



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Συγκρότημα Ευρίπου  
Γενικό Τμήμα

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
Σχεδίαση και Κατασκευή Συστημάτων Αγωνιστικών Οχημάτων

**ΜΣΚ 21 – CAD/CAM/CNC**

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ**

**ΜΕΡΟΣ 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM  
& ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ**

Αγαθοκλής Αν. Κριμπένης, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός  
Επίκουρος Καθηγητής

2020

# Περιεχόμενα

## Ενότητα Γ: Συστήματα CAD/CAM

- Εισαγωγικές Έννοιες
- Συστήματα CAD
- Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (PDM)
- Συστήματα CAM
- Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM
- Κόστος Παραγωγής
- Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (DFMA)
- Τεχνολογία Ομάδας (Group Technology)
- Δημιουργία φασεολογίου με χρήση Η/Υ (CAPP)
- CIM
- Σύγχρονη Μηχανολογία (Concurrent Engineering)
- Τεχνητή Νοημοσύνη
- Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ – ANN)
- Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ-ΕΑ – GA-EA)

# Συστήματα CAD/CAM

# Εισαγωγικές Έννοιες (1)

- CAD (Computer Aided Design)  
Σχεδίαση με χρήση Η/Υ

## Αναφέρεται σε

1. Εκ νέου σχεδίαση αντικειμένων-συναρμολογημάτων
2. Επιδιόρθωση και μετατροπή υπαρχόντων σχεδίων
3. Σχεδίαση 2 και 3 διαστάσεων (2D και 3D)
4. Εξαγωγή εκτυπώσιμων και τυπωμένων σχεδίων

# Εισαγωγικές Έννοιες (2)

- ◎ CAM (Computer Aided Manufacturing)  
Κατεργασία με χρήση Η/Υ

## Αναφέρεται σε

1. Εφαρμογή στρατηγικών κατεργασίας και πρόσδοση τιμών στις παραμέτρους κατεργασίας
2. Σχεδιασμός αλληλουχίας φάσεων κατεργασίας και υλοποίηση φασεολογίου
3. Ανίχνευση συγκρούσεων του εργαλείου και σφαλμάτων της κατεργασίας
4. Προσομοίωση κατεργασίας και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων
5. Εξαγωγή του κώδικα G για κατεργασία τεμαχίου σε εργαλειομηχανή CNC

# Εισαγωγικές Έννοιες (3)

- ◎ CIM (Computer Integrated Manufacturing)  
Ολοκληρωμένη μελέτη κατασκευής με χρήση Η/Υ

## Αναφέρεται σε

1. Χρήση λογισμικών CAD, CAM, CAE, χρονικού προγραμματισμού (scheduling) κ.ά., ώστε να μελετηθεί το μοντέλο της συνολικής διαδικασίας παραγωγής πριν την πραγματική εφαρμογή του.
2. Ολιστική θεώρηση ενός συστήματος παραγωγής
3. Περιλαμβάνει τεχνο-οικονομικές έννοιες (παραγωγικότητα, ρυθμός παραγωγής, νεκροί χρόνοι, διαχείριση αποθεμάτων κ.ά.)
4. Χρήση αλγορίθμων για βελτίωση συνθηκών παραγωγής
  1. Κλασικοί Αλγόριθμοι: Newton-Raphson, Μέγιστης Κλίσης (Steepest Descend) κ.ά.
  2. Μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης: Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic), Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks), Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Genetic & Evolutionary Algorithms) κ.ά.

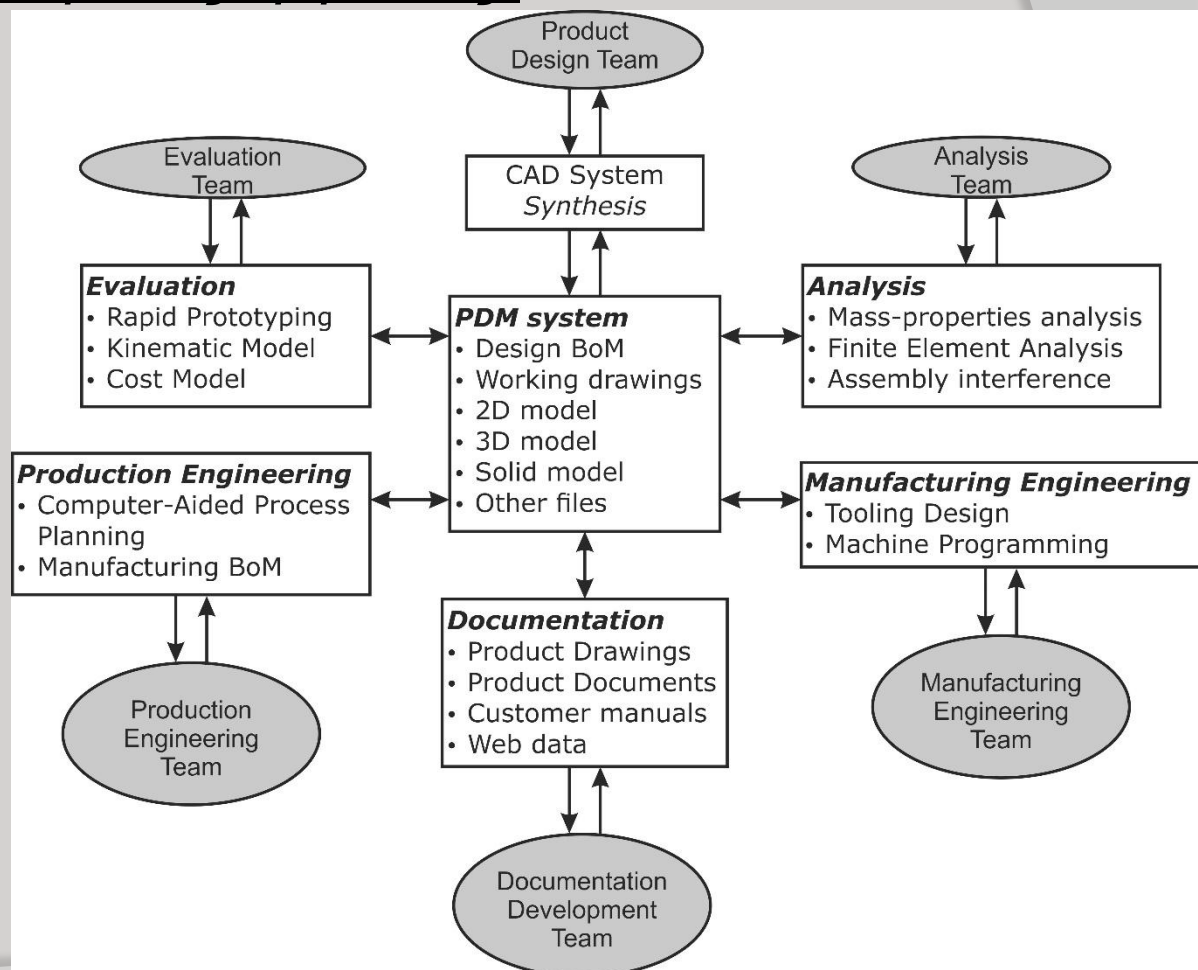
# Συστήματα CAD

- Η **Σχεδίαση με χρήση Η/Υ (CAD)** είναι ένας από τους βασικούς κόμβους σε ένα σύστημα **Ολοκληρωμένης μελέτης κατασκευής με χρήση Η/Υ (CIM)**.
- Το CAD αυτοματοποιεί τη διαδικασία σχεδίασης και δημιουργεί έγγραφα σχετικά με ένα προϊόν/αντικείμενο/ συναρμολόγημα.
- Το CAD χρησιμοποιείται έτσι ώστε να αυξηθεί η παραγωγικότητα της ομάδας των σχεδιαστών.

# Χρήση του CAD

Χρησιμοποιείται από 6 ομάδες εργασίας:

- Σχεδίασης τεμαχίων
- Ανάλυσης
- Αποτίμησης
- Υλοποίησης εγγράφων
- Οργάνωσης παραγωγής
- Κατασκευής-Κατεργασίας





# Εφαρμογή του CAD σε Συστήματα Παραγωγής

- ◎ Το CAD χρησιμοποιείται κυρίως σε δύο πεδία εφαρμογής:

- 1. Σχεδιασμός ιδεών για νέα τεμάχια και επαναληπτικός σχεδιασμός.**

Τα σχέδια που υλοποιούνται σε CAD συχνά χρησιμοποιούνται εκ νέου από άλλα τμήματα ή/και συστήματα της διαδικασίας κατασκευής.

- 2. Δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων και σχεδίων συναρμολόγησης**

Βασική λειτουργία του CAD αποτελεί η υλοποίηση όλων των λειτουργικών σχεδίων για την κατασκευή ενός τεμαχίου ή ενός συναρμολογήματος. Επίσης, τα υποστηρικτικά έγγραφα για κατασκευή απαιτούν τη χρήση του CAD.

# Κριτήρια επιλογής λογισμικού CAD

1. Τύπος και πολυπλοκότητα της γεωμετρίας τεμαχίου και των κατασκευαστικών σχεδίων.
2. Ύπαρξη συμμετρίας ως προς άξονες ή σημεία.
3. Τύποι καμπυλών που αποτελούν τις επιφάνειες.
4. Πολυπλοκότητα του εσωτερικού του αντικειμένου.
5. Αριθμός τεμαχίων στο συναρμολόγημα.
6. Σχεδιασμός ιδεών για νέα τεμάχια σε αντιδιαστολή με τον επαναληπτικό σχεδιασμό.
7. Μέγεθος και πολυπλοκότητα του προϊόντος.
8. Διεπιφάνειες δεδομένων της επιχείρησης.
9. Διεπιφάνειες εξωτερικών δεδομένων.

# Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (1)

## Product Data Management - PDM

- ⊙ Τα συστήματα PDM σχεδιάζονται ειδικά ώστε να **οργανώνουν** και να **υποστηρίζουν την κοινή βάση δεδομένων**, η οποία είναι κρίσιμη για μια επιχείρηση που δουλεύει σύμφωνα με το CIM.
- ⊙ Το PDM κάποιες φορές καλείται *Διαχείριση Κύκλου Ζωής ή Ανάπτυξης Προϊόντος* (Product Lifecycle Management/ Product Development Management), έτσι ώστε να περιγράφεται η λειτουργία του λογισμικού.
- ⊙ Ένα σύστημα PDM αποθηκεύει πληροφορίες μέσω μιας βάσης δεδομένων συσχετισμών σε ένα ιεραρχικό σύστημα, το οποίο λέγεται *Δομή Προϊόντος* (Product Structure).

# Διαχείριση Δεδομένων Προϊόντος (2)

## Product Data Management - PDM

1981	1991	2000
Computervision	IBM	Autodesk
Applicon Ltd.	Intergraph	Cadence
GE/Calma	Computervision	Dassault Systèmes
Auto-trol Technology Corporation	Mentor Graphics	Synopsys
Intergraph	Hewlett-Packard	PTC
McDonnell Douglas Automation Company (Unigraphics)	EDS/Unigraphics	Mentor Graphics
Gerber Scientific	Autodesk	Unigraphics Solutions
CalComp	Cadence	Avanti
Summagraphics	Schlumberger (Applicon)	SDRC
IBM	Valid Logic	MSC Software

**Figure 4-24** Top Ten CAD and CAE Companies, Ranked by Sales.

# Συστήματα CAM (1)

## ◎ Ορισμός:

- Το **CAM (Computer Aided Manufacturing)** είναι η αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών, ώστε να πραγματοποιηθεί ο προγραμματισμός, η διαχείριση και ο έλεγχος της παραγωγής σε μηχανουργεία ή γενικά σε βιομηχανίες κατεργασιών.
- ◎ Η πιο σημαντική εφαρμογή των συστημάτων CAM είναι η κατεργασία σε επιμέρους φάσεις τελικών φινιρισμένων τεμαχίων κάνοντας χρήση δεδομένων που εξάγονται άμεσα από τρισδιάστατα σχέδια. Αυτή η διαδικασία καλείται CAD/CAM.

# Συστήματα CAM (2)

- ◉ Η μορφή των αρχείων που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της γεωμετρίας του τεμαχίου σε λογισμικό CAM εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως
  - η πολυπλοκότητα του τεμαχίου και της EM CNC (π.χ. 3-αξονική, 5-αξονική κτλ),
  - η ακρίβεια του τελικού τεμαχίου
  - ο τύπος της EM CNC (π.χ. κέντρο κατεργασιών, τόννευσης, υδροκοπή, laser, ηλεκτροδιάβρωση, κτλ) κ.ά.
- ◉ Κάποια από τα λογισμικά CAM έχουν ενσωματωμένη τη δυνατότητα τρισδιάστατης σχεδίασης και γεωμετρικής διαχείρισης του υπό κατεργασία τεμαχίου.
- ◉ Ο **βασικός σκοπός** των λογισμικών CAM είναι η *δημιουργία διαδρομών εργαλείου (Toolpaths)*, τα οποία τελικά οδηγούν σε δημιουργία Κώδικα G κατάλληλης σύνταξης για εκτέλεση πάνω σε συγκεκριμένη EM CNC.

# Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (1)

## ⦿ Εσωτερική μορφή αρχείου (native format)

Στην περίπτωση που το CAD και το CAM είναι ενσωματωμένα στο ίδιο πακέτο λογισμικού, το 3D μοντέλο γεωμετρίας μπορεί να μεταφερθεί απευθείας από το CAD στο CAM χωρίς την ανάγκη μετάφρασης της μορφής του.

## ⦿ Αρχείο τύπου DXF (Drawing Interchange File)

Τα αρχεία τύπου DXF χρησιμοποιούνται αρκετά ως αρχεία μετάφρασης γεωμετρίας για μεταφορά από ένα λογισμικό CAD/CAM σε άλλο.

Αναπτύχθηκε από την AutoDesk (AutoCAD) και είναι αναγνώσιμο από σχεδόν όλα τα λογισμικά CAM.

Είναι όμως 2D.

## Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (2)

- Αρχείο τύπου APT (Automatically Programmed Tool)

Τα αρχεία αυτού του τύπου, όπως και τα COMPACT II, προέρχονται από δύο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού και η χρήση τους εφαρμόζεται κυρίως όσον αφορά κινήσεις και διαδρομές εργαλείων (εναλλακτικός τρόπος προγραμματισμού CNC και ρομποτικών συστημάτων).

Σήμερα, η χρήση των APT έχει εγκαταλειφθεί στα CNC.



## Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (3)

### ⦿ Αρχείο τύπου IGES (International Graphic Exchange Specification)

- Αυτός ο τύπος αρχείων είναι χρονολογικά από τους πρώτους - και ο πιο κοινός - που υλοποιήθηκαν για μεταφορά γεωμετρίας μεταξύ διάφορων συστημάτων CAD/CAM. Συναντάται και ως IGS ή IG.
- Όλα τα λογισμικά CAD/CAM φέρουν μεταφραστές για IGES αρχεία.
- Παρά τα μειονεκτήματά του, είναι ένας τύπος αρχείων που μπορεί να αναπαραστήσει 3D γεωμετρία.
- Το αρχείο αποτελείται από μία λίστα απλών γεωμετριών (ευθείες, κύκλοι, τόξα κτλ.), που περιγράφουν το εξωτερικό περίγραμμα των τεμαχίων.

## Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (4)

- Αρχείο τύπου STEP (Standard for The Exchange of Product model data)
  - Ο τύπος αρχείων STEP είναι σύμφωνος με το πρότυπο ISO 10303.
  - Ο στόχος της ανάπτυξης των αρχείων τύπου STEP είναι να υπάρξει ένας μηχανισμός, ο οποίος είναι δυνατόν να περιγράψει τα δεδομένα ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο σύστημα CAD/CAM/PDM/PLM.
  - Τα αρχεία τύπου STEP είναι πιο γενικά από τα IGES, αλλά ακόμη δεν είναι δυνατόν να τα αντικαταστήσουν πλήρως.

# Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (5)

## ◎ Σύγκριση μεταξύ IGES και STEP

- Τα αρχεία τύπου IGES αρχικά υποστήριζαν μόνο βασικές οντότητες σχεδίου, όπως ευθύγραμμα τμήματα, σύνθετες ευθείες κτλ., αλλά στις πιο πρόσφατες εκδόσεις επεκτάθηκαν ώστε να υποστηρίζουν B-rep και CSG.
- Τα αρχεία τύπου IGES λειτουργούν καλά στην εξαγωγή 2D σχεδίων και 3D επιφανειακών μοντέλων. Τα 3D στερεά μοντέλα εξάγονται ως σύνολα επιφανειών (και άρα απαιτείται να επιδιορθωθούν όταν εισάγονται σε κάποιο λογισμικό)
- Τα αρχεία τύπου STEP λειτουργούν καλά για 3D στερεά και επιφανειακά μοντέλα.
- Τα αρχεία τύπου STEP μπορούν να διαχειριστούν και γεωμετρικά και μη γεωμετρικά δεδομένα.
- Η μεταφορά 2D CAD σχεδίων χρησιμοποιώντας αρχεία STEP δεν υποστηρίζεται από τα περισσότερα λογισμικά CAD.

# Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (6)

## ◎ Αρχείο τύπου STL (STereoLithography)

- Ο τύπος αρχείων STL είναι εσωτερικός σε συστήματα λιθογραφίας CAD.
- Υποστηρίζεται από σχεδόν όλα τα πακέτα CAD/CAM και χρησιμοποιείται ευρέως στην Ταχεία Προτυποποίηση (Rapid Prototyping).
- Τα αρχεία STL περιγράφουν μόνο την επιφάνεια της γεωμετρίας ενός 3D αντικειμένου (με τριγωνικό πλέγμα) χωρίς να περιέχουν πληροφορίες σχετικά με χρώμα, υφή ή άλλες ιδιότητες που συχνά προσδίδονται από τα λογισμικά CAD.
- Ο τύπος αρχείου STL συναντάται είτε με απεικόνιση ASCII είτε με δυαδική. Τα δυαδικά αρχεία είναι συνηθέστερα, καθώς είναι πιο συμπαγή.
- Ένα αρχείο τύπου STL περιγράφει τη μη δομημένη τριγωνοποιημένη επιφάνεια ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χρησιμοποιώντας τα κάθετα μοναδιαία διανύσματα και τις κορυφές των τριγώνων (ταξινομημένες με τον κανόνα του δεξιού χεριού) σε ένα τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

## Τύποι αρχείων 3D γεωμετρίας στο CAM (7)

- ◎ Διάφοροι Συνήθεις Τύποι Αρχείων Γεωμετρίας
  - DWG (λογισμικό AutoCAD)
  - ACIS, SAT (λογισμικό ACIS)
  - Parasolid (text ή binary)
  - SLDPRT (Solidworks)
  - CATIA ή CAT (CATIA)
  - ...

# Μοντελοποίηση παραγωγής και κατεργασιών

- ⦿ Τα αναλυτικά μοντέλα των τεμαχίων, των προϊόντων και των συστημάτων κατεργασίας κάνουν χρήση μαθηματικών εξισώσεων, οι οποίες περιγράφουν μοναδικά τη συμπεριφορά των κατεργαζόμενων τεμαχίων και του συστήματος παραγωγής.
- ⦿ Τα 3D μοντέλα του κυττάρου κατεργασίας και των ρομποτικών συστημάτων που τα εξυπηρετούν, ελέγχονται μέσω κινηματικής ανάλυσης έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες θέσεις των ρομπότ, καθώς και των υπολοίπων συσχετιζόμενων μηχανημάτων.

# Προσομοίωση παραγωγής και κατεργασιών (1)

- **Προσομοίωση σε υπολογιστή** είναι η ανάπτυξη ενός θεωρητικού ή γραφικού μοντέλου μιας κατεργασίας ή ενός συστήματος παραγωγής, ώστε να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του σε διάφορες συνθήκες και σε εναλλασσόμενα περιβάλλοντα.
- Δύο βασικές τεχνικές προσομοίωσης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συστημάτων κατεργασιών:
  - Προσομοίωση Διακριτών Γεγονότων (discrete-event)
  - Συνεχής Προσομοίωση (continuous).

## Προσομοίωση παραγωγής και κατεργασιών (2)

### ⦿ Προσομοίωση Διακριτών Γεγονότων (Discrete-event Simulation)

- Γίνεται χρήση συμβόλων, τα οποία αντιπροσωπεύουν αντικείμενα και πόρων, όπως τεμάχια και Ε/Μ, για την κατασκευή ενός μοντέλου κατεργασίας.
- Η αλληλεπίδραση μεταξύ συμβόλων καθορίζεται μαθηματικά με λογικές σχέσεις.

### ⦿ Συνεχής Προσομοίωση (Continuous Process Simulation)

- Η κατάσταση του συστήματος αλλάζει συνεχώς με τον χρόνο.



## Πλεονεκτήματα χρήσης Προσομοίωσης της Κατεργασίας

1. *Αναγνώριση βέλτιστων λύσεων* σχετικά με τη δομή του συστήματος κατεργασίας και της ροής της παραγωγής.
  2. *Γρήγορη εκτίμηση εναλλακτικών και αλλαγών* στο σύστημα κατεργασίας.
  3. *Αναγνώριση προβλημάτων παραγωγής* που σχετίζονται με τη ροή υλικού και τη μετακίνηση προϊόντων.
  4. *Εύκολη μελέτη της απόδοσης του συστήματος* για διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής.
- ⊙ **Ανάλυση και εκτίμηση αποφάσεων**, που μπορούν να αλλάξουν το περιβάλλον κατεργασίας ή τη ροή υλικού, πριν από την εφαρμογή τους.

# Αυτοματοποίηση της Συντήρησης

- ⦿ Γρηγορότερη και πιο ακριβής αναγνώριση βλαβών στο hardware της παραγωγής και στο σύστημα κατεργασίας.
- ⦿ Καλύτερη διαχείριση των ενεργειών συντήρησης.

# Ανάλυση του κόστους παραγωγής (1)

- Η ανάπτυξη μοντέλων, που υπολογίζουν το κόστος παραγωγής με ακρίβεια, είναι κρίσιμη σε όλα τα συστήματα κατεργασιών, γιατί η τιμή προϊόντος είναι μία παράμετρος που οδηγεί σε μεγαλύτερη πιθανότητα ανάληψης παραγγελιών.
- Το πρώτο βήμα για τον έλεγχο του κόστους αποθεμάτων είναι ο ακριβής προσδιορισμός του κόστους παραγωγής σε όλα τα βήματα της κατεργασίας.

# Ανάλυση του κόστους παραγωγής (2)

- ◎ **Η εκτίμηση του κόστους στο σύστημα παραγωγής είναι κρίσιμη για τους παρακάτω λόγους:**
  - Ο αριθμός των παραγγελιών για νέα προϊόντα είναι υψηλός. Σε κάποιες βιομηχανίες μπορεί να φτάνει τις 5000 τον χρόνο.
  - Ο χρόνος απόκρισης σε κάποιες παραγγελίες πρέπει να είναι μικρός, κάποιες φορές μικρότερος από 24 ώρες.
  - Το κόστος εργασίας συχνά αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του συνολικού κόστους κατασκευής ενός τεμαχίου.
  - Η τιμή του προϊόντος είναι ένα σημαντικό κριτήριο για ανάληψη μιας παραγγελίας.

# Πορεία εργασίας σε λογισμικό CAM (1)

- ◎ Κατά την εργασία σε πρόγραμμα εκτελούνται οι παρακάτω ενέργειες:
  1. Εισαγωγή του 3D μοντέλου του αντικειμένου
  2. Καθορισμός του μπλοκ αρχικού υλικού
  3. Ορισμός της χρησιμοποιούμενης E/M CNC
  4. Ορισμός των χρησιμοποιούμενων εργαλείων
  5. Καθορισμός των φάσεων κατεργασίας
  6. Εφαρμογή στρατηγικών κατεργασίας για κάθε φάση και πρόσδοση τιμών των παραμέτρων κοπής

## Πορεία εργασίας σε λογισμικό CAM (2)

- ◎ Κατά την εργασία σε πρόγραμμα εκτελούνται οι παρακάτω ενέργειες (συνέχεια):
  7. Εκτέλεση προσομοίωσης κατεργασίας για κάθε φάση
  8. Εξαγωγή στατιστικών στοιχείων και επιλογή εναλλακτικών για στρατηγικές και τιμές παραμέτρων
  9. Χρήση του μετεπεξεργαστή (post processor) για εξαγωγή του κώδικα G
  10. Μεταφορά του κώδικα G στην E/M CNC

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (1)

(Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

- ◎ **DFMA** είναι η φιλοσοφία σχεδίασης, κατά την οποία λαμβάνονται υπόψη παράγοντες παραγωγής (κατασκευής, κατεργασιών και συναρμολόγησης) ήδη από το στάδιο σχεδίασης ενός αντικειμένου.
- ◎ Ο ορισμός δηλώνει ότι οποιαδήποτε δραστηριότητα σχεδίασης ενός προϊόντος – από τη σύλληψη της ιδέας έως την αποτίμησή της – επικεντρώνεται στην ικανοποίηση των προδιαγραφών της αγοράς και στην επιτυχή κατασκευή του.

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (2)

(Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

- ◎ Η DFMA ξεκίνησε έχοντας δύο βασικές κατευθύνσεις:
  1. **Μελέτη Κατασκευασιμότητας/Κατεργασιμότητας (Producibility Engineering)**
  2. **Σχεδίαση για Συναρμολόγηση (Design For Assembly - DFA)**
  
- ◎ Η βασική ιδέα είναι να παραχθούν απλούστερα τεμάχια, το καθένα από τα οποία είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ευκολότερα.



# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (3)

## (Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

- Η χρήση της φιλοσοφία της DFMA είναι απαραίτητη, καθώς το 70% του κόστους ενός προϊόντος καθορίζεται έως τη στιγμή που το σχέδιο παραδίδεται από την ομάδα-τμήμα σχεδιασμού.
- Οποιαδήποτε ενέργεια για μείωση κόστους μετά από αυτήν τη στιγμή επηρεάζει μόνο κατά 30% το κόστος του προϊόντος.
- Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της DFMA είναι η **μείωση** του συνολικού αριθμού τεμαχίων που αποτελούν ένα προϊόν.

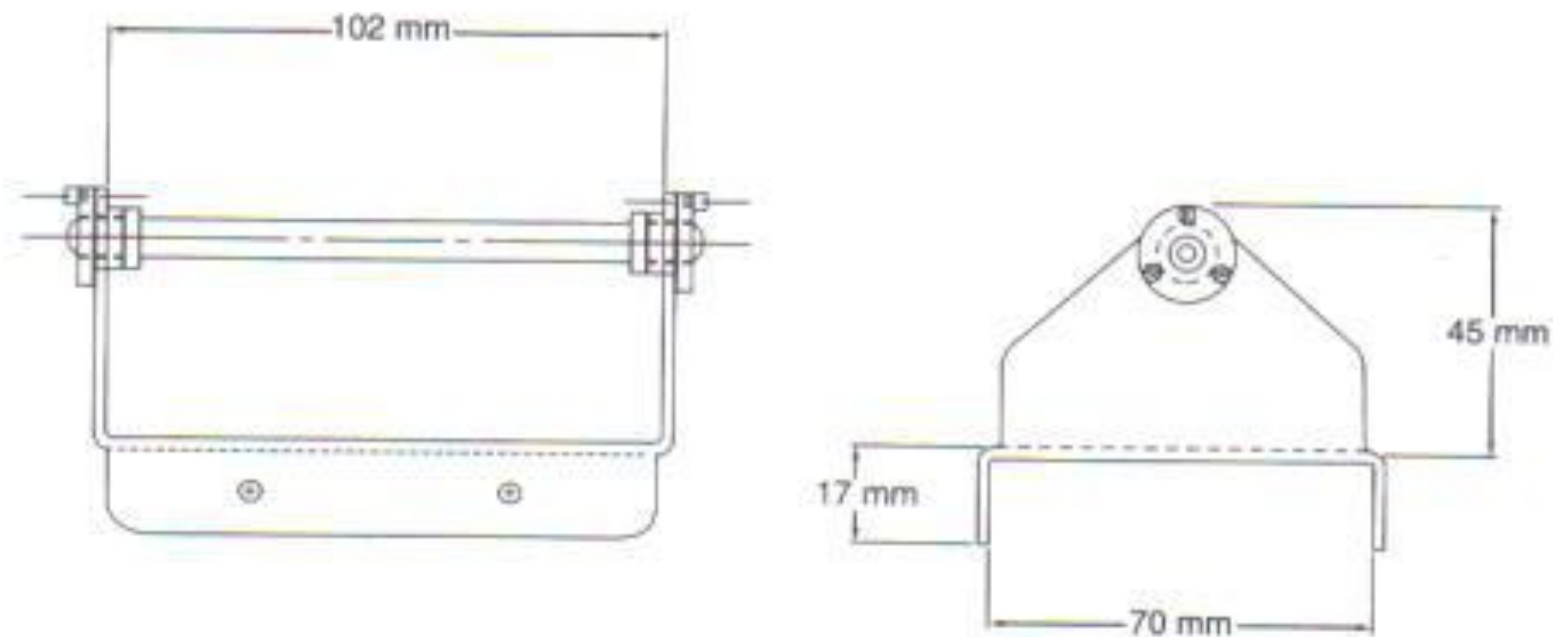
# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (4)

## (Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

- ◎ Η διαδικασία DFMA πραγματοποιείται κατά ένα τμήμα στο χέρι και κατά άλλο στον υπολογιστή.
  - Η καταγραφή των λειτουργικών ιδιοτήτων, οι περιορισμοί που τίθενται από το υλικό και η προσβασιμότητα των τεμαχίων κατά τη συναρμολόγηση πραγματοποιούνται συνήθως στο χέρι.
  - Το λογισμικό της DFMA υπολογίζει χρόνους συναρμολόγησης, το κόστος παραγωγής και τον θεωρητικό ελάχιστο αριθμό τεμαχίων.
- ◎ Η DFMA ξεκινάει με μία αποτελεσματική DFA, επειδή η συναρμολόγηση αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του κόστους και του μόχθου κατασκευής.

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (5)

(Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)



**Figure 5-1** Spindle/Housing Assembly.

Source: Boothroyd/Dewhurst, "Product Design for Manufacturing and Assembly," © April 1988, Manufacturing Engineering Magazine, p. 42.  
Reprinted by permission of the Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI.)

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (6)

## (Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

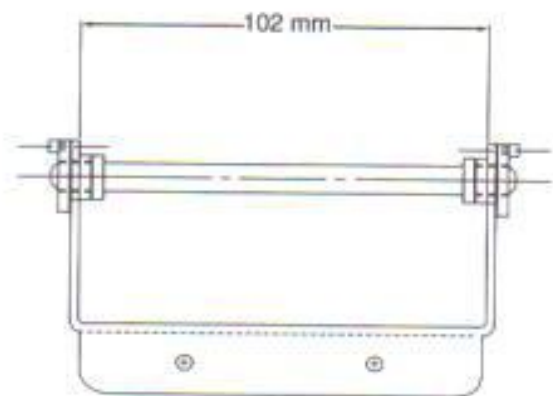


Figure 5-1 Spindle/Housing Assembly.

Source: Boothroyd/Dewhurst, "Product Design for Manufacturing and Assembly," by permission of the Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI.

148

Assembly stack from top	■	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Best ↑
	●		10	20	30	40	50	60	70	80	90	
Assembly from side	■					30	40	50	60	70	80	
	●					20	30	40	50	60	70	
Assembly from bias	■						20	30	40	50	60	
	●						15	20	30	40	50	
Rotated parts	■						10	10	20	30	40	
	●						5	5	10	20	30	
Assembly from bottom	■								5	10	20	
	●										10	
Approach	■											Good →
	●											
Connection	■	Weld	Solder	Stake	Adhesive	Pin	Nut	Tape	Screw	Snap ring	Snap fit	
	●	Special tool or equipment required			Small tool required						Nothing	

<p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Without hold-down</li> <li>● With hold-down</li> </ul>	<p>Fastening or assembly method</p> <p>Comments: Assign points to the open boxes; if the part you are placing in the assembly falls in one of the gray marked boxes, no points would be received. The upper right hand corner box would be assigned the highest points, and, as you go to the left or down, the points would decrease. After you evaluate your assembly, you add up the total points and divide the sum by the number of parts in your assembly; this gives you a design score.</p> <p style="text-align: center;">                 Example: Design score = <math>\frac{\text{total points in boxes}}{\text{number of parts in assembly}} = \frac{750 \text{ points}}{10 \text{ parts}} = 75\%</math> </p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figure 5-2 Assembly Method Scoring Chart.

Source: Cauley, Inc. Corporation.

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (7)

(Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

## ***Solution***

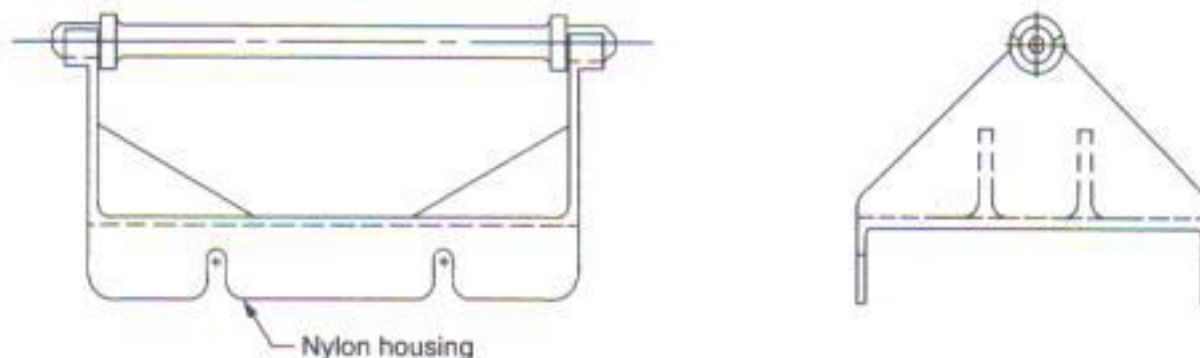
The following chart indicates the assembly score for the spindle/housing bracket shown in Figure 5-1.

<i>Assembly part</i>	<i>Score</i>	<i>Comment</i>
Base	90	
Spindle	60	From side, held by screws
Right bushing	80	From side, held by snap-in
Left bushing	80	From side, held by snap-in
Screw 1	60	From side, screw
Screw 2	60	From side, screw
Screw 3	60	From side, screw
Screw 4	60	From side, screw
Screw 5	60	From side, screw
Screw 6	60	From side, screw
Total	670	

# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (8)

## (Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

- Όταν χρησιμοποιείται το DFMA βοηθάει τους σχεδιαστές να υπολογίζουν το κόστους των εναλλακτικών σχεδιαστικών λύσεων.
- Με αυτό, οι σχεδιαστές εισάγουν τις προδιαγραφές για το σχέδιο του τεμαχίου και το λογισμικό παρέχει ποσοτική ανάλυση των εναλλακτικών.



**Figure 5-3** Alternative Spindle/Housing Assembly.

(Source: Boothroyd/Dewhurst, "Product Design for Manufacturing and Assembly," © April 1988, Manufacturing Engineering Magazine, p. 42. Reprint by permission of the Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI.)



# Σχεδίαση για Κατασκευή και Συναρμολόγηση (8)

## (Design for Manufacturing and Assembly-DFMA)

(a) Design using sheet metal housing cost

	Assembly	Material	Manufacturing	Tooling
Housing	0.02	1.74	1.56 <sup>a</sup>	7,830 <sup>b</sup>
Bush (2)	0.09	0.01	0.06 <sup>c</sup>	9,030 <sup>d</sup>
Screw (6)	0.35	0.72	—	—
Spindle	0.04	0.26	1.29	—
Total	0.05	2.73	2.91	16,860

<sup>a</sup>Includes \$1.35 for drilling and tapping screw holes.

<sup>b</sup>Three separate die sets for blanking, punching, and bending.

<sup>c</sup>Molded bushings have three-cored holes for screw clearance.

<sup>d</sup>Ten-cavity mold for least-cost manufacture.

(b) Design using injection-molded housing cost

	Assembly	Material	Manufacturing	Tooling
Housing	0.02	0.14	0.24	10,051 <sup>a</sup>
Spindle	0.02	0.26	1.29	—
Total	0.04	0.04	1.53	10,051

<sup>a</sup>Two-cavity mold for least-cost manufacture.

Note: A Comparison of the Two Spindle/Housing Assembly Designs Shows Significant Cost Reductions as a Benefit of DFA.

**Figure 5-4** DFMA Cost Analysis.

(Source: Boothroyd/Dewhurst, "Product Design for Manufacturing and Assembly," © April 1988, Manufacturing Engineering Magazine, p. 43. Reprint by permission of the Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI.)

# Τεχνολογία Ομάδας (Group Technology) (1)

- ◎ **Ορισμός:** Είναι η φιλοσοφία κατασκευής κατά την οποία υλοποιούνται παρτίδες μικρού και μεσαίου μεγέθους δίνοντας βάση σε σχεδιαστικές και κατασκευαστικές ομοιότητες μεταξύ **ομάδων ομοειδών τεμαχίων**.
- ◎ Αναπτύσσονται κύτταρα κατεργασιών που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την κατασκευή ομαδοποιημένων τεμαχίων. Αυτό γίνεται σύμφωνα με κωδικούς επιλογής: μία ομάδα τεμαχίων κατασκευάζεται σε μία ομάδα μηχανών, που έχουν επιλεγεί για την κατασκευή.



# Τεχνολογία Ομάδας (Group Technology) (2)

## Κωδικοποίηση και Κατάταξη Τεμαχίων

- ⦿ Κωδικοποίηση είναι η συστηματική διαδικασία ανάπτυξης μιας αλφαριθμητικής τιμής για τα τεμάχια βάσει επιλεγμένων χαρακτηριστικών των τεμαχίων.
- ⦿ Κατάταξη είναι η ομαδοποίηση των τεμαχίων σύμφωνα με τις τιμές κωδικοποίησης.
- ⦿ Η ιεραρχική δομή του συστήματος κατατάσσει όλα τα τεμάχια σε διακριτές υποομάδες με σχεδόν το ίδιο μέγεθος.

# Τεχνολογία Ομάδας (Group Technology) (3)

## Κύτταρα Παραγωγής

- Η κατεργασία σε παρτίδες παραδοσιακά λαμβάνει χώρα σε κάποιο σημείο, όπου παρόμοιες μηχανές είναι τοποθετημένες μαζί.
- Η εφαρμογή της φιλοσοφίας των οικογενειών ομοειδών τεμαχίων και η κατεργασία τους σε παρτίδες απαιτεί αναδιάταξη της γραμμής παραγωγής.
- Η Ανάλυση Ροής της Παραγωγής (Production Flow Analysis - PFA) ομαδοποιεί και κατατάσσει τα δεδομένα που σχετίζονται με την αλληλουχία των κατεργασιών και τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το τεμάχιο για να πραγματοποιηθούν οι επιμέρους φάσεις. Το κύριο πλεονέκτημα από την εφαρμογή της φιλοσοφίας GT είναι η καλύτερη οργάνωση, η αναγνώριση και η κατανόηση των τεμαχίων κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους.

# Μηχανική της Παραγωγής (Production Engineering)

Η Μηχανική της Παραγωγής φέρει την ευθύνη της ανάπτυξης ενός πλάνου υλοποίησης αγαθών και προσφοράς υπηρεσιών από την επιχείρηση.

Αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Σχεδιασμός Φάσεων Κατεργασίας
- Προγραμματισμός μηχανών παραγωγής
- Μηχανική Εργαλείων και Προσδέσεων τεμαχίων
- Πρότυπα Εργασίας και Παραγωγής
- Μηχανική Εργοστασίου
- Ανάλυση Κατασκευασιμότητας και Συναρμολόγησης
- Εκτίμηση Κόστους Παραγωγής

# Δημιουργία φασεολογίου με χρήση Η/Υ (1)

## (Computer Aided Process Planning – CAPP)

- ⦿ Το φασεολόγιο καθορίζει την αλληλουχία ενεργειών και την χρήση των μηχανών, που θα μετατρέψουν το αρχικό άμορφο υλικό σε ένα αποπερατωμένο τεμάχιο.
- ⦿ Η συνεπής δημιουργία φασεολογίου απαιτεί καλή γνώση και εμπειρία πάνω στις επιμέρους κατεργασίες.
- ⦿ Χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές αυτοματοποίησης για την βελτίωση της δημιουργίας φασεολογίου:
  - Μεταβλητό φασεολόγιο (variant process planning)
  - Παραγωγικό φασεολόγιο (generative process planning).

# Δημιουργία φασεολογίου με χρήση Η/Υ (2)

## (Computer Aided Process Planning – CAPP)

### Μεταβλητό Φασεολόγιο (Variant CAPP)

- ⦿ Κάνει χρήση μιας βιβλιοθήκης φασεολογίων που έχουν υλοποιηθεί στο χέρι και που έχουν τοποθετηθεί σε μία βάση δεδομένων για να ανασύρει υπάρχοντα φασεολόγια που ταιριάζουν/εφαρμόζονται στο τρέχον τεμάχιο υπό κατασκευή.
- ⦿ Το βασικό πλεονέκτημα από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι ελαττώνει τον χρόνο υλοποίησης φασεολογίου κατά 50%.

# Δημιουργία φασεολογίου με χρήση Η/Υ (3) (Computer Aided Process Planning – CAPP)

## Παραγωγικό Φασεολόγιο (Generative CAPP)

- ⊙ Η μέθοδος αυτή είναι πιο αυτοματοποιημένη, αλλά πιο δύσκολο να αναπτυχθεί.
- ⊙ Το σύστημα δημιουργεί φασεολόγια για νέα τεμάχια χωρίς να λαμβάνει δεδομένα από υπάρχοντα φασεολόγια και χωρίς να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση.
- ⊙ Κάνει χρήση μιας βάσης γνώσης, η οποία ενσωματώνει τη λογική σχεδιασμού της κατεργασίας που χρησιμοποιούν οι ειδικοί στα φασεολόγια.

# Δημιουργία φασεολογίου με χρήση Η/Υ (4) (Computer Aided Process Planning – CAPP)

## Πλεονεκτήματα Παραγωγικού Φασεολογίου

- ⦿ Τα φασεολόγια υλοποιούνται γρήγορα και με συνέπεια
- ⦿ Τα εντελώς νέα φασεολόγια δημιουργούνται όσο γρήγορα όσο και τα φασεολόγια που είναι παρόμοια με αυτά για τα ήδη υπάρχοντα τεμάχια.
- ⦿ Ακόμα και χωρίς εξειδικευμένους εργάτες, είναι δυνατή η εφαρμογή προτύπων όπως ISO ή QS 9000.

# Ορισμός της Ποιότητας στις Κατεργασίες

- Η **ΠΟΙΟΤΗΤΑ** ποσοτικά εκφράζεται ως το ποσοστό των «καλών» ή των εμπορεύσιμων τεμαχίων στη συνολική παραγωγή.
- Ποιότητα Αποστολής (Captured Quality): είναι ο αριθμός των ελαττωματικών προϊόντων που ανακαλύπτονται **πριν** την αποστολή στον πελάτη.
- Ποιότητα Εγγύησης (Warranty Quality): Αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ελαττωματικών προϊόντων, που ανακαλύπτονται **αφού** τα προϊόντα έχουν αποσταλεί στον πελάτη.
- Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (TOTAL QUALITY) αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος της ποιότητας προς το ποσοστό των πωλήσεων.
- Ένας χρήσιμος πρακτικός κανόνας είναι ότι το κόστος της κακής ποιότητας ως ποσοστό των πωλήσεων είναι συνήθως 3 φορές το κόστος της Ποιότητας Αποστολής συν το κόστος της Ποιότητας Εγγύησης.

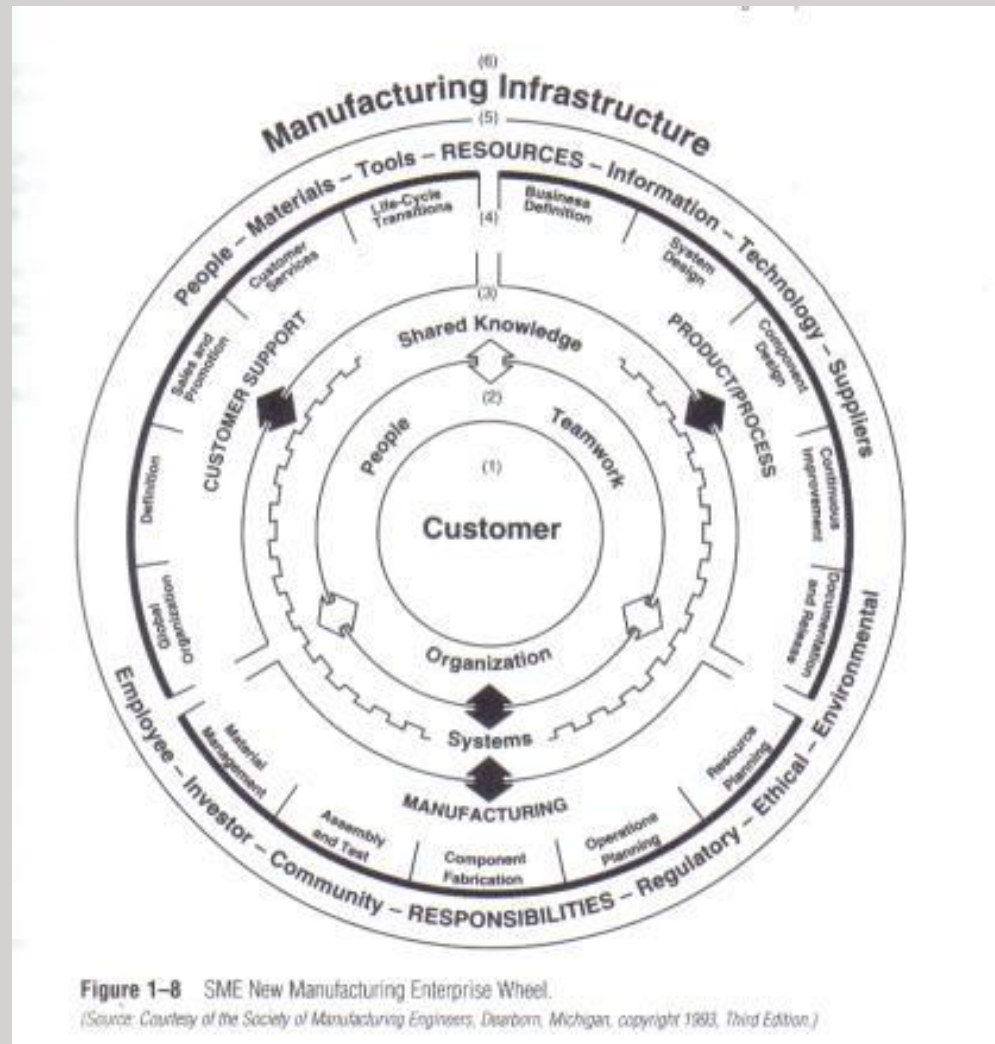


# Ορισμός του CIM (1)

Ολοκληρωμένη μελέτη κατασκευής με χρήση Η/Υ (Computer Integrated Manufacturing – CIM):

Είναι η συνολική θεώρηση μια επιχείρησης που πραγματοποιεί κατεργασίες, μέσω χρήσης ολοκληρωμένων συστημάτων, συστηματικών χρονοδιαγραμμάτων και νέων φιλοσοφιών διαχείρισης, που βελτιώνουν την αποδοτικότητα της οργάνωσης και των ανθρώπινων πόρων.

# Ορισμός του CIM (2)



# Έννοιες του CIM (1)

- ◉ Επιμέρους Κατεργασίες (Process Segments)
- ◉ Σχεδιασμός Προϊόντος (Product Design)
- ◉ Προγραμματισμός και Έλεγχος Παραγωγής (Manufacturing Planning and Control)
- ◉ Παραγωγή (Production)

## Το CIM **δεν** είναι μόνο:

- ◉ Αυτοματοποιημένο λογισμικό και hardware
- ◉ Συστήματα κατεργασιών
- ◉ Στρατηγικές Κατεργασίας

# Έννοιες του CIM (2)

## Μια επιχείρηση που λειτουργεί βάσει CIM:

- Χρησιμοποιεί την ικανοποίηση του πελάτη ως βάση αποφάσεων
- Εφαρμόζει τις Αρχές της Συνολικής Ποιότητας (TQ)
- Εκτιμά τις ιδέες όλων των εργαζομένων
- Επιδιώκει τη συνεχή βελτίωση

## Επιπλέον, για την επιτυχή εφαρμογή του CIM:

- Όλα τα τμήματα της επιχείρησης έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα.
- Χρησιμοποιείται λογισμικό και hardware αυτοματοποίησης, ώστε να ολοκληρώνονται οι λειτουργίες αποδοτικά και τα δεδομένα που σχετίζονται με τα προϊόντα να δημιουργούνται μόνο μια φορά και να χρησιμοποιούνται πολλές.

# Διαδικασία CIM (1)

## ΒΗΜΑ 1. Αποτίμηση της επιχείρησης σε τρεις τομείς :

1. Τεχνολογία
2. Ανθρώπινο δυναμικό
3. Συστήματα

Σε καθέναν από τους παραπάνω τομείς, αναγνωρίζονται, καταμετρούνται και καταγράφονται οι δυνατότητες και οι αδυναμίες. Η διαδικασία αποτίμησης αποτελεί μια εσωτερική μελέτη σε σκοπό την εκπαίδευση και τη γνώση των ικανοτήτων της επιχείρησης.

# Διαδικασία CIM (2)

## ΒΗΜΑ 2. Απλοποίηση – ελαχιστοποίηση άχρηστων ενεργειών

- Η απλοποίηση είναι μια διαδικασία η οποία απομακρύνει άχρηστες ενέργειες ή δραστηριότητες, ώστε να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και η αποδοτικότητα του τμήματος ή της επιχείρησης.

# Διαδικασία CIM (3)

## ΒΗΜΑ 3. Εφαρμογή δεικτών απόδοσης

- ✓ Υπάρχουν δύο σχετικές απαιτήσεις:
  - ✓ **Μέτρηση** της επιτυχημένης εφαρμογής του CIM σε τακτά χρονικά διαστήματα
  - ✓ **Καταγραφή** αλλαγών των κομβικών σημείων στην παραγωγή και των παραμέτρων της επιχείρησης.
  
- ✓ Η επιχείρηση πρέπει να παρακολουθεί το επίπεδο απόδοσης. Αυτό μπορεί να μετρηθεί μέσω των εξής βασικών παραμέτρων:
  1. Κύκλος ζωής προϊόντος (Product cycle time)
  2. Διαχείριση Αποθέματος ανά προϊόν (Inventory turns by product)
  3. Χρόνοι σεταρίσματος της παραγωγής (Production setup times)
  4. Αποδοτικότητα κατεργασιών (Manufacturing efficiency)
  5. Ποιότητα και ανακατεργασία (Quality and rework)
  6. Παραγωγικότητα εργαζομένων (Employee output or productivity)
  7. Εισηγήσεις των εργαζομένων για συνεχή βελτίωση (Employee continuous-improvement suggestions)

# Διαδικασία CIM (4)

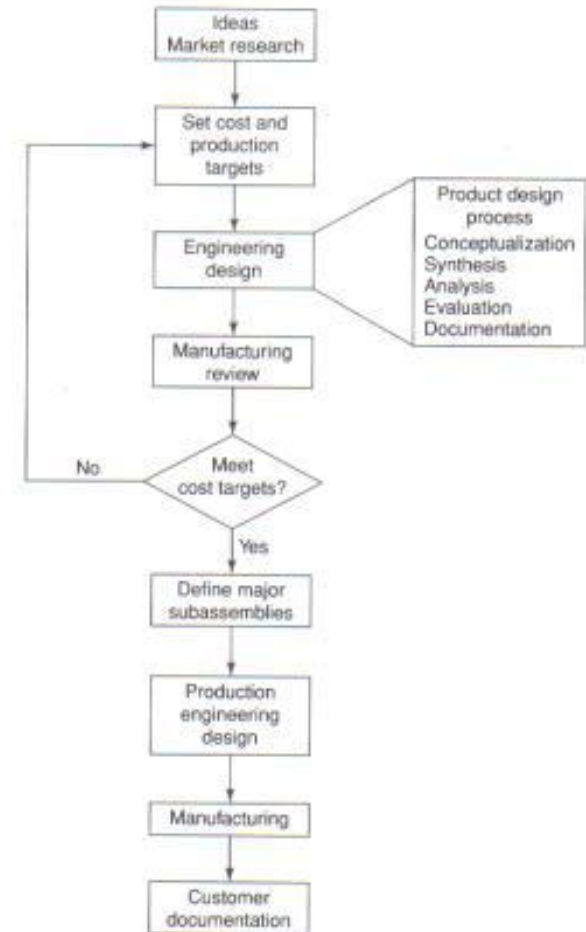
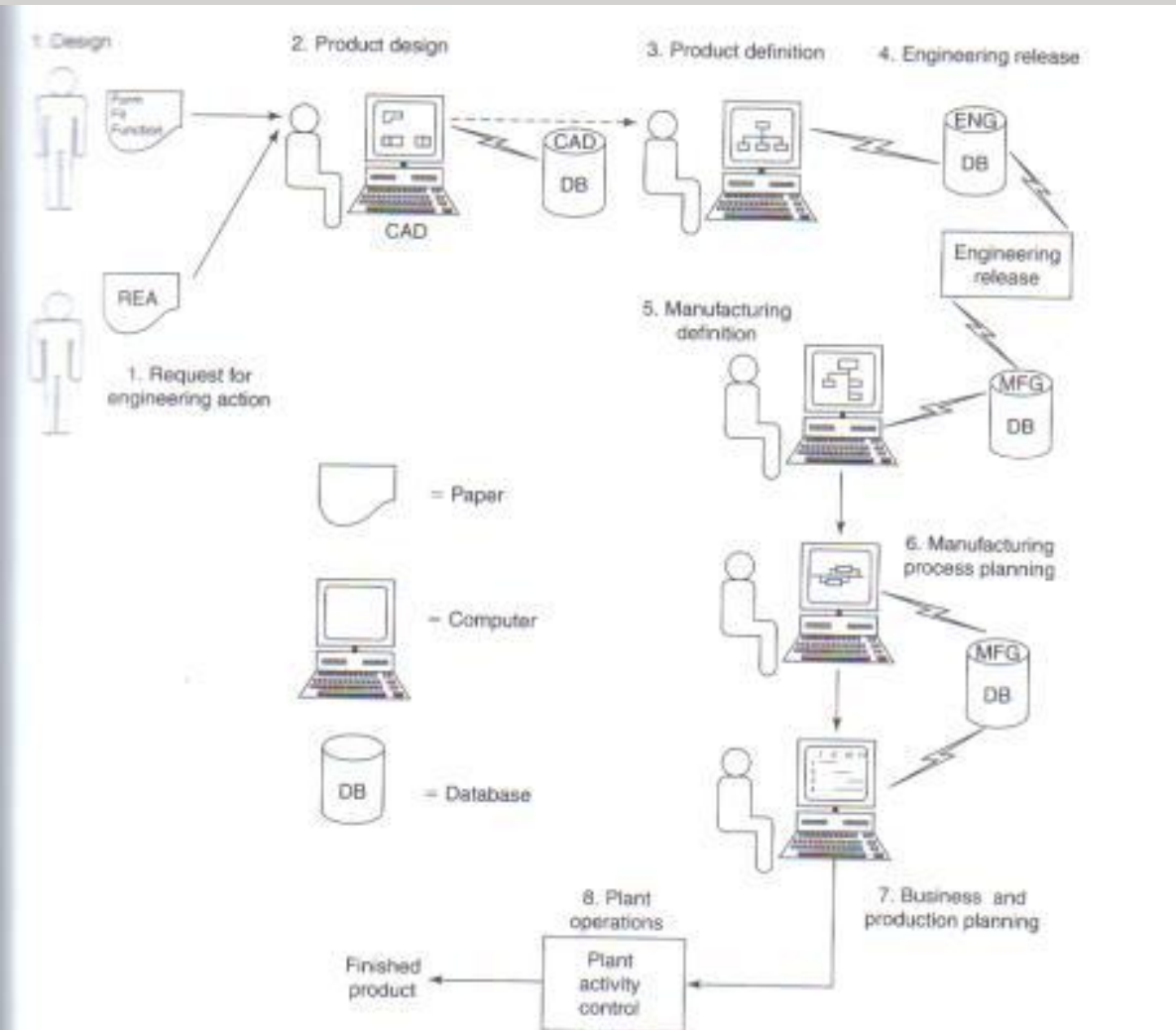
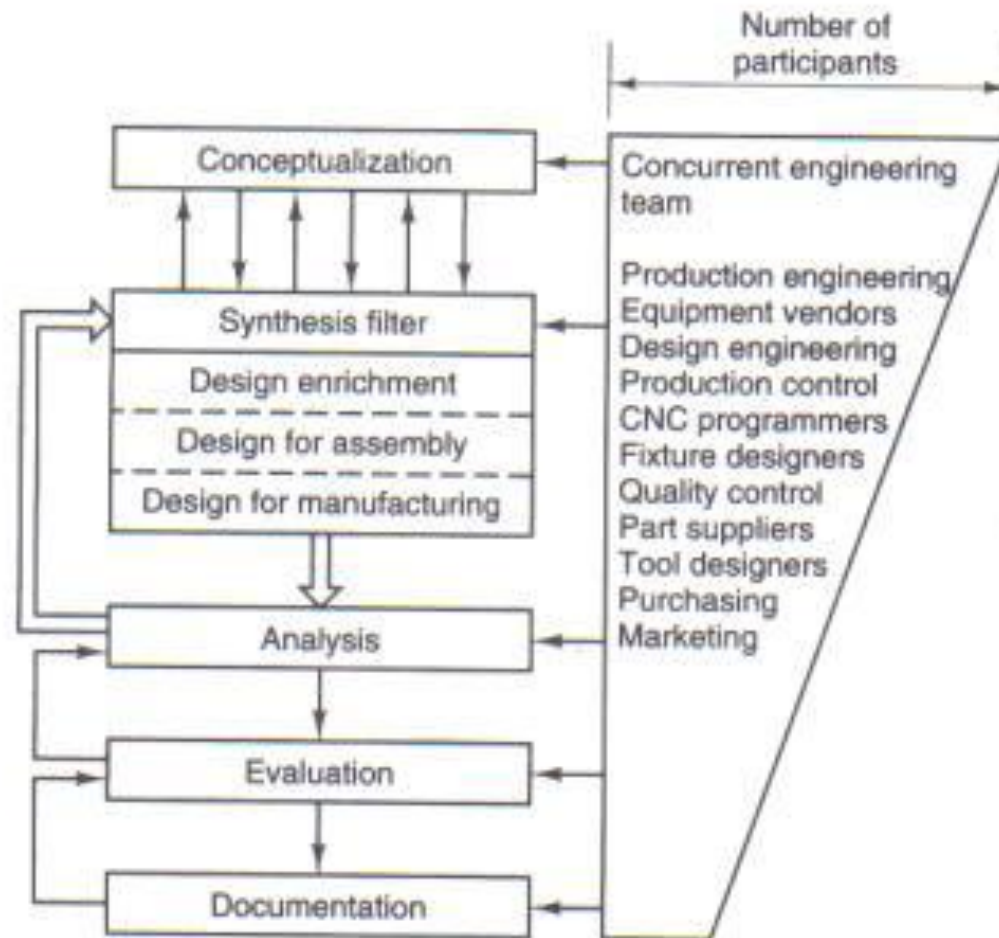


Figure 2-13 Possible Production Sequence—Weak Integration.



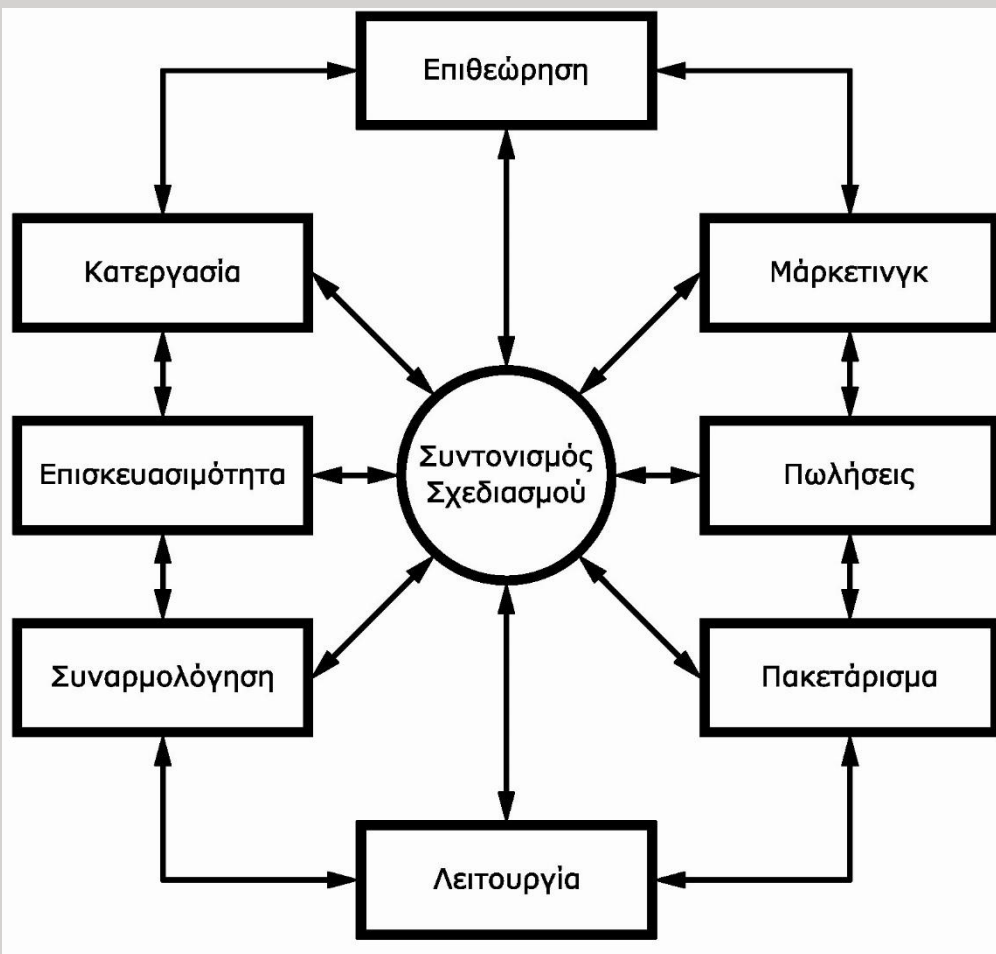
# Διαδικασία CIM (5)

Figure 3-14 New Model for Product Design.



# Συντρέχουσα Μηχανολογία (1)

## (Concurrent Engineering)



### Συντρέχουσα Μηχανολογία:

Είναι μια συστηματική προσέγγιση για τον **ολοκληρωμένο σχεδιασμό** προϊόντων και των συσχετιζόμενων διαδικασιών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι κατεργασίες και η υποστήριξη προϊόντος.

# Συντρέχουσα Μηχανολογία (2)

## (Concurrent Engineering)

- ⦿ Περιλαμβάνει τη μορφοποίηση ομάδων που συνεργάζονται μεταξύ τους.
- ⦿ Επιτρέπει σε μηχανικούς και διευθυντές διαφορετικών υποβάθρων να δουλεύουν μαζί και ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και του σχεδιασμού ενός προϊόντος.
- ⦿ Αποσκοπεί στο να λαμβάνονται υπόψη, ήδη από τη φάση σχεδιασμού του προϊόντος, όλα τα στοιχεία που αφορούν τον κύκλο ζωής του, όπως η ποιότητα, το κόστος, η παραγωγικότητα, η ταχύτητα ανάπτυξης και η ικανοποίηση των προδιαγραφών του πελάτη (αξιοπιστία και λειτουργικότητα).

# Συντρέχουσα Μηχανολογία (3)

## (Concurrent Engineering)

- Κατά τη συγκεκριμένη φιλοσοφία πραγματοποιούνται τα εξής:
  1. Προσεκτική ανάλυση και κατανόηση των διαδικασιών κατασκευής και συναρμολόγησης. Αυτό επιτρέπει τους σχεδιαστές να προβλέψουν την επίδοση του προϊόντος και να επιλέξουν στρατηγική παραγωγής μεταξύ των εναλλακτικών.
  2. Στρατηγικός σχεδιασμός προϊόντος που σχετίζεται με την υλοποίηση και την πώληση του προϊόντος, υπό τις προδιαγραφές που σχετίζονται με την εμπορική τιμή, το χρόνο παραμονής στο ράφι και την χρηστικότητα του.
  3. Εκλογικευμένο σύστημα κατεργασίας, το οποίο μορφοποιείται κατά το σχεδιασμό του προϊόντος.
  4. Οικονομική ανάλυση των εναλλακτικών σχεδίων και μεθόδων παραγωγής, ώστε να επιτρέπονται λογικές επιλογές μεταξύ των εναλλακτικών.
  5. Το σύστημα παραγωγής πρέπει να χαρακτηρίζεται από ευρωστία (robustness). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να παρουσιάζει αντίσταση σε απρόβλεπτο «θόρυβο» ή σε σφάλματα παραγωγής και λειτουργίας.

# Συντρέχουσα Μηχανολογία (4)

## (Concurrent Engineering)

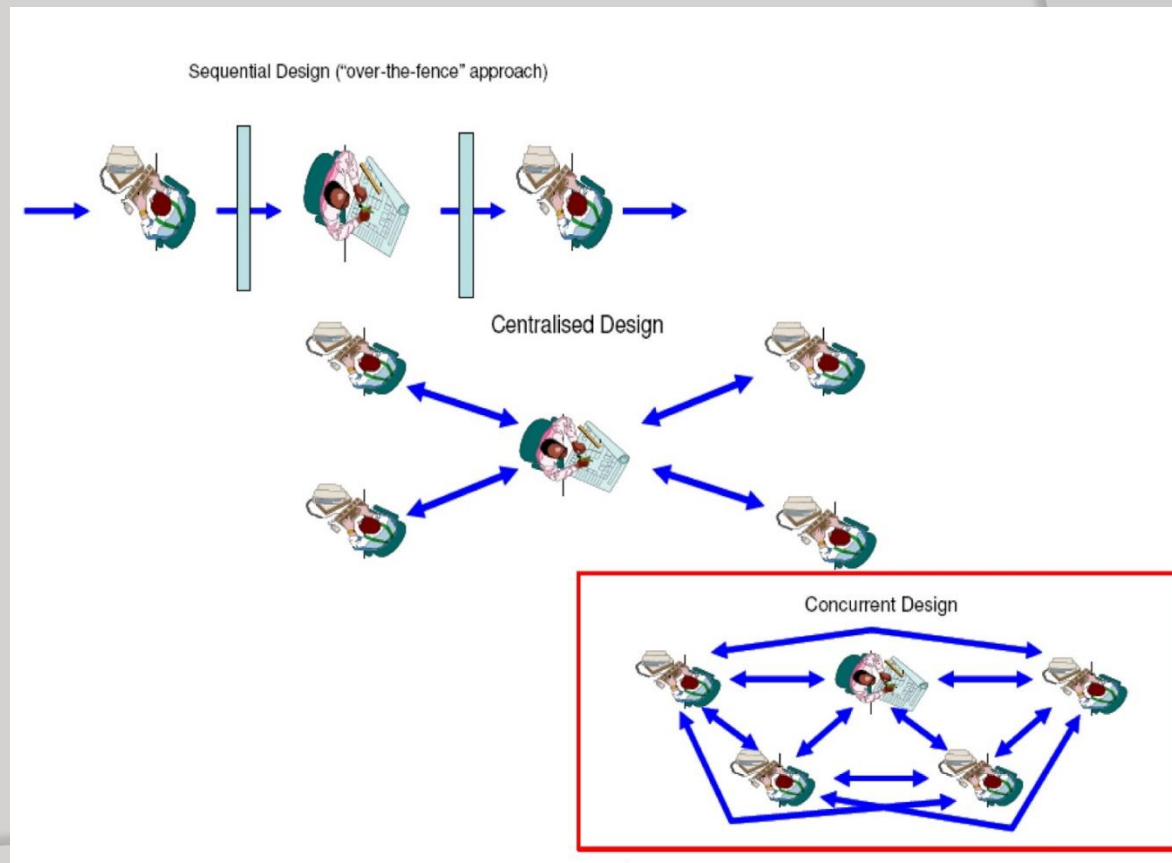
### ◎ Πρακτικοί στόχοι:

1. Αποφυγή τμημάτων του προϊόντος που έχουν άσκοπα μεγάλο κόστος παραγωγής.
  - Π.χ. Επιφάνειες με μεγαλύτερη ομαλότητα απ' ό,τι απαιτείται, υψηλές μεταβολές στις διαστάσεις λεπτότοιχων τεμαχίων χύτευσης, υπερβολικά μικρά ράδια σφυρηλατών τεμαχίων κ.ά.
2. Κόστος βέλτιστης επιλογής υλικών και κατεργασιών.
  - Π.χ. Είναι δυνατόν να κατασκευαστεί το προϊόν μέσω αρχικής χύτευσης και μετά φινίρισμα σε εργαλειομηχανή CNC ή θα πρέπει να υποστεί κατεργασία από μια αρχική μπάρα υλικού;

# Συντρέχουσα Μηχανολογία (5)

## (Concurrent Engineering)

- ◉ Διαφοροποίηση σε σχέση με τις άλλες φιλοσοφίες ανάπτυξης προϊόντων.



# Γενικός Ορισμός της Τεχνητής Νοημοσύνης

## *Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ...*

«... η χρήση προγραμμάτων μέσω των οποίων οι μηχανές (υπολογιστές) μπορούν να φέρουν εις πέρας εργασίες, τις οποίες οι άνθρωποι πραγματοποιούν χρησιμοποιώντας την ευφυΐα τους.»

«... ένα διεπιστημονικό πεδίο, το οποίο περιλαμβάνει την Επιστήμη Υπολογιστών, τη Φιλοσοφία, την Ψυχολογία, τη Ρομποτική και τη Γλωσσολογία. και ασχολείται με το να αναπαράγει (σε υπολογιστές) τις μεθόδους που χρησιμοποιεί η ανθρώπινη λογική.»

«... η μελέτη ιδεών που αφορούν την υλοποίηση μηχανών, οι οποίες αντιδρούν σε ερεθίσματα με παρόμοιο τρόπο με τον άνθρωπο, δεδομένου ότι αυτός έχει την ικανότητα της σκέψης, της κρίσης και της αντίστοιχης ενέργειας. Μία τέτοια μηχανή πρέπει να μπορεί να αποτιμά και να επιλέγει μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών από μόνη της.»

# Μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης (1)

## Μέθοδοι/Αλγόριθμοι της Τεχνητής Νοημοσύνης

1. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks)
2. Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (Genetic and Evolutionary Algorithms)
3. Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic)
4. Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems)
5. Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)
6. Ευρετικές Μέθοδοι (Heuristics)
7. Υβριδικές Μέθοδοι (Hybrids)
  - I. Παραλλαγές Εξελικτικών Αλγορίθμων, π.χ. Σμήνος Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization), Αποικία Μυρμηγκιών (Ant Colony), Φυλές (Tribes) κτλ.
  - II. Ευρετικές μέθοδοι
  - III. Θεωρία Παιγνίων, π.χ. Γενετικό Παίγνιο Nash
  - IV. Ενσωμάτωση δύο ή περισσότερων, π.χ. ΓΑ και ΤΝΔ κ.ά.



# Μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης (2)

- ⦿ Δεν είναι όλες οι μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης κατάλληλες για βελτιστοποίηση.
- ⦿ Π.χ. τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα συνηθέστερα χρησιμοποιούνται για προβλήματα κατάταξης (classification) ή για προσεγγίσεις συναρτήσεων μετά από κατάλληλη εκπαίδευσή τους, ενώ τα Έμπειρα Συστήματα χρησιμοποιούν ένα σύστημα κανόνων, που οδηγεί στην εξαγωγή λύσεων για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα.
- ⦿ Οι Γενετικοί και οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι έχουν τη δυνατότητα εύρεσης βελτίστων για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα

# Αντικειμενική Συνάρτηση (1)

- Σε προβλήματα βελτιστοποίησης είναι απαραίτητη η θέση στόχων.
- Οι στόχοι ποσοτικά εκφράζονται με τιμές συναρτήσεων.
- Οι συναρτήσεις αυτές ονομάζονται Αντικειμενικές Συναρτήσεις (ΑΣ, Objective Function) και μπορούν να είναι είτε διανυσματικές είτε μονοδιάστατες.

$$\mathbf{F}(x_1, x_2, \dots, x_n) = (OF_1, OF_2, \dots, OF_m)$$

- Όρισμα των ΑΣ είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές – παράμετροι του εξεταζόμενου προβλήματος  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (π.χ. οι παράμετροι κατεργασίας, όπως F, S, T κ.ά.).

# Αντικειμενική Συνάρτηση (2)

- Μια μέθοδος βελτιστοποίησης καλείται να ελαχιστοποιήσει (πρόβλημα ελαχιστοποίησης) ή να μεγιστοποιήσει (πρόβλημα μεγιστοποίησης) την τιμή της ΑΣ.
- Αν η ΑΣ είναι μονοδιάστατη συνάρτηση, τότε το πρόβλημα καλείται «Μονοκριτηριακή Βελτιστοποίηση», ενώ αν είναι διανυσματική «Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση».
- Σε περιπτώσεις προβλημάτων βελτιστοποίησης πολλών στόχων, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί Μονοκριτηριακή Βελτιστοποίηση χρησιμοποιώντας μαθηματική σχέση που συνδέει τις τιμές των στόχων.

$$\text{Π.χ. } F(x_1, x_2, \dots, x_n) = w_1 OF_1 + w_2 OF_2 + \dots + w_m OF_m$$

# Περιορισμοί (1)

- ⦿ Για να συγκλίνει μια μέθοδος ευκολότερα και να μειώνεται ο χρόνος –άρα και το κόστος– που απαιτείται για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται *Περιορισμοί*.
- ⦿ Οι **Περιορισμοί** χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:
  - A. Τεχνολογικοί Περιορισμοί (Technological Constraints – TC)
  - B. Ποιοτικοί Περιορισμοί (Quality Constraints – QC)

# Περιορισμοί (2)

## Τεχνολογικοί Περιορισμοί

- Προκύπτουν επειδή οι κατεργασίες πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένες μηχανές με συγκεκριμένες μεθόδους παραγωγής.
- Εξαρτώνται από τα διαθέσιμα εργαλεία, μηχανές, γραμμή παραγωγής, διατιθέμενο προσωπικό, παραγωγικότητα και γενικά από ό,τι διαθέτει μια παραγωγική μονάδα.
- Παραδείγματα: όρια των τιμών των παραμέτρων κατεργασίας, π.χ. μέγιστη πρόωση κοπής, μέγιστες στροφές EM CNC και εργαλείων, ισχύς ηλεκτροκινητήρα κυρίας ατράκτου, μέγιστη παραγωγικότητα, μέγιστος αριθμός χειριστών κτλ.

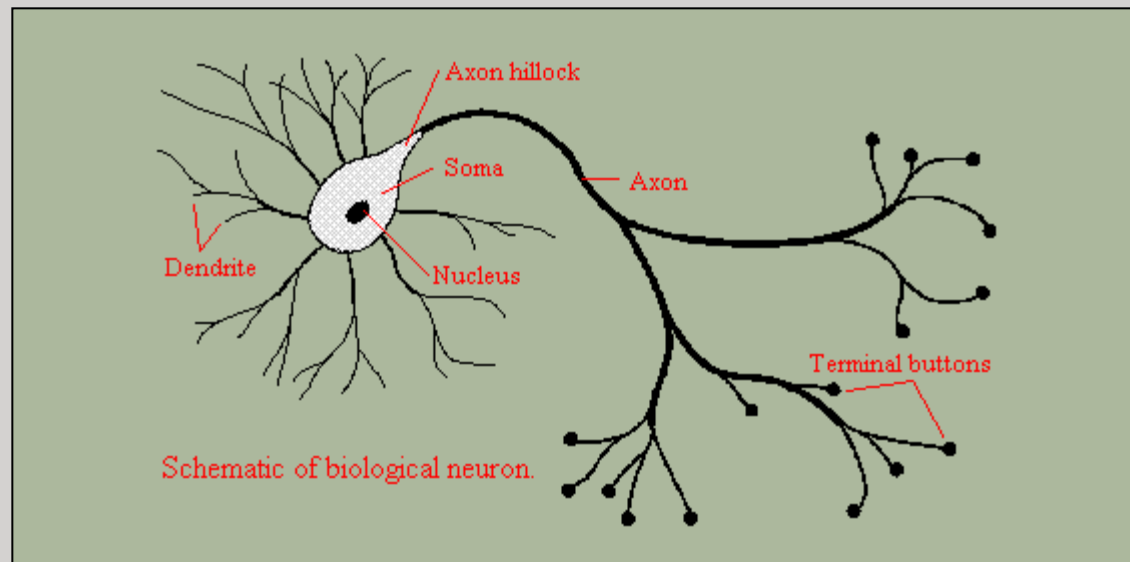
# Περιορισμοί (3)

## Ποιοτικοί Περιορισμοί

- Προκύπτουν από αποφάσεις που λαμβάνονται σε επίπεδα διοίκησης ή διεύθυνσης και τίθενται, ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι, που δεν έχουν άμεσα να κάνουν με καθαυτή την παραγωγική διαδικασία.
- Παραδείγματα: μέγιστη και ελάχιστη τραχύτητα τελικής επιφάνειας τεμαχίου, μέγιστη πρόωση, ώστε να αποφεύγεται η πρόωρη φθορά των εργαλείων, όρια τιμών των στόχων, ώστε τα παραγόμενα τεμάχια να μην είναι εκτός των προδιαγραφών προς τα πάνω και επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος η παραγωγή κ.ά.

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (1)

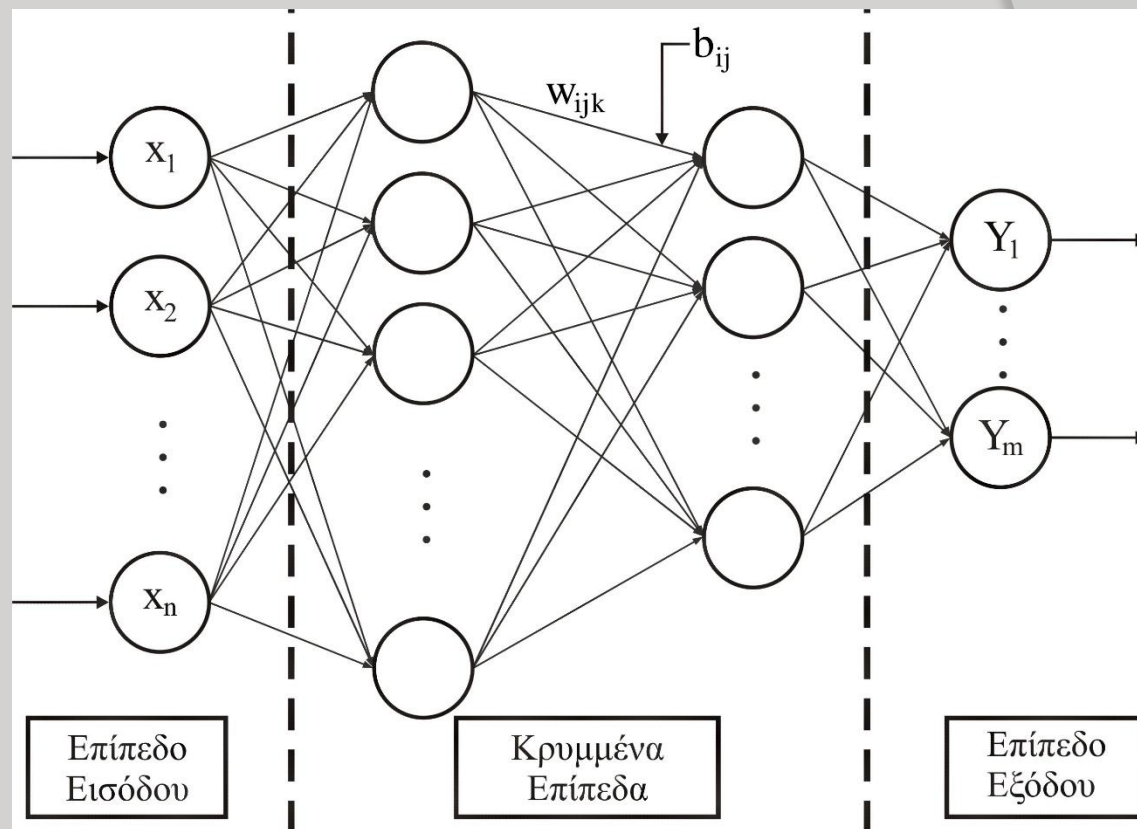
- Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ, Artificial Neural Networks – ANN) είναι αλγόριθμοι που προσομοιώνουν τη λειτουργία του ανθρώπινου νευρικού συστήματος.
- Ένας νευρώνας του νευρικού συστήματος μοιάζει με το παρακάτω σχήμα.



# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (2)

## Αρχιτεκτονική ΤΝΔ.

- Τα ΤΝΔ αποτελούνται από έναν αριθμό «Νευρώνων» (κόμβων) διατεταγμένων σε επίπεδα.
- Στο σχήμα εμφανίζεται ένα τυπικό ΤΝΔ πρόσθιας τροφοδότησης.





# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (3)

## Αρχιτεκτονική ΤΝΔ.

- Ένα ΤΝΔ υποχρεωτικά έχει ένα επίπεδο εισόδου (Input layer) με τουλάχιστον έναν νευρώνα και ένα επίπεδο εξόδου (Output layer) με τουλάχιστον έναν νευρώνα.
- Τα ενδιάμεσα επίπεδα ονομάζονται «κρυμμένα» (hidden layers) και ο αριθμός τους καθορίζει την πολυπλοκότητα του ΤΝΔ.

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (4)

## *Εκπαίδευση ΤΝΔ.*

- ⊙ Ο στόχος της χρήσης των ΤΝΔ είναι συνήθως η εκτίμηση άγνωστων συναρτήσεων ή η κατηγοριοποίηση δεδομένων.
- ⊙ Για να «εκπαιδευτεί» ένα ΤΝΔ πρέπει να τροφοδοτηθεί με ένα πλήθος δεδομένων, βάσει των οποίων «μαθαίνει» να γενικεύει.
- ⊙ Τα δεδομένα εκπαίδευσης συγκεντρώνονται από πειράματα και χωρίζονται σε τρία υποσύνολα:
  - Α. Εκπαίδευσης (Training subset)
  - Β. Ελέγχου (Validation)
  - Γ. Επαλήθευσης (Verification)

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (5)

## *Εκπαίδευση ΤΝΔ.*

- ⦿ Τα δεδομένα εκπαίδευσης περιλαμβάνουν τιμές των κόμβων-νευρώνων εισόδου, καθώς και των κόμβων εξόδου.
- ⦿ Στην περίπτωση των κατεργασιών κοπής ένα σύνολο εκπαίδευσης ΤΝΔ περιλαμβάνει παραμέτρους κατεργασίας ως εισόδους, όπως π.χ. προώσεις, στροφές, βάθη κοπής κτλ, αλλά και τα αποτελέσματα της κατεργασίας ως εξόδους, όπως Χρόνος Κατεργασίας, Μέση Τραχύτητα κτλ.
- ⦿ Εκπαίδευση ΤΝΔ στην πράξη σημαίνει υπολογισμός του μητρώου των συντελεστών βαρύτητας  $w$ .

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (6)

## *Εκπαίδευση ΤΝΔ.*

- ⊙ Η **είσοδος** κάθε κόμβου-νευρώνα ενός ΤΝΔ είναι το άθροισμα όλων των γινομένων των συντελεστών βαρύτητας  $w$  με την τιμή εξόδου του κόμβου του προηγούμενου επιπέδου, που συντρέχουν στον δεδομένο κόμβο.
- ⊙ Η **έξοδος** ενός κόμβου είναι η τιμή που λαμβάνει η συνάρτηση ενεργοποίησής του (συνήθως υπερβολική εφαπτομένη) όταν έχει ως όρισμα την είσοδό του κόμβου.

# Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα - ΤΝΔ (7)

## *Χρήση ΤΝΔ.*

- ⊙ Ένα (σωστά) εκπαιδευμένο ΤΝΔ είναι δυνατόν να υπολογίζει (προσεγγίζει) τιμές εξόδου, όταν του δίνονται άγνωστα δεδομένα εισόδου εντός του πεδίου των δεδομένων εκπαίδευσης.
- ⊙ Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιείται ως τρόπος υπολογισμού αγνώστων συναρτήσεων ή συναρτήσεων που δεν έχουν γνωστή αναλυτική έκφραση (λόγω πολυπλοκότητας, ασυνεχειών κτλ.)

# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (1)

- ⊙ Οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ)** και οι **Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (ΕΑ)** είναι στοχαστικοί αλγόριθμοι που μιμούνται τη Θεωρία της Εξέλιξης, όπως αναπτύχθηκε από τον Δαρβίνο, στον υπολογιστή.
- ⊙ Καλούνται στοχαστικοί – σε αντιδιαστολή με τους ντετερμινιστικούς και τους χαοτικούς αλγορίθμους – γιατί χρησιμοποιούν πιθανοτικούς κανόνες για την εφαρμογή των γενετικών τελεστών.
- ⊙ **Εξελικτικοί** καλούνται όταν εκτός της μαθηματικής διατύπωσης της Εξελικτικής Θεωρίας, ενσωματώνουν κι άλλους τελεστές/μεθόδους/ αλγορίθμους.

# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (2)

## Περιγραφή ΓΑ

- ⊙ Ένα σύνολο ατόμων, που μαζί καλούνται «πληθυσμός», που αντιπροσωπεύει πιθανές λύσεις ενός προβλήματος βελτιστοποίησης, εξελίσσεται μέσω διαδοχικών επαναλήψεων, που καλούνται «γενεές».
- ⊙ Κάθε άτομο αποτελείται από μεταβλητές, τις μεταβλητές του προβλήματος, που είναι κωδικοποιημένες είτε με πραγματικούς είτε με δυαδικούς αριθμούς. Ο κωδικοποιημένος πληθυσμός καλείται «Χρωμόσωμα».
- ⊙ Η επίδοση ενός ατόμου μετριέται από μία Αντικειμενική Συνάρτηση ή μια Συνάρτηση Καταλληλότητας και τα άτομα του πληθυσμού κατατάσσονται ανάλογά με την τιμή της παραπάνω συνάρτησης.

# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (3)

## Περιγραφή ΓΑ

- ⦿ Στα καλύτερα άτομα σε κάθε γενεά επιτρέπεται να «αναπαραχθούν» και να δημιουργήσουν «απογόνους», οι οποίοι πιθανώς είναι πιο «κατάλληλοι» από τους «γονείς»
- ⦿ Για λόγους ποικιλίας στον πληθυσμό, και άρα και καλύτερη εξερεύνηση του χώρου λύσεων, χρησιμοποιούνται οι Γενετικοί Τελεστές:

- **«Διασταύρωση»** (Crossover) που καθορίζει την ανταλλαγή γενετικού υλικού μεταξύ γονέων
- **«Μετάλλαξη»** (Mutation), η οποία αλλάζει την τιμή μιας ή περισσότερων μεταβλητών στο χρωμόσωμα ενός ατόμου με κάποια πιθανότητα
- **«Αντιστροφή»** (Inversion), που αλλάζει τη σειρά των μεταβλητών μεταξύ δύο σημείων στο χρωμόσωμα.



# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (4)

## Περιγραφή ΓΑ

- ⊙ Μετά την εφαρμογή των Γενετικών Τελεστών, ένας νέος πληθυσμός δημιουργείται και αποτελεί τον πληθυσμό της επόμενης γενεάς. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου επιτευχθεί κάποιο από τα κριτήρια σύγκλισης.
- ⊙ Κριτήρια σύγκλισης: μέγιστος αριθμός γενεών, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του καλύτερου ατόμου μικρότερη από μια προκαθορισμένη τιμή, η διαφορά της τιμής μεταξύ του καλύτερου και του χειρότερου ατόμου μικρότερη από μια προκαθορισμένη τιμή κτλ.

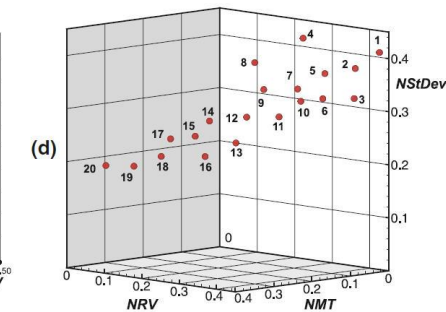
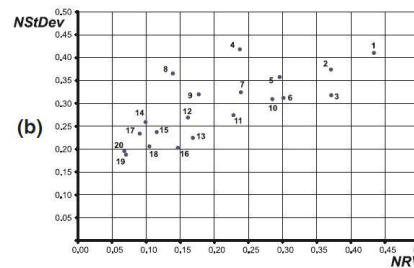
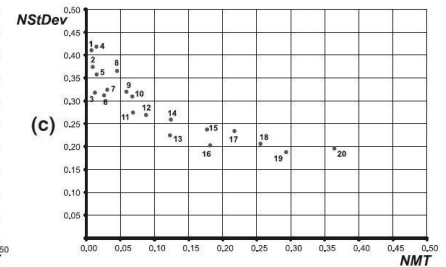
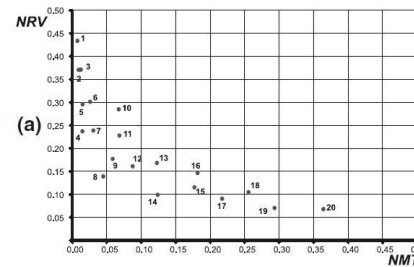
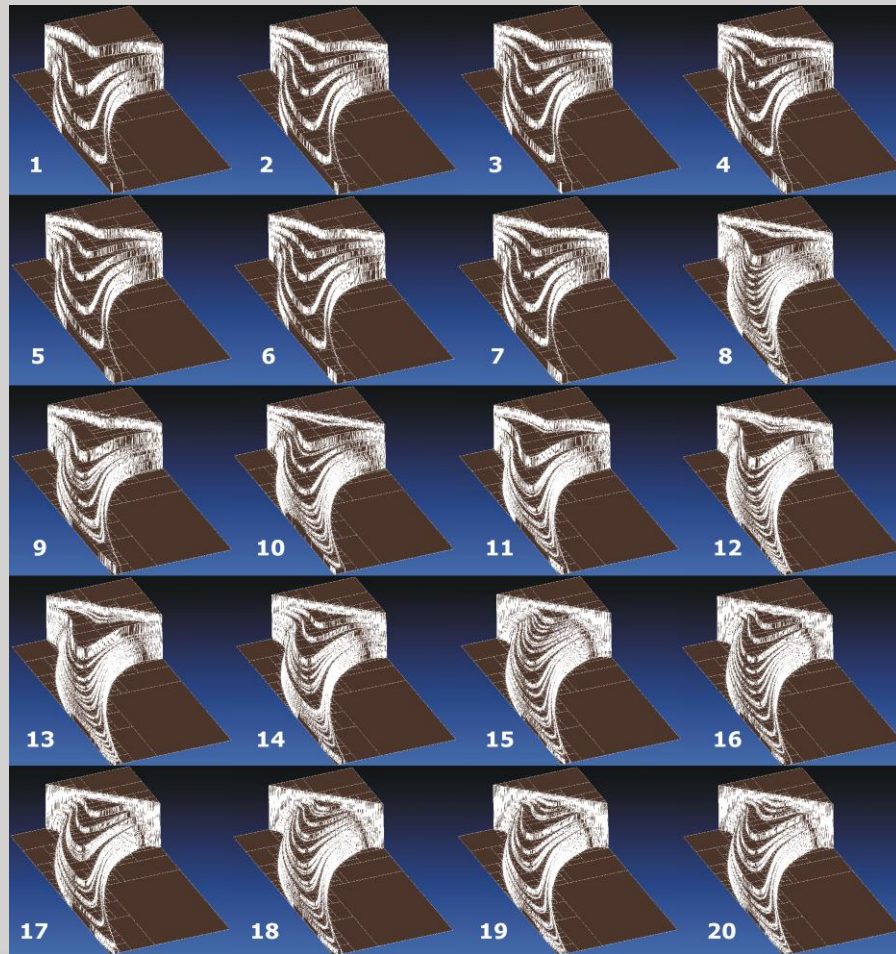
# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (5)

## Παράδειγμα εφαρμογής ΓΑ

- Βελτιστοποίηση Εκχόνδρισης Τεμαχίων γλυπτών επιφανειών με χρήση ΕΑ.
- Αντικειμενική Συνάρτηση: Διανυσματική, με συνιστώσες Χρόνος Κατεργασίας, Συνολικός Εναπομένων Όγκος και Τυπική Απόκλιση της διαφοράς μεταξύ Εκχονδρισμένου και Ιδεατού τεμαχίου (κατάταξη λύσεων με μέτωπο Pareto 3 διαστάσεων).

# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (6)

## Παράδειγμα εφαρμογής ΓΑ



# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (7)

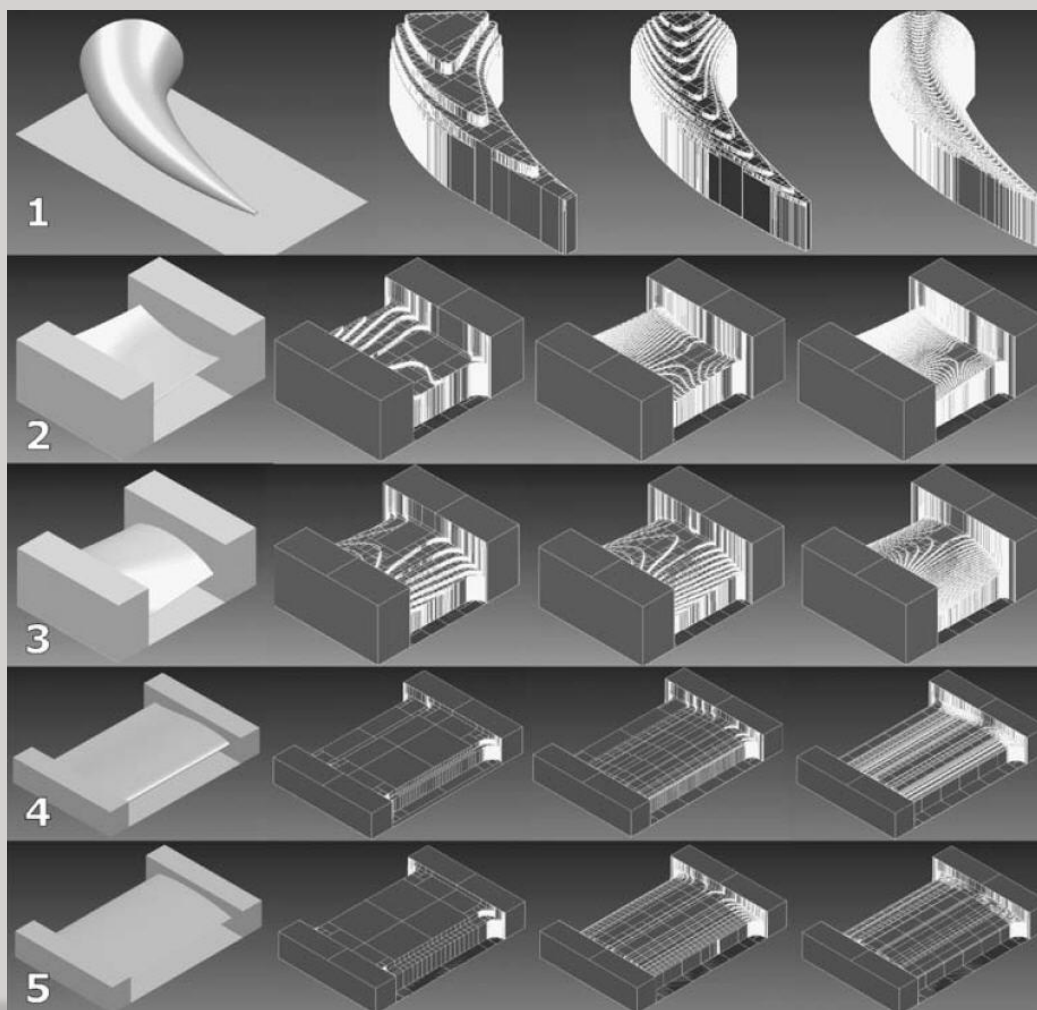
## Παράδειγμα εφαρμογής ΓΑ

	ToolID	Stepover	Thickness	No_Stepdowns	Profiling	R_angle	Allowance	Inf_range	Feedrate	Rpm
1	7	33.562	2.504	6	1	66.9	0.685	1	0.985	5238.8
2	7	39.805	2.169	7	2	11.9	0.214	1	0.986	5174.4
3	7	33.269	2.169	7	1	65.4	1.383	1	0.478	5238.8
4	7	16.489	0.840	7	1	2.2	0.214	1	0.986	4635.7
5	7	16.489	1.409	7	2	11.8	0.214	0	0.985	5666.2
6	7	16.489	1.409	7	1	48.5	0.408	0	0.484	5268.1
7	7	16.489	0.840	7	1	10.8	0.184	0	0.515	5074.9
8	7	33.562	0.627	28	2	11.8	0.214	1	0.986	4653.3
9	7	36.781	0.564	32	2	30.5	0.207	1	0.540	5291.5
10	7	39.805	2.113	26	4	65.6	1.335	1	0.251	5268.1
11	7	35.220	1.306	23	2	33.7	0.591	0	0.516	3751.6
12	5	36.781	1.033	32	2	11.8	0.214	0	0.953	5291.5
13	5	36.781	1.033	32	2	16.4	0.214	0	0.452	5238.8
14	4	36.781	0.590	32	2	61.7	0.217	1	0.986	4653.3
15	2	32.879	0.605	28	2	78.2	0.214	1	0.986	4653.3
16	1	36.781	1.023	17	2	11.8	0.214	0	0.953	5215.4
17	1	40.000	0.590	23	2	11.8	0.148	0	0.985	5666.2
18	1	40.488	0.627	29	2	11.5	0.214	1	0.986	4653.3
19	1	36.781	0.590	32	2	11.8	0.214	1	0.985	4729.4
20	1	36.781	0.564	32	2	28.5	0.217	1	0.540	5215.4

	1st Objective		2nd Objective		3rd Objective	
	NMT	MT (sec)	NRV	RV (mm <sup>3</sup> )	NSD	SD (mm)
1	0.007500	81	0.433735	34809.6	0.410560	3.123
2	0.009259	100	0.370797	29758.5	0.374237	2.847
3	0.012500	135	0.371235	29793.6	0.317924	2.418
4	0.014630	158	0.237277	19042.8	0.418404	3.182
5	0.015000	162	0.295663	23728.6	0.357658	2.720
6	0.025926	280	0.301226	24175.0	0.311993	2.373
7	0.030556	330	0.238882	19171.6	0.324368	2.467
8	0.045000	486	0.139179	11169.9	0.365503	2.780
9	0.058611	633	0.177155	14217.6	0.319894	2.433
10	0.067407	728	0.285003	22873.1	0.309534	2.354
11	0.068426	739	0.228038	18301.3	0.274396	2.087
12	0.087593	946	0.161216	12938.5	0.269094	2.047
13	0.122685	1325	0.168435	13517.8	0.224668	1.709
14	0.123889	1338	0.099109	7954.1	0.259158	1.971
15	0.177130	1913	0.115432	9264.0	0.237365	1.805
16	0.181667	1962	0.146480	11755.8	0.202796	1.542
17	0.217315	2347	0.090663	7276.2	0.233952	1.779
18	0.255556	2760	0.104803	8411.0	0.206072	1.567
19	0.293333	3168	0.070518	5659.5	0.187925	1.429
20	0.364167	3933	0.068022	5459.1	0.195951	1.490

# Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι (7)

## Παράδειγμα εφαρμογής ΓΑ





# Βιβλιογραφία

- ⊙ Bunnin, N., Tsui-James, E.P. (Ed.) “The Blackwell Companion to Philosophy”, Blackwell Publishing, 2002.
- ⊙ American Meteorology Society. “Glossary of Meteorology”. Allen Press Inc., 2nd Edition, 2000, URL: [amsglossary.allenpress.com/glossary/search?p=1&query=artificial+intelligence](http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?p=1&query=artificial+intelligence).
- ⊙ Sweeney, L. “That’s AI?”. Carnegie Mellon University, School of Computer Science, Technical Report, CMU-CS-03-106, Pittsburgh, USA, January 2003, URL: [privacy.cs.cmu.edu/people/sweeney/aidef.html](http://privacy.cs.cmu.edu/people/sweeney/aidef.html).