

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>3</b>
1.1 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ .....	5
<b>2. ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>7</b>
2.1 ΑΙΤΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ .....	7
2.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ .....	8
2.2.1 <i>Ικανότητα Μεταφοράς</i> .....	8
2.2.2 <i>Ικανότητα Μεταχείρισης</i> .....	8
2.2.3 <i>Ικανότητα Αίσθησης</i> .....	9
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ .....	9
2.3.1 <i>Διαχείριση Υλικών</i> .....	10
2.3.2 <i>Φόρτωση και Εκφόρτωση Μηχανών</i> .....	11
2.3.3 <i>Ψεκασμός</i> .....	12
2.3.4 <i>Ηλεκτροσυγκόλληση</i> .....	13
2.3.5 <i>Μηχανουργική Κατεργασία</i> .....	13
2.3.6 <i>Συναρμολόγηση</i> .....	13
2.3.7 <i>Επιθεώρηση - Έλεγχος Ποιότητας</i> .....	14
2.4 ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	14
2.4.1 <i>Τυπικές εφαρμογές ρομπότ σε κύτταρα παραγωγής</i> .....	16
2.4.2 <i>Η ολοκλήρωση των ρομποτικών συστημάτων στην πράξη</i> .....	17
2.5 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ ΡΟΜΠΟΤ .....	18
2.6 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ .....	21
2.7 ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ .....	22
2.7.1 <i>Επιπτώσεις από Ρομποτικές Εγκαταστάσεις - Αλλαγές στη Δομή Εργασίας</i> .....	22
2.8 ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΤΙΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	23
2.9 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ .....	25
2.9.1 <i>Αρχή Λειτουργίας</i> .....	26
2.9.2 <i>Τρόπος Λειτουργίας</i> .....	26
2.9.3 <i>Γεωμετρικός Σχηματισμός</i> .....	27
2.9.4 <i>Τύπος Προσδοκώμενης (Εξειδικευμένης) Εφαρμογής</i> .....	35
2.9.5 <i>Τύπος Μετάδοσης Κίνησης</i> .....	36
2.9.6 <i>Άλλες Ταξινομήσεις</i> .....	39
<b>3. ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Η/Υ</b> .....	<b>41</b>
3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	41
3.2 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ .....	42
3.3 ΆΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΥΠΟΨΗ ΤΟΥ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ CIM .....	43
3.4 ΜΑΤΙΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ .....	44
3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	45
<b>4. ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b> .....	<b>46</b>
4.1 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΟΥ ΟΡΑΜΑΤΙΖΟΜΑΣΤΕ ΓΙΑ ΤΑ VCM .....	46
4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ .....	47
4.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ VCMS .....	48
4.3.1 <i>Προγραμματισμός άφιξης εργασιών</i> .....	50
4.3.2 <i>Δημιουργία πλασματικού κυττάρου</i> .....	52
4.3.3 <i>Κατανομή πηγών</i> .....	54
4.4 ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ .....	54
4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	59
4.6 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	59
4.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ .....	61
4.8 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ .....	62
<b>5. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟΜΥΛΩΝ ΚΡΗΤΗΣ</b> .....	<b>65</b>
5.1 ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ .....	65
5.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	66
<b>6. ΤΑ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b> .....	<b>71</b>

6.1	ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ.....	71
6.1.1	<i>Τα ταξινομητικά ρομποτικά συστήματα της ROMEO.....</i>	72
6.1.2	<i>Οι αρπάγες των ρομπότ της ROMEO.....</i>	73
6.1.3	<i>Επιλογή μοντέλου της ROMEO.....</i>	73
6.1.4	<i>Το μοντέλο Robotrac της εταιρίας Beumer.....</i>	75
<b>7.</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....</b>	<b>78</b>
7.1	ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟ WORKSPACE 3.5.....	78
7.2	ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ WORKSPACE.....	79
7.3	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	79
7.4	ΣΥΖΗΤΩΝΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟΜΥΛΩΝ ΚΡΗΤΗΣ.....	82
<b>8.</b>	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ.....</b>	<b>85</b>
8.1	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΕΙΣΠΡΑΞΗΣ.....	86
8.2	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ( RETURN OF INVESTMENT).....	86
8.3	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΑΘΑΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΞΙΑΣ.....	87
8.4	Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	88
8.5	Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙ Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	88
8.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	90
<b>9.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>92</b>
9.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	92
9.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	93
9.3	ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ.....	94
9.4	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	95

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της χρήσης των ρομποτικών συστημάτων στη βιομηχανία. Το φαινόμενο αυτό είναι απόλυτα λογικό γιατί τα ρομπότ αποτελούν ένα πολύ δυνατό εργαλείο με απεριόριστες εφαρμογές. Ειδικά μάλιστα στον τομέα της βιομηχανίας, τα ρομπότ βρίσκουν ένα πεδίο ιδιαίτερα προσφιλές.

Μία συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή είναι και το αντικείμενο μελέτης της διπλωματικής αυτής εργασίας. Το ζήτημα που πρόκειται να εξετάσουμε είναι πραγματικό και είναι ο βαθμός εφικτότητας της ρομποτικής εφαρμογής όπως προέκυψε από τις ανάγκες μιας επιχείρησης των Κυλινδρόμυλων Κρήτης, που είναι μια βιομηχανία η οποία παράγει διαφόρων ειδών επαγγελματικά και οικιακά άλευρα καθώς και ζωοτροφές. Θα έχουμε όμως την ευκαιρία να γνωρίσουμε την εν λόγω εταιρία καλύτερα στη συνέχεια.

Η διαδικασία που θα εξεταστεί είναι η παλετοποίηση, δηλαδή η τοποθέτηση σακιών σε παλέτες. Τα σακιά τοποθετούνται σε παλέτες για να διαχειρίζονται πιο εύκολα.

Σήμερα η εργασία αυτή γίνεται παραδοσιακά με τη βοήθεια ενός εργάτη. Πρόκειται για μια επίπονη εργασία αφού ο αναγνώστης μπορεί να φανταστεί πόσο δύσκολο είναι να ανεβοκατεβάζει κανείς στην πλάτη του για 8 ώρες κάθε μέρα ένα σακί βάρους 50 κιλών, με ρυθμό 400 σακιά την ώρα. Ο φόρτος της εργασίας αυτής είναι και ένας από τους λόγους που δημιουργεί την ανάγκη αυτοματοποίησης της. Πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι η Ευρωπαϊκή κοινότητα προσανατολίζεται στη θέσπιση ανώτατου βάρους σακιών τα 25 κιλά για προφανείς λόγους υγιεινής.

Σκοπός της μελέτης μας λοιπόν είναι να διερευνηθεί κατά πόσο είναι δυνατό η συγκεκριμένη εργασία να γίνεται από ένα αυτοματοποιημένο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα θα δούμε αν και κατά πόσο αυτή η εργασία μπορεί να πραγματοποιείται από ένα ρομπότ. Με την βοήθεια Η/Υ και του προγράμματος Workspace 3.5 θα προσομοιωθεί η συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία. Θα απεικονισθεί στην οθόνη του Η/Υ ο χώρος εργασίας καθώς και η κίνηση με τρεις

διαφορετικούς τύπους ρομπότ. Η προσομοίωση θα λαμβάνει υπόψη της όλους τους πρακτικούς περιορισμούς αλλά αυτά θα αναλυθούν με λεπτομέρειες στην συνέχεια. Επίσης θα γίνει σύγκριση του προτεινόμενου συστήματος με το παραδοσιακό, οικονομική μελέτη της επένδυσης και ακόμα πρόταση συγκεκριμένων ρομποτικών συστημάτων που μπορούν να αντεπεξεχθούν στην εργασία αυτή.

Εκτός από αυτόν τον πολύ άμεσο και πρακτικό στόχο η διπλωματική αυτή εργασία έχει και μια άλλη κατεύθυνση. Αυτή είναι η έρευνα της πορείας της τεχνολογίας της βιομηχανικής παραγωγής στον κόσμο και η αναζήτηση καινοτομικών ιδεών και κατευθύνσεων. Θα αναζητήσουμε προβλέψεις σχετικά με τις απαιτήσεις σε αυτοματισμούς και τις καινούριες τεχνικές που ικανοποιούν τις ανάγκες της εξέλιξης. Σκοπός μας είναι να ψηλαφίσουμε τις νέες αυτές τεχνικές και να αντιμετωπίσουμε την εξεταζόμενη εφαρμογή αυτοματισμού σαν βήμα προς την κατεύθυνση που αυτές ορίζουν, δηλαδή προσπάθεια προς επίτευξη αυτού που λέμε “εργοστάσιο του μέλλοντος”, όρου που θα αναλύσουμε πιο διεξοδικά παρακάτω.

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να κάνουμε πιο συγκεκριμένους τους στόχους της μελέτης μας. Οι στόχοι αυτοί είναι:

- Μελέτη του βαθμού εφικτότητας της ρομποτικής εφαρμογής που προαναφέρθηκε.
- Υπολογισμός αποδόσεων και ταχυτήτων τριών διαφορετικών εναλλακτικών ρομποτικών συστημάτων.
- Οικονομική αξιολόγηση και σύγκριση των προτεινόμενων επιχειρηματικών σχεδίων.
- Γνωριμία με καινούριες φιλόδοξες ιδέες και στρατηγικές στο χώρο της βιομηχανικής παραγωγής (βιομηχανικά κύτταρα, πλασματικά κύτταρα παραγωγής, CIM, τεχνολογία ομαδοποίησης, κλπ)
- Προσέγγιση της φιλοσοφίας των πλασματικών κυττάρων και έρευνα των πλεονεκτημάτων και οφελών της.

Η προσέγγιση του “εργοστάσιο του μέλλοντος” θα γίνει σύμφωνα με τις αρχές μίας νέας πολύ ενδιαφέρουσας θεώρησης των συστημάτων παραγωγής. Αυτή είναι η ιδέα των πλασματικών κυττάρων παραγωγής (Virtual Cellular Manufacturing VCM). Με τον όρο “εργοστάσιο του μέλλοντος” εννοούμε ένα εργοστάσιο που θα δουλεύει

αδιάκοπα, υπό την επίβλεψη των Η/Υ με την ελάχιστη βοήθεια από τον άνθρωπο. Η παραγωγή, ο έλεγχος ποιότητας, η συσκευασία κλπ, θα είναι πλήρως αυτοματοποιημένες και η επικοινωνία των υποσυστημάτων θα υποστηρίζεται από το απαιτούμενο λογισμικό. Οι ιδέες του VCM είναι συμβατές με αυτό που ονομάζουμε Computer Integrated Manufacturing (CIM). Τον όρο αυτόν επίσης θα αναλύσουμε σε βάθος στη συνέχεια.

## **1.1 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ**

Στο Κεφάλαιο 2 περιέχονται μερικές βασικές γνώσεις ρομποτικής. Γίνεται μία σύντομη αναφορά στην ιστορία των ρομποτικών χειριστών, αναλύονται οι ικανότητες και οι τυπικές εφαρμογές των ρομπότ, δίνονται ορισμοί, αναφέρονται οι υφιστάμενοι τρόποι ταξινόμησης κ.ά.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται ο όρος που αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής αυτής, δηλαδή αναφερόμαστε στην ολοκλήρωση συστημάτων παραγωγής (Computer Integrated Manufacturing, CIM)

Στο Κεφάλαιο 4 ασχολούμαστε με την πλασματική κυτταρική παραγωγή Virtual Cellular Manufacturing (VCM), την τεχνολογία ομαδοποίησης Group Technology (GT), την κυτταρική παραγωγή Cellular Manufacturing (CM) και το ρόλο των ρομποτικών συστημάτων στα παραγωγικά κύτταρα. Επίσης εξετάζουμε ερωτήματα που θέτονται κατά την εφαρμογή ενός ρομποτικού χειριστή σε ένα παραγωγικό κύτταρο.

Στο Κεφάλαιο 5 αναφέρονται στοιχεία για τους Κυλινδρόμυλους Κρήτης και αναλύεται η διαδικασία της παλετοποίησης.

Στο Κεφάλαιο 6 γνωρίζουμε με τα ρομποτικά συστήματα που θα εξετάσουμε. Αναλύονται κατασκευαστικά στοιχεία και δυνατότητες-δυναμικότητες.

Στο Κεφάλαιο 7 εξηγείται η πορεία που ακολουθήσαμε για την δημιουργία της προσομοίωσης.

Στο κεφάλαιο 8 υπάρχει η οικονομική αξιολόγηση των προτεινόμενων επενδυτικών σχεδίων.

Τέλος στο κεφάλαιο 9 υπάρχουν τα συμπεράσματα που προέκυψαν, η συνεισφορά της διπλωματικής και οι μελλοντικές κατευθύνσεις.

## 2. ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

### 2.1 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 χυτηρίου* (die casting), 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 χυτηρίων. 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.

Τα ρομπότ σήμερα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που προσφέρουν *σαφές οικονομικό πλεονέκτημα και καλύτερα αποτελέσματα έργου* σε σύγκριση με τον άνθρωπο. Κατά συνέπεια, 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*. Τα ρομπότ είναι όχι μόνο φθηνότερα από τη χειρωνακτική εργασία, αλλά συχνά έχουν και υψηλότερο ρυθμό παραγωγής. 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 επικίνδυνων και ανιαρών εργασιών, 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 επικίνδυνων και ανιαρών εργασιών - αντιπροσωπεύουν τους πρωταρχικούς λόγους χρησιμοποίησης βιομηχανικών ρομπότ

στα σημερινά εργοστάσια. Στο μέλλον, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα, η *μεγαλύτερη ευελιξία*, αναμένεται να παίζει ουσιαστικό ρόλο στην αιτιολόγηση της χρήσης 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.

## **2.2 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:

### **2.2.1 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 αποθηκευθεί, να κατεργασθεί, να συναρμολογηθεί, ή να πακεταρισθεί. 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 ιμάντα σε κάποιον άλλο, απαιτούν συνήθως κινήσεις μόνο 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 φόρτο-εκφόρτωση μηχανών, το πακετάρισμα, την ταξινόμηση αντικειμένων, την τοποθέτηση σε παλέτες, κ.α. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται συνήθως από σερβοελεγχόμενα ρομπότ σημείου-προς-σημείο.

### **2.2.2 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 *μεταχείρισή* (handling). Συγκεκριμένα, τα αντικείμενα προς κατεργασία εισέρχονται, προσανατολίζονται, ή περιστρέφονται, έτσι ώστε να βρίσκονται στην κατάλληλη θέση για μηχανουργική κατεργασία, συναρμολόγηση, ή κάποια άλλη εργασία. Σε πολλές 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 περιλαμβάνουν τη μηχανουργική κατεργασία με τη βοήθεια ρομπότ, 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.

### 2.2.3 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 προέρχονται από αισθητήρες προσέγγισης, δύναμης, μηχανικής όρασης από κάμερες, 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.

## 2.3 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<sup>1</sup>. Ο Πίνακας 2-1 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.

### 2.3.1 Διαχείριση Υλικών

Τα πρώτα ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν, πέραν της εγχύσεως μετάλλων σε χυτήρια, και σε άλλες εφαρμογές διαχείρισης υλικών. Οι εφαρμογές αυτές εκμεταλλεύονται τη βασική ικανότητα μεταφοράς 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. 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.

---

<sup>1</sup> Meyer, J.D. "Applications of Robots". In R.C. Dorf, editor, *Concise International Encyclopedia of Robotics*, pp. 40-46, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.

		Ικανότητες Ρομπότ που αιτιολογούν τη Χρήση			Κύρια Πλεονεκτήματα από τη Χρήση Ρομπότ			
Εφαρμογή	Παραδείγματα	M ε τ α φ ο ρ ά	X ε ι ρ ι σ μ ό ς	A ί σ θ η σ η	Βελτιωμένη Ποιότητα Προϊόντος	Αυξημένη Παραγωγικότητα	Μειωμένο Κόστος	Απαλοιφή Επικίνδυνων/ Δυσάρεστων Εργασιών
Διαχείριση Υλικών	Παλλετοποίηση Μεταφορά Μεταχείριση	•					•	•
Φόρτωση Μηχανών	Χυτήρια Αυτόματες Πρέσες Αλεστικές Μηχανές	•	•			•	•	
Ψεκασμός	Βαφή Εναπόθεση Ρητίνης		•		•		•	•
Ηλεκτρο- συγκόλληση	Σημειακή Τόξου		•			•	•	•
Μηχανουργείο	Διάτρηση Καθαρισμός Τρόχισμα Τόρνευση Κοπή		•	•				
Συναρμολό- γηση	Ταίριασμα Σύσφιξη		•	•		•	•	
Επιθεώρηση	Έλεγχος Θέσης Ανοχή			•	•			

**Πίνακας 2-1:** Κύριες Κατηγορίες Ρομποτικών Εφαρμογών και Αιτιολογία Χρήσης.

### 2.3.2 Φόρτωση και Εκφόρτωση Μηχανών

Τα βιομηχανικά ρομπότ, πέραν της φόρτωσης (loading) και εκφόρτωσης (unloading) σε χυτήρια, χρησιμοποιούνται εκτενώς και σε άλλες εφαρμογές φορτοεκφόρτωσης μηχανών. 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 φορτεκφόρτωση μηχανικών εργαλείων (π.χ. τórνοι), κλπ.

Το κύριο κίνητρο για τη χρήση ρομπότ στην περίπτωση αυτή, είναι η μείωση του άμεσου εργατικού κόστους καθώς και το σαφές πλεονέκτημά τους σε αντίξοες θερμοκρασιακές ή ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η συνολική παραγωγικότητα εξάλλου, είναι πιθανό να αυξηθεί εξαιτίας του υψηλότερου χρόνου που μπορεί να εργασθεί το ρομπότ σε σύγκριση με τον άνθρωπο. *Στη φόρτο-εκφόρτωση μηχανών, τόσο η ικανότητα μεταχείρισης όσο και η ικανότητα μεταφοράς καθιστούν εφικτή τη χρήση ρομπότ.*

### 2.3.3 Ψεκασμός

Στις εφαρμογές αυτές, το ρομπότ μεταχειρίζεται ένα πιστόλι ψεκασμού προκειμένου να εναποθέσει κάποιο υλικό επικάλυψης, π.χ. χρώμα, επίχρισμα, κλπ. σε κινούμενα ή στάσιμα αντικείμενα. Οι επικαλύψεις αυτές τοποθετούνται σε ένα ευρύ αριθμό 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.

*Η ικανότητα μεταχείρισης του ρομπότ είναι πρωταρχικής σημασίας στις εφαρμογές ψεκασμού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους είναι η υψηλότερη ποιότητα των προϊόντων εξαιτίας της πιο 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.*

#### 2.3.4 Ηλεκτροσυγκόλληση

Η δημοφιλέστερη ρομποτική εφαρμογή σήμερα είναι η πόντιση ή σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση αμαξωμάτων σε αυτοκινητοβιομηχανίες. 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.

*Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συγκόλλησης λόγω της μείωσης του κόστους από τον περιορισμό του ανθρώπινου δυναμικού και της βελτίωσης της ποιότητας του προϊόντος μέσω καλύτερων συγκολλήσεων. Επιπροσθέτως, επειδή η συγκόλληση τόξου είναι σχετικά επικίνδυνη, η χρήση ρομπότ μπορεί να ελαχιστοποιήσει την έκθεση ανθρώπων σε επικίνδυνα περιβάλλοντα.*

#### 2.3.5 Μηχανουργική Κατεργασία

Σε μηχανουργικές εφαρμογές, το ρομπότ συνήθως συγκρατεί ένα τροφοδοτούμενο άξονα και πραγματοποιεί *διάτρηση* (drilling), *τρόχισμα* (grinding), *τόρνευση* (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 των απαιτήσεων 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 και υψηλότερη ακρίβεια τοποθέτησης.

#### 2.3.6 Συναρμολόγηση

Μία από τις περιοχές με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σήμερα είναι η ανάπτυξη αποδοτικών, λογικά κοστολογημένων ρομπότ για συναρμολόγηση. 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. Περισσότερο σύνθετες εργασίες συναρμολόγησης δεν μπορούν να εκτελεσθούν 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 επιτραπούν πιο προηγμένες εφαρμογές συναρμολόγησης στο μέλλον.

#### 2.3.7 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 αναμένεται να βρίσκονται ανάμεσα στις ταχύτερα αυξανόμενες καθώς αναπτύσσονται αισθητήρες χαμηλού κόστους.

## 2.4 Ρομποτικά συστήματα και βιομηχανική πραγματικότητα

Ένα ρομπότ μπορεί να είναι το κύριο μέσον σε ένα παραγωγικό κύτταρο ή ασύμφορο στοιχείο στην απόδοση αυτού του κυττάρου. Η λεπτομερής και προσεκτική μηχανική ανάλυση είναι κρίσιμη για την επικερδή εφαρμογή ενός ρομπότ σε κάθε περίπτωση. Σε αυτή την παράγραφο τίθενται τα παρακάτω ερωτήματα:

1. Πώς αναγνωρίζονται ευκαιρίες υψηλού δυναμικού για να μπει σε εφαρμογή ένα ρομπότ;
2. Ποιοι σχεδιαστικοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιτυχή εγκατάσταση του ρομπότ;
3. Πώς αξιολογείται η απόδοση (παραγωγική και οικονομική) του επιλεγμένου ρομπότ πριν και μετά την εγκατάσταση;

Η σημερινή εικόνα του ρομπότ ως μηχανικού ανθρώπου είναι εντελώς ασύμβατη ως σημείο αναφοράς για να καθοριστεί πού και πώς μπαίνουν τα ρομπότ σε εφαρμογή. Ένα ρομπότ δεν πρέπει ποτέ να θεωρείται απλώς ένας ακούραστος αντικαταστάτης ενός χειριστή. Ο μόνος τρόπος για να ενσωματωθεί ένα ρομπότ σε ένα παραγωγικό κύτταρο είναι να ληφθεί υπόψη πόσο ικανοποιεί τις απαιτήσεις του κυττάρου. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα - διαδοχή εξαρτημάτων, χρήση των υλικών, επιθεώρηση, κλπ.- επαυξάνουν τα χαρακτηριστικά ενός ρομπότ για να μεγαλώσουν την απόδοση του κυττάρου. Επαρκείς αναλύσεις παραγωγικής και οικονομικής απόδοσης μπορούν τότε να ποσοτικοποιήσουν την καταλληλότητα του ρομπότ ως αναπόσπαστο μέρος ενός κυττάρου.

Κατά τη διάρκεια της προσπάθειας σύλληψης και σχεδιασμού των κυττάρων, πρέπει να εξετάζονται οι ενδεχόμενες ρομποτικές εφαρμογές σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- αν ο χειριστής προσθέτει αξία σε αυτή την επιχείρηση,
- αν η πλήξη και η κούραση μπορούν να καταλήξουν πιθανώς σε άχρηστα αποτελέσματα, αναθεωρήσεις ή άλλα ποιοτικά προβλήματα και αν μπορεί κάποιος να αναλάβει αυτό το καθήκον,
- αν αυτή η δραστηριότητα προκάλεσε διεκδίκηση αποζημίωσης για τραυματισμούς εργατών. Αν υπάρχουν άλλα ιατρικά προβλήματα (επαναλαμβανόμενα σύνδρομα σε καρπούς και δάχτυλα, εξανθήματα και δερματικές αντιδράσεις, εξάντληση από τη ζέστη, υπερβολικός φόρτος και γενικότερα κακή υγιεινή) που συμβάλλουν σε συστηματική απουσία. Αν αυτή η αποστολή είναι απλώς ανεπιθύμητη για ανθρώπους.

- Αν ο χειριστής είναι πολύ αργός για να συντονιστεί με τον εξοπλισμό που λειτουργεί με βέλτιστη ταχύτητα,
- Αν έχει αποτέλεσμα στο κόστος να εκτελείται η διαδικασία σε δύο ή τρεις βάρδιες.

#### 2.4.1 Τυπικές εφαρμογές ρομπότ σε κύτταρα παραγωγής

Οι μηχανικοί άνθρωποι της λογοτεχνίας και του κινηματογράφου είναι ιδεώδεις και θεωρητικοί μόνο συγγενείς των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ. Τα βιομηχανικά ρομπότ δεν είναι τίποτα περισσότερο από μηχανές που εκτελούν επαναλαμβανόμενες κινήσεις μέσα σε ένα περιορισμένο πεδίο. Υπάρχουν πολύ λίγα καθήκοντα στα οποία μπορεί να προσαρμοστεί φυσικά ένα ρομπότ. Ωστόσο, οι ακόλουθες καταστάσεις αποτελούν τυπικά τις καλύτερες ευκαιρίες για εφαρμογή της ρομποτικής σε κύτταρα παραγωγής με αποτέλεσμα στο κόστος:

- Απλές, επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες, όπου δεν απαιτούνται η επιδεξιότητα και η εξυπνάδα ενός ανθρώπου-χειριστή, για παράδειγμα φόρτωμα και ξεφόρτωμα εξαρτημάτων από μηχανές, συνεχής μεταφορά εξαρτημάτων μεταξύ δύο ή τριών μηχανών και επαναλαμβανόμενη συναρμολόγηση απλών συστατικών.
- Επαναλαμβανόμενες κινήσεις που περιλαμβάνουν βαριά εργαλεία ή εξαρτήματα, για παράδειγμα συγκολλήσεις, φόρτωμα και ξεφόρτωμα μηχανών, μεταφορά εξαρτημάτων από μηχανή σε μηχανή παλετοποίηση εξαρτημάτων και ανταλλαγή εργαλείων και αναπόσπαστων εξαρτημάτων.
- Παραγωγικές επιχειρήσεις και χρήση υλικών σε επικίνδυνα περιβάλλοντα, για παράδειγμα συγκόλληση, βάνιμο, επιμετάλλωση, φόρτωση και εκφόρτωση πρέσας εξώθησης, εργασίες σε εκρηκτικό περιβάλλον, και μεταφορά ή εφαρμογή τοξικών ή αντιδραστικών χημικών.
- Επιχειρήσεις, όπου η ακρίβεια στην κίνηση, στην ταχύτητα, στη γωνία προσέγγισης, κλπ. είναι σημαντική. Για παράδειγμα διαδικασίες όπως βάνιμο με σπρέι, συγκόλληση αερίου και ηλεκτρικού τόξου, κόψιμο με λέιζερ και προωθητήρα νερού, στεγανοποίηση.
- Κίνηση υλικών, εργαλείων και παρόμοιων αντικειμένων ρυθμικά σύμφωνα με το χειριστή ή συνεχόμενα, για παράδειγμα, εξοπλισμός που λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, φόρτωση και εκφόρτωση μηχανών με μικρό κύκλο εργασίας, επιχειρήσεις



προόδου και συναρμολόγησης, όπου η χρήση υλικών ή ο επιδέξιος χειρισμός εξαρτημάτων είναι κρίσιμος για το χρόνο (όπως εφαρμογή εποξικής κόλλας και μεταφορά μηχανών καλουπώματος) και επιχειρήσεις συναρμολόγησης σε σύγχρονες μηχανές συναρμολόγησης.

- Περίπλοκες επιχειρήσεις που απαιτούν εξοπλισμό που δεν είναι αποτελεσματικός ως προς το κόστος, για παράδειγμα κόψιμο με λέιζερ και προωθητήρα νερού σε ελεύθερο σχήμα ή τρισδιάστατη μορφή, συνένωση μεγάλων πλαισίων σε δομημένους σκελετούς.

#### 2.4.2 Η ολοκλήρωση των ρομποτικών συστημάτων στην πράξη.

Η αναγνώριση του πιο κατάλληλου τύπου και μεγέθους ρομπότ και βοηθητικού εξοπλισμού είναι καταλυτική για τις αποστολές που εκτελούνται μέσα σε ένα κύτταρο. Γενικά ερωτήματα που αφορούν αυτό το ζήτημα περιλαμβάνουν:

1. Ποιος τύπος ρομπότ είναι ο πιο κατάλληλος και πόσο απλός μπορεί να είναι.
2. Ποια είδη τελικών άκρων είναι αναγκαία για να χειριστούν με ακρίβεια και αξιοπιστία το πεδίο εργαλείων και εξαρτημάτων.
3. Ποιοι αισθητήρες μπορούν να χρειαστούν για να οδηγήσουν το ρομπότ και να διευθετήσουν τη συνοχή διαδικασίας.
4. Ποιες είναι οι ανάγκες σε υλικά και βοηθητικό εξοπλισμό;
5. Πώς πρέπει να σχεδιαστεί η μηχανή ή το εργαλείο συναρμολόγησης για να διευκολύνει τη ρομποτική εφαρμογή.
6. Ποιος τύπος ελέγχου είναι κατάλληλος για το ρομπότ.
7. Ποια μέτρα ασφάλειας και προφύλαξης είναι αναγκαία για να προστατεύσουν το εργατικό δυναμικό από το ρομπότ και το ρομπότ από το εργατικό δυναμικό.
8. Πώς πρέπει να σχηματιστεί το ρομπότ, ώστε να επιτρέπει την αυτόματη καθώς και τη χειροκίνητη λειτουργία του σταθμού εργασίας και την προληπτική συντήρηση.

Επιπρόσθετα, πολλοί ειδικοί παράγοντες επηρεάζουν την επιλογή ενός ρομπότ κατάλληλου να εκτελέσει μία συγκεκριμένη αποστολή:

1. Ευκολία προσέγγισης της θέσης εργασίας ή της μηχανής χειριζόμενης από ένα ρομπότ- άξονες προσέγγισης, αποστάσεις αποφυγής συγκρούσεων, πόρτες που ανοίγουν και κλείνουν, κλπ.
2. Μέγεθος, βάρος και ροπή αδράνειας εξαρτημάτων και εργαλείων.
3. Ταχύτητα της διαδικασίας και απαιτούμενος χρόνος για μετακίνηση των εξαρτημάτων, φόρτωμα και ξεφόρτωμα, κλπ.
4. Ακρίβεια τοποθέτησης εξαρτημάτων και εργαλείων και επαναληψιμότητα τοποθέτησης.
5. Ποικιλία εργασιών και αποστολών που πρέπει να εκτελεστούν από το ίδιο ρομπότ. Απαιτείται επίσης ή ευκολία προγραμματισμού και διόρθωσης.
6. Χώρος εργασίας ή πεδίο του κυττάρου που πρέπει να προσεγγιστεί από ένα ρομπότ (envelope-world).

Πολυπλοκότητα των κινήσεων των εργαλείων ή τελικών βραχιόνων που είναι απαραίτητες για την εκτέλεση της αποστολής.

## **2.5 Βιομηχανικοί Χρήστες Ρομπότ**

Οι εγκαταστάσεις όπου σήμερα χρησιμοποιούνται βιομηχανικά ρομπότ, αφορούν εν γένει μεγάλες, προηγμένες εφαρμογές (βαριά βιομηχανία, αυτοκινητοβιομηχανία, αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, κ.ά.). Πέραν των αυτοκινητοβιομηχανιών και των χυτηρίων, χρήστες ρομπότ είναι και άλλοι μικροί ή μεγάλοι κατασκευαστές εξοπλισμών. 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 συσκευές αριθμητικού ελέγχου με υπολογιστή, καθώς και σχεδιασμού και δοκιμών με τη βοήθεια υπολογιστή.

Η αυτοκινητοβιομηχανία διαθέτει τις περισσότερες ρομποτικές εγκαταστάσεις στις Η.Π.Α., 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 χυτηρίων 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 ή έτοιμων εξαρτημάτων 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 παλετοποίηση. Άλλες πιθανές εφαρμογές βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της μελέτης στις βιομηχανίες καουτσούκ (κατασκευή ελαστικών αυτοκινήτων), στην επεξεργασία του αμιάντου, στη φορτοεκφόρτωση υαλικών όπου απαιτώνται 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 πλήρως *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 δυνατότητα 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 αγορασθούν 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. λήξερ.

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, διαχείρισης υλικών, και φόρτωσης μηχανών, αντιστοιχούν στο 80% περίπου των τρεχουσών εφαρμογών. Υπενθυμίζεται ωστόσο ότι η εισβολή 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.

## **2.6 Πλεονεκτήματα από τη Χρήση Ρομπότ**

Η ακόλουθη λίστα παρουσιάζει τα πιο συχνά αναφερόμενα ως πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ρομπότ, όπως έχουν καταγραφεί σε άρθρα περιοδικών και σε βιβλία<sup>2</sup>.

### *Πλεονεκτήματα των Ρομπότ*

- I. Ασφάλεια των εργαζομένων.
  - A. Επικίνδυνα περιβάλλοντα.
    1. Τοξικά αέρια.
    2. Υψηλές θερμοκρασίες.
    3. Ραδιενέργεια.
  - B. Επικίνδυνες εργασίες.
    1. Φόρτωση και εκφόρτωση επικίνδυνων εργαλείων.

---

<sup>2</sup> Williams, T.J. "Ergonomics, Robot Market and Industry". In R.C. Dorf, editor, *Concise International Encyclopedia of Robotics*, pp. 248-256, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.

- II. Υψηλότερη παραγωγικότητα.
  - A. Έλλειψη ανάγκης ξεκούρασης (24ωρη λειτουργία).
  - B. Υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας (πιθανότατα μόνο για ρομπότ σημείου προς σημείο).
  - C. Λιγότερα σφάλματα που έχουν σαν αποτέλεσμα λιγότερα απορριπτέα κομμάτια ή κατεστραμμένες μηχανές.
- III. Ευελιξία παραγωγικής μονάδας.
  - A. Μικρότερος χρόνος προσαρμογής σε απαραίτητες αλλαγές της μονάδας.
  - B. Ευκολότερη αντιμετώπιση των αλλαγών.
  - C. Αντίσταση στην παλαιώση με ενθάρρυνση ανανεωτικών αλλαγών.
  - D. Ικανότητα λειτουργίας υπό ασυνήθιστους προσανατολισμούς, όπως με προσάρτηση στην οροφή ή στον τοίχο.
- IV. Δυνατότητα εργασίας υπό αντίξοες συνθήκες (μη εφικτές από ανθρώπους)
  - A. Υποθαλάσσιες και διαστημικές έρευνες/επιδιορθώσεις.
  - B. Ηφαίστεια, σήραγγες, κλπ.

#### *Μειονεκτήματα των Ρομπότ*

- I. Δυσκολία προγραμματισμού ανάλογα με την εφαρμογή.
- II. Σχετικά μικρή ταχύτητα λειτουργίας, ειδικά για σερβοελεγχόμενα συστήματα συνεχούς τροχιάς.
- III. 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.
- IV. Κόστος εγκατάστασης, συντήρησης, εκμάθησης, κλπ.

## **2.7 Επιθυμητότητα των Ρομπότ**

### 2.7.1 Επιπτώσεις από Ρομποτικές Εγκαταστάσεις - Αλλαγές στη Δομή Εργασίας

Το πρόβλημα των επιπτώσεων της αυτοματοποίησης δεν είναι πρόσφατο. Έχει συναντηθεί στις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, αλλά και της εποχής της πληροφορικής. Οι ρομποτικές εγκαταστάσεις είναι στην απλούστερη μορφή τους, αντικαταστάσεις των χειρονακτικών εργασιών από μηχανές<sup>3</sup>. Λόγω της απουσίας απτών αποδείξεων, οι επιπτώσεις της *ρομποτοποίησης* (robotization) στις εργασιακές δομές μπορούν προς το παρόν μόνο να υποτεθούν. Όταν ένας εργάτης αντικαθίσταται από ένα ρομπότ, δύο σενάρια είναι πιθανά:

1. *Μόνιμη Ανεργία*. Ο απομακρυνόμενος εργάτης είναι σχετικά ηλικιωμένος και δεν μπορεί να επανεκπαιδευθεί. Επομένως, ο εργάτης αυτός δεν εγκρίνεται για νεοδημιουργούμενες εργασίες και καθίσταται υποαπασχολούμενος ή άνεργος.
2. *Ανακατανομή Εργασίας*. Ο απομακρυνόμενος εργάτης διαθέτει κάποια βασικά προσόντα και μπορεί να αναλάβει μία διαφορετική εργασία, με ή χωρίς επανεκπαίδευση, ανάλογα με τις απαιτήσεις της νέας εργασίας.

Και στις δύο περιπτώσεις, οι απομακρυσμένοι υπάλληλοι αντιμετωπίζουν αλλαγές σε έσοδα και έξοδα, επίπεδο διαβίωσης, ικανοποίηση εργασίας, καθώς και άλλες κοινωνικές αλλαγές. Κοινωνικά επίσης εμφανίζεται κόστος (επιδόματα ανεργίας, συντάξεις, κλπ.), κάτι το οποίο συχνά αγνοείται από τις εταιρείες που αυτοματοποιούν θέσεις εργασίας. Οι αναλύσεις για αντικατάσταση συμβατικού εξοπλισμού, σπάνια υπολογίζουν τέτοιο κόστος, όπως οι φόροι του απολυμένου εργάτη, τα κοινωνικά έξοδα, κλπ. Το κόστος αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό, ειδικά αν πραγματοποιηθούν πολλές ρομποτικές εγκαταστάσεις. Η κατάσταση αυτή, αν και επωφελής για τη βιομηχανία, μπορεί να μην είναι οικονομικά επωφελής από κοινωνική άποψη.

## 2.8 Εμπλεκόμενο Κόστος στις Ρομποτικές Εγκαταστάσεις

Η εισαγωγή ενός ρομπότ σε μία θέση εργασίας απαιτεί μεταβολές του χώρου εργασίας, εγκατάσταση ενός ρομπότ και συνοδευτικών μηχανημάτων, εργαλείων, κλπ. Πολλά από αυτά τα έξοδα είναι προφανή και συμπεριλαμβάνονται σε αναλύσεις αντικατάστασης εξοπλισμού. Πολλά άλλα έξοδα, ωστόσο, δεν είναι προφανή και εν γένει αγνοούνται. Αυτό συνήθως συμβαίνει όταν θεωρούνται μόνο τα εσωτερικά προς

---

<sup>3</sup> Mital, A. "Desirability of Robots". In R.C. Dorf, editor, *Concise International Encyclopedia of Robotics*, pp. 220-221, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.

την επιχείρηση έξοδα. Τα κύρια έξοδα, εσωτερικά της εταιρείας, που εν γένει συνυπολογίζονται στις οικονομικές αναλύσεις αντικατάστασης εξοπλισμού είναι:

1. Το κόστος του ρομπότ και των εξαρτημάτων, δηλ. το κόστος του ρομπότ, του εξοπλισμού δοκιμών, του συστήματος διαχείρισης υλικών, κλπ.
2. Το κόστος της εγκατάστασης, δηλ. το κόστος εργατικών και υλικών για την τοποθέτηση, τις προετοιμασίες του πατώματος και τις ανάγκες στήριξης, τις *διευκολύνσεις* (facilities), τις διασυνδέσεις μεταξύ του ρομπότ και των περιφερειακών, την ανάπτυξη λογισμικού και την επικοινωνία με το περιβάλλον της βιομηχανίας.
3. Το κόστος επαναδιάταξης, δηλ. το κόστος εργατικών και υλικών για το προστατευτικό κιγκλίδωμα, τις ταινίες μεταφοράς, κλπ.
4. Το ειδικό κόστος εργαλείων, δηλ. το κόστος για ειδικές εργαλειοσυσσκευές άκρου του βραχίονα και αλλαγές στο σχεδιασμό των εξαρτημάτων, αισθητήρων, διακοπών ορίων, σφικτήρων, κλπ.
5. Το έμμεσο εργατικό κόστος, δηλ. το κόστος επισκευής και συντήρησης.
6. Το λειτουργικό κόστος προμηθειών, δηλ. το κόστος των διευκολύνσεων και υπηρεσιών που απευθύνονται άμεσα στο ρομπότ και στον εξοπλισμό υποστήριξής του.
7. Το κόστος προμηθειών συντήρησης.
8. Το κόστος έναρξης, δηλ. το κόστος παύσης εργασιών εξαιτίας της εγκατάστασης.
9. Το κόστος ασφαλίσεων και φόρων, π.χ. ο φόρος αγοράς που πληρώνεται πάνω στην τιμή αγοράς του ρομπότ.

Σε αυτά τα έξοδα πρέπει να συνυπολογισθεί όμως και η εξοικονόμηση στο άμεσο εργατικό κόστος και στις πιστώσεις εξαιτίας της αυξημένης παραγωγικότητας.

Στην παραδοσιακή οικονομική ανάλυση αντικατάστασης του εξοπλισμού δεν υπολογίζονται τα απολεσθέντα έσοδα και οι κοινωνικές επιπτώσεις (π.χ. απώλεια φόρων) όταν ένας εργαζόμενος αντικαθίσταται από ένα ρομπότ. Ακολούθως παρατίθενται οι κυριότερες απώλειες και το κοινωνικό κόστος που προκύπτουν από την εισαγωγή ρομπότ σε ένα χώρο εργασίας:

1. Φόρος κοινωνικής ασφάλισης ο οποίος πληρώνεται από εργοδότη και εργαζόμενο.
2. Φόρος μισθωτών υπηρεσιών ο οποίος πληρώνεται από τον εργοδότη.
3. Φόρος εισοδήματος, κλπ. ο οποίος πληρώνεται από τον εργαζόμενο.
4. Επίδομα ανεργίας που πληρώνεται από κοινωνικό ταμείο.



5. Σύνταξη στον απομακρυνόμενο εργάτη που πληρώνεται από κοινωνικό ταμείο.

6. Κόστος επανεκπαίδευσης, εάν υπάρχει.

Επιπρόσθετα προς αυτό το κόστος, τα κοινωνικά κέρδη που προέρχονται από φόρους πωλήσεων εξαιτίας αυξημένων πωλήσεων, επίσης δεν συμπεριλαμβάνονται σε μία παραδοσιακή οικονομική ανάλυση.

Η απόφαση επομένως της αγοράς ενός ρομπότ εμπλέκει μεγάλο αριθμό παραμέτρων και οικονομικών μεγεθών. Διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems - DSS) για τέτοιες επενδύσεις έχουν κατά συνέπεια αναπτυχθεί.

## 2.9 Ταξινόμηση των ρομπότ

Αρκετά σχήματα χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των βιομηχανικών ρομπότ. Τα κυριότερα είναι: η αρχή της λειτουργίας, ο τρόπος λειτουργίας, ο γεωμετρικός σχηματισμός (*configuration*), ο τύπος εφαρμογής, και ο τύπος μετάδοσης της κίνησης. Τα περισσότερα από αυτά περιγράφουν κάποιο φυσικό χαρακτηριστικό ή χαρακτηριστικό συμπεριφοράς του ρομπότ, όπως π.χ. η γεωμετρία ή η αρχή λειτουργίας. Η ταξινόμηση των βιομηχανικών ρομπότ αποτελεί ένα χρήσιμο μέσο σύγκρισης παρόμοιων ιδιοτήτων και είναι ιδιαίτερα βοηθητική για την επιλογή κάποιου ρομπότ για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Υπάρχουν σήμερα 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<sup>4</sup>.

Μέχρι στιγμής δεν έχουν θεσπισθεί διεθνή πρότυπα για την ταξινόμηση των ρομπότ. Οι ταξινομήσεις που περιγράφονται στη συνέχεια χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των Η.Π.Α. ευρύτατα, ταυτόχρονα από τους προμηθευτές και τους χρήστες ρομπότ. Τα σχήματα που παρουσιάζονται δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενα. Κάποιες ταξινομήσεις συνεπάγονται κάποιες άλλες. Τα ρομπότ συνεχούς τροχιάς για παράδειγμα, είναι όλα σερβοελεγχόμενα. Επιπλέον, δεν υπάρχει μοναδική ταξινόμηση που να περικλείει όλες τις περιπτώσεις και γι' αυτό χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κατηγορίες για την πλήρη περιγραφή ενός ρομπότ. Κατά την περιγραφή βάσει ταξινομήσεων, η ιεραρχία της διαδικασίας ξεκινάει με την αρχή

---

<sup>4</sup> Tanner, W.R., "Classification". In R.C. Dorf, editor, *Concise International Encyclopedia of Robotics*, pp. 123-130, Wiley & Sons, Inc., 1990, New York.

λειτουργίας, ακολουθούμενη από τον τρόπο λειτουργίας και το σχηματισμό. Στην τελική περιγραφή μπορεί επίσης να προσδιορισθεί η εφαρμογή.

### 2.9.1 Αρχή Λειτουργίας

Τα ρομπότ ταξινομούνται με την ευρεία έννοια σε ρομπότ *σταθερής στάσης* (fixed stop) (ή *μη σερβοελεγχόμενα*) και σε *σερβοελεγχόμενα* (servo-controlled). Οι όροι αυτοί αναφέρονται στις μεθόδους ελέγχου θέσης του ρομπότ μέσα στο χώρο εργασίας, δηλαδή στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ελεγκτή και του βραχίονα. Οι αρχές λειτουργίας επεξηγούνται με την περιγραφή της ακολουθίας λειτουργιών για κάθε τύπο ρομπότ.

#### 2.9.1.1 Ρομπότ Σταθερής Στάσης

Ο τύπος αυτός είναι επίσης γνωστός ως μη σερβοελεγχόμενο ρομπότ ή ρομπότ ανοικτού βρόχου. Το ρομπότ έχει έλεγχο των σημείων στάσης, αλλά όχι έλεγχο της τροχιάς. Κάθε άξονας έχει ένα προκαθορισμένο (ή καθοριζόμενο από τον ελεγκτή κάθε φορά) σταθερό μηχανικό όριο στο κάθε άκρο της έκτασής του και μπορεί να σταματάει μόνο στο ένα ή το άλλο από τα όρια αυτά.

#### 2.9.1.2 Σερβοελεγχόμενα Ρομπότ

Ο τύπος αυτός κινείται από σερβομηχανισμούς, δηλαδή κινητήρες των οποίων το σήμα κίνησης είναι συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της διατεταγμένης και της μετρούμενης (πραγματικής) θέσης και/ή ταχύτητας (σπανιότερα δε και της επιτάχυνσης). Ένα τέτοιο ρομπότ έχει τη δυνατότητα να κινείται μέσα από έναν πρακτικά άπειρο αριθμό σημείων κατά την εκτέλεση μίας προγραμματισμένης ακολουθίας. Τα ρομπότ αυτά είναι πιο ακριβά και πιο σύνθετα στη λειτουργία, προγραμματισμό και συντήρηση από τα ρομπότ σταθερής στάσης.

### 2.9.2 Τρόπος Λειτουργίας

Σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας τους τα ρομπότ περιγράφονται ως ρομπότ *σημείου-προς-σημείο* (point-to-point) και ρομπότ *συνεχούς τροχιάς* (continuous path).

#### 2.9.2.1 Ρομπότ Σημείου-προς-Σημείο (Point-to-Point Robots)

Με αυτόν τον τρόπο ελέγχου κίνησης, ένα ρομπότ προγραμματίζεται από το χρήστη ώστε να κινηθεί από μία θέση στην επόμενη. Οι ενδιάμεσες τροχιές μεταξύ των

σημείων δεν μπορούν να προσδιορισθούν. Σε μία τέτοια ακολουθία κινήσεων, το ρομπότ κινείται σε μία προσδιορισμένη αριθμητικά θέση, σταματάει και εκτελεί μία λειτουργία, κατόπιν κινείται σε μία άλλη προσδιορισμένη αριθμητικά θέση, σταματάει, κ.ο.κ. Η τροχιά του ρομπότ (δηλαδή η διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων) και η ταχύτητα κατά τη μετακίνηση από τη μία θέση στην επόμενη, εν γένει δεν έχει σημασία, και συνήθως δεν προγραμματίζεται, αλλά αποτελεί εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή.

Στον τρόπο λειτουργίας σημείου-προς-σημείο, ένα ρομπότ εκτελεί χρήσιμο έργο μόνο όταν όλοι οι άξονες είναι σε στάση στις επιθυμητές θέσεις του χώρου εργασίας. Οι περισσότερες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και ορισμένες εργασίες χειρισμού εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Όλα τα ρομπότ σταθερής στάσης και ορισμένα σερβοελεγχόμενα ρομπότ λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο.

#### 2.9.2.2 Ρομπότ Συνεχούς Τροχιάς (Continuous Path Robots)

Ο έλεγχος συνεχούς τροχιάς είναι ένας τύπος ρομποτικού ελέγχου κατά τον οποίο το ρομπότ επαναλαμβάνει την κίνηση μέσα από διδαγμένα σημεία σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, και τα οποία έχουν προγραμματισθεί σε μία σταθερή χρονική βάση κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Τα σημεία αρχικά καταγράφονται καθώς το ρομπότ οδηγείται μέσα από μία επιθυμητή τροχιά. Κατά την κίνηση αυτή, η θέση του κάθε άξονα καταγράφεται από τη μονάδα ελέγχου σε σταθερή χρονική βάση διαβάζοντας τους κωδικοποιητές των αρθρώσεων. Ακολούθως, ένας αλγόριθμος επανάληψης επιχειρεί να επαναλάβει την κίνηση αυτή. Έλεγχος συνεχούς τροχιάς μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την παρεμβολή μίας επιθυμητής καμπύλης τροχιάς μεταξύ των διδαγμένων σημείων.

Τα ρομπότ που λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο, εκτελούν χρήσιμο έργο ενώ όλοι οι άξονές τους βρίσκονται σε ταυτόχρονη, συντονισμένη κίνηση, ενδεχομένως με διαφορετική ταχύτητα, προκειμένου το εργαλείο να διαγράψει την επιθυμητή τροχιά. Η τροχιά του βραχίονα προγραμματίζεται άμεσα (με *καθοδήγηση μέσα από ενδιάμεσα σημεία* - lead-through) ή υπολογίζει ο ελεγκτής τη διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων. Λίγες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και ορισμένες εργασίες χειρισμού εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Οι λειτουργίες συνεχούς τροχιάς μπορούν να εκτελεσθούν μόνο από σερβοελεγχόμενα ρομπότ.

#### 2.9.3 Γεωμετρικός Σχηματισμός

Ένα τρίτο σχήμα ταξινόμησης βασίζεται στις γεωμετρικές ή μηχανικές διατάξεις των ρομποτικών βραχιόνων. Οι μηχανικές διατάξεις των ρομπότ διαφέρουν ευρύτατα, αλλά οι περισσότερες εμπίπτουν σε μία από επτά κατηγορίες. Οι τρεις συνηθέστερες χαρακτηρίζουν το σύστημα συντεταγμένων τους. Υπάρχουν, κατά συνέπεια, ρομπότ *καρτεσιανά* ή *ορθογωνικά*, *κυλινδρικά*, και *σφαιρικά* ή *πολικά*. Οι άλλοι τέσσερις σχηματισμοί χαρακτηρίζουν την εμφάνιση ή τη λειτουργία τους. Αυτά είναι τα *ανθρωπομορφικά* ή *αρθρωτά* (jointed-arm), τα *SCARA*, τα *gantry* και τα *κινητά* (mobile).

#### 2.9.3.1 Ορθογωνικά Ρομπότ (Rectangular Robots)

Είναι γνωστά ως *ορθογραμμικά* (rectilinear) ρομπότ, ή ως *ρομπότ ορθογωνίων*, *καρτεσιανών* ή *ορθογραμμικών συντεταγμένων*. Κινούνται σε ευθείες γραμμές πάνω-κάτω και μέσα-έξω. Οι βαθμοί ελευθερίας του βραχίονα ορίζονται από το Καρτεσιανό σύστημα των αξόνων. Τα ρομπότ αυτά συνήθως δεν διαθέτουν ελεγχόμενη λογική για συντονισμένη κίνηση των αρθρώσεων. Ένα ορθογωνικό ρομπότ σχηματίζεται με τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα πάνω σε ένα κάθετο άξονα ανύψωσης, ο οποίος τοποθετείται σε γραμμική μεταφορική βάση παράγοντας έτσι ένα ρομπότ X-Y-Z (Σχήμα 2-1α).

Τα πλεονεκτήματα των Καρτεσιανών ρομπότ είναι:

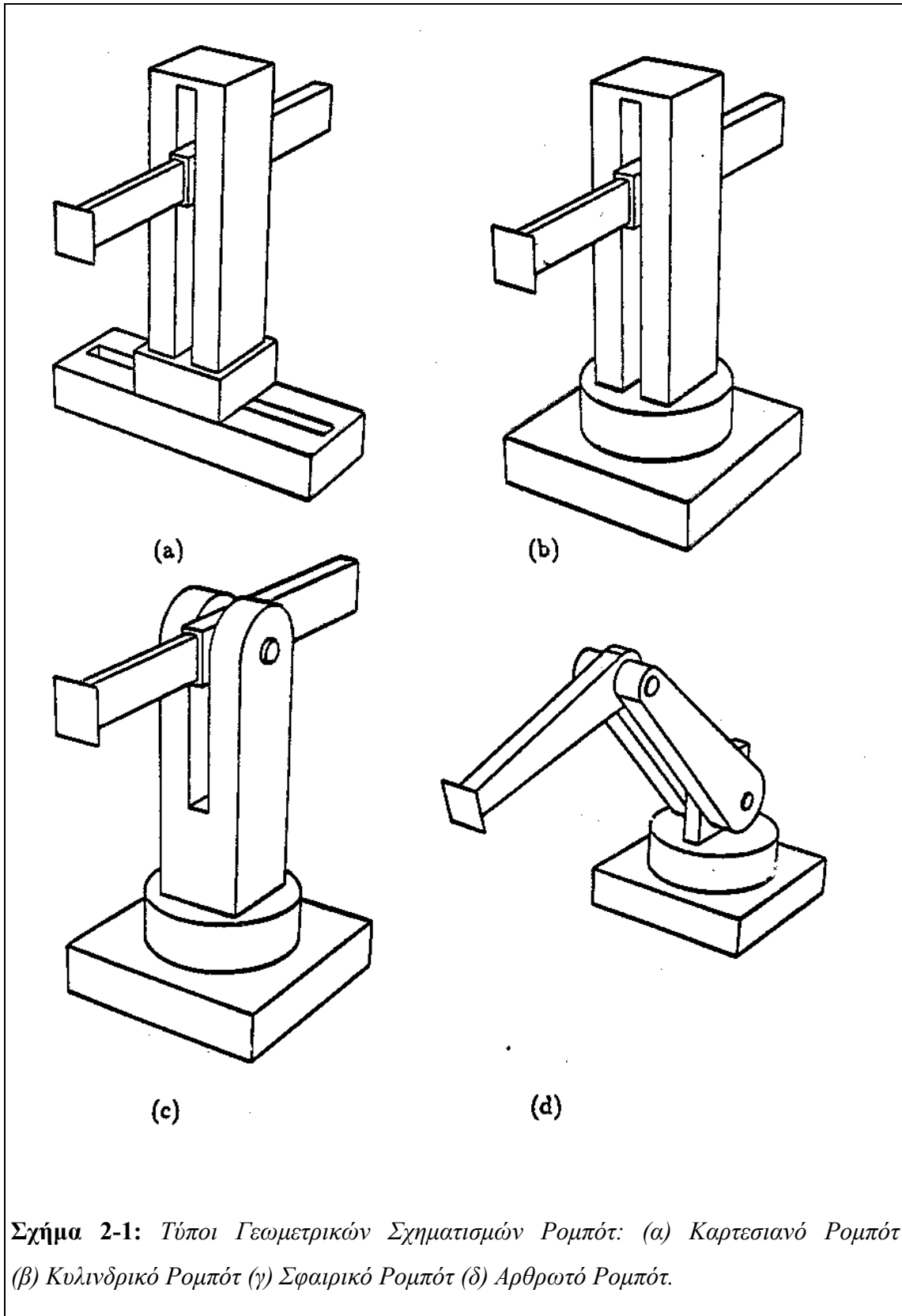
- Υψηλή διακριτική ικανότητα και μεγάλη ακρίβεια.
- Εύκολη αποφυγή εμποδίων και πρόληψη συγκρούσεων.
- Ανεξαρτησία από φορτία βαρύτητας, και άρα, ευκολία στον έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Μεγάλο δομικό πλαίσιο.
- Περιορισμός του χώρου εργασίας.
- Περιορισμός στη συμβατότητα συνεργασίας με άλλους ρομποτικούς βραχίονες σε κοινό χώρο εργασίας.
- Πιο πολύπλοκος μηχανικός σχεδιασμός για γραμμικές κινήσεις ολίσθησης.
- Απαίτηση μεγαλύτερης επιφάνειας δαπέδου.

#### 2.9.3.2 Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)

Είναι επίσης γνωστά ως *ρομπότ κυλινδρικών συντεταγμένων* ή *ρομπότ στήλης* (columnar robot). Δομούνται γύρω από μία στήλη που κινείται σύμφωνα με ένα κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο η θέση κάθε σημείου προσδιορίζεται συναρτήσει μίας γωνιακής διάστασης, μίας ακτινικής διάστασης και ενός ύψους από ένα επίπεδο αναφοράς. Ο χώρος εργασίας έχει κυλινδρική μορφή. Οι κινήσεις αυτών των ρομπότ είναι η *έκταση* και η *περιστροφή*. Ένα κυλινδρικό ρομπότ σχηματίζεται από τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα με ένα κάθετο άξονα, τοποθετημένο πάνω σε μία περιστρεφόμενη βάση. Ο οριζόντιος βραχίονας μπορεί να κινείται μέσα-έξω ή πάνω-κάτω στον κάθετο άξονα και να περιστρέφεται δεξιά ή αριστερά γύρω από τον κάθετο άξονα. Έτσι οι κινήσεις των τριών κυρίων αξόνων καλύπτουν ένα κυλινδρικό τομέα (Σχήμα 2-1β).



Τα πλεονεκτήματα των κυλινδρικών ρομπότ είναι:

- Σχεδόν ανεξάρτητα φορτία βαρύτητας.

- Κίνηση χωρίς συγκρούσεις.
- Δύο γραμμικοί άξονες καθιστούν το μηχανικό σχεδιασμό λιγότερο πολύπλοκο απ' ό,τι στα Καρτεσιανά ρομπότ.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Ύπαρξη πολλών δομών.
- Περιορισμένη συμβατότητα συνεργασίας με άλλους χειριστές σε κοινό χώρο εργασίας.
- Μικρότερη ακρίβεια και διακριτική ικανότητα σε σύγκριση με τα ορθογωνικά ρομπότ.

### 2.9.3.3 Σφαιρικά Ρομπότ (Spherical Robots)

Τα ρομπότ αυτά είναι επίσης γνωστά και ως *ρομπότ σφαιρικών συντεταγμένων* ή *πολικά (polar) ρομπότ*. Είναι ρομπότ που εργάζονται σε σφαιρικό χώρο εργασίας, ή αλλιώς, ρομπότ ικανά να κινούνται περιστροφικά, και να επεκτείνουν και να προσδίδουν κλίση στο βραχίονά τους. Μπορεί να είναι δηλαδή κυλινδρικά ρομπότ με την προσθήκη μίας *στροφής (pitch)*.

Ένας σφαιρικός ή πολικός ρομποτικός σχηματισμός αποτελείται από ένα βραχίονα που κινείται μέσα - έξω μέσα στο *εύρος προσέγγισης (reach stroke)*, που χρησιμοποιεί όμως μία κάθετη περιστροφική κίνηση αντί για κάθετη ευθύγραμμη. Επιπλέον, ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται αριστερά - δεξιά γύρω από τον κάθετο περιστροφικό άξονα. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι κινήσεις των κυρίων αξόνων σχηματίζουν ένα τμήμα σφαίρας σαν χώρο εργασίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-1γ.

Τα πλεονεκτήματα των σφαιρικών ρομπότ είναι:

- Σχετικά χαμηλό βάρος και μικρή πολυπλοκότητα δομής.
- Μικρή διαδρομή αρθρώσεων για πολλές κινήσεις.
- Συμβατότητα συνεργασίας με άλλα ρομπότ και εργαλειομηχανές σε κοινό χώρο εργασίας.
- Καλή διακριτική ικανότητα καθότι τα σφάλματα τοποθέτησης είναι κάθετα.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Μεγάλες και μεταβλητές ροπές στη δεύτερη και τρίτη άρθρωση του βραχίονα, προκαλώντας έτσι πρόβλημα εξισορρόπησης.
- Περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής συγκρούσεων με εμπόδια.

- Μεγάλο σφάλμα τοποθέτησης εξαιτίας των περιστροφικών κινήσεων, ανάλογο της ακτίνας (δηλ. της απόστασης του εργαλείου από τη βάση).

#### 2.9.3.4 Αρθρωτά Ρομπότ

Είναι επίσης γνωστά και ως *ανθρωπομορφικά ρομπότ* ή *ρομπότ αρθρωτού βραχίονα* (jointed-arm robot). Διαθέτουν μόνο περιστροφικές αρθρώσεις και εκτελούν κινήσεις όμοιες με τις κινήσεις ενός ανθρώπου. Ένα ανθρωπομορφικό ρομπότ έχει περιστροφικές αρθρώσεις (που καλούνται ώμος και αγκώνας) τοποθετημένες πάνω σε μία περιστρεφόμενη βάση έτσι ώστε να παρέχονται τρεις κύριοι άξονες κίνησης (Σχήμα 2-1δ).

Τα πλεονεκτήματα των αρθρωτών ρομπότ είναι:

- Ευελιξία προσέγγισης πάνω ή κάτω από ένα αντικείμενο.
- Συμβατότητα συνεργασίας με άλλα ρομπότ σε κοινό χώρο εργασίας.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

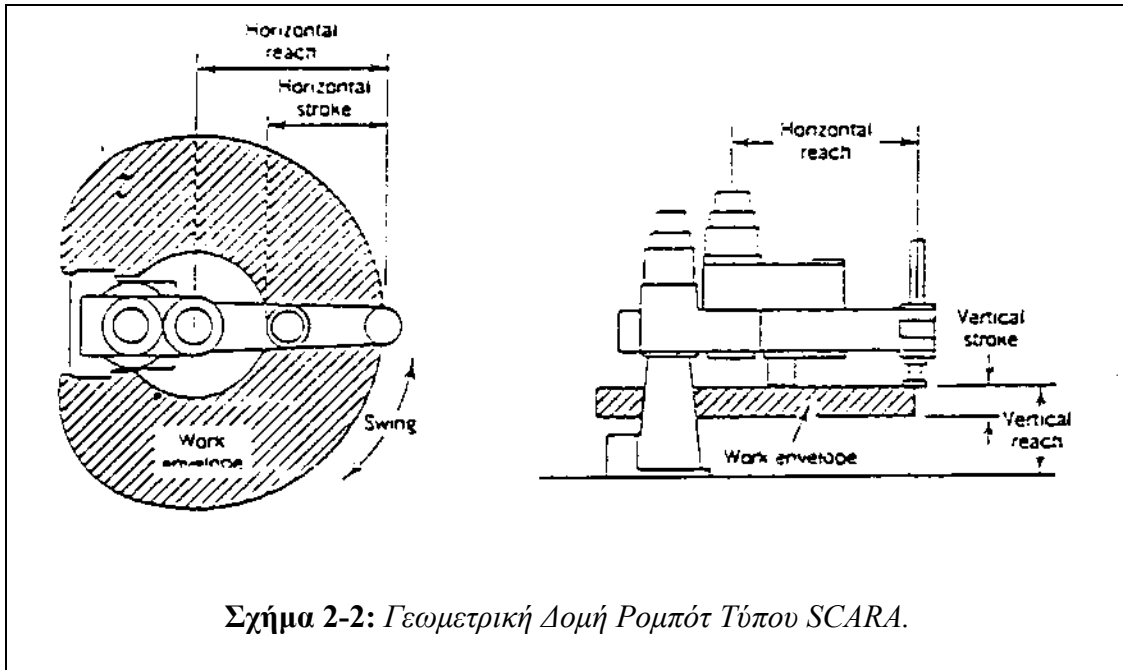
- Χαμηλή διακριτική ικανότητα και ακρίβεια, και άρα, μέγιστο σφάλμα τοποθέτησης.
- Μεγάλες και μεταβλητές ροπές στις αρθρώσεις δημιουργούν πρόβλημα εξισορρόπησης.
- Περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων.
- Μεγάλες ροπές αδρανείας, επιδράσεις βαρύτητας, και δυναμική αστάθεια (δηλ. δονήσεις).

#### 2.9.3.5 Ρομπότ Τύπου SCARA

Το ρομπότ τύπου SCARA (Selective Compliance ARm for Assembly - Ρομποτικός Βραχίονας Συναρμολόγησης με Επιλεκτική Συμμόρφωση), είναι ένας ρομποτικός σχηματισμός οριζόντιας περιστροφής ο οποίος σχεδιάστηκε στο Πανεπιστήμιο Yamamachi της Ιαπωνίας. Ο βραχίονας, ο οποίος έχει μέγεθος όσο και το τραπέζι εργασίας, σαρώνει μία περιοχή εξαρτημάτων και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εργασίες ανάκτησης και τοποθέτησης μικρών αντικειμένων.

Ένα ρομπότ SCARA είναι κατά βάση μία δομή ανθρωπομορφική (αρθρωτός βραχίονας) που λειτουργεί σε ένα οριζόντιο επίπεδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-2. Έχει συνήθως δύο ή τρεις οριζόντιες σερβοελεγχόμενες αρθρώσεις (ώμος, αγκώνας, και ορισμένες φορές καρπός), και έναν κάθετο, σερβοελεγχόμενο ή μη άξονα.



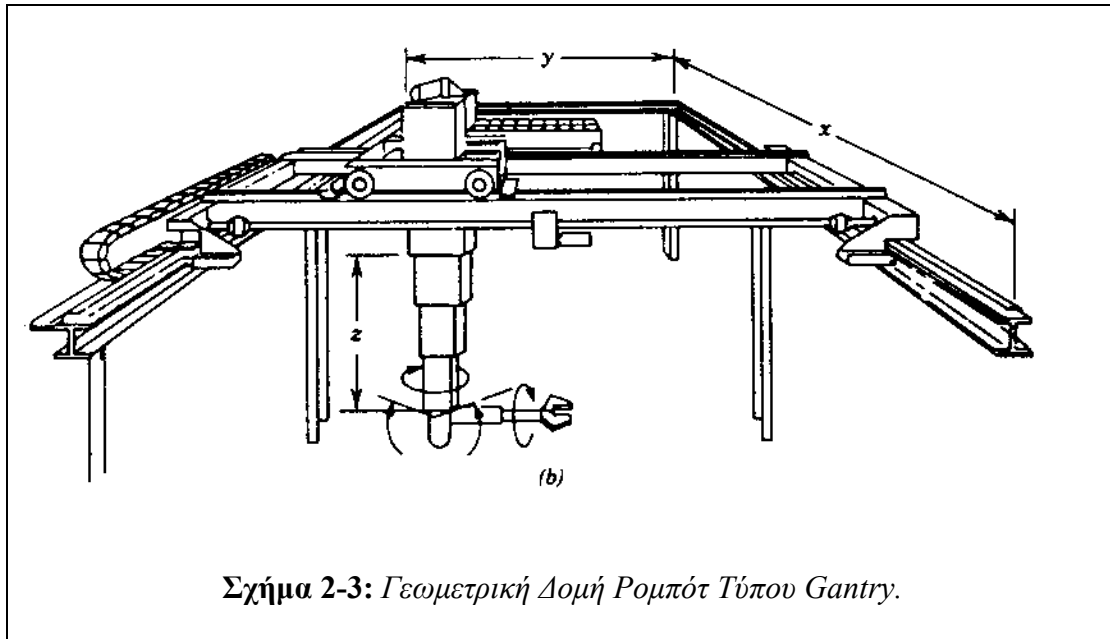


Διακόπτοντας την παροχή και “χαλαρώνοντας” μία ή περισσότερες από τις οριζόντιες αρθρώσεις, η ρομποτική δομή μπορεί να συμμορφωθεί σε εξωτερικές δυνάμεις, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται από τη βαρύτητα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορούν να εκτελεσθούν εργασίες εισαγωγής αντικειμένων πολύ αυστηρών ανοχών, όταν δηλαδή ο βραχίονας κινείται από εξωτερικές δυνάμεις για να αντισταθμίσει μικρά σφάλματα τοποθέτησης.

#### 2.9.3.6 Ρομπότ Τύπου Gantry

Αυτά είναι ορθογωνικά ρομπότ με τρεις βαθμούς ελευθερίας κατ’ ελάχιστο και έξι κατά μέγιστο, τοποθετημένα στην οροφή. Ρομπότ τοποθετημένα σε πάγκους εργασίας με σχεδιασμό gantry δεν περιλαμβάνονται συνήθως στον ορισμό αυτό. Ένα ρομπότ gantry μπορεί να κινηθεί κατά τους άξονες x και y διανύοντας σχετικά μεγαλύτερες αποστάσεις από ένα ρομπότ τοποθετημένο στο δάπεδο με υψηλές ταχύτητες, ενώ ταυτόχρονα παρέχει και πολύ υψηλό βαθμό ακρίβειας τοποθέτησης. Τα χαρακτηριστικά του ρομπότ gantry περιλαμβάνουν μεγάλους χώρους εργασίας, ικανότητα ανύψωσης μεγάλων φορτίων, κινητή τοποθέτηση στην οροφή, και τη δυνατότητα και ευελιξία λειτουργίας σε ένα χώρο εργασίας ισοδύναμο με αυτόν πολλών ρομπότ δαπέδου. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 2-3.

Οι άξονες x, y, και z, ενός ρομπότ gantry απαρτίζονται από τις ακόλουθες συνιστώσες:



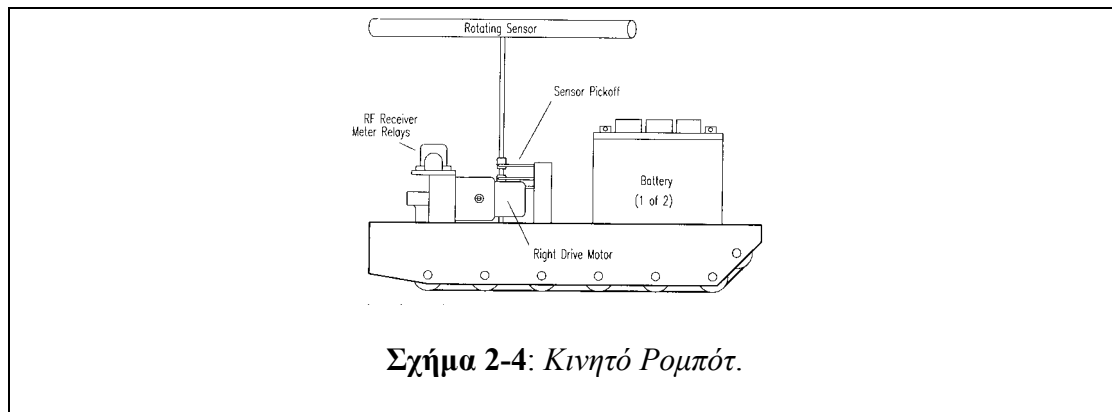
**Σχήμα 2-3: Γεωμετρική Δομή Ρομπότ Τύπου Gantry.**

- Άξονας  $x$ . Ταχεία Ολίσθηση (*runway*). Αυτός είναι ο επιμήκης άξονας, συνήθως αποτελούμενος από τις παθητικές πλάγιες ράβδους της υπερδομής του ρομπότ gantry.
- Άξονας  $y$ . Γέφυρωση (*bridge*). Αυτός είναι ο εγκάρσιος άξονας, το ενεργητικό στοιχείο του ρομπότ, ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω στις ράβδους ταχείας ολίσθησης και υποστηρίζει το φορτίο του ρομπότ gantry.
- Άξονας  $z$ . Τηλεσκοπικός Σωλήνας ή Ιστό (mast). Αυτός είναι ο κάθετος άξονας που ανυψώνει το φορτίο.

Το ρομπότ gantry δεν είναι πάντοτε ένα μοναδικό γεωμετρικό σύστημα ή ένα σύστημα συντεταγμένων. Μπορεί να είναι ένας από τους ρομποτικούς σχηματισμούς που περιγράφηκαν προηγουμένως και ο οποίος είναι τοποθετημένος σε μία υπερυψωμένη θέση πάνω από το χώρο εργασίας. Αν και οποιοδήποτε ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο, τα πιο συνηθισμένα ρομπότ τύπου gantry είναι ορθογωνικά.

#### 2.9.3.7 Κινητά Ρομπότ

Τα περισσότερα κινητά ρομπότ είναι τοποθετημένα πάνω σε τροχούς. Σήμερα δεν υπάρχει ακόμη συστηματική παραγωγή βιομηχανικών ρομπότ με τροχούς, αν και υπάρχει η ανάγκη για κινητικότητα σε εργοστασιακούς χώρους. Έχουν ωστόσο δημιουργηθεί πειραματικά και ερευνητικά ρομπότ με τροχούς. Εξάλλου σε πειραματικό στάδιο υπάρχουν κινητά ρομπότ με ερπύστριες ή ρομπότ με τέσσερα έως έξι πόδια (*legged robots*), έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να κινηθεί σε ανώμαλα



**Σχήμα 2-4:** Κινητό Ρομπότ.

εδάφη. Τα ρομπότ αυτά έχουν αναπτυχθεί για εξερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Τέλος έχουν αναπτυχθεί σε πρωταρχικό στάδιο ρομπότ με δύο πόδια προκειμένου να μιμηθούν τις ανθρώπινες κινήσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τα ρομπότ αυτά είναι η διατήρηση της ισορροπίας έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να παραμένει όρθιο ενώ εκτελεί κάποια εργασία. Επίσης πρόβλημα αποτελεί και η παροχή ισχύος για ένα τέτοιο μηχανισμό. Ένα τυπικό παράδειγμα κινητού ρομπότ απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4.

#### 2.9.4 Τύπος Προσδοκώμενης (Εξειδικευμένης) Εφαρμογής

Μία άλλη κατηγορία ταξινόμησης η οποία χρησιμοποιείται συχνά, είναι η προσδοκώμενη εφαρμογή του ρομπότ. Τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ έχουν τέτοιο σχεδιασμό έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία ποικιλία εφαρμογών. Αντίστροφα, οι περισσότερες εφαρμογές μπορούν να εκτελεστούν από μία ποικιλία ρομπότ. Ορισμένες εφαρμογές, ωστόσο, έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά και/ή απαιτήσεις, για τις οποίες τα ρομπότ έχουν ειδικά σχεδιασθεί. Αυτές περιλαμβάνουν τη βαφή, τη συναρμολόγηση, τις εργασίες “θαλάμων κενού” (clean-room), και την εκπαίδευση/έρευνα.

##### 2.9.4.1 Ρομπότ Βαφής

Τα ρομπότ βαφής είναι όλα σερβοελεγχόμενα και συνεχούς τροχιάς. Οι δομές των χειριστών είναι σχεδιασμένες για μικρό βάρος, μικρή αδράνεια, και μεγάλη στερεότητα (rigidity) έτσι ώστε να μπορούν να επαναλάβουν πολύπλοκες τροχιές με ταχύτητες μέχρι 2 m/sec. Η πιο συνήθης γεωμετρία για ρομπότ βαφής είναι η ανθρωπομορφική.

##### 2.9.4.2 Ρομπότ Συναρμολόγησης

Οι εργασίες συναρμολόγησης εμπλέκουν ρομπότ που τοποθετούν αντικείμενα μεταξύ τους σύμφωνα με μία προ-προγραμματισμένη ακολουθία κινήσεων. Αν και η συναρμολόγηση περιλαμβάνει και μηχανικά κομμάτια οποιασδήποτε μορφής, οι περισσότερες ρομποτικές συναρμολογήσεις σήμερα είναι εισαγωγές ηλεκτρονικών συνιστωσών σε τυπωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα στις βιομηχανίες ηλεκτρονικών προϊόντων.

#### 2.9.4.3 Ρομπότ Εφαρμογών Θαλάμων Κενού

Στην έρευνα καθώς και στη βιομηχανία κατασκευής ημιαγωγών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, οι περισσότερες επεξεργασίες πραγματοποιούνται σε περιβάλλοντα απαλλαγμένα από κάθε είδους (στο μέτρο του εφικτού) πρόσμιξη στον αέρα, όπου και οι διαδικασίες εξαερισμού ελέγχονται αυστηρά.

#### 2.9.4.4 Ρομπότ Εκπαίδευσης/Έρευνας

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την εκπαίδευση είναι γενικά χαμηλού κόστους, μικρά σε μέγεθος και βάρος, καθώς δεν υπάρχουν συνήθως απαιτήσεις απόδοσης και χαρακτηριστικών. Μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε ένα γραφείο ή τραπέζι προκειμένου να επιδειχθούν για θεωρία, εφαρμογές, και προγραμματισμό.

#### 2.9.5 Τύπος Μετάδοσης Κίνησης

Τα ρομπότ επίσης ταξινομούνται ανάλογα με τη μέθοδο παροχής ισχύος για κίνηση. Οι κυριότεροι από τους υπάρχοντες τύπους κινητήρων είναι οι πνευματικοί, οι υδραυλικοί ή ηλεκτροϋδραυλικοί, και οι ηλεκτρικοί. Οι τύποι αυτοί περιγράφονται στη συνέχεια.

##### 2.9.5.1 Πνευματικοί Κινητήρες

Τα περισσότερα ρομπότ εργασιών ανάκτησης και τοποθέτησης λειτουργούν με *αεροσυμπιεστές* (air-compressors). Αυτό επιτρέπει την εκτέλεση απλών, επαναληπτικών κινήσεων, με ελάχιστο κόστος. Η έκταση ή συσπείρωση ενός μέλους του βραχίονα, ή η περιστροφή μίας άρθρωσης πραγματοποιείται από απλά ή διπλά έμβολα αέρα. Τα απλά έμβολα είναι η φθηνότερη μέθοδος και είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν και προς τις δύο κατευθύνσεις με τη βοήθεια *επανατατικού ελατηρίου* (return spring).

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών κινητήρων είναι:

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης.
- Διαθεσιμότητα συμπιεσμένου αέρα στην παραγωγική μονάδα.
- Μεγάλη ακρίβεια με μηχανικά όρια.
- Απλός ελεγκτής.
- Αξιοπιστία.
- Μείωση πιθανότητας ρευμάτων διαρροής / ηλεκτροπληξίας.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Περιορισμένες κινήσεις.
- Δυσκολία επαναπρογραμματισμού (πολύ χρονοβόρα).
- Περιορισμένος αριθμός προγραμμάτων.
- Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου και συνεπώς μη ελεγχόμενη κίνηση (αδυναμία ελέγχου θέσης και ταχύτητας).
- Χαμηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα η οποία μειώνεται λόγω φθοράς των εξαρτημάτων.
- Θορυβώδη.
- Η τοποθέτηση του ρομπότ μεταβάλλεται με τη δυνατότητα παροχής αέρα.

#### 2.9.5.2 Υδραυλικοί ή Ηλεκτροϋδραυλικοί Κινητήρες

Ρομπότ που χρησιμοποιούν κινητήρες αυτού του τύπου αναφέρονται απλά ως *υδραυλικά* ρομπότ και είναι ιδιαίτερα ισχυρά και γρήγορα. Συνήθως, ένας ηλεκτρικός κινητήρας - τριφασικού τυλίγματος - χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της υδραυλικής αντλίας. Επίσης, οι υδραυλικές σερβοβαλβίδες εκκινούνται ηλεκτρικά. Παρά τις ηλεκτρικές αυτές απαιτήσεις, η κινητήρια δύναμη παράγεται ολοκληρωτικά από έμβολα λαδιού τα οποία μεταβάλλουν τη θέση μίας άρθρωσης γραμμικά ή περιστροφικά. Οι συσκευές αυτές, εν συνεχεία, είναι συνδεδεμένες με τους συνδέσμους ή τις αρθρώσεις του ρομπότ και παρέχουν την απαραίτητη δύναμη για μία συγκεκριμένη κίνηση.

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών είναι:

- Ο υψηλότερος λόγος ισχύος προς βάρος από κάθε άλλο τρόπο μετάδοσης κίνησης.

- Υψηλή ταχύτητα και μηχανική απλότητα.
- Πολύ γρήγορη απόκριση.
- Διαθέτουν ανάδραση θέσης και ταχύτητας.
- Αξιοπιστία (μικρός αριθμός βλαβών κατά τη διάρκεια ζωής τους).
- Κατασκευαστική τυποποίηση.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Επικίνδυνα για τον άνθρωπο εάν ο σωλήνας τροφοδοσίας σπάσει (κρουστική πίεση).
- Το λάδι απαιτεί ιδιαίτερα καλό φιλτράρισμα.
- Διαρροή λαδιού (ενδεχομένως πολύ μικρή) και κίνδυνος ανάφλεξης.
- Σε ψυχρή εκκίνηση, το σύστημα χρειάζεται χρόνο προθέρμανσης.
- Η ακρίβεια επηρεάζεται πάρα πολύ από τις θερμοκρασιακές συνθήκες.
- Περιορισμένη χρήση στη βιομηχανία τροφίμων εξαιτίας της τοξικότητας του λαδιού.
- Απαιτήση για μεγάλο χώρο εγκατάστασης και συντήρησης.
- Το ρομπότ “σκύβει” (droops) αργά όταν διακοπεί η παροχή ισχύος.

### 2.9.5.3 Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Τα ρομπότ με κινητήρες αυτού του τύπου τροφοδοτούνται συνήθως από σερβοκινητήρες *συνεχούς ρεύματος* (DC), αν και ένας περιορισμένος αριθμός κατασκευαστών χρησιμοποιεί σερβοκινητήρες *εναλασσόμενου ρεύματος* (AC), ή ακόμη και *βηματικούς κινητήρες* (step motors). Η ηλεκτρική παροχή είναι ίσως η πιο συχνή από τους τρεις τύπους κινητήρων και ο σερβομηχανισμός συνεχούς ρεύματος είναι ο πιο κοινός τύπος ηλεκτρικού κινητήρα.

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι:

- Παρέχουν πολύ υψηλή ακρίβεια θέσης και επαναληψιμότητα.
- Παραμένουν σε σταθερή θέση ακόμη και όταν διακοπεί η ισχύς.
- Η ανάδραση θέσης και ταχύτητας υλοποιούνται ιδιαίτερα απλά.
- Η σχεδίαση του συστήματος με γραμμική συμπεριφορά επιτυγχάνεται εύκολα.

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες (ψύχος, υψηλή θερμοκρασία, κλπ.).
- Το καλώδιο ισχύος είναι ασφαλές - δεν ανοίγει όπως ο σωλήνας μίας γραμμής λαδιού.
- Αθόρυβα και φθηνά.

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- Ο λόγος ισχύος προς βάρος είναι κατώτερος των υδραυλικών (οι βηματικοί κινητήρες έχουν το μικρότερο λόγο).
- Χαμηλή ταχύτητα.
- Απαιτείται ψύξη του κινητήρα, αυξάνοντας έτσι το μέγεθός του.
- Οι βηματικοί κινητήρες θερμαίνονται ιδιαίτερα.
- Ο σερβοκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ο πιο πολύπλοκος.
- Έχουν την πιο αργή απόκριση από όλους τους τύπους κινητήρων.
- Σχεδόν όλοι οι κινητήρες απαιτούν γρανάζια για ταίριασμα των μηχανικών φορτίων.
- Ένας ηλεκτρικός κινητήρας με την ίδια ισχύ όπως ένας υδραυλικός συνήθως καταλαμβάνει περισσότερο χώρο.

#### 2.9.6 Άλλες Ταξινομήσεις

Η Ένωση Ρομποτικών Βιομηχανιών (Robotic Industries Association - RIA) διεξάγει μία ετήσια απογραφή του παγκόσμιου ρομποτικού πληθυσμού και δημοσιεύει την *Παγκόσμια Ρομποτική Επιθεώρηση και Κατάλογο (Worldwide Robotics Survey and Directory)*. Σε αυτήν, ο ρομποτικός πληθυσμός διαχωρίζεται κατά τύπο στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1. Επαναπρογραμματιζόμενα, σερβοελεγχόμενα, συνεχούς τροχιάς.
2. Επαναπρογραμματιζόμενα, σερβοελεγχόμενα, σημείου προς σημείο.
3. Επαναπρογραμματιζόμενα, μη σερβοελεγχόμενα, σημείου προς σημείο.

Επιλέον, αναφέρεται ο πληθυσμός κατά εφαρμογή, ο οποίος περιλαμβάνει: Σημειακή συγκόλληση, συγκόλληση τόξου, βαφή/επικάλυψη, φινίρισμα, συναρμολόγηση,

φόρτωση/εκφόρτωση, διαχείριση υλικών, χυτήρια, κλπ. Τέλος, άν και δεν υπάρχουν επίσημα πρότυπα για την ταξινόμηση ρομπότ σε παγκόσμιο επίπεδο, αρκετοί οργανισμοί αναπτύσσουν σήμερα ανεπίσημα πρότυπα ταξινόμησης, ενώ τοπικά πρότυπα έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία και αλλού. Στις Η.Π.Α., η *Αμερικανική Ένωση Δοκιμών και Υλικών* (American Society for Testing and Materials - ASTM), έχει εκδώσει έναν *Οδηγό Ταξινόμησης Ρομπότ*, ο οποίος ταξινομεί τα βιομηχανικά ρομπότ κατά<sup>5</sup>:

- *Πρωτεύουσες Πηγές Τροφοδοσίας*
- *Είδος Ελέγχου Κίνησης*
- *Ικανότητα Ανύψωσης*
- *Μέθοδο Προγραμματισμού*
- *Γεωμετρία*
- *Βαθμούς Ελευθερίας*
- *Εφαρμογή*

---

<sup>5</sup> *Robot Classification Guide*, American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM Draft Standard FXXX-XX (Jurisdiction F28.03), Oct. 21, 1985.



### **3. ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Η/Υ.**

Τα τελευταία 30 χρόνια παρατηρείται μια ολοένα και αυξανόμενη χρήση των ρομπότ και των Η/Υ στη βιομηχανία. Τα δύο εργαλεία αυτά είναι σαφές ότι είναι συνδεδεμένα με το μέλλον όχι μόνο της βιομηχανίας αλλά και όλων των ειδών των επιχειρήσεων, της κρατικής οργάνωσης αλλά και της κοινωνίας γενικότερα. Το ερώτημα που τίθεται είναι πως μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε την χρήση αυτών των εργαλείων. Στη βιομηχανία η απάντηση βρίσκεται στην ολοκλήρωση των συστημάτων, δηλαδή στην ενοποίηση όλων των συστημάτων παραγωγής σε ένα ενιαίο υπερσύστημα το οποίο θα λειτουργεί με την ελάχιστη παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Επειδή αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί μονομιάς, το ενδιάμεσο βήμα είναι η “δημιουργία νησίδων αυτοματισμού”, δηλαδή υποσυστημάτων της παραγωγικής ομάδας τα οποία θα είναι επαρκώς αυτοματοποιημένα και θα δουλεύουν με την ελάχιστη ή και χωρίς τη βοήθεια του ανθρώπου.

Η παραγωγή με την ολοκλήρωση ηλεκτρονικών υπολογιστών, (Computer Integrated Manufacture CIM) είναι το μέσο προς την συνολική ολοκλήρωση των συστημάτων. Οι ιδέες που περικλείει ο όρος CIM οδηγούν στο όραμα που έχουμε ονομάσει “εργοστάσιο του μέλλοντος” το οποίο θα προσδιορίσουμε παρακάτω. Ένα από τα δυνατά εργαλεία και τις τεχνικές που θα οδηγήσουν στην ολοκλήρωση και στην υλοποίηση αυτού του στόχου είναι τα πλασματικά κύτταρα η λογική των οποίων αναπτύσσεται εκτενώς στην εργασία αυτή. Ας γυρίσουμε όμως λίγο πίσω και ας προσπαθήσουμε να αποσαφηνίσουμε τους παραπάνω όρους και ιδέες ξεκινώντας με μια προσπάθεια ορισμού του όρου CIM.

#### **3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο**

Ο όρος CIM έχει χαρακτηριστεί ως παραπλήσιος του όρου CAM (computer aided manufacturing) ενώ θεωρείται ως η ενοποίηση των νησίδων αυτοματισμού.

Ένα σύστημα CIM έχει πολλές εφαρμογές και πολύ συγκεκριμένες απαιτήσεις σε εξοπλισμό, λογισμικό, συστήματα παραγωγής, αυτοματισμούς αυτοματοποιημένη βιομηχανική σχεδίαση κλπ. Οι ιδέες του CIM εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στη βιομηχανία και αντιμετωπίζουν τις άλλες μορφές της επιχειρηματικής δραστηριότητας σαν διαδικασίες που υποστηρίζουν την παραγωγή.

Μπορεί να διατυπωθεί ότι ένα σύστημα CIM ενώνει όλες τις στατικές και δυναμικές πληροφορίες που αφορούν ένα συγκεκριμένο προϊόν, από τη φάση της σχεδίασης μέχρι τη φάση του φινιρίσματος αλλά και της διανομής του χωρίς να μεσολαβεί ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αρχές των συστημάτων δεν αναφέρονται στενά σε μεγάλες εταιρείες, αλλά έχουν εφαρμογή σε όλες τις εκφράσεις της επιχειρηματικής δραστηριότητας και όχι μόνο στη βιομηχανία.

### **3.2 Φύση του αντικειμένου**

Το εύλογο ερώτημα που τίθεται τώρα είναι ο καθορισμός των αναμενόμενων επιπέδων ολοκλήρωσης. Εδώ πρέπει να γίνει σαφές ότι η εφαρμογή ενός συστήματος CIM αφορά όλη την οντότητα μιας επιχειρηματικής δραστηριότητας και απαιτούνται βαθιές γνώσεις για να επιτευχθεί.

Στο μέλλον όταν θα υπάρχει η ανάλογη υποδομή αυτό θα γίνεται αυτόματα και εύκολα με τη χρήση έμπειρων συστημάτων, τεχνητής νοημοσύνης καθώς και μια νέας γενιάς λογισμικού. Σήμερα όμως οι τομείς που θα εφαρμοστεί η ολοκλήρωση πρέπει να επιλεγούν προσεχτικά βάση επιχειρηματικών και οικονομοτεχνικών κριτηρίων.

Ένα βασικό ερώτημα που τίθεται κατά τη διαδικασία αυτή είναι πια συστήματα πρέπει να μοιράζονται πληροφορίες και γιατί. Είναι λάθος να πιστεύει κανείς ότι όλα τα συστήματα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες. Επιτυχία είναι να επιτευχθεί συγχρονισμός της ροής πληροφοριών με αυτήν της παραγωγής.

Για τις περισσότερες εταιρείες το πρώτο βήμα όσον αφορά την ενοποίηση των συστημάτων είναι η ενοποίηση του ελέγχου της παραγωγής, του χρονικού προγραμματισμού και της παραγωγής. Μετά ακολουθεί η επιμέρους ενοποίηση του

κατασκευαστικού τμήματος, της προώθησης και του χρηματοοικονομικού τομέα. Τελευταία πολλές εταιρείες, αλλά και η ακαδημαϊκή κοινότητα ασχολούνται με την ενοποίηση του σχεδιαστικού και του κατασκευαστικού τμήματος της παραγωγής. Μια τέτοια κατεύθυνση μπορεί να αποτελεί και η συνεργασία μέσα στο Πολυτεχνείο Κρήτης των εργαστηρίων CAM και CAD. Πρακτικά αυτό σημαίνει σχεδίαση ενός δοκιμίου σε ένα σύστημα CAD και παραλαβή του έτοιμου προϊόντος από το εργαστήριο του CAM. Αυτό θα επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου λογισμικού που θα παράγει από το σχέδιο σε ηλεκτρονική μορφή τους απαιτούμενους κώδικες αριθμητικού ελέγχου και ότι άλλο χρειάζεται ώστε να δουλεύει αυτοματοποιημένα ένα FMS ή γενικότερα μια γραμμή παραγωγής.

Ένα τέτοιο λογισμικό έχει αναπτύξει, για παράδειγμα, η γνωστή Αμερικάνικη εταιρεία λογισμικού Autodesk η οποία ασχολείται με σχεδιαστικά πακέτα και προϊόντα της είναι το AutoCAD, τα περιβάλλοντα φωτορεαλιστικής απόδοσης 3D Studio και Autovision, πακέτα που επιτυγχάνουν παραμετρική σχεδίαση κλπ. Συνοψίζοντας όμως θα πούμε ότι στη γενική περίπτωση η ενοποίηση της παραγωγής επιτυγχάνεται με τη βοήθεια συνδυασμένων CAD/CAE/CAM/CAPP συστημάτων

### **3.3 Άλλοι παράγοντες που λαμβάνει υπόψη του ένα σύστημα CIM**

Κατά τη δόμηση και οργάνωση ενός συστήματος CIM εκτός από την διαχείριση των δεδομένων πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αρχιτεκτονική των συστημάτων. Στον όρο αυτό εμπεριέχονται τα υπάρχοντα δίκτυα, τα πρωτόκολλα, οι γλώσσες και τα συστήματα διαχείρισης. Θα ασχοληθούμε με το πόσο επηρεάζει η αρχιτεκτονική ενός συστήματος τη στρατηγική ενός συστήματος CIM.

Η αρχιτεκτονική επηρεάζει την αποτελεσματική επικοινωνία των υποσυστημάτων που συνθέτουν την παραγωγική μονάδα, καθότι αφορά τη διαχείριση του συστήματος που αποτελείται από πολλούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Η περίπτωση αυτή συναντάται σαν στοιχειώδης μορφή οργάνωσης, στις περισσότερες παραγωγικές μονάδες. Η πιο διαδεδομένη αρχιτεκτονική βασίζεται στη λογική ιεραρχία που

αποτελείται από 6 συνήθως επίπεδα ελέγχου<sup>6</sup>. Ο αριθμός, η ονομασία και η λειτουργία του κάθε επιπέδου διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία.

Ένα σύστημα λαμβάνει επίσης υπόψιν του πως συνδέονται οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές με τα περιφερειακά στοιχεία. Υπάρχουν δύο βασικά είδη συνδεσμολογίας: από σημείο σε σημείο ή πολυσημιακή. Η δεύτερη είναι και αυτή που προτιμάται σήμερα στην παραγωγή, γιατί είναι σαφές πως συγκεκριμένες πληροφορίες είναι απαραίτητες σε πολλά στάδια της παραγωγής και επίσης μειώνεται αισθητά το κόστος καλωδίωσης. Εδώ πρέπει να πει κανείς ότι το δύσκολο δεν είναι να προστεθεί ένας αυτοματισμός π.χ. ένα ρομπότ στη γραμμή παραγωγής αλλά να τροφοδοτείται και να επιστρέφει τις κατάλληλες πληροφορίες το κατάλληλο ρομπότ την σωστή στιγμή. Η διαπίστωση αυτή αποδεικνύει τη σημασία των εργοστασιακών επικοινωνιών. Είναι προφανές ότι είναι απαραίτητη η τυποποίηση και η εφαρμογή των αρχών της ολικής ποιότητας στο σημείο αυτό. Η τυποποίηση σύμφωνα με ένα σύστημα προτύπων (ίσως ISO) θα ήταν απαραίτητη. Οι εργοστασιακές επικοινωνίες είναι ένα σημαντικό βήμα στην προσπάθεια επίτευξης μιας πραγματικής ενοποίησης.

### **3.4 Ματιά στο μέλλον**

Τα συστήματα CIM βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο αν και αρκετοί υποστηρίζουν ότι υπάρχουν ήδη τα απαραίτητα συστατικά στοιχεία για την εφαρμογή τους, υποστηρίζουν επίσης ότι βρισκόμαστε λίγο πριν την δημιουργία των εργοστασίων του μέλλοντος. Η αλήθεια είναι ότι πολλά κομμάτια του παζλ δεν θα είναι διαθέσιμα στο άμεσο μέλλον. Η διαπίστωση αυτή βέβαια δεν πρέπει να αποτρέψει κανέναν από την προσπάθεια επίτευξης των αρχών της στρατηγικής CIM. Η πείρα άλλωστε δείχνει ότι η σταδιακή προσέγγιση είναι ο καλύτερος δρόμος για την εφαρμογή καινούργιας τεχνολογίας. Τα λάθη και ο κίνδυνος μειώνεται άμα υπάρχει ένας χρόνος αναμονής. Ο χρόνος βέβαια πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μην μένει κανείς πίσω από τον ανταγωνισμό.

---

<sup>6</sup> Phillip P. Andrews, Bruce McCarrol "Integration, robots and CIM" Society of Manufacturing Engineers, Management Guide for CIM, CASA of SME, 1986

Όσον αφορά το μέλλον μπορεί κανείς να προβλέψει ότι η βιομηχανική τεχνολογία θα συνεχίσει να βελτιώνεται με καινούριες ιδέες. Η τυποποίηση των τηλεπικοινωνιών και των συστημάτων υποστήριξης απόφασης θα συμβάλλουν στην κατεύθυνση αυτή. Είναι σίγουρο ότι η τυποποίηση πρόκειται να παίξει σημαντικό ρόλο στην παροχή λύσεων στα ζητήματα παραγωγής. Με την προσθήκη κάθε καινούργιου συστήματος η ενοποίηση και η επικοινωνία γίνεται ολοένα και πιο πολύπλοκο ζήτημα. Για το λόγο αυτό χρειάζεται η δημιουργία του ανάλογου λογισμικού που θα αποτελεί τη γέφυρα συνεργασίας με τα προϋπάρχοντα συστήματα.

### **3.5 Συμπεράσματα**

Από τα όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα μπορεί κανείς να σχηματίσει την αντίληψη ότι ο όρος CIM δεν έχει όρια. Πράγματι, τα πιθανά μοντέλα των συστημάτων CIM είναι πάρα πολλά. Η σωστή επιλογή εξοπλισμού και λογισμικού θα καθορίσει ή όχι την επιτυχία του συστήματος.

Η εφαρμογή συστημάτων CIM είναι μια αποφασιστική επιλογή σε μια εταιρεία. Οι επιχειρήσεις που θα διαλέξουν αυτό το δρόμο πρέπει να είναι πρόθυμες να αντιμετωπίσουν μεγάλες αλλαγές στη δομή της οργάνωσης τους και στην κουλτούρα του τρόπου δουλειάς τους. Κάποιες από τις υποσχέσεις του CIM, όπως η εξαφάνιση της χαρτοδουλειάς στην παραγωγή και η μείωση του ανθρώπινου δυναμικού είναι ιδέες που έρχονται σε σύγκρουση με τις παραδοσιακές αξίες.

Το τελικό ερώτημα που τίθεται είναι το κόστος της εφαρμογής ενός συστήματος CIM. Το κόστος αυτό θα είναι πιθανότατα θα είναι πολύ υψηλό. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δύσκολο να υπολογιστεί η απόδοση και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης. Όμως τα οφέλη είναι μακροπρόθεσμα και δεν μπορούν να υπολογιστούν με τις κλασικές προσεγγίσεις. Καλό θα είναι η ενοποίηση των συστημάτων να γίνει προοδευτικά και μελετημένα. Αυτό θα μειώσει τον κίνδυνο και πιθανά μεταγενέστερα λάθη.

## **4. ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Η σύλληψη των συστημάτων VCM προέρχεται από την έννοια του πλασματικού κυττάρου που παρουσιάστηκε από τον McLean (1982) του Αμερικάνικου Οργανισμού Τυποποίησης. Η περίπτωση των γραμμών παραγωγής των Μύλων Κρήτης μπορεί να προσεγγιστεί σαν μια σχετικά απλή περίπτωση εφαρμογής των αρχών της στρατηγικής των πλασματικών κυττάρων. Εδώ θα περιγράψουμε το βιομηχανικό περιβάλλον όπου οι ιδέες των VCM θα είναι άμεσα εφαρμόσιμες. Οι συνθήκες που θα περιγραφούν ίσως να μην υφίστανται σήμερα αλλά λέγεται από πολλούς ότι δεν είμαστε πολύ μακριά τους.

### **4.1 Το περιβάλλον που οραματιζόμαστε για τα VCM**

Πρέπει να εστιάσουμε την προσοχή μας σε ένα τύπο εργοστασίου με τουλάχιστον 20 σταθμούς παραγωγής υψηλής παραγωγικότητας που αποτελούνται από αυτοματοποιημένα μηχανήματα και ένα αυτόματο σύστημα διαχείρισης υλικών. Το εργοστάσιο λειτουργεί υπό των έλεγχο κομπιούτερ με την just-in-time λογική.

Ένα τυπικό κέλυφος εργασίας μπορεί να αποτελείται π.χ. από 3 τόνους, ένα ρομπότ, μία μεταφορική ταινία στην είσοδο και μία στην έξοδο. Σε σταθμούς εργασίας αυτού του τύπου πολλές εργασίες όπως φόρτωση, εκφόρτωση, κατεργασία, επικοινωνία και καθαρισμός γίνονται παράλληλα.

Οι μηχανές αναμένεται να είναι πιο ευπροσάρμοστες από τις σημερινές. Σήμερα ήδη υπάρχουν πολυμηχανές που πραγματοποιούν τόννευση, διάτρηση και φρεζάρισμα. Για παράδειγμα στη βιομηχανία μεταλλοκατασκευών εκτιμάται ότι δεν θα υπάρχουν πάνω από 5 τύποι σταθμών εργασίας. Ένα αποτέλεσμα της ευελιξίας αυτής των μηχανών θα είναι το ότι τα προϊόντα δεν θα χρειάζεται να περνούν από τόσους σταθμούς παραγωγής όπως παλιά.

Όσον αφορά τα προϊόντα θα έχουν πιο φυσικό και απλό σχεδιασμό. Αυτό είναι αποτέλεσμα της σχεδιαστικής φιλοσοφίας που θέλει τα προϊόντα με λιγότερα και πιο

τυποποιημένα συστατικά στοιχεία με σκοπό την απλούστευση της διαδικασίας αυτοματοποίησης. Αυτό ακριβώς είναι και το αντικείμενο της τεχνολογίας ομαδοποίησης που θα αναπτύξουμε παρακάτω.<sup>7</sup>

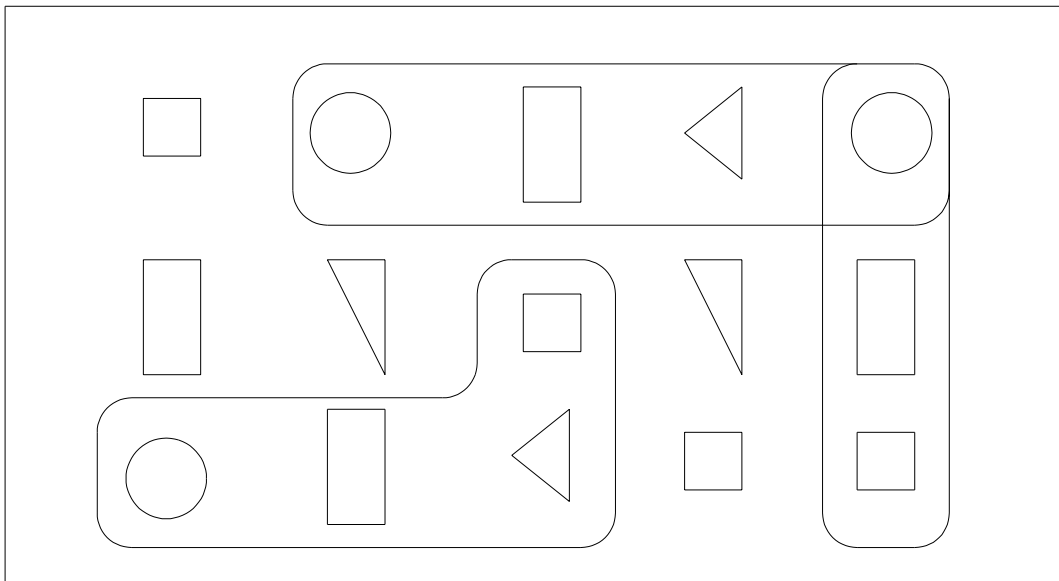
Αποτέλεσμα της αύξησης των ταχυτήτων κατεργασίας, είναι ότι ο χρόνος κατεργασίας είναι αρκετά μικρότερος από τον χρόνο διαχείρισης υλικών. Επιπλέον η μείωση του μεγέθους της παρτίδας σε παραγωγή ενός κομματιού αυξάνει δραματικά τις απαιτήσεις στη διαχείριση υλικών παρόλο που τα κομμάτια επισκέπτονται λιγότερους σταθμούς. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί εργασίας που συνεργάζονται πρέπει να όσο πιο κοντά είναι δυνατό.

## **4.2 Συστήματα παραγωγής πλασματικών κυττάρων**

Το πλασματικό κύτταρο είναι μια ομάδα σταθμών εργασίας που ομαδοποιούνται μέσω δεδομένων και διαδικασιών σε ένα μηχανογραφημένο ελεγκτή, γεγονός που δεν σημαίνει ότι οι σταθμοί εργασίας πρέπει να είναι κοντά όπως στην κλασική θεώρηση της οργάνωσης σε κύτταρα. Όταν αποφασιστεί μια εργασία για ένα πλασματικό κύτταρο ένας ελεγκτής πλασματικών κυττάρων αναλαμβάνει τον έλεγχο των σταθμών εργασίας και εγκαθιστά την επικοινωνία ανάμεσα τους. Όταν ένα πλασματικό κύτταρο δεν είναι αναγκαίο πια, τότε ο ελεγκτής πλασματικών κυττάρων παύει να υφίσταται και οι σταθμοί εργασίας επιστρέφουν στον τοπικό έλεγχο. (Σχήμα 1)

---

<sup>7</sup> Nanua Singh, Divakar Rajamani, “Cellular Manufacturing Systems: design, planning and control” Chapman & Hall 1996



Σχήμα 1. Σύστημα VCM 15 σταθμών εργασίας τριών τύπων

Ένα σύστημα VCM οργανώνει και επιβλέπει την παραγωγή μέσω της δυναμικής δημιουργίας και των έλεγχου των προσωρινών πλασματικών κυττάρων. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ένα σύστημα που έχει 15 σταθμούς εργασίας τριών διαφορετικών τύπων. Μια συγκεκριμένη χρονική το σύστημα έχει τρία πλασματικά κύτταρα. Δύο από αυτά μοιράζονται ένα συγκεκριμένο σταθμό εργασίας.

Σε ένα σύστημα VCM, ένα πλασματικό κύτταρο δημιουργείται για να κάνει μια συγκεκριμένη εργασία. Σε μια δεδομένη στιγμή είναι πιθανό το σύστημα παραγωγής να περιέχει πλασματικά κύτταρα που κάποια από αυτά μοιράζονται σταθμούς εργασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα δίκτυο με αρκετά πεπλεγμένες διαδρομές. Είναι σαφές ότι απαιτείται εξελιγμένος έλεγχος του συστήματος για να αποφύγουμε την “έκρηξη” του σύστημα.

### 4.3 Αρχιτεκτονική προγραμματισμού για τα VCMS

Η αρχιτεκτονική απόφασης επιτρέπει τον έλεγχο ενός VCMS προγραμματίζοντας τη δημιουργία, την ενεργοποίηση και τη διάλυση των πλασματικών κυττάρων σε ένα VCMS. Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτοματοποιημένος με τη βοήθεια

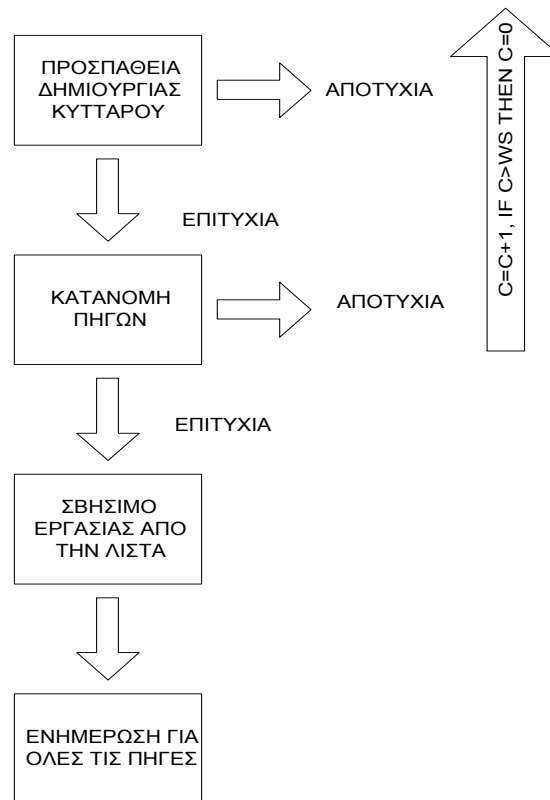


H/Y ή με τη βοήθεια του ανθρώπου. Επίσης μπορεί να επιτευχθεί συνεργασία ανθρώπου με μηχανή κατά την οποία ο άνθρωπος θα παρέχει την πείρα του στον H/Y.

Η εργασία αυτή περιέχει 3 φάσεις. Εν συντομία η πρώτη φάση στοχεύει στην εξέταση των εργασιών που πρέπει να γίνουν. Χρησιμοποιούνται κανόνες προγραμματισμού ανάλογα την περίπτωση, με σκοπό να παραχθεί μια λίστα προτεραιότητας από των προγραμματισμό απαιτήσεων υλικών, τα αρχεία δεδομένων και την λίστα παραγγελιών των πελατών. Στο σχήμα 2α βλέπουμε μία λίστα προτεραιότητας εργασιών ιεραρχημένες βάση μίας ομάδας κανόνων προτεραιότητας. Η δεύτερη φάση είναι η δημιουργία των πλασματικών κυττάρων. Σε αυτή την φάση αναζητείται το βέλτιστο υποσύνολο σταθμών εργασίας για να συμμετέχουν σε μια εργασία. Για το σκοπό αυτό λαμβάνονται υπόψιν, η διαθέσιμη δυναμικότητα και η τοποθέτηση των σταθμών εργασίας μέσα στο χώρο του εργοστασίου έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση που διανύουν τα προϊόντα ενώ μεταφέρονται από τον ένα σταθμό εργασίας στον επόμενο. Κατά την τρίτη φάση εξασφαλίζονται οι απαραίτητες πηγές για την λειτουργία των επιλεγμένων σταθμών εργασίας που συνθέτουν το κύτταρο, όπως για παράδειγμα τα απαραίτητα εργαλεία ή τα εξαρτήματα που ίσως χρειάζεται να προστεθούν στο προϊόν. Τα σχήματα 2α και 2β παρουσιάζουν την παραπάνω διαδικασία.. Θα παρουσιάσουμε τώρα το κάθε βήμα με λεπτομέρειες.

10	Εργασία 5874
9	Εργασία 3647
8	Εργασία 6359
7	Εργασία 6474
6	Εργασία 9578
5	Εργασία 5635
4	Εργασία 2957
3	Εργασία 8887
2	Εργασία 4759
1	Εργασία 7667

Σχήμα 2α: Λίστα προτεραιότητας εργασιών με χρονικό παράθυρο μεγέθους 4



Σχήμα 2β: Αλγόριθμος δημιουργίας πλασματικών κυττάρων

#### 4.3.1 Προγραμματισμός άφιξης εργασιών

Η αρχιτεκτονική απόφασης ξεκινάει με την φάση εξέτασης των εργασιών. Εξετάζονται οι εργασίες που πρέπει να γίνουν με σκοπό να παραχθεί μια λίστα εργασιών ταξινομημένες κατά σειρά προτεραιότητας, χρησιμοποιώντας κανόνες που είναι γνωστό ότι είναι κατάλληλοι στην εκάστοτε περίπτωση. Δεν υπάρχουν κανόνες προτεραιότητας που να δουλεύουν το ίδιο καλά σε όλες τις περιπτώσεις. Για το λόγο αυτό ο προγραμματιστής εργασιών χρησιμοποιεί μία βιβλιοθήκη κανόνων προτεραιότητας και διαλέγει τους κατάλληλους ανάλογα με τα δεδομένα.

Αυτό το στάδιο μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και να απαιτεί ένα έμπειρο σύστημα εφοδιασμένο με περιορισμούς και ευέλικτες τεχνικές αναζήτησης, έτσι ώστε να είναι ικανό να διαχειριστεί εκατοντάδες δείκτες που θα χαρακτηρίζουν τις

διάφορες καταστάσεις. Επίσης χρειάζονται διάφοροι αισθητήρες που να έχουν αίσθηση της κατάστασης και του σταδίου που βρίσκεται η κατεργασία σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να μπορούν να χαρακτηρίσουν την κατάσταση. Ένα έμπειρο σύστημα έχει την δυνατότητα να «κοιτάει» το σύστημα μέσω των πολλών αισθητήρων του και παράλληλα να ξέρει ποιες εργασίες πρόκειται να αφιχθούν στο σύστημα διαβάζοντας την λίστα προτεραιότητας. Το έμπειρο σύστημα αναλύει τις πληροφορίες που συλλέγει μέσω των αισθητήρων του, βγάζει τα συμπεράσματα του και παράγει τον κανόνα προτεραιότητας που χρειάζεται για την σύσταση μιας λίστας προτεραιότητας εργασιών.

Το πλήθος των εργασιών που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον ελεγκτή μπορεί να οριστεί μέσω ενός χρονικού παράθυρου έτσι ώστε ο χώρος αναζήτησης να μειωθεί αισθητά. Στο Σχήμα 2α το πλαίσιο που περιβάλλει τις τέσσερις πρώτες εργασίας είναι ένα χρονικό παράθυρο μεγέθους 4, δηλαδή η αναζήτηση της δουλειάς με μεγαλύτερη προτεραιότητα θα γίνει σε αυτό το υποσύνολο εργασιών. Είναι όμως πιθανό, με αυτόν τον περιορισμό να χαθούν λύσεις και να μειωθεί η αποδοτικότητα του συστήματος.

Αφού επιλεγεί η εργασία με την μεγαλύτερη προτεραιότητα στο παράθυρο, επιχειρείται η δημιουργία πλασματικού κυττάρου οπότε μια ανταλλαγή πληροφοριών με τον ελεγκτή του πλασματικού κυττάρου είναι μάλλον απαραίτητη.

#### 4.3.2 Δημιουργία πλασματικού κυττάρου

Αυτή η φάση είναι υπεύθυνη για 3 κύριες δουλειές:

Πρώτον ορίζει το σύνολο των σταθμών εργασίας που θα πάρουν μέρος σε αυτήν τη εργασία, (πλασματικό κύτταρο), πιο συγκεκριμένα προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απόσταση που διανύουν τα προϊόντα κατά την επεξεργασία, με την τοποθέτηση των σταθμών εργασίας σε μια προσωρινή γραμμή παραγωγής για την συγκεκριμένη εργασία.

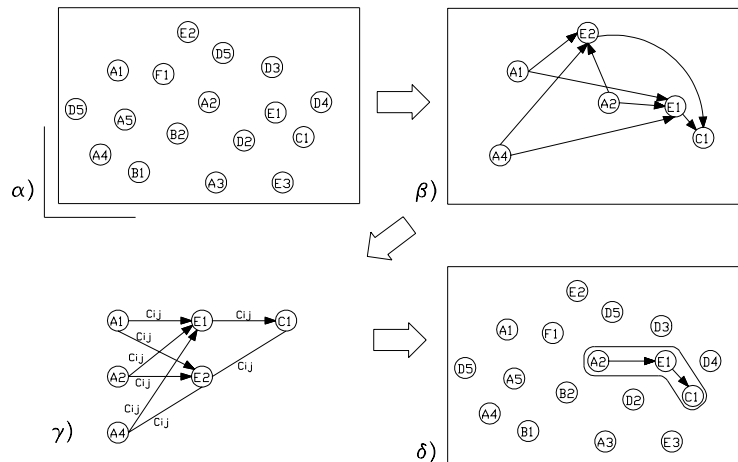
Δεύτερον βρίσκει το σταθμό εργασίας με τον ελάχιστο ρυθμό παραγωγής και καθορίζει το ρυθμό εισαγωγής των προϊόντων.

Τρίτον δημιουργεί ένα δείγμα ενός γενικού πλασματικού ελεγκτή.

Οι γενικές ιδέες που αφορούν αυτή τη φάση απεικονίζονται στο Σχήμα 3. Σε αυτό το σχήμα μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα δημιουργίας ελεγκτή κυττάρου. Έστω ότι η εργασία X έχει επιλεγεί σαν εισαγωγή στο σύστημα. Το Σχήμα 3α δείχνει την κάτοψη ενός εργοστασίου που έχει 17 σταθμούς εργασίας. Καθένας εκφράζεται σε σχέση με την ακόλουθη σύμβαση: το γράμμα εκφράζει την δουλειά που κάνει ο σταθμός εργασίας (π.χ. διάτρηση, περιστροφή, φρεζάρισμα κλπ). Το νούμερο εκφράζει τον αύξοντα αριθμό των σταθμών εργασίας. Για παράδειγμα ο κόμβος A4 σημαίνει ο τέταρτος σταθμός τύπου A. Το πλαίσιο συμβολίζει τους εξωτερικούς τοίχους του εργοστασίου. Το σύστημα αξόνων μας δείχνει ότι το σχέδιο ακολουθεί κάποια κλίμακα και ότι γνωρίζουμε την ακριβή θέση των σταθμών εργασίας. Από αυτή τη διάταξη μπορεί να υπολογιστούν οι μεταξύ των σταθμών εργασίας αποστάσεις, οι οποίες σε συνάρτηση με τις χρησιμοποιούμενες πηγές είναι χρήσιμα εργαλεία για τη δημιουργία του πλασματικού κυττάρου.

Το σχήμα 3β περιέχει μία ομάδα σταθμών εργασίας που μπορούν αν χρειαστεί να δεχθούν κομμάτια κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής καθώς επίσης και την επιτυγχανόμενη ροή προϊόντων μεταξύ των σταθμών εργασίας αυτών. Εικονίζονται

μόνο τα τόξα που συνδέουν διαδοχικούς σταθμούς εργασίας όπως προσδιορίζονται από τους περιορισμούς προτεραιότητας της εργασίας. Ακόμα φαίνονται μόνο τα τόξα που με τη χρησιμοποίηση των διαδοχικών αυτών σταθμών εργασίας επιτυγχάνεται χωρητικότητα διαθέσιμη στον υπολογισμένο χρόνο παραγωγής. Έτσι το πλήθος των σταθμών εργασίας που λαμβάνουν μέρος μειώθηκε από 17 σε 6.



Το Σχήμα 3γ το οποίο είναι μια αναδόμηση του δευτέρου, μας επιτρέπει να ορίσουμε εύκολα την σειρά των εργασιών που περιγράφονται από τους περιορισμούς προτεραιότητας της εργασίας X. Τα επεξεργαζόμενα κομμάτια που υπόκεινται αυτήν την κατεργασία πρέπει να πάνε από ένα σταθμό εργασίας τύπου “A” σε ένα σταθμό εργασίας τύπου “C” μέσω ενός σταθμού τύπου “E”. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια παραλλαγή του αλγόριθμου συντομότερου δρόμου του Dijkstra. Με  $C_{ij}$  συμβολίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να πάμε από ένα σταθμό εργασίας τύπου  $i$  σε ένα σταθμό εργασίας τύπου  $j$ . Η χρονικά εναπομένονσα χωρητικότητα θεωρείται συνάρτηση του χρόνου. Για παράδειγμα ο σταθμός εργασίας C1 δεν θα χρειαστεί έως ότου το πρώτο κομμάτι της εργασίας X τελειώσει με ένα από τους σταθμούς εργασίας τύπου “E” συν το υπολογιζόμενο χρόνο που χρειάζεται για να πάει από τον σταθμό εργασίας αυτόν στον C1.

Το αποτέλεσμα της εργασίας X φαίνεται στο τελευταίο Σχήμα 3δ. Η ομάδα σταθμών εργασίας με το περίγραμμα αποτελεί το πλασματικό κύτταρο που δημιουργήθηκε για την δουλειά X. Μαζί με αυτό δημιουργήθηκε ένας ελεγκτής πλασματικών κυττάρων, ο οποίος ζει μόνο όσο διαρκεί η εργασία για την οποία δημιουργήθηκε.

Αν η φάση της δημιουργίας κυττάρου αποτύχει, ο ελεγκτής επαναλαμβάνει την διαδικασία με τη δεύτερη εργασία σε προτεραιότητα και ούτω καθεξής. Αν για καμία εργασία στο επιτρεπόμενο κύτταρο δεν επιτευχθεί δημιουργία κυττάρου, η δημιουργία κυττάρου καθυστερείται έως ότου η χωρητικότητα κάποιας καθοριστικής πηγής αυξηθεί σημαντικά.

#### 4.3.3 Κατανομή πηγών

Ο σκοπός αυτής της φάσης είναι να εξασφαλίσουμε τις απαιτούμενες πηγές πριν την ενεργοποίηση του κυττάρου. Μετά από μια επιτυχημένη δημιουργία κυττάρου ο ελεγκτής του κυττάρου θα απαιτήσει όλες τις απαραίτητες πηγές για να πραγματοποιήσει αυτή την εργασία και επίσης να διασφαλίσει ότι οι απαραίτητες πηγές θα είναι διαθέσιμες (στην απαιτούμενη στάθμη) κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας. Αυτό επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες της μονάδας παραγωγής, την κατανομή των πηγών και όχι τη διαπραγμάτευση των εργασιών που πρέπει να γίνουν.

### 4.4 Επεξηγηματικό παράδειγμα

Στην παράγραφο αυτή επεξηγούμε τη στρατηγική ευκαιριακού προγραμματισμού με ένα παράδειγμα. Το σύστημα το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ορίζεται από τους παραμέτρους στον Πίνακα 1.

Τύπος σταθμού εργασίας	Νούμερο σταθμού εργασίας	Μηχανές ανά σταθμό
A	1,2	2
B	3,4,5	3
C	6,7	2
D	8,9	1

Πίνακας 1

Θα ξεκινήσουμε τη διαδικασία με ένα άδειο σύστημα. Ο Πίνακας 2 δείχνει τις εργασίες που πρέπει να γίνουν ταξινομημένες, σύμφωνα με το μικρότερο χρόνο κατεργασίας. Ένα παράθυρο μεγέθους 4 πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος για το φόρτωμα των εργασιών είναι μια επίπονη εργασία που δεν είναι απαραίτητη για την κατανόηση της παραπάνω προγραμματιστικής διαδικασίας. Έτσι για λόγους ευκολίας η φάση του φορτώματος εργασιών θα γίνει με τον κανόνα του μικρότερου χρόνου κατεργασίας. Η πρώτη φάση πρέπει να εκτελεστεί όταν σημαντικές αλλαγές συμβαίνουν στη μονάδα παραγωγής.

Αριθμός προτεραιότητας	Αριθμός εργασίας	Σειρά και χρόνος κατεργασίας (λεπτά)	τεμάχια	Συνολικός χρόνος (λεπτά)
10	8887	(B,6),(C,8)	48	672
9	6586	(A,14),(D,5)	32	608
8	2957	(A,8),(B,14),(D,10)	15	480
7	8476	(D,6),(B,7)	35	455
6	5594	(C,4),(B,9)	32	416
5	3847	(B,5)	78	390
4	5585	(B,9),(C,4),(D,4)	21	357
3	7674	(A,5),(B,10),(G,7)	17	374
2	8744	(A,7),(B,9),(C,2)	8	144
1	6585	(C,5),(A,4)	13	117

Πίνακας 2

Αριθμός προτεραιότητας	Αριθμός εργασίας	Σειρά και χρόνος κατεργασίας (λεπτά)	Τεμάχια	Συνολικός χρόνος (λεπτά)
5	3847	(B,5)	78	390
4	5585	(B,9),(C,4),(D,4)	21	357
3	7674	(A,5),(B,10),(C,7)	17	374
2	8744	(A,7),(B,9),(C,2)	8	144

Πίνακας 3

Ας συνεχίσουμε τώρα με το παράδειγμα. Ο ελεγκτής βλέπει τις 4 εργασίες που προηγούνται σε προτεραιότητα όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Η δημιουργία του πλασματικού κυττάρου, η οποία είναι η δεύτερη φάση, επιχειρείται με την εργασία 6585. Δεν υπάρχει καταγραμμένος χρόνος κατεργασίας σε κανένα σταθμό εργασίας που σημαίνει ότι η εργασία μπορεί να ξεκινήσει αμέσως. Ο αλγόριθμος μικρότερου χρόνου εκτελείται. Στόχος μας είναι να βρεθεί η καλύτερη διαδρομή από οποιοδήποτε σταθμό τύπου C σε ένα οποιοδήποτε σταθμό τύπου A. Οι πιθανές διαδρομές είναι  $6 \rightarrow 1$ ,  $6 \rightarrow 2$ ,  $7 \rightarrow 1$ , και  $7 \rightarrow 2$ . Λαμβάνοντας υπόψη το Σχήμα 4 βλέπουμε ότι ομαδοποιώντας τους σταθμούς εργασίας 6 και 2 δημιουργείται ένα πλασματικό κύτταρο που ελαχιστοποιεί τον δρόμο για αυτή την εργασία.

Ο ρυθμός εισόδου ορίζεται από τον αριθμό κομματιών που μπορούν να αφιχθούν ανά περίοδο. Αυτό ορίζεται από το σταθμό εργασίας με το μικρότερο ρυθμό παραγωγής. Στο παράδειγμα αυτό η περίοδος είναι 15 λεπτά. Δύο σταθμοί οι 6 και 2 θα έχουν άφιξη κομματιών προς επεξεργασία. Οι δυναμικοί ρυθμοί κατεργασίας είναι 6.0 τεμάχια/περίοδο στον σταθμό 6 και 7.5 τεμάχια/περίοδο στον σταθμό 2.

Σε μια γραμμική κατεργασία, η συγκέντρωση της δουλειάς σε εξέλιξη μπορεί να αποφευχθεί αν ο ρυθμός παραγωγής είναι ίσος με αυτόν του σταθμού εργασίας που έχει τον μικρότερο ρυθμό παραγωγής.<sup>8</sup> Έτσι στο πλασματικό κύτταρο αυτό ο ρυθμός είναι 6 τεμάχια/περίοδο.

Το τρίτο στάδιο αφορά την αναζήτηση, δέσμευση και παράδοση των απαραίτητων πηγών πριν την ενεργοποίηση του κυττάρου. Στο παράδειγμα για λόγους ευκολίας θεωρείται ότι δεν υπάρχουν απαιτούμενες πηγές. Έτσι το πλασματικό κύτταρο των σταθμών εργασίας 6 και 2 ενεργοποιείται στιγμιαία. Ο ελεγκτής πλασματικών κυττάρων των σταθμών εργασίας 6 και 2 αναλαμβάνει και η κατεργασία μπορεί να ξεκινήσει.

---

<sup>8</sup> B. Κουϊκόγλου «Ροϊκό Σύστημα Προσομοίωσης» Σημειώσεις μαθήματος Προσομοίωσης, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελίδες 79-84



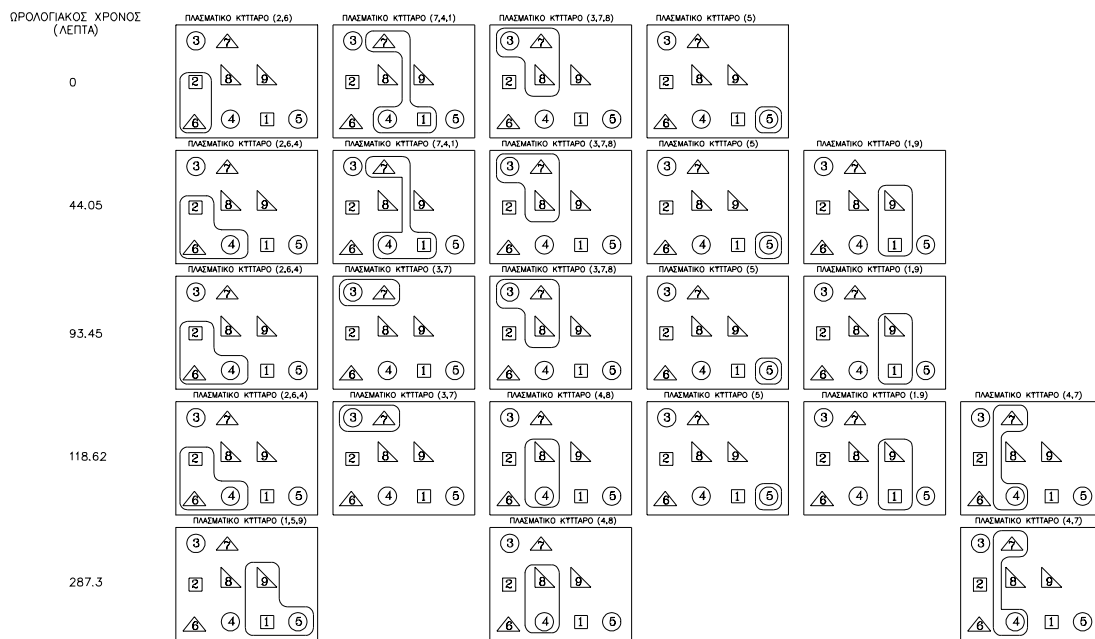
Το τέταρτο στάδιο είναι η αποστολή τεμαχίων σε αυτό το πλασματικό κύτταρο. Ο αποστολέας ελέγχει το ρυθμό κατά τον οποίο θα αποσταλούν τα τεμάχια. Τα τεμάχια της εργασίας 6585 θα αφιχθούν με ρυθμό 6 τεμάχια/περίοδο, ξεκινώντας την χρονική στιγμή  $t=0$  και για 2.166 περιόδους, δηλαδή έως ότου να αφιχθούν 13 τεμάχια. Ο αποστολέας επίσης ελέγχει την ροή τεμαχίων μέσα στο κύτταρο, δηλαδή ανάμεσα στους σταθμούς εργασίας 6 και 2. Τέλος ο αποστολέας ελέγχει το μήκος της ουράς σε αυτούς τους σταθμούς εργασίας και ελέγχει αν το σύστημα αντιμετωπίζει ή όχι κίνδυνο έκρηξης, δηλαδή υπερβολικά μήκη ουρών έτσι ώστε το σύστημα να μην μπορεί να αντεπεξέλθει. Μετά την άφιξη των πρώτων εργασιών οι σταθμοί εργασίας θα δουλεύουν για 100% και 80% αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, η πρώτη εργασία έχει φύγει από το παράθυρο και έτσι η δεύτερη εργασία έχει γίνει πρώτη, η τρίτη δεύτερη και κ.ο.κ. Ο ελεγκτής τώρα βλέπει την εργασία 3847.

Ο προγραμματιστικός αλγόριθμος επαναλαμβάνεται με την εργασία 8744 που έχει τώρα την υψηλότερη προτεραιότητα. Επιχειρείται η δημιουργία ελεγκτή πλασματικού κυττάρου. Σκοπός είναι να βρεθεί η ελάχιστη διαδρομή από ένα σταθμό τύπου A σε ένα σταθμό τύπου C μέσω ενός σταθμού τύπου B. Υπάρχουν 12 ( $2*3*2$ ) πιθανές διαδρομές. Όμως διαδρομές που χρησιμοποιούν τους σταθμούς 6 και 2 δεν πρέπει να ληφθούν υπόψιν καθώς χρησιμοποιούνται σχεδόν στη μέγιστη δυναμικότητα τους. Ο αλγόριθμος ελάχιστου δρόμου χρησιμοποιεί τις τέσσερις εναπομένουσες διαδρομές και βρίσκει ότι δημιουργώντας ένα πλασματικό κύτταρο με τους σταθμούς 1, 4, 7 ελαχιστοποιείται η απόσταση που διανύεται από τα τεμάχια προϊόντος. Προσδιορίζεται επίσης ποιος από τους σταθμούς εργασίας 1, 4, 7 έχει τον μικρότερο ρυθμό παραγωγής και ο ρυθμός εισαγωγής καθορίζεται σε 4.28 τεμάχια/περίοδο.

Η τρίτη φάση μπορεί να προσπεραστεί καθώς δεν λαμβάνονται υπόψιν τα εμπλεκόμενα αγαθά σε αυτό το παράδειγμα. Το πλασματικό κύτταρο των (1, 4, 7) ενεργοποιείται αμέσως. Ένας ελεγκτής πλασματικών κυττάρων αναλαμβάνει τον έλεγχο των σταθμών εργασίας 1,4 και 7 και η επεξεργασία μπορεί να ξεκινήσει.

Ο αποστολέας θα ελέγχει το ρυθμό με τον οποίο τα τεμάχια της εργασίας 8744 θα εισέρχονται στο πλασματικό κύτταρο. Τα τεμάχια της εργασίας 8744 καταφθάνουν με ένα ρυθμό περίπου 4.28 τεμάχια/περίοδο, ξεκινώντας την χρονική στιγμή  $t=0$  και για  $8/4.28=1.9$  περιόδους ή έως ότου αφιχθούν 8 τεμάχια . Μετά το αρχικό φόρτωμα οι σταθμοί εργασίας 1, 4, και 7 θα χρησιμοποιούνται κατά 100%, 85.6% και 28.57% αντίστοιχα.



Σχήμα 5

Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου αφιχθούν όλες οι εργασίες. Το Σχήμα 5 δείχνει τη διάταξη του πλασματικού κυττάρου που ενεργοποιείται και απενεργοποιείται με το πέρασμα του χρόνου. Η λύση που προτείνει δεν είναι μοναδική αλλά υπακούει στις οδηγίες του αλγόριθμου αρχιτεκτονικής απόφασης. Η ανάγκη της κατανόησης άλλων πηγών όπως τα αναγκαία εργαλεία φυσιολογικά θα έκανε τον προγραμματισμό πιο περίπλοκο.

Όπως φαίνεται και από το προηγούμενο παράδειγμα, η απόφαση αναφορικά με την άφιξη μιας εργασίας βασίζεται στην τρέχουσα χωρητικότητα των σταθμών εργασίας που εμπλέκει.

## 4.5 Συμπεράσματα

Παρουσιάστηκε μία αρχιτεκτονική απόφασης για τον προγραμματισμό των VCMS. Η αρχιτεκτονική απόφασης αποτελείται από τρεις φάσεις: την εξέταση των εργασιών, τη δημιουργία του πλασματικού κυττάρου και την διαχείριση των πηγών. Για την πρώτη φάση προτείνεται ένα έμπειρο σύστημα. Για τη δεύτερη ένας αλγόριθμος βασιζόμενος σε δίκτυο και για την τρίτη ένα διαπραγματευτικό πρωτόκολλο .

Ολοκληρώνοντας λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι τα πλασματικά κύτταρα παραγωγής είναι μια αντιμετώπιση που επισύρει πολλά οφέλη. Πιο συγκεκριμένα αυτά είναι:

- η ευελιξία της παραγωγής και η παροχή λύσεων,
- η μεγαλύτερη ταχύτητα παραγωγής,
- η μεγαλύτερη αξιοπιστία του συστήματος, και
- η εξωτερική, μακροσκοπική παρακολούθηση του συστήματος.

Το πλαίσιο προγραμματισμού που παρουσιάστηκε είναι μια πρώτη προσέγγιση στον προγραμματισμό πραγματικού χρόνου και ελέγχου των VCMS. Η έρευνα συνεχίζεται σήμερα με σκοπό την εύρεση πιο προσιτών προγραμματιστικών στρατηγικών και μοντέλων<sup>9</sup>.

## 4.6 Η τεχνολογία ομαδοποίησης και τα βιομηχανικά κύτταρα παραγωγής.

Η μαζική επεξεργασία είναι η κυριότερη παραγωγική δραστηριότητα στον κόσμο, συμβάλλοντας πολύ στη βιομηχανική αποδοτικότητα (παραγωγή). Στα επόμενα χρόνια θα είμαστε μάρτυρες μιας εποχής μαζικής τυποποίησης προϊόντων. Το μέγιστο πρόβλημα στην παραγωγή σε παρτίδες είναι η μεγάλη ποικιλία προϊόντων και το μικρό μέγεθος παρτίδας. Η ποικιλία προϊόντων παρουσιάζει στους μηχανικούς το πρόβλημα σχεδιασμού πολλών διαφορετικών εξαρτημάτων. Οι αποφάσεις στο σχεδιαστικό στάδιο επηρεάζουν σημαντικά το κόστος, την ποιότητα και το χρόνο

---

<sup>9</sup> Shaw, Michael J., "A Distributed Scheduling Method For Computer Integrated Manufacturing: The Use Of Local Networks In Cellular Systems". Int. Journal Prod. Research, Vol. 25, No. 9, 1987 σελίδες 1825-1303.

υλοποίησης προγράμματος. Ο αντίκτυπος αυτής της ποικιλίας προϊόντων είναι ή υψηλή επένδυση σε εξοπλισμό, το υψηλό κόστος εργαλείων, ο περίπλοκος προγραμματισμός και φόρτωμα, ο αυξημένος χρόνος εγκατάστασης, τα υπερβολικά υπολείμματα παραγωγής (ρετάλια, υποπροϊόντα) και το υψηλό κόστος ποιοτικού ελέγχου. Ωστόσο, είναι αναγκαίο να βελτιωθεί η παραγωγικότητα σε βιομηχανίες μικρής μαζικής επεξεργασίας, ώστε αυτές να μπουν στο συναγωνισμό της οικουμενικής αγοράς. Γι' αυτό το σκοπό χρειάζονται καινοτομικές μέθοδοι για να μειωθεί το κόστος των προϊόντων, ο χρόνος υλοποίησης προγράμματος και να αναβαθμιστεί η ποιότητα έτσι ώστε να μεγαλώσει το μερίδιο αγοράς και η κερδοφορία. Επίσης χρειάζεται ενσωμάτωση του σχεδιασμού και των παραγωγικών δραστηριοτήτων σε μεγαλύτερο βαθμό μέσα σε μια εταιρία.

Η τεχνολογία ομαδοποίησης (Group Technology, GT) εξασφαλίζει ένα τέτοιο σύνδεσμο μεταξύ σχεδιασμού και παραγωγής. Η υιοθέτηση των αρχών της τεχνολογικής ομαδοποίησης, οι οποίες επιτρέπουν στις μικρές παραγωγές μαζικής επεξεργασίας να κερδίσουν οικονομικά πλεονεκτήματα παρόμοια της μαζικής παραγωγής διατηρώντας την ευελιξία των μεθόδων μιας μικρής παραγωγικής μονάδας, μπορεί να διευθετήσει μερικά από τα προβλήματα.

Η προσέγγιση της GT που προτάθηκε αρχικά από τους Mitrofanov και Burbidge είναι μια φιλοσοφία που ερευνά την ομοιότητα μεταξύ των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ορισμένων δεδομένων. Η παραγωγή κυττάρων (Cellular Manufacturing, CM) είναι η εφαρμογή της GT στον τομέα της παραγωγής.

Η CM περιέχει τη διαδικασία συλλογής παρόμοιων μηχανικών εξαρτημάτων (part families) σε ένα σύνολο μηχανών ή συγκεκριμένων παραγωγικών διαδικασιών (κυττάρων). Το πρόβλημα σχηματισμού κυττάρων στα κυτταρικά παραγωγικά συστήματα (κοινώς γνωστά στη βιβλιογραφία ως cell design problem) είναι ο διαμερισμός των συστημάτων σε κύτταρα. Τα μηχανικά εξαρτήματα έχουν μια λειτουργική σειρά μέσα σε ένα κύτταρο. Τα κύτταρα σχηματίζονται για να κερδίσουν τα έμφυτα προτερήματα της GT, όπως μειωμένοι χρόνοι εγκατάστασης, μειωμένες ημικατεργασμένες απογραφές, βελτιωμένη ποιότητα προϊόντων, μικρότερο χρόνο υλοποίησης προγράμματος μειωμένες απαιτήσεις σε εργαλεία, βελτιωμένη

παραγωγικότητα, καλύτερος έλεγχος εργασιών, κλπ. Τα κοινά μειονεκτήματα είναι η ελαττωμένη χρήση μηχανών και εργαστηρίων και η μεγαλύτερη επένδυση λόγω του πολλαπλασιασμού των μηχανών και εργαλείων.

Το πρόβλημα του σχεδιασμού κυττάρων είναι πολύ περίπλοκο με εμπλοκές μεγάλης έκτασης για κάθε οργάνωση. Κανονικά ο σχεδιασμός κυττάρων είναι αντιληπτός ως πρόβλημα αναγνώρισης μιας σειράς μηχανικών εξαρτημάτων που ταιριάζουν στην παραγωγή με κάποιες ομάδες μηχανών. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια άλλα στρατηγικά στοιχεία όπως το επίπεδο ευελιξίας των μηχανών και η διάταξη του κυττάρου. Ακόμα ο τύπος των εξαρτημάτων που χειρίζονται τα υλικά, ο τύπος και ο αριθμός των εργαλείων και του εξοπλισμού, κλπ., τα οποία επίσης πρέπει να θεωρούνται μέρος του προβλήματος του σχεδιασμού κυττάρων. Επιπλέον κάθε σημαντικός σχεδιασμός κυττάρων πρέπει να είναι συμβατός με τους επιχειρηματικούς στόχους, όπως υψηλό ποσοστό παραγωγής, μικρό μέγεθος ουράς σε κάθε σταθμό εργασίας, μεγάλη χρήση μηχανών, κλπ. Πολλές έρευνες έχουν αναφερθεί σε διάφορα θέματα σχεδιασμού, προγραμματισμού και ελέγχου των κυτταρικών παραγωγικών συστημάτων. Διάφορες προσεγγίσεις που περιέχουν κωδικοποίηση και ταξινόμηση, ανάλυση ομαδοποίησης μηχανικών εξαρτημάτων (machine component group analysis), συντελεστή ομοιότητας, μαθηματικό προγραμματισμό έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς για το σκοπό αυτό.

#### **4.7 Σχεδιασμός των ρομποτικών κυττάρων**

Η χρήση ρομποτικών κυττάρων είναι πολύ διαδεδομένη στη βιομηχανία. Ένα σημαντικό μέτρο απόδοσης αυτών των κυττάρων είναι ο ρυθμός παραγωγής, ο οποίος εξαρτάται από την ακολουθία των κινήσεων του ρομπότ όπως επίσης και από τη διάταξη των μηχανών και ρομπότ. Οι Viswanadham, Narahari, όπως και ο Asfahl, παρέχουν διαδικασίες για τον προσδιορισμό του χρόνου κύκλου εργασίας για ρομποτικά κύτταρα δύο και τριών μηχανών χειριζόμενα από ένα ρομπότ, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ακολουθία των κινήσεων του ρομπότ. Ωστόσο, για ένα μονό ρομποτικό κύτταρο με  $n$  μηχανές, ο αριθμός των πιθανών εναλλακτικών ακολουθιών κίνησης είναι  $n!$ . Για να επιτευχθεί ο ιδανικός χρόνος κύκλου εργασίας

και συνεπώς η καλύτερη ακολουθία κινήσεων του ρομπότ, ο Sethi χαρακτήρισε πλήρως απλά ρομποτικά κύτταρα με δύο και τρεις μηχανές. Υπάρχει ένας απλοποιημένος αλγόριθμος, βασισμένος στη δουλειά των προαναφερθέντων επιστημόνων, που ορίζει την ιδανική ακολουθία κινήσεων του ρομπότ για την ελαχιστοποίηση του χρονικού κύκλου σε περιπτώσεις ρομποτικών κυττάρων με δύο και τρεις μηχανές.

Αυτή η ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον καθορισμό του καλύτερου χρονικού κύκλου διαφόρων διατάξεων κυττάρων. Για παράδειγμα, τρεις μηχανές μπορούν να χειριστούν από δύο ρομπότ, με αποτέλεσμα διάφορους συνδυασμούς: ένα ρομπότ χειρίζεται μια ή δύο μηχανές. Αν οι βελτιώσεις στον χρόνο κύκλου εργασίας δικαιολογούνται οικονομικά, μπορεί να επιλεγεί η κατάλληλη διάταξη ρομποτικών κυττάρων, όπως επίσης και η κατάλληλη ακολουθία των ρομποτικών κινήσεων για τη συγκεκριμένη διάταξη κυττάρων.

#### **4.8 Προγραμματισμός παραγωγής στην κυτταρική βιομηχανική παραγωγή.**

Ο σχηματισμός κυττάρων είναι ένα σημαντικό μέρος των συστημάτων κυτταρικής παραγωγής. Αφού σχηματιστούν τα κύτταρα, η επόμενη ουσιαστική δραστηριότητα για να πραγματοποιηθούν τα πλεονεκτήματα των κυττάρων είναι ο προγραμματισμός της παραγωγής. Ο προγραμματισμός παραγωγής καθορίζει τους παραγωγικούς στόχους. Το κύριο ζητούμενο του προγραμματισμού παραγωγής σε οποιαδήποτε οργάνωση είναι να διασφαλίσει ότι τα προϊόντα παράγονται στο σωστό χρόνο, σε σωστές ποσότητες, συνδυάζοντας την απαιτούμενη ποιότητα με το ελάχιστο κόστος. Για να αναπτυχθεί ένα σχέδιο παραγωγής απαιτούνται πολλές πληροφορίες. Αυτή η εισαγωγή δεδομένων μπορεί να μετασχηματιστεί, χρησιμοποιώντας εργαλεία και τεχνικές προγραμματισμού, σε επιθυμητή απόδοση και εξαγωγή δεδομένων. Δηλαδή αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει αντιληπτή ως διαδικασία μετασχηματισμού δεδομένων. Οι Johnson και Montgomery υποστήριξαν τις αρχές εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων οι οποίες ισχύουν εξίσου μέσα σε ένα περιβάλλον κυτταρικής παραγωγής.

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για την εισαγωγή δεδομένων ώστε να αναπτυχθεί ένα σχέδιο παραγωγής συμπεριλαμβάνουν:

- προβλέψεις για μελλοντική ζήτηση,
- εναλλακτικούς τρόπους διεκπεραίωσης για κάθε προϊόν/ συστατικό,
- παραγωγικά κριτήρια, όπως πληροφορίες εγκατάστασης για κάθε μηχανήμα και μεταβλητό χρόνο διεκπεραίωσης,
- τη δυνατότητα των διαθέσιμων πηγών συμπεριλαμβάνοντας εξαρτήματα, παλέτες, υλικό χειρισμού εξοπλισμού και εργαλεία μηχανών,
- τρέχοντα επίπεδα απογραφής και το απόθεμα για κάθε προϊόν,
- τρέχουσες εργασίες εν εξελίξει,
- επίπεδα εργατικού δυναμικού,
- διαθεσιμότητα υλικών,
- επίσημο κόστος και τιμές πώλησης,
- τακτικές διαχείρισης, όπως υπερωρίες, υποκατασκευαστικές συμβάσεις, πολλαπλές βάρδιες για τη διεκπεραίωση εργασιών.

Η δραστηριότητα προγραμματισμού παραγωγής περιέχει το μετασχηματισμό αυτών των εισαγωγικών δεδομένων χρησιμοποιώντας αναλυτικά και λογικά μοντέλα. Σύμφωνα με αυτά, σε κάθε περίοδο προγραμματισμού, μπορεί να ποικίλλει αυτή η αναμενόμενη απόδοση από αυτή τη δραστηριότητα. Οι τυπικές αποδόσεις για κάθε περίοδο προγραμματισμού συμπεριλαμβάνουν:

- τον αριθμό των μονάδων για κάθε προϊόν που παράγεται,
- τον αριθμό των μονάδων για κάθε προϊόν που παράγεται από κάθε διαθέσιμη εναλλακτική διαδικασία,
- τα επίπεδα εργατικού δυναμικού,
- τα στοχευόμενα επίπεδα απογραφής για κάθε προϊόν
- τις υπερωρίες, πρόσθετες βάρδιες και αχρησιμοποίητη χωρητικότητα,
- τις ποσότητες υλικών που μεταφέρονται μέσα και μεταξύ κυττάρων,
- τα σχέδια υποκατασκευαστικών συμβάσεων,
- την αγορά απαιτούμενων υλικών.

Τα δεδομένα εισαγωγής και απόδοσης μπορεί να διαφέρουν από μια περίοδο σε άλλη, από κύτταρο σε κύτταρο και από μια οργάνωση σε άλλη. Ωστόσο, ένα πράγμα είναι σίγουρο, ότι ο προγραμματισμός παραγωγής περιλαμβάνει πάρα πολλές δραστηριότητες. Ένα σύστημα προγραμματισμού παραγωγής και ελέγχου συμπεριλαμβάνει με ολοκληρωμένο τρόπο τέτοιες δραστηριότητες όπως η πρόβλεψη ζήτησης τελικού αντικειμένου, η διακύμανση της ζήτησης τελικού αντικειμένου σε πραγματοποιήσιμα σχέδια παραγωγής, η καθιέρωση λεπτομερούς σχεδιασμού ροής υλικών, και η δυνατότητα υποστήριξης όλων των σχεδίων παραγωγής. Ένα σχέδιο παραγωγής είναι αποτέλεσμα αλληλοεπίδρασης αυτών των δραστηριοτήτων.



## **5. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟΜΥΛΩΝ ΚΡΗΤΗΣ**

### **5.1 Σύντομο ιστορικό και παρουσίαση της επιχείρησης.**

Οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης Α.Ε. είναι μια εταιρεία της οποίας η δραστηριότητα στα αλεύρα ξεκίνησε στο λιμάνι της Σούδας το 1928. Οι εγκαταστάσεις της καταστράφηκαν τελείως το 1941 στη διάρκεια του πολέμου και μια σύγχρονη για την εποχή μονάδα άρχισε να λειτουργεί πάλι στην ίδια θέση για την παραγωγή αλεύρων το 1953. Από το 1975 η εταιρεία λειτούργησε και μία νέα μονάδα για παραγωγή ζωοτροφών. Σήμερα οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης Α.Ε. είναι μια από της μεγαλύτερες βιομηχανίες του νησιού, με ημερήσια δυνατότητα άλεσης σίτου 300 τόνων και παραγωγής συνθέτων ζωοτροφών 500 τόνων.

Με σημαντικά έργα υποδομής και συνεχή εκσυγχρονισμό των εγκαταστάσεων της η Κυλινδρόμυλοι Κρήτης Α.Ε. έχει εξασφαλίσει αξιόλογη θέση στο κλάδο διατροφής της χώρας μας. Έμπειρο επιστημονικό προσωπικό με άρτια εξοπλισμένα εργαστήρια ελέγχει τις πρώτες ύλες και τα παραγόμενα προϊόντα, μελετάει τις τελευταίες εξελίξεις και τις προσαρμόζει στις ανάγκες της αγοράς. Η σύγχρονη τεχνική και τεχνολογία που χρησιμοποιεί δίνει την δυνατότητα παραγωγής μεγάλης ποικιλίας αλεύρων για οποιοδήποτε χρήση. Που καλύπτει τις σημερινές απαιτήσεις της αρτοποιίας και της ζαχαροπλαστικής. Η εταιρία από την εποχή της ιδρύσεως της αποδίδει ιδιαίτερη σημασία στη σταθερότητα της ποιότητας των προϊόντων της και βασίζεται στην αντίληψη πως το συμφέρον της ταυτίζεται απόλυτα με το συμφέρον του πελάτη καταναλωτή.

Αναφορικά με τη διασφάλιση της ποιότητας αναφέρεται ότι το σύστημα ποιότητας της εταιρείας είναι εναρμονισμένο με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO 9001. Οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης αξιολογήθηκαν από τον ΕΛΟΤ και η αξιολόγηση αυτή αφορά τις δραστηριότητες: σχεδιασμός, ανάπτυξη, παραγωγή και εμπορία αλεύρων. Προβλέπεται μάλιστα στο άμεσο μέλλον η επέκταση της εναρμόνισης και σε άλλες δραστηριότητες της εταιρίας.

Η δράση της εταιρείας έχει ξεπεράσει τα όρια του νησιού. Αυτό εκφράζεται και μέσα από τη λειτουργία υποκαταστημάτων στην Αθήνα, στη Ρόδο και στη Σαντορίνη. Τα υποκαταστήματα αυτά ή λειτουργούν ήδη ή πρόκειται να λειτουργήσουν στο άμεσο μέλλον. Ενώ προϊόντα της εταιρείας αντιπροσωπεύονται σε όλη την Ελλάδα. Η εταιρία απασχολεί σήμερα γύρω στους 150 εργαζόμενους.

Στο παράρτημα δίνονται οι ισολογισμοί των τελευταίων χρόνων για να πάρει ο αναγνώστης μια ιδέα για την εταιρία. Δεν θα προχωρήσουμε σε ανάλυση των στοιχείων τους όμως γιατί κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης είναι μια εταιρεία πάντα κοντά στους πελάτες της. Παρακολουθεί τις εξελίξεις στον χώρο της παγκοσμίως και προβλέπει τις ανάγκες των πελατών της. Αυτό εκφράζεται με πολλές μορφές όπως για παράδειγμα με την παραχώρηση σεμιναρίων στα οποία ενημερώνονται οι αρτοποιοί για τις εξελίξεις στο χώρο τους και ακόμα μαθαίνουν πως θα μπορούσαν να παράγουν και αυτοί τα καινούργια προϊόντα. Το πόσο κοντά στους πελάτες τους είναι οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης εκφράζεται και από άλλες κινήσεις. Για παράδειγμα, μετά από κινητοποίηση της εταιρίας επιτεύχθηκε η τυποποίηση του Κρητικού παξιμαδιού ως χαρακτηριστικό προϊόν από την ευρωπαϊκή κοινότητα. Με τον τρόπο αυτό προστατεύονται οι ντόπιοι αρτοποιοί, πελάτες της εταιρίας.

Αναφορικά με τους Κυλινδρόμυλους Κρήτης θα πούμε ακόμα ότι είναι μια εταιρία που ακολουθεί από κοντά και τις εξελίξεις όσον αφορά και την υλικοτεχνική υποδομή της. Φροντίζει να εκσυγχρονίζεται όχι μόνο για να βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων της αλλά συχνά για να ικανοποιεί το προσωπικό της.

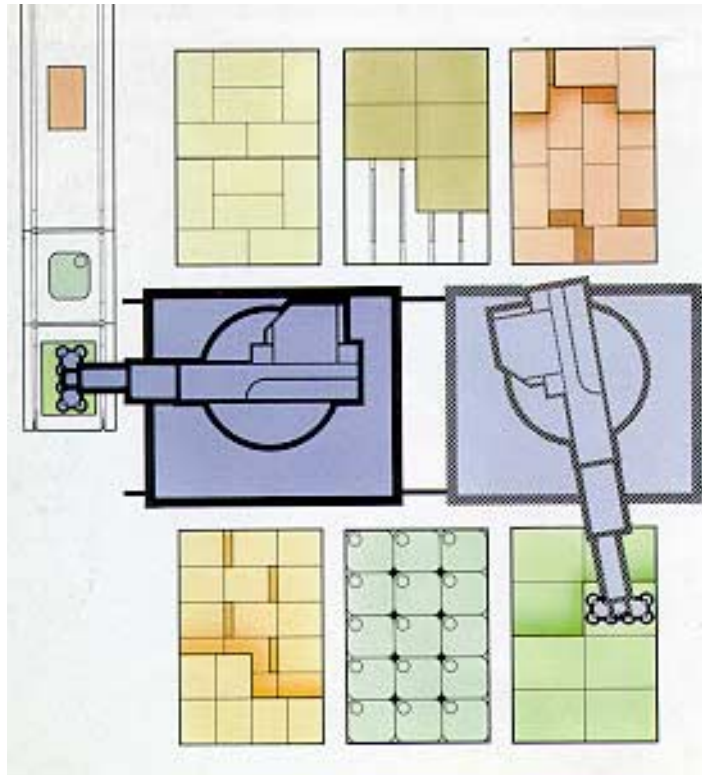
Οι παραπάνω λόγοι σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους δημιούργησαν την ανάγκη για αυτοματισμό της συσκευασίας των προϊόντων του εργοστασίου που παράγονται σε σακιά. Στο σημείο ακριβώς αυτό της γραμμής παραγωγής θα εστιάσουμε στη συνέχεια της εργασίας το ενδιαφέρον μας.

## **5.2 Η διαδικασία της παλετοποίησης.**

Αντικείμενο προς μελέτη είναι το κομμάτι αυτό της γραμμής παραγωγής που περιλαμβάνει την τοποθέτηση των σακιών με αλεύρι σε παλέτες με σκοπό την αποστολή τους στους πελάτες. Με την τοποθέτηση τους σε παλέτες τα σακιά είναι εύκολο να διαχειρίζεται κανείς. Οι παλέτες είναι ειδικά κατασκευασμένες έτσι ώστε να μεταφέρονται εύκολα από περονοφόρα οχήματα. Έχουν κυβικό σχήμα και είναι δυνατόν, τουλάχιστον στη δικιά μας περίπτωση να τοποθετηθεί η μία πάνω στην άλλη ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση του υπάρχοντος χώρου. Επίσης είναι εύκολο να αποθηκευτούν, να φορτωθούν σε φορτηγά αυτοκίνητα κλπ.

Σήμερα, στη συγκεκριμένη εταιρία, η εργασία αυτή γίνεται χειρωνακτικά με την απασχόληση ενός εργαζόμενου, και με τη βοήθεια μιας μεταφορικής ταινίας. Η μεταφορική ταινία βρίσκεται υπό κλίση έτσι ώστε να μεταφέρει το σακί από το σημείο που γίνεται η ενσάκκιση με τη βοήθεια ζυγού ενσάκκισης σε ύψος τέτοιο ώστε ο εργαζόμενος να μπορεί να το τοποθετήσει στην παλέτα συσκευασίας. Για το σκοπό αυτό ο εργαζόμενος σηκώνει για πολύ μικρό χρονικό διάστημα κάθε σακί στην πλάτη του. Είναι προφανές ότι η συγκεκριμένη διαδικασία είναι επίπονη για τον εργαζόμενο.

Η παλετοποίηση σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να γίνει μια αρκετά σύνθετη και πολύπλοκη διαδικασία. Για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε να παλετοποιήσουμε διαφορετικά προϊόντα που κατανέμονται αντίστοιχα σε διαφορετικές παλέτες όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα: Περίπτωση παλετοποίησης όπου τα προϊόντα είναι διαφορετικά

Επίσης σε πολλές περιπτώσεις δεν έχουμε μόνο ένα είδος προϊόντων που θέλουμε να παλετοποιήσουμε αλλά θέλουμε να παλετοποιήσουμε προϊόντα διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών στην ίδια παλέτα. Το να θέλουμε να τα τοποθετήσουμε σε μια παλέτα έτσι ώστε να έχουμε τη βέλτιστη κατανομή του χώρου δεν είναι πάντα εύκολο. Δεν είναι εύκολο επίσης στην περίπτωση αυτή να παράγουμε σταθερές και τετραγωνισμένες γεμάτες παλέτες, πολύ περισσότερο όταν χρειάζεται να κατασκευάσουμε ένα σύστημα το οποίο να αυτοματοποιεί τη διαδικασία αυτή. Πιο σύνθετη επίσης μπορεί να κάνει τη διαδικασία το γεγονός ότι μπορεί να έρχονται τα αντικείμενα από περισσότερα του ενός σημεία.

Η αντίστροφη διαδικασία της παλετοποίησης είναι η αποπαλετοποίηση. Δηλαδή το να παίρνει κανείς τα προϊόντα από την παλέτα και να τα διανέμει σε χώρους αποθήκευσης, σε μεταφορικά συστήματα κλπ. Ομοίως με τα παραπάνω και αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει αρκετά πολύπλοκη ώστε σε μερικές περιπτώσεις να απαιτείται ιδιαίτερα ευέλικτος έλεγχος ακόμα και οπτική αναγνώριση. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση που έχουμε αποπαλετοποίηση παλέτας με διάφορα αντικείμενα που το καθένα πρέπει να πάει στην αντίστοιχη μεταφορική

ταινία. Θα έχουμε όμως την ευκαιρία να δούμε περισσότερα πράγματα για αυτές τις περιπτώσεις όταν θα προσπαθήσουμε να εξερευνήσουμε τις δυνατότητες ορισμένων ρομπότ.

Η παραπάνω αναφορά στις σύνθετες περιπτώσεις παλετοποίησης έχει καθαρά ενημερωτικό χαρακτήρα αφού η μελέτη τέτοιων περιπτώσεων ξεφεύγει από τους σκοπούς της εργασίας αυτής. Στην περίπτωση των Μύλων Κρήτης ενδιαφερόμαστε για την παλετοποίηση ενός είδους προϊόντων (σακιά με αλεύρι). Τα σακιά θα έρχονται σε ένα συγκεκριμένο σημείο και με συγκεκριμένη κατεύθυνση από όπου θα τα παραλαμβάνει ο ρομποτικός βραχίονας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η παλετοποίηση δεν γίνεται μόνο με την χρήση ρομποτικών συστημάτων. Υπάρχουν και συστήματα άλλης λογικής και αρχής λειτουργίας που μπορούν να πραγματοποιήσουν την εν λόγω εργασία. Αυτά αποτελούνται από μεταφορικές ταινίες ραουλόδρομους κλπ που με περιστροφή των σακιών όπου είναι απαραίτητο φτιάχνουν μία, μία της στρώσεις των σακιών. Στη συνέχεια οι στρώσεις συμπιέζονται από κινούμενα τοιχώματα και αποκτούν τετραγωνισμένο σχήμα. Στην συνέχεια τοποθετούνται μία-μία οι στρώσεις που δημιουργούνται πάνω στην παλέτα. Τα συστήματα αυτά είναι μεγάλης δυναμικότητας και πολύ αξιόπιστα. Ένα τέτοιο πρόκειται να εγκαταστήσουν οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης και μάλιστα πολύ σύντομα μέσα στο Φθινόπωρο του '97. Το σύστημα αυτό θα τοποθετηθεί στο εργοστάσιο των Ζωοτροφών. Η δυναμικότητα του θα είναι 1200 κύκλοι/ώρα. Στην περίπτωση μας όμως ένα ρομποτικό σύστημα είναι προτιμητέο. Τους λόγους που συμβαίνει αυτό θα τους αναλύσουμε παρακάτω.

Πρώτα από όλα ένα ρομποτικό σύστημα απαιτεί σαφώς μικρότερο χώρο για την εγκατάσταση και λειτουργία του. Μικρότερο χώρος σημαίνει μικρότερο εμβαδόν αλλά και μικρότερο ύψος. Στο συγκεκριμένο χώρο που πρέπει να εγκατασταθεί το σύστημα για την παλετοποίηση των αλεύρων δεν υπάρχει διαθέσιμος αυτός ο χώρος. Επίσης δεν έχουμε τόσο μεγάλες απαιτήσεις σε δυναμικότητα καθώς η δυναμικότητα που επιθυμούμε στο μύλο είναι της τάξης των 400 κύκλων/ώρα.

Η μεγάλη διαφορά δυναμικότητας συνεπάγεται και μεγάλη διαφορά στην τιμή. Έτσι ένα ρομποτικό σύστημα έχει σαφώς πιο προσιτή τιμή. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η λύση αυτή είναι σαφώς πιο προτιμητέα.

## 6. ΤΑ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 6.1 Λίγα λόγια για τα ρομπότ

Το πρώτο ρομπότ που θα εξετάσουμε είναι η σειρά Romeo της Γερμανικής εταιρείας Moellers Maschinenfabrik. Είναι ένα από τα δύο ρομπότ που προτάθηκαν από τους Μύλους Κρήτης. Η σειρά αυτή των μοντέλων που θα αναλύσουμε παρακάτω είναι εξελιγμένη ειδικά για την παλετοποίηση αλλά και την αποπαλετοποίηση μονάδων προϊόντων. Μπορούν να εγκαταστηθούν γρήγορα και να διαχειριστούν μια μεγάλη ποικιλία πακέτων διαφόρων ειδών. Μπορούν επίσης να:

- παλετοποιήσουν πακέτα με διαφορετικές διαστάσεις (μήκος/πλάτος),
- αλλάζουν την διάσταση της στρώσης ακόμα και από στρώση σε στρώση
- φτιάχνουν στρώσεις με κενά και οποιουδήποτε σχήματος,
- διανέμουν την ροή πακέτων ενός ή διαφόρων ειδών πακέτων σε διάφορες, παλέτες
- διανέμουν τα πακέτα που προέρχονται από την αποπαλετοποίηση σε διάφορους προορισμούς.

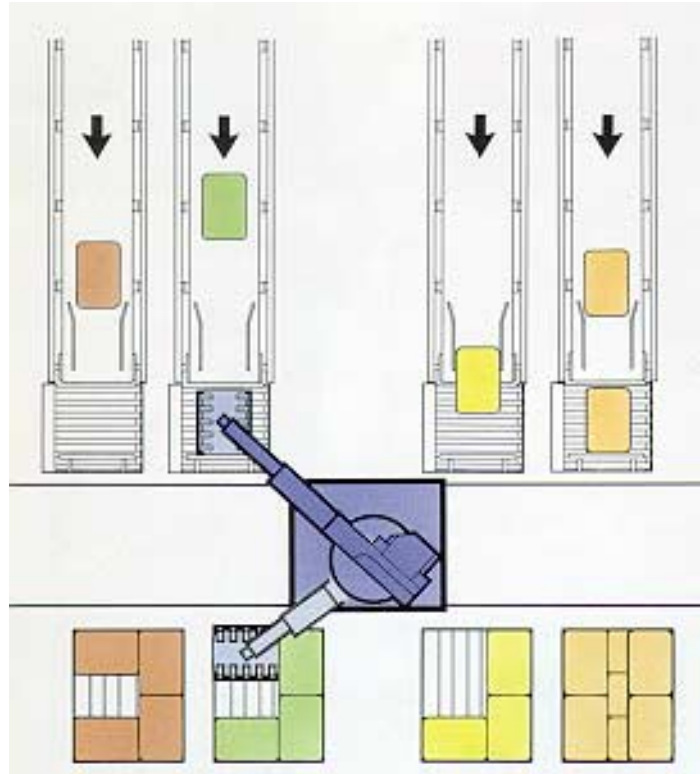
Το βασικό μοντέλο της σειράς ROMEO το HD έχει 4 βαθμούς ελευθερίας και οδηγείται από τριφασικά μοτέρ.



Σχήμα 1

Το μοντέλο HDT με τηλεσκοπικό βραχίονα εξελίχθηκε για τη χρήση σε συνθήκες με περιορισμούς χώρου. Τέτοια περίπτωση είναι η διανομή και ταξινόμηση πακέτων σε διαφορετικές παλέτες

Για τις περιπτώσεις παλετοποίησης στις οποίες τα πακέτα πρέπει να ληφθούν από διάφορα σημεία αποθήκευσης και να διανεμηθούν σε διάφορες παλέτες χρησιμοποιείται το μοντέλο HGTV με 5 βαθμούς ελευθερίας. Το ρομπότ αυτό κινείται πάνω σε ράγες και έχει μοτέρ συνεχούς ρεύματος και σύστημα ελέγχου ρομπότ (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Το μοντέλο HGTV με 5 βαθμούς ελευθερίας.

### 6.1.1 Τα ταξινομητικά ρομποτικά συστήματα της ROMEO.

Τα ταξινομητικά ρομποτικά συστήματα είναι σχεδιασμένα για να πραγματοποιούν λογικούς συνδυασμούς οι οποίοι είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι. Επίσης επεξεργάζονται άπειρα μοτίβα στρώσεων τα οποία διαφέρουν από παλέτα σε παλέτα. Αντίθετα με τα ρομπότ παλετοποίησης τα οποία παλετοποιούν τα προϊόντα σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο μοντέλο στρώσης το οποίο είναι σωσμένο στη μνήμη, τα ταξινομητικά ρομποτικά συστήματα παράγουν από μόνα τα μοτίβα στρώσης. Τα συστήματα ταξινόμησης ROMEO αποτελούνται από ένα ρομπότ με δικό του σύστημα ρομποτικού ελέγχου και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής χρησιμοποιείται σαν master και οι δυνατότητες του εξαρτώνται μεταξύ



άλλων από την ποικιλία μεγεθών και σχημάτων των πακέτων. Στο βασικό του μοντέλο το σύστημα ελέγχου ROMEO χρησιμοποιεί ένα PC. Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται για τα ταξινομητικά συστήματα είναι μετακινούμενα με 5 βαθμούς ελευθερίας και οδηγούς τριφασικού ρεύματος ή σερβοτριφασικούς οδηγούς.

#### 6.1.2 Οι αρπάγες των ρομπότ της ROMEO.

Τα ρομποτικά συστήματα παλετοποίησης της ROMEO υποστηρίζονται από διάφορες αρπάγες κατάλληλες για πακέτα, κιβώτια, μεταλλικά αντικείμενα (μαγνητικές αρπάγες) και βέβαια σακιά. Διατίθεται επίσης και αυτόματη διάταξη για την εναλλαγή αρπαγών για εργασίες που αυτό είναι απαραίτητο. Για τα σακιά έχει εξελιχτεί μία ειδική αρπάγη η οποία δουλεύει με πνευματικό σύστημα και φέρει δάκτυλους τον οποίων η καμπυλότητα είναι τέτοια ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα ζημιάς του σακιοῦ. Επίσης για ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία της αρπάγης, μπορεί να τοποθετηθούν αισθητήρες άδειας θέσης. Αυτοί θα ελέγχουν αν υπάρχει σακί στη θέση φόρτωσης πριν κλείσει η αρπάγη και αν όχι θα ενεργοποιείται συναγερμός λάθους και θα κλείνει το σύστημα.

#### 6.1.3 Επιλογή μοντέλου της ROMEO.

Μελετώντας τα παραπάνω μπορούμε να βρούμε πιο από τα παραπάνω μοντέλα είναι κατάλληλο για την περίπτωση των Μύλων Κρήτης. Καταρχήν δεν υπάρχει ενδιαφέρον για τη δυνατότητα αποπαλετοποίησης. Αυτό συμβαίνει γιατί για το εργοστάσιο των αλεύρων η ποσότητα των πρώτων υλών που παραλαμβάνεται σε σακιά είναι αμελητέα και η παραλαβή ολόκληρων παλετών συμβαίνει με εξαιρετικά μικρή συχνότητα και δεν υπάρχει και πρόβλεψη να γίνει σημαντικά πιο εντατική έτσι ώστε να δημιουργηθεί ανάγκη αυτοματοποίησης της διαδικασίας.

Επίσης δεν υπάρχει ανάγκη για ταξινόμηση σε διαφορετικές παλέτες καθώς έχουμε ένα είδος προϊόντος που φτάνει προς παλετοποίηση. Η μία παλέτα δεν θέτει και περιορισμούς χώρου τέτοιας φύσης.

Ακόμα δεν θα έχουμε και άφιξη σακίων από διάφορα σημεία. Που σημαίνει ότι δεν είναι αναγκαίο να έχουμε ένα ρομπότ με πέμπτο βαθμό ελευθερίας, άρα ότι δεν θέλουμε ρομπότ που μπορεί να κινηθεί πάνω σε ράγες.

Εκτός από αυτά είναι προφανές ότι δεν υπάρχει η ανάγκη ενός ρομπότ το οποίο να φέρει ταξινομητικό σύστημα και ούτε βέβαια οπτική αναγνώριση. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε ένα μόνο τύπο σακίου το οποίο θα φτάνει κάθε φορά στο προκαθορισμένο σημείο που θα το πιάνει η αρπάγη με συγκεκριμένο προσανατολισμό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα επιλέξουμε το μοντέλο HD. Πρόκειται για το πιο κατάλληλο από τα μοντέλα που προτείνει η ROMEO. Το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για αποπαλετοποίηση στην απλή μορφή, γεγονός που κάτω από τις παρούσες συνθήκες δεν μας απασχολεί. Έστω και αν κάποτε μας απασχολήσει, αυτό θα είναι τόσο μακριά στο μέλλον που θα υπάρχουν πιο εξελιγμένα ρομπότ για αυτή την εργασία και το ρομπότ αυτό κατά πάσα πιθανότητα θα έχει τερματίσει τη μηχανολογική αλλά και οικονομική του ζωή. Όσον αφορά την αρπάγη θα μας ενδιέφερε η ειδική για την παλετοποίηση σακίων. Επίσης η παρουσία αισθητήρα άδειας θέσης κρίνεται επιθυμητή

Ας δούμε όμως στο σημείο αυτό ορισμένα ακόμα τεχνικά χαρακτηριστικά του ROMEO:

Αριθμός αξόνων	4
Ανυψωτική ικανότητα	50 kg
Ακτίνα χώρου εργασίας	1850 mm
Όρια πρώτης άρθρωσης	0°-340°
Όρια δεύτερης άρθρωσης	0-1850mm
Όρια τρίτης άρθρωσης	0-1300mm
Όρια τέταρτης άρθρωσης	0°-360°
Επαναληψιμότητα	± 0.5 mm

Ταχύτητες :	Πρώτης άρθρωσης 133 μοίρες/s Δεύτερης άρθρωσης 1.25 m/s Τρίτης άρθρωσης 1.44 m/s Τέταρτης άρθρωσης 133 μοίρες/s
Προγραμματισμός	α) Είσοδος δεδομένων μέσω του πάνελ του H/Y ή μέσω του τερματικού χειρός β) Μέσω διαδικασιών εκμάθησης

Το μοντέλο ακριβώς αυτό της ROMEO θα εξετάσουμε παρακάτω, δηλαδή θα προσομοιωθεί η λειτουργία του αλλά και θα εξετασθεί και χρηματοοικονομικά.

#### 6.1.4 Το μοντέλο Robotrac της εταιρίας Beumer.

Ένα ακόμη σύστημα που έχει κινήσει το ενδιαφέρον της τεχνικής διοίκησης των Μύλων Κρήτης είναι και το Robotrac της επίσης Γερμανικής εταιρείας Bernhard Beumer Maschinenfabrik. Σύμφωνα με τα λεγόμενα της Γερμανικής εταιρείας πρόκειται για ένα ευέλικτο σύστημα το οποίο μπορεί να αντεπεξέλθει σε οποιαδήποτε δουλειά σχετική με παλετοποίηση. Στιβαρότητα και δοκιμασμένα μηχανικά μέρη συνδυασμένα με ηλεκτρομηχανικούς κινητήρες εγγυώνται σίγουρη λειτουργία ακόμα και κάτω από δύσκολες συνθήκες. Το ρομποτικό σύστημα robotrac μπορεί αποδεδειγμένα να δουλεύει αξιόπιστα και σε χώρους γεμάτους σκόνη όπως συνήθως είναι οι χώροι παλετοποίησης. Οι παλέτες που φτιάχνει είναι ακριβείς και σταθερές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορούν να τοποθετηθούν σε ραουλόδρομους ή να σηκωθούν από περνοφόρα χωρίς κανένα πρόβλημα. Ο συνδυασμός του Robotrac με τον εξοπλισμό παλετοποίησης stretch hood της Beumer παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις σε ζητήματα παλετοποίησης και πακεταρίσματος για βιομηχανίες κατασκευαστικών υλικών, χημικές και βιομηχανίας τροφίμων. Μάλιστα με μια τροποποιημένη αρπάγη μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξίσου αξιόπιστα για αποπαλετοποίηση.



Σχήμα 3: το μοντέλο Robotrac της εταιρείας Beumer.

Το μοντέλο robotrac της Beumer μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παλετοποίηση και αποπαλετοποίηση σακιών, κουτιών και δίσκων. Η δυναμικότητα του είναι 600 κύκλοι εργασίας την ώρα. Ανάλογα το μέγεθος και το σχήμα των αντικειμένων και το μοτίβο της στρώσης το robotrac μπορεί να διαχειριστεί περισσότερα από ένα αντικείμενα, σε ένα κύκλο εργασίας. Με αυτό τον τρόπο η δυναμικότητα του συστήματος μπορεί να γίνει δύο, τρεις ή και περισσότερες φορές μεγαλύτερη. Το εν λόγω ρομπότ υποστηρίζεται από διάφορα συστήματα αρπάγης όπως αρπάγη βεντούζας, αρπάγη για παλέτες, εναλλάκτες εργαλείων κλπ. τα οποία έχουν χρήση σε διάφορες εφαρμογές.

Ας δούμε όμως στο σημείο αυτό ορισμένα ακόμα τεχνικά χαρακτηριστικά του Robotrac:

Αρχή λειτουργίας	Αρθρωτό κάθετο ρομπότ
Ακτίνα χώρου εργασίας	max. 3130mm
Ύψος χώρου εργασίας	max. 2925mm
Δυναμικότητα	600 κύκλοι εργασίας / ώρα
Ανυψωτική ικανότητα	max. 50 kg
Ταχύτητα άρθρωσης πρώτης	115 μοίρες/s
Ταχύτητα άρθρωσης δεύτερης	120 μοίρες/s
Ταχύτητα άρθρωσης τρίτης	135 μοίρες/s
Ταχύτητα άρθρωσης τέταρτης	300 μοίρες/s
Επαναληψιμότητα	$\pm 0.5$ mm

## 7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

### 7.1 Λίγα λόγια για το workspace 3.5

Το Workspace 3.5 είναι λογισμικό εξειδικευμένο στις προσομοιώσεις ρομποτικών συστημάτων. Έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει συστήματα που περιέχουν περισσότερα από ένα ρομπότ. Ακόμα αναπαριστά τη λειτουργία συστημάτων FMS καθώς επίσης και σταθμών εργασίας.

Για τη σχεδίαση των συστημάτων εμπεριέχει ένα λογισμικό CAD. Το λογισμικό αυτό έχει αρκετές δυνατότητες. Όμως οφείλει κανείς να πει ότι η εξειδίκευση του λογισμικού στις ρομποτικές εφαρμογές είναι εις βάρος των σχεδιαστικών του δυνατοτήτων. Έτσι είναι σκόπιμο όταν κανείς θέλει να σχεδιάσει πολύπλοκα συστήματα να καταφεύγει σε άλλα σχεδιαστικά πακέτα. Το AutoCAD θα ήταν μια καλή λύση για αυτή την περίπτωση. Τα εν λόγω λογισμικά είναι δυνατό να συνεργαστούν. Έτσι μπορεί να σχεδιαστούν τα συστατικά κομμάτια των ρομπότ σε κάποιο άλλο περιβάλλον και στην συνέχεια μέσα στο περιβάλλον του workspace να συντεθούν και με τον κατάλληλο προγραμματισμό να ορίσουν ένα ρομποτικό σύστημα. Το ίδιο μπορεί να γίνει και με το περιβάλλον εργασίας καθώς και με τα συνεργαζόμενα μηχανήματα (conveyors, μηχανές αριθμητικού ελέγχου, πάγκοι εργασίας κτλ). Αν ακολουθήσουμε αυτή τη λογική θα γλυτώσουμε χρόνο γιατί είναι προφανές ότι η ανάπτυξη ενός πολύ καλού σχεδιαστικού πακέτου ξεφεύγει από τους στόχους του Workspace. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι το Workspace αναγνωρίζει την μορφή αρχείων dxf στην οποία μπορούμε να σώσουμε τρισδιάστατα σχέδια φτιαγμένα στο AutoCAD. Παρόλα αυτά η σχεδίαση της προσομοίωσης και της κίνησης έγινε εξ ολοκλήρου στο Workspace γιατί ένας από τους στόχους της διπλωματικής αυτής είναι και η εξοικείωση με το εν λόγω περιβάλλον. Όσον αφορά το κομμάτι του λογισμικού που ασχολείται με τα ρομπότ και την παραγωγή προσομοιώσεων μπορούμε να πούμε ότι έχουμε να κάνουμε με ένα δυνατό και σύνθετο εργαλείο αρκετά φιλικό στο χρήστη. Το workspace είναι ένα πολύ καλό μελετητικό εργαλείο. Οδηγεί στην εξαγωγή πολλών χρήσιμων αποτελεσμάτων.

## 7.2 Χρησιμότητα του workspace.

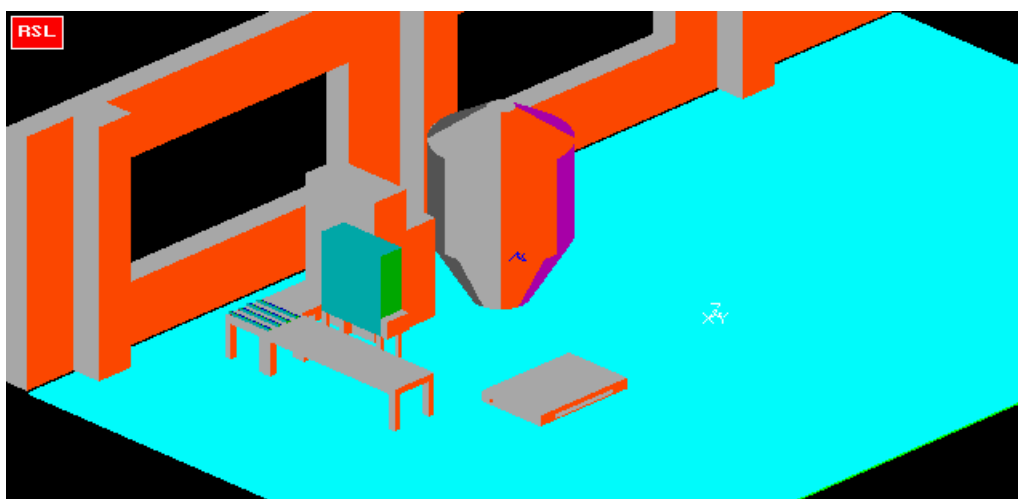
Μια από τις χρησιμότητες του πακέτου είναι ότι δείχνει αν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος για να εγκατασταθεί το σύστημα. Αφού σχεδιάσουμε τον περιβάλλοντα χώρο και το ρομποτικό σύστημα τοποθετούμε το τελευταίο στον πρώτο και βλέπουμε κατά πόσο αυτό είναι εφικτό. Στη συνέχεια παράγουμε το χώρο εργασίας του ρομπότ και μπορούμε να δούμε την έκταση του, το κατά πόσο είναι άρτιος και αν υπάρχουν περιοχές μέσα στο χώρο εργασίας που το ρομπότ δεν μπορεί να προσεγγίσει.

Πολύ σημαντικό είναι επίσης ότι μπορούμε να ξέρουμε αν υπάρχει πιθανότητα να έχουμε πρόσκρουση του ρομπότ κατά την λειτουργία του. Δηλαδή αν κάποιο από τα μηχανήματα που βρίσκονται κοντά, προϊόντα ή ακόμα και εργαζόμενοι ή οτιδήποτε άλλο αντικείμενο υπάρχει κίνδυνος να βρεθεί κάποια στιγμή μέσα στο χώρο εργασίας, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό γιατί μας γλυτώνει από δυσάρεστες εκπλήξεις. Ακόμα το workspace δέχεται σαν δεδομένο τις ταχύτητες κίνησης των αρθρώσεων. Έτσι μπορούμε να παράγουμε προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο. Το γεγονός αυτό μας δίνει την δυνατότητα να δοκιμάσουμε και την δυναμικότητα του ρομπότ στην πράξη.

Τέλος το πιο σημαντικό είναι ότι το Workspace κατά την παραγωγή της προσομοίωσης στην οθόνη υπολογίζει τον χρόνο κύκλου εργασίας των εργασιών που πραγματοποιούνται. Έτσι αφενός μπορούμε να υπολογίσουμε την αποδοτικότητα του συστήματος και αφετέρου, μπορούμε να τη βελτιώσουμε. Αυτό γίνεται με βελτιστοποίηση της τροχιάς και επιλογή των κατάλληλων σημείων που την αποτελούν. Άρα είναι προφανές ότι το Workspace επιτρέπει να έχουμε μια παραμετρική αντιμετώπιση των προβλημάτων. Με τη βοήθεια του αλλάζουμε εύκολα της συνιστώσες και τα δεδομένα των προβλημάτων και ελέγχουμε πως οι αλλαγές μας επηρεάζουν το σύστημα.

## 7.3 Δημιουργία της προσομοίωσης

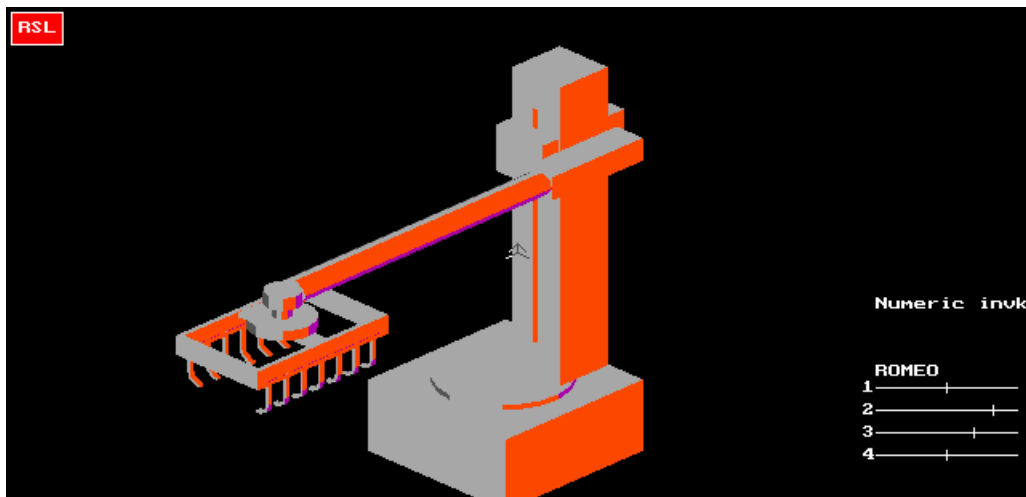
Το πρώτο πράγμα που κάναμε κατά τη δημιουργία της προσομοίωσης ήταν η σχεδίαση του χώρου εργασίας. Για το σκοπό επισκεφτήκαμε τους Μύλους και φτιάξαμε ένα τρισδιάστατο προσχέδιο του πρώτου ορόφου του κτιρίου του κυλινδρόμυλου όπου και πραγματοποιείται η ενσάκκιση και η παλετοποίηση. Με τη βοήθεια αυτού αλλά και της υπάρχουσας κάτοψης σε ηλεκτρονική μορφή σχεδιάστηκε ο χώρος εργασίας (σχήμα).



Σχήμα 4: το κέλυφος παραγωγής σχεδιασμένο στο Workspace

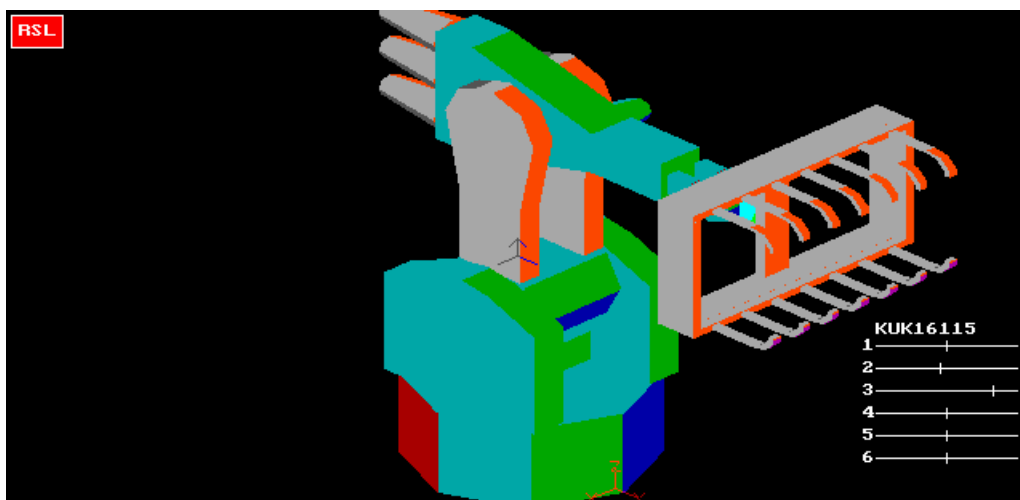
Το επόμενο βήμα θα ήταν η σχεδίαση των ρομπότ. Δημιουργήθηκαν προσομοιώσεις με τρία διαφορετικά ρομπότ. Τα δύο από αυτά προτάθηκαν από τους Κυλινδρόμυλους . Αυτά είναι το μοντέλο Romeo της γερμανικής εταιρίας Moellers και το μοντέλο Robotrac της επίσης γερμανικής εταιρίας Beumer. Για το σκοπό αυτό η τεχνική διεύθυνση του εργοστασίου μας έδωσε τα σχετικά φυλλάδια αλλά και άλλα χρήσιμα στοιχεία που μας οδήγησαν στο σχεδιασμό των ρομπότ. Στο σχήμα που ακολουθεί εικονίζεται το μοντέλο HD Romeo της Moellers. Επίσης στο σχήμα αυτό όπως και στα παρακάτω εικονίζονται κάτω δεξιά ο αριθμός των αξόνων με την στιγμιαία μετατόπιση των αρθρώσεων.





Σχήμα 5: το μοντέλο σχεδιάστηκε για το Romeo HD

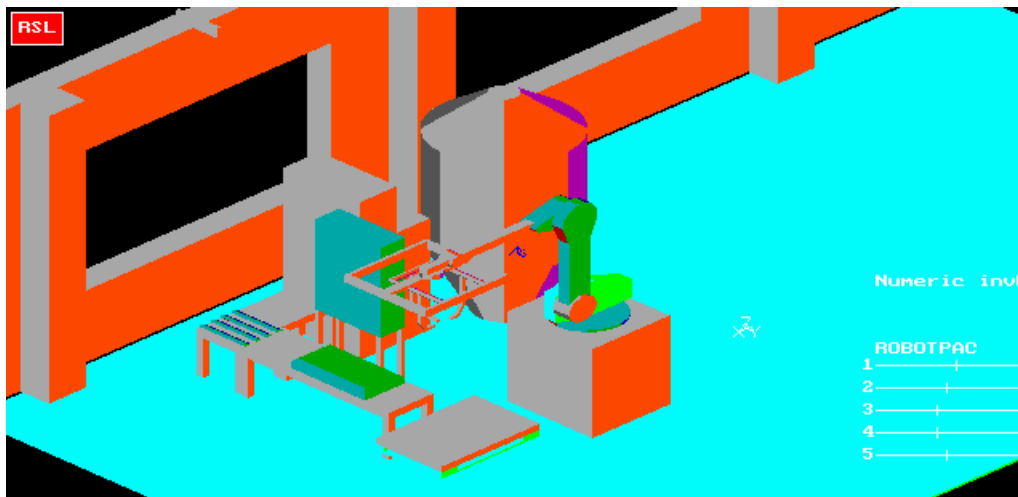
Εδώ πρέπει να πούμε ότι το workspace περιέχει μία βιβλιοθήκη ρομπότ με όλα τα χαρακτηριστικά τους και τα γεωμετρικά τους στοιχεία έτοιμα προς επεξεργασία. Ένα από αυτά, το KUKA, επιλέξαμε σαν κατάλληλο να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις του συγκεκριμένου προβλήματος και παράχθηκε άλλη μια προσομοίωση. Στο σχήμα που ακολουθεί εικονίζεται το Kuka με την αρπάγη που εμείς σχεδιάσαμε ειδικά για την εφαρμογή.



Σχήμα 6: το ρομπότ Kuka

Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τα γεωμετρικά στοιχεία, το μήκος των αξόνων για γραμμικούς συνδέσμους ή τη μέγιστη περιστροφή για περιστροφικούς το Workspace λαμβάνει υπόψη τις γραμμικές ή γωνιακές ταχύτητες και επιταχύνσεις.

Στη συνέχεια φέραμε τα ρομπότ διαδοχικά στο χώρο εργασίας που είχαμε ήδη σχεδιάσει και προχωρήσαμε στην παραγωγή των προσομοιώσεων. Στο σχήμα που ακολουθεί εικονίζεται το μοντέλο Robotrac της Beumer μέσα στο χώρο εργασίας.



Σχήμα 7: το Robotpac στο χώρο εργασίας.

Για το σκοπό αυτό χρειάστηκε μεταξύ άλλων να ορίσουμε τα απαραίτητα teachpoints. Πρόκειται για σημεία μέσα στο χώρο εργασίας που περνάμε στη μνήμη του υπολογιστή. Εκτός από τις συντεταγμένες ο υπολογιστής κρατάει στην μνήμη και τις τιμές των αρθρώσεων του ρομπότ για να επιτύχει τη θέση αυτή του άκρου του ρομπότ.

Για το σκοπό αυτό ορίσαμε 21 σημεία σε κάθε προσομοίωση που εκφράζουν την τοποθέτηση των σακιών στην παλέτα. Επίσης ορίσαμε και άλλα σημεία που βοηθούν στην παραγωγή της τροχιάς που ακολουθεί το ρομπότ για να γεμίσει την παλέτα. Τα σημεία αυτά έπρεπε να είναι τέτοια ώστε:

- να εξασφαλίζουν την αποφυγή σύγκρουσης του ρομπότ με σταθερό σημείο,
- να μην ανήκουν σε πιθανές οπές του χώρου εργασίας,
- να μειώνουν όσο είναι δυνατό το χρόνο κύκλου εργασίας.

#### **7.4 Συζητώντας με την τεχνική διεύθυνση των Κυλινδρόμυλων Κρήτης.**

Συζητώντας με τον τεχνικό διευθυντή του εργοστασίου τέθηκαν μερικά αρκετά σημαντικά ζητήματα σχετικά με τη φύση της εφαρμογής αλλά και των απαιτήσεων σε τεχνικό εξοπλισμό.

Πρώτα από όλα επισημάνθηκε η σπουδαιότητα ενός μηχανισμού ο οποίος θα φρόντιζε έτσι ώστε να διατηρεί σταθερό το ύψος που θα εναποτίθενται τα σακιά. Δηλαδή ο μηχανισμός αυτός θα χαμήλωνε το ύψος της παλέτας κάθε φορά που θα εναποτίθονταν μια στρώση έτσι ώστε να διατηρείται η στάθμη που ο ρομποτικός μηχανισμός θα αφήνει τα σακιά σταθερή. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που θα τοποθετούνται τρία σακιά δηλαδή μια στρώση η παλέτα θα κατεβαίνει όσο είναι το πάχος του σακιού δηλαδή περίπου 15cm.

Το όφελος από την τοποθέτηση αυτού του μηχανισμού είναι η μείωση του χρόνου ενός κύκλου εργασίας. Για να πάρει εδώ ο αναγνώστης μια ιδέα θα αναφέρουμε εδώ ότι αν γλιτώνουμε 1sec σε ένα κύκλο εργασίας δηλαδή για την τοποθέτηση ενός σακιού, θα γλιτώνουμε 21sec ( $7 \text{ στρώσεις} * 3 \text{ σακιά/στρώση} = 21 \text{ σακιά/παλέτα}$ ), για τη δημιουργία μιας παλέτας. Που σημαίνει ότι στα 400 σακιά/ώρα που απαιτούμε να δουλεύει το σύστημα μας γλιτώνουμε 420sec δηλαδή 7min. Είναι προφανές ότι ο χρόνος αυτός δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητος.

Θα αναφέρουμε όμως εδώ ξανά ότι το πιο αργό σημείο του συγκεκριμένου κομματιού της γραμμής παραγωγής δεν είναι αυτό του ρομποτικού μηχανισμού που πραγματοποιεί την παλετοποίηση αλλά λίγο πιο πριν κατά την ενσάκκιση των προϊόντων με τη χρήση των ζυγών.

Αυτοματισμοί σαν και αυτόν που προαναφέρθηκε παρέχονται από τις εταιρείες Beumer και Moellers. Θεωρούνται όμως επιπλέον επιβάρυνση και το κόστος τους δεν συνυπολογίζεται στην τιμή που έχουμε δώσει για τα ρομποτικά αυτά συστήματα παρακάτω κατά την οικονομική αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων.

Μία άλλη επισημάνση ήταν το ότι για την εφαρμογή του συστήματος θα απαιτηθεί η χρήση νέων μεταφορικών συστημάτων (ταινιομεταφορέων). Για λόγους απλότητας και χωρίς βλάβη των εξαγόμενων συμπερασμάτων εμείς στην προσομοίωση θα σχεδιάσουμε τον χώρο που πρόκειται να εγκατασταθεί το σύστημα ως έχει σήμερα με τα υπάρχουσα περιφερειακά μηχανήματα. Τέλος, μία ακόμα αναγκαιότητα του συστήματος είναι η δημιουργία παροχής ηλεκτρικού ρεύματος της οποίας το κόστος θεωρείται μη υπολογίσιμο δεδομένου ότι θα χρειαστεί σε κάθε περίπτωση, και η

εγκατάσταση του θα γίνει από συνεργείο της εταιρείας γεγονός που μειώνει πολύ το κόστος.

Από τον τεχνικό διευθυντή σκιαγραφήθηκε και η στρατηγική της εταιρείας αναφορικά με τέτοιες επενδύσεις εκσυγχρονισμού της γραμμής παραγωγής. Έγινε σαφές ότι οι στόχοι της εταιρείας ξεφεύγουν από τη σε βάθος κατοχή της τεχνογνωσίας της υψηλής τεχνολογίας των ρομποτικών αυτών συστημάτων. Η λογική της εταιρείας υπαγορεύει των εκσυγχρονισμό αλλά μέσα από δοκιμασμένες και σίγουρες λύσεις, δηλαδή η εταιρεία συνηθίζει να απευθύνεται στον εκάστοτε αρμόδιο και να εφαρμόζει λύσεις δοκιμασμένες και αξιόπιστες. Για το λόγο αυτό προτιμούνται συχνά λύσεις ακριβότερες αλλά πιο σίγουρες.

Επίσης μια τελευταία δικιά μας παρατήρηση είναι το ότι η εταιρεία θα εμπιστεύονταν με μεγαλύτερη ευκολία εταιρείες του εξωτερικού π.χ. Γερμανικές και όχι μία από τις Ελληνικές του χώρου όπως για παράδειγμα η Ζήνων ή την Κουβαλιάς Robots. Οι Ελληνικές αυτές εταιρείες ωστόσο θα μπορούσαν να ανταποκριθούν στις ανάγκες αυτού του συστήματος.

## **8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ.**

Είναι σίγουρο ότι καμιά βελτίωση του παραγωγικού τομέα δεν είναι θεμιτή αν μεταξύ άλλων δεν συνοδεύεται και από οικονομικά οφέλη. Ακόμα όσο μεγαλύτερα και πιο άμεσα οικονομικά οφέλη έχει μια επένδυση τόσο πιο ελκυστική είναι. Συνεπώς η μελέτη μας δεν θα μπορούσε να είναι πλήρης αν δεν εμπεριείχε και οικονομική αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων.

Πρέπει όμως εδώ να πούμε ότι τα οφέλη από την εφαρμογή μιας καινούριας τεχνολογίας είναι συχνά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, που δεν σημαίνει βέβαια ότι δεν πρέπει κανείς να μην εκσυγχρονίζεται επειδή δεν βλέπει άμεσα οικονομικά οφέλη. Συνήθως η υιοθέτηση καινούριων τεχνικών και τεχνολογιών αποφέρει καρπούς όχι στο άμεσο μέλλον και συχνά και σε μορφές που δεν μπορούν να εκφραστούν με αριθμούς. Για παράδειγμα, η ικανοποίηση των εργαζομένων επειδή εργάζονται σε ένα περιβάλλον προηγμένης τεχνολογίας και καλύτερης ενδεχόμενα υγιεινής, δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί εύκολα.

Από την άλλη όμως υπάρχουν επιδράσεις της καινούριας τεχνολογίας οι οποίες είναι μετρήσιμες και σε αυτές θα επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας, όπως η αύξηση της παραγωγικότητας, η μείωση της σπατάλης πρώτων υλών, η μείωση των απαιτούμενων εργατοωρών κλπ, μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια συγκρίνοντας την καινούρια κατάσταση με την προϋπάρχουσα.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει κατά την οικονομική αξιολόγηση δύο ή και παραπάνω οικονομικών λύσεων είναι η επιλογή της μεθόδου βάσει της οποίας θα γίνει αυτό. Οι μέθοδοι που εξετάσαμε ως πιθανές για να κάνουμε την οικονομική αξιολόγηση είναι:

- Της χρονικής περιόδου επανείσπραξης (payback period).
- Του μέσου βαθμού απόδοσης (return of investment).
- Της καθαρής παρούσας αξίας (present value).

Μία σε βάθος ανάλυση και σύγκριση των παραπάνω μεθόδων ξεφεύγει από τους σκοπούς της μελέτης αυτής. Επίσης το αντικείμενο αυτό έχει μελετηθεί εκτενέστερα ακόμα και από άλλους συναδέλφους (Τζανακάκης-Σαράντης 1996). Όμως είναι χρήσιμο να πούμε λίγα λόγια για αυτές. Έτσι θα αναφέρουμε επιγραμματικά τα μειονεκτήματα και τα προτερήματα τους καθώς επίσης και τους λόγους που μας οδήγησαν στην επιλογή μίας εξ' αυτών.

### **8.1 Η μέθοδος της χρονικής περιόδου επανείσπραξης.**

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στον υπολογισμό του χρόνου που απαιτείται για την επανείσπραξη του κεφαλαίου που δαπανήθηκε για την πραγματοποίηση της επένδυσης αυτής, δηλαδή το χρόνο που απαιτείται έτσι ώστε το άθροισμα των ταμειακών ροών ενός έργου να γίνει ίσο με την αρχική του δαπάνη. Το κριτήριο αυτό με μονάδα μέτρησης το χρόνο εκφράζεται με τον τύπο:

$$\text{Χρόνος Ανάκτησης (σε χρόνια)} = \frac{\text{Συνολικό Ύψος Επένδυσης}}{\text{Ετήσιες Οικονομίες} - \text{Ετήσια Λειτουργικά Έξοδα}}$$

Πρόκειται για ένα αρκετά δημοφιλές και σχετικά εύκολο στη χρήση κριτήριο, που υστερεί όμως σε αρκετά σημεία. Βασικό του μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη του το ύψος των οφελών από μια επένδυση αλλά μόνο το χρόνο για την επανάκτηση του αρχικά δαπανηθέντος κεφαλαίου. Για παράδειγμα ας φανταστούμε ότι έχουμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε μια επένδυση πολύ αποδοτική που θα αποδώσει μακροπρόθεσμα και σε μια με πολύ μικρότερα οφέλη που απλώς κάποιο σημαντικό κομμάτι αυτών θα φανεί στο άμεσο μέλλον. Τότε το κριτήριο περιόδου επανείσπραξης θα μας συμβουλέψει να προτιμήσουμε την δεύτερη, επιλογή που θα είναι λανθασμένη.

### **8.2 Η μέθοδος βαθμού απόδοσης ( Return of investment)**

Η δεύτερη μέθοδος που εξετάστηκε είναι αυτή του μέσου βαθμού απόδοσης. Για τις ανάγκες τις μεθόδου αυτής δημιουργείται ένας δείκτης του οποίου ο αριθμητής είναι οι αναμενόμενες ταμειακές ροές του επενδυτικού έργου και ο παρονομαστής είναι η αρχική του δαπάνη. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι υπολογισμού του δείκτη αυτού και ένας από αυτούς εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$M.B.A = \frac{\text{Μέσες Καθαρές Ταμειακές Ροές επι 100}}{\text{Συνολικό Ύψος Επένδυσης}}$$

Ο μέσος βαθμός απόδοσης είναι ένα καλό εργαλείο χρηματοοικονομικής αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων, έχει όμως και αδύνατα σημεία. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι ενώ μπορεί να ταξινομήσει σε σειρά ενδιαφέροντος περισσότερες από μία επενδύσεις δεν μας λέει πότε μία επένδυση αξίζει να γίνει και πότε όχι. Για το σκοπό αυτό πρέπει με τη βοήθεια περαιτέρω μελέτης να τίθεται κάθε φορά μία οριακή τιμή του βαθμού απόδοσης. Πάνω από την τιμή αυτή ένα επενδυτικό σχέδιο θα γίνεται αποδεκτό και κάτω από αυτή θα γίνεται απορριπτό.

### 8.3 Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας.

Το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας είναι η τρίτη και μπορούμε να πούμε η πιο άρτια από τις μεθόδους που εξετάσαμε. Υπερτερεί ή καλύτερα συμπληρώνει τις προηγούμενες. Βασικό της πλεονέκτημα είναι το ότι λαμβάνει υπόψη και το χρηματοοικονομικό φαινόμενο του πληθωρισμού. Με άλλα λόγια λαμβάνει υπόψη της ότι η αξία του χρήματος δεν είναι διαχρονική αλλά μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Έτσι καλύπτει κενά που αφήνουν οι προηγούμενες. Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζει την σημερινή αξία χρηματοοικονομικών ροών που θα πραγματοποιηθούν κάποια στιγμή στο μέλλον. Η Κ.Π.Α δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$ΚΠΑ = \sum_1^n C_t (1 + K)^{-t} - I, \text{ με } t = 1, 2, \dots, n$$

όπου

$I$  : το συνολικό ύψος της επένδυσης

$C_1, C_2, \dots, C_n$ : οι καθαρές ταμειακές ροές για  $n$  περιόδους

$K$ : το επιτόκιο προεξόφλησης ή παρούσας αξίας (οριακό κόστος κεφαλαίου)

Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και σημεία που μειονεκτεί. Μία απαρίθμηση των θετικών και αρνητικών αυτών στοιχείων θα βοηθήσει σε μια καλύτερη κατανόηση της χρησιμότητας της.

Εκτός από τα όσα προαναφέρθηκαν λοιπόν, σημαντικό επίσης είναι ότι η Κ.Π.Α εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες. Έτσι είναι εύκολο να γίνεται άμεση σύγκριση με τη δαπάνη των επενδυτικών έργων. Ακόμα το κριτήριο της Κ.Π.Α μπορεί να διαφοροποιηθεί εύκολα έτσι ώστε να δίνει απαντήσεις σε αποφάσεις που αφορούν επενδύσεις υπό αβέβαιο μέλλον.

Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου της καθαρής παρούσας αξίας αποτελεί το γεγονός ότι δέχεται ότι οι ενδιάμεσες ταμειακές ροές επανεπενδύονται με το οριακό κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης. Όμως αυτό είναι κάτι το οποίο δεν ισχύει πάντα.

Τέλος δεν είναι απόλυτα σωστή η θεώρηση ότι το οριακό κόστος κεφαλαίου παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια εφαρμογής του επενδυτικού έργου. Οι αλλαγές του οριακού κόστους κεφαλαίου οδηγούν σε λάθος εκτίμηση της καθαρής παρούσας αξίας.

#### **8.4 Η επιλογή της μεθόδου οικονομικής αξιολόγησης**

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την οικονομική αξιολόγηση των επενδυτικών σχεδίων βασίζεται στη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας. Δανείζεται επίσης και στοιχεία κατά πρώτο λόγο από τη μέθοδο του βαθμού απόδοσης. Θεωρούμε ότι είναι μια πλήρης μέθοδος κατάλληλη για την εργασία που τη θέλουμε καθώς δεν ελαχιστοποιεί τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν προς τα πάνω.

#### **8.5 Η συλλογή των δεδομένων που απαιτεί η οικονομική αξιολόγηση**

Τα απαραίτητα δεδομένα για το σκοπό συλλέχθηκαν ύστερα από συζήτηση με παράγοντες της εταιρείας. Πιο συγκεκριμένα με τις συζητήσεις αυτές προσδιορίστηκαν τα παρακάτω μεγέθη:



	Ρομπότ 1	Ρομπότ 2
Κόστος επένδυσης(Δραχμές)	31400000	31400000
Ωφέλιμη ζωή του ρομπότ (χρόνια)	10	10
Ρυθμός παραγωγής του ρομπότ(αντικείμενα/ώρα)	400	400
Ρυθμός παραγωγής του ανθρώπου(αντικείμενα/ώρα)	400	400
Κατανάλωση ρομπότ (KW)	3	3
Κόστος ασφάλισης ανά έτος	3% του κόστους επένδυσης	
Ανθρωποώρες για επίβλεψη ρομπότ ανά μέρα	0.5	0.5
Κόστος συντήρησης	5% του κόστους επένδυσης	
Εναπομείνουσα αξία του ρομπότ	0	0
Κόστος ανθρωποώρας (Δραχμές)	2000	
Ελάχιστος συντελεστής ελκυστικής απόδοσης	15%	
Χρονική περίοδος επανεύσπραξης	6	

Τα υπόλοιπα στοιχεία που εισάγονται στη μέθοδο είναι είτε υπολογισμένα κατά προσέγγιση είτε υπολογίζονται βάσει κάποιας λογικής. Ας δούμε όμως αναλυτικότερα τα στοιχεία αυτά που χρειάζονται διευκρινίσεις και είτε δίνονται είτε υπολογίζονται.

Χρήσιμη ζωή της επένδυσης: Ο χρόνος σε έτη που το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η χρήσιμη-πραγματική ζωή της επένδυσης ενδέχεται να διαφέρει από την οικονομική ζωή της επένδυσης.

Ποσοστό Καθαρού Χρόνου Εργασίας του Ρομπότ: Μπορεί κανείς να υποθέσει ότι ένα ρομπότ μπορεί να δουλεύει αδιάκοπα. Όμως για τις ανάγκες της περιοδικής συντήρησης ή και κάποιων πιθανών ζημιών θα δεχθούμε ότι είναι γύρω στο 95%.

Ποσοστό Καθαρού Χρόνου Εργασίας του Ανθρώπου: Το αντίστοιχο ποσοστό για τον άνθρωπο υπολογίζεται γύρω στο 80%.

Ανθρωποώρες για την επίβλεψη ρομπότ ημερησίως: Τα ρομπότ δεν χρειάζονται ανθρώπινο χειριστή. Παρόλα αυτά δεχόμαστε ότι κατά προσέγγιση θα απασχολεί ένα εργατή για μισή ώρα την ημέρα για καθαρισμό και μικροσυντηρήσεις.

Πληρωμές και μισθοί χειριστών ρομπότ: Εδώ έχουμε το κόστος των ανθρωποωρών που δικαιολογήθηκαν αμέσως πριν. Δεχόμαστε ότι ένα έτος έχει περίπου 250 εργάσιμες μέρες.

Κόστος συντήρησης ανά χρόνο: Το κόστος αυτό εκτιμήθηκε από τον τεχνικό διευθυντή κατά προσέγγιση γύρω στο 5% του κόστους επένδυσης ετησίως. Η

προσωπική μας άποψη είναι ότι η εκτίμηση αυτή είναι αυξημένη. Έτσι θα δούμε ότι σε κάποιο σημείο παρακάτω θα χρειαστεί να επανεκτιμηθεί.

Ο Ελάχιστος συντελεστής απόδοσης επένδυσης (M.A.R.R.): Ορίζεται από την επιχείρηση και εκτιμήθηκε την δεδομένη στιγμή 15%, δηλαδή 8 ποσοστιαίες μονάδες πάνω από τον πληθωρισμό.

Ρυθμός απόσβεσης ανά έτος: Υπολογίζεται από το πρόγραμμα ως 100 δια τα έτη απόσβεσης.

Εναπομένουσα αξία του ρομπότ: Εκτιμήθηκε ότι τα συστήματα αυτά μετά το τέλος της οικονομικής τους ζωής η οποία προσδιορίστηκε στα 10 χρόνια δεν θα έχουν καμία οικονομική αξία. Που σημαίνει ότι δεν θα είναι δυνατό να πουληθούν.

## **8.6 Συμπεράσματα από την οικονομική μελέτη.**

Τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης κρίνονται ως εξαιρετικά ενδιαφέροντα. Η προσεκτική τους εξέταση μπορεί να μας δείξει αν η επένδυση είναι συμφέρουσα, τι πρέπει να συμβεί ώστε να είναι πιο αποδοτική και το πιο σημαντικό αν έχει διαμορφωθεί η όχι το χρηματοοικονομικό περιβάλλον που καθιστά αναγκαία την εφαρμογή αυτού του ρομποτικού συστήματος.

Από τον πίνακα 1 του παραρτήματος παρατηρούμε ότι η καθαρή παρούσα αξία των επενδυτικών σχεδίων 1 και 2 είναι μόλις 7.791.699 Δρχ. Δηλαδή τα επενδυτικά σχέδια αυτά δεν μπορούν να γίνουν σε καμιά περίπτωση αποδεκτά καθώς η επιχείρηση έχει ζημιά 31.400.000 Δρχ- 7.791.699,6 Δρχ= 23.608.300,4 Δρχ. Ομοίως για το επενδυτικό σχέδιο 3 έχουμε ζημιά -17.218.158,2 Δρχ. Η ζημιά είναι πολύ μεγάλη και σαφώς οι επενδύσεις αυτές είναι μη επιλέξιμες.

Με μια δεύτερη ματιά μπορούμε να κάνουμε όμως εξαιρετικά ενδιαφέροντες παρατηρήσεις. Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι έχοντας το ρομπότ να δουλεύει μόλις 8 ώρες την ημέρα. Τα ρομπότ αυτά θα μπορούσαν να δουλεύουν

αδιάκοπα. Δουλεύοντας μόνο 8 ώρες την ημέρα είναι λογικό να μην αποτελούν μια συμφέρουσα επένδυση.

Αν τα ρομπότ δουλεύουν βάσει των δυνατοτήτων τους και έστω 20 ώρες την ημέρα τότε η Καθαρή Παρούσα Αξία των σχεδίων 1 και 2 ανεβαίνει στις 20.034.718 Δρχ. Δηλαδή η επιχείρηση ζημιώνεται κατά 11.365.282 Ενώ για το 3 με αυτή την αλλαγή η Κ.Π.Α. γίνεται 21.162.571,5 που σημαίνει ζημιά 3.837.428,5 Δρχ.

Η Καθαρή Παρούσα Αξία μπορεί να μεγαλώσει και άλλο. Αυτό γίνεται αν η παραγωγή ανέβει στα 600 σακιά ανά ώρα. Τα 600 σακιά ανά ώρα αποτελούν και την μέγιστη παραγωγικότητα των συστημάτων αυτών. Επίσης θα πρέπει να επανεξεταστεί το κόστος συντήρησης των συστημάτων το οποίο καθορίστηκε στο 5% του συνολικού κόστους επένδυσης, δηλαδή 1.570.000 Δρχ ετησίως. Το ποσοστό αυτό κρίνεται υπερβολικό. Αν επαναπροσδιοριστεί στο 2.5%, δηλαδή 785.000 Δρχ ετησίως πιστεύω ότι έχουμε μια καλύτερη προσέγγιση. Με τις αλλαγές αυτές η Κ.Π.Α των σχεδίων 1 και 2 γίνεται: 31.930.620,9 Δρχ. Δηλαδή έχουμε κέρδος 530.626,9 Δρχ. Το σχέδιο 3 έχει θετική Κ.Π.Α. με χρησιμοποίηση του συστήματος για 16 ώρες την ημέρα δηλαδή 2 βάρδιες. Η Κ.Π.Α. στην περίπτωση αυτή είναι 455.120,1 Δρχ. Τα τελευταία αποτελέσματα φαίνονται στο Πίνακα 2 του παραρτήματος.

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 9.1 Συμπεράσματα από την μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας.

Οι κατασκευαστές των ρομποτικών συστημάτων που εξετάσαμε εκτιμούν ότι η παραγωγικότητα τους είναι γύρω στους 600 κύκλους εργασίας ανά ώρα. Το νούμερο αυτό συμφωνεί με τη δυναμικότητα όπως εκτιμήθηκε μέσα από την προσομοίωση.

Πιο συγκεκριμένα το ρομπότ Romeo όπως εξάγεται και από την προσομοίωση χρειάζεται 112 sec για να παλετοποιήσει 21 σακιά. Αναλογικά βρίσκουμε ότι σε μια ώρα μπορεί να παλετοποιήσει 675 σακιά. Ο κατασκευαστής όμως προφανώς δεν συνυπολογίζει τον χρόνο που απαιτείται για να τοποθετηθεί η παλέτα ή κάνει μια μέση εκτίμηση του χρόνου αυτού. Ο χρόνος αυτός διαφέρει από εφαρμογή σε εφαρμογή ανάλογα με το αν η παλέτα τοποθετείται αυτοματοποιημένα ή όχι.

Εκτιμάται επίσης ότι η παραγωγικότητα του Robotrac είναι ακόμα μεγαλύτερη. Δεν έχουμε όμως εδώ τα απαραίτητα δεδομένα για να την προσεγγίσουμε με ακρίβεια. Στην προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε χρειάζεται μόλις 93 sec για τη δημιουργία μιας παλέτας. Αυτό σημαίνει παραγωγικότητα πάνω από 800 σακιά την ώρα. Όμως για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς απαιτείται να γνωρίζουμε την μέγιστη ταχύτητα του άκρου του ρομπότ.

Το ρομπότ Kuka είναι ένα ρομπότ μεγάλης επιδεξιότητας. Οι έξι βαθμοί ελευθερίας του προσδίδουν ένα χώρο εργασίας χωρίς οπές ή κενά. Γνωρίζουμε επίσης ότι 6 βαθμοί ελευθερίας είναι οι ελάχιστοι που πρέπει να έχει ένας χειριστής έτσι ώστε να μπορεί να προσεγγίσει όλα τα σημεία του χώρου εργασίας του. Όσον αφορά την επιδεξιότητα πρέπει να σημειώσουμε ότι υπερέχει έναντι των δύο άλλων. Οι έξι βαθμοί ελευθερίας καταστούν το Kuka ικανό να αντεπεξέλθει και σε άλλες εργασίες αν αυτό ζητηθεί. Έτσι στην υποθετική περίπτωση που αγοράζεται για μια συγκεκριμένη εργασία και τα δεδομένα αλλάξουν μπορεί με μικρές μετατροπές (αρπάγη, μεταφορικά συστήματα, κλπ) να τοποθετηθεί σε ένα άλλο παραγωγικό

κύτταρο και να εκτελεί μια άλλη εργασία. Τα άλλα δύο ρομποτικά συστήματα είναι μάλλον αδύνατο να εκτελέσουν άλλη εργασία πέραν της παλετοποίησης.

Στα αρνητικά του Kuka πρέπει να συμπεριληφθεί ο μικρός σε ύψος και ακτίνα χώρος εργασίας. Οριακά χωράει μια παλέτα με 7 στρώσεις σακιά. Ακόμα θα μπορούσε να είναι και γρηγορότερο. Η μέγιστη γραμμική ταχύτητα του άκρου είναι μόλις 1m/sec.

Οι δυναμικότητες των παραπάνω ρομποτικών συστημάτων ξεπερνούν κατά πολύ τις ανάγκες της γραμμής παραγωγής που εξετάζουμε. Η απαιτούμενη δυναμικότητα στην περίπτωση μας είναι 400 σακιά την ώρα. Η απαιτούμενη δυναμικότητα αυτή προβλέπεται σταθερή για τα επόμενα χρόνια, δηλαδή για όλη σχεδόν την αναμενόμενη πραγματική ζωή του συστήματος.

Ολοκληρώνοντας θα αναφέρουμε ξανά ότι η δυναμικότητα των ρομποτικών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται. Η απαιτούμενη δυναμικότητα καθορίζεται από το στάδιο της ενσάκισης με την βοήθεια των ζυγών. Όπως ξέρουμε ο συνολικός ρυθμός παραγωγής, μιας γραμμής παραγωγής καθορίζεται από το αργότερο στάδιο της.

## **9.2 Συμπεράσματα από την οικονομική αξιολόγηση.**

Από τη χρηματοοικονομική προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι για να αποτελέσει επικερδή επένδυση η εφαρμογή ενός ρομποτικού συστήματος, πρέπει το σύστημα αυτό να αξιοποιηθεί σωστά. Πρέπει δηλαδή να δουλέψει κοντά στα όρια παραγωγικότητας του για να καταστεί το επενδυτικό σχέδιο συμφέρον.

Όπως όμως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που οδηγούν στην εφαρμογή νέας τεχνολογίας και οι οποίοι δεν μπορούν να εκφραστούν με οικονομικά μεγέθη. Οι λόγοι αυτοί θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην εγκατάσταση του συστήματος ακόμα και αν η αξιολόγηση δείχνει μικρή η και αρνητική Καθαρή Παρούσα Αξία. Οι σημαντικότεροι από τους λόγους αυτούς είναι:

- Βελτίωση των συνθηκών εργασίας (καλύτερη υγιεινή) των εργαζομένων.

- Προφύλαξη των εργαζομένων από σωματικές βλάβες που εκτός από την ανθρώπινη προσέγγιση αυτό επισύρει και κόστος για την εταιρία το οποίο δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί.
- Αύξηση της παραγωγικότητας των εργαζομένων λόγω εργασίας σε καλύτερης συνθήκες.
- Αύξηση του τεχνολογικού επιπέδου και βελτίωση της εικόνας του εργοστασίου προς τα έξω.
- Εναρμόνιση με τις σύγχρονες τεχνολογικές επιταγές.
- Συμβατότητα με ένα πληροφοριακό σύστημα διοίκησης, όπως ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων με χρήση bar code.

Από τους παραπάνω λόγους ως σημαντικότερος κρίνεται η βελτίωση των συνθηκών εργασίας των εργαζομένων. Οι Κυλινδρόμυλοι Κρήτης είναι μια επιχείρηση που ενδιαφέρεται για την γνώμη των εργαζομένων της. Έτσι θα μπορούσε να προχωρήσει στην επένδυση έστω αν και τα νούμερα συνιστούσαν να μην γίνει αυτό.

Πάντως πρέπει να αναφέρουμε ότι οι κατάλληλες συνθήκες για την τοποθέτηση του εν λόγω αυτοματισμού δεν είναι διαμορφωμένες ακόμα. Επίσης από τις προβλέψεις της απαιτούμενης παραγωγικότητας βλέπουμε ότι δεν πρόκειται δημιουργηθούν στο άμεσο μέλλον. Ένας άλλος ανασταλτικός παράγοντας είναι όπως έχουμε πει και αλλού το ότι το αργότερο σημείο της γραμμής παραγωγής (bottle neck) δεν είναι αυτό της παλετοποίησης. Που σημαίνει ότι η παλετοποίηση μπορεί να δουλέψει πιο γρήγορα αλλά αυτό δεν έχει αντίκρουσμα γιατί αφενός δεν υπάρχει τέτοια ανάγκη και αφετέρου δεν μπορούν να ακολουθήσουν σε αυτό το ρυθμό τα άλλα στάδια της παραγωγής. Για να δουλέψει η παλετοποίηση στους ρυθμούς που μπορεί πρέπει λοιπόν να γίνουν πολύ σημαντικές αλλαγές στην γραμμή παραγωγής.

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι η συζήτηση αυτή είναι λίγο πρώιμη. Όμως ακριβώς αυτής είναι και η λογική της μελέτης να προβλέπει, να υπολογίζει και να βγάζει συμπεράσματα. Παρόλα αυτά όμως θα μπορούσε η επιχείρηση να πραγματοποιήσει την επένδυση, λαμβάνοντας υπόψη τους λόγους που προαναφέραμε.

### 9.3 Συνεισφορά

Η διπλωματική εργασία αυτή αποτελεί ένα πραγματικό μοντέλο μελέτης εφικτότητας ρομποτικής εφαρμογής. Εκπονήθηκε για τους σκοπούς της γραμμής παραγωγής των Κυλινδρόμυλων Κρήτης αλλά μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να αποτελέσει την βάση για ανάλογες μελέτες σε άλλες εφαρμογές.

Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος χρηματοοικονομικής αξιολόγησης που αναπτύχθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιπτώσεις επενδυτικών σχεδίων. Επίσης ο τρόπος δουλειάς της προσομοίωσης μπορεί να δουλέψει και για την αξιολόγηση και ρομποτικών συστημάτων σε άλλες εφαρμογές.

Παράλληλα αναπτύχθηκαν τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία, τόσο στην πράξη, όσο και στην ακαδημαϊκή έρευνα.

Ακόμα παράχθηκαν τα μοντέλα δύο νέων τύπων ρομπότ τα οποία θα εμπλουτίσουν τη βάση δεδομένων του εργαστηρίου ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα μοντέλα αυτά ενδέχεται να χρησιμεύσουν σε νέες μελέτες.

#### **9.4 Μελλοντικές κατευθύνσεις.**

Η δημιουργία προσομοιώσεων επιτρέπει μια παραμετρική προσέγγιση του ζητήματος. Δηλαδή μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα μεταβάλλοντας κάθε φορά μία ή και περισσότερες παραμέτρους που ορίζουν το σύστημα. Είδαμε για παράδειγμα ότι μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλεται η αποδοτικότητα του ρομπότ μεταβαλλόμενης της μέγιστης γραμμικής ταχύτητας του άκρου του. Σε μια άλλη μελέτη θα μπορούσαμε να εξετάσουμε πως μπορούμε να αυξήσουμε την απόδοση βελτιστοποιώντας την κίνηση του ρομπότ και την τροχιά του άκρου δράσης ή τα όρια των αρθρώσεων. Ανάλογη μελέτη μπορεί να γίνει και για τη μεγιστοποίηση του χώρου εργασίας και για την ελαχιστοποίηση οπών ή και μοναδιαίων σημείων.

Όσον αφορά τους Κυλινδρόμυλους Κρήτης ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη εφικτότητας ενός πληροφορικού συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων και

ηλεκτρονικών πωλήσεων. Δηλαδή ενός συστήματος αυτόματης αναγνώρισης προϊόντων με την χρήση bar code. Η υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων συνεπάγεται βελτίωση της λογιστικής διαχείρισης, βέλτιστο έλεγχο αποθεμάτων αλλά και διανομής, ευκολότερη διασφάλιση ποιότητας, οικονομία σε εργατοώρες.

Τέλος η αυτοματοποίηση της παλετοποίησης θα ήταν σκόπιμο να επεκταθεί κάποια στιγμή σε όλους τους ζυγούς ενσάκινσης. Θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρον να εξετάζε κανείς την αυτοματοποίηση της ενσάκινσης και της παλετοποίησης στο εργοστάσιο των αλεύρων στο σύνολο της. Δηλαδή την εγκατάσταση διατάξεων αυτόματου φορτώματος άδειων σακιών και διαχείρισης-παλετοποίησης των γεμάτων.

Είναι σαφές ότι οι ιδέες για αυτοματισμούς δεν έχουν τέλος. Είναι επίσης σαφές ότι η τεχνική διεύθυνση της εταιρίας έχει σαφή γνώση των δυνατοτήτων αυτών. Αυτό που πρέπει να γίνει είναι να ωριμάσουν οι συνθήκες για την πραγματοποίησή τους.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Nanua Singh, Divakar Rajamani, “Cellular Manufacturing Systems: design, planning and control” Chapman & Hall 1996
2. J.R.Drolet, B.Montreuil, C. Moodie, “Decision architecture for scheduling virtual cellular manufacturing systems” IFAC Decisional Structures in Automated Manufacturing, Genova, Italy, 1989
3. Phillip P. Andrews, Bruce McCarrol “Integration, robots and CIM” Society of Manufacturing Engineers, Management Guide for CIM, CASA of SME, 1986
4. Lee R. Nyman “Making manufacturing cells work” Mc Graw Hill 1992.
5. Εμίρης Δ., “Σημειώσεις ρομποτικής”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, 1997.
6. Ζοπουνίδης Κ., “Ανάλυση Επενδυτικών Αποφάσεων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, 1992-93.
7. David D. Bedworth, Mark R. Henderson, Philip M. Wolfe “Computer Integrated Design and Manufacturing” Mc Graw Hill 1991.
8. Sullivan W.G. and Liu M.C., “Economic Analysis of a Proposed Industrial Robot”, *Industrial Engineering*, 118-124, October 1984.
9. Τζανακάκης, Σαράντης, “Το Πρόβλημα Επιλογής Ρομπότ”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης 1996.