CNC Παντογράφος PlasmaCam



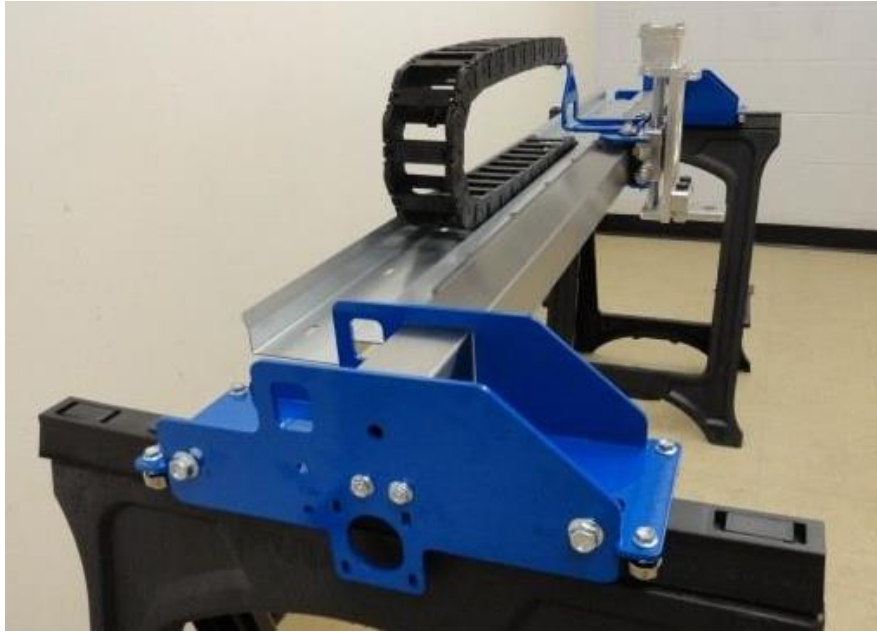
Σχήμα 2.5 Βαγόνι γέφυρας CNC Παντογράφου (PlasmaCam)

2.3.3 Μηχανισμοί γραμμικών οδηγών

Καθώς τα προαναφερθέντα μηχανήματα είναι βιομηχανικού τύπου συνεπώς αρκετά κοστοβόρα, δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν οι περισσότεροι μηχανισμοί σε εργαστηριακής κλίμακας εργαλειομηχανή. Γι' αυτό το λόγο ήταν απαραίτητο να αντληθούν ιδέες για μηχανισμούς από ερασιτεχνικά μηχανήματα CNC με πιο απλά και μικρότερου κόστους συστήματα. Στα Σχήματα 2.6 και 2.7 παρουσιάζονται κάποιοι αυτοσχέδιοι μηχανισμοί.



Σχήμα 2.6 Αυτοσχέδια γραμμικά έδρανα ολίσθησης



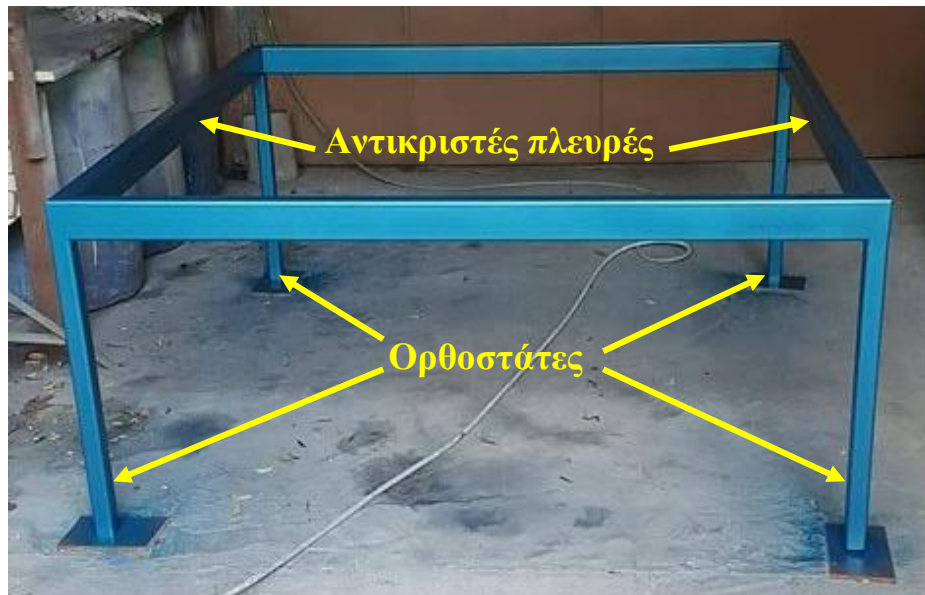
Σχήμα 2.7 Αυτοσχέδιος μηχανισμός γέφυρας

2.4 Παρουσίαση μηχανήματος

Μετά την ολοκλήρωση των κατασκευαστικών σχεδίων του CNC παντογράφου (Παράρτημα 1), τα οποία αποδείχθηκαν πολύ χρήσιμα για τη μετέπειτα πορεία, ακολούθησε η επεξεργασία των πρώτων υλών και η διαδικασία συναρμολόγησης της κατασκευής.

2.4.1 Βασικός Σκελετός

Ο CNC παντογράφος αποτελείται από το τετραγωνικό πλαίσιο κοιλοδοκών, εξωτερικών διαστάσεων 1,950 x 1,950 mm, εσωτερικών διαστάσεων 1,850 x 1,850 mm και εκτιμώμενου εμβαδού επεξεργασίας 1,600 mm². Το μήκος των ορθοστατών(SHS 50x5) του μηχανήματος είναι 800 mm, τα οποία συγκολλήθηκαν στο εν λόγω πλαίσιο (Σχήμα 2.8)και στο κάτω μέρος τους τοποθετήθηκαν κατάλληλα στηρίγματα ρύθμισης ύψους ποδαρικών. Στην ένωση του πλαισίου με τους ορθοστάτες της μίας πλευράς έγινε διάνοιξη οπών, πρότερα της τοποθέτησης τους, έτσι ώστε να διέλθει η μελλοντική καλωδίωση με τελικό προορισμό τον ηλεκτρολογικό πίνακα. Στο ένα από τα δυο ζεύγη αντικριστών πλευρών του πλαισίου τοποθετήθηκαν οι γραμμικοί οδηγοί (ράβδοι Φ16 με μήκος 2,000 mm), οι οποίες πακτώθηκαν μέσω του νεύρου στήριξης τους στο πάνω μέρος του πλαισίου (Σχήμα 2.9). Επιπλέον, με σκοπό την ενσωμάτωση της μελλοντικής καλωδίωσης καθώς και την διευκόλυνση για την τοποθέτηση των κοχλιών, έγινε διάνοιξη οπών ορθογωνικής διατομής (60 x 40 mm) στις προαναφερόμενες αντικριστές πλευρές. Οι οπές αυτές θα μπορούν να καλυφθούν μετέπειτα με γαλβανισμένα ελάσματα, τα οποία στερεώνονται με τη χρήση δύο κοχλιών, έπειτα από την σπειροτόμηση των οπών. (Σχήμα 2.10)



Σχήμα 2.8 Βασικός σκελετός



- A:** Γραμμικός οδηγός
- B:** Νεύρο στήριξης γραμμικού οδηγού
- C:** Οπή ορθογωνικής διατομής (60x40mm)
- D:** Οπές κοχλίων στήριξης ελάσματος

Σχήμα 2.9 Γραμμικός οδηγός - Νεύρο στήριξης

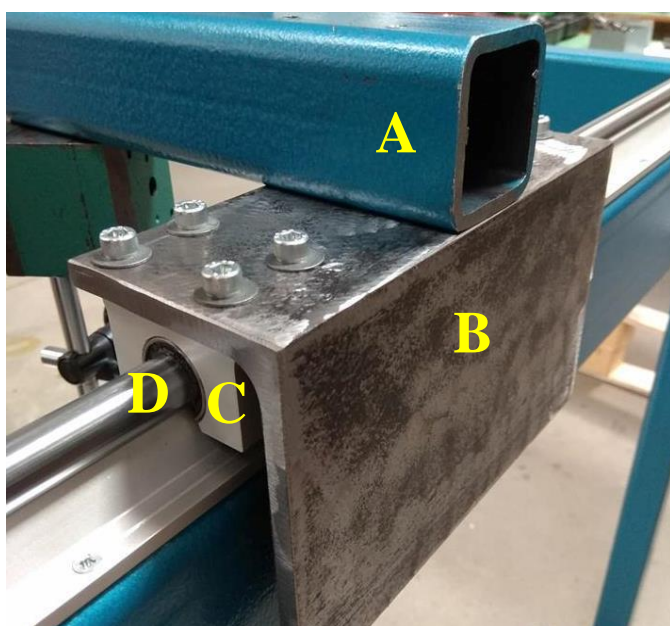


Σχήμα 2.10 Γαλβανισμένα ελάσματα

2.4.2 Σύστημα μετάδοσης κίνησης άξονα y

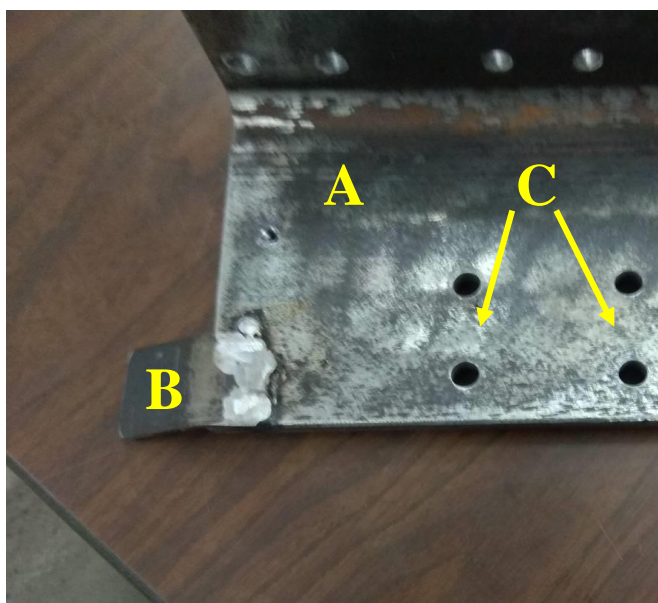
Πάνω σε κάθε γραμμικό οδηγό τοποθετήθηκε ένα σύστημα με δύο γραμμικά έδρανα ολίσθησης τα οποία συνδέθηκαν με τη βοήθεια μίας κατάλληλα διαμορφωμένης γωνιάς 90°(τμήμα σύνδεσης γέφυρας), η οποία στερεώθηκε πάνω σε αυτά με τη χρήση τεσσάρων κοχλίων σε κάθε έδρανο (Σχήμα 2.11). Στο κέντρο της απόστασης των εδράνων ολίσθησης τοποθετήθηκε η “γέφυρα” του παντογράφου, η οποία είναι κοιλοδοκός (SHS 50x5) και μήκους 2,000 mm. Η “γέφυρα” αυτή πακτώθηκε πάνω στα τμήματα σύνδεσης γέφυρας με τη χρήση τεσσάρων κοχλίων εκατέρωθεν με σκοπό τη σταθεροποίησή της. Οι οπές του τμήματος σύνδεσης της γέφυρας από τις οποίες διέρχονται οι κοχλίες έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τη διάσταση του (M6) έτσι ώστε να καθίσταται εφικτή η ρύθμιση καθετότητας των αξόνων της “γέφυρας” (βλ. Κεφάλαιο 2.7). Σε ένα από τα δύο τμήμα σύνδεσης γέφυρας τοποθετήθηκαν κατάλληλα ελάσματα τα οποία αποσκοπούν στην ενεργοποίηση των τερματικών διακοπών του άξονα y.(Σχήμα 2.12)

Στις χρησιμοποιούμενα τμήματα σύνδεσης γέφυρας προσαρμόστηκαν δύο επιπρόσθετα τμήματα ορθογωνικής διατομής πάνω στα οποία τοποθετήθηκαν ένα επιτραπέζιο κουζινέτο UCF (Σχήμα 2.13) από τη μία πλευρά και ένας ηλεκτρικός βηματικός κινητήρας (stepper motor) από την άλλη (Σχήμα 2.14). Τα επιπρόσθετα τμήματα αυτά επιτρέπουν τη ρύθμιση του ύψους επειδή ενώνονται με τα τμήματα σύνδεσης γέφυρας μέσω κοχλιών σε διαμήκη οπές έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ιδανική συνεργασία οδοντωτού τροχού – οδοντωτού κανόνα. Επιπρόσθετα, για την επίτευξη της ιδανικής συνεργασίας τους, κάθε επιπρόσθετο τμήμα συνδέθηκε με το τμήμα σύνδεσης γέφυρας με τη χρήση δύο ελατηρίων τα οποία τοποθετήθηκαν με σκοπό την επαναφορά όλου του συστήματος στην ιδανική θέση επαφής. (Σχήμα 2.13)



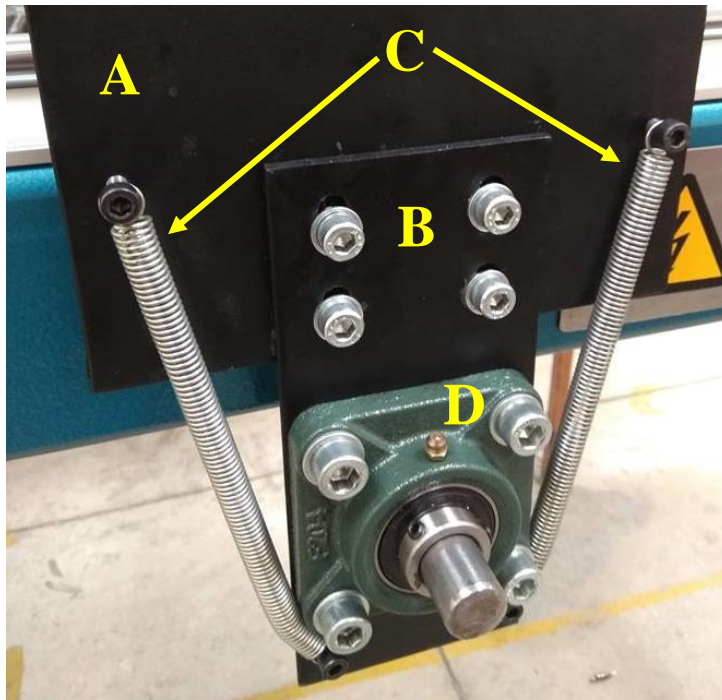
- A:** Γέφυρα
- B:** Τμήμα σύνδεσης γέφυρας
- C:** Γραμμικό έδρανο ολίσθησης
- D:** Γραμμικός οδηγός

Σχήμα 2.11 Γωνιά γέφυρας



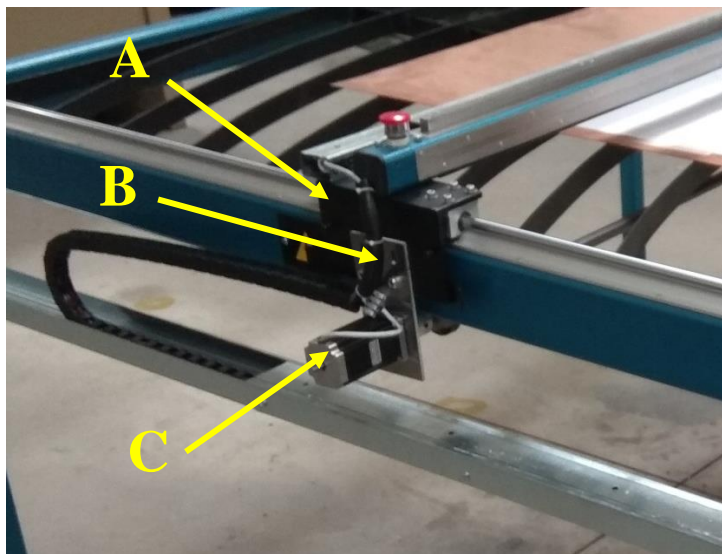
- A:** Τμήμα σύνδεσης γέφυρας
- B:** Ελάσματα ενεργοποίησης τερματικών
- C:** Οπές σύνδεσης επιπρόσθετων τμημάτων (UCF/stepper)

Σχήμα 2.12 Έλασμα ενεργοποίησης τερματικών



- A:** Τμήμα σύνδεσης γέφυρας
- B:** Επιπρόσθετο τμήμα κουζινέτου UCF
- C:** Ελατήρια για επαναφορά στην ορθή θέση λειτουργίας
- D:** Κουζινέτο UCF

Σχήμα 2.13 Κουζινέτο UCF

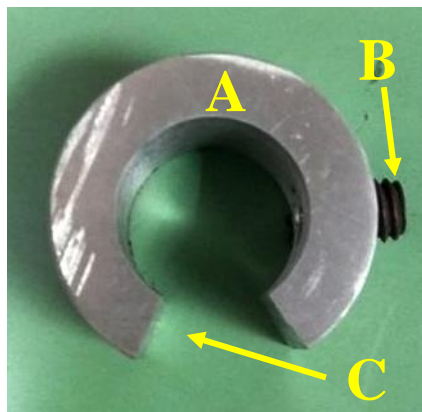


- A:** Τμήμα σύνδεσης γέφυρας
- B:** Επιπρόσθετο τμήμα βηματικού κινητήρα
- C:** Βηματικός κινητήρας

Σχήμα 2.14 Βηματικός κινητήρας άξονα y

Η κίνηση της γέφυρας (άξονας y) επιτυγχάνεται βάσει της συγκεκριμένης συνδεσμολογίας: Η σύνδεση μεταξύ κινητήρα και κουζινέτου (UCF) πραγματοποιήθηκε με άξονα ($\Phi 20$), ο οποίος συνδέθηκε στο κουζινέτο με τη βοήθεια ακέφαλου χωνευτού κοχλία και στον κινητήρα με τη χρήση κόπλερ. Ενδιάμεσα από τις δύο συνδέσεις τοποθετήθηκαν δύο οδοντωτοί τροχοί ($\Phi 60$, $Z 60$, $m=1$ mm) σε κατάλληλη θέση με τη χρήση ακέφαλου χωνευτού κοχλία, έτσι ώστε να μπορούν να συνεργαστούν με τους οδοντωτούς κανόνες (1,810 mm, $m=1$ mm), όπου έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό από το αντικριστό ζεύγος. Η συνδεσμολογία αυτή καθιστά δυνατή την επιθυμητή κίνηση στον άξονα y λόγω της περιστροφής του άξονα του κινητήρα. Για την ασφάλιση της γέφυρας στους γραμμικούς οδηγούς

τοποθετήθηκαν ως τερματικά (μηχανικά τερματικά) σε κάθε γραμμικό οδηγό δαχτυλίδια αλουμινίου στερεωμένα με ακέφαλο χωνευτό κοχλία (Σχήμα 2.15). Τα δαχτυλίδια αλουμινίου κατασκευάστηκαν στον τόρνο, έπειτα έγινε διάτρηση αξονικά σε επιτραπέζιο δράπανο και έγινε σπειροτόμηση στις δημιουργούμενες οπές. Έπειτα, αφαιρέθηκε το απαιτούμενο τμήμα τους ώστε να τοποθετηθούν στον κάθε γραμμικό οδηγό με ευκολία χωρίς να εμποδίζονται από το νεύρο.



A: Μηχανικά τερματικά άξονα y

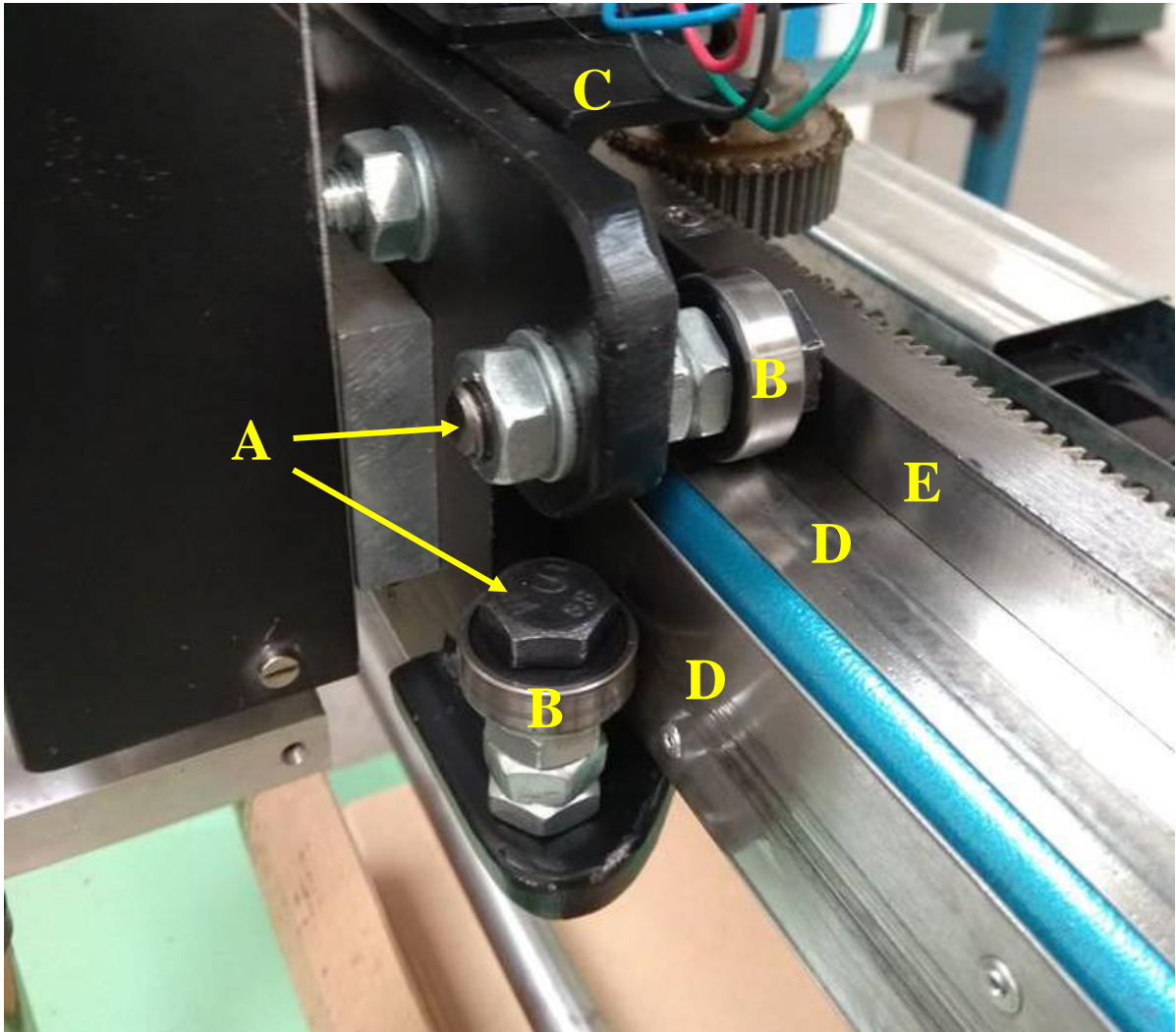
B: Ακέφαλος χωνευτός κοχλίας

C: Τμήμα που αφαιρέθηκε

Σχήμα 2.15 Μηχανικά τερματικά άξονα y

2.4.3 Σύστημα μετάδοσης κίνησης άξονα x

Όσον αφορά στη κίνηση στον άξονα x, εφαρμόστηκε ένα απλούστερο σύστημα σε σχέση με αυτό του άξονα y. Κατά μήκος της γέφυρας τοποθετήθηκε ένας οδοντωτός κανόνας (1,820 mm, m=1 mm) με χρήση κοχλίων και αυτοδιάτρητων κοχλίων. Το μέσο μεταφοράς κίνησης στον άξονα x είναι ένα κατάλληλα διαμορφωμένο “βαγόνι” (Σχήμα 2.16), το οποίο αποτελείται από τρία αυτοτελή κομμάτια. Τα δύο κομμάτια από αυτά, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σε μορφή Γ και επιβεβαιώθηκε ότι είναι κάθετα μεταξύ τους με τη βοήθεια “γωνιών”, συγκολλήθηκαν. Το τρίτο τμήμα (στο οποίο τοποθετήθηκε ο βηματικός κινητήρας) τοποθετήθηκε στα συγκολλημένα τμήματα μέσω κοχλίων και με τη χρήση μιας πρόσθετης γωνιάς (Σχήμα 2.17) για να διασφαλιστεί η καθετότητα τους. Το σχήμα του συγκεκριμένου βαγονιού διαφοροποιείται από αυτό που θα αξιοποιούταν αρχικά (βλ. κεφάλαιο 2.4.5) καθώς προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα και καταλαμβάνει μικρότερο χώρο (εφαρμόζει στενότερα στη γέφυρα). Αξιοποιώντας ένσφαιρους τριβείς με αποστάτες που τοποθετούνται στις οπές του βαγονιού, το βαγόνι αποκτά την επιθυμητή ολίσθηση πάνω στη γέφυρα. Αυτό θα επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο ειδικά διαμορφωμένων έκκεντρων κοχλίων, ώστε με τη περιστροφή τους, οι ένσφαιροι τριβείς που βρίσκονται σε αυτούς (ένα σε κάθε τμήμα που έχει συγκολληθεί) να προσδίδουν την επιθυμητή συναρμογή του συστήματος πάνω στη γέφυρα λόγω της έκκεντρης περιστροφής τους. Για ακόμα καλύτερη ολίσθηση τοποθετήθηκαν περιμετρικά της γέφυρας ανοξείδωτα (inox) ελάσματα στα οποία εφάπτονται οι ένσφαιροι τριβείς τα οποία πακτώθηκαν πρότερα στην γέφυρα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι σε όλες τις οπές των τριών τμημάτων έχει πραγματοποιηθεί σπειροτόμηση.



Σχήμα 2.16 Βαγόνι άξονα χ

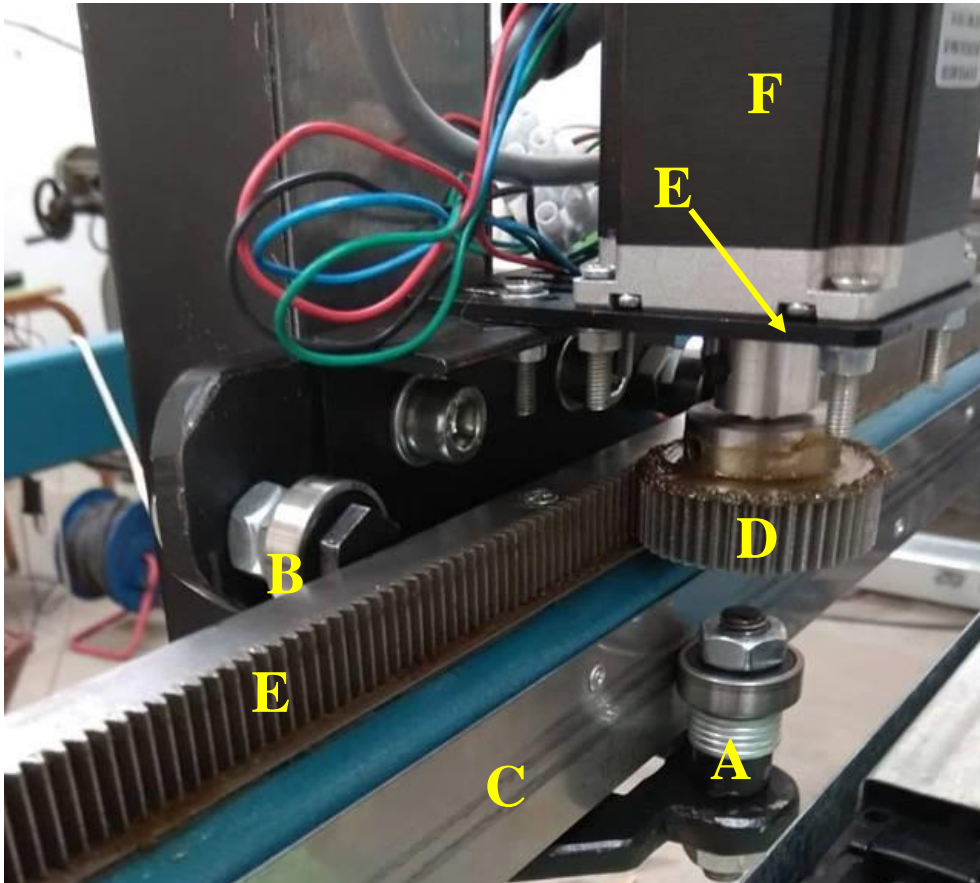
A: Αποστάτες

B: Ένσφαιροι τριβείς αποστατών

C: Γωνιά στήριξης τμήματος βηματικού κινητήρα άξονα x

D: Ελάσματα inox

E: Οδοντωτός κανόνας



Σχήμα 2.17 Κατασκευή βαγονιού άξονα χ

- A: Έκκεντρος κοχλίας/αποστάτης
- B: Ένσφαιροι τριβείς αποστατών
- C: Ελάσματα inox
- D: Οδοντωτός τροχός
- E: Οδοντωτός κανόνας
- F: Βάση στήριξης βηματικού κινητήρα
- G: Βηματικός κινητήρας

Στο επάνω μέρος του βαγονιού τοποθετήθηκε ο βηματικός κινητήρας στον οποίο τον άξονα προσαρμόστηκε ένας οδοντωτός τροχός ($\Phi 30$, $Z30$, $m=1$ mm) μέσω ακέφαλου χωνευτού κοχλίας. Με τη σύνδεση οδοντωτού τροχού – οδοντωτού κανόνα δόθηκε η επιθυμητή κίνηση στον άξονα x. Επιπρόσθετα, στην κάθετη πλευρά του βαγονιού ανοίχτηκαν τρεις οπές σε τριγωνική διάταξη από τις οποίες διέρχονται κοχλίες και πάνω σε αυτούς τοποθετήθηκε ένα πρόσθετο μεταλλικό τμήμα τετραγωνικής διατομής. Το μεταλλικό τμήμα παρέχει την απαιτούμενη απόσταση στην οποία τοποθετήθηκε το σύστημα του άξονα z με τη χρήση τους. (Σχήμα 2.18)



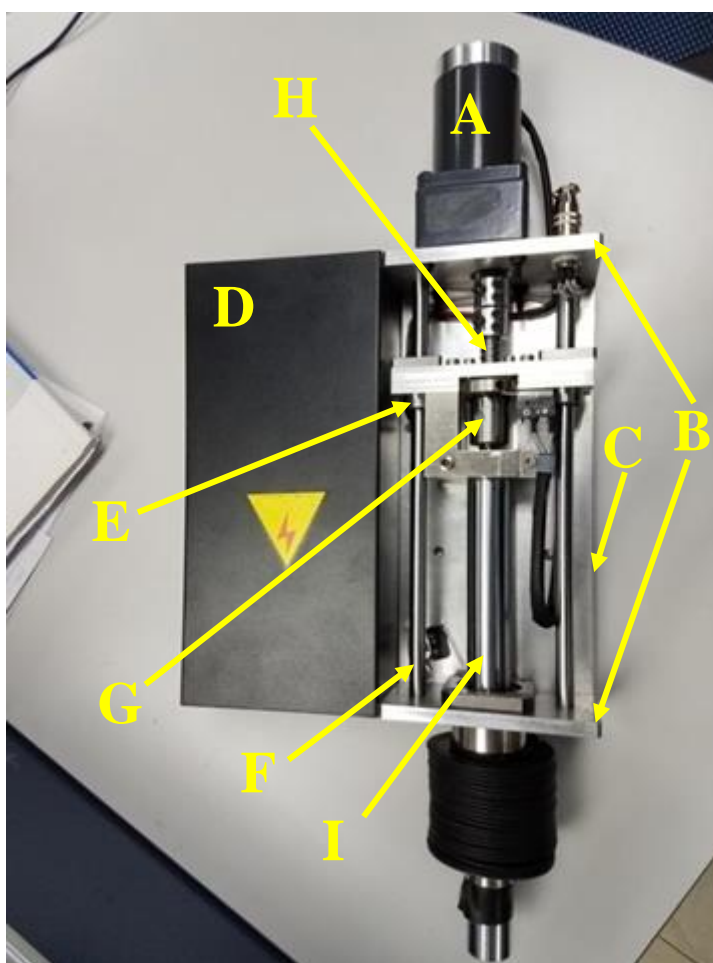
Σχήμα 2.18 Πλακίδιο σύνδεσης άξονα z

2.4.4 Μηχανισμός συστήματος άξονα z

Για την κατασκευή του συστήματος του άξονα z τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αποφασίστηκε να είναι από αλουμίνιο. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία που αποτελούν το σύστημα του z είναι τρεις πλάκες, μια “ράχη” (έλασμα αλουμινίου), δύο ράβδοι, μία ντίζα, ένα ειδικά διαμορφωμένο τμήμα για την προστασία της ντίζας, ένα τραπεζοειδές περικόχλιο και ένα έλασμα διαμορφωμένο στη στράτζα. Τα στοιχεία αυτά έχουν την εξής διάταξη: Στα άκρα των μικρών πλευρών (πλάτος) της ράχης τοποθετούνται με τη χρήση κοχλίας οι δύο από τις τρεις πλάκες αφού πρώτα ανοιχτούν οπές, στις οποίες πρωτύτερα δημιουργήθηκε σπείρωμα. Στη ράχη, στα σημεία που τοποθετήθηκαν οι κοχλίες για την πάκτωση των πλακών, δημιουργήθηκε υποδοχή ώστε να μην εξέχουν οι κεφαλές των κοχλίων allen. Η τρίτη πλάκα τοποθετείται παράλληλα και ανάμεσα στις άλλες δύο. Στις τρεις πλάκες ανοίχτηκαν στη μεγάλη διατομή τρεις οπές στη κάθε μια (η μια στο κέντρο), συνευθειακά και παράλληλα στον άξονα z, ώστε να διέρχονται οι δύο ράβδοι στις εκατέρωθεν οπές της κεντρικής. Οι οπές της ενδιάμεσης πλάκας είναι μεγαλύτερης διαμέτρου ώστε να τοποθετηθούν οι γραμμικοί οδηγοί απ τους οποίους θα διέρχονται οι ράβδοι οι οποίες σταθεροποιούνται στις δύο ακριανές πλάκες. Αντίθετα, οι οπές των άλλων δύο έχουν διάμετρο ίδια με αυτή της ράβδου. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται ολίσθηση χωρίς φθορά.

Στην ενδιάμεση πλακά (από την κάτω πλευρά) βιδώνεται ένα τραπεζοειδές περικόχλιο. Στο περικόχλιο στερεώνεται και το ειδικά διαμορφωμένο τμήμα που κατασκευάστηκε στον τόρνο με την χρήση ακέφαλων κοχλιών. Τέλος, μέσα από της

κεντρικές οπές διέρχεται μια ντίζα ώστε να ολοκληρωθεί το σύστημα. Με την περιστροφή της ντίζας, είτε με την χρήση κινητήρα είτε χειροκίνητα (πάντα αξονικά), καθίσταται εφικτή η κίνηση του εκάστοτε εργαλείου στη διεύθυνση του άξονα z διότι λόγω της περιστροφής το περικόχλιο εξαναγκάζει την ενδιάμεση πλακά είτε να κατεβαίνει είτε να ανεβαίνει, ανάλογα με την φορά της περιστροφής του. Για να καθίσταται όλο αυτό εφικτό, όμως, στην κάτω και άνω πλακά τοποθετήθηκε ένας ένσφαιρος τριβέας στη κάθε μια για να επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή. Για την προστασία του συστήματος αυτό τοποθετήθηκε στο εξωτερικό του ένα στρατζαριστό έλασμα το οποίο πακτώθηκε για την σταθεροποίηση του στις δυο ακριανές πλάκες (πλάγια του συστήματος). (Σχήμα 2.19)



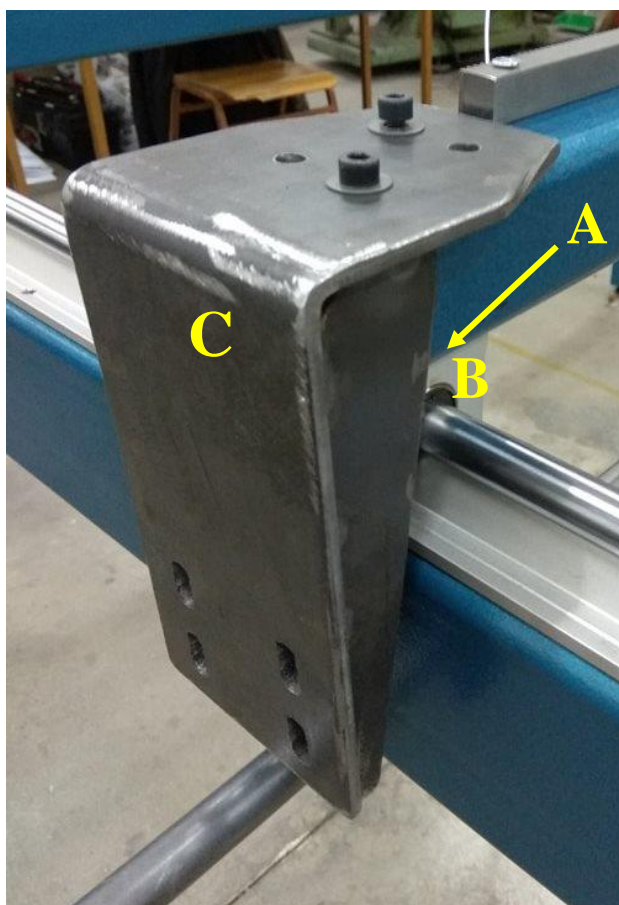
- A:** Βηματικός κινητήρας άξονα z
- B:** Πλάκες αλουμινίου
- C:** Ράχη
- D:** Προστατευτικό κάλυμμα
- E:** Γραμμικοί ένσφαιροι τριβείς
- F:** Άξονες
- G:** Τραπεζοειδές περικόχλιο
- H:** Ντίζα
- I:** Προστατευτικό ντίζας

Σχήμα 2.19 Μηχανισμός συστήματος άξονα z

Το ειδικά διαμορφωμένο τμήμα που προαναφέρθηκε κατασκευάστηκε στο τόρνο και έχει την εξής μορφή : είναι ένας κύλινδρος με δυο διαφορετικές διατομές, η μια είναι μικρού μήκους αλλά μεγαλύτερης διαμέτρου ενώ η άλλη μεγαλύτερου μήκους αλλά μικρής διαμέτρου. Από τον άξονα του κυλίνδρου διέρχεται μια διαμήκη οπή η οποία είναι μεγαλύτερη μόνο στο τμήμα στο οποίο εισέρχεται το τραπεζοειδές περικόχλιο. Το κάτω μέρος (η μικρή διατομή) εξέρχεται από όλο το σύστημα και είναι διαθέσιμο έτσι ώστε να προσαρμοστεί ο μηχανισμός στον οποίο δύναται να τοποθετηθεί το εργαλείο κατεργασίας.

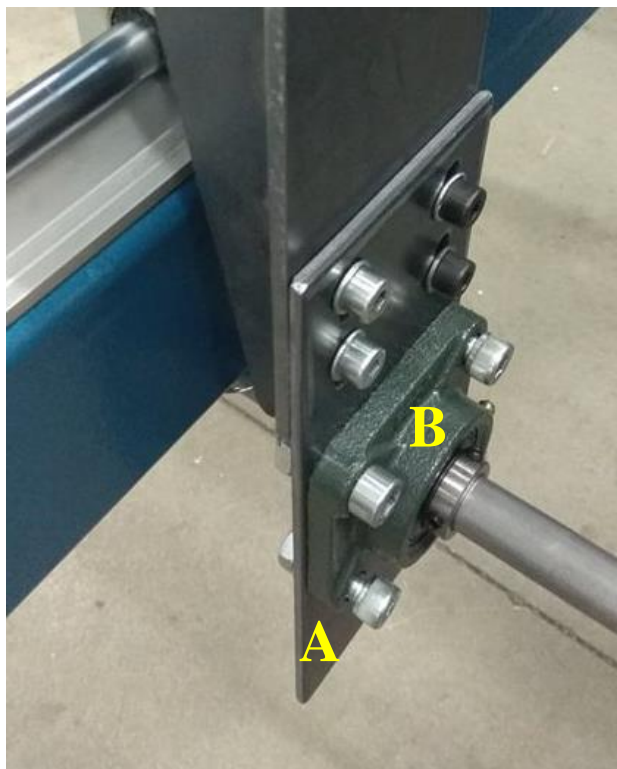
2.4.5 Μηχανισμοί που δεν αξιοποιήθηκαν

Αρχικά, η ιδέα ήταν να τοποθετηθεί πάνω σε κάθε γραμμικό οδηγό ένα σύστημα με δύο γραμμικά έδρανα ολίσθησης ενωμένα με ένα ορθογωνικής διατομής μεταλλικό τμήμα (236 x 50 x 10 mm) από αλουμίνιο. Στο κέντρο της απόστασης των γραμμικών εδράνων ολίσθησης θα προσαρμοζόταν η “γέφυρα” του αξονικού παντογράφου, η οποία θα ήταν κοιλοδοκός τετραγωνικής διατομής SHS 50 x 5 και μήκους 2,000 mm. Εκατέρωθεν της “γέφυρας” θα τοποθετούνταν κατάλληλα τμήματα (Σχήμα 2.20), τα οποία θα πακτώνονταν με τη χρήση τεσσάρων κοχλιών με σκοπό τη σταθεροποίησή τους, αφού πρώτα γινόταν σπειροτόμηση στις κατάλληλες οπές της “γέφυρας”. Στα ακραία τμήματα της γέφυρας θα προσαρμόζονταν δύο επιπρόσθετα τμήματα ορθογωνικής διατομής (Σχήμα 2.21) πάνω στα οποία θα τοποθετούνταν ένα επιτραπέζιο κουζινέτο UCF και ένας ηλεκτρικός βηματικός κινητήρας (stepper motor), αντίστοιχα. Τα τμήματα αυτά θα επέτρεπαν τη ρύθμιση του ύψους επειδή θα ενώνονταν με τα κατάλληλα τμήματα μέσω κοχλιών σε διαμήκη οπές.



- A:** Τμήμα ορθογωνικής διατομής.
- B:** Γραμμικό έδρανο ολίσθησης
- C:** Ακραίο τμήμα γέφυρας

Σχήμα 2.20 Ακραίο τμήμα γέφυρας

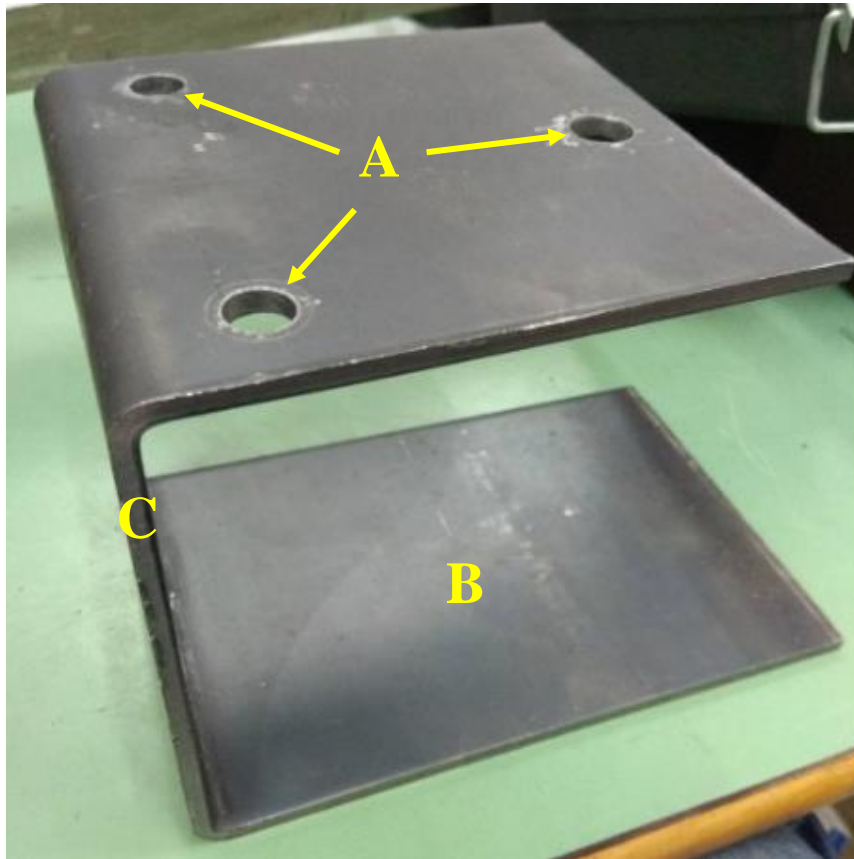


A: Τμήματα ορθογωνικής διατομής στήριξης κουζινέτου UCF

B: Κουζινέτο UCF

Σχήμα 2.21 Επιπρόσθετο τμήμα κουζινέτου UCF

Όσον αφορά στη κίνηση στον άξονα x , θα εφαρμοζόταν ένα απλούστερο σύστημα σε σχέση με αυτό του άξονα y . Κατά μήκος της γέφυρας θα τοποθετούταν ένας οδοντωτός κανόνας (1,820 mm, $m=1$ mm) με χρήση κοχλίων και αυτοδιάτρητων κοχλίων. Το μέσο μεταφοράς του πυρσού πλάσματος ή συγκόλλησης στον άξονα x θα ήταν ένα διαμορφωμένο “βαγονί” (Σχήμα 2.22), το οποίο με τη χρήση αποστατών και ένσφαιρων τριβέων που θα τοποθετούταν στις οπές του βαγονιού, θα προσέδιδε την επιθυμητή ολίσθηση πάνω στη γέφυρα. Στο επάνω μέρος του βαγονιού θα τοποθετούταν ένας βηματικός κινητήρας στον οποίο τον άξονα θα προσαρμοζόταν απευθείας ένας οδοντωτός τροχός ($\Phi 45$, $Z 45$, $m=1$ mm) μέσω ακέφαλου χωνευτού κοχλία. Με τη σύνδεση οδοντωτού τροχού – οδοντωτού κανόνα θα μπορούσε να δοθεί η επιθυμητή κίνηση στον άξονα x . Επιπρόσθετα, στην κάθετη πλευρά του βαγονιού θα ανοίγονταν τρεις οπές μέσω των οποίων θα τοποθετούταν το μελλοντικό σύστημα του άξονα z .



A: Οπές εισαγωγής αποστατών

B: Πλευρά τοποθέτησης ηλεκτρικού κινητήρα

C: Πλευρά τοποθέτησης συστήματος άξονα z

Σχήμα 2.22 Προγενέστερη ιδέα βαγονιού άξονα x

2.5 Υποδομή τοποθέτησης των ηλεκτρονικών/ηλεκτρολογικών

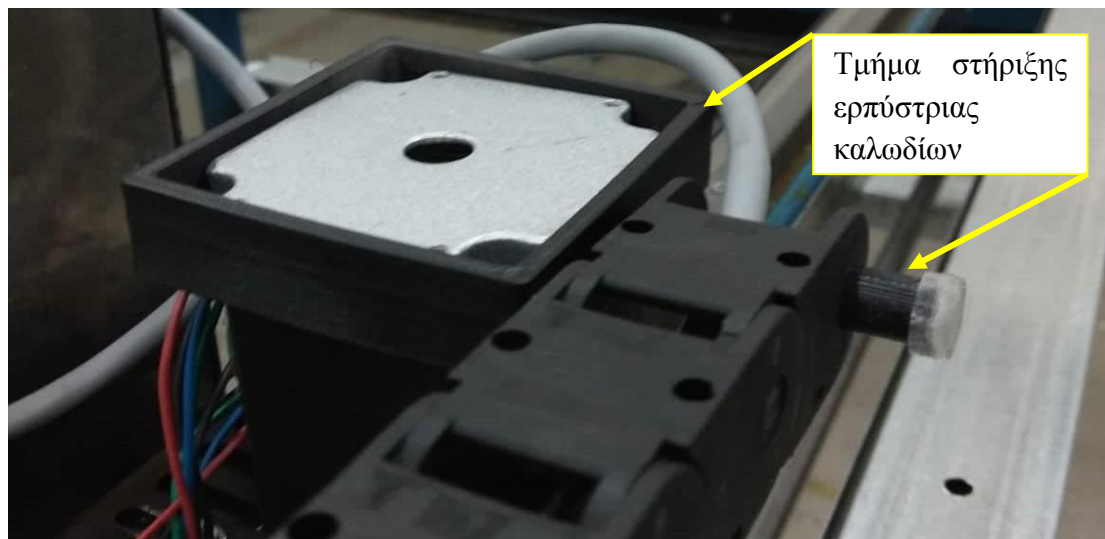
Σημαντική παράμετρος για το σχεδιασμό του αξονικού παντογράφου είναι η λειτουργική αλλά και ασφαλής μετακίνηση της καλωδίωσης. Λόγω της μετακίνησης των βηματικών κινητήρων στους άξονες x και y αξιοποιήθηκαν δύο ερπύστριες για τη μεταφορά των καλωδίων τόσο για να μην παρεμποδίζεται η λειτουργία του μηχανήματος όσο και για την προστασία της ίδιας της καλωδίωσης από τυχόν εκτινάξεις ή από άλλα παράγοντα διαφόρων διεργασιών που θα λαμβάνουν χώρα στον παντογράφο.

2.5.1 Τοποθέτηση ερπυστριών καλωδίωσης

Πιο συγκεκριμένα, η ερπύστρια που μεταφέρει τα καλώδια στον άξονα y τοποθετήθηκε πάνω σε μια βάση μορφής Π. Η βάση πακτώθηκε σε δύο τμήματα τα οποία συγκολλήθηκαν στα δύο πόδια του πλαισίου από την πλευρά που είχαν ανοιχτεί πρωτότερα οι οπές για τη μεταφορά της καλωδίωσης όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο περιγραφής του πλαισίου. Η ερπύστρια ξεκινά από τη μέση της βάσης και συγκρατείται στην αντίστοιχη πλευρά της γέφυρας ώστε να εισέρχεται η καλωδίωση.

Για την τοποθέτηση της ερπύστριας στον άξονα x αξιοποιήθηκε ένα αντίστοιχο σύστημα. Συγκεκριμένα, μια βάση τοποθετήθηκε στις αντικριστές γωνίες που

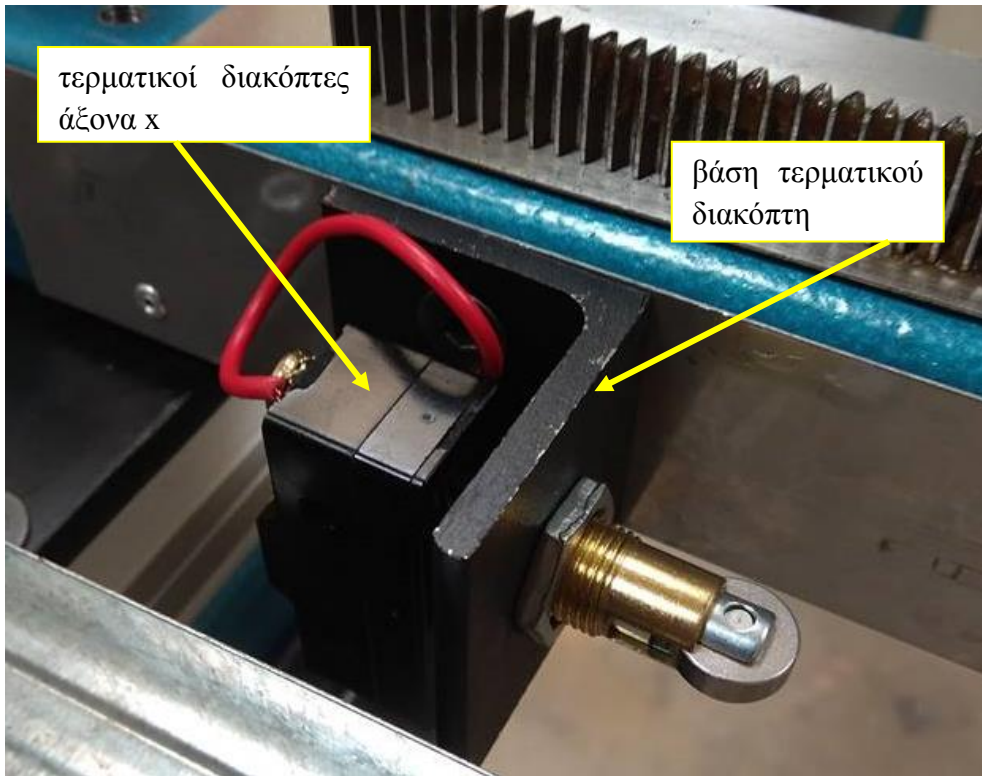
στερεώνεται η γέφυρα και το επιθυμητό ύψος που απαιτείται λόγω της καμπυλότητας της ερπύστριας επιτεύχθηκε με ένα τμήμα το οποίο τυπώθηκε σε 3D εκτυπωτή και προσαρμόστηκε στο πάνω μέρος του κινητήρα του άξονα y. Για την τοποθέτηση της ερπύστριας ακολουθήθηκε η ίδια λογική με αυτή του άξονα y με μόνη διαφορά ότι η μία άκρη της ερπύστριας συγκρατείται στο τυπωμένο τμήμα. (Σχήμα 2.23)



Σχήμα 2.23 Τμήμα στήριξης ερπύστριας στον κινητήρα του άξονα x

2.5.2 Τοποθέτηση τερματικών διακοπών

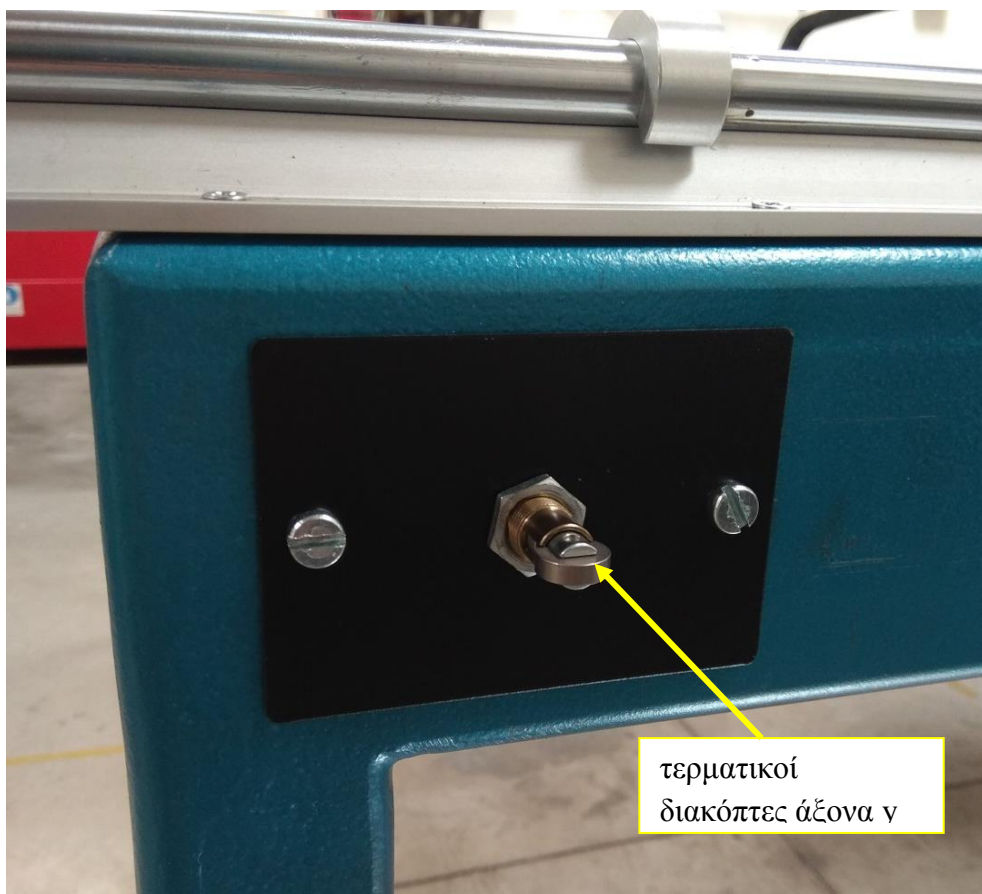
Με σκοπό να είναι εφικτή η διακοπή της κίνησης της “γέφυρας” κατά τον άξονα y όπως επίσης και για τη διακοπή της κίνηση του βαγονιού στον άξονα x χρησιμοποιήθηκαν τερματικοί διακόπτες (Σχήμα 2.24). Οι διακόπτες που αφορούν τον άξονα y αξιολογήθηκε σκόπιμο να τοποθετηθούν στα ακριανά ελάσματα της πλευρά του πλαισίου που διέρχεται η καλωδίωση για πρακτικούς λόγους. Αυτό επιτεύχθηκε ανοίγοντας μια οπή σε κάθε γαλβανισμένο έλασμα (στο κέντρο) και φέρνοντας τους διακόπτες στην επιθυμητή θέση έτσι ώστε να “τερματίζει” η γέφυρα στην αφετηρία και στο τέλος του y χωρίς να παραβαίνει τα όρια του χώρου κατεργασίας (Σχήμα 2.25). Γι’ αυτό το λόγο, στη γωνιά που βρίσκεται πάνω στα έδρανα ολίσθησης απ’ την πλευρά της καλωδίωσης συγκολλήθηκαν δύο πρόσθετα μεταλλικά τμήματα τα οποία ενεργοποιούν τον διακόπτη με κατάλληλο τρόπο ώστε να μην επέλθει κάποια βλάβη. Σε αντίθεση με τον άξονα y, οι τερματικοί διακόπτες τοποθετήθηκαν πολύ πιο απλά στον άξονα x μέσα απ’ τα άκρα της “γέφυρας” πριν τα τέλη του οδοντωτού κανόνα του άξονα x (Σχήμα 2.24), έτσι ώστε το βαγόνι να μην παραβαίνει τα όρια του χώρου κατεργασίας



τερματικοί διακόπτες
άξονα x

βάση τερματικού
διακόπτη

Σχήμα 2.24 Τερματικοί διακόπτες άξονα x



τερματικοί
διακόπτες άξονα y

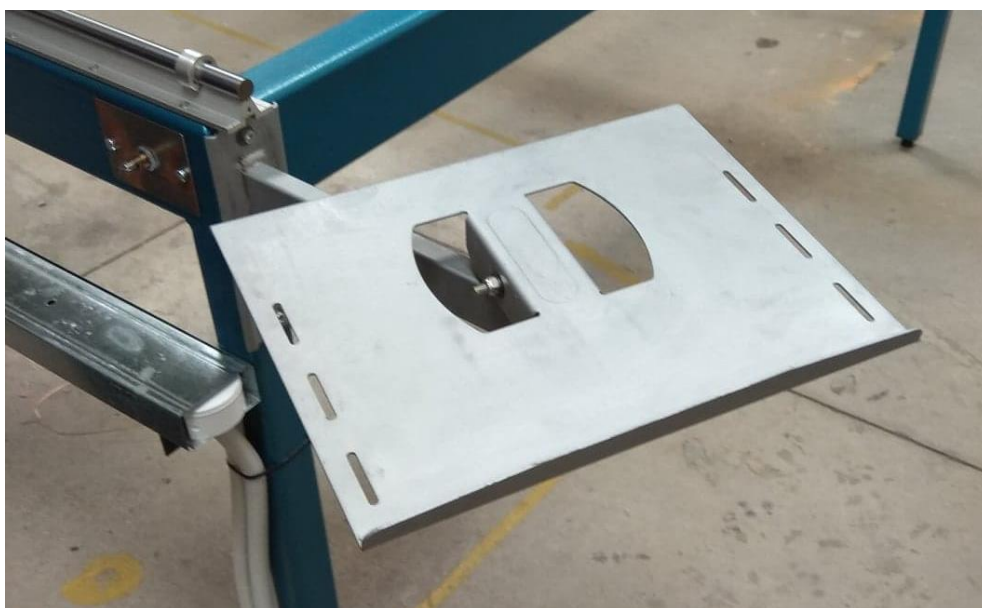
Σχήμα 2.25 Τερματικοί διακόπτες άξονα y

2.5.3 Βάση στήριξης ηλεκτρολογικού πίνακα και Η/Υ

Για τη τοποθέτηση του ηλεκτρονικού κουτιού καθώς και του ηλεκτρονικού υπολογιστή επάνω στο μηχάνημα απαιτείται η χρήση μιας βάσης. Η βάση αυτή αποτελείται από δύο τμήματα, το τμήμα του βραχίονα (Σχήμα 2.26) και το τμήμα που θα τοποθετηθεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και ο πίνακας (Σχήμα 2.27). Η ένωση των δύο αυτών τμημάτων πραγματοποιείται με τη χρήση ενός κοχλία ώστε να καθίσταται δυνατή η περιστροφή της βάσης και συνεπώς να διευκολύνεται ο χειριστής της μηχανής. Το Σχήμα 2.28 απεικονίζει την ολοκληρωμένη τοποθέτηση του ηλεκτρολογικού κουτιού και του ηλεκτρονικού υπολογιστή στη βάση στήριξης.



Σχήμα 2.26 Βραχίονας βάσης στήριξης



Σχήμα 2.27 Βάση στήριξης

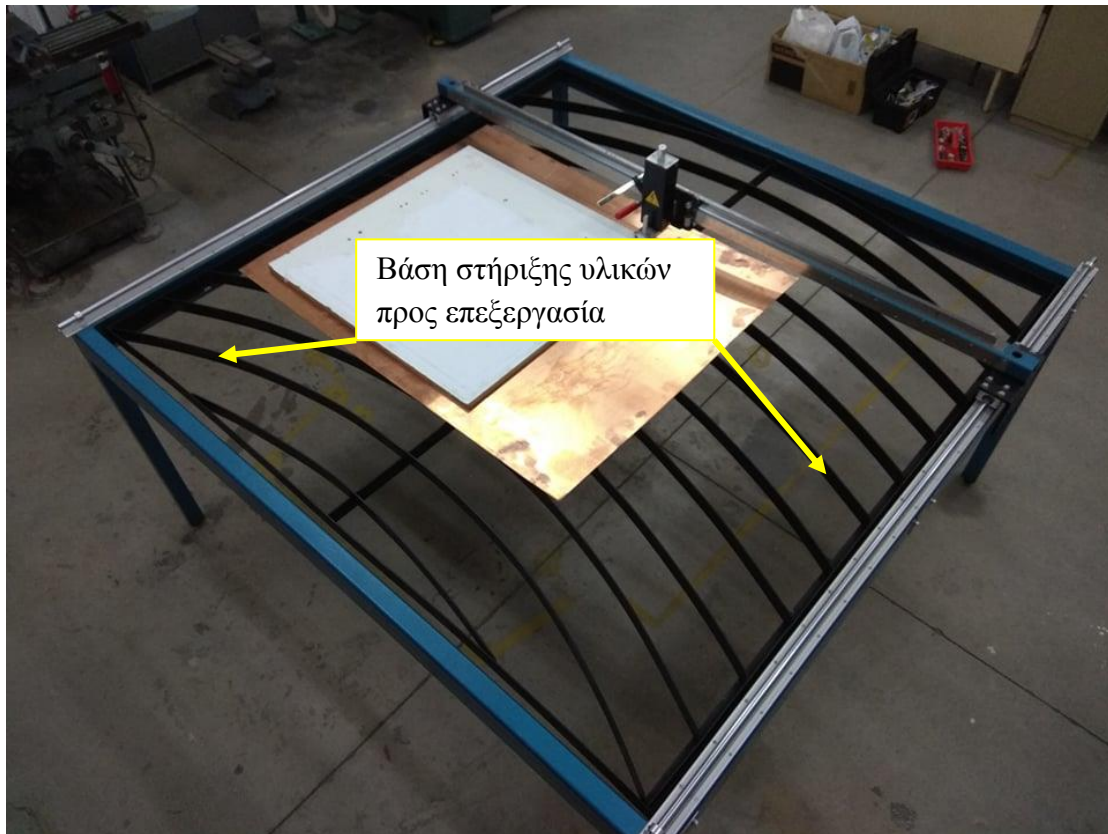


Σχήμα 2.28 Ολοκληρωμένη τοποθέτηση βάσης στήριξης

2.6 Εσχάρα στήριξης υλικών προς επεξεργασία

Σε μια τέτοιου είδους κατασκευή, όπου θα πραγματοποιούνται κατεργασίες σε διάφορα δοκίμια (π.χ. ελάσματα), είναι απαραίτητη η ύπαρξη της κατάλληλης εσχάρας που θα στηρίζει τα προς επεξεργασία δοκίμια αλλά και θα επιτρέπει, ακόμα και σε περίπτωση χρήσης πλάσματος, πολλαπλές χρήσεις της, λόγω του σχεδιασμού της ο οποίος θα περιορίζει τον παράγοντα της φθοράς. Η σχάρα αυτή αποτελείται από ένα πλαίσιο στο οποίο τοποθετήθηκε ένα νεύρο στο κέντρο παράλληλα με τις πλευρές των γραμμικών οδηγών. Στο νεύρο δημιουργήθηκαν εγκοπές ανά συγκεκριμένη απόσταση στις οποίες τοποθετήθηκαν λάμες αφού πρώτα διαμορφώθηκαν ώστε να έχουν καμπυλωτή μορφή. Έπειτα, αφού τοποθετήθηκαν οι λάμες στις εγκοπές, συγκολλήθηκαν στις παράλληλες πλευρές όπως επίσης και στο νεύρο συγκράτησης (Σχήμα 2.29)

Για τη στήριξη της σχάρας τοποθετήθηκαν στηρίγματα στο εσωτερικό του πλαισίου. Τα στηρίγματα αυτά είναι γωνιές (διαστάσεων 40 x 40 x 1,800 πάχους) οι οποίες τοποθετήθηκαν στις δύο αντικριστές πλευρές του πλαισίου, πάνω από τους οδοντωτούς κανόνες, σε ύψος περίπου 8 mm. Για τη στερέωση τους αξιοποιήθηκαν αυτοδιάτρητοι κοχλίες (4.5 mm x 20 mm) αφού πρώτα διανοίχτηκαν οι οπές στην κοιλοδοκό.



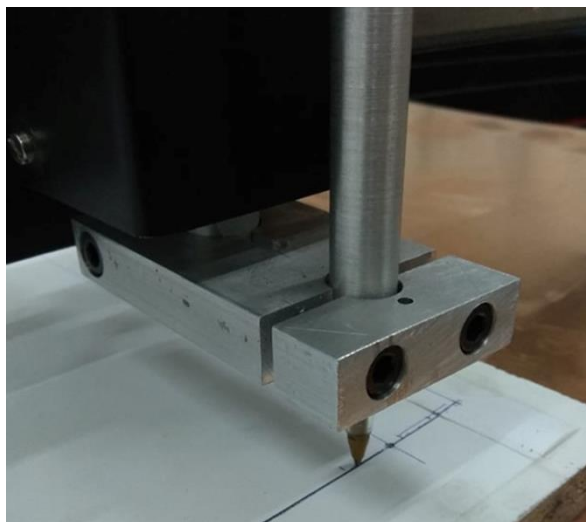
Σχήμα 2.29 Βάση στήριξης υλικών προς επεξεργασία

2.7 Έλεγχος καθετότητας πλευρών

Είναι σαφές ότι κατά την διάρκεια της κατασκευής του CNC παντογράφου όλες οι επεξεργασίες των υλικών έγιναν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή καθετότητα των αξόνων. Αυτό επιτεύχθηκε με την ορθή χρήση του μετρικού εξοπλισμού και με διαρκείς ελέγχους.

Η απαιτούμενη καθετότητα των αξόνων x και y επιτυγχάνεται πραγματοποιώντας το κατάλληλο «έλεγχο καθετότητας πλευρών». Πρώτο βήμα για τη διαδικασία αυτή ήταν η δημιουργία δυο εξαρτημάτων που ήταν απαραίτητα για την πραγματοποίησή του. Το πρώτο εξάρτημα είναι ένας κύλινδρος που κατασκευάστηκε στον τόρνο, ο οποίος από την μια πλευρά είχε μια οπή η οποία δεν είναι διαμπερής. Η διατομή της οπής αυτής είναι τέτοια έτσι ώστε να περνά από αυτή οριακά ένα στυλό χωρίς να έχει καθόλου ανοχές. Ανάμεσα στο στυλό και το εσωτερικό της οπής τοποθετήθηκε ένα ελατήριο. Το δεύτερο εξάρτημα κατασκευάστηκε έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής του πρώτου στο σύστημα του άξονα z . Η μορφή του είναι ένα πλακίδιο το οποίο έχει δυο οπές. Στην μια οπή ταιριάζει το κυλινδρικό τμήμα το οποίο εξέρχεται από το σύστημα του άξονα z και στην άλλη το πρώτο εξάρτημα. Από την πλευρά του πάχους του πλακιδίου ανοίχτηκαν οπές από τις οποίες θα διέρχονται κοχλίες που θα συσφίγγουν τις οπές ώστε να επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση του

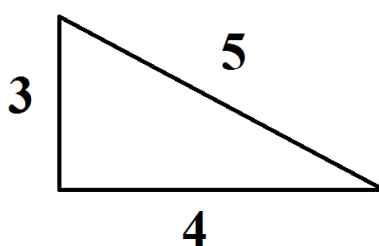
μηχανισμού για τον έλεγχο καθετότητας πάνω στο σύστημα του άξονα z. (Σχήμα 2.30)



Σχήμα 2.30 Μηχανισμός προσαρμογής εργαλείου επεξεργασίας

Η βασική ιδέα που εφαρμόστηκε στηρίζεται στο πυθαγόρειο θεώρημα της ευκλείδειας γεωμετρίας, δηλαδή «το τετράγωνο της υποτείνουσας (της πλευράς που βρίσκεται απέναντι από την ορθή γωνία) ενός ορθογώνιου τριγώνου ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων των δύο κάθετων πλευρών».

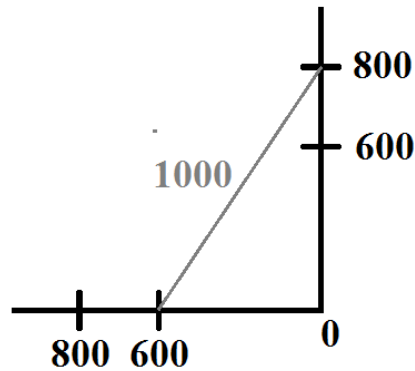
Το θεώρημα μπορεί να γραφεί ως εξίσωση συσχετίζοντας τα μήκη των πλευρών a , b και γ , που ονομάζεται πυθαγόρεια εξίσωση: $\gamma^2 = a^2 + b^2$ (όπου a και b τα μήκη των δύο κάθετων πλευρών και γ το μήκος της υποτείνουσας). Με την εφαρμογή, λοιπόν, του θεωρήματος αυτού αν ένα ορθογώνιο τρίγωνο έχει κάθετες πλευρές με μήκος 3 και 4 αντίστοιχα, τότε το μήκος της υποτείνουσα θα είναι 5 (Σχήμα 2.31).



Σχήμα 2.31 Αναλογίες πλευρών ορθογώνιου τριγώνου σύμφωνα με πυθαγόρειο θεώρημα

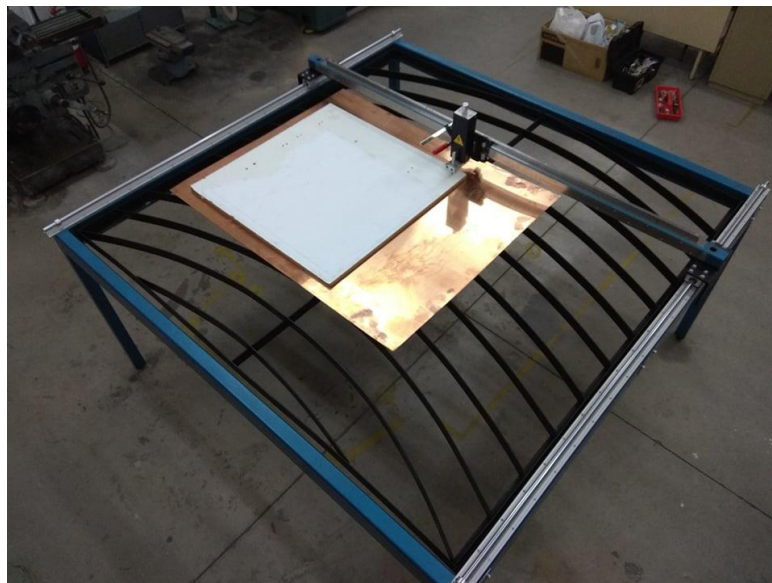
Το θεώρημα αυτό είναι προφανές ότι ισχύει και σε μεγαλύτερη κλίμακα. Συνεπώς, αν με την γέφυρα και τη χρήση του εξαρτήματος με το στυλό χαρακτηί μια ευθεία στον άξονα του x και μια στο άξονα του y από την ίδια αρχή και εφαρμοστεί η προαναφερθείσα ιδέα, είναι δυνατό να αναπαρασταθεί το ορθογώνιο τρίγωνο σε μεγάλη κλίμακα για να επαληθευτεί η καθετότητα των δυο αξόνων. Έπειτα, αν με ένα διαβήτη σημαδεύουν σημεία στα 600 mm, στα 800 mm και στα 1000 mm, δημιουργείται απευθείας ένα μοτίβο σχεδίασης ορθογώνιων τριγώνων και είναι δυνατό να επιτευχθεί η καθετότητα. Συνεπώς, μετρώντας την υποτείνουσα με κάθετες

πλευρές 600 και 800 χιλιοστά αν η υποτείνουσα είναι 1000 χιλιοστά τότε οι άξονες X και Y είναι κάθετοι. Σε αντίθετη περίπτωση, η γέφυρα προσαρμόζεται με μικρή μέχρι τα νούμερα να επαληθεύουν το θεώρημα και ως επακόλουθο την απόλυτη καθετότητα των αξόνων (Σχήμα 2.32)



Σχήμα 2.32 Επαλήθευση αποστάσεων για καθετότητα

Πριν από αυτή την διαδικασία είναι απαραίτητο να γίνει χαλάρωση των κοχλίων που συγκρατούν την γέφυρα στις γωνίες που είναι τοποθετημένες πάνω στους γραμμικούς οδηγούς ολίσθησης. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν διορθώσεις στην φορά της γέφυρας ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί απολύτως κάθετα στον άξονα των y πριν σταθεροποιηθεί στην τελική της θέση. Έπειτα από την τοποθέτηση της σχάρας επεξεργασίας των δοκιμίων, τοποθετείται πάνω της μια πλάκα κοντραπλακέ και από πάνω μια μεγάλη επιφάνεια χαρτιού με σκοπό να ξεκινήσει ο έλεγχος. (Σχήμα 2.33)



Σχήμα 2.33 Διαδικασία γωνιάσματος

Για την χάραξη και την αποτύπωση των σημείων για την διάνοιξη των οπών στα ορθογώνια τμήματα αλλά και τις γωνίες που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή το όργανα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να υπάρχει μεγάλη ακρίβεια και σταθερότητα ήταν ο υψομετρικός χαρακτήρας. (Σχήμα 2.34)

Για την ορθή τοποθέτηση των δυο οδοντωτών κανόνων στην διεύθυνση του άξονα y αφού πρώτο ανοίχτηκαν οπές στους οδοντωτούς κανόνες και τοποθετήθηκε η γέφυρα στην θέση της ώστε να έχει σταθερό ύψος χρησιμοποιήθηκε μετρητικό ρολόι ώστε να βεβαιωθούμε για την σωστή θέση των οδοντωτών κανόνων. Πιο συγκεκριμένα μετά την τοποθέτηση της γέφυρας προσαρμόστηκε κατάλληλος το μετρικό ρολόι πάνω στη γέφυρα με την χρήση της μαγνητικής της βάσης για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του και να προσαρμόσουμε έπειτα τους οδοντωτούς κανόνες σε απόλυτα παράλληλη και οριζόντια θέση.



Σχήμα 2.34 Υψομετρικός Χαρακτήρας

3 Ηλεκτρονικά-Ηλεκτρολογικά κυκλώματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον ηλεκτρικό/ηλεκτρολογικό εξοπλισμό που αξιοποιήθηκε, καθώς και παρουσιάζονται οι δυνατότητες του. Επιπλέον, παρουσιάζεται η συνδεσμολογία του ηλεκτρολογικού/ηλεκτρονικού κυκλώματος όπως και οι τελικές ρυθμίσεις της μηχανής.

3.1 Ηλεκτρονικός/ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Τα ηλεκτρονικά/ηλεκτρολογικά μέρη της μηχανής απαρτίζονται από τα εξής στοιχεία:

- τρεις βηματικοί κινητήρες, ένα για κάθε άξονα
- έξι διακόπτες ορίων (limit switch), δύο για κάθε άξονα
- τρεις διακόπτες έκτακτης ανάγκης, E.Stop
- ένα διακόπτη με ασφάλεια από τον οποίο διέρχεται το ρεύμα
- ένα τροφοδοτικό (12 V/ 8.5 A power supply)
- ένα ρελέ (relay)
- την ηλεκτρονική κάρτα ελέγχου οδήγησης (LV8727T4V3) που εμπεριέχει τους οδηγούς για τους κινητήρες
- μέσο ψύξης της κάρτας
- φως για κάθε καλωδίωση που συνδέεται στον πίνακα (θηλυκό και αρσενικό)
- ένα καλώδιο για τη σύνδεση της κάρτας ελέγχου οδήγησης με τον υπολογιστή (LTP)

3.1.1 Ηλεκτρονική κάρτα ελέγχου οδήγησης

Η κάρτα ελέγχου οδήγησης σχεδιάστηκε ώστε να διαθέτει οδηγούς για τους βηματικούς κινητήρες. Το ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου έχει μια λειτουργία η οποία δίνει τη δυνατότητα στο επιθυμητό πρόγραμμά να προσαρμοστεί στο πρόγραμμα οδήγησης ώστε να ολοκληρωθεί η λειτουργία ελέγχου και να δημιουργηθεί ένα μικρό σύστημα ελέγχου. Η κάρτα ελέγχου οδήγησης είναι κατάλληλη για λειτουργήσει δύο ή τεσσάρων φάσεων βηματικό κινητήρα. Όσον αφορά στο ρεύμα της κάρτας, προσφέρονται οκτώ επιλογές. Πιο συγκεκριμένα, ρυθμίζεται στα 0.6 A , 1.2 A , 1.8 A, 2.4 A , 3 A, 3.6 A, 4.2 A ή στα 4.8 A. Η κάρτα υποστηρίζεται από μια σειρά λογισμικών όπως το MACH2, MACH3 και KCAM4. Η νέα τεχνολογία κοπής συνεχούς ρεύματος επιτρέπει στην έξοδο της κάρτας μεγαλύτερη ταχύτητα και ισχύ όταν χρησιμοποιείται ο ίδιος κινητήρας. Το χαρακτηριστικό της υποδιαίρεσης βελτιώνει την ακρίβεια λειτουργίας κινητήρα, μειώνει την ανακίνηση καθώς και τον θόρυβο.[19]

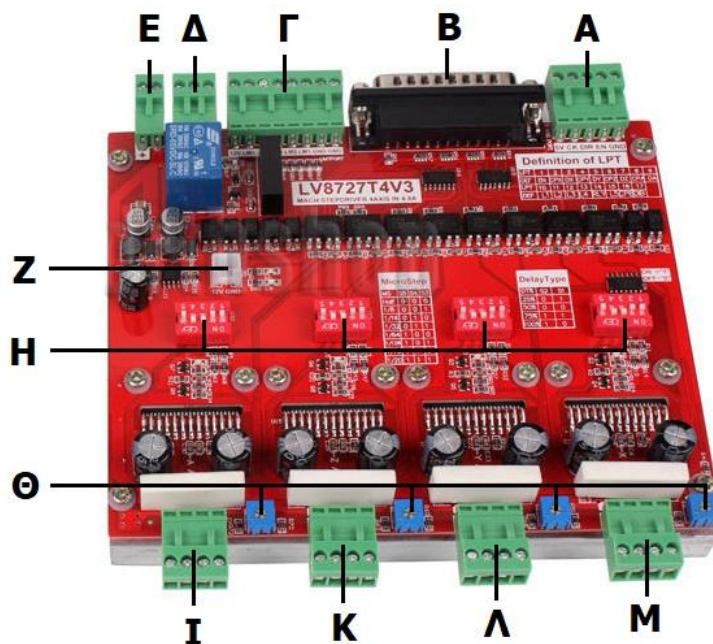
3.1.1.1 Χαρακτηριστικά ηλεκτρονικής κάρτας ελέγχου οδήγησης

Τα κύρια χαρακτηριστικά που προσφέρει η κάρτα ελέγχου οδήγησης του CNC παντογράφου είναι τα εξής:

1. Μπορεί να λειτουργήσει με τέσσερις βηματικούς κινητήρες στο την ίδια χρονική στιγμή καθώς και προσφέρει επέκταση για πέμπτο άξονα.
2. Το εξάρτημα ζεύξης υψηλής ταχύτητας (DCDC) επιτρέπει την πλήρη απομόνωση, η οποία προστατεύει τον υπολογιστή.
3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί mach3 για τον εύκολο έλεγχο της εκκίνησης και της διακοπής του κύριου άξονα
4. Η λειτουργία ελέγχου του ρεύματος επιτρέπει τη μείωση του ρεύματος στο όταν ο κινητήρας σταματήσει.
5. Υπάρχει επιλογή σύνδεσης για ανεμιστήρα.
6. Έχει 8 επιλογές ρεύματος εξόδου (0.6 – 4.8 A)
7. Η θύρα LPT, υποστηρίζει μια σειρά λογισμικών όπως MACH2, MACH3 και KCAM4
8. Έχει τέσσερις υποδοχές ώστε να συνδέεται εύκολα.
9. Υπάρχει δυνατότητα τεσσάρων τύπων λειτουργίας, όπως μικτή, γρήγορη, αργή και γενική λειτουργία.
10. Έχει 8 υποδιαίρεσεις για τα βήματα του κινητήρα – 1/2 , 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/10, 1/20
11. Συνδέεται με τροφοδοτικό 12-36 V και διαθέτει λειτουργικό διακοπής τροφοδοσίας.

3.1.1.2 Δυνατότητες ηλεκτρονικής κάρτας ελέγχου οδήγησης

Η κάρτα ελέγχου οδήγησης του CNC παντογράφου παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων οι οποίες παρατίθενται παρακάτω. Στο Σχήμα 3.1 δηλώνονται όλες οι πιθανές συνδέσεις σε αντιστοιχία με την κάρτα ελέγχου οδήγησης.

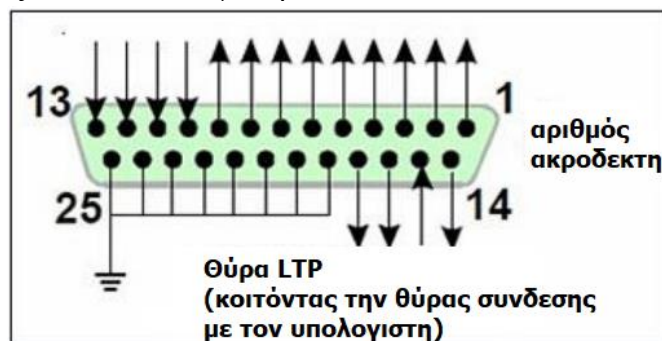


Σχήμα 3.1 Κάρτα ηλεκτρονικών LV8727T4V3

- A:** Το σήμα εξόδου της θύρας του 5ου άξονα
- B:** Θύρα LPT
- Γ:** Θύρες ελεγκτών
- Δ:** Θύρα του ρελέ
- E:** Θύρα εισόδου ρεύματος
- Z:** Θύρα ανεμιστήρα 12 V
- H:** Διακόπτες ρύθμισης (SW)
- Θ:** Ρυθμιστές τάσης ρεύματος (A)
- I:** Θύρα βηματικού κινητήρα για άξονα A
- K:** Θύρα βηματικού κινητήρα για άξονα Z
- Λ:** Θύρα βηματικού κινητήρα για άξονα Y
- M:** Θύρα βηματικού κινητήρα για άξονα X

3.1.1.3 Ανάλυση σημάτων θύρας LTP

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σήματα (Πίνακας 3.1) τα οποία στέλνει ή λαμβάνει ο κάθε ακροδέκτης της θύρας LTP (Σχήμα 3.2) μέσω της οποίας γίνεται η σύνδεση μεταξύ της κάρτας και του υπολογιστή.



Σχήμα 3.2 Σήματα θύρας LTP

Πίνακας 3.1 Ανάλυση σημάτων θύρας LTP

Ρυθμιζόμενος ακροδέκτης	Λειτουργία οδηγών κάρτας	Σημείωση
1	EN	Ενεργοποίηση όλων των ακροδεκτών όλων των αξόνων
2	STEPX	παλμικό σήμα άξονα X
3	DIRX	σήμα κατεύθυνσης άξονα X
4	STEPLY	παλμικό σήμα άξονα Y
5	DIRY	σήμα κατεύθυνσης άξονα Y
6	STEPZ	παλμικό σήμα άξονα Z
7	DIRZ	σήμα κατεύθυνσης άξονα Z
8	STEPA	παλμικό σήμα άξονα A
9	DIRA	σήμα κατεύθυνσης άξονα A
10	LIMIT-1	Είσοδος αισθητήρα No1
11	LIMIT-2	Είσοδος αισθητήρα No2
12	LIMIT-3	Είσοδος αισθητήρα No3
13	LIMIT-4	Είσοδος αισθητήρα No4
14	Relay control	N/A
15	LIMIT-5	Είσοδος αισθητήρα No5
16	STEPB-	παλμικό σήμα άξονα B
17	DIRB-	σήμα κατεύθυνσης άξονα B
18-25	GND	N/A

3.1.2 Δυνατότητες ρυθμίσεων

Οι διακόπτες ρύθμισης SW παρέχουν πολλές δυνατότητες ρύθμισης σε κάποιες από τις βασικές λειτουργίες των βηματικών κινητήρων όπως την ρύθμιση της ισχύος μέσω του σήματος που δέχονται από τους οδηγούς αλλά και την ρύθμιση των micro step (βήματα ενδιάμεσα των βασικών βημάτων ενός βηματικού κινητήρα). Στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες 3.2 και 3.3) δηλώνεται η λειτουργία των διακοπών σύμφωνα με το δυαδικό σύστημα (0 και 1) όπως εμφανίζονται και επάνω στην κάρτα.

Πίνακας 3.2 Τέσσερις τύποι λειτουργίας (ρύθμιση ισχύος)

Ισχύς %	SW1	SW2
25	1	0
50	0	0
75	1	1
100	0	1

Πίνακας 3.3 Ρύθμιση υποδιαίρεσης βήματος

Υποδιαίρεσεις βημάτων	Βήμα/περιστροφή (1.8°/πλήρες βήμα)	SW3	SW4	SW5
2	400	0	0	0
8	1600	1	0	0
16	3200	0	1	0
32	6400	1	1	0
64	12800	0	0	1
128	25600	1	0	1
10	2000	0	1	1
20	4000	1	1	1

3.1.3 Τελικές ρυθμίσεις

Έπειτα από πολλές δοκιμές για την ορθή και ομαλή λειτουργία των βηματικών κινητήρων, την θερμοκρασία τους αλλά και τον ήχο (θόρυβο) που παράγουν κατά την λειτουργία τους, η τελική επιλογή των ρυθμίσεων μέσω κάρτας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4 και η τελική επιλογή των ρυθμίσεων μέσω υπολογιστή απεικονίζονται στα Σχήματα 3.3 και 3.4.

Οι ρυθμίσεις της ταχύτητα και της επιτάχυνσης έγιναν σύμφωνα με την συμπεριφορά της γέφυρας για τον άξονα Y και την συμπεριφορά του βαγονιού για τον άξονα X. Επίσης, ρυθμίστηκε η επιθυμητή μεγίστη ταχύτητα κατά την ελεύθερη κίνηση αλλά και η ταχύτητα κατά την επεξεργασία υλικού η οποία ορίζεται ως χλιοστά αν λεπτό (mm/min).

Πίνακας 3.4 Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικών κινητήρων μέσω κάρτας

	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5
Άξονας X	1	1	1	1	1
Άξονας Y	0	1	1	1	1

Συμφώνα με τις επιλογές της κάρτας ελέγχου οδήγησης, είναι πλέον δεδομένο ότι στον άξονα X, συμφώνα με τον πίνακα 4.2, η ισχύς του βηματικού κινητήρα που αξιοποιείται θα είναι το 75% της συνολικής ενώ οι υποδιαιρέσεις των βημάτων του κινητήρα είναι 20 ανά βήμα Συνεπώς, το βήμα ανά περιστροφή ισούται με 4000 (πίνακας 4.3). Αντίστοιχα, για τον άξονα Y η ισχύς που λειτουργεί θα είναι στο 100% της λειτουργίας, ενώ τα βήματα ανά περιστροφή θα είναι και σε αυτή την περίπτωση 4000, αφού οι υποδιαιρέσεις των βημάτων είναι και σε αυτόν τον άξονα 20.

Συνεπώς, από το κεφάλαιο 4 του παραρτήματος 2 προκύπτει ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Steps per} = \frac{\text{subdivision of steps} * \text{steps}}{\text{circumference} * \text{rev}} \quad \text{Εξ. 3.1}$$

όπου:

- Steps per = ισοδύναμος παλμού
- Subdivision of steps= υποδιαιρέσεις βημάτων
- $\frac{\text{steps}}{\text{rev}}$ = αριθμός βημάτων που εμπεριέχονται σε μία πλήρη περιστροφή του άξονα του κινητήρα δηλαδή στην περίπτωση αυτή 360/1.8.
- circumference= περίμετρος μέσου μετάδοσης πχ οδοντωτού τροχού

Ως ισοδύναμο παλμού ορίζεται ο αριθμός των παλμών που περιστρέφει ο βηματικός κινητήρας σε 1 mm και μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον αριθμό των βημάτων σε μια πλήρη περιστροφή και την υποδιάρθρωση του οδηγού του κινητήρα.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τα παραπάνω στοιχεία, προκύπτουν τα εξής δεδομένα τα οποία απαιτούνται για το υπολογισμό του ισοδύναμου παλμού για το κάθε βηματικό κινητήρα του παντογράφου:

1. Διάμετρος οδοντωτού τροχού D=60mm άξονα Y
2. Διάμετρος οδοντωτού τροχού D=45mm άξονα X
3. Ο αριθμός π ισούται με 3.1415
4. Υποδιαιρέσεις βήματος των αξόνων X και Y είναι 20
5. μοίρες βήματος = 1.8°
6. 1 πλήρη περιστροφή = 360°

Από της εξίσωση της περίμετρο του κύκλου (P):

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R \quad \text{Εξ. 3.2}$$

Για τον άξονα X προκύπτει ότι:

$$P = 2 \cdot 3.1415 \cdot 30mm \quad \rightarrow \quad P = 188.49mm$$

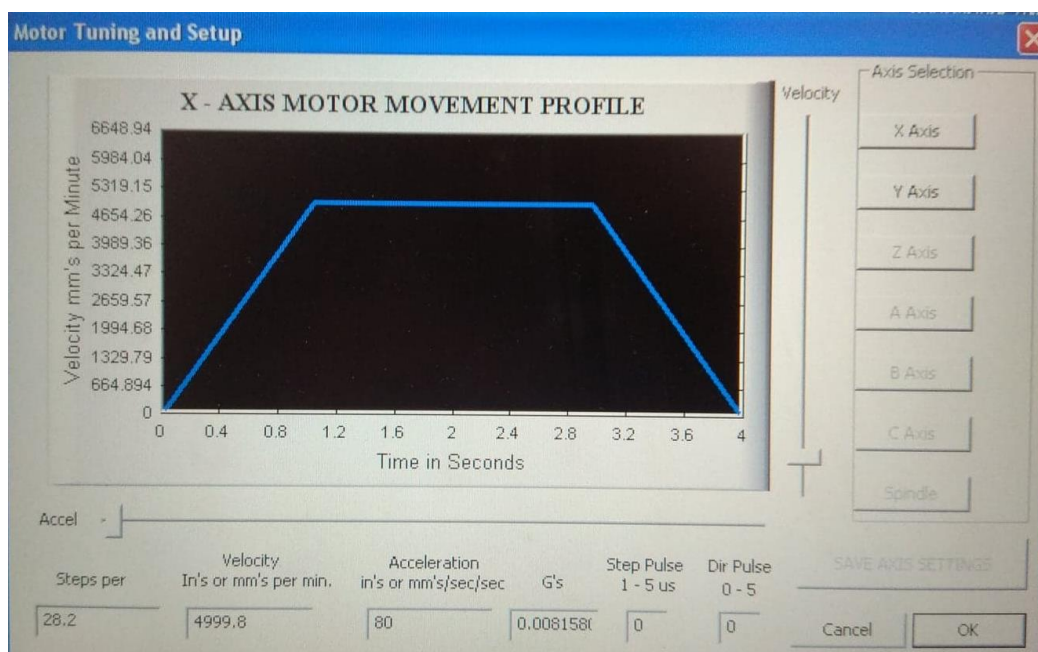
Για τον άξονα Y προκύπτει ότι:

$$P = 2 \cdot 3.1415 \cdot 22.5mm \quad \rightarrow \quad P = 141.37mm$$

Οι ρυθμίσεις που παρουσιάζονται στα σχήματα 3.3 και 3.4 προκύπτουν ως εξής:

Όσο αφορά στον άξονα X από την εξίσωση 3.1 προκύπτει:

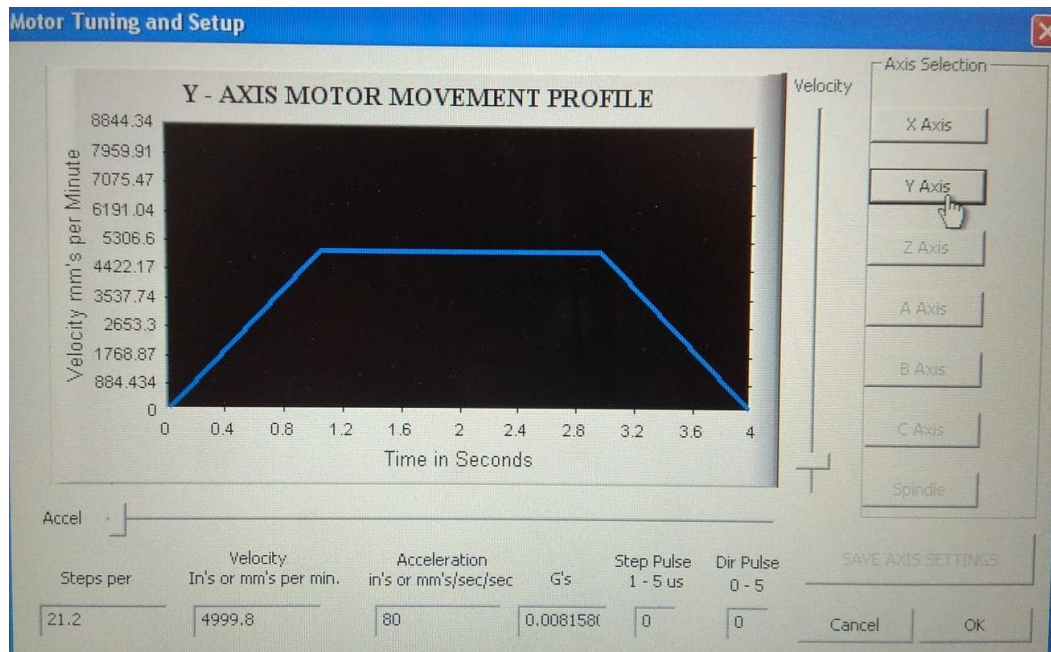
$$\text{Steps per} = \frac{20}{141.3} \cdot \frac{360}{1.8} \quad \rightarrow \quad \text{Steps per} = 28.29$$



Σχήμα 3.3 Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικού κινητήρα άξονα x μέσω Mach3

Ενώ όσο αφορά στον άξονα Y από την εξίσωση 3.1 προκύπτει:

$$\text{Steps per} = \frac{20}{188.49} \cdot \frac{360}{1.8} \quad \rightarrow \quad \text{Steps per} = 21.22$$



Σχήμα 3.4 Τελικές ρυθμίσεις ηλεκτρικού κινητήρα άξονα y μέσω Mach3

3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Όσον αφορά στα ηλεκτρολογικά μέρη, το αρχικό βήμα είναι η αξιολόγηση ηλεκτρικών κινητήρων αλλά και η επιλογή των κατάλληλων για την κατασκευή του αξονικού παντογράφου (CNC). Οι πιθανές επιλογές είναι τρεις: [18]

- κινητήρες συνεχούς ρεύματος (dc motors)
- σερβοκινητήρες (servo motors)
- βηματικοί κινητήρες (stepper motors)

3.2.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (dc motors)

Η ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος έχει γίνει δημοφιλής και συμφέρουσα λόγω της εύκολης παραγωγής της, της μετάδοσης με λιγότερες απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της αύξησης της τάσης και της παύσης της τάσης σε επιθυμητό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες εφαρμογές όπου οι κινητήρες επαγωγής δεν μπορούν να αξιοποιηθούν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατέχουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. [13]



Σχήμα 3.5 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC motor)

Πλεονεκτήματα:

- Έλεγχος ταχύτητας σε ένα ευρύ φάσμα τόσο πάνω όσο και κάτω από την ονομαστική ταχύτητα και κατά συνέπεια χρήση τους σε εφαρμογές υψηλής ταχύτητας.
- Υψηλή ροπή εκκίνησης: Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν ροπή στρέψης έως και 500% σε σύγκριση με την κανονική ροπή λειτουργίας.
- Ακριβής, μικρή ταχύτητα με σταθερή ροπή.
- Γρήγορη εκκίνηση, στάση, αντίστροφη κίνηση και επιτάχυνση.
- Δεν παρουσιάζουν το φαινόμενο των αρμονικών, της κατανάλωσης έργου ισχύος και πολλών παραγόντων και άρα οι κινητήρες DC καθίστανται πιο πλεονεκτικοί σε σύγκριση με τους κινητήρες επαγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό αρχικό κόστος
- Αυξημένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης εξαιτίας της παρουσίας μηχανισμού αλλαγής ταχυτήτων
- Δεν μπορεί να λειτουργήσει σε εκρηκτικές και επικίνδυνες συνθήκες λόγω σπινθήρων

3.2.2 Σερβοκινητήρες (servo motors)

Οι σερβοκινητήρες είναι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος που επιτρέπουν τον ακριβή έλεγχο της γωνιακής θέσης. Είναι στην πραγματικότητα κινητήρες συνεχούς ρεύματος των οποίων η ταχύτητα μειώνεται αργά από τα γρανάζια. Οι σερβοκινητήρες έχουν συνήθως διακοπή της περιστροφής από 90° έως 180°. Μερικοί σερβοκινητήρες έχουν επίσης αποκοπή περιστροφής 360° ή περισσότερο. Οι σερβοκινητήρες δεν περιστρέφονται συνεχώς. Η περιστροφή τους είναι συγκεκριμένη

μεταξύ των σταθερών γωνιών. Ο σερβοκινητήρας, λοιπόν, είναι στην πραγματικότητα ένα σύνολο τεσσάρων αντικειμένων: ένας κανονικός ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος, ένας μηχανισμός μείωσης ταχυτήτων, ένας αισθητήρας θέσης και ένα κύκλωμα ελέγχου. [14 ,15]



Σχήμα 3.6 Σερβοκινητήρας (servo motor)

Πλεονεκτήματα:

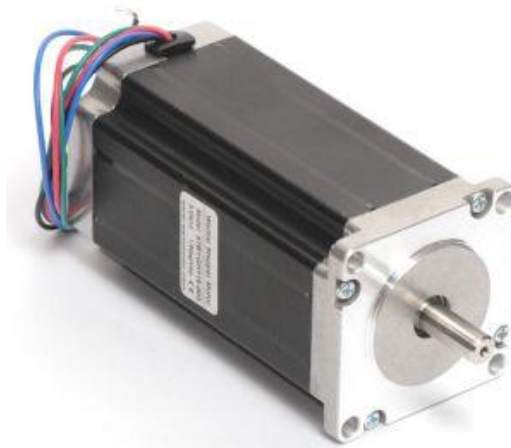
- Εάν τοποθετηθεί ένα βαρύ φορτίο στον κινητήρα, ο οδηγός θα αυξήσει το ρεύμα στο πηνίο του καθώς προσπαθεί να τον περιστρέψει.
- Δίνει τη δυνατότητα λειτουργίας υψηλής ταχύτητας.

Μειονεκτήματα:

- Δεδομένου ότι ο σερβοκινητήρας προσπαθεί να περιστραφεί σύμφωνα με τους παλμούς εντολών, δεν είναι κατάλληλος για έλεγχο ακριβείας της περιστροφής.
- Υψηλότερο κόστος
- Όταν σταματήσει η λειτουργία του, ο ρότορας του κινητήρα συνεχίζει να μετακινείται προς τα εμπρός και προς τα πίσω κατά έναν παλμό, συνεπώς δεν είναι κατάλληλος αν πρέπει να αποτραπούν κραδασμοί

3.2.3 Βηματικοί κινητήρες (stepper motors)

Ως βηματικός κινητήρας ορίζεται μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτές μηχανικές κινήσεις. Ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται σε διακριτά βήματα όταν εφαρμόζονται ηλεκτρικοί παλμοί χειρισμού με τη σωστή σειρά. Η περιστροφή των κινητήρων έχει άμεση σχέση με τους παλμούς εισόδου που εφαρμόζονται. Η ακολουθία των εφαρμοζόμενων παλμών σχετίζεται άμεσα με την κατεύθυνση της περιστροφής των αξόνων του κινητήρα. [16]



Σχήμα 3.7 Βηματικός κινητήρας (stepper motor)

Πλεονεκτήματα:

- Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι ανάλογη προς τον παλμό εισόδου.
- Ο κινητήρας έχει πλήρη ροπή σε κατάσταση ηρεμίας.
- Παρέχει ακριβή τοποθέτηση και επαναληψιμότητα της κίνησης, δεδομένου ότι οι σωστοί κινητήρες βημάτων έχουν ακρίβεια 3 - 5% ενός βήματος και αυτό το σφάλμα δεν είναι συσσωρευτικό από το ένα βήμα στο επόμενο.
- Εξαιρετική ανταπόκριση στην εκκίνηση, τη διακοπή και την αντιστροφή.
- Η διάρκεια ζωής του κινητήρα εξαρτάται μόνο από τη διάρκεια ζωής του ένσφαιρου τριβέα.
- Η απόκριση των κινητήρων σε ψηφιακούς παλμούς εισόδου παρέχει έλεγχο ανοικτού βρόγχου, καθιστώντας τον κινητήρα απλούστερο και λιγότερο δαπανηρό για τον έλεγχο.
- Είναι δυνατή η επίτευξη ταυτόχρονης περιστροφής πολύ χαμηλής ταχύτητας με φορτίο που συνδέεται άμεσα με τον άξονα.
- Μπορεί να πραγματοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων περιστροφής καθώς η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη συχνότητα των παλμών εισόδου.

Μειονεκτήματα:

- Υπάρχει πιθανότητα συντονισμών έναν δεν γίνεται σωστός έλεγχος
- Δεν είναι εύκολο να λειτουργήσει σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες.

3.2.4 Επιλογή κατάλληλου ηλεκτρικού κινητήρα

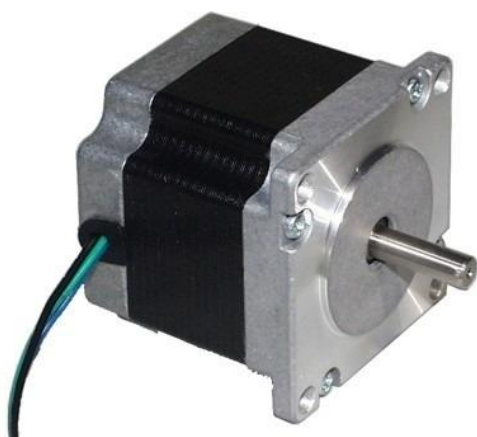
Καθώς η βασική ιδέα της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός παντογράφου (CNC) σχετικά μικρού κόστους, είναι λογικό να αποφευχθεί η χρήση ηλεκτρικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC motors) λόγω του υψηλού κόστους τους. Συνεπώς, η επιλογή πρέπει να γίνει μεταξύ βηματικού κινητήρα (Stepper Motor) και σερβοκινητήρα (Servo Motor). Για το λόγο αυτό γίνεται η παρακάτω σύγκριση κάποιων βασικών χαρακτηριστικών αυτών των δύο ειδών κινητήρων:

Οι βηματικοί κινητήρες έχουν μεγάλο αριθμό πόλων, μαγνητικά ζεύγη που παράγονται από μόνιμο μαγνήτη ή ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ οι σερβοκινητήρες έχουν πολύ λίγους πόλους, κάθε πόλος εκ των οποίων προσφέρει ένα φυσικό σημείο βηματισμού για τον άξονα του κινητήρα. Η ροπή στρέψης ενός βηματικού κινητήρα σε χαμηλές ταχύτητες είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή ενός σερβοκινητήρα ίδιου μεγέθους. Η λειτουργία ενός βηματικού κινητήρα συγχρονίζεται με την έξοδο σήματος παλμών με εντολή από τη γεννήτρια παλμών, σε αντίθεση με τη λειτουργία του σερβοκινητήρα που παραμένει πίσω από τους παλμούς εντολής. Επιπλέον, οι περισσότεροι σερβοκινητήρες έχουν ενσωματωμένους τους οδηγούς, σε αντίθεση με τους βηματικούς, άρα προφανώς έχουν και μεγαλύτερο κόστος.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, πιο ελκυστική επιλογή αποτελεί η χρήση ενός βηματικού κινητήρα (Stepper Motor), διότι αντιπροσωπεύει μια απλή και εύχρηστη δομή κινητήρα σε μια αρκετά προσιτή τιμή. Ταυτόχρονα, είναι ο πιο ευρέως διαδεδομένος κινητήρας για χρήση σε τέτοιους είδους μηχανές και ο πιο συμβατός με τις περισσότερες ηλεκτρονικές κάρτες για μηχανές CNC. [17]

3.2.5 Επιλεγμένοι βηματικοί κινητήρες

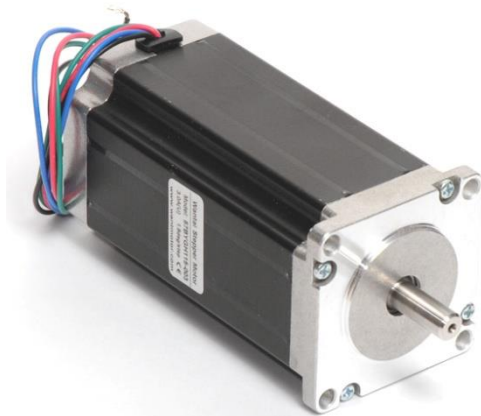
Βηματικός κινητήρας μεγάλης ροπής μεγέθους NEMA 23 (56 mm) με γωνία βήματος 1.8° (πλήρες βήμα) με D-Shaft για εύκολη και αξιόπιστη σύνδεση. Οι συγκεκριμένοι βηματικοί κινητήρες είναι πολύ χρήσιμοι για να δοθεί κίνηση ή για μετακίνηση αντικειμένων καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές 3D Printer, CNC όπως και σε άλλα μηχανήματα αντίστοιχων κατασκευών.



Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών κινητήρων άξονα X [20]

Γωνία βήματος (μοίρες): 1.8 2-φάση (4-καλώδια) Ονομαστική τάση: 3.6V Ονομαστικό ρεύμα: 2A / Φάση Ροπή συγκράτησης: 90N.cm (9000g-cm) Αντίσταση: 1,8Ω / φάση Επαγωγή: 2,5mH / φάση Τύπος: NEMA 23

Σχήμα 3.8 Επιλεγμένος βηματικός κινητήρας άξονα x



Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών κινητήρων άξονα Y [21]
--

Γωνία βήματος (μπίρες): 1.8 2-φάση (4 καλώδια) Ονομαστική τάση: 4.8V Ονομαστικό ρεύμα: 3,0 A / Φάση Ροπή συγκράτησης: 300N.cm - 30kg.cm Τύπος: NEMA 23

Σχήμα 3.9 Επιλεγμένος βηματικός κινητήρας άξονα y

3.3 Παρουσίαση συνδεσμολογίας

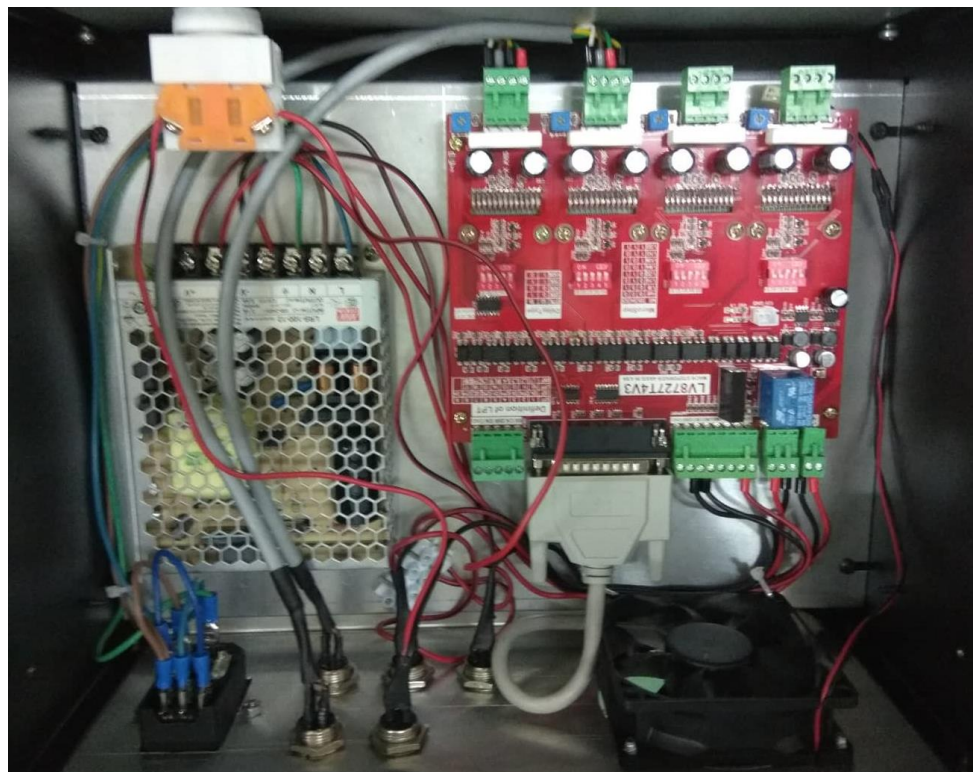
Η καλωδίωση του ηλεκτρολογικού κυκλώματος αποτελείται κυρίως από τρία μέρη: τους βηματικούς κινητήρες, τους διακόπτες και την καλωδίωση που δίνει ρεύμα στην εκάστοτε μηχανή επεξεργασίας.

Η καλωδίωση των βηματικών κινητήρων των αξόνων X και Z διέρχεται απευθείας από την ερπύστρια που έχει τοποθετηθεί παράλληλα στον άξονα X, στη συνέχεια περνά στην ερπύστρια που έχει τοποθετηθεί παράλληλα στον άξονα Y, όπως και η καλωδίωση του κινητήρα του άξονα Y και από κει καταλήγουν στον ηλεκτρολογικό πίνακα με βύσματα φισ για τέσσερα καλώδια.

Η καλωδίωση των διακοπών διασπάται σε δύο επιμέρους συστήματα: στην καλωδίωση των διακοπών ορίων (limit switch NC) και στην καλωδίωση των διακοπών έκτακτης ανάγκης (E.Stop NC). Κάθε άξονας (X, Y, Z) διαθέτει τους δικούς του διακόπτες ορίων, συνεπώς η καλωδίωση των διακοπών των αξόνων X και Z διέρχεται απευθείας από την ερπύστρια που έχει τοποθετηθεί παράλληλα στον άξονα X, στη συνέχεια περνά στην ερπύστρια που έχει τοποθετηθεί παράλληλα στον άξονα Y όπως και η καλωδίωση του κινητήρα του άξονα Y και από κει καταλήγουν στο ηλεκτρολογικό πίνακα με βύσματα φισ δύο καλωδίων. Η καλωδίωση των διακοπών έκτακτης ανάγκης συνδέει τρεις τέτοιους διακόπτες στο συνολικό σύστημα, δύο εκατέρωθεν της γέφυρας του άξονα X και έναν πάνω στον ηλεκτρολογικό πίνακα για τον χειριστή. Η καλωδίωση των διακοπών E.Stop της γέφυρας του άξονα X διέρχεται μέσα από αυτή και καταλήγει στον πίνακα μέσω της ερπύστριας του άξονα Y, ενώ η καλωδίωση του διακόπτη E.Stop του χειριστή συνδέεται στο κύκλωμα εντός του ηλεκτρολογικού πίνακα. Όσον αφορά στην εκάστοτε μηχανή επεξεργασίας, πραγματοποιείται απευθείας σύνδεση της καλωδίωσης της με τον ηλεκτρολογικό πίνακα.

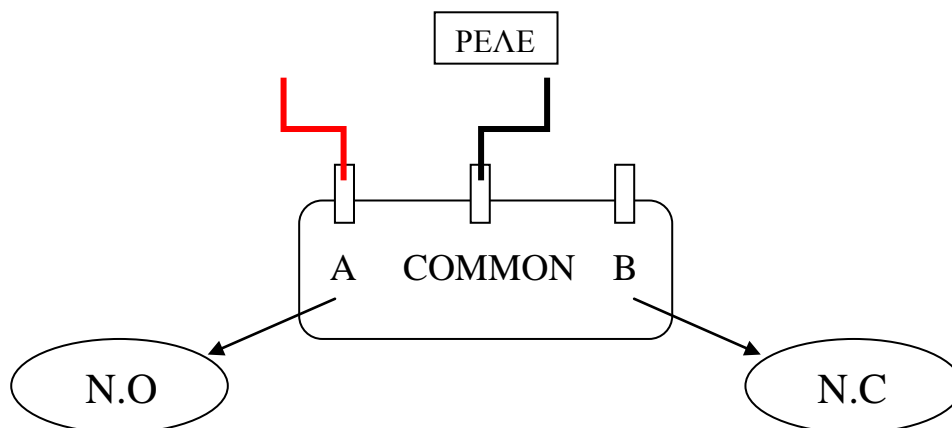


Σχήμα 3.10 Καλωδίωση-Ερπύστριες



Σχήμα 3.11 Ηλεκτρολογικός πίνακας

Στο φινι του πίνακα που αντιστοιχεί στο εκάστοτε μηχανήμα επεξεργασίας συνδέονται δύο καλώδια από τα οποία το ένα καταλήγει στο V+ του τροφοδοτικού και το άλλο στην ηλεκτρονική κάρτα στο ρελέ της στη θέση A (Normally open). Από το common του ρελέ (Σχήμα 3.12) επιστρέφει η καλωδίωση στο V- του τροφοδοτικού ώστε να κλείσει κύκλωμα.

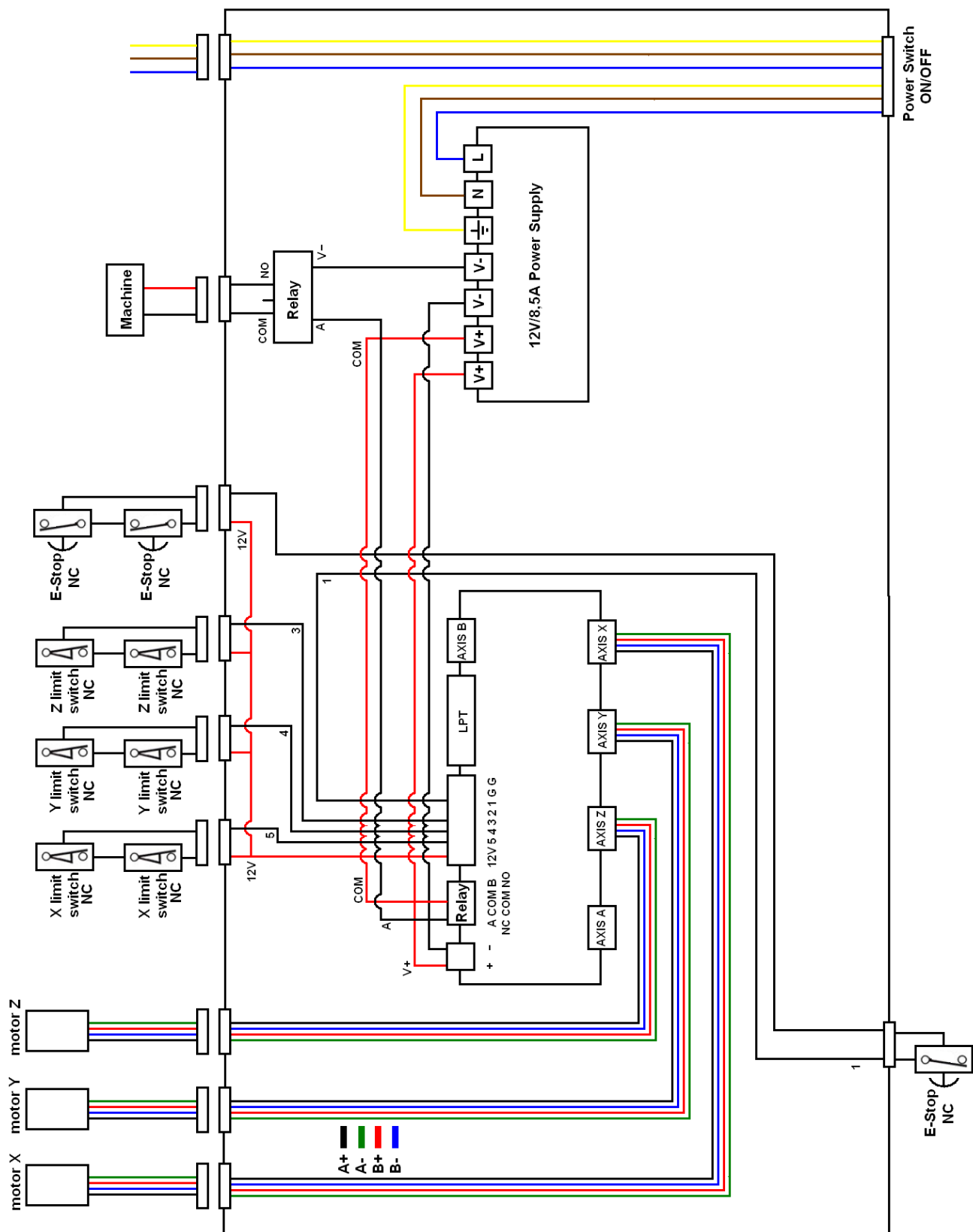


Σχήμα 3.12 Συνδεσμολογία ρελέ

Όσον αφορά στην τροφοδοσία της κάρτας πραγματοποιούνται οι εξής συνδέσεις : το τροφοδοτικό στην δεύτερη θέση του V- συνδέεται με καλώδιο (μαύρο) στην θέση - που υποδηλώνεται στην κάρτα των ηλεκτρονικών και από το V+ του τροφοδοτικού στη θέση + που υποδηλώνεται στην κάρτα.

Για την σύνδεση του κυκλώματος των διακόπτων έκτακτης ανάγκης (E-Stop) της μηχανής τα οποία, σύμφωνα με το εγχειρίδιο (βλ Παράρτημα 2), αντιστοιχούν στην κάρτα στο LM1 (το οποίο αναγράφεται στην κάρτα), συνδέεται με μαύρο καλώδιο η υποδοχή (pin) του LM1 της κάρτας με τη μια υποδοχή του φινι και με την άλλη υποδοχή του φινι συνδέεται με κόκκινο καλώδιο η κάρτα στην υποδοχή όπου η κάρτα δίνει την παροχή ρεύματος με 12V, όπως ορίζει ο κατασκευαστής στο εγχειρίδιο. Όσον αφορά στο διακόπτη έκτακτης ανάγκης (E-Stop) του χειριστή, παρεμβάλλεται μεταξύ της σύνδεσης της καλωδίωσης από 12V και του Φινι, παρέχοντας την δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να διακοπεί η λειτουργία της μηχανής σε τυχόν έκτακτη ανάγκη.

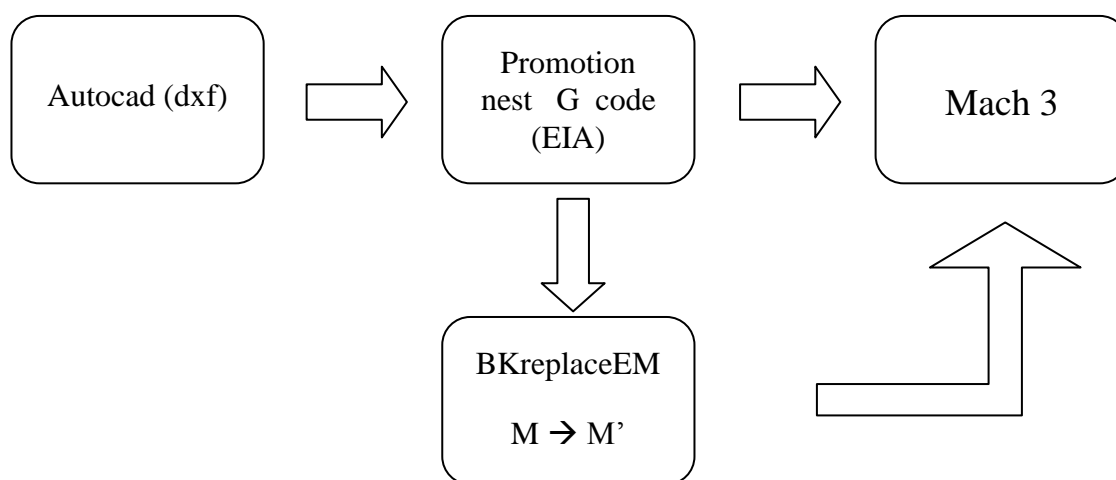
Για την σύνδεση του κυκλώματος των διακόπτων ορίων (limit switch) της μηχανής τα οποία, σύμφωνα με το εγχειρίδιο, αντιστοιχούν στο LM2 στην κάρτα (το οποίο αναγράφεται στην κάρτα), συνδέεται με μαύρο καλώδιο η υποδοχή (pin) του LM2 της κάρτας με την μια υποδοχή του φινι και η άλλη υποδοχή του φινι ενώνεται με κόκκινο καλώδιο με την κάρτα στην υποδοχή όπου η κάρτα δίνει την παροχή ρεύματος με 12V όπως ορίζει ο κατασκευαστής στο εγχειρίδιο.



Σχήμα 3.13 Αποτύπωση ηλεκτρολογικού-ηλεκτρονικού σχεδίου

3.4 Εισαγωγή αρχείου στο πρόγραμμα για εκτέλεση από τον CNC παντογράφου

Όπως είναι φυσικό, κάθε σχέδιο το οποίο εκτελεί ο CNC παντογράφου πρέπει να μετατραπεί σε μορφή G-κώδικα ώστε να είναι συμβατό με το λογισμικό χειρισμού της μηχανής. Συνεπώς, είναι συνετό να ακολουθηθεί η διαδικασία που εξηγείται στο Σχήμα 3.14.



Σχήμα 3.14 Απεικόνιση επεξεργασίας αρχείου για την έναρξη λειτουργίας

Για την χρήση σχεδίου από το Autocad στο Mach 3 πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία:

1. Εκτελείται το επιθυμητό σχέδιο **μόνο** στις διαστάσεις των αξόνων X-Y ή αξιοποιείται σχέδιο που πληροί την παραπάνω προϋπόθεση.
2. Αποθηκεύεται το αρχείο σε μορφή .dxf (όσο το δυνατόν σε πιο παλαιά χρονολογικά μορφή).
3. Με την χρήση του Promotion nest G code μετατρέπεται το .dxf αρχείο σε G code (EIA)
4. Επειδή το Mach 3 που αξιοποιείται στην πτυχιακή δεν αναγνωρίζει κάποιες εντολές M του G code, αξιοποιείται το BKreplaceEM για να αντικατασταθούν κάποιες εντολές του G code (M) με κάποιες άλλες (M'). Πιο συγκεκριμένα, το promotion nest G code αξιοποιεί τις εντολές M που αφορούν κοπή με κονδύλι ή έναρξη λιπαντικού. Συνεπώς, με την χρήση του προγράμματος αυτού οι εντολές αυτές αντικαθίστανται με τις εντολές M που αφορούν την κοπή με πλάσμα.
5. Φορτώνεται στο Mach 3 ο επεξεργασμένος και τελικός G code ώστε να μπορεί να εκτελεστεί η επεξεργασία σύμφωνα με το δοθέν σχέδιο.

3.5 Βήματα εκκίνησης/απενεργοποίησης μηχανής

Γενικά, για την εκκίνηση και την απενεργοποίηση των μηχανών CNC καλό θα είναι να ακολουθείται μια «πρότυπη διαδικασία» έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία τους.

Βήματα εκκίνησης μηχανής

1. Εκκίνηση του ηλεκτρονικού υπολογιστή
2. Εκκίνηση του Mach 3 στον το ηλεκτρονικό υπολογιστή
3. Ενεργοποίηση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών από τον διακόπτη
4. Επιλογή με τον κέρσορα του κουμπιού reset εντός προγράμματος για την σωστή λειτουργία, μετά το άνοιγμα του λογισμικού Mach 3

Βήματα απενεργοποίησης μηχανής

1. Αφού τελειώσει οποιαδήποτε εργασία που εκτελείται από το μηχάνημα και το πρόγραμμα (Mach 3), χρησιμοποιείται αν χρειαστεί το reset στο πρόγραμμα
2. Απενεργοποίηση των ηλεκτρονικών-ηλεκτρολογικών από τον διακόπτη πάντα προτού κλείσει το πρόγραμμα.
3. Κλείσιμο του προγράμματος (Mach 3)
4. Αφού επιβεβαιωθεί ότι όλα είναι εκτός λειτουργίας απενεργοποιείται και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.

4 Στόχοι που επιτεύχθηκαν

Μετά την ολοκλήρωση τόσο του μηχανολογικού όσο και του ηλεκτρονικού/ηλεκτρολογικού μέρους της μηχανής, έγιναν αρκετές δοκιμές. Εξ αιτίας, λοιπόν, τόσο των τελικών ρυθμίσεων όσο και των μηχανικών μερών (χρήση οδοντωτού κανόνα module 1 mm) επιτευχθήκαν τα εξής:

- βέλτιστη λειτουργία της μηχανής
- ορθή/ομαλή κίνηση των αξόνων (επιτάχυνση και ταχύτητα)
- ακρίβεια άξονα X : 1/100 mm
- ακρίβεια άξονα Y : 5/100 mm

Οι μετρήσεις της ακρίβειας έγιναν με τη χρήση μετρικού ρολογιού. Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν ο εξής: αρχικά, στερεώθηκε το μετρητικό ρολόι σε κάθε άξονα. Έπειτα, αφού η γέφυρα ή το βαγόνι ήρθαν σε επαφή με την ακίδα, το ρολόι ρυθμίστηκε στην ένδειξη μηδέν, όπως και ο κάθε άξονας μέσω του υπολογιστή. Ύστερα, δόθηκε εντολή μέσω του υπολογιστή να εκτελεστεί κίνηση 200-800 mm σε κάθε άξονα ξεχωριστά και στη συνέχεια να γίνει επαναφορά στο μηδέν. Μετά από πολλές επαναλήψεις προέκυψαν τα παραπάνω αποτελέσματα.

5 Μελλοντικές βελτιώσεις μηχανής

Μετά το πέρας μιας πτυχιακής εργασίας, η οποία έχει ως θέμα τον σχεδιασμό και τη κατασκευή, είναι προφανές ότι μπορούν να προκύψουν πιθανές βελτιώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την εκπόνηση της μπορεί να προκύψουν ιδέες σαφώς ανώτερες της αρχικής αλλά μη υλοποιήσιμες στον απαιτούμενο χρόνο και προϋπολογισμό. Παρόλα αυτά, καλό θα ήταν να γίνουν αναφορές σε κάποιες από αυτές οι οποίες είναι άξιες αναφοράς αλλά δεν επετεύχθη η υλοποίησή τους. Μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού και την αξιοποίηση κατάλληλου ηλεκτρονικού-ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, οι βελτιώσεις αυτές καθίστανται εφικτές σε μετέπειτα χρόνο.

Οι πιθανές βελτιώσεις που προτείνονται είναι :

- Δημιουργία κατάλληλων εξαρτημάτων προσαρμογής εργαλείων όπως πυρσός πλάσματος, laser η ακόμα και κοπτικών.
- Επειδή η κάρτα ελέγχου οδήγησης του μηχανήματος παρέχει 5 υποδοχές για χρήση ηλεκτρικών κινητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον άξονες για κίνηση εκτός των X, Y και Z.
- Είναι εφικτό με την τοποθέτηση μηχανισμού περιστροφής σωλήνων να αξιοποιηθεί ο άξονας A για κατεργασία σε κυλινδρικά δοκίμια.
- Δημιουργία πρόσθετου μέρους κάτω από την εσχάρα στήριξης υλικών με παροχή νερού (προστατευτικό κατά την χρήση πλάσματος) για τις εκτινάξεις.

6 Βιβλιογραφία

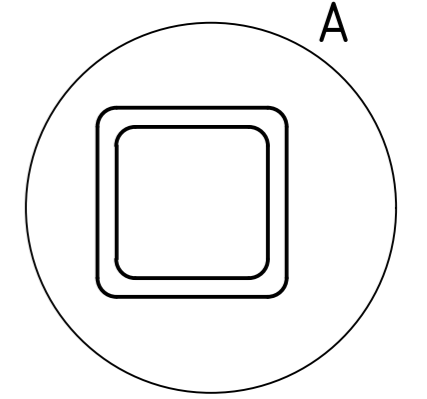
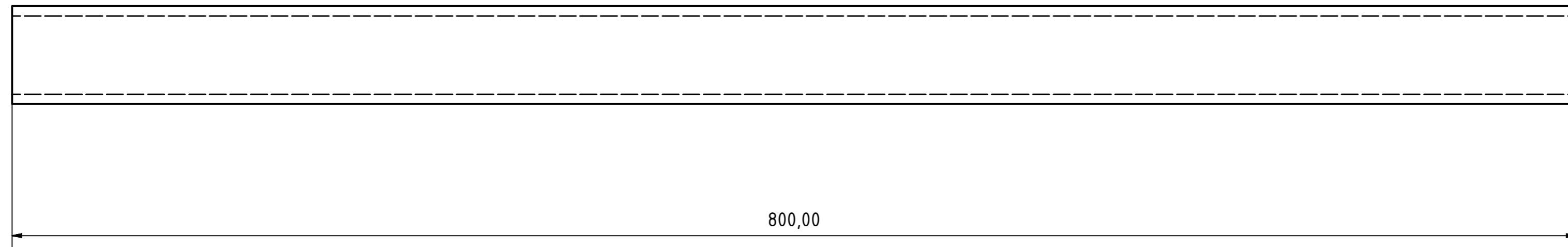
- [1]. <https://el.wikipedia.org/wiki/Ρομποτική>
- [2]. Σεμινάριο, “Εργαλειομηχανές CNC στην επιπλαστική μηχανία”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου & Επίπλου.
- [3]. <http://www.texnologia.com/w/attachments/article/239/cncpamporis.ppt>
- [4]. <http://www.cnc-cut.gr/blog/13-ti-einai-cnc-kai-se-poio-agorastiko-koino-apeythynetai>
- [5]. <https://www.brighthubengineering.com/manufacturing-technology/55980-applications-of-the-cnc-machines/>
- [6]. <https://www.machsupport.com/software/mach3/>
- [7]. Κυριάκου, Ν., 2013. “Σχεδιασμός, Προσομοίωση και Κατασκευή τεμαχίων σε ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος με χρήση του τέταρτου άξονα της”. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία
- [8]. <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>
- [9]. https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control
- [10]. <https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>
- [11]. <https://ez-router.com/about.html>
- [12]. <http://www.plasmacam.com/indexfla.php>
- [13]. <http://electricalquestionsguide.blogspot.gr/2011/05/dc-motors-advantages-disadvantages-ac.html>
- [14]. <http://plc-scada-dcs.blogspot.gr/2011/12/servo-motor-advantages-disadvantages.html#axzz56jBytxx7>
- [15]. <https://www.elprocus.com/servo-motor/>
- [16]. <http://electrical-engineering-portal.com/few-words-about-stepper-motor-advantages-disadvantages-and-classification>
- [17]. <https://www.motionsolutions.com/servo-motor-vs-stepper-motor-right-application/>
- [18]. Τουρκοκόστας, Κ., 2015. “CNC για Εργαστηριακούς Σκοπούς”. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.
- [19]. Εγχειρίδιο Ηλεκτρονικής κάρτας LV8727T4V3

-
- [20]. <https://grobotronics.com/57bygh420-9kg.cm.html>
- [21]. <https://grobotronics.com/57bygh115-30kg.cm-200-steps-rev.html>
- [22]. Gujarathi. G.P., Ma, Y.-S., 2011. Parametric CAD/CAE integration using a common data model. *Journal of Manufacturing Systems*, 30. 118–132
- [23]. Vivanco, J.M., Keinert, M., Lechler, A., Verl, A., 2016. Analysis and design of computerized numerical controls for execution on multi-core systems. *Procedia CIRP* 41, 864 – 869

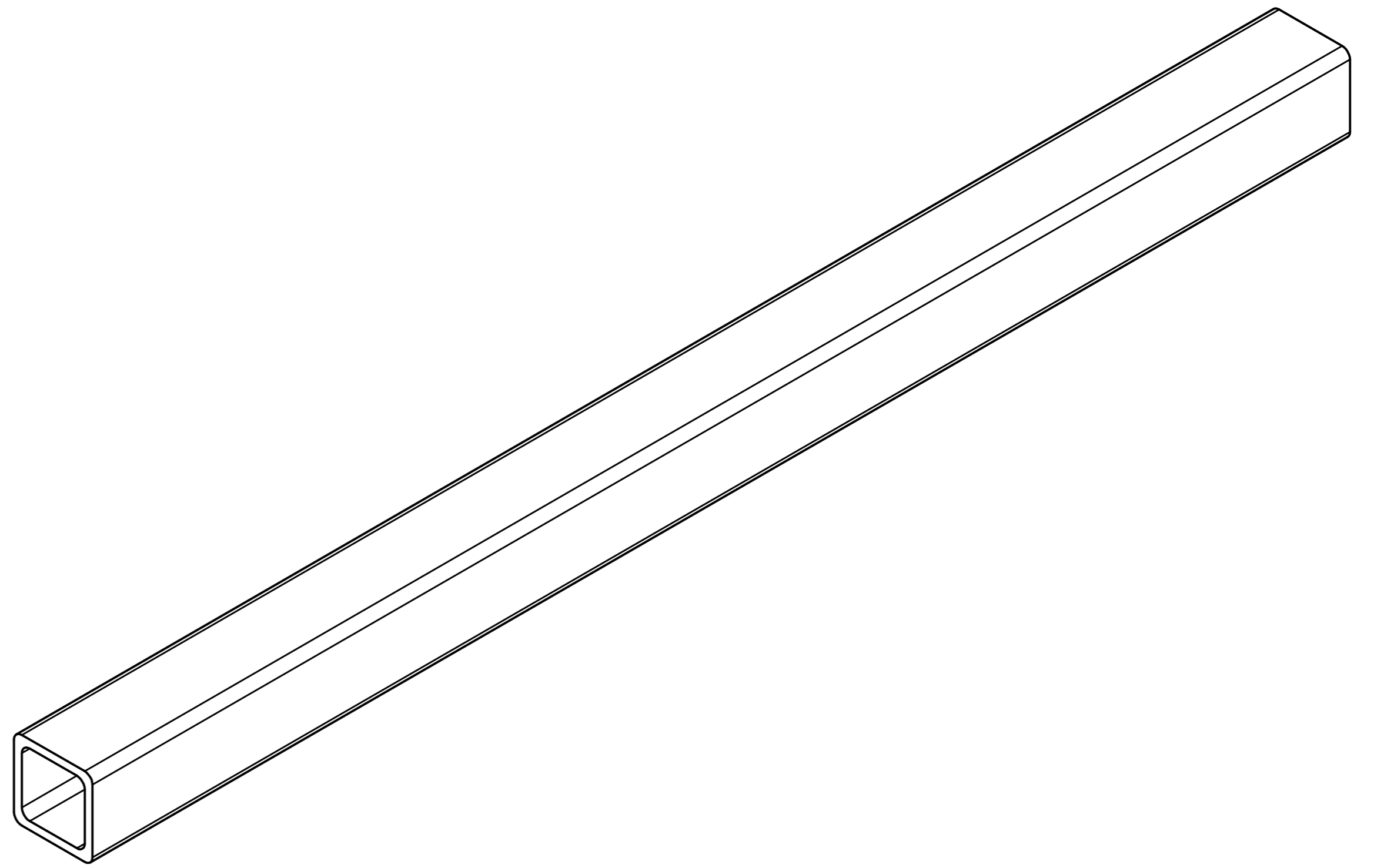
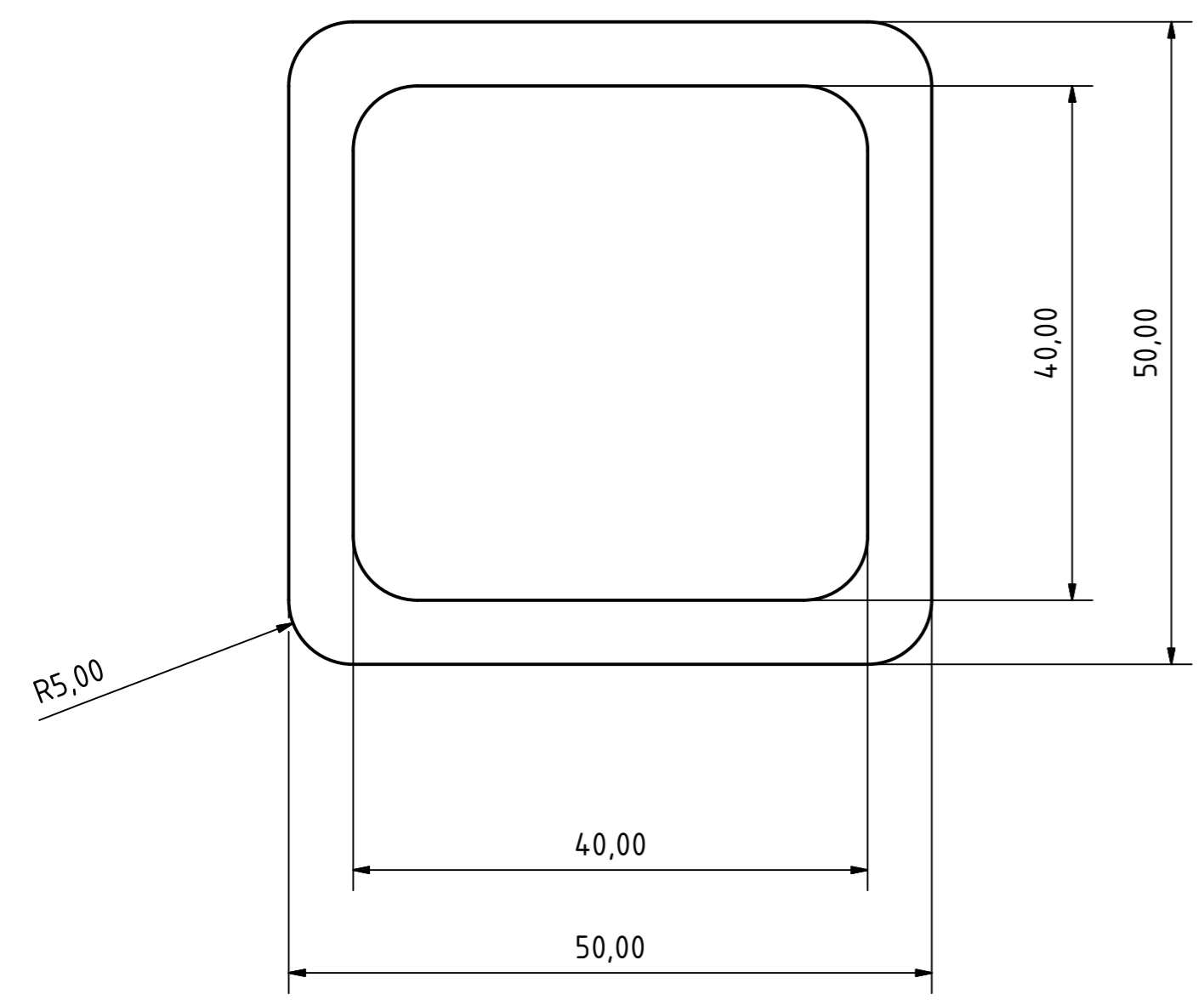
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ CNC ΠΑΝΤΟΓΡΑΦΟΥ

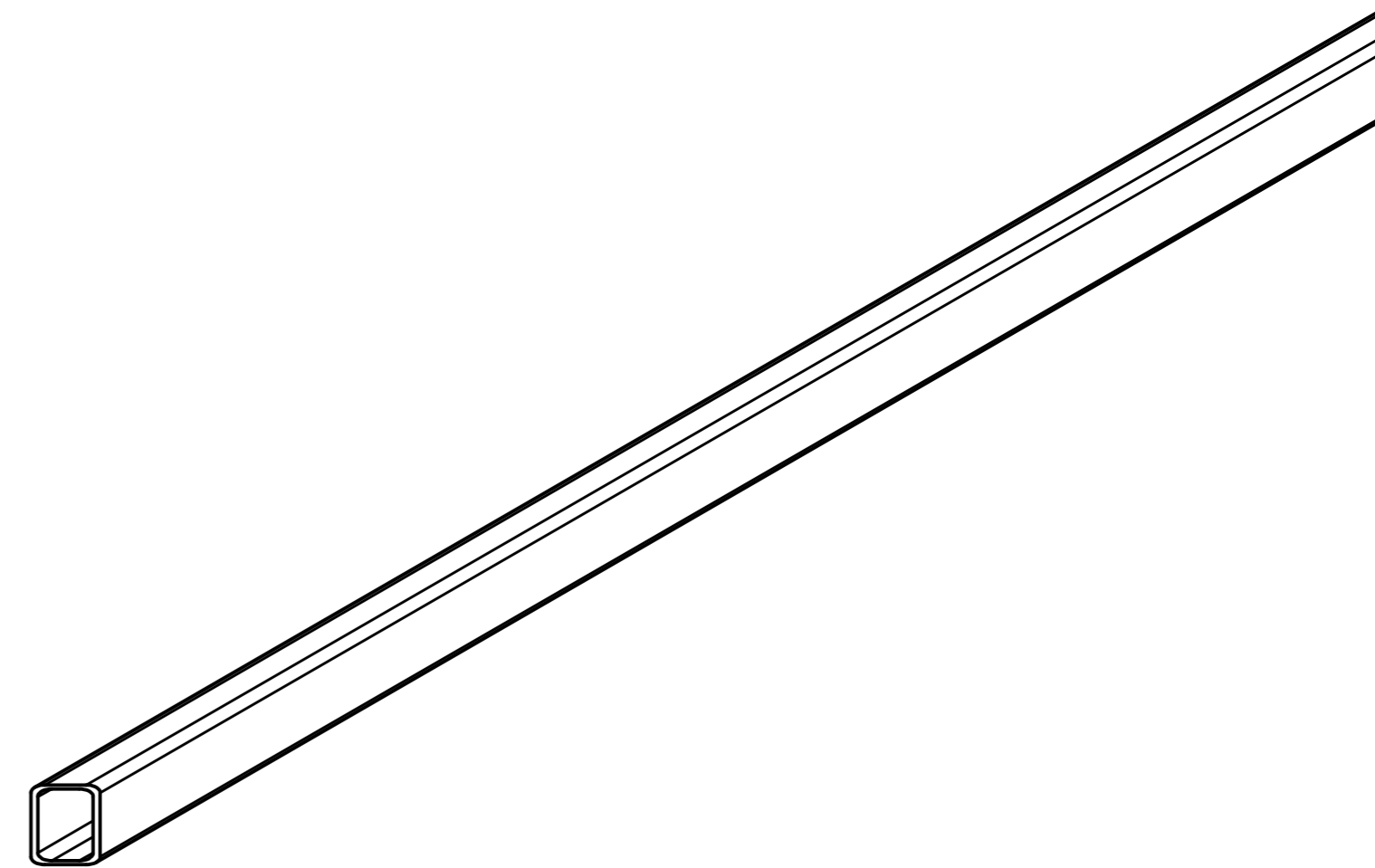
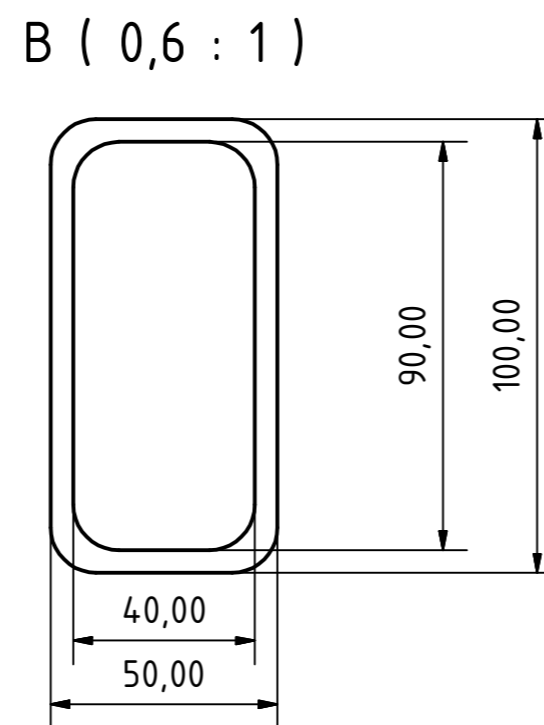
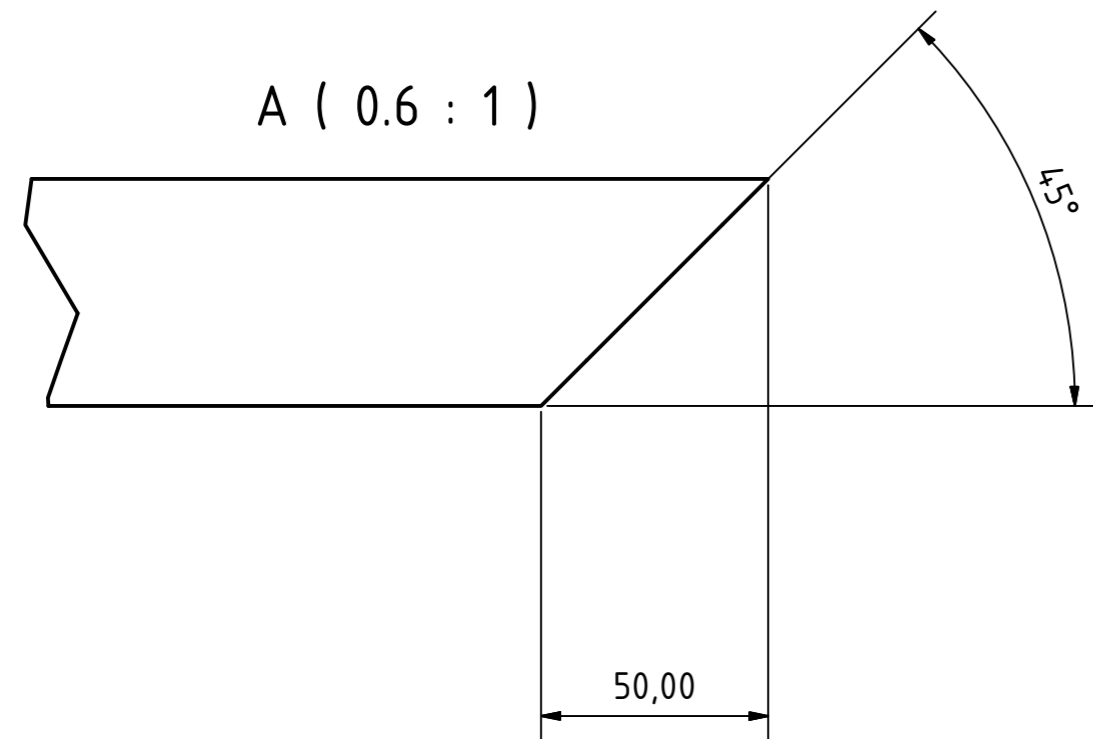
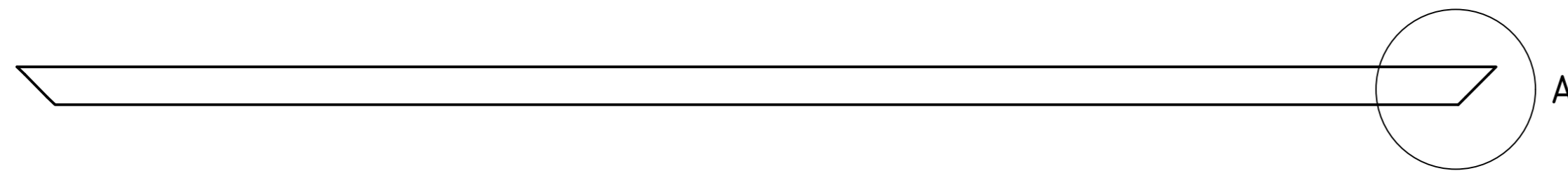
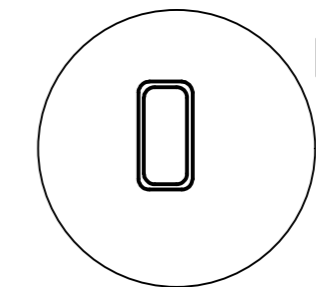
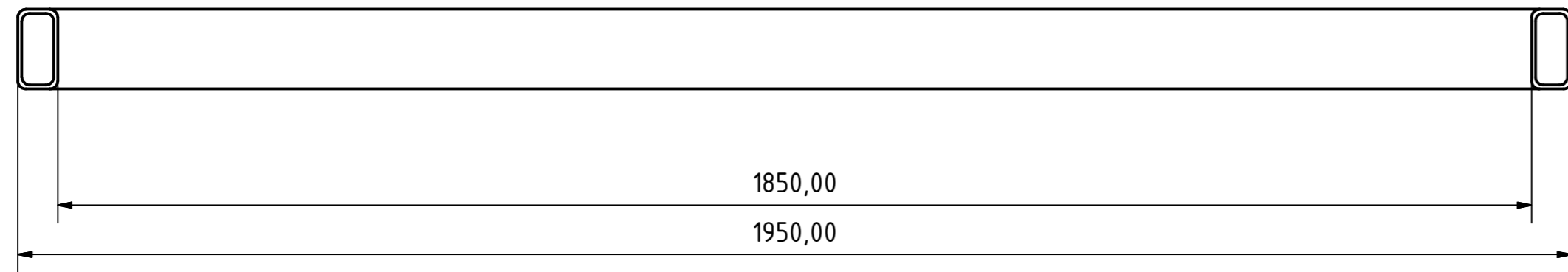




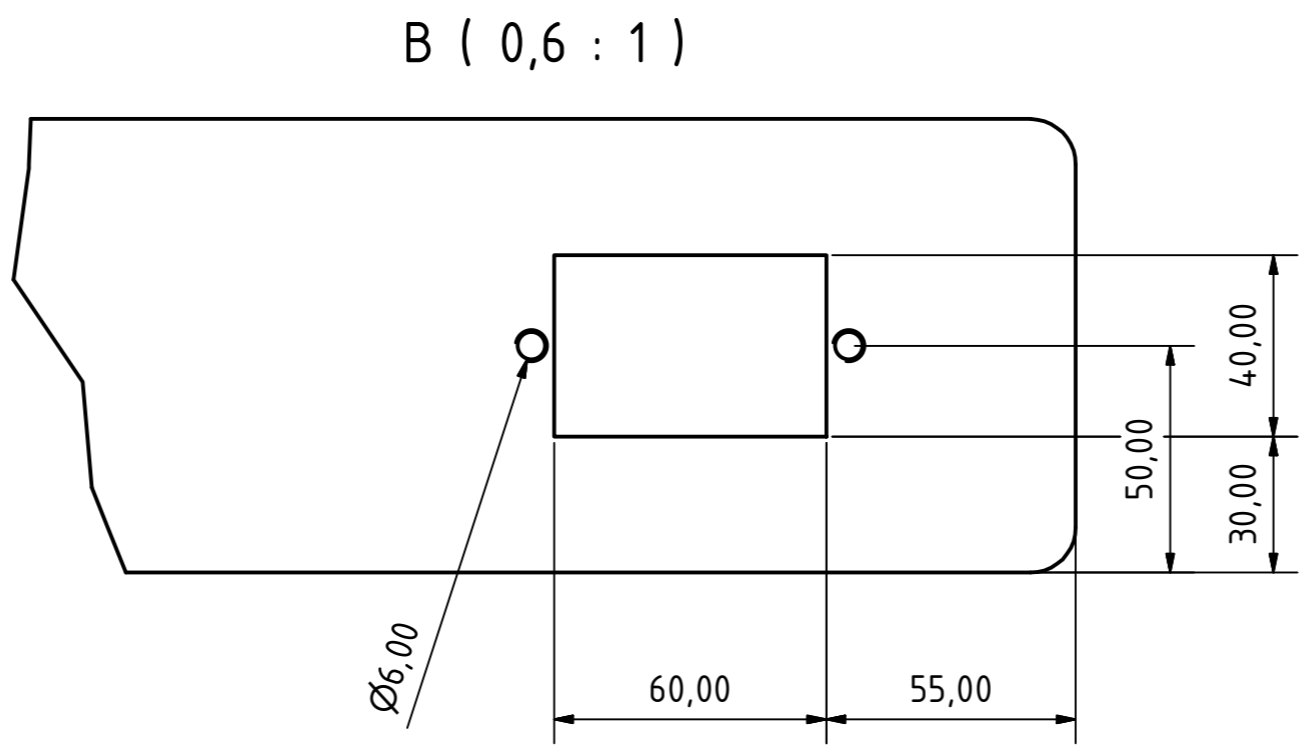
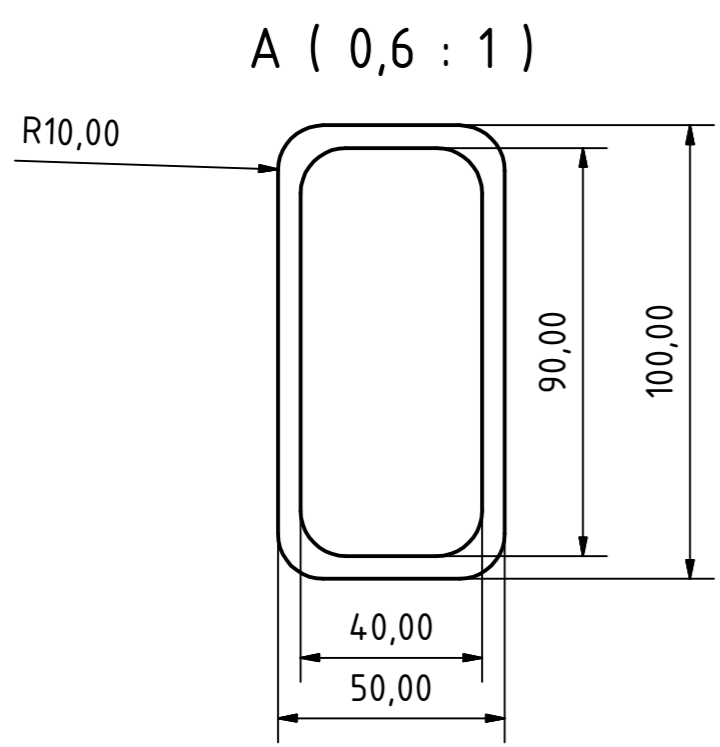
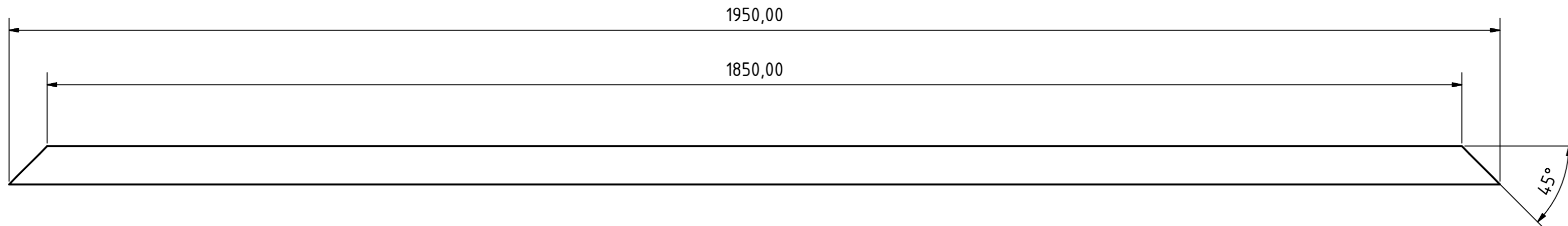
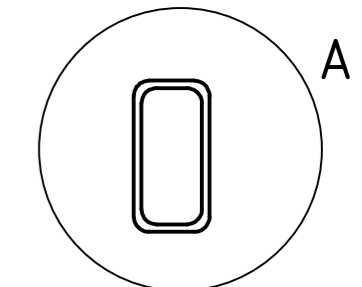
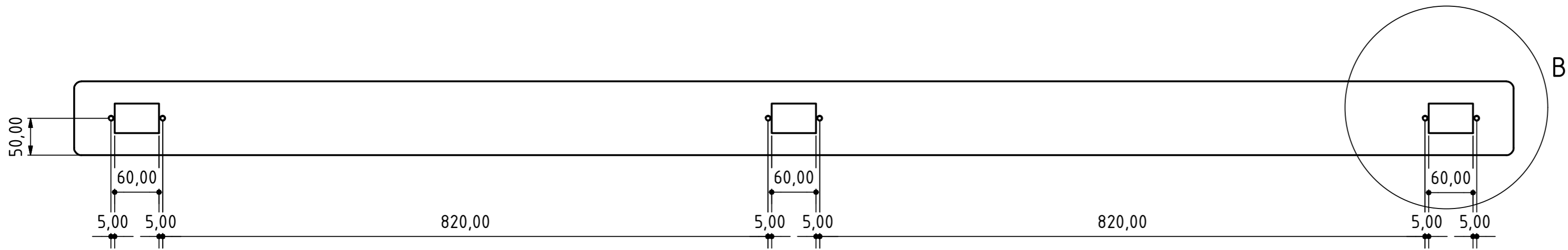
A (2 : 1)



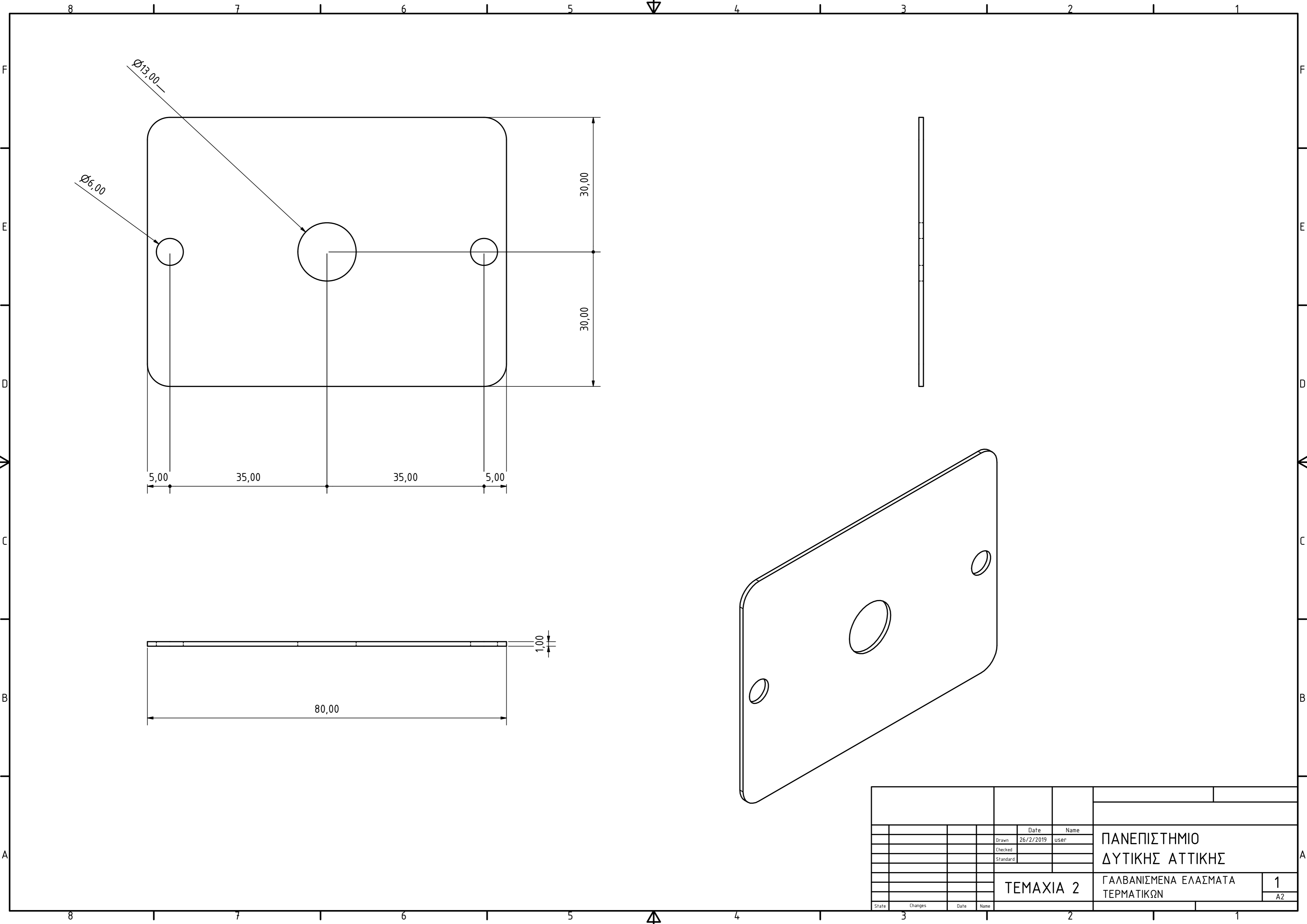
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
				ΤΕΜΑΧΙΑ 4		ΟΡΘΩΣΤΑΤΕΣ	1	
State	Changes	Date	Name			A2		



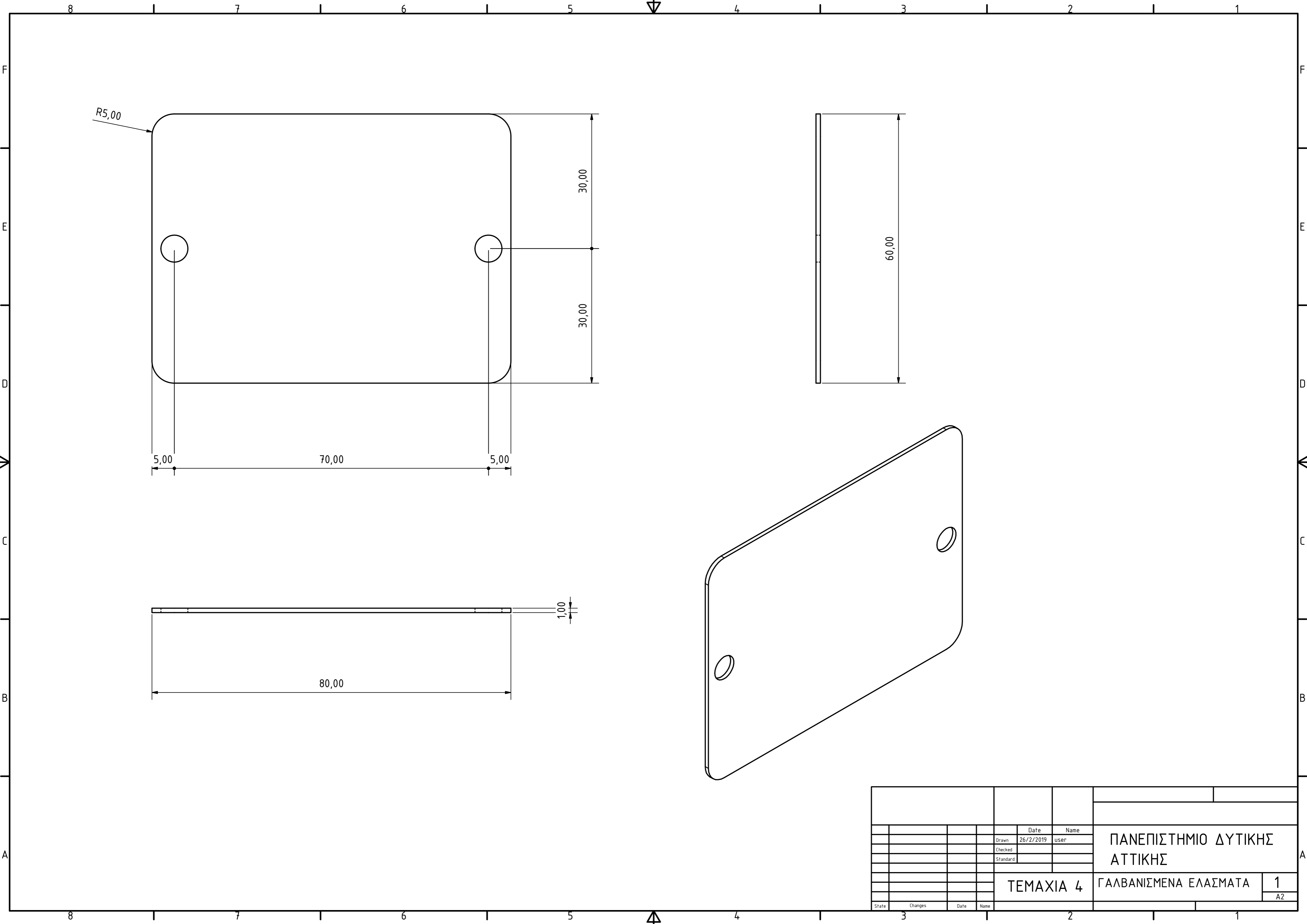
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
	Drawn	26/2/2019	user				
	Checked						
	Standard						
			ΤΕΜΑΧΙΑ 2	ΖΕΥΓΟΣ ΑΝΤΙΚΡΙΣΤΩΝ ΠΛΕΥΡΩΝ 1		1	
State	Changes	Date	Name			A2	



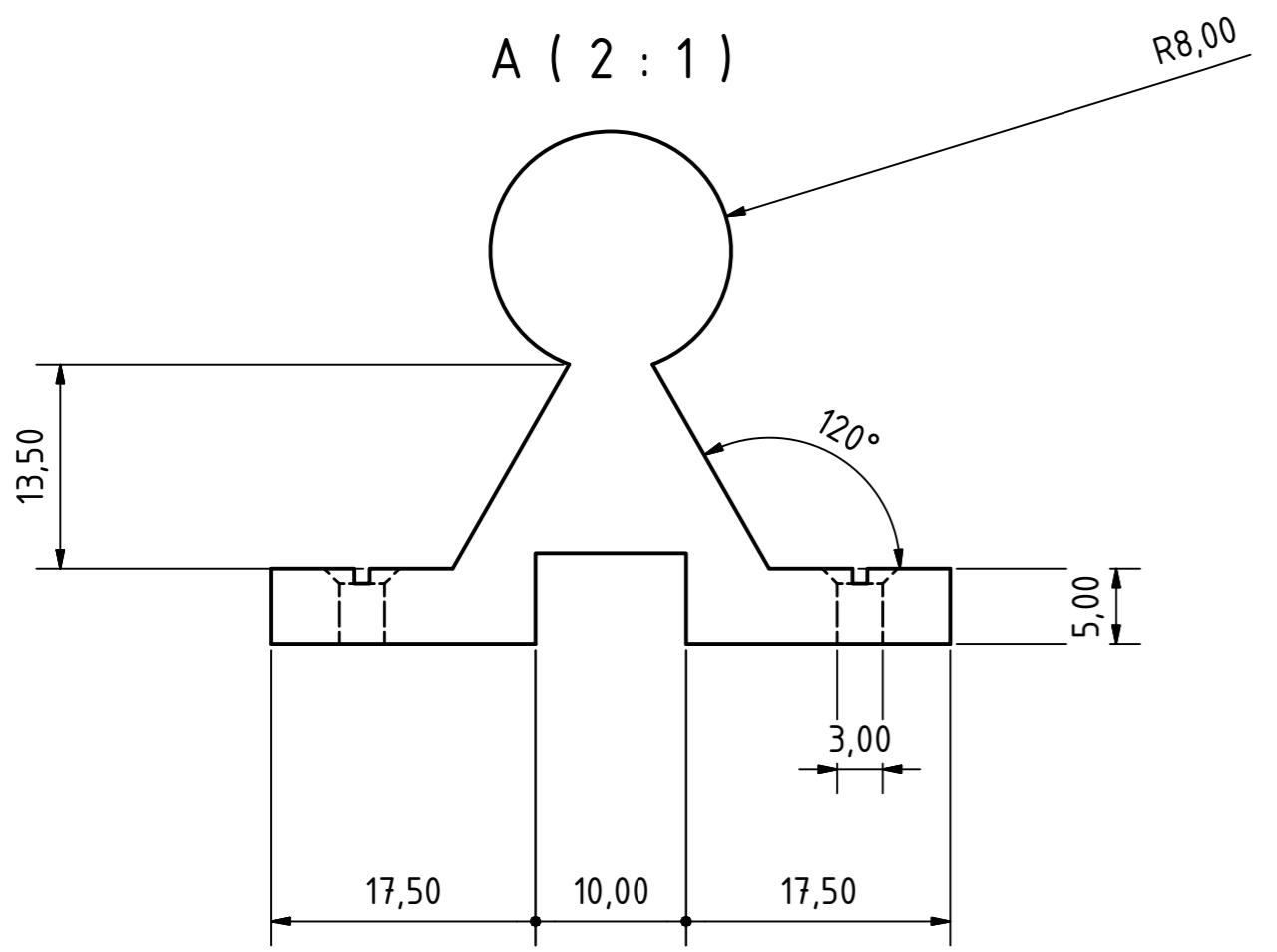
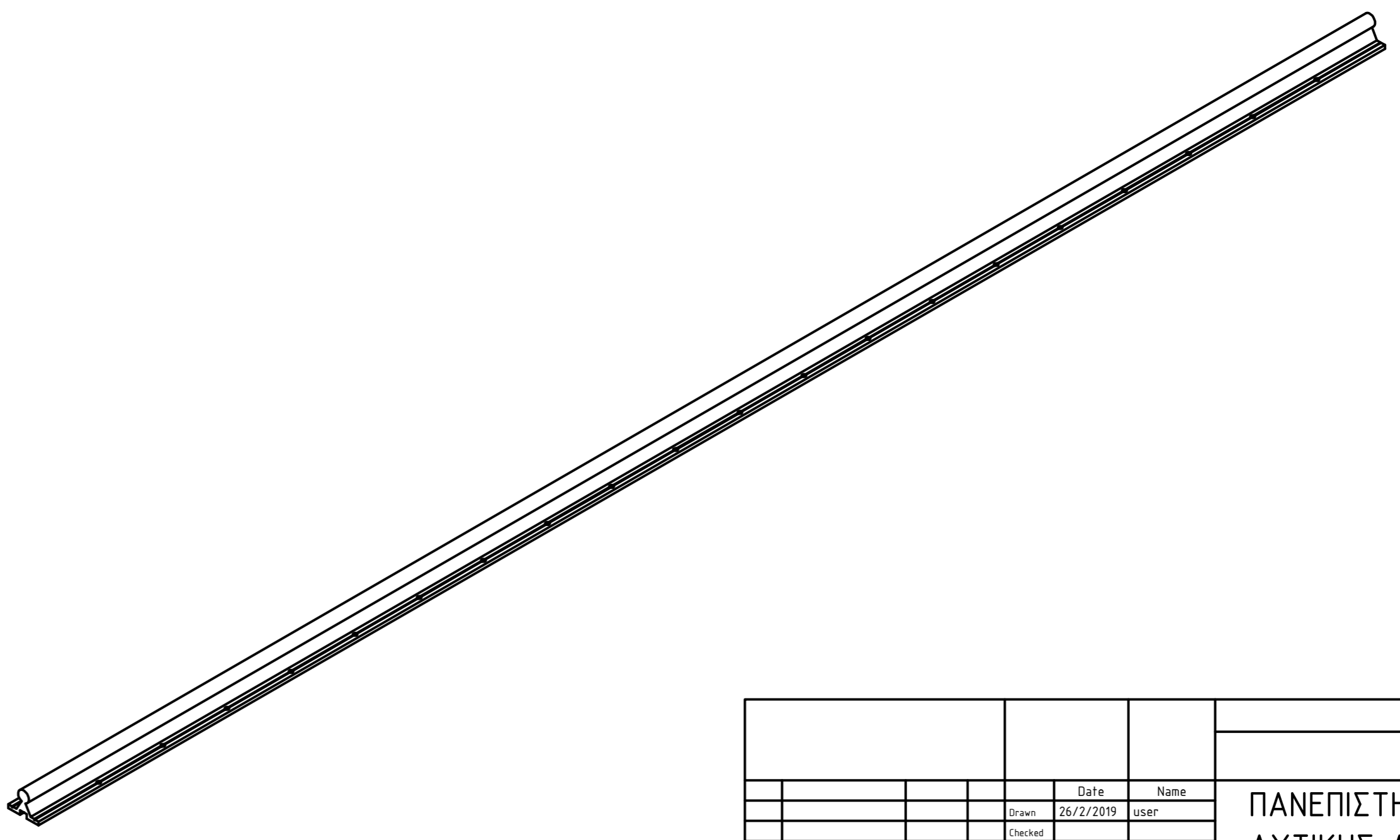
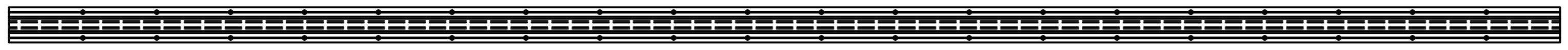
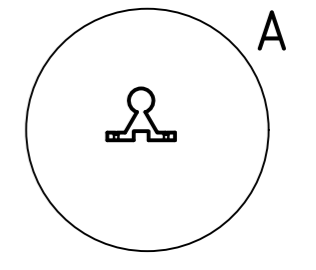
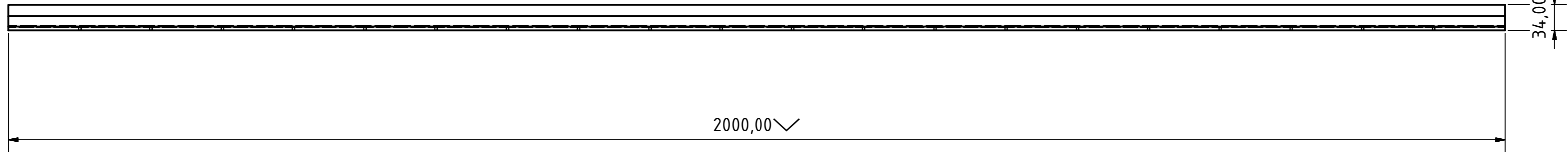
Date		Name		ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΖΕΥΓΟΣ ΑΝΤΙΚΡΙΣΤΩΝ ΠΛΕΥΡΩΝ 2		1 A2	
Drawn	26/2/2019	user					
Checked							
Standard							
ΤΕΜΑΧΙΑ 2							
State	Changes	Date	Name				



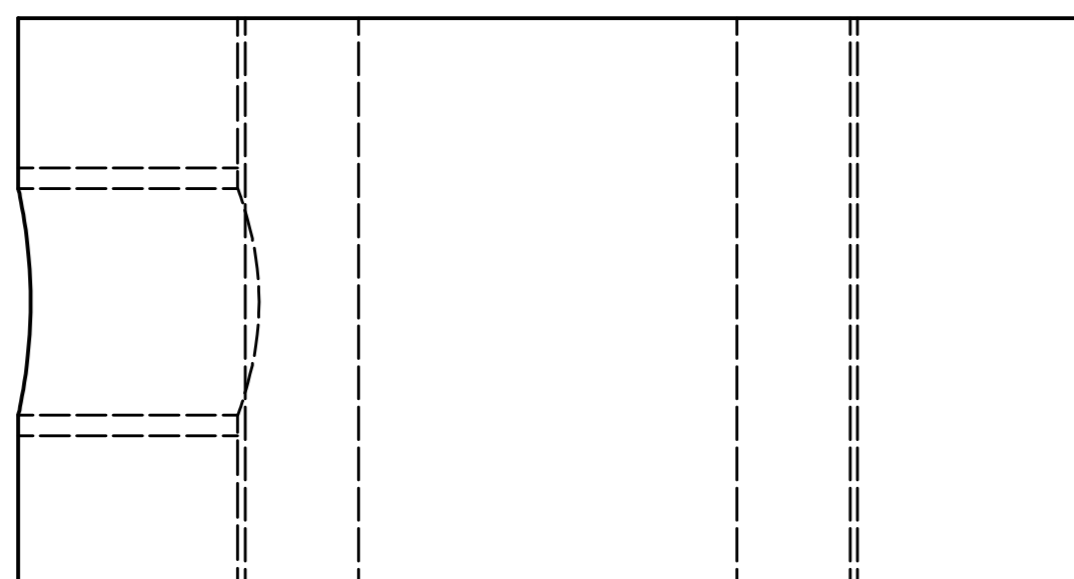
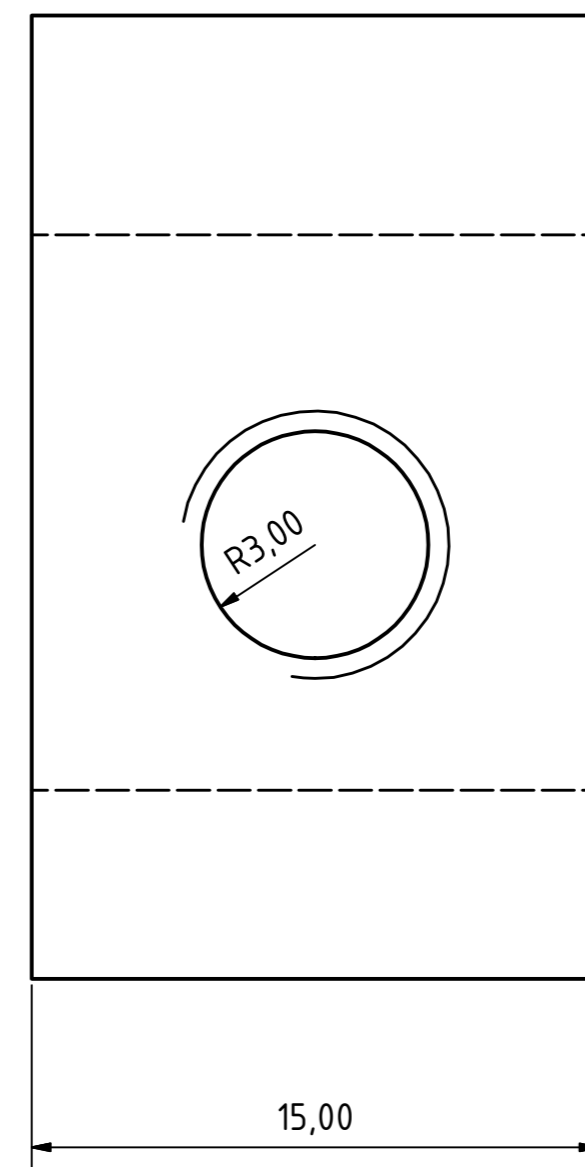
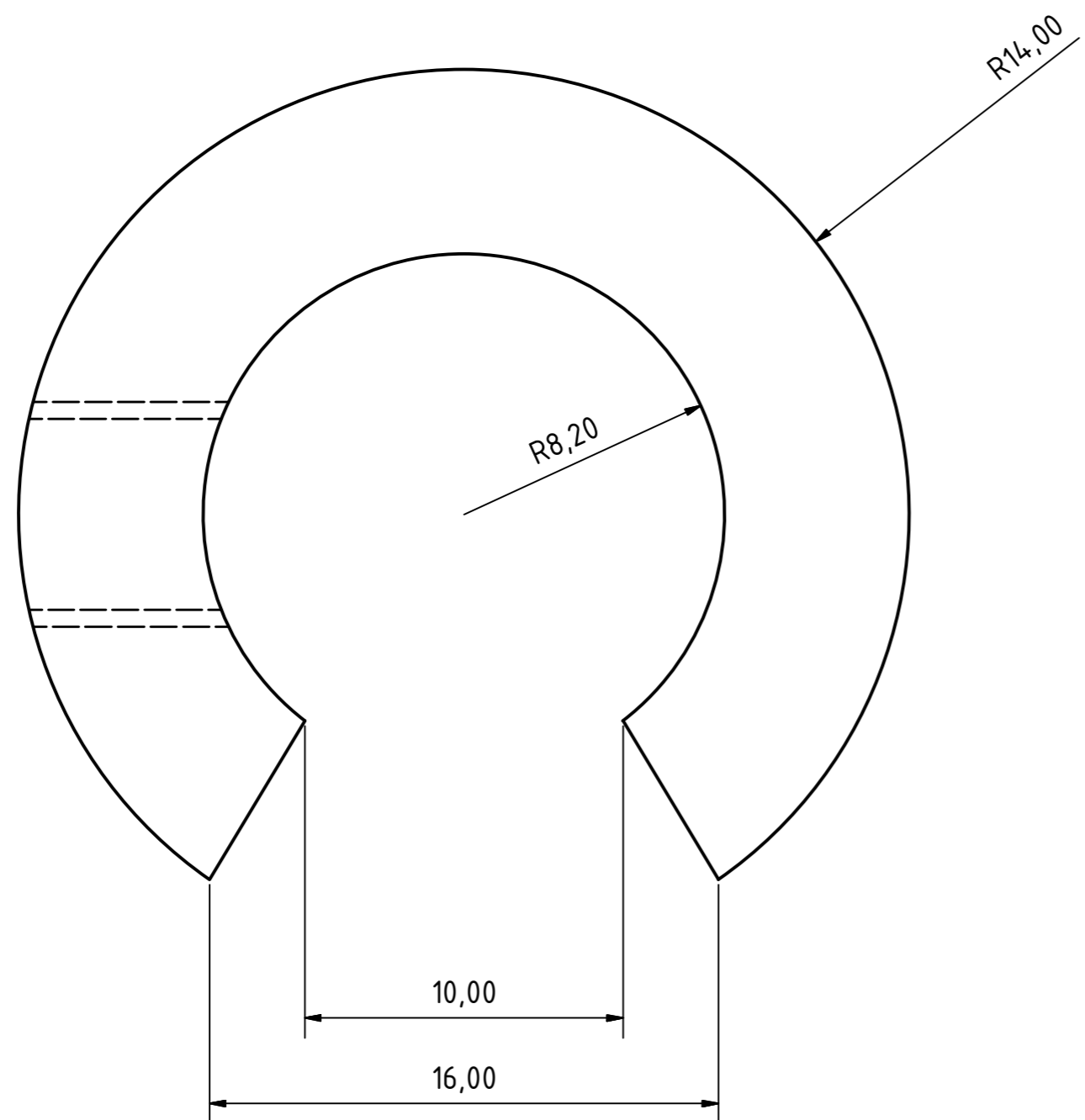
				Date	Name		
				Drawn	26/2/2019	user	
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΑ 2		ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
						ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ	
						1	
						A2	
State	Changes	Date	Name				



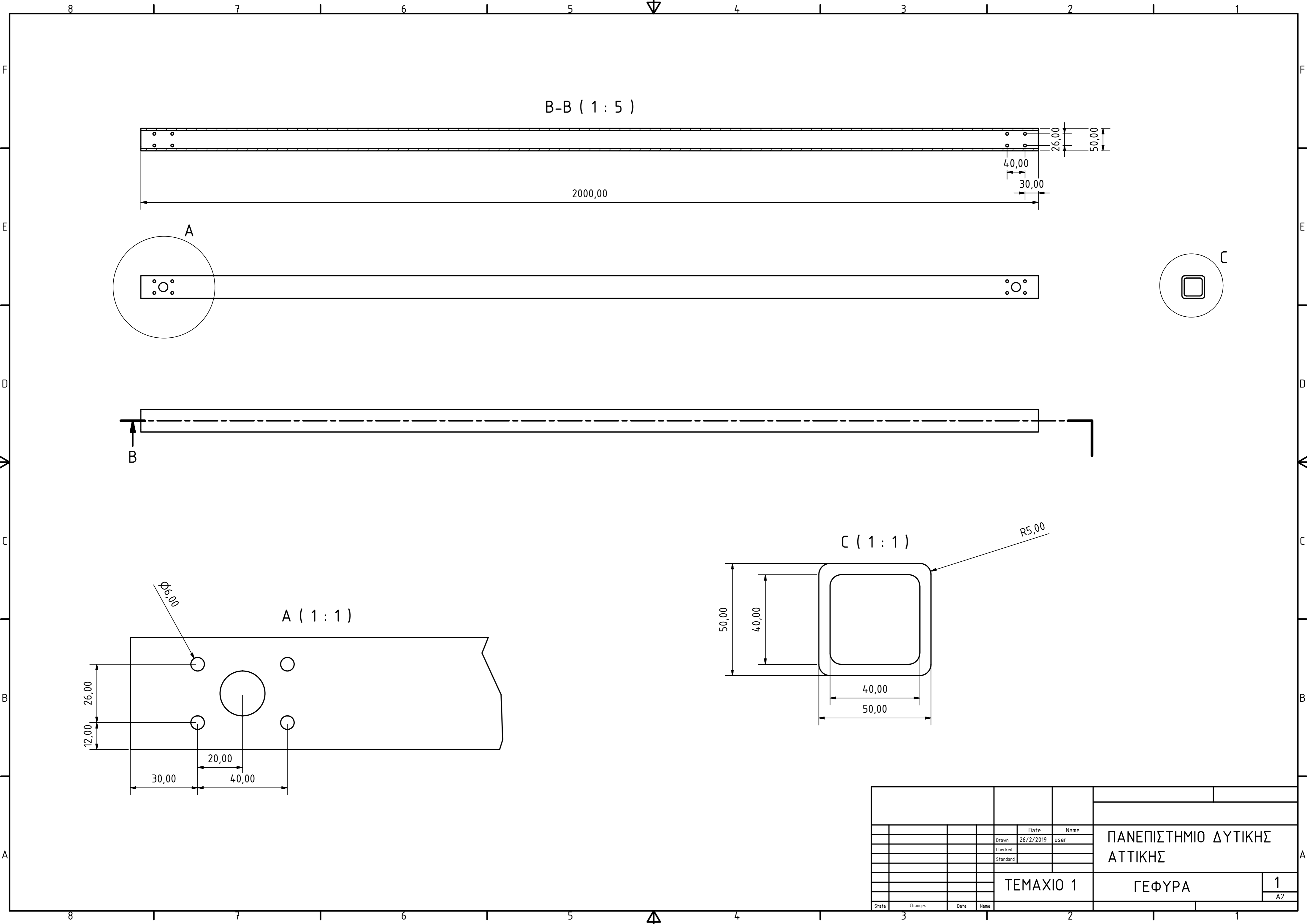
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
				Drawn	26/2/2019	user	
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΑ 4		ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΕΝΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ	1
							A2
State	Changes	Date	Name				



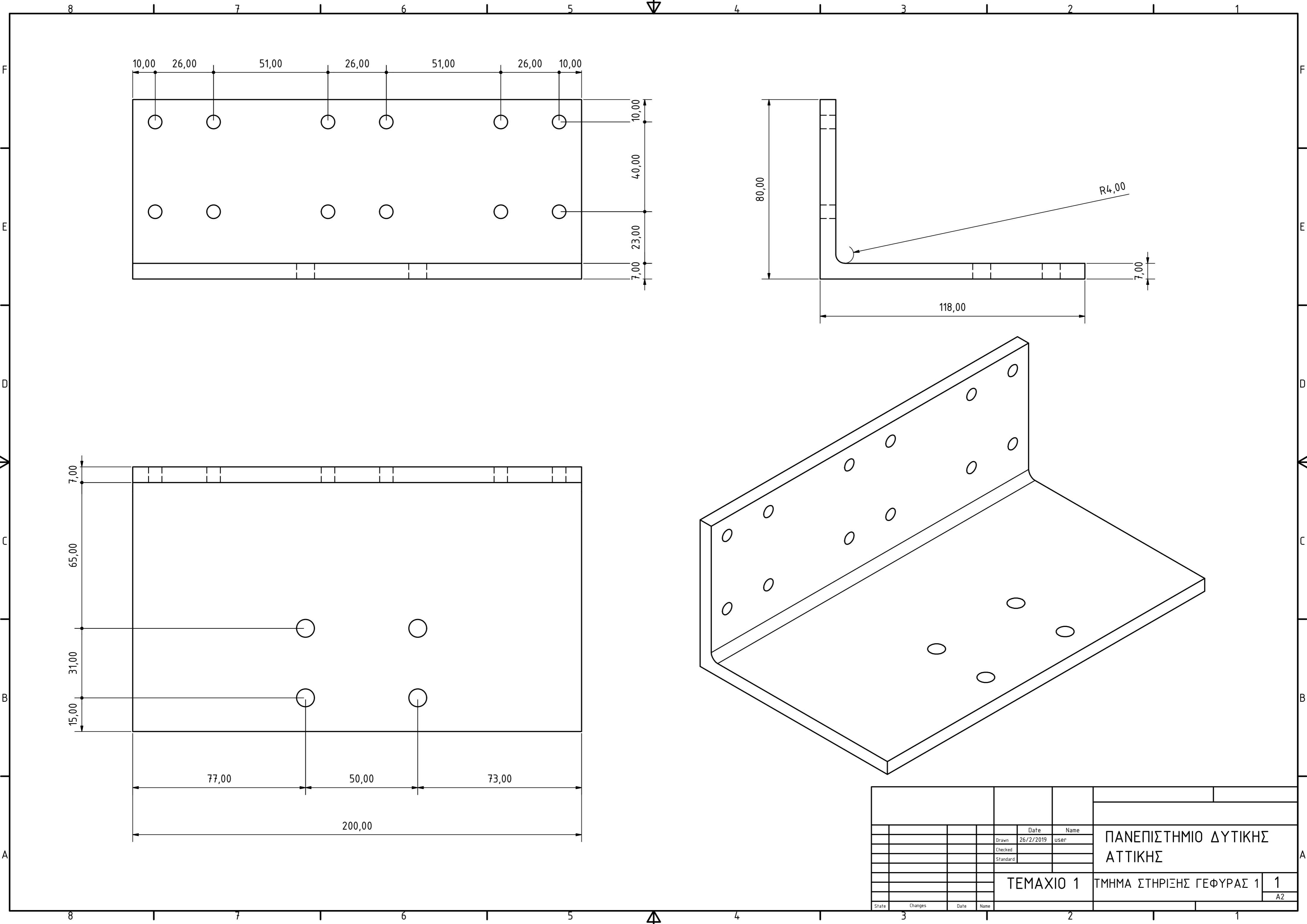
Date		Name		ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ ΜΕ ΝΕΥΡΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ		ΤΕΜΑΧΙΑ 2		1 A2	
Drawn	26/2/2019	user							
Checked									
Standard									
State	Changes	Date	Name						



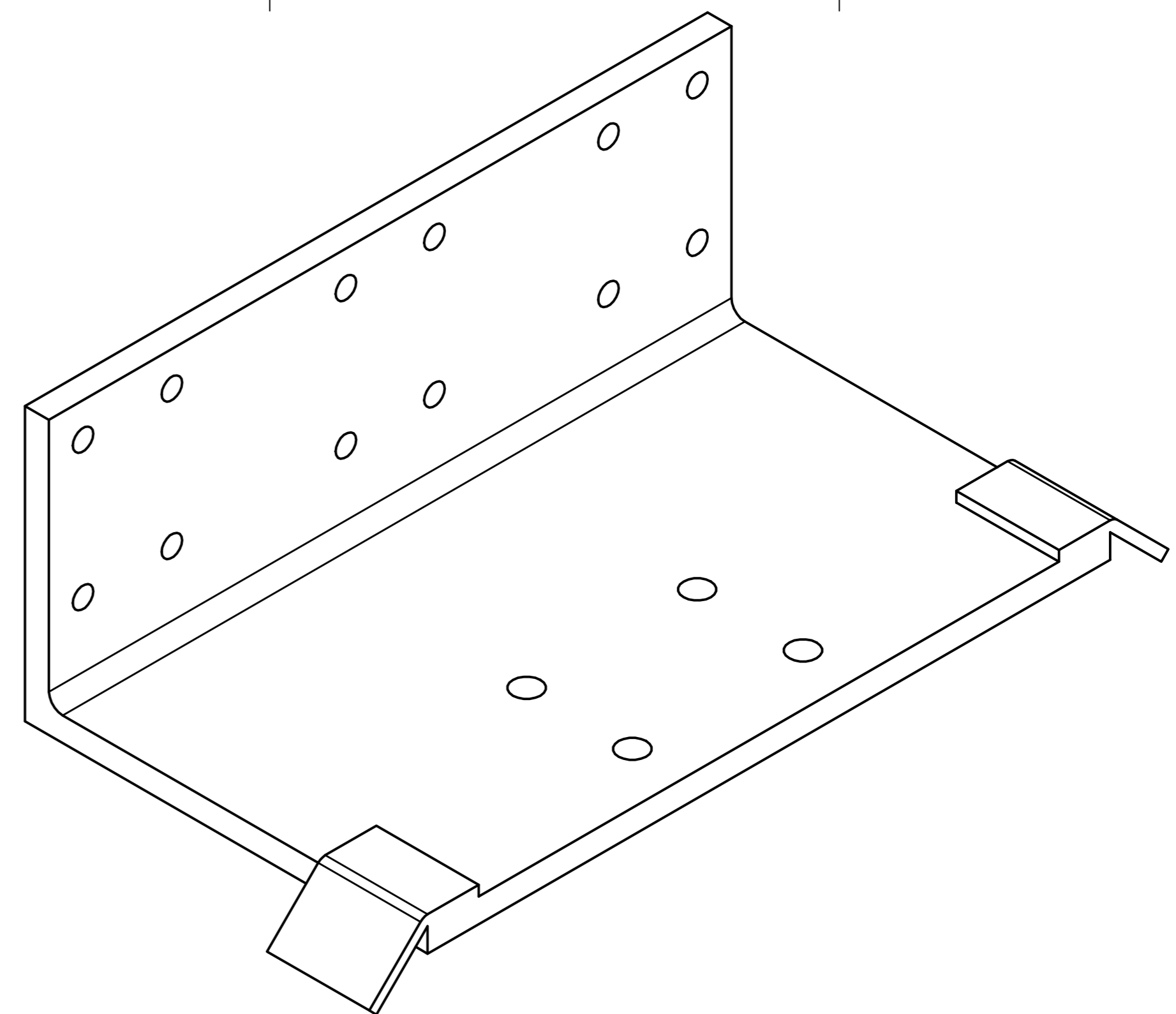
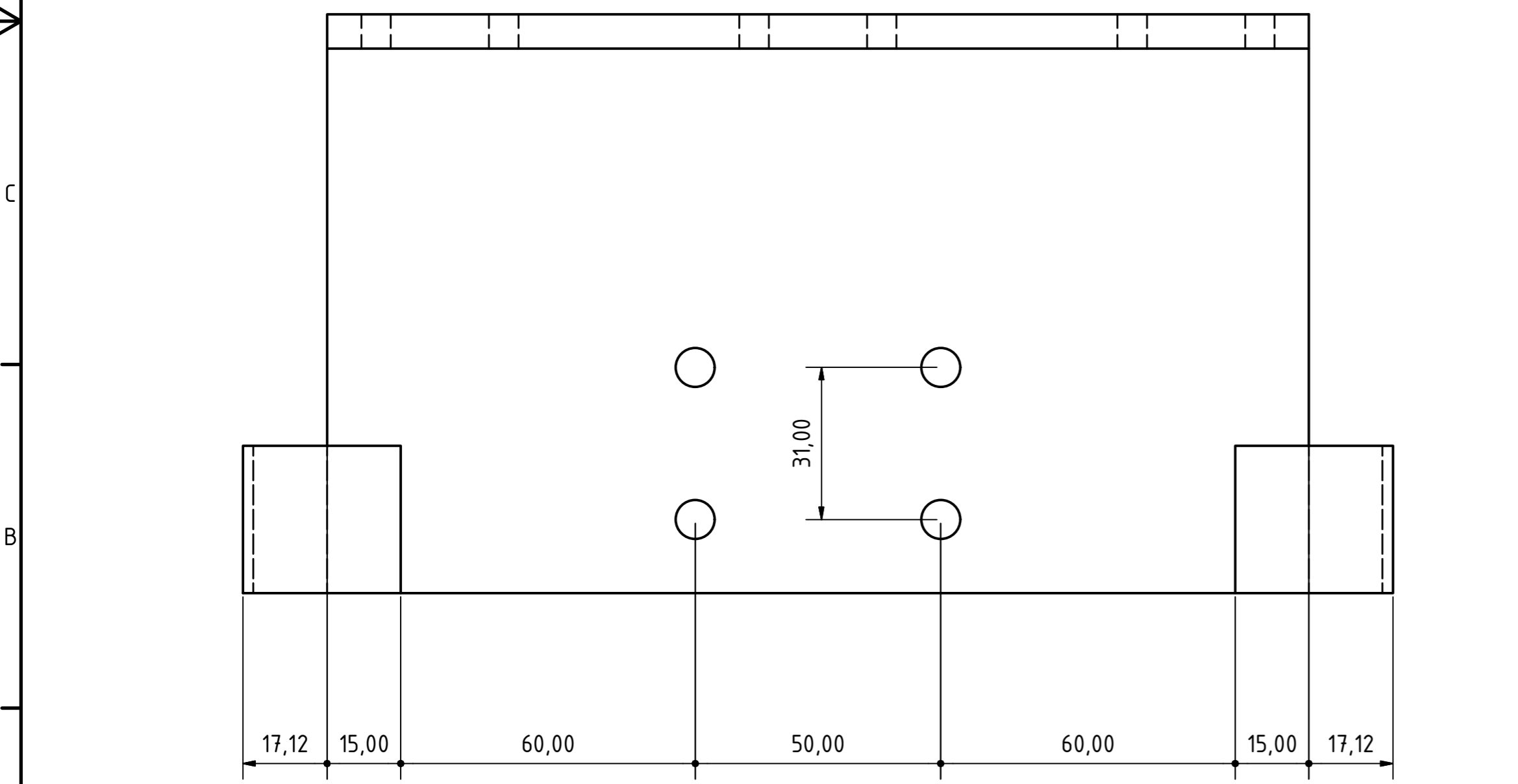
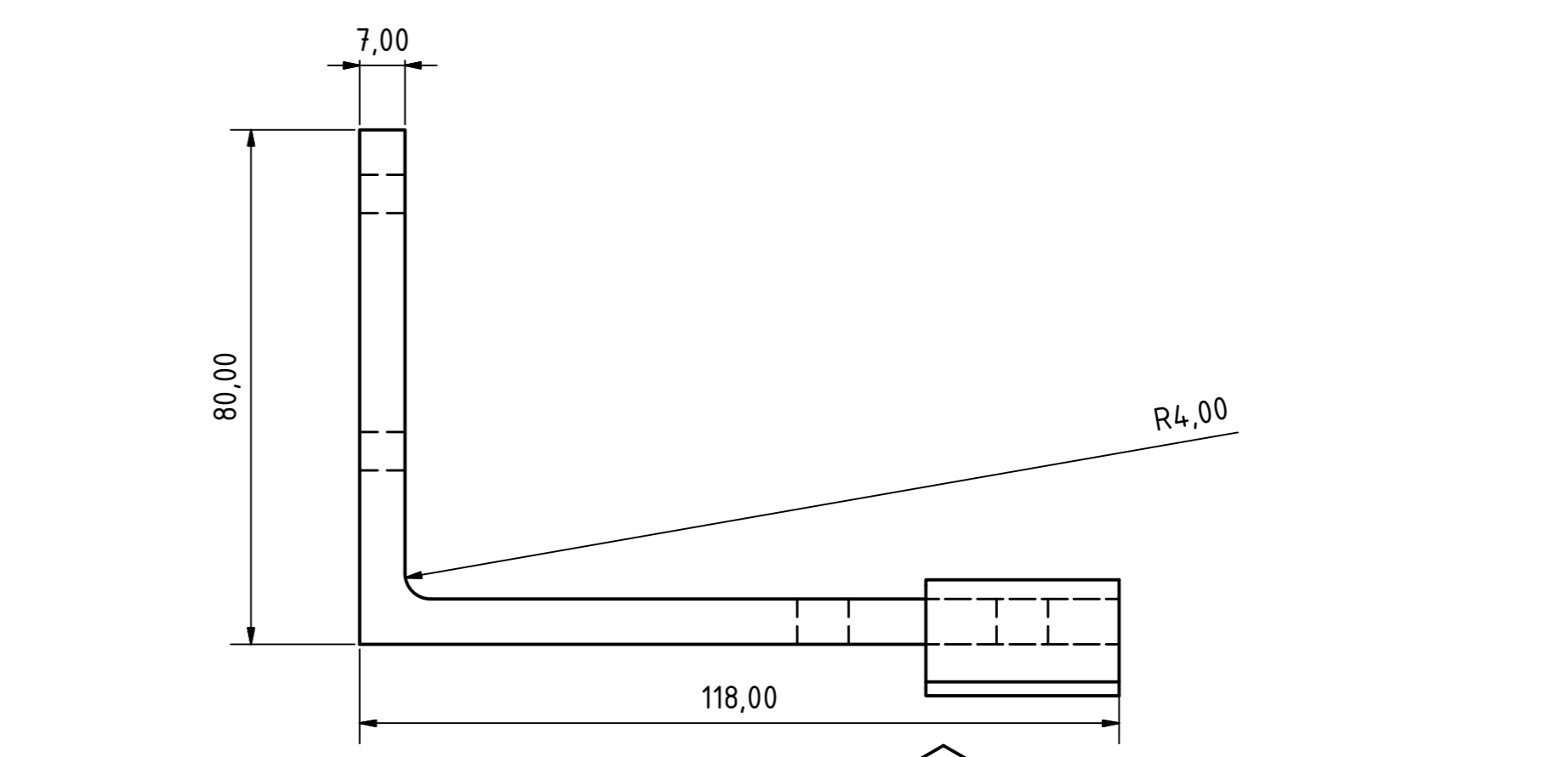
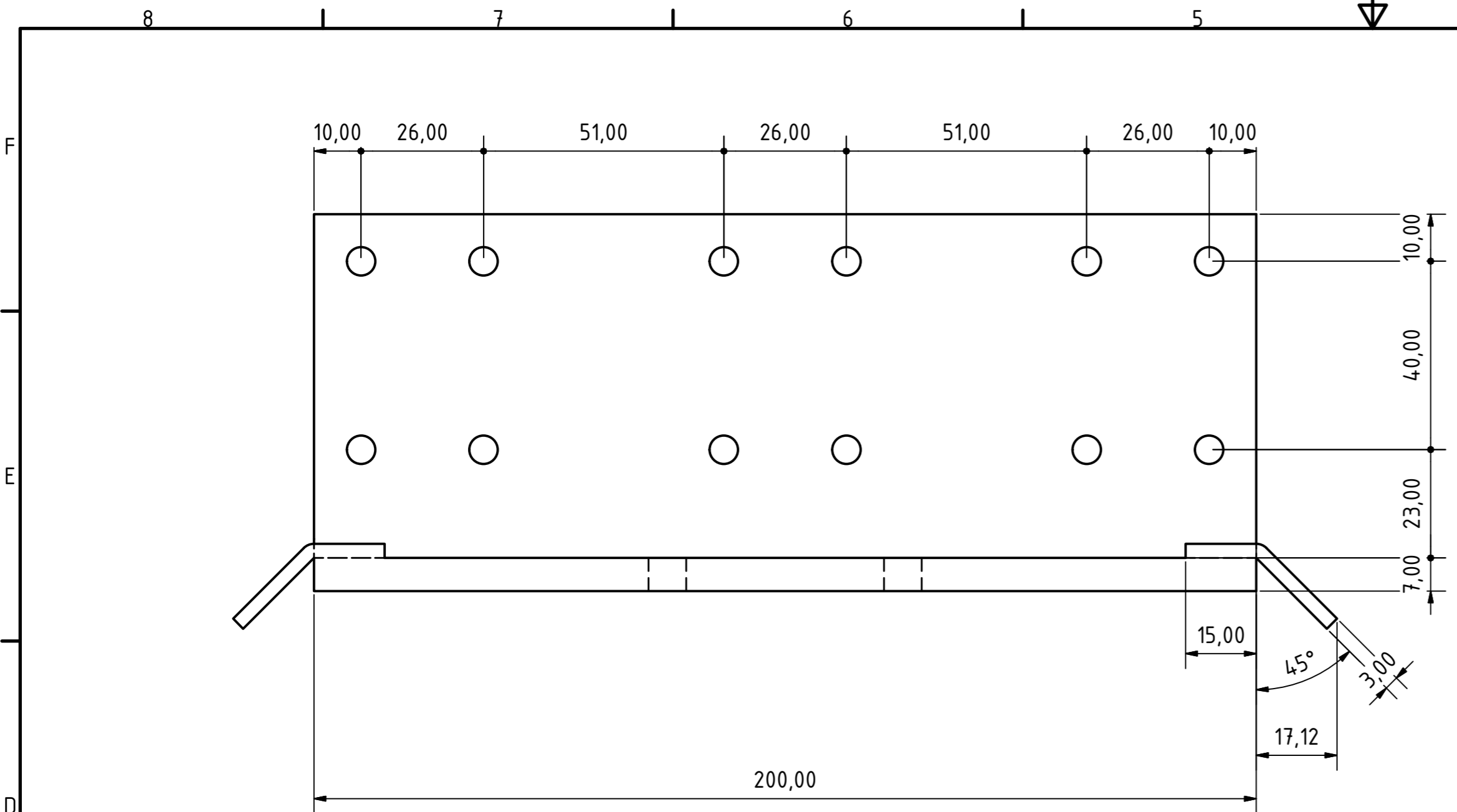
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
				ΤΕΜΑΧΙΑ 4		ΜΗΧΑΝΙΚΑ STOP		
						1	A2	
State	Changes	Date	Name					



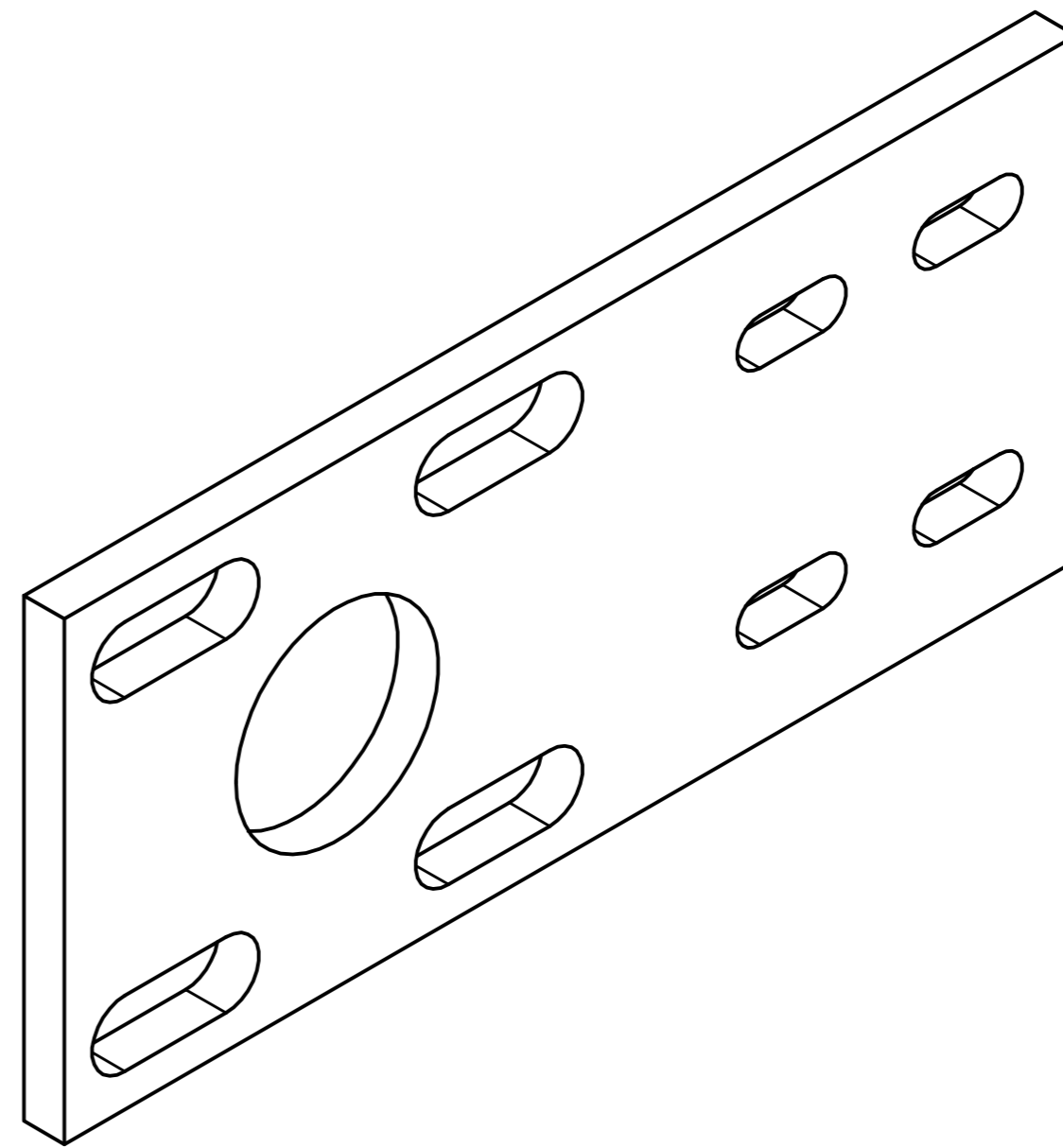
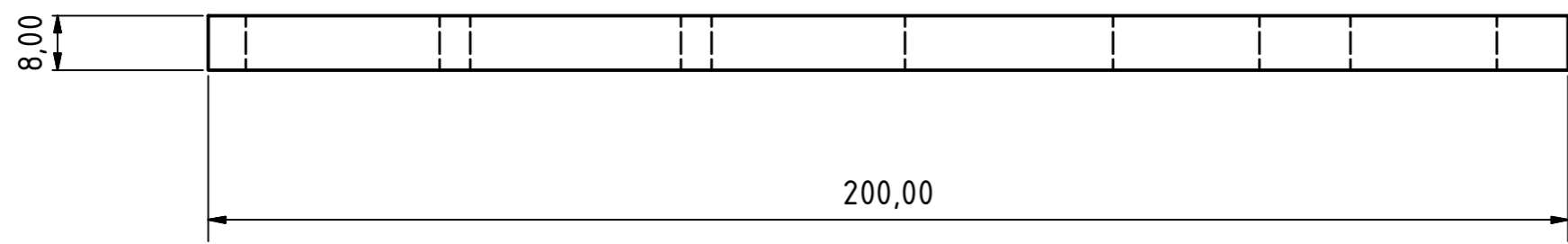
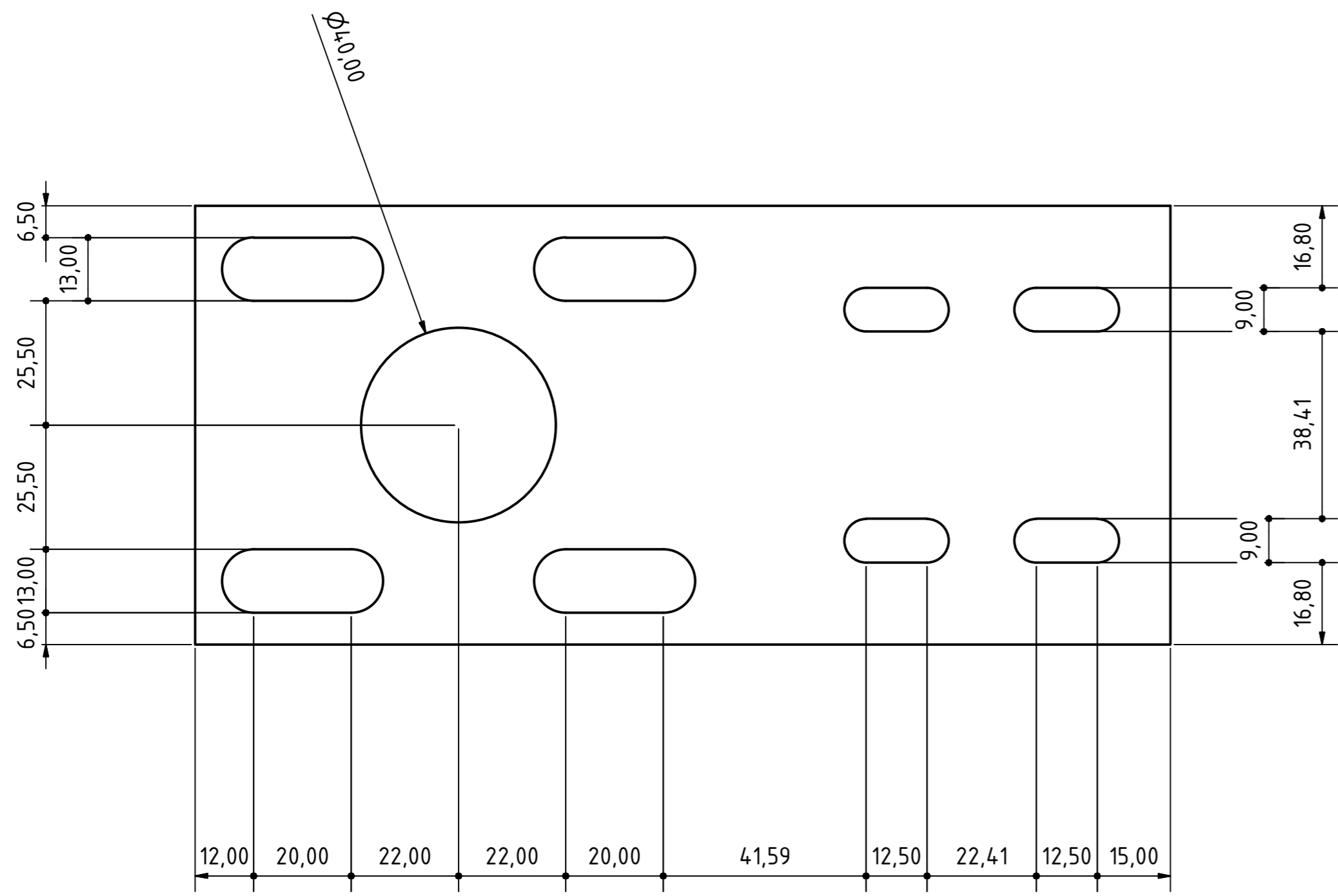
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
	Drawn	26/2/2019	user				
	Checked						
	Standard			ΤΕΜΑΧΙΟ 1			
				ΓΕΦΥΡΑ		1	
						A2	
State	Changes	Date	Name				



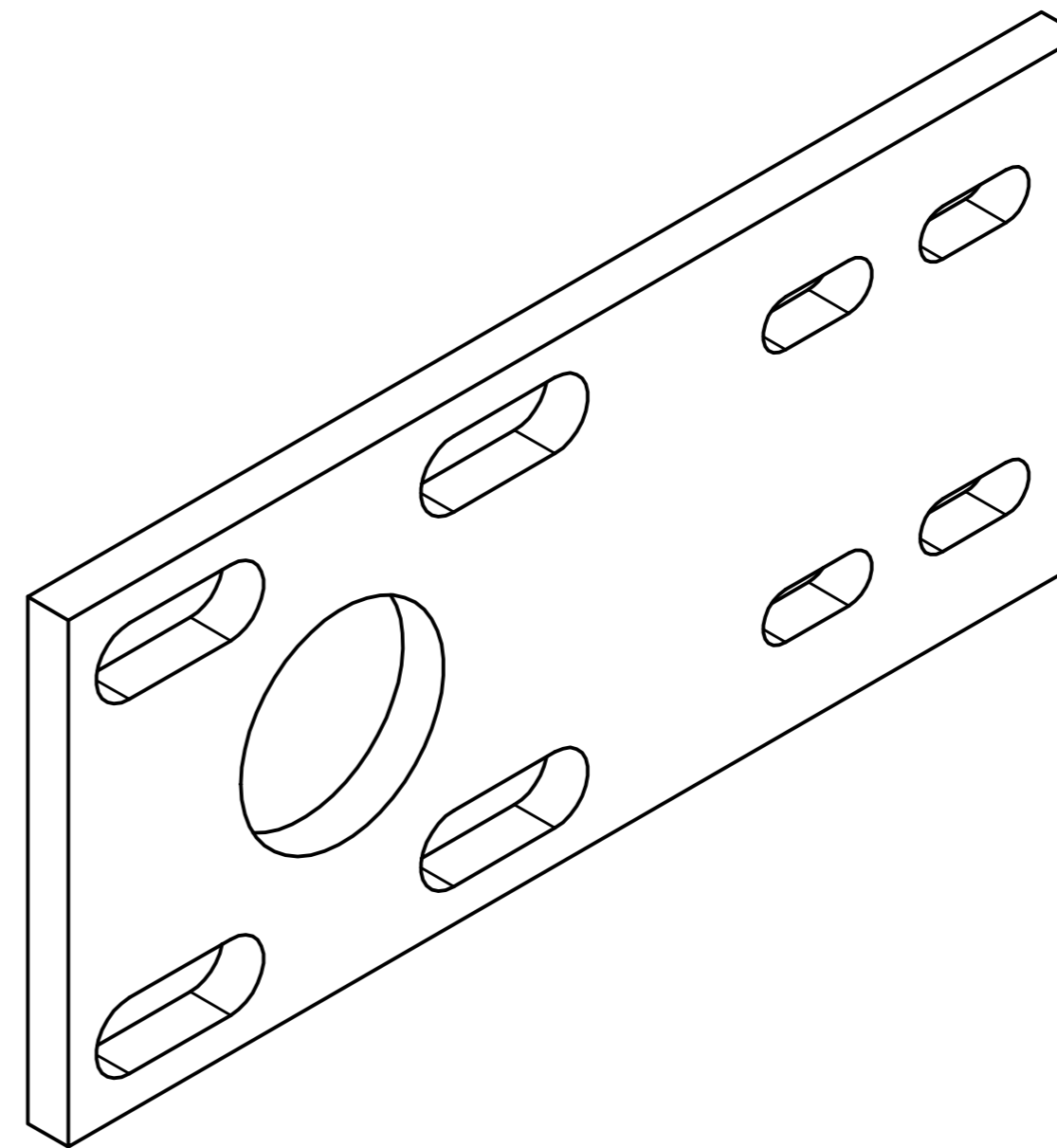
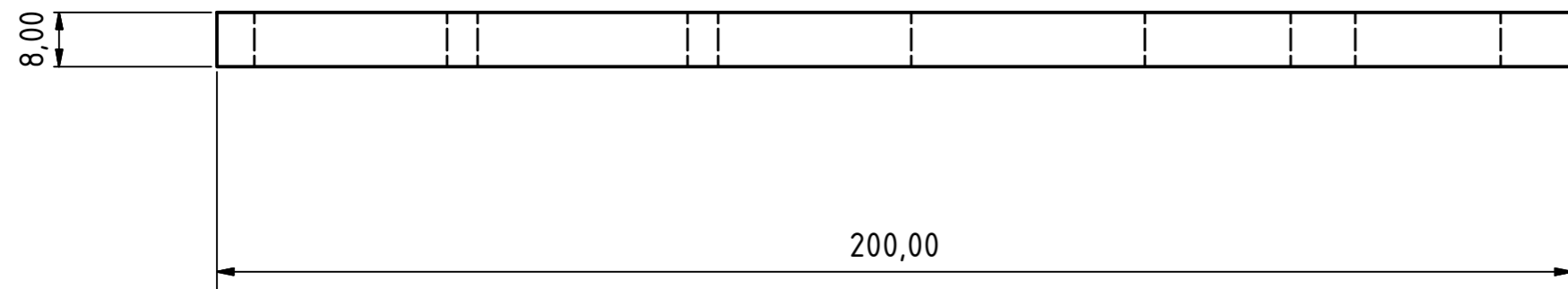
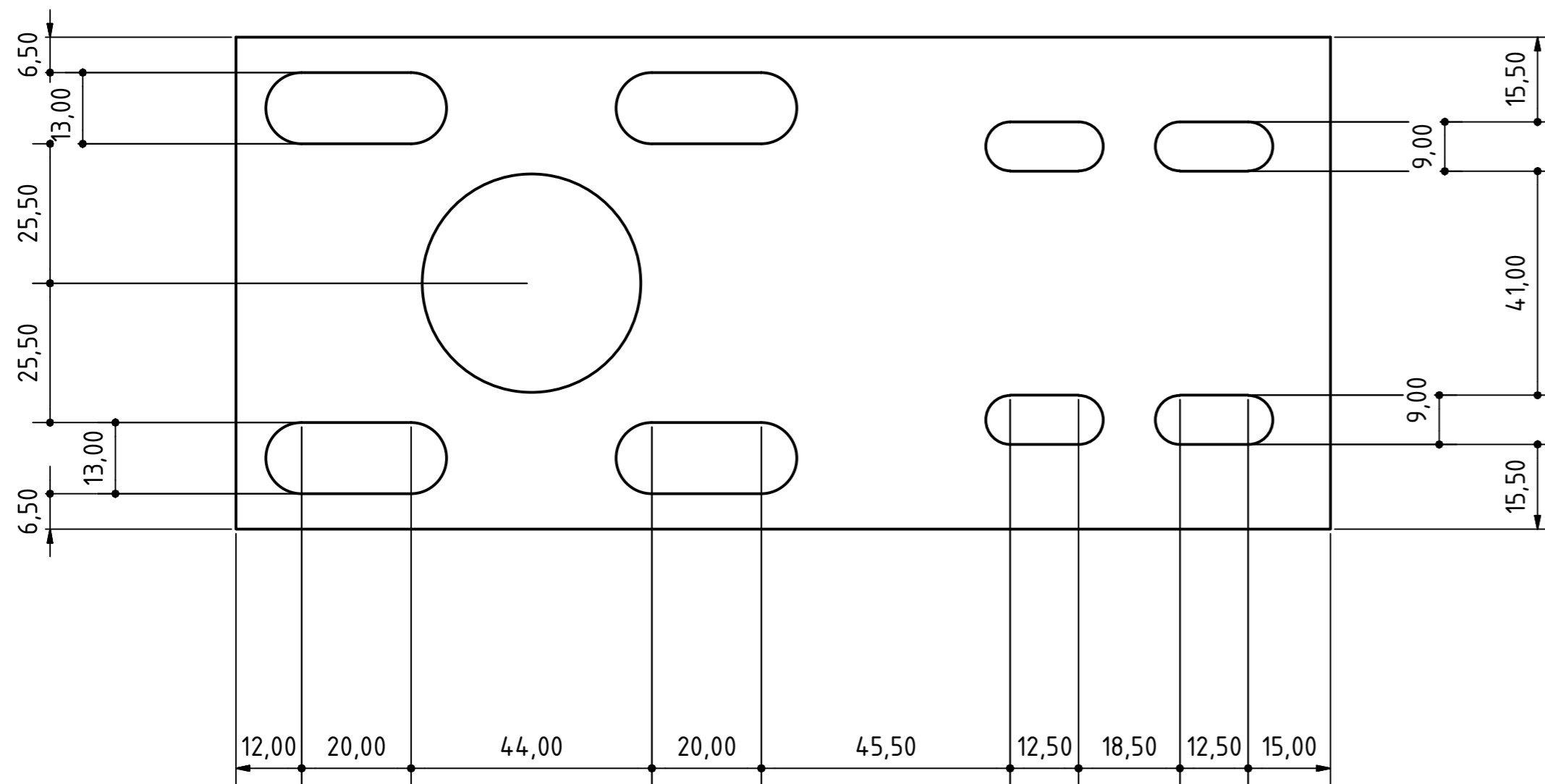
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
	Drawn	26/2/2019	user				
	Checked						
	Standard						
			ΤΕΜΑΧΙΟ 1	ΤΜΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ 1	1		
					A2		
State	Changes	Date	Name				



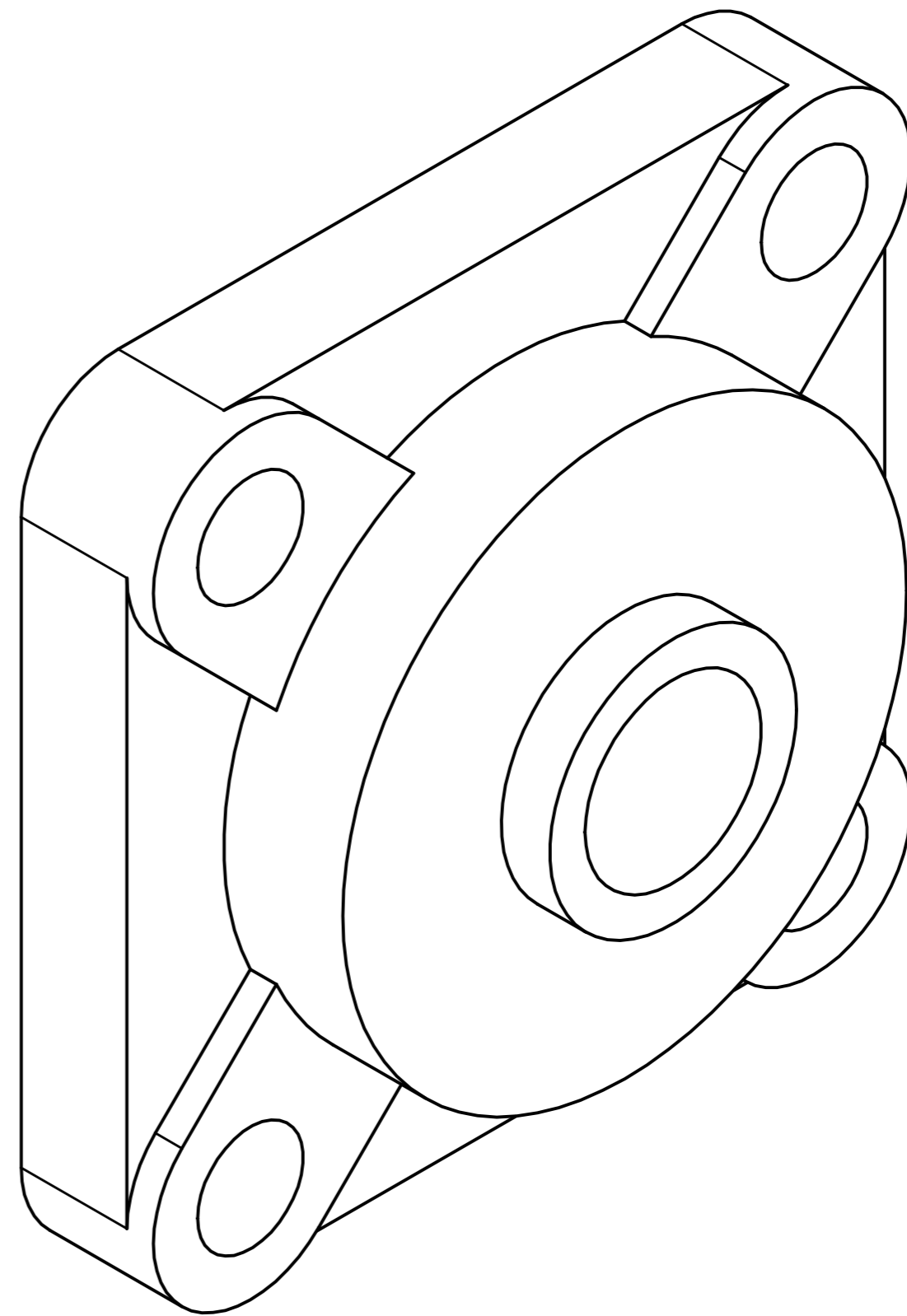
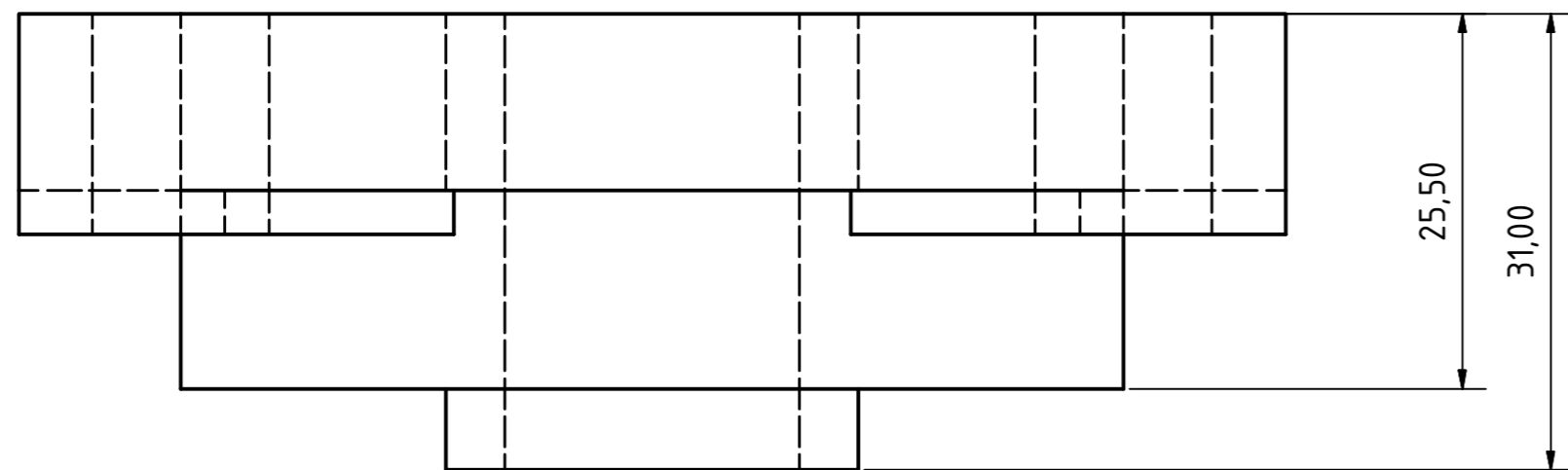
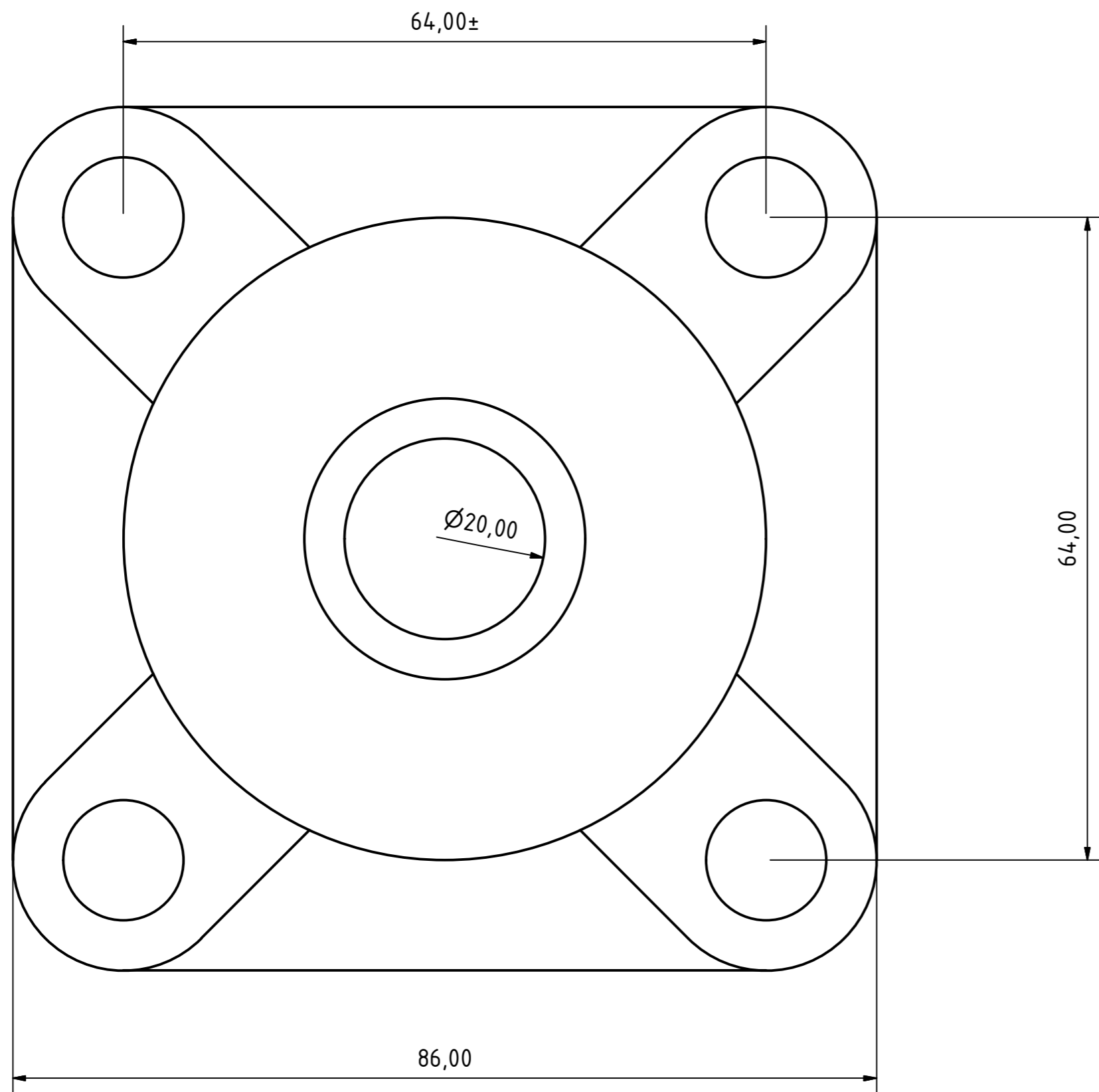
Date		Name		ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ 2		1	
Drawn	26/2/2019	user				A2	
Checked							
Standard							
State	Changes	Date	Name	ΤΕΜΑΧΙΟ 1			



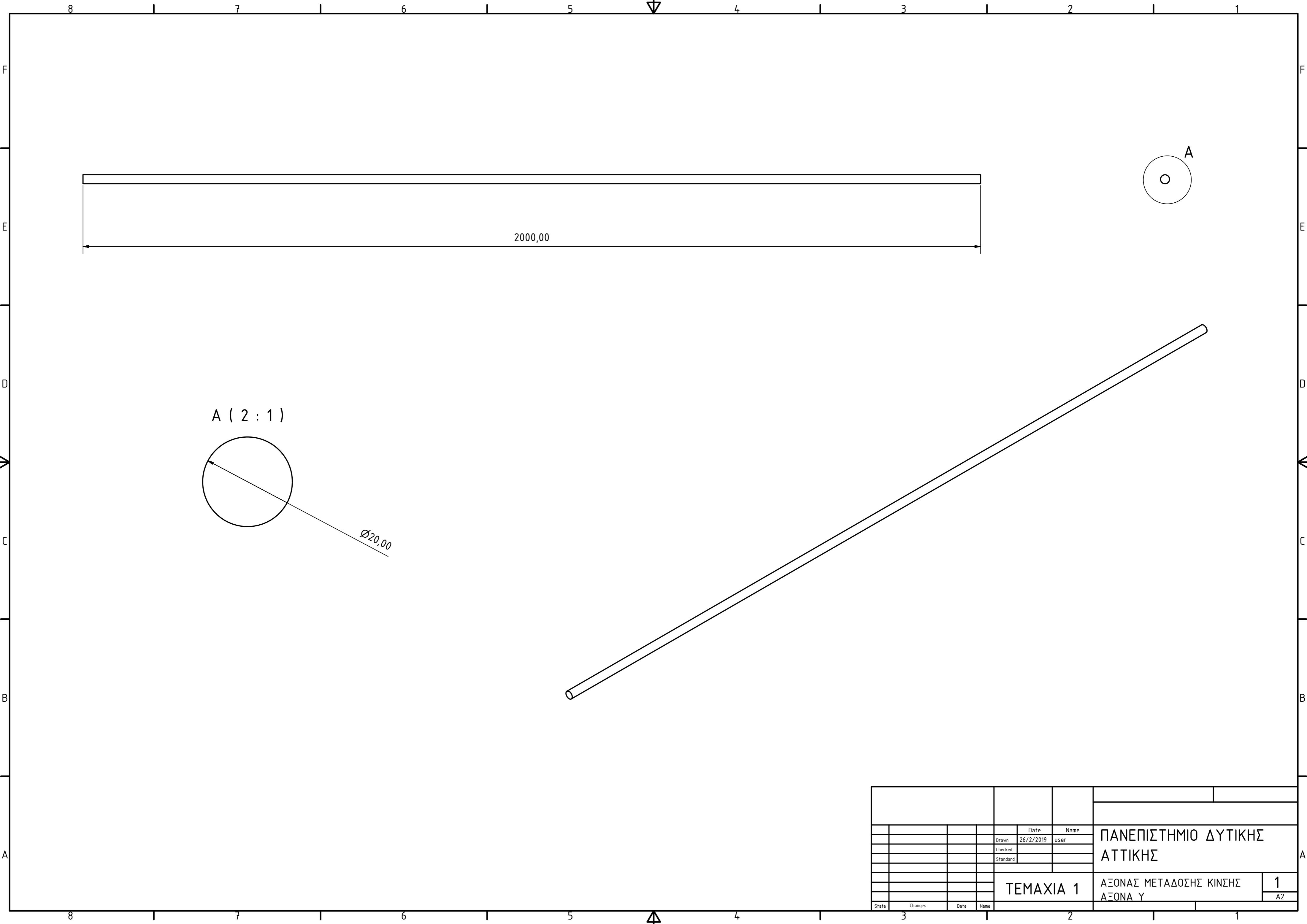
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
	Drawn	26/2/2019	user				
	Checked						
	Standard						
			ΤΕΜΑΧΙΟ 1	ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΜΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ			1
							A2
State	Changes	Date	Name				



						ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
				Drawn	26/2/2019	user	
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΟ 1		ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΜΗΜΑ ΚΟΥΖΙΝΕΤΟΥ	
						1	A2
State	Changes	Date	Name				



				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
				Drawn	26/2/2019	user	
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΟ 1		ΚΟΥΖΙΝΕΤΟ UCSF	1
							A2
State	Changes	Date	Name				

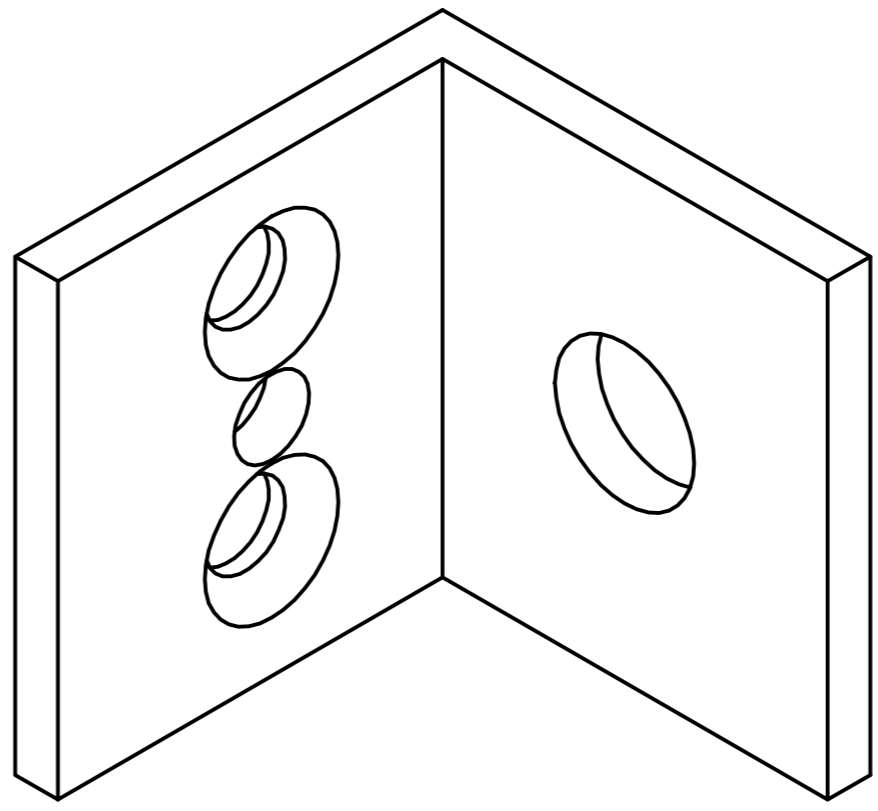
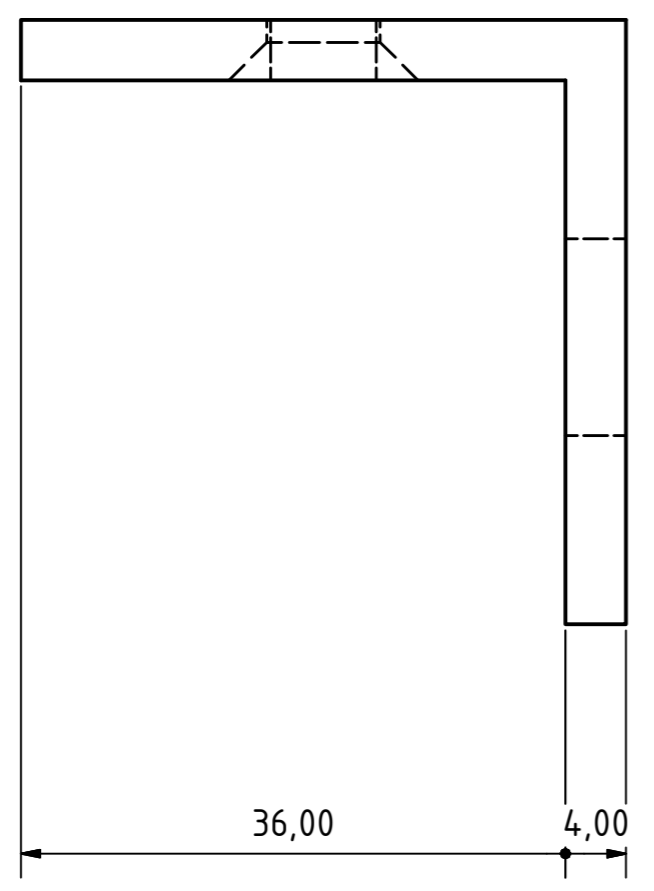
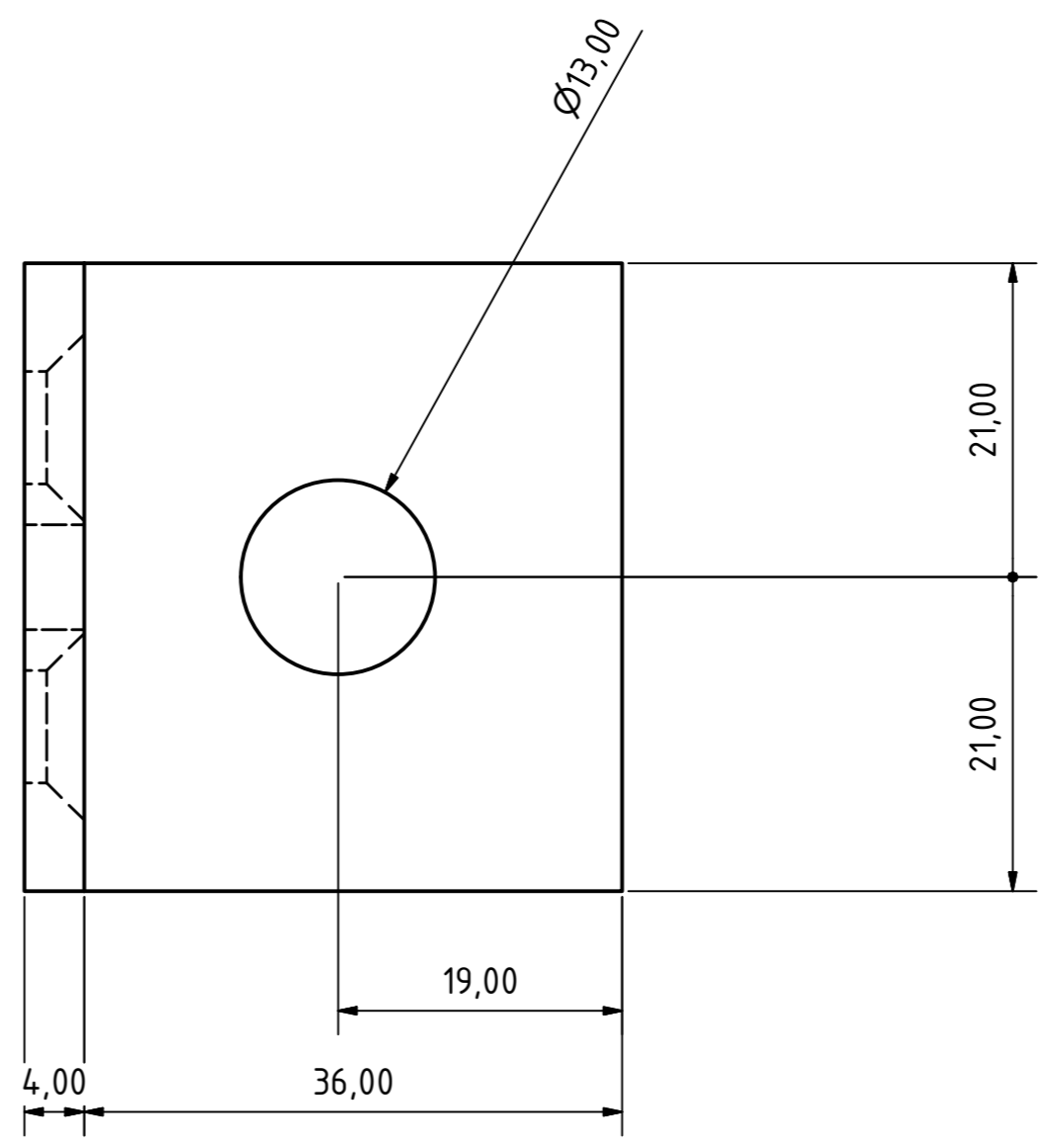
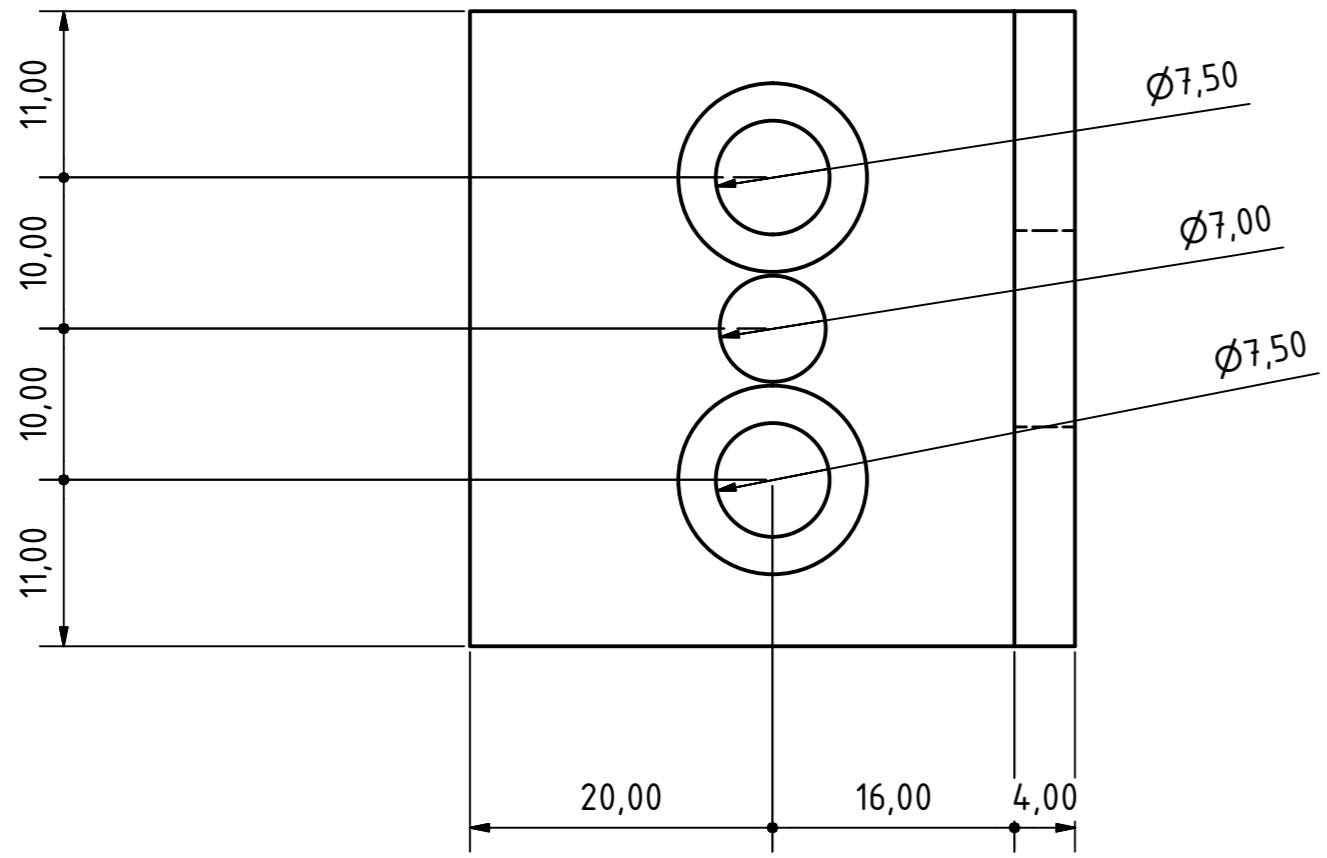


2000,00

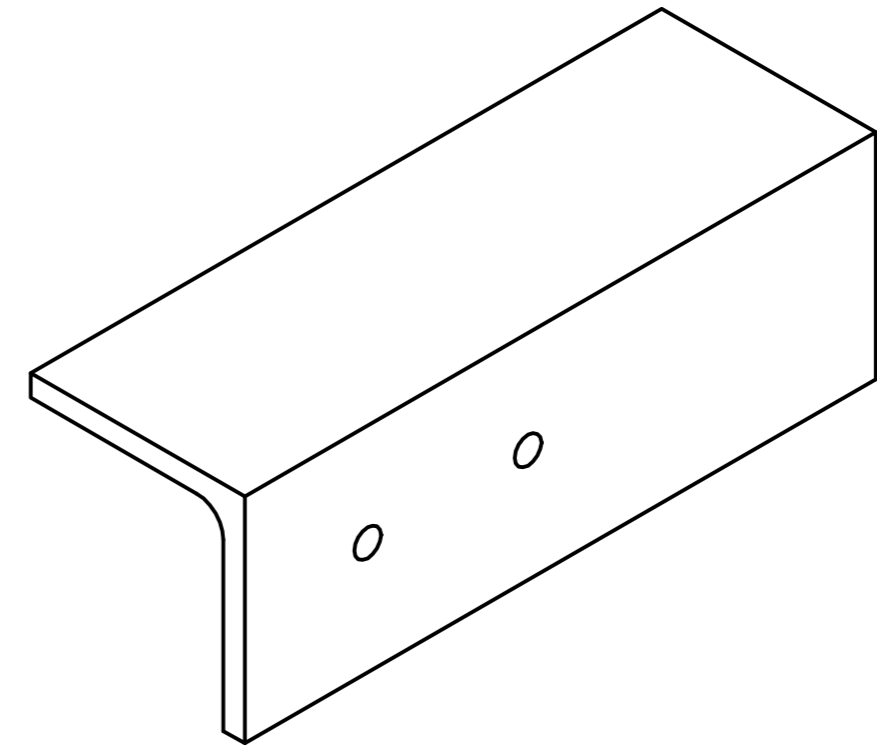
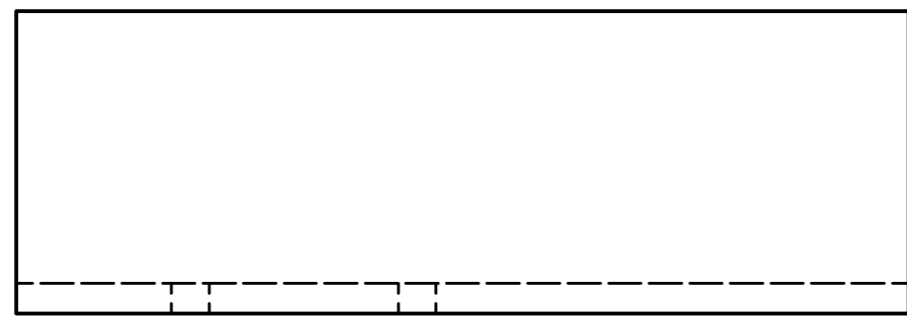
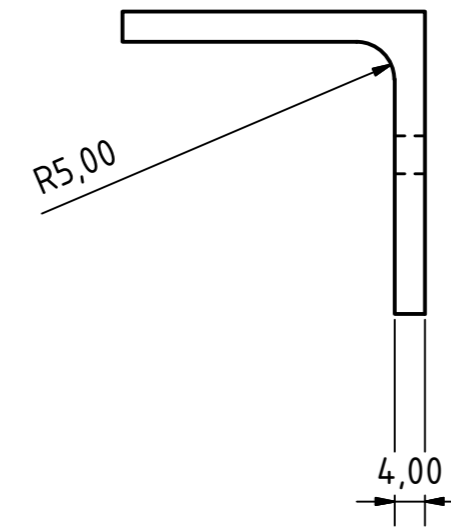
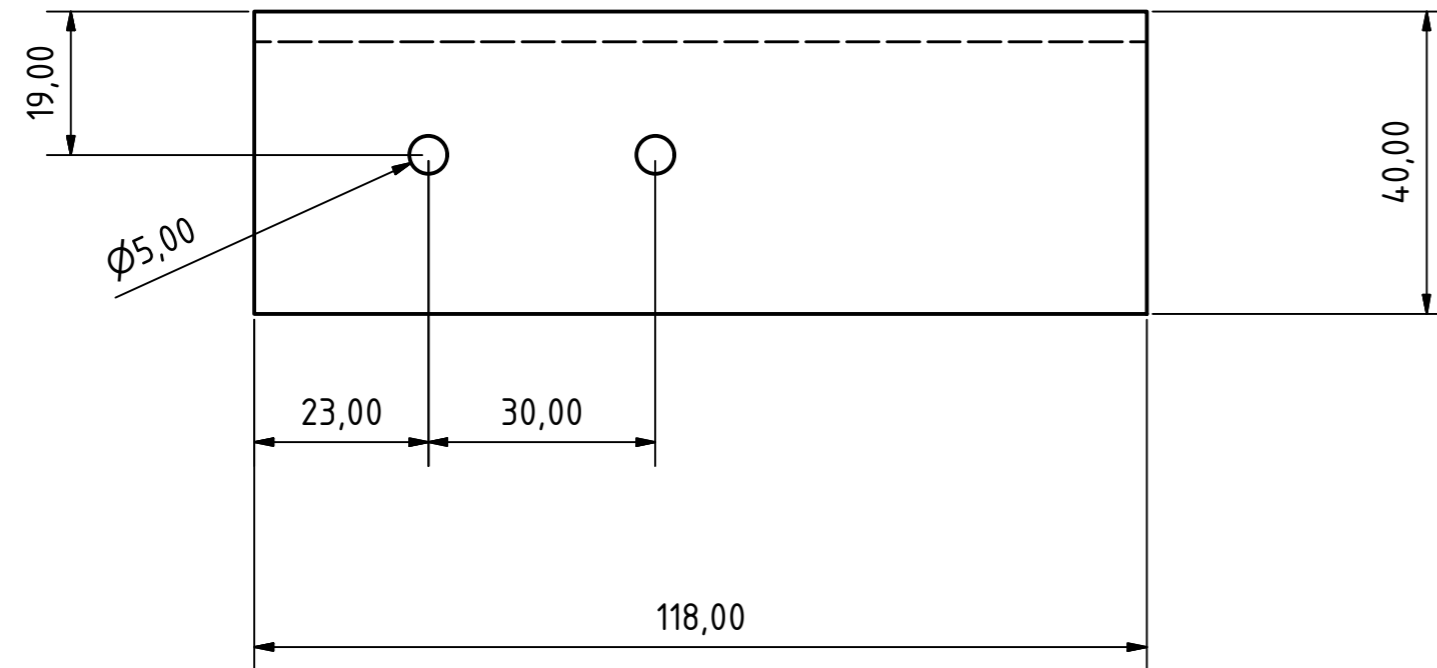
A (2 : 1)

Ø20,00

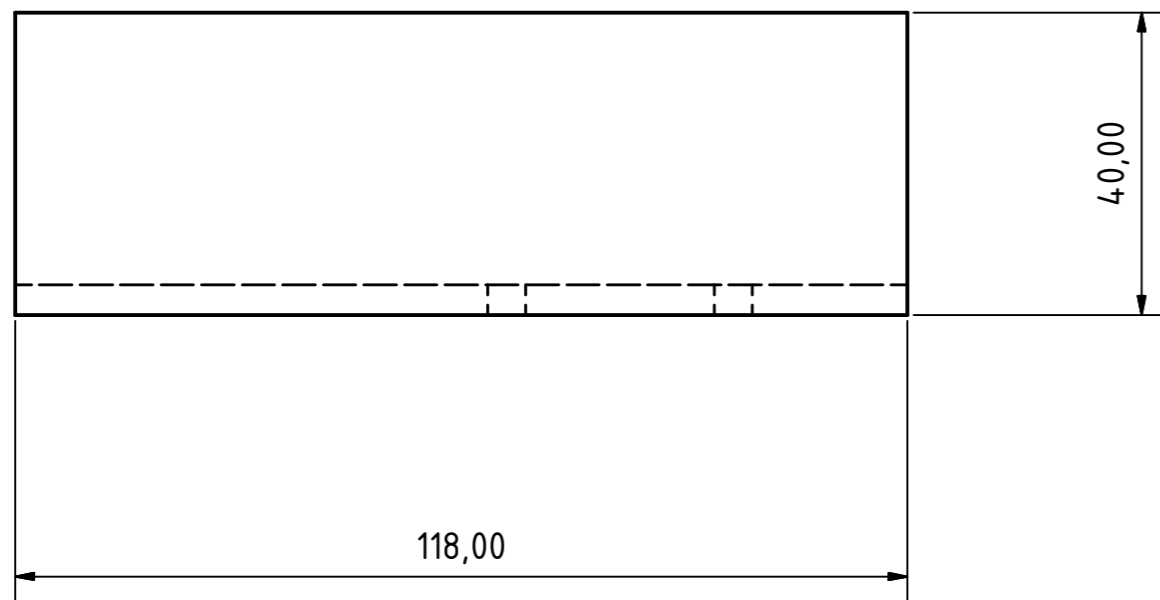
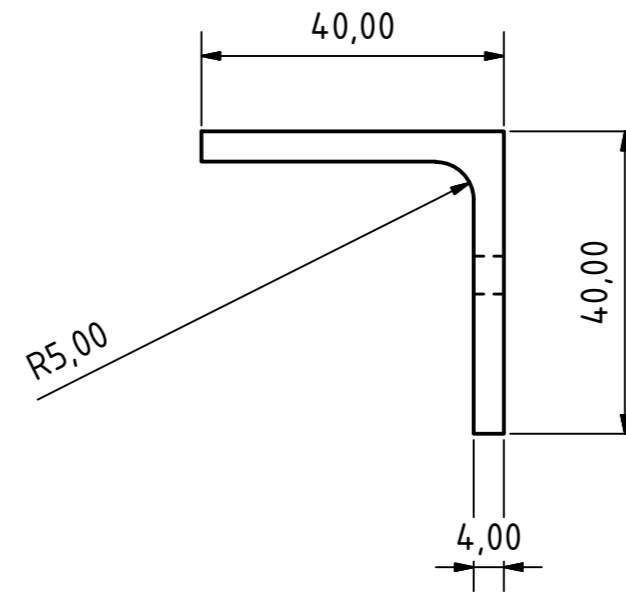
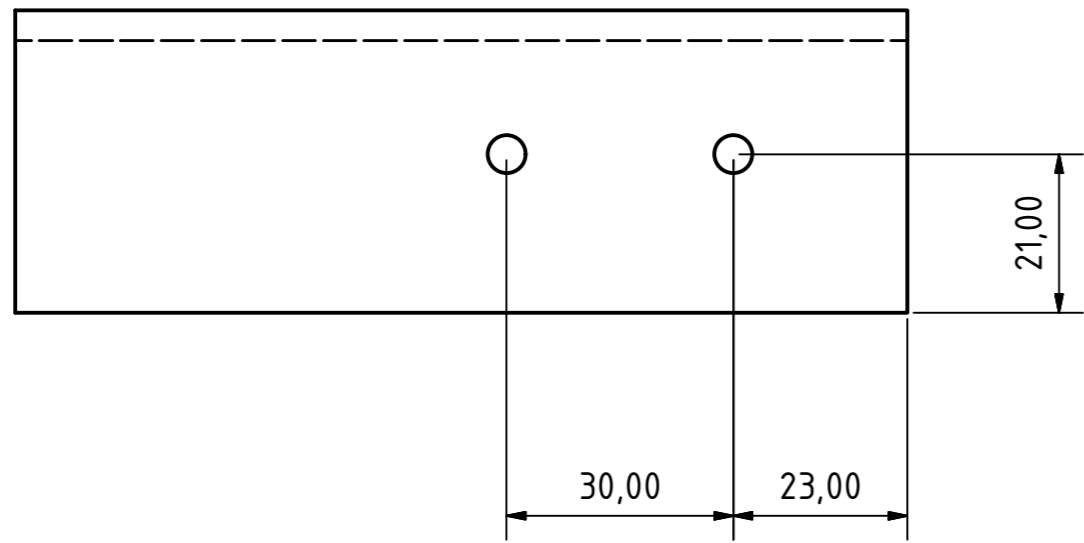
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
	Drawn	26/2/2019	user				
	Checked						
	Standard						
				ΤΕΜΑΧΙΑ 1		ΑΞΟΝΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	
						1	
						A2	
State	Changes	Date	Name				



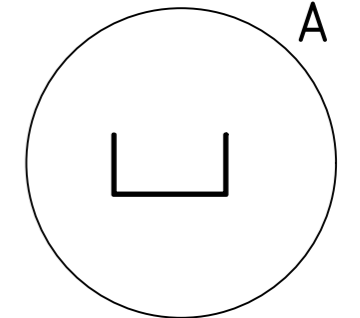
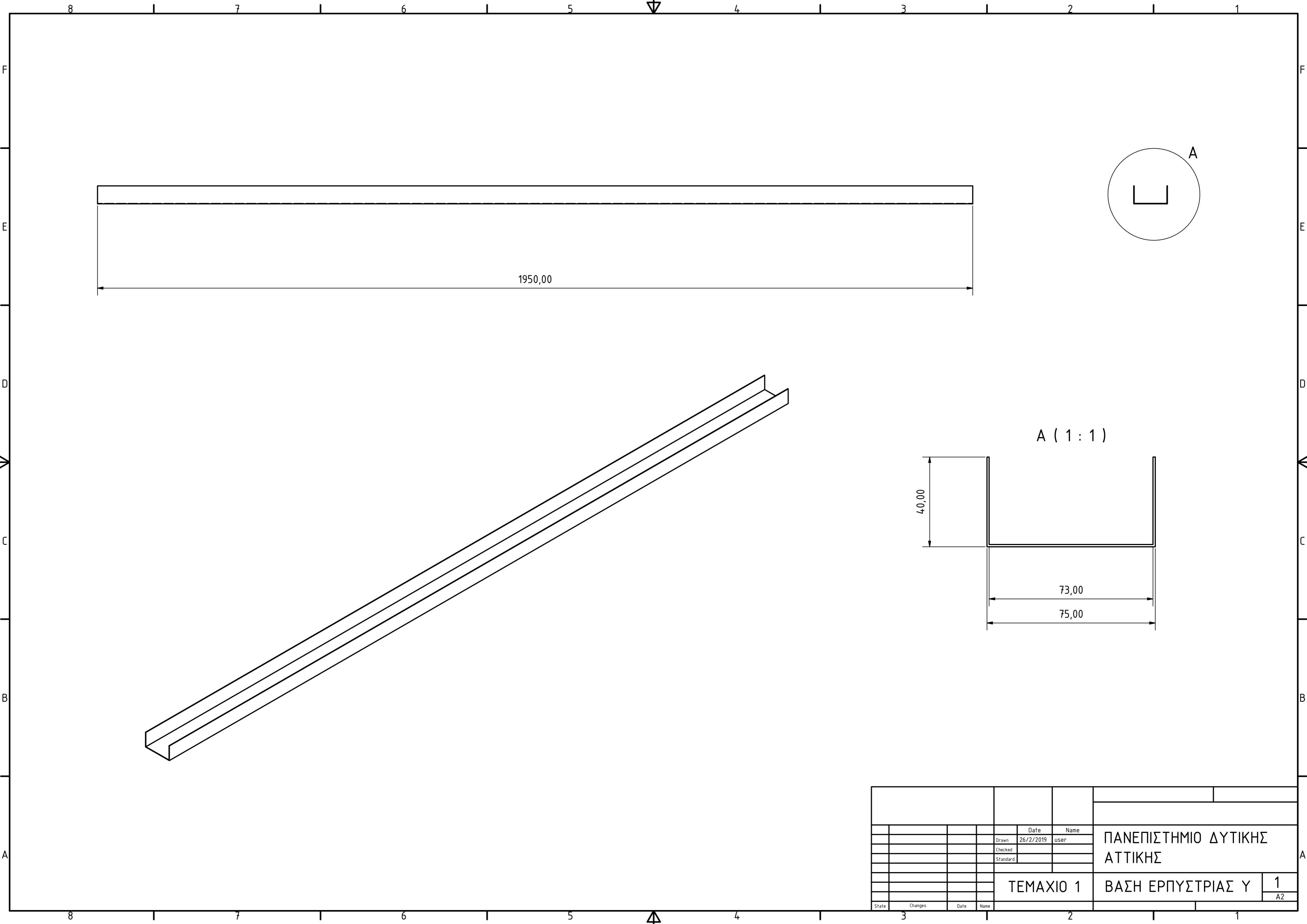
		Date	Name		
	Drawn	26/2/2019	user	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
	Checked				
	Standard				
State	Changes	Date	Name	ΤΕΜΑΧΙΑ 2	ΒΑΣΕΙΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΑΞΟΝΑ Χ
				1	A2



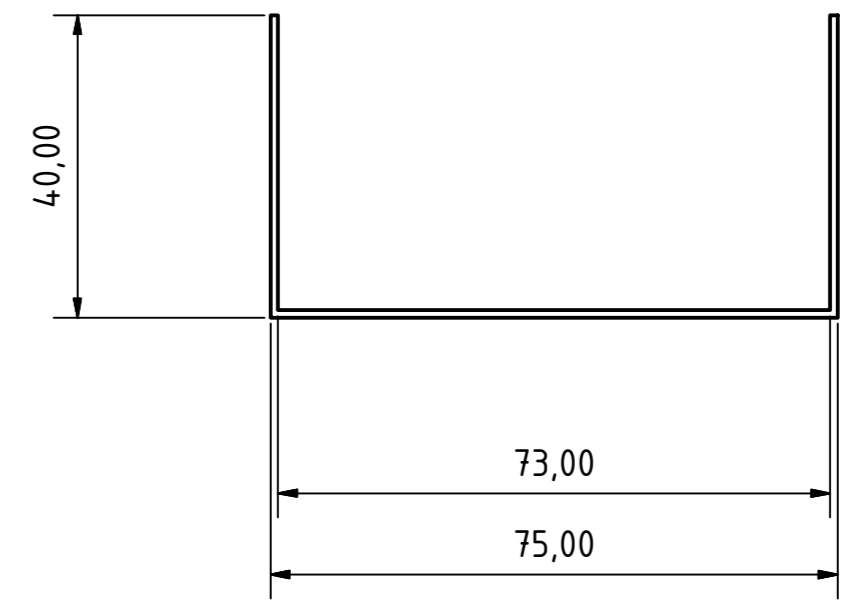
						ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
						ΓΩΝΙΑ ΕΡΠΥΣΤΡΙΑ 1	
						1	1
						A2	
State	Changes	Date	Name				



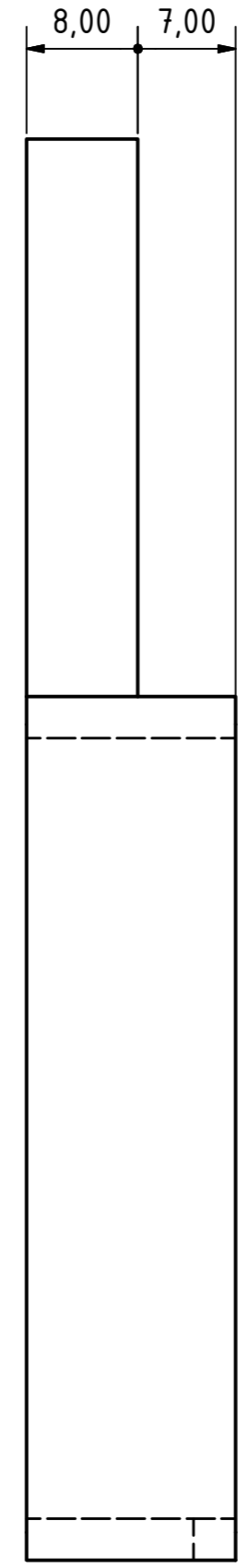
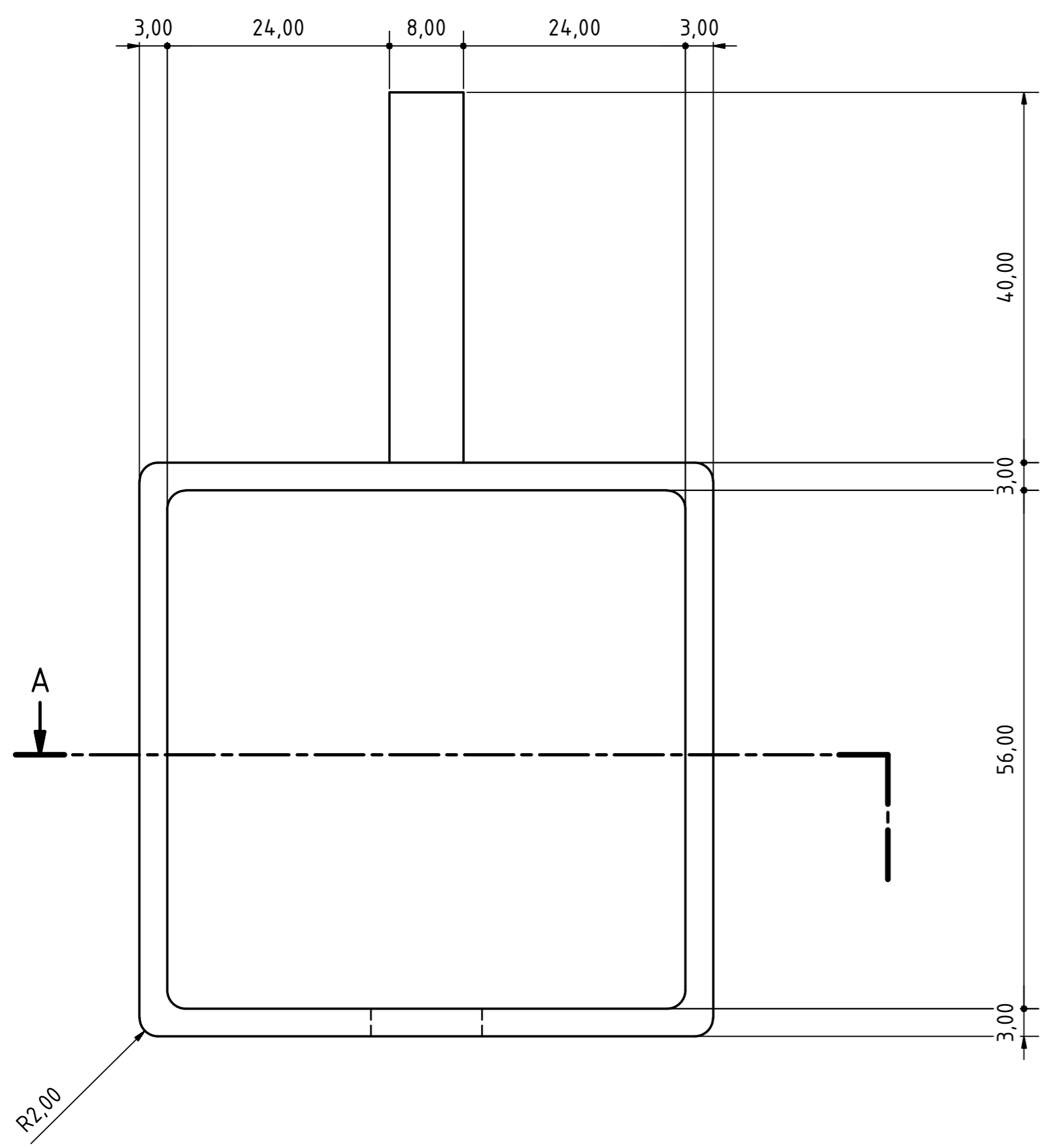
						ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
				Drawn	26/2/2019	user	
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΟ 1		ΓΩΝΙΑ ΕΡΠΥΣΤΡΙΑΣ 2	1
							A2
State	Changes	Date	Name				



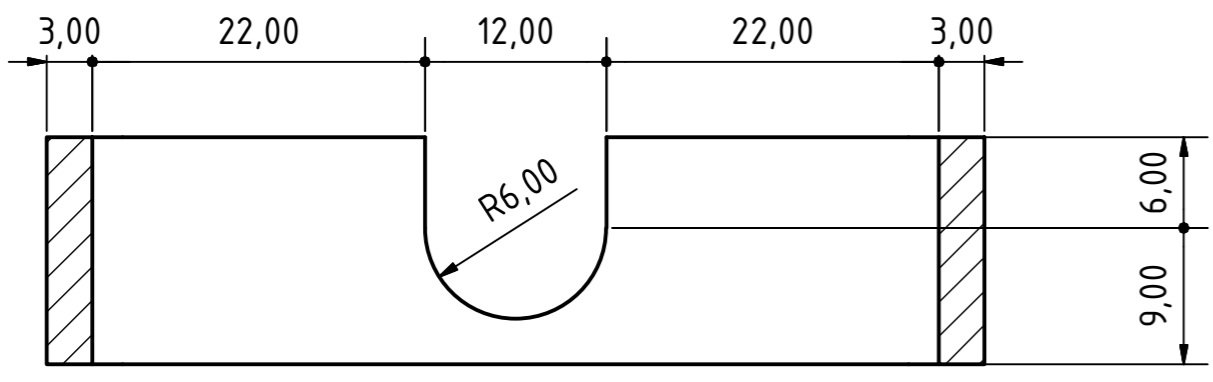
A (1 : 1)



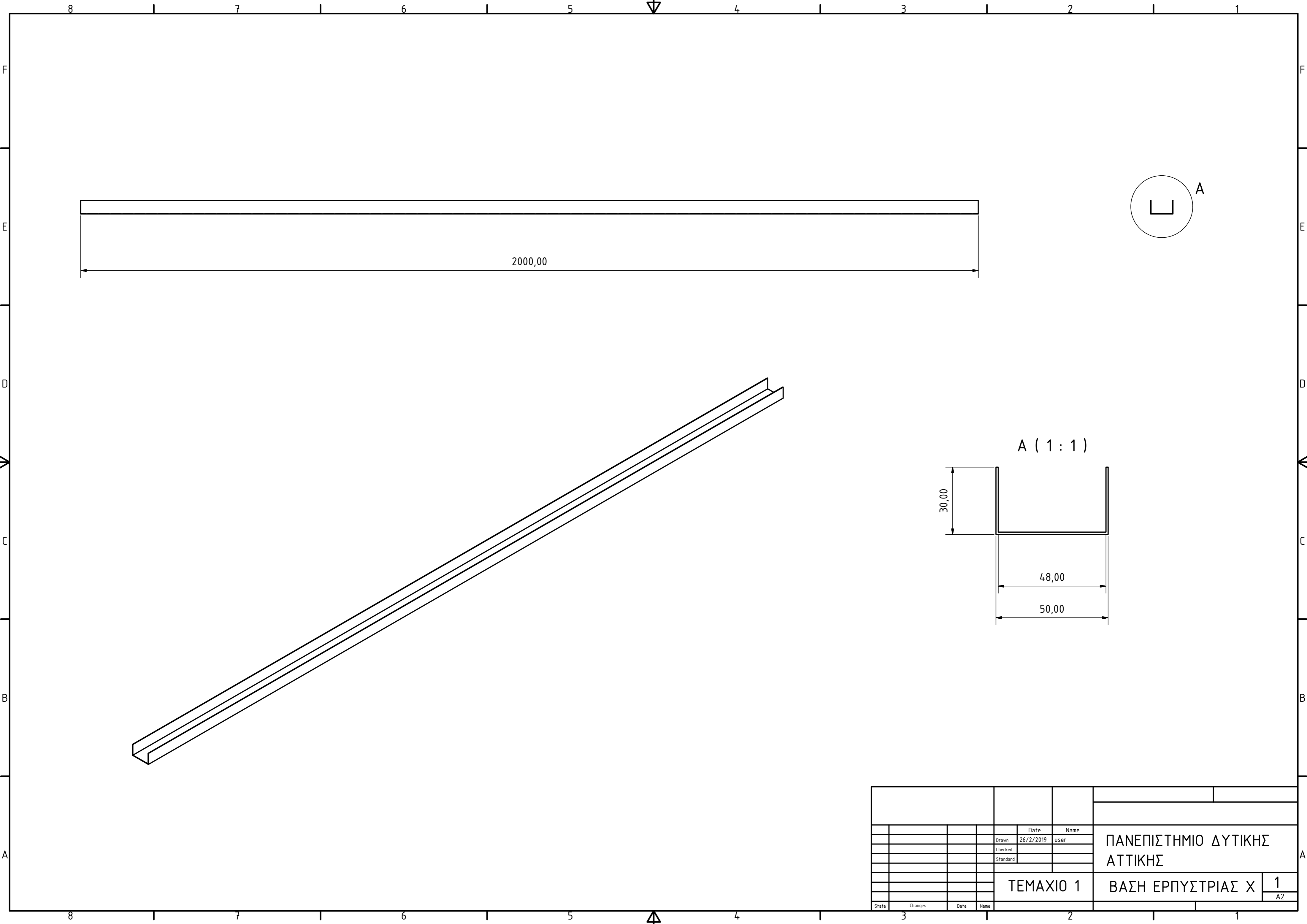
						ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
						ΒΑΣΗ ΕΡΠΥΣΤΡΙΑΣ Υ	
						1	A2
State	Changes	Date	Name				



A-A (2 : 1)

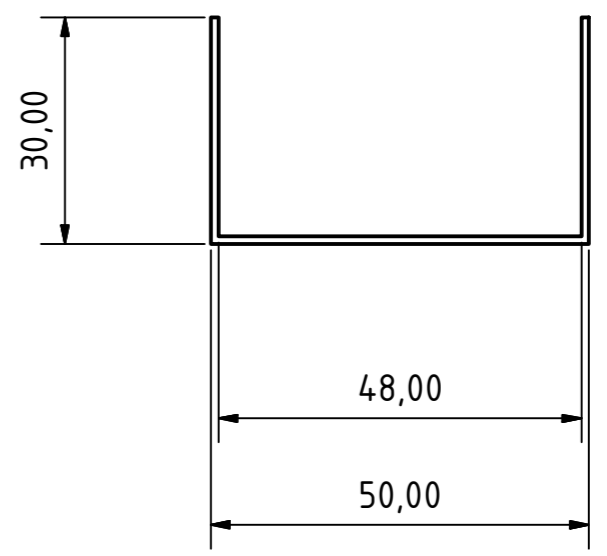


				Drawn	26/2/2019	user	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
				Checked			
				Standard			
				ΤΕΜΑΧΙΑ 1		ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΕΡΠΥΣΤΡΙΑ ΑΞΟΝΑ Χ	1
							A2
State	Changes	Date	Name				

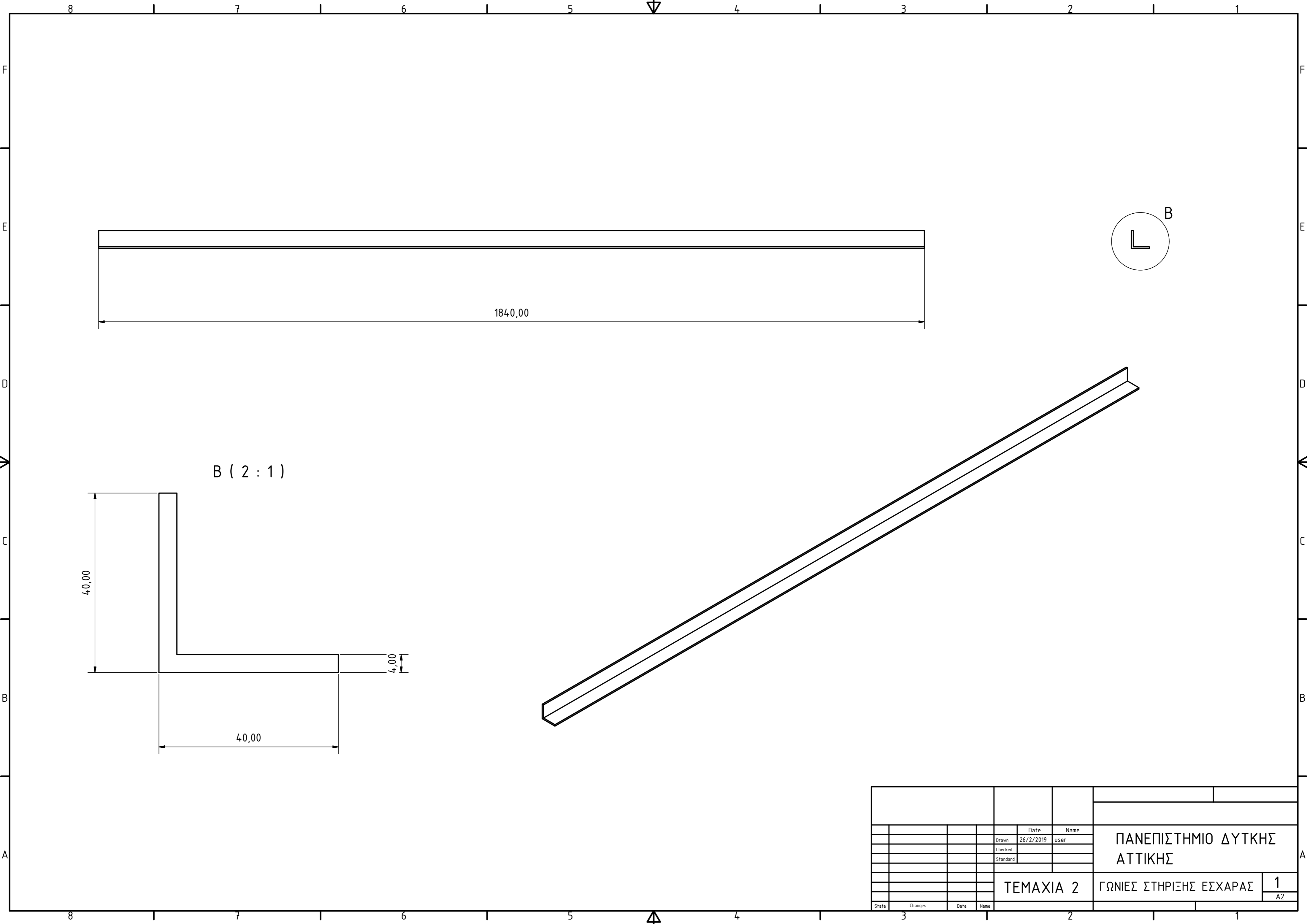


2000,00

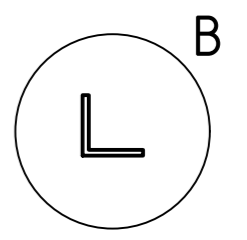
A (1 : 1)



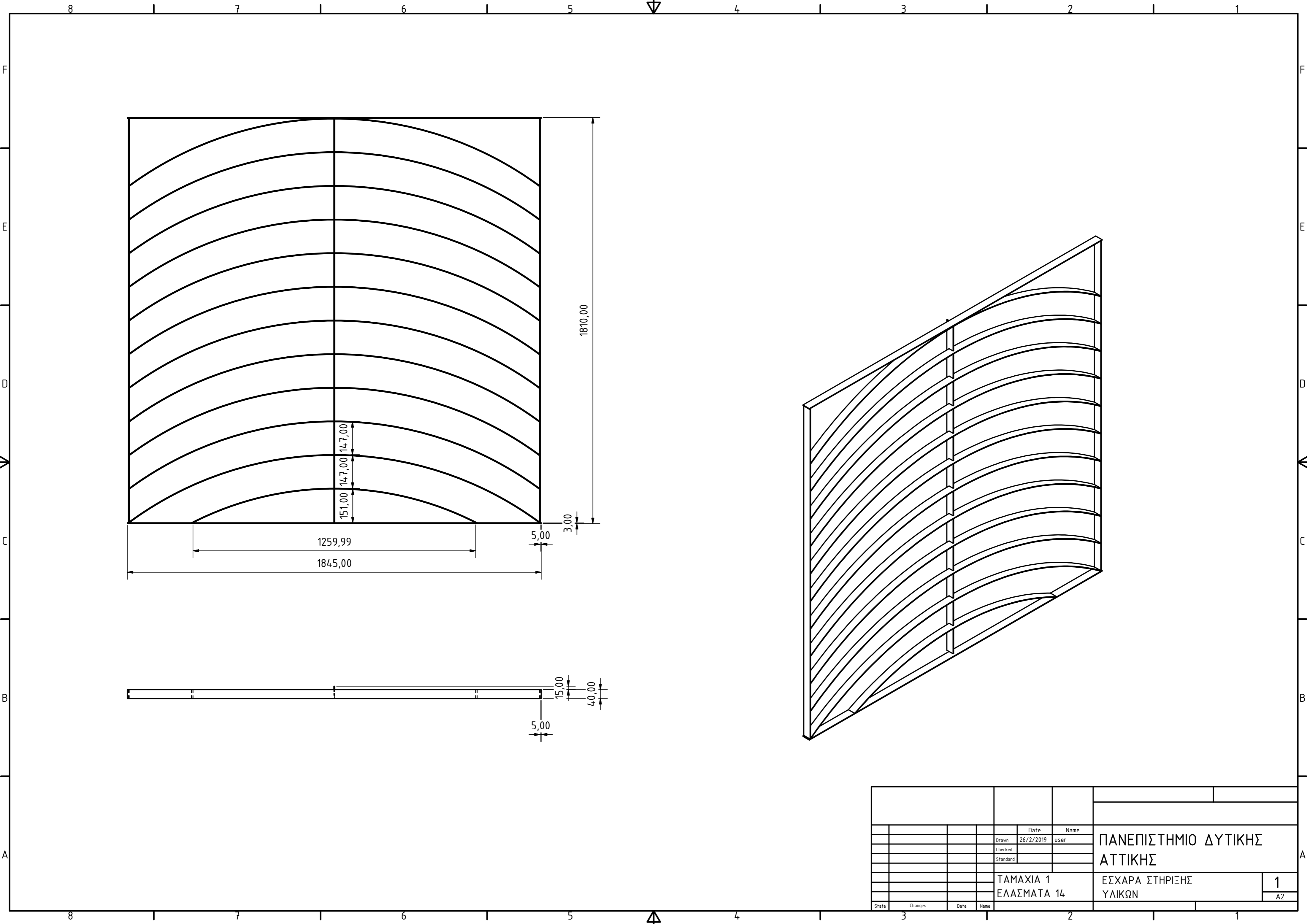
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΒΑΣΗ ΕΡΠΥΣΤΡΙΑΣ Χ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
						ΤΕΜΑΧΙΟ 1	1	
							A2	
State	Changes	Date	Name					



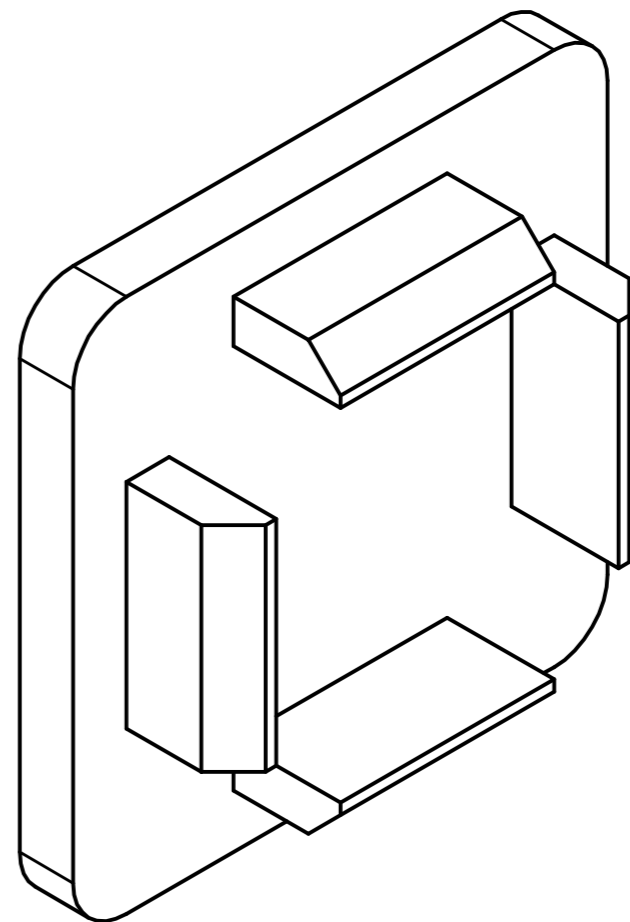
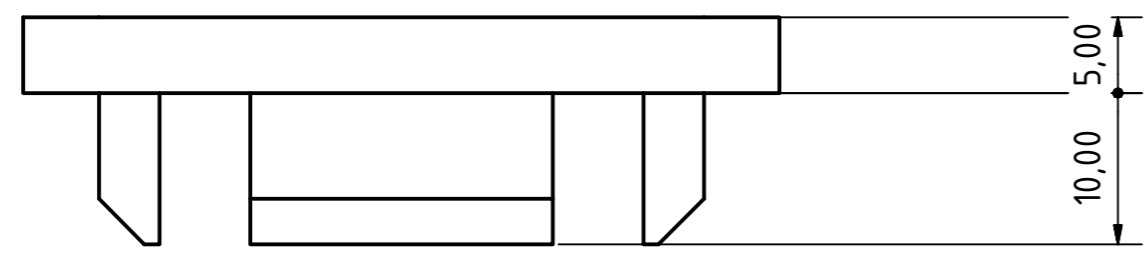
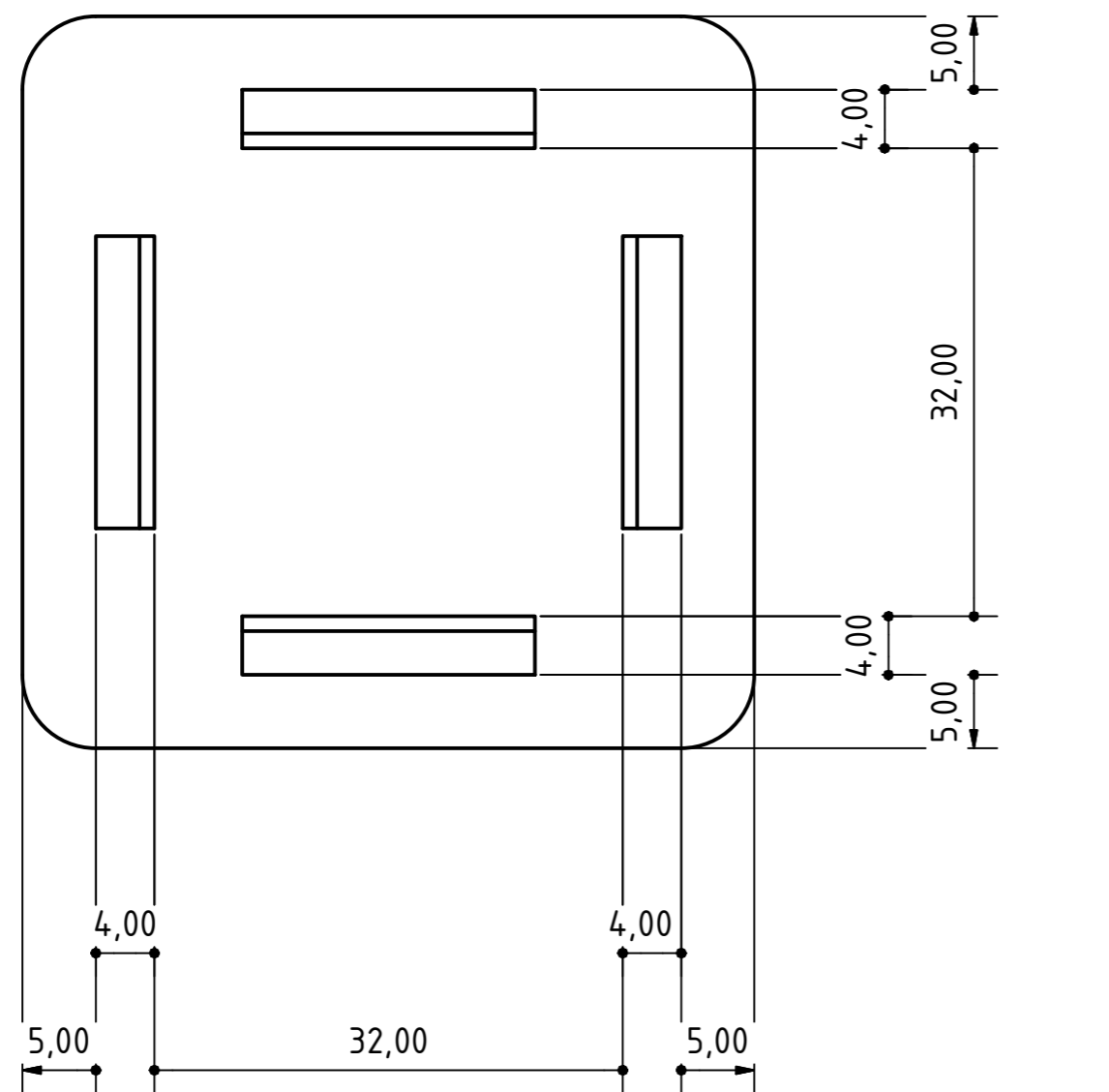
B (2 : 1)



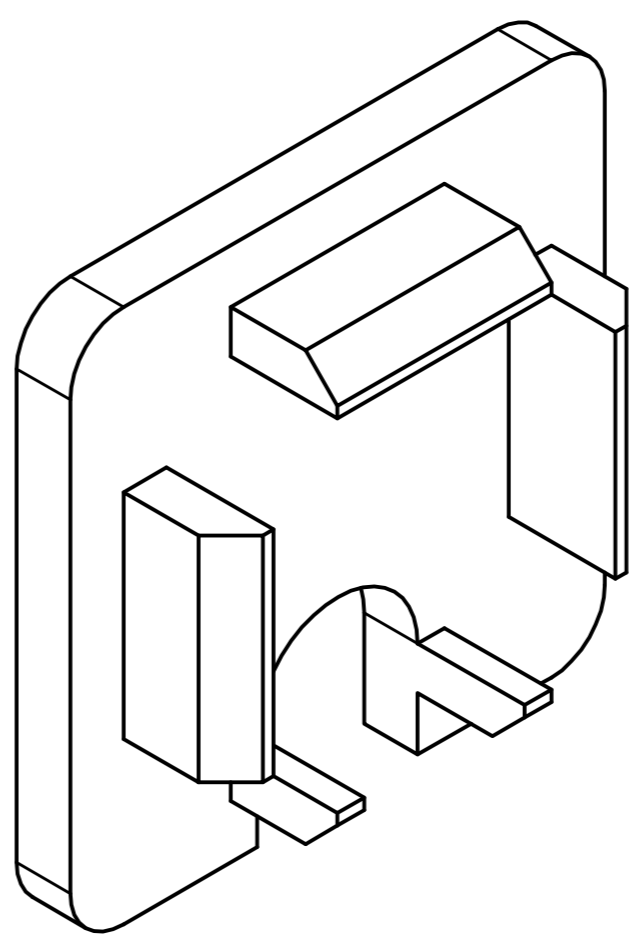
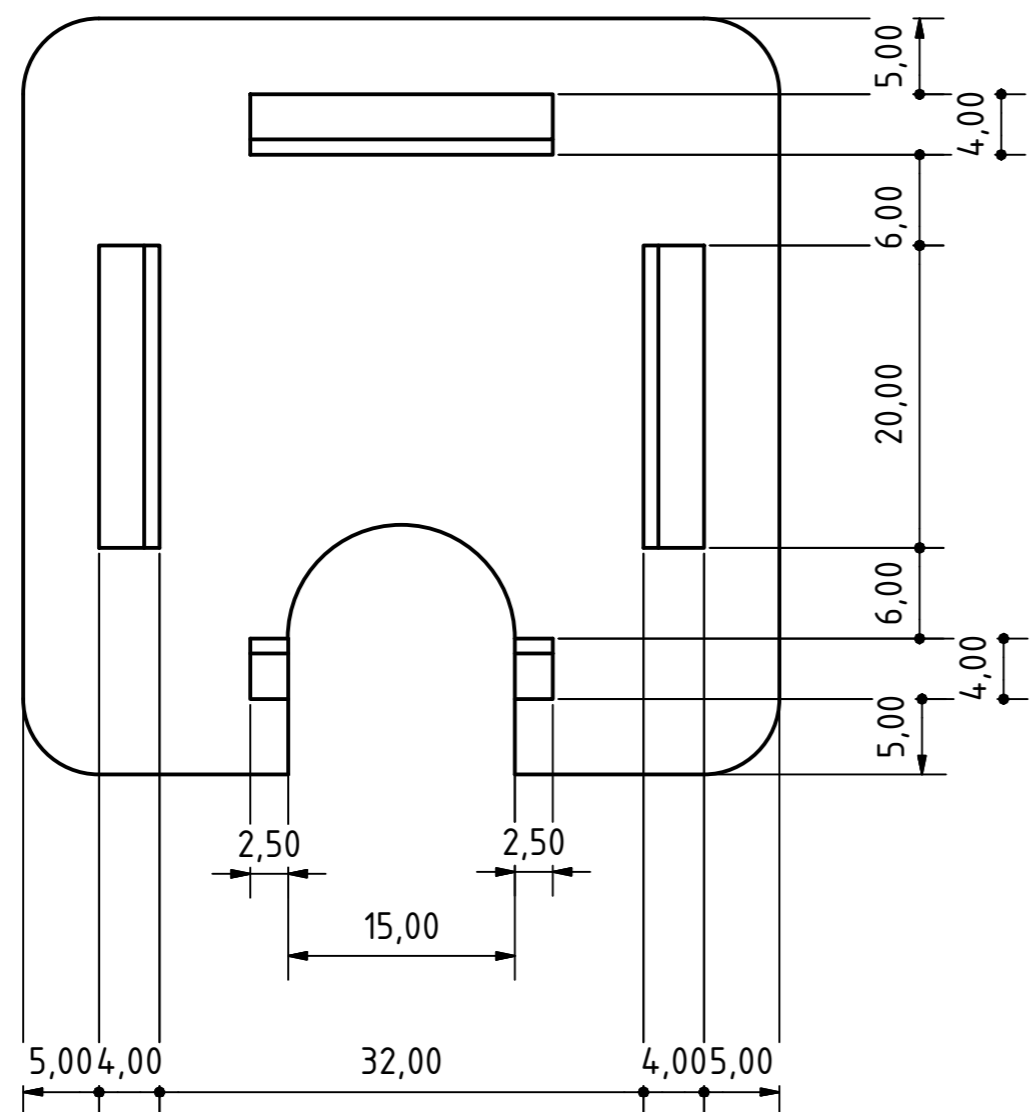
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
				ΤΕΜΑΧΙΑ 2		ΓΩΝΙΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΣΧΑΡΑΣ		
						1	A2	
State	Changes	Date	Name					



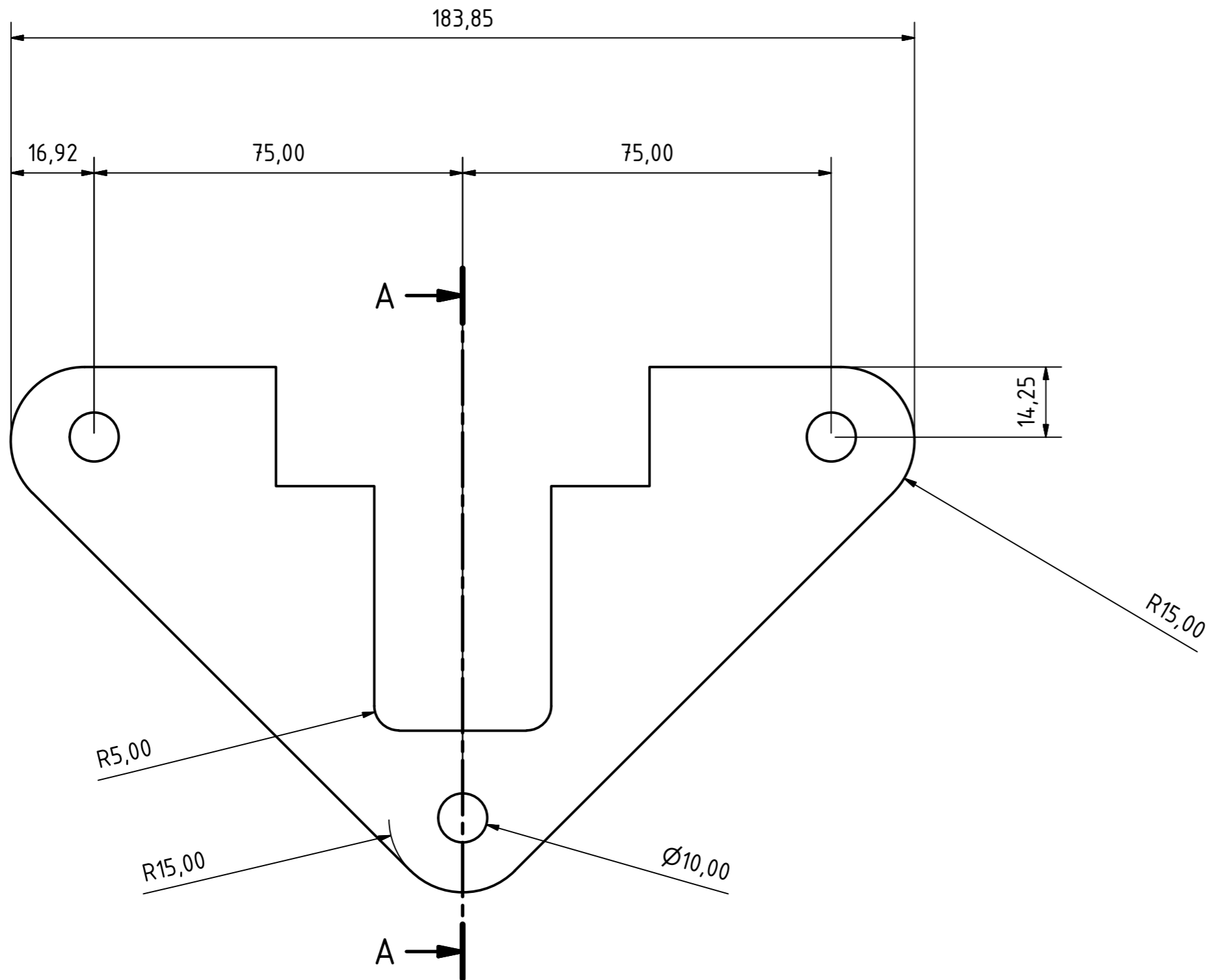
		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ				
		Drawn	26/2/2019					user
		Checked						
		Standard			ΤΑΜΑΧΙΑ 1		ΕΣΧΑΡΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	
					ΕΛΑΣΜΑΤΑ 14		1	
State	Changes	Date	Name			A2		



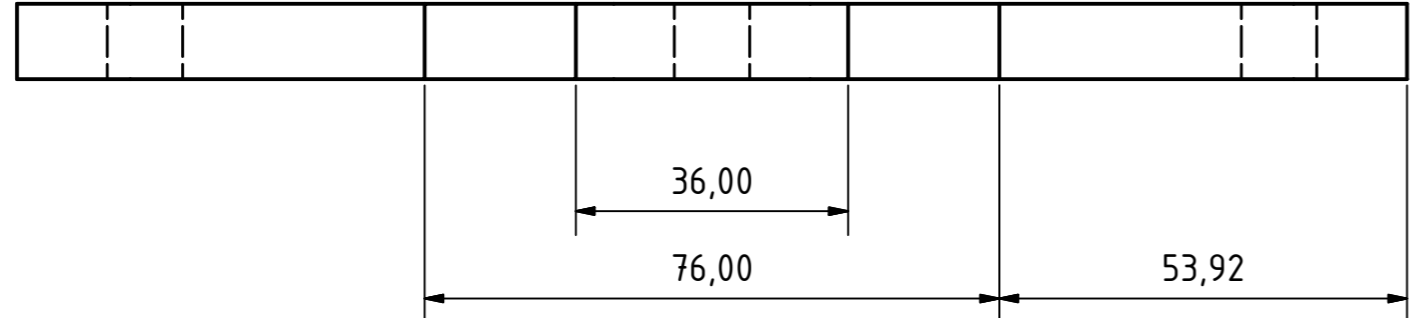
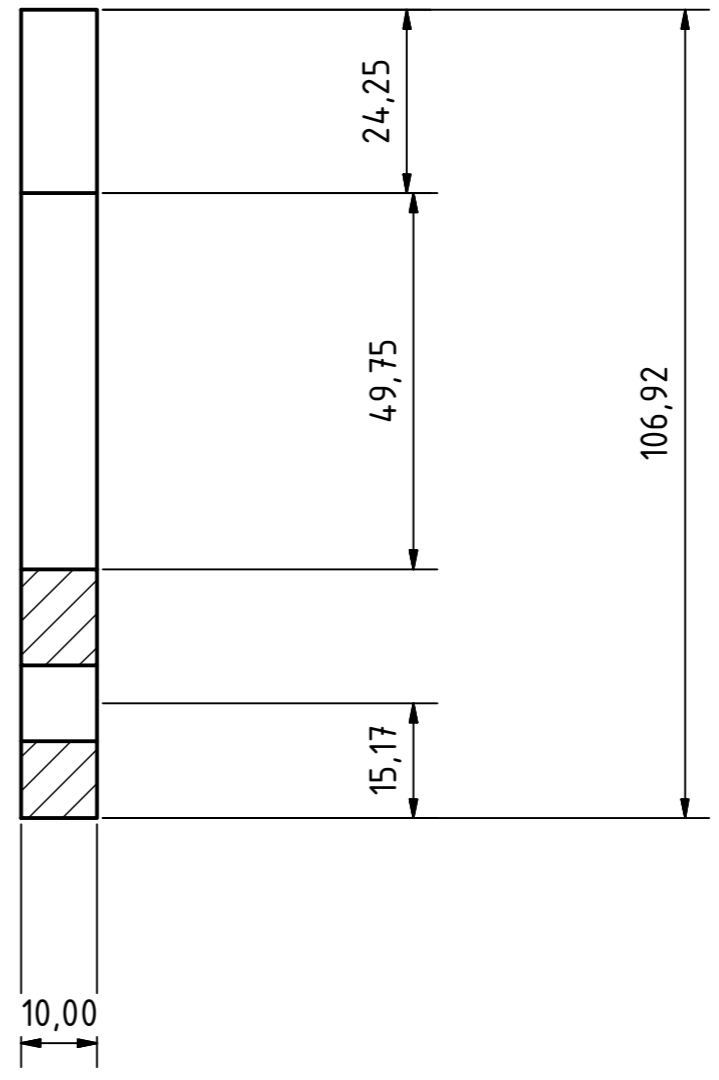
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
						ΤΕΜΑΧΙΟ 1	ΚΑΛΥΜΑ ΓΕΦΥΡΑΣ 1	
							1	
							A2	
State	Changes	Date	Name					



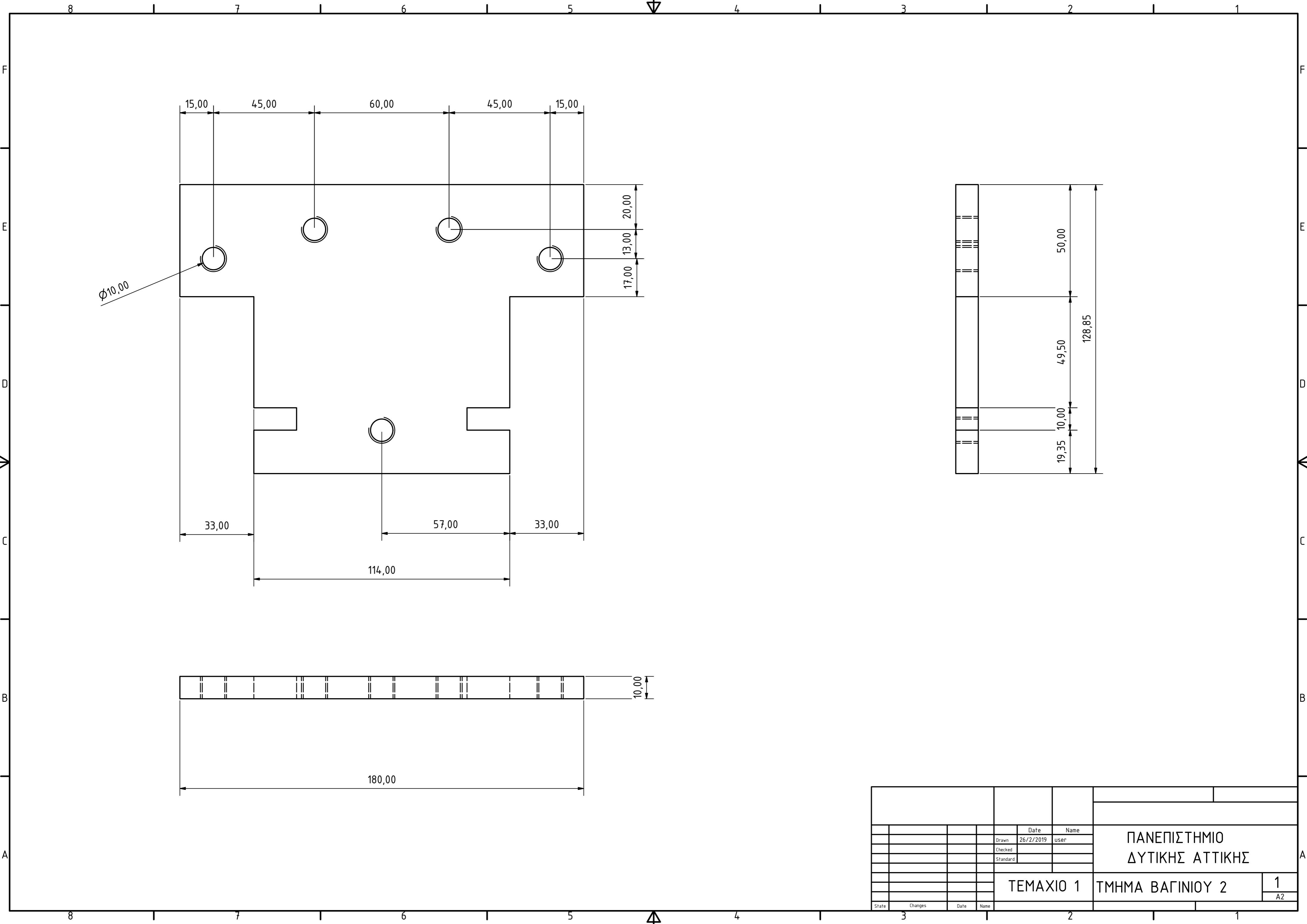
				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
						ΤΕΜΑΧΙΟ 1	ΚΑΛΥΜΑ ΓΕΦΥΡΑΣ 2	
							1	
							A2	
State	Changes	Date	Name					



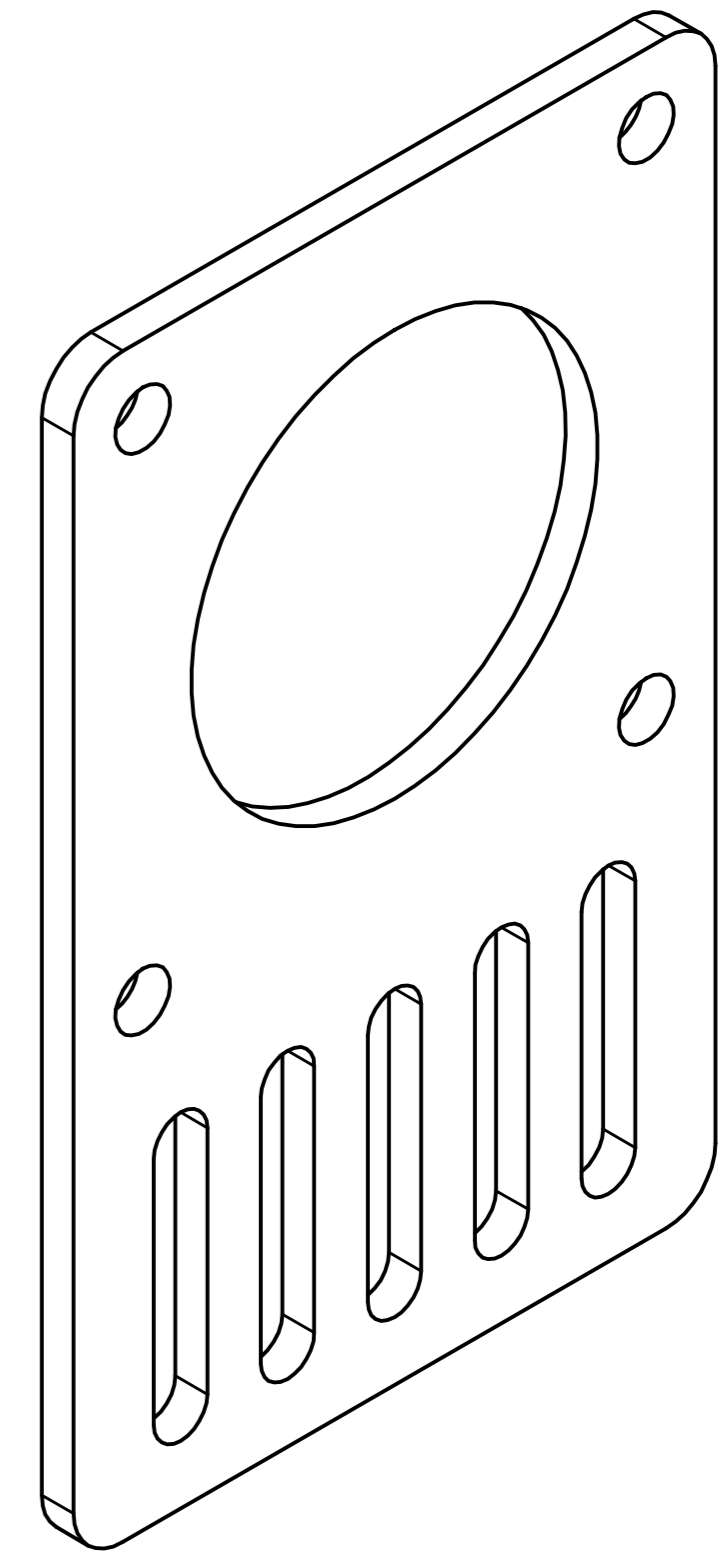
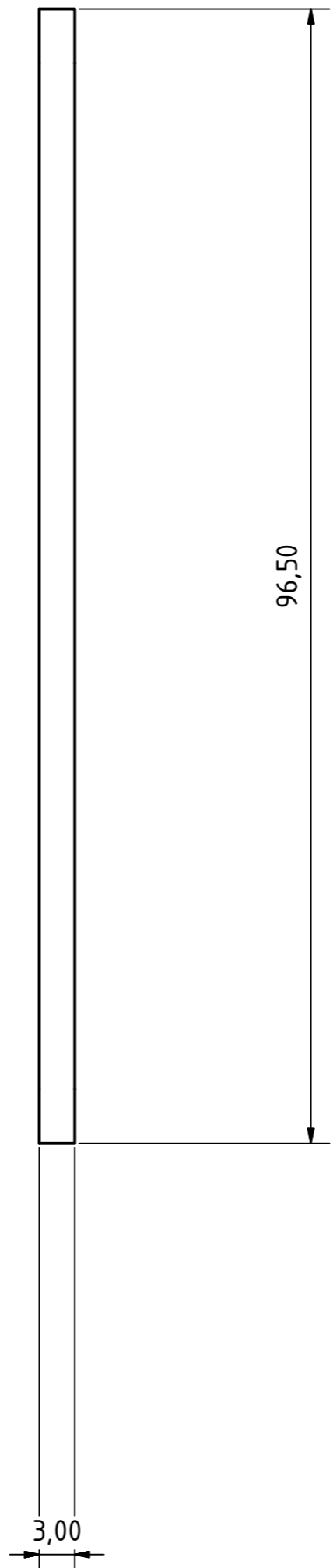
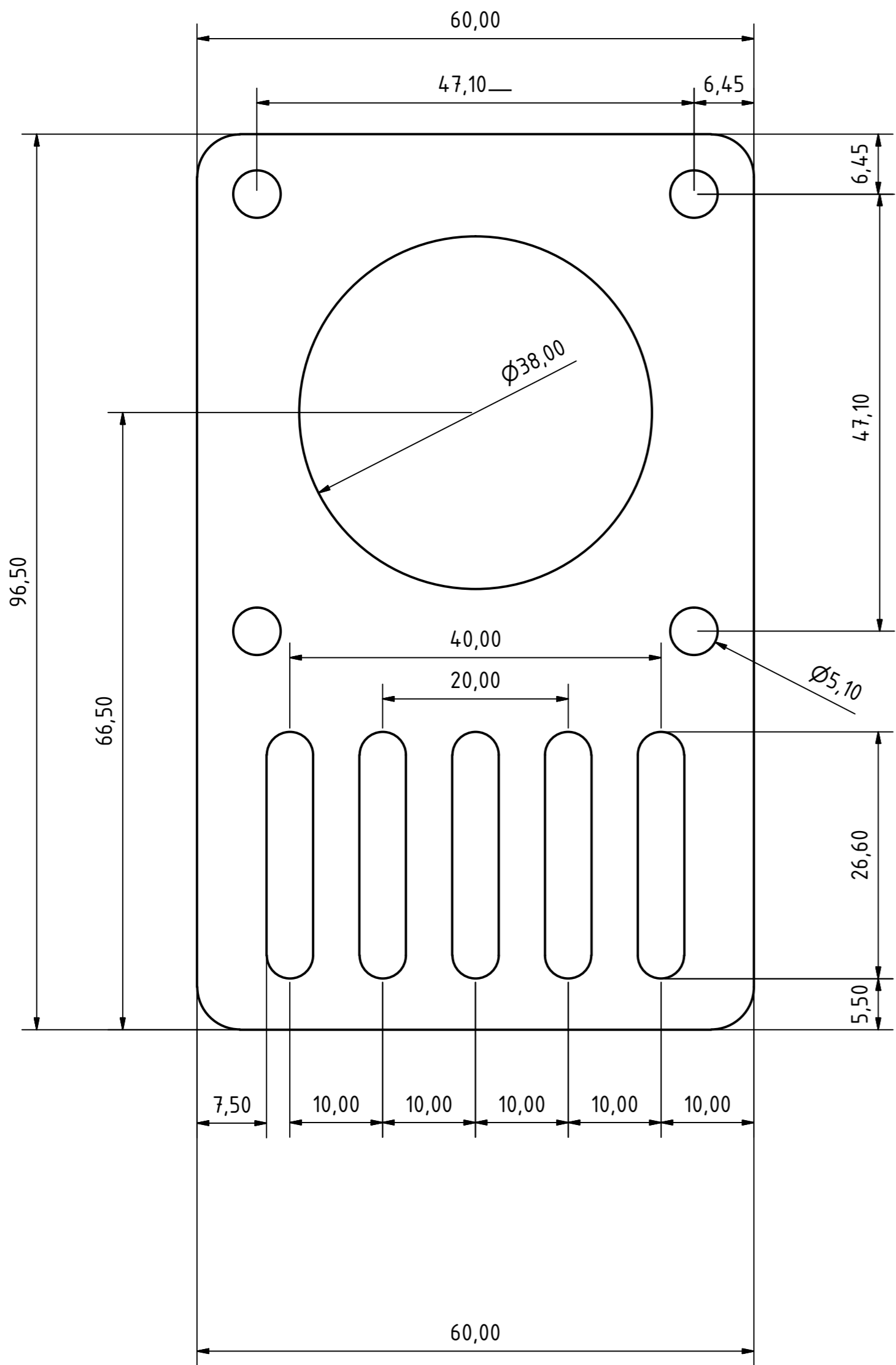
A-A (1 : 1)



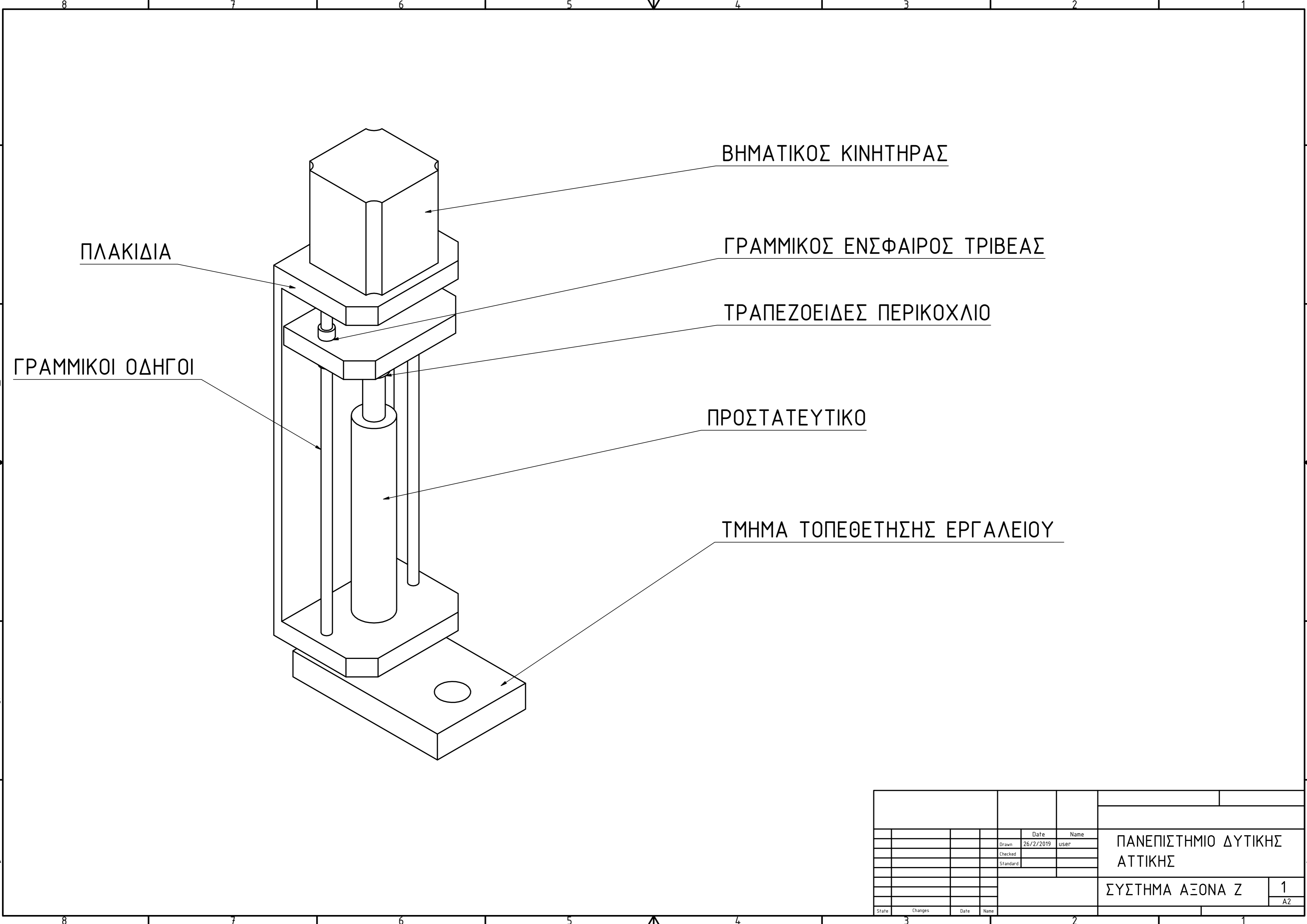
			Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ				
			Drawn	26/2/2019					user
			Checked						
			Standard						
			ΤΕΜΑΧΙΟ 1			ΤΜΗΜΑ ΒΑΓΟΝΙΟΥ 1			
						1			
						A2			
State	Changes	Date	Name						



				Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ		
				Drawn	26/2/2019			user
				Checked				
				Standard				
				ΤΕΜΑΧΙΟ 1		ΤΜΗΜΑ ΒΑΓΙΝΙΟΥ 2		
						1		
						A2		
State	Changes	Date	Name					



		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
		Drawn	26/2/2019	user			
		Checked					
		Standard					
		ΤΕΜΑΧΙΟ 1		ΤΜΗΜΑ ΒΑΓΟΝΙΟΥ 3		1	
						A2	
State	Changes	Date	Name				



ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΕΝΣΦΑΙΡΟΣ ΤΡΙΒΕΑΣ

ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ

ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΕΘΕΤΗΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ

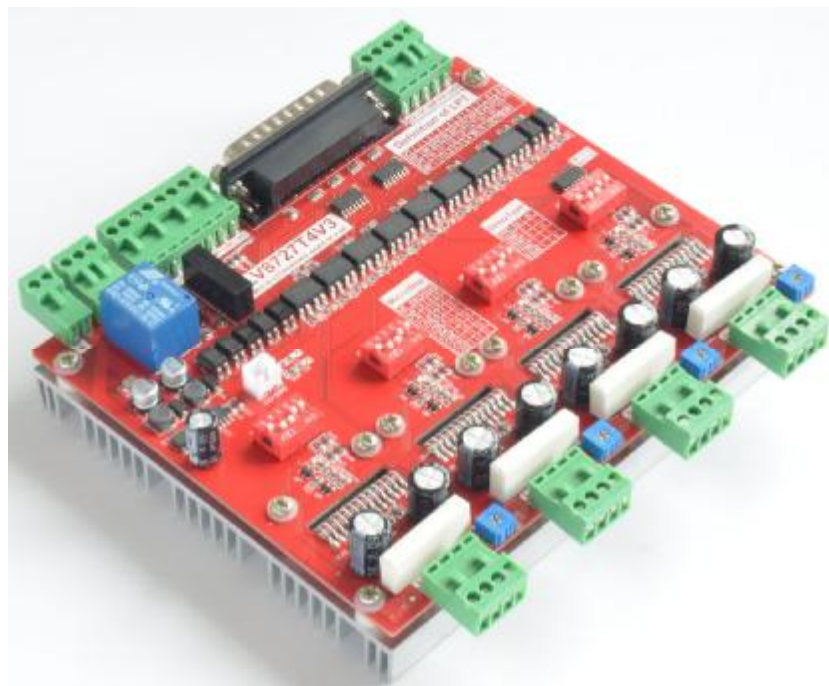
ΠΛΑΚΙΔΙΑ

ΓΡΑΜΜΙΚΟΙ ΟΔΗΓΟΙ

		Date	Name	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ			
		Drawn	26/2/2019	user			
		Checked					
		Standard					
					ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΞΟΝΑ Z		1
							A2
State	Changes	Date	Name				

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

请在这里输入您的公司名称



LV8727T4V3

Product manual
(English version)





LV8727T4V3	1
Chapter 1 introduction	2
1.1 product Introduction.....	2
1.2 feature and appearance of product	3
1.3 requirement of computer system.....	4
1.4 attention and warning.....	5
Chapter2 instruction	6
2.1 Definition figure.....	6
2.2 parallel port definition.....	8
2.5 all step motor connection	10
2.6 Selection of step motor and power supply	12
Chapter3 software installation	13
3.1 MACH3 installation.....	13
3.2 Mach3 register	14
Chapter 4 software use.....	15
4.1Run software	15
4.3 run G code.....	19
Chapter5 questions and answers.....	21
5.1 Contact us.....	21

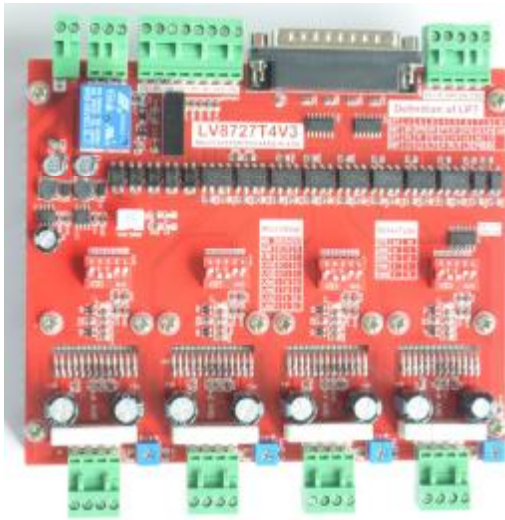
Chapter 1 introduction

▶ 1.1 product Introduction

LV8727T4V3 is designed by our company and it adopt driver chip manufactured by Japan Sanyo. Embedded control system has a function that you can put your program into driver board to accomplish your control function and make up small control system. LV8727T4V3 is suitable to drive the small and medium phase (the two or four phase) hybrid step motor. Current of LV8727T4V3 have eight choices, such 0.6A 1.2A 1.8A 2.4A 3A 3.6A 4.2A 4.8A. LV8727T4V3 support a series of MACH2 and MACH3 and KCAM4 software. It applies mould processing and plane sculpture widely.

The new style bipolar constant current chopping technology enables the LV8727T4V3 output higher speed and power when you use the same motor. Its sub-division feature improves the motor operating accuracy, decreases the shaking and reduces the noise.

▶ 1.2 feature and appearance of product



1. Can drive four 4A stepper motor at the same time and have the fifth axis extension interface.
2. High-speed opt coupler (DCDC) enables complete isolation, which protect your computer indeed.
3. Main axle relay output enables to use mach3 software to control start and stop of main axle easily
4. Half-current control function enables current reduce to the minimum when motor stop.
5. Have fan interface and can add some fans.
6. Have 8 current choices (0.6-4.8A) of output two phase bipolar stepper motor drive.
7. Normal parallel port, support a series of MACH2 and KCAM4 software
8. Have four limiting inserted connectors, you can connect them conveniently.
9. Have four types work mod, mixed mode and fast mode and slow mode and general mode.
10. have 8 subdivisions——2\8\16\32\64\128\10\20;
11. 12—36V one power supply ,adopt switch power supply chip, voltage 5V, stabilization and low temperature.

1.3 requirement of computer system

the basic requirement:

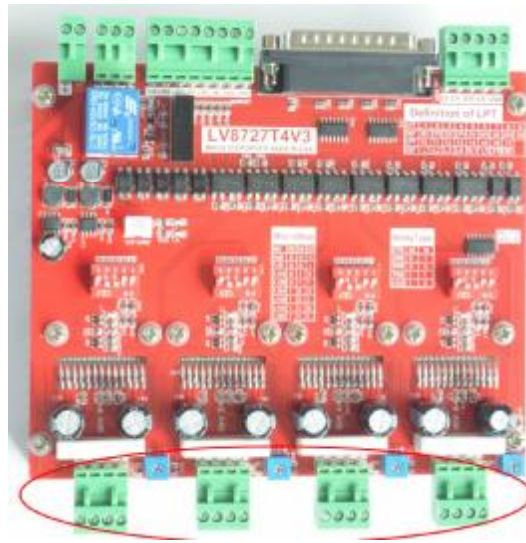
- 1) CPU: 1GHz;
- 2) RAM: 512MB
- 3) 500MB available disk space
- 4) USB 2.0 interface

Recommendation

- 1) CPU: 2GHz dual-core;
- 2) RAM: 2GB;
- 3) 1G available disk space
- 4) USB 2.0 interface

▶ 1.4 attention and warning

1. After connecting parallel port and motor , you can connect power supply.
2. As picture, if you connect or break control interface of step motor during turning on power, the red button RESET in mach3 need to be flickering. (The red button of RESET has two states, flicker and stop flicker. You can switch two states by clicking the red button of RESET.) If not, the chip damage possibly.



Prohibit the rain , LV8727T4V3 is a high- performance and precision equipment , water can lead to short circuit.



Attention and warning, all wirings must connect strictly, Please according to the product manual.



High voltage is dangerous; LV8727T4V3 keeps away from high voltage.

Chapter2 instruction

▶ 2.1 Definition figure

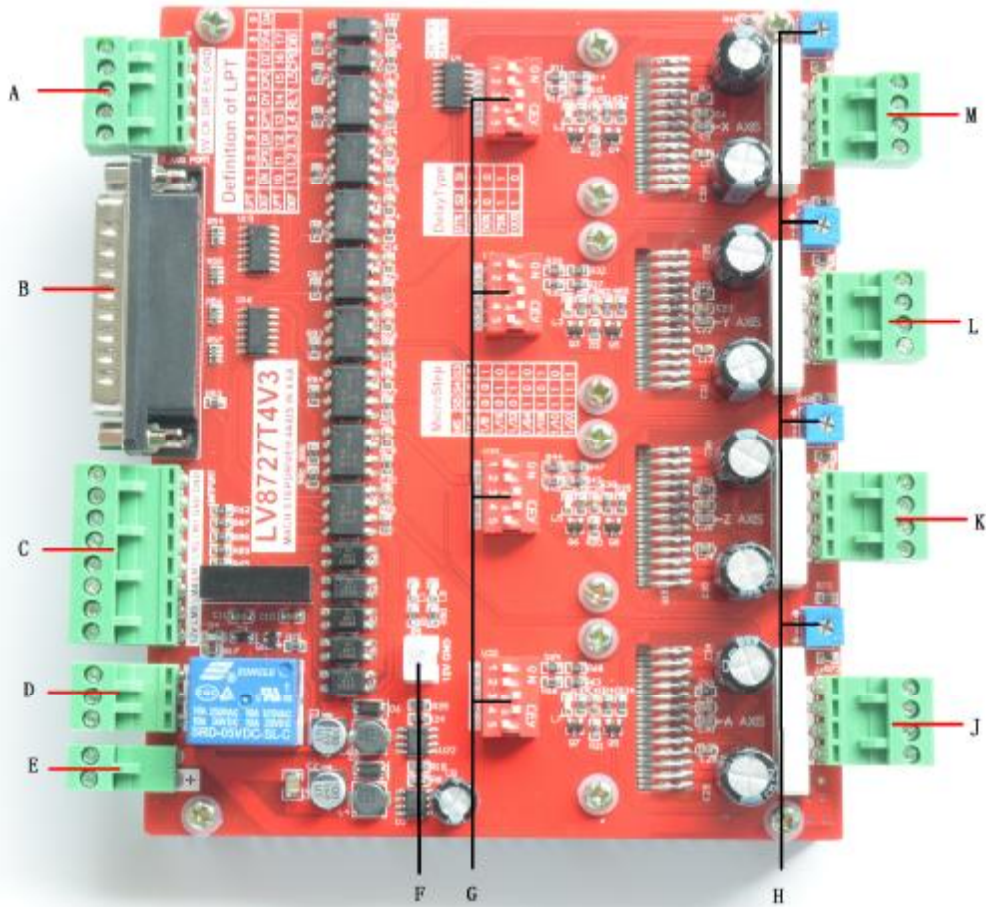
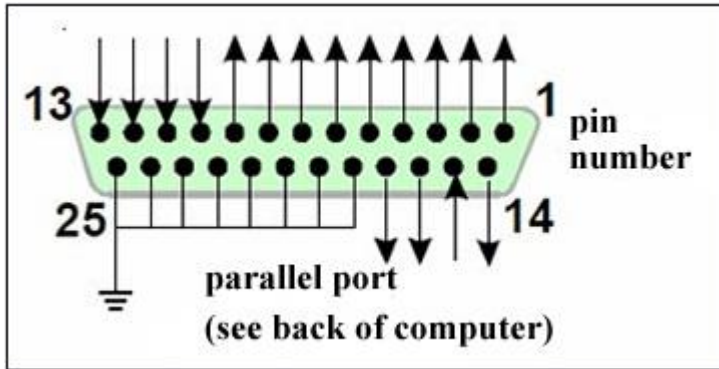


Figure3

No.	Definition	Description
A	The 5th axis signal output port	See as figure 3:it's set as 5V,CK,DIR,EN,GND from down to up. They are 5Vsignal power,pulse of B axis,direction of B axis,enable of B axis,Ground. The relation of the port and LPT port see as Form 2
B	LPT port	See as Form 2
C	Limit & probe & home port	See as figure 3:This port is set as: 12V LM5 LM4 LM3 LM2 LM1 GND GND from down to up. The relation of this port and LPT port see as Form2
D	Relay port	Set as A COM B from down to up.They are Close,Common,Open.
E	Power input port	See as figure 3:This is power input port.Pin marked + is power's positive ,the other Pin is power's negative. The Input voltage should be in DC12V-DC48V
F	12V fan's power port	See as figure 3:Pin marked 12V is positive.
G	Mod SW	Each axis has a 5P switch.Definition see as Form of Decay and subdivision.
H	Current ajust	See as figure 3:Each axis has a blue Potentiometer.clockwise is increasing current.anticlockwise is decreasing current.Adjust range is from 0.6A-4A
J	A axis stepper motor port	See as figure 3:It's set as A+/A-/B+/B- from down to up
K	Z axis stepper motor port	See as figure 3: It's set as A+/A-/B+/B- from down to up
L	Y axis stepper motor port	See as figure 3: It's set as A+/A-/B+/B- from down to up
M	X axis stepper motor port	See as figure 3: It's set as A+/A-/B+/B- from down to up

Figure1 Definition of all port

▶ 2.2 parallel port definition



Definition of 25 controllable parallel port pins

DB25 controllable pin(PIN)	Pin function on driving board	note
1	EN	Enable pin of all axis
2	STEPX	X (the first axis) pulse signal
3	DIRX	X (the first axis) direction signal
4	STEPY	Y (the second axis) pulse signal
5	DIRY	Y (the second axis) direction signal
6	STEPZ	Z (the third axis) pulse signal
7	DIRZ	Z (the third axis) direction signal
8	STEPA	A (the fourth axis) pulse signal
9	DIRA	A (the fourth axis) direction signal
10	LIMIT-1	Limit input interface 1
11	LIMIT-2	Limit input interface 2
12	LIMIT-3	Limit input interface 3
13	LIMIT-4	Limit input interface 4
14	Relay control	
15	LIMIT-5	Limit input interface 5
16	STEPB-	B (the fifth axis) pulse signal
17	DIRB-	B (the fifth axis) direction signal
18-25	GND	

▶ 2.3 adjustments of Decay and subdivision and current output

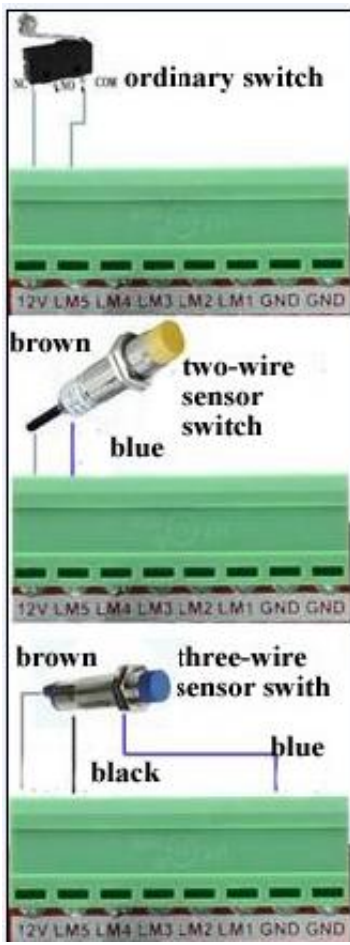
▶ Decay adjustment

Decay mode	SW1	SW2
slow mode	OFF	OFF
mixed mode	ON	OFF
fast mode	OFF	ON

▶ subdivision adjustment

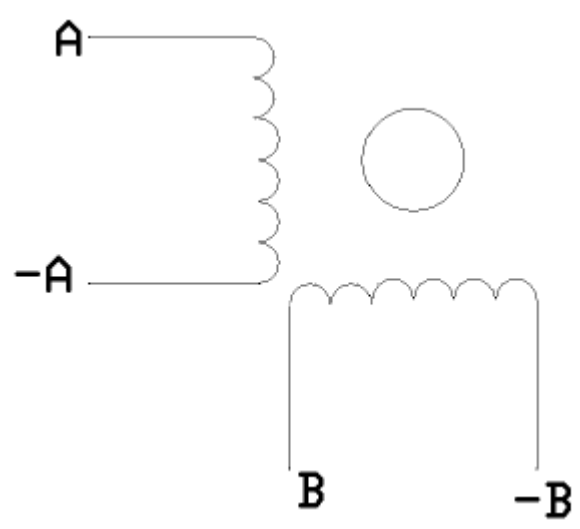
Subdivision multiple	Step /circle (1.8° /full step)	SW3	SW4	SW5
2	400	OFF	OFF	OFF
8	1600	ON	OFF	OFF
16	3200	OFF	ON	OFF
32	6400	ON	ON	OFF
64	12800	OFF	OFF	ON
128	25600	ON	OFF	ON
10	2000	OFF	ON	ON
20	4000	ON	ON	ON

▶ 2.4 limit switch connection way

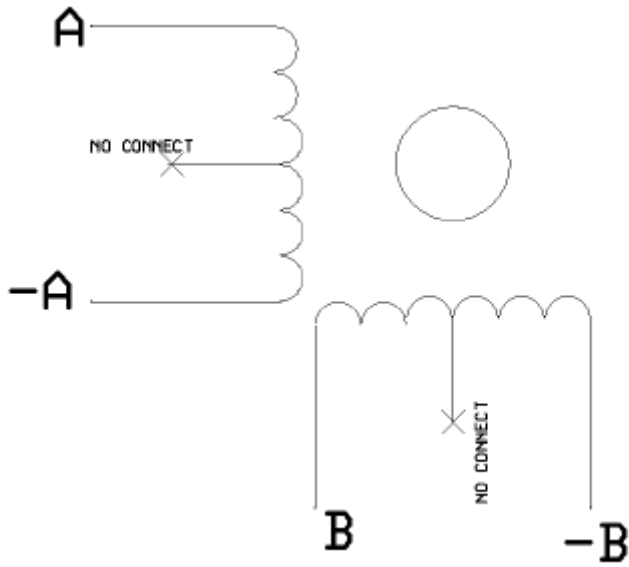


▶ 2.5 all step motor connection

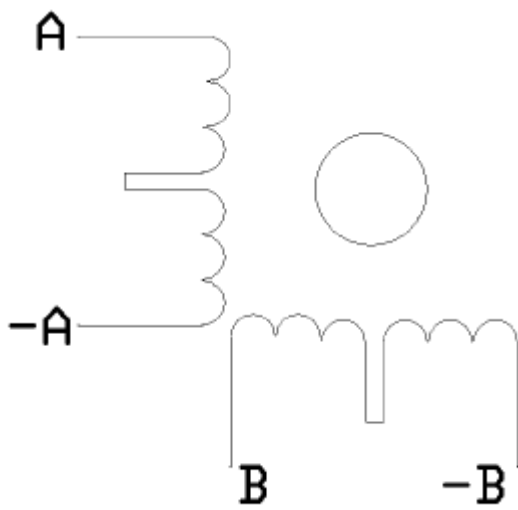
Four-wiring step motor



Six-wiring step motor



Eight-wiring step motor



+A , -A , B and -B of step motor take turns to connect A+, A-, B+ and B- of the LV8727.

▶ 2.6 Selection of step motor and power supply

LV8727T4V3 could drive the two phases and four phase step motor manufactured by domestic and overseas company. It is needed to choose the suitable power supply and setting current in order to reach the satisfying effect. The height of power voltage decides the motor performance, while the electric current setting value decides the motor's output torque.

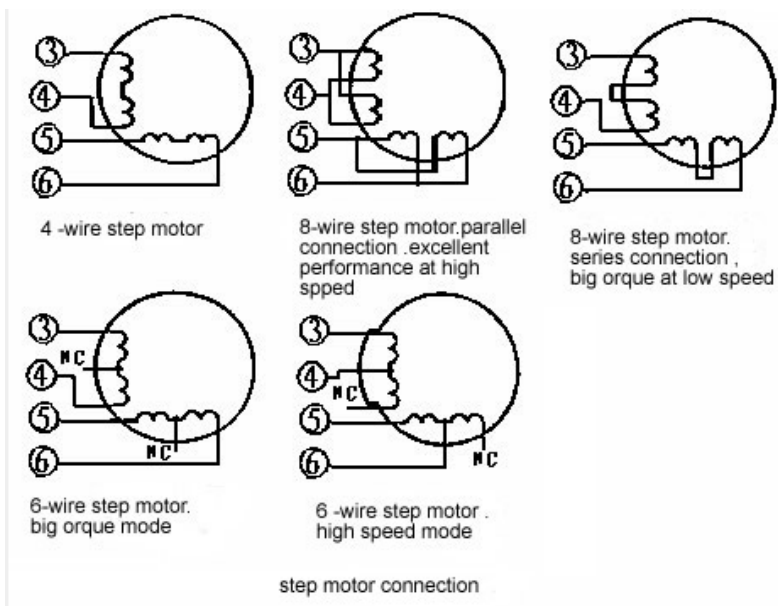
1. The setting of power supply voltage

Generally speaking, the higher of the power supply voltage, the stronger of the motor high speed torque, which can avoid the breakdown in high speed. But, on the other hand, if the voltage is too high, it will damage the driver, and the machine would lead low speed shake under the high voltage. So, we recommend to select a 24-36V 10A DC power supply.

2. Output current setting

As to the same motor, the higher of the electric current setting value, the higher is the motor output torque, but the motor and driver also generate heat greatly under the high electric current. Therefore mostly the electricity value shall be set at warm but not too heat condition when the motor is under long term operation.

- (1) High speed mode of four wire motor and six wire motor----setting of output current is equal to or lower than rated current value.
- (2) 6 wire high torque mode-----output current is equal to 70% rated current.
- (3) 8 wire motor connection in series-----output current is equal to 70% rated current.
- (4) 8 wire motor parallel connection ---- output current is equal to 1.4 rated current.



Attention: Please run the motor 15-30 minutes after setting the electricity, if the motor temperature is too high, the electricity setting value shall be reduced. If the motor output torque is not enough after setting the motor electricity value, the heat dissipation condition shall be improved to ensure that motor and drive temperature are not too high.

Chapter 3 software installation

▶ 3.1 MACH3 installation



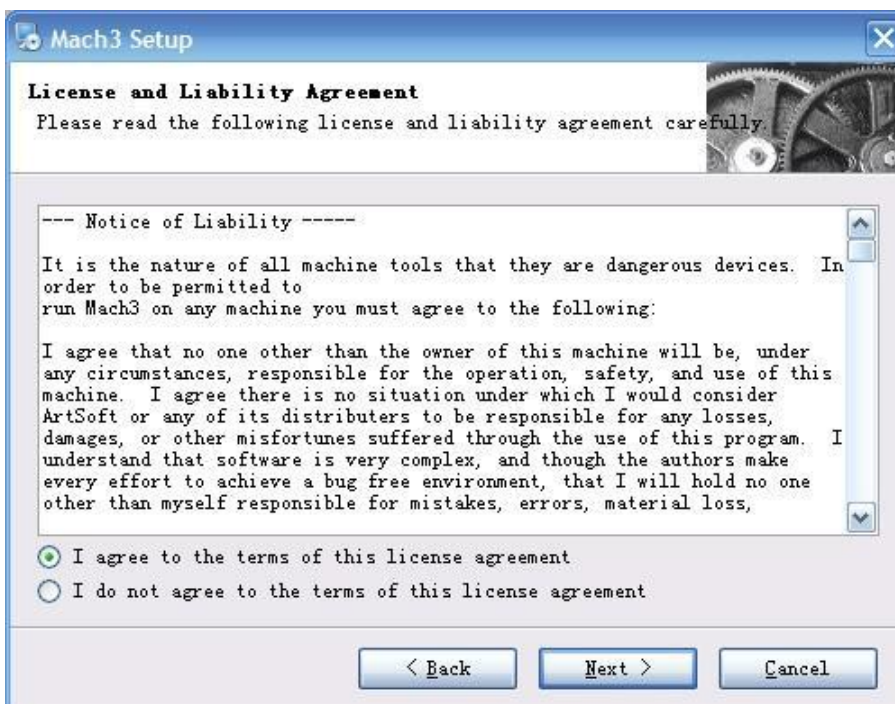
The First, running Mach3Version3.043.066

, enter into the first

page ,as is shown in the picture.



Click next



Select 'I agree to the terms of this license agreement', and then click next



Select the path that you want to install. (C,D,E,F is ok, recommend C or D), as is shown in the picture



As is shown in the picture, Click next until finish.

▶ 3.2 Mach3 register

Copy the '**Mach1Lic.dat**' in the folder of register and localization, and put it in path of mach3. (For example C:/MACH3)

Chapter 4 software use

▶ 4.1 Run software

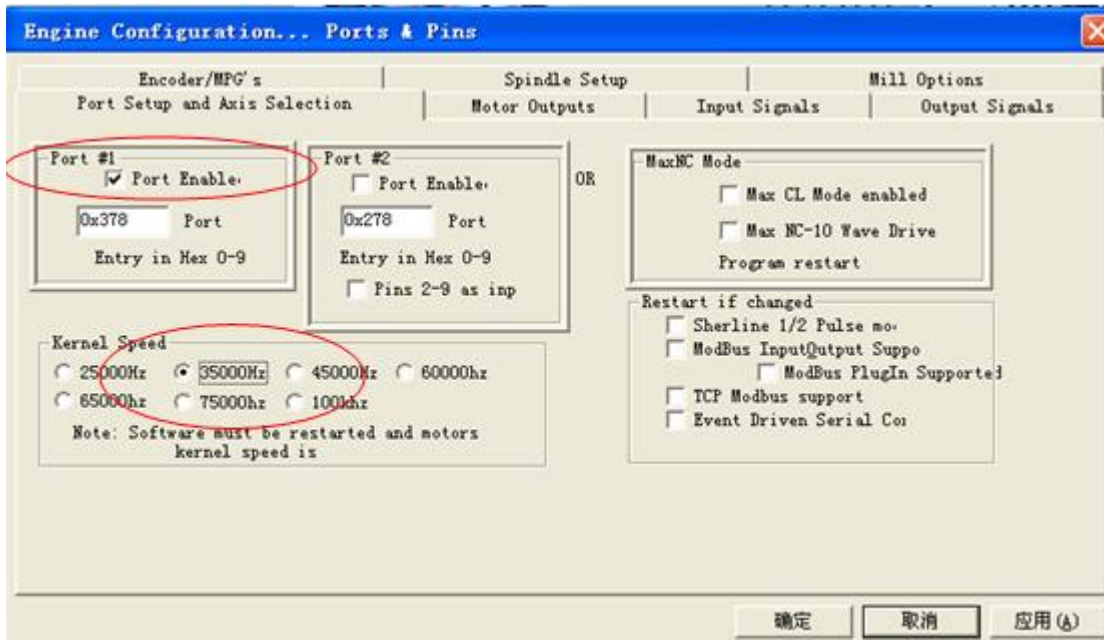
Double-left Click ‘mach3mil’  快捷方式 1KB enter into mach3 software.

▶ 4.2 Mach3 basic settings

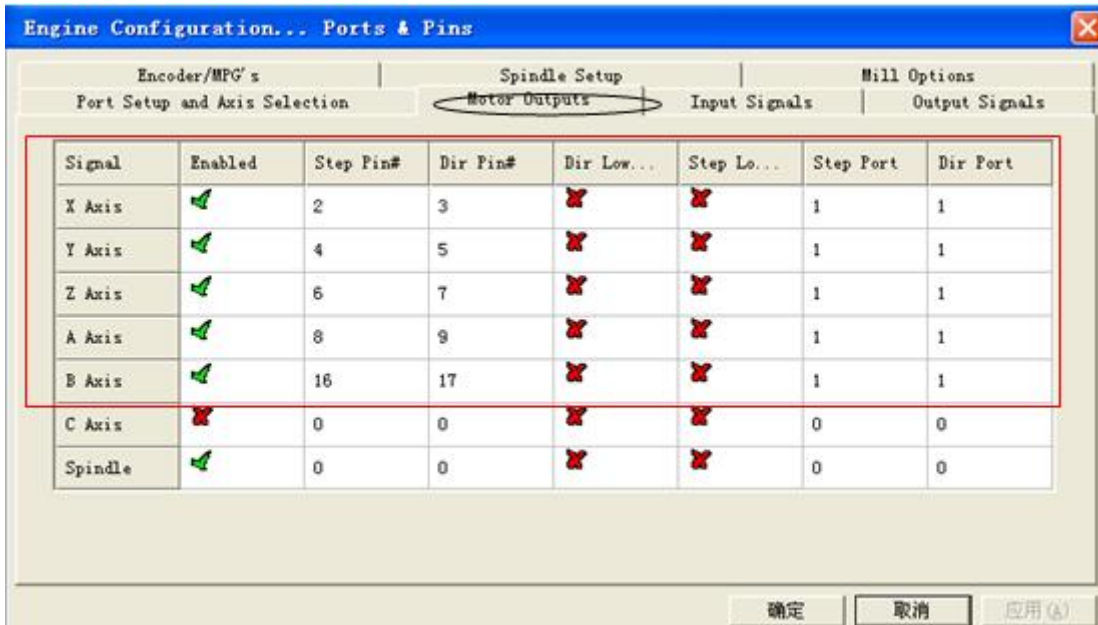
Select ‘ports and pins’ under ‘Config’ menu. Choice as the picture



The menu entry of setting motor running parameter

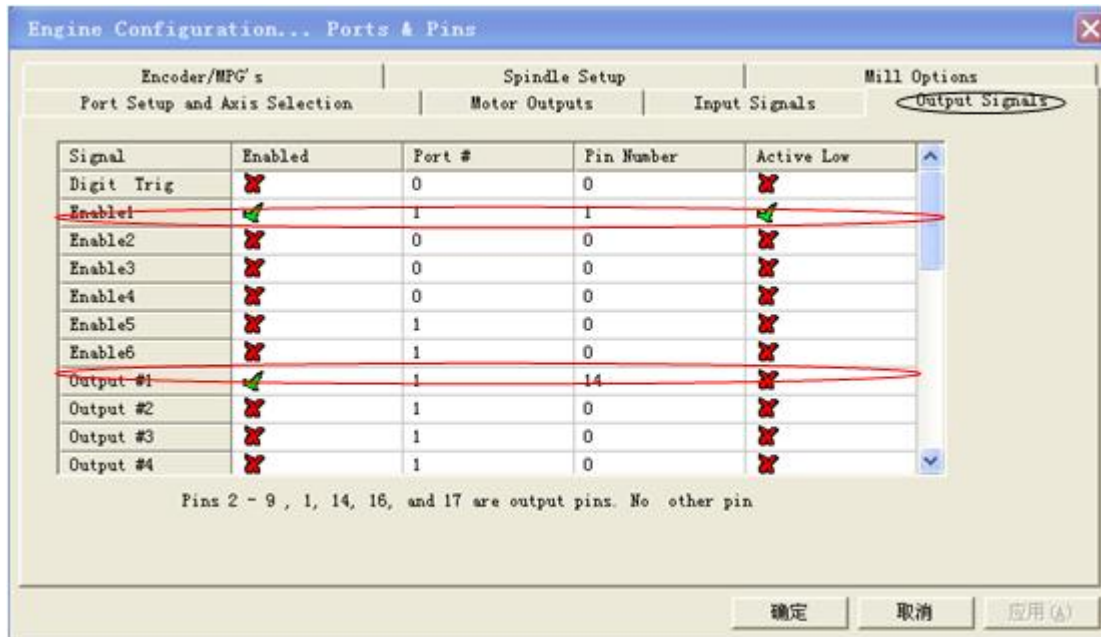


Basic frequency setting



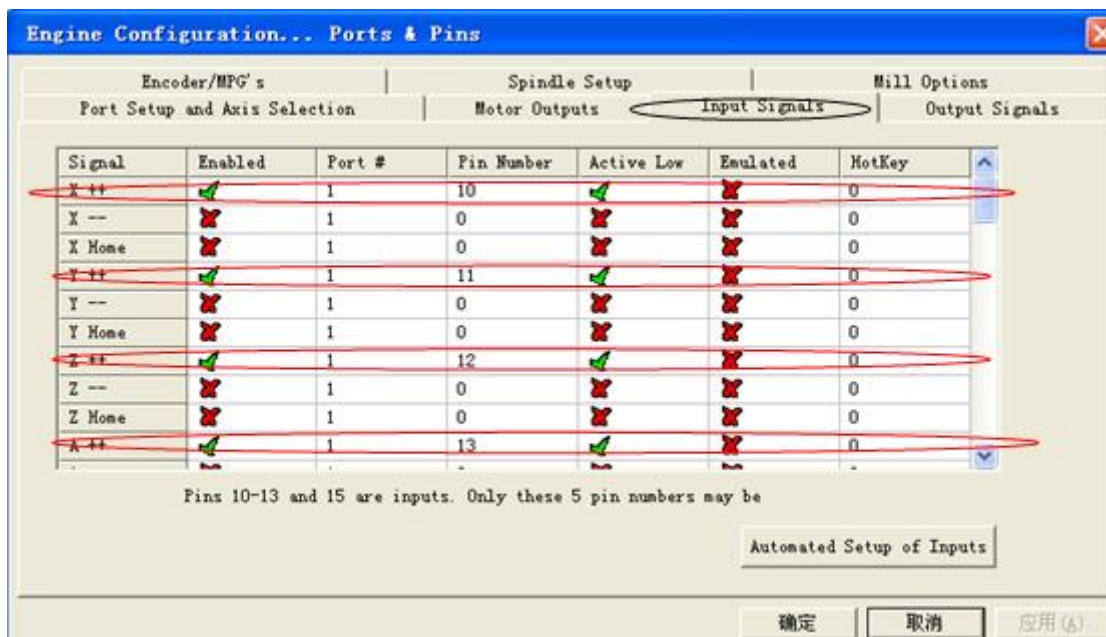
Basic direction pulse pin setting

Click the black circle , Set Enable and Relay



Setting of Enable and main axis pin

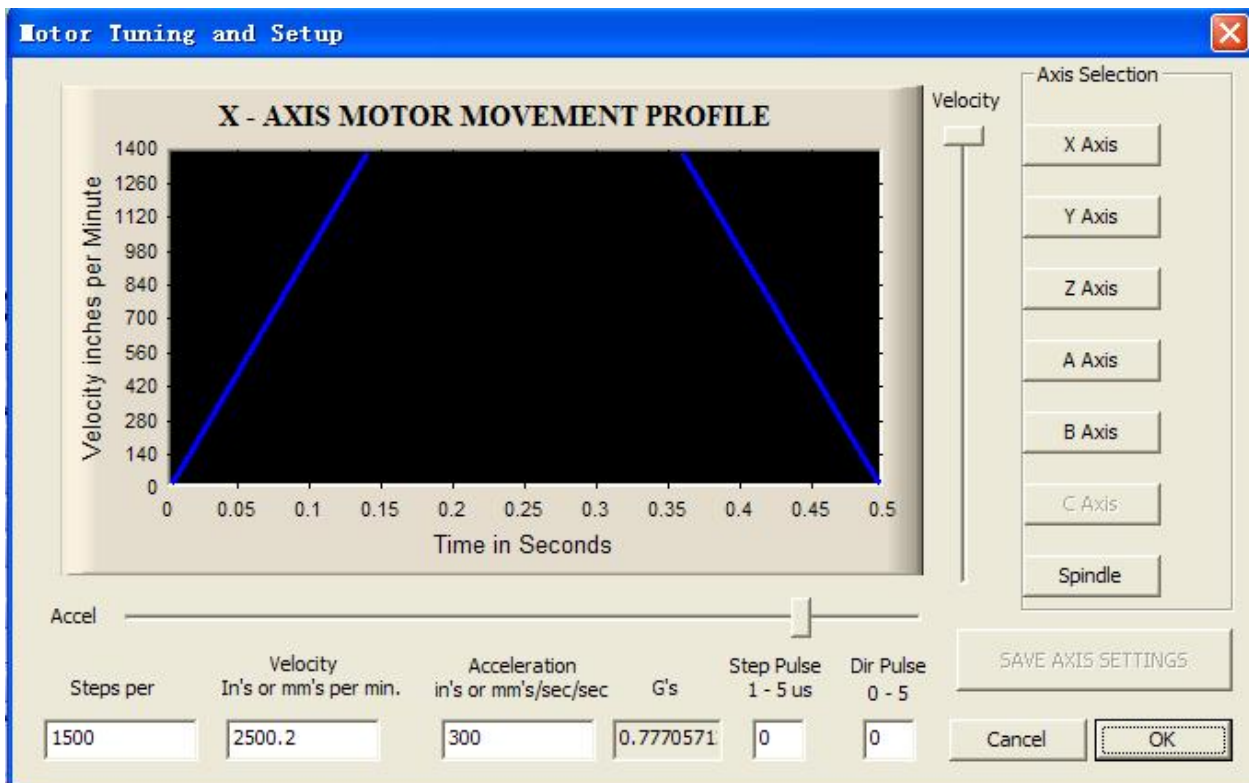
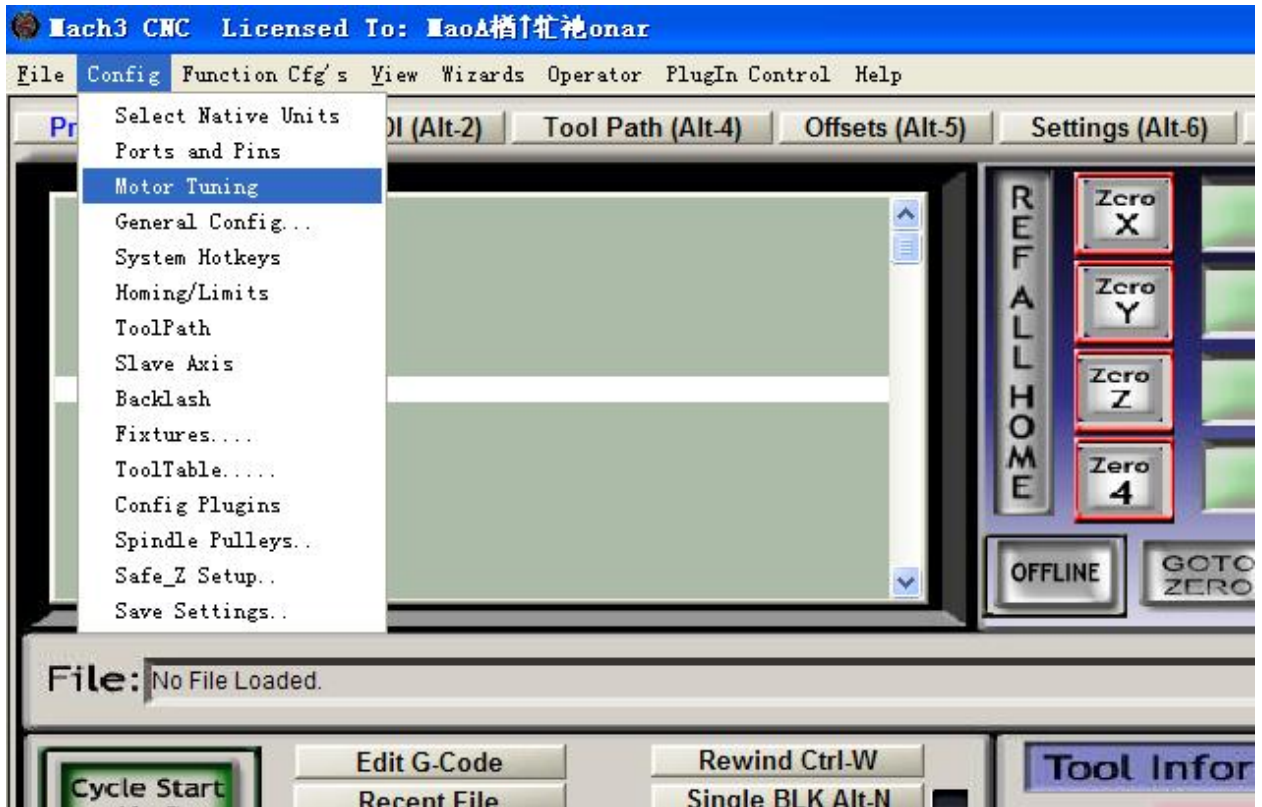
Click the black circle 'Input Signals', Set limit and tool setting and zero point and urgent stop.



According to your need, you can select pin relevant functions, include up and down limit of XYZAB5 axis, Home zero point of XYZAB5 axis, PROBE tool setting, and ESTOP— urgent stop and others.

Click '确定', When you accomplish these settings/

As picture, Click 'Config'----'Motor Tuning'



The motor running parameter setting

All parameters definition as follows

Steps per: computational way of pulse equivalent.

Pulse equivalent is pulse quantities that the motor rotate 1 mm, it can be calculated according screw pitch and subdivision of motor driver .For example, thread pitch 2.5mm. Two phases motor, eight subdivisions.

Computational way $8*200/2.5=640$.

Velocity: speed, it is speed of axis , unit mm/s, recommendation 1500.

Acceleration: accelerometer, unit: mm/s², recommendation 200.

Step Pulse: the min pulse breadth , recommendation 2.

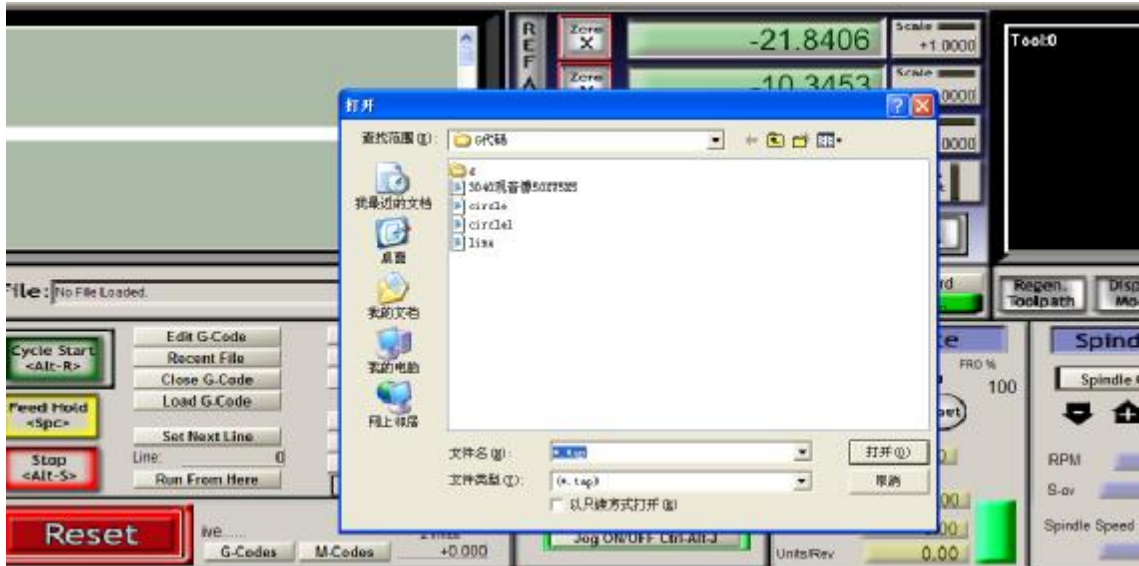
Dir Pulse: the min breadth direction , recommendation 2.

Attention : parameter of every axis may be not same , so you must select axis then set the parameter. Click the **'SAVE AXIS SETTINGS'** when you finish the setting of parameters.

▶ 4.3 run G code

As the picture, Click **'File—Load G-Code'**.





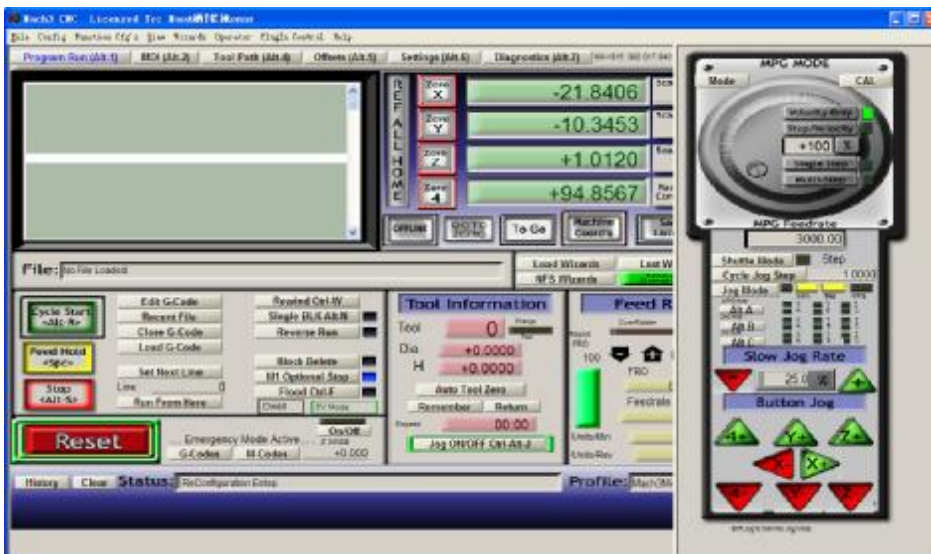
Open G code in mach3

After opening the G code, you can see the red button, urgent stop F4, flickering. The first, you must click the red button to stop flicker then you can run your G code.

If you want to run your code, operating way is same.

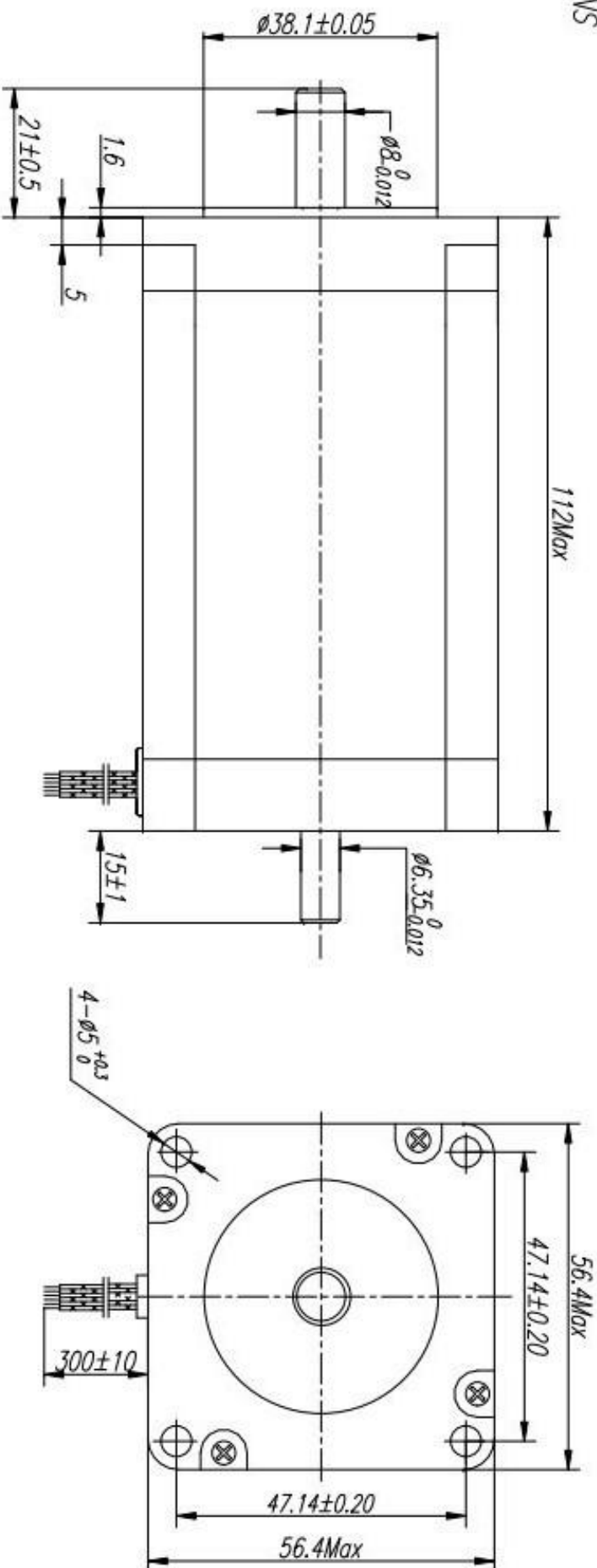
▶ 4.4 How to use manual control of mach3?

If you want to use manual controller of mach3, you can press 'Tab', as is shown in the picture.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

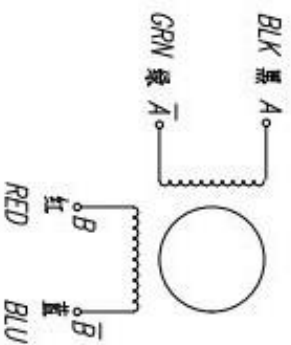
□ DIMENSIONS



□ SPECIFICATIONS unit=mm

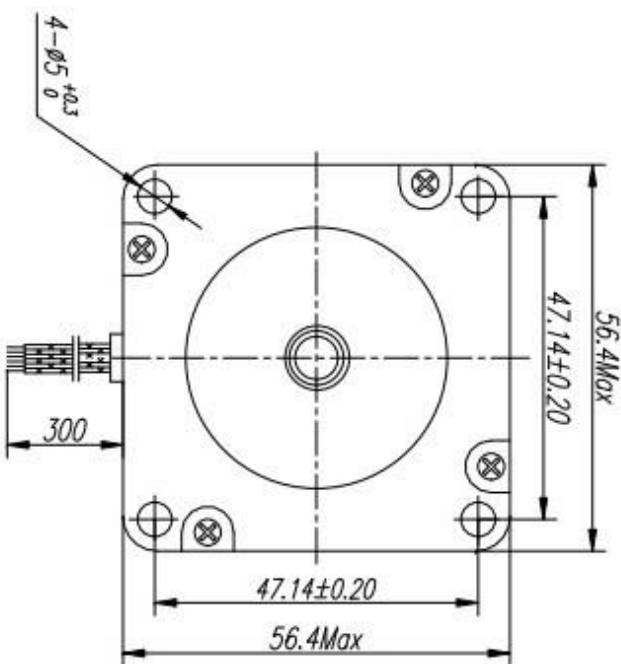
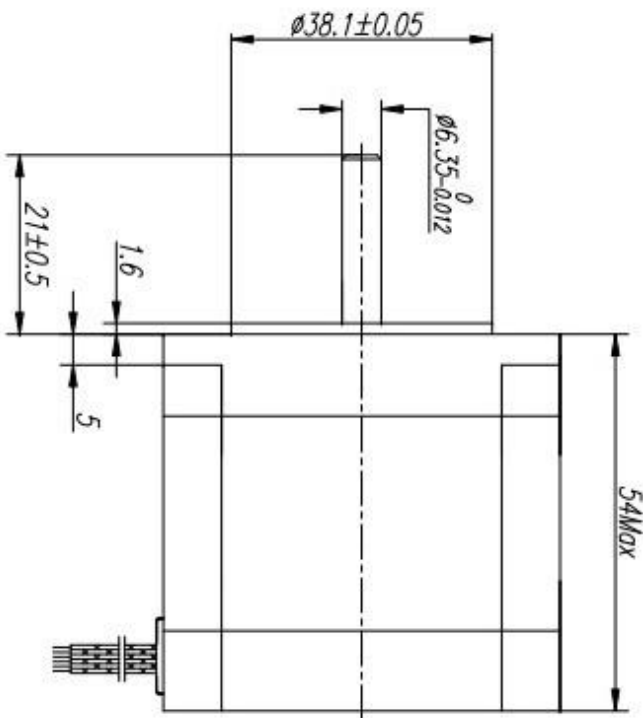
PHASE	相数	2	PHASE	COMMENTS
STEP ANGLE	步距角	1.8±5%	°/STEP	
VOLTAGE	静电压	4.8	V	
CURRENT	电流	3.0	A/PHASE	
RESISTANCE	电阻	1.6 ±10%Ω	/PHASE	
INDUCTANCE	电感	6.8 ±20% mH	/PHASE	
HOLDING TOGQUE	静转矩	30	N.cm Min	
DEFIENIT TORQUE	定位转矩	6.5	N.cm Max	
INSULATION CLASS	绝缘等级	B		
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007		

□ COLORS OF LEAD WIRES BIPOLAR



标记	位置	更改文件号	签名	日期	57BYGH115-003B	技术规格书	
设计		20100921	陈秋松		57BYGH115-003B		
校对			曾敏			WANTAIMOTOR	
工艺			姚准				
图样标记					数量	图幅	比例
版本					共	张	第

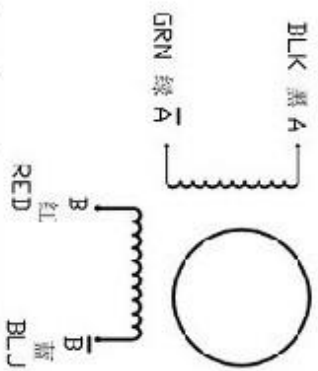
□ DIMENSIONS unit=mm



□ SPECIFICATIONS

PHASE	相数	2	PHASE	COMMENT
STEP ANGLE	步距角	1.8±5%	°/STEP	
VOLTAGE	额定电压	3.0	V	
CURRENT	电流	2.0	A/PHASE	
RESISTANCE	电阻	1.5 ±10%	Ω/PHASE	
INDUCTANCE	电感	2.5±20%	mH/PHASE	
HOLDING TORQUE	保持转矩	90	N.cm Max	
DETENT TORQUE	定位转矩	3.5	N.cm Min	
INSULATION CLASS	绝缘等级	B		
LEAD STYLE	引出线规格	AWG22 UL1007		

□ COLORS OF LEAD WIRES



技术规范书

57BYGH420

www.wanmotor.com

1	2	3	4	5	6	7	8
设计	位置	更改文件号	签名	日期	审核	批准	
设计		20110524	陈永华		曾振	陈永华	
校对							
工艺							
打印日期							