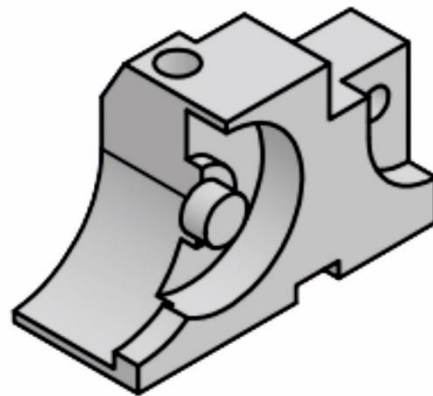




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

**ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ
ΣΧΕΔΙΩΝ ΤΟΥΣ ΣΕ
ΣΥΣΤΗΜΑ CAD**



**ΓΑΙΤΑΝΗΣ
ΗΛΙΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. Η τρισδιάστατη σχεδίαση	4
2.1 ENIAC και Whirlwind	4
2.2 SAGE – το πρώτο γραφικό σύστημα	6
2.3 Αρχή του CAD (Computer Aided Design)	7
2.4 Η εξέλιξη της τρισδιάστατης μοντελοποίησης	11
2.5 Η εξέλιξη των Σχεδιαστικών Εργαλείων	11
2.6 Συστήματα συντεταγμένων της οθόνης του Η/Υ	13
2.7 Οπτικοποίηση ενός αντικειμένου στην οθόνη του Η/Υ	14
2.8 Πρόβλημα κρυμμένων γραμμών-επιφανειών	15
2.9 Γεωμετρικοί υπολογισμοί των αλγορίθμων κρυμμένων γραμμών-επιφανειών	17
2.10 Αλγόριθμοι κρυμμένων γραμμών-επιφανειών	18
2.11 Αλγόριθμοι “αντικειμένου χώρου” (object space)	19
2.12 Αλγόριθμοι “λίστα προτεραιότητας” (list priority)	21
2.13 Αλγόριθμοι “χώρου εικόνας” (image space)	24
2.14 Η εμφάνιση της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης	26
3. Τα κυριότερα λογισμικά CAD	29
3.1 SOLIDWORKS	29
3.2 AutoCAD	30
3.3 Corel CAD	32
3.4 REVIT	33
3.5 INVENTOR	35
3.6 CATIA	36
3.7 CREO (Pro/ ENGINEER Wildfire)	37
4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ	39
4.1 Εκπαιδευτική χρήση σχεδιαζόμενων τεμαχίων	39
4.2 Κατασκευή τεμαχίων και μηχανολογικών σχεδίων	41
5. ΣΥΝΟΨΗ	115
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη για την σχεδίαση και την κατασκευή προϊόντων αποτέλεσε ιστορικά μια θεμελιώδης ανάγκη του ανθρώπινου πολιτισμού. Η ανάγκη για την επιβίωση του ανθρώπου μέσα από την αντιμετώπιση των φυσικών φαινομένων, παράλληλα με την νοητική δυνατότητα αντίληψης των αντικειμένων και του χώρου καθόρισαν τις βασικές αρχές που διέπουν την τρισδιάστατη σχεδίαση μέχρι και σήμερα. Η τρισδιάστατη σχεδίαση σήμερα βρίσκεται πίσω από την παραγωγή όλων των ειδών των προϊόντων, που διατίθενται στην αγορά και κατ' επέκταση αποτελεί βασικό γρανάζι για την οικονομία τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα. Όμως οι τεχνολογικές εξελίξεις που προκαλούν την βελτιστοποίηση των συστημάτων CAD, έχουν καταφέρει να θέσουν τα συστήματα αυτά στην υπηρεσία και άλλων επιστημονικών κλάδων όπως στην ιατρική.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται αρχικά αναφορά στις μαθηματικές μεθοδολογίες που δημιουργήθηκαν, ακόμα και από τα αρχαία χρόνια, που βοήθησαν στην αντίληψη της γεωμετρίας και των συντεταγμένων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι λόγοι που οδήγησαν στον σχεδιασμό των υπολογιστών που είναι και αναπόσπαστο κομμάτι της δημιουργίας, του αρχικά δισδιάστου και στην συνέχεια τρισδιάστατου σχεδιασμού καθώς και από ποιες πλευρές της κοινωνίας έγινε η έρευνα της δημιουργίας αυτών των λογισμικών. Επίσης γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των συστημάτων αυτών, με τους τρόπους που απεικονίζονται τα σχεδιαζόμενα αντικείμενα καθώς παρουσιάζονται και αλγόριθμοι που βοήθησαν να ξεπεράσουν προβλήματα που προέκυψαν στην απεικόνιση τους. Για την καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και των συστημάτων CAD παρουσιάζεται η κατασκευή ποικίλων τρισδιάστατων τεμαχίων καθώς και τα μηχανολογικά τους σχέδια.

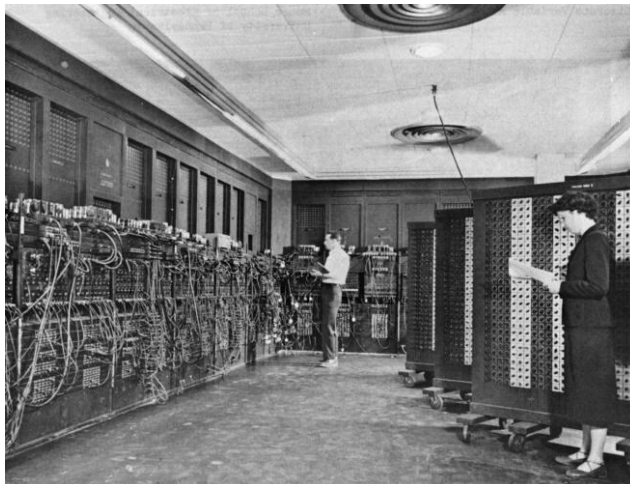
Παρουσιάζεται, εκτός από την τρισδιάστατη σχεδίαση και η τρισδιάστατη εκτύπωση. Επιπρόσθετα γίνεται παρουσίαση κάποιων από τα βασικά σύγχρονα συστήματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης με τις δυνατότητες τους. Τέλος γίνεται αναφορά της εκπαιδευτικής εφαρμογής "agmAR" του Άγγελου Μαρινάκη που σε συνδυασμό με το εκπαιδευτικό σύγγραμμά του Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη εισάγει τους σπουδαστές του σε μία καινοτόμα διαδραστική εκπαιδευτική διαδικασία.

2. Η τρισδιάστατη σχεδίαση

2.1 ENIAC και Whirlwind

Η ιστορία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης έχει αφετηρία πολύ πριν εμφανιστεί ο πρώτος υπολογιστής και συγκεκριμένα τον 3^ο αιώνα π.Χ., μέσα από τις μαθηματικές ιδέες του Έλληνα μαθηματικού Ευκλείδη, που συχνά αναφέρεται ως ο “Πατέρας της Γεωμετρίας”. Στην συνέχεια ο Ρενέ Ντεκάρτ, τον 17^ο αιώνα μ.Χ. παρουσίασε στον κόσμο την αναλυτική γεωμετρία ή αλλιώς την γεωμετρία των συντεταγμένων, η οποία κατέστησε δυνατή την ακριβή αναπαράσταση αποστάσεων και τοποθεσιών. Αργότερα, στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, ο Άγγλος μαθηματικός Τζιμς Τζόσεφ Σιλβέστερ εφηύρε τα μαθηματικά μήτρας τα οποία χρησιμοποιούνται σε κάθε εικόνα που σχεδιάζεται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και όπου μπορεί κανείς να διακρίνει τις αντανakλάσεις ή την παραμόρφωση του φωτός. Ο παραδοσιακός τρόπος σχεδίασης είναι μία χρονοβόρα διαδικασία και η απεικόνιση πολύπλοκων σχεδιαστικών μοντέλων, μέσω αυτού, είναι εξαιρετικά δύσκολη έως και αδύνατη. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε η τρισδιάστατη ψηφιακή σχεδίαση, η οποία σχετίζεται άμεσα με την εφεύρεση και την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την μετέπειτα ανάπτυξη ειδικών σχεδιαστικών λογισμικών, τα οποία παρέχουν μία πληθώρα εφαρμογών στον χρήστη, οι οποίες και δίνουν λύση σε κάθε σχεδόν σχεδιαστικό πρόβλημα [1].

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αναπτύχθηκαν μόλις στα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Ιστορικά, ο πρώτος υπολογιστής, που ήταν και το πρωτότυπο πάνω στο οποίο κατασκευάστηκαν και εξελίχθηκαν οι σύγχρονοι υπολογιστές, ήταν ο ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Computer) (σχήμα 2.1.1). Η προσπάθεια δημιουργίας μίας τέτοιας ψηφιακής συσκευής ήταν κυρίως στρατιωτική σημασίας. Η δυσκολία των μηχανικών υπολογιστών να υπολογίσουν με ακρίβεια τις τροχιές των όπλων και τους πίνακες βολής ανάγκασαν τον υπολοχαγό Herman Goldstine να ζητήσει από δύο καθηγητές του πανεπιστημίου της Πενσυλβάνια, τους Dr. John W. Mauchly και J. P. Eckert, το 1943, να αναπτύξουν μια ηλεκτρονική συσκευή που στην ουσία ήταν μία αριθμομηχανή. Η κατασκευή του ENIAC ολοκληρώθηκε το 1945. Είχε την δυνατότητα να αναγνωρίζει το πρόσημο ενός αριθμού, να συγκρίνει αριθμούς μεταξύ τους, να προσθέτει, να αφαιρεί, να πολλαπλασιάζει, να διαιρεί και να υπολογίζει τετραγωνικές ρίζες.



Σχήμα 2.1.1: Πρώτος ψηφιακός υπολογιστής - ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Computer)

Η εξέλιξη του ψηφιακού υπολογιστή συνεχίστηκε στο M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) με την αρχή του project Whirlwind (σχήμα 2.1.2), το 1945, στο πλαίσιο του προγράμματος ASCA (Navy's Airplane Stability and Control Analyzer) του Ναυτικού, για τον έλεγχο και τη σταθερότητα των αεροπλάνων. Υπεύθυνος αυτής της προσπάθειας ήταν ο Jay Forrester και στόχος της ήταν να παρέχει μια προγραμματιζόμενη προσομοίωση πτήσης. Ήταν ο πρώτος υπολογιστής που είχε την δυνατότητα να

εμφανίζει κείμενο και γραφικά σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας μία μεγάλη οθόνη παλμογράφου. Ολοκληρώθηκε και παρουσιάστηκε το 1951 [1].



Σχήμα 2.1.2: Υπολογιστή Whirlwind

2.2 SAGE – το πρώτο γραφικό σύστημα

Η αιτία που οδήγησε στην σύλληψη της ιδέας του πρώτου γραφικού συστήματος το 1951 ήταν ανάγκη των ΗΠΑ να προστατευτούν από ενδεχόμενες αεροπορικές πυρηνικές επίθεσης της Σοβιετικής Ένωσης. Η δημιουργία του SAGE (Semi-Automated Ground System) ήταν σύμπραξη της IBM (International Business Network) και του MIT (Massachusetts Institute of Technology) και τέθηκε σε λειτουργία το 1958. Αποτελούνταν από ένα δίκτυο ραντάρ και από άλλες πηγές πληροφοριών, που συνέλεγαν και διαμοίραζαν πληροφορίες σε έναν AN/FSQ-7 υπολογιστή. Στην συνέχεια σε πραγματικό χρόνο μεταφράζονταν οι πληροφορίες σε γραφικές εικόνες, σε μία οθόνη απεικόνισης (σχήμα 2.1.1). Ο χρήστης είχε στην κατοχή του μία φωτογραφίδα, η οποία ήταν δημιουργία του Robert Everett, με την οποία, αφού εντοπιζόταν ένα αεροπλάνο πάνω στην οθόνη και στρέφοντας την φωτογραφίδα πάνω στο εικονίδιο του, γινόταν γνωστή η ταυτότητα, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του. Έτσι με αυτό το σύστημα μπορούσαν να βρεθούν ενδεχόμενες απειλές και μέσω του SAGE οργανωνόταν και η αναχαίτιση τους. [10]



Σχήμα 2.2.1: Οθόνη απεικόνισης του SAGE

2.3 Αρχή του CAD (Computer Aided Design)

Οι πρώτες εξελίξεις στην ιστορία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης ήρθαν όταν ξεκίνησαν να αναπτύσσονται τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα σχεδίασης CAD ή Computer Aided Design. Με την εμφάνιση των πρώτων γραφικών συστημάτων, όπου θα δινόταν η δυνατότητα στον σχεδιαστή να αλληλοεπιδρά με τον υπολογιστή και να μπορεί να σχεδιάζει ο ίδιος πάνω σε αυτόν ώστε να λύνει ποικίλα σχεδιαστικά προβλήματα. Εξαιτίας της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος της εποχής και τους υψηλούς κόστους των πρώτων ηλεκτρονικών υπολογιστών αυτές οι προσπάθειες μπορούσαν να γίνουν μόνο από τα πανεπιστήμια και από μεγάλες εταιρίες της αυτοκινητοβιομηχανίας και της αεροπορικής βιομηχανίας που στόχευαν στην μοντελοποίηση επιφανειών ελεύθερης μορφής και στην συνέχεια, με την βοήθεια του CAM (Computer Aided Manufacturing), γινόταν η κατεργασία των επιφανειών αυτών πάνω στις εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου (NC – Numerical Control). Πολύ συχνά τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα τρισδιάστατης σχεδίασης αναφέρονται ως CAD/CAM, επειδή περιλαμβάνουν τόσο το σχεδιαστικό όσο και το κατασκευαστικό κομμάτι. Οι εταιρίες στις οποίες η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων υπήρξε ραγδαία ήταν η Renault, η Citroen, η Ford και η Boeing. [16]

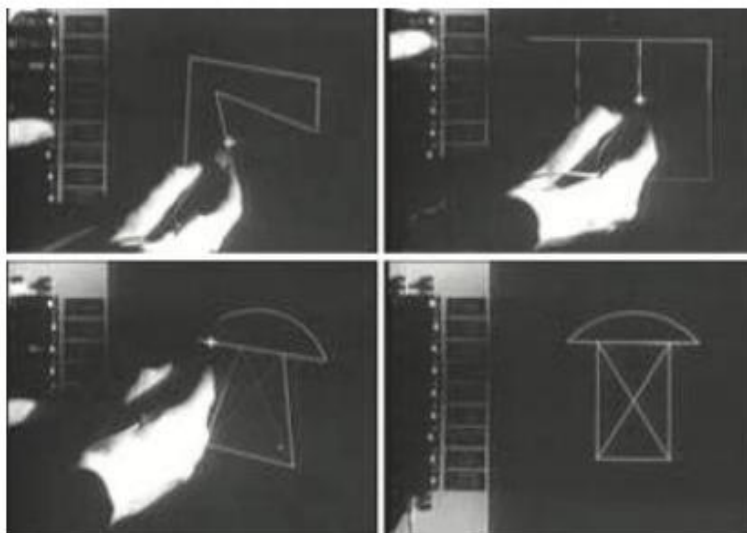
Το ακρωνύμιο CAD δημιουργήθηκε από δύο καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του M.I.T., τους Robert W. Mann και Steven A. Coons. Το 1959 η ανάγκη για ένα σύστημα που θα οδηγούσε στην βελτίωση του σχεδιασμού των αεροπλάνων, των πυραύλων και των εξαρτημάτων οδήγησε την πολεμική αεροπορία να χρηματοδοτήσει ένα έργο στο M.I.T. που ονομάστηκε CAD. Σε αυτό το έργο συνεργαζόταν η ομάδα ESL (Electronics System Laboratory) του Douglas Ross, με την ομάδα Τεχνικού Σχεδιασμού με επικεφαλής αρχικά τον Robert W. Mann και στην συνέχεια τον Steven A. Coons. Η διαφορά της ιδεολογίας των δύο αυτών υπεύθυνων της ομάδας του Τεχνικού Σχεδιασμού ήταν ότι ο Mann είχε ως όραμα την δημιουργία μιας αυτόματης μηχανής σχεδίασης, που ο χρήστης δεν θα αλληλοεπιδρούσε με τον σχεδιαστή, ενώ ο Coons ήθελε την δημιουργία μιας μηχανής όπου ο σχεδιαστής θα χρησιμοποιούσε τον υπολογιστή αλληλοεπιδρώντας με την οθόνη του.



Σχήμα 2.3.1: Εκτέλεση του Sketchpad από τον Ivan Sutherland σε έναν TX-2 υπολογιστή

Το όραμα του Coons υλοποιήθηκε από τον Ivan Sutherland, ηλεκτρολόγο μηχανικό στο M.I.T., με την δημιουργία του Sketchpad, γνωστό και ως “Robot Draftsman”, ενός επαναστατικού για την εποχή του συστήματος, που αναπτύχθηκε το 1963 ως μέρος της διδακτορικής διατριβής του. Το Sketchpad σαν λογισμικό βασιζόταν σε αρχές παρόμοιες με αυτές του σύγχρονου παραμετρικού σχεδιασμού και έμεινε στην ιστορία ως πρόγονος του Αντικειμενοστραφή Προγραμματισμού (Object-oriented Programming) και των Σχεδιαστικών Προγραμμάτων με τη Χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (CAD). Επίσης,

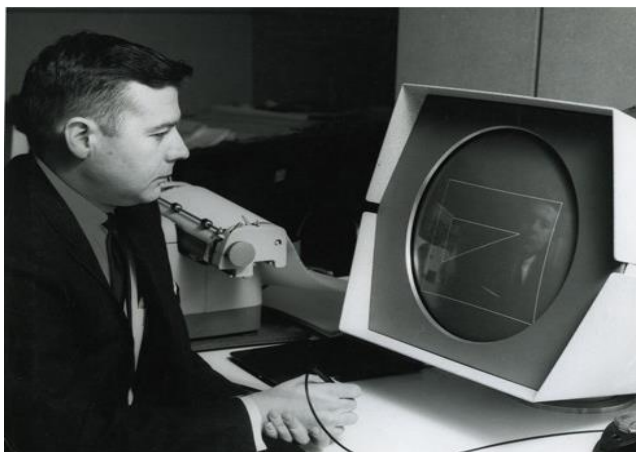
ήταν το λογισμικό που καθιέρωσε την ιδέα ότι οι υπολογιστές μπορούν να έχουν την χρήση εργαλείων σχεδίασης. Το Sketchpad αποτελεί το πρώτο σύστημα που αναγνωρίστηκε ως GUI (Graphical User Interface) και σχεδιάστηκε πάνω σε έναν TX-2 υπολογιστή της εποχής. Ο σχεδιαστής (σχήμα 2.3.1, σχήμα 2.3.2) χρησιμοποιούσε μία φωτογραφίδα για να δημιουργήσει μηχανολογικά σχέδια πάνω σε μία οθόνη, που ήταν στην πραγματικότητα ένα τερματικό προβολής καθοδικών ακτινών (CTR, Cathode Ray Tube). Επιπλέον, ο χρήστης είχε την δυνατότητα να επεξεργαστεί, να αντιγράψει και να αποθηκεύσει τα σχέδια καθώς και την δυνατότητα να κάνει μεγέθυνση ή σμίκρυνση των σχεδίων αυτών. [2]



Σχήμα 2.3.2: Σχεδίαση στο Sketchpad με χρήση φωτογραφίδας

Το Sketchpad συγκέντρωσε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, η οποία πλέον μπορούσε να διακρίνει την σπουδαιότητα της χρήσης των λογισμικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην σχεδίαση. Το 1964, ο Christopher Alexander επηρεασμένος από την διατριβή του Sutherland, έγραψε το βιβλίο με τίτλο "Notes on the Synthesis of Form", για την διαδικασία της σχεδίασης. Οι βασικές ιδέες που διέπουν την προσέγγιση του Alexander, παρόλο που εστιάζουν κυρίως στις τεχνικές του ψηφιακού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και της πολιτικής μηχανικής, αποτέλεσαν την βάση για την ανάπτυξη θεωριών και λογισμικών σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Η βασική μεθοδολογία που πρότεινε και βρήκε απήχηση στην επίλυση πλήθους σχεδιαστικών και μη, προβλημάτων αναφερόταν στην τμηματοποίηση του εκάστοτε προβλήματος, με το κάθε τμήμα να επιδέχεται την δική του ξεχωριστή επίλυση και τέλος, την σύνθεση όλων των επιμέρους επιλυμένων τμημάτων, σε μία ολοκληρωμένη λύση του αρχικού προβλήματος. [11]

Παράλληλα, την ίδια περίοδο με το Sketchpad, το 1964 η General Motors, σε συνεργασία με την IBM, παρουσίασαν δημόσια το DAC-1 (Design Augmented by Computer), που ήταν συνδεδεμένο στον υπολογιστή IBM 7094 και το οποίο χρησιμοποιήθηκε από την General Motors για όλο το υπόλοιπο της δεκαετίας με σκοπό να επιταχύνει την ροή εργασιών παραγωγής των μοντέλων αυτοκινήτων της. Κατά την χρήση του αυτή την περίοδο, απεδείχθη ότι η οπτικοποίηση της σχεδίασης σε ηλεκτρονικό, με τη χρήση πινάκων σχεδίασης, μπορεί να μειώσει εντυπωσιακά τον χρόνο, τον όγκο και το κόστος εργασίας. Το DAC-1 είχε ξεκινήσει να σχεδιάζεται από το 1959 και στην ομάδα μηχανικών της General Motors συμμετείχαν ο Fred Krull και ο Dr. Patric Hanratty. Για τον σχεδιασμό, όπως και στο Sketchpad, γινόταν χρήση μίας φωτογραφίδας, ενώ θεωρείται το πρώτο σύστημα CAD που εισήγαγε τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, όπως την περιστροφή και την μεγέθυνση, στα υπό σχεδίαση αντικείμενα. [1]



Σχήμα 2.3.3: Σχεδίαση με DAC-1, με χρήση φωτογραφίδας (1965)

Στο τέλος της δεκαετίας, το 1968, ο Ivan Sutherland και ο David Evans ίδρυσαν την πρώτη εταιρεία τρισδιάστατων γραφικών, με το όνομα "Evans & Sutherland". Ξεκίνησαν παράγοντας υλικό για την λειτουργία των συστημάτων που κυκλοφορούσαν ήδη στην αγορά αλλά σύντομα ανέπτυξαν και το δικό τους λογισμικό. Η εμφάνιση και η αδιαμφισβήτητη επιτυχία τους ενθάρρυναν και ενέπνευσαν τους άλλους ιδιώτες της αγοράς, να ξεκινήσουν τις δικές τους εταιρείες και να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας.

Πολύ σύντομα, στις αρχές της δεκαετίας του 1970, έκαναν την εμφάνιση τους τα πρώτα εμπορικά αυτοματοποιημένα συστήματα σχεδίασης μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, τα οποία, αρχικά στόχευαν αποκλειστικά στην κάλυψη των αναγκών της αυτοκινητοβιομηχανίας και της αεροναυπηγικής, όπως επίσης και του κατασκευαστικού-βιομηχανικού τομέα. Ένα αξιομνημόνευτο σύστημα CAD, που κυκλοφόρησε εκείνη την περίοδο, και συγκεκριμένα το 1971, ήταν το ADAM το οποίο σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε όσο το δυνατόν περισσότερες διαφορετικές μηχανές, δημιουργώντας έτσι μια τεράστια άνοδο στη διαθεσιμότητα των προγραμμάτων CAD, η οποία άνοδος συνεχίστηκε καθώς οι υπολογιστές και τα λογισμικά γίνονταν ολοένα και πιο εξελιγμένα.



Σχήμα 2.3.4: Τμήμα σχεδίασης με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, την δεκαετία του 1970

Ενώ οι ιδιωτικές εταιρίες όπως η MAGI, που εισήγαγαν την σταθερή τρισδιάστατη μοντελοποίηση, δημιουργούσαν ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για τα προγράμματα CAD, τα Πανεπιστήμια με τη σειρά τους εργάζονταν σκληρά στην εξέλιξη της θεωρίας της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και στην ανακάλυψη νεότερων και πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών για την τρισδιάστατη σχεδίαση αντικειμένων-μοντέλων. Οι Gouraud και Phong ανακάλυψαν τεχνικές για σκίαση στο Πανεπιστήμιο της Γιούτα, οι οποίες επιτάχυναν την επεξεργασία απλοποιώντας τους αρχικούς αλγορίθμους απόδοσης και παρείχαν καλύτερα οπτικά αποτελέσματα στο φως, την αντανάκλαση και τη σκίαση. Ένα από τα σχέδια τους, το οποίο έμεινε στην ιστορία, ήταν το "Μοντέλο Τσαγιέρας της Γιούτα"

(σχήμα 2.3.5). Έμεινε στην ιστορία ως το πρωταρχικό σύμβολο για τα τρισδιάστατα γραφικά από υπολογιστή αφού χρησιμοποιήθηκε από τον Martin Newell για τις δοκιμές στην έρευνα γραφικών που διεξήγαγε. Ο Newell βρήκε το μοντέλο τρισδιάστατης τσαγιέρας ιδανικό για τις εργαστηριακές δοκιμές του, λόγω της δομής του, της ποικιλίας των επιφανειών που διέθετε, καθώς και της ικανότητας του συγκεκριμένου αντικειμένου να σκιάζει τον εαυτό του. Μοιράστηκε τις παρατηρήσεις και τις λεπτομέρειες με τους συναδέλφους του που άρχισαν αμέσως να χρησιμοποιούν στις δοκιμές τους, και οι ίδιοι την τσαγιέρα της Γιούτα.[12]



Σχήμα 2.3.5: Το τρισδιάστατο “Μοντέλο Τσαγιέρας της Γιούτα”

Οι δυνατότητες των προγραμμάτων CAD εξελισσόταν παράλληλα και σύμφωνα με την εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η εξέλιξη των τελευταίων “εκτινάχθηκε” μετά την κατασκευή από την IBM, των μικροεπεξεργαστών και των πρώτων οικιακών υπολογιστών, το 1981. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την διάδοση και την ευρεία κυκλοφορία τους, πέραν των κλειστών πυλών των Πανεπιστημίων και των βιομηχανικών κολοσσών. Επιπλέον, η χρήση των προγραμμάτων CAD έγινε πιο διαδεδομένη με τη διάθεση στην αγορά, των σταθμών εργασίας (work-stations) της UNIX. Οι σταθμοί εργασίας ήταν υπολογιστές που προοριζόταν αποκλειστικά για χρήση στον χώρο εργασίας και ήταν φθηνότεροι, διέθεταν πιο εξελιγμένο λογισμικό, απαιτούσαν λιγότερη και φθηνότερη συντήρηση και ήταν εξαιρετικά πιο παραγωγικοί σε σχέση με τους απλούς προσωπικούς υπολογιστές. [3]



Σχήμα 2.3.6: Σταθμός εργασίας της Unix, την δεκαετία του 1980

Έτσι, οι ιδιωτικές εταιρίες έσπευσαν να επενδύσουν στην αναπτυσσόμενη νέα τεχνολογία της πληροφορικής και την δεκαετία του 1980 επικεντρώθηκαν στην δημιουργία εξειδικευμένων σχεδιαστικών εφαρμογών, οι οποίες αρχικά λειτουργούσαν σε δισδιάστατο περιβάλλον, και στην συνέχεια, μέσω μοντελοποίησης πολυπλοκότερων μορφών, έδιναν τη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης. [12]

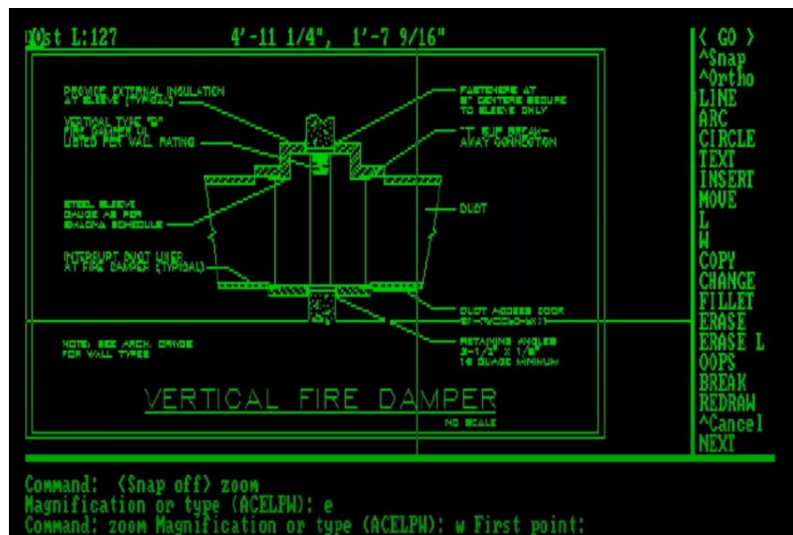
2.4 Η εξέλιξη της τρισδιάστατης μοντελοποίησης

Στη δεκαετία του 1970, τα συστήματα CAD ήταν ουσιαστικά κατασκευαστές μοντέλων και συντάκτες μηχανολογικών σχεδίων, τα οποία σχέδια χρησίμευαν ως κοινός τόπος

προσδιορισμού των αποτελεσμάτων της σχεδίασης και της επικοινωνίας των πληροφοριών με ολοκληρωμένο, μη διφορούμενο και κυρίως τυποποιημένο τρόπο. Την επόμενη δεκαετία τα συστήματα CAD κατευθύνθηκαν περισσότερο προς την δημιουργία και χρήση τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων βασισμένων σε στερεά και επιφάνειες. Αυτή η νέα προσέγγιση επέφερε μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης των υπό σχεδίαση προϊόντων με ευκρινή πλέον τη διαφορά μεταξύ των μοντέλων και των αναπαραστάσεων τους. Τα μοντέλα ήταν μια απλοποιημένη γεωμετρική περιγραφή φυσικών προϊόντων και τα μηχανολογικά σχέδια ήταν αναπαραστάσεις ψηφιακών μοντέλων. Στη δεκαετία του 1990, εισήχθη στα συστήματα CAD η μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά σχεδίασης με στόχο την υπέρβαση των δυσκολιών που σχετίζονταν με τα απλά και καθαρά γεωμετρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση σύνθετων προϊόντων. Η τεχνική των χαρακτηριστικών σχεδίασης προσέφερε αφθονία γνώσεων και πληρέστερη οπτική σχετικά με τις φάσεις σχεδιασμού, όσον αφορά λειτουργικές και κατασκευαστικές πτυχές καθώς και δεδομένα μετρήσεων και συναρμολόγησης. [12] Το μεγαλύτερο, όμως πλεονέκτημα της μοντελοποίησης με χαρακτηριστικά σχεδίασης ήταν η λεπτομερής αποτύπωση και η μοντελοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού του προϊόντος με στόχο την ευκολότερη διαχείριση του σε εύθετο χρόνο στο μέλλον. Σήμερα, πλέον, οι απλές και στατικές προσομοιώσεις θεωρούνται δεδομένες και το ενδιαφέρον έχει μετατοπισθεί από την γεωμετρική αναπαράσταση στην λειτουργικότητα. Γίνονται προσομοιώσεις και μοντελοποίηση βάσει των καιρικών φαινομένων, μακροχρόνιας χρήσης κλπ. καθώς και το σχήμα ενός προϊόντος πρέπει να δημιουργείται συναρτήσει των συνθηκών που πρόκειται να αντιμετωπίσει ή την προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του. Αυτή είναι η μεγαλύτερη διαφορά στη νοοτροπία των σύγχρονων ψηφιακών σχεδιαστών σε σχέση με τους προγενέστερούς τους, αλλά και στην προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των νέων προϊόντων. Με αυτή την προοπτική, μοντελοποιούνται προϊόντα και συστήματα μέσω σχεδιαστικών εργαλείων που βασίζονται στους φυσικούς νόμους, στην προσομοίωση της συμπεριφοράς των προϊόντων και στην προσομοίωση της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Το σύγχρονο προϊόν όταν σχεδιάζεται ελέγχεται επιπλέον κατά την αλληλεπίδραση με άλλα μηχανήματα, με τους χειριστές του ή τους κατασκευαστές του. Το νέο προϊόν μελετάται δηλαδή εξονυχιστικά και παρέχονται λεπτομερείς πληροφορίες που αφορούν την αισθητική του, την λειτουργική συμπεριφορά του, την εργονομία του και επίσης την κατασκευή και συναρμολόγηση του.

2.5 Η εξέλιξη των Σχεδιαστικών Εργαλείων

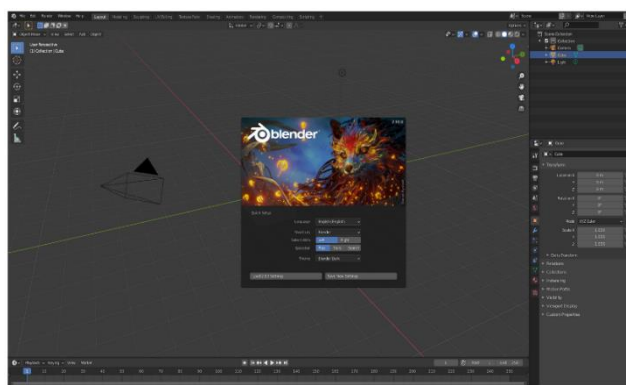
Ουσιαστικά η έρευνα πάνω στην τρισδιάστατη σχεδίαση και στην ανάπτυξη συναφών αλγορίθμων και εργαλείων ξεκινάει από την δεκαετία του 1970. Μέχρι τότε, όλες οι προσπάθειες αφορούσαν στην δισδιάστατη σχεδίαση. Τα κυριότερα ορόσημα στην ανάπτυξη της τρισδιάστατης σχεδίασης αφορούν την ανάπτυξη αναπαραστάσεων Bezier, B-splines και NURBS [12], που αποτέλεσαν τη βάση της σύγχρονης τρισδιάστατης μοντελοποίησης καμπυλών και επιφανειών, καθώς και την ανάπτυξη του PADL (Part and Assembly Description Language) [13]. Η κυκλοφορία στην αγορά τρισδιάστατων εργαλείων θα αργήσει αρκετά. Το 1983, κυκλοφόρησε το 2D σύστημα AutoCAD. Ήταν το πρώτο σημαντικό πρόγραμμα CAD στην ιστορία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης το οποίο έτρεχε σε υπολογιστή IBM. Το εργαλείο πρόσφερε την ίδια λειτουργικότητα με τα άλλα εργαλεία CAD αλλά με εξαιρετικό χαμηλότερο κόστος, της τάξεως του 20%.



Σχήμα 2.5.1: Το γραφικό περιβάλλον του 2D AutoCAD

Από την κυκλοφορία του AutoCAD και μετά, τα ολοένα και πιο προηγμένα εργαλεία σχεδιασμού έγιναν πιο προσιτά, παρόλο που αφορούσαν κυρίως σε δισδιάστατο σχεδιασμό.

Παράλληλα, έγινε η εισαγωγή στην αγορά του IGES, μιας μορφής αρχείου η οποία ήταν ουδέτερη από τον προμηθευτή της, που επέτρεπε στους χρήστες να μεταφέρουν τα τρισδιάστατα σχέδια τους μεταξύ των διαφορετικών λογισμικών CAD και διευκόλυνε κατά πολύ τους χρήστες. Το 1987 κυκλοφορεί το σχεδιαστικό πρόγραμμα Pro/ENGINEER, το οποίο βασίστηκε στην σταθερή γεωμετρία και τις παραμετρικές τεχνικές της σχεδίασης χαρακτηριστικών για τον καθορισμό εξαρτημάτων και συγκροτημάτων. Το Pro/ENGINEER έτρεχε αρχικά σε σταθερούς UNIX, αφού οι υπολογιστές εκείνης της εποχής δεν ήταν αρκετά ισχυροί. Η εισαγωγή αυτής της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένης της παραμετρικής μοντελοποίησης, αποτέλεσε την σημαντικότερη τομή στον τρόπο σχεδιασμού των προϊόντων. Την ίδια εποχή έκαναν και την εμφάνιση τους τα εργαλεία KBE (Knowledge Based Engineering) για την υποστήριξη του Αυτοματισμού της Σχεδίασης [14]. Την δεκαετία του 1990 το λογισμικό CAD ήταν ευρέως διαδεδομένο, απλουστευμένο και φθηνότερο. Γενικότερα, η πρόσβαση σε επαγγελματικά προγράμματα και υλικό έγινε ευκολότερη, επιτρέποντας σε κάθε εταιρεία, ελεύθερο επαγγελματία και ακόμα και χομπίιστα να δημιουργήσει τρισδιάστατα μοντέλα. Τα επόμενα χρόνια τα λογισμικά CAD αναπτυσσόταν και άλλαζαν συνεχώς, επιτρέποντας ταχύτερη πρόσβαση και πιο φιλική προς τον χρήστη εμπειρία. Αλλαγές όπως η αντικατάσταση του IGES με το STEP έκαναν τη μορφή αρχείου πιο αξιόπιστη, ενώ το AutoCAD και το Solidworks αναβαθμίστηκαν γενναία. Την ίδια περίοδο εμφανίστηκαν τα δωρεάν λογισμικά σχεδίασης ανοιχτού κώδικα όπως το Blender, και το ευρύ κοινό γοητεύτηκε με την προοπτική της προσωπικής του ενασχόλησης με την τρισδιάστατη σχεδίαση. Στο επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει μια αναλυτική παρουσίαση των κυριότερων σχεδιαστικών εργαλείων CAD.



Σχήμα 2.5.2: Ο χώρος εργασίας στο ελεύθερο λογισμικό σχεδίασης Blender.

Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα μοντελοποίησης εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες του μαθηματικού μοντέλου RBS (Nonuniform Rational B-Spline) για την περιγραφή και απεικόνιση σύνθετων καμπυλών και επιφανειών σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Οι δυνατότητες τόσο του RBS μοντέλου, όσο και των προηγμένων μέσων απεικόνισης που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία, επιτρέπουν την ρεαλιστική μοντελοποίηση και αναπαράσταση σύνθετων μορφών σε τέτοιο βαθμό που προσεγγίζουν τις πραγματικές. Ωστόσο, η μετάβαση από τη δισδιάστατη μοντελοποίηση στην τρισδιάστατη διήρκεσε περισσότερο από την προηγούμενη μετάβαση, της χρήσης του πίνακα στην ψηφιακή δισδιάστατη μοντελοποίηση. Αυτό οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο γεγονός ότι η σύλληψη ενός προϊόντος και η τρισδιάστατη αναπαράστασή του δεν συναντούσαν τόσο εμπόδια τεχνολογικής φύσεως, όσο συναντούσαν εμπόδια από τον τρόπο σκέψης των τότε μηχανικών. Η υπερπήδηση αυτής της δυσκολίας και η υιοθέτηση νέου τρόπου σύλληψης και σκέψης της σχεδίασης των προϊόντων από τους μηχανικούς ανέδειξε την πεποίθηση ότι το ανθρώπινο δυναμικό είναι αδιαμφισβήτητα κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας για τις εταιρείες. Στην σύγχρονη εποχή, τα εργαλεία CAD έχουν υποβληθεί σε βελτιώσεις στην μοντελοποίηση, στην ανάλυση και τη διαχείριση των προϊόντων που δημιουργούνται, από τη σύλληψη και τη μηχανική έως την κατασκευή τους, στις πωλήσεις, στη συντήρηση και την αποσυναρμολόγηση τους, αυτό που είναι σήμερα γνωστό ως PLM (Product Lifecycle Management).

2.6 Συστήματα συντεταγμένων της οθόνης του Η/Υ

Πριν την δημιουργία του πρώτου τρισδιάστατου λογισμικού σχεδίασης UNISURF CAD, το 1968 στην Renault από τον Pierre Bezier, τα λογισμικά CAD, όπως το Sketchpad και το DAC-1 μπορούσαν να παράγουν σχέδια μόνο στις δύο διαστάσεις. Βασική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό είτε στις δύο, είτε στις τρεις διαστάσεις ήταν ο ορισμός του συστήματος συντεταγμένων της οθόνης. Λόγω του σχήματος της οθόνης μπορεί να επιλεγεί το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων ή το πολικό σύστημα συντεταγμένων. Η οριζόντια διάσταση της οθόνης αντιστοιχεί στον άξονα X και η κάθετη διάσταση της οθόνης αντιστοιχεί στον άξονα Y. Επιπρόσθετα, απαραίτητο είναι να δοθεί και η αρχή των αξόνων του συστήματος, δηλαδή το σημείο (0, 0). Αυτή η αρχή μπορεί να τοποθετηθεί στο κέντρο της οθόνης, στην αριστερή κάτω γωνία ή στην αριστερή πάνω γωνία της οθόνης. Στην προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων επιλέγεται το τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (x, y, z).

Επειδή μπορεί να σχεδιαστούν ποικίλα αντικείμενα με διαστάσεις οι οποίες, να είναι εξαιρετικά μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις διαστάσεις της οθόνης είναι απαραίτητη η μετατροπή των φυσικών συντεταγμένων του αντικειμένου που απεικονίζεται, στο σύστημα συντεταγμένων οθόνης (SCS – Screen Coordinate System). Το φυσικό σύστημα συντεταγμένων (WCS – World Coordinate System) είναι το δεξιόστροφο καρτεσιανό σύστημα με το οποίο εκφράζουμε τις διαστάσεις των αντικειμένων ενώ το σύστημα συντεταγμένων φυσικής συσκευής είναι οι συντεταγμένες που μπορεί να αντιληφθεί η οθόνη.

Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει μέσω γραμμικού μετασχηματισμού της μορφής:

$$a_1 * xw + b_1 = xs$$

$$a_2 * yw + b_2 = ys$$

Οι τιμές των a και b βρίσκονται με την επίλυση του συστήματος που ορίζεται από τις τιμές (xw, yw) (x,y κόσμου) και (xs, ys) (x, y οθόνης) στα όρια της οθόνης.

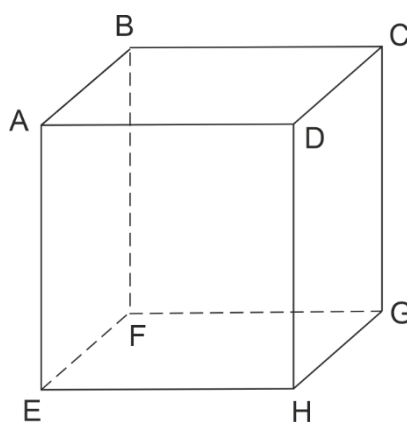
Εξαιτίας των διαφορετικών μεγεθών των οθονών, πριν γίνει η μετατροπή στο σύστημα της φυσικής συσκευής, γίνεται πρώτα η μετατροπή σε ένα σύστημα που παίρνει τιμές από μηδέν έως ένα σε όλους του άξονες του και ονομάζεται σύστημα κανονικοποιημένων συντεταγμένων συσκευής (NDC - Normalized Device Coordinates). Οπότε γίνεται πρώτα ο μετασχηματισμός από το σύστημα φυσικών συντεταγμένων στο σύστημα με τις

κανονικοποιημένες συντεταγμένες και στην συνέχεια από τις κανονικοποιημένες συντεταγμένες στο σύστημα συντεταγμένων της φυσικής συσκευής. [15]

2.7 Οπτικοποίηση ενός αντικειμένου στην οθόνη του Η/Υ

Κατά την οπτικοποίηση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου στην οθόνη υπάρχει δυσκολία να δοθεί μια ρεαλιστική και ακριβής απεικόνιση του, παρόλο που αυτό είναι και το ζητούμενο και η απαίτηση του τελικού αποδέκτη του προϊόντος. Αυτή η δυσκολία οφείλεται στο γεγονός ότι πρέπει να αποφασιστεί από τον υπολογιστή, σε ποιο σημείο της οθόνης θα το απεικονίσει και επίσης αν θα προβληθεί ολόκληρο το στερεό ή θα χρειαστεί να παραλειφθούν κάποια από τα μέρη του. Αυτή η διαδικασία είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται ανάλογα με τη θέση θέασης του στερεού, δηλαδή ο υπολογιστής έχει ως είσοδο το αντικείμενο, την επιθυμητή θέση και κατεύθυνση θέασης για έναν υποθετικό παρατηρητή, και στην συνέχεια μέσω ποικίλων αλγορίθμων αποτυπώνει μία ρεαλιστική εικόνα του αντικειμένου για τον παρατηρητή που θα βρισκόταν σε τέτοια θέση.

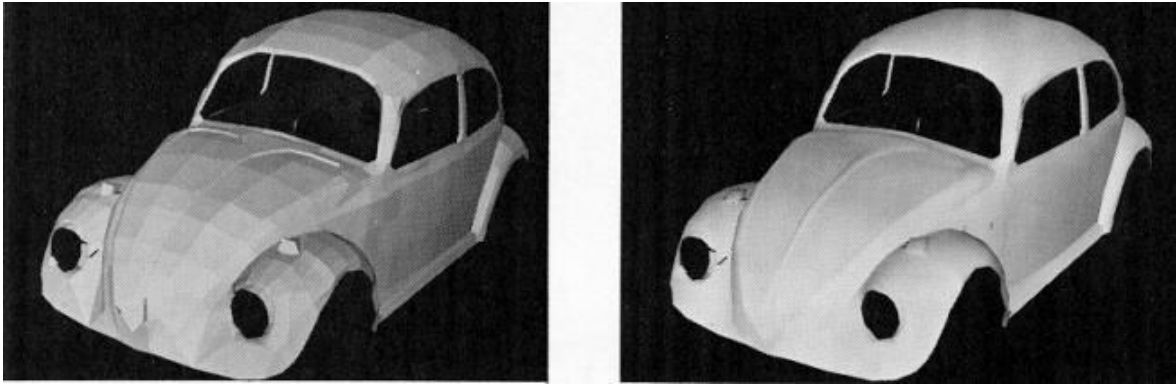
Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, έγιναν πολλές προσπάθειες από την φωτογραμμετρική κοινότητα να απεικονιστούν με ακρίβεια τρισδιάστατα αντικείμενα. Μικρά αντικείμενα, όπως αυτοκίνητα ή ακόμα και ανθρώπινα πρόσωπα, εμφανίζονταν ως μοντέλα ακμών. Με την αναβάθμιση της ταχύτητας, της μνήμης και των γραφικών δυνατοτήτων των υπολογιστών, με την πάροδο του χρόνου, τα πλήρως γεωμετρικά τρισδιάστατα μοντέλα με υφές, είναι πλέον συνηθισμένα ως φωτορεαλιστικές αναπαραστάσεις. Με την βοήθεια των αλγορίθμων που αλληλοεπιδρούν με το αντικείμενο ώστε να το προβάλλουν, όλων των ειδών των αντικειμένων, πολύπλοκων και μη, προσεγγίζονται από ένα σύνολο επίπεδων όψεων. Για παράδειγμα ένας κύβος αποτελείται από έξι επίπεδα πολυγώνων όπως φαίνονται στο σχήμα 2.7.1. Ο αριθμός των επιπέδων πολυγώνων που θα επιλεγθούν για να προσομοιάσουν ένα αντικείμενο επιλέγεται με βάση δύο αντικρουόμενων κριτηρίων. Το πρώτο κριτήριο είναι η επιθυμία να είναι η απεικόνιση του αντικειμένου πιστή στο πραγματικό στερεό, δηλαδή να αποτελείται από όσο μεγαλύτερο αριθμό επιπέδων πολυγώνων γίνεται και το δεύτερο κριτήριο είναι ότι η ταχύτητα των αλγορίθμων που αλληλοεπιδρούν με το αντικείμενο μειώνεται, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πολυγώνων που το αποτελούν. Οπότε πρέπει να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός όψεων ώστε η ταχύτητα των αλγορίθμων να είναι γρήγορη και παράλληλα η απεικόνιση του αντικειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική. Για παράδειγμα στο σχήμα 2.7.2 φαίνεται η διαφορά στην ποιότητα αναπαράστασης του αυτοκινήτου. Στην δεξιά αναπαράσταση ο αριθμός των πολυγώνων που προσεγγίζουν το αυτοκίνητο είναι μεγαλύτερος από την αριστερή αναπαράσταση και για αυτό το λόγο είναι πιο πιστή στο πραγματικό αυτοκίνητο.



Πολύγωνα:

ABCD
DCGH
EHGF
BAEF
ADHE
CBFG

Σχήμα 2.7.1: Κύβος



Σχήμα 2.7.2: Αναπαράσταση αυτοκινήτου με διαφορετικό αριθμό πολυγώνων

Για να μπορέσει να γίνει η προβολή του αντικειμένου πρέπει να δοθούν, οι συντελεστές a, b, c, d της εξίσωσης του επιπέδου ($ax^2+by+cz+d$) για κάθε επιφάνεια-όψη του ή να δοθούν οι συντεταγμένες των κορυφών της κάθε επιφάνειας μαζί με την τοπολογία σύνδεσης των επιφανειών μεταξύ τους.

Κατά την οπτικοποίηση, ένα κοινό πρόβλημα είναι η παρουσία εφέ παραμόρφωσης, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των κινούμενων εικόνων ή όταν τα διανυσματικά στρώματα αλληλεπικαλύπτονται στην τρισδιάστατη γεωμετρία. Αυτό μπορεί να συμβεί, όταν για παράδειγμα, η επιφάνεια σχεδίασης βρίσκεται μακριά, και ένα pixel που εμφανίζεται σε αυτήν την επιφάνεια μπορεί να σχετίζεται με διαφορετικά στοιχεία υφής (texels) του χάρτη υφής, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αυτής της παραμόρφωσης και χαρακτηριστικών οδοντωτών γραμμών. Σήμερα, ισχυρά λογισμικά κινούμενων σχεδίων διαθέτουν έλεγχο κατά της παραμόρφωσης και έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι οπτικοποίησης σε πραγματικό χρόνο, τουλάχιστον 20 καρέ το δευτερόλεπτο, ακόμη και για πολύ μεγάλους αριθμούς πολυγώνων και με υφές υψηλής ανάλυσης, χωρίς να χάνονται σημαντικές πληροφορίες. [15]

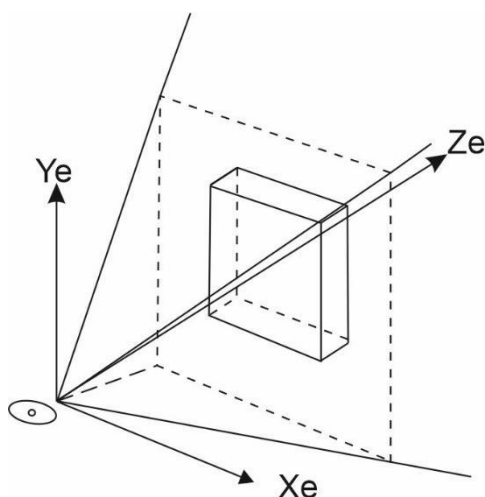
2.8 Πρόβλημα κρυμμένων γραμμών-επιφανειών

Από την αρχή της εξέλιξης των γραφικών συστημάτων υπήρξαν προβλήματα για την απεικόνιση τρισδιάστατων αντικειμένων σε δισδιάστατες εικόνες. Αρχικά την δεκαετία του 1960 τα πρώτα γραφικά συστήματα μπορούσαν να σχεδιάσουν μόνο γραμμές και οι όψεις των αντικειμένων αναπαριστανόταν από κλειστά “κυκλώματα” ευθειών γραμμών. Αυτά τα μοντέλα ονομάζονται μοντέλα ακμών (wireframe models) και προκαλούσαν οπτική σύγχυση επειδή όλες οι γραμμές που τα αποτελούσαν ήταν ορατές. Έτσι υπήρξε η ανάγκη για την δημιουργία αλγορίθμων που ανάλογα με την θέση θέασης του αντικειμένου θα έβρισκαν εκείνες τις γραμμές που κανονικά δεν θα έπρεπε να υπάρχουν και θα είχαν την δυνατότητα να τις διαγράψουν ή να τις κάνουν διακεκομμένες. Το πρόβλημα της εύρεσης των γραμμών που δεν έπρεπε να είναι ορατές ονομάζεται “Πρόβλημα κρυμμένων γραμμών”.

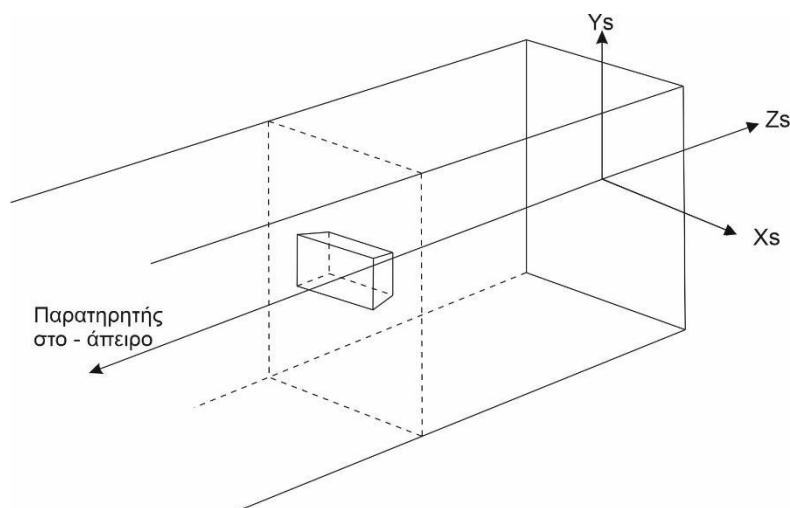
Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 τα γραφικά συστήματα εξελίχθηκαν και μπορούσαν να παράγουν σκιασμένα σχέδια. Έτσι, το πρόβλημα της εύρεσης μη ορατών γραμμών, μετατράπηκε στην εύρεση επιφανειών που δεν θα έπρεπε να είναι ορατές και ονομάστηκε “Πρόβλημα κρυμμένων επιφανειών”. Στους αλγόριθμους που δίνει λύση σε αυτά τα δύο προβλήματα, βοήθησε πολύ η μετατροπή της προοπτικής προβολής του αντικειμένου που εξετάζεται, στην ορθογραφική προβολή.

Στην προοπτική προβολή ενός αντικειμένου (σχήμα 2.8.1) παρατηρείται ότι φεύγουν πολλές ακτίνες από το “μάτι”, ενός υποθετικού παρατηρητή, σε ποικίλες γωνίες και υπολογίζεται με την βοήθεια πολύπλοκων τριγωνομετρικών εξισώσεων ποιες από τις όψεις του αντικειμένου τέμνουν. Όμως για τους αλγόριθμους που υπολογίζουν τις κρυφές επιφάνειες, είναι πιο εύκολο να κάνουν τους υπολογισμούς τους σε μία ορθογραφική προβολή (σχήμα 2.8.2), επειδή οι ακτίνες που φεύγουν από το “μάτι” είναι παράλληλες στον Z άξονα και τότε στο τρισδιάστατο σύστημα, οι συντεταγμένες X,Y είναι αυτές της οθόνης και η συντεταγμένη Z είναι αυτή του βάθους του στερεού. Για να είναι δυνατός

αυτός ο μετασχηματισμός, ο υποθετικός παρατηρητής μετακινείται στο άπειρο και το αντικείμενο παραμορφώνεται κατάλληλα ώστε η απεικόνιση του να είναι ακριβώς ίδια. [15]



Σχήμα 2.8.1: Προοπτική προβολή



Σχήμα 2.8.2: Ορθογραφική προβολή

Κατά τον μετασχηματισμό αυτό προβάλλονται οι συντεταγμένες X, Y στην οθόνη και προσαρμόζεται η συντεταγμένη Z , του βάθους, με τέτοιο τρόπο που διατηρείται η φυσικότητα των επιπέδων των όψεων, η ευθύτητα των γραμμών και η διάταξη των όψεων σε βάθος.

Για να γίνει ο μετασχηματισμός από προοπτική σε ορθογραφική προβολή γίνονται πρώτα δύο μετασχηματισμοί που είναι σε μορφή πίνακα και μπορούν να εφαρμοστούν ταυτόχρονα υπολογίζοντας το γινόμενο των πινάκων τους.

Ο πρώτος μετασχηματισμός εκφράζει την θέση των αντικειμένων σε σχέση με τον παρατηρητή στο λεγόμενο "Σύστημα συντεταγμένων του ματιού" που λαμβάνει υπόψιν την θέση και την κατεύθυνση θέασης του παρατηρητή. Σε αυτό το σύστημα ο X άξονας έχει κατεύθυνση προς τα δεξιά, ο Y προς τα πάνω και ο Z έχει ίδια κατεύθυνση με την κατεύθυνση θέασης του παρατηρητή.

Ο πρώτος μετασχηματισμός σε μορφή πίνακα είναι:

$$(X_e \ Y_e \ Z_e \ 1) = (X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ 1) \ (1)$$

Ο πίνακας (1) εκφράζει μία πλήρη τρισδιάστατη κίνηση, ο 3x3 πίνακας που αποτελούν τα "r" (rotation) δείχνει την περιστροφή του αντικειμένου και η τέταρτη γραμμή που αποτελούν τα "t" (translation) δείχνει την μετακίνησή του.

Ο δεύτερος μετασχηματισμός μετατρέπει το σύστημα συντεταγμένων του "ματιού" στο σύστημα συντεταγμένων της οθόνης. Κατά τον δεύτερο μετασχηματισμό οι X και Y συντεταγμένες, προσδιορίζονται διαιρώντας τις συντεταγμένες X_e και Y_e με την απόσταση του παρατηρητή από το στερεό Z_e και υπολογίζεται το προοπτικό βάθος, για κάθε σημείο, για το οποίο διατηρείται η ευθύτητα των γραμμών, η φυσικότητα των επιπέδων και η διάταξη του βάθους.

Μπορεί να εκφραστεί ως:

$$(x_s \ y_s \ z_s \ w_s) = (X_e \ Y_e \ Z_e \ l) \quad (2)$$

$$X_s = x_s/w_s, \ Y_s = y_s/w_s, \ Z_s = z_s/w_s$$

Το f σχετίζεται με την εστιακή απόσταση.

Ο δεύτερος μετασχηματισμός μπορεί επίσης να εκφραστεί με βάση ένα σύστημα συντεταγμένων που βρίσκεται στο κέντρο της οθόνης:

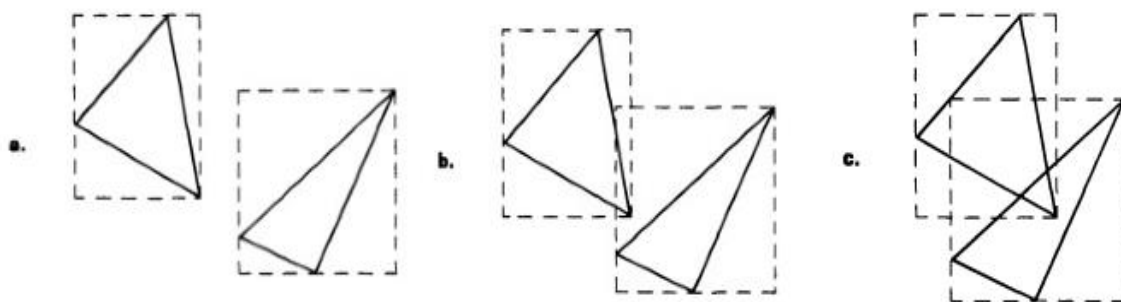
$$(x_s \ y_s \ z_s \ w_s) = (X_e \ Y_e \ Z_e \ l) \quad (3)$$

$$X_s = x_s/w_s, \ Y_s = y_s/w_s, \ Z_s = z_s/w_s$$

Το d είναι η απόσταση του ματιού του παρατηρητή από την οθόνη. [15]

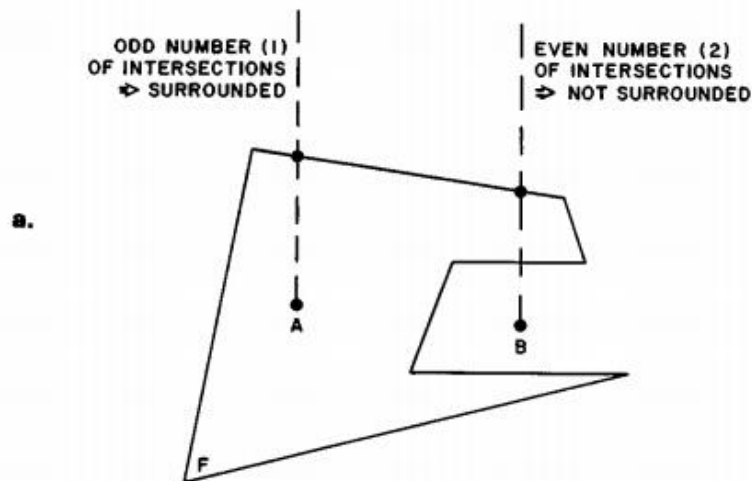
2.9 Γεωμετρικοί υπολογισμοί των αλγορίθμων κρυμμένων γραμμών-επιφανειών

Στους περισσότερους αλγορίθμους που ανακαλύπτουν κρυμμένες γραμμές ή επιφάνειες χρησιμοποιούνται κάποιοι γεωμετρικοί υπολογισμοί. Ένας από αυτούς ονομάζεται "Minimax Tests" και γίνεται σύγκριση των συντεταγμένων δύο πολυγώνων για να βρεθεί αν επικαλύπτονται και στην συνέχεια με μία σύγκριση του βάθους προσδιορίζεται ποιο επικαλύπτεται. Η σύγκριση είναι για τον άξονα x και για τον άξονα y. Αν η μέγιστη τιμή κάποια όψης και στους δύο άξονες, είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή μιας άλλης όψης, τότε δεν επικαλύπτονται οι όψεις (σχήμα 2.9.1 a). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.9.1 στην ουσία συγκρίνονται τα δύο παραλληλόγραμμα που περικλείουν τα δύο πολύγωνα και αυτό αφήνει περιθώριο λάθους στον αλγόριθμο. Στο σχήμα 2.9.1 b ενώ δεν επικαλύπτονται θα δείξει λάθος ότι υπάρχει επικάλυψη. Στο σχήμα 2.9.1 c θα δείξει σωστά ότι επικαλύπτονται.



Σχήμα 2.9.1 Παράδειγμα Minimax Tests

Ένας άλλος γεωμετρικός υπολογισμός ονομάζεται "Surround Tests" και χρησιμοποιείται σε μη κυρτά πολύγωνα. Σχεδιάζεται μία γραμμή από το σημείο που θέλουμε να ελέγξουμε στο άπειρο και μετριέται ο αριθμός των διασταυρώσεων της γραμμής με τα πολύγωνα. Αν ο αριθμός των διασταυρώσεων είναι ζυγός τότε το σημείο βρίσκεται εκτός του πολυγώνου, ενώ αν είναι περιττός βρίσκεται εντός του πολυγώνου. Η μέθοδος αυτή φαίνεται στο σχήμα 2.7.2. [15]



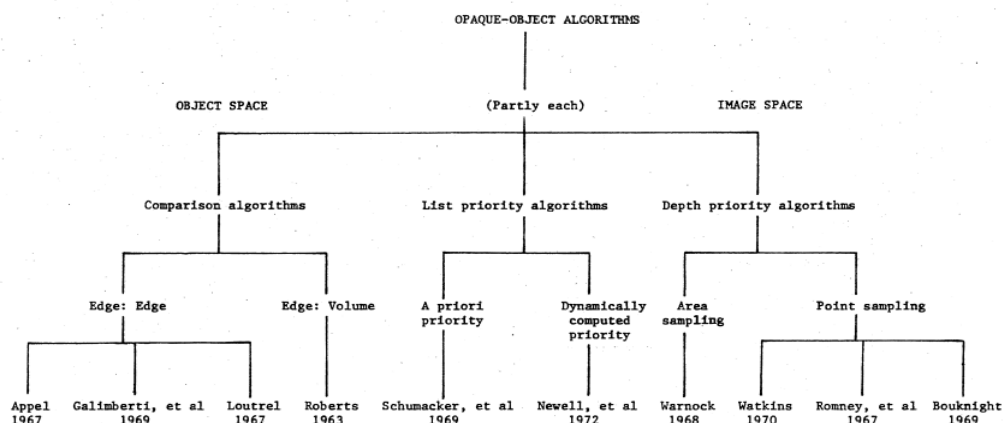
Σχήμα 2.9.2: Παράδειγμα “Surrounding Tests”

2.10 Αλγόριθμοι κρυμμένων γραμμών-επιφανειών

Οι αλγόριθμοι κρυμμένων γραμμών-επιφανειών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους αλγόριθμους που κάνουν τους υπολογισμούς τους στον “χώρο-αντικείμενο” (object-space), η δεύτερη στον “χώρο-εικόνα” και η τρίτη (list-priority) που γίνονται εν μέρη οι υπολογισμοί στις δύο πρώτες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία οι υπολογισμοί γίνονται με βάση την ακρίβεια που διαθέτει ο εκάστοτε υπολογιστής και υπολογίζει το πως θα πρέπει να είναι η εικόνα ακόμα και αν μεγεθυνθεί πολλές φορές, δηλαδή εξετάζουν αν κάθε δυνητικά ορατό αντικείμενο στο χώρο είναι όντως ορατό. Στην δεύτερη κατηγορία οι αλγόριθμοι εκτελούνται με βάση την ακρίβεια που διαθέτει η οθόνη που θα χρησιμοποιηθεί ως μέσο εξόδου του σχήματος, δηλαδή εξετάζουν τι είναι ορατό σε κάθε εικονοστοιχείο (πίξελ) της οθόνης και στην τρίτη κατηγορία οι αλγόριθμοι λειτουργούν εν μέρη και στις δύο πρώτες κατηγορίες.

Κάθε ομάδα αλγορίθμων χρησιμοποιεί διαφορετική μέθοδο για την εύρεση ορατών τμημάτων γραμμών ή όψεων. Στους αλγόριθμους χώρου αντικειμένων γίνονται δοκιμές σύγκρισης για να βρεθούν οι γραμμές και να προσδιοριστούν ποιες είναι ορατές, ενώ στους αλγόριθμους χώρου εικόνας χρησιμοποιούνται συστήματα προτεραιότητας βάθους για να καθοριστεί η ορατότητα σε μια συγκεκριμένη περιοχή της οθόνης. [15]

Στο σχήμα 2.10.1 φαίνονται οι τρεις κατηγορίες των δέκα πιο σημαντικών αλγορίθμων που δημοσιεύτηκαν στην αρχή της εξέλιξης των γραφικών συστημάτων και παρουσιάστηκαν από τους Sutherland, Sproull και Shumacker το 1974 σε ένα επιστημονικό άρθρο.



Σχήμα 2.10.1: Οι τρεις κατηγορίες αλγορίθμων των Sutherland, Sproull και Shumacker το 1974

2.11 Αλγόριθμοι “αντικειμένου χώρου” (object space)

Ο L. G. Roberts ήταν ο πρώτος που έδωσε λύση στο πρόβλημα των κρυμμένων γραμμών, στο M.I.T. το 1963. Χρησιμοποίησε τεχνικές της γραμμικής άλγεβρας για να συγκρίνει κάθε ακμή σε ένα περιβάλλον με κάθε χωρικό όγκο, ο οποίος ορίζεται από ένα σύνολο κυρτών πολυγωνικών όψεων. Κάθε όψη ενός όγκου, που αποτελείται από κυρτά πολύγωνα, μπορεί να αναπαρασταθεί από μία εξίσωση επιπέδου της μορφής $aX+bY+cZ+d=0$. Οι μαθηματικές σχέσεις μεταξύ των σημείων μιας ακμής και αυτών των επιπέδων μπορούν να προσδιορίσουν την ορατότητα της ακμής που εξετάζεται. Ο αλγόριθμος του Roberts αποτελείται από τρία βήματα.

Στο πρώτο βήμα, επειδή κάποια μέρη του περιβάλλοντος μπορεί να βρίσκονται εκτός ή εν μέρη εκτός από την συγκεκριμένη οπτική γωνία του σημείου θέασης, δηλαδή εκτός των ορίων της οθόνης, πρέπει να διαγράφονται. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας μια εξίσωση ακμών με ένα ειδικό πίνακα όγκων που αναπαριστά τις ακμές του ορίου της προβολής. Οι παράμετροι που προκύπτουν παρέχουν μέγιστες και ελάχιστες τιμές που καθορίζουν το ορατό τμήμα μιας ακμής.

Στο δεύτερο βήμα του αλγορίθμου εξαλείφονται οι πίσω ακμές και αυτό καθορίζεται από την θέση θέασης του παρατηρητή. Έχοντας ως δεδομένο την κατεύθυνση του διανύσματος που είναι κάθετο στην εκάστοτε όψη του αντικειμένου μπορεί να αναγνωριστεί αν είναι μπροστινή ή πίσω όψη.

Στο τρίτο βήμα του αλγορίθμου εξετάζονται οι ακμές, οι οποίες ονομάζονται σχετικές ακμές, που δεν έχουν διαγραφεί στα πρώτα δύο βήματα. Γίνεται έλεγχος της ορατότητας των ακμών, συγκρίνοντας την κάθε ακμή με κάθε στερεό όγκο στο περιβάλλον. Δίνεται η παραμετρική εξίσωση της κάθε ακμής στην μορφή:

$$v = s + t(r-s) \quad 0 \leq t \leq 1,$$

όπου το r και το s τα άκρα της γραμμής. Για κάθε τιμή του t κατά μήκος της ακμής, δημιουργείται ένα διάνυσμα που έχει κατεύθυνση προς τον παρατηρητή. Εάν οποιαδήποτε από τα διανύσματα που δημιουργούνται διέρχεται από κάποια επιφάνεια τότε η ακμή θεωρείται ότι είναι εν μέρη ή ολικώς κρυμμένη. Αν κανένα από τα διανύσματα δεν διέρχεται από κάποια επιφάνεια η ακμή θεωρείται ορατή.

Στην συνέχεια επόμενη προσπάθεια δημιουργίας αλγορίθμου για την εύρεση των κρυμμένων γραμμών στην κατηγορία “αντικειμένου χώρου” έγινε από τον A. Appel το 1967 και σε αντίθεση με τον αλγόριθμο του Roberts γινόταν συγκρίσεις ακμών με ακμών και όχι ακμών με όγκους αντικειμένων. Στον αλγόριθμο εισάγονται οι έννοιες της υλικής ακμής, της γραμμής περιγράμματος και της ποσοτικής αορατότητας. Η υλική ακμή είναι ίδια με την σχετική ακμή που εισάχθηκε σαν όρος στον αλγόριθμο του Roberts. Η ακμή περιγράμματος είναι μία ακμή που σχηματίζει μέρος του περιγράμματος όπως αυτό φαίνεται από την οπτική γωνία του παρατηρητή. Η υλική ακμή χωρίζεται σε τμήματα ανάλογα με τον αριθμό των διασταυρώσεων της υλική ακμής με τις γραμμές περιγράμματος. Η ποσοτική αορατότητα σε μία υλική ακμή παίρνει μια αρχική τιμή, η οποία εξαρτάται από την αορατότητα της κορυφής της ακμής. Χρειάζεται να βρεθεί αν η κορυφή κρύβεται πίσω από όψεις. Όταν πάρει την αρχική της τιμή, στην συνέχεια, η τιμή της αορατότητας μπορεί να αλλάξει μόνο όταν η υλική ακμή περάσει μέσα από μία ακμή περιγράμματος, η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο θέασης. Σε αυτή την διασταύρωση η τιμή της αορατότητας μπορεί να αυξηθεί κατά ένα ή να μειωθεί επίσης κατά ένα.

Στο σχήμα 2.11.1 παρατηρείται ότι αρχικά η τιμή της αορατότητας παίρνει την τιμή μηδέν (είναι ορατή), στην συνέχεια όταν περάσει πίσω από μία γραμμή περιγράμματος αυξάνεται κατά ένα (είναι αόρατη) και όταν βγει πίσω από την επόμενη γραμμή περιγράμματος μειώνεται κατά ένα και είναι πάλι ορατή. Στην τελική κορυφή της ακμής

κρύβει την άλλη.



κρύβει την άλλη.



κρύβει την άλλη.

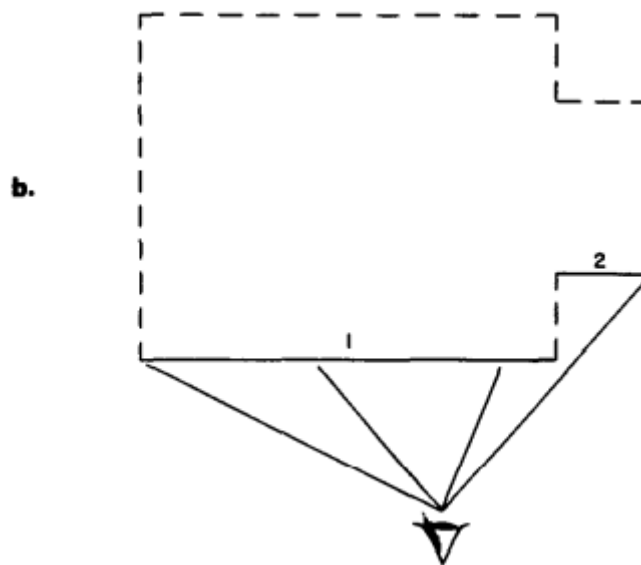
κρύβει την άλλη.

2.12 Αλγόριθμοι “λίστα προτεραιότητας” (list priority)

Οι αλγόριθμοι “λίστα προτεραιότητας” λειτουργούν εν μέρη και στην κατηγορία των αλγορίθμων “αντικείμενο χώρος” και στην κατηγορία “εικόνα χώρος”. Στην πρώτη κατηγορία τοποθετούνται, λόγω της υψηλής ακρίβειας των υπολογισμών της επικάλυψης στο βάθος και στην δεύτερη κατηγορία τοποθετούνται μόνο επειδή η ανάλυση του μέσου εξόδου είναι πεπερασμένη. Στους αλγορίθμους “λίστας προτεραιότητας” γίνεται εκ των προτέρων μία διάταξη ορατότητας για όλες τις επιφάνειες πριν γίνει επεξεργασία της εικόνας στον “χώρο εικόνας”. Η προτεραιότητα μιας επιφάνειας εκφράζεται ως γραμμική διάταξη όλων επιφανειών, και όταν χρειαστεί ο προσδιορισμός της ορατότητας ανάμεσα σε δύο επιφάνειες, ως ορατή, θα επιλεγεί αυτή με την υψηλότερη προτεραιότητα.

Ο πρώτος αλγόριθμος σε αυτή την κατηγορία ξεκίνησε να αναπτύσσεται στην General Electric από τον Shumacker και τους συνεργάτες του το 1965 και ολοκληρώθηκε το 1969. Ο στόχος της δημιουργίας του αλγορίθμου ήταν η τοποθέτηση του σε ένα σύστημα που θα χρησιμοποιούνταν στον οπτικό προσομοιωτή πτήσης για το κέντρο επανδρωμένων διαστημοπλοίων της NASA. Το σύστημα αυτό ήταν ικανό να παράγει εικόνες από το περιβάλλον ενός διαστημικού σκάφους και να τις παρουσιάζει στον πιλότο σε μία οθόνη τηλεόρασης. Θεωρείται το πρώτο σύστημα που έδινε λύση στο πρόβλημα των κρυμμένων επιφανειών σε πραγματικό χρόνο.

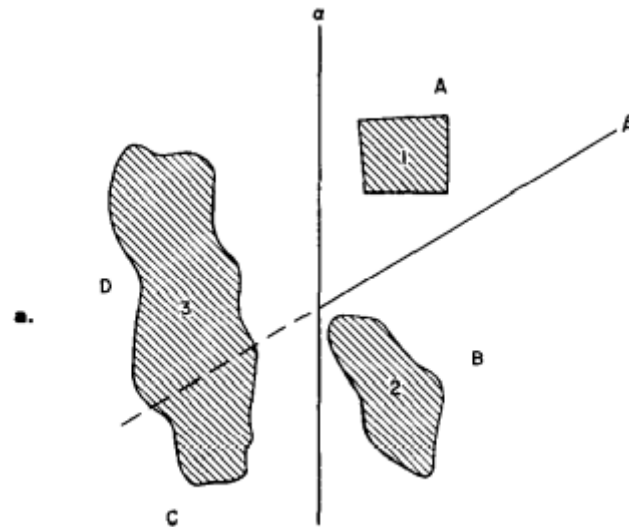
Στον αλγόριθμο του Shumacker το περιβάλλον χωρίζεται σε συστάδες, η κάθε συστάδα αποτελεί ένα αντικείμενο, και μέσα σε κάθε συστάδα γίνεται σύγκριση της κάθε όψης που υπάρχει στην συστάδα, με όλες τις όψεις τις συστάδας και καθορίζεται η προτεραιότητα των όψεων. Αν το περιβάλλον αποτελείται από πολλά αντικείμενα δηλαδή πολλές συστάδες, αφού γίνει ο καθορισμός της προτεραιότητας των όψεων, στην συνέχεια γίνεται ο καθορισμός της προτεραιότητας των συστάδων. Ο Shumacker αποφάσισε να χωρίσει το περιβάλλον σε συστάδες, επειδή παρατήρησε ότι μέσα σε μία συστάδα, αφού αφαιρεθούν οι πίσω όψεις ανάλογα με το σημείο θέασης η λίστα προτεραιότητας των σχετικών όψεων δεν αλλάζει (σχήμα 2.12.1). Έτσι μπορεί να υπολογισθεί μόνο μία φορά η λίστα προτεραιότητας.



Σχήμα 2.12.1: Καθορισμός της λίστας προτεραιότητας σε μία συστάδα, η όψη με τον μικρότερο αριθμό έχει και την μεγαλύτερη προτεραιότητα

Αν μέσα σε μία συστάδα υπάρχουν τρεις όψεις, στις οποίες ανάλογα με το σημείο θέασης αλλάζει και η σειρά προτεραιότητας των όψεων όπως γίνεται στο σχήμα 2.12.2 η συστάδα πρέπει να χωριστεί σε μικρότερες συστάδες και να υπολογιστεί η σειρά προτεραιότητας για την κάθε μικρότερη συστάδα. Αυτό είναι εφικτό μόνο όταν το περιβάλλον είναι γραμμικά διαχωρίσιμο δηλαδή μπορούν να βρεθούν διαχωριστικά επίπεδα. Στο σχήμα

2.12.2 αν το σημείο θέασης βρίσκεται στην περιοχή A τότε η σειρά προτεραιότητας είναι πρώτα η 1 όψη, στην συνέχεια η 2 όψη και στο τέλος η 3 όψη. Αντίστοιχα, αν το σημείο θέασης είναι στην περιοχή B, είναι με τη σειρά η 2, 1, 3, στην περιοχή Γ είναι η 3, 2, 1 και τέλος στην περιοχή Δ είναι η 3, 1, 2. [15]

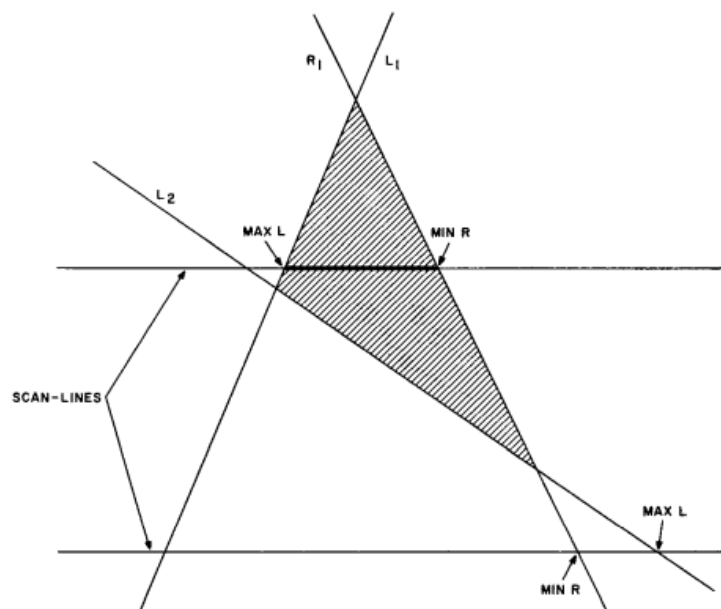


Σχήμα 2.12.2: Χωρισμός μία συστάδας σε μικρότερες συστάδες και η εύρεση της σειράς προτεραιότητας ανά συστάδα.

Επειδή στο σύστημα που υπάρχει ο αλγόριθμος του Shumacker δίνει λύση σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει κίνηση των συστάδων μέσα στο περιβάλλον, με την προϋπόθεση ότι παραμένει γραμμικά διαχωρίσιμο. Σε κάθε καρέ, υπολογίζονται οι προτεραιότητες των συστάδων, λαμβάνοντας υπόψιν τις μεταβαλλόμενες σχέσεις βάθους των συστάδων, από την σύγκριση του σημείου θέασης και των διαχωριστικών επιφανειών και δημιουργείται μία λίστα προτεραιότητας από την οποία αφαιρούνται οι πίσω όψεις και υπολογίζονται εκ νέου οι προοπτικές συντεταγμένες κάθε ακμής στο περιβάλλον, δίνοντας τις εξισώσεις της ακμής στο επίπεδο θέασης της μορφής:

$$X_S = A + BY_S.$$

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10.3, η όψη αποτελείται μόνο από αριστερές και δεξιές ακμές και παρατηρείται στην γραμμή 1 σάρωσης, ότι όταν το μέγιστο στον άξονα X στις αριστερές ακμές είναι μικρότερο από το ελάχιστο X στις δεξιές ακμές της εκάστοτε γραμμής σάρωσης το τμήμα που συνδέει τα δύο άκρα είναι ορατό ενώ στην γραμμή σάρωσης 2 δεν ισχύει αυτή η συνθήκη και το τμήμα δεν είναι ορατό.

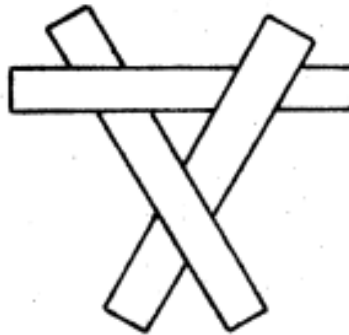


Σχήμα 2.12.3: Υπολογισμός ορατότητας με τις γραμμές σάρωσης

Ο δεύτερος αλγόριθμος της κατηγορίας “λίστας προτεραιότητας” δημιουργήθηκε από τον Newell το 1972 και ονομάστηκε αλγόριθμος προτεραιότητας διότι δίνεται, σε κάθε όψη προτεραιότητα, ανάλογα με την απόσταση της από το σημείο θέασης. Όπως και στον αλγόριθμο του Shumacker γίνεται η ταξινόμηση των επιφανειών σε προτεραιότητα βάθους, με υψηλότερη προτεραιότητα, οι όψεις που βρίσκονται πιο κοντά στο σημείο θέασης. Η ταξινόμηση του βάθους γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν μόνο το πλησιέστερο σημείο της κάθε όψης στον παρατηρητή. Στην συνέχεια ξεκινάει η εισαγωγή των όψεων στην οθόνη από την πιο απομακρυσμένη προχωρώντας προς την πλησιέστερη. Για να υπολογιστεί η λίστα με την προτεραιότητα των όψεων, πραγματοποιούνται οι παρακάτω δοκιμές, με την σειρά που προβάλλονται, και όταν βρεθεί η πρώτη δοκιμή που είναι αληθής καθορίζεται η προτεραιότητα της όψης χωρίς να χρειάζεται να εφαρμοστούν οι υπόλοιπες δοκιμές:

- ☐ Δεν υπάρχει επικάλυψη σε βάθος χρησιμοποιώντας την δοκιμή ελαχίστου βάθους
- ☐ Δεν υπάρχει επικάλυψη στον Χ άξονα ή στον Υ άξονα χρησιμοποιώντας “Minimax test”
- ☐ Όλες οι κορυφές της εξεταζόμενης όψης βρίσκονται πλησιέστερα στο σημείο θέασης από το επίπεδο που ανήκει η επόμενη όψη
- ☐ Όλες οι κορυφές της επόμενης όψης είναι πιο μακριά από το επίπεδο που περιέχει την εξεταζόμενη όψη
- ☐ Δεν υπάρχει καμία επικάλυψη στον Χ άξονα ή στον Ζ άξονα χρησιμοποιώντας μια δοκιμή πλήρους επικάλυψης

Στον αλγόριθμο του Newell, επειδή οι όψεις μπορούν να καλύψουν άλλες όψεις όπως φαίνεται στο σχήμα 2.12.4 χρειάζεται, σε τέτοια περίπτωση, οι συγκρουόμενες όψεις να διαιρεθούν μέχρι να λυθεί το πρόβλημα. [15]



Σχήμα 2.12.4: Πρόβλημα αλληλοεπικάλυψης των όψεων

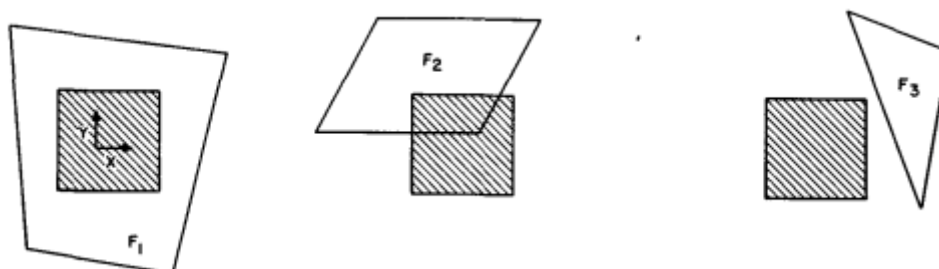
2.13 Αλγόριθμοι “χώρου εικόνας” (image space)

Στους αλγόριθμους που λειτουργούν στον “χώρο εικόνας” χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι προτεραιότητας βάθους, οι οποίοι διαχωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, στους αλγόριθμους δειγματοληψίας περιοχής και στους αλγόριθμους δειγματοληψίας σημείου. Στους αλγόριθμους δειγματοληψίας περιοχής, η οθόνη χωρίζεται σε ομοιογενείς παράθυρα και στους αλγόριθμους δειγματοληψίας σημείων υπολογίζονται οι τομές των όψεων με την κάθε γραμμή σάρωσης.

Ο Warnock το 1968 δημιούργησε έναν αλγόριθμο που ανήκει στην κατηγορία δειγματοληψίας περιοχής. Στον αλγόριθμο του, ο Warnock, η οθόνη χωρίζεται σε δειγματικές περιοχές, τα παράθυρα, τα οποία εξετάζονται ως προς την ομοιογένειά τους. Ομοιογενής θεωρείται ένα παράθυρο στο οποίο, είτε καμία όψη δεν βρίσκεται μέσα στα

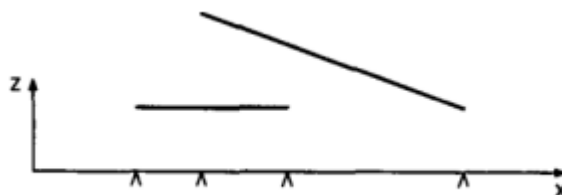
όρια του, είτε καλύπτεται πλήρως από κάποια όψη η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο θέασης από οποιαδήποτε άλλη όψη που τέμνει το παράθυρο. Όταν ένα παράθυρο δεν είναι ομοιογενές χωρίζεται σε τέσσερα υποπαράθυρα, τα οποία εξετάζονται και αυτά ως προς την ομοιογένειά τους. Αυτή η διαίρεση συνεχίζεται μέχρι όλα τα παράθυρα που προκύπτουν είναι ομοιογενείς και τερματίζει ο αλγόριθμος, είτε μέχρι τα παράθυρα φτάσουν στην ελάχιστη ποσότητα οπτικής πληροφορίας που μπορεί να δώσει η εκάστοτε οθόνη, τα εικονοστοιχεία (pixels).

Κατά τον έλεγχο της ομοιογένειας των παραθύρων γίνεται ταξινόμηση των όψεων που υπάρχουν στο περιβάλλον σε δύο κατηγορίες, στις σχετικές όψεις με το εξεταζόμενο παράθυρο και στις μη σχετικές όψεις. Σχετικές όψεις με το παράθυρο θεωρούνται οι όψεις που βρίσκονται μερικώς, ή ολόκληρες ή υπερκαλύπτουν το εξεταζόμενο παράθυρο (σχήμα 2.13.1), ενώ μη σχετικές θεωρούνται οι όψεις που βρίσκονται εκτός από το εξεταζόμενο παράθυρο. Για να γίνει αυτή η ταξινόμηση, ελέγχεται να είναι οι όψεις είναι διαχωρισμένες με το παράθυρο στους άξονες X και Y . Λόγω της οικονομίας των υπολογισμών, ο αλγόριθμος αποθηκεύει τις σχετικές όψεις με το εκάστοτε εξεταζόμενο παράθυρο, έτσι ώστε αν χρειαστεί να διαιρεθεί σε υποπαράθυρα, για τον υπολογισμό της ομοιογένειας θα συμπεριληφθούν στις πράξεις μόνο οι σχετικές όψεις.



Σχήμα 2.11.1: Σχετικές και μη σχετικές όψεις

Οι αλγόριθμοι δειγματοληψίας σημείου, εντοπίζουν τις κρυμμένες επιφάνειες με την διαδικασία σάρωσης γραμμής. Ο πρώτος αλγόριθμος που δημιουργήθηκε, για αυτήν την υποκατηγορία ήταν από τον Romney το 1967 και στην συνέχεια ακολούθησαν δύο άλλοι, ο αλγόριθμος του Bouknight το 1969 και ο αλγόριθμος του Watkins το 1970. Και οι τρεις αλγόριθμοι κάνουν μία ταξινόμηση στο Y άξονα έτσι ώστε, στην συνέχεια για να βρουν τις κρυμμένες επιφάνειες κάνουν τους υπολογισμούς τους στο δισδιάστατο επίπεδο XZ . Και οι τρεις αλγόριθμοι πραγματοποιούν πρώτα μία ανάλυση στον άξονα Y όπου χωρίζεται η οθόνη σε γραμμές σάρωσης. Στην συνέχεια σε κάθε γραμμή σάρωσης, αφού έχει μία συγκεκριμένη τιμή στον άξονα Y , βρίσκονται και τοποθετούνται σε μία λίστα οι όψεις που τέμνουν την εξεταζόμενη γραμμή σάρωσης και το πρόβλημα της εύρεσης των ορατών επιφανειών μειώνεται στο δισδιάστατο επίπεδο XZ . Πραγματοποιείται μία ταξινόμηση στον X άξονα, όπου η γραμμή σάρωσης χωρίζεται σε διαστήματα που μέσα σε αυτά είναι ορατή μόνο μία όψη και ονομάζονται δειγματικά διαστήματα. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.13.2 ξεκινάει η σάρωση από τα αριστερά προς τα δεξιά και κάθε φορά που συναντάται μία νέα ακμή μαρκάρεται στο σχήμα και τα διαστήματα ανάμεσα στις ακμές είναι τα δειγματικά διαστήματα. Αφού βρεθούν τα δειγματικά διαστήματα με μία ταξινόμηση στον άξονα του βάθους Z μπορεί να προσδιοριστεί η ορατότητα των επιφανειών. [15]



Σχήμα 2.13.2: Εύρεση των δειγματικών διαστημάτων σε μία γραμμή σάρωσης

Στον αλγόριθμο του Romney χρησιμοποιείται η ταξινόμηση κάδου. Πρώτα υπάρχει η ταξινόμηση στον κάδο του Υ, όπου μπαίνουν όλες οι όψεις που αλληλοεπιδρούν με την εκάστοτε γραμμή σάρωσης. Στην συνέχεια δημιουργείται ο κάδος ταξινόμησης στον Χ άξονα, όπου ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά στην γραμμή σάρωσης, κάθε φορά που είτε βρίσκεται η αρχή μια όψης τοποθετείται μέσα στον κάδο, είτε βρίσκεται το τέλος μια όψης εξέρχεται από τον κάδο, υπολογίζεται το βάθος όλων των όψεων που βρίσκονται μέσα στον κάδο και καθορίζεται η ορατότητα τους. Στον αλγόριθμο του, χρησιμοποιώντας την συνοχή μεταξύ των γραμμών σάρωσης, δηλαδή ότι αν μια όψη τέμνει μία γραμμή σάρωσης είναι πολύ πιθανό να τέμνει και την εφαιπόμενη, περιέγραψε ότι αν σε μία γραμμή σάρωσης υπάρχουν οι ίδιες όψεις με αυτές της προηγούμενης γραμμής και η σειρά με την οποία τέμνονται οι όψεις μεταξύ τους στον άξονα Χ παραμένει σταθερή, τότε η ορατότητα παραμένει ίδια και δεν χρειάζεται εκ νέου ο υπολογισμός του βάθους των όψεων.

2.14 Η εμφάνιση της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Ένα ξεχωριστό μέρος της ιστορίας της τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι η εφεύρεση του SLA ή της Στερεολιθογραφίας. Σχεδιάστηκε το 1984, από τον Chuck Hull ενώ λειτούργησε για πρώτη φορά το 1992. [14]



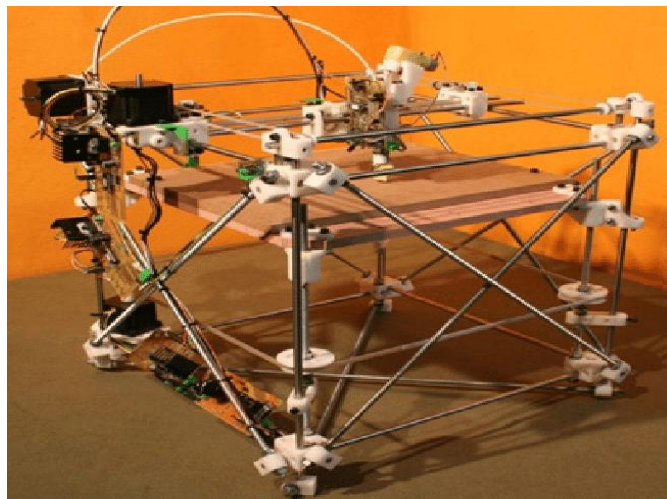
Σχήμα 2.14.1: Ο πρώτος ψηφιακός εκτυπωτής από τον Chuck Hull

Η μηχανή SLA του Hull χρησιμοποιούσε ένα υλικό ακρυλικής βάσης (φωτοπολυμερές) το οποίο μέσω ακτινών λέιζερ UV μετατρεπόταν από υγρό σε συμπαγές πλαστικό. Την ίδια χρονιά κυκλοφόρησε μια παρόμοια μηχανή, η SLS, η οποία στην δική της έκδοση χρησιμοποιούσε σκόνη αντί για υγρό υλικό πλήρωσης και προοριζόταν για επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ. Κατά την εμφάνιση της νέας αυτής τεχνολογίας οι εταιρείες αδυνατούσαν ακόμα να συλλάβουν το νόημα και τις δυνατότητες της. Οι αρχικές αυτές μηχανές εξαιρετικά μεγάλο κόστος καθώς και διάφορα ελαττώματα όπως πχ. η στρέβλωση των υλικών κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Έπρεπε να περάσουν κάποια χρόνια, να αναπτυχθούν αρκετά πρωτότυπα και να προηγηθούν διάφορες εξελίξεις, ειδικά στον τομέα της ιατρικής με τις διάφορες νεοφυείς επιχειρήσεις να κατασκευάζουν όργανα και προσθετικά μέλη χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η μεγάλη έκρηξη και η συνειδητοποίηση των δυνατοτήτων της νέας τεχνολογίας συνέβη το 1999, όταν το πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωμένο όργανο, μια συνθετική κύστη, εμφυτεύτηκε με επιτυχία σε άνθρωπο.[14]



Σχήμα 2.14.2: Το φωτοπολυμερές της τεχνολογίας SLA

Τα αμέσως επόμενα χρόνια ανοίχθηκαν νέες δυνατότητες, κυρίως με την βοήθεια της ραγδαίας εξάπλωσης του Διαδικτύου. Το 2005, αναπτύχθηκε με επιτυχία ένα project τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοιχτού κώδικα, το RepRap (Replicating Rapid Prototyper), από τον Δρ. Adrian Bowyer, αναπληρωτή Καθηγητή Μηχανικής του πανεπιστημίου του Bath στην Αγγλία το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε και από υποστηρικτές του μέσω του Διαδικτύου και κυκλοφόρησε το 2008. Σκοπός του project ήταν η ανάπτυξη ενός 3D εκτυπωτή χαμηλού κόστους, ο οποίος θα ήταν σε θέση να εκτυπώσει τα περισσότερα από τα δικά του πλαστικά εξαρτήματα. Στις 9 Φεβρουαρίου 2008, ο RepRap 1.0, ο επωνομαζόμενος "Δαρβίνος" κατασκεύασε με επιτυχία τουλάχιστον πάνω από τα μισά του μέρη.[14]



Σχήμα 2.14.3: Η πρώτη έκδοση του RepRap 1.0, "Darwin"

Η επιτυχία αυτή πυροδότησε μια μεγάλη διαφημιστική εκστρατεία και γενικευμένο ενθουσιασμό για την τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς οι άνθρωποι συνειδητοποίησαν ότι οτιδήποτε μπορούσαν να σκεφτούν θα μπορούσαν πλέον να το εκτυπώσουν στο σπίτι τους. Αμέσως μετά, η Kickstarter χρηματοδότησε αμέτρητα έργα τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτά τα δημόσια χρηματοδοτούμενα έργα επέφεραν την ευελιξία αλλά και το χαμηλό κόστος που διαθέτει πλέον η τρισδιάστατη εκτύπωση με την οποία σήμερα μπορούν να κατασκευαστούν από κατοικίες και μικροσκοπικά εξειδικευμένα ηλεκτρονικά είδη έως όργανα και προσθετικά μέλη.



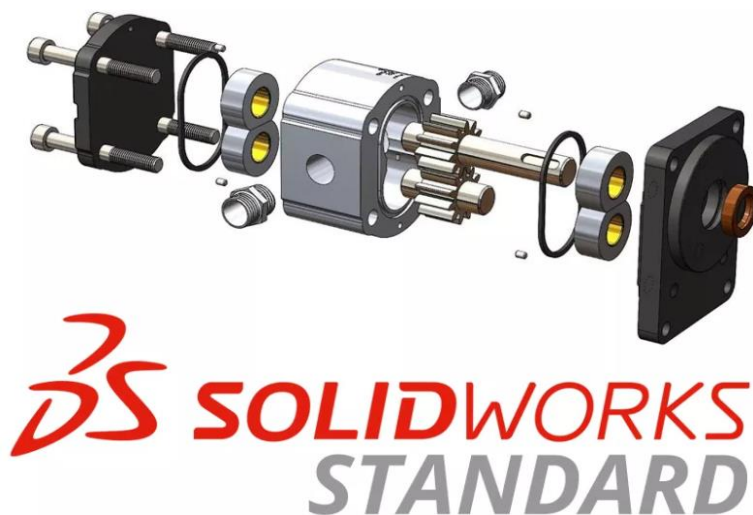
Σχήμα 2.14.4: Παράδειγμα 3D SLA εκτύπωσης

Με λίγα λόγια, η ιστορία της τρισδιάστατης μοντελοποίησης προέκυψε από μαθηματικούς και μηχανικούς που περιέγραψαν με ακρίβεια την διαδικασία κατασκευής και παρακολούθησης της γεωμετρίας των αντικειμένων σε συνδυασμό με την συνειδητοποίηση της δυνατότητας των ηλεκτρονικών υπολογιστών να παράγουν απίστευτα χρήσιμες απεικονίσεις. Τώρα με την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και η απεικόνιση της είναι ευρέως διαθέσιμες και προσιτές, με τον φωτορεαλισμό των παραγόμενων προϊόντων να μπορεί δύσκολα να διακριθεί από την πραγματικότητα, ενώ μπορεί επιπλέον και να εκτυπωθεί τρισδιάστατα στην πραγματικότητα.[14]

3. Τα κυριότερα λογισμικά CAD

3.1 SOLIDWORKS

Το SOLIDWORKS χρησιμοποιείται από εκατομμύρια επαγγελματίες σχεδιαστές και μηχανικούς σε εταιρείες ανά τον κόσμο. Είναι ένα από τα δημοφιλέστερα λογισμικά σχεδιασμού και μηχανικής στην αγορά, το οποίο διαθέτει ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών και υψηλή λειτουργικότητά.



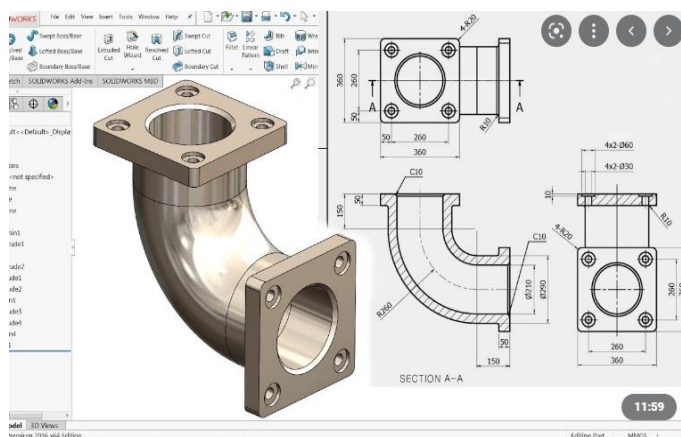
Σχήμα 3.1.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης SOLIDWORKS

Το SOLIDWORKS είναι ένα παραμετρικό πρόγραμμα CAD, το οποίο είναι εύκολο στη χρήση και εξαιρετικά αποδοτικό. Αυτό το καθιστά αγαπημένο τόσο για φοιτητές όσο και για έμπειρους σχεδιαστές. Κατά την σχεδίαση, ο σχεδιαστής μπορεί να δει τα αποτελέσματα των αλλαγών που πραγματοποιεί σε σχέση με τα γειτονικά τους στοιχεία ή ακόμα και τη συνολική εικόνα του έργου. Για παράδειγμα, εάν το μέγεθος ενός μεμονωμένου εξαρτήματος αυξηθεί, αυτό θα επηρεάσει την άρθρωση ή την οπή στην οποία αυτό είναι προσαρτημένο. Αυτό επιτρέπει στους σχεδιαστές να εντοπίζουν και να διορθώνουν προβλήματα γρήγορα και εύκολα. Τα χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν στο SOLIDWORKS είναι: ο απλός αλλά εκλεπτυσμένος σχεδιασμός 3D CAD, η χρήση πρότυπων και βιβλιοθήκης CAD για βελτίωση της απόδοσης, η αυτοματοποίηση του σχεδίου και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του για την ουσιαστική επιτάχυνση της διαδικασίας, τα εργαλεία εκτίμησης κόστους πραγματικού χρόνου, ο έγκαιρος εντοπισμός πιθανών κινδύνων με τον έλεγχο παρεμβολών, η γρήγορη παράγωγή 2D σχεδίων, η εύκολη δημιουργία κινούμενων σχεδίων και φωτορεαλιστικών αποδόσεων κ.α.

Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα λογισμικά, η εξοικείωση με την μπάρα εργαλείων, τα ονόματα και τη διεπαφή χρήστη μπορεί να πάρει κάποιο χρόνο. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές εξαιρετικές, μοναδικές λειτουργίες που βοηθούν τους νέους χρήστες σε αυτή τη διαδικασία και βελτιστοποιούν την εμπειρία του χρήστη.

Όσον αφορά την απόδοση των σχεδίων το λογισμικό διαθέτει το εργαλείο SOLIDWORKS Visualize η οποία επιτρέπει στους σχεδιαστές να δημιουργούν φωτορεαλιστικές αποδόσεις έτοιμες για παρουσίαση. Τα αρχεία CAD μπορούν να ανοίξουν απευθείας στο SOLIDWORKS και να αποδοθούν χρησιμοποιώντας ακριβείς υφές, αντανάκλασεις και φωτισμό. Αυτό είναι ένα ισχυρό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται από τους περισσότερους σχεδιαστές, αλλά είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τους σχεδιαστές προϊόντων, καθώς τους επιτρέπει να επιδείξουν την τελική τους ιδέα πριν ξεκινήσουν την παραγωγή.

Όσον αφορά την Προσομοίωση το SOLIDWORKS διαθέτει το εργαλείο Simulation, η οποία επιτρέπει στους σχεδιαστές να δοκιμάζουν τα σχέδιά τους και να εντοπίζουν γρήγορα και με ακρίβεια τυχόν ελαττώματα. Ο σχεδιαστής λαμβάνει δεδομένα υψηλής ακρίβειας, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να κάνει αλλαγές στο σχέδιο πριν παραχθεί ένα φυσικό πρωτότυπο. Οι μηχανικοί μπορούν να εξοικονομήσουν πολύ χρόνο, χρήμα και προσπάθεια εντοπίζοντας έγκαιρα πιθανά προβλήματα των σχεδίων τους.



Σχήμα 3.1.2: Στιγμιότυπο σχεδίασης στο SOLIDWORKS

Με το εργαλείο “Σχέδια”, ο σχεδιαστής δύναται να δημιουργήσει γρήγορα 2D αναπαραστάσεις οποιασδήποτε πτυχής ενός σχεδίου, με την επιπλέον επιλογή της προσθαφαίρεσης διαστάσεων με το απλό πάτημα ενός κουμπιού, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο και για μηχανικούς ή αρχιτέκτονες, προσφέροντας τη δυνατότητα για μια ενδελεχή αξιολόγηση. Μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός και ο σχεδιαστής έχει εξαλείψει τους πιθανούς κινδύνους που εντοπίστηκαν στην προσομοίωση και στην αξιολόγηση, μπορεί να κατασκευαστεί ένα πρωτότυπο. Το εργαλείο SOLIDWORKS CAM παράγει τα αρχεία σχεδίασης που μπορούν να αποσταλούν απευθείας στην παραγωγή. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης μια βάση δεδομένων τρισδιάστατων εκτυπωτών.

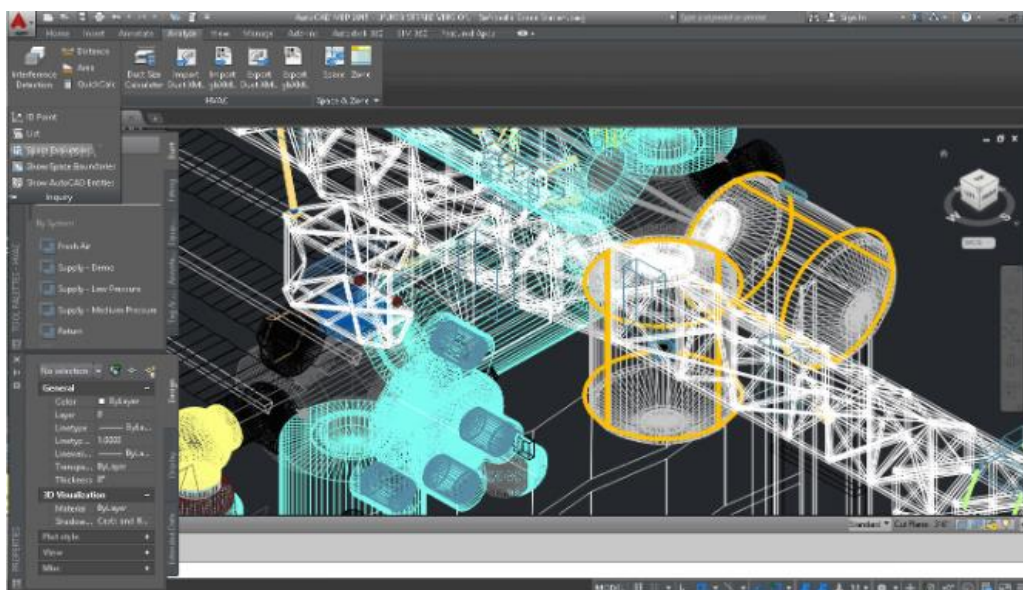
3.2 AutoCAD

Το AutoCAD είναι ένα διάσημο λογισμικό τύπου CAD προσανατολισμένο στη σχεδίαση και τη μοντελοποίηση σε 2D και 3D. Επιτρέπει τη δημιουργία και την τροποποίηση γεωμετρικών μοντέλων με σχεδόν άπειρη ικανότητα ανάπτυξης όλων των τύπων δομών και αντικειμένων. Αυτή η ικανότητα εργασίας σε διαφορετικούς τομείς έχει κάνει το AutoCAD να ξεπεράσει την παραδοσιακή χρήση του στον κόσμο της αρχιτεκτονικής και της μηχανικής, για να εισέλθει στον κόσμο των γραφικών και του εσωτερικού σχεδιασμού. Επί του παρόντος, το AutoCAD διαθέτει πληθώρα εξειδικευμένων βοηθητικών εργαλείων που καλύπτουν κάθε είδους βιομηχανικού τομέα που σχετίζεται με τον 2D σχεδιασμό και την 3D μοντελοποίηση.



Σχήμα 3.2.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης AutoCAD

Η πρώτη έκδοση του AutoCAD αναπτύχθηκε το 1982 στην Autodesk, από μια ομάδα προγραμματιστών, με επικεφαλής τον John Walker, οι οποίοι συνέχισαν το έργο που είχε δημιουργήσει ο Michael Riddle, πρώην συνεργάτης τους. Η γρήγορη δημοτικότητα που απέκτησε το νέο αυτό λογισμικό εδραίωσε την εταιρεία, σε μια εποχή που η τεχνολογία των υπολογιστών και των λογισμικών βρισκόταν στο ξεκίνημα, και βοήθησε στην σταθερή της ανάπτυξη μέχρι και σήμερα. Με την αποχώρηση του John Walker και την άφιξη της Carol Bartz, η διείσδυση του AutoCAD και της Autodesk στην αγορά έγινε αδιαμφισβήτητη. Σήμερα, η εταιρεία προσφέρει μια ευρεία γκάμα εργαλείων λογισμικού που επικεντρώνονται στο σχεδιασμό και στη μοντελοποίηση. Επί του παρόντος, το AutoCAD βελτιώνει τις δυνατότητες του για 2D και 3D σχεδιασμό, την αλληλεπίδρασή του με το cloud και τη συμβατότητά του με άλλα προγράμματα, επεκτείνοντας τις λειτουργίες του. Έτσι, για παράδειγμα στην πιο πρόσφατη έκδοση του, το AutoCAD, έχει βελτιώσει σημαντικά τις λειτουργίες για 2D σχεδιασμό, βελτιώνοντας την ακρίβεια των εργαλείων μέσω ορισμένων νέων επιλογών όπως η αυτόματη δημιουργία διαστάσεων, η αποθήκευση προσαρμοσμένων προβολών, η παροχή φορμών με δυνατότητα σύνδεσης με υπολογιστικά φύλλα, η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων κατευθείαν από αντικείμενα, η δημιουργία μητρώων κ.α. Ταυτόχρονα, για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, βελτιώνονται η απόδοση και η συμβατότητα του AutoCAD, με άλλα συμπληρωματικά προγράμματα που παρέχουν μια πιο ρεαλιστική τρισδιάστατη μοντελοποίηση, εφαρμογές ρεαλιστικού φωτισμού στις αποδόσεις, δημιουργία σχεδίων διατομής, απευθείας απόδοση στο σύννεφο κ.α.



Σχήμα 3.2.2: Στιγμιότυπο σχεδίασης στο AutoCAD

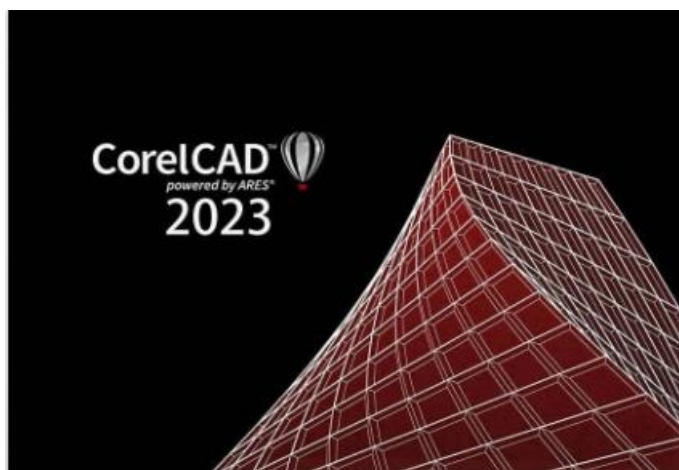
Το AutoCAD λειτουργεί σε επίπεδα με διανυσματικές εικόνες, αν και μπορούν επίσης να εισαχθούν εικόνες bitmap. Ωστόσο, ολόκληρη η διεπαφή του έχει σχεδιαστεί για το σχεδιασμό σχεδίων και δομών και χωρίζεται: α) στην γραφική περιοχή, όπου λαμβάνουν χώρα τα σχέδιά, β) στην γραμμή επιλογών, όπου εντοπίζονται οι πιο συνηθισμένες ενέργειες στο περιβάλλον εργασίας, γ) στην αναδυόμενη γραμμή μενού και εργαλειοθήκων, δ) στην γραμμή κατάστασης, στην οποία υπάρχουν οι πληροφορίες για τις συντεταγμένες, ε) στα κουμπιά ελέγχου πλέγματος ή ορθομετρικής λειτουργίας, μεταξύ άλλων, σε διανυσματική μορφή. Στην γραμμή εντολών, που χρησιμοποιείται για την αλληλεπίδραση με το πρόγραμμα μέσω εντολών για τη λήψη υπολογισμών ή πληροφοριών που μπορεί να χρειαστούν και που συλλέγονται αυτόματα από το πρόγραμμα.

Το AutoCAD λειτουργεί με τον δικό του εγγενή τύπο αρχείου που ονομάζεται DWG, ο οποίος περιέχει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τα σχέδια, τις γεωμετρίες και τις εικόνες του αρχικού αρχείου. Η μεγάλη δημοτικότητα του λογισμικού έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη άλλων εργαλείων για την οπτικοποίηση και ακόμη και το άνοιγμα εγγενών αρχείων AutoCAD, μέσω ενός συστήματος ανταλλαγής πληροφοριών που είναι γνωστό ως DXF (Drawing eXchange File). Εκτός από τη συνήθη μορφή DWG, το AutoCAD επιτρέπει την εξαγωγή, μέσω του διανυσματικού του συστήματος, σε άλλα προγράμματα που επικεντρώνονται στη γραφιστική, όπως το Adobe Illustrator ή το Corel Draw. Ομοίως, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με άλλα προγράμματα τύπου CAD.

3.3 Corel CAD

Το CorelCAD είναι μια ποιοτική εφαρμογή σχεδιασμού που ανταγωνίζεται το Autodesk AutoCAD ως φθηνότερη εναλλακτική επιλογή. Ενώ το πρόγραμμα δεν παρέχει τόσες δυνατότητες όπως το AutoCAD, το CorelCAD εξακολουθεί να αξίζει λόγω του πολύ πιο διαχειρίσιμου κόστους του.

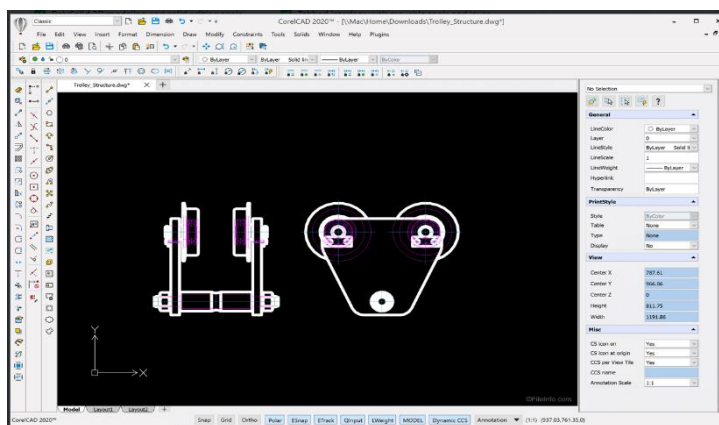
Το CorelCAD είναι μια εφαρμογή σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία δισδιάστατων και τρισδιάστατων τεχνικών σχεδίων. Το πρόγραμμα ενσωματώνεται με το σύννεφο και τις κινητές συσκευές, μέσω μιας σχετικής εφαρμογής για κινητά, για να παρέχει σε μηχανικούς, αρχιτέκτονες και άλλους χρήστες εύκολη κοινή χρήση και πρόσβαση αρχείων.



Σχήμα 3.3.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης CorelCAD 2023

Ενώ το CorelCAD δεν είναι τόσο ισχυρό όσο το AutoCAD, κοστίζει λιγότερο και περιλαμβάνει πολλές κοινές δυνατότητες. Διαθέτει επιλογές επεξεργασίας επιπέδων που επιτρέπουν στους χρήστες να επεξεργάζονται μοντέλα σε ξεχωριστά επίπεδα και παρέχει μια ποικιλία εργαλείων 2D και 3D για τη δημιουργία μηχανικών, δομικών και αρχιτεκτονικών σχεδίων. Μερικές από τις πιο προηγμένες δυνατότητες του CorelCAD περιλαμβάνουν γέμισμα άκρων τρισδιάστατων στερεών, προβολή τρισδιάστατων μοντέλων από πολλαπλές οπτικές γωνίες, ακριβείς μετρήσεις με εργαλεία διαστάσεων,

επισήμανση στοιχείων σχεδίασης με ελεύθερα σκίτσα, τροποποίηση και κλιμάκωση κειμένου και διαχείριση καταστάσεων επιπέδων. Η διεπαφή του προγράμματος διαθέτει καρτέλες που επιτρέπουν την οργάνωση της ροής της εργασίας και της γρήγορης εναλλαγής μεταξύ των εγγράφων. Επίσης παρέχει την πρόσβαση σε εργαλεία και επίπεδα σε κινητά παράθυρα.



Σχήμα 3.3.2: Στιγμιότυπο σχεδίασης στο CorelCAD

Οι χρήστες του CorelCAD μπορούν να αποθηκεύσουν τα αρχεία τους στην τυπική μορφή αρχείου DWG που χρησιμοποιείται από το AutoCAD, όπως επίσης και στις μορφές SHP, STL, DWT, DWF, DWS, DES και DXF. Τα σχέδια μπορούν να εξαχθούν σε μορφές PDF, CDR, STL και DES, όπως επίσης είναι δυνατή η εργασία σε αρχεία GIS για την οπτικοποίηση χαρτών και γεωγραφικών μοντέλων.

3.4 REVIT

Το Revit είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μοντελοποίηση και τεκμηρίωση έργων αστικής κατασκευής. Σήμερα αποτελεί την βασική προϋπόθεση για κάθε επαγγελματία που επιθυμεί να ασχοληθεί με την αρχιτεκτονική, τη μηχανική και την εσωτερική διακόσμηση. Το Revit είναι εξειδικευμένο λογισμικό για την ανάπτυξη έργων αστικής κατασκευής, που δημιουργήθηκε από την Revit Technology Corporation (πρώην Charles River Software) και αποκτήθηκε από την Autodesk το 2002.



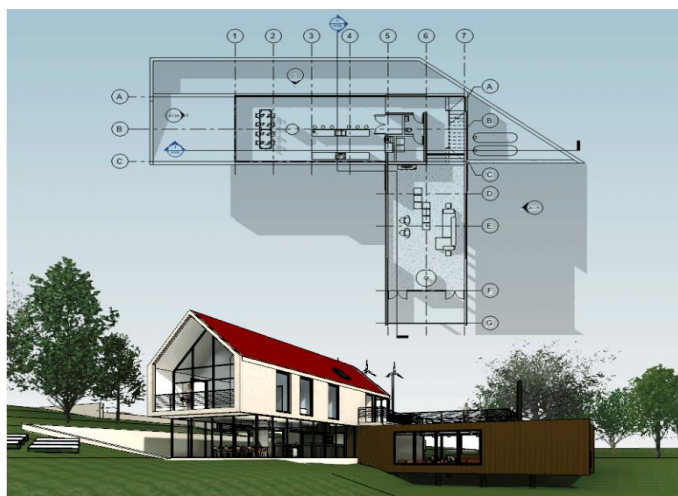
Σχήμα 3.4.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης Revit

Πέραν από ένα περιβάλλον τρισδιάστατης μοντελοποίησης, το λογισμικό αυτό παρέχει επιπλέον δυνατότητες για τη δημιουργία όλης της παραδοσιακής δισδιάστατης τεκμηρίωσης όπως σχέδια, τομές, όψεις, κ.λπ., ενώ μειώνει δραστικά τον χρόνο που δαπανάται για αναθεωρήσεις, καθώς τυχόν αλλαγές αντικατοπτρίζονται σε όλο το έργο,

και δεν χρειάζεται να γίνουν διορθώσεις με μη αυτόματο τρόπο. Το Revit καθιστά επίσης δυνατή την απόκτηση του αριθμού των υλικών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση ενός έργου, καθιστώντας το έργο αυτό, μια βάση δεδομένων κατασκευής πλήρως ευθυγραμμισμένη με την ιδέα του Μοντέλου Δομικών Πληροφοριών BIM (Building Information Modeling), το οποίο αποτελεί τον πλέον σύγχρονο τρόπο για τον τεχνικό σχεδιασμό, τη διαχείριση και τη λειτουργία έργων, όπου η μελέτη και η κατασκευή αυτών περνούν από το 2D σχέδιο στο 3D πληροφοριακό μοντέλο με τη χρήση έξυπνων εργαλείων. Αυτό σημαίνει ότι το τρισδιάστατο μοντέλο του έργου δεν είναι ένα απλό ηλεκτρονικό μοντέλο, αλλά μια προσομοίωση της κατασκευής, προσφέροντας έτσι υποστήριξη, ανάλυση και έλεγχο σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της κατασκευής αυτής. Η οργάνωση όλων αυτών των πληροφοριών, γίνεται σε "οικογένειες", οι οποίες σύμφωνα με το Revit, είναι: "μία ομάδα στοιχείων με ένα τυπικό σύνολο ιδιοτήτων παραμέτρων και μια σχετική γραφική αναπαράσταση. "

Το Revit διαθέτει δύο εκδόσεις : α) την STANDARD, που προσφέρει όλα τα εργαλεία και τις δυνατότητες που είναι διαθέσιμα για χρήση, αλλά με υψηλότερο κόστος, και β) την LT, που έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος, αλλά και περιορισμένες δυνατότητες.

Το λογισμικό είναι ιδανικό για ανάπτυξη αρχιτεκτονικών, δομικών, ηλεκτρικών, υδραυλικών, κλιματιστικών, κ.λπ. συστημάτων. Όλη η τεκμηρίωση του έργου θεμελιώνεται ταχύτατα, με ενότητες, προβολές και λεπτομέρειες που δημιουργούνται αυτόματα από το τρισδιάστατο μοντέλο, επιτρέποντας την εξαγωγή ποσοτικών υλικών ή ακόμα και αποδόσεις. Το Revit είναι κατάλληλο λογισμικό για περίπλοκα και απαιτητικά έργα καθώς είναι ισχυρό, πολυλειτουργικό και προσφέρει μια σειρά από δυνατότητες που δεν υπάρχουν στα παραδοσιακά χρησιμοποιούμενα λογισμικά όπως το AutoCAD.



Σχήμα 3.4.2: Στιγμιότυπο σχεδίασης στο Revit

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Revit είναι:

- ☐ Η τρισδιάστατη απεικόνιση , που στο Revit προχωρά πέρα από το απλό 3D μοντέλο, με την μορφή μιας σταθερής προσομοίωσης του πώς θα φαίνεται το έργο όταν εκτελείται.
- ☐ Οι γρήγορες αλλαγές, καθώς είναι παραμετρικό λογισμικό και οι αλλαγές στο έργο έχουν χαμηλό αντίκτυπο, μειώνοντας σημαντικά την επανάληψη της εργασίας.
- ☐ Η τεκμηρίωση, όπου τα φύλλα έργου δημιουργούνται ταχύτητα και οι όποιες αλλαγές αποτυπώνονται αυτόματα σε όλα τα φύλλα.
- ☐ Η εκτίμηση κόστους , με την δυνατότητα εισαγωγής των τιμών των υλικών του έργου, τα οποία αργότερα μπορούν να δημιουργήσουν μια εκτίμηση κόστους μέσω πινάκων.
- ☐ Η δημιουργία πινάκων ποσοτήτων και υλικών, οι οποίοι ενημερώνονται αυτόματα μετά από οποιαδήποτε αλλαγή στο έργο.

- Ο συντονισμός του έργου, καθώς σχεδιαστές από διαφορετικούς κλάδους μπορούν να συντονιστούν σε ένα κεντρικό αρχείο Revit, βλέποντας τις εκάστοτε παρεμβολές.

3.5 INVENTOR

Το Inventor είναι ένα λογισμικό μηχανικού σχεδιασμού που αναπτύχθηκε επίσης από την Autodesk. Είναι παρόμοιο με το AutoCAD, καθώς και τα δύο δημιουργούν ακριβή μοντέλα 2D και 3D. Ωστόσο, το Inventor έχει διαφορετική ορολογία και ροές εργασιών, καθώς επίσης είναι ένα παραμετρικό σύστημα βασισμένο σε χαρακτηριστικά που επιτρέπει την δημιουργία 3D εξαρτημάτων και 2D σχεδίων. Η παραμετρική μοντελοποίηση, η οποία ελέγχεται από παραμέτρους, διαστάσεις ή σχέσεις είναι αυτή που το διαφοροποιεί κυρίως από το AutoCAD, το οποίο βασίζεται σε αντικείμενα.



Σχήμα 3.5.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης Inventor

Σαν παραμετρικό σύστημα έχει κάποια βασικά πλεονεκτήματα. Οι σχεδιαστές αποκτούν μεγαλύτερη δύναμη και ευελιξία, καθώς οι παράμετροι και οι σχέσεις επιτρέπουν τον έλεγχο της σχεδίασής. Επίσης δίνεται η δυνατότητα συσχετισμού μεταξύ των εξαρτημάτων, των συγκροτημάτων και των σχεδίων, καθώς εάν αλλάξει η σχεδίαση ενός εξαρτήματος, η αλλαγή θα τεθεί σε ισχύ σε όλες τις συναρμολογήσεις στις οποίες ανήκει, ενώ και η 2D απεικόνιση του θα ενημερωθεί επίσης αυτόματα.



Σχήμα 3.5.2: Μηχανικοί την ώρα που σχεδιάζουν στο λογισμικό Inventor

Το Inventor είναι ειδικά χρήσιμο για το σχεδιασμό προϊόντων, τη δημιουργία εργαλείων, τον μηχανικό σχεδιασμό και την προσομοίωση προϊόντων. Αυτό το λογισμικό επιτρέπει στους χρήστες να κατασκευάζουν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα για να βοηθήσουν στην προσομοίωση και την οπτικοποίηση πριν από την κατασκευή προϊόντων. Το Inventor είναι μια εφαρμογή CAD 2D και 3D που διατίθεται σε διαφορετικούς τύπους αρχείων όπως IPT, IPN, DW, IAM και εκτελείται τόσο σε συστήματα Windows όσο και σε Mac.

3.6 CATIA

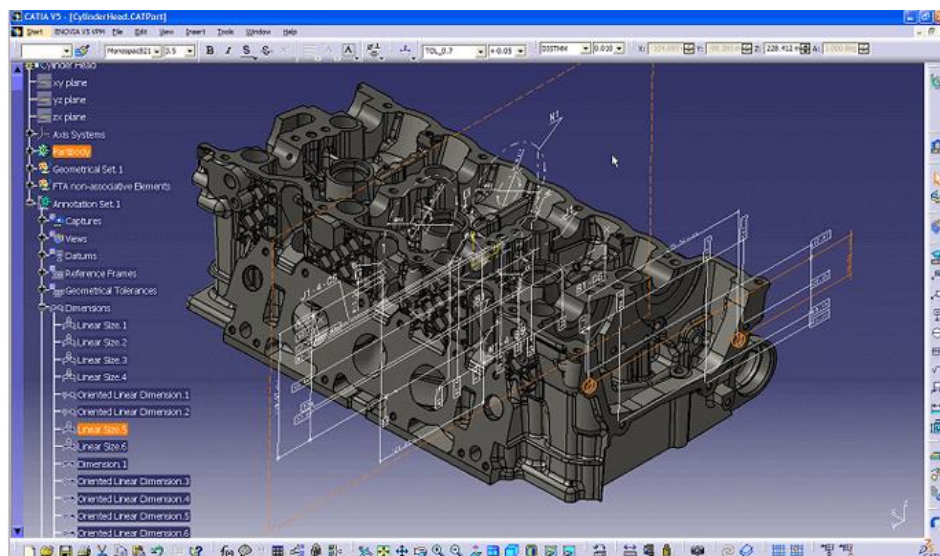
Το λογισμικό CATIA (Computer-Aided Three Diactive Application) είναι μια ολοκληρωμένη λύση πολλαπλών πλατφορμών για σχεδιασμό, κατασκευή, μηχανική, 3D και PLM, με τη βοήθεια υπολογιστή και διατίθεται στην αγορά από τον κατασκευαστή Dassault Systemes. Το λογισμικό αυτό είναι ιδανικό για τη δημιουργία στερεών, επιφανειών, συγκροτημάτων και σχεδίων. Όπως και τα προηγούμενα παραμετρικά συστήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, το λογισμικό διαθέτει ισχυρά εργαλεία παραμετρικής μοντελοποίησης και φωτορεαλιστικής απόδοσης, ωστόσο το CATIA προσφέρει πιο προηγμένες λειτουργίες και επιφάνειες.



Σχήμα 3.6.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης CATIA

Αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970, ιδίως για την ανάπτυξη του μαχητικού αεροσκάφους Mirage. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκε σε διαφορετικούς κλάδους όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η ναυτιλία. Από τη δημιουργία του μέχρι σήμερα, οι ομάδες της Dassault Systèmes συνέχισαν να καινοτομούν και να βελτιώνουν τις λειτουργίες του λογισμικού μέχρι να φτάσουν στην πιο πρόσφατη έκδοση του CATIA (V5-6R2016). Είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα λογισμικού CAD σε πολλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής προσθέτων. Το CATIA βρίσκεται επί του παρόντος στο επίπεδο έκδοσης 6, πιο γνωστό ως CATIA V6. Η πρώτη κυκλοφορία του CATIA ήταν το 1977 από την Dassault Systèmes, η οποία εξακολουθεί να διατηρεί και να αναπτύσσει το λογισμικό. Μεταξύ των εκδόσεων, το CATIA ποικίλλει σημαντικά όσον αφορά τη χρήση και την εμφάνιση. Κάθε έκδοση φέρνει σημαντική πρόσθετη λειτουργικότητα. Μεταξύ V4 και V5, αναπτύχθηκαν τα βασικά στοιχεία της διαδικασίας σχεδιασμού και μεταξύ V5 και V6 άλλαξε ο χειρισμός των δεδομένων. Σε κάθε έκδοση, η Dassault Systèmes προσφέρει επίσης ενημερώσεις με τη μορφή εκδόσεων. Οι νέες εκδόσεις συνήθως κυκλοφορούν ετησίως και προσφέρουν επιπλέον λειτουργικότητα, καθώς και διορθώσεις σφαλμάτων.

Το CATIA είναι σε θέση να δημιουργεί παραμετρικά και μη παραμετρικά τρισδιάστατα μοντέλα. Το πρόγραμμα είναι συμβατό με Windows, Solaris, IRIX και HP-UX. Είναι διαθέσιμο στα Αγγλικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ιταλικά, Ιαπωνικά, Κινέζικα, Κορεάτικα και Ρωσικά. Επιπλέον, το λογισμικό διατίθεται σε δύο τύπους ανάλογα με τη λειτουργικότητα που απαιτείται: CATIA V5-6R Experience και CATIA 3D Experience.



Σχήμα 3.6.2: Στιγμιότυπο σχεδίασης στην έκδοση V5-6R του λογισμικού CATIA

3.7 CREO (Pro/ ENGINEER Wildfire)

Το Pro/ENGINEER είναι και αυτό ένα σύστημα σχεδίασης υπολογιστή για την μοντελοποίηση διαφόρων μηχανολογικών σχεδίων και την εκτέλεση εργασιών σχεδιασμού και κατασκευής. Χρησιμοποιεί το τρισδιάστατο σύστημα μοντελοποίησης στερεών και εφαρμόζει την παραμετρική μοντελοποίηση, μέσω χαρακτηριστικών, με πολλά εκτεταμένα σχέδια και κατασκευαστικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται στη μηχανολογία, το σχεδιασμό, την κατασκευή και σε εταιρείες παροχής υπηρεσιών σχεδίασης CAD. Είναι μια από τις παλαιότερες εφαρμογές μοντελοποίησης 3D CAD της κατηγορίας του. Χρησιμοποιώντας παραμέτρους, διαστάσεις και χαρακτηριστικά για την καταγραφή της συμπεριφοράς του προϊόντος, μπορεί να βελτιστοποιήσει την ανάπτυξη του προϊόντος καθώς και τον ίδιο τον σχεδιασμό.



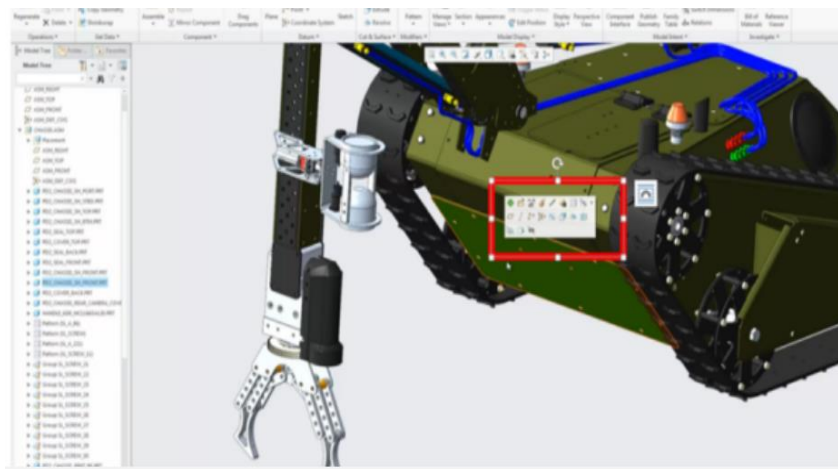
Σχήμα 3.7.1: Το λογότυπο του λογισμικού σχεδίασης Pro/ENGINEER

Το λογισμικό το 2010 άλλαξε όνομα και μετονομάστηκε σε Creo. Ανακοινώθηκε από την εταιρεία που το ανέπτυξε, την Parametric Technology Company (PTC), κατά την κυκλοφορία της σουίτας σχεδιαστικών προϊόντων της που περιλαμβάνει εφαρμογές όπως μοντελοποίηση συναρμολόγησης, 2D ορθογραφικές προβολές για τεχνικό σχέδιο, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων κ.α.



Σχήμα 3.7.2: Το νέο λογότυπο CREO

Το Creo μπορεί να προσφέρει μια αποτελεσματικότερη εμπειρία σχεδίασης σε σχέση με άλλα παρόμοια λογισμικά μοντελοποίησης της κατηγορίας του, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών του, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης παραμετρικής και άμεσης μοντελοποίησης σε μία πλατφόρμα. Καλύπτει το φάσμα της ανάπτυξης προϊόντων, δίνοντας στους σχεδιαστές επιλογές για χρήση σε κάθε βήμα της διαδικασίας. Το λογισμικό έχει φιλική διεπαφή προς τον χρήστη και διαθέτει δυνατότητες συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών σχεδιαστών που διευκολύνουν την κοινή χρήση σχεδίων και την πραγματοποίηση αλλαγών. Ένα από τα πλεονεκτήματα του CREO είναι η αυξημένη παραγωγικότητα του, μέσω των αποδοτικών και ευέλικτων σχεδιαστικών δυνατοτήτων του, που επιτρέπουν στις διαδικασίες σχεδιασμού να κινούνται πιο γρήγορα. Το λογισμικό προσφέρει εργαλεία για όλες τις φάσεις ανάπτυξης, από τα αρχικά στάδια μέχρι την πρακτική δημιουργία και κατασκευή. Οι αλλαγές που μπορεί να προκύψουν στο σχέδιο αντικατοπτρίζονται σε όλα τα μέρη της διαδικασίας.



Σχήμα 3.7.3: Στιγμιότυπο σχεδίασης στο CREO

Το λογισμικό είναι διαθέσιμο σε 10 γλώσσες, γεγονός που αντικατοπτρίζει την δημοτικότητα του και προσφέρει ολοκληρωμένη εκπαίδευση σχετικά με τον τρόπο χρήσης του, με το εκπαιδευτικό αυτό πρόγραμμα να είναι διαθέσιμο online.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ

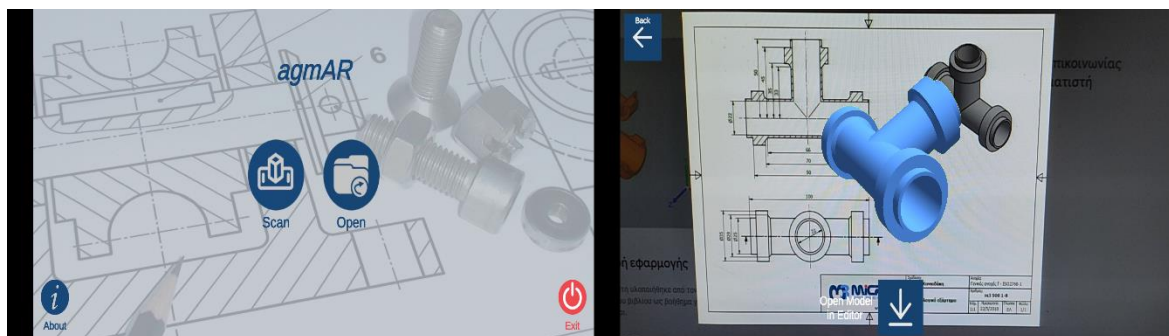
4.1 Εκπαιδευτική χρήση σχεδιαζόμενων τεμαχίων

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μέρος συνδυασμού της εκπαιδευτικής συνεργασίας με τις τεχνολογίες CAD με διαδραστικό τρόπο. Τα ποικίλα εξαρτήματα, που βρίσκονται στο βιβλίο “Στοιχεία Μηχανών” του καθηγητή Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, τα οποία δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα και στην συνέχεια σχεδιάστηκαν τα μηχανολογικά τους σχέδια, στο λογισμικό INVENTOR της Autodesk, τοποθετήθηκαν στην εφαρμογή agmAR, σχήμα 4.1.1, που δημιουργός της είναι ο Άγγελος Μαρινάκης. Αυτή η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα στους σπουδαστές σκανάρωντας τα εξαρτήματα, που βρίσκονται στο βιβλίο του καθηγητή Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, να μπορούν να τα επεξεργάζονται.

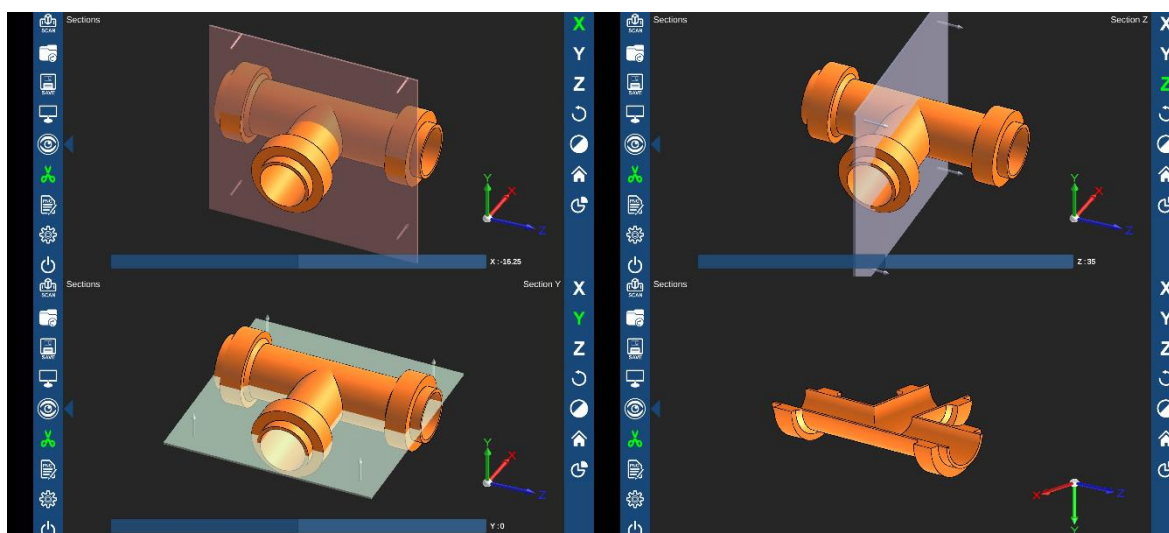


Σχήμα 4.1.1: Λογότυπο της εφαρμογής “agmAR”

Ανοίγοντας την εφαρμογή δίνεται η δυνατότητα είτε να σκανάρει ο χρήστης κάποιο εξάρτημα από το σύγγραμμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.2, είτε να ανοίξει κάποιο που έχει ήδη αποθηκευμένο. Στην συνέχεια τοποθετείται το τρισδιάστατο εξάρτημα στον χώρο εργασίας όπου μπορεί ο χρήστης να το δει από διαφορετικές οπτικές γωνίες, μπορεί να κάνει τομές και στους τρεις άξονες (σχήμα 4.1.2).

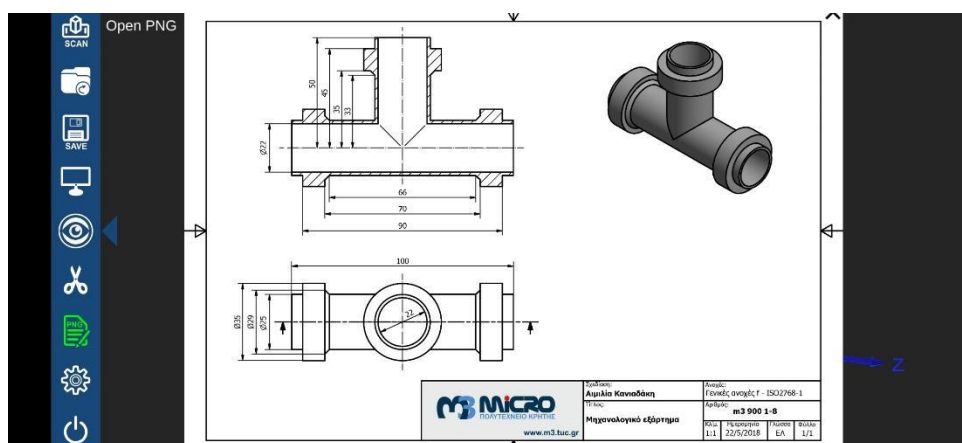


Σχήμα 4.1.2: Άνοιγμα της εφαρμογής “agmAR” και σκανάρισμα ενός σχεδίου

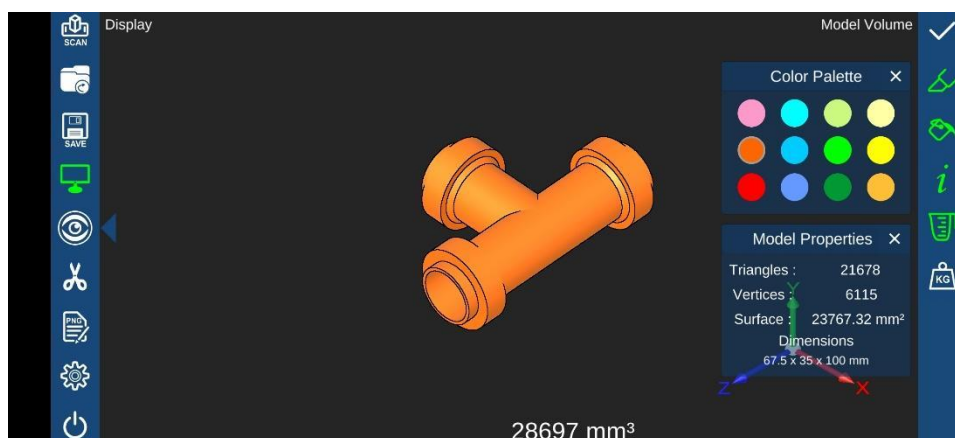


Σχήμα 4.1.2: Τομές και στους τρεις άξονες

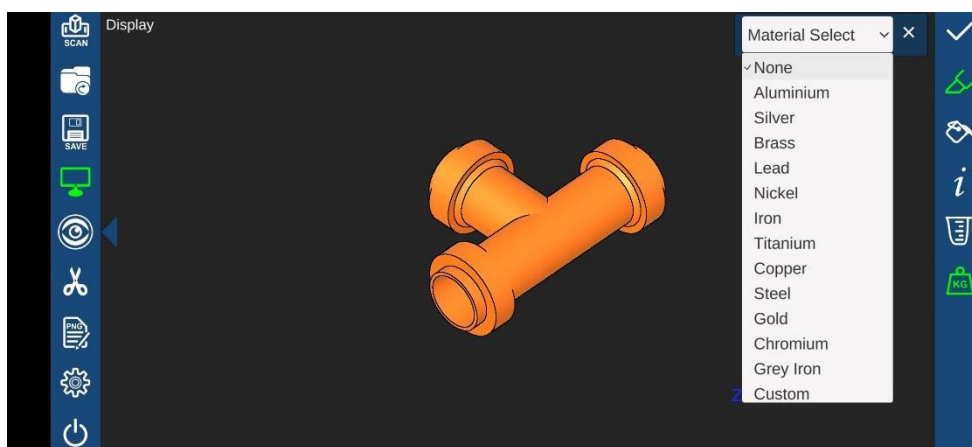
Επίσης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να δει το μηχανολογικό σχέδιο μέσα από την εφαρμογή του εκάστοτε εξαρτήματος (σχήμα 4.1.3) καθώς επίσης μπορεί, να αλλάξει το χρώμα του αντικειμένου (σχήμα 4.1.4), μπορεί να μετρηθεί ο όγκος του και μπορεί επιλέγοντας το υλικό από το οποίο θα αποτελείται να προσδιοριστεί το βάρος του (σχήμα 4.1.5).



Σχήμα 4.1.3: Προβολή μηχανολογικού σχεδίου μέσα από την εφαρμογή



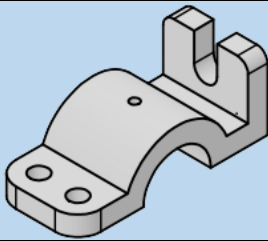
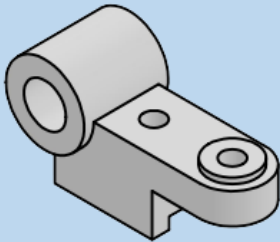
Σχήμα 4.1.4: Αλλαγή χρώματος εξαρτήματος και μέτρηση όγκου του

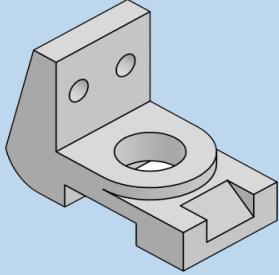
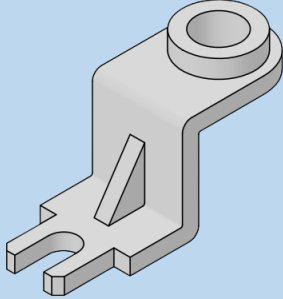
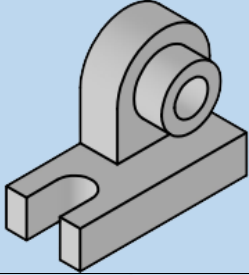
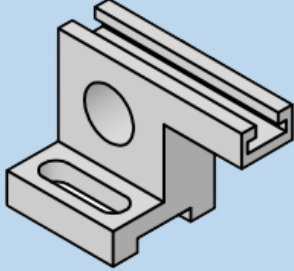
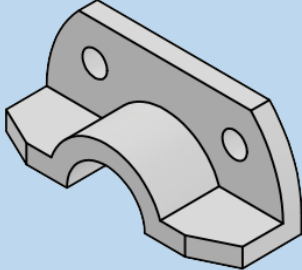
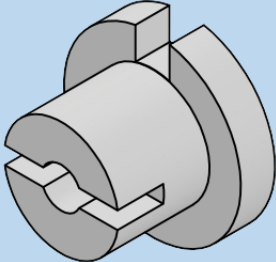


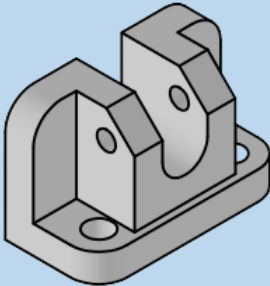
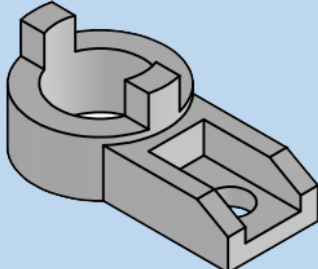
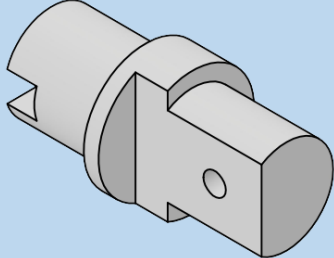
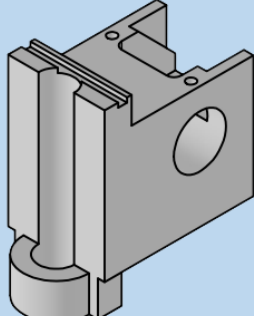
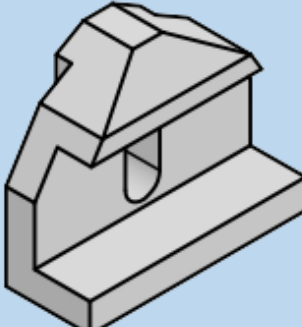
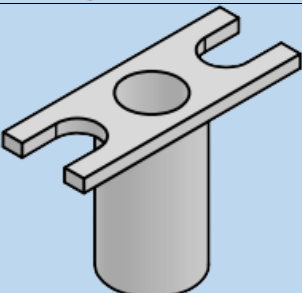
Σχήμα 4.1.5: Προσδιορισμός βάρους εξαρτήματος επιλέγοντας το υλικό του

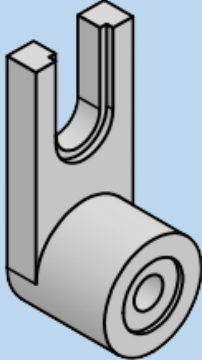
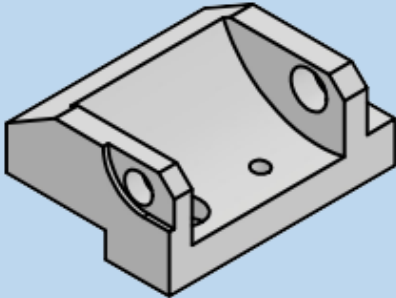
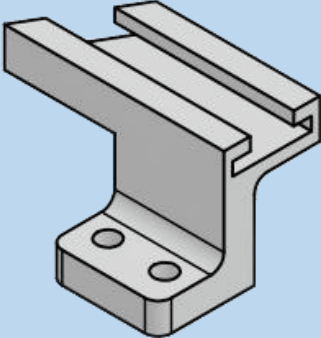
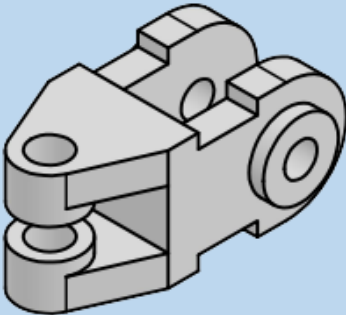
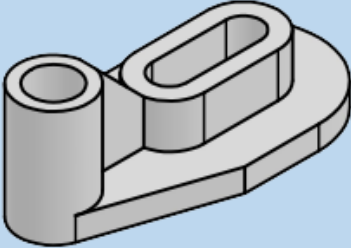
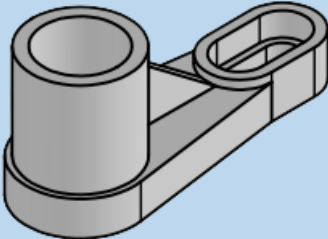
4.2 Κατασκευή τεμαχίων και μηχανολογικών σχεδίων

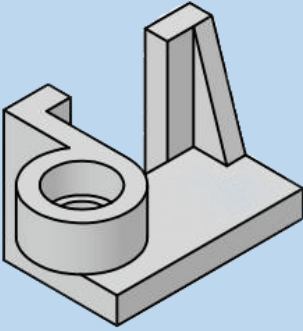
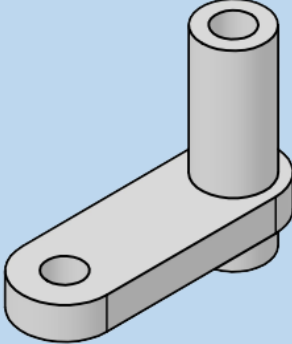
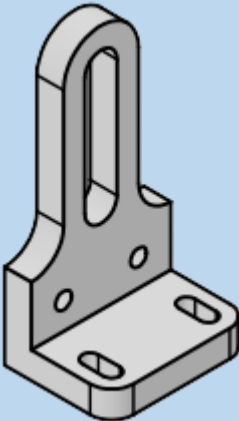
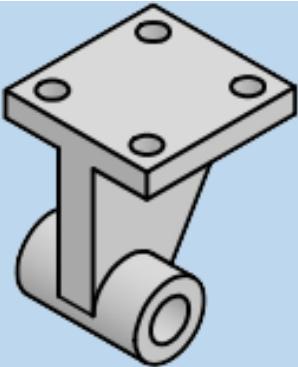
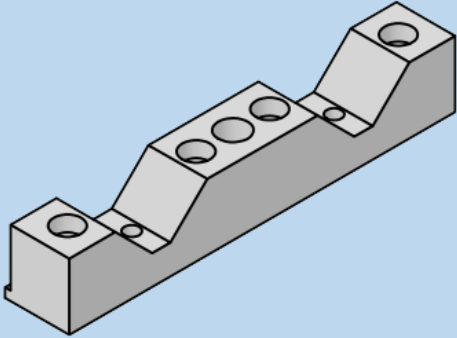
Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα εξαρτήματα που σχεδιάστηκαν στο λογισμικό Inventor καθώς και τα μηχανολογικά τους σχέδια.

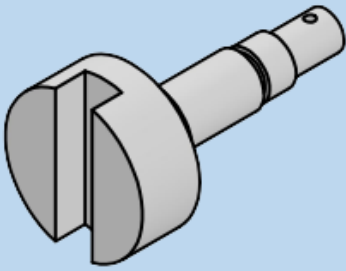
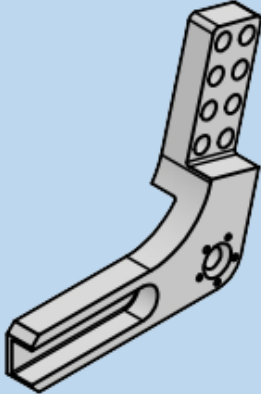
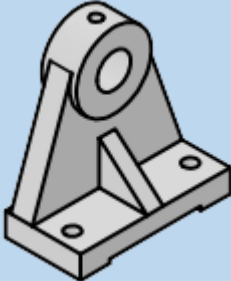
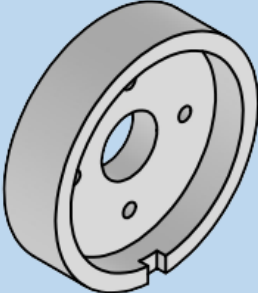
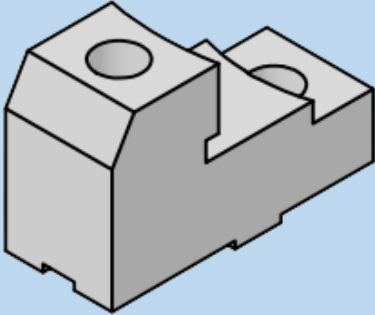
α/α	Τρισδιάστατο σχέδιο	Όνομα
1		HL 1001
2		HL 1002

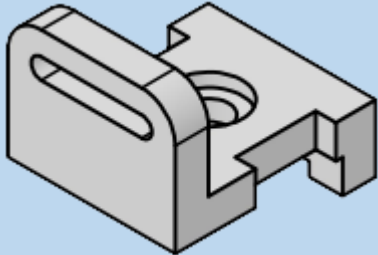
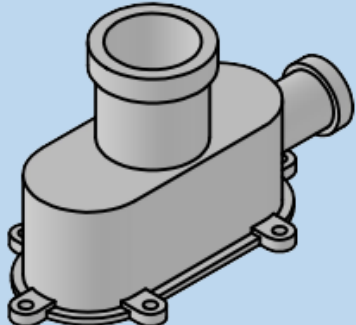
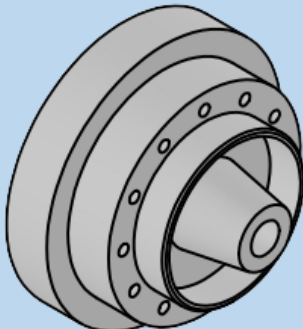
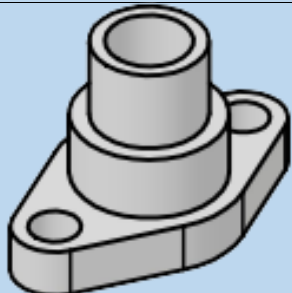
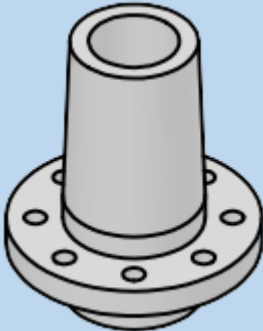
3		HL 1003
4		HL 1004
5		HL 1005
6		HL 1006
7		HL 1007
8		HL 1008

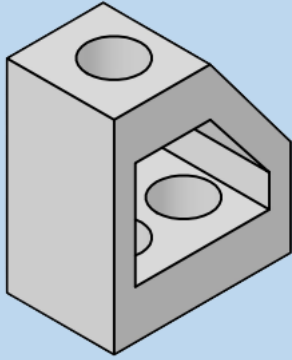
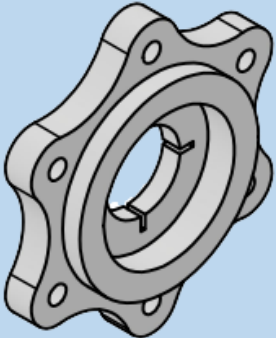
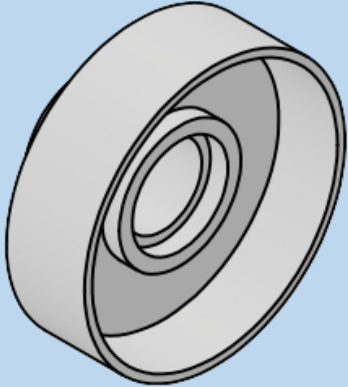
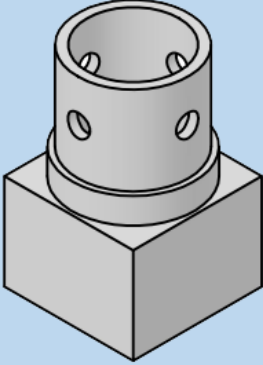
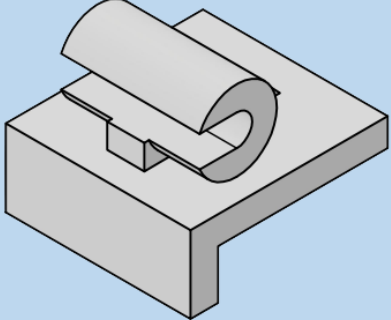
9		HL 1009
10		HL 1010
11		HL 1011
12		HL 1012
13		HL 1013
14		HL 1014

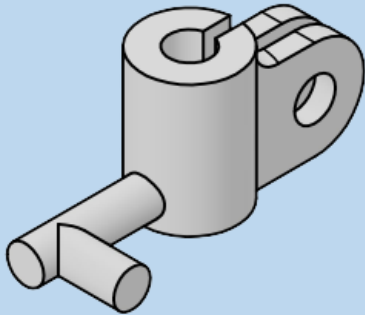
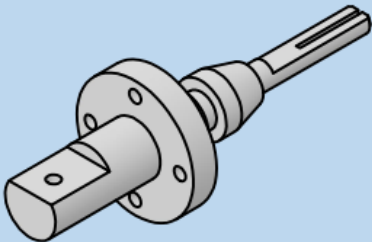
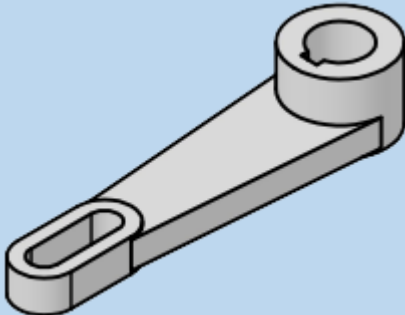
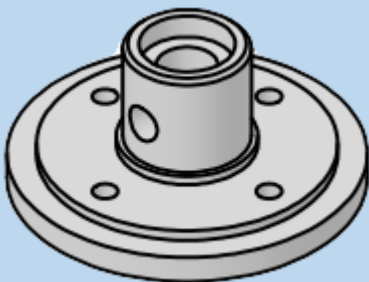
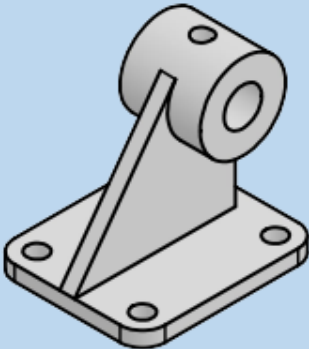
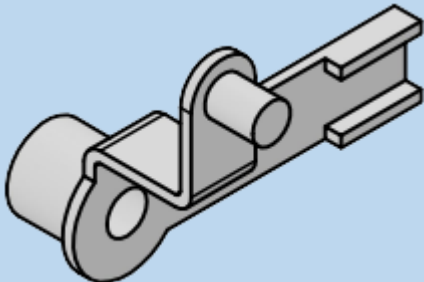
15		HL 1015
16		HL 1016
17		HL 1017
18		HL 1018
19		HL 1019
20		HL 1020

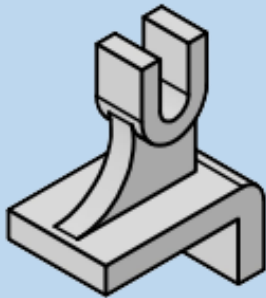
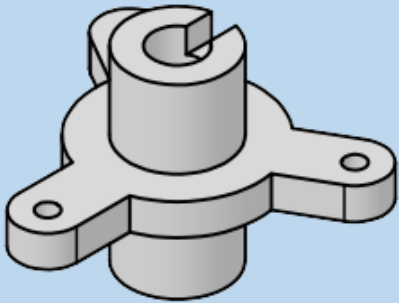
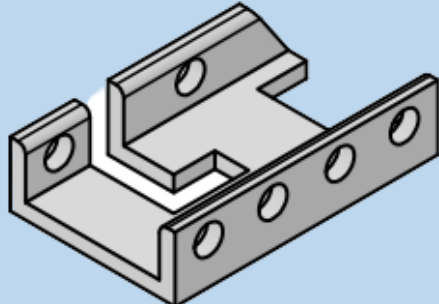
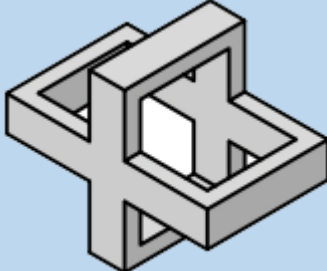
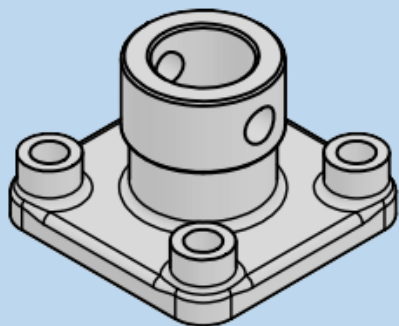
21		HL 1021
22		HL 1022
23		HL 1023
24		HL 1024
34		HL 1034

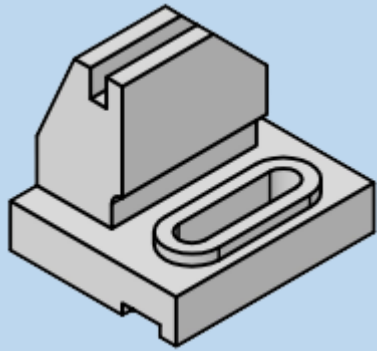
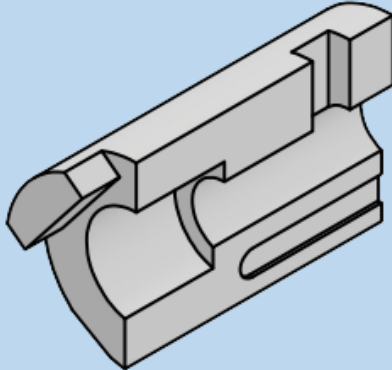
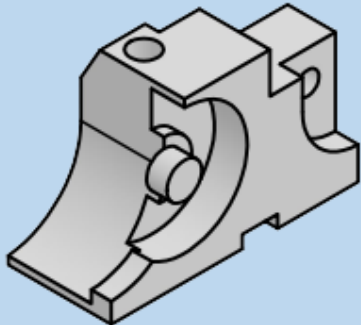
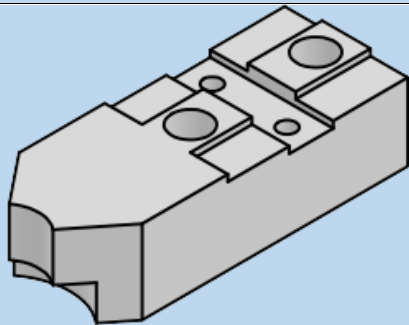
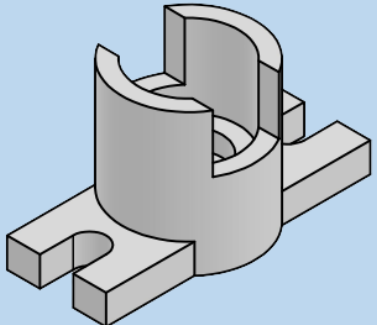
35		HL 1035
36		HL 1036
37		HL 1037
38		HL 1038
39		HL 1039

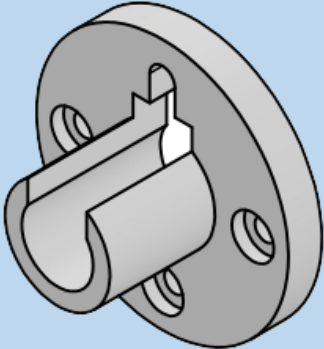
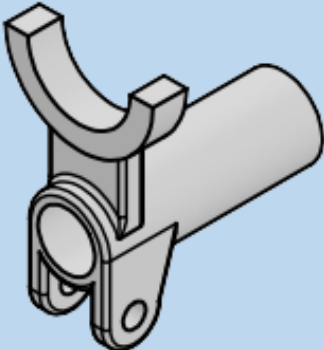
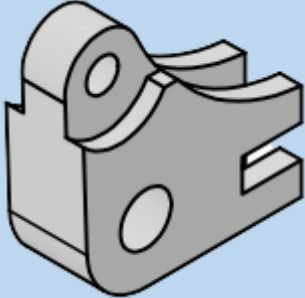
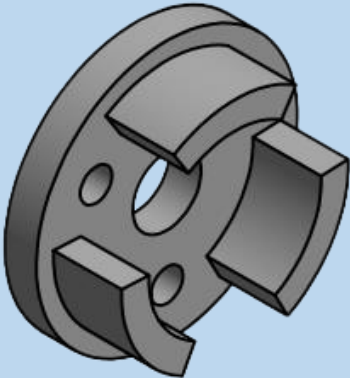
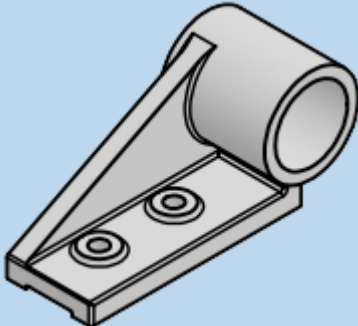
40		HL 1040
41		HL 1041
42		HL 1042
43		HL 1043
44		HL 1044

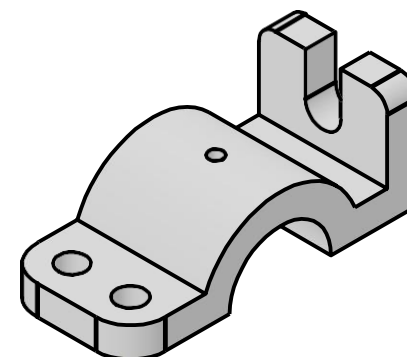
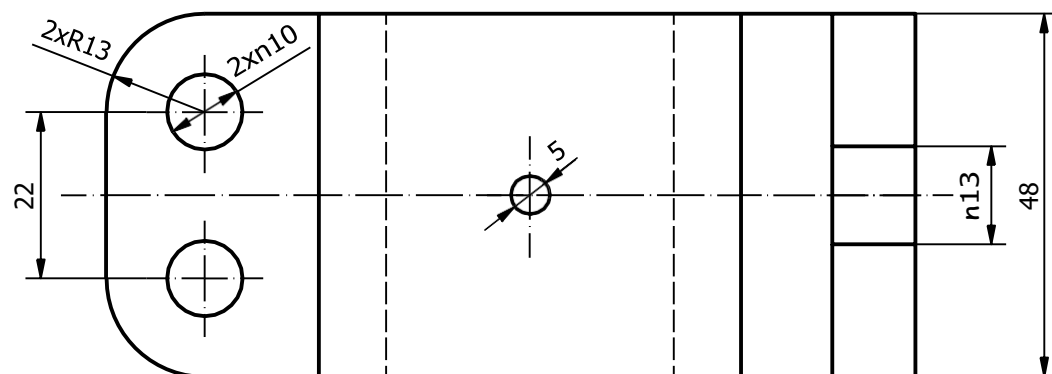
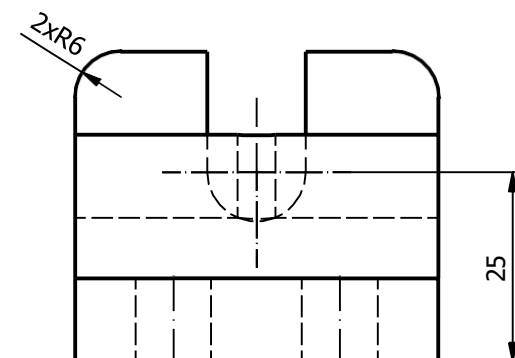
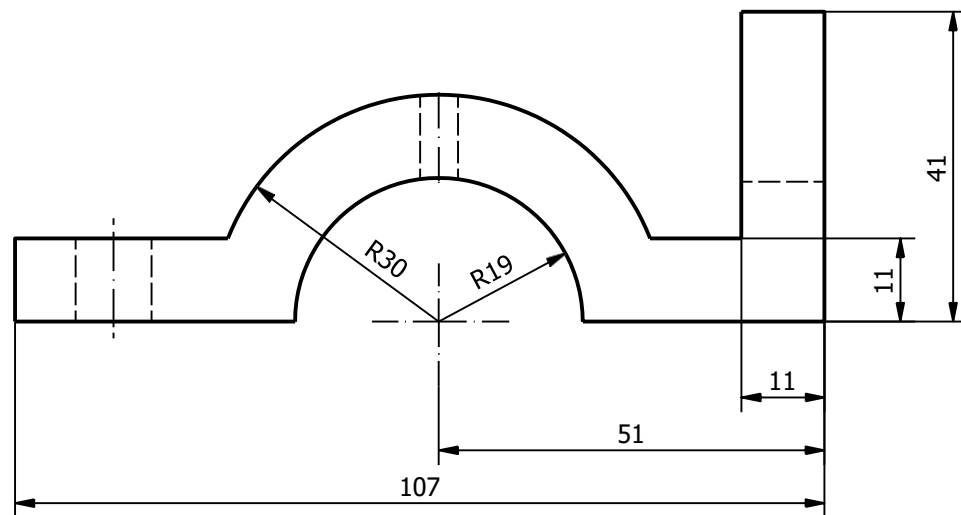
45		HL 1045
46		HL 1046
47		HL 1047
48		HL 1048
49		HL 1049

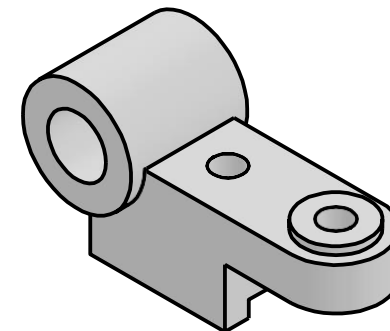
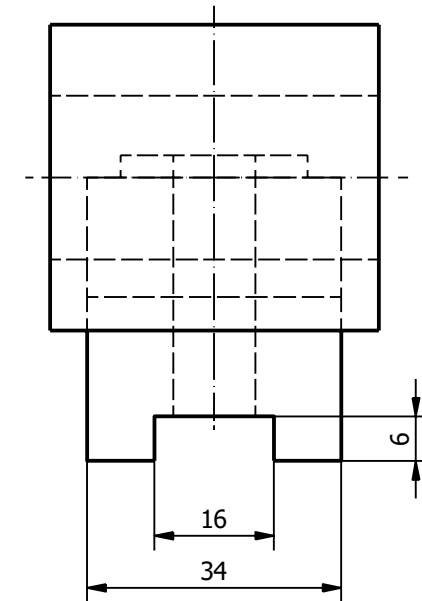
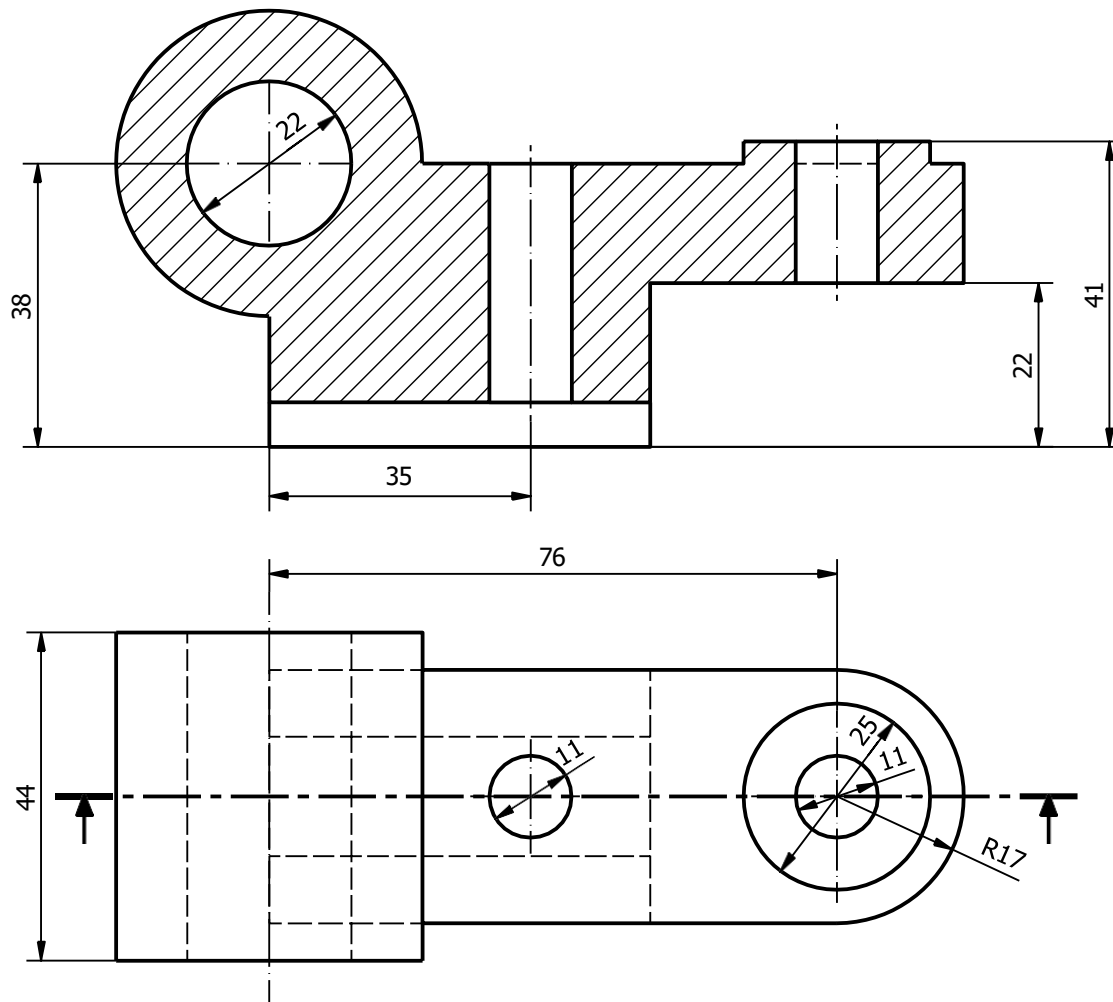
50		HL 1050
51		HL 1051
52		HL 1052
53		HL 1053
54		HL 1054
55		HL 1055

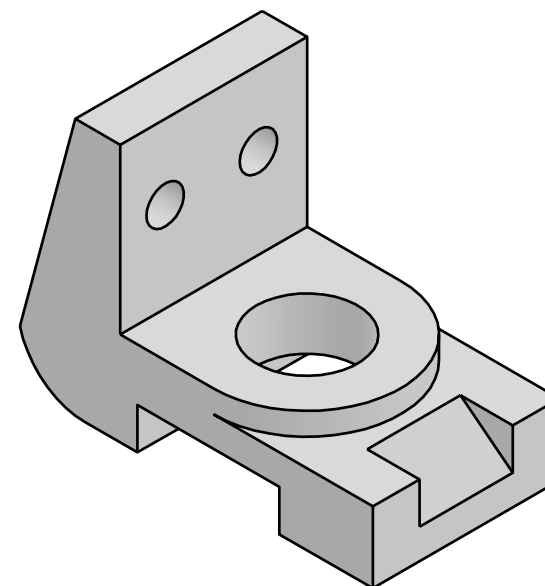
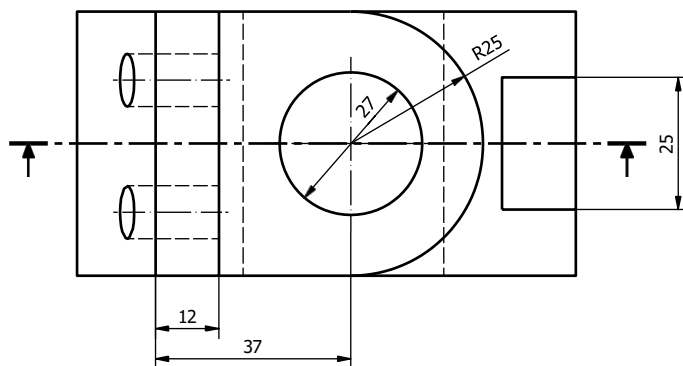
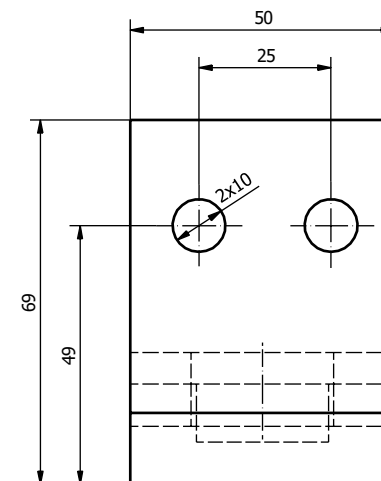
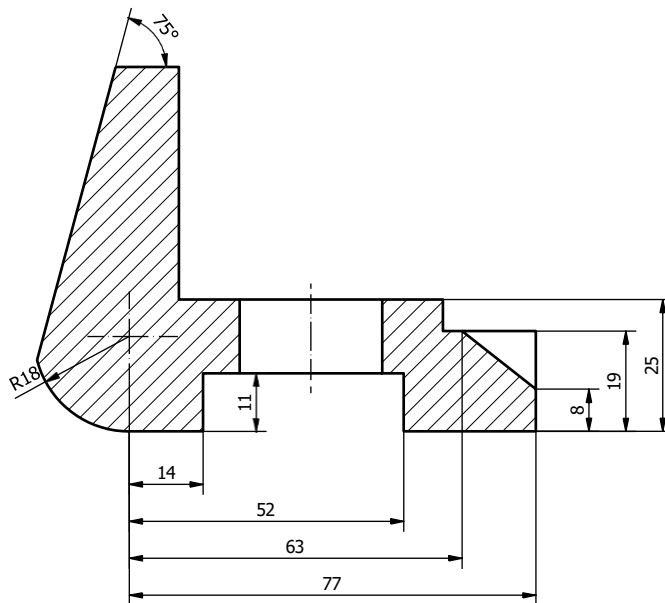
56		HL 1056
57		HL 1057
58		HL 1058
59		HL 1059
60		HL 1060

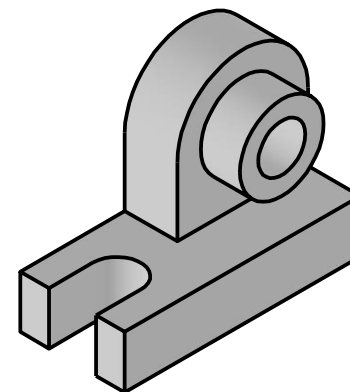
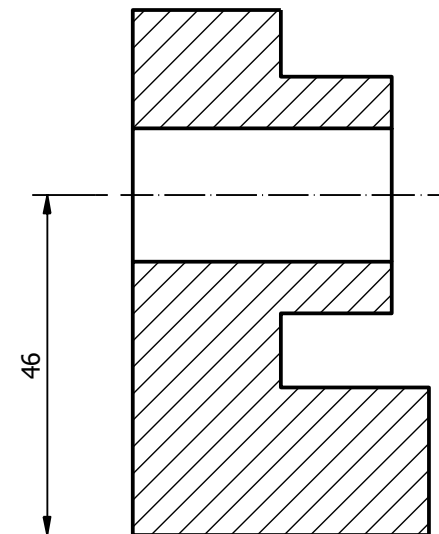
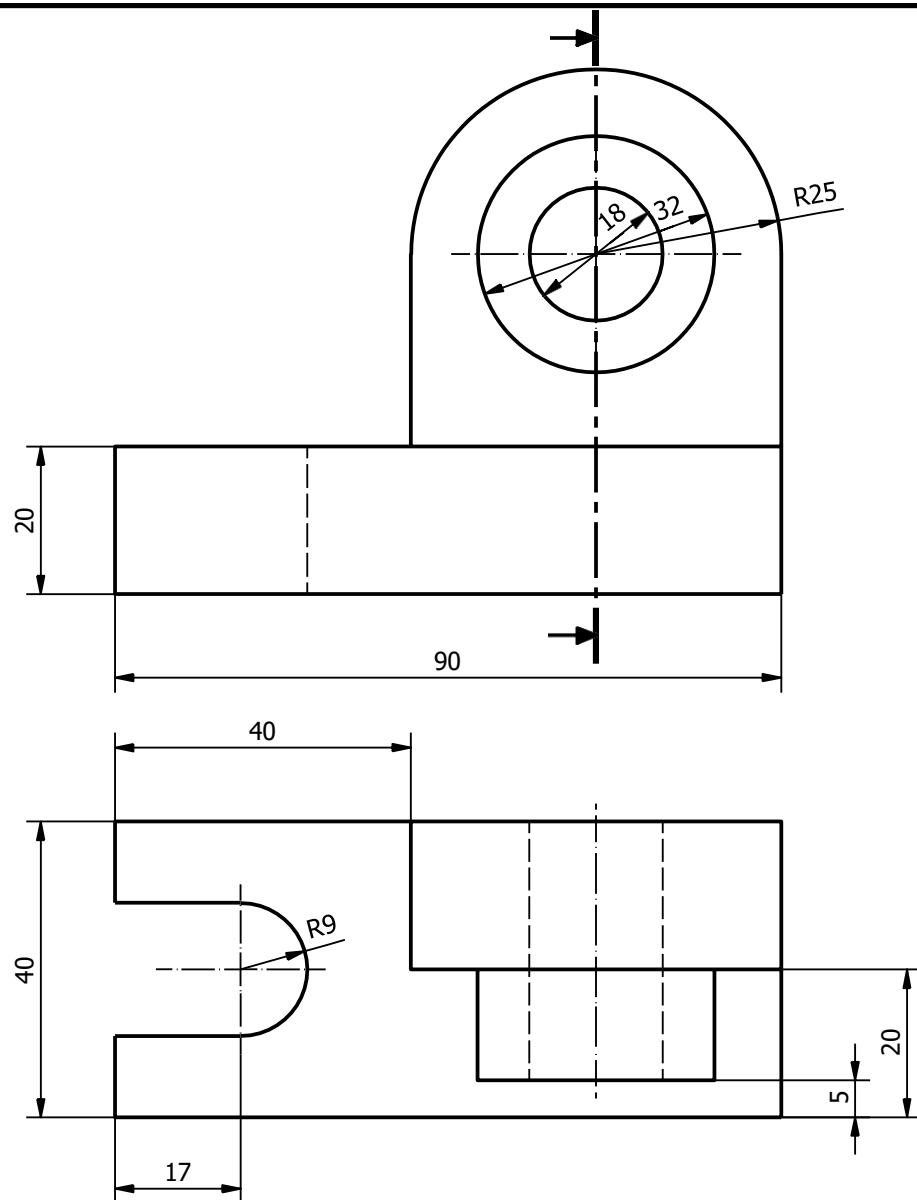
61		HL 1061
62		HL 1062
63		HL 1063
64		HL 1064
65		HL 1065

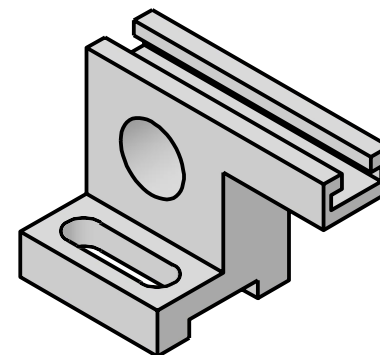
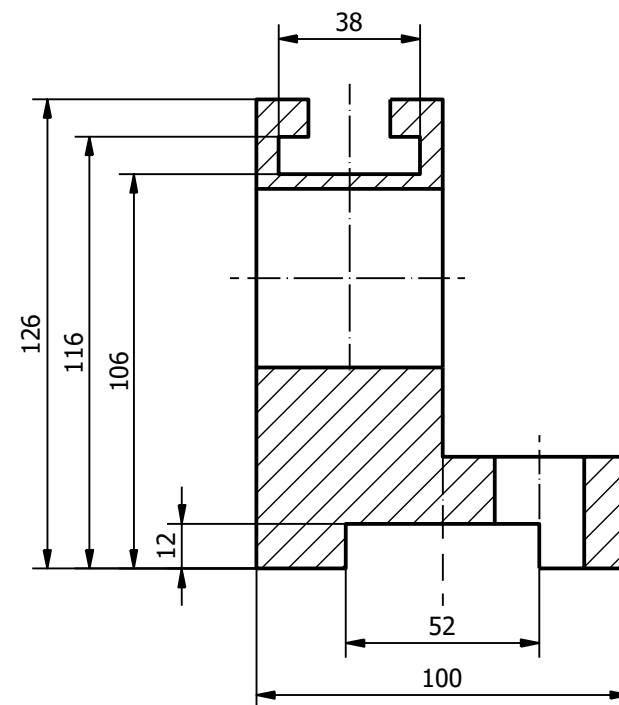
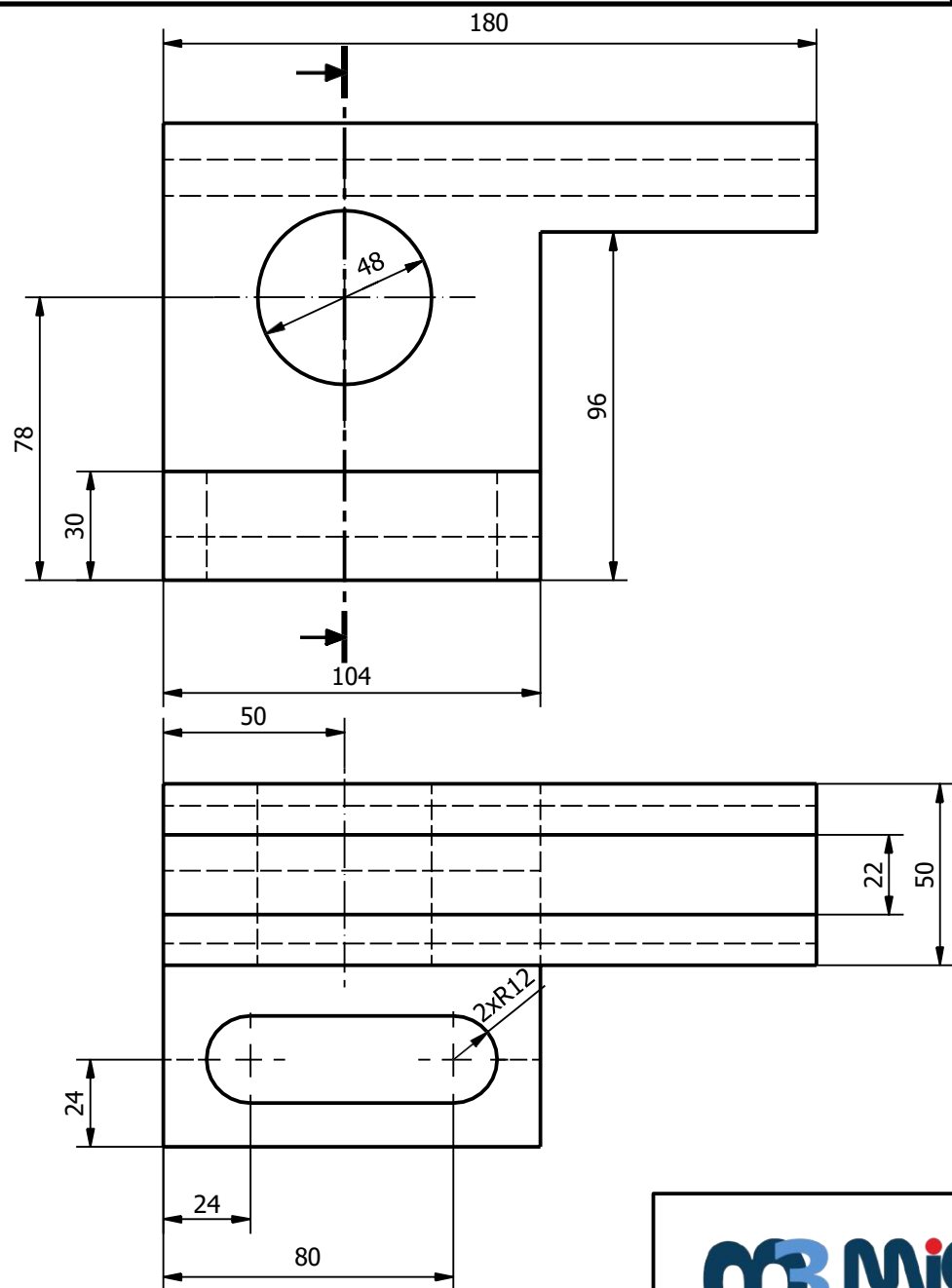
66		HL 1066
67		HL 1067
68		HL 1068
69		HL 1069
70		HL 1070

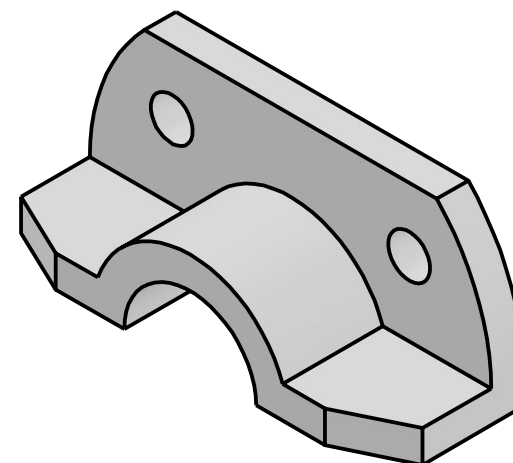
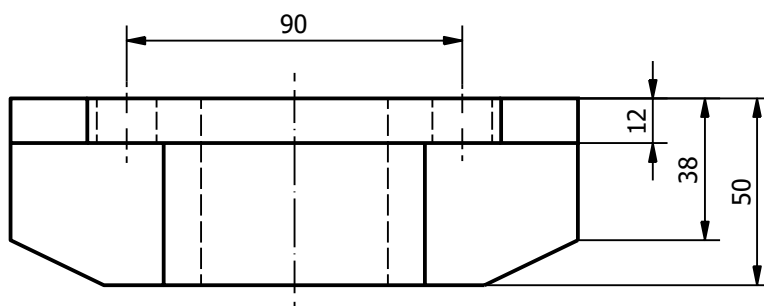
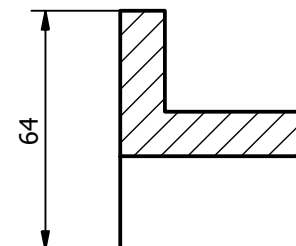
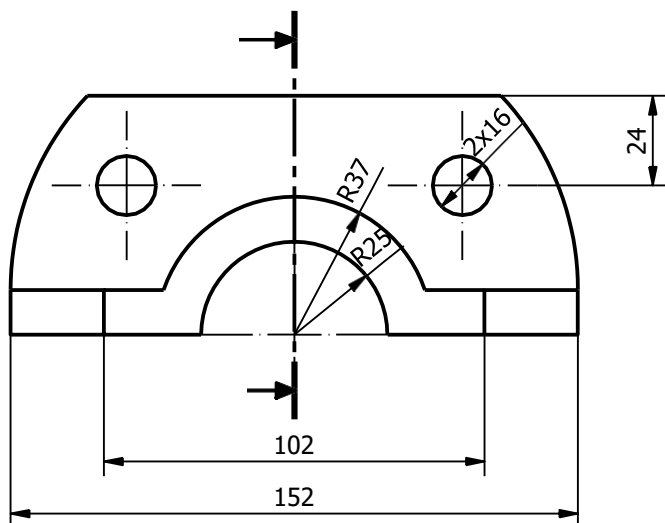


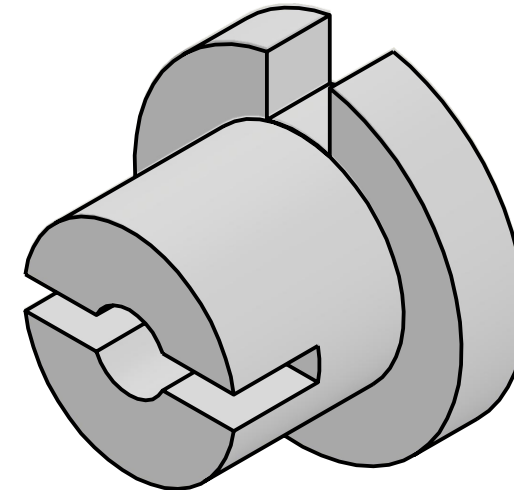
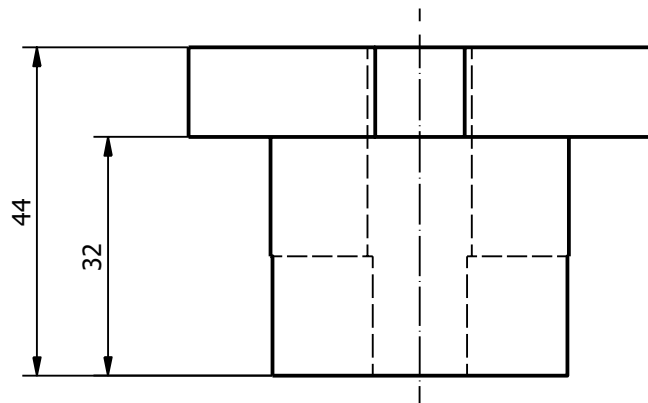
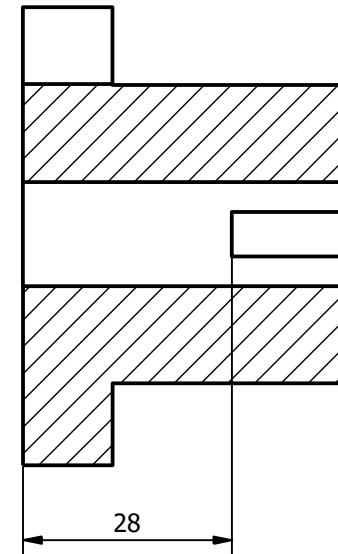
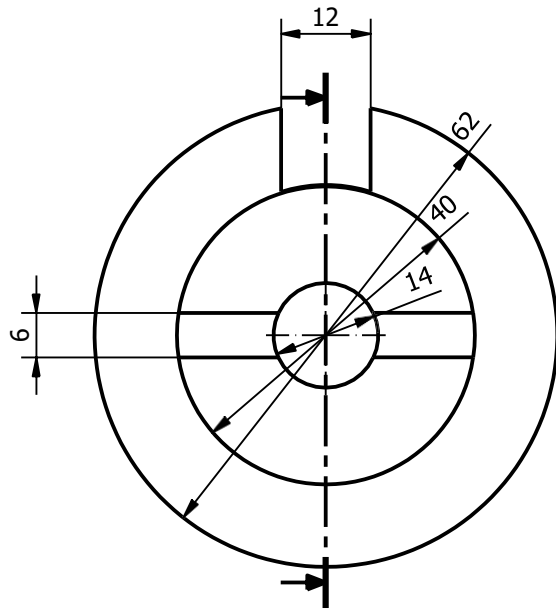


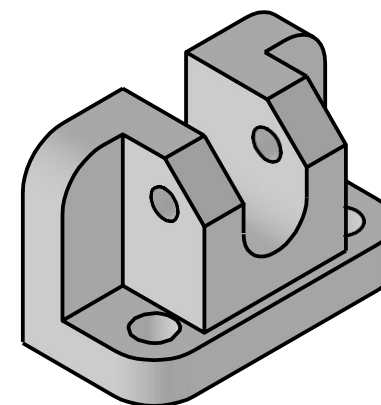
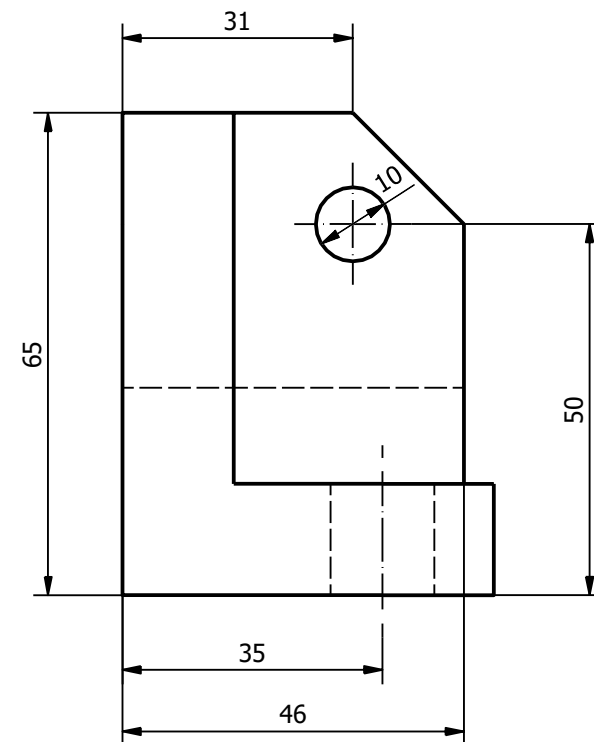
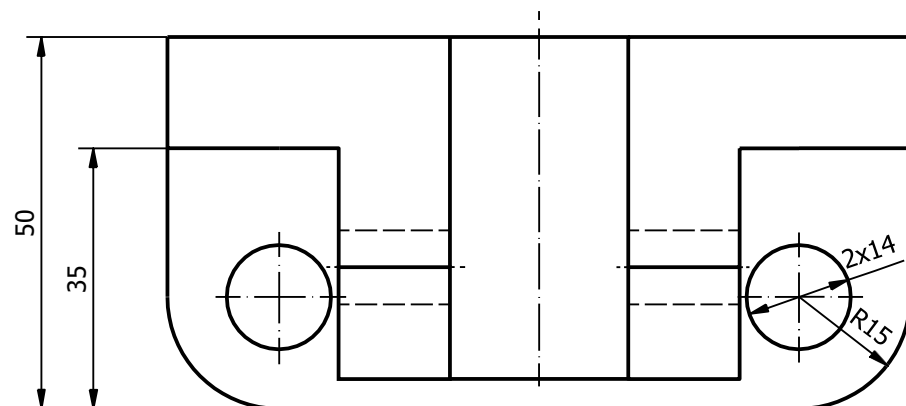
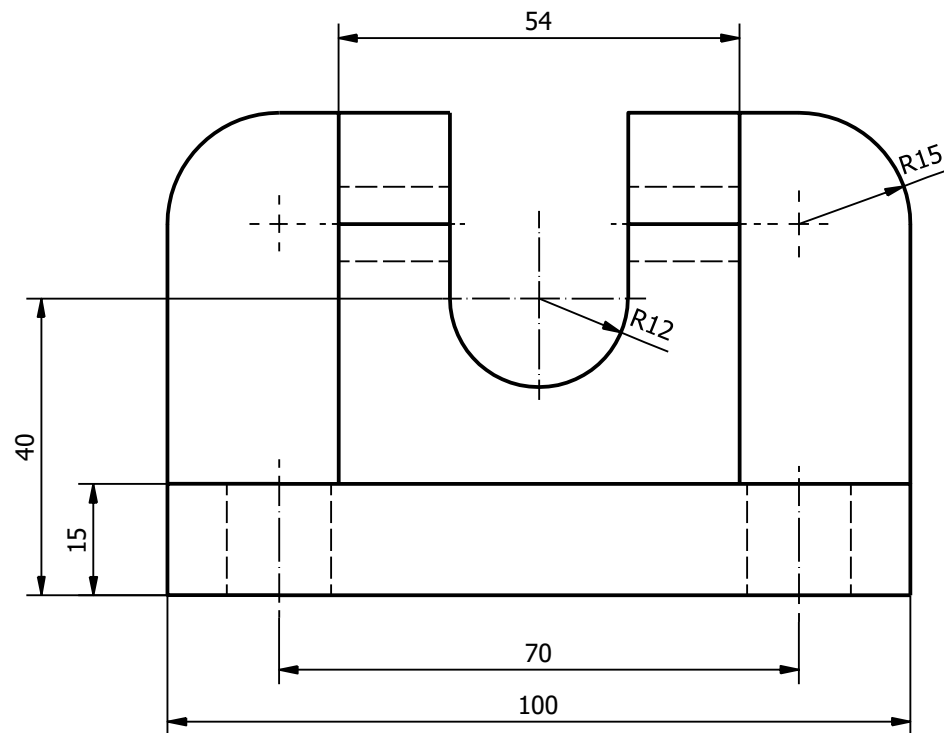


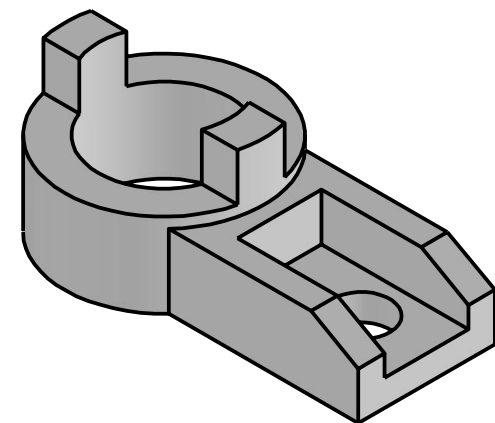
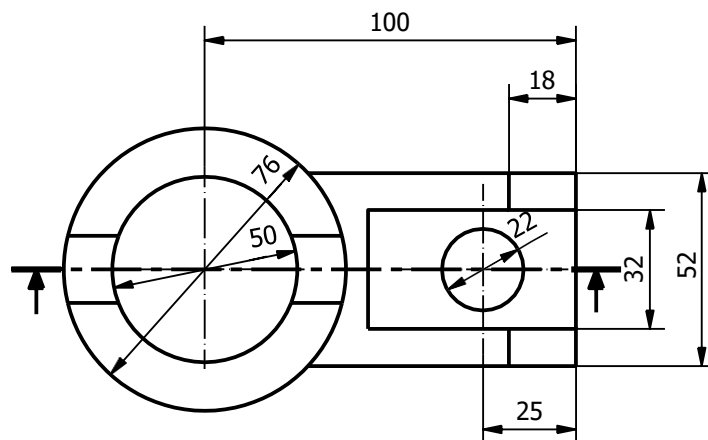
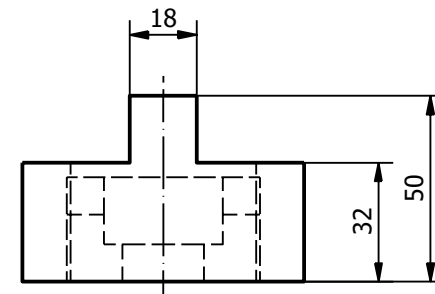
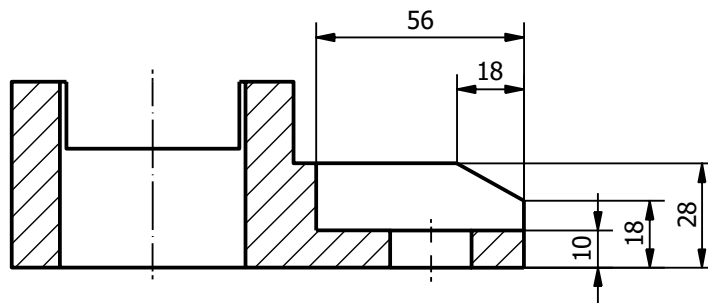












www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

Τεμάχιο 10

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

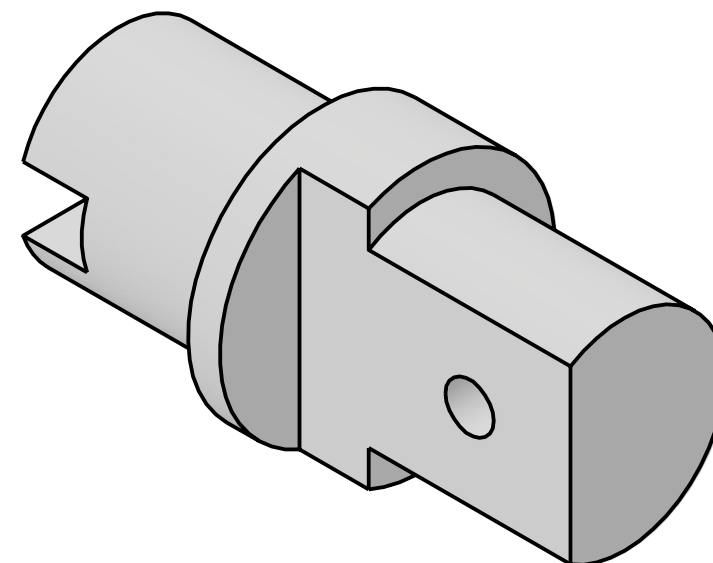
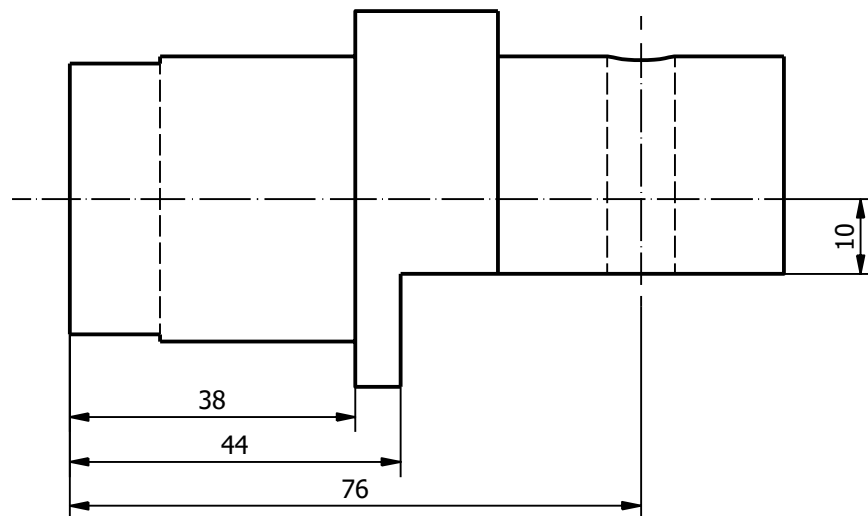
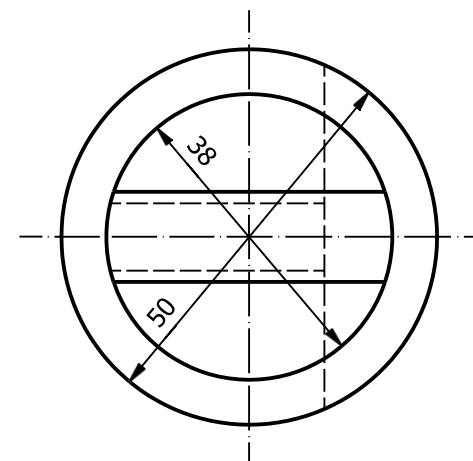
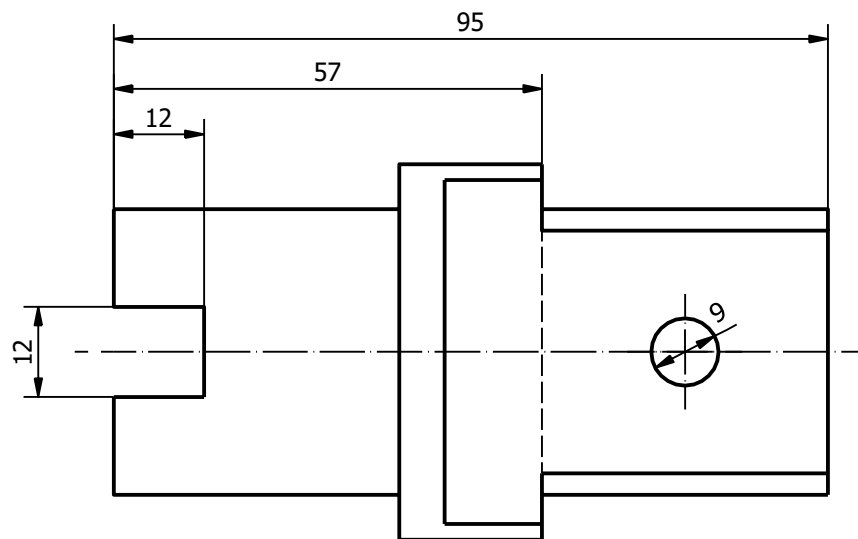
HL 1010

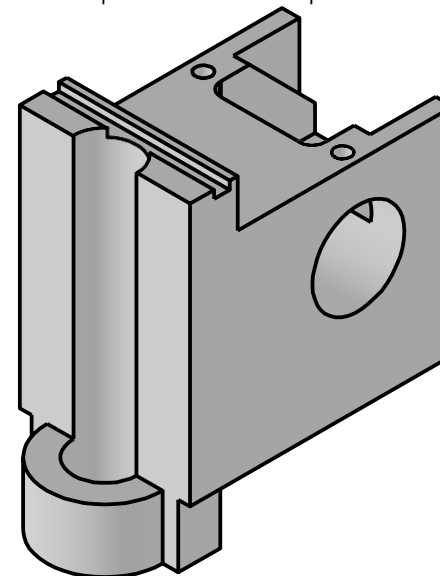
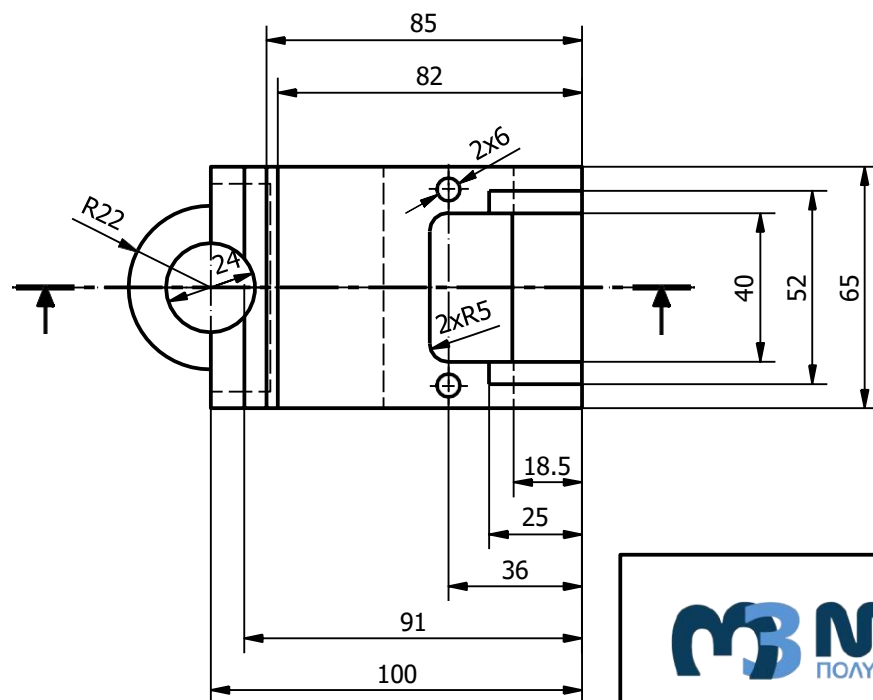
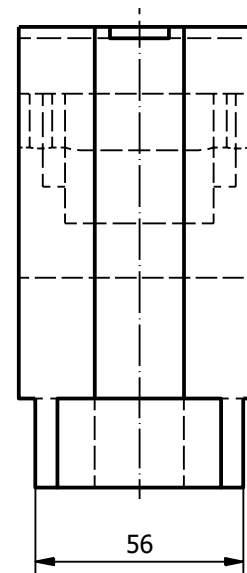
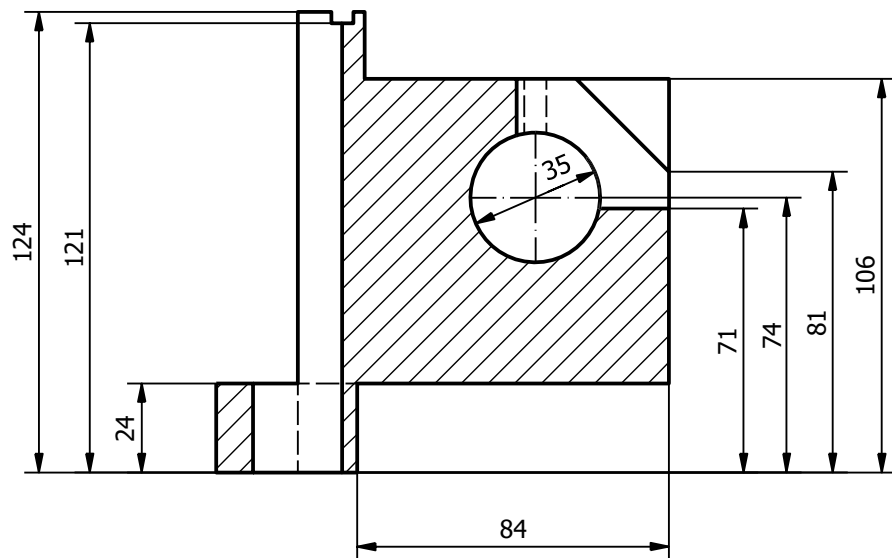
Κλιμ.
1:1

Ημερομηνία
29/03/21

Γλώσσα
ΕΛ

Φύλλο
1 / 1





m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

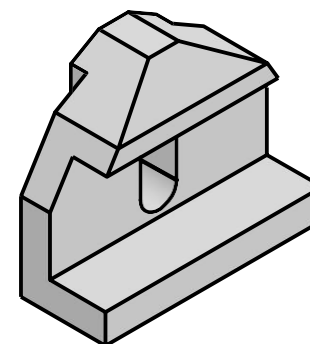
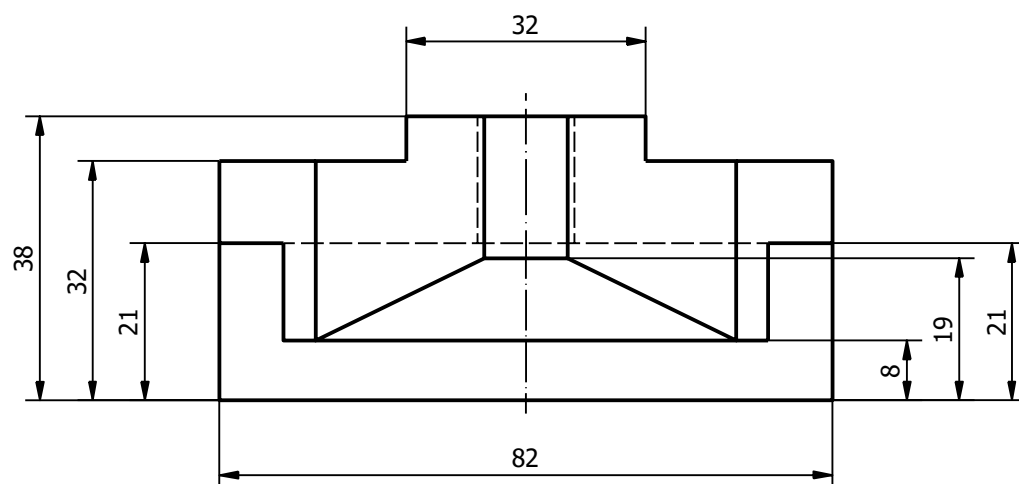
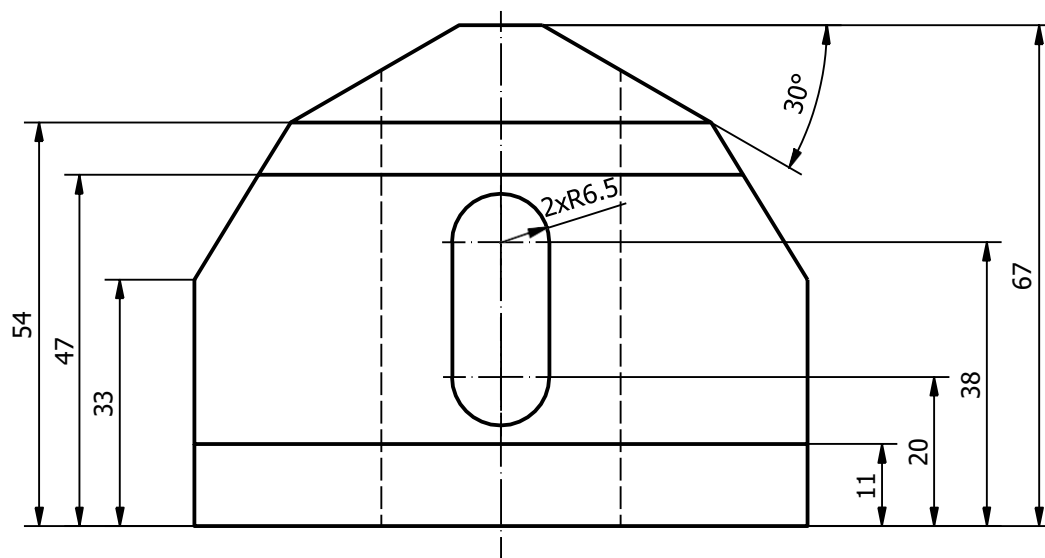
Τεμάχιο 12

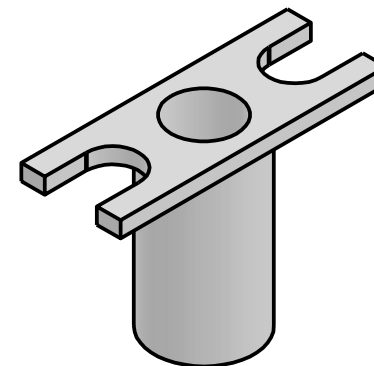
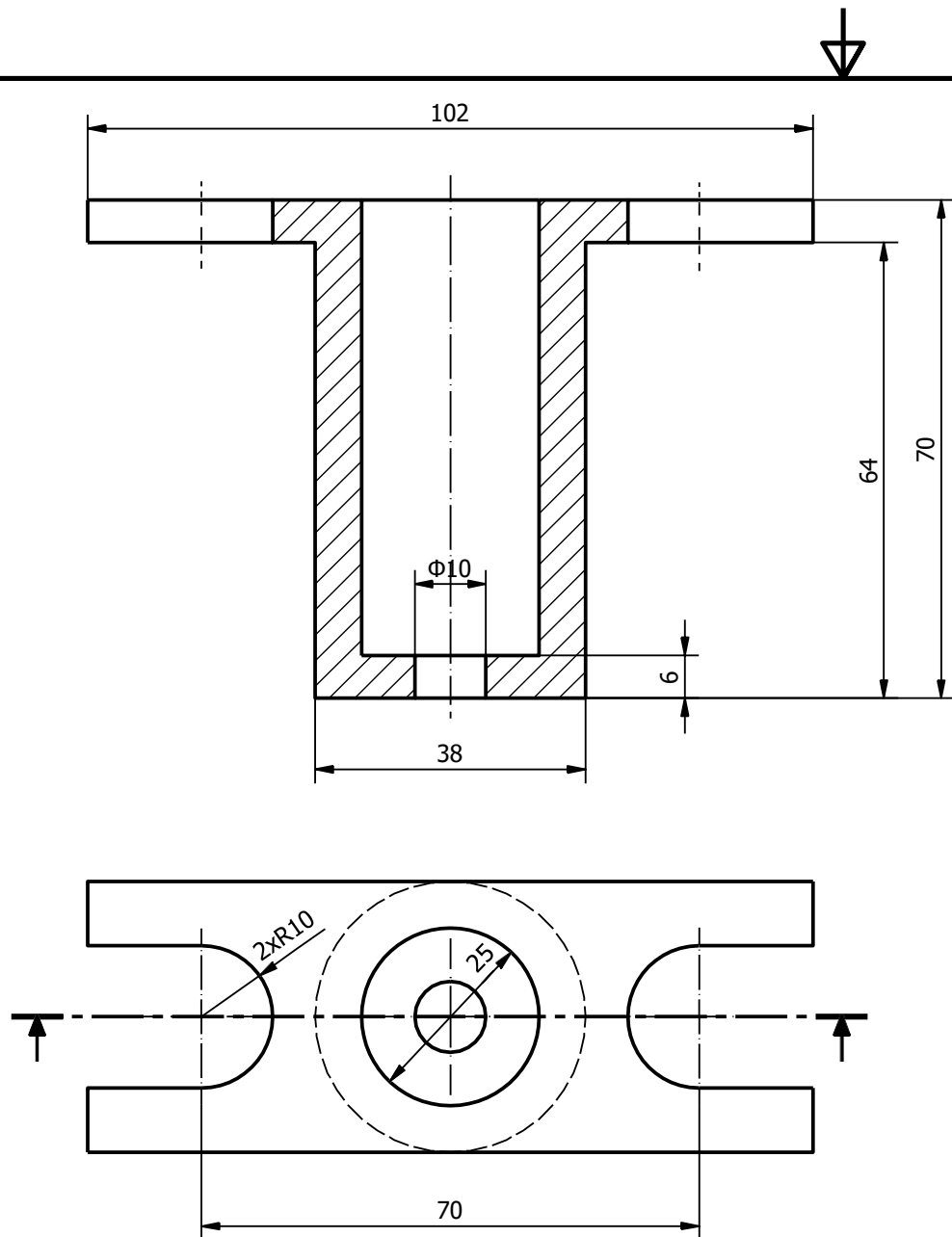
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

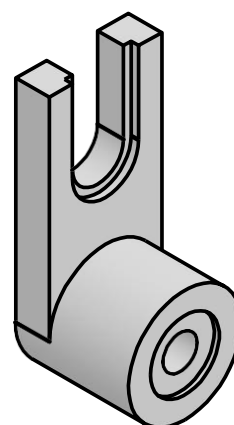
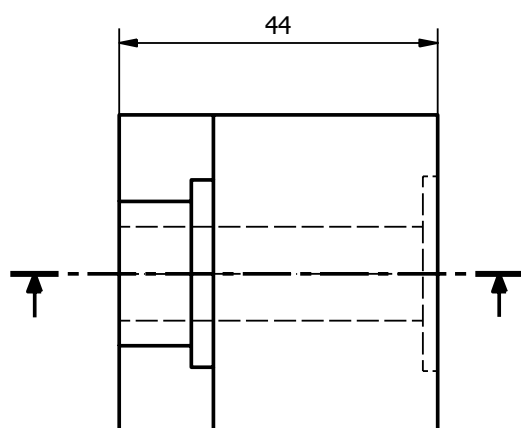
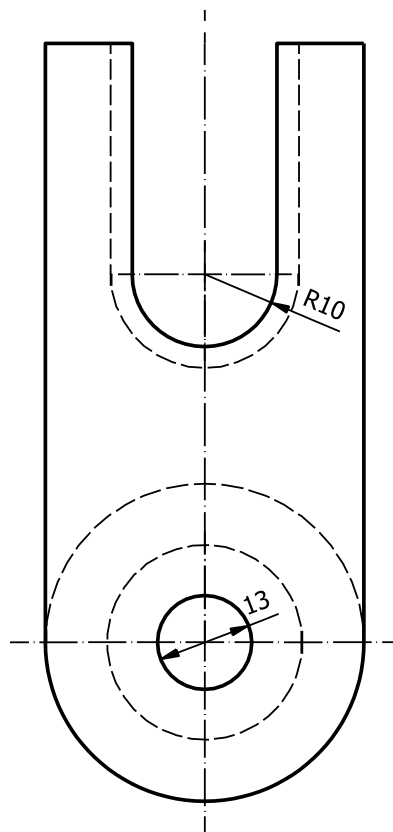
Αριθμός:

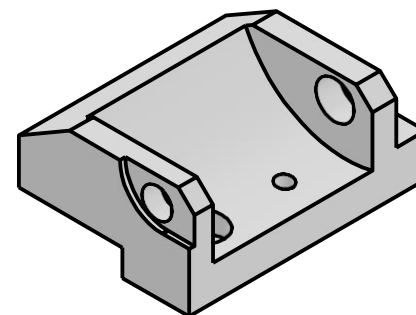
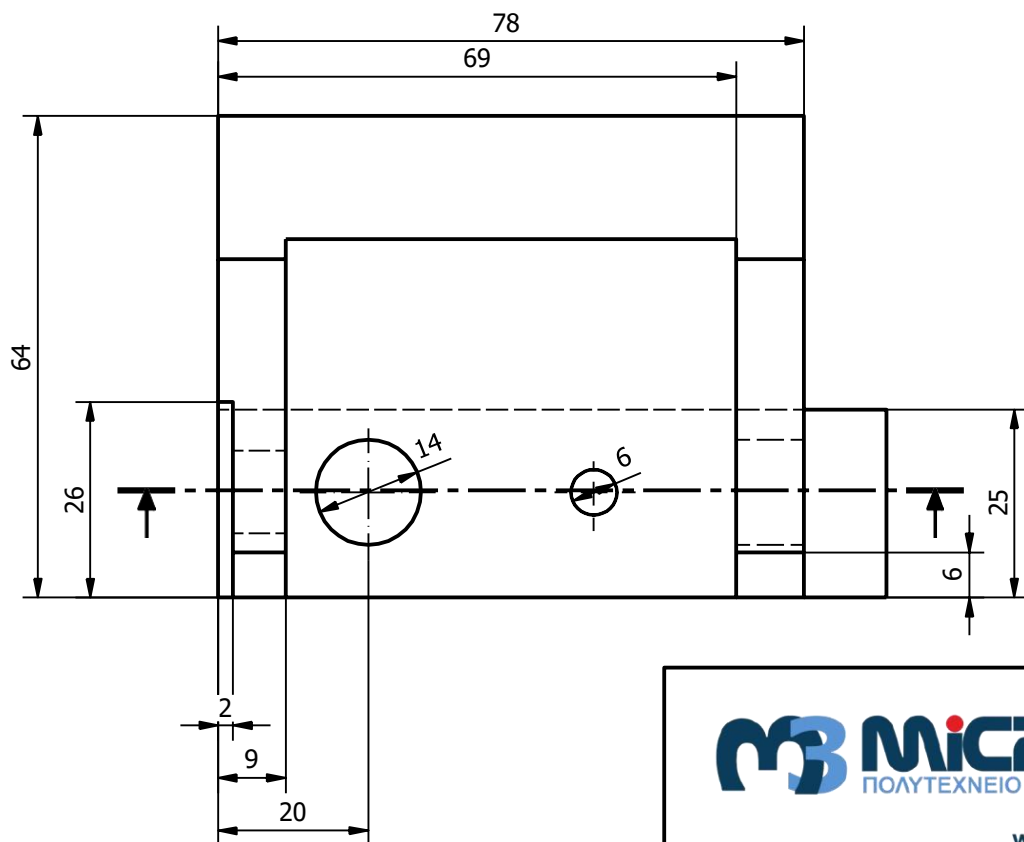
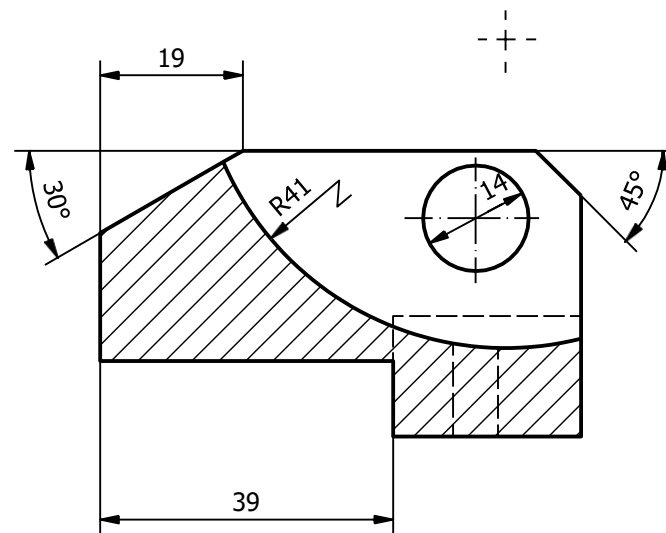
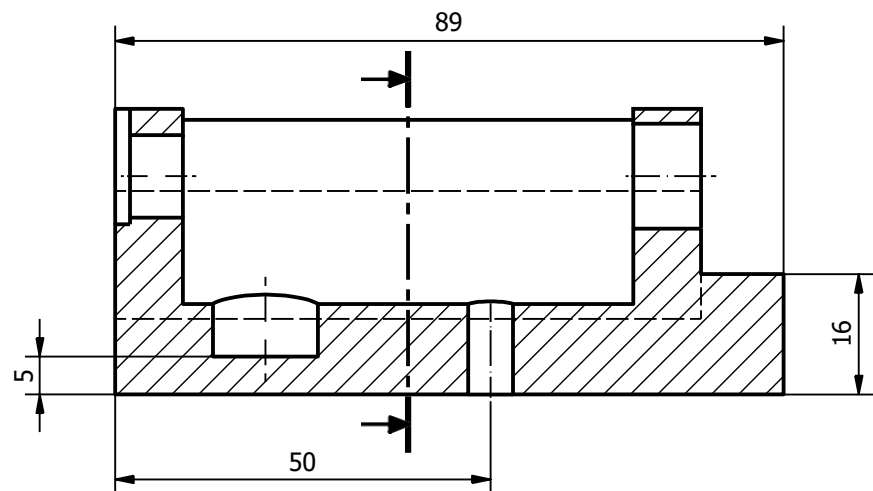
HL 1012

Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 14/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------









m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

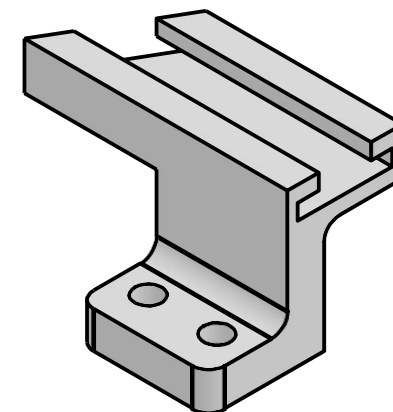
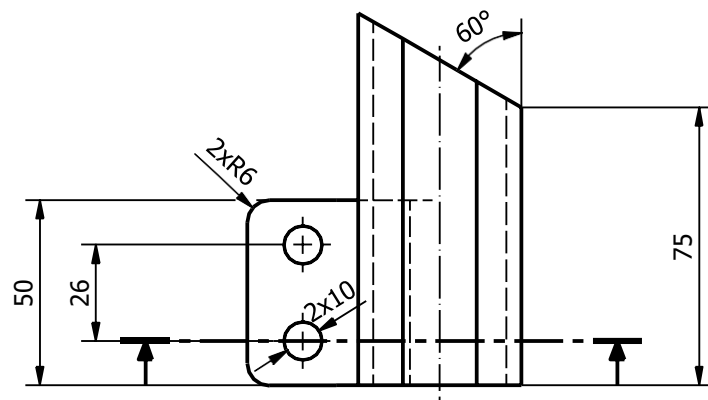
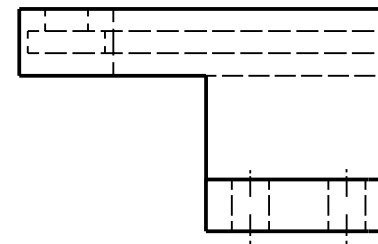
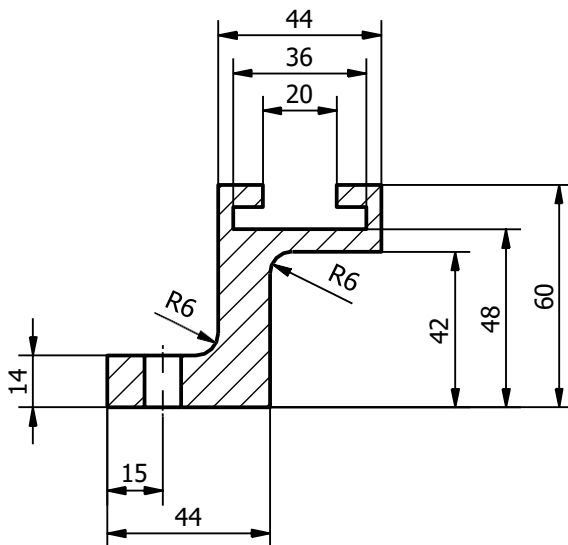
Τεμάχιο 16

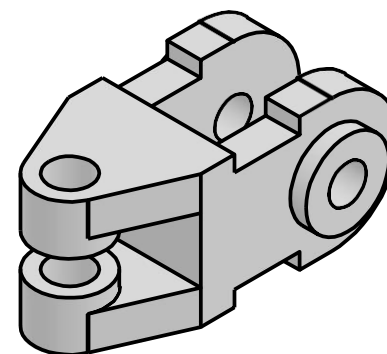
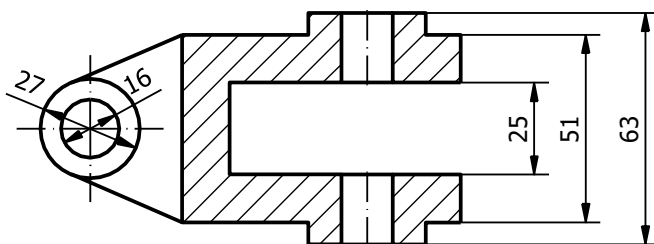
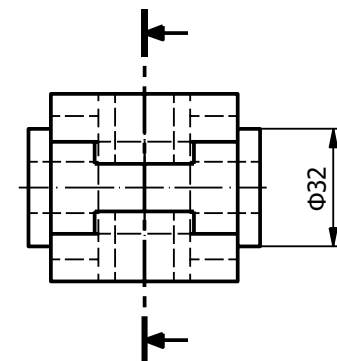
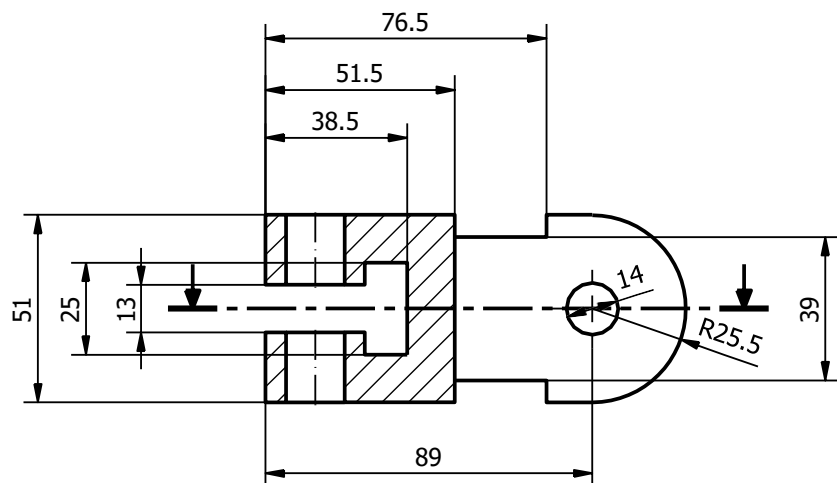
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

HL 1016

Κλιμ. 1:1	Ημερομηνία 20/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------





www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

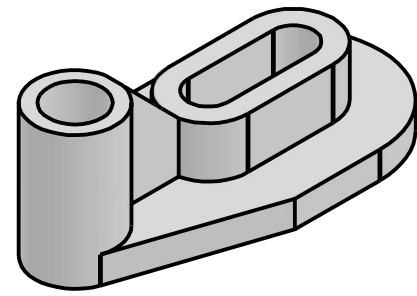
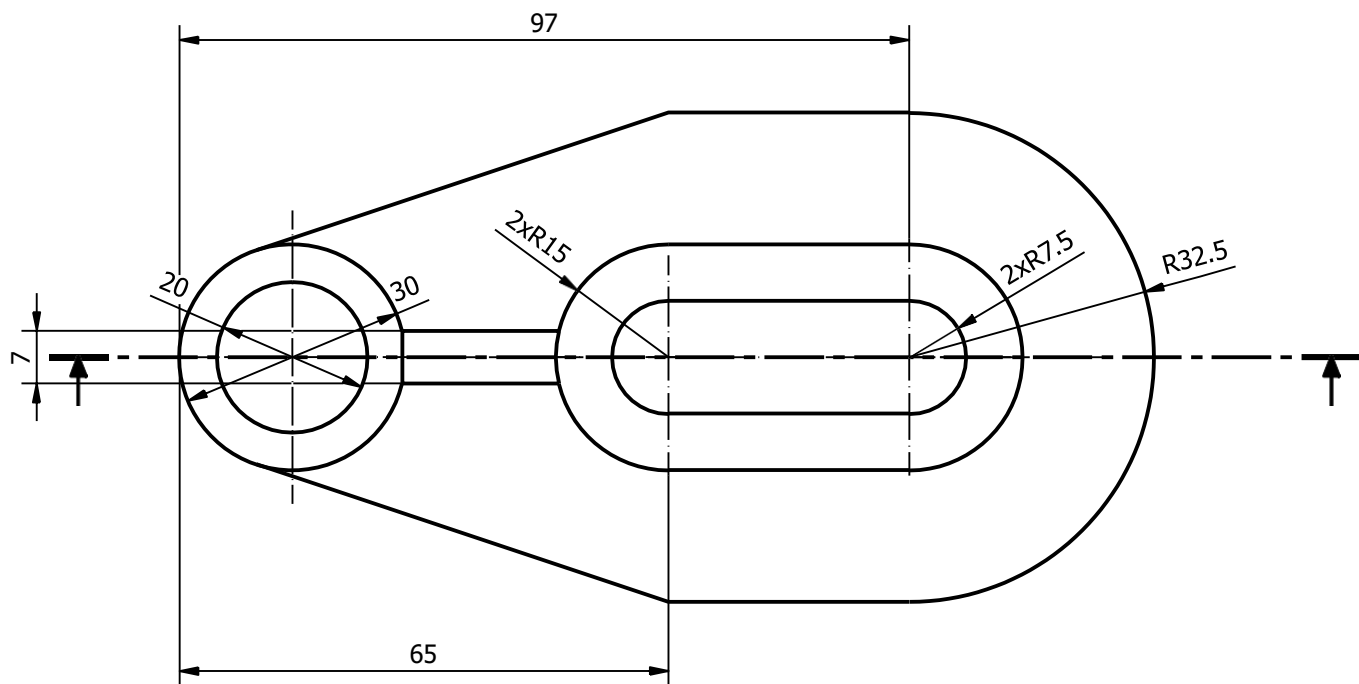
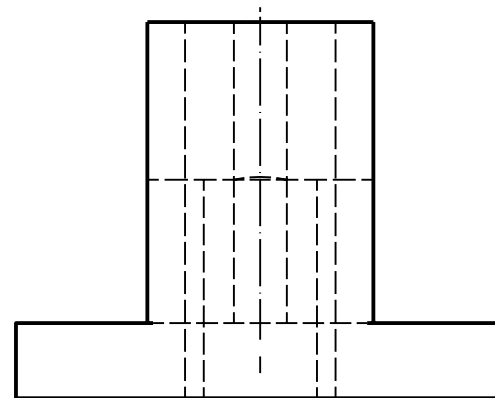
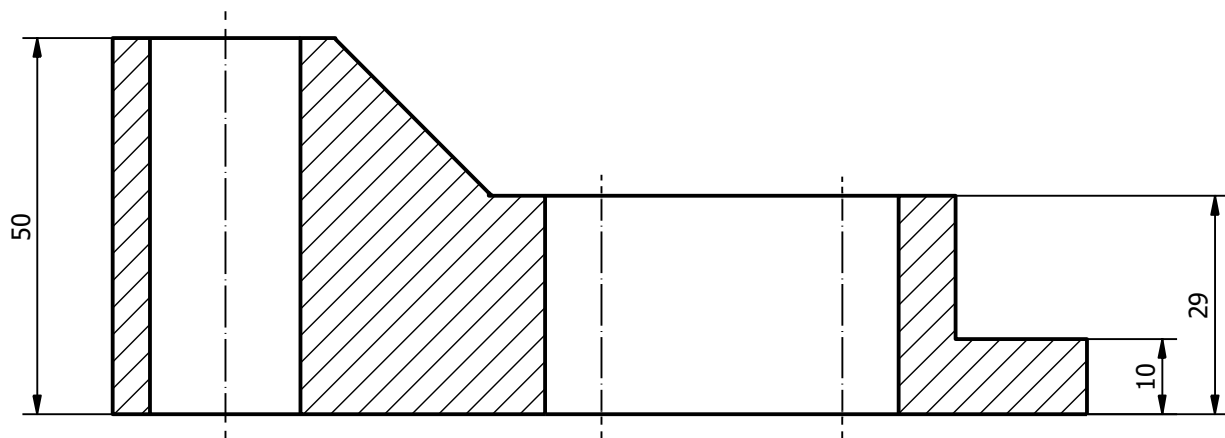
Τεμάχιο 18

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

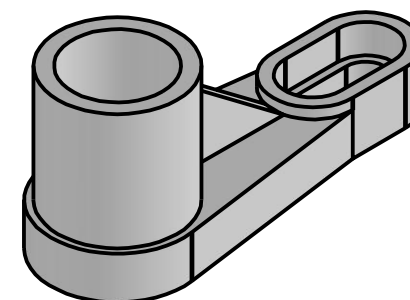
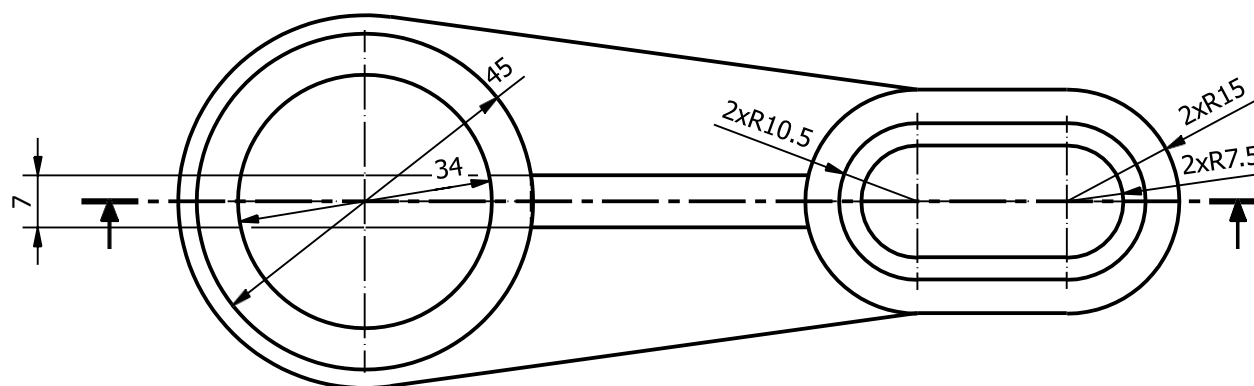
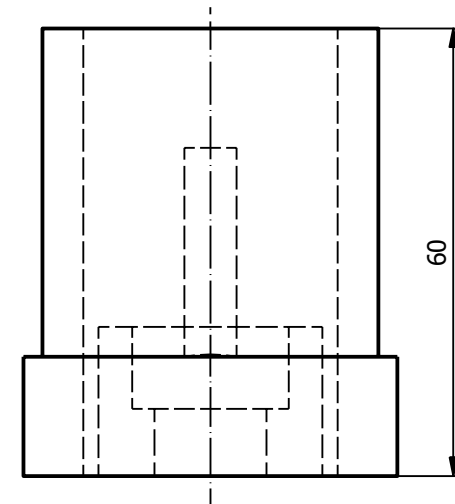
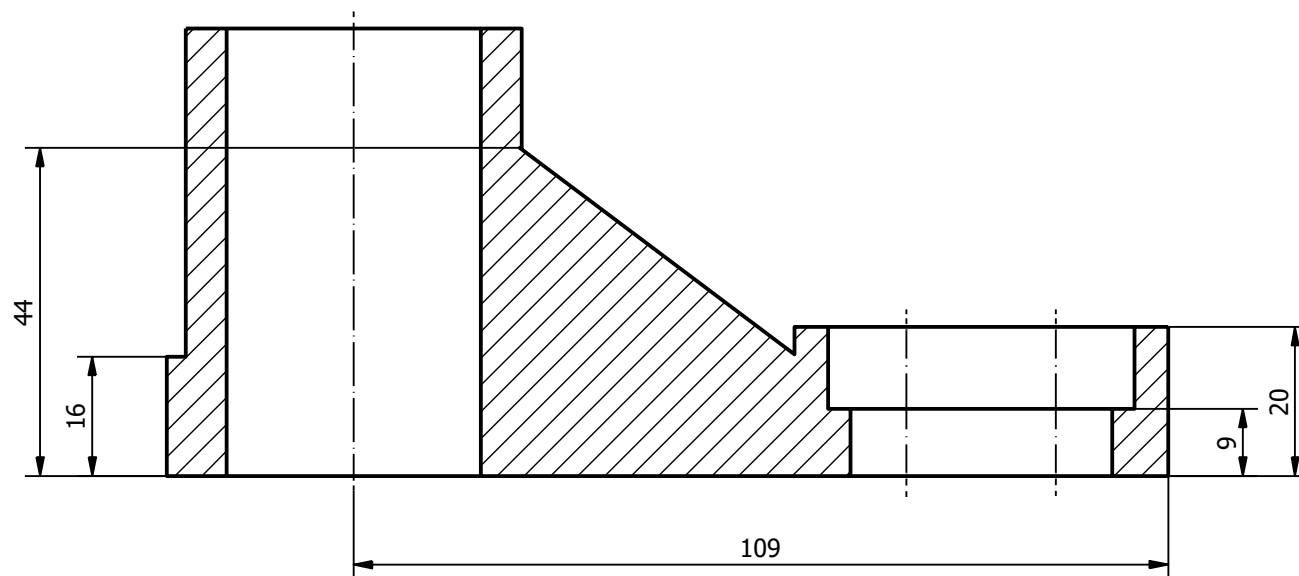
HL 1018

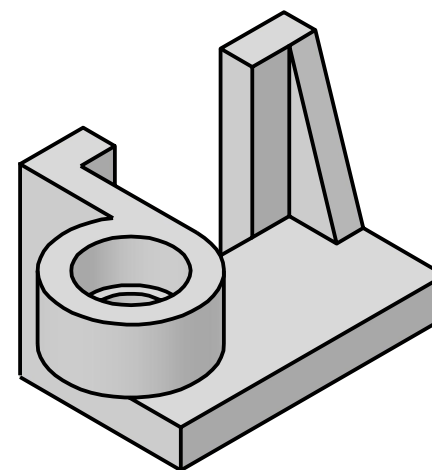
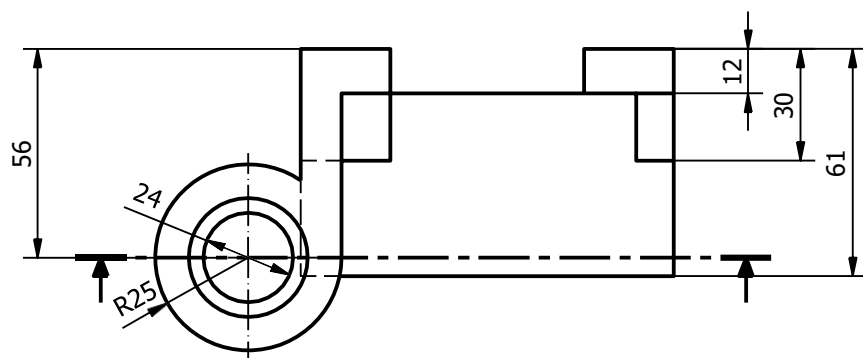
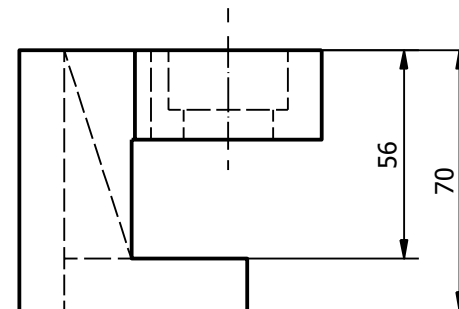
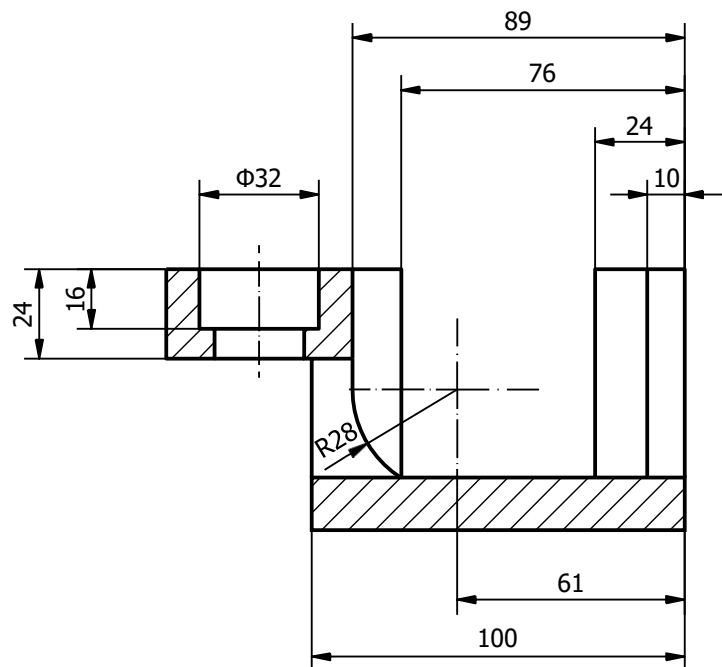
Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 20/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------

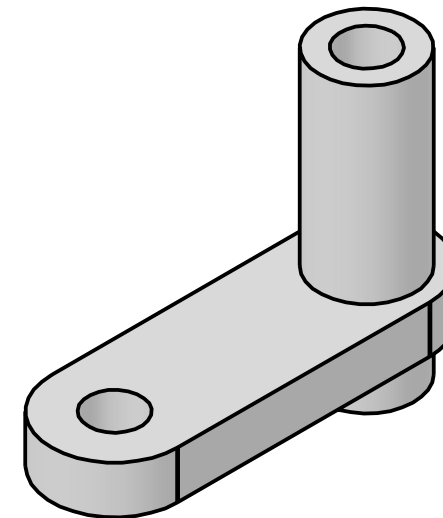
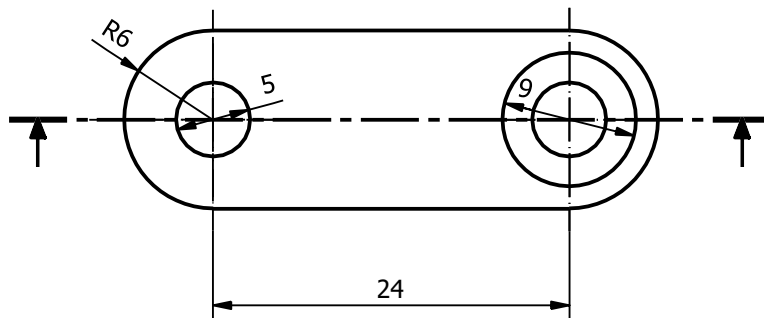
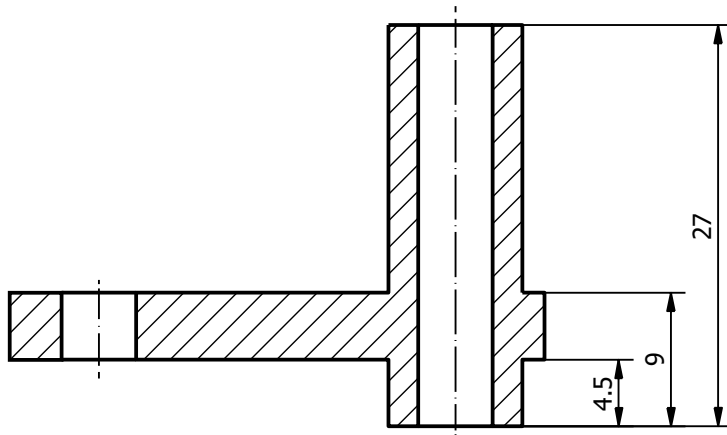


www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση: Γαϊτάνης Ηλίας		Ανοχές: Γενικές ανοχές f - ISO2768-1		
Τίτλος: Τεμάχιο 19		Αριθμός: HL 1019		
Κλιμ. 1:1	Ημερομηνία 20/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1	







www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

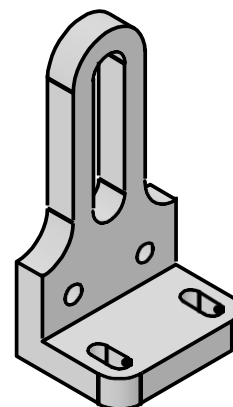
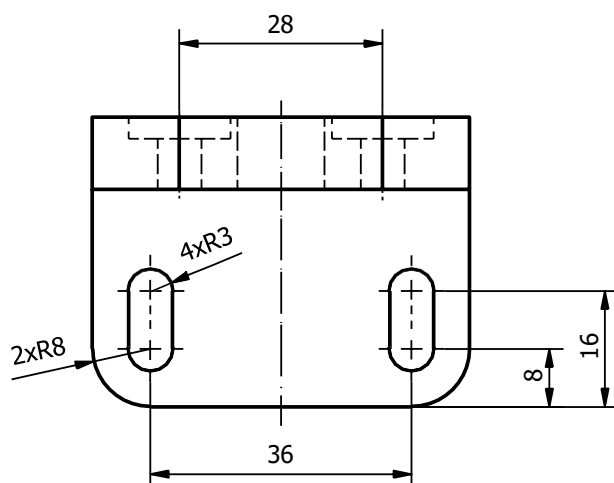
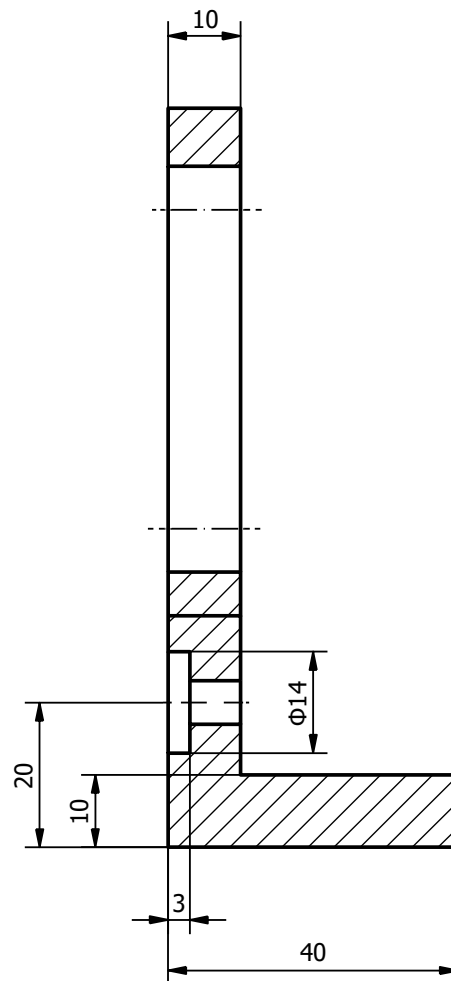
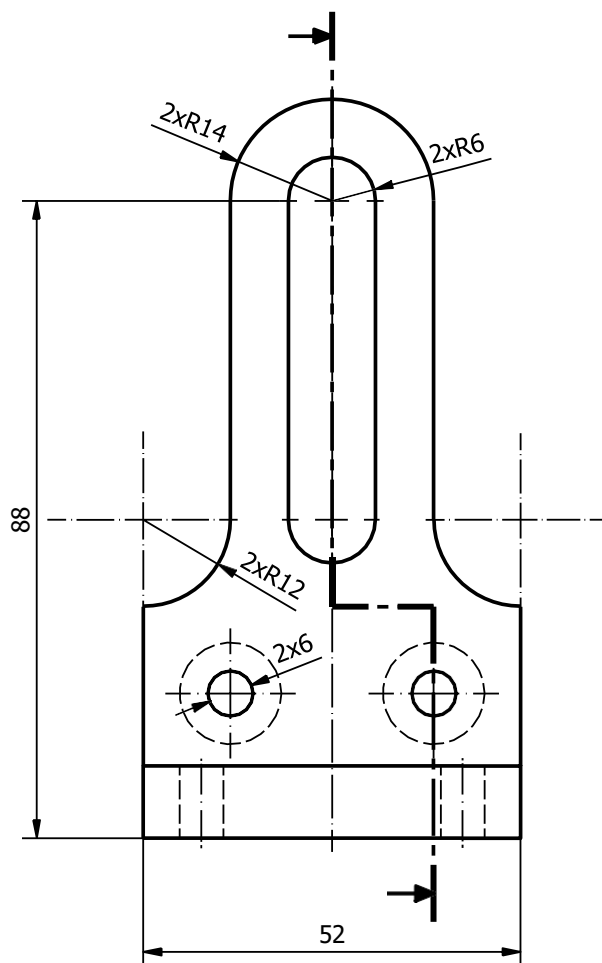
Τεμάχιο 22

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

HL 1022

Κλιμ. 2:1	Ημερομηνία 20/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------



www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

Τεμάχιο 23

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

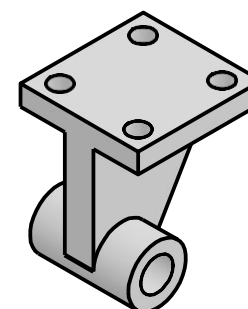
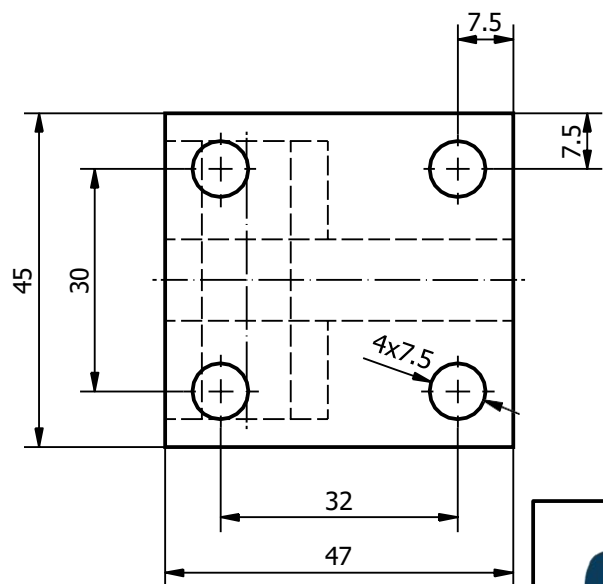
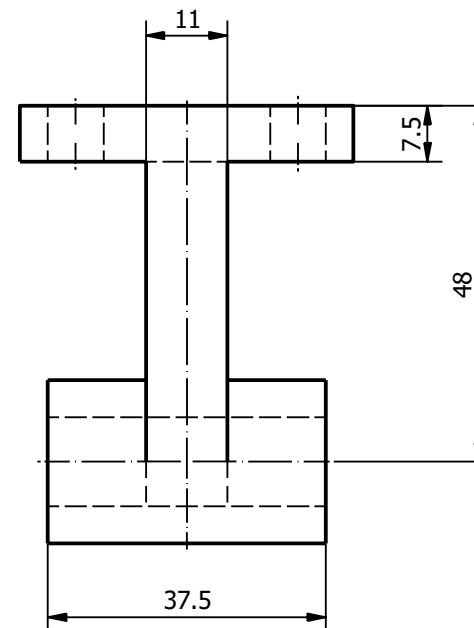
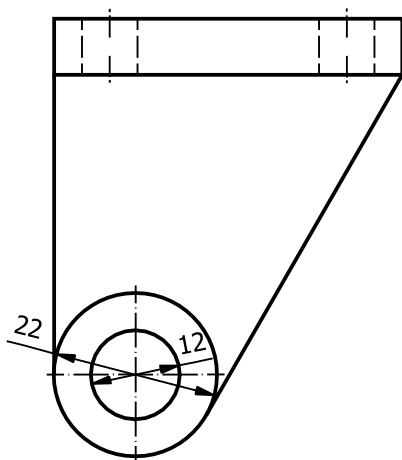
HL 1023

Κλίμ.
1:1

Ημερομηνία
20/06/21

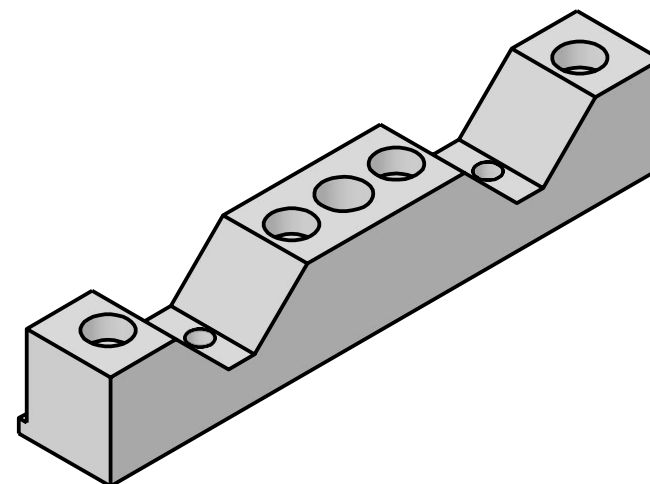
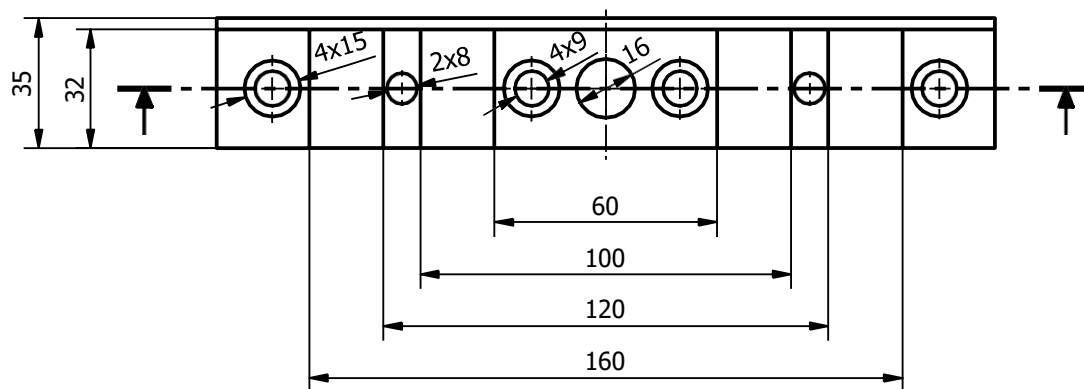
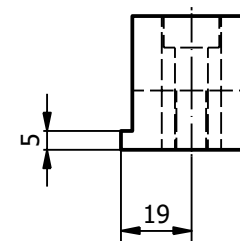
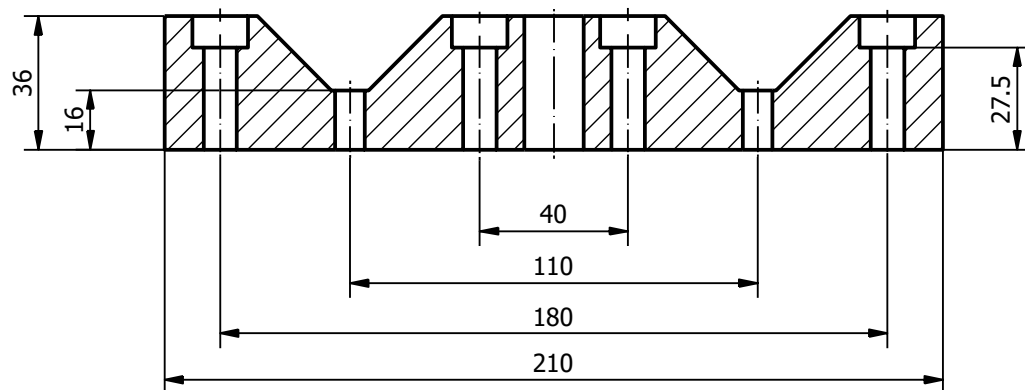
Γλώσσα
ΕΛ

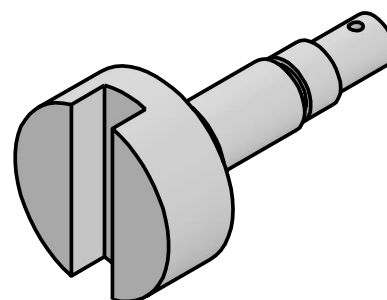
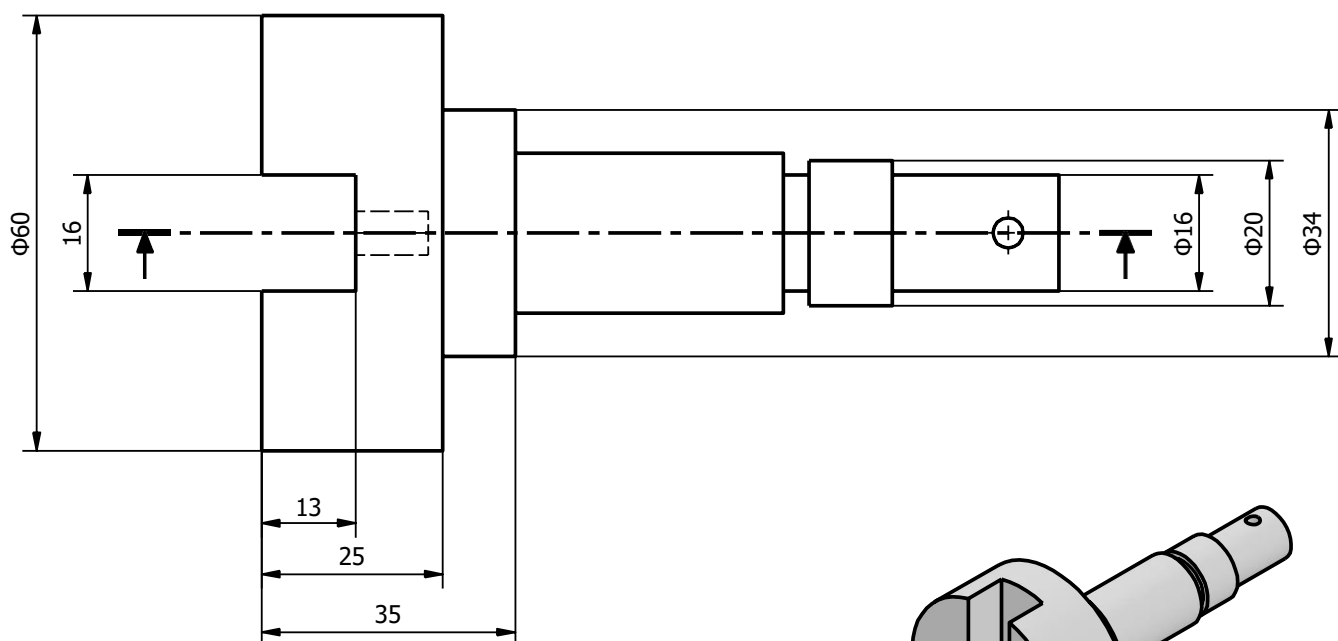
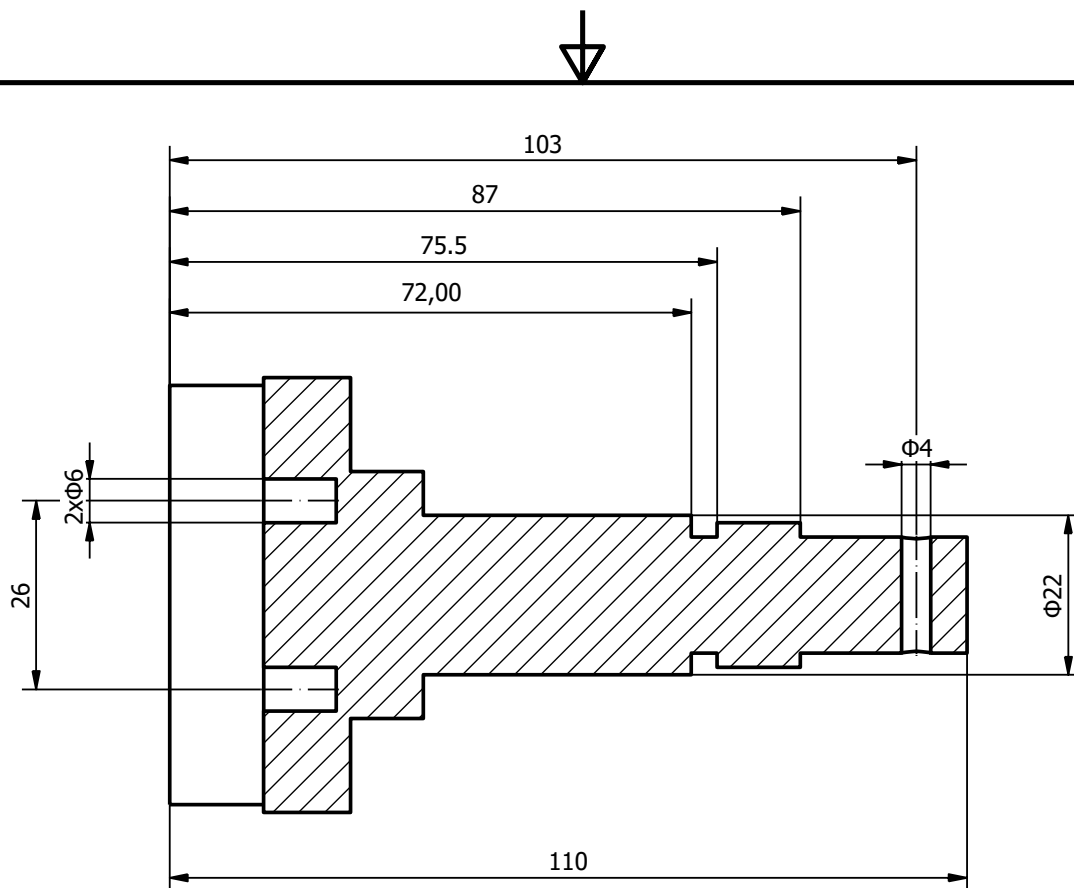
Φύλλο
1 / 1

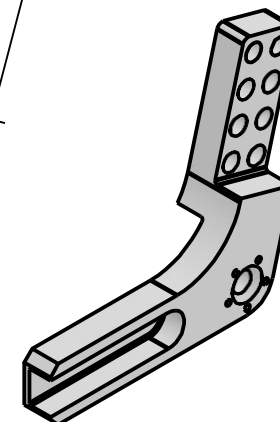
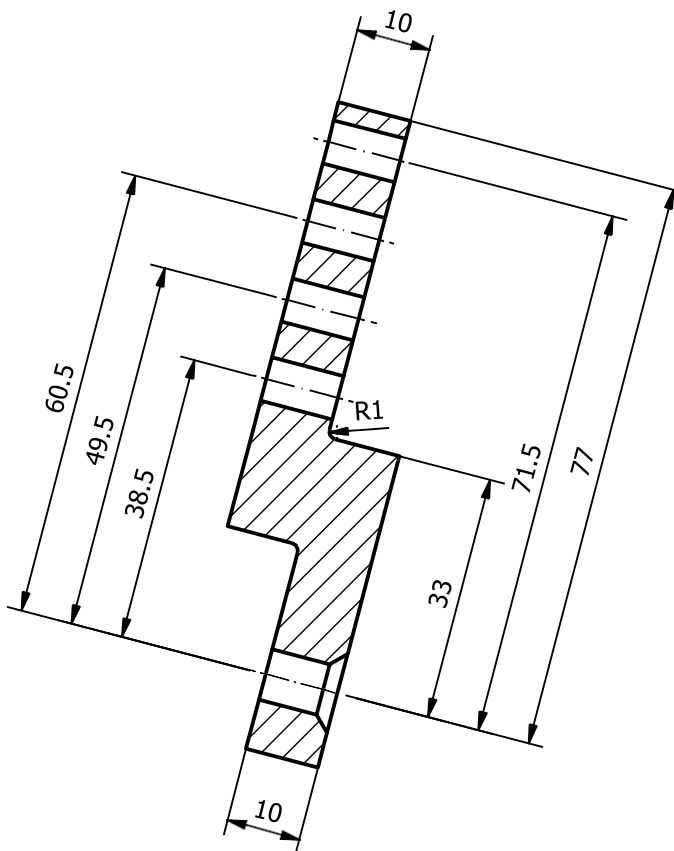
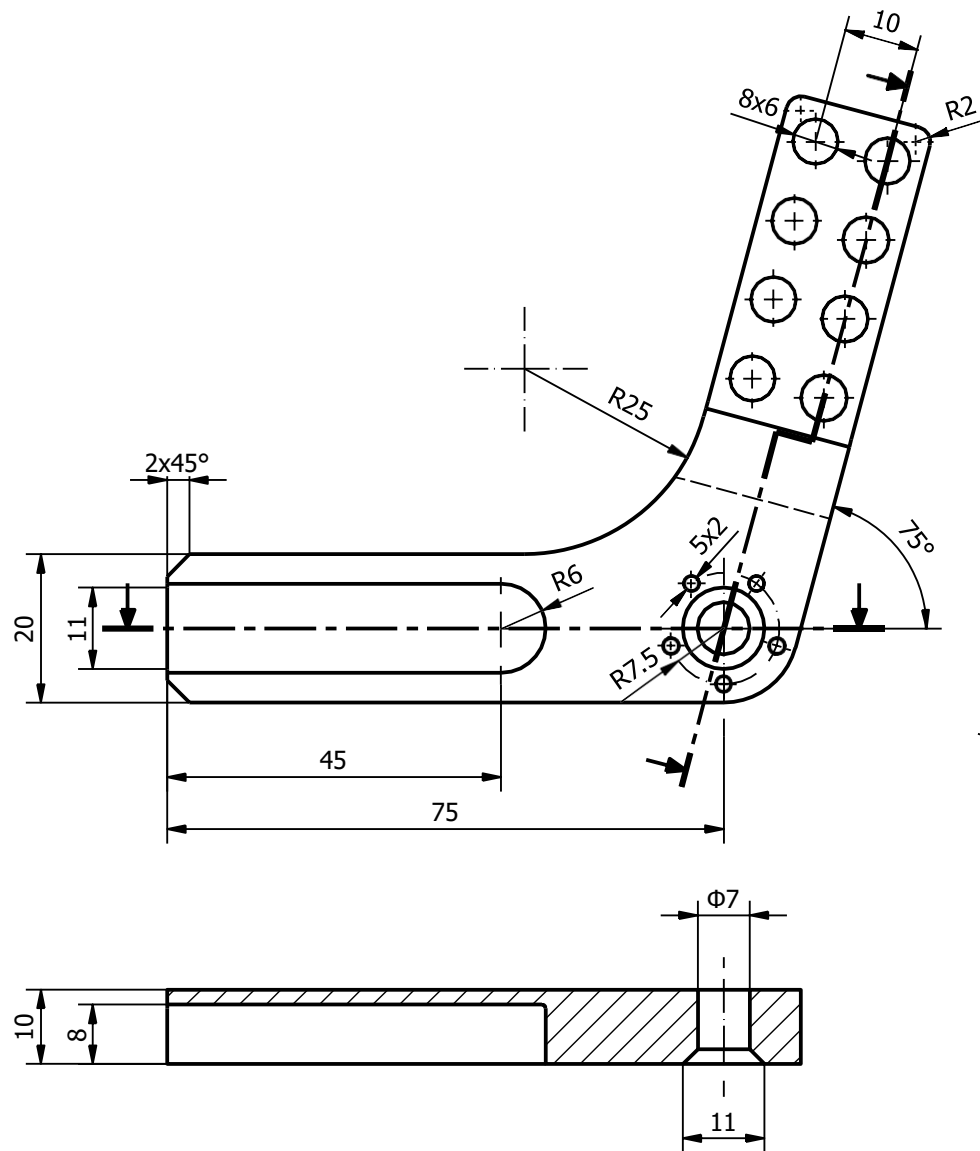


www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση: Γαϊτάνης Ηλίας		Ανοχές: Γενικές ανοχές f - ISO2768-1	
Τίτλος: Τεμάχιο 24		Αριθμός: HL 1024	
Κλιμ. 1:1	Ημερομηνία 20/06/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1







m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

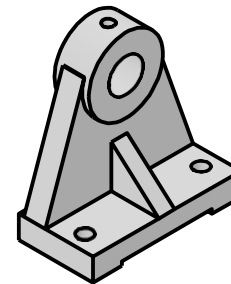
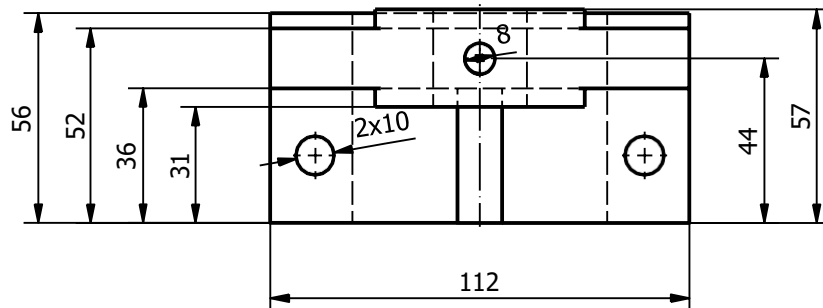
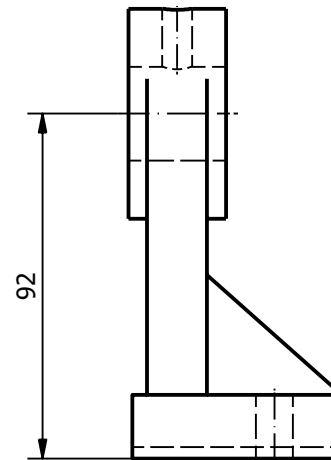
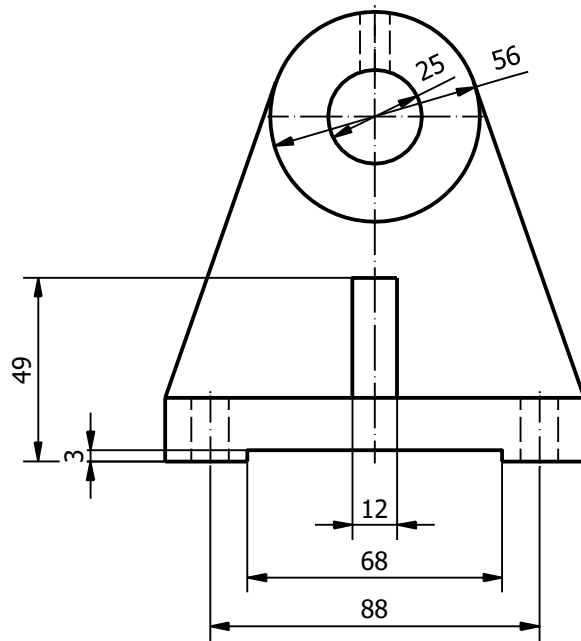
Τεμάχιο 36

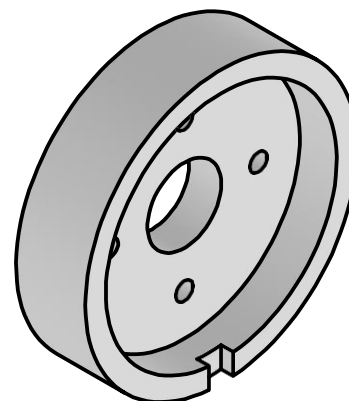
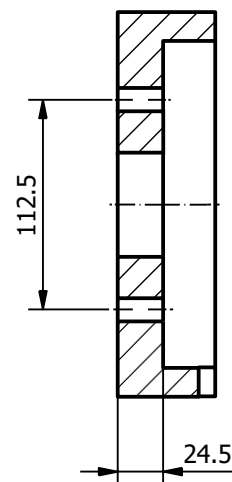
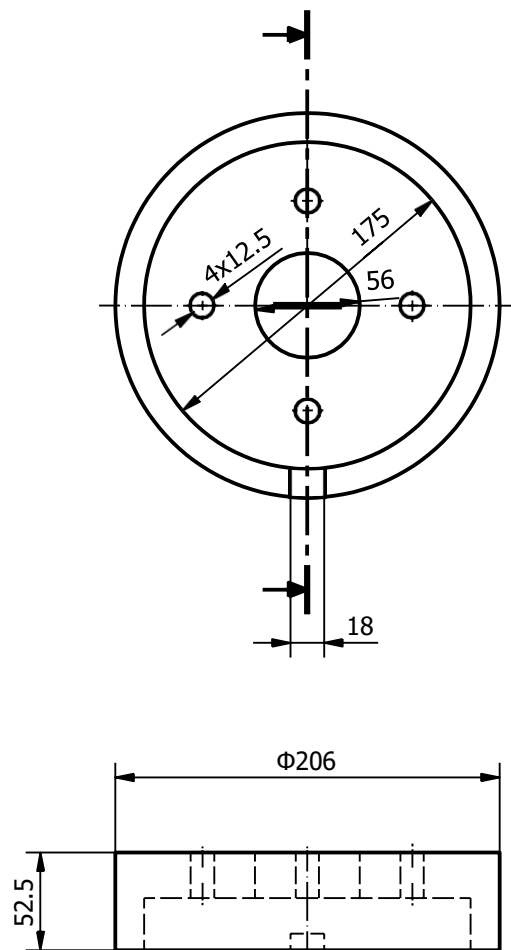
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

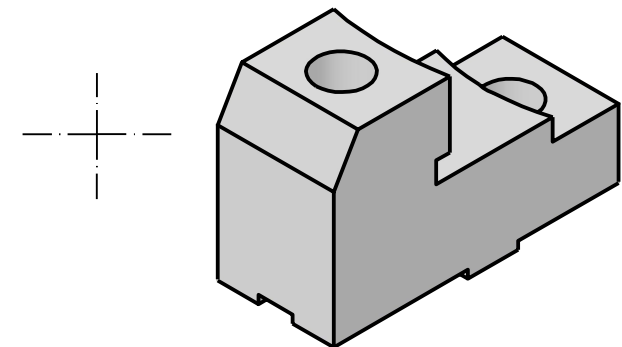
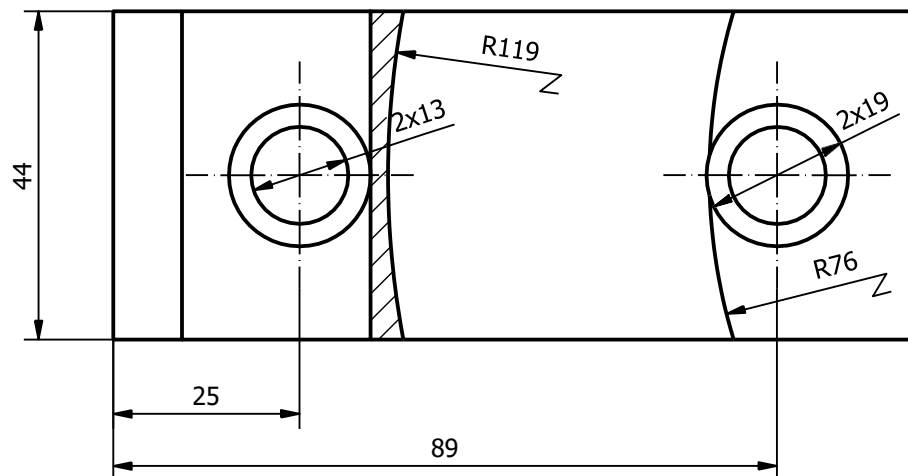
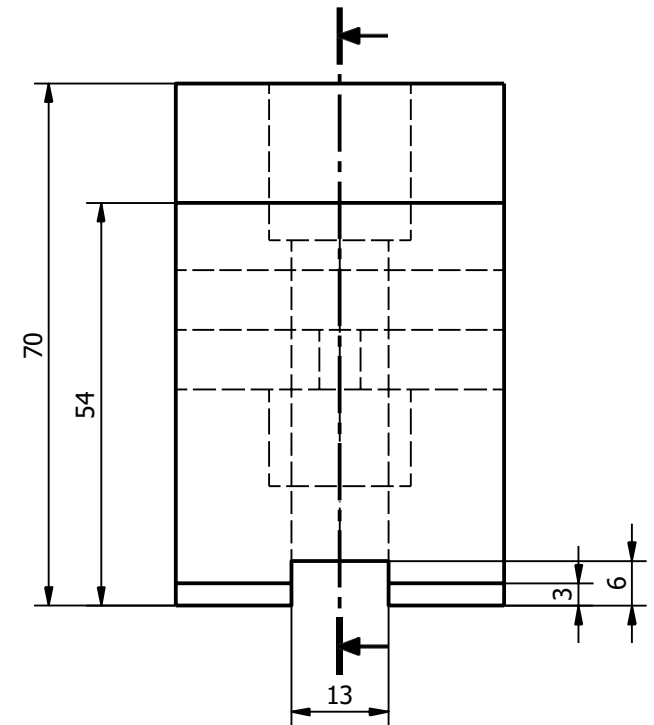
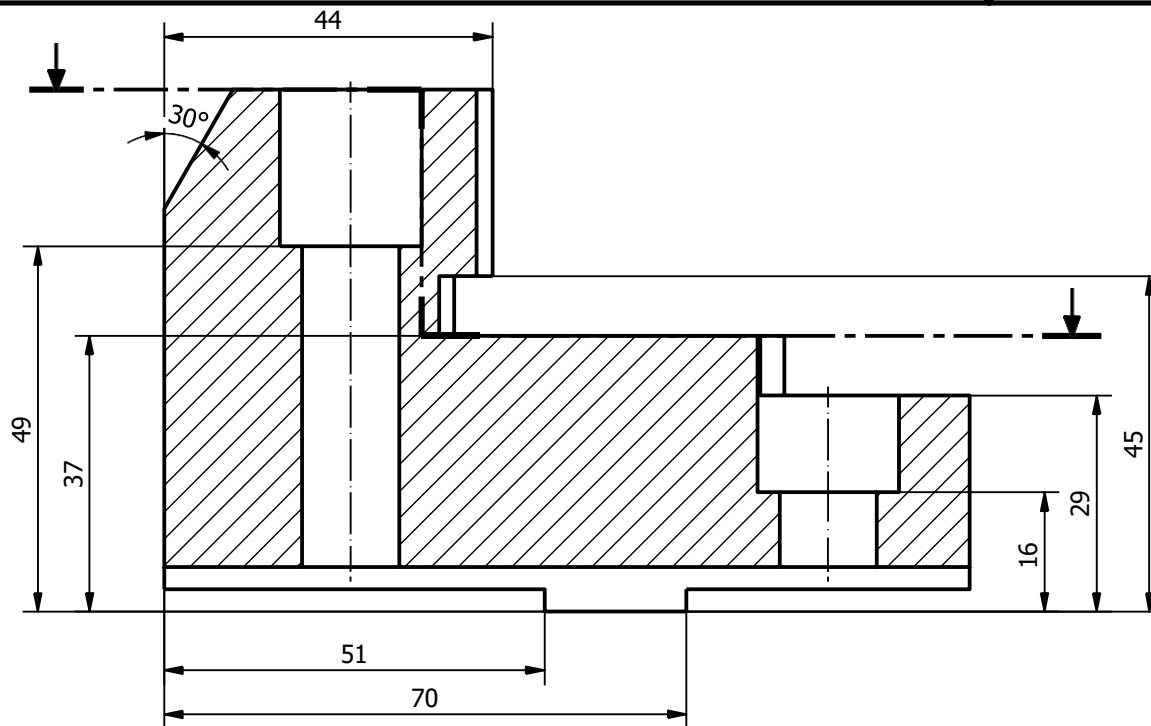
Αριθμός:

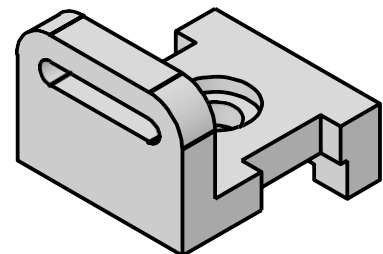
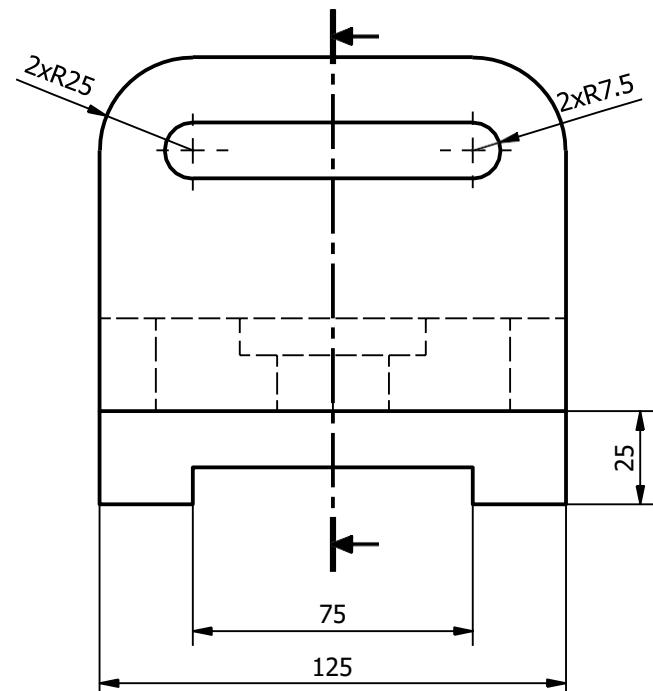
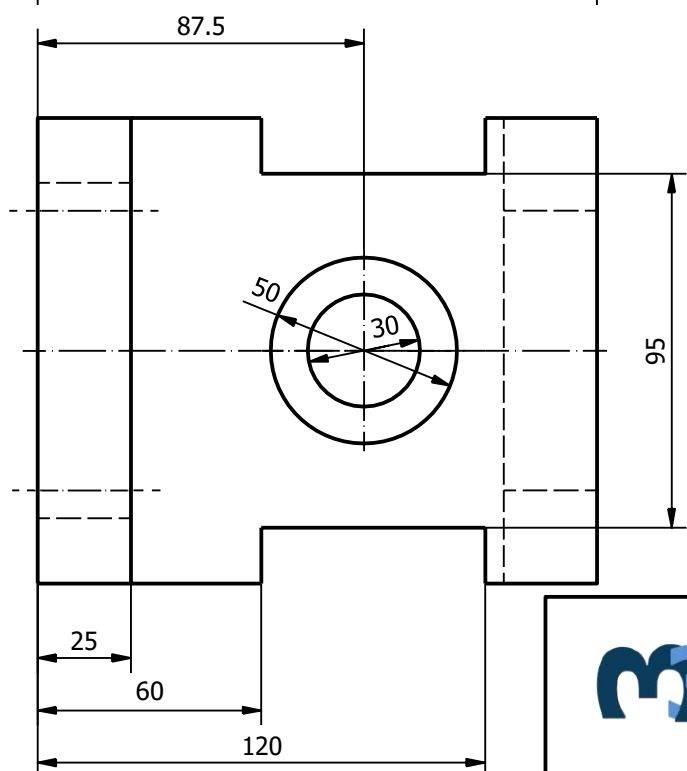
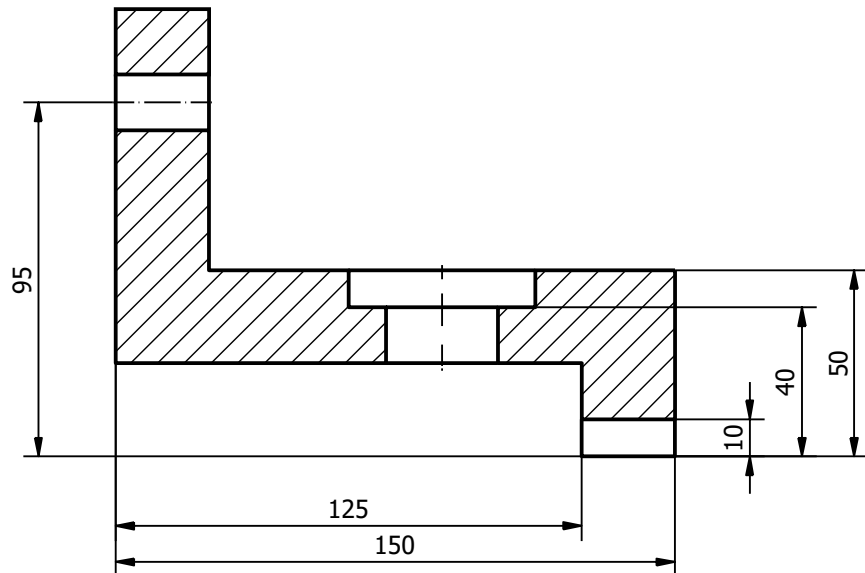
HL 1036

Κλίμ. 1:1	Ημερομηνία 29/03/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------



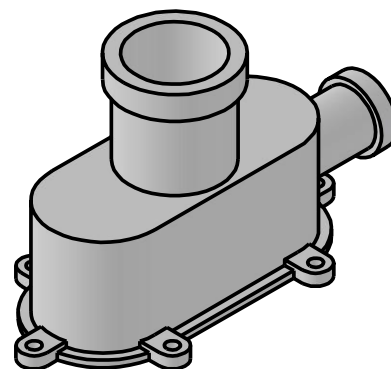
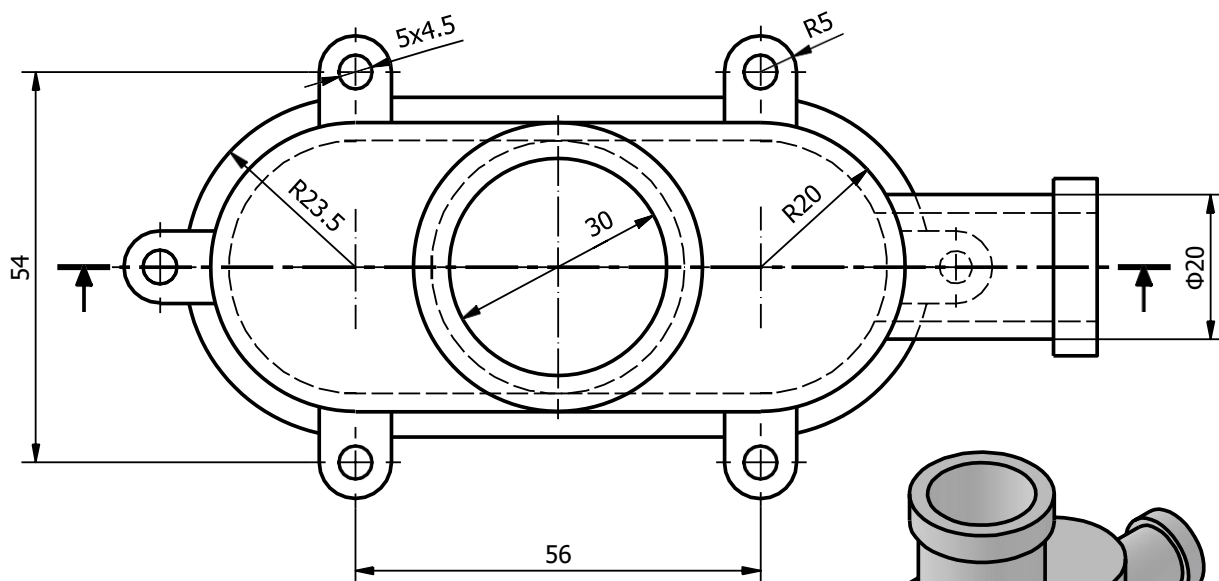
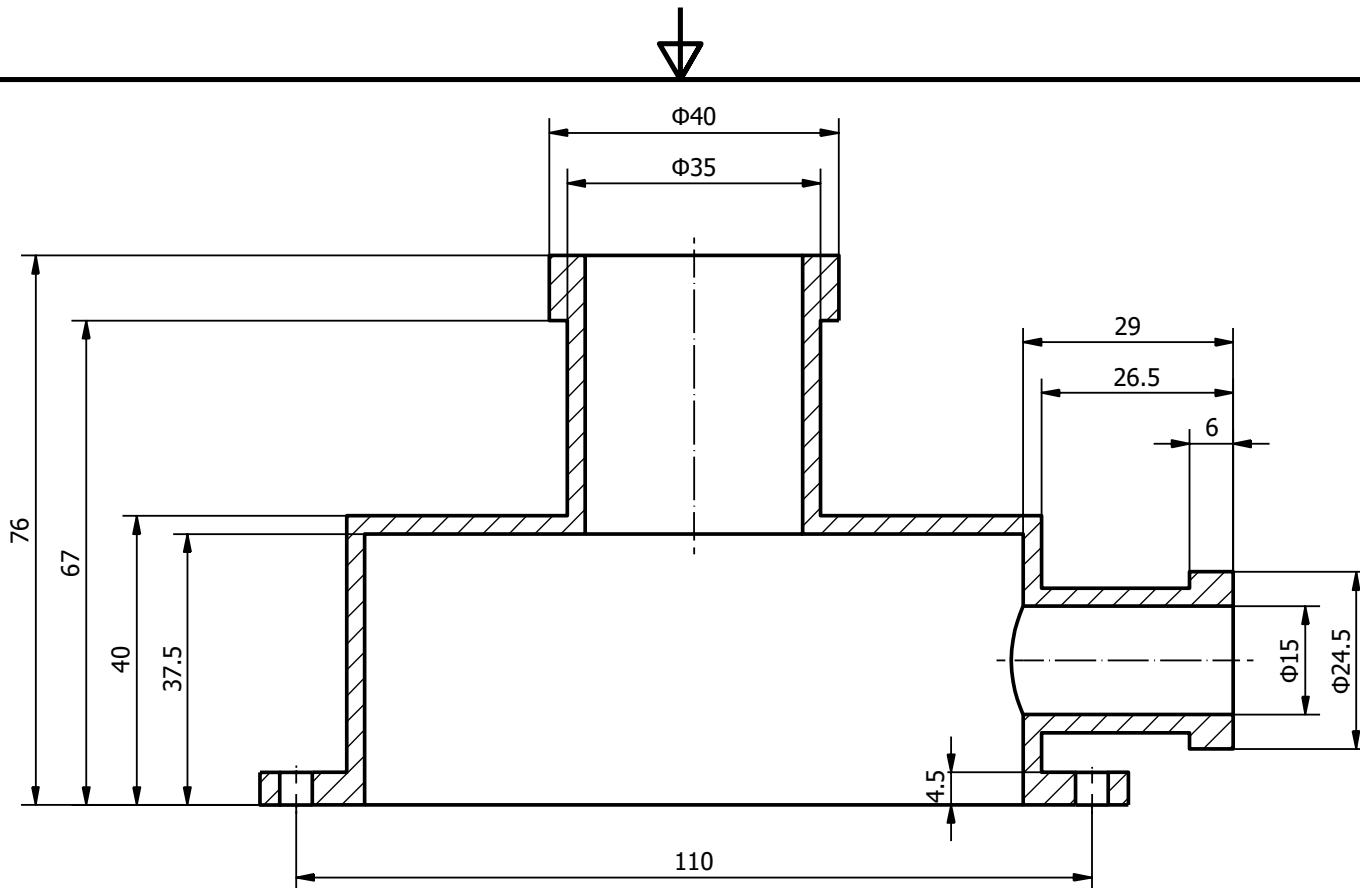






www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση: Γαϊτάνης Ηλίας		Ανοχές: Γενικές ανοχές f - ISO2768-1	
Τίτλος:		Αριθμός: HL 1040	
Κλίμ. 1:2	Ημερομηνία 07/02/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1



www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

Τεμάχιο 41

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

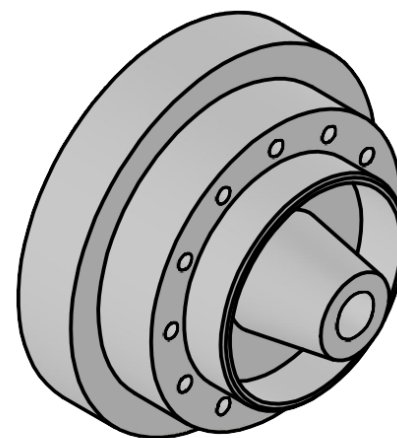
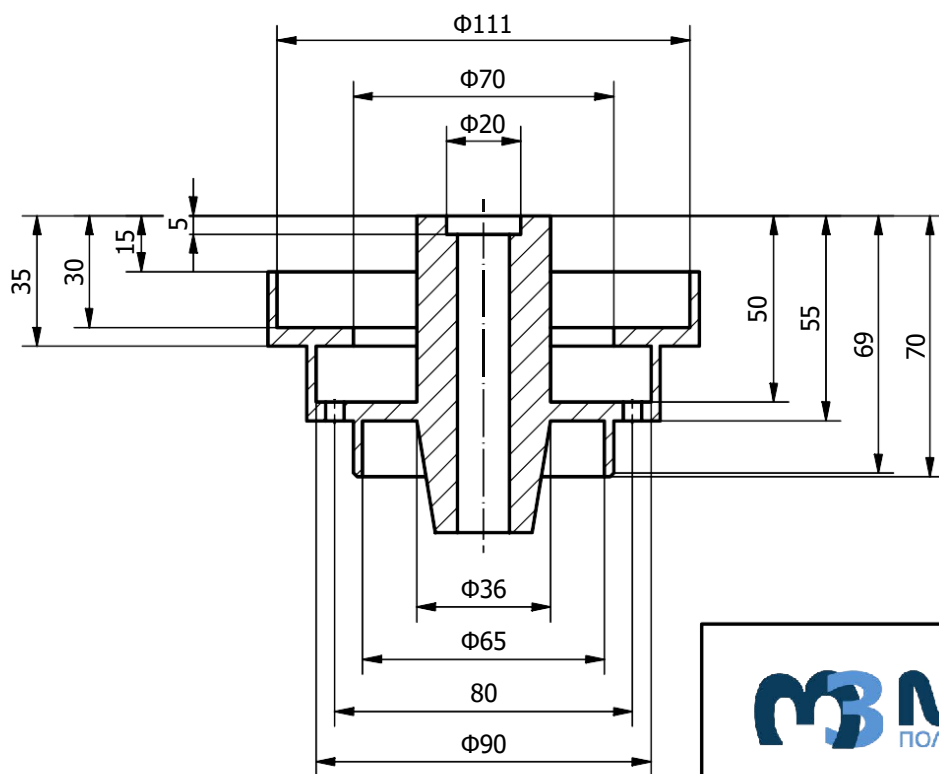
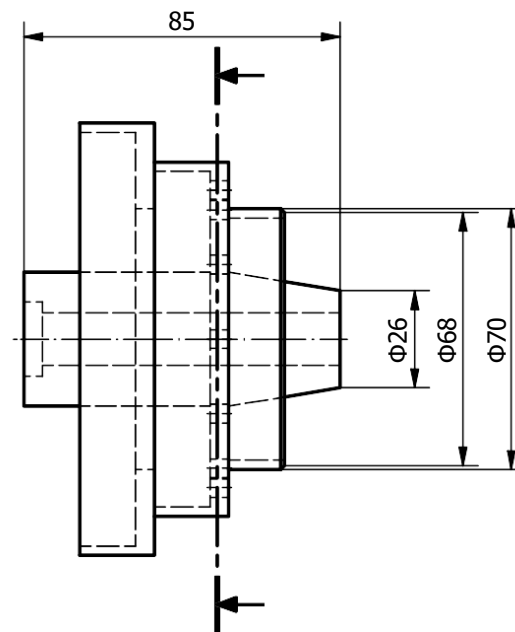
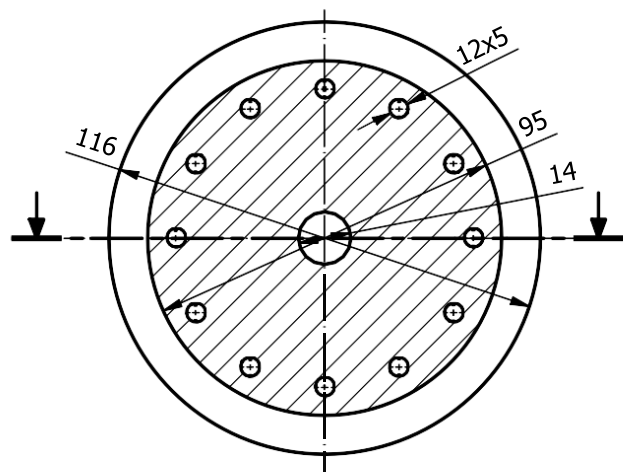
HL 1041

Κλίμ.
1:1

Ημερομηνία
18/03/22

Γλώσσα
ΕΛ

Φύλλο
1 / 1



m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

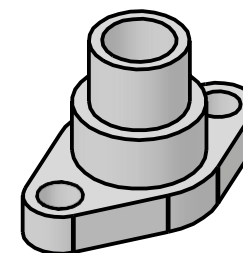
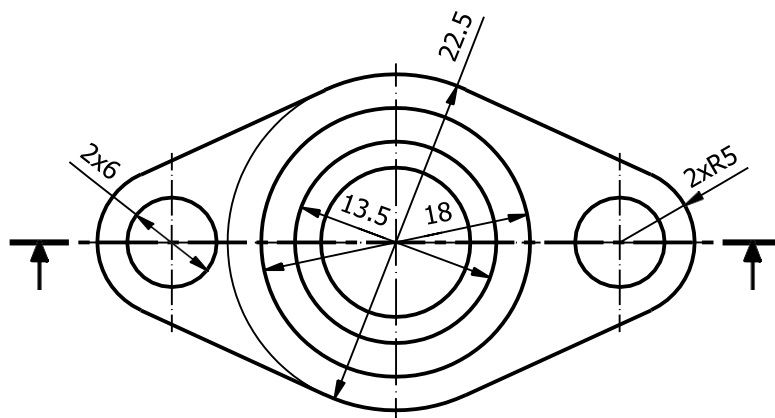
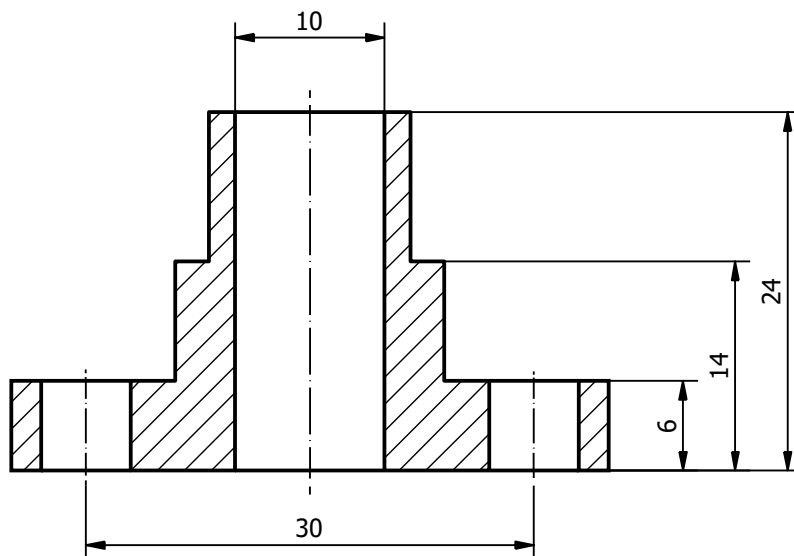
Τεμάχιο 42

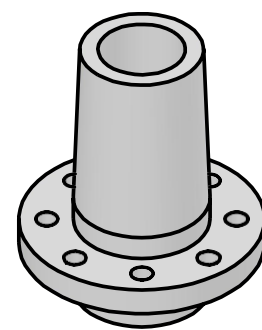
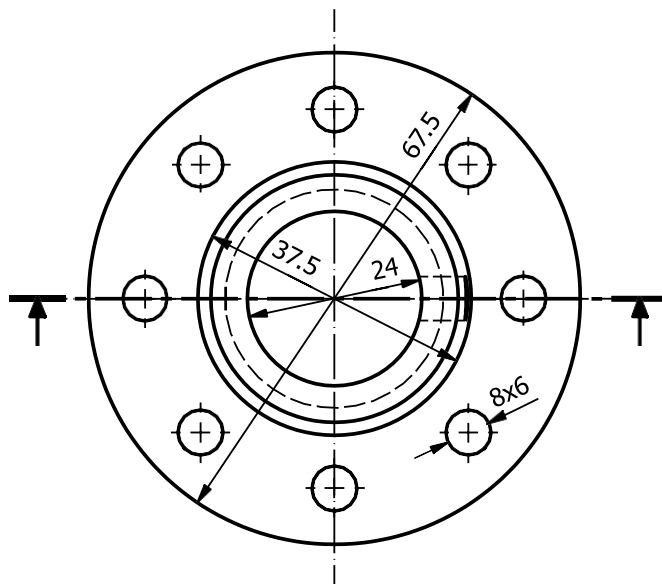
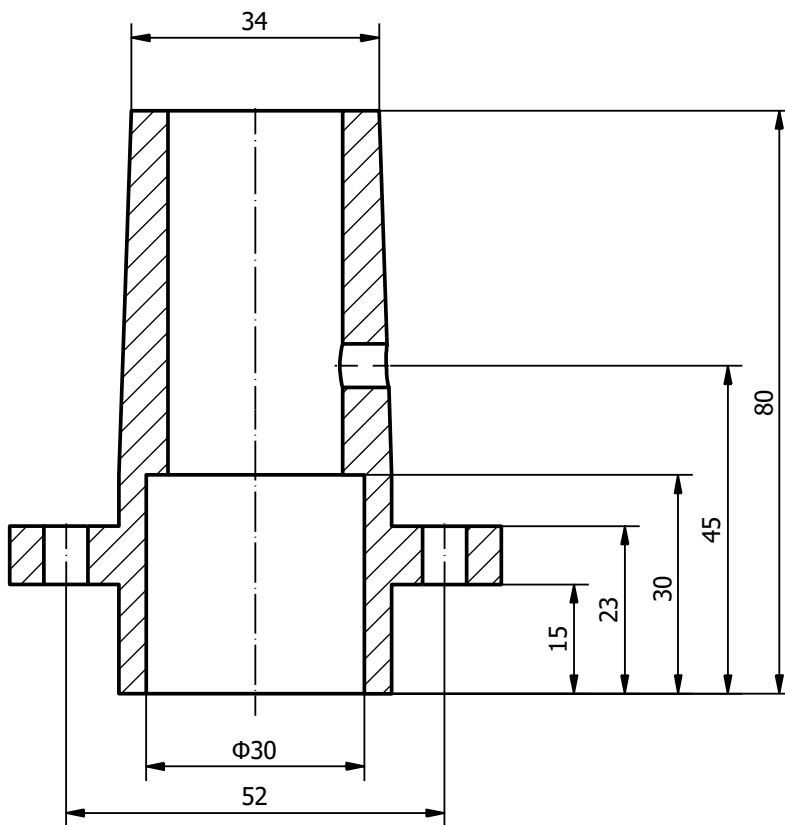
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

HL 1042

Κλίμ. 1:2	Ημερομηνία 07/02/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------





www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

Τεμάχιο 44

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

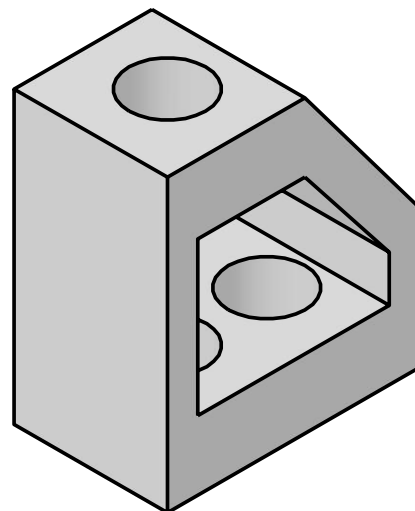
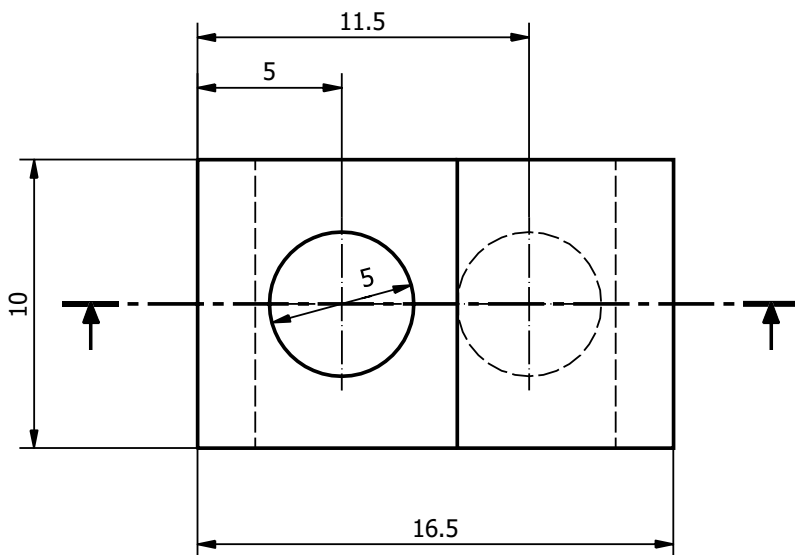
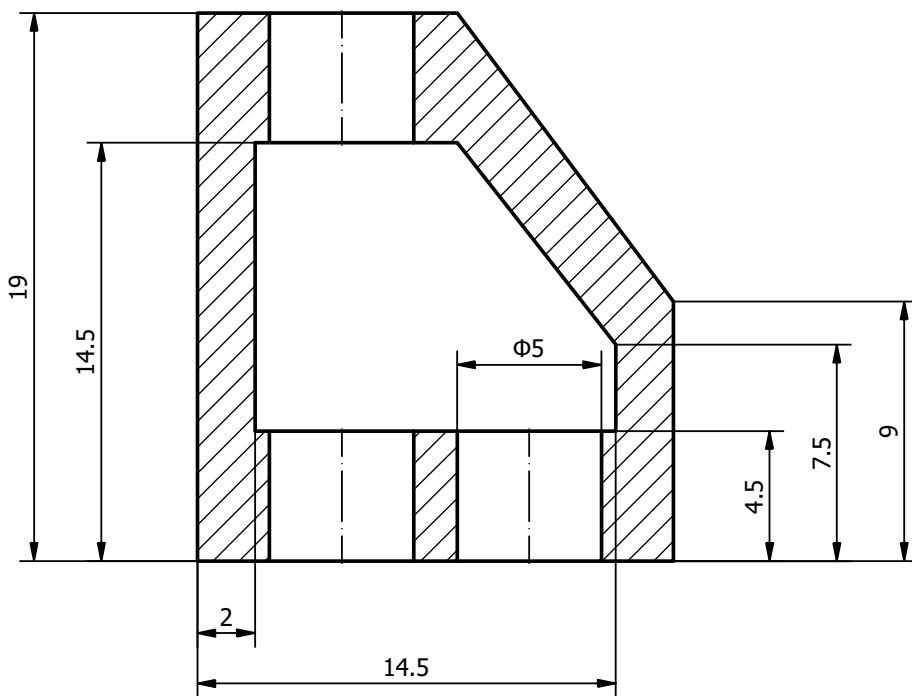
HL 1044

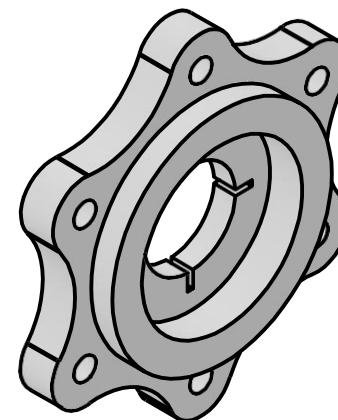
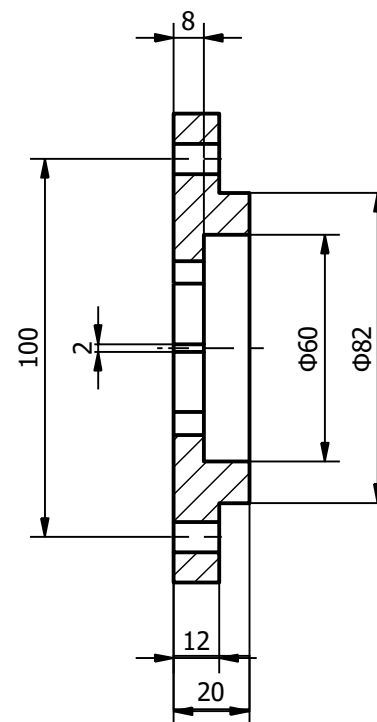
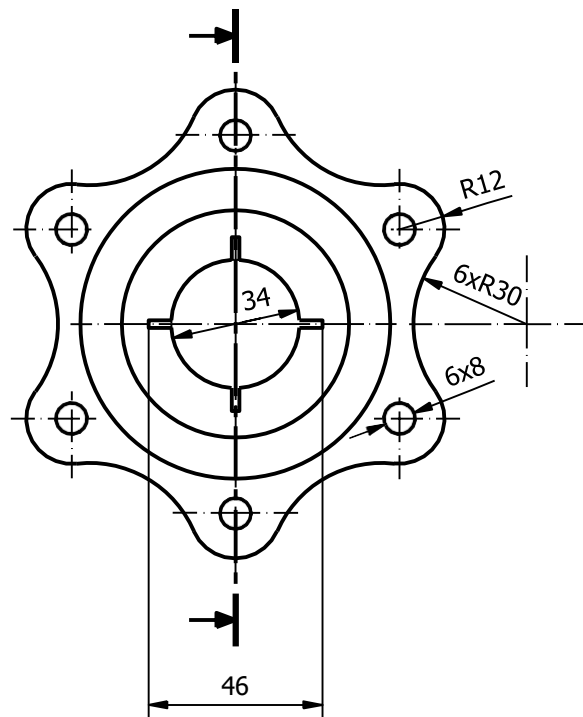
Κλίμ.
1:1

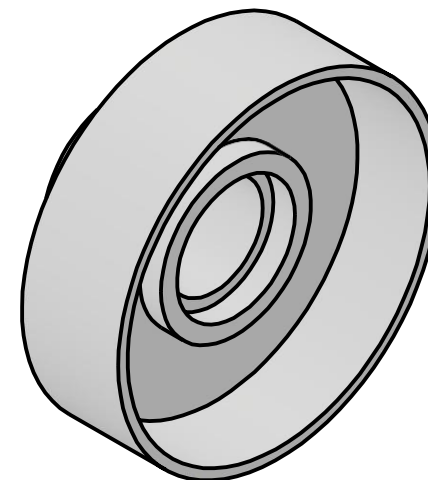
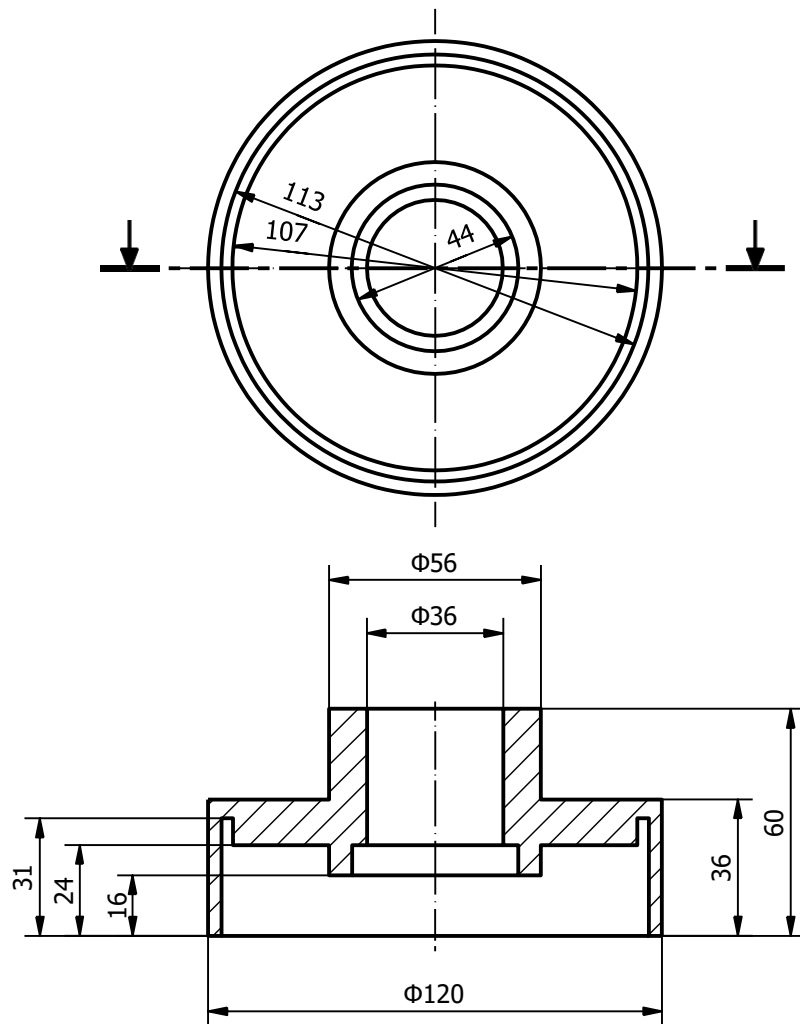
Ημερομηνία
07/02/22

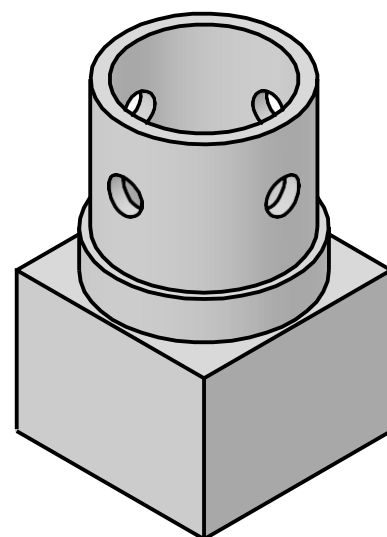
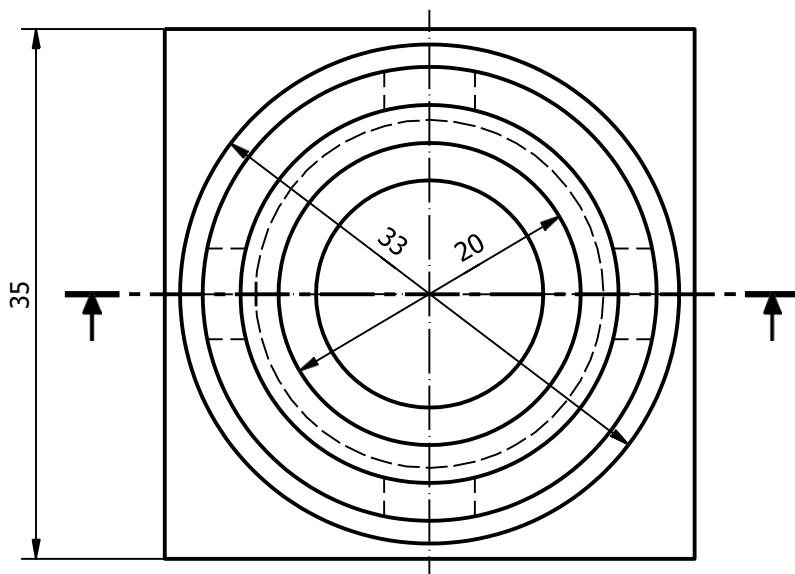
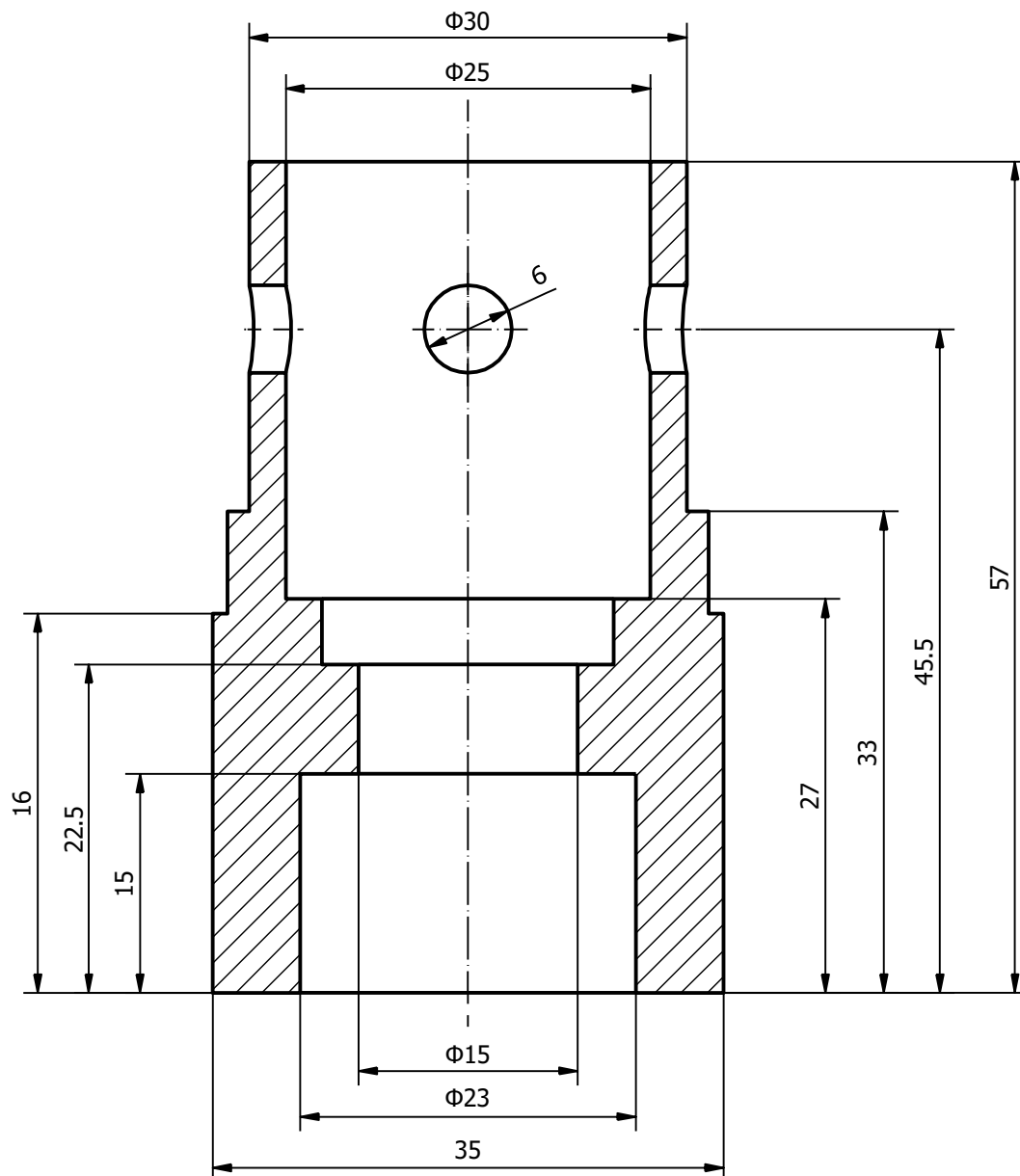
Γλώσσα
ΕΛ

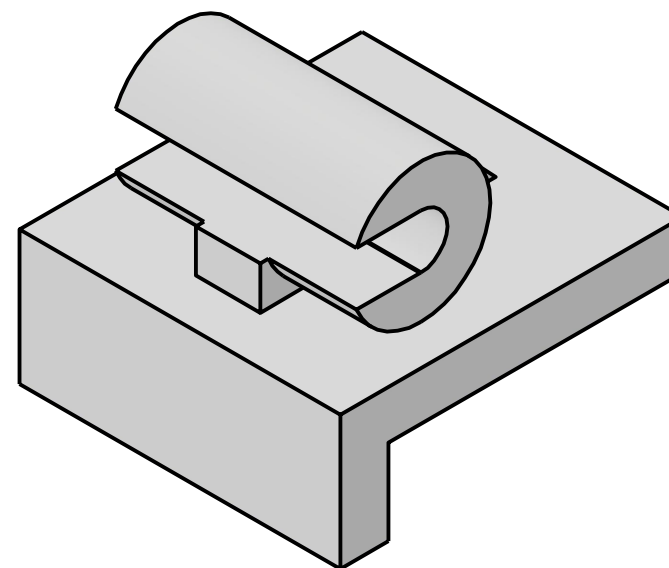
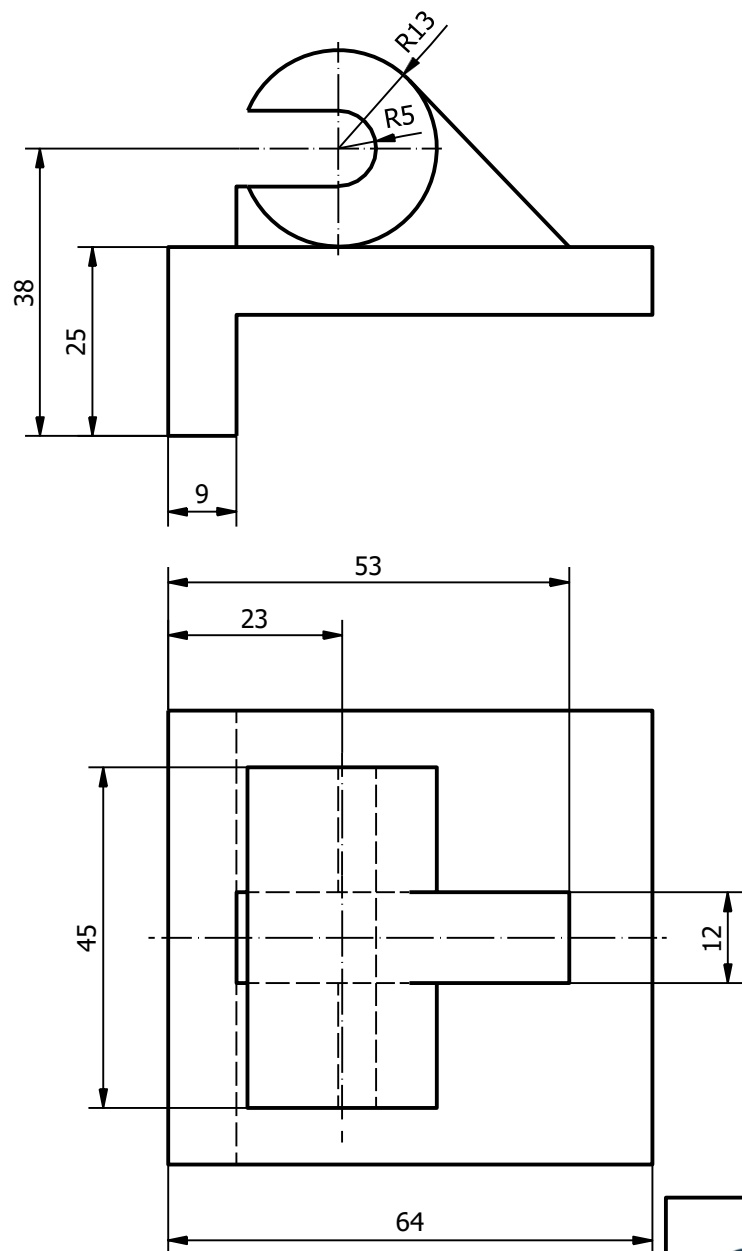
Φύλλο
1 / 1

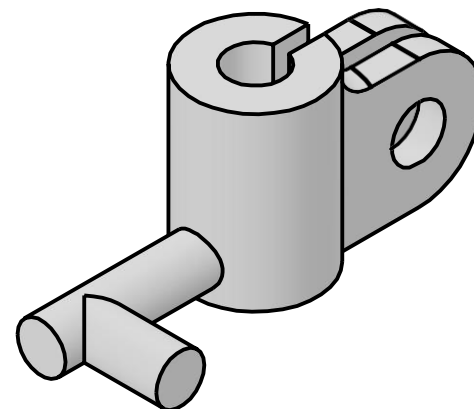
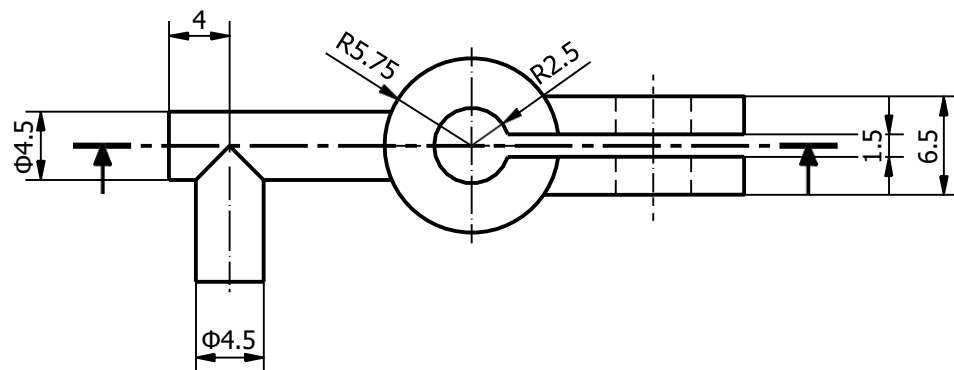
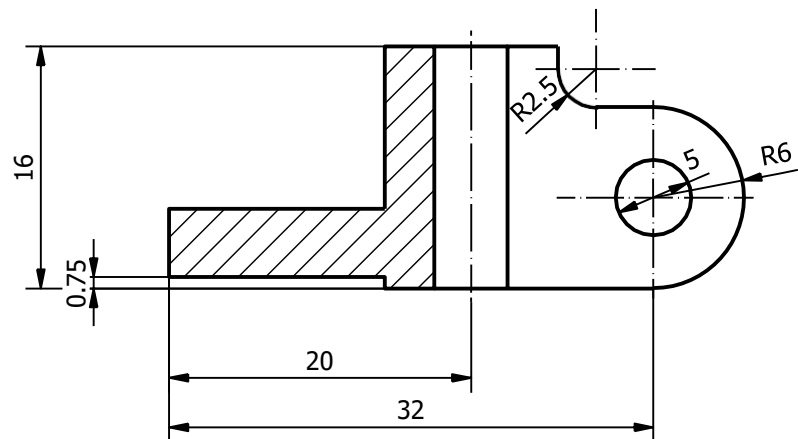


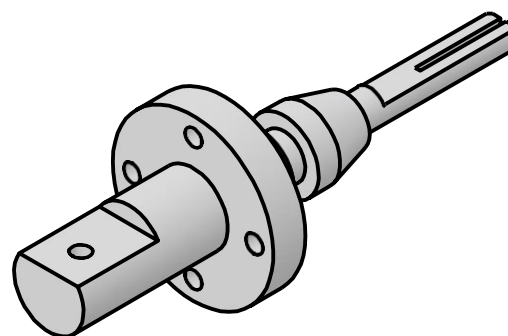
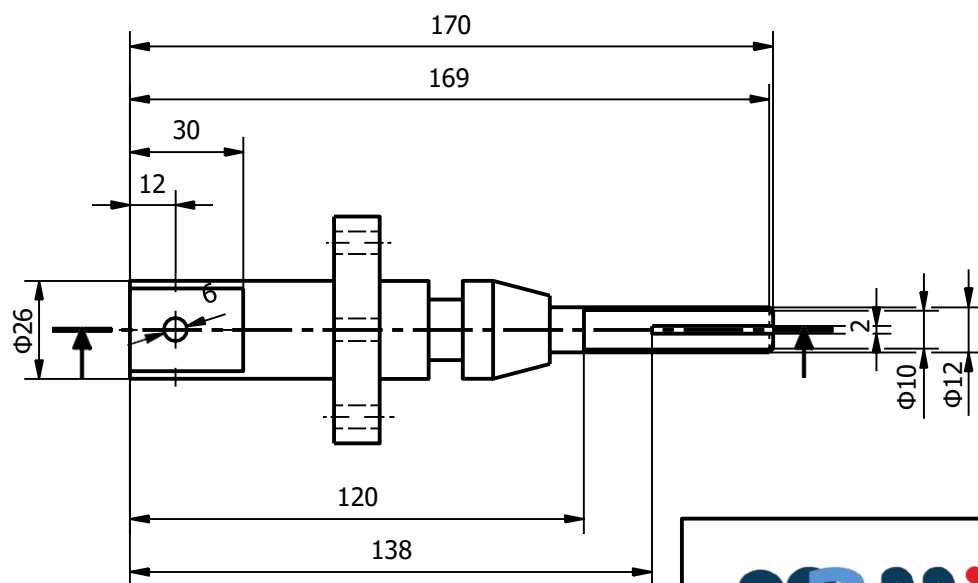
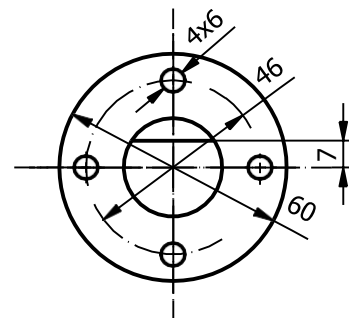
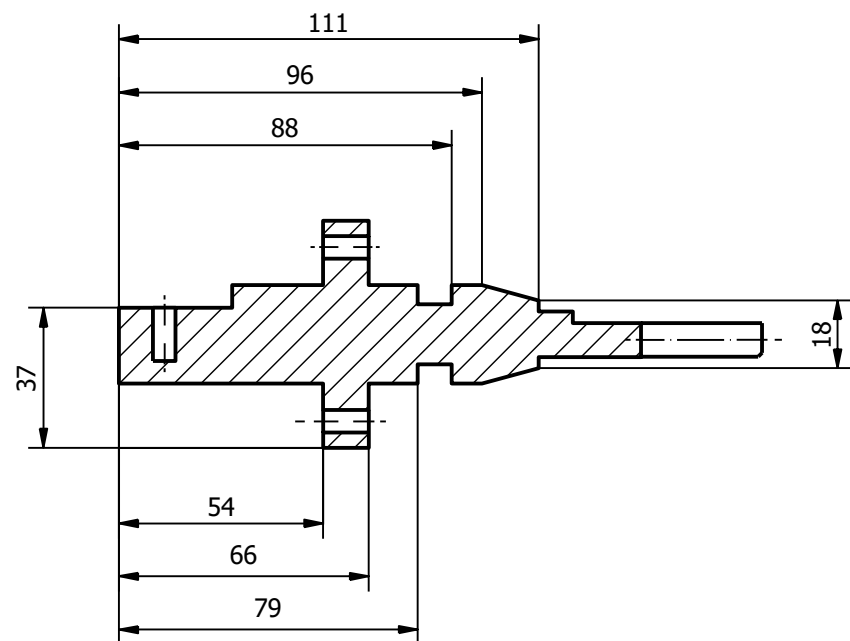












m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

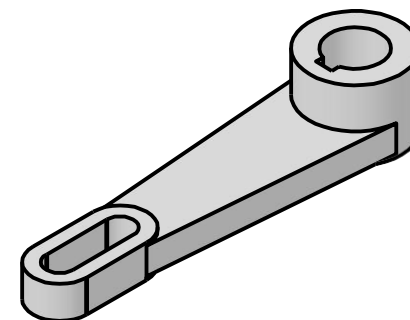
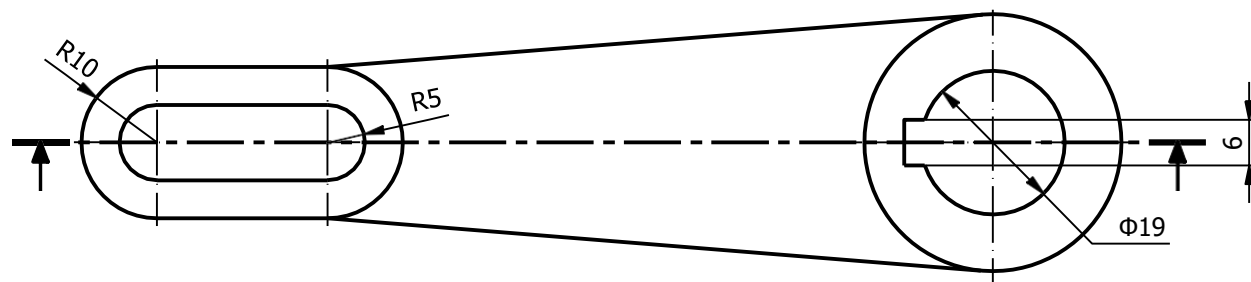
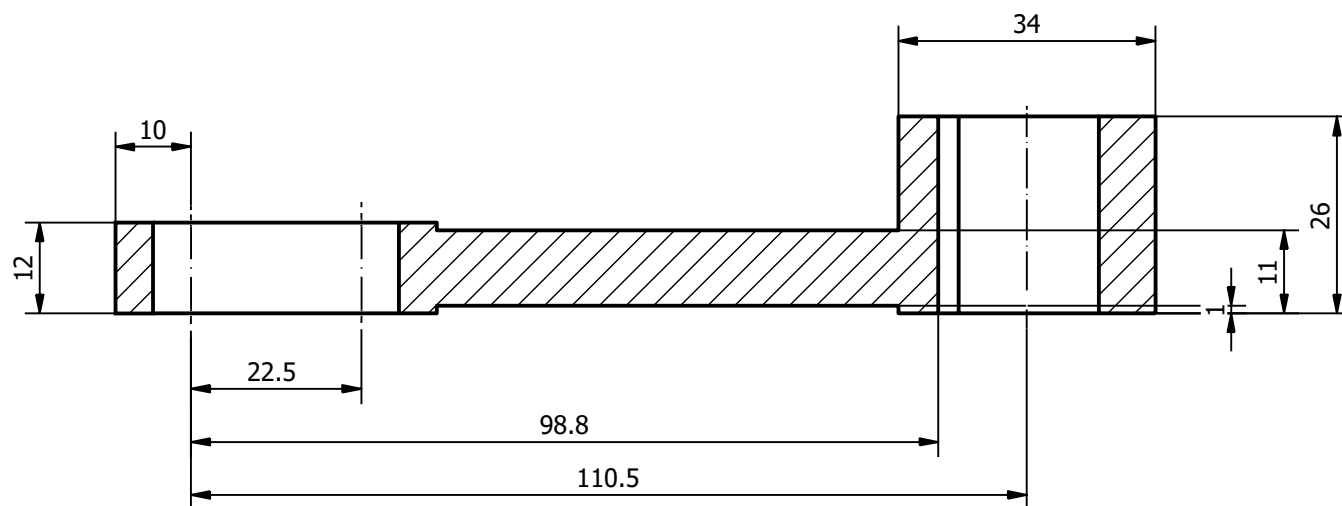
Τεμάχιο 51

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

HL 1051

Κλίμ. 1:2	Ημερομηνία 29/11/21	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------



m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

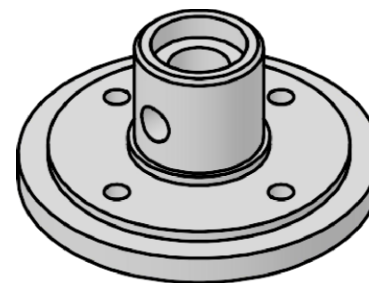
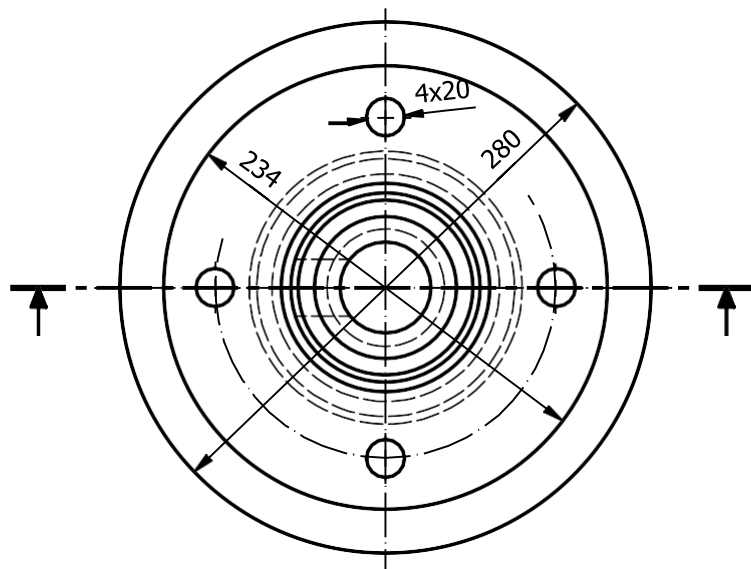
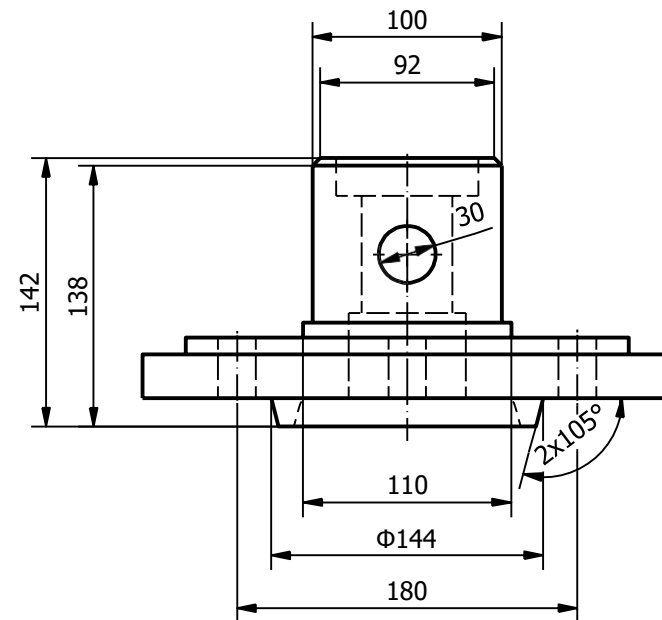
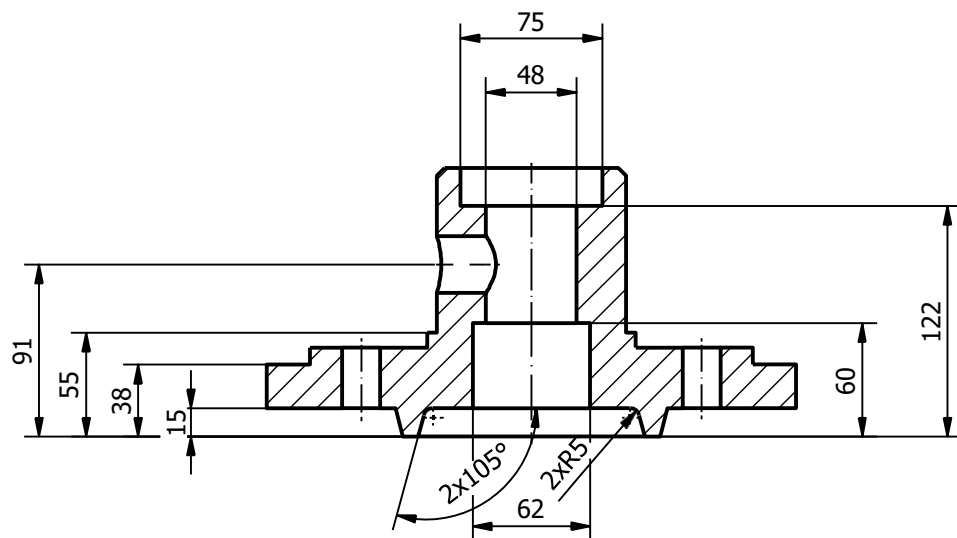
Τεμάχιο 52

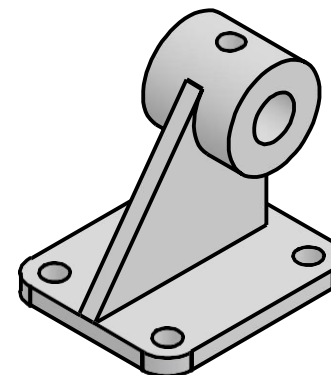
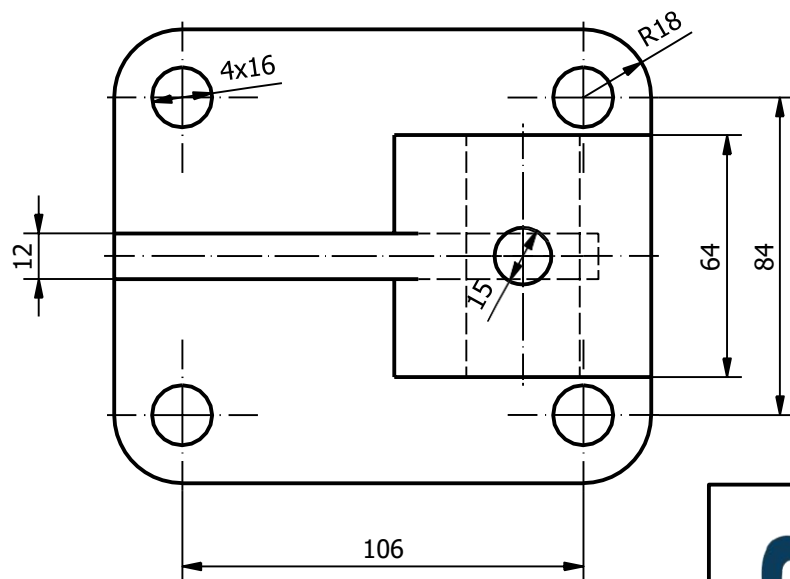
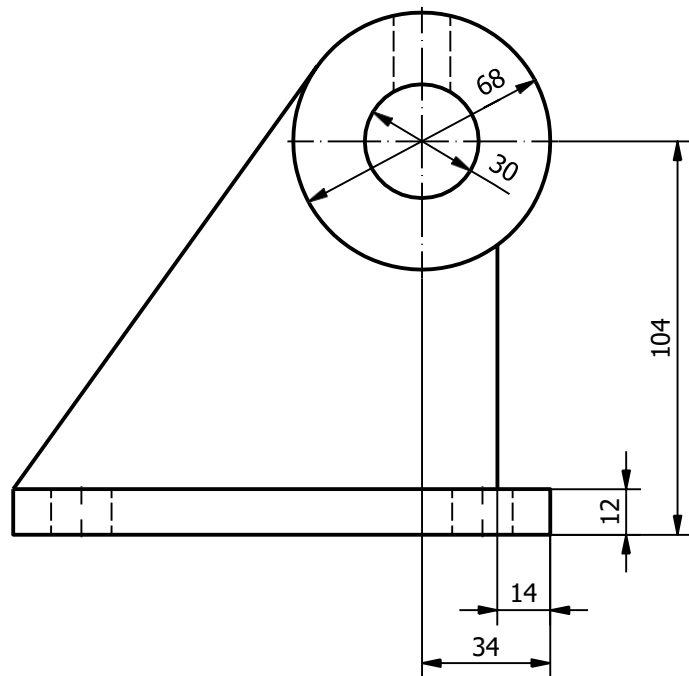
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

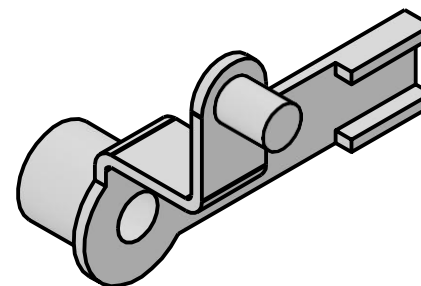
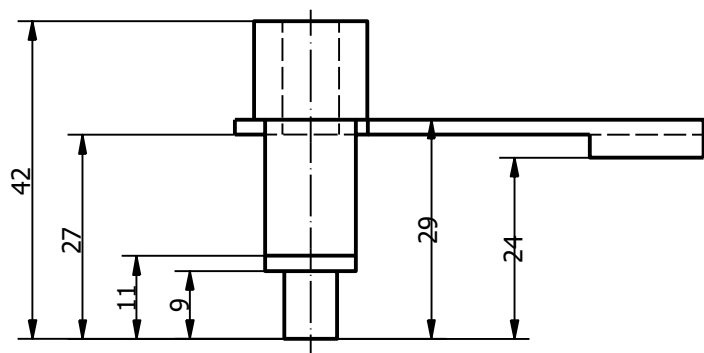
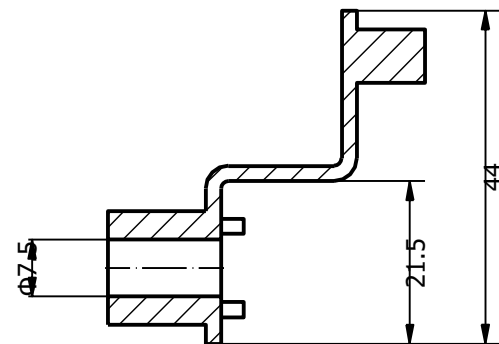
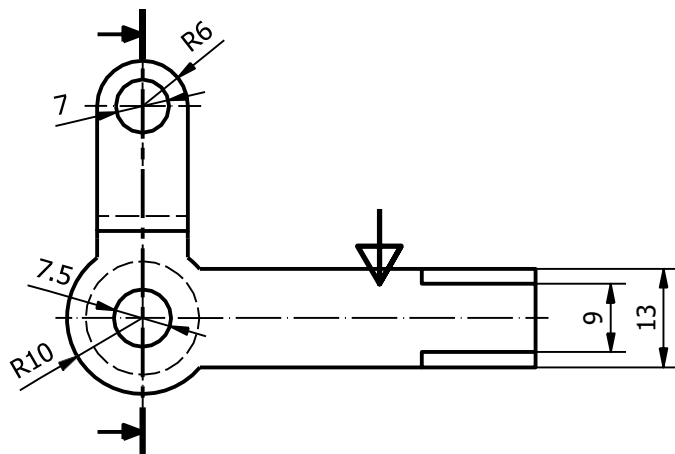
Αριθμός:

HL 1052

Κλίμ. 1:1	Ημερομηνία 12/03/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------







www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:

Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

Τεμάχιο 55

Ανοχές:

Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

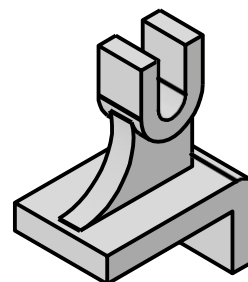
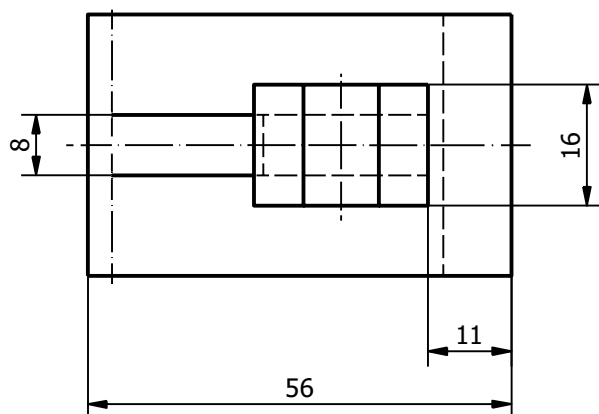
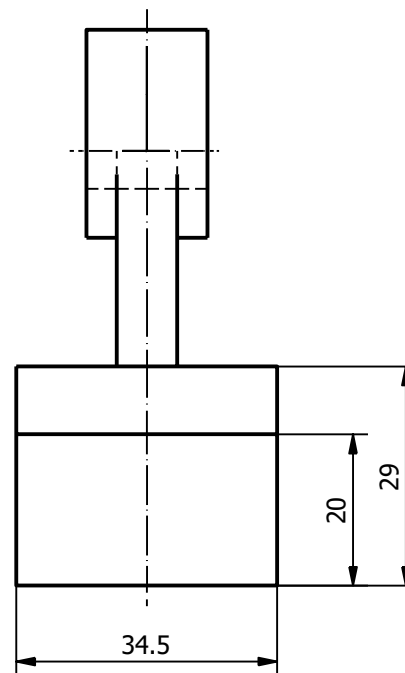
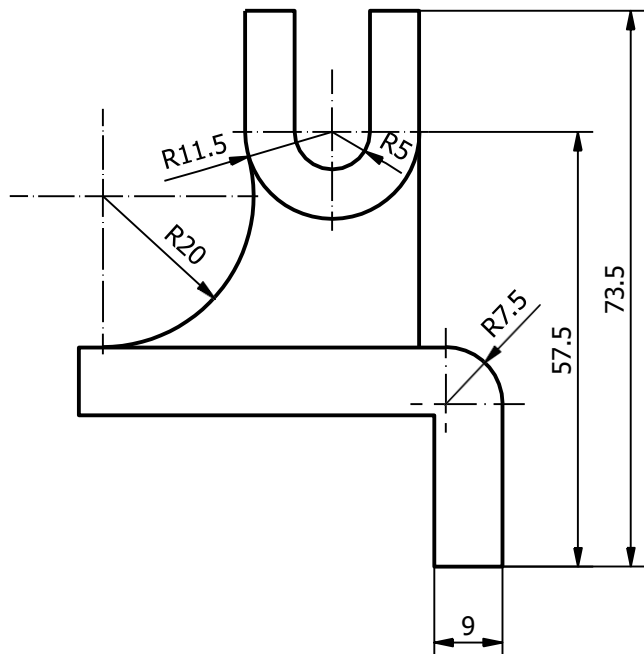
HL 1055

Κλιμ.
1:1

Ημερομηνία
29/11/21

Γλώσσα
ΕΛ

Φύλλο
1 / 1



m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

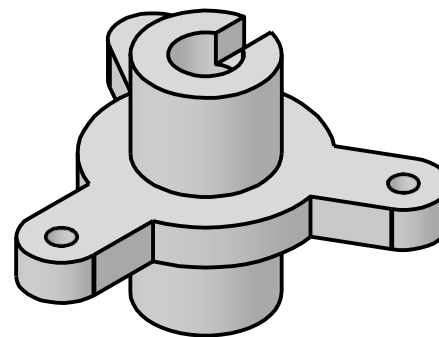
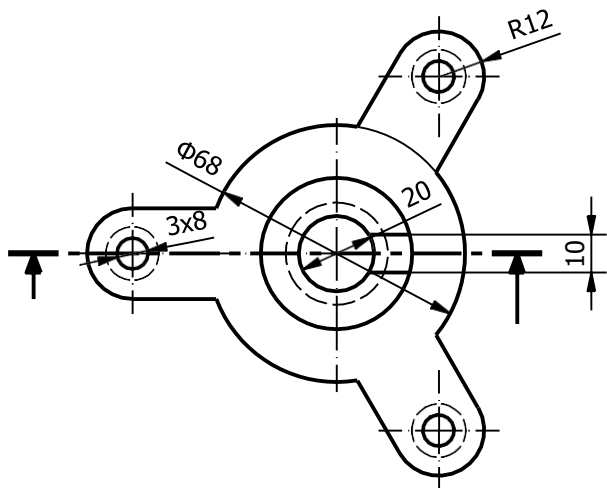
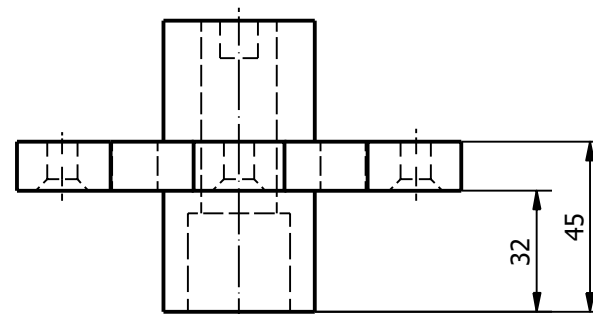
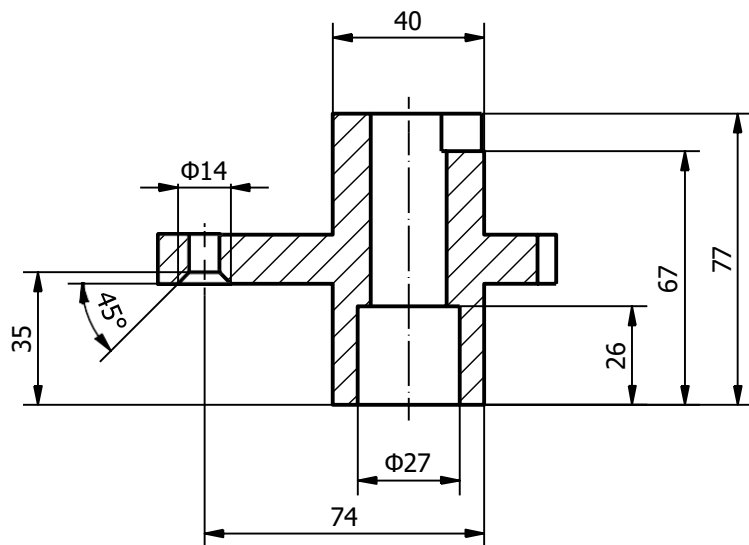
Τεμάχιο 56

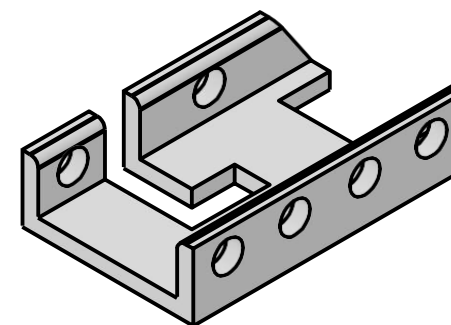
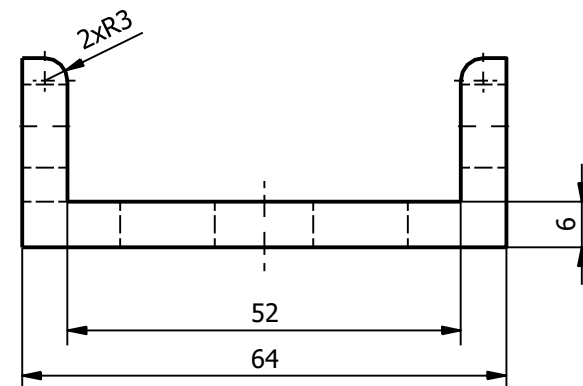
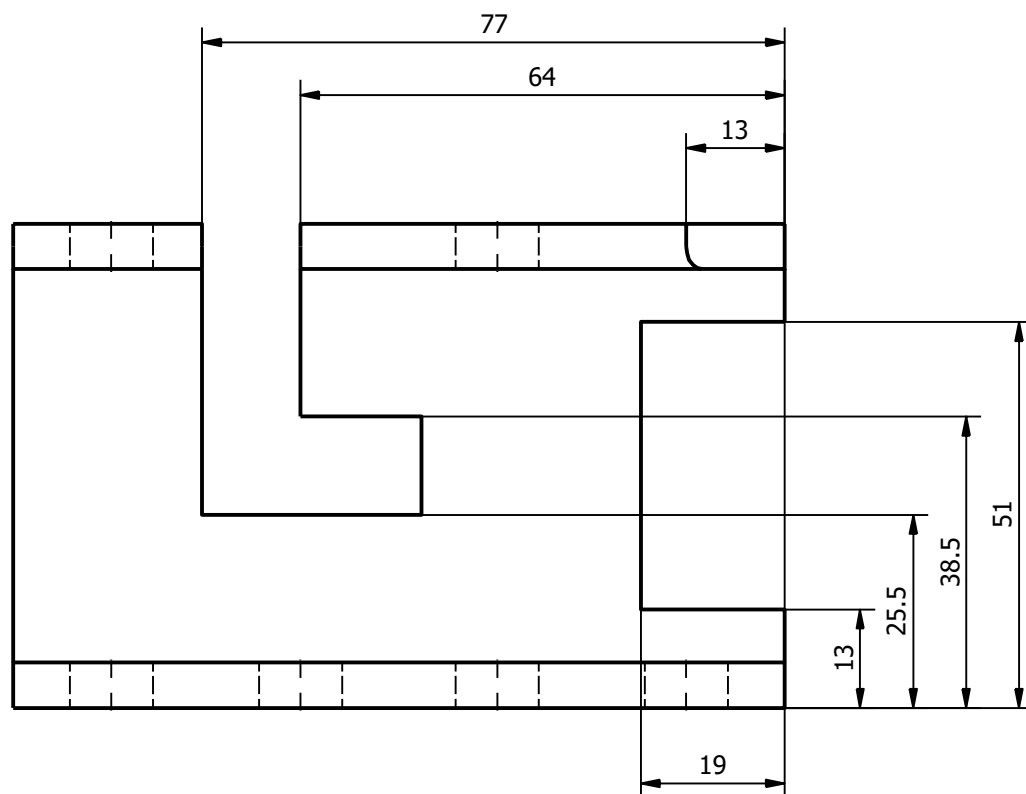
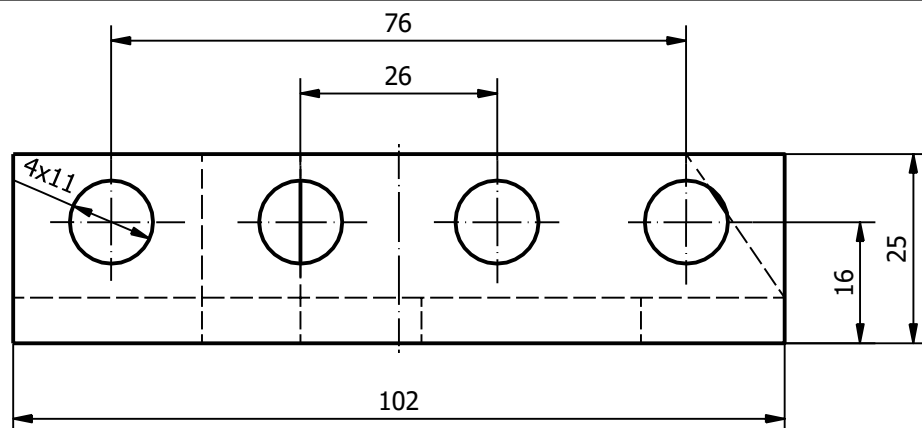
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

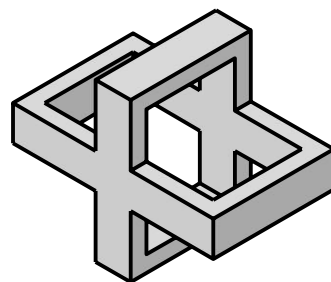
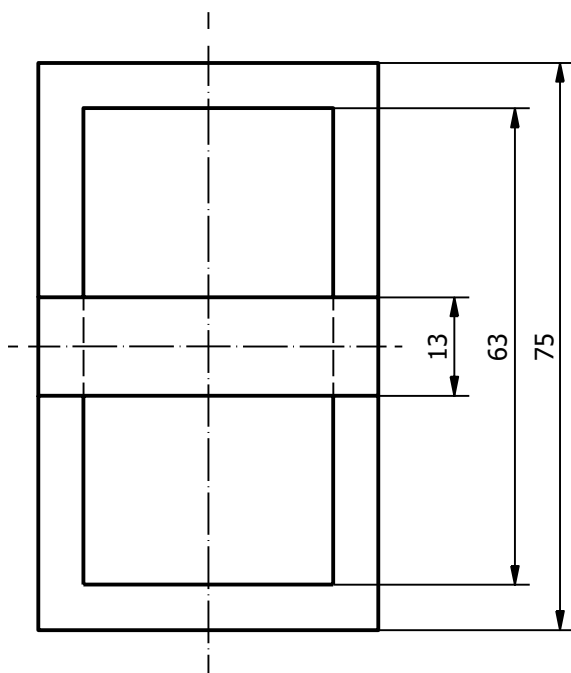
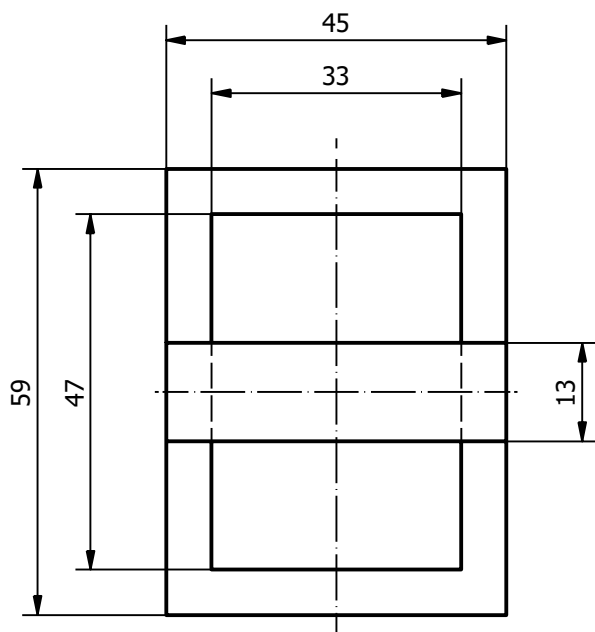
Αριθμός:

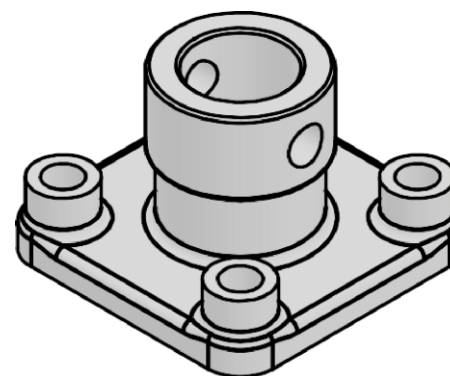
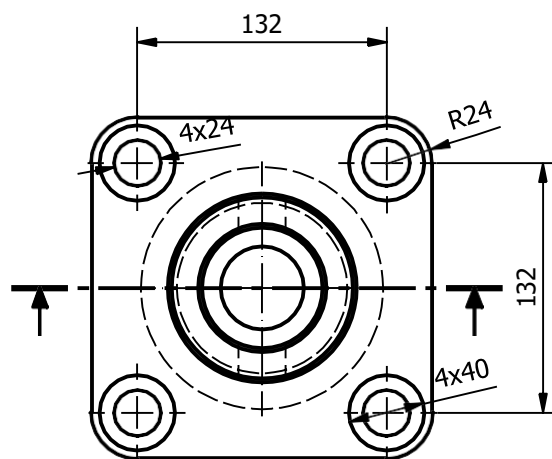
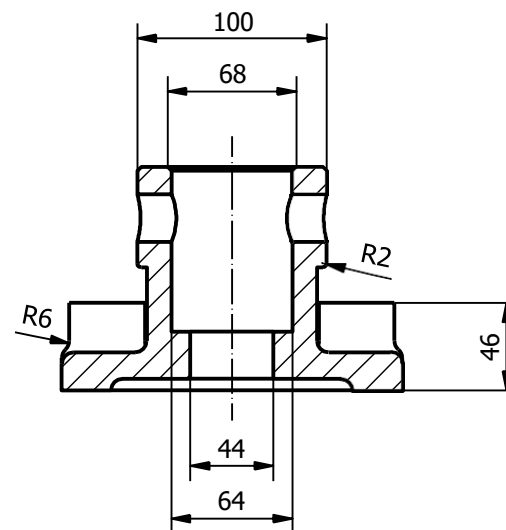
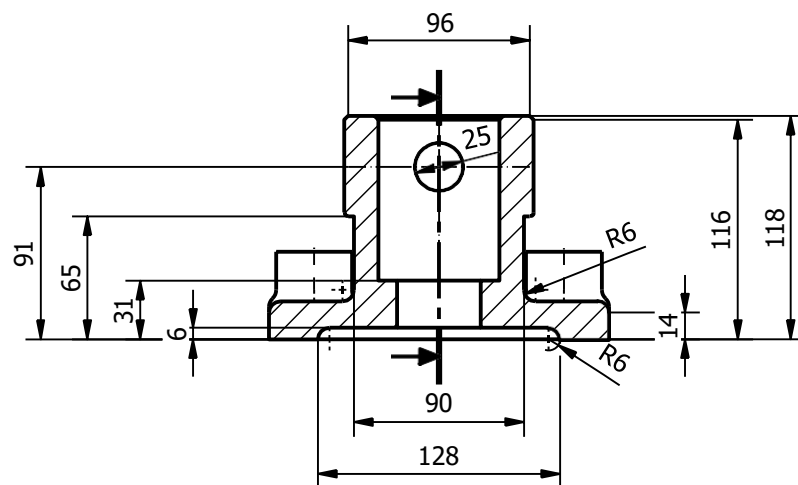
HL 1056

Κλίμ. 1:1	Ημερομηνία 01/03/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------









m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

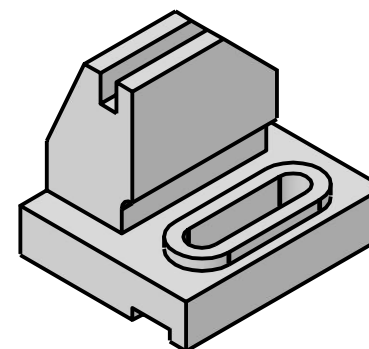
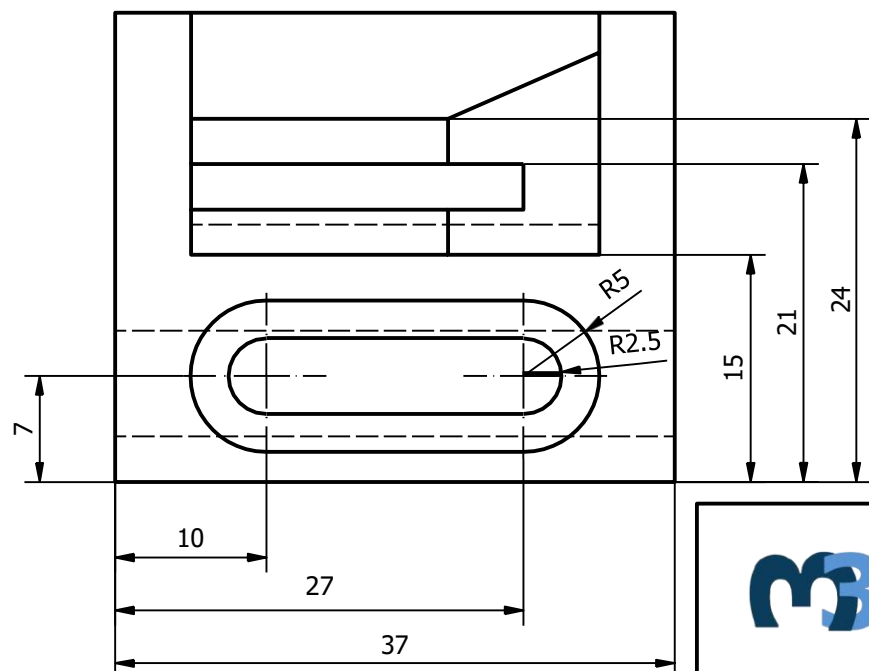
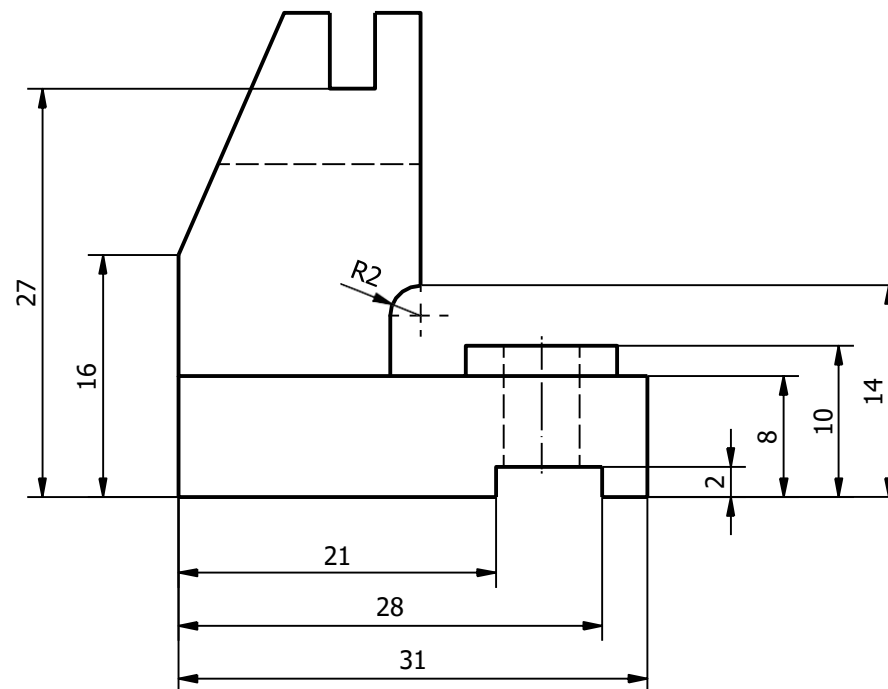
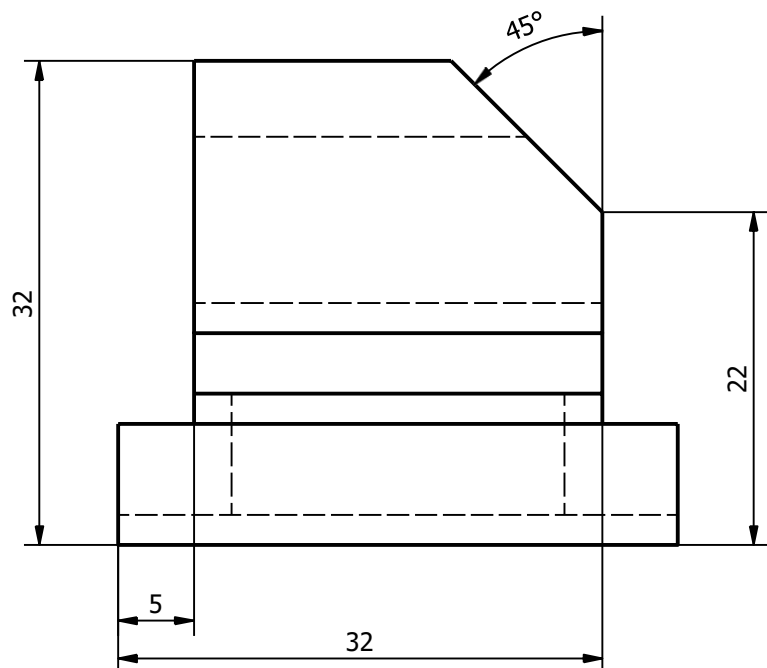
Τεμάχιο 60

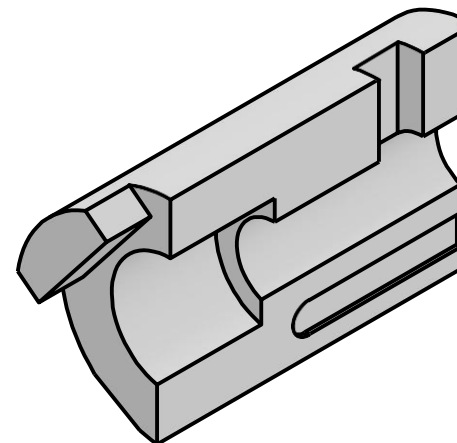
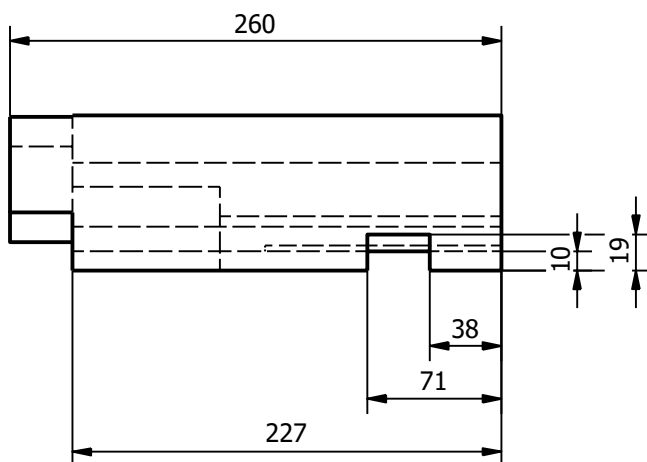
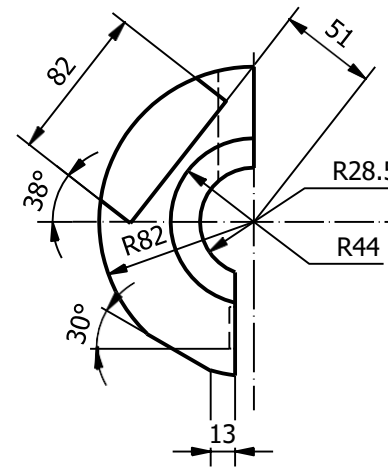
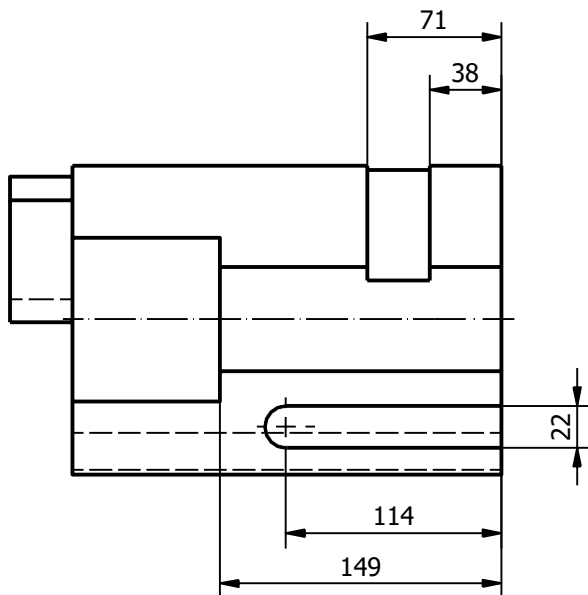
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

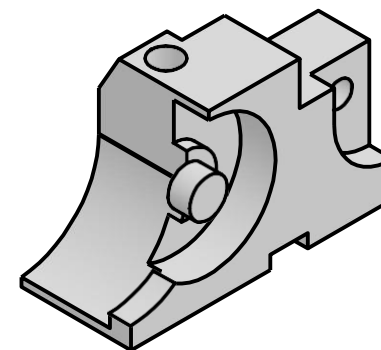
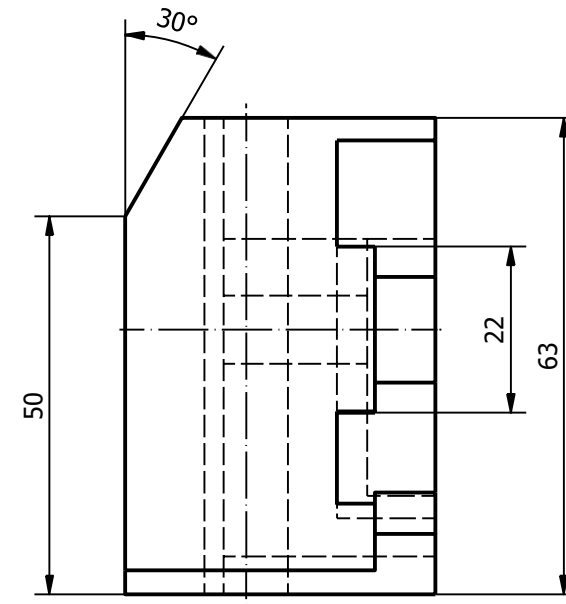
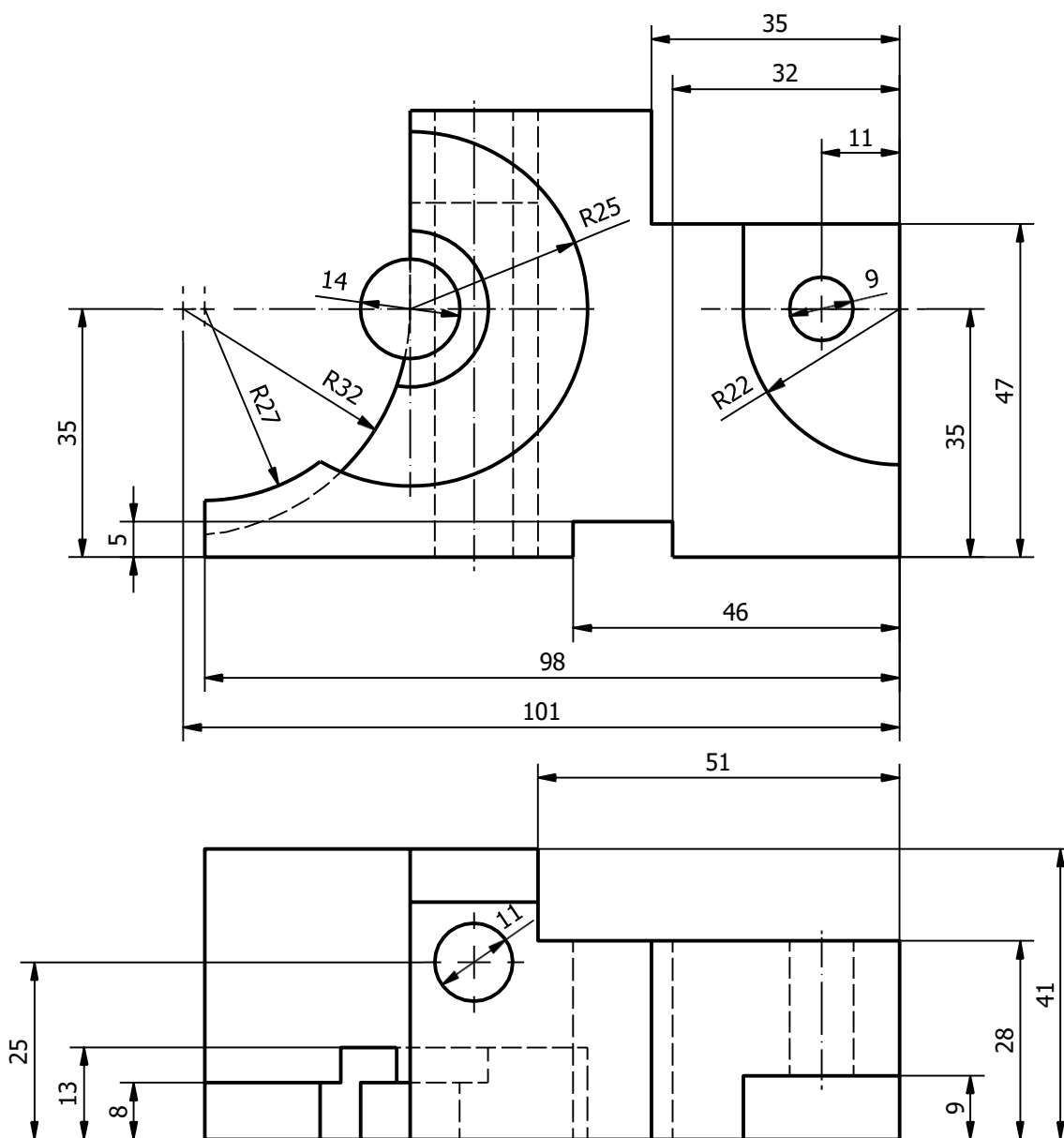
Αριθμός:

HL 1060

Κλίμ.	Ημερομηνία	Γλώσσα	Φύλλο
1:4	01/03/22	ΕΛ	1 / 1







m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

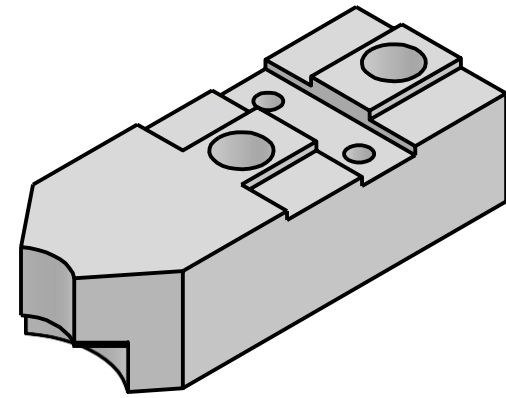
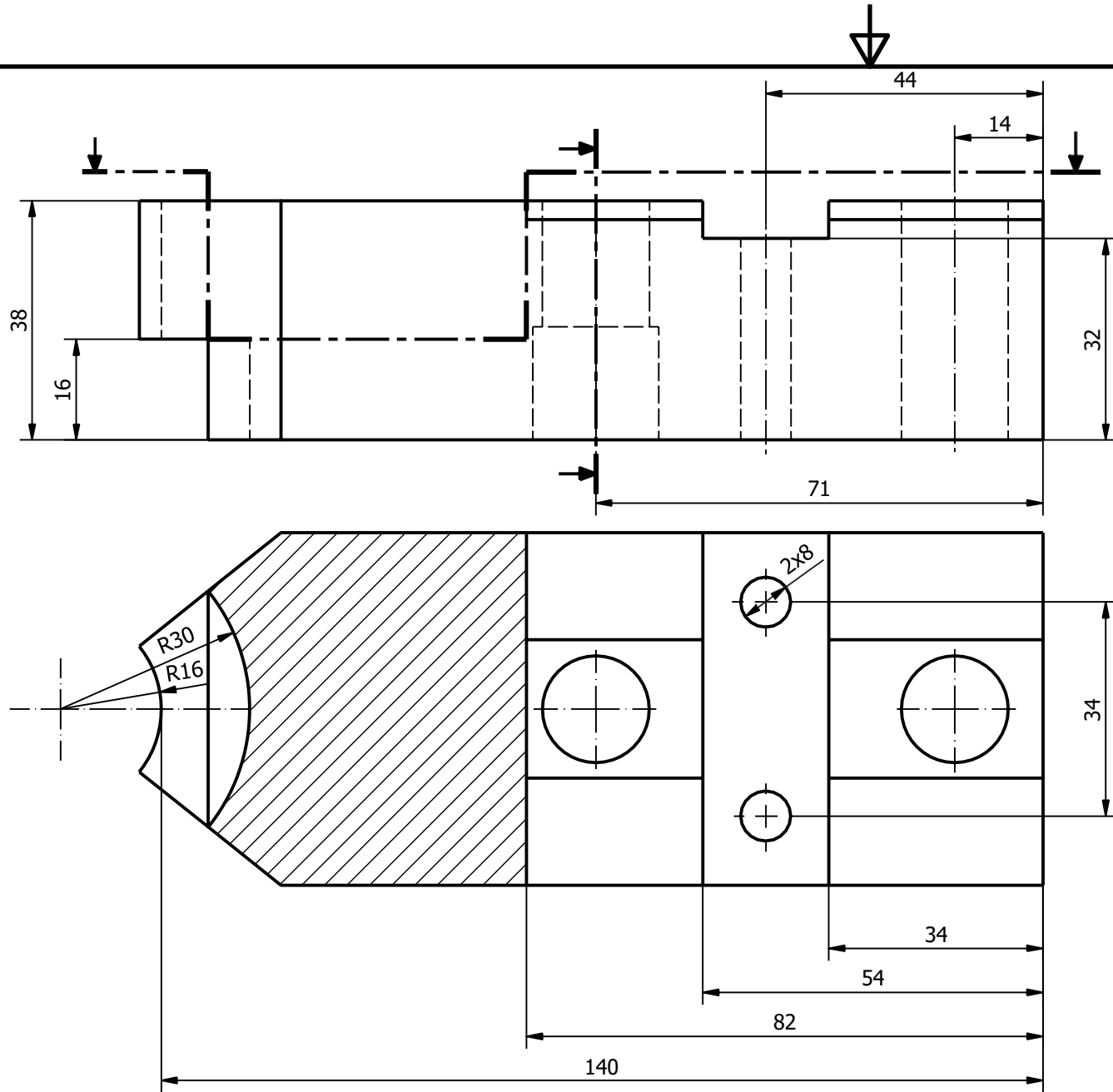
Τεμάχιο 63

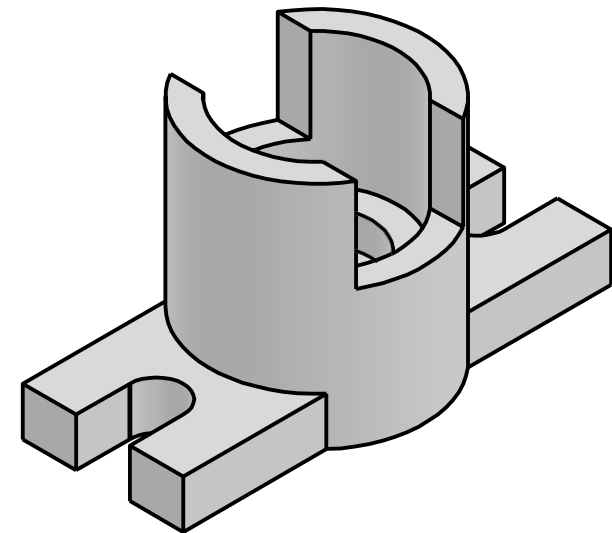
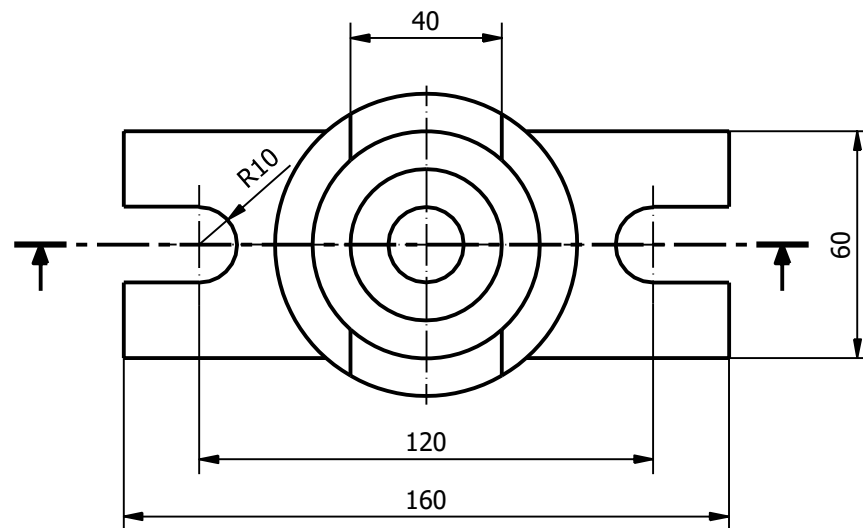
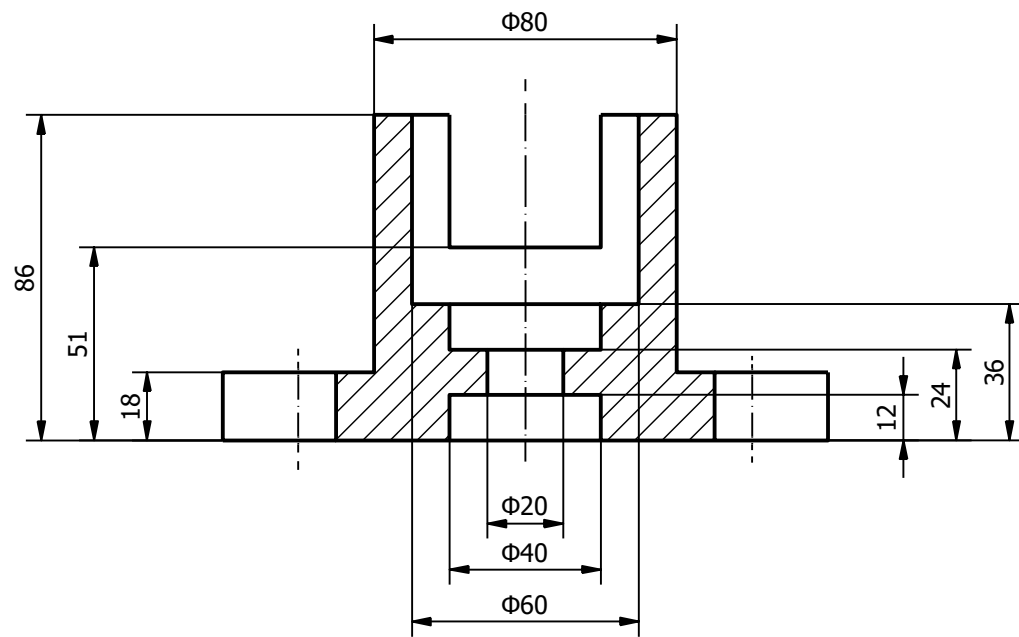
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:

HL 1063

Κλίμ.	Ημερομηνία	Γλώσσα	Φύλλο
1:1	01/03/22	ΕΛ	1 / 1





www.m3.tuc.gr

Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

Τίτλος:

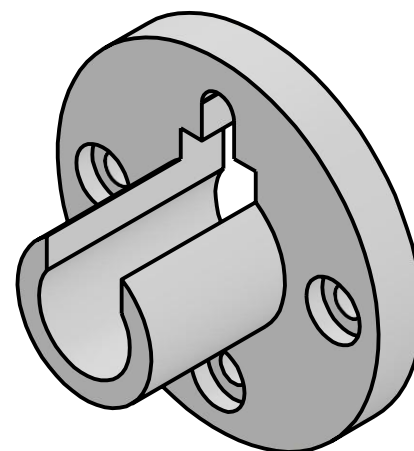
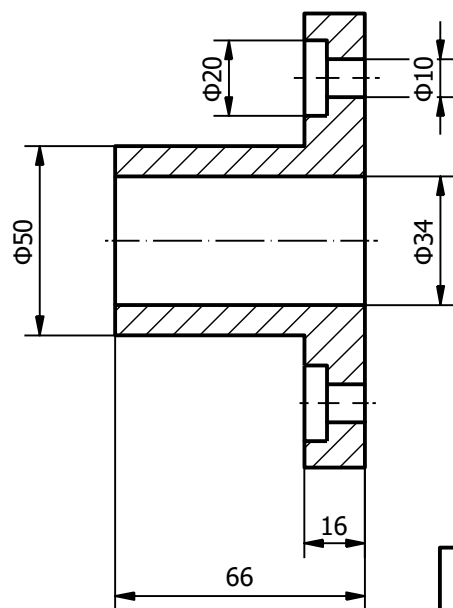
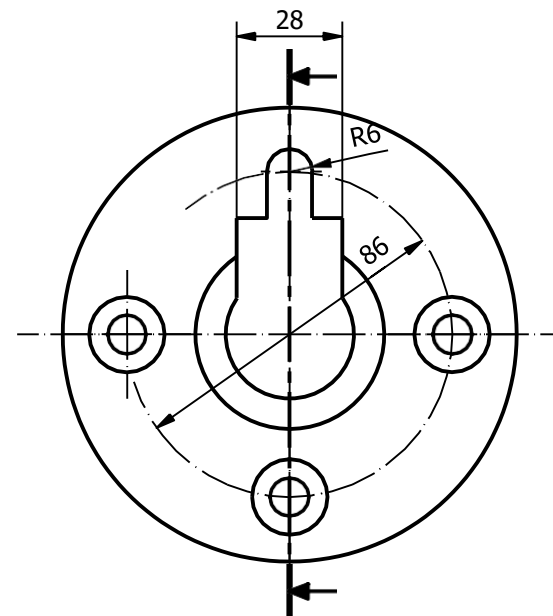
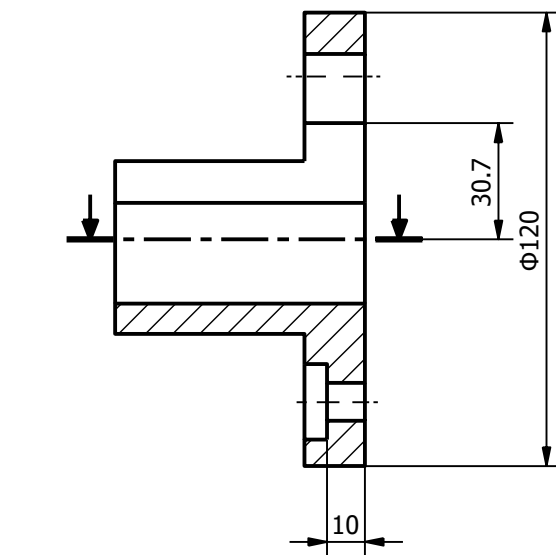
Τεμάχιο 65

Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

Αριθμός:	
----------	--

HL 1065

Κλιμ. 1:2	Ημερομηνία 19/01/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------



m3 MICRO
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

www.m3.tuc.gr

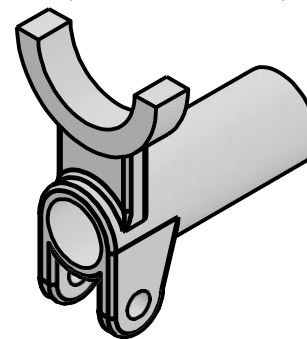
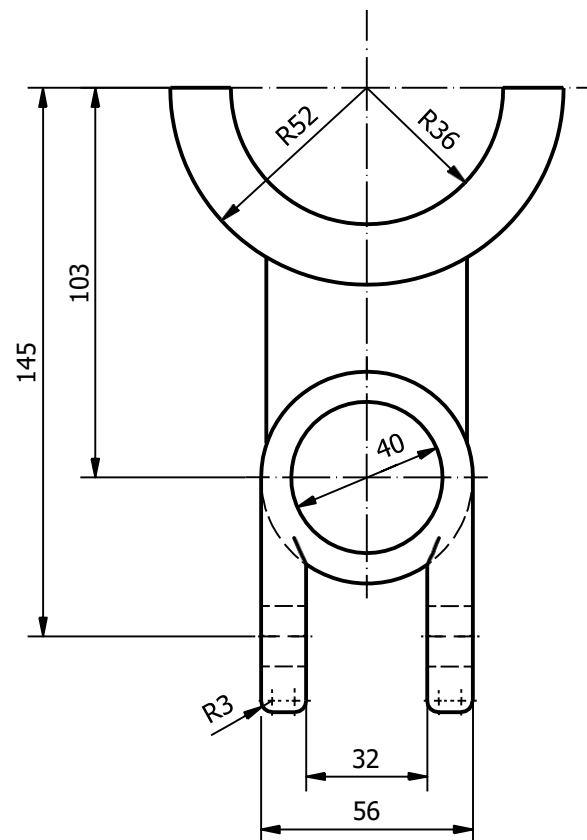
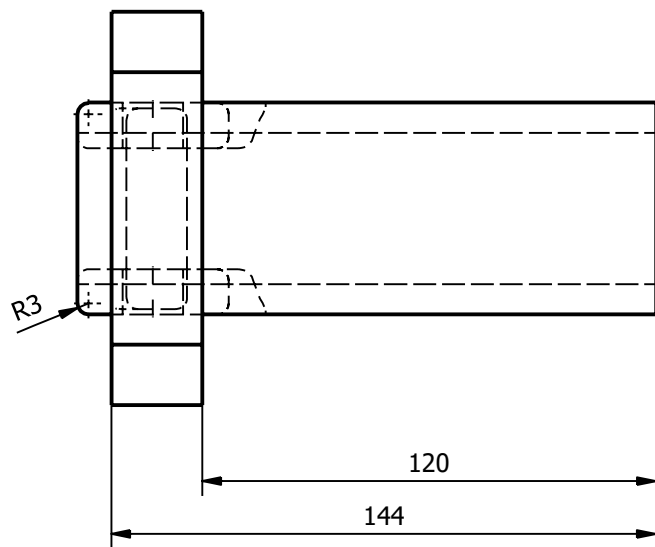
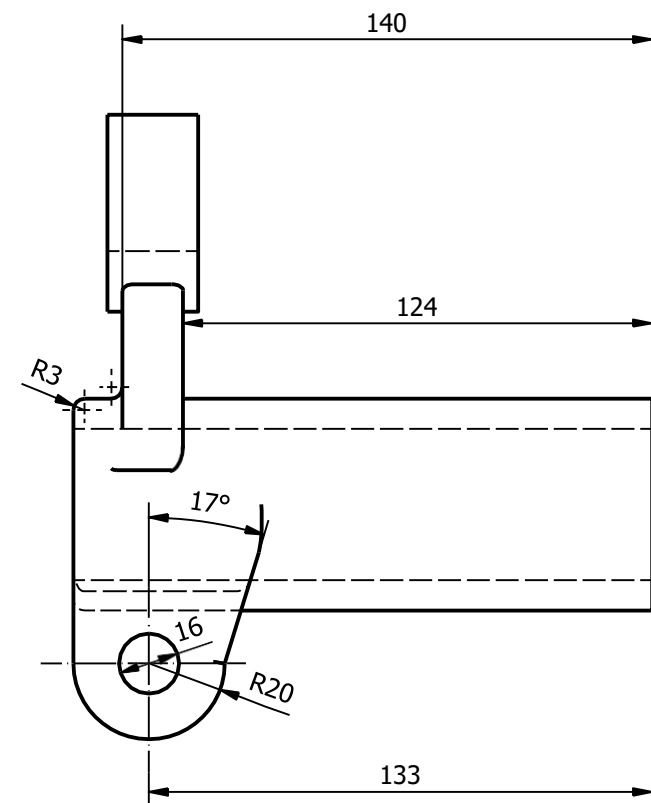
Σχεδίαση:
Γαϊτάνης Ηλίας

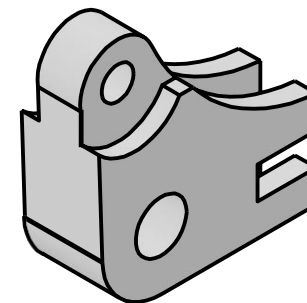
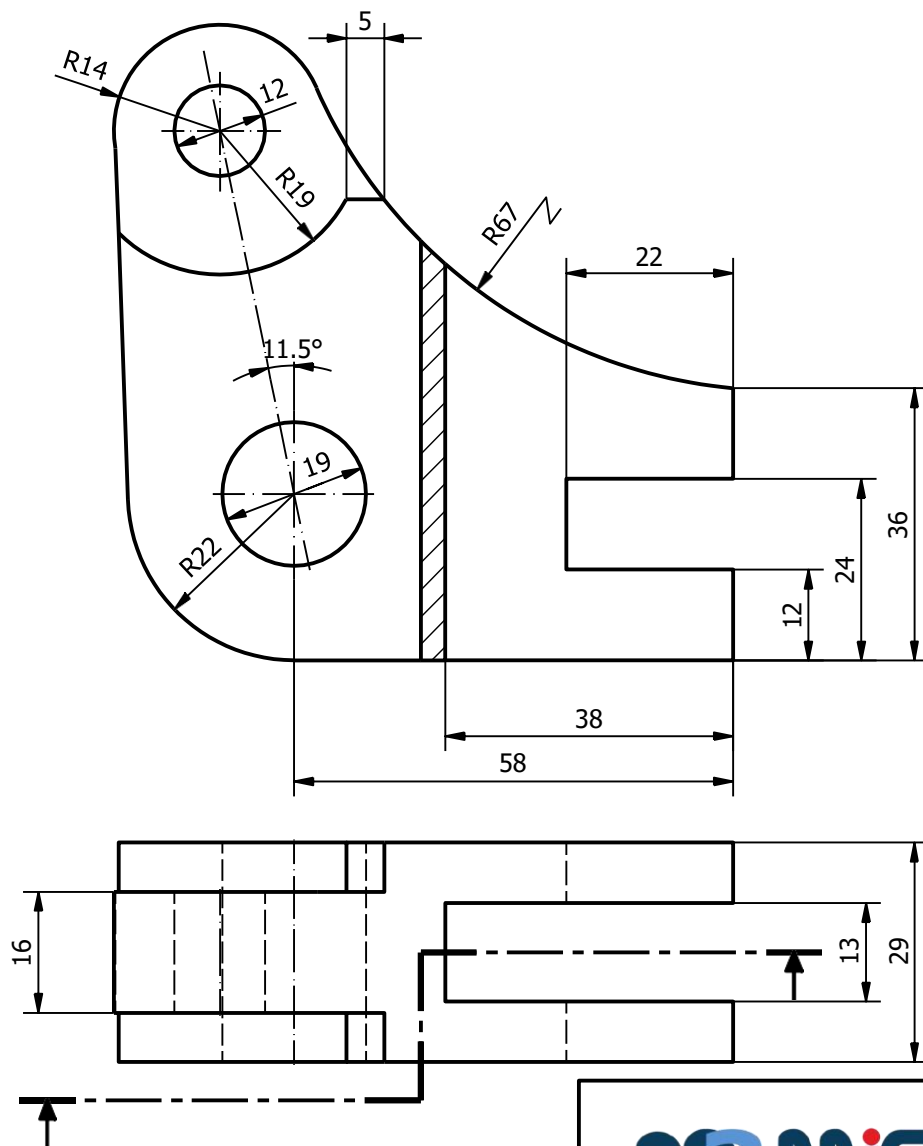
Τίτλος:
Τεμάχιο 66

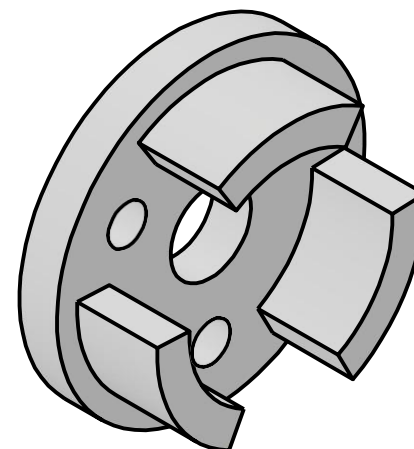
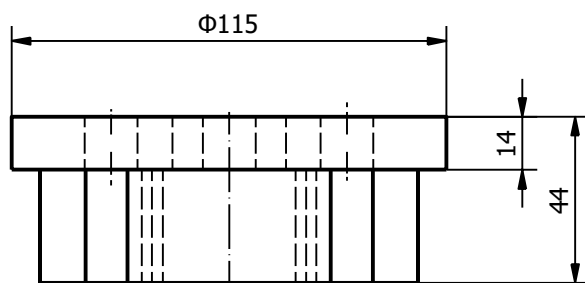
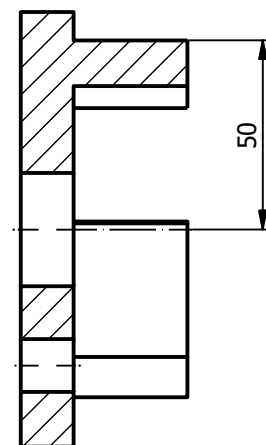
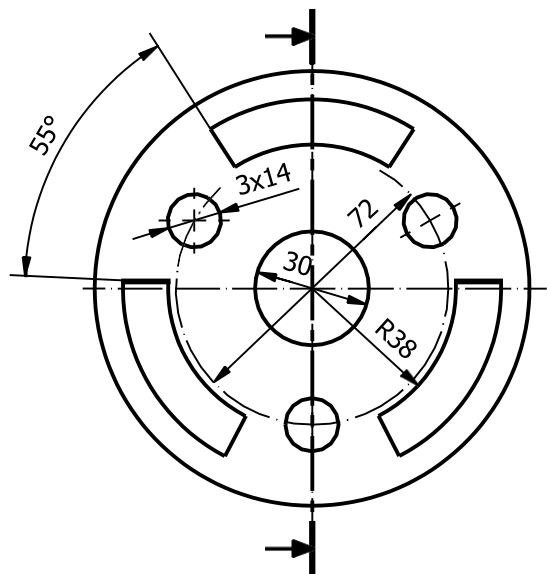
Ανοχές:
Γενικές ανοχές f - ISO2768-1

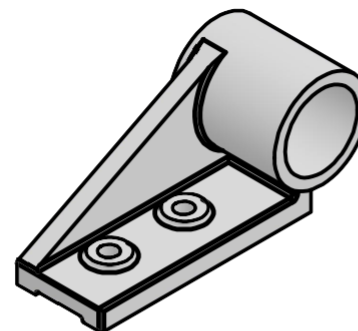
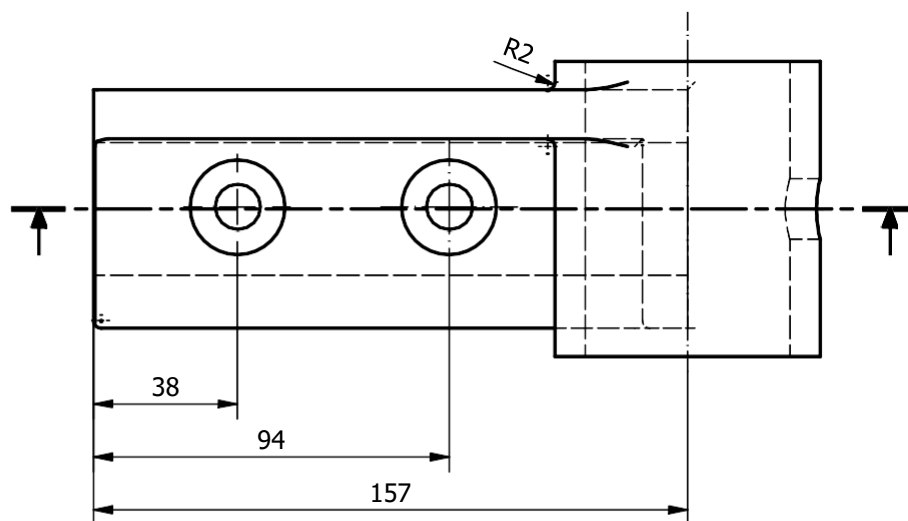
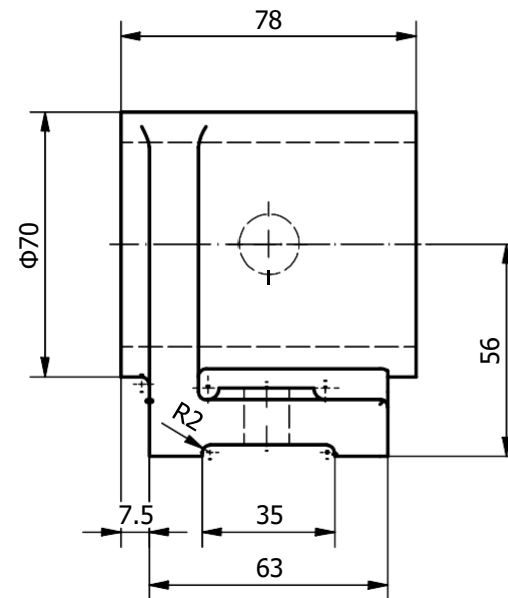
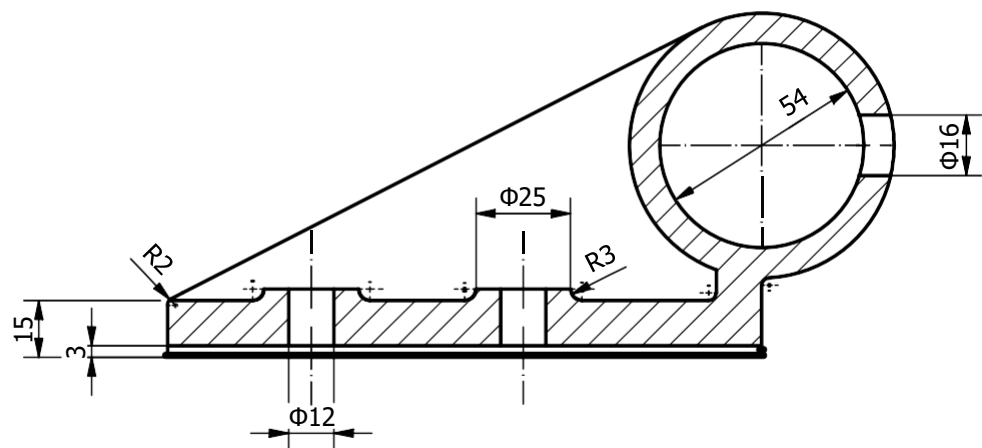
Αριθμός:
HL 1066

Κλίμ. 1:2	Ημερομηνία 02/03/22	Γλώσσα ΕΛ	Φύλλο 1 / 1
--------------	------------------------	--------------	----------------









5. ΣΥΝΟΨΗ

Ολοκληρώνοντας, η χρήση και η αξιοποίηση των συστημάτων CAD είναι εκτεταμένη και κατά συνέπεια η εμβάθυνση στις τεχνικές και στην γνώση που υπάγεται στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση θα γίνεται όλο και πιο αναγκαία με την πάροδο των χρόνων. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό να μελετώνται σε βάθος τόσο οι δυνατότητες των λογισμικών αυτών αλλά και οι αλγοριθμικές και μαθηματικές μεθοδολογίες που τα διέπουν.

Για τον σκοπό αυτό, η ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων ενός λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης σε εφαρμογές όπως η “agmAR” του Άγγελου Μαρινάκη εξυπηρετεί της ανάγκης εμβάθυνσης των σπουδαστών στην τρισδιάστατη σχεδίαση.

Στην παρούσα διπλωματική κατασκευάστηκε πληθώρα διαφόρων εξαρτημάτων και των μηχανολογικών τους σχεδίων με την χρήση του λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης Inventor της Autodesk, με σκοπό την ένταξη τους στην εκπαιδευτική εφαρμογή “agmAR”.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wayne E. Carlson, Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview
- [2] Ivan Edward Sutherland: Technical Report University of Cambridge, Sketchpad: A man-machined graphical Communication System
- [3] Monica Bordegoni, Caterina Rizzi, Innovation in Product Design, From CAD to Virtual Prototyping
- [4] Charles Wayne Brown, ANALYSIS OF A HIDDEN-LINE ALGORITHM
- [5] Στράτος Καλαφατούδης, Γραφικά με υπολογιστή
- [6] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογικό Σχέδιο
- [7] Kharchenko, Ah Lian Kor, Andrzej Rucinski, Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation
- [8] S. A. Coons and R. W. Mann, COMPUTER-AIDED DESIGN RELATED TO THE ENGINEERING DESIGN PROCESS
- [9] THE SAGE AIR DEFENCE SYSTEM, A PERSONAL HISTORY BY JOHN F. JACOBS
- [10] Presman, R. & Williams, J., Numerical Control and Computer Aided Manufacturing. John Wiley & Sons.
- [11] Otto K, Wood K., Product design techniques in reverse engineering and new product development
- [12] Banerjee PS, Sinha A, Banerjee MK., A study on effect of variation of SLA process parameters over strength of Built model.
- [13] Chockalingam K, Jawahar N, Ramanathan KN, Banerjee PS., Optimization of stereolithography process parameters for part strength using design of experiments.
- [14] Harris R, Hopkinson N, Newlyn H, Hague R, Dickens P., Layer thickness and draftangle selection for stereolithography injection mould tooling.
- [15] A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithms by IVAN E. SUTHERLAND, ROBERT F. SPROULL, AND ROBERT A. SCHUMACKER
- [16] Συστήματα CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης