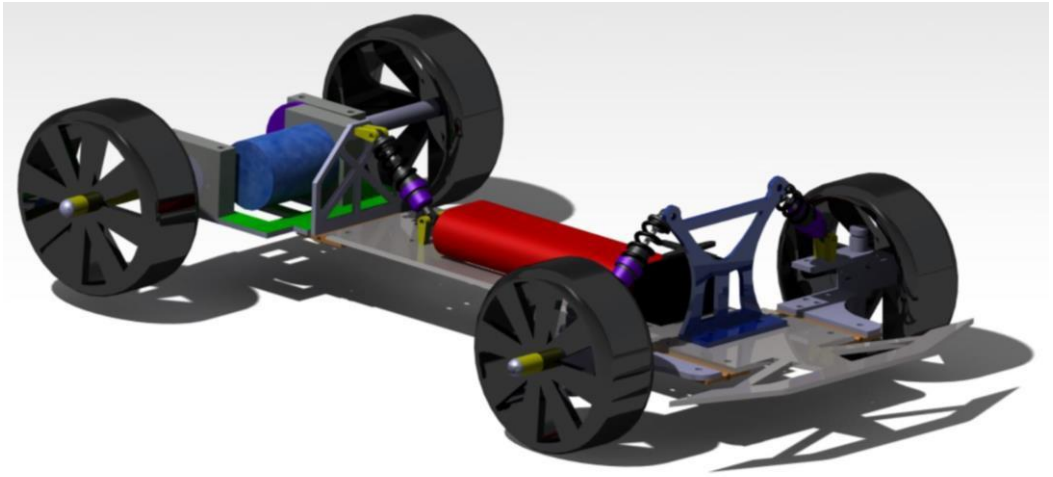
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Ι & ΙΙ



Διδάσκοντες:	Μούρτζης Δ.	Καθηγητής
	Σταυρόπουλος Π.	Αναπληρωτής Καθηγητής
Συνεργάτες:	Δημητρακόπουλος Γ.	Μηχανολόγος Μηχ. MSc.
	Ζυγομαλάς Σ.	Μηχανολόγος Μηχ. MSc.
	Μπίκας Χ.	Δρ. Μηχανολόγος Μηχ.

ΠΑΤΡΑ 2026

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν εργαστηριακό φυλλάδιο περιγράφει την αλληλουχία των εργαστηρίων του μαθήματος Συστήματα Παραγωγής Ι & ΙΙ, κατά τη διάρκεια των οποίων οι φοιτητές θα γνωρίσουν τα σημαντικότερα στάδια του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός προϊόντος, σε μια σειρά επιλεγμένων ασκήσεων, που καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής. Στόχος των εργαστηρίων είναι:

- να προσφέρουν στους φοιτητές πρακτική εμπειρία όσον αφορά τις διεργασίες και τα τεχνολογικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενός ολοκληρωμένου προϊόντος, και
- να εξοικειωθούν με νέες τεχνολογίες και με την έννοια της ομαδικής εργασίας, που είναι απαραίτητη στο χώρο της παραγωγής.

Π. Σταυρόπουλος

Αναπλ.Καθηγητής

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ *2*

ΓΕΝΙΚΑ **3**
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ **8**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAD) *16*

ΓΕΝΙΚΑ **16**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **22**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (SPC) *27*

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ **29**
ΣΤΟΙΧΕΊΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΉΣ **33**
ΔΙΑΓΡΆΜΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ **37**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **42**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ (DFA) *43*

ΓΕΝΙΚΑ **43**
ΜΕΘΟΔΟΣ BOOTHROYD - DEWHURST **47**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **58**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ *59*

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ **59**
Η ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ **64**
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΕΙΔΩΝ **66**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **69**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕ LASER, ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ (LASER – AM - EDM) *70*

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ LASER **70**
ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ/ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ **74**
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΒΡΩΣΗ (EDM) **81**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **84**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ (CNC) *86*

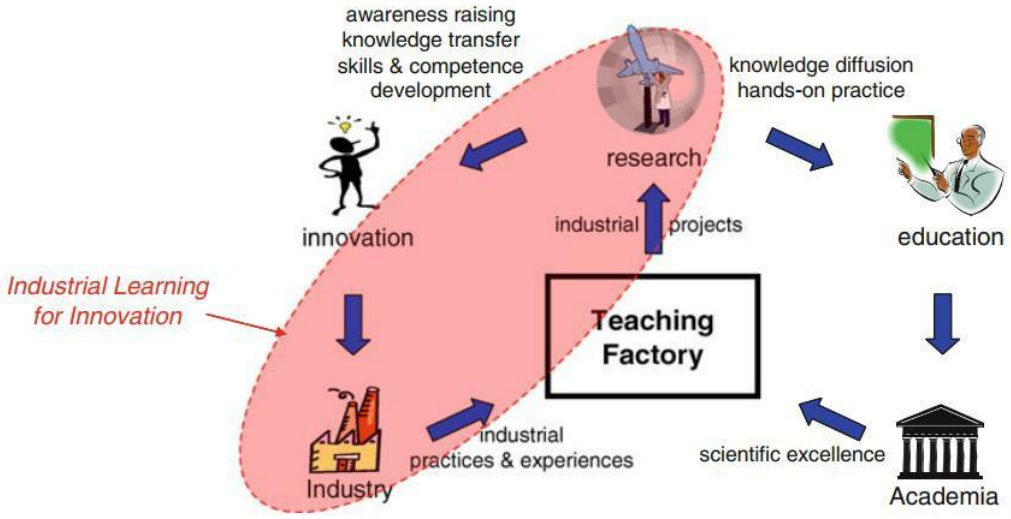
ΓΕΝΙΚΑ **86**
ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC **87**
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC **89**
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ **94**
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ C.N.C ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗ **96**
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ **100**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ (ASSEMBLY) *103*

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ *109*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το LMS Teaching / Learning Factory παρέχει ένα πραγματικό περιβάλλον για τους νέους μηχανικούς να αναπτύξουν τις δεξιότητές και τις ικανότητές τους, μέσω της άμεσης συμμετοχής τους σε πραγματικές βιομηχανικές προκλήσεις. Μέσω της χρήσης σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών και εργαλείων, και σε συνδυασμό με τη σχετική εκπαιδευτική προσέγγιση, επιτυγχάνεται μια αμφίδρομη επικοινωνία γνώσης μεταξύ του ακαδημαϊκού και του βιομηχανικού κλάδου, που έχει ως στόχο να ωφελήσει αμοιβαία τα δύο ενδιαφερόμενα μέρη.



Σχήμα 1: Η εκτεταμένη έννοια του Teaching / Learning Factory και το πεδίο εφαρμογής της βιομηχανικής μάθησης

Από τη βιομηχανική πλευρά, εξασφαλίζουν μια σύνδεση με τις συνεχώς μεταβαλλόμενες τεχνολογίες και την τρέχουσα έρευνα, παρέχοντας νέες ιδέες και λύσεις πέρα από τη διαδικασία της παραδοσιακής εταιρείας. Για τον ακαδημαϊκό χώρο, το Teaching / Learning Factory προσφέρει μια χρήσιμη σύνδεση μεταξύ της θεωρίας και της δημιουργούμενης γνώσης και της ενσωμάτωσής τους σε πραγματικές περιπτώσεις, δεδομένου ότι οι συμμετέχοντες στερούνται σχετικής εμπειρίας. Τέλος, το Teaching Factory ενθαρρύνει την επιχειρηματικότητα στα πανεπιστήμια και την καινοτομία εντός των εταιρειών.

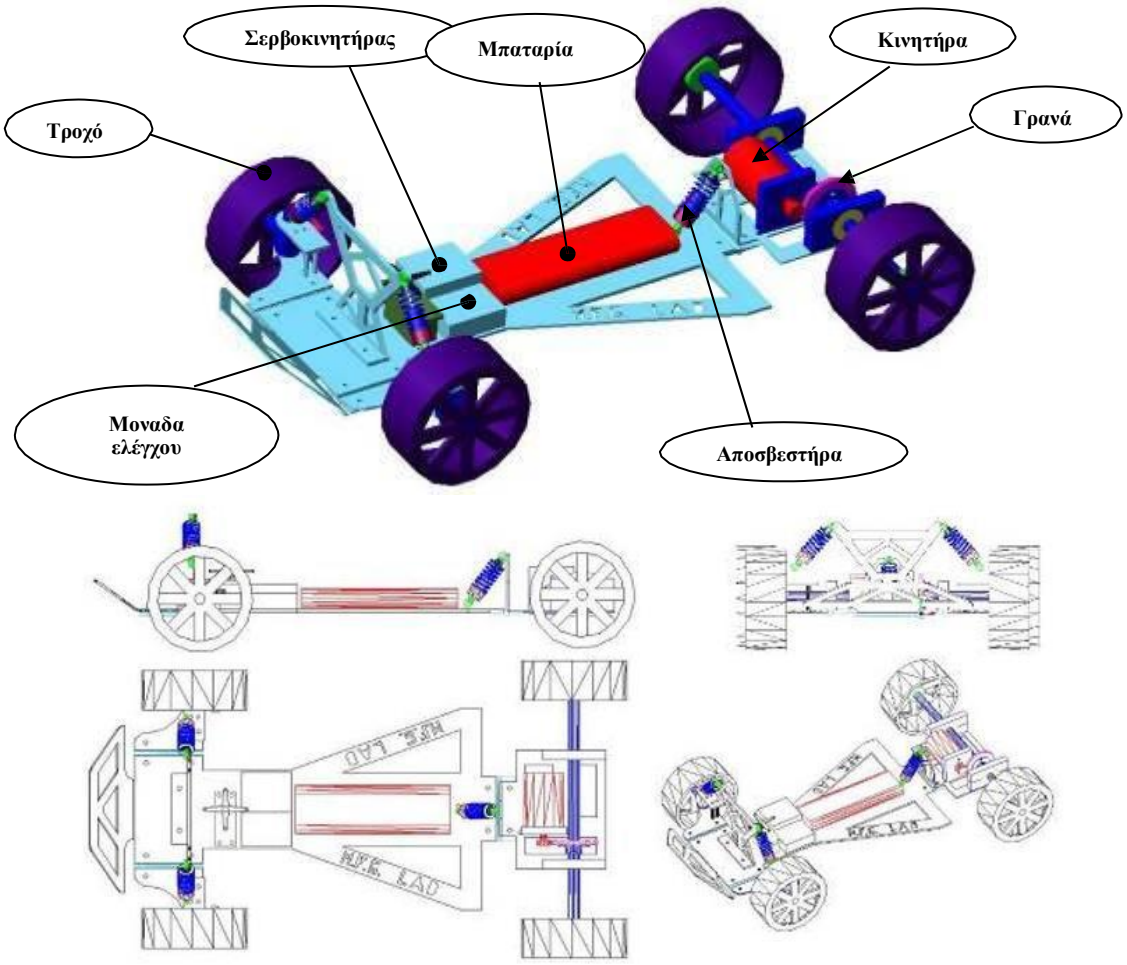
Το πεδίο εφαρμογής του LMS Teaching / Learning Factory επικεντρώνεται στην εκπαίδευση των νέων μηχανικών φοιτητών, συνδυάζοντας την εκπαίδευση και την έρευνα για την ανάπτυξη προϊόντων και συστημάτων παραγωγής. Το προϊόν που κατασκευάζεται από τους σπουδαστές του 2^{ου} έτους είναι ένα τηλεκατευθυνόμενο αυτοκίνητο, το οποίο τους εισάγει σε ένα πιο προηγμένο κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος και της παραγωγής



Σχήμα 2: Η παραγωγή του τηλεκατευθυνόμενου αυτοκινήτου αποτελείται από διάφορα στάδια, ξεκινώντας από το σχεδιασμό των εξαρτημάτων του μέχρι την τελική συναρμολόγηση του

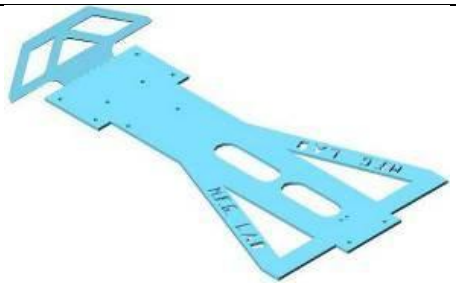
ΓΕΝΙΚΑ

Τα εργαστήρια του μαθήματος Συστήματα Παραγωγής, έχουν σαν αντικείμενο την αρχική επαφή των μελλοντικών μηχανικών με την διαδικασία παραγωγής ενός ολοκληρωμένου μηχανολογικού συστήματος. Η παραγωγή ενός τέτοιου προϊόντος αποτελείται από διαφορετικά στάδια, ξεκινώντας από τον σχεδιασμό των εξαρτημάτων του μέχρι την τελική συναρμολόγησή του. Το μηχανολογικό σύστημα το οποίο έχει επιλεγεί ως εφαρμογή για το ακαδημαϊκό έτος 2024-2025, είναι ένα ηλεκτροκίνητο τηλεκατευθυνόμενο όχημα (Σχήμα 3).

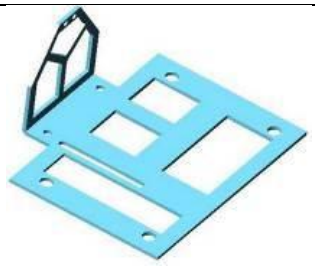


Σχήμα 3: Τηλεκατευθυνόμενο όχημα

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τρισδιάστατα σχέδια **των βασικών εξαρτημάτων** του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος:



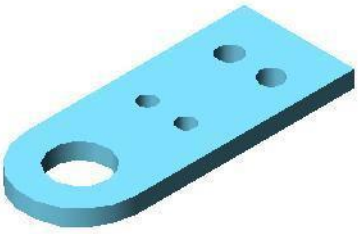
Σχήμα 4.1: Εμπρός πλαίσιο (No1)



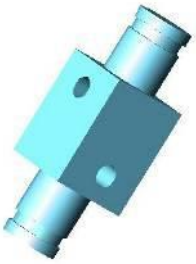
Σχήμα 4.2: Πίσω πλαίσιο (No2)



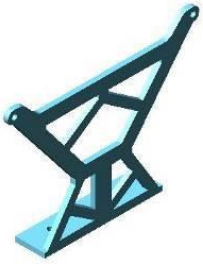
Σχήμα 4.3: Ψαλίδι (A) (No3)



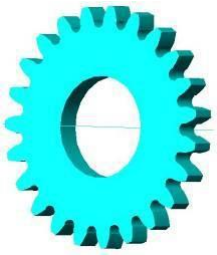
Σχήμα 4.4: Ψαλίδι (B) (No4)



Σχήμα 4.5: Πλήμνη εμπρός (A) (No5)



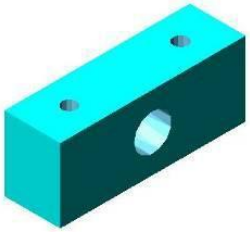
Σχήμα 4.6: Πύργος στήριξης αμορτισέρ (No6)



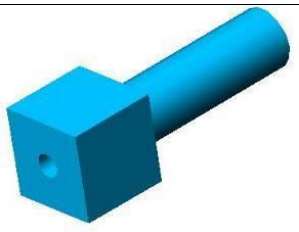
Σχήμα 4.7: Πίσω μεγάλο γρανάζι (No7)



Σχήμα 4.8: Βάση κινητήρα (No8)



Σχήμα 4.9: Βάση άξονα (No9)



Σχήμα 4.10: Πλήμνη εμπρός (B) (No10)

Σχήμα 4: Τρισδιάστατη απεικόνιση των βασικών εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος

Επεξηγήσεις

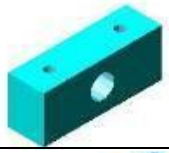
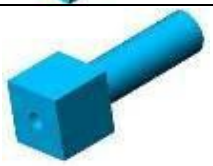
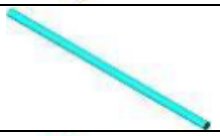
1. Τα εξαρτήματα στα παραπάνω σχήματα **δεν** απεικονίζονται στην ίδια κλίμακα.
2. Κατά το εργαστήριο της συναρμολόγησης (ASSEMBLY), ο κινητήρας, οι τροχοί, τα αμορτισέρ, η μπαταρία, η τηλεκατεύθυνση, ο σερβοκινητήρας (servo), τα γρανάζια και η μονάδα ελέγχου ταχύτητας (speed-control) θα δοθούν έτοιμα.
3. Στον πίνακα 1 δίνονται βασικές διαστάσεις των εξαρτημάτων. Οι διαστάσεις αυτές δεν επαρκούν για τον πλήρη σχεδιασμό και κατασκευή των κομματιών. Οι υπόλοιπες διαστάσεις θα πρέπει να προσδιοριστούν από τις ομάδες με βάση τα εξής κριτήρια:
   - **Την σωστή λειτουργία του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος**
   - **Τις διαστάσεις των διαθέσιμων πρώτων υλών**
   - **Την κατασκευή όσο το δυνατόν ελαφρύτερου οχήματος – οικονομία των υλικών**

Τα υλικά που είναι διαθέσιμα για την κατασκευή των εξαρτημάτων είναι τα εξής:

1. Έλασμα αλουμινίου πάχους 3 mm.
2. Μπιγιέτα αλουμινίου διαμέτρου 10 mm.
3. Μπιγιέτα αλουμινίου τετραγωνικής διατομής 15x15 mm.
4. Μπιγιέτα αλουμινίου τετραγωνικής διατομής 43x43 mm.
5. Μπιγιέτα αλουμινίου διαμέτρου 70mm.
6. Μπιγιετα αρταλον 15x20mm.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται όλα τα εξαρτήματα του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. Για κάθε εξάρτημα δίνονται το υλικό και η διεργασία κατασκευής του, το πλήθος των εξαρτημάτων και το εξάμηνο κατά το οποίο θα κατασκευασθούν. Επίσης, δίνονται και οι βασικές διαστάσεις που πρέπει να τηρηθούν κατά το σχεδιασμό.

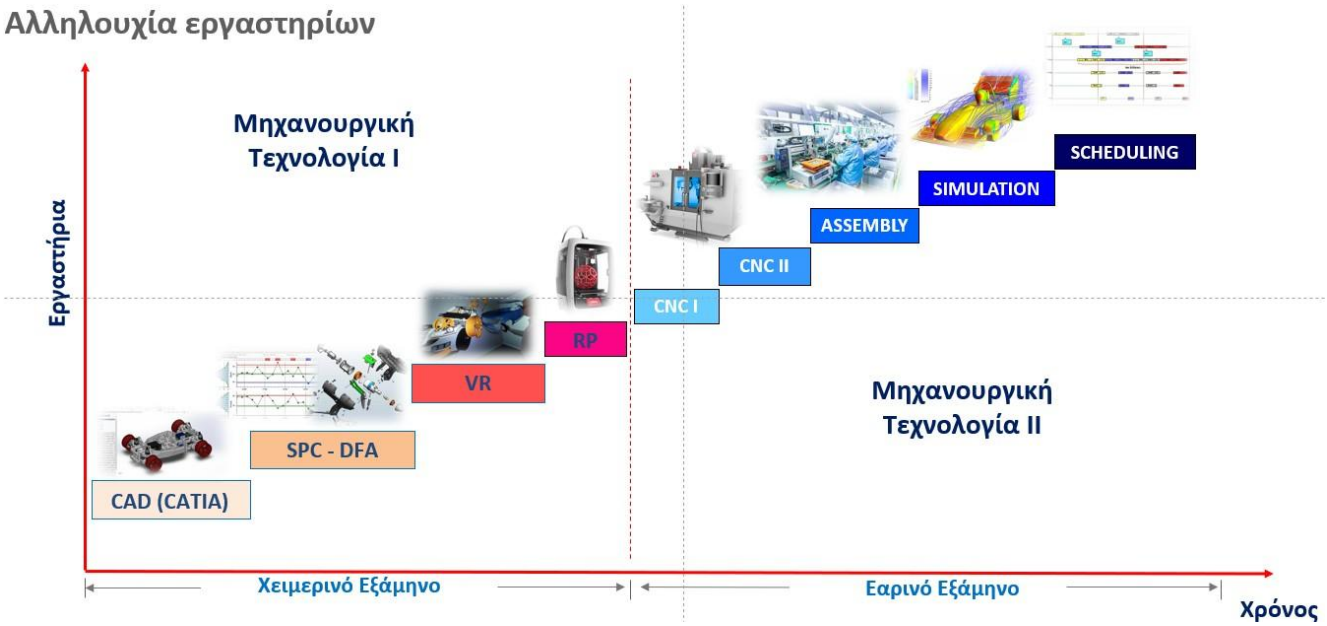
No	**Εξάρτημα**	**Υλικό Κατασκευή**	**Διεργασία Κατασκευή**	**Ποσότητα**	**Εξάμηνο Κατασκευή**	**Δεδομένες Διαστάσει**
1		Αλουμίνιο	Κοπή με Laser	1	Χειμερινό	Πάχος 3 mm
2		Αλουμίνιο	Κοπή με Laser - Χειροκίνητη κάμψη	1	Χειμερινό	Πάχος 3 mm
3		Αλουμίνιο	Κοπή με Laser	2	Χειμερινό	Πάχος 3 mm
4		Αλουμίνιο	Κοπή με Laser	2	Χειμερινό	Πάχος 3 mm

5		Αλουμίνιο	CNC	2	Εαρινό	Διάμετρος Φ10 & 15x15mm
6		Αλουμίνιο	Κοπή με Laser - Χειροκίνητη κάμψη	1	Χειμερινό	Πάχος 3 mm
7		Αλουμίνιο	ΤΟΡΝΟΣ	1	-	Θα δοθεί έτοιμο
8		Αλουμίνιο	C.N.C.	1	Εαρινό	Εξωτερικές διαστάσεις 43X43mm
9		Αρταλόν	-	2	-	Θα δοθεί έτοιμο
10		Αλουμίνιο	ΤΟΡΝΟΣ	2	-	Θα δοθεί έτοιμο
11		Χάλυβας	-	3	-	Θα δοθεί έτοιμο
12		Αλουμίνιο	-	1	-	Θα δοθεί έτοιμο
13		Πλαστικό	-	1	-	Θα δοθεί έτοιμο
14	Ασφάλειες Αξόνων	Χάλυβας	-	4	-	Θα δοθούν έτοιμες
15	Περικόχλια ασφαλείας	Χάλυβας	-	4	-	Θα δοθούν έτοιμα
16	Ροδέλες	Χάλυβας	-	4	-	Θα δοθούν έτοιμες
17		Πλαστικά	-	14	-	Θα δοθούν έτοιμα

18	Ντίζες	Χάλυβας	-	2	-	Θα δοθούν έτοιμες
19	Κοχλίες	Χάλυβας	-	44	-	M4, Μέγιστο μήκος 60 mm (Θα δοθούν έτοιμες)
20	Περικόχλια	Χάλυβας	-	50	-	Θα δοθούν έτοιμα

Πίνακας 1: Συνοπτική παρουσίαση εξαρτημάτων

Κατά τη διάρκεια των εργαστηρίων, οι φοιτητές θα γνωρίσουν ορισμένα από τα σημαντικότερα στάδια της κατασκευής ενός μηχανολογικού προϊόντος σε μια σειρά επιλεγμένων εργαστηρίων, τα οποία καλύπτουν τη διαδικασία παραγωγής.
Η αλληλουχία των εργασιών που ακολουθείται στα εργαστήρια αντικατοπτρίζει αυτή που ακολουθείται και στην πραγματική παραγωγή, με τελικό σκοπό την κατασκευή και συναρμολόγηση ενός μηχανολογικού συστήματος. Τα εργαστήρια θα διεξαχθούν κατά την διάρκεια του χειμερινού και του εαρινού εξαμήνου και χωρίζονται σε δύο μέρη. Το χρονοδιάγραμμα αλληλουχίας των εργαστηρίων φαίνεται στο Σχημα 3.



Σχήμα 3: Διάγραμμα αλληλουχίας εργαστηρίων

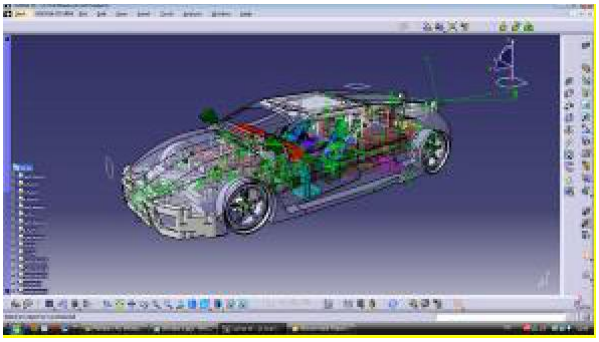
CAD: Σχεδιασμός με χρήση υπολογιστή
SPC: Στατιστικός Ποιοτικός Έλεγχος
VR: Εικονική Πραγματικότητα

RP: Ταχεία Πρωτοτυποποίηση
DFA: Σχεδιασμός για συναρμολόγηση
CNC: Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών
ASSEMBLY: Συναρμολόγηση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος
SIMULATION: Προσομοίωση
SCHEDULING: Χρονοπρογραμματισμός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

- **Σχεδιασμός με χρήση υπολογιστή (CAD)**

  Το πρώτο εργαστήριο αφορά στο σχεδιασμό με τη χρήση υπολογιστή (Computer Aided Design – CAD). Στο εργαστήριο αυτό θα γίνει μια γενική, θεωρητική εισαγωγή στο αντικείμενο, καθώς και πρακτική εξάσκηση σε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό πακέτο σχεδιασμού, το CATIA. Το εργαστήριο θα διεξαχθεί στο χειμερινό εξάμηνο.



Σχήμα 6: Σχεδιασμός οχήματος στο CATIA

Για την σωστή διεξαγωγή του εργαστηρίου VR, κάθε ομάδα θα πρέπει να παραδώσει τα σχέδια CAD των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος στους υπεύθυνους του συγκεκριμένου εργαστηρίου, 3 εργάσιμες ημέρες πριν από τη διεξαγωγή του.

- **Στατιστικός Έλεγχος Παραγωγής (SPC)**

  Το εργαστήριο Στατιστικού Ελέγχου Παραγωγής (SPC) διεξάγεται στο χειμερινό εξάμηνο ως σεμινάριο και οι φοιτητές θα γνωρίσουν τον τρόπο καθορισμού και λειτουργίας των ανοχών στις μηχανολογικές κατασκευές. Δίνεται επίσης αναλυτικό παράδειγμα εφαρμογής των διεθνών προτύπων ανοχών, πάνω σε δεδομένο εξάρτημα, με ενεργή συμμετοχή των φοιτητών. Ακόμη, παρουσιάζεται η μεθοδολογία στατιστικού ποιοτικού ελέγχου και γίνονται πραγματικές μετρήσεις διαστάσεων ενός εξαρτήματος και κατάρτιση των διαγραμμάτων ελέγχου.

- **Εικονική Πραγματικότητα (VR)**

  Κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης, η οποία διεξάγεται στο χειμερινό εξάμηνο, θα πραγματοποιηθεί η συναρμολόγηση και η λειτουργική προσομοίωση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος σε εικονικό περιβάλλον, προκειμένου να ελεγχθεί ο σωστός σχεδιασμός και η ορθή λειτουργία του εικονικού πρωτοτύπου.

  Ο έλεγχος του σχεδιασμού και της λειτουργίας του εικονικού πρωτοτύπου του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

  1. Συναρμολόγηση σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας των επιμέρους εξαρτημάτων στην τελική θέση συναρμολόγησης για τη μορφοποίηση του ολοκληρωμένου εικονικού πρωτοτύπου του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

2. Ορισμός της ιεραρχίας εικονικής συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος με τον καθορισμό σχέσεων "*parent-child*" και καθορισμός των περιορισμών κίνησης των λειτουργικών μερών του εικονικού πρωτοτύπου.
3. Προγραμματισμός της κίνησης του εμπρόσθιου συστήματος διεύθυνσης και του οπίσθιου συστήματος κίνησης του εικονικού πρωτοτύπου του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.
4. Ορισμός ιδιοτήτων σύγκρουσης (collision properties) σε συγκεκριμένα εξαρτήματα του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος, προκειμένου να ελεγχθούν τυχόν συγκρούσεις μεταξύ των κινουμένων μερών.
5. Έλεγχος του τελικού εικονικού πρωτοτύπου για τη διαπίστωση τυχόν σχεδιαστικών ή λειτουργικών λαθών.
6. Προτάσεις τροποποίησης του σχεδιασμού συγκεκριμένων εξαρτημάτων, που παρουσιάζουν σχεδιαστικά ή λειτουργικά λάθη, με σκοπό την επίτευξη της συναρμολόγησης και ορθής λειτουργίας του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος στο τελικό στάδιο των εργαστηρίων Συστήματα Παραγωγής (συναρμολόγηση).

- **Μη συμβατικές κατεργασίες κοπής με Laser, Εναπόθεσης υλικού και Ηλεκτροδιάβρωσης (LASER - AM - EDM)**

Το εργαστήριο των Μη Συμβατικών Μεθόδων Κατεργασίας περιλαμβάνει παρουσίαση των τεχνολογιών κοπής με Laser, Εναπόθεσης υλικού (AM) και Ηλεκτροδιάβρωσης (EDM).

Το εργαστήριο LASER - AM - EDM θα διεξαχθεί στο χειμερινό εξάμηνο. Κατά την διάρκεια του εργαστηρίου θα πραγματοποιηθεί εισαγωγή και παρουσίαση της μηχανής κοπής με Laser Trumpf TLF 2530, των μηχανών Εναπόθεσης υλικού FMD, SLA και LOM και της μηχανής Ηλεκτροδιάβρωσης Charmilles, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο Εργαστήριο Συστημάτων Παραγωγής και Αυτοματισμού.

Οι φοιτητές θα πρέπει να έχουν παραδώσει σε CD όλα τα σχέδια των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος που θα κατασκευαστούν στην μηχανή κοπής με Laser. Τα σχέδια θα πρέπει να είναι <u>δισδιάστατα</u>, αδιαστασιολόγητα, διορθωμένα με βάση τις παρατηρήσεις που έγιναν κατά τον έλεγχο λειτουργικότητας του μηχανισμού στο εργαστήριο VR και πρέπει να παραδοθούν τουλάχιστον μια εβδομάδα πριν την εκτέλεση του εργαστηρίου σε μορφή *.dxf στον υπεύθυνο του εργαστηρίου. Το εργαστήριο θα διεξάγεται στον χώρο του Μηχανουργείου.

Σχεδιασμός για Συναρμολόγηση (DFA)

Το εργαστήριο Σχεδιασμός για Συναρμολόγηση θα διεξαχθεί στο χειμερινό εξάμηνο σε μορφή σεμιναρίου και σε αυτό οι φοιτητές θα έχουν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν την περιγραφή και την ανάλυση της μεθόδου και τη χρησιμότητά της στην διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής προϊόντων. Για την καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας, έχει επιλεχθεί να παρουσιαστεί, μέσω ενός παραδείγματος συναρμολόγησης, μια από τις βασικότερες μεθόδους Σχεδιασμού για Συναρμολόγηση, η μέθοδος των Boothroyd-Dewhurst.

- **Αριθμητικός έλεγχος εργαλειομηχανών (CNC)**

  Το εργαστήριο αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανών διεξάγεται στο εαρινό εξάμηνο και οι φοιτητές θα γνωρίσουν μια από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στην αυτοματοποίηση των παραγωγικών διεργασιών. Το εργαστήριο CNC χωρίζεται σε δύο μερη: στο εργαστήριο CNC I , όπου θα πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή στις αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές, τα χαρακτηριστικά τους και τον τρόπο προγραμματισμού τους και θα λάβει χώρα ένα παράδειγμα προγραμματισμού και κατασκευής δύο εξαρτημάτων χρησιμοποιώντας έναν επιτραπέζιο CNC τόρνο και μια επιτραπέζια CNC φρέζα και στο εργαστήριο CNC II στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η κατασκευή του εξαρτήματος No 5 , σε CNC τόρνο και στην συνέχεια η κατασκευή του εξαρτήματος No 8 σε CNC φρέζα.



Σχήμα 7: CNC φρέζα

Για την σωστή διεξαγωγή του εργαστηρίου CNC, κάθε ομάδα θα πρέπει να παραδώσει τα τεχνολογικά προγράμματα για την κατασκευή των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος στον υπεύθυνο του συγκεκριμένου εργαστηρίου, μια εβδομάδα πριν από τη διεξαγωγή του.

- **Συναρμολόγηση (ASSEMBLY)**

  Το εργαστήριο αφορά τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. Οι φοιτητές θα πρέπει να φέρουν μαζί τους τα κομμάτια του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων εργαστηρίων καθώς επίσης και τα σχέδια των εξαρτημάτων.

- **Προσομοίωση (SIMULATION)**

  Στο εργαστήριο προσομοίωσης θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες της προσομοίωσης με χρήση υπολογιστή (λογισμικό Witness) στον σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής (Design of mfg systems). Το εργαστήριο διεξάγεται το εαρινό εξάμηνο και μετά από λεπτομερή εισαγωγή στην θεωρία της προσομοίωσης καθώς και στο λογισμικό προσομοίωσης που θα χρησιμοποιηθεί, κάθε ομάδα θα κληθεί να εκτελέσει έναν αριθμό προσομοιώσεων για τα τρεις διαφορετικούς φόρτους εργασίας (workloads) και για διαφορετικούς σχεδιασμούς του συστήματος παραγωγής. Η κάθε ομάδα θα καταλήξει σε ένα τελικό σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής.

- **Χρονο-προγραμματισμός (SCHEDULING)**

  Στο εργαστήριο αυτό θα παρουσιαστεί ο ρόλος του χρονοπρογραμματισμού στην λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής (Operation of MFG systems). Το εργαστήριο διεξάγεται στο εαρινό εξάμηνο. Για την εργαστηριακή άσκηση θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό χρονοπρογραμματισμού IMPACT. Με βάση το σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής που θα καταλήξει η κάθε ομάδα στο εργαστήριο της προσομοίωσης, θα εκτελεστούν μία σειρά από χρονο-προγράμματα με διαφορετικούς κανόνες ανάθεσης (policy) για δεδομένο φόρτο εργασίας. Τα χρονο-προγράμματα αυτά θα συγκριθούν και θα επιλεχθεί το βέλτιστο.

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

Στο τέλος κάθε εξαμήνου, κάθε ομάδα θα παραδώσει μία τεχνική έκθεση, που θα αφορά στα εργαστήρια που παρακολούθησε. Στο εξώφυλλο θα αναγράφεται ο αριθμός της τεχνικής έκθεσης (ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 1 ή ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 2), ο τίτλος της εργασίας, η ημερομηνία παράδοσης, ο αριθμός της ομάδας και όλα τα ονόματα των μελών της με τον αντίστοιχο αριθμό μητρώου και το έτος φοίτησης. Το πρότυπο των εξώφυλλων των τεχνικών εκθέσεων φαίνεται στο Σχήμα 8. Στην συνέχεια περιγράφονται τα περιεχόμενα των Τεχνικών Εκθέσεων:

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 1

Η τεχνική έκθεση 1 θα παραδοθεί στο τέλος του χειμερινού εξαμήνου και θα αντιστοιχεί στις εργαστηριακές ασκήσεις CAD, SPC, VR, LASER – RP – EDM και DFA. Αναλυτικά τα περιεχόμενά της θα είναι:

1. **Εξώφυλλο** (με βάση το πρότυπο στο Σχήμα 8)

2. **Πίνακας Περιεχομένων**

3. **Εισαγωγή**
   Στην εισαγωγή θα γίνει μια αναφορά στις πέντε πρώτες εργαστηριακές ασκήσεις, επικεντρώνοντας στις δυσκολίες και τα προβλήματα, τα οποία προέκυψαν, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν από την ομάδα.

4. **Σχεδιασμός με τη χρήση υπολογιστή (CAD)**
   Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:
   - Τα κατασκευαστικά (δισδιάστατα με διαστάσεις) σχέδια όλων των εξαρτημάτων.

5. **Στατιστικός Έλεγχος Παραγωγής (SPC)**

   Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:

   1. ***Στατιστικός Έλεγχος***
   - Υπολογισμός της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης για την διάμετρο των έξι (6) οπών του εξαρτήματος No1 οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την στήριξη του πίσω πλαισίου και των εμπρός ψαλιδιών. Σε κάθε ομάδα, θα δίνεται πίνακας με τις μετρήσεις που πραγματοποίησαν όλες οι ομάδες στο συγκεκριμένο εξάρτημα που κατασκεύασαν.
   - Κατασκευή ιστογραμμάτων και προσεγγιστικών γραφημάτων κατανομής (π.χ., Gauss).
   - Κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου για τη υπό μέτρηση διάσταση.
   - Συμπεράσματα.

   2. ***Κατάταξη Ποιότητας***
   Κατάταξη της ποιότητας (IT_International Tolerance) του εξαρτήματος του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος, κατά το πρότυπο ANSI–ISO, από τους σχετικούς πίνακες. Τυχόν αποκλίσεις, από την ποιότητα που απαιτείται, θα πρέπει να δικαιολογηθούν επαρκώς.

3. Εικονική Πραγματικότητα (VR)

Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:

- Περιγραφή της χρησιμότητας της Εικονικής Πραγματικότητας στον σχεδιασμό του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.
- Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθείται για την λειτουργική προσομοίωση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπως αυτή εκτελέστηκε στην εργαστηριακή άσκηση. Αναφερθείτε στα διάφορα στάδια της διαδικασίας αυτής (ορισμός ιεραρχίας συναρμολόγησης, περιορισμών και εξισώσεων κίνησης, λειτουργικού ελέγχου κτλ.).
- Αναφορά σε τυχόν σχεδιαστικά και λειτουργικά προβλήματα που παρατηρήθηκαν στο μηχανισμό κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και στις πιθανές σχεδιαστικές αιτίες τους.
- Αναφορά στις προτάσεις τροποποίησης του σχεδιασμού που έγιναν με σκοπό την επίτευξη της σωστής συναρμολόγησης και ορθής λειτουργίας του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

4. Μη Συμβατικές Μέθοδοι Κατεργασίας (LASER-RP-EDM)

Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:

- Σκοπιμότητα ανάπτυξης τεχνικών ταχείας πρωτοτυποποίησης. Κατηγορίες πρωτότυπων ανάλογα με τη χρησιμότητά τους. Κριτήρια επιλογής τεχνικής (SLA, LOM, ή FDM) και προσανατολισμού για την κατασκευή κάποιου πρωτοτύπου, δικαιολογώντας την απάντησή σας.
- Περιγραφή 3 άλλων τεχνικών Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (πέραν των SLA, LOM, FDM).

5. Σχεδιασμός Για Συναρμολόγηση (DFA)

Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει την ανάλυση της διαδικασίας συναρμολόγησης του μοντέλου του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος με βάση τη μέθοδο Boothroyd-Dewhurst. Η ανάλυση θα περιλαμβάνει:

- Την αλληλουχία της συναρμολόγησης η οποία επιλέχθηκε (με σχηματική αναπαράσταση)
- Αιτιολόγηση της επιλογής των κωδικών χειρισμού και εισόδου των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. (Η ανάλυση θα γίνει με πρότυπο το παράδειγμα το οποίο αναφέρεται στην παράγραφο 5.2.2 του παρόντος φυλλαδίου.)
- Το συμπληρωμένο φύλλο εργασίας.
- Εκτίμηση της απόδοσης του σχεδιασμού. Εάν η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού προκύψει κάτω από 0.60, να προταθεί δυνατός επανασχεδιασμός (δεν ζητείται δεύτερο φύλλο εργασίας).

Πρέπει να σημειωθεί ότι για το σχεδιασμό της συναρμολόγησης και την συμπλήρωση του φύλλου εργασίας ***είναι απαραίτητα μόνο τα διαστασιολογημένα αρχεία CAD*** και όχι τα πραγματικά εξαρτήματα του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 2

Η τεχνική έκθεση 2 θα παραδοθεί στο τέλος του εαρινού εξαμήνου και θα αντιστοιχεί στις εργαστηριακές ασκήσεις CNC, ASSEMBLY, SIMULATION και SCHEDULING. Αναλυτικά τα περιεχόμενά της θα είναι:

1. **Εξώφυλλο** (με βάση το πρότυπο στο Σχήμα 8)

2. **Πίνακας Περιεχομένων**

3. **Εισαγωγή**

   Στην εισαγωγή θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή των παραπάνω εργαστηριακών ασκήσεων, με αναφορές στις δυσκολίες και τα προβλήματα τα οποία προέκυψαν, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν από την ομάδα.

4. **Κεφάλαιο 1: Αριθμητικός έλεγχος μηχανών (CNC)**
   Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:
   - Αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των CNC εργαλειομηχανών σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές.
   - Τα τεχνολογικά προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προγραμματισμό των CNC εργαλειομηχανών, καθώς επίσης και τα τεχνολογικά προγράμματα όλων των μελών της ομάδας, που αφορούν την χάραξη των αρχικών γραμμάτων του ονόματος και του επωνύμου τους, πάνω στην επιφάνεια του εξαρτήματος.

5. **Κεφάλαιο 2: Συναρμολόγηση (ASSEMBLY)**
   Το κεφάλαιο αυτό θα περιλαμβάνει:
   - Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας συναρμολόγησης του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. Αναφερθείτε σε τυχόν προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκτέλεση της αλληλουχίας συναρμολόγησης που διατυπώθηκε στο εργαστήριο DFA και στον τρόπο με τον οποίον αυτά αντιμετωπίσθηκαν.
   - Χαρακτηρισμός (περιγραφικά) της ποιότητας και της λειτουργικότητας του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

6. **Κεφάλαιο 3: Προσομοίωση (Simulation)**
   Τα περιεχόμενα του κεφαλαίου αυτού θα παρουσιαστούν στο φυλλάδιο που θα μοιρασθεί κατά την διάρκεια του εργαστηρίου.

7. **Κεφάλαιο 4: Χρονο-προγραμματισμός (Scheduling)**
   Τα περιεχόμενα του κεφαλαίου αυτού θα παρουσιαστούν στο φυλλάδιο που θα μοιρασθεί κατά την διάρκεια του εργαστηρίου.

ΤΡΟΠΟΣ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Τα εργαστήρια Συστήματα Παραγωγής 3^{ου} και 4^{ου} εξαμήνου είναι υποχρεωτικά από το ακαδημαϊκό έτος 1997-98 και συμβάλλουν στην τελική βαθμολογία των μαθημάτων Συστήματα Παραγωγής Ι και ΙΙ αντίστοιχα.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2025-2026

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ 1

Τίτλος Εργασίας:

Ημερομηνία Παράδοσης:

Ομάδα :

	Ονοματεπώνυμο	**Α.Μ.**	Ετος
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

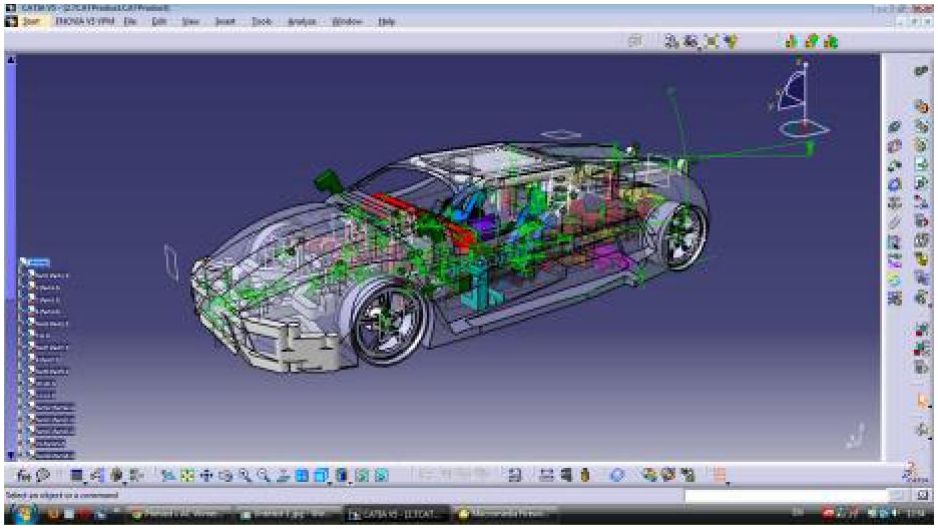
Βαθμός : ……..

Σχήμα 8: Πρότυπο Εξώφυλλου Τεχνικών Εκθέσεων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (CAD)

ΓΕΝΙΚΑ

Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer Aided Design – CAD) ορίζεται ως η δημιουργία και επεξεργασία γεωμετρικών οντοτήτων (γραμμών, επιφανειών, στερεών) με τη βοήθεια ενός υπολογιστή, με στόχο την παραγωγή ολοκληρωμένων γεωμετρικών μοντέλων. Οι τεχνικές CAD εξελίχθηκαν το τελευταίο τέταρτο του αιώνα μας, σαν μία ανεξάρτητη τεχνολογία, η οποία βρήκε άμεση εφαρμογή στη διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής προϊόντων στη βιομηχανία. Στη διαδικασία σχεδιασμού με μεθόδους CAD συνεργάζονται τρεις παράγοντες: το υπολογιστικό σύστημα (hardware), το λογισμικό (software) και ο χρήστης / σχεδιαστής.

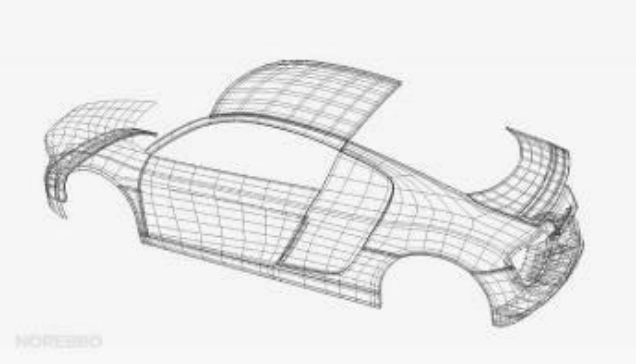


Σχήμα 1.1: Σχεδιασμός οχήματος στο CATIA

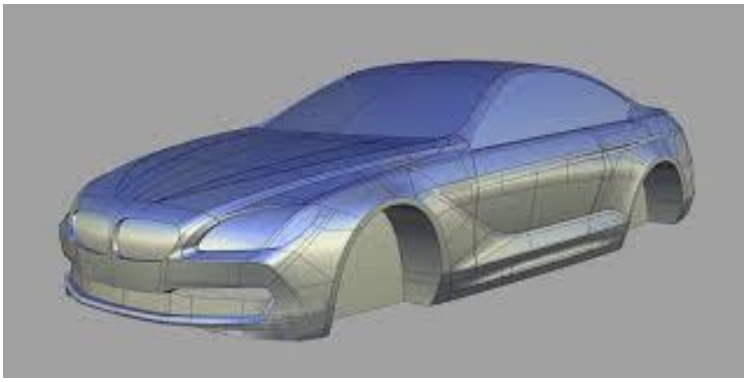
Τα συστήματα CAD χρησιμοποιούνται κυρίως στη φάση της γεωμετρικής μοντελοποίησης ενός μηχανολογικού συστήματος. Πέρα από αυτό όμως, αποτελούν προϋπόθεση για ένα πλήθος άλλων σχεδιαστικών διαδικασιών. Στην επιστήμη του μηχανικού μπορούν να εξαχθούν από τα συστήματα CAD πληροφορίες χρήσιμες για την ανάλυση των αντικειμένων με πεπερασμένα στοιχεία, μετάδοση θερμότητας, ανάλυση τάσεων, δυναμική προσομοίωση μηχανισμών και διαδικασιών, ρευστοδυναμική ανάλυση, προσομοίωση με χρήση εικονικής πραγματικότητας, κλπ.

Τέσσερις είναι οι βασικές τεχνικές που εφαρμόζονται στον σχεδιασμό με την χρήση συστημάτων CAD:

- Η τρισδιάστατη συρματική αναπαράσταση (3D wireframe modeling)



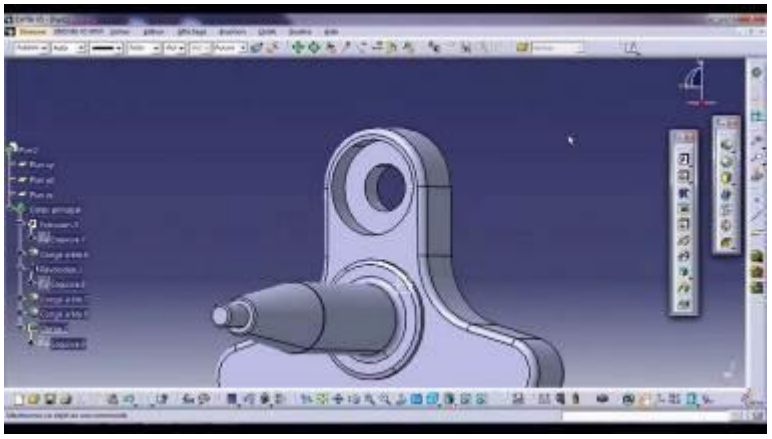
- Η επιφανειακή μοντελοποίηση (**Surface Modeling**)



- Η στερεά μοντελοποίηση (**Solid Modeling)**



- Η παραμετρική μοντελοποίηση (**Parametric Modeling**)



Η τρισδιάστατη συρματική αναπαράσταση, δίνει την απλούστερη μορφή χωρικής αναπαράστασης, με την μοντελοποίηση μόνο των ακμών των αντίστοιχων αντικειμένων. Τα τρισδιάστατα μοντέλα δημιουργούνται με το καθορισμό σημείων και καμπυλών στο χώρο. Οι καμπύλες αυτές είναι είτε αναλυτικές καμπύλες γεωμετρικών σχημάτων όπως ευθείες, κύκλοι, τόξα, ελλείψεις κτλ., είτε σύνθετες καμπύλες όπως Bezier, B-Splines κτλ.

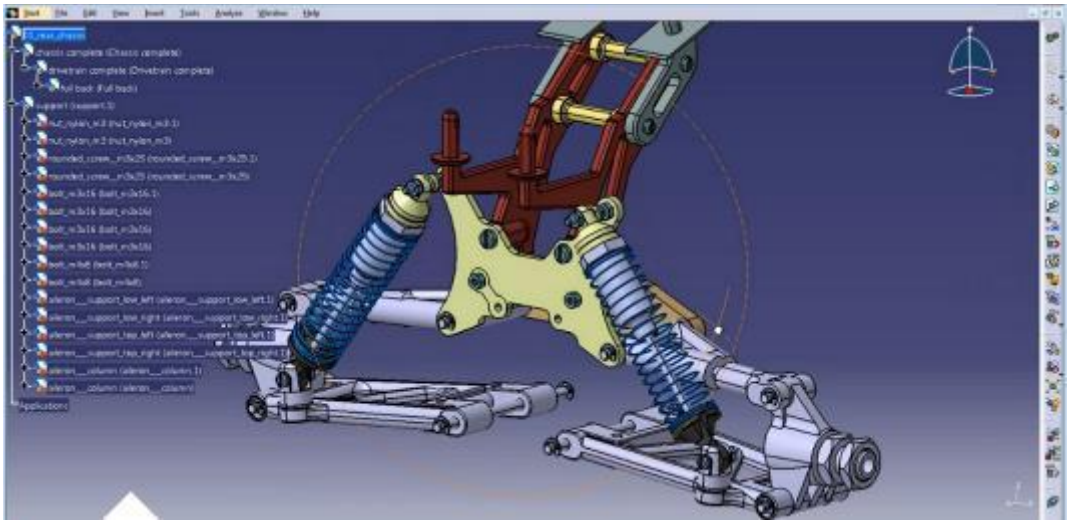
Τα συρματικά μοντέλα απαιτούν μικρή ισχύ και μνήμη από το υπολογιστικό σύστημα για τη δημιουργία και επεξεργασία τους, για το λόγο αυτό και η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται πολύ συχνά στα εμπορικά προγράμματα CAD. Τα μοντέλα όμως αυτά δεν περιέχουν πληροφορίες για το σχήμα των επιφανειών, ούτε διαφοροποιούν το εσωτερικό και εξωτερικό των αντικειμένων. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μη ευκρινή απεικόνιση των αντίστοιχων αντικειμένων.

Πολλές ασάφειες των συρματικών μοντέλων ξεπερνιούνται με τη χρήση της επιφανειακής μοντελοποίησης. Τα επιφανειακά μοντέλα δημιουργούνται συνδέοντας ακμές του μοντέλου, καθορισμένες από το σχεδιαστή, με διάφορους τύπους επιφανειών. Παραδείγματα τέτοιων τύπων είναι οι επίπεδες και οι οδηγούμενες επιφάνειες, οι επιφάνειες σάρωσης, οι επιφάνειες εκ περιστροφής κτλ.

Η μορφή αυτή χωρικής αναπαράστασης παρέχει πληροφορίες και για τις επιφάνειες που συνδέουν τις ακμές του αντικειμένου, με αποτέλεσμα να είναι πληρέστερη σε σχέση με την συρματική αναπαράσταση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται και για εφαρμογές πέρα από τη γεωμετρική αναπαράσταση αντικειμένων, όπως δημιουργία πλέγματος για εφαρμογές πεπερασμένων στοιχείων, προσδιορισμό τροχιάς κοπτικού εργαλείου προγραμματιζόμενων εργαλειομηχανών κτλ. Παρόλα αυτά, η επιφανειακή μοντελοποίηση δεν παρέχει πληροφορίες για τον όγκο του αντικειμένου με αποτέλεσμα π.χ. να μην υπάρχει διαφορά ανάμεσα σε ένα γεωμετρικό σημείο που βρίσκεται μέσα στο αντικείμενο και σε κάποιο που βρίσκεται έξω από αυτό.

Η στερεά μοντελοποίηση αποτελεί την πληρέστερη τεχνική αναπαράστασης αντικειμένων στο χώρο. Τα στερεά μοντέλα δημιουργούνται με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος (Constructive Solid Geometry) αναφέρεται στη χρήση τρισδιάστατων αρχέτυπων (στερεών απλού σχήματος), όπως ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, κύλινδροι, σφαίρες κτλ., τα οποία μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους με χρήση της άλγεβρας Bool (πράξεις μεταξύ στερεών) για τη μορφοποίηση της ζητούμενης γεωμετρίας. Ο δεύτερος τρόπος (Boundary Representation)

αναφέρεται στη χρήση δισδιάστατων επιφανειών καθορισμένων από το σχεδιαστή, η σάρωση των οποίων στο χώρο, κατά μήκος μιας τροχιάς, καθορίζει τον όγκο του αντικειμένου.



Σχήμα 1.2:Συναρμολογηση μηχανισμού στο CATIA

Η έννοια της στερεάς μοντελοποίησης παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συρματική και την επιφανειακή μοντελοποίηση, όπως: πλήρη γεωμετρική περιγραφή, δυνατότητες ελέγχου τοπολογίας, ένα περισσότερο φυσικό τρόπο δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, υπολογισμό ιδιοτήτων όπως όγκου, βάρους, ροπών αδράνειας, αυτόματη δημιουργία πλέγματος για ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, και χρήση στοιχείων του μοντέλου για αυτόματη δημιουργία δεδομένων αριθμητικού ελέγχου.
Η παραμετρική μοντελοποίηση επιτρέπει στο χρήστη να επεμβαίνει στα μοντέλα που σχεδιάζει, αλλάζοντας τις διαστάσεις τους. Στην παραμετρική μοντελοποίηση οι διαστάσεις του σχεδιαζόμενου εξαρτήματος συνδέονται μέσω μαθηματικών εκφράσεων. Στην περίπτωση αλλαγής μιας διάστασης, οι εκφράσεις αυτές επιτρέπουν την αυτόματη ανανέωση όλων των εμπλεκομένων διαστάσεων και την αυτόματη αναδημιουργία του μοντέλου. Έτσι γίνεται εφικτή η δημιουργία ενός "ευέλικτου μοντέλου". Πολλά συστήματα CAD προσφέρουν περιορισμένες δυνατότητες παραμετρικού σχεδιασμού σε δύο διαστάσεις. Πλήρη παραμετρική σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις παρέχουν κάποια εξελιγμένα προγράμματα CAD, όπως το CATIA, το Pro/Engineer, το IDEAS, το Solidworks, το Mechanical Desktop, κ.α.
Ο σχεδιασμός με υπολογιστή (CAD) αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο στα χέρια των μηχανικών με σκοπό την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος στο σχεδιασμό και την παραγωγή ενός προϊόντος. Οι μεγάλες δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας γραφικών που παρέχουν οι υπολογιστές, επιτρέπουν στους σχεδιαστές να διαμορφώνουν και να αξιολογούν τις ιδέες τους πολύ γρήγορα, και με μεγάλη ευελιξία.

Σχεδιασμός

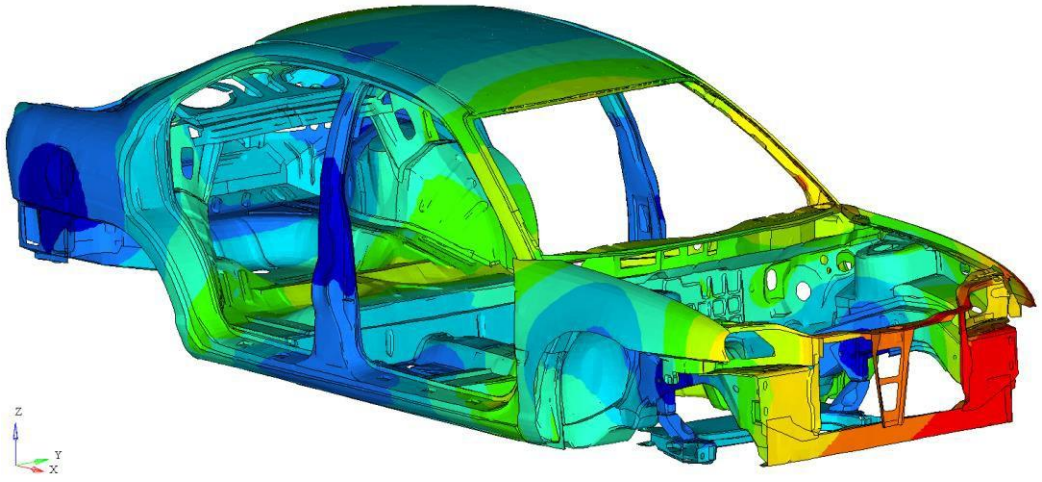
Τα CAD/CAE συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα σε ένα εύρος εφαρμογών που αφορούν στο σχεδιασμό ενός προϊόντος. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν από τη γεωμετρική μοντελοποίηση και την μελέτη της μηχανικής και θερμικής συμπεριφοράς ενός μηχανολογικού συστήματος, μέχρι το σχεδιασμό της αισθητικής του και την μελέτη της λειτουργικότητάς του.

- *Γεωμετρική μοντελοποίηση*

  Αποτελεί την πρωταρχική χρήση των συστημάτων CAD. Επέτρεψε στους σχεδιαστές, να εγκαταλείψουν σταδιακά τις παραδοσιακές μεθόδους δημιουργίας και διόρθωσης κατασκευαστικών σχεδίων με το χέρι σε χαρτί. Οι μέθοδοι αυτοί ήταν χρονοβόροι, και δεν έδιναν εύκολα τη δυνατότητα εκτίμησης της τρισδιάστατης μορφής του αντικειμένου. Η γεωμετρική μοντελοποίηση με τη χρήση CAD, δίνει σήμερα στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να δημιουργεί και να επεξεργάζεται γρήγορα, ευέλικτα και με ακρίβεια τη γεωμετρία ενός αντικειμένου, ενώ παράλληλα έχει σαφή αίσθηση της τρισδιάστατης μορφής του.

- *Ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία (Finite - Element Analysis)*

  Η μέθοδος αυτή είναι μια υπολογιστική τεχνική για την διακριτοποίηση ενός φυσικού προβλήματος σε μικρότερα θεμελιώδη τμήματα. Κάθε τμήμα του προβλήματος αναλύεται επιλύοντας το σχετικό μαθηματικό πρόβλημα, και στη συνέχεια οι επιμέρους λύσεις κάθε στοιχειώδους τμήματος συνδυάζονται, μέσα από μια διαδικασία "συναρμολόγησης", για να δώσουν τη λύση στο συνολικό πρόβλημα.
  Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το τρισδιάστατο γεωμετρικό μοντέλο ενός μηχανολογικού εξαρτήματος που εξάγεται από ένα σύστημα CAD. Στη συνέχεια, η γεωμετρία του αντικειμένου διακριτοποιείται σε στοιχειώδεις, απλές γεωμετρικές οντότητες (δημιουργία τρισδιάστατου πλέγματος). Σε κάθε μια από αυτές, μπορούν στη συνέχεια να προσδιοριστούν με βάση τις εξωτερικές επιδράσεις, μεγέθη όπως παραμορφώσεις και θερμοκρασίες. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προσδιορισθεί η μηχανική και θερμική συμπεριφορά του αντικειμένου οσοδήποτε πολύπλοκη και αν είναι η γεωμετρία του.



Σχήμα 1.3: Ανάλυση σε πεπερασμένα στοιχεία (Finite - Element Analysis)

- *Προσομοίωση (functional simulation)*

  Τα τρισδιάστατα γεωμετρικά μοντέλα που παράγονται από ένα σύστημα CAD, χρησιμοποιούνται σήμερα και για την λειτουργική προσομοίωση σε Η/Υ του προϊόντος που σχεδιάζει ένας μηχανικός. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR), τα γεωμετρικά μοντέλα των επιμέρους τμημάτων ενός μηχανικού συστήματος μπορούν κατ' αρχήν να συναρμολογηθούν εικονικά στον υπολογιστή. Στη συνέχεια ο σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του προϊόντος, και να αλληλοεπιδράσει με το μοντέλο του συστήματος αυτού σαν να ήταν πραγματικό.

Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εντοπιστούν λειτουργικά προβλήματα του προϊόντος, και να διορθωθούν από τη φάση σχεδιασμού ακόμα, πολύ πριν κατασκευαστεί κάποιο φυσικό πρωτότυπο.

Παραγωγή

Πέρα από τη φάση σχεδιασμού ενός μηχανολογικού συστήματος, η πληροφορία που παράγεται από τα συστήματα CAD, χρησιμοποιείται σήμερα και στη φάση παραγωγής του. Δύο σημαντικές διαδικασίες που εντάσσονται σε αυτή τη φάση και στις οποίες βρίσκει άμεση εφαρμογή το CAD, είναι η Ταχεία Πρωτοτυποποίηση και το Computer Aided Manufacturing (CAM).

- *Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping)*

  Τα στερεά γεωμετρικά μοντέλα που παράγονται από τα συστήματα CAD χρησιμοποιούνται σήμερα από τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης, για την γρήγορη κατασκευή, με προσθετικές μεθόδους, φυσικών πρωτοτύπων μηχανολογικών εξαρτημάτων. Τα πρωτότυπα αυτά χρησιμεύουν ως **εποπτικά**, για εκτίμηση της φυσικής μορφής των μηχανολογικών εξαρτημάτων και διόρθωση τυχόν σχεδιαστικών λαθών, ως **λειτουργικά** για έλεγχο σε πολύπλοκους μηχανισμούς (συναρμογών, λειτουργικότητας κλπ.) και ως **τεχνικά** τα οποία χρησιμοποιούνται άμεσα ή έμμεσα για την κατασκευή καλουπιών (tooling).

- *Computer Aided Manufacturing (CAM)*

  Τα αρχεία CAD χρησιμοποιούνται επίσης στην παραγωγή τελικών εξαρτημάτων μέσω του Computer Aided Manufacturing. Το γεωμετρικό αρχείο CAD ενός αντικειμένου χρησιμοποιείται σαν δεδομένο εισόδου από συστήματα CAM, με τα οποία προσδιορίζεται η απαιτούμενη τροχιά του κοπτικού εργαλείου για την κατασκευή του αντίστοιχου εξαρτήματος. Η ηλεκτρονική αυτή πληροφορία τροφοδοτείται σε αυτόματες εργαλειομηχανές (Computer Numerical Control – CNC) οδηγούμενες από Η/Υ, οι οποίες κατασκευάζουν απ' ευθείας το σχεδιασμένο εξάρτημα.

Οφέλη

Η διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής ενός προϊόντος με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD/CAM/CAE) αξιολογείται στη συνέχεια ως προς τις παραμέτρους: χρόνο, ευελιξία, ποιότητα και κόστος, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα οφέλη από τη χρήση της.

- *Χρόνος*

  Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να σχεδιαστεί λεπτομερώς ένα προϊόν με μεθόδους CAD και τελικώς να δημιουργηθεί το εικονικό του πρωτότυπο, το οποίο μπορεί πολύ εύκολα να διορθωθεί μέχρι να πληροί τις προδιαγραφές σχεδιασμού και λειτουργίας, είναι σαφώς πιο λίγος απ' το χρόνο που απαιτείται για να παραχθεί και να αξιολογηθεί ένα φυσικό πρωτότυπο. Στο χρόνο για την παραγωγή του φυσικού πρωτοτύπου θα πρέπει να συμπεριληφθεί εκτός των άλλων, ο χρόνος κατασκευής καλουπιών, όταν πρόκειται για νέο προϊόν, ο χρόνος παραγγελίας των εξαρτημάτων, καθώς επίσης και ο χρόνος που θα χρειαστεί για να διορθωθεί το προϊόν και να κατασκευαστεί εκ νέου, αν δεν είναι αποδεκτό.

- *Ευελιξία*

  Η ευελιξία ίσως είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα της διαδικασίας σχεδιασμού με υπολογιστή. Όλες οι απαιτούμενες διαδικασίες (γεωμετρική μοντελοποίηση, εκτίμηση

μηχανικής και θερμικής συμπεριφοράς, εκτίμηση λειτουργίας κτλ.) εκτελούνται με χρήση του εικονικού πρωτοτύπου όσες φορές είναι απαραίτητο, πολύ γρήγορα, επιτρέποντας έτσι την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων και τον εύκολο προσδιορισμό του βέλτιστου σχεδιασμού.

- *Ποιότητα*

  Η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι υψηλή, μιας και δίνεται η δυνατότητα της εύκολης και γρήγορης ανίχνευσης γεωμετρικών, αισθητικών και λειτουργικών λαθών. Ο σχεδιαστής, μπορεί να επεμβαίνει πολύ εύκολα όσες φορές είναι απαραίτητο στο εικονικό μοντέλο, με αποτέλεσμα πριν φτάσει το προϊόν στη φάση παραγωγής, να έχει υποστεί όλες τις απαιτούμενες βελτιώσεις.

- *Κόστος*

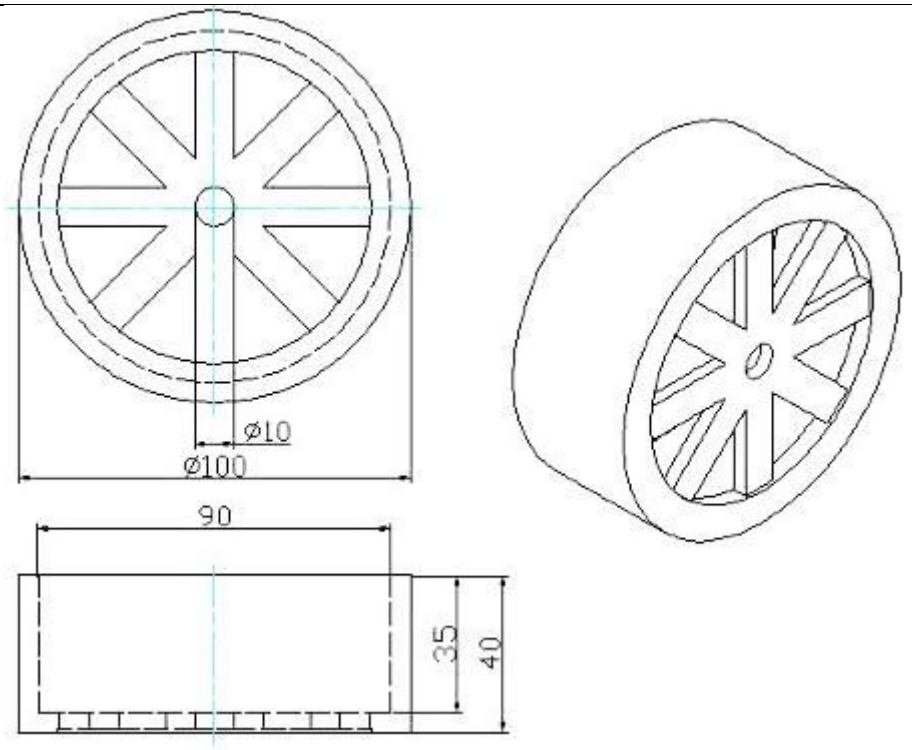
  Το κόστος παραγωγής προφανώς μειώνεται καθώς μειώνεται ο χρόνος σχεδιασμού του προϊόντος. Με την εικονική Πρωτοτυποποίηση του αντικειμένου, μειώνεται η ανάγκη φυσικών πρωτοτύπων και έτσι μειώνεται το κόστος λόγω της οικονομίας των υλικών.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

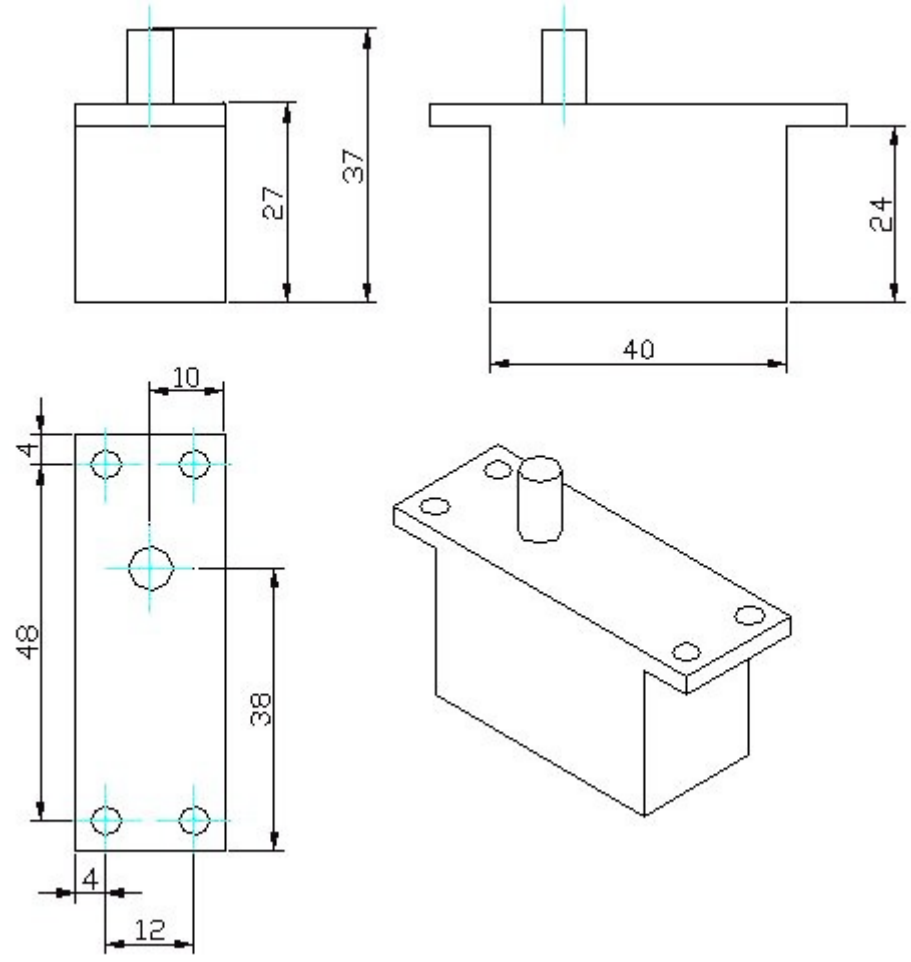
➢Κάθε ομάδα είναι ελεύθερη να πρωτοτυπήσει στον συνολικό σχεδιασμό του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος αρκεί να λάβει υπόψη της του περιορισμούς των διαστάσεων του Πίνακα 1.1 και την μορφή και τις διαστάσεις κάποιων τυποποιημένων εξαρτημάτων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την τελική συναρμολόγηση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος, τα οποία θα δοθούν έτοιμα και θα καθορίσουν σε ένα βαθμό την μορφή και τις διαστάσεις των υπολοίπων εξαρτημάτων. Στον Πίνακα 1.1 παρατίθενται τα κατασκευαστικά σχέδια των εξαρτημάτων που θα δοθούν έτοιμα στις ομάδες για την τελική συναρμολόγηση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

➢ Κατά τον σχεδιασμό ορισμένων εξαρτημάτων, κάθε ομάδα θα πρέπει να λάβει υπόψιν της και τυχόν κατεργασίες που πρέπει να γίνουν στα κομμάτια μετά την κατασκευή τους, π.χ. στραντζάρισμα.

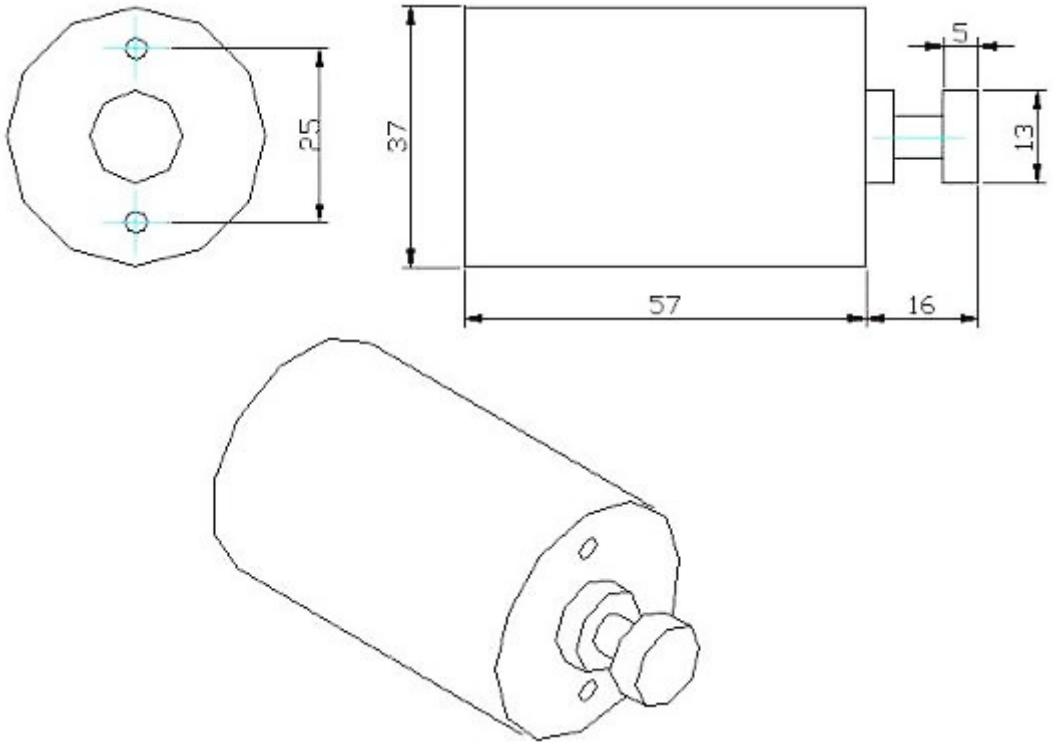
➢***Για την σωστή διεξαγωγή του εργαστηρίου VR, κάθε ομάδα θα πρέπει να παραδώσει τα σχέδια CAD των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος στους υπεύθυνους του συγκεκριμένου εργαστηρίου, 3 εργάσιμες ημέρες πριν από τη διεξαγωγή του.***



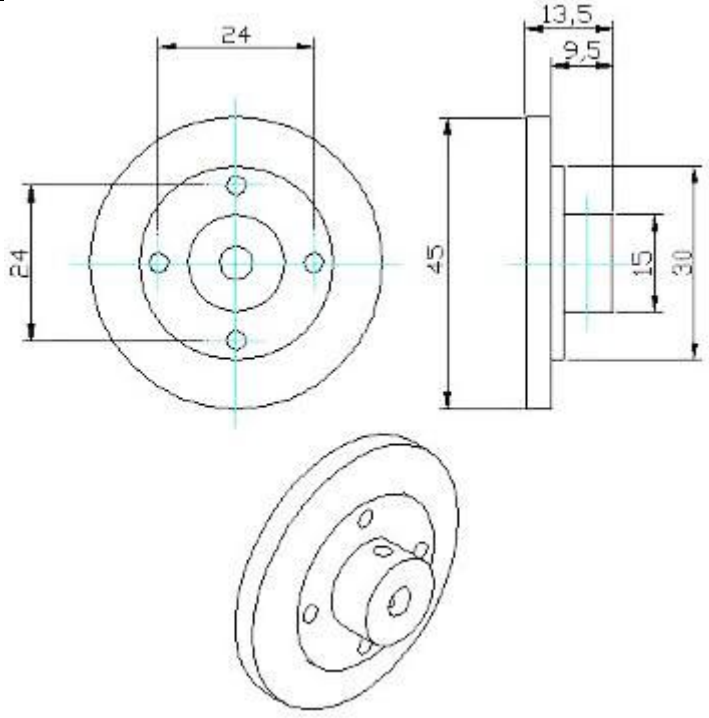
ΤΡΟΧΟΣ



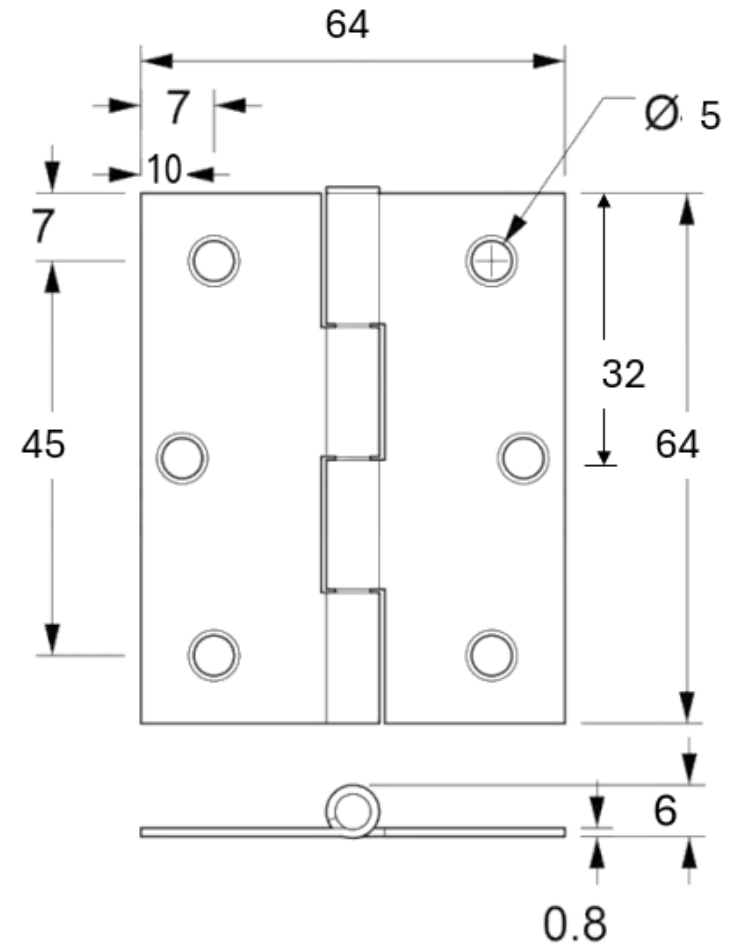
ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ



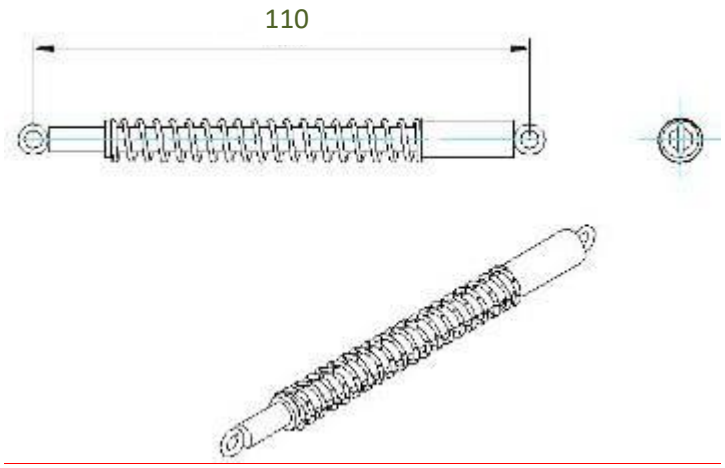
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ



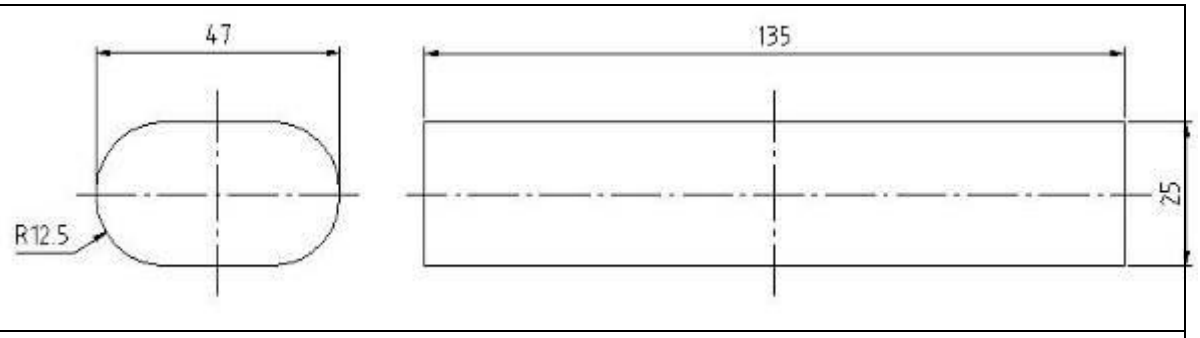
ΓΡΑΝΑΖΙ ΠΙΣΩ ΑΞΟΝΑ



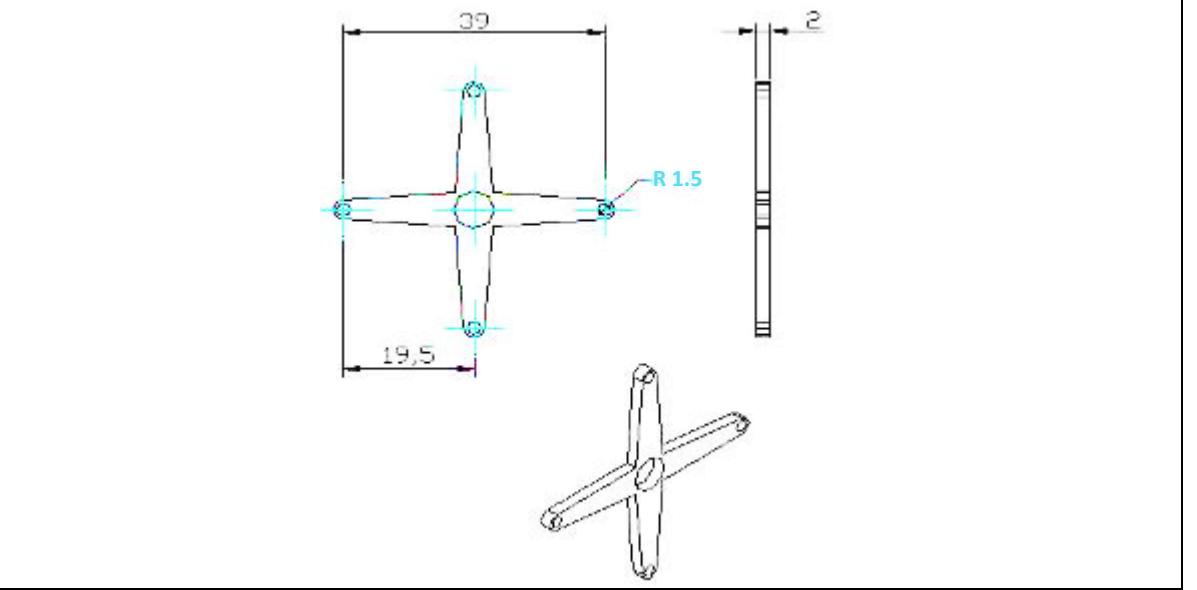
ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ (ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ)



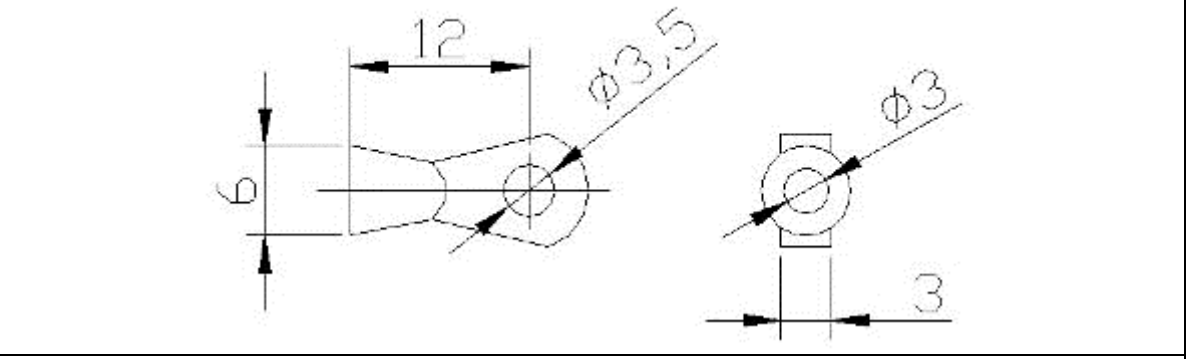
ΑΜΟΡΤΙΣΕΡ



ΜΠΑΤΑΡΙΑ



ΕΞΑΡΤΗΜΑ 13



ΕΞΑΡΤΗΜΑ 17

Πίνακας 1.1: Κατασκευαστικά σχέδια των εξαρτημάτων που θα δοθούν έτοιμα

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (SPC)

ΓΕΝΙΚΑ

Ο έλεγχος των παραγωγικών διεργασιών αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για τη διασφάλιση και διαρκή βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Ένας από τους βασικούς στόχους είναι ο έγκαιρος εντοπισμός μη συμμορφωμένων με τις προδιαγραφές παραγόμενων εξαρτημάτων. Ο έλεγχος κατά τη παραγωγική διεργασία (in-process control) συνεπάγεται την λήψη διορθωτικών ενεργειών για την εξάλειψη των αιτιών που τίθενται υπεύθυνες για τις αποκλίσεις, αποσκοπώντας στη συνεχή βελτίωση της ποιότητας.

Ο Στατιστικός Έλεγχος Παραγωγής (Statistical Process Control-SPC) αφορά στη χρήση τεχνικών στατιστικής για την μέτρηση και ανάλυση αποκλίσεων κατά την παραγωγή. Χρησιμοποιείται κυρίως κατά την παραγωγή προϊόντων/εξαρτημάτων (manufacturing processes) με σκοπό την έλεγχο και την παρακολούθηση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων και την διατήρηση των διαδικασιών παραγωγής σε επίπεδα τέτοια που να οδηγούν στους στόχους του σχεδιασμού. Ο Στατιστικός Ποιοτικός Έλεγχος (Statistical Quality Control) αναφέρεται στην χρήση τεχνικών στατιστικής για τη βελτίωση της ποιότητας των διαδικασιών παραγωγής και συμπεριλαμβάνει SPC σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές όπως σχεδιασμό πειραμάτων (experimental design), ανάλυση δυνατότητας παραγωγής (process capability analysis), κ.ά.

Ορισμένα από τα βασικότερα μεγέθη που μπορούν να ελεγχθούν με χρήση SPC είναι οι ανοχές (tolerances), το τελείωμα επιφάνειας (surface finish), οι βλάβες (defects), κ.ά. Στα πλαίσια του εργαστηρίου SPC θα δοθεί έμφαση στον έλεγχο των ανοχών.

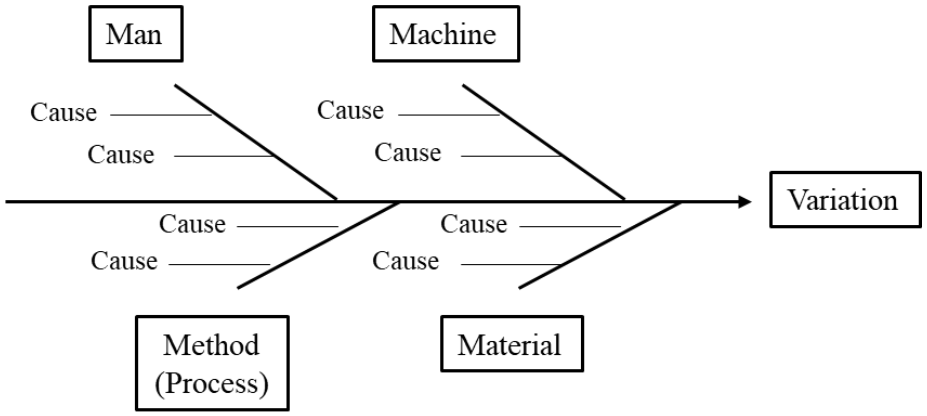
Σχέση ανοχών και ποιότητας

Κατά τη διάρκεια των κατασκευαστικών διεργασιών είναι αναπόφευκτη η εμφάνιση αποκλίσεων σε διάφορα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων όπως διαστάσεις, ποιότητα επιφάνειας, κ.ά., σε σχέση με αυτά που έχουν καθοριστεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Το εύρος των αποκλίσεων αυτών έχει άμεση σχέση με την ποιότητα των παραγομένων προϊόντων που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο υψηλή.
Οι αποκλίσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να οριστούν και σαν μεταβολές (variations), οι οποίες προκύπτουν κατά την παραγωγή μπορεί να οφείλονται σε συστηματικά σφάλματα, για παράδειγμα σε φθορά του εργαλείου, σε δονήσεις των μηχανών ή σε τυχαία σφάλματα, όπως σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα. Κατά τον Ishikawa, η μεταβολή την οποία παρουσιάζει ένα χαρακτηριστικό του παραγομένου εξαρτήματος, εξαρτάται από τους ακόλουθους 4 παράγοντες (Σχήμα **2.1**).

- Την ανθρώπινη εργασία (man)
- Τις μηχανές (machine)
- Το υλικό (material)
- Τη διεργασία (method, process)

Είναι φανερό, λαμβάνοντας υπ' όψη τους παραπάνω παράγοντες, ότι όλες οι παραγωγικές διαδικασίες ενέχουν κάποιο σφάλμα, το οποίο επιβαρύνει το τελικό προϊόν και διαμορφώνει την ποιότητά του. Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά των προϊόντων/εξαρτημάτων που

αποτελεί και βασική παράμετρο της ποιότητας τους είναι η απαιτούμενη ακρίβεια των διαστάσεων τους.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα Ishikawa

Όπως και για όλα τα χαρακτηριστικά ενός εξαρτήματος, έτσι και για τις διαστάσεις είναι αναπόφευκτη η απόκλιση τους με κάποιο εύρος από τις ονομαστικές τιμές. Για το λόγο αυτό και προκειμένου να ελέγχεται η παραγωγή αποδεκτών ή μη αποδεκτών εξαρτημάτων, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού προϊόντων καθορίζονται για κάθε εξάρτημα οι ανοχές από τις ονομαστικές διαστάσεις. Το εύρος των ανοχών, το οποίο διαφέρει για κάθε εξάρτημα και για κάθε διάσταση ανάλογα με τη χρήση του εξαρτήματος και την επιθυμητή ποιότητα, καθορίζεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Αν η απόκλιση των διαστάσεων κατά την παραγωγή είναι ίση ή μικρότερη από τις προβλεπόμενες ανοχές τότε το εξάρτημα θεωρείται αποδεκτό ενώ αν είναι μεγαλύτερη τότε το εξάρτημα θεωρείται μη αποδεκτό.
Οι ανοχές προσδιορίζονται κυρίως κατά το στάδιο του σχεδιασμού αλλά, αλλαγές μπορούν να γίνουν και κατά το στάδιο της παραγωγής. Ο καθορισμός των ανοχών κατά τη φάση του σχεδιασμού ή της παραγωγής γίνεται με βάση ορισμένους παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Φάση Σχεδιασμού	**Φάση Παραγωγής**
Προδιαγραφές χρήσης του προϊόντος	Κόστος παραγωγής
Σχεδιαστικοί στόχοι	Επιλογή διαδικασίας
Προκύπτουσες διαστάσεις	Επιλογή εργαλείων
Προσαρμογή και λειτουργία	Ικανότητα τεχνικού
Ελαχιστοποίηση αποκλίσεων	Δυνατότητα συναρμολόγησης
Ικανοποίηση πελάτη	Μη αποδεκτά προϊόντα

Πίνακας 2.1: Κυριότεροι παράγοντες μεταβολής ανοχών κατά τη φάση του σχεδιασμού και της παραγωγής

Επειδή οι ανοχές αποτελούν σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό και την παραγωγή έχει δημιουργηθεί ένα διεθνές σύστημα ανοχών το οποίο ακολουθείται. Το σύστημα περιλαμβάνει 18 ποιότητες ανοχών (IT01, IT0, IT1,……., IT16 ή απλούστερα 01, 0, 1, ….., 16). Με αυτές τις ποιότητες καλύπτονται όλες οι δυνατές απαιτήσεις των μηχανουργικών κατασκευών, από τις λιγότερο ακριβείς κατασκευές μέχρι τις κατασκευές υψίστης ακριβείας. Στον Πίνακας 2.2 δίνονται οι ελάχιστες αποδεκτές ποιότητες ανοχών για τις συμβατικές κατεργασίες, ενώ στον Πίνακας 2.3 δίνονται οι ανοχές σε μm, για τις τυποποιημένες διαστάσεις από 1 mm έως 500

mm και για όλες τις ποιότητες, σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ISO (International Standardization Organization).

Κατεργασία Κοπής	**Ελαχίστη Αποδεκτή Ποιότητα Ανοχής**
Τορνίρισμα	7
Φρεζάρισμα	7
Πλάνισμα	8
Διάτρηση	7
Επίπεδη Λείανση	6-7
Κυλινδρική Λείανση	6-7

Πίνακας 2.2: Δυνατότητες ακριβείας των κατεργασιών κοπής

Στατιστικός έλεγχος της παραγωγής
Με βάση τα προηγούμενα και με σκοπό την διασφάλιση της ποιότητας των παραγομένων εξαρτημάτων είναι απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος της παραγωγής, ο οποίος μπορεί να γίνει

- για το σύνολο των παραγομένων εξαρτημάτων ή
- για ένα δείγμα του συνόλου χρησιμοποιώντας μεθόδους στατιστικής και λαμβάνοντας συμπεράσματα για το σύνολο της παραγωγής

Ο έλεγχος του συνόλου της παραγωγής αποτελεί μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, η οποία επιβαρύνει το κόστος της παραγωγής και σε μερικές περιπτώσεις όταν η παραγωγή είναι μεγάλη είναι και πρακτικώς αδύνατη.
Για τους λόγους αυτούς, η καλύτερη πρακτική για τον έλεγχο της ποιότητας της παραγωγής είναι η χρήση του Στατιστικού Ελέγχου της Παραγωγής. Ο έλεγχος σε αυτή την περίπτωση γίνεται με **δειγματοληψία και χρήση μεθόδων στατιστικής για την επεξεργασία των δεδομένων και τη λήψη συμπερασμάτων για το σύνολο της παραγωγής**.

Η υλοποίηση του Στατιστικού Ελέγχου επιτυγχάνεται είτε με:

- Τη *Μέθοδο των Μεταβλητών*, σύμφωνα με την οποία γίνεται η μέτρηση ορισμένων χαρακτηριστικών και μεγεθών, όπως στην περίπτωση των διαστάσεων, είτε με
- Τη *Μέθοδο των Ιδιοτήτων*, σύμφωνα με την οποία γίνεται κάθε φορά η καταγραφή της απουσίας ή παρουσίας ενός χαρακτηριστικού.

Για την χρήση του Στατιστικού Ελέγχου είναι απαραίτητος ο καθορισμός των παρακάτω μεγεθών:

- Ο *Πληθυσμός (Population)*: Είναι ο συνολικός αριθμός των παραγόμενων κομματιών σε μια παραγωγικής διαδικασία.
- *Το Δείγμα (Sample)*: Είναι το μέρος του πληθυσμού, το οποίο μετρείται για τον έλεγχο της παραγωγής. Το μέγεθος του δείγματος (sample size) πρέπει να είναι γνωστό.

ΔΙΑΣΤΑΣΗ (σε mm)		Για πρότυπα μήκη, ελεγκτήρες και όργανα μέτρησης						Για συναρμογές							Μεγάλες ανοχές (όχι για συναρμογές)				
Από	Έως	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3	4	6	10	13	25	40	75	100	140	259	409	600
3	6	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	5	8	12	14	30	48	89	120	180	300	480	750
6	10	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	9	15	22	30	58	90	150	220	340	580	900
10	18	0.5	0.8	1.2	2.0	3.0	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1 100
18	30	0.6	1.0	1.5	2.5	4.0	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	810	1 300
30	50	0.6	1.0	1.5	2.5	4.0	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1 000	1 500
50	80	0.8	1.2	2.0	3.0	5.0	8	13	19	30	40	74	120	190	300	460	740	1 200	1 900
80	120	1.0	1.5	2.5	4.0	6.0	10	15	22	35	54	87	140	220	350	510	570	1 400	2 200
120	180	1.2	2.0	3.5	5.0	8.0	12	18	25	40	63	100	160	200	400	630	1 000	1 600	2 500
180	250	2.0	3.0	4.5	7.0	10.0	14	20	29	46	72	115	185	250	460	720	1 150	1 850	2 800
250	315	2.5	1.0	6.0	8.0	12.0	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1 300	2 100	3 200
315	400	3.0	5.0	7.0	9.0	13.0	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1 400	2 300	3 600
400	500	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1 550	2 500	4 000

Πίνακας 2.3: Ανοχές ποιοτήτων κατά ISO (σε μm)

Στον Στατιστικό Έλεγχο είναι συχνή η χρήση δειγμάτων, για την εκτίμηση της κατανομής του πληθυσμού. Η μέτρηση των δεδομένων κάθε δείγματος, συνήθως 4 ή 5 μετρήσεις, έχει έναν μέσο όρο δείγματος $\overline{X}$, μια τυπική απόκλιση δείγματος s, και μια περιοχή διακύμανσης, R, η οποία είναι η διαφορά ανάμεσα στην μεγαλύτερη και την μικρότερη μέτρηση του δείγματος.

Ομάδες από μετρήσεις δειγμάτων έχουν επίσης χαρακτηριστικά κατανομής. Δεδομένου ότι κάθε δείγμα έχει μια περιοχή διακύμανσης, η ομάδα έχει έναν μέσο όρο περιοχών διακύμανσης $\overline{R}$, όμοια έχει έναν μέσο όρο τυπικών αποκλίσεων δειγμάτων $\bar{s}$ και έναν μέσο όρο των μέσων όρων των δειγμάτων $\overline{\overline{X}}$. Η κατανομή των μέσων όρων έχει μια τυπική απόκλιση μέσων όρων δείγματος, $s_{\bar{x}}$. Τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα αναφέρονται στον Πίνακα 2.4.

Δεδομένα πληθυσμού	**Σύμβολα**
Μέσος όρος πληθυσμού	μ
Τυπική απόκλιση πληθυσμού	σ
Δεδομένα δείγματος	
Μέσος όρος δείγματος	$\overline{X}$
Τυπική απόκλιση δείγματος	s
Εύρος δείγματος	R
Μέγεθος δείγματος	N
Ομάδες δεδομένων δείγματος	
Μέσος όρος μέσων όρων	$\overline{\overline{X}}$
Μέσος όρος ευρών	$\overline{R}$
Μέσος όρος τυπικών αποκλίσεων	$\bar{s}$
Τυπική απόκλιση μέσων όρων	s_x

Πίνακας 2.4: Σύμβολα στατιστικού ελέγχου

Παράδειγμα: Για τον έλεγχο της κατασκευής ενός κυλίνδρου με ονομαστική διάμετρο D = 74 mm, με την μέθοδο των μεταβλητών, ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Λαμβάνεται δείγμα 5 κυλίνδρων (N = 5). Μετριέται η διάμετρος τους και κατόπιν υπολογίζεται η μέση τιμή των μετρήσεων. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται 25 φορές. Από τις μετρήσεις υπολογίζεται η μέση τιμή της περιοχής διακύμανσης ($\overline{R}$):

$$\overline{R} = \frac{1}{g} \sum_{j=1}^{25} R_j, \quad \text{όπου} \qquad (2.1)$$

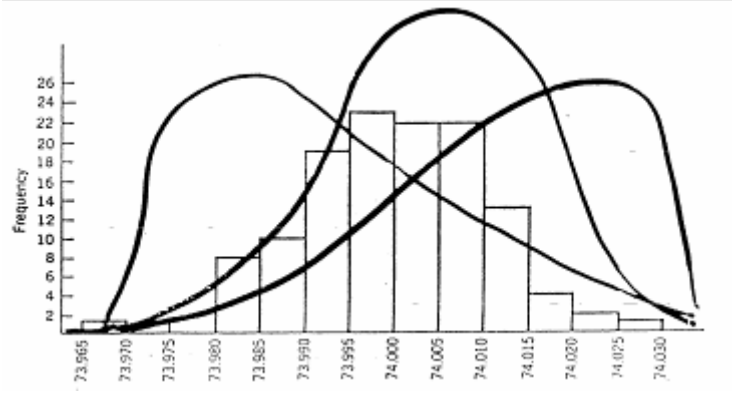
$$R_j = \left(D_{max} - D_{min}\right)_j, \; (j = 1, 2, \ldots 25)$$

g: η επαναλήψεις της διαδικασίας (δηλ. 25)

Οι δειγματοληπτικές μετρήσεις δίδονται στον Πίνακα 2.5. Με βάση τις τιμές αυτές, κατασκευάζεται το διάγραμμα συχνοτήτων με στόχο την προσέγγιση της κατανομής, την οποία ακολουθεί ο συγκεκριμένος πληθυσμός (Σχήμα 2.2). Κατά κανόνα η κατανομή αυτή είναι κανονική κατανομή (Gauss).

Αριθμός Δείγματος	Μετρήσεις				
1	74.030	74.002	74.019	73.992	74.008
2	73.995	73.992	74.001	74.011	74.004
3	73.988	74.024	74.021	74.005	74.002
4	74.002	73.996	73.993	74.015	74.009
5	73.992	74.007	74.015	73.989	74.014
6	74.009	73.994	73.997	73.985	73.993
7	73.995	74.006	73.994	74.000	74.005
8	73.985	74.003	73.993	74.015	73.988
9	74.008	73.995	74.009	74.005	74.004
10	73.998	74.000	73.990	74.007	73.995
11	73.994	73.998	73.994	73.995	73.990
12	74.004	74.000	74.007	74.000	73.996
13	73.983	74.002	73.998	73.997	74.012
14	74.006	73.967	73.994	74.000	73.984
15	74.012	74.014	73.998	73.999	74.007
16	74.000	73.984	74.005	73.998	73.996
17	73.994	74.012	73.986	74.005	74.007
18	74.006	74.010	74.018	74.003	74.000
19	73.984	74.002	74.003	74.005	73.997
20	74.000	74.010	74.013	74.020	74.003
21	73.988	74.001	74.009	74.005	73.996
22	74.004	73.999	73.990	74.006	74.009
23	74.010	73.989	73.990	74.009	74.014
24	74.015	74.008	73.993	74.000	74.010
25	73.982	73.984	73.995	74.017	74.013

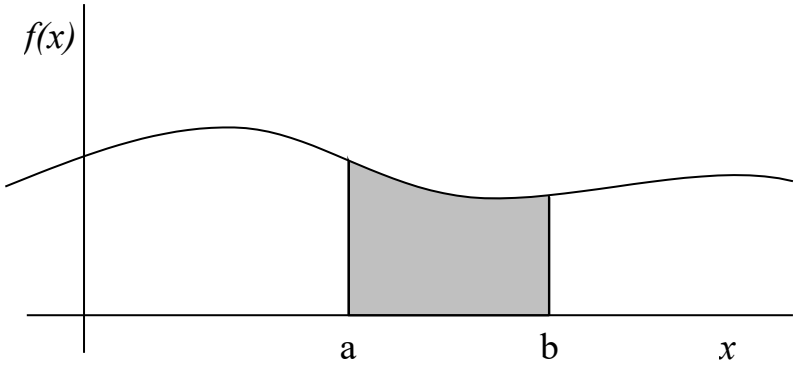
Πίνακας 2.5: Αποτελέσματα μετρήσεων 25 δειγμάτων



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα συχνοτήτων

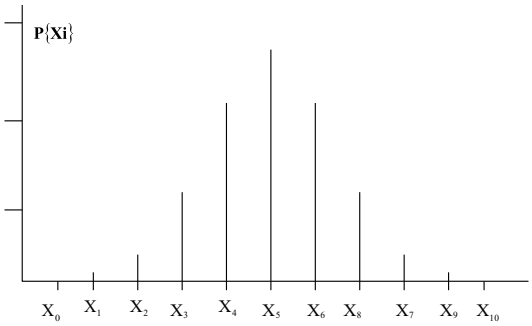
Στοιχεία Στατιστικής

Η κατανομή πιθανότητας (probability distribution), είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που συνδέει ένα μέγεθος με την πιθανότητα να έχει αυτό μια ορισμένη τιμή. Μια κατανομή μπορεί να είναι: Συνεχής (continuous) ή Διακριτή (discrete), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



Συνεχής Κατανομή

$$P\{a \le x \le b\} = \int_{\alpha}^{b} f(x)dx$$

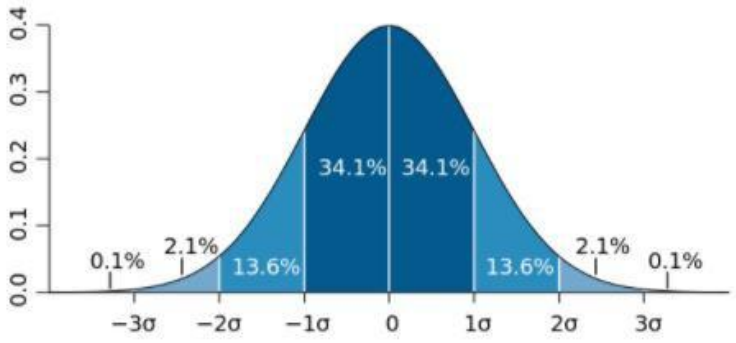


Διακριτή Κατανομή

$$P\{x = X_i\} = p\{X_i\}$$

Σχήμα 2.3: Συνεχής και Διακριτή κατανομή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κατανομή, η οποία έχει ενδιαφέρον στον έλεγχο της παραγωγής, είναι η κατανομή Gauss (ή κανονική κατανομή), επειδή προσεγγίζει την κατανομή πολλών ποσοτήτων πρακτικού ενδιαφέροντος (όπως μετρήσεων μήκους, βάρους κα) και επειδή αποτελεί όριο άλλων κατανομών. Το εύρος της θεωρούμενης απόκλισης, λαμβανόμενο ως πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης σ, της κανονικής κατανομής με μέση τιμή μ (Σχήμα 2.4), απεικονίζει και το ποσοστό του πληθυσμού, που βρίσκεται μέσα στα προκαθορισμένα όρια.



Σχήμα 2.4: Κατανομή Gauss

Για την κανονική κατανομή, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (2.2)$$

όπου

x, τυχαία πραγματική μεταβλητή,
μ, μέση τιμή της κατανομής
σ, τυπική απόκλιση (σ^2 , διασπορά)

Η πιθανότητα της μεταβλητής x να είναι μικρότερη ή ίση από κάποια τιμή *α*, δίδεται από την σχέση:

$$P\{x\le\alpha\}=F\{\alpha\}=\int_{-\infty}^{\alpha}f(x)dx \quad (2.3)$$

όπου f(x), η συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας βάσει της σχέσης (2.1).

Η μέση τιμή δείγματος ενός πληθυσμού ο οποίος ακολουθεί την κανονική κατανομή υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\bar{X}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}Xi \quad (2.4)$$

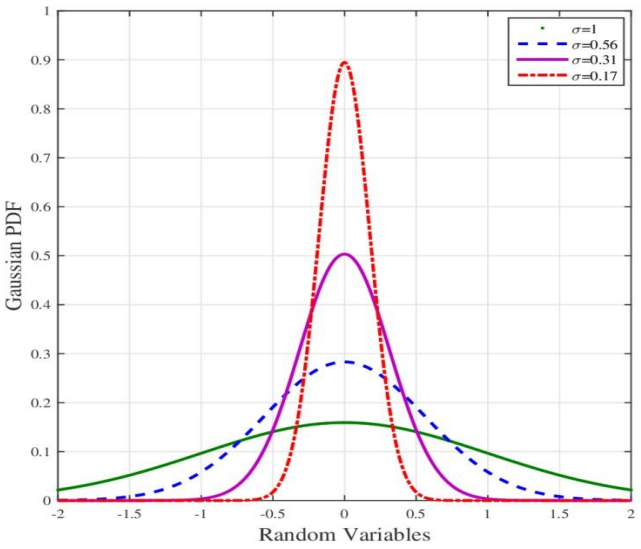
ενώ η τυπική απόκλιση του δείγματος,

$$s=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_i-\overline{X})^2} \quad (2.5)$$

όπου N, το μέγεθος του δείγματος και
X_i η i παρατήρηση του δείγματος

Όσο το μέγεθος του δείγματος πλησιάζει τον πληθυσμό, τόσο ο μέσος όρος του δείγματος $\overline{X}$ και η τυπική απόκλιση s, προσεγγίζουν τον μέσο όρο μ και την τυπική απόκλιση σ της κατανομής.

Η αριθμητική τιμή της τυπικής απόκλισης καθορίζει την μορφή της καμπύλης της κανονικής κατανομής (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Μορφές κανονικής κατανομής

Τυπική Κανονική Κατανομή (Standard Normal Distribution) ονομάζεται η κανονική κατανομή με μέση τιμή μ=0 και διασπορά σ^2=1, δηλαδή N (μ, σ^2) = N (0, 1).

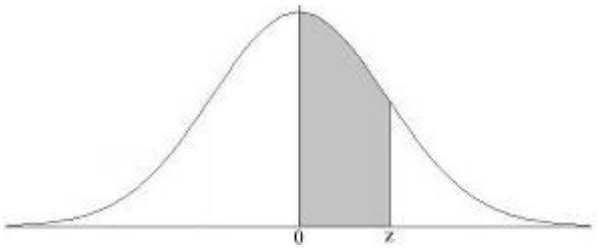
Εάν η τυχαία μεταβλητή x ακολουθεί την κανονική κατανομή, τότε η τυχαία μεταβλητή z, όπου z=(x-μ)/σ, ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή.

Η πιθανότητα της μεταβλητής z να είναι μικρότερη ή ίση από κάποια τιμή α, δίνεται από τη σχέση

$$P\{z \le \alpha\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} \exp\left(-\frac{1}{2} z^2\right) dz = \Phi\ (\alpha) \qquad (2.6)$$

όπου Φ η συνάρτηση κατανομής της Τυπικής Κανονικής Κατανομής, τιμές της οποίας δίδονται στον Πίνακα 2.6.

Η μέτρηση του συνόλου ενός πληθυσμού δεν είναι πάντοτε δυνατή, αλλά ούτε και απαραίτητη. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η δειγματοληψία. Προϋπόθεση για την διεξαγωγή δειγματοληψίας είναι η παραδοχή, ότι ο πληθυσμός ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή.



Areas under the Standard Normal Curve from 0 to z

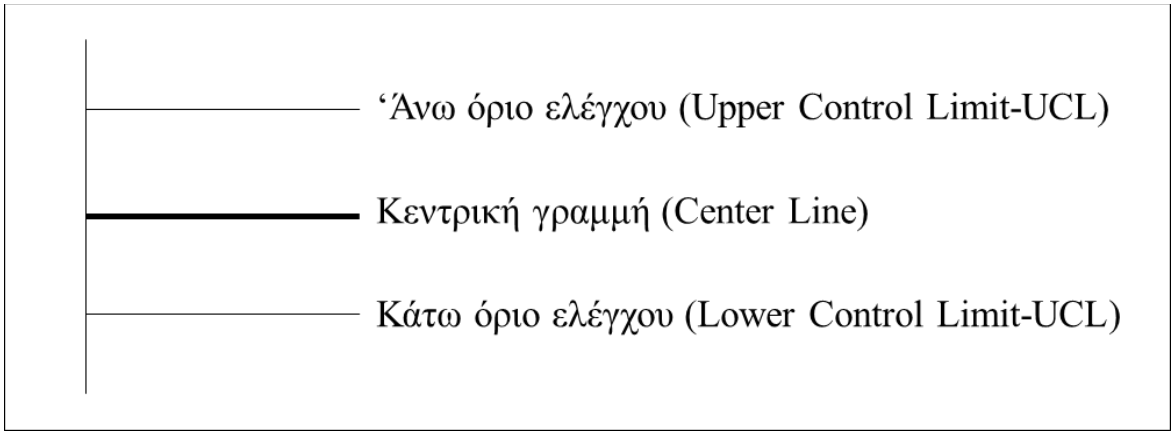
z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1722	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4980
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

Πίνακας 2.6: Πίνακας τιμών κανονικής κατανομής

Διαγράμματα Ελέγχου

Για την επίβλεψη και τον έλεγχο των παραγομένων προϊόντων και κατ' επέκταση των παραγωγικών διαδικασιών με τη χρήση SPC, χρησιμοποιούνται διαγράμματα ελέγχου, τα οποία δίνουν στοιχεία για τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα, σε όλη τη διάρκεια της παραγωγής.

Τα διαγράμματα ελέγχου γενικά αποτελούνται από μια κεντρική γραμμή (Center line) και από δύο όρια, τα οποία ονομάζονται όρια ελέγχου (Control Limits –CL) και ορίζουν μια περιοχή στην οποία η παραγωγική διαδικασία έχει αποδεκτή συμπεριφορά.



Σχήμα 2.6: Γενική μορφή διαγραμμάτων ελέγχου

Τα όρια ελέγχου τίθενται συνήθως σε απόσταση 3σ (σ: τυπική απόκλιση) πάνω και κάτω από την μέση τιμή της διεργασίας. Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων ελέγχου καθορίζεται αρχικά το μέγεθος το οποίο θα μετρηθεί (π.χ. κρίσιμη διάσταση), ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η δειγματοληψία (π.χ. ανά ώρα, βάρδια κλπ.) και το πλήθος κάθε δειγματοληψίας (υποομάδας). Για κάθε υποομάδα πλήθους n, ο μέσος $\overline{X}_i$ μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση

$$\overline{X}_i = \frac{1}{n}\left(X_1 + X_2 + \ldots + X_n\right) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_j \qquad (2.7)$$

όπου n = πλήθος υποομάδας, $\overline{X}_i$ = μέση τιμή της υποομάδας I

Διαγράμματα ελέγχου $\overline{X}$ και R

Τα διαγράμματα $\overline{X}$ (X-bar) και R είναι οι χαρακτηριστικότεροι τύποι διαγραμμάτων ελέγχου και χρησιμοποιούνται συνήθως μαζί. Το $\overline{X}$ διάγραμμα ελέγχει την μέση τιμή της διεργασίας, ενώ το R διάγραμμα ελέγχει την διασπορά ή την διακύμανση της διεργασίας. Μια αλλαγή στην μέση τιμή της διεργασίας θα φανεί στο $\overline{X}$ διάγραμμα αλλά όχι στο αντίστοιχο R. Ομοίως, μια αλλαγή στην διακύμανση δεν φαίνεται στο $\overline{X}$ διάγραμμα, όμως είναι εμφανής στο R διάγραμμα.

Για την ανάπτυξη των διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R είναι απαραίτητο καταρχήν να υπολογιστούν η κεντρική γραμμή και τα όρια ελέγχου:

Διάγραμμα X-bar

Η κεντρική γραμμή ενός διαγράμματος $\bar{X}$ τίθεται στο ολικό μέσο (grand mean) το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{g}(\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \ldots + \bar{X}_g) = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} \bar{X}_i \qquad (2.8)$$

Όπου
g = ολικός αριθμός υποομάδων

Δίνονται οι παρακάτω εξισώσεις για τον υπολογισμό των άνω και κάτω ορίων ελέγχου για τα $\bar{X}$ διαγράμματα:

Άνω όριο ελέγχου διαγράμματος $\bar{X}$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2\,\bar{R} \qquad (2.9\alpha)$$

Κάτω όριο ελέγχου διαγράμματος $\bar{X}$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2\,\bar{R} \qquad (2.9\beta)$$

Διάγραμμα R

Το εύρος (R) κάθε υποομάδας μπορεί να υπολογιστεί ως η διαφορά μεταξύ της μεγαλύτερης και της μικρότερης τιμής της.

Η κεντρική γραμμή του διαγράμματος R τίθεται στην μέση τιμή του εύρους της κάθε υποομάδας και δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{R} = \frac{1}{g}\left(R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_g\right) = \frac{1}{g}\sum_{i=1}^{g} R_i \qquad (2.10)$$

Τα άνω και κάτω όρια ελέγχου υπολογίζονται από τις σχέσεις:

Άνω όριο ελέγχου διαγράμματος R

$$UCL_R = D_4\bar{R} \qquad (2.11\alpha)$$

Κάτω όριο ελέγχου διαγράμματος R

$$LCL_R = D_3\bar{R} \qquad (2.11\beta)$$

Οι ποσότητες A_2, D_3 και D_4 είναι συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 2.9.

Μεθοδολογία σχεδιασμού διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τη σχεδίαση των $\overline{X}$ και R διαγραμμάτων είναι η εξής:

1. Καθορισμός του μετρούμενου μεγέθους (π.χ. κρίσιμη διάσταση)
2. Καθορισμός της υποομάδας g (π.χ. ανά βάρδια, ώρα)
3. Καθορισμός του μεγέθους δειγματοληψίας n της κάθε υποομάδας (π.χ. μέτρηση κρίσιμης διάστασης n εξαρτημάτων που παράχθηκαν στις βάρδιες, ώρες)
4. Για το διάγραμμα $\overline{X}$: Υπολογισμός του μέσου όρου $\overline{X}$ των μετρήσεων της κάθε υποομάδας (τύπος 2.7).
5. Υπολογισμός του μέσου όρου των μέσων όρων (grand mean) $\overline{\overline{X}}$ των μετρήσεων της κάθε υποομάδας. Ο μέσος όρος των μέσων όρων είναι η κεντρική γραμμή του διαγράμματος $\overline{X}$ (τύπος 2.8).
6. Υπολογισμός του εύρους R των μετρήσεων της κάθε υποομάδας (εύρος R = μέγιστη τιμή μέτρησης – ελάχιστη τιμή μέτρησης)
7. Υπολογισμός του μέσου όρου των εύρων $\overline{R}$ (τύπος 2.10)
8. Υπολογισμός ορίων ελέγχου διαγράμματος $\overline{X}$ (τύποι 2.9α, 2.9β)
9. Σχεδιασμός του $\overline{X}$ διαγράμματος
10. Για το διάγραμμα R: Υπολογισμός των ορίων ελέγχου του διαγράμματος (τύποι 2.11α, 2.11β)
11. Σχεδιασμός του R διαγράμματος
12. Τοποθέτηση των τιμών $\overline{X}$ και R στα αντίστοιχα διαγράμματα και εκτίμηση της παραγωγής.

Παράδειγμα: Κατά την παραγωγή ενός κυλινδρικού κομματιού μηχανής αυτοκινήτου, γίνεται δειγματοληψία σε 20 βάρδιες (g=20) της γραμμής παραγωγής. Σε κάθε βάρδια γίνονται τρεις δειγματοληπτικές μετρήσεις (n=3) της διαμέτρου του κυλίνδρου (μετρούμενο μέγεθος), οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακας 2.7.

Αριθμός Βάρδιας	Μέτρηση 1ου δείγματος	Μέτρηση 2ου δείγματος	Μέτρηση 3ου δείγματος
1	2,0000	1,9998	2,0002
2	1,9998	2,0003	2,0002
3	1,9998	2,0001	2,0005
4	1,9997	2,0000	2,0004
5	2,0003	2,0003	2,0002
6	2,0004	2,0003	2,0000
7	1,9998	1,9998	1,9998
8	2,0000	2,0001	2,0001
9	2,0005	2,0000	1,9999
10	1,9995	1,9998	2,0001
11	2,0002	1,9999	2,0001
12	2,0002	1,9998	2,0005
13	2,0000	2,0001	1,9998
14	2,0000	2,0002	2,0004
15	1,9994	2,0001	1,9996
16	1,9999	2,0003	1,9993
17	2,0002	1,9998	2,0004
18	2,0000	2,0001	2,0001
19	1,9997	1,9994	1,9998
20	2,0003	2,0007	1,9999

Πίνακας 2.7: Μετρήσεις δειγμάτων σε είκοσι βάρδιες

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζεται το εύρος των μετρήσεων των δειγμάτων καθώς και ο μέσος όρος των τιμών των δειγμάτων από κάθε βάρδια. Αυτά τα σημεία θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό των διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R, και δίνονται στον Πίνακα 2.8.

Αριθμός Βάρδιας	**Τιμές διαγράμματος R (εύρος)**	**Τιμές διαγράμματος $\overline{X}$ (μέσος όρος τιμών)**
1	0,0004	2,0000
2	0,0005	2,0001
3	0,0007	2,0001
4	0,0007	2,0000
5	0,0001	2,0003
6	0,0004	2,0002
7	0,0000	1,9998
8	0,0001	2,0001
9	0,0006	2,0001
10	0,0006	1,9998
11	0,0003	2,0001
12	0,0007	2,0002
13	0,0003	2,0000
14	0,0004	2,0002
15	0,0007	1,9997
16	0,0010	1,9998
17	0,0006	2,0001
18	0,0001	2,0001
19	0,0004	1,9996
20	0,0008	2,0003

Πίνακας 2.8: Τιμές διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R για κάθε βάρδια

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζουμε, βάση των εξισώσεων (2.8) και (2.10) την κεντρική γραμμή των διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R. Έτσι έχουμε:

$$\text{Κεντρική γραμμή Διαγράμματος } \overline{X} : \overline{\overline{X}} = 2{,}0000$$

$$\text{Κεντρική γραμμή Διαγράμματος R} \ : \ \overline{\text{R}} = 0{,}0005$$

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (2.9α, 2.9β) (2.11α, 2.11β) και τις τιμές των A_2, D_3, D_4, του Πίνακα 2.9 υπολογίζονται τα άνω και κάτω όρια των διαγραμμάτων $\overline{X}$ και R.

n	**D_3**	**D_4**	**A_2**
2	0	3.267	1.880
3	0	2.574	1.023
4	0	2.282	0.729
5	0	2.114	0.577
6	0	2.004	0.483
7	0.076	1.924	0.419
8	0.136	1.864	0.373
9	0.184	1.816	0.337

Πίνακας 2.9: Τιμές των A_2, D_3, D_4 για διαφορετικά n (όπου n = μέγεθος δείγματος)

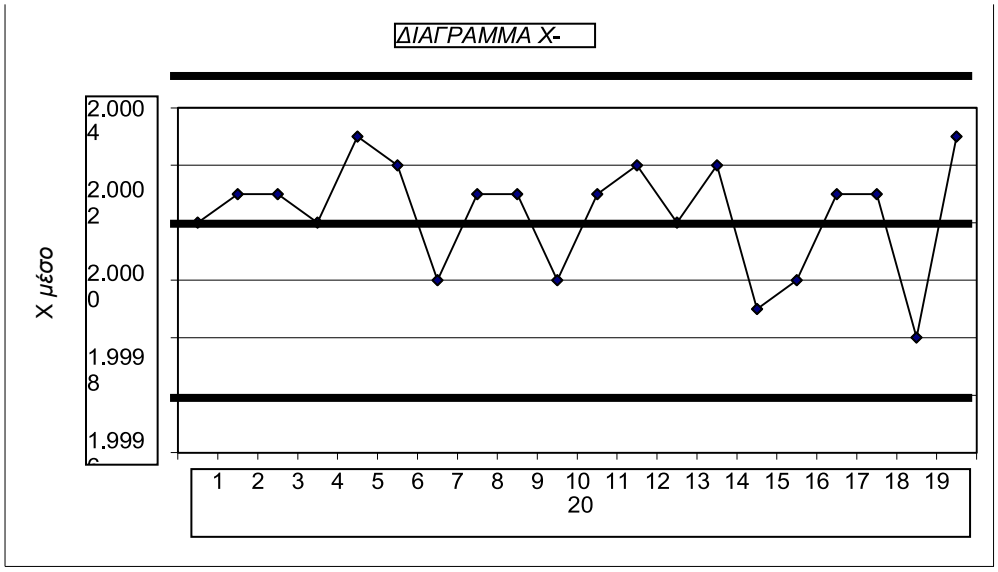
Έτσι έχουμε για τα άνω και κάτω όρια του διαγράμματος $\overline{X}$:

$$\text{UCL} = \overline{\overline{X}} + \text{A}_2 * \overline{R} = 2{,}000 + 1{,}023 * 0{,}0005 = 2{,}0005$$
$$\text{LCL} = \overline{\overline{X}} - \text{A}_2 * \overline{R} = 2{,}000 - 1{,}023 * 0{,}0005 = 1{,}9994$$

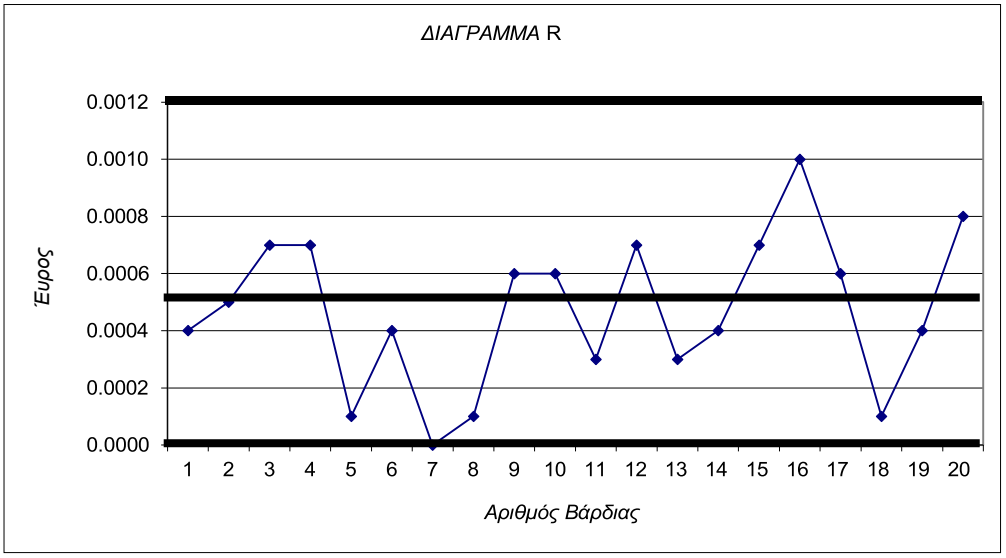
Και για τα άνω και κάτω όρια του διαγράμματος R:

$$UCL = D_4 * \overline{R} = 2{,}574 * 0{,}0005 = 0{,}001287$$
$$LCL = D_3 * \overline{R} = 0{,}000 * 0{,}0005 = 0{,}0$$

Βάση των παραπάνω αποτελεσμάτων τα διαγράμματα $\overline{X}$ και R μπορούν να ολοκληρωθούν δίνοντας μια εικόνα της ποιότητας και αξιοπιστίας της γραμμής παραγωγής.



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα $\overline{X}$



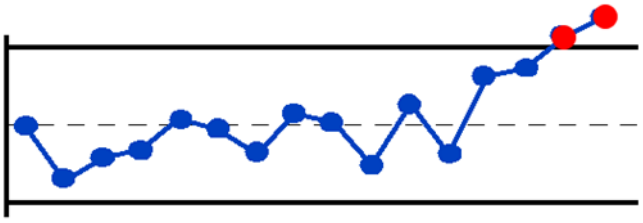
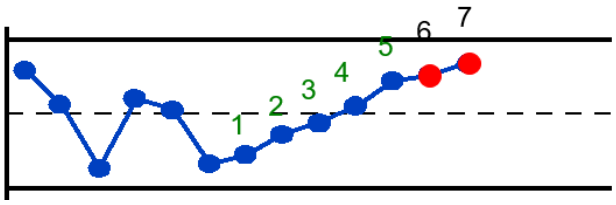
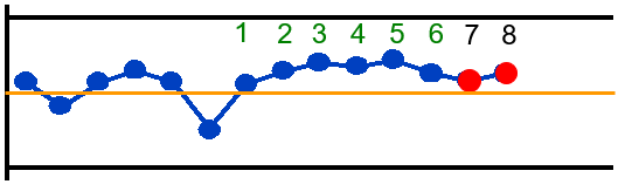
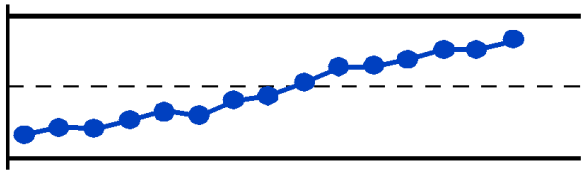
Σχήμα 2.8: Διάγραμμα R

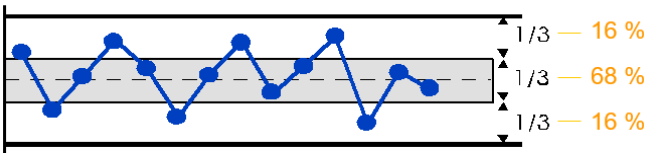
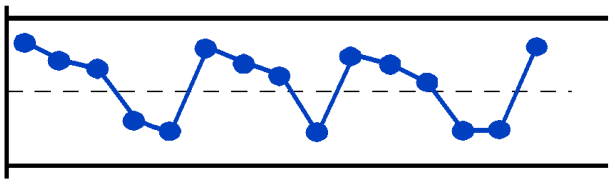
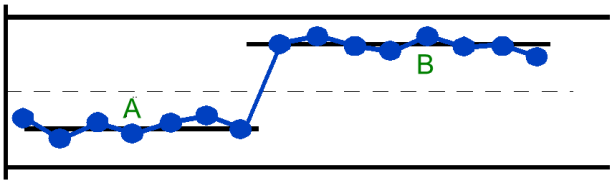
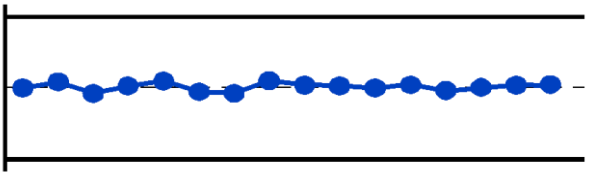
Τα διαγράμματα X-bar και R είναι μια γραφική παράσταση ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής. Όταν η διαδικασία είναι υπό έλεγχο, τα σχεδιαζόμενα σημεία πρέπει να είναι κατανεμημένα μεταξύ των άνω και κάτω ορίων ελέγχου. Η διαδικασία έχει διαταραχθεί λόγω σφάλματος, αν έστω και ένα σημείο βρίσκεται εκτός των ορίων, ή αν επτά συνεχόμενα σημεία εμφανίζονται στην ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής.

Εάν μια παραγωγική διαδικασία είναι ευαίσθητη σε κυκλικές μεταβολές, όπως η θερμοκρασία ή η πίεση, αυτό φαίνεται στα διαγράμματα ελέγχου από την κίνηση των μέσων όρων των δειγμάτων.

Τα διαγράμματα ελέγχου απεικονίζουν την εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας και παρέχουν έναν εύκολο τρόπο για στατιστική ανάλυση δεδομένων μέτρησης, προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση μιας σύνθετης παραγωγικής διαδικασίας.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά μοτίβα σημείων ως κανόνες απόφασης για την παρουσία ειδικών αιτιών σε μια διεργασία, χαρακτηριστικό ποιότητας της οποίας παριστάνεται υπό τη μορφή ενός διαγράμματος ελέγχου:

Ένα ή περισσότερα σημεία εκτός των ορίων ελέγχου, που συνήθως θέτονται σε απόσταση 3 τυπικών αποκλίσεων από την κεντρική γραμμή (3-σίγμα όρια ελέγχου).		Αξιολογεί το μοτίβο της διακύμανσης για σταθερότητα. Παρέχει τη πιο ισχυρή ένδειξη έλλειψης ελέγχου.
Έξι σημεία στη σειρά, όλα αυξανόμενα ή όλα μειούμενα.		Συνεχής κίνηση προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Αυτός ο έλεγχος αναζητά μεγάλες ακολουθίες συνεχόμενων σημείων χωρίς αλλαγή κατεύθυνσης.
Σειρά ή διαδοχή σημείων στην ίδια πλευρά της κεντρικής γραμμής.		7 συνεχόμενα σημεία ή 10 από τα 11. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία έχει αλλάξει ελαφρά. Αλλαγές στις ρυθμίσεις θα μπορούσαν να προκαλέσουν αυτό το αποτέλεσμα.
Σταδιακές αλλαγές ή τάση (Trend).		Η διαδικασία σταδιακά βγαίνει εκτός ελέγχου. Είναι σημαντικό να εντοπίσουμε τι αλλάζει και να δράσουμε πριν ξεπεραστούν τα όρια ελέγχου.

Μεγάλη διασπορά.		Μια ασταθής ή διακυμαινόμενη διαδικασία, που σημαίνει ότι είναι απρόβλεπτη. Απαιτείται δράση για τη σταθεροποίησή της.
Κυκλικό μοτίβο.		Δείχνει κυκλικές διακυμάνσεις. Πρέπει να εντοπιστεί η αιτία των διακυμάνσεων για να σταθεροποιηθεί η διαδικασία. Κυκλικές αλλαγές στη θερμοκρασία, στην πίεση ή στις πρώτες ύλες μπορούν να προκαλέσουν τέτοιο αποτέλεσμα.
Μετατόπιση διεργασίας (Process Shift).		Μια ξαφνική αλλαγή στη μέση τιμή ή στον μέσο όρο δείχνει απότομη μεταβολή στη διαδικασία. Απαιτείται διερεύνηση της αιτίας αυτής της ξαφνικής αλλαγής.
Έλλειψη διακύμανσης ή “Συγκέντρωση γύρω από τη μέση”. (15 συνεχόμενα σημεία μέσα σε 1 τυπική απόκλιση)		Αυτό δείχνει ότι η διακύμανση της διαδικασίας είναι πολύ μικρή. Πρέπει να εντοπίσουμε τι άλλαξε και μείωσε τη διακύμανση, ώστε να μπορεί να επαναληφθεί στο μέλλον. Ωστόσο, πολύ συχνά ένα τέτοιο διάγραμμα ελέγχου οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης ή λανθασμένη στρατηγική υπο-ομαδοποίησης.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Το εργαστήριο έχει συνολική διάρκεια δύο ωρών. Κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου που γίνεται υπό μορφή σεμιναρίου, οι φοιτητές έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθήσουν:

- Μια εισαγωγή στην έννοια του Στατιστικού Ελέγχου Παραγωγής και των χαρακτηριστικών των προϊόντων που μπορούν να ελεγχθούν με αυτή την τεχνική
- Μια εισαγωγή στην έννοια των ανοχών που καθορίζονται κατά το σχεδιασμό εξαρτημάτων και πως αυτές συνδέονται με την ποιότητα του προϊόντος
- Τον τρόπο με τον οποίο ελέγχεται η ποιότητα ανοχών
- Παραδείγματα Στατιστικού Ελέγχου Παραγωγής
- Περιγραφή διαγραμμάτων ελέγχου διαδικασιών παραγωγής

Η κάθε ομάδα των φοιτητών, προκειμένου να εξοικειωθεί με την έννοια του στατιστικού ελέγχου, θα παραλάβει έναν πίνακα με δείγματα πραγματικών μετρήσεων συγκεκριμένης διάστασης του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος και θα πραγματοποιήσει όλα τα βήματα του στατιστικού ελέγχου που θα έχει παρακολουθήσει κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ (DFA)

ΓΕΝΙΚΑ

Τα τελευταία 30 χρόνια έχει δοθεί σημαντική έμφαση στην έρευνα γύρω από τις παραγωγικές διαδικασίες (manufacturing). Η έννοια του Κύκλου Ζωής ενός προϊόντος χρησιμοποιήθηκε για να καθοριστούν τα σημαντικότερα στάδια της ανάπτυξης ενός προϊόντος, τα στοιχεία που εμπλέκονται σε κάθε στάδιο και η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των στοιχείων.

Μετά την ανάγκη που προκύπτει για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος ακολουθεί ο σχεδιασμός του. Ένα κεντρικό στοιχείο αυτού του σταδίου του κύκλου ζωής του προϊόντος είναι ο Σχεδιασμός για τη Συναρμολόγησή του (Design for Assembly - DFA). Ο Σχεδιασμός για Συναρμολόγηση είναι ένα σετ από διαδικασίες που έχουν ως στόχο την καθοδήγηση των μηχανικών στο σχεδιασμό προϊόντων για εύκολη συναρμολόγηση. Το DFA είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τους μηχανικούς στο σχεδιασμό προϊόντων και την παραγωγή αυτών με ελάχιστο κόστος, εστιάζοντας στον αριθμό των ανταλλακτικών, στο χειρισμό και στην ευκολία συναρμολόγησης.

Ο στόχος του DFA είναι η βελτιστοποίηση της συναρμολόγησης ενός συστήματος ή εξαρτήματος. Αντιθέτως, ο στόχος του σχεδιασμού για Μεταποίηση (Design for Manufacturing – DFM) είναι η βελτιστοποίησης μιας μεταποιητικής διεργασίας. Πρέπει να επισημανθεί ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο σταδίων ζωής ενός προϊόντος όπως παρατίθενται παρακάτω:

- DFA: αφορά τη μείωση του κόστους συναρμολόγησης του προϊόντος
- DFM: ασχολείται με τη μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής

Παρόλα αυτά οι σημαντικότερες ομοίοτητες μεταξύ των παραπάνω σταδίων ζωής είναι οι ακόλουθες:

- Τόσο η DFM όσο και η DFA επιδιώκουν τη μείωση του υλικού, τη μείωση των εξόδων και το κόστος της εργασίας.
- Συντομεύουν τον κύκλο ανάπτυξης προϊόντων
- Τόσο η DFM όσο και η DFA επιδιώκουν να χρησιμοποιήσουν πρότυπα για να μείωση του κόστους

Ο σχεδιασμός για κατασκευή (DFM) και ο σχεδιασμός για συναρμολόγηση (DFA) αναφέρονται συνήθως ως ενιαία μεθοδολογία, σχεδιασμός για κατασκευή και συναρμολόγηση (DFMA)



Σχήμα 5.1: Στάδια του κύκλου ζωής προϊόντων

Δεδομένου ότι πολλές εταιρείες πρέπει να συντονίσουν τους πόρους και τους ανθρώπους τους σε διαφορετικά μέρη, οι διαδικασίες στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Πολλά βιομηχανικά μοντέλα διαχείρισης του κύκλου ζωής των προϊόντων (Product Lifecycle Management – PLM) χρησιμοποιούνται. Το PLM έχει τρία γενικά στάδια:

- **Έναρξη ζωής (BOL):** Η αρχή της φάσης ζωής περιλαμβάνει όλο το σχεδιασμό και την κατασκευή, η οποία αποτελείται από την αρχική σύλληψη και ανάπτυξη, καθώς και τυχόν πρωτότυπα που έχουν κατασκευαστεί. Η αρχική ανάπτυξη έχει πολλές δευτερεύουσες ενέργειες που προσδιορίζουν όλες τις απαιτήσεις, τις έννοιες και τις απαραίτητες δοκιμές. Ανεξάρτητα από τη δομή της παραγωγής, η εταιρεία πρέπει να διατηρήσει το στάδιο BOL.

- **Φάση μέσης ζωής (MOL):** Η φάση της μέσης ζωής είναι μετά την κατασκευή, όταν το προϊόν διανέμεται, χρησιμοποιείται και συντηρείται. Σε αυτό το σημείο, το προϊόν βρίσκεται στα χέρια του τελικού χρήστη. Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται δεδομένα για τυχόν αστοχίες, ποσοστά συντήρησης και εμπειρία χρήστη για πληροφορίες για άμεσες επιδιορθώσεις και μελλοντική ανάπτυξη.

- **Λήξη κύκλου ζωής (EOL):** Η φάση λήξης ζωής είναι η απόσυρση, η ανακύκλωση ή η απόρριψη του προϊόντος. Το EOL ξεκινά όταν οι χρήστες δεν έχουν πλέον ανάγκη για το προϊόν. Σε αυτό το στάδιο, οι εταιρείες συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τα ανταλλακτικά και τα υλικά που εξακολουθούν να είναι πολύτιμα.



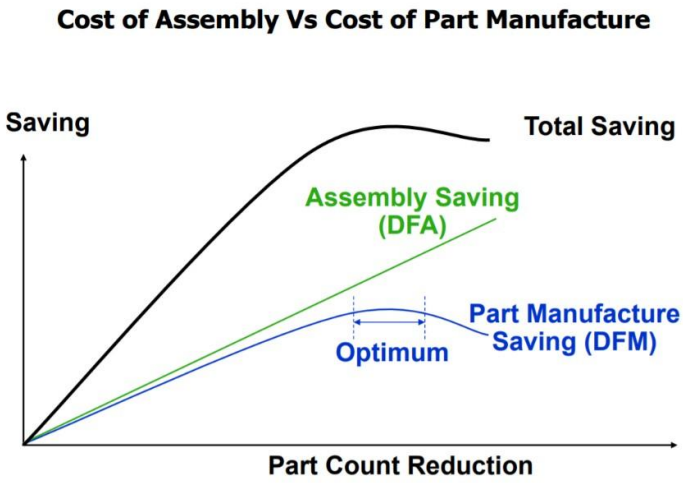
Σχήμα 5.2: Τα στάδια διαχείρισης κύκλου ζωής προϊόντων

Η ανάγκη για μείωση του κόστους και του χρόνου συναρμολόγησης, οδήγησε κατά τη δεκαετία του '60, τους ερευνητές και μηχανικούς, να εισάγουν την έννοια του «Σχεδιασμού για Συναρμολόγηση», η οποία όμως τότε παρουσιάστηκε με έναν μη δομημένο τρόπο.

Έχουν περάσει μόνο 20 χρόνια από τότε που εμφανίστηκαν τα πρώτα σχεδιαστικά συστήματα, στα οποία ουσιώδεις διαδικασίες είχαν αναπτυχθεί με σκοπό να χρησιμοποιηθούν με έναν συγκεκριμένο τρόπο για να καθορίσουν τα προβλήματα που προέκυπταν κατά τη συναρμολόγηση και να δείξουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν. Ωστόσο, ο όρος του σχεδιασμού με υπολογιστή είναι ακόμη παλιότερος με βιβλιογραφικές αναφορές από τη δεκαετία του '70. Ο σχεδιασμός με υπολογιστή (Computer-Aided Design (CAD)) είναι η τεχνολογία που σχετίζεται με τη χρήση συστημάτων υπολογιστών για να βοηθήσει στη δημιουργία, την τροποποίηση, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση ενός σχεδίου [1]. Σε μια πιο πρόσφατη βιβλιογραφική δημοσίευση οι Leu et al. (2013) εξέτασαν τις προηγμένες μεθοδολογίες για την ανάπτυξη συστημάτων βασισμένων σε μοντέλα CAD για προσομοίωση συναρμολόγησης, σχεδιασμό και εκπαίδευση, όπου περιγράφονται εκτενώς μέθοδοι για τη δημιουργία μοντέλων CAD από την απόκτηση ψηφιακών δεδομένων και ένα σύστημα εικονικής (Virtual Reality – VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality – AR). Τέλος, η δημοσιευμένη βιβλιογραφική εργασία από τον καθηγητή κ. Μούρτζη (2020) παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ιστορικά ορόσημα στην εξέλιξη των τεχνολογιών προσομοίωσης για τα συστήματα παραγωγής καθώς επίσης εξετάζει πρόσφατες βιομηχανικές και ερευνητικές προσεγγίσεις σε τομείς-κλειδιά της παραγωγής. Περιγράφει πώς η παρότρυνση προς την ψηφιοποίηση της παραγωγής στα πλαίσια της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, έχει διαμορφώσει την προσομοίωση στον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων παραγωγής και επιθεωρεί νέες προσεγγίσεις που προέκυψαν από την ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε τεχνολογίες της ψηφιακής βιομηχανίας του μέλλοντος που κερδίζουν έδαφος στην προσομοίωση βιομηχανικών εφαρμογών προσφέροντας πολλαπλά οφέλη.

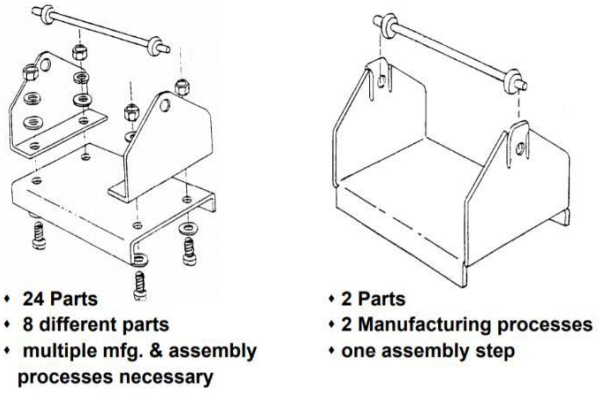
Από τότε πολλές μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί από έναν μεγάλο αριθμό βιομηχανιών και εταιρειών, οι οποίες αναγνώρισαν τα πλεονεκτήματα από τη χρήση τους.

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κόστους συναρμολόγησης συναρτήσει του κόστους μεταποίησης ενός εξαρτήματος.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα κέρδους σε μέθοδο DFA συναρτήσει της μείωσης του αριθμού των εξαρτημάτων

Ένα πρακτικό παράδειγμα που απεικονίζει το νόημα του διαγράμματος του Σχήματος 5.3 απεικονίζεται στην εικόνα του Σχήματος 5.4. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο επανασχεδιασμός ενός εξαρτήματος. Τονίζεται ότι αν περισσότερο από το 1/3 των εξαρτημάτων σε ένα προϊόν είναι συνδετικά (πχ. Κοχλίες, ροδέλες, παξιμάδια κτλ.), τότε η λογική της συναρμολόγησης θα τεθεί υπό αμφισβήτηση.



Σχήμα 5.4: Μείωση αριθμού εξαρτημάτων

Σήμερα οι μεθοδολογίες Σχεδιασμού για Συναρμολόγηση μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

- στις κατηγορίες όπου ο σχεδιασμός γίνεται βάσει σχεδιαστικών κανόνων, οι οποίοι προέρχονται από προηγούμενη εμπειρία. Μια από τις σημαντικότερες μεθόδους αυτής της κατηγορίας είναι η μέθοδος που ανέπτυξε ο **Suh** (1982), και παρουσιάζει γενικούς κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό για σωστά αποτελέσματα.
- στις κατηγορίες όπου χρησιμοποιούνται διαδικασίες ποσοτικής αξιολόγησης με σκοπό την εκτίμηση του σχεδιασμού. Από τις σημαντικότερες μεθόδους αυτής της κατηγορίας είναι η μέθοδος **IPA Stuttgart** και η μέθοδος των **Boothroyd-Dewhurst**.

- στις κατηγορίες όπου ο σχεδιασμός γίνεται με χρήση έμπειρων συστημάτων για την απόκτηση των απαραίτητων πληροφοριών, με βασικότερη τη μέθοδο **Lucas**.
- στις κατηγορίες όπου ο σχεδιασμός γίνεται με τη χρήση υπολογιστή σε συνεργασία με συστήματα CAD, που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων για τα εξαρτήματα του προϊόντος που πρόκειται να συναρμολογηθεί.

Μέθοδος Boothroyd - Dewhurst

Η μέθοδος Boothroyd-Dewhurst (1987), θεωρείται μια από τις σημαντικότερες μεθόδους της κατηγορίας μεθόδων Σχεδιασμού για Συναρμολόγηση και έχει ως κύριο στόχο την καθοδήγηση των μηχανικών στη κατασκευή και τη συναρμολόγηση συστημάτων με απλό και εύκολο τρόπο και με το μικρότερο δυνατό κόστος. **Η δυνατότητα αφαίρεσης ή αντικατάστασης ορισμένων εξαρτημάτων και η μείωση του χρόνου συναρμολόγησης κάθε εξαρτήματος** αποτελούν τους βασικότερους στόχους της μεθόδου**.**

Η μέθοδος παρέχει διαφορετικούς τρόπους εφαρμογής και αξιολόγησης ανάλογα με τον τρόπο συναρμολόγησης, δηλαδή αν η συναρμολόγηση γίνει :

1. **Χειρωνακτικά.** Πρόκειται για συναρμολόγηση σε πάγκο ή γραμμή μεταφοράς, όπου ο εργαζόμενος χρησιμοποιεί μόνο τα χέρια του και απλά εργαλεία. Στην χειρωνακτική συναρμολόγηση, τα εργαλεία είναι απλά και φθηνά και το κόστος παραμένει σταθερό ανεξάρτητα από τον όγκο της παραγωγής.
2. **Αυτοματοποιημένα.** Στην αυτοματοποιημένη συναρμολόγηση χρησιμοποιούνται μηχανές οι οποίες είναι κατασκευασμένες για να εκτελούν μια συγκεκριμένη εργασία συναρμολόγησης, ή
3. **Με ρομποτικούς βραχίονες**. Η συναρμολόγηση με ρομπότ ανήκει στην κατηγορία των αυτοματοποιημένων, με τη διαφορά ότι οι ρομποτικοί βραχίονες είναι δυνατό να εκτελέσουν παραπάνω από μια εργασία συναρμολόγησης σε κάθε σταθμό.

Στα πλαίσια των εργαστηρίων, το τηλεκατευθυνόμενο όχημα που θα κατασκευαστεί θα συναρμολογηθεί χειρωνακτικά, και έτσι θα μελετηθεί ο τρόπος εφαρμογής της μεθόδου, ο οποίος προορίζεται για αυτού του τύπου τη συναρμολόγηση.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα της μεθόδου, ορίζονται οι έννοιες που χρησιμοποιούνται και αναλύεται ένα παράδειγμα χειρωνακτικής συναρμολόγησης με τη χρήση της μεθόδου.

Βήματα μεθόδου

Βασικός σκοπός της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η εύρεση του χρόνου και του κόστους συναρμολόγησης, για ένα συγκεκριμένο προϊόν, οι τιμές των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του σχεδιασμού. Η μέθοδος, επίσης, αποσκοπεί στην υπόδειξη των σημείων του σχεδιασμού, τα οποία απαιτούν βελτίωση.

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου για ένα συγκεκριμένο προϊόν, ο μηχανικός έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό της απόδοσης του σχεδιασμού που έκανε, με τον οποίο μπορεί να εκτιμήσει τις διαδικασίες που ακολούθησε. Η τιμή της απόδοσης καθορίζει αν ο σχεδιασμός είναι ικανοποιητικός, οπότε μπορεί να εφαρμοστεί και στην πράξη, ή αν είναι απαραίτητο να γίνει επανασχεδιασμός. Η μέθοδος είναι αρκετά απλή, παρέχοντας τα απαραίτητα δεδομένα στο μηχανικό για την εκτέλεσή της, δίνοντας του τη δυνατότητα να ελέγχει εναλλακτικούς τρόπους σχεδιασμού.

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ένας μηχανικός / σχεδιαστής για την εφαρμογή της μεθόδου είναι:

Βήμα 1 : Να συγκεντρώσει αρκετά στοιχεία για το προϊόν του οποίου πρόκειται να σχεδιάσει τη συναρμολόγηση. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι:

- Σκαριφήματα
- Τρισδιάστατα μοντέλα των εξαρτημάτων του προϊόντος (CAD)
- Προϋπάρχοντα παρόμοια προϊόντα
- Πρωτότυπο μοντέλο του προϊόντος

Βήμα 2 : Να διαθέτει ένα **κενό φύλλο εργασίας** (Πίνακας 5.1) στο οποίο θα τοποθετηθούν όλα τα στοιχεία που θα προκύψουν από το σχεδιασμό.

Βήμα 3 : Να ξεκινήσει το σχεδιασμό προσδίδοντας έναν κωδικό αριθμό "ID" σε κάθε εξάρτημα του προϊόντος, με τη σειρά που επρόκειτο να συναρμολογηθεί.
(Σε περίπτωση όπου η συναρμολόγηση περιλαμβάνει διάφορες υπο-συναρμολογήσεις, τα εξαρτήματα που τις αποτελούν, λαμβάνονται σαν ενιαίο εξάρτημα και η επιμέρους ανάλυση αυτών πραγματοποιείται αργότερα).

Βήμα 4 : Να συμπληρώσει το φύλλο εργασίας, με βάση την αλληλουχία της συναρμολόγησης που έχει επιλέξει και με τη βοήθεια των πινάκων της μεθόδου (βλέπε πίνακες 5.1 και 5.2)

Ο τρόπος συμπλήρωσης του φύλλου εργασίας περιγράφεται στη συνέχεια.

Βήμα 5 : Να εκτιμήσει την απόδοση του σχεδιασμού της χειρωνακτικής συναρμολόγησης που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση και να προχωρήσει σε επανασχεδιασμό αν είναι απαραίτητο.

EM =3 x (NM/TM) όπου

EM : η απόδοση του σχεδιασμού
NM : ο ελάχιστος θεωρητικός αριθμός εξαρτημάτων
TM : ο συνολικός χρόνος συναρμολόγησης

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο επανασχεδιασμός περιγράφεται στη συνέχεια.

Οι στήλες του φύλλου εργασίας συμπληρώνονται ως εξής:

ΣΤΗΛΗ 1 Τοποθετείται ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης κάθε εξαρτήματος (ID).

ΣΤΗΛΗ 2 Δηλώνεται πόσες φορές το εξάρτημα λαμβάνει μέρος στη συναρμολόγηση

ΣΤΗΛΗ 3 Εισάγεται ο κωδικός της διαδικασίας χειρισμού του εξαρτήματος (λαμβάνεται από τον Πίνακα 5.1)

ΣΤΗΛΗ 4 Τοποθετείται ο χρόνος χειρισμού του εξαρτήματος (λαμβάνεται από τον Πίνακα 5.1, με βάση τον ήδη επιλεγμένο κωδικό χειρισμού)

ΣΤΗΛΗ 5 Εισάγεται ο κωδικός της διαδικασίας εισόδου του εξαρτήματος στην θέση συναρμολόγησης (λαμβάνεται από τον Πίνακα 5.2).

ΣΤΗΛΗ 6 Τοποθετείται ο χρόνος εισόδου του εξαρτήματος (λαμβάνεται από τον Πίνακα 5.2, με βάση τον ήδη επιλεγμένο κωδικό εισόδου).

ΣΤΗΛΗ 7 Τοποθετείται ο συνολικός χρόνος της συναρμολόγησης του εξαρτήματος, ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα των τιμών που έχουν τοποθετηθεί στις στήλες (4) και (6), πολλαπλασιασμένο με την τιμή της στήλης (2).

ΣΤΗΛΗ 8 Τοποθετείται το συνολικό κόστος της συναρμολόγησης του εξαρτήματος, το οποίο προκύπτει από την τιμή της στήλης (7) πολλαπλασιασμένης με το 0,4 (σταθερός συντελεστής προτεινόμενος από τους δημιουργούς της μεθόδου)

ΣΤΗΛΗ 9 Τοποθετείται, κατά την κρίση του σχεδιαστή, ο ελάχιστος αριθμός του εξαρτήματος , ο οποίος απαιτείται να συμμετέχει στην συναρμολόγηση.
Ο αριθμός προκύπτει ως εξής: για κάθε εξάρτημα ο σχεδιαστής θα πρέπει να απαντήσει στις παρακάτω ερωτήσεις:

- κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του τελικού προϊόντος, το εξάρτημα κινείται σε σχέση με άλλα εξαρτήματα **που έχουν ήδη συναρμολογηθεί;**
- είναι απαραίτητο το εξάρτημα για μηχανολογικούς λόγους (αντοχής, λειτουργίας, κλπ.) να είναι κατασκευασμένο από διαφορετικό υλικό, ή να είναι απομονωμένο από τα αλλά εξαρτήματα **που έχουν ήδη συναρμολογηθεί;**
- είναι απαραίτητο το εξάρτημα να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα **ήδη συναρμολογημένα κομμάτια,** για να μπορέσουν να γίνουν περαιτέρω διαδικασίες **συναρμολόγησης ή αποσυναρμολόγησης** στο προϊόν**;**

Εάν έστω και μια απάντηση σε ένα από τα παραπάνω ερωτήματα είναι θετική τότε το εξάρτημα δεν μπορεί να εξαλειφθεί ή να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο και στην στήλη (9) τοποθετείται η τιμή 1 πολλαπλασιασμένη με την τιμή της στήλης (2).

Αν καμία απάντηση δεν είναι θετική, τότε στη στήλη (9), τοποθετείται η τιμή 0.

Ο επανασχεδιασμός είναι απαραίτητος όταν η απόδοση του σχεδιασμού είναι μικρότερη από 60%. Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν με σκοπό τη βελτίωση του σχεδιασμού είναι:

Βήμα 1 :	Εξέταση της στήλης (9). Αν η τιμή αυτής είναι μικρότερη από αυτήν της στήλης (2), τότε υπάρχει λόγος για εξάλειψη ενός ή περισσότερων εξαρτημάτων. Η δυνατότητα μείωσης του αριθμού των εξαρτημάτων είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος βελτίωσης του σχεδιασμού της συναρμολόγησης.
Βήμα 2 :	Εξέταση των στηλών (4) και (6). Οι τιμές αυτών υποδεικνύουν την ανάγκη για μείωση του χρόνου της συναρμολόγησης στις περιπτώσεις όπου εμφανίζονται υπερβολικοί χρόνοι.

Παρατηρήσεις

1. Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται στα αρχικά στάδια σχεδιασμού ενός προϊόντος, και προϋποθέτει μόνο την ύπαρξη αρχικών διαστασιολογημένων σκαριφημάτων ή τρισδιάστατων γεωμετρικών μοντέλων.

2. Κατά τη φάση του επανασχεδιασμού, παρόλο που μπορεί να υπάρχουν ενδείξεις ότι κάποιο ή κάποια εξαρτήματα μπορούν να αφαιρεθούν ή να αντικατασταθούν, σε πολλές περιπτώσεις αυτό δεν είναι εφαρμόσιμο, για αιτίες που αφορούν κυρίως το κόστος ή την απαίτηση ειδικού εξοπλισμού για την κατασκευή των νέων εξαρτημάτων που θα αντικαταστήσουν τα παλιά.

3. Η στήλη (9) του φύλλου εργασίας συμπληρώνεται τελευταία.

Απαραίτητοι ορισμοί για τη χειρωνακτική συναρμολόγηση

Οι παρακάτω ορισμοί είναι απαραίτητοι, για την κατανόηση της μεθόδου και τη σωστή χρήση των Πινάκων 5.1 και 5.2:

Ο ***χειρισμός με τα χέρια*** περιλαμβάνει το πιάσιμο, τη μεταφορά, τον προσανατολισμό και την τοποθέτηση των εξαρτημάτων ή των συναρμολογήσεων στο πεδίο εργασίας.

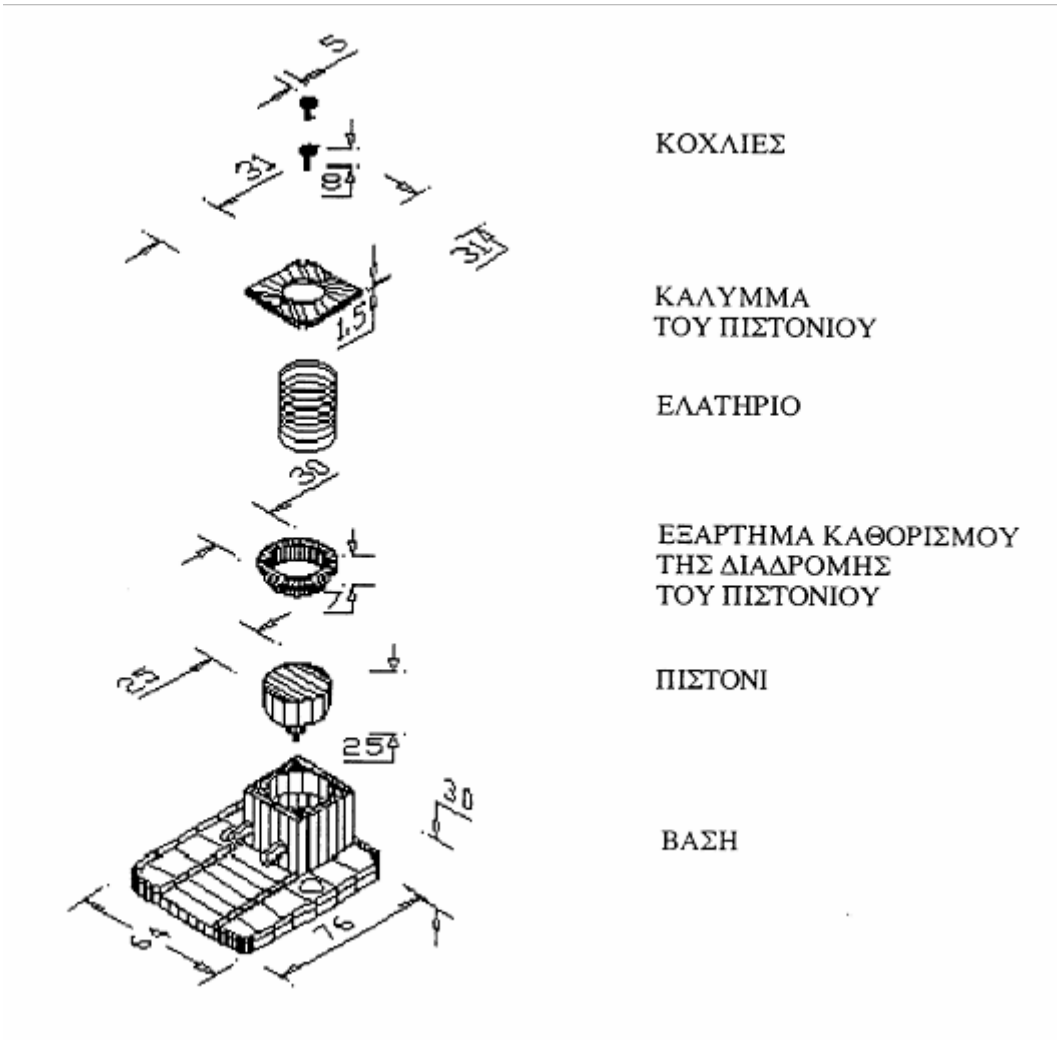
Περιστροφική συμμετρία ορίζεται η μικρότερη γωνία που πρέπει να περιστραφεί ένα εξάρτημα γύρω από έναν άξονα για να επαναλάβει τον αρχικό του προσανατολισμό.

α- συμμετρία είναι η περιστροφική συμμετρία ενός εξαρτήματος γύρω από άξονα κάθετο στον άξονα εισαγωγής του.

β- συμμετρία είναι η περιστροφική συμμετρία ενός εξαρτήματος γύρω από τον άξονα εισαγωγής του.

Παράδειγμα εφαρμογής μεθόδου

Για την πληρέστερη κατανόηση της μεθόδου Boothroyd-Dewhurst, παρουσιάζεται στη συνέχεια ένα παράδειγμα Σχεδιασμού για Συναρμολόγηση ενός πνευματικού πιστονιού, το οποίο αποτελείται από έξι εξαρτήματα (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5: Εξαρτήματα πνευματικού πιστονιού

Στο σχήμα φαίνονται τα επιμέρους εξαρτήματα του προϊόντος, οι διαστάσεις τους και ένας αρχικός τρόπος αλληλουχίας συναρμολόγησης. Αυτά είναι αρκετά στοιχεία για την εφαρμογή της μεθόδου.

Ο σχεδιασμός γίνεται για κάθε εξάρτημα χωριστά με τη σειρά που έχει επιλεγεί να συναρμολογηθούν. Στη συνέχεια φαίνεται ο τρόπος επιλογής των παραμέτρων του σχεδιασμού, από τους Πίνακες 5.1 και 5.2, για τα εξαρτήματα του πνευματικού πιστονιού:

1. Βάση πιστονιού
   Δίνεται ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης **6** (επειδή το πιστόνι έχει 6 συνολικά εξαρτήματα). Η βάση εμφανίζεται μια φορά στη συναρμολόγηση και έτσι στην δεύτερη στήλη του φύλλου εργασίας τοποθετείται η τιμή **1**. Ο χειρισμός και ο προσανατολισμός της γίνεται εύκολα χρησιμοποιώντας μόνο το ένα χέρι. Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξαρτήματος παρατηρείται ότι το πάχος του είναι μεγαλύτερο από 2 mm και ότι το μέγεθος (μήκος) του είναι μεγαλύτερο από 15 mm. Έτσι από τον Πίνακα 5.2 θα επιλέγει η στήλη 0.

Η γωνία α της βάσης του πιστονιού καθώς και η γωνία β είναι 360^{o}. Έτσι $\alpha+\beta=360^{o}+360^{o} = 720^{o}$. Έτσι επιλέγεται η γραμμή με τον κωδικό 3. Ο κωδικός χειρισμού για την βάση του πιστονιού είναι "**30**" και ο αντίστοιχος χρόνος **1.95** sec.

Η βάση του πιστονιού κατά την είσοδο της στην θέση συναρμολόγησης δεν ασφαλίζεται αμέσως αλλά παραμένει ελεύθερη και μπορεί να φτάσει στην σωστή θέση συναρμολόγησης με απλές διαδικασίες και ευθυγραμμίζεται με εύκολο τρόπο χωρίς να παρουσιάζεται καμία τριβή-αντίσταση κατά την συναρμολόγηση. Αυτό οδηγεί στο να επιλέγει ο διψήφιος κωδικός εισόδου με την τιμή "**00**" και ο αντίστοιχος χρόνος εισόδου είναι **1.5** sec. Ο συνολικός χρόνος της συναρμολόγησης προκύπτει ίσος με **3.45** sec και το αντίστοιχο κόστος **1.38** cents.

2. Πιστόνι
   Το πιστόνι συναρμολογείται αμέσως μετά από την βάση, και έχει κωδικό αριθμό αναγνώρισης **5.** Το πιστόνι εμφανίζεται μια φορά κατά την συναρμολόγηση και έτσι στην δεύτερη στήλη του φύλλου εργασίας τοποθετείται η τιμή **1**. Ο κωδικός χειρισμού για το πιστόνι είναι "**10**" όποτε ο χρόνος χειρισμού αυτού είναι **1.5** sec. Ο κωδικός εισόδου λαμβάνεται "**02**" όποτε ο χρόνος εισόδου του πιστονιού είναι **2.5** sec. Ο συνολικόςχρόνος είναι **4** sec και το κόστος **1.60** cents.

3. Εξάρτημα καθορισμού διαδρομής
   Ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης του είναι **4** και στη δεύτερη στήλη τοποθετείται η τιμή **1.** Ο κωδικός χειρισμού του εξαρτήματος αυτού είναι "**10**" και ο κωδικός εισόδου "**00**", οι οποίοι δίνουν τον ίδιο χρόνο εισόδου και χειρισμού και ίσο με **1.5** sec. Έτσι ο συνολικός χρόνος είναι **3** sec και το κόστος **1.20** cents.

4. Ελατήριο
   Ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης του είναι **3** και στη δεύτερη στήλη τοποθετείται η τιμή **1**. Ο κωδικός χειρισμού του εξαρτήματος αυτού είναι "**05**" και ο κωδικός εισόδου "**00**", οι οποίοι δίνουν συνολικό χρόνο **3.34** sec και κόστος **1.34** cents.

5. Εξωτερικό κάλυμμα
   Ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης του είναι **2** και στη δεύτερη στήλη τοποθετείται η τιμή **1.** Ο κωδικός χειρισμού είναι "**23**" και αυτό γιατί το πάχος του συγκεκριμένου εξαρτήματος το οποίο δεν παρουσιάζει δυσκολίες χειρισμού είναι μικρότερο από την χαρακτηριστική τιμή των 2 mm. Έτσι ο χρόνος χειρισμού θα είναι **2.36** sec. Στην περίπτωση εισαγωγής του καλύμματος του πιστονιού, παρατηρείται, ότι το εξάρτημα εισάγεται στην θέση συναρμολόγησης χωρίς να ασφαλίζεται και θα πρέπει κατά την τοποθέτηση του να κρατηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα στην θέση συναρμολόγησης. Αυτό γίνεται με την βοήθεια κάποιας εξωτερικής δύναμης. Έτσι επιλέγεται ο διψήφιος κωδικός εισόδου "**08**" με αντίστοιχο χρόνο εισαγωγής **6.5** sec. Ο συνολικός χρόνος είναι **8.86** sec με κόστος **3.54** cents.

6. Κοχλίες
   Ο κωδικός αριθμός αναγνώρισης του είναι **1** και στη δεύτερη στήλη τοποθετείται η τιμή **2,** επειδή υπάρχουν δύο όμοιοι κοχλίες. Από τον πίνακα 5.3 λαμβάνεται ότι ο κωδικός χειρισμού του κοχλία είναι "**11**", με χρόνο **1.8** sec. Εξετάζοντας τώρα την εισαγωγή του κοχλία παρατηρείται ότι είναι ένα εξάρτημα το οποίο ασφαλίζεται αμέσως μετά την είσοδο του στην θέση συναρμολόγησης, αφού κατευθείαν βιδώνει μέσα στην κατάλληλη οπή που

υπάρχει στην βάση και στο εξωτερικό κάλυμμα του πιστονιού. Έτσι λαμβάνουμε κωδικό εισαγωγής "**39**" με χρόνο **8** sec. Ο συνολικός χρόνος συναρμολόγησης είναι **19.60** sec και το κόστος αντίστοιχα **7.84** cents .

Με τα παραπάνω στοιχεία συμπληρώνεται το φύλλο εργασίας, το οποίο φαίνεται στη συνέχεια (Πίνακας 5.1). Η στήλη (9) είναι συμπληρωμένη για όλα τα εξαρτήματα, και με βάση τον συγκεκριμένο σχεδιασμό είναι πιθανό να μπορούν να αφαιρεθούν ή να αντικατασταθούν τα εξαρτήματα με κωδικούς 2 και 1 (λόγω χαμηλής απόδοσης σχεδιασμού και υψηλών χρόνων συναρμολόγησης για τα συγκεκριμένα εξαρτήματα).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	*ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ*
ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΣΥΝΑΡ/ΓΗΣΗΣ*	*ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ*	*ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ*	*ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ*	*ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ*	*ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΟΝΟΣ ΣΥΝΑΡ/ΤΗΣΗΣ*	*ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΑΡ/ΤΗΣΗΣ*	*ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ*	*ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΠΙΣΤΟΝΙΟΥ*
6	1	30	1.95	00	1.5	3.45	1.38	1	*ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΝΙΟΥ*
5	1	10	1.5	02	2.5	4.00	1.60	1	*ΠΙΣΤΟΝΙ*
4	1	10	1.5	00	1.5	3.00	1.20	1	*ΕΞΑΡΤΗΜΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΤΟΥ ΠΙΣΤΟΝΙΟΥ*
3	1	05	1.84	00	1.5	3.34	1.34	1	*ΕΛΑΤΗΡΙΟ*
2	1	23	2.36	08	6.5	8.86	3.54	0	*ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ*
1	2	11	1.8	39	8.0	19.60	7.84	0	*ΚΟΧΛΙΑΣ*
						42.25	16.90	4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ $= \frac{3 * NM}{TM}$: 0.29
						ΤΜ	**CM**	**NM**	

Πίνακας 5.1: Συμπληρωμένο φύλλο εργασίας για την περίπτωση συναρμολόγησης του πνευματικού πιστονιού

ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ Χρονοι σε sec

ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΕΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ

ΜΕ ΤΟ ΕΝΑ ΧΕΡΙ		κομμάτια με εύκολο πιάσιμο και χειρισμό					κομμάτια με δυσκολίες χειρισμού				
		πάχος > 2 mm			πάχος < 2 mm		πάχος > 2 mm			πάχος < 2 mm	
		μέγεθος > 15 mm	από 6-15 mm	μέγεθος < 6 mm	μέγεθος > 6 mm	μέγεθος < 6 mm	μέγεθος > 15 mm	από 6-15 mm	μέγεθος < 6 mm	μέγεθος > 6 mm	μέγεθος < 6 mm
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
κομμάτια που μπορούν να αρπαχθούν και να χειριστούν με το ένα χέρι χώρις την βοήθεια εργαλείων	$(\alpha + \beta) < 360$										
0		1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	$360 \le (\alpha + \beta) < 540$										
1		1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
2		1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	$540 \le (\alpha + \beta) < 720$										
3		1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4
	$(\alpha + \beta) = 720$										

ΜΕ ΤΟ ΕΝΑ ΧΕΡΙ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ		κομμάτια που χρειάζονται λαβίδα (τσιμπίδα) για το πιάσιμο και τον χειρισμό τους								κομμάτια που θέλουν συγκεκριμένο εργαλείο για να γίνει χειρισμός	κομμάτια που θέλουν ειδικά δύσκολο χειρισμό εργαλείο για να γίνει
		χωρίς να απαιτείται μεγενθυντικός φακός				απαιτείται η χρήση μεγενθυντικού φακού					
		κομμάτια με εύκολο χειρισμό		με δύσκολο χειρισμό		κομμάτια με εύκολο χειρισμό		με δύσκολο χειρισμό			
		πάχος > 0.25 mm	πάχος <= 0.25mm	πάχος > 0.25 mm	πάχος < 0.25 mm	πάχος > 0.25 mm	πάχος <= 0.25mm	πάχος > 0.25 mm	πάχος < 0.25 mm		
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
κομμάτια που χειρίζονται με το ένα χέρι αλλά μόνο με την χρήση εργαλείων	$\alpha < 180$ $0 \le \beta \le 180$										
4		3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7
	$\alpha < 180$ $\beta = 360$										
5		4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8
	$\alpha = 360$ $0 \le \beta \le 180$										
6		4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9
	$\alpha = 360$ $\beta = 360$										
7		5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10

ΜΕ ΤΑ ΔΥΟ ΧΕΡΙΑ	κομμάτια χωρίς δυσκολίες χειρισμού					κομμάτια με δυσκολίες χειρισμού				
	$\alpha \le 180$			$\alpha = 360$		$\alpha \le 180$			$\alpha = 360$	
	μέγεθος > 15mm	6-15 mm	< 6mm	> 6mm	< 6mm	μέγεθος > 15mm	6-15 mm	< 6mm	> 6mm	< 6mm
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7

ΜΕ ΤΑ ΔΥΟ ΧΕΡΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΒΟΗΘΕΙΑ	κομμάτια ξεχωριστά ή εμπλεκόμενα αλλά μπορούν να πιαστούν και να ανυψωθούν με το ένα χέρι	κομμάτια που μπορούν να χειριστούν από ένα μόνο άτομο								κομμάτια επιρρεπή σε μαγνητισμό ή ηλεκτροστατικά φορτία	δυο πρόσωπα ή μηχανική βοήθεια απαιτείται
		κομμάτια που δεν εμπλέκονται και δεν είναι ελαστικά									
		βάρος κομματιού < 10 lb				βαριά κομμάτια > 10 lb					
		κομμάτια με εύκολο χειρισμό		κομμάτια με δυσκολίες χειρισμού		κομμάτια με εύκολο χειρισμό		κομμάτια με δυσκολίες χειρισμού			
		$\alpha \le 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \le 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \le 180$	$\alpha = 360$	$\alpha \le 180$	$\alpha = 360$		
		0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
δυο χέρια, δυο άτομα ή μηχανική βοήθεια απαιτείται για το πιάσιμο ή την μεταφορά των κομματιών	**9**	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Πίνακας 5.2: Πίνακας προσδιορισμού των κωδικών των διαδικασιών χειρισμού των εξαρτημάτων κατά την χειρωνακτική συναρμολόγηση

ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ			ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ Χρονοι σε sec							
			Μετά την συναρμολόγηση δεν απαιτείται κράτημα για να διατηρηθεί ο προσανατολισμός και η τοποθέτηση				Κράτημα απαιτείται κατά την διάρκεια των ακολουθούμενων διαδικασιών για να επιτευχθεί προσανατολισμός ή η τοποθέτηση του κομματιού			
ΚΟΜΜΑΤΙΑ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΑ ΑΛΛΑ ΟΧΙ ΑΣΦΑΛΙΣΜΕΝΑ			εύκολο να ευθυγραμμιστεί και να τοποθετηθεί		όχι εύκολο να ευθυγραμμιστεί και να τοποθετηθεί		εύκολο να ευθυγραμμιστεί και να τοποθετηθεί		όχι εύκολο να ευθυγραμμιστεί και να τοποθετηθεί	
			χωρίς αντίσταση εισόδου	με αντίσταση εισόδου	χωρίς αντίσταση εισόδου	με αντίσταση εισόδου	χωρίς αντίσταση εισόδου	με αντίσταση εισόδου	χωρίς αντίσταση εισόδου	με αντίσταση εισόδου
			0	**1**	**2**	**3**	**6**	**7**	**8**	**9**
κομμάτια που δεν ασφαλίζεται αμέσως	ευκολία προσέγγισης της εισόδου		1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5
	δυσκολίες στην προσέγγιση της εισόδου	φράγμενη είσοδος ή περιορισμένη ορατότητα	4	5	5	6	8	9	9	10
		φράγμενη είσοδος και περιορισμένη ορατότητα	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5

ΚΟΜΜΑΤΙΑ ΠΟΥ ΑΣΦΑΛΙΖΟΝΤΑΙ ΑΜΕΣΩΣ			χωρίς διαδικασίες βιδώματος ή πλαστικής παραμόρφωσης		πλαστική παραμόρφωση με την είσοδο				βίδωμα αμέσως μετά την είσοδο	
					πλαστική κάμψη ή περιστροφή		κάρφωμα ή παρόμοια διαδικασία			
			ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση χωρίς αντίσταση	ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση με αντίσταση στην είσοδο	ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση χωρίς αντίσταση	όχι εύκολη τοποθέτηση ή ευθυγράμμιση	ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση χωρίς αντίσταση	όχι εύκολη τοποθέτηση ή ευθυγράμμιση	ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση χωρίς αντίσταση	ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση με αντίσταση
						χωρίς αντίσταση στην είσοδο		χωρίς αντίσταση στην είσοδο		
						με αντίσταση στην είσοδο		με αντίσταση στην είσοδο		
			0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
κομμάτια που ασφαλίζεται αμέσως μετά την είσοδο	ευκολία προσέγγισης της εισόδου		2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
	δυσκολίες στην προσέγγιση της εισόδου	φράγμενη είσοδος ή περιορισμένη ορατότητα	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	8.5	10.5
		φράγμενη είσοδος και περιορισμένη ορατότητα	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12

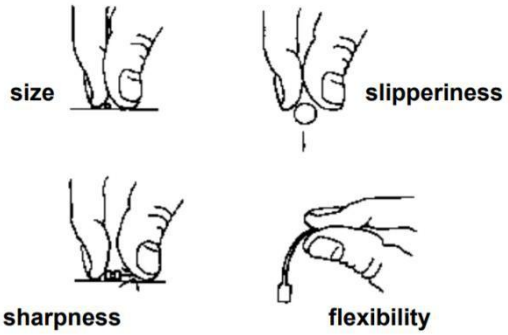
ΞΕΧΩΡΙΣΤΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	μηχανικές διαδικασίες δεσίματος του κομματιού				όχι μηχανικές διαδικασίες δεσίματος του κομματιού				διαδικασίες διαφορετικές από δέσιμο	
	καθόλου τοπική πλαστική παραμόρφωση			ίσιωμα και ίσιωμα ή τοποθέτηση μέσω μικρής παραμόρφωσης του σώματος	μεταλλουργικές διεργασίες					
	κάμψη ή παρόμοιες διεργασίες	κάρφωμα ή παρόμοιες διεργασίες	διαμόρφωση βίδωμα ή παρόμοιες διεργασίες		δεν απαιτείται πρόσθετο υλικό	πρόσθετο υλικό απαιτείται		χημικές διεργασίες	προσάρτηση των ανωτέρω μεθόδων	άλλες διεργασίες π.χ. Είσοδος νερού κ.λ.π.
						διαδικασίες συγκόλλησης	διαδικασίες επιχάλκωσης			
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
διαδικασίες συν/γησης όταν όλα τα στερεά κομμάτια έχουν ήδη τοποθετηθεί	4	7	5	12	7	8	12	12	9	12

Πίνακας 5.3: Πίνακας προσδιορισμού των διψήφιων κωδικών εισόδου των εξαρτημάτων κατά την χειρωνακτική συναρμολόγηση

Παρατηρήσεις για την χρήση των πινάκων

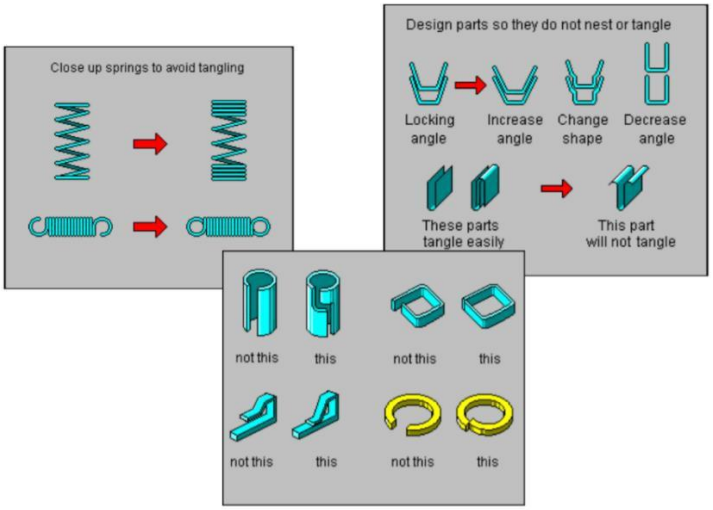
Περίπτωση διαδικασιών χειρισμού των εξαρτημάτων

- Εξαρτήματα παρουσιάζουν δυσκολίες χειρισμού εάν είναι εμπλεκόμενα ή κολλημένα μεταξύ τους (εξαιτίας μαγνητικών δυνάμεων κ.λ.π.), όταν είναι ολισθηρά ή όταν η φύση τους επιβάλλει προσεκτικό χειρισμό. Εξαρτήματα εμπλεκόμενα είναι αυτά που είναι αλληλοσυνδεόμενα στο σωρό αλλά μπορούν να διαχωριστούν με έναν απλό χειρισμό π.χ. βίδες, ελατήρια. Εξαρτήματα ολισθηρά είναι αυτά που γλιστρούν από τα χέρια κατά τον χειρισμό τους ή από κάποιο άλλο εργαλείο συγκράτησης λόγω του σχήματος ή της κατάστασης της επιφάνειας τους. Εξαρτήματα που απαιτούν προσεκτικό χειρισμό είναι αυτά που είναι εύθραυστα ή λεπτά με πολλές χαρακτηριστικές γωνίες και ακμές.



Σχήμα 5.6: Παραδείγματα δυσκολίας χειρισμού

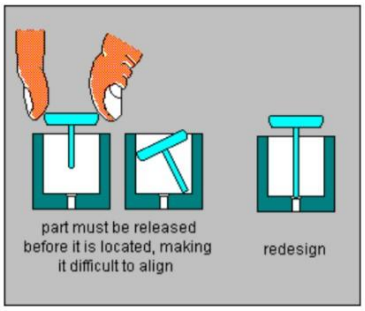
- Εξαρτήματα που είναι ξεχωριστά, είναι αυτά που για να διαχωριστούν από το σωρό απαιτείται η απασχόληση και των δυο χεριών για να δώσουν την δύναμη διαχωρισμού ή να πετύχουν τον κατάλληλο προσανατολισμό. Εύκαμπτα εξαρτήματα είναι αυτά που παραμορφώνονται κατά τον χειρισμό και απαιτούν την χρήση και των δυο χεριών όπως ιμάντες, ελαστικά, κ.λ.π.



Σχήμα 5.7: Παραδείγματα για εξάλειψη μπλεξίματος εξαρτημάτων

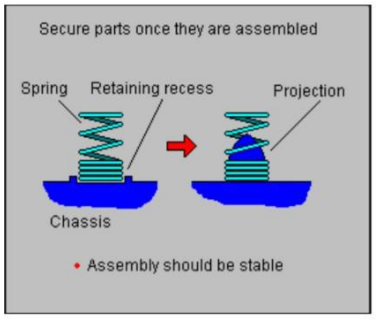
Περίπτωση διαδικασιών εισόδου των κομματιών

- Κόλλες, τηγμένα μέταλλα, φίλλερ (ρινίσματα) που χρησιμοποιούνται για να ενώσουν διάφορα εξαρτήματα δεν θεωρούνται σαν μέρη της συναρμολόγησης .
- Πρόσκρουση σε εμπόδιο σημαίνει ότι ο διαθέσιμος χώρος για την συναρμολόγηση είναι ανεπαρκής και προκαλεί σημαντική αύξηση στους χρόνους της συναρμολόγησης εξ' αιτίας των εμποδίων που υπάρχουν σ' αυτόν. Περιορισμένη οπτική γωνία σημαίνει ότι ο χειριστής πρέπει να βασιστεί σε διαδικασίες ψηλάφησης κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης.



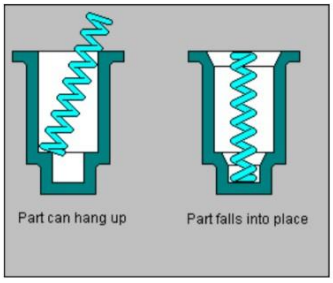
Σχήμα 5.8: Παραδείγματα αυτόματης ευθυγράμμισης εξαρτημάτων

- Διαδικασία συγκράτησης συμβαίνει όταν το εξάρτημα δεν είναι σταθερό μετά την είσοδο και τοποθέτηση του και πρέπει αμέσως να ασφαλιστεί



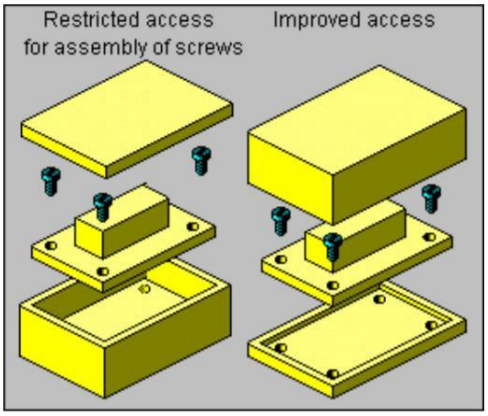
Σχήμα 5.9: Βεβαιωθείτε ότι τα εξαρτήματα δεν χρειάζεται να συγκρατούνται στη θέση τους

- Ένα εξάρτημα είναι εύκολο να ευθυγραμμιστεί και να τοποθετηθεί, εάν η θέση τοποθέτησης του μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα από τα χαρακτηριστικά θέσης που υπάρχουν πάνω στο κομμάτι και η είσοδος του κομματιού διευκολύνεται από καλά σχεδιασμένες εγκοπές ή αλλά χαρακτηριστικά.



Σχήμα 5.10: Ζητήματα εισαγωγής

- Η αντίσταση που αναπτύσσεται κατά την είσοδο του κάθε εξαρτήματος στην θέση συναρμολόγησης οφείλεται κυρίως σε μικρές ακαθαρσίες ή σε διάφορες άλλες συνθήκες συγκράτησης ή σε είσοδο ενάντια σε κάποια μεγάλη αντιστεκόμενη δύναμη ή ζητήματα ορατότητας



Σχήμα 5.11: Παρέχετε επαρκή πρόσβαση και ορατότητα

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

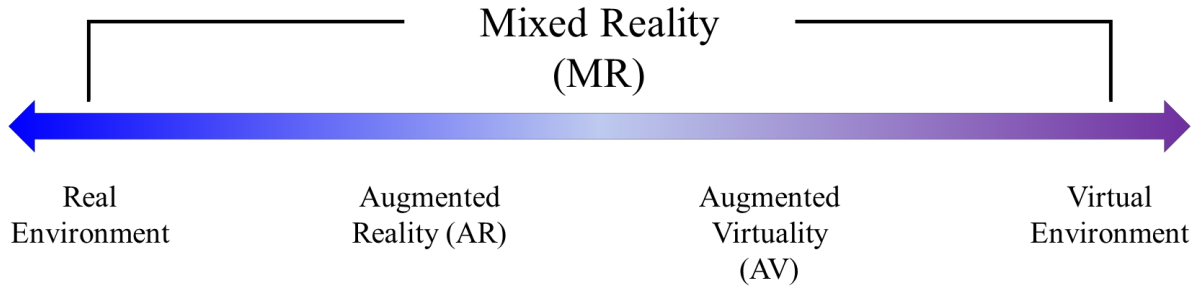
Το εργαστήριο διαρκεί 2 ώρες και διεξάγεται με τη μορφή σεμιναρίου. Οι φοιτητές θα πρέπει να έχουν μελετήσει επαρκώς το περιεχόμενο του εργαστηρίου, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και την επίλυση αποριών που τυχόν υπάρχουν.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στις σύγχρονες παραγωγικές διαδικασίες, ο σχεδιασμός προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια της ανάπτυξής τους, επηρεάζοντας πολλές φορές το χρόνο και το κόστος της παραγωγής καθώς και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Για το λόγο αυτό, είναι συχνά επιβεβλημένη η διαδικασία επαλήθευσης του σχεδιασμού σε πρώιμο στάδιο, πριν την παραγωγή, για την αποφυγή λαθών. Πλέον, η συνηθέστερη μέθοδος επαλήθευσης του σχεδιασμού είναι η χρήση τεχνικών προσομοίωσης. Μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές προσομοίωσης είναι η χρήση τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας - ΕΠ (Extended Reality - XR).

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η Εκτεταμένη Πραγματικότητα αποτελεί ένα σύνολο, νέων σχετικά τεχνολογιών, οι οποίες παρέχουν πρωτοποριακούς τρόπους διασύνδεσης/αλληλεπίδρασης Ανθρώπου - Υπολογιστή. Η όρος Εκτεταμένη Πραγματικότητα χρησιμοποιείται για την περιγραφή ενός συνόλου ψηφιακών τεχνολογιών, όπως είναι η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality - AR), η Μικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality - MR) και η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality - VR). Στην ερευνητική εργασία των Milgram, Tekemura και λοιποί, η διασύνδεση αυτών των τεχνολογιών παρουσιάζεται σαν μέρος ενός συνεχούς, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Συνεχές Εκτεταμένης Πραγματικότητας

Ο όρος Εικονική Πραγματικότητα είναι δύσκολο να ερμηνευτεί με ένα συγκεκριμένο τρόπο αφού έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές και έχει δεχτεί πλήθος διαφορετικών ερμηνειών. Μια πολύ γενική ερμηνεία δόθηκε το 1992 από τους Aukstakalnis & Blatner:

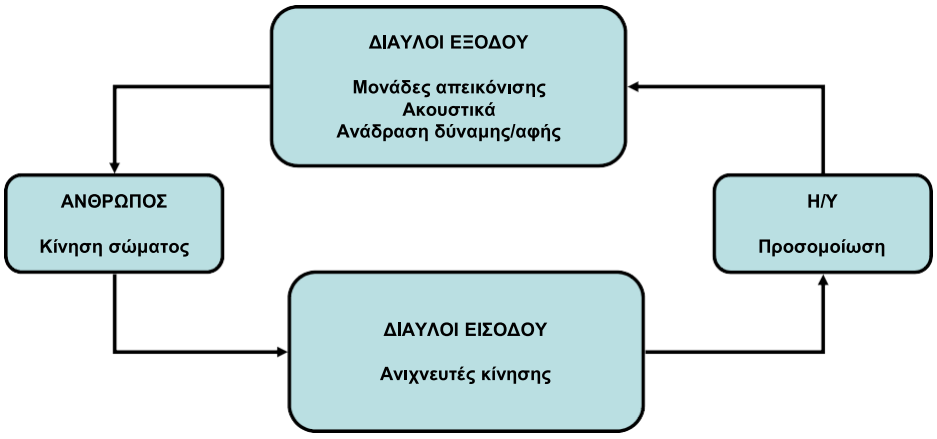
«Η Εικονική Πραγματικότητα επιτρέπει στον άνθρωπο να οπτικοποιεί, να χειρίζεται και να αλληλεπιδρά με ιδιαίτερα περίπλοκα δεδομένα στον Η/Υ, με ρεαλιστικό τρόπο».

Η Εικονική Πραγματικότητα επιτρέπει στο χρήστη να δρα μέσα σε ένα συνθετικό περιβάλλον δημιουργημένο από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα οπτικοποίησης δεδομένων, στην Εικονική Πραγματικότητα ο χρήστης μπορεί να γίνει ενεργό μέλος ενός περιβάλλοντος (immersion - εμβύθιση). Κοινό στοιχείο των εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας είναι η ύπαρξη γραφικών «πραγματικού χρόνου», τα οποία απεικονίζουν στο χρήστη διανυσματικά παραγόμενα περιβάλλοντα τριών διαστάσεων. Γραφικά «πραγματικού χρόνου» ονομάζονται αυτά, τα οποία σχεδιάζει ο υπολογιστής σε χρονικό διάστημα τόσο μικρό που να μην γίνεται αντιληπτό από τα ανθρώπινα μάτια (μικρότερο του

ενός δεκάτου του δευτερολέπτου). Με αυτό τον τρόπο, τα γραφικά «πραγματικού χρόνου» μπορούν να εμφανίζουν ένα περιβάλλον, το οποίο σε κάθε χρονική στιγμή βρίσκεται σύμφωνο με τις αλληλεπιδράσεις που κάνει σε αυτό ο χρήστης.

Στα τριών διαστάσεων (3D) διανυσματικά γραφικά πραγματικού χρόνου, όλη η εικόνα του περιβάλλοντος σχεδιάζεται εξ αρχής και δημιουργείται πλήρως, μερικές δεκάδες φορές το δευτερόλεπτο, ώστε να επιτρέπεται στο χρήση να μετακινεί τη θέση από την οποία παρατηρεί το περιβάλλον (θέση προοπτικής – point of view) με πλήρη ελευθερία κινήσεων. Επιπλέον, σε πραγματικό χρόνο λαμβάνουν χώρα στο σύστημα όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί, τα αποτελέσματα των οποίων είναι κινήσεις, ήχοι, αλφαριθμητικά στοιχεία, κ.ά., έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στιγμιαία στις οποιεσδήποτε αλληλεπιδράσεις του χρήστη.

Ο χρήστης αλληλοεπιδρά (interaction – αλληλεπίδραση) με τον υπολογιστή κάνοντας χρήση είτε κλασσικών συσκευών εισόδου (πληκτρολόγιο, ποντίκι, joysticks κ.α.) είτε χρησιμοποιώντας ειδικές συσκευές εισόδου για εφαρμογές ΕΠ, όπως γάντια δεδομένων, συσκευές ανίχνευσης θέσεως κ.ά., ανάλυση των οποίων θα γίνει στη συνέχεια. Η ροή των δεδομένων σε ένα τυπικό σύστημα ΕΠ φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Τυπικό σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας

Ο χρήστης του συστήματος καθορίζει τα δεδομένα εισόδου και ο Η/Υ ανταποκρίνεται σε αυτήν την ενέργεια με την ενημέρωση (update) των αποτελεσμάτων που παρέχει. Εκτός από τον άνθρωπο / χρήστη, το σύστημα περιλαμβάνει:

- Τους **δίαυλους εισόδου** που ουσιαστικά αφορούν στα συστήματα ανίχνευσης κίνησης και καταγραφής θέσης / προσανατολισμού (motion tracking systems).
- Τους **δίαυλους εξόδου** πληροφορίας από το Η/Υ στο χρήστη (οπτικά, ακουστικά δεδομένα)
- Τον **πυρήνα προσομοίωσης** του συστήματος (κεντρικό Η/Υ) που επεξεργάζεται τα δεδομένα εισόδου (κίνηση και αλληλεπίδραση) και παρουσιάζει τα αποτελέσματα των ενεργειών του χρήστη μέσα στον εικονικό χώρο.

Ο κύριος σκοπός ενός συστήματος ΕΠ εμβύθισης είναι να μεταδώσει στο χρήστη με το μέγιστο δυνατό ρεαλισμό τη ψευδαίσθηση ότι αυτός βρίσκεται στο συνθετικό κόσμο που παράγει ο υπολογιστής και όχι στο πραγματικό του περιβάλλον. Ο κύριος εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα *κράνος δεδομένων* (Σχήμα 3.3), το οποίο καλύπτει όλο το οπτικό του πεδίο, *ακουστικά* συνήθως κλειστού τύπου που αποκόπτουν τους ήχους του περιβάλλοντος, *γάντια δεδομένων*

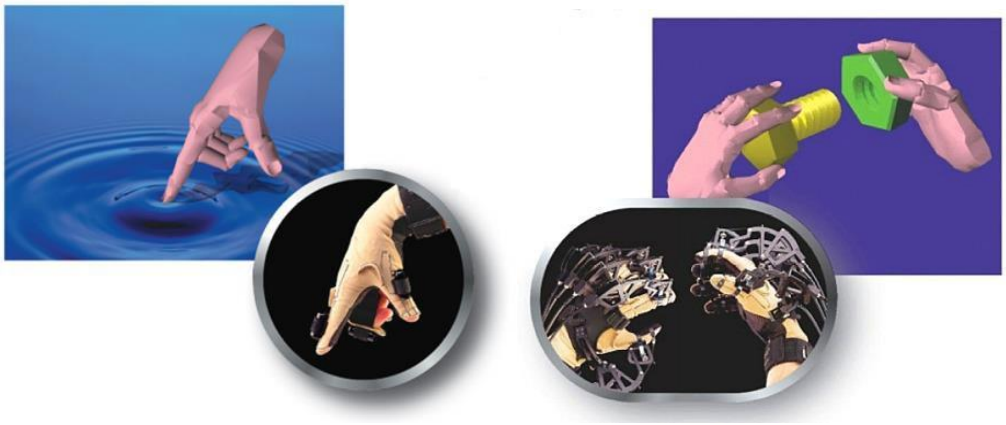
(Σχήμα 3.3) και *συσκευές ανάδρασης αφής ή/και δύναμης*. Ο βαθμός ρεαλισμού της παρεχόμενης ψευδαίσθησης καλείται "βαθμός παρουσίας" (presence).

Με το ***κράνος δεδομένων***, τα γραφικά του υπολογιστή προβάλλονται στα μάτια του χρήστη έτσι ώστε αυτός να έχει πλήρη αντίληψη του βάθους, δηλαδή της τρίτης διάστασης. Αυτό επιτρέπει την εποπτεία των απεικονιζόμενων αντικειμένων στα πραγματικά τους μεγέθη και τον πιο εύκολο χειρισμό τους. Το σύστημα προβάλει στα μάτια του χρήστη τον εικονικό κόσμο, ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία παρατηρεί αυτός το χώρο, παίρνοντας ως δεδομένο τη μέτρηση της θέσης και του προσανατολισμού του κεφαλιού του χρήστη. Ο μηχανισμός αυτός παρέχει την αίσθηση στο χρήστη ότι το Εικονικό Περιβάλλον τον περιβάλλει, όπως ο πραγματικός κόσμος. Η λειτουργία αυτή σε συνδυασμό με τη δυνατότητα οπτικοποίησης και των τριών διαστάσεων καθιστά ένα τέτοιο σύστημα ένα πολύ ισχυρό μέσο οπτικοποίησης τρισδιάστατης γεωμετρίας.



Σχήμα 3.3: Κράνη Δεδομένων (Head Mounted Displays)

Τα ***γάντια δεδομένων*** είναι συσκευές εξοπλισμένες με ανιχνευτές θέσης και προσανατολισμού των αρθρώσεων του καρπού αλλά και των δακτύλων, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.4. Για το σκοπό αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται επιμηκυνσιόμετρα ή οπτικές ίνες, οι οποίες ανάλογα με τη κάμψη τους μεταβάλλουν το ποσοστό φωτός που περνά από μέσα τους.



Σχήμα 3.4: Γάντια δεδομένων (Data Gloves)

Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα χειριστήρια, τα οποία προσομοιάζουν τα χέρια του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον και με την χρήση ειδικών κουμπιών καταγράφονται εντολές αλληλεπίδρασης με το εικονικό περιβάλλον και τα εικονικά αντικείμενα που εμπεριέχονται σε αυτό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Χειριστήρια αλληλεπίδρασης (Controllers)

Το ***υπολογιστικό σύστημα*** αποτελεί τον πυρήνα κάθε συστήματος και εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας. Οι απαιτήσεις του υπολογιστικού συστήματος είναι ιδιαίτερα αυξημένες όσον αφορά στις επιδόσεις του γραφικού υποσυστήματος (Graphics Board) και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Central Process Unit – CPU). Οι σχετικές εφαρμογές απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που σημαίνει ότι διαδικασίες που παρέχονται από το σύστημα, όπως η αναπαράσταση και η ανάδραση του περιβάλλοντος, βασίζονται σε υπολογισμούς που εκτελούνται άμεσα, και όχι σε δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη.

Επίσης, ένα από τα κυριότερα στοιχεία ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας είναι η ***συσκευή μέτρησης της θέσης και του προσανατολισμού*** συγκεκριμένων σημείων ή μελών του σώματος του χρήστη στο χώρο. Με το σύστημα μετρήσεως θέσεων, ο υπολογιστής ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο για τη θέση και τον προσανατολισμό του κεφαλιού του χρήστη (κράνος), των χεριών του (γάντια ή συσκευές ανάδειξης) ή και άλλων μελών ή σημείων του σώματός του (πόδια, μέση, κ.ά.), στα οποία βρίσκονται τοποθετημένοι οι αισθητήρες της συσκευής ανίχνευσης θέσης. Ο καθορισμός της θέσης / προσανατολισμού του κεφαλιού του χρήστη είναι απαραίτητος για τον καθορισμό του σημείου επόπτευσης (point of view) του Εικονικού Περιβάλλοντος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η προβολή του εικονικού χώρου από την πραγματική προοπτική που αυτός έχει στο φυσικό χώρο. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται η εντύπωση ότι το εικονικό περιβάλλον περιβάλλει τον χρήστη, ενώ ο χρήστης, γυρίζοντας το οπτικό του πεδίο προς όποια κατεύθυνση επιθυμεί, βλέπει το περιβάλλον από την ορθή του προοπτική. Όταν ο χρήστης μετακινείται στον φυσικό χώρο, αντίστοιχα μετακινείται και το σημείο επόπτευσης στο εικονικό περιβάλλον. Αντίστοιχα, ο καθορισμός της θέσης και του προσανατολισμού των χεριών του χρήστη είναι απαραίτητος για την εμφάνιση της εικονικής αναπαράστασης των χεριών του στη σωστή θέση. Η λειτουργία αυτή είναι η βάση του μηχανισμού αλληλεπίδρασης του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον. Τα «εικονικά» του χέρια αλληλεπιδρούν με τα υπόλοιπα εικονικά αντικείμενα και παρέχουν τη δυνατότητα στο χρήστη να αγγίξει και να μεταφέρει αντικείμενα με πολύ ρεαλιστικές κινήσει.

Υπάρχουν συστήματα καταγραφής κίνησης μαγνητικά, οπτικά, μηχανικά, κ.ά. (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6: Συστήματα αιχμαλώτισης/καταγραφής κίνησης

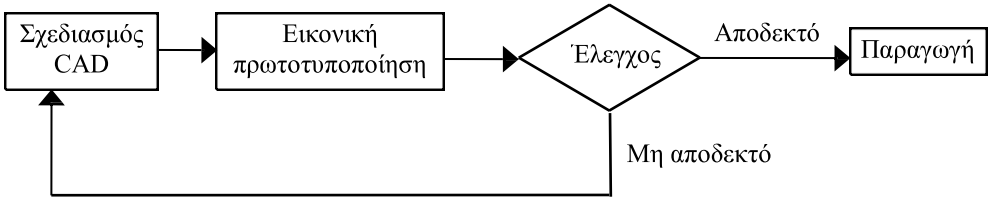
Η αίσθηση της αφής είναι από τις κρισιμότερες παραμέτρους που καθορίζουν τον ρεαλισμό ενός εικονικού περιβάλλοντος. Η ***ανάδραση αφής / δύναμης*** μπορεί να δημιουργήσει στον χρήστη την ψευδαίσθηση ότι «πιάνει» και χειρίζεται ένα πραγματικό αντικείμενο. Η ανάδραση αυτή επιτυγχάνεται κυρίως με εξωσκελετικούς μηχανισμούς, ή / και με διατάξεις ηλεκτροδίοδων ή μικροσυσκευών που προκαλούν δονήσεις μικρού πλάτους.

Η ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Στο σχεδιασμό προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών, η ΕΠ παρέχει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να αξιολογήσουν και να πειραματιστούν με εικονικά πρωτότυπα προϊόντων ή συστημάτων μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. Οι κύριες εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας αφορούν σε:

- Εικονική πρωτοτυποποίηση (Virtual Prototyping)
- Λειτουργική προσομοίωση (Functional Simulation)
- Εργονομικό έλεγχο (Ergonomics Evaluation)
- Εικονική εκτέλεση διαδικασιών παραγωγής (Process Simulation)
- Εικονική παραγωγή (Virtual Factory)
- Εικονική Διαδικτυακή Συνεργασία (Virtual Collaboration)
- Εκπαίδευση (Virtual Training)
- Συνεργατικός σχεδιασμός (Collaborative Design)

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται ο ρόλος της εικονικής πρωτοτυποποίησης στην ανάπτυξη ενός προϊόντος.



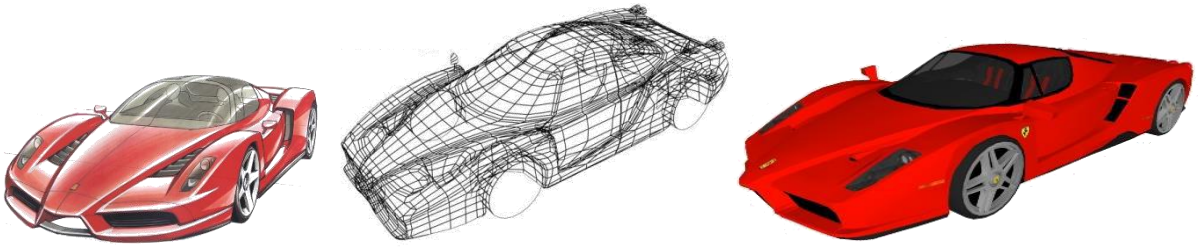
Σχήμα 3.7: Ο ρόλος της εικονικής πρωτοτυποποίησης στην ανάπτυξη ενός προϊόντος

Εφαρμογές

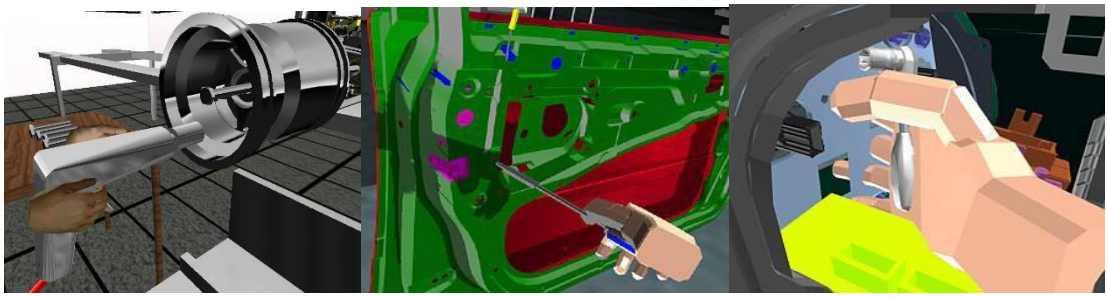
Εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την υποστήριξη του σχεδιασμού προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών, τον εργονομικό έλεγχο, την εκπαίδευση εργαζομένων, κλπ. Η χρήση της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας μειώνει σε μεγάλο ποσοστό την ανάγκη φυσικών πειραματισμών, η οποία απαιτεί την κατασκευή φυσικών πρωτότυπων του προϊόντος αλλά και τη χρήση πραγματικών παραγωγικών διατάξεων.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά μερικά παραδείγματα εφαρμογών ΕΠ:

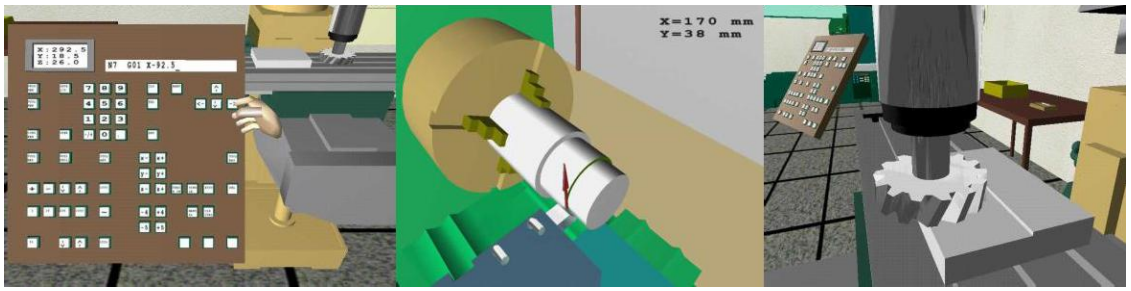
- Εικονική πρωτοτυποποίηση προϊόντων



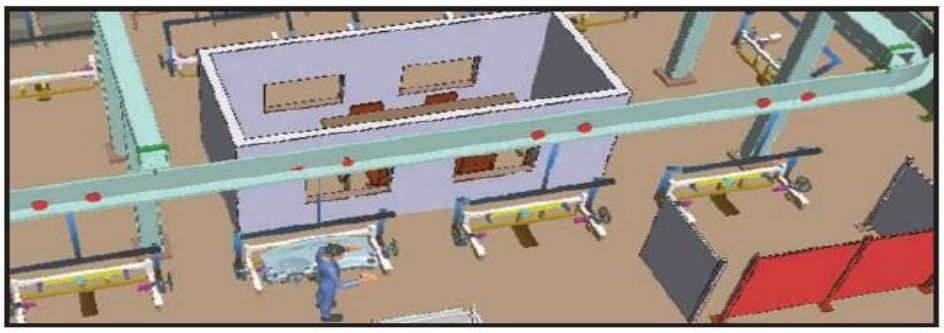
- Προσομοίωση συναρμολογήσεων / αποσυναρμολογήσεων



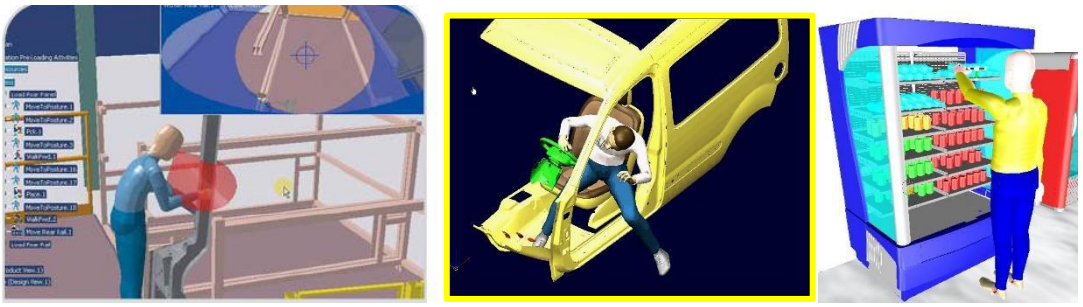
- Προσομοίωση μηχανουργικών διαδικασιών



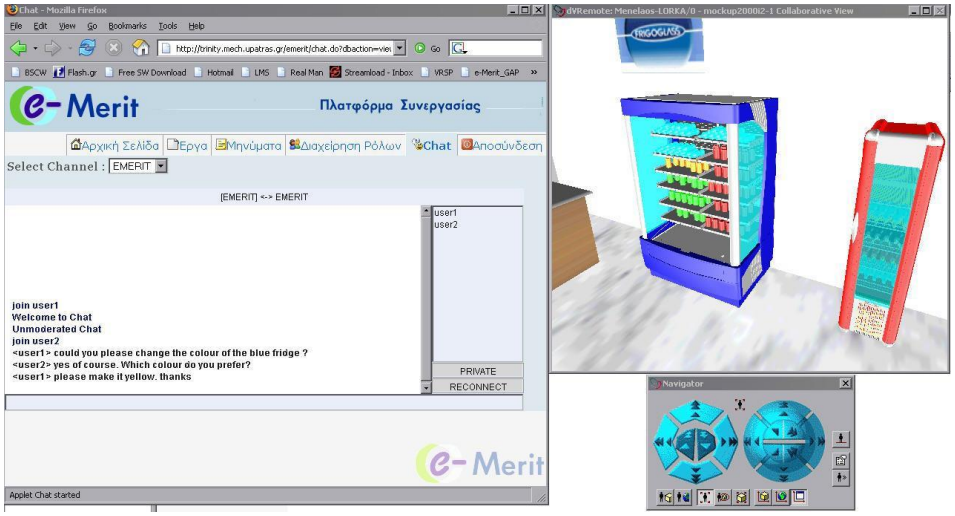
- Προσομοίωση παραγωγικής διαδικασίας



- Εργονομικός έλεγχος με χρήση ψηφιακών ανθρωποειδών (βλ. επόμενη παράγραφο)



- Virtual Collaboration



Πολλές εφαρμογές έχουν επίσης αναπτυχθεί σε τομείς όπως:

- Αρχιτεκτονική
- Φυσικές επιστήμες
- Αρχαιολογία
- Τηλεπαρουσίαση
- Υγεία και Ιατρική
- Έλεγχο πληροφορίας

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΕΙΔΩΝ

Οι μηχανικοί που ασχολούνται με τον ανθρώπινο παράγοντα και κατ' επέκταση με την εργονομία (human factors engineers), αναλύουν και εκτιμούν το σχεδιασμό ενός νέου χώρου εργασίας κατασκευάζοντας ένα φυσικό πρωτότυπο (mock-up) του χώρου, χρησιμοποιώντας ανθρώπους για την εκτέλεση μιας σειράς εργασιών και καταγράφοντας τις παρατηρήσεις τους σχετικά με το αν ο σχεδιασμός είναι ικανοποιητικός ή όχι. Η διαδικασία αυτή, έχει αρκετούς περιορισμούς. Όταν ο σχεδιασμός έχει φτάσει στο στάδιο που επιτρέπει στον κατασκευαστή του μοντέλου να δημιουργήσει το φυσικό πρωτότυπο, υπάρχει συνήθως αρκετή δυσκολία στο να τροποποιηθεί λόγω οικονομικών και χρονικών περιορισμών. Όταν ο τελικός σχεδιασμός εφαρμοστεί στην παραγωγή, οι ελλείψεις αντιμετωπίζονται μέσω ειδικής εκπαίδευσης, η οποία όμως περιορίζεται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των ατόμων του προσωπικού κλπ.

Είναι αρκετά δύσκολο να χαρακτηριστούν ακριβώς οι τύποι των προβλημάτων που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας μηχανικός εργονομίας. Διαφορετικές καταστάσεις απαιτούν εμπειρικά δεδομένα που αφορούν στις ανθρώπινες δυνατότητες. Ορισμένα παραδείγματα είναι:

- Μελέτες πληθυσμών μπορούν να καθορίσουν το μέγεθος του ανθρώπινου σώματος για ορισμένες ομάδες ανθρώπων, π.χ. εκπαιδευόμενοι αστροναύτες της NASA. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί αν ο χώρος εργασίας μέσα σε ένα διαστημόπλοιο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ταιριάζει σε όλους όσους πρόκειται να εργαστούν εκεί. Οι ερωτήσεις που προκύπτουν όμως είναι: Μπορούν όλοι οι αστροναύτες να περάσουν μέσα από τις πόρτες ή τις καταπακτές; Που ακριβώς θα πρέπει να τοποθετηθούν οι χειρολαβές; Πως θα επηρεάσουν αυτή τη δυνατότητα τυχόν αλλαγές στο σχεδιασμό του χώρου εργασίας μέσα στο διαστημόπλοιο;

- Ένας χειριστής μεγάλου οχήματος όπως ένα ρυμουλκό, χρειάζεται να βλέπει τον περιβάλλοντα χώρο για να πραγματοποιήσει μια εργασία, να αποφύγει τυχόν εμπόδια και να διασφαλίσει την ασφάλεια των ανθρώπων που κινούνται γύρω του. Ποιο ακριβώς όμως είναι το οπτικό πεδίο του χειριστή από μια συγκεκριμένη θέση; Μπορεί να χειριστεί το όχημα ενώ ταυτόχρονα κοιτάζει από το παράθυρο;

- Συγκεκριμένες μελέτες χειρωνακτικής ανύψωσης βαρών μπορούν να πραγματοποιηθούν για να καθορίσουν τα όρια της καταπόνησης της μέσης, για έναν τυπικό σωματότυπο εργατών. Υπάρχει όμως κατάλληλος χώρος για να γίνει σωστά αυτή η διαδικασία; Ποιες αρθρώσεις καταπονούνται περισσότερο; Υπάρχει μια καλύτερη στάση του σώματος για να μειωθούν οι στρεπτικές ροπές; Πως επηρεάζουν την εκτέλεση της εργασίας η αρχική και η τελική θέση του βάρους που πρέπει να ανυψωθεί; Θα κουραστεί ο εργάτης μετά από ορισμένες επαναλαμβανόμενες εργασίες ανύψωσης; Πόση απόσταση διανύει ένας εργάτης κατά την διάρκεια μιας εργασίας και πώς αυτή η απόσταση μπορεί να μειωθεί με κατάλληλη τροποποίηση του χώρου εργασίας του;

- Ακόμα πιο εξειδικευμένα πειράματα μπορούν να γίνουν για να εκτιμηθούν η άνεση και η αίσθηση μιας χειρολαβής εργαλείου. Είναι όμως η χειρολαβή κατάλληλη για κάθε ανθρώπινο χέρι;

Μια λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι η χρήση ενός ψηφιακού ανθρώπινου μοντέλου, manikin ή virtual human, (Σχήμα 3.8) ως υποκειμένου σε μια σειρά εργασιών μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. Το μοντέλο θα λαμβάνει εργονομικά δεδομένα, τα οποία θα υπαγορεύουν την εκτέλεση των κινήσεων του.



Σχήμα 3.8: Virtual Humans

Τα ανθρωπομετρικά στοιχεία των εικονικών ανθρώπινων μοντέλων δηλαδή οι διαστάσεις του σώματός τους, είναι δυνατόν να λαμβάνονται από βάσεις δεδομένων, τα στοιχεία των οποίων προέρχονται από στατιστικές μελέτες πληθυσμών. Ορισμένα λογισμικά πακέτα παρέχουν τη δυνατότητα απευθείας εισαγωγής των βασικών ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών όπως ύψος, βάρος, φύλο, και στη συνέχεια το σύστημα υπολογίζει μόνο του τις υπόλοιπες διαστάσεις.

Η κίνηση των ψηφιακών ανθρωποειδών μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον, με σκοπό την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας, μπορεί να γίνει:

- με προγραμματισμό από το χρήστη, δίνοντας εντολές όπως move, walk, stoop, grasp για κάθε βήμα της διαδικασίας. Όταν ολοκληρωθεί η εισαγωγή όλων των εντολών, ο χειριστής μπορεί να δει όλη τη διαδικασία από την αρχή σε μορφή animation.
- με «αιχμαλώτιση» της κίνησης (βλ. Σχήμα 3.4) από έναν πραγματικό άνθρωπο, ο οποίος φορώντας περιφερειακά Εικονικής Πραγματικότητας εκτελεί την εικονική διαδικασία και οι κινήσεις του αντιστοιχίζονται σε ένα ψηφιακό ανθρωποειδές. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αιχμαλώτισης κίνησης είναι με την χρήση της συσκευής Kinect, μέσω της οποίας το σώμα του χρήστη αναγνωρίζεται και ακολούθως οι κινήσεις των αρθρώσεών του μπορούν να καταγραφούν από τον Η/Υ και να αναπαρασταθούν σε ένα περιβάλλον ΕΠ.

Μετά την εκτέλεση μιας διαδικασίας από ένα ψηφιακό ανθρωποειδές, απορρέουν αποτελέσματα που αφορούν κυρίως στα εργονομικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπως:

- δυνατότητα εκτέλεσης της συγκεκριμένης εργασίας από ανθρώπους με διαφορετικά ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά
- έλεγχο οπτικού πεδίου από διαφορετικές γωνίες
- κούραση και καταπόνηση του ανθρώπινου σώματος κατά την εκτέλεση της διαδικασίας
- δυνατότητα προσέγγισης όλων των απαραίτητων αντικειμένων για την εκτέλεση της εργασίας
- δυνατότητα εισχώρησης του ανθρώπινου σώματος σε στενά σημεία

Μερικά από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά πακέτα ψηφιακών ανθρωποειδών είναι (Σχήμα 3.9):

- V5 Human (Dassault Systemes)
- Ramsis (Human Solutions)
- Jack (UGS / Tecnomatix)
- Process Simulate Human / eM-Human (UGS / Tecnomatix)
- SafeWork (SafeWork Inc.)
- AnyBody (AnyBody Technology)
- SAMMIE (SAMMIE CAD Ltd.)
- ManneQuinPRO (NexGen Ergonomics Inc.)
- Boeing Human Modeling System (Boeing Co.)



Σχήμα 3.9: Ramsis, Safework & V5 Human

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Τρεις (3) ημέρες πριν την προγραμματισμένη ημερομηνία εκτέλεσης του εργαστηρίου Εικονικής Πραγματικότητας (ΕΠ), θα πρέπει να παραδίδονται στον υπεύθυνο εργαστηρίου τα τρισδιάστατα αρχεία των ζητούμενων επιμέρους εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

Σχετικές οδηγίες δίνονται στο κεφάλαιο "Σχεδιασμός με χρήση υπολογιστή (CAD)".

Κατά την διάρκεια του εργαστηρίου πραγματοποιείται από τον υπεύθυνο μια εισαγωγή στις τεχνικές ΕΠ, καθώς και μια αναλυτική περιγραφή του εξοπλισμού ΕΠ, που διαθέτει το εργαστήριο. Στην συνέχεια γίνεται μια αναφορά στα προγράμματα ΕΠ που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο και αξιολογείται (σχεδιαστικά και λειτουργικά) το τελικό συναρμολογημένο εικονικό πρωτότυπο τηλεκατευθυνόμενου οχήματος της ομάδας.

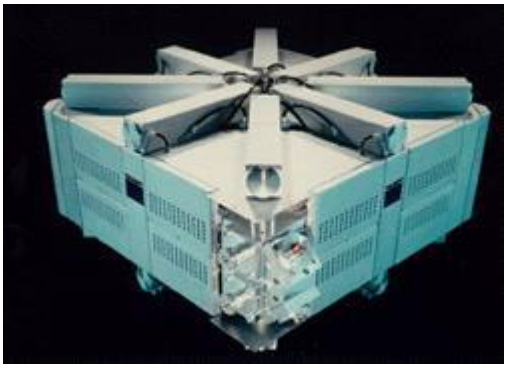
Το εργαστήριο της ΕΠ εκτελείται στο 3^{ο} εξάμηνο φοίτησης.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΜΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΟΠΗΣ ΜΕ LASER, ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΒΡΩΣΗΣ (LASER – AM - EDM)

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ LASER

Το laser είναι μια συσκευή η οποία εκπέμπει φως μέσω μιας διαδικασίας οπτικής ενίσχυσης βασισμένης στην εξαναγκασμένη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο όρος «LASER» προέρχεται ως ένα αρκτικόλεξο, και σημαίνει «ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας» (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Οι ακτίνες laser βρίσκουν εφαρμογή σε πληθώρα βιομηχανικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένων και των μηχανουργικών. Οι κατεργασίες με laser αποτελούν μία εναλλακτική λύση σε σχέση με τις παραδοσιακές μηχανουργικές κατεργασίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατεργασία μιας ποικιλίας υλικών, όπως μετάλλων, κεραμικών, γυαλιού, πλαστικών καθώς και συνθέτων υλικών. Επειδή οι κατεργασίες με laser αποτελούν ουσιαστικά θερμικές διεργασίες, η αποτελεσματικότητά τους δεν προσδιορίζεται από τις μηχανικές ιδιότητες του υπό κατεργασία υλικού, αλλά από τις θερμικές του ιδιότητες και τις ιδιότητες που αφορούν την συμπεριφορά του υλικού απέναντι στην έκθεσή του στην ακτινοβολία. Για τον λόγο αυτό οι κατεργασίες με laser παρουσιάζουν μία σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις συμβατικές, όπως:

- Απουσία φθοράς κοπτικού εργαλείου (tool wear),
- Απουσία αστοχίας κοπτικού (tool breakage),
- Απουσία ταλαντωτικού θορύβου (chatter),
- Απουσία παραμόρφωσης των εργαλειομηχανών (machine deflection) και
- Απουσία μηχανικώς επαγομένης φθοράς υλικού (mechanically induced material damage).



Σχήμα 4.1: Πηγή laser ισχύος 6KW

Η κατεργασία με laser αποτελεί μία άκρως τοπική θερμική διαδικασία. Κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης δέσμης – υλικού, μέρος της προσπίπτουσα ενέργειας απορροφάται από το υλικό (απορρόφηση φωτονίων). Κατ' αυτόν τον τρόπο αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία στην περιοχή του στίγματος της δέσμης (beam spot) με αποτέλεσμα την εξασθένηση (softening), την τοπική υποχώρηση (local yielding), την καύση (burning) ή την εξάτμιση (evaporation) του υλικού.

Οι τοπικές επιδράσεις των laser μπορούν να ταξινομηθούν ως προς τα φαινόμενα, τα οποία δημιουργούν. Οι κύριες κατηγορίες περιλαμβάνουν:

- Μηχανικές Επιδράσεις (Mechanical Effects). Στην περίπτωση μετρίου μεγέθους ισχύος της δέσμης laser και σχετικά υψηλής ταχύτητας σάρωσης, η άνοδος της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του κατεργαζόμενου κομματιού που προσβάλλεται, είναι χαμηλότερη από το σημείο τήξης του υλικού. Ως αποτέλεσμα το κατεργαζόμενο κομμάτι θερμαίνεται τοπικά, το υλικό εξασθενεί και δημιουργούνται βαθμωτά μεταβαλλόμενες θερμικές τάσεις (thermal stress gradients). Κατά συνέπεια τοπική υποχώρηση, απώλεια στιβαρότητας, θερμική θραύση (thermal cracking) ή τοπική κάμψη (local buckling) είναι δυνατόν να συμβούν.
- Επιδράσεις Αλλαγής Κατάστασης του Υλικού (Phase – Change Effects). Η προσδιδόμενη ισχύς του laser είναι δυνατόν να αυξήσει την θερμοκρασία του κατεργαζόμενου κομματιού, υψηλότερα από το σημείο τήξης του υλικού του, ώστε να προκαλέσει αλλαγή κατάστασης με αποτέλεσμα την τήξη (melting) και/ή την εξάτμιση (evaporation) του υλικού.
- Φυσικοχημικές Αλληλεπιδράσεις (Physico – Chemical Interactions). Εξ αιτίας του βοηθητικού υλικού (π.χ. αέριο, υγρό, γραφίτης κ.λ.π.) που μπορεί να χρησιμοποιείται κατά την διεργασία και την επηρεάζει (π.χ. ψύχει, αφαιρεί το τήγμα, αντιδρά κ.λ.π.), είναι δυνατόν να λάβουν χώρα ταυτόχρονες φυσικοχημικές αντιδράσεις μεταξύ του βοηθητικού υλικού και του κατεργαζόμενου κομματιού. Τούτο έχει σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση ποικίλων φαινομένων όπως αυτό της καύσης (burning), της συμπύκνωσης (sintering), της ετερογενούς συγκόλλησης (soldering), της σύντηξης (alloying) κ.λ.π.

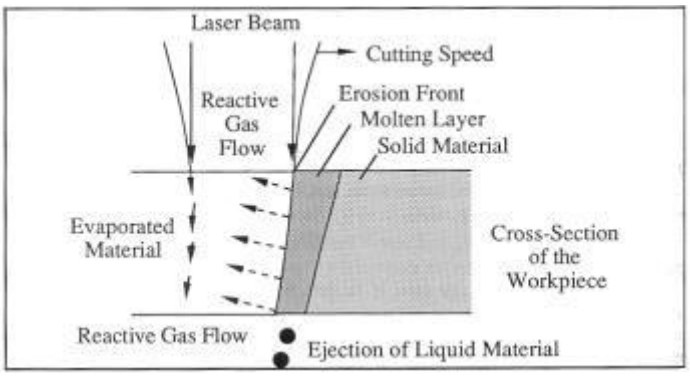
Ως προς τον εμπλεκόμενο μηχανισμό, δηλαδή το σύνολο των δημιουργούμενων φαινομένων, κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης της δέσμης laser μετά του υλικού του κατεργαζόμενου κομματιού, οι διεργασίες με laser μπορούν γενικά να διακριθούν σε:

- Διεργασίες αφαίρεσης υλικού (material removal processes)
- Διεργασίες συνένωσης (joining processes) ή διεργασίες εναπόθεσης υλικού (additive processes), και σε
- Διεργασίες αλλαγής των ιδιοτήτων του υλικού (modification processes)

Κατά τις διεργασίες αφαίρεσης υλικού δημιουργείται ένα μέτωπο κοπής, εντός του οποίου η αλληλεπίδραση της δέσμης laser με το κατεργαζόμενο κομμάτι έχει σαν αποτέλεσμα την αφαίρεση υλικού. Κατά την διάρκεια οποιασδήποτε προσθετικής διεργασίας ή διεργασίας συνένωσης με laser, η αλληλεπίδραση της δέσμης laser με το κατεργαζόμενο κομμάτι έχει σαν αποτέλεσμα την τήξη του υλικού. Κατά τις διεργασίες αλλαγής των ιδιοτήτων του υλικού, η προς κατεργασία περιοχή του κομματιού προσβάλλεται με σχετικά μικρό ποσό ενέργειας σε σχέση με τις δυο προαναφερθείσες κατηγορίες, με αποτέλεσμα να λαμβάνουν αλλαγές στην εσωτερική δομή του υλικού.

Η κοπή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη κατεργασία με laser. Κατά την κοπή, η δέσμη του laser διαπερνά το προς κατεργασία κομμάτι καθ' όλο του το πάχος και προχωρεί σε κατεύθυνση παράλληλη προς την επιφάνεια του κομματιού. Ως προς την φυσική κατάσταση του αφαιρουμένου υλικού, η κοπή με laser διακρίνεται σε δύο τύπους: την κοπή εξάχνωσης (sublimation cutting) και την κοπή τήξης (fusion cutting). Στην περίπτωση της κοπής

εξάχνωσης, το υλικό εξατμίζεται. Εξάχνωση λαμβάνει, συνήθως, χώρα για υλικά με χαμηλό σημείο και χαμηλή ειδική θερμότητα εξάτμισης όπως τα πλαστικά, όταν εφαρμόζεται σ' αυτά υψηλή ισχύς δημιουργούμενη από παλμικά laser στερεάς κατάστασης. Στην περίπτωση της κοπής τήξης, το υλικό τήκεται και αποβάλλεται από την εγκοπή (kerf) με την βοήθεια κάποιου αερίου. Στην περίπτωση που το αέριο δεν προκαλεί την ενεργοποίηση κάποιας χημικής αντίδρασης (inert gas jet), το ποσό της θερμότητας που προσδίδεται στο υλικό προέρχεται αποκλειστικά από την δέσμη laser. Με την χρήση ενεργού αερίου (active gas jet), όπως το οξυγόνο, η εξώθερμη χημική αντίδραση του τροφοδοτούμενου ενεργού αερίου με το υλικό του κατεργαζόμενου κομματιού, χρησιμεύει ως ένας επιπλέον μηχανισμός παραγωγής θερμότητας, για την αφαίρεση υλικού (
Σχήμα **4.2**).



Σχήμα 4.2: Μηχανισμός κοπής laser με την βοήθεια ενεργού αερίου

Για την κατασκευή κομματιών του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος θα χρησιμοποιηθεί μια CNC (Computer Numerical Control) τριαξονική μηχανή κοπής ελασμάτων με laser.

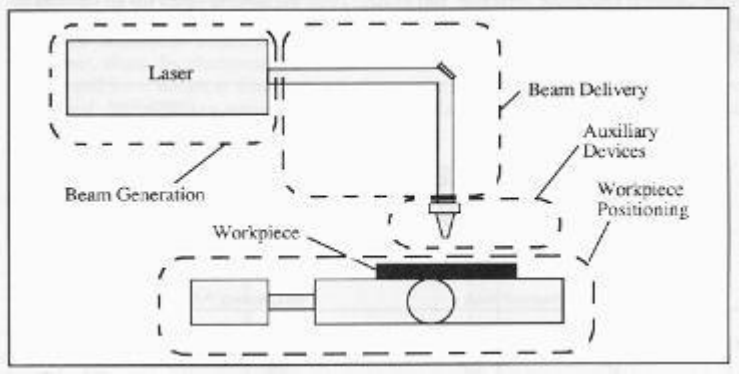


Σχήμα 4.3: Μηχανή κοπής ελασμάτων με laser

Μερικά από τα πλεονεκτήματα χρήσης τέτοιων εργαλειομηχανών σε σχέση με άλλες μεθόδους κοπής εξαρτημάτων από μεταλλικά φύλλα είναι τα ακόλουθα:

- Υψηλή ποιότητα κοπής
- Υψηλή ταχύτητα κοπής
- Μεγάλη ευελιξία
- Δυνατότητα κοπής εξαιρετικά περίπλοκης γεωμετρίας

Τα βασικά μέρη και η αρχή λειτουργίας μιας τέτοιας μηχανής φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.4: Βασικά μέρη και αρχή λειτουργίας μηχανής κοπής ελασμάτων με laser

Η δέσμη laser βγαίνοντας από την πηγή (beam generation), οδηγείται με χρήση κατόπτρων και φακών ή δέσμης οπτικών ινών (beam delivery) στο σημείο που βγαίνει από το ακροφύσιο ή κάποια άλλη διάταξη (auxiliary devices) και έρχεται σε επαφή με το προς επεξεργασία κομμάτι. Το κομμάτι τοποθετείται στην κατάλληλη προς επεξεργασία θέση με την βοήθεια κατάλληλων μηχανισμών (workpiece positioning).

Ένα παράδειγμα εξαρτήματος που μπορεί να κοπεί με μια τέτοια εργαλειομηχανή δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.5: Εξάρτημα κατασκευασμένο από μεταλλικό φύλλο με χρήση laser

Όπως σε κάθε σύγχρονη εργαλειομηχανή CNC, οι κινήσεις της κεφαλής που φέρει την δέσμη laser ελέγχονται πλήρως από υπολογιστή που συνοδεύει την μηχανή. Το επιθυμητό προς κοπή κομμάτι σχεδιάζεται απ' ευθείας στον υπολογιστή, με την βοήθεια ενός CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) προγράμματος. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία του σχεδίου και την οριοθέτησή του πάνω στο μεταλλικό φύλλο που διαθέτουμε, ο κώδικας NC παράγεται από τον υπολογιστή και αποστέλλεται στα διάφορα υποσυστήματα της μηχανής (έλεγχος αξόνων, έλεγχος laser, έλεγχος απόστασης του ακροφυσίου από το κομμάτι κ.λ.π.), οπότε και ξεκινάει η διαδικασία της κοπής.

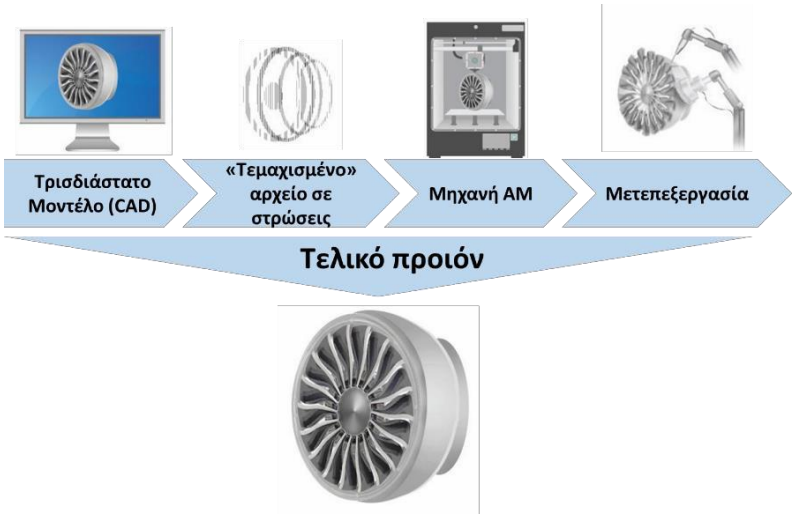
Μερικά τυπικά τεχνικά χαρακτηριστικά μιας βιομηχανικής μηχανής κοπής ελασμάτων με laser είναι:

- Ισχύς laser: 1800 W
- Μέγιστη ταχύτητα κοπής: 85 m/sec

- Ακρίβεια: 0.1mm
- Μέγιστο πάχος κοπής:
  - Μαλακός χάλυβας, με χρήση O_2 12mm
  - Ανοξείδωτος χάλυβας, με χρήση N_2 4mm
  - Αλουμίνιο, με χρήση N_2 3mm

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΥΛΙΚΟΥ / ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Οι διεργασίες εναπόθεσης υλικού (Additive Manufacturing processes/AM) είναι ένα σύνολο σχετικά νέων διεργασιών, οι οποίες βασίζονται στην εναπόθεση υλικού σε στρώσεις με βάση ένα τρισδιάστατο σχέδιο σε Η/Υ (Computer-Aided Design/CAD). Οι διεργασίες αυτές είναι ευρύτερα γνωστές με τον όρο «τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing)», παρά το γεγονός πως ο όρος δεν είναι τεχνικά σωστός καθώς αναφέρεται σε εμπορικά κατοχυρωμένο όνομα της τεχνολογιας FDM. Οι τεχνικές εναπόθεσης υλικού στηρίζονται στον "τεμαχισμό" (slicing) της τρισδιάστατης CAD αναπαράστασης ενός αντικειμένου, σε λεπτά στρώματα (layers) και στην από κάτω προς τα πάνω δόμηση του αντικειμένου αυτού με εναπόθεση του κάθε στρώματος στο προηγούμενό του. Οι διεργασίες αυτές έρχονται σε αντίθεση με τις μηχανουργικές κατεργασίες που έχουμε συναντήσει ως τώρα, οι οποίες κατα κύριο λόγο βασίζονται σε αφαίρεση ή μορφοποίηση υλικού.



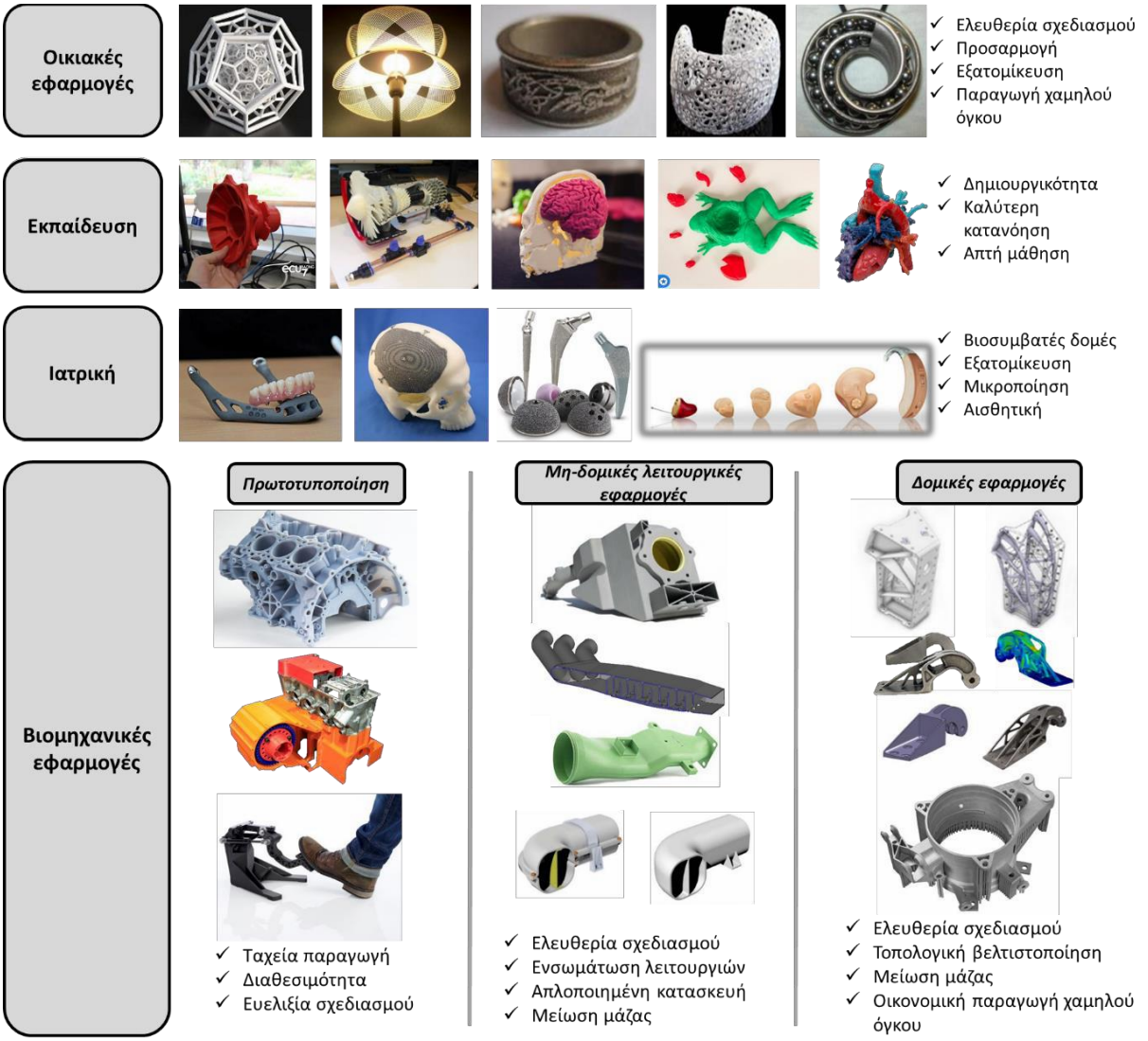
Σχήμα 4.6: Βήματα κατασκευής με διεργασίες εναπόθεσης υλικού

Η ιδιαιτερότητα αυτή των διεργασιών εναπόθεσης υλικού τους δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανουργικές κατεργασίες, όπως:

- Ελαχιστοποίηση απωλειών υλικού
- Ευελιξία παραγωγής
- Μη-χρήση καλουπιών και εξειδικευμένων εργαλείων
- Οικονομική παραγωγή μικρών παρτίδων
- Δυνατότητα ελευθερίας σχεδιασμού

- Δυνατότητα χρήσης πλαστικών, κεραμικών, μεταλλικών και συνθέτων υλικών

Λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων, οι διεργασίες εναπόθεσης υλικού εξελίσσονται με ταχύτατο ρυθμό, καταλαμβάνοντας σημαντικό μερίδιο της αγοράς και βρίσκοντας ολοένα αυξανόμενες εφαρμογές σε διαφορετικά πεδία. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών τέτοιων διεργασιών παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

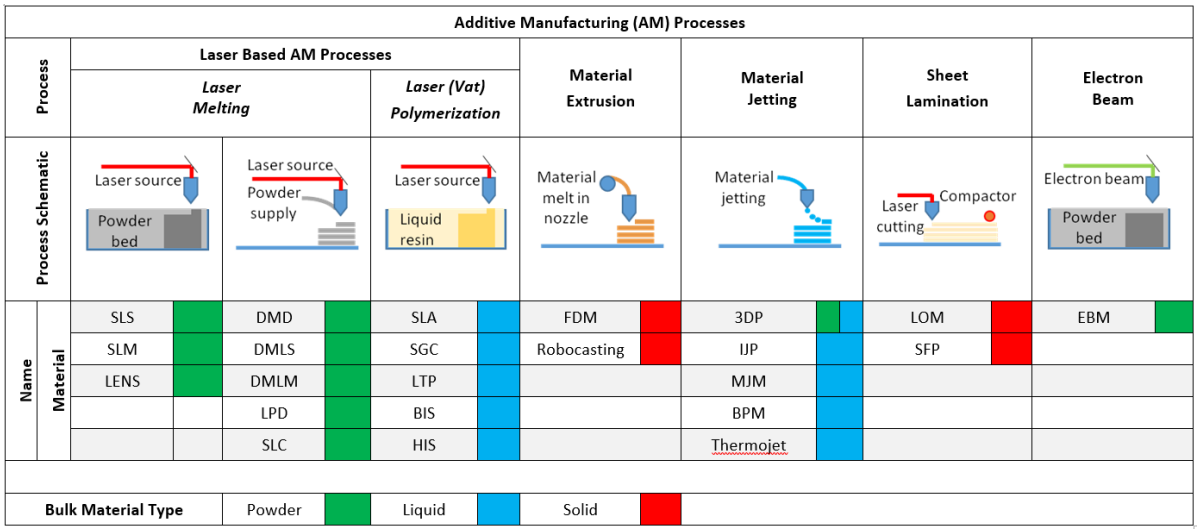


Σχήμα 4.7: Εφαρμογές και πλεονεκτήματα τεχνολογιών εναπόθεσης υλικού

Έως σήμερα έχουν αναπτυχθεί πάνω από 20 διεργασίες εναπόθεσης υλικού με διαφορετικά χαρακτηριστικά και εμπορικά ονόματα, οι οποίες όμως μπορούν να καταταχθούν σε 7 οικογένειες με βάση τον φυσικό μηχανισμό στον οποίο στηρίζονται. Οι οικογένειες αυτές έχουν ως εξής:

- LPBF – Laser powder bed fusion, οπου μια δέσμη laser τήκει επιλεκτικά υλικό που βρίσκεται στο τραπέζι της μηχανής υπο μορφή σκόνης.
- EBM – Electron Beam Melting, οπου μια δέσμη ηλεκτρονίων υπο κενό τήκει επιλεκτικά υλικό που βρίσκεται στο τραπέζι της μηχανής υπο μορφή σκόνης.

- DED – Directed energy deposition, οπου μια δέσμη laser τήκει υλικό που παρέχεται μεσω ακροφυσίου
- VP – Vat photopolymerization, οπου υγρή ρητίνη πολυμερίζεται λόγω έκθεσης σε πηγή φωτός
- SL – Sheet lamination, οπου φύλλα υλικού κόβονται στο κατάλληλο σχήμα και στην συνέχεια συγκολλούνται μεταξύ τους
- ME – Material Extrusion, οπου υλικό (συνήθως με χαμηλό σημείο τήξης) τήκεται και εναποτίθεται στα κατάλληλα σημεία
- BJ– Binder Jetting, οπου συνδετικό υλικό (κόλλα) ψεκάζεται σε κατάλληλο υπόστρωμα σκόνης προκειμένου να την στερεοποιήσει



Σχήμα 4.8: Οικογένειες διεργασιών εναπόθεσης υλικού

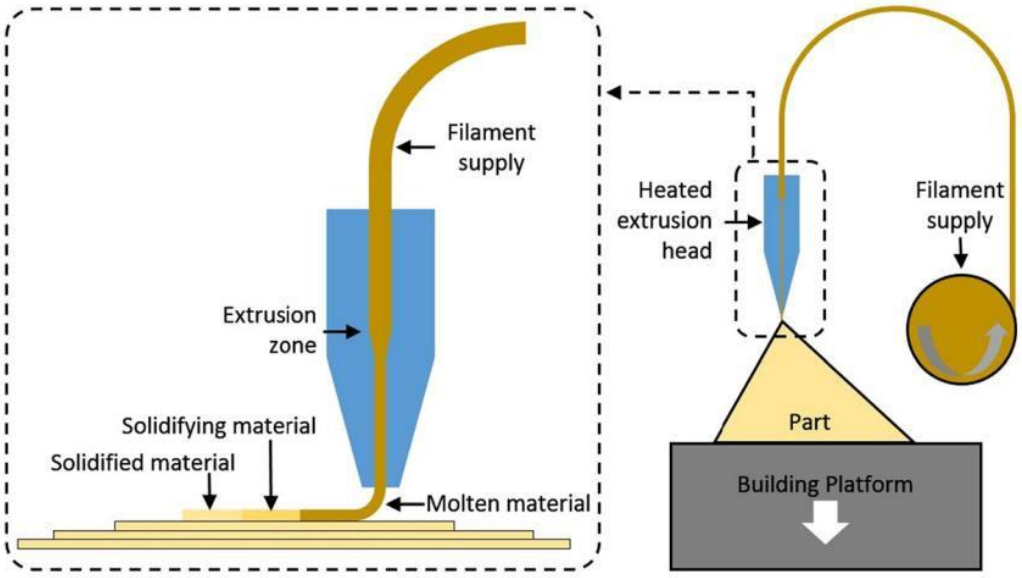
Το Εργαστήριο Δυναμικής και Θεωρίας Μηχανών / Συστημάτων Παραγωγής και Αυτοματισμού διαθέτει πέντε μηχανές εναπόθεσης υλικού, οι οποίες εφαρμόζουν τρεις από τις πιο σημαντικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί. Αυτές είναι:

1. Η τεχνική κατασκευής με εναπόθεση ημίρρευστου υλικού (Fused Deposition Modeling – FDM), η οποία συμπεριλαμβάνεται στην οικογένεια των διεργασιών Material Extrusion
2. Η τεχνική της Στερεολιθογραφίας (Stereolithography – SLA), η οποία συμπεριλαμβάνεται στην οικογένεια των διεργασιών Vat Photopolymerization
3. Η τεχνική κατασκευής με φύλλα λεπτού χαρτιού (Laminated Object Manufacturing – LOM), η οποία συμπεριλαμβάνεται στην οικογένεια των διεργασιών Sheet Lamination.

Κατασκευή με εναπόθεση ημίρρευστου υλικού (Fused Deposition Modelling – FDM)

Η τεχνική FDM είναι η πιο διαδεδομένη διεργασία εναπόθεσης υλικού, λόγω του χαμηλού κόστους τόσο των μηχανών όσο και των περισσότερων κοινών υλικών. Με την τεχνική αυτή

το κομμάτι κατασκευάζεται με εναπόθεση ημίρρευστου πλαστικού υλικού, κατά επίπεδα. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι θερμοπλαστικό διαφόρων τύπων, με τα πιο συνήθη να είναι PLA, ABS, PETG, Nylon και PC. Το υλικό παρέχεται στην μηχανή υπό την μορφή σύρματος (filament), διαμέτρου 1.75mm ή 3mm (ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος της μηχανής). Επιπλέον υπάρχουν μηχανές που κάνουν χρήση πλαστικού σε μορφή σφαιριδίων (pellets). Το υλικό προωθείται στην κεφαλή μέσω ενός μηχανισμού με έλκυστρα (extruder). Η κεφαλή (hot end) θερμαίνει το υλικό σε θερμοκρασία κοντά στο σημείο τήξης του, και στην συνέχεια το εξωθεί μέσω ενός στομίου (nozzle) διαμέτρου μικρότερης του σύρματος (τυπικά 0.4-0.8mm). Το ημίρρευστο υλικό εναποτίθεται στο αμέσως προηγούμενο επίπεδο μέσω της κεφαλής, η οποία διαγράφει την τομή του πρωτότυπου στο συγκεκριμένο ύψος. Το υλικό αμέσως μετά την εναπόθεσή του, στερεοποιείται λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, καθώς και της εξαναγκασμένης ψύξης που παρέχεται μέσω ενός ανεμιστήρα (part cooling fan). Με τον τρόπο αυτό κάθε επίπεδο του πρωτότυπου προσκολλάται στο προηγούμενό του. Με την ολοκλήρωση εναπόθεσης μιας στρώσης (layer) η κεφαλή εναπόθεσης κινείται προς τα πάνω κατά απόσταση ίση με το πάχος του στρώματος (ή το τραπέζι της μηχανής κινείται προς τα κάτω) και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου ολοκληρωθεί το κομμάτι. Κάποιες μηχανές έχουν την δυνατότητα χρήσης δευτερεύοντος υλικού παρόμοιας χημικής σύστασης, για την δημιουργία δομών που υποστηρίζουν την γεωμετρία του πρωτότυπου, το οποίο εναποτίθεται από μια δεύτερη κεφαλή. Το πρωτότυπο, μετά την δημιουργία του, αφαιρείται από τη βάση του και καθαρίζεται από τις υποστηρικτικές δομές.



Σχήμα 4.9: Κατασκευή με εναπόθεση ημίρρευστου υλικού

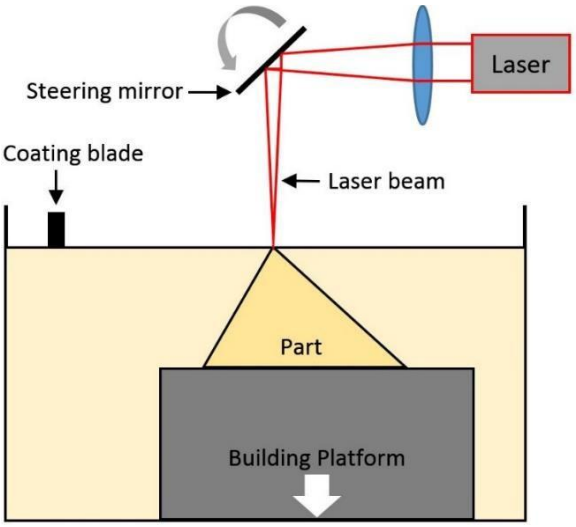


Σχήμα 4.10: Η μηχανή FDM 3D Systems CubePro

Η τεχνική FDM χρησιμοποιείται κυρίως για κατασκευή πρωτοτύπων πριν την τελική παραγωγή, καθώς και για μή δομικά λειτουργικά η διακοσμητικά αντικείμενα και παιχνίδια. Παρ' όλα αυτά, οι εξελίξεις των τελευταίων χρόνων τόσο στην τεχνολογία των μηχανών όσο και στα πολυμερή υλικά, έχει οδηγήσει σε χρήση της τεχνολογίας FDM και σε λειτουργικά τελικά προϊόντα, αντικαθιστώντας εν μέρει τεχνικές χύτευσης με πλαστικό, ειδικά σε μικρούς όγκους παραγωγής.

Στερεολιθογραφία (Stereolithography – SLA)

Στην τεχνική της Στερεολιθογραφίας, το πρωτότυπο κατασκευάζεται πάνω σε μια οριζόντια πλατφόρμα, εμβαπτισμένη σε ένα υγρής μορφής, μονομερές πλαστικό. Το μονομερές αυτό παρουσιάζει φωτοευαίσθητη συμπεριφορά, με αποτέλεσμα όταν προσβληθεί από μια ορισμένη συχνότητα φωτός να στερεοποιείται (πολυμερίζεται). Ως φωτεινή πηγή για την διαδικασία της στερεοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πηγή laser χαμηλής ισχύος, το οποίο προσπίπτει στην επιφάνεια του μονομερούς υγρού μέσω κατάλληλου οπτικού συστήματος. Καθορίζοντας το ποσό της ενέργειας που προέρχεται από την δέσμη laser μέσω τόσο της ισχύος όσο και του χρόνου έκθεσης, το πάχος του υλικού που στερεοποιείται μπορεί και περιορίζεται σε λίγα δέκατα του χιλιοστού κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Ο φωτισμός της επιφάνειας του υγρού, περιορίζεται στο σχήμα που αντιστοιχεί στην διατομή του υπό κατασκευή πρωτοτύπου στο συγκεκριμένο ύψος. Όταν ένα στρώμα στερεοποιηθεί, το πρωτότυπο βυθίζεται, μέχρις ότου ένα νέο λεπτό στρώμα υγρού σχηματισθεί πάνω του. Με μια νέα σάρωση της δέσμης laser, μια νέα διατομή του πρωτοτύπου στερεοποιείται. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται, μέχρις ότου σχηματισθεί το πρωτότυπο πλήρως.



Σχήμα 4.11: Αρχή λειτουργίας της μηχανής Στερεολιθογραφίας

Όταν το πρωτότυπο σχηματισθεί, αφαιρείται από την πλατφόρμα δόμησης και αφήνεται να στραγγίσει. Στη συνέχεια αφαιρούνται οι υποστηρικτικές δομές και το πρωτότυπο καθαρίζεται με διαλυτικά (όπως ισοπροπανόλη, ακετόνη, TPM κλπ.), για να αφαιρεθούν όλα τα υπολείμματα, του μη στερεοποιημένου υλικού. Κατόπιν το πρωτότυπο τοποθετείται σε μία ειδική συσκευή (PCA – Post Curing Apparatus) που φέρει λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας, για την επίτευξη στερεοποίησης του πρωτοτύπου, κατά 100%. Για το φινίρισμα των επιφανειών που κατά την δόμηση στηρίζονταν από υποστηρικτικές δομές, χρησιμοποιούνται τροχιστικά εργαλεία και μηχανές αμμοβολής.



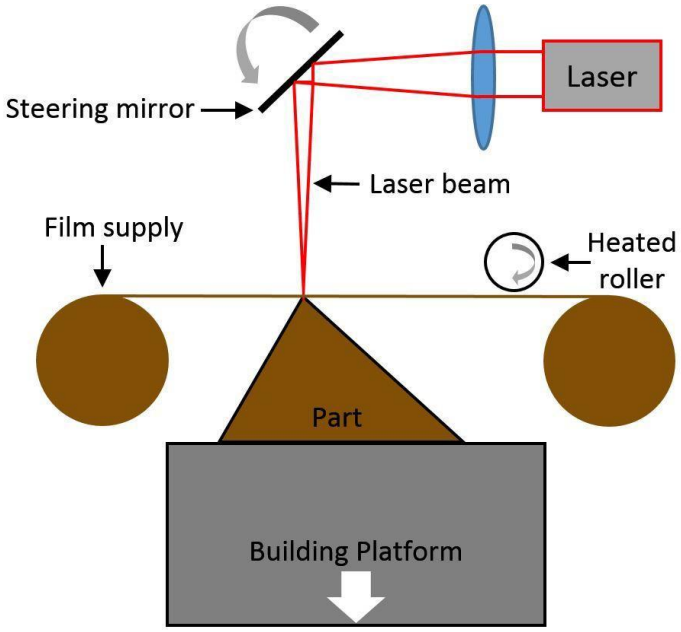
Σχήμα 4.12: Η μηχανή SLA FormLabs Form2

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην στερεολιθογραφία είναι κυρίως ακρυλικές ή εποξικές ρητίνες. Στην αγορά διατίθενται ρητίνες για στερεολιθογραφία σε πολλούς τύπους και με διαφορετικά χαρακτηριστικά (όπως αντοχή, σημείο τήξης, διαφάνεια κλπ.), η δε επιλογή τους επηρεάζεται από την επιθυμητή χρήση των πρωτοτύπων.

Τα πρωτότυπα της στερεολιθογραφίας χρησιμοποιούνται είτε ως εποπτικά είτε ως λειτουργικά μοντέλα (π.χ. για έλεγχο συναρμολόγησης), καθώς και απ' ευθείας στην παραγωγική διαδικασία. Όσον αφορά την τελευταία εφαρμογή, η στερεολιθογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην απ' ευθείας κατασκευή καλουπιών ή στην κατασκευή πρωτοτύπων τα οποία χρησιμοποιούνται ως πρότυπα για την κατασκευή καλουπιών.

Κατασκευή με φύλλα λεπτού χαρτιού (Laminated Object Manufacturing - LOM)

Με την τεχνική αυτή τα πρωτότυπα κατασκευάζονται με την διαδοχική συγκόλληση λεπτών φύλλων, ενός ειδικά επεξεργασμένου χαρτιού. Το χαρτί αυτό περιέχει από την μία επιφάνειά του στερεοποιημένη κόλλα, η οποία όταν θερμανθεί επιτρέπει την συγκόλληση δυο διαδοχικών φύλλων χαρτιού μεταξύ τους. Η θέρμανση της κόλλας πραγματοποιείται με την κύλιση ενός θερμού κυλίνδρου επάνω από το χαρτί, ο οποίος ταυτόχρονα πιέζει το νέο φύλλο χαρτιού επάνω στο προηγούμενό του. Με αυτόν τον τρόπο το κάθε χάρτινο φύλλο κολλάει επάνω στο άλλο, ενώ στην συνέχεια κόβεται στο επιθυμητό σχήμα. Η κοπή του περιγράμματος του πρωτοτύπου, γίνεται με την εστίαση της δέσμης ενός laser χαμηλής ισχύος (της τάξεως των 25W) στην επιφάνεια του φύλλου. Η ταχύτητα και η εστίαση της δέσμης του laser ρυθμίζονται κατάλληλα, ώστε το βάθος κοπής να είναι το ίδιο με το πάχος του φύλλου, προς αποφυγήν καταστροφής των αμέσως πιο κάτω επιπέδων.



Σχήμα 4.13: Κατασκευή με φύλλα λεπτού χαρτιού – LOM

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την δόμηση των πρωτότυπων είναι χαρτί επικαλυμμένο με θερμικά ενεργοποιήσιμη κόλλα. Εξαιτίας της σύστασης του υλικού που χρησιμοποιείται, τα προϊόντα που προκύπτουν με την τεχνική αυτή προσομοιάζουν με ξύλινα. Παραλλαγές της τεχνικής αυτής κάνουν χρήση φύλλων σύνθετων υλικών, προκειμένου να κατασκευάσουν εξαρτήματα υψηλής αντοχής χωρίς την χρήση καλουπιών.



Σχήμα 4.14: Η μηχανή LOM 1015

ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΒΡΩΣΗ (EDM)

Μια σημαντική μη συμβατική μέθοδος αφαίρεσης υλικού είναι η ηλεκτροδιάβρωση. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να κατασκευαστούν μορφές γεωμετρικά πολύπλοκες που δεν μπορούν να κατασκευαστούν με κοπτικά εργαλεία. Το σημαντικότερο είναι ότι για να κατασκευαστούν αυτές οι μορφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σκληροί χάλυβες ή χάλυβες εργαλείων. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται, επειδή η διεργασία της ηλεκτροδιάβρωσης δεν επηρεάζεται από τις μηχανικές αλλά από τις θερμικές ιδιότητες του υλικού του κομματιού. Επειδή το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την αφαίρεση μιας μικρής ποσότητας υλικού είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής ηλεκτρικού φορτίου, σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπό κατεργασία υλικού. Για το λόγο αυτό η ηλεκτροδιάβρωση είναι μια διεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στα μεταλλικά υλικά, τα οποία είναι και αυτά που παρουσιάζουν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Από άποψη ταχύτητας παραγωγής, η ηλεκτροδιάβρωση είναι μια αργή κατεργασία και επομένως δεν προσφέρεται για μαζική παραγωγή κομματιών.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, η ηλεκτροδιάβρωση είναι ιδανική κατεργασία για την κατασκευή γεωμετρικά πολύπλοκων εργαλείων παραγωγής (καλούπια, έμβολα, μίτρες, κτλ), τα οποία κατασκευάζονται από σκληρά χαλυβοκράματα που δύσκολα κόβονται με κοπτικά εργαλεία.

Στην ηλεκτροδιάβρωση, η αφαίρεση υλικού γίνεται με ηλεκτρικές εκκενώσεις. Ηλεκτρική εκκένωση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο όταν δύο ηλεκτρόδια βρίσκονται υπό τάση και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, τότε κάτω από ορισμένες συνθήκες, στο στενότερο σημείο του διάκενου, το διηλεκτρικό που περιβάλλει τα ηλεκτρόδια (π.χ. ο αέρας) διασπάται, με αποτέλεσμα να περνάει ηλεκτρικό ρεύμα από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, το οποίο συνοδεύεται και από ηλεκτρικό σπινθήρα (ηλεκτρική εκκένωση). Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται π.χ. στους κεραυνούς, κατά το άνοιγμα ηλεκτρικών διακοπτών ισχύος, όπως

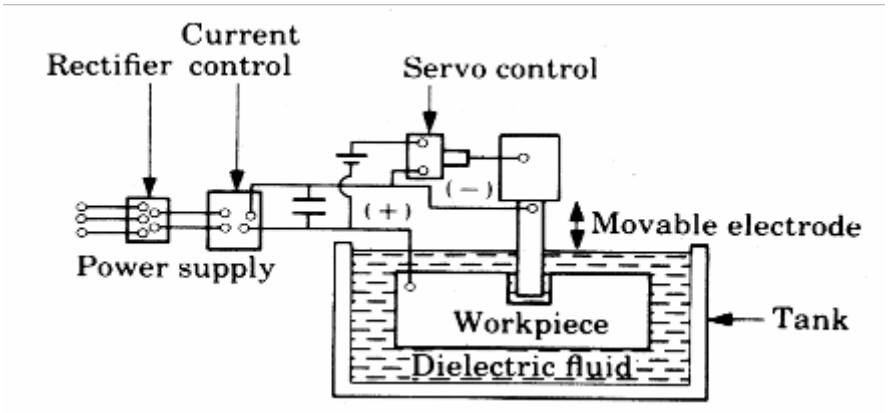
επίσης και στα μπουζί των αυτοκινήτων, όπου ο σπινθήρας χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη του καυσίμου (μίγμα αέρα – βενζίνης) στους κυλίνδρους μηχανών εσωτερικής καύσης.
Από τα φαινόμενα αυτά είναι γνωστό ότι η εκκένωση απελευθερώνει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μετατρεπόμενη σε θερμότητα μπορεί να κάψει δέντρα (περίπτωση κεραυνού) ή να φθείρει μεταλλικά ηλεκτρόδια (περίπτωση διακοπτών ισχύος και μπουζί). Έχει, επίσης, παρατηρηθεί ότι στην περίπτωση των μεταλλικών ηλεκτροδίων, μεγαλύτερη φθορά (αφαίρεση υλικού) προκαλείται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο.

- ***Ηλεκτροδιάβρωση βύθισης***

Το 1943, οι αδελφοί Λαζαρένκο στη Ρωσία, ερευνώντας τη φθορά των ακροδεκτών διακοπτών ισχύος, σκέφτηκαν ότι αν το φαινόμενο αυτό έμπαινε υπό από έλεγχο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία μετάλλων των οποίων η κατεργασία με άλλα μέσα είναι δύσκολη. Η βασική ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο ένα θετικό ηλεκτρόδιο, το οποίο θα είχε προηγουμένως κατεργαστεί σε μορφή συμπληρωματική εκείνης του κομματιού, ενώ το ίδιο το κομμάτι θα ήταν το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Για να θέσουν την κατεργασία του αρνητικού ηλεκτροδίου υπό έλεγχο, εισήγαγαν δύο σημαντικές καινοτομίες:

1. Εμβάπτισαν τα δύο ηλεκτρόδια (εργαλείο – κομμάτι) σε ένα διηλεκτρικό υγρό (παραφίνη) και
2. σχεδίασαν μια απλή γεννήτρια παλμών ισχύος (κύκλωμα αντίστασης – πυκνωτή ή RC).

Η γεννήτρια δουλεύει ως εξής: ο πυκνωτής φορτίζεται από την πηγή συνεχούς ρεύματος μέσω της αντίστασης. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η τάση στα άκρα του πυκνωτή αυξάνει εκθετικά τείνοντας σε μια οριακή τιμή, η οποία είναι η τάση της πηγής V. Αν το διάκενο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι αρκετά μικρό, τότε πριν η τάση του πυκνωτή φτάσει στην οριακή τιμή, το διηλεκτρικό στο στενότερο σημείο του διάκενου διασπάται και ο πυκνωτής αποφορτίζεται απότομα. Το φορτίο που συσσωρεύτηκε κατά τη φόρτιση του πυκνωτή περνάει μέσα από το διάκενο σαν ρεύμα εκκένωσης και προκαλεί τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στο σημείο που συναντά το κομμάτι. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να ξεπεράσει τους 10.000 ^{o}C, με αποτέλεσμα να λιώσει μια μικρή ποσότητα μετάλλου στο σημείο αυτό του κομματιού και να σχηματιστεί ένας μικρός κρατήρας. Με τον τρόπο αυτό το διάκενο στο σημείο αυτό μεγαλώνει και επομένως το στενότερο σημείο του διάκενου μετατοπίζεται κάπου αλλού. Έτσι, οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που προκαλούν διαδοχικές φορτίσεις και αποφορτίσεις του πυκνωτή και διασπείρονται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του διάκενου, βυθίζουν το εργαλείο σιγά – σιγά μέσα στο υλικό του κομματιού, αναπαράγοντας σ' αυτό το αρνητικό της γεωμετρίας του (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.15: Διαδικασία ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης

Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό ή άνθρακα. Και τα δύο αυτά υλικά παρουσιάζουν μικρό δείκτη φθοράς (περίπου 0,5 % της φθοράς του κομματιού) και διαμορφώνονται εύκολα με συμβατικές μηχανουργικές κατεργασίες.

Ως διηλεκτρικά χρησιμοποιούνται διάφορα ελαφρά μεταλλικά λάδια (κηροζίνη, λάδια λίπανσης) ή και απεσταγμένο και απιονισμένο νερό. Το διηλεκτρικό υγρό συντελεί στην επιτυχία της κατεργασίας με τρεις τρόπους:

1. Συγκεντρώνει την ενέργεια της εκκένωσης σε ένα στενό κανάλι μικρής διατομής και την κάνει έτσι περισσότερο αποτελεσματική,
2. βοηθάει στην απαγωγή της θερμότητας που παράγεται κατά την εκκένωση και
3. βοηθάει στην απαγωγή των αποβλήτων που παράγονται κατά την κατεργασία του κομματιού, τα οποία έχουν τη μορφή μικρών σφαιριδίων.

Εκτός από τη γεννήτρια παλμών και το διηλεκτρικό υγρό, απαραίτητο στοιχείο για την επιτυχία της κατεργασίας είναι ένας σερβομηχανισμός με τον οποίο ρυθμίζεται η κίνηση βύθισης του ηλεκτροδίου του εργαλείου στο ηλεκτρόδιο του κομματιού. Σκοπός του σερβομηχανισμού είναι να προωθεί το εργαλείο, έτσι ώστε το διάκενο ανάμεσα στο εργαλείο και το κομμάτι να παραμένει σταθερό.



Σχήμα 4.16: Μηχανή ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης

Όσο μεγαλύτερη ενέργεια απελευθερώνει κάθε εκκένωση, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα μετάλλου αφαιρείται από το υλικό του κομματιού και τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αφαίρεσης απόβλητου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες όμως, η τραχύτητα της παραγόμενης επιφανείας χειροτερεύει, λόγω αύξησης του μεγέθους των κρατήρων.

Οι σύγχρονες μηχανές ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης καλύπτουν μια μεγάλη γκάμα απαιτήσεων, από τις πιο απλές έως τις πιο σύνθετες. Αντίστοιχα, το κόστος τους κυμαίνεται από μερικά εκατομμύρια δραχμές έως αρκετές δεκάδες εκατομμύρια. Γενικά οι μηχανές διαθέτουν 4 άξονες πρόωσης, τρεις γραμμικούς x, y, z και έναν περιστροφικό c.

- ***Ηλεκτροδιάβρωση σύρματος***

Μια άλλη κατηγορία μηχανών ηλεκτροδιάβρωσης αποτελούν οι μηχανές ηλεκτροδιάβρωσης σύρματος, στις οποίες ως ηλεκτρόδιο διάβρωσης (εργαλείο) χρησιμοποιείται ένα σύρμα μικρής διαμέτρου (0,05 mm έως 0,25 mm). Το υλικό του ηλεκτροδίου επιλέγεται συνήθως από χαλκό ή ορείχάλκο, το οποίο με συνεχή σταθερή κίνηση ξετυλίγεται σε ένα τύμπανο, περνάει από ορισμένες τροχαλίες και τυλίγεται σε ένα άλλο τύμπανο, με ταχύτητα περίπου 3 μέτρα/λεπτό. Το άλλο ηλεκτρόδιο (κομμάτι) είναι συνήθως μια μεταλλική πλάκα. Το σύρμα διαπερνάει το κομμάτι είτε από το πλάι ή από μια διαμπερή τρύπα που ανοίγεται σ' αυτό πριν αρχίσει η διεργασία της ηλεκτροδιάβρωσης. Ο μηχανισμός της διάβρωσης πραγματοποιείται με κίνηση του σύρματος σε σχέση με το κομμάτι, καθ' όλο το πάχος του κομματιού.

Μετακινώντας την σχετική θέση των οδηγών τροχαλιών του σύρματος που βρίσκονται εκατέρωθεν του κομματιού, το σύρμα έχει την δυνατότητα να σχηματίσει πολύπλοκες γεωμετρίες, τις οποίες μεταφέρει στο κομμάτι μέσω του μηχανισμού διάβρωσης που έχει είδη περιγραφεί. Για την συγκεκριμένη διεργασία ως διηλεκτρικό υλικό χρησιμοποιείται συνήθως απεσταγμένο και απιονισμένο νερό.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Το εργαστήριο των LASER - AM - EDM αφορά την κατασκευή εξαρτημάτων στο μηχανουργείο, με μη συμβατικές μεθόδους. Το εργαστήριο θα διεξαχθεί στο 3ο εξάμηνο. **Οι φοιτητές θα πρέπει να έχουν παραδώσει σε CD όλα τα σχέδια των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος που θα κατασκευαστούν στην μηχανή κοπής με Laser. Τα σχέδια θα πρέπει να είναι δισδιάστατα, αδιαστασιολόγητα και πρέπει να παραδοθούν τουλάχιστον μια εβδομάδα πριν την εκτέλεση του εργαστηρίου σε μορφή *.dxf η *.dwg στον υπεύθυνο του εργαστηρίου.** Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί από τα μέλη των ομάδων όσον αφορά την ασφάλειά τους, κατά την λειτουργία των εργαλειομηχανών. Οι φοιτητές θα μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλειομηχανές και εργαλεία για την κατασκευή εξαρτημάτων, μόνο κάτω από την καθοδήγηση και επίβλεψη των βοηθών του Μηχανουργείου.

Κατά την εκτέλεση του εργαστηρίου ΑΜ θα πραγματοποιηθεί από τον υπεύθυνο μια εισαγωγή στις τεχνικές ΑΜ, καθώς και μια αναλυτική περιγραφή των μηχανών FDM, SLA, και LOM που διαθέτει το εργαστήριο.

Για το λόγο αυτό θα πρέπει τα μέλη των ομάδων που θα προσέλθουν στο εργαστήριο να έχουν μελετήσει το βιβλίου εργαστηρίων και να έχουν σημειώσει τυχόν απορίες που θα τους γεννηθούν γύρω από αυτές τις νέες τεχνικές. Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν επίσης να ανατρέξουν σε κατάλληλους δικτυακούς τόπους (βλ. Βιβλιογραφία), όπου εκεί μπορούν να έλθουν σε επαφή με ένα σημαντικό αριθμό διαφορετικών τεχνικών ΑΜ, οι οποίες δεν περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο. Τις απορίες και τις εντυπώσεις τους μπορούν να

απευθύνουν στον υπεύθυνο του εργαστηρίου, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μια όσο το δυνατόν πιο εποικοδομητική συζήτηση, γύρω από τις τεχνολογίες ΑΜ, τα πλεονεκτήματά τους, τις εφαρμογές τους, κ.τ.λ. Τουλάχιστον ένα από τα μέλη της κάθε ομάδας καλό θα είναι να κρατάει κάποιες σημειώσεις γύρω από αυτά τα οποία θα συζητηθούν κατά την διάρκεια του εργαστηρίου. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουν να απαντηθούν πιο εύκολα τα ερωτήματα που θέτονται στην περιγραφή των παραδοτέων, χωρίς να γίνεται χρήση αντιγραφής.
Το εργαστήριο του ΑΜ θα διεξαχθεί στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο του μηχανουργείου και θα συμμετέχει μια ομάδα κάθε φορά.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ (CNC)

ΓΕΝΙΚΑ

Μια από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στην αυτοματοποίηση των παραγωγικών διεργασιών είναι ο αριθμητικός έλεγχος (Numerical Control). Τα δεδομένα που απαιτούνται για να παραχθεί ένα εξάρτημα απαρτίζουν το κατασκευαστικό πρόγραμμα του εξαρτήματος. Το πρόγραμμα του εξαρτήματος είναι μια ομάδα οδηγιών οι οποίες αποκωδικοποιούνται από το σύστημα ελέγχου και μετατρέπονται σε σήματα τα οποία δίνουν εντολή να κινηθούν οι κινητήρες. Οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου (NC) εστιάζονται αρχικά στην παραγωγή σύνθετων εξαρτημάτων σε μεγάλες ποσότητες.



Σχήμα 6.1: CNC Τόρνος

Ωστόσο, εξαιτίας της ανάπτυξης νέων και αποδοτικότερων γλωσσών προγραμματισμού, οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιούνται και για μικρότερες παρτίδες εξαρτημάτων. Στην σημερινή εποχή ο αριθμητικός έλεγχος πραγματοποιείται με την βοήθεια των Η/Υ και είναι γνωστός ως CNC (Computer Numerical Control). Τα CNC συστήματα έχουν εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε τύπο εργαλειομηχανής, όπως τόρνους, φρέζες, λειαντικές μηχανές, κ.λ.π.



Σχήμα 6.2: CNC Φρέζα

Οι εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου (CNC Machine tools) λόγω της αυτοματοποίησης παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών εργαλειομηχανών όπως:

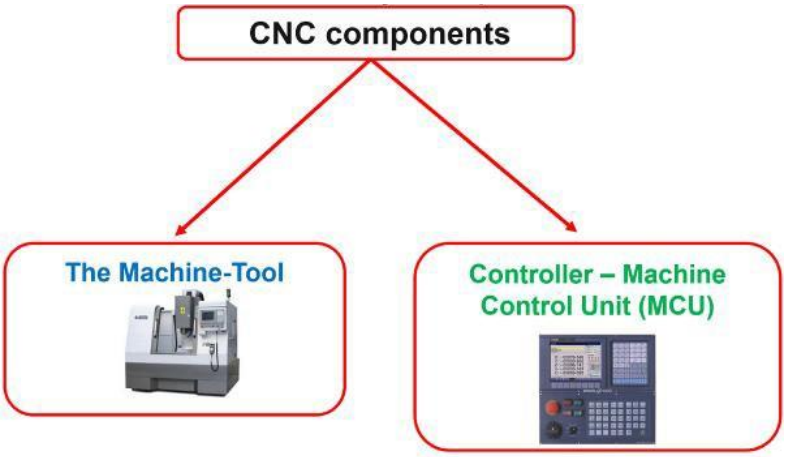
- Μείωση του χρόνου κατεργασίας και κατά συνέπεια αύξηση του ρυθμού παραγωγής.
- Μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων
- Σταθερή ποιότητα παραγόμενων εξαρτημάτων
- Δυνατότητα παραγωγής πολύπλοκων γεωμετριών (δυνατότητα κατεργασίας σε τρεις άξονες ταυτόχρονα).

Βέβαια τα συστήματα CNC απαιτούν μεγάλο κόστος αγοράς, συντήρησης αλλά και μεγάλο χρόνο προετοιμασίας.

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC

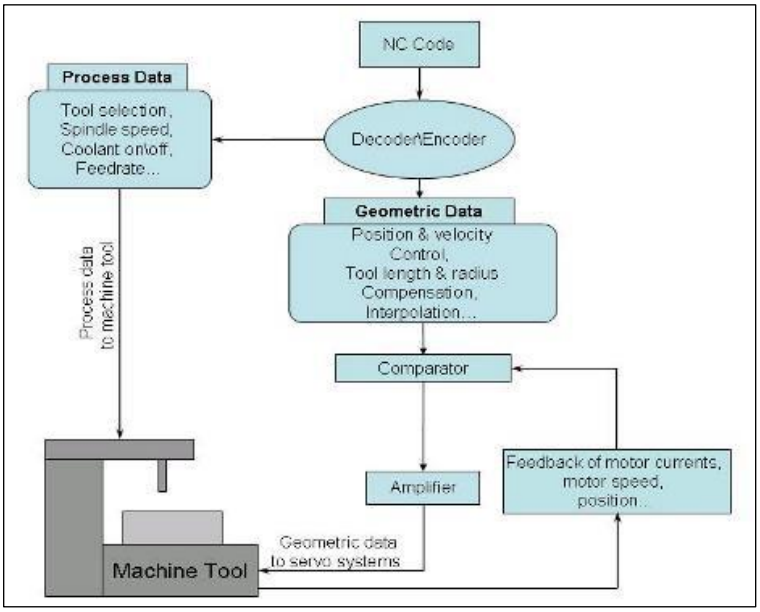
Ένα σύστημα αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανής περιλαμβάνει κατ' αρχήν την μονάδα ελέγχου της μηχανής (machine control unit-MCU). Η μονάδα ελέγχου της μηχανής (MCU) χωρίζεται στην μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων (data processing unit-DPU) και στην μονάδα ελέγχου ανακυκλώσεων (control-loops unit-CLU).

Η μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων (DPU) επεξεργάζεται τα κωδικοποιημένα δεδομένα, που εισάγονται στο σύστημα και αποστέλλει πληροφορίες σχετικά με τη θέση κάθε άξονα, την κατεύθυνση της κίνησης, την πρόωση, και βοηθητικές λειτουργίες στην μονάδα ελέγχου ανακυκλώσεων (CLU).



Σχήμα 6.3: Δομικά στοιχεία ενός σύστημα αριθμητικού ελέγχου εργαλειομηχανής

Η μονάδα ελέγχου ανακυκλώσεων (CLU) θέτει σε λειτουργία τους μηχανισμούς οδήγησης της μηχανής, λαμβάνει μέσω ανατροφοδότησης σήματα της πραγματικής θέσης και ταχύτητας του κάθε άξονα και δείχνει πότε έχει ολοκληρωθεί μια διαδικασία.



Machine tool = Εργαλειομηχανή
Process data = Επεξεργασία δεδομένων
Tool selection = Επιλογή εργαλείου
Spindle speed = Ταχύτητας περιστροφής ατράκτου
Coolant on\off = Ψυκτικό υγρό on\off.
NC Code = Κώδικας αριθμητικού ελέγχου.
Decoder\Encoder = Αποκωδικοποιητής\ Κωδικοποιητής
Geometric Data = Γεωμετρικά δεδομένα
Comparator= Μηχανισμός σύγκρισης
Amplifier = Ενισχυτής
Process data to machine tool = Επεξεργασμένα δεδομένα προς την εργαλειομηχανή

Σχήμα 6.4: Λειτουργίες αριθμητικού ελέγχου (Σχηματικά)

Στον ελεγκτή μιας εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου περιλαμβάνεται :

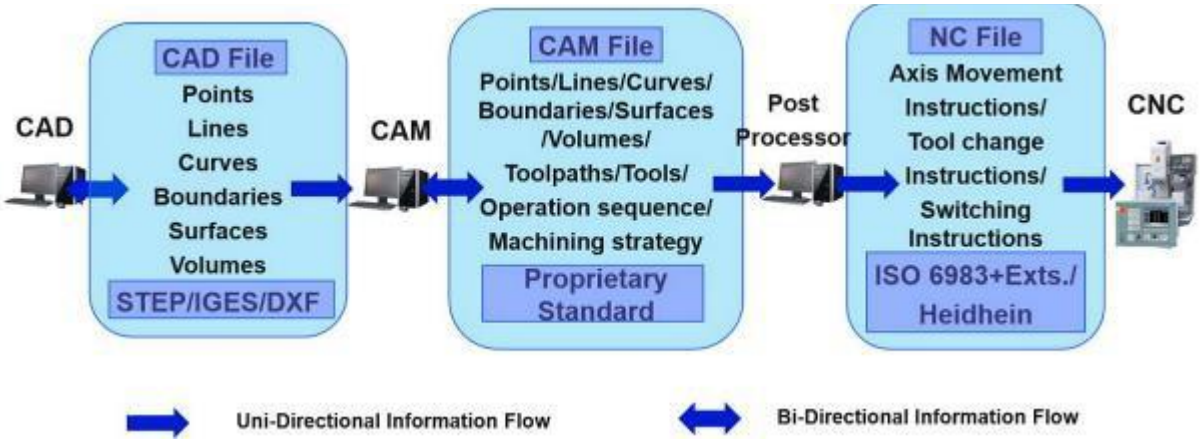
α) Σύστημα εισαγωγής των αλφαριθμητικών οδηγιών στη μηχανή (Part Program Editor).

β) Αποκωδικοποιητής/κωδικοποιητής (Decoder/Encoder) που λαμβάνει τα δεδομένα, που αρχικά εισάγονται στο σύστημα και τα διαχωρίζει σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει δεδομένα που αναφέρονται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξαρτήματος και το δεύτερο περιλαμβάνει δεδομένα τα οποία περιέχουν πληροφορίες για την πρόωση, τις ταχύτητες των αξόνων, και άλλες παραμέτρους της διεργασίας.

Τα δεδομένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν επίσης πληροφορίες για τις κινήσεις των εργαλείων. Το ίδιο σύνολο των δεδομένων χρησιμοποιείται επίσης για να καθορίσει το μήκος των εργαλείων, την ακτίνα των εργαλείων, την αντιστάθμιση του μήκους ή της ακτίνας των εργαλείων κ.λ.π. που απαιτούνται στις διάφορες διεργασίες. Τα δεδομένα των διεργασιών αποτελούνται από λειτουργίες για την ρύθμιση των ταχυτήτων πρόωσης, των ταχυτήτων των αξόνων, των αλλαγών των εργαλείων κ.λ.π. Οι λειτουργίες αυτές αρχίζουν στέλνοντας τις εντολές σε μια μονάδα επικοινωνίας, όπου συγκρίνονται με τα σήματα ανάδρασης από την εργαλειομηχανή και στη συνέχεια μεταφράζονται στα κατάλληλα σήματα ελέγχου για το αντίστοιχο τμήμα που πρόκειται να τεθεί σε λειτουργία.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ CNC

Σε όλα τα σύγχρονα παραγωγικά συστήματα κάθε φορά που υπάρχει η ανάγκη παραγωγής ενός νέου εξαρτήματος με την βοήθεια CNC εργαλειομηχανής ακολουθείται μία συγκεκριμένη διαδικασία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τον σχεδιασμό του εξαρτήματος, τις παραμέτρους της διεργασίας και την σύνταξη του προγράμματος παραγωγής του εξαρτήματος.



Σχήμα 6.5: Διαδικασία παραγωγής με την χρήση CNC εργαλειομηχανών.

- ***Σχεδιασμός εξαρτήματος.***

Η πρώτη φάση αυτής της διαδικασίας είναι ο σχεδιασμός του εξαρτήματος, λαμβάνοντας υπόψιν τις προδιαγραφές του (διαστάσεις, ανοχές, ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κτλ.). Ο σχεδιασμός πραγματοποιείται με τη βοήθεια σχεδιαστικών λογισμικών (Computer Aided Design).

- ***Προγραμματισμός διεργασίας κοπής.***

Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται η επιλογή της μορφής του προπλάσματος σύμφωνα με την γεωμετρία του εξαρτήματος, επιλογή της ταχύτητας κοπής, του βάθους κοπής, επιλογή των κοπτικών εργαλείων κτλ.

- ***Δημιουργία του προγράμματος αριθμητικού ελέγχου.***

Έχοντας πραγματοποιήσει όλα τα παραπάνω στάδια της διαδικασίας ο χειριστής καλείται να δημιουργήσει το πρόγραμμα το οποίο θα εκτελέσει η εργαλειομηχανή για την παραγωγή του κομματιού. Η μετατροπή ενός μηχανολογικού σχεδίου σε πρόγραμμα κοπής, για την εκτέλεση του σε μια εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε από τον χρήστη με απ' ευθείας σύνταξη του απαιτούμενου κώδικα (Manual Part Programming), είτε αυτόματα με την χρήση ειδικών λογισμικών (Computer-Assisted Part Programming). Και στις δύο περιπτώσεις, ο προγραμματιστής αποφασίζει για τις παραμέτρους κοπής (π.χ. ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής, ψυκτικό υγρό, κτλ.) βασιζόμενος στα χαρακτηριστικά του κατεργαζόμενου κομματιού, στο υλικό του εργαλείου, στην ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας και στα χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής.

Για τον προγραμματισμό των εργαλειομηχανών CNC χρησιμοποιούνται ειδικές γλώσσες προγραμματισμού. Η πιο γνωστή και περισσότερο πλήρης είναι η APT (Automatically Programmed Tools), η οποία διευκολύνει την εργασία του προγραμματιστή. Άλλες γνωστές γλώσσες προγραμματισμού για εργαλειομηχανές είναι οι: κώδικας G, ADAPT, SPLIT, EXAPT, AUTOSPOT κ.α.

Οι εντολές που περιλαμβάνονται σε κώδικες αριθμητικού ελέγχου (N.C. Codes) μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

1. Εντολές για τον έλεγχο μεμονωμένων στοιχείων της μηχανής, όπως έλεγχος έναρξης και παύσης λειτουργίας, επιλογή της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου, αλλαγή κοπτικού εργαλείου κτλ. (Βοηθητικές λειτουργίες).
2. Εντολές για τον έλεγχο της σχετικής μετατόπισης του κατεργαζόμενου εξαρτήματος και του εργαλείου (Προπαρασκευαστικές λειτουργίες).

Προπαρασκευαστικές λειτουργίες

Οι προπαρασκευαστικές λειτουργίες χρησιμοποιούνται για να πληροφορήσουν την μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής με τις λειτουργίες που απαιτούνται για την κατεργασία. Κατά τον προγραμματισμό με χρήση του κώδικα G, οι διάφορες προπαρασκευαστικές λειτουργίες έχουν κωδικοποιηθεί και έχουν την μορφή «G ij» όπου G ονομάζεται γράμμα διεύθυνσης και ακολουθείται από δύο αριθμητικά ψηφία τα οποία δηλώνουν την εργασία που θα εκτελεστεί.

Κώδικας	Επεξήγηση
G00	ΤΑΧΕΙΑ, ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ
G01	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΡΟΩΣΗΣ
G02	ΔΕΞΙΟΣΤΡΟΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΤΟΞΟ
G03	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣΤΡΟΦΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΟ ΤΟΞΟ
G04	ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ
G20	ΕΙΣΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΙΝΤΣΕΣ
G21	ΕΙΣΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΜΜ
G28	ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
G40	ΑΚΥΡΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
G41	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
G42	ΔΕΞΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΚΤΙΝΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
G50	ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ / ΡΥΘΜΙΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ ΤΗΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΑΝΑ ΛΕΠΤΟ
G70	ΚΥΚΛΟΣ ΦΙΝΙΡΙΣΜΑΤΟΣ
G71	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ
G72	ΕΠΙΠΕΔΗ ΤΟΡΝΕΥΣΗ
G73	ΤΟΡΝΕΥΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΓΡΑΦΗ
G74	ΒΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Z
G75	ΑΥΛΑΚΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ
G76	ΚΥΚΛΟΣ ΚΟΠΗΣ ΣΠΕΙΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑ ΠΑΣΑ
G81	ΚΥΚΛΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ
G96	ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ
G98	ΠΡΟΩΣΗ ΑΝΑ ΛΕΠΤΟ
G99	ΠΡΟΩΣΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ

Πίνακας 6.1: Βασικότερες εντολές του κώδικα G.

Βοηθητικές λειτουργίες

Εκτός από τις προπαρασκευαστικές λειτουργίες υπάρχει ένας αριθμός από άλλες λειτουργίες που απαιτούνται κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτηθεί ψυκτικό υγρό κατά την κοπή, του οποίου η παροχή θα πρέπει να σταματήσει κατά την διάρκεια αλλαγής εργαλείου, κτλ. Ενέργειες όπως αυτή ονομάζονται βοηθητικές λειτουργίες. Κατά τον προγραμματισμό με χρήση του κώδικα G οι διάφορες βοηθητικές λειτουργίες έχουν κωδικοποιηθεί και έχουν την μορφή «M ij», όπου M είναι το γράμμα διεύθυνσης και ακολουθείται από δύο αριθμητικά ψηφία τα οποία δηλώνουν την εργασία που θα εκτελεστεί.

Κώδικας	Επεξήγηση
M00	ΠΑΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
M01	ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΗ ΠΑΥΣΗ
M02	ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
M03	ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΔΕΞΙΑ
M04	ΑΤΡΑΚΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ
M05	ΠΑΥΣΗ ΤΗΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ
M06	ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΛΛΑΓΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
M08	ΡΟΗ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ
M09	ΠΑΥΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ
M10	ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΩΝ ΣΦΙΓΚΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΤΣΟΚ
M11	ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΩΝ ΣΦΙΓΚΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΤΣΟΚ
M30	ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
M38	ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΗΣ ΠΟΡΤΑΣ
M98	ΚΛΗΣΗ ΥΠΟ-ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
M99	ΤΕΛΟΣ ΥΠΟ-ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Πίνακας 6.2: Βασικότερες εντολές του κώδικα M.

Βοηθητικά γράμματα

Κατά τον προγραμματισμό με χρήση του κώδικα G υπάρχουν διάφορα βοηθητικά γράμματα τα οποία συμπληρώνουν τις διάφορες λειτουργίες του κώδικα. Μερικά από αυτά τα βοηθητικά γράμματα περιέχονται στον Πίνακα 6.3.

Γράμμα	**Επεξήγηση**
F	ΠΡΟΩΣΗ
I	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Χ ΓΙΑ ΚΕΝΤΡΟ ΚΥΚΛΟΥ
J	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Υ ΓΙΑ ΚΕΝΤΡΟ ΚΥΚΛΟΥ
K	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Z ΓΙΑ ΚΕΝΤΡΟ ΚΥΚΛΟΥ
N	ΑΡΙΘΜΟΣ BLOCK
T	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ
S	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

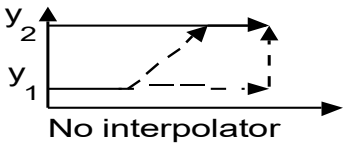
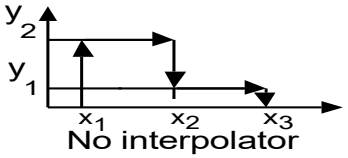
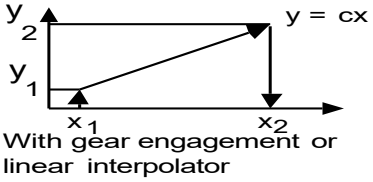
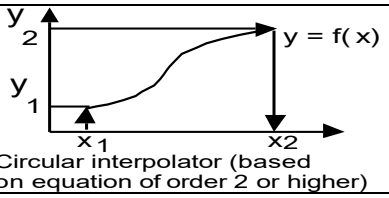
Πίνακας 6.3: Βασικότερα βοηθητικά γράμματα

- ***Επαλήθευση του προγράμματος αριθμητικού ελέγχου.***

Πριν την εκτέλεση του προγράμματος για την κοπή του εξαρτήματος είναι απαραίτητος ο έλεγχος του προγράμματος για τυχόν σφάλματα. Σφάλματα στο πρόγραμμα παραγωγής του εξαρτήματος μπορούν να οδηγήσουν σε τραυματισμό του χειριστή, καταστροφή του εργαλείου ή του εξαρτήματος κτλ. Ο έλεγχος του προγράμματος μπορεί να γίνει είτε προσομοιώνοντας την διαδρομή του κοπτικού εργαλείου με ειδικό πρόγραμμα στον Η/Υ (Tool Path Simulation), είτε με την διαδικασία της «κοπής στον αέρα» (cutting air) ή της κοπής ενός μαλακού υλικού.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ

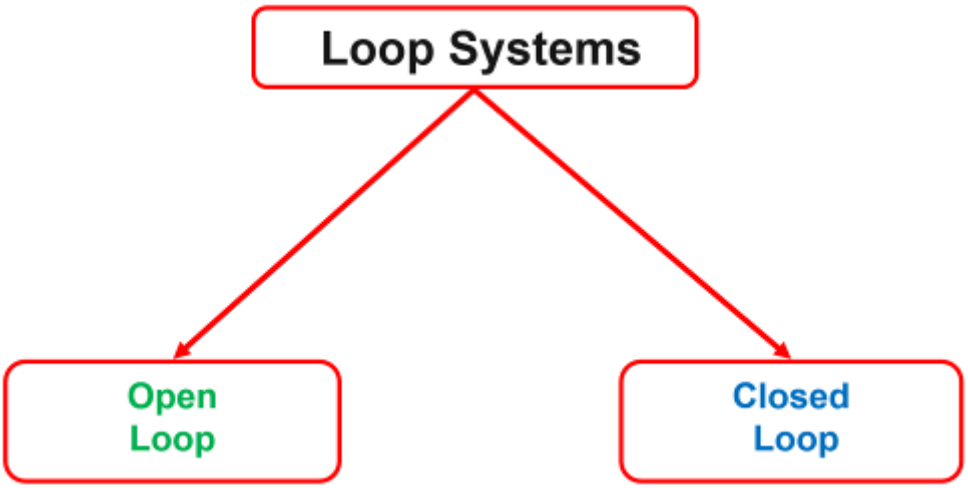
Η πολυπλοκότητα ενός συστήματος ελέγχου σχετίζεται άμεσα με τον τύπο των κινήσεων που μπορούν να αποδώσουν. Οι κύριες κατηγορίες των στρατηγικών ελέγχου και παρεμβολών είναι: έλεγχος θέσεως από σημείο σε σημείο (Point to Point), έλεγχος γραμμικής παρεμβολής (Linear Interpolation) και συνεχούς διαδρομής (Continuous Path).

Type of Control	Problem	Tool Action	Application
Point-to-point or positional control		Not cutting during table movement	Drilling, spot welding
Line-motion control (simple)		Cutting during table movement	Paralle tur ning, milling
Line-motion control with linear interpolation		Cutting during table movement	Turning Milling
Continuou s path or contour control		Cutting during table movement	Turning, Milling, Flame cutting (any contour)

Type of control = Τύπος ελέγχου
Point-to-point or positional control = Έλεγχος σημείου προς σημείο ή έλεγχος θέσης
Line motion control (simple) = Έλεγχος γραμμικής κίνησης (απλός)
Line motion control with linear interpolation = Έλεγχος γραμμικής κίνησης με γραμμική παρεμβολή
Continuous path or contour control = Έλεγχος συνεχούς διαδρομής ή έλεγχος περιγράμματος
Problem = Πρόβλημα
No interpolator = Χωρίς παρεμβολέα
Linear interpolator = Γραμμικός παρεμβολέας
With gear engagement = Με εμπλοκή γραναζωτού μηχανισμού
Circular interpolator (based on equation of order 2 or higher) = Κυκλικός παρεμβολέας (που βασίζεται σε εξίσωση 2ης ή μεγαλύτερης τάξης)
Tool action = Ενέργεια εργαλείου (κοπτικού)
Not cutting during table movement = Απουσία κοπής κατά την διάρκεια της κίνησης της τραπέζης
Cutting during table movement = Κοπή κατά την διάρκεια της κίνησης της τραπέζης
Application = Εφαρμογή
Drilling = Διάτρηση
Spot welding = Σημειακή συγκόλληση (ποντάρισμα)
Parallel turning = Παράλληλο τορνίρισμα
Milling = Εκγλύφανση (φρεζάρισμα)
Turning = Τορνίρισμα
Flame cutting (any contour) = Κοπή (οποιουδήποτε περιγράμματος) με χρήση φλόγας

Σχήμα 6.6: Κατηγορίες Ελέγχου.

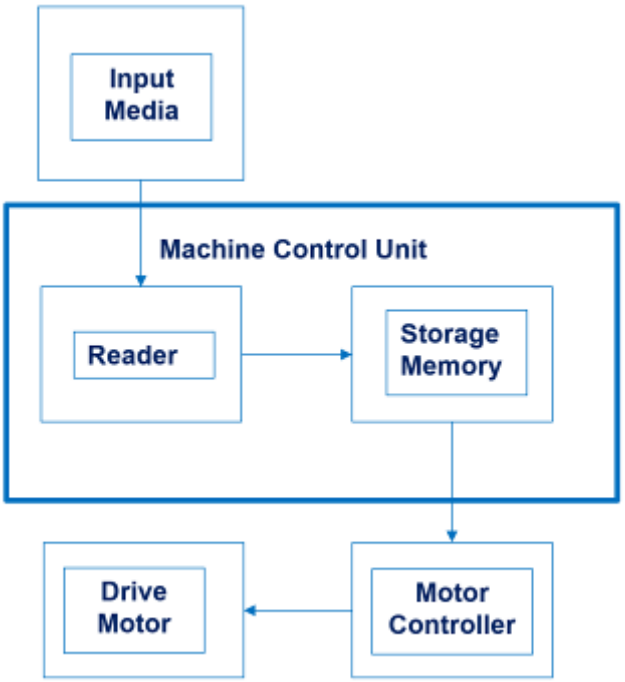
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων ελέγχου κίνησης:



Σχήμα 6.7: Τύποι συστημάτων ελέγχου κίνησης

Α. Έλεγχος ανοικτού βρόγχου (Open-loop Control System)

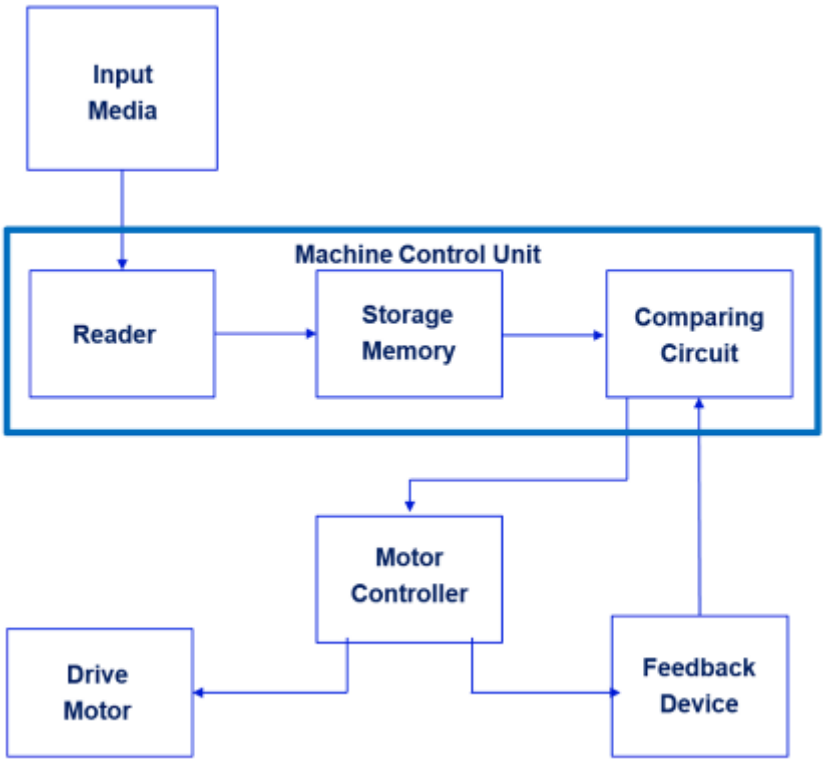
Ο έλεγχος ανοικτού βρόγχου (Open Loop Control) βασίζεται σε μια προκαθορισμένη είσοδο χωρίς καμία ανάδραση (Feedback) από την πραγματική κίνηση. Στα συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου ο κινητήρας συνεχίζει να περιστρέφεται έως ότου εμφανισθεί απουσία ισχύος η οποία δηλώνει ότι η προγραμματισμένη κίνηση έχει επιτευχθεί.



Σχήμα 6.8: Ανοιχτό σύστημα ελέγχου

Β. Έλεγχος κλειστού βρόγχου (Closed-loop Control System)

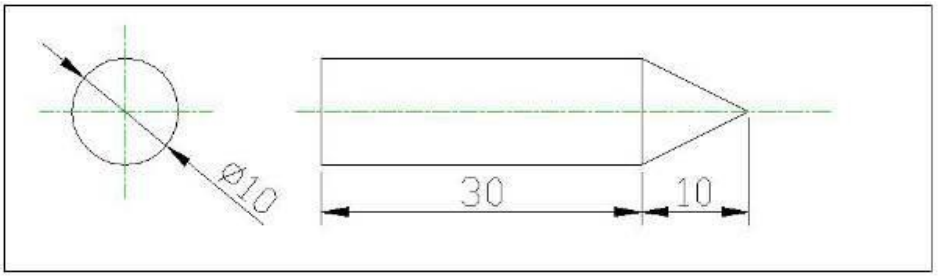
Στον έλεγχο κλειστού βρόγχου (Closed Loop Control) η κίνηση του εργαλείου παρακολουθείται από μετρητικά συστήματα και συγκρίνεται με την επιθυμητή κίνηση. Ο ελεγκτής (Controller) δραστηριοποιείται, ώστε να ελαχιστοποιήσει τα λάθη μεταξύ της πραγματικής και επιθυμητής κίνησης. Οι περισσότεροι κινητήριοι μηχανισμοί απαιτούν έλεγχο κλειστού βρόγχου για να έχουν ικανοποιητική απόδοση. Ο στόχος του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι να συμπληρώσει τη δυναμική του συστήματος και να ελαχιστοποιήσει τα λάθη μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής κίνησης.



Σχήμα 6.9: Κλειστό σύστημα ελέγχου.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ C.N.C ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗ

Ακολουθούν δύο παραδείγματα προγραμματισμού σε επιτραπέζιο CNC τόρνο και σε επιτραπέζια CNC φρέζα. Το εξάρτημα που θα κατασκευαστεί στον τόρνο απεικονίζεται στο Σχήμα **6.**10

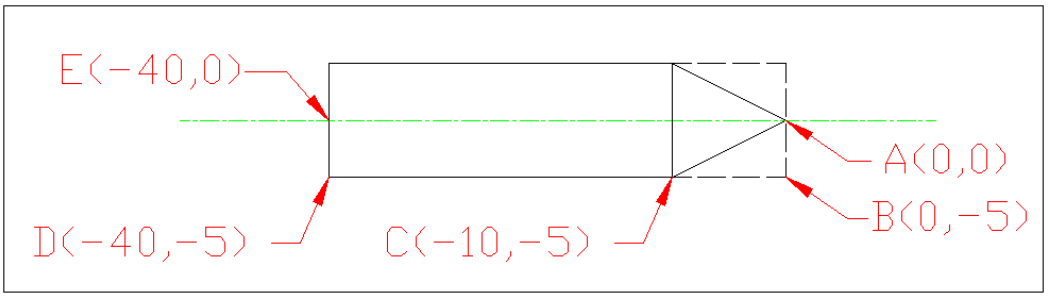


Σχήμα 6.10: Κατασκευαστικό σχέδιο παραδείγματος κοπής σε CNC εργαλειομηχανές.

1. Παράδειγμα σύνταξης προγράμματος για επιτραπέζιο CNC τόρνο εργαστηρίου:

Κώδικας ελέγχου εργαλειομηχανής (G-code) και περιγραφή βημάτων κώδικα
Ως σημείο αναφοράς ως προς το οποίο έχει συνταχθεί το πρόγραμμα έχει οριστεί το σημείο A (
Σχήμα **6.**11).

G1 X-10 Y-5	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 10mm προς τα αριστερά στον άξονα X και 5mm προς τα έξω στον άξονα Y. (Σημείο C).
M1	Προσωρινή διακοπή του προγράμματος έτσι ώστε να γίνει η αλλαγή του εργαλείου (τοποθέτηση εργαλείου αποκοπής).
G0 X-37,5	Ταχεία μετακίνηση του εργαλείου κατά 27,5mm προς τα αριστερά (Σημείο D).
G1 Y0	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 5mm προς τα μέσα (Σημείο E).

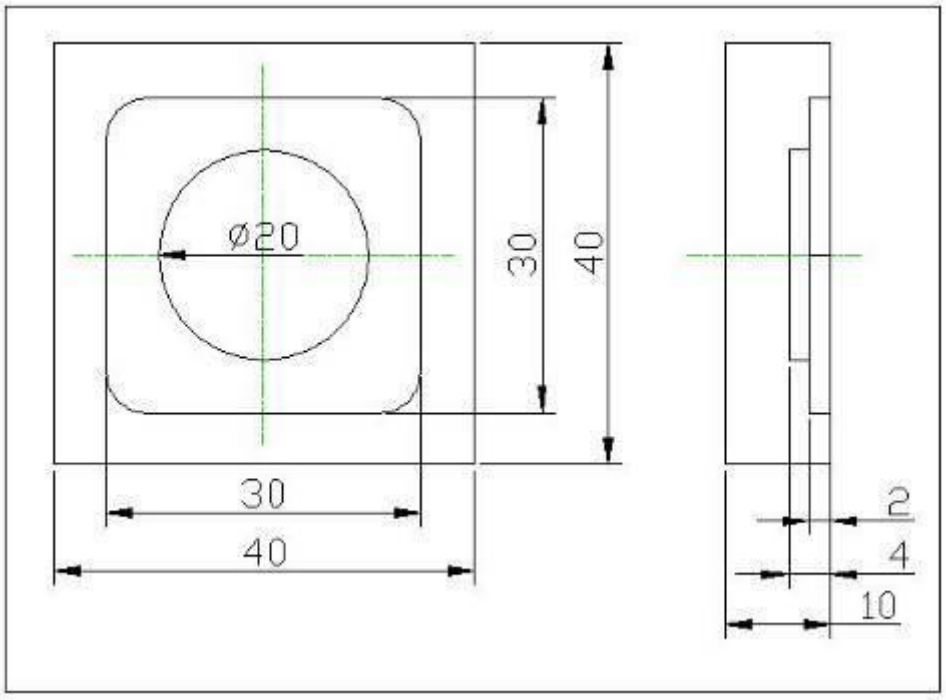


Σχήμα 6.11: Σημεία διαδρομής κοπτικού εργαλείου (Τόρνος).

<u>ΣΗΜΕΙΩΣΗ</u>: Λόγω ιδιομορφίας του εργαλείου αποκοπής, να ληφθεί υπόψιν ότι μετά την αλλαγή εργαλείου έχει γίνει αντιστάθμιση ως προς τον X-άξονα ίση με -2,5mm .

3. Παράδειγμα σύνταξης προγράμματος για CNC επιτραπέζια φρέζα εργαστηρίου:

Το εξάρτημα που θα κατασκευαστεί στην φρέζα απεικονίζεται στο
Σχήμα **6.**6.12



Σχήμα 6.12 : Κατασκευαστικό σχέδιο παραδείγματος κοπής σε CNC εργαλειομηχανές

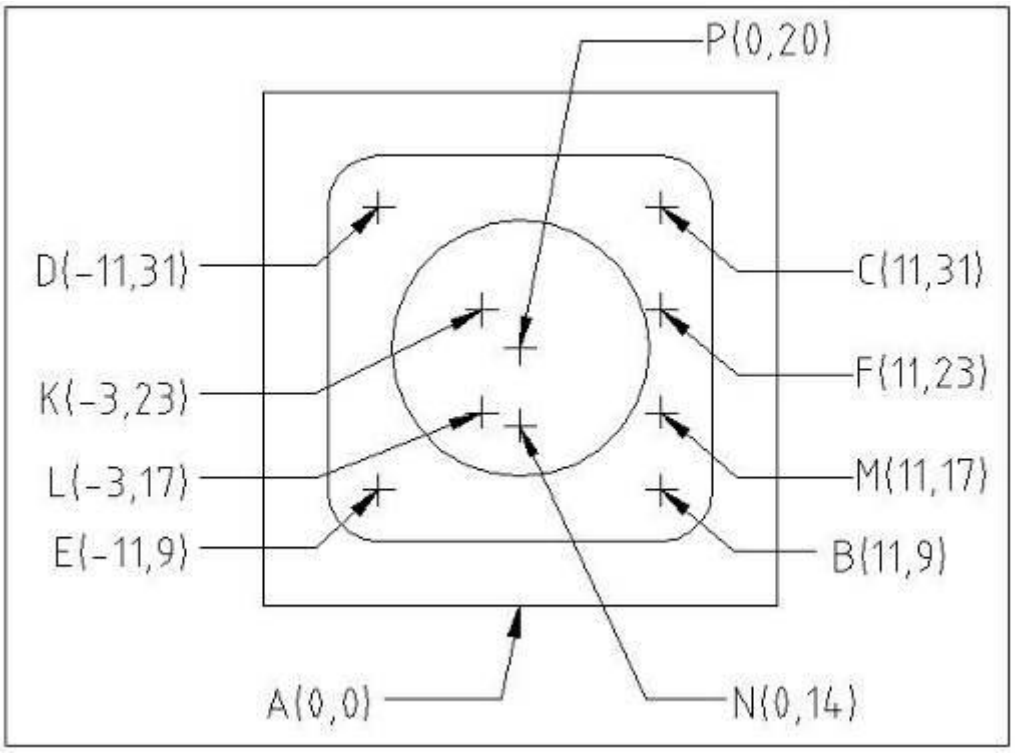
Κώδικας ελέγχου εργαλειομηχανής (G-code) και περιγραφή βημάτων κώδικα

Ως σημείο αναφοράς ως προς το οποίο έχει συνταχθεί το πρόγραμμα έχει οριστεί το σημείο Α (Σχήμα 6.13).

Τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου στο σημείο αναφοράς Α.

G0 X11 Y9	Ταχεία μετακίνηση του εργαλείου 11mm προς τα δεξιά και 9mm προς τα μέσα (Σημείο Β).
G1 Z-2	Κίνηση του εργαλείου κατά 2mm προς τα κάτω. (Σημείο Β).
G1 Y31	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 22mm προς τα μέσα.(Σημείο C).
G1 X-11	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 22mm προς τα αριστερά.(Σημείο D).
G1 Y9	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 22mm προς τα έξω (Σημείο Ε).
G1 X11	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 22mm προς τα δεξιά.(Σημείο Β). .
G1 Y23	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 14mm προς τα μέσα.(Σημείο F).
G1 X-3	Κίνηση του εργαλείου κατά 14mm προς τα αριστερά (Σημείο Κ).
G1 Y17	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 14mm προς τα μέσα.(Σημείο L).
G1 X11	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης για 14mm προς τα δεξιά.(Σημείο Μ).

G0 X0 Y14	Ταχεία μετακίνηση του εργαλείου κατά 11mm αριστερά και 3mm προς τα έξω (Σημείο Ν)
G1 Z-4	Κίνηση του εργαλείου κατά 2mm προς τα κάτω. (Σημείο Ν).
G2 X0 Y14 I0 J6	Κοπή με ταχύτητα πρόωσης σε κύκλο με κέντρο το οποίο βρίσκεται στον άξονα Υ +6mm από το Σημείο Ν.
G1 Y20	Ταχεία μετακίνηση του εργαλείου κατά 6mm προς τα πάνω.

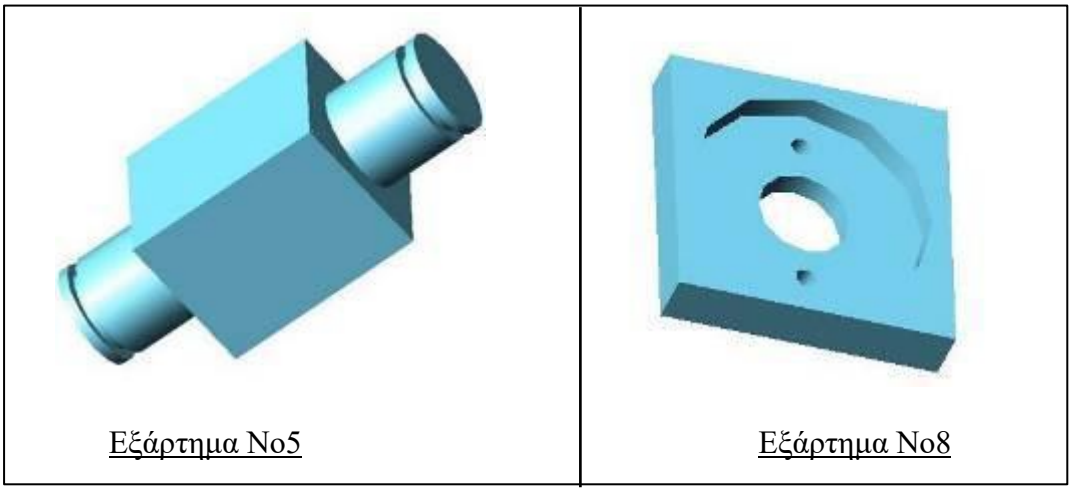


Σχήμα 6.13: Σημεία διαδρομής κοπτικού εργαλείου (Φρέζα).

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

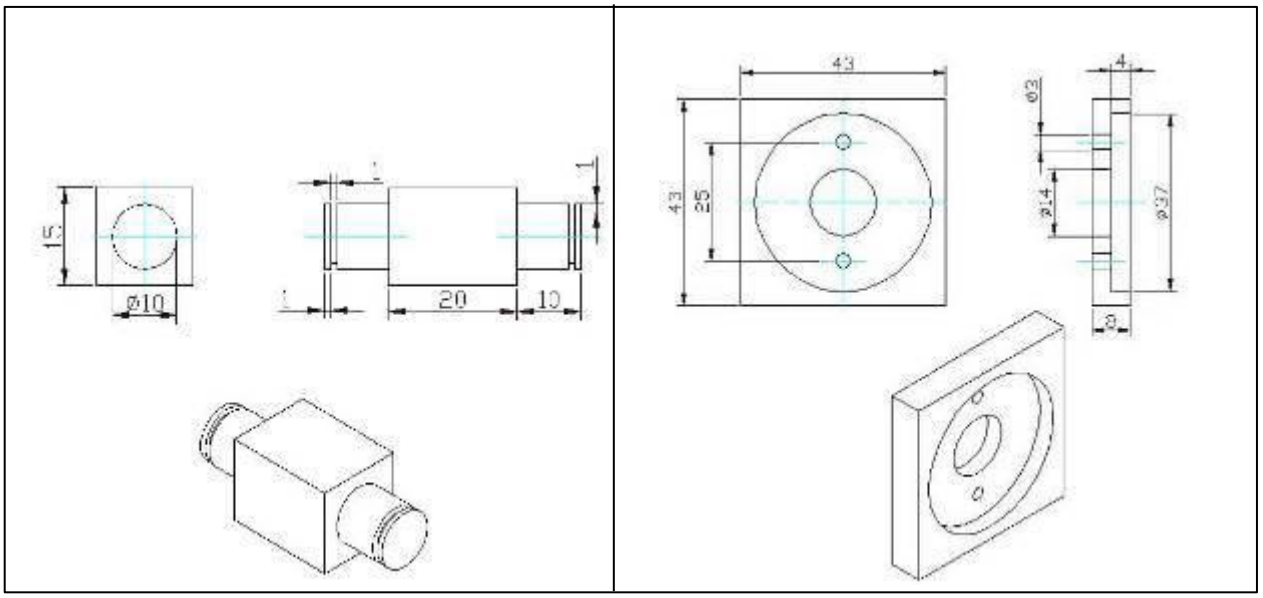
Στο εργαστήριο των CNC εργαλειομηχανών θα πραγματοποιηθεί η κατασκευή του εξαρτήματος Νο 5 σε CNC επιτραπέζιο τόρνο και στην συνέχεια το εξάρτημα Νο 8 σε CNC φρέζα .

Κάθε φοιτητής θα πρέπει να συντάξει δύο (2) τεχνολογικά προγράμματα για την κατασκευή των παρακάτω εξαρτημάτων.



Εξάρτημα Νο5 | Εξάρτημα Νο8

Σχήμα 6.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση των εξαρτημάτων Νο 5 & Νο8.



Σχήμα 6.15: Σχέδια εξαρτημάτων Νο5 & Νο 8

Για την σύνταξη των τεχνολογικών προγραμμάτων για κάθε εργαλειομηχανή οι φοιτητές πρέπει να λάβουν υπόψιν τους:

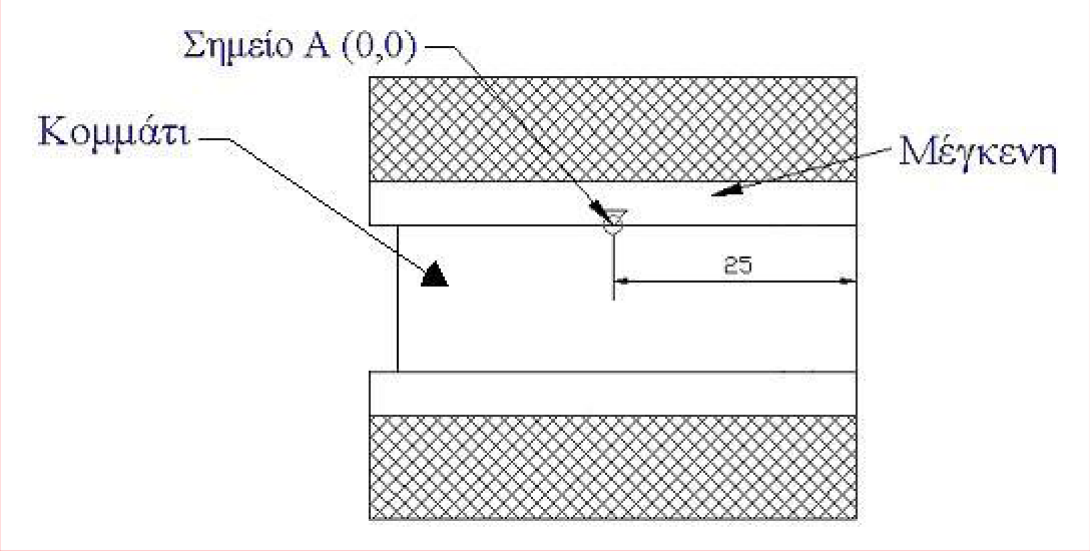
- Για την σύνταξη του προγράμματος τόρνευσης του εξαρτήματος Νο5 ως σημείο αναφοράς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το σημείο Α (0,0) του

- Σχήμα **6.**16.



Σχήμα 6.16: Σημείο αναφοράς για την διεργασία της τόρνευσης.

- Για την σύνταξη του προγράμματος φρεζαρίσματος του εξαρτήματος Νο 8 ως σημείο αναφοράς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το σημείο Α του
- Σχήμα **6.**17. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί στο μέσο της μέγγενης που συγκρατεί το κομμάτι κατά την διεργασία.



Σχήμα 6.17: Σημείο αναφοράς για την διεργασία του φρεζαρίσματος

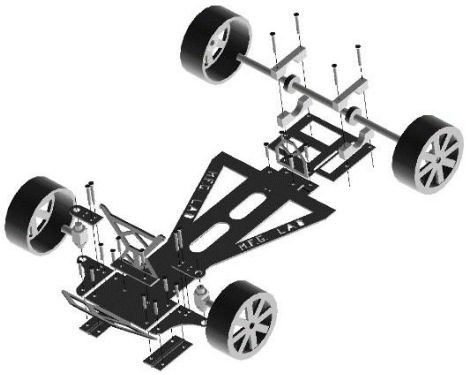
- Κατά την αλλαγή εργαλείου στην διεργασία τόρνευσης να ληφθεί υπόψιν ότι πρέπει να γίνει αντιστάθμιση ως προς τον Χ-άξονα ίση με -2,5mm.

Κάθε φοιτητής θα πρέπει να στείλει με e-mail τα προαναφερόμενα τεχνολογικά προγράμματα στη διεύθυνση **gdimit@lms.mech.upatras.gr** το αργότερο μια εβδομάδα πριν από την πραγματοποίηση του εργαστηρίου CNC. Το θέμα του e-mail (subject) θα πρέπει να είναι της μορφής "***ΕΠΩΝΥΜΟ ΟΝΟΜΑ MT CNC Lab"***, π.χ. "***ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ MT CNC Lab"*** και το όνομα του επισυναπτόμενου αρχείου (Έντυπο Λύσεων) που θα περιέχει

τα ζητούμενα τεχνολογικά προγράμματα την μορφή "***CNC ΕΠΩΝΥΜΟ ΟΝΟΜΑ ΑΜ"***, π.χ. "***CNC ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ 3626".*** Το έντυπο λύσεων θα μπορούν να το λαμβάνουν οι φοιτητές από την ιστοσελίδα του μαθήματος (**http://www.lms.mech.upatras.gr/mhx_texnologia_I.html**).

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ : ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ (ASSEMBLY)

Η συναρμολόγηση περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες, οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες, προκειμένου μέσα από κατεργασμένα επιμέρους εξαρτήματα, τα οποία παράγονται μέσα στην επιχείρηση και άλλα τα οποία προέρχονται από προμηθευτές, να παραχθεί ένα προϊόν ικανό να λειτουργήσει



Σχήμα 7.1: Ανεπτυγμένη όψη του τηλεκατευθυνόμενου

Σχεδιασμός της συναρμολόγησης

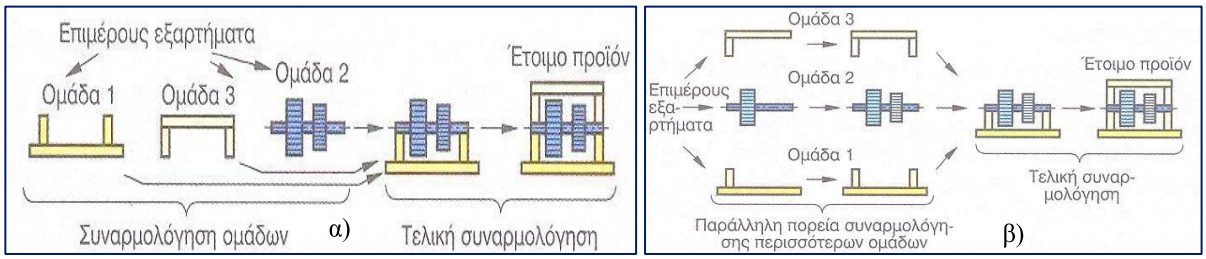
Ο σχεδιασμός της συναρμολόγησης ξεκινά με το σχεδιασμό του προϊόντος. Αυτός που κάνει το σχεδιασμό πρέπει να διαμορφώσει τα εξαρτήματα έτσι, ώστε αυτά να συναρμολογούνται κατά οικονομικό τρόπο. Ο έλεγχος της ποιότητας πρέπει να εξασφαλίζει το ότι τα εξαρτήματα θα εκπληρώνουν την αποστολή τους, ότι έχουν καθαριστεί και έχουν απομακρυνθεί τα διάφορα προεκτάματα (γρέζια) και ότι στη συναρμολόγηση δεν θα απαιτηθεί πρόσθετη κατεργασία. Η διασφάλιση της ποιότητας πρέπει να εγγυάται ότι τα εξαρτήματα θα ανταποκρίνονται στη λειτουργία τους και ότι έχουν καθαριστεί και έχουν απομακρυνθεί τα γρέζια.

Το σχέδιο της συναρμολόγησης περιλαμβάνει, εκτός από τα σχέδια, τα οποία είναι απαραίτητα για τη συναρμολόγηση, και όλες τις οδηγίες που είναι απαραίτητες για την πορεία της συναρμολόγησης. Στο σχέδιο της συναρμολόγησης αναφέρονται:

- Η σειρά της συναρμολόγησης
- Τα αναγκαία εργαλεία, οι ιδιοσυσκευές και τα βοηθητικά μέσα
- Τα μέσα μέτρησης και ελέγχου
- Οι χρόνοι για τη συναρμολόγηση

Οργανωτικές μορφές της συναρμολόγησης

Στη διαδοχική πορεία συναρμολόγησης οι εργασίες συναρμολόγησης εκτελούνται η μία κατόπιν της άλλης, ενώ στην παράλληλη οι εργασίες εκτελούνται ταυτόχρονα στις διάφορες ομάδες



Σχήμα 7.2: Διαδοχική πορεία συναρμολόγησης, β) Παράλληλη πορεία συναρμολόγησης

Παράδειγμα Συναρμολόγησης Τηλεκατευθυνόμενου Αυτοκινήτου

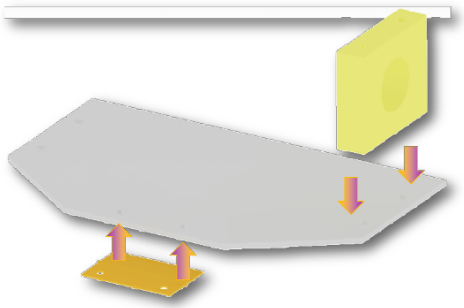
Συναρμολόγηση πίσω πλαισίου

Για τη συναρμολόγηση του πίσω πλαισίου θα χρησιμοποιηθούν τα εξής εξαρτήματα:

- Βάση άξονα (x2)
- Πίσω μεγάλο γρανάζι
- Στοιχείο σύνδεσης
- Αμορτισέρ
- Βάση κινητήρα
- Τροχός (x2)
- Κινητήρας
- Άξονας

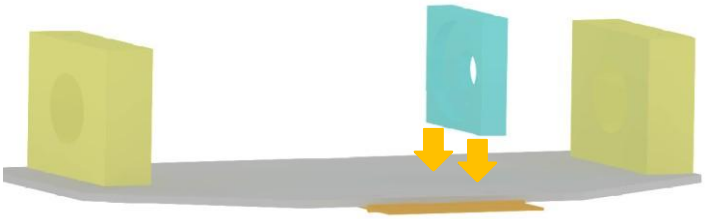
Βήμα 1: Βιδώνουμε τις βάσεις του άξονα στο πίσω πλαίσιο, χρησιμοποιώντας 4 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M4 x 100 και ένα κατσαβίδι

Βήμα 2: Βιδώνουμε το στοιχείο σύνδεσης στο πίσω πλαίσιο, χρησιμοποιώντας 2 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M4 x 30 και ένα κατσαβίδι



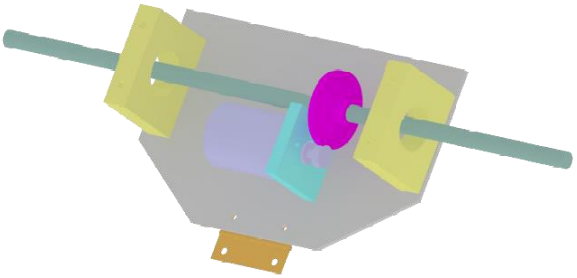
Σχήμα 7.3: Συναρμολόγηση των βάσεων του άξονα και του στοιχείου σύνδεσης με το πίσω πλαίσιο

Βήμα 3: Βιδώνουμε τη βάση κινητήρα στο πίσω πλαίσιο, χρησιμοποιώντας 2 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M3 x 30 και ένα κατσαβίδι



Σχήμα 7.4: Συναρμολόγηση της βάσης κινητήρα με το πίσω πλαίσιο

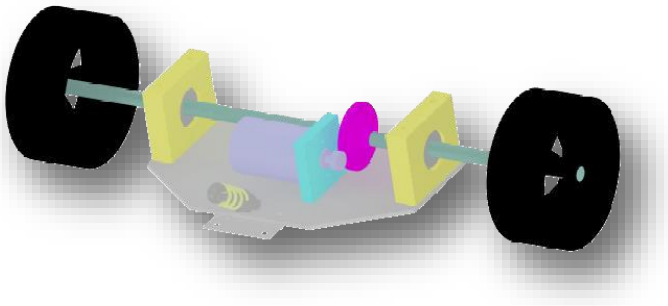
Βήμα 4: Βιδώνουμε τον κινητήρα με τη βάση του, και στη συνέχεια περνάμε τον άξονα με το γρανάζι στις βάσεις του άξονα



Σχήμα 7.5: Συναρμολόγηση του κινητήρα με τη βάση του και τοποθέτηση του άξονα

Βήμα 5: Περνάμε τους τροχούς στον άξονα και τους συγκρατούμε με περικόχλια χρησιμοποιώντας 2 εξάγωνα περικόχλια M10

Βήμα 6: Συγκρατούμε το αμορτισέρ με το πίσω πλαίσιο. Χρησιμοποιούμε βίδα σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M3 x 30 και περικόχλιο



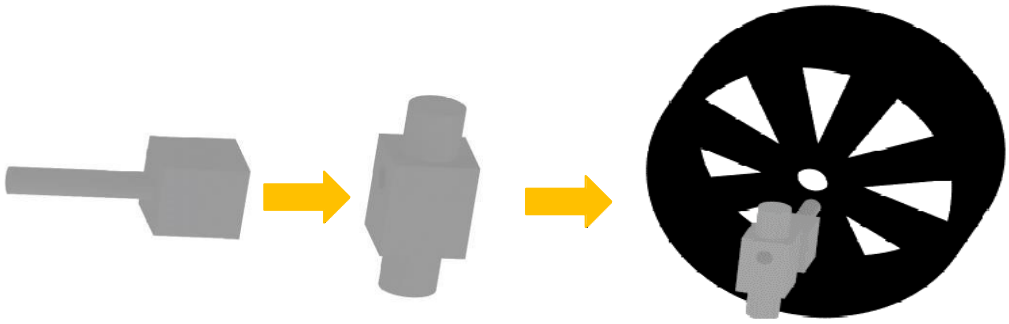
Σχήμα 7.6: Άποψη του συναρμολογημένου πίσω πλαισίου

Συναρμολόγηση μπροστινού πλαισίου
Για τη συναρμολόγηση του μπροστινού πλαισίου θα χρησιμοποιηθούν τα εξής εξαρτήματα:

- Πλήμνη Α (x2)
- Πλήμνη Β (x2)
- Αμορτισέρ (x2)
- Ψαλίδι Α (x2)
- Ψαλίδι Β (x2)
- Τροχός (x 2)
- Πύργος στήριξης πίσω αμορτισέρ
- Πύργος στήριξης μπροστινών αμορτισέρ

Βήμα 1: Συναρμολογούμε τις Πλήμνες Α με τις Πλήμνες Β, χρησιμοποιώντας 2 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι Μ6 x 30 και ένα κατσαβίδι

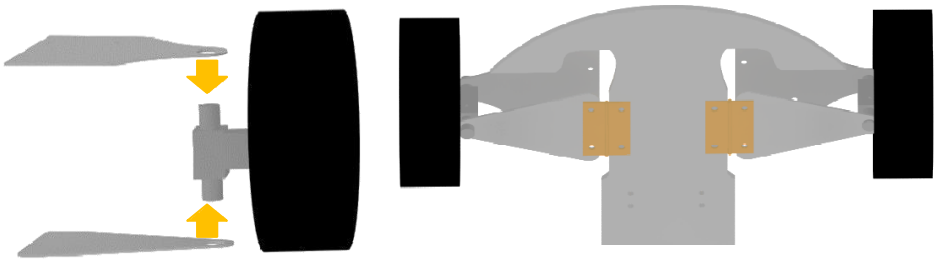
Βήμα 2: Συναρμολογούμε τις Πλήμνες με τον τροχό, χρησιμοποιώντας εξάγωνο περικόχλιο Μ10. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία και για τον άλλο μπροστινό τροχό



Σχήμα 7.7: Συναρμολόγηση της πλήμνης με τον μπροστινό τροχό

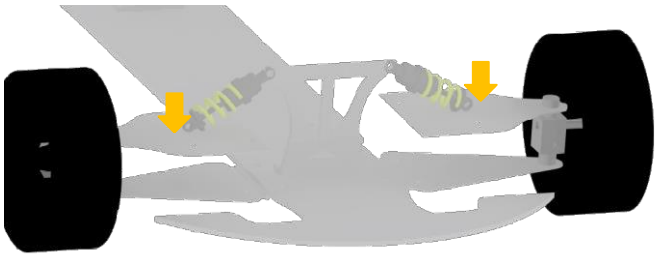
Βήμα 3: Ενώνουμε την Πλήμνη με τα ψαλίδια χρησιμοποιώντας ασφάλειες, στη συνέχεια συγκρατούμε τα ψαλίδια μεταξύ τους χρησιμοποιώντας βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι Μ4 x 100 και περικόχλιο

Βήμα 4: Ενώνουμε το μπροστινό πλαίσιο με τα ψαλίδια χρησιμοποιώντας 4 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι Μ4 x 30 με περικόχλια και ένα κατσαβίδι



Σχήμα 7.8: Συναρμολόγηση της πλήμνης με τα ψαλίδια και το μπροστινό πλαίσιο

Βήμα 5: Ενώνουμε τον μπροστινό και πίσω πύργο στήριξης με το πλαίσιο, χρησιμοποιώντας 4 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M4 x 30 με περικόχλια, και στη συνέχεια συγκρατούμε τα αμορτισέρ με τα ψαλίδια χρησιμοποιώντας βίδα σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M3 x 30 και περικόχλιο.

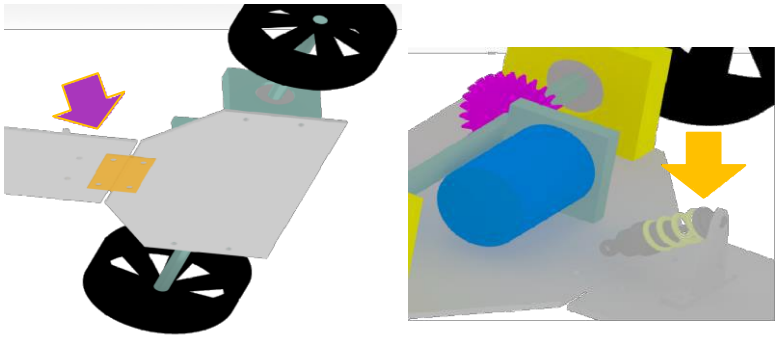


Σχήμα 7.9: Συναρμολόγηση των αμορτισέρ με τα ψαλίδια και το μπροστινό πλαίσιο

Συναρμολόγηση των πλαισίων

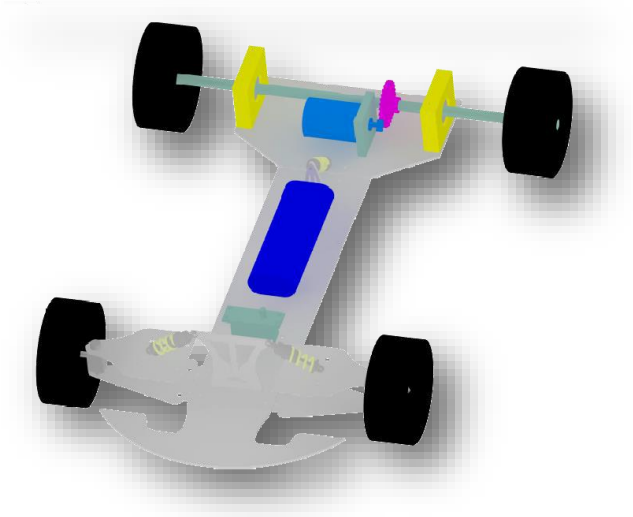
Βήμα 1: Συγκρατούμε τα πλαίσια με το στοιχείο σύνδεσης, χρησιμοποιώντας 4 βίδες σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M4 x 30 με περικόχλια και ένα κατσαβίδι

Βήμα 2: Ενώνουμε το πίσω αμορτισέρ με τον πίσω πύργο, χρησιμοποιώντας βίδα σταυρού γαλβανιζέ με κεφάλι M3 x 30 και περικόχλιο



Σχήμα 7.10: Συναρμολόγηση του στοιχείου σύνδεσης για την ένωση των πλαισίων και του αμορτισέρ με τον πίσω πύργο στήριξης

Βήμα 3: Συναρμολόγηση των υπόλοιπων εξαρτημάτων (Σερβοκινητήρα, Μπαταρία, Διακόπτη ON-OFF, Δέκτη Τηλεκατεύθυνσης)



Σχήμα 7.11: Άποψη του συναρμολογημένου Τηλεκατευθυνόμενου

Όσον αφορά το εργαστήριο της συναρμολόγησης, αυτό θα διεξαχθεί στο 4ο εξάμηνο μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής όλων των εξαρτημάτων του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. **Οι φοιτητές κατά την προσέλευσή τους στο εργαστήριο θα πρέπει να έχουν μαζί τους το σύνολο των κατασκευασθέντων εξαρτημάτων, καθώς και το πλάνο συναρμολόγησης που θα έχει προκύψει από το εργαστήριο DFA πάνω στο οποίο θα βασιστούν για να εκτελέσουν την συναρμολόγηση του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.** Κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης, κάθε ομάδα θα πρέπει να κρατάει σημειώσεις σχετικά με την πραγματική αλληλουχία των βημάτων που θα ακολουθήσει, έτσι ώστε να μπορέσει να ανταπεξέλθει αποτελεσματικότερα στην συγγραφή της παραγράφου του 2ου παραδοτέου, που αναφέρεται στην συναρμολόγηση. Τα εξαρτήματα του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος που δεν κατασκευάστηκαν θα δοθούν έτοιμα από τους υπευθύνους του εργαστηρίου. **Το εργαστήριο της συναρμολόγησης θα διεξαχθεί στο χώρο του Μηχανουργείου.**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chryssolouris, G., Manufacturing Systems: Theory and Practice, 2nd Edition, Springer-Verlag, New York, New York, (2006).
2. Mourtzis, D., "Development of skills and competences in manufacturing towards Education 4.0: A teaching factory approach." In: International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing. Springer, Cham, 2018. p. 194-210.
3. Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., & Chryssolouris, G. (2013). On industrial learning and training for the factories of the future: a conceptual, cognitive and technology framework. Journal of Intelligent Manufacturing, 24(3), 473-485.
4. Mourtzis, D., et al. "Cyber-physical systems and education 4.0–the teaching factory 4.0 concept." Procedia Manufacturing 23 (2018): 129-134.
5. Chryssolouris, G., " Laser Machining: Theory and Practice", Springer Verlag, New York,(1991).
6. Chryssolouris, G., Anifantis, N, and Karagiannis, S., 1997, "Laser Assisted Machining: An Overview", Transactions of the ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, 119, pp.766-769
7. Kempfer, L., "Laser Design Time Cut 50%", Computer Aided Engineering, 14(8), pp.1-8 (1995)
8. Weck M., Handbook of Machine Tools, John Wilky & Sons, New York (1984)
9. Standard Mathematical Table, 27th edition, CRC Press, Boca Raton, Florida (1985)
10. Boothroyd G.and Dewshurst P.,"Product Design for Assembly", Boothroyd Dewshurst, Inc.(1987)
11. A.Redford, J.Chal, "Design for Assembly: Principles and Practice", McCraw-Hill, UK (1994), ISBN 0-07-7078383-1
12. Amirouch F.M.L "Computer-Aided Design and Manufacturing", Prentice-Hall, Inc.New Jersey (1993)
13. Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F., "Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum", Proc. SPIE 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, (1995).
14. Chryssolouris, G., Patel, S. "In Process Control for Quality Assurance" Industrial High Technology for Manufacturing, K. McKee, D. Tijunelis (eds.), Chapter 22, New York: Marcel Dekker, Inc, (1987),pp. 609-643.
15. Mourtzis, D., Boli, N., Alexopoulos, K., Pittaro, P., Terreno, A. "An Industrial Product-Service System approach for Laser Process Quality Control", 15th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing, (CIRP CAT 2018), 11-13 June, Milano, Italy, Vol. 75, (2018), pp. 403-408.
16. Aukstakalnis S.and Blatner D.,"The Art and Science of Virtual Reality: Silikon Mirage", Peachpit Press(1992)
17. Chorafas D.and Steinmann H.,"Virtual Reality: Practical Application in Business and Industry", Prentice-Hall PTP (1995)
18. Stuart R., "The Design of Virtual Environments", McGraw-Hill, ISBN 0-07-063299-5(1996)
19. N.I.Badler, C.B.Phillips, B.L.Webber, "Simulating Humans: Computer Graphics, Animation, and Control", Oxford University Press (1999)
20. Salonitis, K., A. Stournaras, P. Stavropoulos and G. Chryssolouris, "Thermal modelling of the Material Removal Rate and Surface Roughness for EDM Die-Sinking" to be published in the International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2007)
21. Tsoukantas, G., A. Stournaras and G. Chryssolouris,"An experimental investigation of remote welding with CO2 and Nd: YAG laser-based systems", to be published in the Journal of Laser Applications,(2007)
22. Salonitis, K., A. Stournaras, P. Stavropoulos and G. Chryssolouris, "Theoretical and experimental investigation of pulsed laser grooving process", Journal of Laser Applications, Volume 20, No. 1, pp. 50-58 (2008)

23. A. Stournaras, P. Stavropoulos, K. Salonitis, G. Chryssolouris, "An investigation of quality in CO2 laser cutting of aluminum", CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 2, No.1, pp. 61-69 (2009)
24. Σαλωνίτης, Κ., Γ. Τσουκαντάς, Π. Σταυρόπουλος, Α. Στουρνάρας, Σ. Δρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης, "Τεχνικές Ταχείας Πρωτοτυποποίησης: Διεθνής Κατάσταση και νέες Προοπτικές",Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων & Ηλεκτρολόγων, (Τεύχος 389, 2006), σελ. 38-43
25. Tsoukantas, G., and G. Chryssolouris, "Theoretical and experimental analysis of the remote welding process on thin, lap-joined AISI 304 sheets", International Journal of Manufacturing Technology and Management, DOI 10.1007/s00170-006-0767-0, (2006)
26. K. Salonitis, P. Stavropoulos, A. Stournaras, G. Chryssolouris, "CO2 Laser Cutting of Aluminium", (LANE 07), 5th International Conference on Laser Assisted Net Shape Engineering, Erlangen, Germany, pp.303-311 (2007)
27. Stournaras, A., K. Salonitis, P. Stavropoulos and G. Chryssolouris, "Finite element thermal analysis of pulsed laser drilling process", Proceedings of the 10th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, Calabria, Italy, (August 2007), pp. 563 - 570
28. Stournaras, A., P. Stavropoulos, J. Pandremenos, J. Paralikas and G. Chryssolouris, "A Statistical Analysis of Laser Cutting Quality of Aluminium Alloy 5083", Proceedings of the 40th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Liverpool, U.K., (May-June 2007)
29. Στουρνάρας, Α., Π. Σταυρόπουλος, Γ. Δημητρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης "Πειραματική διερεύνηση της ποιότητας κοπής με δέσμη Laser Κράματος Αλουμινίου AL5083", Εισηγήσεις του2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, ISBN 978-960-89776-0-0, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάιος 2007)
30. Στουρνάρας, Α., Π. Σταυρόπουλος, Κ. Σαλωνίτης και Γ. Χρυσολούρης , "Ανασκόπηση των μεθόδων παρακολούθησης των διεργασιών με δέσμη Laser", Εισηγήσεις του 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, ISBN 978-960-89776-0-0, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάιος 2007)
31. Stournaras, A., P. Stavropoulos and G. Chryssolouris, "Theoretical and Experimental Investigation of Pulsed Laser Grooving Process", Proceedings of the 25th International Congress on Applications of Lasers and Electro-optics (ICALEO), Arizona, USA, (October 2006), pp. 525-534
32. Stournaras, A., P. Stavropoulos and G. Chryssolouris, "Investigation of Laser cutting quality of Aluminium", Proceedings of the 25th International Congress on Applications of Lasers and Electro-optics (ICALEO), Arizona, USA, (October 2006), pp. 233-239
33. Tsoukantas, G., A. Stournaras and G. Chryssolouris, "An experimental investigation of remote welding with CO2 and Nd: YAG laser-based systems", Proceedings of the 25th International Congress on Applications of Lasers and Electro-optics (ICALEO), Arizona, USA, (October 2006), pp. 320-329
34. Τσουκαντάς, Γ., Κ. Σαλωνίτης, Π. Σταυρόπουλος, Α. Στουρνάρας, Στ. Δρακόπουλος, Γ. Δημητρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης, "Ανασκόπηση μεθόδων μοντελοποίησης σε διεργασίες αφαίρεσης υλικού με Laser (Laser Machining)", Εισηγήσεις 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάρτιος 2005)
35. Σαλωνίτης, Κ., Γ. Τσουκαντάς, Π. Σταυρόπουλος, Α. Στουρνάρας, Σ. Δρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης, "Τεχνικές ταχείας πρωτοτυποποίησης-Διεθνής κατάσταση και νέες προοπτικές", Εισηγήσεις 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάρτιος2005)
36. Σαλωνίτης, Κ., Γ. Τσουκαντάς, Π. Σταυρόπουλος, Α. Στουρνάρας, Σ. Δρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης, "Μοντελοποίηση στερεολιθογραφίας-Ανασκόπηση διεθνούς βιβλιογραφίας", Εισηγήσεις 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάρτιος2005)
37. Τσουκαντάς, Γ., Π. Σταυρόπουλος, Κ. Σαλωνίτης, Α. Στουρνάρας, Σ. Δρακόπουλος, Γ. Δημητρακόπουλος και Γ. Χρυσολούρης, "Τεχνολογία συγκόλλησης με Laser από απόσταση (Remote Laser welding). Χαρακτηριστικά και εξελίξεις", Εισηγήσεις 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μηχανολόγων Ηλεκτρολόγων, Αθήνα, Ελλάδα, (Μάρτιος 2005)
38. Salonitis, K., S. Drakopoulos and D. Karigiannis, "Rotational Molding Parts from Two-Component Resins", Rapid Product Development Event "Agile Development for Productivity", Leiria, Portugal, (October 2004)

39. Salonitis, K., G. Tsoukantas, P. Stavropoulos and A. Stournaras, "A Critical Review of Stereolithography Process Modeling", International Conference on Advanced Research in Virtual andRapid Prototyping-VR@P 2003, Leiria, Portugal, (October 2003), pp. 377-384
40. Salonitis, K., G. Tsoukantas, P. Stavropoulos and S. Drakopoulos, "A Preliminary Experimental Investigation of the use of Stereolithography for Rapid Tooling in Thermoforming", Proceedings ofthe Euro-uRapid 2002 Conference, Frankfurt/Main, Germany, (2002), Session A-4/2
41. H. Bikas, P. Stavropoulos, O. Avraam, A. Valente, G. Chryssolouris "Hybrid subtractive-additive manufacturing processes for high value added metal components", submitted in The InternationalJournal of Advanced Manufacturing Technology
42. A. K. Lianos, H. Bikas, P. Stavropoulos, "A Shape Optimization Method for Part Design Derivedfrom the Buildability Restrictions of the Directed Energy Deposition Additive Manufacturing Process", Designs, 4, 19 (2020)
43. H. Bikas, A. K. Lianos, P. Stavropoulos, "A design framework for additive manufacturing", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 103, Issue 9–12, pp 3769–3783 (2019)
44. H. Bikas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris, "Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 83, Issue 1, pp. 389-405 (2016)
45. P. Stavropoulos, P. Foteinopoulos, A. Papacharalampopoulos, G. Tsoukantas, "Warping in SLM additive manufacturing processes: estimation through thermo-mechanical analysis", The InternationalJournal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 104, pg. 1571-1580, (2019)
46. P. Stavropoulos, P.Foteinopoulos, A. Papacharalampopoulos, H. Bikas, "Addressing the challenges for the industrial application of additive manufacturing: Towards a hybrid solution", International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, Volume 1, Issue 3, pg. 157-168, (2018)
47. P. Stavropoulos, P. Foteinopoulos, "Modelling of Additive Manufacturing Processes: A Review and Classification", Manufacturing Review, Vol. 5, No. 2, pg. 8-34, (2018)
48. P. Foteinopoulos, A. Papacharalampopoulos, P. Stavropoulos, "On thermal modeling of Additive Manufacturing processes", CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 20, pg. 66-83, (2018)
49. A.G. Diaz, V. Panadeiro, B. Lodeiro, J.R. Araujo, J. Stavridis, A. Papacharalampopoulos, P. Stavropoulos, "OpenLMD, an open source middleware and toolkit for laser-based additive manufacturing of large metal parts", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing ,Vol. 53, pg.153-161, (2018)
50. P. Stavropoulos, A.K. Lianos, H. Bikas, D. Mourtzis "Skills Requirements for the 4th Industrial Revolution The Additive Manufacturing Case", MATEC Web Conf., Vol. 318 (2020)
51. H. Bikas, T. Souflas, P. Stavropoulos, "Hybrid Manufacturing Processes: an experimentalmachinability investigation of DED produced parts", submitted in CIRP HPC 2020
52. H. Bikas, A. K. Lianos, S. Koutsoukos, P. Stavropoulos, "Manufacturability Assessment and Designfor AM", Procedia CIRP, Volume 91, pp. 290-294 (2020)
53. H. Bikas, S. Koutsoukos, P. Stavropoulos, "A decision support method for evaluation and process selection of Additive Manufacturing", Procedia CIRP, Volume 81, pp. 1107-1112 (2019)
54. A. Papacharalampopoulos, H. Bikas, P. Stavropoulos, "Path planning for the infill of 3D printed parts utilizing Hilbert curves", Procedia Manufacturing, Volume 21, pp. 757-764 (2018)
55. P. Foteinopoulos, A. Papacharalampopoulos, P. Stavropoulos, "Block-based Analytical Hierarchy Process applied for the evaluation of Construction Sector Additive Manufacturing", 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, (CMS 2019), Procedia CIRP, Volume 81, pg. 950-955, 12-14 June, Ljubljana, Slovenia (2019)
56. G. Komineas, P. Foteinopoulos, A. Papacharalampopoulos, P. Stavropoulos,"Build Time Estimation Models in Thermal Extrusion Additive Manufacturing Processes", 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing, (GCSM) , Vol. 21, pg. 647-654 , 25-27 September, Haifa, Israel,(2017)
57. A. Papacharalampopoulos, P. Stavropoulos, J. Stavridis,"Adaptive control of thermal processes: laser welding and additive manufacturing paradigms", CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, (ICME 2017), Vol. 67, pg. 233-237, 19-21 July, Gulf of Naples, Italy,(2017)

58. H. Bikas, J. Stavridis, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris, "A design framework to replace conventional manufacturing processes with additive manufacturing for structural components: A formula student case study", 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016),Volume 57, pp. 710-715, 25-27 May, Stuttgart, Germany,2016
59. H. Bikas, J. Stavridis, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris, "Design and Topology Optimization for Additively Manufactured Structural Parts: A Formula Student Case Study", (CAE), 6th BETA CAE International Conference, 10-12 May, Thessaloniki, Greece Available Online (2015)
60. J. Pandremenos , J. Paralikas, G. Chryssolouris, B. Dybala, J.W. Gunnink, "RM product development: design principles, simulation and tool", (ICAT 08) International Conference on Additive Technologies, Ptuj, Slovenia (2008)
61. Terry Wohlers and Tim Gornet, "History of Additive Manufacturing," Wohlers Report 2016Addendum. Available online: http://www.wohlersassociates.com/history2016.pdf.
62. Conway, J. H., B. M. Johnson, and W. L. Maxwell. 1960. "An Experimental Investigation of Priority Dispatching." Journal of Industrial Engineering 11(3).
63. Leu, M. C., H. A. ElMaraghy, A. Y. C. Nee, S. K. Ong, M. Lanzetta, M. Putz, W. Zhu, and A.Bernard. 2013. "CAD Model-based Virtual Assembly Simulation, Planning and Training." CIRPAnnals 62 (2): 799–822. doi:10.1016/j.cirp.2013.05.005.
64. Dimitris Mourtzis (2020) Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state ofthe art and new trends, International Journal of Production Research, 58:7, 1927-1949, DOI: 10.1080/00207543.2019.1636321
65. David Stienstra, Introduction to Design for (Cost Effective) Assembly and Manufacturing – Link: https://me.gatech.edu/files/capstone/L071ME4182DFA).
66. Data, Data, Everywhere! Product Lifecycle Management in the World of IoT, Link: https://www.smartsheet.com/product-life-cycle-management).
67. Mavrikios, D., Pappas, M., Kotsonis, M., Karabatsou, V., and Chryssolouris, G., "Digital Humans for Virtual Assembly Evaluation", Digital Human Modeling (ISBN 978-3-540-73318-8), Duffy V.G. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp.939-948, (2007).
68. Pappas, M., Karabatsou, V., Mavrikios, D., and Chryssolouris, G., "Ergonomic evaluation of virtual assembly tasks", Digital Enterprise Technology: Perspectives and Future Challenges (ISBN 978-0-387-49863-8), Cunha P.F. and Maropoulos P.G. (Eds.), Springer-Verlag, New York, pp.511-518, (2007).
69. Chryssolouris, G., Pappas, M., Karabatsou, V., Mavrikios, D., and Alexopoulos, K., "A Shared VE for Collaborative Product Development in Manufacturing Enterprises", Collaborative Product Design and Manufacturing Methodologies and Applications (ISBN 978-1-84628-801-2), Li W.D., Ong S.K., Nee A.Y.C. and McMahon C. (Eds.), Springer London, pp.59-70, (2007).
70. Mavrikios, D., Pappas, M., Karabatsou, V., and Chryssolouris, G., "A new concept for collaborative product & process design within a human-oriented Collaborative Manufacturing Environment", The Future of Product Development (ISBN 978-3-540-69819-7), Krause F.L. (Ed), Springer Berlin Heidelberg, pp.301-310, (2007).
71. Mavrikios, D., Karabatsou, V., Pappas, M., and Chryssolouris, G., "An efficient approach to human motion modeling for the verification of human-centric product design and manufacturing in virtual environments", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23(5), pp.533-543, (2007).
72. Alexopoulos, K., Mavrikios, D., Pappas, M., Ntelis, E., and Chryssolouris, G., "Multi-Criteria upper-body human motion adaptation", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 20(1), pp.57-70, (2007).
73. Pappas, M., Karabatsou, V., Mavrikios, D., and Chryssolouris, G., "Development of a web-based collaboration platform for manufacturing product and process design evaluation using virtual reality techniques", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 19(8), pp.805-814, (2006).
74. Mavrikios, D., Karabatsou, V., Alexopoulos, K., Pappas, M., Gogos, P., and Chryssolouris, G., "An approach to human motion analysis and modelling", International Journal of Industrial Ergonomics, 36(11), pp.979-989, (2006).

75. Pavlopoulos, C., Lalas, C., Pappas, M., Karabatsou, V., and Chryssolouris, G., "Product design and prototyping in the textile industry with the help of virtual reality techniques", Proceedings of the 40th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Liverpool, U.K., (2007).
76. Mavrikios, D., Karabatsou, V., Pappas, M., Alexopoulos, K., and Chryssolouris, G., "An integrated VR-based simulation environment for the assessment of process and human factors in assembly", Proceedings of the 1st CIRP International Seminar on Assembly Systems, Stuttgart, Germany, (2006),pp.301-305.
77. Pappas, M., Mavrikios, D., Karabatsou, V., and Chryssolouris, G., "VR-based methods and developments for assembly verification", Proceedings of the 1st CIRP International Seminar onAssembly Systems, Stuttgart, Germany, (2006), pp.295-300.
78. Alexopoulos, K., Pappas, M., Karabatsou, V., Mavrikios, D., and Chryssolouris, G., "Human Motion Adaptation: A Multi-Criteria Approach", Proceedings of the SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference, Lyon, France, (2006), Paper ID: 2006-01-2351 - (Edited in CD-ROM).
79. Chryssolouris, G., Pappas, M., and Karabatsou, V., "Posture based discomfort modeling using neural networks", Proceedings of the IFAC Conference on Manufacturing, Modelling, Management and Control, Athens, Greece, (2004), pp.19-23.
80. Pappas, M., Fragos, D., Alexopoulos, K., and Karabatsou, V., "Development of a three-finger grasping technique on a VR glove", Proceedings of the 2nd Virtual Concept Conference, Biarritz, France, (2003), pp.279-283.
81. Georgoulias, K., N. Papakostas, S. Makris and G. Chryssolouris, "A Toolbox Approach for Flexibility Measurements in Diverse Environments", Annals of CIRP, (Vol. 56, No.1, 2007), pp. 423-426.
82. Papakostas, N. and D. Mourtzis, "An Approach for Adaptability Modeling in Manufacturing -Analysis Using Chaotic Dynamics", Annals of CIRP, (Vol. 56, No.1, 2007), pp.491-494.
83. Giannelos, N., N. Papakostas, D. Mourtzis and G. Chryssolouris, "Dispatching policy formanufacturing jobs and time-delay plots", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, (Vol.20, No.4, 2007), pp. 329-337.
84. Chryssolouris, G., N. Papakostas, and D. Mourtzis, "A Decision Making Approach for Nesting Scheduling: A Textile Case", International Journal of Production Research, (Vol.38, No.17, 2000), pp. 4555-4564.
85. Makris, S., V. Xanthakis, D. Mourtzis and G. Chryssolouris, "On the information modeling for the electronic operation of supply chains: A maritime case study", to be published in the Robotics and Computer Integrated Manufacturing, (2006).
86. Chryssolouris, G., D. Mourtzis and S. Makris, "An Approach to Planning and Control of Ship Repair Manufacturing Operations", CIRP Journal of Manufacturing Systems, (Vol.32, No.1, 2003).
87. Papakostas, N., D. Mourtzis, K. Bechrakis, G. Chryssolouris and D. Doukas, "A flexible Agent Based Framework for Mfg. Decision Making", Proceedings of the 9th International Conference on Flex Autom & Intel Mfg (FAIM99), Tilburg, Netherlands (June 1999).
88. Makris, S., D. Mourtzis, N. Papakostas and G. Chryssolouris, "e-Collaboration for Ship repair Supply Chain Management", Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2005), Catania, Italy, (September 2005), pp. 713-718.
89. Makris, S., D. Mourtzis, N. Papakostas, G. Chryssolouris and I. Gaviotis, "An e-Collaboration Software Framework for the Ship Repair Supply Chain", Proceedings of the 12th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS), Busan, Korea, (August 2005) pp.717-727.
90. Chryssolouris, G., S. Makris, V. Xanthakis and V. Konstantinis, "An XML based implementation ofthe value added chain in Manufacturing: A ship repair case study", Proceedings of the 34th International CIRP Seminar on Manufacturing Systems, Athens, Greece, (May 2001), pp. 389-392.
91. Odendahl, C., R. Angeli, J. Haenisch, D. Jaramillo, S. Makris and E. Weitzenbock, "Web-basedVirtual Enterprise Network for the Maritime Industry", Proceedings of the e-business & e-work,Conference and Exhibition, Madrid, Spain, (October, 2000), pp. 559-565.

92. Chryssolouris, G., N. Papakostas, S. Makris and D. Mourtzis, "Planning and Scheduling of Shipyard Processes", Proceedings of the Application Technologies to the Maritime Industries, Lisbon, Portugal, (1999), pp. 255-274.
93. Braun Herwig, Dobler Hans - Dieter, Doll Werner, Βασική Μηχανολογία, Έκδοση 1η, ISBN: 960-331-375-0, Εκδόσεις ΙΩΝ
94. Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., & Chryssolouris, G. (2013). On industrial learning and training for the factories of the future: a conceptual, cognitive and technology framework. Journal of Intelligent Manufacturing, 24(3), 473-485.
95. Mourtzis, Dimitris. Development of skills and competences in manufacturing towards Education 4.0: A teaching factory approach. In: International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing. Springer, Cham, 2018. p. 194-210.
96. Mourtzis, D., et al. "Cyber-physical systems and education 4.0–the teaching factory 4.0 concept." Procedia Manufacturing 23 (2018): 129-134.