

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Π.Μ.Σ. “ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Κονίδης Αναστάσιος

Εισηγητής: Βελώνη Αναστασία

ΑΘΗΝΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2018

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Κονίδης Αναστάσιος
A.M: ais_0096

Εισηγητής:

Εισηγητής: βελώνη Αναστασία

Εξεταστική Επιτροπή:

.....
.....

Ημερομηνία εξέτασης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό των Συστημάτων CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε θερμά η κ Βελώνη Αναστασία την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής, οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνικών σχεδίασης και παραγωγής προϊόντων. Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός σε διεθνές επίπεδο με την παράλληλα μειωμένη διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού οδήγησε τις βιομηχανίες στην υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών, παραμερίζοντας την παραδοσιακή προσέγγιση παραγωγής προϊόντων. Αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης προσέγγισης παραγωγής προϊόντων αποτελούν τα συστήματα CAD/CAM/CAE. Τα οφέλη και η συμβολή των συστημάτων CAD/CAM/CAE είναι σήμερα ευρέως παραδεκτά από όλες τις επιχειρήσεις και βιομηχανίες που τα έχουν χρησιμοποιήσει. Το Μέλλον της βιομηχανίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την αποκλειστική χρήση συστημάτων CAD/CAM/CAE. Η τεχνολογία βαδίζει προς αυτή την κατεύθυνση.

ABSTRACT

The rapid development of computer and electronics technology has led to the development of new product design and production techniques. Increasing competition at international level, with the reduced availability of skilled staff, has led the industries to adopt modern technologies, by neglecting the traditional product-based approach. An integral part of the modern product manufacturing approach is CAD / CAM / CAE. The benefits and contribution of CAD/CAM/CAE systems are now widely accepted by all businesses and industries that have used them. The Future of Industry is inseparably linked to the exclusive use of CAD/CAM/CAE systems. Technology is moving in this direction.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Συστήματα CAD/CAM/CAE, Αριθμητικός Έλεγχος (NC), Αυτοματισμός, Προσομοίωση

SCIENTIFIC AREA: CAD/CAM/CAE systems, Numerical Control (NC), Automation, Simulation

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: CAD, CAM, CAE, CAx, NC, Βιομηχανία

KEYWORDS: CAD, CAM, CAE, CAx, NC, Industry

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Περιγραφή του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας	11
1.2 Οργάνωση κειμένου.....	12
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	15
2.1 Οι αρχικές ιδέες	15
2.2 Οι υπολογιστές	17
2.3 Η δεκαετία του 1950.....	18
2.4 Η δεκαετία του 1960.....	19
2.5 Η δεκαετία του 1970.....	22
2.6 Η δεκαετία του 1980.....	22
2.7 Η δεκαετία του 1990.....	23
2.8 Η δεκαετία του 2000.....	24
2.9 Σύγχρονες τάσεις.....	24
3. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAD)	25
3.1 Εισαγωγή	25
3.2 Χρήσεις των CAD	29
3.3 Τύποι των CAD.....	31
3.4 Τεχνολογία	32
3.5 Λογισμικό CAD	34
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΣΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAM)	39
4.1 Εισαγωγή.....	39
4.2 Ιστορία του CAM.....	40
4.3 Διαδικασία επεξεργασίας	44
4.4 Οι 20 μεγαλύτερες εταιρείες λογισμικού CAM	45
4.5 Λογισμικό CAM	46

5. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (CAE).....	49
5.1 Εισαγωγή	49
5.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης CAE	53
5.3 Λογισμικό CAE	56
6. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM/CAE ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	59
6.1 Η είσοδος των CAD/CAM/CAE στη βιομηχανία.....	59
6.2 Αναλυτική Περιγραφή του Κύκλου Παραγωγής Ενός Τυπικού Προϊόντος.....	61
6.3 Επίδραση της Τεχνολογίας CAD/CAM/CAE στον Κύκλο Παραγωγής.....	69
6.4 Συστήματα Παραγωγής, CAD/CAM και Αυτοματισμός.....	78
6.5 Σύγχρονα Συστήματα CAD CAM στη Βιομηχανική Παραγωγή...	82
6.6 Πλεονεκτήματα ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών έναντι συμβατικών εργαλειομηχανών.....	84
6.7 Προσομοίωση στη βιομηχανική παραγωγή.....	86
6.8 Η διαδικασία μοντελοποίησης.....	91
7. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ CAD.....	93
7.1 AutoCad.....	93
7.2 ProEngineer.....	102
7.3 Solidworks.....	108
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	117
8.1 Σύνοψη της πτυχιακής εργασίας.....	117
8.2 Το Μέλλον.....	117
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	119
10. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Περιγραφή του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζεται στη μελέτη των συστημάτων CAD/CAM/CAE στη Βιομηχανία.

Οι όροι CAD/CAM/CAE προέρχονται από τα αρχικά των λέξεων **Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, Computer Aided Engineering**.

Επειδή οι όροι σχεδιασμός (design) και τεχνική μελέτη (engineering) εν μέρει ταυτίζονται, ενώ συγχρόνως αναφέρονται τόσο στην εκτέλεση υπολογισμών, όσο και στην παραγωγή σχεδίων, ευθύς αμέσως θα επιχειρήσουμε ένα εννοιολογικό επαναπροσδιορισμό των παραπάνω όρων, ο οποίος έχει επικρατήσει στη διεθνή ορολογία, και θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να καθιερωθεί και στην ελληνική.

Όταν χρησιμοποιούμε τον Η/Υ για εκτέλεση υπολογισμών έχουμε Computer Aided Engineering (CA).

Όταν παράγουμε μόνο σχέδια, έχουμε Computer Aided Drafting (CAD).

Όταν έχουμε σύγχρονη παραγωγή σχεδίων και υπολογισμών έχουμε Computer Aided Design and Drafting (CADD).

Στην περίπτωση χρήσης του υπολογιστή για διακίνηση πληροφοριών και παραγωγή καταλόγων έχουμε αυτό που λέγεται Computer Aided Administration (CAA.)

Computer Aided Engineering (CAE) είναι το σύνολο των παραπάνω, δηλαδή:

$$CAE = CAD + CAE + CADD + CAA$$

Σε ένα βήμα παραπέρα χρησιμοποιεί κανείς το CAE για αυτόματη παραγωγή διαφόρων προϊόντων οπότε μιλάμε για Computer Aided Manufacturing (CAM.).

Η εργασία ξεκινώντας, αφού κάνει εκτενή ιστορική αναφορά στα συστήματα CAD/CAM/CAE από τη γέννησή τους μέχρι σήμερα, εξετάζει διεξοδικά τα τρία συστήματα διεξοδικά, τονίζοντας τις διαφορές τους αλλά και την μεταξύ τους αλληλένδετη σχέση.

Κάνει αναφορές για τη χρήση τους σε όλους τους τομείς και στη βιομηχανία γενικότερα, και αναφέρει τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των συστημάτων αυτών σε σχέση με παλαιότερες μεθόδους των δεκαετιών του προηγούμενου αιώνα.

Τέλος, αναφέρει και μελετάει ενδεικτικά τρία πακέτα σχεδίασης με υπολογιστή που είναι σήμερα πολύ δημοφιλή.

1.2 Οργάνωση κειμένου

Το 1^ο κεφάλαιο αναφέρεται στο θέμα και το περιεχόμενο της πτυχιακής εργασίας.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής ιστορική αναδρομή στη γέννηση και εξέλιξη των συστημάτων CAD/CAM/CAE ξεκινώντας από την αρχαιότητα ακόμα και καταλήγοντας στο σήμερα. Γίνεται λεπτομερής αναφορά της προόδου των συστημάτων αυτών, ανά δεκαετία.

Το 3^ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα συστήματα CAD.

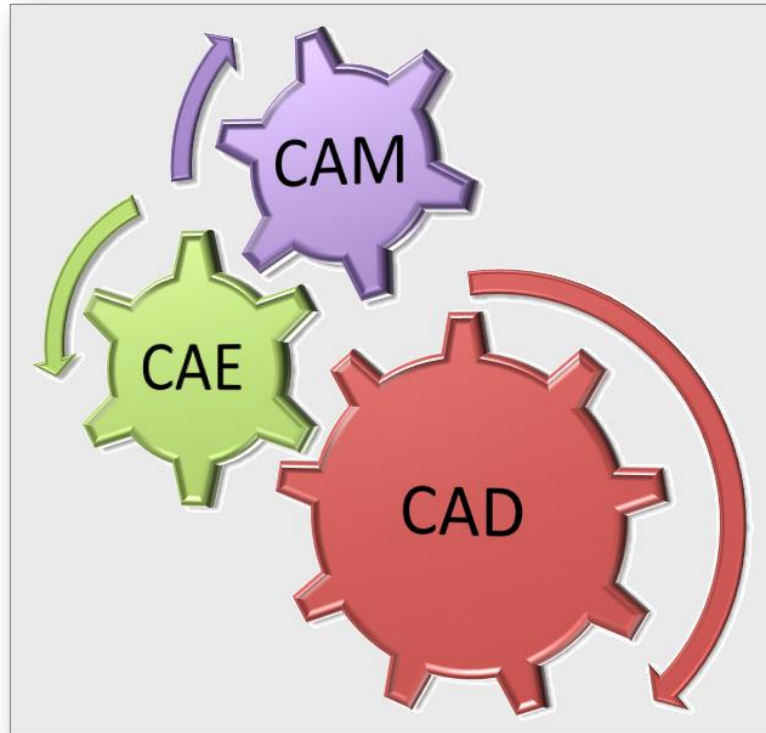
Στο 4^ο κεφάλαιο μελετώνται τα συστήματα CAM.

Το 5^ο κεφάλαιο αναφέρεται αναλυτικά στα συστήματα CAE.

Η μελέτη των σύγχρονων συστημάτων CAD/CAM/CAE γίνεται πιο συγκεκριμένη στο 6^ο κεφάλαιο όπου μελετώνται αναλυτικά τα συστήματα αυτά στη βιομηχανία.

Στη συνέχεια, στο 7^ο κεφάλαιο, αναφέρονται και μελετώνται ενδεικτικά τρία από τα σπουδαιότερα πακέτα σχεδίασης με υπολογιστή: το AutoCad, το ProEngineer και το SolidWorks.

Τέλος, στο 8^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα όλης της πτυχιακής εργασίας και γίνεται και μια μικρή αναφορά στις μελλοντικές κατευθύνεις CAD/CAM/CAE γενικότερα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Οι αρχικές ιδέες

Πατέρας της σχεδίασης θεωρείται ο **Ευκλείδης ο Αλεξανδρεύς** (300 π.Χ.). Η ανάπτυξη του σύγχρονου λογισμικού CAD, βασίζεται στο έργο του Ευκλείδη (περίπου το 350 πχ) «Τα Στοιχεία», όπου αναπτύσσονται τα θεωρήματα και αξιώματα της γνωστής σήμερα σε όλο το κόσμο Ευκλειδείου Γεωμετρίας.



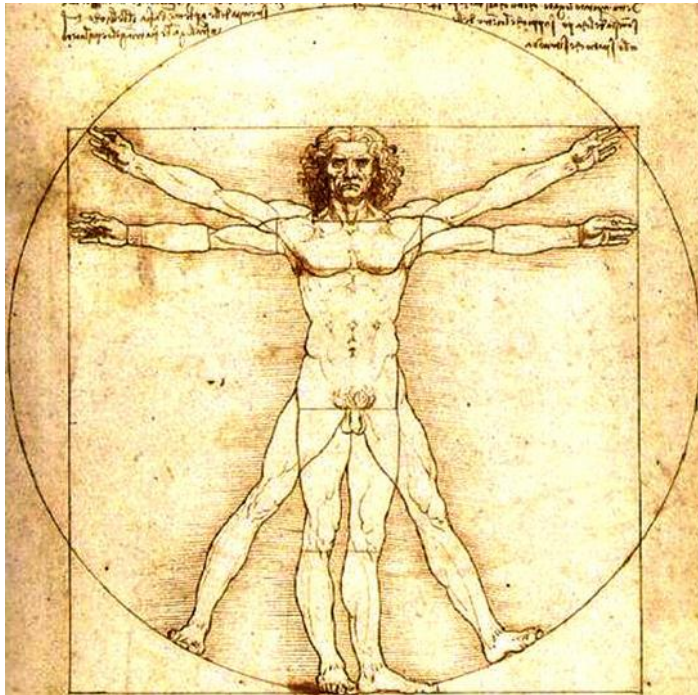
Ευκλείδης ο Αλεξανδρεύς (300 π.Χ.).

Γραφική επικοινωνία ανέπτυξαν εκτός από τους Έλληνες, οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι και οι Ρωμαίοι.

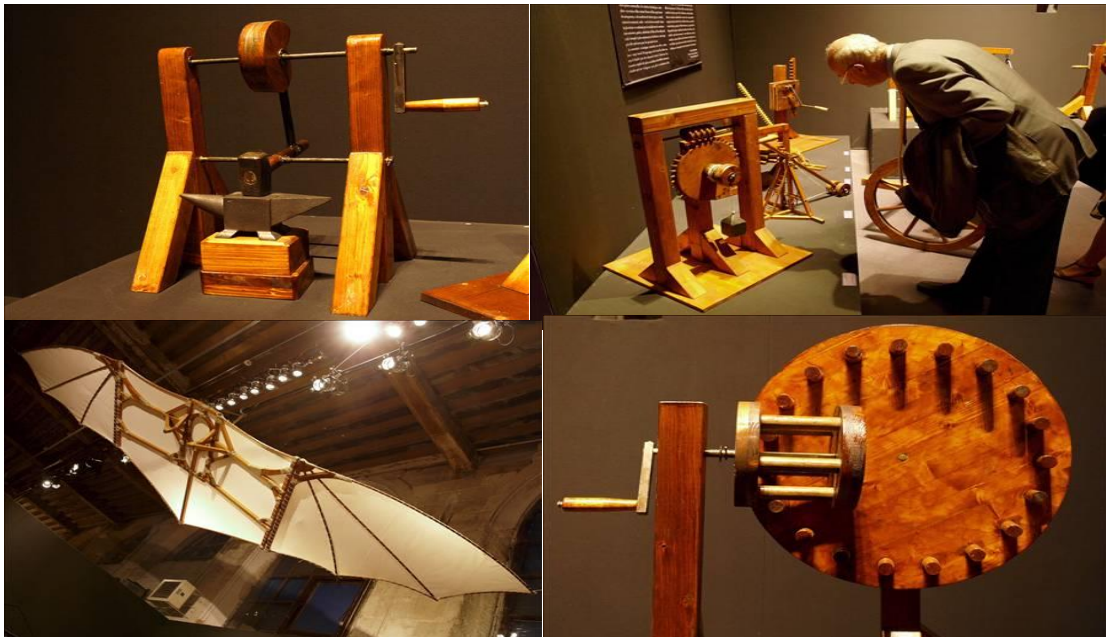
Στη συνέχεια, πρωτοπόρος στη σχεδίαση συστημάτων και μηχανών είναι ο **Leonardo da Vinci** (1452-1519). Είναι σε όλους μας γνωστά τα

Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

Σχέδια, οι Μηχανές, οι Μηχανισμοί και τα Ρομπότ (Codex Atlanticus) που σχεδίασε και κατασκεύασε.



Σχέδιο και
κατασκευή
του Leonardo da Vinci (1452-1519)



Κατασκευές από σχέδια του L. da Vinci

Ένας άλλος επιστήμονας που έβαλε κι αυτός τις αρχές της σχεδίασης και κατασκευής, ήταν ο Γάλλος φυσικο-μαθηματικός **Gaspard Monge** (1746-1818).

Σε ηλικία 16 ετών έγινε καθηγητής στο Παν/μιο της Λυών. Έγραψε το πρώτο βιβλίο τεχνικού σχεδίου στην Ευρώπη με τίτλο «Geometrie Descriptive». Στο βιβλίο αυτό έδειξε ο Monge ότι μπορούμε να παραστήσουμε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο επακριβώς, σχεδιάζοντας διάφορες όψεις και/ή τομές του με συγκεκριμένους κανόνες. Θεωρείται ο θεμελιωτής της παραστατικής Γεωμετρίας.



Gaspard Monge (1746-1818)

2.2 Οι υπολογιστές

Οι υπολογιστές έκαναν την πρώτη εμφάνισή τους κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1940. Οι πρώτες επινοήσεις ήταν ογκώδεις, παρουσίαζαν λειτουργικές δυσκολίες κατά τη χρήση τους και εκτελούσαν υπολογισμούς σχετικά αργά, σε σύγκριση με τους σύγχρονους ψηφιακούς υπολογιστές. Οι σημερινοί υπολογιστές είναι πιο συμπαγείς, πιο γρήγοροι και πιο οικονομικοί από τους προκατόχους τους.

Οι περιοχές εφαρμογών των υπολογιστών έχουν επίσης αυξηθεί ραγδαία. Οι υπολογιστές χρησιμοποιούνται ευρέως στη Μηχανολογία, στις

Επιχειρήσεις, στην Εκπαίδευση και στην Ιατρική. Εντούτοις, η πιο θεαματική ανάπτυξή τους έχει γίνει στον τομέα του CAD/CAM – Computer Aided Design και Computer Aided Manufacture.

Αυτή η νέα τεχνολογία, που έκανε την εμφάνισή της περίπου την τελευταία δεκαετία, έχει συμβάλλει στην τεράστια ανάπτυξη της παραγωγικότητας. Η υψηλότερη παραγωγικότητα αποτελεί το πρωταρχικό κίνητρο των χρηστών για να αποκτήσουν ένα σύστημα CAD/CAM.

Το CAD/CAM παρέχει την ενοποίηση των λειτουργιών σχεδιασμού, ανάλυσης και κατασκευής σε ένα σύστημα, το οποίο είναι διαθέσιμο στο χρήστη κάθε στιγμή. Επιπλέον, άλλες μονότονες (αλλά σημαντικές) και εργασίες ρουτίνας, όπως η προετοιμασία του κόστους των υλικών, η κοστολόγηση, ο προγραμματισμός παραγωγής κ.ά. μπορούν να γίνουν αυτόματα με χρήση του ίδιου δικτύου υπολογιστών.

Ένα άλλο όφελος της χρήσης των υπολογιστών είναι η εξοικονόμηση χρόνου από τη σχεδιαστική σκέψη μέχρι την κατασκευή. Το κόστος παραγωγής προϊόντων μπορεί επίσης να μειωθεί σημαντικά, καθώς η ανάλυση με τη βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να συνδεθεί με το σχεδιασμό, με αποτέλεσμα το βέλτιστο σχεδιασμό σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στα συστήματα CAD/CAM μπορούμε να πούμε ότι το CAD/CAM πέρασε από **τέσσερις βασικές φάσεις ανάπτυξης** στις προηγούμενες 4 δεκαετίες.

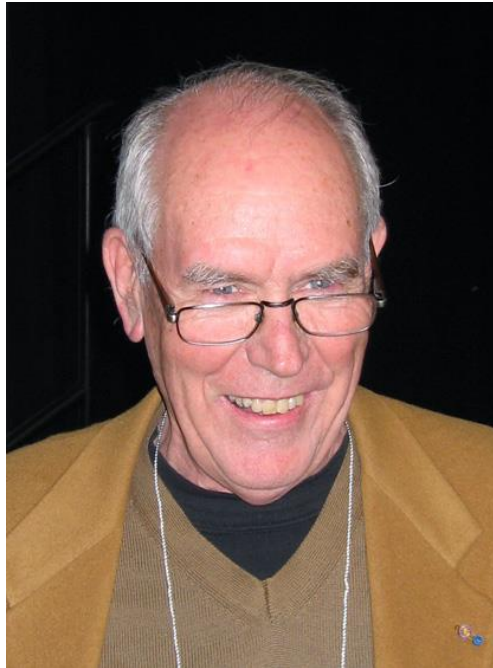
2.3 Η δεκαετία του 1950

Η πρώτη φάση καταγράφεται στη δεκαετία του **1950** και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν η αρχή των γραφικών με τη βοήθεια υπολογιστή. Στο MIT έγινε δυνατό να συνδεθεί οθόνη τηλεόρασης με υπολογιστή για την παραγωγή απλών εικόνων με έναν υπολογιστή στα 1950. Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1950 ανακαλύφθηκε και χρησιμοποιήθηκε η **φωτεινή πένα**, καθώς επίσης και η **APT**, η οποία είναι γλώσσα αυτόματου προγραμματισμού εργαλείων. Η γλώσσα προγραμματισμού

APT (Automatically Programmed Tools) ήταν μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού για υπολογιστές.

2.4 Η δεκαετία του 1960

Η δεκαετία του **1960** αντιπροσωπεύει την πιο κρίσιμη περίοδο ερευνών για τα γραφικά με τη βοήθεια υπολογιστή. Το γεγονός ότι οι υπολογιστές βγήκαν έξω από τα ερευνητικά εργαστήρια και χρησιμοποιήθηκαν από βιομηχανίες και ερευνητές έδωσε μεγάλη ανάπτυξη στο computer graphics



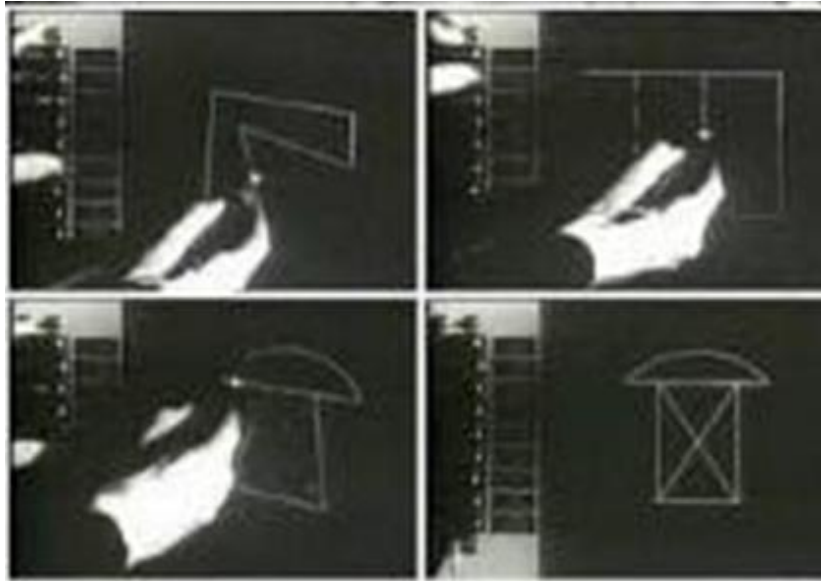
αυτή τη δεκαετία.

Ivan Sutherland (1938-)

Το 1962 ο **Ivan Sutherland** παρουσίασε το σύστημα **Sketchpad** στη διδακτορική του διατριβή. Ήταν ένα καινοτόμο πρόγραμμα, αλληλεπίδρασης οθόνης TV με υπολογιστή και παρουσίαση γραφικών. Θεωρείται το πρώτο CAD υπολογιστικό πρόγραμμα. Στο Sketchpad χρησιμοποιείται για πρώτη φορά η επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα με πένα φωτός και οθόνη καθοδικών ακτίνων.

Το σύστημα αυτό αποτέλεσε ένα σταθμό στην εξέλιξη του CAD, αποδεικνύοντας ότι είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σχέδια και διορθώσεις αυτών των σχεδίων σε πραγματικό χρόνο μπροστά σε μια οθόνη υπολογιστή. Ο όρος **Computer Aided Design** ή CAD άρχισε να εμφανίζεται την εποχή αυτή. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960

παρουσιάζονται στην αγορά οθόνες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα γραφικών.



SketchPad η πρώτη εφαρμογή CAD

Αργότερα, το 1968 μαζί με τον μαθητή του **Bob Sproul**, στο Harvard κατασκεύασαν την **πρώτη μηχανή εικονικής πραγματικότητας**.

Οι πρώτες εφαρμογές **CAE** αφορούσαν την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών και ένα από τα πρώτα ολοκληρωμένα προγράμματα αναπτύχθηκε από την Αμερικάνικη Υπηρεσία NASA στα μέσα της δεκαετίας του '60, γνωστό σαν **NASTRAN**. Κύριο καθήκον του ήταν η εκτέλεση ακουστικής, ηλεκτρομαγνητικής, δομικής ανάλυσης καθώς και μελέτη φαινομένων μεταφοράς θερμότητας με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, και είχε σαν κύριο τομέα δραστηριότητας την αεροδυναμική.

Η σπουδαιότητα των συστημάτων CAD επισημάνθηκε πολύ γρήγορα από ορισμένες μεγάλες Εταιρείες, οι οποίες ενσωμάτωσαν ανάλογα συστήματα στη διαδικασία παραγωγής τους. Εκεί, καταρχάς χρησιμοποιήθηκαν σε πειραματικό στάδιο, αλλά δεν άργησαν να υπεισέλθουν επί ίσοις όροις με τα άλλα μέσα στο σχεδιασμό μεγάλων Έργων. Όλα σωστά τα πρώτα συστήματα, στήριζαν τη λειτουργία τους σε

μεγάλες μονάδες Η/Υ (**Mainframe Computers**) και πολλά από αυτά αναπτύχθηκαν σε συνεργασία με Εταιρείες κατασκευάστριες Η / Υ, όπως η IBM και η Control Data. Κύριο μειονέκτημα των πρώτων αυτών συστημάτων, ήταν το πολύ υψηλό τους κόστος, γεγονός που τα καθιστούσε προσιτά μόνο από οικονομικά εύρωστες Εταιρείες κολοσσούς, όπως η General Motors, η Lockheed, η McDonnell Douglas, η Boeing κ.ά.



Στα τελευταία χρόνια της δεκαετίας του '60, έκαναν δειλά την εμφάνισή τους στο εμπόριο, συστήματα CAD/CAM/CAE ικανά να λειτουργήσουν και σε μικρότερους Η/Υ (**Mini Computers**). οι πρώτες εφαρμογές αφορούσαν τη

βιομηχανία ηλεκτρονικών και χρησιμοποιήθηκαν κύρια στη σχεδίαση τυπωμένων κυκλωμάτων. Διάφορες δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν σ' αυτή τη φάση και ένα προσωρινόπισωγύρισμα στο χειρωνακτικό τρόπο σχεδίασης, στάθηκαν αφορμή για την ανάπτυξη πιο τελειοποιημένων συστημάτων CAD, που επιτελούσαν τη σχεδίαση, επιτρέποντας στο χρήστη να έχει άμεσο έλεγχο των εντολών σχεδίασης που δίνει στον υπολογιστή.



Εγκαινιάστηκε έτσι η περίοδος των **Interactive Graphics** προγραμμάτων, στα οποία ο χρήστης επιτελεί τη σύνθεση της εφαρμογής του, απαντώντας σε διάφορα μηνύματα και οδηγίες που εμφανίζονται στην οθόνη του τερματικού του.

2.5 Η δεκαετία του 1970

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του **1970** αρχίζουν να αποδίδουν οι ερευνητικές προσπάθειες της δεκαετίας του '60 στη **βιομηχανία**, τις **υπηρεσίες** και στην **ακαδημαϊκό πανεπιστημιακό χώρο**. Διοικήσεις σε διάφορες υπηρεσίες και βιομηχανίες αρχίζουν να συνειδητοποιούν την επίδραση της νέας CAD/CAM τεχνολογίας πάνω στη βελτίωση της παραγωγικότητας των υπηρεσιών και των εργασιών κατασκευής στα τέλη του '70. Μέχρι τότε, οι μηχανικοί χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία αυτή αποκλειστικά για σχεδιαστικούς σκοπούς. Αρχίζουν να απαιτούνται από τους κατασκευαστές περισσότερες σχεδιαστικές και κατασκευαστικές εφαρμογές με τη βοήθεια των υπολογιστών.

Τη δεκαετία αυτή:

- Εμφανίζεται και αρχίζει να χρησιμοποιείται ο όρος CAD.
- Πρόκειται κυρίως για προσπάθειες ψηφιοποίησης της δισδιάστατης σχεδίασης.
- General Motors: (1964) DAC-1 (Design Automated by Computer)
- Lockheed Aircraft: (1965) CADAM
- Bell Phone Labs: (1965) GRAPHIC-1

Ο **K. Vesprille's** (Πανεπιστήμιο των Συρακουσών) το 1975 στη διατριβή του με τίτλο "Computer-Aided Design Applications of the B-Spline Approximation Form", μαζί με προγενέστερες εργασίες των de Casteljau, Bezier, Coons and Forrest έθεσαν τις βάσεις της μοντελοποίησης σύνθετων 3D καμπυλών και επιφανειών στις οποίες το 3D λογισμικό στηρίζεται μέχρι σήμερα.

2.6 Η δεκαετία του 1980

Η δεκαετία του **1980** μπορεί να χαρακτηριστεί ως **δεκαετία της έρευνας των εφαρμογών του CAD/CAM**. Νέες θεωρίες και αλγόριθμοι βρίσκονται. Ο κύριος σκοπός για τη δεκαετία αυτή είναι η ολοκλήρωση ή/και η αυτοματοποίηση διαφόρων στοιχείων του σχεδιασμού και της κατασκευής.

Νέες απαιτήσεις για μηχανολογικές ή γενικά για εφαρμογές μηχανικών παρουσιάζονται. Ακριβείς μέθοδοι αναπαραστάσεων επιφανειών αναπτύσσονται, βασιζόμενες στους Coons, Bezier και Gordon, καθώς επίσης και B-spline επιφάνειες. Οι δυνατότητες υπολογισμού των ιδιοτήτων μάζας, ο αριθμητικός έλεγχος των εργαλειομηχανών και οι εφαρμογές πεπερασμένων στοιχείων, οι οποίες υπήρχαν εδώ και δεκαετίες, βελτιώνονται. Η ανάπτυξη των CAD/CAM συστημάτων έδωσε ώθηση σε άλλες εφαρμογές, όπως μηχανισμοί, ανάλυση και εξομοίωση ρομποτικών μηχανισμών, κτλ. Μια άλλη σημαντική συνεισφορά είναι αρχικά η αποδοχή και η ανάπτυξη της **θεωρίας της στερεάς αναπαράστασης**. Το κύριο πλεονέκτημα της στερεάς αναπαράστασης βρίσκεται στο γεγονός ότι δίνει μοναδικές και άνευ σύγχυσης γεωμετρικές αναπαραστάσεις στερεών, που με τη σειρά τους υποστηρίζουν το σχεδιασμό και τις κατασκευαστικές εφαρμογές.

Η εξέλιξη των εφαρμογών CAD είναι μια διεκυστίνδα ανάμεσα στο software και το hardware. Σημαντικό ρόλο έρχεται να διαδραματίσει και το λειτουργικό σύστημα που συνδέει αυτά τα δύο.

Η Dassault Systèmes (1977) ανέπτυξε το 3D-CAD λογισμικό CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) που χρησιμοποιείται με μεγάλη εμπορική επιτυχία μέχρι σήμερα.

2.7 Η δεκαετία του 1990

Μιλώντας για τη δεκαετία του **1990**, θα μπορούσε να πει κανείς ότι η δεκαετία αυτή ήταν η δεκαετία της **ολοκληρωμένης παραγωγής** και του **αυτοματοποιημένου σχεδιασμού**.

Ήταν δεκαετία έρευνας και εξελίξεων. Νέες θεωρίες και αλγόριθμοι. Νέα πιο γρήγορα και πιο φθηνά μηχανήματα. Τρισδιάστατα γραφικά, Επιφάνειες, Coons, Bezier και Gordon. Mass properties calculations, NC milling, FE applications. Μηχανισμοί, ανάλυση και εξομοίωση Robots κλπ.

2.8 Η δεκαετία του 2000

Τη δεκαετία 2000 έρχονται νέοι αλγόριθμοι σχεδιασμού και παραγωγής, νέα καλύτερα και ταχύτερα μηχανήματα, νέα Δίκτυα και λογισμικό επικοινωνίας (Web enabled CAD), Internet, e-mail, ftp.

Το Ford Mondeo σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου «Ιντερνετικά» χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Ford's C3P (CAD CAM CAE PDM) σε 1/3ο του απαιτούμενου παραδοσιακού χρόνου.

Εικονική ανάπτυξη προϊόντος (virtual product development).

Οι τέσσερις κυρίαρχοι της αγοράς: Dassault Systèmes, Parametric Technology, Unigraphics Solutions and SDRC (Structural Dynamics Research Corporation).

2.9 Σύγχρονες τάσεις

- ▶ Στα μέσα περίπου της τρέχουσας δεκαετίας, η βιομηχανία λογισμικού CAD κυριαρχείται από τρεις προμηθευτές λύσεων PLM
- ▶ IBM-Dassault Systèmes με το **CATIA & ENOVIA**
- ▶ UGS με το **Unigraphics & iMAN**, και
- ▶ PTC με το **Pro/Engineer & WindChill**
- ▶ **Autodesk**, με λίγο μικρότερο μερίδιο αγοράς από τη Dassault Systèmes και πάνω από τριπλάσιο της PTC
- ▶ Το **SolidWorks** και το **SolidEdge** (ανήκουν αντίστοιχα στη Dassault Systèmes και UGS) συνεχίζουν να αγωνίζονται με το Inventor της Autodesk στην αγορά CAD λογισμικού μεσαίας τιμής και
- ▶ Επίσης υπάρχουν αρκετές μικρές εταιρείες CAD λογισμικού, που επέζησαν λόγω της αριστείας τους σε επιμέρους αντικείμενα της αγοράς, διατηρώντας τη συμβατότητά τους με τα προϊόντα των τεσσάρων ηγετών στο χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗ ΑΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAD)

3.1 Εισαγωγή

Ο όρος Computer-aided design (CAD) χρησιμοποιείται στα συστήματα πληροφορικής (ή στους σταθμοί εργασίας) για τη δημιουργία, τροποποίηση, ανάλυση ή βελτιστοποίηση ενός σχεδίου.

Το λογισμικό CAD χρησιμοποιείται για να αυξήσει την παραγωγικότητα του σχεδιαστή, να βελτιώσει την ποιότητα του σχεδιασμού, να βελτιώσει τις επικοινωνίες μέσω τεκμηρίωσης και να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων για την κατασκευή. Η παραγωγή CAD έχει συχνά τη μορφή ηλεκτρονικών αρχείων για εκτύπωση, μηχανική κατεργασία ή άλλες εργασίες κατασκευής.

Χρησιμοποιείται επίσης ο όρος CADD (Computer Aided Design and Drafting).

Το λογισμικό CAD για μηχανικό σχεδιασμό χρησιμοποιεί είτε διανυσματικά γραφικά για την απεικόνιση των αντικειμένων της παραδοσιακής σύνταξης, είτε μπορεί επίσης να παράγει ράστερ γραφικά που δείχνει τη συνολική εμφάνιση των σχεδιαζόμενων αντικειμένων. Εντούτοις, περιλαμβάνει περισσότερα από απλά σχήματα. Όπως στο εγχειρίδιο σύνταξη των τεχνικών και μηχανολογικά σχέδια, η έξοδος του CAD πρέπει να μεταφέρει πληροφορίες, όπως τα υλικά, τις διαδικασίες, τις διαστάσεις, και ανοχές, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή συμβάσεις.

Το CAD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό καμπυλών και σχημάτων σε δισδιάστατο (2D) χώρο, ή καμπύλες, επιφάνειες και στερεά σε τρισδιάστατο (3D) χώρο.

Το CAD χρησιμοποιείται ευρέως στην **βιομηχανία** σε πολλές εφαρμογές, όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες, η ναυπηγική βιομηχανία και οι

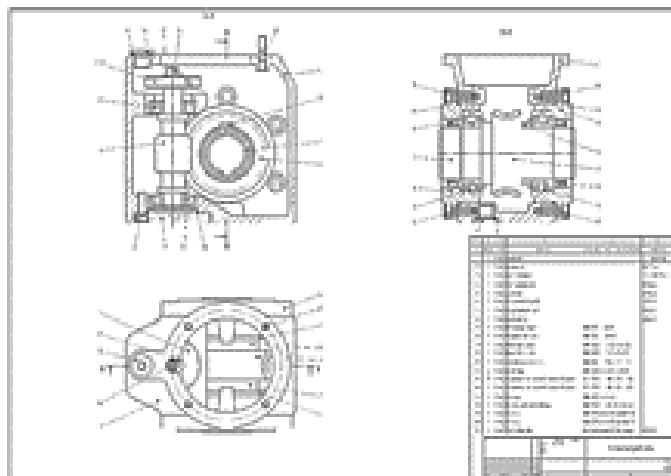
αεροδιαστημικές βιομηχανίες, ο βιομηχανικός και αρχιτεκτονικός σχεδιασμός, η προσθετική και πολλά άλλα.

Το CAD χρησιμοποιείται επίσης ευρέως στην **παραγωγή κινούμενων εικόνων** στον υπολογιστή για ειδικά **εφέ** σε ταινίες, **διαφημιστικά** και **τεχνικά εγχειρίδια**, συχνά αποκαλούμενα Digital Content Creation (DCC).

Η σύγχρονη πανταχού παρούσα δύναμη των υπολογιστών σημαίνει ότι ακόμη και τα μπουκάλια αρωμάτων και οι σαπυνοθήκες σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας απεριόριστες τεχνικές από τους μηχανικούς από τη δεκαετία του 1960.

Λόγω της τεράστιας οικονομικής σημασίας του, το CAD αποτελεί σημαντική κινητήρια δύναμη για την **έρευνα** στον τομέα της υπολογιστικής γεωμετρίας, των γραφικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (υλικού και λογισμικού) και της διακριτής διαφορικής γεωμετρίας.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '70, καθώς τα συστήματα σχεδιασμού με υπολογιστή άρχισαν να προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες, το όφελος από πλευράς κόστους για τις εταιρείες να αλλάξουν σε CAD έγινε εμφανές. Τα **πλεονεκτήματα** των συστημάτων CAD σε σχέση με τη χειροκίνητη σύνταξη είναι οι δυνατότητες που συχνά θεωρούνται δεδομένες από τα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών σήμερα. Αυτοματοποιημένη δημιουργία Bill of Material, αυτόματη διάταξη σε ολοκληρωμένα



κυκλώματα, έλεγχο παρεμβολών και πολλά άλλα.

Παράδειγμα: Σχέδιο CAD 2D

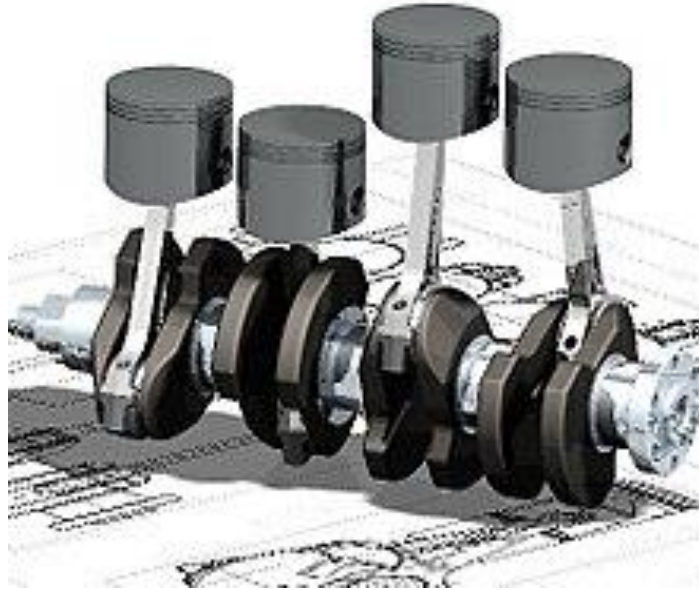
Τελικά, το CAD παρείχε στον σχεδιαστή τη **δυνατότητα εκτέλεσης υπολογισμών μηχανικής**. Κατά τη διάρκεια αυτής της μετάβασης, οι υπολογισμοί εξακολουθούσαν να εκτελούνται είτε με το χέρι είτε με τα άτομα που θα μπορούσαν να εκτελούν προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το CAD ήταν μια **επαναστατική αλλαγή στον τομέα της μηχανικής**, όπου οι συντάκτες, οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί ρόλοι αρχίζουν να συγχωνεύονται.

Το CAD είναι απλώς ένα άλλο παράδειγμα των ηλεκτρονικών υπολογισμών που είχαν αρχίσει να ισχύουν για τη βιομηχανία. Τα τρέχοντα πακέτα λογισμικού σχεδιασμού που υποστηρίζονται από υπολογιστές κυμαίνονται από **2D** διανυσματικά συστήματα σχεδίασης σε **3D** στερεά και επιφανειακά μοντελιστές. Τα σύγχρονα πακέτα CAD μπορούν επίσης συχνά να επιτρέπουν **περιστροφές σε τρεις διαστάσεις**, επιτρέποντας την προβολή ενός σχεδιαζόμενου αντικειμένου από οποιαδήποτε επιθυμητή γωνία, ακόμη και από το εσωτερικό που κοιτάζει έξω.

Ορισμένα λογισμικά CAD είναι ικανά για **δυναμική μαθηματική μοντελοποίηση**.

Η τεχνολογία CAD χρησιμοποιείται **στον σχεδιασμό εργαλείων και μηχανημάτων** και στη **σύνταξη και σχεδιασμό όλων των τύπων κτιρίων**, από μικρούς οικιστικούς τύπους (κατοικίες) έως τις μεγαλύτερες εμπορικές και βιομηχανικές κατασκευές (νοσοκομεία και εργοστάσια).

Το CAD χρησιμοποιείται κυρίως για την **λεπτομερή κατασκευή** τρισδιάστατων μοντέλων ή 2D σχεδίων φυσικών εξαρτημάτων, αλλά χρησιμοποιείται επίσης σε όλη τη διαδικασία της μηχανικής από την εννοιολογική σχεδίαση και τη διάταξη των προϊόντων, μέσω της **αντοχής** και της **δυναμικής ανάλυσης** των συγκροτημάτων στον ορισμό των μεθόδων κατασκευής των εξαρτημάτων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό αντικειμένων όπως κοσμήματα, έπιπλα, συσκευές κλπ.



Παράδειγμα: μοντέλο 3D CAD

Επιπλέον, πολλές εφαρμογές CAD προσφέρουν πλέον **προηγμένες δυνατότητες απεικόνισης και κινούμενης εικόνας**, ώστε οι μηχανικοί να μπορούν να απεικονίσουν καλύτερα τα σχέδια των προϊόντων τους. Το **4D BIM** είναι ένας τύπος προσομοίωσης εικονικής κατασκευής που ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με το χρόνο ή το χρονοδιάγραμμα για τη διαχείριση του έργου.

Το CAD έχει γίνει μια ιδιαίτερα σημαντική τεχνολογία στο πεδίο των τεχνολογιών που υποστηρίζονται από υπολογιστή, με οφέλη όπως χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης του προϊόντος και πολύ μειωμένο κύκλο σχεδιασμού. Η CAD επιτρέπει στους σχεδιαστές να σχεδιάζουν και να αναπτύσσουν εργασίες στην οθόνη, να τις εκτυπώνουν και να τις αποθηκεύουν για μελλοντική επεξεργασία, εξοικονομώντας χρόνο στα σχέδια τους.

3.2 Χρήσεις των CAD

Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή είναι ένα από τα πολλά εργαλεία που χρησιμοποιούν οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές και χρησιμοποιείται με πολλούς τρόπους ανάλογα με το επάγγελμα του χρήστη και τον τύπο του εν λόγω λογισμικού.

Το CAD είναι ένα μέρος της δραστηριότητας της Ψηφιακής Ανάπτυξης Προϊόντων (Digital Product Development - DPD) στο πλαίσιο των διαδικασιών Διαχείρισης Κύκλου Ζωής Προϊόντων (Product Lifecycle Management - PLM) και ως τέτοιο χρησιμοποιείται μαζί με άλλα εργαλεία, τα οποία είναι είτε ολοκληρωμένες μονάδες είτε αυτόνομα προϊόντα όπως:

- Computer-aided engineering (CAE) και Finite element analysis (FEA)
- Computer-aided manufacturing (CAM) που περιλαμβάνει οδηγίες για μηχανές Computer Numerical Control (CNC)
- Φωτορεαλιστική απόδοση και προσομοίωση κίνησης.
- Διαχείριση εγγράφων και έλεγχος αναθεώρησης με τη χρήση Product Data Management (PDM).

Το CAD χρησιμοποιείται επίσης για την ακριβή δημιουργία **προσομοιώσεων φωτογραφιών** που απαιτούνται συχνά για την προετοιμασία των εκθέσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπου τα υποσυστήματα που σχεδιάζονται με υπολογιστή υποβάλλονται σε φωτογραφίες των υπαρχόντων περιβαλλόντων όπου θα κατασκευαστούν οι προτεινόμενες εγκαταστάσεις. Η πιθανή απόφραξη των διαδρόμων προβολής και των σκιωδών μελετών αναλύεται επίσης συχνά με τη χρήση CAD.

Το CAD έχει αποδειχθεί χρήσιμο και για τους **μηχανικούς**. Χρησιμοποιεί **παραμετροποίηση** και **περιορισμούς υψηλού επιπέδου**. Το ιστορικό κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανατρέξει στα προσωπικά χαρακτηριστικά του μοντέλου και να δουλέψει στην ενιαία περιοχή και όχι στο σύνολο του μοντέλου. Οι παράμετροι και οι περιορισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του μεγέθους, του σχήματος και

άλλων ιδιοτήτων των διαφόρων στοιχείων μοντελοποίησης. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος CAD μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ποικιλία των εργαλείων μέτρησης, όπως αντοχή εφελκυσμού, αντοχή διαρροής, ηλεκτρικές ή ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες. Επίσης το στέλεχος, το χρονισμό ή το πώς επηρεάζεται το στοιχείο σε ορισμένες θερμοκρασίες κ.λπ.

Το CAD χρησιμοποιείται σε πολλά πεδία, όπως:

- **Στη βιομηχανία αρχιτεκτονικής, μηχανικής και κατασκευής**

- ο Αρχιτεκτονική

- ο Κατασκευή κτιρίων και υποδομών

- ο Κατασκευή δρόμων και εθνικών οδών ο Κατασκευή σιδηροδρόμων και τούνελ

- ο Παροχή νερού και υδραυλικά συστήματα, κ.ά.

- **Στη μηχανολογία**

- ο Αυτοκινητοβιομηχανία

- ο Αεροδιαστημική

- ο Παραγωγή καταναλωτικών αγαθών

- ο Μηχανολογικός εξοπλισμός

- ο Ναυπηγική

- ο Ενδοβιομηχανικά συστήματα

- **Στο σχεδιασμό ηλεκτρονικού αυτοματισμού**

- ο Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά

- ο Σχεδιασμό ψηφιακών κυκλωμάτων

- **Στο σχεδιασμό κατασκευαστικών διεργασιών**

- **Στο βιομηχανικό σχεδιασμό, κ.ά.**

3.3 Τύποι των CAD

Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τύποι των CAD. Ο καθένας απαιτεί από τον φορέα εκμετάλλευσης να σκέφτεται διαφορετικά για τον τρόπο χρήσης τους και να σχεδιάσουν εικονικά συστατικά τους με διαφορετικό τρόπο για το καθένα.

Υπάρχουν πολλοί παραγωγοί των συστημάτων 2D χαμηλότερου επιπέδου, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων ελεύθερων προγραμμάτων και προγραμμάτων ανοιχτού κώδικα. Αυτά παρέχουν μια προσέγγιση στη διαδικασία σχεδίασης χωρίς όλη την αναστάτωση πάνω από την κλίμακα και την τοποθέτηση στο φύλλο σχεδίασης που συνόδευε το χέρι, καθώς αυτά μπορούν να ρυθμιστούν όπως απαιτείται κατά τη δημιουργία του τελικού σχεδίου.

Το **3D wireframe** είναι βασικά μια επέκταση του **2D drafting** (που δεν χρησιμοποιείται συχνά σήμερα). Κάθε γραμμή πρέπει να εισαχθεί χειροκίνητα στο σχέδιο. Το τελικό προϊόν δεν έχει τις ιδιότητες που συνδέονται με αυτό και δεν μπορεί να έχει χαρακτηριστικά που προστίθενται άμεσα σε αυτό, όπως τρύπες. Ο χειριστής προσεγγίζει αυτά με παρόμοιο τρόπο με τα 2D συστήματα, αν και πολλά συστήματα 3D επιτρέπουν τη χρήση του μοντέλου wireframe για να φτιάξουν τις τελικές προβολές μηχανικής σχεδίασης.

Τα 3D στερεά δημιουργούνται με τρόπο ανάλογο με τους χειρισμούς αντικειμένων του «πραγματικού κόσμου» (που δεν χρησιμοποιούνται συχνά σήμερα). Οι βασικές τρισδιάστατες γεωμετρικές μορφές (πρίσματα, κύλινδροι, σφαίρες κ.ο.κ.) έχουν προστεθεί ή αφαιρεθεί από τους στερεούς όγκους, σαν να συναρμολογούν ή να κόβουν αντικείμενα «πραγματικού κόσμου». Δύο διαστάσεων προβαλλόμενες προβολές μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν από τα μοντέλα. Τα βασικά στερεά 3D δεν περιλαμβάνουν συνήθως εργαλεία για την εύκολη κίνηση των εξαρτημάτων, την οριοθέτηση της κίνησης τους ή την αναγνώριση παρεμβολών μεταξύ των εξαρτημάτων.

Υπάρχουν δύο τύποι 3D Solid Modeling

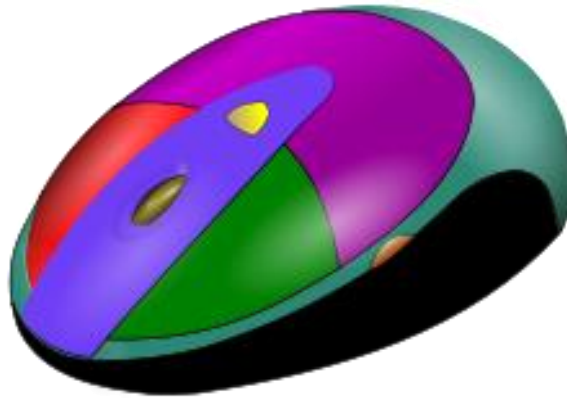
1. Η **παραμετρική μοντελοποίηση** επιτρέπει στον χειριστή να χρησιμοποιεί αυτό που αναφέρεται ως "πρόθεση σχεδιασμού". Τα αντικείμενα και τα χαρακτηριστικά που δημιουργούνται είναι τροποποιήσιμα. Οποιοσδήποτε μελλοντικές τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν αλλάζοντας τον τρόπο δημιουργίας του αρχικού μέρους. Εάν ένα χαρακτηριστικό προοριζόταν να βρίσκεται από το κέντρο του τμήματος, ο χειριστής πρέπει να το εντοπίσει από το κέντρο του μοντέλου. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα θα μπορούσε να εντοπιστεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε γεωμετρικό αντικείμενο που είναι ήδη διαθέσιμο στο τμήμα, αλλά αυτή η τυχαία τοποθέτηση θα απέτρεπε την πρόθεση σχεδιασμού. Εάν ο χειριστής σχεδιάσει το τμήμα καθώς λειτουργεί, ο παραμετρικός μοντελιστής μπορεί να κάνει αλλαγές στο τμήμα ενώ διατηρεί γεωμετρικές και λειτουργικές σχέσεις.
2. Η **άμεση ή ρητή μοντελοποίηση** παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας γεωμετρίας χωρίς δέντρο ιστορικού. Με την άμεση μοντελοποίηση, όταν χρησιμοποιείται ένα σκίτσο για τη δημιουργία γεωμετρίας, το σκίτσο ενσωματώνεται στη νέα γεωμετρία και ο σχεδιαστής τροποποιεί απλώς τη γεωμετρία χωρίς να χρειάζεται το αρχικό σκίτσο. Όπως και με την παραμετρική μοντελοποίηση, η άμεση μοντελοποίηση έχει τη δυνατότητα να συμπεριλάβει σχέσεις μεταξύ επιλεγμένης γεωμετρίας (π.χ., επαφή, συγκέντρωση).

Τα κορυφαία συστήματα προσφέρουν τις δυνατότητες ενσωμάτωσης περισσότερων οργανικών, αισθητικών και εργονομικών χαρακτηριστικών σε σχέδια. Η μοντελοποίηση επιφάνειας ελεύθερης μορφής συνδυάζεται συχνά με στερεά για να επιτρέψει στον σχεδιαστή να δημιουργήσει προϊόντα που ταιριάζουν με την ανθρώπινη μορφή και τις οπτικές απαιτήσεις καθώς επίσης και με το μηχάνημα.

3.4 Τεχνολογία

Αρχικά, το λογισμικό για τα συστήματα σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστών αναπτύχθηκε με γλώσσες υπολογιστών όπως **Fortran**, **ALGOL** αλλά με την πρόοδο των **αντικειμενοστραφών μεθόδων**

προγραμματισμού αυτό άλλαξε ριζικά. Τυπικοί μοντέρνοι παραμετρικοί χαρακτηριστικοί βασισμένοι στη μοντελοποίηση και τα συστήματα επιφάνειας ελεύθερης μορφής είναι χτισμένοι γύρω από μια σειρά βασικών εννοιών **C** με τα δικά τους **API**.



Ένα μοντέλο CAD ενός ποντικιού υπολογιστή

Ένα σύστημα CAD μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει δημιουργηθεί από την αλληλεπίδραση ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη (**Graphical User Interface - GUI**) με γεωμετρία **NURBS** ή δεδομένων οριακής αναπαράστασης (**Boundary representation, B-rep**) μέσω ενός γεωμετρικού μοντέλου πυρήνα. Ένας μηχανισμός περιορισμού γεωμετρίας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διαχειριστεί τις συσχετιστικές σχέσεις μεταξύ της γεωμετρίας, όπως η γεωμετρία του σύρματος σε ένα σκίτσο ή τα εξαρτήματα σε ένα συγκρότημα.

Οι απροσδόκητες δυνατότητες αυτών των συσχετιστικών σχέσεων οδήγησαν σε μια νέα μορφή πρωτοτύπου που ονομάζεται ψηφιακό πρωτότυπο. Σε αντίθεση με τα φυσικά πρωτότυπα, τα οποία συνεπάγονται χρόνο κατασκευής στο σχεδιασμό. Τούτου λεχθέντος, τα μοντέλα CAD μπορούν να παραχθούν από έναν υπολογιστή αφού το φυσικό πρωτότυπο έχει σαρωθεί χρησιμοποιώντας μια βιομηχανική μηχανή CT σάρωσης. Ανάλογα με τη φύση της επιχείρησης, τα αρχικά ψηφιακά ή φυσικά πρωτότυπα μπορούν να επιλέγονται ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες.

Σήμερα υπάρχουν συστήματα CAD για όλες τις μεγάλες πλατφόρμες (**Windows, Linux, UNIX και Mac OS X**). Ορισμένα πακέτα υποστηρίζουν πολλές πλατφόρμες.

Αυτή τη στιγμή δεν απαιτείται ειδικό υλικό για το μεγαλύτερο μέρος του λογισμικού CAD. Ωστόσο, μερικά συστήματα CAD μπορούν να επιτελέσουν γραφικά και υπολογιστικά εντατικά καθήκοντα, επομένως μπορεί να προταθεί μια σύγχρονη κάρτα γραφικών, υψηλής ταχύτητας (και πιθανώς πολλαπλές) CPU και μεγάλα ποσά μνήμης RAM.

Η διασύνδεση ανθρώπου-μηχανής είναι γενικά μέσω ενός **ποντικιού υπολογιστή**, αλλά μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί μέσω **γραφίδας** και **digitizing graphics tablet**.

Η προβολή του μοντέλου στην οθόνη γίνεται μερικές φορές με τη χρήση ενός **Spacemouse / SpaceBall**. Ορισμένα συστήματα υποστηρίζουν επίσης **στερεοσκοπικά γυαλιά** για προβολή του 3D μοντέλου. Τεχνολογίες οι οποίες στο παρελθόν περιορίζονταν σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ή εξειδικευμένες εφαρμογές έχουν καταστεί διαθέσιμες σε μια ευρεία ομάδα χρηστών. Αυτές περιλαμβάνουν το CAVE ή HMD και **διαδραστικές συσκευές** όπως η τεχνολογία ανίχνευσης κίνησης.

3.5 Λογισμικό CAD

Το λογισμικό CAD επιτρέπει στους μηχανικούς και τους αρχιτέκτονες να σχεδιάζουν, να επιθεωρούν και να διαχειρίζονται έργα μηχανικής μέσα σε ένα ολοκληρωμένο γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) σε ένα σύστημα προσωπικών υπολογιστών. Οι περισσότερες εφαρμογές υποστηρίζουν τη σταθερή μοντελοποίηση με γεωγραφική παράσταση (B-Rep) και NURBS και επιτρέπουν την δημοσίευση του ίδιου σε διάφορες μορφές. Ένας γεωμετρικός πυρήνας μοντελοποίησης είναι ένα στοιχείο λογισμικού που παρέχει στερεές λειτουργίες μοντελοποίησης και επιφανειακής μοντελοποίησης σε εφαρμογές CAD.

Βάσει των στατιστικών της αγοράς, το εμπορικό λογισμικό της Autodesk, της Dassault Systems, της Siemens PLM Software και της PTC κυριαρχούν στη βιομηχανία CAD.

Παρακάτω παρατίθεται ένας κατάλογος σημαντικών εφαρμογών CAD, ομαδοποιημένων με στατιστικά στοιχεία χρήσης.

Εμπορικές εφαρμογές

Alibre Design

Autodesk AutoCAD

Autodesk Inventor

Bentley Systems MicroStation

Bricsys BricsCAD

Dassault Systemes CATIA

Dassault Συστήματα SolidWorks

Kubotek KeyCreator

Siemens NX

Siemens Solid Edge

PTC PTC Creo (παλαιότερα γνωστό ως **Pro / ENGINEER**)

Trimble SketchUp

AgiliCity Modelur

TurboCAD

IRONCAD

ΜΕΔΟΥΣΑ

ProgeCAD

SpaceClaim

PunchCAD

Ρινόκερος 3D

VariCAD

Vectorworks

Κοβάλτιο

Gravotech Type3

RoutCad

SketchUp

Onshape

ActCAD

Remo 3D

Δωρεάν λογισμικό και ανοικτού κώδικα

123D

LibreCAD

FreeCAD

BRL-CAD

OpenSCAD

QCad

SolveSpace

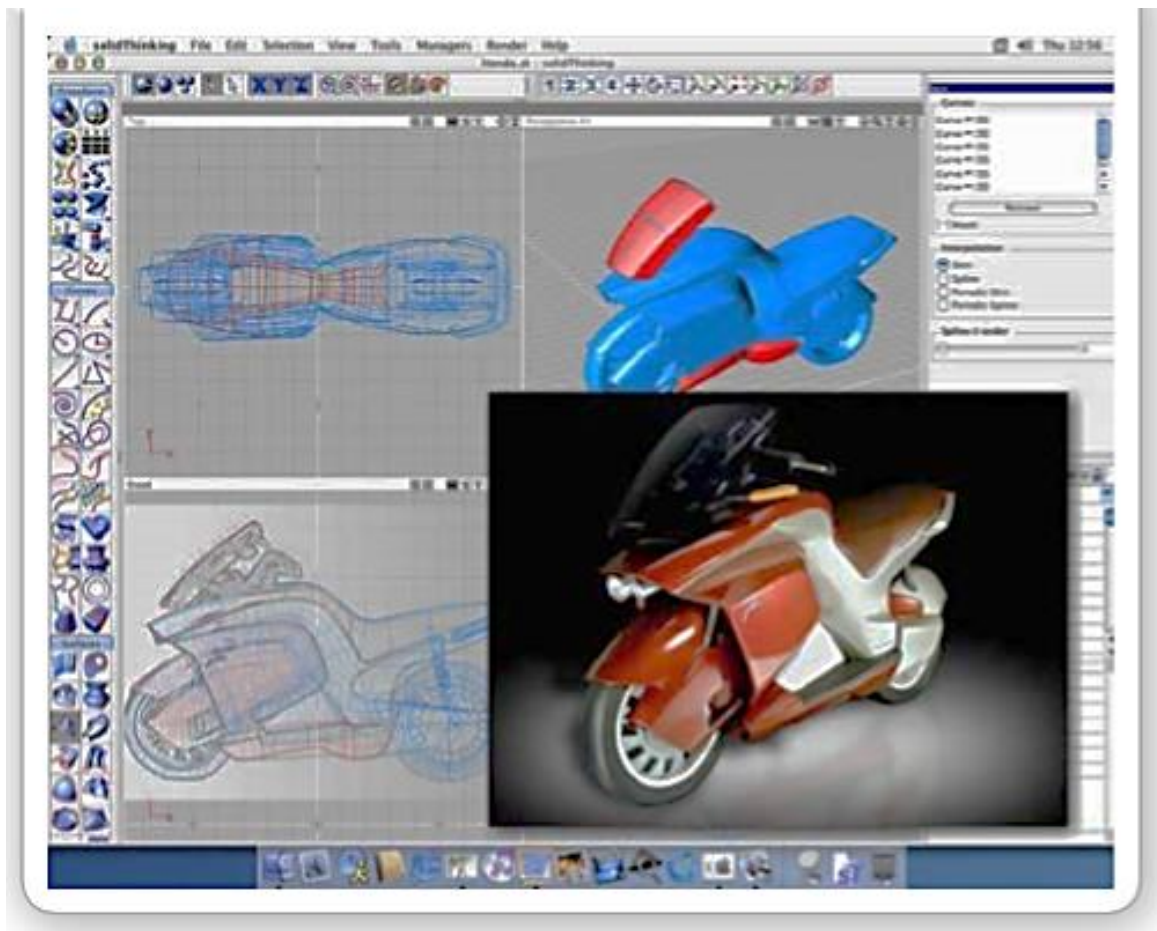
CAD kernels

Parasolid από τη Siemens

ACIS από Spatial

ShapeManager από την Autodesk

CASCADE



C3D από τα εργαστήρια C3D

*Παράδειγμα βιομηχανικού σχεδιασμού με χρήση υπολογιστή
με λογισμικό solid Thinking για τη σχεδίαση μηχανής Honda*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΣΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAM)

4.1 Εισαγωγή

Η κατασκευή μέσω υπολογιστή (Computer Aided Manufacturing - CAM) είναι η χρήση λογισμικού για τον έλεγχο των εργαλειομηχανών και των συναφών για την κατασκευή τεμαχίων. Αυτός δεν είναι ο μόνος ορισμός για το CAM, αλλά είναι ο πιο κοινός.

Η CAM μπορεί επίσης να αναφέρεται στη χρήση υπολογιστή για την υποβοήθηση όλων των εργασιών μιας μονάδας παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της διαχείρισης, της μεταφοράς και της αποθήκευσης.

Ο πρωταρχικός στόχος του είναι να δημιουργήσει μια ταχύτερη παραγωγική διαδικασία και εξαρτήματα και εργαλεία με ακριβέστερες διαστάσεις και συνέπεια, πράγμα που σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιεί μόνο την απαιτούμενη ποσότητα πρώτης ύλης (ελαχιστοποιώντας έτσι τα απόβλητα), μειώνοντας συγχρόνως την κατανάλωση ενέργειας.

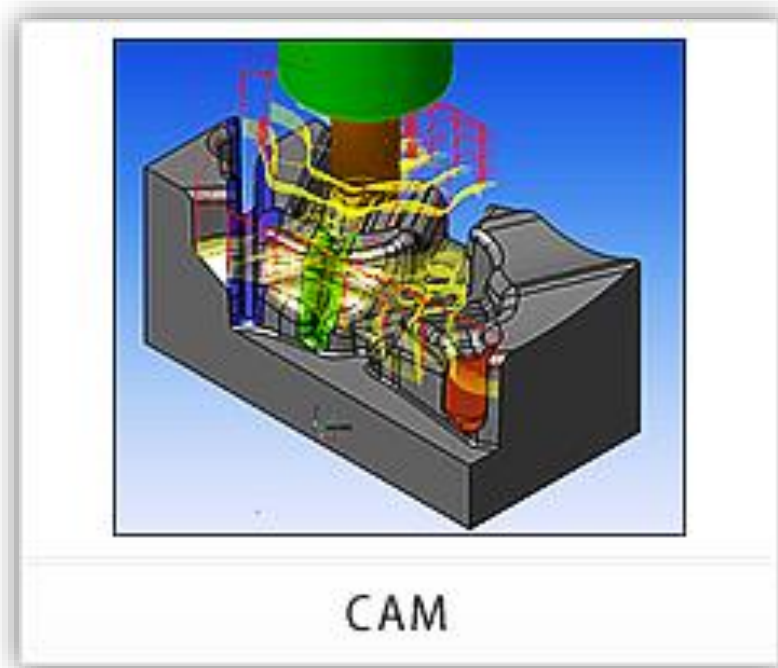
Το CAM είναι επίσης ένα σύστημα που χρησιμοποιείται στα σχολεία για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Το CAM είναι μια μετέπειτα διαδικασία μετά το CAD και μερικές φορές με τεχνική υποβοήθησης υπολογιστών (Computer Aided Engineering - CAE), καθώς το μοντέλο που παράγεται στο CAD και επαληθεύεται σε CAE μπορεί να εισάγεται στο λογισμικό CAM, το οποίο στη συνέχεια ελέγχει το μηχάνημα. Το CAM χρησιμοποιείται μαζί με το σχεδιασμό (CAD) για τη δημιουργία αντικειμένων.

Παραδοσιακά, το CAM θεωρήθηκε ως εργαλείο προγραμματισμού αριθμητικού ελέγχου (Numerical Control - NC), όπου σε δισδιάστατα (2-

D) ή τρισδιάστατα (3-D) μοντέλα κατασκευαστικών στοιχείων που παράγονται στο CAD.

Όπως συμβαίνει με άλλες τεχνολογίες "Computer-Aided", Το CAM δεν εξαλείφει την ανάγκη για εξειδικευμένους επαγγελματίες όπως κατασκευαστές μηχανικών, NC προγραμματιστές ή μηχανικούς. Το CAM



αξιοποιεί την αξία των πιο εξειδικευμένων επαγγελματιών της κατασκευής μέσω προηγμένων εργαλείων παραγωγικότητας, ενώ παράλληλα δημιουργεί τις δεξιότητες των νέων επαγγελματιών μέσω εργαλείων οπτικοποίησης, προσομοίωσης και βελτιστοποίησης.

4.2 Ιστορία του CAM

Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές της CAM βρίσκονταν σε μεγάλες εταιρίες στον κλάδο της **αυτοκινητοβιομηχανίας** και της **αεροδιαστημικής**, όπως για παράδειγμα ο **Pierre Béziers** εργάζεται για την ανάπτυξη της εφαρμογής CAD / CAM **UNISURF** στη δεκαετία του 1960 για το σχεδιασμό και το σκελετό του αυτοκινήτου στη **Renault**.

Ιστορικά, το λογισμικό CAM θεωρήθηκε ότι έχει αρκετές αδυναμίες που απαιτούσαν ένα υπερβολικά υψηλό επίπεδο συμμετοχής από

ειδικευμένους μηχανικούς CNC. Η **Fallows** δημιούργησε το πρώτο λογισμικό CAD, αλλά αυτό είχε σοβαρές ελλείψεις και επαναλήφθηκε αμέσως στην αναπτυσσόμενη φάση.

Το λογισμικό CAM θα εξάγει κώδικα για το λιγότερο ικανό μηχάνημα, καθώς κάθε έλεγχος εργαλειομηχανών θα προστεθεί στον κανονικό κώδικα που έχει καθοριστεί για μεγαλύτερη ευελιξία. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως το μη σωστά ρυθμισμένο λογισμικό CAM ή συγκεκριμένα εργαλεία, το μηχάνημα CNC απαιτούσε χειροκίνητη επεξεργασία πριν το πρόγραμμα λειτουργήσει σωστά. Κανένα από αυτά τα θέματα δεν ήταν τόσο ανυπέρβλητο που ένας προσεκτικός μηχανικός ή εξειδικευμένος χειριστής μηχανής δεν θα μπορούσε να ξεπεράσει για πρωτότυπα ή μικρές σειρές παραγωγής. Ο G-Code είναι μια απλή γλώσσα. Στα καταστήματα υψηλής παραγωγής ή υψηλής ακρίβειας, αντιμετώπιστηκε μια διαφορετική σειρά προβλημάτων, όπου ένας έμπειρος μηχανικός CNC πρέπει να έχει και προγράμματα χειροκίνητου κώδικα και να τρέχει λογισμικό CAM.

Η ενσωμάτωση του CAD με άλλα συστατικά του CAD / CAM / CAE:

Το περιβάλλον διαχείρισης του κύκλου ζωής του προϊόντος (Product lifecycle management - PLM) απαιτεί μια αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων CAD. Συνήθως ήταν απαραίτητο να αναγκαστεί ο φορέας CAD να εξάγει τα δεδομένα σε μία από τις συνηθισμένες μορφές δεδομένων, όπως οι μορφές IGES ή STL ή Parasolid που υποστηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα λογισμικού. Η έξοδος από το λογισμικό CAM είναι συνήθως ένα απλό αρχείο κειμένων **G-code / M-codes**, μερικές φορές πολλές χιλιάδες εντολές μακρές, που στη συνέχεια μεταφέρονται σε ένα μηχάνημα χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα άμεσου αριθμητικού ελέγχου (**Direct Numerical Control - DNC**) ή σε **σύγχρονους ελεγκτές** χρησιμοποιώντας μια κοινή συσκευή αποθήκευσης **USB**.

Τα πακέτα CAM δεν μπόρεσαν, και ακόμα δεν μπορούν, να λογοδοτούν όπως μπορεί ένας μηχανικός. Δεν μπορούσαν να βελτιστοποιήσουν τις διαδρομές εργαλείων στο βαθμό που απαιτείται από τη μαζική παραγωγή. Οι χρήστες θα επιλέξουν τον τύπο εργαλείου, τη διαδικασία κατεργασίας και τις διαδρομές που θα χρησιμοποιηθούν. Ενώ ένας μηχανικός μπορεί να

έχει μια λειτουργική γνώση του προγραμματισμού G κώδικα, μικρές βελτιστοποιήσεις και φθορά θέματα σύνθετο με την πάροδο του χρόνου. Τα στοιχεία που παράγονται μαζικά και απαιτούν μηχανική κατεργασία συχνά αρχικά δημιουργούνται μέσω χύτευσης ή με κάποια άλλη μη μηχανή μέθοδο. Αυτό επιτρέπει τη χειροκίνητη, σύντομη και εξαιρετικά βελτιστοποιημένη G-code που δεν θα μπορούσε να παραχθεί σε ένα πακέτο CAM.

Σήμερα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, υπάρχει έλλειψη νέων, εξειδικευμένων μηχανικών που εισέρχονται στο εργατικό δυναμικό ικανό να εκτελέσει στα άκρα της μεταποίησης. υψηλής ακρίβειας και μαζικής παραγωγής. Όπως το CAM λογισμικό και μηχανές γίνονται πιο περίπλοκες, οι δεξιότητες που απαιτούνται από ένα μηχανικό ή χειριστή του μηχανήματος προσεγγίζουν εκείνες ενός προγραμματιστή υπολογιστών και μηχανικού και όχι εξαλείφοντας τον μηχανικός CNC από το εργατικό δυναμικό.

Τυπικοί τομείς που πρέπει να πληρούν:

- Υψηλή ταχύτητα επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της εξομάλυνσης των διαδρομών εργαλείων
- Μηχανική πολλαπλών λειτουργιών
- Μηχανική κατεργασία 5 αξόνων
- Αναγνώριση χαρακτηριστικών και μηχανική κατεργασία
- Αυτοματοποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας
- Ευκολία στη χρήση

Με την πάροδο του χρόνου, οι ιστορικές αδυναμίες της CAM εξασθενούν τόσο από τους προμηθευτές εξειδικευμένων λύσεων όσο και από τους προμηθευτές λύσεων υψηλής τεχνολογίας. Αυτό συμβαίνει κυρίως για τρεις λόγους:

1. Ευκολία στη χρήση
2. Κατασκευαστική πολυπλοκότητα
3. Ενσωμάτωση με το PLM και την εκτεταμένη επιχείρηση

Συγκεκριμένα:

Ευκολία στη χρήση

Για τους χρήστες που ξεκινούν απλά ως χρήστες CAM, οι που προσφέρουν Wizards διεργασιών, πρότυπα, βιβλιοθήκες, κιτ εργαλειομηχανών, αυτοματοποιημένη μηχανική επεξεργασία βασισμένη σε λειτουργίες και ειδικά προσαρμοσμένες στις λειτουργίες διεπαφής χρήστη, δημιουργούν **εμπιστοσύνη** στους χρήστες και ταχύτερη καμπύλη εκμάθησης.

Η εμπιστοσύνη των χρηστών βασίζεται περαιτέρω στην τρισδιάστατη απεικόνιση μέσω μιας πληρέστερης ενσωμάτωσης με το περιβάλλον 3D CAD, συμπεριλαμβανομένων προσομοιώσεων αποτυχίας και βελτιστοποιήσεων.

Κατασκευαστική πολυπλοκότητα

Το περιβάλλον παραγωγής είναι όλο και πιο σύνθετο. Η ανάγκη για εργαλεία CAM και PLM από buMs είναι NC προγραμματιστής ή machinist είναι παρόμοια με την ανάγκη για βοήθεια του πιλότου των σύγχρονων συστημάτων αεροσκαφών από τον υπολογιστή. Το σύγχρονο μηχάνημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σωστά χωρίς αυτή τη βοήθεια.

Τα σημερινά συστήματα CAM **υποστηρίζουν το πλήρες φάσμα εργαλειομηχανών**, όπως: στροφή, μηχανική κατεργασία 5 αξόνων και EDM καλωδίων. Ο σημερινός χρήστης του CAM μπορεί εύκολα να δημιουργήσει βελτιωμένες διαδρομές εργαλείων, βελτιστοποιημένη κλίση του άξονα εργαλείων για υψηλότερες ταχύτητες τροφοδοσίας, καλύτερη διάρκεια ζωής εργαλείου και φινίρισμα επιφάνειας και βελτιστοποιημένες αποκοπές βάθους αξόνων Z καθώς και οδήγηση μη κοπής, όπως είναι οι προδιαγραφές των κινήσεων ανίχνευσης.

Ενσωμάτωση με το PLM και την εκτεταμένη επιχείρηση

Για την ενσωμάτωση της κατασκευής με τις επιχειρησιακές λειτουργίες από την ιδέα μέσω της υποστήριξης πεδίου του τελικού προϊόντος.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η **ευκολία χρήσης** σύμφωνα με τους στόχους των χρηστών, οι σύγχρονες λύσεις CAM μπορούν να κλιμακωθούν από ένα αυτόνομο σύστημα CAM σε μια πλήρως ολοκληρωμένη λύση πολυ-CAD 3D. Οι λύσεις αυτές δημιουργούνται **για να καλύψουν τις ανάγκες του κατασκευαστικού προσωπικού**, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού μέρους, της τεκμηρίωσης των καταστημάτων, της διαχείρισης των πόρων και της διαχείρισης και ανταλλαγής δεδομένων.

4.3 Διαδικασία επεξεργασίας

Οι περισσότερες κατεργασίες εξελίσσονται μέσα από πολλά στάδια, καθένα από τα οποία υλοποιείται από μια ποικιλία βασικών και εξελιγμένων στρατηγικών, ανάλογα με το υλικό και το λογισμικό που διατίθεται.

Roughing (χονδροειδής)

Αυτή η διαδικασία αρχίζει με το **ακατέργαστο απόθεμα**, γνωστό ως **billet**, και το κόβει πολύ χονδρικά στο σχήμα του τελικού μοντέλου. Οι κοινές στρατηγικές είναι η εκκαθάριση του ζιγκ-ζαγκ, η εκκαθάριση των αντισταθμίσεων, η αφαίμαξη των βυθισμάτων, η αφαίρεσή τους.

Semi-f (ημι-φινίρισμα)

Αυτή η διαδικασία ξεκινά με ένα χονδροειδές τμήμα που προσεγγίζει ομοιόμορφα το μοντέλο και κόβει σε μια σταθερή απόσταση αντιστάθμισης από το μοντέλο. Το ημιδιαφανές πέρασμα πρέπει να αφήνει μια μικρή ποσότητα υλικού έτσι ώστε το εργαλείο να μπορεί να κοπεί με ακρίβεια κατά το φινίρισμα, αλλά όχι τόσο λίγο ώστε το εργαλείο και το υλικό να εκτρέπονται αντί να στείλουν. Κοινές στρατηγικές είναι οι διαβάσεις ράστερ, τα περάσματα θαλάσσιων γραμμών, τα σταθερά περάσματα, η άλεση του μολυβιού.

Finishing (φινίρισμα)

Το φινίρισμα περιλαμβάνει ένα αργό πέρασμα κατά μήκος του υλικού σε πολύ λεπτά σκαλοπάτια για την παραγωγή του τελικού τμήματος. Στο τελείωμα, το βήμα μεταξύ ενός περάσματος και ενός άλλου είναι ελάχιστο. Οι ρυθμοί τροφοδοσίας είναι χαμηλοί και οι ταχύτητες του άξονα αυξάνονται για να παράγουν μια ακριβή επιφάνεια.

Contour milling (φρεζάρισμα περιγράμματος)

Κατά τη διαδικασία αυτή, υλικό με πέντε ή περισσότερους άξονες, μπορεί να γίνει μια ξεχωριστή διαδικασία φινιρίσματος που ονομάζεται **περίγραμμα**. Αντί να περπατάτε σε βαθμωτά βήματα για να προσεγγίσετε μια επιφάνεια, το κομμάτι εργασίας περιστρέφεται για να κάνει τις επιφάνειες κοπής του εργαλείου εφαπτόμενες στα ιδανικά χαρακτηριστικά του τμήματος. Αυτό παράγει ένα εξαιρετικό φινίρισμα επιφάνειας με υψηλή ακρίβεια διαστάσεων.

4.4 Οι 20 μεγαλύτερες εταιρείες λογισμικού CAM

Οι κορυφαίες 20 μεγαλύτερες εταιρείες λογισμικού CAM, μέσω άμεσων εσόδων το έτος 2015, ταξινομούνται βάσει παγκόσμιων εσόδων:

- Dassault Systèmes: CATIA [12]
- Siemens AG: NX CAM [13]
- Vero Λογισμικό μέρος της HEXAGON: AlphaCAM, EdgeCAM, Μηχανικός Στρατηγική, PEPS, SurfCAM, VISI, WorkNC / Dental
- Autodesk Inc.: HSM (Έργα, Express, Εφευρέτης), PowerMill, PartMaker | FeatureCAM, ArtCAM, Fusion 360
- HCL Technologies Ltd.: CAMWorks [14]
- ΑΝΟΙΚΤΟ ΜΙΝΔΟ Τεχνολογίες: hyperMill
- Tebis Technische Informationssysteme AG: Tebis
- CNC Software Inc.: MasterCAM
- 3D Συστήματα: Cimatron, GibbsCAM
- PTC: Creo

- CGTech: VERICUT
- Λογισμικό Missler: TopSolid
- SPRUT Technology Ltd.: SprutCAM, SprutCAM Robot
- Λογισμικό SAI: FlexiSign
- Ομάδα Gravotech: TYPE3
- MecSoft Corporation: VisualCAD / CAM, RhinoCAM, VisualCAM για SOLIDWORKS, FreeMill
- Συστήματα C & G: εργαλείο κάμερας
- SolidCAM GmbH: SolidCAM
- NTT Data Engineering Systems: Space-E (με βάση το σύστημα Catia)
- BobCAD-CAM Inc.: BobCAD-CAM

4.5 Λογισμικό CAM

A

APT (programming language)

B

Bobcad

BricsCAD

C

CATIA

Cimatron

ColorCAM

Tool management

D

Delcam

E

EXAPT

F

FORAN System

L

List of CAx companies

M

MazaCAM

Machining STRATEGIST

Mastercam

MaterialCenter

Model-based definition

MPDS4

MSC Marc

MSC Software

N

NC Graphics

NC-CAM

Numerical Control Computer Sciences

NTT Data Engineering Systems Corporation

Siemens NX

O

OrthoGraph

P

PowerMILL

PTC Creo Elements/Pro

R

RoutCad

S

Sescoi

SmartCAM

SprutCAM

Surfware

T

Tebis

Tecnomatix

TopSolid

U

Ucamco

V

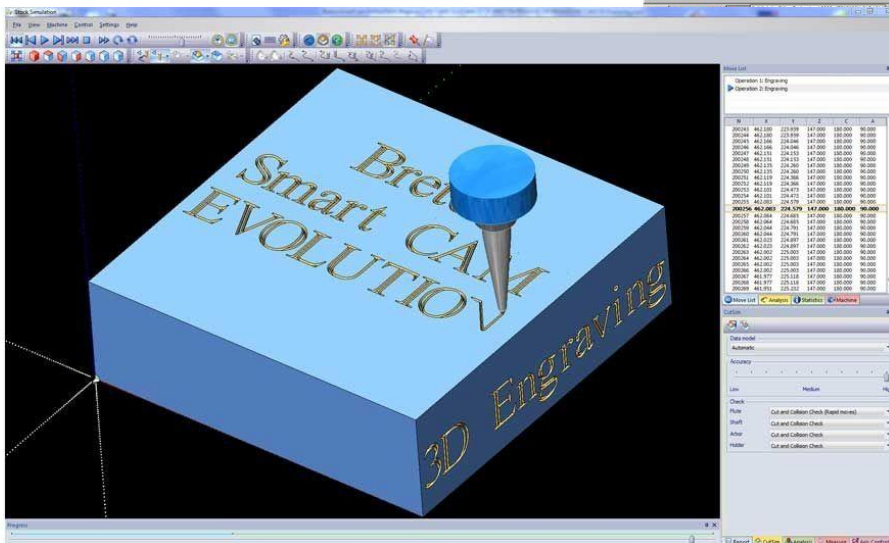
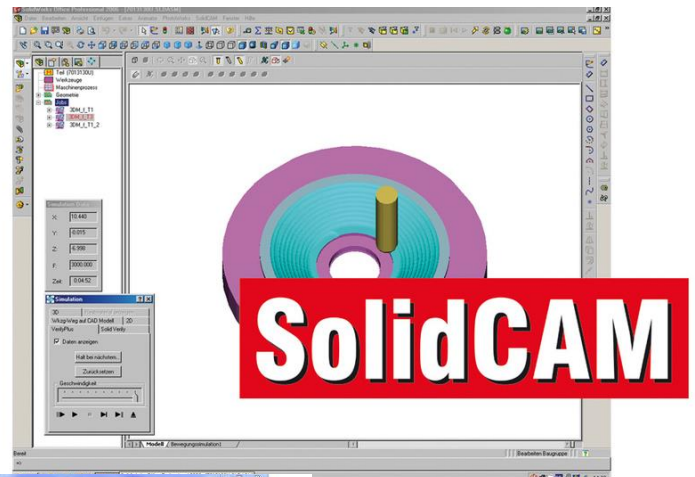
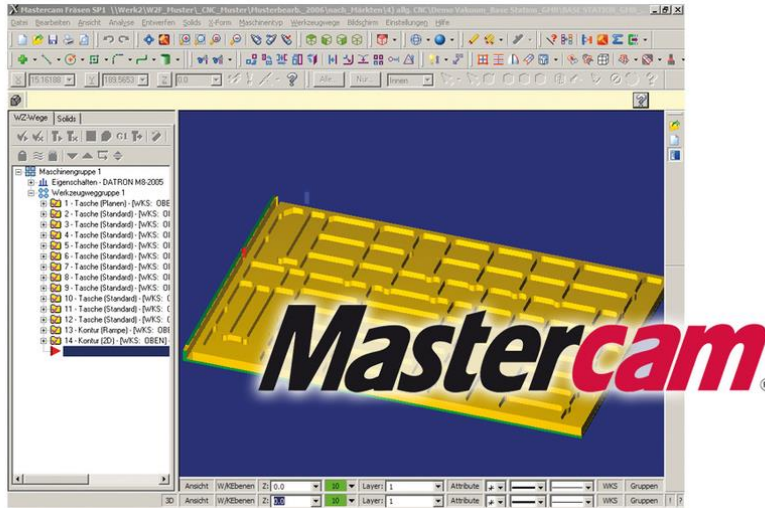
Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

Vero Software

VoluMill

W

WorkNC



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ (CAE)

5.1 Εισαγωγή

Η μηχανική με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών (Computer Aided Engineering - CAE) είναι η ευρεία χρήση λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών για την παροχή βοήθειας σε εργασίες μηχανικής ανάλυσης. Περιλαμβάνει ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis - FEA), υπολογιστική δυναμική ρευστού (Computational Fluid Dynamics - CFD), δυναμική πολλαπλών στοιχείων (Multibody Dynamics - MBD), αντοχή και βελτιστοποίηση.

Το λογισμικό χρησιμοποιείται για την ανάλυση CAD εργαλείων γεωμετρίας που έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν αυτές τις δραστηριότητες και θεωρούνται CAE εργαλεία.

Τα εργαλεία CAE χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, για να αναλύσουν την ευρωστία και την απόδοση των εξαρτημάτων και συναρμολογήσεων.

Ο όρος περιλαμβάνει **προσομοίωση, επικύρωση και βελτιστοποίηση προϊόντων και εργαλείων παραγωγής.**

Στο μέλλον, τα συστήματα CAE θα είναι σημαντικοί πάροχοι πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην **υποστήριξη ομάδων σχεδιασμού στη λήψη αποφάσεων.**

Η μηχανολογία με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως η **αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροπορία, ο διαστημικός τομέας και η ναυπηγική βιομηχανία.**

Όσον αφορά τα **δίκτυα πληροφοριών**, τα συστήματα CAE θεωρούνται ξεχωριστά ένας μοναδικός κόμβος σε ένα συνολικό δίκτυο πληροφοριών και κάθε κόμβος μπορεί να αλληλεπιδράσει με άλλους κόμβους του δικτύου.

Τα συστήματα CAE μπορούν να παρέχουν **υποστήριξη σε επιχειρήσεις.** Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αρχιτεκτονικών αναφοράς και την ικανότητά τους να τοποθετούν τις απόψεις πληροφοριών στην

επιχειρηματική διαδικασία. Η αρχιτεκτονική αναφοράς είναι η βάση από την οποία το μοντέλο πληροφοριών, ειδικά τα μοντέλα παραγωγής και παραγωγής.

Ο όρος CAE έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από μερικούς στο παρελθόν για να περιγράψει τη χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών στο πλαίσιο της μηχανικής με μια ευρύτερη έννοια από την απλή μηχανική ανάλυση. Σε αυτό το πλαίσιο, ο όρος δημιουργήθηκε από τον **Jason Lemon**, ιδρυτή της SDRC στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Ωστόσο, αυτός ο ορισμός είναι πιο γνωστός από τους όρους CAx και PLM.

Οι περιοχές CAE που καλύπτονται περιλαμβάνουν:

- Ανάλυση στρες επί στοιχείων και συγκροτημάτων με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA).
- Ανάλυση ροής θερμότητας και ρευστού Υπολογιστική δυναμική ρευστού (CFD).
- Πολλαπλασιαστική δυναμική (MBD) και Κινηματική.
- Εργαλεία ανάλυσης για προσομοίωση διαδικασίας για εργασίες όπως χύτευση, χύτευση και μορφοποίηση πρέσας.
- Βελτιστοποίηση του προϊόντος ή της διαδικασίας.

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν **τρεις φάσεις** σε οποιαδήποτε τεχνική με τη βοήθεια υπολογιστή:

1. **Προεπεξεργασία**, καθορίζοντας το μοντέλο και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που πρέπει να εφαρμοστούν σε αυτό. (συνήθως ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, αλλά χρησιμοποιούνται και οι μέθοδοι facet, voxel και thin sheet)
2. **Ανάλυση λύσεων** (συνήθως πραγματοποιείται σε υπολογιστές με υψηλή ισχύ)
3. **Μετα-επεξεργασία** των αποτελεσμάτων (χρησιμοποιώντας εργαλεία οπτικοποίησης)

Αυτός ο κύκλος επαναλαμβάνεται, συχνά πολλές φορές, είτε με το χέρι είτε με τη χρήση εμπορικού λογισμικού βελτιστοποίησης.



Τα εργαλεία CAE χρησιμοποιούνται ευρέως στην **αυτοκινητοβιομηχανία**.

Στην πραγματικότητα, η χρήση τους επέτρεψε στις αυτοκινητοβιομηχανίες **να μειώσουν το κόστος και το χρόνο ανάπτυξης του προϊόντος** βελτιώνοντας παράλληλα την ασφάλεια, την άνεση και την ανθεκτικότητα των οχημάτων που παράγουν.

Η δυνατότητα πρόβλεψης των εργαλείων CAE προχώρησε στο σημείο όπου μεγάλο μέρος της επαλήθευσης του σχεδιασμού γίνεται πλέον χρησιμοποιώντας **προσομοιώσεις υπολογιστή (διάγνωση) και όχι δοκιμή φυσικών πρωτοτύπων**.

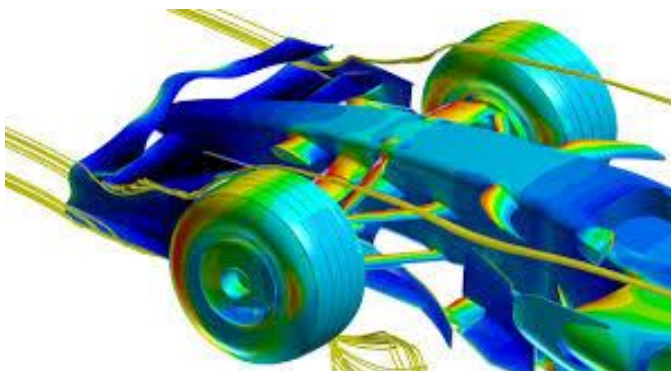
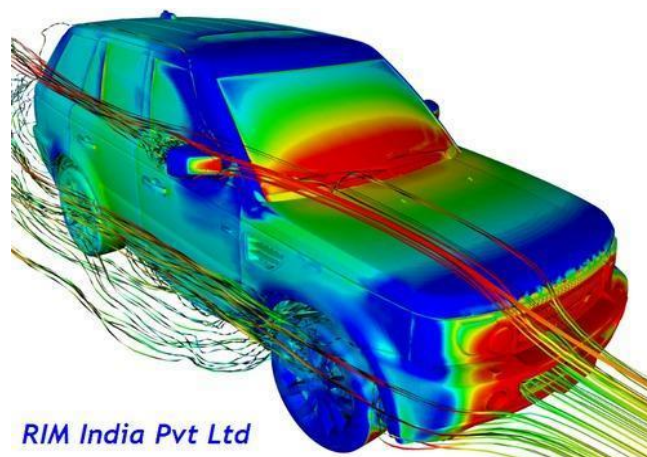
Η αξιοπιστία CAE βασίζεται σε όλες τις σωστές υποθέσεις ως εισροές και πρέπει να προσδιορίζει τις κρίσιμες εισροές (BJ).

Παρόλο που έχουν σημειωθεί πολλές προόδους στο CAE και χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της μηχανικής, οι φυσικές δοκιμές εξακολουθούν να είναι απαραίτητες. Χρησιμοποιείται για **επαλήθευση και ενημέρωση μοντέλου**, για τον **ακριβή προσδιορισμό των φορτίων και των οριακών συνθηκών** και για την **τελική απόδειξη πρωτοτύπου**.

Παρόλο που η CAE έχει αποκτήσει μεγάλη φήμη ως εργαλείο επαλήθευσης, αντιμετώπισης προβλημάτων και ανάλυσης, εξακολουθεί να υπάρχει η αντίληψη ότι αρκετά ακριβή αποτελέσματα έρχονται μάλλον αργά στον κύκλο σχεδιασμού για να οδηγήσουν πραγματικά τον σχεδιασμό.

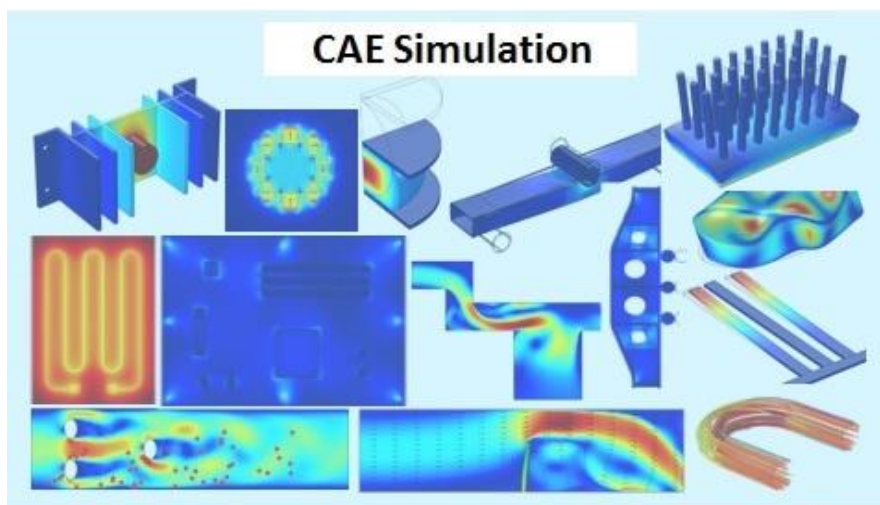
Αυτό μπορεί να αναμένεται να γίνει πρόβλημα, καθώς τα σύγχρονα προϊόντα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα. Περιλαμβάνουν **έξυπνα συστήματα**, τα οποία οδηγούν σε αυξημένη ανάγκη για ανάλυση πολλαπλών φυσικών, συμπεριλαμβανομένων ελέγχων, και περιέχουν νέα ελαφριά υλικά, στα οποία οι μηχανικοί είναι συχνά λιγότερο εξοικειωμένοι.

Οι εταιρείες και οι κατασκευαστές λογισμικού CAE αναζητούν συνεχώς εργαλεία και βελτιώσεις διαδικασιών για να αλλάξουν αυτή την κατάσταση. Από την πλευρά του **λογισμικού**, επιδιώκουν συνεχώς να αναπτύσσουν ισχυρότερους λύτες, να χρησιμοποιούν καλύτερα τους πόρους του υπολογιστή και να περιλαμβάνουν τις τεχνολογικές γνώσεις σε προ- και μετα-επεξεργασία. Από την πλευρά της διαδικασίας, προσπαθούν να επιτύχουν καλύτερη ευθυγράμμιση μεταξύ 3D CAE, 1D προσομοίωσης συστήματος και φυσικών δοκιμών. Αυτό θα αυξήσει τον ρεαλισμό του μοντέλου και την ταχύτητα υπολογισμού. Πέρα από αυτό, προσπαθούν να ενσωματώσουν καλύτερα το CAE στη **διαχείριση του κύκλου ζωής του προϊόντος**. Με αυτόν τον τρόπο, **μπορούν να συνδέσουν το σχεδιασμό του προϊόντος με τη χρήση του προϊόντος**, το οποίο αποτελεί απόλυτη ανάγκη για έξυπνα προϊόντα. Μια τέτοια βελτιωμένη διαδικασία μηχανικής αναφέρεται επίσης ως **προγνωστική μηχανική ανάλυση**.



5.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης CAE

Η Μηχανική Υποβοηθούμενη από Η / Υ ή η προσομοίωση CAE, είναι μια μέθοδος ουσιαστικής απόδειξης ενός προϊόντος ή σχεδίου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες προσεγγίσεις, όπως προσομοίωση **Multibody Dynamics**, **ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων** ή **συνδυασμός και των δύο**.



Ο σχεδιασμός διαμορφώνεται, συχνά ξεκινώντας από το Computer Aided Design - CAD δεδομένα, και στη συνέχεια δοκιμάζεται ουσιαστικά για να βεβαιωθεί ότι ο σχεδιασμός θα λειτουργήσει όπως αναμένεται υπό καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση παρέχουν διορατικότητα στη συμπεριφορά του σχεδιασμού και βοηθούν τους μηχανικούς να κάνουν αλλαγές και βελτιώσεις στο σχεδιασμό. Το RecurDyn παρέχει τόσο ανάλυση πολλαπλών δυνατοτήτων όσο και ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων σε έναν διαλυτή. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται **Multi Flexible Body Dynamics**.

Η προσομοίωση αποτελούσε αποκλειστικά τον τομέα των μεγάλων εταιρειών **αεροδιαστημικής** και **αυτοκινητοβιομηχανίας**. Ωστόσο, αυτές τις μέρες, με ισχυρούς φθηνούς υπολογιστές και οικονομικά προσιτό

λογισμικό εύκολης χρήσης, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις από όλο και περισσότερες μικρομεσαίες επιχειρήσεις σε ένα **ευρύ φάσμα βιομηχανιών**.

Η χρήση της προσομοίωσης στη διαδικασία σχεδιασμού μπορεί να αποφέρει πολλά **οφέλη** που θα εξοικονομήσουν τόσο χρόνο, χρήμα όσο και τη φήμη της εταιρείας ή του προϊόντος σας, για να σας βοηθήσουμε να καινοτομήσετε ταχύτερα και να αποκτήσετε τα προϊόντα σας στην αγορά νωρίτερα. Παρακάτω είναι μερικοί μόνο από τους λόγους για να χρησιμότητα της προσομοίωσης.

- **Ένας καλός σχεδιασμός καταλήγει να είναι πιο γρήγορα στην αγορά.**

Με αυξανόμενες απαιτήσεις για την παραγωγή σχεδίων σε μικρότερους κύκλους, μείωση του χρόνου διάθεσης στην αγορά έχει γίνει η κύρια πίεση των επιχειρήσεων που οδηγεί την έγκριση της προσομοίωσης στο σχεδιασμό. Η κατασκευή και ο έλεγχος πρωτοτύπων μπορεί να διαρκέσει ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Ωστόσο, επειδή η προσομοίωση επιτρέπει τα σχέδια να δοκιμαστούν ουσιαστικά, η μειωμένη εξάρτηση από τις φυσικές δοκιμές και τα πρωτότυπα και η επακόλουθη εξοικονόμηση χρόνου σημαίνει τα σχέδια μπορούν να μεταφερθούν αποτελεσματικά στην αγορά νωρίτερα.

- **Μειώνει τις φυσικές δοκιμές και εξοικονομούνται χρήματα.**

Το κόστος κατασκευής του χρήματος και η δοκιμή μπορούν επίσης να είναι πολύ ακριβά. Εκτός από την εξοικονόμηση χρόνου, η μείωση των γενικών εξόδων δοκιμών με τη χρήση προσομοίωσης για την επαλήθευση των σχεδίων θα σημαίνει επίσης ότι είμαστε σε θέση να μειώσουμε σημαντικά το κόστος κατασκευής και δοκιμής πρωτοτύπων, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους.

- **Ταχύτερες καινοτομίες για νίκη στον ανταγωνισμό**

Η ζήτηση των πελατών για νέα προϊόντα υψηλότερης ποιότητας και οι ολοένα και πιο σύνθετες απαιτήσεις των πελατών είναι σημαντικές επιχειρηματικές πιέσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα οι κατασκευαστές. Για να ικανοποιήσει τη ζήτηση για σχέδια μεγαλύτερης πολυπλοκότητας, η ικανότητα να καινοτομεί γρήγορα στον κύκλο σχεδιασμού καθίσταται ζωτικής σημασίας. Με τον πειραματισμό εικονικού σχεδιασμού, η ταχύτερη καινοτομία - ο δημιουργικός σχεδιασμός προϊόντων και η διαδικασία βελτίωσης μέσω της εισαγωγής νέων ιδεών - μπορούν να γίνουν πραγματικότητα με τη βοήθεια προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να σας τοποθετήσει μπροστά από τον ανταγωνισμό, βοηθώντας σας στη βελτίωση των σημερινών προϊόντων σας, δημιουργώντας νέα προϊόντα υψηλής ποιότητας και εξυπηρετώντας έτσι καλύτερα τους πελάτες.

- **Το κόστος των υλικών βρίσκεται υπό έλεγχο**

Ένα σημαντικό μέλημα αυτών των ημερών είναι η αυξανόμενη τιμή των υλικών. Η χρήση της προσομοίωσης μπορεί να ελαχιστοποιήσει την ποσότητα του υλικού που χρησιμοποιείται σε ένα σχέδιο, βελτιστοποιώντας το ώστε να είναι τόσο ισχυρό όσο χρειάζεται, και εξαλείφοντας τη σπατάλη του overdesign. Πέρα από αυτό, είναι επίσης δυνατό να αξιολογηθεί η απόδοση άλλων λιγότερο δαπανηρών υλικών στο σχεδιασμό, προσφέροντας περαιτέρω δυνατότητες εξοικονόμησης.

- **Διορθώνει τα σχέδια πριν από την παραγωγή, όχι τα προϊόντα μετά**

Η ανάκληση προϊόντων και η αποτυχία του προϊόντος στον τομέα δεν είναι μόνο πολύ ακριβά, αλλά μπορεί επίσης να προκαλέσει ανυπολόγιστη βλάβη στη **φήμη** της **εταιρείας** καθώς και του ίδιου του **προϊόντος**. Προσομοίωση των σχεδίων του προϊόντος σας στον εικονικό κόσμο, όπου τα ελαττώματα στο σχεδιασμό μπορούν να ανακαλυφθούν και να αποκατασταθούν εγκαίρως πριν αρχίσει η σχεδίαση, να αυξήσουν την

Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

ποιότητα του σχεδιασμού, να εξαλείψουν τις δαπανηρές ανακλήσεις αργότερα και να αυξήσουν τη φήμη της εταιρείας και του προϊόντος.

5.3 Λογισμικό CAE

Open-source

Advanced Simulation Library

Calculix

Code Saturne

Elmer

FeatFlow

FEniCS

FreeFem++

Gerris MOOSE

Open Cascade Technology

OpenFOAM

QBlade

Salome

SU2

Proprietary

Actran

Ansys

Abaqus

ADINA

Autodesk Simulation

Altair

AVL

CATIA

PTC Creo

COMSOL

Multiphysics

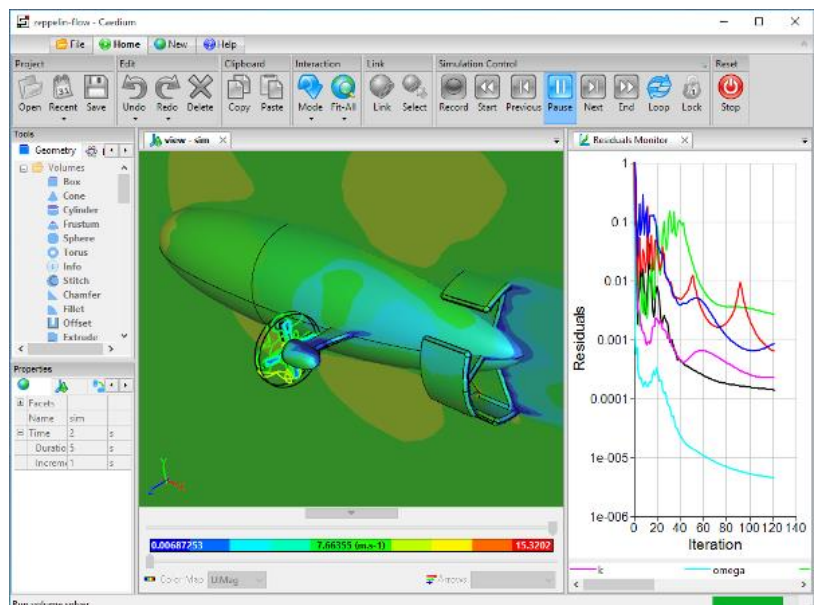
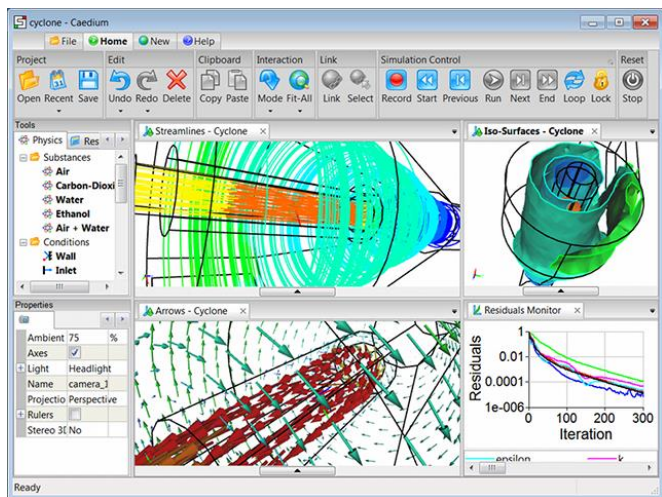
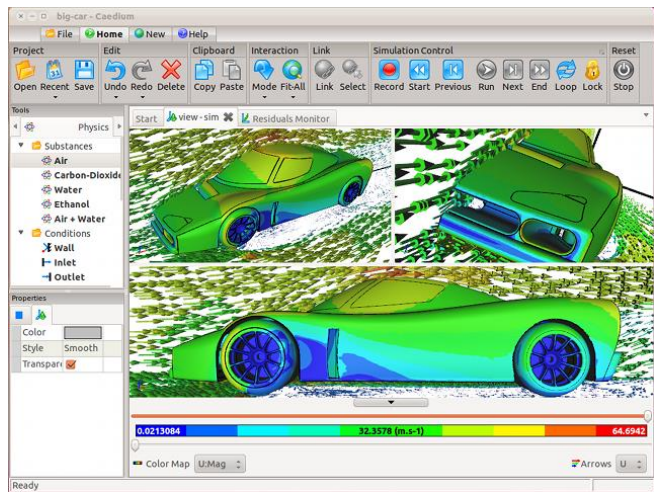
CST Studio Suite

DIANA

FEATool Multiphysics

Femap

Fluent



Συστήματα CAD-CAM-CAE στη Βιομηχανία

FORAN

JCMsuite

JMAG

KIVA

MSC ADAMS

Nastran

Sesam

Siemens NX

SolidWorks

StressCheck

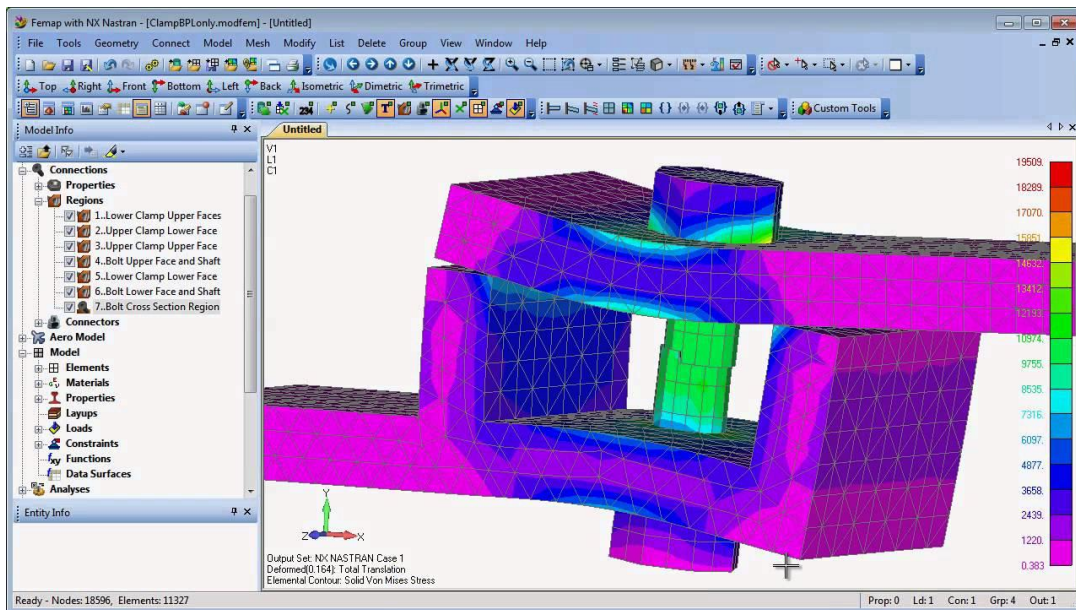
RFEM

Working Model

Cloud-based

SimScale

CONSELF

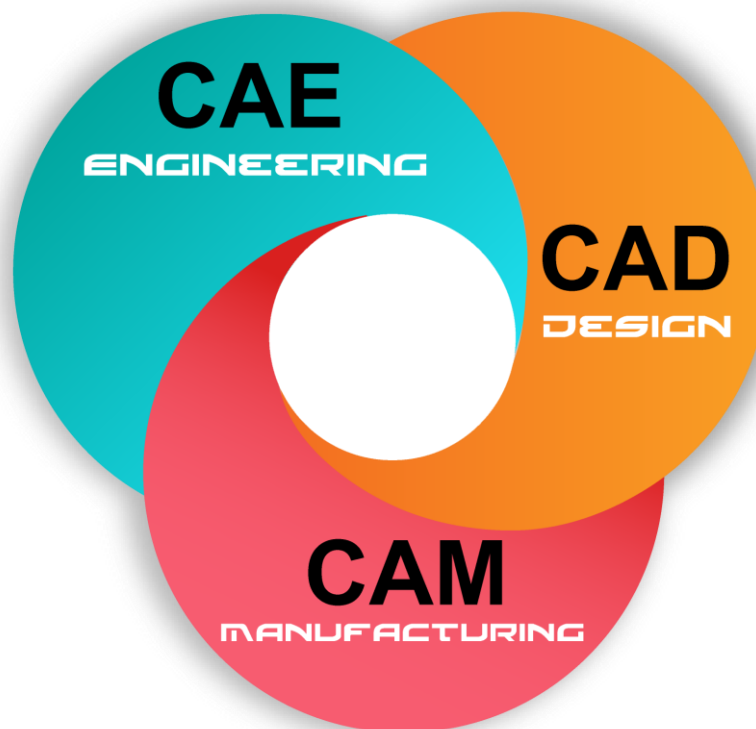


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM/CAE ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

6.1 Η είσοδος των CAD/CAM/CAE στη βιομηχανία

Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνικών σχεδίασης και παραγωγής προϊόντων. Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός σε διεθνές επίπεδο με την παράλληλα μειωμένη διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού οδήγησε τις βιομηχανίες στην υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών παραμερίζοντας την παραδοσιακή προσέγγιση παραγωγής προϊόντων. Αναπόσπαστο τμήμα της σύγχρονης προσέγγισης παραγωγής προϊόντων αποτελούν τα συστήματα CAD/CAM.



Όπως προαναφέρθηκε, CAD (Computer Aided Design σημαίνει σχεδίαση με τη βοήθεια Η/Υ και CAM (Computer Aided Manufacturing) σημαίνει παραγωγή με τη βοήθεια Η/Υ.

Σήμερα, που η χρήση των συστημάτων CAD/CAM έχει κυριαρχήσει σε όλα τα είδη βιομηχανικής παραγωγής, οι κατηγορίες εφαρμογής τους μπορούν να διακριθούν στους ακόλουθους τομείς:

- **Κατασκευαστικός τομέας:** Κατασκευές ξύλου, μετάλλου, κατασκευές κτηρίων κ.α.
- **Μηχανολογικές εφαρμογές:** Αεροπορική βιομηχανία, αυτοκινητοβιομηχανία, κατασκευή μηχανών κ.α.
- **Ηλεκτρονικές εφαρμογές:** Σχεδίαση πλακετών, ηλεκτρονικά κυκλώματα, ηλεκτρολογική σχεδίαση κ.α.
- **Σχεδίαση και παραγωγή ενδυμάτων, υποδημάτων κ.α.**
- **Ιατρικές εφαρμογές** όπως οδοντιατρική, ορθοπεδική κ.α.

Η σχεδίαση κάθε νέου βιομηχανικού προϊόντος πραγματοποιείται μέσα από τη διαδικασία της σχεδιομελέτης, που περιλαμβάνει τα στάδια σχεδίασης του προϊόντος από την σύλληψη της ιδέας έως την παραγωγή του. Κατά τη διάρκεια της σχεδιομελέτης τα συστήματα CAD/CAM κατέχουν κυρίαρχο ρόλο και χρησιμοποιούνται ως εργαλείο βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων, της επιλογής των κατάλληλων υλικών, της μείωσης του κόστους παραγωγής που θα οδηγήσουν στην μεγιστοποίηση του οφέλους από το νέο προϊόντος τόσο για το χρήστη όσο και για τον κατασκευαστή.



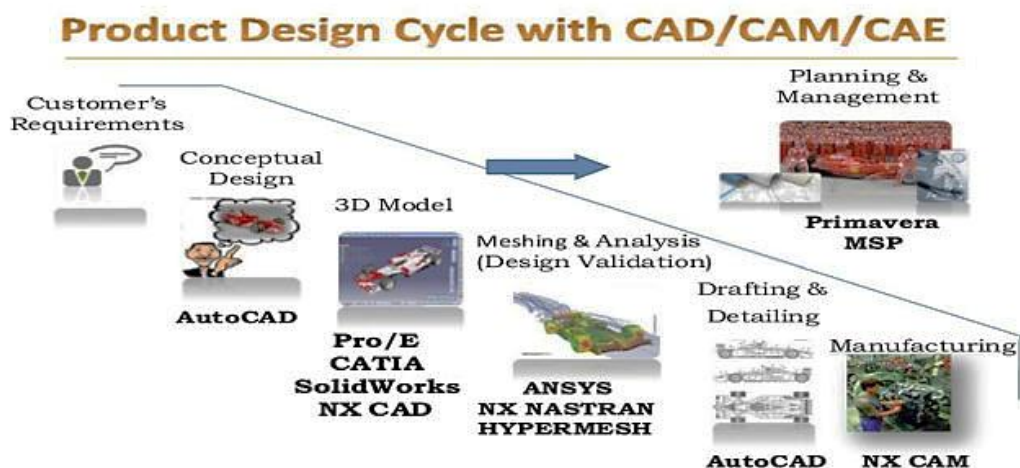
Στάδια σχεδιομελέτης στα οποία συμβάλουν συστήματα CAD/CAM.

Μέσα από τα στάδια της σχεδιομέλετης τα προσδοκώμενα αποτελέσματα - παραδοτέα από τη χρήση των συστημάτων CAD/CAM θα είναι τα εξής παρακάτω:

- Δημιουργία αρχικού ψηφιακού μοντέλου 3Δ μοντέλου κατά το στάδιο του Βιομηχανικού Σχεδιασμού με τη χρήση λογισμικών CAID (Computer Aided Industrial Design).
- Δημιουργία αναλυτικού 3Δ ψηφιακού μοντέλου με τη χρήση λογισμικών CAD.
- Δημιουργία πρωτοτύπων με τη χρήση 3d εκτυπωτών για τον έλεγχο και τη βελτίωση του προϊόντος.
- Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών, ορισμός συνθηκών κοπής, προγραμματισμός CNC μηχανών, με τη χρήση λογισμικών CAD/CAM.
- Ψηφιακή προσομοίωση παραγωγικής διαδικασίας.
- Διάγνωση και αποφυγή σφαλμάτων κατά την παραγωγική διαδικασία.
- Δημιουργία κώδικα καθοδήγησης μηχανών CNC.
- Διαχείριση παραγωγικής διαδικασίας.

6.2 Αναλυτική Περιγραφή του Κύκλου Παραγωγής Ενός Τυπικού Προϊόντος

Για να καταλάβουμε καλύτερα το είδος της τεχνολογίας στην οποία αναφέρονται οι ορολογίες **CAD**, **CAM** και **CAE** είναι χρήσιμο να δούμε πρώτα μια ποιο αναλυτική περιγραφή του κύκλου παραγωγής ενός τυπικού



προϊόντος. Στην συνέχεια, με βάση αυτόν τον αναλυτικό κύκλο παραγωγής, θα δούμε σε ποια σημεία της παραγωγής διαδικασίας χρησιμοποιείτε κάθε μία από τις τεχνολογίες αυτές τις οποίες θα αναλύσουμε εκτενέστερα σε επόμενα κεφάλαια των σημειώσεων. Συγκεκριμένα, στην ενότητα αυτή, αφού πρώτα παρουσιάσουμε εν συντομία τα διάφορα στάδια του κύκλου παραγωγής στα οποία εφαρμόζονται οι τεχνολογίες **CAD** και **CAM**, θα δούμε τον τρόπο με τον οποίον η τεχνολογία **CAE** χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει την τεχνολογία **CAD/CAM**. Η παρουσίασή μας θα στηριχθεί στο **Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής**, που προτάθηκε πρώτα από τον Zeid το 1991. Στο σχεδιάγραμμα αυτό φαίνονται καθαρά οι διάφορες βασικές δραστηριότητες που συνήθως λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός τυπικού προϊόντος.

Όπως φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής, ένας τυπικός κύκλος παραγωγής ενός προϊόντος αποτελείται από δραστηριότητες που μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο διακριτά στάδια: το στάδιο του **σχεδιασμού** και το στάδιο της **κατασκευής**. Το στάδιο του σχεδιασμού αρχίζει με την ανάλυση και κωδικοποίηση των αναγκών των καταναλωτών και τελειώνει με μία ολοκληρωμένη περιγραφή του προϊόντος, που γίνεται συνήθως μέσω σχεδίων που φέρουν σχετικά σχόλια τεκμηρίωσης και επικοινωνίας. Η διαδικασία της κατασκευής αρχίζει με τον σχεδιασμό των αναγκαίων παραγωγικών διαδικασιών και τελειώνει με την διάθεση του προϊόντος στην αγορά.

Οι δραστηριότητες που συνήθως λαμβάνουν χώρα στην διαδικασία του σχεδιασμού μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την **σύνθεση** και την **ανάλυση**. Όπως φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής οι βασικές **συνθετικές δραστηριότητες** που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια του σχεδιασμού ενός προϊόντος είναι οι ακόλουθες:

- αναγνώριση και περιγραφή της ανάγκης των καταναλωτών,
- ορισμός των προδιαγραφών και καθορισμός των απαιτήσεων του σχεδιασμού,

- διεξαγωγή μιας μελέτης σκοπιμότητας με την συλλογή όλων των πληροφοριών που είναι σχετικές με τον σχεδιασμό, καθώς και
- την σύλληψη και νοηματική περιγραφή της ιδέας του σχεδιασμού.

Αποτέλεσμα όλων αυτών των δραστηριοτήτων σύνθεσης, που έχουν κυρίως μια *ποιοτική* χροιά, είναι ότι *η διαπιστωμένη ανάγκη των καταναλωτών γίνεται μια συγκεκριμένη ιδέα ενός προϊόντος.*

Η αναγνώριση της ανάγκης των καταναλωτών γίνεται με την συνειδητοποίηση από κάποιον ότι υπάρχει ένα “πρόβλημα” στην αγορά για την επίλυση του οποίου πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να διαπιστωθεί με πολλούς τρόπους, π.χ, από ένα μηχανικό, που παρατηρεί τον ελαττωματικό σχεδιασμό ενός προϊόντος, ή από έναν πωλητή που διαβλέπει ότι υπάρχει στην αγορά η ανάγκη ενός νέου προϊόντος.

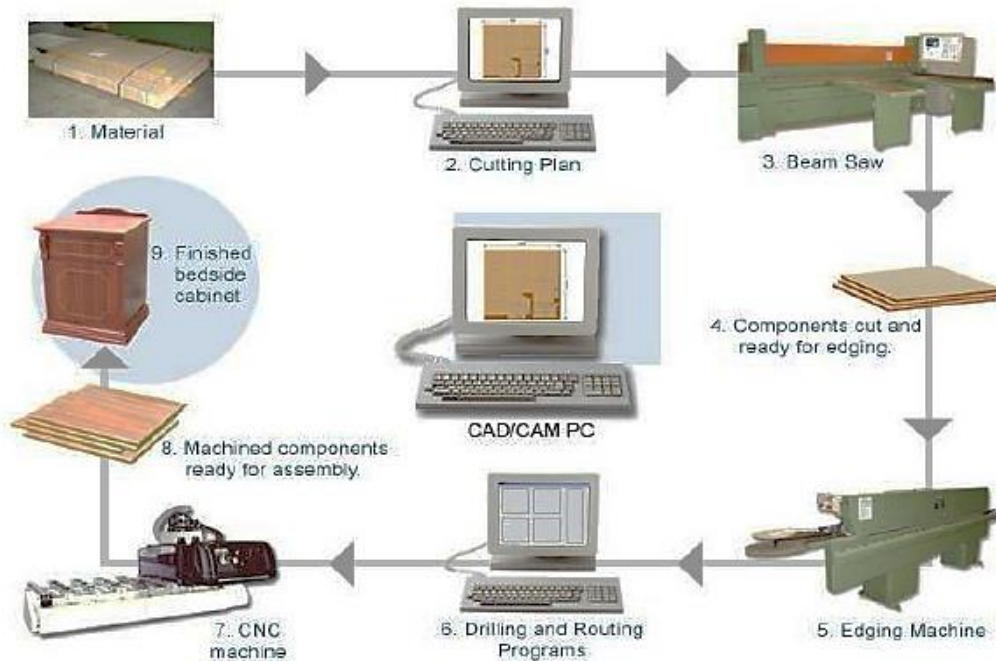
Ο ορισμός της ανάγκης των καταναλωτών οδηγεί σε μια λεπτομερή περιγραφή του προϊόντος που πρέπει να σχεδιαστεί, ενώ οι προδιαγραφές, που εισάγονται στο στάδιο αυτό, καθορίζουν τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Οι απαιτήσεις του σχεδιασμού αναφέρονται εδώ σε παράγοντες όπως: *το κόστος, η ποιότητα, η λειτουργική συμπεριφορά και η απόδοση του αντικειμένου.*

Στην συνέχεια, με βάση τις πληροφορίες αυτές, γίνεται μια πρώτη αξιολόγηση της λειτουργικότητας, της μοναδικότητας και του κόστους του προϊόντος. Με βάση τις αξιολογήσεις αυτές, λαμβάνονται οι σχετικές αποφάσεις για την χρηματοδότηση ή απόρριψη της κατασκευής του προϊόντος.

Εάν το αποτέλεσμα της μελέτης σκοπιμότητας είναι θετικό τότε πλέον γίνεται συγκεκριμένος ο “νοηματικός” προσδιορισμός του προϊόντος μέσω του οποίου καταλήγουμε σε μια συγκεκριμένη ιδέα για τον σχεδιασμό του. Με την ενέργεια αυτή ολοκληρώνεται η φάση της σύνθεσης της διαδικασίας του σχεδιασμού.

Αφού πλέον η ιδέα του σχεδιασμού έχει ωριμάσει, και έχουμε καταλήξει σε ένα συγκεκριμένο σχέδιο για το υπό κατασκευή προϊόν, αρχίζει η

επόμενη φάση της διαδικασίας του σχεδιασμού που είναι η φάση της ανάλυσης. Δράσεις της φάσης αυτής θα μας οδηγήσουν σε μια λεπτομερή καταγραφή των οριστικών σχεδίων του προϊόντος.



Η φάση της ανάλυσης στην διαδικασία του σχεδιασμού αρχίζει με την μαθηματική ανάλυση που μας οδηγεί σε μια πρώτη *ποσοτικοποίηση του αρχικού ποιοτικού σχεδιασμού*. Η μαθηματική ανάλυση εφαρμόζεται σε *αναλυτικά μοντέλα* των επιμέρους μερών του προϊόντος τα οποία περιγράφουν το σχέδιο στο οποίο αποκρυσταλλώνονται οι ιδέες που χαρακτηρίζουν το προϊόν. Η παραγωγή του αναλυτικού μοντέλου είναι απαραίτητη γιατί η εφαρμογή των διαφόρων μαθηματικών μεθόδων ανάλυσης δεν μπορεί να γίνει πάνω στο νοηματικό ή καθαρά γεωμετρικό σχέδιο του προϊόντος. Παρατηρήστε ότι, παρ' όλη την αλματώδη ανάπτυξη των Η/Υ, η παραγωγή ενός αναλυτικού μοντέλου από ένα σχέδιο εξακολουθεί να γίνεται κατά κύριο λόγο από τον άνθρωπο και θα εξακολουθήσει αυτό να γίνεται και στο προσεχές κοντινό μέλλον. Η παραγωγή του αναλυτικού μοντέλου συνήθως γίνεται αφού πρώτα: i) έχουν αφαιρεθεί όλες οι λεπτομέρειες που δεν θεωρούνται σημαντικές για την ανάλυση που θα ακολουθήσει, ii) έχει γίνει ελαχιστοποίηση διαφόρων διαστάσεων του σχεδίου και iii) έχουν αναγνωριστεί συμμετρίες που

πιθανόν υπάρχουν στο σχέδιο. Έτσι, για παράδειγμα, για τις ανάγκες ενός αναλυτικού μοντέλου ένα τρισδιάστατο σώμα με μικρό πάχος μπορεί να θεωρηθεί σαν μία δυσδιάστατη επιφάνεια (που χαρακτηρίζονται από ένα σχετικό μικρό πάχος) ενώ ένα μακρύ δοκάρι μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ευθεία γραμμή (με ένα σχετικό μικρό πάχος). Επίσης, υπάρχουσες συμμετρίες στην γεωμετρία ή στην κατανομή της μάζας ενός σώματος μπορούν να αναλυθούν με ασφάλεια εάν χρησιμοποιήσουμε ένα αναλυτικό μοντέλο που αντιπροσωπεύει ένα μέρος μόνον του ολικού σχεδίου.

Κύριο αντικείμενο της μελέτης ενός αναλυτικού μοντέλου είναι η διερεύνηση διαφόρων ποσοτήτων ή/και ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τα διάφορα εξαρτήματα που συνθέτουν το προϊόν. Στην συνέχεια, η ανάλυση του σχεδιασμού μπορεί να εξετάσει την συμβατότητα των εξαρτημάτων ως προς κάθε απαιτούμενη κίνηση τους σε σχέση με άλλα μέρη της κατασκευής έτσι ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις. Ακόμα, μπορεί να διεξαχθεί και κινηματική ανάλυση έτσι ώστε να ελεγχθεί η λειτουργικότητα και να προσδιοριστεί η συμπεριφορά, κάτω από διάφορες συνθήκες, του υπό κατασκευή προϊόντος. Αποτέλεσμα όλων αυτών των διαδικασιών είναι η οριστικοποίηση των βασικών διαστάσεων που απαιτούνται για την σχεδίαση του προϊόντος. Παρατηρήστε ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης αυτής εξαρτάται (και περιορίζεται) από την ποιότητα και την ακρίβεια των χρησιμοποιούμενων αναλυτικών μοντέλων. Παρατηρήστε ακόμα ότι στην όλη διαδικασία της ανάλυσης σπουδαίο ρόλο παίζει επίσης και η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού (Design optimization) που στηρίζεται σε κριτήρια και προδιαγραφές που έχουν τεθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες όπως: το κόστος κατασκευής, την μάζα και την αντοχή των υλικών, την εμφάνιση και την γεωμετρία του προϊόντος, κλπ.

Όταν ολοκληρωθεί η ανάλυση και η βελτιστοποίηση του σχεδίου τότε αρχίζει η *αξιολόγηση του σχεδίου* (Design evaluation) Στην αξιολόγηση του σχεδίου μετρούμε τις διάφορες παραμέτρους του σχεδίου και τις συγκρίνουμε με τις προδιαγραφές που έχουν καθοριστεί στην φάση της σύνθεσης του σχεδίου. Βασικά εργαλεία για την αξιολόγηση ενός σχεδίου είναι τα *πρωτότυπα* του προϊόντος που κατασκευάζονται είτε *εικονικά* σε

έναν υπολογιστή ή σε *φυσικές διαστάσεις* στο εργαστήριο. Σήμερα, με τα διαθέσιμα στο εμπόριο τεχνικά μέσα, ο σχεδιασμός εικονικών πρωτοτύπων σε υπολογιστή κοστίζει λιγότερο, τόσο σε χρήμα όσο και χρόνο, και γι' αυτό προτιμάται τις περισσότερες φορές έναντι του φυσικού πρωτοτύπου.

Όταν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του σχεδίου είναι ικανοποιητικά, αρχίζει η προετοιμασία της λεπτομερής καταγραφής όλων των πληροφοριών που αφορούν το τελικό σχέδιο. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι: *εκθέσεις, σχέδια και εικόνες, κατάλογοι που είναι σχετικοί με τις διαστάσεις των εξαρτημάτων, το είδος και την ποιότητα των υλικών, το χρώμα*, κλπ. Οι πληροφορίες αυτές, μαζί με τα τελικά σχέδια, του υπό κατασκευή προϊόντος προωθούνται στο κατασκευαστικό τμήμα και αποτελούν την βάση πάνω στην οποία θα στηριχθεί η κατασκευή του αντικειμένου.

Όπως φαίνεται στο **Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής**, όλες οι ποιο πάνω δραστηριότητες του κύκλου παραγωγής ενός προϊόντος υποβοηθούνται από την τεχνολογία **CAD**. Από όσα αναφέραμε ποιο πάνω, γίνεται φανερό ότι με τον όρο **CAD** αναφερόμαστε στην τεχνολογία που, βασιζόμενη στην χρήση των Η/Υ, στοχεύει στο να υποβοηθήσει την *δημιουργία* την *ανάλυση*, την *αλλαγή* ή την *ελαχιστοποίηση* ενός σχεδίου για κάποιο προϊόν. Για την ακρίβεια, κάθε πρόγραμμα ενός Η/Υ που χρησιμοποιεί γραφικά και λογισμικά πακέτα που υποβοηθούν διάφορες δραστηριότητες των μηχανικών στην διαδικασία της σχεδίασης χαρακτηρίζονται σαν λογισμικό **CAD**. Με άλλα λόγια, στο λογισμικό **CAD** συμπεριλαμβάνουμε προγράμματα που μπορεί να διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Για παράδειγμα, τα προγράμματα αυτά μπορεί να αναφέρονται σε *εργαλεία γεωμετρικής επεξεργασίας* (όπως είναι τρόποι αναπαράστασης και μετασχηματισμού σημείων, γραμμών και επιφανειών) καθώς και σε *εργαλεία μαθηματικής ανάλυσης* (πχ. η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για την μελέτη πχ., της τάσης και της αντοχής των υλικών ή της μετάδοσης της θερμοκρασίας σε ένα σώμα). Ακόμα μπορεί να περιλαμβάνει και διάφορα εργαλεία *βελτιστοποίησης*.

Ο κύκλος της παραγωγής ενός προϊόντος συνεχίζεται με την διαδικασία της κατασκευής του. Η διαδικασία κατασκευής ενός προϊόντος μπορεί να χωριστεί στην **άμεση παραγωγή**, όπου προστίθεται αξία σε μια πρώτη ύλη, καθώς αυτή μετά από επεξεργασία μετατρέπεται σε ένα τελικό προϊόν, και σε **έμμεσες δραστηριότητες** που στόχο έχουν να υποστηρίξουν την άμεση παραγωγή. Παραδείγματα έμμεσων δραστηριοτήτων, που μπορεί να προηγούνται ή και να έπονται της άμεσης παραγωγής, είναι τα ακόλουθα: σχεδιασμός των διεργασιών, σχεδιασμός της παραγωγής, σχεδιασμός της προμήθειας νέων εργαλείων, παραγγελία υλικών, προγραμματισμός διαφόρων εργαλειομηχανών, έλεγχος ποιότητας, δοκιμή και συναρμολόγηση, συσκευασία και αποθήκευση, αποστολή στην κατανάλωση, κλπ.

Όπως μπορούμε να δούμε στο **Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής**, η κατασκευή ενός τυπικού προϊόντος αρχίζει με τον προγραμματισμό της **διαδικασίας κατασκευής (Process Planning)** του προϊόντος και τελειώνει με την κατασκευή του. Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία κατασκευής ασχολείται με τον καθορισμό της σειράς των επιμέρους κατασκευαστικών διαδικασιών καθώς και με την επιλογή των μηχανών και των κατάλληλων κοπτικών εργαλείων μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθούν διάφορες επιμέρους κατασκευές. Το αποτέλεσμα του προγραμματισμού των διαδικασιών κατασκευής μπορεί να είναι μια σειρά από δράσεις όπως: *ένα σχέδιο παραγωγής, ο σχεδιασμός και η προμήθεια νέων εργαλείων, μια λίστα παραγγελίας υλικών, ο προγραμματισμός συγκεκριμένων μηχανών (πχ. μηχανών NC ή CNC, ρομπότς κ.λπ.)*

Παρατηρήστε ότι στην διαδικασία κατασκευής ενός προϊόντος, ο ρόλος του προγραμματισμού των διαδικασιών παραγωγής είναι ανάλογος με τον ρόλο της σύνθεσης στην διαδικασία του σχεδιασμού του προϊόντος. Επομένως, οι αποφάσεις που λαμβάνονται και σε αυτή την φάση είναι κυρίως *ποιοτικές αποφάσεις*..

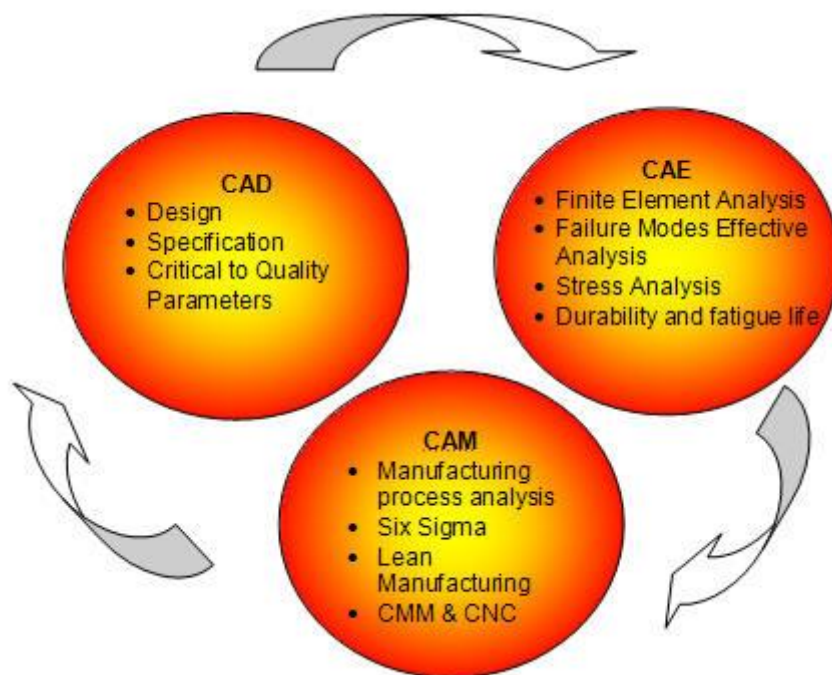
Οι επόμενες φάσεις της κατασκευαστικής διαδικασίας είναι οι καθαρά ή άμεσες παραγωγικές φάσεις όπου τα διάφορα εξαρτήματα

κατασκευάζονται, ελέγχονται και συναρμολογούνται για να δώσουν την μορφή του τελικού προϊόντος. Τις καθαρά παραγωγικές φάσεις του προϊόντος ακολουθεί ένας έλεγχος της λειτουργικότητας του αντικειμένου και εάν όλα πάνε καλά, τότε το αντικείμενο πακετάρτε και στέλνετε στον καταναλωτή

Όπως φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα του Τυπικού Κύκλου Παραγωγής, η διαδικασία κατασκευής υποβοηθάτε από την τεχνολογία **CAM**. Έτσι, από όσα αναφέραμε πιο πάνω, γίνεται πλέον γνωστό ότι με τον όρο **CAM** αναφερόμαστε στην τεχνολογία που στηρίζεται άμεση ή έμμεση χρήση των Η/Υ και που στοχεύει στον *σχεδιασμό*, την *διαχείριση* και τον *έλεγχο* των διεργασιών της κατασκευής ενός προϊόντος. Η άμεση χρήση του Η/Υ συσχετίζεται με την άμεση παραγωγική διαδικασία. Στην περίπτωση αυτή ο Η/Υ συμμετέχει άμεσα στην παραγωγική διαδικασία, παρακολουθώντας την εξέλιξή της και ελέγχοντάς την (**computer monitoring and control**). Στην παρακολούθηση της εξέλιξης μια διεργασίας ο υπολογιστής παρακολουθεί την εξέλιξη της διεργασίας και συγκεντρώνει πληροφορίες για την εξέλιξη της, καθώς επίσης καταγράφει την κατάσταση λειτουργίας των διαφόρων μηχανών. Παρατηρήστε ότι στην περίπτωση αυτή ο έλεγχος παραμένει στα χέρια των ανθρώπων, που μπορεί να λαμβάνουν υπ' όψιν τους τις ενδείξεις των Η/Υ. Στον έλεγχο της εξέλιξης μια διεργασίας η δράσει του υπολογιστή πάει ένα βήμα παραπέρα. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής δεν παρακολουθεί απλώς την διαδικασία αλλά, βασιζόμενος στις παρατηρήσεις του, επεμβαίνει και ελέγχει την πορεία της διαδικασίας. Η έμμεση χρήση των Η/Υ σχετίζεται με τις έμμεσες δράσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Στην περίπτωση αυτή ο Η/Υ λειτουργεί "**off-line**" για τη δημιουργία πλάνων, εντολών, πληροφοριών, κ.λπ., με την βοήθεια των οποίων η διαχείριση του παραγωγικού συστήματος γίνεται πιο αποδοτική.

6.3 Επίδραση της Τεχνολογίας CAD/CAM/CAE στον Κύκλο Παραγωγής

Μέχρι τώρα παρουσιάσαμε συνοπτικά τις διάφορες φάσεις ενός τυπικού κύκλου της παραγωγής ενός προϊόντος. και είδαμε ποιες από αυτές υποστηρίζονται από την τεχνολογία **CAD** και ποιες υποστηρίζονται από την τεχνολογία **CAM**. Στην συνέχεια θα δούμε ποιο αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίον η τεχνολογία **CAD/CAM**, υποστηριζόμενη από την τεχνολογία **CAE**, επιδρά στα διάφορα στάδια του κύκλου παραγωγής ενός τυπικού



προϊόντος.

Είναι σε όλους γνωστό ότι, παρ' όλη την αλματώδη ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών, η τεχνολογία των Η/Υ δεν επιτρέπει ακόμα την λείψει, με ασφαλή τρόπο, *ποιοτικών* αποφάσεων. Επομένως, είναι προφανές ότι σε όποια στάδια του κύκλου παραγωγής ενός προϊόντος απαιτούνται ποιοτικές αποφάσεις η χρήση των Η/Υ είναι περιορισμένη. Έτσι, για παράδειγμα, στις φάσεις σύνθεσης της διαδικασίας του σχεδιασμού όπου, όπως έχουμε αναφέρει, απαιτούνται ποιοτικές αποφάσεις, η χρήση των Η/Υ είναι περιορισμένη. Στις φάσεις αυτές οι Η/Υ θα μπορούσαν ασφαλώς να χρησιμοποιηθούν σε πολλές περιπτώσεις όπως για την συλλογή των σχετικών σχεδίων από μια βάση δεδομένων για

μια μελέτη σκοπιμότητας. Δεν είναι όμως φανερό πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι Η/Υ για την σύλληψη της ιδέας ενός νέου σχεδίου που θα ανταποκρινόταν στο επιθυμητό προϊόν. Σε κάθε περίπτωση, ο Η/Υ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και αυτό γίνεται στην πράξη) για την εύκολη γεωμετρική περιγραφή διαφόρων σχεδιαστικών ιδεών.

Επίσης, στο στάδιο του σχεδιασμού των διαδικασιών, της διαδικασίας κατασκευής, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα οι Η/Υ γιατί, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, και στο στάδιο αυτό λαμβάνονται κυρίως ποιοτικές αποφάσεις. Για τις περισσότερες κατασκευές οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται από έμπειρους τεχνίτες. Υπάρχουν όμως και κατασκευές όπου ο προγραμματισμός των επιμέρους εργασιών είναι δυνατόν να γίνει αυτόματα. Αυτό μπορεί να γίνει σε περιπτώσεις που έχουμε στην διάθεσή μας τον προγραμματισμό των επιμέρους εργασιών άλλων παρόμοιων κατασκευών. Για την εξυπηρέτηση τέτοιων περιπτώσεων έχει αναπτυχθεί η τεχνολογία **GT** ή **Group Technology**, δηλαδή η **τεχνολογία της ομαδοποίησης** μέσω της οποίας μπορούμε να ταξινομήσουμε όμοια εξαρτήματα σε οικογένειες. Η ταξινόμηση των εξαρτημάτων αυτών συνήθως γίνεται με βάση κάποια κοινά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά όπως: τρύπες, σχισμές, πτερύγια, κλπ. Τώρα, εάν διαθέτουμε μία βάση δεδομένων η οποία στηρίζεται σε τέτοια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, τότε η διάγνωση ομοιοτήτων σε διάφορα εξαρτήματα μπορεί να γίνει αυτόματα και άρα, στις περιπτώσεις αυτές, ο προγραμματισμός των κατασκευαστικών διεργασιών μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, παρατηρήστε ότι σε μερικές περιπτώσεις Η/Υ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την αυτόματη παραγγελία πρώτων υλών και διαφόρων εξαρτημάτων. Η σχετική τεχνολογία που υποστηρίζει αυτές τις εργασίες είναι γνωστή με τον όρο **MRR** ή **Material Requirements Planning**, δηλαδή **Σχεδιασμός Απαιτούμενων Υλικών**. Από τα πιο πάνω είναι προφανές ότι σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να έχουμε έναν αυτόματο προγραμματισμό των διαδικασιών κατασκευής ενός προϊόντος. Στην περίπτωση αυτή, η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (που στην ουσία είναι σύνθεση των τεχνολογιών **GT** και **MRR**) έχει σκοπό να ορίσει επακριβώς τις ενέργειες και τις δράσεις που απαιτούνται για την

κατασκευή ενός προϊόντος. Στην διεθνή βιβλιογραφία η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή με την ορολογία **CAPP** ή **Computer-Aided Process Planning**, δηλαδή **προγραμματισμός των διαδικασιών κατασκευής με την βοήθεια Υ/Η**.

Στα στάδια του κύκλου παραγωγής που χρειάζονται να παρθούν ποσοτικές αποφάσεις κυριαρχεί η χρήση των Η/Υ. Για παράδειγμα, στην διαδικασία του σχεδιασμού η φάση της ανάλυσης είναι ένα από τα σημεία του κύκλου της παραγωγής όπου χρησιμοποιούνται ευρέως οι Η/Υ. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην αγορά κυκλοφορούν πάρα πολλά πακέτα λογισμικού που, μεταξύ των άλλων, επιτρέπουν στον μηχανικό να μελετήσει πολύ εύκολα τις ιδιότητες των εξαρτημάτων διαφόρων προϊόντων που αφορούν: την *αντοχή των υλικών*, την *ελαστικότητα*, την *διάδοση της θερμοκρασίας* την *κατανομή της μάζας*, κλπ. Επίσης, η κινηματική ανάλυση και η βελτιστοποίηση των διαφόρων εξαρτημάτων ενός προϊόντος γίνεται εύκολα με την βοήθεια διαφόρων λογισμικών πακέτων. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, όλα αυτά τα λογισμικά πακέτα είναι μέρος της τεχνολογίας **CAE**. Βλέπουμε λοιπόν ότι τεχνολογία αυτή είναι ένα βασικό εργαλείο υποστήριξης της τεχνολογίας **CAD**, και γι' αυτό είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της.

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι βασική προϋπόθεση για την χρήση της τεχνολογίας **CAE** στον σχεδιασμό ενός προϊόντος είναι η ύπαρξη ενός αναλυτικού μοντέλου του προϊόντος που θέλουμε να σχεδιάσουμε. Θα ήταν μεγάλη βοήθεια εάν ήταν δυνατόν να παράγουμε το αναλυτικό μοντέλο του προϊόντος *αυτόματα* από το τελικό “νοηματικό” σχέδιο που συνοδεύει την σύλληψη της ιδέας σχεδιασμού. Όμως, όπως έχουμε αναφέρει, αυτό δεν είναι δυνατόν λόγω των ποιοτικών αποφάσεων που πρέπει να παρθούν στο στάδιο αυτό. Έτσι, σήμερα στην πράξη η παραγωγή του αναλυτικού μοντέλου γίνεται από έμπειρους μηχανικούς οι οποίοι για να παράγουν, με την βοήθεια των Η/Υ, το αναλυτικό μοντέλο αγνοούν ορισμένες λεπτομέρειες του σχεδίου που δεν θεωρούνται βασικές. Ο βαθμός αφαίρεσης που γίνεται στο στάδιο αυτό εξαρτάτε από το είδος του σχεδίου και από τον βαθμό ακρίβειας που επιδιώκουμε.

Τα περισσότερα αναλυτικά μοντέλα κατασκευάζονται με την χρήση λογισμικών πακέτων που μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες. Στην μία ομάδα κατατάσσονται τα πακέτα που επιτρέπουν στον σχεδιαστή να σχεδιάζει και να επεξεργάζεται σχέδια σε δύο διαστάσεις. Το σύνολο του λογισμικού αυτού του είδους περιγράφεται με την ορολογία **Computer Aided Drafting**, δηλαδή **Σύστημα Σχεδιασμού με την Βοήθεια Η/Υ**. Με την βοήθεια ενός τέτοιου λογισμικού, και ενός συστήματος γραφικών που επιτρέπει την αλληλοεπίδραση με τον χρήστη, ο μηχανικός μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο σχέδιο ή και να αλλάξει το ήδη υπάρχον σχέδιο. Το λογισμικό αυτού του είδους για να είναι χρήσιμο θα πρέπει να συνοδεύεται από μια βάση δεδομένων που επιτρέπει την αποθήκευση νέων σχεδίων καθώς και τις αλλαγές σε παλαιά σχέδια. Παρατηρήστε ότι ένα Computer Aided Drafting λογισμικό είναι ανάλογο του λογισμικού ενός επεξεργαστή κειμένων. Διαφέρει μόνον στο ότι το πρώτο παράγει σχέδια ενώ το δεύτερο παράγει κείμενα. Τα πλεονεκτήματα και των δύο αυτών λογισμικών πακέτων δεν είναι προφανή όταν χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα νέο σχέδιο ή, αντίστοιχα, ένα νέο κείμενο. Η πραγματική τους δύναμη των εργαλείων αυτών φαίνεται όταν αυτά χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν, ένα υπάρχον σχέδιο ή ένα υπάρχον κείμενο αντιστοίχως.

Στην δεύτερη ομάδα εργαλείων, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός αναλυτικού μοντέλου, κατατάσσονται τα συστήματα **Γεωμετρικής Μοντελοποίησης. (Geometric Modeling Systems)**. Για να αντιληφθούμε τις δυνατότητες ενός συστήματος γεωμετρικής μοντελοποίησης και να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτά χρησιμοποιούνται στην διαδικασία της κατασκευής ενός αναλυτικού μοντέλου ας φανταστούμε ένα παιδί που χρησιμοποιεί πλαστελίνη για να κατασκευάσει το φυσικό μοντέλο του αντικειμένου που έχει στο μυαλό του. Το παιδί, χρησιμοποιώντας το φυσικό περιβάλλον, προχωρά προς την ολοκλήρωση της κατασκευής του φυσικού μοντέλου μετατρέποντας προοδευτικά την αρχική άμορφη μάζα της πλαστελίνης ενώ μερικές φορές προσθέτει ή αφαιρεί κομμάτια πλαστελίνης από το φυσικό του μοντέλο. Η διαδικασία αυτή εμπεριέχει προφανώς την διαδικασία του προοδευτικού

σχεδιασμού γιατί καθώς εξελίσσεται παρουσιάζει την εικόνα (μέσω του φυσικού αντικειμένου) μιας αφηρημένης ιδέας. Ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης παρέχει ένα *εικονικό περιβάλλον* που είναι ανάλογο με το φυσικό περιβάλλον στο οποίο το παιδί κάνει την κατασκευή του. Με άλλα λόγια, ένας μηχανικός που χρησιμοποιεί ένα σύστημα γεωμετρικής μοντελοποίησης μπορεί, όπως και το παιδί, να παραμορφώσει, να περιστρέψει, να προσθέσει ή να αφαιρέσει κομμάτια από το μοντέλο του. Μόνο που τώρα το μοντέλο αυτό είναι οπτικό και όχι φυσικό. Βλέπουμε λοιπόν ότι ο μηχανικός για να κατασκευάσει το οπτικό του μοντέλο έχει χρησιμοποιήσει τις ίδιες κατασκευαστικές αρχές που έχει χρησιμοποιήσει και το παιδί για να κατασκευάσει το δικό του φυσικό μοντέλο. Μόνο που στην περίπτωση του μηχανικού εκτός από το οπτικό μοντέλο υπάρχει διαθέσιμη και η μαθηματική περιγραφή του η οποία επιτρέπει όχι μόνον τον εύκολο υπολογισμό όλων των διαστάσεων του μοντέλου αλλά και τον υπολογισμό πολλών άλλων ποσοτήτων που χαρακτηρίζουν το αντίστοιχο φυσικό μοντέλο. Στο εμπόριο υπάρχουν διάφορα συστήματα γεωμετρικής μοντελοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα **CAD**. Τα πιο βασικά από αυτά μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες : i) *συρματικά μοντέλα* (wire-frame models), ii) *επιφανειακά μοντέλα* (surface models), και iii) *στερεά μοντέλα* (solid models).

Από όσα αναφέραμε πιο πάνω είναι φανερό ότι μέρος του λογισμικού **CAE** χρησιμοποιείτε για την ανάλυση κυρίως της CAD γεωμετρίας. Όμως, υπάρχουν και άλλα εργαλεία της τεχνολογίας **CAE** μας επιτρέπουν να κάνουμε και άλλων μορφών ανάλυση στο υπό σχεδιασμό προϊόν. Για παράδειγμα, προγράμματα κινηματικής ανάλυσης μας επιτρέπουν να μελετήσουμε την κινηματική συμπεριφορά (θέση και ταχύτητα) διαφόρων συνδέσμων ενός μηχανισμού. Προγράμματα δυναμικής μετατόπισης μας επιτρέπουν να μελετήσουμε την συμπεριφορά και απόδοση πολύπλοκων κατασκευών όπως αυτή των αυτοκινήτων. Επίσης, προγράμματα λογικού χρονισμού μας επιτρέπουν να αξιολογήσουμε σύνθετα ηλεκτρικά κυκλώματα. Τέλος, στα πλαίσια της τεχνολογίας **CAE**, υπάρχουν διαθέσιμες **τεχνικές προσομοίωσης** οι οποίες θα μας επιτρέψουν να μελετήσουμε στην συμπεριφορά ενός προϊόντος έτσι ώστε να

καλυτερεύσουμε (πχ μέσω ελαχιστοποίησης) τον τελικό σχεδιασμό του προϊόντος.

Παρατηρήστε ότι από τις πλέον γνωστές μεθοδολογίες της τεχνολογίας **CAE**, είναι η μεθοδολογία **FEM** ή **Finite Element Method**, δηλαδή **Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων**. Η μεθοδολογία αυτή μας επιτρέπει να μελετήσουμε προβλήματα που χαρακτηρίζονται από μια μορφή συνέχειας, όπως αυτά που αναφέρονται στην: *πίεση, παραμόρφωση, μετάδοση θερμοκρασίας, κατανομή της μάζας ή του μαγνητικού πεδίου*, κλπ. Σύμφωνα με την μεθοδολογία της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων το κάθε αντικείμενο διαιρείτε σε ένα μεγάλο αριθμό πεπερασμένων στοιχείων (συνήθως τετραγωνικού ή τριγωνικού σχήματος) τα οποία αποτελούν ένα αλληλοσυνδεδεμένο δίκτυο κόμβων. Με την μέθοδο αυτή, και την χρήση Η/Υ που έχουν μεγάλη υπολογιστική δύναμη, μπορούμε να μελετήσουμε διάφορες ιδιότητες του αντικειμένου που όπως είπαμε χαρακτηρίζεται από συνέχεια. Για τον σκοπό αυτό αρκεί να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της ιδιότητας αυτής σε κάθε έναν από τους κόμβους του αντικειμένου. Έπειτα, μέσω μιας γραμμικής παρεμβολής των δεδομένων μπορούμε να υπολογίσουμε την ιδιότητα αυτή σε οποιοδήποτε σημείο του αντικειμένου θα μας ενδιέφερε.

Τελειώνοντας την αναφορά μας στην τεχνολογία **CAE** θα πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν διαθέσιμα πολλά εργαλεία λογισμικού (γενικού ή και ειδικού χαρακτήρα) που επιτρέπουν την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ενός προϊόντος. Όμως, στην διεθνή βιβλιογραφία, τα εργαλεία αυτά δεν θεωρούνται μέρος της τεχνολογίας **CAE**. Συνήθως τα εργαλεία αυτά παρουσιάζονται σαν ένα άλλο ξεχωριστό πεδίο μελέτης στο οποίο αναφερόμαστε με τον όρο **αριστοποίηση του σχεδιασμού**.

Η φάση της αξιολόγησης του σχεδιασμού μπορεί επίσης να βοηθηθεί πάρα πολύ με την χρήση των Η/Υ. Για την καλύτερη αξιολόγηση του σχεδίου ενός προϊόντος χρησιμοποιούμε συνήθως ένα *πρωτότυπο* του προς παραγωγή αντικειμένου. Παρατηρήστε ότι με την βοήθεια του πρωτοτύπου μπορούν να αποκαλυφθούν σχεδιαστικά λάθη που μπορεί

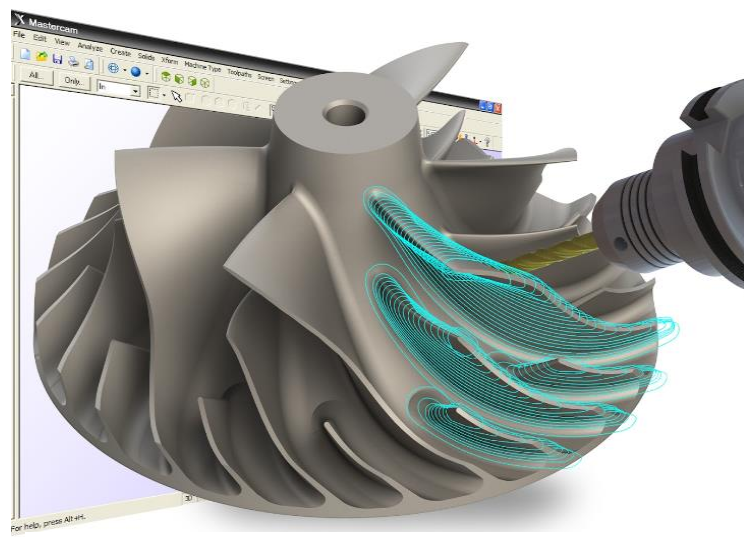
να υπάρχουν στο προτεινόμενο σχέδιο. Έτσι, εάν η αξιολόγηση του σχεδίου δεν είναι ικανοποιητική η ανάλυση του σχεδίου επαναλαμβάνετε και τα λάθη διορθώνονται πολύ πριν από την δαπανηρή κατασκευή του τελικού προϊόντος. Το πρωτότυπο αυτό μπορεί να κατασκευαστεί με τους ακόλουθους δύο τρόπους: α) *ψηφιακό* σε Η/Υ και β) *μηχανικό* στο εργαστήριο.

Για την δημιουργία ενός πρωτοτύπου σε ψηφιακή μορφή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική της *ψηφιακής μάσκας* και να κατασκευάσουμε ένα *εικονικό* πρωτότυπο στην οθόνη ενός Η/Υ. Η μεθοδολογία της ψηφιακής μάσκας οδηγεί στην τεχνολογία που είναι γνωστή με τον όρο **εικονική προτυποποίηση**. Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας επιτρέπει την κατασκευή εικονικών αντικειμένων που αντιγράφουν πιστά τα φυσικά αντικείμενα. Επίσης, η τεχνολογία αυτή, επιτρέπει στον χρήστη να χειρίζεται τα αντικείμενα αυτά με τον ίδιο τρόπο που θα χειριζόταν ένα φυσικό αντικείμενο. Επομένως, η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μας επιτρέπει να αποκομίσουμε την ίδια αίσθηση που θα είχαμε εάν αναλύαμε το φυσικό πρωτότυπο ενός αντικειμένου.

Η δημιουργία ενός φυσικού πρωτοτύπου στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται συνήθως με τον παραδοσιακό τρόπο που στηρίζεται σε μια χρονοβόρα “*αφαιρετική*” διαδικασία η οποία απαιτεί μεγάλη εμπειρία και πολύ κόπο. Σύμφωνα με την αφαιρετική διαδικασία μία μηχανή ή ένας έμπειρος τεχνίτης αφαιρεί σιγά – σιγά κομμάτια από ένα υλικό για να κατασκευάσει το πρωτότυπο ενός αντικειμένου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κατασκευή του φυσικού πρωτοτύπου μπορεί να γίνει με την βοήθεια μιας νέας τεχνολογίας η οποία έκανε την εμφάνισή της τα τελευταία χρόνια. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή με την ορολογία “**Ταχεία Προτυποποίηση**” (**Raid Prototyping**) ή **3D εκτύπωση**. Η τεχνολογία αυτή, που προτάθηκε από τον Charles Hull το 1984, επιτρέπει την απ’ ευθείας μετατροπή του σχεδίου ενός μοντέλου, που είναι φτιαγμένο σε έναν Η/Υ με την βοήθεια ενός συστήματος **CAD**, σε ένα στερεό τρισδιάστατο αντικείμενο. Η βασική αρχή της τεχνολογίας αυτής, που ονομάζεται

στερεολιθογραφία, στηρίζεται στο γεγονός ότι ορισμένα ευπαθή υλικά (πχ. πλαστικά, ρητίνες, κερί, κ.λπ.) στερεοποιούνται όταν εκτεθούν σε υπεριώδεις ακτίνες. Με την χρήση αυτής της τεχνολογίας ένα σχέδιο που έχει γίνει με την βοήθεια ενός συστήματος **CAD**, μπορεί να σταλεί μέσω internet σε οποιονδήποτε διαθέτει έναν 3D εκτυπωτή ο οποίος θα κατασκευάσει ένα ακριβές πρωτότυπο του αντικειμένου μέσα σε λίγες ώρες, αντί για εβδομάδες που χρειάζεται ένας εξειδικευμένος τεχνίτης που ακολουθεί την παραδοσιακή μεθοδολογία. Για να κατασκευάσει ένα πρωτότυπο ένας 3D εκτυπωτής χρησιμοποιεί μια «προσθετική» διαδικασία,

συνδυάζοντας διαδοχικά στρώματα της πρώτης ύλης (που μπορεί να είναι χαρτί, κερί, πλαστικό, κ.λπ.) για να δημιουργήσει το στερεό αντικείμενο. Παρατηρήστε ότι ένας 3D εκτυπωτής χρησιμοποιεί την ακριβώς αντίθετη

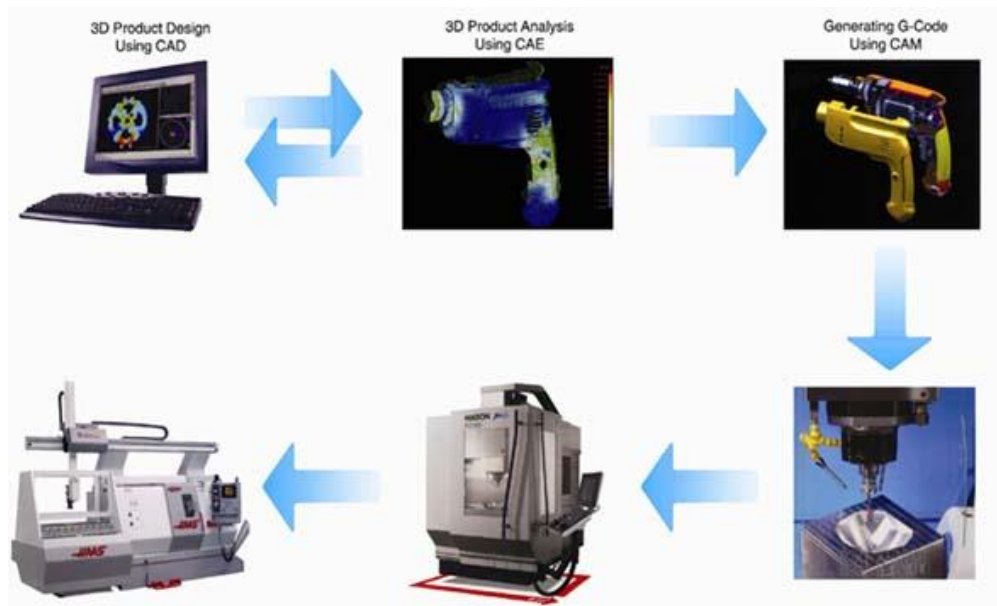


Γραμμή παραγωγής μύλων παραγωγής με τη βοήθεια υπολογιστών

διαδικασία από αυτή που χρησιμοποιείται στους παραδοσιακούς τρόπους κατασκευής, οι οποίοι ακολουθούν συνήθως την αφαιρετική διαδικασία. Τα πλεονεκτήματα της ταχείας προτυποποίησης έναντι αυτών της παραδοσιακής διαδικασίας είναι ασφαλώς προφανή. Σημειώστε δε, ότι εάν ξεπεραστούν προβλήματα που έχουν να κάνουν με την ποιότητα και το είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται από του 3D εκτυπωτές τότε η μέθοδος της στερεολιθογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή όχι μόνο πρωτοτύπων αλλά και των ιδίων των τελειωμένων προϊόντων. Προφανώς, εάν επιτευχθεί κάτι τέτοιο (που είναι πολύ πιθανόν να γίνει στο κοντινό μέλλον) τότε θα γίνει μια πραγματική επανάσταση στην μεθοδολογία παραγωγής **CAM**.

Η φάση τεκμηρίωσης, σχεδιασμού και επικοινωνίας είναι επίσης σημεία στα οποία η συμβολή των Η/Υ είναι σήμερα καθοριστική γιατί οι Η/Υ επιτρέπουν την εύκολη αλλαγή κλίμακας και οπτικής γωνίας με την οποία βλέπουμε το σχέδιο, καθώς επίσης και την εύκολη αποθήκευση και ανάκληση των σχεδίων με τις σχετικές συνοδευτικές πληροφορίες.

Τέλος, στα διάφορα στάδια της διαδικασίας κατασκευής ενός προϊόντος είναι πολλά τα εργαλεία της τεχνολογίας **CAM** που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ήδη έχουμε αναφέρει την τεχνολογία **CAPP** που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό των διαδικασιών. Στα καθαρά κατασκευαστικά στάδια της κατασκευαστικής διαδικασίας η τεχνολογία **CAM** που ξεχωρίζει είναι αυτή του αριθμητικού ελέγχου (**NC** ή **CNC**), από την οποία άλλωστε ξεκίνησε στις αρχές του 1950 η τεχνολογία **CAM**. Σημειώστε ότι στον αριθμητικό έλεγχο χρησιμοποιούμε προγραμματισμένες εντολές για το έλεγχο διαφόρων μηχανικών εξαρτημάτων σε εργαλειομηχανές που εκτελούν διάφορες εργασίες όπως: *λείανσης, κοπής, αλέσματος, τρυπήματος, λυγίσματος ή περιστροφής ενός ακατέργαστου υλικού*. Σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά **CNC** προγράμματα που επιτρέπουν τον αυτόματο έλεγχο διαφόρων μηχανών κάνοντας χρήση πληροφοριών που προέρχονται από μια **CAD** βάση δεδομένων. Ακόμα,, στην διαδικασία κατασκευής είναι διαθέσιμα λογισμικά πακέτα επιθεώρησης και ελέγχου που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας, ενώ για την συναρμολόγηση και συσκευασία του προϊόντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα ρομποτικά συστήματα. Παρατηρήστε ότι ο *προγραμματισμός ρομποτικών συστημάτων* σε μονάδες παραγωγής είναι μια από τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες περιοχές της τεχνολογίας **CAM**. Ένα ρομποτικό σύστημα στα πλαίσια της τεχνολογίας **CAM** μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μεταξύ των άλλων, για την αυτόματη αντικατάσταση των κοπτικών εργαλείων σε εργαλειομηχανές **CNC** καθώς επίσης και για την μεταφορά των προς επεξεργασία υλικών προς και από τις διάφορες εργαλειομηχανές.



6.4 Συστήματα Παραγωγής, CAD/CAM και Αυτοματισμός

Για να δούμε ποια σχέση υπάρχει μεταξύ των συστημάτων παραγωγής, της τεχνολογίας **CAD/CAM** και των αυτοματισμών γενικότερα θα κάνουμε πρώτα μια ταξινόμηση των διαφόρων συστημάτων παραγωγής με βάση το είδος των παραγομένων προϊόντων ή το είδος της κύριας κατεργασίας. Έτσι, ανάλογα με το προϊόν που κατασκευάζεται, την ποσότητα των προϊόντων, το είδος κατεργασίας, κλπ. τα διάφορα συστήματα παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

Συνεχούς-Ροής Παραγωγικές Διαδικασίες (Continuous-Flow Processes). Στην κατηγορία αυτή κατατάσσουμε τα συστήματα παραγωγής στα οποία η διαδικασία επεξεργασίας εφαρμόζονται σε μεγάλες ποσότητες ρευστών, συνήθως, πρώτων υλών, όπως συμβαίνει στις πετρελαϊκές και τις χημικές βιομηχανίες. Στο είδος αυτό της παραγωγής χρησιμοποιούνται ευρέως οι Η/Υ, εφαρμόζονται διάφορες μεθοδολογίες αριστοποίησης, και χρησιμοποιείτε ευρέως η τεχνολογία των αισθητήρων. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι η παραγωγική διαδικασία αυτού του είδους να είναι συνήθως αυτοματοποιημένη σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Εξειδικευμένη Παραγωγή μεγάλων Ποσοτήτων (Mass Production of Discrete Products): Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται παραγωγικές μονάδες οι οποίες στηρίζονται συνήθως σε διαδοχικές γραμμές παραγωγής όπου κατασκευάζονται διάφορα εξαρτήματα ή/και συναρμολογείται το τελικό προϊόν. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες είναι κλασσικά παραδείγματα τέτοιου είδους παραγωγής. Παρατηρήστε ότι το κόστος εγκατάστασης τέτοιων γραμμών παραγωγής είναι πολύ μεγάλο και ότι πάντα υπάρχει ο κίνδυνος η γραμμή παραγωγής να είναι ακατάλληλη εάν αλλάξει το σχέδιο του παραγόμενου προϊόντος. Για τον λόγο αυτό σε αυτό το είδος της παραγωγής χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματισμού που στηρίζονται κυρίως στην ανάπτυξη του λογισμικού των Η/Υ, που επιτρέπει ευελιξία μέσω επαναπρογραμματισμού ή/και συστήματα αυτοματισμού που έχουν σαν στόχο εργασίες όπως: την αυτόματη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων, την χρήση των ρομπότ σε εργασίες κοπής, χειρισμού, βαφής, συναρμολόγησης, κλπ.

Παραγωγή σε Μικρές Ποσότητες (Batch Production): Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται παραγωγικές μονάδες οι οποίες στηρίζονται συνήθως στην παραγωγή περιορισμένων ποσοτήτων ενός προϊόντος (που μπορεί να επαναλαμβάνεται περιοδικά). Εδώ, το είδος της παραγωγής χαρακτηρίζεται από την ακόλουθη ακολουθία δραστηριοτήτων:

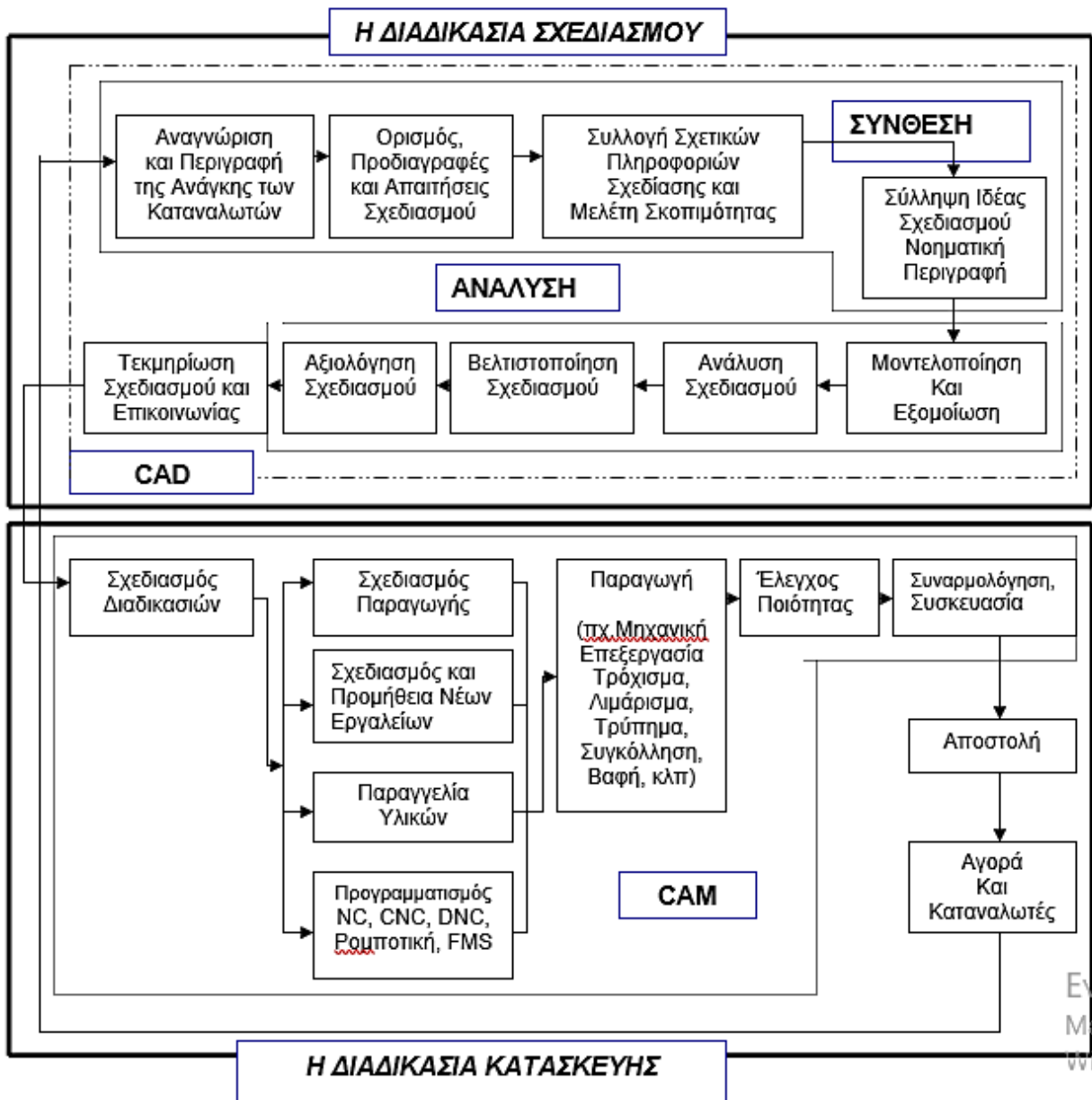
*Εγκατάσταση | (Κατασκευή Προϊόντος) x N | Χρόνος Αναμονής |
Εγκατάσταση | (Κατασκευή Προϊόντος) x N | Χρόνος Αναμονής | ...*

όπου N είναι ο αριθμός υπό παραγωγή προϊόντων. Ο αυτοματισμός που χρησιμοποιείτε σε τέτοια συστήματα παραγωγής περιλαμβάνει κυρίως συστήματα αριθμητικού ελέγχου (NC, CNC), προσαρμοστικό έλεγχο, χρήση ρομπότ, κλπ.

Παραγωγή Μικρών Ποσοτήτων (One-Off Jobbing Production): Η ταξινόμηση αυτή στηρίζεται στην κατασκευαστική δυνατότητα των συστημάτων παραγωγής παρά στο είδος του κατασκευαζόμενου

προϊόντος. Εδώ συνήθως κατασκευάζεται ένα προϊόν το οποίο όμως είναι πολύ σύνθετο τεχνολογικά και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό. Παραδείγματα προϊόντων: πρωτότυπα, ειδικές εργαλειομηχανές, κλπ. Επειδή εδώ χρησιμοποιείτε εξειδικευμένο προσωπικό ο αυτοματισμός είναι συνήθως χαμηλού επιπέδου, πχ. εδώ μπορούμε να συναντήσουμε απλά συστήματα αριθμητικού ελέγχου.

Όλες οι τεχνολογίες που περιέχονται στους όρους **CAD**, **CAM** και **CAE** στόχο έχουν να αυτοματοποιήσουν διάφορες διαδικασίες στον κύκλο παραγωγής ενός προϊόντος έτσι ώστε οι διαδικασίες αυτές να γίνουν όσο γίνεται πιο αποδοτικές. Παρατηρήστε όμως ότι αν και οι επιμέρους διαδικασίες του κύκλου παραγωγής μπορεί μέσω των τεχνολογιών **CAD**, **CAM** και **CAE** να είναι αποτελεσματικές τούτο δεν σημαίνει ότι οπωσδήποτε ο κύκλος της παραγωγής είναι πάντα και ο πιο αποδοτικός. Τούτο συμβαίνει διότι οι τεχνολογίες αυτές έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Έτσι, όταν συνδυάζονται μεταξύ τους δεν παράγουν πάντα το καλύτερο αποτέλεσμα. Τελευταία, για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα έχει προταθεί μια νέα τεχνολογία που είναι γνωστή με τον όρο **CIM** ή **Computer Integrated Manufacturing**, δηλαδή “**ολοκληρωτική κατασκευή με την βοήθεια Η/Υ** που στοχεύει στην σύνθεση όλων των ανεξάρτητων «νήσων» αυτοματισμού με στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερευση της όλης παραγωγικής διαδικασίας -από την σύλληψη της ιδέας έως και την κυκλοφορία του προϊόντος στη αγορά.



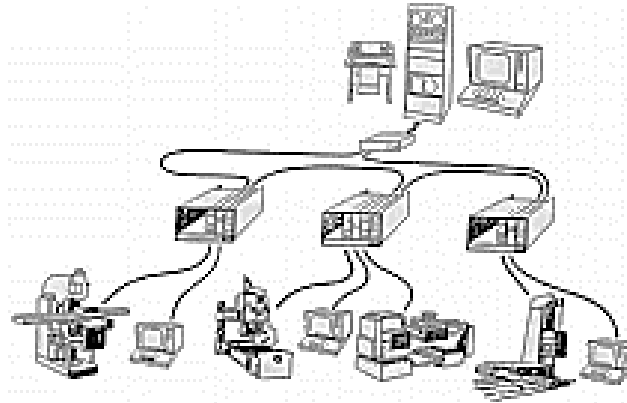
Σχεδιάγραμμα: Τυπικός Κύκλος Παραγωγής

6.5 Σύγχρονα Συστήματα CAD CAM στη Βιομηχανική Παραγωγή

Ένα σύγχρονο μηχανουργείο αποτελείται κατά κύριο λόγο από **μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης (NC-CNC-DNC)** πριν αναφερθούμε σε οτιδήποτε άλλο κάλο θα είναι να καταλάβουμε τι είναι οι **μηχανές ψηφιακού ελέγχου** και τον τρόπο λειτουργίας τους.

Η έννοια αριθμητικός έλεγχος (**Numerical Control ή NC**) ταυτίζεται σχεδόν με τις μηχανουργικές κατεργασίες και τις εργαλειομηχανές. Ο αριθμητικός έλεγχος δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή να «επικοινωνεί» με την εργαλειομηχανή και να την «καθοδηγεί» μέσω ενός κώδικα, δηλαδή μιας ακολουθίας γραμμάτων και αριθμών. Ο κώδικας αυτός αντικαθιστά, σε μεγάλο ποσοστό, τις χειρωνακτικές εργασίες του χειριστή, οι οποίες πλέον εκτελούνται αυτόματα, με μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα συνεχών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής (**Machine Control Unit, MCU**), που βρίσκεται πάνω στην εργαλειομηχανή και ελέγχει τις λειτουργίες της. Οι εργαλειομηχανές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτό λέγονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (**NC**). Εάν ανάμεσα στο χειριστή και στη μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής NC παρεμβάλλεται, για λόγους ευκολότερου και πιο αποδοτικού χειρισμού, ηλεκτρονικός υπολογιστής, η μηχανή ονομάζεται **ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC)**. Με τον τρόπο αυτό, η λειτουργία της εργαλειομηχανής αυτοματοποιείται περισσότερο, ενώ ο έλεγχός της μπορεί να γίνεται πλέον και από απόσταση (**remote control**).

Η **CNC** καθοδήγηση έχει το πλεονέκτημα της συνεργασίας της με συστήματα σχεδίασης (Computer Aided Design, CAD) και συστήματα κατεργασιών (Computer Aided Manufacturing, CAM) με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ δίδεται η δυνατότητα ένταξής της σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστές (Computer Integrated Manufacturing, CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems, FMS). Επιπλέον, ένα μεγάλο ποσοστό υπολογισμών και διαδικασιών ελέγχου καθοδήγησης διεξάγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ταχύτερα και με μικρότερο κόστος.



Σύστημα DNC

Όλες οι διαδικασίες καθοδήγησης και ελέγχου των εργαλειομηχανών NC και CNC από το χειριστή τους είναι μονόδρομες. Ο τεχνικός NC ή CNC καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (πρόωση, βάθη κοπής, ταχύτητα κοπής, κ.λπ.), ελέγχει τη χρήση ή όχι του υγρού κοπής, διαχειρίζεται τα κοπτικά εργαλεία, κ.λπ.. Για όλα αυτά, συντάσσει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού (κώδικας), μεταφέρει τον κώδικα στη μονάδα ελέγχου και ενεργοποιεί την εκτέλεση του προγράμματος. Κανένας δεν μπορεί να ισχυρισθεί ότι αυτή η αλληλουχία δεν είναι αυτοματοποιημένη. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας και, ιδιαίτερα, η ανάπτυξη αισθητήρων (sensors) και των Συστημάτων αυτόματου ελέγχου(ΣΑΕ), επιτρέπει στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών να πάνε ένα βήμα παραπέρα. Στο σχεδιασμό δηλαδή “σκεπτόμενων” διατάξεων, που, ανάλογα με την εξέλιξη της μηχανουργικής κατεργασίας, παίρνουν αποφάσεις και επεμβαίνουν στο πρόγραμμα καθοδήγησης. Οι μηχανές αυτές χαρακτηρίζονται άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Numerical Control -DNC). Εάν, λοιπόν, σε μία τυπική περίπτωση τόννευσης με NC ή CNC τόρνο, επιλεγεί, κατά λάθος, και προγραμματισθεί απαράδεκτη πρόωση κοπής, ο χειριστής πρέπει να διαβάσει την αντίστοιχη ένδειξη στον πίνακα ελέγχου της εργαλειομηχανής, να σταματήσει την εκτέλεση του προγράμματος και, αφού το διορθώσει, να το ενεργοποιήσει ξανά. Οι DNC εργαλειομηχανές είναι

συνδεδεμένες με έναν κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου λαμβάνουν εντολές για εκτέλεση εργασιών, αλλά και αντλούν πληροφορίες από σχετικές βάσεις πληροφοριών. Στις DNC εργαλειομηχανές μπορεί να ελέγχεται αυτόματα η ταχύτητα κοπής, η χρήση ψυκτικού υγρού, η φθορά των κοπτικών εργαλείων, κ.λπ.. Ιδιαίτερα για τη φθορά των κοπτικών εργαλείων, πολλές ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές διαθέτουν ειδικές μετρητικές διατάξεις στις οποίες μετρώνται τα κοπτικά εργαλεία, σε τακτά χρονικά διαστήματα, κατά τη διάρκεια μιας κατεργασίας. Στην περίπτωση που, για το εξεταζόμενο κοπτικό εργαλείο, διαπιστωθεί μεγάλη απόκλιση από τις προβλεπόμενες διαστάσεις, η κατεργασία συνεχίζεται αυτόματα με νέο (όμοιο) κοπτικό εργαλείο (sister tool).

6.6 Πλεονεκτήματα ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών έναντι συμβατικών εργαλειομηχανών

- Υψηλή διασταστική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής και θέσης.
- Η σύγχρονη κίνηση σε πολλούς άξονες, επιτρέπει την κατεργασία σύνθετων επιφανειών στο χώρο.
- Μείωση των σκάρτων κομματιών και περιορισμός του ελέγχου ποιότητας.
- Ελάχιστοι νεκροί χρόνοι ενώ ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά.
- Δεν απαιτούνται κατασκευαστικά σχέδια για τεμάχια με μορφή που μπορεί να περιγραφεί από μαθηματικές σχέσεις.
- Εύκολος προγραμματισμός και χειρισμός.
- Σαφής έλεγχος της παραγωγής μια και ο χρόνος κατεργασίας είναι με ακρίβεια καθορισμένος.
- Μεγάλη ευελιξία στις κατεργασίες που εκτελούνται.
- Αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και κατά συνέπεια της ανταγωνιστικότητας.

Η προμήθεια εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στα μηχανουργεία, επηρεάζοντας :

- **την παραγωγική διαδικασία** : Στις παραδοσιακές εργαλειομηχανές ο τεχνίτης-χειριστής με βάση τα

τεχνικά σχέδια ρυθμίζει την μηχανή, την θέτει σε λειτουργία και τέλος ελέγχει το αποτέλεσμα. Στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές το πρόγραμμα εργασίας μεταβιβάζεται στη μηχανή

συνήθως μέσω διάτρητων ταινιών, καρτελών, μέσω συνδεδεμένου ηλεκτρονικού υπολογιστή ή στην χειρότερη περίπτωση πληκτρολογείται κατευθείαν στην οθόνη της ίδιας της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο προγραμματιστής-χειριστής μπορεί να ελέγχει διαδοχικά το πρόγραμμά του μέσω κοπής στον "αέρα" ή με την βοήθεια προσομοιωτών, μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες λαθών και ο χρόνος προετοιμασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης η χρήση των NC και CNC εργαλειομηχανών συμβάλλει στην συντονισμένη συνεργασία ανάμεσα σε τομείς της επιχείρησης (σχεδιασμός - προγραμματισμός - παραγωγή - ποιοτικός έλεγχος - διάθεση προϊόντων).

- **την οργάνωση εργασίας** : Τα απαιτούμενα, για την χρήση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών

προσόντα, είναι σε δεύτερη μοίρα. Με τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, δεν απαιτούνται

ιδιαίτερες ικανότητες σε συγκεκριμένες δεξιότητες, αλλά γενικότερες γνώσεις όπως μαθηματικά,

γνώσεις δομής και οργάνωσης εργασιών κλπ.

- **τη δομή των επαγγελματιών** : Η αγορά προσανατολίζεται στην αναγκαιότητα χρησιμοποίησης ενός

ειδικευμένου τεχνικού, καταρτισμένου και ικανού να προγραμματίζει, να χρησιμοποιεί και να ελέγχει σε

όλες τις φάσεις λειτουργίας της μια εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση. Ο τεχνικός αυτός θα πρέπει απαραίτητως να διαθέτει γνώσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή, γενικών μαθηματικών και ξένης γλώσσας. Σήμερα οι περισσότεροι χρήστες τέτοιων εργαλειομηχανών είναι απλοί επιτηρητές των μηχανών κατά την λειτουργία τους, ενώ ο προγραμματισμός τους γίνεται από

ελάχιστους ειδικούς.

- **τα προϊόντα** : Παρέχεται η δυνατότητα κατεργασίας ποικιλίας παραγομένων προϊόντων με υψηλή διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής. Αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο βαθμό ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης, την αύξηση της παραγωγικότητας και του όγκου παραγωγής και αντίστοιχα την μείωση του κόστους παραγωγής.

6.7 Προσομοίωση στη βιομηχανική παραγωγή

Προσομοίωση (simulation) είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια υπολογιστή. **Διαδικασία** ή **σύστημα** ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις, και αποτελούν το **μοντέλο** του συστήματος.

Ο όρος **προσομοίωση** (simulation) συνδέεται συχνά με τον όρο **εξομοίωση** (emulation), αν και υποδηλώνουν τελείως διαφορετικές μεθοδολογίες. Ο όρος προσομοίωσης, ορίζεται ως εξής: «Προσομοίωση είναι μια μέθοδος μελέτης ενός συστήματος και εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά του με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ηλεκτρονικός υπολογιστής». Από την άλλη η εξομοίωση ορίζεται ως: «μια μέθοδος αναπαραγωγής ενός συστήματος εντός ή μέσω ενός άλλου συστήματος παρόμοιου με το πρώτο».

Η προσομοίωση επομένως συνίσταται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου του υπό εξέταση συστήματος με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και στην εκτέλεση ενός (ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές αποτυπώνοντας ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του συστήματος στο χρόνο και βρίσκει **εφαρμογές**:

- στην ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- στον έλεγχο αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)

- στη μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)
- στη μελέτη συστημάτων εξυπηρετήσεως πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία, τηλεπικοινωνίες)
- στην αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (χρηματιστήριο, επενδύσεις, marketing).

Η χρήση προσομοίωσης με στόχο την μελέτη συστημάτων παραγωγής αναφέρεται ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Ένα σύνολο πόρων (άνθρωποι, μηχανές κ.λπ.) και διαδικασιών, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μια κοινή ροή υλικών και πληροφορίας, ονομάζεται σύστημα παραγωγής. Στην συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων παραγωγής και είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με την χρήση προσομοίωσης:

➤ **Απαιτήσεις για εξοπλισμό ή εργατικό δυναμικό:**

- Το πλήθος και ο τύπος των μηχανών για την επίτευξη ενός σκοπού.
- Το πλήθος, ο τύπος και η φυσική διαρρύθμιση μεταφορικών μέσων και άλλου εξοπλισμού.
- Η χωροθέτηση και το μέγεθος των αποθηκευτικών χώρων.
- Η αξιολόγηση της επίπτωσης των αλλαγών στην ποσότητα η οποία πρέπει να παραχθεί ή στο σχεδιασμό του προϊόντος.
- Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της εισαγωγής νέου εξοπλισμού σε ένα σύστημα παραγωγής.
- Η αξιολόγηση επενδυτικών προτάσεων.
- Ο καθορισμός απαιτήσεων σε προσωπικό.

➤ **Υπολογισμός επιδόσεων του συστήματος:**

- Ανάλυση της ικανότητας διεκπεραίωσης (throughput analysis) του συστήματος.
- Αξιολόγηση πολιτικών χρονοπρογραμματισμού.
- Αξιολόγηση στρατηγικών ελέγχου εξοπλισμού (control strategies).
- Αξιολόγηση πολιτικών ελέγχου ποιότητας (quality control policies).
- Μέσος χρόνος αναμονής κομματιών στην ουρά μηχανών, μεταφορικών

μέσων κλπ.

- Αξιοποίηση εξοπλισμού και προσωπικού κ.α.

Παράδειγμα προσομοίωσης. Μία μηχανή παράγει ένα κομμάτι την ώρα. Στο τέλος κάθε ώρας γίνεται επιθεώρηση του κομματιού που εξέρχεται από τη μηχανή. Με πιθανότητα Π , το κομμάτι περνά με επιτυχία από τον έλεγχο, διαφορετικά επιστρέφει στη μηχανή για επανεπεξεργασία μίας ακόμη ώρας. Ζητείται ο μέσος ρυθμός παραγωγής της μηχανής R όταν λειτουργήσει T ώρες συνολικά

Για την εκτέλεση του αλγορίθμου προσομοίωσης στον υπολογιστή αναπτύσσεται ένα βοηθητικό πρόγραμμα το οποίο όταν καλείται δίδει το αποτέλεσμα ΕΠ της επιθεώρησης ενός κομματιού (ελαττωματικό: ΕΠ = 0 με πιθανότητα $1 - \Pi$, αποδεκτό: ΕΠ = 1 με πιθανότητα Π). Τέτοια προγράμματα ονομάζονται γεννήτριες τυχαίων αριθμών (random number generators). Ο **αλγόριθμος** είναι ο εξής:

1. ΑΡΧΗ

$t = 0$...(χρόνος)

$N = 0$... (παραγωγή)

2. ΕΠΟΜΕΝΟ ΓΕΓΟΝΟΣ = ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

$t = t + 1$... (συμπλήρωση μίας ακόμη ώρας)

ΑΝ $t > T$, ΤΟΤΕ πήγαινε στο (3) και περάτωσε την προσομοίωση

ΕΠ = Γεννήτρια Τυχαίων Αριθμών...(αποτέλεσμα επιθεώρησης: 0 ή 1) $N =$

$N + \text{ΕΠ}$...(ίδιο με την εντολή ΑΝ ΕΠ = 1, ΤΟΤΕ $N = N + 1$) Επανάλαβε το βήμα (2)

3. ΤΕΛΟΣ

$R = N/T$

Το παράδειγμα αυτό δείχνει μία εφαρμογή της προσομοίωσης στην ανάλυση συστήματος παραγωγής.

Σχεδίαση είναι το πρόβλημα του καθορισμού των παραμέτρων από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών ώστε η λειτουργία του συστήματος να είναι η βέλτιστη δυνατή. Στην περίπτωση του παραδείγματος, το πρόβλημα της σχεδίασης ανακύπτει όταν υπάρχει ένα σύνολο εναλλακτικών μηχανών κάθε

μία από τις οποίες έχει διαφορετική διάρκεια κύκλου κατεργασίας, πιθανότητα παραγωγής ελαττωματικού, αλλά και διαφορετικό κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης. Τότε απαιτείται μία προσομοίωση για κάθε μηχανή, ώστε να υπολογισθούν οι μέσοι ρυθμοί παραγωγής των, να γίνει ανάλυση κόστους-αποτελέσματος και να ευρεθεί η βέλτιστη επιλογή.

Η **μοντελοποίηση** (η διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου) είναι μια πιο πλατιά έννοια από την προσομοίωση, στο μέτρο που κάθε προσομοίωση απαιτεί ένα μοντέλο, με γενικευμένη, έστω, ερμηνεία. Το προσομοιωτικό μοντέλο μπορεί να είναι διαφορετικό από ένα αναλυτικό ή αριθμητικό ή και συμβολικό μοντέλο του συστήματος. Ο δόκιμος όρος που περιγράφει ακριβώς αυτή τη δυαδικότητα είναι "μοντελοποίηση και προσομοίωση" (modeling and simulation).

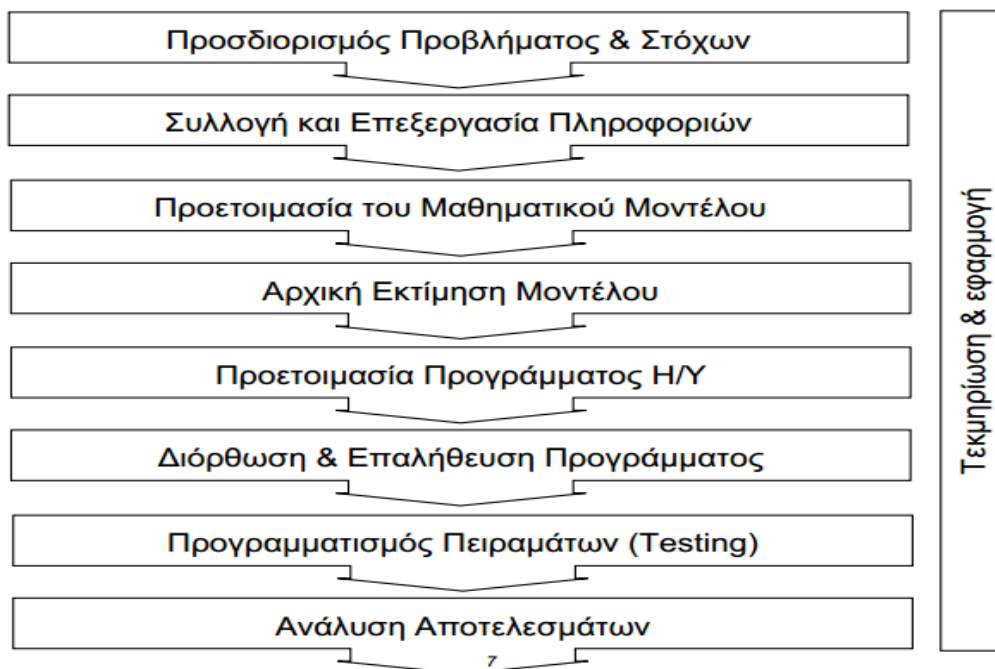
Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες προσομοιώσεων, που παίρνουν τους χαρακτηρισμούς τους κυρίως από την πλατφόρμα που χρησιμοποιείται. Έτσι έχουμε την αναλογική (analogical) προσομοίωση με προεξέχον παράδειγμα την χρήση εικονικών μοντέλων, τυπικά μια έως και δέκα φορές μικρότερα από τα πραγματικά, αεροπλάνων και οχημάτων μέσα σε αεροσήραγγες, για τη μελέτη των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών τους.

Υπάρχει επίσης και ο χαρακτηρισμός **hardware-in-the-loop** που μπορεί να μεταφρασθεί ελεύθερα "με υλικό στον βρόχο". Με τον όρο αυτό υπονοούμε ότι σε ένα τμήμα της προσομοιωτικής διαδικασίας χρησιμοποιούμε το πραγματικό υλικό ή διάταξη που θα εμφανιστεί και στο τελικό σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να παρακάμψουμε ορισμένα προβλήματα μοντελοποίησης υποσυστημάτων που διαφορετικά θα ήταν υπερβολικά χρονοβόρα ή δύσκολα. Τελευταία εμφανίστηκε και ο όρος **simulation-in-the-loop**, δηλαδή "προσομοίωση στον βρόχο" ο οποίος αντιστοιχεί σε μια κατάσταση όπου σε ένα ή περισσότερα τμήματα ενός μεγάλου συστήματος χρησιμοποιείται η προσομοίωση κάποιου υποσυστήματος για τη λήψη αποφάσεων ή για καθοδήγηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η ρομποτική όπου κάποιος προσομοιωτής κινηματικής χρησιμοποιείται για να σχεδιασθεί ή/και να ελεγχθεί η διαδρομή που πρόκειται να ακολουθήσει το ρομπότ για την εκτέλεση ενός δύσκολου συνήθως έργου. Αν η διαδρομή είναι ικανοποιητική (πιθανόν μετά από αλλαγές) μεταφράζεται η

προσομοιωθείσα τροχιά στη γλώσσα του ρομπότ και εκτελείται στην πραγματικότητα.

Μια άλλη κατηγορία, που συγκεντρώνει τελευταία πολύ ενδιαφέρον, είναι η προσομοίωση συστημάτων με διακριτά γεγονότα (discrete-event systems). Ο χρόνος εξακολουθεί να είναι συνεχής, αλλά σημασία έχουν μόνο οι στιγμές κατά τις οποίες συμβαίνει ένα γεγονός που αλλάζει την κατάσταση του συστήματος. Η προσομοίωση τέτοιων συστημάτων, σε αντιστοίχιση με τη συνεχή προσομοίωση, συνηθίζεται τελευταία να αποκαλείται "**διακριτή**" προσομοίωση (discrete simulation).

Σημαντικό **πλεονέκτημα** που προσφέρει η κατασκευή ενός μοντέλου αποτελεί η δυνατότητα για μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς κι αποδοτικότητας του συστήματος κάτω από ακραίες συνθήκες λειτουργίας που για διάφορους λόγους δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (λόγω της ύπαρξης κινδύνων, μεγάλου κόστους ή ακόμα και της πρόκλησης αντιδράσεων) ή σε περιπτώσεις που το φυσικό σύστημα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο.



Βασικά στάδια σε μία προσομοίωση.

6.8 Η διαδικασία μοντελοποίησης

Ο σκελετός της διαδικασίας μοντελοποίησης συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Αναγνώριση των συστατικών μερών του μοντέλου.
- Συγκέντρωση πληροφοριών για τις μεταξύ τους σχέσεις, προτεραιότητες, τρόπους σύνδεσης και λειτουργίας, χαρακτηριστικά, χρήση κοινών πόρων.
- Κατασκευή του μοντέλου.
- Δοκιμή του μοντέλου χρησιμοποιώντας το (κατά αντιπαράσταση με το πραγματικό σύστημα, όποτε τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα).
- Τροποποίηση του μοντέλου αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο κι ορισμός της αρχικής του κατάστασης.

Τα πέντε βήματα δεν αποτελούν γραμμική διαδικασία, αφού κάθε ένα τροφοδοτεί τα επόμενα κι ανατροφοδοτεί τα προηγούμενα, οδηγώντας σε αρκετές επαναλήψεις τον αλγόριθμο μέχρι να μοντέλο να λάβει την οριστική του μορφή. Επιπλέον, η τελική μορφή αναθεωρείται οποτεδήποτε προκύψουν νέα δεδομένα, το μοντέλο αποδειχθεί ανεπαρκές για την περιγραφή καταστάσεων, επεκταθεί ή τροποποιηθεί η χρήση του συστήματος.

Η παραπάνω διαδικασία χωρίζεται στο **στάδιο κατασκευής** και το **στάδιο προσομοίωσης** του μοντέλου. Στο πρώτο, δημιουργούνται η βασική δομή κι οι κανόνες του μοντέλου για να του δώσουν την μορφή που μπορεί να περιγράψει τις καταστάσεις που συναντώνται στο σύστημα. Στη συνέχεια το μοντέλο πρέπει να αναλυθεί με χρήση κατάλληλων εργαλείων και να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του, ώστε να αποφευχθούν λάθη που δυσχεραίνουν τη χρήση του και μειώνουν την αποτελεσματικότητά του. Κατόπιν, το μοντέλο διερευνάται κι εξετάζεται κατά πόσον η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σε αυτή του πραγματικού συστήματος. Κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά του μπορούν να τροποποιηθούν, αλλά η βασική του δομή παραμένει αναλλοίωτη.

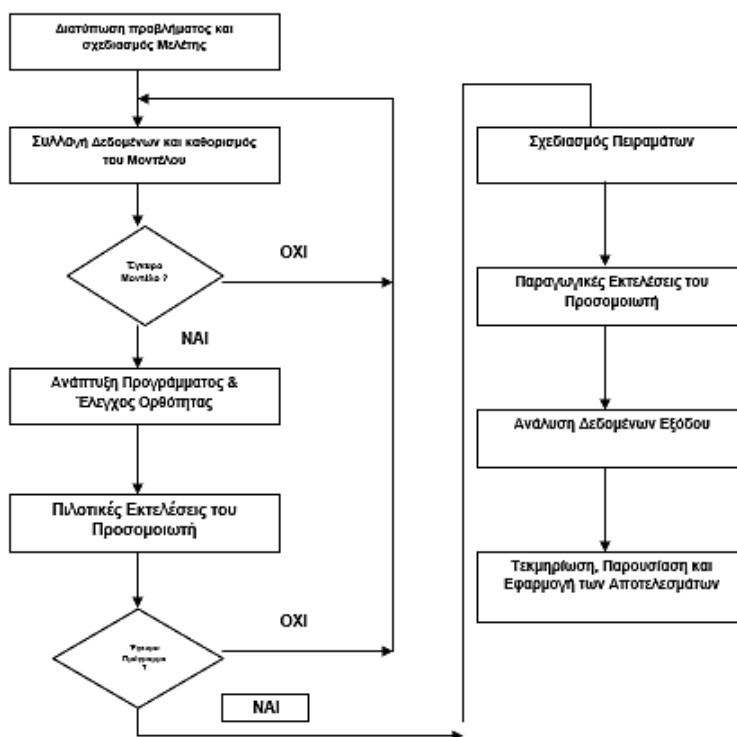
Η προσομοίωση έχει εφαρμοστεί σε πάρα πολλούς τομείς όπως στη

βιομηχανία, το χώρο της υγείας αλλά και στον εμπορικό, περιβαλλοντικό και τον τομέα των κατασκευών.

Οι βιομηχανικές και κατασκευαστικές δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από αυξημένο βαθμό πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας και γι' αυτό η προσομοίωση θεωρείται ένα χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης που προσφέρει αυξημένες δυνατότητες για τον χειρισμό σύνθετων δραστηριοτήτων.

Άλλωστε, η πολυπλοκότητα των τεχνικών και βιομηχανικών έργων είναι και ο λόγος που η προσομοίωση προτιμάται αντί αναλυτικών μαθηματικών μεθόδων, που αν και ευκολότερες στη χρήση και στην κατανόηση, δυσκολεύονται στο να απεικονίσουν το σύνολο των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Η ενίσχυση της υπολογιστικής δύναμης των Η/Υ τις τελευταίες δεκαετίες έχει ενθαρρύνει τη χρήση της προσομοίωσης.

Στο Σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζονται τα **βήματα** που ακολουθεί μία τυπική μελέτη ενός συστήματος με χρήση μοντελοποίησης και προσομοίωσης.



*Μελέτη συστήματος
με χρήση
μοντελοποίησης και
προσομοίωσης*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ CAD

7.1 AutoCad

Σε αυτή την παράγραφο, παραθέτουμε αναλυτικά τις εντολές του προγράμματος, όπου φαίνονται οι δυνατότητες σχεδίασης.



ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα Autocad ενεργοποιείται κάνοντας διπλό κλικ πάνω στην επιφάνεια εργασίας της οθόνης. Στην οθόνη μας εμφανίζεται το πεδίο λειτουργίας του προγράμματος. Αυτό αποτελείται από το πεδίο σχεδιασμού, μία γραμμή από μενού(File, Edit, κλπ) και διάφορες μπάρες από συντομεύσεις εντολών. Όλες οι εντολές που εμφανίζονται στα μενού υπάρχουν και στις μπάρες με τις συντομεύσεις. Στο κάτω μέρος της οθόνης εμφανίζεται μία μπάρα στην οποία μπορούμε να γράψουμε τις εντολές από το πληκτρολόγιο και κάτω αυτή υπάρχει μία γραμμή, στην οποία αναφέρονται οι απόλυτες συντεταγμένες του σταυρού που υπάρχει στην οθόνη, και οχτώ (8) συντομεύσεις εντολών.

Όταν εκκινεί την λειτουργία του το πρόγραμμα πάντοτε ξεκινάει με την εμφάνιση ενός παράθυρου, μέσω του οποίου επιλέγουμε:

- Εάν ξεκινάμε ένα καινούργιο σχέδιο
- Να ανοίξουμε ένα ήδη υπάρχον σχέδιο
- Να επιλέξουμε από την βάση δεδομένων του προγράμματος τι ακριβώς θέλουμε να σχεδιάσουμε

Μπορεί επίσης να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα ανοίγοντας απευθείας το σχέδιο το οποίο επιθυμούμε, είτε αυτό είναι στον υπολογιστή είτε στην δισκέτα.

Από εδώ και πέρα γίνεται μία περιληπτική αναφορά και επεξήγηση στις εντολές που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο σχεδιασμό δισδιάστατων σχεδίων.

MENOU FILE

New : Ανοίγει καινούργιο αρχείο του Autocad για να σχεδιάσουμε.

Open : Ανοίγει το σχέδιο το οποίο εμείς θέλουμε να εμφανίσουμε στην οθόνη μας. Ανοίγει παράθυρο στην οθόνη μέσα από το οποίο ψάχνουμε να βρούμε το σχέδιο που εμείς θέλουμε να ανοίξουμε.

Close : Κλείνει το σχέδιο που εκείνη τη στιγμή έχουμε ενεργοποιημένο στην οθόνη μας.

Save : Σώζει το σχέδιο που χρησιμοποιούμε. Την πρώτη φορά που την χρησιμοποιούμε, σε κάποιο σχέδιο, ανοίγει παράθυρο για να διαλέξουμε το χώρο που θέλουμε να το σώσουμε. Από εκεί και πέρα κάθε φορά που την χρησιμοποιούμε, σώζει το αρχείο όπως εμείς του ορίσαμε την πρώτη φορά. Η κίνηση της πρώτης χρήσης της εντολής γίνεται μόνο όταν το σχέδιο είναι καινούργιο, αν το σχέδιο το έχουμε ανοίξει μέσω της εντολής Open τότε από την πρώτη φορά που το χρησιμοποιούμε αυτό σώζει στο μέρος από το οποίο εμείς το ανοίξαμε.

Save as : Κάνει την ίδια λειτουργία με την παραπάνω εντολή με την διαφορά ότι κάθε φορά που το χρησιμοποιούμε ανοίγει το παράθυρο μέσω του οποίου μας ζητάει να του ορίσουμε που να σώσει το σχέδιο και με πιο όνομα.

Page setup : Ρυθμίζει τις ιδιότητες της σελίδας εκτύπωσης.

Plot preview : Κάνει προεσκόπηση της σελίδας σχεδίου που θέλουμε να τυπώσουμε. Για να κάνει αυτή την κίνηση ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο ζητάει κάποια στοιχεία, όπως το μέγεθος της σελίδας που θα τυπώσουμε, την κλίμακα στην οποία θα τυπώσει το σχέδιο, τι θα τυπώσει από όλο το σχέδιο και τον ορισμό τους πάχους και χρώματος γραμμών. Όταν όλα αυτά οριστούν τότε εμφανίζει στην οθόνη τον τρόπο με τον οποίο θα τυπωθεί η σελίδα.

Plot : Με αυτή την εντολή τυπώνουμε το σχέδιο ή ένα κομμάτι του σε χαρτί. Ανοίγει ένα παράθυρο όπου ζητάει σε ποιόν εκτυπωτή να στείλει το σχέδιο για εκτύπωση και όλα αυτά που αναφέραμε στην παραπάνω εντολή. Δίνει επίσης την δυνατότητα να γίνει προεσκόπηση πριν την εκτύπωση για την αποφυγή κάποιου λάθους που μπορεί να γίνει. Στο τέλος επιλέγουμε Plot και το σχέδιο βρίσκεται εκτυπωμένο σε χαρτί στον εκτυπωτή.

Exit : Κλείνει το πρόγραμμα, αφού πρώτα ρωτήσει εάν θέλουμε να σώσουμε το ή τα σχέδια που υπάρχουν ανοικτά εκείνη την στιγμή.

MENOU EDIT

Undo : Αυτή η εντολή μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε απεριόριστα βήματα προς τα πίσω, όταν ανακαλύψουμε ότι από ένα σημείο και μετά αυτά που έχουμε κάνει είναι λάθος.

Redo : Στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε την εντολή Undo για κάποια βήματα και μετά δούμε ότι προχωρήσαμε πολύ προς τα πίσω, τότε με αυτή την εντολή προχωράμε μπροστά.

MENOU VIEW

Zoom : Σε αυτή την περίπτωση έχουμε την ύπαρξη ενός υπομενού το οποίο μας δίνει την δυνατότητα διαφορετικού τρόπου χρήσης αυτής της εντολής.

Zoom Previous : Γυρνάει στην προηγούμενη θέση από την οποία κοιτάμε το σχέδιο, όταν έχουμε κάποια αλλαγή ως προς την θέση αυτή.

Zoom all: Μας εμφανίζει στην οθόνη όλα όσα είναι σχεδιασμένα

Zoom window : Διαλέγουμε με την δημιουργία ενός παράθυρου το κομμάτι του σχεδίου στο οποίο θέλουμε να ζουμάρουμε.

Zoom in : Ζουμάρει προς το σχέδιο

Zoom out: Κάνει την ανάποδη κίνηση με την παραπάνω εντολή.

Zoom realtime : Εμφανίζεται στην οθόνη ένας φακός με τα σύμβολα +,- σε δύο πλευρές του. Κρατώντας πατημένο το αριστερό κουμπί του ποντικιού και κινώντας δεξιά ή αριστερά το φακό αυτό ζουμάρει ή ξεζουμάρει αντίστοιχα.

Pan : Πάλι έχουμε την περίπτωση του υπομενού

Pan realtime : Εμφανίζεται στην οθόνη ένα χέρι όπου χρησιμοποιώντας πιάνουμε το σχέδιο και το κουνάμε προς όποια κατεύθυνση εμείς θέλουμε.

Toolbars : Ανοίγει παράθυρο από το οποίο επιλέγουμε ποιες μπάρες με συντομεύσεις εντολών θέλουμε να φαίνονται στην οθόνη μας.

MENOU FORMAT

Layer : Ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε και να κάνουμε αλλαγές στα επίπεδα σχεδίασης. Τα επίπεδα σχεδίασης μας δίνουν την δυνατότητα να χωρίσουμε το σχέδιο σε κομμάτια και κάθε φορά εμείς να επιλέγουμε ποια θέλουμε να εμφανίζονται στην οθόνη μας για επεξεργασία. Π.χ. Θέλουμε να βλέπουμε χωρίς διαστάσεις το σχέδιο, τότε απενεργοποιούμε το επίπεδο σχεδίασης των διαστάσεων, οπότε βλέπουμε το σχέδιο χωρίς διαστάσεις. Σε αυτά τα επίπεδα μπορούμε να ορίσουμε σε κάθε ένα από αυτά με τι πάχος γραμμής μπορούμε να σχεδιάσουμε, τι χρώμα θα έχει κάθε τι που σχεδιάζουμε στο επίπεδο που είναι ενεργοποιημένο και άλλα πολλά.

Drawing Limits : Με αυτή την εντολή μας δίνεται η ευκολία να περιορίσουμε τα όρια σχεδίασης π.χ. σε κόλλα A4 έτσι ώστε ότι σχεδιάζουμε να ξέρουμε ότι θα χωρέσει στο μέγεθος της κόλλας που θέλουμε να τυπώσουμε.

MENOU DRAW

Line : Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να σχεδιάσουμε γραμμές. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να σχεδιαστεί μία γραμμή. Μπορούμε απλά με το ποντίκι να ορίσουμε αρχή και τέλος, μπορούμε να δώσουμε συντεταγμένες αρχής και τέλους ή και με συνδυασμό των δύο τρόπων.

Υπάρχουν διάφορες εντολές που βοηθούν στην επιλογή του σωστού σημείου αρχής ή τέλους μίας γραμμής. Η εντολή Osnap βρίσκεται στην μπάρα στο κάτω μέρος της οθόνης. Ενεργοποιώντας την, μπορούμε να επιλέξουμε το σημείο που εμείς θέλουμε πάνω από μία γραμμή, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που βάζουμε εμείς. Οι ρυθμίσεις αυτές γίνονται πατώντας δεξί πλήκτρο ποντικιού πάνω από την εντολή, οπότε ανοίγει παράθυρο με τις ρυθμίσεις της εντολής.

Μπορούμε να βάζουμε συντεταγμένες, αυτές χωρίζονται σε καρτεσιανές και σε πολικές και αυτές με την σειρά τους, να είναι απόλυτες ή σχετικές. Οι καρτεσιανές είναι σύμφωνα με τους άξονες X,Y που φαίνονται κάτω αριστερά στην οθόνη. Οι απόλυτες είναι οι αποστάσεις (x,y) από τους άξονες Y,X αντίστοιχα. Οι σχετικές συντεταγμένες διαφέρουν από τις απόλυτες, στο γεγονός ότι δίνουμε συντεταγμένες από το σημείο που εμείς έχουμε ορίσει ότι η γραμμή μας ξεκινάει, ουσιαστικά σαν να μεταφέραμε τους καρτεσιανούς άξονες σε ένα νέο σημείο και δίνουμε συντεταγμένες από την νέα θέση των αξόνων. Όταν βάζουμε σχετικές συντεταγμένες βάζουμε μπροστά από τις συντεταγμένες το σύμβολο @.

Στις πολικές συντεταγμένες δίνουμε το μήκος της γραμμής (α) και την γωνία (β) που σχηματίζεται από αυτή και τον άξονα X ($\alpha < \beta$). Πάλι διαχωρίζονται σε απόλυτες και σχετικές με τον ίδιο τρόπο που αναφέραμε παραπάνω.

Arc : Υπό μενού με το οποίο μας δίνεται η δυνατότητα να σχεδιάσουμε με διαφορετικούς τρόπους μία καμπύλη.

Circle : Υπό μενού με το οποίο μας δίνεται η δυνατότητα να σχεδιάσουμε ένα κύκλο με διαφορετικούς τρόπους.

Rectangle : Σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο

Polygon : Σχεδιάζουμε ένα πολύγωνο

Ellipse : Υπό μενού το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να σχεδιάσουμε με διαφορετικούς τρόπους μία έλλειψη.

Polyline : Οι εντολές Line και Arc χρησιμοποιούνται για σχεδιάσουν κάτι διαφορετικό, ευθεία γραμμή και καμπύλη γραμμή. Η εντολή Polyline είναι δύο σε ένα, μπορούμε να ξεκινήσουμε να σχεδιάσουμε μία ευθεία γραμμή και μετά να την κάνουμε καμπύλη, χωρίς κάθε φορά να επιλέγουμε εξ αρχής την εντολή που θέλουμε και να ορίζουμε από ποιο σημείο να

ξεκινήσει. Ουσιαστικά επιταχύνει τον τρόπο σχεδίασης με αυτό τον τρόπο και εκτός αυτού δίνει και κάποιες άλλες δυνατότητες, όπως η αλλαγή του πάχους γραμμής.

Text : Υπό μενού που μας δίνει την δυνατότητα να γράψουμε ένα κείμενο είτε σε μία γραμμή (single line text) είτε σε πολλές γραμμές (multiline text).

Hatch : Στις τομές των κομματιών που σχεδιάζουμε τοποθετείται διαγράμμιση για τον ορισμό του κομμένου κομματιού. Αυτό γίνεται με αυτή την εντολή, εμφανίζει ένα παράθυρο από το οποίο επιλέγουμε την μορφή των γραμμών που θα χρησιμοποιηθούν για την διαγράμμιση και το χώρο στον οποίο θα γίνει η διαγράμμιση.

MENOU DIMENSION

Quick Dimension : Με αυτή την εντολή μπορούμε να βάλουμε μία διάσταση σε μία γραμμή ή σε καμπύλη, χωρίς να χρειάζεται να ορίσουμε το τύπο της διάστασης (ευθυγραμμισμένη με την γραμμή, κατακόρυφη κ.α).

Linear : Βάζει διάσταση μόνο σε ευθύγραμμα τμήματα ή ανάμεσα σε δύο σημεία και την τοποθετεί κατακόρυφα ή οριζόντια.

Aligned : Βάζει διαστάσεις ευθυγραμμισμένες με την κλίση που μπορεί να έχει το ευθύγραμμο τμήμα

Radius : Τοποθετεί διάσταση σε καμπύλη ή κύκλο, δείχνοντας όμως την ακτίνα.

Diameter: Χρησιμοποιείται για να βάζει διάσταση σε κύκλους και αναγράφει μόνο την διάμετρο.

Angular : Χρησιμοποιείται για να βάζει διάσταση σε γωνίες

Style : Με αυτή την εντολή ορίζουμε τις ιδιότητες των διαστάσεων, όπως το πάχος της γραμμής, το μέγεθος και το σχέδιο των βελών που ορίζουν την αρχή και το τέλος των διαστάσεων.

Override : Με αυτή την εντολή μπορούμε να αλλάξουμε τον αριθμό που γράφει η διάσταση με κάποιο άλλο νούμερο ή με κάποιο κείμενο.

MENOU MODIFY

Properties : Μπορούμε με αυτή την εντολή να αλλάξουμε τις ιδιότητες οποιουδήποτε στοιχείου που αποτελεί το σχέδιο μας. Αυτό μπορεί να είναι

γραμμή, διάσταση, διαγράμμιση και πολλά άλλα. Όταν ενεργοποιούμε αυτή την εντολή ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο περιέχει ιδιότητες για όλα τα στοιχεία. Για να αλλάξουμε τις ιδιότητες π.χ. μίας γραμμής, την επιλέγουμε και μετά επιλέγουμε αυτή την εντολή. Τότε ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο περιέχει όλες τις ιδιότητες της συγκεκριμένης γραμμής, οι οποίες είναι ελεύθερες να αλλάξουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχεδιαστή.

Match Properties : Όταν έχουμε δύο στοιχεία τα οποία θέλουμε να έχουν τις ίδιες ιδιότητες και ήδη το ένα στοιχείο έχει τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Τότε χρησιμοποιώντας αυτή την εντολή μετατρέπουμε τις ιδιότητες και του δεύτερου στοιχείου να ταιριάζουν με του πρώτου.

Erase: Εάν κάπου έχουμε κάνει κάποιο λάθος ή έχουμε σχεδιάσει μία βοηθητική γραμμή και πρέπει να σβηστεί, τότε χρησιμοποιούμε αυτή την εντολή.

Copy : Πολλές φορές σε ένα σχέδιο υπάρχουν αντικείμενα τα οποία είναι ακριβώς ίδια, απλώς βρίσκονται σε διαφορετικό σημείο. Με αυτή την εντολή μπορούμε να αντιγράψουμε αυτό που θέλουμε και να το μεταφέρουμε εκεί που το χρειαζόμαστε.

Mirror : Πολλά σχέδια είναι συμμετρικά, δηλαδή η δεξιά πλευρά του να είναι ακριβώς η ίδια με την αριστερή. Το να σχεδιαστεί ένα τέτοιο σχέδιο κανονικά είναι χάσιμο χρόνου. Αυτή η εντολή μας δίνει την δυνατότητα να σχεδιάσουμε το μισό σχέδιο και μετά χρησιμοποιώντας μία γραμμή, που παίζει το ρόλο του καθρέπτη, να σχεδιαστεί αυτόματα ακριβώς ανάποδα το υπόλοιπο συμμετρικό σχέδιο.

Offset : Με αυτή την εντολή μπορούμε να σχεδιάσουμε παράλληλες γραμμές, χρησιμοποιώντας ως βάση ήδη σχεδιασμένες γραμμές, ευθείες ή καμπύλες. Ορίζουμε την απόσταση που θέλουμε να απέχουν μεταξύ τους και ενεργοποιούμε ξανά την εντολή για να σχεδιαστούν οι παράλληλες γραμμές.

Array : Όταν έχουμε πολλά όμοια αντικείμενα να σχεδιάσουμε, τα οποία είναι τοποθετημένα με κάποια σειρά, π.χ. γραμμές και στήλες σε ίσες αποστάσεις ή σε κύκλο με συγκεκριμένη γωνία μεταξύ τους. Τότε χρησιμοποιούμε αυτή την εντολή, οπότε ανοίγει ένα παράθυρο, όπου αρχικά ορίζουμε τον τρόπο που πρέπει να τοποθετηθούν (κύκλο ή γραμμή ή στήλη). Μετά ορίζουμε το αντικείμενο και τέλος την απόσταση μεταξύ

τους. Με αυτό τον τρόπο κερδίζουμε χρόνο και τη βαρετή δουλειά να σχεδιάζουμε συνέχεια τα ίδια αντικείμενα.

Move : Πολλές φορές όταν σχεδιάζουμε φτιάχνουμε κάτι και μετά το τοποθετούμε στη σωστή του θέση ή φτιάχνουμε κάτι και μετά αντιλαμβανόμαστε ότι είναι σε λάθος θέση. Με αυτή την εντολή μπορούμε να μετακινήσουμε κάτι και να το τοποθετήσουμε στη σωστή του θέση.

Rotate : Μπορούμε να σχεδιάσουμε κάποιο αντικείμενο και μετά να θέλουμε να το περιστρέψουμε σύμφωνα με κάποια γωνία. Με αυτή την εντολή μπορούμε να το κάνουμε αυτό, Αρχικά ορίζουμε το κομμάτι, μετά το σημείο περιστροφής και τέλος την γωνία που θέλουμε.

Trim : Για να σχεδιάσουμε ένα αντικείμενο πολλές φορές χρησιμοποιούμε βοηθητικές γραμμές για να επιταχύνουμε τον τρόπο σχεδίασης. Γι' αυτό τον λόγο στο τέλος του σχεδίου υπάρχουν γραμμές, που ενώ μπορεί να ανήκουν στο αντικείμενο, έχουν τμήματα τα οποία δεν ανήκουν στο σχέδιο. Με αυτή την εντολή μπορούμε να διαγράψουμε αυτά τα τμήματα χωρίς όμως να επηρεαστεί το σχέδιο. Ουσιαστικά φαλλιδίζουμε την γραμμή με την βοήθεια άλλων γραμμών του σχεδίου. Πρώτα ορίζουμε τις γραμμές, με τις οποίες θέλουμε να φαλλιδίσουμε και



μετά το τμήμα που θέλουμε να διαγραφεί.

Extend : Για λόγους όμοιους με της παραπάνω εντολής, υπάρχουν φορές που θέλουμε να επεκτείνουμε κάποια γραμμή. Τότε με αυτή την εντολή ορίζουμε την γραμμή μέχρι την οποία θέλουμε να δείξουμε μέχρι

που να επεκταθεί η γραμμή μας και μετά επιλέγουμε την προς επέκταση γραμμή.

Chamfer : Όταν έχουμε μία γωνία που σχηματίζεται από δύο ευθείες, την οποία θέλουμε να σπάσει.

Τότε χρησιμοποιούμε το chamfer, υπάρχουν δύο τρόποι για να γίνει αυτό, α) να δοθούν οι αποστάσεις του αρχικού και τελικού σημείου της ευθείας από την κορφή της γωνίας και β) να δοθεί η απόσταση του αρχικού σημείου της ευθείας από την κορφή και η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της μίας ευθείας και της κεκλιμένης ευθείας που θα δημιουργηθεί.

Fillet : Όπως στην παραπάνω περίπτωση, με την διαφορά ότι θέλουμε μία καμπύλη να ενώνει τις δύο ευθείες. Τότε χρησιμοποιούμε το Fillet, όπου ορίζουμε την ακτίνα της καμπύλης και τέλος την γωνία που θέλουμε να μετατρέψουμε.

MENΟΥ WINDOW

Σε αυτό το μενού περιέχει εντολές που βοηθούν στην τοποθέτηση των παράθυρων που περιέχουν διαφορετικά σχέδια (Cascade, Tile, Arrange Icons), το κλείσιμο τους (Close, Close All) και την επιλογή ποιο είναι ενεργοποιημένο.

MENΟΥ HELP

Σε αυτό το μενού υπάρχει η λεγόμενη βοήθεια και κάποια άλλα στοιχεία που αφορούν το πρόγραμμα

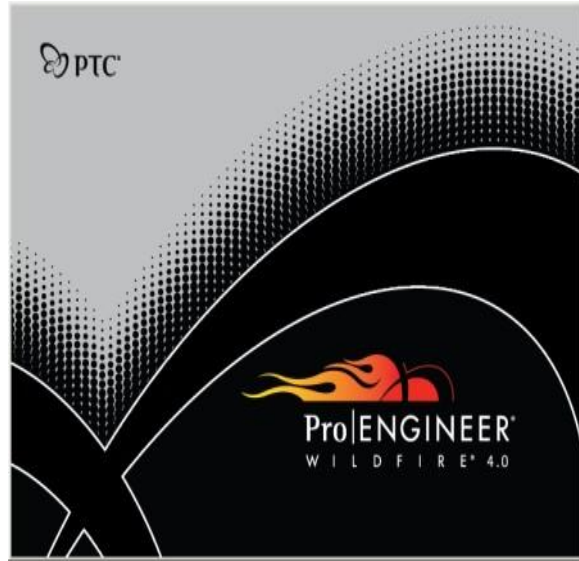
ΜΠΑΡΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Ortho : Όταν είναι ενεργοποιημένο τότε οι γραμμές που θέλουμε να σχεδιάσουμε είναι πάντα ευθυγραμμισμένες με τους καρτεσιανούς άξονες που βλέπουμε στην οθόνη μας.

Otrack : Όταν είναι ενεργοποιημένο προεκτείνει νοητά γραμμές που υπάρχουν ήδη στο σχέδιο μας και σε συνδυασμό με την εντολή Osnap μας βοηθάει να επιλέγουμε σημεία, τα οποία είναι τομή κάποιων ευθειών, που όμως δεν φαίνονται εκτός και αν προεκταθούν.

7.2 ProEngineer

Το Pro/ENGINEER είναι ένα λογισμικό το οποίο παρουσιάστηκε στην πρώτη του έκδοση, το 1987. Η πρώτη αυτή έκδοση μπορεί να ήταν αρκετά δύσχρηστη, αλλά το εργαλείο παραμετρικής σχεδίασης (parametric design) και μοντελοποίησης στερεών (solid modeling) που χρησιμοποιούσε ήταν εντελώς πρωτοποριακό για



την εποχή του και αποτέλεσε την πρώτη ιδέα και σημείο αναφοράς για την δομή των αντίστοιχων προγραμμάτων που ακολούθησαν. Σήμερα το Pro/Engineer βρίσκεται στην 23η έκδοση, και κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς παγκοσμίως στα προγράμματα παραμετρικής σχεδίασης. Το Pro/ENGINEER χρησιμοποιεί το σχεδιασμό, την ανάλυση και την κατεργασία ενός πρακτικά απεριόριστου εύρους προϊόντων. Συνοπτικά το Pro/Engineer είναι ένα παραμετρικό (Parametric) σύστημα στερεάς και επιφανειακής μοντελοποίησης (Solid - Surface Modeling) βασισμένο σε χαρακτηριστικά (Feature based) (Πίνακας 1).

Parametric	Solid Modeling	Feature based
Το σχήμα του κάθε εξαρτήματος οδηγείται από τις τιμές που έχουν δοθεί στις ιδιότητες των χαρακτηριστικών του. Έτσι ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις τιμές των ιδιοτήτων αυτών ή να ορίσει σχέσεις μεταξύ τους, και να παρατηρήσει άμεσα τις αλλαγές που έκανε.	Το μοντέλο που δημιουργούμε περιέχει όλη την πληροφορία που ένα πραγματικό στερεό αντικείμενο μπορεί να έχει. Για παράδειγμα κάθε αντικείμενο έχει κάποιο όγκο, έτσι ώστε αν δοθεί η πυκνότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, να	Η δημιουργία αντικειμένων γίνεται με χαρακτηριστικά (features) όπως προσθήκες ή αφαιρέσεις υλικού, στρογγυλέματα, σπές κλπ, αντί της χρήσης γεωμετρίας χαμηλού επιπέδου (low level geometry) όπως γραμμές, τόξα και

	<p>μπορεί να υπολογιστεί η μάζα και η αδράνειά του.</p>	<p>κύκλοι. Έτσι ο σχεδιαστής μπορεί να σκεφτεί πώς θα δημιουργήσει το μοντέλο σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο, και να αφήσει την απεικόνιση όλων των γεωμετρικών λεπτομερειών χαμηλού επιπέδου στο Pro/E.</p>
--	---	---

Πίνακας 1: Τα 3 βασικά χαρακτηριστικά του Pro/Engineer

Ένα βασικό σημείο διαφοροποίησης του Pro/Engineer και άλλων προγραμμάτων που χρησιμοποιούν μεθόδους στερεάς μοντελοποίησης σε σχέση με άλλα προγράμματα, είναι ότι αδυνατούν να σχεδιάσουν μη ρεαλιστικά αντικείμενα δηλαδή αντικείμενα που δεν υφίστανται στην πράξη.

Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ

Η φιλοσοφία του Pro/Engineer κρύβεται στα 3 βασικά χαρακτηριστικά του. Όταν σχεδιάζεται ένα κομμάτι (part), είναι σαν να το χτίζεται feature by feature. Τα features είναι στερεά που προκύπτουν από προέκταση, από περιστροφή κλπ, σε οπές, σε κοψίματα και άλλα. Κάθε κομμάτι δηλαδή, είναι ένα μπλοκ του οποίου τα μέρη που το συνιστούν είναι στοιχειώδη, τα features. Αυτά ορίζουν επακριβώς τον τρόπο με τον οποίο θα προστεθεί ή θα αφαιρεθεί υλικό και είναι έξυπνα, γιατί προσαρμόζονται αυτόματα στις αλλαγές που κάνει ο σχεδιαστής. Κάθε feature συνδέεται με κάποιες σχέσεις-παραμέτρους με το μοντέλο και με τα άλλα features. Ο χρήστης λοιπόν, ορίζει σε κάθε σχέδιο τις παραμέτρους με τέτοιο τρόπο ώστε :

- να τον εξυπηρετούν να φτάσει τους στόχους του
- να έχει τη δυνατότητα με μερικές αλλαγές να μοντελοποιεί διαφορετικά το κομμάτι του, όπως επιθυμεί

Η παραμετρική μοντελοποίηση δίνει μεγάλες δυνατότητες στον χρήστη του προγράμματος, ο οποίος μπορεί να σχεδιάζει ελεύθερα,

γνωρίζοντας ότι μπορεί ανά πάσα στιγμή να κάνει ριζικές αλλαγές με μικρό σχετικά κόστος.

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Η σχεδίαση με παραμετρική στερεά μοντελοποίηση, χρησιμοποιείται από τις περισσότερες βιομηχανίες, και ένας από τους βασικούς λόγους για αυτό είναι ότι παρέχει ακριβείς αναπαραστάσεις της γεωμετρίας και ιδιότητες μάζας. Παρέχει πλήρη προσδιορισμό του προϊόντος, δίνοντας ολοκληρωμένα και ακριβή αποτελέσματα για το προϊόν, για παράδειγμα, στην κατεργασία, στην ανάλυση όπως και στις απαιτήσεις των υλικών και της μηχανικής. Παρέχοντας παραμετρική μοντελοποίηση βασισμένη σε features (χαρακτηριστικά) και πλήρη επικοινωνία, επιτρέπει αλλαγές που γίνονται σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάπτυξης του προϊόντος να μεταδίδονται σε όλο το σχέδιο.

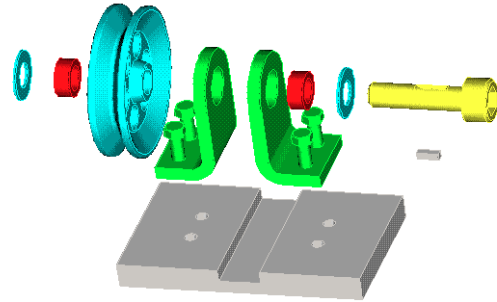
Συγκεκριμένα, αυτός ο τρόπος λειτουργίας της 3σδιάστατης μοντελοποίησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

- **Να βρίσκουν ταχέως εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού.** Επειδή τα σχέδια του Pro/Engineer συνίστανται από παρόμοια παραμετρικά χαρακτηριστικά και υπάρχει κάποια πρόβλεψη στον τρόπο που μπορούν να αλλάξουν αυτά, οι σχεδιαστές μπορούν να αναζητήσουν ταχύτατα εναλλακτικές λύσεις.
- **Να αναπαριστούν επακριβώς κάθε σχέδιο.** Έχει αποδειχθεί πως το Pro/Engineer είναι ένα ευέλικτο σχεδιαστικό πακέτο που υποστηρίζει πολύπλοκη γεωμετρία, δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα πλήρους προσδιορισμού του μοντέλου. Αυτό εξασφαλίζει ακριβή και διαρκή πληροφόρηση για κάθε σχέδιο σε κάθε στιγμή κατά τη διαδικασία ανάπτυξης.
- **Να πετυχαίνουν με εύκολο τρόπο τη μοντελοποίηση περίπλοκων χαρακτηριστικών.** Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν καμπύλες, πολύπλοκα rounds, μοντέλα από "σάρωση" διάφορων διατομών, μοντέλα από "μίξη" διατομών. Και

όλα αυτά σε ελάχιστο χρόνο σε σύγκριση με αυτόν που απαιτείται με τα συμβατικά εργαλεία σχεδίασης.

ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ (ASSEMBLY)

Οι διάφορες εταιρείες αναπτύσσουν προϊόντα και όχι απλά κομμάτια, για αυτό η αρχιτεκτονική του Pro/Engineer τους παρέχει εκτεταμένες δυνατότητες για να προσδιορίσουν και να δημιουργήσουν αυτές τις συναρμολογήσεις. Συγκεκριμένα, ο τρόπος λειτουργίας της συναρμολόγησης επιτρέπει στους σχεδιαστές:

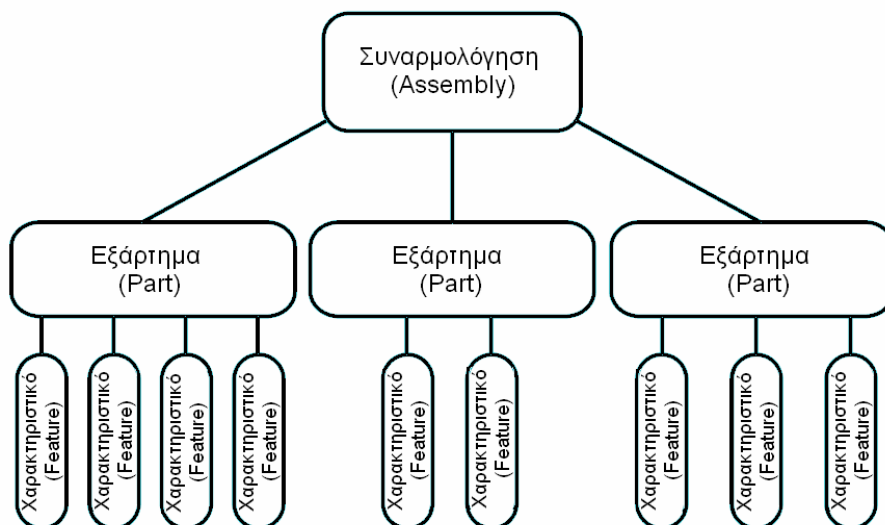


- **Να δημιουργούν συναρμολογήσεις από υπάρχοντα ή νέα συστατικά.** Οι χρήστες μπορούν να συναρμολογήσουν υπάρχοντα εξαρτήματα για να δημιουργήσουν συναρμολογήσεις ή να δημιουργήσουν νέα εξαρτήματα κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Η δημιουργία νέων εξαρτημάτων μπορεί να γίνει από : κοπή, αναπαραγωγή, αντιγραφή των ήδη υπάρχοντων κομματιών. Αντικείμενα όπως κόλλα, ταινία και μπογιά μπορούν να αναπαρασταθούν επίσης.
- **Να πραγματοποιούν με εύκολο τρόπο μελέτη της συναρμολόγησης.** Οι χρήστες μπορούν να προσθέτουν εξαρτήματα στη συναρμολόγηση μέχρι να επιτύχουν τον επιθυμητό στόχο, εκμεταλλευόμενοι τους εναπομείναντες βαθμούς ελευθερίας κάθε φορά.
- **Να αναζητούν εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού.** Οι χρήστες μπορούν να :

- Σχεδιάζουν διαφορετικές εκδόσεις του προϊόντος κρατώντας διαφορετικά configuration, δηλαδή παραμέτρους για τα μοντέλα.
- Δημιουργούν εναλλακτικά σχέδια αλλάζοντας αυτόματα τα συστατικά σε μια συναρμολόγηση.
- Δημιουργούν παραμετρικές εξισώσεις στις συναρμολογήσεις

Οι χρήστες μπορούν να πετύχουν το σκοπό τους στις συναρμολογήσεις θέτοντας παραμετρικές σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων και άλλων παραμέτρων.

Στην Εικόνα 1, φαίνεται η δομή ενός στερεού μοντέλου στο Pro/ENGINEER. Διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά (Features) συνδυάζονται για τη δημιουργία ενός εξαρτήματος. Τα εξαρτήματα τοποθετούνται με περιορισμούς (Constraints) μεταξύ τους, για τη δημιουργία μίας συναρμολόγησης (Assembly).

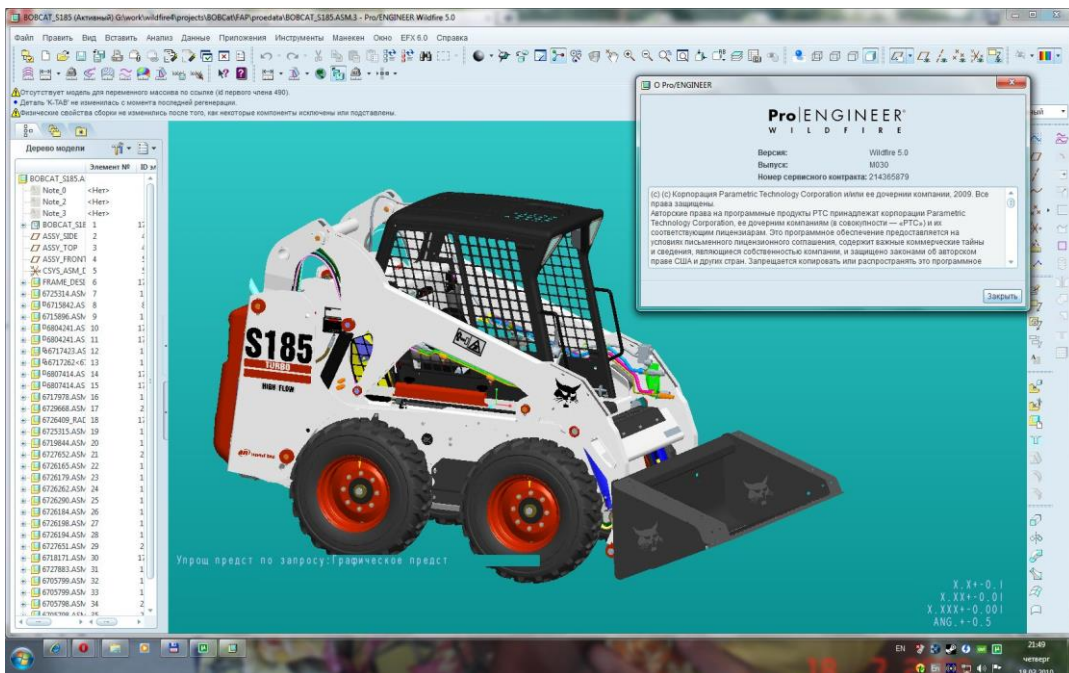


Εικόνα 1: Δομή μοντέλου στερεών

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Οι χρήστες μπορούν να παράγουν ολοκληρωμένα, έτοιμα για την παραγωγή μηχανολογικά σχέδια. Συγκεκριμένα, ο τρόπος λειτουργίας του Drawing επιτρέπει στους χρήστες:

- **Να δημιουργούν έξυπνα formats.** Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν templates με τέτοιο format (υπόμνημα, αριθμός μοντέλου, υλικό του μοντέλου και άλλα) τα οποία συμπληρώνονται μόνα τους όταν το drawing δημιουργείται, περιορίζοντας έτσι το ανθρώπινο λάθος.
- **Να δημιουργούν εύκολα όψεις.** Όλοι οι τύποι όψεων μπορούν να δημιουργηθούν απευθείας από το στερεό μοντέλο, περιορίζοντας στο ελάχιστο την απαιτούμενη εργασία. Επιπλέον, υπάρχουν πολλά διαθέσιμα εργαλεία για να προστεθεί επιπλέον πληροφορία στα σχέδια.
- **Να παρουσιάζουν και να καθαρίζουν αυτόματα τις διαστάσεις.** Οι χρήστες μπορούν να παρουσιάζουν αυτόματα τις διαστάσεις και να κάνουν πολλές εργασίες αυτόματα όσον αφορά την παρουσίαση του σχεδίου και τα ανάλογα σύμβολα.



7.3 Solidworks

Το **SolidWorks** είναι το πλέον καταξιωμένο λογισμικό παγκοσμίως, στο χώρο του 3D μηχανολογικού σχεδιασμού, εφόσον από στοιχεία του 2015, περισσότεροι των 2.573.350 σχεδιαστών προϊόντων και μηχανικών, οι οποίοι εκπροσωπούν 204.500 οργανισμούς, χρησιμοποιούν το **SolidWorks**.



Η Εταιρεία

Το Solidworks είναι ένα από τα κορυφαία προγράμματα CAD παγκοσμίως. Η πρώτη έκδοση αναπτύχθηκε το 1995 από μια ομάδα, με επικεφαλής τον ιδρυτή της εταιρείας και ιδιοκτήτη Jon Hirschtick. Το 1997 η εταιρεία αγοράστηκε από την Dassault System Group, το DSS, η οποία ασχολείται με την ανάπτυξη του σχεδιαστικού προγράμματος CATIA. Από τότε, ο κύριος στόχος του προγράμματος είναι: να είναι ένα 3D CAD λογισμικό « χαμηλού επιπέδου » - μια απλούστερη και φθηνότερη εναλλακτική λύση για το πρόγραμμα **CATIA**, και να ανταγωνίζεται με τα αντίστοιχα προγράμματα :“**SolidEdge**”, “**ProEngineer**” και “**Inventor**”.

Το Πρόγραμμα

Χάρη στο «διαισθητικό» περιβάλλον χρήσης του, το Solidworks απέκτησε πολύ σύντομα πολυάριθμους υποστηρικτές. Οι μηχανολόγοι μηχανικοί, σαν εξοικιωμένοι με τα CAD προγράμματα μπορούσαν να εξοικειωθούν με τα βασικά του Solidworks μέσα σε μία εβδομάδα ! Αρκετοί από αυτούς αντιμετώπισαν δυσκολία στο να επιστρέψουν στα αγαπημένα τους προγράμματα που χρησιμοποιούσαν μέχρι τότε, από την στιγμή που δοκίμασαν το Solidworks. Φυσιολογικά το πρόγραμμα έχει σφάλματα. Πολλοί το θεωρούν κατώτερο των άλλων προγραμμάτων όπως το SolidEdge, παρ όλα αυτά οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν το Solidworks σαν το κύριο πρόγραμμα σχεδιασμού τους.

Το Solidworks ανανεώνεται σχεδόν κάθε χρόνο, παρουσιάζοντας μια καινούρια έκδοση του. Πολλές φορές μπορεί να παρουσιαστεί και μια έκδοση «+», ενδιάμεσα της χρονιάς.

Οι εκδόσεις που διατίθενται στο κοινό είναι 3 : η Standard, η Professional και η Premium.

Για τους απλούς χρήστες, η Standard έκδοση είναι αυτή που χρειάζονται καθώς περιέχει όλες τις συνήθεις εργαλειοθήκες και όλα τα κύρια χαρακτηριστικά του προγράμματος.

Η Professional έκδοση περιέχει επιπλέον βιβλιοθήκες με έτοιμα εξαρτήματα όπως βίδες, παξιμάδια κ.α. Επίσης περιέχει και έξτρα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από 3D σχεδιαστές όπως το PhotoWorks Realistic Rendering.

Η Premium έκδοση απευθύνεται μόνο σε επαγγελματίες και αποτελεί την ολοκληρωμένη έκδοση του προγράμματος με εργαλεία και χαρακτηριστικά πολύ ανώτερα για καθημερινή χρήση.


SOLIDWORKS
SIMULATION



Πλεονεκτήματα χρήσης του SOLIDWORKS

► ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ

Εύχρηστες και διαισθητικές λύσεις 3D σχεδιασμού μας επιτρέπουν να επικεντρωνόμαστε στην ανάπτυξη του προϊόντος και όχι στο χειρισμό του λογισμικού.

Τα εργαλεία του λογισμικού μας καλύπτουν τη διαδικασία σχεδιασμού - από το σχεδιασμό έως την επικύρωσή του, τις τεχνικές επικοινωνίας και τη διαχείριση δεδομένων. Το διαισθητικό interface σχεδιασμού και τα πλήρως ενσωματωμένα λογισμικά δίνουν την ελευθερία να επικεντρωθούμε στην καινοτομία. Μπορούμε να μεγιστοποιήσουμε την παραγωγικότητα του σχεδιασμού και των τεχνολογικών μας πόρων για τη δημιουργία προϊόντων με καλύτερο, ταχύτερο και οικονομικά

SolidWorks



αποδοτικότερο τρόπο.

Ενσωματωμένη ευφυΐα αφαιρεί τον παράγοντα τύχη από τον 3D σχεδιασμό. Έξυπνα εργαλεία σχεδιασμού ελαχιστοποιούν τις ανάγκες κατάρτισης και σας επιτρέπουν να δημιουργείτε λεπτομερή σχέδια, γρήγορα και χωρίς σφάλμα. Μπορούμε αυτόματα να διαστασιολογήσουμε τα χαρακτηριστικά της κατασκευής μας σε 3D, να ελέγξουμε την πληρότητα των διαστάσεων και να απεικονίσουμε στην οθόνη γραφικά σχετικά με την κατάσταση των διαστάσεων των 2D σχεδίων μας.

Αυτόματοι έλεγχοι εισχώρησης και ανίχνευσης σύγκρουσης εξασφαλίζουν πως όλα τα τεμάχια συνδέονται κατάλληλα μαζί, πριν κατασκευαστεί ένα φυσικό πρωτότυπο, μειώνοντας έτσι το κόστος, καθώς

και το συνολικό κύκλο σχεδιασμού, με αποτέλεσμα τον ταχύτερο χρόνο διάθεσης στην αγορά.

Βελτιωμένη συνεργασία προωθεί νέες ιδέες και διευρύνει τις ευκαιρίες. Με τις λύσεις της SolidWorks, γίνεται πιο εύκολη η διαχείριση των στοιχείων του προϊόντος, η αυτοματοποίηση της ροής εργασίας και ασφαλώς, είναι δυνατόν να μοιραστούν τα δεδομένα σχεδιασμού σε ολόκληρη την επιχείρησή, στους πελάτες, καθώς και σε εξωτερικούς συνεργάτες.

Χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ως αποτέλεσμα της αύξησης της αποδοτικότητας. Οι σχεδιαστικές λύσεις της SolidWorks είναι γρήγορες στην ανάπτυξη, εύκολες στη χρήση και απλές στη διαχείρισή τους. Το κόστος της μη χρήσης σχεδιαστικών λύσεων SolidWorks είναι υψηλό. Σε μια έρευνα του 2006 στο MIT σε χρήστες SolidWorks, το 95% επισήμανε την αύξηση της παραγωγικότητας, το 54% τη μείωση του χρόνου παράδοσης στην αγορά κατά μέσο όρο κατά 20% και με συνολική εξοικονόμηση υλικών κατά μέσο όρο κατά 18%.

- Το 3D CAD λογισμικό μας, βοηθά τους σχεδιαστές να γίνουν γρήγορα αποτελεσματικοί 3D modelers και αυξάνει την ταχύτητα δημιουργίας και παράδοσης των σχεδίων.
- Η τεχνολογία προσομοίωσης επιταχύνει τη δημιουργία πρωτοτύπων και επαληθεύει το σχέδιό μας.
- Μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα 3D δεδομένα σχεδιασμού, να επικοινωνήσουμε γρήγορα πολύπλοκες τεχνικές λεπτομέρειες με κινούμενες εικόνες και οπτικές οδηγίες.
- Το λογισμικό διαχείρισης διασφαλίζει τη διαθεσιμότητα της σωστής έκδοσης του αρχείου, αποφεύγει τα δαπανηρά λάθη και μειώνει το χρόνο που δαπανάται για αναζήτηση ήδη υπαρχόντων τμημάτων ή ολόκληρων σχεδίων μέχρι και 40%.

► ΔΥΝΑΜΗ

Δημιουργία ακριβών 2D σχέδια γρήγορα που μπορούν να ενημερωθούν αυτόματα "on-the-fly" όταν αλλάζει το 3D μοντέλο. Το λογισμικό SolidWorks ενημερώνει τις διαστάσεις, τους πίνακες, καθώς και τις σημειώσεις με τις νέες τιμές με ακρίβεια 100%. Ενημερώνει επίσης τις λίστες των υλικών, ώστε να μην υπάρχει σύγχυση στην κατασκευή.

Επιταχύνεται η σχεδίαση με εργαλεία εστιασμένα στη βιομηχανία, που εξασφαλίζουν ακρίβεια με την ενσωματωμένη ευφυΐα τους για κάθε επιστημονικό κλάδο. Το λογισμικό SolidWorks παρέχει εργαλεία στοχευμένων εφαρμογών όπως λαμαρίνες, συγκολλητές, κατασκευές με προφίλ δοκών (weldments), σχεδιασμό καλουπιών και μητρών, επιφανειών και δικτύων σωληνώσεων.

Δοκιμάζεται το σχέδιο σε πραγματικές συνθήκες. Το SolidWorks Simulation επικυρώνει το σχέδιό σας κατά το προγενέστερο στάδιο της διαδικασίας στην οθόνη, έτσι ώστε να μπορούμε να ελέγξουμε πώς θα συμπεριφέρεται κάτω από ακραίες συνθήκες ανέμου, θέρμανσης, καταπόνησης κ.α. Με τις απαντήσεις αυτές μπροστά, μπορούμε να μειώσουμε το βάρος, να εξαλείψουμε τα περιττά υλικά και να βελτιστοποιήσουμε το κόστος, καθώς και να ελέγξουμε τυχόν αναξιопιστίες ή θέματα ασφαλείας.

Σχεδιασμός με γνώμονα το περιβάλλον και τη μέτρηση της βιωσιμότητας του προϊόντος σας. Πλήρως ενσωματωμένο με τη διαδικασία σχεδιασμού, το SolidWorks Sustainability βοηθάει να λαμβάνουμε, πριν από την κατασκευή, πιο σωστές αποφάσεις για το σχεδιασμό αναφορικά με τα υλικά, την προμήθεια, την κατασκευή, τη χρήση και τη διάθεση. Όχι μόνο μπορεί να βοηθήσει στην προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και στην επέκταση των αγορών, τη μείωση του κόστους και την αύξηση του κέρδους.

► ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ

Μια ενεργή, αυξανόμενη κοινότητα χρηστών SolidWorks αναπτύσσει το ενδιαφέρον και τις γνώσεις πάνω στο σχεδιασμό. Η δύναμη

των περίπου 2,6 εκατομμυρίων χρηστών του λογισμικού SolidWorks σε όλο τον κόσμο ανταλλάσει απόψεις σε θέματα ανταλλαγής βέλτιστων πρακτικών, βελτίωσης καθηκόντων και γρήγορης ολοκλήρωσης των έργων μέσω σχεδιαστικών προκλήσεων. Μπορείτε να αντλήσετε γνώση, δύναμη και πόρους από:

- Τοπικές ομάδες χρηστών, ηλεκτρονικά forum, και blogs
- Το Twitter, το Facebook και το YouTube
- Τα ετήσια Παγκόσμια Συνέδρια της SolidWorks που φιλοξενούν πάνω από 5.000 συμμετέχοντες, γεγονός που τα καθιστά ως τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σχεδιαστών και μηχανικών στον κόσμο.

Προσέλκυση νέων ταλέντων από τους πιο πρωτοποριακούς σχεδιαστές και μηχανικούς στο σημερινό εργατικό δυναμικό. Περισσότεροι άνθρωποι μαθαίνουν το SolidWorks διότι περισσότερες επιχειρήσεις το ζητούν. Το λογισμικό SolidWorks είναι τόσο αποδοτικό που έχει αποτελέσει την επιλογή για περισσότερα από 1,4 εκατομμύρια χρήστες και πάνω από 24.000 εκπαιδευτικά ιδρύματα σε όλο τον κόσμο.



CAD - Computer Aided Design software

Το Solidworks ανήκει στην οικογένεια των λογισμικών σχεδιασμού μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD). Με τον όρο αυτό εννοούμε την αξιοποίηση υπολογιστικών συστημάτων που μας βοηθούν στην

δημιουργία, ανάλυση και βελτιστοποίηση ενός σχεδίου. Έτσι αυξάνεται η παραγωγικότητα ενός σχεδιαστή, βελτιώνεται η ποιότητα ενός σχεδίου και δημιουργούνται βάσεις δεδομένων για την κατασκευή σχεδίων. Το εξαγώγιμο προϊόν των CAD λογισμικών είναι κάποια μορφή ηλεκτρονικού αρχείου που χρησιμοποιείται για εκτύπωση του σχεδίου, κατασκευή του ή άλλες εργασίες.

Ο σχεδιασμός μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιείται σε πολλά επιστημονικά πεδία και μπορεί να πάρει πολλές μορφές όπως ο σχεδιασμός ηλεκτρονικών συστημάτων (EDA) ή μηχανικών σχεδίων (MDA).

Τεχνική Στερεάς Μοντελοποίησης (Solid Modeling)

Το Solidworks αξιοποιεί την τεχνική της Στερεάς Μοντελοποίησης (Solid Modeling) η οποία αποτελεί μια μαθηματική τεχνική απεικόνισης στερεών αντικειμένων. Με την τεχνική αυτή διασφαλίζουμε ότι όλες οι επιφάνειες εφάπτονται κατάλληλα και ότι το αντικείμενο που σχεδιάζουμε είναι γεωμετρικά ορθό. Επίσης ελέγχεται και διασφαλίζεται ότι δύο ή περισσότερα αντικείμενα δεν θα καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο στο πεδίο σχεδιασμού.

Η τεχνική της στερεάς μοντελοποίησης είναι η πιο περίπλοκη από τις τεχνικές σχεδιασμού καθώς προσομοιώνει ένα αντικείμενο, εσωτερικά και εξωτερικά. Τα στερεά μοντέλα που δημιουργούμε μπορούν να διαχωριστούν ώστε να αποκαλύψουν τα εσωτερικά τους εξαρτήματα καθώς και να λειτουργήσουν με αντίστοιχο τρόπο όπως ένα φυσικό αντικείμενο στον «πραγματικό κόσμο».

Solidworks vs ProEngineer

Το Solidworks και το Pro Engineer είναι δύο από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα τρισδιάστατου σχεδιασμού που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά.

Το Pro Engineer δημιουργήθηκε πριν το Solidworks και ήταν πρωτοποριακό λόγω του αριθμού των σχεδιαστικών εργαλείων που

παρουσίασε. Έγινε το κυρίαρχο σχεδιαστικό πρόγραμμα για 3D απεικόνιση στα τέλη του 1990. Οι μηχανικοί μπορούσαν επιτέλους να δουν το εξάρτημα που σχεδίαζαν, να το περιστρέψουν και να το επεξεργαστούν. Λόγω αυτής της δημοτικότητας πολλοί έσπευσαν να το μιμηθούν.

Το Pro Engineer, σαν πρωτοπόρο, διέθετε πολλά χαρακτηριστικά τα οποία έπρεπε να ωριμάσουν με την πάροδο του χρόνου, όπως συνέβη και με το AutoCad και άλλα 2D σχεδιαστικά προγράμματα όταν πρωτοεμφανίστηκαν. Το λογισμικό στηριζόταν πολύ στην γραφική απεικόνιση με αποτέλεσμα να καταναλώνονται πολλοί πόροι από το σύστημα του υπολογιστή. Για το λόγο αυτό το λογισμικό ήταν αργό και παρουσίαζε δυσκολίες στην χρήση.

Το Pro Engineer εξελίχθηκε με την πάροδο του χρόνου. Πολλά χαρακτηριστικά του αναβαθμίστηκαν και πολλά σφάλματα διορθώθηκαν. Οι δημιουργοί του βασιζόμενοι στην ήδη υπάρχουσα πλατφόρμα, βελτίωσαν την απόδοση.

Ένα άλλο group μηχανικών όμως πίστευαν ότι το Pro Engineer έχει βαθύτερα προβλήματα τα οποία δεν μπορούσαν να λυθούν. Έτσι ξεκίνησαν να αναπτύσσουν το Solidworks.

Η κύρια διαφορά μεταξύ του Solidworks και του Pro Engineer είναι πραγματικά το περιβάλλον χρήσης (interface). Ο κύριος σκοπός του Solidworks ήταν να κάνει τα εργαλεία σχεδιασμού που απλά και φιλικά προς τον χρήστη. Καθώς και τα δύο προγράμματα εξελίχθηκαν, ακολούθησαν διαφορετικούς και ξεκάθαρους δρόμους.

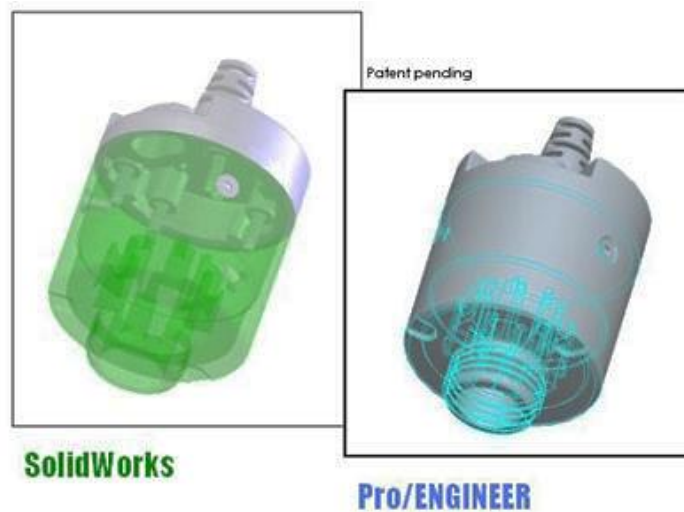
Επίσης εμφανίστηκαν και άλλα προγράμματα 3D σχεδιασμού όπως το I-DEAS, το Unigraphics (που μετονομάστηκε σε Siemens PLM NX), το AutoCAD και το CATIA. Το Solidworks αποτελούσε την πιο φτηνή λύση και για τον λόγο αυτό διαδόθηκε στην βιομηχανία.

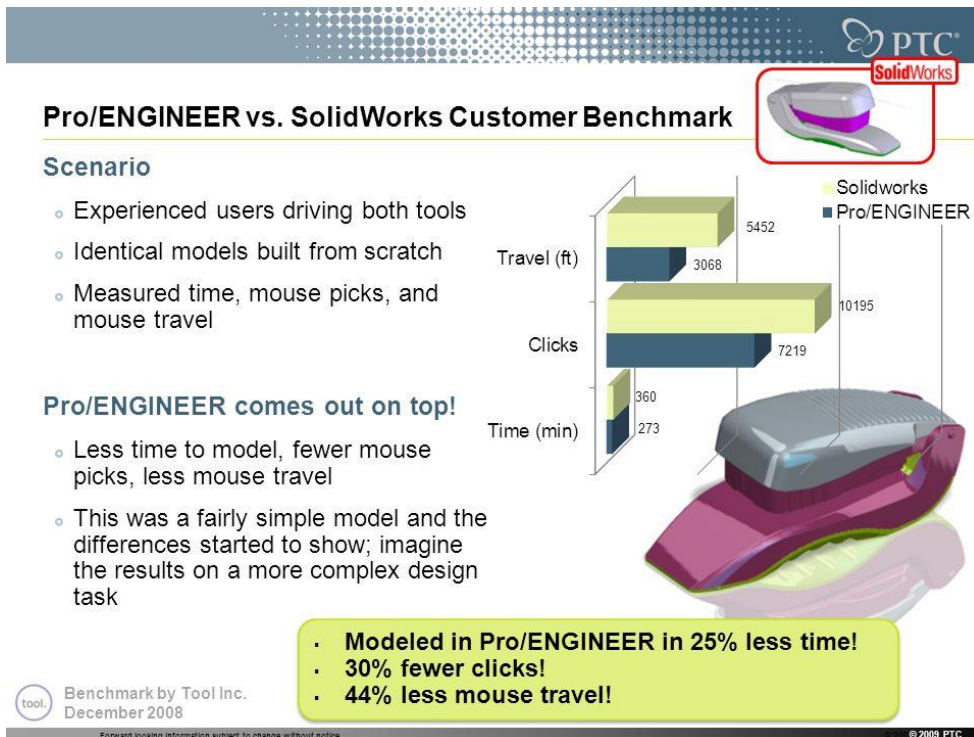
Στην ερώτηση : ποιο πρόγραμμα είναι καλύτερο, η απάντηση εξαρτάται από την χρήση. Εάν έχουμε να δημιουργήσουμε μια κολοσσιαία κατασκευή με χιλιάδες και χιλιάδες εξαρτήματα, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιήσουμε το Pro Engineer. Εάν θέλουμε ευκολία χειρισμού και απλές εφαρμογές, χρησιμοποιούμε το Solidworks. Και τα δύο χειρίζονται εξίσου καλά την κατασκευή απλών εξαρτημάτων. Το Solidworks διαθέτει εύκολο περιβάλλον χειρισμού και γρηγορότερα εργαλεία ενώ το Pro

Engineer διαθέτει πιο περίπλοκα εργαλεία και αξιοποιεί την χρήση υπο-προγραμμάτων.

Στο θέμα κόστους το Solidworks είναι ο ξεκάθαρος νικητής και για το λόγο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο σε μικρές επιχειρήσεις. Οι μεγαλύτερες επιχειρήσεις καθώς προτιμούν την χρήση των υπο-προγραμμάτων και την χρήση προσαρμοσμένων εργαλείων, χρησιμοποιούν το Pro Engineer.

Και τα δύο προγράμματα βοήθησαν ώστε να προχωρήσει η μηχανική στον 21^ο αιώνα. Κάτι που χρειαζόταν χρόνια να σχεδιαστεί με τα 2D εργαλεία, τώρα με την χρήση 3D απεικόνισης παίρνει πολύ λιγότερο. Τα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα, τα μηχανήματα της βαριάς βιομηχανίας, όλα ωφελήθηκαν από την ανάπτυξη της τρισδιάστατης σχεδίασης, πρωτοπόρος της οποίας ήταν το Pro Engineer.





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Σύνοψη της πτυχιακής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε λεπτομερής μελέτη των σύγχρονων συστημάτων CAD/CAM/CAE που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία.

Αφού πρώτα έγινε επεξηγήθηκε και αναλύθηκε ο κάθε όρος ξεχωριστά, στη συνέχεια μελετήθηκε η σχέση των τριών όρων μεταξύ τους και η αδιάρρηκτη σχέση τους.

Στην αρχή γίνεται η σχεδίαση με συστήματα CAD,στη συνέχεια το προϊόν ελέγχεται και δοκιμάζεται με χρήση CAE και τέλος, πηγαίνει στην παραγωγή με χρήση συστημάτων CAM.

8.2 Το Μέλλον

Τα οφέλη και η συμβολή των συστημάτων CAD/CAM/CAE είναι σήμερα ευρέως παραδεκτά από όλες τις επιχειρήσεις και βιομηχανίες που τα έχουν χρησιμοποιήσει. Οι περισσότεροι Μηχανικοί και Σχεδιαστές που έχουν δουλέψει μαζί τους, αναφέρουν μια βελτίωση της παραγωγικότητας της τάξης του 3 προς 1 σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Συγχρόνως, οι μελέτες τους είναι καλύτερης ποιότητας και τα παραγόμενα σχέδια υψηλής ακρίβειας.

Παρά τα όποια προσωρινά τους μειονεκτήματα (έλλειψη προτυποποίησης και αδυναμία ενοποιημένης συνεργασίας) εξαπλώνονται συνεχώς σε περισσότερα πεδία εφαρμογών και το ερώτημα πλέον που προκύπτει είναι: «Ποιο σύστημα είναι το πιο κατάλληλο για την κάθε εφαρμογή και πώς μπορεί κανείς να το εκμεταλλευτεί καλύτερα».

Το ψάξιμο της αγοράς μέσα από επιστημονικά περιοδικά, άρθρα σχετικά με το CAD και ειδικά σεμινάρια μπορεί να δώσει στον ενδιαφερόμενο μια

πρώτη ιδέα, όσον αφορά το διαθέσιμα συστήματα. Βέβαια στην λήψη μιας τελικής απόφασης, σημαντικό ρόλο πρέπει να παίξουν, εκτός από το κόστος, τις βασικές λειτουργικές ικανότητες και τον προσανατολισμό του συστήματος CAD, μια σειρά και από άλλους παράγοντες, όπως:

- Η υποστήριξη και συνεργασία με άλλο έτοιμο προγράμματα που κυκλοφορούν στο εμπόριο.
- Η τεχνική συντήρηση που προσφέρει ο προμηθευτής
- Τυχόν δυνατότητες εκπαίδευσης από τον Προμηθευτή του συστήματος.

Συνοψίζοντας αυτή τη διπλωματική εργασία, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανικής παραγωγής σήμερα χρησιμοποιεί συστήματα CAD-CAM-CAE για όλους τους λόγους που προαναφέρθηκαν στην παρούσα διπλωματική.

Σήμερα οι ανάγκες αυτοματοποίησης των βιομηχανιών και επιχειρήσεων στους τομείς CAD/CAM/CAE, είναι ιδιαίτερα αυξημένες, και παρατηρείται το φαινόμενο, η αγορά να διαθέτει αρκετά ανάλογα συστήματα.

Στο μέλλον, τα CAD/CAM/CAE αναμένεται να εισχωρήσουν σε όλους σχεδόν τους τομείς της βιομηχανίας και της ζωής μας γενικότερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κυπwoo Lee, «Βασικές αρχές συστημάτων CAD/ CAM/ CAE», εκδόσεις Κλειδάριθμος
- Rob Thompson, Manufacturing Processes for Design Professionals, Thames & Hudson
- Α. Βελώνη, Σ. Αλατσαθιανός, Σημειώσεις Βιομηχανικής Πληροφορικής, Κεφάλαιο 8, «Προσομοίωση στη βιομηχανική παραγωγή»
- Χ. Οικονομάκος, Σημειώσεις για το μάθημα "Σχεδίαση με υπολογιστές και δίκτυα παραγωγής (CAD/CAM)"
- Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβλάκης, Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Κρητική
- Schmid D., Kari B., Kraus E., Robens G., Nowak H., Strobel P. 1997 CIM Lehrbuch zur Automa-tisierung der Fertigung, Ευρωπαϊκές τεχνολογικές εκδόσεις – Γ. & Σ. Παρικού & ΣΙΑ Ο. Ε., Αθήνα 1997
- Steve Krar, Arthur Gill. Μηχανές αριθμητικού ελέγχου, Εκδόσεις Τζιόλα
- Φιλήμονος, Χρ. Σκιπτίδη, Βασικές αρχές αριθμητικού ελέγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών CNC, Σύγχρονη εκδοτική, Αθήνα 2000
- Mayer, J. (1987). Making CAD/CAM Data Transfer Work: IGES and Other Solutions
- Presman, R. & Williams, J. Numerical Control and Computer Aided Manufacturing. John Wiley & Sons.
- Κεχαγιάς, Ι., Εργαλειομηχανές Ψηφιακής Καθοδήγησης. Εκδόσεις ΙΩΝ, 2009
- Μπιλάλης, Ν. & Μαραβελάκης, Ε., Συστήματα CAD/CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση. Εκδόσεις Κρητική
- Ντιντάκης, Ι., Σημειώσεις εργαστηρίου CAD/CAM. ΤΕΙ Θεσσαλίας
- Σκιπτίδης, Φ. & Εμίρης, Δ. & Στεργίου, Κ. Σύγχρονες Τεχνολογίες στη Βιομηχανία. Τ.Ε.Ι. Πειραιά

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design
- https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing
- https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering
- https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_technologies
- https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_CAD,_CAM_and_CAE_file_viewers
- <https://web.archive.org/web/20141021080603/http://www.functionbay.de/why-multibody-dynamics-simulation.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_CAx_companies
- <https://www.e3seriescenter.com/modern-electrical-engineering-blog/cad-vs-cae-vs-cam-what-is-the-difference>
- <https://www.youtube.com/watch?v=bEOMV7fRpI8>
- https://www.youtube.com/watch?v=xoVMQgH_qYc