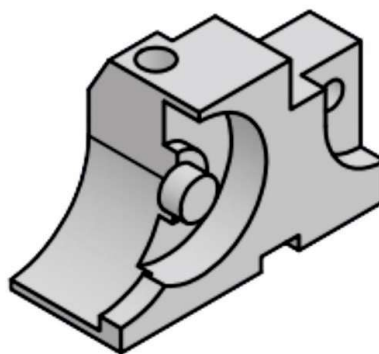




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΙΣΔΥΑΣΤΑΤΗΣ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ CAD**



**ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ
ΔΑΝΙΗΛΙΔΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Amor fati

Χρειάστηκαν πολλές ποιότητες για την ολοκλήρωση αυτού του κύκλου και θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Την Οικογένεια μου για την Έμπνευση,
Τους Φίλους μου για την Πίστη,
Τον κύριο Αριστομένη για την Υπομονή,
Τον Χριστάρα για τα Μαθηματικά,
Και τον εαυτό μου για την Επιμονή.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	5
Περίληψη	6
Εισαγωγή	6
1 Κεφάλαιο 1 ^ο :Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση με Χρήση Υπολογιστή – Θεωρητική Προσέγγιση.....	9
1.1 Ορισμός σχεδιασμού με την βοήθεια υπολογιστή (CAD)	9
1.2 Ιστορική εξέλιξη μηχανολογικού σχεδιασμού	9
1.3 Μοντελοποίηση με την χρήση CAD	15
1.4 Αρχιτεκτονική συστημάτων CAD	15
1.5 Χρήση CAD σε μια σύγχρονη ψηφιακή μονάδας παραγωγής.....	17
2 Κεφάλαιο 2 ^ο :Λογισμικά CAD.....	19
2.1 Κατάλογος προγραμμάτων CAD	19
2.1.1 AutoCAD.....	19
2.1.2 SolidWorks.....	21
2.1.3 Fusion360	22
2.1.4 Inventor	23
2.1.5 Rhino3D	23
2.1.6 Στατιστικά δεδομένα αγοράς προγραμμάτων CAD	25
2.2 Pro/ENGINEER - Creo	32
2.3 CorelCAD.....	36
2.4 Σχεδίαση μηχανολογικών τεμαχίων για εκπαιδευτικούς σκοπούς.....	369
Βιβλιογραφία	4870

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχέδιο ναού στο άγαλμα του Gudea ^[3]	10
Εικόνα 2.2: Χρήση του Sketchpad από τον Sutherland το 1963 ^[6]	12
Εικόνα 2.3: Σχεδίαση στο πρόγραμμα DAC-1 ^[6]	12
Εικόνα 2.4: Πρώτη έκδοση Pro/ENGINEER το 1987 ^[2]	14
Εικόνα 2.5: Πρόγραμμα CAD στο επίκεντρο της δημιουργίας και παραγωγής ενός προϊόντος ^[12]	18
Εικόνα 2.1: Επιφάνεια εργασίας AutoCAD 2022 ^[18]	20
Εικόνα 2.2: Επιφάνεια εργασίας SolidWorks ^[10]	21
Εικόνα 2.3: Επιφάνεια εργασίας Fusion360 ^[20]	22
Εικόνα 2.4: Επιφάνεια εργασίας Inventor ^[16]	23
Εικόνα 2.5: Τρισδιάστατο μοντέλο στερεού παραγόμενο με πολύγωνα και με καμπύλες NURBS ^[4]	24
Εικόνα 2.6: Επιφάνεια εργασίας Rhino3D ^[9]	25
Εικόνα 2.7: Μερίδιο αγοράς προγραμμάτων CAD την τριετία 2018-2020 ^[21]	26
Εικόνα 2.8: Μερίδιο αγοράς προγραμμάτων CAD το 2014 ^[22]	27
Εικόνα 2.9: Αγορασμένες άδειες προγραμμάτων CAD τα έτη 2019 και 2020 ^[21]	28
Εικόνα 2.10: Δωρεάν και πειρατικές άδειες χρήσης προγραμμάτων CAD τα έτη 2019 και 2020 ^[21]	28
Εικόνα 2.11: Επαγγελματίες χρήστες προγραμμάτων CAD το έτος 2020 ^[21]	29
Εικόνα 2.12: Χρήστες που χρησιμοποιούν τα προγράμματα CAD για ψυχαγωγία το έτος 2020 ^[21]	30
Εικόνα 2.13: Ποσοστό προγραμμάτων που δοκιμάστηκαν από τους χρήστες το 2020 ^[21]	31
Εικόνα 2.14: Χρήστες που αγόρασαν μια άδεια μετά από δοκιμή προγράμματος το έτος 2020 ^[21]	31
Εικόνα 2.15: Ικανοποίηση χρηστών από τα λογισμικά CAD κατά τα έτη 2017 έως 2020 ^[21]	32
Εικόνα 2.16: Προσθήκη νέου χαρακτηριστικού για την ολοκλήρωση του τρισδιάστατου στερεού μοντέλου ^[19]	33
Εικόνα 2.17: Παραμετρική σχεδίαση με ιεραρχία ^[11]	34
Εικόνα 2.18: Συσχέτιση παραμέτρων δύο στερεών που χρησιμοποιούνται στο ίδιο συναρμολόγημα ^[11]	35
Εικόνα 2.19: Οθόνη εργασίας Creo 9.0 ^[17]	36
Εικόνα 2.20: Σχέδιο στο CorelCAD ^[1]	37

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τον σχεδιασμό ποικίλων εξαρτημάτων, σε τρισδιάστατα λογισμικά. Σκοπός, είναι η συμβολή στην εκπαιδευτική κατανόηση της διαδικασίας του σχεδιασμού μηχανολογικών διατάξεων μέσω συστημάτων CAD. Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Αφού παρουσιαστούν το θεωρητικό και το ιστορικό πλαίσιο, θα διερευνηθούν τα ζητήματα του σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή, αλλά και των ηλεκτρονικών μηχανολογικών εφαρμογών στο πλαίσιο μιας σύγχρονης ψηφιακής μονάδας παραγωγής. Στο επόμενο κεφάλαιο, εξετάζονται ορισμένα από τα βασικά λογισμικά δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης και παρουσιάζονται τα τρέχοντα στατιστικά δεδομένα αγοράς προγραμμάτων CAD. Στο τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα σχέδια που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής συνεργασίας με το εργαστήριο Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης, του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα σχέδια βρίσκονται στο βιβλίο «Μηχανολογικό Σχέδιο: νέοι Κανονισμοί, Τυποποίηση, 3D παραδείγματα, Ασκήσεις» του κ. Α.Θ. Αντωνιάδη και σχεδιάστηκαν με το λογισμικό INVENTOR της Autodesk.

Εισαγωγή

Ο άνθρωπος, από αρχαιοτάτων χρόνων, συνδύασε την επιβίωσή του με τις κατασκευές. Κατασκεύασε εργαλεία για να μπορεί να κυνηγήσει, να μπορεί να καλλιεργήσει, με σκοπό να βρει εύκολα φαγητό και να επιβιώσει. Κατασκεύασε κτίρια ώστε να μπορεί να διαμείνει σε αυτά για να προστατευτεί από το κρύο, την βροχή, τον ήλιο και να επιβιώσει. Κατασκεύασε αντικείμενα που τον διευκόλυναν στην καθημερινότητά του για να κάνει την ζωή και την επιβίωσή του πιο εύκολα. Κατασκεύασε όπλα για να μπορεί να επικρατήσει άλλων ανθρώπων και να εξασφαλίσει την δική του επιβίωση έναντι αυτών. Κατασκεύασε ναούς έτσι ώστε να αποδίδει τιμές σε ανώτερες δυνάμεις οι οποίες πίστευε πως τον προστατεύουν και τον βοηθούν στην επιβίωση και την ευμάρεια του. Η παραγωγή λοιπόν πάσης φύσεως αντικειμένων και κτιρίων είναι συνυφασμένη με την ανθρώπινη εξέλιξη στον πλανήτη γη.

Η ανάγκη του ανθρώπου για κατασκευές οδήγησε και στην ανάγκη του ανθρώπου για την τεκμηρίωση των κατασκευών, για να μπορέσει να τις κατασκευάσει ξανά, για να ελέγξει τις αντοχές τους, για να μπορέσει να μεταφέρει και σε άλλους τα χαρακτηριστικά κατασκευής. Για αυτό τον λόγο ξεκίνησε να σχεδιάζει. Αποτύπωνε στα σχέδια του την κατασκευή και τα σημαντικότερα της χαρακτηριστικά, αυτά που ήθελε να θυμάται ή να μεταδώσει σε άλλους. Επιπλέον χρησιμοποίησε τα σχέδια για να αναπαραστήσει σε άλλους και να εξηγήσει σε αυτούς τι προτίθεται να παράξει. Προσπάθησε με τα σχέδια του να τους δώσει μια εικόνα για αυτό που θα κατασκευάσει και να μάθει την γνώμη τους είτε για να δει αν έχει νόημα να προχωρήσει σε αυτή την κατασκευή, είτε για να προβεί σε διορθώσεις.

Οι παραπάνω λόγοι για τους οποίους γίνεται ένα σχέδιο υπάρχουν και σήμερα. Όταν μια μονάδα θέλει να παράξει ένα νέο προϊόν τότε το πρώτο πράγμα που κάνει είναι να το σχεδιάσει. Αφού μελετήσει τις ανάγκες που πρέπει να καλύπτει το προϊόν και θέσει επί τάπητος τα βασικά του χαρακτηριστικά εν συνεχεία σχεδιάζει ένα μοντέλο. Το μοντέλο αυτό το χρησιμοποιεί για μελέτες, το χρησιμοποιεί για να πάρει την γνώμη άλλων, βλέπει αν ανταποκρίνεται στα θέλω του πελάτη, ελέγχει αν είναι εφικτή και με λογικό κόστος η κατασκευή του. Αφού τα κάνει όλα αυτά κατασκευάζει το πρωτότυπο κάνει τους αντίστοιχους ελέγχους, αν χρειάζεται τροποποιεί τα σχέδια και εν συνεχεία είτε παράγει άλλο πρωτότυπο είτε προχωράει σε μαζική παραγωγή.

Η ανάγκη εύκολης αναπροσαρμογής των σχεδίων, η ανάγκη καλύτερης απεικόνισης των μοντέλων και η εξέλιξη των υπολογιστών οδήγησαν στην παραγωγή ενός νέου συστήματος σχεδιασμού, του CAD, σύμφωνα με το οποίο ο σχεδιασμός τώρα λαμβάνει χώρα σε λογισμικά ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό επέτρεψε την δυνατότητα πολλών αλλαγών στα σχέδια και την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων που επιτρέπουν την καλύτερη και πιο διεξοδική μελέτη τους, την χρήση τους σε προγράμματα προσομοιώσεων και την χρήση τους σε αυτοματοποιημένα προγράμματα κατασκευών. Τα συστήματα σχεδιασμού CAD έχουν επικρατήσει πλέον και οι μονάδες τα χρησιμοποιούν κατά κόρον ως βάση για την παραγωγή καινούριων προϊόντων ή για την βελτίωση παλαιότερων προϊόντων, είτε ως προς της μορφή, είτε

ως προς τις ιδιότητες, είτε ως προς οιαδήποτε χαρακτηριστικά κρίνονται σημαντικά για κάποιες εφαρμογές.

Στο παραπάνω πλαίσιο εκπονείται και η παρούσα εργασία η οποία έχει ως στόχο της τον τρισδιάστατο σχεδιασμό εξαρτημάτων μέσω της χρήσης προγραμμάτων CAD. Διαμέσου της εργασίας αυτής σχεδιάζονται εξαρτήματα σε πρόγραμμα CAD στον υπολογιστή. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που παράγονται μπορούν εν συνεχεία να χρησιμοποιηθούν για μελέτη ή κατασκευή με χρήση προγραμμάτων CAE και CAM. Επιπρόσθετα παράγονται εικόνες και δισδιάστατα σχέδια των αντικειμένων ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρουσίαση ή για παραγωγή σε συμβατικές χειροκίνητες εργαλειομηχανές.

Η εργασία αυτή πρακτικά χωρίζεται σε δύο μέρη, στο θεωρητικό της τμήμα και στο πρακτικό της τμήμα. Το θεωρητικό τμήμα της εργασίας εκπονείται με βάση την μέθοδο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Μελετώνται διεθνώς αναγνωρισμένα άρθρα, δημοσιεύσεις και βιβλία σχετικά με την σχεδίαση με την υποβοήθηση υπολογιστή και δημιουργούνται δύο ανεξάρτητα κεφάλαια. Στο πρακτικό της τμήμα καταγράφεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η σχεδίαση των τεμαχίων στο υπό χρήση πρόγραμμα CAD.

Στο πρώτο κεφάλαιο καταγράφεται εν συντομία η θεωρία περί σχεδιασμού με την χρήση υπολογιστή. Αρχικά ορίζεται η έννοια CAD και εν συνεχεία παρουσιάζεται ιστορικά η εξέλιξη του σχεδιασμού, από τα χαράγματα σε πέτρες μέχρι τον σχεδιασμό σε πανίσχυρα λογισμικά υπολογιστή. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού, η μοντελοποίηση με την χρήση συστημάτων CAD πριν γίνει αναφορά στην αρχιτεκτονική τους. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με μια αναφορά στην θέση των προγραμμάτων CAD στις σύγχρονες, αυτόματες, ψηφιοποιημένες μονάδες παραγωγής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αρχική αναφορά στα σημαντικότερα σχεδιαστικά προγράμματα CAD που υπάρχουν την δεδομένη στιγμή. Γίνεται μια σύντομη προσπάθεια καταγραφής των χαρακτηριστικών τους, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους. Εν συνεχεία γίνεται εκτενής αναφορά στα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στο δεύτερο τμήμα της παρούσας εργασίας, δηλαδή στα προγράμματα PRO Engineer και Corel. Καταγράφονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους, οι διαδικασίες σχεδίασης και ο βασικός τρόπος χειρισμού τους. Στόχος είναι να μπορέσει ο αναγνώστης να καταλάβει την βασική τους λειτουργία ώστε να αντιληφθεί τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο σχεδιασμός των εξαρτημάτων. Τέλος, στο σχεδιαστικό τμήμα της εργασίας παρουσιάζονται τα σχέδια των εξαρτημάτων.

1 Κεφάλαιο 1^ο: Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση με Χρήση Υπολογιστή – Θεωρητική Προσέγγιση

Η εξέλιξη των υπολογιστών οδήγησε και στην εξέλιξη των τεχνικών τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Πλέον ο σχεδιασμός των μοντέλων δεν γίνεται στο χέρι αλλά αντί αυτού χρησιμοποιούνται πανίσχυρα υπολογιστικά προγράμματα των οποίων η χρήση απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός με χρήση υπολογιστή είναι αυτή την στιγμή ένας καινούριος κλάδος στον τομέα σχεδίασης μηχανολογικών εξαρτημάτων και απαιτεί εξειδικευμένους μηχανικούς με άριστες γνώσεις τεχνικών σχεδιασμού και ταυτόχρονα άριστες γνώσεις χρήσης υπολογιστή.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση των συστημάτων τρισδιάστατης μοντελοποίησης με χρήση υπολογιστή. Αφού αρχικά παρατεθεί ο ορισμός των συστημάτων αυτών και γίνει μια ιστορική αναφορά για το πώς ξεκίνησε ο σχεδιασμός από χαράγματα σε πέτρες μέχρι τον σχεδιασμό σε υπολογιστή, ακολουθεί η παρουσίαση τεχνικών τρισδιάστατης μοντελοποίησης με την χρήση CAD, γίνεται μια παρουσίαση της βασικής αρχιτεκτονικής των προγραμμάτων CAD και στο τέλος παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία τα προγράμματα αυτά εντάσσονται σε μια σύγχρονη ψηφιακή παραγωγική μονάδα.

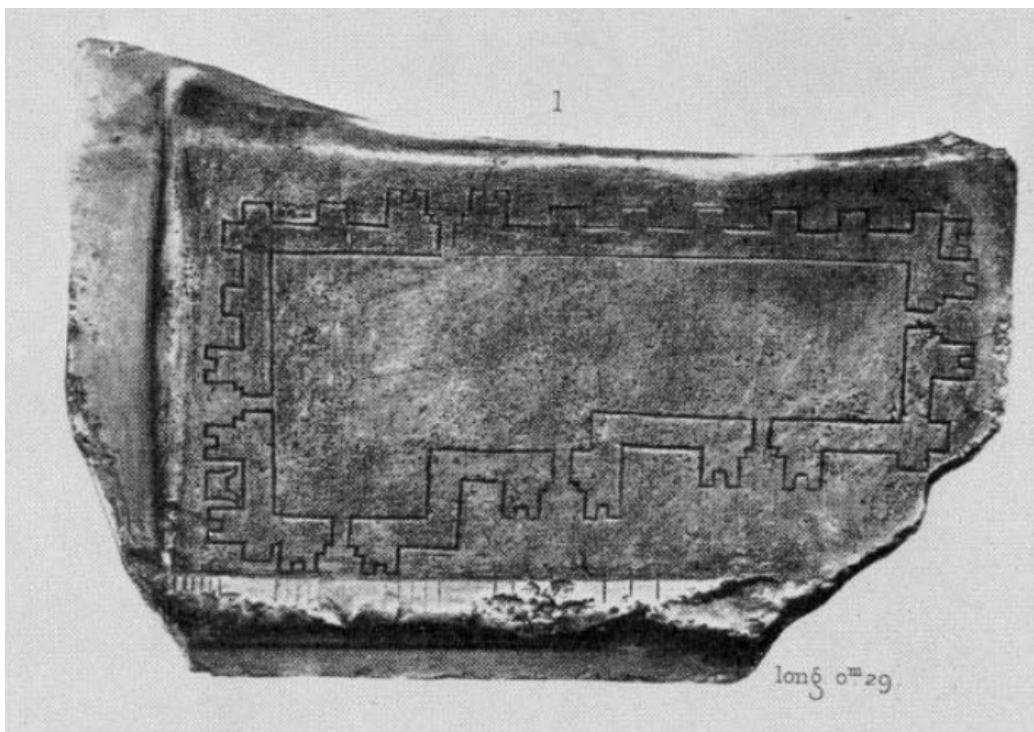
1.1 Ορισμός σχεδιασμού με την βοήθεια υπολογιστή (CAD)

Ο σχεδιασμός με την βοήθεια υπολογιστή αναφέρεται τόσο στην ελληνική όσο και στην διεθνή βιβλιογραφία όσο και στην πράξη, στα μηχανουργεία, με το αρκτικόλεξο CAD (που θα χρησιμοποιείται εφεξής και στην υπόλοιπη εργασία) το οποίο σημαίνει Computer Aided Design τουτέστιν «Σχεδίαση με την Βοήθεια Υπολογιστή». Ως CAD λοιπόν ορίζεται η τεχνολογία η οποία κάνει χρήση σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων ώστε να δημιουργήσει, να τροποποιήσει, να αναλύσει και να βελτιστοποιήσει ένα σχέδιο.

Μια τεχνολογία, ένα πρόγραμμα για να θεωρείται πρόγραμμα CAD πρέπει να εμπεριέχει την χρήση γραφικών υπολογιστικών συστημάτων και την χρήση εφαρμογών (προγραμμάτων) που μέσω των ενσωματωμένων εντολών τους καθιστούν ευκολότερη και απλούστερη την διαδικασία σχεδίασης. Εφόσον ένα πρόγραμμα εμπεριέχει τα παραπάνω τότε μπορεί να οριστεί ως ένα λογισμικό σχεδίασης CAD. ^{[11], [23], [24]}

1.2 Ιστορική εξέλιξη μηχανολογικού σχεδιασμού

Ο μηχανολογικός σχεδιασμός είναι μια έννοια συνυφασμένη με την εξέλιξη της ανθρωπότητας, με την εξέλιξη των ανθρώπινων κατασκευών. Οι άνθρωποι στην προσπάθεια τους να εξελιχτούν συνεχώς κατασκεύαζαν νέα πράγματα. Για να αποτυπώσουν τις σκέψεις τους ή ακόμη και συγκεκριμένα στοιχεία των κατασκευών τους τα αποτύπωναν σε σχέδια. Τα πρώτα σχέδια ήταν χαραγμένα σε πέτρες και σε βράχους, μέσα σε σπηλιές, χρονολογούμενα από το 12000π.Χ. Εν συνεχεία με την εξέλιξη του ανθρώπου τα σχέδια ήταν ζωγραφισμένα και όχι χαραγμένα, εν αρχή σε πέτρες και στην πορεία σε πήλινα αντικείμενα. Στην Βαβυλώνα το 2100 π.Χ εμφανίστηκε ο πρώτος διάσημος σχεδιαστής, ο Gudea. Σε ένα από τα αγάλματα του υπάρχει σχεδιασμένη η κάτοψη ενός ναού. Αυτό θεωρείται το αρχαιότερο σωζόμενο σχέδιο και μοιάζει πολύ με τα σύγχρονα αρχιτεκτονικά σχέδια. Το συγκεκριμένο άγαλμα εκτίθεται στο μουσείο του Λούβρου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η συγκεκριμένη αποτύπωση.



Εικόνα 2.1: Σχέδιο ναού στο άγαλμα του Gudea ^[3]

Το εκπληκτικό είναι πως σε αυτές τις πλάκες υπήρχαν σχεδιασμένα όργανα υπολογισμού κλιμάκων. Ακολουθως, με την με την εξέλιξη της γραφής τα σχέδια άρχισαν να εμφανίζονται σε πάπυρους και περγαμηνές. Στην αρχαία Αίγυπτο έχουν βρεθεί πάπυροι με σχέδια κατασκευής των πυραμίδων ενώ στην Αρχαία Ελλάδα έχουν βρεθεί σημειώσεις με σχέδια κατασκευών. Οι αρχαίοι Έλληνες αντιλήφθηκαν την χρησιμότητα των προοπτικών όψεων και τις χρησιμοποιούσαν σε μεγάλη κλίμακα. Οι όψεις αυτές έδιναν μια πρώτη τρισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου, τουτέστιν ήταν μια πρώιμη αρχή τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Επιπλέον, μεγάλοι Έλληνες μηχανικοί της αρχαιότητας όπως ο Ευκλείδης, ο Αρχιμήδης και ο Απολλώνιος αντιλήφθηκαν την χρησιμότητα των τομών και την εισήγαγαν σε πολλά σχέδια μηχανολογικών κατασκευών. Οι Ρωμαίοι όμως φαίνεται πως ήταν οι πρώτοι που αντιλήφθηκαν την αναγκαιότητα ενός λεπτομερέστατου σχεδιασμού για την κατασκευή είτε δομικών κατασκευών είτε εξοπλισμού. Πλέον δεν χρησιμοποιούσαν τα σχέδια απλά για να δείξουν πως πρέπει να κατασκευαστεί ένα αντικείμενο ή ένα κτίριο αλλά δημιουργούσαν διαδικασίες κατασκευής βασισμένες στα σχέδια. Το 14π.Χ ο Βιτρούβιος, φημισμένος μηχανικός στην Ρώμη, συνέγραψε τον πρώτο οδηγό σχεδιασμού, για αρχιτέκτονες και μηχανικούς.

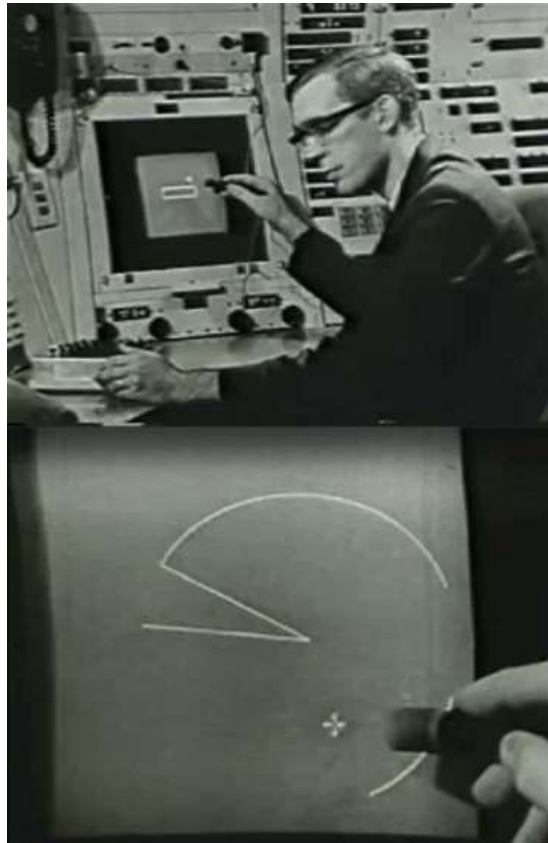
Η επόμενη σημαντική στιγμή της ιστορίας του σχεδιασμού είναι η περίοδος της αναγέννησης. Στην περίοδο αυτή, στην κεντρική Ευρώπη, και ιδίως στην Ιταλία, αναπτύχθηκε περαιτέρω το σχέδιο. Μάλιστα χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες, στα σχέδια που αποτύπωναν μορφές, εικόνες, όψεις, χωρίς ακριβείς διαστάσεις και στα σχέδια που λάμβαναν υπόψη τις διαστάσεις των αντικειμένων. Χαρακτηριστικά της περιόδου είναι τα σχέδια του Leonardo Da Vinci που οπτικοποιούν τις κατασκευές μηχανών πτήσης όπως τις είχε στο μυαλό του. Η εξέλιξη του μηχανολογικού σχεδίου κατά την περίοδο της αναγέννησης αποτέλεσε άλλωστε την βάση στην οποία στηρίχθηκε η βιομηχανική επανάσταση του 18^{ου} αιώνα καθώς με ακριβή σχέδια ήτο εφικτό η κατασκευή μηχανών και η μαζικοποίηση της παραγωγής.

Ο επόμενος ιστορικός σταθμός του μηχανολογικού σχεδιασμού είναι σχετικά πρόσφατος και αφορά την ανακάλυψη του υπολογιστή. Ενδιάμεσα ανακαλύφθηκαν τεχνικές μέτρησης, δημιουργήθηκαν σύγχρονα εργαλεία μέτρησης και σχεδιασμού,

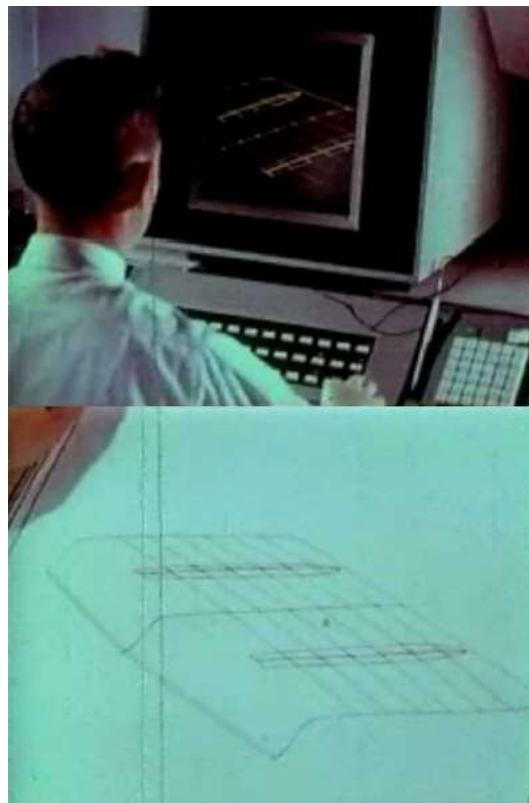
ορίστηκαν σχεδιαστικά πρότυπα και δημιουργήθηκαν κανονισμοί μηχανολογικού σχεδίου. Όμως η πραγματική επανάσταση έγινε με την δημιουργία ψηφιακών προγραμμάτων σχεδιασμού. Ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής κατασκευάστηκε μόλις 80 χρόνια πριν, το 1945, ο περίφημος ENIAC. Ήταν ένας πρωτόγονος υπολογιστής χωρίς φυσικά καμία δυνατότητα σχεδιασμού. Μα ήταν το πρώτο βήμα.

Έκτοτε η εξέλιξη ήταν ραγδαία, και με μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες να αντιλαμβάνονται τα πλεονεκτήματα του ήταν θέμα χρόνου να αναπτυχθούν προγράμματα σχεδίασης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στην αρχή της δεκαετίας του 1950 ο καθηγητής του MIT εισήγαγε τον όρο CAD (Computer Aided Design) καθώς σε συνεργασία με την αεροπορία των ΗΠΑ εργαζόταν σε ένα πρόγραμμα συνδυασμού των στρατιωτικών ραντάρ με την γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων σε υπολογιστή. Το 1957 ένας μηχανικός της General Motors, ο Dr. Patrick Hanratty παρουσίασε το PRONTO, ένα πρόγραμμα αριθμητικού υπολογισμού, την βάση των σχεδιαστικών προγραμμάτων. Εν συνεχεία, το 1963 παρουσίασε το DAC σε συνεργασία με την IBM, ένα πρωτόγονο πρόγραμμα σχεδιασμού με την χρήση γραφικών, με αλληλεπίδραση με τον χρήστη, το οποίο θεωρείται το πρώτο εμπορικό λογισμικό CAD. Το DAC είναι το πρόγραμμα το οποίο έχρισε στα μάτια των μηχανικών τον Hanratty ως τον «πατέρα» των σχεδιαστικών προγραμμάτων CAD.

Την ίδια χρονιά της παρουσίασης του προγράμματος DAC από τον Hanratty, το 1963, υπήρξε άλλη μια πολύ σημαντική εμφάνιση. Πρόκειται για το πρόγραμμα Sketchpad από τον Ivan Sutherland. Το Sketchpad ήταν το πρώτο πρόγραμμα που έδωσε στον χρήστη την δυνατότητα να σχεδιάζει σε μια επιφάνεια γραφικών. Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το πρόγραμμα γινόταν διαμέσου μιας οθόνης αλληλεπίδρασης με την χρήση μιας γραφίδας. Επιπλέον, το πρόγραμμα Sketchpad εισήγαγε στα προγράμματα CAD την έννοια των αντικειμένων καθώς για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε ο όρος «object». Μια ανανεωμένη έκδοση του DAC, ο DAC-1 που παρουσιάστηκε το 1965 αντιγράφει την λογική της ψηφίδας του Sketchpad για να εισάγει με αυτό τον τρόπο δεδομένα. Στην επόμενη εικόνα, στο επάνω τμήμα της, φαίνεται ο ίδιος ο Sutherland να σχεδιάζει χρησιμοποιώντας το Sketchpad. Στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνεται η οθόνη του Sketchpad και η αλληλεπίδραση με την γραφίδα έτσι ώστε να σχεδιαστεί, πρωτοποριακά τότε, στον υπολογιστή, ένα σχετικά απλό γεωμετρικό σχήμα. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται η σχεδίαση στον DAC-1 στο πάνω μέρος φαίνεται ο υπολογιστής και η επιφάνεια εργασίας του και στο κάτω μέρος το παραγόμενο σχέδιο.



Εικόνα 2.2: Χρήση του Sketchpad από τον Sutherland το 1963 ^[6]



Εικόνα 2.3: Σχεδίαση στο πρόγραμμα DAC-1 ^[6]

Την εμφάνιση των προγραμμάτων DAC και Sketchpad ακολούθησε η παρουσίαση σειράς σχεδιαστικών προγραμμάτων από τις μεγάλες εταιρίες των ΗΠΑ. Το 1965 η Lockheed σε συνεργασία με την IBM παρουσιάζει το πρόγραμμα CADAM το πρώτο πρόγραμμα CAD σχεδιασμένο για αεροδιαστημικές εφαρμογές. Το 1966 η McDonell Douglas (η οποία εν συνεχεία έχει συγχωνευθεί με την Boeing) παρουσιάζει το δικό της αντίστοιχο πρόγραμμα το CADD. Ένα χρόνο αργότερα, το 1967, η FORD παρουσιάζει το PDGS ένα πρόγραμμα CAD που χρησιμοποιεί για την παραγωγή εξαρτημάτων των αυτοκινήτων που παράγει. Την ίδια χρονιά η Digigraphics παρουσιάζει το πρώτο εμπορικό πρόγραμμα CAD. Πρόκειται για το σύστημα Itek το οποίο και κόστιζε 500,000 δολάρια, ένα ιλιγγιώδες ποσό για την εποχή. Το 1969 η Xerox αγοράζει το δικό της πρόγραμμα, κατασκευασμένο από την Computervision (ακολούθως απορροφήθηκε από την PTC) για τα μηχανήματα που παράγει.

Όλα τα παραπάνω συστήματα είναι δισδιάστατα συστήματα CAD μέχρι που το 1972 παράγεται το πρώτο πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης το Synthavision, ένα πρόγραμμα το οποίο παρήγαγε τρισδιάστατα μοντέλα με την χρήση δέσμης ακτινών. Παραγωγός του προγράμματος αυτού είναι η MAGI. Η εξέλιξη στην τεχνολογία των υπολογιστών που ακολουθεί την επόμενη πενταετία βοηθάει πολύ την εξέλιξη των σχεδιαστικών προγραμμάτων. Το 1973 η United Computing παρουσιάζει την Unigraphics ένα λογισμικό δισδιάστατου σχεδιασμού γρήγορο και εύκολο στην χρήση. Ακολούθως το 1975 ο Dr. Ken Versbille, εργαζόμενος της Computervision, εισάγει το σύστημα ορισμού επιφανειών NURBS στα συστήματα σχεδιασμού. Δύο χρόνια μετά, το 1977 παρουσιάζεται η GLIDE, η πρώτη γραφική γλώσσα προγραμματισμού που επέτρεπε την αλληλεπίδραση χρήστη και προγράμματος.

Η πρώτη ιστορική προσπάθεια στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο γίνεται από την γαλλική εταιρία αεροδιαστημικής την DASSAULT. Η ανάπτυξη του προγράμματος CATIA γίνεται μεταξύ των ετών 1977 και 1981 και για πρώτη φορά παράγεται ένα πρόγραμμα το οποίο επιτρέπει την εύκολη σχεδίαση τρισδιάστατων μοντέλων από μηχανικούς. Το πρόγραμμα CATIA ακόμη υπάρχει και από το 1996 έχει εξελιχθεί σε ένα σύγχρονο πρόγραμμα CIM ενώ η DASSAULT έχει αναπτύξει και ένα ελαφρύτερο πρόγραμμα CAD ευρείας χρήσης, το SolidWorks, που κυκλοφόρησε το 1995 και είναι ένα από τα δημοφιλέστερα σήμερα προγράμματα CAD στον κύκλο των μηχανικών.

Άλλη μια ημερομηνία σταθμός στην ιστορία των προγραμμάτων CAD είναι το έτος 1982 όπου ο John Walker ίδρυσε την Autodesk λανσάροντας ταυτόχρονα το AutoCAD, το πλέον διαδεδομένο πρόγραμμα σχεδίασης με την χρήση υπολογιστή στον κόσμο. Στην αρχική του μορφή το AutoCAD παρήγαγε δισδιάστατα μοντέλα, σε μια έκδοση που ακόμη κυκλοφορεί, εξυγχιονισμένη βέβαια, και κατέχει μεγάλο μερίδιο αγοράς στα προγράμματα CAD. Η Autodesk τρία χρόνια μετά, το 1985, λανσάρει το AutoCAD 3D, που δεν βρήκε μεγάλη απήχηση, όχι όση η δισδιάστατη έκδοση του AutoCAD, για αυτό και το 1999 παρουσιάζει το Inventor ένα πρόγραμμα παραμετρικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης που για περίπου 20 χρόνια αποτελεί το κύριο πρόγραμμα σχεδίασης της Autodesk και ανταγωνίζεται ευθέως το SolidWorks. Το 2013 η Autodesk παρουσιάζει το Autodesk360, το οποίο εν συνεχεία μετονομάζει σε Fusion360, ένα πρόγραμμα παραμετρικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης χαμηλού κόστους που αρχικά κερδίζει τους ερασιτέχνες χρήστες και εν συνεχεία σταδιακά και τους επαγγελματίες. Σιγά σιγά εκθρονίζει το Inventor και αποτελεί την ναυαρχίδα της Autodesk και ανταγωνίζεται σε μερίδια αγοράς το SolidWorks, άλλωστε αυτά είναι τα δύο πιο δημοφιλή προγράμματα τρισδιάστατης μοντελοποίησης σήμερα.

Το τρίτο σημαντικό πρόγραμμα είναι το Pro/ENGINEER της PTC το οποίο παρουσιάστηκε χρονικά αρκετά νωρίτερα από τα Inventor, Fusion360 και Solidworks, το 1987. Ήταν πρωτοπόρο πρόγραμμα για την εποχή του καθώς ήταν το πρώτο ευρείας κυκλοφορίας πρόγραμμα CAD που ενσωμάτωνε και εξέλιξε σειρά ιδεών του Sketchpad όπως για παράδειγμα η άμεση αλληλεπίδραση χρήστη και προγράμματος, η ευκολία χρήσης και η ταχύτητα. Το Pro/ENGINEER θεωρήθηκε ένα καινοτόμο πρόγραμμα, βασιζόταν στην παραμετροποιημένη μοντελοποίηση και χαρακτηριζόταν από την φιλικότητα του προς τον χρήστη για αυτό και είχε ευρεία, για τα δεδομένα της

εποχής, απήχηση. Ήταν ένα πρόγραμμα που απαιτούσε μεγάλη υπολογιστική ισχύ για αυτό και δεν μπορούσε να τρέξει στους πρώτους προσωπικούς υπολογιστές που εμφανίστηκαν εκείνη την εποχή, αντιθέτως χρησιμοποιούνταν μόνο σε μονάδες UNIX. Η παρουσίαση του Pro/ENGINEER ήταν ένα σημείο καμπής στην ιστορία των προγραμμάτων CAD, ειδικά αυτών του τρισδιάστατου σχεδιασμού και ήταν η αιτία που οδήγησε τις Dassault και Autodesk στην δημιουργία των δικών τους Solidworks, Inventor και Fusion360. Το Pro/ENGINEER εξακολουθεί να κυκλοφορεί, εξελιγμένο φυσικά έως και σήμερα, υπό την ονομασία Creo, και την παραγωγή του εξακολουθεί να την κάνει η PTC. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η demo χρήση του Pro/ENGINEER το 1987 πριν την επίσημη κυκλοφορία του. Η εικόνα απέχει παρασάγγας από την σημερινή μορφή τόσο των προγραμμάτων CAD όσο και των υπολογιστών.



Εικόνα 2.4: Πρώτη έκδοση Pro/ENGINEER το 1987 ^[2]

Παράλληλα με την εξέλιξη των συστημάτων CAD αναπτύχθηκε η ανάγκη ύπαρξης πρωτοκόλλων σύμφωνα με τα οποία αρχεία που παράγονται από διαφορετικά προγράμματα μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η πρώτη προσπάθεια έγινε το 1980 όταν το Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ παρουσιάζει το πρότυπο IGES, μια ουδέτερη μορφή αρχείου παραγόμενου από πρόγραμμα CAD το οποίο επέτρεπε την χρήση αρχείων σε διαφορετικά προγράμματα. Το 1994 ο Διεθνής Οργανισμός Προτύπων παρουσιάζει το πρότυπο STEP, μια διεθνή μορφή ουδέτερου αρχείου που χρησιμοποιείται για την μεταφορά τρισδιάστατων μοντέλων από διαφορετικά προγράμματα. Και οι δύο μορφές αρχείων χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα και είναι δεκτές από το σύνολο των σχεδιαστικών προγραμμάτων CAD, μόνο που τα αρχεία IGES έχουν σταματήσει να αναβαθμίζονται από το 1994 και την εισαγωγή των αρχείων STEP.

Έκτοτε η εξέλιξη των συστημάτων σχεδιασμού CAD είναι ραγδαία και ακολουθεί την αλματώδη ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων μεγάλης ισχύος και σχετικά χαμηλού κόστους που επέτρεψε την εξάπλωση των υπολογιστών σε όλα τα στίπια και τις μονάδες παραγωγής. Αυτό επέτρεψε στις μονάδες σχεδιασμού και παραγωγής να μπορούν να προμηθεύονται εύκολα και με λογικό κόστος προγράμματα CAD ώστε να εκσυγχρονίσουν τα τμήματα σχεδιασμού τους και συνακολούθως να οδηγηθούν σε νέες σύγχρονες τεχνικές αυτοματοποιημένης παραγωγής. ^{[2], [3], [5], [6], [11], [13], [14], [23]}

1.3 Μοντελοποίηση με την χρήση CAD

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση είναι η κύρια χρήση των συστημάτων CAD την δεδομένη στιγμή. Η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου επιτρέπει την οπτικοποίηση των σχεδίων, την δημιουργία εικόνας και κατά συνέπεια την ευκολότερη εύρεση λαθών ή σημείων για τα οποία είναι επιθυμητή μια αλλαγή. Πριν την ύπαρξη των συστημάτων CAD, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η οπτικοποίηση των σκέψεων του σχεδιαστή λάμβανε χώρα με την ύπαρξη διαφόρων προοπτικών σχεδίων. Τώρα αυτό δεν είναι απαραίτητο αφού μπορεί να κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο και να μελετηθεί από κάθε πιθανή γωνία.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που κατασκευάζονται στο σύστημα CAD έχουν διάφορες χρήσεις και κατά συνέπεια διαφορετικές απαιτήσεις ακρίβειας, λεπτομερειών, ανοχών κλπ. Επιπλέον κατά την πορεία του σχεδιασμού είναι δυνατό να απαιτηθούν διορθώσεις ή τροποποιήσεις. Ένα λοιπόν τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργείται αρχικά με βάσει τις απαιτήσεις του πελάτη (λειτουργικές ή διάφορες άλλες). Εν συνεχεία τροποποιείται από διάφορους περιορισμούς που εισάγονται όπως είναι για παράδειγμα οι περιορισμοί της γραμμής παραγωγής ή της διαθεσιμότητας πρώτων υλών ή του κόστους πρώτων υλών κλπ. Ακολουθώντας το μοντέλο τροποποιείται ώστε να λαμβάνει υπόψη του τις φορτίσεις που δέχεται. Τέλος το μοντέλο πρέπει να λαμβάνει υπόψη του και στοιχεία της μηχανικής αξιολόγησης του όπως για παράδειγμα η αεροδυναμική μελέτη, η μελέτη μετάδοσης θερμότητας κλπ. Λαμβάνοντας τους περιορισμούς και τα συμπεράσματα από όλα τα παραπάνω δεδομένα σχεδιάζεται το τρισδιάστατο μοντέλο.

Η δημιουργία των μοντέλων γίνεται κατά βάση είτε με την σχεδιογράφηση με την βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Drafting) είτε με την γεωμετρική μοντελοποίηση (Geometric Modelling). Η σχεδιογράφηση με την βοήθεια υπολογιστή δεν διαφέρει σε τίποτα από ένα πραγματικό δισδιάστατο σχέδιο αντικειμένου το οποίο όμως είναι σε ψηφιακή μορφή επιτρέποντας ευκολότερα τις αλλαγές. Το κλασικότερο πρόγραμμα CAD σχεδιογράφησης είναι το AutoCAD. Αντίθετα, η γεωμετρική μοντελοποίηση είναι η λειτουργία κατά την οποία παράγονται τα τρισδιάστατα μοντέλα από τα συστήματα CAD, την σημαντικότητα και την χρήση των οποίων αναφέρει εκτενώς η ενότητα 1.5. Σε σχέση με την σχεδιογράφηση με την βοήθεια υπολογιστή έχουν αναπτυχθεί πολύ περισσότερα προγράμματα γεωμετρικής μοντελοποίησης με γνωστότερα το AutoCAD-3D, το Inventor, το Solidworks και το PROEngineer. Με την πάροδο των ετών η γεωμετρική μοντελοποίηση κερδίζει έδαφος σε σχέση με την σχεδιογράφηση μέσω υπολογιστή καθώς το τρισδιάστατο μοντέλο έχει μια σειρά πλεονεκτημάτων που καταγράφονται στις παραπάνω παραγράφους. [11], [23], [23], [25]

1.4 Αρχιτεκτονική συστημάτων CAD

Τα συστήματα CAD όπως έχουν περιγραφεί παραπάνω και όπως ορίζει και η ονομασία τους είναι συστήματα σχεδιασμού με την βοήθεια υπολογιστή. Για αυτό και τα συστήματα αυτά λοιπόν αποτελούνται από μια μονάδα υπολογιστή στην οποία λαμβάνουν χώρα. Επιπλέον του υπολογιστή πρέπει να υπάρχουν και όλα τα απαιτούμενα στοιχεία αλληλεπίδρασης με τον χρήστη ώστε να μπορεί να τον χρησιμοποιήσει με ευκολία για σχεδιασμό (πληκτρολόγιο, ποντίκι, γραφίδες κλπ). Ένα σύστημα CAD χρησιμοποιεί τους πόρους του υπολογιστή με την χρήση ενός λογισμικού σχεδίασης. Το λογισμικό αυτό περιέχει σειρές εντολών ώστε να διευκολύνει την χρήση του από τον σχεδιαστή. Το σύστημα CAD χρησιμοποιεί και παράγει δεδομένα. Λαμβάνει δεδομένα που υπάρχουν στο λογισμικό σχεδίασης και παράγει νέα δεδομένα που αφορούν την τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Και τέλος, ένα σύστημα CAD έχει τον χρήστη (ένα ή περισσότερους) τον άνθρωπο δηλαδή που έχει γνώσεις τρισδιάστατης μοντελοποίησης και εν γένει σχεδιασμού, εισάγει τα απαιτούμενα δεδομένα στο λογισμικό, εκτελεί τις απαιτούμενες κατά περίπτωση εντολές του λογισμικού και εν τέλει παράγει νέα δεδομένα, τα τρισδιάστατα σχεδιασμένα προϊόντα που αποθηκεύει σε αρχεία.

Το κεντρικό σημείο των συστημάτων CAD είναι το λογισμικό τους, το πρόγραμμα δηλαδή που χρησιμοποιεί ο χρήστης ώστε να παράγει τα τρισδιάστατα μοντέλα. Τούτέστιν, τα λογισμικά CAD είναι, ισχυρά κατά βάση προγράμματα υπολογιστών. Τα σύγχρονα λογισμικά CAD έχουν μια διεπιφάνεια αλληλεπίδρασης με τον χρήστη, στην οποία υπάρχουν συσσωρευμένες εντολές τις οποίες κατά περίπτωση επιλέγει. Επιπλέον περιέχουν μεγάλες βάσεις δεδομένων από τις οποίες ο χρήστης μπορεί εύκολα να καλέσει δεδομένα διαφόρων τύπων (από χρώματα και υλικά μέχρι έτοιμα τρισδιάστατα μοντέλα διαφορών εξαρτημάτων όπως λόγου χάριν οι προτυποποιημένοι κοχλίες). Στην αγορά υπάρχει πλέον μεγάλη ποικιλία προγραμμάτων CAD και ο κάθε χρήστης μπορεί να επιλέξει αυτό που ανταποκρίνεται στις γνώσεις του αλλά και στις απαιτήσεις της μονάδας του.

Το βασικό στοιχείο των προγραμμάτων CAD, που δημιουργεί και τις μεταξύ τους διαφορές, είναι οι λειτουργίες που έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν και που εμπεριέχουν. Οι λειτουργίες των προγραμμάτων μπορούν να ενταχθούν σε εφτά κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις λειτουργίες που απαιτούνται για τον σχεδιασμό του μοντέλου. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται λόγου χάριν όλες οι εντολές δημιουργίας γεωμετρικών σχημάτων, οι εντολές σύνδεσης μεταξύ διαφόρων υποτεμαχίων ενός συγκροτήματος, οι εντολές κίνησης μεταξύ των υποτεμαχίων κλπ. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες που χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό του μοντέλου κατά την διάρκεια κατασκευής και μετά το πέρας αυτής. Τέτοιες λειτουργίες είναι μεταξύ άλλων η περιστροφή, η μετακίνηση, η επεξεργασία και η αντιγραφή. Στην τρίτη κατηγορία εντάσσονται οι λειτουργίες που σχετίζονται με την παραγωγή εικόνων είτε στην οθόνη του υπολογιστή είτε με την παραγωγή ενός αρχείου είτε με την εκτύπωση. Ακολουθώντας, ως τέταρτη κατηγορία ορίζονται οι λειτουργίες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση του χρήστη με το πρόγραμμα, όπως για παράδειγμα οι μπάρες εργαλείων, οι γραμμές εντολών κλπ. Η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες που σχετίζονται με την βάση δεδομένων του προγράμματος όπως για παράδειγμα εντολές εισαγωγής αποθηκευμένων μορφών, χρωμάτων, προσχεδιασμένων τεμαχίων κλπ. Η έκτη κατηγορία λειτουργιών περιλαμβάνει όλες τις επιμέρους εφαρμογές που εμπεριέχονται στο πρόγραμμα και οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται για την σχεδίαση του τρισδιάστατου μοντέλου αλλά για την αξιολόγησή του ή και την κατασκευή του. Τέτοιες εφαρμογές είναι για παράδειγμα οι προσομοιώσεις μελέτης φορτίσεων και τάσεων ή εφαρμογές παραγωγής κώδικα CNC για την κατασκευή του μοντέλου. Τέλος, η έβδομη κατηγορία λειτουργιών περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη λειτουργίας του προγράμματος όπως για παράδειγμα είναι η λειτουργία αυτόματων ενημερώσεων, εφαρμογές ενσωματωμένων σεμιναρίων και επιδείξεων (tutorials) και η ενσωματωμένη βοήθεια. Επιπρόσθετα σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται εντολές που τροποποιούν την λειτουργία του λογισμικού χωρίς να επηρεάζουν την κατασκευή του μοντέλου όπως είναι για παράδειγμα, μεταξύ άλλων, εντολές επιλογής φόντου σχεδίασης, εμφάνισης και ταχύτητας κίνησης του κέρσορα σχεδίασης, εμφάνισης εντολών σε γραμμές εργαλείων.

Συνήθως ένα σύγχρονο πρόγραμμα έχει λειτουργίες και των εφτά κατηγοριών ώστε να μπορεί να υποστηρίξει την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη σχεδίαση. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των σύγχρονων προγραμμάτων κυρίως βρίσκεται στις λειτουργίες πρώτης κατηγορίας, τροποποιούνται δηλαδή σημαντικά οι εντολές με τις οποίες ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει το μοντέλο. Οι λειτουργίες αυτής της κατηγορίας συνήθως καθορίζουν και την επιτυχία του προγράμματος (φιλικότερο προς τον χρήστη, προτίμηση από μεγάλη μερίδα χρηστών λόγω ευκολίας σχεδιασμού κλπ.) καθώς και τους τομείς στους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα ένα πρόγραμμα που περιέχει την εντολή κατασκευής κοιλότητας (cavity) υπερτερεί άλλων προγραμμάτων για χρήση σε βιομηχανίες σχεδιασμού καλουπιών χύτευσης. Αυτό δείχνει πως η μορφή των προγραμμάτων CAD και κυρίως μερικές εξειδικευμένες λειτουργίες, μπορεί να είναι σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή τους σε συγκεκριμένες εφαρμογές. ^{[11], [23], [24]}

1.5 Χρήση CAD σε μια σύγχρονη ψηφιακή μονάδας παραγωγής

Τα προγράμματα CAD χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων και των κατασκευαστικών τους σχεδίων. Τα ψηφιακά αρχεία που παράγουν τα προγράμματα CAD μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές εισαγωγής σε άλλα προγράμματα επεξεργασίας όπως τα προγράμματα CAM και CAE. Τούτων δεδομένων, τα προγράμματα CAD μπορούν να αποτελέσουν τον πυλώνα μιας σύγχρονης ψηφιακής μονάδας παραγωγής.

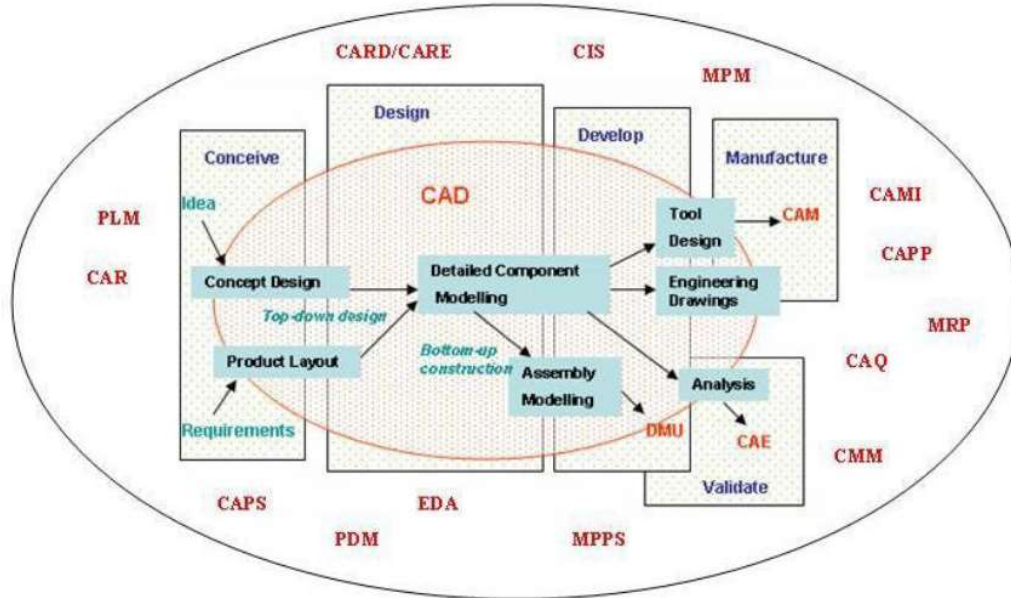
Ειδικότερα ο σημαντικότερος σκοπός της ύπαρξης του προγράμματος CAD σε μια μονάδα παραγωγής είναι η δημιουργία της γεωμετρίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου, είτε ενός αντικειμένου είτε ενός κτιρίου. Η τρισδιάστατη γεωμετρία αυτή που προκύπτει από το πρόγραμμα CAD είναι ουσιώδους σημασίας για την λειτουργία των υπόλοιπων σύγχρονων ψηφιακών συστημάτων των μονάδων παραγωγής καθώς αποτελεί το δεδομένο εισόδου.

Ειδικότερα, μια σύγχρονη μονάδα παραγωγής έχει μηχανές κατεργασίας ψηφιακά καθοδηγούμενες (CNC). Οι μηχανές αυτές μπορούν να εκτελέσουν προγράμματα κατεργασίας που εισάγονται σε αυτές είτε από τον χειριστή μέσω ενός πάνελ αλληλεπίδρασης είτε από ένα συνδεδεμένο με αυτές υπολογιστή. Στον υπολογιστή υπάρχει ένα ψηφιακό πρόγραμμα, το CAM (Computer Aided Manufacturing – Κατασκευή με την Βοήθεια Υπολογιστή), το οποίο παράγει τις εντολές κατεργασίας, τις μεταγλωττίζει σε κώδικα μηχανής και τις εισάγει στην μηχανή. Το πρόγραμμα CAM προσομοιώνει την κατεργασία δίνοντας βέλτιστες λύσεις και εξαλείφοντας τα λάθη. Για να λειτουργήσει όμως έχει ως δεδομένο το τρισδιάστατο μοντέλο που έχει ήδη παραχθεί από ένα πρόγραμμα σχεδίασης CAD. Τούτο σημαίνει πως η ύπαρξη του προγράμματος CAD οδηγεί στην βελτιστοποίηση της παραγωγής μέσω της χρήσης προγραμμάτων CAM περιορίζοντας τους χρόνους κατεργασίας και τα λάθη. Το πρόγραμμα CAD λοιπόν είναι το πρώτο βήμα σε μια πλήρως αυτοματοποιημένη γραμμή κατεργασίας.

Μια μονάδα παραγωγής συχνά καλείτε να παράγει καινούρια προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά πρέπει να μελετηθούν για την συμπεριφορά τους με βάση την κλασική μηχανική. Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται μέσω προγραμμάτων CAE (Computer Aided Engineering – Μηχανική με Βοήθεια Υπολογιστή). Τέτοια προγράμματα είναι τα προγράμματα προσομοίωσης φορτίσεων, τα προγράμματα προσομοίωσης ροών κλπ. Σε αυτά τα προγράμματα, πηγή εισόδου είναι το τρισδιάστατο μοντέλο που έχει σχεδιαστεί από το πρόγραμμα CAD. Το μοντέλο αυτό εν συνεχεία προσομοιώνεται υπό διάφορες συνθήκες και γίνεται η μηχανική του μελέτη. Αυτό επιτρέπει την διόρθωση προϊόντων πριν αυτά καν παραχθούν περιορίζοντας σοβαρές αστοχίες.

Δεδομένων όλων των παραπάνω καθίσταται σαφές πως οι σύγχρονες μονάδες παραγωγής βασίζονται στην χρήση των ψηφιακών συστημάτων CAD/CAM/CAE. Η χρήση και των τριών συστημάτων οδηγεί στην βελτιστοποίηση της παραγωγής και της απόδοσης της μονάδας περιορίζοντας ταυτόχρονα τα σφάλματα και το κόστος αυτών σε χρήμα και φήμη για την μονάδα. Η ανάγκη για συνδυασμό των τριών αυτών συστημάτων έχει οδηγήσει στην παραγωγή των συστημάτων CIM (Computer Integrated Manufacturing – Ολοκληρωμένη Παραγωγή με την Χρήση Υπολογιστή) Τα συστήματα CIM εμπεριέχουν τα τρία παραπάνω συστήματα χωρίς να απαιτούνται ξεχωριστά προγράμματα για κάθε ένα εξ αυτών. Προέκυψαν από τις δυσκολίες που υπήρχαν για την χρήση τριών διαφορετικών προγραμμάτων σε μια μονάδα. Επιπλέον τα προγράμματα CIM έχουν την δυνατότητα να συνδυάζουν δεδομένα και άλλων προγραμμάτων μιας παραγωγικής μονάδας που έχουν κάνουν περισσότερο με το λογιστήριο, όπως τα προγράμματα MRP. Παρόλα αυτά οι περισσότερες μονάδες εξακολουθούν να έχουν ξεχωριστά συστήματα CAD, CAM και CAE και όχι σύστημα CIM, αφενός λόγω του κόστους και αφετέρου λόγω της μη ύπαρξης πολλών εξειδικευμένων χρηστών CIM. Εν κατακλείδι, η δημιουργία λοιπόν μιας σύγχρονης ψηφιακά υποβοηθούμενης μονάδας μελέτης και παραγωγής έχει ως ακρογωνιαίο λίθο της, απαιτεί, την ύπαρξη τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων που έχουν σχεδιαστεί

με σύστημα CAD. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα πρόγραμμα CIM που συνδυάζει πληθώρα ψηφιακών προγραμμάτων. Παρατηρείται πως στο κέντρο, η καρδιά του προγράμματος είναι ένα πρόγραμμα CAD το οποίο έχει άμεση αλληλεπίδραση με τα προγράμματα CAM και CAE. Παρατηρείται επίσης η χρήση του προγράμματος CAD και στα 5 στάδια της σχεδίασης και παραγωγής ενός καινούριου προϊόντος, στην σύλληψη της ιδέας, στον σχεδιασμό, στην ανάπτυξη, στην μηχανική μελέτη και έγκριση παραγωγής και στην παραγωγή του προϊόντος. [7], [11], [12], [23], [24]



Εικόνα 2.5: Πρόγραμμα CAD στο επίκεντρο της δημιουργίας και παραγωγής ενός προϊόντος [12]

2 Κεφάλαιο 2^ο:Λογισμικά CAD

Η μοντελοποίηση με την χρήση υπολογιστή είναι μια διαδικασία η οποία για να λάβει χώρα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποια λογισμικά CAD, δηλαδή κάποια προγράμματα υπολογιστή που έχουν την δυνατότητα σχεδιασμού. Το δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται σε αυτά τα προγράμματα. Αρχικά περιγράφονται τα κυριότερα προγράμματα CAD, η επιλογή βασίζεται κυρίως σε αυτά που έχουν την μεγαλύτερη χρήση καθώς υπάρχει πληθώρα προγραμμάτων. Επιπλέον παρουσιάζονται στοιχεία της αγοράς των προγραμμάτων CAD δείχνοντας ποια είναι αυτά με την μεγαλύτερη προτίμηση. Εν συνεχεία παρουσιάζονται τα δύο προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία τουτέστιν το Pro/ENGINEER (Creo) και το CorelCAD.

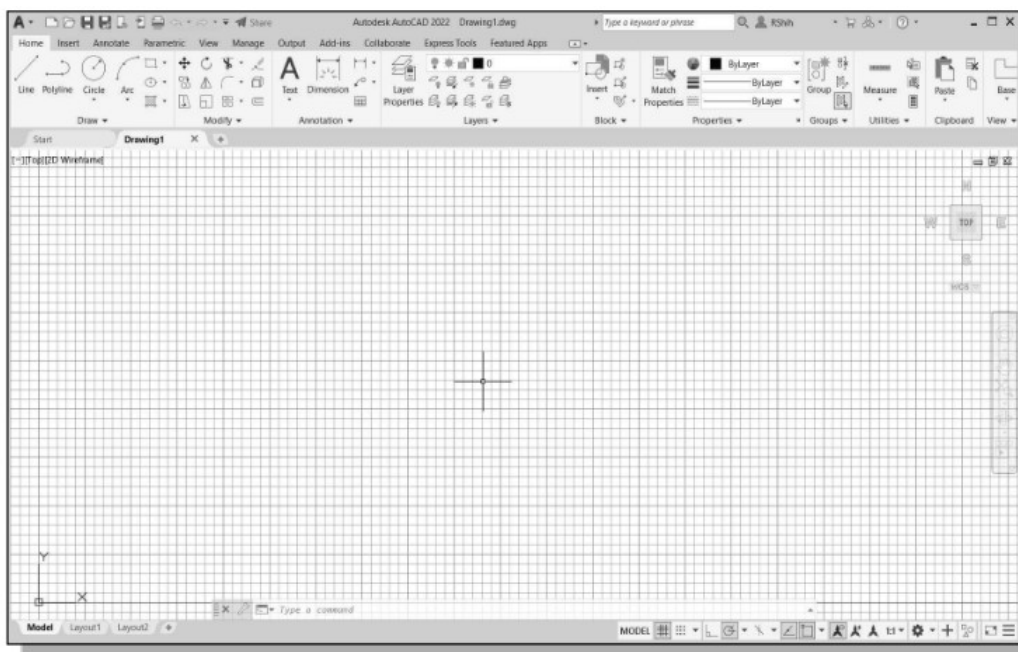
2.1 Κατάλογος προγραμμάτων CAD

Αυτή την στιγμή, στην αγορά κυκλοφορούν πάρα πολλά προγράμματα CAD. Αυτό έγινε γιατί ο χώρος του σχεδιασμού είναι πολύ μεγάλος, με πολλές ανάγκες και διάφορες τεχνικές σχεδιασμού. Οπότε αναπτύχθηκε σειρά προγραμμάτων ώστε να καλύπτουν όλο το εύρος του σχεδιασμού. Δημιουργήθηκαν προγράμματα για δισδιάστατο σχεδιασμό, για τρισδιάστατο σχεδιασμό με παραμετρική μοντελοποίηση στερεού, για τρισδιάστατο σχεδιασμό με μοντελοποίηση επιφάνειας με διάφορες τεχνικές κλπ.

Η παρουσίαση μεγάλου μέρους των σχεδιαστικών προγραμμάτων μπορεί να αποτελέσει από μόνη της θέμα εργασίας και ξεφεύγει των στόχων της παρούσας εργασίας. Αντιθέτως, στόχος της εργασίας είναι να εισάγει τον αναγνώστη στα σημαντικότερα προγράμματα CAD, παρουσιάζοντας προγράμματα και των τριών κατηγοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι παρουσιάζονται το AutoCAD που είναι το πιο γνωστό πρόγραμμα δισδιάστατης σχεδίασης στην αγορά, το SolidWorks, το Fusion360 και το Inventor που είναι εκ των σημαντικότερων προγραμμάτων τρισδιάστατης παραμετρικής μοντελοποίησης στερεού και το Rhino3D που είναι το κυριότερο πρόγραμμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιφάνειας. Η παρουσίαση των προγραμμάτων αυτών, σε συνδυασμό με την αναλυτικότερη παρουσίαση των Pro/ENGINEER (Creo) και CorelCAD που γίνεται στις επόμενες ενότητες, δίνει μια σημαντική παρουσίαση των βασικών δυνατοτήτων των προγραμμάτων CAD. ^[21]

2.1.1 AutoCAD

Το AutoCAD είναι ένα πρόγραμμα CAD δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης που έγινε ευρύτερα γνωστό κυρίως λόγω του σκέλους της δισδιάστατης σχεδίασης του. Μπορεί πλέον να μην χρησιμοποιείται ευρέως καθώς το υποσκελίσαν τα προϊόντα τρισδιάστατου σχεδιασμού όμως ακόμη και τώρα υπάρχει εγκατεστημένο σχεδόν σε κάθε παραγωγική μονάδα, ακόμη και αν χρησιμοποιούνται άλλα προγράμματα σχεδιασμού. Η τελευταία έκδοση που έχει κυκλοφορήσει είναι το AutoCAD2022. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του AutoCAD2022 που πλέον προσομοιάζει περισσότερο τις επιφάνειες εργασίας άλλων λογισμικών σχεδίασης και όχι την κλασική μαύρη επιφάνεια του AutoCAD.



Εικόνα 2.1: Επιφάνεια εργασίας AutoCAD 2022 [18]

Η σχεδίαση στο AutoCAD γίνεται με την χρήση διανυσματικών εικόνων. Ο χρήστης του προγράμματος έχει την ευκαιρία να σχεδιάσει με προτυποποιημένα σχέδια των οποίων καθορίζει τις διαστάσεις ακριβώς με τον τρόπο που καθορίζει μεγέθη διανυσμάτων. Επιπρόσθετα, το AutoCAD δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να εργαστεί σε διάφορα επίπεδα (layers). Κατ' αυτό τον τρόπο μπορεί να δημιουργήσει ποικιλία σχεδίων, με την ίδια βάση, αλλά διαφορετικά χαρακτηριστικά και κατά περίπτωση να εμφανίζει όποια από αυτά επιθυμεί. Είναι ένα πρόγραμμα με μεγάλη ποικιλία στοιχείων απαραίτητων για την δημιουργία σχεδίων όπως γραμμές (είδη και πάχη), διαγραμμίσεις, χρώματα, μοτίβα κλπ.

Στην αρχική του μορφή, και για πολλά χρόνια, η λειτουργία του AutoCAD βασιζόταν στην εισαγωγή εντολών από τον χρήστη σε μια γραμμή εντολών. Αυτή η λειτουργία έγινε συνώνυμη του προϊόντος για αυτό και την έχει κρατήσει μέχρι και σήμερα. Όμως ταυτόχρονα εκσυγχρονίστηκε, και πέρα από τις εντολές έχει εισάγει σειρά εικονιδίων διαμέσου των οποίων οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν τις αντίστοιχες εντολές. Με αυτό τον τρόπο γίνεται οικείο σε νέους χρήστες αλλά ταυτόχρονα διατηρεί και τους παλιούς χρήστες που έχουν μάθει να δουλεύουν με τις εντολές.

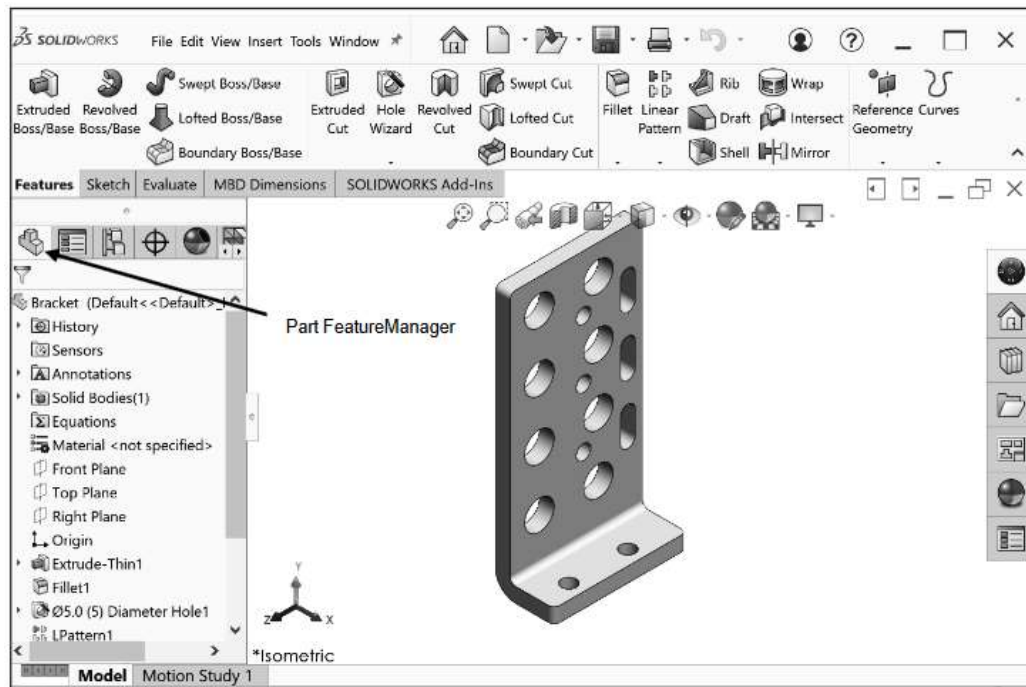
Η ύπαρξη της γραμμής εντολών όμως επιτρέπει στον χρήστη να σχεδιάσει με μεγάλη ακρίβεια καθώς μπορεί διαμέσου της γραμμής αυτής να ορίσει τις συντεταγμένες των σημείων που χρειάζεται με πλήθος αρκετών δεκαδικών, γεγονός που είναι αδύνατον να γίνει με επιλογή σημείου με το ποντίκι. Επιπλέον, πέραν των καρτεσιανών συντεταγμένων ενός σημείου μπορεί να χρησιμοποιήσει και πολικές συντεταγμένες ορίζοντας σημεία σε απόσταση και γωνία από τους άξονες συντεταγμένων. Το χαρακτηριστικό αυτό του AutoCAD το αντέγραψαν σχεδόν όλα τα παραμετρικά προγράμματα τρισδιάστατης σχεδίασης, το χρησιμοποιούν για τον ορισμό σημείων στις παραμέτρους των χαρακτηριστικών. Γενικά ο δισδιάστατος τρόπος σχεδίασης στο AutoCAD σε μεγάλο μέρος του αντιγράφηκε από τα λογισμικά τρισδιάστατης σχεδίασης και χρησιμοποιείται κυρίως στα σχεδιαγράμματα των χαρακτηριστικών (όπου επί της ουσίας είναι δισδιάστατη σχεδίαση).

Το AutoCAD ήταν για χρόνια το κύριο λογισμικό σχεδίασης. Για αυτό τον λόγο πολλές μηχανές χρησιμοποιούν ακόμη το πρόγραμμα αυτό και πολλά ψηφιακά αρχεία σχεδίων είναι αρχεία AutoCAD. Προς τούτο, το σύνολο των σχεδιαστικών

προγραμμάτων που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως, έχουν διασυνδεσιμότητα με αρχεία AutoCAD. Αυτό αναμένεται να εξασφαλίσει την επιβίωσή του για πολλά ακόμη χρόνια σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. [11], [15], [18], [26]

2.1.2 SolidWorks

Το SolidWorks προέκυψε από την εταιρία Dassault ως μια απλούστερη και φθηνότερη έκδοση του συστήματος CATIA με στόχο να μπορέσει να ανταγωνιστεί το Pro/ENGINEER. Ήταν το πρώτο πρόγραμμα που έτρεξε σε περιβάλλον windows. Ανήκει στα προγράμματα παραμετρικής σχεδίασης τρισδιάστατων στερεών μοντέλων. Για χρόνια ήταν ο ηγέτης της αγοράς των προγραμμάτων CAD μέχρι την εμφάνιση του Fusion360. Η απλότητα του σε σχέση με τους ανταγωνιστές του και κυρίως η αξιοπιστία του ήταν ο λόγος που του έδωσαν την πρώτη θέση στις προτιμήσεις των σχεδιαστών. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του SolidWorks 2022.



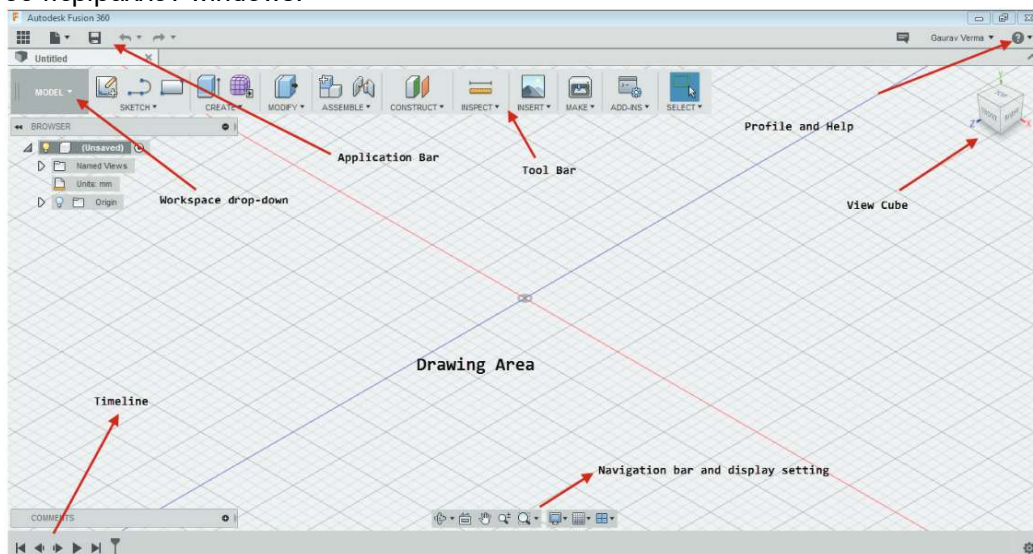
Εικόνα 2.2: Επιφάνεια εργασίας SolidWorks [10]

Πλέον το SolidWorks είναι μια σύγχρονη σχεδιαστική πλατφόρμα και όχι απλά ένα πρόγραμμα CAD. Συνδυάζει εφαρμογές CAE και CAM με στόχο την ολοκληρωμένη σχεδιομελέτη και παραγωγή τεμαχίων. Είναι ένα εύκολο προς χρήση πρόγραμμα με αποτέλεσμα σχεδιαστές έμπειροι σε άλλα προγράμματα εύκολα να μαθαίνουν την χρήση του και εν τέλει να το χρησιμοποιούν αυτό. Με αυτό τον τρόπο κατάφερε να «κλέψει» αρκετούς χρήστες από τους ανταγωνιστές του.

Η στερεά μοντελοποίηση που γίνεται στο SolidWorks βασίζεται στην συνεχή προσθήκη χαρακτηριστικών των οποίων τις παραμέτρους έχει την δυνατότητα να τροποποιεί όποτε επιθυμεί ο σχεδιαστής. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα που αφορά το Pro/ENGINEER και έχει ακριβώς την ίδια λογική και στο SolidWorks. Το μόνο που τροποποιείται είναι μερικές ονομασίες των εντολών. Αντίστοιχα, το SolidWorks έχει την δυνατότητα να παράγει και συναρμολογήματα τρισδιάστατων στερεών μοντέλων όπως και σχέδια τόσο των στερεών μοντέλων όσο και των συναρμολογημάτων με διαδικασίες παρόμοιες με αυτές που περιγράφονται για το Pro/ENGINEER και των οποίων η επανάληψη της καταγραφής τους ξεφεύγει των στόχων της παρούσας εργασίας. [10]

2.1.3 Fusion360

Το Fusion360 είναι ένα άλλο πρόγραμμα CAD τρισδιάστατης μοντελοποίησης που σχεδιάστηκε από την Autodesk και έρχεται σιγά σιγά να αντικαταστήσει το παλαιότερο Inventor αφού σιγά σιγά κερδίζει όλο και περισσότερους χρήστες, όπως φαίνεται και σε ενότητα που ακολουθεί. Είναι ένα ελαφρύτερο πρόγραμμα από το Inventor που έχει τις δυνατότητες παραμετρικής σχεδίασης τρισδιάστατων μοντέλων σε συνδυασμό με δυνατότητες CAM και CAE. Επιπρόσθετα έχει τις δυνατότητες σχεδίασης και τύπωσης ηλεκτρονικών πλακετών PCB. Πέραν τούτων είναι ένα πρόγραμμα που έχει σχεδιαστεί στην λογική νέφους (cloud based) που του επιτρέπει να χρησιμοποιείται πολύ εύκολα ως μέρος μιας ομάδας. Αυτό συνεπάγεται πως εύκολα πολλοί σχεδιαστές μπορούν να δουλεύουν το ίδιο project χωρίς σοβαρά προβλήματα διαλειτουργικότητας καθιστώντας το ιδανικό σε εταιρείες με μεγάλες ομάδες σχεδίασης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του Fusion360 σε περιβάλλον windows.



Εικόνα 2.3: Επιφάνεια εργασίας Fusion360 [20]

Σαν πρόγραμμα δεν έχει τις ίδιες δυνατότητες σχεδίασης χαρακτηριστικών για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων που έχουν βαρύτερα προγράμματα όπως το SolidWorks, το Inventor και το Creo. Στην βάση δεδομένων του υπάρχουν λιγότερες επιλογές χαρακτηριστικών και με λιγότερες παραμέτρους σχεδίασης. Έτσι ενδείκνυται για την γρήγορη σχεδίαση αντικειμένων απλής σχετικά μορφής ή για την γρήγορη επεξεργασία τρισδιάστατων μοντέλων που έχουν σχεδιαστεί από τα προαναφερθέντα λογισμικά. Επιπλέον, η απλότητα του επιτρέπει στους χρήστες να το μάθουν πιο εύκολα και να χρησιμοποιούν το σύνολο των δυνατοτήτων του σε μικρό χρονικό διάστημα από την έναρξη της ενασχόλησής τους με αυτό. Για αυτό το λόγο θεωρείται και το πιο δημοφιλές πρόγραμμα σε ανθρώπους που χρησιμοποιούν πρόγραμμα CAD για ψυχαγωγία, ως χόμπι.

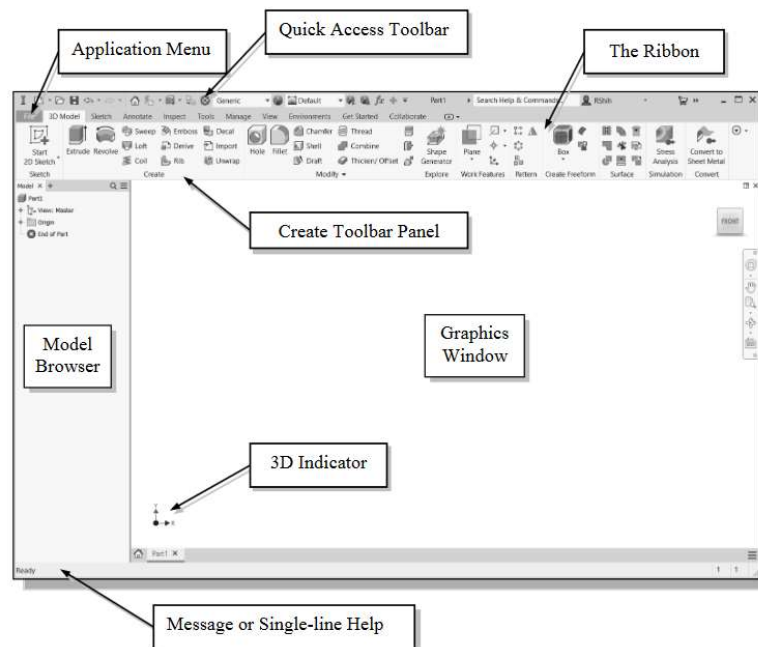
Πέραν τούτων το Fusion360 έχει άλλα δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Πρώτον, είναι ένα πρόγραμμα που συνδυάζεται πολύ εύκολα με τρισδιάστατους εκτυπωτές με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγάλη προτίμηση σε άτομα που χρησιμοποιούν την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων ώστε εν συνεχεία να τα παράξουν σε ένα τρισδιάστατο εκτυπωτή. Δεύτερον, έχει πολύ χαμηλότερο κόστος από τα άλλα προγράμματα παραμετρικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης καθιστώντας το προσιτό σε άτομα που δεν το χρησιμοποιούν για να αποκομίσουν κέρδος όπως τους χρήστες ψυχαγωγίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επιπλέον, δεδομένου του ότι έχει παρουσιαστεί μόλις το 2013, βρίσκεται στην πρώτη δεκαετία της ζωής του και για λόγους προώθησης η Autodesk έχει δώσει πολλές δωρεάν άδειες επιτρέποντας την

πρόσβαση σε πολλούς χρήστες δωρεάν. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα μηνιαίας συνδρομής κάτι που φέρνει στο πρόγραμμα πολλούς περιστασιακούς χρήστες που ενεργούν την συνδρομή όποτε την έχουν ανάγκη. Για αυτούς τους λόγους έχει καταφέρει το Fusion360 να έχει το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς στα προγράμματα CAD για το έτος 2020, δηλαδή μόλις επτά χρόνια από την παρουσίασή του, γεγονός εκπληκτικό. [8], [20]

2.1.4 Inventor

Το Inventor είναι το κλασικό πρόγραμμα παραμετρικού τρισδιάστατου σχεδιασμού της Autodesk που προέκυψε ως ανάγκη να ανταποκριθεί στον ανταγωνισμό μετά την παρουσίαση των Pro/ENGINEER και SolidWorks από τους κύριους ανταγωνιστές της, την PTC και την Dassault. Είναι ένα κλασικό πρόγραμμα τρισδιάστατης παραμετρικής μοντελοποίησης με παρόμοια χαρακτηριστικά με το Creo (Pro/ENGINEER) και το SolidWorks και αρκετά πρόσθετα εργαλεία που το καθιστούν ταυτόχρονα πρόγραμμα CAM και CAE.

Η παραγωγή στερεών στο Inventor γίνεται με την τεχνική της παραμετρικής σχεδίασης και της βήμα προς βήμα προσθήκης χαρακτηριστικών η οποία περιγράφεται αναλυτικότερα στην ενότητα που αφορά το Pro/ENGINEER. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής συναρμολογημάτων και της μεταβολής των επιμέρους μοντέλων που τα αποτελούν με ταυτόχρονη μεταβολή των συναρμολογημάτων. Φυσικά υπάρχει η δυνατότητα χρήσης των στερεών μοντέλων και των συναρμολογημάτων για την παραγωγή σχεδίων με ποικιλία όψεων, τομών, συμβόλων και προτύπων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του Inventor 2022. [8], [16]



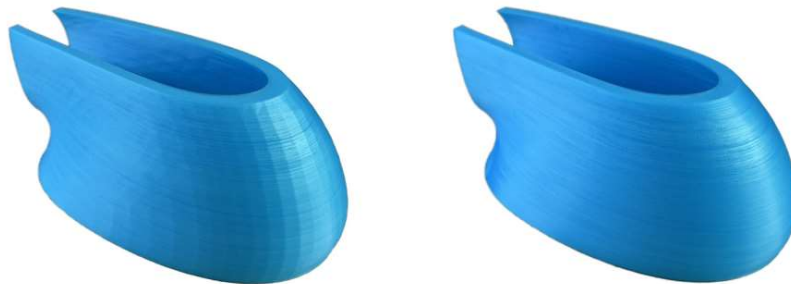
Εικόνα 2.4: Επιφάνεια εργασίας Inventor [16]

2.1.5 Rhino3D

Το Rhino3D είναι μια συντομογραφία του προγράμματος CAD Rhinoceros, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την εταιρία McNeel and Associates. Διαφέρει παρασάγγας σε σχέση με τα προηγούμενα λογισμικά δεδομένου του ότι η λειτουργία του δεν βασίζεται στην παραμετρική μοντελοποίηση αλλά στο μαθηματικό μοντέλο NURBS και στην ικανότητα του παραγωγής όλων των ελευθέρως μορφής επιφανειών σε

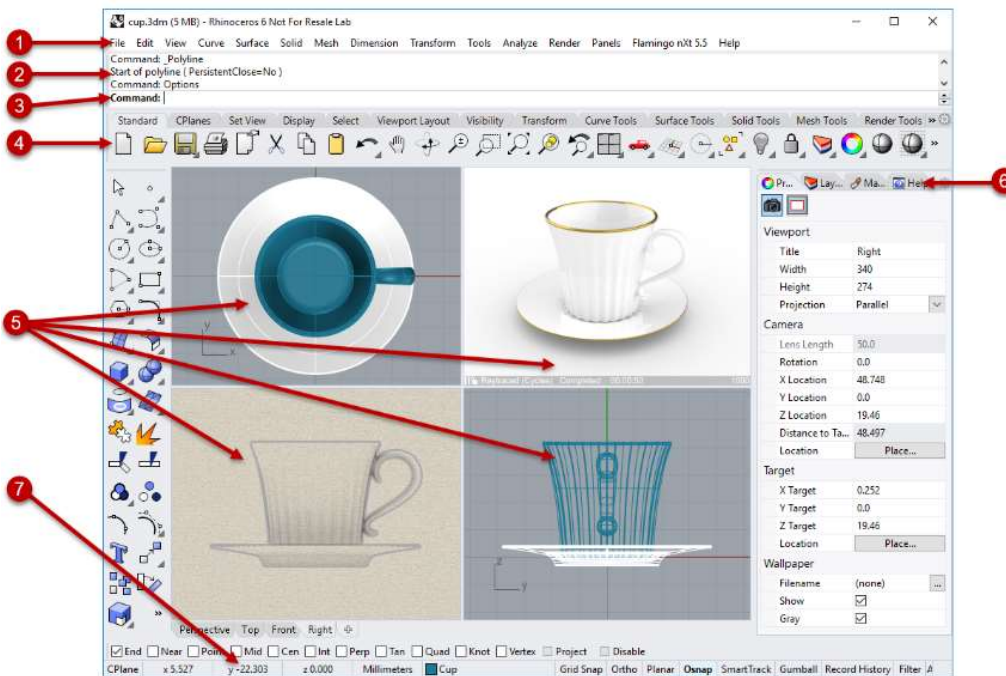
τρισδιάστατη γραφική απεικόνιση υπολογιστών. Το Rhino3D λοιπόν ορίζεται ως ένα πρόγραμμα τρισδιάστατης ψηφιακής μοντελοποίησης επιφανείας.

Το μαθηματικό μοντέλο NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) είναι ένα μοντέλο που αναπαριστά μαθηματικά μια τρισδιάστατη γεωμετρία. Αυτή η μαθηματική αναπαράσταση είναι επί της ουσίας μια ακριβέστατη περιγραφή της γεωμετρίας. Μέσω του μοντέλου αυτού είναι δυνατή η αναπαράσταση οιασδήποτε επιφάνειας είτε είναι μια απλή επιφάνεια όπως μια ευθεία ή ένας κύκλος είτε είναι μια πολύπλοκη επιφάνεια ελεύθερης μορφής που δεν ορίζεται εύκολα από διάφορες χαρακτηριστικές επιφάνειες. Το χαρακτηριστικό του αυτό το καθιστά ιδανικό για την αναπαράσταση στερεών με επιφάνειες μη γεωμετρικά οριζόμενες. Η επιφάνεια που παράγεται από το μαθηματικό μοντέλο NURBS αποτελείται από ένα σύνολο καμπυλών και έχει σαφώς μεγαλύτερη ακρίβεια αποτύπωσης από προγενέστερες τεχνικές που αποτύπωναν την επιφάνεια υπό την μορφή πλέγματος πολυγώνων. Στην ουσία οι καμπύλες αυτές εμφανίζουν μεγαλύτερη ομαλότητα της γεωμετρίας από μια πολυγωνική αποτύπωση ίδιας ακρίβειας καθιστώντας το τρισδιάστατο μοντέλο πλησιέστερο στο πραγματικό αντικείμενο. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να παράγει ακριβή αρχεία χρησιμοποιώντας τις καμπύλες που παράγονται από το μοντέλο NURBS χωρίς να μεγαλώσει δραματικά τον αριθμό των πολυγώνων, δημιουργεί δηλαδή αρχεία μικρότερου όγκου και πιο εύκολα διαχειρίσιμα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαφορά στην απόδοση μιας επιφάνειας με την χρήση πολυγώνων (αριστερά) και με την χρήση καμπυλών NURBS (δεξιά).



Εικόνα 2.5: Τρισδιάστατο μοντέλο στερεού παραγόμενο με πολύγωνα και με καμπύλες NURBS ^[4]

Οι καμπύλες που παράγονται από το μοντέλο NURBS χρησιμοποιούνται και σε άλλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα εφαρμογές ρεαλιστικής απόδοσης γραφικών μοντέλων και περιβάλλοντων (rendering) και εφαρμογές βίντεο (animation). Αυτό δίνει την δυνατότητα στο Rhino3D να παράγει αρχεία τα οποία εν συνεχεία μπορούν να εισαχθούν και να επεξεργαστούν πολύ εύκολα σε εφαρμογές rendering και animation καθώς έχουν την ίδια βάση παραγωγής, τις καμπύλες του μοντέλου NURBS. Μάλιστα, το ίδιο το Rhino3D, προσφέρει επεκτάσεις επεξεργασίας rendering και animation έτσι στο ίδιο το πρόγραμμα μπορεί να γίνει ολοκληρωμένη επεξεργασία του τρισδιάστατου γραφικού μοντέλου. Παρόλα αυτά, η μορφή του προγράμματος δεν διαφέρει πολύ από τα υπόλοιπα λογισμικά, δημιουργώντας ένα οικείο περιβάλλον στους χρήστες. Παρακάτω φαίνεται η επιφάνεια εργασίας της τελευταίας έκδοσης, του Rhino3D 7. Διακρίνονται το μενού (1), ο χώρος εμφάνισης ιστορικού (2), η γραμμή εντολών, όπως το AutoCAD(3), οι μπάρες εργαλείων (4), οι οθόνες εργασίας (5), τα πάνελ με διάφορα χαρακτηριστικά (6) και η μπάρα κατάστασης (7).



Εικόνα 2.6: Επιφάνεια εργασίας Rhino3D [9]

Η διαφορετικότητα της λειτουργίας του Rhino3D το κάνει πολύ χρήσιμο για μερικές ειδικές εφαρμογές όπως τις εφαρμογές αντίστροφης σχεδίασης με χρήση τρισδιάστατων σαρωτών και τις εφαρμογές παραγωγής εξαρτημάτων με την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών. Συγκεκριμένα, στερεά αντικείμενα ελεύθερης μορφής, που δεν μπορούν να προσδιοριστούν γεωμετρικά ώστε να σχεδιαστούν με χαρακτηριστικά, σαρώνονται με τρισδιάστατο εκτυπωτή, επεξεργάζονται με το Rhino3D που δημιουργεί το σύστημα καμπυλών στις ελεύθερες επιφάνειες των αντικειμένων και ακολούθως εκτυπώνονται σε ένα τρισδιάστατο εκτυπωτή. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή αυτών των αντικειμένων χωρίς να πρέπει να γίνει προσέγγιση της ελεύθερης επιφάνειάς τους με κάποιο στερεό, περιορίζοντας έτσι το σφάλμα σχεδίασης και μειώνοντας σημαντικά τους χρόνους σχεδίασης. [4], [9], [11], [15]

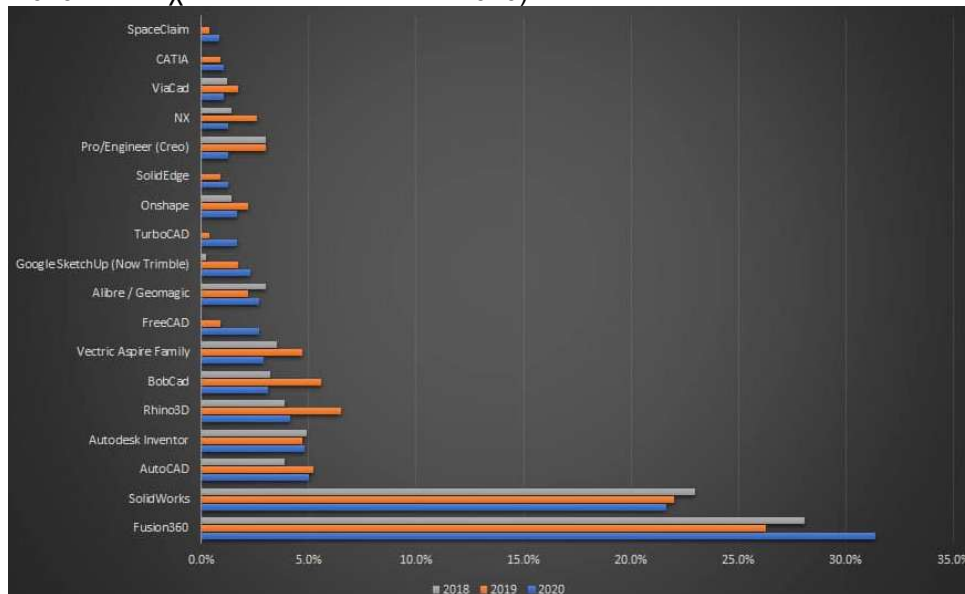
2.1.6 Στατιστικά δεδομένα αγοράς προγραμμάτων CAD

Όπως είναι αντιληπτό από τις παραπάνω παραγράφους, στην αγορά υπάρχουν πάρα πολλά προγράμματα CAD με το κάθε ένα να έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του είτε όσο αφορά την ευκολία του σχεδιασμού, είτε όσο αφορά την παραγωγή σχεδίων είτε ακόμη και όσο αφορά τις υπολογιστικές απαιτήσεις λειτουργίας και το κόστος τόσο του προγράμματος όσο και ενός υπολογιστή που μπορεί να υποστηρίξει την λειτουργία του. Ποιο από όλα αυτά τα προϊόντα όμως έχει επικρατήσει στην αγορά;

Το παραπάνω ερώτημα δεν έχει σαφή απάντηση και αυτό γιατί η αγορά δεν μπορεί να οριστεί εύκολα. Τι θεωρείται ως αγορά για τα συστήματα σχεδίασης CAD; Οι επαγγελματίες χρήστες που τα χρησιμοποιούν; Οι χρήστες που τα χρησιμοποιούν για την ψυχαγωγία τους; Λαμβάνονται υπόψη οι δωρεάν εκπαιδευτικές άδειες; Προσμετρούνται τα πειρατικά προγράμματα που επιδιώκουν αρκετοί να χρησιμοποιήσουν; Προφανώς για τις εταιρίες παραγωγής προγραμμάτων ενδιαφέρον έχει η αγορά όσων έχουν κανονικές άδειες, ανεξαρτήτως αν τις χρησιμοποιούν επαγγελματικά ή για δική του ψυχαγωγία δεδομένου ότι από αυτές εισπράττουν χρήματα.

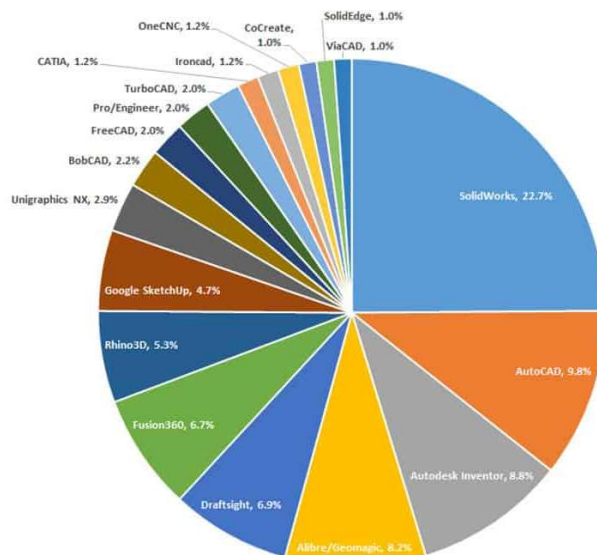
Στα παραπάνω ερωτήματα γίνεται προσπάθεια να δοθεί μια απάντηση χρησιμοποιώντας δεδομένα της ετήσια έρευνας που εκτελεί κάθε έτος η CNC

Coocbook, μια εταιρία με έδρα την Βόρειο Αμερική (Καναδάς) με δεδομένα που ελήφθησαν από 500 περίπου πελάτες της παγκοσμίως (η πλειοψηφία αυτών με έδρα την Βόρειο Αμερική). Η συγκεκριμένη μελέτη έχει λάβει χώρα το 2021 και αφορά δεδομένα του έτους 2020. Δεδομένου του ότι είναι ετήσια η μελέτη υπάρχουν δεδομένα σύγκρισης από προηγούμενες χρονιές. Σύμφωνα με την μελέτη αυτή ανιχνεύθηκε η χρήση 46 διαφορετικών λογισμικών CAD σε αυτά τα 500 άτομα που απάντησαν. Είναι σαφές από αυτό το πόσο μεγάλη ποικιλία υπάρχει στα λογισμικά CAD. Στο πρώτο ερώτημα που καλείται να απαντήσει η συγκεκριμένη μελέτη είναι ποιο λογισμικό χρησιμοποιείται περισσότερο. Και η απάντηση είναι σαφής, το Fusion360 της Autodesk με ποσοστό λίγο υψηλότερο του 31%. Ακολουθεί με μικρή διαφορά το SolidWorks με ποσοστό περίξ του 22% και εν συνεχεία με κοντινά ποσοστά (πéριξ του 5%) είναι το AutoCAD και το Inventor της Autodesk. Λίγο χαμηλότερα βρίσκονται τα Rhino3D και BobCad με ποσοστά κατά τι ψηλότερα του 4%. Στο γράφημα φαίνονται και τα ποσοστά των προηγούμενων δύο ετών και είναι σαφές ότι η τάση είναι παρόμοια και τα ποσοστά πάνω κάτω κοντινά (με εξαίρεση τα Rhino3D και BobCad που σε ένα χρόνο χάνουν περίπου το 30% των συνδρομητών τους). Έκπληξη πάντως και στις τρεις χρονιές αποτελεί το πολύ χαμηλό ποσοστό του Creo (πéριξ του 3% τα έτη 2018 και 2019 και ελάχιστα πάνω από 1% το 2020).



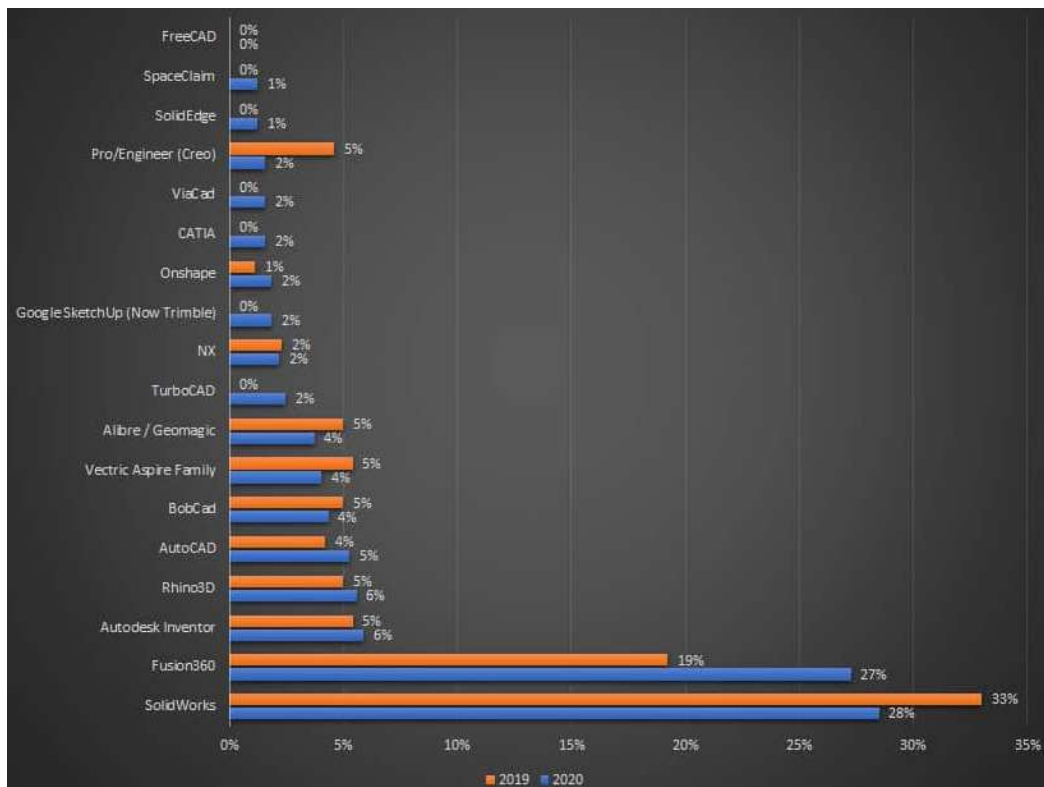
Εικόνα 2.7: Μερίδιο αγοράς προγραμμάτων CAD την τριετία 2018-2020 [21]

Για σκοπούς σύγκρισης τοποθετείται και το αντίστοιχο διάγραμμα της έρευνας του 2015 (δεδομένα 2014) καθώς η αγορά των προγραμμάτων CAD είναι μια έντονα μεταβαλλόμενη αγορά. Η σημαντικότερη παρατήρηση έχει να κάνει με την έκρηξη του μεριδίου του Fusion360 καθώς μέσα σε 6 χρόνια εξαπλάσιόστηκε. Μάλιστα αυτό δεν έγινε εις βάρος του δεύτερου προγράμματος καθώς το SolidWorks παρουσίασε μια εξαιρετική σταθερότητα στα ποσοστά του (πéριξ του 22%). Χαμένοι από την αύξηση της χρήσης του Fusion360 είναι κυρίως τα AutoCAD και Inventor (με πώση των ποσοστών τους σχεδόν στο μισό, από λίγο χαμηλότερα του 10% σε περίπου 5%), Alibre / Geomagic (που χάνει περισσότερο από το μισό ποσοστό του, από το 8,2% σε κάτι περισσότερο από 3%) και του Draftsight της Dassault που εξαφανίστηκε από την λίστα (χάνοντας περίπου το 6% που είχε στην αγορά). Με μικρές διακυμάνσεις φαίνονται τα υπόλοιπα βασικά λογισμικά όπως το Rhino3D, το BobCad, και το Pro/ENGINEER – Creo (που και το 2015 βρίσκεται πéριξ του 2%).

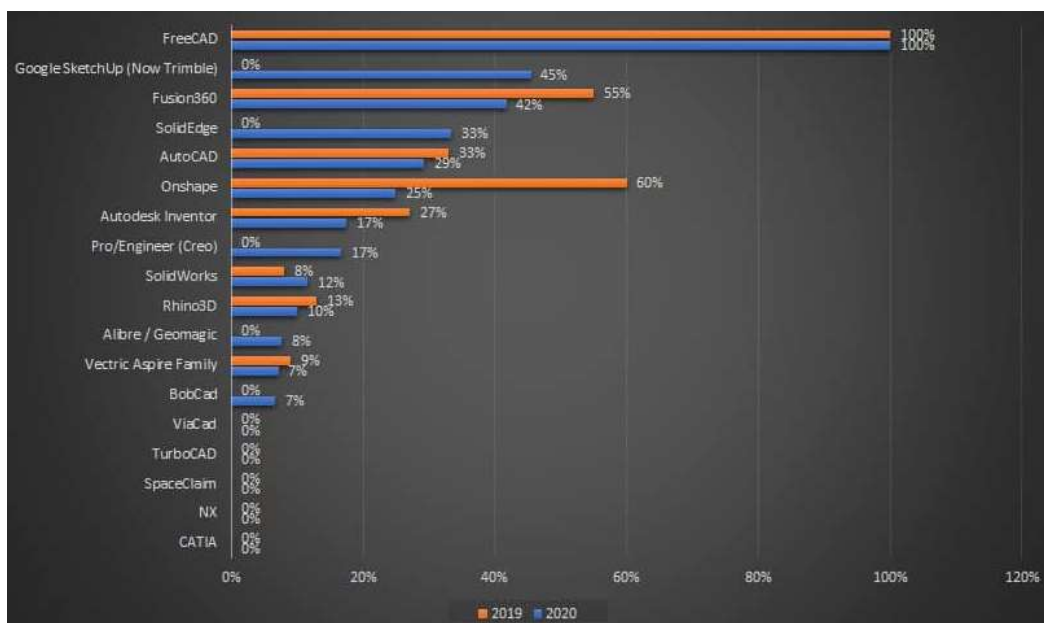


Εικόνα 2.8: Μεριδίο αγοράς προγραμμάτων CAD το 2014 ^[22]

Τα δεδομένα όμως αλλάζουν όταν οι συμμετέχοντες στην έρευνα καλούνται να απαντήσουν σε ποιο εξειδικευμένες ερωτήσεις. Σημαντική είναι η τροποποίηση όταν καλούνται να απαντήσουν οι χρήστες κατά πόσον χρησιμοποιούν πληρωμένες άδειες χρήσης ή χρησιμοποιούν δωρεάν το λογισμικό (είτε μέσω αδειών που δίδονται σε εκπαιδευτικούς οργανισμούς είτε μέσω πειρατικών αδειών). Όσο αφορά τις πληρωμένες άδειες το SolidWorks κατακτάει την κορυφή φτάνοντας το 28% έχοντας αύξηση στο μερίδιό του σε σχέση με τις συνολικές άδειες. Βέβαια έχει μια πτώση της τάξεως του 5% σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά. Αντίθετα το Fusion360 έχει μια πτώση της τάξεως του 5% σε σχέση με τις συνολικές άδειες που χρησιμοποιούνται. Αυτό δείχνει πως μεγάλο ποσοστό των χρηστών του Fusion360 χρησιμοποιεί δωρεάν άδειες. Βέβαια αυτό επιτρέπει στο πρόγραμμα να γίνει πιο εύκολα γνωστό και ως αποτέλεσμα έχει την τεράστια αύξηση κατά 8% των πληρωμένων αδειών σε ένα χρόνο, εν συγκρίσει με τον αριθμό των πληρωμένων αδειών του 2019. Ελαφρά αυξημένα είναι τα μερίδια των Inventor, Rhino3D, BobCad, Geomagic, Creo και CATIA στις πληρωμένες άδειες σε σχέση με τα συνολικά τους ποσοστά στην αγορά των προγραμμάτων CAD. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το δεύτερο στην σειρά γράφημα που δείχνει το ποσοστό των αδειών χωρίς κόστος που κυκλοφορούν στην αγορά όπου παρατηρούνται υψηλά ποσοστά άνω του 30% για τα Google SketchUp, Fusion360, SolidEdge, AutoCAD, OnShape. Ξεχωριστή κατηγορία είναι το FreeCAD που διατίθεται μόνο σε δωρεάν έκδοση.



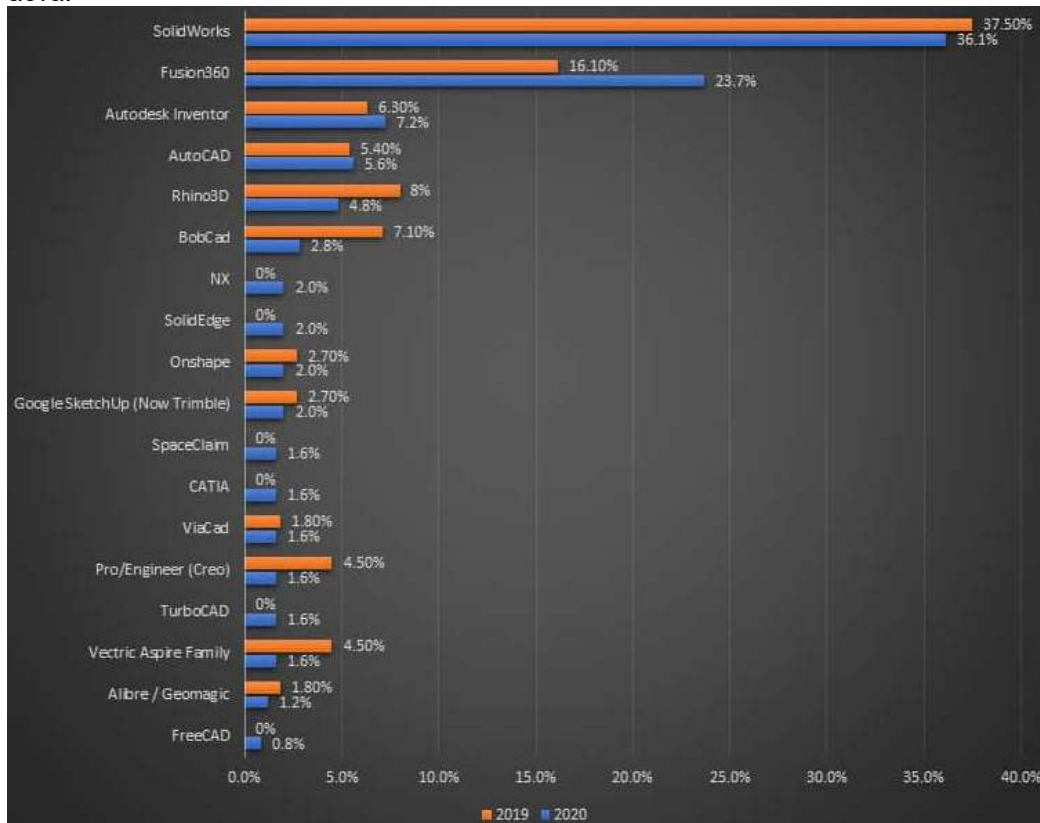
Εικόνα 2.9: Αγορασμένες άδειες προγραμμάτων CAD τα έτη 2019 και 2020 ^[21]



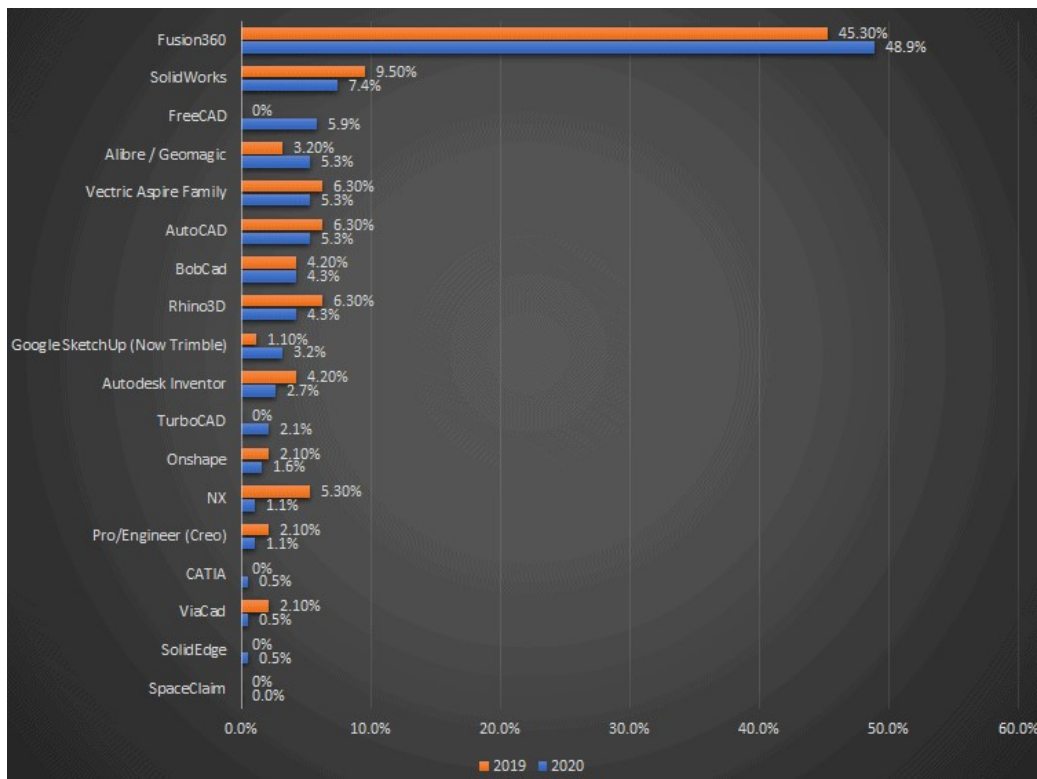
Εικόνα 2.10: Δωρεάν και πειρατικές άδειες χρήσης προγραμμάτων CAD τα έτη 2019 και 2020 ^[21]

Μια δεύτερη σημαντική ερώτηση είναι ποιοι από τους χρήστες που απάντησαν χρησιμοποιούν το κάθε πρόγραμμα για επαγγελματική χρήση και ποιοι για σκοπούς ψυχαγωγίας. Και εδώ το αποτέλεσμα έχει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς το Fusion360 έχει ένα τεράστιο ποσοστό στους χρήστες λόγω ψυχαγωγίας (πιθανώς και λόγω της πληθώρας δωρεάν ή πειρατικών αδειών που υπάρχουν), ενώ το SolidWorks έχει την πρωτοκαθεδρία στους επαγγελματίες χρήστες (καθώς το χρησιμοποιούν περισσότεροι από το εν τρίτο – 36,1%). Παρόλα αυτά παρατηρείται πως το Fusion360

έχει μεγάλη άνοδο και στους επαγγελματίες χρήστες γεγονός που δείχνει πως οι δωρεάν άδειες το καθιστούν γνωστό και σιγά σιγά κερδίζει εύρος και στις επαγγελματικές χρήσεις. Αυξημένα ποσοστά σε επαγγελματίες χρήστες έχουν και τα παραδοσιακά προγράμματα CAD όπως το Inventor, το Rhino3D, το BobCad, το Creo και το CATIA. Αντιθέτως, σε χρήστες ψυχαγωγίας συναντιούνται υψηλότερα ποσοστά σε σχέση με τα ποσοστά τους στο σύνολο της αγοράς σε προγράμματα με δωρεάν άδειες όπως το FreeCAD, το AutoCAD και το Vectric. Στα γραφήματα που ακολουθούν φαίνονται στο μεν πρώτο οι επαγγελματίες χρήστες προγραμμάτων CAD και στο δεύτερο οι ερασιτέχνες χρήστες που χρησιμοποιούν για ψυχαγωγία τα προγράμματα αυτά.

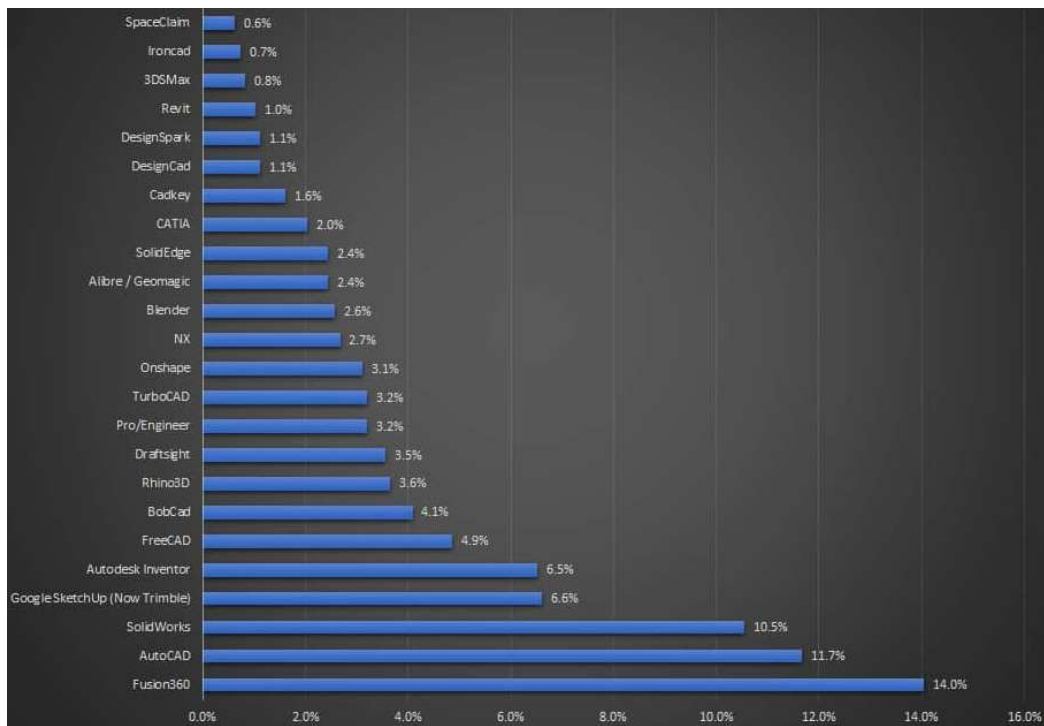


Εικόνα 2.11: Επαγγελματίες χρήστες προγραμμάτων CAD το έτος 2020 ^[21]

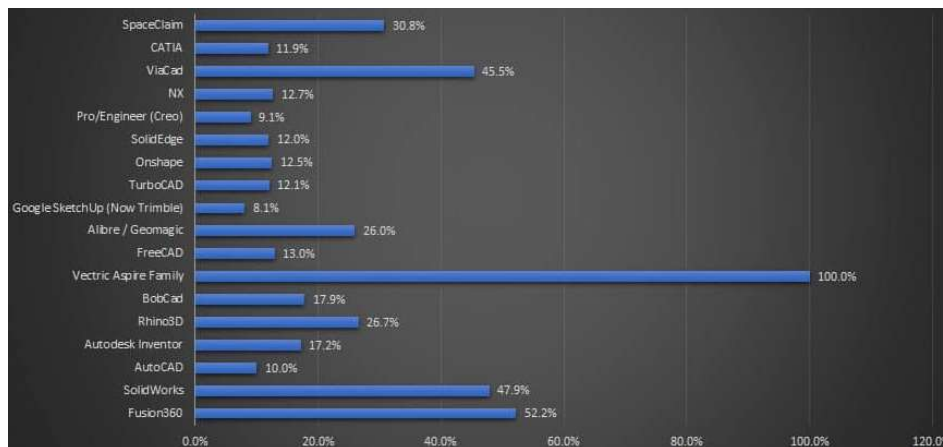


Εικόνα 2.12: Χρήστες που χρησιμοποιούν τα προγράμματα CAD για ψυχαγωγία το έτος 2020 ^[21]

Σημαντικό επίσης είναι το ερώτημα που τους τέθηκε πόσοι δοκίμασαν μια δοκιμαστική έκδοση του και εν συνεχεία προέβησαν σε αγορά του προγράμματος καθώς οι περισσότεροι από αυτούς τους χρήστες δοκίμασαν πάνω από ένα πρόγραμμα πριν καταλήξουν σε αγορά (οι περισσότεροι χρήστες αυτής της κατηγορίας δοκίμασαν 3 με 4 προγράμματα). Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Καταρχήν όσοι δοκίμασαν το Vectric προέβησαν σε αγορά. Μόνο που το Vectric σύμφωνα δεν το δοκίμασαν περισσότεροι από 0,6% των συνολικών χρηστών προγραμμάτων CAD. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να το δοκίμασε ακόμη και ένας και να το αγόρασε, έτσι το αποτέλεσμα είναι παραπλανητικό. Το ίδιο ισχύει και με τα ViaCad και Spaceclaim (με το πρώτο να έχει ποσοστό χρηστών που το δοκίμασαν μικρότερο του 0,6% και το δεύτερο 0,6%). Στα προγράμματα που έχουν δοκιμαστεί από ένα ικανοποιητικό αριθμό χρηστών ξεχωρίζουν και πάλι τα Fusion360 και SolidWorks καθώς περίπου οι μισοί που τα δοκίμασαν προχώρησαν σε αγορά. Με σημαντικά ποσοστά εμφανίζονται επίσης τα Rhino3D και Geomagic (πέριξ του 25% - ένας στους τέσσερεις) και τα Inventor και BobCad (πέριξ του 17%). Εντυπωσιακά χαμηλά ήταν τα ποσοστά των ατόμων που μετά από δοκιμή προτίμησαν την αγορά των AutoCAD, Creo και CATIA (πέριξ του 10% - οι εννιά στους δέκα που τα δοκίμασαν τα απέρριψαν). Στα παρακάτω γραφήματα φαίνονται τα αποτελέσματα αυτά. Στο πρώτο φαίνεται το ποσοστό των συνολικών χρηστών που δοκίμασε κάποιο πρόγραμμα πριν προβεί σε αγορά και το δεύτερο αφορά το ποσοστό των χρηστών που αφού δοκίμασε το πρόγραμμα το αγόρασε.



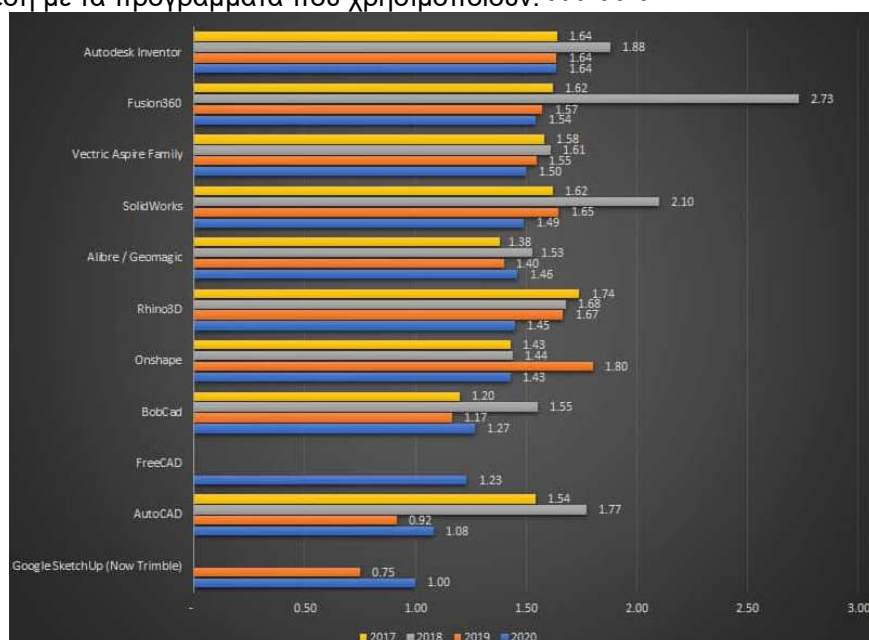
Εικόνα 2.13: Ποσοστό προγραμμάτων που δοκιμάστηκαν από τους χρήστες το 2020 ^[21]



Εικόνα 2.14: Χρήστες που αγόρασαν μια άδεια μετά από δοκιμή προγράμματος το έτος 2020 ^[21]

Τέλος, στην έρευνα αυτή παρουσιάζεται και η ικανοποίηση των χρηστών από την χρήση ενός προγράμματος. Και σε αυτή την ερώτηση τα δεδομένα εμφανίζουν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον καθώς για το 2020 περισσότερο ικανοποιημένοι είναι οι χρήστες του Inventor. Μάλιστα το πρόγραμμα αυτό παρουσιάζει μια μεγάλη σταθερότητα σε υψηλά ποσοστά ικανοποιημένων χρηστών. Δεύτερο είναι το Fusion360, τρίτο το Vectric και το SolidWorks βρίσκεται στην τέταρτη θέση. Σημαντικό είναι πως τόσο το Fusion360 όσο και το SolidWorks, οι δύο ηγέτες της αγοράς, εμφανίζουν κάθε χρόνο μειωμένη ικανοποίηση χρηστών (με εξαίρεση το 2018). Εν συνεχεία ακολουθούν κατά σειρά τα Geomagic, Rhino3D, OnShape και BobCad. Σχετικά υψηλά ποσοστά ικανοποίησης παρουσιάζει και το FreeCAD, δεδομένου μάλιστα του γεγονότος πως όλες οι άδειες του είναι δωρεάν. Τέλος, έκπληξη παρουσιάζει η χαμηλή θέση του AutoCAD και η έλλειψη από την λίστα των προγραμμάτων Creo και CATIA γεγονός που φανερώνει πολύ χαμηλή ικανοποίηση

από τους χρήστες τους. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η ικανοποίηση των χρηστών σε σχέση με τα προγράμματα που χρησιμοποιούν. [8], [21], [22]



Εικόνα 2.15: Ικανοποίηση χρηστών από τα λογισμικά CAD κατά τα έτη 2017 έως 2020 [21]

2.2 Pro/ENGINEER - Creo

Το Pro/ENGINEER όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ένα πρόγραμμα το οποίο εμφανίστηκε το 1987 από την εταιρία PTC και για την εποχή του ήταν πρωτοποριακό εξαιτίας του εργαλείου δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων στερεών με την χρήση παραμετρικής σχεδίασης. Στην ιδέα που παρουσίασε το Pro/ENGINEER βασίστηκαν και τα σημαντικότερα προγράμματα CAD που ακολούθησαν όπως το Solidworks, το Inventor, το Fusion360, το Rhino3D, το BobCad και άλλα.

Η αρχική του επιτυχία του δημιούργησε μια φήμη εξαιτίας της οποίας εξακολουθεί να κυκλοφορεί στην αγορά, έχοντας αλλάξει όμως ονομασία, κυκλοφορεί ως PTC Creo. Πολλοί χρήστες όμως εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τις τελευταίες εκδόσεις του Pro/Engineer (όπως οι Wildfire 4.0 και Wildfire 5.0 που κυκλοφόρησαν το 2008 και το 2009) ή να αναφέρουν το Creo ως Pro/ENGINEER. Με την ονομασία Pro/ENGINEER παρουσιάστηκαν 28 εκδόσεις, με την τελευταία να φέρει και την ταυτόχρονη ονομασία Creo (Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 – Creo Elements PRO). Η πρώτη έκδοση που έφερε αποκλειστικά την ονομασία Creo ήταν το 2001 (Creo Parametric 1.0) και έχουν συνολικά γίνει εννέα εκδόσεις, με την τελευταία έκδοση του προγράμματος να είναι η Creo Parametric 9.0 (ενίοτε αναφέρεται ως απλά Creo 9.0) κυκλοφορίας του 2022.

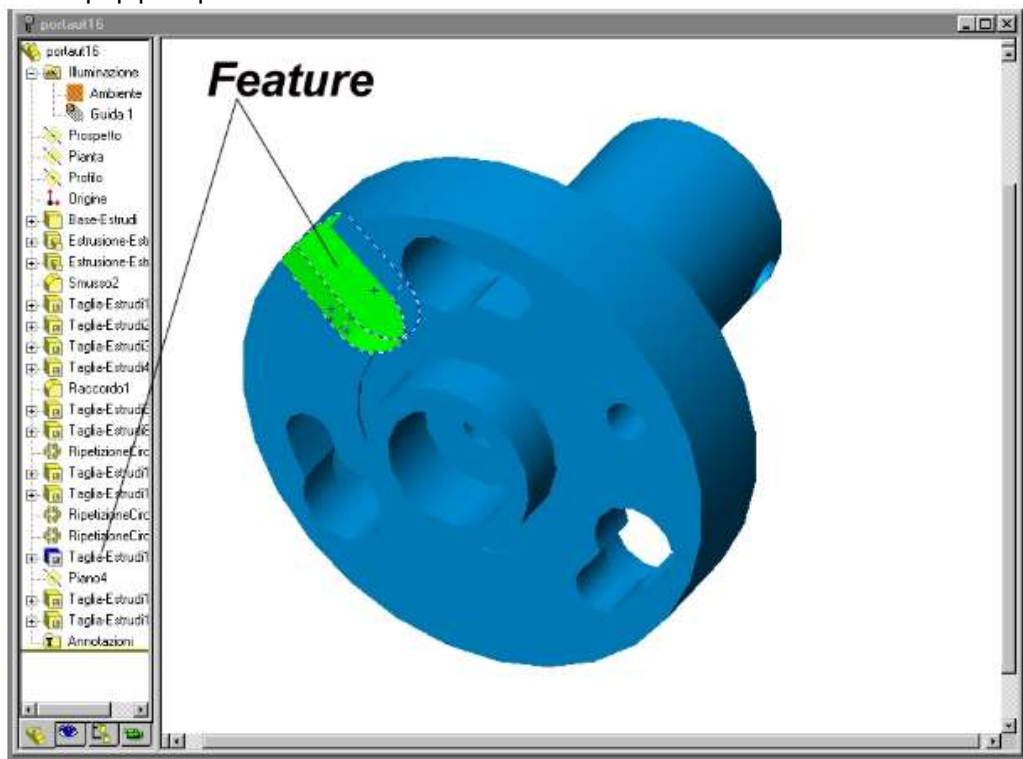
Σήμερα, το Creo 9.0 δεν είναι απλά ένα πρόγραμμα CAD παραμετρικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Πλέον το Creo 9.0 είναι ένα σύνθετο πρόγραμμα CAD/CAM/CAE καθώς εκτός από την δυνατότητα σχεδίασης, με διάφορες πρόσθετες λειτουργίες δίνει στον χρήστη την ικανότητα να μελετήσει το τρισδιάστο μοντέλο με εφαρμογές CAE και εν συνεχεία να δημιουργήσει αρχείο παραγωγής του με την χρήση λειτουργιών CAM. Οπότε το Creo 9.0 μπορεί πλέον να θεωρηθεί μια σύγχρονη πλατφόρμα σχεδιομελέτης και κατασκευής εξαρτημάτων που μπορεί να μετατρέψει μια παραγωγική μονάδα συμβατικού τύπου σε μια σύγχρονη, ψηφιακή, αυτοματοποιημένη μονάδα.

Το Pro/Engineer βασίζεται σε τρία χαρακτηριστικά. Το πρώτο εξ αυτών είναι ότι αποτελεί ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί την τεχνική της παραμετρικής

(parametric design). Αυτό σημαίνει πως η μορφή κάθε τρισδιάστατου στερεού μοντέλου (part) που παράγεται από το πρόγραμμα αυτό βασίζεται στις τιμές διαφόρων παραμέτρων που καθορίζει ο χρήστης. Αυτό δίνει την δυνατότητα της άμεσης μεταβολής των παραμέτρων που έχει ορίσει ή και την συσχέτιση μεταξύ των τιμών δύο ή περισσότερων παραμέτρων και εν συνεχεία την άμεση παρατήρηση των επιπτώσεων αυτών των μεταβολών των παραμέτρων στη μορφή του τρισδιάστατου στερεού μοντέλου.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό του προγράμματος, που έχει ήδη αναφερθεί και στην προηγούμενη παράγραφο είναι πως το Pro/ENGINEER είναι ένα πρόγραμμα παραγωγής στερεών μοντέλων (solid modeling). Αυτό σημαίνει πως το μοντέλο που παράγεται κατά την σχεδίαση στο πρόγραμμα είναι τρισδιάστο και έχει όλα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που έχει ένα στερεό σώμα. Έτσι, εκτός από την μορφή, μπορούν να οριστούν χαρακτηριστικά όπως ο όγκος, η πυκνότητα, η μάζα κλπ. Αυτό επιτρέπει την χρήση των μοντέλων αυτών σε προγράμματα μελέτης CAE ή προγράμματα κατεργασίας CAM.

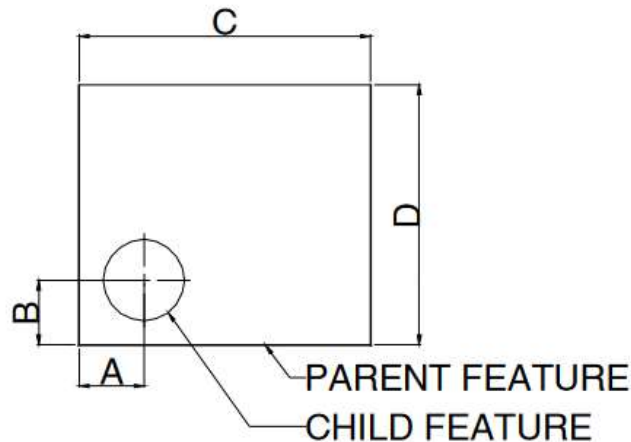
Το τρίτο χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι πως η κατασκευή των στερεών μοντέλων βασίζεται στην χρήση χαρακτηριστικών (feature based). Ως χαρακτηριστικά ορίζονται οι διάφορες προσθαφαιρέσεις υλικού (προεκβολές, περιστροφές κλπ), οι δημιουργίες οπών, οι τομές ή οι καμπυλώσεις των άκρων κλπ. Στην ουσία τα χαρακτηριστικά είναι στερεά τμήματα τα οποία παράγονται με διάφορες τεχνικές όπως είναι για παράδειγμα η προέκταση (extrude) και η περιστροφή (revolve) δισδιάστατων σχεδιαγραμμάτων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η προσθήκη ενός καινούριου χαρακτηριστικού σε ένα υπάρχον στερεό μοντέλο ώστε να γίνει η τελική του διαμόρφωση.



Εικόνα 2.16: Προσθήκη νέου χαρακτηριστικού για την ολοκλήρωση του τρισδιάστατου στερεού μοντέλου ^[19]

Κάθε νέο χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός στερεού μοντέλου ιεραρχικά τοποθετείται κάτω από το προηγούμενο στο δέντρο σχεδιασμού (δομή γονέα – παιδιού). Οι παράμετροι σχεδιασμού ενός νέου χαρακτηριστικού λαμβάνουν υπόψη τα προηγούμενα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους τους.

Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης παραμέτρων του νέου χαρακτηριστικού με παραμέτρους των προηγούμενων χαρακτηριστικών. Το Creo επιτρέπει αλλαγή σε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό όσο ψηλά και αν είναι στην ιεραρχία. Η αλλαγή αυτή επηρεάζει όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που ακολουθούν στην ιεραρχία και αφήνει αμετάβλητα όσα βρίσκονται σε υψηλότερη θέση στην ιεραρχία σε σχέση με αυτό που αλλάζει. Όσα χαρακτηριστικά μετά από το τροποποιημένο έχουν παραμέτρους που συνδέονται με το τροποποιημένο χαρακτηριστικό τότε μεταβάλλονται και αυτά. Αυτό επιτρέπει τις γρήγορες αλλαγές χαρακτηριστικών χωρίς να απαιτείται η χειροκίνητη μεταβολή των χαρακτηριστικών που ακολουθούν. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η ιεράρχηση χαρακτηριστικών σε ένα πρόγραμμα παραμετρικής σχεδίασης. Ιεραρχικά ανώτερο είναι το τετράγωνο καθώς μεταβολές στις παραμέτρους του (διαστάσεις τετραγώνου) μεταβάλλουν τις παραμέτρους και κατά συνέπεια την θέση της οπής που ιεραρχικά είναι κατώτερο χαρακτηριστικό.

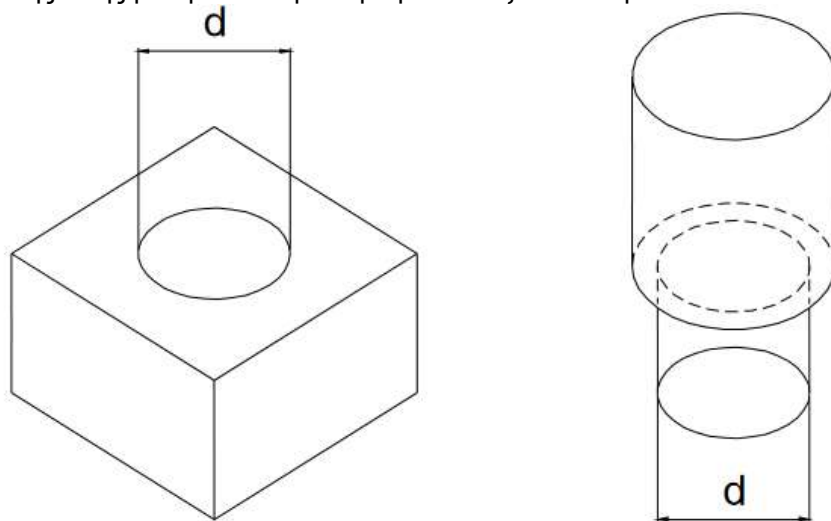


Εικόνα 2.17: Παραμετρική σχεδίαση με ιεραρχία ^[11]

Αυτή η τεχνική παραγωγής στερεών μοντέλων με την χρήση χαρακτηριστικών πλεονεκτεί έναντι των προγενέστερων τεχνικών παραγωγής μοντέλων με γεωμετρία χαμηλού επιπέδου (χρήση γραμμών, κύκλων, σημείων, τόξων κλπ) αφού η χρήση χαρακτηριστικών βοηθάει στην άμεση οπτικοποίηση του αποτελέσματος σχεδίασης. Επιπλέον η ποικιλία χαρακτηριστικών που έχει το Creo επιτρέπει την κατασκευή ενός στερεού μοντέλου με διάφορους τρόπους και ταυτόχρονα επιτρέπει την κατασκευή στερεών με πολύπλοκες μορφές. Αυτό διευκολύνει τον χρήστη καθιστώντας απλούστερη την διαδικασία σχεδιασμού σε σχέση με τις δικές του γνώσεις και προσαρμόζεται το πρόγραμμα στην δική του αντίληψη. Με αυτό τον τρόπο ταυτόχρονα μειώνει σημαντικά τον χρόνο σχεδίασης του τρισδιάστατου μοντέλου στερεού.

Πέραν της δυνατότητας παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων το Creo δίνει στον χρήστη την δυνατότητα κατασκευής συναρμολογημάτων (assemblies) που αποτελούνται από ένα άθροισμα μοντέλων (parts) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διάφορες συνθήκες σύνδεσης, υπό διάφορους περιορισμούς. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την ορθότητα της εφαρμογής του συνόλου των μοντέλων που υπάρχουν σε ένα συναρμολόγημα. Αν απαιτείται μπορεί να τροποποιήσει ένα μοντέλο αλλάζοντας κάποια χαρακτηριστικά του (τροποποιώντας τις παραμέτρους τους) και αυτόματα τροποποιείται και το συναρμολόγημα. Επιπλέον μπορεί να ελέγξει κατά πόσο επηρεάζουν οι αλλαγές που κάνει σε χαρακτηριστικά ενός μοντέλου το συνολικό συναρμολόγημα χωρίς να απαιτείται να το σχεδιάσει από την αρχή. Αυτό προκαλεί σημαντική εξοικονόμηση χρόνου ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τα σχεδιαστικά σφάλματα καθώς πρώτα ελέγχονται τα κομμάτια στο συναρμολόγημα εφαρμογής τους και μετά κατασκευάζονται. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η συσχέτιση παραμέτρων ενός αντικειμένου σε σχέση με ένα δεύτερο αντικείμενο τα οποία εν

συνεχεία θα συνενωθούν σε ένα συναρμολόγημα. Παρατηρείται πως μεταβολή στην διάμετρο της οπής μεταβάλλει την διάμετρο του άξονα αυτόματα.



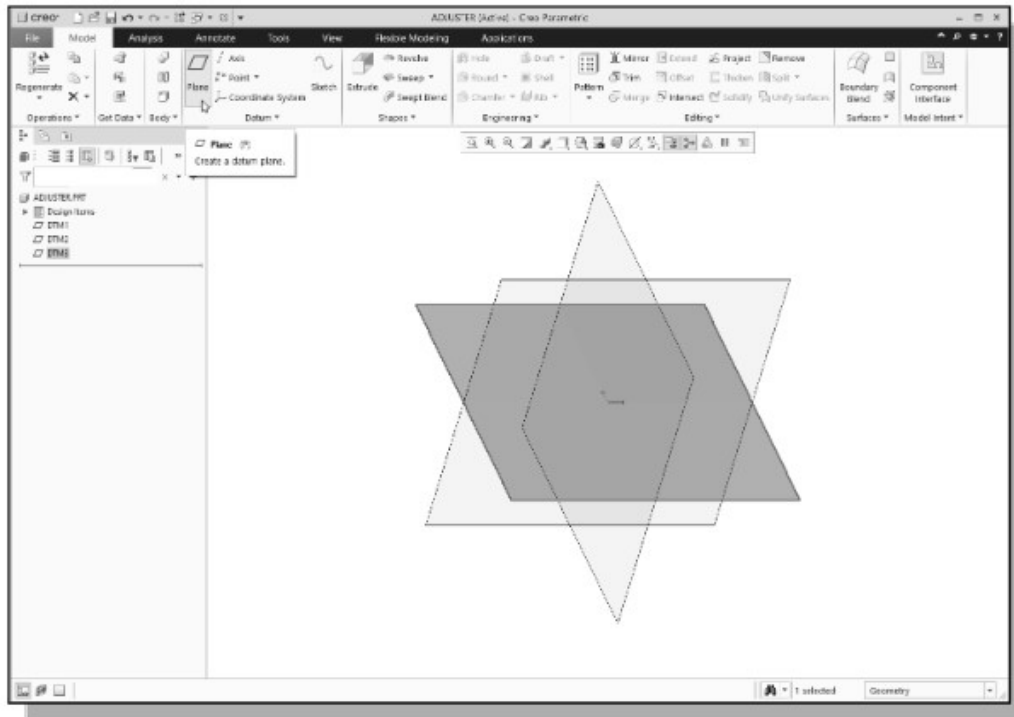
Εικόνα 2.18: Συσχέτιση παραμέτρων δύο στερεών που χρησιμοποιούνται στο ίδιο συναρμολόγημα^[11]

Η δυνατότητα παραγωγής συναρμολογημάτων επιτρέπει στους χρήστες του Creo να δημιουργούν νέα εξαρτήματα τα οποία προσαρμόζονται ορθότερα στο συναρμολόγημα και είναι λειτουργικότερα σε σχέση με κάποια από τα εξαρτήματα που ήδη υπάρχουν. Επιπλέον τους δίνει την δυνατότητα, με χαμηλό κόστος, και σε μικρό χρόνο, να δημιουργούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να ανταποκρίνονται σε ποικίλες συνθήκες εφαρμογής χωρίς να απαιτείται εκ του μηδενός σχεδίαση. Τέλος, επιτρέπει στους χρήστες να σκεφθούν ελεύθερα και ενίοτε να σχεδιάσουν ριζοσπαστικές λύσεις γνωρίζοντας ότι αν δεν δουλέψουν πολύ εύκολα μπορεί να τις αλλάξουν σε ποιο συμβατικές.

Με το πρόγραμμα Pro/Engineer είναι δυνατή η γρήγορη παραγωγή μηχανολογικών σχεδίων που προκύπτουν είτε από τα τρισδιάστατα μοντέλα στερεών που έχουν σχεδιαστεί είτε από τα συναρμολογήματα που έχουν δημιουργηθεί. Με την διαδικασία Drawing είναι εύκολη η δημιουργία των όψεων με την απευθείας χρήση των αρχείων στερεών μοντέλων ή συναρμολογημάτων που έχουν ήδη δημιουργηθεί. Επιτρέπει ταυτόχρονα την δημιουργία επιπλέον όψεων και τομών κατ εντολή του χρήστη. Περιέχει σειρά εργαλείων που επιτρέπουν στο σχεδιαστή να προσθέσει όσες επιπλέον πληροφορίες επιθυμεί στα σχέδια (αναθεωρήσεις, σχόλια, πίνακες οπών και κάμψεων, λίστες τεμαχίων συναρμολογημάτων κλπ). Επιπρόσθετα, ο σχεδιαστής έχει την δυνατότητα να προσθέσει αυτόματα διαστάσεις, να τροποποιήσει χειροκίνητα διαστάσεις, να εισάγει είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα ανοχές και να προσθέσει σειρά συμβόλων σημαντικών για την παραγωγή του εξαρτήματος (σύμβολα κατεργασίας, σύμβολα συγκολλήσεων κλπ). Επιπλέον τούτων δίδεται η δυνατότητα επιλογής διαφόρων έτοιμων ή κατασκευασμένων από τον χρήστη μορφολογιών σχεδίων με τροποποιήσεις ως προς το περίγραμμα, το υπόμνημα κλπ. Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα να συμπληρώνονται αυτόματα στοιχεία στο υπόμνημα σε σχέση με τα δεδομένα που έχει εισαγάγει ο σχεδιαστής στο αρχικό τρισδιάστατο μοντέλο ή στο συναρμολόγημα.

Η λειτουργία του Creo είναι πολύ απλή. Στο κέντρο της οθόνης υπάρχει η επιφάνεια εργασίας στην οποία δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά με την εισαγωγή διαφόρων παραμέτρων, δημιουργούνται τα συναρμολογήματα με την εισαγωγή διαφόρων μοντέλων, και παράγονται τα σχέδια. Στα αριστερά της οθόνης βρίσκεται το δέντρο στο οποίο φαίνονται ιεραρχικά τα χαρακτηριστικά σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, τα τεμάχια σε ένα συναρμολόγημα και οι όψεις τεμαχίων ή συναρμολογημάτων σε ένα

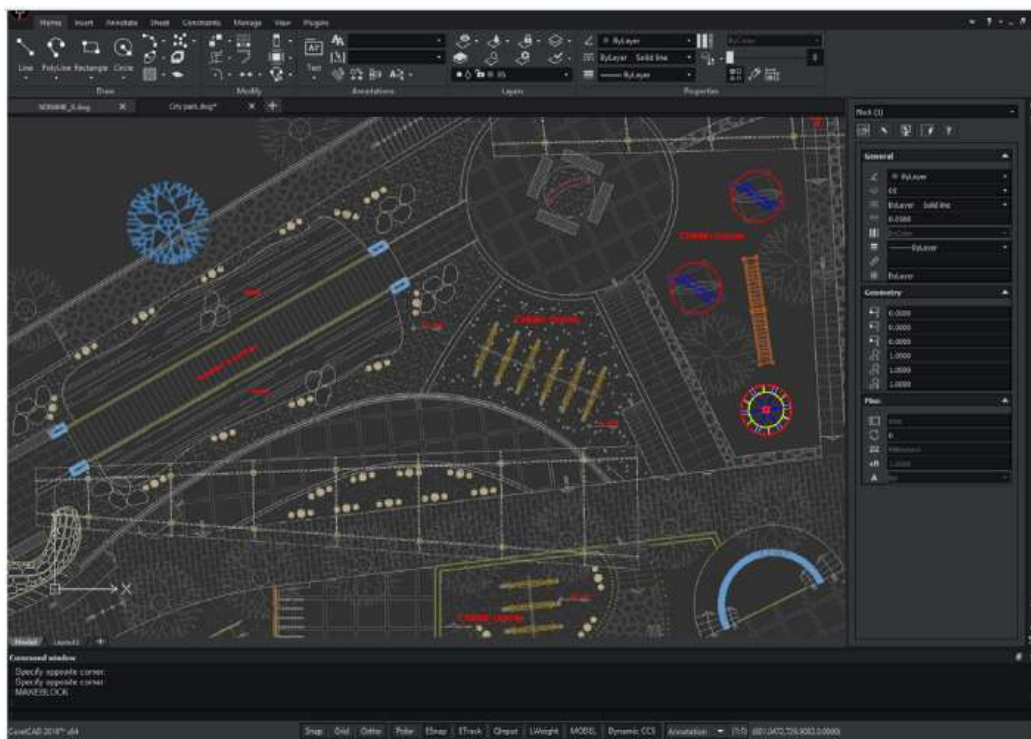
σχέδιο. Στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας υπάρχουν οι μπάρες εργαλείων που διαφοροποιούνται αναλόγως του αν ο χρήστης σχεδιάζει μοντέλα, συναρμολογήματα, σχέδια ή χρησιμοποιεί κάποιες από τις λειτουργίες CAM και CAE που περιλαμβάνει η τελευταία έκδοση του Creo. Γενικά η μορφή του προγράμματος μοιάζει αρκετά με το σύνολο των προγραμμάτων τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την σχεδίαση δίδονται κατά την περιγραφή της σχεδίασης των επιμέρους εξαρτημάτων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η οθόνη εργασίας του προγράμματος Creo 9.0. [11], [15], [17], [19]



Εικόνα 2.19: Οθόνη εργασίας Creo 9.0 [17]

2.3 CorelCAD

Το CorelCAD είναι ένα σχετικά σύγχρονο πρόγραμμα CAD το οποίο μόλις μπήκε στην δεύτερη δεκαετία της ζωής του δεδομένου του ότι παρουσιάστηκε το 2011. Η τελευταία έκδοσή του είναι το CorelCAD2023. Είναι ένα προϊόν δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης που μοιάζει περισσότερο με το AutoCAD. Στοχεύει περισσότερο στο να αντικαταστήσει το AutoCAD ως το κύριο πρόγραμμα δισδιάστατης σχεδίασης. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του CorelCAD2019 με ένα σχέδιο. Είναι εμφανέστατη η ομοιότητα με το AutoCAD.



Εικόνα 2.20: Σχέδιο στο CorelCAD [1]

Στην τρισδιάστατη σχεδίαση απέχει αρκετά από τα κύρια προγράμματα του χώρου δεδομένου του ότι υστερεί αρκετά στην παραμετρική τρισδιάστατη μοντελοποίηση στερεών αφού ο αριθμός τόσο των χαρακτηριστικών όσο και των παραμέτρων σχεδίασης είναι αισθητά μικρότερος από τα κύρια λογισμικά του χώρου αυτού. Μοναδικά του πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτά είναι η δυνατότητα μετατροπής εύκολα των δισδιάστατων σχεδίων που έχουν γίνει στο ίδιο πρόγραμμα σε τρισδιάστατα και ότι είναι ένα από τα ελάχιστα προγράμματα που επιτρέπει με την ίδια ευκολία δισδιάστατη και τρισδιάστατη σχεδίαση.

Παρόλη την επέκταση των προγραμμάτων τρισδιάστατης σχεδίασης πολλές φορές η δισδιάστατη σχεδίαση ενός αντικειμένου προτιμάται. Αυτό γίνεται γιατί με την δισδιάστατη σχεδίαση δημιουργούνται κατευθείαν τα σχέδια χωρίς να απαιτείται προηγουμένως η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου, σε περίπτωση που τα σχέδια είναι απλά. Επιπρόσθετα, είναι εύκολη η ψηφιοποίηση παλαιότερων έντυπων σχεδίων απλά με μια αντιγραφή τους, σε σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων. Επιπλέον, πολλές μηχανές παλαιάς τεχνολογίας, δέχονται δεδομένα από ψηφιακά αρχεία δισδιάστατων σχεδίων έτσι σε παραγωγικές μονάδες με παλιές μηχανές δεν έχει νόημα η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Τούτων δεδομένων λοιπόν το CorelCAD μπορεί να βρει χώρο στην δισδιάστατη σχεδίαση.

Τα πλεονεκτήματα του CorelCAD σε σχέση με το AutoCAD, το κύριο πρόγραμμα δισδιάστατης σχεδίασης, και μοναδικό με αξιόλογα ποσοστά στο μερίδιο των προγραμμάτων CAD είναι τα ακόλουθα. Πρώτα, είναι η πολύ πιο φιλική επιφάνεια εργασίας του CorelCAD προς τον χρήστη που επιτρέπει την εύκολη χρήση του, και κατά συνέπεια και την εύκολη εκμάθησή του και η απλότητά του ως προγράμματος. Κατά δεύτερον, το CorelCAD έχει ένα βασικό πρόγραμμα χαρακτηριστικών για την δημιουργία τρισδιάστατων στερεών μοντέλων. Έτσι υποστηρίζει και την τρισδιάστατη σχεδίαση σε μικρή κλίμακα εφόσον αυτό είναι επιθυμητό. Οπότε αν προτιμηθεί αντί του AutoCAD δίνει την δυνατότητα και τρισδιάστατης σχεδίασης. Επιπρόσθετα σε αυτά έρχεται να προστεθεί η χαμηλή του τιμή έτσι ώστε να το κάνει επιθυμητό από τους σχεδιαστές, ειδικά αυτούς που επιλέγουν την δισδιάστατη σχεδίαση.

Το βασικό μειονέκτημα του CorelCAD είναι το ότι η Corel για πρώτη φορά εισάγει ένα μοντέλο CAD και αυτό προβληματίζει τους χρήστες που δεν είναι έτοιμοι να την εμπιστευτούν, πολλοί μάλλον δεν ξέρουν καν ότι υπάρχει αυτό το μοντέλο. Εν αντιθέσει, το AutoCAD είναι το πρώτο πρόγραμμα που σκέφτεται ο οιοσδήποτε σκέφτεται ένα πρόγραμμα CAD. Οπότε η CorelCAD στοχεύει να κερδίσει μερίδια αγοράς από το δυνατότερο brand name των προγραμμάτων CAD γεγονός όχι εύκολο, το οποίο επιβεβαιώνεται από τα πολύ μικρά μερίδια αγοράς που έχει μέχρι στιγμής (με δεδομένα μέχρι το 2020).

Πέραν αυτών, η Corel έχει εξασφαλίσει την διαλειτουργικότητα του CorelCAD με τις δύο ναυαρχίδες της, το CorelDRAW και το Corel PHOTO-PAINT. Αυτό επιτρέπει στο CorelCAD να δημιουργήσει αρχεία τα οποία μπορούν να εισαχθούν άμεσα και εύκολα σε αυτά τα δύο προγράμματα και να επεξεργαστούν καταλλήλως ώστε να χρησιμοποιηθούν στην πορεία για διάφορες άλλες χρήσεις πέραν της παραγωγής προϊόντων. Αυτό καθιστά ελκυστικό το CorelCAD σε χρήστες άλλων προγραμμάτων της Corel.

Εν κατακλείδι, το CorelCAD είναι ένα πρόγραμμα που συνδυάζει την λογική και την τεχνική δισδιάστατης σχεδίασης του AutoCAD και την λογική και την τεχνική σχεδίασης των τρισδιάστατων σχεδιαστικών παραμετρικής μοντελοποίησης στερεού. Αυτό του το στοιχείο το κάνει μοναδικό σε σχέση με τα προγράμματα που έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα.^[1]

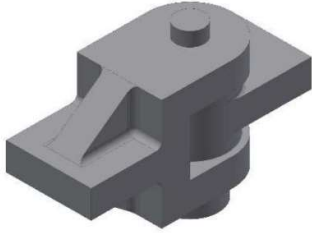
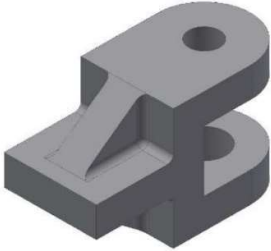
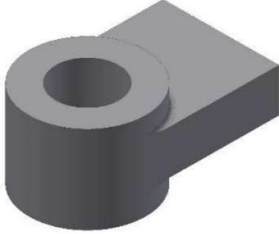

2.4 Σχεδίαση μηχανολογικών τεμαχίων για εκπαιδευτικούς σκοπούς

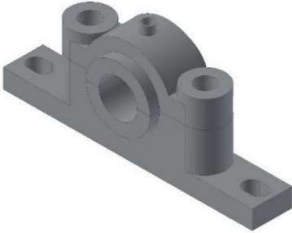
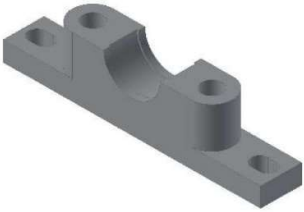



Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μέρος συνδυασμού της εκπαιδευτικής συνεργασίας των μελών του Εργαστηρίου μικροκοπής και κατασκευαστικής προσομοίωσης του Πολυτεχνείου Κρήτης σε σχέση με την παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού υπό την μορφή μηχανολογικών σχεδίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο βιβλίο «Μηχανολογικό Σχέδιο» του καθηγητή Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη.


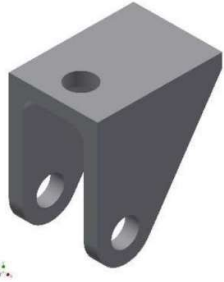

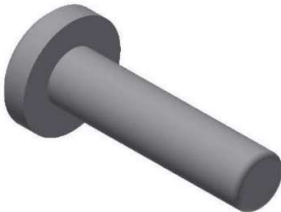
Το υλικό που σχεδιάστηκε αποτελείται από μηχανικές διατάξεις οι οποίες προήλθαν από παλιά κατασκευαστικά εγχειρίδια. Τα αντικείμενα αυτά ξανασχεδιάστηκαν με τη χρήση σύγχρονων συστημάτων cad. Για το Τρισδιάστατο σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Inventor της Autodesk από το οποίο έγιναν και οι εξαγωγές των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή των γραμμικών σχεδίων. Τα τελικά γραμμικά σχέδια έγιναν στο πρόγραμμα Corel CAD.



Παρακάτω ακολουθεί μια λίστα με τους πίνακες των εξαρτημάτων που σχεδιάστηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Σε κάθε πίνακα το πρώτο κελί αφορά τη συναρμογή των εξαρτημάτων και ακολουθούν τα επιμέρους εξαρτήματα. Κατόπιν ακολουθούν τα σχέδια που έγιναν στο γραφιστικό περιβάλλον του Corel CAD.


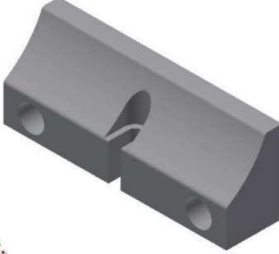
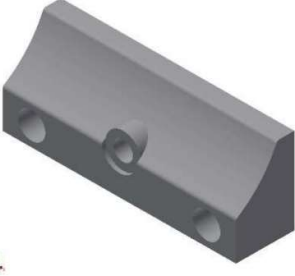


Component	Image
C100	
C100-01	
C100-02	
C100-03	
C100-04	

C200	
C200-01	
C200-02	
C200-03	

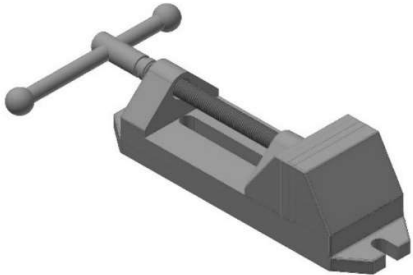
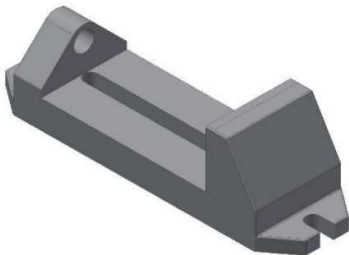
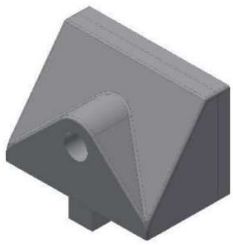

C300	
C300-01	
C300-02	
C300-03	
C300-04	

C400	
C400-01	
C400-02	
C400-03	

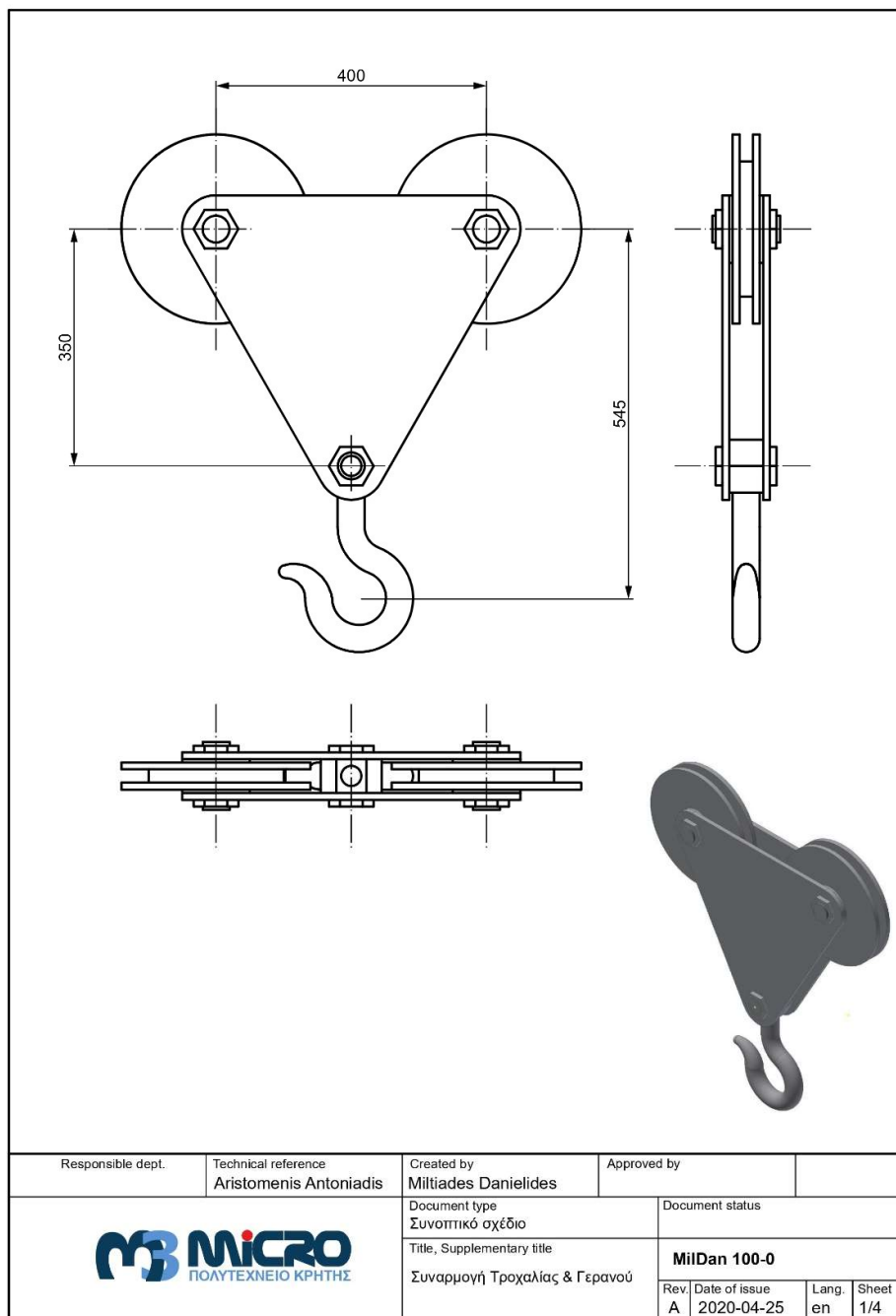
C500	
C500-01	
C500-02	
C500-03	
C500-04	

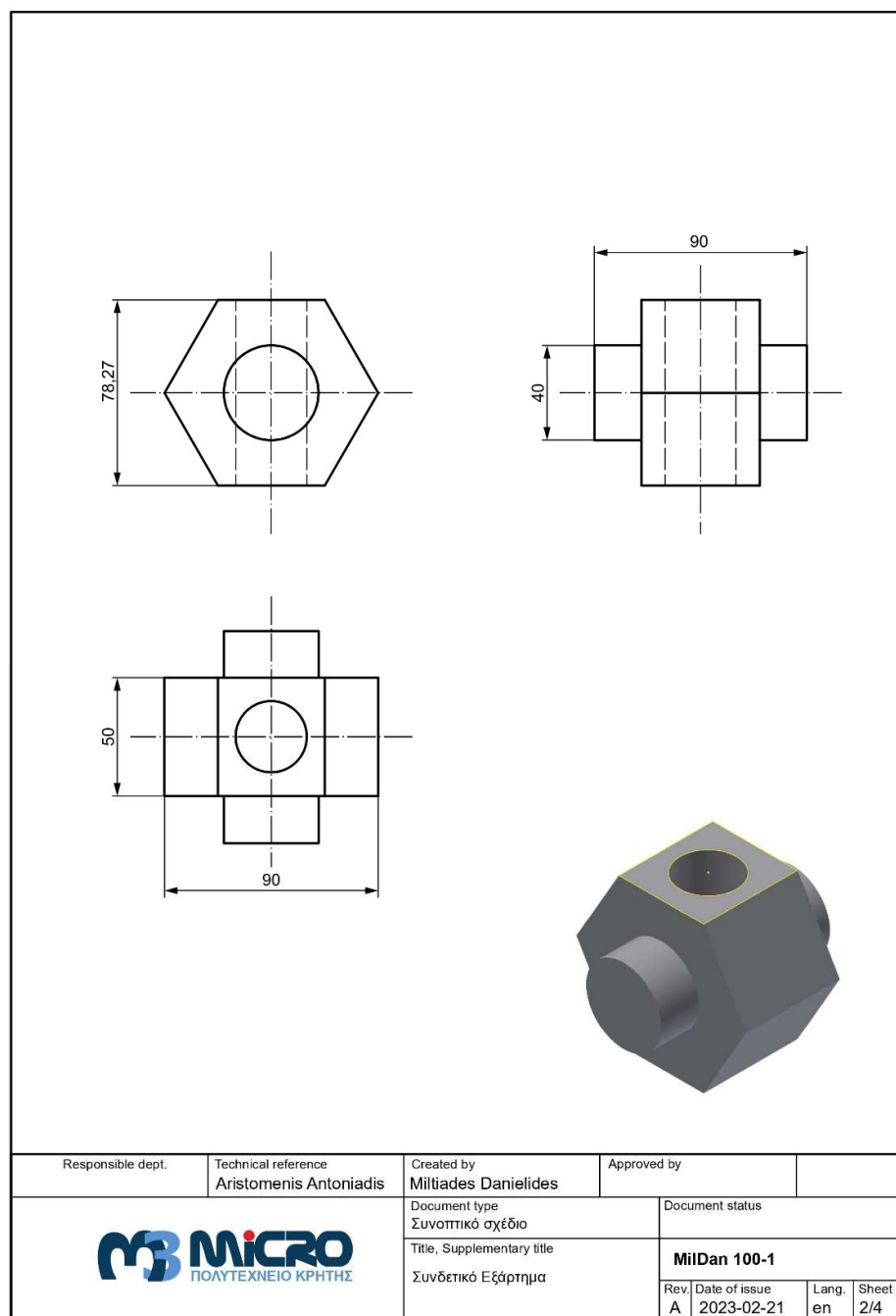
C600	
C600-01	
C600-02	
C600-03	
C600-04	

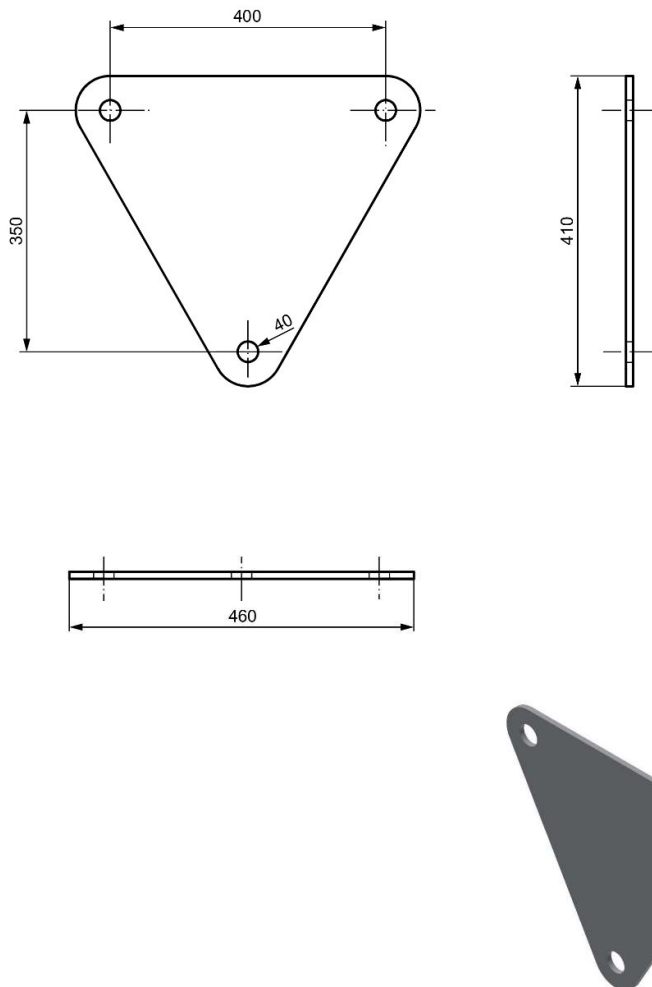
C700	
C700-01	
C700-02	
C700-03	
C700-04	


C800	
C800-01	
C800-02	
C800-03	

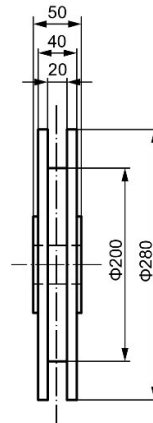
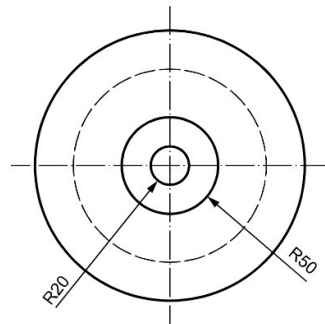
C900-00	
C900-01	
C900-02	
C900-03	
C900-04	



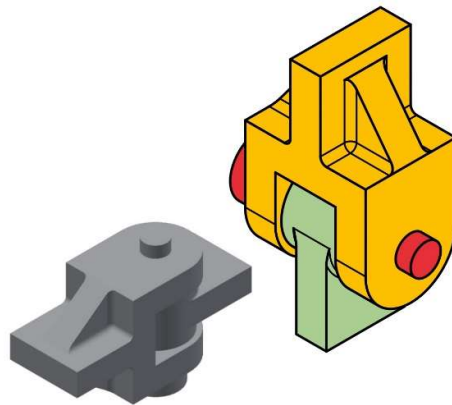
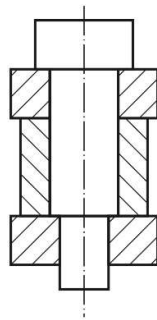
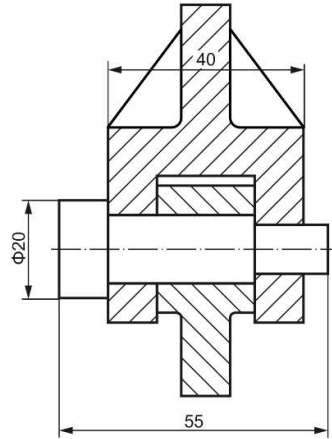
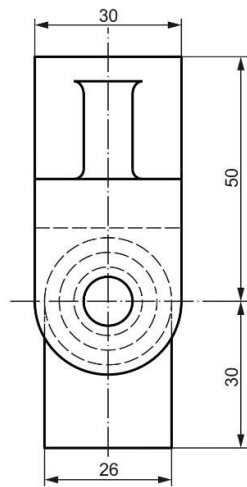





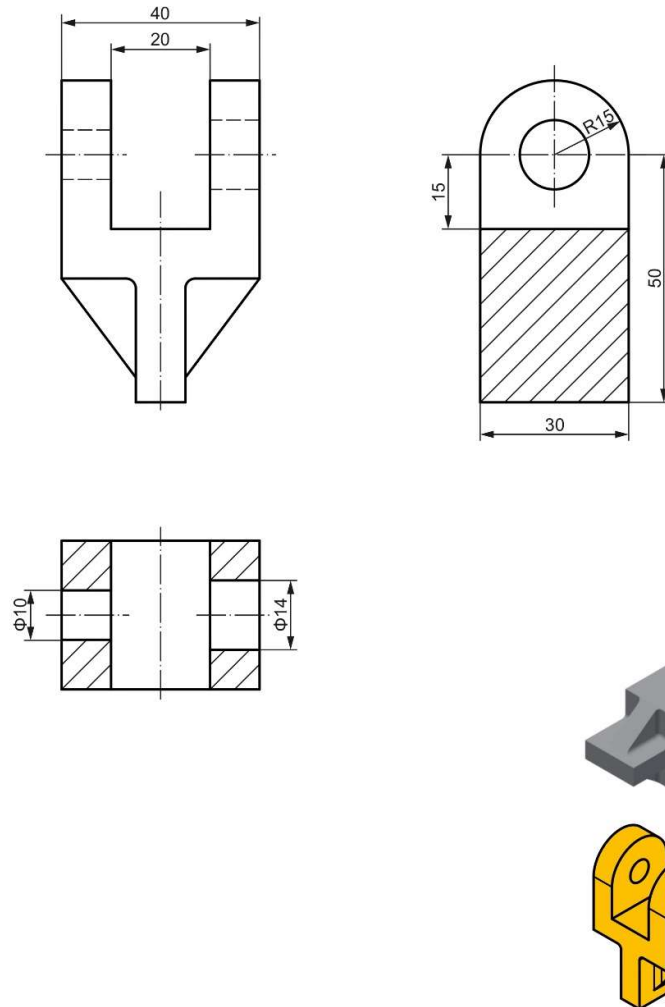
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Συνοπτικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Πλάγια βάση στήριξης	MilDan 100-2	
		Rev. A	Date of issue 2023-02-21	Lang. en




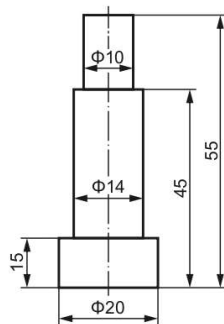
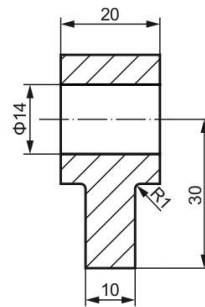
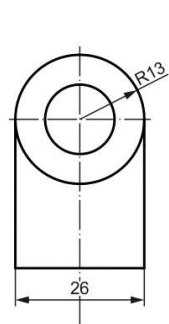
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Συνοπτικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Περιστρεφόμενος Δίσκος	MilDan 100-3	
		Rev. A	Date of issue 2023-02-21	Lang. en Sheet 4/5




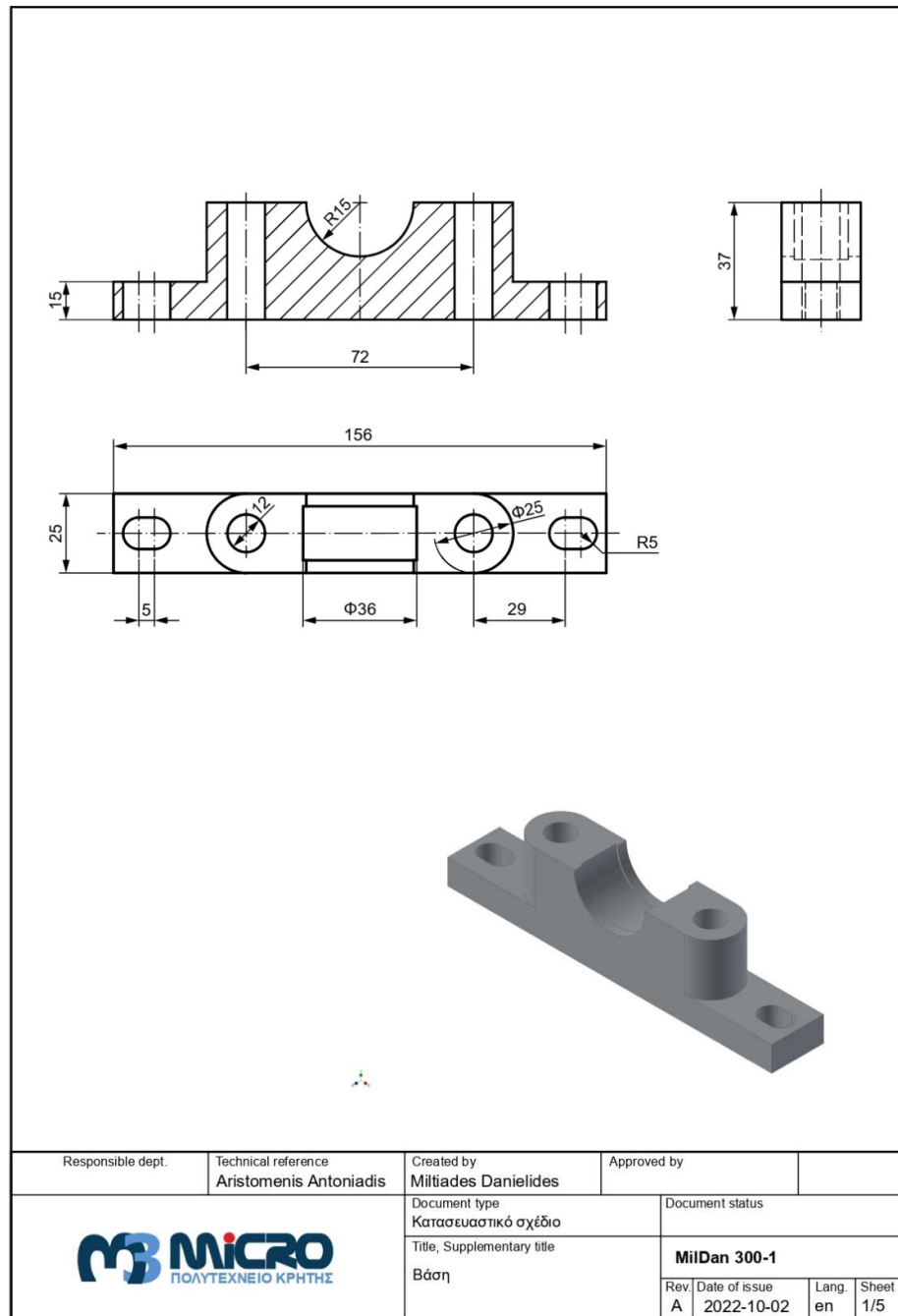
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Συνοπτικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Σύστημα άρθρωσης	MilDan 200-0	
Rev.	Date of issue	Lang.	Sheet	
A	2022-10-2	en	1/3	

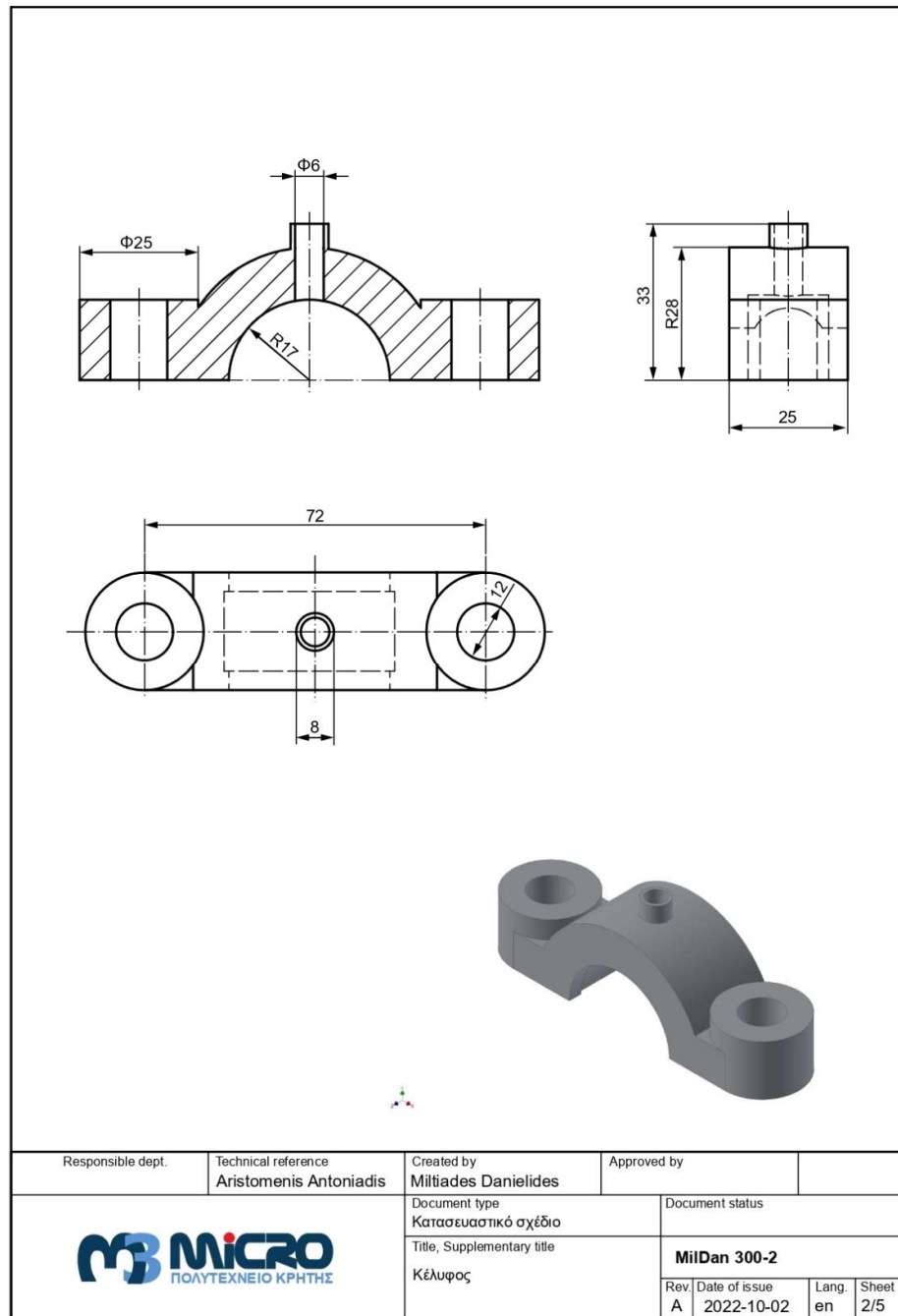


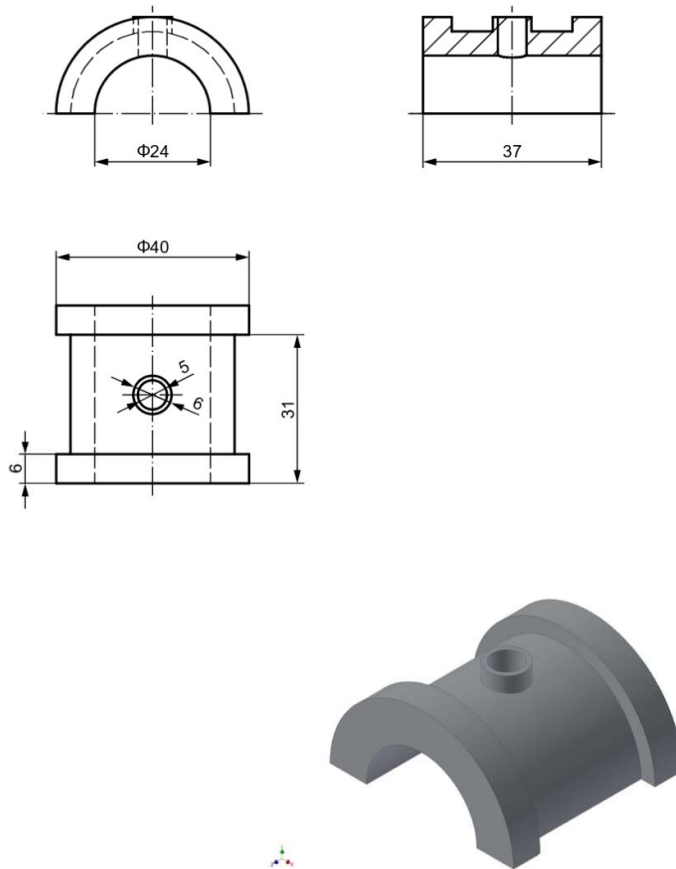
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Κατασκευαστικά σχέδια	Document status	
		Title, Supplementary title Εξαρτήματα συστήματος άρθρωσης	MilDan 200-1	
Rev.	Date of issue	Lang.	Sheet	
A	2022-10-02	en	2/3	




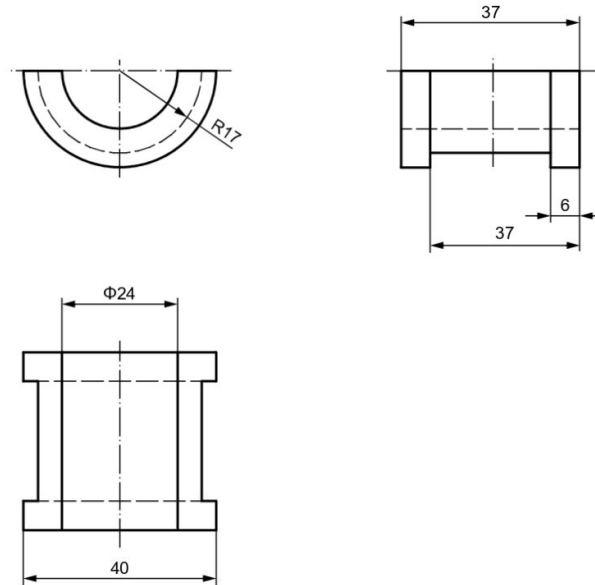
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Κατασκευαστικά σχέδια	Document status	
		Title, Supplementary title Εξαρτήματα συστήματος άρθρωσης	MilDan 200-2	
Rev.	Date of issue	Lang.	Sheet	
A	2022-10-02	en	3/3	




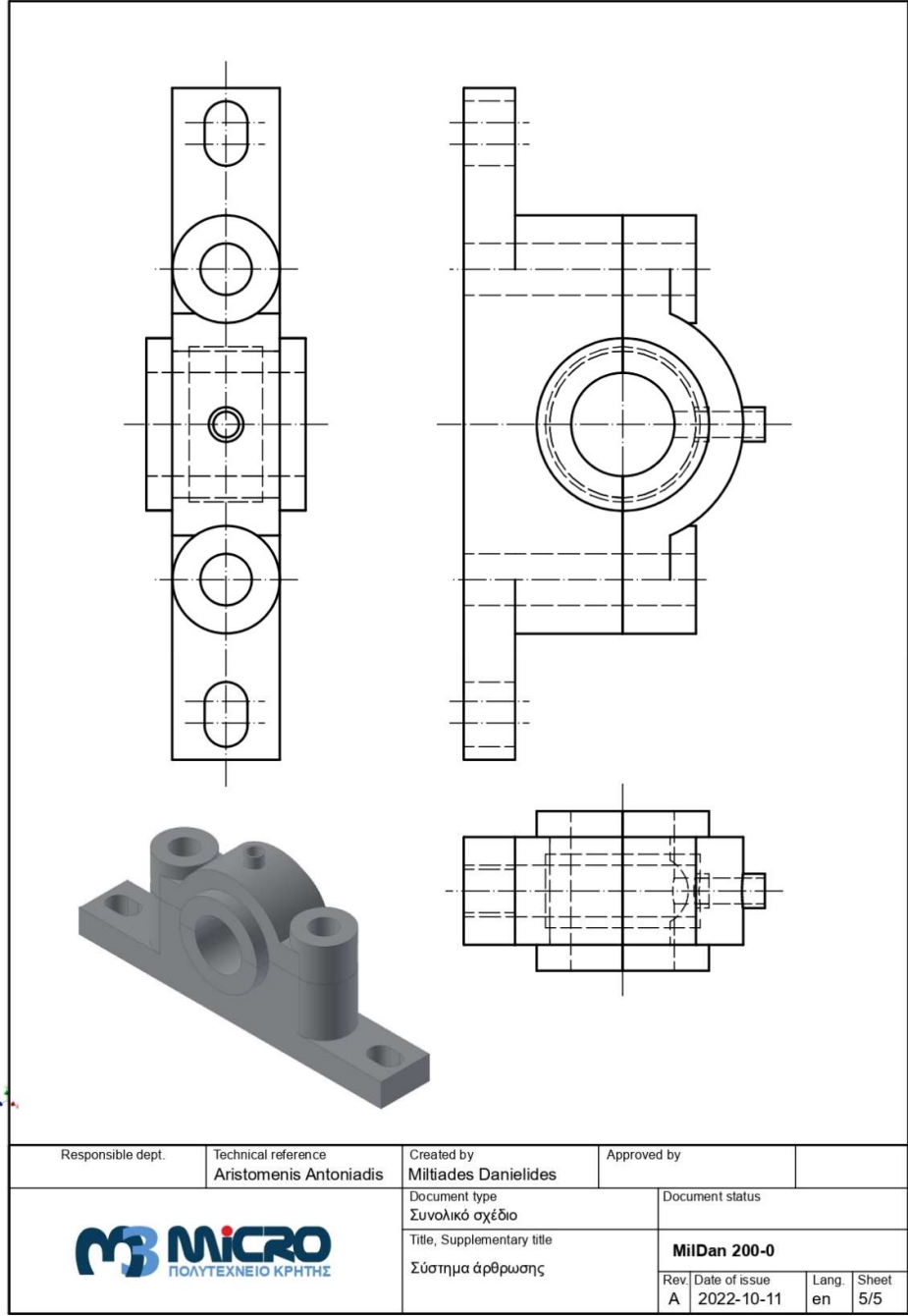


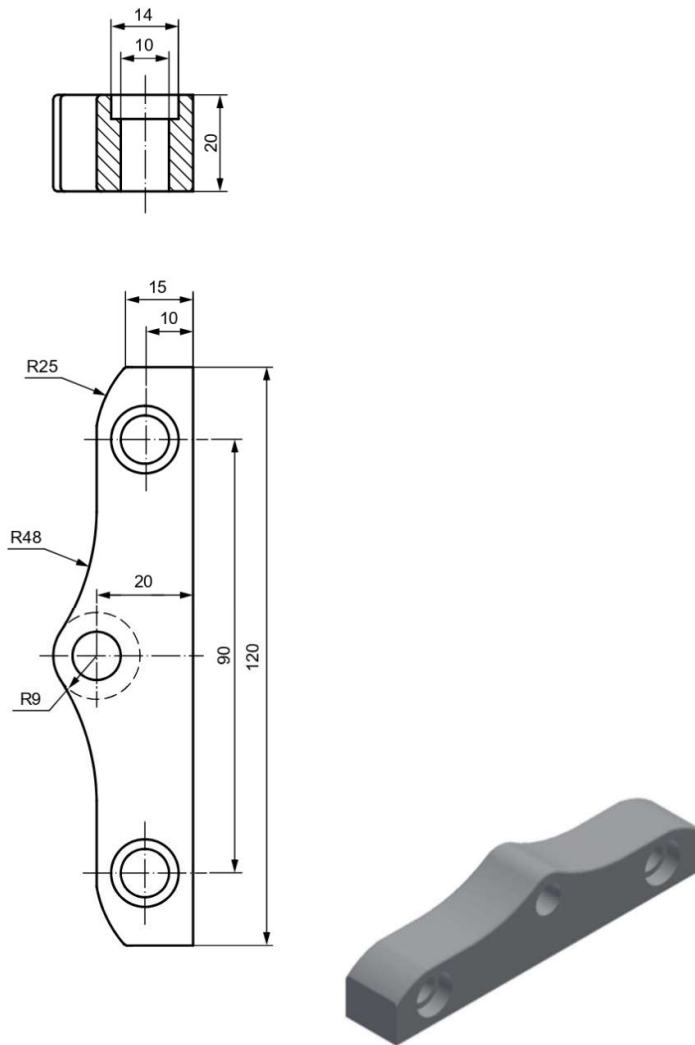



Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by		
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status		
		Title, Supplementary title Άνω Εξάρτημα	MilDan 300-3		
		Rev. A	Date of issue 2022-10-03	Lang. en	Sheet 3/5

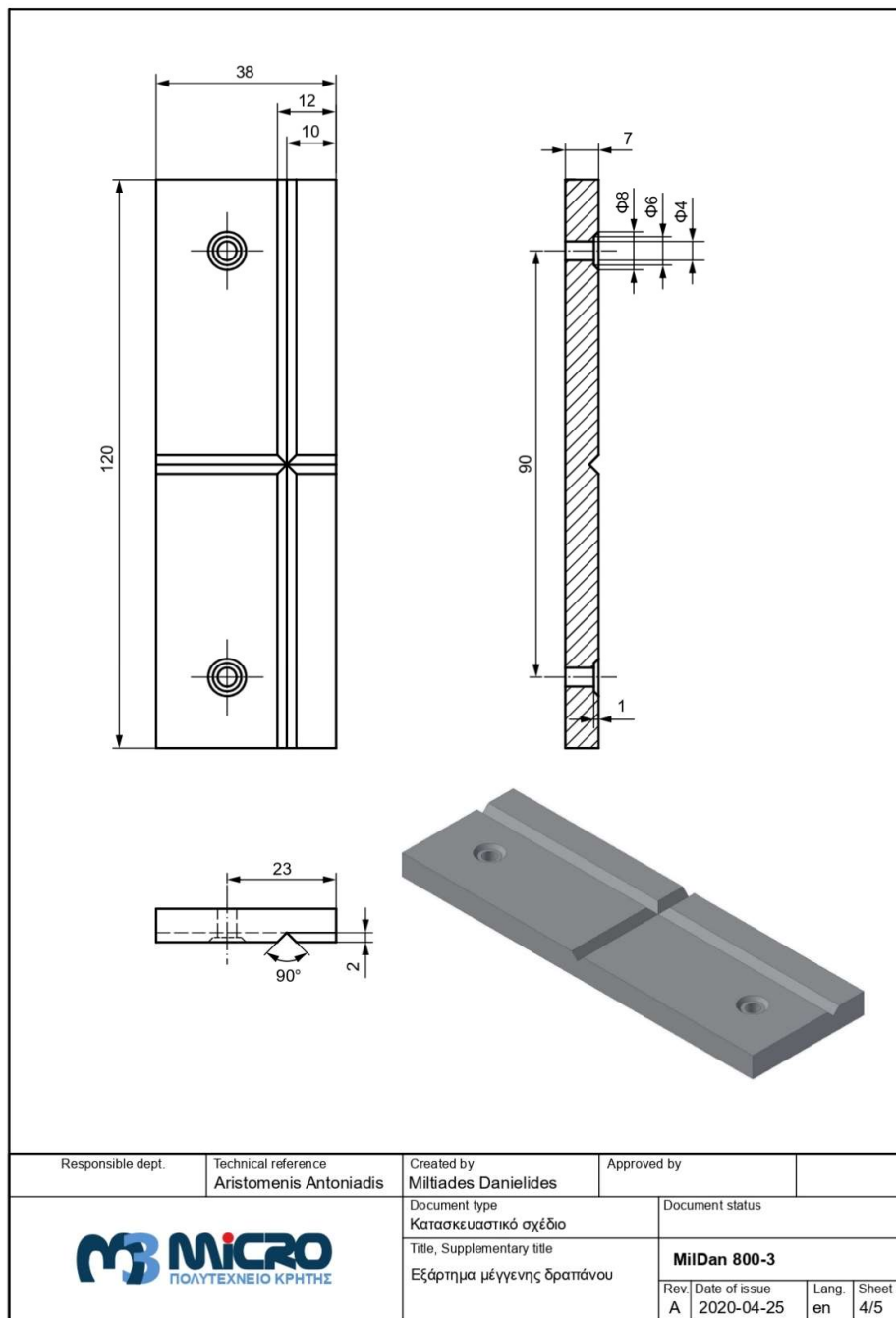


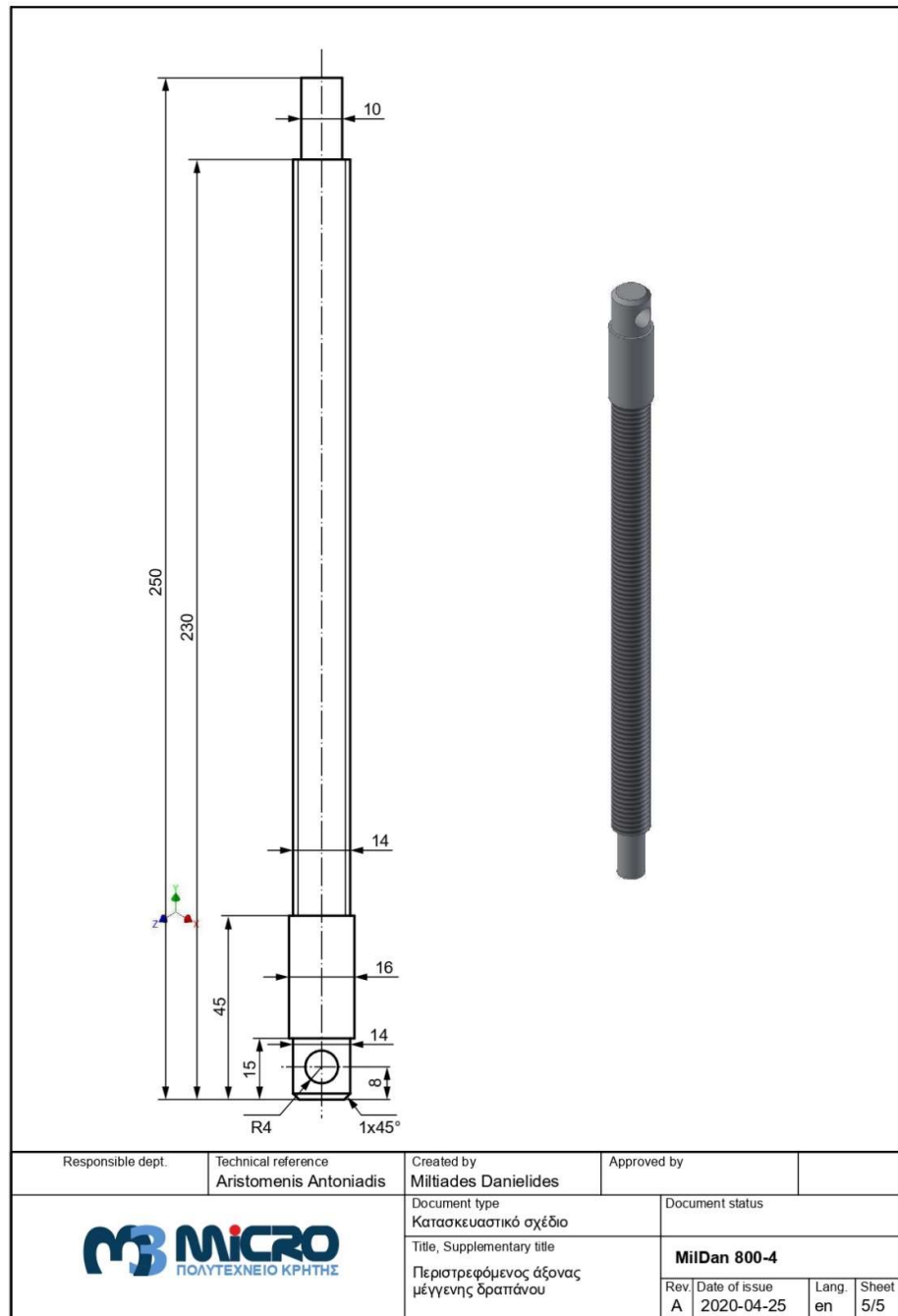
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by		
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status		
		Title, Supplementary title Κάτω Εξάρτημα	MilDan 300-4		
		Rev	Date of issue	Lang.	Sheet
		A	2022-10-04	en	4/5

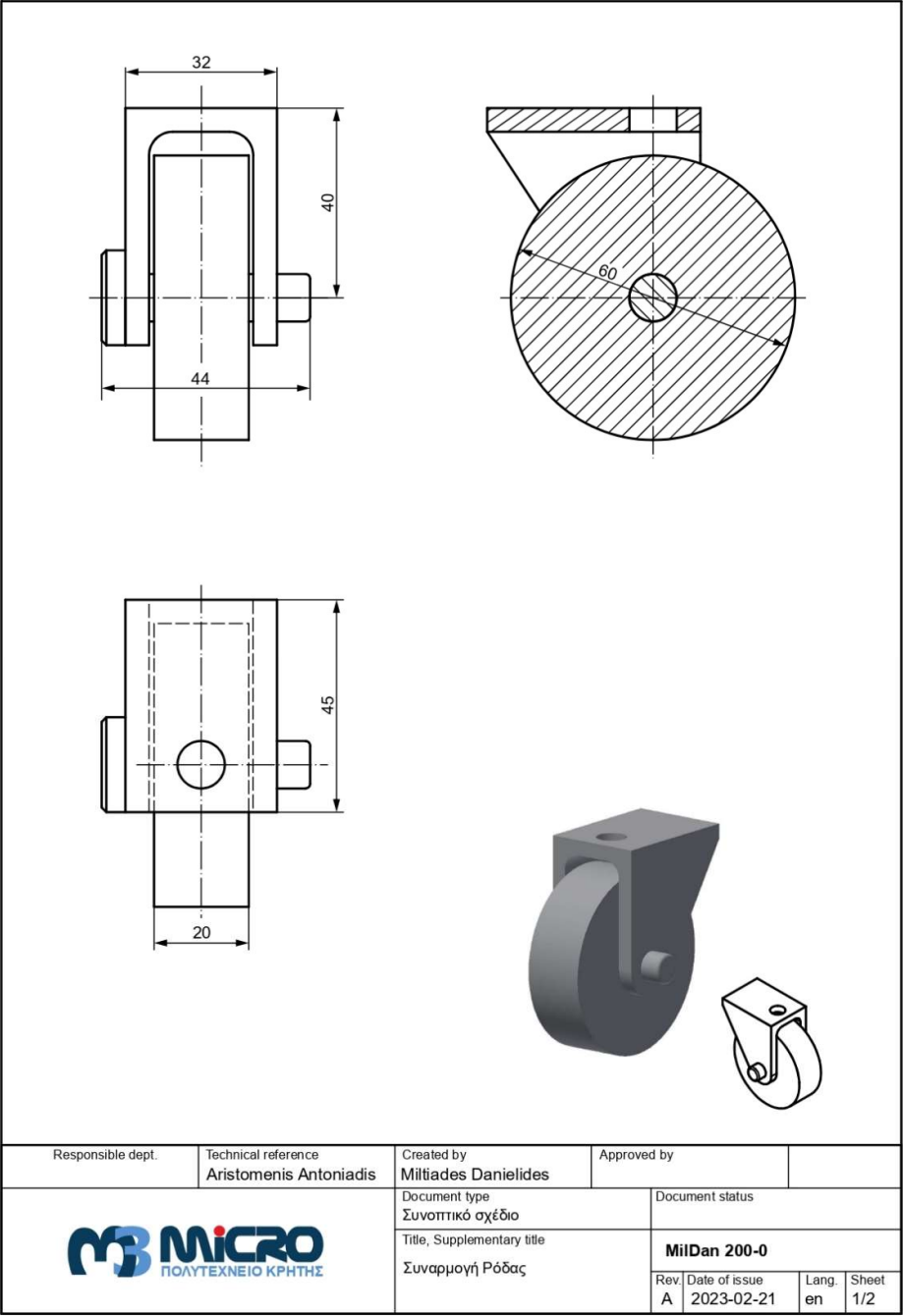





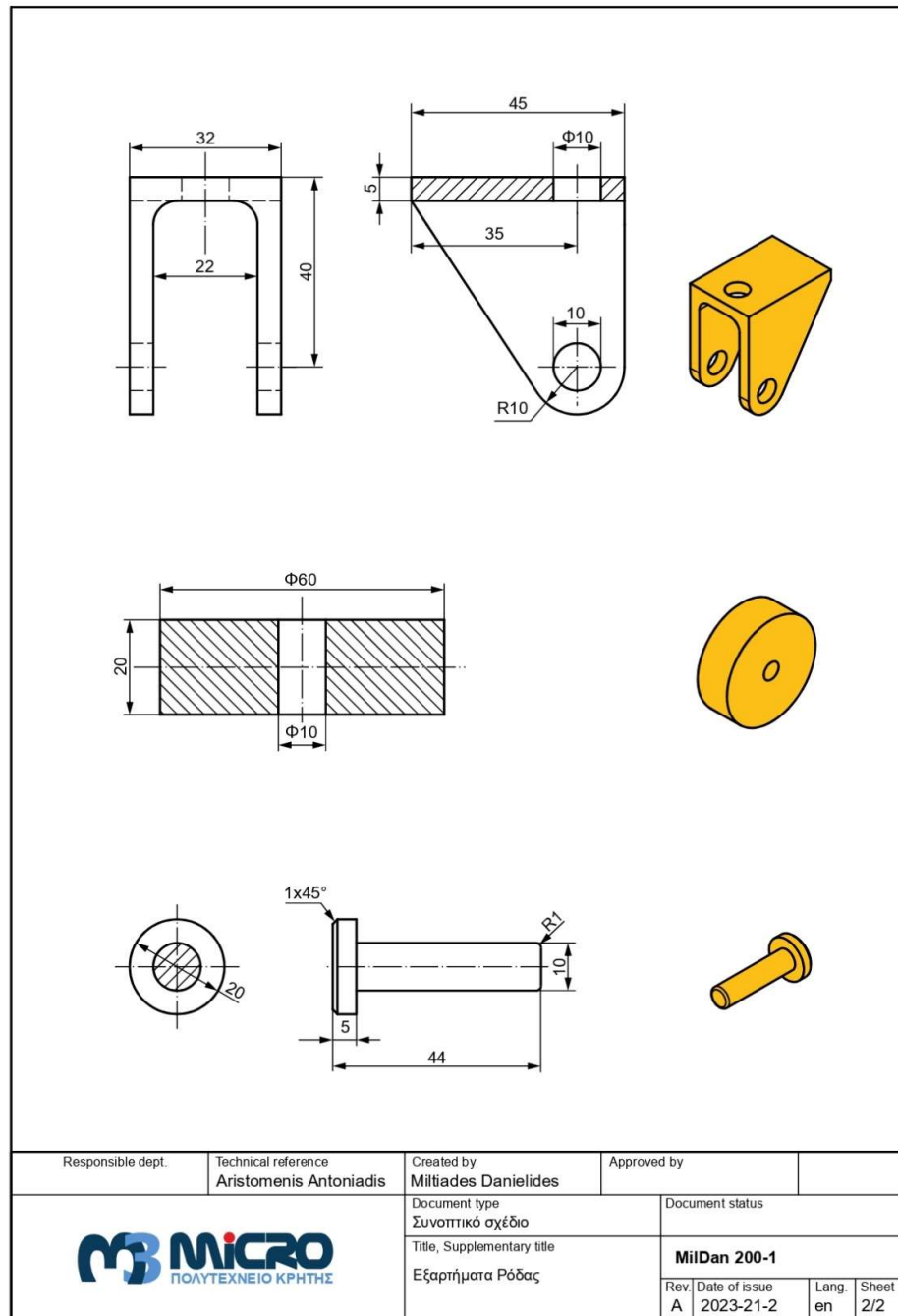
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by		
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status		
		Title, Supplementary title Κινητή σιαγώνα μέγγενης δραπάνου	MilDan 200-2		
		Rev.	Date of issue	Lang.	Sheet
		A	2020-04-25	en	3/5

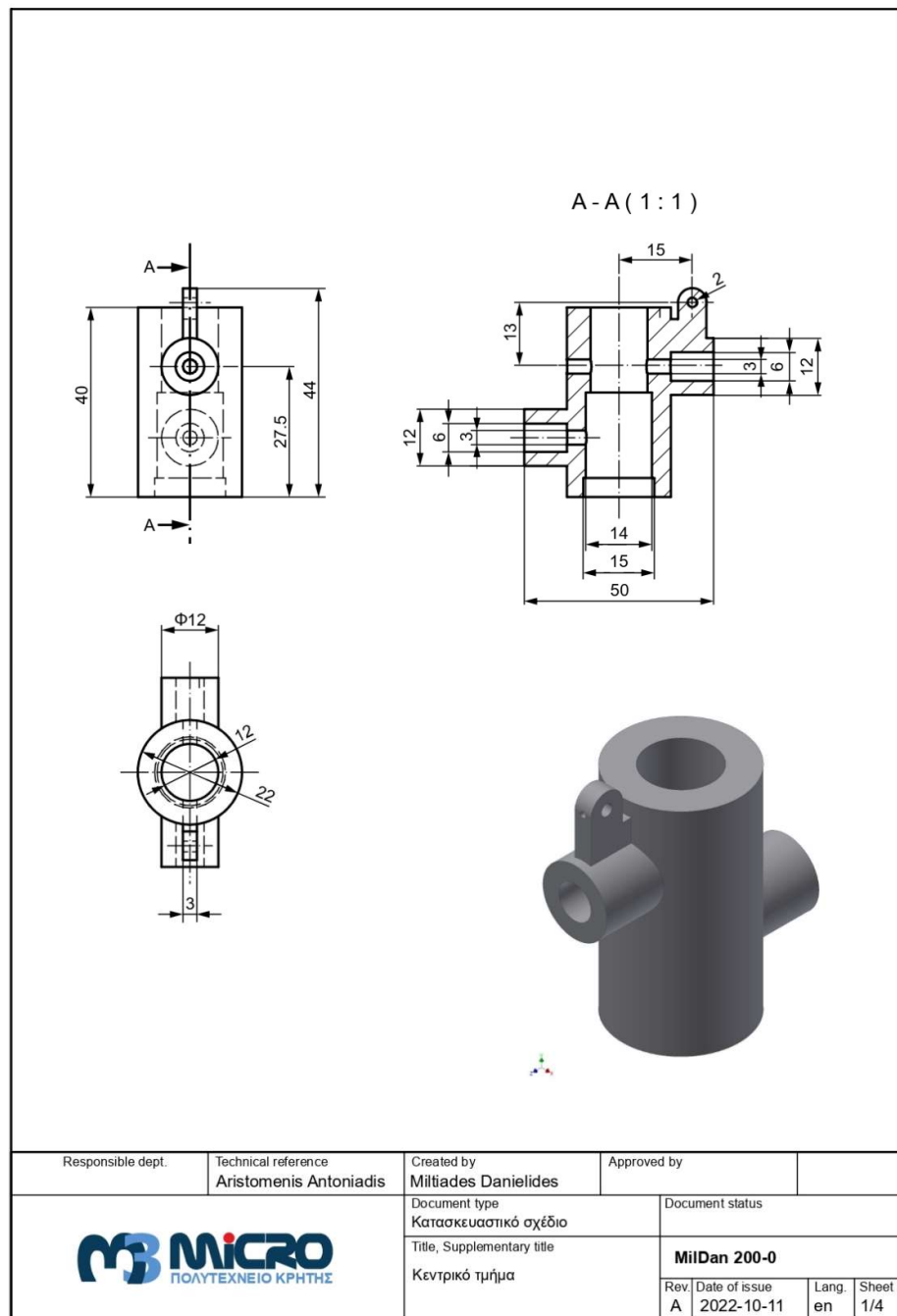




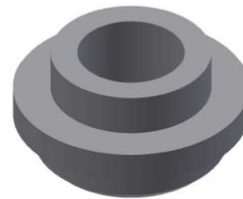
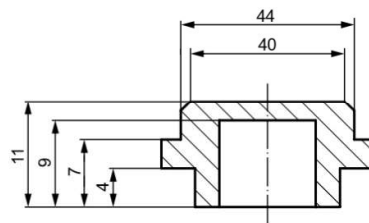
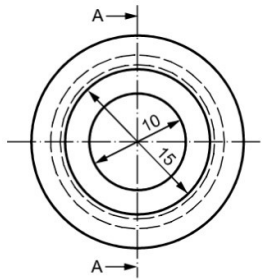



Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Συνοπτικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Συναρμολογή Ρόδας	MilDan 200-0	
		Rev.	Date of issue	Lang. Sheet
		A	2023-02-21	en 1/2

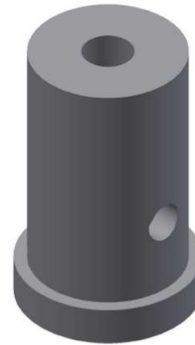
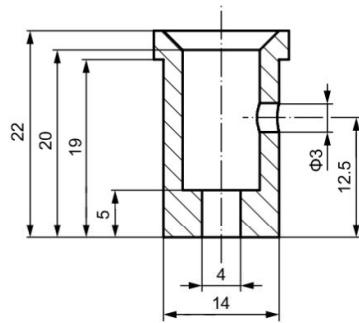
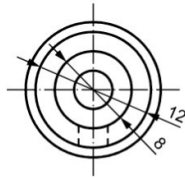





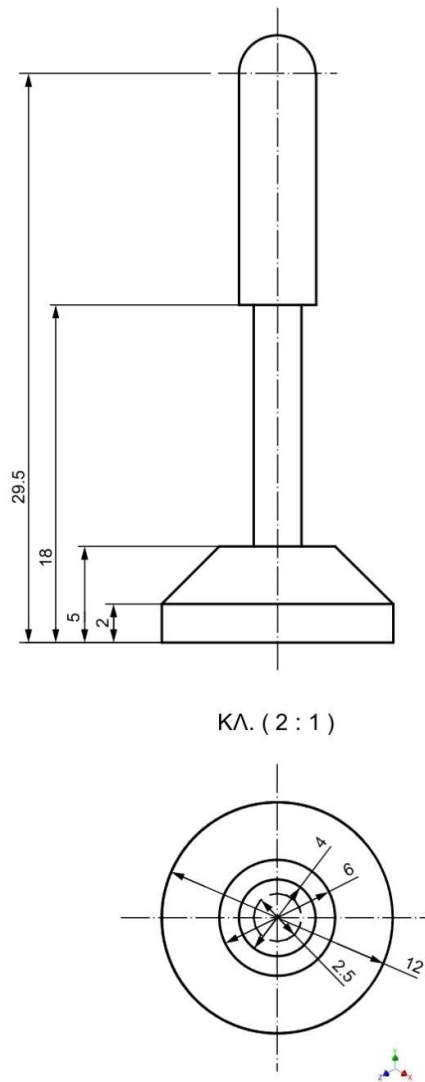
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by		
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status		
		Title, Supplementary title Κεντρικό τμήμα	MilDan 200-0		
		Rev A	Date of issue 2022-10-11	Lang. en	Sheet 1/4




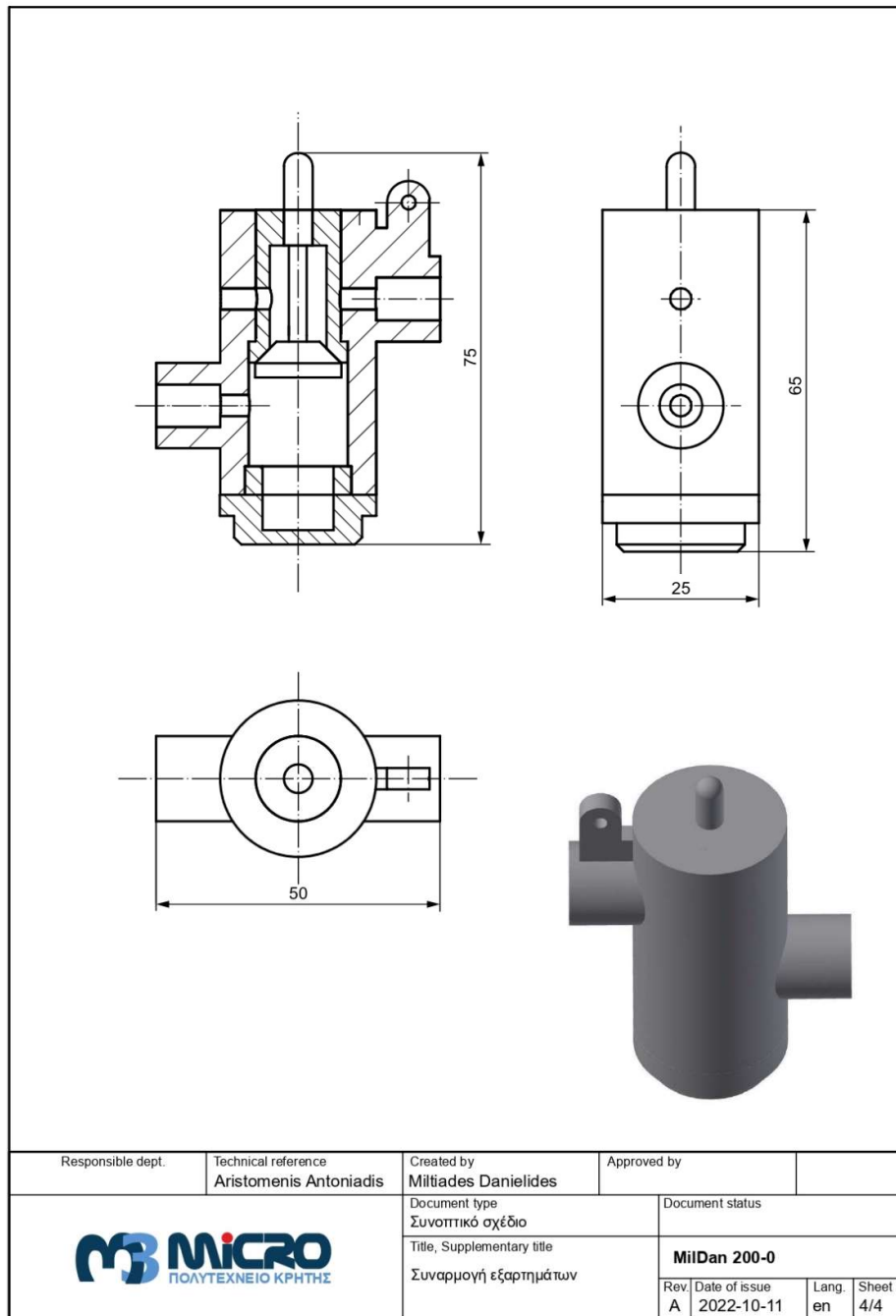
Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by		
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status		
		Title, Supplementary title Εξαρτήματα Α και Β	MilDan 200-0		
		Rev. A	Date of issue 2022-10-11	Lang. en	Sheet 2/4



Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Κατασκευαστικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Εξαρτήματα Α και Β	MilDan 200-0	
		Rev. A	Date of issue 2022-10-11	Lang. en Sheet 2/4



Responsible dept.	Technical reference Aristomenis Antoniadis	Created by Miltiades Danielides	Approved by	
		Document type Συνοπτικό σχέδιο	Document status	
		Title, Supplementary title Σύστημα άρθρωσης	MilDan 200-0	
		Rev. A	Date of issue 2022-10-11	Lang. en Sheet 3/4



Βιβλιογραφία

1. Ares, 2019, «CorelCAD 2019: Reviewer's Guide» Ares Editions. Λήψη από: https://www.coreldraw.com/static/cdgs/product_content/corelcad/2019/corelca d2019-reviewers-guide-en.pdf (07/02/2023).
2. Braufman, B., 2021, «Pro/ENGINEER Jig Demo 1987», Screenshot from Demo Video. Λήψη από: https://www.youtube.com/watch?v=Sf_ABidzBrE (08/02/2023).
3. Carblom, I., Paciorek, J., 1978, «Planar Geometric Projections and Viewing Transformations» ACM Computing Surveys, Vol.10, No.4, pp465-502.
4. Chacon, J.M., Sanchez-Reyes, J., Vallejo, J., Nunez, P.J., 2022, «G-code Generation in a NURBS Workflow for Precise Additive Manufacturing», Rapid Prototyping Journal, Vol.28, No.11, pp65-76.
5. Caudill, L., 2019, «60 Years of CAD Infographic: The History of CAD since 1957», CADENAS PARTsolutions, Article in Cadenas site. Λήψη από: <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957> (03/02/2023).
6. Dreher, T., 2015, «History of Computer Art», 1st Update, IASL Online Editions, Munchen, Germany. Λήψη από: http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA_Indexe.html (03/02/2022).
7. Kyratsis, P., Kakoulis, K., Markopoulos, A.P., 2020, «Advances in CAD/CAM/CAE Technologies», Machines Journal, Vol.8, No.13.
8. Magomedov, I.A., Bagov, A.M., Elmurzaev, A.A., 2021, «Comparative Analysis of CAD Software Packages for Engineering Design», IOP Conference Series “Materials Science and Engineering”, 1155, 012083.
9. McNeel & Associates, 2023, «RhinoCeros Uses Guide for Windows», Robert McNeel & Associates Editions.
10. Planchart, D.C., 2022, «Solidworks 2022 Tutorial: A step by step Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling», SDC Publications, Mission, USA.
11. Radhakrishnan, P., Subramanayan, S., Raju, V., 2008, «CAD/CAM/CIM», 3rd Edition, New Age International Limited Publishers, New Delhi, India.
12. Ramkumar, J., «Computer Aided Manufacturing», Lecture in Department of Mechanical & Design Program, IIT Kanpur, India. Λήψη από: <http://home.iitk.ac.in/~jrkumar/download/ME761A/Lecture%201%20Introduction%20Of%20CAM.pdf> (03/02/2023).
13. Rosebush, J., 1992, «A History of Computer Animation» Vasoulka Editions. Λήψη από: <https://www.vasulka.org/archive/Artists5/Rosebush,Judson/HistoryCompAnimation.pdf> (09/02/2023).
14. Rosebush, J., 1992, «A History of Computer Animation: A Chronology of Animation History Computer Animation Technology», Vasoulka Editions. Λήψη από: <https://archive.org/details/vasulka12596/mode/2up> (09/02/2023)
15. Saxema, A., Sahay, B., 2005, «Computer Aided Engineering Design», Springer Editions, New Delhi, India.
16. Shih, R.H., 2022, «Learning Autodesk Inventor 2022: Modeling, Assembly and Analysis», SDC Publications, Mission, USA.
17. Shih, R.H., 2022, «Parametric Modeling with Creo Parametric 9.0: An Introduction to Creo Parametric 9.0», SDC Publications, Mission, USA.

18. Shih, R.H., 2022, «AutoCAD 2022 Tutorial: First Level 2D Fundamentals», SDC Publications, Mission, USA.
19. Tornincasa, S., Di Monaco, F., 2010, «The Future and The Evolution of CAD», 14th International Research/Expert Conference, “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2010, Mediterranean Cruise, 11-18 September.
20. Verma, G., 2018, «Autodesk Fusion 360 Book», 2nd Edition, CAD/CAM/CAE Works Editions, USA.
21. Warfield, B., 2021, «CNCCookbook 2021 CAD Survey», Article in cnccookbook.com. Λήψη από: <https://www.cnccookbook.com/cnccookbook-2021-cad-survey-market-share-customer-satisfaction/> (05/02/2023).
22. Warfield, B., 2015, «CNCCookbook 2015 CAD Survey», Article in cnccookbook.com. Λήψη από: <https://www.cnccookbook.com/results-2015-cad-survey/> (05/02/2023).
23. Zeid, I., Sivasubramanian, R., 2010, «CAD/CAM Theory and Practice», McGraw Hill Editions, New York, USA.
24. Δεδούσης, Β., Γιαννάκης, Ι., Κανελλίδης, Β., 2015, «Συστήματα CAD: Βασικά Στοιχεία και Εφαρμογές», Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
25. Μακρής, Χ., 2008, «Ψηφιακά Περιβάλλοντα Σχεδίασης: Σχεδίαση με Ηλεκτρονικό Υπολογιστή – Θεωρία» Εκδόσεις ΤΕΙ Αθηνών, Αθήνα.
26. Τολίδης, Α.Κ., 2006, «Σχεδίαση με Χρήση Η/Υ», Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος “Τεχνικές Σχεδίασης με Χρήση Η/Υ”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.