



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Ανάλυση του Ενεργειακού Αποτυπώματος στον κύκλο  
ζωής ενός τυπικού Βιομηχανικού Ρομπότ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**του**

**Διδασκάλου Παναγιώτη**

Αριθμός Μητρώου : 51204519 ( [et04519@uniwa.gr](mailto:et04519@uniwa.gr) )

**Επιβλέπων**

Χαμηλοθώρης Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

**Analysis of the Energy Footprint along the life-cycle of a  
typical Industrial Robot**

**DIPLOMA THESIS**

of

**Didaskalou Panagiotis**

**Registration number : 51204519 ( [et04519@uniwa.gr](mailto:et04519@uniwa.gr) )**

**Supervisor**

Chamilothoris George

ATHENS

FEBRUARY 2024

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

Γεώργιος ΧΑΜΗΛΟΘΩΡΗΣ  
Καθηγητής

Χριστιάνα ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ  
Επικ. Καθηγήτρια

Δρ. Αβραάμ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ  
Μέλος ΕΔΙΠ

Copyright © - Διδασκάλου Παναγιώτης , 2024


Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος . All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο Δηλών



**Διδασκάλου Παναγιώτης**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Διδασκάλου Παναγιώτης του Βλάσιου Διδασκάλου, με αριθμό μητρώου 51204519 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών , δηλώνω υπεύθυνα ότι :

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



**Διδασκάλου Παναγιώτης**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Σε αυτό το σημείο , θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την συνεργασία τους τα τελευταία αυτά χρόνια και παρείχαν την κατάλληλη καθοδήγηση για την διερεύνηση της Μηχανολογίας.

Είμαι ευγνώμον για την ανάθεση και εμπιστοσύνη που μου δόθηκε από τον επιβλέπον καθηγητή Χαμηλοθώρη Γεώργιο για την συγκεκριμένη εργασία , η οποία με έβαλε σε θέση να εξερευνήσω και να εμβαθύνω ένα θέμα που με ενδιαφέρει βαθιά.

Τέλος , θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συνεχή ενθάρρυνση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου , χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσα να ξεπεράσω στιγμές αμφισβήτησης και αποτέλεσαν σημαντική πηγή δύναμης για εμένα.

Σας ευχαριστώ όλους .

Με εκτίμηση ,

Διδασκάλου Παναγιώτης.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την αξιολόγηση του ενεργειακού αποτυπώματος που σχετίζεται με τον κύκλο ζωής των βιομηχανικών ρομπότ .

Αναγνωρίζοντας τις παγκόσμιες ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη διαχείριση των πόρων, η παρούσα έρευνα στοχεύει να ρίξει φως στις πολύπλευρες πτυχές της κατανάλωσης ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των βιομηχανικών ρομπότ.

Μέσω μιας εκτεταμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης και εμπειρικής ανάλυσης, η μελέτη περιηγείται στο πολύπλοκο τοπίο της χρήσης ενέργειας, από τα αρχικά στάδια της κατασκευής έως τη φάση λειτουργίας και τις ενδεχόμενες εκτιμήσεις για το τέλος του κύκλου ζωής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαλεύκανση της αλληλένδετης σχέσης μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των οικονομικών πτυχών της ανάπτυξης βιομηχανικών ρομπότ.

Η έρευνα περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών κατασκευής, των πηγών ενέργειας, των μεταφορών και των μεθόδων διάθεσης στο τέλος του κύκλου ζωής. Επιπλέον, η μελέτη διερευνά την επίδραση διαφόρων παραγόντων, όπως την ελαχιστοποίηση και βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ενέργειας .

**Λέξεις-κλειδιά** : Βιομηχανικό Ρομπότ , Κύκλος ζωής (ΚΖ) , Ενεργειακό Αποτύπωμα , Ρομποτικός Βραχίονας, Εξοικονόμηση ενέργειας , Διαχείριση αποβλήτων .

## ABSTRACT

---

This thesis aims to evaluate the energy footprint associated with the life cycle of industrial robots.

Recognizing global concerns about environmental impacts and resource management, this research aims to shed light on the multifaceted aspects of energy consumption throughout the life cycle of industrial robots.

Through an extensive literature review and personal knowledge the study navigates the complex landscape of energy use, from the initial stages of construction to the operational phase and potential end-of-life considerations. A particular emphasis is given to elucidating the interconnected relationship between energy consumption, environmental impacts and economic aspects of industrial robot development.

The research involves the collection of data from a variety of sources, including manufacturing processes, energy sources, transport and end-of-life disposal methods. In addition, the study explores the impact of various factors, such as minimizing and optimizing energy consumption .

**Keywords:** Industrial Robot , Life-Cycle , Energy footprint , Robotic Arm , Energy saving, Waste management





# Περιεχόμενα

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	14
1.1 Βιομηχανική Ρομποτική .....	14
1.1.1 Η έννοια «Βιομηχανικό Ρομπότ» .....	16
1.1.2 Εργασίες Βιομηχανικών Ρομπότ .....	17
1.1.3 Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Αυτοματισμού και Βιομηχανικών Ρομπότ.....	17
1.2 Η Διάδοση των Βιομηχανικών Ρομπότ.....	20
1.2.1 Εξάλειψη Βιομηχανικών Ρομπότ ανά Ήπειρο.....	22
1.2.2 Διάδοση ανά Βιομηχανία .....	24
1.3 Προβλέψεις για το Μέλλον .....	26
1.4 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ .....	27
1.4.1 Πλεονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ .....	28
1.4.2 Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ .....	29
1.5 Ενεργειακή Κατανάλωση Βιομηχανικών Ρομπότ.....	31
1.5.1 Σημασία Ενεργειακής Κατανάλωσης .....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Το Οικολογικό Αποτύπωμα των Βιομηχανικών Ρομπότ.....	34
2.1 Εισαγωγή .....	34
2.1.1 Τεχνητή Νοημοσύνη.....	35
2.1.2 Το αντίκτυπο των Βιομηχανικών Ρομπότ.....	36
2.1.3 Ανάλυση της επίδρασης των βιομηχανικών ρομπότ (UIR) στο οικολογικό αποτύπωμα .....	39
2.2 Σύνοψη .....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ενεργειακό Αποτύπωμα κατά τη Φάση της Κατασκευής.....	43
3.1 Εισαγωγή για την φάση παραγωγής.....	43
3.1.1 Κατασκευή εξαρτημάτων .....	43
3.1.2 Διαδικασία Συναρμολόγησης.....	45
3.2 Κατανάλωση κατά την Κατασκευή.....	48
3.2.1 Στάδιο Σχεδιασμού .....	48
3.2.2 Επιλογή και προμήθεια υλικών.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Ενεργειακή Κατανάλωση κατά την Φάση της Λειτουργίας.....	54
4.1 Εισαγωγή στην Ενεργειακή Κατανάλωση .....	54
4.2 Συντήρηση ενός βιομηχανικού ρομπότ .....	55
4.2.1 Γενικές λειτουργίες συντήρησης και είδη συντήρησης .....	57
4.2.2 Συχνά χρησιμοποιούμενα όργανα για τη συντήρηση .....	57

4.2.3 Μέτρα ασφαλείας .....	58
4.2.4 Μέθοδοι συντήρησης ενός ενεργειακά αποδοτικού IR .....	59
4.3 Ανάλυση Κατανάλωσης Ενέργειας.....	61
4.3.1 Ενεργειακή Κατανάλωση των Κινητήρων .....	62
4.3.2 Ρομποτικός Βραχίονας IRB 1200 .....	63
4.3.3 Περιγραφή Συστήματος .....	67
4.3.4 ROBOT STUDIO .....	69
4.3.5 Περιγραφή Διαδικασίας.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης διαφορετικών IR .....	73
5.1 Στατιστικά Διεθνής Ομοσπονδίας Ρομποτικής (IFR).....	74
5.1.1 Ενεργειακή Κατανάλωση Βιομηχανικών Ρομπότ.....	74
5.2 Υπολογιστικά Παραδείγματα .....	76
5.2.1Υπολογιστικό Παράδειγμα για την Ετήσια Κατανάλωση.....	76
5.2.2 Υπολογιστικό Παράδειγμα για την Ετήσια Κατανάλωση (2) .....	76
5.3 Κατηγορίες Ρομποτικών Συστημάτων και η Ενεργειακή τους Κατανάλωση.....	82
5.4 Σύγκριση διαφόρων IR .....	84
5.4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (1) .....	84
5.4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (2) .....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας των IR.....	91
6.1 Εισαγωγή .....	91
6.1.1 Στάδια μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης .....	92
6.1.1.1 Στάδιο Σχεδιασμού Παραγωγής.....	92
6.1.1.2 Στάδιο Θέσης Λειτουργίας .....	92
6.1.1.3 Στάδιο Βελτιστοποίησης Διαδικασίας.....	92
6.2 Μέθοδοι μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των IR.....	93
6.2.1 Χρονοδιάγραμμα Δραστηριοτήτων .....	93
6.2.2 Ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός κίνησης.....	95
6.2.3 Βιομηχανικές Λύσεις .....	95
6.2.5 Σύνοψη .....	96
6.3 Ενεργειακές απώλειες.....	97
6.3.1 Ρομποτικά εξαρτήματα .....	97
6.3.2 Σύστημα ελέγχου.....	97
6.3.3 Κινητήρας κίνησης.....	98
6.4 Προσεγγίσεις ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας βιομηχανικών ρομπότ. .....	104
6.4.1 Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας .....	105
Κεφάλαιο 7 : Το τέλος του κύκλου ζωής ενός Βιομηχανικού Ρομπότ .....	108
7.1 Εισαγωγή.....	108

7.1.1 Κίνητρο .....	108
7.1.2 Στόχος .....	109
7.2 Διαχείριση του τέλους της ζωής των βιομηχανικών ρομπότ .....	109
7.2.1 Ο ρόλος της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης .....	110
7.2.2 Παράγοντες αποσυναρμολόγησης .....	111
7.3 Η σημασία της διαχείρισης αποβλήτων .....	112
7.3.1 Οικολογική Πτυχή .....	112
7.3.2 Οικονομική Πτυχή .....	113
7.3.3 Κύκλος ζωής ενός ρομποτικού συστήματος .....	113
7.4 Παράδειγμα Ανακύκλωσης/Επαναχρησιμοποίησης ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 117	
7.4.1 Περιγραφή Ρομποτικού Συστήματος SCARA Sony SRX-611 .....	118
7.4.2 Ανακύκλωση / Επαναχρησιμοποίηση SCARA Sony SRX-611 .....	118
7.5 Ανακύκλωση Βιομηχανικών Ρομπότ .....	123
7.5.1 Επεξήγηση .....	123
7.5.2 Περιβαλλοντικές Ανάγκες .....	123
7.5.3 Δυσκολίες Ανακύκλωσης των Βιομηχανικών Ρομπότ .....	124
Κεφάλαιο 8 : Παράδειγμα Υπολογισμού του Ενεργειακού Αποτυπώματος στον Κύκλο Ζωής (ΚΖ) τύπου διπλού βραχίονα .....	128
8.1 Στόχος .....	128
8.2 Περιγραφή .....	128
8.2.1 Υλικά .....	128
8.2.2 Μεταφορά .....	135
8.3 Κατανάλωση Ενέργειας .....	141
8.3.1 Επιπτώσεις ανά στάδιο .....	142
8.3.2 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα .....	145
8.3.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα .....	148
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	149
9.1 Μελλοντική δουλεία .....	151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	152
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	162
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	163
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	164



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα βιομηχανικά ρομπότ, που συχνά χαρακτηρίζονται ως τα απαραίτητα εργαλεία της σύγχρονης βιομηχανίας, αντιπροσωπεύουν μια καίρια τεχνολογική καινοτομία που έχει αναδιαμορφώσει το βιομηχανικό τοπίο. Αυτές οι προγραμματιζόμενες μηχανές, εξοπλισμένες με προηγμένους αισθητήρες και εργαλεία ακριβείας, έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν πληθώρα εργασιών με αποτελεσματικότητα και ακρίβεια. Από τη συναρμολόγηση και τη συγκόλληση έως το χειρισμό υλικών και τον ποιοτικό έλεγχο, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν βελτιώσει σημαντικά τις διαδικασίες παραγωγής, εξορθολογίζοντας τις λειτουργίες, μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση και βελτιώνοντας τη συνολική παραγωγικότητα.

Η δυνατότητα προσαρμογής και η ευελιξία τους τα καθιστούν απαραίτητα περιουσιακά στοιχεία για τις βιομηχανίες που επιδιώκουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της σημερινής δυναμικής αγοράς. Καθώς τα βιομηχανικά ρομπότ συνεχίζουν να εξελίσσονται και να ενσωματώνονται με αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως τη τεχνητή νοημοσύνη, είναι έτοιμα να διαδραματίσουν ακόμη πιο μετασχηματιστικό ρόλο στη συνεχή εξέλιξη της παραγωγής, διαμορφώνοντας το μέλλον της βιομηχανίας με τις δυνατότητες και τις καινοτομίες τους.

### 1.1 Βιομηχανική Ρομποτική

Η Βιομηχανική Ρομποτική αποτελεί έναν εξειδικευμένο τομέα της Ρομποτικής Επιστήμης που επικεντρώνεται κυρίως στη μοντελοποίηση και εφαρμογή των ρομπότ σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Ο όρος "βιομηχανικό ρομπότ" χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια κατασκευή που είναι σχεδιασμένη να λαμβάνει, να αλληλεπιδρά με ακρίβεια και να επαναλαμβάνει εντολές με σκοπό να εκτελεί διάφορες εργασίες σε περιβάλλοντα όπου η ανθρώπινη παρέμβαση δεν είναι επιθυμητή ή ακόμη και απαγορευμένη.

Στην αγορά εμφανίστηκε κυρίως το 1971 από μια Ιαπωνική εταιρία, η οποία αρχικά επικεντρωνόταν στη μελέτη της χρήσης των ρομπότ σε βιομηχανικούς χώρους. Κατά την πορεία, αυτή η εταιρία συνέστησε τον οργανισμό "Ιαπωνική Ένωση Ρομπότ" ή JARA (Japan Robot Association), ο οποίος αποτελείται από πολλές επιμέρους εταιρίες. Με τον χρόνο, ο οργανισμός διευρύνθηκε και καλύπτει πλέον και άλλες εφαρμογές των ρομπότ.



*Εικόνα 1 Ιαπωνική Ένωση Ρομπότ (JARA)*

Σχετικά με τη χρησιμότητά τους, παρατηρείται ένα ευρύ φάσμα εργασιών που αυτές οι μηχανές μπορούν να εκτελέσουν στην καθημερινότητα. Παρέχοντας, πιθανότατα, λύσεις σε προβλήματα που απασχολούν ακόμα και τον εργασιακό χώρο του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, σε βιομηχανίες όπως της αυτοκινητοβιομηχανίας ή της μεταλλουργίας όπου η έμφαση τίθεται στο κέρδος και στην παραγωγή υψηλής ποιότητας, επιλέγονται συστήματα όπως τα βιομηχανικά ρομπότ.

Αυτά τα ρομπότ μπορούν να εργάζονται συνεχώς με υψηλούς ρυθμούς, αντιμετωπίζοντας τις ανθυγιεινές συνθήκες του περιβάλλοντός τους, και μπορούν επίσης να αντιμετωπίσουν υψηλές θερμοκρασίες και να μεταφέρουν με ευκολία ογκώδη αντικείμενα. Επομένως, η παρουσία τους όχι μόνο αντικαθιστά τον άνθρωπο όταν είναι αναγκαίο, αλλά συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση χρόνου και ενέργειας.

### 1.1.1 Η έννοια «Βιομηχανικό Ρομπότ»

Αυτός ο όρος αναφέρεται σε μια μηχανική συσκευή η οποία είναι ικανή να λειτουργεί είτε αυτόνομα είτε με τη συμμετοχή του ανθρώπινου δυναμικού με σκοπό την παροχή υπηρεσιών και την εκτέλεση έργων που θα υπερβαίνουν τις δυνατότητες ή τις περιορισμένες δυνατότητες του ανθρώπου.

Οι (Ebel 1977) αναφέρουν πως αυτή η συσκευή είναι σχεδιασμένη να δέχεται καθοδηγητικές εντολές από τον χειριστή και να μπορεί να προσαρμόζεται σε διάφορες εργασίες με μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια από ό,τι ο άνθρωπος.

<b>Ρομπότς ανα 10.000 εργαζόμενους στην βιομηχανία</b>					
	<b>1974</b>	<b>1978</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1983</b>
<b>Γαλλία</b>	0,1	0,2	1,1	1,9	7,1
<b>Γερμανία</b>	0,4	0,9	2,3	4,6	14,6
<b>Ιαπωνία</b>	1,9	4,2	8,3	13	45,9
<b>Σουηδία</b>	1,3	13,2	18,7	29,9	44,1
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	0,1	0,2	0,6	1,2	-
<b>Η.Π.Α</b>	0,8	2,1	3,1	4	11,3

Πίνακας 1 Ρομπότ ανά 10.000 εργαζόμενους (Ebel 1977)

Αυτή η συσκευή είναι σχεδιασμένη να δέχεται καθοδηγητικές εντολές από τον χειριστή και να μπορεί να προσαρμόζεται σε διάφορες εργασίες με μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια από ό,τι ο άνθρωπος. Η συσκευή αυτή διαθέτει έναν σκελετό με εξαρτήματα για την κίνηση, αισθητήρες και ένα σύστημα ελέγχου που της επιτρέπει να αντιδρά στις εντολές και στο περιβάλλον όπου βρίσκεται. Είναι ικανή να επαναπρογραμματιστεί, προσαρμόζοντας τη μνήμη της, κάτι που την καθιστά μοναδική σε σχέση με άλλα αυτοματοποιημένα συστήματα. Επίσης, εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς όπως η βιομηχανία, η εκπαίδευση, τα διαστημικά προγράμματα, η διασκέδαση, η ιατρική και καθημερινές εφαρμογές, όπως η διάσωση και η παροχή υπηρεσιών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως οι πυρκαγιές. Η εξέλιξη αυτών των ρομπότ συνεχίζεται ραγδαία, καθιστώντας την εφαρμογή τους πιο ευέλικτη και αποδοτική



### 1.1.2 Εργασίες Βιομηχανικών Ρομπότ

Προκειμένου να ενταχθεί στην κατηγορία των βιομηχανικών ρομπότ και να εκτελεί τις προαναφερθείσες εργασίες, το εν λόγω σύστημα πρέπει:

- Να εκτελεί τις εργασίες του με υψηλή ταχύτητα και ακρίβεια, υπερβαίνοντας τις ικανότητες του ανθρώπου.
- Να διαθέτει ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης, αισθητήρες και ένα σύστημα ελέγχου, μέσω των οποίων θα λαμβάνει οδηγίες από τον χειριστή για την αντίστοιχη εκτέλεση.
- Να παρέχει δυνατότητα ψηφιακής επικοινωνίας με άλλα συστήματα που συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία.
- Να είναι προγραμματιζόμενο για διάφορες διεργασίες, οι οποίες καθορίζονται από τον χρήστη.
- Να είναι χρήσιμο σε δύσκολες συνθήκες όπου η συμμετοχή του ανθρώπου είναι δύσκολη.

### 1.1.3 Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Αυτοματισμού και Βιομηχανικών Ρομπότ

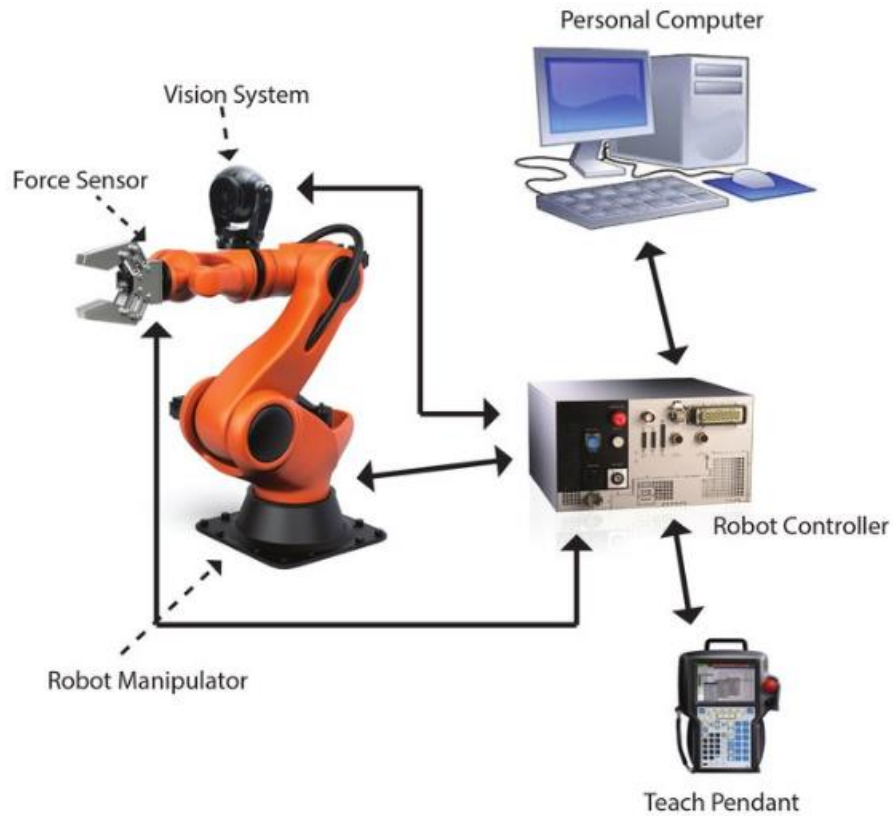
Όλα τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν την ίδια βασική δομή όσον αφορά τον τρόπο συναρμολόγησής τους. Συγκεκριμένα, αποτελούνται από μια **βάση** που λειτουργεί κυρίως ως σημείο στήριξης. Επιπλέον, το άλλο σώμα περιλαμβάνει μια σειρά συνδέσμων που συνδέονται μέσω **αρθρώσεων**. Αυτοί οι σύνδεσμοι, σε συνδυασμό με τη βάση και το σημείο δράσης, σύμφωνα με τους (Slaughter 1997) αποτελούν **το σύστημα ελέγχου ή τον βραχίονα**, όπως αποκαλείται. Ο βραχίονας είναι ο βασικός σκελετός ενός βιομηχανικού ρομπότ και καθορίζει τις ενέργειές του.

Το **σημείο δράσης**, ή **ενεργό άκρο**, τοποθετείται συνήθως στο ελεύθερο άκρο του τελευταίου συνδέσμου της κατασκευής. Είναι επίσης μέρος του βραχίονα και χρησιμεύει ως εργαλείο για την εκτέλεση των εργασιών του ρομπότ. Αυτό το εργαλείο, όπως μια αρπαγή ή μια συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης, λειτουργεί βασιζόμενο στις εντολές που λαμβάνει από τον χειριστή, με σκοπό την μεταφορά αντικειμένων ή την εκτέλεση διάφορων διεργασιών. Λόγω της ευελιξίας

και της ευρείας εφαρμογής του, το εργαλείο αυτό ποικίλει σε μορφή και λειτουργία, όπως και οι αρθρώσεις.

Έτσι λοιπόν , αποκτούμε μια συνολική κατανόηση του σχεδιασμού και της διαμόρφωσης του βασικού σώματος της ρομποτικής κατασκευής. Ωστόσο, οι (Σέχου 2021) υπογράμμισαν πως ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, εκτός από τον μηχανισμό μετάδοσης κίνησης, απαιτεί επίσης ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου για να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Έτσι, για να καλύψουμε όλες τις απαιτήσεις μοντελοποίησης ενός τέτοιου συστήματος, πρέπει να εξετάσουμε επίσης το σύστημα ελέγχου της ρομποτικής κατασκευής, το οποίο αναλαμβάνει τον προγραμματισμό και τη διαχείριση του ρομπότ.

Έτσι, ένα βιομηχανικό ρομπότ θα περιλαμβάνει αρχικά έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου θα επιτυγχάνεται ο έλεγχος, ένα σύστημα επικοινωνίας για τη λήψη πληροφοριών από τον χρήστη, ενεργοποιητές που δρουν για την παραγωγή κίνησης στο ρομπότ και αισθητήρες για την αντίληψη του περιβάλλοντος. (Moulianitis and Aspragathos 2015)



Εικόνα 2 Εξαρτήματα βιομηχανικών ρομπότ  
(Moulianitis and Aspragathos 2015)

<b>Μηχανικό Υπόσυστημα</b>		<b>Υποστήμα Πληροφοριών</b>	
Σύνδεσμοι, Αρθρώσεις, Ενεργοποιητές, Φρένα		Υψηλά Επίπεδα Ελέγχου	
	ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	
	<b>Ηλεκτρονικά/Ηλεκτρικά Υποσυστήματα</b>		
	Τροφοδοτικά, Καλώδια		

Πίνακας 2 Συνέργεια των Ρομποτικών Συστημάτων

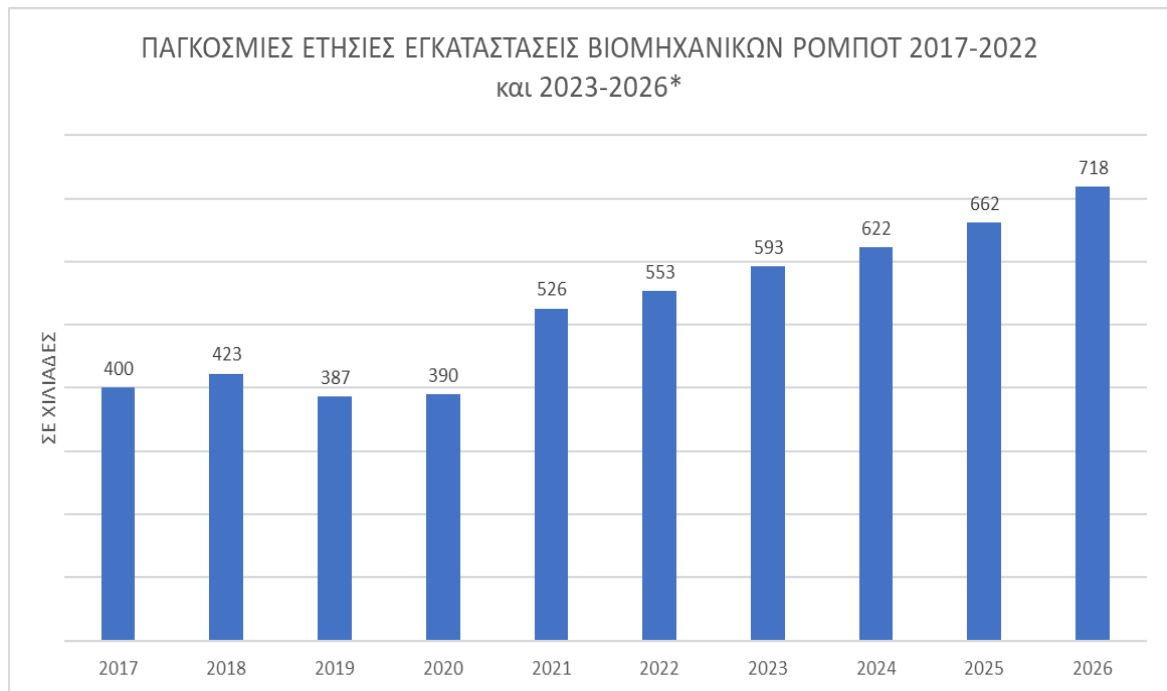
## 1.2 Η Διάδοση των Βιομηχανικών Ρομπότ

Η βιβλιογραφία και οι αναλυτές είναι σαφέστατοι όσον αφορά την εξάλειψη των ρομποτικών συστημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο . Τα ρομπότ προχωράνε. Το κόστος τους μειώνεται, η απόδοσή τους βελτιώνεται και ταυτόχρονα το κόστος εργασίας αυξάνεται τόσο σχετικά όσο και απόλυτα. Η επικείμενη άφιξη της τρίτης γενιάς ρομπότ, εξοπλισμένων με βασικές αισθητηριακές ικανότητες και τεχνητή νοημοσύνη, σηματοδοτεί την ετοιμότητά τους να αναλάβουν όλο και πιο περίπλοκα καθήκοντα παραγωγής σε διάφορους κλάδους ((Maggie) Fu et al. 2021)

Η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής (IFR) παρέχει στατιστικά στοιχεία και προβλέψεις πωλήσεων για την παγκόσμια βιομηχανία ρομποτικής, κατηγοριοποιώντας τα ρομπότ σε τρεις ομάδες: βιομηχανικής, επαγγελματικής και οικιακής υπηρεσίας. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις τους, υπήρξε αύξηση 17% από έτος σε έτος (YoY) στις πωλήσεις των βιομηχανικών ρομπότ.

Οι ρομποτικές εγκαταστάσεις έφτασαν σε νέο ρεκόρ 553.052 μονάδων, σηματοδοτώντας το δεύτερο συνεχές έτος με ετήσιες εγκαταστάσεις που ξεπερνούν το ορόσημο των 500.000 μονάδων. Αυτό πρόσθεσε αύξηση 5% στο προηγούμενο ρεκόρ των 526.144 μονάδων που εγκαταστάθηκαν το 2021.

Οι βασικές βιομηχανίες, ιδίως η αυτοκινητοβιομηχανία και η ηλεκτρονική βιομηχανία, παρουσίασαν σημαντική αύξηση στις εγκαταστάσεις ρομπότ σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Παρά τις συνεχιζόμενες προκλήσεις, όπως τις διαταραχές της αλυσίδας εφοδιασμού και τις ελλείψεις εισροών , η ολοκλήρωση των έργων επηρεάστηκε λιγότερο σοβαρά από ό,τι το προηγούμενο έτος.



*Διάγραμμα 1 Παγκόσμιες Ετήσιες Εγκαταστάσεις IR 2017-2022 και 2023-2026\**

Το 2022, το λειτουργικό απόθεμα των βιομηχανικών ρομπότ έφτασε τις 3.903.633 μονάδες, γεγονός που αντανακλά μια αξιοσημείωτη αύξηση της τάξης του 12%. Κατά την περίοδο από το 2017, το λειτουργικό απόθεμα βιομηχανικών ρομπότ είχε αυξηθεί σταθερά με μέσο ετήσιο ρυθμό 13%.

Η Κίνα, με την αξιοσημείωτη ανάπτυξή της κατά μέσο όρο 25% ετησίως από το 2017, ξεπέρασε το όριο του ενός εκατομμυρίου μονάδων το 2021 και έφτασε το 1,5 εκατομμύριο μονάδες το 2022, σημειώνοντας πρόσθετη αύξηση 22%. Αυτό αντιστοιχούσε στο 37% του παγκόσμιου λειτουργικού αποθέματος. Η Ιαπωνία ανέφερε ένα λειτουργικό απόθεμα 414.271 μονάδων το 2022. Εν τω μεταξύ, το λειτουργικό απόθεμα ρομπότ της Ευρώπης υπολογίστηκε σε 727.391 μονάδες και η Αμερική είχε απόθεμα 491.535 μονάδων, υποδηλώνοντας αύξηση 9%.

## 1.2.1 Εξάλειψη Βιομηχανικών Ρομπότ ανά Ήπειρο

### 1.2.1.1 Ασία

Η Ασία ξεχωρίζει ως η κατεχοχήν παγκόσμια αγορά για τα βιομηχανικά ρομπότ, με αύξηση των εγκαταστάσεων σε 404.577 μονάδες το 2022, σημειώνοντας αύξηση 5% από τις 375.143 μονάδες του προηγούμενου έτους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ασία διεκδικεί το μεγαλύτερο μερίδιο, με το 73% του συνόλου των νεοεγκατεστημένων ρομπότ να βρίσκει στέγη στην περιοχή, μια μικρή πτώση από το 74% το 2021.

Ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των εγκαταστάσεων ρομπότ από το 2017 έως το 2022 ήταν κατά μέσο όρο εντυπωσιακός 7% ετησίως. Μεταξύ των πέντε κορυφαίων παγκόσμιων αγορών, οι τρεις βρίσκονται στην Ασία, με την Κίνα να κυριαρχεί ως η μεγαλύτερη αγορά. Το 2022, η Κίνα παρουσίασε αύξηση 5% στις εγκαταστάσεις, φτάνοντας τις σημαντικές 290.257 μονάδες. Η Ιαπωνία σημείωσε αξιοσημείωτη αύξηση 9%, με τις εγκαταστάσεις να ανέρχονται σε 50.413 μονάδες, ενώ η αγορά της Κορέας παρέμεινε σχετικά σταθερή, καταγράφοντας μια μέτρια αύξηση 1% στις 31.716 μονάδες.

### 1.2.1.2 Ευρώπη

Όσον αφορά τη δεύτερη μεγαλύτερη αγορά, την Ευρώπη, οι εγκαταστάσεις ρομπότ αυξήθηκαν κατά 3%, φτάνοντας τις 74.226 μονάδες το 2022, διατηρώντας μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης +5% από το 2017 έως το 2022. Η Γερμανία, η μεγαλύτερη ευρωπαϊκή αγορά και ο μοναδικός ευρωπαϊκός εκπρόσωπος στην παγκόσμια πρώτη πεντάδα, παρουσίασε μικρή πτώση της τάξης του 1%, με τις εγκαταστάσεις να ανέρχονται σε 25.636 μονάδες. Αντίθετα, η Ιταλία επέδειξε αύξηση 7%, φτάνοντας τις 11.475 μονάδες, και η Γαλλία, η τρίτη μεγαλύτερη ευρωπαϊκή αγορά, σημείωσε σημαντική αύξηση 13%, φτάνοντας συνολικά τις 7.370 μονάδες.

Το 2022, ένα σημαντικό μέρος των ευρωπαϊκών εγκαταστάσεων ρομπότ, που αντιπροσωπεύει το 74%, θα πραγματοποιηθεί εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συνολικά 70.771 μονάδες (+5%), ενώ το 71% θα πραγματοποιηθεί στη ζώνη του ευρώ3, που θα ανέλθει σε 59.592 μονάδες (+6%)

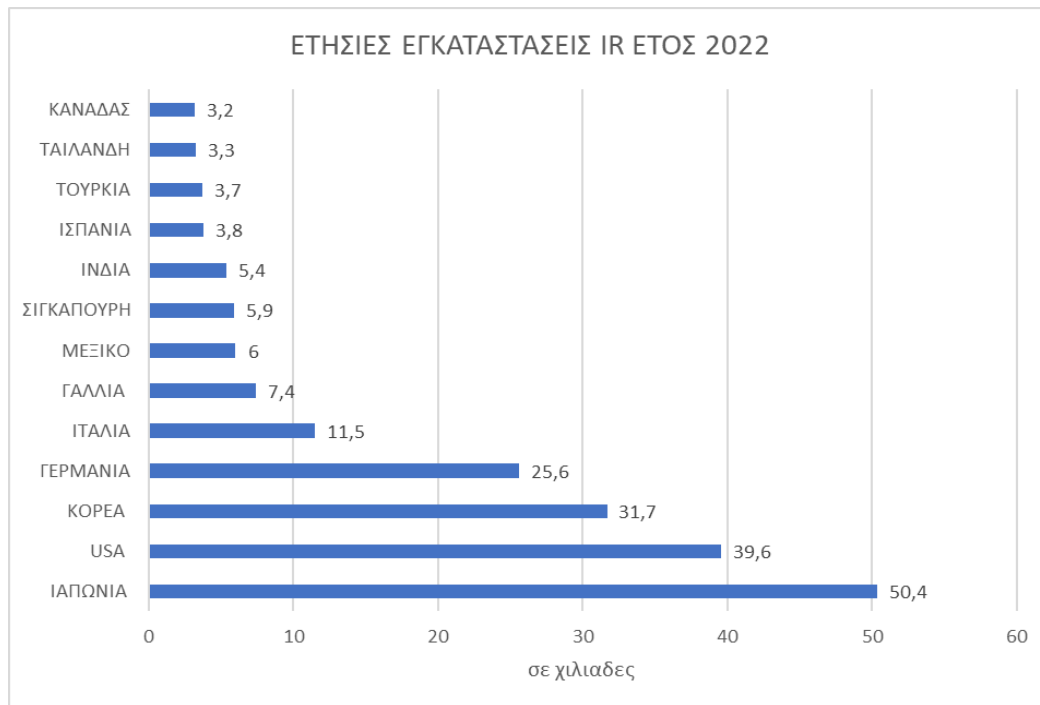
### *1.2.1.3 ΗΠΑ*

Στην Αμερική, οι εγκαταστάσεις κατέγραψαν αύξηση 7%, φτάνοντας τις 56.053 μονάδες το 2022, ξεπερνώντας το προηγούμενο ανώτατο επίπεδο των 55.212 μονάδων που είχε επιτευχθεί το 2017. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η μεγαλύτερη αμερικανική αγορά, συνέβαλαν στο 71% των εγκαταστάσεων στην αμερικανική ήπειρο, με 39.576 μονάδες (+10%) το 2022. Στις άλλες μεγάλες αγορές της Βόρειας Αμερικής, το Μεξικό και τον Καναδά, εγκαταστάθηκαν 6.000 μονάδες (+13%) και 3.223 μονάδες (-24%) αντίστοιχα.

### *1.2.1.4 Ιαπωνία*

Εν τω μεταξύ, η Ιαπωνία γνώρισε ανάκαμψη στις εγκαταστάσεις ρομπότ, ανακάμπτοντας από τις επιπτώσεις της πτώσης που προκλήθηκε από την πανδημία το 2020 και επιστρέφοντας στα επίπεδα των εγκαταστάσεων του 2019.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ιαπωνία είχε αξιοσημείωτες κορυφώσεις στις εγκαταστάσεις το 2017, το 2017 και το 2019, παρά το γεγονός ότι είχε ήδη υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης στη βιομηχανική παραγωγή. Το 2022, η Ιαπωνία αντιπροσώπευε το 9% των παγκόσμιων εγκαταστάσεων ρομπότ



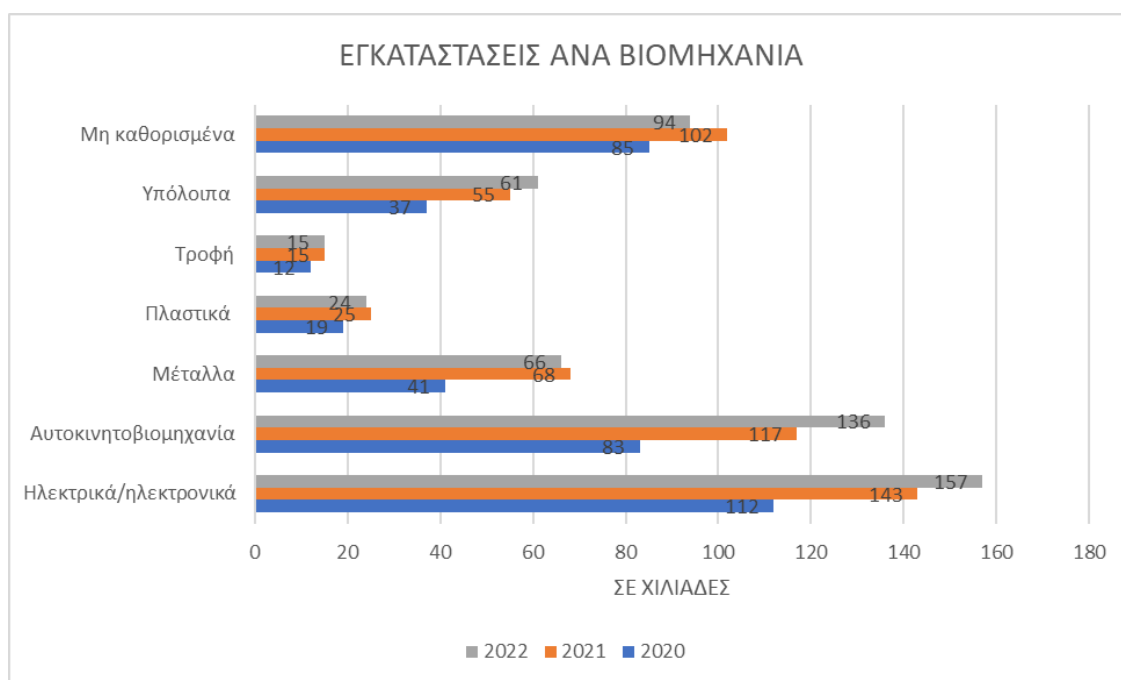
*Διάγραμμα 2 Ετήσιες Εγκαταστάσεις Βιομηχανικών Ρομπότ του Έτους 2022*

### 1.2.2 Διάδοση ανά Βιομηχανία

Ο τομέας των ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών αναδείχθηκε ως ο κύριος καταναλωτής βιομηχανικών ρομπότ το 2020 και διατηρεί σταθερά αυτή τη θέση.

Το 2022, συνολικά 156.936 ρομπότ αναπτύχθηκαν στις διαδικασίες κατασκευής οικιακών συσκευών, ηλεκτρικών μηχανημάτων, ημιαγωγών, ηλιακών συλλεκτών, ηλεκτρονικών υπολογιστών, τηλεπικοινωνιακών συσκευών και προϊόντων βίντεο και ηλεκτρονικής ψυχαγωγίας. Αυτό σηματοδότησε αύξηση 10% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, φθάνοντας στο υψηλότερο καταγεγραμμένο επίπεδο.





*Διάγραμμα 3 Εγκαταστάσεις ανά Βιομηχανία (2020-2022)*

Κατά την περίοδο από το 2017 και μετά, η ζήτηση για ρομπότ από τον εν λόγω κλάδο παρουσίασε μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5%. Το 2017 και το 2019, σημειώθηκε σημαντική μείωση της παγκόσμιας ζήτησης για ηλεκτρονικές συσκευές και εξαρτήματα, η οποία επηρεάστηκε ιδιαίτερα από την εμπορική διαμάχη Κίνας-ΗΠΑ.

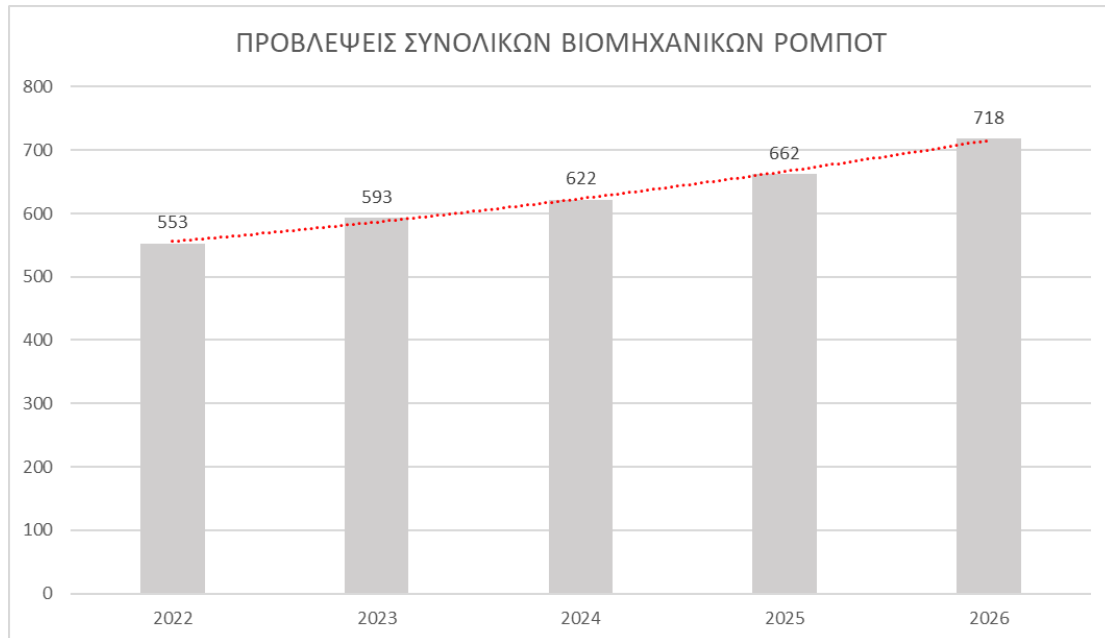
Ο κλάδος των ηλεκτρονικών ειδών, ως σημαντικός παράγοντας στην παραγωγή ηλεκτρονικών προϊόντων και εξαρτημάτων, αντιμετώπισε αξιοσημείωτες προκλήσεις. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, υπήρξε μια άνευ προηγουμένου αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα κατέστησαν απαραίτητα σε διάφορους τομείς της μηχανικής, συμπεριλαμβανομένων της αυτοκινητοβιομηχανίας και των βιομηχανικών μηχανημάτων. Οι διαταραχές που προκλήθηκαν από την πανδημία στις αλυσίδες εφοδιασμού και η περιορισμένη παραγωγική ικανότητα υπογράμμισαν την ανάγκη για πρόσθετες δυνατότητες παραγωγής στον κλάδο των ηλεκτρονικών.

### 1.3 Προβλέψεις για το Μέλλον

Το τρέχον έτος 2023 χαρακτηρίζεται από επιβράδυνση της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης, ωστόσο οι εγκαταστάσεις ρομπότ αναμένεται να διαφέρουν από αυτή την τάση. Η ζήτηση για ρομπότ παραμένει αυξημένη σε σύγκριση με τα επίπεδα πριν από το COVID-19 και προβλέπεται ότι οι παγκόσμιες εγκαταστάσεις ρομπότ θα αυξηθούν κατά 7% και θα ξεπεράσουν τις 590.000 μονάδες μέχρι το τέλος του 2023.

Ενώ η παγκόσμια οικονομική επιβράδυνση αναμένεται να επηρεάσει τις εγκαταστάσεις ρομπότ το 2024, οι ρυθμοί ανάπτυξης προβλέπεται να ανακάμψουν ελαφρώς το 2025 και πιο σημαντικά το 2026. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι η συνολική μακροπρόθεσμη πορεία ανάπτυξης θα σταματήσει στο εγγύς μέλλον- αντίθετα, η τάση αναμένεται να συνεχιστεί. Το ορόσημο των 600.000 μονάδων που εγκαθίστανται ετησίως παγκοσμίως προβλέπεται να επιτευχθεί το 2024, ενώ το 2026 θα ξεπεραστεί το όριο των 700.000 μονάδων.

Οι μεσοπρόθεσμες προοπτικές της ευρωπαϊκής αγοράς περιορίζονται από την υψηλή πιθανότητα οικονομικής ύφεσης. Εν τω μεταξύ, η ασιατική αγορά αναμένεται να παραμείνει εύρωστη, με υψηλούς μονοψήφιους ρυθμούς ανάπτυξης να προβλέπονται για τη ζήτηση ρομπότ στην Κίνα, μια μικρή επιτάχυνση των εγκαταστάσεων ρομπότ στην Ιαπωνία το 2024 και μεσαίους μονοψήφιους ρυθμούς ανάπτυξης για την αγορά της Κορέας.



Διάγραμμα 4 Προβλέψεις Συνολικών IR (2022-2026)

#### 1.4 Πλεονεκτήματα / Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία υποδηλώνει ότι τα ρομπότ έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την παραγωγικότητα της εργασίας όταν εφαρμόζονται σε εργασίες που μπορούν να εκτελούν πιο αποτελεσματικά και με μεγαλύτερη συνέπεια από τους ανθρώπους (Brynjolfsson and McAfee 2014).

Διαφορετικές απόψεις στη βιβλιογραφία παρουσιάζουν δύο προοπτικές σχετικά με τις επιπτώσεις της υιοθέτησης των ρομπότ. Η μία άποψη είναι η επίδραση του εκτοπισμού, η οποία υποδηλώνει ότι η αυξημένη χρήση ρομπότ μπορεί να εκτοπίσει άμεσα τους εργαζόμενους από τα παραδοσιακά τους καθήκοντα. Αντίθετα, το φαινόμενο της παραγωγικότητας υποστηρίζει ότι οι τεχνολογικές εξελίξεις που συνδέονται με την υιοθέτηση ρομπότ μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη ζήτηση εργασίας σε κλάδους ή καθήκοντα. Ο τελικός αντίκτυπος της υιοθέτησης ρομπότ στον εργασιακό τομέα, και την ισότητα του εισοδήματος εξαρτάται από το ποια από αυτές τις επιδράσεις διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην οικονομία. (Autor and Dorn 2013)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους και ξεχωρίζουν στην εκτέλεση επαναλαμβανόμενων εργασιών, ιδίως εκείνων που είναι επικίνδυνες ή δύσκολες για τους ανθρώπινους εργαζόμενους.

Η σημασία τους στις μεταποιητικές βιομηχανίες είναι αξιοσημείωτη, ιδίως σε εργασίες μεγάλου όγκου. Καθώς η τεχνολογική πρόοδος συνεχίζεται και το κόστος των βιομηχανικών ρομπότ μειώνεται, διευρύνεται το φάσμα των δυνατοτήτων εφαρμογής τους σε μεσαίου και μικρού μεγέθους επιχειρήσεις.

#### 1.4.1 Πλεονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ

- Καλύτερη ποιότητα και σταθερότητα

Τα βιομηχανικά ρομπότ συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής, στην αύξηση της ακρίβειας και σε πιο αξιόπιστες διαδικασίες. Πρόσθετα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν μειωμένους χρόνους κύκλου και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για την ενίσχυση των πρακτικών προληπτικής συντήρησης.

- Υψηλότερη ασφάλεια

Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτέλεση εργασιών που θεωρούνται επικίνδυνες για τον άνθρωπο, και διακρίνονται για τη διεκπεραίωση ιδιαίτερα επίπονων και επαναλαμβανόμενων εργασιών. Στην ουσία, η ενσωμάτωση βιομηχανικών ρομπότ στο εργοστάσιο ή τη διαδικασία παραγωγής σας μπορεί να βελτιώσει τις συνθήκες εργασίας και τη συνολική ασφάλεια. Τα ρομπότ λειτουργούν χωρίς κόπωση, εξαλείφοντας τον κίνδυνο επικίνδυνων λαθών, και είναι απρόσβλητα από τραυματισμούς λόγω επαναλαμβανόμενης καταπόνησης.

- Αύξηση Κέρδους

Ενισχύοντας την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας, ελαχιστοποιώντας τους απαιτούμενους πόρους και τον απαιτούμενο χρόνο και επιτυγχάνοντας ανώτερη ποιότητα προϊόντων, τα βιομηχανικά ρομπότ μπορούν να συμβάλουν σε αυξημένα συνολικά επίπεδα κερδοφορίας, σε συνδυασμό με μειωμένο κόστος ανά προϊόν.

- Μεγαλύτερο ωράριο εργασίας

Σε αντίθεση με τους ανθρώπους που χρειάζονται διαλείμματα, μπορούν να αποσπάσουν την προσοχή τους και να μειώσουν την προσοχή και τον ρυθμό τους με την πάροδο του χρόνου, τα ρομπότ μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, διατηρώντας σταθερή απόδοση 100%. Η αντικατάσταση ενός ατόμου με ένα ρομπότ σε μια κρίσιμη διαδικασία σε μια γραμμή παραγωγής οδηγεί συνήθως σε αύξηση της παραγωγής κατά 40% κατά τις ίδιες ώρες εργασίας, καθώς τα

ρομπότ παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή και λειτουργούν χωρίς διακοπές. Επιπλέον, τα ρομπότ δεν απαιτούν άδειες ή δεν παίρνουν απροσδόκητες ημέρες ασθενείας.

#### 1.4.2 Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ

Τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους, από την αυτοκινητοβιομηχανία έως τα πλαστικά και τις ιατρικές τεχνολογίες, προσφέροντας πολυάριθμα πλεονεκτήματα στις εταιρείες και αποτελώντας τη βάση για τα μελλοντικά ευφυή εργοστάσια. Ωστόσο, ο χρήστης πρέπει να έχει υπόψιν πως ένα τέτοιο ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο, πέρα από πολλαπλά οφέλη, ακολουθούν και πολλαπλές δυσκολίες και ανησυχίες.

- Αρχικό Κόστος

Ενώ τα βιομηχανικά ρομπότ μπορούν να είναι ιδιαίτερα αποδοτικά και να αποφέρουν θετική απόδοση της επένδυσης (ROI), η εφαρμογή τους μπορεί να συνεπάγεται σχετικά υψηλό αρχικό κόστος κεφαλαίου. Σε πολλές περιπτώσεις, η αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης συνεπάγεται την επιλογή χρηματοδότησης περιουσιακών στοιχείων, όπου η απόδοση της επένδυσης από το ρομπότ μπορεί να υπερκαλύψει τους τόκους της χρηματοδότησης περιουσιακών στοιχείων.

- Ειδίκευση

Ο εξειδικευμένος προγραμματισμός και η εκπαίδευση είναι απαραίτητα για την εκτέλεση εργασιών από τα βιομηχανικά ρομπότ, γεγονός που απαιτεί από τις επιχειρήσεις να προσλαμβάνουν εξειδικευμένους μηχανικούς και προγραμματιστές για την επίβλεψη των εγκαταστάσεων των ρομπότ. Η αποτυχία σωστού προγραμματισμού ενός ρομπότ μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες, θέτοντας σε κίνδυνο τα άτομα που βρίσκονται κοντά του.

- Ασφάλεια

Τα βιομηχανικά ρομπότ στην παραγωγή θεωρούνταν ιστορικά ως επικίνδυνα. Είναι μεγάλα, ογκώδη και μπορούν να κινηθούν με υψηλές ταχύτητες. Τα παλαιότερα μηχανήματα μπορεί να μην έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν ανθρώπους που βρίσκονται κοντά τους, αυξάνοντας τον κίνδυνο συγκρούσεων και ατυχημάτων. Κατά συνέπεια, πολλοί κατασκευαστές ενσωματώνουν διαχωριστικά για να διατηρήσουν έναν φυσικό διαχωρισμό μεταξύ των ρομπότ και του ανθρώπινου δυναμικού.

<b><u>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤ</u></b>	
<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>
Ποιότητα και Σταθερότητα	Κόστος Κεφαλαίου
Ασφάλεια	Ειδίκευση
Κέρδος	Ασφάλεια
Ωράριο Εργασίας	

*Πίνακας 3 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ*

## 1.5 Ενεργειακή Κατανάλωση Βιομηχανικών Ρομπότ

Στη σύγχρονη εποχή, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν αποκτήσει εκτεταμένη χρήση σε διάφορες βιομηχανίες, όπως ο χειρισμός, η συναρμολόγηση, η συγκόλληση, η λείανση, η εξερεύνηση και άλλες, λόγω των πλεονεκτημάτων τους, όπως η ακριβής κίνηση, η υψηλή αξιοπιστία, η σημαντική ικανότητα φόρτωσης και η ευελιξία προγραμματισμού (Zhou et al. 2022)

Μέχρι το 2022, η παγκόσμια ανάπτυξη των βιομηχανικών ρομπότ στα εργοστάσια έχει φτάσει περίπου τα 3,5 εκατομμύρια (International federation of robotics 2022) Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας (EC) των βιομηχανικών ρομπότ χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος και χαμηλή ενεργειακή απόδοση.

Σύμφωνα με τους (Gadaleta et al. 2021) , οι δαπάνες EK αποτελούν περίπου το 60% του συνολικού κόστους με την πλειονότητα της ενέργειας να καταναλώνεται από παράγοντες όπως η απώλεια σιδήρου, η απώλεια χαλκού, η τριβή των αρθρώσεων και άλλοι.

Δεδομένης της ευρείας χρήσης και της πρόκλησης της χαμηλής ενεργειακής απόδοσης, η βελτιστοποίηση της EK των βιομηχανικών ρομπότ έχει σημαντική σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη της μεταποιητικής βιομηχανίας

### 1.5.1 Σημασία Ενεργειακής Κατανάλωσης

Η ενεργειακή αποδοτικότητα των βιομηχανικών ρομπότ έχει ύψιστη σημασία στο σύγχρονο τοπίο της μεταποίησης για διάφορους λόγους.

Αρχικά, τα ενεργειακά αποδοτικά ρομπότ συμβάλλουν σημαντικά στις βιώσιμες και περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένες βιομηχανικές πρακτικές. Ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία τους, τα ρομπότ αυτά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα των διαδικασιών παραγωγής, ευθυγραμμιζόμενα με τις παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. (Soori, Arezoo, and Dastres 2023)

Δεύτερον, η ενεργειακή απόδοση επηρεάζει άμεσα το λειτουργικό κόστος των βιομηχανιών. Καθώς τα ενεργειακά έξοδα αποτελούν σημαντικό μέρος των γενικών εξόδων παραγωγής, η ανάπτυξη αποδοτικών ρομποτικών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση μακροπρόθεσμα. (Soori, Arezoo, and Dastres 2023)

Στην ουσία, η ενεργειακή αποδοτικότητα των βιομηχανικών ρομπότ όχι μόνο συμβάλλει στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα αλλά αποδεικνύεται και οικονομικά συμφέρουσα, ενισχύοντας τον κομβικό της ρόλο στην εξέλιξη της σύγχρονης μεταποίησης.

Στο (Carabin, Wehrle, and Vidoni 2017) , οι συγγραφείς προσφέρουν μια επισκόπηση διαφόρων μεθοδολογιών και τεχνολογιών που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των βιομηχανικών ρομποτικών και μηχανοτρονικών συστημάτων. Οι αναγνωρισμένες προσεγγίσεις χωρίζονται συστηματικά σε λύσεις hardware και software, με Hardware :

- Είδος Ρομπότ
- Σωστός Εξοπλισμός
- Βελτιστοποίηση τροχιάς και κίνησης του συστήματος
- Βέλτιστος σχεδιασμός λειτουργίας
- Πρόσθετος εξοπλισμός



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ		
<b>HARDWARE</b>	<i>Regenerative Drives and Compatible Components</i>	(Palomba et al. 2020)
	<i>System Modernization Using Energy Recovery and Storage Devices, such as</i>	
<b>SOFTWARE</b>	Optimization of Trajectories and Optimal Control Strategies for Robot Arms	(Benotsmane and Kovács 2023)
	Application of Dynamic and Electromechanical Models of Manipulators for the Best Relative Positioning of the Robot	(Hansen et al. 2012)
	Programming and Positioning of Robots	(Rassõlkin, Hõimoja, and Teemets 2011)
	Robot Parameter Optimization—Speed, Payload	(Paryanto et al. 2014)

Πίνακας 4 Ενεργειακά Αποδοτικοί Μέθοδοι

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Το Οικολογικό Αποτύπωμα των Βιομηχανικών Ρομπότ

### 2.1 Εισαγωγή

Το οικολογικό περιβάλλον έχει τεράστια σημασία για την ανθρώπινη παραγωγή και ζωή. Ωστόσο, από τη Βιομηχανική Επανάσταση και μετά, οι αυξημένες απαιτήσεις για την ανθρώπινη παραγωγή και τον τρόπο ζωής οδήγησαν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα την οικολογική υποβάθμιση, η οποία αναδεικνύεται σε μείζονα παγκόσμια απειλή τον 21<sup>ο</sup> αιώνα (Chontanawat,2007) . Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ένας κρίσιμος δείκτης της υπερθέρμανσης του πλανήτη, χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη μέτρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος (Bhujabal,2021).

Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί αυξημένη προσοχή στο οικολογικό αποτύπωμα σε σύγκριση με τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Το οικολογικό αποτύπωμα μετρά τη ζήτηση φυσικών πόρων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, παρέχοντας έναν πιο ολοκληρωμένο περιβαλλοντικό δείκτη, που αντικατοπτρίζει τα περιβαλλοντικά ζητήματα που απορρέουν από τη χρήση των πόρων (Pata,2021).

Ποσοτικά προσδιοριζόμενο ως βιολογικά παραγωγική έκταση (Wackernagel,1997), το παγκόσμιο οικολογικό αποτύπωμα έχει αυξηθεί κατά σχεδόν 190% τα τελευταία 50 χρόνια, ξεπερνώντας την παγκόσμια οικολογική φέρουσα ικανότητα κατά 1,73 φορές το 2017, σύμφωνα με το Global Footprint Network (2020).

Μεταξύ 175 χωρών, 134 χώρες υπερέβησαν την οικολογική φέρουσα ικανότητά τους, γεγονός που εγείρει ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις του στα οικοσυστήματα και σε περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή (Pata,2021).

Η επιστημονική προσοχή έχει στραφεί στην εξέταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της τεχνητής νοημοσύνης (AI) (Sankaran,2019). Η τεχνητή νοημοσύνη, ιδίως ενσωματωμένη στα βιομηχανικά ρομπότ που εμπλέκονται στην παραγωγή, έχει τη δυνατότητα είτε να υποκαταστήσει είτε να συμπληρώσει την ανθρώπινη εργασία, οδηγώντας σε εξοικονόμηση χρόνου εργασίας και επηρεάζοντας αλλαγές στα πρότυπα απασχόλησης (Jung,2020).

Επιπλέον, η κλίμακα εφαρμογής του AI μπορεί να συμβάλει στην ενισχυμένη εκβιομηχάνιση και να διευκολύνει τη μετάβαση σε μια αναβαθμισμένη ενεργειακή δομή, επηρεάζοντας έτσι το οικολογικό περιβάλλον. Σύμφωνα με στοιχεία της Διεθνούς Ομοσπονδίας Ρομποτικής

(IFR), μέχρι το τέλος του 2019, είχαν εγκατασταθεί συνολικά 2,7 εκατομμύρια σύνολα βιομηχανικών ρομπότ παγκοσμίως, παρουσιάζοντας σύνθετο ετήσιο ρυθμό αύξησης 11% από το 2014 έως το 2019.

Οι κύριες αγορές καταναλωτών βιομηχανικών ρομπότ συγκεντρώνονται στην Ασία, την Ευρώπη και την Αμερική, με τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Κίνα, την Ιαπωνία, τη Γερμανία και τη Νότια Κορέα να αποτελούν τις πέντε μεγαλύτερες αγορές παγκοσμίως. Αξίζει να σημειωθεί ότι από το 2014, το κατά κεφαλήν οικολογικό αποτύπωμα αυτών των χωρών παρουσιάζει πτωτική τάση.

### 2.1.1 Τεχνητή Νοημοσύνη

Η τεχνητή νοημοσύνη, που περιλαμβάνει τεχνητά δίκτυα, μηχανική μάθηση, ρομποτική και άλλα, είναι μια εξαιρετικά αναμενόμενη τεχνολογία ικανή να προσομοιώνει ορισμένες ανθρώπινες διαδικασίες σκέψης και ευφυείς συμπεριφορές μέσω γλωσσών προγραμματισμού. Βρίσκει εφαρμογή στην αντικατάσταση ή την υποβοήθηση της ανθρώπινης εργασίας, στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής και της καθημερινής ζωής και έχει ευρεία χρήση σε τομείς όπως η γεωργία, η βιομηχανία, η χρηματοδότηση και η εκπαίδευση (Goodell,2021).

Η παρουσία της τεχνητής νοημοσύνης ώθησε τους μελετητές να εξετάσουν τις επιπτώσεις της στο οικολογικό περιβάλλον, καταλήγοντας σε αμφιλεγόμενα συμπεράσματα. Αρκετοί ερευνητές, όπως οι (Masood,2021) υποστηρίζουν ότι το AI έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει το οικολογικό περιβάλλον, ιδίως όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση. Οι έρευνες των (Chen,2021) και (Ahmad,2022) υποστηρίζουν αυτή την άποψη, υποστηρίζοντας ότι οι εφαρμογές TN βελτιώνουν τόσο την ενεργειακή απόδοση όσο και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Αντίθετα, υπάρχουν μελετητές, όπως οι (Carabin,2014) που υποστηρίζουν ότι η TN μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση ενέργειας και να υποβαθμίσει το οικολογικό περιβάλλον.

Τα καθολικά βιομηχανικά ρομπότ (UIR), μια σημαντική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, επηρεάζει βαθιά διάφορους κοινωνικούς τομείς. Σύμφωνα με τον ορισμό του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO), το UIR είναι ένας αυτόματα ελεγχόμενος, επαναπρογραμματιζόμενος χειριστής με πολυλειτουργικές δυνατότητες, ικανός να ολοκληρώσει ποικίλες εργα-

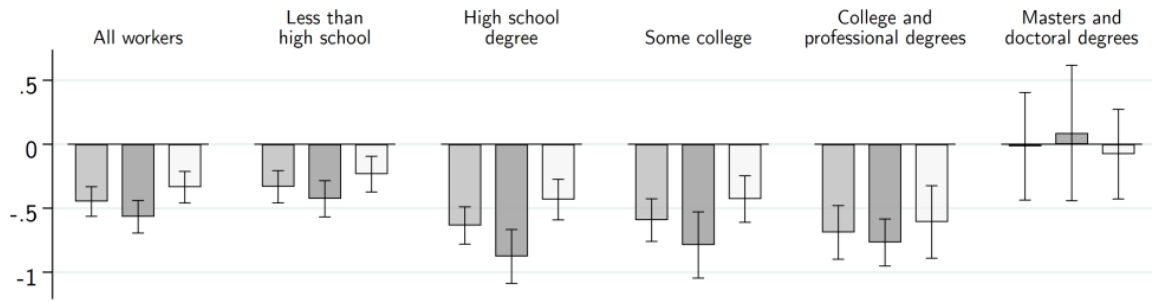
σίες που περιλαμβάνουν τη μεταφορά υλικών, τεμαχίων εργασίας ή τη λειτουργία εργαλείων. Οι μελετητές έχουν εμβαθύνει στη μελέτη του αντίκτυπου του UIR στην οικονομική ανάπτυξη. Για παράδειγμα η μελέτη των (Yang,2020) η οποία βασίζεται σε δεδομένα βιομηχανικών ρομπότ από 72 χώρες που καλύπτουν την περίοδο 1993-2017, καταδεικνύει ότι το UIR προάγει την οικονομική ανάπτυξη αυξάνοντας τη συνολική παραγωγικότητα των συντελεστών παραγωγής.

Επιπλέον, οι (Cette,2021), χρησιμοποιώντας δεδομένα από 30 χώρες μεταξύ 1995 και 2019, δείχνουν μέσω της αποσύνθεσης της ανάπτυξης ότι η εμβάθυνση του κεφαλαίου και η αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών που αποδίδεται στα βιομηχανικά ρομπότ συμβάλλουν πρωτίστως στην οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών.

### 2.1.2 Το αντίκτυπο των Βιομηχανικών Ρομπότ

Χρησιμοποιώντας δεδομένα από τη μεταποιητική βιομηχανία της Γερμανίας που καλύπτουν την περίοδο 1994-2014, οι (Dauth2017) χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό θεωρητικών μοντέλων και εμπειρικών μεθόδων, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το UIR δεν επηρεάζει ευνοϊκά το ποσοστό απασχόλησης και τους μισθούς στον μεταποιητικό τομέα της χώρας αυτής.

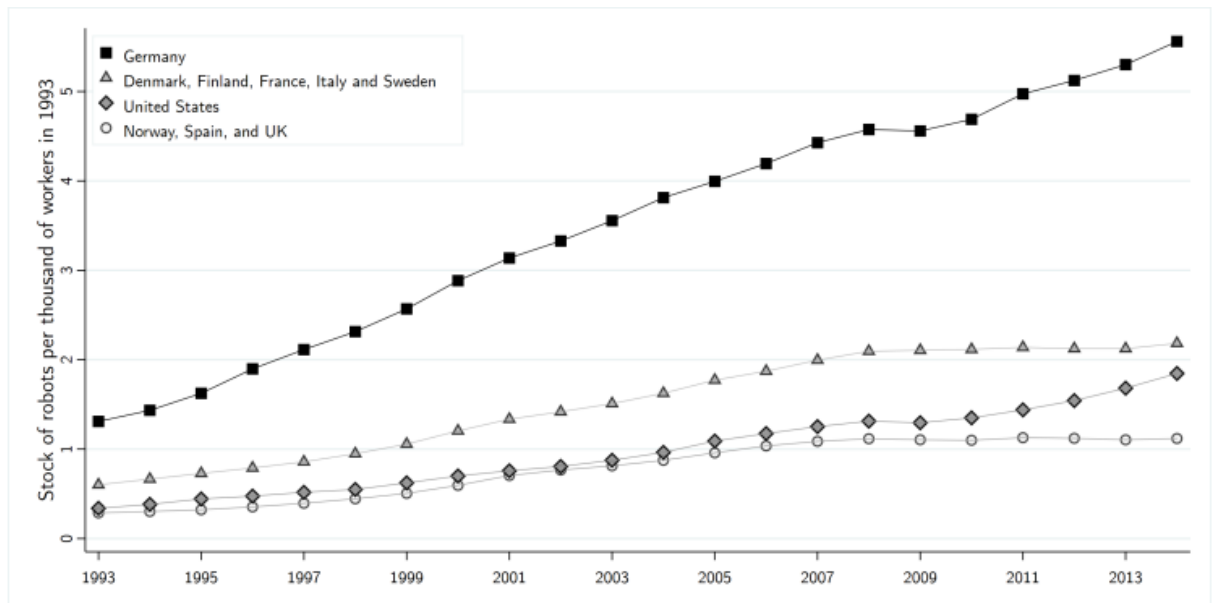
Οι (Chiacchio,2017) αναλύουν θεωρητικές μεθόδους και δεδομένα από 116 χώρες μεταξύ 1995 και 2007, διαπιστώνοντας μια σχέση μεταξύ των ρομπότ και των μειωμένων ποσοστών απασχόλησης, ιδιαίτερα εμφανή στους νέους. Ομοίως, οι (Acemoglu,2020), χρησιμοποιώντας δεδομένα από την αγορά εργασίας των ΗΠΑ κατά την περίοδο 1990-2007, διερευνούν τη σχέση μεταξύ των ρομπότ και της απασχόλησης, υποδεικνύοντας ότι τα UIR μειώνουν τόσο τις ευκαιρίες απασχόλησης όσο και τους μισθούς.



Εικόνα 3 Αναλογία απασχόλησης προς πληθυσμό



(Acemoglu,2020)



Εικόνα 4 Βιομηχανικά ρομπότ ανά χίλιους εργαζόμενους στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη

(Acemoglu,2020)

Ενώ οι μελέτες έχουν επιβεβαιώσει τη σχέση μεταξύ IR και οικονομικής ανάπτυξης, η περίπλοκη σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και περιβάλλοντος έχει επίσης διερευνηθεί εκτενώς

Αναγνωρίζοντας ότι η UIR έχει άμεσο αντίκτυπο στη συμμετοχή της απασχόλησης στη βιομηχανική ανάπτυξη, υποστηρίζεται ότι μπορεί να εξαχθεί ένας καταρράκτης επιπτώσεων στο οικολογικό περιβάλλον.

Αρχικά, τα βιομηχανικά ρομπότ, συμπεριλαμβανομένων των UIR, μπορούν να υποκαταστήσουν ένα μέρος του εργατικού δυναμικού χαμηλής ειδίκευσης, ενώ παράλληλα συμπληρώνουν το εργατικό δυναμικό υψηλής ειδίκευσης, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική αποδοτικότητα της εργασίας και μειώνοντας τις ώρες εργασίας (Kanazawa,2019). Η επακόλουθη μείωση των ωρών εργασίας όχι μόνο συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με την εργασία, αλλά αυξάνει επίσης την ποιότητα του περιβάλλοντος (Kanazawa,2019).

Δεύτερον, τα βιομηχανικά ρομπότ (IR) έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τόσο τους μισθούς όσο και τα ποσοστά απασχόλησης των βιομηχανικών εργαζομένων (Acemoglu,2020). Η κατάσταση αυτή ωθεί τους ανέργους να στραφούν προς την πιο πράσινη γεωργία και τις βιομηχανίες παροχής υπηρεσιών. Επιπλέον, οι (Tang,2021) αναφέρουν πως η εξέλιξη της ρομποτικής μπορεί να δημιουργήσει πολυάριθμες θέσεις εργασίας στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης πράσινης τεχνολογίας αυξάνοντας έτσι το εργατικό δυναμικό που ασχολείται με πράσινες θέσεις εργασίας και ανακουφίζοντας την πίεση στο οικολογικό περιβάλλον.

Τρίτον, τα IR ενισχύουν σημαντικά την αποδοτικότητα της παραγωγής, συμβάλλοντας στην οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η οικονομική ανάπτυξη, που εκδηλώνεται ως αυξημένη βιομηχανική παραγωγή, συνεπάγεται σημαντική κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές ρύπων, επιδεινώνοντας ενδεχομένως την οικολογική υποβάθμιση (Baloch,2020)

Τέλος, η τεχνολογική καινοτομία που προωθείται από την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως με τη μορφή βιομηχανικών ρομπότ, είναι καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη ενεργειακών αναβαθμίσεων. Τα IR αναδεικνύονται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη διαχείριση και αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αυξημένη υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που διευκολύνεται από την ενεργειακή αναβάθμιση, μπορεί να μετριάσει αποτελεσματικά την περιβαλλοντική υποβάθμιση (Lytras,2020)

### 2.1.3 Ανάλυση της επίδρασης των βιομηχανικών ρομπότ (UIR) στο οικολογικό αποτύπωμα

Τα βιομηχανικά ρομπότ συμμετέχουν ενεργά στην παραγωγή, παρουσιάζοντας τόσο υποκατάστατο όσο και συμπληρωματικό αποτέλεσμα με την ανθρώπινη εργασία. Βασιζόμενοι σε αυτό τα βιομηχανικά ρομπότ γενικής χρήσης (IR) μπορούν να επηρεάσουν το οικολογικό αποτύπωμα μέσω διαφόρων μηχανισμών.

Το αποτέλεσμα της εξοικονόμησης χρόνου των IR χαρακτηρίζεται από το σχετικό πλεονέκτημα τιμής που προκύπτει από την αυξημένη αποδοτικότητα της παραγωγής, οδηγώντας σε εκτόπιση ενός μέρους του εργατικού δυναμικού στην αγορά εργασίας (Sankaran,2019).

#### 2.1.3.1 Εξοικονόμηση χρόνου

Επιπλέον, τα UIR έχουν τη δυνατότητα να ασκήσουν καθοδικές τάσεις στους μισθούς εργασίας (Acemoglu,2020 ), μειώνοντας την προθυμία των εργαζομένων να εργαστούν και μειώνοντας τις ώρες εργασίας τους. Δεδομένου ότι οι εργασιακές δραστηριότητες καταναλώνουν εγγενώς σημαντική ενέργεια και οι παρατεταμένες ώρες εργασίας έχουν αρνητικές οικολογικές επιπτώσεις (Barker,1995), ο αντίκτυπος της UIR στις ώρες εργασίας συμβάλλει στα περιβαλλοντικά οφέλη.

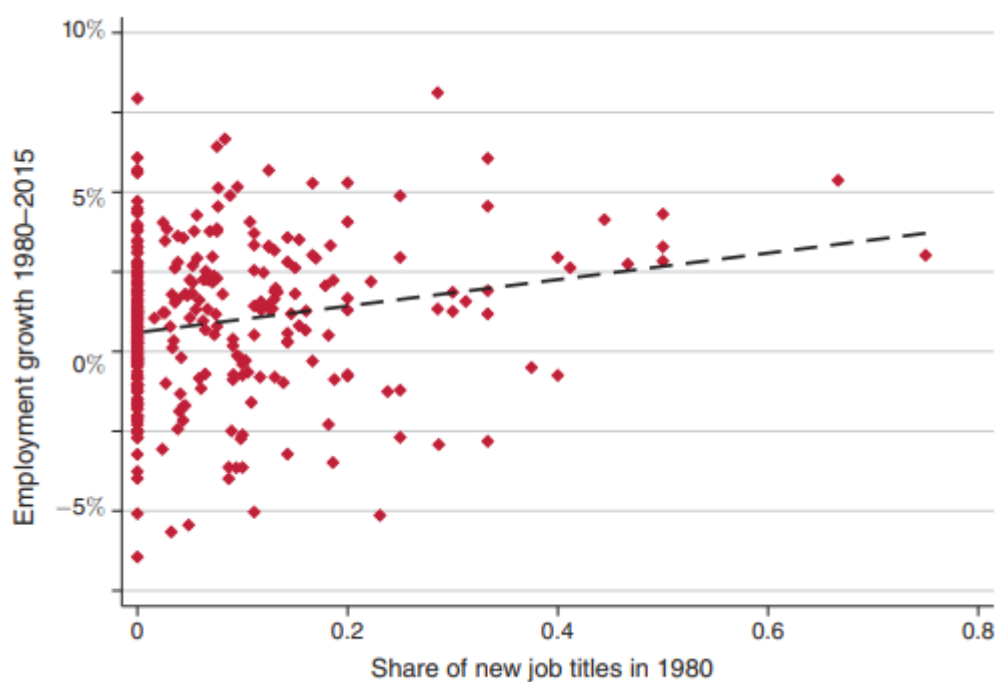
Επιπλέον, η ενίσχυση του συνολικού εισοδηματικού επιπέδου μιας χώρας από την UIR μπορεί να προσανατολίσει τα άτομα προς την αύξηση του ελεύθερου χρόνου (Hayden,2009). Αυτός ο πλεονάζων ελεύθερος χρόνος οδηγεί συχνά τα άτομα στην υιοθέτηση φιλικού προς το περιβάλλον τρόπου ζωής.

Συνολικά, η αυξημένη αποδοτικότητα της παραγωγής που επιφέρουν τα βιομηχανικά ρομπότ όχι μόνο αυξάνουν το συνολικό εισόδημα μιας χώρας, αλλά διευκολύνει επίσης τη μείωση των ωρών εργασίας, ανακουφίζοντας αποτελεσματικά την πίεση στο οικολογικό περιβάλλον. Συνοπτικά, τα IR συμβάλλουν στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος μέσω της εξοικονόμησης χρόνου.

### 2.1.3.2 Οικολογική απασχόληση

Τα βιομηχανικά ρομπότ επιταχύνουν τη μετακίνηση του εργατικού δυναμικού μεταξύ των κλάδων, που εκδηλώνεται με τη μετάβαση από τους βιομηχανικούς τομείς στη γεωργία ή στους κλάδους των υπηρεσιών. Αυτό δημιουργεί υποκατάστατο αντίκτυπο στο εργατικό δυναμικό, οδηγώντας σε αύξηση του αριθμού των άνεργων βιομηχανικών εργαζομένων.

Σύμφωνα με τους (Acemoglu,2020) , η αύξηση της ανεργίας μπορεί να διευκολύνει τη μετανάστευση εργατικού δυναμικού από βιομηχανικούς τομείς προς τη γεωργία ή τους κλάδους παροχής υπηρεσιών, ενισχύοντας κατά συνέπεια το εργατικό δυναμικό στη σχετικά φιλική προς το περιβάλλον γεωργία και τις υπηρεσίες.



Διάγραμμα 5 Αύξηση της απασχόλησης ανά επάγγελμα μεταξύ 1970 και 2015

**(Acemoglu,2020)**

Καθήκοντα που καλύπτουν ένα φάσμα από λειτουργίες μηχανικού και προγραμματισμού μέχρι αρμοδιότητες που εκτελούνται από ειδικούς οπτικοακουστικών μέσων, βοηθούς στελε-



χών, διαχειριστές και αναλυτές δεδομένων, σχεδιαστές συναντήσεων και κοινωνικούς λειτουργούς. Τα τελευταία 35 χρόνια, υπήρξε σημαντική αύξηση της απασχόλησης που αποδίδεται σε αυτά τα νέα καθήκοντα και τους αντίστοιχους τίτλους θέσεων εργασίας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το έτος 2000, (Acemoglu,2020) περίπου το 70% των προγραμματιστών λογισμικού υπολογιστών, μια επαγγελματική κατηγορία που απασχολούσε τότε ένα εκατομμύριο άτομα, κατείχαν νέους επαγγελματικούς τίτλους.

### *2.1.3.3 Ενεργειακή αναβάθμιση*

Ο συνεργατικός χαρακτήρας των βιομηχανικών ρομπότ και της υψηλής ειδίκευσης εργασίας ενισχύει τις δυνατότητες έρευνας και ανάπτυξης, προωθώντας την καινοτομία στις τεχνολογίες που σχετίζονται με τα ρομπότ.

Αυτό περιλαμβάνει εξελίξεις στην τεχνολογία προσομοίωσης (Khan,2019) και στην τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας (Khan,2022), αμφότερες καθοριστικές για την πρόοδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επιπλέον, η αξιοποίηση των βιομηχανικών ρομπότ (IR) στον τομέα της ενέργειας μειώνει το κόστος παραγωγής και ενισχύει τη λειτουργική αποδοτικότητα (Lyu,2021), δίνοντας τη δυνατότητα στην ενεργειακή βιομηχανία να επενδύσει στην καινοτομία και να επιταχύνει την εξέλιξη της ενεργειακής υποδομής. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ελάχιστες εκπομπές ρύπων, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος και στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Κατά συνέπεια, τα UIR διαδραματίζουν ρόλο στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος μέσω του θετικού τους αντίκτυπου στην ενεργειακή αναβάθμιση.

### *2.1.3.4 Βιομηχανική επίδραση*

Η συμμετοχή των βιομηχανικών ρομπότ στην παραγωγή σημαίνει την υποκατάσταση της εργασίας από μηχανές. Σε σύγκριση με τη συμβατική εργασία, τα βιομηχανικά ρομπότ επιδεικνύουν αυξημένη αποδοτικότητα στην παραγωγή (Zeira, 1997) .

Η αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας των συντελεστών στον βιομηχανικό τομέα οδήγησε σε μείωση του κόστους παραγωγής και σε ταχεία πρόοδο της βιομηχανικής ανάπτυξης ( Li,2013).

Ωστόσο, αυτή η αυξημένη κλίμακα βιομηχανικής ανάπτυξης έχει οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα ρύπων, συμβάλλοντας σε μια πιθανή αύξηση του οικολογικού αποτυπώματος (Kanazawa,2019).

Πέρα από την παραδοσιακή βιομηχανική ρύπανση, η λειτουργία των βιομηχανικών ρομπότ καταναλώνει σημαντικές ποσότητες ενέργειας (Carabin,2017), αποτελώντας σημαντική πρόκληση για το οικολογικό αποτύπωμα.

## 2.2 Σύνοψη

Συμπερασματικά, τα βιομηχανικά ρομπότ (IR) μπορούν να έχουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στο οικολογικό αποτύπωμα. Η επίδραση της βιομηχανικής τείνει να αυξάνει το οικολογικό αποτύπωμα, δημιουργώντας δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντίθετα, τα IR συμβάλλουν στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος μέσω του αποτελέσματος εξοικονόμησης χρόνου, του αποτελέσματος πράσινης απασχόλησης και του αποτελέσματος ενεργειακής αναβάθμισης, προωθώντας έτσι θετικό αντίκτυπο στο οικολογικό περιβάλλον.

Ο καθαρός αντίκτυπος της UIR εξαρτάται από την έμφαση που δίνει μια χώρα στα οικονομικά οφέλη που απορρέουν από την UIR- η εστίαση στα οικονομικά οφέλη μπορεί να ενισχύσει τον αρνητικό αντίκτυπο, ενώ η προτεραιότητα στις ευκαιρίες για πράσινο οικονομικό μετασχηματισμό μπορεί να ενισχύσει τον θετικό αντίκτυπο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ενεργειακό Αποτύπωμα κατά τη Φάση της Κατασκευής

### 3.1 Εισαγωγή για την φάση παραγωγής

Η φάση κατασκευής εντός του κύκλου ζωής ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι ένα κρίσιμο στάδιο που περιλαμβάνει τη δημιουργία, τη συναρμολόγηση και την ενσωμάτωση διαφόρων εξαρτημάτων για την κατασκευή ενός λειτουργικού ρομποτικού συστήματος. Η φάση αυτή περιλαμβάνει μια σειρά από περίπλοκες διαδικασίες που αποσκοπούν στην παραγωγή ενός ρομπότ ικανού να εκτελεί συγκεκριμένες εργασίες σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

#### 3.1.1 Κατασκευή εξαρτημάτων

##### 3.1.1.1 Φάση Σχεδιασμού

Η φάση του σχεδιασμού στη διαδικασία κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ είναι ένα κρίσιμο στάδιο όπου οι μηχανικοί εμπλέκονται σε μια συστηματική και δημιουργική διαδικασία για τη σύλληψη, την ανάλυση και τον σχεδιασμό κάθε επιμέρους εξαρτήματος. Η φάση αυτή ξεκινά με μια έκρηξη ιδεών και ιδεοληψίας, ακολουθούμενη από μια αυστηρή ανάλυση των λειτουργικών και υλικών απαιτήσεων. Χρησιμοποιώντας προηγμένα εργαλεία όπως η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD), οι μηχανικοί δημιουργούν ψηφιακά πρωτότυπα που υποβάλλονται σε προσομοιώσεις, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (FEA) και κινηματικών αξιολογήσεων, εξασφαλίζοντας τη δομική ακεραιότητα και τη βέλτιστη απόδοση.

Η επιλογή υλικών λαμβάνει υπόψη τη συμβατότητα και τη βιωσιμότητα, ευθυγραμμισμένη με τις περιβαλλοντικές αξιολογήσεις. Η ανάλυση αποδοτικότητας και οι στρατηγικές μείωσης του κόστους αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία της φάσης σχεδιασμού, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ επιδόσεων και οικονομικής σκοπιμότητας. Η φάση του σχεδιασμού είναι μια ολοκληρωμένη και επαναληπτική διαδικασία που θέτει τα θεμέλια για την επιτυχή κατασκευή των εξαρτημάτων. Περιλαμβάνει ένα συνδυασμό δημιουργικής σκέψης,

μηχανικής ανάλυσης και συνεργασίας για την παραγωγή σχεδίων που πληρούν τις λειτουργικές απαιτήσεις, τηρούν τα πρότυπα ποιότητας και διευκολύνουν τις αποδοτικές διαδικασίες κατασκευής. Τα αποτελέσματα της φάσης σχεδιασμού επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική απόδοση και αξιοπιστία των βιομηχανικών ρομπότ.

### *3.1.1.2 Επιλογή Υλικών*

Η φάση επιλογής υλικού στη διαδικασία κατασκευής εξαρτημάτων βιομηχανικών ρομπότ είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει τη συνολική απόδοση, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητα.

Αυτή η περίπλοκη διαδικασία λήψης αποφάσεων περιλαμβάνει μια σχολαστική αξιολόγηση των λειτουργικών απαιτήσεων, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών, θερμικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων, προσαρμοσμένων στην προβλεπόμενη λειτουργία κάθε εξαρτήματος. (Bader,2020) Οι εκτιμήσεις για την ανθεκτικότητα περιλαμβάνουν την αντοχή στην τριβή και τη διάβρωση, ζωτικής σημασίας για εξαρτήματα που υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενες κινήσεις ή εκτίθενται σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι εκτιμήσεις για το βάρος επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της ισορροπίας μεταξύ αντοχής και βάρους, με έμφαση σε ελαφριά υλικά όπως κράματα αλουμινίου ή σύνθετα υλικά για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης.

Οι εκτιμήσεις κόστους περιλαμβάνουν την αξιολόγηση τόσο του αρχικού κόστους όσο και των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ απόδοσης και οικονομικής προσιτότητας.

Η τήρηση των βιομηχανικών προτύπων και κανονισμών είναι υψίστης σημασίας (Bader,2020), ενώ για συγκεκριμένες εφαρμογές διερευνώνται καινοτόμα υλικά και τεχνολογίες, όπως προηγμένα σύνθετα υλικά και έξυπνα υλικά.

Η επιλογή υλικών είναι μια σύνθετη διαδικασία λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνει την ενδελεχή εξέταση διαφόρων παραγόντων για να διασφαλιστεί ότι τα επιλεγμένα υλικά πληρούν τις απαιτήσεις επιδόσεων, τους περιορισμούς κατασκευής και τους στόχους βιωσιμότητας. Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της δημιουργίας εξαρτημάτων που συμβάλλουν στη συνολική αποδοτικότητα και αξιοπιστία των βιομηχανικών ρομπότ.

### 3.1.1.3 3D μοντελοποίηση

Η φάση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και του σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της διαδικασίας σχεδιασμού για την κατασκευή βιομηχανικών ρομπότ. Η φάση αυτή περιλαμβάνει τη δημιουργία λεπτομερών ψηφιακών αναπαραστάσεων των εξαρτημάτων, επιτρέποντας στους μηχανικούς να οπτικοποιήσουν, να αναλύσουν και να βελτιώσουν τον σχεδιασμό πριν από τη φυσική κατασκευή.

Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν λογισμικό CAD για τη δημιουργία τρισδιάστατων εικονικών μοντέλων κάθε εξαρτήματος. Αυτά τα μοντέλα χρησιμεύουν ως ψηφιακά πρωτότυπα, παρέχοντας μια λεπτομερή αναπαράσταση της μορφής, των διαστάσεων και των χαρακτηριστικών του εξαρτήματος. Το CAD επιτρέπει τη δημιουργία ενός μοντέλου συναρμολόγησης, όπου τα επιμέρους εξαρτήματα συναρμολογούνται ψηφιακά για να απεικονιστούν οι αλληλεπιδράσεις και η ενσωμάτωσή τους στο πλήρες ρομποτικό σύστημα.

Η φάση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και του CAD είναι θεμελιώδης για τη διαδικασία σχεδιασμού, παρέχοντας στους μηχανικούς ένα ευέλικτο και ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη δημιουργία, την ανάλυση και τη βελτίωση των ψηφιακών αναπαραστάσεων των εξαρτημάτων των βιομηχανικών ρομπότ.

## 3.1.2 Διαδικασία Συναρμολόγησης

### 3.1.2.1 Σχεδιασμός και Συναρμολόγηση

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας συναρμολόγησης κατά την κατασκευή βιομηχανικών ρομπότ αποτελεί μια κρίσιμη φάση, η οποία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στη λεπτομέρεια και στρατηγική οργάνωση για να εξασφαλιστεί η συστηματική ενσωμάτωση των επιμέρους εξαρτημάτων σε ένα πλήρως λειτουργικό ρομποτικό σύστημα.

Οι (Jiang,2022) αναφέρουν ότι η διαδικασία ξεκινά με τη λογική ομαδοποίηση των εξαρτημάτων με βάση τις λειτουργίες και τις εξαρτήσεις τους, θέτοντας τις βάσεις για μια συνεκτική ροή εργασιών συναρμολόγησης. Η προσβασιμότητα και η εργονομία αποτελούν κρίσιμα ζητήματα, απαιτώντας την αξιολόγηση των σημείων συναρμολόγησης ώστε να διασφαλίζεται η εύκολη πρόσβαση των τεχνικών και η ενσωμάτωση εργονομικών αρχών για την προώθηση της αποδοτικότητας και τη μείωση της σωματικής καταπόνησης.

Επιπλέον οι (Jiang,2022) πρόσθεσαν ότι η επιλογή των εργαλείων και του εξοπλισμού περιλαμβάνει προσεκτική εξέταση της συμβατότητας με τα εξαρτήματα, και η συμπερίληψη των συναρμολογητικών και των προσαρτημάτων βοηθά στην ακριβή ευθυγράμμιση. Η προετοιμασία ολοκληρωμένης τεκμηρίωσης, συμπεριλαμβανομένων λεπτομερών οδηγιών συναρμολόγησης και καταλόγων ελέγχου, καθοδηγεί τους τεχνικούς σε κάθε βήμα και παρέχει οπτικά βοηθήματα για σαφήνεια.

### 3.1.2.2 Έλεγχος και επικύρωση

Το στάδιο των δοκιμών και της επικύρωσης στο πλαίσιο της διαδικασίας κατασκευής βιομηχανικών ρομπότ είναι ένα κρίσιμο στάδιο αφιερωμένο στη διασφάλιση της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της βέλτιστης απόδοσης των συναρμολογημένων εξαρτημάτων και των ολοκληρωμένων συστημάτων.

Οι ολοκληρωμένες λειτουργικές δοκιμές χρησιμεύουν για την επαλήθευση της προβλεπόμενης λειτουργικότητας των επιμέρους εξαρτημάτων και των συλλογικών αλληλεπιδράσεών τους, αξιολογώντας τόσο διαδοχικά όσο και παράλληλα σενάρια.

Αρχικά, η εξέταση φορτίου, η οποία περιλαμβάνει ελεγχόμενα φορτία που εφαρμόζονται για την προσομοίωση πραγματικών συνθηκών, καθορίζει τα λειτουργικά όρια και τα περιθώρια ασφαλείας του ρομπότ. (Gadaleta,2021)

Η διαδικασία δοκιμών περιλαμβάνουν τις εξής δοκιμές :

- Δοκιμή ακρίβειας
- Δομικές αντοχής
- Περιβαλλοντικές αντοχές
- Δομικές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας ( EMC)

Η δοκιμή ακρίβειας και ακρίβειας επικεντρώνεται στην ακρίβεια θέσης και την επαναληψιμότητα, επιβεβαιώνοντας την ικανότητα του ρομπότ να επιτυγχάνει καθορισμένες συντεταγμένες με ακρίβεια και συνέπεια. Η επικύρωση των επιδόσεων του τελικού φορέα περιλαμβάνει αυστηρές δοκιμές εργαλείων και αρπάγες, αξιολογώντας τις δυνατότητες σύλληψης και χειρισμού καθώς και την ικανότητα ωφέλιμου φορτίου.

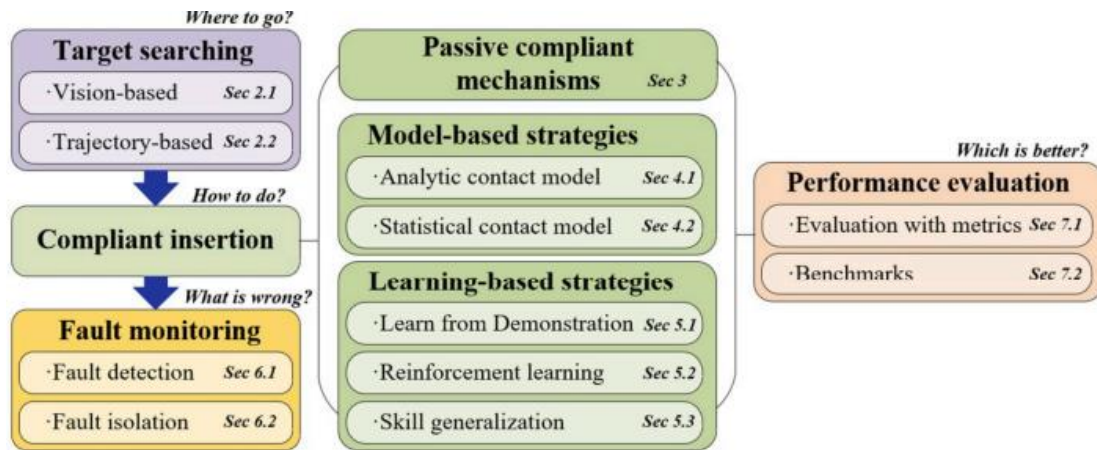
Οι περιβαλλοντικές δοκιμές υποβάλλουν το ρομπότ σε ποικίλες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της υγρασίας και των ρύπων, ώστε να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητά του. Οι δοκιμές αντοχής και αξιοπιστίας, συμπεριλαμβανομένων των εκτιμήσεων εκτεταμένης λειτουργίας και των αναλύσεων τρόπων αστοχίας, εξετάζουν την αντοχή του ρομπότ υπό συνεχή χρήση. Οι δοκιμές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) επαληθεύουν τη συμμόρφωση με τα πρότυπα, διασφαλίζοντας ότι το ρομπότ μπορεί να λειτουργεί αρμονικά σε περιβάλλοντα με ποικίλες ηλεκτρονικές συσκευές.

### *3.1.2.3 Μηχανική Συναρμολόγηση*

το τελικό στάδιο των σύγχρονων διαδικασιών παραγωγής, η μηχανική συναρμολόγηση, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην παραγωγή, επηρεάζοντας άμεσα την ποιότητα του προϊόντος. Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας της μηχανικής συναρμολόγησης αποτελεί σημαντική πρόκληση. (Jiang,2022)

Τα ρομπότ, γνωστά για το εκτεταμένο εύρος λειτουργίας τους, την προσαρμοστικότητα και την αποδοτικότητά τους, χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών συναρμολόγησης. Προκλήσεις προκύπτουν λόγω των κατασκευαστικών ανοχών και των σφαλμάτων στην εκτίμηση της στάσης, που οδηγούν σε μειωμένα ποσοστά επιτυχίας και αποτυχίες συναρμολόγησης.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 1, η διαδικασία ρομποτικής συναρμολόγησης μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα επιμέρους καθήκοντα στο πλαίσιο της ροής εργασίας, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης και αναζήτησης στόχων, των συμβατών στρατηγικών για την κίνηση εισαγωγής και της παρακολούθησης σφαλμάτων.



Εικόνα 5 Διάγραμμα διαδικασίας ρομποτικής συναρμολόγησης

(Jiang,2022)

Αυτά τα υποθέματα αντιμετωπίζουν ερωτήματα σχετικά με το πως να ξεκινήσει η διαδικασία, πώς να προχωρήσει και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων.

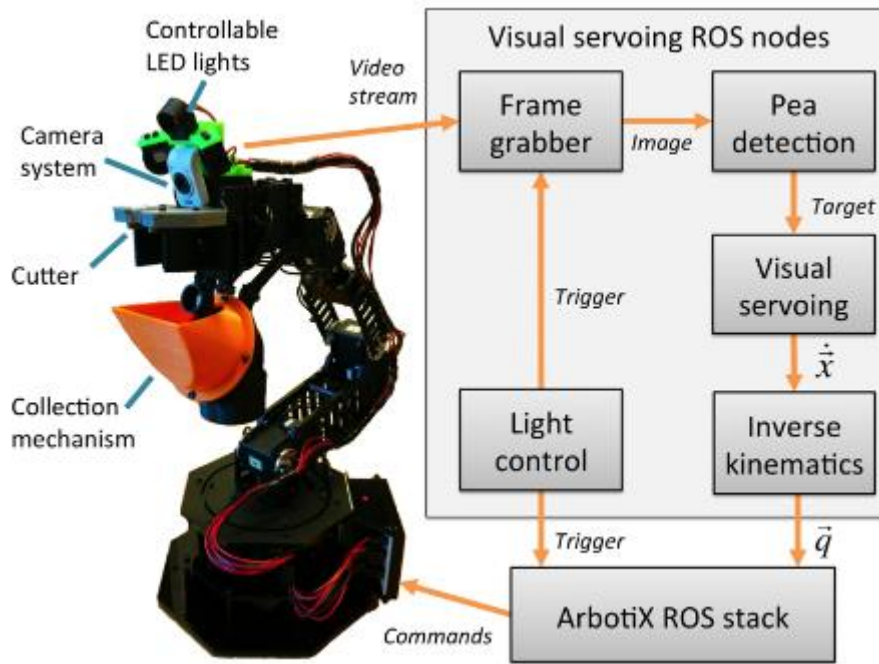
## 3.2 Κατανάλωση κατά την Κατασκευή

### 3.2.1 Στάδιο Σχεδιασμού

Το στάδιο του σχεδιασμού και της σύλληψης είναι το αρχικό στάδιο της κατασκευής ρομπότ, όπου καθορίζεται το όραμα, ο σκοπός και οι προδιαγραφές του ρομπότ. Περιλαμβάνει τη δημιουργική διαδικασία του σχεδιασμού, της λειτουργικότητας και των χαρακτηριστικών του ρομπότ. (Stoelen,2015)

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει συχνά επαναληπτικούς κύκλους σχεδιασμού, προσομοίωση και τη δημιουργία λεπτομερούς τεχνικής τεκμηρίωσης.





Εικόνα 6 Σχεδιασμός πρώτου ρομποτικού βραχίονα

**(Stoelen,2015)**

### 3.2.1.1 Ενεργειακές εκτιμήσεις κατά τον σχεδιασμό

#### 3.2.1.1.1 Υπολογιστικές διαδικασίες

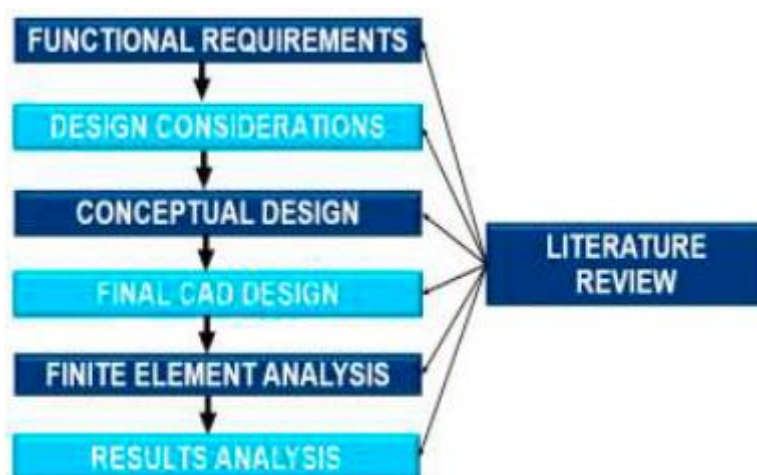
Η χρήση προηγμένων υπολογιστικών εργαλείων για προσομοιώσεις, μοντελοποίηση και δημιουργία πρωτοτύπων είναι αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει την εκτέλεση πολύπλοκων αλγορίθμων και προσομοιώσεων για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς και της απόδοσης του ρομπότ. Οι υπολογιστικές διαδικασίες απαιτούν σημαντική ισχύ από υπολογιστικά συστήματα υψηλών επιδόσεων, οδηγώντας σε σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Η χρήση ενέργειας σχετίζεται κυρίως με την επεξεργασία δεδομένων, τις αριθμητικές προσομοιώσεις και την απόδοση γραφικών αποτελεσμάτων.

### 3.2.1.1.2 Δημιουργία πρωτοτύπων

Συχνά δημιουργούνται φυσικά πρωτότυπα για τη δοκιμή και την επικύρωση σχεδιαστικών ιδεών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων τεχνολογιών κατασκευής πρωτοτύπων, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση ή η κατεργασία με CNC.

Το ενεργειακό αποτύπωμα της προτυποποίησης περιλαμβάνει την παραγωγή των εξαρτημάτων πρωτοτύπων με χρήση προσθετικών ή αφαιρετικών διαδικασιών κατασκευής. Ο τύπος των υλικών που χρησιμοποιούνται, η ενεργειακή ένταση των διαδικασιών κατασκευής και η αποδοτικότητα του εξοπλισμού προτυποποίησης συμβάλλουν στη συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Το λογισμικό σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) είναι ένα θεμελιώδες εργαλείο για τη δημιουργία λεπτομερών μηχανολογικών σχεδίων και προδιαγραφών κατά τη φάση του σχεδιασμού.



Εικόνα 7 Πλαίσιο σχεδιασμού ενός ρομποτικού βραχίονα

**(Daniyan,2020)**

Η διαδικασία σχεδιασμού (Daniyan,2020) ξεκινά με την περιγραφή των λειτουργικών αναγκών του ρομποτικού βραχίονα.

Ο σχεδιασμός ενός ρομποτικού χειριστή/συστήματος περιλαμβάνει τις ακόλουθες πτυχές (Daniyan,2020) :

- Η ικανότητα φορτίου, που υπαγορεύει το συνολικό βάρος που μπορεί να διαχειριστεί το ρομπότ.
- Το επίπεδο επαναληψιμότητας, που καθορίζει την απόσταση που χρειάζεται το ρομπότ για να επιστρέψει στην προγραμματισμένη θέση του.
- Επίπεδο ακρίβειας, που επηρεάζει την ικανότητα του ρομπότ να φτάνει στην προγραμματισμένη θέση του και να εκτελεί τις εργασίες που του έχουν ανατεθεί.
- Έλεγχος κίνησης.
- Επιλογές πηγής ισχύος, που κυμαίνονται από ηλεκτρικά ενεργοποιούμενους ρομποτικούς χειριστές έως εκείνους που τροφοδοτούνται υδραυλικά ή πνευματικά.

#### 3.2.1.1.3 Στρατηγικές βελτιστοποίησης

Για την επίτευξη ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού στη ρομποτική (Gadaleta,2021), μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες στρατηγικές βελτιστοποίησης. Πρώτον, η υιοθέτηση λογισμικού σχεδιασμού βελτιστοποιημένου για ενεργειακή αποδοτικότητα είναι ζωτικής σημασίας και περιλαμβάνει τη χρήση λογισμικού με αποδοτικούς αλγορίθμους και διαχείριση πόρων για τη μείωση του αποτυπώματος υπολογιστικής ενέργειας.

Μια άλλη στρατηγική, σύμφωνα με τους (Mohammed,2014), περιλαμβάνει την προσεκτική επιλογή υλικών προτυποποίησης με λιγότερο ενεργοβόρες διαδικασίες παραγωγής, λαμβάνοντας υπόψη ανακυκλώσιμα ή βιολογικά υλικά για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών και βασισμένων στο υπολογιστικό νέφος εργαλείων συνεργασίας είναι επίσης απαραίτητη, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση ενέργειας που σχετίζεται με την ομαδική επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων.

Τέλος, οι (Mohammed,2014) αναφέρουν ότι η ενσωμάτωση ενός βιώσιμου σχεδιασμού, όπως η αποδοτικότητα των υλικών και ο αρθρωτός σχεδιασμός, κατά τη φάση του σχεδιασμού συμβάλλει στην ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών ρομπότ, λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Αυτές οι στρατηγικές στοχεύουν συλλογικά στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των ρομποτικών συστημάτων.

### 3.2.2 Επιλογή και προμήθεια υλικών

#### 3.2.2.1 Εξαγωγή πρώτων υλών

Αφού οριστικοποιηθεί ο σχεδιασμός, επιλέγονται τα υλικά για το ρομπότ (Jiang,2022). Το στάδιο της επιλογή και της προμήθειας υλικών περιλαμβάνει την επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του ρομπότ και την προμήθεια αυτών των υλικών από τους προμηθευτές. Το στάδιο αυτό είναι κρίσιμο, καθώς επηρεάζει τη συνολική απόδοση, την ανθεκτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ρομπότ.

Στον κύκλο ζωής της βιομηχανίας, η εξόρυξη των πρώτων υλών αποτελεί σημαντική φάση, η οποία περιλαμβάνει διαδικασίες όπως η εξόρυξη, η γεώτρηση ή η συγκομιδή για την απόκτηση μετάλλων, πλαστικών και άλλων συστατικών. Η ενεργειακή επίπτωση κατά την εξόρυξη περιλαμβάνει τη λειτουργία των μηχανημάτων εξόρυξης, τη μεταφορά των πρώτων υλών και τις δραστηριότητες επεξεργασίας στους χώρους εξόρυξης. (Valentini,2023)

#### 3.2.2.2 Διεργασίες και μεταφορά υλικών

Στη συνέχεια, οι (Danıyan,2020) αναφέρουν πως οι πρώτες ύλες υποβάλλονται σε διεργασίες παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της τήξης, του εξευγενισμού και της διαμόρφωσης, συμβάλλοντας στο συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα. Η επιλογή της τεχνολογίας κατασκευής και η ενεργειακή της απόδοση επηρεάζουν σημαντικά την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Η μεταφορά, ένα άλλο κρίσιμο στάδιο, περιλαμβάνει ενεργοβόρες διεργασίες όπως η ναυτιλία, η μεταφορά με φορτηγά ή η αεροπορική μεταφορά, όπου ο τρόπος μεταφοράς, η διανυόμενη απόσταση και η αποδοτικότητα του συστήματος μεταφοράς επηρεάζουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, η συσκευασία των υλικών για τη μεταφορά και την αποθήκευση εισάγει περαιτέρω ενεργειακά ζητήματα, που περιλαμβάνουν την παραγωγή υλικών συσκευασίας και την ενέργεια που δαπανάται κατά τη διαδικασία συσκευασίας.

#### 3.2.2.3 Στρατηγικές βελτιστοποίησης

Αρχικά, οι (Valentini,2023) αναφέρουν πως για την βέλτιστη οικολογικά επιλογή υλικών είναι σημαντική η ιεράρχηση της βιώσιμης προμήθειας υλικών περιλαμβάνει την επιλογή υλικών με χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ανακυκλωσιμότητα και η επαναχρησιμοποίηση. Για την περαιτέρω ενίσχυση της βιωσιμότητας, η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και διαδικασιών κατασκευής είναι ζωτικής

σημασίας για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά την παραγωγή εξαρτημάτων ρομπότ.

Μια άλλη στρατηγική είναι η τοπική προμήθεια υλικών για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη μεταφορά, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα τις περιφερειακές οικονομίες και μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα που σχετίζεται με τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις.

Με την αντιμετώπιση αυτών των ενεργειακών ζητημάτων και την εφαρμογή στρατηγικών βελτιστοποίησης, το στάδιο της επιλογής και προμήθειας υλικών μπορεί να συμβάλει στη συνολική βιωσιμότητα της ρομποτικής κατασκευής. Οι βιώσιμες επιλογές υλικών και οι αποτελεσματικές πρακτικές προμήθειας είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού αποτυπώματος και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του ρομποτικού συστήματος. (Valentini,2023)

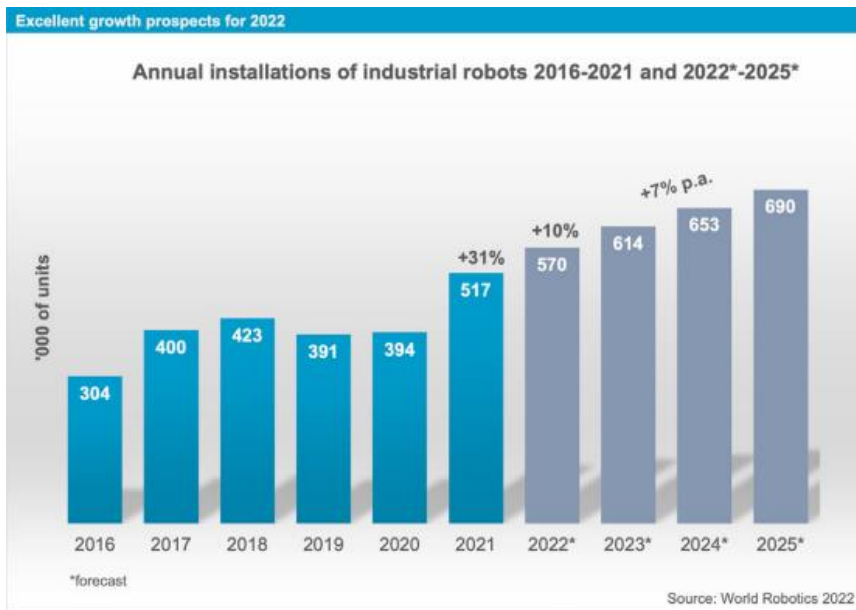
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Ενεργειακή Κατανάλωση κατά την Φάση της Λειτουργίας

### 4.1 Εισαγωγή στην Ενεργειακή Κατανάλωση

Στο σύγχρονο τοπίο της μεταποίησης, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν εξελιχθεί από υποτυπώδη εργαλεία αυτοματισμού σε απαραίτητα συστατικά των σύγχρονων παραγωγικών διαδικασιών. Η ενσωμάτωση αυτών των προηγμένων ρομποτικών συστημάτων έχει γίνει πανταχού παρούσα σε διάφορες βιομηχανίες, φέρνοντας επανάσταση στην αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της παραγωγής.

Καθώς αυτή η αλλαγή γίνεται ολοένα και εντονότερη, είναι ανάγκη να εξεταστεί διεξοδικά η ενεργειακή δυναμική που σχετίζεται με τα βιομηχανικά ρομπότ κατά τη φάση λειτουργίας τους. Η χρήση των βιομηχανικών ρομπότ δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική πρόοδο, αλλά μια μετασχηματιστική δύναμη που διαμορφώνει το λειτουργικό τοπίο των εργοστασίων παγκοσμίως.

Στη σημερινή εποχή της μεταποίησης, τα βιομηχανικά ρομπότ έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος των διαδικασιών παραγωγής, αντιπροσωπεύοντας ένα σημαντικό μερίδιο των αυτοματοποιημένων λειτουργιών σε μια πληθώρα βιομηχανιών. Η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής (IFR) ανέφερε σημαντική αύξηση των εγκαταστάσεων ρομπότ το 2021, με ρυθμό αύξησης 31% σε σύγκριση με το 2020, και περαιτέρω αναμενόμενη αύξηση 10% το 2022. Η τάση αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη βελτιστοποίησης των πόρων για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Επιπλέον, η IFR υπογραμμίζει τις τρέχουσες τεχνολογικές τάσεις, με τη συνεργασία ανθρώπου-ρομπότ να επεκτείνεται σε διάφορες εφαρμογές.



Διάγραμμα 6 Τάσεις 2016-2025 International Federation of Robotics

Η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής (IFR) αναδεικνύει τη βιωσιμότητα ως ένα σημαντικό ζήτημα στον τομέα της ρομποτικής τα επόμενα χρόνια, ωθώντας τις κατασκευαστικές εταιρείες να επιδιώξουν την αποτελεσματικότερη χρήση των ρομπότ.

Μια κρίσιμη πτυχή που αποτελεί στόχο βελτιστοποίησης στη ρομποτική, (Schäffer et al. 2019), είναι η κατανάλωση ενέργειας, καθώς επηρεάζει έντονα την απόδοση της επένδυσης και τις μετρήσεις βιωσιμότητας για ολόκληρες διαδικασίες παραγωγής.

#### 4.2 Συντήρηση ενός βιομηχανικού ρομπότ

Ένα βιομηχανικό ρομπότ, που είναι ένα εξελιγμένο ηλεκτρομηχανικό σύστημα, είναι εκτεθειμένο σε διάφορες αβεβαιότητες, όπως είναι τα απαιτητικά περιβάλλοντα εργασίας, τα σφάλματα απομάκρυνσης συναρμολόγησης και η φθορά των μηχανικών εξαρτημάτων. (Miranda, 2023). Αυτές οι αβεβαιότητες μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια ζωής και την απόδοση των προϊόντων των συστημάτων βιομηχανικών ρομπότ.

Ως εκ τούτου, η ενίσχυση των επιδόσεων των συστημάτων βιομηχανικών ρομπότ είναι υψίστης σημασίας. Τα ρομπότ, που είναι περίπλοκες και προηγμένες μηχανές, παρουσιάζουν

συνήθως καλή συνολική αξιοπιστία. Ωστόσο, όπως και άλλα εξελιγμένα μηχανολογικά συστήματα, ενδέχεται να παρουσιάζουν περιστασιακές βλάβες που απαιτούν συντήρηση. (Abdi,2013)

Ως εκ τούτου, οι χρήστες των ρομπότ πρέπει να καθιερώσουν ένα ισχυρό πρόγραμμα συντήρησης για να αποτρέψουν τον απρογραμματίστο χρόνο διακοπής λειτουργίας να υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματικότητα των ρομποτικών εφαρμογών

Η σκόπιμη προσοχή στη συντήρηση δεν περιορίζεται μόνο στην περίοδο λειτουργίας των ρομπότ, αλλά επεκτείνεται και στη φάση του σχεδιασμού. Πολλές αποφάσεις που αφορούν τη συντήρηση λαμβάνονται κατά τη φάση του σχεδιασμού (Dermitzakis,2011). Κατά συνέπεια, τόσο ο κατασκευαστής όσο και ο χρήστης αναλαμβάνουν καίριους ρόλους στην αντιμετώπιση των πτυχών της συντήρησης των ρομπότ, υπογραμμίζοντας ότι η ευθύνη δεν πρέπει να ανατίθεται αποκλειστικά στον χρήστη.

Οι (Dui, Zhang, and Wu 2023)εισήγαγαν διάφορες στρατηγικές συντήρησης για επισκευαστικά συστήματα με βάση διάφορες συνθήκες βλάβης.

Οι ((Wei, Nourelfath, and Nahas 2023)) εξέτασαν στρατηγικές προληπτικής συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κόστη παρενεργειών που προκύπτουν από την υποβάθμιση της απόδοσης.

Οι (Babishin,2017) πρότειναν μια στρατηγική μη περιοδικής επιθεώρησης και συντήρησης, προσφέροντας μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη συντήρηση του συστήματος.

Οι (Chen,2022) εξέτασαν το κόστος συντήρησης υπό διάφορες στρατηγικές συντήρησης και εισήγαγαν ένα νέο μέτρο σημαντικότητας που βασίζεται σε δύο τύπους κόστους συντήρησης.

Οι (Zhang,2020) διατύπωσαν τη βέλτιστη στρατηγική συντήρησης ελαχιστοποιώντας το ποσοστό κόστους σε ένα άπειρο χρονικό εύρος.



#### 4.2.1 Γενικές λειτουργίες συντήρησης και είδη συντήρησης

Οι λειτουργίες συντήρησης περιλαμβάνουν τις δραστηριότητες που πρέπει να εκτελεστούν σε ένα στοιχείο για την επαναφορά ενός δυσλειτουργικού στοιχείου στην κατάσταση λειτουργίας του (διορθωτική συντήρηση) και για να εξασφαλιστεί ότι το στοιχείο παραμένει σταθερά λειτουργικό (προληπτική συντήρηση).

- i. επισκευή
- ii. σέρβις
- iii. επιθεώρηση
- iv. βαθμονόμηση
- v. γενική επισκευή
- vi. δοκιμή
- vii. ρύθμιση
- viii. αντικατάσταση

Η προληπτική και η διορθωτική συντήρηση αποτελούν τις δύο κύριες κατηγορίες συντήρησης. Η προληπτική συντήρηση, όπως αναφέρουν οι (Ramachandran,1977) περιλαμβάνει ενέργειες που αποσκοπούν στη διατήρηση ενός συστήματος, υποσυστήματος ή εξαρτήματος σε καθορισμένη κατάσταση με τη συστηματική ανίχνευση, επιθεώρηση και πρόληψη αρχόμενων βλαβών. Τα στοιχεία της προληπτικής συντήρησης περιλαμβάνουν επιθεώρηση, βαθμονόμηση, συντήρηση, ρύθμιση, ευθυγράμμιση, εγκατάσταση και δοκιμή.

#### 4.2.2 Συχνά χρησιμοποιούμενα όργανα για τη συντήρηση

Για τη συντήρηση ενός ρομποτικού συστήματος χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία, από διαγνωστικούς κωδικούς που είναι ορατοί στον πίνακα ελέγχου του ρομπότ μέχρι κλειδιά και ειδικά εγχειρίδια συντήρησης. Αν και τα συγκεκριμένα εργαλεία συντήρησης που απαιτούνται μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα, τα ακόλουθα είναι παραδείγματα εργαλείων που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συντήρηση ρομποτικών συστημάτων. (Abdi,2013)

- Δυναμόκλειδα
- Εξαρτήματα ευθυγράμμισης
- Εξαγωγείς καρτών
- Αντάπτορες φόρτισης

Συνήθως, μια ποικιλία οργάνων και εργαλείων μέτρησης είναι απαραίτητη για τη διενέργεια επιθεωρήσεων ρουτίνας στα ρομπότ. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως όργανα μέτρησης όπως διαβήτες, βολτόμετρα συνεχούς ρεύματος (DC), βολτόμετρα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και παλμογράφοι. Επιπλέον, τα εργαλεία περιλαμβάνουν αντικείμενα όπως τα ακόλουθα: (Abdi,2013)

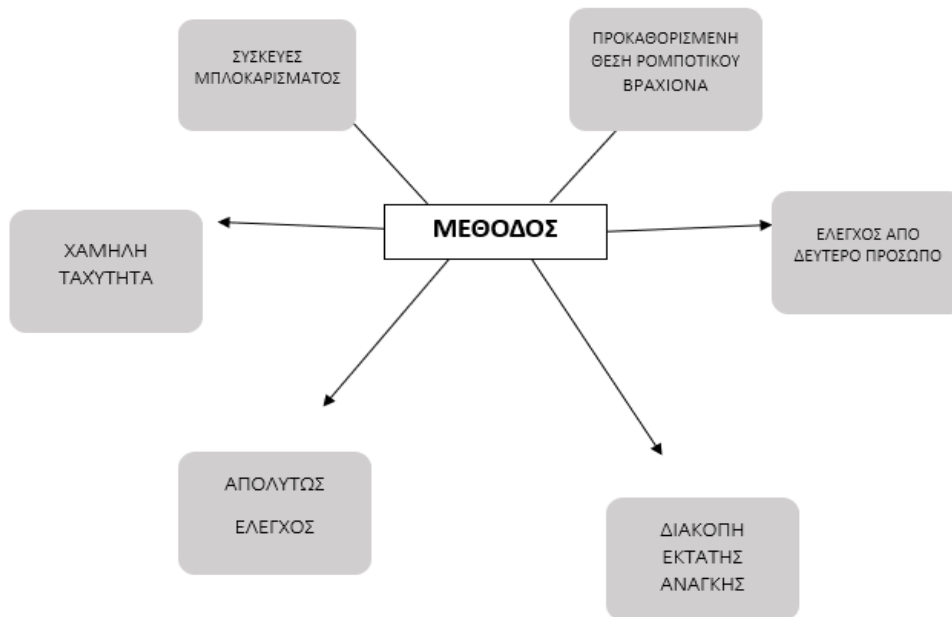
- Κλειδί διπλής κεφαλής
- Κλειδιά σύσφιξης
- Πιστόλι γράσου
- Πένσα δακτυλίου
- Μικρά , μεσαία , μεγάλα κατσαβίδια
- Μυτοσίμπιδο

#### 4.2.3 Μέτρα ασφαλείας

Αν και υπάρχουν πολυάριθμες κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία του προσωπικού που ασχολείται με τη συντήρηση ρομπότ, αυτές που θεωρούνται ιδιαίτερα πολύτιμες είναι οι ακόλουθες :

- Διασφαλίστε ότι ολόκληρο το σύστημα ρομπότ είναι απενεργοποιημένο κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων συντήρησης και επισκευής, με την εφαρμογή κατάλληλων διαδικασιών κλειδώματος/αποσύνδεσης για την εξασφάλιση όλων των πηγών ενέργειας και τον μετριασμό των πιθανών κινδύνων από την αποθηκευμένη ενέργεια.
- Επιβεβαιώστε ότι όλο το εμπλεκόμενο προσωπικό συντήρησης έχει λάβει επαρκή εκπαίδευση σχετικά με τις βασικές διαδικασίες για την ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης.

- Επαληθεύστε ότι, σε περίπτωση διαδικασίας κλειδώματος/εξάρτησης, χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά εναλλακτικές μέθοδοι διασφάλισης.
- Εγγυηθείτε ότι όλο το εμπλεκόμενο προσωπικό συντήρησης είναι επαρκώς θωρακισμένο από ακούσιες ή απρόβλεπτες κινήσεις του ρομπότ.



Διάγραμμα 7 Μέτρα περιορισμού κινδύνου

#### 4.2.4 Μέθοδοι συντήρησης ενός ενεργειακά αποδοτικού IR

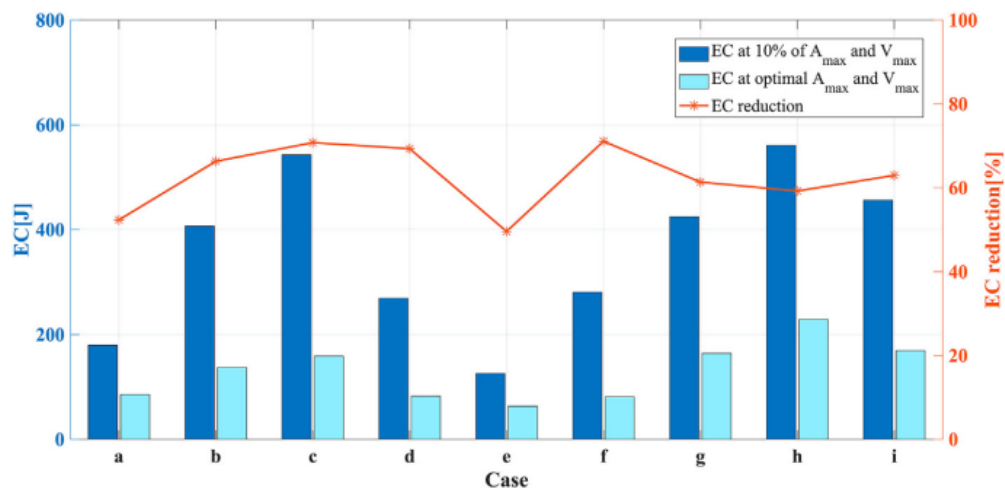
Η συνεπής συντήρηση παίζει ζωτικό ρόλο στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς εγγυάται τη βέλτιστη λειτουργία των εξαρτημάτων του ρομπότ καθ' όλη τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο και την αντικατάσταση φθαρμένων ή εξασθενημένων εξαρτημάτων και την επιβεβαίωση της επάρκειας της λίπανσης του ρομπότ.

Σύμφωνα με τους (Takata,2004) η τακτική συντήρηση αποτελεί ίσως τη πιο βασική μέθοδο για την επίτευξη της ενεργειακής απόδοσης και τον περιορισμό της χρήσης ενέργειας στα βιομηχανικά ρομπότ.

Παρακάτω παρατίθενται συστάσεις για τη διατήρηση ενεργειακά αποδοτικών ρομπότ.

- ✓ Ένταξη πρωτοκόλλων προληπτικής συντήρησης: Να επιθεωρείται και να συντηρείται τακτικά τα μηχανικά εξαρτήματα του ρομπότ, συμπεριλαμβανομένων των γραναζιών, των ρουλεμάν και των ιμάντων. Τα ανεπαρκώς συντηρημένα μηχανικά στοιχεία μπορεί να αυξήσουν κλιμακωτά την κατανάλωση ενέργειας του ρομπότ. (Izagirre,2022)  
  
Η τακτική συντήρηση χρησιμεύει για την αποφυγή βλαβών, βελτιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας στα βιομηχανικά μηχανήματα. (Aivaliotis,2021)
- ✓ Εξέταση και βελτίωση του προγραμματισμού και του συστήματος ελέγχου του ρομπότ για την εγγύηση της μέγιστης απόδοσης. Ενσωμάτωση αλγορίθμων που περιορίζουν τους περιττούς υπολογισμούς, τον χρόνο αδράνειας ή τις περιττές κινήσεις. (Kiangala,2017)
- ✓ Διατήρηση της καθαριότητας στα ηλεκτρικά εξαρτήματα του ρομπότ, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων και των αισθητήρων, για την αποφυγή της υπερβολικής χρήσης ενέργειας που προκαλείται από βρώμικα ή φθαρμένα ηλεκτρικά στοιχεία.



Διάγραμμα 8 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την βελτιστοποίηση

(Zhang,2021)

- ✓ Αξιολόγηση και καθαρισμός όλων των φίλτρων αέρα: μπορεί να μειώσει την απόδοση του συστήματος ψύξης του ρομπότ, οδηγώντας σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Ο περιοδικός καθαρισμός ή η αντικατάσταση των φίλτρων αέρα συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης της ψύξης (Nentwich,2021).

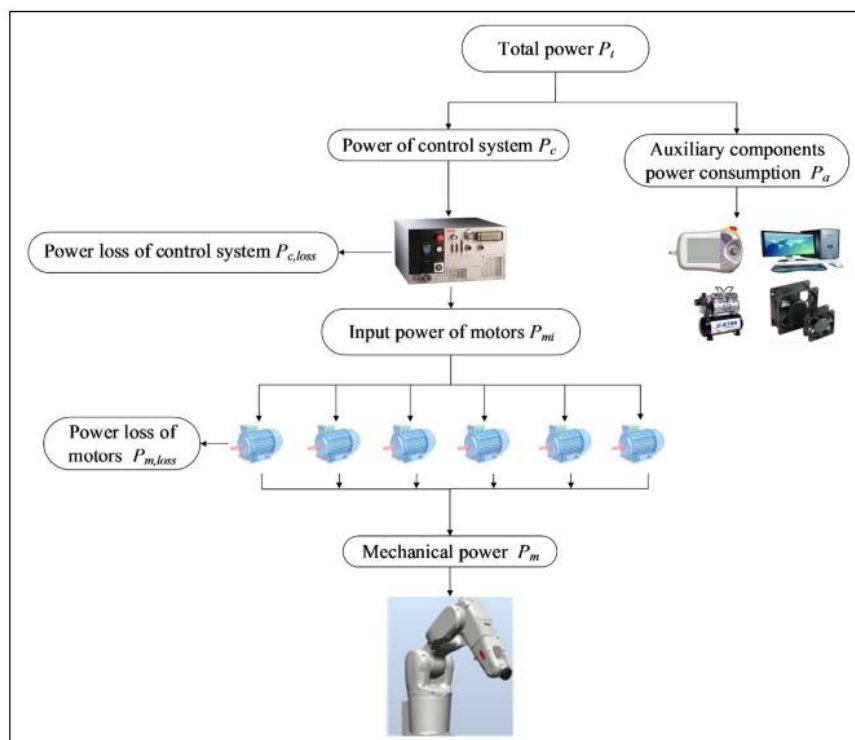
Συνοψίζοντας, η τακτική συντήρηση είναι απαραίτητη για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας, της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των βιομηχανικών ρομπότ, συμβάλλοντας τελικά στην αύξηση της παραγωγικότητας και της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας στις διαδικασίες παραγωγής

### 4.3 Ανάλυση Κατανάλωσης Ενέργειας

Το βιομηχανικό ρομπότ λειτουργεί συνήθως με εναλλασσόμενο ρεύμα και η κατανομή της ενέργειας απεικονίζεται στο Σχήμα 4.

Η συνολική ισχύς ( $P_t$ ) χρησιμοποιείται τόσο από το σύστημα ελέγχου ( $P_c$ ) όσο και από τα βοηθητικά εξαρτήματα ( $P_a$ ).

Η ισχύς που παρέχεται στο σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει τις απώλειες ισχύος ( $P_{c,loss}$ ), που περιλαμβάνουν την ισχύ που καταναλώνουν οι μετατροπείς AC/DC, ο δίαυλος συνεχούς ρεύματος, οι μετατροπείς κ.λπ. και την ισχύ που παρέχεται στους κινητήρες του ρομπότ ( $P_{mi}$ ). Η  $P_{mi}$  μπορεί να υποδιαιρεθεί σε δύο συνιστώσες: το ένα μέρος κινεί τον κινητήρα ( $P_m$ ), ενώ το άλλο μέρος αποτελεί την απώλεια ισχύος στους κινητήρες ( $P_{m,loss}$ ).



Εικόνα 8 Ροή ενέργειας ενός βιομηχανικού ρομπότ

(Liu,2017)

#### 4.3.1 Ενεργειακή Κατανάλωση των Κινητήρων

Επί του παρόντος, τα βιομηχανικά ρομπότ χρησιμοποιούν συνήθως κινητήρες υψηλής απόδοσης, συγκεκριμένα σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, με απόδοση που κυμαίνεται από 73% έως 92%.

Όπως αναφέρεται στην εξίσωση (1), οι απώλειες ισχύος περιλαμβάνουν απώλειες χαλκού, απώλειες σιδήρου, μηχανικές απώλειες και απώλειες διασποράς, οι οποίες μπορούν να παρασταθούν μαθηματικά.

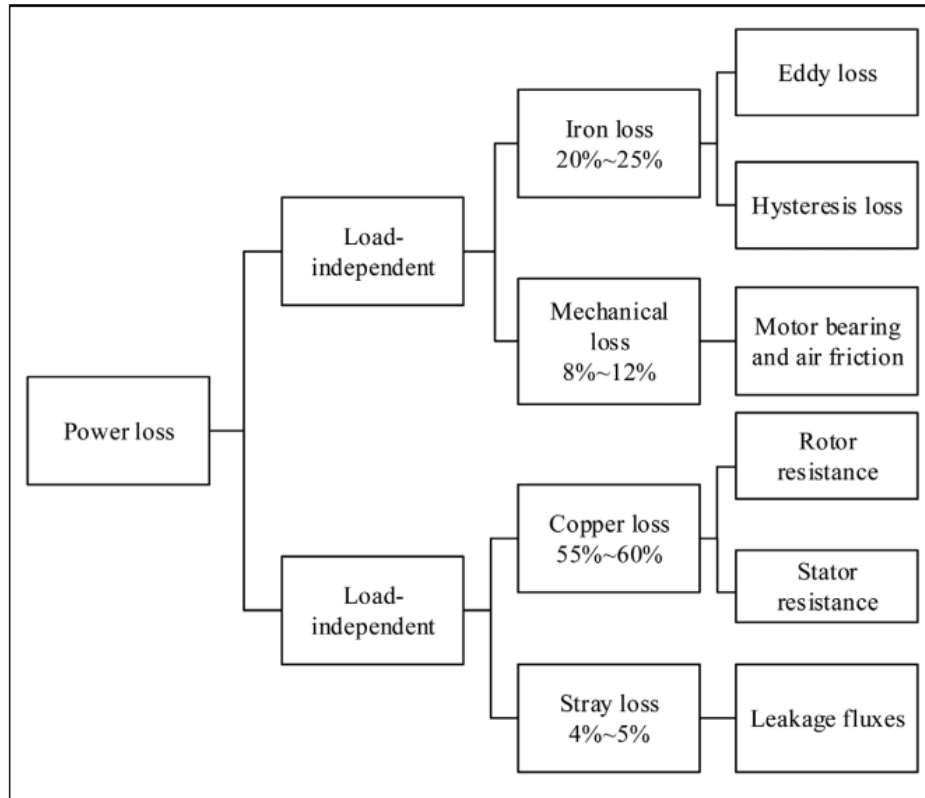
$$P_{m,loss} = P_{Fe} + P_{copper} + P_F + P_{stray} \quad (1)$$

Όπου :

- $P_{m,loss}$  : Η απώλεια ισχύος του κινητήρα
- $P_{Fe}$  : η απώλεια σιδήρου
- $P_{copper}$  : Η απώλεια χαλκού
- $P_F$  : Η μηχανική απώλεια
- $P_{stray}$  : Η απώλεια διασποράς

Όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 4.4 , τόσο οι απώλειες σιδήρου όσο και οι μηχανικές απώλειες παραμένουν σχετικά σταθερές και δεν επηρεάζονται από το φορτίο του ρομπότ. Αυτές οι απώλειες καθορίζονται από παράγοντες όπως τα υλικά, οι διαδικασίες κατασκευής του κινητήρα, η τάση εισόδου και η δομή του κινητήρα.

Από την άλλη πλευρά, τόσο οι απώλειες χαλκού όσο και οι αδέσποτες απώλειες εξαρτώνται από το φορτίο του ρομπότ, επηρεάζονται από την αντίσταση στον στάτη και τον δρομέα και τελικά μετατρέπονται σε θερμότητα. Οι απώλειες διασποράς προκύπτουν από διαρροές μέσω της αντίστασης του τυλίγματος του στάτη. (Rahman,2010)



Διάγραμμα 9 Απώλειες ισχύος του κινητήρα

(Rahman 2010)

#### 4.3.2 Ρομποτικός Βραχίονας IRB 1200

Το IRB 1200 αποτελεί μια από τις πιο πρόσφατες εκδόσεις ενός βιομηχανικού ρομπότ 6 αξόνων της ABB Robotics, με ωφέλιμο φορτίο που κυμαίνεται από 5 έως 7 kg. Αυτό το ρομπότ είναι ρητά σχεδιασμένο για τομείς παραγωγής που χρησιμοποιούν προσαρμόσιμους αυτοματισμούς βασισμένους σε ρομπότ

Χαρακτηρίζεται από μια ανοιχτή δομή προσαρμοσμένη για ευέλικτες εφαρμογές, το IRB 1200 διακρίνεται για την απρόσκοπτη επικοινωνία με εξωτερικά συστήματα.

Γενικά

Το IRB 1200 διατίθεται σε δύο εκδόσεις και οι δύο μπορούν να τοποθετηθούν στο δάπεδο, ανεστραμμένοι στον τοίχο σε οποιαδήποτε γωνία (γύρω από τον άξονα Χ ή τον άξονα Υ).

Μοντέλο	Χειριστική ικανότητα (kg)	Εμβέλεια (m)
IRB 1200-5/0.9	5 kg	0.9 m
IRB 1200-7/0.7	7 kg	0.7 m

Βάρος χειριστή

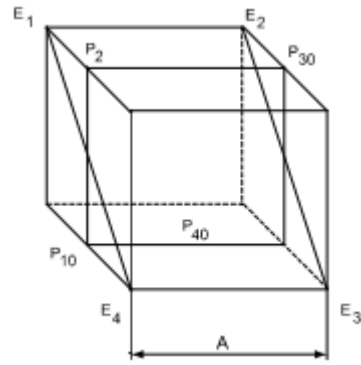
	ΒΑΡΟΣ
IRB 1200-5/0.9	54 kg
IRB 1200-7/0.7	52 kg

Ενεργειακή κατανάλωση

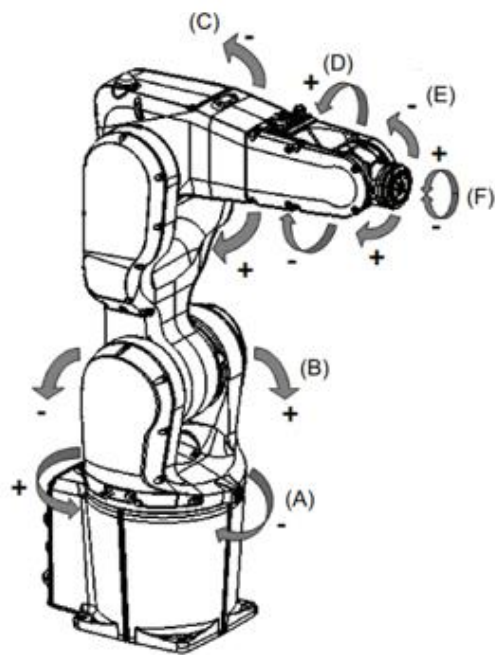
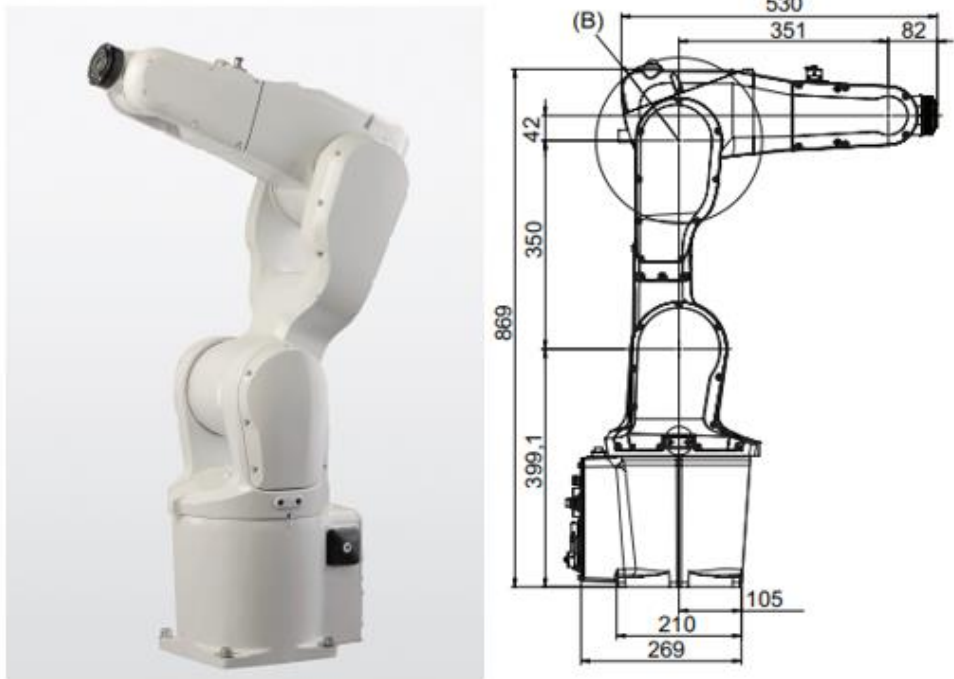
ΕΙΔΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	
	IRB 1200-5/0.9	IRB 1200-7/0.7
ISO Cube Μέγιστη ταχύτητα	0.45 kW	0.39 kW

	IRB 1200-5/0.9	IRB 1200-7/0.7
Φρένα ενεργοποιημένα	0.1 kW	0.10 kW
Απενεργοποιημένα φρένα	0.17 kW	0.19 kW





ΘΕΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	250mm



Εικόνα 9 Ρομποτικός βραχίονας IRB 1200

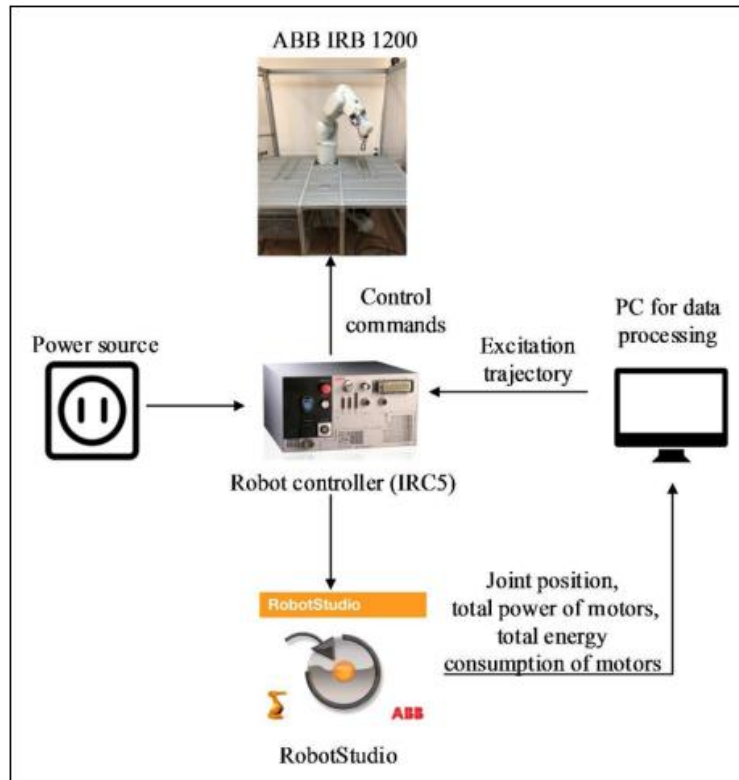
#### 4.3.3 Περιγραφή Συστήματος

Το ABB IRB 1200, εξοπλισμένο με 6 βαθμούς ελευθερίας (DOF), χρησιμοποιείται για την παρουσίαση όπως αναγνώρισης παραμέτρων και όπως μοντελοποίησης όπως κατανάλωσης ενέργειας.

(Στο πλαίσιο ενός ρομποτικού συστήματος, οι «βαθμοί ελευθερίας» (DOF) αναφέρονται στον αριθμό των ανεξάρτητων παραμέτρων ή κινήσεων που μπορεί να παρουσιάσει ένα ρομπότ. Κάθε βαθμός ελευθερίας αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο τρόπο με τον οποίο ένα ρομπότ μπορεί να κινηθεί ή να αλλάξει τη διαμόρφωσή του. Ουσιαστικά, μετρά την ελευθερία κίνησης ή την ευελιξία του ρομποτικού συστήματος.)

Η μέτρηση όπως ισχύος μπορεί να επιτευχθεί μέσω αισθητήρων ισχύος ή αισθητήρων τάσης και ρεύματος. Οι (Liu,2017) αξιοποίησαν το λογισμικό προσομοίωσης RobotStudio, το οποίο παρέχει τη συνολική ισχύ όλων των κινητήρων, αξιοποιούμε αυτά τα δεδομένα για λόγους ευκολίας στην ταυτοποίηση παραμέτρων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια των δεδομένων ισχύος από το RobotStudio παίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση του ακριβούς προσδιορισμού παραμέτρων. Επιπλέον, από το RobotStudio εξάγονται δεδομένα σχετικά με τη θέση των αρθρώσεων και τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.



Εικόνα 10 Εγκατάσταση IRB 1200

(Liu et al. 2017)

Οι (Liu et al. 2017) εξέτασαν τα πρότυπα ενεργειακής κατανάλωσης των βιομηχανικών ρομπότ, με κύρια έμφαση στη μοντελοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης του κινητήρα του IRB 1200. Η κατανάλωση ενέργειας του κινητήρα μεταβάλλεται σύμφωνα με την τροχιά του ρομπότ και ενέχει δυνατότητες βελτιστοποίησης χωρίς να απαιτούνται φυσικές αλλαγές στο ρομπότ.

#### 4.3.4 ROBOT STUDIO

Το RobotStudio είναι ένα προϊόν που αναπτύχθηκε από την ABB, μια πολυεθνική εταιρεία ρομποτικής και αυτοματισμού. Το RobotStudio χρησιμοποιείται κυρίως για τον offline προγραμματισμό και την προσομοίωση των βιομηχανικών ρομπότ της ABB.

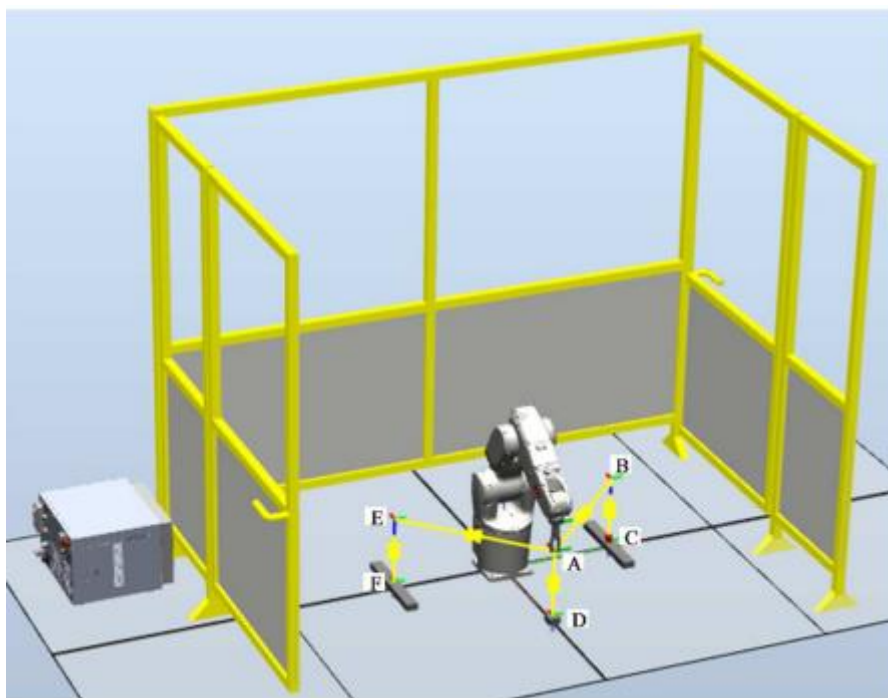
Κάποιες βασικές λειτουργίες του λογισμικού είναι οι εξής.

- ✓ Προγραμματισμός χωρίς σύνδεση: Το RobotStudio επιτρέπει στους χρήστες να προγραμματίζουν ρομπότ ABB χωρίς να χρειάζονται το πραγματικό υλικό του ρομπότ. Αυτό γίνεται σε ένα εικονικό περιβάλλον σε έναν υπολογιστή. Αυτή η λειτουργία είναι πολύτιμη για την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής της παραγωγής, καθώς επιτρέπει τον προγραμματισμό και τη δοκιμή των κινήσεων και των εργασιών των ρομπότ χωρίς να διακόπτονται οι τρέχουσες λειτουργίες.
- ✓ Προσομοίωση: Το λογισμικό παρέχει ένα τρισδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης όπου οι χρήστες μπορούν να προσομοιώσουν και να απεικονίσουν τις κινήσεις του ρομπότ, τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον και την εκτέλεση εργασιών.
- ✓ Ανίχνευση σύγκρουσης: Το RobotStudio περιλαμβάνει δυνατότητες ανίχνευσης συγκρούσεων, επιτρέποντας στους χρήστες να εντοπίζουν και να διορθώνουν πιθανές συγκρούσεις μεταξύ του ρομπότ και του περιβάλλοντός του ή άλλων αντικειμένων εντός του χώρου εργασίας
- ✓ Ευελιξία προγραμματισμού: Το RobotStudio υποστηρίζει τον προγραμματισμό διαφόρων μοντέλων ρομπότ της ABB και παρέχει ένα ευέλικτο περιβάλλον προγραμματισμού που περιλαμβάνει τόσο προγραμματισμό από σημείο σε σημείο όσο και πιο προηγμένο scripting για σύνθετες εργασίες.
- ✓ Τεκμηρίωση και επαλήθευση: Το λογισμικό συχνά περιλαμβάνει λειτουργίες για τη δημιουργία τεκμηρίωσης που σχετίζεται με τα προγράμματα και τις προσομοιώσεις του ρομπότ. Αυτή η τεκμηρίωση μπορεί να είναι πολύτιμη για σκοπούς εκπαίδευσης, αντιμετώπισης προβλημάτων και συμμόρφωσης.

#### 4.3.5 Περιγραφή Διαδικασίας

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή για να εξεταστεί η επίδραση της ταχύτητας του ρομπότ στην κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας εργασίας κατασκευής.

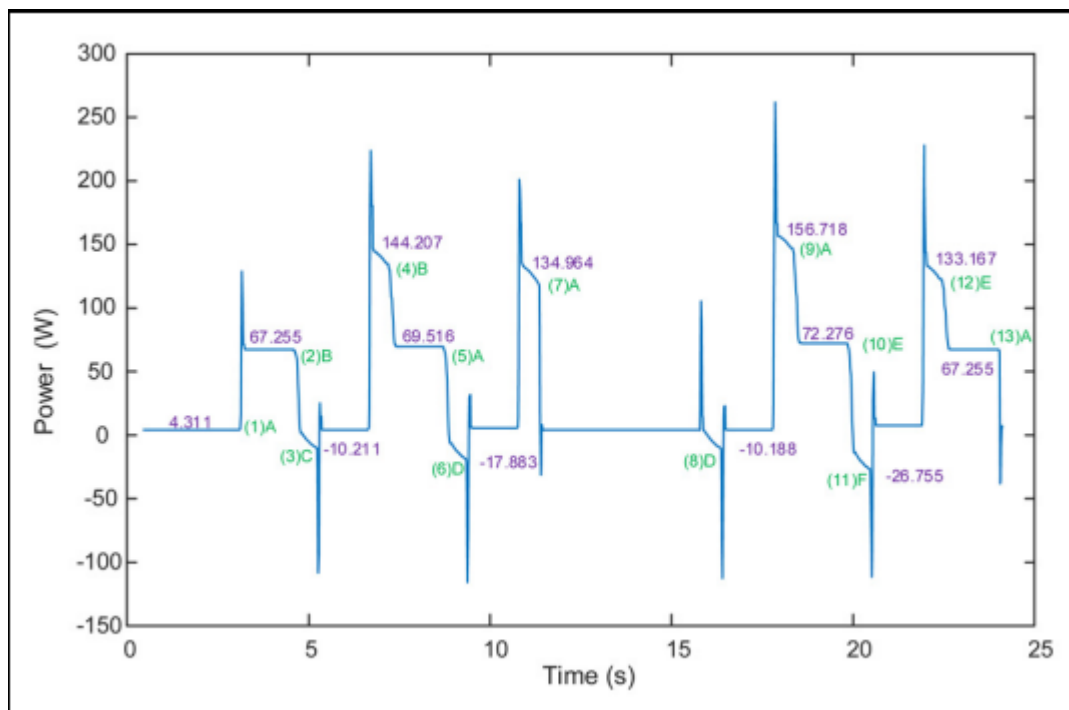
Το ρομπότ έλαβε εντολή να ακολουθήσει την καθορισμένη διαδρομή που απεικονίζεται στην εικόνα 4.4, εκτελώντας μια εργασία pick-and-place. Η τροχιά του ρομπότ περιγράφεται ως εξής: (1)A - (2)B - (3)C - (4)B - (5)A - (6)D - (7)A - (7)D - (9)A - (10)E - (11)F - (12)E - (13)A.



Εικόνα 11 Τροχιά κίνησης IRB 1200

Το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με ένα εργαλείο και μεταφέρει ένα φορτίο από το (3)C, απελευθερώνοντάς το μετά το (5)A. Στη συνέχεια, μετά το (7)A, το ρομπότ χειρίζεται ένα βαρύτερο φορτίο. Μετά το 10(E), το ρομπότ απελευθερώνει και πάλι το φορτίο.

Στο σχήμα 7 απεικονίζεται η ισχύς του κινητήρα σε ταχύτητα 0,5 m/s . Τα σημεία μέσω της τροχιάς του ρομπότ συμβολίζονται με πράσινα κείμενα, ενώ οι τιμές ισχύος (σε Watt) κατά τη διάρκεια της κίνησης του ρομπότ υποδεικνύονται με ροζ κείμενα.



Διάγραμμα 10 Ισχύς κινητήρων σε ταχύτητα 0,5 m/s

(Liu et al. 2017)

Η ανάλυση του Σχήματος 7 αποκαλύπτει ότι, κατά τη διάρκεια του τμήματος από το (1)A στο (2)B όπου το ρομπότ δεν φέρει φορτίο, η προσομοιωμένη ισχύς του κινητήρα είναι 67,255W.

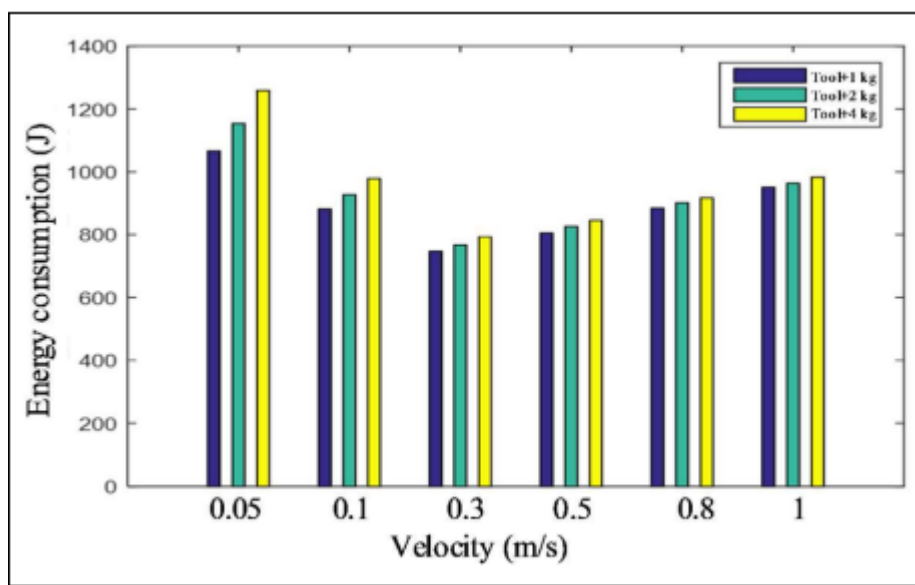
Ομοίως, από το (12)E έως το (13)A, όπου δεν μεταφέρεται φορτίο, η προσομοιωμένη ισχύς είναι περίπου ίση με εκείνη του τμήματος (1)A έως (2)B.

Όταν το ρομπότ μεταφέρει φορτίο από το (4)B έως το (5)A, η ισχύς είναι 69,516W, υπερβαίνοντας εκείνη του τμήματος (1)A έως (2)B.

Επιπλέον, από το (9)A έως το (10)E, όπου μεταφέρεται βαρύτερο φορτίο, η ισχύς ξεπερνά εκείνη του τμήματος (4)B έως (5)A.

Αυτά τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η προσομοιωμένη ισχύς αποτυπώνει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά ισχύος του κινητήρα του ρομπότ.

Οι (Liu,2017) χρησιμοποίησαν διάφορες ταχύτητες (0,05, 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 και 1 m/s) και φορτία (0, 2 και 4 kg). Η κατανάλωση ενέργειας για κάθε εργασία απεικονίζεται στο Σχήμα 9.



Διάγραμμα 11 . Ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων σεναρίων

( Liu,2017)

Το σχήμα δείχνει ότι η κατανάλωση ενέργειας κλιμακώνεται αναλογικά με την αύξηση του φορτίου. Επιπλέον, όταν το φορτίο παραμένει σταθερό, η κατανάλωση ενέργειας του ρομπότ μεταβάλλεται με την ταχύτητα.

Τόσο οι υπερβολικά υψηλές όσο και οι χαμηλές ταχύτητες συμβάλλουν στην αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από το ρομπότ. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής της κατάλληλης ταχύτητας για την επίτευξη βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης του ρομπότ.

Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι ο προσδιορισμός της βέλτιστης ταχύτητας για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να έχει επιπτώσεις στην παραγωγικότητα. Ως εκ τούτου, σε αυτό το σενάριο πρέπει να εξεταστεί ένας συμβιβασμός.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης διαφορετικών IR

Η μελέτη που διεξήχθη από τους (Frey and Osborne 2017) στην Οξφόρδη αποκάλυψε ότι το 47% των ανθρώπινων θέσεων εργασίας θεωρούνται "ιδιαίτερα ευαίσθητες" στην ανάπτυξη των βιομηχανικών ρομπότ. Η βιομηχανική επανάσταση, για παράδειγμα, αντικατέστησε τους ειδικευμένους τεχνίτες με ανειδίκευτη εργασία που εκτελούσε επαναλαμβανόμενες εργασίες σε γραμμές συναρμολόγησης. Ο εξηλεκτρισμός στα τέλη του 19ου αιώνα διευκόλυνε την αυτοματοποίηση διαφόρων σταδίων της παραγωγής, οδηγώντας σε αυξημένη ζήτηση για σχετικά ειδικευμένους εργάτες για να χειρίζονται τα μηχανήματα και υψηλά εκπαιδευμένους υπαλλήλους για να επιβλέπουν τις επιχειρησιακές ομάδες. Κοιτάζοντας μπροστά στον 21ο αιώνα, αυτή η συνεχιζόμενη τάση μπορεί να διαταράξει σχεδόν το μισό σύγχρονο εργατικό δυναμικό, καθώς η ρομποτική αυτοματοποίηση και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης γίνονται όλο και πιο διαδεδομένοι.

Το Παγκόσμιο Ινστιτούτο McKinsey έχει προβλέψει ετήσια μείωση των τιμών των ρομπότ κατά 10% τα τελευταία χρόνια, με προσδοκίες για μια πιο επιταχυνόμενη μείωση κατά την επόμενη δεκαετία (Manjika, 2013). Η εκτίμηση του αντίκτυπου αυτής της αναδυόμενης γενιάς ρομπότ στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται καίριας σημασίας για τον ενεργειακό τομέα. Οι κρίσιμοι παράγοντες περιλαμβάνουν την ποσότητα των μονάδων, την κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα, τις αλληλεπιδραστικές επιδράσεις με άλλες τελικές χρήσεις και τους μελλοντικούς ρυθμούς ανάπτυξης αυτών των παραμέτρων.

Οι ρυθμοί μεταβολής αυτών των πτυχών παραμένουν εξαιρετικά αβέβαιοι. Για παράδειγμα, οι τρέχουσες προσπάθειες, όπως αυτές του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Chalmers, αποσκοπούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των μεμονωμένων ρομπότ. Η έρευνά τους υποδεικνύει μείωση κατά 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας των ρομπότ με τη βελτιστοποίηση της ομαλότητας των κινήσεων των ρομπότ χωρίς να διακυβεύεται η παραγωγικότητα (Ackerman 2015).

## 5.1 Στατιστικά Διεθνής Ομοσπονδίας Ρομποτικής (IFR)

Η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής (IFR) συγκεντρώνει δεδομένα σχετικά με τις αγορές ρομπότ και προβλέπει τις πωλήσεις της βιομηχανίας ρομποτικής. Κατηγοριοποιούν τα ρομπότ σε τρεις τύπους: βιομηχανικά, επαγγελματικές υπηρεσίες και οικιακές υπηρεσίες. Σύμφωνα με την IFR, υπήρξε αύξηση 17% σε ετήσια βάση (YoY) στις παγκόσμιες πωλήσεις βιομηχανικών ρομπότ, φτάνοντας τις 247.000 μονάδες το 2015 σε σύγκριση με το 2013.

Προβλέπουν ότι η αγορά θα σημειώσει άνοδο με την είσοδο 1,3 εκατομμυρίων βιομηχανικών ρομπότ μεταξύ 2023 και 2024, ξεπερνώντας τις συνολικές πωλήσεις από το 2007 έως το 2015.

Το 2014, η IFR εκτίμησε την πώληση 25.000 επαγγελματικών ρομπότ υπηρεσιών και 4,6 εκατομμυρίων οικιακών ρομπότ υπηρεσιών, που περιλαμβάνουν κυρίως αυτόνομες ηλεκτρικές σκούπες. Οι προβλέψεις αναφέρουν ότι θα πωληθούν επιπλέον 152.375 ρομπότ επαγγελματικών υπηρεσιών και 30 εκατομμύρια ρομπότ οικιακών υπηρεσιών από το 2022 έως το 2024, παρουσιάζοντας αύξηση 23% σε ετήσια βάση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

### 5.1.1 Ενεργειακή Κατανάλωση Βιομηχανικών Ρομπότ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται υπολογισμοί όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων ρομποτικών συστημάτων εκ των οποίων κατηγοριοποιούνται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, της βιομηχανικής χρήσης και της οικιακής. Με την αξιοποίηση δεδομένων και προβλέψεων των πωλήσεων της Διεθνής Ομοσπονδίας Ρομποτικής (IFR) με ετήσιες εκτιμήσεις της κατανάλωσης ενέργειας ανά ρομπότ (που υπολογίζεται ως η στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας πολλαπλασιασμένη επί τις αναμενόμενες ώρες λειτουργίας) για κάθε κατηγορία ρομπότ.

Όταν ήταν διαθέσιμη, η μέση κατανάλωση ενέργειας για κάθε τύπο ρομπότ προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τα φύλλα προδιαγραφών του κατασκευαστή για ένα αντιπροσωπευτικό ρομπότ- διαφορετικά, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές παραδοχές.

Είδος Ρομποτ	Στιγμαία Ενεργειακή κατανάλωση(Watt)	Ημερήσια Λειτουργία / ΩΡΕΣ	Ετήσια Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/Unit)	Διάρκεια ζωής(χρόνια)
<b>Βιομηχανικό Ρομποτ</b>				
Μέσο IR	3000	20	21900	14
Εναέρια Μη επανδρωμένα οχήματα	3000	5	5475	2
Μη επανδρωμένα οχήματα	5000	6	10950	2
Χειρουργική χρήση	2750	3	3011	15
Συγκόλλησης	6000	6	13140	15
Αγροτικά ρομπότ	540	5	986	8
Χειρισμός υλικών	3000	8	8760	8
Milking Robot	540	6	1183	8
SCARA Robot	2500	6	5475	8
Συντήρησης	810	2	591	4
CARTESIAN Robot	71	5,5	142	17
IRB 1200	450	5	821	8
Μέσο Επαγγελματικό	4096	2	2990	8

Πίνακας 5 . Ενεργειακή Κατανάλωση Ρομποτικών Συστημάτων

Είδος Ρομποτ	Ενεργειακή κατανάλωση	Ημερήσια Λειτουργία / ΩΡΕΣ	Ετήσια Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/Unit)	Διάρκεια ζωής(χρόνια)
<b>Οικιακό Ρομποτ</b>				
Βοήθεια για άτομα με ειδικές ανάγκες	275	7	703	5
Ρομποτικά παιχνίδια	30	2	22	3
Ρομποτ Κουρέματος γκαζόν	290	1	106	5
Άλλο ( καθαριότητα)	35	2	26	5
Πλήρως αυτόνομα ηλεκτρικά οχήματα	1950	6	4271	8
Ρομποτική σκούπα	35	2	26	5
Τυπικό	53	2	39	5

Πίνακας 6 Ενεργειακή Κατανάλωση Ρομποτικών Συστημάτων (Οικιακής Χρήσης)

## 5.2 Υπολογιστικά Παραδείγματα

### 5.2.1 Υπολογιστικό Παράδειγμα για την Ετήσια Κατανάλωση

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ένα μέσο ρομπότ που χρησιμοποιείται για χειρουργικές διαδικασίες έχει στιγμιαία κατανάλωση 2750 Watt. Οι ώρες οι οποίες λειτουργεί ένα τέτοιο ρομποτικό σύστημα είναι 3 ώρες την ημέρα. Έτσι γίνεται ο υπολογισμός την ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του ρομποτικού συστήματος, δηλαδή

$$E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}} = (\text{Power}_{\text{Watt}} * \text{Time}_{\text{HOURS}} * 365) / 1000 = (2750 * 3 * 365) / 1000 \Leftrightarrow$$

$$E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}} = 3011 \text{ kWh}$$

Και τέλος με μέση διάρκεια ζωής 15 χρόνια, μπορεί κανείς να εκτιμήσει τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση από την αρχή έως το τέλος. Δηλαδή

$$E_{\text{ΤΟΤΑΛ}} = 3011 * 15 \Leftrightarrow E_{\text{ΤΟΤΑΛ}} = 45.165 \text{ kWh}$$

### 5.2.2 Υπολογιστικό Παράδειγμα για την Ετήσια Κατανάλωση (2)

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ένα μοντέλο βιομηχανικού ρομπότ και πιο συγκεκριμένα το SCARA ROBOT που χρησιμοποιείται κυρίως για εργασίες συναρμολόγησης έχει στιγμιαία κατανάλωση 2500 Watt. Οι ώρες οι οποίες λειτουργεί ένα τέτοιο ρομποτικό σύστημα είναι 6 ώρες την ημέρα. Έτσι γίνεται ο υπολογισμός την ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης του ρομποτικού συστήματος, δηλαδή

$$E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}} = (\text{Power}_{\text{Watt}} * \text{Time}_{\text{HOURS}} * 365) / 1000 = (2500 * 6 * 365) / 1000 \Leftrightarrow$$

$$E_{\text{ΕΤΗΣΙΑ}} = 5475 \text{ kWh}$$

Και τέλος με μέση διάρκεια ζωής 7 χρόνια, μπορεί κανείς να εκτιμήσει τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση από την αρχή έως το τέλος. Δηλαδή

$$E_{\text{ΤΟΤΑΛ}} = 5475 * 7 \Leftrightarrow E_{\text{ΤΟΤΑΛ}} = 38.325 \text{ kWh}$$

### 5.2.2.1 SCARA ROBOT

Τα ρομπότ SCARA (Selective Compliance Articulated/Assembly Robot Arm) χρησιμοποιούνται συνήθως σε εργασίες συναρμολόγησης που εκτελούνται από μικρότερα ρομπότ. Αυτά τα ρομπότ παρουσιάζουν επιλεκτική συμμόρφωση σε ένα επιλεγμένο επίπεδο, με ακαμψία κατά μήκος του άξονα Z και συμμόρφωση κατά μήκος των αξόνων X-Y. Τα ρομπότ SCARA είναι γνωστά για την ταχύτητά της, της απλουστευμένους υπολογισμούς αντίστροφης κινηματικής και την υψηλή επαναληψιμότητα, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που αφορούν μικρά συγκροτήματα με στενές ανοχές, συχνά της τάξης των μερικών μικρομέτρων.

Τα ρομπότ SCARA βρίσκουν χρησιμότητα σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, της:

- Εργασίες συλλογής και τοποθέτησης
- Μικρές εργασίες συναρμολόγησης
- Χειρισμός εργαλειομηχανών
- Διαδικασίες κατασκευής στη βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών
- Διαδικασίες κατασκευής στη βιομηχανία οικιακών συσκευών



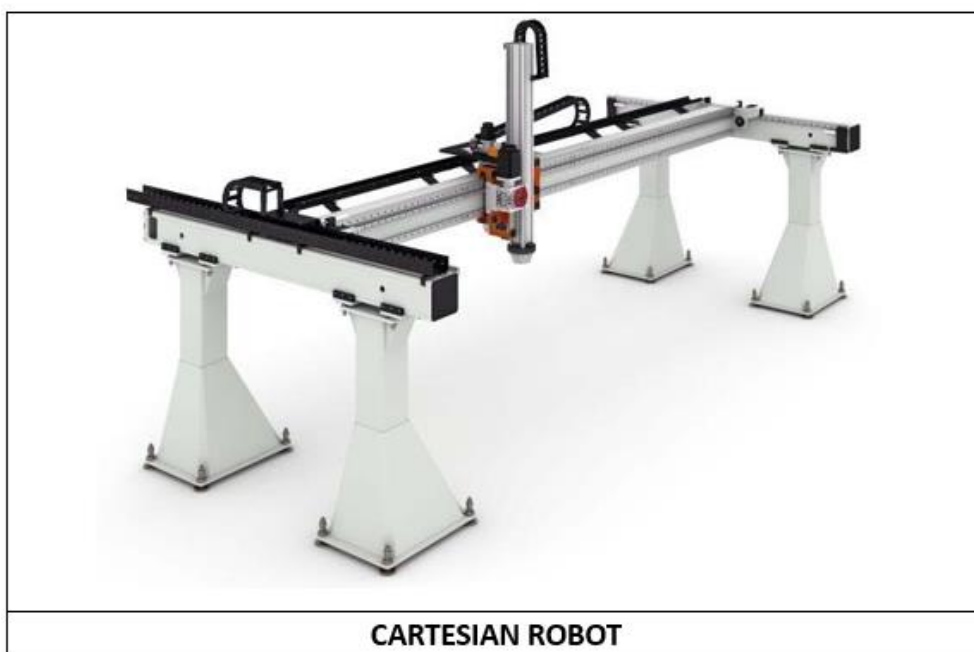
Εικόνα 12 Scara Robot

### 5.2.2.2 CARTESIAN ROBOT

Τα CARTESIAN ROBOTS είναι δομημένα με τρεις γραμμικές αρθρώσεις, που λειτουργούν με βάση το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων X-Y-Z. Αυτά τα ρομπότ μπορεί να διαθέτουν εργαλεία στο τέλος του βραχίονα ή έναν περιστροφικό άξονα, διευκολύνοντας της περιστροφικές κινήσεις στον εξωτερικό άξονα του ρομπότ. Οι συντονισμένες κινήσεις των αξόνων των καρτεσιανών ρομπότ διαχειρίζονται από έναν κοινό ελεγκτή κίνησης.

Κάποιες από τις της των CARTESIAN ROBOT περιλαμβάνουν:

- Αυτοματοποιημένο πακετάρισμα
- Παλετοποίηση
- Τακτοποίηση προϊόντων
- Χειρισμός μηχανών CNC
- Εκτέλεση εργασιών κοπής, διαλογής και χάραξης
- Αξιοποίηση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης
- Αποτελεσματικές διαδικασίες αποθήκευσης



Εικόνα 13 Cartesian Robot

### 5.2.2.3 IRB 1200

- Χειρισμός υλικών: Το IRB 1200 είναι ικανό για εργασίες της pick-and-place, συσκευασία, παλετοποίηση και διαλογή, βρίσκοντας εφαρμογές σε βιομηχανίες της η εφοδιαστική και η μεταποίηση.
- Συναρμολόγηση: Κατάλληλο για εργασίες συναρμολόγησης σε διάφορους τομείς της η ηλεκτρονική, η αυτοκινητοβιομηχανία και τα καταναλωτικά αγαθά.
- Φροντίδα μηχανημάτων: Ικανό να διαχειρίζεται αποτελεσματικά της εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης μηχανών, βελτιώνοντας έτσι της διαδικασίες παραγωγής.
- Επιθεώρηση ποιότητας: Οι ακριβείς και επαναλαμβανόμενες κινήσεις του IRB 1200 το καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές που αφορούν τον ποιοτικό έλεγχο και την επιθεώρηση.
- Συσκευασία: Ο συμπαγής σχεδιασμός του το τοποθετεί καλά για εργασίες συσκευασίας, συμπεριλαμβανομένης της συσκευασίας και της αποσυσκευασίας προϊόντων.
- Χειρισμός μικρών εξαρτημάτων: Η ευελιξία και το μικρό του μέγεθος το καθιστούν ιδανικό για τον σχολαστικό χειρισμό μικρών εξαρτημάτων, αποδεικνύοντας το ευεργετικό σε βιομηχανίες όπου η ακρίβεια είναι υψίστης σημασίας.



Εικόνα 14 IRB 1200

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ετήσιες μονάδες ρομποτικών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία το έτος 2014 στις ΗΠΑ , καθώς και οι ετήσιες πωλήσεις το έτος αυτό. Ο πίνακας κατηγοριοποιείται σε τρεις κατηγορίες , της βιομηχανικής , της επαγγελματικής και της οικιακής χρήσης.

Επιπλέον παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση του έτους 2014, που προέρχεται από τα IR , καθώς και μια πρόβλεψη της κατανάλωσης το έτος του 2025.

	Πωλήσεις	Ρομποτ σε Λειτουργία(2014)	2014 Ρομποτική Ισχύς (GWh)	2025 Ρομποτική ισχύς (GWh)	YoY Αύξηση
<b>U.S.A</b>	<b>1.642.498</b>	<b>3.530.291</b>	<b>5.334</b>	<b>22.822</b>	<b>13,20%</b>
<b>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>	<b>25.350</b>	<b>203.637</b>	<b>5.058</b>	<b>15.954</b>	<b>10,40%</b>
Αυτοκινητοβιομηχανία	13.943	112.000	2.782	8.775	10,40%
Ηλεκτρονικά συστήματα	3.740	30.045	746	2.354	10,40%
Πλαστικό	1.309	10.516	261	824	10,40%
Φαρμακευτική	187	1.502	37	118	10,40%
Μεταλλουργεία	1.683	13.520	336	1.059	10,40%
Τροφές	748	6.009	149	471	10,40%
<b>ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>	<b>10.957</b>	<b>45.079</b>	<b>153</b>	<b>4.475</b>	<b>30,70%</b>
Εναέρια οχήματα	4.721	9.442	72	941	23,30%
Οχήματα	852	1.705	16	202	123,30%
Αγροτικά	1.988	15.907	19	114	16,30%
Χειρουργείου	341	1.023	5	195	33,70%
Ιατρικά	86	257	1	49	33,70%
Mobile Platforms Robot	461	738	21	2.684	44,10%
<b>ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ</b>	<b>1.606.192</b>	<b>3.281</b>	<b>123</b>	<b>2.393</b>	<b>27%</b>

Πίνακας 7 Ρομποτικές Μονάδες και Καταναλώσεις (American Council of an Energy Efficient Economy 2017)

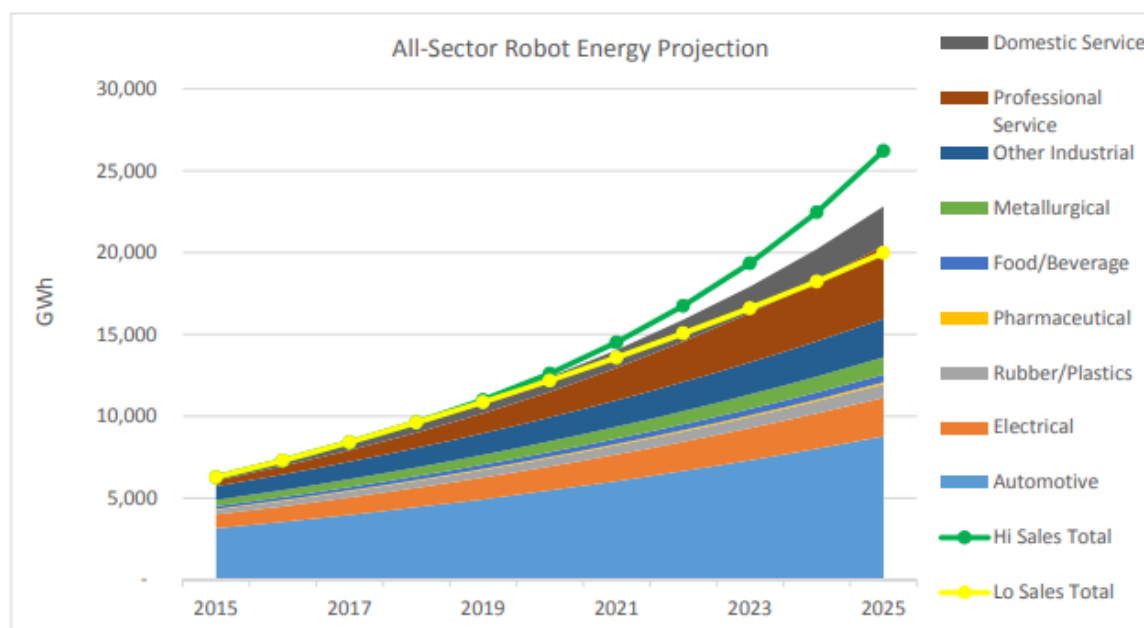
Το YoY growth σημαίνει "Ανάπτυξη από έτος σε έτος" και είναι μια χρηματοοικονομική μέτρηση που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση μιας συγκεκριμένης μέτρησης ή ενός δείκτη απόδοσης σε δύο διαδοχικές περιόδους, συνήθως έτη.



Η σύγκριση αυτή βοηθά τους αναλυτές, τις επιχειρήσεις και τους επενδυτές να εκτιμήσουν πώς έχει μεταβληθεί μια συγκεκριμένη μεταβλητή με την πάροδο του χρόνου.

$$\text{Year – over – Year Growth} = \frac{\text{Current Value} - \text{Previous Value}}{\text{Previous Year Value}} \times 100$$

- Current Value: Αυτή είναι η τιμή της μεταβλητής που μετράτε κατά το τρέχον ή το πιο πρόσφατο έτος.
- Previous Value : Αυτή είναι η τιμή της ίδιας μεταβλητής κατά το έτος που προηγείται αμέσως του τρέχοντος έτους.



Διάγραμμα 12 . Ενεργειακή Κατανάλωση σε Διαφορετικές Βιομηχανίες των ΗΠΑ (ACEE 2017)

### 5.3 Κατηγορίες Ρομποτικών Συστημάτων και η Ενεργειακή τους Κατανάλωση

Τα ρομπότ κυκλοφορούν σε διάφορους τύπους, καθένας από τους οποίους έχει σχεδιαστεί για συγκεκριμένες εργασίες και περιβάλλοντα λειτουργίας. Η κατανάλωση ενέργειας των ρομπότ εξαρτάται από το μέγεθος, την πολυπλοκότητα και τη φύση των καθηκόντων τους.

Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένοι συνηθισμένοι τύποι ρομπότ και μια επισκόπηση της ενεργειακής τους κατανάλωσης.

#### ➤ *Βιομηχανικά ρομπότ:*

Τύποι: SCARA, Delta, καρτεσιανά, κ.λπ.

Εργασίες: Συγκόλληση, βαφή, συναρμολόγηση, συσκευασία κ.λπ.

Κατανάλωση ενέργειας: Βιομηχανικά ρομπότ: Η κατανάλωση ενέργειας ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Συχνά σχεδιάζονται για να είναι ενεργειακά αποδοτικά, με χαρακτηριστικά όπως η αναγεννητική πέδηση για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση της ενέργειας κατά την επιβράδυνση.

#### ➤ *Ρομπότ υπηρεσιών:*

Τύποι: ρομπότ υπηρεσιών: οικιακά ρομπότ, ρομπότ υγειονομικής περίθαλψης, ρομπότ καθαρισμού κ.λπ.

Καθήκοντα: Ρομπότ για την εργασία, ρομπότ για την ιατρική βοήθεια, ασφάλεια κ.λπ.

Κατανάλωση ενέργειας: Τα ρομπότ υπηρεσιών μπορεί να έχουν διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις. Τα οικιακά ρομπότ, όπως οι ηλεκτρικές σκούπες, μπορεί να είναι σχετικά ενεργειακά αποδοτικά, ενώ τα ιατρικά ρομπότ μπορεί να έχουν μεγαλύτερες ανάγκες σε ενέργεια.

#### ➤ *Αυτόνομα οχήματα*

Τύποι: Αυτοκινούμενα αυτοκίνητα, μη επανδρωμένα αεροσκάφη, υποβρύχια οχήματα κ.λπ.

Εργασίες: Μεταφορές, επιτήρηση, εξερεύνηση κ.λπ.

Κατανάλωση ενέργειας: Αυτόνομα οχήματα ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το μέγεθος και τον σκοπό τους. Τα ηλεκτρικά αυτόνομα οχήματα κερδίζουν δημοτικότητα λόγω των δυνατοτήτων τους για αυξημένη ενεργειακή απόδοση και περιβαλλοντική βιωσιμότητα

➤ *Ιατρικά ρομπότ*

Τύποι: ρομπότ, ρομπότ αποκατάστασης, ρομπότ τηλεπαρουσίας κ.λπ.

Εργασίες: Χειρουργικές επεμβάσεις, φυσικοθεραπεία, ιατρικές διαβουλεύσεις εξ αποστάσεως κ.λπ.

Κατανάλωση ενέργειας: Τα ιατρικά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για να είναι ακριβή και αξιόπιστα. Τα χειρουργικά ρομπότ, για παράδειγμα, πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικά, ώστε να ελαχιστοποιείται η παραγωγή θερμότητας κατά τη διάρκεια ευαίσθητων διαδικασιών.

Στον τομέα της ρομποτικής καταβάλλονται προσπάθειες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω της χρήσης προηγμένων υλικών, καλύτερων αλγορίθμων ελέγχου και της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, τα ρομπότ αναμένεται να γίνουν πιο ενεργειακά αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον.

Τα ενεργειακά δείγματα 4 κοινών τύπων ρομποτικών συστημάτων είναι ως εξής : (Owen-Hill 2023)

- Μέσο βιομηχανικό ρομπότ : 21.915 kWh/robot ( βασισμένο σε 20 ώρες λειτουργίας την ημέρα με μέση ισχύς 3 kW)
- Κινούμενο Ρομπότ Δαπέδου : 21.576 kWh/robot ( βασισμένο σε 3 ώρες λειτουργίας ημερησίως με μέση ισχύς 19,7 kW)
- Ρομπότ καθαρισμού : 102 kWh/robot ( βασισμένο σε 2 ώρες λειτουργίας ημερησίως με μέση ισχύς 0,14kW)
- Ρομπότ επιθεώρησης και συντήρησης : 592 kWh/robot ( βασισμένο σε 2 ώρες λειτουργίας την ημέρα με μέση ισχύς 0,71 kW)

## 5.4 Σύγκριση διαφόρων IR

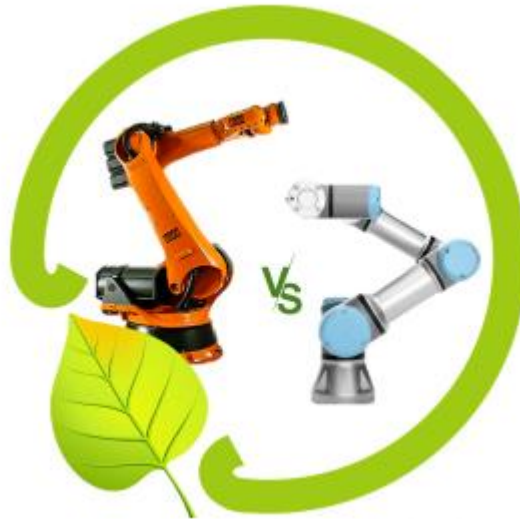
### 5.4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (1)

Στην έρευνα τους , οι (Heredia, Schlette, and Kjærgaard 2023) παρουσίασαν μια συγκριτική ανάλυση μεταξύ βιομηχανικών ρομπότ (IR) και ελαφρών ρομπότ (LIR), που συνήθως αναφέρονται ως cobots. Αρχικά , διεξήχθη μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για την διάκριση των σχεδιαστικών διακρίσεων μεταξύ των δύο τύπων ρομπότ.

Στην συνέχεια, περιγράφουν τις πειραματικές διατάξεις που πραγματοποιήθηκαν για την διερεύνηση των παραγόντων κατανάλωσης ενέργειας ενός συγκεκριμένου cobot, του UR3e.

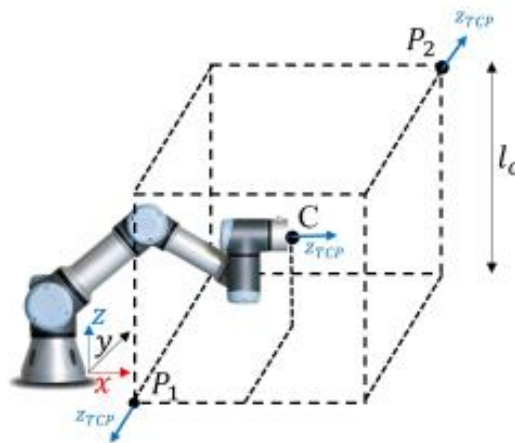
Τέλος , γίνεται σύγκριση των προτύπων ενεργειακής κατανάλωσης του UR3e με τα IR που έχουν εντοπιστεί στη βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν διαφορετικές συμπεριφορές όσον αφορά την ηλεκτρονική ποσοστιαία κατανάλωση, τον τύπο εντολής και το γράφημα ενεργειακής υπογραφής μεταξύ του UR3e και του KUKA KR200.

Το UR3e κατανέμει περίπου το 50% της ενέργειάς του σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα(χειριστήριο, teaching pendant) , ενώ το KUKA KR200 (IR) χρησιμοποιεί μόνο περίπου το 6%. Λόγω των ελαφρύτερων δομών των cobots, η μηχανική κατανάλωση ενέργειας είναι συγκρίσιμη με εκείνη των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Επιπλέον, ενώ τα γραφήματα ενεργειακής υπογραφής για τα IR προσδιορίζονται με τη χρήση μιας εξίσωσης τέταρτου βαθμού, το cobot UR3e παρουσιάζει γραμμική σχέση μεταξύ της κατανάλωσης ενέργειας και του χρόνου εκτέλεσης.



Εικόνα 15 Κατανάλωση ενέργειας των Cobots και των βιομηχανικών ρομπότ

((Heredia, Schlette, and Kjærgaard 2023))



Εικόνα 16 Ρομποτικός βραχίονας UR3e

((Heredia, Schlette, and Kjærgaard 2023))

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</b>	<b>ΡΟΜΠΟΤ UR3e</b>
Ρομποτικές διαρθρώσεις	Με την υιοθέτηση των τεσσάρων θέσεων που οι (Garcia,2018) υποστηρίζουν, το UR3e παρουσιάζει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας όταν οι σύνδεσμοι του ευθυγραμμίζονται παράλληλα με τη δύναμη της βαρύτητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το UR3e δεν μπορεί να απελευθερώσει τα φρένα του μέσω εντολής ενέργεια αυτή απαιτεί ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση με τη χρήση του teaching pendant.
Εντολές κίνησης	Το UR3e που χρησιμοποιεί κινήσεις PtP καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από τη χρήση γραμμικές κινήσεις.
Φορτίο	Το UR3e παρουσιάζει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας με υψηλότερα φορτία. Γενικά, ένα robot έχει βελτιωμένη αναλογία ωφέλιμου φορτίου προς μάζα χειριστή, γεγονός που υποδηλώνει σχετικά μεγαλύτερη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου.
Ηλεκτρονική Κατανάλωση	Το UR3e καταναλώνει περίπου το 48 % της ενέργειάς του για τα ηλεκτρονικά του εξαρτήματα
Ταχύτητα και Επιτάχυνση	Το UR3e καταναλώνει λιγότερη ενέργεια όταν η ταχύτητα και οι επιταχύνσεις είναι οι μέγιστες δυνατές τιμές.

Πίνακας 8 UR3e



Τεχνικές προδιαγραφές	
ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΚΥΚΑ
Μοντέλο	KR 200 L140 comp
Είδος	Ρομποτικός βραχίονας
Άξονες	6
Μέγιστο φορτίο	140 kg
Εμβέλεια	2800mm
Βάρος	1170 kg

Εικόνα 17 ΚΥΚΑ KR 200

(RoboDK)

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</b>	<b>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΡΟΜΠΟΤ</b>
Ρομποτικές διαρθρώσεις	Η κατανάλωση ενέργειας (EC) ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του ρομπότ. Το βιομηχανικό ρομπότ (IR) παρουσιάζει μειωμένη κατανάλωση ενέργειας όταν οι σύνδεσμοι του ευθυγραμμίζονται παράλληλα με τη δύναμη της βαρύτητας, όπως αναφέρεται στο (Garcia,2018). Παρόλα αυτά, κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων αδράνειας, το IR μπορεί να χρησιμοποιήσει φρένα για να
Εντολές κίνησης	Ένα IR που χρησιμοποιεί κινήσεις PtP καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από τη χρήση γραμμικών κινήσεων. (Gadaleta 2018)
Φορτίο	Ένα IR χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια όταν το φορτίο αυξάνεται (Gadaleta 2018)
Ηλεκτρονική Κατανάλωση	Το KUKA KR210 καταναλώνει μόνο περίπου το 6 % της ενέργειάς του σε τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (Gadaleta,2021)
Ταχύτητα και Επιτάχυνση	Τα IR καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια όταν η ταχύτητα και οι επιταχύνσεις είναι η μέγιστη δυνατή τιμή (Carabin,2017)

Πίνακας 9 Industrial Robot



## 5.4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ (2)

Ακόμη ένα παράδειγμα σύγκρισης ενεργειακής κατανάλωσης πραγματοποιούν οι (Owen,2023) στην ιστοσελίδα του [robodk.com](http://robodk.com)

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα , συγκρίνονται δύο διαφορετικά βιομηχανικά ρομπότ. Το πρώτο είναι το **FANUC M-410iB/700** και πρόκειται για ένα ρομπότ παλετοποίησης 4 αξόνων με ωφέλιμο φορτίο 700 kg.

FANUC M-410iB/700	
ΕΤΑΙΡΕΙΑ	Fanuc
ΜΟΝΤΕΛΟ	M-410iB/700
ΤΥΠΟΣ	Βραχίονας ρομποτικής παλετοποίησης
ΑΞΟΝΕΣ	4
ΦΟΡΤΙΟ	700 kg
ΕΜΒΕΛΕΙΑ	3143 mm
ΒΑΡΟΣ	2700 kg
Το ρομπότ Fanuc M-410iB/700 είναι ένας ρομποτικός βραχίονας παλετοποίησης 4 αξόνων, προσφέρει ωφέλιμο φορτίο 700 kg και εμβέλεια 3143 mm. Και το βάρος του ρομπότ είναι περίπου 2700 kg	

Εικόνα 18 FANUC M-410iB/700

Το μοντέλο M-410iB/700 λειτουργεί με μέση κατανάλωση ισχύος 1 kW, όπως αναφέρεται στο φύλλο δεδομένων του. Εάν αυτό το ρομπότ λειτουργούσε επί 20 ώρες την ημέρα, πέντε ημέρες την εβδομάδα, η εβδομαδιαία κατανάλωση ενέργειας θα ανερχόταν σε 100 kWh.

Το δεύτερο βιομηχανικό ρομπότ πρόκειται για το **M-900iB/700**.

<b>Fanuc M-900iB/700</b>	
ΕΤΑΙΡΕΙΑ	Fanuc
ΜΟΝΤΕΛΟ	M-900iB/700
ΤΥΠΟΣ	Ρομποτικός Βραχίονας
ΑΞΟΝΕΣ	6
ΦΟΡΤΙΟ	700 kg
ΕΜΒΕΛΕΙΑ	2832 mm
ΒΑΡΟΣ	2800 kg
<p>Το ρομπότ Fanuc M-900iB/700 είναι ένας ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων, προσφέρει ωφέλιμο φορτίο 700kg και εμβέλεια 3143 mm. Το βάρος του είναι περίπου 2700 kg.</p>	

Εικόνα 19 . Fanuc M-900iB/700

Το M-900iB/700 λειτουργεί με μέση κατανάλωση ισχύος 5 kW, σύμφωνα με το φύλλο δεδομένων του. Εάν το ρομπότ λειτουργούσε επί 20 ώρες την ημέρα, πέντε ημέρες την εβδομάδα, η εβδομαδιαία κατανάλωση ενέργειας θα ανερχόταν σε 500 kWh.

Ενώ είναι εφικτή η χρήση ενός παραδοσιακού βιομηχανικού ρομπότ για εργασίες παλετοποίησης, η επιλογή του εξειδικευμένου ρομπότ παλετοποίησης (M-410iB/700) μπορεί να αποφέρει σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά πέντε φορές. Αυτό οδηγεί σε αξιοσημείωτη εξοικονόμηση κόστους μακροπρόθεσμα, καθιστώντας το κρίσιμο παράγοντα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων κατά την επιλογή του κατάλληλου ρομπότ για την εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας των IR

Η ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ (IR) που χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής έχει αναδειχθεί ως ένας βασικός στόχος για την προώθηση των φιλικών προς το περιβάλλον συστημάτων παραγωγής. Η έμφαση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η πλειονότητα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών παραγωγής βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα IR ως πρωταρχικό κατασκευαστικό στοιχείο. Κατά συνέπεια, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των IR έχει τη δυνατότητα να μειώσει ταυτόχρονα τα λειτουργικά έξοδα και να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Ως εκ τούτου, υπάρχει σαφής ζήτηση για μεθόδους που αποσκοπούν στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας των IR εντός των συστημάτων παραγωγής.

### 6.1 Εισαγωγή

Μέσω της ενσωμάτωσης των βιομηχανικών ρομπότ στα συστήματα παραγωγής, οι βιομηχανίες μπορούν να επιτύχουν μείωση του κόστους και αύξηση της παραγωγικότητας.

Παρόλα αυτά, υπό το βλέμμα των αυστηρών πολιτικών σχετικά με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και τις κλιμακούμενες ενεργειακές δαπάνες, υπάρχει μια αυξανόμενη επιτακτική ανάγκη για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης των IR. (Bornschlegl,2014)

Σύμφωνα με τους (Engelmann,2009) αυτή η ανάγκη αναδεικνύεται από το γεγονός ότι η ενέργεια που καταναλώνεται από την IR αποτελεί περίπου το 7% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στις παραγωγικές διαδικασίες. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των IR έχει σημαντική σημασία για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων παραγωγής.

Επιπλέον, η διεξαγωγή έρευνας σχετικά με την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας στις IR μπορεί να βοηθήσει τους κατασκευαστές στη διαμόρφωση στρατηγικών για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων στα συστήματα παραγωγής, όπως η εξασφάλιση της ενεργειακής ευελιξίας σε ανταπόκριση στην εκτεταμένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 6.1.1 Στάδια μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης

Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των βιομηχανικών ρομπότ μπορεί να επιτευχθεί σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης των συστημάτων παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού της παραγωγής, των διαδικασιών θέσης σε λειτουργία και των σταδίων βελτιστοποίησης. (Meike,2014)

#### 6.1.1.1 Στάδιο Σχεδιασμού Παραγωγής

Οι (Meike,2014) ανέφεραν πως κατά τη φάση του σχεδιασμού της παραγωγής, η οποία περιλαμβάνει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής, οι μηχανικοί σχεδιασμού διαθέτουν μεγαλύτερη ευελιξία για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας και τη διαμόρφωση μιας στρατηγικής για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω διαφόρων μεθόδων. Ειδικότερα στο πλαίσιο των βιομηχανικών ρομπότ (IR), η αποδοτικότητα μπορεί να βελτιωθεί σε αυτό το στάδιο, για παράδειγμα, με τη βελτιστοποίηση του χρονοδιαγράμματος των εργασιών IR και την επιλογή ρομπότ με χαμηλό ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας

#### 6.1.1.2 Στάδιο Θέσης Λειτουργίας

Ταυτόχρονα, (Meike ,2013) κατά το στάδιο της θέσης σε λειτουργία, οι προσπάθειες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής και τη μείωση των περιόδων αδράνειας των βιομηχανικών ρομπότ . Σε αντίθεση με το στάδιο του προγραμματισμού της παραγωγής, η ευελιξία στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των IR είναι κάπως περιορισμένη σε αυτό το σημείο, με διάφορους περιορισμούς όπως η παραγωγικότητα της παραγωγής που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

#### 6.1.1.3 Στάδιο Βελτιστοποίησης Διαδικασίας

Στη φάση βελτιστοποίησης της διαδικασίας, (Meike ,2013) οι μέθοδοι για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας IR αντιμετωπίζουν ακόμη πιο αυστηρούς περιορισμούς. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, οι μηχανικοί δεν μπορούν να μεταβάλουν τα εξαρτήματα υλικού του IR ή τον ρυθμό παραγωγής των συστημάτων παραγωγής. Ένα παράδειγμα μεθόδου μεί-

ωσης της ενέργειας σε αυτή τη φάση περιλαμβάνει την απελευθέρωση του φρένου του ενεργοποιητή νωρίτερα και την εφαρμογή βέλτιστων τροχιών με τη χρήση μεθόδων χρονικής κλιμάκωσης.

## 6.2 Μέθοδοι μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των IR

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται διάφορες προσεγγίσεις που έχουν προταθεί από ερευνητές για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ (IR) σε συστήματα παραγωγής.

Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τεχνικές μείωσης της ενέργειας που βασίζονται σε θεωρητικές, πειραματικές ή προσεγγίσεις μοντελοποίησης και προσομοίωσης. Επιπλέον, θα συζητηθούν εμπορικά διαθέσιμες μέθοδοι μείωσης της ενέργειας που έχουν εγκριθεί από τη βιομηχανία.

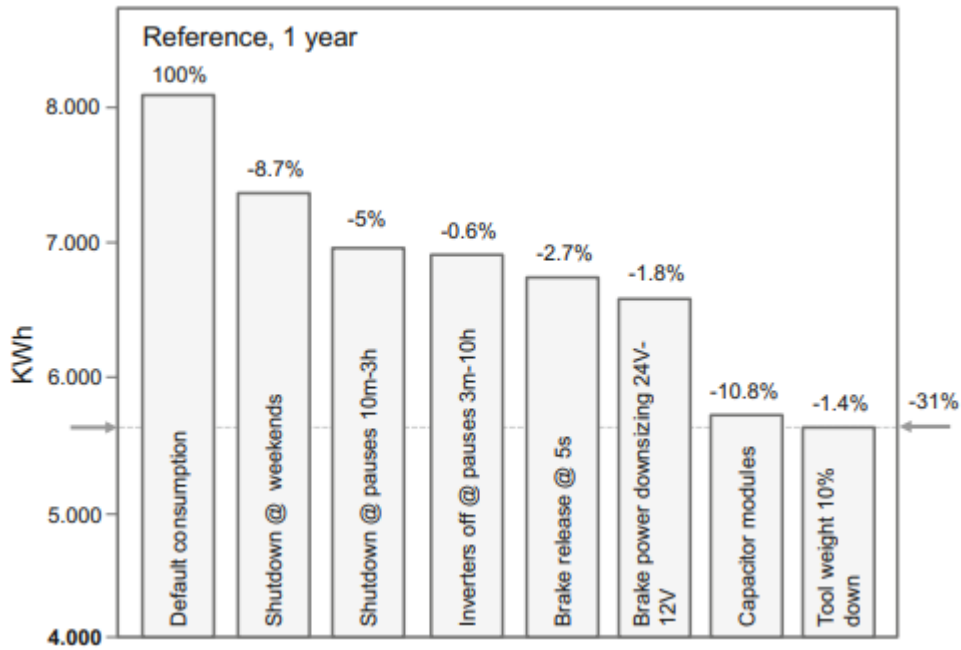
Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει κυρίως τρεις κύριες μεθόδους για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των IR.

### 6.2.1 Χρονοδιάγραμμα Δραστηριοτήτων

Μια άλλη ευρέως υιοθετημένη μέθοδος για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των συστημάτων παραγωγής περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των εργασιών των βιομηχανικών ρομπότ.

Η προσέγγιση αυτή (Vergnano,2012) ξεκινά με τη βελτιστοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων εργασίας των IR, η οποία επιτυγχάνεται με τη μείωση του χρόνου λειτουργίας τους, των περιόδων αδράνειας και τη βελτιστοποίηση της αλληλουχίας των υποεργασιών των IR.

Ένα παράδειγμα αυτής της μεθόδου είναι η αυτοματοποιημένη έναρξη και διακοπή λειτουργίας των IR κατά τη διάρκεια περιόδων χωρίς παραγωγή τα Σαββατοκύριακα. Σύμφωνα με τους (Meike,2011), το προβλεπόμενο ετήσιο δυναμικό εξοικονόμησης για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης IR στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι περίπου 31% (βλέπε σχήμα 7).



Διάγραμμα 13 Δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας ανά εργασία στην αυτοκινητοβιομηχανία

(Meike,2011)

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1 , οι παράμετροι που αναφέρονται είναι το σβήσιμο των μηχανών τα Σαββατοκύριακα (-7,7%) , το σβήσιμο των μηχανών όποτε δεν αξιοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα των δέκα λεπτών μέχρι και τριών ωρών (-5%), το σβήσιμο των μετατροπέων στα συστήματα στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα (-0,6%) , την απελευθέρωση των φρένων κάθε 5 δευτερόλεπτα (-2,7%) , τις μονάδες πυκνωτών (-10,7%) και το συνολικό βάρος (-1,4%).

### 6.2.2 Ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός κίνησης

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 , οι (Field,1996) έθεσαν ένα πρόβλημα σχετικά με τις βέλτιστες τροχιές κατανάλωσης ενέργειας, καθιερώνοντάς το στη συνέχεια ως μια διαδεδομένη μέθοδο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ.

Μετά τη δεκαετία του 2000, οι πειραματικές έρευνες απέκτησαν μεγαλύτερη σημασία. Λόγω της εξέλιξης των δυνατοτήτων προσομοίωσης, οι σύγχρονοι ερευνητές επιλέγουν συχνά μια προσέγγιση προσομοίωσης και μοντελοποίησης (Hansen,2013).Επιπλέον, όσοι χρησιμοποιούν την προσέγγιση προσομοίωσης επικυρώνουν συνήθως τα αποτελέσματα της προσομοίωσής τους συγκρίνοντας τα με πειραματικές έρευνες.

Οι ( Björkenstam,2013) πρότειναν μια προσέγγιση τριών βημάτων για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού κίνησης: Αρχικά, την διαμόρφωση σχεδιασμού κίνησης ελεύθερης σύγκρουσης , στην συνέχεια τον καθορισμό του προβλήματος βέλτιστου ελέγχου για να ακολουθηθεί μια καθορισμένη διαδρομή, και τέλος την επίλυση και βελτιστοποίηση ενός βελτιωμένου σχεδιασμού κίνησης.

Επιπρόσθετα , οι (Meike,2012) στη μελέτη τους, εντόπισαν μια λύση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ (IR) μέσω της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των κινήσεών τους χωρίς να γίνουν αλλαγές στις διαμορφώσεις του συστήματος. Η προτεινόμενη μέθοδος περιλαμβάνει την κλιμάκωση του χρόνου που σχετίζεται με τις κινήσεις ενός ρομπότ από το τελευταίο σημείο επεξεργασίας έως τις αρχικές θέσεις του ρομπότ, μαζί με τη μείωση του χρόνου απελευθέρωσης του φρένου του ρομπότ.

### 6.2.3 Βιομηχανικές Λύσεις

Οι υπάρχουσες εμπορικές λύσεις, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό από κατασκευαστές βιομηχανικών ρομπότ (IR), βασίζονται κυρίως σε προσεγγίσεις μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το RobotStudio (ABB,2013), που αναπτύχθηκε από την ABB, το οποίο ενσωματώνει μια εργαλειοθήκη ανάλυσης σήματος για την πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης των ρομπότ της ABB. Αυτό το εργαλείο επιτρέπει την πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας IR σε διάφορες παραμέτρους λειτουργίας.

Ένα άλλο εμπορικό εργαλείο λογισμικού, το Tecnomatix της Siemens, αναμένεται να εισαγάγει, τα επόμενα χρόνια, μια λύση που θα χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ενεργειακής κατανάλωσης για IR στο πλαίσιο του πακέτου συστημάτων παραγωγής τους- προς το παρόν, το λογισμικό βρίσκεται υπό δοκιμή.

Παρόλα αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι επικρατούσες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης των βιομηχανικών ρομπότ είναι

- (1) Η επιλογή μοντέλων IR με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας προσαρμοσμένων για συγκεκριμένες διαδικασίες παραγωγής.
- (2) Η ενσωμάτωση ενός έξυπνου μηχανικού συστήματος πέδησης.
- (3) Η ελαχιστοποίηση του βάρους των εξαρτημάτων IR.
- (4) Η βελτιστοποίηση του χρόνου λειτουργίας των IR.
- (5) Η λεπτομερής ρύθμιση των τροχιών IR.

#### 6.2.5 Σύνοψη

Παρά τις πολλαπλές λύσεις που προτείνονται για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ (IR), κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ενώ η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού κίνησης των IR μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η πρακτική της βιωσιμότητα είναι περισσότερο θεωρητική παρά πρακτική. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε ένα πραγματικό σενάριο είναι λιγότερο ελκυστική λόγω της σημαντικής προσπάθειας και του κόστους που συνδέονται με την τροποποίηση των υφιστάμενων συστημάτων υλικού IR.

Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας ενός IR για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι μια σχετικά πρόσφατη μέθοδος, η οποία προέκυψε ως απάντηση στις αυξανόμενες τιμές και πολιτικές ενέργειας. Κατά συνέπεια, υπάρχει περιορισμένος αριθμός ερευνητών που διερευνούν αυτή την προσέγγιση. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της περιορίζεται στο στάδιο του σχεδιασμού της παραγωγής, όταν σχεδιάζεται ο ρυθμός παραγωγικότητας ενός συστήματος παραγωγής.



Οι τρέχουσες βιομηχανικές λύσεις περιορίζονται στην ανάλυση συγκεκριμένων μοντέλων βιομηχανικών ρομπότ (IR) και επικεντρώνονται αποκλειστικά στις περιβαλλοντικές συνθήκες τους, περιορίζοντας τις προσομοιώσεις των εσωτερικών εξαρτημάτων των IR. Δεν έχει ακόμη δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη λύση για τον σχεδιασμό διαδικασιών ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής, καθιστώντας τις διαδικασίες ανάλυσης και βελτιστοποίησης χρονοβόρες και δαπανηρές.

## 6.3 Ενεργειακές απώλειες

### 6.3.1 Ρομποτικά εξαρτήματα

Οι απώλειες ενέργειας στα μηχανικά εξαρτήματα του βιομηχανικού ρομπότ (IR) προέρχονται κυρίως από την τριβή. Οι απώλειες αυτές αποδίδονται κυρίως στη μηχανική τριβή εντός της δομής του IR, συμπεριλαμβανομένης της τριβής στη μετάδοση των γραναζιών, στο ρουλεμάν των γραναζιών και σε κάθε άρθρωση του IR, μαζί με τις απώλειες που σχετίζονται με τα φαινόμενα λίπανσης. Η διατύπωση των απωλειών τριβής στο IR περιλαμβάνει την ενσωμάτωση της τριβής Coulomb και της ιξώδους τριβής, οι οποίες εξαρτώνται από την ταχύτητα και τη ροπή εισόδου. (Peer,2013)

### 6.3.2 Σύστημα ελέγχου

Οι απώλειες ενέργειας στα συστήματα ελέγχου του κινητήρα του βιομηχανικού ρομπότ (IR) περιλαμβάνουν απώλειες αντιστροφεία τόσο στον ηλεκτροκινητήρα όσο και στον ανορθωτή του. Προτού η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιηθεί από τον κινητήρα, ρέει στα εξαρτήματα του συστήματος ελέγχου του κινητήρα, συμπεριλαμβανομένου του μετατροπέα ισχύος, της μονάδας AC/DC (ανορθωτής) και του διαύλου συνεχούς ρεύματος, οδηγώντας σε απώλειες ισχύος (Meike,2013)

Εκτός από αυτές τις απώλειες, τα IR απαιτούν επίσης ηλεκτρική ισχύ για τη λειτουργία υποστηρικτικών εξαρτημάτων, όπως υπολογιστές, οθόνες και ελεγκτή. Η ισχύς που καταναλώνεται από αυτά τα εξαρτήματα παραμένει σχετικά σταθερή κατά τη λειτουργία του ρομπότ.

Οι απώλειες ισχύος στο σύστημα ελέγχου ενός βιομηχανικού ρομπότ περιλαμβάνουν διάφορα εξαρτήματα που εμπλέκονται στη ρύθμιση και διαχείριση της λειτουργίας του ρομπότ.

Οι απώλειες αυτές προκύπτουν κατά τη μετατροπή και τη μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα ελέγχου.

Αρχικά, σύμφωνα με τους (Guerra,2021) οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ισχύος συνεχούς ρεύματος (DC) σε ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), η οποία είναι απαραίτητη για την κίνηση των ηλεκτροκινητήρων του ρομπότ. Οι απώλειες του αντιστροφέα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μετατροπής και αποδίδονται κυρίως στις απώλειες μεταγωγής στις ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος εντός του αντιστροφέα.

Επιπλέον, οι ανορθωτές, που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης ισχύος από το δίκτυο σε συνεχή ισχύ για αποθήκευση στο δίαυλο συνεχούς ρεύματος του ρομπότ, συμβάλλουν στις απώλειες. Ο ίδιος ο δίαυλος συνεχούς ρεύματος μπορεί να έχει απώλειες αντίστασης και πυκνωτών. Οι μετατροπείς ισχύος και τα συναφή εξαρτήματα, όπως οι μετασχηματιστές, μπορούν να επιτείνουν περαιτέρω τις απώλειες κατά τους μετασχηματισμούς ισχύος. Οι απώλειες καλωδίωσης και σύνδεσης που απορρέουν από την αντίσταση και τη σύνθετη αντίσταση των αγωγών προσθέτουν στη συνολική απώλεια ισχύος.

Οι στρατηγικές για τον μετριασμό αυτών των απωλειών περιλαμβάνουν την αξιοποίηση προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος, αποδοτικών μετατροπέων και καινοτόμων πρακτικών σχεδιασμού. Η αντιμετώπιση των απωλειών ισχύος στο σύστημα ελέγχου είναι υψίστης σημασίας για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των βιομηχανικών ρομπότ, μειώνοντας έτσι το λειτουργικό κόστος και ευθυγραμμίζοντας με τα βιώσιμα λειτουργικά πρότυπα.

### 6.3.3 Κινητήρας κίνησης

Οι απώλειες ενέργειας στον κινητήρα κίνησης του βιομηχανικού ρομπότ (IR) παίζουν καθοριστικό ρόλο, καθώς το σύστημα κίνησης είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση της δομής του ρομπότ.

Οι απώλειες ισχύος στον κινητήρα (Meike,2013) ενός βιομηχανικού ρομπότ αναφέρονται στην ενέργεια που διαχέεται ως θερμότητα κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

Απώλειες ανέμου και τριβής (rf): Αυτές οι απώλειες σχετίζονται με τη μηχανική τριβή και την αντίσταση του αέρα που συναντούν τα κινούμενα μέρη του κινητήρα.

- Απώλειες στάτη και δρομέα (pr): Οι απώλειες στάτη σχετίζονται με την ηλεκτρική αντίσταση στο τύλιγμα του στάτη και οι απώλειες δρομέα με την ηλεκτρική αντίσταση στο τύλιγμα του δρομέα.
- Απώλειες αδέσποτου φορτίου (ps): Αυτές οι απώλειες προκαλούνται από αδέσποτα μαγνητικά πεδία και άλλους παράγοντες που δεν λαμβάνονται ρητά υπόψη στις απώλειες πυρήνα, τυλίγματος και τριβής.

Η μαθηματική αναπαράσταση των συνολικών απωλειών του κινητήρα (ploss) μπορεί να διατυπωθεί με βάση τις συνεισφορές αυτών των επιμέρους απωλειών. Στο πλαίσιο της κίνησης κινητήρα ενός βιομηχανικού ρομπότ, η διαχείριση και η ελαχιστοποίηση αυτών των απωλειών ισχύος είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση του λειτουργικού κόστους.

Οι μηχανικοί και οι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνά μοντέλα προσομοίωσης για να αναλύσουν και να βελτιστοποιήσουν το σύστημα κίνησης κινητήρα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ταχύτητα, η ροπή και η απόδοση σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον, διερευνώνται συνεχώς οι εξελίξεις στον σχεδιασμό των κινητήρων, τα υλικά και οι αλγόριθμοι ελέγχου για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των κινητήρων στη βιομηχανική ρομποτική.

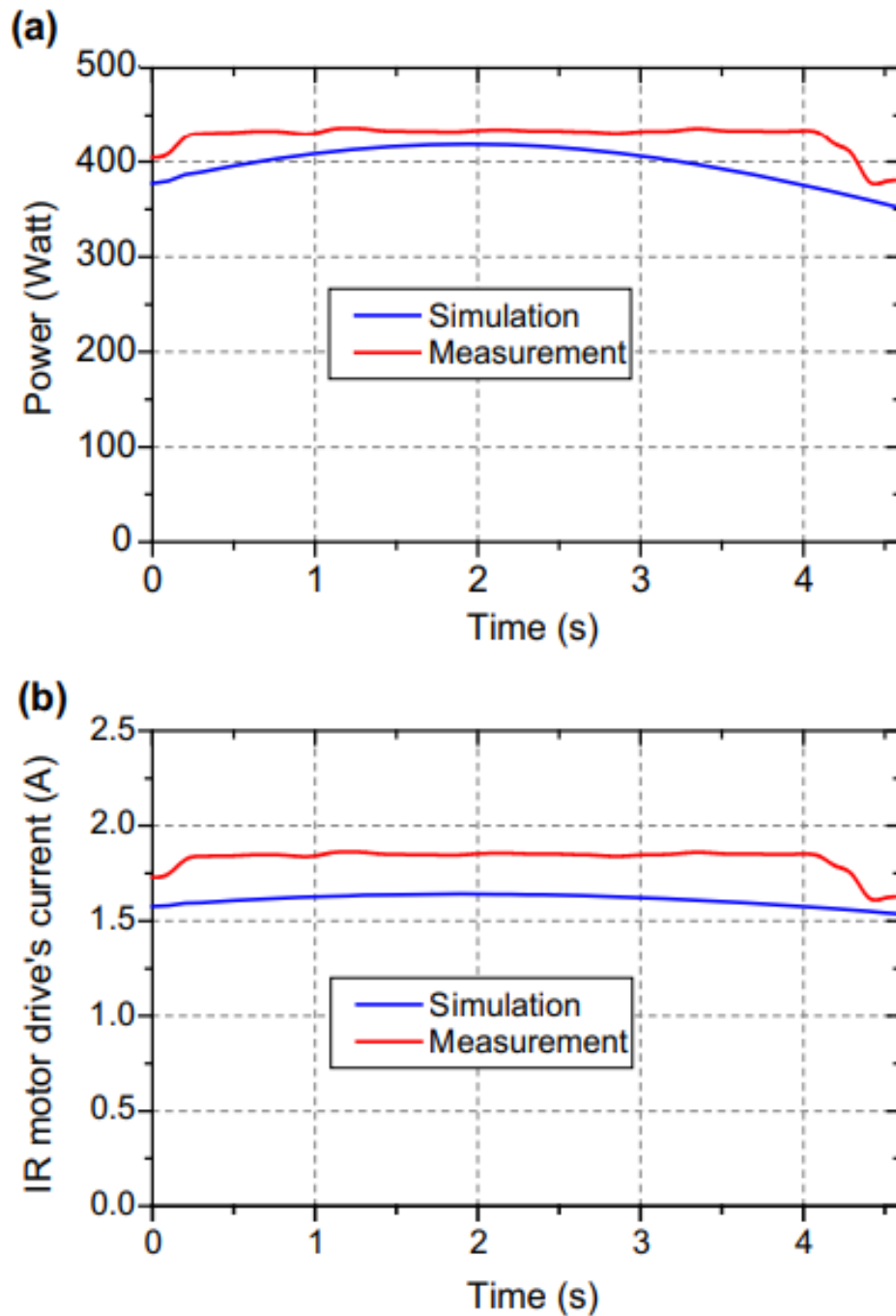
Χρησιμοποιήθηκε μια πειραματική έρευνα ως ισχυρή μέθοδος για την επικύρωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, ιδίως όταν οι πραγματικές μετρήσεις ήταν είτε ανέφικτες είτε απαγορευτικές από άποψη κόστους. Η πειραματική διάταξη χρησιμοποίησε μια μονάδα μέτρησης ικανή να καταγράφει την ηλεκτρική συμπεριφορά του βιομηχανικού ρομπότ (IR) σε πραγματικό χρόνο, καταγράφοντας δεδομένα όπως η τάση, το ρεύμα και η ισχύς σε διαστήματα 0,0001 δευτερολέπτων. Τα κριτήρια για την επιλογή της εργασίας προσομοίωσης βασίστηκαν σε μια συγκριτική μελέτη που περιελάμβανε το χρόνο εκτέλεσης και τα δυναμικά χαρακτηριστικά του IR. Η ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας επικεντρώθηκε στην κίνηση του ρομπότ από τη θέση D στη θέση A, ενώ η ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς προσομοίωσε την κίνηση του ρομπότ από τη θέση A στη θέση B. Τα πειράματα περιλάμβαναν ποικίλα ωφέλιμα φορτία ρομπότ (2 έως 3 kg) και λειτουργία σε ταχύτητες 20% και 40% της μέγιστης ταχύτητας. Οι συνθήκες αυτές ήταν κρίσιμες για την ανάλυση της επίδρασης των παραμέτρων λειτουργίας IR τόσο στην κατανάλωση ενέργειας όσο και στη δυναμική συμπεριφορά.

Οι κινήσεις του ρομπότ σχεδιάστηκαν στρατηγικά, με ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση των αξόνων και στις συνθήκες αναμονής, χρησιμοποιώντας οδηγίες κίνησης PTP. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτών των κινήσεων, οι ηλεκτρικές παράμετροι και οι δυναμικές αποκρίσεις του ρομπότ παρακολουθούνταν στενά.

Οι (Paryanto,2015) παρήχαν μια ολοκληρωμένη εξέταση τόσο των ερευνητικών όσο και των πρακτικών μεθοδολογιών που αποσκοπούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των βιομηχανικών ρομπότ (IR) που χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής.

Οι διαθέσιμες μέθοδοι που είναι κατάλληλες για ανάπτυξη στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού της παραγωγής είναι επίσης περιορισμένες. Αναγνωρίζοντας την αναδυόμενη τάση των προσεγγίσεων προσομοίωσης σε αυτόν τον τομέα, η παρούσα έρευνα εισάγει ένα σπονδυλωτό μοντέλο για την ανάλυση της κατανάλωσης ενέργειας και της δυναμικής συμπεριφοράς του IR. Επιπλέον, η εργασία ενσωματώνει μια εμπειρική μέτρηση σε ένα συγκεκριμένο IR για να διαπιστωθούν οι αποκλίσεις από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και να αξιολογηθεί η ακρίβεια του μοντέλου IR.

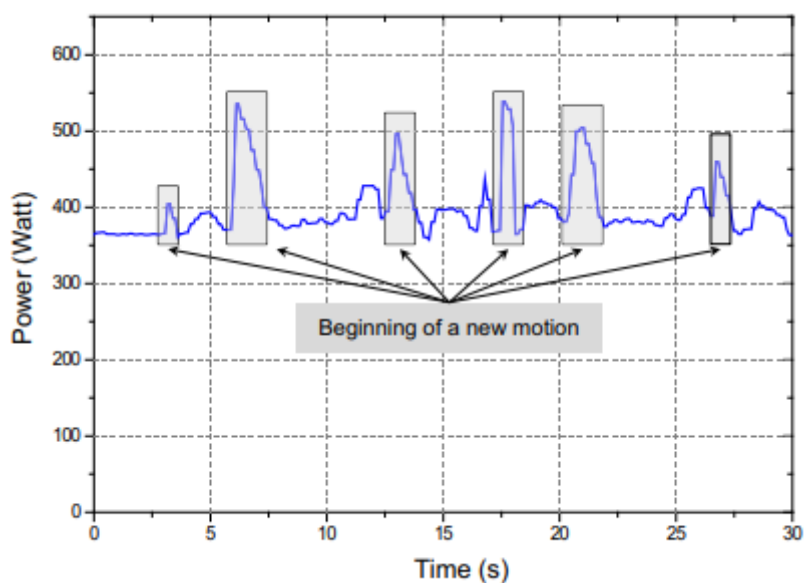
Τα δεδομένα της σύγκρισης συγκεντρώθηκαν υπό συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας: ωφέλιμο φορτίο 3 kg και 20% της μέγιστης ταχύτητας. Η σύγκριση, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 9, αποκάλυψε μια απόκλιση ισχύος περίπου 6% μεταξύ των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και μέτρησης. Η απόκλιση αυτή αποδίδεται κυρίως στον αποκλεισμό της μονάδας ελέγχου IR και των εξαρτημάτων της στο μοντέλο προσομοίωσης λόγω περιορισμών του εργαλείου.



Διάγραμμα 14 Απόκλιση προσομοιωμένων και πειραματικών αποτελεσμάτων

Ωστόσο, παρά τον περιορισμό αυτό, η τάση της κατανάλωσης ισχύος παρουσίασε αξιοσημείωτη ομοιότητα. Ειδικότερα, στο αρχικό και στο τελικό τμήμα της διαδρομής κίνησης του ρομπότ, τόσο η ισχύς όσο και το ρεύμα ήταν σχετικά χαμηλά. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από τις κινητήριες μονάδες που είναι αφόρτιστες στην αρχή και αντιμετωπίζουν μειωμένη ταχύτητα και τριβή προς το τέλος.

Συνολικά, τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν αποδείχθηκαν επαρκώς ακριβή στην πρόβλεψη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς του IR, ενώ η προκύπτουσα απόκλιση κρίθηκε αποδεκτή δεδομένης της καλής μοντελοποίησης των απωλειών στο μοντέλο του IR.



Διάγραμμα 15 Κατανάλωση ισχύος ενός IR τα πρώτα 30secs

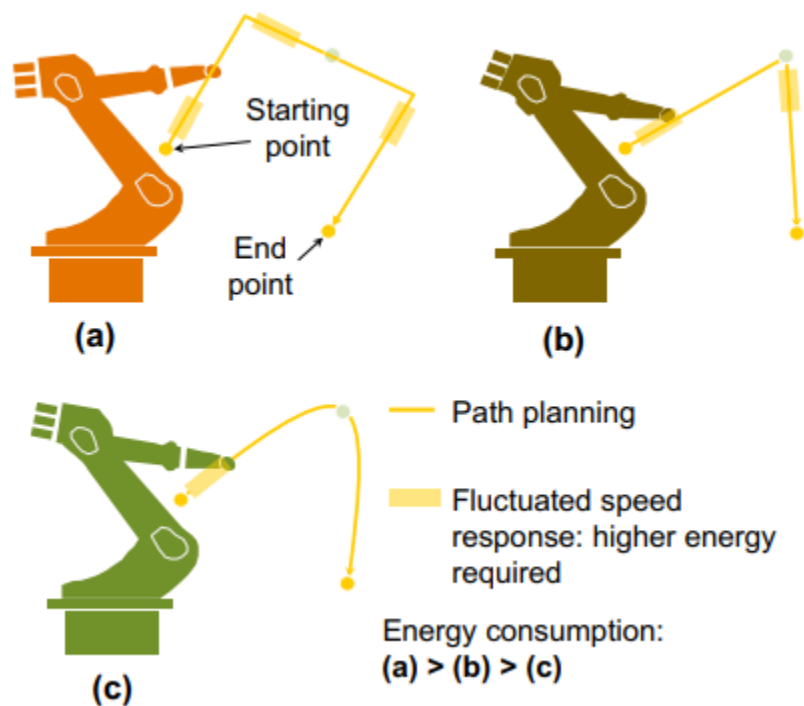
(Paryanto,2015)

Το μοντέλο προσομοίωσης ρομπότ που αναπτύχθηκε στο (Paryanto,2015) διευκολύνει την πρόβλεψη τόσο της κατανάλωσης ενέργειας όσο και της δυναμικής συμπεριφοράς του ρομπότ. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας και της κίνησης του ρομπότ.

Το Σχήμα 11 απεικονίζει τη διασύνδεση μεταξύ του μοντέλου προσομοίωσης IR, της κατανάλωσης ενέργειας και της δυναμικής συμπεριφοράς.

Παράμετροι εισόδου, όπως οι απαιτήσεις παραγωγικότητας (ταχύτητα, ωφέλιμο φορτίο και περιβαλλοντικές συνθήκες), χρησιμοποιούνται για την αρχικοποίηση του μοντέλου IR με

βάση ένα παράδειγμα μοντελοποίησης πολλαπλών τομέων. Με τη χρήση αυτών των αποτελεσμάτων προσομοίωσης πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση των επιδόσεων και της κατανάλωσης ισχύος του IR, η οποία οδηγεί σε μια επαναληπτική διαδικασία προσομοίωσης με στόχο τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας του IR.



Εικόνα 20 Εξομάλυνση κινήσεων IR για μείωση της ισχύος κατά την έναρξη

(Paryanto,2015)

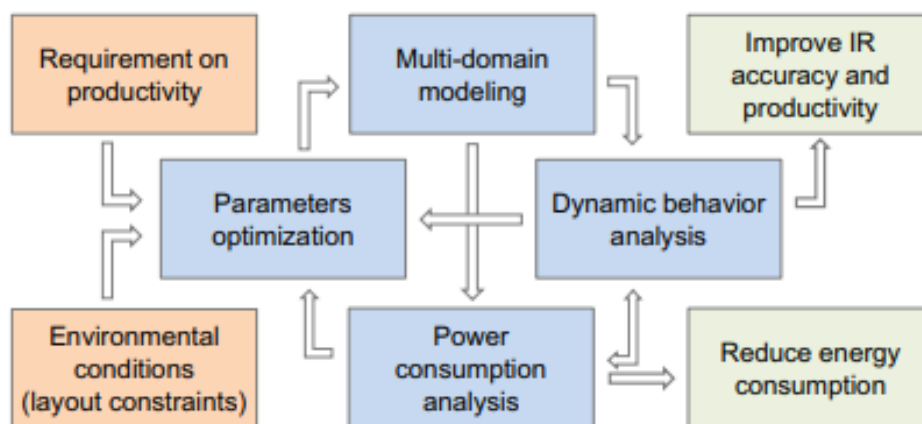
#### 6.4 Προσεγγίσεις ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας βιομηχανικών ρομπότ.

Με βάση τα ευρήματα που προέκυψαν στο (Paryanto,2015) τόσο από πραγματικές μετρήσεις όσο και από προσεγγίσεις μοντελοποίησης, προσδιορίζονται στρατηγικές για την ενίσχυση της αποδοτικότητας των βιομηχανικών ρομπότ (IR) σε συστήματα παραγωγής.

Αρχικά, η κατανάλωση ισχύος των IR επηρεάζεται σημαντικά από το ωφέλιμο φορτίο, μεταβάλλοντας τη ροπή του άξονα IR. Για τον μετριασμό της κατανάλωσης ενέργειας, συνιστάται η μείωση του βάρους των εργαλείων που χρησιμοποιεί το IR, η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαφρών υλικών για τα εξαρτήματα του συστήματος εργαλείων.

Επιπρόσθετα, η εξομάλυνση του σχεδιασμού κίνησης του IR οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η έναρξη των κινήσεων του ρομπότ απαιτεί περισσότερη ισχύ για την επιτάχυνση των συστημάτων κίνησης των κινητήρων IR.

Τέλος, οι ταχύτητες λειτουργίας παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κατανάλωση ενέργειας του IR. Ως εκ τούτου, προτείνεται η λειτουργία του IR σε μέτριες ταχύτητες, επιτυγχάνοντας μια ισορροπία μεταξύ όχι πολύ γρήγορου και όχι πολύ αργού ρυθμού.



Διάγραμμα 16 Προσέγγιση για μείωση της κατανάλωσης

(Paryanto,2015)



#### 6.4.1 Λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα ελέγχου των ρομπότ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και της βιωσιμότητας των ρομποτικών λειτουργιών (Yamamoto,2020). Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι σχεδιασμένα για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να διακυβεύεται η απόδοση του ρομπότ.

Τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ είναι ειδικά σχεδιασμένα με χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας, όπως λειτουργία αναστολής λειτουργίας ή αυτόματη απενεργοποίηση υπό διάφορες συνθήκες εργασίας (Bukata,2017).

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες ενεργειακές λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας.

- Έξυπνα συστήματα ελέγχου: ρυθμίζοντας δυναμικά την ταχύτητα και την κατανάλωση ενέργειας σε ευθυγράμμιση με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εργασίας. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά είναι εξοπλισμένα για τη συνεχή παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας του ρομπότ σε πραγματικό χρόνο και την άμεση προσαρμογή των λειτουργιών του αναλόγως. (Vanderborght,2007)
- Κινητήρες αποτελεσματικής λειτουργίας: Η χρήση κινητήρων υψηλής απόδοσης μπορεί να μειώσει αισθητά την κατανάλωση ενέργειας των βιομηχανικών ρομπότ. Αυτοί οι κινητήρες με αυξημένη απόδοση παρουσιάζουν χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος και παράγουν μειωμένη θερμότητα, συμβάλλοντας στη συνολική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του ρομπότ. (Hsieh,2014)
- Αισθητήρες με ενεργειακή ευαισθησία: Η χρήση ενεργειακά αποδοτικών αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, παράγουν λιγότερη θερμότητα και διαθέτουν παρατεταμένη διάρκεια ζωής, γεγονός που τους καθιστά μακροπρόθεσμα μια οικονομικά συνετή επιλογή. (Nguyen,2020)
- Έλεγχος ισχύος: Η πλειονότητα των βιομηχανικών ρομπότ είναι εξοπλισμένα με ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας, που τους επιτρέπει να εξοικονομούν ενέργεια κατά τη διάρκεια περιόδων αδράνειας. Αυτό το σύστημα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να μεταβαίνει το ρομπότ σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όταν βρίσκεται σε αδράνεια ή δεν χρησιμοποιείται. (Nguyen,2020)

Το 2020 οι (Yamamoto,2020) ανέπτυξαν ένα σύστημα που χειρίζεται εξ αποστάσεως τα συστήματα αυτοματισμού κτιρίων και εκτελεί αυτόματα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, εστιάζοντας επί του παρόντος σε τέσσερις λειτουργίες: τη βελτιστοποίηση του εξοπλισμού πηγής θερμότητας, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής της πηγής θερμότητας, τη ρύθμιση του όγκου εισαγωγής εξωτερικού αέρα και τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας δωματίου.

Το σύστημα λειτούργησε συνεχώς για ένα χρονικό διάστημα επτά μηνών και εφαρμόστηκε σε ένα εμπορικό κέντρο.

Το σύστημα πέτυχε μείωση της ενέργειας κατά 44% και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 47% σε επτά μήνες, που ισοδυναμεί με 2403 GJ. Προεκτείνοντας, αυτό υποδηλώνει ετήσια μείωση της ενέργειας κατά 5000 GJ και ετήσια μείωση του CO<sub>2</sub> κατά 1000 t-CO<sub>2</sub>.

Στον πίνακα 6.1 φαίνονται οι ενεργειακές καταναλώσεις πριν και μετά την εγκατάσταση του συγκεκριμένου συστήματος.

Για την εν λόγω περίοδο λειτουργίας, η ποσότητα ενέργειας που εξοικονομήθηκε με την εγκατάσταση του συστήματος ανήλθε σε 2403 GJ, ποσοστό μείωσης 44%. Το ποσό μείωσης του CO<sub>2</sub> ήταν 400t-CO<sub>2</sub> με αποτέλεσμα ποσοστό μείωσης 47%.

(a) Energy consumption of heat source equipment.						
Term	Gas Consumption (GHP) m <sup>3</sup>			Electric Consumption (EHP) kWh		
	Before Installation	After Installation	Saving Amount	Before Installation	After Installation	Saving Amount
August	17,217	14,722	2495	0	0	0
September	5098	1789	3309	0	0	0
October	1334	736	598	0	0	0
November	0	0	0	15,215	10,216	4999
December	4	34	-30	69,455	41,622	27,833
January	59	138	-79	136,995	54,448	82,547
February	571	26	545	96,004	52,711	43,293
Total	24,283	17,445	6838	317,669	158,997	158,672

(b) Energy consumption of supply fans and total energy consumption.						
Term	Electric Consumption (Supply fan) kWh			Total Consumption of Outdoor Air Treatment GJ		
	Before Installation	After Installation	Saving Amount	Before Installation	After Installation	Saving Amount
August	19,534	14,693	4841	965	806	160
September	18,751	3294	15,457	412	113	300
October	19,105	6731	12,373	246	99	148
November	18,486	12,412	6074	329	221	108
December	12,298	9591	2707	798	501	297
January	19,087	12,243	6843	1526	657	869
February	16,814	9220	7595	1127	606	521
Total	124,075	68,184	55,890	5403	3002	2403

Πίνακας 10 Ενεργειακές καταναλώσεις πριν και μετά

(Yamamoto,2020)

## Κεφάλαιο 7 : Το τέλος του κύκλου ζωής ενός Βιομηχανικού Ρομπότ

### 7.1 Εισαγωγή

Το αποκορύφωμα της λειτουργικής ζωής ενός τυπικού βιομηχανικού ρομπότ φέρνει μια κρίσιμη καμπή στο συνολικό κύκλο ζωής του - τη φάση του τέλους της ζωής του. Η φάση αυτή περιλαμβάνει τις διαδικασίες απόρριψης, ανακύκλωσης και τις αμέτρητες περιβαλλοντικές πτυχές που σχετίζονται με την απόσυρση αυτών. Η κατανόηση των ενεργειακών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια των σκέψεων για το τέλος του κύκλου ζωής είναι επιβεβλημένη για την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης του κύκλου ζωής του ρομπότ και τη διασφάλιση βιώσιμων πρακτικών στον κλάδο της μεταποίησης.

Τα βιομηχανικά ρομπότ, που χαρακτηρίζονται από την πολύπλευρη χρησιμότητά τους στη σύγχρονη μεταποίηση, έχουν φέρει επανάσταση στις διαδικασίες παραγωγής. Η ανάπτυξή τους όχι μόνο αύξησε την αποδοτικότητα αλλά εισήγαγε και ένα νέο σύνολο προκλήσεων, μία από τις οποίες είναι η υπεύθυνη διαχείριση αυτών των ρομποτικών οντοτήτων στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής. Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, ο κύκλος ζωής των βιομηχανικών ρομπότ γίνεται όλο και μικρότερος, γεγονός που επιτείνει την ανάγκη για λεπτομερή εξέταση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων κατά τη φάση της διάθεσης.

#### 7.1.1 Κίνητρο

Το κίνητρο για την εξέταση της φάσης του τέλους του κύκλου ζωής οφείλεται στην αυξανόμενη σημασία των βιώσιμων και περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένων βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Καθώς οι βιομηχανίες παγκοσμίως στράφηκαν προς πιο πράσινες ενέργειες, η κατανόηση του ενεργειακού αποτυπώματος κατά την απόσυρση των βιομηχανικών ρομπότ γίνεται κρίσιμο στοιχείο για την ευθυγράμμιση των πρακτικών κατασκευής με τους παγκόσμιους περιβαλλοντικούς στόχους.

Επιπλέον, η ευαισθητοποίηση σχετικά με τις οικολογικές επιπτώσεις της ακατάλληλης απόρριψης έχει αυξηθεί, προτρέποντας τη διερεύνηση στρατηγικών που ελαχιστοποιούν τις επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.

### 7.1.2 Στόχος

Στόχος αυτού το κεφαλαίου είναι να αναλύσει τις περίπλοκες πτυχές των ενεργειακών εκτιμήσεων κατά τη φάση του τέλους της ζωής των βιομηχανικών ρομπότ. Αναφέρονται μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την απόρριψη, αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε μεθόδου και διερευνώνται στρατηγικές για βιώσιμες πρακτικές. Με την εξέταση αυτών των πτυχών, το κεφάλαιο αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης εικόνας των προκλήσεων και των ευκαιριών που συνδέονται με την υπεύθυνη διαχείριση των βιομηχανικών ρομπότ στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής.

## 7.2 Διαχείριση του τέλους της ζωής των βιομηχανικών ρομπότ

Η διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής (EOL) είναι σήμερα ένα σημαντικό θέμα στη βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών, με έμφαση κυρίως στον εξοπλισμό πληροφορικής και στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης.

Η προσέγγιση της μεταπώλησης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης αναδεικνύει τρεις δυνατότητες ανάλογα με την ηλικία και τον τύπο της συσκευής. Η ανακύκλωση, ιδίως μέσω της πλήρως ή ημιαυτόματης αποσυναρμολόγησης, αναμένεται να αποκτήσει ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, ακόμη και για τα ρομπότ. Οι κατασκευαστές ρομπότ είναι υποχρεωμένοι να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα EoL λόγω κανονιστικών απαιτήσεων, νόμων και ηθικών εκτιμήσεων που αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στη διαχείριση του τέλους ζωής υπάρχουν τέσσερις βασικές στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν, η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση, η ελαχιστοποίηση και η ανάκτηση. (Masoumian and Koracek 2015)

- Ελαχιστοποίηση: Η πρωταρχική και πιο ευνοϊκή στρατηγική είναι η μείωση της ποσότητας του πρωτογενούς υλικού που χρησιμοποιείται σε ένα προϊόν. Κατά συνέπεια, αυτή η στρατηγική είναι πιο συμφέρουσα για τη φάση του τέλους του κύκλου ζωής (EoL), γεγονός που καθιστά αναγκαία την εξέταση κατά τη φάση του σχεδιασμού του προϊόντος.

- Επαναχρησιμοποίηση: Η δεύτερη καλύτερη επιλογή περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση ολόκληρου του προϊόντος, των μονάδων του ή μεμονωμένων εξαρτημάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αξία μπορεί να εξαχθεί για έναν δεύτερο κύκλο ζωής χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις της επαναχρησιμοποιούμενης συσκευής. Εάν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μόνο συγκεκριμένες μονάδες ή εξαρτήματα και όχι ολόκληρο το προϊόν, η συσκευή πρέπει να αποσυναρμολογηθεί με τρόπο που να διατηρεί τα εξαρτήματα που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση.
- Ανακύκλωση: Η τρίτη καλύτερη εναλλακτική λύση είναι η ανακύκλωση των υλικών που εξάγονται από μια συσκευή, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμεύσουν ως πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων προϊόντων. Όταν τα νεοπαραγόμενα αντικείμενα ξεπερνούν σε ποιότητα την αρχική συσκευή, η διαδικασία ονομάζεται "ανακύκλωση".
- Ανάκτηση: Αντιπροσωπεύει την ενεργειακή ανάκτηση των αποβλήτων συσκευών. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα μη επικίνδυνα υλικά αποτεφρώνονται, εξυπηρετώντας διπλούς σκοπούς. Πρώτον, η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς χρήση ή πώληση. Δεύτερον, η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στη μείωση της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων.

### 7.2.1 Ο ρόλος της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης

Η άμεση επαναχρησιμοποίηση, επισκευή ή ανακύκλωση των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους έχει σημαντικά χαμηλότερες επιπτώσεις σε διάφορους παράγοντες, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η μείωση του όζοντος, το δυναμικό τοξικότητας και το δυναμικό ευτροφισμού, όπως και αναφέρουν οι (Bracquené et al. 2017). Οι στρατηγικές επεξεργασίας EoL θα πρέπει να θέτουν ως προτεραιότητα τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης της αξίας και τη διατήρηση της ενσωματωμένης ενέργειας σε κάθε προϊόν.

Όσον αφορά την ανακύκλωση υλικών, οι (Wagner et al. 2017) αναφέρουν ότι τα πλαστικά που λαμβάνονται από την αποσυναρμολόγηση οθονών LCD έχουν επιδείξει αρκετά υψηλές μηχανικές ιδιότητες, όπως το μέτρο ελαστικότητας η αντοχή σε εφελκυσμό, κατάλληλες για δομικά μη απαιτητικές εφαρμογές

Η ρομποτική κατέχει σημαντικό πλεονέκτημα στην ακριβή και συνεπή εκτέλεση επαναλαμβανόμενων εργασιών, ιδίως σε γραμμές συναρμολόγησης. Ωστόσο, όταν εφαρμόζεται στο

πλαίσιο της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης, όπου υπάρχουν πολυάριθμες αβεβαιότητες, ένα τυπικό ρομπότ που στερείται γνωστικών ικανοτήτων για ανεξάρτητη συλλογιστική και άσκηση λογικής αντιμετωπίζει σημαντικούς περιορισμούς σε σύγκριση με τη διαισθητική ικανότητα του ανθρώπου να αποσυναρμολογεί ένα προϊόν στο τέλος του κύκλου ζωής του (EoL). Αυτός ο περιορισμός αποτελεί βασικό εμπόδιο που εμποδίζει την ευρύτερη υιοθέτηση της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

#### 7.2.2 Παράγοντες αποσυναρμολόγησης

Πολυάριθμοι είναι οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης. Αυτοί οι παράγοντες αναγνωρίζονται ως πρωταρχικές προκλήσεις που εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτηση της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία ενός συστήματος ρομποτικής αποσυναρμολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: εξωτερικοί παράγοντες και παράγοντες του συστήματος (Πίνακας 7.1) . Οι εξωτερικοί παράγοντες προκύπτουν από τα προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής (EoL), τις οικονομικές εκτιμήσεις και άλλες εξωτερικές πηγές που σχετίζονται με το σύστημα αποσυναρμολόγησης. Από την άλλη πλευρά, οι παράγοντες του συστήματος είναι εγγενείς στο σύστημα αποσυναρμολόγησης και βρίσκονται υπό τον έλεγχο του σχεδιαστή του συστήματος. Οι παράγοντες αυτοί αντιπροσωπεύουν μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων που προέρχονται από εξωτερικούς παράγοντες.

<b>Εξωτερικοί παράγοντες</b>	<b>Παράγοντες συστήματος</b>
Αξία προϊόντων και υλικών στην αγορά	Κόστος
Ειδικές μέθοδοι αποσυναρμολόγησης	User-friendly
Αβεβαιότητα διαδικασιών	Επίπεδο αυτοματοποίησης
Αβεβαιότητα ποιότητα αποτελέσματος	Λειτουργικές δυνατότητες
	Ικανότητα αντίληψης

*Πίνακας 11 Επιτυχή εφαρμογή της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης*

(Foo, Kara, and Pagnucco 2022)

### 7.3 Η σημασία της διαχείρισης αποβλήτων

Οι συσκευές αυτοματισμού και τα ρομπότ αποτελούν ένα σημαντικό και συνεχώς αυξανόμενο τμήμα των αποβλήτων που παράγονται από τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Η αποτελεσματική διαχείριση αυτών των συσκευών στο "τέλος του κύκλου ζωής τους" (End of Life-EoL) απαιτεί την ενδελεχή κατανόηση των σχετικών δυνατοτήτων και περιορισμών.

#### 7.3.1 Οικολογική Πτυχή

Από οικολογική άποψη, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι ο χειρισμός αυτών των συσκευών δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτό συνεπάγεται την αποφυγή της απόρριψης επικίνδυνων υλικών, όπως ο μόλυβδος, όποτε είναι δυνατόν. Εάν είναι αναπόφευκτο, η διαδικασία της απόρριψης θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την οικολογική ρύπανση. Τα μη επικίνδυνα υλικά θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα για επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.



### 7.3.2 Οικονομική Πτυχή

Όσον αφορά την οικονομική πτυχή, η έμφαση δίνεται στην πρόληψη της σπατάλης πολύτιμων πόρων. Τα μηχανήματα και οι συσκευές που έχουν υποστεί βλάβη ή δεν λειτουργούν πλέον περιέχουν υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν μέσω της επαναχρησιμοποίησης ή της ανακύκλωσης. Δυστυχώς, αυτές οι ευκαιρίες συχνά παραβλέπονται στις τρέχουσες πρακτικές. Με την αναμενόμενη αύξηση της τιμής των φυσικών πόρων στο μέλλον, αποκτά ολόένα και μεγαλύτερη σημασία η δημιουργία ενός κλειστού κύκλου υλικών για την αποφυγή της σπατάλης πόρων.

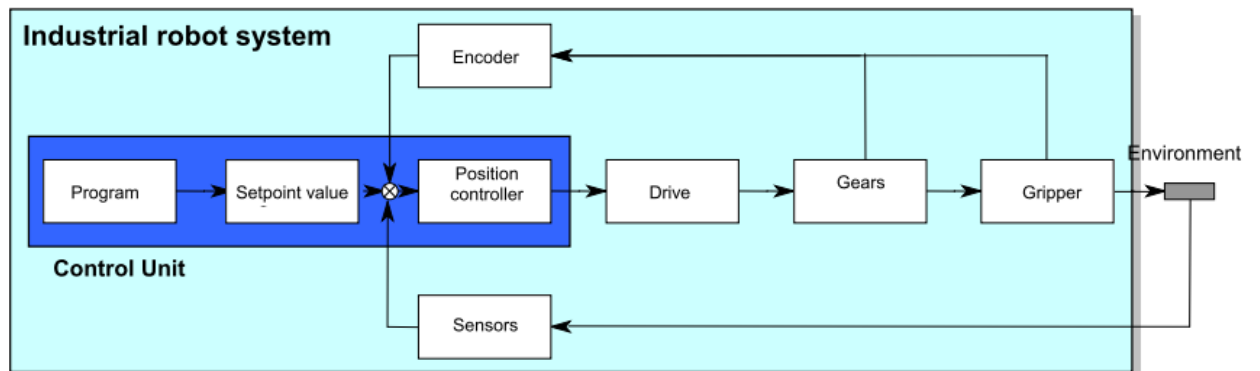
Επί του παρόντος, υπάρχει έλλειψη μεθόδων για τον υπολογισμό της αξίας μιας χρησιμοποιημένης συσκευής. Μια απλή και πρακτική μέθοδος για συσκευές αυτοματισμού παρουσιάζουν οι (P. Koracek 2007) και οι (B. Koracek and Koracek 1999) .

### 7.3.3 Κύκλος ζωής ενός ρομποτικού συστήματος

Ο κύκλος ζωής του προϊόντος, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2 , αρχίζει με την παραγωγή των απαραίτητων εξαρτημάτων από πρωτογενείς πρώτες ύλες. Στη συνέχεια, αυτά τα συστατικά συναρμολογούνται σε ένα προϊόν, όπως ένα βιομηχανικό ρομπότ (Σχήμα 3). Το προϊόν πωλείται στη συνέχεια στην αγορά και τίθεται σε χρήση. Στο τέλος του κύκλου ζωής του, υπάρχουν διάφορες επιλογές για το τέλος του κύκλου ζωής του, καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει το δικό της σύνολο προκλήσεων.

<b>ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>	→	<b>ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ</b>	→	<b>Κατασκευαστής</b>
Επεξεργασία πρώτων υλών		Παραγωγή εξαρτημάτων		Συναρμολόγηση
				↓
<b>ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ/Ε ΠΙΣΚΕΥΗ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ</b>	←	<b>Χρήστης</b>	←	<b>Εμπόριο λιανικής</b>
		Χρήση		Πωλήσεις
→				
<b>ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>				↓
Επεξεργασία πρώτων υλών				
↑				
<b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</b>	←	<b>ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ</b>	←	<b>ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ</b>

Πίνακας 12 Κύκλος ζωής ενός προϊόντος



Πίνακας 13 Βασικά μέρη ενός βιομηχανικού ρομπότ

(B. Koracek and Koracek 2013)

Στο τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, υπάρχουν σήμερα διάφορες επιλογές για το τέλος του κύκλου ζωής με τις σχετικές προκλήσεις που περιγράφονται παρακάτω.

- Επαναχρησιμοποίηση προϊόντος
  - Αγορά μεταχειρισμένων
  - Νομικά ζητήματα και εγγυήσεων
  - Ανακαίνιση
- Επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων
  - Αξιολόγηση ποιότητας
  - Νομικά ζητήματα
  - Αγορά μεταχειρισμένων
- Ανακύκλωση προϊόντων και εξαρτημάτων
  - Τεχνολογία επεξεργασίας
- Αποσυναρμολόγηση
  - Τεχνογνωσία αποτελεσματικής αποσυναρμολόγησης
  - Ταυτοποίηση υλικού
  - Ταξινόμηση εξαρτημάτων

Θεωρητικά, τα ρομπότ έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής και το τέλος της ζωής των ρομπότ και των ρομποτικών συστημάτων καθορίζεται κυρίως από το υλικό και το λογισμικό του ελεγκτή, καθώς και από τη μηχανική κατασκευή.

Στον Πίνακα 3 απεικονίζεται ένα διάγραμμα με τα κύρια στοιχεία ενός τυπικού βιομηχανικού ρομπότ.

Ένα βιομηχανικό ρομπότ, που λειτουργεί ως μηχανοτρονικό σύστημα, περιλαμβάνει το μηχανικό τμήμα, συμπεριλαμβανομένων των αξόνων, των γραναζιών, της αρπάγης και των συσκευών σύλληψης- το ηλεκτρικό στοιχείο (μονάδες κίνησης και υλικό μονάδας ελέγχου)- τους

κωδικοποιητές και τους αισθητήρες ως ηλεκτρομηχανικές συσκευές- και το λογισμικό της μονάδας ελέγχου που αντιπροσωπεύει το στοιχείο ΤΠ. Η μηχανική ελέγχου ενσωματώνεται στον ελεγκτή θέσης.

Επί του παρόντος, υπάρχουν περίπου 1,2 εκατομμύρια βιομηχανικά ρομπότ σε παγκόσμια χρήση, χωρίς να υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ηλικία τους. Η μέση ηλικία εκτιμάται ότι είναι περίπου 12 έτη.



#### 7.4.1 Περιγραφή Ρομποτικού Συστήματος SCARA Sony SRX-611

Αυτό το ρομπότ διαθέτει τρεις περιστροφικούς άξονες και έναν γραμμικό κατακόρυφο άξονα. Οι δύο άξονες περιστροφής είναι υπεύθυνοι για την κίνηση της αρπάγης του ρομπότ, ενώ ο τρίτος άξονας περιστροφής έχει εύρος άνω των 360 μοιρών, επιτρέποντας τη συναρμολόγηση βιδών ή άλλων εξαρτημάτων.

Ο κατακόρυφος άξονας διευκολύνει την κίνηση της αρπάγης στην κατεύθυνση z. Σχεδιασμένο κυρίως για την ταχεία συναρμολόγηση μικρών εξαρτημάτων, την επιθεώρηση και τις εργασίες χειρισμού, το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με απόλυτους κωδικοποιητές. Η μέγιστη χωρητικότητά του σε ωφέλιμο φορτίο είναι 5 kg.

Το ρομπότ αποτελείται από 7 κύριες μονάδες, τη βάση, τον βραχίονα #1, τον βραχίονα #2, το Gripper, τη μονάδα ελέγχου, τα ράφια και άλλα εξαρτήματα, όπως τα καλώδια.

Αυτές οι επτά κύριες μονάδες αποτελούν τη βάση για τις πληροφορίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4, όπου τα μέρη είναι οργανωμένα με ιεραρχική σειρά.

#### 7.4.2 Ανακύκλωση / Επαναχρησιμοποίηση SCARA Sony SRX-611

Ο Πίνακας 4 παρέχει έναν πλήρη κατάλογο των εξαρτημάτων που προέκυψαν από την αποσυναρμολόγηση του ρομπότ. Η πρώτη στήλη εμφανίζει τους αριθμούς των εξαρτημάτων, η δεύτερη στήλη υποδεικνύει τις ονομασίες των εξαρτημάτων σύμφωνα με το (SONY SRX-611 OPERATION MANUAL) και οι επόμενες στήλες παρουσιάζουν πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των εξαρτημάτων, τη σύνθεση των υλικών και τις δυνατότητες ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης.

Για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, εξετάστηκαν οι ακόλουθες επιλογές:

- Επαναχρησιμοποιήσιμο μέρος (Reusable Part) (U): Μέρη που είναι πιθανό να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από σύντομη αναβάθμιση.
- Χάλυβας, αλουμίνιο, πλαστικό, κιβώτιο σκουπιδιών (Steel, Alu, Plastic, Swarf Box): Κουτιά που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των διαφόρων υλικών για σκοπούς ανακύκλωσης.

- Ηλεκτρονικά απόβλητα (Electronic garbage) : Ορισμένα εξαρτήματα μπορούν να αποσυναρμολογηθούν για περαιτέρω χρήση εξαρτημάτων, ενώ τα υπόλοιπα προορίζονται για ανακύκλωση υλικών.
- Λιώσιμο (Melt down) : Ανακύκλωση υλικών για την εξαγωγή δευτερογενών πρώτων υλών.
- Ανακύκλωση ηλεκτρονικών υπολογιστών (Computer recycling )

Part-Nr.	Name	Number	Material	Recycling/reutilization
<b>1</b>	<b>Base</b>	1	Steel	Melt down
1.1	Motor Power	–	–	–
1.1.1	Motor Power box	1	Steel	Steel Swarf Box
1.1.2	Motor Power covering	1	Steel	Steel Swarf Box
1.1.3	Motor Power connector	1	Cable	Electronic garbage
1.2	Proximity switch	3	Plastic	Electronic garbage
1.3	Proximity switch cable	1	Cable	Electronic garbage
1.4	Base pinboard Backsite	1	Steel	Steel Swarf Box
1.4.1	Pneumatic valve	6	–	Reusable Part (U)
1.4.2	COM connection	2	Cable	Electronic garbage
1.4.2	Platine	1	–	Electronic garbage
1.5	$\theta 1$ Axis	–	–	–
1.5.1	Motor Axis $\theta 1$	1	–	Reusable Part (U)
1.6	Harmonic Drive	2	Steel	Reusable Part (U)
1.7	Harmonic Drive counterpart	2	Steel	Reusable Part (U)
<b>2</b>	<b>Arm #1</b>	1	Alu	Alu Swarf Box
<b>3</b>	<b>Arm #2</b>	1	Alu	Alu Swarf Box
3.1	$\theta 2$ Axis	–	–	–
3.1.1	Motor Axis $\theta 2$	1	–	Reusable Part (U)
3.1.2	Sensor anchorage Axis $\theta 2$	3	Steel	Steel Swarf Box
3.1.3	Sensor cable Axis $\theta 2$	2	Cable	Electronic garbage
3.2	R-Axis	–	–	–
3.2.1	Motor gearbox unit Axis R	1	–	Reusable Part (U)
3.2.2	Proximity switch R-Axis	3	Plastic	Electronic garbage
3.3	Z-Axis	–	–	–
3.3.1	Motor gearbox unit Axis Z	1	–	Reusable Part (U)
3.4	Arbor with flange	1	Steel	Steel Swarf Box
3.4.1	Floating bearing	1	Steel	Steel Swarf Box
3.4.2	Gripperdisk	1	Alu	Alu Swarf Box
3.4.3	Middleflange	1	Alu	Alu Swarf Box
3.4.4	Upperflange	1	Alu	Alu Swarf Box
3.4.5	Flangecover	1	Steel	Steel Swarf Box
3.4.6	Sensor positioning	1	Plastic	Plastic Box
3.4.7	Ball lining	1	Steel	Steel Swarf Box
3.4.8	Bearing balls	40	Steel	Steel Swarf Box
3.4.9	Plastic covers	2	Plastic	Electronic garbage
3.5	Sensor stayer	4	Steel	Steel Swarf Box
3.6	Mounting bushing for the Belt pulley	1	Alu	Alu Swarf Box
3.7	Ball Bearing	1	Steel	Reusable Part (U)
3.8	Belt connection	–	–	–
3.8.1	Belt pulley	1	Alu	Reusable Part (U)
3.8.2	Timing Belt pulley	1	Alu	Reusable Part (U)
3.8.3	Timing Belt	3	Plastic	Reusable Part (U)
3.9	Motor bevel wheel	2	Alu	Alu Swarf Box
<b>4</b>	<b>Gripper</b>	1	–	Reusable Part (U)
4.1	Gripper Inclusion	1	–	Reusable Part (U)
<b>5</b>	<b>Robot Cable</b>	1	Cable	Electronic garbage
5.1	Cable bracket	1	Steel	Steel Swarf Box
5.2	Cable flange	1	Plastic	Plastic Box
5.3	Cable ring	1	Steel	Steel Swarf Box
5.4	Ferritcore	1	Ferrit	Electronic garbage
<b>6</b>	<b>Other Parts</b>	–	–	–
6.1	Cable connectors	5	Cable	Electronic garbage
6.2	Miscellaneous screws	–	Steel	Reusable Part (U)
<b>7</b>	<b>Controller</b>	1	–	Computer recycling
7.1	Controller Cable	3	Cable	Computer recycling

Πίνακας 14 Κατάλογος Εξαρτημάτων Sony SRX-611

(SONY SRX-611 OPERATION MANUAL.)



Ο Πίνακας 4 δείχνει ότι κατά κύριο λόγο τα μηχανικά εξαρτήματα, οι άξονες των κινητήρων, τα κιβώτια ταχυτήτων και διάφορα άλλα μέρη θεωρούνται επαναχρησιμοποιήσιμα (U).

Επιπλέον, εντοπίζονται σημαντικές δυνατότητες ανακύκλωσης, ιδίως με τα γρανάζια και τις ηλεκτρικές κινήσεις (το ρομπότ δεν διέθετε υδραυλική κίνηση).

Η αποσυναρμολόγηση του εξοπλισμού ήταν απλή και τα μέρη αυτά επαναχρησιμοποιήθηκαν άμεσα από το ινστιτούτο για άλλα έργα ή θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως ανταλλακτικά για παρόμοια ρομπότ. Η ανακύκλωση του υπολογιστή και των καλωδίων του υπολογιστή εκτελέστηκε επίσης εύκολα, καθώς οι κλασικές μέθοδοι ανακύκλωσης υπολογιστών έχουν καθιερωθεί με τα χρόνια, διευκολύνοντας τη διανομή αυτών των εξαρτημάτων σε κατάλληλες τοποθεσίες ή σε μεγάλα ινστιτούτα.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΡΟΜΠΟΤ		1	2	3	4	5
SONY SRX-611						
ΚΟΡΜΟΣ	Πολυπλοκότητα	+				
	Κόστος	+				
GRIPPING DEVICES	Πολυπλοκότητα	+				
	Κόστος	+				
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	Πολυπλοκότητα				+	
	Κόστος				+	

ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΡΟΜΠΟΤ			1	2	3	4	5
SONY SRX-611							
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	Ηλεκτρικός	Πολυπλοκότητα			+		
		Κόστος	+				
	Υδραυλικός	Πολυπλοκότητα					
		Κόστος					
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ	Καλώδια	Πολυπλοκότητα	+				
		Κόστος	+				
	Υπολογιστής	Πολυπλοκότητα	+				
		Κόστος	+				
	Εκτυπωτής	Πολυπλοκότητα	+				
		Κόστος	+				

Πίνακας 15 Ανακυκλωσιμότητα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης.

Το Sony SRX 611 ανταποκρίνεται στις τυπικές πρακτικές ανακύκλωσης για ένα τυπικό ρομπότ, με μικρές μόνο εξαιρέσεις.

Ο πίνακας 5 παρουσιάζει μια αξιολόγηση της αποδοτικότητας με βάση τους οικονομικούς παράγοντες και την πολυπλοκότητα για το Sony SRX 611. Ο πίνακας περιγράφει τις αρχικές εκτιμήσεις για τη διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής (EoL) των ρομποτικών συστημάτων, κατηγοριοποιώντας τα με βάση δύο κριτήρια:

A) Πολυπλοκότητα της (αυτοματοποιημένης) αποσυναρμολόγησης-ανακύκλωσης: Βαθμολογείται σε κλίμακα από το 1 έως το 5, όπου το 1 υποδηλώνει εύκολη και το 5 υποδηλώνει περίπλοκη.

B) Το κόστος της αποσυναρμολόγησης (επαναχρησιμοποιήσιμα εξαρτήματα κ.λπ.) και επαναχρησιμοποίηση: Βαθμολογείται σε κλίμακα από 1 έως 5, όπου το 1 υποδηλώνει οικονομικό και το 5 μη οικονομικό.

Αντίστοιχες έρευνες διεξήχθησαν για εξαρτήματα συσκευών αυτοματισμού . Με βάση αυτά τα ευρήματα, οι επόμενες φάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση που θα ενσωματώνει πρόσθετα κριτήρια, όπως την αναμενόμενη ποσότητα των συσκευών, τη δυσκολία της αποσυναρμολόγησης, τα έξοδα που συνδέονται με μια νέα συσκευή, τον όγκο των πολύτιμων υλικών κ.λπ.

Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία ενός καταλόγου για περιβαλλοντικά φιλικές αρχές σχεδιασμού για βιομηχανικά ρομπότ.

## 7.5 Ανακύκλωση Βιομηχανικών Ρομπότ

### 7.5.1 Επεξήγηση

Τα βιομηχανικά ρομπότ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στις σύγχρονες παραγωγικές διαδικασίες, συμβάλλοντας στην αύξηση της αποδοτικότητας, της ακρίβειας και της παραγωγικότητας. Καθώς οι μηχανές αυτές φτάνουν στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής, το ζήτημα της ορθής διάθεσης καθίσταται κρίσιμο ζήτημα.

Η φάση του τέλους της ζωής των βιομηχανικών ρομπότ δεν δημιουργεί μόνο περιβαλλοντικές προκλήσεις, αλλά προσφέρει επίσης ευκαιρίες για βιώσιμες πρακτικές. Το παρόν υποκεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανακύκλωση των βιομηχανικών ρομπότ αποτυπώνοντας τις περίπλοκες διαδικασίες και τις επιπτώσεις που σχετίζονται με τη βιώσιμη διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής τους.

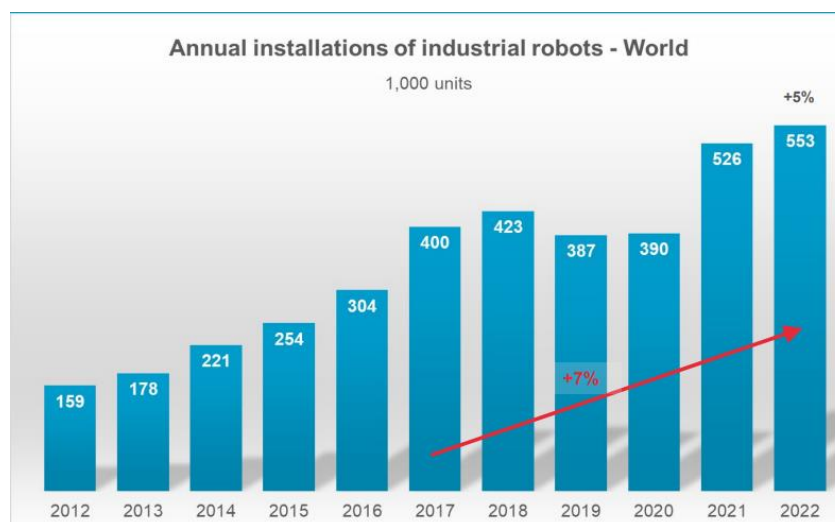


Εικόνα 22 Βασικά Βήματα Διαχείρισης Αποβλήτων

### 7.5.2 Περιβαλλοντικές Ανάγκες

Η αυξανόμενη υιοθέτηση των βιομηχανικών ρομπότ έχει αναμφισβήτητα φέρει επανάσταση στις βιομηχανίες παραγωγής, ωστόσο η αύξηση των ηλεκτρονικών αποβλήτων και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες δεν μπορούν να αγνοηθούν. Τα ποικίλα υλικά και τα πολύπλοκα εξαρτήματα που υπάρχουν στα βιομηχανικά ρομπότ απαιτούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ανακύκλωση.

Η ανακύκλωση δεν αφορά μόνο τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, αλλά συμβάλλει επίσης σημαντικά στη μείωση του συνολικού ενεργειακού αποτυπώματος. Με τη διάσωση πολύτιμων υλικών και εξαρτημάτων, η ανακύκλωση ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της βιωσιμότητας και της κυκλικής οικονομίας, προσφέροντας μια υπεύθυνη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους διάθεσης.



Διάγραμμα 17 Ετήσιες Εγκαταστάσεις IR ανά Έτος

(World Robotics 2023)

### 7.5.3 Δυσκολίες Ανακύκλωσης των Βιομηχανικών Ρομπότ

#### 7.5.3.1 Υλικά και Εξαρτήματα

Τα βιομηχανικά ρομπότ είναι περίπλοκα συγκροτήματα που ενσωματώνουν ένα ευρύ φάσμα υλικών και εξαρτημάτων για την επίτευξη των συγκεκριμένων λειτουργιών τους. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν μέταλλα όπως αλουμίνιο και χάλυβα, διάφορα πλαστικά, ηλεκτρονικά κυκλώματα, αισθητήρες και άλλα εξειδικευμένα εξαρτήματα. (de Oliveira Neto et al. 2023)

Η παρουσία αυτού του ποικίλου μείγματος δημιουργεί διάφορες επιπτώσεις στη διαδικασία ανακύκλωσης:

- Πολυπλοκότητα ταξινόμησης (Sudheshwar et al. 2023) : Η ανάγκη του διαχωρισμού των διαφόρων υλικών αποτελεί κρίσιμη πρόκληση στη διαδικασία ανακύκλωσης. Η

αποτελεσματική διαλογή είναι απαραίτητη για την ανάκτηση πολύτιμων υλικών και τη διασφάλιση της κατάλληλης επεξεργασίας τους.

- Τεχνολογική προσαρμοστικότητα: Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης πρέπει να μπορούν να προσαρμόζονται ώστε να χειρίζονται ένα ευρύ φάσμα υλικών. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί ενδέχεται να εμποδίζουν την αποτελεσματική ανακύκλωση ορισμένων υλικών ή εξαρτημάτων
- Συμβατότητα υλικών (Sudheshwar et al. 2023): Ορισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στα βιομηχανικά ρομπότ ενδέχεται να μην είναι εύκολα συμβατά με τις τυποποιημένες διαδικασίες ανακύκλωσης. Για παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά ή τα πολύπλοκα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορεί να απαιτούν εξειδικευμένη επεξεργασία

### 7.5.3.2 Πιθανές Λύσεις

Στην επιδίωξη βιώσιμων και περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένων ρομποτικών συστημάτων, η ενσωμάτωση των αρχών του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση (DfD) αναδεικνύεται σε καίρια πτυχή. Με την ενσωμάτωση των αρχών DfD κατά τις αρχικές φάσεις του σχεδιασμού των ρομπότ, η διαδικασία αποσυναρμολόγησης εξορθολογίζεται, προωθώντας την ευκολότερη ανάκτηση υλικών. (James Broughton 2023)

Επιπλέον, οι (Ogbemhe, Mrofu, and Tale 2017) αναφέρουν την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών διαλογής, καθώς αποτελεί βασική στρατηγική για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του διαχωρισμού των υλικών. Οι επενδύσεις σε τεχνολογίες αιχμής, συμπεριλαμβανομένων των ρομποτικών συστημάτων διαλογής και των αλγορίθμων διαλογής που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, υπόσχονται να φέρουν επανάσταση στη διαδικασία διαλογής, καθιστώντας την πιο ακριβή και εξορθολογισμένη.

Τέλος, η εστίαση στην Καινοτομία Υλικών καθίσταται επιτακτική, καθώς οι ερευνητικές προσπάθειες για εναλλακτικά υλικά που είναι εγγενώς πιο ανακυκλώσιμα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην απλ

ούστευση του τοπίου της ανακύκλωσης.

- (i) Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση (DfD)
- (ii) Ανάπτυξη Προηγμένων Τεχνολογιών

(iii) Καινοτόμα Υλικά

### *7.5.3.3 Πολύπλοκτη Αποσυναρμολόγησης*

Οι πολύπλοκες διαδικασίες αποσυναρμολόγησης που σχετίζονται με την ανακύκλωση βιομηχανικών ρομπότ συνεπάγονται διάφορες επιπτώσεις που επηρεάζουν τη συνολική αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των προσπαθειών ανακύκλωσης.

Πιο συγκεκριμένα, οι (Foo, Kara, and Pagnucco 2022) επεξηγούν αναλυτικά τις δυσκολίες της αποσυναρμολόγησης ενός ρομποτικού συστήματος. Επίσης, αναφέρουν πως η αποσυναρμολόγηση βιομηχανικών ρομπότ θέτει σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά την ένταση της εργασίας, την κατανάλωση χρόνου και τις ανησυχίες για την ασφάλεια.

Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία απαιτεί ειδικευμένους εργαζόμενους που μπορούν να πλοηγηθούν επιδέξια μέσα σε πολύπλοκες δομές για την ασφαλή εξαγωγή πολύτιμων εξαρτημάτων. Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση κλιμακώνεται με την πολυπλοκότητα του ρομπότ, επηρεάζοντας έτσι άμεσα τη συνολική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων ανακύκλωσης.

Τέλος, προκύπτουν ανησυχίες για την ασφάλεια λόγω της εμπλοκής δυνητικά επικίνδυνων υλικών ή εξαρτημάτων στις περίπλοκες διαδικασίες αποσυναρμολόγησης. Η ιεράρχηση και η διασφάλιση της ασφάλειας των εργαζομένων καθίσταται κρίσιμη πτυχή στη διαχείριση των προκλήσεων που προκύπτουν. (Foo, Kara, and Pagnucco 2022).

### *7.5.3.4 Τοξικά Απόβλητα*

Η παρουσία επικίνδυνων ουσιών στα βιομηχανικά ρομπότ προκαλεί πολλές δυσκολίες στη διαδικασία ανακύκλωσης, καθώς τα υλικά αυτά απαιτούν ειδικό χειρισμό και επεξεργασία (Bennett Brumson 2017).

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της ακατάλληλης απόρριψης αποτελεί πρωταρχική ανησυχία, καθώς τα ρομπότ που περιέχουν επικίνδυνα υλικά, όπως βαρέα μέταλλα και τοξικές χημικές ουσίες, μπορούν να συμβάλουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος, θέτοντας κινδύνους για την ποιότητα του εδάφους, του νερού και του αέρα.

Επιπλέον, όπως ανέφεραν οι (Ramachandran and Vajrayee 1977) η ίδια η διαδικασία ανακύκλωσης δημιουργεί κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων, οι οποίοι ενδέχεται να εκτεθούν σε αυτές τις επικίνδυνες ουσίες μέσω της εισπνοής, της επαφής με το δέρμα ή της κατάποσης, με δυνητικές βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς καθίσταται υψίστης σημασίας. Ο αποτελεσματικός χειρισμός και η επεξεργασία των επικίνδυνων ουσιών στα βιομηχανικά ρομπότ είναι επιτακτική ανάγκη τόσο για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα όσο και για την προστασία της ανθρώπινης υγείας κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης.

- (i) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- (ii) Κίνδυνοι υγείας
- (iii) Νομοθετική συμμόρφωση

## Κεφάλαιο 8 : Παράδειγμα Υπολογισμού του Ενεργειακού Αποτυπώματος στον Κύκλο Ζωής (ΚΖ) τύπου διπλού βραχίονα

### 8.1 Στόχος

Τον παρόν κεφάλαιο αποσκοπεί στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός βιομηχανικού ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα που έχει σχεδιαστεί για τον χειρισμό και την κατασκευή LCD πάνελ. Η εν λόγω αξιολόγηση θα καλύψει τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές επιπτώσεις σε όλες τις φάσεις της προ-κατασκευής, της κατασκευής, της χρήσης και του τέλους του κύκλου ζωής των ρομποτικών εργαλείων που προορίζονται για το χειρισμό πάνελ LCD.

Ένα τυπικό ρομποτικό σύστημα που χρησιμοποιείται για τη φόρτωση και εκφόρτωση υαλοπινάκων αποτελείται γενικά από μια βάση, δύο βραχίονες, δύο καρπούς και ακραίους επενεργητές.

Για να περιγραφούν αναλυτικά οι απαιτήσεις σε υλικά και ενέργεια που σχετίζονται με κάθε επιλογή ρομποτικού εργαλείου, το παρόν κεφάλαιο χρησιμοποιεί τιμές αναφοράς ή υπολογισμένα δεδομένα για την ανάλυση.

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής για τους ρομποτικούς βραχίονες , όπως αναφέρουν και οι (Bartlett 2021), ορίζεται σε δέκα έτη, όπως και αντιστοιχεί και για με τη μέση διάρκεια ζωής των βιομηχανικών ρομπότ.

Τέλος , εντοπίζεται το στάδιο με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των ρομποτικών εργαλείων.

### 8.2 Περιγραφή

#### 8.2.1 Υλικά

Η ανάλυση των υλικών ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι σημαντική για την αξιολόγηση της ενεργειακής του κατανάλωσης για διάφορους λόγους:

- Η επιλογή των υλικών επηρεάζει άμεσα το βάρος του ρομπότ. Τα βαρύτερα υλικά απαιτούν περισσότερη ενέργεια για την κίνηση, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση λόγω της αυξημένης αδράνειας. Τα ελαφριά υλικά μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση ενέργειας ελαχιστοποιώντας τις δυνάμεις που απαιτούνται για την κίνηση.



- Ανθεκτικότητα και συντήρηση: Η μακροζωία και οι απαιτήσεις συντήρησης ενός ρομπότ επηρεάζονται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η ανάλυση των υλικών μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση των χαρακτηριστικών φθοράς, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια ζωής του ρομπότ.
- Κατασκευή και περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός ρομπότ έχουν επιπτώσεις στη διαδικασία κατασκευής και στις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η επιλογή υλικών με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα μπορεί να ευθυγραμμιστεί με τους στόχους βιωσιμότητας και μπορεί επίσης να συμβάλει στην ενεργειακή απόδοση κατά τη φάση της παραγωγής.
- Κανονιστική συμμόρφωση: Ανάλογα με τον κλάδο και την περιοχή, ενδέχεται να υπάρχουν κανονισμοί ή πρότυπα σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή. Η συμμόρφωση με τα εν λόγω πρότυπα είναι απαραίτητη για νομικούς και κανονιστικούς λόγους και μπορεί επίσης να συμβάλει σε ενεργειακά αποδοτικές πρακτικές.

Τα υλικά για ένα τυπικό ρομποτικό βραχίονα για παρόμοιες διεργασίες, τα αναλύουν οι (Wyatt et al. 2017). Στον πίνακα 8.1 περιγράφονται τα υλικά των πέντε βασικών εξαρτημάτων ενός ρομπότ.

Εξάρτημα	Βάρος	Υλικά
Ρομποτικός Βραχίονας No1 (wrist)	<u>7,32 kg</u>	(60 %) carbon-fiber
		(10%) εποξειδικό
		(15%) Πυρήνας από αφρό πολυουρεθάνης
		(5%) Γυάλινη επιφάνεια
		(5%) Νάιλον
		(5%) Αλουμίνιο
Ρομποτικός Βραχίονας No2 (wrist)	<u>3,43 kg</u>	Πυρήνας από αφρό πολυουρεθάνης
		Γυάλινη επιφάνεια
		Νάιλον
		Αλουμίνιο
		carbon-fiber
		Εποξειδικό

Πίνακας 16 Κατανομή υλικών

Χέρια	<u>12 kg</u>	(70%) Carbon fiber
		(30%) εποξειδικό
Βάση	<u>70 kg</u>	Χυτοσίδηρος
Παλάμη	<u>1,36 kg</u>	(60 %) carbon-fiber
		(10%) εποξειδικό
		(15%) Πυρήνας από αφρό πολυουρεθάνης
		(5%) Γυάλινη επιφάνεια
		(5%) Νάιλον
		(5%) Αλουμίνιο

Στον πίνακα 8.2 παρουσιάζεται η κατανομή των υλικών του ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα από αλουμίνιο.

<b>Εξάρτημα</b>	<b>Βάρος</b>	<b>Υλικά</b>
<i>Ρομποτικός Βραχίονας No1 (wrist)</i>	<i>12,1 kg</i>	<i>Αλουμίνιο</i>
<i>Ρομποτικός Βραχίονας No2 (wrist)</i>	<i>5,7 kg</i>	<i>Αλουμίνιο</i>
<i>Χέρια</i>	<i>19,95 kg</i>	<i>Αλουμίνιο</i>
<i>Βάση</i>	<i>100 kg</i>	<i>Χυτοσίδηρος</i>
<i>Παλάμη</i>	<i>2,3 kg</i>	<i>Αλουμίνιο</i>

*Πίνακας 17 Κατανομή Υλικών Ρομποτικού Βραχίονα από Αλουμίνιο*

Στον πίνακα 8.3 παρουσιάζεται η κατανομή των υλικών ενός ρομπότ του οποίου τα κύρια εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα.

Οι (Larsen 2010) αναφέρουν ότι μια δομή από αλουμίνιο θα ζυγίζει το 47% της αντίστοιχης δομής από χάλυβα, οπότε έχοντας αυτό υπόψιν το βάρος της δομής από χάλυβα προσαρμόστηκε σε περίπου 2,1 φορές εκείνο της έννοιας του ρομποτικού βραχίονα από αλουμίνιο. Επιπλέον, λόγω του αυξημένου βάρους των εξαρτημάτων του ρομπότ, το βάρος της χυτοσίδηρης βάσης αυξήθηκε για τα μεταλλικά ρομπότ.

<b>Εξάρτημα</b>	<b>Βάρος</b>	<b>Υλικά</b>
<i>Ρομποτικός Βραχίονας No1 (wrist)</i>	<i>25,2 kg</i>	<i>Ανοξείδωτος χάλυβας</i>
<i>Ρομποτικός Βραχίονας No2 (wrist)</i>	<i>11,8 kg</i>	<i>Ανοξείδωτος χάλυβας</i>
<i>Χέρια</i>	<i>41,56 kg</i>	<i>Ανοξείδωτος χάλυβας</i>
<i>Βάση</i>	<i>200 kg</i>	<i>Χυτοσίδηρος</i>
<i>Παλάμη</i>	<i>4,82 kg</i>	<i>Ανοξείδωτος χάλυβας</i>

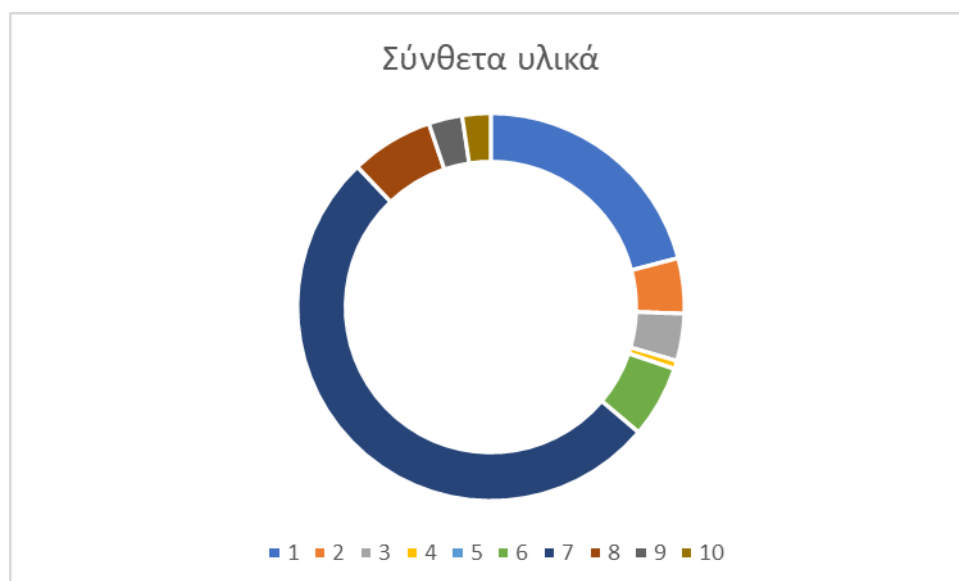
*Πίνακας 18 Κατανομή Υλικών Ρομποτικού Βραχίονα από Ανοξείδωτο Χάλυβα*

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Sustainable Minds για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν τα ρομποτικά εργαλεία.

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι συνολικές επιπτώσεις των ρομποτικών εργαλείων που κατασκευάζονται από τρία διαφορετικά υλικά: σύνθετα υλικά, αλουμίνιο και χάλυβα. Οι επιπτώσεις αυτές κατηγοριοποιούνται σε οικολογικές ζημιές, εξάντληση πόρων και ζημιές στην ανθρώπινη υγεία.

Κατηγορία	%
<b>Οικολογική ζημιά</b>	
Global Warming	20,93
Οικοτοξικότητα	4,62
Οξίνιση	3,94
Ευτροφισμός	0,68
Μείωση όζοντος	0,02
<b>Εξάντληση πορων</b>	
Εξάντληση ορυκτών πορων	6,01
<b>Ανθρώπινη υγεία</b>	
Καρκινογένεση	51,69
Μη-καρκινογόνα	6,93
Αναπνευστικά	2,81
Αιθαλομίχλη	2,38

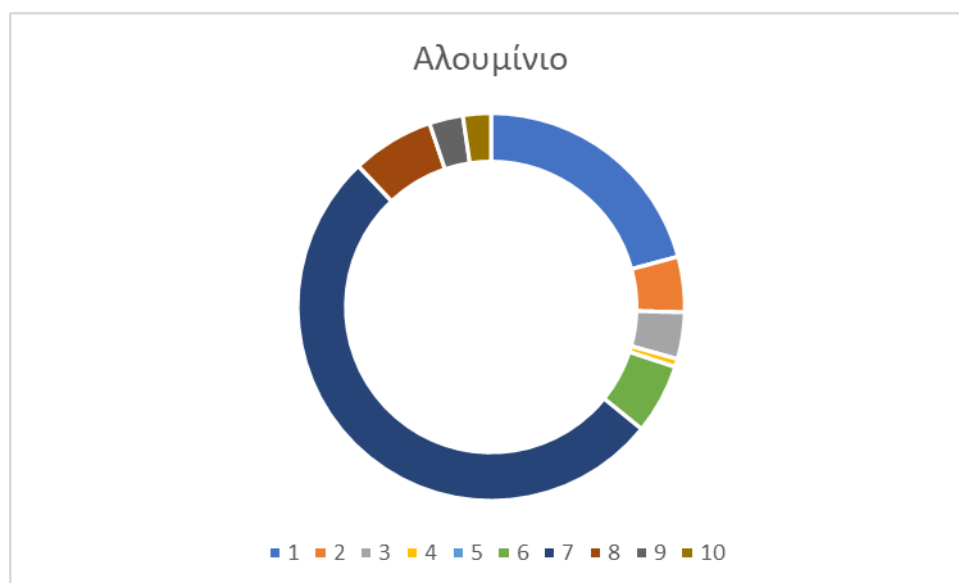
Πίνακας 19 Επιπτώσεις ανά κατηγορία ( Σύνθετα υλικά)



Διάγραμμα 18 Σύνθετα υλικά

	Κατηγορία	%
	<b>Οικολογική ζημιά</b>	
1	Global Warming	20,81
2	Οικοτοξικότητα	4,64
3	Οξίνιση	3,89
4	Ευτροφισμός	0,67
5	Μείωση όζοντος	0,01
	<b>Εξάντληση πορων</b>	
6	Εξάντληση ορυκτών πορων	5,83
	<b>Ανθρώπινη υγεία</b>	
7	Καρκινογένεση	52,11
8	Μη-καρκινογόνα	6,87
9	Αναπνευστικά	2,81
10	Αιθαλομίχλη	2,35

Πίνακας 20 Επιπτώσεις ανά κατηγορία (Αλουμίνιο)



Διάγραμμα 19 Αλουμίνιο

	Κατηγορία	%
<b>Οικολογική ζημιά</b>		
1	Global Warming	19,25
2	Οικοτοξικότητα	4,58
3	Οξίνιση	3,61
4	Ευτροφισμός	0,62
5	Μείωση όζοντος	0,01
<b>Εξάντληση πορων</b>		
6	Εξάντληση ορυκτών πορων	5,37
<b>Ανθρώπινη υγεία</b>		
7	Καρκινογένεση	54,98
8	Μη-καρκινογόνα	6,76
9	Αναπνευστικά	2,64
10	Αιθαλομίχλη	2,18

Πίνακας 21 Επιπτώσεις ανά κατηγορία (Ανοξειδωτος χάλυβας)



Διάγραμμα 20 Ανοξειδωτος χάλυβας

Και στα τρία υλικά, η βλάβη της ανθρώπινης υγείας, ιδίως στην υποκατηγορία των καρκινογόνων ουσιών, αποτελεί τη σημαντικότερη επίπτωση, συμβάλλοντας σε ποσοστό άνω του 50% των συνολικών επιπτώσεων για κάθε υλικό

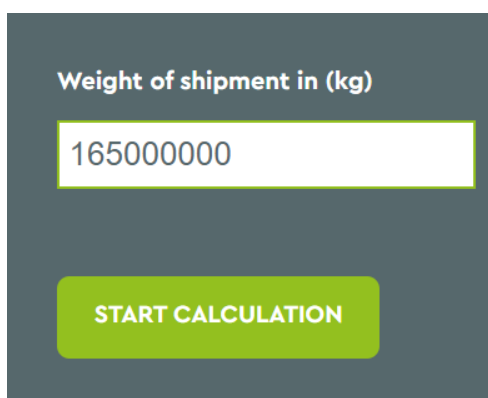


Οι συνολικές εκπομπές που προκύπτουν από το ταξίδι ενός φορτηγού πλοίου που ταξιδεύει από το λιμάνι Kaohsiung στο λιμάνι Yeosu περιλαμβάνουν μια συνολική περιβαλλοντική επίπτωση.

Η κλίμακα των εκπομπών επηρεάζεται από παράγοντες όπως η απόδοση της μηχανής του πλοίου, η ποιότητα του καυσίμου και οι πρακτικές λειτουργίας. Η ποσοτικοποίηση και η κατανόηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αυτού του θαλάσσιου ταξιδιού είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση των οικολογικών συνεπειών που συνδέονται με τη διεθνή ναυτιλία και μπορεί να χρησιμεύσει ως βάση για την εφαρμογή στρατηγικών για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θαλάσσιων μεταφορών.

Με την αξιοποίηση του CarbonCare είναι δυνατό να γίνει ένας σχετικός υπολογισμός των εκπομπών.

Αρχικά, είναι σημαντικό να αναφερθεί το βάρος του πλοίου, το οποίο πραγματοποίησε αυτό το ταξίδι. Καθώς αυτό δεν αναφέρετε, για τον υπολογισμό, θα χρησιμοποιηθεί το τυπικό βάρος ενός φορτωμένου cargo ship. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, αυτό θεωρείται ότι ζυγίζει γύρω στους 165.000 τόνους που ισούται με 165.000.000 κιλά.



The image shows a dark grey rectangular interface for a calculation tool. At the top, the text "Weight of shipment in (kg)" is displayed in white. Below this, there is a white input field with a thin green border containing the number "165000000". At the bottom of the interface, there is a prominent green button with the text "START CALCULATION" in white capital letters.

Εικόνα 24 CarbonCare (1)

Στην συνέχεια, γίνεται επιλογή του τρόπου μεταφοράς του φορτίου και ορίζεται και η απόσταση που θα διανύσει το πλοίο από τον χρήστη.



Select a means of transport:

Road, Truck
  Air, Aircraft
  Sea, Ship
  Inland Waterways, River Ship
  Rail, Train
  Ferry

Selecting the starting and end point of the route:

from: Kaohsiung Port Warehouse NO.2, 蓬萊路17號, Kaohsiung, Kaohsiung 804, Taiwan
 →
 to: 국동항, Yeosu, Jeollanam-do, South Korea

Type: Container Vessel 110-135m

Εικόνα 25 CarbonCare (2)

Τέλος , η εφαρμογή κάνει τον υπολογισμό των εκπομπών σύμφωνα με τα στοιχεία που του έδωσε ο χρήστης.

These calculation results have been prepared in accordance with ISO 14083:2023.

Emission values	Transport distance	Compensating
CO <sub>2</sub> e 3743961.25 kgPS	1657 km	Would you like to offset CO <sub>2</sub> emissions via myclimate?
CO <sub>2</sub> 708072.70 kgNE		
CO <sub>2</sub> e 4452033.95 kgOT		

[COMPENSATE](#)

[The differences between EN16268 and ISO 14083](#)

© Mapbox © OpenStreetMap Improve this map

Εικόνα 26 CarbonCare(3)

<b>TOT</b>	<b>Συνολικές εκπομπές</b>
<b>OPS</b>	<b>Λειτουργικές εκπομπές</b>
<b>ENE</b>	<b>Παροχής ενέργειας</b>

Τέλος , υπολογίζονται ξεχωριστά οι λειτουργικές εκπομπές και οι εκπομπές από την παροχή ενέργειας.

Όπως φαίνεται οι λειτουργικές εκπομπές υπολογίζονται 3743,96 τόνους CO<sub>2</sub>.

Οι εκπομπές από την παροχή ενέργειας υπολογίζονται 707,07 τόνους CO<sub>2</sub>.

Και οι συνολικές εκπομπές που πραγματοποιούνται από αυτό το ταξίδι υπολογίζονται στα 4452 τόνους CO<sub>2</sub>.

Η CarbonCare πραγματοποιεί τους υπολογισμούς της σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14073:2023. Με την επικύρωση αυτή, το CarbonCare επικυρώνεται επίσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του GLEC (Global Logistics Emission Council).

Η εφαρμογή του CarbonCare δίνει την δυνατότητα στους χρήστες της για την παρακολούθηση αποτυπώματος άνθρακα, δίνει συμβουλές και προτάσεις σχετικά με βιώσιμες πρακτικές, παρέχει εκπαιδευτικό περιεχόμενο για την κλιματική αλλαγή και επιλογές για προγράμματα αντιστάθμισης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

<b>Περιγραφή</b>	<b>Μέσο Μεταφοράς</b>	<b>Απόσταση (km)</b>
<i>Από τον κατασκευαστή των ρομποτικών βραχιόνων Λιμάνι Kaohsiung, Ταϊβάν</i>	<i>Φορτηγό</i>	<i>7</i>
<i>Λιμάνι Kaohsiung, Ταϊβάν προς λιμάνι Yeosu, Νότια Κορέα</i>	<i>Φορτηγό πλοίο (cargo ship)</i>	<i>1591</i>
<i>Λιμάνι Yeosu προς Samsung Tangjeong</i>	<i>Φορτηγό</i>	<i>240</i>

Πίνακας 22 Αποστάσεις

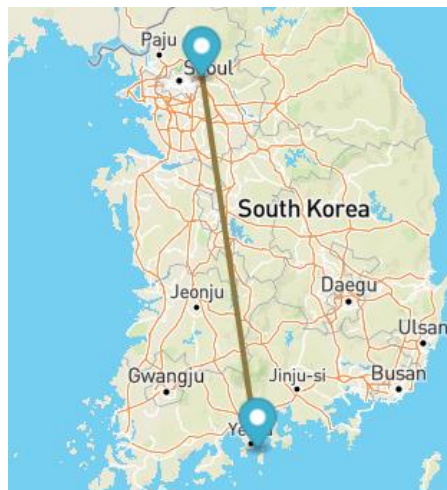


Εικόνα 27 Απόσταση Λιμάνι Yeosu – Samsung Tangjeong

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι εκπομπές για την τελευταία μεταφορά των ρομποτικών συστημάτων . Σε αυτή την περίπτωση η μεταφορά πραγματοποιείται με φορτηγό συνολικού βάρους 27 τόνων , από το λιμάνι Yeosu και φτάνει στο βιομηχανικό συγκρότημα Samsung Tangjeong.

Emission values		
CO <sub>2</sub> e	639.77 kg	OPS
CO <sub>2</sub>	114.57 kg	ENE
CO <sub>2</sub> e	754.34 kg	TOT

Εικόνα 28 CarbonCare(4)



Όπως φαίνεται οι λειτουργικές εκπομπές υπολογίζονται 0,64 τόνους CO<sub>2</sub>.

Οι εκπομπές από την παροχή ενέργειας υπολογίζονται 0,12 τόνους CO<sub>2</sub>.

Και οι συνολικές εκπομπές που πραγματοποιούνται από αυτό το ταξίδι υπολογίζονται στα 0,75 τόνους CO<sub>2</sub>.

### 8.3 Κατανάλωση Ενέργειας

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας για το ρομποτικό σύστημα που χειρίζεται πίνακες LCD καθορίζεται από την ονομαστική ισχύ των κινητήρων κίνησης τόσο στους βραχίονες όσο και στους καρπούς.

Οι θεωρούμενες ώρες λειτουργίας για τη διάρκεια ζωής βασίζονται σε είκοσι ώρες καθημερινής λειτουργίας για μια περίοδο οκτώ ετών.

Η ανάλυση περιλαμβάνει μόνο τα μηχανικά εξαρτήματα του ρομπότ, ενώ θα εξαιρεθούν τα ηλεκτρικά εξαρτήματα (καλωδίωση, αισθητήρες) λόγω των σχετικά μικρών μεγεθών και των ομοιοτήτων τους.

Εξάρτημα	Υλικό	Ονομαστική Ισχύς (W)	Ώρες Λειτουργίας (hours)	Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (kWh)
Μοτέρ βραχίονα	Σύνθετο	466,3	58.400	27231,92
Μοτέρ βραχίονα	Αλουμίνιο	606,3	58.401	35408,53
Μοτέρ βραχίονα	Ανοξείδωτος χάλυβας	1262,9	58.402	73755,89
Μοτέρ καρπού	Σύνθετο	31,9	58.403	1863,06
Μοτέρ καρπού	Αλουμίνιο	41,5	58.404	2423,77
Μοτέρ καρπού	Ανοξείδωτος χάλυβας	85,8	58.405	5011,15

Πίνακας 23 Κατανάλωση ενέργειας των ρομπότ

Η ανακύκλωση σύνθετων υλικών αποτελεί πρόκληση λόγω της δυσκολίας οικονομικού διαχωρισμού τους σε επιμέρους κατηγορίες.

Στην έρευνα τους οι (Wyatt et al. 2017) θεώρησαν ότι τα σύνθετα υλικά θα απορριφθούν σε χαμητέρες μετά την απόσυρση του ρομπότ ενώ η βάση του ρομποτικού βραχίονα, κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο, θα ανακυκλωθεί.

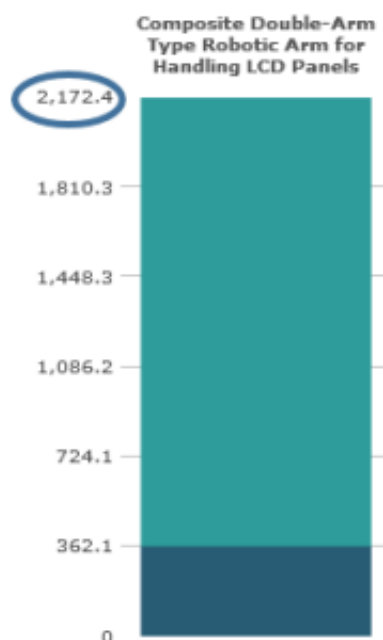
Έτσι, η αντικατάσταση των σύνθετων υλικών (βραχίονες, καρποί και ακραίοι επενεργητές) είτε με αλουμίνιο είτε με χάλυβα, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια πιο βιώσιμη κατασκευή.

### 8.3.1 Επιπτώσεις ανά στάδιο

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τους ρομποτικούς βραχίονες σε διάφορα στάδια ζωής. Ανεξάρτητα από το υλικό, τα ρομποτικά εργαλεία παρουσιάζουν σταθερά ένα παρόμοιο πρότυπο, με το στάδιο χρήσης να αποδίδει τις υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

<b>Σύνθετο</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	mPts/func unit
Χρήση	$1,81 \cdot 10^3$
Κατασκευή	362
Μεταφορά	0,473
Τέλος ζωής	0,0302
<b>Συνολικά = <math>2,2 \cdot 10^3</math></b>	

Πίνακας 24 Επιπτώσεις σύνθετου υλικού ανά στάδιο ζωής

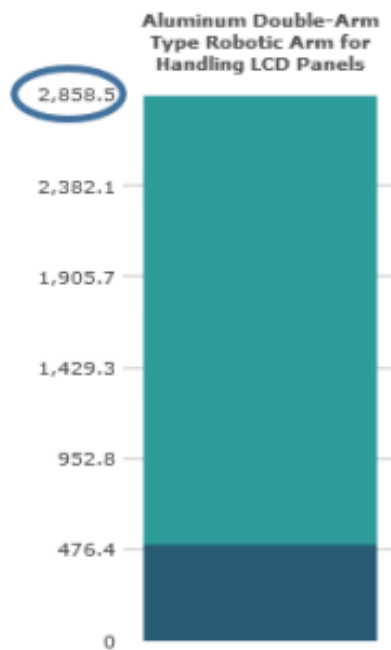


Διάγραμμα 21 Επιπτώσεις σύνθετου υλικού ανά στάδιο ζωής

(Wyatt et al. 2017)

<b>Αλουμίνιο</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	mPts/func unit
Χρήση	$2,35 \cdot 10^3$
Κατασκευή	506
Μεταφορά	0,426
Τέλος ζωής	0
<b>Συνολικά = <math>2,35 \cdot 10^3</math></b>	

Πίνακας 25 Επιπτώσεις αλουμινίου ανά στάδιο ζωής

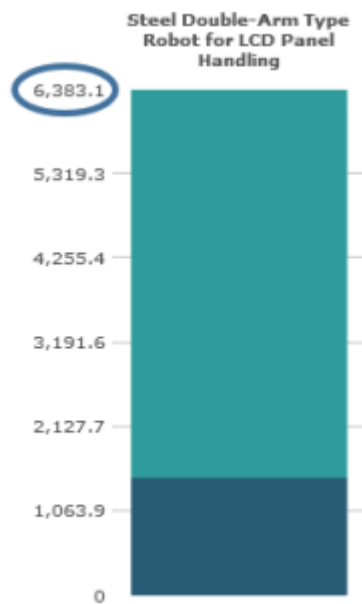


Διάγραμμα 22 Επιπτώσεις αλουμινίου ανά στάδιο ζωής

(Wyatt et al. 2017)

<b>Ανοξείδωτος Χάλυβας</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	mPts/func unit
Χρήση	$4,9 \cdot 10^3$
Κατασκευή	$1,48 \cdot 10^3$
Μεταφορά	1,41
Τέλος ζωής	0
<b>Συνολικά = <math>4,9 \cdot 10^3</math></b>	

Πίνακας 26 Επιπτώσεις ανοξείδωτου χάλυβα ανά στάδιο ζωής



Διάγραμμα 23 Επιπτώσεις ανοξείδωτου χάλυβα ανά στάδιο ζωής

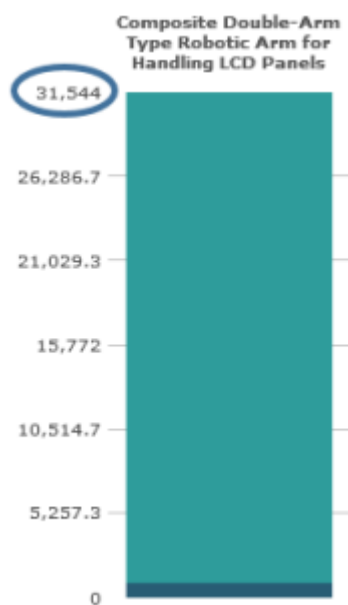
(Wyatt et al. 2017)



### 8.3.2 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα

<b>Σύνθετο</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	CO2 kg/func unit
Χρήση	3,06*10 <sup>4</sup>
Κατασκευή	917
Μεταφορά	6,58
Τέλος ζωής	0,739
<b>Συνολικά = 3,2*10<sup>4</sup></b>	

Πίνακας 27 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Σύνθετο υλικό)

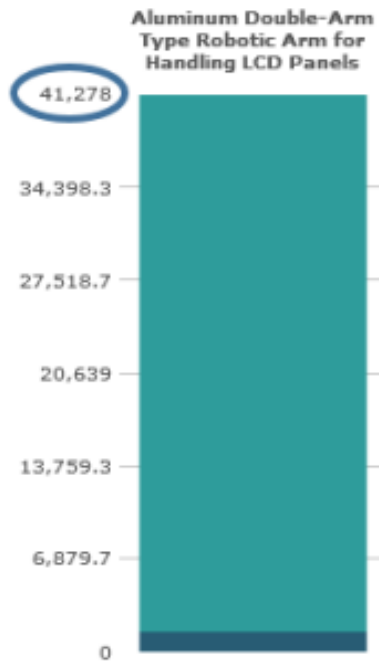


Διάγραμμα 24 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Σύνθετο υλικό)

(Wyatt et al. 2017)

<b>Αλουμίνιο</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	CO2 kg/func unit
Χρήση	3,98*10 <sup>4</sup>
Κατασκευή	1,47*10 <sup>3</sup>
Μεταφορά	5,93
Τέλος ζωής	0
<b>Συνολικά = 4,1*10<sup>4</sup></b>	

Πίνακας 28 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Αλουμίνιο)



Διάγραμμα 25 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Αλουμίνιο)

(Wyatt et al. 2017)

<b>Ανοξείδωτος Χάλυβας</b>	
Στάδιο κύκλου ζωής	CO2 kg/func unit
Χρήση	8,29*10 <sup>4</sup>
Κατασκευή	2,33*10 <sup>3</sup>
Μεταφορά	19,7
Τέλος ζωής	0
<b>Συνολικά = 8,5*10<sup>4</sup></b>	

Πίνακας 29 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Ανοξείδωτος χάλυβας)



Διάγραμμα 26 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Ανοξείδωτος χάλυβας)

(Wyatt et al. 2017)

Οι περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ήταν κατά το στάδιο της χρήσης, ανεξαρτήτως του υλικού.

### 8.3.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των ρομποτικών βραχιόνων , τα οκτώ έτη, προσδιορίστηκε η υπολογιζόμενη ποσότητα ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ζωής των ρομποτικών εργαλείων τύπου διπλού βραχίονα.

Πιο συγκεκριμένα , οι εκπομπές υπολογίστηκαν σε 32.000 kg όταν επιλέχθηκε σύνθετο υλικό για τους βραχίονες, τους καρπούς και τους τελικούς επενεργητές, 41.000 kg όταν αντικαταστάθηκαν με αλουμίνιο και 75.000 kg όταν αντικαταστάθηκαν με χάλυβα.

Το ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα από αλουμίνιο έδειξε έτσι μια μείωση 32% στην περιβαλλοντική απόδοση σε σύγκριση με το σύνθετο υλικό, ενώ η έννοια του χάλυβα παρουσίασε μια μείωση 190% από το σύνθετο υλικό

- Και για τους τρεις τύπους ρομπότ, πάνω από το 50% των συνολικών επιπτώσεων αποδόθηκε στην κατηγορία των καρκινογόνων. Για τον μετριασμό των καρκινογόνων επιδράσεων ενός προϊόντος, συνιστάται μια στρατηγική σχεδιασμού που περιλαμβάνει τη διερεύνηση των χημικών συστατικών των υλικών. Η μελέτη των (Wyatt et al. 2017) δείχνει ότι τα σύνθετα υλικά παράγουν λιγότερες καρκινογόνες ουσίες σε σύγκριση με τα μεταλλικά υλικά.
- Το 20% των επιπτώσεων αποτελείται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι στρατηγικές μετριασμού του σχεδιασμού για την άμβλυνση των επιπτώσεων αυτών περιλαμβάνει την μετάβαση σε πηγές ενέργειας χωρίς άνθρακα (όπως η ηλιακή, η αιολική και η πυρηνική ηλεκτρική ενέργεια) , την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και την μείωση της συνολικής κατανάλωσης , όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια.

Μέσω των παραπάνω , είναι φανερό πως το στάδιο χρήσης αποτελεί το κυριότερο στάδιο περί των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αντιπροσωπεύοντας το 95,625% των συνολικών εκπομπών ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για το σύνθετο ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα, το 97,073% για την ιδέα του αλουμινίου και το 97,529% για την ιδέα του χάλυβα. Οι (Vysocký et al. 2020) υπογραμμίζουν ότι είναι καίρια η επιλογή υλικών , κάτι το οποίο ίσως να μην ήταν προφανές αν δεν το υποστήριζε η αντίστοιχη βιβλιογραφία.

Το στάδιο του τέλους του κύκλου ζωής του σύνθετου ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα συμβάλλει με 0,739 CO<sub>2</sub> eq. kg/μονάδα λειτουργίας , ποσό το οποίο δεν συγκρίνεται με τα 0 CO<sub>2</sub> kg/μονάδα λειτουργίας των άλλων δύο επιλογών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή εξέτασε και ανέλυσε το ενεργειακό αποτύπωμα κατά μήκος του κύκλου ζωής ενός τυπικού βιομηχανικού ρομπότ, εξετάζοντας βασικές φάσεις που συμβάλλουν σημαντικά στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. Η διερεύνηση αυτών των φάσεων, που περιλαμβάνει την κατασκευή, τη χρήση, τη βελτιστοποίηση και τις εκτιμήσεις για το τέλος του κύκλου ζωής, παρείχε πολύτιμες πληροφορίες για τις προκλήσεις βιωσιμότητας που σχετίζονται με τη βιομηχανική ρομποτική.

Η έρευνα φώτισε τον κρίσιμο ρόλο της επιλογής υλικών, των διαδικασιών κατασκευής και των πηγών ενέργειας στη διαμόρφωση του περιβαλλοντικού προφίλ των ρομπότ.

Πιο συγκεκριμένα, η διερεύνηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη φάση κατασκευής των βιομηχανικών ρομπότ παρείχε μια διαφοροποιημένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με την παραγωγή αυτών των εξελιγμένων μηχανών. Κατά τη διάρκεια αυτής της διατριβής, έγινε εμβάθυνση στις πτυχές της εξόρυξης πόρων, της επεξεργασίας υλικών, της συναρμολόγησης και της μεταφοράς, αναγνωρίζοντας την πολύπλευρη φύση της χρήσης ενέργειας στο πλαίσιο του κύκλου ζωής της κατασκευής. Είναι προφανές ότι οι επιλογές που γίνονται κατά τις διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του συνολικού οικολογικού αποτυπώματος αυτών.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της βελτιστοποίησης της χρήσης ενέργειας, παρουσιάζοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των τεχνικών και τεχνολογιών που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση του ενεργειακού αποτυπώματος κατά τη φάση χρήσης. Μέσω μιας λεπτομερούς διερεύνησης των ενεργειακά αποδοτικών αλγορίθμων, των προσαρμοστικών συστημάτων ελέγχου και άλλων στρατηγικών βελτιστοποίησης, η ενότητα αυτή υπογράμμισε τη σημασία των συνεχιζόμενων προσπαθειών έρευνας και ανάπτυξης για την προώθηση πιο πράσινων ρομποτικών εφαρμογών.

Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την κρίσιμη σημασία της κατανόησης και της διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη φάση της χρήσης, καθώς αποτελεί σημαντικό μέρος του συνολικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου του κύκλου ζωής των βιομηχανικών ρομπότ. Η αποτελεσματικότητα αυτών των μηχανών κατά την εκτέλεση εργασιών επηρεάζει άμεσα τη ζήτηση ενέργειας, το λειτουργικό κόστος και, τελικά, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Καθώς οι

βιομηχανίες βασίζονται όλο και περισσότερο στην αυτοματοποίηση για την ενίσχυση της παραγωγικότητας, η αντιμετώπιση των ενεργειακών προκλήσεων κατά τη φάση χρήσης καθίσταται επιτακτική για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας.

Παράγοντες όπως η συντήρηση και η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης των βιομηχανικών ρομπότ αναφέρονται, καθώς και δίνονται ενεργειακά παραδείγματα διαφόρων ρομποτικών συστημάτων για την κατανόηση του αναγνώστη.

Επιπλέον, η έρευνα δίνει έμφαση στο ρόλο της συνεργασίας ανθρώπου-μηχανής στην επίτευξη ενεργειακά αποδοτικών λειτουργιών. Η ενσωμάτωση της ανθρώπινης τεχνογνωσίας με τις ρομποτικές δυνατότητες μπορεί να οδηγήσει σε πιο προσαρμοστικά και ευέλικτα συστήματα, βελτιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας με βάση τις ανάγκες σε πραγματικό χρόνο.

Προς τα τελευταία κεφάλαια της διπλωματικής εξετάστηκαν οι εκτιμήσεις για το τέλος του κύκλου ζωής των βιομηχανικών ρομπότ, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για υπεύθυνες πρακτικές διάθεσης και ανακύκλωσης για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα. Οι βιώσιμες πρακτικές για τον παροπλισμό και την ανακύκλωση των ρομπότ είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση του οικολογικού αποτυπώματος και τη συμβολή στην κυκλική οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρθηκαν οι κατάλληλοι τρόποι διαχείρισης ενός βιομηχανικού ρομπότ στο τέλος της ζωής του, όπως την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση. Με βάση την βιβλιογραφία, για τις βιομηχανίες, η επαναχρησιμοποίηση αποτελεί την οικονομικότερη επιλογή, μιας και οι τεχνολογίες ανακύκλωσης αποφέρουν υψηλά έξοδα και βιώνουν ακόμα και σήμερα διάφορες δυσκολίες.

Τέλος, πραγματοποιείται μια πλήρης ενεργειακή ανάλυση, μέσω της βιβλιογραφίας, του κύκλου ζωής ενός βιομηχανικού ρομπότ τύπου διπλού βραχίονα που χειρίζεται την κατασκευή LCD πάνελ.

## 9.1 Μελλοντική δουλεία

Ενώ η παρούσα διατριβή παρείχε μια ολοκληρωμένη ανάλυση του ενεργειακού αποτυπώματος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός τυπικού βιομηχανικού ρομπότ, παραμένουν αρκετοί δρόμοι για μελλοντική έρευνα και διερεύνηση.

Πρώτα απ' όλα, η διερεύνηση της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών κατασκευής, όπως η προσθετική κατασκευή και τα βιώσιμα υλικά, παρουσιάζει μια ευκαιρία για σημαντική μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος κατά τη φάση της κατασκευής. Τα συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και προσαρμοστικού ελέγχου, ικανά να βελτιστοποιούν δυναμικά τη χρήση ενέργειας με βάση τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις απαιτήσεις της εργασίας, αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη οδό για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ρομπότ κατά τη διάρκεια της λειτουργικής τους ζωής. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να βελτιωθούν και να επεκταθούν οι μεθοδολογίες αξιολόγησης του κύκλου ζωής, ενσωματώνοντας πρόσθετους δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων για μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση.

Τέλος, η ενθάρρυνση της διεπιστημονικής συνεργασίας μεταξύ μηχανικών ρομποτικής, περιβαλλοντολόγων, οικονομολόγων και υπεύθυνων χάραξης πολιτικής θα προωθήσει ολιστικές λύσεις που θα αντιμετωπίζουν τις πολύπλευρες προκλήσεις που σχετίζονται με το ενεργειακό αποτύπωμα των βιομηχανικών ρομπότ. Η επιδίωξη αυτών των κατευθύνσεων θα συμβάλει στη συνεχή αναζήτηση βιώσιμων και ενεργειακά αποδοτικών ρομποτικών συστημάτων, ευθυγραμμιζόμενων με τους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής διαχείρισης.

## BIBΛIOΓPAΦIA

- “4.K. FURTHER READING | GlobalSpec.” 2024. January 8, 2024.  
<https://www.globalspec.com/reference/69914/203279/4-k-further-reading>.
- Abdi, Hamid, Anthony Maciejewski, and Saeid Nahavandi. 2013. “Reliability Maps and Probabilistic Guarantee of Task Motion for Robotic Manipulators.” *Advanced Robotics* 27 (February): 81–92.  
<https://doi.org/10.1080/01691864.2012.703302>.
- Ackerman, Evan. 2015. “Robots With Smooth Moves Are Up to 40% More Efficient - IEEE Spectrum.” 2015. <https://spectrum.ieee.org/robots-with-smooth-moves-are-more-efficient>.
- Ahmad, Tanveer, Dongdong Zhang, Chao Huang, Hongcai Zhang, Ningyi Dai, Yonghua Song, and Huanxin Chen. 2021. “Artificial Intelligence in Sustainable Energy Industry: Status Quo, Challenges and Opportunities.” *Journal of Cleaner Production* 289 (March): 125834. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125834>.
- Aivaliotis, P., Z. Arkouli, K. Georgoulas, and S. Makris. 2021. “Degradation Curves Integration in Physics-Based Models: Towards the Predictive Maintenance of Industrial Robots.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 71 (October): 102177. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102177>.
- “Applied Sciences | Free Full-Text | Minimization of the Energy Consumption in Industrial Robots through Regenerative Drives and Optimally Designed Compliant Elements.” n.d. Accessed February 12, 2024. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/21/7475>.
- Autor, David H., and David Dorn. 2013. “The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market.” *American Economic Review* 103 (5): 1553–97. <https://doi.org/10.1257/aer.103.5.1553>.
- Babishin, V., Y. Hajipour, and S. Taghipour. 2018. “Optimisation of Non-Periodic Inspection and Maintenance for Multicomponent Systems.” *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 20 (2): 327–42.  
<https://doi.org/10.17531/ein.2018.2.20>.
- Bader, Farah, and Shahin Rahimifard. 2020. “A Methodology for the Selection of Industrial Robots in Food Handling.” *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 64 (August): 102379.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102379>.
- Bai, Bin, Ze Li, Jun-yi Zhang, De-quan Zhang, and Cheng-wei Fei. 2021. “Research on Multiple-State Industrial Robot System with Epistemic Uncertainty Reliability Allocation Method.” *Quality and Reliability Engineering International* 37 (2): 632–47. <https://doi.org/10.1002/qre.2753>.
- Barenji, Ali Vatankhah. 2013. “An RFID - Based Distributed Control System for Flexible Manufacturing System.” Thesis, Eastern Mediterranean University (EMU) - Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ). <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11129/1360>.
- Bennett Brumson. 2017. “Chemical and Hazardous Material Handling Robotics.” Automate. 2017. <https://www.automate.org/industry-insights/chemical-and-hazardous-material-handling-robotics>.
- Benotsmane, Rabab, and György Kovács. 2023a. “Optimization of Energy Consumption of Industrial Robots Using Classical PID and MPC Controllers.” *Energies* 16 (8): 3499. <https://doi.org/10.3390/en16083499>.
- . 2023b. “Optimization of Energy Consumption of Industrial Robots Using Classical PID and MPC Controllers.” *Energies* 16 (8): 3499.



- <https://doi.org/10.3390/en16083499>.
- Bhujabal, Padmaja, Narayan Sethi, and Purna Chandra Padhan. 2021. "ICT, Foreign Direct Investment and Environmental Pollution in Major Asia Pacific Countries." *Environmental Science and Pollution Research* 28 (31): 42649–69. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13619-w>.
- Björkenstam, Staffan, Daniel Gleeson, Robert Bohlin, Johan S. Carlson, and Bengt Lennartson. 2013. "Energy Efficient and Collision Free Motion of Industrial Robots Using Optimal Control." In *2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 510–15. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2013.6654025>.
- Boscariol, Paolo, Roberto Caracciolo, Dario Richiedei, and Alberto Trevisani. 2020. "Energy Optimization of Functionally Redundant Robots through Motion Design." *Applied Sciences* 10 (9): 3022. <https://doi.org/10.3390/app10093022>.
- Bracquené, Ellen, Jef Peeters, Joost Duflou, and Wim Dewulf. 2018. *Sustainability Assessment of Product Lifetime Extension through Increased Repair and Re-use*.
- Briot, Sébastien, and Alexandre Goldsztejn. 2018. "Topology Optimization of Industrial Robots: Application to a Five-Bar Mechanism." *Mechanism and Machine Theory* 120 (February): 30–56. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.09.011>.
- Brynjolfsson, Erik, and Andrew McAfee. 2014. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
- Bukata, Libor, Přemysl Šůcha, Zdeněk Hanzálek, and Pavel Burget. 2017. "Energy Optimization of Robotic Cells." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 13 (1): 92–102. <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2626472>.
- Cao, Huajun, Jin Zhou, Pei Jiang, Kwok Keung Bernard Hon, Hao Yi, and Chaoyang Dong. 2020. "An Integrated Processing Energy Modeling and Optimization of Automated Robotic Polishing System." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 65 (October): 101973. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101973>.
- Carabin, Giovanni, Ilaria Palomba, Erich Wehrle, and Renato Vidoni. 2020. "Energy Expenditure Minimization for a Delta-2 Robot Through a Mixed Approach." In , 383–90. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23132-3\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23132-3_46).
- Carabin, Giovanni, Erich Wehrle, and Renato Vidoni. 2017. "A Review on Energy-Saving Optimization Methods for Robotic and Automatic Systems." *Robotics* 6 (4): 39. <https://doi.org/10.3390/robotics6040039>.
- Chang, R. J., C. Y. Lin, and P. S. Lin. 2011. "Visual-Based Automation of Peg-in-Hole Microassembly Process." *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 133 (041015). <https://doi.org/10.1115/1.4004497>.
- Chemnitz, Moritz, Gerhard Schreck, and Jörg Krüger. 2011. "Analyzing Energy Consumption of Industrial Robots." In *ETFA2011*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2011.6059221>.
- Chontanawat, Jaruwat, Lester C. Hunt, and Richard Pierse. 2008. "Does Energy Consumption Cause Economic Growth?: Evidence from a Systematic Study of over 100 Countries." *Journal of Policy Modeling* 30 (2): 209–20. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.10.003>.
- Coronado, Enrique, Takuya Kiyokawa, Gustavo A. Garcia Ricardez, Ixchel G. Ramirez-Alpizar, Gentiane Venture, and Natsuki Yamanobe. 2022. "Evaluat-

- ing Quality in Human-Robot Interaction: A Systematic Search and Classification of Performance and Human-Centered Factors, Measures and Metrics towards an Industry 5.0.” *Journal of Manufacturing Systems* 63 (April): 392–410. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.04.007>.
- Dauth, Wolfgang, Sebastian Findeisen, Jens Suedekum, and Nicole Woessner. 2017. “German Robots - The Impact of Industrial Robots on Workers.” SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://papers.ssrn.com/abstract=3039031>.
- Dermitzakis, Konstantinos, Juan Pablo Carbajal, and James H. Marden. 2011. “Scaling Laws in Robotics.” *Procedia Computer Science*, Proceedings of the 2nd European Future Technologies Conference and Exhibition 2011 (FET 11), 7 (January): 250–52. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.09.038>.
- Dui, Hongyan, Huiting Xu, Luyu Zhang, and Jia Wang. 2023. “Cost-Based Preventive Maintenance of Industrial Robot System.” *Reliability Engineering & System Safety* 240 (December): 109595. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109595>.
- Dui, Hongyan, Hao Zhang, and Shaomin Wu. 2023. “Optimisation of Maintenance Policies for a Deteriorating Multi-Component System under External Shocks.” *Reliability Engineering & System Safety* 238 (October): 109415. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109415>.
- Ebel, K. -H. 1987. “The Impact of Industrial Robots on the World of Work.” *Robotics*, Special Issue: Industrial Robotics, 3 (1): 65–72. [https://doi.org/10.1016/0167-8493\(87\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0167-8493(87)90034-9).
- El khoury, Chadi. 2018. “Pragmatic Design Decisions in Integral Digital Fabrication,” May.
- Fazlollahtabar, Hamed, and Seyed Taghi Akhavan Niaki. 2017. “Integration of Fault Tree Analysis, Reliability Block Diagram and Hazard Decision Tree for Industrial Robot Reliability Evaluation.” *Industrial Robot: An International Journal* 44 (6): 754–64. <https://doi.org/10.1108/IR-06-2017-0103>.
- Field, G., and Y. Stepanenko. 1996. “Iterative Dynamic Programming: An Approach to Minimum Energy Trajectory Planning for Robotic Manipulators.” In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3:2755–60 vol.3. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1996.506579>.
- Foo, Gwendolyn, Sami Kara, and Maurice Pagnucco. 2022. “Challenges of Robotic Disassembly in Practice.” *Procedia CIRP*, The 29th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, April 4 – 6, 2022, Leuven, Belgium., 105 (January): 513–18. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.085>.
- Fysikopoulos, A., D. Anagnostakis, K. Salonitis, and G. Chryssolouris. 2012. “An Empirical Study of the Energy Consumption in Automotive Assembly.” *Procedia CIRP*, 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012, 3 (January): 477–82. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.082>.
- Gadaleta, Michele, Giovanni Berselli, Marcello Pellicciari, and Federico Grassia. 2021. “Extensive Experimental Investigation for the Optimization of the Energy Consumption of a High Payload Industrial Robot with Open Research Dataset.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 68 (April): 102046. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102046>.
- Gadaleta, Michele, Marcello Pellicciari, and Giovanni Berselli. 2019. “Optimization of the Energy Consumption of Industrial Robots for Automatic Code Generation.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 57 (June): 452–64. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.12.020>.

- Garcia, Raphael Rustici, André Carvalho Bittencourt, and Emilia Villani. 2018. “Relevant Factors for the Energy Consumption of Industrial Robots.” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 40 (9): 464. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1376-1>.
- Goodell, John W., Satish Kumar, Weng Marc Lim, and Debidutta Pattnaik. 2021. “Artificial Intelligence and Machine Learning in Finance: Identifying Foundations, Themes, and Research Clusters from Bibliometric Analysis.” *Journal of Behavioral and Experimental Finance* 32 (December): 100577. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577>.
- Guerra-Zubiaga, David A., and Kimberly Y. Luong. 2021. “Energy Consumption Parameter Analysis of Industrial Robots Using Design of Experiment Methodology.” *International Journal of Sustainable Engineering* 14 (5): 996–1005. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1805040>.
- Hansen, Christian, Jens Kotlarski, and Tobias Ortmaier. 2013. “Path Planning Approach for the Amplification of Electrical Energy Exchange in Multi Axis Robotic Systems.” In *2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 44–50. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2013.6617891>.
- Hansen, Christian, Julian Öltjen, Davis Meike, and Tobias Ortmaier. 2012. “Enhanced Approach for Energy-Efficient Trajectory Generation of Industrial Robots.” In *2012 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2012.6386343>.
- Heredia, Juan, Christian Schlette, and Mikkel Baun Kjærgaard. 2023. “Breaking Down the Energy Consumption of Industrial and Collaborative Robots: A Comparative Study.” In *2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFAs)*, 1–8. Sinaia, Romania: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETFAs54631.2023.10275460>.
- Hsieh, Hung-I, Cheng-Yuan Tsai, and Guan-Chyun Hsieh. 2014. “Photovoltaic Burp Charge System on Energy-Saving Configuration by Smart Charge Management.” *IEEE Transactions on Power Electronics* 29 (4): 1777–90. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2013.2268943>.
- Ibrahim, Anood, Reba Alexander, Mohammed Shahid, Umar Sanghar, Royson Dsouza, and D Souza. 2016. “Control Systems in Robotics: A Review.” *International Journal of Engineering Inventions* 5 (April): 2278–7461.
- International federation of robotics, ed. 2022. *World Robotics 2022: Industrial Robots*. Frankfurt: VDMA Services GmbH.
- Izagirre, Unai, Imanol Andonegui, Itziar Landa-Torres, and Urko Zurutuza. 2022. “A Practical and Synchronized Data Acquisition Network Architecture for Industrial Robot Predictive Maintenance in Manufacturing Assembly Lines.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 74 (April): 102287. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102287>.
- Izagirre, Unai, Gautier Arcin, Imanol Andonegui, Luka Eciolaza, and Urko Zurutuza. 2020. “Torque-Based Methodology and Experimental Implementation for Industrial Robot Standby Pose Optimization.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 111 (7): 2065–72. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06234-5>.
- James Broughton. 2023. “Design for Disassembly - an Overview | ScienceDirect Topics.” 2023. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/design-for-disassembly>.
- Jiang, Yuze, Zhouzhou Huang, Bin Yang, and Wenyu Yang. 2022. “A Review of Ro-

- botic Assembly Strategies for the Full Operation Procedure: Planning, Execution and Evaluation.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 78 (December): 102366. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102366>.
- Jones, R., and S Dawson. 1986. “Strategies for Ensuring Safety with Industrial Robot Systems.” *Omega* 14 (4): 287–97. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(86\)90087-3](https://doi.org/10.1016/0305-0483(86)90087-3).
- Jung, Jin Hwa, and Dong-Geon Lim. 2020. “Industrial Robots, Employment Growth, and Labor Cost: A Simultaneous Equation Analysis.” *Technological Forecasting and Social Change* 159 (October): 120202. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120202>.
- Khairudin, Mohammad, Zaharuddin Mohamed, and Abdul Rashid Husain. 2011. “Dynamic Model and Robust Control of Flexible Link Robot Manipulator.” *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)* 9 (2): 279–86. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v9i2.698>.
- Kiangala, Kahiomba Sonia, and Zenghui Wang. 2018. “Initiating Predictive Maintenance for a Conveyor Motor in a Bottling Plant Using Industry 4.0 Concepts.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 97 (9): 3251–71. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2093-8>.
- Kopacek, Bernd, and Peter Kopacek. 1999. “Intelligent Disassembly of Electronic Equipment.” *Annual Reviews in Control* 23 (January): 165–70. [https://doi.org/10.1016/S1367-5788\(99\)90081-0](https://doi.org/10.1016/S1367-5788(99)90081-0).
- . 2013. “End of Life Management of Industrial Robots.” *E & i Elektrotechnik Und Informationstechnik* 130 (2): 67–71. <https://doi.org/10.1007/s00502-013-0131-7>.
- Kopacek, Peter. 2007. *End of Life Management of Automation Devices. IFAC Proceedings Volumes*. Vol. 45. <https://doi.org/10.3182/20070523-3-ES-4907.00010>.
- Kouritem, Sallam A., Mohammed I. Abouheaf, Nabil Nahas, and Mohamed Hassan. 2022. “A Multi-Objective Optimization Design of Industrial Robot Arms.” *Alexandria Engineering Journal* 61 (12): 12847–67. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.052>.
- “Lester: ROBOT USERS NEED TO HAVE PROGRAM FOR MAINTENANCE. 1. - Μελετητής Google.” 2024. January 16, 2024. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?&title=Robot%20Users%20Need%20To%20Have%20a%20Program%20for%20Maintenance&pages=28-32&publication\\_year=1985&author=Lester%20CWA&author=Lannon%20CRP&author=Bellandi%20CR](https://scholar.google.com/scholar_lookup?&title=Robot%20Users%20Need%20To%20Have%20a%20Program%20for%20Maintenance&pages=28-32&publication_year=1985&author=Lester%20CWA&author=Lannon%20CRP&author=Bellandi%20CR).
- Levitin, Gregory, Liudong Xing, and Yanshun Dai. 2022. “Minimum Cost Replacement and Maintenance Scheduling in Dual-Dissimilar-Unit Standby Systems.” *Reliability Engineering & System Safety* 218 (February): 108127. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108127>.
- Liu, Aiming, Huan Liu, Bitao Yao, Wenjun Xu, and Ming Yang. 2018. “Energy Consumption Modeling of Industrial Robot Based on Simulated Power Data and Parameter Identification.” *Advances in Mechanical Engineering* 10 (5): 1687814018773852. <https://doi.org/10.1177/1687814018773852>.
- Liu, Jiayi, Wenjun Xu, Jiaqiang Zhang, Zude Zhou, and Duc Truong Pham. 2016. “Industrial Cloud Robotics Towards Sustainable Manufacturing.” In . American Society of Mechanical Engineers Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8733>.
- Lytras. 2020. “Artificial Intelligence for Smart Renewable Energy Sector in Europe—

- Smart Energy Infrastructures for Next Generation Smart Cities | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore.” 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9076660>.
- (Maggie) Fu, Xiaoqing, Qun Bao, Hongjun Xie, and Xiaolan Fu. 2021. “Diffusion of Industrial Robotics and Inclusive Growth: Labour Market Evidence from Cross Country Data.” *Journal of Business Research* 122 (January): 670–84. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.051>.
- Masood, Adil, and Kafeel Ahmad. 2021. “A Review on Emerging Artificial Intelligence (AI) Techniques for Air Pollution Forecasting: Fundamentals, Application and Performance.” *Journal of Cleaner Production* 322 (November): 129072. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129072>.
- Masoumian, M., and P. Kopacek. 2015. “End-of-Life Management of Photovoltaic Modules.” *IFAC-PapersOnLine*, 16th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability TECIS 2015, 48 (24): 162–67. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.12.076>.
- Meike, Davis, Marcello Pellicciari, and Giovanni Berselli. 2014. “Energy Efficient Use of Multirobot Production Lines in the Automotive Industry: Detailed System Modeling and Optimization.” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 11 (3): 798–809. <https://doi.org/10.1109/TASE.2013.2285813>.
- Meike, Davis, and Ivars Rankis. 2012. “New Type of Power Converter for Common-Ground DC Bus Sharing to Increase the Energy Efficiency in Drive Systems.” In *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, 225–30. <https://doi.org/10.1109/EnergyCon.2012.6347757>.
- Meike, Davis, and Leonids Ribickis. 2011a. “Energy Efficient Use of Robotics in the Automobile Industry.” In *2011 15th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, 507–11. <https://doi.org/10.1109/ICAR.2011.6088567>.
- . 2011b. “Recuperated Energy Savings Potential and Approaches in Industrial Robotics.” In *2011 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 299–303. <https://doi.org/10.1109/CASE.2011.6042435>.
- Merlo, Fabio, Greta Vazzoler, and Giovanni Berselli. 2023. “Eco-Programming of Industrial Robots for Sustainable Manufacturing via Dynamic Time Scaling of Trajectories.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 79 (February): 102420. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102420>.
- Miranda, Sofia, and Carlos Renato Vázquez. 2023. “Analysis and Prediction of Energy Consumption in a Collaborative Robot.” *IFAC-PapersOnLine*, 22nd IFAC World Congress, 56 (2): 3710–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1538>.
- Mohammed, Abdullah, Bernard Schmidt, Lihui Wang, and Liang Gao. 2014. “Minimizing Energy Consumption for Robot Arm Movement.” *Procedia CIRP*, 8th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2014 Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution, 25 (January): 400–405. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.055>.
- Moulianitis, Vassilis, and Nikos Aspragathos. 2015. “IT and Mechatronics in Industrial Robotic Workcell Design and Operation.” In . <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-5888-2.ch652>.
- Mukund Nilakantan, J., George Q. Huang, and S. G. Ponnambalam. 2015. “An Investigation on Minimizing Cycle Time and Total Energy Consumption in Robotic Assembly Line Systems.” *Journal of Cleaner Production* 90 (March): 311–25.

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.041>.
- Nazarudin. 2018. “An Analysis of the Effect of Gravitational Load on the Energy Consumption of Industrial Robots.” *Procedia CIRP* 78 (January): 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.09.043>.
- Nentwich, Corbinian, and Gunther Reinhart. 2021. “Towards Data Acquisition for Predictive Maintenance of Industrial Robots.” *Procedia CIRP*, 54th CIRP CMS 2021 - Towards Digitalized Manufacturing 4.0, 104 (January): 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.011>.
- Nguyen, Minh T., and Hamid R. Boveiri. 2020. “Energy-Efficient Sensing in Robotic Networks.” *Measurement* 158 (July): 107708. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107708>.
- Ogbemhe, J., K. Mpfu, and N. S. Tlale. 2017. “Achieving Sustainability in Manufacturing Using Robotic Methodologies.” *Procedia Manufacturing*, 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing, GCSM 3-5 October 2016, Stellenbosch, South Africa, 8 (January): 440–46. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.056>.
- Oliveira Neto, José Francisco de, Laíse Alves Candido, Anísio Brasileiro de Freitas Dourado, Simone Machado Santos, and Lourdinha Florencio. 2023. “Waste of Electrical and Electronic Equipment Management from the Perspective of a Circular Economy: A Review.” *Waste Management & Research* 41 (4): 760–80. <https://doi.org/10.1177/0734242X221135341>.
- Owen-Hill, Alex. 2023. “Saving Money on Robot Energy Costs.” RoboDK Blog. June 8, 2023. <https://robodk.com/blog/saving-money-on-robot-energy-costs/>.
- Palomba, Ilaria, Erich Wehrle, Giovanni Carabin, and Renato Vidoni. 2020. “Minimization of the Energy Consumption in Industrial Robots through Regenerative Drives and Optimally Designed Compliant Elements.” *Applied Sciences* 10 (21): 7475. <https://doi.org/10.3390/app10217475>.
- Partida, Devin. 2021. “3 Trends in Robotics Energy Consumption | Robotics Tomorrow.” 2021. <https://roboticstomorrow.com/story/2021/03/3-trends-in-robotics-energy-consumption/16385/>.
- Paryanto, Matthias Brossog, Martin Bornschlegl, and Jörg Franke. 2015a. “Reducing the Energy Consumption of Industrial Robots in Manufacturing Systems.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 78 (5–8): 1315–28. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6737-z>.
- . 2015b. “Reducing the Energy Consumption of Industrial Robots in Manufacturing Systems.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 78 (5): 1315–28. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6737-z>.
- Paryanto, Matthias Brossog, Johannes Kohl, Jochen Merhof, Simon Spreng, and Jörg Franke. 2014. “Energy Consumption and Dynamic Behavior Analysis of a Six-Axis Industrial Robot in an Assembly System.” *Procedia CIRP*, 5th CATS 2014 - CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, 23 (January): 131–36. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.091>.
- Pellicciari, M., A. Avotins, K. Bengtsson, G. Berselli, N. Bey, B. Lennartson, and D. Meike. 2015. “AREUS — Innovative Hardware and Software for Sustainable Industrial Robotics.” In *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1325–32. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2015.7294282>.
- Pellicciari, M., G. Berselli, F. Leali, and A. Vergnano. 2013. “A Method for Reducing the Energy Consumption of Pick-and-Place Industrial Robots.” *Mechatronics* 23 (3): 326–34. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.01.013>.

- Pellicciari, Marcello, Giovanni Berselli, and Federico Balugani. 2015. "On Designing Optimal Trajectories for Servo-Actuated Mechanisms: Detailed Virtual Prototyping and Experimental Evaluation." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 20 (5): 2039–52. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2361759>.
- Rahman, Saidur. 2010. "A Review on Electrical Motors Energy Use and Energy Savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 877-898." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (April): 877–98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>.
- Ramachandran, V., and S. Vajpayee. 1987. "Safety in Robotic Installations." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 3 (3): 301–9. [https://doi.org/10.1016/0736-5845\(87\)90037-8](https://doi.org/10.1016/0736-5845(87)90037-8).
- Rassõlkin, Anton, Hardi Hõimoja, and Raivo Teemets. 2011. "Energy Saving Possibilities in the Industrial Robot IRB 1600 Control." In *2011 7th International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics (CPE)*, 226–29. <https://doi.org/10.1109/CPE.2011.5942236>.
- Rocha, Andre Dionisio, Nelson Freitas, Duarte Alemão, Magno Guedes, Renato Martins, and José Barata. 2021. "Event-Driven Interoperable Manufacturing Ecosystem for Energy Consumption Monitoring." *Energies* 14 (12): 3620. <https://doi.org/10.3390/en14123620>.
- Saharia, Kritika Taniya. 2023. "BENEFITS AND PROBLEMS OF INDUSTRIAL ROBOTICS: A CASE STUDY," February.
- Sankaran, Krishnaswamy. 2019. "Carbon Emission and Plastic Pollution: How Circular Economy, Blockchain, and Artificial Intelligence Support Energy Transition?" *Journal of Innovation Management* 7 (4): 7–13. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_007.004\\_0002](https://doi.org/10.24840/2183-0606_007.004_0002).
- Schäffer, Eike, Andreas Mayr, Jonathan Fuchs, Martin Sjarov, Johannes Vorndran, and Jörg Franke. 2019. "Microservice-Based Architecture for Engineering Tools Enabling a Collaborative Multi-User Configuration of Robot-Based Automation Solutions." *Procedia CIRP*, 7th CIRP Global Web Conference – Towards shifted production value stream patterns through inference of data, models, and technology (CIRPe 2019), 86 (January): 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.017>.
- Seok, Sangok, Albert Wang, Meng Yee Chuah, Dong Jin Hyun, Jongwoo Lee, David M. Otten, Jeffrey H. Lang, and Sangbae Kim. 2015. "Design Principles for Energy-Efficient Legged Locomotion and Implementation on the MIT Cheetah Robot." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 20 (3): 1117–29. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2339013>.
- Slaughter, E. Sarah. 1997. "Characteristics of Existing Construction Automation and Robotics Technologies." *Automation in Construction* 6 (2): 109–20. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(96\)00186-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(96)00186-0).
- Song, Hee-Chan, Young-Loul Kim, and Jae-Bok Song. 2016. "Guidance Algorithm for Complex-Shape Peg-in-Hole Strategy Based on Geometrical Information and Force Control." *Advanced Robotics* 30 (8): 552–63. <https://doi.org/10.1080/01691864.2015.1130172>.
- "SONY SRX-611 OPERATION MANUAL Pdf Download." n.d. ManualsLib. Accessed February 5, 2024. <https://www.manualslib.com/manual/1332194/Sony-Srx-611.html>.
- Soori, Mohsen, Behrooz Arezoo, and Roza Dastres. 2023. "Optimization of Energy Consumption in Industrial Robots, a Review." *Cognitive Robotics* 3 (January): 142–57. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.05.003>.

- Spector, Oren, and Dotan Di Castro. 2021. "InsertionNet - A Scalable Solution for Insertion." *IEEE Robotics and Automation Letters* 6 (3): 5509–16. <https://doi.org/10.1109/LRA.2021.3076971>.
- Stoelen, Martin, Krzysztof Kusnierek, Virginia F. Tejada, N Heiberg, C Balaguer, and Audun Korsath. 2015. *Low-Cost Robotics for Horticulture: A Case Study on Automated Sugar Pea Harvesting*. [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-814-8\\_34](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-814-8_34).
- Sudheshwar, Akshat, Nadia Malinverno, Roland Hischier, Bernd Nowack, and Claudia Som. 2023. "The Need for Design-for-Recycling of Paper-Based Printed Electronics – a Prospective Comparison with Printed Circuit Boards." *Resources, Conservation and Recycling* 189 (February): 106757. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106757>.
- Tang, Chengjian, Keqi Huang, and Qiren Liu. 2021. "Robots and Skill-Biased Development in Employment Structure: Evidence from China." *Economics Letters* 205 (August): 109960. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2021.109960>.
- "The Importance of Preventive Maintenance for Industrial Robots | LinkedIn." 2023. December 7, 2023. <https://www.linkedin.com/pulse/importance-preventive-maintenance-industrial-robots/>.
- Ud-Din Khan, Salah, Irfan Wazeer, Zeyad Almutairi, and Meshari Alanazi. 2022. "Techno-Economic Analysis of Solar Photovoltaic Powered Electrical Energy Storage (EES) System." *Alexandria Engineering Journal* 61 (9): 6739–53. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.025>.
- V Barenji, Ali, Reza Barenji, and Bahram Lavi. 2013. *An RFID-Enabled Distributed Control and Monitoring System for a Manufacturing System. 2013 3rd International Conference on Innovative Computing Technology, INTECH 2013*. <https://doi.org/10.1109/INTECH.2013.6653649>.
- Valentini, Luca. 2023. "Sustainable Sourcing of Raw Materials for the Built Environment." *Materials Today: Proceedings*, August. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.308>.
- Vanderborght, Bram, Björn Verrelst, Ronald Van Ham, Michaël Van Damme, Pieter Beyl, and Dirk Lefeber. 2008. "Development of a Compliance Controller to Reduce Energy Consumption for Bipedal Robots." *Autonomous Robots* 24 (4): 419–34. <https://doi.org/10.1007/s10514-008-9088-5>.
- Vavra, Chris. 2023. "Five Robot Trends for 2023." *Control Engineering*. March 13, 2023. <https://www.controleng.com/articles/five-robot-trends-for-2023/>.
- Vergnano, A., C. Thorstensson, B. Lennartson, P. Falkman, M. Pellicciari, F. Leali, and S. Biller. 2012. "Modeling and Optimization of Energy Consumption in Cooperative Multi-Robot Systems." *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 9 (2): 423–28. <https://doi.org/10.1109/TASE.2011.2182509>.
- Victoria, Environment Protection Authority. 2021. "Controlling E-Waste Hazards and Risks | Environment Protection Authority Victoria." Text. Environment Protection Authority Victoria. 2021. <https://www.epa.vic.gov.au/for-business/find-a-topic/manage-e-waste/risk-management>.
- Vysocký, Aleš, Richard Papřok, Jakub Šafařík, Tomáš Kot, Zdenko Bobovský, Petr Novák, and Václav Snášel. 2020. "Reduction in Robotic Arm Energy Consumption by Particle Swarm Optimization." *Applied Sciences* 10 (22): 8241. <https://doi.org/10.3390/app10228241>.
- Wackernagel. 1998. "Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth - Mathis Wackernagel, William Rees - Βιβλία Google." 1998.



- [https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=VnRO1PvNRq&sig=QKLaZizKAcNjNla4c98GEiPMPLo&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=VnRO1PvNRq&sig=QKLaZizKAcNjNla4c98GEiPMPLo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- Wagner, Florian, Jef Peeters, Jozefien De Keyzer, Joost Duflou, and Wim Dewulf. 2017. "Evaluation of the Quality of Postconsumer Plastics Obtained from Disassembly-Based Recycling Strategies." *Polymer Engineering & Science* 58 (October). <https://doi.org/10.1002/pen.24731>.
- Wang, En-Ze, Chien-Chiang Lee, and Yaya Li. 2022. "Assessing the Impact of Industrial Robots on Manufacturing Energy Intensity in 38 Countries." *Energy Economics* 105 (January): 105748. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105748>.
- Wang, Lihui, Abdullah Mohammed, Xi Vincent Wang, and Bernard Schmidt. 2018. "Energy-Efficient Robot Applications towards Sustainable Manufacturing." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 31 (8): 692–700. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1379099>.
- Wei, Shuaichong, Mustapha Nourelfath, and Nabil Nahas. 2023a. "Analysis of a Production Line Subject to Degradation and Preventive Maintenance." *Reliability Engineering & System Safety* 230 (February): 108906. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108906>.
- . 2023b. "Analysis of a Production Line Subject to Degradation and Preventive Maintenance." *Reliability Engineering & System Safety* 230 (February): 108906. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108906>.
- Xu, Wenjun, Hang Du, Jiayi Liu, Bitao Yao, Zude Zhou, and Duc Truong Pham. 2018. "Energy-Efficient Multi-Level Collaborative Optimization for Robotic Manufacturing Systems." *Procedia CIRP* 72: 316–21. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.230>.
- Yamamoto, Toru, Hirofumi Hayama, Takao Hayashi, and Taro Mori. 2020. "Automatic Energy-Saving Operations System Using Robotic Process Automation." *Energies* 13 (9): 2342. <https://doi.org/10.3390/en13092342>.
- Yan, Ke, Wenjun Xu, Bitao Yao, Zude Zhou, and Duc Truong Pham. 2018. "Digital Twin-Based Energy Modeling of Industrial Robots." In *Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems*, edited by Liang Li, Kyoko Hasegawa, and Satoshi Tanaka, 333–48. Communications in Computer and Information Science. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2853-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2853-4_26).
- Yao, Ming, Zhufeng Shao, and Yanling Zhao. 2021. "Review on Energy Consumption Optimization Methods of Typical Discrete Manufacturing Equipment." In *Intelligent Robotics and Applications*, edited by Xin-Jun Liu, Zhenguo Nie, Jingjun Yu, Fugui Xie, and Rui Song, 48–58. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89134-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89134-3_5).
- Zhang, Dequan, Zhouyuan Peng, Guosong Ning, and Xu Han. 2020. "Positioning Accuracy Reliability of Industrial Robots Through Probability and Evidence Theories." *Journal of Mechanical Design* 143 (011704). <https://doi.org/10.1115/1.4047436>.
- Zhang, Fengxia, Jingyuan Shen, and Yizhong Ma. 2020. "Optimal Maintenance Policy Considering Imperfect Repairs and Non-Constant Probabilities of Inspection Errors." *Reliability Engineering & System Safety* 193 (January): 106615. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106615>.
- Zhang, Mingyang, and Jihong Yan. 2021. "A Data-Driven Method for Optimizing the Energy Consumption of Industrial Robots." *Journal of Cleaner Production*

- 285 (February): 124862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124862>.
- Zhou, Jin, Hao Yi, Huajun Cao, Pei Jiang, Chaoyong Zhang, and Weiwei Ge. 2022. "Structural Decomposition-Based Energy Consumption Modeling of Robot Laser Processing Systems and Energy-Efficient Analysis." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 76 (August): 102327. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102327>.
- Σέχου, Φιόνα. 2021. "Πλατφόρμες ρομποτικών προσομοιωτών και εφαρμογές," October. <https://doi.org/10.26265/polynoe-1508>.

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<a href="#"><u>Διάγραμμα 1 Παγκόσμιες Ετήσιες Εγκαταστάσεις IR 2017-2022 και 2023-2026*</u></a> .....	19
<a href="#"><u>Διάγραμμα 2 Ετήσιες Εγκαταστάσεις Βιομηχανικών Ρομπότ του Έτους 2022</u></a> .....	22
<a href="#"><u>Διάγραμμα 3 Εγκαταστάσεις ανά Βιομηχανία (2020-2022)</u></a> .....	23
<a href="#"><u>Διάγραμμα 4 Προβλέψεις Συνολικών IR (2022-2026)</u></a> .....	24
<a href="#"><u>Διάγραμμα 5 Αύξηση της απασχόλησης ανά επάγγελμα μεταξύ 1970 και 2015</u></a> .....	38
<a href="#"><u>Διάγραμμα 6 Τάσεις 2016-2025 International Federation of Robotics</u></a> .....	53
<a href="#"><u>Διάγραμμα 7 Μέτρα περιορισμού κινδύνου</u></a> .....	57
<a href="#"><u>Διάγραμμα 8 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης πριν και μετά την βελτιστοποίηση</u></a> .....	58
<a href="#"><u>Διάγραμμα 9 Απώλειες ισχύος του κινητήρα</u></a> .....	61
<a href="#"><u>Διάγραμμα 10 Ισχύς κινητήρων σε ταχύτητα 0,5 m/s</u></a> .....	69
<a href="#"><u>Διάγραμμα 11 . Ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων σεναρίων</u></a> .....	70
<a href="#"><u>Διάγραμμα 12 . Ενεργειακή Κατανάλωση σε Διαφορετικές Βιομηχανίες των ΗΠΑ (ACEE 2017)</u></a> .....	79
<a href="#"><u>Διάγραμμα 13 Δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας ανά εργασία στην αυτοκινητοβιομηχανία</u></a> .....	92
<a href="#"><u>Διάγραμμα 14 Απόκλιση προσομοιωμένων και πειραματικών αποτελεσμάτων</u></a> .....	99
<a href="#"><u>Διάγραμμα 15 Κατανάλωση ισχύος ενός IR τα πρώτα 30secs</u></a> .....	100

<a href="#"><u>Διάγραμμα 16 Προσέγγιση για μείωση της κατανάλωσης</u></a> .....	102
<a href="#"><u>Διάγραμμα 17 Ετήσιες Εγκαταστάσεις IR ανά Έτος</u></a> .....	122
<a href="#"><u>Διάγραμμα 18 Σύνθετα υλικά</u></a> .....	130
<a href="#"><u>Διάγραμμα 19 Αλουμίνιο</u></a> .....	131
<a href="#"><u>Διάγραμμα 20 Ανοξειδωτος χάλυβας</u></a> .....	132
<a href="#"><u>Διάγραμμα 21 Επιπτώσεις σύνθετου υλικού ανά στάδιο ζωής</u></a> .....	140
<a href="#"><u>Διάγραμμα 22 Επιπτώσεις αλουμινίου ανά στάδιο ζωής</u></a> .....	141
<a href="#"><u>Διάγραμμα 23 Επιπτώσεις ανοξειδωτου χάλυβα ανά στάδιο ζωής</u></a> .....	142
<a href="#"><u>Διάγραμμα 24 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Σύνθετο υλικό)</u></a> ....	143
<a href="#"><u>Διάγραμμα 25 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Αλουμίνιο)</u></a> .....	144
<a href="#"><u>Διάγραμμα 26 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Ανοξειδωτος χάλυβας)</u></a> .....	145

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<a href="#"><u>Εικόνα 1 Ιαπωνική Ένωση Ρομπότ (JAPA)</u></a> .....	13
<a href="#"><u>Εικόνα 2 Εξαρτήματα βιομηχανικών ρομπότ</u></a> .....	17
<a href="#"><u>Εικόνα 3 Αναλογία απασχόλησης προς πληθυσμό</u></a> .....	35
<a href="#"><u>Εικόνα 4 Βιομηχανικά ρομπότ ανά χίλιους εργαζόμενους στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη</u></a> .....	35
<a href="#"><u>Εικόνα 5 Διάγραμμα διαδικασίας ρομποτικής συναρμολόγησης</u></a> .....	46
<a href="#"><u>Εικόνα 6 Σχεδιασμός πρώτου ρομποτικού βραχίονα</u></a> .....	47
<a href="#"><u>Εικόνα 7 Πλαίσιο σχεδιασμού ενός ρομποτικού βραχίονα</u></a> .....	48
<a href="#"><u>Εικόνα 8 Ροή ενέργειας ενός βιομηχανικού ρομπότ</u></a> .....	59
<a href="#"><u>Εικόνα 9 Ρομποτικός βραχίονας IRB 1200</u></a> .....	64
<a href="#"><u>Εικόνα 10 Εγκατάσταση IRB 1200</u></a> .....	66
<a href="#"><u>Εικόνα 11 Τροχιά κίνησης IRB 1200</u></a> .....	68
<a href="#"><u>Εικόνα 12 Scara Robot</u></a> .....	75
<a href="#"><u>Εικόνα 13 Cartesian Robot</u></a> .....	76
<a href="#"><u>Εικόνα 14 IRB 1200</u></a> .....	77
<a href="#"><u>Εικόνα 15 Κατανάλωση ενέργειας των Cobots και των βιομηχανικών ρομπότ</u></a> .....	83
<a href="#"><u>Εικόνα 16 Ρομποτικός βραχίονας UR3e</u></a> .....	83

<a href="#"><u>Εικόνα 17 KUKA KR 200</u></a> .....	85
<a href="#"><u>Εικόνα 18 FANUC M-410iB/700</u></a> .....	87
<a href="#"><u>Εικόνα 19 . Fanuc M-900iB/700</u></a> .....	88
<a href="#"><u>Εικόνα 20 Εξομάλυνση κινήσεων IR για μείωση της ισχύος κατά την έναρξη</u></a> .....	101
<a href="#"><u>Εικόνα 21 Διαστάσεις και στοιχεία SONY SRX-611</u></a> .....	115
<a href="#"><u>Εικόνα 22 Βασικά Βήματα Διαχείρισης Αποβλήτων</u></a> .....	121
<a href="#"><u>Εικόνα 23 Απόσταση Ταϊβάν – Γιόσου</u></a> .....	133
<a href="#"><u>Εικόνα 24 CarbonCare (1)</u></a> .....	134
<a href="#"><u>Εικόνα 25 CarbonCare (2)</u></a> .....	135
<a href="#"><u>Εικόνα 26 CarbonCare(3)</u></a> .....	135
<a href="#"><u>Εικόνα 27 Απόσταση Λιμάνι Yeosu – Samsung Tanjeong</u></a> .....	137
<a href="#"><u>Εικόνα 28 CarbonCare(4)</u></a> .....	138

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<a href="#"><u>Πίνακας 1 Ρομπότ ανά 10.000 εργαζόμενους (Ebel 1977)</u></a> .....	14
<a href="#"><u>Πίνακας 2 Συνέργεια των Ρομποτικών Συστημάτων</u></a> .....	17
<a href="#"><u>Πίνακας 3 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Βιομηχανικών Ρομπότ</u></a> .....	28
<a href="#"><u>Πίνακας 4 Ενεργειακά Αποδοτικοί Μέθοδοι</u></a> .....	31
<a href="#"><u>Πίνακας 5 . Ενεργειακή Κατανάλωση Ρομποτικών Συστημάτων</u></a> .....	73
<a href="#"><u>Πίνακας 6 Ενεργειακή Κατανάλωση Ρομποτικών Συστημάτων (Οικιακής Χρήσης)</u></a> .....	73
<a href="#"><u>Πίνακας 7 Ρομποτικές Μονάδες και Καταναλώσεις (American Council of an Energy Efficient Economy 2017)</u></a> .....	78
<a href="#"><u>Πίνακας 8 UR3e</u></a> .....	84
<a href="#"><u>Πίνακας 9 Industrial Robot</u></a> .....	86
<a href="#"><u>Πίνακας 10 Ενεργειακές καταναλώσεις πριν και μετά</u></a> .....	105
<a href="#"><u>Πίνακας 11 Επιτυχή εφαρμογή της ρομποτικής αποσυναρμολόγησης</u></a> .....	110
<a href="#"><u>Πίνακας 12 Κύκλος ζωής ενός προϊόντος</u></a> .....	112
<a href="#"><u>Πίνακας 13 Βασικά μέρη ενός βιομηχανικού ρομπότ</u></a> .....	112
<a href="#"><u>Πίνακας 14 Κατάλογος Εξαρτημάτων Sony SRX-611</u></a> .....	118
<a href="#"><u>Πίνακας 15 Ανακυκλωσιμότητα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης</u></a> .....	119
<a href="#"><u>Πίνακας 16 Κατανομή υλικών</u></a> .....	128

<u>Πίνακας 17 Κατανομή Υλικών Ρομποτικού Βραχίονα από Αλουμίνιο</u> .....	129
<u>Πίνακας 18 Κατανομή Υλικών Ρομποτικού Βραχίονα από Ανοξειδωτο Χάλυβα</u> .....	129
<u>Πίνακας 19 Επιπτώσεις ανά κατηγορία ( Σύνθετα υλικά)</u> .....	130
<u>Πίνακας 20 Επιπτώσεις ανά κατηγορία (Αλουμίνιο)</u> .....	131
<u>Πίνακας 21 Επιπτώσεις ανά κατηγορία (Ανοξειδωτος χάλυβας)</u> .....	132
<u>Πίνακας 22 Αποστάσεις</u> .....	136
<u>Πίνακας 23 Κατανάλωση ενέργειας των ρομπότ</u> .....	139
<u>Πίνακας 24 Επιπτώσεις σύνθετου υλικού ανά στάδιο ζωής</u> .....	140
<u>Πίνακας 25 Επιπτώσεις αλουμινίου ανά στάδιο ζωής</u> .....	141
<u>Πίνακας 26 Επιπτώσεις ανοξειδωτου χάλυβα ανά στάδιο ζωής</u> .....	142
<u>Πίνακας 27 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Σύνθετο υλικό)</u> .....	143
<u>Πίνακας 28 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Αλουμίνιο)</u> .....	144
<u>Πίνακας 29 Αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα ανά στάδιο ζωής (Ανοξειδωτος χάλυβας)</u> .....	145