



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων

Διπλωματική Εργασία

**Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής
και Ευέλικτη Παραγωγή:
μία Συστημική Προσέγγιση**

Παραδεισόπουλος Νικόλαος

Επιβλέπων Καθηγητής: **Μουλιανίτης Βασίλειος**
Τριμελής Επιτροπή: Μουλιανίτης Βασίλειος
Παπανίκος Παρασκευάς
Σταθάκης Γεώργιος

Ερμούπολη, Σύρος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Βασίλη Μουλιανίτη για την πολύτιμη προσφορά του, τόσο στην επιλογή του θέματος όσο και στη διεκπεραίωση της εργασίας.

Ευχαριστώ όλους τους δικούς μου ανθρώπους για την αμέριστη συμπαράσταση, υλική και πνευματική, που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Θα δώσω τον καλύτερό μου εαυτό να τους βγάλω ασπροπρόσωπους.

Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει με όσο το δυνατόν κατανοητό τρόπο την πλέον πρόσφατη εξέλιξη στο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής, τα Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής και να τη συνδυάσει με μία σύγχρονη τάση στις μεθόδους παραγωγής, την Ευέλικτη Παραγωγή. Η μελέτη αυτή θα έχει ένα πρακτικό αποτέλεσμα, το σχεδιασμό μίας άρθρωσης για ρομπότ με βάση ορισμένες προδιαγραφές που απορρέουν από τη πειραματική μελέτη των Επαναδιαμορφώσιμων Συστημάτων Παραγωγής. Ας μην παραβλέπεται το γεγονός ότι ο σχεδιασμός συστημάτων παραγωγής είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη εργασία, πόσο μάλλον όταν μελετάμε επαναδιαμορφώσιμες (δηλαδή μη σταθερές) μορφές.

Δομή διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια.

- Στο πρώτο κεφάλαιο, εισάγονται ορισμένες γενικές αρχές και έννοιες της Επιστήμης της Οργάνωσης και Διοίκησης Παραγωγής, της επιστήμης που μελετά την παραγωγή και το σχεδιασμό αυτής.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αντίληψη των Επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων παραγωγής.
- Στο τρίτο κεφάλαιο, βρίσκονται τα περί ρομποτικής και ρομπότ.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο, διεξάγεται η καθαρά σχεδιαστική εργασία, αυτή της σχεδίασης ρομποτικής άρθρωσης.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα και προοπτικές.

Ας σημειωθεί ότι η δομή της εργασίας θα μπορούσε να θεωρηθεί ως επαγωγική καθώς από τις γενικότερες έννοιες (παραγωγή) φθάνει στην μελέτη πιο ειδικών στοιχείων (ρομποτική άρθρωση).

Περιεχόμενα

1. Γενικές Αρχές και Έννοιες.....	6
1.1 Ορισμός της παραγωγής	7
1.2 Η επιστήμη της Οργάνωσης και Διοίκησης Παραγωγής.....	7
1.3 Στόχοι συστημάτων παραγωγής	8
1.4 Δραστηριότητες της Διεύθυνσης για τη Διοίκηση και την Οργάνωση της Παραγωγής.....	8
1.4.1 Σχεδίαση του συστήματος παραγωγής	8
1.4.2 Προγραμματισμός και έλεγχος της παραγωγής.....	9
1.5 Κύκλος ζωής προϊόντος	9
1.6 Διαδικασία σχεδιασμού νέου προϊόντος.....	11
1.7 Σχεδιασμός προϊόντος για τον πελάτη.....	12
1.8 Σχεδιασμός, κατασκευή προϊόντος, και νέες τεχνολογίες.....	12
1.9 Ιστορική εξέλιξη παραγωγής	15
1.9.1 Η ευέλικτη παραγωγή	17
2. Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής	18
2.1 Χώροι Παραγωγής σε Δίκτυα Παραγωγής.....	19
2.2 Συστημική της ικανότητας αλλαγής	21
2.2.1 Τύποι Ικανοτήτων Αλλαγής Εργοστασίου	22
2.2.2 Η σημασία της ικανότητας μετασχηματισμού για το μέλλον των βιομηχανιών	23
2.3 Η πρόκληση της επαναδιαμόρφωσης	24
2.4 Είδη Συστημάτων Παραγωγής.....	26
2.4.1 Η έννοια της οικογένειας κομματιών.....	31
2.4.2 Σύγκριση Παραγωγικών Συστημάτων.....	33
2.5 Ορισμός Επαναδιαμορφώσιμου Συστήματος Παραγωγής	35
2.6 Ramp-up συστήματος	36
2.7 Τεχνολογίες που καθιστούν ικανή την επαναδιαμόρφωση	37
2.8 Ιστορία των RMS.....	40
2.9 Θέματα-κλειδιά για την έρευνα στα RMS.....	42
2.9.1 Ζητήματα έρευνας σχεδιασμού επιπέδου συστήματος.....	42
2.9.2 Ζητήματα έρευνας σχεδιασμού επιπέδου μηχανής.....	43
2.9.3 Ζητήματα έρευνας για τη μείωση του χρόνου ramp-up	43
2.9.4 Περαιτέρω ζητήματα έρευνας για τα RMS.....	44
2.10 Επαναδιαμορφώσιμες Εργαλειομηχανές	45
2.10.1 Προκλήσεις στη σχεδίαση εργαλειομηχανών.....	48
2.10.2 Στόχοι επαναδιαμορφώσιμων εργαλειομηχανών	50
2.11 Τα RMS από την πλευρά των χρηστών	52
2.11.1 Οι Απαιτήσεις των χρηστών	54
3. Το ρομπότ ως υποσύστημα (submodule) ενός RMS	57
3.1 Βιομηχανικές ρομποτικές εφαρμογές	58
3.1.1 Αιτίες για τη χρήση ρομπότ	58
3.1.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση ρομπότ	59
3.1.3 Κατηγορίες Εφαρμογών.....	60
3.2 Συνιστώσες Ρομποτικών Συστημάτων.....	67
3.2.1 Η Γενική Δομή των Ρομποτικών Συστημάτων.....	67
3.2.2 Το σύστημα χειρισμού	69
3.2.3 Οι Κινητήρες των Αρθρώσεων.....	70
3.2.4 Κριτήρια Κινηματικής Απόδοσης Ρομπότ.....	70

3.3 Ρομποτικός πυρήνας παραγωγής – ένας μακράς διάρκειας μη επανδρωμένος πυρήνας κατεργασίας.....	71
3.3.1 Εισαγωγή στο ρομποτικό πυρήνα παραγωγής.....	71
3.3.2 Διαμόρφωση του ρομποτικού πυρήνα.....	73
4. Σχεδίαση ρομποτικής άρθρωσης	75
4.1 Εισαγωγή	76
4.2 Σχεδιαστικές προδιαγραφές	77
4.2.1 Ένα υπάρχων μεταβλητό τμήμα σύνδεσης.....	77
4.3 Η νέα προτεινόμενη άρθρωση	81
4.3.1 Το ζήτημα της αυτόματης ρύθμισης της άρθρωσης.....	86
5. Συμπεράσματα	98
5.1 Συμπεράσματα	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	103
Α. Τα RMS σε σχέση με τα χαρακτηριστικά-κλειδιά.....	103
Α.1 Επαρκείς και αναγκαίες συνθήκες για τα RMS.....	103
Α.2 Αρχές επαναδιαμόρφωσης.....	104
Β. Διαμόρφωση ενός RMS	105
Β.1 Ορισμός.....	105
Β.2 Επιστημονική βάση επαναδιαμόρφωσης.....	105
Β.3 Η επαναδιαμόρφωση κατά την άποψη των παραγωγών.....	106
Β.4 Πρόσθετα πεδία έρευνας για RMS.....	108
Β.5 Προσομοίωση Τεχνολογίας Παραγωγής –virtual production.....	108
Β.6 Παγκοσμιοποίηση και αποκέντρωση της παραγωγής.....	110
Β.7 Προοπτικές - Η ευελιξία ως έννοια-οδηγός για το μέλλον.....	111
Γ. Περί Ρομπότ.....	115
Γ.1 Ικανότητες των Ρομπότ	115
Γ.2 Βιομηχανικοί Χρήστες Ρομπότ	116
Γ.3 Ταξινόμηση Ρομποτικών Συστημάτων.....	118
Γ.4 Τάσεις και Μελλοντικές Εφαρμογές.....	119
Γ.5 Χαρακτηριστικά Μελλοντικών Ρομποτικών Συστημάτων και Εφαρμογών.....	121
Γ.6 Μελλοντικές Εφαρμογές	125
Γ.7 Κίνδυνοι από την εισαγωγή νέων τεχνολογιών.....	126

1. Γενικές Αρχές και Έννοιες

1.1 Ορισμός της παραγωγής

Με τον όρο παραγωγή ορίζεται κάθε οργανωμένη δραστηριότητα που έχει σκοπό τη μετατροπή των **πόρων** (resources) σε χρήσιμα για τον άνθρωπο **προϊόντα** (products). Έτσι, η παραγωγή είναι μια διαδικασία η οποία μπορεί να αυξάνει την αξία των υλικών αγαθών, μετασχηματίζοντάς τα από μη άμεσα χρησιμοποιήσιμα από τον άνθρωπο προϊόντα σε χρήσιμα, δηλαδή με την παραγωγή δημιουργείται προστιθέμενη αξία στο τελικό προϊόν. Κάθε οργανωμένο σύνολο που παράγει προϊόντα ονομάζεται **σύστημα παραγωγής** (manufacturing/ production system). Κάθε σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει συνήθως **υποσυστήματα** που εκτελούν τις παραγωγικές διαδικασίες του συστήματος.[1] Η παραγωγή είναι ένα ουσιαστικό κομμάτι σχεδόν κάθε οικονομίας γιατί χαρακτηρίζεται από δύο κυρίως στοιχεία – δημιουργία πλούτου και περισσότερες και καλύτερες δουλειές[2].

1.2 Η επιστήμη της Οργάνωσης και Διοίκησης Παραγωγής

Οι μεγάλες τεχνολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων αιώνων οδήγησαν στην ανάγκη συστηματικής μελέτης της παραγωγικής διαδικασίας και στην ανάπτυξη της επιστήμης της Οργάνωσης και Διοίκησης Παραγωγής. Η αλματώδης ανάπτυξη του τομέα των επικοινωνιών και της πληροφορικής έδωσε νέα ώθηση στην ορθολογικότερη ανάπτυξη και βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Στόχος κάθε μηχανικού που ασχολείται με την Οργάνωση και Διοίκηση Παραγωγής είναι ο άριστος σχεδιασμός των συστημάτων παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι για την επίλυση των προβλημάτων παραγωγής. Δηλαδή θα πρέπει να δοθούν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως: τι, πότε, πού, πόσο, πώς, τι ποιότητας και με τι κόστος θα παραχθεί. Όμως, η ορθή οργάνωση της παραγωγής δεν είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη για τη βιωσιμότητα ενός παραγωγικού συστήματος. Απαιτείται ο ορθός σχεδιασμός των στόχων και η λήψη των κατάλληλων αποφάσεων, κατόπιν σχετικών αναλύσεων και μελετών. Έτσι, η Οργάνωση και Διοίκηση Παραγωγής (Production and Operations Management) έχει ευρύ περιεχόμενο και μπορεί να οριστεί ως η επιστήμη που ασχολείται με το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη βελτίωση των συστημάτων παραγωγής.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ο όρος **πόροι** (resources). Ο όρος αυτός περιλαμβάνει το ανθρώπινο δυναμικό, τα υλικά, το κεφάλαιο, τον εξοπλισμό, την ενέργεια και την τεχνογνωσία που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα παραγωγής ως **εισροές** (input). Οι εισροές μετατρέπονται μέσω της παραγωγικής διαδικασίας σε **εκροές** (output), δηλαδή σε χρήσιμα προϊόντα. Η διαδικασία θα πρέπει να γίνεται με το **μικρότερο δυνατό κόστος** (optimization) για τους συγκεκριμένους στόχους του συστήματος παραγωγής. Ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει **έλεγχος** (control) της διαδικασίας, έτσι ώστε οι εκροές να είναι σύμφωνες με τους στόχους που έχουν τεθεί.

1.3 Στόχοι συστημάτων παραγωγής

Το πρώτο που πρέπει να γίνει κατανοητό από κάθε στέλεχος ενός παραγωγικού συστήματος είναι οι στόχοι και οι σκοποί που πρέπει να επιτευχθούν. Θα πρέπει να κατανοηθούν οι μακροπρόθεσμοι στρατηγικοί στόχοι του παραγωγικού συστήματος, οι οποίοι θα πρέπει να εκφράζονται με συγκεκριμένους στόχους. Εάν έπρεπε να κωδικοποιηθούν οι στόχοι μίας επιχείρησης, θα μπορούσαν να τεθούν οι εξής:

- Παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών υψηλής ποιότητας
- Κερδοφόρα λειτουργία
- Αύξηση του μεριδίου της στις αγορές που απευθύνεται
- Να προσαρμόζει τα προϊόντα της, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των καταναλωτών
- Να μη δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα
- Να είναι κοινωνικά υπεύθυνα
- Να υπάρχουν άριστες εργασιακές σχέσεις με τους εργαζομένους
- Η ταχύτητα εξυπηρέτησης των πελατών
- Το κόστος παραγωγής

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η αύξηση της παραγωγικότητας μ' όλα τα μέσα που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν είναι αυτοσκοπός. Θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπ' όψιν ο παράγοντας άνθρωπος. Θα πρέπει να υπάρχει ο στόχος προς μία κοινωνία στην οποία οι ευκολίες που προσφέρουν η τεχνολογία στην παραγωγική διαδικασία θα απελευθερώσουν τον άνθρωπο και θα του προσφέρει περισσότερο ελεύθερο χρόνο για κοινωνικές δραστηριότητες. Δυστυχώς κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται στις μέρες μας. Το κέρδος με οποιοδήποτε κόστος είναι το ζητούμενο, η πνευματική εξουθένωση του ανθρώπου και αποξένωσή του από τον κοινωνικό περίγυρό του είναι κάτι το συνηθισμένο.

1.4 Δραστηριότητες της Διεύθυνσης για τη Διοίκηση και την Οργάνωση της Παραγωγής

1.4.1 Σχεδίαση του συστήματος παραγωγής

Η επίτευξη των στόχων ενός παραγωγικού συστήματος θα ήταν εκ των προτέρων καταδικασμένη, εάν δεν γινόταν σωστός σχεδιασμός του. Η παραγωγική διαδικασία θα πρέπει να σχεδιασθεί τεχνικά και λειτουργικά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνει άριστη χρήση των εισροών και η κατά τον αποτελεσματικότερο τρόπο παραγωγή των εκροών. Ειδικότερα, θα πρέπει:

- Να σχεδιασθεί το σύστημα παραγωγής και να τεθούν οι προδιαγραφές των παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών (product design).
- Να επιλεγεί και να προσδιορισθεί η τεχνολογία και η διαδικασία για την παραγωγή των συγκεκριμένων προϊόντων (process design).
- Να επιλεγεί ο εξοπλισμός που απαιτείται για την παραγωγή των αγαθών και των υπηρεσιών (equipment requirements).
- Να προσδιορισθούν οι απαιτούμενες κτιριακές εγκαταστάσεις, (building requirements)

- Να γίνει χωροταξικός σχεδιασμός του συστήματος παραγωγής, δηλαδή τοποθέτηση των τμημάτων παραγωγής στις συγκεκριμένες κτιριακές εγκαταστάσεις, και να επιλεγεί η καλύτερη ροή των προϊόντων κατά την παραγωγική διαδικασία (plant layout)
- Να γίνει προσδιορισμός του τόπου εγκατάστασης του παραγωγικού συστήματος (plant location).

1.4.2 Προγραμματισμός και έλεγχος της παραγωγής

Ο προγραμματισμός της παραγωγής περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες της Διοίκησης που έχουν στόχο τη χρήση των εισροών και των εγκαταστάσεων με τον αποδοτικότερο τρόπο. Το παραγωγικό σύστημα προγραμματίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να παράγονται οι αναγκαίες ποσότητες προϊόντων σύμφωνα με την υπάρχουσα ζήτηση, ενώ ταυτόχρονα να υπάρχουν τα αναγκαία αποθέματα εισροών και εκροών, ώστε να αντιμετωπισθεί τυχόν αυξημένη ζήτηση.

Θα πρέπει, επίσης, να εξεταστεί η **ευελιξία** της παραγωγής. Κατά πόσο δηλαδή το σύστημα παραγωγής μπορεί να παράγει ποικίλα προϊόντα και σε πόσο χρόνο είναι ικανό να προσαρμοσθεί για την παραγωγή νέων προϊόντων. Αυτή είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για το σύστημα και θα εξεταστεί διεξοδικότερα παρακάτω στην εργασία.

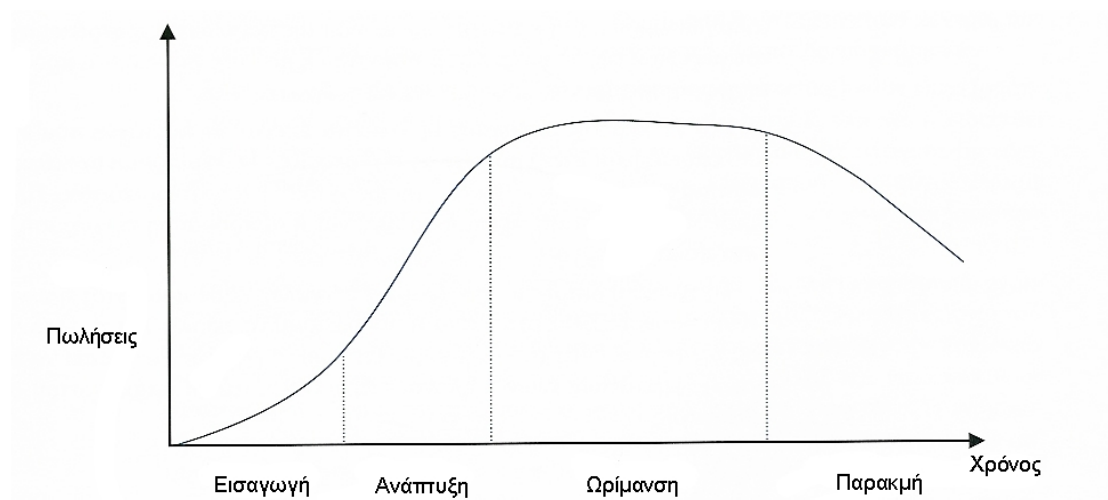
Ο έλεγχος περιλαμβάνει αφενός μεν τον έλεγχο της ποιότητας των προϊόντων, αφετέρου δε τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας σύμφωνα με τους στόχους που έχουν τεθεί. Η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί. Εάν φυσικά αλλάξουν οι απαιτήσεις της αγοράς, θα πρέπει να τεθούν νέες προδιαγραφές του προϊόντος. Ένα προϊόν, όσο καλό και αν είναι, εάν δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του μέσου καταναλωτή, δεν πρόκειται να έχει μεγάλη κατανάλωση. Από την άλλη πλευρά, ένα συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να διατίθεται με διαφορετικές προδιαγραφές για διαφορετικούς καταναλωτές. Μία βιομηχανία ποδηλάτων έχει διαφορετικές προδιαγραφές για ποδήλατα που απευθύνονται σε παιδιά μέχρι 10 ετών και άλλες για ποδήλατα που απευθύνονται σε αθλητές αγώνων ποδηλασίας. Εάν τα προϊόντα δεν ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές που έχουν τεθεί, τότε θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες παρεμβάσεις στην παραγωγική διαδικασία, ώστε να διορθωθεί η ποιότητα του προϊόντος.

Ταυτόχρονα, θα πρέπει να ελέγχεται η παραγωγική διαδικασία έτσι ώστε να είναι σύμφωνη με τους στόχους που είχαν τεθεί. Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τους στόχους, θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες παρεμβάσεις και τροποποιήσεις, ώστε το σύστημα να αρχίσει να λειτουργεί με βάση τους αρχικούς στόχους. Έτσι θα πρέπει να τονιστεί ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος διασφάλισης ποιότητας είναι απόλυτα αναγκαία για την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων.

1.5 Κύκλος ζωής προϊόντος

Μία πάρα πολύ σημαντική έννοια στην παραγωγή είναι αυτή του **κύκλου ζωής προϊόντος**. Κάθε νέο προϊόν ή υπηρεσία που εισάγεται στην αγορά ακολουθεί ένα

συγκεκριμένο **κύκλο ζωής** (life cycle) που περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1. Στη φάση της εισαγωγής του νέου προϊόντος ή υπηρεσίας, όπου και υπάρχει η μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας, το προϊόν δοκιμάζεται στην αγορά, υφίσταται τροποποιήσεις, μέχρι να γίνει αποδεκτό. Στο στάδιο αυτό, οι πωλήσεις του είναι μικρές. Ως νέο προϊόν δεν έχει ανταγωνισμό, ενώ έχει μεγάλο κόστος, ταυτόχρονα λόγω των χαμηλών πωλήσεων. Φυσικά, εκτός από τη σχεδίαση και παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος, η επιχείρηση θα πρέπει να έχει κάνει έρευνα αγοράς, ώστε να διαπιστώσει κατά πόσο το προς παραγωγή προϊόν θα γίνει αποδεκτό από τους καταναλωτές και ποιες είναι οι προοπτικές πωλήσεών του. Αυτό αφορά όχι μόνο τα υλικά αγαθά, αλλά και τις υπηρεσίες.



Εικόνα 1 Κύκλος ζωής προϊόντων

Αν το προϊόν επιβιώσει, τότε ακολουθεί το στάδιο της **ανάπτυξης**. Στο στάδιο αυτό, το προϊόν έχει λάβει την τελική του μορφή, οι πωλήσεις αυξάνουν ταχύτατα, η παραγωγή του είναι μαζική, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής, ενώ αρχίζουν να εμφανίζονται στην αγορά τα πρώτα ανταγωνιστικά προϊόντα.

Στη φάση της **ωρίμανσης**, οι πωλήσεις σταθεροποιούνται, το προϊόν καθιερώνεται στην αγορά και παραμένει μέχρι την εμφάνιση παρόμοιων προϊόντων νέας τεχνολογίας. Η επιχείρηση μειώνει τα περιθώρια κέρδους λόγω ισχυρού πλέον ανταγωνισμού και η καλύτερη οργάνωση της παραγωγής επιτρέπει τη διατήρηση του μεριδίου της αγοράς.

Στο στάδιο της **παρακμής** βρίσκονται εκείνα τα προϊόντα που εκτοπίζονται από ομοειδή προϊόντα μοντέρνας τεχνολογίας. Τα νέα προϊόντα καλύπτουν καλύτερα τις ανάγκες του καταναλωτή, με το ίδιο ή μικρότερο κόστος.

Το χρονικό διάστημα που διαρκεί ο κύκλος κάθε προϊόντος ή υπηρεσίας δεν είναι σταθερό. Εξαρτάται από το συγκεκριμένο προϊόν και το επίπεδο ανάπτυξης της τεχνολογίας στο συγκεκριμένο τομέα. Πάντως θα πρέπει να τονισθεί ότι η

πλειονηφία των νέων προϊόντων πεθαίνει κατά τη διάρκεια του σταδίου της εισαγωγής.

1.6 Διαδικασία σχεδιασμού νέου προϊόντος

Ο στόχος του σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος ή υπηρεσίας είναι τελικά η κατασκευή του συγκεκριμένου προϊόντος με σαφείς προδιαγραφές. Για να γίνει, όμως, η κατασκευή του σύμφωνα με τις κατάλληλες προδιαγραφές, θα πρέπει να έχουμε τις κατάλληλες πληροφορίες. Έτσι πρώτα θα πρέπει να γίνει η σύλληψη της ιδέας για το νέο προϊόν, η οποία θα υλοποιηθεί με την κατασκευή του νέου προϊόντος μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας. Τα νέα προϊόντα μπορούμε να τα διακρίνουμε σε:

- Πραγματικά πρωτοποριακά προϊόντα.
- Προϊόντα που προέρχονται από ήδη υπάρχοντα προϊόντα με μικρές ή μεγάλες τροποποιήσεις.
- Προϊόντα που απλώς αντιγράφουν άλλα υπάρχοντα.

Οι ιδέες για νέα προϊόντα προέρχονται είτε από την ίδια την εταιρεία είτε από τους ανθρώπους που συνεργάζονται με αυτήν, όπως πωλητές, πελάτες κλπ. Κάθε εταιρεία, πρέπει να έχει ένα ξεχωριστό τμήμα *έρευνας και ανάπτυξης* (Research and Development, RD) στο βαθμό που το επιτρέπει η δυναμικότητά της, στο οποίο γίνεται *εφαρμοσμένη έρευνα* (applied research) σε τομείς που ενδιαφέρουν την επιχείρηση.

Οι περισσότερες πραγματικά νέες και επαναστατικές ιδέες έχουν προέλθει από εφαρμοσμένη έρευνα στην ίδια την επιχείρηση ή σε ερευνητικά κέντρα, των οποίων οι εργασίες μπορεί να χρηματοδοτούνται και από τις επιχειρήσεις.

Ταυτόχρονα το τμήμα εμπορίας και διαφήμισης (marketing) κάθε επιχείρησης θα πρέπει συνεχώς να εξετάζει τα δεδομένα της αγοράς και να εξειδικεύει συγκεκριμένες ευκαιρίες που να καλύπτουν τις εμφανιζόμενες ανάγκες της αγοράς. Το επιστημονικό και εργατικό δυναμικό της επιχείρησης που ασχολείται με τον τομέα της παραγωγής μπορεί να προτείνει βελτιώσεις και τροποποιήσεις των παραγόμενων προϊόντων.

Εκτός όμως από τις ιδέες που προέρχονται από την ίδια την επιχείρηση, υπάρχουν και ιδέες που ξεκινούν από το περιβάλλον της εταιρείας. Οι πελάτες της εταιρείας μπορεί να είναι μία πηγή νέων ιδεών. Οι πελάτες μπορεί να παραπονεθούν για προβλήματα που παρουσιάζει ένα προϊόν της εταιρείας και να προτείνουν συγκεκριμένες τροποποιήσεις που να ικανοποιούν τις ανάγκες τους. Η παρακολούθηση των ανταγωνιστών της επιχείρησης και η εισαγωγή νέων προϊόντων απ' αυτούς είναι ένας άλλος τρόπος που μπορεί να οδηγήσει τη συγκεκριμένη επιχείρηση στην παραγωγή παρόμοιων ή τροποποιημένων προϊόντων και υπηρεσιών, που θα καλύπτουν τις ίδιες ανάγκες.

1.7 Σχεδιασμός προϊόντος για τον πελάτη

Πριν από κάθε ενέργεια σχεδιασμού και κατασκευής, θα πρέπει το προϊόν να εξετασθεί από τη μεριά του καταναλωτή. Πολλές φορές οι δυνατότητες που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία έκαναν τους σχεδιαστές και κατασκευαστές των προϊόντων να ξεχάσουν τους καταναλωτές. Έτσι πολλά προϊόντα είναι δύσκολα στη χρήση τους ή τόσο πολύπλοκα που χρειάζεται εξάσκηση ή ειδικές γνώσεις για τη λειτουργία τους. Περιλαμβάνουν τόσο πολλές και πολύπλοκες δυνατότητες, οι περισσότερες των οποίων δε θα αξιοποιηθούν ποτέ, ώστε εάν κάποιος χάσει το βιβλίο οδηγιών, δε θα μπορεί να χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο προϊόν ή συσκευή. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η αγορά από πολλούς γονείς Η/Υ για τα παιδιά τους, ο οποίος διαθέτει τεράστια μνήμη και πολύ υψηλή ταχύτητα, αλλά θα χρησιμοποιηθεί μόνο ένα μικρό μέρος των δυνατοτήτων του από τα παιδιά.

Έτσι, έχει εξελιχθεί η *ανάπτυξη της λειτουργίας της ποιότητας* (quality function deployment) που έχει στόχο το σχεδιασμό του προϊόντος σύμφωνα με τις επιθυμίες και τις ανάγκες του καταναλωτή. Η μέθοδος ξεκινά με τη μελέτη και την ακρόαση των επιθυμιών του καταναλωτή, ώστε το συγκεκριμένο προϊόν να υπερέχει όλων των ανταγωνιστικών του στον τομέα της εφαρμογής του. Ειδικές ομάδες της επιχείρησης, που ασχολούνται με την προώθηση, το σχεδιασμό και την κατασκευή των προϊόντων, λαμβάνουν υπ' όψιν τους τις επιθυμίες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών και τις υλοποιούν σε μηχανικά κατασκευάσιμα προϊόντα. Το τελικό προϊόν δοκιμάζεται από τους καταναλωτές και καταγράφονται οποιεσδήποτε παρατηρήσεις τους για τη λειτουργικότητα και την αισθητική του, ώστε να ξανασχεδιασθεί, εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

1.8 Σχεδιασμός, κατασκευή προϊόντος, και νέες τεχνολογίες

Η τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων, και ειδικά μετά το 1980, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση του σχεδιασμού, της επιλογής υλικών και της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος. Σε αυτό βοήθησε η τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες έδωσε τη δυνατότητα της χρήσης τους στα θέματα Οργάνωσης και Διοίκησης της Παραγωγής. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αποκτούν τεράστιες ικανότητες, αύξηση μνήμης, ύπαρξη πληθώρας λογισμικών προγραμμάτων, ενώ ταυτόχρονα η τιμή τους διαρκώς μειώνεται. Είναι γεγονός ότι σήμερα οι υπολογιστές συνδέουν τους προμηθευτές με τους παραγωγούς και τους καταναλωτές σ' ολόκληρο τον κόσμο, έτσι ώστε κάθε παραγωγικό σύστημα πρέπει να συναγωνισθεί άλλα ομοειδή σε παγκόσμια βάση.

Η χρήση των υπολογιστών εισάγει στην παραγωγή το **προγραμματισμό των απαιτήσεων υλικών** (material requirement planning, MRP). Η προσέγγιση αυτή συνδέει μέσω ενός λογισμικού όλα τα υλικά που χρειάζονται για την παραγωγή ενός πολύπλοκου προϊόντος. Έτσι, οι υπεύθυνοι παραγωγής μπορούν εύκολα να προγραμματίζουν και να προσαρμόζουν την παραγωγή σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα των υλικών αλλά και τις ανάγκες και τη ζήτηση της αγοράς.

Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει επεκταθεί σ' όλα τα στάδια σχεδίασης ενός νέου προϊόντος. Το προϊόν σχεδιάζεται στον υπολογιστή και ελέγχεται η συμπεριφορά του σε διάφορες συνθήκες με συστήματα *προσομοίωσης* (simulation), χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό πακέτο (software), έτσι ώστε να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι επιδράσεις των διαφόρων παραμέτρων στο συγκεκριμένο υλικό. Το αμέσως επόμενο βήμα στο σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος είναι η κατασκευή ενός *πρωτότυπου* (prototype), στο οποίο θα ελεγχθεί αν η συμπεριφορά και οι ιδιότητές του είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές. Τα πρωτότυπα ενός προϊόντος μπορούν να είναι:

Σε πραγματικές διαστάσεις και με υλικό κατασκευής σύμφωνα με τις προδιαγραφές του, π.χ. ένα εξάρτημα ενός κινητήρα.

- Κατασκευασμένο σε κλίμακα (model), και από εύχρηστα υλικά, όπως το μοντέλο αεροπλάνου ή γέφυρας για τη μελέτη των φαινομένων ροής σε *σήραγγα αέρος* (wind tunnel).
- Κατασκευή και μελέτη των ιδιοτήτων στον υπολογιστή (simulation).

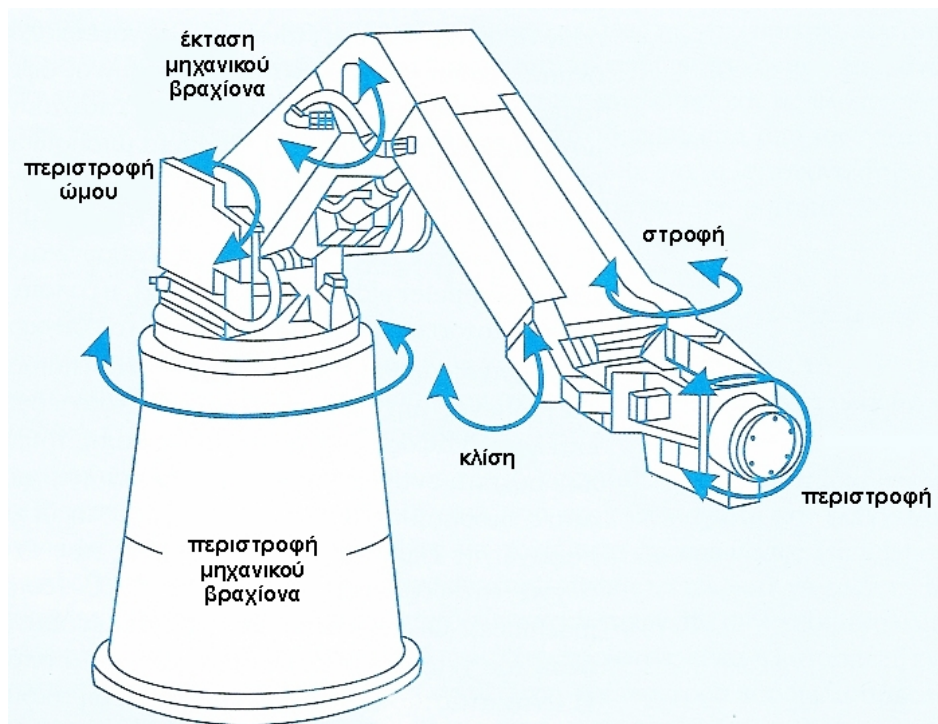
Εάν πρόκειται για υπηρεσία, τότε το πρωτότυπο μπορεί να κατασκευασθεί και να μελετηθεί στον υπολογιστή, ή η υπηρεσία μπορεί να μελετηθεί πραγματικά σε *πilotική* (pilot) βάση. Επίσης, να σημειωθεί ότι για την κατασκευή των νέων προϊόντων χρησιμοποιούνται νέα υλικά κατασκευής, όπως νέα κράματα, νέα πολυμερή, κεραμικά υλικά, τα οποία αντικαθιστούν τα κλασικά μέταλλα ή πολυμερή.

Τέλος, η ίδια η παραγωγική διαδικασία, με το κατάλληλο λογισμικό και τις μηχανές (hardware), έχει πλήρως αυτοματοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις, με αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του κόστους παραγωγής. Παρακάτω δίνονται οι νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στο σχεδιασμό και την παραγωγή των νέων προϊόντων.

- **Τα συστήματα CAD** (computer-aided design), στα πλαίσια των οποίων η σχεδίαση ενός προϊόντος γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και του κατάλληλου λογισμικού. Το λογισμικό περιέχει πολλά δεδομένα τα οποία μπορούν να ανακαλούνται, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η σχεδίαση των νέων προϊόντων. Ακόμη μπορούν να εμφανισθούν οι όψεις του αντικειμένου, να γίνουν τομές, μεγεθύνσεις, περιστροφές κ.λπ. Υπάρχουν στον υπολογιστή πρότυπα σχήματα, *βιβλιοθήκες* (libraries), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση του προϊόντος. Τέλος το ίδιο το αντικείμενο μπορεί να αποθηκευθεί και να χρησιμοποιηθεί σαν αρχικό πρότυπο, το οποίο μπορεί να υποστεί τροποποιήσεις. Τα συστήματα CAD μπορούν να συνδεθούν και να συνεργασθούν με συστήματα CAM (computer aided manufacturing), τα οποία μπορούν να δώσουν τις οδηγίες για την κατασκευή και την παραγωγή του συγκεκριμένου εξαρτήματος.
- **Οι μηχανές αριθμητικού ελέγχου, NC** (numerical control). Οι αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές αποτελούνται από εργαλεία ενός μηχανήματος, που εκτελούν διάφορες εργασίες, όπως κοπή, τρύπημα κ.λπ., κι από ένα σύστημα που δέχεται εντολές για τον έλεγχο και λειτουργία των εργαλείων. Οι μηχανές αυτές υιοθετήθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του '60 στη βιομηχανία παραγωγής ελικοπτέρων. Οι μηχανές που έχουν τον δικό τους υπολογιστή συχνά αναφέρονται ως *μηχανές CNC* (computer numerically controlled machines). Οι κωδικοποιημένες εντολές και ο υπολογιστής έχουν πάρει τη θέση του χειριστή δίπλα στο μηχάνημα, ο οποίος το χειριζόταν παλαιότερα. Η αντικατάσταση αυτή δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια και επαναληψιμότητα στη διαδικασία παραγωγής.

Ακόμη αυξάνει την παραγωγικότητα για τρεις λόγους:

1. Διότι η κατασκευή γίνεται με ακρίβεια και ελαχιστοποιούνται τα εκτός προδιαγραφών (σκάρτα) τεμάχια
 2. Η κοπή γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να χρησιμοποιείται η μέγιστη ποσότητα του υλικού κατασκευής
 3. Αντικαθίσταται ο εργαζόμενος που κοστίζει ακριβά από ένα μηχάνημα με πολύ μικρότερο κόστος λειτουργίας
- **Τα ρομπότ** (industrial robots). Ίσως είναι η σημαντικότερη εφαρμογή των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην παραγωγική διαδικασία. Ο ορισμός του ρομπότ είναι «... Μία αυτοματοποιημένη, με ελεγχόμενες κινήσεις στο χώρο, επαναπρογραμματιζόμενη και πολυλειτουργική χειριστική διάταξη που έχει διάφορους βαθμούς ελευθερίας και είναι ικανή να χειρίζεται υλικά, εξαρτήματα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω διαφόρων προγραμματιζόμενων κινήσεων για την εκτέλεση μίας ποικιλίας καθηκόντων... Αυτές οι πολυχρηστικές μηχανές συνήθως σχεδιάζονται για την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων λειτουργιών... ». Η κίνηση των ρομπότ ελέγχεται με τρόπο ανάλογο εκείνου των μηχανών NC, αν και παρουσιάζουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας. Στην εικόνα 2 δίνονται οι συνήθεις κινήσεις του βραχίονα ενός ρομπότ.



Εικόνα 2 Μηχανικό ρομπότ

- **Τα συστήματα αυτόματου χειρισμού υλικών AMH** (automated materials handling). Τα συστήματα αυτά αυξάνουν την αποδοτικότητα της μεταφοράς και της αποθήκευσης των υλικών. Για παράδειγμα υπάρχουν οχήματα που κινούνται αυτόματα και μεταφέρουν υλικά σε διάφορα σημεία, κινούμενα και ελεγχόμενα από οδηγούς (καλώδια) που υπάρχουν στο έδαφος, **συστήματα AGV** (automated guided vehicles).

- **Τα ευέλικτα βιομηχανικά συστήματα, FMS** (flexible manufacturing systems). Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν όλες τις προηγούμενες τεχνολογίες που αναφέραμε σ' ένα ολοκληρωμένο σύνολο. Τα FMS μπορούν να ορισθούν ως « ...διαμορφώσεις ελεγχόμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή που αποτελούνται από ημιανεξάρτητους σταθμούς εργασίας, συνδεδεμένους με αυτόματους χειριστές και φορτωτές υλικών». Έτσι τα επιμέρους τμήματα ενός συστήματος FMS είναι:

1. NC σταθμοί εργασίας, μικρής ή μεγάλης πολυπλοκότητας
2. Συστήματα φόρτωσης και εκφόρτωσης των υλικών των σταθμών εργασίας
3. Συστήματα AGV για τη μεταφορά υλικών από ένα σταθμό εργασίας σ' άλλον.
4. Υπολογιστικό κέντρο με το κατάλληλο λογισμικό που ελέγχει όχι μόνο τη λειτουργία των προηγούμενων τμημάτων αλλά και τη σειρά με την οποία εκτελούνται οι διάφορες εργασίες.

Τα συστήματα FMS έχουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες από τις δυνατότητες που έχει κάθε τμήμα τους ξεχωριστά, έχουν μεγάλη ευελιξία και μπορούν να κατασκευάζονται σε διαφορετικές μορφές ανάλογα με την επιδιωκόμενη ποσότητα και το είδος παραγωγής. Έτσι υπάρχουν συστήματα FMS που μπορούν να παράγουν μικρές ποσότητες παρόμοιων προϊόντων ή συστήματα FMS που παράγουν μεγάλες ποσότητες διαφορετικών μεταξύ τους προϊόντων.

- **Συστήματα CIM** (computer integrated manufacturing). Τα συστήματα FMS παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη πρόταση για την παραγωγική διαδικασία και τον έλεγχό της. Τα συστήματα CIM ολοκληρώνουν τη διαδικασία παραγωγής ενός προϊόντος, περιλαμβάνοντας και το στάδιο σχεδιασμού του προϊόντος μέσω ενός συστήματος CAD. Επιπλέον η κλασική μέθοδος επικοινωνίας μεταξύ των τμημάτων του συστήματος έχει αντικατασταθεί με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Τέτοια συστήματα υψηλής τεχνολογίας και ολοκλήρωσης είναι τα **εργοστάσια του μέλλοντος** (factory of the future).

1.9 Ιστορική εξέλιξη παραγωγής

Η παραγωγή κατά το Σταμάτη Αυλωνίτη μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις χρονικές περιόδους:

- **Εμπειρική περίοδος** (προ 19^{ου} αιώνα), όπου οι περισσότεροι παραγωγοί είναι τεχνίτες (craftsmen), οι οποίοι ασχολούνται με την παραγωγή ενός συγκεκριμένου προϊόντος από την αρχή μέχρι το τέλος.
- **Περίοδος Βιομηχανικής Επανάστασης** (19^{ος} αιώνας), όπου η μυϊκή δύναμη του ανθρώπου και των ζώων αντικαταστάθηκε από τη μηχανή.
- **Επιστημονική Περίοδος** (τέλη 19^{ου} – αρχές 20^{ου} αιώνα), όπου αναπτύσσεται μία προσπάθεια για την εξέταση των προβλημάτων παραγωγής σύμφωνα με την επιστημονική μέθοδο. Πρωτοπόροι στην προσπάθεια αυτή οι Frederick W. Taylor και Henry Ford.

- **Εποχή των συστημάτων** (μέσα 20^{ου} αιώνα έως σήμερα), όπου έχουμε την ανάπτυξη της επιστήμης της **Επιχειρησιακής Έρευνας** (Operations Research), η οποία για τη μελέτη ενός προβλήματος παραγωγής, φέρνει μαζί επιστήμονες διαφόρων ειδικοτήτων, όπως μαθηματικούς, οικονομολόγους, ψυχολόγους κλπ., οι οποίοι αναλύουν το συγκεκριμένο πρόβλημα με ποσοτικούς όρους και προτείνουν τη μαθηματικά άριστη λύση. Επίσης υφίσταται ανάπτυξη σημαντικών νέων τεχνολογιών στις διαδικασίες παραγωγής.[1]

Με όρους τεχνικών παραγωγής, η εξέλιξη της εποχής των συστημάτων παραγωγής μπορεί να χωρισθεί σε τρεις σημαντικές εποχές: (1) Προ CNC, (2) CNC, και (3) εποχή γνώσης.

- **Εποχή προ CNC** (πριν το 1960), όπου οι περισσότερες μηχανές και ο έλεγχός τους ήταν μηχανικοί. Στην παραγωγή, οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνταν για να μειωθεί το κόστος μέσω των εναλλάξιμων κομματιών. Υπήρχε τοπικός ανταγωνισμός, δεν υπήρχε ζήτηση για παραλλαγές προϊόντων (μακρά περίοδος ενός μοναδικού προϊόντος) και υπήρχε έλλειψη ενσωμάτωσης στα συστήματα παραγωγής.
- **CNC εποχή** (1960 -1990), όπου η ανακάλυψη των μηχανών αριθμητικού ελέγχου (NC) και η επακόλουθη ανάπτυξή τους (π.χ. DNC, CNC), επηρέασε δραματικά την παραγωγή. Είχαν σημαντικό αντίκτυπο στους ρυθμούς παραγωγής, βελτίωσαν την ποιότητα και την ακρίβεια, είχαν πιο ακριβή έλεγχο της μηχανής (υλικό/ λογισμικό), και ευκολότερη ενσωμάτωση. Κατά συνέπεια, ένας αριθμός τεχνικών παραγωγής τράβηξαν αρκετή προσοχή όπως τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής και οι Ιαπωνικές τεχνικές παραγωγής όπως η παραγωγή Kaizen (συνεχής βελτίωση), η παραγωγή Just-In-Time (JIT) (απόλειψη/ ελαχιστοποίηση των αποθεμάτων ως βέλτιστος στόχος για τη μείωση του συνολικού κόστους), η λιτή παραγωγή (lean manufacturing) (αποτελεσματική απόλειψη της σπατάλης, μείωση του κόστους και βελτίωση ποιότητας) και η ολική διαχείριση ποιότητας (total quality management-TQM) (αυξημένη και γρηγορότερη επικοινωνία με τους πελάτες για τις ανταποκρίσεις στις απαιτήσεις τους).
- **Εποχή της γνώσης** (μετά το 1990), όπου χαρακτηρίζεται από έντονο ανταγωνισμό παγκοσμίως και μεγάλη πρόοδο στην τεχνολογία υπολογιστών και πληροφοριών. Ταχεία πρόοδος έχει επιτευχθεί σε περιοχές όπως η διαχείριση συστημάτων πληροφοριών, στην ανάπτυξη εφαρμοσμένων προγραμμάτων για διάφορους σκοπούς, στα συστήματα επικοινωνιών (υλικό και λογισμικό) και στη διείσδυση της τεχνολογίας υπολογιστών σε διάφορα πεδία. Έτσι, ο παγκόσμιος ανταγωνισμός και η τεχνολογία πληροφοριών είναι οι κύριες δυνάμεις πίσω από τις πρόσφατες αλλαγές στην παραγωγή. Κάθε προσπάθεια γίνεται από τους παραγωγούς ώστε να ανταποκρίνονται γρηγορότερα στην αγορά παράγοντας προϊόντα υψηλότερης ποιότητας σε χαμηλότερα κόστη και σε μικρότερες ποσότητες. Η ιδέα της ευέλικτης παραγωγής (agile manufacturing) εισήχθη το 1991 και επικεντρώθηκε σε γρηγορότερη ανταπόκριση και εξειδίκευση των προϊόντων. Ωστόσο, ήταν περισσότερο επικεντρωμένη σε μία φιλοσοφία επιχείρησης για την παραγωγή παρά στο επίπεδο συστήματος της παραγωγής (δηλ. δε δίνει έμφαση σε συγκεκριμένες τεχνικές ανάπτυξης ή λειτουργικές τεχνικές). Αυτό φαίνεται από πρόσφατες προσπάθειες στην εισαγωγή τεχνολογιών για την ευέλικτη παραγωγή ή τη βιομηχανική πληροφορική (CIM – computer integrated manufacturing). Παραδείγματα δείχνουν ότι η ευελιξία εφαρμόζεται

αλλάζοντας τα εργαλεία και μέρος του εξοπλισμού (περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό). Στην ουσία, υπάρχουν ελάχιστες αλλαγές στη δομή της μηχανής και στο λογισμικό.[3] Η παρούσα εργασία θα δώσει έμφαση στην ιδέα της ευέλικτης παραγωγής και κυρίως στις τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να την κάνουν εφικτή.

1.9.1 Η ευέλικτη παραγωγή

Για την επιβίωση στη σημερινή παγκόσμια αγορά, η εξατομίκευση της παραγωγής και οι ισχυρότερες σχέσεις με τον πελάτη σε όλες τις λειτουργίες είναι το πρώτο ζητούμενο. Η εξατομίκευση είναι δυνατή μέσα από γρήγορη μηχανική(fast engineering) και γρήγορες αλυσίδες διαδικασιών από τον πελάτη στην παράδοση των προϊόντων και στις υπηρεσίες προς τον πελάτη. Η απαιτήσιες των πελατών και η χαοτική συμπεριφορά τους – από την άποψη των παραγωγών είναι σχεδόν απρόβλεπτη. Στο μέλλον, οι παραγωγοί πρέπει να βρουν λύσεις για γρήγορη προσαρμογή της επινοητικότητάς τους στις χαοτικές αγορές και πελάτες χωρίς απώλειες στην παραγωγικότητα με

- Ενσωμάτωση των αλυσίδων διαδικασιών στη μηχανική και της υπέρ-κινητικότητας και των αλυσίδων ανεφοδιασμού στη διοίκηση παραγωγής
- Τυποποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας
- Γνωσιακά(cognitive) και μηχανοτρονικά συστήματα παραγωγής

Η μηχανική παραγωγής (mmanufacturing engineering) είναι η τεχνολογία κλειδί για τη βιομηχανοποίηση πολλών νέων προϊόντων που αναπτύσσονται από την έρευνα βασικών επιστημών η φυσική(φωτονική), η χημεία (μικροαντιδραστήρες-microreactors), τα μαθηματικά, η νανοηλεκτρονική, τα μικρο-και νανοϋλικά, η γνωσιακή παραγωγή (cognitive manufacturing) κλπ. Να μην ξεχνάμε ότι η παραγωγή πάντοτε υπήρξε συνισταμένη όλων των προσανατολισμένων στην εφαρμογή πεδίων έρευνας.[2]

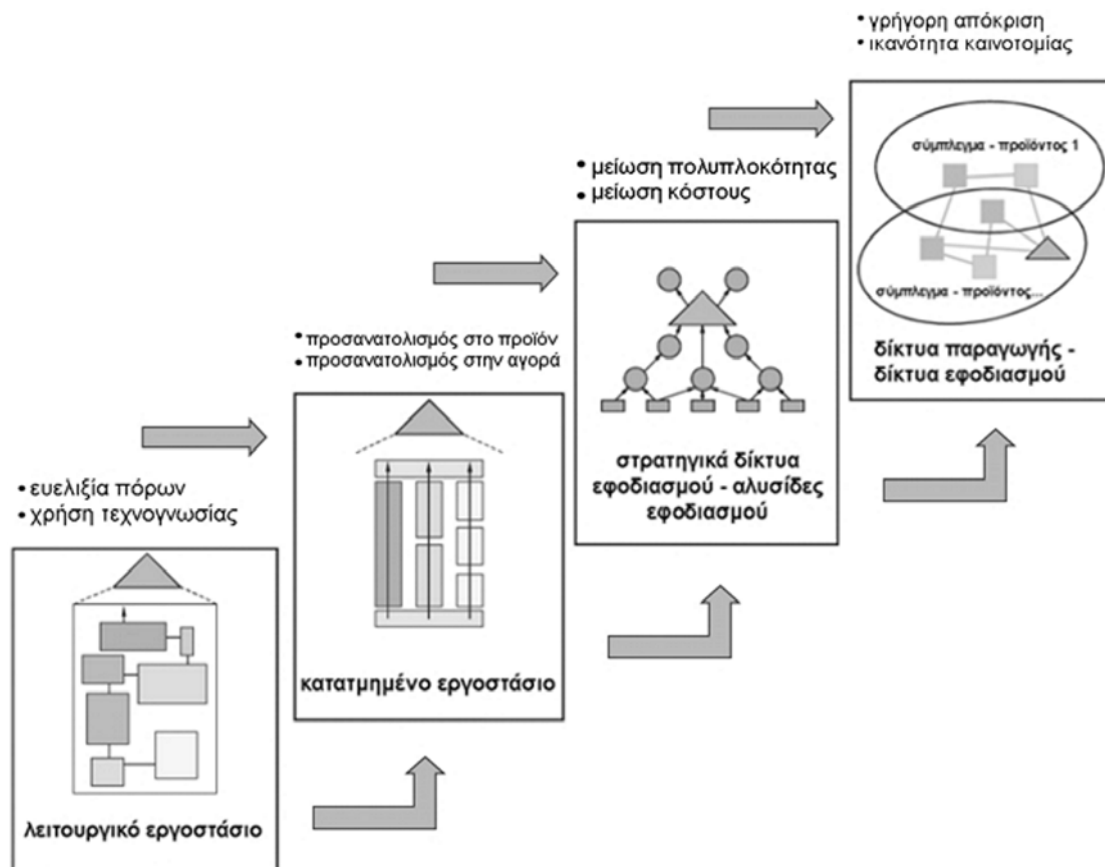
Σύνοψη 1^{ου} κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάστηκαν οι βασικές έννοιες και αρχές της παραγωγής, μέσα από μία σύντομη εισαγωγή στην επιστήμη της διοίκησης και οργάνωσης της παραγωγής. Σημαντικές έννοιες έκαναν την εμφάνισή τους όπως κύκλος ζωής προϊόντος, τεχνολογίες παραγωγής και τεχνικές παραγωγής. Η τεχνική παραγωγής που φαίνεται ότι θα δεσπόσει στο μέλλον ακούει στο όνομα της ευέλικτης παραγωγής μα για να καταστεί αυτό εφικτό πρέπει να κατασκευαστούν και τα εργαλεία τα οποία θα χρησιμοποιούνται. Αυτά φαίνεται ότι θα δεν είναι άλλα από τα Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

2. Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής

2.1 Χώροι Παραγωγής σε Δίκτυα Παραγωγής

Αν παρατηρηθούν τα εξελικτικά βήματα των εργοστασίων τα τελευταία 20 χρόνια, βασικά εμφανίζονται διαφορετικές αντιλήψεις για τα εργοστάσια και την παραγωγή σε κάθε δεκαετία βασισμένες σε διαφορετικούς στόχους και κριτήρια (εικόνα 3).



Εικόνα 3 Από το λειτουργικό εργοστάσιο στη τοποθεσία στο δίκτυο παραγωγής

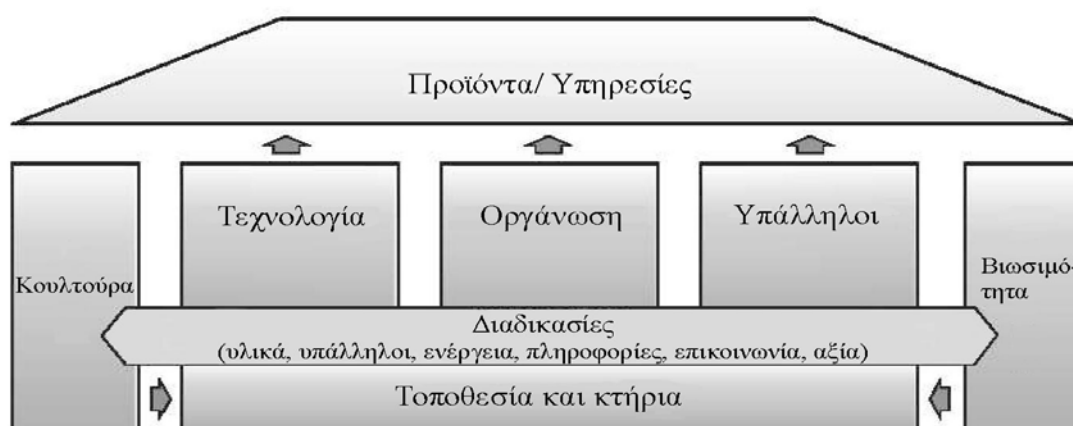
Σταθερές και καλώς προβλεφθείσες αγορές οδήγησαν σε ένα λειτουργικό εργοστάσιο στο οποίο η τεχνολογία συγκεντρώθηκε σε τμήματα σε σκοπό να επιτευχθεί βελτιστοποίηση με υψηλή ευελιξία των πηγών. Αργότερα, η ανάγκη ενός πιο σταθερού προσανατολισμού σε αγορές και προϊόντα οδήγησαν σε τεμαχισμένα εργοστάσια. Αυτές οι αντιλήψεις οδήγησαν σε μία τεράστια αύξηση της αποτελεσματικότητας των συνολικών επιχειρήσεων μέσω ανεξάρτητων ενεργούντων μονάδων προσανατολισμένες στα προϊόντα και στις αγορές[4].

Εν τω μεταξύ, διαφορετικοί στόχοι όπως η μείωση και η επαναδιανομή μιας προηγούμενης άγνωστης υψηλής επιχειρηματικής πολυπλοκότητας γίνονται όλο και πιο σημαντικοί. Λόγω μιας συγκέντρωσης στις βασικές ικανότητες και η σταθερή ανάθεση του εφοδιασμού, της παραγωγής, της διανομής σε διαδικασίες ανάπτυξης, η

μείωση των κοστών είναι, στο παρόν, σκοπός αυτών των αντιλήψεων. Αυτά τα επονομαζόμενα στρατηγικά δίκτυα είναι διαδεδομένα ειδικά στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα μέσα στην αλυσίδα προστιθέμενης αξίας δε μπορεί πλέον να κατευθυνθεί από ιεραρχική ηγεσία. Στο μέλλον, δίκτυα όπως και μία αυξανόμενη συνεργασία και αποκέντρωση θα θεωρούνται ως η κύρια λύση. Αυτές οι αντιλήψεις ονομάζονται αποκεντρωμένα δίκτυα παραγωγής (δίκτυα προμήθειας), και θεωρούνται ως μία πιθανή απάντηση στις νέες προκλήσεις του παγκόσμιου ανταγωνισμού σε σκοπό να επιτευχθούν μικρότεροι χρόνοι απόκρισης και πιο ισχυρός προσανατολισμός προς τις ανάγκες των πελατών, μέσω υψηλής ικανότητας καινοτομίας [1]. Προαπαιτούμενο για την επιτυχή συμμετοχή σε δίκτυα παραγωγής είναι μεταβαλλόμενες και επαναδιαμορφώσιμες διαδικασίες παραγωγής, πόροι, δομές και διατάξεις όπως και οι εφοδιαστικές αλυσίδες και οι οργανωτικές τους αντιλήψεις. Αυτή η ικανότητα είναι απαραίτητη ώστε να αντιμετωπιστεί η διαρκής αλλαγή και η αναταραχή του περιβάλλοντος των επιχειρήσεων παραγωγής και μπορεί να περιγραφεί ως ικανότητα αλλαγής.

Τα πεδία σχεδιασμού του εργοστασίου για το σχεδιασμό και την επίτευξη της αναγκαίας ικανότητας αλλαγής φαίνονται στην εικόνα 4. Ο συνολικός σκοπός του εργοστασίου πρέπει να είναι προσανατολισμένος στις υπηρεσίες αγοράς. Οι υπηρεσίες αγοράς περιλαμβάνουν προϊόντα, όπως επίσης και ολοκληρωμένες υπηρεσίες προϊόντων. Ο κύριος σκοπός του σχεδιασμού εργοστασίου παραμένει ο σχεδιασμός της τεχνολογίας, η οργάνωση και οι υπάλληλοι. Η τεχνολογία περιλαμβάνει ολόκληρη τη τεχνολογία παραγωγής, την κατασκευή και συναρμολόγηση όπως επίσης και συνδεδεμένες τεχνικές σε εφοδιαστικές αλυσίδες και τεχνολογία πληροφοριών. Η οργάνωση περιέχει την αρχή οργάνωσης και τις διαδικασίες της μέσα στο εργοστάσιο. Πτυχές εργασίας όπως το περιβάλλον εργασίας, το σύστημα πληρωμών και το μοντέλο χρόνου εργασίας είναι σημαντικά σημεία για τους ασχολούμενους με το πεδίο του σχεδιασμού. Η κουλτούρα της επιχείρησης και η αυξανόμενη σημασία της αυξανόμενης βιωσιμότητας πλαισιώνουν αυτά τα τρία πεδία σχεδιασμού.



Εικόνα 5 Πεδία σχεδιασμού των εργοστασίων

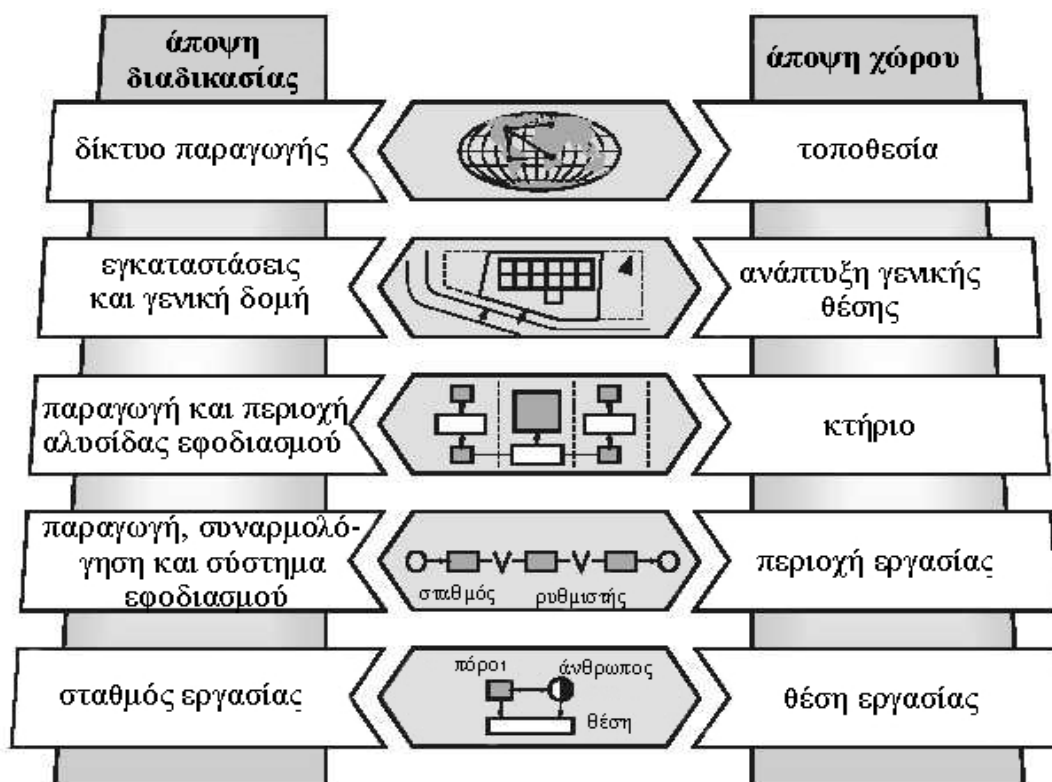
Αυτά τα πεδία σχεδιασμού δε μπορούν να αναλυθούν όσο κι αν απομονωθούν. Οι βασικές διαδικασίες, π.χ. η ροή υλικών, η ροή πληροφοριών, η ροή προσωπικού, η ροή εργασιών, η ροή ενέργειας, η ροή μέσων και ροή κεφαλαίων συνδέουν μαζί αυτά

τα πεδία σχεδιασμού. Η τοποθεσία και τα κτίριά της συνθέτουν τη βάση των περιγραφόμενων πεδίων σχεδιασμού. Για αυτό το λόγο, είναι κατ'εξοχήν σημαντικό να συγχρονιστεί ο σχεδιασμός των κτιρίων και των τοποθεσιών με τα τρία βασικά πεδία σχεδιασμού.

Πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός μεταβαλλόμενου εργοστασίου είναι ο καθορισμός των στόχων και οι απαιτούμενες στρατηγικές για την επίτευξη αυτών των στόχων. Ένα βασικό θέμα στρατηγικής προς καθορισμό είναι ο τύπος και τα χαρακτηριστικά του εργοστασίου προς σχεδιασμό.

2.2 Συστημική της ικανότητας αλλαγής

Η ικανότητα αλλαγής απαιτείται σε όλα τα επίπεδα μιας επιχείρησης. Πέντε δομικά επίπεδα μιας επιχείρησης μπορούν αξιωματικά να αναγνωριστούν, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μελετηθεί σε όρους διαδικασιών και χώρου (εικόνα 5). Από το σημείο θέασης των διαδικασιών, το κέντρο της προσοχής στο υψηλότερο δομικό επίπεδο είναι το δίκτυο παραγωγής στο οποίο το ίδιο το δίκτυο παραγωγής της επιχείρησης είναι ενσωματωμένο.



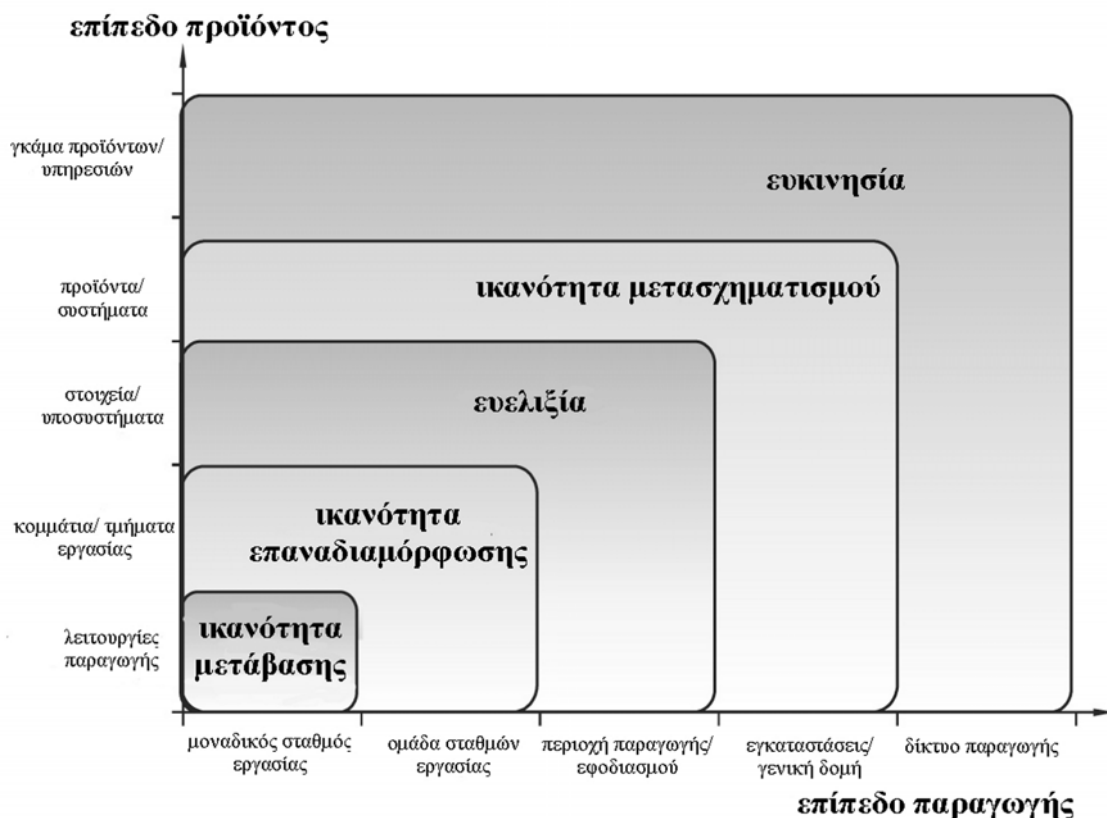
Εικόνα 5 Επίπεδα δόμησης μιας εταιρείας από τα σημεία θέασης χώρου και διαδικασιών

Από το σημείο θέασης του χώρου, η τοποθεσία και η υποδομές της εξετάζονται εδώ. Το επόμενο επίπεδο κάτω από την γενική ανάπτυξη τοποθεσίας – σχετίζεται με τη δόμηση ολόκληρης της τοποθεσίας του εργοστασίου. Εδώ, από το σημείο θέασης της διαδικασίας, η διευθέτηση και οι σχέσεις ανάμεσα στις ξεχωριστές περιοχές παραγωγής και η διάταξη των κτιρίων του εργοστασίου αποφασίζονται.

Στο επόμενο επίπεδο, καθορίζεται το ξεχωριστό κτίριο με τις δομή του και την διασπορά των υποστηρικτικών κολόνων του και αναπτύσσονται οι δομές, οι διατάξεις και η οργάνωση εργασίας για την παραγωγή και οι εφοδιαστικές αλυσίδες. Στο επίπεδο των ομαδικών σταθμών εργασίας, η διάταξη των σταθμών εργασίας και οι αρχές της κατασκευής και συναρμολόγησης των ξεχωριστών δομικών μονάδων καθορίζονται μαζί με τη συνολική τεχνολογία μεταφοράς. Το κύριο ενδιαφέρον στο πιο κάτω επίπεδο είναι οι σταθμοί εργασίας, η λειτουργική τους τεχνολογία και η εργονομική και η ασφάλεια των εργαζομένων στους ξεχωριστούς τόπους εργασίας. Κάτω από αυτό το επίπεδο βρίσκονται οι τεχνολογικές διαδικασίες, οι οποίες δίνονται από τη σκοπιά του σχεδιασμού εργοστασίων[10].

2.2.1 Τύποι Ικανοτήτων Αλλαγής Εργοστασίου

Αν τα πέντε δομικά επίπεδα συνδυαστούν με τα συνδεδεμένα επίπεδα προϊόντος, αναδύεται ένα πεδίο το οποίο επιτρέπει τον καθορισμό πέντε τύπων ικανότητας αλλαγής [2]. Κάθε τύπος ανωτέρου επιπέδου περιέχει όλους τους τύπους κάτω από αυτόν (εικόνα 6)[10].



Εικόνα 6 Τύποι εργοστασιακής μεταβολής

Ικανότητα μετάβασης καθορίζει την λειτουργική ικανότητα μιας ξεχωριστής μηχανής ή σταθμού εργασίας να εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες σε ένα γνωστό κομμάτι ή υποκομμάτι σε κάθε επιθυμητή στιγμή με ελάχιστη προσπάθεια και καθυστέρηση.

Ικανότητα επαναδιαμόρφωσης περιγράφει την λειτουργική ικανότητα ενός παραγωγικού συστήματος ή συστήματος συναρμολόγησης μεταλλάσσεται ενεργά και με ελάχιστη προσπάθεια και καθυστέρηση σε μία συγκεκριμένη οικογένεια κομματιών ή υποεξαρτημάτων μέσω της προσθήκης ή της αφαίρεσης μοναδικών λειτουργικών στοιχείων.

Ευελιξία αναφέρεται στην τακτική ικανότητα μίας ολόκληρης περιοχής παραγωγής και αλυσίδων εφοδιασμού να μεταλλάσσονται ενεργά και σε σημαντικά λίγο χρόνο και προσπάθεια σε νέες-ωστόσο παρόμοιες-οικογένειες στοιχείων αλλάζοντας παραγωγικές διαδικασίες, ροές υλικών και λειτουργίες εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ικανότητα μετασχηματισμού υποδεικνύει τη τακτική ικανότητα μιας ολόκληρης εργοστασιακής δομής να αλλάζει ενεργά σε μία άλλη οικογένεια προϊόντων. Αυτό απαιτεί δομικές επεμβάσεις στην παραγωγή και στα συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας, στη δομή και στις εγκαταστάσεις των κτιρίων, στη δομή και στις διαδικασίες οργάνωσης, και στην περιοχή του προσωπικού.

Ευκινησία σημαίνει τη στρατηγική ικανότητα μιας ολόκληρης εταιρείας να ανοίγει νέες αγορές, να αναπτύσσει τα απαιτούμενα προϊόντα και υπηρεσίες, και να κατασκευάζει την απαραίτητη ικανότητα παραγωγής.

Για το σχεδιασμό εργοστασίων είναι ουσιαστικό να είναι γνωστό το πλαίσιο και οι συνδέσεις σε όλα τα επίπεδα από το απλό σταθμό εργασίας ως την εγκατάσταση ή τη γενική δομή. Για αυτό, η ικανότητα μετασχηματισμού θα είναι η σκοπιά της παρακάτω θέασης.

2.2.2 Η σημασία της ικανότητας μετασχηματισμού για το μέλλον των βιομηχανιών

Ποια είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από αυτές τις τάσεις αλλαγής; Όπως αναφέρεται σε κάποιες πηγές, «οι παίκτες στη βιομηχανία του σήμερα αντιμετωπίζουν ένα κρίσιμο σημείο καμπής. Ως το έτος 2020, χιλιάδες εργοστάσια αυτοκινήτων θα μεταβληθούν σημαντικά, οι τρόποι που θα κάνουν δουλειές θα μετασχηματιστούν ριζικά. Αποφάσεις που τα ανώτερα στελέχη παίρνουν σήμερα θα καθορίσουν αν και πώς οι εταιρείες θα ευημερήσουν κατά τις επόμενες δύο δεκαετίες.»

Αυτές οι προκλήσεις είναι επίκαιρες και άξιες προς εξερεύνηση, γιατί «κάθε άτομο υπεύθυνο για την παραγωγή γνωρίζει την κατάσταση: οι προβλέψεις πωλήσεων αλλάζουν εβδομαδιαίως, κάτι που δημιουργεί την ανάγκη εναλλακτικών προϊόντων, και για αυτό το προϊόν πρέπει να δημιουργηθεί γρηγορότερα και ταχέως να εισέλθει στην αγορά, αφού οι τιμές πώλησης κυρίως πέφτουν από το να ανεβαίνουν και η προσφορά νέων τεχνολογιών που προσφέρουν υψηλότερη οικονομία σταθερά ανεβαίνει. Η κατάσταση γίνεται πιο δύσκολη επί προσθέτως από τη μετατροπή βασικών νομικών συνθηκών, νέες συλλογικές συμβάσεις εργασίας και μία αυξανόμενη πηγή στην Ανατολική Ευρώπη και στην Ασία.»

Πώς μπορεί ένα εργοστάσιο να αντιδράσει στην πληθώρα αυτών των προκλήσεων μέσω εξατομίκευσης, εκμετάλλευσης πληροφοριών και παγκοσμιοποίησης του

ανταγωνισμού; Τα δοκιμασμένα μέσα επιδέχονται διαρκής βελτίωσης, ο προσανατολισμός στις βασικές ικανότητες, η πτώση της καθετοποίησης μέσω της ποικιλίας, ο εφοδιασμός τμημάτων και συστήματος, όπως επίσης και η συνεργασία στην ανάπτυξη των δικτύων παραγωγής θα είναι τα ζητούμενα. Πρόσφατες έρευνες υπογραμμίζουν το σημείο: μικρές, ευέλικτες και ταχέως μεταβαλλόμενες μονάδες, συνδεδεμένες μέσω παροδικών δικτύων, θα σχηματιστούν το τοπίο παραγωγής στο μέλλον. Η ερώτηση που εγείρεται εδώ είναι αυτή: Είναι τα σημερινά εργοστάσια σε θέση να ευθυγραμμιστούν με τέτοιες στρατηγικές εντός χρόνου; Είναι οι παρελθούσες διαδικασίες σχεδιασμού, σύμφωνα με τις οποίες τα εργοστάσια κάποτε διευθετήθηκαν, ακόμα έγκυρες;

Ο τρόπος με τον οποίο το μανάτζμεντ προετοιμάζεται σήμερα ώστε να ανταποκριθεί σε αυτές τις προκλήσεις θα καθορίσει τη μοίρα περίπου χιλιάδων εργοστασίων ανά τον πλανήτη, αναπαριστώντας μία τεράστια επένδυση σε κτίρια και εξοπλισμό. Τόσο οι κατασκευαστές αυτοί καθεαυτοί και οι χιλιάδες των εταιρειών που τους προμηθεύουν με αγαθά και υπηρεσίες «θα αναγκαστούν να χαρτογραφήσουν μια πολύ προσεκτική πορεία κατά τα επόμενα λίγα έτη γιατί οι επερχόμενες αλλαγές στη βιομηχανία θα απαιτήσουν ακριβή σκέψη πάνω στις στρατηγικές επένδυσης»[5].

Το μανάτζμεντ αντιμετωπίζει τόσο το ερώτημα της χρήσης και επαναχρησιμοποίησης του εξοπλισμού παραγωγής όσο και ολόκληρου του εργοστασίου. Θα ήταν κοντόφθαλμο να σχεδιαστεί ένα εργοστάσιο αυτοκινήτων για μία γενιά αυτοκινήτου, αφού μία γενιά αυτοκινήτου μπορεί να παραχθεί για το πολύ πέντε χρόνια. Τι πρέπει να γίνει με ένα εργοστάσιο το οποίο μπορεί να μετασχηματιστεί στην παραγωγή μιας νέας γενιάς αυτοκινήτου μόνο μέσω της καταστροφής κάποιων κυρίως εργαστηρίων και την επανατοποθέτηση σε αυτά νέου εξοπλισμού; Ένα εργοστάσιο του οποίου ο εξοπλισμός δε μπορεί να επαναδιαμορφωθεί και η δομή του δε μπορεί να μετασχηματιστεί δεν έχει καμία πιθανότητα επιβίωσης. Για αυτό το λόγο στο επίπεδο εξοπλισμού η ικανότητα επαναδιαμόρφωσης είναι ο κύριος όρος.

2.3 Η πρόκληση της επαναδιαμόρφωσης

Η ανάγκη και η τεκμηρίωση για επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής προκύπτει από τις απρόβλεπτες αλλαγές στην αγορά που συμβαίνουν με αυξανόμενο βήμα κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων. Αυτές οι αλλαγές περιλαμβάνουν:

- Αυξανόμενη συχνότητα εισαγωγής νέων προϊόντων στην αγορά
- Αλλαγές σε μέρη/κομμάτια, ήδη υπαρχόντων προϊόντων
- Μεγάλες διακυμάνσεις στη ζήτηση προϊόντων καθώς και στα χαρακτηριστικά τους
- Αλλαγές στη νομοθεσία (ασφάλεια και περιβάλλον)
- Αλλαγές στη τεχνολογία επεξεργασίας

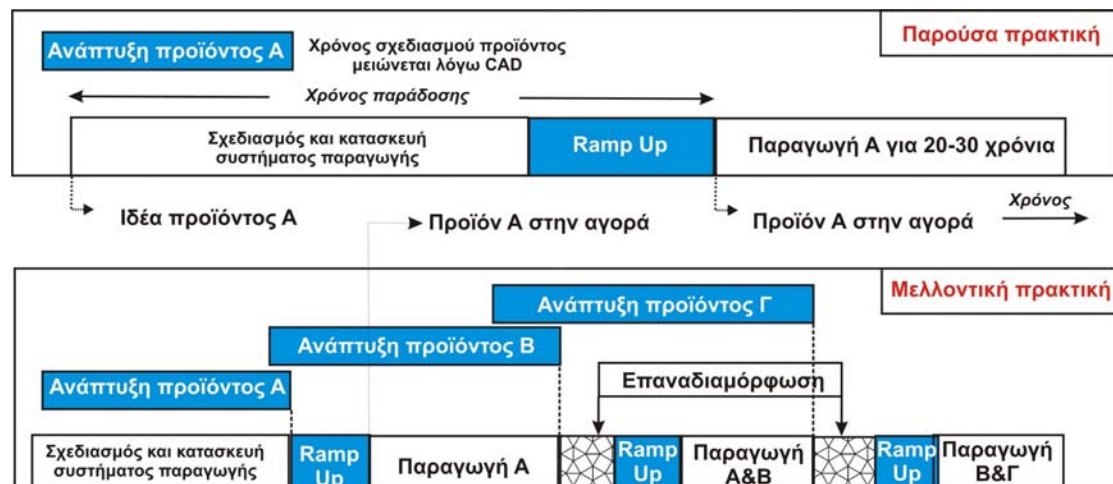
Αυτές οι αλλαγές συνεπικουρούνται από τον έντονο οικονομικό ανταγωνισμό σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς και από τους πλέον πολύ πιο ενημερωμένους καταναλωτές. Έτσι η επιβίωση σε αυτό το νέο βιομηχανικό περιβάλλον απαιτεί οι βιομηχανικές επιχειρήσεις να είναι ικανές να αντιδρούν στις αλλαγές γρήγορα και οικονομικά.

Κατά την εισαγωγή νέων προϊόντων, η σχεδίαση με Η/Υ (computer-aided design) έχει μειώσει δραματικά τους χρόνους για την ανάπτυξή τους κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Ωστόσο τέτοιες μεθοδολογίες σχεδιασμού δεν υφίστανται για το σύστημα παραγωγής αυτό καθαυτό και για αυτό το λόγο ο χρόνος σχεδιασμού του παραμένει αρκετά μεγάλος. Ο χρόνος σχεδιασμού και κατασκευής ή επαναδιαμόρφωσης του συστήματος παραγωγής και λειτουργία του σε πλήρη παραγωγικότητα και ποιότητα έχει γίνει ο ανασχετικός παράγων[6].

Μεγάλες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις μπορούν να εμφανιστούν, μαζί με αξιοσημείωτες χρηματικές οικονομίες, αν ο παραπάνω χρόνος μειωθεί. Ο μειωμένος αυτός χρόνος μπορεί να επιτευχθεί μέσω του γρήγορου σχεδιασμού συστημάτων τα οποία έχουν δημιουργηθεί από τμηματικά κομμάτια ή από επαναδιαμόρφωση ενός ήδη υπάρχοντος συστήματος παραγωγής για την παραγωγή νέων προϊόντων όπως φαίνεται και στην εικόνα 7. Συνεπώς, αυτές οι συνθήκες απαιτούν μια νέα προσέγγιση στην κατασκευή η οποία να επιτρέπει:

1. η παρουσίαση νέων μοντέλων προϊόντων να αναλαμβάνεται πολύ γρήγορα, και την ταχεία διευθέτηση της ικανότητας παραγωγής (capacity) του συστήματος παραγωγής στη ζήτηση της αγοράς.
2. ταχεία ενσωμάτωση των νέων λειτουργιών και των τεχνολογιών επεξεργασίας στα ήδη υπάρχοντα συστήματα, και
3. εύκολη προσαρμογή των ποιοτήτων των προϊόντων για στοχευμένο marketing προς ένα συγκεκριμένο τμήμα της αγοράς (niche marketing).

Τα συστήματα παραγωγής που θα χρησιμοποιηθούν για αυτή τη νέα προσέγγιση πρέπει να σχεδιάζονται γρήγορα, να είναι ικανά να μετατρέπονται γρήγορα για την παραγωγή νέων μοντέλων, να είναι ικανά να ρυθμίζουν την ικανότητα παραγωγής τους γρήγορα, και να είναι ικανά να ενσωματώνουν τεχνολογίες και να παράγουν μια αυξημένη ποικιλία προϊόντων σε μη προβλεπόμενες συνθήκες.

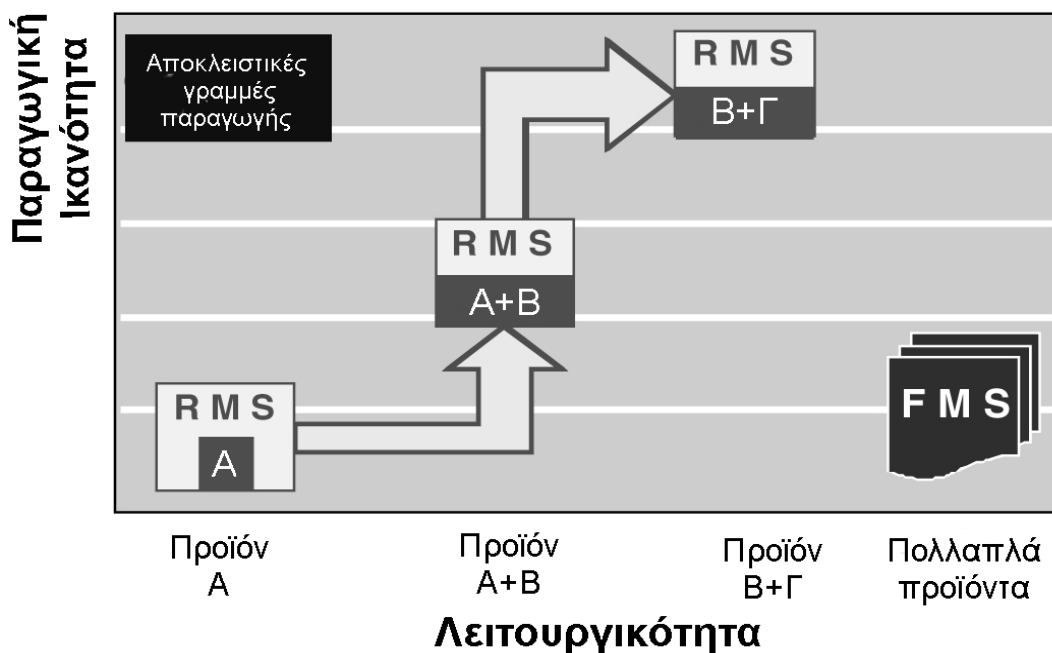


Εικόνα 7 Ενώ ο χρόνος ανάπτυξης προϊόντος μειώθηκε δραματικά με το CAD, τίποτα παρόμοιο δεν έγινε με το σύστημα παραγωγής (πάνω). Αύξηση στη συχνότητα εισαγωγής νέων προϊόντων απαιτεί μείωση του χρόνου σχεδιασμού του συστήματος παραγωγής, και γρήγορη προσαρμογή της παραγωγής νέων προϊόντων μέσω γρήγορης επαναδιαμόρφωσης

2.4 Είδη Συστημάτων Παραγωγής

Στις μέρες μας, οι περισσότερες βιομηχανίες χρησιμοποιούν ένα σύνολο συστημάτων παραγωγής αποκλειστικού σκοπού (dedicated manufacturing systems) και ευέλικτων συστημάτων παραγωγής (flexible manufacturing systems) για την παραγωγή των προϊόντων τους.

- Οι **αποκλειστικές γραμμές παραγωγής** (dedicated manufacturing lines – DML), ή γραμμές μεταφοράς, είναι βασισμένες σε φθηνούς σταθερούς αυτοματισμούς και παράγουν τα **βασικά προϊόντα ή κομμάτια προϊόντων** μιας επιχείρησης σε μεγάλο όγκο (δες εικόνα 8). Κάθε αποκλειστική γραμμή είναι τυπικά σχεδιασμένη ώστε να παράγει ένα μόνο προϊόν σε υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και αυτό επιτυγχάνεται από τη λειτουργία ορισμένων εργαλείων ταυτοχρόνως σε **σταθμούς μηχανικής κατεργασίας**. Όταν η ζήτηση για το προϊόν είναι μεγάλη, το κόστος ανά κομμάτι είναι σχετικά χαμηλό. Οι αποκλειστικές γραμμές παραγωγής είναι οικονομικά συμφέρουσες όσο η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά και μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρη **ικανότητα παραγωγής** (capacity). Αλλά με την αυξανόμενη πίεση από τον παγκόσμιο ανταγωνισμό και την υπερ-ικανότητα παραγωγής (over-capacity) που παρατηρείται παγκοσμίως, ίσως υπάρχουν καταστάσεις στις οποίες οι αποκλειστικές γραμμές δεν λειτουργούν σε πλήρη ικανότητα παραγωγής.



Εικόνα 8 Τόσο τα DML όσο και τα FMS είναι στατικά συστήματα, ενώ ένα RMS είναι δυναμικό, εξελισσόμενο σύστημα

- Τα **ευέλικτα συστήματα παραγωγής** (flexible manufacturing systems-FMS) μπορούν να παράγουν μία ποικιλία προϊόντων σε διαφορετικό όγκο παραγωγής και με διαφορετικά χαρακτηριστικά στο ίδιο σύστημα. Τα FMS αποτελούνται από ακριβές, γενικού σκοπού **μηχανές CNC** (computer numerically controlled) και άλλους προγραμματιζόμενους αυτοματισμούς.

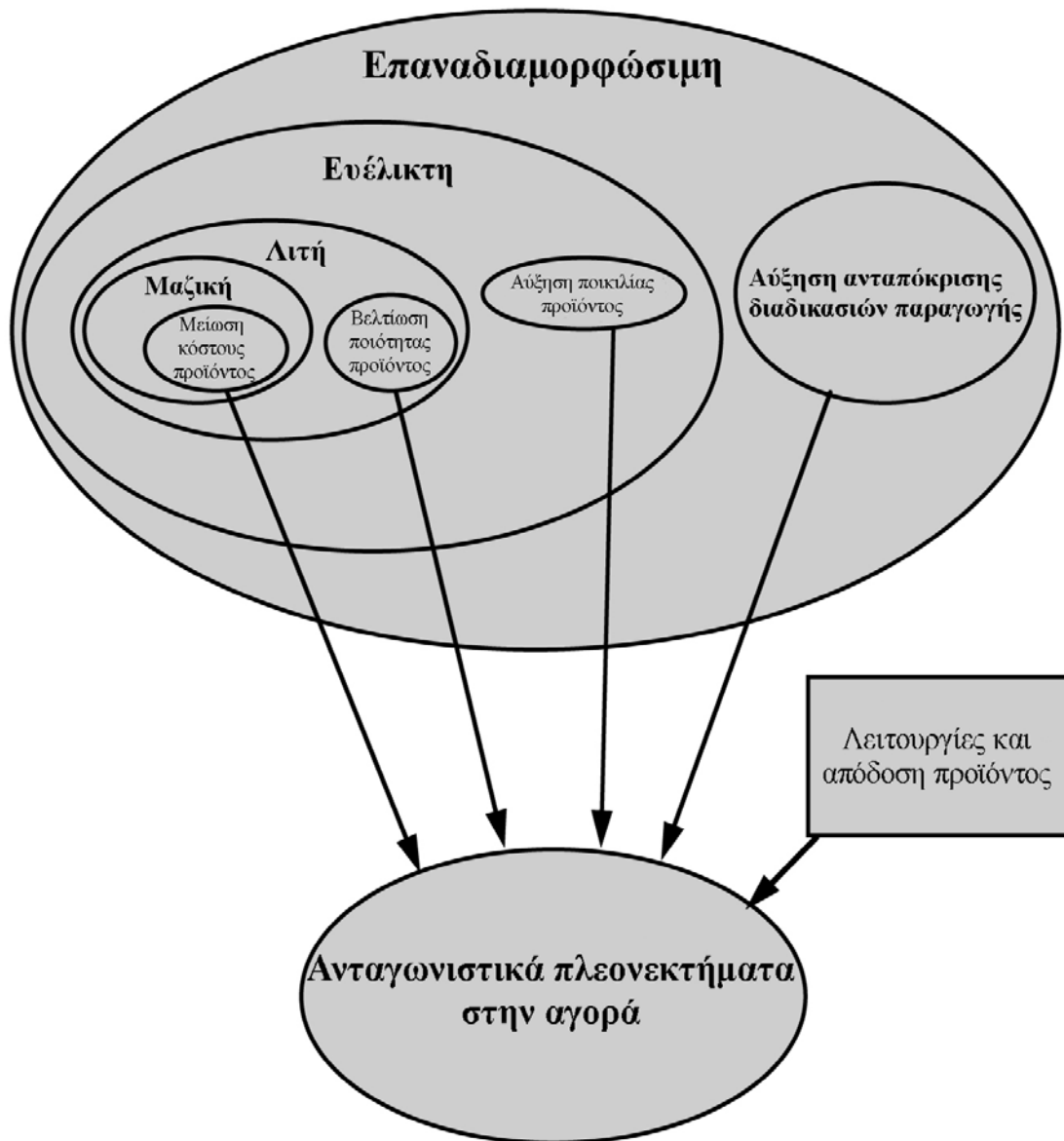
Λόγω της λειτουργίας ενός μοναδικού εργαλείου (single-tool operation) των μηχανών CNC, τα FMS έχουν μικρότερο συνολικό όγκο έργου από τα DML. Ο συνδυασμός του υψηλού κόστους του εξοπλισμού και χαμηλού συνολικού όγκου έργου κάνει το κόστος ανά κομμάτι σχετικά υψηλό. Συνεπώς, η παραγωγική ικανότητα του FMS είναι συνήθως χαμηλότερη από αυτή των αποκλειστικών γραμμών και το αρχικό τους κόστος είναι μεγαλύτερο όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.

- **Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής** (Reconfigurable Manufacturing Systems – RMS) – Ένα νέο είδος συστημάτων. Μία οικονομικά συμφέρουσα απάντηση στις αλλαγές της αγοράς απαιτεί μία νέα προσέγγιση στη βιομηχανική παραγωγή η οποία συνδυάζει όχι μόνο το υψηλό συνολικό έργο των DML με την ευελιξία των FMS, αλλά είναι επίσης ικανή να αντιδρά στις αλλαγές γρήγορα και αποτελεσματικά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω:

1. Σχεδιασμού του συστήματος και των μηχανών παραγωγής του με **ρυθμιζόμενη δομή** η οποία επιτρέπει την **κλιμάκωση-διαβάθμιση του συστήματος**(system scalability) ώστε να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις της αγοράς και την προσαρμογή του συστήματος και των μηχανών στα νέα προϊόντα. Η δομή ενδέχεται να ρυθμίζεται στο επίπεδο του συστήματος (π.χ. προσθέτοντας μηχανές) και στο επίπεδο της μηχανής (αλλάζοντας το υλικό της μηχανής και το λογισμικό ελέγχου της, όπως π.χ. προσθέτοντας ατράκτους ή άξονες, ή αλλάζοντας εργαλεία επεξεργασίας και εισάγοντας εξελιγμένους ολοκληρωμένους ελεγκτές).
2. Σχεδιασμός ενός συστήματος παραγωγής γύρω από μία **οικογένεια κομματιών/ προϊόντων**(part family), με τη **ειδικώς προσαρμοσμένη ευελιξία** η οποία απαιτείται για την παραγωγή όλων των κομματιών της συγκεκριμένης οικογένειας κομματιών-προϊόντων. (Αυτό μειώνει το κόστος του συστήματος.)

Ο πίνακας 1 περιλαμβάνει τα κύρια παραδείγματα κατασκευής και τους ορισμούς και η εικόνα 9 δείχνει τις οικονομικές τους επιδιώξεις. Τα συστήματα μαζικής παραγωγής επικεντρώνονταν στη μείωση του κόστους παραγωγής. Η μέθοδος της λιτής παραγωγής δίνει έμφαση στη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων με παράλληλη μείωση του κόστους παραγωγής(δες εικόνα 9). Τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής κάνουν πιθανή την παραγωγή μιας ποικιλίας προϊόντων (ευελιξία) στο ίδιο σύστημα. Ενώ αυτή είναι μία σημαντική επιδίωξη, αυτά τα συστήματα είχαν περιορισμένη επιτυχία. Για παράδειγμα, τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMSs) που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες: (i) ήταν ακριβά, αφού σε πολλές περιπτώσεις περιείχαν περισσότερες λειτουργίες από αυτές που απαιτούνταν, (ii) χρησιμοποιούσαν ανεπαρκές λογισμικό συστήματος, αφού η ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού για το χρήστη ήταν εξαιρετικά ακριβή, (iii) δεν ήταν αρκετά αξιόπιστα, (iv) ήταν υποκείμενα σε παλαίωση λόγω των προόδων στην τεχνολογία και στο αμετάβλητο του λογισμικού και της δομής του συστήματος. Το υψηλό ρίσκο ένα ευέλικτο σύστημα παραγωγής να απαρχαιωθεί είναι ένα από τα δυσεπίλυτα προβλήματα των κατασκευαστών. Επειδή οι πρόοδοι στους υπολογιστές, στις πληροφορίες, στις μεθόδους επεξεργασίας, στον έλεγχο, στους κινητήρες υψηλής ταχύτητας, στους γραμμικούς οδηγούς, και στα υλικά μερικές φορές συμβαίνουν σε

χρόνο τόσο βραχύ όσο οι έξι μήνες, το πιο αποτελεσματικό σύστημα παραγωγής του σήμερα μπορεί να καταστεί αναποτελεσματικό μέσα σε λίγο χρόνο. Επιπροσθέτως, η παρούσα οδηγούμενη από τον καταναλωτή αγορά και η αυξανόμενη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών θεμάτων οδηγούν σε ακόμα γρηγορότερη εισαγωγή νέων προϊόντων. Αλλά η προσαρμογή των παρόντων συστημάτων στα νέα προϊόντα είναι αργή και η παρουσίαση νέων συστημάτων μπορεί να πάρει αρκετό καιρό (έως δύο χρόνια για ένα σύστημα μηχανικής καταργασίας).



Εικόνα 9 Οικονομικοί στόχοι για διάφορα παραδείγματα παραγωγής

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (μηχανική κατεργασία/ παραγωγή)	ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ
Σύστημα μηχανικής κατεργασίας	<p>Μία ή περισσότερες εργαλειομηχανές αφαίρεσης μετάλλου, και βοηθητικός εξοπλισμός (π.χ. χειρισμός υλικών, έλεγχος, επικοινωνίες) που λειτουργούν με ένα συντονισμένο τρόπο για την παραγωγή κομματιών στον απαιτούμενο όγκο και ποιότητα.</p>
Αποκλειστικά συστήματα μηχανικής κατεργασίας	<p>Ένα σύστημα μηχανικής κατεργασίας σχεδιασμένο για παραγωγή ενός συγκεκριμένου κομματιού και το οποίο χρησιμοποιεί τεχνολογία γραμμής μεταφοράς με σταθερά εργαλεία και αυτοματοποίηση.</p> <p>Ο οικονομικός σκοπός ενός αποκλειστικού συστήματος είναι να παράγει οικονομικά ένα συγκεκριμένο τύπο κομματιού σε μεγάλους όγκους και στην απαιτούμενη ποιότητα.</p>
Ευέλικτα συστήματα παραγωγής	<p>Μία διαμόρφωση συστήματος μηχανικής κατεργασίας με σταθερό υλικό και σταθερό, αλλά προγραμματιζόμενο, λογισμικό ώστε να χειρίζεται αλλαγές στις παραγγελίες, στα προγράμματα παραγωγής, σε κομμάτια προγραμμάτων και στη κατεργασία για ορισμένους τύπους κομματιών.</p> <p>Ο οικονομικός σκοπός ενός FMS είναι να καταστήσει πιθανή την οικονομική παραγωγή ορισμένων τύπων κομματιών, που μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια του χρόνου, σε μικρό χρόνο μετάβασης, στο ίδιο σύστημα στον απαιτούμενο όγκο και ποιότητα.</p> <p>Σημείωση: Μία οικογένεια κομματιών ορίζεται ως ένας ή περισσότεροι τύποι προϊόντων με παρόμοιες διαστάσεις, γεωμετρικά χαρακτηριστικά, και αντοχές, ούτως ώστε να μπορούν να παραχθούν, ή παρόμοιο παραγωγικό εξοπλισμό.</p>

<p style="text-align: center;">Επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής</p>	<p>Ένα σύστημα μηχανικής κατεργασίας που μπορεί να δημιουργηθεί, ενσωματώνοντας σημαντικά τμήματα λειτουργιών –τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό- τα οποία μπορούν να επαναρυθμιστούν ή να αντικατασταθούν γρήγορα και αξιόπιστα. Η επαναδιαμόρφωση θα επιτρέψει την προσθήκη, την αφαίρεση ή τη τροποποίηση συγκεκριμένων ικανοτήτων, ελέγχων, λογισμικού ή δομών μηχανής ώστε να ρυθμίσει την ικανότητα παραγωγής σε απάντηση στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της αγοράς ή τεχνολογίες. Αυτός ο τύπος συστήματος θα παράσχει προσαρμοσμένη ευελιξία για μια οικογένεια κομματιών και θα μπορεί να βελτιώνεται, να αναβαθμίζεται ή να επαναδιαμορφώνεται αντί να αντικαθίσταται.</p> <p>Ο σκοπός ενός RMS είναι να παράσχει τη λειτουργικότητα και την παραγωγική ικανότητα που απαιτείται, όταν απαιτείται. Έτσι μια δεδομένη διαμόρφωση ενός RMS μπορεί να είναι αποκλειστική ή ευέλικτη, ή μεταξύ των δύο, και μπορεί να αλλάξει όπως απαιτείται. Ένα RMS πηγαίνει πέρα από τους οικονομικούς σκοπούς ενός FMS επιτρέποντας:</p> <p>(1) τη μείωση του χρόνου παράδοσης για την εισαγωγή νέων συστημάτων και την επαναδιαμόρφωση ήδη υπάρχοντων συστημάτων και (2) τη γρήγορη τροποποίηση της παραγωγής και τη γρήγορη ενοποίηση νέων τεχνολογιών και/ ή νέων λειτουργιών σε ήδη υπάρχοντα συστήματα.</p>
---	---

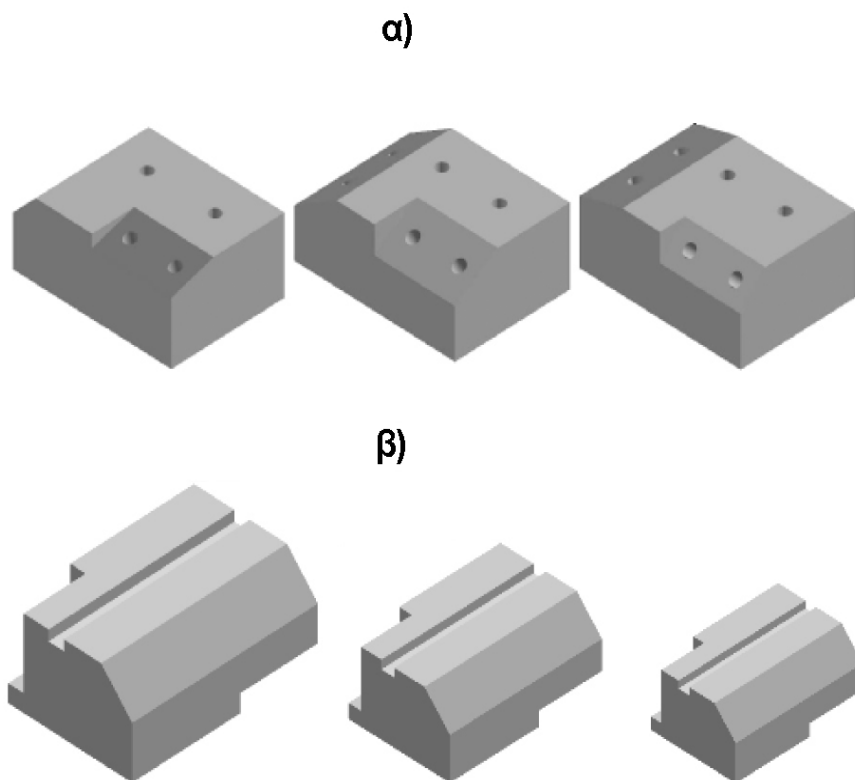
Πίνακας 1 Σύνοψη ορισμών και σκοπών

Για να επιληφθούν των αναφερθέντων περιορισμών, τα συστήματα παραγωγής του μέλλοντος πρέπει να πετύχουν τις παρακάτω επιδιώξεις, οι οποίες πηγαίνουν παραπέρα από τη μαζική, τη λιτή και την ευέλικτη κατασκευή:

1. Μείωση του χρόνου παράδοσης (περιλαμβανομένου του χρόνου ramp-up – η έννοια του χρόνου ramp-up περιγράφεται παρακάτω) για την εισαγωγή νέων παραγωγικών συστημάτων και επαναδιαμόρφωση των ήδη υπάρχοντων
2. Ταχεία αναβάθμιση και γρήγορη ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών επεξεργασίας και της νέας λειτουργικότητας στα ήδη υπάρχοντα συστήματα.

2.4.1 Η έννοια της οικογένειας κομματιών

Το RMS ως μία κατηγορία συστήματος παραγωγής γεμίζει το κενό ανάμεσα στο μοναδικό προϊόν, στα συστήματα υψηλού όγκου και στα πολλαπλών προϊόντων, χαμηλού όγκου, τύπου παρτίδας συστήματα. Για μία στοχευμένη οικογένεια κομματιών, ένα RMS θα είναι ικανό να παράγει παρτίδες σε υψηλούς ρυθμούς παραγωγής. Αυτοί οι υψηλοί ρυθμοί παραγωγής είναι δυνατοί γιατί ένα RMS χρησιμοποιεί υψηλώς προσαρμοσμένες, αποτελεσματικές μηχανές παρόμοιες με αυτές που βρίσκονται στα DMLs. Η παραγωγή σε παρτίδες είναι δυνατή λόγω της ικανότητας γρήγορης μετατροπής των γραμμών ανάμεσα σε προϊόντα της οικογένειας, μία ικανότητα που απουσιάζει από τα παραδοσιακά DMLs. Για να συνδυαστούν αυτά τα φαινομενικά αντιφατικά χαρακτηριστικά, ένα RMS πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις μηχανικής κατεργασίας μίας οικογένειας κομματιών. Η εικόνα 10 δείχνει ένα παράδειγμα μιας τυπικής οικογένειας κομματιών [7].

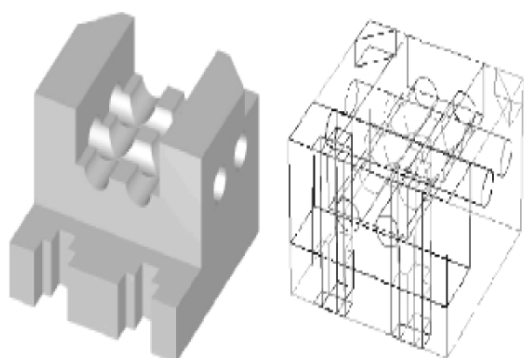


Εικόνα 10 Παραδείγματα οικογενειών κομματιών για RMS: α) κομμάτια με το ίδιο μέγεθος, αλλά με διαφορετικό σύνολο χαρακτηριστικών, β) κομμάτια με διαφορετικά μεγέθη, αλλά με ίδιο σύνολο χαρακτηριστικών

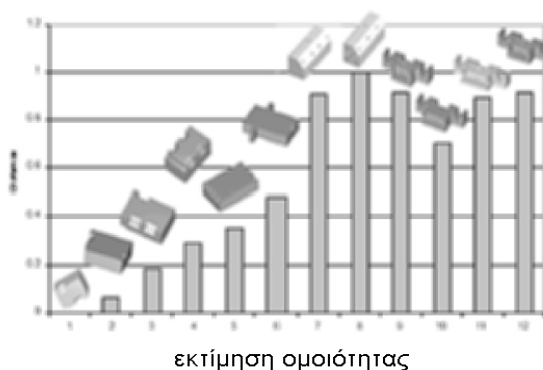
Ο σχηματισμός της οικογένειας κομματιών είναι ένα θέμα κλειδί. Είναι αληθές ότι ένα σύστημα μηχανικής κατεργασίας μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνεται αρκετά στις απαιτήσεις οποιασδήποτε οικογένειας κομματιών. Ωστόσο, το προκύπτον σύστημα μπορεί να είναι τόσο κοστοβόρο ώστε να μην είναι μία οικονομικά βιώσιμη λύση. Έτσι η διαδικασία του σχηματισμού της οικογένειας προϊόντων πρέπει να είναι μία που να βασίζεται σε εκ βάθρων κατανόηση των απαιτήσεων μηχανικής κατεργασίας του κάθε υποψήφιου κομματιού. Μόνο αυτό θα επιτρέψει μία ανάλυση που καθορίζει αν οι ομοιότητες που υφίστανται είναι ικανές

να οδηγήσουν σε οικονομίες στο σχεδιασμό του συστήματος που ξεπερνούν κατά πολύ σε μέγεθος τα κόστη των μεμονωμένων προσαρμογών που απαιτούνται ώστε να υλοποιηθούν οι ξεχωριστές απαιτήσεις μηχανικής κατεργασίας του κάθε κομματιού. Ο σχεδιασμός του συστήματος και διαδικασία της οικογένειας κομματιών είναι εκ των πραγμάτων σε στενή σχέση μεταξύ τους.

Η δημιουργία των οικογενειών προϊόντων είναι μία προσέγγιση που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού διαδικασιών παραλλαγών (variant process planning) (βασισμένη στη Τεχνολογία Ομάδων – Group Technology) με τεχνικές μετρήσεως ομοιότητας (βασισμένη στην παραγωγή στους πυρήνες κατεργασίας – cellular manufacturing). Μέσα σε αυτό το πλαίσιο [8] η διαθέσιμη διεπαφή χρήστη επιτρέπει την επιλογή κομματιών, χαρακτηριστικών μηχανικής κατεργασίας και τεχνικής σύγκρισης. Στο επόμενο βήμα πραγματοποιείται η αυτόματη εξαγωγή των επιλεγόμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών μηχανικής κατεργασίας από μοντέλα CAD των επιλεγμένων κομματιών. Η εικόνα 11 δείχνει ένα παράδειγμα της διαδικασίας εξαγωγής χαρακτηριστικών. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών επιτρέπει την περαιτέρω ανάλυση, όπως τη σύγκριση του τύπου χαρακτηριστικού, την κατανομή και τον προσανατολισμό (εικόνα 12)[7].



Εικόνα 11 Αποτέλεσμα της διαδικασίας εξαγωγής χαρακτηριστικών



Εικόνα 12 Αποτέλεσμα της ανάλυσης ομοιότητας κομματιού

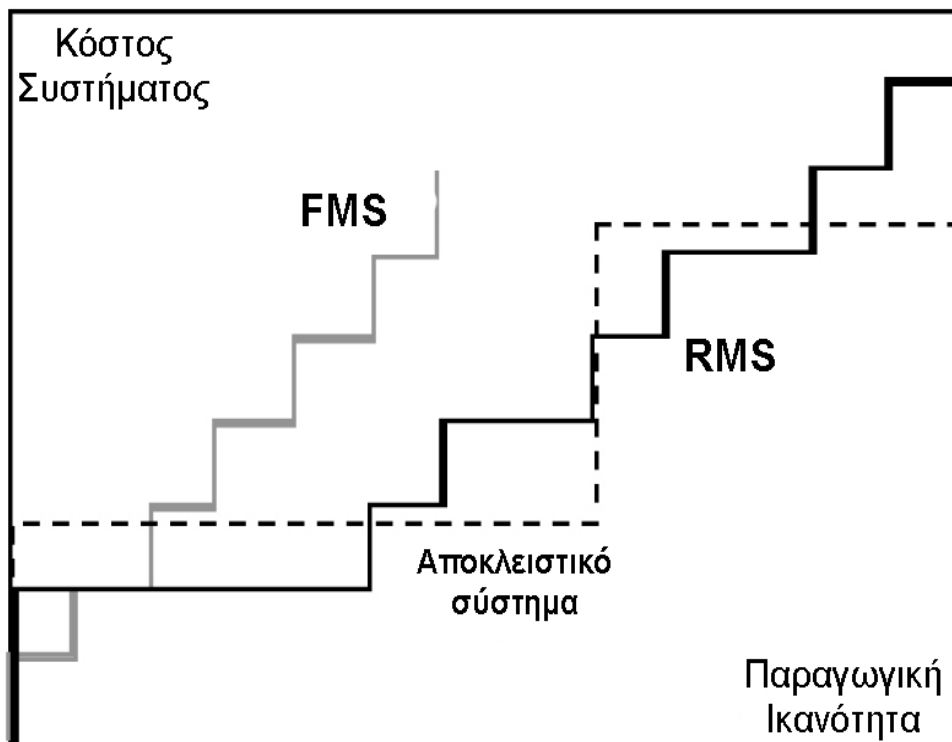
Όταν η οικογένεια κομματιών έχει καθοριστεί, ο σχεδιασμός των διαδικασιών μπορεί να εκτελέσει χαρτογράφηση των εισαγόμενων κομματιών και των κομματιών προς κατεργασία σε λειτουργίες μηχανικής κατεργασίας που υλοποιούνται σε δεδομένες μηχανές. Στο πλαίσιο των RMS, αυτή η ενέργεια βρίσκεται στο τομέα του Σχεδιασμού Διαδικασιών Επιπέδου Συστήματος [9] η οποία πρέπει να εκτελέσει τις ακόλουθες εργασίες:

- Κατανόηση του κομματιού
- Λειτουργίες μηχανικής κατεργασίας, παράμετροι και επιλογή εργαλείων
- Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων για Επιλογή Μηχανών

2.4.2 Σύγκριση Παραγωγικών Συστημάτων

Τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής μετά δυσκολίας μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που επιτάσσει το νέο, ανταγωνιστικό παγκόσμιο περιβάλλον. Οι αποκλειστικές γραμμές παραγωγής όπως έχουμε περιγράψει, είναι βασισμένες σε φθινό προσχεδιασμένο(σταθερό) αυτοματισμό και παράγουν τα βασικά προϊόντα μιας εταιρίας ή κομμάτια προϊόντων σε μεγάλο όγκο και για πολύ καιρό(εικόνα 8). Έτσι, η ικανότητα παραγωγής των FMS είναι συνήθως χαμηλότερη από αυτή των αποκλειστικών γραμμών και το αρχικό κόστος είναι μεγαλύτερο όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 9. Ενώ τα DML και τα FMS είναι περιορισμένα στην ικανότητα παραγωγής και στη λειτουργικότητα, η ικανότητα παραγωγής και η λειτουργικότητα των RMS αλλάζει με την πάροδο του χρόνου όσο το σύστημα αντιδρά στις εναλλασσόμενες συνθήκες της αγοράς.

Η εικόνα 8 δεν εκφράζει την απώλεια κεφαλαίου που σχετίζεται με την αλλαγή της ικανότητας παραγωγής ή της λειτουργικότητας του συστήματος. Η εικόνα 13 παρουσιάζει το κόστος του συστήματος προς την ικανότητα παραγωγής για τα DML, FMS και RMS.



Εικόνα 13 Κόστος προς ικανότητα παραγωγής συστήματος παραγωγής

Τα DML έχουν ένα σταθερό κόστος κεφαλαίου μέχρι τη μέγιστη σχεδιασμένη ικανότητα παραγωγής, και έπειτα πρέπει μία ακριβή νέα γραμμή να προστεθεί. Αυτή η νέα γραμμή διπλασιάζει την ικανότητα παραγωγής, η οποία μερικές φορές δεν είναι απαιτούμενη, και έτσι είναι μία αμφιλεγόμενη προσθήκη. Τα FMS είναι διαβαθμισμένα σε ένα σταθερό ρυθμό ικανότητας παραγωγής μικρών αυξήσεων

κόστους που εκφράζει την προσθήκη περισσότερων μηχανών παράλληλα. Τα RMS είναι διαβαθμισμένα, αλλά σε μη σταθερό ρυθμό ικανότητας παραγωγής ο οποίος εξαρτάται από τον αρχικό σχεδιασμό των RMS και των αλλαγών στις συνθήκες της αγοράς.

Το συμπέρασμα είναι ότι οι αποκλειστικές γραμμές παράγουν πάντα το λιγότερο 75% από τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής τους, είναι η πιο οικονομική λύση αλλά αν το προϊόν αλλάξει δε μπορούν να ληφθούν υπόψη. Εάν μόνο μικρές ποσότητες απαιτούνται, τότε ένα παράλληλο FMS είναι το πιο οικονομικό. Εάν μεγαλύτερες ποσότητες απαιτούνται και η αβεβαιότητα της αγοράς είναι μεγάλη, τότε τα RMS είναι η πιο οικονομική λύση.

Το υψηλό κόστος των FMS είναι ένας από τους κύριους λόγους για το χαμηλό επίπεδο αποδοχής ή ικανοποίησης με τα FMS. Γιατί τα FMS είναι ακριβά; Σε αντίθεση με τους σταθμούς DML, τα CNC μηχανήματα δεν είναι σχεδιασμένα γύρω από το κομμάτι-προϊόν ούτε γύρω από την οικογένεια κομματιών – προϊόντων. Κατά μείζονα λόγο, οι CNC γενικού σκοπού είναι χτισμένες γύρω από ένα σταθερό φάσμα λειτουργιών, σχεδιασμένα πριν ο παραγωγός καθορίσει το προϊόν που επιθυμεί να παράγει. Μόνο όταν οι συνήθειες CNC επιλέγονταν να σχηματίσουν ένα σύστημα, ο σχεδιασμός διαδικασιών αναλάμβανε να προσαρμόσει τις μηχανές και τη διαδικασία στο κομμάτι. Αφού, οι κατασκευαστές της μηχανής δε γνωρίζουν τη συγκεκριμένη χρήση που η μηχανή θα εκτελέσει όταν σχεδιάζουν τις μηχανές, τα ευέλικτα συστήματα και οι μηχανές τους κατασκευάζονται με όλη τη δυνατή λειτουργικότητα. Η όλη λειτουργικότητα είναι συχνά υπο-χρησιμοποιημένη και συνιστά κατασπατάληση κεφαλαίου. Είναι κοινή υπόθεση ότι τα FMS πρέπει να είναι ικανά να παράγουν (1) κάθε κομμάτι (μέσα στις δυνατότητες της μηχανής), (2) σε κάθε συνδυασμό κομματιών, (3) και σε κάθε ακολουθία. Αυτή η προσέγγιση αυξάνει το κόστος αφού απαιτεί μία δομή παραλλήλου συστήματος για τα FMS η οποία χρησιμοποιεί υψηλή ενέργεια, CNC 5 αξόνων γενικού σκοπού με ένα πολύ μεγάλο απόθεμα εργαλείων και πολλαπλές ομάδες εργαλείων-μία πολύ ακριβή λύση[10].

Ένα τυπικό RMS ίσως περιέχει μία διάταξη ευέλικτου εξοπλισμού, όπως μηχανές CNC, και ειδικό επαναδιαμορφώσιμο εξοπλισμό – εργαλειομηχανές, ρομπότ, και μηχανές επιθεώρησης κατά τη διαδικασία. Τα RMS μπορεί να έχουν δύο επίπεδα επαναδιαμόρφωσης : (1) Στη διεύθυνση και στις συνδέσεις των μηχανών στο επίπεδο του συστήματος, και (2) σε μερικές από τις μηχανές του συστήματος που είναι επαναδιαμορφώσιμες.

Όπως συνοψίζεται στον πίνακα 2, χτίζοντας ένα σύστημα με ρυθμιζόμενη δομή, ικανότητα διαβάθμισης επικεντρωμένη σε μία οικογένεια κομματιών δημιουργεί ένα επαναδιαμορφώσιμο σύστημα άμεσης ανταπόκρισης. Υψηλά παραγωγικά, οικονομικά συστήματα είναι δημιουργημένα από (1) επικέντρωση σε οικογένεια κομματιών και (2) προσαρμοσμένη ευελιξία που επιτρέπει τη ταυτόχρονη λειτουργία εργαλείων (παρόμοια με τις αποκλειστικές μηχανές). Η ευελιξία του RMS, ενώ είναι όντως «προσαρμοσμένη ευελιξία», παρέχει όλη την ευελιξία που απαιτείται για την επεξεργασία της οικογένειας κομματιών, και έτσι είναι λιγότερο ακριβή από τη γενική ευελιξία των FMS.

	Χρόνος Επαναδια- μόρφωσης	Παραγωγικότητα	Κόστος κύκλου ζωής
Τμηματοποίηση Τα στοιχεία είναι τμηματικά	•		
Ικανότητα ολοκλήρωσης Διεπαφές για γρήγορη ολοκλήρωση	•		•
Ικανότητα προσαρμογής Ευελιξία περιορισμένη στην οικογένεια κομματιού		•	•
Ικανότητα κλιμάκωσης Για αλλαγή στην παραγωγική ικανότητα		•	•
Ικανότητα μετατροπής Για αλλαγή της λειτουργικότητας	•	•	•
Ικανότητα διάγνωσης Σχεδιασμένα για διαγνωστικές	•	•	•

Πίνακας 2 Τα χαρακτηριστικά του RMS υποστηρίζουν την παραγωγικότητα και το κόστος του συστήματος

Συνοψίζοντας, τα RMS ασπάζονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά των DML και FMS συστημάτων. Για παράδειγμα, δανειζόμενα από τις αποκλειστικές γραμμές το ότι είναι σχεδιασμένες γύρω από ένα μοναδικό κομμάτι/ προϊόν, τα RMS επικεντρώνονται σε οικογένειες κομματιών, σε κεφαλές κυλίνδρων για παράδειγμα. Μεταξύ 4, 6 και 8 μοντέλα κυλίνδρων υπάρχουν πολλές διαφορές, αλλά επίσης έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Η επικέντρωση στην οικογένεια κομματιών επιτρέπει στο σχεδιαστή να σχεδιάσει ένα σύστημα και να στεγάσει διαφορετικές διακυμάνσεις της ίδιας οικογένειας προϊόντων με ένα ελάχιστο μεταβολών στο σχήμα παραγωγής. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί την υψηλή παραγωγικότητα του σχεδιασμού μηχανών DML και είναι πολύ πιο οικονομική από τη γενική λειτουργικότητα των FMS.

2.5 Ορισμός Επαναδιαμορφώσιμου Συστήματος Παραγωγής

Ένα Επαναδιαμορφώσιμο Σύστημα Παραγωγής είναι εξ αρχής σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να αλλάζει ταχέως τη δομή του, τόσο τα μηχανικά μέρη όσο και το κομμάτι του λογισμικού, ούτως ώστε να προσαρμόζεται γρήγορα στην ικανότητα παραγωγής όσο και στην λειτουργικότητα μέσα σε μία οικογένεια προϊόντων/ κομματιών σε απάντηση στις ξαφνικές αλλαγές στην αγορά ή νομοθετικές απαιτήσεις.

Στο πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης, ένας ορισμός αναπτύχθηκε με σκοπό να συγκρίνει τις απαιτήσεις των παραγωγών και των χρηστών. Λέει τα ακόλουθα:

Η επαναδιαμόρφωση ενός συστήματος απορρέει από τη διαμόρφωση του συστήματος. Η διαμόρφωση συνδέεται με το σχεδιασμό, την επιλογή και τη σύνθεση των τμημάτων από ένα τμηματικό σύνολο κατασκευής, βάση των διευκρινίσεων και των απαιτήσεων του χρήστη. Οι επαναδιαμορφώσεις είναι μετέπειτα μετατροπές και τροποποιήσεις της

δομής, της λειτουργικότητας, της ικανότητας παραγωγής και της τεχνολογίας αντικαθιστώντας, συμπληρώνοντας και αφαιρώντας διακριτά, αυτόνομα λειτουργικά συστατικά στοιχεία. [11]

Ένας άλλος ορισμός ενός επαναδιαμορφώσιμου συστήματος παραγωγής που περιέχει την ουσία των παραπάνω αρχών είναι:

Ένα επαναδιαμορφώσιμο σύστημα παραγωγής είναι ένα σύστημα σχεδιασμένο από την αρχή για ταχεία αλλαγή στη δομή του, όπως επίσης και στα συστατικά στοιχεία υλικού και λογισμικού του (hardware and software), με σκοπό τη γρήγορη ρύθμιση της ικανότητας και της λειτουργικότητας της παραγωγής όσον αφορά μία οικογένεια κομματιών.[10]

Εάν το σύστημα και οι μηχανές του δεν είναι σχεδιασμένα από την αρχή προς επαναδιαμόρφωση, η διαδικασία της επαναδιαμόρφωσης θα αποβεί μακροχρόνια και κοστοβόρα, και ως εκ τούτου μη πρακτική.

2.6 Ramp-up συστήματος

Η μείωση του ramp-up χρόνου είναι ένας πολύ κρίσιμος παράγοντας για την άμεση ανταπόκριση στις ευκαιρίες για νέα προϊόντα όπως επίσης για την κλιμάκωση του συστήματος ώστε να αντεπεξέλθει στις αλλαγές της ζήτησης. Η περίοδος ramp-up ορίζεται ως εξής:

Η χρονική περίοδος που παίρνει σ'ένα νεοτοποθετημένο ή επαναδιαμορφωμένο σύστημα παραγωγής να φτάσει βιώσιμα μακροπρόθεσμα επίπεδα παραγωγής σε όρους συνολικού παραγόμενου προϊόντος και ποιότητας κομματιού/ προϊόντος, λαμβάνοντας υπόψη και τον αντίκτυπο του εξοπλισμού και της ανθρώπινης εργασίας στην παραγωγικότητα.

Από τότε που το παράδειγμα των RMS απαιτεί μεγάλη συχνότητα στις αλλαγές του συστήματος ώστε να προσαρμοστεί στη παραγωγή νέων προϊόντων, το γρήγορο ramp-up ενός συστήματος παραγωγής μετά την εγκατάστασή του και κυρίως μετά την επαναδιαμόρφωσή του είναι ουσιώδες για την επιτυχία των RMS. Συστηματικές μεθοδολογίες για ενδελεχή ανάλυση αιτιών (root-cause analysis) των προβλημάτων ποιότητας των κομματιών συνδυασμένες με γρήγορες μεθόδους για την on-line επιθεώρηση κομματιών είναι παράγοντες κλειδιά για ταχύ ramp-up.

Η επίτευξη του στόχου για μείωση του χρόνου ramp-up απαιτεί διαγνωστικές και ramp-up μεθοδολογίες, τόσο στο επίπεδο του συστήματος όσο και στο επίπεδο της μηχανής. Όσο τα συστήματα παραγωγής γίνονται όλο και πιο επαναδιαμορφώσιμα, και η λειτουργικότητά τους και η διάταξή τους μετατρέπονται και εξελίσσονται συχνότερα (δες εικόνα 7), καθίσταται ουσιώδης η γρήγορη ρύθμιση του νεοδιαμορφωμένου συστήματος ώστε να παράγει κομμάτια/ προϊόντα ποιότητας. Αν το ramp-up δε γίνει γρήγορα, το πλεονέκτημα της επαναδιαμόρφωσης χάνεται.

Η αιτία για να παραχθούν σκάρτα προϊόντα/ κομμάτια ποιότητας μετά την επαναδιαμόρφωση είναι ότι οι επαναδιαμορφώσιμες μηχανές είναι κυρίως

σχεδιασμένες στη βάση τμηματοποιημένων συστημάτων όπου κάθε ένα από τα ξεχωριστά τμήματα έχει τη δικιά του διεπαφή. Έτσι είναι επιβεβλημένο να επιτελεσθούν διαγνωστικές του επαναδιαμορφώσιμου συστήματος μετά τη συναρμολόγηση, και να επιτελεσθεί η επακόλουθη μέτρηση των αποτυχιών και επανόρθωση του συστήματος. Ως επακόλουθο λοιπόν, τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται με συστήματα μέτρησης ποιότητας προϊόντος (product quality measurement systems) ως αναπόσπαστο τμήμα.

2.7 Τεχνολογίες που καθιστούν ικανή την επαναδιαμόρφωση

Στα μηχανικά μέρη της μηχανής, τα τμηματικά εργαλεία στοχεύουν στο να δώσουν στους πελάτες περισσότερες επιλογές κατά την επεξεργασία.

Τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται από την αρχή χρησιμοποιώντας τμήματα υλικού και λογισμικού τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν γρήγορα και αξιόπιστα. Αλλιώς, η διαδικασία επαναδιαμόρφωσης θα αποβεί τόσο μακροχρόνια όσο και μη πρακτική. Η επίτευξη αυτού του σχεδιαστικού στόχου απαιτεί ένα RMS το οποίο κατέχει ορισμένα χαρακτηριστικά-κλειδιά: τμηματοποίηση, ικανότητα ολοκλήρωσης, ικανότητα προσαρμογής, ικανότητα διαβάθμισης-κλιμάκωσης, ικανότητα μετατροπής και ικανότητα διάγνωσης. Αυτά τα χαρακτηριστικά εφαρμόζονται στο σχεδιασμό ολόκληρων παραγωγικών συστημάτων, όπως επίσης και μηχανών, στους ελεγκτές τους, και στο λογισμικό ελέγχου τους. Μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στους ανθρώπινους πόρους και τελικά στην επιχείρηση ως όλον. Αναλύουμε παρακάτω αυτά τα χαρακτηριστικά-κλειδιά[10].

1. **Τμηματοποίηση (modularity)**. Σε ένα επαναδιαμορφώσιμο παραγωγικό σύστημα, όλα τα βασικά συστατικά στοιχεία είναι τμηματικά (π.χ. δομικά στοιχεία, άξονες, ελεγκτές, λογισμικό και εργαλεία). Όταν είναι απαραίτητο, τα τμηματικά συστατικά στοιχεία, μπορούν να αντικατασταθούν ή να αναβαθμιστούν για να εφαρμόζουν καλύτερα στις νέες απαιτήσεις. Τα τμήματα είναι ευκολότερο να συντηρηθούν και να αναβαθμιστούν από ολόκληρο το σύστημα, και έτσι μειώνουν τα κόστη κύκλου ζωής στα υπάρχοντα συστήματα [11]. Νέοι αλγόριθμοι επανόρθωσης και βαθμονόμησης μπορούν αμέσως να ενσωματωθούν στον ελεγκτή της μηχανής, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα σύστημα το οποίο συνεχώς εξελίσσεται για μεγαλύτερη ακρίβεια. Η επιλογή βασικών τμημάτων, και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται, πρέπει να επιτρέπει τη δημιουργία συστημάτων τα οποία μπορούν ευκόλως να ενσωματώνουν, να κάνουν διάγνωση, να προσαρμόζονται και να μετατρέπονται.
2. **Ικανότητα ολοκλήρωσης (integrability)**. Τα μηχανικά μέρη όπως και το λογισμικό πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιες διεπαφές οι οποίες να επιτρέπουν να ολοκληρωσή τους σε ένα σύστημα. Η απόδοση αυτού του ολοκληρωμένου συστήματος προβλέπεται βάση της δοσμένης απόδοσης των κομματιών που αποτελείται και των μηχανικών όσο και των λογισμικών μερών. Στην πράξη, ενώ υπάρχουν εκατοντάδες κατασκευαστές εργαλειομηχανών στον κόσμο, μόνο μία ντουζίνα από αυτούς είναι ικανοί να

προμηθεύουν πλήρως ενοποιημένα-ολοκληρωμένα ευέλικτα συστήματα μηχανοποίησης για υψηλού όγκου παραγωγή (άνω των 200000 κομματιών ετησίως). Ο λόγος είναι η έλλειψη μεθοδολογιών ενοποίησης συστημάτων. Προς επικουρία στο σχεδιασμό επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων, ένα σύνολο διαμορφώσεων συστημάτων και κανόνων ενοποίησης-ολοκλήρωσης πρέπει να εγκαθιδρυθεί. Τέτοιοι κανόνες αναπτύχθηκαν για την επαναδιαμορφώσιμη υπολογιστική (configurable computing) [12]. Σε αυτό το τομέα μηχανοποίησης αυτοί οι κανόνες πρέπει να επιτρέπουν στους σχεδιαστές να συσχετίζουν πυρήνες χαρακτηριστικών κομματιών και τις αντίστοιχες λειτουργίες μηχανοποίησης σε τμήματα μηχανών, επιτρέποντας ολοκλήρωση προϊόντος-διαδικασίας. Επί προσθέτως, ελεγκτές μηχανής και μονάδες επεξεργασίας πρέπει να σχεδιάζονται για ενσωμάτωση σε ένα σύστημα.

3. **Ικανότητα Προσαρμογής.** Αυτό το χαρακτηριστικό έχει δύο διαστάσεις: προσαρμοσμένη ευελιξία και προσαρμοσμένος έλεγχος. Προσαρμοσμένη ευελιξία σημαίνει ότι οι μηχανές είναι κατασκευασμένες γύρω από οικογένειες κομματιών-προϊόντων τα οποία παράγονται από αυτές και παρέχουν μονάχα την ευελιξία που απαιτείται για αυτά τα συγκεκριμένα κομμάτια-προϊόντα. Κατά αυτό το τρόπο μειώνεται το κόστος. Ο προσαρμοσμένος έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω ολοκλήρωσης των κομματιών ελέγχου και με τη βοήθεια της ανοιχτής αρχιτεκτονικής λογισμικού, παρέχοντας τις ακριβείς λειτουργίες ελέγχου που απαιτούνται. Αυτό το χαρακτηριστικό διακρίνει δραστικά ένα RMS από ένα FMS και ένα DML, και επιτρέπει μείωση στο κόστος συστήματος και μηχανής. Επιτρέπει το σχεδιασμό ενός συστήματος για την παραγωγή μιας οικογένειας κομματιών, παρά ενός μόνο κομματιού (όπως παράγεται στα DML) ή κάθε κομματιού (FMS). «Οικογένεια κομματιών» σημαίνει, για παράδειγμα, ορισμένους τύπους μπλοκ κινητήρων ή ορισμένους τύπος μικροεπεξεργαστών, ή όλοι οι τύποι των Boeing 747. Σε αυτό το πλαίσιο των RMS, μία οικογένεια κομματιών ορίζεται ως όλα τα κομμάτια (ή προϊόντα) τα οποία έχουν παρόμοια γεωμετρικά χαρακτηριστικά και σχήματα, το ίδιο επίπεδο αντοχής, απαιτούν τις ίδιες διαδικασίες επεξεργασίας και είναι μέσα στο ίδιο εύρος κόστους. Ο ορισμός της οικογένειας κομματιών πρέπει να διασφαλίζει ότι οι περισσότεροι πόροι ενός παραγωγικού συστήματος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κάθε κομματιού μέλους. Η προσαρμοσμένη ευελιξία σημαίνει ότι τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της οικογένειας κομματιών τα οποία κατασκευάζονται θα καθορίζουν τη γενική διαμόρφωση των μηχανών και του συστήματος. Επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών εργαλείων (π.χ. άτρακτοι στη μηχανική κατεργασία ή μπεκ – ακροφύσιο στο ψεκασμό του καλουπιού) στο ίδιο μηχάνημα, επιτρέποντας έτσι την αύξηση της παραγωγικότητας με μειωμένο κόστος χωρίς το συμβιβασμό στην ευελιξία. Ο προσαρμοσμένος έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω ενσωματωμένων τμημάτων ελέγχου (π.χ. μοντέλα διαδικασιών ανεπτυγμένα από το χρήστη, ειδικοί αλγόριθμοι επανόρθωσης, διαγνωστικές που ταιριάζουν στο τύπο του συστήματος, διακριτός έλεγχος συμβάντων, και ταυτόχρονος έλεγχος πολλαπλών ατράκτων) σε γενικές πλατφόρμες ελέγχου. Τα πλεονεκτήματα τέτοιων προσαρμογών είναι η βελτιωμένη παραγωγικότητα, ακρίβεια, χρόνος διάθεσης στην αγορά και χρόνος ζωής μηχανής.

Το χαρακτηριστικό της προσαρμογής, ή της προσαρμοσμένης ευελιξίας παρέχει ουσιαστικά οικονομικά πλεονεκτήματα ενισχύοντας την παραγωγικότητα με μικρό κόστος. Οι αποκλειστικές γραμμές είναι προσαρμοσμένες γραμμές υλικού χτισμένες με ακριβώς τη λειτουργικότητα που απαιτείται για την παραγωγή ενός προϊόντος. Ως εκ τούτου, μπορούν να αποκτήσουν πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας πολλαπλά εργαλεία-εργαλεία τα οποία κόβουν και τρυπάν ταυτοχρόνως, και έτσι να αποκτήσουν υψηλή παραγωγικότητα. Από τη άλλη μεριά, οι μηχανές CNC, οι οποίες είναι ο ακρογωνιαίος λίθος των FMS, είναι σχεδιασμένες ως πολύ-αξονικές, γενικού σκοπού που χρησιμοποιούν ένα μόνο εργαλείο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις ώστε να επιτρέψουν γενική ευελιξία. Ωστόσο, όχι όλοι αυτοί οι άξονες κίνησης και ικανότητες χειρισμού εργαλείων απαιτούνται στην παραγωγή κάθε μέλους της οικογένειας κομματιών. Αντίθετα, οι επαναδιαμορφώσιμες μηχανές μπορούν να σχεδιαστούν σε διάφορα ενεργά εργαλεία κοπής ταυτοχρόνως, όπως ένα DML, αλλά να είναι ικανές να παράγουν μία ολόκληρη οικογένεια κομματιών όπως ένα FMS. Έτσι τόσο η παραγωγικότητα των DML όσο και η ικανότητα των FMS να χειρίζονται την ποικιλία κομματιών (μέσα στην οικογένεια κομματιών) επιτυγχάνονται στα RMS.

4. **Ικανότητα μετατροπής.** Η ικανότητα μετατροπής του συστήματος μπορεί να έχει διάφορα επίπεδα. Στο επίπεδο μηχανής η μετατροπή απαιτείται όταν αλλάζει η παραγωγή μεταξύ δύο μελών της οικογένειας κομματιών και μπορεί να απαιτείται αλλαγή ατράκτων (π.χ. από άτρακτο υψηλής ταχύτητας και χαμηλής ροπής για αλουμίνιο σε άτρακτο υψηλής ροπής και χαμηλής ταχύτητας για τιτάνιο), ή χειροκίνητες ρυθμίσεις των παθητικών βαθμών ελευθερίας [13]. Η μετατροπή του συστήματος σε καθημερινό επίπεδο πρέπει να επιτυγχάνεται γρήγορα ώστε να είναι αποτελεσματική (π.χ. από 1 έως 10 λεπτά). Για να επιτευχθεί αυτό, τα RMS πρέπει να περιέχουν προηγμένους μηχανισμούς που επιτρέπουν την εύκολη μετατροπή μεταξύ των μερών, όπως μεθόδους ελέγχου και αίσθησης που επιτρέπουν τη γρήγορη βαθμονόμηση των μηχανών μετά τη μετατροπή. Ένα υψηλότερο επίπεδο ικανότητας μετατροπής μπορεί να περιέχει την προσθήκη λειτουργιών στις μηχανές (π.χ. επεκτείνοντας το μέγεθος ενός αποθέματος εργαλείων, ή προσθέτοντας ένα περιστροφικό τραπέζι επεξεργασίας σε ένα τρι-αξονικό CNC), ή ακόμα προσθέτοντας μηχανές για την επέκταση του εύρους της λειτουργικότητας του συστήματος για την παραγωγή νέων κομματιών.

Η ικανότητα διαβάθμισης-κλιμάκωσης ενός συστήματος είναι το ομόλογο χαρακτηριστικό της ικανότητας μετατροπής. Η ικανότητα διαβάθμισης-κλιμάκωσης μπορεί να απαιτεί την προσθήκη ατράκτου σε ένα μηχάνημα για την αύξηση της παραγωγικότητας, ή ακόμα την προσθήκη μηχανών για την επέκταση της συνολικής παραγωγικής ικανότητας του συστήματος όσο μία δεδομένη αγορά μεγαλώνει.

5. **Ικανότητα διάγνωσης (diagnosability).** Η ικανότητα διάγνωσης έχει δύο όψεις: εντοπισμός των αποτυχιών του συστήματος και αναγνώριση των αιτιών

για μη αποδεκτή ποιότητα κομματιών. Η δεύτερη όψη είναι κρίσιμη στα RMS. Όσο τα συστήματα παραγωγής γίνονται πιο επαναδιαμορφώσιμα, και οι διατάξεις τους αλλάζουν πιο συχνά, γίνεται ουσιαστικό να ρυθμίζονται γρήγορα τα νέα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα ώστε να παράγουν ποιοτικά προϊόντα. Οι συστηματικές μέθοδοι μέτρησης αναπτύχθηκαν για τη γρήγορη βοήθεια στον εντοπισμό των πηγών προβλημάτων της ποιότητας των προϊόντων στο παραγωγικό σύστημα και για τη διόρθωσή τους χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ελέγχου, στατιστική και τεχνικές επεξεργασίας σήματος.

Υπάρχει μία σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών και των στόχων του συστήματος για την ενίσχυση της άμεσης ανταπόκρισης και της παραγωγικότητας και για τη μείωση του κόστους κύκλου ζωής όπως δείχνεται στον πίνακα 2. Η τμηματοποίηση, η ικανότητα ενοποίησης-ολοκλήρωσης, η ικανότητα μετατροπής και η ικανότητα διάγνωσης μειώνουν το χρόνο και την προσπάθεια επαναδιαμόρφωσης, και έτσι ενισχύουν την άμεση ανταπόκριση του συστήματος. Εκτός της τμηματοποίησης, τα υπόλοιπα πέντε χαρακτηριστικά συνεισφέρουν στη μείωση του κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, επιτρέποντάς του να αλλάζει πρόσωπα κατά τη διάρκεια της ζωής του και να παραμένει ζωντανό παρά τις αλλαγές στις αγορές, τη ζήτηση των καταναλωτών και τη τεχνολογία επεξεργασίας. Το χτίσιμο ενός τμηματικού συστήματος μπορεί να είναι πιο ακριβό λόγω του προστιθέμενου κόστους των διεπαφών. Αν, ωστόσο, τα τμηματικά συστατικά στοιχεία γίνουν ευρείας χρήσης, τότε οι οικονομίες κλίμακας μπορούν να μειώσουν του γενικό κόστος του συστήματος.

2.8 Ιστορία των RMS

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 η τάση στα συστήματα παραγωγής είναι προς τα RMS, συστήματα τα οποία είναι ικανά να προσαρμόζονται γρήγορα στις συνεχώς εναλλασσόμενες απαιτήσεις της αγοράς, παρέχοντας ακριβώς την αναγκαία λειτουργικότητα και την παραγωγική ικανότητα στην κάθε στιγμή. Οι οποιοσδήποτε πρόοδοι στην επαναδιαμορφώσιμη παραγωγή δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν χωρίς τα εργαλεία των μηχανών να έχουν τμηματικές δομές ώστε να παρέχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για γρήγορη επαναδιαμόρφωση.

Όσον αφορά το θέμα της τμηματοποίησης των μηχανικών στοιχείων, υπάρχουν πολύ λίγα τεκμηριωμένα έργα στη βιβλιογραφία τα οποία αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με γενικό τρόπο. Ίσως η πρώτη αρκετά μεγάλη προσπάθεια ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα, και η οποία θεωρείται ακόμα και σήμερα ορόσημο, είναι το FMC (Flexible Manufacturing system Complex provided with laser) έργο που ξεκίνησε το 1977 από το MITI στην Ιαπωνία, και κατέληξε το 1983 στην κατασκευή ενός πειραματικού εργοστασίου στην Tsukuba της Ιαπωνίας. Ενώ το όλο έργο ολοκληρώθηκε πριν πολύ καιρό, οι θεμελιώδεις ιδέες του παραμένουν έγκυρες. Τα τμήματα των μηχανών ήταν αποθηκευμένα σε κάποια αποθήκη και συναρμολογήθηκαν ώστε να προσαρμοστούν στο παραγόμενο προϊόν. Έπειτα από την ολοκλήρωση της παραγωγής, οι μηχανές αποσυναρμολογήθηκαν στα τμήματά τους και αποθηκεύτηκαν. Η τμηματική συναρμολόγηση του εργοστασίου ήταν

εντελώς οδηγούμενη από τις εργασίες(task-driven). Το FMC σύστημα ήταν σχεδιασμένο να παράγει μια ολόκληρη γκάμα από πρισματικά κομμάτια μέσα σε ένα δοσμένο πλαίσιο.

Το 1996 το ερευνητικό κέντρο μηχανικών για τα Επαναδιαμορφώσιμα Μηχανικά Συστήματα (Engineering Research Center of Reconfigurable Machining Systems - ERC/RmS) ιδρύθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών και 25 εταιρίες με αποστολή να αναπτυχθεί ένα όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος RMS. Το ERC/RmS έχει πάνω από 100 ερευνητές οι οποίοι αναπτύσσουν τη τεχνολογία RMS σε τρεις κύριες περιοχές. (1) Μείωση του χρόνου σχεδιασμού των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων, (2) Σχεδιασμός επαναδιαμορφώσιμων μηχανών και των επαναδιαμορφώσιμων ελεγκτών τους, και (3) Μείωση του ramp-up χρόνου. Το κέντρο τιμήθηκε με πατέντα για επαναδιαμορφώσιμη εργαλειομηχανή [14]. Το ERC/RmS παίρνει μία συστημική προοπτική, όχι μόνο στο συνδυασμό τμηματικών μηχανών και ελεγκτών αλλά επίσης στην εφαρμογή μεθοδολογιών για σχεδιασμό και λειτουργία RMS. Αυτές περιέχουν για παράδειγμα μεθόδους ανάλυσης και σχεδιασμού διαμόρφωσης συστήματος, οικονομική μοντελοποίηση, σύνθεση επαναδιαμορφώσιμων εργαλειομηχανών και βαθμονόμηση και ramp-up του RMS. Ένα πειραματικό RMS δοκιμών υπηρετεί ως εργαλείο επαλήθευσης για την αναπτυσσόμενη τεχνολογία. Ο στόχος του κέντρου είναι να αναπτύξει μία επιστημονική βάση για την επαναδιαμόρφωση των συστημάτων παραγωγής. Αυτή η επιστημονική βάση θα είναι εφαρμόσιμη και σε άλλους βιομηχανικούς τομείς.

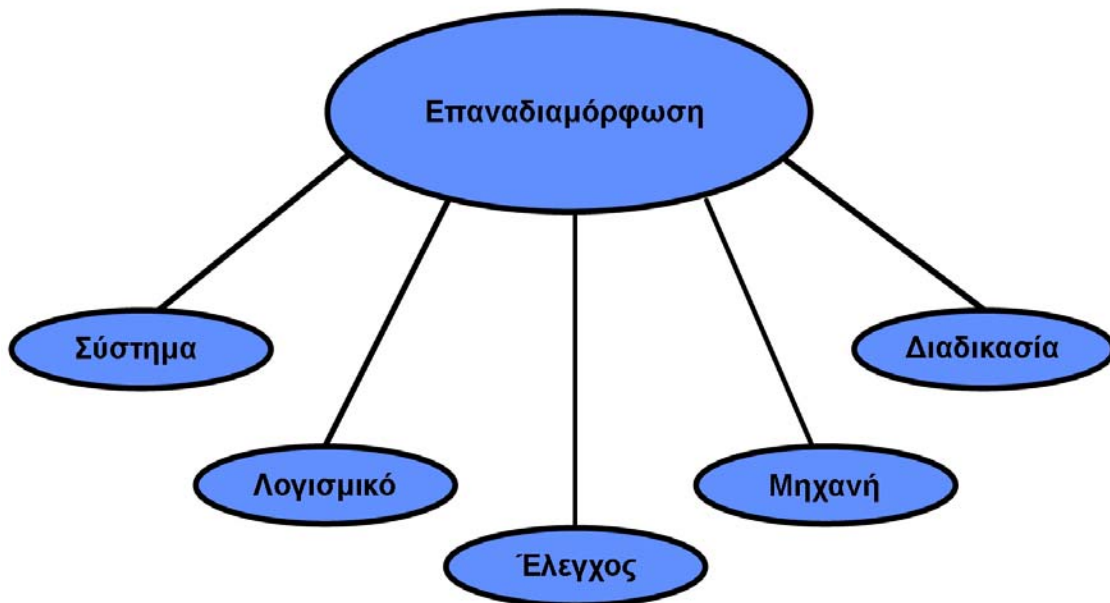
Επίσης, εμφανίστηκε το επαναδιαμορφώσιμο τμηματικό σύστημα χειρισμού, μία σχετιζόμενη ερευνητική πρωτοβουλία η οποία αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon [15] και αποτελείται από plug-and-play συμβατά τμήματα τα οποία μπορούν να συναρμολογηθούν σε ένα μεγάλο αριθμό από διαφορετικές διαμορφώσεις ώστε να προσαρμόζουν τις κινηματικές και δυναμικές ιδιότητες του χειριστή στην επιτελούμενη εργασία. Μία παρόμοια αντίληψη είναι το ρομπότ που αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία[16] το οποίο αποτελείται από τμήματα από τα οποία ένα ολόκληρο ρομπότ μπορεί να συναρμολογηθεί. Τέλος, κάποια έργα τα οποία πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας για τα Διεθνή Ευφυή Συστήματα (International Intelligent Systems - IMS) επίσης ασχολήθηκαν με προβλήματα τμηματοποίησης και επαναδιαμόρφωσης [17].

Η πρόσφατη έρευνα Delphi study, Visionary Manufacturing Challenges for 2020, η οποία διεξήχθη από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των ΗΠΑ έχει προσδιορίσει την επαναδιαμορφώσιμη παραγωγή ως πρώτη προτεραιότητα ανάμεσα σε «έξι μεγάλες προκλήσεις» για την μανιφακτούρα του μέλλοντος [18]. Διάφορες εκφάνσεις των RMS ερευνώνται στις μέρες μας από ερευνητές στις ΗΠΑ (π.χ., [19]).

Ωστόσο, ο σχεδιασμός ενός συστήματος με ένα συνδυασμό από τμήματα από διαφορετικούς παραγωγούς-κατασκευαστές απαιτεί τυποποίηση των μηχανικών διεπαφών. Συγκρινόμενη με τη τυποποίηση των διεπαφών στην τεχνολογία πληροφοριών, δεν έχει υπάρξει σημαντική προσπάθεια στις μηχανικές διεπαφές μέχρι σήμερα.

2.9 Θέματα-κλειδιά για την έρευνα στα RMS

Κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων παραγωγής κάποιος θα πρέπει να διαχωρίσει ανάμεσα στα ζητήματα του επιπέδου-συστήματος, στα ζητήματα του επιπέδου στοιχείων(π.χ. μηχανή και έλεγχος), και στα ζητήματα της μείωσης του χρόνου ramp-up. Για να είναι ένα σύστημα επαναδιαμορφώσιμο, αυτά τα υποσυστήματα και τα στοιχεία τους πρέπει να σχεδιαστούν ώστε να είναι επαναδιαμορφώσιμα από την αρχή. Επίσης για να είναι επαναδιαμορφώσιμο πρέπει να αποτελείται από υποσυστήματα και στοιχεία τα οποία έχουν σχεδιαστεί από την αρχή, χρησιμοποιώντας επιστημονική γνώση με σκοπό να κατέχει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά κλειδιά των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων παραγωγής (δες εικόνα 14). Για να επιτύχει κάποιος αυτούς τους στόχους πρέπει κάποιος να ξεκινήσει με τον ορισμό της οικογένειας κομματιών/προϊόντων, και ύστερα να ερευνήσει ζητήματα σχεδιασμού επιπέδου συστήματος, να τα συνδυάσει με ζητήματα έρευνας επιπέδου μηχανής (π.χ. επαναδιαμορφώσιμες μηχανές, ελεγκτές, και διαδικασίες επεξεργασίας) και να τα ολοκληρώσει-συμπληρώσει με μεθόδους και εργαλεία μείωσης του χρόνου ramp-up. Κάποια από αυτά τα ερευνητικά ζητήματα τα οποία πρέπει να αναπτυχθούν ώστε να στηρίξουν τους στόχους σε επίπεδο συστήματος σε επίπεδο μηχανής και τους στόχους μείωσης του χρόνου ramp-up περιγράφονται παρακάτω.



Εικόνα 14 Πτυχές επαναδιαμόρφωσης (επαναδιαμορφώσιμο σύστημα, λογισμικό, ελεγκτής, μηχανή και διαδικασία) για ένα RMS

2.9.1 Ζητήματα έρευνας σχεδιασμού επιπέδου συστήματος

Μερικά από τα βασικά ζητήματα έρευνας στο σχεδιασμό επιπέδου συστήματος είναι:

1. Ανάπτυξη μιας συστημικής προσέγγισης στο σχεδιασμό των RMS στο επίπεδο του συστήματος
2. Ανάλυση του αντίκτυπου των διαμορφώσεων του συστήματος στην αξιοπιστία, στην ποιότητα και στο κόστος
3. Οικονομική ανάλυση των διαφόρων διαμορφώσεων του συστήματος και της επιλογής αυτών
4. Ανάλυση και σχεδιασμός της συνολικής διαδικασίας από την αναγνώριση των αναγκών των πελατών (ή τις αναμενόμενες ανάγκες) ως την επιλογή των εκτελεστικών διαδικασιών και τις προδιαγραφές του συστήματος

2.9.2 Ζητήματα έρευνας σχεδιασμού επιπέδου μηχανής

Μερικά από τα βασικά ζητήματα έρευνας στο σχεδιασμό επιπέδου μηχανής είναι:

1. Ανάπτυξη θεμελιωδών αρχών και τεχνικών για το σχεδιασμό και την ανάλυση των επαναδιαμορφώσιμων μηχανών συμπεριλαμβανομένου των ελεγκτών τους, και
2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη ενός συνόλου από απλές επαναδιαμορφώσιμες μηχανές και ελεγκτές για τη γρήγορη παραγωγή δυο διαφορετικών κομματιών/ προϊόντων προς απόδειξη της υπόθεσης.

2.9.3 Ζητήματα έρευνας για τη μείωση του χρόνου ramp-up

Αφού το RMS επαναδιαμορφωθεί, το σύστημα παραγωγής πρέπει τυπικά να είναι καλά ρυθμισμένο πριν σταθερά αρχίζει να παράγει στην απαιτούμενη ποιότητα και όγκο παραγωγής. Αυτό αναφέρεται ως ramp-up, και μπορεί να πάρει μήνες ή ακόμα και χρόνια με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής. Για να είναι ένα RMS πρακτικό, είναι απαραίτητο να μειωθούν σημαντικά οι χρόνοι ramp-up τόσο για τα νέα όσο και για τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα. Έχουμε εντοπίσει την έλλειψη συστηματικών προσεγγίσεων στη διάγνωση των βλαβών και αποτυχιών των συστατικών στοιχείων ως το πιο σημαντικό-κρίσιμο εμπόδιο στο ramp-up. Η επισκόπηση της βιβλιογραφίας αποκάλυψε ότι δεν υφίσταται συστηματική προσέγγιση στον εντοπισμό των αιτιών των βλαβών και αποτυχιών των συστατικών μερών και της ποιότητας και της διακύμανσης των διαδικασιών. Επίσης, η έλλειψη σθεναρών συστατικών στοιχείων τα οποία μπορούν να λειτουργούν αξιόπιστα και με ασφάλεια κάτω από διαφορετικές συνθήκες είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τη μείωση του χρόνου ramp-up. Ως εκ τούτου, μερικοί από τους βασικούς στόχους της έρευνας θα πρέπει να προσανατολιστούν στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και θεμελιωδών θεωριών για τη μείωση του χρόνου ramp-up των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων μηχανικής κατεργασίας.

Μερικά από τα βασικά ερευνητικά ζητήματα που σχετίζονται με τη μείωση του χρόνου ramp-up είναι:

1. Ανάπτυξη συστηματικών προσεγγίσεων και θεμελιωδών αρχών για τον εντοπισμό βασικών αιτιών της βλάβης και της αποτυχίας των συστατικών μερών, της ποιότητας και της διακύμανσης των διαδικασιών
2. Σχεδιασμός σθεναρών συστατικών μερών τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα και με ασφάλεια κάτω από διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας.

2.9.4 Περαιτέρω ζητήματα έρευνας για τα RMS

Οικονομικά κύκλου ζωής προϊόντος(Life-Cycle Economics). Εάν λάβουμε υπόψη ολόκληρο το κόστος του κύκλου ζωής ενός συστήματος παραγωγής σε μία αβέβαιη αγορά, τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα μπορεί να είναι λιγότερο ακριβά από τα εύελικτα συστήματα παραγωγής ή ακόμα και από τις αποκλειστικές γραμμές παραγωγής. Ο κύριος παράγοντας ο οποίος κάνει τα RMS λιγότερο ακριβά είναι ότι τα RMS είναι εγκατεστημένα με ακριβέστατη ικανότητα παραγωγής και λειτουργικότητα που απαιτείται και μπορούν να αναβαθμιστούν, σε ικανότητα παραγωγής και λειτουργικότητα , στο μέλλον, ακριβώς όταν αυτό απαιτηθεί. Η επεκτεινόμενη λειτουργικότητα επιτρέπει την παραγωγή νέων κομματιών/ προϊόντων της ίδιας οικογένειας προϊόντων/ κομματιών στο ίδιο σύστημα το οποίο με τη σειρά του επεκτείνει το χρόνο ζωής του συστήματος. Τα RMS επιτρέπουν σε κάποιον να προσθέσει την επιπλέον ικανότητα παραγωγής ακριβώς όταν αυτή απαιτηθεί, κάτι το οποίο λύνει το πρόβλημα της πλεονάζουσας ικανότητας παραγωγής των αποκλειστικών γραμμών. Τα RMS επίσης επιτρέπουν η πρόσθετη λειτουργικότητα να προστίθεται ακριβώς όταν χρειάζεται κάτι το οποίο εξοικονομεί από την επένδυση την περιττή λειτουργικότητα η οποία συνδέεται με τα FMS. Εξ αιτίας των παραπάνω, τα δύο είδη της σπατάλης τα οποία παρατηρούνται στα αποκλειστικά και στα εύελικτα συστήματα εξαφανίζονται με τη τεχνολογία RMS.

Διεπαφές. Για την πραγματοποίηση ενός RMS και της τμηματοποίησής του, απαιτείται η τυποποίηση των διεπαφών που ενώνουν τα τμήματα. Οι διεπαφές μπορούν να διαχωριστούν σε διεθνής, σε εθνικές και σε τυποποιημένες διεπαφές συγκεκριμένης επιχείρησης. Οι κοίλες κνήμες ως εργαλείο αρπάγης είναι ένα παράδειγμα ήδη υπάρχουσας τυποποιημένης διεπαφής τόσο σε διεθνές, όσο και σε εθνικό επίπεδο. Οι κατατομές των οδηγών, τα τμήματα ευρετηρίασης(indexing modules) και τα στοιχεία στερέωσης των συστημάτων παλετών είναι επίσης τυποποιημένα ενώ τα στοιχεία κίνησης, οι συσκευές μεταφοράς (carrying devices) δεν είναι, κάτι το οποίο παρεμποδίζει την ανταλλαξιμότητα των παλετών μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Οι διεπαφές ενός συστήματος παραγωγής μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τρεις τύπους:

1. Οι διεπαφές συστήματος καθορίζουν τις συνδέσεις μεταξύ μηχανών μηχανικής κατεργασίας, και απαιτούνται για το συνδυασμό ορισμένου αριθμού μηχανών σε ένα σύστημα παραγωγής. Οι κατάλληλες διεπαφές ορίζουν τη σύνδεση για τον ανεφοδιασμό του συστήματος όπως επίσης και τη σύνδεσή του με άλλα συστήματα παραγωγής. Αυτός ο τύπος διεπαφών είναι τυποποιημένος ούτως ώστε να συνδυάζονται διαφορετικά συστήματα.
2. Οι διεπαφές του τμήματος αναπαριστούν τις διεπαφές μεταξύ ξεχωριστών τμημάτων. Είναι τυποποιημένες για να ενοποιούν τμήματα από διαφορετικούς κατασκευαστές σε ένα σύστημα παραγωγής.
3. Οι διεπαφές υποτμημάτων καθορίζουν τις συνδέσεις μέσα στα τμήματα και κάνουν δυνατή τη συναρμολόγηση τμημάτων από υποτμήματα. Αυτό επιτρέπει π.χ. το συνδυασμό διαφορετικών μηχανών οδήγησης (υποτμήματα) με ένα σύστημα άξονα (υποτμήματα) για την παραγωγή διαφορετικών τμημάτων μονάδος-άξονα (τμήματα). Η εθνική ή ακόμα και η διεθνής τυποποίηση αυτών των διεπαφών δεν είναι χρήσιμη καθώς ενδέχεται να

εμποδίζει την πρόοδο και την καινοτομία του παραγωγού στην ανάπτυξη τμημάτων.

Τμηματική Δομή. Τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής χρειάζονται τμηματική δομή ώστε να καλύψουν στις απαιτήσεις για την ικανότητα εναλλαγής [20], η οποία παρέχεται από μία τμηματική δομή του συστήματος [21]. Ο αρχικός στόχος στην ανάπτυξη των RMS είναι να αναπτυχθούν τμήματα μηχανών, τα οποία μπορούν γρήγορα να ανταλλαχθούν μεταξύ διαφορετικών συστημάτων παραγωγής. Αυτή η ικανότητα ανταλλαγής μπορεί να επιτευχθεί από ίδια δομή των μηχανών και των συστημάτων ελέγχου και με τυποποίηση των διεπαφών που συνδυάζουν τα τμήματα, τα οποία επιτρέπουν μικράς-διαρκείας προσαρμοστικότητα στις αλλαγές της αγοράς επαναδιαμορφώνοντας το σύστημα παραγωγής.

Για τη διαμόρφωση συστημάτων μηχανών πρέπει να ληφθούν υπόψη κυρίως οι διεπαφές μεταξύ των τμημάτων. Η διαμόρφωση των ξεχωριστών τμημάτων απαιτεί τη μελέτη των διεπαφών των υποτμημάτων, και η διαμόρφωση των συστημάτων παραγωγής κρίνει αναγκαία την μελέτη των διεπαφών συστημάτων.

Στο επίπεδο του συστήματος, μπορεί να υπάρξουν διάφορες διαμορφώσεις του συστήματος για την παραγωγή της ίδιας οικογένειας κομματιών/ προϊόντων. Απαιτείται η ανάπτυξη των απαραίτητων εργαλείων και μεθοδολογιών για το σχεδιασμό του συστήματος και η αξιολόγηση των διαφόρων διαμορφώσεων (βασισμένη στα οικονομικά κύκλου ζωής, στην ποιότητα, στην αξιοπιστία του συστήματος και στις προτιμήσεις των προσώπων που λαμβάνουν τις αποφάσεις). Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του λογισμικού/ υλικού του συστήματος, αυτό θα πρέπει να έχει ορισμένα χαρακτηριστικά για ενισχύσουν τα 5 χαρακτηριστικά-κλειδιά των RMS. Θα πρέπει να έχει τμηματική δομή και να είναι «ανοιχτό» ώστε η αναβάθμιση και η προσαρμογή του συστήματος να είναι εφικτές ενώ επίσης πρέπει να είναι δυνατή η ενσωμάτωση νέου λογισμικού. Ο έλεγχος, η επιτήρηση και οι αισθητήρες των RMS είναι άλλα σημαντικά αντικείμενα προς έρευνα. Σημειώνοντας ότι οι διαμορφώσεις του συστήματος αλλάζουν (βασιζόμενες στη ζήτηση της αγοράς), οι παράμετροι των μηχανών παραγωγής όπως μάζα, αδράνεια και διάφορες άλλες φυσικές παράμετροι θα αλλάζουν αναλόγως. Έτσι τα συστήματα ελέγχου και επιτήρησης διαδικασιών πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να επαναδιαμορφώνονται και να προσαρμόζονται στις νέες συνθήκες. Η ανάπτυξη μιας ενιαίας προσέγγισης για το σχεδιασμό και την κατασκευή επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων εργαλειομηχανών είναι μία άλλη σημαντική πρόκληση στο σχεδιασμό ενός RMS. Όπως σε κάθε άλλο σχεδιαστικό πρόβλημα, ένας συμβιβασμός πρέπει να γίνει μεταξύ συγκεκριμένων μεταβλητών του συστήματος. Το σχεδιαστικό πρόβλημα του RMS είναι ωστόσο σύνθετο καθώς ο αριθμός των μεταβλητών είναι μεγάλος.

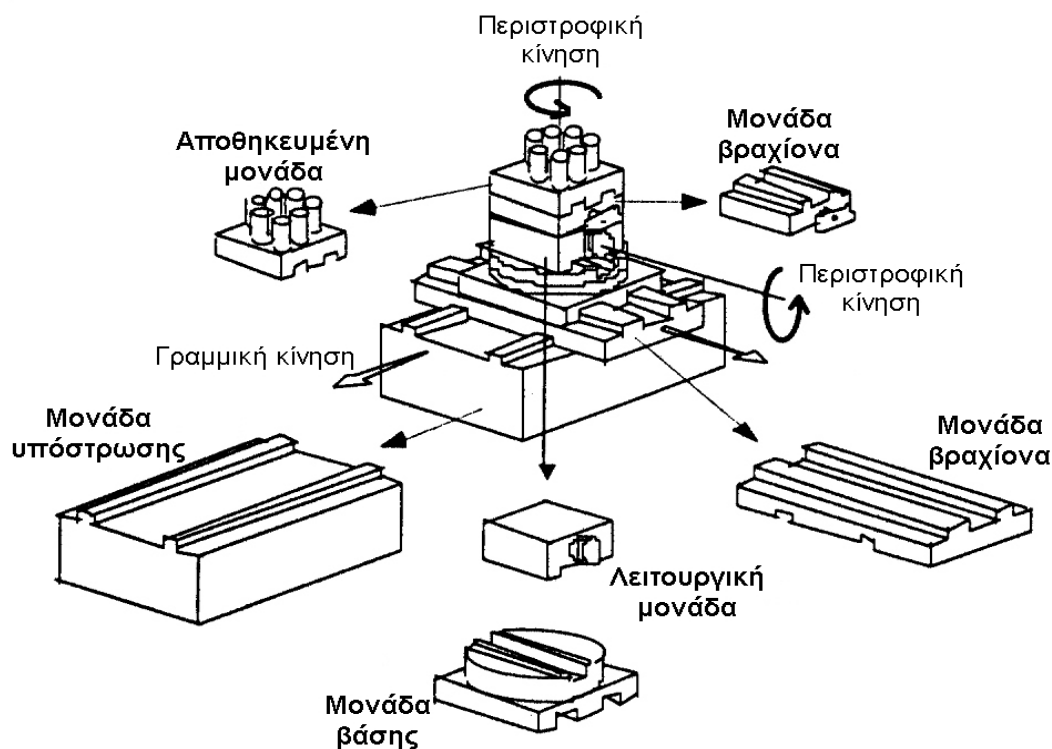
2.10 Επαναδιαμορφώσιμες Εργαλειομηχανές

Ο βασικός στόχος μιας επαναδιαμορφώσιμης εργαλειομηχανής είναι να αντιμετωπίσει τις διάφορες αλλαγές στα προϊόντα ή στα κομμάτια προς παραγωγή. Οι παρακάτω πιθανές αλλαγές πρέπει να ληφθούν υπόψη:

1. Μέγεθος κομματιού προς επεξεργασία
2. Γεωμετρία και πολυπλοκότητα κομματιού
3. Όγκος παραγωγής
4. Απαιτούμενες κατεργασίες
5. Απαιτήσεις ακριβείας στα πλαίσια γεωμετρικής ακρίβειας, ποιότητας επιφάνειας κλπ.
6. Ιδιότητες υλικών, όπως είδος υλικών, σκληρότητα, κλπ.

Επαναδιαμόρφωση για το μέγεθος του κομματιού προς επεξεργασία. Με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι απλές αλλαγές στο μέγεθος του κομματιού προς επεξεργασία, θα είναι αρκετό να προετοιμαστούν οι μονάδες της μηχανής(τμήματα), όπως στήλες, επιφάνειες εργασίας, άξονες κλπ. σε διαφορετικά μεγέθη. Η επαναδιαμόρφωση επιτυγχάνεται αλλάζοντας τμήματα.

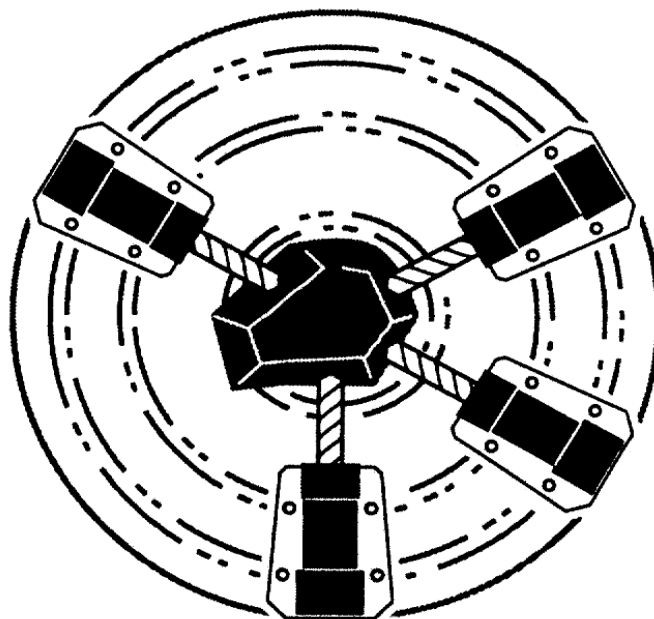
Επαναδιαμόρφωση για τη γεωμετρία του κομματιού. Με σκοπό να αυξηθεί η λειτουργικότητα της μηχανής για την γεωμετρική πολυπλοκότητα των κομματιών, ο αριθμός των αξόνων κίνησης αυξάνεται προσθέτοντας νέες μονάδες κίνησης ή αντικαθιστώντας μία μονάδα με μία άλλη που έχει ορισμένους βαθμούς ελευθερίας. Η εικόνα 15 δείχνει μία σχηματική αναπαράσταση μίας πιθανής επαναδιαμόρφωσης ενός μηχανικού κέντρου 5 αξόνων. Μερικές από τις εμπορικά διαθέσιμες μηχανές 5 αξόνων επαναδιαμορφώνονται αντικαθιστώντας ένα περιστρεφόμενο τραπέζι εργασίας με ένα 3 αξόνων και άλλες αντικαθιστώντας τη κεφαλή του άξονα με άλλη πιο ευπροσάρμοστη.



Εικόνα 15 Συναρμολόγηση τμημάτων για ένα περιστρεφόμενο άξονα

Επαναδιαμόρφωση για όγκο παραγωγής. Με σκοπό να αυξήσουμε τον όγκο παραγωγής, η ικανότητα μιας μονάδας άξονα μιας μηχανής μπορεί να αλλάξει από μονάδα ενός άξονα σε μονάδα δύο αξόνων ή ακόμα και μονάδα πολλαπλών αξόνων.

Η μονάδα πολλαπλών αξόνων είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την αύξηση της παραγωγικότητας. Τμηματοποιημένες μονάδες αξόνων με διαφορετικά εύρη ταχυτήτων και ιπποδύναμης είναι καλά παραδείγματα χρήσης επαναδιαμορφώσιμων εργαλειομηχανών. Ένα παράδειγμα μιας επαναδιαμορφώσιμης εργαλειομηχανής απεικονίζεται στην εικόνα 16, το οποίο δείχνει ένα κομμάτι τοποθετημένο σε ένα περιστρεφόμενο τραπέζι και υφίσταται επεξεργασία από 4 άξονες συγχρόνως. Ο αριθμός των αξόνων μπορεί να ποικίλει ώστε να προσαρμόζει τον απαιτούμενο όγκο παραγωγής. Κάθε άξονας είναι ένα τμήμα με z άξονα. Δύο πρόσθετοι χειροκίνητοι άξονες επιτρέπουν τη ρύθμιση του άξονα και τη γωνία κοπής του.



Εικόνα 16 Κάτοψη κέντρου φρεζαρίσματος με πολλαπλές ατράκτους

Επαναδιαμόρφωση για τις αλλαγές στη μηχανική κατεργασία. Με σκοπό να αντεπεξέλθουμε στις αλλαγές στη μηχανική κατεργασία, όχι μόνο τα εργαλεία κοπής θα πρέπει να αλλάζουν, αλλά μερικές φορές ακόμα και η διαμόρφωση του εργαλείου της μηχανής πρέπει να αλλάζει. Σε μερικές εφαρμογές όχι μόνο η περιστροφή, αλλά επίσης και η διάνοιξη οπών και το φρεζάρισμα μπορούν να επιτευχθούν πάνω σε μία μονάδα περιστροφής χρησιμοποιώντας μία άτρακτο φρεζαρίσματος, που αντικαθιστά τη σταθερή θέση του εργαλείου. Η πρόκληση ωστόσο είναι για παράδειγμα η προσθήκη μιας μονάδας τροχισμού στη μονάδα περιστροφής όποτε αυτό απαιτείται. Η μηχανή στην εικόνα 16 για παράδειγμα (κάτοψη) μπορεί να μετατραπεί σε μία κάθετη μονάδα περιστροφής, στην οποία το κομμάτι μπορεί να υποστεί μηχανική κατεργασία από πολλαπλά εργαλεία που εκτελούν διεργασίες ανοίγματος οπής, φρεζαρίσματος και περιστροφής.

Επαναδιαμόρφωση για τη μηχανική ακρίβεια. Τα RTMs αποτελούνται από τμήματα, κάθε ένα από τα οποία έχει τη δικιά του διεπαφή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι μηχανικές διεπαφές οι οποίες οι οποίες είναι καθορισμένες από γεωμετρικά χαρακτηριστικά έχουν συνδυασμένες ανοχές («τζόγος»). Η ανεπιθύμητη προσθήκη και/ή τοποθέτηση των πεδίων ανοχών μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ακρίβεια της μηχανής μετά την επαναδιαμόρφωση. Δεν είναι εύκολο να αυξηθεί η

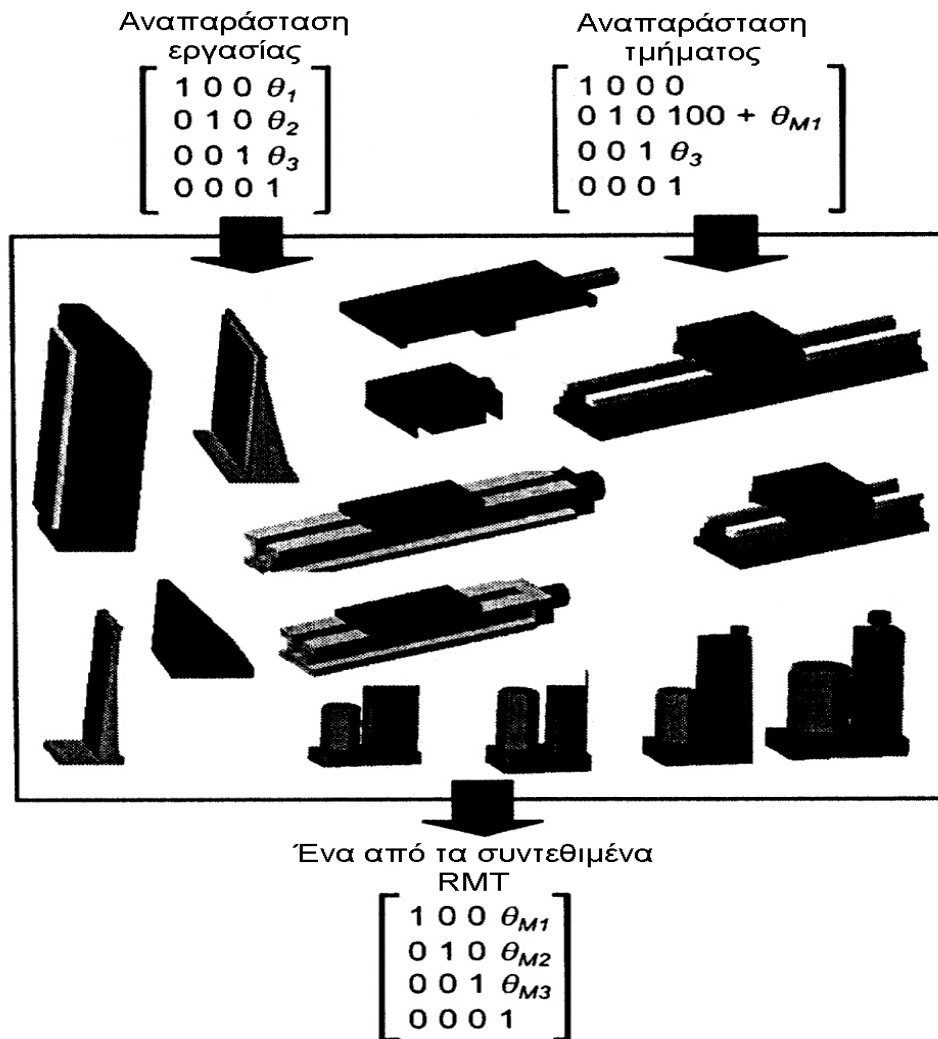
ακρίβεια της μηχανικής κατεργασίας απλώς αλλάζοντας τα τμήματα της μηχανής με άλλα τμήματα μεγαλύτερης ακρίβειας, καθώς η ακρίβεια στην μηχανική κατεργασία καθορίζεται από συνδυασμένες κινήσεις του εργαλείου και του έργου όπως και από την ακρίβεια της σχετικής διευθέτησης των τμημάτων και των διεπαφών τους. Η μηχανική ακρίβεια επηρεάζεται επίσης από τη στατική και τη δυναμική δυσκαμψία της μηχανής και τη θερμική παραμόρφωση (thermal deformation) της μηχανής επίσης.

2.10.1 Προκλήσεις στη σχεδίαση εργαλειομηχανών

Η σύλληψη του τμηματικού σχεδιασμού μιας εργαλειομηχανής δεν είναι καινούργια, ωστόσο δεν έχει μέχρι στιγμής υιοθετηθεί ευρέως στην πρακτική χρήση. Τα κύρια προβλήματα με το τμηματικό και τον επαναδιαμορφώσιμο σχεδιασμό είναι τα παρακάτω:

(1) Μεθοδολογία σχεδιασμού για RMT: Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού πλαισίου για τη σύνθεση των RMTs και τη τεκμηρίωσή τους είναι μία μεγάλη πρόκληση. Το ERC στο πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν αναπτύσσει μία μαθηματική θεωρία για τη σύνθεση των RMTs, οι οποία περιέχει:

- Ανάπτυξη ενός δομημένου και ενιαίου σχήματος αναπαράστασης για τις μηχανικές(κινηματικές και δομικές) λειτουργίες των τμημάτων.
- Σύνταξη μιας βιβλιοθήκης τμημάτων μηχανής (δες εικόνα 17)
- Μία μεθοδολογία για τη συστηματική σύνθεση των RMT χρησιμοποιώντας τη θεωρία κοχλίας (screw theory) (δες εικόνα 17) και τη δομική ανάλυση της θεωρίας γραφήματος (graph theory).



Εικόνα 17 Η διαδικασία μεθόδου σχεδιασμού για RMTs

(2) Διεπαφές: Δεν είναι τόσο εύκολο να συναρμολογηθούν τα τμήματα της μηχανής με επαρκή ακρίβεια ώστε να συναντούν τις προδιαγραφές ακρίβειας της εργαλειομηχανής. Οι διεπαφές μεταξύ των τμημάτων που θα συναρμολογηθούν θα πρέπει να είναι τυποποιημένες και να κατασκευασθούν με ακρίβεια. Μεθοδολογίες θα πρέπει επίσης να αναπτυχθούν για τη γρήγορη μέτρηση και τη διευθέτηση της ευθυγράμμισης των τμημάτων. Η μείωση των στατικών και δυναμικών δυσκαμψιών στις διεπαφές είναι επίσης ένα πρόβλημα το οποίο χρίζει αντιμετώπισης.

(3) Αυτονομία του τμήματος: Τα περισσότερα από τα κινητά μέρη και τα μέρη οδηγούς τροφοδοτούνται με ηλεκτρισμό και είναι συνδεδεμένα με τον ελεγκτή με καλώδια. Μερικά από αυτά επίσης απαιτούν υδραυλικά συστήματα και συμπιεσμένο αέρα. Η καλωδίωση και η διοχέτευση με αγωγό ενέργειας από εξωτερικές πηγές ενέργειας είναι μία όχληση. Η θέση των υδραυλικών αντλιών, των συμπιεστών και των συσσωρευτών μπορεί να γίνει εμπόδιο για την επαναδιαμόρφωση των μονάδων της μηχανής. Είναι επιθυμητό κάθε τμήμα να είναι αυτόνομο και ανεξάρτητο στη λειτουργία του.

Ως συμπέρασμα, για να αντεπεξέλθουμε με τις αλλαγές στις διακυμάνσεις και στον όγκο του προϊόντος τα συστήματα μηχανικής κατεργασίας και οι εργαλειομηχανές

έχουν αντικατασταθεί ή νέες εργαλειομηχανές έχουν εισαχθεί κατά το παρελθόν. Δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η συνέχεια της παραπάνω κατάστασης καθώς οι κύκλοι των αλλαγών έχουν γίνει συντομότεροι και οι διακυμάνσεις των προϊόντων μεγαλύτερες. Οι τμηματοποιημένες μηχανές και τα τμήματα της μηχανής αναμένεται να λύσουν αυτό το πρόβλημα επαναδιαμορφώνοντας το σύστημα μηχανικής κατεργασίας και τις εργαλειομηχανές. Η αποτελεσματική χρήση ή επαναχρησιμοποίηση των τμηματοποιημένων εργαλειομηχανών και των μονάδων μηχανής επίσης συντελούν στη βιώσιμη κοινωνία.

2.10.2 Στόχοι επαναδιαμορφώσιμων εργαλειομηχανών

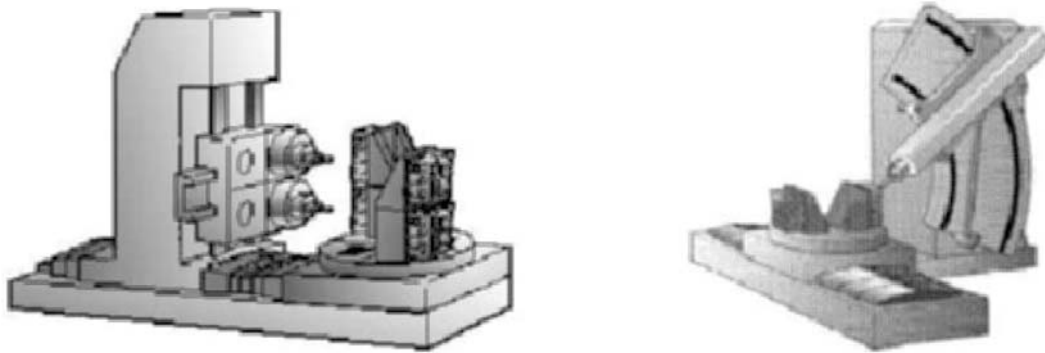
Ας θεωρηθεί ένα παράδειγμα. Ενώ μπορεί να υπάρξουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων κεφαλών κυλίνδρων κινητήρων, η βασική διαμόρφωση όλων τους είναι περίπου όμοια. Μία επαναδιαμορφώσιμη εργαλειομηχανή (RMT) μπορεί κατά συνέπεια να σχεδιαστεί ώστε να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες λειτουργίες μηχανικής κατεργασίας σε όλα τα μέλη της οικογένειας κομματιών με επαναδιαμόρφωση στην ίδια την εργαλειομηχανή [13]. Αυτό σημαίνει ότι το RMT μπορεί να παράγει οικονομικά μία ολόκληρη οικογένεια κομματιών, ακόμα και στυλ κομματιών τα οποία δεν έχουν μέχρι στιγμής χαρακτηριστεί με όμοια ακρίβεια και αξιοπιστία [14].

Υπάρχουν δύο βασικοί στόχοι στο σχεδιασμό RMT. Αυτοί οι στόχοι είναι

1. Η αύξηση του ρυθμού παραγωγής της μηχανής προσθέτοντας συσκευές μηχανικής κατεργασίας (...ακριβώς η παραγωγική ικανότητα που απαιτείται), και
2. Η προσαρμογή της λειτουργικότητας της μηχανής αλλάζοντας τη γεωμετρία της ώστε να παράγει νέα μέλη μιας οικογένειας κομματιών (... ακριβώς η λειτουργικότητα που απαιτείται).

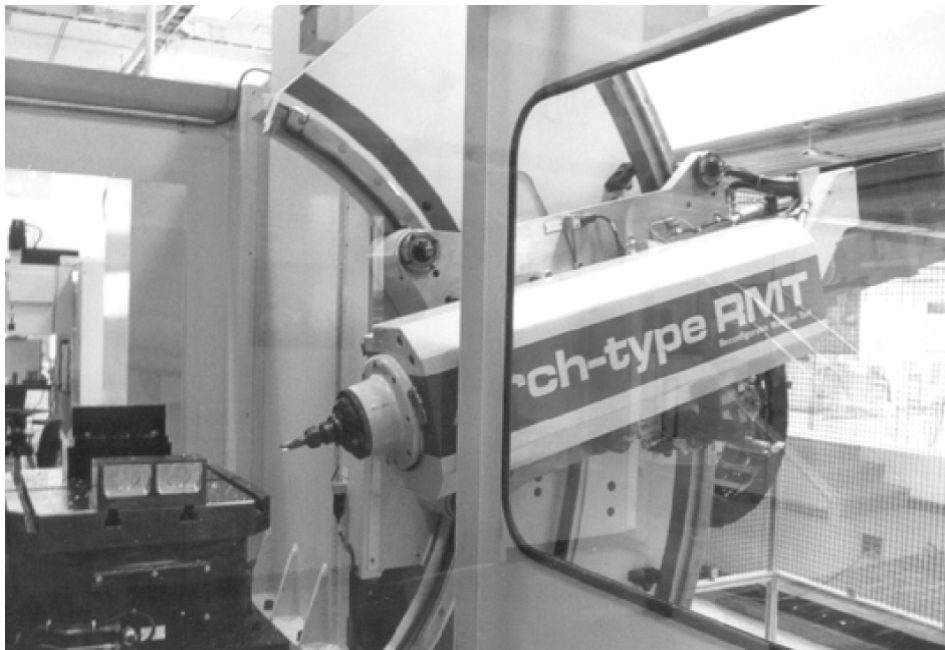
Έτσι, υπάρχουν δύο τύποι RMTs όπως φαίνεται στην εικόνα 18.

Η ικανότητα παραγωγής που αλλάζει στην εικόνα 18α κατέχει τα χαρακτηριστικά της τμηματοποίησης(κάθε άτρακτος είναι ένα τμήμα), της ικανότητας ολοκλήρωσης-ενοποίησης (οι βάσεις των ατράκτων παρέχουν ταχεία ηλεκτρομηχανική ολοκλήρωση), της ικανότητας προσαρμογής (η ευελιξία μόνο για οριζόντιο άνοιγμα οπής), και της ικανότητας βαθμονόμησης-κλιμάκωσης (προσθέτοντας ως 4 ατράκτους). Η λειτουργικότητα που αλλάζει στα RMT στην εικόνα 18β κατέχει δύο χαρακτηριστικά: ικανότητα προσαρμογής (μία οικογένεια κομματιών με πρηνείς επιφάνειες) και ικανότητα μετατροπής (γρήγορη αλλαγή της γωνίας του Z άξονα).



Εικόνα 18 RMT μεταβαλλόμενης ικανότητας παραγωγής (α, αριστερά) και RMT μεταβαλλόμενης λειτουργικότητας (β, δεξιά)

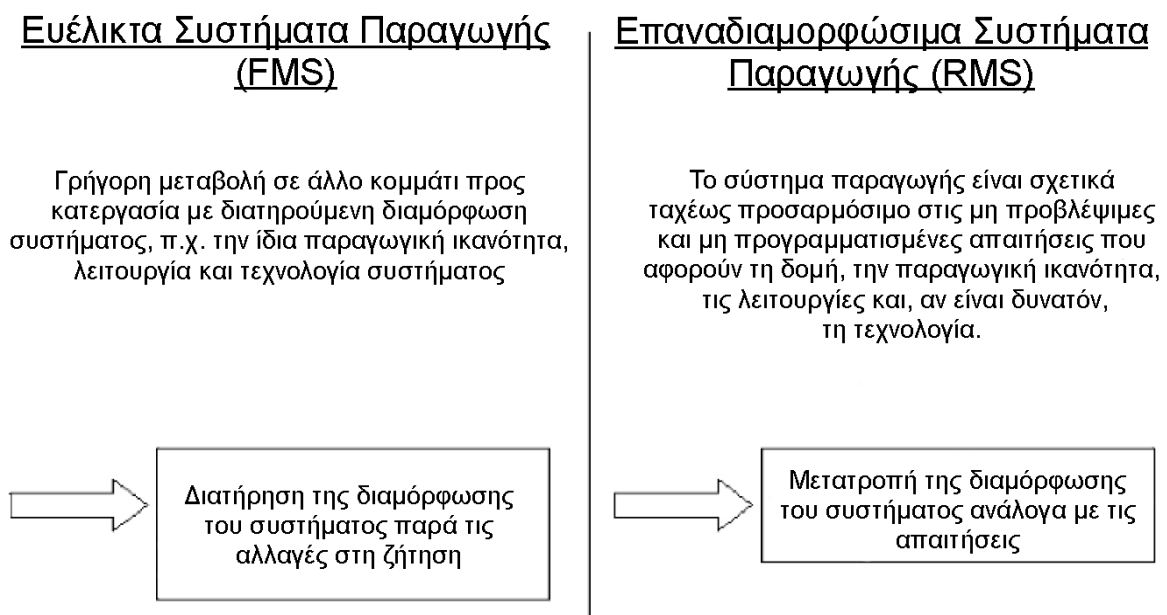
Το παράδειγμα του RMT οδηγείται κυρίως από οικονομικές θεωρήσεις. Αντί για το χτίσιμο μιας αποκλειστικής μηχανής πολλαπλών ατράκτων, ένας κατασκευαστής πρέπει να είναι ικανός αρχικά να αποκτήσει μια CNC μηχανή μιας ατράκτου και ύστερα να προσθέσει ατράκτους σε αυτή και να κόψει ορισμένα κομμάτια την ίδια στιγμή, όταν η αγορά δικαιολογεί την επένδυση (Ρυθμιζόμενη ικανότητα παραγωγής RMT). Επίσης αντί να επενδύσει σε μία πολύπλοκη CNC εργαλειομηχανή γενικού σκοπού, είναι πιο οικονομικό να έχει μια απλούστερη μηχανή με αρκετή λειτουργικότητα για την παραγωγή μόνο μιας οικογένειας κομματιών χωρίς να αγοράζει πολύ από την έξτρα μη χρησιμοποιούμενη λειτουργικότητα (Ρυθμιζόμενη λειτουργικότητα RMT). Αποκτώντας ακριβώς την παραγωγική ικανότητα και λειτουργικότητα που απαιτείται για την παραγωγή μιας οικογένειας κομματιών δίνει στα RMTs ένα πλεονέκτημα. Ένα πρωτότυπο ενός RMT ρυθμιζόμενης λειτουργικότητας το οποίο σχεδιάστηκε και χτίστηκε στο ερευνητικό κέντρο του πανεπιστημίου του Μίσιγκαν παρουσιάζεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19 Πρωτότυπο RMT μεταβαλλόμενης λειτουργικότητας (ERC του παν/μίου Μίσιγκαν)

2.11 Τα RMS από την πλευρά των χρηστών

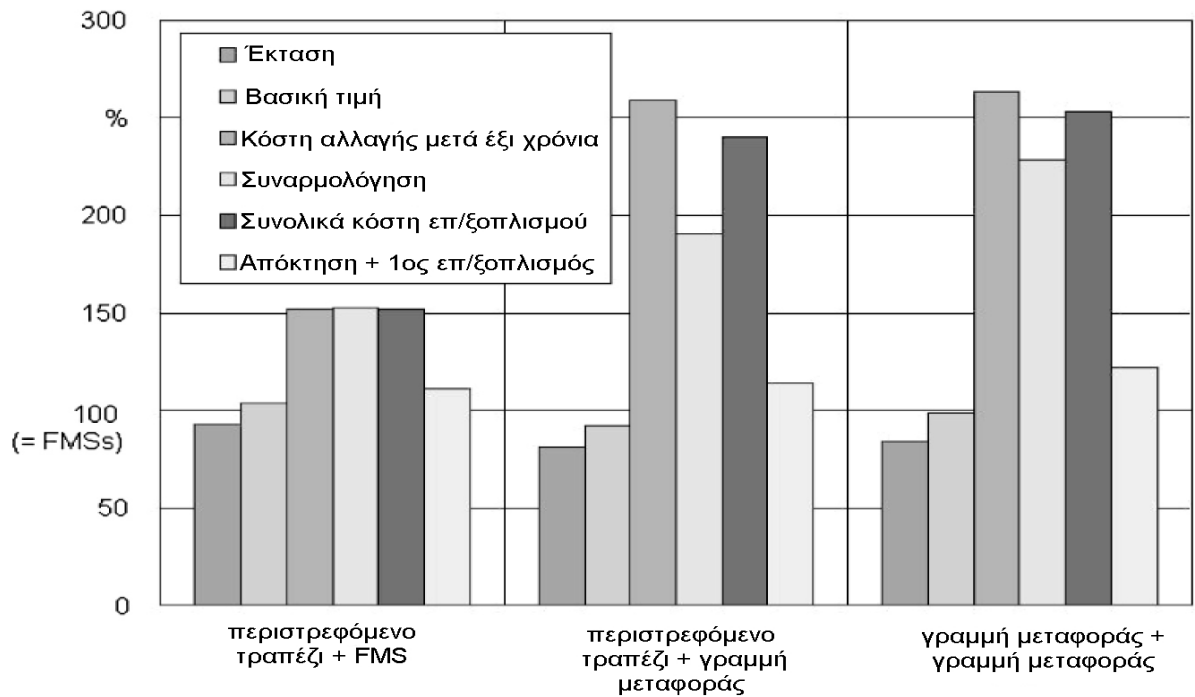
Αφού η επαναδιαμόρφωση είναι μία τεχνολογία-κλειδί για το 2020, δεν είναι εύκολο να αποδειχθούν τα πλεονεκτήματά της. Η εμπειρία πάνω στο θέμα είναι ελλιπής, και η αγορά είναι αβέβαια για τις διαφορές της με την ευελιξία. Οι διαφορές είναι αξιοσημείωτες (εικόνα 20). Ένα FMS περιορίζεται σε σταθερές συνθήκες, και ο μετεξοπλισμός (retrofitting) μπορεί να διαρκέσει από βδομάδες ως μήνες. Μία παγκόσμια έρευνα έδειξε ότι τα FMS έχουν υπερβολική παραγωγική ικανότητα και χαρακτηριστικά τα οποία τελικά δε χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις. Είναι περίπλοκες εκ φύσεως και όχι αρκετά προσαρμόσιμες στις εναλλασσόμενες ανάγκες σε όρους παραγωγικής ικανότητας και βαθμιαίων αλλαγών στη λειτουργικότητα [22]. Επίσης, τα περισσότερα FMS είναι ακόμα διαμορφώσιμα, αλλά όχι επαναδιαμορφώσιμα μετά από μερικά χρόνια χρήσης[23].



Εικόνα 20 Διαφορές μεταξύ FMS και RMS

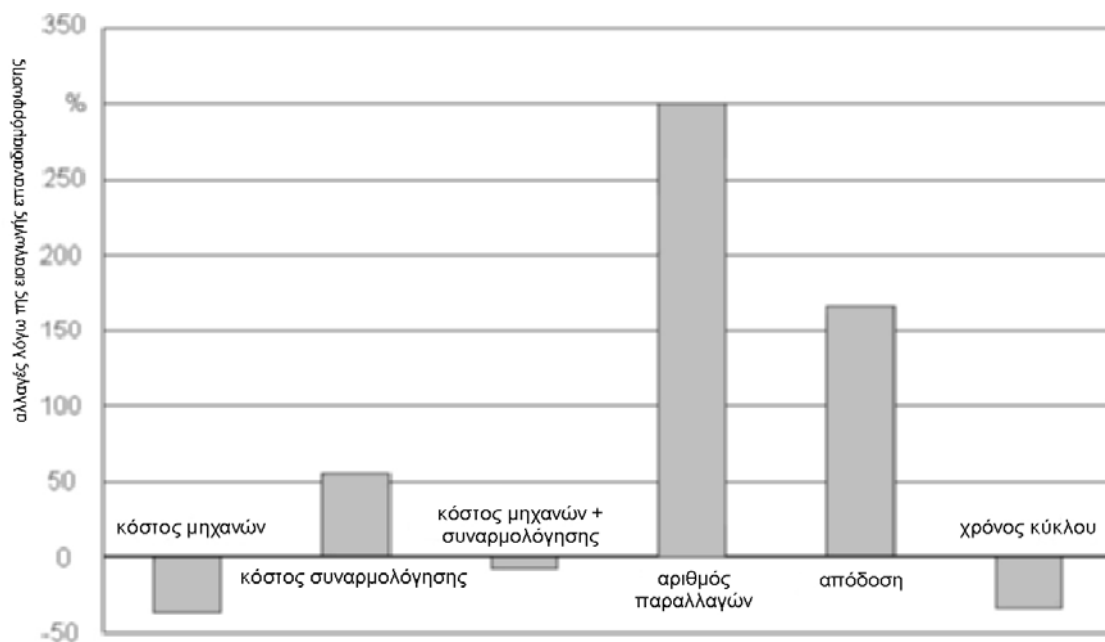
Σε ένα πρόσφατο έργο από το Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης, μία έρευνα έγινε πάνω στη γνώμη για τα RMS. Κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας πολλές γνώμες και προκαταλήψεις εναντίον των RMS εμφανίστηκαν. Μία ανάλυση αυτών των θέσεων θα μπορούσε να βοηθήσει στην κατανόηση του τι οι παραγωγοί και οι χρήστες των παραγωγικών συστημάτων προσδοκούν από και καταλαβαίνουν για την επαναδιαμόρφωση.

Όταν ερωτήθηκαν για την επαναδιαμόρφωση, πολλοί άνθρωποι απάντησαν ότι θα ήταν θεμιτό να υφίσταται, αλλά θα ήταν αντιοικονομική. Μιλώντας έχοντας εμπειρία και από την ευελιξία, μπορεί να ειπωθεί ότι οι off-the-shelf μηχανές είναι πιο οικονομικές από τα άκαμπτα, αποκλειστικά συστήματα. Ως παράδειγμα, η εικόνα 21 δείχνει στοιχεία από διαφορετικές διαμορφώσεις ενός συστήματος παραγωγής, αναφερόμενο στο συνδυασμό των FMS ως 100%. Τα κόστη των επανατοποθετήσεων για επόμενες γενιές ενός κομματιού αυξάνονται με την ακαμψία του συστήματος.



Εικόνα 21 Σύγκριση διαφορετικών διατάξεων ενός συστήματος παραγωγής, με σημείο αναφοράς ένα συνδυασμό FMSs

Για την επαναδιαμόρφωση ακόμα μεγαλύτερα οφέλη είναι πιθανά. Ένας αυξανόμενος αριθμός τυποποιημένων στοιχείων μειώνει τις δαπάνες για τα μηχανικά μέρη, ενώ το κόστος συναρμολόγησης αυξάνει, αλλά το σύνολο και των δύο μειώνεται. Ένα παράδειγμα από ένα παραγωγό μαζικής παραγωγής δείχνει τις συνέπειες στην πράξη από την αντικατάσταση ενός άκαμπτου παραγωγικού συστήματος με ένα επαναδιαμορφώσιμο (εικόνα 22). Αυτές οι αλλαγές στο ποσοστό διαψεύδουν τις ανησυχίες για τις οικονομικές επιπτώσεις των RMS.



Εικόνα 22 Αλλαγές στη μαζική παραγωγή λόγω αντικατάστασης ενός άκαμπτου συστήματος παραγωγής με ένα επαναδιαμορφώσιμο σύστημα παραγωγής

Πολλοί άνθρωποι υποψιάζονται ότι ο χώρος εργασίας στις επαναδιαμορφώσιμες μηχανές είναι περιορισμένος. Ωστόσο, όσο τα περισσότερα σειριακά κομμάτια χωράν σε ένα κύβο με μήκος ακμής 400mm, και αφού η επαναδιαμόρφωση είναι μια τεχνολογία για μαζική παραγωγή, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός. Η δυσκαμψία των αποσπάσιμων συνδέσμων είναι επίσης επαρκής, όσο τα εργαλεία και τα προς επεξεργασία κομμάτια δεν είναι σταθερά. Είναι ένα ζήτημα θέσης διαστάσεων και επανόρθωσης, όχι αρχών.

Μία άλλη οικονομική διάσταση είναι ο κύκλος ζωής. Μερικές φορές εγείρεται το ζήτημα του ότι δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό εάν μία εταιρεία πρέπει να επαναδιαμορφώσει την παραγωγή της ή αν θα συνεχίσει να παράγει ένα προϊόν εξ ολοκλήρου στα επόμενα χρόνια, και έτσι δεν είναι πρόθυμη να επενδύσει χρήματα σε κάτι που πιθανώς δε θα χρησιμοποιήσει ποτέ. Είναι γεγονός ότι ποικίλοι αριθμοί αυξάνουν και πολλά μεγέθη μειώνονται σε όλες τις αγορές, κάτι που συνοδεύεται από μικρότερους κύκλους ζωής προϊόντων. Η πιθανότητα χρήσης μιας μηχανής χωρίς αλλαγές καθ' όλη τη διάρκεια του οικονομικού χρόνου ζωής της είναι αμελητέα. Και αν η μελλοντική ύπαρξη της εταιρίας είναι αμφίβολη, γιατί να επενδύσει κανείς σε εξοπλισμό που διαρκεί για χρόνια; Το να αποταμιεύσεις τα λεφτά στη τράπεζα θα ήταν καλύτερη οικονομική απόφαση.

Μία άλλη λανθασμένη αντίληψη είναι ότι το RMS είναι ένα FMS με μη χρησιμοποιημένα τμήματα αποθηκευμένα σε ένα ντουλάπι. Από τη μία πλευρά θα ήταν μία έμφυτη θετική κίνηση μείωσης βάρους το να μη μετακινήσεις μη χρησιμοποιούμενο βάρος. Αλλά από την άλλη ο σχεδιασμός της παραγωγής πρέπει να ελέγχει τη χρήση των τμημάτων. Δεδομένου ότι σχεδόν κάθε κομμάτι χρειάζεται τουλάχιστον διάνοιξη οπών, φρεζάρισμα και μετακίνηση, η ζήτηση για τα κατάλληλα τμήματα θα πρέπει να είναι επαρκής. Τμήματα που δε χρησιμοποιούνται μπορούν να δανειστούν, να δοθούν με leasing, να πωληθούν ή να κεφαλαιοποιηθούν με άλλο τρόπο. Αντίθετα με τις παρούσες μηχανές, τα τμήματα των RMS προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα και να είναι ζήτημα σχεδιασμού να γίνει σωστή χρήση αυτών.

Συνοψίζοντας, η επαναδιαμόρφωση απαιτεί την άρση ενός παραδείγματος. Οι λύσεις περασμένων περιόδων δε μπορούν να λύσουν προβλήματα του παρόντος. Η επαναδιαμόρφωση αρχίζει με δεδομένες προσεγγίσεις και τις αναπτύσσει σε μία νέα αντίληψη η οποία μεταβάλλει τον κόσμο της παραγωγής.

2.11.1 Οι Απαιτήσεις των χρηστών

Στην έρευνα που αναφέρθηκε παραπάνω, οι αντιλήψεις των χρηστών για την επαναδιαμόρφωση ευρύνονται από τη συμφωνία με τον παραπάνω ορισμό μέχρι την «λογική ανακύκλωση» των παραγωγικών συστημάτων. Κάθε χρήστης έχει εμπειρία με τη μείωση των κύκλων ζωής των προϊόντων, τις απρόβλεπτες αλλαγές στην αγορά και τη δυσκολία, αν όχι το ανέφικτο, της μετατροπής ενός δεδομένου παραγωγικού συστήματος με βάση τις νέες ανάγκες.

Η σημασία της χρήσης της επαναδιαμόρφωσης για το χρήστη εξαρτάται από οικονομικές, τεχνικές και οργανωτικές συνθήκες. Τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής πρέπει να αντεπεξέλθουν σε όσες το δυνατόν περισσότερες από αυτές τις

απαιτήσεις (δες πίνακα 3). Εξαρτώμενοι από την κατάσταση, μία μερική (partial) απόδοση μπορεί να είναι ικανοποιητική για το χρήστη. Αλλά με μειωμένο τον αριθμό των απαιτήσεων που ικανοποιούνται, ο χρήστης φτάνει σε ένα σημείο όπου ένα ευέλικτο σύστημα παραγωγής είναι επαρκές.

Τύπος παραγωγής	Σειριακή και μαζική παραγωγή
Απόδοση παραγωγής	< 1500-3000 ανά ημέρα, ανάλογα με τη πολυπλοκότητα του προϊόντος
Αριθμός παραλλαγών	> 1 / Άγνωστες αλλαγές στο μέλλον
Κύκλος ζωής προϊόντος	2 - 8 χρόνια χωρίς αλλαγές
Κύκλος ζωής συστήματος	20 χρόνια και πλέον
Μέγεθος παρτίδας	Αδιάκοπη παραγωγή για το λιγότερο μία βάρδια
Κατανομή της απόδοσης στις παραλλαγές	Αν οι απαιτήσεις για τις παρτίδες δεν εκπληρούνται, απόφαση για την αγορά του κομματιού.
Διαθεσιμότητα του συστήματος	> 95%
Ικανότητα μηχανής	> 1,33%
Ακρίβεια	Εξαρτώμενη από το χρήστη, ως $\pm 5 \mu\text{m}$
Κόστη ανά μονάδα	Παρόμοιο με ένα συμβατικό σύστημα ή χαμηλότερο
Τιμή απόκτησης της μηχανής	Παρόμοια με ένα συμβατικό σύστημα ή χαμηλότερη
Χρόνος αργίας κατά τις επαναδιαμορφώσεις	< 2 ώρες
Απόθεμα τμημάτων μηχανής	Ελάχιστος αριθμός τμημάτων σε αχρησία
Διαθεσιμότητα νέων τμημάτων	Εντός ωρών/ Για περισσότερο από 10 χρόνια
Χρήση τμημάτων	Πολλαπλές γενιές κομματιών
Τμηματοποίηση	Ολοκληρωμένοι έλεγχοι και οδηγοί
Διεπαφές	Μηχανική σύνδεση, πληροφορίες, ενέργεια, μέσα, περιφερειακά
Έλεγχοι	Κατανεμημένοι, ανοιχτοί και φανεροί
Επιφάνεια ελέγχου	Ομοιόμορφη (ανεξάρτητη διαμόρφωσης)
Ικανότητα συντήρησης	Εύκολη και συνεπής

Πίνακας 3 Απαιτήσεις χρηστών για τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής

Σύνοψη 2^ο κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκε εκτενώς η πρόταση για τα Επαναδιαμορφώσιμα Συστήματα Παραγωγής. Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύτηκε με συστηματικό τρόπο τη θέαση της παραγωγής από το επίπεδο του δικτύου παραγωγής ως τις εργαλειομηχανές πάντα υπό το πρίσμα των Επαναδιαμορφώσιμων Συστημάτων Παραγωγής. Η παρουσίαση μιας συγκεκριμένης εργαλειομηχανής, του ρομπότ, και το πώς αυτό εισάγεται ως υποσύστημα σε ένα RMS αποτελεί τη συνέχεια αυτής της εργασίας.

3. Το ρομπότ ως υποσύστημα (submodule) ενός RMS

3.1 Βιομηχανικές ρομποτικές εφαρμογές

3.1.1 Αιτίες για τη χρήση ρομπότ

Η πρώτη εμπορική εφαρμογή ενός βιομηχανικού ρομπότ έλαβε χώρα το 1961, όταν ένα ρομπότ χρησιμοποιήθηκε στη φόρτωση και εκφόρτωση μίας μηχανής χυτήριου, δηλαδή σε μία εργασία ιδιαίτερα δυσάρεστη για τον άνθρωπο. Πολλές από τις πρώτες ρομποτικές εγκαταστάσεις αφορούσαν εφαρμογές όπου υπήρχε μεγάλος κίνδυνος ή δυσφορία για τους ανθρώπους, όπως για παράδειγμα, ηλεκτροσυγκολλήσεις, βαφή και εργασίες χυτήριων. Τα πρώτα αυτά ρομπότ δεν εκτελούσαν τις εργασίες τους πιο οικονομικά από τους ανθρώπους. Η αποφυγή ωστόσο των επικίνδυνων και δυσάρεστων χειρωνακτικών εργασιών από τους ανθρώπους αποτελούσε επαρκή αιτιολογία για τη χρησιμοποίησή τους[24].

Με την εξέλιξη της ρομποτικής τεχνολογίας, το πεδίο εφαρμογών των ρομπότ στη βιομηχανία διευρύνθηκε, και μαζί με αυτό και οι αιτιολογίες για τη χρήση τους. Σήμερα έχει επικρατήσει πλέον ο όρος 4D, από το ακρωνύμιο των λέξεων Dull, Dirty, Dangerous και Difficult (δηλαδή, ανιαρό, ακάθατο, επικίνδυνο, δύσκολο), για να περιγράψει το είδος των εργασιών όπου ευνοείται η χρήση ρομπότ. Πέραν τούτων, τα ρομπότ σήμερα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που προσφέρουν σαφές οικονομικό πλεονέκτημα και καλύτερα αποτελέσματα έργου σε σύγκριση με τον άνθρωπο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν εργασίες με σημαντικά χαμηλότερο κόστος (εξοικονόμηση από 50-75% σε καθαρό εργατικό κόστος).

Ένας πρόσθετος λόγος για τη χρησιμοποίηση βιομηχανικών ρομπότ είναι η αυξημένη παραγωγικότητα. Η αυξημένη παραγωγικότητα οφείλεται στον ελαφρά ταχύτερο ρυθμό εργασίας του ρομπότ, αλλά κυρίως στην ικανότητα ενός ρομπότ να εργάζεται σχεδόν ακατάπαυστα, χωρίς διαλείμματα.

Πέραν της οικονομίας, του περιορισμού των εργασιών 4D, και της αύξησης της παραγωγικότητας, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές όπου η επαναληψιμότητα είναι σημαντική. Τα σημερινά ρομπότ δεν έχουν βεβαίως ικανότητα κρίσης, ευελιξίας ή επιδεξιότητας όπως ο άνθρωπος. Παρέχουν ωστόσο το ξεχωριστό πλεονέκτημα της ικανότητας επιτέλεσης επαναληπτικών έργων με μεγάλο βαθμό συνέπειας, το οποίο οδηγεί σε βελτιωμένη ποιότητα προϊόντος. Η βελτίωση στη συνέπεια είναι ουσιαστική για την αιτιολόγηση χρήσης ρομπότ σε εφαρμογές όπως η βαφή με ψεκασμό, η ηλεκτροσυγκόλληση και η επιθεώρηση αντικειμένων.

Τα τέσσερα αυτά πλεονεκτήματα – μειωμένο κόστος, αυξημένη παραγωγικότητα, καλύτερη ποιότητα και περιορισμός των 4D εργασιών- αποτελούν τους πρωτεύοντες λόγους χρησιμοποίησης βιομηχανικών ρομπότ στα σημερινά εργοστάσια. Στο μέλλον, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα, η μεγαλύτερη ευελιξία, αναμένεται να παίξει ουσιαστικό ρόλο στην χρήση ρομπότ. Καθώς τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής και τα εργοστάσια πλήρους αυτοματοποίησης γίνονται πραγματικότητα, η ικανότητα

προσαρμογής του ρομπότ σε μεταβολές του σχεδιασμού ενός προϊόντος, σε αλλαγές στην πολυμορφία των προϊόντων και σε παραλλαγές του περιβάλλοντος χώρου εργασίας ή της γραμμής παραγωγής, αποτελεί ένα διαρκώς αυξανόμενο σημαντικό λόγο χρήσης τους.

3.1.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση ρομπότ

Η ακόλουθη λίστα σταχυολογεί τα πιο συχνά αναφερόμενα ως πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ρομπότ, όπως έχουν καταγραφεί σε άρθρα περιοδικών και σε βιβλία κατά την [25].

Πλεονεκτήματα:

1. Ασφάλεια των εργαζομένων.
 - (a) Επικίνδυνα περιβάλλοντα.
 - i. Τοξικά αέρια.
 - ii. Υψηλές θερμοκρασίες.
 - iii. Ραδιενέργεια.
 - (b) Επικίνδυνες εργασίες.
 - i. Φόρτωση και εκφόρτωση επικίνδυνων εργαλείων.
2. Υψηλότερη παραγωγικότητα.
 - (a) 24ωρη λειτουργία.
 - (b) Υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας στις περισσότερες εφαρμογές.
 - (c) Λιγότερα σφάλματα που έχουν σαν αποτέλεσμα λιγότερα απορριπτέα κομμάτια ή κατεστραμμένες μηχανές.
 - (d) Ομοιόμορφη ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.
3. Ευελιξία παραγωγικής μονάδας.
 - (a) Μικρότερος χρόνος προσαρμογής σε αλλαγές της μονάδας.
 - (b) Ευκολότερη αντιμετώπιση των αλλαγών.
 - (c) Αντίσταση στην παλαίωση με ενθάρρυνση ανανεωτικών αλλαγών.
 - (d) Ικανότητα λειτουργίας υπό ασυνήθιστους προσανατολισμούς, όπως με προσάρτηση στην οροφή ή στον τοίχο.
4. Δυνατότητα εργασίας υπό αντίξοες συνθήκες (μη εφικτές από ανθρώπους)
 - (a) Υποθαλάσσιες και διαστημικές έρευνες/επιδιορθώσεις.
 - (b) Ηφαίστεια, σήραγγες.[14]

Μειονεκτήματα:

1. Δυσκολία προγραμματισμού ανάλογα με την εφαρμογή.
2. Σχετικά μικρή ταχύτητα λειτουργίας, ειδικά για σερβοελεγχόμενα συστήματα συνεχούς τροχιάς.
3. Η ακρίβεια τοποθέτησης των ρομποτικών συνιστωσών περιορίζεται από τον «τζόγο» στις ρομποτικές αρθρώσεις και την ευκαμψία ή κύρτωση των ρομποτικών συνδέσμων. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο σε σχέση με το μέγεθος του ρομπότ, τόσο μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα αυτό.
4. Κόστος εγκατάστασης, συντήρησης, εκμάθησης, κλπ.

3.1.3 Κατηγορίες Εφαρμογών

Σε κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες από τις ικανότητες μεταφοράς, μεταχείρισης και αίσθησης. Οι ικανότητες αυτές, σε συνδυασμό με τη συνυφασμένη αξιοπιστία και αντοχή ενός ρομπότ, το καθιστούν ιδανικό εργαλείο για πολλές εφαρμογές που πραγματοποιούνται σήμερα χειρωνακτικά ή με παραδοσιακά αυτόματα μέσα. Στα τέλη του 1983, υπήρχαν περίπου 8.000 ρομποτικές εγκαταστάσεις στις Η.Π.Α., οι οποίες ταξινομούνται σε επτά κατηγορίες εφαρμογών [26]. Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τις βασικές ικανότητες των ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε κάθε κατηγορία εφαρμογών καθώς και τα αποκομιζόμενα οφέλη. Στη συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή κάθε κατηγορίας.

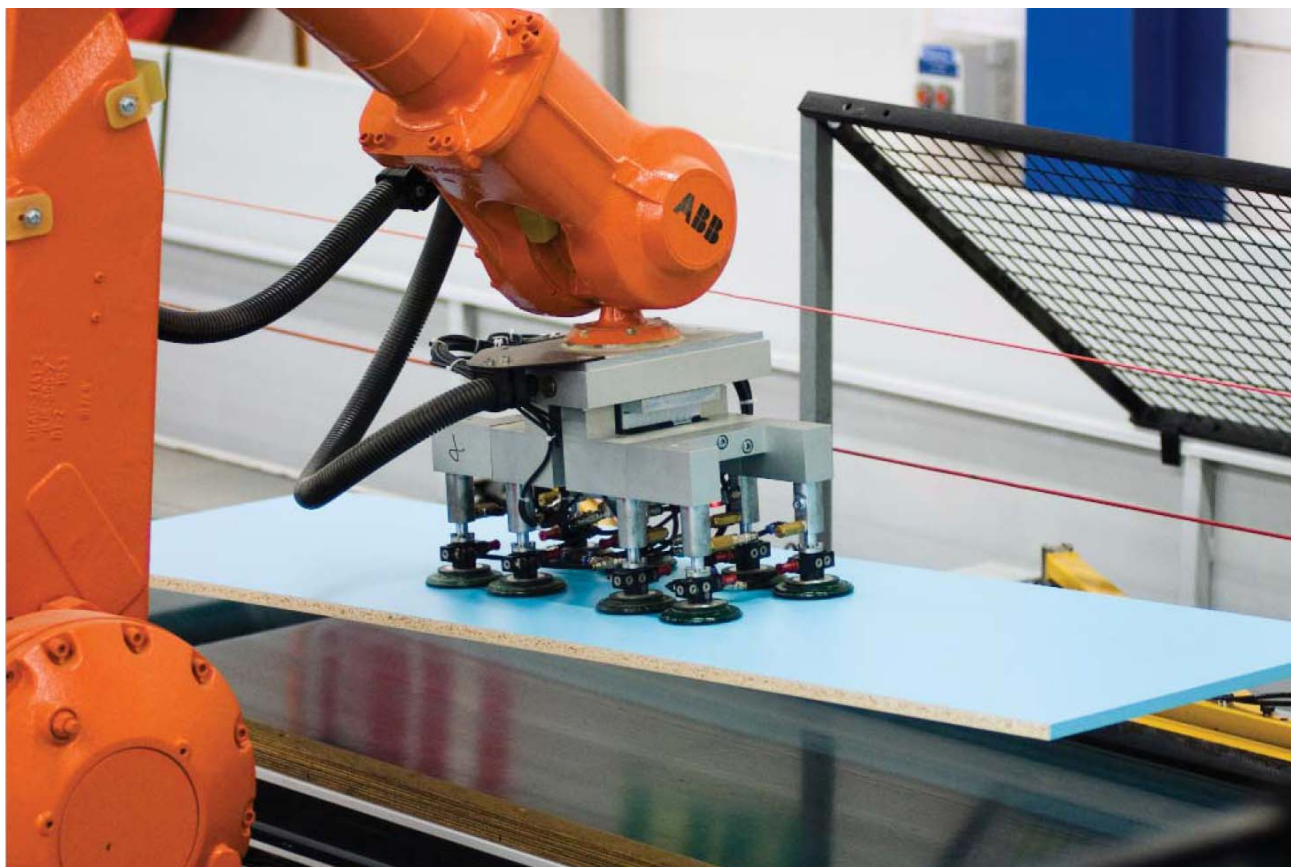
Κατηγορία Εφαρμογών	Παραδείγματα	Ικανότητες Ρομπότ που αιτιολογούν τη Χρήση			Κύρια Πλεονεκτήματα από τη Χρήση Ρομπότ			
		Μεταφορά	Χειρισμός	Αίσθηση	Βελτιωμένη Ποιότητα Προϊόντος	Αυξημένη Παραγωγικότητα	Μειωμένο Κόστος	Απαλοιφή 4D Εργασιών
Διαχείριση Υλικών	Παλετοποίηση Μεταφορά Μεταχείριση	•					•	•
Φόρτωση Μηχανών	Χυτήρια Αυτόματες Πρέσες Αλεστικές Μηχανές	•	•			•	•	•
Ψεκασμός	Βαφή Εναπόθεση Ρητίνης		•		•		•	•
Ηλεκτρο-συγκόλληση	Σημειακή Τόξου		•		•	•	•	•
Μηχανουργείο	Διάτρηση Καθαρισμός Τρόχισμα Τόρνευση Κοπή		•	•				•
Συναρμολόγηση	Ταίριασμα Σύσφιξη		•	•		•	•	•
Επιθεώρηση	Έλεγχος Θέσης Ανοχή			•	•			•

Πίνακας 4 Κύριες κατηγορίες ρομποτικών εφαρμογών και αιτιολογία χρήσης

(i) Διαχείριση Υλικών

Τα πρώτα ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν, πέραν της εγχύσεως μετάλλων σε χυτήρια, και σε άλλες εφαρμογές διαχείρισης υλικών (Εικόνα 23). Οι εφαρμογές αυτές εκμεταλλεύονται τη μεταφορική ικανότητα ενός ρομπότ, ενώ οι ικανότητες μεταχείρισης είναι λιγότερο σημαντικές. Στις πιο τυπικές εργασίες, το ρομπότ είναι

σταθερά προσαρτημένο στο πάτωμα ή κυλιέται πάνω σε ράβδους που του επιτρέπουν να κινείται από ένα σταθμό εργασίας σε κάποιον άλλο και η κίνηση του βραχίονα πραγματοποιείται σε δύο ή τρεις διαστάσεις. Περιστασιακά, το ρομπότ ενδέχεται να είναι προσαρτημένο στην οροφή του χώρου.



Εικόνα 23 Ρομπότ σε εφαρμογή διαχείρισης υλικών

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εργασίες διαχείρισης υλικών δεν διαθέτουν σερβομηχανισμό με αισθητήρια, ή είναι απλά ρομπότ ανάκτησης και τοποθέτησης. Η μεταφορά αντικειμένων από γραμμή επεξεργασίας σε γραμμή μεταφοράς, η παλετοποίηση (palletization) αντικειμένων και η φόρτωση ακατέργαστων κομματιών για περαιτέρω επεξεργασία, αποτελούν τυπικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών.

Τα πρωταρχικά οφέλη από τη χρήση των ρομπότ στη διαχείριση υλικών είναι η μείωση των άμεσων εργατικών δαπανών και η απομάκρυνση των ανθρώπων από επικίνδυνες, μονότονες ή εξαντλητικές εργασίες. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση των ρομπότ οδηγεί σε μικρότερη φθορά των αντικειμένων εξαιτίας της μεταχείρισής τους, κάτι το οποίο ευνοεί τη χρήση ρομπότ στη μεταφορά εύθραυστων αντικειμένων. Σε ορισμένες εφαρμογές διαχείρισης υλικών, ωστόσο, άλλες μορφές αυτοματισμού μπορεί να είναι πιο κατάλληλες εάν οι παραγωγικοί όγκοι είναι μεγάλοι και δεν απαιτείται χειρισμός των αντικειμένων.

(ii) Φόρτωση και Εκφόρτωση Μηχανών

Τα βιομηχανικά ρομπότ πέραν της φόρτωσης (loading) και εκφόρτωσης (unloading) σε χυτήρια, χρησιμοποιούνται εκτενώς και σε άλλες εφαρμογές φορτοεκφόρτωσης μηχανών (Εικόνα 24). Η ρομποτική αυτή εργασία θεωρείται περισσότερο πολύπλοκη από την απλή διαχείριση υλικών. Ένα ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να ανακτήσει ένα αντικείμενο από μία γραμμή μεταφοράς, να το ανυψώσει σε μία μηχανή, να το προσανατολίσει σωστά, και κατόπιν να το εισάγει ή να το τοποθετήσει σε μία άλλη μηχανή. Μετά την επεξεργασία, το ρομπότ πρέπει να εκφορτώσει το αντικείμενο και να το μεταφέρει σε κάποια άλλη μηχανή ή γραμμή μεταφοράς. Η μεγαλύτερη αποδοτικότητα συνήθως επιτυγχάνεται όταν ένα ρομπότ χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση πολλών μηχανών. Επίσης, ένα απλό ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτέλεση άλλων εργασιών ενόσω οι μηχανές επιτελούν το δικό τους έργο. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν τη φόρτωση και εκφόρτωση θερμών μεταλλικών δοκιμίων σε πρέσες επεξεργασίας χυτών αντικειμένων, τη φορτοεκφόρτωση μηχανικών εργασιών (π.χ. τόνου), κλπ.



Εικόνα 24 Ρομπότ σε εφαρμογή φορτοεκφόρτωσης

Το κύριο κίνητρο για τη χρήση ρομπότ στην περίπτωση αυτή, είναι η μείωση του αριθμού των εργαζομένων σε αντίξοες συνθήκες, και επακόλουθα του κόστους. Η συνολική παραγωγικότητα εξάλλου, είναι πιθανό να αυξηθεί εξαιτίας του υψηλότερου χρόνου που μπορεί να εργασθεί το ρομπότ σε σύγκριση με τον άνθρωπο.

(iii) Ψεκασμός

Στις εφαρμογές αυτές, το ρομπότ μεταχειρίζεται ένα εργαλείο ψεκασμού προκειμένου να εναποθέσει κάποιο υλικό επικάλυψης, π.χ. χρώμα, επίχρισμα, κλπ. σε κινούμενα ή στάσιμα αντικείμενα (Εικόνα 25). Σήμερα, τα ρομπότ βαφής χρησιμοποιούνται για ένα πλήθος αντικειμένων, μεταξύ των οποίων τα αμαξώματα αυτοκινήτων, οι ηλεκτρικές συσκευές και τα έπιπλα. Σε περιπτώσεις όπου το ψεκαζόμενο αντικείμενο βρίσκεται πάνω σε μία γραμμή μεταφοράς, η ακολουθία ρομποτικών κινήσεων ψεκασμού συντονίζεται με την κίνηση της γραμμής μεταφοράς. Τυπικές εφαρμογές ρομπότ ψεκασμού περιλαμβάνουν την εναπόθεση ρητίνης και θρυμματισμένου υαλοβάμβακα σε καλούπια για την παραγωγή πλαστικών αντικειμένων με ενίσχυση γυαλιού, και τον ψεκασμό εποξικής ρητίνης μεταξύ στρωμάτων πλακών γραφίτη για την παρασκευή προηγμένων σύνθετων υλικών.



Εικόνα 25 Ρομπότ σε εφαρμογή βαφής

Η ικανότητα μεταχείρισης του ρομπότ είναι πρωταρχικής σημασίας στις εφαρμογές ψεκασμού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους είναι η ψηλότερη ποιότητα των προϊόντων εξαιτίας της ομοιόμορφης εναπόθεσης του υλικού. Πρόσθετα οφέλη

είναι η ελαχιστοποίηση του χαμένου υλικού επικάλυψης, η μειωμένη έκθεση των ανθρώπων σε τοξικά υλικά, και το μειωμένο κόστος.

(iv) Ηλεκτροσυγκόλληση

Η δημοφιλέστερη ρομποτική εφαρμογή σήμερα είναι η πόντιση ή σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση αμαξωμάτων στις αυτοκινητοβιομηχανίες (Εικόνα 26). Η σημειακή συγκόλληση επιτελείται συνήθως από ρομπότ σημείου-προς-σημείο με σερβομηχανισμό, τα οποία κρατούν το συγκολλητικό ακροφύσιο (welding torch). Τα ρομπότ μπορούν εξάλλου να εκτελέσουν και συγκόλληση τόξου (arc welding). Η παρακολούθηση ωστόσο της ραφής μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε τέτοιες εφαρμογές. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί συστήματα παρακολούθησης της ραφής χωρίς επαφή, που μπορούν να διευρύνουν σημαντικά τη χρήση ρομπότ για συγκολλήσεις.



Εικόνα 26 Ρομπότ σε εφαρμογή ηλεκτροσυγκόλλησης

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συγκόλλησης λόγω της μείωσης του κόστους και της βελτίωσης της ποιότητας του προϊόντος μέσω καλύτερων συγκολλήσεων. Επιπροσθέτως, επειδή η συγκόλληση τόξου είναι σχετικά επικίνδυνη, η χρήση ρομπότ μπορεί να ελαχιστοποιήσει τους κινδύνους των εργαλείων.

(v) Μηχανουργικές Κατεργασίες

Σε εφαρμογές μηχανουργικής κατεργασίας, το ρομπότ συνήθως συγκρατεί ένα τροφοδοτούμενο άξονα και πραγματοποιεί διάτρηση (drilling), τρόχισμα (grinding), τόννευση (routing), καθαρισμό (deburring) και άλλες κατεργασίες σε ένα αντικείμενο. Στις κατεργασίες αυτές, το αντικείμενο τοποθετείται σε μία υποδοχή από τον άνθρωπο, ενώ ένα ρομπότ πραγματοποιεί την κατεργασία. Σε ορισμένες εργασίες, το ρομπότ μετακινεί το αντικείμενο σε ένα στατικό τροφοδοτούμενο άξονα ή εργαλείο, όπως ένας τροχός γυαλίσματος (buffing wheel). Οι ρομποτικές εφαρμογές στη μηχανουργική κατεργασία είναι σήμερα σχετικά περιορισμένες εξαιτίας της ύπαρξης μηχανών κατεργασίας (CNC, κλπ.), οι οποίες δίνουν καλύτερα αποτελέσματα ακριβείας, των ακριβών σχεδιασμών των εργαλείων και την έλλειψη κατάλληλων τεχνικών ανατροφοδότησης υψηλού επιπέδου από αισθητήρες, προβλέπεται δε να παραμείνουν σχετικά περιορισμένες μέχρις ότου επιτευχθούν βελτιωμένες ικανότητες αίσθησης, ελέγχου και μεταχείρισης-μεταφοράς.

(vi) Συναρμολόγηση

Μία από τις περιοχές με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σήμερα είναι η ανάπτυξη αποδοτικών, λογικά κοστολογημένων ρομπότ για συναρμολόγηση (Εικόνα 27). Τα σημερινά ρομπότ χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη έκταση σε απλές εργασίες συναρμολόγησης, όπως το ταίριασμα δύο κομματιών. Σε πολυπλοκότερες εφαρμογές τα ρομπότ υπόκεινται στους ίδιους περιορισμούς όπως και στις μηχανουργικές κατεργασίες, δηλαδή εμφανίζουν δυσκολίες στην επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας τοποθέτησης και στην ανατροφοδότηση από αισθητήρες. Παραδείγματα τέτοιων ρομποτικών εργασιών είναι η εισαγωγή λαμπτήρων φωτισμού σε πίνακες οργάνων, η συναρμολόγηση κεφαλών κορδέλας για γραφομηχανές, η εισαγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και διακριτών στοιχείων σε τυπωμένα κυκλώματα και η αυτοματοποιημένη συναρμολόγηση μικρών ηλεκτρικών κινητήρων. Πολύπλοκες και σύνθετες εργασίες συναρμολόγησης δεν μπορούν να εκτελεστούν από τα σημερινά ρομπότ. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών διεξάγει έρευνα στην ανατροφοδότηση από αισθητήρες στη βελτίωση της ακρίβειας τοποθέτησης και σε καλύτερες γλώσσες προγραμματισμού προσανατολισμένες στην εργασία (task-oriented) έτσι ώστε να επιτευχθούν προηγμένες εφαρμογές συναρμολόγησης στο μέλλον.



Εικόνα 27 Ρομπότ σε εφαρμογή συναρμολόγησης

(vii) Επιθεώρηση – Έλεγχος Ποιότητας

Ο τομέας της επιθεώρησης (inspection) από ρομπότ παρουσιάζει ένα μικρό αλλά διαρκώς αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών. Στις εφαρμογές αυτές τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αισθητήρες, όπως τηλεοπτική κάμερα, λέιζερ ή υπερηχητικούς ανιχνευτές, προκειμένου να επιβεβαιώσουν τις θέσεις των αντικειμένων, να προσδιορίσουν ελαττώματα ή να αναγνωρίσουν αντικείμενα για ταξινόμηση. Τέτοια ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί στην επιθεώρηση καλυμμάτων βαλβίδων σε μηχανές αυτοκινήτων, στην ταξινόμηση χυτών μεταλλικών αντικειμένων και στην επιθεώρηση της ακρίβειας διαστάσεων σε ανοίγματα αμαξωμάτων. Στις εφαρμογές επιθεώρησης, απαιτείται μεγάλος βαθμός ικανοτήτων ακρίβειας και εκτενούς αίσθησης. Οι εφαρμογές αυτές βρίσκονται ανάμεσα στις ταχύτερα εξελισσόμενες καθώς αναπτύσσονται αισθητήρες χαμηλού κόστους.

3.2 Συνιστώσες Ρομποτικών Συστημάτων

3.2.1 Η Γενική Δομή των Ρομποτικών Συστημάτων

Οι ρομποτικοί χειριστές σειριακού τύπου αποτελούν την πλειοψηφία των βιομηχανικών ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά είναι ανοικτές κινηματικές αλυσίδες στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι (links), συνδεδεμένων σειριακά μέσω ανεξάρτητα κινουμένων αρθρώσεων (joints). Το ένα άκρο, η βάση του ρομπότ, είναι σταθερά στερεωμένο στο έδαφος, ενώ το άλλο άκρο, στο οποίο είναι συνήθως προσαρτημένο ένα εργαλείο (tool) ή ένα τελικό στοιχείο δράσης (end-effector), μπορεί να κινείται ελεύθερα στο χώρο και να ασκεί δυνάμεις ή/και ροπές σε αντικείμενα που χειρίζεται το ρομπότ κατά την εκτέλεση εργασιών. Κάθε ζεύγος συνδέσμου-άρθρωσης συγκροτεί ένα βαθμό ελευθερίας (Degree-of-Freedom – DOF), ο οποίος μπορεί να είναι περιστροφικός (δηλαδή να εκτελεί περιστροφή γύρω από ένα άξονα), ή γραμμικός (δηλαδή να εκτελεί μετατόπιση κατά μήκος ενός άξονα).

Το πρόβλημα του ρομποτικού ελέγχου επικεντρώνεται στο σχεδιασμό ευσταθών (stable) και σθεναρών (εύρωστων – robust) αλγορίθμων που συντονίζουν την κίνηση των αρθρώσεων και επιτρέπουν στο ρομπότ να ακολουθεί μία συγκεκριμένη τροχιά που περιγράφεται συνήθως σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Cartesian coordinate system). Το σύστημα αυτό, το οποίο θεωρείται σταθερό, καλείται απόλυτο, γενικό, ή παγκόσμιο (universal, global) και ισοδυναμεί με ένα ακίνητο σύστημα αναφοράς στο οποίο αναφέρονται όλα τα αντικείμενα του χώρου καθώς και το ίδιο το ρομπότ. Η λειτουργία ενός βιομηχανικού ρομπότ περιλαμβάνει την εκτέλεση των ακόλουθων βασικών λειτουργιών: χειρισμός (manipulation), αίσθηση (sensing), επικοινωνία (communication), έλεγχο (control) και επεξεργασία ή λήψη αποφάσεων (processing or decision making). Οι τρεις πρώτες λειτουργίες εμπλέκουν αλληλεπίδραση μεταξύ του ρομπότ και του περιβάλλοντός του, ενώ οι υπόλοιπες δύο, είναι εσωτερικές λειτουργίες του ρομπότ. Οι πέντε αυτές λειτουργίες εξαρτώνται και επιτελούνται από τις βασικές συνιστώσες ενός ρομποτικού συστήματος.

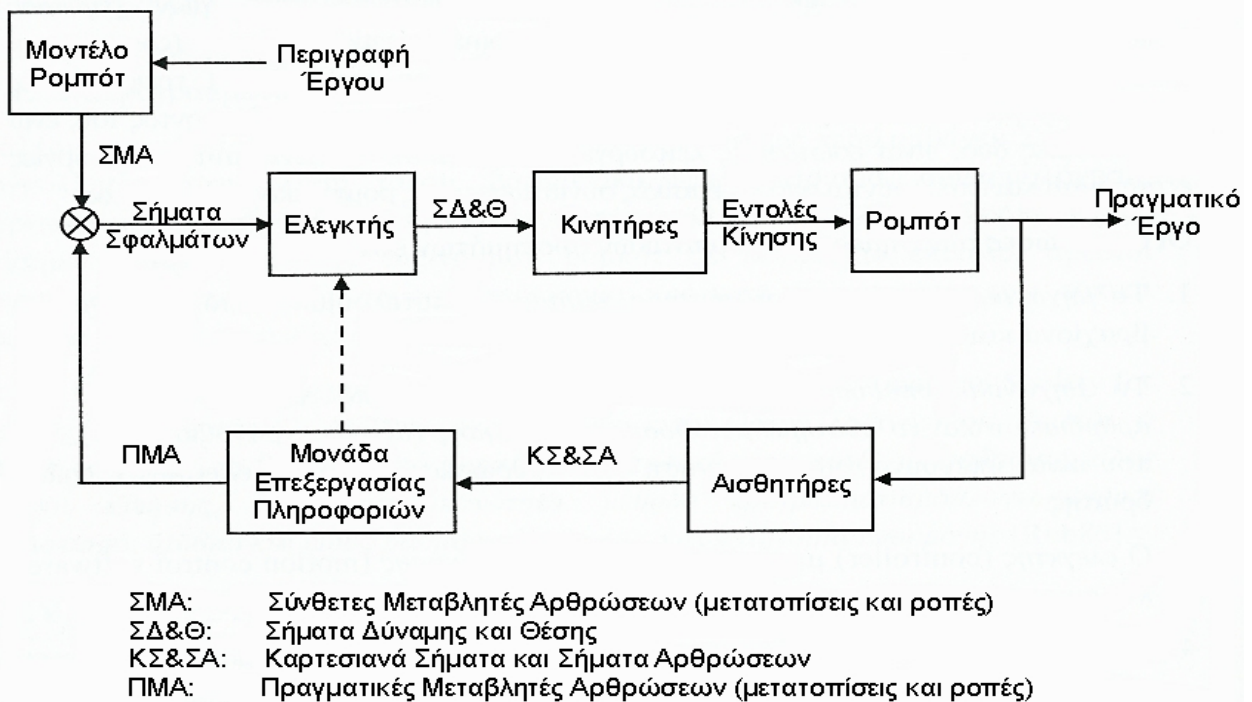
Οι συνιστώσες των σημερινών ρομποτικών συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Το μηχανικό υποσύστημα ή σύστημα χειρισμού αποτελούμενο από το μηχανικό βραχίονα και το τελικό στοιχείο δράσης.
2. Το μηχανικό υποσύστημα κίνησης αποτελούμενο από τους κινητήρες των αρθρώσεων και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης (άξονες, γρανάζια, κλπ.), και που είναι υπεύθυνο για την κίνηση των αρθρώσεων και του τελικού στοιχείου δράσης.
3. Ο ελεγκτής (controller) με το λογισμικό ελέγχου κίνησης (motion control software) και η μονάδα επεξεργασίας της πληροφορίας.
4. Το ηλεκτρονικό σύστημα κίνησης, το οποίο αφορά τη μεταφορά, αποκωδικοποίηση και εκτέλεση των εντολών του ελεγκτή από τους κινητήρες, καθώς και την παρακολούθηση της εκτέλεσης των εντολών μετατόπισης μέσω γωνιακών κωδικοποιητών.

5. Οι εξωτερικοί αισθητήρες (sensors), οι μετατροπείς (transducers) και οι συσκευές διασύνδεσης (interface devices) που μπορούν να παρέχουν εξωτερικές πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον του ρομπότ (π.χ. οπτικοί αισθητήρες), ή να μετρούν τις ασκούμενες από ή στο τελικό στοιχείο δράσης δυνάμεις/ροπές.
6. Το σύστημα επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (man-machine interface devices), δηλ. το περιβάλλον προγραμματισμού και χρήσης του ρομπότ, όλες οι συσκευές (hardware) όπως οθόνη, πληκτρολόγιο, άκρο διδασκαλίας, κλπ. με τα ανάλογα κυκλώματα, καθώς και το λογισμικό (λειτουργικό σύστημα, γλώσσες προγραμματισμού, κ.ά.) που επιτρέπουν την επικοινωνία του χρήστη με το ρομπότ.

Οι εσωτερικοί και εξωτερικοί αισθητήρες/μετατροπείς παρέχουν στο σύστημα ελέγχου τα δεδομένα και στοιχεία ώστε να μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά, ακόμη και υπό την επίδραση διαταραχών και αποτελούν το υποσύστημα αίσθησης.

Τα παραπάνω υποσυστήματα αυτά επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω διεπικοινωνιών (interfaces), η βασική λειτουργία των οποίων έγκειται στην αποκωδικοποίηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας μεταξύ των υποσυστημάτων. Η εικόνα 28 απεικονίζει το σχηματικό διάγραμμα ενός ρομποτικού συστήματος.



Εικόνα 28 Συνιστώσες Ρομποτικού Συστήματος

Η είσοδος στο σύστημα είναι η περιγραφή του έργου (prescribed task), η οποία προσδιορίζεται εκτός λειτουργίας (off-line) όπως συμβαίνει σε προγραμματιζόμενες μηχανές, ή σε πραγματικό χρόνο, όμως προϋποθέτει λειτουργία πραγματικού χρόνου (real-time). Τα προγραμματιζόμενα ρομπότ απαιτούν ανθρώπινη παρεμβολή είτε για την κωδικοποίηση των έργων σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού

επίπεδο ή για τηλεχειρισμό (telem Manipulation). Προγραμματισμός σε χαμηλό επίπεδο σημαίνει ότι οι κινήσεις του ρομπότ προσδιορίζονται ως ακολουθίες μετακινήσεων των αρθρώσεων ή ως ακολουθίες καρτεσιανών σημείων σε σχέση με κάποιο απόλυτο σύστημα αναφοράς ή χαρακτηριστικά σημεία του χώρου.

Η έξοδος του ρομποτικού συστήματος είναι το πραγματικό ή εκτελούμενο έργο (actual task), το οποίο παρακολουθείται από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες εν συνεχεία, μεταδίδουν την πληροφορία γύρω από το έργο με τη μορφή σημάτων ανατροφοδότησης, προκειμένου να γίνει σύγκριση με την περιγραφή του έργου. Τα σφάλματα μεταξύ του πραγματικού και του προδιαγεγραμμένου έργου ακολούθως ανατροφοδοτούνται στον ελεγκτή, ο οποίος κατόπιν παράγει τα αναγκαία διορθωτικά σήματα. Αυτά τροφοδοτούνται στους κινητήρες οι οποίοι οδηγούν το μηχανικό σύστημα προς επίτευξη του έργου, και κλείνουν το βρόχο ελέγχου.

3.2.2 Το σύστημα χειρισμού

Το σύστημα χειρισμού των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ αποτελείται από ένα μηχανικό βραχίονα (mechanical arm) ή χειριστή (manipulator) και ένα μηχανικό χέρι ή άκρο στο οποίο είναι κατά κανόνα προσαρτημένο ένα τελικό στοιχείο δράσης (end-effector), όπως π.χ. ένα εργαλείο, ένα συγκολλητικό ακροφύσιο, η αρπάγη, κλπ.

Ο χειριστής χρησιμοποιείται για να καθοδηγεί το μηχανικό χέρι ή το τελικό στοιχείο δράσης στη διαχείριση ενός αντικειμένου ή του ίδιου του εργαλείου σε σχέση με ένα απόλυτο σύστημα αναφοράς. Οι ρομποτικοί χειριστές διαφέρουν από τις περισσότερες παραδοσιακές μηχανές στο ότι διαθέτουν πολλούς βαθμούς ελευθερίας και έχουν δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της συντονισμένης κίνησης των διαφόρων βαθμών ελευθερίας του, έτσι ώστε να εκτελούν μία μεγάλη ποικιλία πολύπλοκων κινήσεων[27].

Οι περισσότεροι βιομηχανικοί χειριστές αποτελούνται από τέσσερις έως έξι βαθμούς ελευθερίας. Έξι βαθμοί ελευθερίας απαιτούνται για την τοποθέτηση του τελικού στοιχείου δράσης σε οποιαδήποτε θέση και προσανατολισμό μέσα στο χώρο εργασίας του χειριστή. Για εφαρμογές συγκόλλησης τόξου, ή πολύπλοκης ακολουθίας τροχιάς, είναι συνήθως απαραίτητοι μόνο πέντε βαθμοί ελευθερίας. Ρομπότ με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας είναι επίσης συνηθισμένα σε πολλούς τύπους επίπεδης ακολουθίας τροχιάς ή για επίπεδες εφαρμογές συναρμολόγησης. Σε αυτά τα βιομηχανικά ρομπότ, οι τρεις πρώτες αρθρώσεις, αυτές δηλαδή που βρίσκονται πλησιέστερα στη ρομποτική βάση, συνήθως χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του άκρου του βραχίονα σε ένα σημείο στο χώρο, ενώ οι τελευταίες (τρεις ή λιγότερες) αρθρώσεις σχηματίζουν τον καρπό (wrist), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προσανατολισμό του άκρου ή του τελικού στοιχείου δράσης.

Η ποσότητα του φορτίου (βάρος και μέγεθος) (δηλ. η ανυψωτική ικανότητα ή ικανότητα φόρτωσης – payload capacity) που μπορεί να διαχειρισθεί ένα ρομπότ, καθώς και η ακρίβεια του, επηρεάζονται από την κατασκευή, τη γεωμετρία και τη δομή του χειριστή. Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα σειριακού τύπου, απαρτίζονται από συνδέσμους εσωτερικά κενούς και έχουν λόγο ικανότητας φόρτωσης προς βάρος μικρότερο του 10%. Στα συστήματα αυτά, οι τελικές διακυμάνσεις εξαιτίας φορτίων ισοδύναμων με την προσδιορισμένη ανυψωτική

ικανότητα μπορούν να προκαλέσουν κάμψη ίση με 10-20 φορές την επαναληψιμότητα του ρομπότ.

Πρόσφατα έχουν κατασκευασθεί συστήματα με περισσότερους από έξι βαθμούς ελευθερίας. Τέτοια συστήματα έχουν εν γένει καλύτερη επιδεξιότητα από συστήματα με λιγότερους βαθμούς ελευθερίας, και μπορούν, για παράδειγμα, να υπερβούν/παρακάμψουν εμπόδια. Η πολυπλοκότητα του ελέγχου και το κατασκευαστικό κόστος, ωστόσο, έχουν περιορίσει την ανάπτυξη και την εμπορική διάθεση τέτοιων συστημάτων.

Έχουν επίσης πραγματοποιηθεί ορισμένες προσπάθειες προσέγγισης του ισοδύναμου αποτελέσματος, δηλ. περισσότερων από έξι βαθμών ελευθερίας, μέσω της ταυτόχρονης ή παράλληλης λειτουργίας πολλαπλών χειριστών ή ρομπότ με πολλαπλούς βραχίονες. Οι προσπάθειες αυτές βρίσκονται προς το παρόν σε ερευνητικό στάδιο, αλλά είναι ενδεικτικές των προσπαθειών επίλυσης τέτοιων προβλημάτων, δηλ. προβλημάτων εκτεταμένης επιδεξιότητας (dexterity) και εκτέλεσης έργων πολλαπλών βραχιόνων.

Όσον αφορά τα τελικά στοιχεία δράσης, τα περισσότερα εξ' αυτών είναι αρπάγες (grippers) δύο δακτύλων προσαρτημένων στο ελεύθερο άκρο των χειριστών. Άλλα τελικά στοιχεία δράσης είναι εργαλεία, άλλοτε απλά, όπως π.χ. συγκολλητικά ακροφύσια, ψεκαστήρες βαφής, κ.ά., και άλλοτε πιο πολύπλοκα και προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις του χρήστη, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις προδιαγραφές των διαδικασιών. Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος εμπορικών σχεδίων τελικών στοιχείων δράσης με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας και κόστους. Οι πρόσφατες τάσεις στο σχεδιασμό τελικών στοιχείων δράσης είναι προς συστήματα με μεγαλύτερη επιδεξιότητα και ευελιξία. Ορισμένα επιδέξια σχήματα τελικών στοιχείων δράσης έχουν εμφανιστεί σε διάφορα ερευνητικά εργαστήρια. Ωστόσο, τα στοιχεία αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εμπορικά στα άκρα χειριστών.

3.2.3 Οι Κινητήρες των Αρθρώσεων

Η κίνηση του χειριστή και κατ' επέκταση του ρομποτικού εργαλείου είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης κίνησης των αρθρώσεων, οι οποίες οδηγούνται από κινητήρες. Οι κινητήρες των αρθρώσεων μπορεί να είναι ηλεκτρικοί, υδραυλικοί, ή πνευματικοί [28], με συνηθέστερο τύπο τον ηλεκτρικό, συνήθως συνεχούς ρεύματος (DC) ή βηματικό (stepper).

3.2.4 Κριτήρια Κινηματικής Απόδοσης Ρομπότ

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των εργαλειομηχανών είναι η ικανότητα σταθερής τοποθέτησης του δοκιμίου του έργου με τη βοήθεια σταθερών αρπάγων πάνω στο τραπέζι της εργαλειομηχανής. Η εργαλειομηχανή ελέγχει κατ' αυτόν τον τρόπο ολόκληρο το περιβάλλον της διαδικασίας και συνεπώς, οι τεχνικές δοκιμές των εργαλειομηχανών έχουν σχεδιασθεί για τη μέτρηση των κομματιών που παράγονται και παρακολουθούν τη μηχανή.

Τα περισσότερα σημερινά βιομηχανικά ρομπότ, από την άλλη πλευρά, είναι μηχανισμοί τοποθέτησης στο χώρο που επιτελούν έργα σε αντικείμενα που είναι τοποθετημένα κάπου στο χώρο. Καθώς ο σχεδιαστής του ρομπότ δεν γνωρίζει που θα τοποθετήσουν οι χρήστες του ρομπότ τα αντικείμενα, η απόδοση του ρομπότ δεν μπορεί να βελτιστοποιηθεί για κάποια συγκεκριμένη περιοχή. Συνεπώς, οι τεχνικές δοκιμής των ρομπότ πρέπει να προσδιορίσουν την απόδοση για όλα τα αντικείμενα μέσα σε όλο το χώρο εργασίας, ανεξάρτητα από την πραγματική εφαρμογή, η οποία μπορεί να διαφέρει σημαντικά.

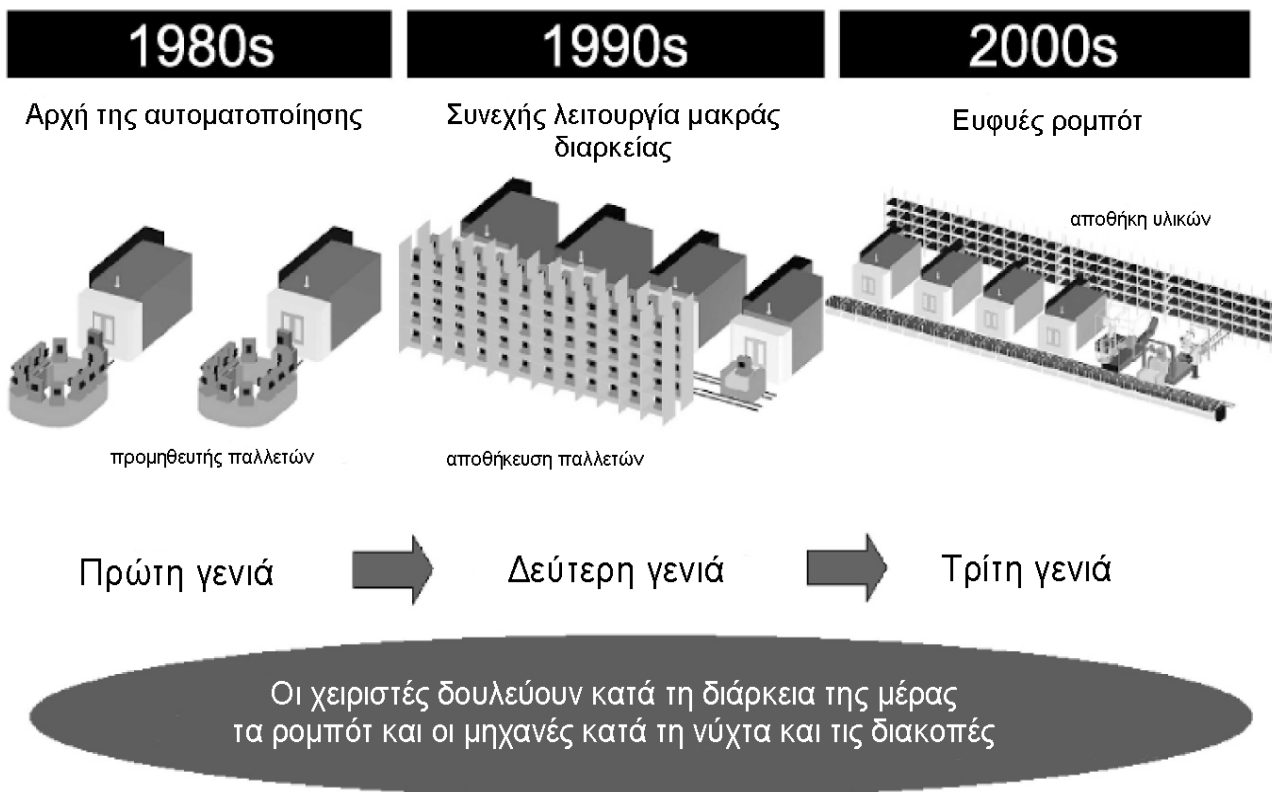
3.3 Ρομποτικός πυρήνας παραγωγής – ένας μακράς διάρκειας μη επανδρωμένος πυρήνας κατεργασίας

Στο σημερινό τομέα της παραγωγής, ένα μέρος των εργασιών μηχανικής κατεργασίας μεταφέρεται σε ξένες χώρες όπου φθηνότερο εργατικό κόστος είναι διαθέσιμο. Είναι δυνατόν να παράγεις σε ανταγωνιστικό κόστος συγκρινόμενος με αυτό οποιασδήποτε ξένης χώρας αν ο εξοπλισμός παραγωγής λειτουργεί χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση κατά τη διάρκεια της νύχτας και των αργιών με τη βοήθεια των ρομπότ;

Δε χρειάζεται να εξοπλιστούν άλλα πράγματα με ουσιαστικούς ρόλους παρά οι μηχανές, όπως οι εργαλειομηχανές ή τα ρομπότ. Δε χρειάζεται να ετοιμαστεί περιφερειακός εξοπλισμός όπως ο τροφοδότης κομματιών (work-piece feeder) και να εισάγονται κομμάτια σε αυτόν κάθε μέρα. Ο ρομποτικός πυρήνας παραγωγής, ο οποίος επιτρέπει να εκτελείται λειτουργία μηχανικής κατεργασίας χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση και για μακρύ χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αναφερόμενα ευφυή ρομπότ, είναι μία από τις πιο καλές λύσεις σε αυτές τις ανάγκες.

3.3.1 Εισαγωγή στο ρομποτικό πυρήνα παραγωγής

Όσο περισσότερο χρόνο ένα σύστημα μηχανικής κατεργασίας συνεχίζει τη λειτουργία του χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση και όσο μικρότερο είναι το αρχικό κόστος, τόσο πιο πολύ μειώνεται το κόστος μηχανικής κατεργασίας. Η εικόνα 29 δείχνει τη σταδιακή μετάβαση ενός μη επανδρωμένου συστήματος μηχανικής κατεργασίας. Η πρώτη γενιά μη επανδρωμένου συστήματος μηχανικής κατεργασίας τη δεκαετία του 1980 πετύχαινε 24ωρη συνεχής λειτουργία χωρίς ανθρώπινη επέμβαση εισάγοντας παλέτες στις εργαλειομηχανές. Η δεύτερη γενιά συστημάτων τη δεκαετία του 1990 πετύχαινε 60 ώρες συνεχούς λειτουργίας χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση εισάγοντας τα εξαρτήματα μηχανικής κατεργασίας, στα οποία ο χειριστής εγκαθιστούσε κομμάτια, και το προμηθευτή παλετών ώστε να τα αποθηκεύσει. 60 ώρες σημαίνει την μη επανδρωμένη λειτουργία από το βράδυ της Παρασκευής ως το πρωί της Δευτέρας[29].



Εικόνα 29 Μετάβαση σε μη επανδρωμένο σύστημα μηχανικής κατεργασίας μακράς διάρκειας

Αυτή τη φορά έχουμε αναπτύξει τους ρομποτικούς πυρήνες ως τη τρίτη γενιά συστημάτων μη επανδρωμένων μακράς διάρκειας μηχανικής κατεργασίας χρησιμοποιώντας ευφυή ρομπότ και θέτοντάς τα σε ισχύ σε ορισμένα εργαστήρια μηχανικής κατεργασίας.

Στο ρομποτικό πυρήνα το ευφυές ρομπότ τοποθετεί κομμάτια στο υποστήριγμα μηχανικής κατεργασίας αντί για το χειριστή. Σηκώνει ένα κομμάτι από το καλάθι ή από την παλέτα, το οποίο έχει μεταφερθεί εκεί από τον περονοφόρο ανυψωτή και επιστρέφει το κομμάτι εκεί αφού η μηχανική κατεργασία έχει τελειώσει. Το ευφυές ρομπότ σηκώνει ένα κομμάτι πρόχειρα τοποθετημένο χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα όρασης, και μετρά τη θέση και τη συμπεριφορά του με ακρίβεια. Μεταφέρει το κομμάτι στο εξάρτημα μηχανικής κατεργασίας και το κάνει να ταιριάζει με το εξάρτημα ακριβώς χρησιμοποιώντας τη λειτουργία ελαφρού φλοτέρ (soft-float function). Έτσι, το ρομπότ τοποθετεί το κομμάτι στο εξάρτημα μηχανικής κατεργασίας με ακρίβεια.

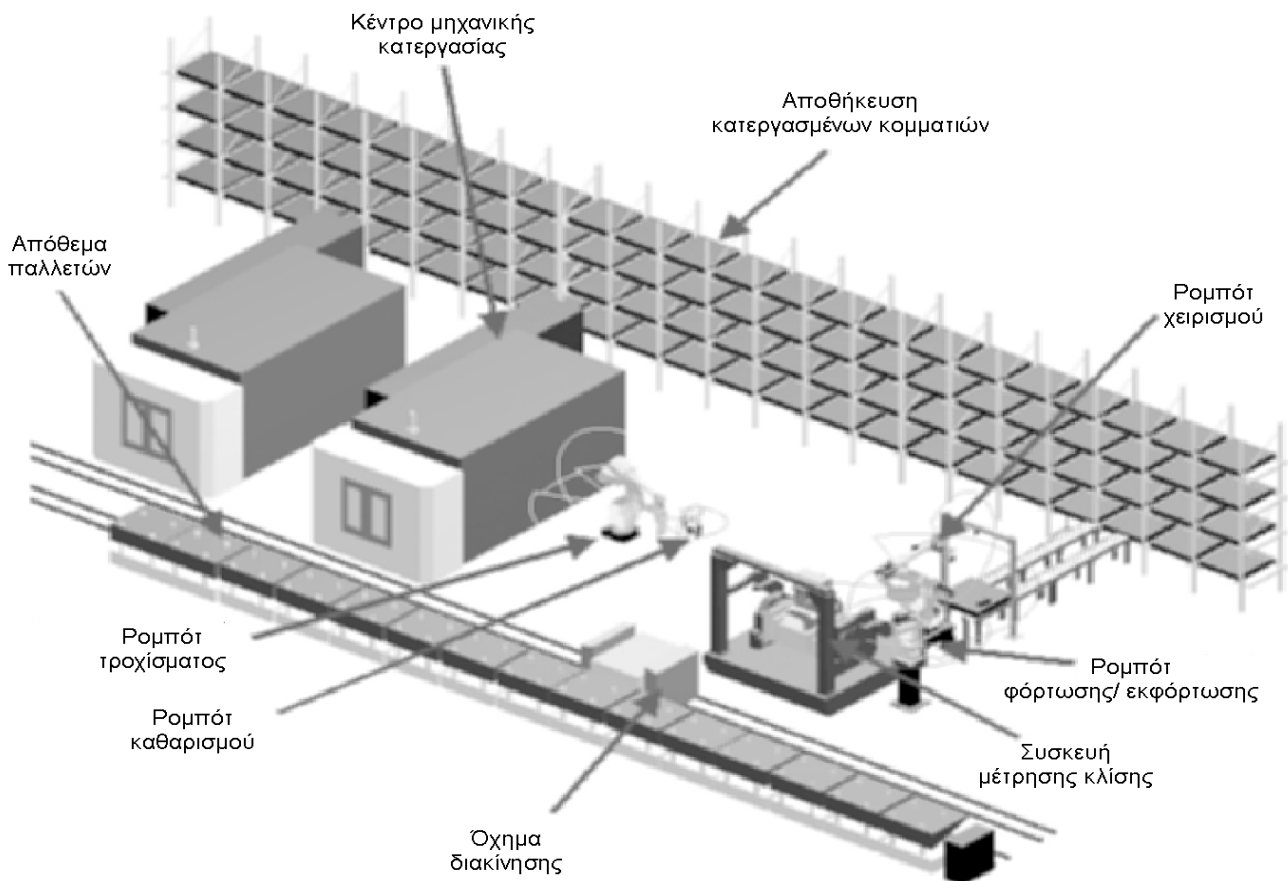
Συγκρινόμενο με το σύστημα μηχανικής κατεργασίας δεύτερης γενιάς, η τρίτη γενιά συστημάτων μηχανικής κατεργασίας που χρησιμοποιεί ευφυή ρομπότ παράγει τα ακόλουθα εξαιρετικά αποτελέσματα:

- Μειώνει την ανάγκη τοποθέτησης/ απομάκρυνσης των κομματιών χειρωνακτικά
- Μειώνει τον αριθμό των εξαρτημάτων μηχανικής κατεργασίας που απαιτείται
- Μειώνει την αρχική επένδυση εξοπλισμού
- Μειώνει το χρόνο εκκίνησης παραγωγής (production start-up time)

- Σταθεροποιεί την ποιότητα μηχανικής κατεργασίας
- Βελτιώνει το περιβάλλον εργασίας

3.3.2 Διαμόρφωση του ρομποτικού πυρήνα

Ο ρομποτικός πυρήνας αποτελείται από ευφυή ρομπότ τα οποία ασχολούνται με διαδικασίες τοποθέτησης/ απομάκρυνσης του κομματιού, από ρομπότ τα οποία ασχολούνται με διαδικασίες λείανσης συγκολλητικών ραφών και καθαρισμού, από ένα μεταφορέα παλετών εξαρτημάτων μηχανικής κατεργασίας (machining fixture pallet carrier) που οδηγείται από σερβοκινητήρα και ελέγχεται από μία μονάδα CNC, μία αποθήκη κομματιών και ένα κέντρο μηχανικής κατεργασίας. Η εικόνα 30 δείχνει τη διαμόρφωση του ρομποτικού πυρήνα.



Εικόνα 30 Διαμόρφωση ενός ρομποτικού πυρήνα

Σύνοψη 3^{ου} κεφαλαίου

Το κεφάλαιο 3 παρουσιάζει μία σύντομη επισκόπηση των ρομπότ μέσω της απαρίθμησης των κατηγοριών εφαρμογής τους, των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων από τη χρήση τους καθώς και των συνιστωσών από τις οποίες αυτά αποτελούνται. Επίσης γίνεται αναφορά και στο ρομποτικό πυρήνα κατεργασίας ώστε να προετοιμαστεί το έδαφος για το επόμενο κεφάλαιο που ασχολείται με το σχεδιασμό ενός αυτοματοποιημένου μηχανισμού για τμηματικά ρομπότ.

4. Σχεδίαση ρομποτικής άρθρωσης

4.1 Εισαγωγή

Τα επαναδιαμορφώσιμα ρομποτικά συστήματα παρουσιάζουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα ρομπότ καθορισμένης αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία, διότι αυτό το συγκεκριμένο παράδειγμα ρομποτικού σχεδιασμού υπόσχεται πιο ευέλικτα, προσαρμόσιμα, εύρωστα, χωρίς αποτυχίες και οικονομικά συστήματα παραγωγής. Η ανάγκη για την ανάπτυξη και την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων απορρέει από το γεγονός ότι η βιομηχανία πρέπει να γίνει ικανή να ανταποκρίνεται σε ορισμένες ανεγερθείσες απαιτήσεις, όπως η σύμπτυξη της ζωής του προϊόντος και η αύξηση στις εκδόσεις των προϊόντων.

Η επαναδιαμόρφωση έχει μελετηθεί για ρομποτικά συστήματα παραγωγής και ορισμένοι ενδιαφέροντες σχεδιασμοί έχουν ήδη προταθεί. Τα επαναδιαμορφώσιμα ρομπότ έχουν μία τμηματική αρχιτεκτονική, αποτελούμενη από μικρότερα ενεργά ή παθητικά τμήματα, κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικές ικανότητες όσον αφορά τη συγκεκριμένη εργασία που εκτελούν όταν τοποθετούνται στο δικτύωμα του ρομπότ. Τα παθητικά τμήματα είναι απλά περιφερειακά που παρέχουν μόνο μηχανικές συνδέσεις μεταξύ των ενεργών τμημάτων. Τα ενεργά τμήματα μπορούν να θεωρηθούν ως προηγμένες αυτο-αναφορικές (self – contained) μηχανοτρονικές συσκευές, που είναι εξοπλισμένη με υπολογιστική και επικοινωνιακή ικανότητα, αισθητήρες και ενεργοποιητές. Αυτή η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική επιτρέπει την αλλαγή των σχέσεων σύνδεσης ανάμεσα στα τμήματα, με σκοπό να δομήσουν διαφορετικές ανατομίες ρομπότ. Λόγω της εσωτερικής συνοχής των ενεργών τμημάτων και των περικλειόμενων επαναδιαμορφώσιμων ελεγκτών, είναι επίσης σημαντικά ευκολότερο και γρηγορότερο να επαναδιαμορφωθούν οι αλγόριθμοι ελέγχου του συστήματος ώστε να ταιριάζουν με τη νέα ανατομία και λειτουργικότητα, ώστε να παράσχει υψηλότερη ευελιξία. Αυτές οι ικανότητες επιτρέπουν στα επαναδιαμορφώσιμα ρομπότ να εκτελούν μία ευρεία ποικιλία εργασιών αντίθετα στα ρομπότ καθορισμένης ανατομίας.

Ο τμηματικός ρομποτικός χειριστής “Puma” που εισήχθη από τη Modular Motion Systems και το Επαναδιαμορφώσιμο Τμηματικό Σύστημα Χειρισμού (RMMS) που αναπτύχθηκε από το Carnegie Mellon έχουν παρόμοιο αντιληπτικό σχεδιασμό και μπορούν να θεωρηθούν ως αντιπρόσωποι των σειριακών επαναδιαμορφώσιμων χειριστών για βιομηχανικές εφαρμογές. Το RMMS σύστημα αποτελείται από έναν επαναδιαμορφώσιμο χειριστή, ένα τμηματικό και επαναχρησιμοποιήσιμο λογισμικό ελέγχου και μία νέα προσέγγιση για την εργασία με σχέδιο βασισμένο στους τμηματικούς χειριστές. Το RMMS χρησιμοποιεί τέσσερις τύπους μηχανοτρονικών τμημάτων, τη βάση του χειριστή, τα τμήματα σύνδεσης, αξονικά τμήματα, περιστροφικά τμήματα, κάθε ένα εξοπλισμένο με αισθητήρες, ενεργοποιητή, φρένο, μετάδοση, ενισχυτή κινητήρα και διεπαφή επικοινωνίας.

Ο ταχέως επαναδιαμορφώσιμος ρομποτικός πυρήνας εργασίας για ταχεία ανταπόκριση παραγωγής είναι ένα από τα καλύτερα παραδείγματα της αντίληψης επαναδιαμόρφωσης στα ρομποτικά συστήματα παραγωγής. Ο πυρήνας εργασίας που παρουσιάζεται χρησιμοποιεί στάνταρ και διαλειτουργικά στοιχεία (inter – operable components), όπως τμήματα ενεργοποιητή, εύρωστα τμήματα σύνδεσης, εξαρτήματα,

πλατφόρμες και τελικά στοιχεία δράσης, τα οποία μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν σε ρομπότ με αρθρωτή ανατομία και βαθμούς ελευθερίας είτε παράλληλης είτε σειριακής αρχιτεκτονικής. Αυτός ο συγκεκριμένος σχεδιασμός παρέχει στον πυρήνα εργασίας την ικανότητα να διαμορφώνεται ταχέως με σκοπό να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της παραγωγής.

4.2 Σχεδιαστικές προδιαγραφές

«Οι Σχεδιαστικές προδιαγραφές είναι μία ικανά δομημένη περιγραφή των στόχων, των λειτουργιών, των χαρακτηριστικών και άλλων πληροφοριών που προσεγγίζουν το σχεδιαστικό πρόβλημα. Η ανάπτυξη σχεδιαστικών προδιαγραφών είναι ένα ουσιώδες βήμα κάθε διαδικασίας σχεδίασης, δεδομένου ότι το σχεδιαστικό αποτέλεσμα θα πρέπει να προσπαθεί να ικανοποιεί ισόρροπα όσο γίνεται περισσότερους από τους αναγνωρισμένους περιορισμούς. Και δεν υπάρχει τρόπος επίτευξης αυτού χωρίς την πρότερη κατανόηση και συνειδητοποίηση της φύσης και των απαιτήσεων του σχεδιαστικού προβλήματος» [30].

Σε αυτό το σημείο λοιπόν να ορισθούν οι βασικές σχεδιαστικές προδιαγραφές που θα οδηγήσουν στο τελικό σχέδιο. Αυτές είναι οι εξής:

- Πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ο απαιτούμενος χρόνος αργίας του συστήματος για τη φυσική του επαναδιαμόρφωση
- Πρέπει να αυξηθεί η ομοιογένεια του συστήματος διότι τα τωρινά συστήματα χρησιμοποιούν μία ποικιλία από τμήματα με σκοπό να δομήσουν διαφορετικές ανατομίες, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητά τους και το κόστος τους.

Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστεί η ιδέα ενός μεταβλητού παθητικού τμήματος σύνδεσης για να χρησιμοποιηθεί σε τμηματικούς σειριακούς επαναδιαμορφώσιμους χειριστές[31]. Η παραπάνω είναι η βασική ιδέα η οποία εξελίσσεται στο τμήμα αυτό της εργασίας.

4.2.1 Ένα υπάρχων μεταβλητό τμήμα σύνδεσης

Οι σειριακοί ρομποτικοί χειριστές χρησιμοποιούν τέσσερις κύριους τύπους συνδέσμων: γραμμικούς, περιστροφικούς, συστροφικούς και κυκλικούς. Με σκοπό να επιτευχθούν φυσικά αυτοί οι σύνδεσμοι, οι τρέχοντες σχεδιασμοί τμηματικών χειριστών χρησιμοποιούν διαφορετικά τμήματα ενεργών συνδέσμων και τις συνακόλουθες παθητικές συνδέσεις ή τμήματα σύνδεσης ούτως ώστε να δημιουργηθεί η απαιτούμενη φυσική ανατομία του χειριστή. Ωστόσο, όταν το σύστημα απαιτείται να επαναδιαμορφωθεί σε μία νέα ανατομία, σημαντικός χρόνος εκτός λειτουργίας απαιτείται για τους ακόλουθους λόγους:

- Το ρομπότ πρέπει να αποσυναρμολογηθεί χειρωνακτικά μερικώς ή ολικώς έτσι ώστε να αφαιρεθούν, να προστεθούν ή να επαναδιευθετηθούν ορισμένα τμήματα.
- Η σύνδεση και η αποσύνδεση των στοιχείων που αποτελούν το ρομπότ είναι μηχανική, αφού βίδες, παξιμάδια, μπουλόνια και σύνδεσμοι περιέχονται, ενώ κι άλλος εξοπλισμός επίσης απαιτείται, όπως γερανοί και εργαλεία.

Επομένως, πρόσθετος χρόνος και προσπάθεια χρειάζονται για τη μεταφορά των τμημάτων και του σχετικού εξοπλισμού από και προς τη τοποθεσία του ρομπότ.

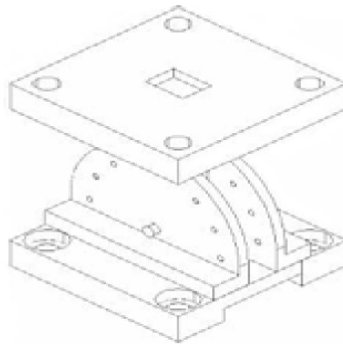
- Οι ελεγκτές και το λογισμικό ελέγχου του συστήματος πρέπει να επαναρυθμιστεί σύμφωνα με τη νέα ανατομία και λειτουργία, ενώ σε μερικές περιπτώσεις πρέπει να ξαναχτιστεί από την αρχή.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, προτάθηκε ένα ευέλικτο παθητικό τμήμα σύνδεσης για χρήση σε επαναδιαμορφώσιμα συστήματα.

Ο προτεινόμενος μηχανισμός έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιηθεί μαζί με τμήματα της AMTEC ROBOTICS Power Cube (εικόνα 31), τα οποία είναι ενεργά, 1 βαθμού ελευθερίας συστροφικά τμήματα σύνδεσης. Ο μηχανισμός, όπως φαίνεται στην εικόνα 32, αποτελείται από μία βάση η οποία είναι συνδεδεμένη με τη σχετική επιφάνεια του τμήματος, ένα περιστροφικό σύνδεσμο εξοπλισμένο με μία κεφαλή σύνδεσης που ενώνεται με την επιφάνεια σύνδεσης του επόμενου τμήματος ενώ η γωνία που δημιουργείται από το περιστρεφόμενο σύνδεσμο και τη βάση του μηχανισμού ρυθμίζεται στους απαιτούμενους βαθμούς προσκολλώντας την στη παρεχόμενη εγκοπή χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό βίδας και παξιμαδιού.



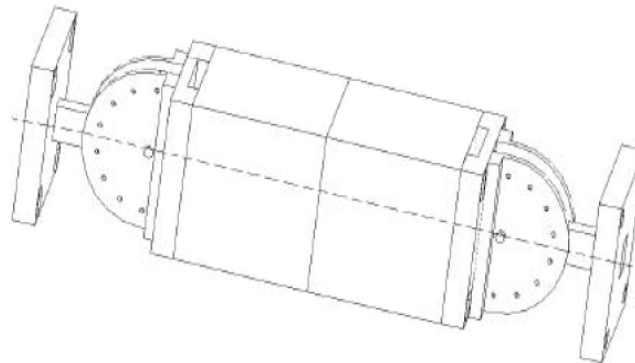
Εικόνα 31 Το PowerCube της AMTEC ROBOTICS



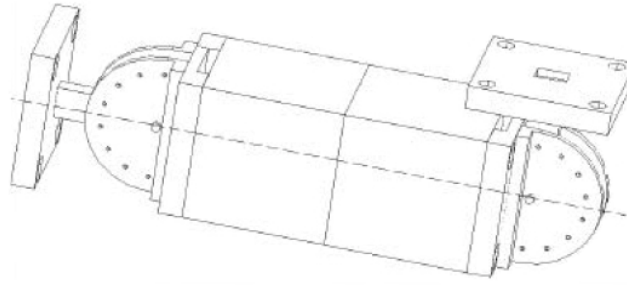
Εικόνα 32 Το προτεινόμενο τμήμα σύνδεσης

Το παθητικό τμήμα εκπληρώνει τρεις σημαντικούς στόχους. Ο πρώτος είναι να παράσχει ένα τρόπο ώστε να επιτευχθούν και τρεις τρόποι περιστρεφόμενων τύπων συνδέσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα χειριστή με ένα μοναδικό τύπο ενεργού τμήματος και κατά αυτό το τρόπο να αυξηθεί η ομοιογένεια του ρομπότ. Ο δεύτερος στόχος είναι να επιτραπεί η φυσική επαναδιαμόρφωση του ρομπότ, χωρίς να απαιτείται η αποσυναρμολόγησή του, και έτσι να μειωθεί ο χρόνος εκτός λειτουργίας, οι απαραίτητες προσπάθειες και ο εξοπλισμός. Ένας τρίτος στόχος είναι να ολοκληρωθεί η ικανότητα που ερευνάται στην [32], επιτρέποντας την εύκολη και γρήγορη ρύθμιση της γωνίας μεταξύ δύο διαδοχικών αξόνων συνδέσεων και ένα ποσοτικοποιημένο εύρος αξιών που ευρύνεται από -90° σε $+90^\circ$.

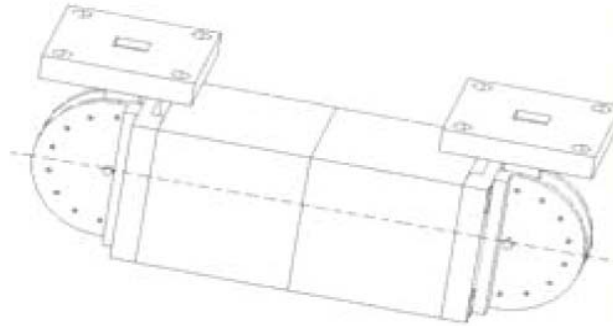
Ο πρώτος στόχος μπορεί εύκολα να επιτευχθεί ρυθμίζοντας τη γωνία περιστροφής του περιστρεφόμενου τμήματος ανάλογα έτσι ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη διαμόρφωση. Οι εικόνες 33, 34, 35 παρουσιάζουν το τρόπο που οι απαιτούμενοι περιστρεφόμενοι, συστρεφόμενοι και κυκλικοί τύποι συνδέσεων επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας ένα ενεργό τμήμα και δύο μηχανισμούς. Η διάστικτη γραμμή παρουσιάζει τον άξονα περιστροφής του συνδέσμου.



Εικόνα 33 Συστροφικός σύνδεσμος

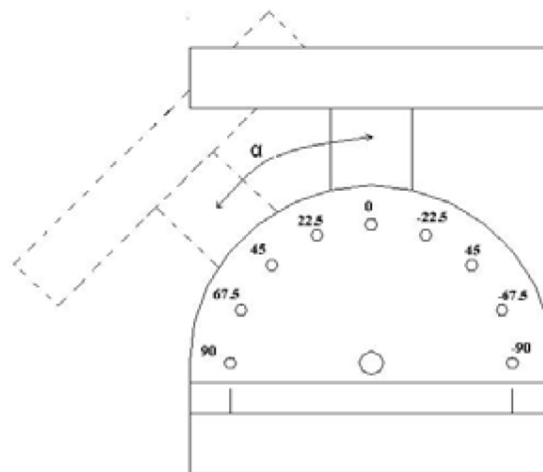


Εικόνα 34 Περιτροφικός σύνδεσμος



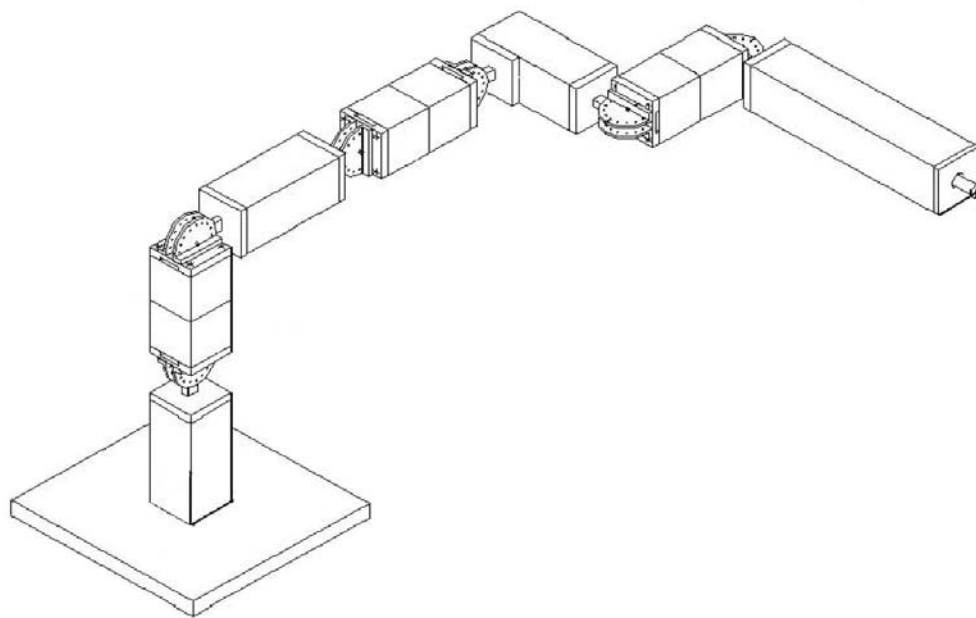
Εικόνα 35 Κυκλικός σύνδεσμος

Στην [32], δείχνεται ότι για να εκτελεί ένας σειριακός χειριστής μία εργασία που να ακολουθεί μία πορεία στο χώρο εργασίας του με μεγάλη αποτελεσματικότητα, η βέλτιστη ανατομία του μπορεί να περιέχει τη ρύθμιση της γωνίας ανάμεσα στους άξονες περιστροφής δύο διαδοχικών συνδέσμων σε μία τιμή που δεν είναι ίση με 0° ή 90° όπως είναι στα περισσότερα συστήματα που διατίθενται στην αγορά. Με σκοπό να επιτευχθεί αυτή η πρόσθετη ικανότητα, η γωνία α του συνδέσμου του περιστρεφόμενου μηχανισμού μπορεί να ρυθμιστεί σε ποσοτικοποιημένα διαστήματα 22.5° που ευρύνονται από -90° ως $+90^{\circ}$. (εικόνα 36)



Εικόνα 36 Η μεταβλητή γωνία α και το διαθέσιμο εύρος της

Ο ευέλικτος σύνδεσμος ενώνεται στα ενεργά περιστρεφόμενα τμήματα μηχανικά, χρησιμοποιώντας μπουλόνια και παξιμάδια. Αυτό είναι απαραίτητο ώστε να παραχθεί ένας άκαμπτος και σθεναρός σύνδεσμος, και αυτό δεν επηρεάζει στην πραγματικότητα τον απαιτούμενο χρόνο για την επαναδιαμόρφωση του συστήματος, αφού η αποσυναρμολόγηση δεν είναι απαραίτητη. Η τελική μορφή του ρομπότ έξι βαθμών ελευθερίας απεικονίζεται στην εικόνα 37.

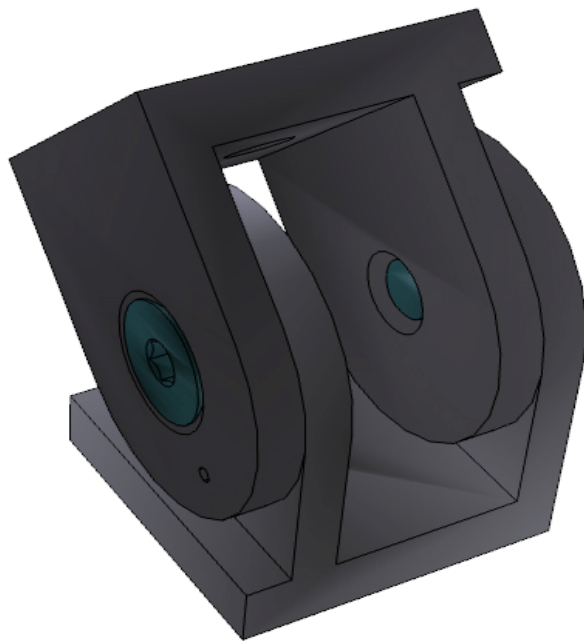


Εικόνα 37 Ρομπότ έξι βαθμών ελευθερίας αποτελούμενο από PowerCubes και τους συνδέσμους Βάλσαμου-Ασπράγκαθου

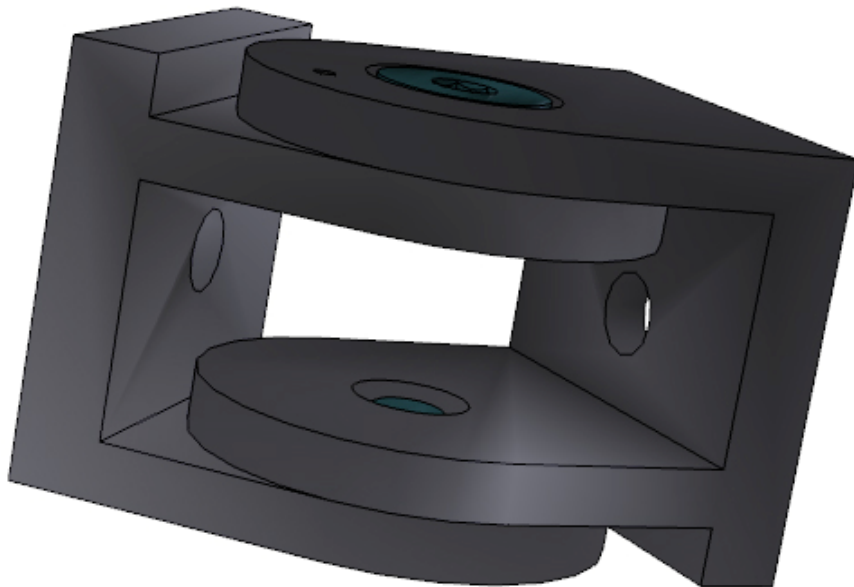
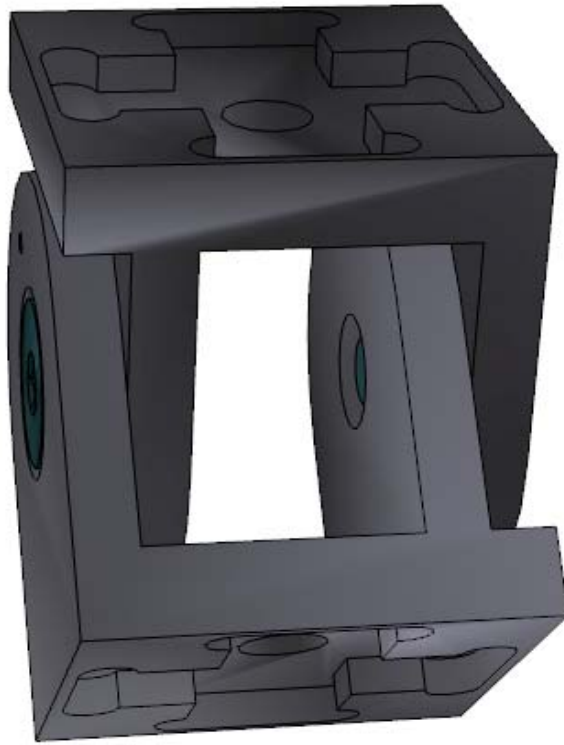
4.3 Η νέα προτεινόμενη άρθρωση

Η παραπάνω πρόταση λοιπόν χρησιμοποιεί κυρίως μπουλόνια και παξιμάδια για να επιτύχει το σκοπό της. Στην προτεινόμενη άρθρωση αυτής της εργασίας αυτό θα γίνεται αυτόματα. Έτσι λοιπόν η αυτοματοποίηση της διεργασίας μπορεί να θεωρηθεί ως μία νέα σχεδιαστική προδιαγραφή. Η προτεινόμενη άρθρωση έχει ένα μηχανοτρονικό σχεδιασμό(φαίνεται με σκούρο πράσινο χρώμα στις εικόνες 38-41 και με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην εικόνα 42), ο οποίος ρυθμίζει την άρθρωση στις απαραίτητες γωνίες μέσω τηλεχειρισμού.

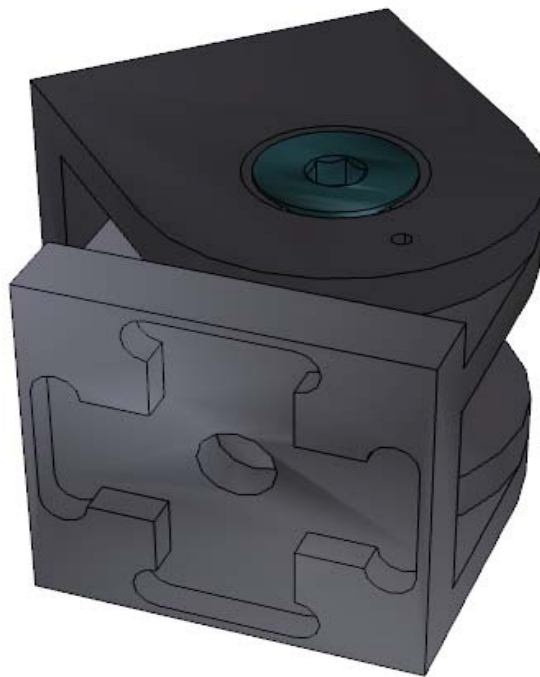
Η δομή της προτεινόμενης άρθρωσης είναι η παρακάτω.



Εικόνα 38 - Όψεις της προτεινόμενης άρθρωσης



Εικόνα 39 Όψεις της προτεινόμενης άρθρωσης



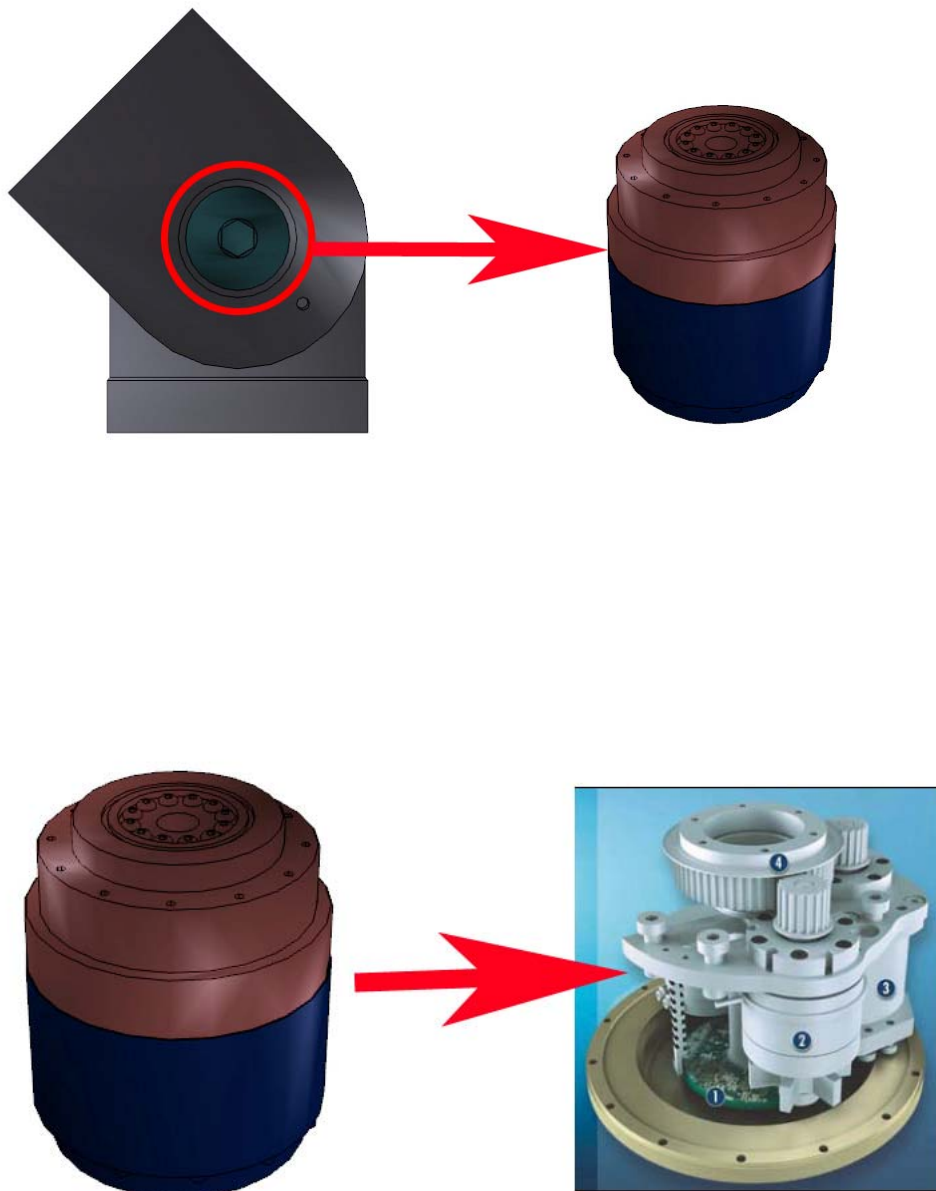
Εικόνα 40 Όψεις της προτεινόμενης άρθρωσης



Εικόνα 41 Όψεις της προτεινόμενης άρθρωσης

4.3.1 Το ζήτημα της αυτόματης ρύθμισης της άρθρωσης

Η αυτόματη ρύθμιση της άρθρωσης στις απαραίτητες γωνίες μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός μηχανισμού όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Τα κύρια μέρη του μηχανισμού αυτού είναι : (1) Ηλεκτρονική πλακέτα για τον έλεγχο, (2) φρένο, (3) ηλεκτροκινητήρας, (4) γρανάζια.

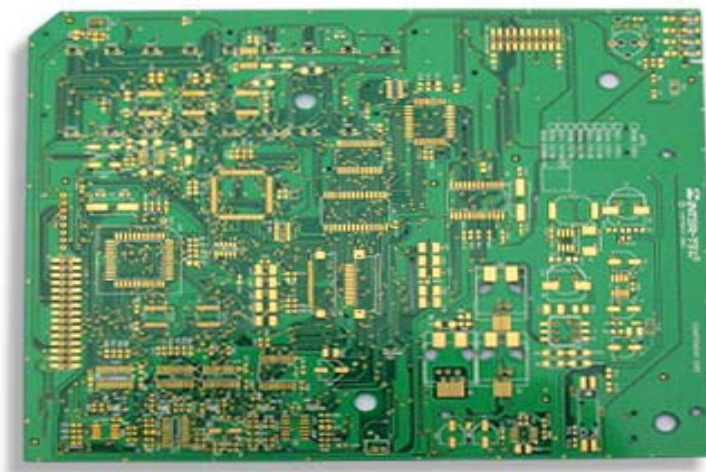


Εικόνα 42 Ο μηχανισμός αυτόματης ρύθμισης

Ηλεκτρονική πλακέτα για τον έλεγχο

Μία ηλεκτρονική τυπωμένη πλακέτα κυκλώματος, χρησιμοποιείται ώστε να υποστηρίξει μηχανικά και να ενώσει ηλεκτρικά ορισμένα στοιχεία χρησιμοποιώντας αγώγιμα μονοπάτια, ή ίχνη, που είναι χαραγμένα από φύλλα χαλκού λαμιναρισμένα σε ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα. Η ηλεκτρονική πλακέτα είναι τραχιά, φθηνή και μπορεί να είναι πολύ αξιόπιστη. Όπως αναφέρθηκε τα στρώματα είναι συνήθως κατασκευασμένα από λεπτό φύλλο χαλκού. Τα μονωτικά διηλεκτρικά στρώματα είναι συνήθως ελασμένα μαζί με εποξειδική ρητίνη.

Η λειτουργία που επιτελεί η πλακέτα στην περίπτωση που εξετάζεται είναι να δίνει τα ηλεκτρικά σήματα ελέγχου στο σερβοκινητήρα και στο φρένο. Παρακάτω φαίνεται μία ηλεκτρονική πλακέτα.



Εικόνα 43 Ηλεκτρονική πλακέτα ελέγχου

Ηλεκτροκινητήρας

Το συνολικό μέγιστο βάρος που θα πρέπει να σηκώνει ο ηλεκτροκινητήρας ανέρχεται στα περίπου 40 kg. Κατά συνέπεια η συνολική μέγιστη ροπή την οποία θα πρέπει να αναπτύσσει ανέρχεται σύμφωνα με υπολογισμούς στα 302 Nm.

Η επιλογή ενός κινητήρα ώστε να ανταποκρίνεται με ακρίβεια στις απαιτήσεις που τίθενται μπορεί να είναι μία δύσκολη εργασία. Ακόμα και έμπειροι σχεδιαστές μπορεί να παραβλέψουν μερικές φορές σημαντικές παραμέτρους για τον κινητήρα και να βρεθούν προβλήματα αφού το σύστημα έχει τεθεί σε λειτουργία. Στη χειρότερη περίπτωση το αν ξεκινήσουν οι εργασίες από την αρχή ίσως είναι η μόνη εναλλακτική.

Στην παρούσα περίπτωση έχει επιλεγθεί ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος(DC) και συνεχούς περιστροφής, με μόνιμη μαγνήτιση και διέγερση οπλισμού, και παρέχουν πλεονεκτήματα όπως υψηλό λόγο ροπής- ισχύος, ομαλή και χαμηλής ταχύτητας

λειτουργία, γραμμικά χαρακτηριστικά ροπής-ταχύτητας και μικρές χρονικές σταθερές.

Άλλα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι:

- Πολύ υψηλή ακρίβεια θέσης και επαναληψιμότητα.
- Παραμονή σε σταθερή θέση ακόμη και όταν διακοπεί η ισχύς.
- Ιδιαίτερα απλή υλοποίηση ανάδρασης θέσης και ταχύτητας.
- Εύκολη σχεδίαση του συστήματος με γραμμική συμπεριφορά
- Ικανότητα χρήσης και σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες (ψύχος, υψηλή θερμοκρασία, κλπ.).
- Ασφάλεια καλωδίου ισχύος (σε αντίθεση με το σωλήνα μίας γραμμής λαδιού).
- Χαμηλό κόστος.
- Χαμηλός θόρυβος.

Ορισμένα μειονεκτήματά τους είναι:

- Χαμηλή ταχύτητα.
- Απαιτήση ψύξης του κινητήρα, με παράλληλη αύξηση του μεγέθους του.
- Ιδιαίτερα εύκολη θέρμανση των βηματικών κινητήρων.
- Πολύ αργή απόκριση σε σύγκριση με όλους τους τύπους κινητήρων
- Απαιτήση γραναζιών σε όλους τους κινητήρες για το ταίριασμα των μηχανικών φορτίων.

Ο ηλεκτροκινητήρας ο οποίος επιλέγεται είναι ο BMH 140 της Berger Lahr ο οποίος έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ροπή 6V – 450Nm
- Μέγεθος 40 x 20 x 36.5mm
- Βάρος 43g

Οι εικόνες που ακολουθούν δείχνουν μία τρισδιάστατη απεικόνιση του κινητήρα.



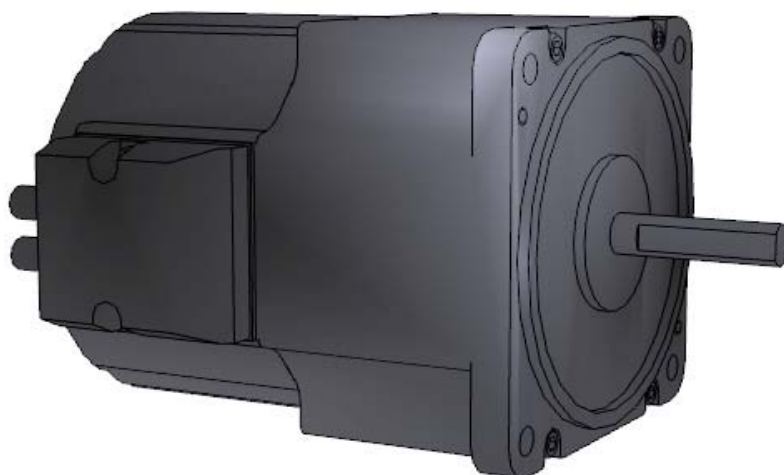
Εικόνα 44 Όψη του ηλεκτροκινητήρα

Φρένο

Αν και ο ηλεκτροκινητήρας έχει ως πλεονέκτημα την άμεση απόκριση στις εντολές που δέχεται από την πλακέτα ελέγχου και μπορεί να σταματήσει με ακρίβεια, η επιλογή ενός δεύτερου ηλεκτροκινητήρα που θα παίζει το ρόλο του φρένου προσδίδει μεγαλύτερη αξιοπιστία στο σύστημα. Ως εκ τούτου, επιλέγεται ο B1 της Panasonic Corporation Motor Company με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ροπή 4.5V – 100Nm
- Μέγεθος 30 x 12 x 26.5mm
- Βάρος 21g

Ακολουθούν ορισμένες απόψεις του φρένου:





Εικόνα 45 Όψη του ηλεκτροκινητήρα-φρένου

Γρανάζια

Το γρανάζι είναι ένα στοιχείο σε μία συσκευή μετάδοσης κίνησης το οποίο μεταδίδει περιστροφική ροπή εφαρμόζοντας μία δύναμη σε ένα δόντι ενός άλλου γραναζιού ή σε μία άλλη συσκευή. Ένα γρανάζι διαφέρει από μία τροχαλία στο ότι το γρανάζι είναι ένας κυκλικός τροχός που έχει συνδέσμους («δόντια») που εμπλέκονται με άλλα δόντια γραναζιού, επιτρέποντας έτσι να μεταφέρεται η δύναμη χωρίς ολίσθηση. Ανάλογα με την κατασκευή και τη διαρρυθμισή τους, οι συσκευές με γρανάζια μπορούν να μεταδίδουν δυνάμεις σε διαφορετικές ταχύτητες, ροπές, ή σε μία διαφορετική κατεύθυνση, από τη πηγή της δύναμης.

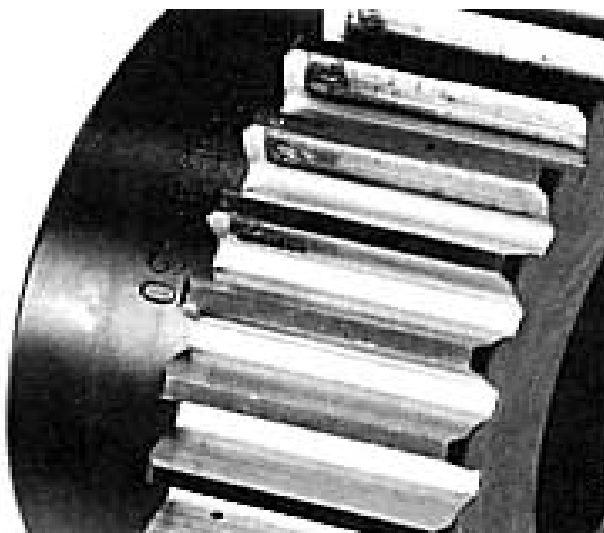
Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να επιλεγούν τα κατάλληλα γρανάζια ανάλογα με το ποιες παράμετροι είναι πιο σημαντικοί από άλλες όπως η δύναμη, το μέγεθος, η ακρίβεια, και ο λόγος ταχύτητας. Οι κύριοι τρόποι επιλογής αφορούν την επιλογή που βασίζεται στη δύναμη και την επιλογή που βασίζεται στη χρήση. Στο σημείο αυτό η

επιλογή του γραναζιού θα γίνει με βάση την επιλογή που βασίζεται στη δύναμη, καθώς η χρήση που γίνεται δεν είναι τόσο εξειδικευμένη ώστε να απαιτεί γρανάζια ειδικού τύπου.

Έτσι θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα δύο σημεία. Το πρώτο είναι η αντοχή στην κάμψη. Η επιτρεπόμενη δύναμη της κάμψης ενός γραναζιού ορίζεται ως η επιτρεπόμενη επαπτόμενη δύναμη στον κυκλικό δίσκο και βασίζεται στην αμοιβαία επιτρεπόμενη φόρτιση των δύο γραναζιών υπό φορτίο. Το δεύτερο σημείο που πρέπει να προσεχτεί είναι η ανθεκτικότητα της επιφάνειας. Η ανθεκτικότητα της επιφάνειας ενός γραναζιού ορίζεται ως η επιτρεπόμενη επαπτόμενη δύναμη στον κυκλικό δίσκο και επιτρέπει στην ισχύ να διαβιβάζεται με ασφάλεια, χωρίς να υπάρχουν αστοχίες υλικού στην επιφάνεια. Οι εικόνες 46 και 47 δείχνουν παραδείγματα αστοχιών λόγω δύναμης κάμψης και λόγω ανεπαρκούς ανθεκτικότητας επιφάνειας.



Εικόνα 46 Αστοχία λόγω ανεπαρκούς αντοχής στην κάμψη



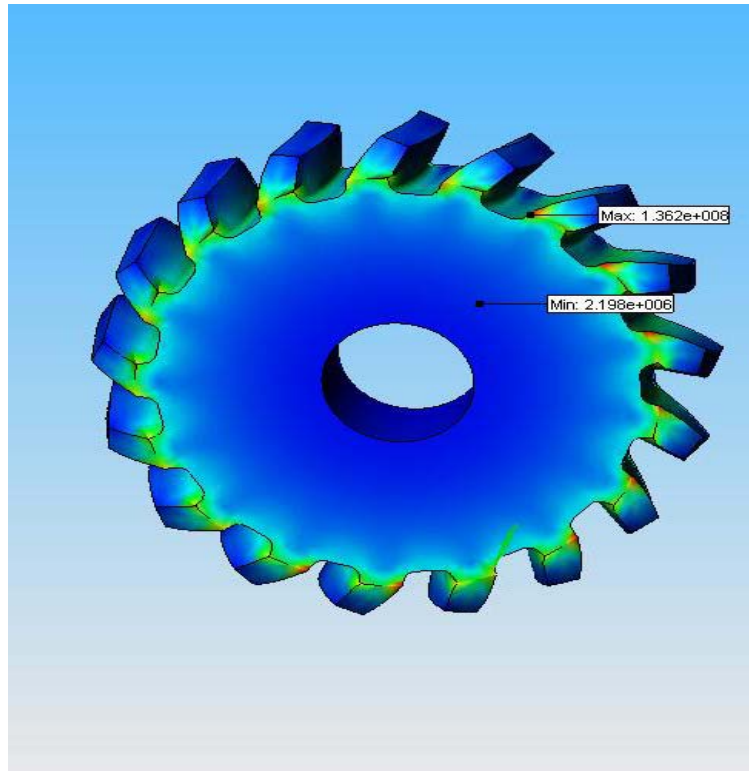
Εικόνα 47 Παραμόρφωση λόγω ανεπαρκούς ανθεκτικότητας της επιφάνειας

Με βάση τις πληροφορίες που έχουν εκτιμηθεί μέχρι αυτό το σημείο και λαμβάνοντας υπόψη τη ροπή των 450 Nm που υπολογίζεται κατά προσέγγιση ότι ασκείται στο γρανάζι, έρχεται η στιγμή της απόφασης για την επιλογή του κατάλληλου γραναζιού από τους σχετικούς πίνακες που εκδίδει κάθε εταιρεία παραγωγής μηχανολογικού υλικού. Η επιλογή είναι το K-Standard Pinion Gear module 1 της Katayama Chain Co., Ltd. με 18 δόντια και 30 mm συνολική διάμετρο. Ακολουθεί εικόνα του γραναζιού.

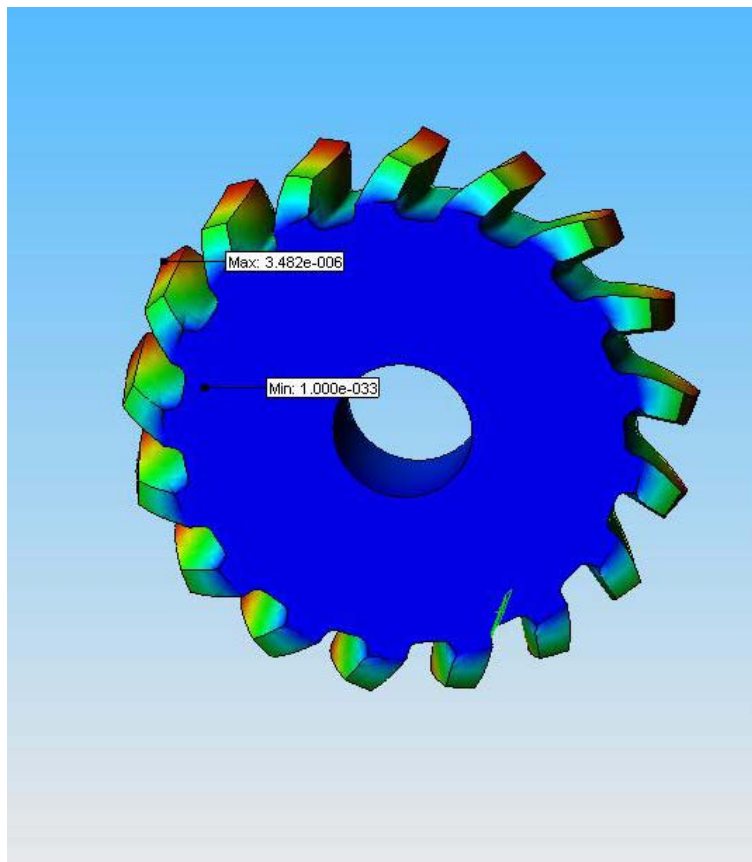
Κατά την λειτουργία του μηχανισμού οι μεγαλύτερες τάσεις καταπονούν τα γρανάζια για αυτό και προχωρούμε στην παρουσίαση της μηχανικής τους ανάλυσης.

Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το γρανάζι είναι ένα κράμα αλουμινίου και για αυτό το λόγο το βάρος του είναι μόλις 31 γραμμάρια. Ο όγκος αγγίζει τα 9,7 χιλιοστά του λίτρου. Ας σημειωθεί ότι ως περιορισμός δεν υπάρχει πλευρική παραμόρφωση παρά μόνο ακτινική. Ως φόρτιση ορίστηκε ότι υφίσταται πίεση της τάξης των 900-2000 psi κατά τη διεύθυνση της κίνησης που δίνει το άλλο γρανάζι. Ως δεδομένα δόθηκαν το μέτρο ελαστικότητας του κράματος αλουμινίου ίσον με 70.000N/mm², ο λόγος Poisson 0,33 και η πυκνότητα 2700kg/m³. Το πάχος του στοιχείου ορίστηκε αρχικά ίσο με 3 mm, όσο το πάχος ενός δοντιού. Ως φόρτιση ορίστηκε το ίδιο βάρος του μηχανισμού. Ως συνοριακή συνθήκη ορίστηκε η μηδενική κατακόρυφη μετατόπιση της βάσης.

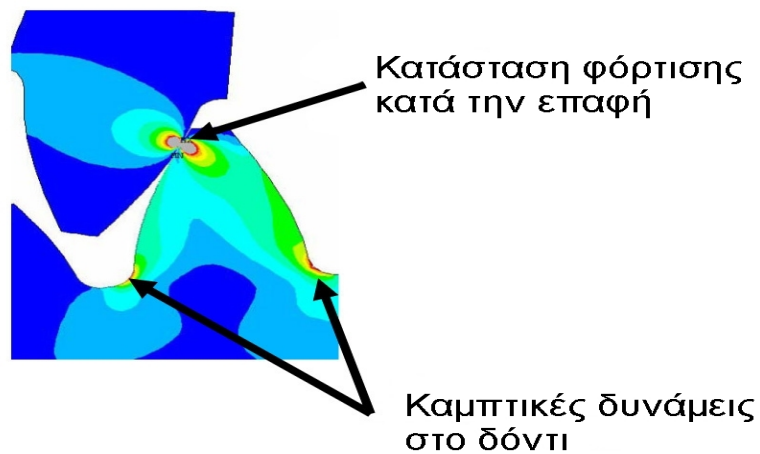
Μελετήθηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες τάσεις καθώς και οι μέγιστες και οι ελάχιστες μετατοπίσεις. Όσον αφορά τις μέγιστες τάσεις αυτές εμφανίζονται στα σημεία όπου τα δόντια εφάπτονται με τον κυκλικό δίσκο και χρωματίζονται με χρώμα κόκκινο στην εικόνα 48 ενώ οι ελάχιστες με χρώμα μπλε. Ενδιάμεσες τιμές τάσεων λαμβάνουν άλλα χρώματα (πράσινο, κίτρινο) και βρίσκονται κυρίως και αυτές στα σημεία επαφής δοντιού με τον κυκλικό δίσκο. Οι μέγιστες μετατοπίσεις βρίσκονται και αυτές στα δόντια του γραναζιού αλλά στην άνω επιφάνεια αυτού και φαίνονται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 49. Ενδιάμεσες τιμές μετατοπίσεων βρίσκονται και αυτές στις υπόλοιπες επιφάνειες του δοντιού και χρωματίζονται με διάφορα χρώματα (πράσινο, κίτρινο, τρκουάζ). Κατά τον ίδιο τρόπο στις εικόνες 50 και 51 φαίνονται οι τάσεις κατά την επαφή των γραναζιών με πιο λεπτομερειακό τρόπο.



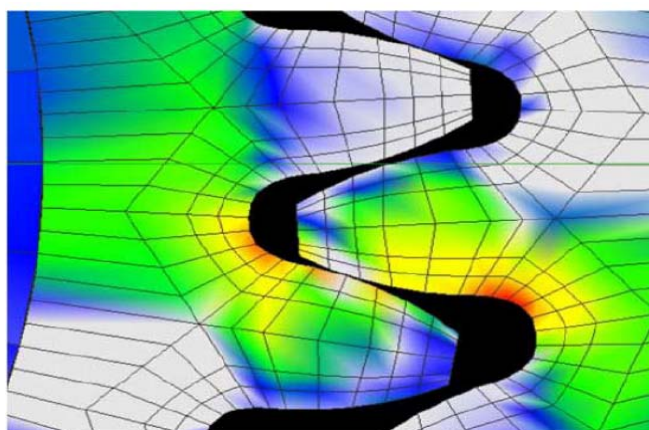
Εικόνα 48 Μέγιστες και ελάχιστες τάσεις



Εικόνα 49 Κατανομή ισοδύναμων τάσεων (Von Mises)



Εικόνα 50 Φορτίσεις κατά την επαφή δύο γранаζιών



Εικόνα 51 Φορτίσεις κατά την επαφή δύο γранаζιών

Αξιολόγηση μηχανισμού

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του συστήματος έπεται η αξιολόγηση με βάση την εκπλήρωση των σχεδιαστικών προδιαγραφών. Έτσι δημιουργείται πίνακας όπου αξιολογούνται οι σχεδιαστικές προδιαγραφές με κλίμακα από το 1 ως το 5.

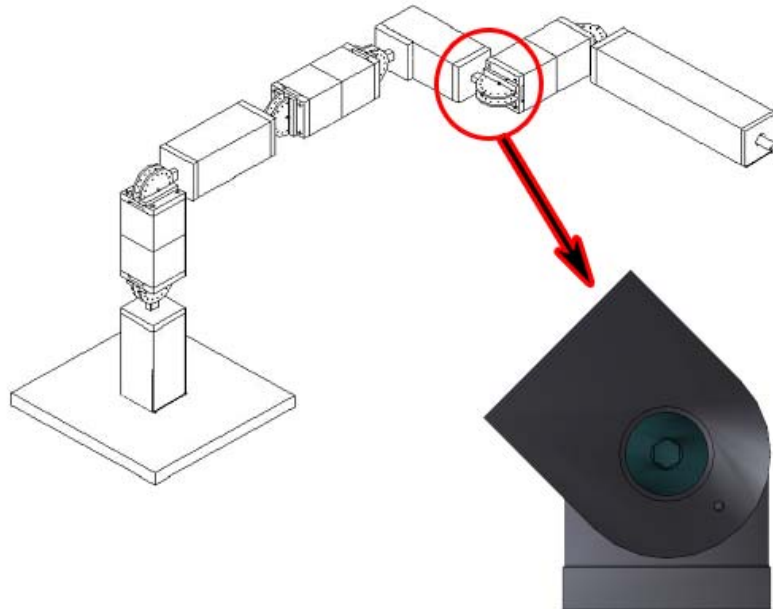
Σχεδιαστικές Προδιαγραφές	Βαθμολογία
Να ελαχιστοποιείται ο απαιτούμενος χρόνος αργίας του συστήματος για τη φυσική του επαναδιαμόρφωση	5

Να αυξάνεται η ομοιογένεια του συστήματος διότι τα τωρινά συστήματα χρησιμοποιούν μία ποικιλία από τμήματα με σκοπό να δομήσουν διαφορετικές ανατομίες, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητά τους και το κόστος τους	5
Να υπάρχει καλύτερη αντοχή στις δυνάμεις κάμψης	4
Να υπάρχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα του μηχανισμού	3
Να υφίσταται αυτοματοποίηση της διεργασίας	5
Σύνολο	17
Ποσοστό%	85

Πίνακας 5 Βαθμολογικός πίνακας συστήματος

Η επαναδιαμόρφωση

Κατά το τρόπο λοιπόν που παρουσιάστηκε στις παραπάνω παραγράφους υφίσταται μια επαναδιαμόρφωση στο μηχανισμό του ρομποτικού συστήματος. Υπενθυμίζεται ότι ένας από τους στόχους της επαναδιαμόρφωσης είναι η μείωση του χρόνου ramp-up. Δηλαδή ο περιορισμός του χρόνου όπου το σύστημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας ώστε να διαμορφωθεί σε μία νέα δομή. Κατά το τρόπο που προτείνεται με το σχεδιασμό της νέας αυτόματης άρθρωσης, ο χρόνος αυτός φαίνεται ότι μειώνεται καθώς μία διαδικασία η οποία γινόταν χειρωνακτικά(βίδωμα, ξεβίδωμα, τοποθέτηση σε νέα θέση) τώρα αυτοματοποιείται. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως θα αντικαταστήσει η νέα άρθρωση την προηγούμενη στο συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα.



Εικόνα 52 Η αντικατάσταση του παλαιού μηχανισμού από το νέο

Σύνοψη 4^{ου} κεφαλαίου

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο νέος αυτοματοποιημένος μηχανισμός που σχεδιάστηκε με βάση το μηχανισμό Βάλσαμου-Ασπράγκαθου για ρομπότ 6 βαθμών ελευθερίας. Έγινε ανάλυση του μηχανισμού, καθώς και παρουσίαση σχεδίων των κυρίων συνιστωσών του, δηλαδή δύο ηλεκτροκινητήρων και ενός γραναζιού, καθώς και αξιολόγηση του μηχανισμού με βάση τις σχεδιαστικές προδιαγραφές που τέθηκαν. Ακολουθεί το 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο με τα συμπεράσματα και τις προοπτικές.

5. Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Ως συμπεράσματα από την εργασία μπορούν να εξαχθούν, τόσο ως προς την παραγωγή εν γένει όσο και ειδικότερα επί του μηχανισμού τα παρακάτω:

- Η εξατομίκευση της παραγωγής, δηλαδή η παραγωγή προϊόντων που εκπληρούν κατά το περισσότερο δυνατόν τις απαιτήσεις των χρηστών, φαίνεται να είναι η πορεία που θα ακολουθηθεί από πολλές επιχειρήσεις στο μέλλον.
- Η τεχνολογία παραγωγής που μπορεί να στηρίξει την ευέλικτη παραγωγή είναι τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής. Ας σημειωθεί ότι η τεχνολογία αυτή έχει ως ορίζοντα ανάπτυξης το 2020.
- Η αυτοματοποίηση της παραγωγής είναι μία πρόκληση που θα αντιμετωπίζουν όλο και περισσότερες επιχειρήσεις όσο περνάν τα χρόνια. Όσες παραβλέψουν αυτή την πρόκληση θα τεθούν αντιμέτωπες με προβλήματα βιωσιμότητας.
- Η αυτοματοποίηση της παραγωγής θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον ανθρώπινο παράγοντα. Οι μηχανές χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετούν τους ανθρώπους και να επεκτείνουν τις δυνατότητες αυτών, έτσι θα πρέπει να υπάρχει πάντοτε μέριμνα για κάθε εργάτη που αντικαθίσταται από μηχανή.
- Τα ρομπότ και οι μηχανές CNC είναι οι εργαλειομηχανές που μελετώνται περισσότερο ως προς την ικανότητα επαναδιαμόρφωσής της.
- Με βάση την ιδέα του παθητικού σχεδιάστηκε μια αυτόματη άρθρωση η οποία επαναδιαμορφώνει ταχύτερα το ρομπότ.
- Μελετήθηκε η αντοχή της και εμφανίστηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- Μέσω της άρθρωσης μειώθηκε ο χρόνος ramp-up που είναι βασική παράμετρος στο σχεδιασμό των RMS.

Αναφορές

- [1] Σταμάτης Α. Αυλωνίτης, Οργάνωση & Διοίκηση Παραγωγής, Εκδόσεις Έλλην σελ. 13
- [2] E. Westkamper, New Trends in Production, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006
- [3] Mehrabi, M.G., Ulsoy, A.G., and Y. Koren, Reconfigurable Manufacturing Systems: Key to Future Manufacturing, Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 11, Number 4 / August, 2000
- [4] HP Wiendahl, R Hernández, The Transformable Factory – Strategies, Methods and Examples, Proceedings CIRP 1st International Conference on Agile Manufacturing, 2001
- [5] O. Dashchenko, Analysis of Modern Factory Structures and Their Transformability, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006
- [6] Y. Koren, U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G. Pritschow, G. Ulsoy, H. Van Brussel, Reconfigurable Manufacturing Systems, Annals of the CIRP Vol, 1999
- [7] Z.J. Pasek, Challenges in the Design of Reconfigurable Machine Tools, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006.
- [8] Ramesh, M., Yip-Hoi, D., Dutta, D., Koren, Y., 2000, “A Framework for Comparison of Mechanical Parts,” Proc. 2000 Intl. CIRP Design Seminar, design with Manufacturing: Intelligent Design Concepts, Methods, and Algorithms, May 16-18, Haifa, Israel
- [9] Ling, C., Son, S.-Y., Olsen, T., Yip-Hoi, D., 1999, “A System Level Process Planner for Reconfigurable Machining Systems,” ERC/RMS TR-024-99
- [10] Y. Koren, General RMS Characteristics. Comparison with Dedicated and Flexible Systems, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006.
- [11] Erixon, G., 1996, “Modularity – the basis for Product and Factory Re-engineering,” Annals of the CIRP, Vol. 45/1.
- [12] J. Villasenor, W.H. Mangione-Smith, “Configurable Computing,” Scientific American, June 1997

- [13] Landers R. Landers, R., Min, B.K., and Koren, Y.: Reconfigurable Machine Tools, CIRP Annals, Vol. 49, July 2001.
- [14] Koren Y., Kota, S., 1999, Reconfigurable Machine Tools, U.S. Patent no 5,943,750.
- [15] Paredis, C., et al., 1996, A Rapidly Deployable Manipulator System, Proc. IEEE ICRA.
- [16] Fukuda, T., Ueyama, T., 1993, Autonomous Behavior and Control, Proc. IEEE ICRA
- [17] IMS Report, 1990, Joint International Research Programs into an Intelligent Manufacturing System, International Robotics and Factory Automation Centre (IROFA).
- [18] Bollinger, J. et al., 1998, Visionary Manufacturing Challenges for 2020, National Research Council Report, National Academy Press, Washington, D.C.
- [19] Lee, G.H., 1997, Reconfigurability Considerations in the Design of Components and Manufacturing Systems, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 13.
- [20] Tonshoff, H.K., Menzel, E., Hinkenhuis, H., Nitidem, E., 1994, Intelligence in Machine Tools by Configuration, 7th Int. Conference on Production/ Precision Engineering, 4th Int. Conference on High Technology, September 1994, Chiba, Japan.
- [21] Erixon, G., 1996, Modularity – the basis for Product and Factory Re-engineering, Annals of the CIRP, Vol. 45.
- [22] Mehrabi, M., Ulsoy, A.G., Koren, Y., Heytler, P., 2002, “Trends and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems,” Journal of Intelligent Manufacturing.
- [23] U. Heisel, M. Meitzner, Progress in Reconfigurable Manufacturing Systems, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006
- [24] Δ.Μ. Εμίρης, Δ.Ε. Κουλουριώτης, Ρομποτική, 2^η Έκδοση, 2004
- [25] Williams, T.J. “Ergonomics, Robot Market and Industry”. In R.C. Dorf, editor, Concise International Encyclopedia of Robotics, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.
- [26] Meyer, J.D. “Applicationd of Robots”. In R.C. Dorf, editor, Concise International Encyclopedia of Robotics, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.
- [27] Seering, W.P and Scheinman, V. “Mechanical Design of Components”. In R.C. Dorf, editor, Concise International Encyclopedia of Robotics, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.
- [28] Koivo, A.J. Fundamentals for Control of Robotic Manipulators, Wiley, New York, 1989.

[29] S. Sakakibara, The Robot Cell as a Re-configurable Machining System. New Trends in Production, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006.

[30] Θωμάς Σπύρου, Σημειώσεις μαθήματος «Σχεδίαση Συστημάτων», 2004-2005

[31] H. Valsamos, N.A. Aspragathos, Design of a versatile passive connector for reconfigurable robotic manipulators with articulated anatomies and their kinematic analysis, Department of Mechanical Engineering and Aeronautics, University of Patras, Patras 16500, Greece, 2006

[32] Valsamos H., Aspragathos N.A., Optimal Path Following Robotic Task Placement and Physical Configuration for a Reconfigurable Robotic Manipulator Using Genetic Algorithms, CIRP 2006

[33] E. Abele, J. Elzenheimer, T. Liebeck, T. Meyer, Globalization and Decentralization of Manufacturing, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006

[34] E. Westkämper, Factory Transformability: Adapting the Structures of Manufacturing, Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, 2006

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Τα RMS σε σχέση με τα χαρακτηριστικά-κλειδιά

A.1 Επαρκείς και αναγκαίες συνθήκες για τα RMS

Το να έχεις ένα σύστημα ή ένα κομμάτι εξοπλισμού με επαναδιαμορφώσιμο υλικό και επαναδιαμορφώσιμο λογισμικό είναι απαραίτητοι αλλά όχι επαρκείς συνθήκες για ένα πραγματικό RMS. Αυτή η δήλωση, η οποία μπορεί να είναι αντίθετη με τη κοινή λογική, είναι σωστή εάν κάποιος έχει στο νου του το στόχο ενός επαναδιαμορφώσιμου συστήματος ή μιας επαναδιαμορφώσιμης μηχανής (δες sec. 5 παρακάτω). Το επαναδιαμορφώσιμο υλικό και λογισμικό πρέπει να σχεδιάζεται με ικανότητα μετατροπής και/ ή ικανότητα βαθμονόμησης-κλιμάκωσης, οι οποίοι είναι οι στόχοι των RMS – *Ακριβώς η λειτουργικότητα που απαιτείται, ακριβώς όταν απαιτείται*. Επί προσθέτως, με σκοπό τη μείωση του κόστους, ο σχεδιασμός του συστήματος και ορισμένων από τις μηχανές του πρέπει να επικεντρώνεται στην οικογένεια κομματιών: τουτέστιν, το χαρακτηριστικό της προσαρμογής πρέπει να είναι ενσωματωμένο στο σχεδιασμό του επαναδιαμορφώσιμου εξοπλισμού και του επαναδιαμορφώσιμου συστήματος.

Αναλύοντας τη σχέση μεταξύ των έξι χαρακτηριστικών-πυρήνα των RMS και του ορισμού του RMS, κάποιος μπορεί να ορίσει επαρκείς συνθήκες για την ύπαρξη ενός RMS:

- Ένα σύστημα που κατέχει τα χαρακτηριστικά της προσαρμογής και της ικανότητας βαθμονόμησης-κλιμάκωσης είναι ένα RMS
- Ένα σύστημα που κατέχει τα χαρακτηριστικά της προσαρμογής και της ικανότητας μετατροπής είναι ένα RMS

Ωστόσο, αντίθετα με την κοινή λογική η τμηματοποίηση δεν είναι μία απαραίτητη ή επαρκής συνθήκη, αφού ούτε η αλλαγή στη παραγωγική ικανότητα ούτε στη λειτουργικότητα είναι εξασφαλισμένες με τη τμηματοποίηση. Η πιθανότητα μία τμηματική δομή να επιτρέψει αλλαγές στη λειτουργικότητα ή στην παραγωγική ικανότητα είναι μεγάλη αλλά δεν είναι εξασφαλισμένη. Ωστόσο, οι παρακάτω προτάσεις είναι έγκυρες:

- Ένα σύστημα παραγωγής που κατέχει τα χαρακτηριστικά της τμηματοποίησης και της ικανότητας ενοποίησης-ολοκλήρωσης είναι πολύ πιθανό να είναι ένα RMS
- Τα χαρακτηριστικά της τμηματοποίησης, της ικανότητας ενοποίησης-ολοκλήρωσης και της ικανότητας διάγνωσης μειώνουν το χρόνο επαναδιαμόρφωσης του συστήματος και το χρόνο ramp-up του.

Συνοψίζοντας, τα χαρακτηριστικά της προσαρμογής, της ικανότητας βαθμονόμησης-κλιμάκωσης και της ικανότητας μετατροπής είναι ουσιαστικά χαρακτηριστικά των RMS, ενώ τα άλλα τρία –η τμηματοποίηση, η ικανότητα ενοποίησης-ολοκλήρωσης και η ικανότητα διάγνωσης είναι χαρακτηριστικά υποστήριξης που κάνουν τις

μετατροπές στα RMS εφικτές σε όρους χρόνων επαναδιαμόρφωσης όπως φαίνεται στον πίνακα 2.

A.2 Αρχές επαναδιαμόρφωσης

Τα επαναδιαμορφώσιμα συστήματα παραγωγής είναι σχεδιασμένα και λειτουργούν σύμφωνα με ένα σύνολο αρχών που δίδεται παρακάτω. Οι τρεις πρώτες αρχές είναι οι αρχές πυρήνα οι οποίες ορίζουν ένα επαναδιαμορφώσιμο σύστημα. Οι άλλες είναι δευτερεύουσες αρχές που βοηθούν στο σχεδιασμό ενός οικονομικού RMS.

1. Τα RMS περιέχουν ρυθμιζόμενους πόρους παραγωγής ώστε να ανταποκριθούν στις επικείμενες ανάγκες τις αγοράς.
 - Η παραγωγική ικανότητα των RMS είναι γρήγορα βαθμονομημένη-κλιμακωμένη σε μικρά, βέλτιστα αυξητικά ποσά
 - Η λειτουργικότητα των RMS είναι ταχέως προσαρμόσιμη στην παραγωγή νέων προϊόντων.
2. Τα RMS είναι σχεδιασμένα γύρω από μία οικογένεια κομματιών/ προϊόντων, με ακριβώς την απαιτούμενη προσαρμοσμένη ευελιξία για την παραγωγή όλων των μελών αυτής της οικογένειας.
3. Για την ενίσχυση της άμεσης απόκρισης ενός παραγωγικού συστήματος, τα χαρακτηριστικά πυρήνα των RMS πρέπει να είναι ενσωματωμένα σε ολόκληρο το σύστημα όπως επίσης και στα συστατικά του στοιχεία (μηχανικά, επικοινωνίες και έλεγχο).
4. Τα RMS είναι ένα οικονομικό σύνολο ευέλικτου και επαναδιαμορφώσιμου εξοπλισμού και προσαρμοσμένη ευελιξία, όπως επαναδιαμορφώσιμες μηχανές των οποίων η λειτουργικότητα και η παραγωγικότητα μπορούν άμεσα να αλλαχθούν αν απαιτηθεί .
5. Γενικά, συστήματα με μεγάλο αριθμό εναλλακτικών τρόπων για την παραγωγή ενός κομματιού είναι περισσότερο επαναδιαμορφώσιμα, αλλά απαιτούν υψηλότερο κόστος επένδυσης σε εργαλεία και συστήματα χειρισμού υλικών.
6. Τα RMS κατέχουν ικανότητες υλικού και λογισμικού ώστε να αντεπεξέλθουν οικονομικά σε απρόβλεπτα γεγονότα (αλλαγές στην αγορά και αποτυχίες στις μηχανές).

Όσες περισσότερες από αυτές τις αρχές είναι εφαρμόσιμες σε ένα δεδομένο σύστημα παραγωγής, τόσο περισσότερο επαναδιαμορφώσιμο αυτό είναι. Εφαρμόζοντας αυτές τις αρχές στο σχεδιασμό ενός συστήματος επιτρέπεται ο απόλυτος στόχος – η δημιουργία ενός «ζώντος εργοστασίου» (“**living factory**”) το οποίο είναι ικανό να ρυθμίζει ταχέως την παραγωγική του ικανότητα διατηρώντας υψηλά επίπεδα ποιότητας από το ένα κομμάτι στο άλλο.

B. Διαμόρφωση ενός RMS

B.1 Ορισμός

Η διαμόρφωση ενός συστήματος ορίζεται ως ένα σύνολο από μηχανές(συμπεριλαμβανομένων και των ελέγχων) και των συνδέσεων ανάμεσά τους. Οι μηχανές μπορούν είτε να είναι δοσμένες είτε να αποτελούνται από τμήματα. Ο ορισμός της διαδικασίας της διαμόρφωσης επιπέδου συστήματος είναι ο ακόλουθος:

Δεδομένων: (α) ενός προϊόντος/ κομματιού ή μιας οικογένειας προϊόντων/ κομματιών, (β) τον όγκο και τα χαρακτηριστικά, (γ) βιβλιοθήκες οι οποίες περιλαμβάνουν (i) ένα σταθερό σύνολο από τμήματα μηχανής (το καθένα περιγραφόμενο από το σχήμα, τις διεπαφές, την κινηματική και τη δυσκαμψία), (ii) περιορισμούς που λαμβάνουν υπόψη τη συναρμολόγηση αυτών των τμημάτων και (iii) ένα σταθερό σύνολο από μηχανές (η κάθε μία περιγραφόμενη από ένα σύνολο κινηματικής, διαδικασιών, κλπ.) και (δ) περιορισμών οι οποίοι περιγράφουν τις απαραίτητες ακολουθίες των διαδικασιών πάνω στο προϊόν/ κομμάτι προϊόντος; Φτιάξε διαμορφώσεις οι οποίες προδιαγράφουν όλες αυτές τις απαιτήσεις, ή εντοπίζουν ελλείψεις σε ένα δοσμένο σύνολο μηχανών ή τμημάτων μηχανών.

Ο ορισμός των πιθανών διαμορφώσεων είναι πολύ μεγάλος. Ένας αυξανόμενος αριθμός μηχανών προκαλεί μία εκθετική έκρηξη των διαμορφώσεων του συστήματος. Για παράδειγμα, για 6 μηχανές υπάρχουν 54 πιθανές διαμορφώσεις: μία σειριακή, μία παράλληλη και 52 υβριδικές (παράλληλες-σειριακές διαμορφώσεις). Κάθε διαμόρφωση πρέπει να εκτιμηθεί για το συνολικό όγκο του έργου που παράγει (αξιοπιστία, ταχύτητα, μείγμα και επιθυμητοί όγκοι παραγωγής), ποιότητα κομματιών/ προϊόντων και κόστη. Αυτή η κατάσταση κάνει την εξέταση εναλλακτικών διαμορφώσεων εξαιρετικά δύσκολη. Λογισμικό προσομοίωσης και εργαλεία ανάλυσης του συνολικού όγκου έργου είναι ευρέως σε χρήση από τη βιομηχανία για τη σχεδίαση γραμμών παραγωγής. Ωστόσο, αυτά τα εργαλεία δε λογαριάζουν θέματα ποιότητας. Ως εκ τούτου, ευθείες ανταλλαγές μεταξύ ποιότητας και συνολικού όγκου έργου δε μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα. Νέοι αλγόριθμοι εκτίμησης οι οποίοι επιτρέπουν μια γρήγορη και ολοκληρωμένη, μεταξύ συνολικού όγκου έργου και ποιότητας, ανάλυση των διαμορφώσεων εισάγεται στην [30]. Αυτοί οι αλγόριθμοι, ωστόσο, επιλύουν κάθε σενάριο ζήτησης ως μία ανεξάρτητη περίπτωση, και δε βελτιστοποιούν το σύστημα καθόλη τη διάρκεια της ζωής του για διαφορετικά σενάρια διαμόρφωσης. Εργασία βρίσκεται εν εξελίξει για να υπολογιστεί η βέλτιστη κλίμακα διαμορφώσεων του συστήματος.

Στο [32], γενετικοί αλγόριθμοι πολλαπλών κριτηρίων χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση των διαμορφώσεων των εργαλείων των μηχανών στο εννοιολογικό στάδιο. Τα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι η στατική ακαμψία, η δυναμική ακαμψία, και ο χώρος εργασίας.

B.2 Επιστημονική βάση επαναδιαμόρφωσης

Η επιστημονική βάση επαναδιαμόρφωσης αποτελείται από:

1. Σχεδιαστική θεωρία επαναδιαμόρφωσης(Reconfiguration design theory)
2. Επαναδιαμόρφωση και διασύνδεση (Reconfiguration & coupling)

3. Θεωρία της ροής των μεταβολών -παραλλαγών (Stream-of-variation theory)
4. Αξιοπιστία συστήματος (System reliability)
5. Οικονομικά κύκλου ζωής (Life-cycle economics)
6. Συστήματα ελέγχου ανοιχτής αρχιτεκτονικής (Open-architecture control systems)
7. Ενοποίηση -Ολοκλήρωση συστήματος (System integration)

B.3 Η επαναδιαμόρφωση κατά την άποψη των παραγωγών

Στην παραπάνω έρευνα, το 80% των ερωτώμενων κατασκευαστών παραγωγικών συστημάτων κατέθεσαν ότι οι πελάτες τους θέλουν τα RMS και ότι αυτή η τεχνολογία είναι εγκατεστημένη. Ακόμα 30% των ερωτώμενων ερμηνεύει την επαναδιαμόρφωση ως μετεξοπλισμό και ένα 8% ότι δε χρειάζονται την επαναδιαμόρφωση καθόλου. Μερικοί παραγωγοί μηχανών γενικού-σκοπού λυπόταν που ήταν μη ικανοί να απαντήσουν, διότι οι πελάτες τους ήθελαν μηχανές για την παραγωγή ξεχωριστών κομματιών και έτσι δεν έβλεπαν ανάγκη για επαναδιαμόρφωση.

Η τροποποίηση ενός δεδομένου παραγωγικού συστήματος για ένα διαφορετικό κομμάτι προς επεξεργασία αλλάζοντας τις κεφαλές μηχανικής κατεργασίας είναι περιορισμένη σε μεμονωμένες περιπτώσεις όπως η κοπή γκρανιζιών. Οι επαναδιαμορφώσεις συμβαίνουν κατά 75% στο επίπεδο του συστήματος και της μηχανής, κατά 58% στο επίπεδο των συναρμολογήσεων και κατά 25% στο επίπεδο των συστατικών στοιχείων. Αυτό δίνει έμφαση στις δυσκολίες στις αλλαγές στα συστατικά στοιχεία σε σχέση με τις αλλαγές στο επίπεδο του συστήματος. Όπως παρατίθεται παραπάνω, οι περισσότεροι χρήστες θα εκτιμούσαν την ικανότητα ταχείας αλλαγής στις κεφαλές μηχανικής κατεργασίας και στις ατράκτους. Οι παραγωγοί των εργαλειομηχανών βλέπουν τον κίνδυνο απροσδόκητων αναδρομικών δυνάμεων, διότι μία εργαλειομηχανή είναι ένα σύνθετο σύστημα αμοιβαίως δρώντων φυσικών χαρακτηριστικών. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να ανεχτεί μόνο μικρές παρεμβάσεις, και ένα ασύμβατο στοιχείο μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αναστατώσεις.

Οι κατασκευαστές έχουν ανάγκη από διεπαφές για μηχανικές λειτουργίες και μετάδοση των σημάτων ελέγχου, ηλεκτρικής, υδραυλικής και πνευματικής ενέργειας. Οι διεπαφές των RMS πρέπει να είναι χρήσιμες σε πολλούς τρόπους. Αποσπασίμοι σύνδεσμοι είναι συνήθως πιο ακριβοί από τους σταθερούς. Η σύνδεση της ισχύος (power connection) είναι ένα ασήμαντο παράδειγμα: η κασσιτεροκόλληση είναι φθηνότερο από το βύσμα. Έτσι, το RMS σημαίνει υψηλότερη αρχική επένδυση. Αλλά κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντος αυτές οι λύσεις μπορούν να αποσβέσουν την επένδυση λόγω οικονομιών στις διαμορφώσεις, στη συντήρηση και στις επιδιορθώσεις.

Τα όρια των πιο συχνά αναφερόμενων τμηματικών μονάδων-ατράκτων και κεφαλών παραγωγής- είναι σχετικά κοντά. Το κομμάτι είναι μηχανικά τοποθετημένο και σταθεροποιημένο στο σύστημα παραγωγής. Οι μηχανικές μεταδόσεις πέρα από το όριο του τμήματος είναι ασυνήθεις.

Τα τμήματα χρειάζονται είσοδο (input) για:

- ηλεκτρική ενέργεια
- πληροφορίες ελέγχου
- υδραυλικά
- πνευματικά

Χρειάζονται έξοδο (output) για:

- πληροφορίες ελέγχου και δεδομένα αίσθησης
- υδραυλικά
- ψυκτικά/ λιπαντικά (αν δεν στεγνώνουν από έξω)
- κυκλώματα(chips)

Οι κατασκευαστές έχουν αντικρουόμενες αντιλήψεις για την εφαρμογή της επαναδιαμόρφωσης. Από τη μία μεριά μερικοί σκέφτονται τα πάντα να είναι επαναδιαμορφώσιμα, περιέχοντας το πλαίσιο βάσης(base frame), και από την άλλη μερικοί βλέπουν την απιθανότητα λόγω της τεχνολογικής προόδου. Σε ένα διάστημα πέντε ετών τα πάντα αλλάζουν, ακόμα και η δομή της μηχανής στη βάση της.

Ως εκ τούτου, ένα RMS πρέπει να βασιστεί σε μία σταθερή τεχνολογία διεπαφών ακόμα και αν οι αναβαθμίσεις του συστήματος είναι επηρεασμένες αρνητικά. Ο χρήστης θα πρέπει να εξισορροπήσει τις εκτιμήσεις του να έχει μία πρόσφατη μηχανή ενάντια στο να διατηρήσει την επένδυση οικονομική. Δεν υπάρχει περιορισμός για τα τμήματα αυτά καθαυτά, είναι εναλλάξιμα σε αναβαθμίσεις του συστήματος. Έτσι, αυτό είναι ένα μικρό ελάττωμα.

Το πλαίσιο του χρόνου για πραγματικές επαναδιαμορφώσεις ποικίλλει από δύο ώρες σε τρεις μήνες με ένα μέσο όρο στις δύο βδομάδες. Το μήκος του χρόνου επαναδιαμόρφωσης εξαρτάται από την κλίμακα της αλλαγής και από τα ιδιαίτερα στοιχεία του κάθε συστήματος. Οι μηχανές κοπής γραναζιών, που σηματοδοτούν το άκρο του φάσματος, ωφελούνται από τυποποιημένα κομμάτια προς επεξεργασία. Οι κατασκευαστές τέτοιων μηχανών επίσης μετεξοπλίζουν τις μηχανές αγορασμένες ακόμα και από ανταγωνιστές λόγω της υψηλής πιθανότητας πώλησής τους σε άλλο πελάτη. Οι γραμμές μεταφοράς σηματοδοτούν το άλλο άκρο του φάσματος. Χρειάζονται εξειδικευμένες, ακριβές συσκευές σύσφιξης λόγω του υψηλού όγκου παραγωγής και της ικανότητας της διαδικασίας.

Όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός ενσωμάτωσης τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος αργίας. Μία πλεξούδα καλωδίων που είναι ενσωματωμένη μέσα στο μηχανήμα έχει αποτέλεσμα στον κατηγορηματικά μεγαλύτερο χρόνο αδράνειας από όταν χρησιμοποιείται ένα διαμοιρασμένο bus σύστημα(distributed bus system). Από την άλλη μεριά, η προσπάθεια μετατίθεται από το σύστημα στα συστατικά του στοιχεία.

Η επανα-χρησιμοποίηση είναι ασήμαντη για τους κατασκευαστές περίπλοκων παραγωγικών συστημάτων λόγω της έλλειψης εν δυνάμει πελατών για ένα μεταχειρισμένο σύστημα. Το πλαίσιο βάσης(base frame) υπολογίζεται σε περίπου 1% των συνολικών κοστών. Η διαφορά στη νέα επένδυση δεν κάνει την όλη προσπάθεια αξία για την αποσυναρμολόγηση ενός μεταχειρισμένου συστήματος. Η αγορά για μεταχειρισμένες μηχανές υποφέρει σήμερα από ειδικές προσφορές για νέες μηχανές και ταχέως αυξανόμενες λειτουργίες λογισμικού των νέων γενιών ελεγκτών. Ένα μεταχειρισμένο, περίπλοκο σύστημα είναι έτσι δύσκολο να πωληθεί.

Η αγορά των μηχανών κατεργασίας ξύλου, αντίθετα, χαρακτηρίζεται από διαδεδομένη χρήση ενσωματωμένων συνόλων, τα οποία αγοράζονται εισηγμένα σε παραγωγικές μονάδες όπως κεφαλές μηχανικής κατεργασίας, μονάδες διάνοιξης οπών και πριόνια. Οι προμηθευτές παραδίδουν αυτές τις μονάδες έτοιμες και πλήρως λειτουργικές. Ο όγκος της αγοράς για μεταχειρισμένες μηχανές κατεργασίας ξύλου είναι τόσο μεγάλος όσο οι νέες εταιρίες, διότι ο αγοραστής μιας νέας μηχανής συνήθως μεταπωλεί τη χρησιμοποιημένη μηχανή. Οι κατασκευαστές επίσης δέχονται τις μηχανές των ανταγωνιστών τους και τις επαναφέρουν σε καλή κατάσταση ώστε να τις ξαναπουλήσουν στην αγορά μεταχειρισμένων.

B.4 Πρόσθετα πεδία έρευνας για RMS

Ο παγκόσμιος οικονομικός ανταγωνισμός και οι ταχείες κοινωνικές και τεχνολογικές αλλαγές έχουν αναγκάσει τους κατασκευαστές να αντιμετωπίσουν μια νέα οικονομική επιδίωξη: την άμεση κατασκευαστική ανταπόκριση, π.χ. προσαρμογή του συστήματος παραγωγής στις συνθήκες της αγοράς.

Ο σχεδιασμός με βάση την επαναδιαμόρφωση αναδύεται πρόσφατα ως μία σημαντική νέα τάση στο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής. Έτσι, η επαναδιαμορφώσιμη κατασκευή είναι μία ευρεία περιοχή η οποία συνεχίζει να προσελκύει ταλέντα από διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς για την ανάπτυξή της. Μερικά από τα πεδία έρευνάς της περιέχουν:

(α) Οικονομική μοντελοποίηση κύκλου ζωής των συστημάτων κατασκευής, ώστε να καθοριστεί το εύρος ζήτησης του προϊόντος για το οποίο τα RMS είναι η ιδανική/ βέλτιστη επιλογή

(β) Αυτόματη παραγωγή διαμορφώσεων του συστήματος και ο αντίκτυπός τους στον συνολικό όγκο παραγωγής, στη ποιότητα του προϊόντος και στο κόστος που οδηγεί στην ίδρυση της θεωρίας διαμορφώσεων(configuration theory).

(γ) Βέλτιστη κλιμάκωση των διαμορφώσεων για διάφορα σενάρια ζήτησης.

(δ) Μεθοδολογία ramp-up για εναλλασσόμενες διαμορφώσεις τόσο στο επίπεδο της μηχανής όσο και στο επίπεδο του συστήματος.

(ε) Επαναδιαμόρφωση της επιτήρησης και των πληροφοριακών συστημάτων σε περιβάλλον RMS.

(στ) Επαναδιαμορφώσιμος έλεγχος για μεγάλα συστήματα σε περιβάλλον ανοιχτής αρχιτεκτονικής.

(ζ) Μεθοδολογία για την παραγωγή επαναδιαμορφώσιμων μηχανών για δεδομένα κατασκευαστικά έργα.

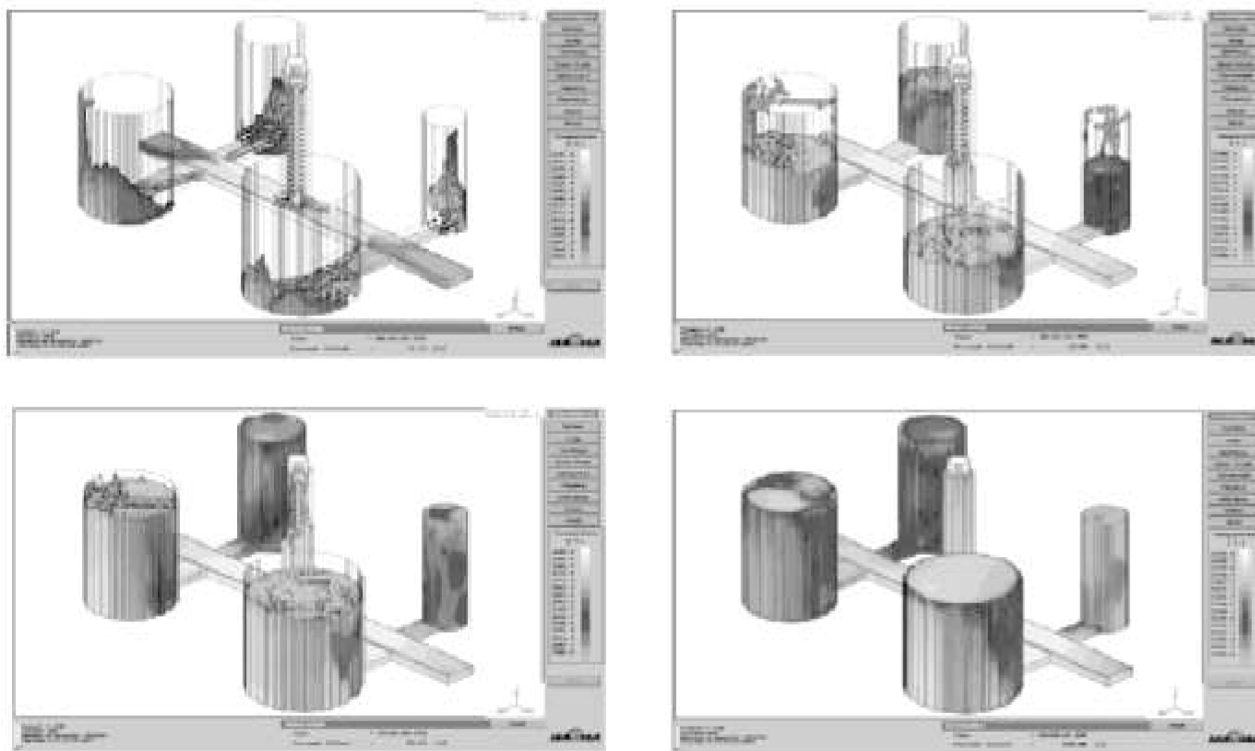
(η) Σχέσεις μεταξύ κατασκευαστών μηχανών και χρηστών των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων.

(θ) Οφέλη των επαναδιαμορφώσιμων συστημάτων στην κοινωνία και ο αντίκτυπός τους στη δημιουργία θέσεων εργασίας.

B.5 Προσομοίωση Τεχνολογίας Παραγωγής –virtual production

Η προσομοίωση της τεχνολογίας παραγωγής επικεντρώνεται ειδικά στις διαδικασίες σχηματοποίησης και δόμησης. Η δόμηση σημαίνει την εργασία σε ένα στερεό κομμάτι μέσω πλαστικής αλλαγής σχήματος. Προσομοίωση τέτοιων διαδικασιών

είναι η δόμηση φύλλων μετάλλου και η πρέσα (drop forging). Προσομοίωση τέτοιων διαδικασιών εκτελείται από εργαλείο με τη Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων. Η πιο σημαντική τεχνολογία σχηματοποίησης είναι η χύτευση. Χρησιμοποιείται για κομμάτια μετάλλου όπως επίσης και για πλαστικού (καλούπωμα ψεκασμού). Προσομοιώσεις casting τυπικά ασχολούνται με την ανάλυση των διαδικασιών γεμίσματος του καλουπιού και των διαδικασιών ψύξεως. Γενικά τα εργαλεία προσομοίωσης casting βασίζονται σε μεθόδους από τη Υπολογιστική Δυναμική Ρευστών (Computational Fluid Dynamics) (CFD). Η εικόνα 53 δείχνει ένα παράδειγμα μιας προσομοίωσης πλήρωσης καλουπιού.



Εικόνα 53 Προσομοίωση πλήρωσης καλουπιού

Η δημιουργία προϊόντος του σήμερα βασίζεται στο εικονικό προϊόν και στην εικονική παραγωγή. Η εικονικοποίηση οδηγείται από ταχείες προόδους στη τεχνολογία πληροφοριών. Ως αποτέλεσμα οι τεχνολογίες IT για την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής έχουν αναδυθεί. Παρόλο που αυτά τα εργαλεία παρέχουν αυξανόμενη λειτουργικότητα δεν υπάρχει εκτενής μεθοδολογία ανάπτυξη εργαλείων των παραγωγικών συστημάτων, ακόμα. Τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα σήμερα δεν είναι ενσωματωμένα σε μία ώριμη διαδικασία ανάπτυξης που απορρέει από μία μεθοδολογία. Παρουσιάζουμε μία προσέγγιση για ένα μοντέλο αναφοράς που χρησιμοποιείται ώστε να διευθετήσει βήματα ανάπτυξης σε ένα καθορισμένο χώρο σχεδιασμού.

Τα παραδείγματα βοηθούν να διευκρινιστεί η στενή αλληλεπίδραση μεταξύ του μοντέλου διαδικασίας, των μεθόδων, των εργαλείων IT και των τεχνικών προσδιορισμού. Με τη βοήθεια μιας κατάλληλης συστηματικής έχουμε ως σκοπό να ενοποιήσουμε τα παραπάνω στοιχεία και να τα αναπτύξουμε περαιτέρω. Αυτό οδηγεί σε ένα γενικό οδηγό της ανάπτυξης συστημάτων παραγωγής που χρειάζεται να είναι στραμμένος σε ένα τρόπο προσανατολισμένο στην εργασία. Στοχεύει σε μία ευέλικτη

λύση η οποία επιτρέπει την δυναμική και ευαίσθητη διαμόρφωση των διαδικασιών για την ανάπτυξη του συστήματος παραγωγής.

B.6 Παγκοσμιοποίηση και αποκέντρωση της παραγωγής

Η αλματώδης αύξηση των εισαγωγών σε πρώτες ύλες, κομμάτια(parts), συστατικά μέρη και υπηρεσίες οδηγείται από δύο μείζονα θέματα:

- Οι εταιρείες τελικά εφαρμόζουν παγκόσμια τροφοδοσία υλών, ειδικά για κομμάτια καταναλωτικών αγαθών (commodity-type parts),
- Οι εταιρείες εγκαθιστούν τις παραγωγικές τους εγκαταστάσεις εκτός της χώρας προέλευσής τους για την εξυπηρέτηση νέων αγορών και επανεισάγουν κομμάτια, συστατικά μέρη και τελικά αγαθά στη χώρα προέλευσής τους.

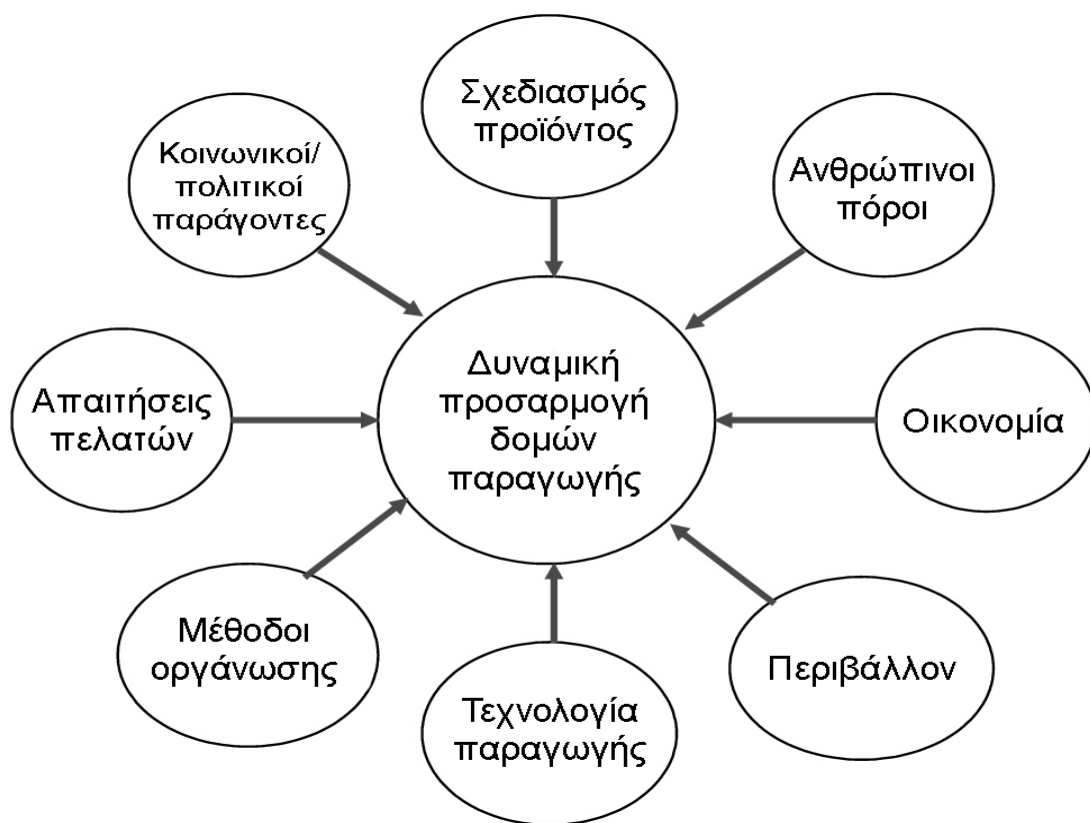
Η επιτυχία της παγκόσμιας συγκέντρωσης των διαδικασιών σε ένα γεωκεντρικό παγκόσμιο δίκτυο κυρίως βασίζεται στα πλεονεκτήματα κόστους επιδράσεων του όγκου παραγωγής, όπως είναι οι οικονομίες κλίμακας ή πεδίου. Αυτό είναι τυπικά αληθές στην περίπτωση των κεφαλαιουχικά έντονων παραγωγικών διαδικασιών οι οποίες απαιτούν να τίθενται σε λειτουργία υψηλοί ρυθμοί χρήσης μηχανών για να είναι οικονομικά συμφέροντες. Επί προσθέτως, η επίδραση του μειούμενου σταθερού κόστους ανά κομμάτι επιτρέπει την εγκατάσταση και την ανάπτυξη εξειδικευμένων μηχανών οι οποίες δεν εκπληρώνουν απαιτήσεις υψηλής ευελιξίας όσο οι κύκλοι ζωής των προϊόντων είναι επαρκούς διάρκειας[33].

Δεύτερος καθοριστικός παράγοντας στο σχεδιασμό παγκοσμίων δικτύων είναι οι απαιτήσεις που αναφέρονται στη διαφοροποίηση και στην εξατομίκευση του προϊόντος. Αγαθά τα οποία πρέπει να εκπληρώνουν συγκεκριμένες εντολές πελατών, πρέπει να περιέχουν μια συγκεκριμένη άποψη αγοράς ή απλώς είναι εξαρτημένα σε βραχείς χρόνους παράδοσης (lead time) πρέπει να παράγονται τοπικά κοντά στην αγορά. Σε αυτή την περίπτωση η τοπική παραγωγή δημιουργεί ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα το οποίο δε μπορεί να αντισταθμιστεί με άλλα μέσα. Αυτές οι συνθήκες τυπικά ευνοούν ένα πολυκεντρικό - πολυεθνικό στήσιμο παραγωγής. Η παγκοσμιοποίηση της παραγωγής προσφέρει στις εταιρείες μια εξαιρετική δυναμική στο να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή τους. Η συνεπαγόμενη χρήση των τοπικών πλεονεκτικών παραγόντων θα οδηγήσει σε μία αυξανόμενη εξειδίκευση των παραγωγικών δραστηριοτήτων. Ενώ οι χώρες υψηλού κόστους τυπικά προσφέρουν καλύτερες συνθήκες έρευνας και ανάπτυξης, καινοτομίας και συνεχούς βελτίωσης, οι αναπτυσσόμενες χώρες είναι ιδιαίτερα ελκυστικές λόγω σημαντικά χαμηλότερου κόστους.

Βασιζόμενοι στο παρόν υπόδειγμα του παραγωγικού δικτύου και του συνεπαγόμενου καταμερισμού κάθε βήματος παραγωγής, οι μάνατζερ της παραγωγής πρέπει να αποφασίσουν πάνω στο ζήτημα του απαιτούμενου βαθμού ευελιξίας ανάμεσα στους καθοριστικούς παράγοντες που συζητήθηκαν παραπάνω. Ιδιαίτερα, τα ταχέως μεταβαλλόμενα παραγωγικά δίκτυα με εργοστάσια μικρής κλίμακας που παραδίδουν υψηλώς διαφοροποιημένα προϊόντα και ευμετάβλητες αγορές μπορούν να κερδίσουν από τα ευέλικτα και επαναδιαμορφώσιμα εργαλεία μηχανής και εξοπλισμό παραγωγής. Η τρέχουσα έρευνα και βελτιώσεις σε αυτό το τομέα θα προετοιμάσουν το δρόμο για την παγκόσμια παραγωγή και θα θέσουν σε εφαρμογή ένα νέο παράδειγμα για την παραγωγή.

B.7 Προοπτικές - Η ευελιξία ως έννοια-οδηγός για το μέλλον

Η ευελιξία μπορεί να δώσει στις εταιρίες τεράστια πλεονεκτήματα σε ανταγωνισμό προσανατολισμένο στο πελάτη, αφού στο παρόν οι δομές των εταιριών είναι συνήθως μόνο προσαρμόσιμες σε ένα συγκεκριμένο βαθμό. Μία αξιολόγηση της βραχυπρόθεσμης ικανότητας προσαρμογής των δομών των εταιριών δίνεται στην εικόνα 54.[34] Τονίζει τα θέματα που σχετίζονται με στρατηγική χειρισμού χώρου βασισμένη στο χρόνο) όταν μεταβάλλονται οι δομές που αφορούν ιδιοκτησία και υπάρχοντα, προσωπικοί πόροι και εδραιωμένες μέθοδοι στα συστήματα πληροφοριών. Θέτει το θεμελιώδες ερώτημα του εάν είναι πιθανό να μεταβληθούν αυτές οι δομές εντελώς, και αν ναι, πόσο θα πάρει για να αλλαχθούν.



Εικόνα 54 Προσαρμόζοντας τις δομές παραγωγής

Η ικανότητα προσαρμογής έχει μια χρονική διάσταση. Δεν είναι ερώτημα του εάν το μάνατζμεντ είναι προετοιμασμένο να πράξει μία αλλαγή: πρέπει να είναι συνεχής προσπάθεια όλων των υπεύθυνων ατόμων στο μάνατζμεντ. Οι κρίσιμοι παράγοντες για τη διεξαγωγή μιας μετατροπής είναι ο απαιτούμενος χρόνος και τα εμπλεκόμενα έξοδα. Η μετατροπή μπορεί επίσης να οριστεί με τον παλαιό όρο «επανεξοπλισμός», ο οποίος περιγράφει την «επανα-ρύθμιση» μιας παραγωγής ή ακόμα και ολόκληρης της εταιρίας ώστε να αντεπεξέλθει στη μεταβαλλόμενη ζήτηση και στις μεταβαλλόμενες διαδικασίες επεξεργασίας, και οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν σε χρόνο και κόστος.

Είναι γενικά γνωστό ότι η επαναδόμηση των εργοστασίων μπορεί να επιτευχθεί μέσω-ως μακροπρόθεσμα. Σήμερα, τα κτίρια, ο εξοπλισμός και οι μηχανές θεωρούνται ως δομικά στοιχεία μιας εταιρίας με μακρά διάρκεια ζωής. Με σκοπό να αλλαχθούν, απαιτείται εντατικός σχεδιασμός και μακροχρόνιες λήψεις αποφάσεων. Τα εργοστάσια χτίζονται για να λειτουργούν τουλάχιστον 30 χρόνια. Οι μηχανές και ο εξοπλισμός έχουν ζωή τουλάχιστον 15 χρόνια με την απαραίτητη συντήρηση. Μόνο ελάχιστα προϊόντα έχουν ασφαλή πρόγνωση που αφορά μελλοντικές αναπτύξεις τεχνικών απαιτήσεων ή μακροπρόθεσμης ζήτησης. Έτσι, έχει παρατηρηθεί ότι οι δομές είναι εντελώς εκτός χρόνου.

Τα εργοστάσια του μέλλοντος θα είναι τεχνολογικά βελτιστοποιημένου μεγέθους με βέλτιστη απόδοση. Θα κατέχουν ένα υψηλό επίπεδο τεχνικής νοημοσύνης ώστε να περιφρουρούν τις ικανότητες των διαδικασιών επεξεργασίας και την αποτελεσματική παραγωγή. Είναι επίσης πιθανό ότι αυτά τα εργοστάσια να είναι αρκετά αυτοματοποιημένα και ολοκληρωμένα. Μέσα σε ανοιχτά δίκτυα παραγωγής, θα είναι ευέλικτα και προσαρμόσιμα έτσι ώστε να είναι ικανά να διατηρήσουν τη θέση τους σε ένα ασταθές περιβάλλον. Τα εργοστάσια του μέλλοντος θα βρίσκονται εκεί όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες αγορές ώστε μη απαραίτητες συναλλαγές στην αλυσίδα εφοδιασμού (logistics) και αποστάσεις να αποφεύγονται και ώστε να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα στις απαιτήσεις των πελατών. Θα δουλεύουν μόνο κατόπιν παραγγελίας και πιθανώς θα ελέγχονται από ανθρώπους ικανούς να διαχειρίζονται περίπλοκα συστήματα όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένα και επίσης να προσαρμόζουν το σύστημα γρήγορα. Αυτό το νέο όραμα για το εργοστάσιο ξεκινά από παλαιότερες αντιλήψεις και χρησιμοποιεί εμπειρίες που έχουν κερδηθεί σε μία τεχνική, και ανθρωπιστική περίοδο. Περιέχει επίσης τεχνικές και τεχνολογίες παραγωγής, όπως τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών.

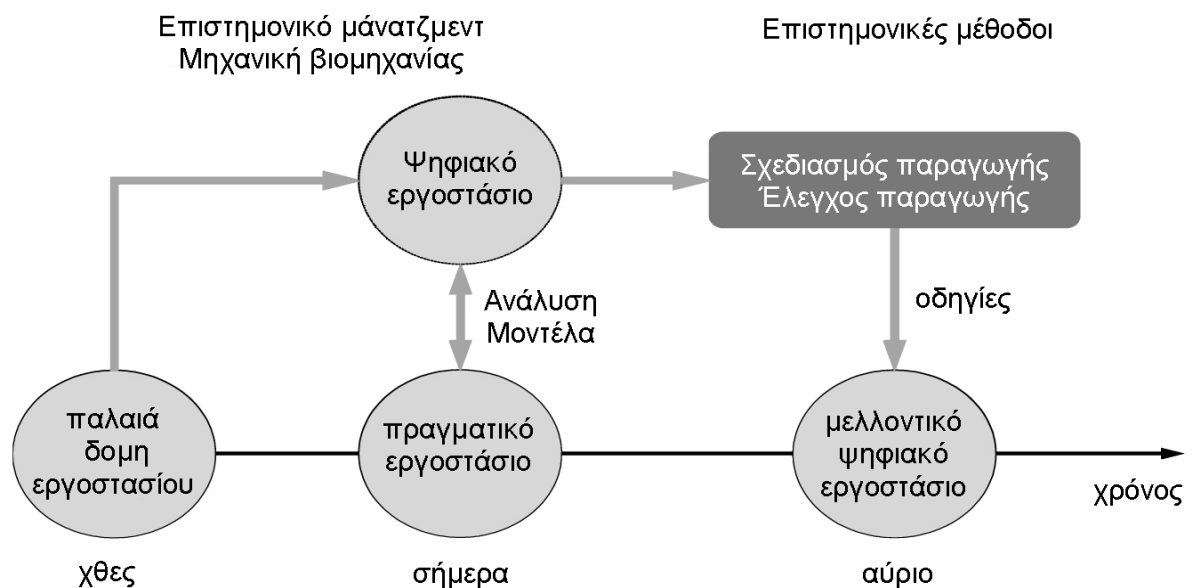
Ένα θεμελιωδώς νέο όραμα για τα μελλοντικά εργοστάσια απαιτείται έτσι ώστε να επιτευχθεί ο υψηλότερος δυνατός βαθμός προσαρμοστικότητας ενώ ταυτόχρονα να κατορθωθεί ένα υψηλό επίπεδο οικονομικής αποτελεσματικότητας. Τέλος, αυτό μπορεί μονάχα να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας δομές εικονικής φύσης με τις μονάδες απόδοσης να είναι τόσο ολοκληρωμένες όσο απαιτείται σε ένα ανοιχτό δίκτυο, και οι οποίες να είναι συνεχώς προσαρμόσιμες.

Οι δυναμικές δομές παραγωγής είναι η απάντηση στην αυξανόμενη δυναμική των απαιτήσεων. Αυτά είναι συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή επαναδιαμόρφωση ώστε να εξυπηρετείται η αγορά, η βέλτιστη συναλλαγή των υπαρχόντων στοιχείων και επίσης η βέλτιστη ενσωμάτωση των νέων στοιχείων σε υπάρχοντες δομές και διαδικασίες επεξεργασίας χωρίς να υφίσταται αρνητικό αποτέλεσμα στην παραγωγή. Χρησιμοποιώντας άκρως ευέλικτα τεχνικά συστήματα, τα δυναμικά συστήματα παραγωγής είναι όχι μόνο δημιουργημένα για τη διαδικασία, αλλά επίσης αναπτύσσονται για το συνδυασμό των στοιχείων σε ένα σύστημα παραγωγής(τεχνολογία, οργάνωση) και την ολοκληρωμένη εκμετάλλευση της δυναμικής που γεννάται από το συνδυασμό. Αυτή είναι μία ουσιαστική διαδικασία σχεδιασμού, η οποία πρέπει να εκτελείται επί μονίμου βάσεως.

Σε μία μεθοδική προσέγγιση, η θεμελιώδης ιδέα βασίζεται στον έλεγχο των επιπτώσεων εκτελώντας σχεδιασμό σε ένα εικονικό περιβάλλον πριν αρχίσει η παραγωγή. Εάν είναι πιθανό να αποφύγουμε μελλοντικές βελτιώσεις διότι έχουν ήδη ληφθεί υπόψη στη φάση του σχεδιασμού το πλεονέκτημα θα διατηρηθεί. Αυτή η ιδέα βασίζεται στη θεωρία του ολοκληρωμένου, προσεκτικού σχεδιασμού εργοστασίου πριν η παραγωγή και η συναρμολόγηση αρχίσει. Η αδυναμία σε αυτή τη στρατηγική συμβαίνει ειδικά διότι τα δεδομένα για το σχεδιασμό έχουν κατά αύξοντα βαθμό μειωθεί, ή χρησιμοποιούνται μόνο για τη προετοιμασία εγγράφων παραγωγής, και είναι συχνά εκτός πραγματικότητας, ή απαιτούν χρόνο προετοιμασίας πολύ μακρύ. Πολλές φορές, η έκταση του σχεδιασμού είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή. Συγκεντρωμένη μόνο σε υπάρχοντα δεδομένα, και έχει δώσει στα εργοστάσια πολύ λίγο χώρο για χειρισμούς. Ο τρίτος λόγος βρίσκεται κυρίως στο γραμμικό τρόπο που οι διαδικασίες σχεδιασμού εκτελούνται. Συχνά αποδεικνύεται ότι υπάρχουν προσωρινές δυσχέρειες λόγω συνωστισμού (bottlenecks) στην αλυσίδα της διαδικασίας από την ανάπτυξη στην παραγωγή.

Η διαμόρφωση ή επαναδιαμόρφωση των συστημάτων παραγωγής είναι μία κλασική εργασία σχεδιασμού για τα εργοστάσια και για τις εταιρίες παραγωγής. Αυτή τη στιγμή, τέτοιες εργασίες σχεδιασμού εκτελούνται ως ολοκληρωμένα έργα(project), και συνεπώς περιγράφονται στη βιβλιογραφία του κλασικού σχεδιασμού εργοστασίων ως τέτοια. Μόνο πρόσφατα υπήρξαν σημάδια ότι αυτός ο ξεχωριστός χαρακτήρας στο σχεδιασμό εργοστασίων άρχισε να συζητείται.

Η εικόνα 55 καταδεικνύει τις διαδικασίες μετασχηματισμού χρησιμοποιώντας ψηφιακά συστήματα εργοστασίων. Οι μηχανικοί μπορούν να σχεδιάσουν τις αλλαγές στις διαδικασίες και στις πηγές σε ψηφιακό περιβάλλον. Τα συστήματα επιτρέπουν την κατάδειξη, την παρουσίαση και την εκτίμηση συγκεκριμένων δράσεων. Οι ομάδες εργάζονται διαμοιρασμένα με συνεργατικά ΙΤ-συστήματα και χειρίζονται πραγματικά δεδομένα.



Εικόνα 55 Προηγμένη μηχανική βιομηχανίας με το ψηφιακό εργοστάσιο

Από τη σκοπιά του σχεδιασμού εργοστασίων βασισμένου στα επίπεδα του κλασικού σχεδιασμού, εάν οι εργασίες σχεδιασμού διαιρεθούν σε φάσεις σχεδιασμού και αιτίες σχεδιασμού, μία υψηλή αναλογία αυτό-οργάνωσης θα υπάρξει στο μέλλον σε όλες τις φάσεις σχεδιασμού κατά το επίπεδο της διαχείρισης των υλικών. Όσο η δομή του κτιρίου και οι αντιλήψεις διαφόρων περιοχών λαμβάνονται υπόψη, το αποφασιστικό ερώτημα που σχετίζεται με συμφωνίες και χειρισμό μεταξύ εξωτερικών και αυτό-οργανωμένων στοιχείων αναμένεται να υπάρξει κατά τις σκληρές και φίνες φάσεις σχεδιασμού. Ο γενικός δομικός σχεδιασμός, που πρέπει να θεωρηθεί ως στρατηγικός, θα κατέχει επίσης ένα χαρακτήρα βαθιά επηρεασμένο από εξωτερικούς παράγοντες στο μέλλον. Ο σχεδιασμός έχει ένα στρατηγικό στοιχείο προσανατολισμένο στη βελτιστοποίηση των δομών και που έχει σκοπό να βελτιστοποιήσει λειτουργικά βραχυπρόθεσμα όσο οι υπάρχουσες πιθανότητες το επιτρέπουν. Για την ενίσχυση αυτής της μόνιμης διαδικασίας σχεδιασμού, εργαλεία υψηλής απόδοσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση.

Η ικανότητα προσαρμογής έχει μία χρονική διάσταση. Δεν είναι ερώτημα του αν η διοίκηση είναι προετοιμασμένη να επιχειρήσει μία αλλαγή: πρέπει να είναι συνεχόμενη προσπάθεια για όλα τα υπεύθυνα άτομα της διοίκησης. Οι κρίσιμοι παράγοντες στην εκτέλεση μιας μεταβολής είναι ο απαιτούμενος χρόνος και τα εμπλεκόμενα κόστη. Η μεταβολή μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί με τον παλιό όρο «επανα-εξοπλισμός», ο οποίος περιγράφει την «επανα-ρύθμιση» μιας παραγωγής ή ακόμα μιας ολόκληρης εταιρίας ώστε να αντεπεξέλθει στις μεταβαλλόμενες διαδικασίες και ζήτηση, και μπορεί να εκτιμηθεί σε χρόνο και κόστος.

Ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών εμπλέκεται στις διαδικασίες των αλλαγών. Η μηχανική είναι μία συνεργατική προσπάθεια. Οι διαδικασίες του μετασχηματισμού της παραγωγής-σε όλα τα επίπεδα-απαιτούν τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών για την πραγματική κατάσταση των διαδικασιών παραγωγής και τις λεπτομέρειες του σχεδιασμού που περιέχουν τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων. Φαίνεται να είναι δυνατό να επιτευχθεί συνεργατική προσπάθεια στη μηχανική με τα εργαλεία του ψηφιακού εργοστασίου.

Υπάρχει λίγος χώρος για χειρισμούς όσον αφορά τη βραχυχρόνια ικανότητα προσαρμογής. Όσο μεγαλύτερη η συσσώρευση της επένδυσης κεφαλαίου, τόσο μικρότερο το εύρος εργασίας-προς-ικανότητα παραγωγής (working-to-capacity), το οποίο μπορεί να διαχειριστεί οικονομικά. Οι σύγχρονες αντιλήψεις παραγωγής, οι οποίες για οικονομικούς λόγους, αναπτύσσονται συνεχώς στα όρια των τεχνολογιών και των επεξεργασιών, περιορίζουν περαιτέρω τις αλλαγές. Επικεντρώνοντας στις βασικές διαδικασίες, ενεργοποιώντας το ανθρώπινο δυναμικό και τις αντιλήψεις αλυσίδας εφοδιασμού, η βιομηχανία παραγωγής (manufacturing industry) είναι ικανή να επιτύχει μία μόνιμη βελτίωση στην ανταγωνιστικότητά της.

Η παραγωγή είναι σε ένα παρόμοιο μονοπάτι σε τους πανταχού παρόντες υπολογιστές. Όπου οι πληροφορίες και τα ψηφιακά δεδομένα για τις πηγές είναι διαθέσιμα παντού και πάντοτε. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία στρατηγική βάση για μόνιμη επιλογή και αλλαγές στα εργοστάσια, στα δίκτυα παραγωγής ή στη ζωή των συστημάτων παραγωγής. Η υψηλή περιπλοκότητα και η υψηλή απόδοση απαιτούν υψηλά επίπεδα ικανοτήτων μηχανικής, στρατηγικές ολοκλήρωσης και σχεδιασμό διαδικασιών σε μία ομάδα «Προηγμένων Μηχανικών Βιομηχανίας».

Γ. Περί Ρομπότ

Γ.1 Ικανότητες των Ρομπότ

Τα ρομπότ γενικά διαθέτουν τρεις σημαντικές ικανότητες που τα καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλα και ελκυστικά για κατασκευαστικές εργασίες σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτές είναι:

(i.) Ικανότητα Μεταφοράς

Μία από τις βασικές εργασίες που επιτελούνται σε ένα αντικείμενο καθώς περνάει από μία κατασκευαστική διαδικασία είναι η διαχείριση του ή η φυσική του μετατόπιση. Το αντικείμενο δηλαδή μεταφέρεται από μία θέση σε κάποια άλλη προκειμένου να κατεργασθεί, συναρμολογηθεί, πακεταριστεί ή αποθηκευθεί. Στις μεταφορικές αυτές εργασίες, τα φυσικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου παραμένουν αμετάβλητα.

Η ικανότητα του ρομπότ να ανακτά το αντικείμενο, να το μετακινεί στο χώρο και να το εναποθέτει, το καθιστά ιδανικό για μεταφορικές εργασίες. Απλά έργα διαχείρισης υλικών, όπως η μετακίνηση κομματιών από ένα κυλιόμενο μάντα σε κάποιον άλλο απαιτούν συνήθως κινήσεις σε μία ή δύο διαστάσεις. Αυτοί οι τύποι εργασιών εκτελούνται συνήθως από ρομπότ χωρίς σερβομηχανισμό. Περισσότερο πολύπλοκες εργασίες διαχείρισης υλικών απαιτούν κάποια ικανότητα χειρισμού πέραν της ικανότητας μεταφοράς. Παραδείγματα τέτοιων έργων περιλαμβάνουν τη φορτοεκφόρτωση μηχανών, το πακετάρισμα, την ταξινόμηση αντικειμένων, την τοποθέτηση σε παλέτες, κ.α. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται συνήθως από σερβοελεγχόμενα ρομπότ σημείου-προς-σημείο.

(ii) Ικανότητα Μεταχείρισης

Μία άλλη βασική λειτουργία πάνω σε ένα αντικείμενο καθώς μετατρέπεται από ακατέργαστο υλικό σε τελικό προϊόν, είναι η επεξεργασία του, η οποία γενικά απαιτεί κάποιας μορφής μεταχείριση (handling). Συγκεκριμένα, τα αντικείμενα προς κατεργασία εισέρχονται, προσανατολίζονται, ή περιστρέφονται, έτσι ώστε να βρίσκονται στη κατάλληλη θέση για μηχανουργική κατεργασία, συναρμολόγηση, ή κάποια άλλη εργασία. Σε άλλες περιπτώσεις, χρειάζεται μεταχείριση του εργαλείου, παρά του ίδιου του αντικειμένου προς επεξεργασία.

Η ικανότητα ενός ρομπότ να μεταχειρίζεται τόσο τα αντικείμενα όσο και τα εργαλεία, το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές κατεργασίας. Τέτοια παραδείγματα μηχανουργικής κατεργασίας με τη βοήθεια ρομπότ, αφορούν τη σημειακή συγκόλληση (spot welding), τη συγκόλληση τόξου (arc welding) και τη βαφή με ψεκασμό (spray painting). Περισσότερο πολύπλοκες εργασίες, όπως η συναρμολόγηση, βασίζονται επίσης στις ικανότητες μεταχείρισης του ρομπότ. Σε πολλές περιπτώσεις, οι απαιτούμενες κινήσεις σε αυτές τις εργασίες επεξεργασίας και συναρμολόγησης είναι ιδιαίτερα περίπλοκες, και απαιτούν ένα ρομπότ σημείου προς σημείο ή συνεχούς τροχιάς με μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων.

(iii) Ικανότητα Αίσθησης

Η ικανότητα ενός ρομπότ να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του μέσω ανατροφοδότησης (feedback) από αισθητήρες, είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά σε προηγμένες εφαρμογές όπως η συναρμολόγηση (assembly) και η επιθεώρηση (inspection). Τα σήματα εισόδου των αισθητήρων μπορεί να αφορούν προσέγγιση, θερμοκρασία, δύναμη, πίεση, ροή, φως (κάμερες ή οπτοανιχνευτές, κλπ.).

Τα σημερινά ρομπότ έχουν σχετικά περιορισμένες ικανότητες αίσθησης, κυρίως λόγω της ανυπαρξίας αποτελεσματικών τεχνικών ελέγχου ανωτέρου επιπέδου (π.χ. τεχνητής νοημοσύνης), αλλά και λόγω της μη διαθεσιμότητας κατάλληλων συσκευών αίσθησης με χαμηλό κόστος. Η χρήση της αισθητήριας ανατροφοδότησης σε ρομποτικές εφαρμογές αυξάνεται ωστόσο ταχύτατα με τη διαρκή βελτίωση των τεχνικών ελέγχου και τη μείωση του κόστους των αισθητήρων.

Γ.2 Βιομηχανικοί Χρήστες Ρομπότ

Οι εγκαταστάσεις όπου σήμερα χρησιμοποιούνται βιομηχανικά ρομπότ, αφορούν εν γένει εφαρμογές μαζικής παραγωγής (βαριά βιομηχανία, αυτοκινητοβιομηχανία, αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, κ.ά.). Πέραν των αυτοκινητοβιομηχανιών και των χυτήριων, χρήστες ρομπότ είναι και άλλοι μικροί ή μεγάλοι κατασκευαστές εξοπλισμού. Τα ρομπότ συναντώνται στη μαζική παραγωγή και σε ομαδικές διαδικασίες, και οι περισσότερες εταιρείες που τα χρησιμοποιούν τείνουν επίσης να χρησιμοποιήσουν και άλλα προηγμένα εργαλεία παραγωγής, όπως εργαλειομηχανές ελεγχόμενες από υπολογιστή, ενώ οι διαδικασίες σχεδιασμού και ελέγχου του προϊόντος και της παραγωγής γίνεται με υπολογιστή.

Η αυτοκινητοβιομηχανία διαθέτει τις περισσότερες ρομποτικές εγκαταστάσεις στις ΗΠΑ, απασχολώντας περίπου το 40% του ρομποτικού πληθυσμού της χώρας. Η πιο συνήθης ρομποτική εφαρμογή στις αυτοκινητοβιομηχανίες είναι η ηλεκτροσυγκόλληση, η οποία απασχολεί περίπου το 70% των ρομπότ. Οι υπόλοιπες εφαρμογές αφορούν μεταφορά κομματιών, συναρμολόγηση και φόρτωση μηχανών. Οι εφαρμογές της βιομηχανίας αυτοκινήτων προβλέπεται να κυριαρχήσουν στην αγορά και μέσα στην επόμενη δεκαετία.

Ο τομέας των χυτήριων εξάλλου συνεχίζει να αποτελεί ένα σημαντικό βιομηχανικό χρήστη ρομπότ. Πολλά χυτήρια, που λειτουργούν κυρίως σε αυτοκινητοβιομηχανίες και εταιρείες βαρέως εξοπλισμού, αποτελούν πρωταρχικούς χρήστες. Επιπλέον, ανεξάρτητα χυτήρια καθημερινά αυξάνουν τη χρήση ρομπότ. Οι χρήσεις των ρομπότ αφορούν τη φόρτωση των μηχανημάτων εγχύσεως μετάλλου, την ψύξη χυτών αντικειμένων, την αρχική κατεργασία κομματιών, τη μεταφορά με ειδικά σκεύη λιωμένου μετάλλου, κλπ.

Στις βιομηχανίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για διαχείριση υλικών, συναρμολόγηση και βαφή. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές οικιακών συσκευών, υπολογιστών και άλλων προϊόντων που

απαιτούν ηλεκτρική καλωδίωση χρησιμοποιούν ρομπότ για την εναπόθεση συρμάτων σε ρολλούς. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη συναρμολόγηση μικροκυκλωμάτων, την εισαγωγή συνιστωσών σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, τον έλεγχο με ηλεκτρικά σήματα από υπολογιστές, την οπτική επιθεώρηση έτοιμων πλακετών, και τη συναρμολόγηση διακοπών και ηλεκτρονόμων. Στον τομέα της διαχείρισης υλικών, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για το χειρισμό μασκών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, την παλετοποίηση συνιστωσών και τη διαχείριση θερμών στοιχείων. Τέλος, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για ψεκασμό σε εφαρμογές όπως επίχριση πλακετών κυκλωμάτων και βαφή συσκευών.

Οι κατασκευαστές βαρέως εξοπλισμού, όπως οι εταιρείες οικοδομικού ή αγροτικού εξοπλισμού, χρησιμοποιούν ρομπότ για εφαρμογές παρόμοιες με αυτές της βιομηχανίας αυτοκινήτων. Οι αεροναυτικές εταιρείες εξάλλου, οι οποίες σήμερα χρησιμοποιούν ένα μικρό αριθμό ρομπότ, προτίθενται να επεκτείνουν τη χρήση τους σημαντικά στο μέλλον. Οι εταιρείες αυτές ενδιαφέρονται περισσότερο για τις ικανότητες επεξεργασίας των ρομπότ, παρά για τις ικανότητές τους να διαχειρίζονται αντικείμενα. Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για βαφή με ψεκασμό και άλλες επικαλύψεις επιφανειών αεροσκαφών, για μηχανουργικές κατεργασίες όπως διάνοιξη οπών και για συναρμολόγηση. Οι αεροναυτικές εταιρείες χρησιμοποιούν επίσης ρομπότ σαν συνιστώσες ολοκληρωμένων σταθμών εργασίας CAD/CAM.

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται και σε άλλες βιομηχανίες, όπως πλαστικών και άλλων μη μεταλλικών υλικών. Στη βιομηχανία πλαστικών, τα ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση διαδικασιών εμφυσήματος και καλουπώματος. Φθηνά ρομπότ χρησιμοποιούνται συχνά για την απομάκρυνση αντικειμένων από καλούπια. Πιο προηγμένα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την εκφόρτωση καλουπιών βάρους μέχρι 100 Kg ή για την εκτέλεση δευτερευουσών εργασιών. Εξάλλου, στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση υλικών και για πακετάρισμα. Σε βιομηχανίες ξύλου, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για το φινίρισμα επίπλων (βερνίκωμα, βαφή, κοπή και συναρμολόγηση), για μεταφορά υλικών και για παλλετοποίηση. Άλλες πιθανές εφαρμογές βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της μελέτης στις βιομηχανίες καουτσούκ (κατασκευή ελαστικών αυτοκινήτων), στην επεξεργασία του αμιάντου, στη φορτοεκφόρτωση υαλικών όπου απαιτούνται αισθητήρες αφής, ακόμη και στη βιομηχανία ρούχων. Σε πολλές από αυτές τις επεξεργασίες μη μεταλλικών υλικών, η αποδοτική χρήση των ρομπότ απαιτεί την ενσωμάτωση ικανοτήτων όρασης ή αφής.

Μία σημαντική νέα εφαρμογή των ρομπότ βρίσκεται στα Ολοκληρωμένα Κατασκευαστικά Συστήματα (Integrated Manufacturing Systems – IMS). Στα συστήματα αυτά, ακατέργαστα υλικά εισέρχονται στην περιοχή εργασίας, όπου εκτελούνται εργασίες όπως μηχανουργείο, φινίρισμα και επιθεώρηση. Άλλες εργασίες υποστήριξης, όπως σχεδιασμός συνιστωσών, επιλογή εργαλείων, προγραμματισμός και κανονισμός της ροής των εργασιών, μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στο σύστημα προκειμένου να ελέγξουν τη διεργασία. Ένα σημαντικό στοιχείο ενός τέτοιου συστήματος είναι η ολοκλήρωση των ρομπότ με άλλα συστήματα CAD/CAM. Το ρομπότ λειτουργεί σαν φυσικός χρήστης του συστήματος και είναι υπεύθυνο για τη μετακίνηση αντικειμένων από ένα στάδιο σε κάποιο άλλο.

Γενικά, στα συστήματα αυτά ταιριάζουν καλύτερα προηγμένα ρομπότ τα οποία έχουν ικανότητες αίσθησης, όπως αφή και όραση. Ένα σύστημα όρασης μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για την επιθεώρηση εισερχόμενων αντικειμένων, για την καθοδήγηση του ρομπότ κατά τη διάρκεια της εργασίας, και για την επιθεώρηση των τελειωμένων αντικειμένων πριν τη μετακίνησή τους σε κάποιον άλλο σταθμό. Η χρήση ανάδρασης από αισθητήρες αφής και από προηγμένες αρπάγες με δυνατότητες προσαρμογής ποικίλων εργαλείων (universal grippers) μπορεί να βοηθήσει ένα ρομπότ στην τοποθέτηση αντικειμένων σε διάφορες θέσεις.

Η χρησιμοποίηση τέτοιων συστημάτων τα οποία βρίσκονται κυρίως στο στάδιο της ανάπτυξης, αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, ενώ προβλέπεται ότι ένα ποσοστό 20-30% των ρομπότ που θα αγοραστούν στα επόμενα δέκα χρόνια, θα έχουν διασύνδεση με συστήματα CAD/CAM. Το επόμενο βήμα θα είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος το οποίο θα συνδέει αρκετά μηχανικά κύτταρα εργασίας σε ένα Ευέλικτο Κατασκευαστικό Σύστημα (Flexible Manufacturing System). Επιπλέον, πολλές εταιρείες επενδύουν στην ολοκλήρωση ρομπότ με κατασκευαστικά εργαλεία, όπως π.χ. λείζερ.

Παρά το γεγονός ότι τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε τύπο βιομηχανίας και κάθε τύπο εφαρμογής, η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων βρίσκεται συγκεντρωμένη σε σχετικά λίγα εργοστάσια και είδη εφαρμογών. Εκτιμάται ότι στις Η.Π.Α. μόλις δέκα εργοστάσια περιέχουν περίπου το ένα τρίτο όλων των ρομποτικών εγκαταστάσεων και ότι οι τρεις κατηγορίες εφαρμογών, της ηλεκτροσυγκόλλησης, της διαχείρισης υλικών και της φόρτωσης μηχανών, αντιστοιχούν στο 80% περίπου των τρεχουσών εφαρμογών. Επισημαίνεται έτσι ότι η εξάπλωση των ρομπότ στην αγορά είναι σχετικά περιορισμένη ακόμα και στις πιο διαδεδομένες εφαρμογές.

Καθώς η ρομποτική τεχνολογία θα συνεχίζει να διαχέεται στη βιομηχανία, θα επηρεάζει σχεδόν κάθε κατασκευαστή, από κατασκευαστές επίπλων μέχρι φαρμακοβιομηχανίες. Τέλος, καθώς οι ρομποτικές ικανότητες διαρκώς θα βελτιώνονται, νέες εφαρμογές αναμφίβολα θα δημιουργηθούν.

Γ.3 Ταξινόμηση Ρομποτικών Συστημάτων

Η ταξινόμηση των βιομηχανικών ρομπότ αποτελεί τον οδηγό για τη σύγκριση ρομπότ παρόμοιων ιδιοτήτων και είναι απαραίτητη για την επιλογή του κατάλληλου ρομπότ για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Υπάρχουν κατάλογοι ρομπότ σε υπολογιστή, μέσα από τους οποίους ο μελλοντικός χρήστης μπορεί να βοηθηθεί στη διαδικασία της επιλογής, χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση τόσο στις προδιαγραφές όσο και στις λειτουργίες αναζήτησης. Πλέον, έχουν αναπτυχθεί συστήματα υποβοήθησης της επιλογής του κατάλληλου ρομπότ για μία εφαρμογή. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αρκετά από τα παραπάνω κριτήρια, μπορεί όμως να συμπεριλαμβάνουν και τεχνικά ή/και οικονομικά χαρακτηριστικά.

Αρχή Λειτουργίας

- Ρομπότ Σταθερής Στάσης
- Σερβοελεγχόμενα Ρομπότ

Μέθοδος Ελέγχου Κίνησης

- Ρομπότ Σημείου-προς-Σημείο (Point-to-Point Robots)
- Ρομπότ Συνεχούς Τροχιάς (Continuous Path Robots)

Γεωμετρικός Σχηματισμός

- Ορθογωνικά Ρομπότ (Rectangular Robots)
- Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)
- Σφαιρικά Ρομπότ (Spherical Robots)
- Αρθρωτά Ρομπότ
- Ρομπότ Τύπου SCARA
- Ρομπότ Τύπου Gantry
- Παράλληλοι Χειριστές
- Ρομποτικά Χέρια
- Κινητά Ρομπότ
 - Βαδίζοντα Κινητά Ρομπότ
 - Κυλιόμενα Κινητά Ρομπότ

Κατηγορία Εφαρμογής

- Ρομπότ Βαφής
- Ρομπότ Συναρμολόγησης
- Ρομπότ Εφαρμογών Θαλάμων Κενού
- Ρομπότ Εκπαίδευσης/Ερευνας

Τύπος Μετάδοσης Κίνησης

- Πνευματικοί Κινητήρες
- Υδραυλικοί ή Ηλεκτροϋδραυλικοί Κινητήρες
- Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Γ.4 Τάσεις και Μελλοντικές Εφαρμογές

Η κατανόηση των τάσεων της ρομποτικής αγοράς κατά εφαρμογή είναι σημαντική για την εκτίμηση της ζήτησης σε δυνατότητες και απόδοση της επόμενης γενεάς ρομποτικών συστημάτων. Η μελέτη Delphi παρέχει μία ουσιαστική αποτίμηση και πρόβλεψη των τάσεων της ρομποτικής αγοράς και τεχνολογίας. Μερικά από τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης αυτής είναι τα ακόλουθα:

(α) Αν και το μερίδιο αγοράς των πιο προηγμένων ρομποτικών εφαρμογών θα αυξηθεί, η διαχείριση υλικών θα παραμείνει το μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς.

(β) Καθώς η εμπειρία πάνω στη ρομποτική θα αυξάνεται, πολλές βιομηχανίες θα αυξήσουν τη χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας.

(γ) Η κατανόηση της ζήτησης της ρομποτικής αγοράς για κάθε βιομηχανικό κλάδο είναι σημαντική στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών της μελλοντικής τεχνολογίας ρομπότ που αναπτύσσεται με στόχο την ανταπόκριση στη ζήτηση.

(δ) Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι σήμερα ο κύριος πελάτης βιομηχανικών ρομπότ. Αν και η απόλυτη ζήτηση σε αυτοκίνητα αναμένεται να παραμείνει στα ίδια επίπεδα κατά την επόμενη δεκαετία, το σχετικό μερίδιο άλλων βιομηχανιών στη ρομποτική αγορά αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Άλλες σημαντικές αυξήσεις

υποδεικνύονται για τη μηχανουργική βιομηχανία, την αεροδιαστημική και τη βιομηχανία μη μεταλλικών εξαρτημάτων.

(ε) Στον τομέα των υπηρεσιών τα ρομπότ αναμένεται να βρουν εφαρμογή με αυξημένη συχνότητα σε χώρους ή καταστάσεις που είναι μη προσπελάσιμοι ή επικίνδυνοι για τον άνθρωπο. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν τις εργασίες συντήρησης και διόρθωσης βλαβών πυρηνικών αντιδραστήρων, εργασίες στο διάστημα, εργασίες εξόρυξης, εργασίες στο βυθό των ωκεανών, αποστολές σε ατυχήματα, και πολεμική υποστήριξη.

(στ) Στην ιατρική η ρομποτική τεχνολογία αναμένεται να έχει σημαντικές καινοτομικές εφαρμογές, όπως η ανάπτυξη «ευφών» κινητών ρομποτικών συστημάτων και άλλων συσκευών υποστήριξης για άτομα με ειδικές ανάγκες, η ανάπτυξη τεχνητών ανθρωπίνων άκρων, και ακόμη η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων εξ' αποστάσεως με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας (virtual reality).

Πράγματι, τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές καθώς και η χρήση ρομποτικών συστημάτων διαρκώς αυξάνονται. Κατά την τρέχουσα δεκαετία η αύξηση των πωλήσεων ρομπότ είναι της τάξης του 40%. Σήμερα, η βάση των εγκατεστημένων βιομηχανικών ρομπότ στις Η.Π.Α. είναι 90.000 μονάδες περίπου.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται ένας σημαντικός αριθμός τεχνολογικών αναπτύξεων και νέων προϊόντων. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάπτυξη μικρότερων και ελαφρύτερων ρομπότ, τη βελτίωση της ικανότητας ανύψωσης βάρους σε σχέση με το βάρος του ρομπότ, καθώς και τη βελτίωση στην τεχνολογία των αρπάγων. Στην περιοχή των αισθητηρίων, σημαντικές βελτιώσεις έχουν παρατηρηθεί στα συστήματα μηχανικής όρασης, στα αισθητήρια αφής και στα χαμηλού κόστους αισθητήρια δύναμης. Εξάλλου, σημαντική πρόοδος έχει παρατηρηθεί στις ικανότητες ελέγχου και προγραμματισμού ρομπότ, συμπεριλαμβανομένης και της χρήσης αρχών ιεραρχικού ελέγχου και προγραμματισμού εκτός λειτουργίας. Τέλος, παρά την αύξηση των ρυθμών παραγωγής, οι τιμές των ρομπότ έχουν παραμείνει σχετικά σταθερές.

Οι τάσεις αυτές και οι αναμενόμενες εξελίξεις μπορούν μόνο να επιταχύνουν τη χρήση των ρομπότ για εφαρμογές κατασκευών και επεξεργασίας. Οι βελτιωμένες ικανότητες κυρίως στην τεχνολογία αισθητηρίων και ελέγχου, σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος, πρέπει λογικά να καταστήσουν εφαρμογές που είναι δύσκολα πραγματοποιήσιμες σήμερα, εφικτές και πολύ αποδοτικές στο μέλλον.

Καθώς οι πωλήσεις ρομπότ θα συνεχίσουν να αυξάνονται, αναμένεται επίσης και μία μετατόπιση στα είδη των εφαρμογών. Αναμένεται ότι οι παραδοσιακές ρομποτικές εφαρμογές, όπως η σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση, η διαχείριση υλικών και η βαφή, θα περιορισθούν σε σχέση με το τρέχον μερίδιό τους στην αγορά, ενώ άλλες εφαρμογές, όπως η συναρμολόγηση και η μηχανουργική κατεργασία, θα αυξηθούν σημαντικά. Επειδή οι εφαρμογές όπως μηχανουργική κατεργασία, συναρμολόγηση, και παρόμοιες χρήσεις ρομπότ, εν γένει απαιτούν περισσότερο προηγμένο εξοπλισμό και διασύνδεση, η σχετική επίδρασή τους στις μελλοντικές βιομηχανικές λειτουργίες θα είναι όλο και πιο εμφανής.

Οι εφαρμογές των μελλοντικών ρομποτικών συστημάτων θα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητές τους. Ένα μεγάλο τμήμα του μέλλοντος ανήκει στα «ευφυή» (intelligent) ρομπότ. Ωστόσο, θα εξακολουθήσει να υπάρχει ανάγκη και για «μη ευφυή» ρομπότ. Ως μη ευφυές ρομπότ θεωρείται αυτό το οποίο έχει λίγους ή και καθόλου αισθητήρες, είναι προγραμματισμένο εκ των προτέρων να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο έργο, δεν έχει καθόλου ευφυΐα στη λήψη αποφάσεων, και γενικά έχει περιορισμένη ή και καθόλου κινητικότητα. Ως ευφυές ρομπότ μπορεί να περιγραφεί αυτό το οποίο έχει προηγμένους αισθητήρες, προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας σημάτων, ευφυείς ικανότητες λήψης αποφάσεων και στη γενική περίπτωση κινητικότητα.

Γ.5 Χαρακτηριστικά Μελλοντικών Ρομποτικών Συστημάτων και Εφαρμογών

Τα χαρακτηριστικά της νέας γενιάς βιομηχανικών ρομπότ μπορούν να εξαχθούν από τους περιορισμούς της τρέχουσας τεχνολογίας, τις τάσεις της αγοράς, και την αναμενόμενη πρόοδο στις τεχνολογίες συνιστωσών. Βελτιώσεις και στις πέντε βασικές λειτουργίες της μεταχείρισης, αίσθησης, επικοινωνίας, ελέγχου και λήψης αποφάσεων, αναμένονται στη μελλοντική ρομποτική τεχνολογία. Η πρόοδος σε όλες τις ομάδες συνιστωσών της ρομποτικής τεχνολογίας θα επηρεάσει τέτοιες βελτιώσεις.

Η επόμενη γενεά των μηχανικών χειριστών αναμένεται να είναι τμηματική, απαρτιζόμενη από υποκατασκευές (βραχίονες, καρπούς, μικροχειριστές, κλπ.) οι οποίες θα μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν σε μία ποικιλία ρομποτικών σχηματισμών. Επιπλέον, τα μελλοντικά ρομποτικά συστήματα αναμένεται να ενσωματώνουν παράλληλες ρομποτικές αρχιτεκτονικές ή συστήματα χειριστών με πολλούς βραχίονες και συντονισμένες κινήσεις. Η χρήση συνεργαζόμενων συστημάτων πολλών βραχιόνων θα μειώσει τον χρόνο εκτέλεσης ενός έργου, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο σε πολλές εφαρμογές κατασκευών, επισκευών, συναρμολόγησης, κ.ά.

Η ακρίβεια των διαθέσιμων χειριστών αναμένεται επίσης να βελτιωθεί σημαντικά, παρέχοντας τη δυνατότητα στην επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων να χρησιμοποιείται πλήρως στις ηλεκτρονικές εφαρμογές συναρμολόγησης, επίβλεψης και ακριβούς κατεργασίας. Οι τρέχουσες κατασκευαστικές διαδικασίες στη βιομηχανία ημιαγωγών απαιτούν ρομποτικά συστήματα με ακρίβεια της τάξης των $\pm 0.00025\text{mm}$. Καθότι τα ρομποτικά συστήματα που καθοδηγούνται από αριθμητικά δεδομένα (data-driven systems) αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα σε τέτοιες εφαρμογές, απαιτούνται ακρίβειες τοποθέτησης αυτής της τάξης. Τέτοιες απαιτήσεις ακριβείας είναι πολύ φιλόδοξες και φαίνεται να βρίσκονται πέρα από τις αναμενόμενες δυνατότητες των ρομποτικών συστημάτων επόμενης γενεάς, εκτός και αν εμφανισθεί κάποια επαναστατική τεχνολογία.

Μία εναλλακτική προσέγγιση σε τέτοιες κρίσιμες απαιτήσεις ακριβείας μπορεί να είναι η κατασκευή συσκευών εξαιρετικής τοποθέτησης (μικροχειριστές) στο άκρο του χειριστή ή η ενσωμάτωση συστημάτων όρασης για αίσθηση στο τελικό σημείο. Στις εφαρμογές ηλεκτρονικής συναρμολόγησης διαφόρων τμημάτων, ωστόσο, ρομποτικά συστήματα καθοδηγούμενα από δεδομένα με ακρίβεια σε εύρος από $\pm 0.025\text{mm}$ έως $\pm 0.01\text{mm}$ είναι επαρκείς.

Οι εφαρμογές επίβλεψης-εποπτείας εξάλλου, θέτουν απαιτήσεις στην ακρίβεια των ρομποτικών συστημάτων παρόμοιες προς αυτές της ηλεκτρονικής βιομηχανίας. Οι απαιτήσεις σε εφαρμογές κατεργασιών ακριβείας, επιπλέον, επεκτείνονται όχι μόνον στην ακρίβεια του ρομπότ, αλλά και στην δυνατότητα μεταφοράς φόρτου με τη συγκεκριμένη ακρίβεια. Θα χρειασθούν επίσης χειριστές οι οποίοι θα έχουν μικρή κάμψη υπό φορτίο και υψηλή σκληρότητα των συνδέσμων. Οι αναμενόμενες πρόοδοι στη γεωμετρία και δομή του χειριστή θα βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά των ταλαντώσεων και την ακαμψία στα εξαρτήματα των εμπορικών ρομποτικών συστημάτων. Επιπλέον, γενικοί μηχανισμοί σε επίπεδο αρθρώσεων ή εργαλείου, όπως εργαλειοοδηγοί, που θα βελτιώνουν τη σκληρότητα του ρομπότ αναμένεται να διατεθούν εμπορικά.

Τέτοιες απαιτήσεις επεξεργασίας αναμένεται να οδηγήσουν σε μελλοντικά ρομπότ που θα έχουν κατανεμημένες λειτουργίες ελέγχου πολλών εργασιών. Η πρόοδος στην τεχνολογία VLSI αναμένεται να βελτιώσει τις υπολογιστικές δυνατότητες του λογισμικού ελέγχου της ρομποτικής κίνησης, βελτιώνοντας ταυτόχρονα και τις δυνατότητες ελέγχου των έργων στα ρομποτικά συστήματα επόμενης γενιάς.

Οι ουσιαστικές κατευθύνσεις που ακολουθούν οι νέες τεχνολογίες προσδιορίζονται από πολύπλοκη αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων, οι βασικότεροι των οποίων είναι η ανάπτυξη του υλικού και του λογισμικού, η τεχνική και οικονομική υποστήριξη, και η κοινωνική αποδοχή και η ασφάλεια των ρομπότ. Αυτοί αναλύονται στη συνέχεια:

(i) Ανάπτυξη Υλικού (Hardware Development)

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ανάπτυξης ρομποτικού υλικού εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων είναι:

1. Η ανάπτυξη ταχέων, ισχυρών, και φθηνών υπολογιστικών συστημάτων. Οι παράλληλες αρχιτεκτονικές σε υπολογιστές, οι ταχύτεροι και ισχυρότεροι μικροεπεξεργαστές, το μικρότερο μέγεθος και οι μειωμένες απαιτήσεις ισχύος θα χαρακτηρίσουν το μελλοντικό υπολογιστικό υλικό για εφαρμογές στη ρομποτική. Το πιο ισχυρό υλικό σε συνδυασμό με καλύτερο λογισμικό, θα καταστήσει δυνατή την εισαγωγή περισσότερης ευφυΐας σε μικρότερο χώρο. Από την πλευρά των συστημάτων, η επόμενη γενιά ρομπότ αναμένεται να είναι πιο αξιόπιστη, να κοστίζει λιγότερο, και να ενσωματώνει ολοκληρωμένες λειτουργίες συντήρησης και ασφαλείας, καθώς και προγράμματα εκπαίδευσης. Επίσης, οι τεχνικές δοκιμών απόδοσης αναμένεται να προτυποποιηθούν και να γίνουν ευρύτερα διαθέσιμες.
2. Η ανάπτυξη ρομποτικών βραχιόνων και των κινητήρων τους. Το μηχανικό σύστημα του βραχίονα των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ αποτελείται από ένα μηχανικό βραχίονα ή χειριστή και ένα χέρι ή τελικό στοιχείο δράσης. Υπάρχουν σημαντικές εξελίξεις στα υλικά κατασκευής, στο βέλτιστο και καινοτόμο σχεδιασμό, στην αποφυγή κατασκευαστικών ατελειών, στη μείωση των μηχανικών ταλαντώσεων, κλπ. Η επόμενη γενιά των τελικών στοιχείων δράσης θα έχει ιδιότητες μεταξύ των οποίων η δυνατότητα ταχείας αλλαγής, η τμηματικότητα, η επιδεξιότητα, οι συσκευές προστασίας ρομπότ και εργαλείων, και η ενσωμάτωση αισθητήρων. Η γενική απαίτηση

αλληλεπίδρασης με ένα μεγάλο εύρος αντικειμένων υποδεικνύει την ανάγκη για γενικά (universal) τελικά στοιχεία δράσης. Αν υπάρχει το δυναμικό για την ανάπτυξη κάποτε ενός οικονομικού σχεδίου για γενική αρπάγη ενσωματωμένη στο ρομπότ, η επόμενη γενεά τελικών στοιχείων δράσης θα δώσει έμφαση στις ιδιότητες εναλλαγών και αισθητήρων.

3. Η ανάπτυξη αισθητήρων. Οι οπτικοί αισθητήρες σήμερα έχουν περισσότερη ικανότητα απ'ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ρομποτικό σύστημα. Ωστόσο, οπτικοί αισθητήρες με υψηλότερη διακριτική ικανότητα αναπτύσσονται σήμερα από έναν αριθμό κατασκευαστών. Αναμένεται επίσης να διατεθούν στο εμπόριο μικρά φύλλα (pads) αισθητήρων αφής τα οποία θα έχουν κατάλληλο χρόνο απόκρισης και ευαισθησία ώστε να χρησιμοποιηθούν στα άκρα ρομποτικών δακτύλων. Τέτοιου είδους δεδομένα μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα των μηχανικών χεριών κατά την αρπάγη και την ακριβή μεταχείριση αντικειμένων. Επίσης, η τεχνολογία αίσθησης της ολισθηρότητας (slip-sensing) αναμένεται να διατεθεί ευρέως και να χρησιμοποιηθεί σε ρομποτικά συστήματα σχεδιασμένα για τη διαχείριση επικίνδυνων υλικών ενώ ολοκληρωμένες συσκευές αίσθησης βελτιωμένες μεθόδους αναγνώρισης ομιλίας θα παρέχουν σε ρομπότ τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται την ανθρώπινη ομιλία. Αυτή και μόνο η επίτευξη θα αποτελέσει ένα επαναστατικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ ρομπότ και μηχανών και θα ανοίξει νέες περιοχές δράσης που θα στοχεύουν στην εκμετάλλευση αυτής της δυνατότητας. Έχουν ακόμη αναπτυχθεί μικροαισθητήρια (microsensors), τα οποία είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα αισθητήρων που επεξεργάζονται πληροφορίες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις προτείνουν και τρόπους δράσης. Σε σχέση με τις εξωτερικές συσκευές διασύνδεσης των ρομπότ, βελτιώσεις τόσο στους εξωτερικούς αισθητήρες όσο και στις δυνατότητες επικοινωνίας δεδομένων αναμένονται στα ρομποτικά συστήματα επόμενης γενεάς. Τέλος, στην επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων, η ολοκλήρωση οπτικών αισθητήρων και ρομποτικού υλικού/λογισμικού θα επιτυγχάνεται με χαμηλό κόστος.
4. Η εξέλιξη των συσκευών διεπικοινωνίας των συνιστωσών ρομποτικών συστημάτων με υπολογιστή. Οι συσκευές διασύνδεσης στα μελλοντικά ρομποτικά συστήματα αναμένεται να υποστηρίζουν εξωτερικούς αισθητήρες, κινητήρες, συνεργαζόμενους υπολογιστές, ελεγκτές και τοπικά υπολογιστικά δίκτυα, PLCs, σταθμούς CAD και άλλες μηχανές παραγωγής. Τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διασύνδεσης είναι ήδη διαθέσιμα για ρομποτικούς ελεγκτές και για τα προγραμματιστικά συστήματα των χρηστών τους. Τέτοιες διασυνδέσεις παρέχουν στο χρήστη την επιλογή ελέγχου της κίνησης με ένα κατάλληλο πρόγραμμα που έχει υλοποιηθεί εξωτερικά, παρά με ότι παρέχεται από τον κατασκευαστή στο ρομποτικό ελεγκτή. Η δυνατότητα αυτή ενδυναμώνει τη χρήση των ρομπότ σε κατασκευαστικά κελύφη υπό τον έλεγχο ενός κεντρικού υπολογιστή ή με τη χρήση ενός γενικευμένου λογισμικού σχεδιασμού ή λογισμικού εκτός λειτουργίας για τον προγραμματισμό του ρομπότ.
5. Η αυξημένη κινητικότητα των ρομπότ. Μία από τις αρχές που διέπουν τα ρομποτικά συστήματα είναι η περιορισμένη ευελιξία στην κίνηση. Στις τρέχουσες εφαρμογές αυτό συνεπάγεται ένα σταθερό πλην ευέλικτο χώρο εργασίας μέσα στον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ. Η προσθήκη της δυνατότητας για γενική κινητικότητα είναι το επόμενο λογικό βήμα στην

ανάπτυξη περισσότερο χρήσιμων ρομποτικών συστημάτων και ανοίγει ένα νέο φάσμα ρομποτικών εφαρμογών.

(ii) Ανάπτυξη Λογισμικού (Software Development)

Στον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής, σημαντικές βελτιώσεις αναμένονται στα ρομποτικά συστήματα της επόμενης γενεάς. Η πολυπλοκότητα των ανθρωπίνων εργασιών που απαιτούνται για τον προγραμματισμό και την παρατήρηση των ρομποτικών εφαρμογών θα μειωθεί σημαντικά. Οι βιομηχανικές απαιτήσεις για τη χρήση αυτοματισμών καθοδηγούμενων από δεδομένα σε συνδυασμό με την πρόοδο στην τεχνολογία CAD/CAM, οι γλώσσες προγραμματισμού των ρομπότ, και η τεχνητή νοημοσύνη, αναμένεται να οδηγήσουν στην παραγωγή συστημάτων προγραμματισμού εκτός γραμμής βασισμένων σε CAD και ολοκληρωμένων στο ρομπότ, σε γλώσσες προγραμματισμού σε επίπεδο έργου, και σε έμπειρους συμβούλους έργων.

(iii) Τεχνική και Οικονομική Υποστήριξη

Ο κατάλογος των τομέων υποστήριξης στη ρομποτική περιλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό όλων των περιοχών της ανθρώπινης δραστηριότητας. Προφανώς οι τεχνολογικοί τομείς συνεισφέρουν σημαντικά στη ρομποτική τεχνολογία. Ιδιαίτερης σημασίας είναι οι τομείς της μηχανικής, της επιστήμης των υπολογιστών και της έρευνας υλικών, με υποστήριξη από πολλές επιστήμες.

Στις μη τεχνολογικές περιοχές, η ρομποτική παρουσιάζει συνάφεια με τους τομείς εκπαίδευσης, ψυχολογίας και κοινωνιολογίας όσον αφορά τις έννοιες της εκμάθησης, της ευφυΐας και των όρων της κοινωνικής συμπεριφοράς για την ανάπτυξη χρήσιμων ρομπότ.

Τονίζεται όμως ότι η ανάπτυξη οποιουδήποτε σύνθετου τεχνολογικού συστήματος απαιτεί δέσμευση οικονομικής υποστήριξης η οποία επεκτείνεται πολύ περισσότερο από τα άμεσα οφέλη. Είναι θετικό ότι η ρομποτική, βασίζεται σε τεχνικές περιοχές οι οποίες ήδη έχουν ευρεία βάση σε άλλες εφαρμογές, ωστόσο, υφίσταται ακόμη η ανάγκη για την υποστήριξη της ολοκλήρωσης τέτοιων τεχνολογικών περιοχών σε λειτουργούνται ρομποτικά συστήματα.

(iv) Κοινωνική Αποδοχή και Ασφάλεια

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται εξαιτίας της εκτεταμένης ρομποτικής ανάπτυξης και εφαρμογής σήμερα, είναι ο φόβος της απώλειας εργασίας από ένα ρομπότ, όπως είχε κάποτε εκδηλωθεί και για τους προσωπικούς υπολογιστές. Όπως με τις περισσότερες τεχνολογικές εξελίξεις, πρέπει να αναμένεται ότι τα ρομπότ θα δημιουργήσουν ένα νέο σύνολο τύπων εργασιών, ενώ ταυτόχρονα θα αντικαταστήσουν τους ανθρώπους σε εργασίες οι οποίες ούτως ή άλλως δεν τους ταιριάζουν. Επιπλέον, όπως έχει ομολογηθεί από ανθρώπους της βιομηχανίας, η εισαγωγή ρομπότ στη γραμμή παραγωγής, οδήγησε σε αύξηση της παραγωγικότητας με επακόλουθο την ανάγκη νέων προσλήψεων προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση της αγοράς.

Τέλος, μία από τις πιο συχνές ανησυχίες που εκφράζονται σε σχέση με την κοινωνική αποδοχή και τις νέες εφαρμογές των ρομπότ είναι η ασφάλειά τους. Εάν όλα τα ρομπότ μπορούν να συμμορφωθούν με τους τρεις νόμους της ρομποτικής όπως διατυπώθηκαν από τον Ασίμωφ, τότε δεν πρόκειται να υπάρξει πρόβλημα.

Συμπερασματικά, η επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων θα έχει τα ακόλουθα λειτουργικά χαρακτηριστικά:

- Βελτιωμένες επιδόσεις διαχείρισης ως προς την ακρίβεια, την ικανότητα φόρτωσης, και τη σκληρότητα.
- Ολοκληρωμένες λειτουργίες αίσθησης και ελέγχου και προσαρμοστική συμπεριφορά υπό την επίδραση αισθητήριας πληροφορίας.
- Καλά οργανωμένη επικοινωνία δεδομένων και σημάτων ελέγχου με άλλες συσκευές, υπολογιστές, χρήστες, και τοπικά δίκτυα υπολογιστών.
- Βελτιωμένες, πιο σθεναρές (εύρωστες), και προσαρμοστικές ενέργειες ελέγχου.
- Ικανότητα σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων βασισμένη στους αισθητήρες, την αλληλεπίδραση, και την εμπειρία.

Γ.6 Μελλοντικές Εφαρμογές

Αξίζει τέλος να αναφερθούν επιγραμματικά ορισμένες πρόσφατες αναπτύξεις ρομποτικής τεχνολογίας στην Ιαπωνία. Αυτές είναι:

- Μηχανισμοί με Παράλληλους Βραχίονες: Είναι ρομπότ με βελτιωμένη ταχύτητα και ακρίβεια που δρουν συνεργατικά.
- Τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας: Είναι συστήματα όπου οι κινήσεις ανθρώπων επαναλαμβάνονται και μαθαίνονται από ρομπότ, ενώ η πληροφορία μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο.
- Μικρο-Ρομπότ Καλυμμένο με Μικροφωτοκύτταρα: Είναι μικρά κινητά ρομπότ που έχουν αναπτυχθεί από τη Sanyo Electric Corp. και που αντλούν ενέργεια από τον ήλιο, ώστε να μην υπάρχει εξάρτηση από καλώδιο παροχής ισχύος. Αναμένεται να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές εφαρμογές και εφαρμογές συντήρησης.
- Μουσικά Ρομπότ: Είναι πειραματικά ρομπότ με εξελιγμένα άκρα με δάκτυλα, τα οποία παίζουν μουσικά όργανα.
- Ρομπότ Ιατρικών Χρήσεων: Τέτοια ρομπότ χρησιμοποιούνται ήδη σε υποβοήθηση εγχειρήσεων, λαπαροσκόπηση, κλπ.
- Αυτόματο Σύστημα Κατασκευής Σήραγγας: Είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικές εργασίες για αυτόματη επίχριση και τοποθέτηση πλακιδίων μέσα σε σήραγγες.
- Ρομπότ Ψεκασμού Φυτοφαρμάκων: Είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εντόμων σε μηλιές, προστατεύοντας τους καλλιεργητές από τοξικά χημικά.
- Ρομπότ Συντήρησης Κρεμαστής Γέφυρας: Είναι ρομπότ που αναπτύχθηκαν για τη συντήρηση της επιφάνειας των υψηλών πύργων στις κρεμαστές γέφυρες μεταξύ των νήσων Honsyou και Shikoku.
- Ευφυή Ρομπότ Καθαρισμού Πατωμάτων: Είναι ρομπότ εξοπλισμένα με γυροσκόπιο και αισθητήρες όρασης και αφής. Η διαδρομή καθαρισμού

- **Ρομπότ Ασφαλείας:** Είναι ρομπότ εξοπλισμένα με καπνογόνα και φωτιά, έχουν ικανότητα αναγνώρισης του ανθρωπίνου σώματος, και διαθέτουν αισθητήρες για διαρροή νερού. Μετακινούνται αθόρυβα στα δωμάτια, και ειδοποιούν φρουρούς σε περίπτωση εισβολών ή ατυχημάτων.
- **Ρομπότ Καθαρισμού Μεγάλων Αεροπλάνων:** Είναι συστήματα ρομπότ, ελεγχόμενα εξ'αποστάσεως χρησιμοποιώντας 17 κάμερες. Χρησιμοποιούνται από τη Boeing για τον καθαρισμό αεροπλάνων τύπου B747 μέσα σε 90 λεπτά.

Γ.7 Κίνδυνοι από την εισαγωγή νέων τεχνολογιών

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρά τα μεγάλα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών στη σχεδίαση και την παραγωγή των προϊόντων, υπάρχουν και σχετικοί κίνδυνοι. Ενδεικτικά αναφέρονται:

Τεχνολογικοί κίνδυνοι (technological risks). Η εισαγωγή ενός συστήματος νέας τεχνολογίας δίνει πλεονέκτημα στην επιχείρηση που το χρησιμοποιεί πρώτη, έναντι των ανταγωνιστών της, αλλά ταυτόχρονα είναι κάτι που δεν έχει δοκιμαστεί και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σ' όλη την παραγωγική διαδικασία. Ταυτόχρονα το κόστος απόκτησης της νέας τεχνολογίας μπορεί να είναι πολύ υψηλό σήμερα, αλλά να μειωθεί ραγδαία στο άμεσο μέλλον.

Λειτουργικοί κίνδυνοι (operational risks). Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών απαιτεί την αναδιάρθρωση της όλης παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και την εκ νέου κατάρτιση του ανθρωπίνου δυναμικού. Ακόμη, λάθη και καθυστερήσεις μπορεί να παρατηρηθούν κατά την παραγωγική διαδικασία λόγω της εισαγωγής νέων τεχνολογιών.

Οργανωτικοί κίνδυνοι (organizational risks). Γενικά, οι εργαζόμενοι αντιδρούν στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Προτιμούν να εργάζονται στα μηχανήματα και με τον τρόπο που έχουν μάθει. Έτσι, με την πρώτη δυσκολία ή βλάβη που θα παρουσιασθεί κατά τη λειτουργία της νέας τεχνολογίας προτιμούν να θέσουν το σύστημα εκτός λειτουργίας και να συνεχίσουν να εργάζονται με τον παραδοσιακό τρόπο. Η Διεύθυνση της επιχείρησης και τα στελέχη της, θα πρέπει να δείξουν αποφασιστικότητα, κατά το στάδιο εισαγωγής της νέας τεχνολογίας στην παραγωγική διαδικασία, και να κάνει κατανοητά στους εργαζομένους τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της. Διαφορετικά ολόκληρη η επένδυση κινδυνεύει να πάει χαμένη.

Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και οικονομικοί κίνδυνοι (environmental and market risks). Πολλές εταιρίες μπορεί να επενδύσουν για την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στην παραγωγική διαδικασία και κατόπιν, λόγω αλλαγής της νομοθεσίας που αφορά το περιβάλλον, τα προϊόντα να μην μπορούν να διατεθούν στην αγορά. Ακόμη, αλλαγές στις ισοτιμίες των νομισμάτων ή στα επίπεδα του πληθωρισμού μπορεί να κάνουν την επένδυση για την εισαγωγή των νέων τεχνολογιών ασύμφορη.

Όσον αφορά τα RMS, υπάρχει έλλειψη σε διαθέσιμα εργαλεία και μεθοδολογίες για την ανάλυση της εναλλαγής μεταξύ των διαδικασιών, του εξοπλισμού, του κόστους κύκλου ζωής και την αρχικής επένδυσης. Επίσης, υπάρχει έλλειψη αποτελεσματικής

επικοινωνίας μεταξύ σχεδιαστών προϊόντων, σχεδιαστών διαδικασιών, και σχεδιαστών εργαλειομηχανών (machine-tool designers) κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για το σχεδιασμό ενός καλύτερου συστήματος παραγωγής.