

Βιομηχανική Ρομποτική



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Βιομηχανική Ρομποτική**

**Καρράς Άγις**

**Εισηγητής: Αναστασία Βελώνη, Καθ. Εφαρμογών**

## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση αυτής μου της προσπάθειας:

Πρώτα απ'όλα στην εισηγήτρια και επιβλέπουσα καθηγήτρια της πτυχιακής μου εργασίας κυρία Βελώνη Αναστασία για την αδιάκοπη στήριξη, την καθοδήγηση και κατανόησή της σε όλα τα στάδια της φοίτησής μου μέχρι και την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τόσο για τον επαγγελματισμό όσο και για το πραγματικό προσωπικό ενδιαφέρον που μου επέδειξε και πίστεψε σε εμένα από την πρώτη στιγμή, την ευχαριστώ από καρδιάς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, όλους του καθηγητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής / Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. / Τ.Ε.Ι Πειραιά Η.Υ.Σ όπως το γνώρισα κατά την έναρξη των σπουδών μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια και για τις σημαντικές εμπειρίες που έζησα διδασκόμενος κοντά τους. Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω στον Καθ. Εφαρμογών κύριο Ματιάτο Σπυρίδων για τον απaráμιλλο ζήλο με τον οποίο με διάθεση προσωπικού χρόνου με έκανε κοινωνό και με καθοδήγησε κατά την εμβάθυνση μου στην επιστήμη των υπολογιστών, καθώς και για την στήριξή του, την εμπιστοσύνη του αλλά και την έμπνευση που άντλησα από εκείνον, που ήταν καθοριστικός παράγοντας για την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον φίλο μου Λαγόπουλο Ισίδωρο, Μηχανικό Αυτοματισμών, ο οποίος ήταν ο καθοριστικός παράγοντας ώστε να εκπονήσω την Erasmus πρακτική μου υπό την καθοδήγησή του στο BMW Group Plant στο Hams Hall - North Warwickshire της Αγγλίας και να αποκτήσω την πρώτη μου εμπειρία στον Βιομηχανικό Αυτοματισμό και τη Βιομηχανική Ρομποτική σε αυτόματους σταθμούς διαχείρισης κυλινδροκεφαλών κινητήρων, που αποτέλεσε και το έναυσμα για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ από καρδιάς τους φίλους μου που με στηρίζαν σε όλα μου τα βήματα, καθώς και αγαπημένους ανθρώπους που είχα την τύχη να συναντήσω και να δεθώ μαζί τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θέλω να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την άνευ όρων στήριξη, αγάπη, συμπαράσταση, υπομονή και ενθάρρυνση για όλη την μέχρι τώρα μου πορεία, δίχως τους οποίους τίποτα από όσα έχω καταφέρει μέχρι σήμερα δεν θα ήταν πραγματικότητα. Η παρούσα πτυχιακή είναι αφιερωμένη στη μητέρα μου.

### Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το θέμα της Βιομηχανικής Ρομποτικής. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της Βιομηχανικής Ρομποτικής, αρχίζοντας από τα ρομπότ της αρχαιότητας και την ιστορία της ρομποτικής μέχρι την σύγχρονη Βιομηχανική Ρομποτική, όπου γίνεται αναφορά στους ορισμούς των όρων που χρησιμοποιούνται, όπως και στους διάφορους εθνικούς και παγκόσμιους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στον χώρο αυτόν. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια αναφοράς και περιγραφής όλων των ειδών και κατηγοριών βιομηχανικών ρομπότ που υπάρχουν καθώς και περιγραφή της βασικής δομής ενός βιομηχανικού ρομπότ, όπου περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά και παράμετροι του. Για καλύτερη εποπτεία των παραπάνω, γίνεται πιο αναφορά σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο, το ABB IRB 6600 πάνω στο οποίο είχα την τύχη να αποκτήσω προσωπική εμπειρία στα πλαίσια πρακτικής άσκησης Erasmus. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος σχεδιασμού και προγραμματισμού των εφαρμογών των Βιομηχανικών Ρομπότ, όπου γίνεται αναφορά στους τρόπους, τις μεθόδους και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό αυτών. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία σχετικά με την παγκόσμια χρήση και ζήτηση των Βιομηχανικών Ρομπότ και παρουσιάζονται κάποιες προβλέψεις για το μέλλον του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής. Η πτυχιακή αυτή συνοδεύεται από εικονικό σταθμό αυτόματου ρομπότ προγραμματισμένο σε ABB Robot Studio στον οποίο υλοποιείται πλήρως η λειτουργικότητα ενός pick & place algorithm με την αντίστοιχη εικονική του προσομοίωση.

## **Abstract**

The subject of this thesis is Industrial Robotics. In the first chapter, a historical recursion of the evolution of Industrial Robotics is being presented, starting from the ancient times and the robots of that period, continuing with the history of robotics up to modern Industrial Robots, referencing the most significant terms and definitions related to Industrial Robotics as well as the organizations that are related to this field. In the second chapter, I try to mention all the types in which an industrial robot may be categorized, describing the basic structure of an industrial robot as well as the main characteristics and parameters concerning them. For better understanding of the aforementioned, I describe a specific industrial robot model, ABB IPB 6600 on which I was able to work personally during my Erasmus Internship. The third chapter contains the methods used to design the robot's behavior and the programming techniques and tools that are commonly used for that purpose. Finally, in the fourth and last chapter we present statistical data as for the use and supply demands of industrial robots over the years, and some prediction about the future of Industrial Robotics field. The thesis is complemented with a virtual robot station programmed in the ABB RobotStudio environment that implements the functionality of a pick and place algorithm along with its virtual simulation.

# Βιομηχανική Ρομποτική

## Περιεχόμενα

|  |                |
|--|----------------|
| Περίληψη   | Σελ. 3         |
| Abstract   | Σελ. 4         |
| Περιεχόμενα  | Σελ. 5         |
| Κατάλογος Εικόνων                                  | Σελ. 7         |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>                                  | <b>Σελ. 9</b>  |
| 1.1 - Εισαγωγή                                     | Σελ. 9         |
| 1.2 - Τα Αυτόματα της Αρχαιότητας                  | Σελ. 9         |
| 1.3 - Τα Αυτόματα του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης | Σελ. 13        |
| 1.4 - Από τα Αυτόματα στα Ρομπότ                   | Σελ. 16        |
| 1.5 - Σύγχρονη ιστορία της Ρομποτικής              | Σελ. 19        |
| 1.6 - Ιστορία της Βιομηχανικής Ρομποτικής          | Σελ. 24        |
| 1.7 - Σύγχρονη Βιομηχανική Ρομποτική               | Σελ. 28        |
| 1.8 - Πλεονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ            | Σελ. 32        |
| 1.9 - Πρότυπα ασφαλείας Βιομηχανικών Ρομπότ        | Σελ. 33        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>                                  | <b>Σελ. 39</b> |
| 2.1 - Ταξινόμηση Βιομηχανικών Ρομπότ               | Σελ. 39        |
| 2.2 - Βασική δομή ενός Βιομηχανικού Ρομπότ         | Σελ. 41        |
| 2.2.1 - Ενεργοποιητές                              | Σελ. 42        |
| 2.2.2 - Αισθητήρες                                 | Σελ. 43        |
| 2.2.3 - Αρθρώσεις και βαθμοί ελευθερίας            | Σελ. 44        |
| 2.2.4 - Τοπολογία Βιομηχανικών Ρομπότ              | Σελ. 48        |
| 2.3 - Βασικές παράμετροι των Βιομηχανικών Ρομπότ   | Σελ. 53        |
| 2.4 - Κατηγορίες Βιομηχανικών Ρομπότ               | Σελ. 57        |
| 2.4.1 - Ταξινόμηση βάσει του χώρου εργασίας        | Σελ. 57        |
| 2.4.2 - Ταξινόμηση βάσει του είδους εργασίας       | Σελ. 59        |
| 2.4.3 - Εταιρίες κατασκευής Βιομηχανικών Ρομπότ    | Σελ. 63        |
| 2.4.3.1 - Stäubli                                  | Σελ. 63        |
| 2.4.3.2 - KUKA                                     | Σελ. 64        |

## Βιομηχανική Ρομποτική

|   |         |
|---|---------|
| 2.4.3.3 - FANUC                                   | Σελ. 65 |
| 2.4.3.4 - ABB                                     | Σελ. 66 |
| 2.4.3.5 - DENSO Robotics                          | Σελ. 67 |
| 2.4.3.6 - Kawasaki Heavy Industries Ltd. (KHI)    | Σελ. 67 |
| 2.4.3.7 - Comau                                   | Σελ. 68 |
| 2.4.3.8 - OTC DAIHEN                              | Σελ. 68 |
| 2.4.3.9 - Omron Adept Technologies Inc.           | Σελ. 68 |
| 2.4.3.10 - Yaskawa Motoman                        | Σελ. 69 |
| 2.5 - Ρομποτικός βραχίονας ABB IRB 6600           | Σελ. 68 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3  | Σελ. 72 |
| 3.1 - Σχεδιασμός λειτουργίας βιομηχανικού ρομπότ  | Σελ. 72 |
| 3.1.1 - Κινηματική ανάλυση θέσης                  | Σελ. 74 |
| 3.1.1.1 - Ευθεία Κινηματική                       | Σελ. 74 |
| 3.1.1.2 - Αντίστροφη Κινηματική                   | Σελ. 77 |
| 3.1.2 - Κινηματική ανάλυση ταχύτητας              | Σελ. 79 |
| 3.1.3 - Σχεδιασμός διαδρομής και παραγωγή τροχιάς | Σελ. 79 |
| 3.1.4 - Δυναμική ανάλυση                          | Σελ. 80 |
| 3.1.5 - Έλεγχος λειτουργίας                       | Σελ. 80 |
| 3.2 - Προγραμματισμός των Βιομηχανικών Ρομπότ     | Σελ. 81 |
| 3.3 - Γλώσσες Προγραμματισμού                     | Σελ. 82 |
| 3.4 - Λογισμικά Βιομηχανικών Ρομπότ               | Σελ. 85 |
| 3.4.1 - Stäubli                                   | Σελ. 85 |
| 3.4.2 - KUKA                                      | Σελ. 85 |
| 3.4.3 - DENSO Robotics                            | Σελ. 86 |
| 3.4.4 - Kawasaki Robotics                         | Σελ. 86 |
| 3.4.5 - Comau                                     | Σελ. 87 |
| 3.4.6 - Omron Adept Technologies Inc.             | Σελ. 87 |
| 3.4.7 - Yaskawa Motoman                           | Σελ. 88 |
| 3.4.8 - ABB                                       | Σελ. 88 |
| 3.4.9 - Άλλα Λογισμικά                            | Σελ. 89 |
| 3.5 - Η γλώσσα προγραμματισμού RAPID              | Σελ. 91 |
| 3.6 - Teach Pendant Unit (TPU)                    | Σελ. 93 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4  | Σελ. 96 |

## Βιομηχανική Ρομποτική

|   |          |
|---|----------|
| 4.1 Επισκόπηση της αγοράς Βιομηχανικών Ρομπότ | Σελ. 96  |
| 4.2 Το μέλλον των Βιομηχανικών Ρομπότ         | Σελ. 102 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ                            | Σελ. 104 |

## Κατάλογος Εικόνων

|  |         |
|--|---------|
| Εικόνα 1.1: Η “αυτόματη θεραπαινίς” του Φίλωνος του Βυζαντίου  | Σελ. 11 |
| Εικόνα 1.2: Το υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου   | Σελ. 12 |
| Εικόνα 1.3: Το Αυτόματο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι και ο εσωτερικός του μηχανισμός, όπως εκτίθενται.             | Σελ. 15 |
| Εικόνα 1.4: Ο Elektro που βρίσκεται στο μουσείο Mansfield Memorial   | Σελ. 22 |
| Εικόνα 1.5: Ο πρώτος ρομποτικός βραχίονας “Unimate” των George Devol και Joseph Engleberger                    | Σελ. 23 |
| Εικόνα 1.6: Το τεχνικό σχέδιο της μηχανής της ευρεσιτεχνίας του George Devol στο οποίο στηρίχθηκε το “Unimate” | Σελ. 25 |
| Εικόνα 2.1: Βασική δομή ρομποτικού βραχίονα  | Σελ. 41 |
| Εικόνα 2.2: Βασικοί τύποι αρθρώσεων  | Σελ. 44 |
| Εικόνα 2.3: Παραδείγματα Βιομηχανικών Ρομπότ, με τους άξονες κίνησης τους.                                     | Σελ. 47 |
| Εικόνα 2.4: Σύνθετοι τύποι αρθρώσεων (κινήσεων)  | Σελ. 48 |
| Εικόνα 2.5: Παράλληλα FANUC, Adept και ABB ρομπότ  | Σελ. 52 |
| Εικόνα 2.6: 3-RPR επίπεδο παράλληλο ρομπότ   | Σελ. 52 |
| Εικόνα 2.7: Comau Smart Dual Arm robot   | Σελ. 53 |
| Εικόνα 2.8: Ρομπότ τοποθετημένο κεντρικά στην κυψέλη εργασίας (workcell)                                       | Σελ. 55 |
| Εικόνα 2.9: Ρομπότ τοποθετημένα κατά μήκος μία γραμμής παραγωγής   | Σελ. 56 |
| Εικόνα 2.10: Κυψέλη εργασίας με κινητό ρομπότ  | Σελ. 56 |
| Εικόνα 2.11: Κατηγορίες, βάσει του χώρου εργασίας, κινηματική δομή και χώρος εργασίας                          | Σελ. 61 |
| Εικόνα 2.12: KUKA KR 1000 titan  | Σελ. 65 |
| Εικόνα 2.13: FANUC M-2000iA/1.200  | Σελ. 66 |
| Εικόνα 2.14: Ο ρομποτικός βραχίονας ABB IRB 6600   | Σελ. 70 |
| Εικόνα 2.15: Το PLC σύστημα ελέγχου AC500  | Σελ. 71 |
| Εικόνα 3.1: Αρθρωτός ρομποτικός βραχίονας βαψίματος, δύο αξόνων  | Σελ. 73 |
| Εικόνα 3.2: Πλαίσια γενικού τύπου ρομποτικού βραχίονα  | Σελ. 75 |

## Βιομηχανική Ρομποτική

|  |          |
|--|----------|
| Εικόνα 3.3: Πλαίσια αρθρωτού επίπεδου βραχίονα δύο αξόνων                                    | Σελ. 76  |
| Εικόνα 3.4: Πιθανές λύσεις αντίστροφου κινηματικού προβλήματος                               | Σελ. 77  |
| Εικόνα 3.5: Πλαίσια αρθρωτού επίπεδου βραχίονα δύο αξόνων                                    | Σελ. 78  |
| Εικόνα 3.6: Παράδειγμα εφαρμογής του RobotStudio   | Σελ. 89  |
| Εικόνα 3.7: ABB FlexPendant  | Σελ. 94  |
| Εικόνα 3.8: ABB FlexPendant οθόνη αφής   | Σελ. 95  |
| Εικόνα 4.1 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο                       | Σελ. 97  |
| Εικόνα 4.2 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά βιομηχανία και ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο    | Σελ. 98  |
| Εικόνα 4.3 : Εγκατεστημένα Βιομηχανικά Ρομπότ ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο                 | Σελ. 99  |
| Εικόνα 4.4 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά ήπειρο και ανά έτος                              | Σελ. 99  |
| Εικόνα 4.5 : Αριθμός Βιομηχανικών Ρομπότ που πουλήθηκαν ανά έτος στην Κίνα                   | Σελ. 100 |
| Εικόνα 4.6 : Πυκνότητα Βιομηχανικών Ρομπότ ανά χώρα για το έτος 2015 (γενική)                | Σελ. 101 |
| Εικόνα 4.7 : Πυκνότητα Βιομηχανικών Ρομπότ ανά χώρα για το έτος 2015 (αυτοκινητοβιομηχανίας) | Σελ. 102 |



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 - Εισαγωγή

Οι “μηχανές”<sup>1</sup> έχουν κάνει την εμφάνιση του από τους πρώτους ιστορικούς χρόνους της ανθρωπότητας. Αναφορές σε αυτόματες μηχανές που είχαν κατασκευαστεί για να εκτελούν κάποιες συγκεκριμένες διεργασίες υπάρχουν σε μύθους και θρύλους της Αρχαίας Ελλάδας. Στα Ομηρικά έπη γίνεται η πρώτη αναφορά του όρου “Αυτόματα”<sup>2</sup>, ο οποίος περιγράφει τις μηχανές που κινούνται από μόνες τους, με χρήση κάποιας εσωτερικής ενέργειας, όπως τα ζώα και ο άνθρωπος. Το αν υπήρχαν πραγματικά τέτοιες, εξελιγμένες για την εποχή, μηχανές ή αν ήταν δημιουργία της φαντασίας του Ομήρου δεν είναι ιστορικά επιβεβαιωμένο. Όμως, το γεγονός αυτό δείχνει ότι η ιδέα μίας αυτόματης μηχανής η οποία θα αναλάμβανε να φέρει εις πέρας κάποιες εργασίες υπήρχε ήδη από την Προϊστορία.[1]

### 1.2 - Τα Αυτόματα της Αρχαιότητας

Σε πολλούς μύθους και θρύλους υπάρχουν αναφορές σε συγκεκριμένες μηχανές που είχαν δημιουργηθεί από τους θεούς. Οι σημαντικότερες αυτών είναι [2,3,4]:

- **Οι χρυσοί βοηθοί του Ήφαιστου:** Στην ελληνική μυθολογία αναφέρεται ότι ο Ήφαιστος είχε φτιάξει μερικές χρυσές γυναίκες οι οποίες εκτελούσαν χρέη βοηθού στο εργαστήριο του, είτε με τις διάφορες κατασκευές που πραγματοποιούσε είτε για να τον βοηθούν να περπατάει καλύτερα.
- **Οι μηχανικοί σκύλοι του Ήφαιστου:** Οι θεοί είχαν παραγγείλει στον Ήφαιστο να φτιάξει μηχανικούς σκύλους, οι οποίοι ήταν χρυσοί και ασημένιοι, αθάνατοι και πανίσχυροι, για να τους δώσουν στον βασιλιά Αλκίνοο για την προστασία του παλατιού του.

---

1 Ο όρος προέρχεται από την ελληνική γλώσσα και την λέξη “μήχος” που σημαίνει “μέσον, τρόπος βοήθειας” και περιγράφει οποιοδήποτε εργαλείο ή μέσον που έχει δημιουργηθεί με σκοπό την διευκόλυνση κάποιας ανθρώπινης εργασίας, αυξάνοντας την δύναμη ή την αποτελεσματικότητα του ανθρώπου ή ακόμα και την εξ ολοκλήρου υλοποίηση κάποιας εργασίας.

2 Ο όρος αυτός θα αντικατασταθεί τον 20ο αιώνα με τον όρο “ρομπότ”, στον οποίο θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο. Μέχρι να γίνει αναφορά στον όρο “ρομπότ”, στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιείται ο όρος “Αυτόματα”.

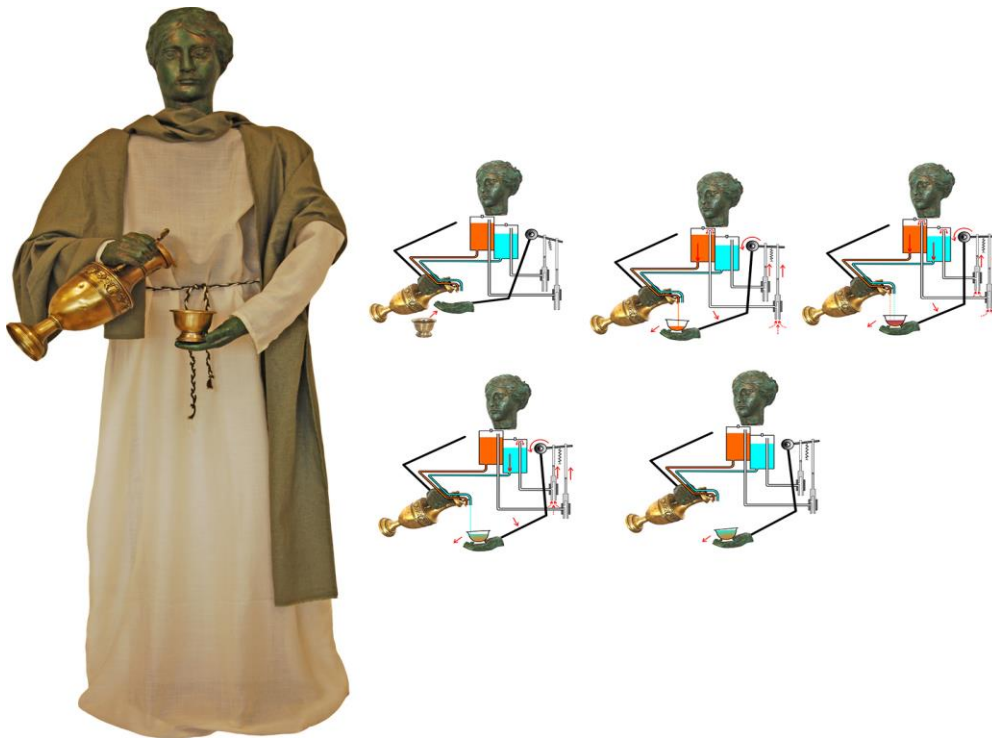
## Βιομηχανική Ρομποτική

- **Οι κινούμενες κούκλες του Δαίδαλου:** Αναφορές του Ομήρου και του Πλατίνια αναφέρουν ότι, ο μεγάλος αυτός εφευρέτης, είχε φτιάξει και κάποιες κούκλες για τα παιδιά του Μίνωα, οι οποίες είχαν την ικανότητα να μιλάνε και να κινούνται.
- **Οι μηχανικοί ανθρωπόμορφοι φύλακες του Λαβυρίνθου:** Οι ίδιες πηγές αποδίδουν στον Δαίδαλο και την κατασκευή μηχανικών ανθρωπόμορφων φυλάκων για τον Λαβύρινθο, οι οποίοι κινούνταν με υδράργυρο.
- **Τάλως:** Η πιο γνωστή ανθρωπόμορφη αυτόματη μηχανή ήταν ο Τάλως. Ήταν δημιουργία του θεού Ήφαιστου και δόθηκε στον βασιλιά Μίνωα για να προστατεύει την Κρήτη από τους εχθρούς της και για να επιβλέπει την τήρηση των νόμων. Ήταν χάλκινος, εξωτερικά έμοιαζε με θεόρατο άντρα, και είχε μία και μόνη φλέβα που του έδινε “ζωή”, στην οποία “έτρεχε” λιωμένο μέταλλο, που ξεκινούσε από τον αυχένα και κατέληγε στους αστραγάλους, όπου υπήρχε ένα καρφί που εμπόδιζε το υγρό να χυθεί. Το καρφί αυτό ευθύνεται και για το τέλος του Τάλου, με τον Ιάσωνα (με τη βοήθεια της μάγισσας Μήδειας) να καταφέρνει, σύμφωνα με το μύθο, να το βγάλει, με αποτέλεσμα να αδειάσει το υγρό και να “πεθάνει” ο Τάλως.
- **Ο θρόνος-παγίδα του Ήφαιστου:** Ένα ακόμα αυτόματο μηχανήμα που, κατά την μυθολογία, κατασκεύασε ο Ήφαιστος ήταν και ένας εντυπωσιακός θρόνος, τον οποίο κατασκεύασε για την μητέρα του, Ήρα. Η μηχανή αυτή ήταν σχεδιασμένη να δένει με σφιχτές αλυσίδες όποιον καθόταν πάνω του, κάτι που έγινε όταν έκατσε η Ήρα, για να την εκδικηθεί που τον απέρριψε σαν άσχημο μωρό.

Τα παραπάνω παραδείγματα είναι όλα αναφορές από την μυθολογία και ήταν ανθρώπινες επινοήσεις. Όμως, κάποιες παρόμοιες, φυσικά πολύ πιο απλές κατασκευές, αλλά αυτόματες μηχανές, υπήρχαν στην Αρχαιότητα. Κάποια από τα ιστορικά επιβεβαιωμένα Αυτόματα της Αρχαιότητας είναι [4,5]:

- **Η ιπτάμενη περιστέρα του Αρχύτα από τον Τάραντα:** Ο Αρχύτας από τον Τάραντα θεωρείται ένας από τους πρώτους “οραματιστές” του κλάδου των Αυτόματων. Κατασκεύασε στα μέσα του 4<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα μία ιπτάμενη περιστέρα, που ήταν ένα Αυτόματο που κινούνταν με ατμό και, σύμφωνα με τις πηγές, μπορούσε να πετάει μέχρι και 200 μέτρα.
- **Η “αυτόματη θεραπαινίς” του Φίλωνος του Βυζαντίου:** Η “αυτόματη θεραπαινίς” ήταν ένα ανθρωποειδές ρομπότ με τη μορφή υπηρέτριας (σε φυσικό μέγεθος) που στο δεξί χέρι της κρατούσε μια οινόχρηνη ενώ το αριστερό είχε μία άδεια παλάμη. Όταν κάποιος τοποθετούσε ένα κύπελλο (κρατήρα) στην παλάμη του αριστερού της χεριού, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.1), το Αυτόματο αυτό γέμιζε το κύπελλο με οίνο και στην συνέχεια με νερό, σερβίροντας έτσι τον κεκραμένο οίνο (νερωμένο κρασί που έπιναν οι αρχαίοι Έλληνες). Ο Φίλωνας του Βυζαντίου έζησε τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ..[7]

## Βιομηχανική Ρομποτική



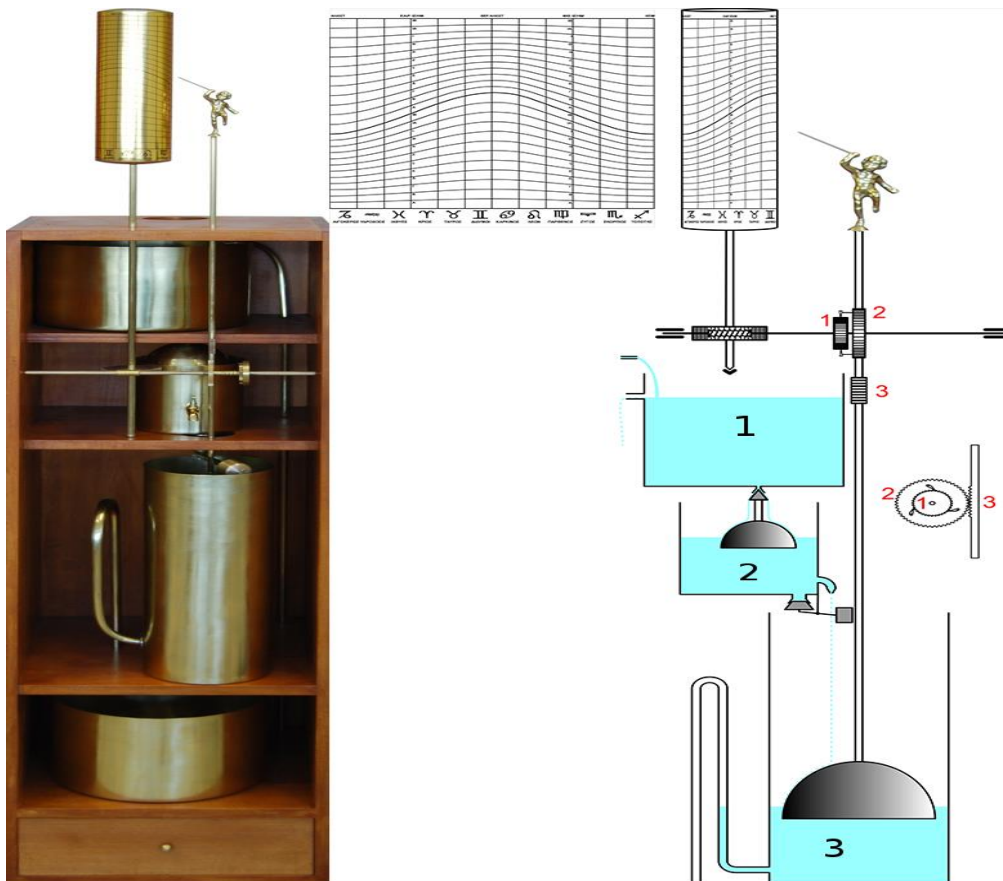
Εικόνα 1.1: Η “αυτόματη θεραπαίνις” του Φίλωνος του Βυζαντίου

- **Το υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου:** Ο Κτησίβιος, Έλληνας φυσικός και εφευρέτης από την Αλεξάνδρεια σχεδίασε και κατασκεύασε το υδραυλικό ρολόι που παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.2). Το ρολόι αυτό, σύμφωνα με το Βιτρούβιο (Περί Αρχιτεκτονικής), λειτουργεί με χρήση μίας πηγής νερού και κατάλληλη προσαρμογή της ροής της. Το νερό της πηγής τροφοδοτείται στο ανώτερο δοχείο (Δοχείο 1 - Εικόνα 1.2) το οποίο με τη σειρά του τροφοδοτεί με νερό το μικρότερο ενδιάμεσο δοχείο (Δοχείο 2 - Εικόνα 1.2), το οποίο περιέχει έναν ελεγκτή σταθερής στάθμης με ένα σύστημα κωνικής βαλβίδας διακοπής της ροής του νερού, πάνω στον πλωτήρα που περιέχει. Τέλος, μέσω ενός “σταλάκτη” τροφοδοτείται το κάτω δοχείο (Δοχείο 3 - Εικόνα 1.2) σταγόνα-σταγόνα με κατάλληλη ροή. Η άνοδος της στάθμης στο δοχείο 3 προκαλεί την ύψωση του πλωτήρα που περιέχει ο οποίος, μέσω μίας ράβδου, ανεβάζει ένα μικρό αγαματίδιο με έναν δείκτη, ο οποίος υπεδείκνυε την ώρα σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο. Στο τύμπανο αυτό αναγράφονται οι ώρες του 24ώρου, ανάλογα με την ημερομηνία. Όταν φθάνει ο δείκτης στο τέλος του 24ώρου, μέσω ενός παράπλευρου σιφονιού του δοχείου 3, αδειάζει το δοχείο αυτό και η διαδικασία αρχίζει από την αρχή. Όμως, με την κάθοδο του πλωτήρα, λόγω του αδειάσματος του δοχείου 3, ενεργοποιείται ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης με σχέση 1 προς 365 το

## Βιομηχανική Ρομποτική

οποίο προκαλεί την περιστροφή του τυμπάνου έτσι ώστε ο δείκτης να δείχνει με ακρίβεια το ωράριο της επόμενης ημέρας. Μέσω του παραπάνω τρόπου λειτουργίας, το ρολόι αυτό έχει την δυνατότητα να λειτουργεί αδιάκοπα (όσο υπάρχει παροχή νερού από την πηγή στο δοχείο 1), “μετρώντας” τα 365 διαφορετικά ωράρια του έτους. [9]

- **Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων:** Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ο αρχαιότερος πολύπλοκος μηχανισμός που έχει βρεθεί. Είναι ο πρώτος γνωστός αναλογικός υπολογιστής και χρησιμοποιούνταν για αστρονομικές παρατηρήσεις και έχει πολλές ομοιότητες με τους σύγχρονους πολύπλοκους ωρολογιακούς μηχανισμούς. Εκτιμάται ότι κατασκευάστηκε μεταξύ του 150π.Χ. και του 100π.Χ. και ανασύρθηκε από ένα ναυάγιο ανοικτά του νησιού των Αντικυθήρων, από όπου πήρε και το όνομα του.[6]



Εικόνα 1.2: Το υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου

- **Το κινητό αυτόματο του Ήρωνα του Αλεξανδρέα<sup>3</sup>:** Ένας από τους πρωτοπόρους του κλάδου των Αυτόματων ήταν ο Ήρωνας ο Αλεξανδρεύς, που έζησε τον 1ο μ.Χ. αιώνα, ο οποίος κατασκεύασε ένα κινητό Αυτόματο. Αυτό ήταν μία αυτόνομη συσκευή η οποία είχε την δυνατότητα να κινείται από μόνη της, χρησιμοποιώντας ένα μολύβδινο βάρος που ήταν δεμένο με νήμα με τον κινητήριο τροχό. [8]

Παραδείγματα όπως τα παραπάνω υπάρχουν πολλά και ανακαλύπτονται συνεχώς και καινούργια. Και όχι μόνο από τον ελλαδικό χώρο αλλά και στην Κίνα. Σε ένα κείμενο του Lie Zi που γράφτηκε τον 3<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα, αναφέρονται αρκετά παραδείγματα Αυτόματων, με χαρακτηριστικότερο αυτών την αναφορά σε μία ανθρωπόμορφη, κανονικού μεγέθους, φιγούρα που είχε ο βασιλιάς Mu της δυναστείας των Zhou (1023-957 π.Χ.) που είχε σχεδιάσει ο Yan Shi. Η αναφορά, όμως, σε περισσότερες τέτοιες εφευρέσεις της Αρχαιότητας ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας και για τον λόγο αυτό δεν θα γίνει. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι αναφορά στα Αυτόματα γίνεται και από τον Αριστοτέλη στο έργο του “Πολιτική” ο οποίος, με αφορμή μία παλαιότερη αναφορά στην Ιλιάδα του Ομήρου, αναφέρει ότι η ανάπτυξη των Αυτόματων και η εξέλιξη τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε έναν πιο δίκαιο κόσμο, επιφέροντας την ισότητα μεταξύ των ανθρώπων μέσω της κατάργησης της δουλείας, η οποία θα μπορούσε να γίνει εφικτή με την ανάληψη όλων των καθηκόντων που είχαν οι δούλοι από Αυτόματα. [2]

### 1.3 - Τα Αυτόματα του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης

Όπως έγινε φανερό από την προηγούμενη παράγραφο, η κατασκευή πολύπλοκων μηχανών και Αυτόματων είχε ήδη αρχίσει και εξελιχθεί από την Αρχαιότητα και είχε να επιδείξει σημαντικά επιτεύγματα. Τα επιτεύγματα αυτά δεν χάθηκαν κατά την περίοδο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και την μετέπειτα Βυζαντινή Αυτοκρατορία και ο κλάδος συνέχισε να εξελίσσεται. Έτσι, συνέχισαν να φτιάχνονται νέα Αυτόματα, τα οποία εμφανίζονται, διάσπαρτα, σε όλη την Αυτοκρατορία και να εξελίσσεται ο κλάδος της Μηχανικής και του Αυτοματισμού. Χαρακτηριστικό είναι το υδραυλικό ρολόι της Γάζας που εκτιμάται ότι κατασκευάστηκε τον 6<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα, στο οποίο οι ώρες σημαίνονταν από ένα αγαλματίδιο του Ηρακλή που είχε ένα ρόπαλο. Όπως και ο χρυσός, μηχανικός θρόνος του αυτοκράτορα Θεόφιλου που κατασκευάστηκε τον 9<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. από τον Λέωντα τον Μαθηματικό, τον μεγαλύτερο ίσως μαθηματικό και μηχανικό του Μεσαίωνα. Στην βάση του, ο θρόνος αυτός, είχε μηχανικά λιοντάρια τα οποία “βρυχόντουσαν” καθώς και έναν τεχνητό πλάτανο με ψεύτικα κλαδιά, στα οποία υπήρχαν μηχανικά πουλιά που “κελαηδούσαν”. Τέλος, ο

---

3 Ο Ήρωνας ο Αλεξανδρεύς έχει πολύ μεγάλη συνεισφορά στην θεωρία του αυτοματισμού και την εξέλιξη των Αυτόματων με το σύγγραμα του με τίτλο “Αυτοματοποιητική” να είναι ένα το κορυφαίο σύγγραμα της αρχαίας Μηχανικής.

## Βιομηχανική Ρομποτική

θρόνος είχε την δυνατότητα να ανυψώνεται πάνω από το επίπεδο των υπολοίπων που ήταν στην αίθουσα του θρόνου. [4]

Εκτός όμως από τους Ρωμαίους και του Βυζαντινούς, σημαντική ήταν και η συνεισφορά των Αράβων στον κλάδο αυτόν της τεχνολογίας. Μετέφρασαν και διέδωσαν τα συγγράμματα του Αρχύτα του Ταραντινού και του Ήρωνα του Αλεξανδρέα, και επιδίδονταν και στην κατασκευή Αυτόματων. Και μάλιστα, από Άραβα κατασκευάστηκε το πρώτο ανθρωποειδές Αυτόματο του Μεσαίωνα, το οποίο ήταν ένας μηχανικός τυμπανιστής που κατασκεύασε ο Αλ Γιαζάρι<sup>4</sup> (Badī' az-Zaman Abū l-'Izz ibn Ismā'īl ibn ar-Razāz al-Jazaī (1136-1206 μ.Χ.) ). Ο Αλ Γιαζάρι ήταν φιλόλογος, μαθηματικός, καλλιτέχνης, εφευρέτης, μηχανικός και τεχνίτης ο οποίος κατασκεύασε πολλές μηχανές και Αυτόματα, εκτός του τυμπανιστή που προαναφέρθηκε, με μεγαλύτερο αυτών να είναι το “Ρολόι Κάστρο” (Castle clock) το οποίο ήταν μία σύνθετη αυτόματη μηχανή, με ύψος περίπου 3.4 μέτρα που είχε πολλαπλές λειτουργίες, εκτός της τήρησης του χρόνου. Κάποιες από αυτές ήταν η εμφάνιση των ζωδιακών τροχιών, καθώς και της τροχιάς του Ήλιου και της Σελήνης. Μία άλλη λειτουργία που είχε ήταν, μέσω ενός δείκτη σε σχήμα μισοφέγγαρου, ο οποίος κινούνταν πάνω από μία πύλη, με τη βοήθεια ενός κρυφού κάρου, το άνοιγμα μίας αυτόματης πόρτας, διαφορετικής για κάθε ώρα, εμφανίζοντας μία συγκεκριμένη φιγούρα την φορά. Μία ακόμα πρωτοποριακή δυνατότητα που είχε ήταν ο καθορισμός της διάρκειας της ημέρας και της νύχτας, έτσι ώστε να είναι σύμφωνο με την κάθε εποχή του χρόνου. [10]

Πολύ σημαντική συνεισφορά είναι και αυτή του Leonardo da Vinci (15 Απριλίου 1452 - 2 Μαΐου 1519), ο οποίος ήταν Ιταλός αρχιτέκτονας, ζωγράφος, γλύπτης, μουσικός, εφευρέτης, μηχανικός, ανατόμος, γεωμέτρης, παλαιοντολόγος και γιατρός. Εκτός του θεωρητικού του έργου και των πολλών μηχανών, ακόμα και ιπτάμενων, που αυτό περιέχει και περιγράφει, πολύ σημαντικό έργο για τον συγκεκριμένο τεχνολογικό κλάδο είναι ένα Αυτόματο που κατασκεύασε, ένας μηχανικός ιππότης, το παλαιότερο σωζόμενο σχέδιο ανθρωποειδούς Αυτόματου, που είχε την δυνατότητα να αναστηκνώνει και να ανακινεί τα χέρια του και το κεφάλι του, καθώς και να σηκώνεται όρθιο και να κάθεται, με περιορισμένες όμως κινήσεις, οι αναλογίες του οποίου ακολουθούν τις αναλογίες του ανθρώπου του Βιτρούβιου<sup>5</sup>, δημιουργήθηκε ως πολεμική μηχανή και ήταν έτσι σχεδιασμένο και “προγραμματισμένο” ώστε οι κινήσεις που έκανε να έδιναν την εντύπωση ότι δεν

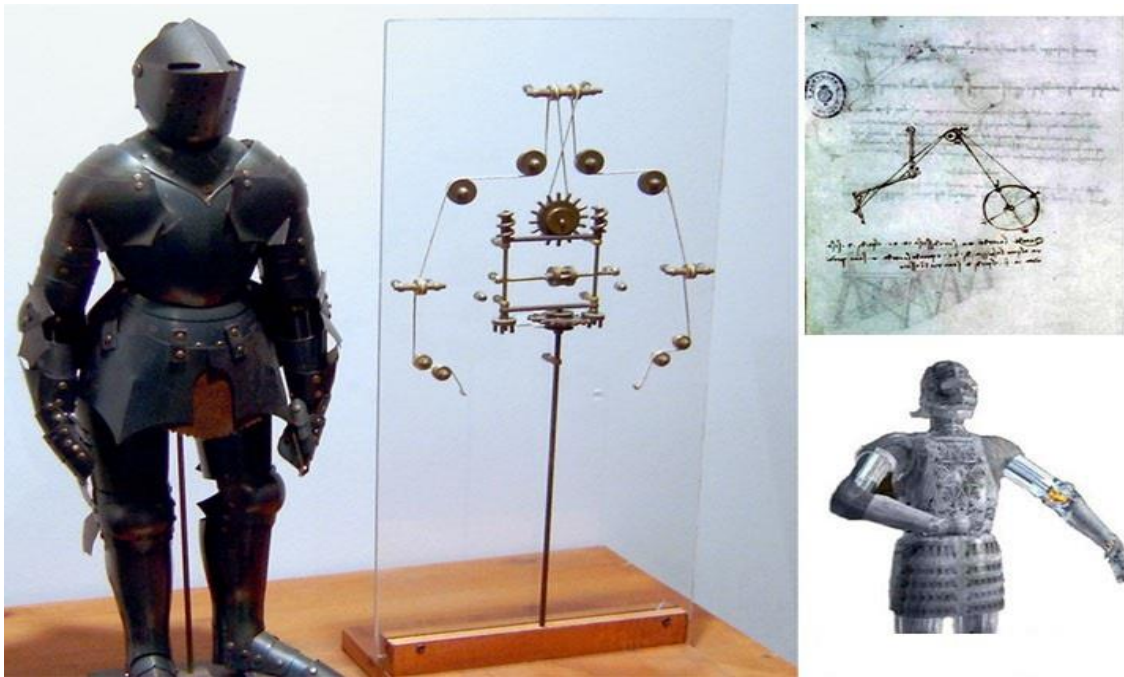
---

4 Σημαντικότερη συνεισφορά του Αλ Γιαζάρι στον κλάδο των μηχανών και των Αυτόματων είναι η συγγραφή του βιβλίου του “The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices” (Το βιβλίο της γνώσης των Ευφυών Μηχανικών Συσκευών) το 1206, στο οποίο περιγράφονται 100 μηχανικές συσκευές, μαζί με τις οδηγίες κατασκευής αυτών.

5 Ο άνθρωπος του Βιτρούβιου είναι ίσως το πιο διάσημο σχέδιο του Leonardo da Vinci. Απεικονίζει μία γυμνή αντρική φιγούρα σε δύο αλληλοκαλυπτόμενες θέσεις, με τα μέλη του ανεπτυγμένα και, συγχρόνως, εγγεγραμμένα σε ένα κύκλο και ένα τετράγωνο. Το σχέδιο αυτό περιέχεται σε ένα από τα ημερολόγια του και συνοδεύεται από σημειώσεις και αποτελεί μία μελέτη των αναλογιών του (ανδρικού) ανθρώπινου σώματος, όπως περιγράφεται σε μια πραγματεία του Ρωμαίου αρχιτέκτονα Βιτρούβιου. Το σχέδιο και το κείμενο συχνά ονομάζονται “Κανόνας των Αναλογιών”. [13]

## Βιομηχανική Ρομποτική

ήταν Αυτόματο αλλά υπήρχε κάποιος άνθρωπος μέσα στην πανοπλία. Το Αυτόματο αυτό κατασκευάστηκε το 1495, χρονιά που παρουσιάστηκε και στο κοινό, σε μία γιορτή που διοργάνωσε ο Δούκας Λουδοβίκος Σφόρτσα (Ludovico Maria Sforza) στο Μιλάνο. Βάσει των σχεδίων κατασκευής που περιέχονται σε χειρόγραφο του που ανακαλύφθηκαν το 1950, έχουν δημιουργηθεί κατασκευές, όπως αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.3), οι οποίες αποδεικνύουν την λειτουργικότητα του Αυτόματου αυτού. [11, 12]



Εικόνα 1.3: Το Αυτόματο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι και ο εσωτερικός του μηχανισμός, όπως εκτίθενται.

Μέχρι τον 18<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα είχαν δημιουργηθεί πολλά Αυτόματα, με ποικίλο εύρος δυνατοτήτων, όπως η κίνηση, η ζωγραφική, η χρήση μουσικών οργάνων αλλά και η δυνατότητα να πετούν. Σημαντικότερη προσωπικότητα του 18<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα στον κλάδο αυτό είναι ο Jacques de Vaucanson (1709-1782), ο οποίος ήταν Γάλλος καλλιτέχνης και εφευρέτης ο οποίος σχεδίασε και κατασκεύασε πολλά πρωτοποριακά και εντυπωσιακά Αυτόματα, όπως ένας παίκτης φλάουτου, ένας τυμπανιστής και, ίσως η πιο διάσημη δουλειά του, μία μηχανική πάπια, που ονομάστηκε “The Digesting Duck” (Η πάπια που χωνεύει) και είχε την δυνατότητα να μιμείται μία πραγματική πάπια, κουνώντας τα φτερά της, που για την κίνηση των οποίων ήταν υπεύθυνα περισσότερα από 400 επιμέρους κομμάτια σε κάθε φτερό, παράγοντας ήχους αντίστοιχους μίας ζωντανής πάπιας, καθώς και τρώγοντας σπόρους τους οποίους “χώνευε” σε ένα κρυφό αποθηκευτικό χώρο και στην συνέχεια τους απέβαλε. Τέλος, ο Ιάπωνας εφευρέτης Hisashige Tanaka (1799-

1881) ήταν ένας ακόμα μεγάλος εφευρέτης της περιόδου αυτής, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως “Ο Ιάπωνας Έντισον”, που σχεδίασε και κατασκεύασε μία σειρά από αρκετά πολύπλοκα, για την εποχή, μηχανικά παιχνίδια, που είχαν ποικίλες δυνατότητες, όπως το σερβίρισμα τσαγιού, το τράβηγμα βελών μέσα από μία φαρέτρα και η σχεδίαση ιαπωνικών ιδεογραμμάτων. [14, 15]

### 1.4 - Από τα Αυτόματα στα Ρομπότ

Μετά την Αναγέννηση, από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, ο κλάδος των αυτόματων μηχανών, ο οποίος από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα θα μετονομαστεί σε κλάδο της ρομποτικής, εξελίχθηκε ραγδαία, σε σχέση με την μέχρι τότε εξέλιξη του. Η ανακάλυψη και η μελέτη του ηλεκτρισμού και του ηλεκτρομαγνητισμού στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα καθώς και η εφεύρεση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των υπολογιστών τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (που οφείλεται στην ανάπτυξη της Ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας), όπως θα φανεί και παρακάτω, ήταν μείζονος σημασίας και έδωσε μία μεγάλη ώθηση στην εξέλιξη και την ανάπτυξη αυτόματων μηχανών με πολλές και ποικίλες δυνατότητες και την χρήση τους σε σχεδόν όλους τους κλάδους των επιστημών, στην βιομηχανία αλλά και στην καθημερινότητα. Πριν τον Ηλεκτρομαγνητισμό, η κινητήριος δύναμη των Αυτόματων ήταν μηχανικής φύσης, χρησιμοποιώντας κυρίως το νερό ή/και κάποια βαρίδια. Όμως, από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα τα Αυτόματα που κατασκευάζονταν ήταν κυρίως ηλεκτρικά και αργότερα ηλεκτρονικά, όπως είναι και στην σύγχρονη εποχή.

Πρώτη μεγάλη εφεύρεση του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και μάλιστα στην αρχή του, το 1804, ήταν η κατασκευή ενός αυτόματου αργαλειού από τον Joseph-Marie Jacquard. Η μεγάλη πρωτοπορία της εφεύρεσης αυτής ήταν ότι ο έλεγχος του μηχανήματος γινόταν με χρήση κατάλληλων διάτρητων καρτών τις οποίες εισήγαγε ο χρήστης. Οι διάτρητες αυτές κάρτες είχαν πολλαπλές σειρές τρυπών και πολλές τέτοιες κάρτες ενώνονταν μαζί για την δημιουργία μίας συνεχόμενης αλληλουχίας καρτών. Κάθε τέτοια αλληλουχία αντιστοιχούσε στο επιθυμητό σχέδιο που θα χρησιμοποιούσε ο αργαλειός για την λειτουργία του. Η μεγάλη σημασία της εφεύρεσης των διάτρητων καρτών έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια και από άλλους εφευρέτες και οδήγησαν στην εφεύρεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σημαντικότερη συνεισφορά σε αυτό θεωρείται αυτή του Χέρμαν Χόλεριθ (Herman Hollerith, 1860-1929) ο οποίος, το 1889 δημιούργησε μία ηλεκτρική μηχανή για την απογραφή του πληθυσμού, η οποία λειτουργούσε με διάτρητες κάρτες και το 1890 η μηχανή αυτή χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση του πληθυσμού των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η εταιρία που ίδρυσε ο Χόλεριθ ήταν μία από τις εταιρίες



## Βιομηχανική Ρομποτική

που δημιούργησαν την IBM<sup>6</sup> και οι διάτρητες κάρτες χρησιμοποιήθηκαν στους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές που κατασκευάστηκαν. [16, 17]

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, οι αυτόματες μηχανές και τα Αυτόματα που σχεδιάζονταν και κατασκευάζονταν ήταν κυρίως ηλεκτρικά και στη συνέχεια ηλεκτρονικά. Σε αυτό συνετέλεσαν πολλές μελέτες και εφευρέσεις, με πρώτη να είναι η εφεύρεση του ηλεκτρικού στοιχείου από τον Alessandro Volta, το 1799. Πολύ σημαντική συνεισφορά είχε και η θεμελίωση της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας και της επαλήθευσης της από τον Hertz το 1887 και η περαιτέρω εξέλιξη κατέστη εφικτή με την εξέλιξη των ηλεκτρικών τεχνολογιών, και συγκεκριμένα με την εφεύρεση της διόδου κενού από τον Fleming το 1904 και της τριόδου λυχνίας (λυχνία κενού) το 1904 από τον Lee De Frost. Όμως, η μεγάλη “επανάσταση” έγινε με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών τεχνολογιών, και συγκεκριμένα της εφεύρεσης του transistor από τους John Bardeen, Walter Brattain και William Shockley, το 1947, της εφεύρεσης του ολοκληρωμένου κυκλώματος από τους Jack Kirby και Robert Noyce και της εφεύρεσης του laser από τους Townes και Schawlow το 1958. Αυτές οι εφευρέσεις, εκτός του ότι μίκρηναν τις απαιτούμενες διαστάσεις των εξαρτημάτων των αυτόματων μηχανών, άρα και των Αυτόματων, βελτίωσαν πολύ τις απαιτήσεις ενέργειας και απόδοσης των Αυτόματων και έκαναν εφικτή την ανάπτυξη πολύ πιο πολύπλοκων μηχανισμών που προσέδιδαν μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων στους εφευρέτες ώστε να δημιουργούν Αυτόματα με όλο και πιο πολλές “ικανότητες”.

Εκτός των παραπάνω, μεγάλη συνεισφορά του Ηλεκτρομαγνητισμού στον κλάδο αυτό ήταν και το γεγονός ότι έδινε την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και επικοινωνίας με την ηλεκτρική μηχανή. Χαρακτηριστικό, και πρώτο τέτοιο παράδειγμα, είναι το πρώτο τηλεκατευθυνόμενο όχημα που παρουσίασε ο Nikola Tesla το 1898 στο Madison Square Garden στην Νέα Υόρκη. Ήταν ένα πλωτό σκάφος το οποίο λειτουργούσε με ηλεκτρισμό που παρείχε μία εσωτερική μπαταρία και, μέσω του τηλεχειριστηρίου<sup>7</sup>, ο χρήστης μπορούσε να του δώσει εντολές ώστε να αρχίσει να κινείται, να στρίβει αριστερά και δεξιά, να ανάβει και να σβήνει τα φώτα που είχε καθώς και να βυθίζεται. Η συγκεκριμένη εφεύρεση δεν είχε μεγάλη απήχηση στο κοινό που παρακολούθησε την παρουσίαση της γιατί δεν ήταν ακόμα ευρέως γνωστά τα ραδιοκύματα και κάποιοι τον κατηγορήσαν για “έλεγχο του νου”. Παρόλα αυτά, ο Τέσλα συνέχισε την ενασχόληση του με τον τομέα αυτό και επέκτεινε τον τηλεχειρισμό και σε άλλα οχήματα και μηχανήματα με δυνατότητα κίνησης. [5, 18]

Ίσως η σημαντικότερη χρονιά ορόσημο για την ρομποτική είναι το 1921. Ήταν η χρονιά που παρουσιάστηκε στο κοινό το θεατρικό έργο του Τσέχου συγγραφέα

---

6 Το 1911, τέσσερις εταιρείες, συμπεριλαμβανομένης της εταιρείας του Χόλεριθ, συνενώθηκαν και αποτέλεσαν την Computing Tabulating Recording Corporation (CTR), η οποία το 1924 άλλαξε το όνομα της σε International Business Machines Corporation (IBM).

7 Η πατέντα του Τέσλα στις Ηνωμένες Πολιτείες υπ’ αριθμόν 613.809 περιγράφει την πρώτη τέτοια συσκευή για τηλεχειρισμό που χρησιμοποιούσε ραδιοκύματα για τον απομακρυσμένο έλεγχο κάποιας συσκευής που ονομαζόταν “τηλεαυτόματο”. [18]

## Βιομηχανική Ρομποτική

Karel Čapek “R.U.R.”, όπου το ακρωνύμιο προέρχεται από την τσέχικη γλώσσα και σημαίνει “Rossumovi Univerzální Roboti” (αγγλική μετάφραση: Rossum’s Universal Robots) που είναι το όνομα ενός εργοστασίου σε ένα νησί του θεατρικού έργου. Στο θεατρικό αυτό έργο του οποίου η πλοκή διαδραματίζεται στο μέλλον (αναφορικά με την χρονιά παρουσίασης του), στην δεκαετία του 1960, σατιρίζεται η εξάρτηση της κοινωνίας από τους μηχανικούς εργάτες (ρομπότ) της τεχνολογικής εξέλιξης, οι οποίοι στο τέλος εξοντώνουν τους δημιουργούς τους. Είναι η πρώτη φορά που αναφέρεται ο όρος “Ρομπότ” ο οποίος στη συνέχεια υιοθετήθηκε από του επιστήμονες του κλάδου και δημιουργήθηκε ο κλάδος της “Ρομποτικής”<sup>8</sup>. Πλέον, ο όρος “Αυτόματο” χρησιμοποιείται κυρίως για να περιγράψει μηχανισμούς που έχουν τα χαρακτηριστικά των ρομπότ αλλά δεν παράγουν κάποιο ωφέλιμο έργο και για τον λόγο αυτό στην συνέχεια της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιείται ο όρος “ρομπότ”, του οποίου η σύγχρονη σημασία θα οριστεί στην επόμενη παράγραφο. Ο όρος αυτός προέρχεται από την τσέχικη λέξη *robota* (ρομπότα) που σημαίνει “εργασία”<sup>9</sup> και αναφέρεται στα Αυτόματα που, στο θεατρικό αυτό έργο, χρησιμοποιούνταν στο συγκεκριμένο εργοστάσιο. [5, 17, 19]

Από την δημιουργία του όρου “ρομπότ” και την υιοθέτηση του από τους επιστήμονες έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για τον σαφή ορισμό του τι περιγράφει ο όρος αυτός. Για τον λόγο αυτό, θα γίνει αναφορά σε διάφορες πηγές οι οποίες παρέχουν τον ορισμό του όρου “ρομπότ” (οι οποίοι παρατίθενται μεταφρασμένοι με την αγγλική έννοια να παρατίθεται ως υποσημείωση):

- **Merriam-Webster Dictionary:** Το λεξικό Merriam-Webster ορίζει τον όρο ως<sup>10</sup>:
  1. a: μία μηχανή που μοιάζει με ανθρώπινο ον και εκτελεί ποικίλες πράξεις όμοιες με των ανθρώπινων όντων (όπως το να περπατάει ή να μιλάει).  
b: ένα αποδοτικό αλλά “αναίσθητο” άτομο που πράττει αυτόματα
  2. Μία συσκευή η οποία εκτελεί σύνθετα καθήκοντα, συνήθως επαναλαμβανόμενα, αυτόματα.
  3. Ένας μηχανισμός που καθοδηγείται από αυτόματο έλεγχο. [20]
- **Cambridge Dictionary:** Το πανεπιστήμιο του Cambridge ορίζει τον όρο στο λεξικό του ως<sup>11</sup>: “Μία μηχανική συσκευή που λειτουργεί αυτόματα ή μέσω ελέγχου από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.” [21]
- **Robot Institute of America (RIA)**<sup>12</sup>: Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Ρομπότ δίνει τον παρακάτω ορισμό<sup>13</sup>: “Μία επαναπρογραμματίσιμη, πολυλειτουργική

---

8 Ρομποτική ονομάζεται ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με τη σύλληψη, τη σχεδίαση, την κατασκευή, τη θεωρία και τις εφαρμογές των ρομπότ.

9 Συνήθως ο όρος “robota” στα Τσέχικα και τα Πολωνικά χρησιμοποιείται για την περιγραφή κάποιας δύσκολης, κουραστικής ή καταναγκαστικής εργασίας.

10 “1. a: a machine that looks like a human being and performs various complex acts (such as walking or talking) of a human being. b: an efficient insensitive person who functions automatically. 2: a device that automatically performs complicated often repetitive tasks. 3: a mechanism guided by automatic controls”

11 “A mechanical device that works automatically or by computer control”

## Βιομηχανική Ρομποτική

χειριστική διάταξη (manipulator) σχεδιασμένη να μετακινεί υλικά, μέρη, εργαλεία ή εξειδικευμένες συσκευές μέσω ποικίλων προγραμματισμένων κινήσεων για την ολοκλήρωση μίας σειράς εργασιών” [22]

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω ορισμούς, ο όρος δεν είναι πλήρως και μονοσήμαντα καθορισμένος και μάλιστα, αν κάποιος ελέγξει και άλλα λεξικά ή ορισμούς που έχουν δοθεί από άλλους φορείς θα διαπιστώσει ότι σχεδόν όλοι είναι διαφορετικοί μεταξύ τους. Όμως, όλοι οι ορισμοί αυτοί έχουν κάποια κοινά στοιχεία που αφορούν τα κύρια χαρακτηριστικά που έχει κάποια μηχανή έτσι ώστε να χαρακτηριστεί ως “ρομπότ”. Το κυριότερο είναι ότι θα πρέπει να μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να εκτελεί αυτόματα κάποιες συγκεκριμένες εργασίες και να παράγει κάποιο έργο. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση αυτοματοποιημένων και μονότονων επαναλαμβανόμενων εργασιών, οι οποίες απαιτούν μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια ή και κάποιων δύσκολων ή επικίνδυνων, για τον άνθρωπο, εργασίες.

### 1.5 - Σύγχρονη ιστορία της Ρομποτικής

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ο όρος “Ρομπότ” στον οποίο οφείλει το όνομα του ο κλάδος της Ρομποτικής προήλθε από ένα θεατρικό έργο. Ο επόμενος σημαντικός σταθμός στην ιστορία του κλάδου αυτού ανήκει και αυτός στον χώρο των τεχνών και συγκεκριμένα του Κινηματογράφου και είναι η δημιουργία της ταινίας “Metropolis” το 1927 από τον Fritz Lang. Στο κινηματογραφικό αυτό έργο για πρώτη φορά εμφανίζεται ένα θηλυκό ρομπότ, ονόματι “Maria”. Αυτό θεωρείται ο “πρόγονος” των μετέπειτα εμφανιζόμενων χαρακτήρων ρομπότ της έβδομης τέχνης. Όμως, η συνεισφορά των τεχνών δεν σταματάει στην παρουσίαση χαρακτήρων που είναι ρομπότ. Από τον χώρο της λογοτεχνίας, και συγκεκριμένα από το έργο του Αμερικάνου συγγραφέα και καθηγητή βιοχημείας στο πανεπιστήμιο της Βοστώνης Ισαάκ Ασίμοφ (Isaac Asimov, 1920-1992), “Robot Series”, που αποτελεί έναν πολύ σημαντικό σταθμό στην ιστορία της ρομποτικής. Αποτελείται από 38 μικρές ιστορίες και 5 μυθιστορήματα, τα οποία ξεκίνησε να γράφει το 1939 και στα έργα αυτά πρωταγωνιστές είναι εξελιγμένα “Ποζιτρονικά” (positronic) ρομπότ. Ο όρος είναι δημιούργημα του συγγραφέα και περιγράφει ανδροειδή ρομπότ με μία CPU (central processing unit-κεντρική μονάδα επεξεργασίας), τα οποία προσομοιάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά και είναι αυτόνομα. Η μεγάλη συνεισφορά του έργου του Ασίμοφ έγκειται στο γεγονός ότι ο συγγραφέας δεν

---

12 Το ακρωνύμιο RIA χρησιμοποιείται και από τον εμπορικό όμιλο “Robotic Industries Association” (Όμιλος ρομποτικών βιομηχανιών) που θα αναφερθεί σε επόμενη παράγραφο της εργασίας αυτής.

13 “A reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of task.”

## Βιομηχανική Ρομποτική

επικεντρώνεται στο υλισμικό (hardware) των ρομπότ που παρουσιάζει αλλά στην συμπεριφορά τους και στο λογισμικό που την καθορίζει, με κορυφαίο “επίτευγμα” την θέσπιση των τριών νόμων της ρομποτικής, στους οποίους πρέπει να υπακούει κάθε ρομπότ που κατασκευάζεται, και οι οποίοι στη συνέχεια υιοθετήθηκαν από τον κλάδο της Ρομποτικής. [22, 23, 24]

Οι τρεις νόμοι του Ασίμοφ, ή όπως αναφέρονται στην σύγχρονη εποχή, οι τρεις νόμοι της Ρομποτικής, οι οποίοι εισήχθησαν στην ιστορία του 1942, “Runaround”, είναι [25]:

1. Ένα ρομπότ δεν μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε άνθρωπο ή να επιτρέψει, με την αδράνεια του, να προκληθεί βλάβη σε άνθρωπο.
2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές κάποιου ανθρώπου, εκτός και αν αυτές έρχονται σε σύγκρουση με τον πρώτο νόμο.
3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ύπαρξη του, όσον αυτό δεν έρχεται σε σύγκρουση με τους δύο προηγούμενους νόμους.

Σε μεταγενέστερο διήγημα του, ο Ασίμοφ συμπλήρωσε τους παραπάνω νόμους με τον μηδενικό νόμο, ο οποίος είναι:

- Ένα ρομπότ δεν μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην ανθρωπότητα ή να επιτρέψει, με την αδράνεια του, να προκληθεί βλάβη στην ανθρωπότητας και σύμφωνα με τον νόμο αυτό, ο πρώτος νόμος μετατράπηκε στον:
- Ένα ρομπότ δεν μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε άνθρωπο ή να επιτρέψει, με την αδράνεια του, να προκληθεί βλάβη σε άνθρωπο, όσο αυτό δεν έρχεται σε σύγκρουση με τον μηδενικό νόμο.

Το έργο του Ασίμοφ, αν και λογοτεχνικό, είναι αυτό στο οποίο στηρίχθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο του κλάδου της ρομποτικής, τουλάχιστον όσον αφορά την “ηθική”. Όσον αφορά το επιστημονικό θεωρητικό του υπόβαθρο, σημαντική ήταν και η συνεισφορά του Άλαν Τούρινγκ (Alan Matheson Turing, 1912-1954), Άγγλου Μαθηματικού, καθηγητής της λογικής, κρυπτογράφος και θεωρητικός βιολόγος, ο οποίος θεωρείται ως ο “πατέρας της επιστήμης των υπολογιστών”, χάρη στην πολύ μεγάλη συνεισφορά του στο γνωστικό πεδίο της θεωρίας υπολογισμού κατά τη δεκαετία του 1930, με την εισαγωγή της έννοιας το “θεωρητικού υπολογιστή” που ονομάστηκε “μηχανή Τούρινγκ” το 1936, αλλά και της τεχνητής νοημοσύνης, χάρη στο λεγόμενο “τεστ του Τούρινγκ” (Turing test) το οποία πρότεινε το 1950 και αποτελεί έναν τρόπο να διαπιστωθεί πειραματικά αν μία μηχανή έχει αυθεντικές γνωστικές ικανότητες και μπορεί να σκεφτεί<sup>14</sup>. [22, 26]

---

14 Το τεστ αυτό προβλέπει την επικοινωνία ενός ανθρώπου με έναν υπολογιστή. Ο άνθρωπος όμως δεν γνωρίζει αν είναι υπολογιστής ή άνθρωπος αυτό/αυτός με το/τον οποίο επικοινωνεί και πρέπει, κάνοντας ερωτήσεις και παίρνοντας απαντήσεις, να αποφανθεί αν είναι υπολογιστής ή άνθρωπος. Την δοκιμή Τούρινγκ κατάφερε και περάσει το 2014 το ρωσικής κατασκευής ρομπότ με το όνομα Eugene Goostman που κατάφερε να πείσει το 33% των ανθρώπων που συμμετείχαν το πείραμα ότι είναι ένας 13χρονος μαθητής από την Ουκρανία.[26]

## Βιομηχανική Ρομποτική

Με βάση το έργο των παραπάνω και μετέπειτα ερευνητών, έχει οριστεί με αρκετά καλή ακρίβεια το ποιες μηχανές μπορεί να θεωρηθούν σαν “ρομπότ” και ποια πρέπει να είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Σύμφωνα με αυτά, ως “Ρομπότ” ορίζεται μία μηχανή η οποία έχει την δυνατότητα να “αισθάνεται”, να “σκέφτεται” και να “επενεργεί” (οι αντίστοιχοι αγγλικοί όροι είναι: sense, think και act). Για να έχει τις παραπάνω ικανότητες, ένα ρομπότ πρέπει να διαθέτει [28, 29]:

- Ένα πλήθος αισθητήρων (sensors) για την απόκτηση πληροφορίας από:
  1. το εξωτερικό περιβάλλον
  2. το “εσωτερικό” του περιβάλλον, δηλαδή τις δικές του λειτουργίες
- Να έχει την δυνατότητα επεξεργασίας, μέσω μίας CPU, των πληροφοριών που αποκτά μέσω των αισθητήρων και
- Να έχει την δυνατότητα να επενεργεί με χρήση κάποιων κινητών εξαρτημάτων που καλούνται “Επενεργητές” (actuators) για την εκτέλεση κάποιας εργασίας.

Ακόμα, ένα ρομπότ θα πρέπει να αποτελείται από δύο συστήματα. Το πρώτο είναι το μηχανικό, στο οποίο περιλαμβάνεται το σύστημα κίνησης είτε ολόκληρου του ρομπότ είτε κάποιων μερών του, και το δεύτερο το ηλεκτρονικό, στο οποίο υπάγεται η CPU και η επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη του όπως και οι διάφοροι αισθητήρες, έτσι ώστε να έχει 3 βασικές ιδιότητες [28, 29]:

1. Να έχει την δυνατότητα επαναπρογραμματισμού, οπότε ένα ρομπότ θα πρέπει να περιέχει τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή ώστε να μπορεί να προγραμματίζεται η λειτουργία του ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας που καλείται να εκτελέσει και να επεξεργάζεται τις πληροφορίες που συλλέγει.
2. Να έχει την δυνατότητα κίνησης, είτε ολόκληρο είτε μερών του, την δυνατότητα Μηχανικής Δράσης, ώστε να μπορεί να εκτελεί τις φυσικές διεργασίες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εκάστης εργασίας.
3. Να έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και στόχους εργασίας, δηλαδή να έχει προσαρμοστικότητα, ευστροφία και ευκαμψία (οι αντίστοιχοι αγγλικοί όροι είναι: adaptability, versatility και flexibility).

Η εξέλιξη των ρομπότ, όπως προαναφέρθηκα, εξαρτάται από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και έχει περάσει από πολλά στάδια, ανάλογα με τις διαθέσιμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν για την υλοποίησή τους. Τα στάδια αυτά χαρακτηρίζονται ως “γενιές”<sup>15</sup>. Τα ρομπότ της πρώτης γενιάς είναι αρκετά απλά και με περιορισμένες ικανότητες, χωρίς να έχουν την ικανότητα υπολογισμού και “αίσθησης” (συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον) με αποτέλεσμα να μην

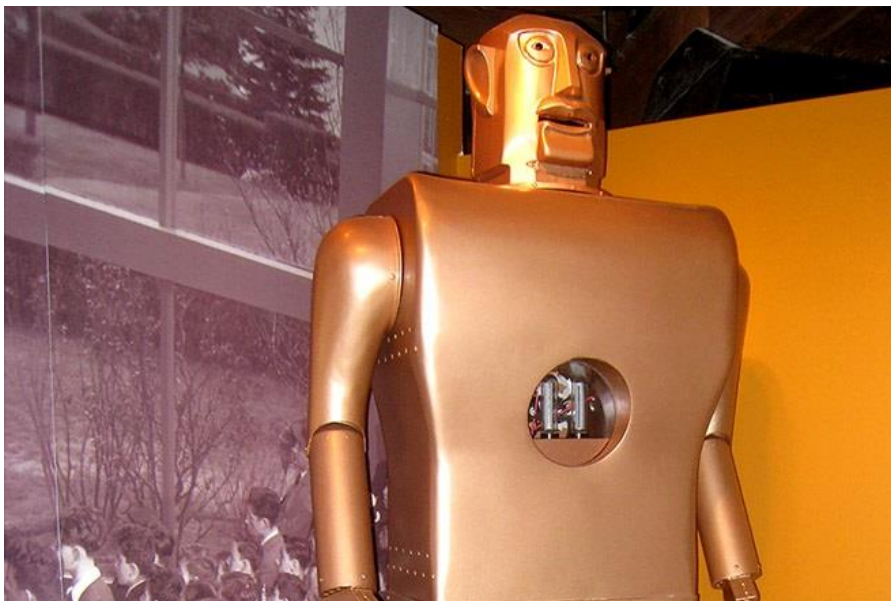
---

<sup>15</sup> Η ταξινόμηση αυτή σε “γενιές” είναι γενικά αποδεκτή από τους οργανισμούς και εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της Ρομποτικής και της Βιομηχανικής Ρομποτικής, με εξαίρεση την γαλλική AFRI, στην οποία θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφος 2.1) και η οποία ορίζει δικές της γενιές ρομπότ.

## Βιομηχανική Ρομποτική

έχουν την ικανότητα αυτόματης λειτουργίας και να απαιτείται κάποιος χειριστής. Τα ρομπότ δεύτερης γενιάς έχουν, αν και περιορισμένη, κάποια υπολογιστική ικανότητα, διαθέτουν αισθητήρες για την συλλογή πληροφοριών σχετικά με την λειτουργία τους και για τον προγραμματισμό τους χρησιμοποιούνται γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Τέλος, τα ρομπότ τρίτης γενιάς, εκτός των δυνατοτήτων των προηγούμενων γενεών, διαθέτουν και “νοημοσύνη” με την έννοια ότι έχουν αρκετή υπολογιστική ισχύ ώστε να μπορούν να παίρνουν αποφάσεις κατά την διάρκεια της εκτέλεσης της εργασίας τους, μέσω προγραμματισμού με χρήση τεχνικών της τεχνητής νοημοσύνης και εξελιγμένων αισθητήρων.

Το πρώτο σύγχρονο ρομπότ που παρουσιάστηκε στο κοινό της Αμερικής ήταν ο Elektro, ένα ρομπότ ύψους 2 μέτρων, το οποίο παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.4) που παρουσιάστηκε στην έκθεση World's Fair του 1939 στη Νέα Υόρκη. Ο Elektro κινούνταν ανάμεσα στον κόσμο της έκθεσης, αλληλεπιδρούσε με τον κόσμο συστήνοντας τον εαυτό του με την φράση “Είμαι ένας έξυπνος σύντροφος και έχω ένα πολύ καλό εγκέφαλο με 48 ηλεκτρικούς διακόπτες.” και “άκουγε” τις εντολές στις οποίες υπάκουε μέσω ενός τηλεφώνου. Σύμφωνα με τα παραπάνω και την κατηγοριοποίηση σε “γενιές”, ήταν ένα ρομπότ πρώτης γενιάς. Σήμερα ο Elektro βρίσκεται στο μουσείο Mansfield Memorial στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. [27]



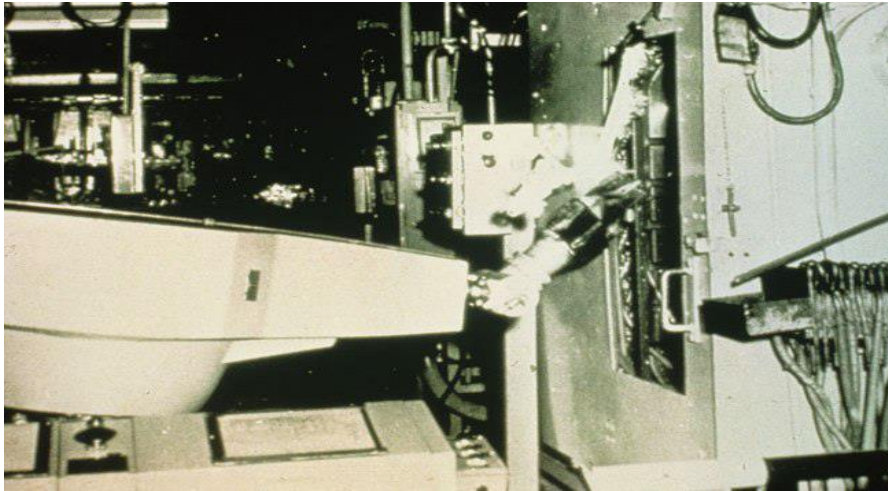
Εικόνα 1.4: Ο Elektro που βρίσκεται στο μουσείο Mansfield Memorial

Στα επόμενα χρόνια ο κλάδος της Ρομποτικής γνώρισε μεγάλη άνθηση η οποία οφείλεται στην εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των ηλεκτρονικών διατάξεων, δίνοντας την δυνατότητα στους επιστήμονες να δημιουργούν όλο και πιο πολύπλοκα ρομπότ, με όλο και περισσότερες ικανότητες. Οι εφαρμογές στις οποίες

## Βιομηχανική Ρομποτική

χρησιμοποιούνται ρομπότ, και για τις οποίες σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ρομπότ πιο εξειδικευμένων ικανοτήτων, είναι πολλές και περιέχουν σχεδόν όλους τους τεχνολογικούς και επιστημονικούς τομείς. Η διαστημική είναι ο κλάδος με το πιο διάσημο παράδειγμα, τα Mars Rover που είναι αυτοκινούμενα, τροχοκίνητα ρομπότ που κατασκευάζονται για την εξερεύνηση του πλανήτη Άρη, τα οποία έχουν ποικίλους αισθητήρες και λειτουργίες ώστε να μπορούν να συλλέγουν, να επεξεργάζονται και να αποστέλλουν πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια του πλανήτη. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη και διαστημικά σκάφη είναι εξίσου ευρέως γνωστά στο κοινό, που χρησιμοποιούνται είτε από την διαστημική, είτε για την εξερεύνηση της γης είτε ακόμα και από την πολεμική βιομηχανία. Κάποιες από τις εφαρμογές που έχουν τα σύγχρονα ρομπότ, οι οποίες κατηγοριοποιούν και τα ρομπότ αυτά, είναι: Ρομπότ εδάφους (όπως τα Mars Rover που προαναφέρθηκαν, Ρομπότ Αέρος (όπως τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη), Θαλάσσια Ρομπότ, Διαστημικά Ρομπότ, Ιατρικά Ρομπότ και πολλές άλλες. Περαιτέρω αναφορά σε συγκεκριμένα παραδείγματα δεν θα γίνει στην παρούσα εργασία γιατί ξεφεύγει από το πλαίσιο της και το κυρίως θέμα της που είναι η Βιομηχανική Ρομποτική. [28, 29, 30]

Αναφορικά με την Βιομηχανική Ρομποτική, πολύ σημαντικός σταθμός είναι το 1956, χρονιά που οι George Devol και Joseph Engleberger άρχισαν την συνεργασία τους με σκοπό την κατασκευή του πρώτου βιομηχανικού ρομπότ. Τρία χρόνια αργότερα, το 1959, κατασκεύασαν το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ, το οποίο ζύγιζε δύο τόνους και ελεγχόταν από ένα πρόγραμμα σε ένα “μαγνητικό τύμπανο” (magnetic drum). Χρησιμοποιούσε ένα σύστημα “υδραυλικών ενεργοποιητών” (hydraulic actuators) και ο προγραμματισμός του γινόταν με την αποθήκευση των γωνιών των αρθρώσεων, από τις οποίες αποτελούταν, κατά το στάδιο της “εκπαίδευσης” του, κατά τη διάρκεια του οποίου ένας χειριστής καθοδηγούσε τον ρομποτικό βραχίονα κάνοντας τις απαραίτητες, για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας, κινήσεις, και την επανάληψη των κινήσεων αυτών κατά την λειτουργία του. Η ακρίβεια των κινήσεων του πρώτου αυτού ρομποτικού βραχίονα ήταν 1/10000 της ίντσας. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη γραμμή παραγωγής της General Motors στο New Jersey. Η δουλειά του ήταν να σηκώνει καυτά ασάλινα κομμάτια και να τα ψυχραίνουν, τοποθετώντας τα ξανά στη γραμμή (εικόνα 1.5), πολύ απλοϊκή, για τα σημερινά δεδομένα, λειτουργία. Οι σύγχρονοι ρομποτικοί βραχίονες είναι πολύ μεγαλύτεροι και με πιο εκτεταμένες λειτουργίες. [17, 29, 32]



Εικόνα 1.5: Ο πρώτος ρομποτικός βραχίονας “Unimate” των George Devol και Joseph Engleberger

### 1.6 - Ιστορία της Βιομηχανικής Ρομποτικής

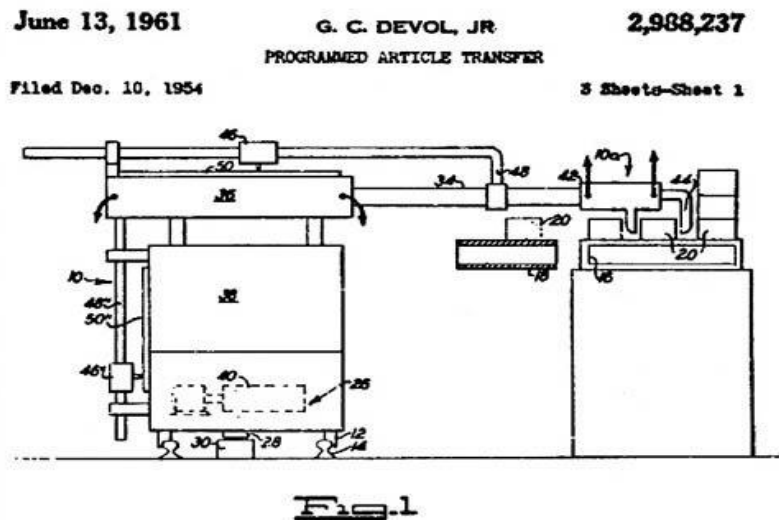
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ως έτος “γέννησης” του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής θεωρείται το έτος 1954, χρονιά που εισάγεται και καθιερώνεται ο όρος “Βιομηχανικό Ρομπότ” από τον George Devol, ο οποίος περιέγραψε και τον τρόπο κατασκευής του ρομποτικού βραχίονα που θα μπορεί να εκτελεί διάφορες εργασίες στην βιομηχανία. Όμως, η Βιομηχανική Ρομποτική δεν θα είχε γεννηθεί, τουλάχιστον όχι την χρονική περίοδο που γεννήθηκε και πιθανώς όχι με την μορφή που έχει, αν προηγουμένως δεν είχαν προηγηθεί οι μελέτες πάνω στην οργάνωση της μαζικής παραγωγής από τους Φρέντερικ Γουίνσλοου Τέιλορ και Χένρι Φορντ. Ο πρώτος είναι ο καινοτόμος ερευνητής του management ο οποίος εισήγαγε την έννοια της “έξυπνης εργασίας”. Αναζητώντας τρόπους βελτίωσης και αύξησης της παραγωγής, χώρισε την πορεία παραγωγής ενός προϊόντος σε επιμέρους στάδια, βελτιστοποιώντας κάθε ένα από αυτά και περιγράφοντας τις απαιτούμενες ενέργειες για την ολοκλήρωση κάθε σταδίου, δίνοντας σαφείς οδηγίες στους εργάτες σχετικά με τις απαιτούμενες κινήσεις. Τις ιδέες αυτές εξέλιξε ο Χένρι Φορντ, ο οποίος εισήγαγε την έννοια της “μαζικής παραγωγής” και της “γραμμής παραγωγής” (assembly lines). Στην ουσία, χρησιμοποίησε τις μεθόδους του Τέιλορ και τις εξέλιξε, εισάγοντας την ιδέα της γραμμής παραγωγής, που ήταν ένας κινητός ιμάντας ο οποίος μετέφερε το προϊόν που κατασκευαζόταν από στάδιο σε στάδιο, όπου κάθε εργάτης πραγματοποιούσε και κάποια συγκεκριμένη ενέργεια. Έτσι, κάθε εργάτης έπρεπε να επιτελέσει τον σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας που του είχε ανατεθεί, εκτελώντας συνεχώς τις ίδιες κινήσεις. Αυτό, αν και κάπως αρνητικό για τους εργάτες, οι οποίοι έπρεπε να κάνουν τις ίδιες μονότονες κινήσεις συνέχεια, ήταν η βάση στην οποία στηρίχθηκε η ιδέα της βιομηχανικής ρομποτικής. Ο κατακερματισμός των σταδίων της παραγωγής των προϊόντων έκανε εφικτή την ανάπτυξη μηχανημάτων τα οποία να είναι προγραμματισμένα να εκτελούν



## Βιομηχανική Ρομποτική

συγκεκριμένες κινήσεις, αυτοματοποιώντας κάποια από τα στάδια παραγωγής και ελαχιστοποιώντας τα λάθη που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα. [17, 28, 31]

Έτσι, με την ιδέα των βιομηχανικών ρομπότ να έχει γεννηθεί, αρχίζει η ιστορία του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής και η ραγδαία της εξέλιξη η οποία συμβαδίζει (ή και προκαλείται) από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Πρώτη χρονολογία ορόσημο είναι, όπως προαναφέρθηκε, το έτος 1954 με την κατοχύρωση της ευρεσιτεχνίας (patent) από τον George Devol του πρώτου βιομηχανικού ρομπότ, του οποίου το τεχνικό σχέδιο παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.6). Στην συνέχεια, από το 1956 που άρχισε η συνεργασία του με τον Joseph Engleberger και μετά, οι δύο συνεργάτες προσπαθούσαν να εξελίξουν την μηχανή που είχε περιγράψει ο πρώτος έτσι ώστε να μπορέσει να βρει εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο. Για τον λόγο αυτό, επισκέφτηκαν πολλά εργοστάσια παραγωγής αυτοκινήτων, που ήταν ο κλάδος της βιομηχανίας στον οποίο είχαν εφαρμοστεί οι ιδέες των Τέιλορ και Φόρντ, αλλά και άλλες βιομηχανικές μονάδες, έτσι ώστε να κατανοήσουν καλύτερα τις ανάγκες που θα καλούνταν να εξυπηρετήσουν τα βιομηχανικά ρομπότ. Έτσι, το 1961 ολοκλήρωσαν την κατασκευή και εγκατάσταση του πρώτου βιομηχανικού ρομπότ που ήταν ένας ρομποτικός βραχίονας (εικόνα 1.5) που ονομάστηκε “Unimate”<sup>16</sup> (προέρχεται από την ένωση των λέξεων “Universal Automate” (Παγκόσμιο Αυτόματο) ), που εγκαταστάθηκε σε εργοστάσιο General Motor’s (GM) στο Trenton στην πολιτεία New Jersey των Ηνωμένων Πολιτειών και ίδρυσαν την πρώτη εταιρία κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ, την “Unimation”. [17, 28, 32]



Εικόνα 1.6: Το τεχνικό σχέδιο της μηχανής της ευρεσιτεχνίας του George Devol στο οποίο στηρίχθηκε το “Unimate”

<sup>16</sup> Το πρώτο αυτό βιομηχανικό ρομπότ, αν και το κόστος κατασκευής του ήταν 65000\$, πουλήθηκε 18000\$ με σκοπό να αρχίσει η χρήση των βιομηχανικών ρομπότ και να δημιουργηθεί, στην ουσία, μία νέα αγορά από την οποία, η Unimation ανέμενε να έχει πολλά κέρδη.

## Βιομηχανική Ρομποτική

Μετά την πρώτη αυτή επιτυχημένη εγκατάσταση του Unimate, ο τότε τεχνικός διευθυντής της Ford, Del Harder, είχε στα σχέδια του να εγκαταστήσει βιομηχανικά ρομπότ στα εργοστάσια της Ford με σκοπό την αύξηση της παραγωγής. Για να το επιτύχει αυτό, πήρε τις προδιαγραφές του Unimate και τις έδωσε σε άλλες εταιρίες έτσι ώστε να κατασκευάσουν βιομηχανικά ρομπότ για αυτόν, εισάγοντας έτσι και άλλες εταιρίες στον χώρο. Το 1962, 6 κυλινδρικά ρομπότ<sup>17</sup> από την εταιρία AMF (American Machine and Foundry) εγκαθίστανται στο εργοστάσιο της Ford στο Canton των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Τα ρομπότ αυτά ονομάστηκαν “Versatran” που είναι ένωση των λέξεων “versatile transfer” (ευέλικτη μεταφορά) που περιγράφουν την λειτουργία τους και παρουσιάστηκαν στο κοινό το 1960 από την AMF. Στα χρόνια που ακολούθησαν, εγκαταστάθηκαν πολλά βιομηχανικά ρομπότ σε εργοστάσια αυτοκινήτων αλλά και σε άλλων τομέων της Βιομηχανίας, καθιστώντας τον κλάδο των κατασκευαστών βιομηχανικών ρομπότ ως έναν από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους και πολλά υποσχόμενους βιομηχανικούς κλάδους. Στην Ευρώπη, το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ που εγκαταστάθηκε ήταν ένα Unimate στο εργοστάσιο της Svenska Metallverken στο Urplands Väsby της Σουηδίας, το 1967. [17, 32]

Τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ, τα Unimate και τα Versatran είχαν ως κύρια λειτουργία τους την μετακίνηση και κατάλληλη τοποθέτηση αντικειμένων ή μερών κάποιας μεγαλύτερης κατασκευής. Αυτό άλλαξε το 1969, χρονιά που η GM εγκατέστησε στο εργοστάσιο συναρμολόγησης της στο Lordstown της πολιτείας Ohio των ΗΠΑ το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ που έκανε σημειακή συγκόλληση (spot-welding), ένα από τα πιο δύσκολα και επικίνδυνα στάδια της γραμμής παραγωγής ενός εργοστασίου. Την εγκατάσταση ανέλαβε η Unimation, όπου η ολοκλήρωση του έργου αφορούσε την εγκατάσταση στο εν λόγω εργοστάσιο 26 spot-welding βιομηχανικών ρομπότ, και προκάλεσε μεγάλη αύξηση στην παραγωγή, αυτοματοποιώντας περισσότερο από 90% των εργασιών συγκόλλησης. Στην Ευρώπη, το είδος αυτό των βιομηχανικών ρομπότ εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά σε εργοστάσια της ιταλικής βιομηχανίας αυτοκινήτων, Fiat, το 1972, που είναι η πρώτη χρονιά εγκατάστασης των συγκεκριμένων ρομπότ και στην Ιαπωνία, σε εργοστάσια της Nissan. Το 1969 όμως ήταν σημαντική χρονιά για την βιομηχανική ρομποτική και για άλλους λόγους. Την χρονιά αυτή γίνεται και η πρώτη εγκατάσταση, σε εργοστάσιο σμάλτωσης μπανιέρων στην Σουηδία, ενός βιομηχανικού ρομπότ με την ικανότητα να βάφει, το οποίο είχε σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από την Νορβηγική εταιρία “Trallfa” και παρουσιαστεί στο κοινό το 1967, καθώς και η επιτυχή παρουσίαση στο κοινό τεχνολογίας ρομποτικής “όρασης” από το Stanford Research Institute (Ινστιτούτο Έρευνας του Στάνφορντ) για απομακρυσμένο έλεγχο κινητικότητας. Τέλος, ένα ακόμα σημαντικό επίτευγμα της ίδιας χρονιάς είναι και η κατασκευή του πρώτου ρομπότ που βασιζόταν στην “όραση” από την Ιαπωνική

---

17 Στην κατηγορία των “κυλινδρικών ρομπότ” θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφο 2.4.1).

## Βιομηχανική Ρομποτική

εταιρία Hitachi, το οποίο μπορούσε να συναρμολογήσει αντικείμενα από κατάλληλα σχέδια που του δίνονταν μέσω οπτικών αισθητήρων. [17, 32]

Το 1970 η εταιρία ιαπωνική Denso ολοκληρώνει την κατασκευή του πρώτου ρομπότ χύτευσης αλουμινίου, το οποίο εγκαθιστά στα εργοστάσια της. Το 1973, η γερμανική εταιρία κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ KUKA σταματάει να χρησιμοποιεί τα Unimate ρομπότ και αρχίζει να κατασκευάζει δικά της. Το μοντέλο της “Famulus” είναι το πρώτο ρομπότ που έχει 6 ηλεκτρομηχανικά κινούμενους άξονες. Ακόμα, ο καθηγητής Scheinman<sup>18</sup> ιδρύει στις ΗΠΑ την εταιρία Vicarm Inc. και ξεκινάει η μαζική παραγωγή του βραχίονα Stanford, που είχε και αυτός 6 άξονες, δίνοντας του την δυνατότητα περισσότερων και πιο περίπλοκων κινήσεων από τους, μέχρι τότε, υπάρχοντες ρομποτικούς βραχίονες. Τέλος, το ίδιο έτος η ιαπωνική εταιρία Hitachi αναπτύσσει το πρώτο ρομπότ “βιδώματος” που για την βιομηχανία σκυροδέματος (τσιμέντο), εξοπλισμένο με δυναμικούς αισθητήρες όρασης, που είχε την ικανότητα να αναγνωρίζει τις βίδες σε ένα κινούμενο καλούπι και να τις σφίγγει ή χαλαρώνει ενώ αυτό κινιόνταν. [17, 28, 32, 33, 55]

Το επόμενο έτος, 1974, ο Richard Hohm κατασκεύασε το πρώτο διαθέσιμο για μαζική παραγωγή, βιομηχανικό ρομπότ που ελεγχόταν από ένα μίνι-υπολογιστή<sup>19</sup> για την εταιρία Cincinnati Milacron Corporation, το οποίο ονομάστηκε “T3, The Tomorrow Tool” (το εργαλείο του μέλλοντος). Η ιαπωνική εταιρία Kawasaki κατασκευάζει, με βάση το σχέδιο του Unimate, ρομπότ για την συγκόλληση τοξοειδών τμημάτων (μετάφραση του αγγλικού όρου “arc welding”) μετάλλου για την χρήση τους στην κατασκευή των πλαισίων των μοτοσικλετών. Το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό βιομηχανικό ρομπότ, που ελεγχόταν από έναν μικροεπεξεργαστή, με όνομα “IRB 6”, κατασκευάζεται μαζικά από την εταιρία ASEA<sup>20</sup>. Το IRB 6 είχε ανθρωπομορφικό σχεδιασμό και μιμούνταν την κίνηση ενός ανθρώπινου χεριού, χρησιμοποιώντας 5 άξονες και έχοντας την δυνατότητα να χειρίζεται μέχρι και 6 κιλά φορτίου. Ο ελεγκτής του, “S1”, ήταν ο πρώτος που χρησιμοποιούσε ένα 8-bit μικροεπεξεργαστή της Intel, τον 8008, με μνήμη 16 KB (KiloBytes), 16 ψηφιακές I/O (εισόδου/εξόδου) “θύρες”, μία οθόνη LED τεσσάρων ψηφίων και προγραμματιζόταν μέσω 16 πλήκτρων. Και την ίδια χρονιά, η ιαπωνική εταιρία Hitachi ανέπτυξε το πρώτο ρομπότ υψηλής ακρίβειας ελέγχου για την εισαγωγή μηχανικών μερών σε κάποιο πλαίσιο, το “HI-T-HAND Expert” που είχε ακρίβεια 10 micro-εκατοστών. [17, 28, 32, 33]

---

18 Victor David Scheinman (1942-2016): Αμερικανός πρωτοπόρος της ρομποτικής και εφευρέτης του βραχίονα Stanford που πήρε το όνομα του από το πανεπιστήμιο στο οποίο εργαζόταν όταν το εφηύρε.

19 Με τον όρο “μίνι υπολογιστής” (mini computer) περιγράφεται ένα υπολογιστικό σύστημα, που έχει όλες τις δυνατότητες αλλά μικρότερες διαστάσεις από ένα κανονικό υπολογιστικό σύστημα και μεγαλύτερες από έναν μικροϋπολογιστή (micro computer).

20 ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (Αγγλική μετάφραση: General Swedish Electric Company): Σουηδική βιομηχανική εταιρία η οποία το 1988 συγχωνεύτηκε με την ελβετική Brown, Boveri & Cie (BBC) και έφτιαξαν την σημερινή ABB (ASEA Brown Boveri), που είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες του κλάδου της βιομηχανικής ρομποτικής.

## Βιομηχανική Ρομποτική

Το 1975, το ρομπότ Olivetti “SIGMA”, ένα ρομπότ καρτεσιανών συντεταγμένων<sup>21</sup>, χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στην Ιταλία για εφαρμογές συναρμολόγησης, χρησιμοποιώντας δύο ρομποτικούς βραχίονες. Κατασκευάζεται το ρομπότ “IRB 60” της ASEA με δυνατότητα φορτίου μέχρι και 60 kg, και εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά σε εργοστάσιο της Saab στην Σουηδία για την συγκόλληση του κύριου “σώματος” αυτοκινήτων. Τέλος, την ίδια χρονιά, η ιαπωνική εταιρία Hitachi ανέπτυξε το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ συγκόλλησης τοξοειδών τμημάτων, το οποίο διέθετε αισθητήρες για την ορθή τοποθέτηση και διόρθωση των τμημάτων αυτών, που ονομάστηκε “Mr. AROS”. [17, 28, 32, 33]

Το 1978, η Unimate μαζί με την Vicarm, για λογαριασμό της GM κατασκεύασαν ένα ρομποτικό βραχίονα μικρού μεγέθους, που ονομάστηκε “Programmable Universal Machine for Assembly” (PUMA: Προγραμματιζόμενη καθολική μηχανή για συναρμολόγηση) και μπορούσε να προγραμματιστεί για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, όπως δηλώνει και ο όρος “καθολική” του ονόματος του. Ακόμα, ο Hiroshi Makino, στο Πανεπιστήμιο του Yamanashi στην Ιαπωνία κατασκεύασε το SCARA-Robot (Selective Compliance Assembly Robot Arm - Ρομποτικός βραχίονας συναρμολόγησης επιλεκτικής συμμόρφωσης<sup>22</sup>) που ήταν ένας ρομποτικός βραχίονας ο οποίος ήταν ένα καρτεσιανό ρομπότ, σχετικά άκαμπτος στον άξονα Z αλλά πολύ εύκαμπτος στους άξονες XY, κάτι που τον καθιστούσε κατάλληλο για πολλές και ποικίλες εφαρμογές συναρμολόγησης. Το 1981, η αμερικάνικη εταιρία PaR Systems έφτιαξε το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ που κινιόταν πάνω σε ατσάλινο βραχίονα (κρεμασμένο από αυτόν), που το είδος αυτό ονομάζεται “gantry robot”. [17, 28, 32, 33]

Τέλος, σημαντική χρονιά για την ιστορία της Βιομηχανικής Ρομποτικής είναι και το 1982 που η IBM ανέπτυξε την πρώτη γλώσσα προγραμματισμού ρομπότ, την AML (A Manufacturing Language - Μία γλώσσα κατασκευής), μία εύκολη στην χρήση αλλά με πολλές δυνατότητες, γλώσσα προγραμματισμού, ειδικά σχεδιασμένη για ρομποτικές εφαρμογές, που έδινε την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει, μέσω ενός προσωπικού υπολογιστή, μία προγραμματιστική εφαρμογή που μπορούσε να εκτελέσει ένα ρομπότ. [17, 28, 32, 33]

Η εξέλιξη και διάδοση των βιομηχανικών ρομπότ τα επόμενα χρόνια ήταν ταχύτατη. Παραπάνω έγινε η παρουσίαση των σημαντικότερων σταθμών της ιστορίας της Βιομηχανικής Ρομποτικής, αναφέροντας κυρίως τις καινοτομίες και τις νέες εφευρέσεις (είδη βιομηχανικών ρομπότ) που έγιναν. Από την δεκαετία του 1970 και μετά, τα βιομηχανικά ρομπότ εγκαθίστανται με ταχύς ρυθμούς σε σχεδόν όλους τους τομείς της βιομηχανίας αυξάνοντας πάρα πολύ τον ρυθμό παραγωγής και μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος για κάθε προϊόν, και για τον λόγο αυτό

---

21 Με τον όρο “ρομπότ καρτεσιανών συντεταγμένων”, ή “καρτεσιανό ρομπότ” ή “γραμμικό ρομπότ” περιγράφεται ένας βιομηχανικός βραχίονας του οποίου οι τρεις κύριοι άξονες ελέγχου είναι γραμμικοί (μετακινούνται σε ένα επίπεδο χωρίς την δυνατότητα περιστροφής) και έχουν γωνία 90<sup>0</sup> μεταξύ τους.

22 Στην έννοια της “συμμόρφωσης” (compliance) θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφο 2.3).

## Βιομηχανική Ρομποτική

θεωρείται ότι η δεκαετία αυτή αποτελεί την απαρχή της Τρίτης Βιομηχανικής Επανάστασης<sup>23</sup>, με την χρήση των βιομηχανικών ρομπότ. [34]

### 1.7 - Σύγχρονη Βιομηχανική Ρομποτική

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η Βιομηχανική Ρομποτική είναι ένας κλάδος της Ρομποτικής που ασχολείται με τις εφαρμογές των ρομπότ στην βιομηχανία και έχει εξελιχθεί πολύ από την δημιουργία του, έχοντας διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους βιομηχανικούς τομείς. Για τον λόγο αυτό, έχει διαχωριστεί αρκετά από τον κλάδο της Ρομποτικής και είναι πλέον ένας σχετικά ανεξάρτητος επιστημονικός κλάδος. Υπάρχουν πολλές εταιρίες των οποίων το αντικείμενο είναι αποκλειστικά η ανάπτυξη βιομηχανικών ρομπότ, καθώς και οργανισμοί οι οποίοι έχουν ως αντικείμενο τους την μελέτη και εξέλιξη των βιομηχανικών ρομπότ. Ο πρώτος τέτοιος οργανισμός που δημιουργήθηκε ήταν η Ιαπωνική Ένωση Ρομπότ (Japan Robot Association-JARA). Ιδρύθηκε το 1971 με το όνομα “Industrial Robot Conversazione” και μετονομάστηκε το 1972 σε “Japan Industrial Robot Association” (JIRA) (Ιαπωνική Ένωση Βιομηχανικών Ρομπότ) και αποτελούνταν από ιαπωνικές εταιρίες που ανέπτυσαν και κατασκεύαζαν βιομηχανικά ρομπότ. Το 1994 μετονομάστηκε σε JARA έτσι ώστε να επεκτείνει τις δραστηριότητες της και σε ρομπότ που δεν ανήκουν στην κατηγορία των βιομηχανικών ρομπότ. Μέλη της είναι πολλές μεγάλες εταιρίες της Ιαπωνίας, όπως οι Denso, FANUC, Hitachi, Kawasaki Heavy Industries, Mitsubishi Electric, Panasonic Corporation, Sony, Toshiba, Yamaha Motor Company, Yaskawa Electric Corporation αλλά και εταιρίες εκτός Ιαπωνίας που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής, όπως οι ABB, KUKA και Stäubli<sup>24</sup>. [36]

Η JARA είναι, όπως προαναφέρθηκε, ο πρώτος οργανισμός που δημιουργήθηκε με αντικείμενο την μελέτη, εξέλιξη και κατασκευή Βιομηχανικών Ρομπότ. Τα επόμενα χρόνια δημιουργήθηκαν παρόμοιοι οργανισμοί σε πολλές άλλες χώρες. Ο αντίστοιχος αμερικάνικος οργανισμός είναι ο “Σύνδεσμος ρομποτικών βιομηχανιών” (Robotic Industries Association-RIA) που ιδρύθηκε το 1974 και έχει την έδρα του στην πόλη Ann Arbor της Πολιτείας Michigan και στο Ηνωμένο Βασίλειο, η “Βρετανική Ένωση Αυτοματισμού και Ρομπότ” (British Automation and Robot Association-BARA) που ιδρύθηκε το 1979 με έδρα το

---

23 Η πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση θεωρείται ότι ξεκίνησε στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα, με την χρήση μηχανών που κινούνταν με ατμό και νερό στην παραγωγή προϊόντων. Η δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση θεωρείται ότι ξεκίνησε τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, με την ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής, όπου χρησιμοποιούνταν η ηλεκτρική ενέργεια, και στηρίχθηκε στο έργο των Henry και Ford, και ειδικά της γραμμής παραγωγής, που αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

24 Ελβετική εταιρία που ιδρύθηκε το 1892 ως “Schelling & Stäubli” και από το 1982 δραστηριοποιείται στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής, αναπτύσσοντας και κατασκευάζοντας ρομπότ και αυτοματισμούς.

## Βιομηχανική Ρομποτική

Λονδίνο<sup>25</sup>. Στην Ισπανία δημιουργήθηκε ο AER (Asociación Española de Robótica) το 1985 που έχει έδρα την Βαρκελώνη και στην Ολλανδία ο CIR (Contactgroep Industriële Robots (Dutch Robotic Association) ). Ο αντίστοιχος οργανισμός της Δανίας είναι ο DIRA (Danish Industrial Robot Association) που ιδρύθηκε το 1982 με έδρα την Odense. Στην Ρωσία ο RAR (Russian Association of Robotics) που ιδρύθηκε το 2015. Στην Σουηδία ο SWIRA (Swedish Industrial Robot Association), που ιδρύθηκε το 1980 με έδρα την Στοκχόλμη. Στην Γαλλία ο AFRI (Association Française de Robotique Industrielle) που ιδρύθηκε το 1978 με έδρα το Παρίσι. Στην Ιταλία ο SIRI (Associazione Italiana di Robotica e Automazione) που ιδρύθηκε το 1975 με έδρα το Μιλάνο. Στην Φινλανδία η “Η ρομποτική κοινωνία της Φινλανδίας” (The Robotic Society of Finland) που ιδρύθηκε το 1983 με έδρα το Ελσίνκι. Στην Γερμανία ο VDMA (Verband Deutscher Maschinen-und Anlagenbau)<sup>26</sup>, που ασχολείται με την Βιομηχανική Ρομποτική από το 1980, με έδρα την Φρανκφούρτη. Στο Βέλγιο το BIRA- Robotica (Belgian Institute of Automatic Control) που ιδρύθηκε το 1980 με έδρα την Αμβέρσα (Antwerpen). Στην Κίνα ιδρύθηκε ο CRIA (China Robot Industry Alliance) το 2013. Στην Ταϊβάν ο TAIROA (Taiwan Automation Intelligence and Robotics Association). Τέλος, στην Αυστραλία η “Αυστραλιανή εταιρία ρομπότ” (Australian Robot Association Inc.) που ιδρύθηκε το 1981 και έχει έδρα το Σίδνεϊ. [39, 43, 44]

Όλοι οι παραπάνω οργανισμοί, αλλά και άλλοι οι οποίοι δεν αναφέρθηκαν γιατί μία εξαντλητική αναφορά όλων των οργανισμών παγκοσμίως ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας, έχουν σαν μέλη τους τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής των χωρών στις οποίες ιδρύθηκαν αλλά εταιρίες άλλων χωρών. Οι περισσότεροι όμως είναι μέλη ενός παγκόσμιου οργανισμού που ιδρύθηκε το 1987 ως μη κερδοσκοπικός οργανισμός, έχει τα κεντρικά του γραφεία στην Φρανκφούρτη της Γερμανίας και έχει περισσότερα από 50 μέλη σε περισσότερες από 20 χώρες. Αυτός ο οργανισμός είναι η “Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής” (International Federation of Robotics-IFR) που . [38, 39]

Ως κλάδος που δημιουργήθηκε από την Ρομποτική, θα ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως είναι ο ορισμός ενός ρομπότ και οι νόμοι της ρομποτικής. Όμως, λόγω της διαφοροποίησης που προαναφέρθηκε, τα παραπάνω έχουν κάποιες μικρές ή μεγάλες αλλαγές για την εφαρμογή τους στα βιομηχανικά ρομπότ. Έτσι, τα βασικά μέρη και βασικές δυνατότητες που πρέπει να έχει ένα ρομπότ που προαναφέρθηκαν (παράγραφος 1.5) θα ισχύουν και για τα Βιομηχανικά Ρομπότ, όπως και οι τρεις (ή τέσσερις αν μετρήσουμε και τον μηδενικό νόμο) νόμοι

---

25 Είναι η “εξέλιξη” του οργανισμού British Robot Association (BRA) που ιδρύθηκε το 1977 με έδρα το Birmingham.

26 Είναι η εξέλιξη του οργανισμού Verein deutscher Maschinenbau-Anstalten (VdMA) που ιδρύθηκε το 1892 με κλάδο απασχόλησης τις μηχανές και την βιομηχανία και το 1980 πήρε το σημερινό του όνομα, αλλάζοντας προσανατολισμό, στρεφόμενος προς την Βιομηχανική Ρομποτική και τους Αυτοματισμούς. Το πλήρες όνομα που έχει σήμερα είναι: VDMA R+A (VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) Robotics + Automation)

## Βιομηχανική Ρομποτική

του Ασίμοφ, στους οποίους όμως προστέθηκαν άλλοι δύο από τον Stig Moberg της ABB Robotics για εφαρμογή στα βιομηχανικά ρομπότ, που είναι [17]:

4. Ένα ρομπότ πρέπει να ακολουθεί την τροχιά που έχει καθοριστεί από τον χειριστή του, όσο αυτό δεν έρχεται σε σύγκρουση με τους πρώτους 3 νόμους.
5. Ένα ρομπότ πρέπει να έχει την ταχύτητα και την επιτάχυνση που έχει καθοριστεί από τον χειριστή του όσο δεν υπάρχει κάτι που να εμποδίζει την κίνηση του και τα παραπάνω δεν έρχονται σε σύγκρουση με τους προηγούμενους νόμους

Μία ακόμα αλλαγή, αναφορικά με τον κλάδο της Ρομποτικής, είναι ο ορισμός των Βιομηχανικών Ρομπότ ο οποίος είναι πιο εξειδικευμένος από τους γενικούς ορισμούς που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφο 1.4), με τον ορισμό του RIA (Robot Institute of America) να είναι ο πλησιέστερος στους σημερινούς. Όμως, λόγω των πολλών οργανισμών και εταιριών που δραστηριοποιούνται στον χώρο της Βιομηχανικής Ρομποτικής και της ανεξάρτητης ανάπτυξης συστημάτων από κάθε μία, έχουν διατυπωθεί αρκετοί ορισμοί, οι κυριότεροι των οποίων είναι [40, 41]:

- Η JARA, σε συνεργασία με την ιαπωνική επιτροπή βιομηχανικών προτύπων (Japanese Industrial Standards Committee) ορίζει τα βιομηχανικά ρομπότ σε διάφορα επίπεδα:
  1. Χειριστής (manipulator): μία μηχανή που έχει λειτουργίες παρόμοιες με τα ανθρώπινα άνω άκρα και μετακινεί αντικείμενα στο χώρο.
  2. Ρομπότ αναπαραγωγής (playback robot): ένας χειριστής ο οποίος μπορεί να εκτελέσει μία εργασία ακολουθώντας αποθηκευμένες πληροφορίες για μία ακολουθία λειτουργίας, που έχει αποκτήσει πριν την εκτέλεση της εργασίας.
  3. Ευφυές ρομπότ (intelligent robot): ένα ρομπότ που μπορεί να καθορίσει την συμπεριφορά του και τις ενέργειες που θα εκτελέσει μέσω των λειτουργιών της αίσθησης και της αναγνώρισης που έχει.
- Η BARA ορίζει ένα βιομηχανικό ρομπότ ως “μία επαναπρογραμματιζόμενη συσκευή με τουλάχιστον τέσσερις βαθμούς ελευθερίας, σχεδιασμένη να μπορεί να μεταφέρει και να χειρίζεται μέρη, σύνεργα ή ειδικά κατασκευασμένα εργαλεία μέσω ποικίλων προγραμματιζόμενων κινήσεων για την εκτέλεση συγκεκριμένων βιομηχανοποιημένων εργασιών”.
- Η RIA (Robotic Industries Association) ορίζει ένα βιομηχανικό ρομπότ ως “έναν επαναπρογραμματίσιμο, πολυλειτουργικό χειριστή σχεδιασμένο να μετακινεί υλικά μέσω ποικίλων προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών”<sup>27</sup>.
- Τέλος, ο ορισμός του Βιομηχανικού Ρομπότ που υιοθετήθηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization-ISO)

---

<sup>27</sup> Ο ορισμός αυτός είναι πολύ κοντά στον ορισμό του Ινστιτούτου Ρομποτικής (RIA) που αναφέρθηκε παραπάνω (παράγραφος 1.4).

## Βιομηχανική Ρομποτική

και είναι σύμφωνος με τις περισσότερες εταιρίες και οργανισμούς, με σημαντικότερο τον IFR, είναι: “Ένα Βιομηχανικό Ρομπότ είναι ένα αυτόματο, ελεγχόμενο από σερβο-μηχανισμό<sup>28</sup>, ελεύθερα προγραμματιζόμενος, πολυλειτουργικός χειριστής, με αρκετά μέρη, για τον χειρισμό κομματιών εργασία, εργαλείων ή ειδικών συσκευών. Προγράμματα μεταβλητής λειτουργίας καθιστούν εφικτή την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών”.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι ορισμοί είναι παραπλήσιοι μεταξύ τους, με μικρές διαφορές. Άλλοι επικεντρώνονται στην εξωτερική περιγραφή, όπως της BARA που αναφέρει τον ελάχιστο αριθμό βαθμών ελευθερίας και άλλοι στην προγραμματιστική όπως της RIA και του ISO. Για τον λόγο αυτό, δεν είναι πλήρως ξεκαθαρισμένος ο ορισμός και είναι πιθανό κάποιος οργανισμός ή εταιρία να θεωρεί κάποιο μηχανισμό ως βιομηχανικό ρομπότ και κάποια άλλη όχι, όπως θα γίνει καλύτερα αντιληπτό στο επόμενο κεφάλαιο και ειδικά στην παράγραφο 2.1, όπου θα γίνει αναφορά στους πιο ευρέως διαδεδομένους τρόπους ταξινόμηση των Βιομηχανικών Ρομπότ.

### 1.8 - Πλεονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ

Τα Βιομηχανικά Ρομπότ έχουν “αναλάβει” πολλές και ποικίλες εργασίες στον τομέα της βιομηχανίας, και ειδικότερα της βαριάς βιομηχανίας στην οποία πολλές εργασίες σε πολλά από τα στάδια παραγωγής είναι δύσκολο ή επικίνδυνο να εκτελούνται από ανθρώπους. Έτσι, η χρήση ρομπότ σε πολλές τέτοιες εφαρμογές καθίσταται σχεδόν απαραίτητη, ειδικά σε κάποιες εργασίες τις οποίες δεν μπορούν να εκτελέσουν οι άνθρωποι. Τέτοια παραδείγματα είναι οι εργασίες σε πολύ ανθυγιεινό περιβάλλον λόγω διαφόρων ακτινοβολιών ή δηλητηριωδών αερίων που μπορεί να υπάρχουν, όπως παραδείγματος χάριν στις αυτοκινητοβιομηχανίες, όπου τα λάδια, τα ρινίσματα των μετάλλων, τα χρώματα και τα υλικά συγκόλλησης που χρησιμοποιούν, δημιουργούν ένα ανθυγιεινό περιβάλλον εργασίας, και στις μεταλλουργικές βιομηχανίες όπου οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στον χώρο, σε συνδυασμό με τις αναθυμιάσεις των τηκομένων μετάλλων δημιουργούν ένα άκρως βλαβερό περιβάλλον για την ανθρώπινη υγεία. Έτσι, ανάλογα με το είδος της εργασίας, σε πολλές περιπτώσεις η χρήση ρομπότ έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της εκτέλεσης της από τον άνθρωπο.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των ρομπότ έναντι των ανθρώπων είναι, όπως προαναφέρθηκε, ότι μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Μπορούν να αναλάβουν εργασίες σε χώρους με ελλειπή ή και καθόλου εξαερισμό, καθιστώντας τα κατάλληλα για εργασίες σε χυτήρια μετάλλων, σε εργοστάσια στα οποία, λόγω των χημικών συστατικών που χρησιμοποιούνται και των αναθυμιάσεων

---

28 Ο όρος “σέρβο” (servo) περιγράφει έναν “αναδραστικό μηχανισμό ελέγχου” και αποτελείται από έναν μικρό μηχανισμό με κατάλληλους αισθητήρες που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και καθορισμό της θέσης του βιομηχανικού ρομπότ (και γενικότερα ρομπότ ή αυτόματων).



## Βιομηχανική Ρομποτική

που αυτά έχουν η ατμόσφαιρα είναι δηλητηριώδης για έναν άνθρωπο καθώς και σε περιβάλλοντα στα οποία ο φωτισμός είναι από ανεπαρκής μέχρι σχεδόν ανύπαρκτος. Εκτός του παράγοντα της υγείας, αναφορικά με τις παραπάνω περιπτώσεις αλλά και πολλές άλλες, η χρήση ρομπότ μπορεί να έχει και μεγάλα οφέλη στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα μεγάλο ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας στα εργοστάσια οφείλεται στις ανάγκες φωτισμού, εξαερισμού και κλιματισμού του χώρου εργασίας, και ειδικά σε πολύ μεγάλες εργοστασιακές μονάδες, η κατανάλωση αυτή μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Έτσι, η χρήση ρομπότ μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα ρομπότ είναι μία μηχανή η οποία προγραμματίζεται να εκτελεί μία εργασία, την οποία επαναλαμβάνει συνεχώς με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Το χαρακτηριστικό αυτό τα καθιστά ιδανικά για την χρήση σε εργασίες που απαιτούν την συνεχή επανάληψη των ίδιων κινήσεων με μεγάλη ακρίβεια, εργασίες αρκετά “ανιαρές” και “βαρετές” για έναν άνθρωπο. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να διασπαστεί η προσοχή του ανθρώπινου εργάτη ή και αυτός να κουραστεί, με αποτέλεσμα είτε την υποβάθμιση της ποιότητας του παραγόμενου έργου είτε ακόμα και στην πρόκληση ατυχήματος. Ένα ρομπότ όμως δεν θα έχει τέτοιο κίνδυνο, προσφέροντας σταθερή ποιότητα προϊόντος και ρυθμό παραγωγικότητας, βελτιώνοντας την απόδοση της παραγωγής. Ακόμα, σε πολλές τέτοιες περιπτώσεις πλεονεκτεί ένα ρομπότ έναντι ενός ανθρώπου και ως προς την ταχύτητα και ως προς την ακρίβεια εκτέλεσης τέτοιου είδους εργασιών.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των ρομπότ είναι ότι διαθέτουν μεγαλύτερη ευελιξία και δύναμη, χαρακτηριστικά που τους δίνουν την δυνατότητα να εκτελούν εργασίες που ένας άνθρωπος δεν θα μπορούσε, ή που θα απαιτούνταν περισσότεροι του ενός εργατών για να τις φέρουν εις πέρας. Χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα υπάρχουν πολλά, ειδικά στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι εργασίες βαψίματος στις οποίες τα ρομπότ βαψίματος, λόγω της μεγαλύτερης ευελιξίας και της ικανότητας να κινούνται καλύτερα στον χώρο και να έχουν πρόσβαση σε σημεία που ένας εργάτης δύσκολα θα είχε, είναι πολύ πιο αποδοτικά, τόσο σε ταχύτητα όσο και σε ακρίβεια εκτέλεσης της εργασίας. Ένα ακόμα παράδειγμα είναι οι εργασίες συναρμολόγησης, στις οποίες, σε πολλές περιπτώσεις τα μέρη που πρέπει να συναρμολογηθούν απαιτούν και μεγάλη ακρίβεια κίνησης αλλά και μεγάλη δύναμη λόγω του βάρους τους, απαιτήσεις στις οποίες ένα κατάλληλα σχεδιασμένο ρομπότ μπορεί να ανταπεξέλθει.

Στα παραπάνω, αναφέρθηκαν τα οφέλη της χρήσης ρομπότ για την εκτέλεση πολλών εργασιών στο τομέα της βιομηχανίας και της αντικατάστασης των ανθρώπων, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η χρήση ρομπότ βοήθησε ή και προκάλεσε την εξέλιξη κάποιου κλάδου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η βιομηχανία των υπολογιστών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών συμβαδίζει (ή και προκαλείται) από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών τεχνολογιών και των διαθέσιμων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι πρώτοι υπολογιστές χρησιμοποιούσαν έναν μεγάλο αριθμό από τριόδες λυχνίες, οι οποίες είχαν διαστάσεις αρκετών εκατοστών, και είχαν πολύ μεγάλες, για τα σύγχρονα δεδομένα, διαστάσεις. Χαρακτηριστικό

## Βιομηχανική Ρομποτική

παράδειγμα είναι ο πρώτος μεγάλης κλίμακας επαναπρογραμματιζόμενος ηλεκτρονικός ψηφιακός υπολογιστής, ο ENIAC, ο οποίος είχε περισσότερες από 18.000 λυχνίες κενού και 1500 ηλεκτρονόμους και καταλάμβανε 163 τετραγωνικά μέτρα χώρο. Με την εξέλιξη όμως των ηλεκτρονικών, και ειδικά με την εφεύρεση του τρανζίστορ, οι διαστάσεις και οι δυνατότητες των υπολογιστικών συστημάτων βελτιώθηκαν πολύ. Στα σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα χρησιμοποιούνται τρανζίστορ πολύ μικρών διαστάσεων, λίγων νανόμετρων, των οποίων όμως η κατασκευή, λόγω των μικροσκοπικών διαστάσεων που έχουν και της μεγάλης απαιτούμενης ακρίβειας για την σωστή κατασκευή τους, είναι αδύνατο να γίνει από έναν άνθρωπο. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, η συνεχής βελτίωση των τεχνολογιών αυτών οφείλεται στην χρήση ρομπότ τα οποία κατασκευάζονται κατάλληλα ώστε να μπορούν να χειριστούν υλικά στις απαιτούμενες μικροσκοπικές διαστάσεις και με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

### 1.9 - Πρότυπα ασφαλείας Βιομηχανικών Ρομπότ [28, 67, 68, 69, 70, 71]

Ένα πολύ σημαντικό θέμα, αναφορικά με τα Βιομηχανικά Ρομπότ είναι το θέμα της ασφαλούς λειτουργίας αυτών. Σε πολλές περιπτώσεις στους χώρους που είναι εγκατεστημένα ρομπότ εργάζονται και άνθρωποι. Έτσι, μία σημαντική πτυχή της ασφαλούς λειτουργίας είναι η αποφυγή πιθανών ατυχημάτων που θα έχουν ως αποτέλεσμα τον τραυματισμό κάποιου. Εκτός όμως από αυτό, η ασφαλής λειτουργία περιλαμβάνει και τον τρόπο λειτουργίας ή σχεδιασμού μίας μηχανής ή ενός ρομπότ ώστε να μην προκληθούν βλάβες και στο ίδιο ή στο περιβάλλον στο οποίο αυτό είναι εγκατεστημένο. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί κάποια “πρότυπα ασφαλείας” (safety standards) που αφορούν τα ρομπότ αλλά και γενικότερα τις μηχανές. Τα πρότυπα αυτά προσφέρουν κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό και την λειτουργία κάθε τύπου και είδους μηχανής έτσι ώστε αυτές να εκπληρώνουν τις βασικές προϋποθέσεις καλής και αποδοτικής λειτουργίας τους και συμμόρφωσης τους με τους κανόνες ασφαλούς λειτουργίας τους και υγιεινής, αναφορικά με τον χώρο στον οποίο είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν. Γενικά, τα πρότυπα ασφαλείας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το φάσμα των μηχανών για τις οποίες ισχύουν (ή αλλιώς, την εξειδίκευση των οδηγιών που περιέχουν):

- Πρότυπα τύπου “Α”: είναι βασικά πρότυπα που καθορίζουν τις βασικές αρχές για την επίτευξη της ασφαλούς λειτουργίας μίας μηχανής και έχουν καθολική ισχύ.
- Πρότυπα τύπου “Β”: είναι γενικά πρότυπα τα οποία περιέχουν οδηγίες για κάποια συγκεκριμένη πτυχή ασφάλειας, όπως παραδείγματος χάριν τις διαχωριστικές αποστάσεις μεταξύ των μηχανών ή κάποια ειδική προστατευτική διάταξη, όπως παραδείγματος χάριν ένα εξοπλισμό προστασίας από συγκεκριμένου είδους ακτινοβολία, και ισχύουν για ένα μεγάλο φάσμα μηχανών.

## Βιομηχανική Ρομποτική

- Πρότυπα τύπου “C”: είναι πρότυπα που περιέχουν συγκεκριμένες και λεπτομερείς απαιτήσεις ασφαλείας που αφορούν έναν συγκεκριμένο τύπο μηχανής, όπως παραδείγματος χάριν τα Βιομηχανικά Ρομπότ.

Την δημιουργία τέτοιων προτύπων ασφαλείας έχουν αναλάβει αρκετοί οργανισμοί, με σημαντικότερο και πιο αναγνωρισμένο σε παγκόσμιο επίπεδο τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης ISO (International Organization for Standardization) και την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission) με την οποία έχει συνεργαστεί σε πολλές περιπτώσεις ο ISO για την δημιουργία κοινών προτύπων (τα πρότυπα ISO/IEC). Στα πρότυπα που αφορούν τα θέματα ασφαλείας που βρίσκουν εφαρμογή στα βιομηχανικά ρομπότ αυτών των οργανισμών θα γίνει αναφορά στην συνέχεια της παρούσας παραγράφου, ενώ αναφορά στους υπόλοιπους οργανισμούς και τα πρότυπα που αφορούν τα βιομηχανικά ρομπότ θα γίνει αναφορά στο τέλος της παραγράφου αυτής.

Για θέματα ασφαλούς λειτουργίας των ρομπότ, σημαντικότερα πρότυπα είναι τα εξής:

- ISO 12100: Είναι ένα πρότυπο τύπου “A”, όπου καταγράφονται κάποιες γενικές αρχές που αφορούν την ασφάλεια των μηχανών και συγκεκριμένα την αξιολόγηση κινδύνου.
- ISO 13849 και IEC 62061: Είναι πρότυπα ασφαλείας τύπου “B” που καθορίζουν τον τρόπο σχεδιασμού και τις απαραίτητες δυνατότητες ενός συστήματος ελέγχου ώστε να διαθέτει λειτουργίες ασφαλείας.
- ISO 13855 και ISO 13857: Είναι πρότυπα ασφαλείας τύπου “B” τα οποία περιέχουν οδηγίες σχετικά με τις αποστάσεις ασφαλείας που καθορίζουν τον διαχωρισμό ή τον μη διαχωρισμό εξοπλισμού ασφαλείας, όπως είναι οι περιφράξεις και οι φωτοφράκτες.
- ISO 10218-1/-2 και ISO/TS 15066: Είναι πρότυπα τύπου C που καλύπτουν τα θέματα ασφαλείας των βιομηχανικών ρομπότ και των ολοκληρωμένων ρομποτικών συστημάτων.

Για την εγκατάσταση οποιασδήποτε μηχανής, αρχικά πρέπει να γίνει αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 12100 (το οποίο αφορά γενικά τις μηχανές και για τον λόγο αυτό στην παρακάτω περιγραφή δεν χρησιμοποιείται ο όρος “ρομπότ” αλλά “μηχανή”), η οποία θα αρχίσει από τον σχεδιασμό της γεωμετρίας και της λειτουργίας της μηχανής, καθορίζοντας με ακρίβεια τα όρια, και αναφορικά με τον χώρο αλλά και αναφορικά με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας, όπως παραδείγματος χάριν η ταχύτητα των μερών της, στα οποία αυτό θα λειτουργεί. Στην συνέχεια θα γίνει αναγνώριση των πιθανών κινδύνων που μπορεί να προκύψουν από την λειτουργία του, αξιολογώντας κάθε έναν όσον αφορά την επικινδυνότητα του και τις επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει, όπως είναι ο τραυματισμός κάποιου ή ο κίνδυνος καταστροφής ή έκρηξης κάποιου μέρους του, αλλά και την πιθανότητα αποφυγής του. Από την αξιολόγηση αυτή μπορεί να προκύψει ανάγκη αλλαγής του σχεδιασμού κάποιου κομματιού (ή και

## Βιομηχανική Ρομποτική

ολόκληρης) της μηχανής ή του τρόπου λειτουργίας της. Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την μείωση των πιθανών κινδύνων είναι, σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, με σειρά προτεραιότητας (το πρώτο έχει υψηλότερη προτεραιότητα):

- Μείωση ή απαλοιφή του πιθανού κινδύνου με αλλαγή του σχεδιασμού της μηχανής.
- Μείωση ή απαλοιφή του πιθανού κινδύνου με χρήση προστατευτικών διατάξεων και εξοπλισμού.
- Μείωση ή απαλοιφή του πιθανού κινδύνου με παροχή οδηγιών ασφαλούς λειτουργίας προς τους χρήστες.

Το παραπάνω πρότυπο αφορά, όπως προαναφέρθηκε, γενικά τις μηχανές και μιας και τα ρομπότ είναι μηχανές, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός βιομηχανικού ρομπότ. Η βασική οικογένεια προτύπων όσων αφορούν της ασφάλεια για τα βιομηχανικά ρομπότ είναι η ISO 10218. Το μέρος 1 αυτής περιγράφει τις απαιτήσεις ασφαλείας που αφορούν ένα ρομπότ και το μέρος 2 το συμπληρώνει, εστιάζοντας στα ολοκληρωμένα ρομποτικά συστήματα. Το πρώτο μέρος δημιουργήθηκε το 1992 και αναθεωρήθηκε το 2006 και η δεύτερη αναθεώρηση του δημοσιεύθηκε το 2011, χρονιά που δημοσιεύθηκε η πρώτη αναθεώρηση του δεύτερου μέρους και αντικατέστησε παλαιότερα πρότυπα ασφαλείας, όπως το EN 775 (στο οποίο θα γίνει αναφορά παρακάτω). Στα πρότυπα αυτά καθορίζεται για πρώτη φορά η “συνεργασία” ανθρώπου-ρομπότ ως συγκεκριμένου τρόπου λειτουργίας ή ως ειδική εφαρμογή ενός ρομπότ σε έναν βιομηχανικό χώρο, δηλαδή την λειτουργία του ρομπότ ως “Συνεργατικό ρομπότ”<sup>29</sup> (cooperative robots ή “cobots”) όπως χαρακτηρίζονται, και περιέχονται οδηγίες για τον τρόπο σχεδιασμού και εγκατάστασης τέτοιων συνεργατικών ασφαλών ρομποτικών συστημάτων. Περιγράφονται και καθορίζονται τέσσερις τύποι ασφαλής λειτουργίας, βάσει των οποίων ένας άνθρωπος μπορεί να αλληλεπιδράσει και να συνεργαστεί με ένα ρομπότ βιομηχανικό ρομπότ το οποίο λειτουργεί αυτόματα (δηλαδή δεν είναι ο άνθρωπος ο χειριστής του), οι οποίοι είναι:

- Διακοπή λειτουργίας βάσει κριτηρίου ασφαλείας (Τύπου 1): Το ρομπότ θα πρέπει να διακόψει την λειτουργία του σε περίπτωση που ο άνθρωπος εισέλθει στον χώρο λειτουργίας του (παραδείγματος χάριν σε μία κυψέλη εργασίας με το ρομπότ να είναι κεντρικά τοποθετημένο στην οποία θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην παράγραφο 2.3) καθώς και των υπόλοιπων μηχανών ή ρομπότ που αυτό ελέγχει. Η εργασία που διακόπηκε θα συνεχιστεί (ή επανακκινηθεί, ανάλογα με την περίπτωση) όταν ο άνθρωπος βγει εκτός ορίων του καθορισμένου χώρου του ρομπότ. Έτσι, ο άνθρωπος και το ρομπότ μπορούν να μοιράζονται τον ίδιο χώρο εργασίας, με τον άνθρωπο να μην κινδυνεύει από κάποιο ατύχημα.

---

29 Τα “cobots” δεν είναι μία ξεχωριστή κατηγορία αλλά ένας τρόπος λειτουργίας ενός βιομηχανικού ρομπότ.

## Βιομηχανική Ρομποτική

- Χειροκίνητη καθοδήγηση (Τύπου 2): Στον τύπο αυτό λειτουργίας εμπεριέχεται μία άμεση φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ, με τον άνθρωπο να αποκτά τον έλεγχο της κίνησης του ρομπότ. Η κίνηση του ρομπότ καθοδηγείται από τον χειριστή, αναφορικά με την αρχή και την παύση της εργασίας που θα εκτελέσει το ρομπότ, με τα ενδιάμεσα στάδια να εκτελούνται αυτοματοποιημένα. Σε συνδυασμό με οπτικούς αισθητήρες κίνησης και θέσης, προσδιορίζεται η θέση του χειριστή και με χρήση κατάλληλου ελεγκτή ασφαλείας, περιορίζεται κατάλληλα η ταχύτητα κίνησης του ρομπότ σε περίπτωση που ο χειριστής υπερβεί κάποιο όριο εγγύτητας στο ρομπότ ή στο στοιχείο δράσης του<sup>30</sup>. Ο προγραμματισμός των λειτουργιών που θα γίνονται αυτόματα από τα βιομηχανικά ρομπότ που θα χρησιμοποιούν τον συγκεκριμένο ασφαλή τύπο συνεργασίας με άνθρωπο γίνεται με χρήση τρισδιάστατων προσομοιώσεων.
- Παρακολούθηση της σχετικής θέσης και ταχύτητας (Τύπου 3): Στον τύπο αυτό, γίνεται συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της θέσης και της ταχύτητας του ρομπότ σε σχέση με τον άνθρωπο και στην περίπτωση που υπάρχει κάποιος άνθρωπος στον χώρο εργασίας του ρομπότ, η ταχύτητα και η θέση του ρομπότ ή μερών αυτού καθορίζεται ανάλογα με τις μετρήσεις αυτές, έτσι ώστε να μην υπάρξει περίπτωση επαφής με κάποιου μέρους του με αυτόν. Είναι απαραίτητη η χρήση αισθητήρων θέσης και ταχύτητας που να ελέγχονται κατάλληλα από έναν ελεγκτή ασφαλείας ο οποίος θα καθορίζει την συμπεριφορά του ρομπότ στην περίπτωση ανθρώπινης παρουσίας εντός του χώρου εργασίας του.
- Οριοθέτηση της ισχύος και της δύναμης (Τύπου 4): Ο τύπος αυτός προβλέπει την οριοθέτηση της ισχύος και της δύναμης που θα έχει ένα βιομηχανικό ρομπότ έτσι ώστε, σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με έναν άνθρωπο να μην του προκαλέσει κάποια βλάβη. Αφορά τον σχεδιασμό και προγραμματισμό του τρόπου λειτουργίας του ρομπότ και για τον λόγο αυτό δεν απαιτεί κάποιο πρόσθετο σύστημα ελέγχου ασφαλείας

Η οικογένεια προτύπων ISO 10218 περιέχεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απαίτηση της οριοθέτησης της ταχύτητας, της απόστασης, της δύναμης και της ισχύος ενός ρομπότ, χωρίς όμως να καθορίζονται τα όρια αυτά, των οποίων τις τιμές καλείται να καθορίσει ο σχεδιαστής ή προγραμματιστής του ρομπότ κατά το στάδιο της αξιολόγησης κινδύνου που περιγράφηκε παραπάνω. Στα πρότυπα ασφαλείας ISO/TS 15066 εισάγονται για πρώτη φορά τεχνικές προδιαγραφές αναφορικά με συγκεκριμένες τιμές όσον αφορά τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να γίνει η επαφή ενός μέρους της μηχανής με έναν άνθρωπο ώστε να μην προκληθεί βλάβη σε αυτόν, τα οποία μπορούν, παραδείγματος χάριν, να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό ενός ρομπότ που θα χρησιμοποιεί τον τύπο 4 ασφαλούς λειτουργίας.

---

<sup>30</sup> Η έννοια του “στοιχείου δράσης” θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφο 2.2).

## Βιομηχανική Ρομποτική

Το δεύτερο μέρος του προτύπου ISO 10218 παρέχει οδηγίες που αφορούν τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός ολοκληρωμένου ρομποτικού συστήματος. Αυτές αφορούν όχι μόνο την αξιολόγηση κινδύνου αναφορικά με το ίδιο το ρομπότ αλλά και την ολοκληρωμένη λειτουργία του συστήματος και ιδιαίτερα την συμπεριφορά του τελικού στοιχείου δράσης και τις πιθανότητες αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον και τις διαδικασίες εκτέλεσης της συγκεκριμένης εργασίας. Δεδομένου ότι τα βιομηχανικά ρομπότ σχεδιάζονται για μία πληθώρα εφαρμογών, δεν είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα απόλυτα “ασφαλές” ρομπότ, αλλά είναι δυνατόν, ακολουθώντας τα παραπάνω πρότυπα, να σχεδιαστεί ένα ρομπότ που να μπορεί να είναι εξοπλισμένο με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας έτσι ώστε να μπορεί να παραμετροποιηθεί για την κατάλληλη εφαρμογή ασφαλούς συνεργατικής λειτουργίας.

Στην Ευρώπη υπάρχουν δύο, παρόμοιοι με τον ISO και τον IEC, οργανισμοί (που έχουν ασχοληθεί με τις προτυποποιήσεις των βιομηχανικών ρομπότ), οι CEN (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης) και Cenelec (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης) με τον δεύτερο να αποτελεί, στην ουσία, εξειδικευμένο “παράρτημα” του πρώτου στον τομέα της ηλεκτροτεχνίας. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα έχουν το όνομα “EN” (ακρωνύμιο των λέξεων “European Norm” που σημαίνει “Ευρωπαϊκό πρότυπο”) και πολλές φορές υιοθετούν, παραλλάσσοντας λίγο, τα πρότυπα του ISO, όπως και άλλοι οργανισμοί που θα αναφερθούν παρακάτω. Έτσι, τα πρότυπα που αφορούν τα βιομηχανικά ρομπότ που έχουν εκδοθεί, και είναι σε ισχύ, από τον CENELEC είναι τα πρότυπο “EN ISO 10218-1” και “EN ISO 10218-2”, που είναι το πρώτο και το δεύτερο μέρος της οικογένειας προτύπων “ISO 10218” που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Ένα πρότυπο που είχε εκδώσει η CENELEC το 1992 ήταν το EN 775 που αναφέρθηκε παραπάνω, το οποίο όμως αντικαταστάθηκε από το “EN ISO 10218-2”.

Λόγω του ότι την πολιτική της υιοθέτησης και επανέκδοσης (με πολύ μικρές ίσως διαφορές) ακολουθούν και οι υπόλοιποι οργανισμοί, τουλάχιστον στην περίπτωση των προτύπων ασφαλείας που είναι εν ισχύ, για τα βιομηχανικά ρομπότ, παρακάτω θα γίνει απλή αναφορά στο όνομα με το οποίο έχουν εκδοθεί τα πρότυπα της οικογένειας “ISO 10218” σε κάθε χώρα και θα εννοείται η ομοιότητα του περιεχομένου, εκτός και αν γίνεται σαφής διάκριση ή αναφορά σε αλλαγές.

Στην Γερμανία έχουν εκδοθεί τα “DIN EN ISO 10218-1” και “DIN EN ISO 10218-2”, στην Δανία τα “DS/EN ISO 10218-1” και “DS/EN ISO 10218-2” και στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει εκδοθεί το “BS EN ISO 10218-1” και το “BS EN ISO 10218-2”. Στον Καναδά, τα δύο μέρη του “ISO 10218” έχουν ενοποιηθεί σε ένα πρότυπο, το “CAN/CSA-Z434-14”, το οποίο περιέχει κάποιες πρόσθετες απαιτήσεις, αναφορικά με το “ISO 10218-2:2011”, που αφορούν τον χρήστη του ρομποτικού συστήματος. Στις Η.Π.Α., το Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτυποποίησης ANSI (American National Standards Institute) σε συνεργασία με την RIA εξέδωσαν το πρότυπο “ANSI/RIA R15.06” που περιέχει τα δύο μέρη του “ISO 10218”. Στην Ταϊβάν εκδόθηκαν τα CNS 14490-1 B8013-1” και “NS 14490-2 B8013-2”μ που είναι

## Βιομηχανική Ρομποτική

μεταφράσεις των δύο μερών του “ISO 10218”. Αντίστοιχα, στην Νότια Κορέα εκδόθηκαν τα “KS B ISO 10218-1” και “KS B ISO 10218-2”, στην Κίνα τα “GB 11291-1-2011” και “GB 112891-2-2013” και, τέλος στην Ιαπωνία τα “JIS B8433-1” και “JIS B8433-2”.

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε αναφορά στους σημαντικότερους σταθμούς της ιστορία της Ρομποτικής και της Βιομηχανικής Ρομποτικής, στις θεωρητικές έννοιες που καθορίζουν τον κλάδο αυτό καθώς και στους οργανισμούς οι οποίοι δραστηριοποιούνται στον χώρο αυτό. Σχολιάστηκαν τα πλεονεκτήματα της χρήσης βιομηχανικών ρομπότ και περιεγράφηκαν σύντομα τα πρότυπα που καθορίζουν τον ασφαλή τρόπο σχεδίασης και λειτουργίας αυτών. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα θέματα που αφορούν την δομή και την λειτουργία των ρομπότ αυτών, όπως η ταξινόμηση τους, η βασική τους δομή και τα μέρη από τα οποία μπορεί να αποτελούνται και οι κατηγορίες στις οποίες μπορεί να ανήκουν. Τέλος, θα γίνει παρουσίαση ενός παραδείγματος βιομηχανικού ρομπότ, του IRB-6600 για καλύτερη εποπτεία των εννοιών που θα αναφερθούν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 - Ταξινόμηση Βιομηχανικών Ρομπότ [45]

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο ορισμός των Βιομηχανικών Ρομπότ δεν είναι πλήρως και μοναδικά καθορισμένος και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί ένα αυτόματο να θεωρείται από μία εταιρία ή οργανισμό ως “Βιομηχανικό Ρομπότ” ενώ από κάποια άλλη όχι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ταξινόμηση των βιομηχανικών από της JIRA (μετέπειτα JARA) στο πρότυπο JIS B0134-1986 σε έξι “τάξεις”, ανάλογα με το επίπεδο ικανότητας που έχει κάποιο ρομπότ. Οι τάξεις αυτές είναι:

1. Χειροκίνητος χειριστής (manual manipulator): Στην τάξη αυτή ανήκουν οι χειριστές (manipulators) που ελέγχονται από ανθρώπινο χειριστή. Μπορεί να ανήκουν σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες που θα αναφερθούν στις επόμενες παραγράφους μπορούν να λειτουργήσουν και ως “cobots”, είδος λειτουργίας που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.9). Αναφορικά με την ταξινόμηση των ρομπότ σε “γενιές” που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.5), τα ρομπότ της τάξης αυτής ανήκουν στην πρώτη γενιά.
2. Ρομπότ σταθερής ακολουθίας (fixed sequence robot): Τα ρομπότ της τάξης αυτής εκτελούν προγραμματισμένες και προκαθορισμένες κινήσεις χωρίς την ανάγκη ανθρώπινου χειριστή, οι οποίες όμως δεν μπορούν να αλλάξουν. Δηλαδή, δεν είναι επαναπρογραμματίσιμα. Τα ρομπότ της συγκεκριμένης τάξης ανήκουν στην δεύτερη γενιά.
3. Ρομπότ μεταβλητής ακολουθίας (variable sequence robot): Τα ρομπότ που ανήκουν στην τάξη αυτή είναι παρόμοια με αυτά της δεύτερης τάξης, με την ειδοποιό διαφορά ότι είναι επαναπρογραμματίσιμα, δηλαδή οι προκαθορισμένες κινήσεις που μπορούν να εκτελέσουν μπορεί να αλλάξει, και ανήκουν και αυτά στην δεύτερη γενιά.
4. Ρομπότ αναπαραγωγής (playback robot): Τα ρομπότ αυτά έχουν την δυνατότητα αυτόματης εκτέλεσης κάποιας εργασίας, ο προγραμματισμός της οποίας γίνεται με την “εκπαίδευση” του ρομπότ. Αρχικά την εκτελούν καθοδηγούμενα από έναν ανθρώπινο χειριστή, καταγράφοντας τις κινήσεις που κάνουν, και στην συνέχεια τις επαναλαμβάνουν αυτόματα. Είναι ρομπότ δεύτερης γενιάς.
5. Ρομπότ αριθμητικού ελέγχου (numerical control robot): Τα ρομπότ της τάξης αυτής εκτελούν μία αλληλουχία κινήσεων για την ολοκλήρωση κάποιας εργασίας, τις οποίες ο ανθρώπινος χειριστής τις προγραμματίζει όχι μέσω “εκπαίδευσης”, όπως στα ρομπότ αναπαραγωγής αλλά μέσω εισαγωγής κατάλληλων αριθμητικών δεδομένων στην μονάδα ελέγχου του και είναι ρομπότ δεύτερης γενιάς.
6. Ευφυές ρομπότ (intelligent robot): Στην τάξη αυτή ανήκουν τα ρομπότ της τρίτης γενιάς, τα οποία μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον τους



## Βιομηχανική Ρομποτική

και να αντιδράσουν σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα, δηλαδή να πάρουν κάποια απόφαση και αλλάξουν κάτι στον τρόπο εκτέλεσης της εργασίας τους για την καλύτερη ολοκλήρωση της.

Την ταξινόμηση αυτή δεν αποδέχονται πολλοί οργανισμοί και εταιρίες, όπως παραδείγματος χάριν η RIA (Robotic Industries Association), η οποία δεν θεωρεί τις δύο πρώτες τάξεις ως “ρομπότ” λόγω του ότι δεν είναι επαναπρογραμματίσιμα, και δεν διαφοροποιεί τις άλλες τέσσερις. Η γαλλική AFRI από την άλλη, ταξινομεί τα Βιομηχανικά Ρομπότ σε τέσσερις τύπους:

- Ο τύπος Α είναι πανομοιότυπος με την κλάση 1 της JIRA.
- Ο τύπος Β χωρίζεται στους Β1 που περιέχει την τάξη 2 της JIRA και Β2 που περιέχει την τάξη 3.
- Ο τύπος C περιέχει τις τάξεις 3 και 4 της JIRA, η οποία χωρίζεται σε τύπου C1, στον οποίο ανήκουν ρομπότ με λιγότερες από πέντε προγραμματίσιμες αρθρώσεις<sup>31</sup> και σε τύπου C2, που ανήκουν τα ρομπότ με πέντε ή περισσότερες προγραμματίσιμες αρθρώσεις και θεωρείται ότι ορίζει, για την AFRI, την πρώτη γενιά ρομπότ.
- Ο τύπος D είναι πανομοιότυπος με την τάξη 6 της JIRA και τα ρομπότ της τάξης αυτής, για την AFRI, ανήκουν στην δεύτερη και την τρίτη γενιά ρομπότ<sup>32</sup>.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές το “μπέρδεμα” (ή η ασάφεια) που επικρατεί στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής αναφορικά με την ταξινόμηση των ρομπότ. Η μεγαλύτερη ασάφεια εμφανίζεται στον ορισμό της AFRI για τις “γενιές” των ρομπότ οι οποίες, αν και τρεις, όπως και η ταξινόμηση που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.5), αλλά με διαφορετικά κριτήρια για κάθε γενιά, όπου όμως η πρώτη γενιά ορίζεται από τον τύπο C, αφήνοντας ασαφή την γενιά στην οποία θα ανήκουν τα ρομπότ των τύπων Α και Β, τα οποία χαρακτηρίζονται ως “prerobots” (προ-ρομπότ ή πρώιμα ρομπότ).

Στα παραπάνω, έγινε αναφορά σε μία γενική ταξινόμηση των Βιομηχανικών Ρομπότ, χωρίς να γίνει αναφορά σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως είναι η δομή, η λειτουργία για την οποία σχεδιάζεται ή η δυνατότητα κίνησης τους. Σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.4) θα γίνει αναφορά στις διάφορες κατηγορίες στις οποίες ανήκουν, αναφορικά με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχει το κάθε ένα. Πριν όμως γίνει αυτό, πρέπει να γίνει αναφορά στην βασική δομή, βάσει της οποίας καθορίζονται οι δυνατότητες κίνησης και εκτέλεσης διάφορων εργασιών και τα

---

31 Στις “αρθρώσεις” των Βιομηχανικών Ρομπότ θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.2.3).

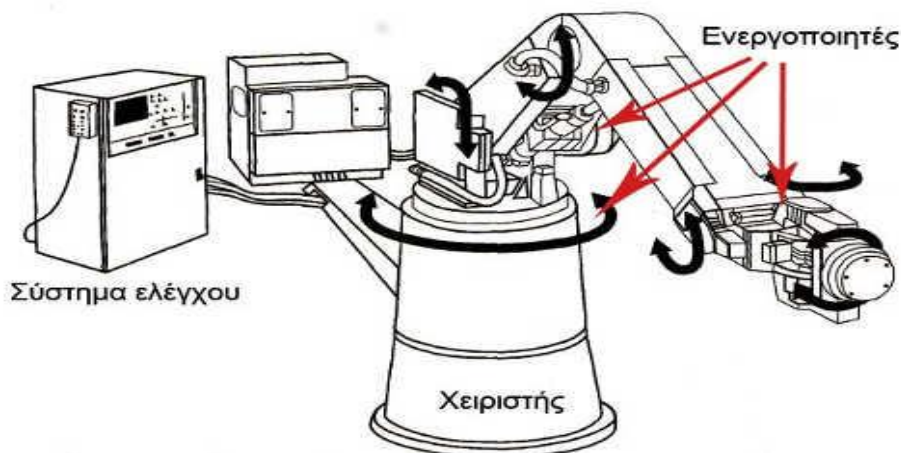
32 Η ειδοποιός διαφορά της δεύτερης και της τρίτης γενιάς, για την AFRI είναι το πόσο εξελιγμένη ικανότητα αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον έχουν, με τα ρομπότ της τρίτης γενιάς να θεωρούνται αυτά τα οποία διαθέτουν αισθητήρες τρισδιάστατης όρασης και καταλαβαίνουν τις “φυσικές γλώσσες”, δηλαδή όχι προγραμματιστικό κώδικα αλλά φράσεις κάποιας ανθρώπινης γλώσσας.

## Βιομηχανική Ρομποτική

ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ, που γίνεται στην επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.2).

### 2.2 - Βασική δομή ενός Βιομηχανικού Ρομπότ [28, 41,43,45]

Ένα Βιομηχανικό Ρομπότ είναι, όπως προαναφέρθηκε, ένας μηχανικός χειριστής, ο οποίος έχει την δυνατότητα να προγραμματιστεί για να εκτελεί μία ποικιλία εργασιών και για την ολοκλήρωση αυτών πρέπει να έχει την ικανότητα να κινείται προς διάφορες διευθύνσεις, είτε μεταφέροντας κάποια υλικά είτε χρησιμοποιώντας κάποια συγκεκριμένα εργαλεία. Για να μπορεί να έχει τις παραπάνω δυνατότητες θα πρέπει να αποτελείται από κάποια βασικά δομικά μέρη, όπως φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.1) στην οποία απεικονίζεται το ρομπότ “T3” που κατασκεύασε ο Richard Hohn για την εταιρία Cincinnati Milacron Corporation που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6). Το κύριο μέρος αυτού είναι το κυρίως σώμα του Βιομηχανικού Ρομπότ, που είναι ο χειριστής, το κινητό μηχανικό τμήμα, συνήθως προσομοιάζει ένα ανθρώπινο χέρι (ή βραχίονα από όπου παίρνει το όνομα του το μέρος αυτό του ρομπότ) και αποτελείται από διάφορα μέρη, τους συνδέσμους και τα μέλη ή σύνδεσμοι (links) που συνδέονται μεταξύ τους με κάποιες αρθρώσεις (joints) οι οποίες προσδίδουν την δυνατότητα της κίνησης. Πολύ σημαντικό μέρος είναι τα “στοιχεία δράσης” ή “ενεργοποιητές”, τα οποία είναι κινητήρες που ενεργοποιούν την κίνηση των αρθρώσεων και άρα του βραχίονα. Τέλος, βασικό μέρος ενός Βιομηχανικού Ρομπότ είναι και το σύστημα ελέγχου του, το οποίο καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα εκτελέσει το ρομπότ της εργασία που του έχει ανατεθεί.



Εικόνα 2.1: Βασική δομή ρομποτικού βραχίονα

## Βιομηχανική Ρομποτική

Ανάλογα με το είδος του ρομπότ, τις λειτουργίες για τις οποίες σχεδιάστηκε, καθώς και τη γενιά στην οποία αυτό ανήκει (στις γενιές των ρομπότ έγινε αναφορά στην παράγραφο 1.5 και στην παράγραφο 2.1, με την πρώτη ταξινόμηση σε γενιές να είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια της παρούσας εργασίας) μπορεί να περιέχει και άλλα μέρη, όπως είναι διάφοροι αισθητήρες, παρέχοντας του την ικανότητα αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον, και κάποια εργαλεία στο άκρο του βραχίονα για την εκτέλεση διάφορων εργασιών, όπως παραδείγματος χάριν ένα κατσαβίδι, ένα πιστόλι χρωματίσματος, μία δαγκάνα (ή αρπάγη) και μία κεφαλή συγκόλλησης. Τα εργαλεία ή εξαρτήματα αυτά που μπορεί να έχει ένα ρομπότ, λόγω του ότι τοποθετούνται, συνήθως, στο άκρο του βραχίονα, ονομάζονται “τελικά στοιχεία δράσης”.

### 2.2.1 - Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές ενός Βιομηχανικού Ρομπότ είναι στην ουσία οι κινητήρες που υπάρχουν στις αρθρώσεις του και είναι υπεύθυνοι για την κίνηση τους. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν για παραγωγή της απαραίτητης κινητικής ενέργειας, χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Ηλεκτρικοί ενεργοποιητές (electric actuators): Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές είναι κινητήρες που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια και στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σερβοκινητήρες που μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, οι βηματικοί κινητήρες (stepper motors) και είναι οι συνηθέστεροι κινητήρες ρομπότ σήμερα. Είναι πολύ διαδεδομένοι γιατί μπορούν να υποστηρίξουν υψηλές ταχύτητες με μεγάλη ακρίβεια, είναι εύκολοι στην χρήση και τον έλεγχο τους και έχουν σχετικά μικρό κόστος και μέγεθος.
- Πνευματικοί ενεργοποιητές (Pneumatic actuators): Οι πνευματικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούν την πίεση κάποιου αέριου για την κίνηση και στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αεροσυμπιεστές. Είναι κινητήρες που μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλες ταχύτητες αλλά μικρή ακρίβεια λόγω του ότι χρησιμοποιούν την πίεση των αερίων, και έχουν σχετικά μικρό κόστος κατασκευής αλλά μεγάλο συντήρησης, γιατί μπορεί να παρουσιαστούν κάποιες διαρροές του αερίου και χρησιμοποιούν φίλτρα αέρα, τα οποία χρειάζονται αλλαγή ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Υδραυλικοί ενεργοποιητές (Hydraulic actuators): Όπως και στην περίπτωση των πνευματικών, η κίνηση στηρίζεται στην πίεση, με την διαφορά ότι στους υδραυλικούς χρησιμοποιείται κάποιο υγρό, όπως συνηθέστερα κίνηση με έμβολα λαδιού. Μπορούν να υποστηρίξουν υψηλές ταχύτητες και δύναμη κίνησης, είναι σχετικά εύκολοι στον έλεγχο αλλά έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος και το κόστος για ενεργοποιητές μικρού μεγέθους είναι σχετικά υψηλό.
- Πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές (piezoelectric actuators): Είναι και αυτοί ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν την πίεση για την παραγωγή κινητικής

## Βιομηχανική Ρομποτική

ενέργειας και βασίζονται στο αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, ή πιο σωστά, στο φαινόμενο της ηλεκτροσυστολής, δηλαδή με την άσκηση συγκεκριμένης τάσης σε ένα υλικό προκαλείται παραμόρφωση του (παραμόρφωση έως και 0.1 % κεραμικών υλικών σε ηλεκτρικό πεδίο).

### 2.2.2 - Αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι τα εξάρτημα που μπορεί να έχει κάποιο Βιομηχανικό Ρομπότ που θα του δώσει την δυνατότητα να λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον του και να αλληλεπιδρά με αυτό είτε μέσω προγραμματισμένων διαδικασιών, δυνατότητα που έχουν τα ρομπότ δεύτερης γενιάς, είτε μέσω λειτουργιών “τεχνητής νοημοσύνης”, δυνατότητα που έχουν τα ρομπότ τρίτης γενιάς. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι ποικίλων ειδών και τεχνολογιών και χρησιμοποιούνται για την συλλογή πληροφοριών που αφορούν την λειτουργία του ρομπότ. Μία γενική ταξινόμηση τους αφορά το είδος της πληροφορίας που συλλέγουν, αν αυτή αφορά την εσωτερική λειτουργία του ρομπότ ή αφορά το περιβάλλον του. Αν η πληροφορία αφορά την εσωτερική λειτουργία του, όπως παραδείγματος χάριν την γωνία κλίσης κάποιας άρθρωσης ή την θέση και την ταχύτητα κάποιου μέρους του ρομπότ, τότε χαρακτηρίζονται ως “Ιδιοδεκτικοί” (proprioceptive) ή “Εσωτερικής Κατάστασης”, ενώ αν αφορά το περιβάλλον του, όπως παραδείγματος χάριν την θέση του βραχίονα του (ή και κάποιου μέρους του βραχίονα) αναφορικά με τον χώρο ή φάκελο εργασίας<sup>33</sup> του ή την θέση κάποιου μέρους ή υλικού το οποίο θα πρέπει να χειριστεί ή διαχειριστεί, τότε χαρακτηρίζονται ως “Ετεροδεκτικοί” (Exteroceptive) ή “Εξωτερικής Κατάστασης”.

Αναφορικά με το είδος του σήματος μέσω του οποίου θα συλλέξουν την πληροφορία τους, οι αισθητήρες κατατάσσονται στους:

- Οπτικούς αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν το φως για την συλλογή των πληροφοριών. Τέτοιοι μπορεί να είναι απλοί αισθητήρες που ανιχνεύουν την ύπαρξη ή όχι φωτός (light sensors), μονοφθαλμικής ή στερεοσκοπικής όρασης (monocular/binocular vision) με δυνατότητα αναγνώρισης σχημάτων ή αισθητήρες απόστασης με Laser.
- Ηλεκτρομαγνητικούς που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για την “αναγνώριση” του περιβάλλοντος και συνήθως λειτουργούν όπως οι συσκευές RADAR ή οι συσκευές GPS.
- Μηχανικοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν μηχανικά σήματα, όπως η πίεση, για να προσδιορίσουν την θέση, την γωνία ή την ταχύτητα κάποιων μερών τους ή κάποιου αντικειμένου στο περιβάλλον τους.
- Και τέλος, ακουστικοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν ηχητικά σήματα, είτε ακουστικά είτε υπερηχητικά, για την συλλογή πληροφοριών από το

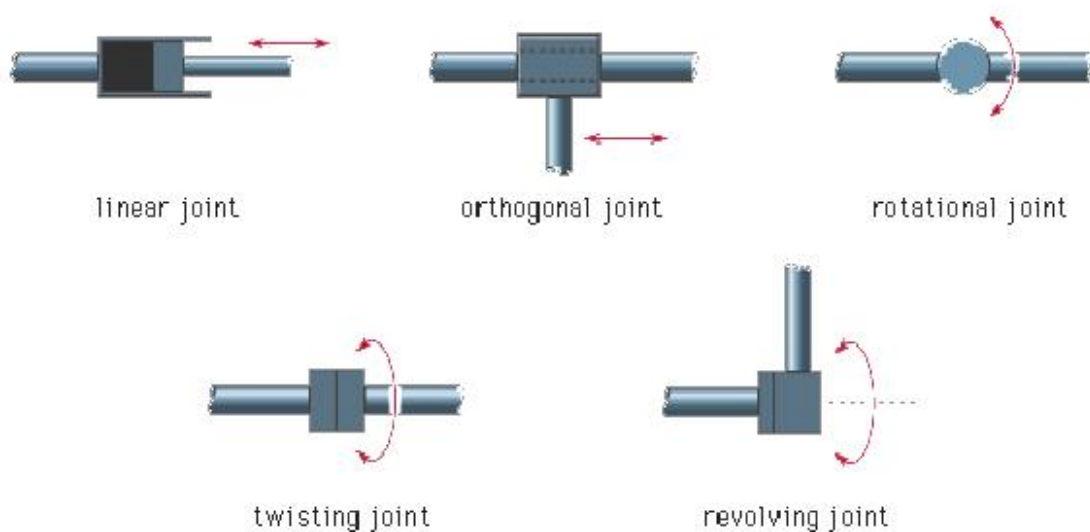
---

33 Στους όρους “χώρος εργασίας” και “φάκελος εργασίας” θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.3)

περιβάλλον, όπως παραδείγματος χάριν την απόσταση από κάποιο συγκεκριμένο σημείο ή αντικείμενο.

### 2.2.3 - Αρθρώσεις και βαθμοί ελευθερίας

Λόγω της μεγάλης εξάπλωσης που έχουν οι ρομπότ στις βιομηχανικές εφαρμογές, η ποικιλία των εργασιών για τις οποίες σχεδιάζονται είναι μεγάλη. Για τον λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί διάφορων ειδών και τύπων ρομπότ, στα οποία θα γίνει αναφορά στην επόμενη παράγραφο. Κάθε είδος και τύπος βραχίονα που μπορεί να έχει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ έχει σχεδιαστεί για συγκεκριμένο είδος εφαρμογών, όπου κάθε εφαρμογή απαιτεί κάποιες συγκεκριμένες κινητικές δυνατότητες από το ρομπότ. Για να είναι δυνατή η παραμετροποίηση και προσαρμοστικότητα της κίνησης κάθε είδους βραχίονα, μιας και οι αρθρώσεις είναι υπεύθυνες για την κίνηση του κάθε μέρους από τα οποία αποτελείται ο βραχίονας, έχουν σχεδιαστεί διάφορων ειδών αρθρώσεις. Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης που έχει κάθε άρθρωση, ανήκουν σε μία από τις παρακάτω βασικές κατηγορίες, οι οποίες σχηματικά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.2) [42]:



Εικόνα 2.2: Βασικοί τύποι αρθρώσεων

- Linear joint (γραμμική άρθρωση): Η γραμμική άρθρωση δίνει την δυνατότητα γραμμικής κίνησης σε μία ευθεία και τα δύο μέρη του ρομποτικού βραχίονα που ενώνει πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία (να είναι παράλληλα το ένα με το άλλο), με το ένα να συνήθως να ολισθαίνει στο άλλο. Η κίνηση αυτή μπορεί

## Βιομηχανική Ρομποτική

να επιτευχθεί μέσω ποικίλων τρόπων, όπως είναι ένας τηλεσκοπικός μηχανισμός ή ένα πιστόνι. Συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα “L”.

- Orthogonal joint (ορθογώνια άρθρωση): Η ορθογώνια άρθρωση δίνει, όπως και η γραμμική άρθρωση, την δυνατότητα γραμμικής κίνηση, με την ειδοποιό διαφορά ότι τα δύο μέρη που ενώνει είναι κάθετα μεταξύ τους και η κίνηση γίνεται στο επίπεδο που σχηματίζουν τα κάθετα μέρη του ρομπότ. Συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα “O”.
- Rotational joint (περιστροφική άρθρωση): Η περιστροφική άρθρωση δίνει την δυνατότητα της περιστροφής στα μέρη τα οποία ενώνει γύρω από τον άξονα που είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζεται από τα δύο αυτά μέρη. Συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα “R”.
- Twisting joint (συστροφική άρθρωση): Η συστροφική άρθρωση ενώνει δύο μέρη τα οποία είναι παράλληλα μεταξύ τους και δίνει την δυνατότητα της στροφικής κίνησης σε άξονα παράλληλο με την ευθεία που τα μέρη που ενώνει ορίζουν. Συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα “T”.
- Revolving joint (περιστρεφόμενη άρθρωση): Η περιστρεφόμενη άρθρωση δίνει την δυνατότητα στροφικής κίνησης, όπως και η συστροφική άρθρωση, με την διαφορά ότι τα δύο μέρη του βραχίονα που ενώνει είναι κάθετα μεταξύ τους. Έτσι, το κινούμενο μέρος δεν συστρέφεται αλλά περιστρέφεται γύρω από τον άξονα που ορίζει το άλλο μέρος. Συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα V.

Αναφορικά με την δυνατότητα κίνησης ενός μέρους, έχει οριστεί η έννοια του “βαθμού ελευθερίας” της κίνησης αυτή, έννοια που προέρχεται από την επιστήμη της Φυσικής, και συγκεκριμένα από τον κλάδο της Μηχανικής. Ως βαθμός ελευθερίας στην Φυσική ορίζεται μία παράμετρος που είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου (ή αντικειμένου) σε ένα σύστημα, ή αλλιώς, το πλήθος των τρόπων με τους οποίους μπορεί να κινηθεί το σημείο (ή αντικείμενο). Οπότε, αν ένα σημείο (ή αντικείμενο) μπορεί να κινηθεί σε μία διάσταση, δηλαδή μπορεί να κινηθεί μόνο πάνω σε μία ευθεία (σε ένα τρισσορθογώνιο ή καρτεσιανό σύστημα X-Y-Z, θα μπορεί να κινηθεί μόνο σε έναν από τους τρεις άξονες, π.χ. τον X), τότε αυτό έχει μόνο ένα βαθμό ελευθερίας. Αν μπορεί να κινηθεί σε δύο διαστάσεις, δηλαδή σε ένα επίπεδο (σε δύο άξονες, π.χ. X και Y), θεωρείται ότι έχει δύο βαθμούς ελευθερίας. Το μέγιστο πλήθος βαθμών ελευθερίας ενός στερεού, έτσι ώστε να μπορεί να κινηθεί στον τρισδιάστατο χώρο είναι τρεις. Όμως, ένα στερεό έχει και κάποιο συγκεκριμένο προσανατολισμό στον χώρο, και για να αλλάξει αυτός θα πρέπει να έχει και την δυνατότητα περιστροφικής κίνησης. Αν μπορεί να εκτελέσει περιστροφική κίνηση σε έναν άξονα, τότε έχει έναν περιστροφικό βαθμό ελευθερίας<sup>34</sup>. Τελικώς, για την

---

34 Ως “μεταφορική” κίνηση ορίζεται η κίνηση που κάνει ένα σημείο (ή αντικείμενο) όταν αλλάζει η θέση του, δηλαδή μεταβαίνει από το σημείο A στο σημείο B. Ως “στροφική” (ή περιστροφική) κίνηση ορίζεται η κίνηση η οποία δεν αλλάζει τη θέση του σημείου (ή αντικειμένου) αλλά τον

## Βιομηχανική Ρομποτική

δυνατότητα κίνησης ενός στερεού στον τρισδιάστατο χώρο και την δυνατότητα του να έχει οποιονδήποτε πιθανό προσανατολισμό, θα πρέπει να έχει έξι βαθμούς ελευθερίας, τρεις μεταφορικούς και τρεις περιστροφικούς.

Τα παραπάνω έχουν εφαρμογή και στα Βιομηχανικά Ρομπότ, και ειδικά στους ρομποτικούς βραχίονες, με κάθε μία από τις παραπάνω αρθρώσεις να “παρέχει” έναν βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ (αφού του δίνει την δυνατότητα είτε κίνησης σε έναν άξονα είτε περιστροφής (ή συστροφής) γύρω από έναν άξονα. Παραδείγματος χάριν, η συστροφική άρθρωση παρέχει την δυνατότητα συστροφής και με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένα τα μέρη που ενώνει, παρέχει έναν περιστροφικό βαθμό ελευθερίας, ενώ η περιστρεφόμενη άρθρωση, αν και παρέχει την δυνατότητα της ίδιας στροφικής κίνησης, επειδή τα μέρη είναι τοποθετημένα σε γωνία, αλλάζοντας την θέση του κινούμενου μέρους, παρέχει έναν μεταφορικό βαθμό ελευθερίας. Για να μπορεί ένας ρομποτικός βραχίονας να κινείται ελεύθερα στο χώρο και να μπορεί να προσεγγίσει οποιοδήποτε σημείο του χώρου εργασίας του αλλά και να προσανατολίζει το άκρο του σε οποιαδήποτε γωνία, θα πρέπει να έχει έξι βαθμούς ελευθερίας. Αυτός είναι ο λόγος που το κύριο σώμα των ρομποτικών βραχιόνων αποτελούνται από πολλά μέρη. Όμως, ανάλογα με το πως είναι συνδεδεμένα τα μέρη που ενώνει μία άρθρωση, μπορεί να μετατραπεί μία στροφική κίνηση σε μεταφορική, οπότε είναι λίγο πιο περίπλοκος ο χαρακτηρισμός των βαθμών ελευθερίας που προσδίδει μία άρθρωση σε έναν βραχίονα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται και η έννοια του “άξονα κίνησης”, που είναι ο άξονας στον οποίο μπορεί να κινηθεί μία άρθρωση. Οι άξονες χωρίζονται και αυτοί σε μεταφορικούς και περιστροφικούς και ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των μερών μέσω μίας άρθρωσης, μπορεί ένας περιστροφικός άξονας να προσδίδει μεταφορικό βαθμό ελευθερίας. Συνήθως το πλήθος των αξόνων είναι ίσο με το πλήθος των βαθμών ελευθερίας, αλλά διαφέρει το είδος βαθμού ελευθερίας και άξονα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η περιστροφική άρθρωση η οποία, αν και έχει έναν περιστροφικό άξονα, δίνει έναν μεταφορικό βαθμό ελευθερίας.

Με κατάλληλο συνδυασμό τουλάχιστον έξι από τις παραπάνω, απλές, αρθρώσεις μπορεί να επιτευχθεί το ζητούμενο πλήθος βαθμών ελευθερίας για κάθε εφαρμογή, που δεν θα είναι απαραίτητα το μέγιστο πλήθος των έξι βαθμών ελευθερίας. Παραδείγματος χάριν, ένα Βιομηχανικό Ρομπότ που μεταφέρει φορτία θα μπορούσε να απαιτεί δύο βαθμούς ελευθερίας για να εκτελέσει την εργασία του (ένας μεταφορικός ώστε να σηκώσει και να κατεβάσει το φορτίο και ένας για να το μεταφέρει σε μία ευθεία γραμμή). Για καλύτερη εποπτική κατανόηση των παραπάνω, στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.3) παρατίθενται δύο παραδείγματα ρομπότ, όπου στο κάθε έναν έχει σχεδιαστεί το είδος την κίνησης που μπορεί να εκτελέσει κάθε άρθρωση. Το “α” είναι ένα SCARA ρομπότ, το οποίο έχει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας, τρεις μεταφορικούς, στους άξονες 1,2 και 3 (οι άξονες 1 και 2 είναι περιστροφικοί ενώ ο 3 μεταφορικός) και έναν περιστροφικό, στον άξονα 4 (που είναι

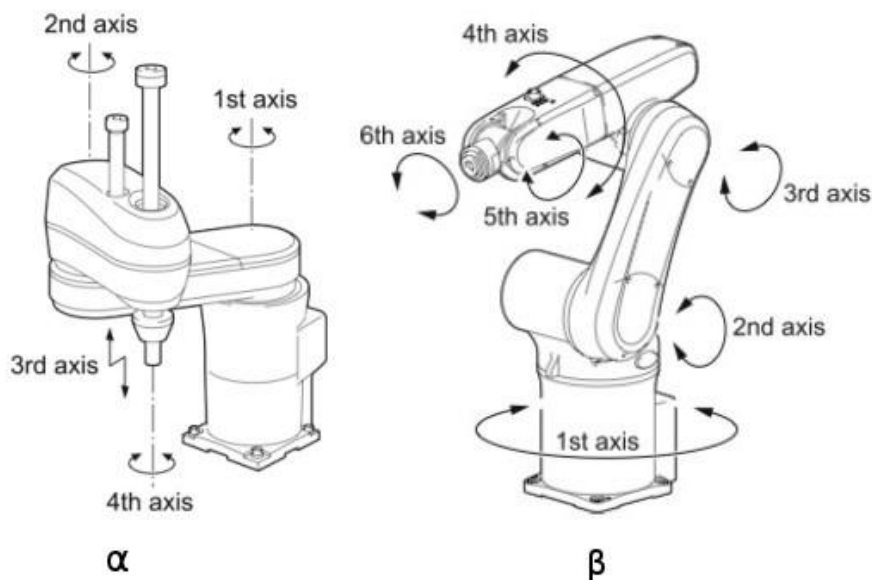
---

προσανατολισμό του στον χώρο. Έτσι, ορίζονται οι μεταφορικοί και περιστροφικοί βαθμοί ελευθερίας.

## Βιομηχανική Ρομποτική

περιστροφικός). Ο “β” είναι ένας ρομποτικός βραχίονας, ο οποίος έχει 6 βαθμούς ελευθερίας, τρεις μεταφοικούς στους άξονες 2, 3 και 5 και τρεις περιστροφικούς, στους άξονες 1, 4 και 6 (όλοι οι άξονες είναι περιστροφικοί). Ο τύπος αυτός βραχίονα είναι “απόγονος” του βιομηχανικού ρομπότ “Famulus” και του ρομπότ “T3” (που ήταν παρόμοιο με το “Famulus” αλλά με εξελιγμένο σύστημα ελέγχου) που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6).

Ανάλογα με το είδος της κίνησης που προσδίδει κάθε άξονας ή άρθρωση στην κίνηση του ρομπότ, χαρακτηρίζεται με ένα γράμμα. Αν ο βαθμός ελευθερίας είναι πρισματικός (όρος που σημαίνει γραμμικός, διαμήκης), συμβολίζεται με το γράμμα P (Prismatic) ενώ αν είναι περιστροφικός συμβολίζεται με το γράμμα R (Revolving). Οι παραπάνω συμβολισμοί δεν ταυτίζονται με τους συμβολισμούς με αντίστοιχα λατινικά γράμματα των αρθρώσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Χρήσιμο όμως είναι να γίνει χαρακτηρισμός των παραπάνω αρθρώσεων με τον συμβολισμό αυτό. Ως “P” άξονες ή αρθρώσεις θα χαρακτηρίζονται η γραμμική και η ορθογώνια άρθρωση και ως “R” οι υπόλοιπες τρεις. Ο συμβολισμός αυτός χρησιμοποιείται συχνά για τον χαρακτηρισμό κάποιου βιομηχανικού ρομπότ, ο οποίος γίνεται με τρία γράμματα, είτε P είτε R, όπου το κάθε ένα χαρακτηρίζει έναν από τους τρεις άξονες κίνησης του κάθε ρομπότ, όπου στις περιπτώσεις που έχει κάποιο ρομπότ περισσότερους από τρεις, τα τρία γράμματα που θα χρησιμοποιηθούν θα αφορούν τους τρεις πρώτους. Έτσι, αναφορικά με τα παραδείγματα της εικόνας 2.3, το SCARA ρομπότ του παραδείγματος θα χαρακτηρίζεται ως “RRP” ενώ ο ρομποτικός βραχίονας του παραδείγματος “β” ως “RRR”.

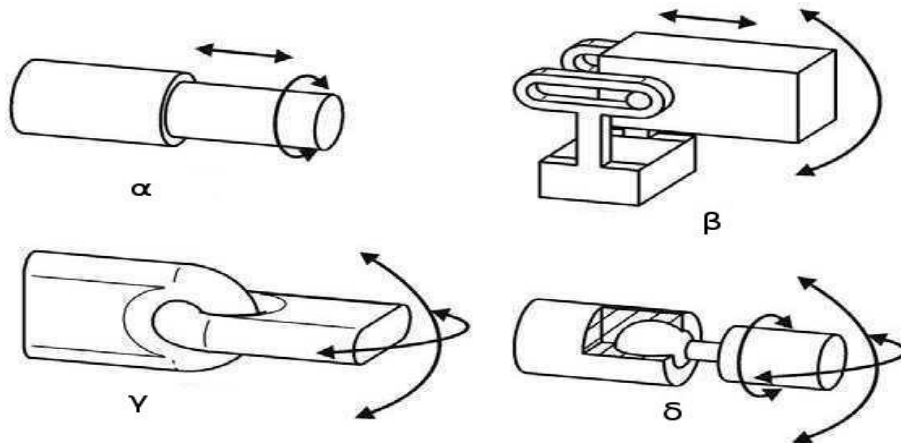


Εικόνα 2.3: Παραδείγματα Βιομηχανικών Ρομπότ, με τους άξονες κίνησης τους.



## Βιομηχανική Ρομποτική

Οι παραπάνω βασικοί τύποι αρθρώσεων έχουν, όπως προαναφέρθηκε, έναν βαθμό ελευθερίας. Για την επίτευξη περισσότερων βαθμών ελευθερίας με λιγότερες αρθρώσεις, έχουν σχεδιαστεί πολλών τύπων αρθρώσεις, που παρέχουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας, δίνοντας την δυνατότητα στα μέρη που ενώνουν για πιο σύνθετες, από τις παραπάνω βασικές, κινήσεις. Κάποια τέτοια παραδείγματα παρατίθενται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.4). Η “α” άρθρωση παρέχει την δυνατότητα κυλινδρικής κίνησης, έχοντας δύο βαθμούς ελευθερίας, έναν μεταφορικό και έναν περιστροφικό. Η “β” άρθρωση δίνει την δυνατότητα κύλισης και περιστροφής γύρω από έναν άξονα, έχοντας δύο μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας. Η “γ” δίνει την δυνατότητα περιστροφής γύρω από δύο άξονες, σε ένα επίπεδο, έχοντας δύο μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας και, τέλος, η “δ” δίνει την δυνατότητα κίνησης σε ένα επίπεδο, όπως και η “γ”, παρέχοντας δύο μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας, και την δυνατότητα περιστροφής του κινούμενου μέρους, παρέχοντας έναν περιστροφικό βαθμό ελευθερίας.



Εικόνα 2.4: Σύνθετοι τύποι αρθρώσεων (κινήσεων)

### 2.2.4 - Σύστημα Ελέγχου [95, 96, 97]

Ένα από τα πιο βασικά μέρη ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι το σύστημα ελέγχου του. Αυτό αποτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα, το οποίο καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας του ρομπότ, σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του και το πως έχει προγραμματιστεί αυτό να λειτουργεί και να κινείται. Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που πρέπει να έχουν τα συστήματα ελέγχου των βιομηχανικών ρομπότ, όπως είναι η μεγάλη ανθεκτικότητα των συστημάτων αυτών, η υψηλή αξιοπιστία ελέγχου, η ευκολία του προγραμματισμού καθώς και η ικανότητα διάγνωσης βλαβών, ως τέτοια χρησιμοποιούνται, κυρίως, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC-Programmable Logic Controllers).

## Βιομηχανική Ρομποτική

Οι PLCs είναι ψηφιακοί υπολογιστές ειδικών εφαρμογών, οι οποίοι αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, αρχικά, από την βιομηχανία αυτοκινήτων στα τέλη της δεκαετίας του 1960 για τον έλεγχο της λειτουργίας των βιομηχανικών ρομπότ που εγκαθίσταντο στα εργοστάσια αυτοκινήτων. Μέχρι τότε η λειτουργία των βιομηχανικών ρομπότ ελεγχόταν και καθοριζόταν μέσω ελεγκτών κλειστού βρόγχου, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν αναλογικά όργανα, όπως ήταν οι ηλεκτρονόμοι (relays-ρελέ) και οι cam timers<sup>35</sup> (ή drum sequencer) απαιτώντας το σύστημα ελέγχου να αποτελείται από αρκετά μέρη και να είναι αρκετά αργό, καθιστώντας παράλληλα την αλλαγή του τρόπου λειτουργίας ενός βιομηχανικού ρομπότ δαπανηρή και χρονοβόρα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων εισήχθη η τεχνολογία των PLCs ως ελεγκτές των βιομηχανικών ρομπότ. Οι πρώτοι PLCs που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό ήταν ογκώδεις, αρκετά ευπαθείς, αρκετά πολύπλοκοι και δύσκολοι στον προγραμματισμό τους. Λόγω της ευπάθειας τους έπρεπε να προστατεύονται από τις ακραίες συνθήκες που απαντώνται στα εργοστάσια αυτοκινήτων, όπως η μεγάλη θερμοκρασία, ο πολύς θόρυβος και οι ισχυρές δονήσεις.

Αυτό άλλαξε με την εφεύρεση των μικροεπεξεργαστών για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε γρήγορα και στους PLCs, δίνοντας τους την δυνατότητα να εξελιχθούν σε μεγάλο βαθμό μέχρι τους σύγχρονους PLCs, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε περιβάλλοντα με ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας, θορύβου, δονήσεων κλπ. Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται ένας PLC, μπορεί να διαθέτει λίγες ή πολλές συνδέσεις εισόδου/εξόδου με το περιβάλλον για τον έλεγχο και τον καθορισμό της λειτουργίας του ρομπότ και την αλληλεπίδραση του με τον χώρο εργασίας του. Ακόμα, για την αλληλεπίδραση τους με τον χρήστη διαθέτουν κάποια διεπαφή επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (man machine interfaces-MMI) την οποία διαχειρίζεται ο χρήστης μέσω της γραφικής διεπαφής χρήστη (graphical user interfaces-GUI) που θα είναι διαθέσιμη, έτσι ώστε να μπορεί αυτός να ελέγξει και να τροποποιήσει τον τρόπο λειτουργίας του. Τέλος, οι σύγχρονοι PLCs διαθέτουν και κάποια πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως κάποια εφεδρική τροφοδοσία ενέργειας και λογισμικό που είναι πολύ αξιόπιστο με πολύ μικρές πιθανότητες προβλημάτων, έτσι ώστε να μπορούν να διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία κάτω από ποικίλες δύσκολες συνθήκες.

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές εξελίχθηκαν και τα συστήματα ρομποτικού ελέγχου. Έτσι, από αναλογικά και δύσχρηστα που ήταν τις πρώτες δεκαετίες ανάπτυξης του κλάδου της βιομηχανικής ρομποτικής, τα σύγχρονα συστήματα ρομποτικού ελέγχου είναι ψηφιακά συστήματα μικρού μεγέθους και πολλών δυνατοτήτων, εφάμιλλων ενός PLC, περιορισμένων όμως δυνατοτήτων. Για ένα βιομηχανικό ρομπότ, το σύστημα

---

35 Ένα cam timer ή drum sequencer είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα που χρησιμοποιείται για τον αυτόματο έλεγχο της αλληλουχίας κάποιων ενεργειών. Χρησιμοποιεί κατάλληλα σχεδιασμένους περιστρεφόμενους δίσκους οι οποίοι ελέγχουν συγκεκριμένους ηλεκτρικούς διακόπτες ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας τις κατάλληλες λειτουργίες την κατάλληλη χρονική στιγμή, ελέγχοντας έτσι και καθορίζοντας αυτόματα τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν.

## Βιομηχανική Ρομποτική

ελέγχου του θα αναπτυχθεί από την εταιρία που θα κατασκευάσει το ρομπότ και θα απευθύνεται, κυρίως, σε κάποιο μοντέλο ή μία σειρά βιομηχανικών ρομπότ της συγκεκριμένης εταιρίας και θα χρησιμοποιούν “κλειστό”<sup>36</sup> λογισμικό που θα έχει αναπτυχθεί από αυτήν και θα χρησιμοποιεί την γλώσσα προγραμματισμού της εταιρίας αυτής (στις γλώσσες προγραμματισμού θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφο 3.3) ). Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων που έχουν, τα συστήματα ρομποτικού ελέγχου χρησιμοποιούνται κυρίως από μικρές μονάδες παραγωγής, οι ανάγκες των οποίων είναι περιορισμένες σε σημείο που να μην απαιτείται η χρήση ενός PLC.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ως σύστημα ελέγχου των βιομηχανικών ρομπότ χρησιμοποιούνται κυρίως οι PLCs, καλύπτοντας σχεδόν το 90% των εγκατεστημένων ρομπότ. Αυτό οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες. Ο σημαντικότερος αυτών είναι ότι ένας PLC, λόγω της μεγαλύτερης υπολογιστικής ισχύος, έναντι των συστημάτων ρομποτικού ελέγχου που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να ελέγξει σύνθετες και ποικίλες λειτουργίες συγχρόνως, έχοντας έτσι την δυνατότητα να ελέγχει πολλά ρομπότ ταυτόχρονα ή και πολλαπλές γραμμές παραγωγής. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα είναι το ότι ένας PLC, από όποια εταιρία και αν κατασκευάστηκε, θα χρησιμοποιεί κάποιο συγκεκριμένο λογισμικό, παρόμοιο με ενός άλλου PLC κατασκευασμένου από άλλη εταιρία, γιατί οι PLCs είναι, στην ουσία, μικροϋπολογιστές “γενικού σκοπού”, τον οποίο θα μπορεί να προγραμματίσει χρησιμοποιώντας μία γλώσσα προγραμματισμού “γενικού σκοπού”<sup>37</sup>, ενώ στα συστήματα ελέγχου που κατασκευάζει κάθε εταιρία θα πρέπει να χρησιμοποιήσει το λογισμικό και την γλώσσα προγραμματισμού της εταιρίας αυτής. Έτσι, αν σε ένα εργοστάσιο έχουν εγκατασταθεί βιομηχανικά ρομπότ από διαφορετικούς κατασκευαστές, θα πρέπει ο τεχνικός που θα είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό των συστημάτων αυτών να γνωρίζει το λογισμικό και την γλώσσα προγραμματισμού της κάθε εταιρίας, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το σύστημα ρομποτικού ελέγχου της εταιρίας αυτής σε αντίθεση με την περίπτωση που χρησιμοποιείται ως σύστημα ελέγχου ένας PLC στα οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον η γλώσσα προγραμματισμού “Ladder Diagram”<sup>38</sup> (LD).

---

36 Με τον όρο “κλειστό” λογισμικό περιγράφεται ένα λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από μία εταιρία, η οποία το πουλάει ή το νοικιάζει στους χρήστες, χωρίς να μπορούν αυτοί να έχουν πρόσβαση στον κώδικα του, σε αντίθεση με τα “ανοιχτά” λογισμικά, τα οποία διατίθενται δωρεάν και οι χρήστες έχουν πρόσβαση στον κώδικα του καθώς και την δυνατότητα κατάλληλης παραμετροποίησης του. Παραδείγματος χάριν, αναφορικά με τα λειτουργικά συστήματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα Windows και iOS είναι κλειστά ενώ το Linux είναι ανοιχτό.

37 Ως γλώσσες προγραμματισμού “γενικού σκοπού” χαρακτηρίζονται οι γλώσσες προγραμματισμού με τις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν προγράμματα για ποικίλες εφαρμογές, σε αντίθεση με τις γλώσσες προγραμματισμού “ειδικού σκοπού”, όπως οι γλώσσες προγραμματισμού των βιομηχανικών ρομπότ που θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο (παράγραφος 3.3).

38 Ladder Diagram ή Ladder Logic: είναι μία γλώσσα προγραμματισμού των PLCs που στηρίζεται στην λογική των “relays” (ρελέ), δηλαδή στην χρήση ενός συνόλου διακοπών συγκεκριμένης τοπολογίας, μέσω της οποίας, καθορίζοντας ποιος διακόπτης θα είναι “ανοικτός” και ποιος

### 2.2.5 - Τοπολογία Βιομηχανικών Ρομπότ

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε η περιγραφή των βασικών δομικών μερών που έχει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ και παρουσιάστηκαν κάποια παραδείγματα τέτοιων ρομπότ, τα οποία είναι οι πρώτες μορφές (ή τοπολογίες) που εμφανίστηκαν από τις απαρχές του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής. Τα ρομπότ αυτά χαρακτηρίζονται ως “σειριακά” γιατί τα μέρη τους ενώνονται το ένα με το άλλο σε σειρά. Ειδικά τα ρομπότ των παραδειγμάτων των εικόνων 2.1 και 2.3-β, λόγω του ότι ο βραχίονας είναι ένας και είναι το κυρίως μέρος του ρομπότ και μάλιστα, σχεδόν όλο το ρομπότ είναι ο βραχίονας του, τα Βιομηχανικά Ρομπότ που έχουν την μορφή αυτή συχνά αποκαλούνται ως “Βιομηχανικοί Βραχίονες”. Εκτός όμως της μορφής που έχουν οι βιομηχανικοί βραχίονες, ένα Βιομηχανικό Ρομπότ μπορεί να έχει και κάποιες άλλες. Μία από αυτές είναι η μορφή των “παράλληλων ρομπότ” (parallel robots) ή, όπως ονομάστηκαν αρχικά, “παράλληλες κινηματικές μηχανές” (parallel kinematic machines-PKM), όπως αυτά που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.5) που είναι κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα παράλληλων ρομπότ από τρεις εκ των μεγαλύτερων εταιριών που δραστηριοποιούνται στον χώρο της Βιομηχανικής Ρομποτικής (στις εταιρίες αυτές θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.4.3) ). Η ειδοποιός διαφορά με τα σειριακά είναι ότι έχουν περισσότερους του ενός βραχίονες, οι οποίοι χειρίζονται το ίδιο τελικό στοιχείο δράσης, μοναδικό για το συγκεκριμένο ρομπότ. Λόγω αυτού, έχουν μικρότερο χώρο στον οποίο μπορούν να λειτουργήσουν (μικρότερο χώρο εργασίας) από ένα αντίστοιχο σειριακό ενός βραχίονα, αλλά μεγαλύτερη επιτάχυνση και ακρίβεια. Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των παράλληλων βραχιόνων και μεταξύ τους αλλά και στο στοιχείο δράσης, ένα παράλληλο ρομπότ μπορεί να έχει διάφορες μορφές, με συνηθέστερες<sup>39</sup> να είναι η μορφή των ρομπότ “Delta”, τα οποία έχουν τρεις παράλληλους βραχίονες που από την βάση του ρομπότ καταλήγουν στο στοιχείο δράσης και η παραλλαγή αυτής που είναι το επίπεδο παράλληλο ρομπότ που φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.6) το οποίο έχει και αυτό τρεις βραχίονες, οι οποίοι όμως δεν έχουν την ίδια βάση. Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τους βαθμούς ελευθερίας και τους άξονες κίνησης ισχύουν, φυσικά, και στο είδος αυτό των βιομηχανικών ρομπότ, με την ειδοποιό διαφορά ότι ο χαρακτηρισμός με τα τρία γράμματα θα γίνεται για κάθε παράλληλο βραχίονα που αυτό διαθέτει και σαν παράδειγμα αυτού χαρακτηρίζεται το παράλληλο ρομπότ της εικόνας 2.6 ως ρομπότ τριών RPR.

---

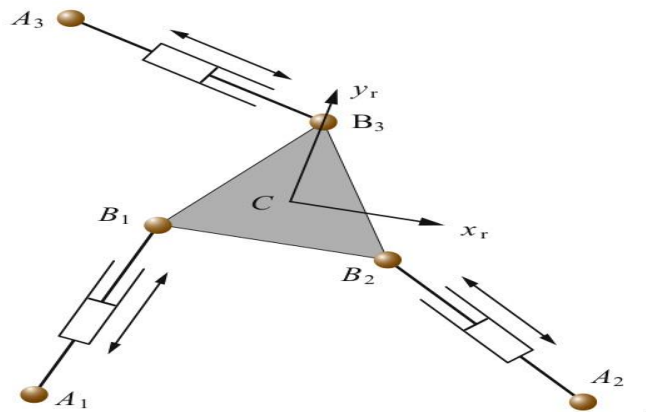
“κλειστός”, προγραμματίζεται ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής ή συστήματος που ελέγχει ο PLC.

39 Η μορφή που μπορεί να έχει ένα παράλληλο ρομπότ, ανάλογα με το πλήθος και τον τρόπο σύνδεσης των μερών από τα οποία αποτελείται, μπορεί να είναι πολύ πολύπλοκη και μερικές φορές μοναδική για ένα συγκεκριμένο παράδειγμα. Για τον λόγο αυτό δεν θα γίνει αναφορά σε άλλες “μορφές” παράλληλων ρομπότ.

## Βιομηχανική Ρομποτική



Εικόνα 2.5: Παράλληλα FANUC, Adept και ABB ρομπότ



Εικόνα 2.6: 3-RPR επίπεδο παράλληλο ρομπότ

Στα παραπάνω, έγινε σαφής αναφορά, στην περίπτωση των παράλληλων ρομπότ, ότι για να χαρακτηριστεί ως “παράλληλο ρομπότ” θα πρέπει οι βραχίονες που διαθέτει να χειρίζονται το ίδιο, μοναδικό για το ρομπότ αυτό, στοιχείο δράσης. Αυτό έγινε γιατί αν έχει περισσότερους του ενός βραχίονες, αλλά με κάθε βραχίονα να χειρίζεται διαφορετικό στοιχείο δράσης, τότε δεν χαρακτηρίζεται ως “παράλληλο ρομπότ”. Χαρακτηριστικότερο τέτοιο παράδειγμα είναι τα ρομπότ δύο βραχιόνων (dual-arm) τα οποία, αν και ως ιδέα υπάρχουν από τις πρώτες δεκαετίες εξέλιξης του κλάδου, επειδή είναι δύσκολος ο χειρισμός τους και ο προγραμματισμός τους, δεν έχουν διαδοθεί πολύ. Με την συνεχή εξέλιξη όμως στις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και δη της τεχνολογίας των υπολογιστών, που δίνει την δυνατότητα να κατασκευάζονται μονάδες ελέγχου Βιομηχανικών ρομπότ με όλο και μεγαλύτερης επεξεργαστικής ισχύος, αλλά και του παράλληλου προγραμματισμού, γίνονται όλο και περισσότερα τα ρομπότ που κατασκευάζονται με αυτή τη μορφή. Ένα Comau ρομπότ δύο βραχιόνων, το “Comau Smart Dual Arm robot” παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Comau Smart Dual Arm robot

### 2.3 - Βασικές παράμετροι των Βιομηχανικών Ρομπότ

Για την σχεδίαση, κατασκευή και περιγραφή ενός Βιομηχανικού Ρομπότ για μία συγκεκριμένη εφαρμογή είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν τα χαρακτηριστικά της εργασίας που θα κληθεί να εκτελέσει το ρομπότ αυτό. Για τον λόγο αυτό, στην πορεία της εξέλιξης του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής έχει γίνει μία προσπάθεια formalισμού της διαδικασίας της αξιολόγησης της καταλληλότητας ενός ρομπότ για μία συγκεκριμένη εργασία και έχουν οριστεί κάποιες έννοιες που βοηθούν στην περιγραφή των παραπάνω. Αυτές είναι:

- Το πλήθος των βαθμών ελευθερίας (Degrees of Freedom-DOF) που έχει ένα ρομπότ, έννοια που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.
- Το πλήθος των αξόνων (Number of Axes) στους οποίους μπορεί αυτό να κινηθεί, το οποίο συνήθως ισούται με το πλήθος των βαθμών ελευθερίας που θα έχει, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.
- Ο “φάκελος εργασίας” (Working Envelope) που είναι ο χώρος που περιβάλλει το ρομπότ.
- Ο “χώρος εργασίας” (Working Space) που είναι το κομμάτι του φακέλου εργασίας με το οποίο το ρομπότ μπορεί να αλληλεπιδράσει πλήρως, ανάλογα με την εργασία που εκτελεί. Ο χώρος εργασίας εξαρτάται άμεσα από τους βαθμούς ελευθερίας (ή το πλήθος των αξόνων) που έχει.
- Η κινηματική (Kinematics) του ρομπότ, που ως έννοια εμπεριέχει το πλήθος, το είδος και την διεύθυνση των αρθρώσεων που έχει το συγκεκριμένο ρομπότ.
- Το ωφέλιμο φορτίο (Payload) που μπορεί να μετακινήσει ή να χειριστεί.
- Η ταχύτητα (Speed) με την οποία μπορεί να εκτελέσει την εργασία για την οποία σχεδιάστηκε, η οποία μπορεί να περιγράφεται ανεξάρτητα για την μεταφορική και την περιστροφική κίνηση που έχει την δυνατότητα να εκτελεί ένα συγκεκριμένο ρομπότ.

## Βιομηχανική Ρομποτική

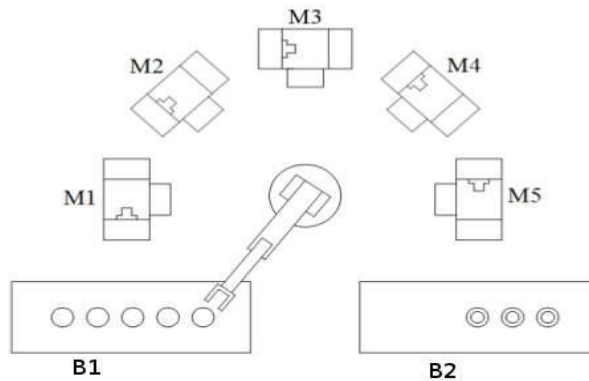
- Η επιτάχυνση (Acceleration), που περιγράφει το πόσο γρήγορα μπορεί να αποκτήσει την μέγιστη ταχύτητα σε συγκεκριμένη απόσταση, και η οποία δίνεται συνήθως για κάθε άξονα κίνησης (ή βαθμό ελευθερίας).
- Η ακρίβεια (Accuracy) με την οποία μπορεί ένα ρομπότ να προσεγγίσει ένα συγκεκριμένο σημείο στον χώρο εργασίας του.
- Η επαναληψιμότητα (Repeatability), που είναι μία παράμετρος που ποσοτικοποιεί την πιστότητα με την οποία μπορεί ένα ρομπότ να εκτελέσει επανειλημμένα μία συγκεκριμένη εργασία, η οποία εξαρτάται από την ακρίβεια που έχει.
- Ο έλεγχος κίνησης (Motion Control), ο οποίος γίνεται από το σύστημα ελέγχου του ρομπότ έτσι ώστε αυτό να καλύπτει τον απαιτούμενο χώρο εργασίας με την απαιτούμενη ακρίβεια και επαναληψιμότητα.
- Η συμμόρφωση (Compliance), που μετράει την απόσταση ή την γωνία την οποία καλύπτει ένα ρομπότ με την άσκηση σε κάποια άρθρωση του συγκεκριμένης δύναμης.

Οι παραπάνω έννοιες ορίζουν τα χαρακτηριστικά του κάθε Βιομηχανικού Ρομπότ και δίνονται από τον κατασκευαστή, βάσει των οποίων μπορεί κάποια βιομηχανία να επιλέξει το ρομπότ που θα χρησιμοποιήσει για την εφαρμογή που την ενδιαφέρει. Οι έννοιες της ταχύτητας, της επιτάχυνσης, της ακρίβειας, της επαναληψιμότητας και του ελέγχου κίνησης αφορούν κυρίως τον τρόπο “εσωτερικής” λειτουργίας του ρομπότ, δηλαδή χαρακτηριστικά τα οποία δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με το περιβάλλον στο οποίο θα εγκατασταθεί το συγκεκριμένο ρομπότ. Οι υπόλοιπες έννοιες είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον τρόπο αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και είναι πολύ σημαντικές γιατί ένα Βιομηχανικό Ρομπότ συνήθως συνεργάζεται με άλλες συσκευές αυτοματισμού, διατάξεις ή και άλλα ρομπότ, το σύνολο των οποίων διαμορφώνει μία “κυψέλη εργασίας” (workcell). Στην περίπτωση αυτή το ρομπότ θα χαρακτηρίζεται ως “συνεργατικό ρομπότ” (Collaborative Robot) και ο προγραμματισμός του θα είναι πιο πολύπλοκος γιατί θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ο τρόπος συμπεριφοράς των υπόλοιπων ρομπότ ή συσκευών αυτοματισμού με τα/τις οποία/οποίες αυτό θα συνεργάζεται. Υπάρχουν τρία βασικά είδη τέτοιων κυψελών, με τα ρομπότ της δεύτερης να έχουν απαραίτητως προγραμματιστεί ως “συνεργατικά” ενώ των άλλων δύο το αν θα είναι συνεργατικό να εξαρτάται από το είδος των μηχανημάτων που υπάρχουν στην κυψέλη εργασίας του, τα οποία είναι:

1. Κυψέλες εργασίας με το ρομπότ να είναι κεντρικά τοποθετημένο (robot centered workcell), με τις συσκευές ή αντικείμενα με τα οποία θα αλληλεπιδράσει να είναι τοποθετημένα γύρω από το κεντρικό. Συνήθως, σε μία τέτοια διάταξη, υπάρχει ένα ρομπότ στην κυψέλη εργασίας το οποίο θα χρησιμοποιεί κάποιους πάγκους εργασίας που θα βρίσκονται γύρω του, όπως στο παράδειγμα που εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.8). Στο παράδειγμα αυτό, ένας ρομποτικός βραχίονας είναι τοποθετημένος στο κέντρο της κυψέλης εργασίας και μετακινεί κάποιο πρωταρχικό αντικείμενο (ή

## Βιομηχανική Ρομποτική

ακατέργαστο υλικό) από τον πάγκο B1 στην μηχανή<sup>40</sup> M1, στη συνέχεια στην M2, στην M3, στην M4 και στην M5, όπου κάθε μηχανή θα έχει αναλάβει την εκτέλεση κάποιας συγκεκριμένης εργασίας στο πρωταρχικό αντικείμενο (ή ακατέργαστο υλικό). Στο τέλος της διαδικασίας αυτή, ο ρομποτικός βραχίονας θα τοποθετήσει στον πάγκο B2 το τελικό προϊόν του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής.



Εικόνα 2.8: Ρομπότ τοποθετημένο κεντρικά στην κυψέλη εργασίας (workcell)

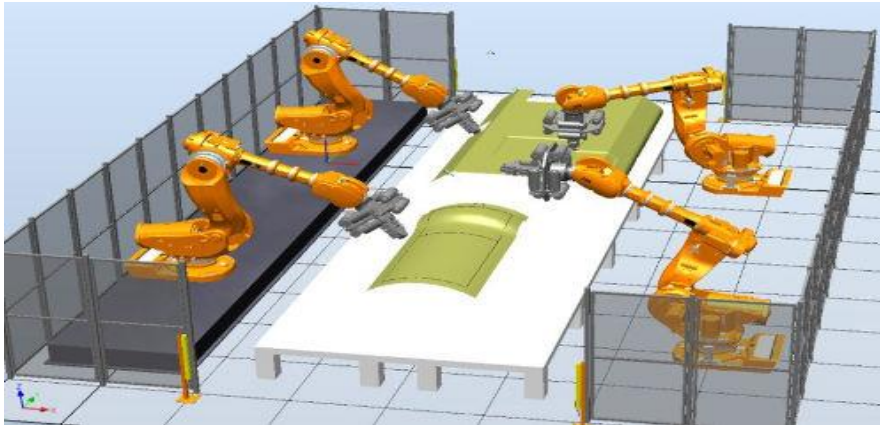
2. Κυψέλες εργασίας με γραμμή παραγωγής (inline robot workcell), όπου τα ρομπότ είναι τοποθετημένα κατά μήκος της γραμμής παραγωγής, αναλαμβάνοντας κάθε ένα μία διαφορετική εργασία πάνω στο προϊόν που παράγεται. Στην περίπτωση αυτή, πολύ σημαντικός είναι ο χώρος εργασίας και η ικανότητα συμμόρφωσης τους, έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται αρμονικά με τα υπόλοιπα ρομπότ που εργάζονται στην ίδια γραμμή παραγωγής. Ένα τέτοιο παράδειγμα εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.9).

---

<sup>40</sup> Οι μηχανές που αναφέρονται στα παραδείγματα αυτά μπορεί να είναι και κάποιο άλλο Βιομηχανικό Ρομπότ.

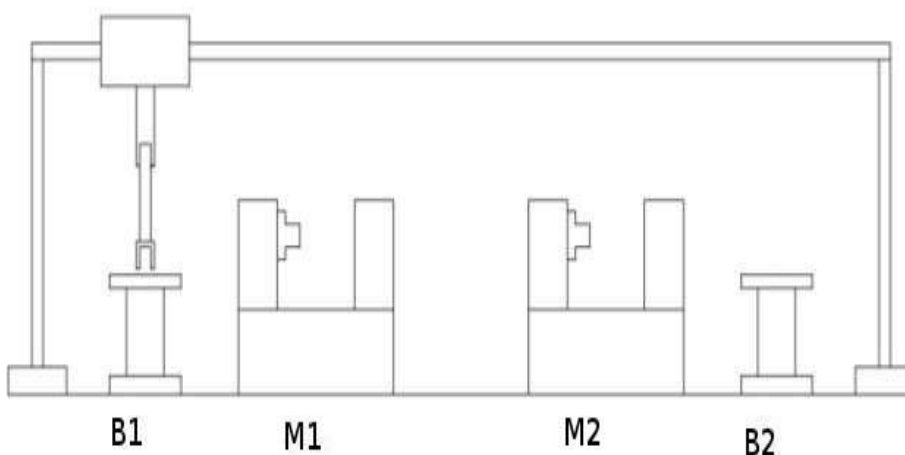


## Βιομηχανική Ρομποτική



Εικόνα 2.9: Ρομπότ τοποθετημένα κατά μήκος μία γραμμής παραγωγής

3. Κυψέλες εργασίας με κινητό ρομπότ, όπου το ρομπότ είναι τοποθετημένο σε κατάλληλη διάταξη, η οποία του επιτρέπει να κινείται κατάλληλα στο χώρο, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα της παρακάτω εικόνας (εικόνα 2.10). Η λειτουργία του ρομπότ του παραδείγματος αυτού είναι παρόμοια με αυτής του παραδείγματος της εικόνας 2.8, με την ειδοποιό διαφορά ότι το ρομπότ δεν περιστρέφεται απλώς αλλά κινείται στον χώρο μέσω της οριζόντιας δοκού στην οποία στηρίζεται. Παίρνει το πρωταρχικό αντικείμενο (ή ακατέργαστο υλικό) από τον πάγκο B1, το τοποθετεί διαδοχικά στις μηχανές (ή ρομπότ) M1 και M2 και τοποθετεί το τελικό προϊόν του συγκεκριμένου σταδίου παραγωγής στον πάγκο B2. Ένα τέτοιο ρομπότ θα μπορούσε να είναι ένα gantry robot, στο οποίο έγινε αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.6) και χρησιμοποιείται ως παράδειγμα ενός καρτεσιανού ρομπότ σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 2.4.1, εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.10: Κυψέλη εργασίας με κινητό ρομπότ

## Βιομηχανική Ρομποτική

Η κυψέλη εργασίας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο έχει οργανωθεί η παραγωγή των προϊόντων σε ένα εργοστάσιο και δεν εξαρτάται από το είδος, την τάξη ή κάποια κατηγορία (από αυτές που θα αναφερθούν στην επόμενη παράγραφο) στην οποία ανήκει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ. Έτσι, σε κάθε είδους κυψέλης εργασίας, με κατάλληλο σχεδιασμό, μπορεί να τοποθετηθεί οποιοδήποτε είδους και κατηγορίας ρομπότ. Για τον λόγο αυτό, δεν γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένη κυψέλη εργασίας στις διαφόρων ειδών κατηγοριοποιήσεις που παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο.

### 2.4 - Κατηγορίες Βιομηχανικών Ρομπότ

Η κατηγοριοποίηση (ή ταξινόμηση) των Βιομηχανικών Ρομπότ είναι μία πολυσχιδής έννοια, όπως φάνηκε και παραπάνω. Υπάρχουν πολλών ειδών κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα ρομπότ αυτά ανάλογα με κάποια από τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους που έχουν. Μία τέτοια κατηγοριοποίηση είναι ανάλογα με τις δυνατότητες αυτονομίας και ελέγχου τους, κατατάσσοντας τα στις “γενιές” που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.5) και στις τάξεις (παράγραφος 2.1). Άλλες κατηγοριοποιήσεις γίνονται με βάση το είδος των ενεργοποιητών, των αισθητήρων ή των αρθρώσεων που διαθέτουν, τα είδη των οποίων αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφο 2.2), τον χώρο εργασίας, την εργασία που καλούνται να εκτελέσουν ή και την εταιρία κατασκευής τους, στις οποίες γίνεται αναφορά στις επόμενες παραγράφους.

#### 2.4.1 - Ταξινόμηση βάσει του χώρου εργασίας

Ο χώρος εργασίας εξαρτάται, όπως προαναφέρθηκε, στους βαθμούς ελευθερίας (ή τους άξονες) που έχει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ, οι οποίοι ορίζουν το “σύστημα συντεταγμένων” στο οποίο αυτό κινείται ή, όπως αλλιώς χαρακτηρίζεται, στην “αρχή” (principle) βάσει της οποίας μπορεί να κινηθεί. Και, ειδικά για τα ρομπότ που έχουν κάποιο τελικό στοιχείο δράσης ένα εργαλείο, ο χώρος εργασίας θα εξαρτάται και από το μέγεθος και τις δυνατότητες κίνησης αυτού. Σύμφωνα με αυτά, οι κατηγορίες βάσει του χώρου εργασίας εξαρτώνται από την “αρχή” βάσει της οποίας γίνεται η κίνηση των ρομπότ που ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία. Για την καλύτερη εποπτεία των κατηγοριών αυτών, παρατίθεται η εικόνα 2.11, στην οποία εμφανίζεται ένα παράδειγμα ρομπότ που ανήκει στην συγκεκριμένη κατηγορία, το οποίο, για απλοποίηση της περιγραφής, έχει την βασική δομή της κατηγορίας και αποτελείται από τρία μέρη (με εξαίρεση την περίπτωση των ρομπότ SCARA που το παράδειγμα που παρατίθεται αποτελείται από τέσσερα μέρη), και κινείται βάσει της αρχής που καθορίζει την κατηγορία αυτή, η γενική κινηματική δομή καθώς και το σχήμα του χώρου εργασίας. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Καρτεσιανό ή X-Y-Z ρομπότ (Cartesian Robot): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ρομπότ που έχουν τρεις γραμμικούς άξονες κίνησης (ή αλλιώς,

## Βιομηχανική Ρομποτική

τρεις μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας) και, σύμφωνα με τον συμβολισμό τριών γραμμάτων που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφο 2.2.3), χαρακτηρίζονται ως “PPP” ρομπότ. Το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο έχει δυνατότητα κίνησης είναι το καρτεσιανό, από το οποίο προέρχεται και η ονομασία της κατηγορίας. Η δομή του κυρίως σώματος ενός καρτεσιανού ρομπότ θα αποτελείται από (τουλάχιστον) 3 μέρη, τα οποία θα ενώνονται μεταξύ τους με γραμμικές ή ορθογώνιες αρθρώσεις (οπότε θα έχει τους τρεις μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας ή γραμμικούς άξονες που προαναφέρθηκαν. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.11) παρατίθεται ένα παράδειγμα μορφής τέτοιου ρομπότ (υπάρχουν και άλλες μορφές καρτεσιανών ρομπότ σε κάποιες από τις οποίες θα γίνει αναφορά στη συνέχεια της εργασίας), που είναι ένα gantry robot, στο οποίο έγινε αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.6).

- Κυλινδρικό ρομπότ (Cylindrical Robot): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ρομπότ που έχουν έναν στροφικό και δύο γραμμικούς άξονες και χαρακτηρίζονται ως “RPP”. Το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο έχει δυνατότητα κίνησης είναι το κυλινδρικό, από το οποίο προέρχεται και η ονομασία της κατηγορίας. Η βασική δομή του κυρίως σώματος ενός κυλινδρικού ρομπότ όπως αυτό που εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.11) θα αποτελείται από έναν άξονα, ο οποίος θα έχει την δυνατότητα περιστροφής (θα συνδέεται δηλαδή με κάποιο σταθερό σημείο, π.χ. το έδαφος ή την οροφή με μία συστροφική άρθρωση), στον οποίο θα είναι συνδεδεμένο μέσω ορθογώνιας άρθρωσης ένα άλλο μέρος και στο οποίο, τέλος, θα είναι συνδεδεμένο μέσω γραμμικής άρθρωσης το τρίτο μέρος του ρομπότ. Τα κυλινδρικά ρομπότ έχουν, σχετικά με τα καρτεσιανά, μεγαλύτερη ευελιξία κίνησης στον χώρο λόγω του περιστροφικού άξονα που έχουν.
- Σφαιρικό ρομπότ (Spherical Robot): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ρομπότ που έχουν δύο στροφικούς άξονες και έναν γραμμικό και χαρακτηρίζονται ως “RRP” ρομπότ. Το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο έχει δυνατότητα κίνησης είναι το κυλινδρικό, από το οποίο προέρχεται και η ονομασία της κατηγορίας. Η βασική δομή του κυρίως σώματος ενός σφαιρικού ρομπότ, όπως αυτού που εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.11) θα είναι παρόμοια με ενός κυλινδρικού ρομπότ, με την ειδοποιό διαφορά ότι στον πρώτο σταθερό περιστροφικό άξονα θα συνδέεται, μέσω μίας περιστροφικής ή περιστρεφόμενης άρθρωσης το επόμενο μέρος του, στο οποίο, τέλος, θα είναι συνδεδεμένο, μέσω γραμμικής άρθρωσης, το τρίτο μέρος του ρομπότ. Το μήκος των περιστροφικών αξόνων καθορίζουν την διακριτική ικανότητα των ρομπότ αυτών και το πλεονέκτημα τους, σχετικά με τα καρτεσιανά και τα κυλινδρικά είναι η αυξημένη του ευελιξία στην κίνηση τους στον χώρο λόγω των δύο περιστροφικών αξόνων που διαθέτουν.
- Ρομπότ SCARA (SCARA Robot): Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6), τα ρομπότ αυτά ήταν μία σημαντική καινοτομία

## Βιομηχανική Ρομποτική

στον χώρο της Βιομηχανικής Ρομποτικής γιατί έχουν την δυνατότητα να μεταβληθεί η συμμόρφωση τους ανάλογα με την εργασία που καλούνται να εκτελέσουν. Για τον λόγο αυτό αναφέρονται ως μία ξεχωριστή κατηγορία. Έχουν, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφος 2.2) τέσσερις άξονες, τρεις περιστροφικούς και έναν μεταφορικό και η δυνατότητα επιλεκτικής συμμόρφωσης τους οφείλεται στην δυνατότητα μεταβολής του μήκους των αξόνων 1 και 4 (αναφορικά με την εικόνα 2.3, σχήμα “α”).

- Αρθρωτό ρομπότ (Articulated Robot): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ρομπότ που έχουν τρεις στροφικούς άξονες και χαρακτηρίζονται ως “RRR”. Ένα παράδειγμα τέτοιου ρομπότ εμφανίζεται στην εικόνα 2.3, στο σχήμα “β”, το οποίο είναι ένα αρθρωτό ρομπότ με τους τρεις περιστροφικούς άξονες να είναι οι 1, 2 και 3. Στο ρομπότ του παραδείγματος αυτού όμως έχουν προστεθεί άλλοι τρεις άξονες (καινοτομία που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο ρομπότ KUKA “Famulus”, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.6) ). Η βασική δομή ενός ρομπότ της κατηγορίας αυτής προσομοιάζει αυτήν του ανθρώπινου χεριού και για τον λόγο αυτό, συνήθως, στην περιγραφή των ρομπότ της κατηγορίας αυτής, τα τρία μέρη από τα οποία αποτελείται το κυρίως σώμα του αναφέρονται με όρους ανθρώπινης ανατομίας. Το μέρος που συνδέεται με κάποιο σταθερό σημείο (π.χ. έδαφος ή κάποιος τοίχος) είναι η βάση, το “σώμα”, στο οποίο μέσω μίας άρθρωσης, του “ώμου” (αναφορικά με το σχήμα “β” της εικόνας 2.3, ο ώμος θα είναι ο άξονας 1), συνδέεται το δεύτερο μέρος, ο “άνω βραχίονας”, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται μέσω του “αγκώνα” (άξονας 2) με τον κάτω βραχίονα ή τον “πήχυ”, στον οποίο, μέσω του “καρπού” (άξονας 3) μπορεί να ενωθεί κάποιο εργαλείο, ένα ανάλογο της παλάμης του ανθρώπινου χεριού.

Τα σύγχρονα Βιομηχανικά Ρομπότ που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες έχουν πιο πολύπλοκη δομή και, συνήθως, περισσότερους άξονες κίνησης ή και αρθρώσεις, όπως φάνηκε και από το παράδειγμα αρθρωτού ρομπότ που περιγράφεται σχηματικά στο σχήμα “β” της εικόνας 2.3 . Ακόμα και αν έχουν το ίδιο πλήθος αρθρώσεων, μπορεί αυτές να είναι πιο σύνθετες, όπως αυτές που φαίνονται στην εικόνα 2.4 και να δίνουν περισσότερους του ενός βαθμού ελευθερίας.

### 2.4.2 - Ταξινόμηση βάσει του είδους εργασίας [46]


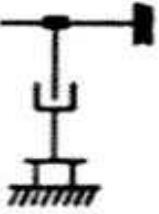
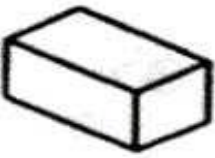
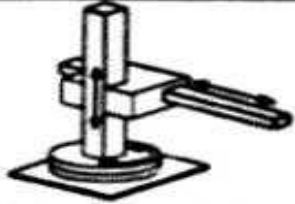
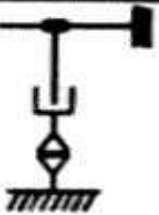

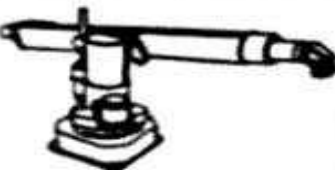



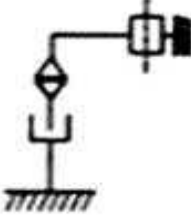
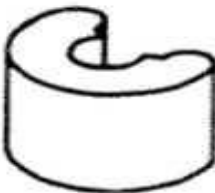

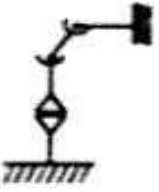

Τα Βιομηχανικά Ρομπότ, από την αρχή της ιστορίας του κλάδου, έχουν εξελιχθεί πάρα πολύ και έχουν ενσωματωθεί σε πάρα πολλούς τομείς της βιομηχανίας και έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά ρομπότ για πολλές και ποικίλες εφαρμογές. Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία έχουν σχεδιαστεί, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, κάποιες από τις οποίες είναι:

- Ρομπότ συγκόλλησης (Welding robots): Το είδος αυτό των ρομπότ είναι σχεδιασμένο να μπορεί να εκτελεί αυτοματοποιημένα τις εργασίες

## Βιομηχανική Ρομποτική

συγκόλλησης διαφόρων μερών, επιτελώντας τον χειρισμό και την συγκόλληση των κομματιών αυτών. Το να έχει την δυνατότητα και της συγκόλλησης αλλά και του χειρισμού των κομματιών διαχωρίζει ένα Βιομηχανικό Ρομπότ από ένα μηχάνημα συγκόλλησης το οποίο απαιτεί έναν χειριστή για την τοποθέτηση των κομματιών και τον χειρισμό του μηχανισμού συγκόλλησης, όπως είναι, παραδείγματος χάριν, οι μηχανισμοί συγκόλλησης με τόξο αερίου μετάλλου. Χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην “βαριά βιομηχανία”, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτό της αυτοκινητοβιομηχανίας, και, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6) ήταν από τα πρώτα είδη Βιομηχανικών Ρομπότ που κατασκευάστηκαν. Ρομπότ συγκόλλησης μπορεί να είναι διαφόρων ειδών, με την πλειονότητα τους να είναι καρτεσιανά ή SCARA. Ο έλεγχος τους μπορεί να γίνεται μέσω προγραμματισμένων, εκ των προτέρων, κινήσεων, να καθορίζεται από αισθητήρες ή και συνδυασμό των παραπάνω.

## Βιομηχανική Ρομποτική

| Principle   | Kinematic Structure   | Workspace   |
|---|---|---|
|  <p><b>Cartesian Robot</b></p>     |    |    |
|  <p><b>Cylindrical Robot</b></p>   |    |    |
|  <p><b>Spherical Robot</b></p>    |   |   |
|  <p><b>SCARA Robot</b></p>       |  |  |
|  <p><b>Articulated Robot</b></p> |  |  |

Εικόνα 2.11: Κατηγορίες, βάσει του χώρου εργασίας, κινηματική δομή και χώρος εργασίας

- Ρομπότ χειρισμού υλικών (Material handling robots):** Τα ρομπότ αυτά αναλαμβάνουν κάποιες από τις πιο ανιαρές, βαρετές αλλά και επικίνδυνες εργασίες, όπως την απλή μεταφορά κάποιων υλικών ή αντικειμένων ή και τον χειρισμό άλλων υλικών που είναι είτε επικίνδυνα για τον άνθρωπο όπως κάποια ραδιενεργά υλικά. Βελτιώνουν αρκετά την αποδοτικότητα της

## Βιομηχανική Ρομποτική

παραγωγής εκτελώντας πιο γρήγορα και με περισσότερη ακρίβεια τις εργασίες που αναλαμβάνουν.

- Ρομπότ παλετοποίησης (Palletizing robot): Τα ρομπότ παλετοποίησης αναλαμβάνουν την φόρτωση και ξεφόρτωση εξαρτημάτων, κουτιών ή άλλων αντικειμένων προς και από παλέτες. Χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλους του τομείς της βιομηχανίας και υπάρχει μεγάλη ποικιλία ρομπότ του είδους αυτού, με ποικίλες δυνατότητες ωφέλιμου φορτίου και συμμόρφωσης, ανάλογα με το φορτίο που απαιτείται να χειριστούν και τον χώρο εργασίας στον οποίο θα εγκατασταθούν, από τα οποία θα εξαρτηθεί και το τελικό στοιχείο δράσης που θα διαθέτουν. Διαφέρουν από τα ρομπότ χειρισμού υλικών γιατί η εργασία τους δεν περιλαμβάνεται στο στάδιο της παραγωγής αλλά στο τελικό στάδιο της φόρτωσης του έτοιμου προϊόντος.
- Ρομπότ Βαψίματος (Painting robot): Τα ρομπότ αυτά αναλαμβάνουν το βάψιμο σε μία βιομηχανία, έχοντας πολύ καλύτερα αποτελέσματα από έναν άνθρωπο που θα αναλάμβανε την ίδια εργασία λόγω της καλύτερης ακρίβειας και επαναληψιμότητας που έχουν αλλά και του γεγονότος ότι μπορούν να έχουν, ανάλογα με τις κινητικές τους ικανότητες και το μέγεθος τους, “πρόσβαση” σε όλο τον χώρο γύρω από το υλικό ή αντικείμενο που θα βάψουν. Τέλος, η μεγάλη χρησιμότητα τους έγκειται και στο γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι εργασίες βαψίματος μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία λόγω κάποιων πιθανώς δηλητηριωδών, για τον άνθρωπο, συστατικών που έχουν οι βαφές.
- Ρομπότ συναρμολόγησης (Assembly robot): Τα ρομπότ συναρμολόγησης χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των εργασιών συναρμολόγησης κάποιου προϊόντος από τα μέρη που το αποτελούν. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η βελτίωση της απόδοσης παραγωγής του εργοστασίου στο οποίο θα εγκατασταθούν λόγω της ακρίβειας και της ικανότητας μεγάλης ταχύτητας επαναληψιμότητας που προσφέρει η χρήση τους στις εργασίες αυτές.
- Φρέζες ή ρομπότ “άλεσης” (milling robot): Το είδος αυτό των ρομπότ έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί εργασίες κοψίματος κομματιών, συγκεκριμένου για κάθε εφαρμογή σχήματος, υλικών από ένα πρωταρχικό κομμάτι. Μεγάλο πλεονέκτημα των ρομπότ αυτών έναντι των ανθρώπων είναι η υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα που μπορούν να έχουν και φυσικά το γεγονός ότι το συγκεκριμένο είδος εργασιών εμπεριέχει έναν αρκετά υψηλό βαθμό επικινδυνότητας για τον άνθρωπο.

Οι παραπάνω κατηγορίες εργασιών για τις οποίες μπορεί να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα Βιομηχανικό Ρομπότ είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες ή και αυτές που, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6), ήταν οι πρώτες εφαρμογές που βρήκαν τα Βιομηχανικά Ρομπότ. Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης και εξέλιξης της Βιομηχανικής Ρομποτικής και της μεγάλης διείσδυσης της σε κάθε τομέα της βιομηχανίας, οι κατηγορίες των ειδών εργασίας για τις οποίες

## Βιομηχανική Ρομποτική

έχουν κατασκευαστεί ρομπότ είναι πάρα πολλές και μία εξαντλητική αναφορά σε αυτές ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

### 2.4.3 - Εταιρίες κατασκευής Βιομηχανικών Ρομπότ

Στο πρώτο κεφάλαιο που έγινε ανασκόπηση στους σημαντικότερους σταθμούς της ιστορίας της Ρομποτικής, και ειδικότερα της Βιομηχανικής Ρομποτικής, έγινε αναφορά στην συνεισφορά στην εξέλιξη του κλάδου από συγκεκριμένες εταιρίες, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτό της εταιρίας Unimation που ήταν η πρώτη που σχεδίασε και κατασκεύασε ένα Βιομηχανικό Ρομπότ και, στην ουσία, δημιούργησε τον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής. Έτσι, η εξέλιξη του κλάδου αυτού οφείλεται στις εταιρίες που κατασκεύαζαν τα ρομπότ αυτά, με κάθε μία να συνεισφέρει τα δικά της τεχνολογικά επιτεύγματα. Η κατάσταση αυτή συνεχίζει μέχρι και σήμερα, με τις εξελίξεις να καθορίζονται από τις καινοτομίες που εισάγει η κάθε εταιρία, όπως παραδείγματος χάριν τα περιβάλλοντα (λογισμικά) και οι γλώσσες προγραμματισμού που έχει δημιουργήσει και εξελίσει η κάθε εταιρία, στα οποία θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 3, παράγραφοι 3.3 και 3.4). Για τους παραπάνω λόγους, η κάθε εταιρία θεωρείται ότι έχει την δική της κατηγορία Βιομηχανικών Ρομπότ, κάτι που ίσχυε πιο ξεκάθαρα τις πρώτες δεκαετίες της ιστορίας του κλάδου, αλλά συνεχίζει να χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Έτσι, ένα Βιομηχανικό Ρομπότ θα είναι ένα KUKA ρομπότ ή ένα ABB ρομπότ και για την αρτιότερη περιγραφή των κατηγοριοποιήσεων των Βιομηχανικών Ρομπότ θα γίνει αναφορά στις μεγαλύτερες εταιρίες του κλάδου όπως και στην ιστορία της κάθε μίας καθώς και στα κύρια επιτεύγματα τους.

#### 2.4.3.1 - Staubli [47]

Η εταιρία Staubli είναι μία Ελβετική εταιρία που ιδρύθηκε το 1892 ως “Schelling & Staubli” και από το 1982 δραστηριοποιείται στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής, αναπτύσσοντας και κατασκευάζοντας ρομπότ και αυτοματισμούς. Το 1989 έγινε σύμπραξη της με την Unimation (εξαγοράστηκε η Unimation από την Staubli) και για τον λόγο αυτό είναι η πρώτη εταιρία στην οποία γίνεται αναφορά (περιέχει τον “πατέρα” της Βιομηχανικής Ρομποτικής!). Είναι εταιρία η οποία δραστηριοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο, έχοντας εργοστάσια και παραρτήματα σε πολλές χώρες, όπως η Ελβετία, η Γαλλία, η Γερμανία, οι Η.Π.Α., η Κίνα και η Ινδία. Αναπτύσσει Βιομηχανικά Ρομπότ για όλους τους κλάδους της βιομηχανίας τα οποία είναι, κυρίως, SCARA ρομπότ και ρομποτικοί βραχίονες τεσσάρων και έξι αξόνων. Τέλος, έχει αναπτύξει δικούς της ελεγκτές όπως και το περιβάλλον προγραμματισμού τους, το λογισμικό “Staubli Robotics Suite”.



### 2.4.3.2 - KUKA [48, 49, 50]

Η εταιρία KUKA είναι μία γερμανική εταιρία που ιδρύθηκε το 1898 από τους Johann Joseph Keller και Jakob Knappich στην πόλη Augsburg (Άουγκσμπουργκ) της Γερμανίας. Είναι η εταιρία που εισήγαγε τα πρώτα αυτόματα συστήματα συγκόλλησης το 1956<sup>41</sup>. Από το 1970, που συγχωνεύτηκε με την, εξίσου γερμανική, εταιρία “Industrie-Werke Karlsruhe AG”, άρχισε να σχεδιάζει και να κατασκευάζει Βιομηχανικά Ρομπότ και η πρώτη σημαντικότερη συνεισφορά της στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής<sup>42</sup>, είναι η κατασκευή του πρώτου ρομποτικού βραχίονα με έξι άξονες κίνησης, του “Famulus”. Το 2013 ανακοινώνει και παρουσιάζει στο κοινό την καινοτόμα σειρά ρομπότ, LBR iiwa<sup>43</sup>, ως τα πρώτα βιομηχανικά ρομπότ μικρού βάρους τα οποία έχουν αισθητήρες σε κάθε άξονα. Δραστηριοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο, έχοντας εργοστάσια και παραρτήματα σε πολλές χώρες, και είναι η εταιρία που δημιούργησε το πρώτο Βιομηχανικό Ρομπότ που μπήκε στο βιβλίο καταγραφής παγκόσμιων ρεκόρ Γκίνες (Guinness World Records) τον Ιούνιο του 2007, το μοντέλο “KUKA KR 1000 titan” ως ο “δυνατότερος και μεγαλύτερος ρομποτικός βραχίονας”<sup>44</sup>. Έχει ωφέλιμο φορτίο 1000 κιλών (μέγιστο “ονομαστικό”<sup>45</sup> ωφέλιμο φορτίο 1300 κιλών όταν χρησιμοποιείται ως ρομπότ παλετοποίησης) και έκταση βραχίονα 3.2 μέτρων (με “ονομαστική” μέγιστη απόσταση μεταφοράς φορτίου 6.5 μέτρα) και παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.12). Διαθέτει έξι άξονες κίνησης και χρησιμοποιείται ως ρομπότ χειρισμού υλικών ή παλετοποίησης.

Έχει θυγατρικές εταιρίες, παραρτήματα και εργοστάσιο σε πολλές χώρες και θεωρείται από τους μεγαλύτερους προμηθευτές Βιομηχανικών Ρομπότ στην Νότιο Αμερική και την Ασία, όπου τα κεντρικά γραφεία της είναι στην Σανγκάη. Το 2014 συγχωνεύτηκε με την Ελβετική Swisslog Holding AG, όπως και με την γερμανική εταιρία “Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik”, μετατρέποντας το πλήρες όνομα του ομίλου της σε “ KUKA Industries GmbH & Co. KG”, ο οποίος εκπροσωπείται παγκοσμίως από περίπου 100 εταιρίες. Προσφέρει ολοκληρωμένες λύσεις για όλους σχεδόν τους τομείς των βιομηχανικών εφαρμογών, έχοντας αναπτύξει δικούς της ελεγκτές και λογισμικά ελέγχου των ρομποτικών της συστημάτων.

---

41 Τα συστήματα αυτά δεν ανήκουν στην κατηγορία των Βιομηχανικών Ρομπότ, δεν θεωρούνται “ρομπότ”, και για τον λόγο αυτό δεν αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

42 Που τότε ονομαζόταν με όνομα “Industrie-Werke Karlsruhe Augsburg Aktiengesellschaft -IWKA AG (ανώνυμη εταιρία βιομηχανικών εγκαταστάσεων (των γερμανικών πόλεων) Καρλσρούη Άουγκσμπουργκ), όνομα που άλλαξε το 2007, που μετονομάστηκε ξανά σε KUKA.

43 Το όνομα της σειράς είναι ακρωνύμιο: το LBR προέρχεται από την γερμανική λέξη “Leichtbauroboter” που σημαίνει “ρομπότ ελαφρού βάρους” και το “iiwa” από το “intelligent industrial work assistant” (ευφυής βιομηχανικός βοηθός εργασίας).

44 Ρεκόρ που κατείχε μέχρι τον Οκτώβριο του 2008, όπως θα αναφερθεί παρακάτω.

45 Με τον όρο “ονομαστικό” αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που δίνονται από την εταιρία στο “φύλλο δεδομένων” (datasheet) του κάθε μοντέλου.



Εικόνα 2.12: KUKA KR 1000 titan

### 2.4.3.3 - FANUC [51, 52]

Είναι ένας όμιλος εταιριών με κύριες την Ιαπωνική FANUC Corporation που ιδρύθηκε το 1952, την αμερικάνικη Fanuc America Corporation που ιδρύθηκε το 1992 στην πόλη Rochester Hills της πολιτείας Michigan των Η.Π.Α. και την ευρωπαϊκή FANUC Europe Corporation S.A. που ιδρύθηκε το 2012 στην πόλη Echternach του Λουξεμβούργου. Από το 1974 ασχολείται με τον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής, κατασκευάζοντας και εγκαθιστώντας συστήματα βιομηχανικών ρομπότ. Προσφέρει ολοκληρωμένες λύσεις συστημάτων Βιομηχανικών Ρομπότ για όλων των ειδών τις βιομηχανικές εφαρμογές, και το μοντέλο “M-2000iA/1200”, που παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.13), κατέχει το ρεκόρ του “δυνατότερου και μεγαλύτερου ρομποτικού βραχίονα” από τον Οκτώβριο του 2008, έχοντας ωφέλιμο φορτίο 1199 κιλά (“ονομαστικό” μέγιστο ωφέλιμο φορτίο 1350 κιλά) και έκταση βραχίονα 3.734 μέτρα, έχοντας την δυνατότητα να ανασηκώσει το ωφέλιμο φορτίο του μέχρι και έξι μέτρα. Είναι ένα ρομπότ έξι αξόνων κίνησης και χρησιμοποιείται ως ρομπότ χειρισμού υλικών ή παλετοποίησης. Έχει αναπτύξει δικούς της ελεγκτές, με τον ελεγκτή “J-30iB” να είναι πιο πρόσφατος, καθώς και λογισμικό προγραμματισμού των ρομπότ, το “FANUC ROBOGUIDE”. Τέλος, σημαντικές είναι και οι εξειδικευμένες σειρές Βιομηχανικών Ρομπότ “ROBOCUT”, που είναι μηχανές κοπής με ηλεκτρική εκφόρτιση (wire electro-discharge cutting machine), “ROBODRILL” που είναι φρέζα υψηλής ταχύτητας (highspeed milling machine) και “ROBOSHOT” που είναι μηχανές χύτευσης με έγχυση (electric injection molding machine)<sup>46</sup>. Σύμφωνα με στοιχεία της εταιρίας, το 2015 οι εγκατεστημένες ρομποτικές μονάδες της εταιρίας ξεπέρασαν τις 400000, της σειράς “ROBODEILL” τις 200000 μονάδες και το 2016, το πλήθος των

---

46 Οι παραπάνω “χαρακτηρισμοί” του είδους ρομπότ που περιέχει η κάθε σειρά προέρχονται από τον επίσημο ιστότοπο της εταιρίας, διαθέσιμο στον σύνδεσμο “<http://www.fanuc.eu/bg/en>”

## Βιομηχανική Ρομποτική

εγκατεστημένων λειτουργικών ρομπότ της σειράς “ROBOSHOT” ξεπέρασε τις 50000



Εικόνα 2.13: FANUC M-2000iA/1.200

### 2.4.3.4 - ABB [53, 54]

Ο όμιλος εταιριών ABB (ASEA Brown Boveri) είναι μία Σουηδική-Ελβετική πολυεθνική εταιρία που ιδρύθηκε το 1988 από την συγχώνευση των εταιριών ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (Αγγλική μετάφραση: General Swedish Electric Company), μίας σουηδικής βιομηχανικής εταιρία που ιδρύθηκε το 1883, και BBC (Brown, Boveri & Cie), μίας ελβετικής εταιρίας ηλεκτροτεχνίας που ιδρύθηκε το 1991. Δραστηριοποιείται στους τομείς της ενέργειας, των τεχνολογιών αυτοματισμού και της ρομποτικής. Είναι η εταιρία (η τότε ASEA) που το 1974 κατασκεύασε Το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό βιομηχανικό ρομπότ, που ελεγχόταν από έναν μικροεπεξεργαστή, με όνομα “IRB 6”, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.6). Το πρόθεμα “IRB” (που είναι ακρωνύμιο των λέξεων “industrial robot”) εμφανίζεται σε όλα τα μοντέλα της εταιρίας, τα οποία καλύπτουν σχεδόν όλες τις ανάγκες των βιομηχανιών, με μεγάλο εύρος ωφέλιμου φορτίου<sup>47</sup> και έκτασης βραχίονα<sup>48</sup>. Δραστηριοποιείται σε περισσότερες από 100 χώρες, με μία από αυτές να είναι η Ελλάδα, και έχει εγκαταστήσει περισσότερα από 300000 βιομηχανικά ρομπότ παγκοσμίως. Όπως και οι προηγούμενες που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχει

47 Ελάχιστο ωφέλιμο φορτίο έχει το μοντέλο “IRB 14000 YuMi” με 0.5 κιλά και μέγιστο το μοντέλο “IRB 8700” με μέγιστη ονομαστική τιμή 800 κιλά.

48 Ελάχιστη έκταση βραχίονα έχει το μοντέλο “IRB 910SC SCARA” με έκταση 0.4 μέτρα και μέγιστη το μοντέλο “IRB 5400” με ονομαστική μέγιστη έκταση 15 μέτρα.

## Βιομηχανική Ρομποτική

αναπτύξει και εξελίσει τους δικούς της ελεγκτές και λογισμικά προγραμματισμού των προϊόντων της, με εξέχον το “RobotStudio”, ένα λογισμικό προγραμματισμού και εξομοίωσης της λειτουργίας των ρομπότ.

### 2.4.3.5 - DENSO Robotics [55, 56]

Η DENSO Robotics είναι μέρος της ιαπωνικής εταιρίας Denso που ιδρύθηκε το 1949 στην πόλη Καρίγια (Kariya). Οι δραστηριότητες της νεοσύστατης εταιρίας ήταν η κατασκευή και πώληση ηλεκτρικών εξαρτημάτων και καλοριφέρ για αυτοκίνητα και το 1967 άρχισε να ασχολείται με την ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων για τα εργοστάσια της και το 1970 κατασκεύασε το πρώτο ρομπότ χύτευσης αλουμινίου και το 1982 ανέπτυξε ένα μεσαίου μεγέθους ρομπότ τεσσάρων αξόνων και το 1983 ένα έξι αξόνων. Από το 1991 ξεκίνησε να κατασκευάζει ελεγκτές για τα ρομπότ της, με τον “RC3” να βγαίνει στην αγορά. Τα προϊόντα της αποτελούνται από ρομπότ συναρμολόγησης τεσσάρων (SCARA ρομπότ), πέντε και έξι αξόνων με ωφέλιμο φορτίο μέχρι και 20 κιλών, μέγιστη έκταση βραχίονα 1.288 μέτρων και ταχύτητες μέχρι και 11.500 mm/sec και κατέχει ένα σημαντικό μέρος της αγοράς στο κομμάτι των μικρών ρομπότ συναρμολόγησης (σύμφωνα με την RIA, της οποίας είναι μέλος από το 1996 [56]) έχοντας περισσότερα από 16000 μονάδες εγκατεστημένες σε δικά της εργοστάσια και περισσότερα από 60000 μονάδες εγκατεστημένες σε εργοστάσια άλλων εταιριών. Εκτός των ρομποτικών βραχιόνων και των ελεγκτών, έχει αναπτύξει και πολλά προϊόντα στον τομέα του λογισμικού για τον προγραμματισμό και την εξομοίωση της λειτουργίας των ρομποτικών βραχιόνων.

### 2.4.3.6 - Kawasaki Heavy Industries Ltd. (KHI) [57, 58]

Η Kawasaki Heavy Industries Ltd. (KHI) είναι μία ιαπωνική εταιρία που δραστηριοποιείται στον τομέα της βαριάς βιομηχανίας. Ιδρύθηκε στο Τόκιο το 1896 και είναι κυρίως γνωστή ως κατασκευαστής μοτοσυκλετών, εξοπλισμών βαριάς βιομηχανίας, οχημάτων και εξοπλισμών αεροδιαστημικής, αμυντικών εξοπλισμών και πλοίων. Είναι η εταιρία που κατασκεύασε το πρώτο ιαπωνικό υποβρύχιο το 1906 και στον κλάδο της Βιομηχανικής Ρομποτικής εισήλθε το 1969 που κατασκεύασε, σε συνεργασία με την Unimation, το Kawasaki-Unimate 2000, το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ ιαπωνικής κατασκευής. Κατασκευάζει βιομηχανικά ρομπότ για όλες τις εφαρμογές και έχει δημιουργήσει λογισμικά για την προσομοίωση και τον προγραμματισμό βιομηχανικών ρομπότ, το “K-ROSET” (λογισμικό προσομοίωσης ρομπότ), το “K-SPARC” (λογισμικό για ρομπότ παλετοποίησης) και το “KCONG” (λογισμικό για προγραμματισμό ρομπότ εκτός σύνδεσης (Offline Programming Software) ). Ακόμα έχει δημιουργήσει λογισμικά για χρήση σε οπτικούς αισθητήρες ελέγχου βιομηχανικών ρομπότ και δικούς της ελεγκτές.

## Βιομηχανική Ρομποτική

### 2.4.3.7 - Comau [59, 60]

Η εταιρία Comau (COnsorzio MAchine Utensili) είναι μία πολυεθνική ιταλική εταιρία με έδρα το Τορίνο. Ιδρύθηκε το 1973 με κύριο τομέα δραστηριότητας την ανάπτυξη βιομηχανικών αυτοματισμών και βιομηχανικών ρομπότ. Από το 1978 σχεδιάζει και κατασκευάζει ολοκληρωμένα ρομποτικά συστήματα για την βιομηχανία, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες και εφαρμογές, όπως ρομπότ συναρμολόγησης, ρομπότ με ευπροσάρμοστα συστήματα 3D λέιζερ για τις διεργασίες κοπής καθώς και ρομπότ παλετοποίησης και μεταφοράς, κυρίως στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το 2000 κατασκεύασε και εισήγαγε στην την σειρά της SMART, που περιέχει μία σειρά από ρομποτικά κύτταρα, με μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων ωφέλιμου φορτίου, μειωμένων διαστάσεων σχετικά με τις μέχρι τότε διαθέσιμες, αυξημένες δυνατότητες όγκου εργασίας και ακρίβειας κινήσεων, για πολλές εφαρμογές, όπως η σημειακή συγκόλληση. Έχει κατασκευάσει περισσότερα από 40 διαφορετικά βιομηχανικά ρομπότ, κάποια αρκετά καινοτόμα, όπως το “Comau Smart Dual Arm robot” που παρατίθεται παραπάνω (εικόνα 2.7), με τις εφαρμογές σημειακής συγκόλλησης να κατέχουν εξέχουσα θέση, τα οποία έχουν ωφέλιμο φορτίο από 3 μέχρι 650 κιλά και οριζόντια έκταση βραχίονα από μικρότερες του 1 μέτρου μέχρι και 3 μέτρα. Τέλος, έχει αναπτύξει και λογισμικά για τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των ρομπότ αυτών, όπως και ειδικούς ελεγκτές.

### 2.4.3.8 - OTC DAIHEN [61, 62]

Η εταιρία OTC DAIHEN ιδρύθηκε το 1919 με το όνομα “Osaka Transformer Co.” και από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 άρχισε να δραστηριοποιείται στην σχεδίαση βιομηχανικών ρομπότ συγκόλλησης. Το 1979 ιδρύεται η αμερικάνικη θυγατρική της, OTC America στην πόλη “Σάρλοτ” (Charlotte) της πολιτείας της Βόρειας Καρολίνας. Το 1981 ξεκίνησε η εμπορική διάθεση του πρώτου βιομηχανικού ρομπότ συγκόλλησης της εταιρίας, του THOR-K, που ήταν παρόμοιας κατασκευής με το IRB 6 της ASEA και το 1983 η εταιρία επέκτεινε τις εμπορικές της δραστηριότητες στην Νότια Αμερική. Κατασκευάζει ρομποτικούς βραχίονες που είναι εξελίξεις του πρώτου της, του THOR-K, δηλαδή έξι αξόνων, με την σειρά των προϊόντων της να έχει το πρόθεμα “FD” καθώς και ολοκληρωμένες κυψέλες εργασίας για τα ρομπότ αυτά, με το ρομπότ να είναι κεντρικά τοποθετημένο σε αυτές. Τέλος, κατασκευάζει και τους ελεγκτές για τα ρομπότ αυτά, με πιο εξελιγμένος να είναι ο ελεγκτής “FD11”, καθώς και συσκευές για τον προγραμματισμό (ή την “εκπαίδευση”) των ρομπότ, τις “FD Teaching Pendant”.

### 2.4.3.9 - Omron Adept Technologies Inc. [63, 64]

Το 1933 ιδρύθηκε η ιαπωνική εταιρία OMRON Corporation στην πόλη Κιότο, η οποία το 1983 ίδρυσε την θυγατρική της Omron Adept Technologies Inc, μία από

## Βιομηχανική Ρομποτική

τις μεγαλύτερες αμερικάνικες εταιρίες κατασκευαστών βιομηχανικών ρομπότ. Προσφέρει ολοκληρωμένα συστήματα για ποικίλες βιομηχανικές εφαρμογές, με τα ρομπότ της να είναι τύπου SCARA, έξι αξόνων ή παράλληλα. Ακόμα, έχει αναπτύξει μία ποικιλία ελεγκτών και αισθητήρων για τα ρομπότ αυτά, καθώς και λογισμικά για τον προγραμματισμό, έλεγχο και καθοδήγηση τους.

### 2.4.3.10 - Yaskawa Motoman [65, 66]

Η εταιρία Yaskawa Motoman ιδρύθηκε το 1989 στην πόλη Miamisburg της πολιτείας Ohio των Η.Π.Α. ως θυγατρική της ιαπωνικής εταιρίας Yaskawa Electric Corporation που δραστηριοποιείται στον κλάδο των ηλεκτρονικών εξοπλισμών και της ρομποτικής. Η σειρά προϊόντων που αφορούν την Βιομηχανική Ρομποτική είναι τα ρομπότ “Motoman”, από τα οποία πήρε το όνομα της και η εταιρία που ιδρύθηκε για να τα παράγει, που είναι βιομηχανικά ρομπότ βαρέως τύπου με ποικίλες εφαρμογές, όπως παραδείγματος χάριν ως ρομπότ συγκόλλησης, παλετοποίησης (πακεταρίσματος), συναρμολόγησης και κοψίματος και χειρισμού υλικών. Τα ρομπότ που κατασκευάζει είναι τύπου Delta, SCARA ή ρομποτικοί βραχίονες με μία ποικιλία περισσότερων από 150 διαφορετικών ρομπότ, και έχουν εγκατασταθεί, παγκόσμια, περισσότερα από 360000 Motoman ρομπότ. Σχεδιάζει και κατασκευάζει και αισθητήρες, ελεγκτές και βάσεις για τα ρομπότ αυτά, καθώς και λογισμικά προγραμματισμού, ελέγχου και προσομοίωσης, όπως το “RobotPro”, λογισμικό για την συντήρηση και το “MotoSim” για την προσομοίωση της λειτουργίας των Motoman ρομπότ.

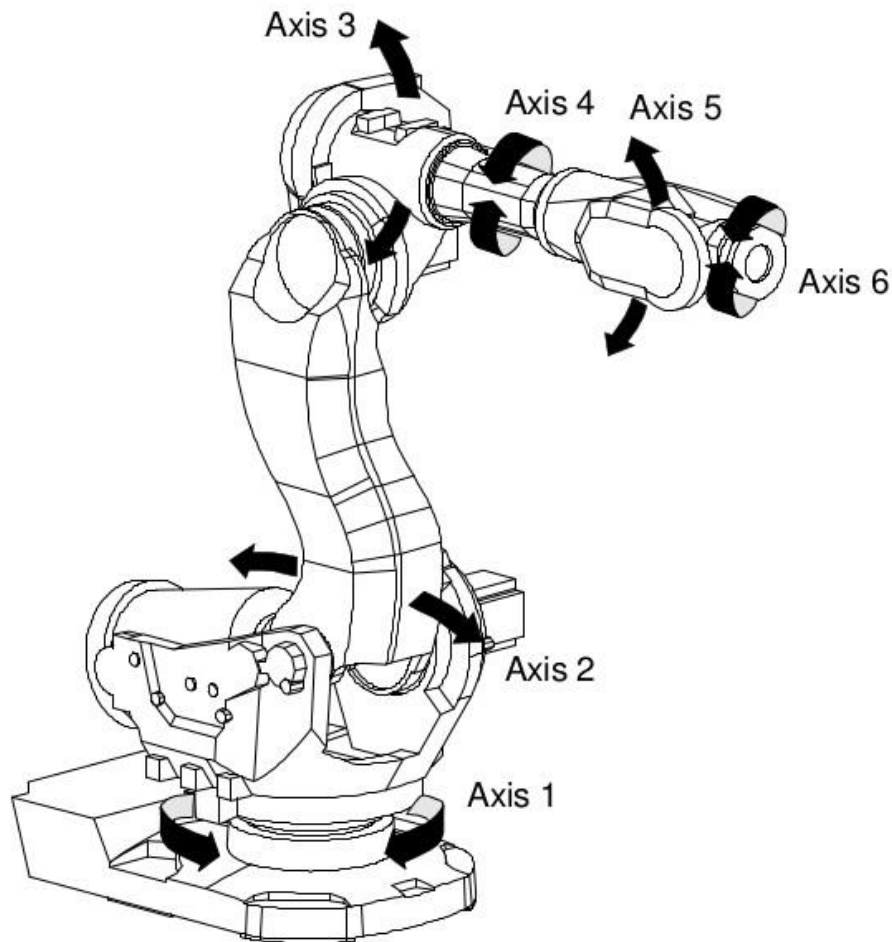
### 2.5 - Ρομποτικός βραχίονας ABB IRB 6600 [72]

Ο ρομποτικός βραχίονας ABB IRB 6600 είναι μία σειρά παρόμοιων ρομποτικών βραχιόνων που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την ABB. Η σειρά αποτελείται από επτά παρόμοια μοντέλα αρθρωτών ρομποτικών βραχιόνων έξι αξόνων, το γενικό σχηματικό μοντέλο των οποίων παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.14), με διαφορετική τιμή ωφέλιμου φορτίου και έκτασης το κάθε μοντέλο, καλύπτοντας ένα εύρος δυνατών τιμών ωφέλιμου φορτίου και έκτασης. Συγκεκριμένα, τα πέντε μοντέλα είναι:

- IRB 6600 με ωφέλιμο φορτίο 175 kg, έκταση βραχίονα 2.55 m και βάρους 1700 kg
- IRB 6600 με ωφέλιμο φορτίο 225 kg, έκταση βραχίονα 2.55 m και βάρους 1700 kg
- IRB 6600 με ωφέλιμο φορτίο 175 kg, έκταση βραχίονα 2.8 m και βάρους 1700 kg
- IRB 6650 με ωφέλιμο φορτίο 125 kg, έκταση βραχίονα 3.2 m και βάρους 1725 kg
- IRB 6650 με ωφέλιμο φορτίο 200 kg, έκταση βραχίονα 2.75 m και βάρους 1700 kg

## Βιομηχανική Ρομποτική

- IRB 6650S με ωφέλιμο φορτίο 125 kg, έκταση βραχίονα 3.5 m και βάρους 1700 kg
- IRB 6650S με ωφέλιμο φορτίο 200 kg, έκταση βραχίονα 3.0 m και βάρους 1700 kg



Εικόνα 2.14: Ο ρομποτικός βραχίονας ABB IRB 6600

Είναι ρομποτικοί βραχίονες σχεδιασμένοι να εγκαθίστανται στο πάτωμα, και οι τυπικές εφαρμογές, σύμφωνα με την εταιρία κατασκευής τους, είναι εφαρμογές συγκόλλησης (spotwelding), διαχείρισης υλικών (material handling) και τροφοδοσίας μηχανημάτων (machine tending). Έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με τα πρότυπα ασφαλούς λειτουργίας που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.9), έχοντας την δυνατότητα να λειτουργήσει με όλους τους τρόπους ασφαλούς λειτουργίας που προαναφέρθηκαν, διαθέτοντας σύστημα ενεργής και παθητικής ασφαλούς λειτουργίας. Το σύστημα ενεργής ασφαλούς λειτουργίας αποτελείται από

## Βιομηχανική Ρομποτική

λογισμικό που του δίνει την δυνατότητα να διαθέτει λειτουργίες που επιτρέπουν την ακριβή διατήρηση της προγραμματισμένης τροχιάς και λειτουργίες για αποφυγή συγκρούσεων στην περίπτωση που ξεφύγει από την προγραμματισμένη τροχιά ή που κάποιο εμπόδιο εισέλθει στον χώρο εργασίας του και διαθέτει λειτουργίες και για τους τέσσερις τύπους ασφαλούς λειτουργίας που περιέχονται στο πρότυπο ISO 10218. Η παραπάνω συμμόρφωση με το πρότυπο ISO 10218 και ειδικά με το δεύτερο μέρος του καθιστά τον συγκεκριμένο τύπο ρομποτικό βραχιόνων κατάλληλο για να εγκατασταθεί σε οποιουδήποτε είδους κυψέλη εργασίας, ακόμα και σε γραμμής παραγωγής. Το παθητικό σύστημα ασφαλούς λειτουργίας αποτελείται από προσεκτικό σχεδιασμό του υλικού του ρομποτικού βραχίονα για αποφυγή συγκρούσεων με άλλες συσκευές ή εμπόδια που υπάρχουν στον χώρο εργασίας του. Έχει, δηλαδή, γίνει ο σχεδιασμός του σύμφωνα με τις οδηγίες που περιέχονται στο πρότυπο ISO 12100.

Ως τελικό στοιχείο δράσης μπορεί να εγκατασταθεί μία ποικιλία εργαλείων, αρκεί το βάρος του εργαλείου και το βάρος του φορτίου που θα διαχειρίζεται να μην ξεπερνάει το ορισμένο μέγιστο ωφέλιμο φορτίο. Σε όλα τα μοντέλα μπορεί να προστεθεί κάποιο περιφερειακό εξάρτημα, που να εγκατασταθεί στο πλαίσιο του άξονα 1, με μέγιστο βάρος 500 kg. Ο χώρος εργασίας του μπορεί να οριοθετηθεί μέσω μηχανικών φρένων που εγκαθίστανται στους άξονες 1, 2 και 3, κάτι που αποτελεί μέρος του παθητικού συστήματος ασφαλούς λειτουργίας. Χρησιμοποιεί τον ελεγκτή “S4Cplus- 3HAC9039-1” με λογισμικό “RobotWare 4.0, 3HAC9218-1”. Τέλος, ως λειτουργικό σύστημα διαθέτει το “BaseWare OS” το οποίο ελέγχει κάθε πτυχή του ρομπότ, όπως τον έλεγχο της κίνησης του, την ανάπτυξη και εκτέλεση των προγραμμάτων εφαρμογών, την επικοινωνία κλπ. Εκτός όμως από τον ελεγκτή S4C+, διατίθεται και με τον ελεγκτή “M2004 IRC5” ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κάποιο σύστημα ελέγχου με PLC, όπως τα AC500 (το οποίο παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.15) ), AC500-eCo, AC500-S και AC500-XC.



Εικόνα 2.15: Το PLC σύστημα ελέγχου AC500



### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

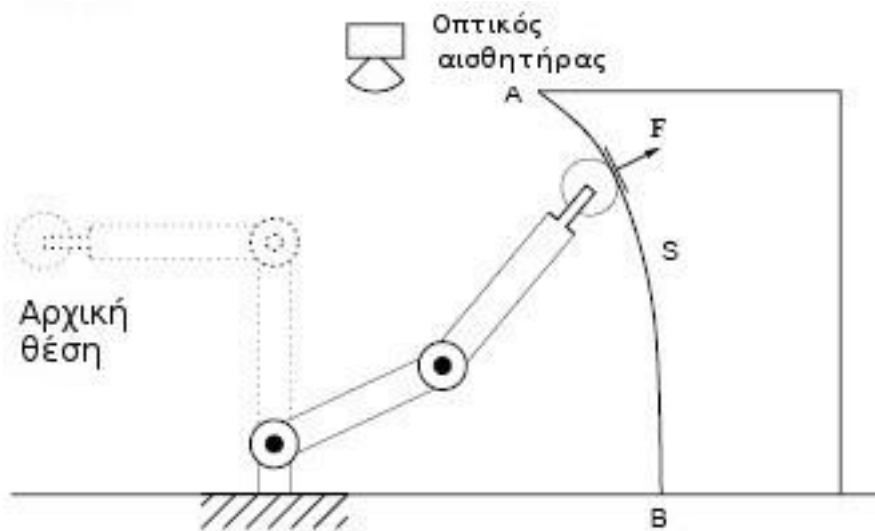
Στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας έγινε μία ανασκόπηση της ιστορίας της Ρομποτικής με έμφαση στην δημιουργία και εξέλιξη του κλάδου της Βιομηχανικής Ρομποτικής καθώς και της “θεωρητικής βάσης” στην οποία αυτή στηρίχθηκε, όπως παραδείγματος χάριν στους ορισμούς των βιομηχανικών ρομπότ που έχουν δοθεί από τους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στον κλάδο αυτό και τα πρότυπα ασφαλής λειτουργίας αυτών (Κεφάλαιο 1). Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν κάποια πιο πρακτικά θέματα που αφορούν τον κλάδο αυτό, όπως η βασική δομή και οι κατηγορίες στις οποίες μπορεί να ανήκει ένα βιομηχανικό ρομπότ (Κεφάλαιο 2). Για να είναι όμως πλήρης η παρουσίαση του θέματος, θα πρέπει να γίνει αναφορά και στον τρόπο με τον οποίο καθορίζεται η λειτουργία ενός τέτοιου ρομπότ. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα βιομηχανικό ρομπότ (όπως και ένα ρομπότ γενικά) είναι μία αυτόματη μηχανή που μπορεί να έχει κάποιας μορφής αλληλεπίδραση με το περιβάλλον μέσω κάποιων αισθητήρων. Έτσι, η αυτόματη λειτουργία του θα πρέπει να καθοριστεί από τον κατασκευαστή του ή τον χρήστη του μέσω κάποιας μορφής προγραμματισμού των κινήσεων του. Στο παρόν, λοιπόν, κεφάλαιο θα γίνει μία επισκόπηση των βασικών αρχών σύμφωνα με τις οποίες θα προγραμματιστούν οι κινήσεις του βιομηχανικού ρομπότ, δηλαδή θα καθοριστεί η συμπεριφορά του, καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό αυτόν.

#### 3.1 - Σχεδιασμός λειτουργίας βιομηχανικού ρομπότ [28, 33, 41, 45, 73, 75]

Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι, όπως προαναφέρθηκε, κατά βάση ένας χειριστής ο οποίος καλείται να ολοκληρώσει μία συγκεκριμένη εργασία. Ανάλογα με την γενιά στην οποία θα ανήκει, δηλαδή το πόσο εξελιγμένο θα είναι, μπορεί να έχει μόνο την δυνατότητα επανάληψης των προγραμματισμένων κινήσεων, οπότε να απαιτείται ένας χειριστής (ρομπότ πρώτης γενιάς), να έχει την δυνατότητα να λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον του και βάσει αυτών να προσαρμόζεται η λειτουργία του, αλλά με πολύ περιορισμένη προσαρμοστική ικανότητα (ρομπότ δεύτερης γενιάς) ή και ακόμα και να μπορεί να λαμβάνει αυτόνομα αποφάσεις σχετικά με την λειτουργία του και τον τρόπο με τον οποίο θα εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες για την ολοκλήρωση της εργασίας που έχει αναλάβει (ρομπότ τρίτης γενιάς). Σε όποια γενιά όμως και να ανήκει, ακόμα και στην περίπτωση που έχει την ικανότητα λήψης αποφάσεων, ο τρόπος με τον οποίο θα λαμβάνονται αυτές θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί και προγραμματιστεί κατάλληλα από τον κατασκευαστή ή προγραμματιστή του, σύμφωνα με την εργασία που θα εκτελέσει και τον χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι κινήσεις που πρέπει να μπορεί να εκτελέσει καθώς και ο αναλυτικός τρόπος με τον οποίο αυτές θα εκτελεστούν. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα θέματα που πρέπει να αναλυθούν για τον σωστό προγραμματισμό ενός βιομηχανικού ρομπότ. Επειδή η περιγραφή μίας τέτοιας διαδικασίας είναι

## Βιομηχανική Ρομποτική

αρκετά περίπλοκη, και η περιπλοκότητα αυτή αυξάνεται όσο αυξάνονται οι άξονες κίνησης και οι βαθμοί ελευθερίας του, αλλά και το είδος του τελικού στοιχείου δράσης και οι κινήσεις που θα πρέπει αυτό να έχει την δυνατότητα να εκτελεί, σαν παράδειγμα εφαρμογής θα χρησιμοποιηθεί ένα απλό σύστημα, όπως αυτό που παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.1), που είναι ένας ρομποτικός βραχίονας δύο αξόνων (επίπεδος) αποτελούμενος από δύο μέρη σταθερού μήκους, του οποίου το τελικό στοιχείο δράσης μπορεί να είναι ένα ρολό βαψίματος και με αναφορά την τοπολογία του θα γίνει η παρακάτω περιγραφή. Ο ρομποτικός αυτός βραχίονας θα ανήκει στην κατηγορία των ρομπότ βαψίματος, θα είναι ένα αρθρωτό ρομπότ δεύτερης γενιάς με την κυψέλη εργασίας του να είναι είτε κυψέλη εργασίας με το συγκεκριμένο ρομπότ τοποθετημένο κεντρικά είτε μία γραμμή παραγωγής.



Εικόνα 3.1: Αρθρωτός ρομποτικός βραχίονας βαψίματος, δύο αξόνων

Ο βιομηχανικός βραχίονας του παραδείγματος θα έχει δύο περιστροφικούς άξονες κίνησης και θα πρέπει να μπορεί από την αρχική του θέση να μεταβεί στην θέση A και, διαγράφοντας την επιφάνεια S να μεταβεί στην θέση B για την ολοκλήρωση της εργασίας. Για το σωστό βάψιμο της επιφάνειας, θα πρέπει να ασκείται από το τελικό στοιχείο δράσης του συγκεκριμένη δύναμη, και η κίνηση αυτή να γίνεται με συγκεκριμένη ταχύτητα. Τέλος, το παραπάνω σύστημα διαθέτει και έναν οπτικό αισθητήρα, παραδείγματος χάριν μία κάμερα, για την συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του. Από την παραπάνω περιγραφή γίνεται φανερό ότι θα πρέπει να μελετηθούν κάποια βασικά θέματα που θα καθορίζουν τον τρόπο εκτέλεσης κάποιας συγκεκριμένης εργασίας, που είναι ο προσδιορισμός της θέσης του τελικού στοιχείου δράσης καθώς και της ταχύτητας που θα έχει αυτό όπως και της δύναμης με την οποία θα αλληλεπιδρά με την επιφάνεια S, θέματα που θα περιγραφούν στις επόμενες παραγράφους.

### 3.1.1 - Κινηματική ανάλυση θέσης

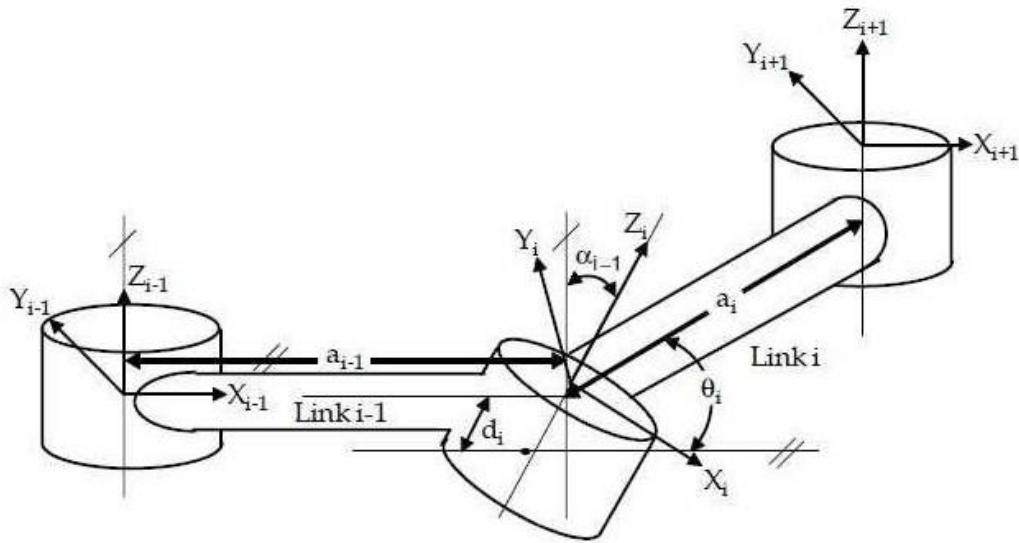
Το πρώτο θέμα που πρέπει να αναλυθεί είναι τα σημεία στα οποία θα πρέπει να μπορεί να βρίσκεται το τελικό στοιχείο δράσης, δηλαδή οι πιθανές θέσεις του στον χώρο. Για να γίνει αυτό, υπάρχουν δύο γενικές μέθοδοι οι οποίες αφορούν την επίλυση κάποιου προβλήματος κινητικής. Η μία είναι η ευθύς κινηματική μέθοδος με στην οποία πρέπει να επιλυθεί το ευθύ κινηματικό πρόβλημα που αφορά την εύρεση των γωνιών της κάθε άρθρωσης έτσι ώστε να βρεθεί το τελικό στοιχείο δράσης στις απαιτούμενες θέσεις και η άλλη είναι η αντίστροφη κινηματική μέθοδος στην οποία πρέπει να επιλυθεί το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα που αφορά την εύρεση της θέσης στην οποία θα βρεθεί το τελικό στοιχείο δράσης αν είναι γνωστές οι γωνίες της κάθε άρθρωσης.

#### 3.1.1.1 - Ευθεία Κινηματική

Για την κινηματική ανάλυση θέσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο κατάλληλο κινηματικό μοντέλο, με την μεθοδολογία Denavit-Hartenberg να είναι αυτή που χρησιμοποιείται πιο συχνά. Στην μέθοδο αυτή ορίζονται και χρησιμοποιούνται τέσσερις παράμετροι οι οποίες ορίζονται για κάθε μέλος “i” (link) και άρθρωση “i” του βιομηχανικού ρομπότ. Οι παράμετροι αυτές είναι οι  $\theta_i$ ,  $a_i$ ,  $d_i$  και  $\alpha_i$ , οι οποίες ορίζονται ως η γωνία της άρθρωσης i, η περιστροφή του μέλους i, η μετατόπιση του μέλους i και το μήκος του συνδέσμου i, αντίστοιχα. Για την καλύτερη μοντελοποίηση των παραπάνω κατά την κινηματική ανάλυση θέσης είθισται να θεωρούνται κάποια κατάλληλα συστήματα συντεταγμένων για κάθε άξονα κίνησης, μιας και ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου στον χώρο γίνεται, όπως είναι γνωστό, με τα διάφορα συστήματα συντεταγμένων που έχουν οριστεί, τα οποία ονομάζονται “πλαίσια”, με το πλαίσιο της βάσης να είναι ακίνητο και να ονομάζεται “παγκόσμιο πλαίσιο” ή “πλαίσιο βάσης”.

Για την ορθή εφαρμογή της μεθοδολογίας Denavit-Hartenberg, θα πρέπει να γίνει σωστός ορισμός των πλαισίων που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι, έχουν καθοριστεί τέσσερις κανόνες για την μέθοδο αυτή:

1. Ο άξονας  $Z_i$  θα πρέπει να επιλεγθεί κατά μήκος του άξονα της άρθρωσης “i+1”.
2. Το κέντρο  $O_i$  θα πρέπει να τοποθετηθεί στην τομή του άξονα  $Z_i$  με την κοινή κάθετο των αξόνων  $Z_{i-1}$  -  $Z_i$ .
3. Ο άξονας  $x_i$  θα πρέπει να επιλεγθεί κατά μήκος της κοινής καθέτου των αξόνων  $Z_{i-1}$  -  $Z_i$ , με φορά από την άρθρωση “i” προς την άρθρωση “i+1”.
4. Ο άξονας  $y_i$  θα πρέπει να επιλεγθεί έτσι ώστε το πλαίσιο της άρθρωσης “i” να είναι δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων.



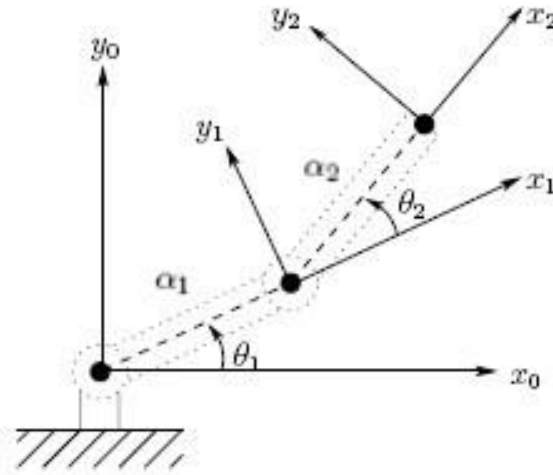
Εικόνα 3.2: Πλαίσια γενικού τύπου ρομποτικού βραχίονα

Ένα παράδειγμα εφαρμογής των παραπάνω κανόνων σε έναν γενικού τύπου βραχίονα παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.2) όπου εμφανίζεται το γενικό σχεδιάγραμμα ενός μέρους κάποιου ρομποτικού βραχίονα, με την κεντρική άρθρωση να είναι σύνθετη άρθρωση και να μπορεί να εκτελέσει και περιστροφή του μέλους “ $i$ ” και συστροφή αυτού, που έχουν οριστεί τα πλαίσια σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες. Έχοντας ορίσει τα παραπάνω πλαίσια, με κατάλληλη γεωμετρική ανάλυση, ορίζονται κάποιοι πίνακες που μοντελοποιούν την κίνηση κάποιου μέλους αναφορικά με κάποιο άλλο με το οποίο αυτό συνδέεται μέσω μία άρθρωσης, που ονομάζονται “μήτρες μετασχηματισμού”. Με συνδυασμό των πινάκων που καθορίστηκαν για κάθε μέλος, μπορεί να παραχθεί η συνολική μήτρα μετασχηματισμού που να μοντελοποιεί την σχετική θέση και τον προσανατολισμό του ενός πλαισίου ως προς το άλλο.

Το παράδειγμα βραχίονα στο οποίο θα γίνει αναφορά (εικόνα 3.1) αποτελείται από δύο απλές περιστροφικές αρθρώσεις με τα μέλη τα οποία ενώνουν να έχουν σταθερό μήκος. Η εφαρμογή των παραπάνω για την τοποθέτηση των κατάλληλων πλαισίων γίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.3), όπου για την περίπτωση του παραδείγματος μας, λόγω της τοπολογίας του συγκεκριμένου ρομποτικού βραχίονα που περιορίζει την κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης σε ένα επίπεδο, χρησιμοποιείται το δισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα, και για την περιγραφή της κίνησης του στοιχείου δράση θα χρησιμοποιηθούν οι γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ , οι οποίες μπορούν να είναι “γνωστές” στο ρομπότ μέσω κάποιων αισθητήρων θέσης που θα περιέχονται σε κάθε έναν. Ανάλογα με την τιμή που θα μπορούν να πάρουν οι  $\theta_1$  και  $\theta_2$ , θα ορίζεται και η θέση του τελικού στοιχείου δράσης, με δεδομένα τα μήκη  $a_1$  και  $a_2$ , επιλύοντας έτσι το ευθύ κινηματικό πρόβλημα που αφορά την εύρεση των γωνιών της κάθε άρθρωσης έτσι ώστε να βρεθεί το τελικό στοιχείο δράσης στις απαιτούμενες θέσεις, δηλαδή την παραγωγή σχέσεων που να δίνουν τις

## Βιομηχανική Ρομποτική

συντεταγμένες  $x_2$  και  $y_2$  συναρτήσει των γωνιών  $\theta_1$  και  $\theta_2$ . Λόγω της απλότητας του παραδείγματος, η μήτρα μετασχηματισμού θα είναι ένας πίνακας προσανατολισμού που θα δίνει τον προσανατολισμό του πλαισίου του  $x_2Oy_2$  ως προς το πλαίσιο βάσης. Το πλαίσιο βάσης του παραδείγματος είναι το σύστημα  $x_0Oy_0$ .



Εικόνα 3.3: Πλαίσια αρθρωτού επίπεδου βραχίονα δύο αξόνων

Έχοντας ορίσει τα πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν στην κινηματική ανάλυση θέσης του παραπάνω βραχίονα, μπορεί να καθοριστεί η θέση του τελικού στοιχείου δράσης (εργαλείο βαψίματος), του οποίου οι συντεταγμένες θα είναι  $x_2$  και  $y_2$ , από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\begin{aligned} x_2 &= \alpha_1 \cdot \cos(\theta_1) + \alpha_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 &= \alpha_1 \cdot \sin(\theta_1) + \alpha_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (\text{εξισώσεις 3.1})$$

Ο προσανατολισμός του πλαισίου του εργαλείου βαψίματος σχετικά με το πλαίσιο βάσης θα καθορίζεται από τα συνημίτονα κατεύθυνσης των αξόνων  $x_2$  και  $y_2$  (αναφορικά με τους άξονες  $x_0$  και  $y_0$ ), τα οποία ορίζονται από τις εξισώσεις:

$$\begin{aligned} x_2 \cdot x_0 &= \cos(\theta_1 + \theta_2) & x_2 \cdot y_0 &= -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ y_2 \cdot x_0 &= \sin(\theta_1 + \theta_2) & y_2 \cdot y_0 &= \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (\text{εξισώσεις 3.2})$$

Συνδυάζοντας τα παραπάνω, παράγεται ο πίνακας προσανατολισμού του πλαισίου του εργαλείου ως προς το πλαίσιο βάσης, που θα είναι:

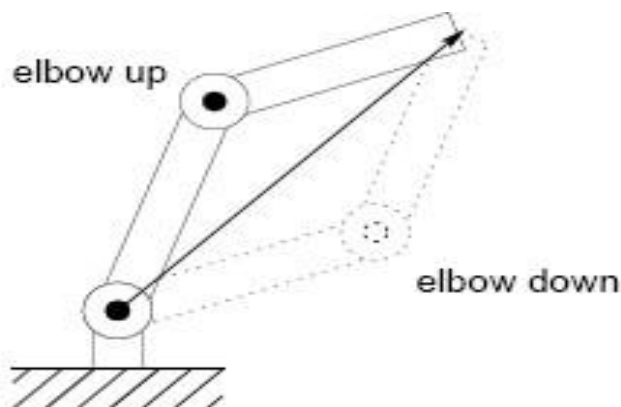
$$\begin{bmatrix} x_2 \cdot x_0 & x_2 \cdot y_0 \\ y_2 \cdot x_0 & y_2 \cdot y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (\text{εξίσωση 3.3})$$

Η παραπάνω ανάλυση έγινε για το απλό παράδειγμα του επίπεδου βραχίονα δύο αξόνων της εικόνας 3.1 . Η ανάλυση για έναν βραχίονα έξι αξόνων, όπως και για οποιοδήποτε είδους βιομηχανικό ρομπότ, θα είναι παρόμοια αλλά αρκετά πιο περίπλοκη και δύσκολη, με την δυσκολία να αυξάνεται όσο αυξάνονται οι αρθρώσεις και οι άξονες κίνησης του ρομπότ.

### 3.1.1.2 - Αντίστροφη Κινηματική

Στην αντίστροφη κινηματική ανάλυση θα πρέπει να λυθεί το αντίστροφο πρόβλημα. Δηλαδή για δεδομένες γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$  να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες  $x_2$  και  $y_2$  . Οπότε οι σχέσεις που θα παραχθούν (η λύση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος) θα δίνουν τις γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$  συναρτήσει των συντεταγμένων  $x_2$  και  $y_2$  . Για τη επίλυση του προβλήματος αυτού θα πρέπει να λυθούν μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις, η λύση των οποίων γίνεται με διάφορες αριθμητικές μεθόδους οι οποίες όμως, λόγω της μη γραμμικότητάς τους, δεν εγγυώνται την ύπαρξη λύσης, κάτι που θα φανεί και από τα παρακάτω.

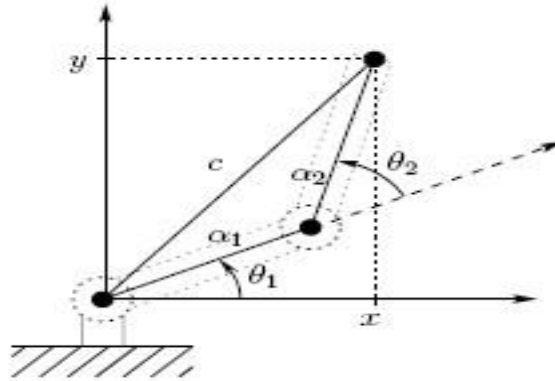
Για την αντίστροφη κινηματική ανάλυση θα θεωρούνται δεδομένες οι συντεταγμένες της θέσης το τελικού στοιχείου δράσης,  $x_2$  και  $y_2$  και θα ζητούνται οι γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$  . Οπότε, για μία δεδομένη θέση ( $x_2$  ,  $y_2$ ) θα πρέπει να υπολογιστούν οι γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$  που θα αντιστοιχούν σε αυτή. Στο απλό παράδειγμα που η θέση απέχει περισσότερο από την βάση του βραχίονα από όσο είναι το μήκος αυτού, η επίλυση του προβλήματος θα είναι αδύνατη. Για την περίπτωση που δεν ισχύει το παραπάνω, στην περίπτωση που μελετάμε οι λύσεις θα είναι δύο, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.4), όπου για μία συγκεκριμένη θέση, οι λύσεις του αντίστροφου προβλήματος ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ) θα είναι δύο, με την μία να προσεγγίζει την δεδομένη θέση ( $x_2$  ,  $y_2$ ) με την άρθρωση (elbow-αγκώνας) να είναι προς τα πάνω και την άλλη με την άρθρωση να είναι προς τα κάτω. Οι πιθανές λύσεις, αν υπάρχουν, αυξάνονται ανάλογα με το πλήθος των αξόνων κίνησης του ρομπότ.



Εικόνα 3.4: Πιθανές λύσεις αντίστροφου κινηματικού προβλήματος

## Βιομηχανική Ρομποτική

Για την μαθηματική μοντελοποίηση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος του παραδείγματος μας, θα χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις 3.1, οι οποίες θα λυθούν ως προς τις γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ . Για την καλύτερη εποπτεία αυτού, παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.5) σχεδιάγραμμα κατάλληλο για την ανάλυση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος, όπου φαίνονται οι συντεταγμένες του στοιχείου δράσης (x,y) και οι γωνίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ .



Εικόνα 3.5: Πλαίσια αρθρωτού επίπεδου βραχίονα δύο αξόνων

Έτσι, για την γωνία  $\theta_2$ , η σχέση που θα προκύψει θα είναι:

$$\cos(\theta_2) = \frac{x^2 + y^2 - a_1^2 - a_2^2}{2 \cdot a_1 \cdot a_2} := D \text{ (εξίσωση 3.4)}$$

η λύση της οποίας θα δώσει την τιμή της  $\theta_2$ . Η λύση αυτή μπορεί να γίνει υπολογίζοντας το τόξο του  $\cos(\theta_2)$  με την σχέση  $\cos^{-1}(D)$  αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η βασική τριγωνομετρική ταυτότητα για τον υπολογισμό του  $\sin(\theta_2)$ , από την οποία εξάγεται η σχέση:

$$\sin(\theta_1) = \pm \sqrt{(1 - D^2)} \text{ (εξίσωση 3.5)}$$

και τελικά η γωνία  $\theta_2$  υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\pm \sqrt{(1 - D^2)}}{D} \right) \text{ (εξίσωση 3.6)}$$

Αντίστοιχα, η γωνία  $\theta_1$  θα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{a_2 \cdot \sin \theta_2}{a_1 + a_2 \cdot \cos \theta_2} \right) \text{ (εξίσωση 3.7)}$$

### 3.1.2 - Κινηματική ανάλυση ταχύτητας

## Βιομηχανική Ρομποτική

Έχοντας προσδιορίσει τη θέση του τελικού στοιχείου δράσης (του εργαλείου βαψίματος στο παράδειγμα της εικόνας 3.1), πρέπει να μελετηθεί και η ταχύτητα με την οποία αυτό θα κινείται ώστε να εκτελείται σωστά εργασία του βαψίματος. Αναφορικά με την προηγούμενη ανάλυση, αυτό μπορεί να γίνει με διαφορισμό των εξισώσεων θέσης 3.1, λαμβάνοντας:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -a_1 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \dot{\theta} - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ \dot{y} &= a_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \dot{\theta} + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \end{aligned} \quad (\text{εξισώσεις 3.8})$$

και χρησιμοποιώντας τον συμβολισμό διανυσμάτων:

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{ και } \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (\text{εξισώσεις 3.9})$$

η ταχύτητα “u” θα δίνεται από την σχέση:

$$u = \begin{bmatrix} -a_1 \cdot \sin(\theta_1) - a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \cdot \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & +a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (\text{εξίσωση 3.10})$$

### 3.1.3 - Σχεδιασμός διαδρομής και παραγωγή τροχιάς

Για τον πλήρη έλεγχο της κίνησης ενός βιομηχανικού ρομπότ, μετά την παραπάνω κινηματική ανάλυση, θα πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός και η παραγωγή της τροχιάς. Αυτό γίνεται με την ολοκλήρωση τριών σταδίων. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός της απαιτούμενης διαδρομής για την ολοκλήρωση της εργασίας που θα αναλάβει το συγκεκριμένο ρομπότ, στην συνέχεια “παράγεται” η τροχιά, δηλαδή μαθηματικοποιείται η διαδρομή που σχεδιάστηκε στο πρώτο στάδιο και, τέλος, ανιχνεύεται η τροχιά που παράχθηκε. Το πρώτο στάδιο περιέχει την μελέτη των απαιτούμενων κινήσεων για την ολοκλήρωση μίας συγκεκριμένης εργασίας καθώς και του χώρου στον οποίο θα λειτουργήσει το ρομπότ αυτό, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν η ταχύτητα με την οποία θα γίνουν οι κινήσεις αυτές. Η ταχύτητα με την οποία θα γίνονται οι κινήσεις, όπως και οι απαιτούμενες επιταχύνσεις, θα ληφθούν υπόψιν στο στάδιο της παραγωγής της τροχιάς, όπου το τελικό παραγόμενο αποτέλεσμα θα είναι κάποιες πολυωνυμικές συναρτήσεις του χρόνου, οι οποίες θα καθορίζουν την κινητική συμπεριφορά των αρθρώσεων και οι οποίες θα εφαρμοστούν στο στάδιο της ανίχνευσης της τροχιάς.

### 3.1.4 - Δυναμική ανάλυση



## Βιομηχανική Ρομποτική

Στις προηγούμενες παραγράφους περιγράφηκε η μέθοδος ανάλυσης της κίνησης ενός βιομηχανικού ρομπότ με την οποία προσδιορίζονται οι παράμετροι ώστε να επιτυγχάνονται οι ζητούμενες θέσεις και ταχύτητες των διαφόρων μερών του για την εκτέλεση κάποιας εργασίας. Για τον πλήρη προσδιορισμό, όμως, της συμπεριφοράς του θα πρέπει να γίνει και κάποια δυναμική ανάλυση, με την οποία θα προσδιοριστούν οι απαραίτητες δυνάμεις που θα πρέπει να ασκηθούν από κάθε άρθρωση ώστε να προσδίδει στο μέλος που ελέγχει την απαιτούμενη επιτάχυνση για την επίτευξη της ζητούμενης κινητικής συμπεριφοράς του ρομπότ. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την παραγωγή των δυναμικών εξισώσεων κίνησης του ρομπότ, η οποία, όσο μεγαλώνει το πλήθος των αξόνων κίνησης αυξάνει και η πολυπλοκότητα του συστήματος που θα πρέπει να λυθεί. Για την λύση τέτοιων δυναμικών αναλύσεων χρησιμοποιούνται μέθοδοι που βασίζονται στην Lagrangian δυναμική.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης που θα γίνει για κάποια εφαρμογή ενός βιομηχανικού ρομπότ, θα επιλεγθούν οι κατάλληλοι ενεργοποιητές που θα χρησιμοποιηθούν, για την περίπτωση που σχεδιαστεί ένα βιομηχανικό ρομπότ για την συγκεκριμένη εφαρμογή, οι οποίοι θα έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν τις ζητούμενες δυνάμεις στις αρθρώσεις. Αν η παραπάνω ανάλυση αφορά την χρήση ενός ήδη κατασκευασμένου ρομπότ, τότε τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης θα χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί η τιμή της ισχύος που θα παρέχεται σε κάθε ενεργοποιητή ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

### 3.1.5 - Έλεγχος λειτουργίας

Έχοντας καθορίσει, με τις παραπάνω διαδικασίες, την συμπεριφορά του ρομπότ για την ολοκλήρωση κάποιας εργασίας, θα πρέπει να σχεδιαστούν, σύμφωνα με κάποιες προδιαγραφές, τα συστήματα ελέγχου της παραπάνω λειτουργίας. Στα συστήματα αυτά θα χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που θα συλλέγουν από τους αισθητήρες ελέγχου που θα διαθέτει το ρομπότ για να ελέγξουν την σωστή λειτουργία του. Αυτό μπορεί να αφορά κάποιες αλλαγές στις συνθήκες εργασίας, όπως οι πιθανές μεταβολές κάποιων παραμέτρων όπως παραδείγματος χάριν της τριβής, η οποία μπορεί να απαιτεί μικρότερη ή μεγαλύτερη άσκηση δύναμης από κάποια άρθρωση για την επίτευξη των ζητούμενων επιταχύνσεων και ταχυτήτων ή τυχόν μηχανικών διαταραχών που εμφανίζονται στον χώρο όπου λειτουργεί το ρομπότ και οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν διαταραχές στην θέση του τελικού στοιχείου δράσης. Έτσι, θα υπάρχει η δυνατότητα παραμετροποίησης της κίνησης του ρομπότ για την εκτέλεση της εργασίας του με τον ζητούμενο τρόπο.

Εκτός των παραπάνω, ο έλεγχος λειτουργίας εμπεριέχει και τον καθορισμό των απαιτούμενων ενεργειών έτσι ώστε η λειτουργία του ρομπότ να είναι σύμφωνη με κάποιες προδιαγραφές ασφαλούς λειτουργίας, όπως αυτές που περιέχονται στα πρότυπα ασφαλούς λειτουργίας που αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο (παραγράφος 1.9). Θα πρέπει να προγραμματιστεί δηλαδή το ρομπότ ώστε να λειτουργεί σύμφωνα με τους τρόπους ασφαλούς λειτουργίας που περιγράφηκαν

## Βιομηχανική Ρομποτική

στην παράγραφο 1.9, έχοντας την δυνατότητα να λειτουργήσει σύμφωνα με έναν ή και περισσότερους τύπους ασφαλούς λειτουργίας.

Ανάλογα με τον τύπο ελέγχου, θα χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες από του κατάλληλους αισθητήρες που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 2.2.2). Έτσι, για τον έλεγχο της λειτουργίας για την σωστή εκτέλεση της εργασίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν οι Ιδιοδεκτικοί αισθητήρες που διαθέτει αλλά και κάποιοι Ετεροδεκτικοί, όπως ο οπτικός αισθητήρας που φαίνεται στο παράδειγμα της εικόνας 3.1, ο οποίος μπορεί να δίνει πληροφορίες για την θέση του τελικού στοιχείου δράσης το ρομποτικού βραχίονα. Για τον έλεγχο της ασφαλούς λειτουργίας του ρομπότ, χρησιμοποιούνται συνήθως οι “Ετεροδεκτικοί” αισθητήρες, όπως παραδείγματος χάριν ο οπτικός αισθητήρας του παραδείγματος ο οποίος μπορεί ανιχνεύσει την είσοδο κάποιου ανθρώπου στον χώρο εργασίας και να προκαλέσει την διακοπή της λειτουργίας του ρομπότ (ασφαλής λειτουργία τύπου 1). Όμως, ανάλογα με τον τύπο ασφαλούς λειτουργίας, μπορεί να χρησιμοποιούνται και πληροφορίες από τους “Ιδιοδεκτικούς” αισθητήρες, όπως οι αισθητήρες κίνησης που υπάρχουν στις αρθρώσεις, ώστε να ελεγχθεί αν η κινητική κατάσταση του ρομπότ είναι σύμφωνη με τα όρια που έχουν οριστεί, για την περίπτωση ασφαλούς λειτουργίας τύπου 4.

### 3.2 - Προγραμματισμός των Βιομηχανικών Ρομπότ

Στις παραπάνω παραγράφους περιγράφηκαν οι βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες θα σχεδιαστούν και προγραμματιστούν, σε θεωρητικό επίπεδο, οι κινήσεις του βιομηχανικού ρομπότ, δηλαδή θα καθοριστεί η συμπεριφορά του. Η συμπεριφορά αυτή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, καθορίζεται από το σύστημα ελέγχου του ρομπότ, που είναι ένα από τα πολύ βασικά μέρη που πρέπει να έχει ένα βιομηχανικό ρομπότ (παράγραφος 2.2). Το σύστημα αυτό, στα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ, είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και του ρομπότ το οποίο ελέγχει, μπορεί να είναι ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα, ένας μικροϋπολογιστής<sup>49</sup>, ένα PLC ή και κάποιο σύστημα ρομποτικού ελέγχου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (παράγραφος 2.2.4) . Σε όποια κατηγορία όμως και να ανήκει, το σύστημα ελέγχου θα είναι ένα ψηφιακό σύστημα που θα αποτελείται, τουλάχιστον, από την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ), το οποίο θα πρέπει να προγραμματιστεί κατάλληλα. Έτσι λοιπόν, ο παραπάνω θεωρητικός σχεδιασμός θα πρέπει να μετατραπεί σε “γλώσσα μηχανής”, που είναι ένα σύνολο κανόνων βάσει των οποίων θα δημιουργηθούν οι

---

49 Η ειδοποιός διαφορά ενός πλήρους υπολογιστικού συστήματος και ενός μικροϋπολογιστή είναι το μέγεθος και η επεξεργαστική ικανότητα. Ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα θα αποτελείται από διάφορα μέρη, τα βασικότερα των οποίων θα είναι ο επεξεργαστής, η μητρική πλακέτα, η μνήμη, τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου, όπως παραδείγματος χάριν η κάρτα γραφικών, ενώ ένας μικροϋπολογιστής θα αποτελείται από μία πλακέτα μικρών διαστάσεων, στην οποία θα υπάρχει ο μικροεπεξεργαστής (επεξεργαστής μικρού μεγέθους και σχετικά περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος), η μνήμη και τα συστήματα εισόδου-εξόδου.

“εντολές” που θα αποτελούν το πρόγραμμα, σύμφωνα με το οποίο θα καθορίζεται η λειτουργία και ο “τρόπος συμπεριφοράς” του βιομηχανικού ρομπότ. Οι εντολές αυτές θα αποτελούνται από κατάλληλα διατεταγμένα σύνολα από δυαδικά ψηφία, “0” και “1”, τα οποία θα αποκωδικοποιεί κατάλληλα η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ). Η δημιουργία των εντολών αυτών σε γλώσσα μηχανής είναι πολύ δύσκολο να γίνει άμεσα από τον άνθρωπο και για τον λόγο αυτό έχουν δημιουργηθεί διάφορες γλώσσες προγραμματισμού αλλά και ολοκληρωμένα προγραμματιστικά περιβάλλοντα (λογισμικά πακέτα), που μπορεί ένας άνθρωπος να χρησιμοποιήσει πολύ πιο εύκολα από την γλώσσα μηχανής, καθώς και συστήματα (ή συσκευές) με τα οποία μπορεί να προγραμματιστεί η λειτουργία ενός βιομηχανικού ρομπότ, “διδάσκοντας” στο ρομπότ τις κινήσεις που πρέπει να κάνει<sup>50</sup>.

Οι γλώσσες προγραμματισμού και τα προγραμματιστικά περιβάλλοντα που έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των βιομηχανικών ρομπότ. Ο προγραμματισμός αυτός μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: τον προγραμματισμό με απευθείας σύνδεση (online programming) και τον προγραμματισμό χωρίς απευθείας σύνδεση (offline programming-OLP). Στην πρώτη περίπτωση ανήκει ο προγραμματισμός μέσω “εκπαίδευσης” που αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο (παράγραφος 1.5). Στην δεύτερη ανήκουν οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού που θα αναφερθούν στην επόμενη παράγραφο (παράγραφο 3.3) καθώς και η πλειονότητα των λογισμικών που θα αναφερθούν στην παράγραφο 3.4. Οι συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες των λογισμικών αυτών και των OLP εργαλείων που έχουν έχει καταστήσει τον OLP προγραμματισμό τον κύριο τρόπο προγραμματισμού βιομηχανικών ρομπότ, με τον προγραμματισμό με απευθείας σύνδεση του ρομπότ να χρησιμοποιείται κυρίως για την επαλήθευση και τον έλεγχο της λειτουργίας του ρομπότ, το οποίο έχει προγραμματιστεί με OLP μέθοδο.

### 3.3 - Γλώσσες Προγραμματισμού [28, 33, 41, 75, 76, 77]

Στην περίπτωση που ο προγραμματισμός του βιομηχανικού ρομπότ γίνει με την χρήση μίας γλώσσας προγραμματισμού, δεν θα γίνει με την χρήση γλώσσας μηχανής αλλά θα χρησιμοποιηθεί κάποια κατάλληλη γλώσσα προγραμματισμού και το πρόγραμμα που δημιουργείται, μέσω ενός μεταγλωττιστή<sup>51</sup>, θα μετατραπεί στο τελικό πρόγραμμα που θα εκτελείται από την ΚΜΕ του συστήματος ελέγχου του ρομπότ (το πρόγραμμα στην γλώσσα μηχανής). Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού, οι οποίες, ανάλογα με το πόσο κοντά είναι στην ανθρώπινη λογική και γλώσσα, ταξινομούνται σε διάφορα επίπεδα, με τις γλώσσες χαμηλού επιπέδου να είναι οι γλώσσες που είναι πολύ κοντά στην γλώσσα μηχανής

50 Τα συστήματα (ή συσκευές) αυτά ονομάζονται “teach pendant unit” (συσκευές διδασκαλίας μονάδας) και θα αναφερθούν σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 3.6).

51 Λογισμικό που μετατρέπει τις εντολές μίας γλώσσας προγραμματισμού σε εντολές γλώσσας μηχανής.

και τις γλώσσες υψηλού επιπέδου να είναι πιο κοντά στην “φυσική γλώσσα”. Η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που δημιουργήθηκε και έχει ευρεία χρήση στον κλάδο της βιομηχανικής ρομποτικής (και γενικότερα στον αυτοματισμό και την τεχνητή νοημοσύνη) είναι η LISP<sup>52</sup> (LISt Processor) που επινοήθηκε από τον John McCarthy το 1958 στο MIT (Massachusetts Institute of Technology-Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης) και είναι μία γλώσσα υψηλού επιπέδου. Αν και δεν έχει ευρεία χρήση στην σύγχρονη εποχή, είναι σημαντική για τον κλάδο γιατί μέρη του συνόλου λογισμικών ROS (Robot Operating System - Λειτουργικό Σύστημα Ρομπότ), στο οποίο θα γίνει αναφορά σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 3.4), έχουν γραφεί σε LISP. Η γλώσσα αυτή δημιουργήθηκε, όπως και οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού, για χρήσεις γενικού σκοπού και χρησιμοποιείται και για τον προγραμματισμό των βιομηχανικών ρομπότ. Έχουν όμως δημιουργηθεί και κάποιες γλώσσες προγραμματισμού ειδικά για εφαρμογή στον κλάδο της ρομποτικής. Κάποιες από αυτές που χρησιμοποιούνται πιο πολύ είναι οι:

- AL: Η AL είναι μία γλώσσα προγραμματισμού ρομπότ δεύτερης γενιάς<sup>53</sup> η οποία αναπτύχθηκε στο εργαστήριο τεχνητής νοημοσύνης του πανεπιστημίου του Stanford για τον έλεγχο των ρομποτικών βραχιόνων Stanford. Στηρίζεται στην γλώσσα Pascal και τα προγράμματα γράφονται και εκτελούνται σε υπολογιστές της οικογένειας PDP (10 ή 11). Η υψηλού επιπέδου έκδοση της είναι η SAIL (Stanford Artificial Intelligence Language – Γλώσσα τεχνητής νοημοσύνης του Stanford). Με την γλώσσα αυτή είναι δυνατόν να ελεγχθούν δύο ρομποτικοί βραχίονες του Stanford (Scheinman) και δύο PUMA 600 βραχίονες, ταυτόχρονα.
- AML (A Manufacturing Language): είναι μία γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου που βασίζεται σε υπο-ρουτίνες και δημιουργήθηκε από την IBM το 1982. Ήταν η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου ειδικά σχεδιασμένη για ρομποτικές εφαρμογές, που έδινε την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει, μέσω ενός προσωπικού υπολογιστή, μία προγραμματιστική εφαρμογή που μπορούσε να εκτελέσει ένα ρομπότ.
- HELP: Η γλώσσα HELP αναπτύχθηκε από την εταιρία General Electric για τον προγραμματισμό εφαρμογών βιομηχανικών ρομπότ συναρμολόγησης, ελέγχου, συγκόλλησης τόξου και μηχανικής όρασης. Έχει την δυνατότητα ελέγχου δύο ρομποτικών βραχιόνων ταυτόχρονα και η δομή της γλώσσας είναι παρόμοια με της Pascal.
- JARS: Αναπτύχθηκε από το εργαστήριο JPL (Jet Propulsion Laboratory-Εργαστήριο αερίωθησης) την NASA και η βάση της γλώσσας είναι η Pascal. Η πρώτη της εφαρμογή ήταν η διασύνδεση της με το ρομπότ PUMA 6000 για την εκτέλεση διαφόρων προγραμμάτων.

---

52 Είναι η δεύτερη γλώσσα υψηλού επιπέδου που δημιουργήθηκε, με πρώτη την FORTRAN (1950).

53 Οι γλώσσες προγραμματισμού πρώτης γενιάς είναι οι γλώσσες μηχανής, οι δεύτερης γενιάς είναι οι γλώσσες προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου και οι τρίτης γενιάς οι γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου.

## Βιομηχανική Ρομποτική

- MCL (Manufacturing Control Language): Αναπτύχθηκε από τον McDonnell Douglas κατά την περίοδο που εργαζόταν στο πρόγραμμα ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing) της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Είναι μία παραλλαγή της γλώσσας ATP (Automatically Programmed Tooling) και χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό των συστημάτων ελέγχου των κατασκευαστικών βιομηχανικών ρομπότ και έχει την δυνατότητα να οριστούν ποικίλα σύνθετα γεωμετρικά σχήματα, όπως κύκλοι, επίπεδα, κύλινδροι και πολλά άλλα.
- RAIL: Είναι μία γλώσσα προγραμματισμού που δημιουργήθηκε από την Automatrix. Έχει παρόμοιες εφαρμογές με την HELP και χρησιμοποιεί παρόμοιους τύπους δεδομένων με την Pascal. Είναι μία γλώσσα υψηλού επιπέδου και χρησιμοποιεί μικροεπεξεργαστές τύπου Motorola 68000 και υποστηρίζει πολλές εντολές για τον έλεγχο οπτικών συστημάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως από τρία διαφορετικού τύπου συστήματα. Το Hitachi Process Robot (εφαρμογές Arc Welding), τον Καρτεσιανό βραχίονα (για εφαρμογές συναρμολόγησης) και οπτικά συστήματα χωρίς βραχίονα.
- RPL: Είναι μία γλώσσα υψηλού επιπέδου που αναπτύχθηκε από το Stanford Research Institute (Ινστιτούτο Έρευνας του Στάνφορντ) και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον έλεγχο του Unimation PUMA 500. Είναι μία εξέλιξη της LISP, οι βασικές αρχές της οποίας οργανώνονται με σύνταξη παρόμοια με της FORTRAN.
- VAL (Variable Assembly Language): Είναι μία γλώσσα προγραμματισμού για βιομηχανικά ρομπότ που υιοθετήθηκε, κυρίως, από την Unimation. Είναι μία γλώσσα σχεδιασμένη με απλή σύνταξη και μπορεί να περιγράψει με αρκετή απλότητα τις λειτουργίες ενός βιομηχανικού ρομπότ. Αποτελείται από δύο κύριους άξονες: τις εντολές προγράμματος (program instructions), που χρησιμοποιούνται για την σύνταξη προγραμμάτων για τον έλεγχο των λειτουργιών του ρομπότ και από τις εντολές παρακολούθησης (monitor commands) που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των προγραμμάτων που γράφουν οι χρήστες.

Εκτός από τις παραπάνω γλώσσες προγραμματισμού των βιομηχανικών ρομπότ, σχεδόν κάθε εταιρία που σχεδιάζει και κατασκευάζει βιομηχανικά ρομπότ έχει αναπτύξει μία δικιά της<sup>54</sup>, βασισμένη συνήθως είτε σε μία από τις γλώσσες που αναφέρθηκαν παραπάνω είτε σε μία υπάρχουσα γλώσσα γενικής χρήσης<sup>55</sup> (όπως η Pascal, στην οποία, όπως προαναφέρθηκε, στηρίζονται και κάποιες από τις παραπάνω). Κάποια τέτοια παραδείγματα εταιριών, οι οποίες αναφέρθηκαν και στο

---

54 Μία εξαντλητική αναφορά, όμως, σε όλες τις υπάρχουσες γλώσσες προγραμματισμού τέτοιου τύπου ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

55 Οι γλώσσες προγραμματισμού “γενικής χρήσης” είναι γλώσσες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν την δημιουργία προγραμμάτων κάθε είδους και εφαρμογής, σε αντίθεση με τις γλώσσες που αναφέρθηκαν παραπάνω οι οποίες είναι γλώσσες προγραμματισμού “ειδικής χρήσης” και συγκεκριμένα για τον προγραμματισμό ρομποτικών συστημάτων.

## Βιομηχανική Ρομποτική

προηγούμενη κεφάλαιο (παράγραφο 2.4.3) είναι η ABB που έχει δημιουργήσει και χρησιμοποιεί την γλώσσα “RAPID”, στην οποία, θα γίνει πιο εκτενής αναφορά σε επόμενη παράγραφο (παράγραφο 3.5), ως παράδειγμα τέτοιας γλώσσας, η Comau την γλώσσα “PDL2”, η Fanuc την “Karel” (που πήρε το όνομα της από τον τσέχο συγγραφέα Karel Čapek, πατέρα του όρου ρομπότ όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο (παράγραφο 1.4) ), η Kawasaki την “AS”, η Kuka την “KRL” (KUKA Robot Language), η Stäubli την “VAL3” (που είναι εξέλιξη της VAL που αναφέρθηκε παραπάνω) και η Yaskawa την “Inform”.

### 3.4 - Λογισμικά Βιομηχανικών Ρομπότ

Για τον προγραμματισμό των σύγχρονων βιομηχανικών ρομπότ, όμως, δεν είναι απαραίτητη η γνώση και άμεση χρήση κάποιας συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού, γιατί έχουν αναπτυχθεί πολλά λογισμικά περιβάλλοντα, με τα οποία μπορεί κάποιος να προγραμματίσει ένα ρομπότ αρκετά πιο εύκολα από το να γράψει μόνος του τον κώδικα. Και ο προγραμματισμός αυτός μπορεί να γίνει είτε με απευθείας σύνδεση του ρομπότ είτε με OLP τρόπο, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφο 3.2). Τέτοια λογισμικά έχουν αναπτυχθεί πολλά, με σχεδόν κάθε εταιρία βιομηχανικών ρομπότ να έχει αναπτύξει το δικό της. Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε κάποιες από τις εταιρίες αυτές καθώς και στα κύρια λογισμικά που αυτές προσφέρουν.

#### 3.4.1 - Stäubli [78]

Το λογισμικό πακέτο που έχει δημιουργηθεί από την Stäubli είναι το Robotics Suite και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών και την συντήρηση των SCARA και έξι αξόνων βιομηχανικών ρομπότ της εταιρίας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εταιρία αυτή χρησιμοποιεί την γλώσσα VAL3 και τις εφαρμογές που έχουν δημιουργηθεί με την γλώσσα αυτή μπορεί ο χρήστης, μέσω του λογισμικού αυτού πακέτου, να τις μελετήσει και να τις εκτυπώσει, καθώς και να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με την συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού. Εκτός των παραπάνω, με το “Robotics Suite” ο χρήστης έχει την δυνατότητα να “φορτώσει” διάφορες εφαρμογές, ανάλογα με την επιθυμητή λειτουργία του ρομπότ, οι οποίες είτε παρέχονται από την εταιρία είτε μπορεί να τις δημιουργήσει ο ίδιος, έχοντας παράλληλα την δυνατότητα προσομοίωσης αυτών.

#### 3.4.2 - KUKA [79, 80]

Η εταιρία KUKA παρέχει μία ολοκληρωμένη σειρά λογισμικών για την υποστήριξη των ρομπότ που κατασκευάζει. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται για την παροχή νέων δυνατοτήτων στα ρομπότ της εταιρίας, όπως το KUKA.ArcTech, με χρήση του οποίου μπορεί ο χρήστης να προγραμματίσει και να υλοποιήσει εφαρμογές “arc welding” και “κοπής πλάσματος” (plasma cutting), το KUKA.FlexPal

## Βιομηχανική Ρομποτική

για εφαρμογές παλετοποίησης και πακεταρίσματος και το KUKA.ForceTorqueControl που μπορεί να δώσει την ικανότητα της “αίσθησης της αφής”, χρησιμοποιώντας κάποιους αισθητήρες δύναμης ή ροπής. Το KUKA.Sim χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της λειτουργίας των ρομπότ και το KUKA.OfficeLite για την δημιουργία προγραμμάτων εφαρμογών με χρήση του οπτικού ελεγκτή της εταιρίας “KUKA smartPAD”. Τα προγράμματα αυτά προγραμματίζονται κυρίως με την γλώσσα προγραμματισμού JAVA για μεγαλύτερη ευκολία του χρήστη, ώστε να μην χρειαστεί να μάθει την γλώσσα της εταιρίας “KRL” που είναι πιο πολύπλοκη. Τέλος, η KUKA έχει δημιουργήσει και ένα λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιούν τα ρομπότ της, το “KUKA Sunrise.OS”, που παρέχει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες και δυνατότητες για την εκτέλεση και ολοκλήρωση των επιθυμητών εργασιών.

### 3.4.3 - DENSO Robotics [81]

Η DENSO Robotics έχει μία μεγάλη ποικιλία από πακέτα λογισμικών τα οποία έχει αναπτύξει για τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη εφαρμογών, την συντήρηση και την προσομοίωση των βιομηχανικών ρομπότ. Κάποια από αυτά είναι:

- WINCAPS III: Λογισμικό για τον OLP προγραμματισμό, τον έλεγχο, την αξιολόγηση και την συντήρηση των βιομηχανικών ρομπότ.
- ORiN2: Λογισμικό περιβάλλον για τον προγραμματισμό ρομπότ και συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν με αυτά, με χρήση γλωσσών προγραμματισμού γενικής χρήσης, όπως η C++, η C#, η Visual Basic αλλά και του περιβάλλοντος σχεδιασμού μηχανικών συστημάτων, LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).
- ORiN Vision: Το πακέτο αυτό περιέχει βιβλιοθήκες για τον προγραμματισμό οπτικών συστημάτων με το ORiN2.
- EMU: Με το EMU μπορεί ο χρήστης να προγραμματίσει και να προσομοιώσει την λειτουργία των Denso ρομπότ καθώς και των περιφερειακών συσκευών που αυτά υποστηρίζουν.
- Robot Tools: Ολοκληρωμένο πακέτο εργαλείων για την καλύτερη συντήρηση και λειτουργία των Denso ρομπότ.

### 3.4.4 - Kawasaki Robotics [82]

Η εταιρία Kawasaki Robotics έχει δημιουργήσει τρία βασικά πακέτα λογισμικού με τα οποία ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει την λειτουργία των Kawasaki ρομπότ αλλά και να τα προγραμματίσει, με την OLP μέθοδο. Αυτά είναι:

- K-ROSET : Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των ρομπότ, δίνοντας την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων κυψελών εργασίας καθώς και την προσθήκη διαφόρων ειδών ρομπότ και περιφερειακών συσκευών σε αυτές. Ακόμα, ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει με την OLP μέθοδο τα

## Βιομηχανική Ρομποτική

ρομπότ και να ελέγξει την εκτέλεση των εφαρμογών που δημιουργεί μέσω προσομοιώσεων.

- K-SPARC : Παρόμοιο λογισμικό με το παραπάνω, αλλά εξειδικευμένο για εφαρμογές παλετοποίησης.
- KCONG : Όπως και το K-SPARC, έχει παρόμοιες λειτουργίες και δυνατότητες με το K-ROSET, αλλά είναι εξειδικευμένο για εφαρμογές συγκόλλησης.

### 3.4.5 - Comau [83]

Η εταιρία Comau έχει δημιουργήσει αρκετά λογισμικά για την υποστήριξη και την βελτίωση ή και επέκταση των δυνατοτήτων και των λειτουργιών των Comau ρομπότ. Κάποια από αυτά είναι:

- SmartRivet: Η βιβλιοθήκη αυτή λογισμικού παρέχει ένα σύνολο έτοιμων προς χρήση τεχνικών οδηγιών για την διαχείριση των λειτουργιών των Rivet συστημάτων, χωρίς να είναι απαραίτητος ο προγραμματισμός τους με κώδικα.
- Robosim Pro: Λογισμικό για τον τρισδιάστατο OLP προγραμματισμό των ρομπότ.
- Διάφορα λογισμικά για εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως είναι το SmartArc για εφαρμογές συγκόλλησης τόξου, το SmartHand για εφαρμογές χειρισμού υλικών και το Palletizing Motion για εφαρμογές παλετοποίησης (πακεταρίσματος).

### 3.4.6 - Omron Adept Technologies Inc. [84]

Η εταιρία Omron Adept Technologies προσφέρει και αυτή μία μεγάλη ποικιλία λογισμικών για την υποστήριξη των βιομηχανικών ρομπότ της. Ένα από αυτά είναι το “Adept ACE” που είναι ένα λογισμικό περιβάλλον με το οποίο μπορεί κάποιος να προγραμματίσει την λειτουργία όλων των ρομπότ της εταιρίας χωρίς την ανάγκη γνώσης κάποιας γλώσσας προγραμματισμού. Ακόμα, περιέχει εργαλεία και λειτουργίες που δίνουν την δυνατότητα σε έναν χρήστη να σχεδιάσει και να υλοποιήσει μία ολόκληρη γραμμή παραγωγής με ρομπότ προσαρμόζοντας την λειτουργία του καθενός στις ανάγκες της εφαρμογής που χρειάζεται. Τέλος, προσφέρει διάφορα πρόσθετα πακέτα για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως το AdeptSight™ για εφαρμογές οπτικής καθοδήγησης και εμποπτείας και το PackXpert™ για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων εφαρμογών πακεταρίσματος.

Εκτός όμως από τα λογισμικά πακέτα, έχει δημιουργήσει και λειτουργικά συστήματα για τα ρομπότ, όπως το Adept V+, που διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες, σε επίπεδο συστήματος, όπως οι διαδικασίες εισόδου-εξόδου δεδομένων, η διαχείριση εργασιών, η διαχείριση της μνήμης κλπ αλλά και τις λειτουργίες που σχετίζονται με την εκτέλεση των εργασιών των ρομπότ, την χρήση των αισθητήρων



## Βιομηχανική Ρομποτική

τους και των όποιων περιφερειακών συσκευών χρησιμοποιούν και έχει την δυνατότητα παράλληλης εκτέλεσης πολλών εργασιών.

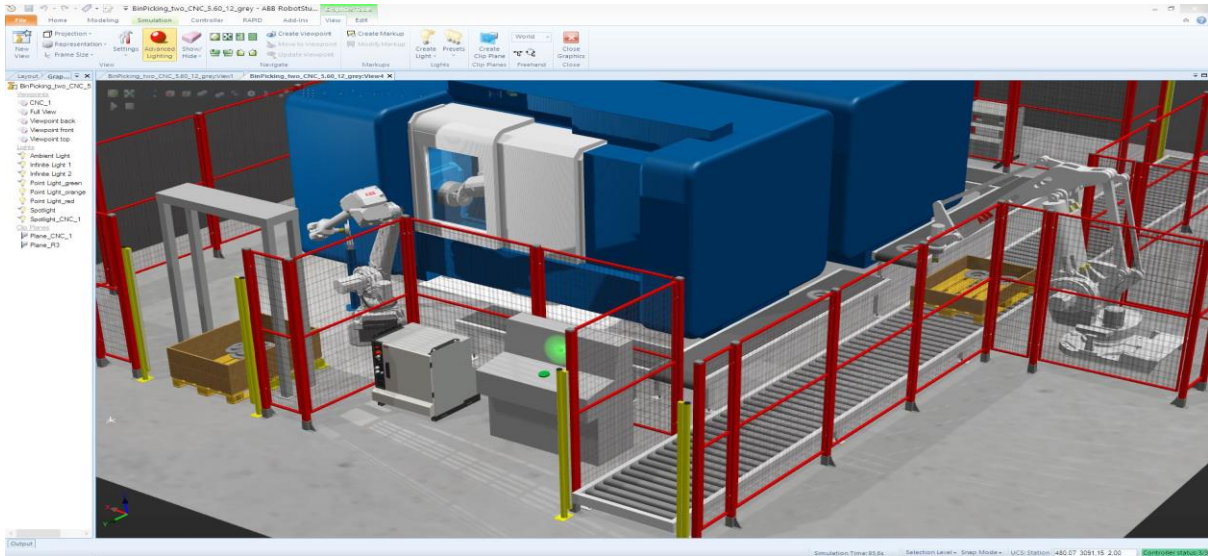
### 3.4.7 - Yaskawa Motoman [ ]

Η εταιρία Yaskawa Motoman έχει δημιουργήσει διάφορα λογισμικά πακέτα για την υποστήριξη των Motoman ρομπότ για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Για την προσομοίωση των ρομπότ, ένα από τα λογισμικά που διαθέτει είναι το MotoSim EG το οποίο προσφέρει εξελιγμένες δυνατότητες γραφικής απεικόνισης των προσομοιώσεων που δημιουργούνται. Για την βαθμονόμηση, παραμετροποίηση και OLP προγραμματισμό έχει δημιουργήσει το περιβάλλον MotoCalV EG και έχει διάφορα λογισμικά για πιο εξειδικευμένες λειτουργίες, όπως το PalletSolver για την υλοποίηση προγραμμάτων και κυψελών εργασίας για εφαρμογές παλετοποίησης και το MotoFit για εφαρμογές συναρμολόγησης. Εκτός των παραπάνω, έχει λογισμικά για την ανάπτυξη εφαρμογών απομακρυσμένης επικοινωνίας και ελέγχου των ρομποτικών τη συστημάτων, όπως το MotoCom SDK αλλά και λογισμικά για την μεταφορά αρχείων μέσω διαφόρων τρόπων και πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο FTP (File Transfer Protocol) για την μεταφορά αρχείων από και προς τα ρομποτικά συστήματα της.

### 3.4.8 - ABB [86, 87]

Η ABB έχει ίσως την πιο ολοκληρωμένη σειρά λογισμικών εφαρμογών, παρέχοντας προγραμματιστικά πακέτα για κάθε εφαρμογή που υποστηρίζουν τα ABB ρομπότ. Με τα πακέτα αυτά μπορεί ο χρήστης να παραμετροποιήσει την λειτουργία των ρομπότ αυτών καθώς και να τα προγραμματίσει για διάφορες εφαρμογές, όπως είναι τα λογισμικά για εφαρμογές συναρμολόγησης, χειρισμού υλικών, εφαρμογές κοπής, συγκόλλησης τόξων και πολλές άλλες. Ξεχωριστό τέτοι πακέτο λογισμικού είναι το Production Screen, με το οποίο μπορεί ο χρήστης να “εκπαιδεύσει”, με χρήση της συσκευής FlexPendant, που είναι μία κινητή συσκευή ελέγχου, τα ABB ρομπότ, ανεξάρτητα με την εφαρμογή την οποία θέλει να υλοποιήσει. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη, καθιστώντας την εκπαίδευση των ABB ρομπότ εύκολη ακόμα και σε χρήστες που δεν έχουν καμία γνώση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού.

## Βιομηχανική Ρομποτική



Εικόνα 3.6: Παράδειγμα εφαρμογής του RobotStudio

Το πιο πλήρες λογισμικό πακέτο που διαθέτει η ABB είναι το προγραμματιστικό περιβάλλον RobotStudio, με το οποίο μπορεί ο χρήστης να προγραμματίσει OLP τα ABB ρομπότ. Εγκαθίσταται σε έναν προσωπικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, με λειτουργικό περιβάλλον Windows 7 και άνω και χρησιμοποιεί τα εργαλεία του .NET της Microsoft. Διαθέτει βιβλιοθήκες για την μοντελοποίηση και τον OLP προγραμματισμό όλων των μοντέλων ABB ρομπότ, δίνοντας την δυνατότητα προσομοίωσης του προγράμματος που υλοποιείται. Ένα παράδειγμα λειτουργίας του RobotStudio φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 3.6). Χρησιμοποιώντας απλό γραφικό περιβάλλον, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να σχεδιάσει εφαρμογές και τρισδιάστατες προσομοιώσεις για όλα τα συστήματα και περιφερειακά που προσφέρει, σχεδιάζοντας την επιθυμητή κυψέλη εργασίας, προσθέτοντας διάφορα εργαλεία ως τελικά στοιχεία δράσης στους ρομποτικούς βραχίονες (και γενικά σε όλα τα ABB ρομπότ), διάφορες περιφερειακές συσκευές και πάγκους εργασίας, δίνοντας τέλος της δυνατότητα να εγκαταστήσει τα υλοποιημένα προγράμματα και εφαρμογές στον ελεγκτή του ρομπότ.

### 3.4.9 - Άλλα Λογισμικά

Τα λογισμικά που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι ειδικής χρήσης και δημιουργήθηκαν για τον προγραμματισμό των βιομηχανικών ρομπότ της εταιρίας που παρήγαγε το λογισμικό αυτό. Εκτός από τις εταιρίες κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ, έχουν αναπτυχθεί παρόμοια λογισμικά πακέτα και από άλλες εταιρίες, οι οποίες δραστηριοποιούνται στον χώρο της ανάπτυξης προγραμματιστικών πακέτων, τα οποία προσφέρουν ολοκληρωμένες λύσεις για τον προγραμματισμό των ρομπότ

## Βιομηχανική Ρομποτική

και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία μεγάλη ποικιλία ειδών και κατηγοριών, τα οποία είναι άξια αναφοράς.

Ένα τέτοιο ολοκληρωμένο προγραμματιστικό πακέτο είναι το RISE (Robotmaster Interactive Simulation Environment) που είναι ένα διαδραστικό περιβάλλον σχεδιασμού και προγραμματισμού εφαρμογών για βιομηχανικά ρομπότ, με το οποίο μπορεί ένας χρήστης, μέσω της γραφικού διεπαφής χρήστη που διαθέτει, να προγραμματίσει και να προσομοιώσει διάφορες λειτουργίες εφαρμογών. Έχει την δυνατότητα εισαγωγής σχεδίου ρομποτικού βραχίονα από κάποιο λογισμικό σχεδίασης (CAD-Computer-aided design) καθώς και από πολλές εταιρίες κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ, όπως οι FANUC, ABB, MOTOMAN, KUKA, STAUBLI και πολλές άλλες. Ακόμα, υποστηρίζει προγραμματισμό βασισμένο σε CAD/CAM μεθόδους δίνοντας την δυνατότητα να σχεδιαστεί η τροχιά του χωρίς να χρειαστεί να γίνει αυτό σημείο-σημείο, αλλά μέσω ορισμού της γεωμετρίας της τροχιάς. Διαθέτει μία ποικιλία βιβλιοθηκών με τις οποίες μπορούν να προστεθούν λειτουργίες ή να επεκταθούν οι ήδη υπάρχουσες, υποστηρίζοντας, μεταξύ άλλων, την πλήρη σχεδίαση της επιθυμητής κυψέλης εργασίας, την προσθήκη διαφόρων ειδών εργαλείων ως τελικό στοιχείο δράσης και την παραμετροποίηση της κίνησης του. Τέλος, τα προγράμματα εφαρμογών που θα σχεδιαστούν με το γραφικό περιβάλλον θα μετατραπούν μέσω της λειτουργίας γεννήτριας κώδικα (code generator) σε κώδικα της γλώσσας προγραμματισμού του ρομποτικού βραχίονα που χρησιμοποιήθηκε. [88]

Ένα άλλο παρόμοιο προγραμματιστικό περιβάλλον είναι το RoboDK που είναι ένας προσομοιωτής λειτουργίας και OLP προγραμματισμού των βιομηχανικών ρομπότ. Διαθέτει και αυτό γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου μπορεί ο χρήστης να μοντελοποιήσει ένα εικονικό περιβάλλον, δημιουργώντας πλαίσια αναφοράς, στόχους και προγράμματα για τις επιθυμητές εφαρμογές, χωρίς την ανάγκη γνώσης της γλώσσας προγραμματισμού που χρησιμοποιεί το βιομηχανικό ρομπότ που θα χρησιμοποιήσει. Διαθέτει βιβλιοθήκες από τις οποίες μπορεί ο χρήστης να εισάγει το επιθυμητό μοντέλο ρομπότ οι οποίες περιέχουν μοντέλα από περισσότερες των 20 κατασκευαστικές εταιρίες. Έχει την δυνατότητα ο χρήστης να εισάγει κάποιο σχέδιο και το RoboDK να παράξει την απαιτούμενη τροχιά έτσι ώστε ο ρομποτικός βραχίονας να χρησιμοποιηθεί ως τρισδιάστατος εκτυπωτής. Τέλος, τα προγράμματα που θα σχεδιαστούν μέσω του γραφικού περιβάλλοντος μπορούν να μετατραπούν σε κώδικα της γλώσσας προγραμματισμού που χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος ρομποτικός βραχίονας, όπως είναι οι RAPID της ABB, η LS της Fanuc, η KRC/IIWA της KUKA και πολλές άλλες. [89]

Εκτός όμως από αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό και την προσομοίωση της λειτουργία ενός βιομηχανικού ρομπότ και άλλα λογισμικά πιο γενικής χρήσης. Ένα από αυτά είναι το MatLab, που είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον μαθηματικού προγραμματισμού. Χρησιμοποιείται από αρκετούς μηχανικούς ρομποτικής για την ανάλυση των δεδομένων και τον σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου των ρομπότ, και μάλιστα έχει δημιουργηθεί μία εργαλειοθήκη

(toolbox) για το περιβάλλον του MatLab, ειδικά για τον προγραμματισμό και την προσομοίωση της λειτουργίας ενός ρομπότ, το “Robotics Toolbox” που δημιουργήθηκε το 1995 από τον Peter Corke και η πιο πρόσφατη έκδοση του είναι η έκδοση 10 που κυκλοφόρησε τον Ιούνιο του 2017, η οποία περιέχει και υλικό υποστήριξης για το βιβλίο του ίδιου, “Robotics, Vision & Control (δεύτερη έκδοση)”. Παρόμοιες εργαλειοθήκες έχουν αναπτυχθεί και για άλλα CAD λογισμικά. [90]

### 3.5 - Η γλώσσα προγραμματισμού RAPID [98, 99]

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε αναφορά στις γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές των βιομηχανικών ρομπότ. Για την αρτιότερη περιγραφή του θέματος αυτού, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά σε μία από τις γλώσσες προγραμματισμού αυτές, αναφέροντας κάποια από τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο σύνταξης των προγραμμάτων. Για τον σκοπό αυτό, θα χρησιμοποιηθεί η γλώσσα RAPID της ABB, σε κάποια χαρακτηριστικά της οποίας θα γίνει αναφορά.

Η γλώσσα προγραμματισμού RAPID δημιουργήθηκε, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από την εταιρία ABB και είναι μία γλώσσα υψηλού επιπέδου. Χρησιμοποιείται στα λογισμικά της εταιρίας που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο (παράγραφος 3.4.8) και μέσω αυτής μπορεί να προγραμματιστεί η λειτουργία ενός βιομηχανικού ρομπότ. Ως γλώσσα υψηλού επιπέδου, είναι αρκετά κοντά στην “ανθρώπινη” γλώσσα, χρησιμοποιώντας κάποιες λέξεις στην σύνταξη του κώδικα, όπως οι “IF”, “FOR” και “WHILE”. Οι λέξεις αυτές χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση λειτουργιών λήψης απόφασης και την δημιουργία βρόγχων επανάληψης ενεργειών. Η “IF” θα χρησιμοποιείται όταν θα είναι επιθυμητό μία ενέργεια (ή ένας συνδυασμός ενεργειών) να πραγματοποιηθεί αν ισχύει κάποια συνθήκη ενώ οι “FOR” και “WHILE” όταν θα είναι επιθυμητό να επαναληφθεί κάποια ενέργεια (ή ένας συνδυασμός ενεργειών) αν ισχύουν κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες. Έτσι μπορεί να προγραμματιστεί το ρομπότ να λειτουργεί αυτόματα, έχοντας την δυνατότητα να λαμβάνει κάποιες αποφάσεις, αντιμετωπίζοντας έτσι ακόμα και κάποια προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν.

Γενικά, η δομή ενός προγράμματος, του οποίου ο κώδικας θα συνταχθεί με την γλώσσα RAPID, θα αποτελείται από δύο βασικές οντότητες. Τις μονάδες (modules) και τις διαδικασίες (procedures). Ανάλογα με το ρομπότ για το οποίο προορίζεται το πρόγραμμα, τα κύρια χαρακτηριστικά του, όπως τα σήματα εισόδου και εξόδου, θα περιγραφούν ως module, και κάθε module που θα δημιουργηθεί θα έχει ένα μοναδικό, για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, όνομα, το οποίο θα ακολουθεί την κωδική λέξη “MODULE”. Μία διαδικασία καθορίζει τις λειτουργίες που θα εκτελεστούν από (ή σε) ένα module το οποίο θα ελέγχει η συγκεκριμένη διαδικασία και θα οριστεί με την κωδική λέξη “PROC” και ένα μοναδικό, για το συγκεκριμένο πρόγραμμα, όνομα, και θα είναι αυτή που θα περιέχει τον κώδικα που θα καθορίσει τον τρόπο λειτουργίας του ρομπότ. Ένα πρόγραμμα μπορεί να περιέχει πολλά

## Βιομηχανική Ρομποτική

modules και πολλές procedures. Έτσι, ορίζοντας τα modules και τις procedures σε ένα πρόγραμμα, μπορεί να καθοριστεί ο τρόπος λειτουργίας ενός ή και περισσότερων ρομπότ από ένα πρόγραμμα.

Για να μπορεί να διαχειριστεί τα δεδομένα εισόδου και εξόδου των ρομπότ, έχουν καθοριστεί τρεις τύποι δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Τα αριθμητικά δεδομένα (num) που μπορεί να είναι ακέραιοι ή δεκαδικοί, τα strings που είναι ακολουθίες χαρακτήρων και τα boolean δεδομένα, που είναι “λογικά” δεδομένα (με δύο πιθανές τιμές: “αληθής” (true) ή “ψευδής” (false) ) που χρησιμοποιούνται κυρίως συνδυαστικά με τις εντολές λήψης αποφάσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι: μεταβλητές (variables) και η τιμή τους να μπορεί να αλλάζει, “επίμονες” μεταβλητές (persistent variables) που, όπως και στις απλές μεταβλητές, η τιμή τους μπορεί να αλλάξει αλλά μία τιμή θα διατηρηθεί αν το πρόγραμμα σταματήσει και επανεκκινηθεί, ή σταθερές (constants) όπου η τιμή τους δεν μπορεί να αλλάξει. Για την επεξεργασία και την χρήση των παραπάνω δεδομένων, χρησιμοποιούνται κάποια σύμβολα που ονομάζονται “operators” (χειριστές) και είναι αυτά που χρησιμοποιούν και τα μαθηματικά. Οπότε, για την εκτέλεση των τεσσάρων πράξεων χρησιμοποιούνται τα γνωστά σύμβολα “+”, “-”, “\*” και “/”, ενώ για την σύγκριση δεδομένων οι τελεστές ανισότητας και ισότητας, “<”, “>” και “=”.

Για καλύτερη εποπτεία των παραπάνω, παρατίθεται ένα πολύ απλό παράδειγμα RAPID κώδικα. Το πρόγραμμα αυτό απλά υπολογίζει το μέγεθος μίας ορθογώνιας περιοχής, τυπώνοντας το αποτέλεσμα στο TPU που είναι συνδεδεμένο με το ρομπότ που θα εκτελέσει το πρόγραμμα αυτό.

```
MODULE MainModule
VAR num length;
VAR num width;
VAR num area;

PROC main()
length := 10;
width := 5;
area := length * width;
TPWrite "The area of the rectangle is " Num:=area;
END PROC

ENDMODULE
```

Αρχικά ορίζεται το module με όνομα “MainModule”, στο οποίο ορίζονται 3 αριθμητικές μεταβλητές (VAR num), οι “length”, “width” και “area”. Στην συνέχεια ορίζεται η διαδικασία “main()”, και εντός της, αφού δοθούν τιμές στις μεταβλητές “length” και “width”, υπολογίζεται το εμβαδόν της περιοχής αυτής, και η τιμή του

## Βιομηχανική Ρομποτική

αποδίδεται στην μεταβλητή “area”. Τέλος, με την εντολή “TPWrite” τυπώνεται στην οθόνη του TPU το κείμενο “The area of the rectangle is 50”.

Το παραπάνω πρόγραμμα είναι ένα πολύ απλό παράδειγμα χωρίς ιδιαίτερη χρηστική αξία, που δόθηκε απλά για να δείχθούν καλύτερα το πως χρησιμοποιούνται τα στοιχεία της RAPID και πως είναι ολοκληρωμένη η δομή ενός προγράμματος. Σε πραγματική εφαρμογή, οι μεταβλητές “length” και “width” θα μπορούσε να εισάγονται μέσω κάποιων αισθητήρων και να υπολογίζεται το εμβαδόν ενός χώρου, άγνωστων, στον χρήστη, διαστάσεων.

Για να εκτελούνται οι επιθυμητές ενέργειες, χρησιμοποιούνται, εκτός των παραπάνω, και διάφορες εντολές, όπως η TPWrite, η οποία τυπώνει κάποιο κείμενο στην οθόνη του TPU. Η RAPID διαθέτει πολλές τέτοιες εντολές, όπως παραδείγματος χάριν οι εντολές “MoveL”, “MoveJ” και “MoveC” που χρησιμοποιούνται για να κινηθεί κατάλληλα κάποιο μέρος του ρομπότ, η εντολή “SetDO” που καθορίζει την εκτέλεση κάποιας ενέργειας, η εντολή “Aoutput” που χρησιμοποιείται για την ανάγνωση ενός αναλογικού σήματος εξόδου, η “CjointT” που χρησιμοποιείται για την ανάγνωση της γωνίας που έχει μία άρθρωση και η “ReadMotor” που χρησιμοποιείται για την ανάγνωση της γωνίας ενός κινητήρα. Παρόμοιες με τις παραπάνω υπάρχουν πάρα πολλές εντολές για ποικίλες ενέργειες, οι οποίες περιέχονται σε οδηγούς χρήσης της συγκεκριμένης γλώσσας. Περαιτέρω ανάλυση δεν θα πραγματοποιηθεί γιατί ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

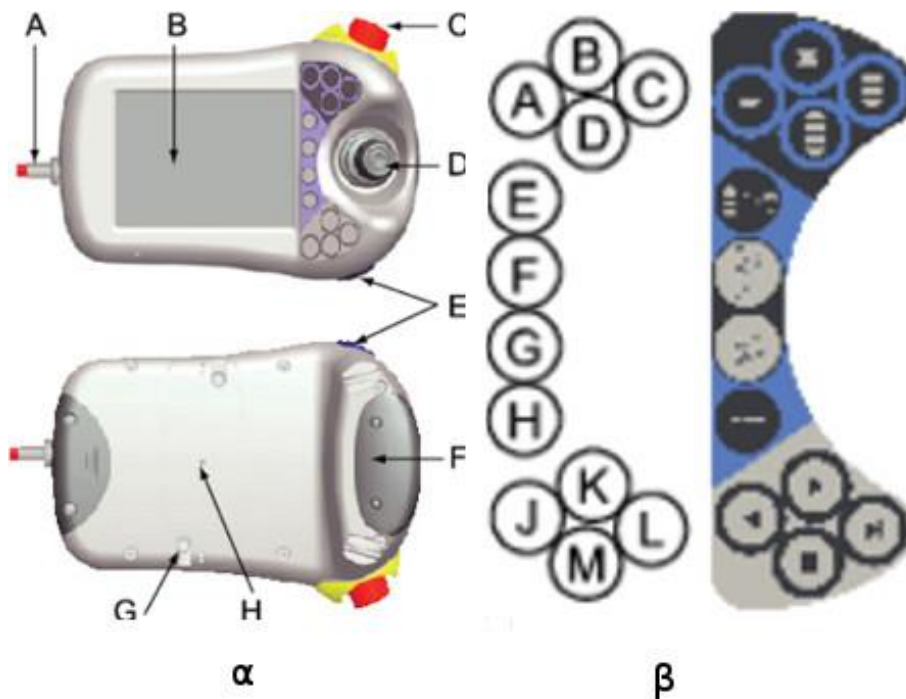
### 3.6 - Teach Pendant Unit (TPU) [100]

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε αναφορά στις γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό των βιομηχανικών ρομπότ, όπου παρουσιάστηκε λίγο πιο περιγραφικά η γλώσσα RAPID. Όμως, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο καθορισμός των κινήσεων ενός βιομηχανικού ρομπότ μπορεί να γίνει και “χειροκίνητα”, “διδάσκοντας” τις κινήσεις αυτές στο ρομπότ. Αυτό επιτυγχάνεται εκτελώντας τις κινήσεις αυτές μία φορά, κατά την οποία ο χρήστης χειρίζεται το ρομπότ με χρήση της συσκευής διδασκαλίας μονάδας (TPU-Teach Pendant Unit). Οι συσκευές αυτές συνδέονται με ένα βιομηχανικό ρομπότ και έχουν την δυνατότητα χειρισμού αυτού, είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα, εκτελώντας κάποιο πρόγραμμα, την δυνατότητα ελέγχου του, τροποποίησης της λειτουργίας ενός προγράμματος κ.α. . Συνδέονται με το σύστημα ελέγχου του ρομπότ και αποτελούν μέρος αυτού. Κάθε εταιρία έχει σχεδιάσει και κατασκευάσει τα δικά της TPU για χρήση στα δικά της βιομηχανικά ρομπότ. Για την περιγραφή ενός TPU, ως παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί αυτό της ABB, που ονομάζεται “FlexPendant” και το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.7α), στην οποία παρατίθενται με γράμματα τα μέρη από τα οποία αποτελείται, τα οποία είναι:

- **A** : Η σύνδεση με τον ελεγκτή του ρομπότ.

## Βιομηχανική Ρομποτική

- **B** : Η οθόνη αφής.
- **C** : Το κουμπί επείγουσας διακοπής της λειτουργίας.
- **D** : Το χειριστήριο.
- **E** : Μία θύρα USB.
- **F** : Ενεργοποίηση της συσκευής.
- **G** : Stylus pen (ακίδα ή στυλό για χρήση στην οθόνη αφής)
- **H** : Κουμπί επαναφοράς (reset).



Εικόνα 3.7: ABB FlexPendant

Ο χειροκίνητος έλεγχος του ρομπότ μπορεί επιτευχθεί με χρήση του χειριστηρίου και της οθόνης αφής, σε συνδυασμό με τα κουμπιά που διαθέτει το FlexPendant, τα οποία εκτελούν κάποια συγκεκριμένη λειτουργία το καθένα, και, όπως φαίνονται και στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 3.7β) οι λειτουργίες που εκτελούν είναι:

- **A-D** : Προγραμματιζόμενα κουμπιά στα οποία ο χρήστης μπορεί να ορίσει ποια λειτουργία επιθυμεί να εκτελούν.
- **E** : Επιλογή της μηχανικής μονάδας που επιθυμεί να χειριστεί ο χρήστης.
- **F** : Επιλογή τρόπου κίνησης, με επιλογές “teorient” (αναπροσανατολισμός) και “linear” (γραμμικός).
- **G** : Επιλογή τρόπου κίνησης, 1-3 αξόνων ή 4-6 αξόνων.
- **H** : Εναλλαγή προσαυξήσεων (toggle increments)

## Βιομηχανική Ρομποτική

- **J** : Κουμπί “Step BACKWARD” το οποίο, αν είναι πατημένο, εκτελεί μία εντολή “προς τα πίσω” (backwards).
- **K** : Κουμπί “START” με το οποίο αρχίζει η εκτέλεση του προγράμματος.
- **L** : Κουμπί “Step FORWARD” που εκτελεί μία επόμενη εντολή.
- **M** : Κουμπί “STOP” που σταματάει την εκτέλεση του προγράμματος.

Τα παραπάνω χρησιμοποιούνται, όπως προαναφέρθηκε, σε συνδυασμό με την οθόνη αφής για τον χειρισμό του βιομηχανικού ρομπότ. Η αρχική οθόνη που εμφανίζεται στην οθόνη αφής παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3.8). Στην οθόνη αυτή, υπάρχουν κάποια βασικά μέρη, τα οποία είναι:



Εικόνα 3.8: ABB FlexPendant οθόνη αφής

- **A** : Το μενού της ABB μέσω του οποίου μπορεί ο χρήστης να αποκτήσει πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες, με τις οποίες μπορεί να καθορίσει τις εισόδους και τις εξόδους του συστήματος, να ανοίξει τον πίνακα ελέγχου, να τροποποιήσει ένα πρόγραμμα ή να φορτώσει κάποιο, να ανοίξει το αρχείο καταγραφών, να κάνει βαθμονόμηση του ρομπότ και πολλά άλλα.
- **B** : Παράθυρο χειρισμού.
- **C** : Μπάρα κατάστασης της λειτουργίας του.
- **D** : Κουμπί κλεισίματος των ανοικτών παραθύρων.
- **E** : Μπάρα λειτουργίας.
- **F** : Μενού γρήγορης αρχικοποίησης



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

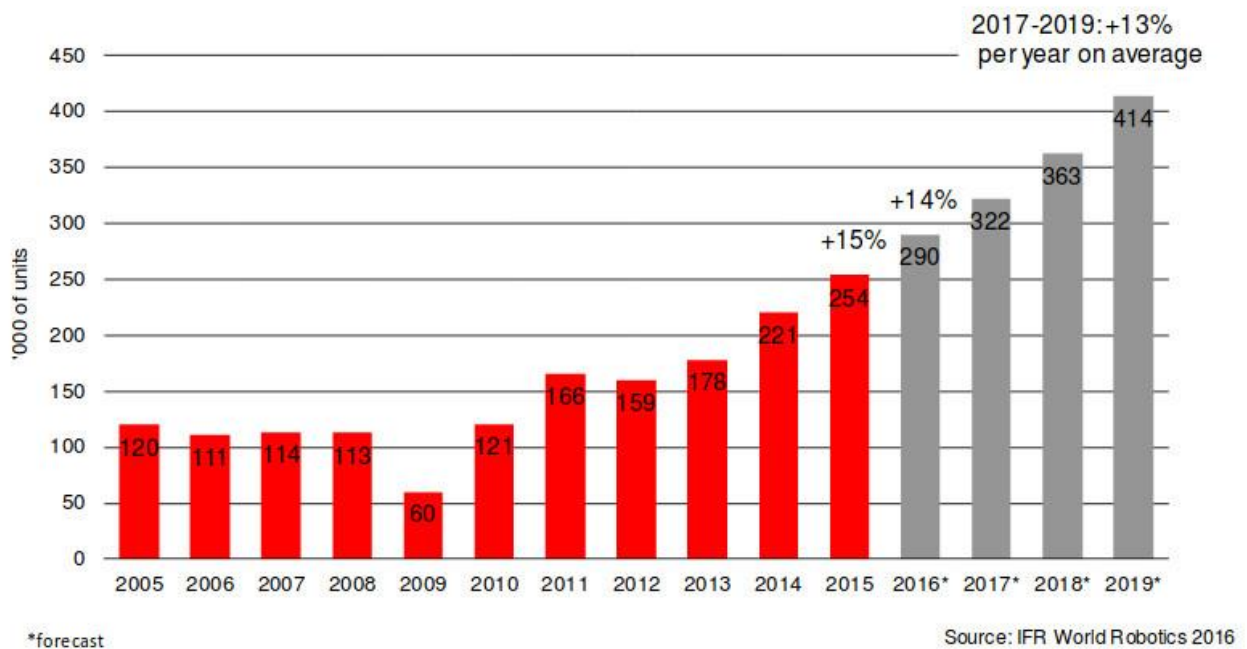
### 4.1 Επισκόπηση της αγοράς Βιομηχανικών Ρομπότ [91, 92, 93, 94]

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν διεισδύσει σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας και έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ρομπότ για την πλειονότητα των βιομηχανικών εργασιών. Η εξέλιξη αυτή δεν έχει σταματήσει, και συνεχώς κατασκευάζονται νέα και καινοτόμα μοντέλα βιομηχανικών ρομπότ που αναλαμβάνουν όλο και περισσότερες εργασίες. Οι απαιτήσεις για την μείωση του κόστους, αλλά και την αύξηση του ρυθμού παραγωγής οδηγούν τις βιομηχανίες στην εγκατάσταση όλο και περισσότερων ρομπότ. Και ειδικά με την δημιουργία ρομπότ μικρού μεγέθους (και κόστους), ακόμα και μικρές επιχειρήσεις προσανατολίζονται στην αυτοματοποίηση των μεθόδων παραγωγής των προϊόντων τους. Τα “παραδοσιακά” βιομηχανικά ρομπότ εξελίσσονται κατάλληλα έτσι ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των νέων εφαρμογών και εργασιών τις οποίες καλούνται να αναλάβουν και νέων ειδών και δυνατοτήτων ρομπότ σχεδιάζονται για ποικίλες εφαρμογές. “Cobots” φιλικά προς τον χρήστη, αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας, χειρισμού και προγραμματισμού τους, και χαμηλού κόστους καθιστούν την εγκατάσταση ρομπότ εύκολη και προσιτή (από άποψη κόστους) σε περιπτώσεις που θεωρούνταν ασύμφορη ή πολύπλοκη η χρήση τους. Αναφορικά με το κόστος, χαρακτηριστικό είναι το ότι ο παλιός κανόνας ήταν το κόστος ενός βιομηχανικού ρομπότ να είναι ισοδύναμο με τον μισθό δύο χρόνων ενός εργαζόμενου, έχει φθάσει να είναι το ένα τέταρτο του παραπάνω ποσού.

Λόγω των παραπάνω, η ζήτηση των βιομηχανικών ρομπότ είναι συνεχώς αυξανόμενη, ειδικά από τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Αλλά και οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις αυξάνουν την ζήτηση τους για ρομπότ κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές, ειδικά για εύχρηστα “cobots” μικρού και μεσαίου μεγέθους, με τις προβλέψεις να θέλουν την ζήτηση τέτοιων ρομπότ να αυξάνεται συνεχώς τα επόμενα χρόνια. Αυτό οφείλεται και στις ανάγκες καλύτερης ενεργειακής απόδοσης της παραγωγής αλλά και στην συνεχώς αυξανόμενη χρήση νέων υλικών, τα οποία απαιτούν καινοτόμα εργαλεία για την επεξεργασία τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι η συνεχής αύξηση της ζήτησης των τρισδιάστατων εκτυπωτών, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ολοκληρωμένο ρομποτικό σύστημα, μιας και έχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που απαιτούν οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί. Είναι “αυτόματοι, ελεγχόμενο από σερβο-μηχανισμό, ελεύθερα προγραμματιζόμενοι, πολυλειτουργικοί χειριστές, με αρκετά μέρη, για τον χειρισμό κομματιών εργασία, εργαλείων ή ειδικών συσκευών. Προγράμματα μεταβλητής λειτουργίας καθιστούν εφικτή την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών”, όπως απαιτεί ο ορισμός που έχει υιοθετηθεί από τον ISO και την RIA (όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, παράγραφο 1.7). Συνήθως οι εκτυπωτές αυτοί έχουν έναν χειριστή

## Βιομηχανική Ρομποτική

παράλληλης τοπολογίας, με το τελικό στοιχείο δράσης να είναι ένα εργαλείο που λειτουργεί σαν ένα “πυροβόλο όπλο κόλλας”. Το υλικό εκτύπωσης, κατά κανόνα ένα πλαστικό νήμα, θερμαίνεται μέχρις ότου υγροποιηθεί και στην συνέχεια εξωθείται μέσω του ακροφυσίου (η άκρη από την οποία εκτινάσσεται το υγρό υλικό σε μορφή νήματος) εκτύπωσης για την δημιουργία του προϊόντος. Το παράλληλο ρομπότ αυτό είναι τοποθετημένο σε μία κυψέλη εργασίας με το ρομπότ να είναι κεντρικά τοποθετημένο και υπάρχει και το σύστημα ελέγχου, το οποίο, χρησιμοποιώντας κάποιο ψηφιακό λογισμικό CAD (Computer Aided Design) με το οποίο έχει δημιουργηθεί το τρισδιάστατο σχέδιο του αντικειμένου που θα εκτυπωθεί, και σύμφωνα με το σχέδιο αυτό, καθορίζει τις κινήσεις του χειριστή.

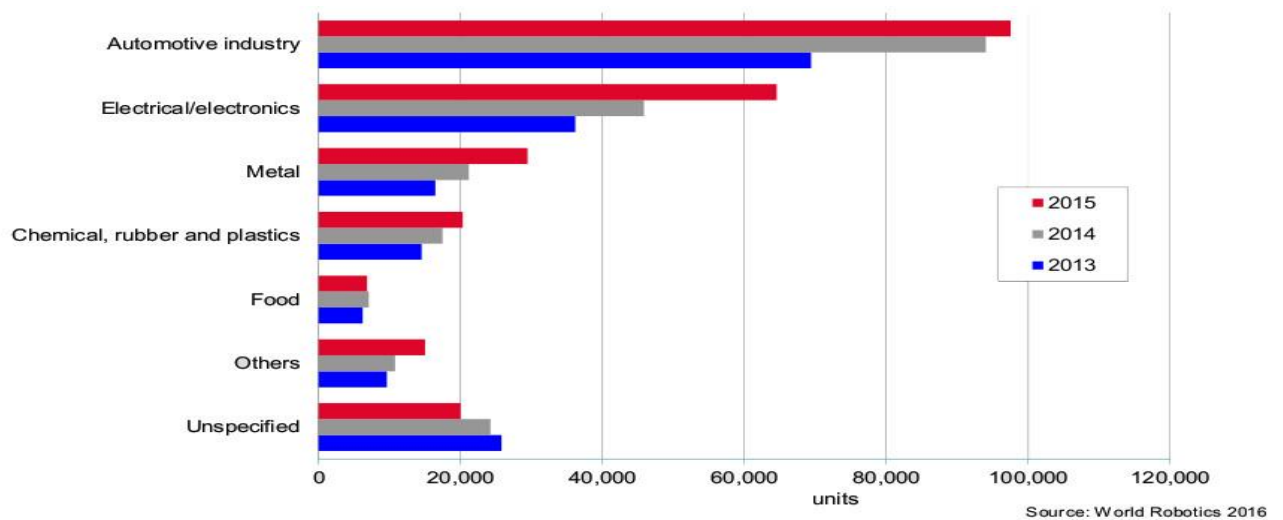


Εικόνα 4.1 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο

Σύμφωνα με στοιχεία έκθεσης της IFR (που παρουσιάστηκε στην Φρανκφούρτη τον Σεπτέμβριο του 2016) αναφορικά για την χρήση και την ζήτηση των βιομηχανικών ρομπότ, στα οποία προσμετρώνται τα βιομηχανικά ρομπότ όλων των κατηγοριών, των τύπων και των γενεών, σε παγκόσμιο επίπεδο, η ζήτηση αυξήθηκε κατά 15%, με τον αριθμό των βιομηχανικών ρομπότ που πουλήθηκαν να είναι 253748, που αποτελεί την υψηλότερη τιμή που έχει καταγραφεί ποτέ σε έναν χρόνο, όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (εικόνα 4.1). Κύριος

## Βιομηχανική Ρομποτική

παράγοντας της αύξησης αυτής ήταν ο κλάδος της “γενικής βιομηχανίας”<sup>56</sup> που παρουσίασε μία αύξηση στην ζήτηση, σχετικά με το 2014, του 33%, με τον κλάδο της ηλεκτρονικής να παρουσιάζει αύξηση 41%, της μεταλλουργίας αύξηση 38% και της βιομηχανίας χημικών, πλαστικών και καουτσούκ να έχει αύξηση 16%. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η αύξηση ήταν μικρή το 2015 μετά από πέντε χρόνια συνεχόμενης αξιοσημείωτης αύξησης ζήτησης<sup>57</sup> (διάγραμμα της εικόνας 4.2). Εκτιμάται ότι η ζήτηση αυτή θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια, με έναν, εκτιμώμενο, μέσο όρο αύξησης 13% ανά έτος μέχρι το 2019, όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.2 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά βιομηχανία και ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αυξανόμενη ζήτηση βιομηχανικών ρομπότ γίνεται φανερή και από τον αριθμό των λειτουργικών βιομηχανικών ρομπότ που είναι εγκατεστημένα σε παγκόσμιο επίπεδο, ο οποίος συνεχώς αυξάνεται, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα της εικόνας 4.3 . Ήδη το 2015 ήταν εγκατεστημένα περισσότερα από 1.6 εκατομμύρια βιομηχανικά ρομπότ σε παγκόσμιο επίπεδο, με το πλήθος αυτό να εκτιμάται ότι θα φθάσει τα 2.5 εκατομμύρια το 2019.

Αναφορικά με την ζήτηση αλλά και το πλήθος των ήδη εγκατεστημένων βιομηχανικών ρομπότ ανά χώρα, οι χώρες της Ασίας είναι αυτές που ξεχωρίζουν, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 4.4) Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται η αυξημένη ζήτηση των Ασιατικών χωρών<sup>58</sup> έναντι της ζήτησης από τις

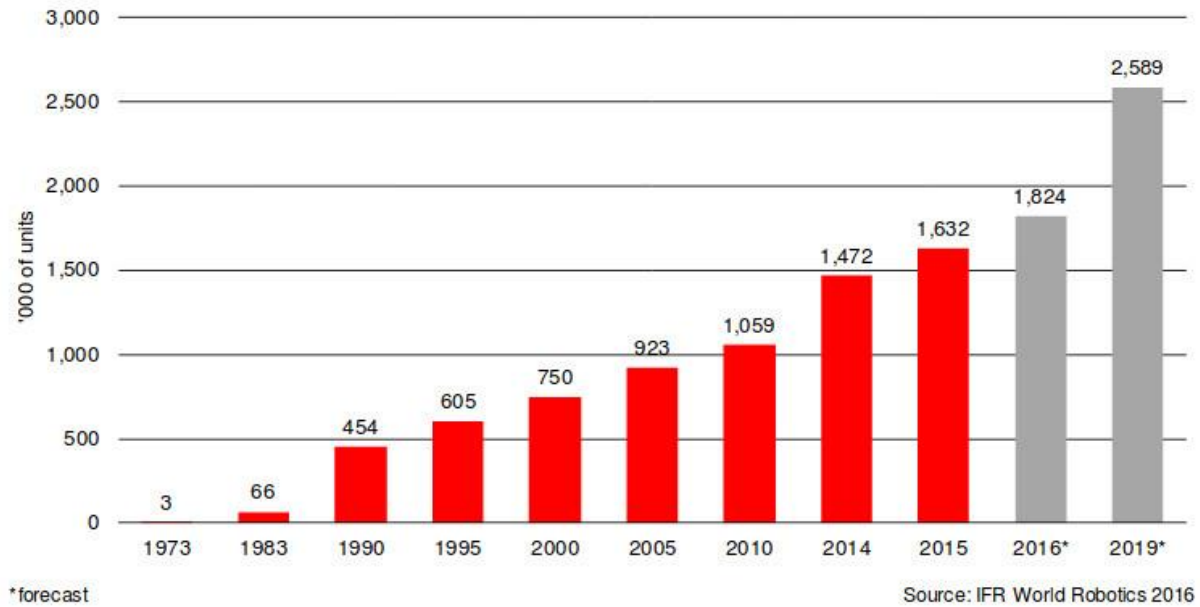
56 Με τον όρο “γενική βιομηχανία” (general industry) περιγράφονται οι βιομηχανικοί τομείς που δεν ανήκουν στους τομείς της γεωργίας, των κατασκευών ή της ναυτιλίας.

57 Η ειδική αναφορά στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας γίνεται γιατί, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο κλάδος της βιομηχανίας στον οποίο έχει διεισδύσει περισσότερο η βιομηχανική ρομποτική, και μάλιστα ο κλάδος από τον οποίο, ή για τον οποίο, δημιουργήθηκε.

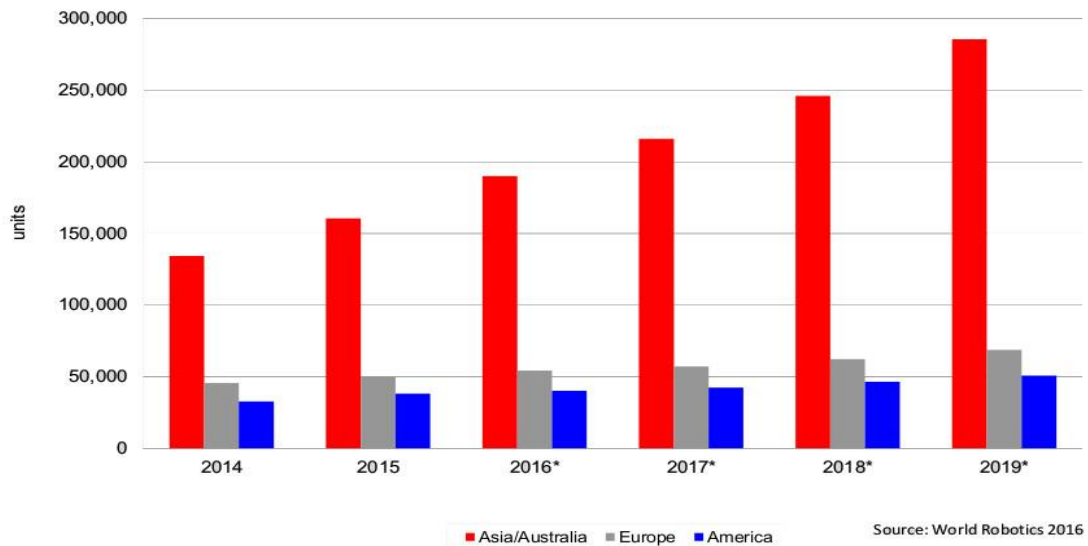
58 Στις στατιστικές αυτές είθισται να θεωρείται η Ασία και η Αυστραλία μία κατηγορία.

## Βιομηχανική Ρομποτική

χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής, διαφορά που εκτιμάται ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται σημαντικά.



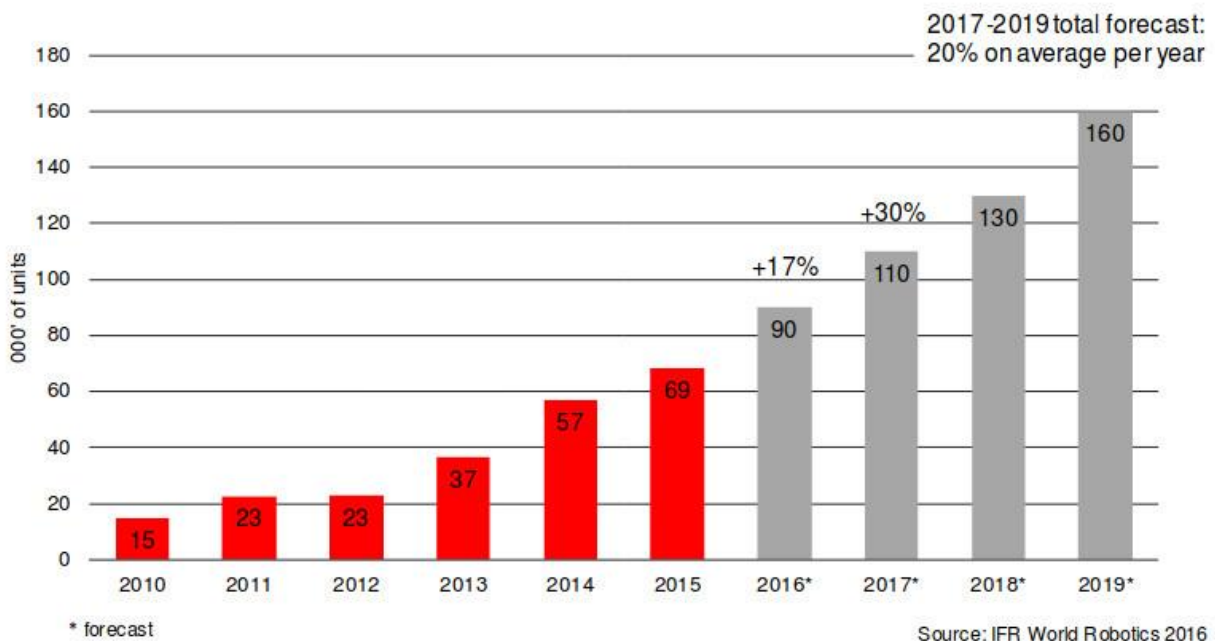
Εικόνα 4.3 : Εγκατεστημένα Βιομηχανικά Ρομπότ ανά έτος, σε παγκόσμιο επίπεδο



Εικόνα 4.4 : Ζήτηση Βιομηχανικών Ρομπότ ανά ήπειρο και ανά έτος

## Βιομηχανική Ρομποτική

Στο παραπάνω φαινόμενο σημαντικό ρόλο έχει η Κίνα που είναι η χώρα με την μεγαλύτερη ζήτηση βιομηχανικών ρομπότ. Χαρακτηριστικό είναι το ότι το 27% της παγκόσμιας ζήτησης για το 2015 αντιστοιχούσε στην κινεζική αγορά, με τον αριθμό των μονάδων που αγοράστηκαν να ξεπερνούν το σύνολο από όλες τις ευρωπαϊκές χώρες μαζί. Λόγω των παραπάνω, η Κίνα αποτελεί την μεγαλύτερη αγορά για τους κατασκευαστές βιομηχανικών ρομπότ, κάτι που εκτιμάται ότι θα συνεχιστεί, με την αύξηση της ζήτησης στην Κίνα να αυξάνεται, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του IFR, 30% το 2017 και να παρουσιάζει μέχρι το 2019 μία συνεχή αύξηση με μέσο όρο 20% ανά χρόνο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 4.5).

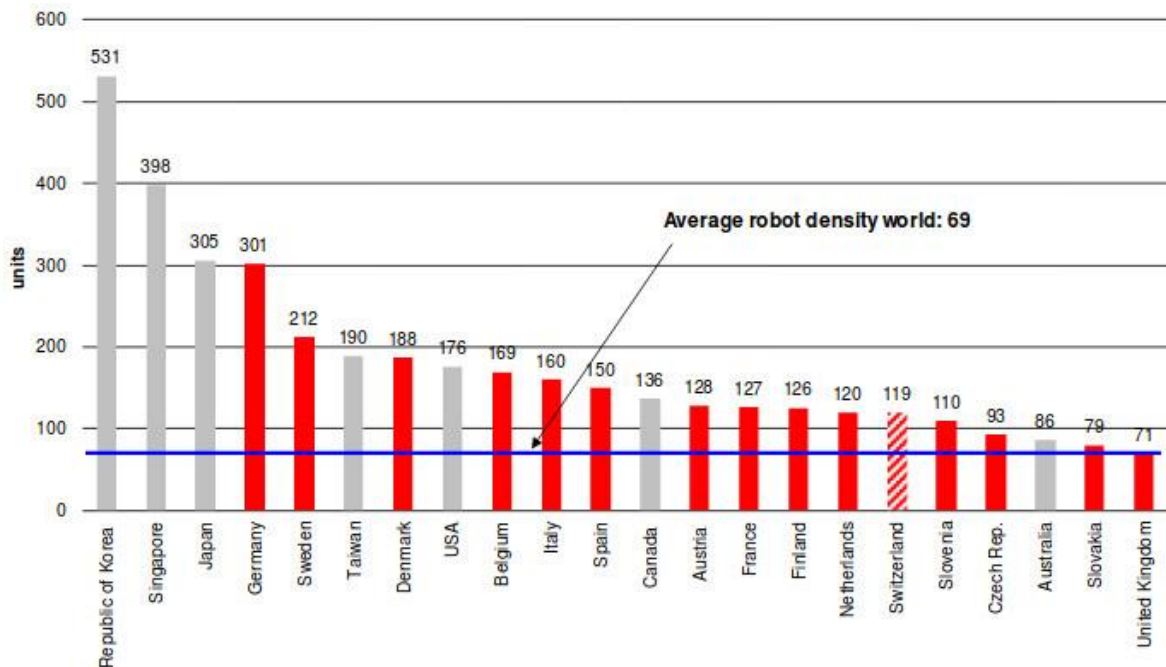


Εικόνα 4.5 : Αριθμός Βιομηχανικών Ρομπότ που πουλήθηκαν ανά έτος στην Κίνα

Στα παραπάνω έγινε μία σύγκριση σχετικά με την ζήτηση και την χρήση βιομηχανικών ρομπότ στις διάφορες χώρες. Η σύγκριση αυτή έγινε αναφορικά με τον αριθμό εγκατεστημένων ή προμηθευμένων μονάδων. Παρόμοια σύγκριση μπορεί να γίνει και με διαφορετικό τρόπο, που είναι ίσως ορθότερος, όσον αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το επίπεδο της βιομηχανοποίησης κάθε χώρας. Αυτός αφορά την σύγκριση της κατανομής των βιομηχανικών ρομπότ στις διάφορες χώρες, όπου όμως για να γίνει πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ειδικά τα πληθυσμιακά, κάθε χώρας. Για τον λόγο αυτό έχει οριστεί η ποσότητα της “πυκνότητας ρομπότ” (robot density) η οποία εκφράζει τον αριθμό των μονάδων βιομηχανικών ρομπότ ανά 10000 εργαζόμενους σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας. Ο παγκόσμιος μέσος όρος της πυκνότητας αυτής ήταν 69 ρομποτικές μονάδες ανά 10000 εργαζόμενους το 2015, ο ευρωπαϊκός 92 μονάδες, ο αμερικάνικος 86 μονάδες και ο μέσος όρος πυκνότητας ρομπότ για τις χώρες της

## Βιομηχανική Ρομποτική

Ασίας 57 μονάδες. Σύμφωνα με αυτόν τον μέσο όρο, οι πιο “αυτοματοποιημένες” αγορές ήταν, για το 2015 αυτές της Δημοκρατίας της Κορέας, της Σιγκαπούρης, της Ιαπωνίας και της Γερμανίας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα<sup>59</sup> (εικόνα 4.6). Πρωτοπόρος, και μάλιστα με μεγάλη διαφορά από τον δεύτερο, είναι η Δημοκρατία της Κορέας με πυκνότητα 531 μονάδες, με την Σιγκαπούρη να ακολουθεί με 398 μονάδες, και τρίτη την Ιαπωνία με 305 μονάδες. Το γεγονός ότι οι τρεις πρώτες χώρες είναι ασιατικές ήταν αναμενόμενο και από τα παραπάνω, παρόλο που ως σύνολο, οι χώρες της Ασίας έχουν πολύ μικρό μέσο όρο. Εντύπωση ίσως προκαλεί η απουσία της Κίνας από το διάγραμμα αυτό, η οποία είναι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μεγαλύτερη αγορά για τους κατασκευαστές βιομηχανικών ρομπότ αλλά λόγω του μεγάλου αριθμού εργαζομένων είχε το 2015 πυκνότητα 49 μονάδες.



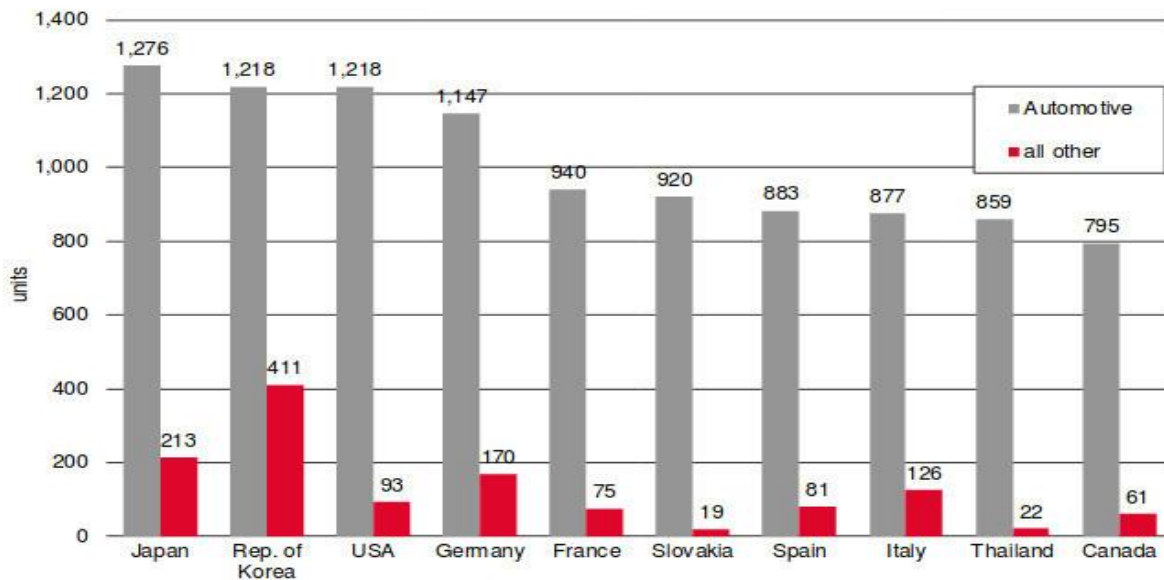
Εικόνα 4.6 : Πυκνότητα Βιομηχανικών Ρομπότ ανά χώρα για το έτος 2015 (γενική)

Χρησιμοποιώντας το μέγεθος της “πυκνότητας ρομπότ” αναδεικνύεται καλύτερα η πολύ μεγαλύτερη διείσδυση της βιομηχανικής ρομποτικής στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας που αναφέρθηκε παραπάνω. Παίρνοντας ως πρώτο παράδειγμα την Ιαπωνία, που έχει πολύ ανεπτυγμένο τον τομέα αυτό και την υψηλότερη πυκνότητα ρομπότ, όσον αφορά την αυτοκινητοβιομηχανία της, η

<sup>59</sup> Στο διάγραμμα εμφανίζονται οι 22 χώρες με την μεγαλύτερη πυκνότητα ρομπότ, με τις χώρες της Ευρώπης να αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα. Η Ελλάδα, λόγω πολύ μικρής βιομηχανικής ανάπτυξης, και άρα πολύ μικρής πυκνότητας ρομπότ, δεν εμφανίζεται στο διάγραμμα. Το 2014 εκτιμάται ότι είχε πυκνότητα ρομπότ με τιμή 16 μονάδες.

## Βιομηχανική Ρομποτική

πυκνότητα που αφορά ειδικά τα βιομηχανικά ρομπότ των εργοστασίων αυτοκινήτων είναι 1276 μονάδες, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 4.7), έναντι τιμής για το σύνολο της βιομηχανίας των 305 μονάδων. Την δεύτερη υψηλότερη τιμή είχε η Δημοκρατία της Κορέας και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, με 1218 μονάδες (έναντι 531 μονάδων για το σύνολο της βιομηχανίας της Κορέας και 176 για των Η.Π.Α.) και την τρίτη η Γερμανία με 1147 μονάδες (με τιμή 301 μονάδων για το σύνολο της βιομηχανίας της). Η πυκνότητα ρομπότ για την αυτοκινητοβιομηχανία της Κίνας έχει τιμή 392 μονάδες που, αν και πολύ υψηλότερη από αυτή του συνόλου της βιομηχανίας, είναι δραματικά μικρότερη των άλλων χωρών που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 4.7 : Πυκνότητα Βιομηχανικών Ρομπότ ανά χώρα για το έτος 2015 (αυτοκινητοβιομηχανίας)

### 4.2 Το μέλλον των Βιομηχανικών Ρομπότ [95]

Όπως έγινε φανερό από τα παραπάνω, η διείσδυση των βιομηχανικών ρομπότ στην βιομηχανία είναι συνεχώς αυξανόμενη. Ειδικά με τις νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται όπως είναι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, οι νανοϋπολογιστές και η συνεχώς αυξανόμενη υπολογιστική ισχύ των υπολογιστών, η εξέλιξη του παράλληλου προγραμματισμού, η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης και την πολυαναμενόμενη έλευση του Internet πραγμάτων (Internet of Things), οι εφαρμογές τις οποίες μπορούν να εκτελέσουν τα βιομηχανικά ρομπότ συνεχώς αυξάνονται και θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Αυτό έχει προκαλέσει την περιγραφή της περιόδου

## Βιομηχανική Ρομποτική

αυτής ως “Βιομηχανία 4.0” (Industry 4.0), ένας όρος που επινοήθηκε στην έκθεση της γερμανικής πόλης Hannover του 2011, με την έννοια ότι η περίοδος αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, μιας και η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των βιομηχανικών ρομπότ έχει αυξήσει πολύ την απόδοση παραγωγής της βιομηχανίας, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος. Ακόμα, με την εξέλιξη των τρόπων και των ταχυτήτων επικοινωνίας και των δυνατοτήτων διασύνδεσης των διαφόρων μηχανών μεταξύ τους, με αποκορύφωμα την δημιουργία ενός διαδικτύου από συσκευές οι οποίες θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ελέγχονται από απόσταση, το IoT (Internet of Things) που αναφέρθηκε παραπάνω, θα δημιουργήσει νέα μοντέλα λειτουργίας των μέσων παραγωγής, δημιουργώντας τα “έξυπνα εργοστάσια” (smart factories), δημιουργώντας έναν κόσμο όπου τα φυσικά και τα εικονικά συστήματα παραγωγής θα συνεργάζονται σε παγκόσμιο επίπεδο, επιτρέποντας την απόλυτη προσαρμογή των παραγόμενων προϊόντων στις ανάγκες της συγκεκριμένης περιόδου.

Έτσι, αναμένεται στα επόμενα χρόνια να ενταθεί η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και να αλλάξει ριζικά ο κόσμος σε πολλά επίπεδα, όχι μόνο στα επίπεδα οργάνωσης της παραγωγής αλλά και σε άλλες πτυχές της κοινωνικής ζωής του ανθρώπου. Μία επιφύλαξη που έχουν αρκετοί είναι οι κοινωνικές ανισότητες που μπορεί να δημιουργήσει η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, καθιστώντας του εργάτες αχρείαστους στα μέσα παραγωγής, αυξάνοντας έτσι τις υπάρχουσες κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι αλλαγής του υπάρχοντος συστήματος, με χαρακτηριστική την πρόταση του Bill Gates, ιδρυτή της Microsoft και έναν από τους πλουσιότερους ανθρώπους στον κόσμο, της φορολόγησης των ιδιοκτητών των μέσων παραγωγής που έχουν εγκατεστημένα βιομηχανικά ρομπότ, του παραγόμενου κέρδους από αυτά και την κατεύθυνση του φόρου αυτού προς την στήριξη των ευπαθών κοινωνικών ομάδων. Μία παρόμοια πρόταση είχε μελετηθεί και από κάποιους Ευρωβουλευτές, η οποία όμως απορρίφθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, όπως παρόμοιες προτάσεις ακούγονται σιγά σιγά και από άλλες πλευρές.

Το σίγουρο πάντως είναι ότι η εξέλιξη των τεχνολογιών και ειδικά αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω θα εντείνει την χρήση των βιομηχανικών ρομπότ, τα οποία όσο εξελίσσονται αποκτούν και μεγαλύτερες δυνατότητες αυτονομίας και αυτόματης λειτουργίας, πλησιάζοντας τα επίπεδα “τεχνητής νοημοσύνης” έτσι ώστε να μπορεί ένα εργοστάσιο να λειτουργεί αυτόματα, χωρίς την ανάγκη κάποιου ανθρώπινου χειριστή ή έστω κάποιου να ελέγχει την λειτουργία τους. Και φυσικά, εκτός της βιομηχανίας, οι παραπάνω εξελίξεις της ρομποτικής θα δημιουργήσουν τα επόμενα χρόνια είδη ρομπότ τα οποία θα χρησιμοποιούνται σε κάθε τομέα της καθημερινής ζωής του ανθρώπου.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- (1) **Τα αυτόματα στην Ιλιάδα και την Οδύσσεια** [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://users.sch.gr/jenyk/index.php/artificialintelligence/ai-historicalreview/38-automaticmachinesofomiros>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (2) **History of robots**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_robots](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_robots)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (3) **Τάλως, το πρώτο ρομπότ στην ιστορία!**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://arduinobots.wordpress.com/%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%BFCF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B7/>>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (4) **Η Ιστορία των Ρομπότ. Η εξέλιξή τους.**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://athinodromio.gr/%CE%B7-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84-%CE%B7-%CE%B5%CE%BE%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BE%CE%AE-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82/#.WWzcTSdLd1Y>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (5) **A Brief History of Robotics**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://robotics.megaqiant.com/history.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (6) **Μηχανισμός των Αντικυθήρων**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CF%84%CF%89%CE%BD\\_%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%85%CE%B8%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%85%CE%B8%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]

- (7) «**Αυτόματη Θεραπεία**», Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://www.archaiologia.gr/blog/photo/%CE%B1%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B7-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%AF%CF%82/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (8) **Ἡρων**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%81%CF%89%CE%BD>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (9) «**Ρολόι του Κτησιβίου**», Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://www.archaiologia.gr/blog/photo/%cf%81%ce%bf%ce%bb%cf%8c%ce%b9-%cf%84%ce%bf%cf%85-%ce%ba%cf%84%ce%b7%cf%83%ce%b9%ce%b2%ce%af%ce%bf%cf%85-%ce%bc%ce%bf%cf%85%cf%83%ce%b5%ce%af%ce%bf-%ce%b1%cf%81%cf%87%ce%b1%ce%af%ce%b1/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (10) **Ismail al-Jazari**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Ismail\\_al-Jazari](https://en.wikipedia.org/wiki/Ismail_al-Jazari)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (11) **Leonardo da Vinci**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_da\\_Vinci](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (12) **Leonardo's robot**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s\\_robot](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (13) **Vitruvian Man**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Vitruvian\\_Man](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitruvian_Man)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (14) **Jacques de Vaucanson**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Jacques\\_de\\_Vaucanson](https://en.wikipedia.org/wiki/Jacques_de_Vaucanson)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (15) **Tanaka Hisashige**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Tanaka\\_Hisashige](https://en.wikipedia.org/wiki/Tanaka_Hisashige)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (16) **Joseph-Marie Jacquard**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://www.britannica.com/biography/Joseph-Marie-Jacquard>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (17) J. Wallen, “**The history of the industrial robot**”, Technical report from Automatic Control at Linköpings universitet, 8th May 2008
- (18) **Race of Robots**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[http://www.pbs.org/tesla/II/II\\_robots.html](http://www.pbs.org/tesla/II/II_robots.html)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]

- (19) **R.U.R.**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://en.wikipedia.org/wiki/R.U.R.>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (20) **Definition of robot**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (21) **Definition of “robot” - English Dictionary**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/robot>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (22) **Robotics: A Brief History**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1998-99/robotics/history.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (23) **Metropolis (1927 film)**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Metropolis\\_\(1927\\_film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Metropolis_(1927_film))>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (24) **Robot series (Asimov)**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Robot\\_series\\_\(Asimov\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_series_(Asimov))>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (25) R. Murphy, D. D. Woods, “Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics”, IEEE Intelligent Systems, Volume: 24, Issue: 4, July-Aug. 2009
- (26) H. Shah, K. Warwick, “Passing the Turing Test Does Not Mean the End of Humanity”, Cognitive Computation, June 2016, Volume 8, Issue 3, pp 409-419
- (27) **The return of Elektro, the first celebrity robot**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.newscientist.com/article/mg20026873.000-the-return-of-elektro-the-first-celebrity-robot>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (28) O. Khatib, B. Siciliano, “Springer Handbook of Robotics”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- (29) Δρ. Γ. Α. Δημητρίου, “Ευφυή Κινούμενα Ρομπότ”, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://akrob.frederick.ac.cy/images/pdf/axxes-rompotikis/EyfiiKinoumenaRompot-1.pdf>>
- (30) **Mars rover**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Mars\\_rover](https://en.wikipedia.org/wiki/Mars_rover)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (31) Devol Jr., George C. 1961, “Programmed article transfer” United States, Devol Jr., George C. Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.freepatentsonline.com/2988237.html>>
- (32) **Robot History-Timeline**, [online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://ifr.org/robot-history>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (33) Thomas R. Kurfess, “Robotics and Automation Handbook”, Taylor & Francis (2005)

- (34) J. Bloem, M. van Doorn, S. Duivesteyn, D. Excoffier, R. Maas, E. van Ommereen, 2014, “The Fourth Industrial Revolution” Sogeti VINT (research report), Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.fr.sogeti.com/globalassets/global/downloads/reports/vint-research-3-the-fourth-industrial-revolution>>
- (35) Jan M. Karlsson. “A Decade of Robotics; Analysis of the Diffusion of Industrial Robots in the 1980s by Countries, Application Areas, Industrial Branches and Types of Robots”. Mekanförbundets Förlag, Stockholm, Sweden, 1991.
- (36) **Japan Robot Association | Member List | Regular Members**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.jara.jp/e/h/memberlist.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (37) **Japan Robot Association | About JARA | Outline**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.jara.jp/e/h/jara01.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (38) **International Federation of Robotics-About IFR**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://ifr.org/association>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (39) **International Federation of Robotics-IFR Members**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://ifr.org/members-list>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (40) **International Federation of Robotics-Industrial Robots**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://ifr.org/industrial-robots>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (41) R. K. Mittal, I. J. Nacra, “Robotics and Control”, Tata McGraw-Hill Education (2003)
- (42) **Robot Links and Joints - Robotics Bible**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.roboticsbible.com/robot-links-and-joints.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (43) K. Asai, S. Takashima, P.R. Edwards, “Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories”, Springer Science & Business Media (1993)
- (44) **Extract from VDMA Chronicle**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.vdma.org/v2viewer/-/v2article/render/15167615>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (45) H. H. Poole, “Fundamentals of Robotics Engineering”, Springer Science & Business Media (2012)
- (46) **Industrial Robot Applications**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.robots.com/applications>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (47) **Quality is Stäubli's mission and driving force since 1892**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.staubli.com/en/profile/history>> , [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]

- (48) **The history of KUKA**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://www.kuka.com/en-us/about-kuka/history>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (49) **Strongest and largest robot-world record set by KUKA**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<[http://www.worldrecordacademy.com/technology/strongest\\_and\\_largest\\_robot\\_world\\_record-set\\_by\\_KUKA\\_70226.htm](http://www.worldrecordacademy.com/technology/strongest_and_largest_robot_world_record-set_by_KUKA_70226.htm)>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (50) **KR 1000 titan**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-1000-titan>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (51) **FANUC's History**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://fanuc.co.jp/en/profile/history/index.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (52) **Strongest robot arm**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://www.guinnessworldrecords.com/world-records/strongest-robot-arm>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (53) **Strongest robot arm**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://new.abb.com/about/abb-in-brief/history>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (54) **Robot selector**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/robot-selector>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (55) **History | www.densorobotics-europe.com**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.densorobotics-europe.com/en/history>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (56) **DENSO Robotics**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://www.robotics.org/company-profile-detail.cfm/Supplier/DENSO-Robotics/company/366>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (57) **Chronological Table**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://global.kawasaki.com/en/corp/history/chronology.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (58) **Products**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<https://robotics.kawasaki.com/en1/products/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (59) **This is Comau : History**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://www.comau.com/en/this-is-comau/history>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (60) **Robotics : Overview**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο:  
<<http://www.comau.com/EN/our-competences/robotics/overview>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]

## Βιομηχανική Ρομποτική

- (61) **Company History**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.daihen.co.jp/en/company/history/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (62) **Products - OTC Daihen**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.daihen-usa.com/products>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (63) **About the Company**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.adept.com/company/about>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (64) **Industrial Robots**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.adept.com/products/robots>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (65) **About Yaskawa Motoman**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.motoman.com/about>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (66) **Motoman Robots**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.motoman.com/industrial-robots>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (67) **ISO 12100:2010 : Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.iso.org/standard/51528.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (68) **ISO 10218-1:2011: Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -- Part 1: Robots**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.iso.org/standard/51330.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (69) **ISO 10218-2:2011 : Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -- Part 2: Robot systems and integration**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.iso.org/standard/41571.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (70) **Safety standards - 18957 | Universal Robots**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.universal-robots.com/how-tos-and-faqs/faq/ur-faq/safety-standards-18957/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (71) **ISO/TS 15066 Explained (e-book)**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://robotiq.com/wp-content/uploads/2016/05/ebook-ISOTS15066-Explained.pdf>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (72) **Product specification: Articulated robot (3HAC 14064-1)**, [e-manual] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://library.e.abb.com/public/10371719b9984224c125766d003e8d44/3HAC14064-1\\_revH\\_en\\_library.pdf](https://library.e.abb.com/public/10371719b9984224c125766d003e8d44/3HAC14064-1_revH_en_library.pdf)>
- (73) T. R. Kurfess, "Robotics and automation handbook", CRC Press LLC (2005)

- (74) E. L. Hall, R. L. Shell, “Handbook of Industrial Automation”, Marcel Dekker, Inc. (2000)
- (75) **Robot Programming Languages**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://www.roboticsbible.com/robot-programming-languages.html> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (76) J. J. Craig, W. A. Gruver, B. I. Soroka, T. L. Turner, “Industrial robot programming languages: A comparative evaluation”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Volume: SMC-14, Issue: 4, July-Aug. 1984) , pp. 565-570
- (77) S.R. Deb, S. Deb, “Robotics Technology and Flexible Automation, (Second edition)”, Tata McGraw Hill (2010)
- (78) **Stäubli Robotics Suite**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://www.staubli.com/en/robotics/robot-software/pc-robot-programming-srs/> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (79) **Application software from KUKA**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/application-software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (80) **KUKA System Software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/system-software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (81) **Software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://www.densorobotics-europe.com/en/software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (82) **Simulation & OLP**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/other/simulation-OLP/> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (83) **Robotics : Software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://www.comau.com/EN/our-competences/robotics/software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (84) **Industrial Automation Software (for the PC, Controller and PLC) - Omron Adept Technologies, Inc.**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://www.adept.com/products/software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (85) **Motoman Robot Software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <https://www.motoman.com/products/software/default> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (86) **Application Software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://new.abb.com/products/robotics/application-software> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (87) **RobotStudio**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> >, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]

- (88) **Robotmaster v6 - Robot programming software**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://www.robotmaster.com/en/products>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (89) **Simulator for industrial robots and offline programming - RoboDK**, [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://robodk.com/>>, [Τελευταία πρόσβαση: 01 Ιουλίου 2017]
- (90) P.I. Corke, "Robotics, Vision & Control", Springer 2017, ISBN 978-3-319-54413-7.
- (91) Executive Summary World Robotics 2016 Industrial Robots, World Robotics 2016 edition, IFR (Διαθέσιμο online στο σύνδεσμο: <[https://ifr.org/img/uploads/Executive\\_Summary\\_WR\\_Industrial\\_Robots\\_2016\\_1.pdf](https://ifr.org/img/uploads/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2016_1.pdf)> )
- (92) Presentation market overview Industrial Robots, World Robotics 2016 edition, IFR (Διαθέσιμο online στο σύνδεσμο: <[https://ifr.org/downloads/press/02\\_2016/Presentation\\_market\\_overviewWorld\\_Robotics\\_29\\_9\\_2016.pdf](https://ifr.org/downloads/press/02_2016/Presentation_market_overviewWorld_Robotics_29_9_2016.pdf)> )
- (93) J. le Roux, [2016] "Industrial robot population density and the neoclassical growth model", University of Pretoria
- (94) K. Schwab, "The Fourth Industrial Revolution", World Economic Forum (2016)
- (95) **PLC or No PLC?: Robot Controller Takes on More** [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <[https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/PLC-or-No-PLC-Robot-Controller-Takes-on-More/content\\_id/1106](https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/PLC-or-No-PLC-Robot-Controller-Takes-on-More/content_id/1106)>, [Τελευταία πρόσβαση: 19 Δεκεμβρίου 2017]
- (96) **Programmable Logic Controllers (PLC)** [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<https://www.robots.com/articles/viewing/programmable-logic-controllers-plc>>, [Τελευταία πρόσβαση: 19 Δεκεμβρίου 2017]
- (97) YASKAWA-Motoman Robotics: PLC Integrated Robots-The case for unified architecture (Διαθέσιμο online στο σύνδεσμο: <[http://cdn2.hubspot.net/hubfs/366775/PDFs/WhitePaper\\_PLC\\_IntegratedRobots.pdf](http://cdn2.hubspot.net/hubfs/366775/PDFs/WhitePaper_PLC_IntegratedRobots.pdf)> )
- (98) ABB Robotics-Technical reference manual: RAPID Instructions, Functions and Data types (Διαθέσιμο online στο σύνδεσμο <[https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual\\_RAPID\\_3HAC16581-1\\_revJ\\_en.pdf](https://library.e.abb.com/public/688894b98123f87bc1257cc50044e809/Technical%20reference%20manual_RAPID_3HAC16581-1_revJ_en.pdf)> )
- (99) Operating manual: Introduction to RAPID - RobotWare 5.0 (Διαθέσιμο online στο σύνδεσμο: <[http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Tuotantoautomaatio/Robotiikka/Introduction\\_to\\_RAPID\\_3HAC029364-001\\_rev-en.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Tuotantoautomaatio/Robotiikka/Introduction_to_RAPID_3HAC029364-001_rev-en.pdf)> )
- (100) **What is a FlexPendant?** [Online] Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <<http://developercenter.robotstudio.com/BlobProxy/manuals/IRC5FlexPendantOpManual/doc27.html>>, [Τελευταία πρόσβαση: 19 Δεκεμβρίου 2017]