



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**Συγκριτική Μελέτη Εγκατάστασης
Αυτόνομου Ρομποτικού Συστήματος
Ανακύκλωσης Αστικών Απορριμμάτων**

Μελέτη και υλοποίηση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ-ΝΙΚΟΛΑΟ ΚΟΣΚΙΝΟΠΟΥΛΟ Α.Μ. 5912
ΓΕΩΡΓΙΟ-ΔΗΜΗΤΡΙΟ ΞΥΡΑΦΑ Α.Μ. 5970**

Επιβλέπων: Δρ. Απόστολος Υφαντής
Καθηγητής

Πάτρα, 17 Απριλίου 2019



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Συγκριτική Μελέτη Εγκατάστασης Αυτόνομου Ρομποτικού Συστήματος Ανακύκλωσης Αστικών Απορριμμάτων

Μελέτη και υλοποίηση

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

των

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ-ΝΙΚΟΛΑΟ ΚΟΣΚΙΝΟΠΟΥΛΟ Α.Μ. 5912
ΓΕΩΡΓΙΟ-ΔΗΜΗΤΡΙΟ ΞΥΡΑΦΑ Α.Μ. 5970

Επιβλέπων: Δρ. Απόστολος Υφαντής
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17η Απριλίου 2019.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Δρ. Απόστολος Υφαντής
Καθηγητής

.....
Δρ. Ιωάννης Χατζής,
Πανεπιστημιακός Υπότροφος

.....
Δρ. Γεώργιος Σουλιώτης
Καθηγητής Εφαρμογών

Πάτρα, 17 Απριλίου 2019



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Copyright © - All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Copyright Year: 2019

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.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Περίληψη

Η παραγωγή στερεών αποβλήτων αποτελεί στις σύγχρονες κοινωνίες ένα αναπόφευκτο επακόλουθο της παραγωγικής διαδικασίας και της κατανάλωσης. Αυξάνεται ταχύτατα με την επέκταση του πληθυσμού και την οικονομική ανάπτυξη, βλάπτοντας τόσο το περιβάλλον, όσο και την ποιότητα ζωής σε αυτό. Συνεπώς, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη οργάνωσης ενός προηγμένου συστήματος διαχείρισης αποβλήτων.

Πρόσφατα, ανακοινώθηκε μια άκρως πρωτοποριακή πρόταση για την κατασκευή και λειτουργία δυο αυτόνομων ρομποτικών συστημάτων διαχωρισμού αστικών απορριμμάτων στην Κρήτη, και για πρώτη φορά στην Ελλάδα. Σύμφωνα με το έργο αυτό [1], στο πλαίσιο του προγράμματος Ανακύκλωσης Αστικών Απορριμμάτων – ΑΝΑΣΑ και της Ενιαίας Δράσης Κρατικών Ενισχύσεων Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Καινοτομίας «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ», της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας, θα κατασκευαστούν και θα λειτουργήσουν σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες επεξεργασίας απορριμμάτων, δυο αυτόνομα ρομποτικά συστήματα αναγνώρισης και διαλογής συγκεκριμένων ανακυκλώσιμων προϊόντων (όπως PET, HDPE, PP, PS, Tetrapack, κτλ.), τα οποία θα εγκατασταθούν σε δύο βιομηχανίες επεξεργασίας απορριμμάτων, στους Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Κρήτης, Ε.Σ.Δ.Α.Κ. και Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α..

Με αφορμή την ανάπτυξη του παραπάνω καινοτόμου και πρωτοποριακού αυτόνομου συστήματος, η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη μελέτη, αποτίμηση και επιλογή του κατάλληλου ρομποτικού βραχίονα που θα μπορεί να υποστηρίξει ένα τέτοιο προηγμένο σύστημα διαχωρισμού ανακυκλώσιμων υλικών, το οποίο θα διαχωρίζει με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια ανακυκλώσιμα υλικά σε πραγματικές συνθήκες βιομηχανίας διαλογής απορριμμάτων. Η επιλογή του κατάλληλου βραχίονα αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα σωστής λειτουργίας του συστήματος γι αυτό και είναι αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η Μελέτη και επιλογή του ιδανικού βραχίονα θα στηριχτεί σε παγειωμένα κριτήρια καταλληλότητας των ρομποτών, όπως η ταχύτητα κίνησής τους, ο ρυθμός πιασίματος ανά δευτερόλεπτο, το μέγιστο δυνατό βάρος που μπορούν να σηκώσουν και η μέγιστη έκταση του ρομποτικού χεριού. Τέλος, τα αποτελέσματα θα δοθούν γραφικά, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων βραχιόνων και θα αναπτυχθεί μια υλοποίηση του συστήματος σε προσομοίωση.

Λέξεις Κλειδιά

Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου, Ευφυής Έλεγχος, Ανακύκλωση Αστικών Απορριμμάτων, Πολυκριτηριακή Μελέτη.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Δρ. Απόστολο Υφαντή για την επίβλεψη αυτής της πτυχιακής εργασίας, την συνεχή καθοδήγησή του και για την ευκαιρία που μας έδωσε να την εκπονήσουμε για την ολοκλήρωση των σπουδών μας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την στήριξη και την ηθική συμπαράσταση που μας προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Και τέλος, ευχαριστούμε θερμά τους ερευνητές του έργου "ΑΝΑΣΑ", που αποτέλεσαν για εμάς πηγή έμπνευσης για την ενασχολησή μας με το συγκεκριμένο θέμα και χάρις σε αυτούς είχαμε στη διάθεσή μας σημαντικό υλικό για την εκπόνηση της πτυχιακής μας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Ευχαριστίες	iii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Η Βιομηχανία της Ανακύκλωσης Σήμερα	1
1.1.1 Η σημασία και τα οφέλη της ανακύκλωσης	2
1.2 Η Οικονομία της ανακύκλωσης	5
1.2.1 Στόχοι-Κυκλική Οικονομία	5
1.3 Αντικείμενο της πτυχιακής	6
1.4 Οργάνωση του τόμου	7
I ΜΕΛΕΤΗ	9
2 Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων	11
2.1 Διαλογή στην Πηγή	11
2.2 Παγειωμένη Εγχώρια Τεχνολογία	12
2.2.1 Τρόμελ (τύμπανο κοσκίνισματος)	13
2.2.2 Βαλλιστικός Διαχωριστής	14
2.2.3 Γραμμή 2D/3D	15
2.3 Σύγχρονη τεχνολογία διεθνώς	18
3 Πρότυπο Σύστημα	
Αυτόνομης Ρομποτικής Διαλογής	21
3.1 Αρχιτεκτονική Πρότυπου Συστήματος	22
3.1.1 Μονάδα Τροφοδοσίας Ανακυκλώσιμων Κλασμάτων	22
3.1.2 Σύστημα Οπτικής Ανίχνευσης Υλικού Διαλογής	23
3.1.3 Ρομποτικός Βραχίονας	24
3.1.4 Τελική Διαλογή	25
3.2 Επιδιωκόμενη Τεχνολογία	25
4 Ανάπτυξη μονάδας ρομποτικού βραχίονα	27
4.1 Βιομηχανικά Ρομπότ	27
4.1.1 Ανατομία Ρομπότ-Βασικές Έννοιες	29
4.1.2 Συστήματα ελέγχου των αρθρώσεων και της κίνησης	32
4.1.3 Ψηφιακό σύστημα ελέγχου ρομπότ	32

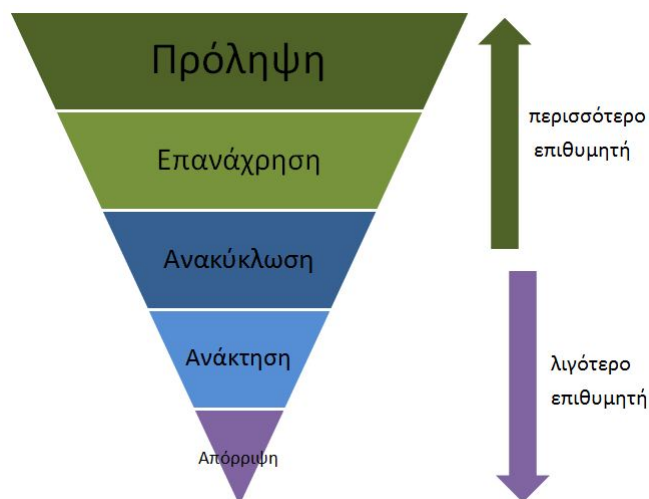
4.1.4	Ενεργό άκρο (End-effector)	33
4.1.5	Προγραμματισμός ρομπότ	34
4.1.6	Επιλογή κατάλληλου ρομπότ	36
4.2	Ρομποτικοί Βραχίονες Εφαρμογής Μελέτης	37
4.2.1	KUKA LBR IIWA R800	37
4.2.2	KUKA KR AGILUS	38
4.2.3	IRB360	39
4.2.4	IRB1600	40
4.2.5	IRB260	41
4.3	Επιπρόσθετες Λειτουργίες KUKA Robots	42
4.3.1	KUKA.ConveyorTech	42
4.3.2	KUKA.PickControl	44
4.4	Τελική Αποτίμηση Ρομποτικού Συστήματος και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	47
4.4.1	Ποσοτική Αποτίμηση και Ποιοτική Αξιολόγηση Ρομποτικών Συστημάτων	47
4.4.2	Εκτίμηση Απόδοσης Λειτουργίας	49
II	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	53
5	Ολοκλήρωση τελικού συστήματος (system integration)	55
5.1	Προσομοιωτές διαδραστικού περιβάλλοντος	55
5.1.1	Προσομοιωτής Gazebo	55
5.1.2	Προσομοιωτής V-REP	56
5.1.3	Προσομοιωτής RoboDK	57
5.2	Προσομοίωση Ρομποτικού Διαχωριστή Ανακυκλώσιμων Υλικών στο περιβάλλον RoboDK	58
III	Επίλογος	63
6	Επίλογος	65
6.1	Συμπεράσματα	65
6.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις	66
	Παράρτημα	67
A'	Κώδικας Python	69
A'.1	Python Code for Plots	69
A'.2	Python Code for Simulation Robot DK	71

Εισαγωγή

1.1 Η Βιομηχανία της Ανακύκλωσης Σήμερα

Η εναλλακτική διαχείριση απορριμμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα βασίζεται στην ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων, όπως αυτή απεικονίζεται στην παρακάτω πυραμίδα (Εικ. 1.1) [2]. Όσο υψηλότερα βρίσκεται μια επιλογή για τη διαχείριση των αποβλήτων τόσο περισσότερο επιθυμητή είναι. Η πυραμίδα διαχείρισης αποβλήτων αποτυπώνεται στην Θεματική Στρατηγική της Ε.Ε. για την Πρόληψη και την Ανακύκλωση των Αποβλήτων που έχει μεταφερθεί στην εθνική νομοθεσία με τον νόμο 4042 – 2012 [3].

Η βασική λογική της στρατηγικής είναι ότι τα απόβλητα δεν αποτελούν ένα άχρηστο βάρος αλλά έναν πολύτιμο πόρο που, αν αξιοποιηθεί σωστά, μπορεί να δώσει πολλαπλά οφέλη. Αυτός είναι ο λόγος που η απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να είναι η τελευταία διαθέσιμη επιλογή. Από την άλλη, κάθε επεξεργασία των αποβλήτων, όσο περιβαλλοντικά φιλική και αν είναι, καταναλώνει ενέργεια και πόρους, καταλήγοντας στο ότι η πρόληψη από την παραγωγή αποβλήτων δίνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα [2].



Σχήμα 1.1: Πυραμίδα απεικόνισης ιεραρχίας διαχείρισης αποβλήτων.

Το καλύτερο απόβλητο είναι αυτό που δεν παράγεται ποτέ! Η πρόληψη παραγωγής αποβλήτων γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στον σχεδιασμό της πολιτικής διαχείρισης αποβλήτων [2]. Ένα βασικό εργαλείο είναι ο οικολογικός σχεδιασμός των προϊόντων, ώστε να χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένες πρώτες ύλες και η εκπαίδευση των καταναλωτών στην α-

γορά προϊόντων με λιγότερη συσκευασία. Παραδείγματα πρόληψης είναι η κομποστοποίηση υλικών κουζίνας, η αποφυγή λήψης ανεπιθύμητης αλληλογραφίας κ.α.

Η επανάχρηση περιλαμβάνει την επαναλαμβανόμενη χρήση προϊόντων και συστατικών. Η επανάχρηση επίπλων και ρούχων που διαφορετικά θα απορρίπτονταν έχει οικονομικά και κοινωνικά οφέλη (πέρα από τα περιβαλλοντικά) καθώς δημιουργεί θέσεις εργασίας και προσφέρει αγαθά σε πολίτες που δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να τα αγοράσουν. Παραδείγματα επανάχρησης είναι το γέμισμα των μελανοδοχείων εκτυπωτών, η επισκευή ηλεκτρονικού εξοπλισμού, η μεταποίηση παλιών ρούχων, η ανακαίνιση επίπλων κ.α.

Τα περισσότερα από τα απορρίμματα που πετάμε ανακυκλώνονται. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν συνολικά 22 συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης και ανακύκλωσης για ένα μεγάλο εύρος προϊόντων. Με την ανακύκλωση εξοικονομούνται πολύτιμες πρώτες ύλες που διαφορετικά εισάγονται, συχνά με μεγάλο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Η ανακύκλωση απαιτεί την ευθύνη του παραγωγού για το προϊόν που παράγει αλλά και την υπευθυνότητα του πολίτη για το διαχωρισμό των αποβλήτων και την απόρριψη/παράδοση τους στους αντίστοιχους κάδους/ αποδέκτες ανάλογα με το είδος τους.

Το 2015 υπήρξε μία επιτυχημένη χρονιά καθώς, παρά τις δυσκολίες της οικονομικής συγκυρίας για τη χώρα μας, η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ) όχι μόνο συνέχισε τη δυναμική της πορεία αλλά πρώτη φορά μετά το 2009, σημειώθηκε αύξηση κατά 10% των συνολικών ποσοτήτων των υλικών συσκευασίας που ανακυκλώθηκαν, παρόλο που τα απόβλητα συσκευασίας στη χώρα μειώθηκαν ακόμα μια χρονιά κυρίως εξαιτίας της πτωτικής πορείας της κατανάλωσης [2].

Η απόρριψη σε χώρους υγειονομικής ταφής είναι η τελευταία λύση στην ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων. Από την ταφή τους παράγεται το μεθάνιο, ένα πανίσχυρο αέριο του θερμοκηπίου. Η αποσύνθεση των αποβλήτων απελευθερώνει επικίνδυνες χημικές ουσίες που μπορούν να ρυπάνουν έδαφος και νερό. Υπολογίζεται ότι ένας ΧΥΤΑ μπορεί να ρυπάνει κάθε μέρα, την ποσότητα πόσιμου νερού που καταναλώνει ένα μέσο νοικοκυριό κάθε χρόνο. Με οικονομικούς όρους, η αξία των υλικών που απορρίπτεται στους ΧΥΤΑ της Ευρώπης κάθε χρόνο υπολογίζεται σε 5,25δισ Euro [3].

Η ανάκτηση αφορά κυρίως την αποτέφρωση των αποβλήτων για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ατμού και θέρμανσης για οικιακή χρήση. Η διαδικασία αυτή, αν δεν γίνει σωστά, εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και για αυτό πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφαλείας. Η αποτέφρωση αποβλήτων για την ανάκτηση ενέργειας είναι χαμηλά στις προτεραιότητες για τη διαχείριση των αποβλήτων γι' αυτό τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. προτρέπονται να χρησιμοποιούν πρακτικές πιο ψηλά στην ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων.

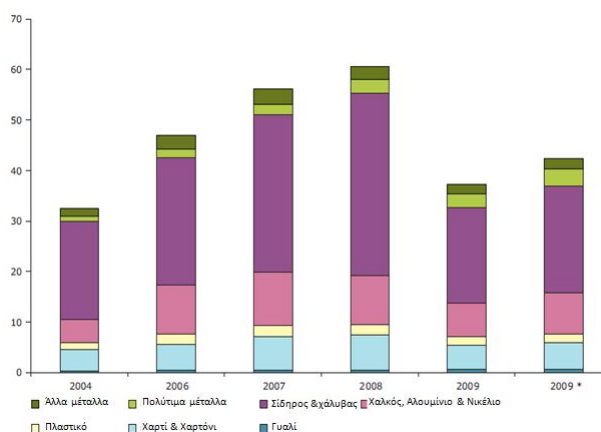
1.1.1 Η σημασία και τα οφέλη της ανακύκλωσης

Τα οφέλη της ανακύκλωσης, ή ευρύτερα της εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων είναι γνωστά και πλήρως τεκμηριωμένα. Η ανακύκλωση συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη από οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική σκοπιά (Εικ. 1.2). Αποτελεί την πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη διαχείριση των αποβλήτων, διότι επιτυγχάνει οικονομικά οφέλη, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και δημιουργεί νέες θέσεις

εργασίας.

Οικονομικά: Τα οφέλη αυτά εστιάζονται στην αξία των υλικών που ανακτώνται μέσω της ανακύκλωσης. Ο κύκλος εργασιών της ανακύκλωσης των πιο σημαντικών υλικών σχεδόν διπλασιάστηκε την περίοδο 2004–2008 στην Ευρωπαϊκή Ένωση (από 32, 5δισ Euro σε 60, 5δισ Euro) για να πέσει στα 37, 2 δισ Euro, το 2009, λόγω της οικονομικής ύφεσης, παραμένοντας όμως σε υψηλότερα επίπεδα από ότι πέντε χρόνια πριν. Η παραπάνω αξία υποεκτιμά την πραγματική οικονομική αξία της ανακύκλωσης καθώς δεν περιλαμβάνει δραστηριότητες που συνδέονται με την ανακύκλωση των πιο σημαντικών υλικών, ούτε όλα τα ανακυκλώσιμα υλικά [3]. Τη μεγαλύτερη αξία έχουν τα μέταλλα (σίδηρος, χάλυβας, αλουμίνιο και χαλκός) και ακολουθεί το χαρτί και το χαρτόνι.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμάει ότι η καθολική εφαρμογή της υπάρχουσας ευρωπαϊκής νομοθεσίας σχετικά με τα απόβλητα θα μπορούσε να μειώσει το κόστος κατά 72 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως έως το 2020, ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργούσε περισσότερες από 400.000 θέσεις εργασίας, καθώς και θα αύξανε την ετήσια διαχείριση αποβλήτων και την ανακύκλωση επιφέροντας κέρδος αξίας 42 δισ Euro [3].



Σχήμα 1.2: Συνολικός κύκλος εργασιών ανακύκλωσης βασικών ανακυκλώσιμων υλικών στην Ε.Ε. το 2004 και 2006-2009 σε δισ Euro και τρέχουσες τιμές [4].

Η αξία των εξαγωγών ανακυκλώσιμων υλικών παρουσιάζει αυξητική τάση, γεγονός που συνδέεται και με την ανάπτυξη των ασιατικών οικονομιών και ειδικότερα της Κίνας. Για ορισμένα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως το χαρτί, το αλουμίνιο και ο χαλκός, η αξία των εξαγωγών είναι υψηλότερη τα τελευταία χρόνια από ότι πριν την οικονομική κρίση. Μεγαλύτερη είναι η επίδραση στις εξαγωγές των δευτερογενών μετάλλων όπου η άνοδος των διεθνών τιμών είχε ως αποτέλεσμα μέχρι και τον πενταπλασιασμό της αξίας των εξαγωγών τους μέσα σε μια δεκαετία (2000-2010).

Η ανακύκλωση αποτελεί ένα βασικό κλειδί για την επίτευξη της στρατηγικής της Ε.Ε. για μετάβαση σε μια οικονομία, όπου αξιοποιεί αποδοτικότερα τους φυσικούς της πόρους. Ήδη τα στοιχεία της Eurostat δείχνουν ότι η ανακύκλωση καλύπτει την κατανάλωση χαρτιού και χαρτονιού κατά 41%, του σιδήρου και χάλυβα κατά 42%, του αλουμινίου κατά 10%, του γυαλιού κατά 14% και του πλαστικού κατά 2% (στοιχεία του 2006). Υπάρχει δυναμικό για ακόμη μεγαλύτερη συμμετοχή των ανακυκλωμένων υλικών στην παραγωγή πρώτων υλών όπως για παράδειγμα στο πλαστικό, στο γυαλί και διάφορα επιμέρους μέταλλα [4]. Η

ανάπτυξη νέων τεχνολογιών είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των ποσοστών ανακύκλωσης και δίνει ευκαιρίες για ανάπτυξη ερευνητικών και επαγγελματικών καινοτομιών.

Ένα κρίσιμο σημείο είναι η ανάκτηση των σπάνιων μετάλλων που είναι απαραίτητα για νέες τεχνολογίες, όπως π.χ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μέταλλα, όπως το ίνδιο που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά και στις επίπεδες οθόνες, το γερμάνιο που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες, το γάλλιο για κυκλώματα κ.ά., εισάγονται στην Ε.Ε. και οι ανάγκες της βιομηχανίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πληροφορικής αυξάνονται ραγδαία. Το πρώτο βήμα για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας υψηλής τεχνολογίας είναι η αύξηση της ανακύκλωσης των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τα απόβλητα αυτά αντιπροσωπεύουν ένα ρεύμα υψηλής αξίας, λόγω των σπάνιων μετάλλων που περιέχουν, όπου εκτιμάται ότι η αξία από τη διαχείρισή τους θα φτάσει τα 5,6δισ Ευρο μέχρι το 2020 [4].

Περιβαλλοντικά: Η ανεξέλεγκτη απόρριψη των αποβλήτων στο περιβάλλον εγκυμονεί πολλούς κινδύνους που πολλές φορές δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί. Απόβλητα, όπως οι μπαταρίες και τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά είδη περιέχουν επικίνδυνες ουσίες όπως μόλυβδος, υδράργυρος, κάδμιο κ.λ.π. που η διάχυσή τους στο περιβάλλον έχει επιπτώσεις στο έδαφος, το νερό, τους οργανισμούς, ακόμη και στον άνθρωπο. Ειδικά τα απόβλητα λιπαντικών ελαίων θεωρούνται επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Το πλαστικό χρειάζεται αιώνες για να αποδομηθεί και η παρουσία του μπορεί να προκαλέσει ακόμη και το θάνατο σε υδρόβιους και άλλους οργανισμούς. Η απόρριψη του γυαλιού σε χωματερές κοντά σε δασικές εκτάσεις προκαλεί συχνά πυρκαγιές.

Η διαχείριση των αποβλήτων συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή με πολλούς τρόπους. Τα απόβλητα που αντί να ανακυκλώνονται καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, κατά την αποσύνθεσή τους εκπέμπουν μεθάνιο, ένα αέριο του θερμοκηπίου 25 φορές ισχυρότερο από το διοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον η ανακύκλωση υλικών αντί της παραγωγής τους από πρώτες ύλες απαιτεί λιγότερη ενέργεια και επομένως εκπέμπονται και μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Για την Ε.Ε., έρευνα της Ökoportal (Γερμανικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Στρατηγικής) υπολογίζει την εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου από την τρέχουσα ανακύκλωση των αστικών στερεών αποβλήτων σε 160εκ. τόνους διοξειδίου του άνθρακα, που αντιστοιχεί στην συνολική ποσότητα που παράγουν ολόκληρη η Ελλάδα και η Φιλανδία μαζί. Μια άλλη μελέτη που έκανε το προαναφερόμενο Ινστιτούτο το 2008, υπολόγισε ότι εάν το ποσοστό της ανακύκλωσης των οικιακών αποβλήτων φτάσει το 50% έως το 2020, το CO₂ θα μειωθεί περισσότερο από 89 εκατομμύρια τόνους ποσό που αντιστοιχεί στην απόσυρση από τους δρόμους 31 εκατομμυρίων αυτοκινήτων. Το ποσοστό ανακύκλωσης των οικιακών αποβλήτων το 2012 ήταν γύρω στο 37%, καθιστώντας τον στόχο του 50% της Ευρωπαϊκής Ένωσης εφικτό, αν γίνει εφαρμογή της ισχύουσας νομοθεσίας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πιστεύει ότι μαζί την περιβαλλοντικά φιλική διαχείριση απορριμμάτων, η ανακύκλωση μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη των στόχων του 2020 της ΕΕ σχετικά με τις εκπομπές καυσαερίων. Στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (ΕΠΑ) έχει υπολογίσει ότι η απόρριψη 100 τόνων χαρτιού γραφείου παράγει 62 τόνους CO₂ ενώ η ανακύκλωση 50 τόνων από το ίδιο χαρτί έχει το αντίστροφο αποτέλεσμα και απορροφά 3 τόνους CO₂. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στην ανάλυση του κύκλου ζωής όπου η ανακύκλωση γλυτώνει την κοπή δέντρων που με τη σειρά τους συγκομίζουν διοξείδιο του άνθρακα

[6].

Κοινωνικά: Η ανακύκλωση συμβάλλει καθοριστικά στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Οι εργασίες της συλλογής, διαλογής, επεξεργασίας, αποσυναρμολόγησης κ.λπ. απασχολούν περισσότερους εργαζόμενους από ό,τι η ταφή των αποβλήτων. Ανάλογα με το υλικό και τη χώρα, υπολογίζεται ότι η ανακύκλωση της ίδιας ποσότητας αποβλήτων δημιουργεί 6 έως 10 φορές περισσότερες θέσεις εργασίας από ότι η ταφή ή το κάψιμο. Στην Ε.Ε. έχει εκτιμηθεί ότι οι εργαζόμενοι στην ανακύκλωση αυξήθηκαν από 230.000 το 2000, σε 512.000 το 2008, μια αύξηση 10,57% ετησίως. Η αύξηση αυτή ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη στον κλάδο της οικο-βιομηχανίας μετά τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ειδικότερα για την Ελλάδα υπολογίζεται ότι η ανακύκλωση συνεισφέρει σε περίπου 3.600 θέσεις πλήρους απασχόλησης [8]. Αυτό αναφέρει η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ) στην απολογιστική της έκθεση για το 2016 που αποτυπώνει τη λειτουργία των προγραμμάτων ανακύκλωσης υλικών συσκευασίας, τα οποία υλοποιούνται σε όλη την Ελλάδα με τη συνεργασία των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ) [2]. Όπως αναφέρεται στην έκθεση, με την ανακύκλωση των παραπάνω ποσοτήτων αποφεύχθηκε η εκπομπή 560.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον και εξοικονομήθηκαν 1.670 εκατομμύρια κιλοβατώρες (KWh) ενέργειας. Επίσης, υποστηρίχθηκε η οικονομία με την ανάπτυξη 2.200 θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης.

1.2 Η Οικονομία της ανακύκλωσης

1.2.1 Στόχοι-Κυκλική Οικονομία

Κυκλική οικονομία αποκαλείται ο νέος στόχος στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων. Μετά από τρία χρόνια διαπραγμάτευσης το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε το νέο νομοθετικό πακέτο με προοπτική να αχρηστευθούν οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και να αυξηθεί στο 55% το ποσοστό ανακύκλωσης για τα αστικά απόβλητα μέχρι το 2025. Στην πραγματικότητα ο νομοθέτης θέλει να πάει ένα βήμα πιο πέρα και να μειώσει στο ελάχιστο τα απόβλητα, επιβάλλοντας ως γενικό κανόνα την επαναχρησιμοποίηση των υπαρχόντων υλικών και πρώτων υλών. Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία, δεν πρέπει να θάβονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, τους λεγόμενους ΧΥΤΑ, προϊόντα που μπορούν να περάσουν στην ανακύκλωση. Παράλληλα, κάθε είδους χώρος υγειονομικής ταφής θα αξιολογείται πια με ενιαίο τρόπο στην ΕΕ, άρα μπορούμε να έχουμε κεντρικά κριτήρια [7].

Όμως, πόσο εύκολα μπορεί να γίνουν όλα αυτά σε μία χώρα όπως η Ελλάδα, που ανακυκλώνει λιγότερο από το 20% των αποβλήτων, ενώ πολλές φορές δεν διαθέτει καν τις προβλεπόμενες- αν και τεχνολογικά ξεπερασμένες στην Ευρώπη- ΧΥΤΑ, με αποτέλεσμα η ταφή των απορριμμάτων να γίνεται σε παράνομες χωματερές; Η Ελλάδα πράγματι είναι μία από τις δέκα χώρες που έχει ζητήσει περαιτέρω προθεσμία πέντε χρόνων, περισσότερη από τις υπόλοιπες χώρες. Δηλαδή να συμμορφωθεί με το πλαίσιο για τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής έως το 2035, αντί για το 2030, που έχουν οι υπόλοιπες χώρες [7].

Ωστόσο, η κυκλική οικονομία δεν επιφυλάσσει μόνο υποχρεώσεις, αλλά και ευκαιρίες. Καθώς η ανακύκλωση και ανακαίνιση πρώτων υλών προσφέρει νέα πεδία επιχειρηματικής δραστηριότητας σε φιλόδοξα start-ups. Ελευθερώνει νέους πόρους για την ανάπτυξη και την

καινοτομία και δημιουργεί νέες θέσεις απασχόλησης στην Ευρώπη.

Όσο απλή φαίνεται η συνταγή, τόσο δύσκολη παραμένει στην υλοποίησή της καθώς πρέπει να μειωθεί δραστικά ή να συνοδεύεται από αντικίνητρα η χρήση πλαστικών, ενώ την ίδια στιγμή να επιβραβεύεται η επαναχρησιμοποίηση, επισκευή ή ανακαίνιση άλλων υλικών που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του think tank Ellen MacArthur Foundation, το ευρωπαϊκό ΑΕΠ θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 11 % σε περίπτωση προσαρμογής σε αυτό το μοντέλο οικονομίας έως το 2030, όταν σήμερα ενισχύεται κατά 4%. Επίσης, η στροφή προς την κυκλική οικονομία θα μπορούσε να αποφέρει στο σύνολο της Ε.Ε. όφελος έως και 1,8 τρις. ευρώ σε περίπου 12 χρόνια από τώρα. Ωστόσο, η προσαρμογή της Ελλάδας σε αυτό το πρότυπο γίνεται με αργούς ρυθμούς, διότι αφενός υστερεί στην υιοθέτηση πολιτικής υπέρ της κυκλικής οικονομίας σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες (π.χ. ανακύκλωση), αφετέρου καθυστερεί ή και αποτυγχάνει να υλοποιήσει προτάσεις και Οδηγίες της Ε.Ε. για την κυκλική οικονομία. Σύμφωνα με έκθεση της εταιρείας Thalís, η Ελλάδα εμφανίζει καλές επιδόσεις στην ανακύκλωση ξύλου και χαρτιού, ωστόσο απέχει σημαντικά σε ό,τι αφορά την ανακύκλωση γυάλινων, πλαστικών και μεταλλικών συσκευασιών. Στην Ελλάδα ανακυκλώνουμε το 58,6 % των συσκευασιών, ενώ η Ε.Ε. ανακυκλώνει το 65,3%, γεγονός που καταδεικνύει ότι η χώρα μας αποκλίνει σε μεγαλύτερο βαθμό από τις υπόλοιπες χώρες ως προς την επίτευξη του στόχου για αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης των συσκευασιών στο 75% έως το 2030. Η δέσμη προτάσεων που ενέκρινε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τον Δεκέμβριο του 2015, με σκοπό τη διευκόλυνση της μετάβασης προς την κυκλική οικονομία, αποτυπώνει τη μεγάλη απόσταση που η Ελλάδα πρέπει ακόμη να διανύσει [7, 5].

Στο πλαίσιο αυτό, η Κομισιόν προωθεί μεταξύ άλλων μέτρα για τη διαχείριση των αποβλήτων και τον περιορισμό της υγειονομικής ταφής. Οσον αφορά τα αστικά απορρίμματα, η Ε.Ε. έχει καθορίσει έναν κοινό ενωσιακό στόχο για την ανακύκλωση του 65% έως το 2030 [3]. Προς το παρόν όμως, στην Ελλάδα ανακυκλώνεται μόλις το 19-20% των αστικών αποβλήτων, όταν το αντίστοιχο ποσοστό στις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε. ανέρχεται στο 41,8% [7]. Σύμφωνα με τον ΣΕΒ, η παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανέρχεται σε 5 εκατ. τόνους ετησίως, εκ των οποίων περίπου 1 εκατ. τόνοι ανακυκλώνονται. Τα υπόλοιπα καταλήγουν στους ΧΥΤΑ, εκ των οποίων οι 3 εκατ. τόνοι αφορούν δυνητικά ανακυκλώσιμα και βιοαποικοδομήσιμα υλικά. Η μεταφορά τους στους ΧΥΤΑ κοστίζει 135 εκατ. ευρώ. Η αξία των ανακυκλώσιμων υλικών ανέρχεται σε 200 εκατ. ευρώ, εκ των οποίων τα 150 εκατ. ευρώ χάνονται λόγω κακής διαχείρισης, ενώ μόλις τα 50 εκατ. επιστρέφουν στην πραγματική οικονομία.

1.3 Αντικείμενο της πτυχιακής

Η ανακύκλωση σήμερα στην Ελλάδα φτάνει μόλις το 20% και φαίνεται ιδιαίτερα δύσκολο να επιτευχθεί ο στόχος του 50% (που καθορίζει ο Εθνικός Σχεδιασμός) χωρίς την αξιοποίηση των διαθέσιμων σύγχρονων τεχνολογιών στην επεξεργασία των αποβλήτων. Με γνώμονα την αύξηση αυτού του ποσοστού μέσω της βελτιστοποίησης του βαθμού ανάκτησης υλικών, πρόσφατα, αναπτύχθηκε στην Ελλάδα μία έξυπνη τεχνολογία διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών πάνω από ιμάντα χειροδιαλογής, στο πλαίσιο του προγράμματος Ανακύκλωσης Αστικών Απορριμμάτων - ΑΝΑΣΑ και της Ενιαίας Δράσης Κρατικών Ενισχύσεων Έρευνας, Τεχνο-

λογικής Ανάπτυξης και Καινοτομία «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ», της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας [1].

Το σύστημα αυτό θα εγκατασταθεί στην Κρήτη, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, και αποσκοπεί στην κατασκευή και λειτουργία δυο αυτόνομων ρομποτικών συστημάτων διαχωρισμού αστικών απορριμμάτων. Πρόκειται για μια συνεργασία των φορέων: Ε.Σ.Δ.Α.Κ., Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. Α.Ε., του Εργαστηρίου Υπολογιστικής Όρασης και Ρομποτικής του Ι.Τ.Ε., του Εργαστηρίου Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος και Εικόνας της Σχολής ΗΜΜΥ του Πολυτεχνείου Κρήτης και της Tierra Environmental. Σύμφωνα με το έργο αυτό, θα κατασκευαστούν και θα λειτουργήσουν σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες επεξεργασίας απορριμμάτων, δυο αυτόνομα ρομποτικά συστήματα αναγνώρισης και διαλογής συγκεκριμένων ανακυκλώσιμων προϊόντων (όπως PET, HDPE, PP, PS, Tetrapack, κτλ.), τα οποία θα εγκατασταθούν σε δύο βιομηχανίες επεξεργασίας απορριμμάτων, στους Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Κρήτης, Ε.Σ.Δ.Α.Κ. και Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α..

Με αφορμή την ανάπτυξη του παραπάνω καινοτόμου και πρωτοποριακού αυτόνομου συστήματος, κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η έρευνα και αποτίμηση των προδιαγραφών επιλογής και εγκατάστασης του ιδανικού ρομποτικού βραχίονα σε βιομηχανίες αυτόνομης διαλογής και επεξεργασίας ανακυκλώσιμων αστικών απορριμμάτων.

Η μελέτη θα περιλαμβάνει:

- την μηχανολογική μελέτη της εγκατάστασης του ρομπότ στον πραγματικό χώρο λειτουργίας του,
- τις προδιαγραφές που απαιτείται να ικανοποιεί το βέλτιστο ρομποτικό σύστημα (ταχύτητα, payload, reaching diameter κτλ.) στον εκάστοτε χώρο εγκατάστασής του,
- σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ρομποτικών μοντέλων και επιπέδων εφαρμογής τους,
- προσομοίωση σε περιβάλλον RobotDK της εφαρμογής και της λειτουργίας του συνολικού αυτόνομου συστήματος σε πραγματικές συνθήκες, και
- τελική αποτίμηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.

1.4 Οργάνωση του τόμου

Το υπόλοιπο της παρούσας εργασίας οργανώνεται σε δύο μέρη, την “Μελέτη” και την “Υλοποίηση”. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η παγειωμένη διαδικασία διαχείρισης αστικών απορριμμάτων, ενώ στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται συνοπτικά ένα πρότυπο σύστημα αυτόνομου ρομποτικού διαχωριστή. Το μέρος της “Μελέτης” κλείνει με την αναλυτική παρουσίαση επιλεγμένων ρομποτικών μονάδων που μελετήσαμε για τέτοιου είδους εφαρμογές. Στο μέρος της “Υλοποίησης” παρουσιάζεται μια πιλοτική εφαρμογή προσομοίωσης σε περιβάλλον RobotDK ενός τέτοιου συστήματος με χρήση του ιδανικού βραχίονα που επιλέχθηκε από τη φάση της μελέτης. Τέλος, παρατίθενται τα πιο βασικά συμπεράσματα καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις.

Μέρος **I**

ΜΕΛΕΤΗ

Κεφάλαιο 2

Διαχείριση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά οι βασικές υπάρχουσες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται έως τώρα στην βιομηχανία ανακυκλώσιμων υλικών.

2.1 Διαλογή στην Πηγή

Οι εξελίξεις στη χώρα μας αναφορικά με τη Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων είναι αντιφατικές και πολλές φορές δυσσίωνες. Κι αυτό έχει να κάνει με τη χρόνια δυστοκία των αρμοδίων, τις πιέσεις των μηχανισμών και των συμφερόντων και τις αδυναμίες της Αυτοδιοίκησης να χαράζει πολιτική και να παίζει τον θεσμικό της ρόλο, που η νομοθεσία και η σύγχρονη πραγματικότητα της επιβάλλει.

Με βάση την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία, νομική υποχρέωση των κρατών μελών είναι η Διαλογή στην Πηγή, τουλάχιστον για το γυαλί, το χαρτί, το πλαστικό, το μέταλλο και τα οργανικά. Η ως τώρα εμπειρία των ευρωπαϊκών χωρών υπερθεματίζει αυτή την υποχρέωση. Η Διαλογή στην Πηγή και η προώθηση τοπικών προγραμμάτων ανακύκλωσης και κομποστοποίησης έχει αποδειχθεί ότι είναι η οικονομικότερη, περιβαλλοντικά και κοινωνικά φιλικότερη, προοπτική, σε αντίθεση με την πλήρη εξάρτηση από ένα σύστημα διαχείρισης σύμμεικτων στερεών αποβλήτων [3].

Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ) είναι ο διαχωρισμός διακριτών κατηγοριών απορριμμάτων εκεί που παράγονται (στο σπίτι, στη δουλειά, στο κατάστημα, στο εμπορικό κέντρο κλπ.), για να γίνει στη συνέχεια η ξεχωριστή συλλογή και η ανακύκλωση ή η κομποστοποίηση [9].

Αν δεν γίνει έγκαιρα ο διαχωρισμός στην πηγή, εκεί δηλαδή που παράγονται, ο τρόπος που τα πετάμε και ο τρόπος που αναμειγνύονται στη συνέχεια, τα καθιστά εξαιρετικά δύσκολο, αν όχι αδύνατο να διαχωριστούν με επιτυχία. Είναι πλέον αδιανόητο να μην γίνεται ο διαχωρισμός όταν πρέπει με τον πιο απλό τρόπο και να ξοδεύουμε στη συνέχεια μεγάλα ποσά σε υποδομές για να τα διαχωρίσουμε εκ νέου και να γίνει η ανακύκλωση, αν αυτό καταστεί εφικτό. Οι πρακτικές για διαλογή των απορριμμάτων μετά την ανάμειξη των υλικών, είτε μηχανικά, είτε με χειροδιαλογή, δοκιμάστηκαν και αποδείχτηκαν ακριβές ή ανεπαρκείς λόγω κακής ποιότητας των ανακτώμενων υλικών, αλλά και αδυναμίας τήρησης στοιχειωδών κανόνων υγιεινής και ασφάλειας. Κι αυτό γιατί προηγείται η ανάμειξη των ανακυκλώσιμων υλικών κυρίως με οργανικά απορρίμματα της κουζίνας και όχι μόνο, που επιβαρύνουν επικίνδυνα το μικροβιακό φορτίο των απορριμμάτων και αποτελούν σοβαρό υγειονομικό κίνδυνο [9].

Η διαχείριση σύμμεικτων στις Μονάδες Επεξεργασίας Αποβλήτων (ΜΕΑ), με σκοπό την ανακύκλωση και κομποστοποίηση, απαιτεί περισσότερο και ακριβότερο εξοπλισμό (πχ οπτικούς διαχωριστές) από ό,τι ένα ΚΔΑΥ χωριστών ρευμάτων, με αμφίβολα όμως αποτελέσματα, και με αυξημένα μέτρα υγιεινής και ασφάλειας, που εκτοξεύουν τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας. Αναφερόμαστε φυσικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις, δαπανηρές, με μεγάλες εγγυημένες ποσότητες απορριμμάτων, που απορροφούν τους διαθέσιμους πόρους χρηματοδότησης με αποτέλεσμα να καθίστανται ανταγωνιστικές της Διαλογής στην Πηγή και της ανακύκλωσης [11].

Σύμφωνα όμως με τα μέχρι τώρα παραδείγματα των ΜΕΑ στην Ελλάδα, το σύστημα των ΜΕΑ δεν καταφέρνει να πετύχει τους στόχους. Δηλαδή δεν μπορεί να παράξει καθαρά υλικά, που να μπορούν να βρουν αγορές και να ανακυκλωθούν και καταλήγουν στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ). Επομένως, θα αναρωτηθεί κανείς: τι θα γίνουν αυτά τα υλικά, ιδίως όταν θα έχουν εξαντλήσει σε γοργούς ρυθμούς την εναπομένουσα χωρητικότητα των ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ. Μα είναι φανερό, οι ΜΕΑ ετοιμάζουν υλικό για καύση. Οι άλλες χώρες για την παραγωγή ανακυκλώσιμων και κόμποστ κινούνται μέσω Διαλογής στην Πηγή [10]. Είναι φανερό όμως ότι για την επιτυχία του συστήματος διαλογής των υλικών απαιτείται η συμμετοχή των πολιτών σε όποιο σημείο αυτά παράγονται. Το καλύτερο που έχει να κάνει η κοινωνία είναι να επενδύσει στην ενημέρωση των δημοτών. Η ενημέρωση και η εκπαίδευση για σωστή Διαλογή στην Πηγή θα έχει μακροπρόθεσμα οφέλη στην κοινωνία και στην οικονομία καθώς και στην καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων στο αμέσως επόμενο στάδιο επεξεργασίας μετά την διαλογή. Είναι η μόνη σωστή και βιώσιμη λύση, η οποία απαντά και στα θέματα που βάζουν οι στόχοι της κλιματικής αλλαγής, και στα θέματα των στόχων της ανακύκλωσης, αλλά και δημιουργούνται χιλιάδες τοπικές θέσεις εργασίας.

2.2 Παγειωμένη Εγχώρια Τεχνολογία

Ο όρος μηχανική επεξεργασία αναφέρεται στην ταξινόμηση, στον διαχωρισμό, τη μείωση του μεγέθους και σε τεχνολογίες κοσκινίσματος με ποικίλους τρόπους. Σκοπός της είναι ο διαχωρισμός υλικών από το μίγμα των απορριμμάτων. Στόχος η ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών (μέταλλα, πλαστικά, γυαλί, χαρτί/χαρτόνι), η προετοιμασία των αποβλήτων (πχ ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος) για περαιτέρω επεξεργασία(βιολογική, θερμική), η απομάκρυνση ογκωδών ή άλλων προβληματικών ή ανεπιθύμητων υλικών από τη διεργασία και τα τελικά προϊόντα [12].

Η μηχανική διαλογή ή γενικότερα μηχανική επεξεργασία δεν είναι μία σαφώς καθορισμένη μέθοδος. Γίνεται με μηχανικό τρόπο (πχ μαγνήτες, κόσκινα) αλλά και χειροδιαλογή. Μπορεί να λαμβάνει χώρα σε μονάδα μηχανικής επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ όπου συνήθως συνδυάζεται με μονάδα βιολογικής επεξεργασίας (ΜΒΕ), ή σε μονάδα μηχανικής διαλογής, στην περίπτωση των προδιαλεγμένων υλικών (Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών - ΚΔΑΥ). Οι τεχνολογίες επεξεργασίας μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς την πολυπλοκότητα και το κόστος, αλλά και ως προς τους τελικούς στόχους της επεξεργασίας [13].

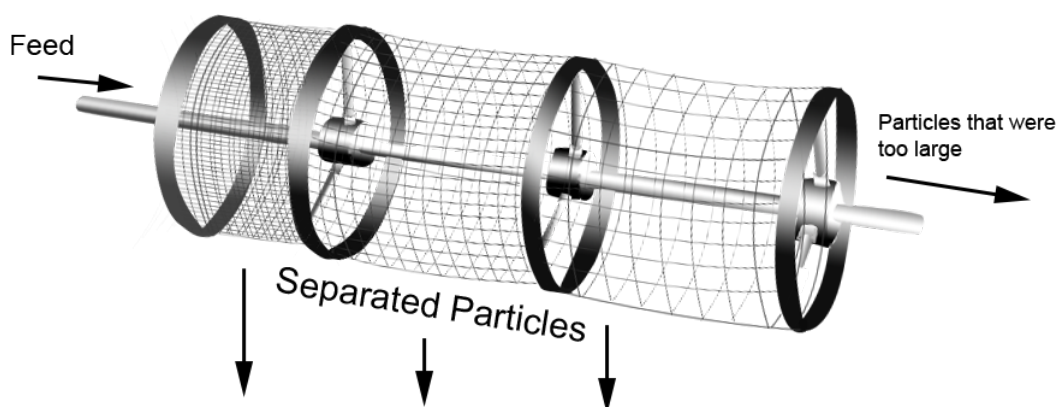
Τα κυριότερα μειονεκτήματα των εγκαταστάσεων μηχανικού διαχωρισμού είναι:

- Το σχετικά υψηλό κόστος και η δυσκολία στην εκτίμησή του.
- Η μη καθαρότητα των υλικών (επειδή δε διαχωρίζονται 100% στην πηγή) και κατά συνέπεια ο περιορισμός στην εμπορευσιμότητα των υλικών που ανακτήθηκαν και των προϊόντων.
- Η δύσκολη προσαρμογή των εγκαταστάσεων σε μεταβαλλόμενες ποσότητες εισροής.
- Οι βλάβες και η πολυπλοκότητα στη χρήση των μηχανικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, όπως και η αβεβαιότητα της επίδοσης των μηχανημάτων αυτών.
- Αέριες εκπομπές όπως οσμές, υδρόθειο, σκόνη κατά την εκφόρτωση των απορριμματοφόρων και κατά τις εργασίες κοσκινίσματος κ.λπ., αμμωνία πτητικές οργανικές ενώσεις, σκόνη βιολογικής προέλευσης (βιοαερολύματα).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον διαχωρισμό υλικών από το μίγμα των απορριμμάτων.

2.2.1 Τρόμελ (τύμπανο κοσκινίσματος)

Το τρόμελ (γνωστό και ως τύμπανο κοσκινίσματος), είναι μια μηχανή κοσκινίσματος που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό υλικών, κυρίως στις βιομηχανίες επεξεργασίας ορυκτών και στερεών αποβλήτων. Αποτελείται από ένα διάτρητο κυλινδρικό τύμπανο το οποίο είναι ανυψωμένο υπό γωνία στο άκρο της τροφοδοσίας των υλικών. Ο διαχωρισμός φυσικού μεγέθους επιτυγχάνεται καθώς τα υλικά εισέρχονται στο περιστρεφόμενο τύμπανο [14]. Τα υλικά τα οποία είναι μικρότερα από τα ανοίγματα του κόσκινου περνούν από το κόσκινο, ενώ τα μεγαλύτερα εξέρχονται από το άλλο άκρο του τυμπάνου.



Σχήμα 2.1: Τρόμελ κοσκινίσματος διαφορετικών μεγεθών.

Πεδία εφαρμογής:

- **Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα** Τα κόσκινα τρόμελ χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία αστικών αποβλήτων στη διαδικασία διαλογής για την ταξινόμηση των μεγεθών των στερεών αποβλήτων. Εκτός αυτού, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για

τη βελτίωση της ανάκτησης στερεών αποβλήτων τα οποία προέρχονται από καύσιμα. Αυτό γίνεται με την αφαίρεση ανόργανων υλικών όπως η υγρασία και η τέφρα από το αεροδιαχωριζόμενο ελαφρύ κλάσμα που έχει διαχωριστεί από τα τεμαχισμένα στερεά απόβλητα, αυξάνοντας έτσι την ποιότητα του παραγόμενου καυσίμου. Επιπλέον, τα κόσκινα τρόμελ χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών λυμάτων. Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, τα στερεά από την εισερχόμενη ροή θα κατακαθίσουν στο πλέγμα του κόσκινου και το τύμπανο θα περιστραφεί μόλις το υγρό φθάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο. Η καθαρή επιφάνεια του κόσκινου βυθίζεται στο υγρό ενώ τα παγιδευμένα στερεά πέφτουν πάνω σε έναν μετακομιστή όπου θα υποστούν περαιτέρω επεξεργασία πριν αφαιρεθούν.

- **Επεξεργασία Ορυκτών** Τα κόσκινα τρόμελ χρησιμοποιούνται επίσης για την ταξινόμηση πρώτων υλών για την ανάκτηση πολύτιμων ορυκτών. Το κόσκινο διαχωρίζει τα μικροσκοπικά υλικά που δεν είναι στο κατάλληλο μέγεθος για να χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της σύνθλιψης. Βοηθάει επίσης στην αφαίρεση σωματιδίων σκόνης, που σε διαφορετική περίπτωση θα επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση των μηχανημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στις επόμενες διεργασίες επεξεργασίας.
- **Άλλες εφαρμογές** Άλλες εφαρμογές των κοσκίνων τρόμελ μπορούν να παρατηρηθούν στη διαδικασία κοσκίνισματος των κομποστ ως τεχνική ενίσχυσης. Επιλέγει κομποστ από κλάσματα μεταβλητού μεγέθους για να τα απαλλάξουμε από μολυσματικά και ατελή κομποστοποιημένα υπολείμματα, σχηματίζοντας έτσι τελικά προϊόντα με ποικίλες χρήσεις. Επίσης, οι βιομηχανίες τροφίμων χρησιμοποιούν τα κόσκινα τρόμελ για να ταξινομήσουν ξηρά τρόφιμα διαφόρων μεγεθών και σχημάτων. Η διαδικασία ταξινόμησης θα βοηθήσει στην επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας μεταφοράς μάζας ή θερμότητας και θα αποφύγει την υπο-επεξεργασία ή υπερ-επεξεργασία τους. Χρησιμοποιείται επίσης στο κοσκίνισμα μικροσκοπικών τροφίμων όπως τα μπιζέλια και τα καρύδια που είναι αρκετά ισχυρά ώστε να αντιστέκονται στην περιστροφική δύναμη του τυμπάνου.

2.2.2 Βαλλιστικός Διαχωριστής

Ο βαλλιστικός διαχωριστής ή βαλλιστικό κόσκινο πραγματοποιεί έναν αποτελεσματικό διαχωρισμό των αποβλήτων σύμφωνα με διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά τους. Αυτός ο διαχωρισμός, γνωστός ως βαρυμετρικός, είναι ένα από τα κύρια στάδια πριν από την αποστολή των αποβλήτων στη φάση χειροκίνητης/αυτόματης διαλογής [14]. Ο βαλλιστικός διαχωριστής ταξινομεί τη ροή του υλικού σε τρία κλάσματα: το βαρύ ή κυλιόμενο κλάσμα (ονομάζεται 3D), το επίπεδο ή ελαφρύ κλάσμα (ονομάζεται 2D) και το κοσκινισμένο κλάσμα (ή το λεπτό κλάσμα του υποστρώματος). Οι τύποι αποβλήτων που μπορούν να υποβληθούν σε έλεγχο με τον βαλλιστικό διαχωριστή είναι πολυάριθμοι: ελαφρές συσκευασίες, χαρτόνι, πλαστικά και αλουμινένια δοχεία, εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα, αστικά στερεά απόβλητα, καθώς και απόβλητα από κατασκευή και κατεδάφιση. Συνεπώς, οι ροές εξόδου ενός βαλλιστικού διαχωριστή είναι:

- **Για το βαρύ και κυλιόμενο κλάσμα, 3D:** φιάλες και πλαστικές φιάλες (*PET* και πολυαι-

θυλένιο *HD*), δοχεία, ξύλο, πέτρες.

- **Για το επίπεδο και ελαφρύ κλάσμα, 2D:** φάκελοι, δίσκοι και πλαστικό φιλμ (πολυαιθυλένιο *LD*), υφάσματα, χαρτί και χαρτόνι.

- **Για το κοσκινισμένο κλάσμα:** ανάλογα με το μέγεθος των οπών των πλεγμάτων στα ππερύγια προβολής, είναι δυνατό να ταξινομηθούν διαφορετικά μεγέθη του κλάσματος υποσυνόλου. Το κλάσμα αυτό, που συνήθως δεν ανακτάται, έχει διαστάσεις περίπου 40-50 mm και περιέχει χώμα, άμμο, οργανικά απόβλητα και μικρά κομμάτια ανακυκλώσιμων υλικών.

2.2.3 Γραμμή 2D/3D

Γραμμή 2D ορίζεται μια γραμμή διαλογής όπου σε αυτή διαχωρίζονται υλικά που η τρίτη τους διάσταση είναι πολύ μικρή, δηλαδή υλικά με πολύ μικρό πάχος, όπως είδη χαρτιών, σακούλες, κλπ. Ως γραμμή 3D, ορίζεται η γραμμή στην οποία διαχωρίζονται τα υπόλοιπα υλικά, των οποίων η τρίτη διάσταση είναι συγκρίσιμου μεγέθους με τις άλλες δύο τους διαστάσεις. Συνήθως η διαλογή στις γραμμές 2D/3D γίνεται με τους εξής τρόπους:

2.2.3.1 Χειροδιαλογή

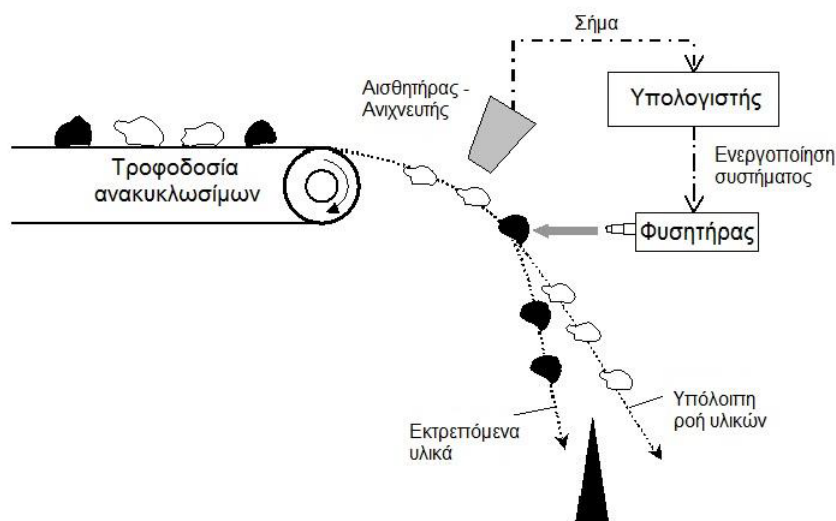
Σημαντικό κομμάτι στο στάδιο της μηχανικής διαλογής είναι η χειροδιαλογή (Εικ. 2.2). Κατά τη διάρκεια της χειροδιαλογής γίνεται απομάκρυνση ανεπιθύμητων υλικών όπως μπαταρίες οχημάτων, συρματόσχοινα, πέτρες, κεραμικά, πορσελάνη, γυαλί κ.α. Γίνεται εντός του κτιρίου χειροδιαλογής ανεπιθύμητων των εργοστασίων, σε κάθε γραμμή πάνω σε ταινία μεγάλου πλάτους και χαμηλής ταχύτητας απ' όπου τα ανεπιθύμητα απορρίμματα απορρίπτονται σε υποκείμενα ζωντανερ τα οποία βρίσκονται κάτω από το δάπεδο (δύο τεμάχια, ένα για κάθε γραμμή). Η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων υλικών πραγματοποιείται με χειροδιαλογή από προσωπικό των εργοστασίων που λαμβάνει θέση, εκατέρωθεν των ταινιών χειροδιαλογής. Με την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων απομακρύνονται υλικά τα οποία δεν είναι εύκολο να παρατηρηθούν στο χώρο της υποδοχής και να διαχωριστούν με τα ογκώδη [15].



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση χειροδιαλογής σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας απορριμμάτων.

2.2.3.2 Αεροδιαχωριστής

Ο αεροδιαχωριστής είναι μια βιομηχανική μηχανή που διαχωρίζει τα υλικά με βάση το μέγεθος, το σχήμα και πυκνότητά τους. Λειτουργεί με την έγχυση του ρεύματος υλικού που πρόκειται να ταξινομηθεί σε ένα θάλαμο που περιέχει μια στήλη ανασηκωμένου αέρα. Μέσα στο θάλαμο διαχωρισμού, η μεταφορά αέρα στα αντικείμενα παρέχει μια προς τα πάνω δύναμη η οποία αντισταθμίζει τη δύναμη της βαρύτητας και ανυψώνει το προς διαλογή υλικό στον αέρα. Λόγω της εξάρτησης της αντίστασης αέρα από το μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου, τα αντικείμενα στη στήλη του κινούμενου αέρα ταξινομούνται κατακόρυφα και μπορούν να διαχωριστούν με αυτό τον τρόπο. Οι αεροδιαχωριστές χρησιμοποιούνται συνήθως σε βιομηχανικές διεργασίες όπου ένας μεγάλος όγκος μικτών υλικών με διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά πρέπει να διαχωρίζονται γρήγορα και αποτελεσματικά (Εικ. 2.3). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι στα κέντρα ανακύκλωσης, όπου υπάρχουν διάφοροι τύποι μετάλλου, χαρτιού και πλαστικού που αναμιγνύονται και πρέπει να ταξινομηθούν πριν από την περαιτέρω επεξεργασία [18].



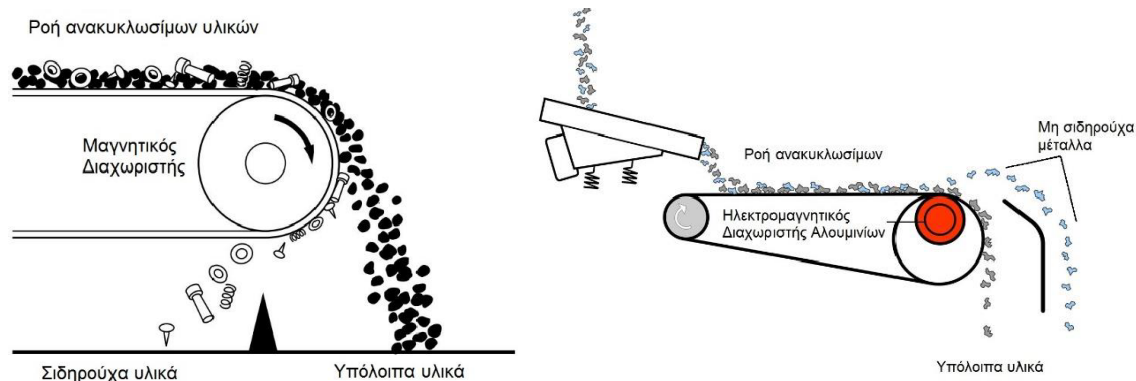
Σχήμα 2.3: Εγκατάσταση συστήματος με αεροδιαχωριστή/φυσητήρα.

2.2.3.3 Μαγνήτης και Eddy Current

Μαγνήτης για τα μέταλλα: Χρησιμοποιούνται ως πρώτο στάδιο διαχωρισμού των μεταλλικών δοχείων και αντικειμένων από τα μη μεταλλικά υλικά όπως τα κουτιά αλουμινίου, και για να αφαιρέσουν μεταλλικά μέρη από άλλα υλικά, όπως το γυαλί και το ξύλο [19, 18].

Eddy Current για τα αλουμίνια: Χρησιμοποιεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο για να διαχωρίζει τα μη σιδηρούχα μέταλλα από τα απόβλητα αφού όλα τα σιδηρούχα μέταλλα έχουν προηγουμένως αφαιρεθεί από κάποια διάταξη μαγνητών. Η συσκευή χρησιμοποιεί φούσκας για να πραγματοποιήσει το διαχωρισμό. Οι διαχωριστές Eddy Current δεν είναι σχεδιασμένοι για να ταξινομήσουν σιδηρούχα μέταλλα που ζεσταίνονται μέσα στο πεδίο του φούσκας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει βλάβη στη ζώνη διαχωρισμού. Ο διαχωριστής δινορρευμάτων όπως είναι γνωστός εφαρμόζεται σε ιμάντα μεταφοράς που φέρει λεπτό στρώμα μικτών αποβλήτων. Στο τέλος του ιμάντα υπάρχει ένας ρότορας φούσκας. Τα μη σιδηρούχα μέταλλα ρίχνονται

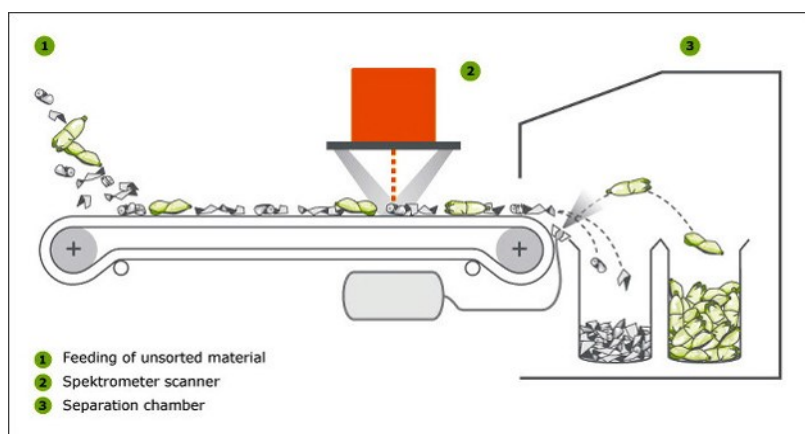
προς τα εμπρός από τη ζώνη σε δοχείο προϊόντος, ενώ τα μη-μέταλλα απλώς πέφτουν από τη ζώνη λόγω βαρύτητας. Τέτοιοι διαχωριστές μπορούν να χρησιμοποιούν περιστρεφόμενο τύμπανο με μόνιμους μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτη ανάλογα με τον τύπο του διαχωριστή (Εικ. 2.4).



Σχήμα 2.4: **Left.** Διαχωριστής σιδηρούχων υλικών. **Right.** Διαχωριστής δινορρευμάτων μη σιδηρούχων υλικών (αλουμινίων).

2.2.3.4 Οπτικός διαχωριστής

Οι οπτικοί διαχωριστές χρησιμοποιούν φωτοανιχνευτές, που στην ουσία είναι κάμερες με εξελιγμένη τεχνολογία προγραμματισμού σε συνδυασμό με την υψηλής ακρίβειας μονάδες διαχωρισμού (Εικ. 2.5). Ο διαλογέας θα καθορίσει απλά πόσο φως αντανακλάται από το κάθε αντικείμενο και αναλόγως θα αποδεχθεί ή θα απορρίψει το συγκεκριμένο υλικό ανάλογα με το πόσο ανακλαστική είναι η επιφάνειά του [20, 21]. Υπάρχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες διαχωρισμού των αποβλήτων καθώς η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτά τα μηχανήματα είναι πολύ εξελιγμένη. Μπορούν να διαχωρίζονται ταυτόχρονα πολλά υλικά με πολύ καλό και καθαρό τελικό αποτέλεσμα, ανεβάζοντας την εμπορική αξία των τελικών υλικών. Έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και μπορούν να εισαχθούν σε υπάρχουσες γραμμές επεξεργασίας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το διαχωρισμό ξύλου, μετάλλου, πλαστικών, χαρτιών, οργανικών/ μη οργανικών κλπ. Το κόστος του ωστόσο θεωρείται ιδιαίτερα υψηλό λόγω της υψηλής τεχνολογίας που εφαρμόζεται.



Σχήμα 2.5: Εγκατάσταση οπτικού διαχωριστή.

2.3 Σύγχρονη τεχνολογία διεθνώς

Μόλις την τελευταία δεκαετία, έχει ξεκινήσει στην παγκόσμια αγορά η ανάπτυξη συστημάτων ρομποτικής διαλογής. Αυτή η αναπτυσσόμενη τεχνολογία κρύβει απο πίσω της ένα τεράστιο δυναμικό. Τα ρομπότ είναι αεικίνητα και δεν επιβραδύνουν. Δεν χρειάζονται διακοπές ή διάλλειμα (εκτός από περιστασιακά μειωμένα όρια για συνήθη συντήρηση). Μπορούν να εργάζονται συνεχώς όλη μέρα και όλη νύχτα.

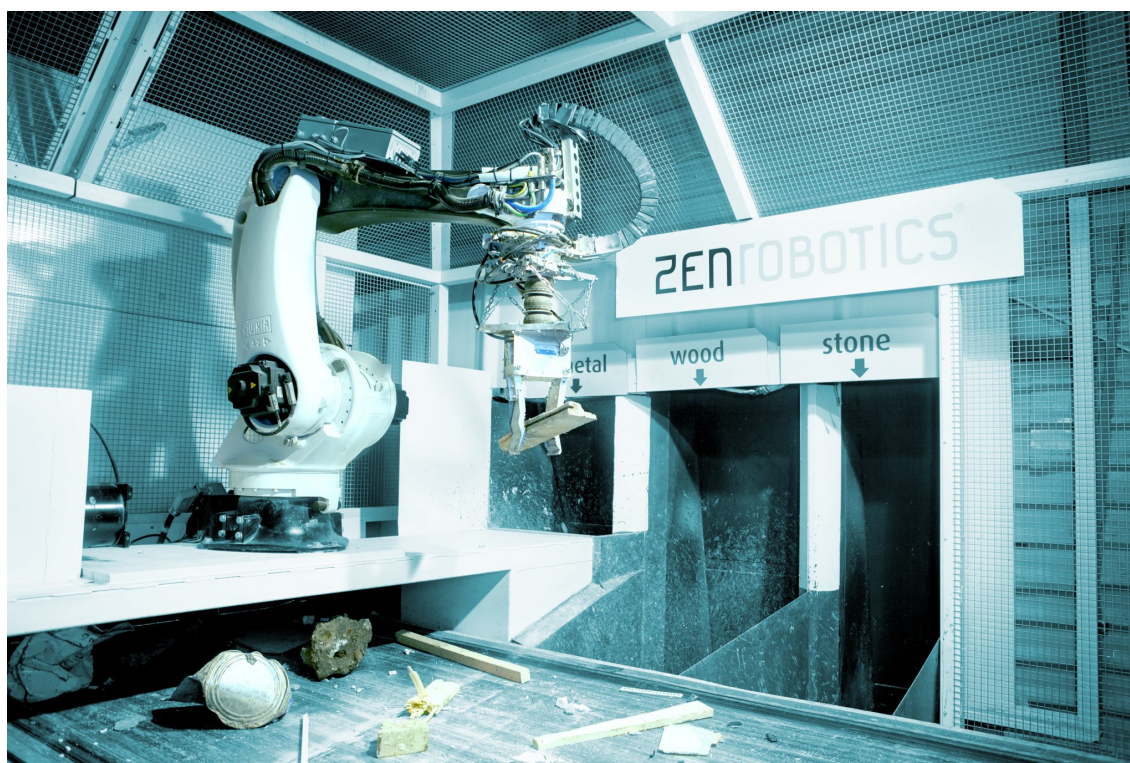
Με την τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα ρομπότ μπορούν να μάθουν να διαχωρίζουν το ένα πλαστικό από το άλλο, καθώς και οι άνθρωποι- διαλογείς. Ενώ παράλληλα, η ρομποτική διαλογή δε μπορεί, όπως φαίνεται απο τα ήδη εγκατεστημένα συστήματα, να εξαλείψει την ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό. Η τεχνητή νοημοσύνη υπόσχεται να μειώσει τα λειτουργικά έξοδα του κλάδου, να επιταχύνει τις διαδικασίες τους και να βελτιώσει την ποσότητα παραγωγής και την ποιότητα εργασίας των υπαλλήλων [22, 23].

Αυτή τη στιγμή, οι πιο σημαντικές κατασκευάστριες εταιρείες αυτονομών ρομποτικών διαλογέων είναι:

- **ZenRobotics.** Μια φινλανδική εταιρεία, που ξεκίνησε το 2011 την ρομποτική διαλογή, συνδυάζοντας τον ευφυή έλεγχο, την ηλεκτρονική όραση και την εκμάθηση μηχανών για τη λειτουργία ρομποτικών διαχωριστών στη βιομηχανία ανακύκλωσης βαρέων βιομηχανικών απορριμμάτων (ξύλο, σκυρόδεμα κ.λπ) (Εικ. 2.6) [24]. Η ZenRobotics Recycler είναι ένα έξυπνο σύστημα που ταξινομεί υλικά κατασκευής και την κατάφραση (CND), συλλέγοντας τα κατάλληλα αντικείμενα από έναν μεταφορικό ιμάντα χρησιμοποιώντας ρομποτικά χέρια. Είναι το πρώτο CND σύστημα ανακύκλωσης που εξασφαλίζει μια χρήσιμη καθαρότητα από ξύλο, πέτρα, και μέταλλο χωρίς την ανάμειξη ανθρώπινων ταξινομητών. Η εκμάθηση των ρομποτικών μηχανών για την επίλυση και λειτουργία των επιμέρους βασικών προβλημάτων όπως η αναγνώριση υλικών και η σύλληψη ακανόνιστων αντικειμένων από ένα ρεύμα αποβλήτων σε έναν ιμάντα μεταφοράς στηρίχτηκε σε μεθόδους μηχανικής μάθησης (Machine Learning-ML και διάχυτης νοημοσύνης (Artificial Intelligence-AI) [25].
- **Sadako.** Μία ισπανική εταιρεία που πρόσφατα ανέπτυξε μία αντίστοιχη εφαρμογή, που ονομάζεται MAX-AI, και αναφέρεται κυρίως στην ανακύκλωση πλαστικών [26]. Το Wall-B ήταν το πρώτο ρομπότ Sadako που αναπτύχθηκε γι αυτή την εφαρμογή. Πλέον αναγνωρίζεται ότι έχει περιορισμένες δυνατότητες και δεν είναι πλέον εμπορικά διαθέσιμο. Ενώ το Wall-B ήταν σε θέση να εκτελέσει 20 επιλογές ανά λεπτό και μπορούσε να αναγνωρίσει μόνο PET πλαστικά μπουκάλια, το Max-AI Autonomous QC μπορεί να χειριστεί ένα πολύ ευρύτερο φάσμα αντικειμένων και σε αρκετές φορές την προηγούμενη τιμή. Η προηγούμενη ρομποτική λύση δεν αξιοποίησε τις ανθρώπινες δυνατότητες, ενώ η Max-AI τις ξεπέρασε (Εικ 2.7).
- **AMP Robotics.** Η AMP Robotics ξεκίνησε ένα πιλοτικό έργο σε materials recycling facility (MRF) στο Ντένβερ [28]. Χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ρομπότ που έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλες βιομηχανίες για σχεδόν 20 χρόνια. Το ψευδώνυμο του ρομπότ είναι "Clarke", και το πήρε από τον συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας Arthur C.

Clarke. Η εταιρεία εκπαιδεύσει αρχικά τον Clarke για να αφαιρεί τα χαρτοκιβώτια από έναν ιμάντα μεταφοράς. Τώρα ο Clarke έχει ήδη μάθει να ταξινομεί το πλαστικό. Αρχικά, έχει επικεντρωθεί σε PET και HDPE. Τελικά η εταιρεία ελπίζει να χρησιμοποιήσει τον Clarke για να κάνει διαλογή ακόμα περισσότερων ειδών πλαστικών. Τεράστιο πλεονέκτημα αποτελεί η μεγάλη ταχύτητα διαλογής, στα 60 είδη PET ανά λεπτό. Σε συγκριση με το ότι ο άνθρωπος μπορεί να κάνει διαλογή σε 80 αντικείμενα ανά λεπτό και μάλιστα για μικρο διάστημα. Ο μέσος όρος ανθρωπίνου ρυθμού είναι 40 λήψεις ανά λεπτό.

- **Veolia.** Ως η παγκόσμια αναφορά για τη διαχείριση των αποβλήτων, η Veolia αναπτύσσει καινοτόμες λύσεις για ευεργετική επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση αποβλήτων σε νέες πρώτες ύλες, προστατεύοντας και διατηρώντας το περιβάλλον, και περιορίζοντας την εξάρτησή μας από τους χώρους υγειονομικής ταφής [29]. Σε όλο τον πλανήτη, η Veolia βοηθά τις πόλεις και τις βιομηχανίες να διαχειριστούν, να βελτιστοποιήσουν και να αξιοποιήσουν στο έπακρο τους πόρους τους. Η Veolia προσφατα ξεκίνησε να αναπτύσσει επίσης συστήματα με έξυπνες τεχνολογίες διαλογής σε συνδυασμό με βραχίονες ρομπότ. Η Veolia αναμένει ότι τα αυτοματοποιημένα κέντρα διαλογής θα χρησιμοποιηθούν ευρέως μέχρι το 2020.



Σχήμα 2.6: ZenRobotics βιομηχανική εγκατάσταση.



Σχήμα 2.7: Στιγμιότυπα λειτουργίας αυτόνομου ρομποτικού συστήματος διαχωρισμού πλαστικών MAX AI, SDAKO ROBOTICS.

Κεφάλαιο **3**

Πρότυπο Σύστημα Αυτόνομης Ρομποτικής Διαλογής

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το πρότυπο για τα ελληνικά δεδομένα σύστημα Αυτόνομου Ρομποτικού Διαχωριστή για πλαστικά ανακυκλώσιμα υλικά, όπως αυτό διαμορφώθηκε, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου "ΑΝΑΣΑ" [1]. Είναι σημαντικό να εστιάσουμε στα επιμέρους μέρη της αρχιτεκτονικής του συστήματος μελέτης, ώστε, να κατανοήσουμε τις σημαντικές προδιαγραφές λειτουργίας του βραχίονα και να αναπτύξουμε τα κατάλληλα κρητήρια για την επιλογή του βέλτιστου ρομπότ.

Αρχικά, σε μία τέτοια εφαρμογή θα πρέπει να καθοριστεί ο τύπος των ανακυκλώσιμων υλικών των οποίων θα γίνεται η διαλογή, καθώς όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην παγκόσμια αγορά συναντάμε συστήματα διαλογής από μικρά πλαστικά μέχρι βαριά οικοδομικά υλικά. Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής, ακολουθώντας το πρότυπο σύστημα "ΑΝΑΣΑ", το οποίο εξετάζουμε, το πεδίο μελέτης μας αφορά διαχωρισμό πλαστικών αστικών αποβλήτων και, πιο συγκεκριμένα, τα PET, PP, PS, HDPE, LDPE αλλά και PVC και Tetrapack.

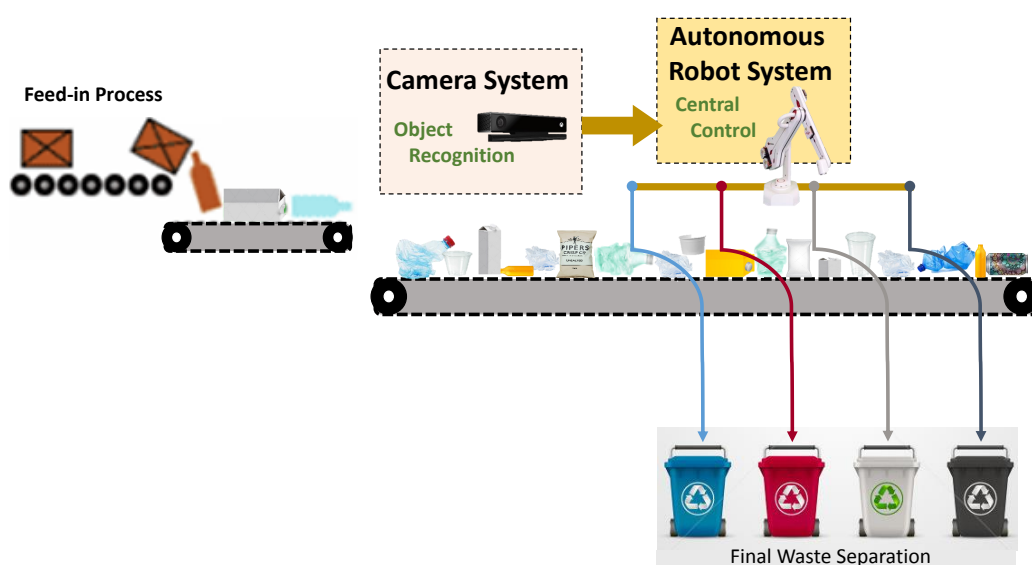
Όπως αναφέρουν οι συντελεστές του έργου που μελετάμε σε πρόσφατο άρθρο αναφορά [30] "Ο λόγος επιλογής αυτής της κατηγορίας υλικών είναι το υψηλό κόστος των προϊόντων στην αγορά των ανακυκλώσιμων. Καθιστά την επένδυση βιώσιμη με απόσβεση, σε πλήρη λειτουργία, κάτω των 2 ετών για τον αγοραστή του. Καθώς επίσης, μέσω αυτής της κατηγορίας ανακυκλώσιμων υλικών, συνεισφέρουμε στην βελτίωση της ανάκτησης και, εν γένει, στην επίτευξη των στόχων της χώρας που πρέπει να επιτευχθούν σύμφωνα με τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Αποβλήτων μέχρι το 2020." Σήμερα η διαλογή των προϊόντων γίνεται με θετική διαλογή στον πράσινο κάδο και με αρνητική διαλογή στον μπλε κάδο. Στη πράσινη γραμμή γίνεται η επιλογή του υλικού προς ανάκτηση πριν τη ταφή ή την ενεργειακή αξιοποίηση, ενώ στον μπλε κάδο η ανάκτηση των πλαστικών γίνεται μετά τον αρχικό διαχωρισμό των υλικών από χαρτί-χαρτόνι. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για την επιλογή του βραχίονα, που μελετά η παρούσα πτυχιακή, να είναι προκαθορισμένος και συγκεκριμένος εξάρχής ο τύπος των υλικών που απαιτείται να σηκώνει ο βραχίονας.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η αρχιτεκτονική του πρότυπου συστήματος που μελετάμε και δίνεται μια σύντομη περιγραφή στα επιμέρους υποσυστήματά του.

3.1 Αρχιτεκτονική Πρότυπου Συστήματος

Το πρότυπο σύστημα αυτόνομης διαλογής που μελετάμε αποτελείται από :

- μια μονάδα τροφοδοσίας ανακυκλώσιμων κλασμάτων,
- ένα σύστημα οπτικής ανίχνευσης του υλικού διαλογής,
- έναν ρομποτικό βραχίονα και
- μια συστοιχία κάδων διαλογής για την τελική τοποθέτηση των διαλεγόμενων απορριμμάτων (βλ. Εικόνα 3.1).

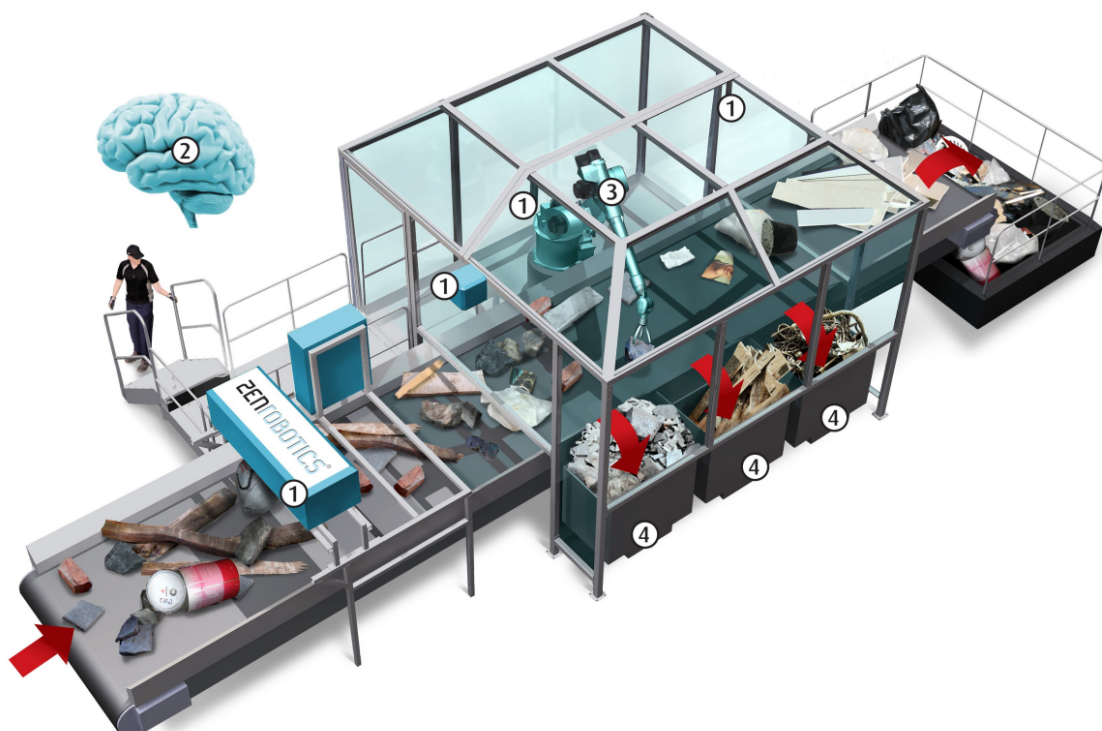


Σχήμα 3.1: Αρχιτεκτονική του πρότυπου συστήματος αυτόνομης διαλογής “ΑΝΑΣΑ” [1].

Αντίστοιχη αρχιτεκτονική δομή διακρίνεται και στην μεγαλύτερη εταιρεία παγκοσμίως, αυτή τη στιγμή, στον κλάδο της ρομποτικής διαλογής απορριμμάτων, όπως φαίνεται στην Εικ. 3.2. Η βασική μονάδα τροφοδοσίας, όπως φαίνεται είναι ένας ιμάντας με οικοδομικά υλικά, υπάρχει ένα ενσωματωμένο σύστημα οπτικής αναγνώρισης του υλικού διαλογής, 2 ρομποτικοί βραχίονες εκατέρωθεν και μια συστοιχία 6 κάδων διαλογής, 3 δίπλα σε κάθε βραχίονα.

3.1.1 Μονάδα Τροφοδοσίας Ανακυκλώσιμων Κλασμάτων

Ξεκινώντας με το πρώτο στάδιο του συστήματος, η μονάδα τροφοδοσίας έχει τα χαρακτηριστικά της ομοιόμορφης και σε σταθερή ταχύτητα μεταφοράς των απορριμμάτων στον αυτοματοποιημένο ιμάντα διαλογής. Στο Εργοστάσιο Μηχανικής Διαλογής και Κομποστοποίησης, ο ρομποτικός διαχωριστής ενσωματώνεται στον υπάρχων ιμάντα χειροδιαλογής. Τα υλικά που περνάνε έχουν ήδη υποστεί μία κατεργασία κοσκίνισματος και οδηγούνται σε μία μονο-επίπεδη διάταξη πάνω στον ιμάντα. Έτσι το σύστημα έχει τη δυνατότητα να διαβάσει τα υλικά ξεχωριστά και να τα ανακτήσει άμεσα πάνω από αυτόν. Στην περίπτωση



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση συστήματος αυτόνομης διαλογής Zen Robotics, με διακριτά τα αντίστοιχα 4 επίπεδα υλοποίησης: 1. αισθητήρες 2. Κεντρικό Σύστημα Ελέγχου Zen Robotics, 3. βιομηχανικά ρομπότ διαλογής, 4. ανακυκλωμα κλάσματα [25] Image ZenRobotics Ltd 2014.

της Μονάδας Προεπεξεργασίας Απορριμμάτων, χρειάζεται να δημιουργηθεί ένα παράλληλο σύστημα τροφοδοσίας που θα τροφοδοτείται μέσω της αρπάγης του εργοστασίου από το χώρο της βιοξήρανης. Στη συνέχεια, μέσω ενός δονητικού κοσκίνου τροφοδοσίας φεύγουν σε μικρές διατομές διάφορα υλικά, όπως οργανικά, σπασμένα γυαλιά κτλ. Το υλικό που απομένει και απαρτίζεται (λόγω μεγέθους) και από την κατηγορία των πλαστικών, οδηγείτε πάνω στον ιμάντα του συστήματος όπου ανακτώνται τα επιθυμητά υλικά. Από εκεί και πέρα, οδηγούνται τα υπόλοιπα υλικά προς δεματοποίηση.

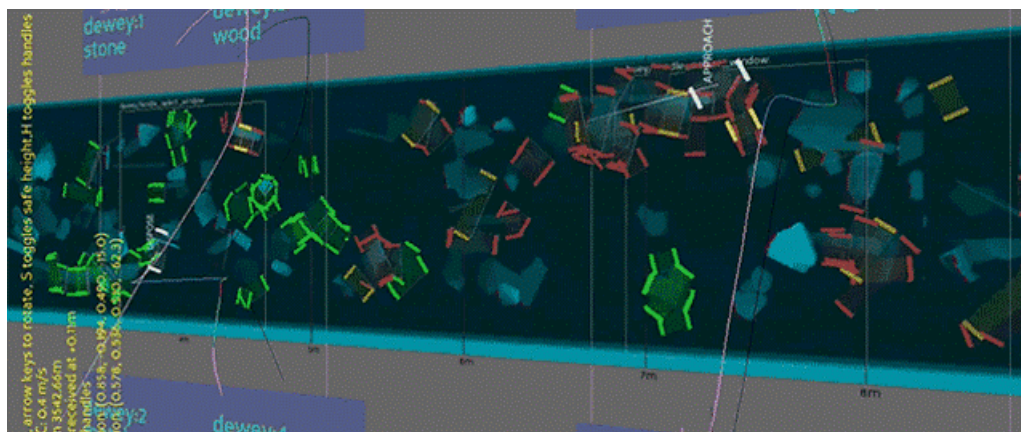
3.1.2 Σύστημα Οπτικής Ανίχνευσης Υλικού Διαλογής

Η αναγνώριση αντικειμένων σε μη δομημένες σκηνές αποτελεί πρόκληση για τον τομέα της τεχνητής όρασης. Μια σημαντική εφαρμογή της τεχνητής όρασης εντοπίζεται στην ρομποτική, όπου η ικανότητα για γρήγορη και ακριβή αναγνώριση αντικειμένων, τα οποία μας ενδιαφέρουν, είναι υψίστης σημασίας για την εκτέλεση δράσεων από τα ρομπότ.

Το πρόβλημα της αντίληψης στην ρομποτική έχει ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά που το διαφοροποιούν από όλα τα υπόλοιπα προβλήματα της τεχνητής όρασης. Ένα σύστημα αναγνώρισης αντικειμένων πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών αντικειμένων. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι με την εισαγωγή ιεραρχίας στα αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα, να γίνεται αναγνώριση κατηγοριών μορφής, χρώματος, σχήματος ή μοτίβου αντί για αναγνώριση μεμονωμένων αντικειμένων. Η προσέγγιση αυτή παραμένει ένα δύσκολο πρόβλημα, αν και υπάρχουν διαθέσιμες προτει-

νόμενες τεχνικές επίλυσης [31].

Σε ρεαλιστικά περιβάλλοντα υπάρχουν αρκετά αντικείμενα τα οποία ενδέχεται να αποκρύπτονται και να φαίνεται ένα μέρος τους, να είναι παραμορφωμένα ή ο φωτισμός να αλλοιώνει την όψη τους. Για το λόγο αυτό, τα ρομπότ, όπως και στην περίπτωση μας, πρέπει να αποφύγουν τυχόν τέτοιες παραμορφώσεις και να αναγνωρίσουν το σωστό αντικείμενο ώστε να το χειριστούν όπως απαιτείται. Αυτό σημαίνει ότι το εξωτερικό οπτικό σύστημα ανίχνευσης του αντικειμένου πρέπει αρχικά να αναγνωρίζει το υλικό σύμφωνα με έναν αλγόριθμο που ο σχεδιαστής θα προκαθορίσει βασιζόμενος στο σχήμα και στο χρώμα των υλικών, και στη συνέχεια να εντοπίζει την θέση τους στον χώρο. Το σύστημα οπτικής αναγνώρισης θα επικοινωνεί έμμεσα με το ρομπότ και θα τεθούν κοινές προδιαγραφές λειτουργίας, πχ. ίδια ταχύτητα λήψης και δράσης, κοινός φωτισμός στον χώρο λειτουργίας του συστήματος κτλ. Αντίστοιχα, το ρομπότ που θα χρησιμοποιηθεί για αυτό τον σκοπό απαιτείται να αντιδρά γρήγορα στις μεταβολές του περιβάλλοντος (κυλιόμενος ιμάντας διαλογής με αντικείμενα), πρέπει να υποστηρίζεται από ένα τέτοιο σύστημα αντίληψης που λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο (Εικ. 3.3). Αντίθετα, ένα ρομπότ που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον έχει να διαχειριστεί έναν σχετικά μικρό αριθμό αντικειμένων. Για αυτό το λόγο, γίνεται αναγνώριση μεμονωμένων αντικειμένων, συλλέγοντας έναν μεγάλο αριθμό δεδομένων για κάθε αντικείμενο. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται με την χρήση διαφόρων αισθητηρίων, όπως κάμερες και αισθητήρες βάθους.



Σχήμα 3.3: Εντοπισμός υλικού.

3.1.3 Ρομποτικός Βραχίονας

Η πληροφορία εξόδου του οπτικού υπο-συστήματος θα είναι οι συντεταγμένες θέσης του αντικειμένου πάνω στον ιμάντα. Αυτά είναι και τα δεδομένα εισόδου του υπο-συστήματος του ρομποτικού διαχωριστή που θα υλοποιηθεί σαν ο συνδυασμός ενός ρομποτικού βραχίονα και ενός συστήματος αρπαγής που θα επιτρέπει το πιάσιμο και τη μεταφορά των ανακυκλώσιμων υλικών στον κατάλληλο κάδο. Αν και οι λεπτομερείς προδιαγραφές του ρομποτικού διαχωριστή προσδιορίζονται στο επόμενο Κεφάλαιο, εν συντομία, θα λέγαμε, ότι κρίνοντας από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες [32, 33], ότι οι ελάχιστες και απαραίτητες προδιαγραφές που πρέπει να πληρεί ένα τέτοιο σύστημα είναι: (i) ελάχιστη ταχύτητα κίνησης του end effector: $\sim 1m/sec$, (ii) μεγάλη ακρίβεια και μηδενικό backlash στις αρθρώσεις του ρομπότ, (iii) μέγισ-

στο φορτίο ανύψωσης (payload): ~ 1 kg, (iv) ελάχιστη έκταση βραχίονα: ~ 1 m και (v) αρπαγή χεριού για το πιάσιμο των υλικών hand gripper.

Η στοχευμένη κίνηση του ρομποτικού βραχίονα που θα αποτελέσει την καρδιά του ρομποτικού διαχωριστή θα πρέπει να στηρίζεται σε σύγχρονες τεχνολογίες μάθησης και ευφυούς ελέγχου, ώστε να εφαρμοσθούν αξιόπιστα για κινήσεις χειρισμού και μεταφοράς αντικειμένων σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Η τεχνολογία αυτή θα στηρίζεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων βελτιστοποίησης και αντίστροφης κινηματικής (inverse kinematics) για τον καθορισμό της θέσης του αντικειμένου και της βέλτιστης τροχιάς που θα πρέπει να ακολουθηθεί για το πιάσιμο του αντικειμένου. Η καλή λειτουργία τέτοιων υπο ανάπτυξη μεθόδων ειδικά σε εργασιαστικά προβλήματα όπου δεν είναι απλή η πρόβλεψη της κίνησης των αντικειμένου σε συνδυασμό με τις βέλτιστες προδιαγραφές λειτουργίας του ρομπότ (ταχύτητα, εύρος μεταφοράς κτλ) θα καταστήσει τις ιδανικές συνθήκες για τον διαχωρισμό ανακυκλώσιμων υλικών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

3.1.4 Τελική Διαλογή

Τέλος, θα πρέπει να αναπτυχθεί κατάλληλη μέθοδος για την κατηγοριοποίηση του υλικού μετά το πιάσιμο του απτόν βραχίονα, ώστε να τοποθετηθεί στο κατάλληλο κάδο τελικής διαλογής.

Το κομμάτι αυτό αφορά έξυπνες τεχνολογίες ευφυούς ελέγχου που θα αναπτυχθούν και θα καθοριστούν κατάλληλα για την κάθε εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος ρομποτικής διαλογής και θα εξαρτάται άρρηκτα από το είδος των υλικών που χρειάζεται να διαχωριστούν σε κάθε εργοστάσιο.

3.2 Επιδιωκόμενη Τεχνολογία

Σύμφωνα με τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Αποβλήτων [34], ο οποίος είναι εναρμονισμένος με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2008/98/ΕΚ, η εθνική πολιτική για τα απόβλητα προσανατολίζεται στους εξής στόχους-ορόσημα για το 2020 (όπως αναφέρθηκαν και αναλυτικά στο Κεφ. 1):

- στη δραστική μείωση των κατά κεφαλή παραγόμενων αποβλήτων,
- στην προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίησή τους και στην ανακύκλωση με χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων βιο-αποβλήτων, η οποία να εφαρμόζεται στο 50% του συνόλου των Αστικών Αποβλήτων (ΑΣΑ),
- στην ανάκτηση ενέργειας, η οποία να χρησιμοποιείται όταν έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια κάθε άλλου είδους ανάκτησης και
- στην υγειονομική ταφή, ως τελευταία, όμως, επιλογή, με στόχο να έχει περιοριστεί σε λιγότερο από το 30% του συνόλου των ΑΣΑ.

Με την καινοτόμα τεχνολογική πρόταση ενός Ρομποτικού Διαχωριστή, το παγειωμένο σκηνικό ανακύκλωσης στην Ελλάδα προβλέπεται να αλλάξει και στόχος είναι η βέλτιστη ανάκτηση των στερεών αποβλήτων και, πιο συγκεκριμένα, των δύο τύπων αποβλήτων που

υπάρχουν σήμερα στην Ελλάδα, του μπλε κάδου (ανακυκλώσιμες συσκευασίες) και του πράσινου κάδου (σύμμεικτα απορρίμματα).

Ως εκ τούτου, η παρούσα πτυχιακή στόχο έχει την ποσοτική και ποιοτική αποτίμηση των διαθέσιμων ρομποτικών βραχιόνων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία τέτοια εφαρμογή για ρομποτική ανακύκλωση ΑΣΑ, ώστε να λειτουργεί στις βέλτιστες δυνατές συνθήκες ταχύτητας και ακρίβειας.

Κεφάλαιο 4

Ανάπτυξη μονάδας ρομποτικού βραχίονα

Στο κεφάλαιο αυτό θα εστιάσουμε στην καρδιά του συστήματος που είναι ο ρομποτικός βραχίονας. Αρχικά, παρατίθενται οι βασικές έννοιες που προσδιορίζουν ένα βιομηχανικό ρομπότ και στη συνέχεια εξετάζονται ξεχωριστά οι διαφορετικοί προτεινόμενοι ρομποτικοί βραχίονες που προτείνονται προς χρήση ως η καρδιά του αυτόνομου συστήματος διαλογής [35, 36] στην εφαρμογή που μελετάμε και τέλος δίνεται η τελική αποτίμηση και ποσοτική αξιολόγηση της χρήσης του βέλτιστου βραχίονα, όπως αυτός προέκυψε από τη μελέτη.

4.1 Βιομηχανικά Ρομπότ

Ένα βιομηχανικό ρομπότ (**industrial robot**) είναι μια προγραμματιζόμενη μηχανή γενικού σκοπού, η οποία χρησιμοποιείται για την αυτόματη εκτέλεση διάφορων εργασιών συναρμολόγησης, μορφοποίησης και επεξεργασίας. Συχνά ένα ρομπότ διαθέτει, κάποιους είδους ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά, όπως ο μηχανικός βραχίονας, στον οποίο προσομοιώνεται η δομή και λειτουργία του ανθρώπινου βραχίονα. Κάποια άλλα ανθρωπομορφικά («έξυπνα») χαρακτηριστικά που μπορεί να διαθέτουν τα ρομπότ είναι η προσαρμογή της λειτουργίας βάσει αισθητηριακών δεδομένων, η δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες μηχανές και η δυνατότητα λήψης αποφάσεων, καθώς και η δυνατότητα κίνησης στο χώρο. Ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών δίνει την ευελιξία στα ρομπότ να επιτελούν μια ποικιλία καθηκόντων και εξηγεί γιατί η ρομποτική τεχνολογία θεωρείται για πολλούς η βάση για το σχεδιασμό μιας μελλοντικής μηχανής, που θα μπορεί να αντικαταστήσει τον άνθρωπο σε νοητικά και σωματικά πολύπλοκες εργασίες, όπως στο παράδειγμα της Εικ. 4.1 μέσα στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Η ανάπτυξη της ρομποτικής τεχνολογίας εξελίχθηκε παράλληλα με αυτή του αριθμητικού ελέγχου, με την οποία και υπάρχουν πολλά κοινά, κυρίως στον τρόπο προγραμματισμού και ελέγχου των κινήσεων. Και οι δύο τεχνολογίες διαθέτουν κινούμενα μέρη, η κίνηση των οποίων καθορίζεται με βάση ένα σύστημα συντεταγμένων και έχει συγκεκριμένους βαθμούς ελευθερίας στους τρεις άξονες. Και στις δύο τεχνολογίες, επίσης, ο έλεγχος και ο προγραμματισμός της κίνησης είναι ψηφιακός. Μεταξύ των δύο ωστόσο, η τεχνολογία του αριθμητικού ελέγχου προσανατολίζεται σε συγκεκριμένες κατεργασίες μορφοποίησης (κυρίως κοπής αλλά και πρόσθεσης υλικού), ενώ η ρομποτική τεχνολογία έχει πιο ευρύ πεδίο εφαρμογών, το οποίο περιλαμβάνει κατεργασίες μορφοποίησης και επεξεργασίας επιφανειών, καθώς και συναρμολόγησης και διαχείρισης υλικών. Μέχρι στιγμής, πάντως, τα



Σχήμα 4.1: Βιομηχανικά ρομπότ σε εργοστάσιο παραγωγής αυτοκινήτων.

ρομπότ χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασίες συγκόλλησης (όπως η σημειακή συγκόλληση spot welding), βαφής/επικάλυψης επιφανειών (π.χ. βαφή εξωτερικών επιφανειών ενός αυτοκινήτου), συναρμολόγησης (συναρμολόγηση πλακετών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων), καθώς και τοποθέτησης/διαχείρισης υλικών (εφαρμογές **pick-and-place**) για επεξεργασία, συσκευασίας κ.α. Στο πεδίο των κατεργασιών και μορφοποίησης, η χρήση ρομπότ είναι σχετικά περιορισμένη (κυρίως σε κατεργασίες κοπής χωρίς υψηλή μηχανική καταπόνηση, όπως π.χ. κοπή με λέιζερ), διότι τα ρομπότ (τα οποία είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση μια μηχανή γενικού σκοπού) δεν μπορούν συνήθως να επιτύχουν ακρίβεια αντίστοιχη με αυτή των εργαλειομηχανών (μηχανή ειδικού σκοπού, στη συγκεκριμένη περίπτωση).

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν τα ρομπότ κατάλληλα για βιομηχανικές εφαρμογές είναι και τα εξής:

- Τα ρομπότ μπορούν να αντικαταστήσουν τον άνθρωπο σε σχετικά επικίνδυνα και μονότονα καθήκοντα.
- Ένα ρομπότ επιτελεί τον κύκλο εργασιών του (που εμπεριέχεται στο αντίστοιχο πρόγραμμα) με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνέπεια από έναν άνθρωπο.
- Τα ρομπότ μπορούν να αναπρογραμματιστούν για ποικιλία καθηκόντων που διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του εργαλείου/ενεργού άκρου (**end effector**) που προσαρμόζεται στο κινούμενο άκρο τους.
- Τα ρομπότ διαθέτουν τη δυνατότητα ψηφιακής επικοινωνίας με άλλα συστήματα ψηφιακής κατασκευής και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής.

Στην παρούσα ενότητα θα εστιάσουμε κυρίως στα βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα (industrial robots), τα οποία δεν διαθέτουν συνήθως τη δυνατότητα εγγενούς κίνησης και

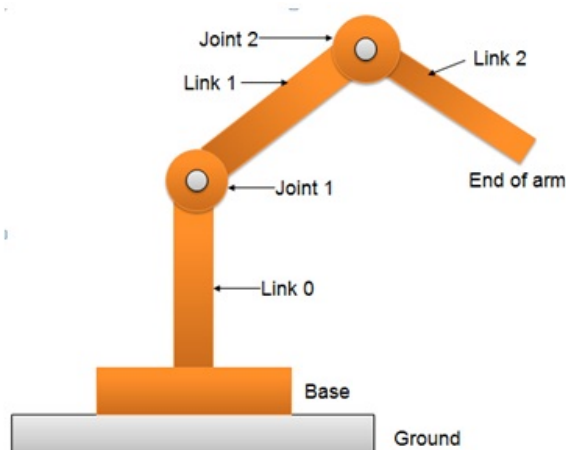
εξειδικεύονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές και εργασίες όπως αυτές που περιγράφηκαν παραπάνω.

4.1.1 Ανατομία Ρομπότ-Βασικές Έννοιες

Το κυρίως σώμα ενός βιομηχανικού ρομπότ περιγράφεται συχνά και με τον όρο «σύστημα χειρισμού» ή «χειριστής» (**manipulator**). Το σύστημα χειρισμού αποτελείται από ένα σύνολο συνδέσμων (**links**) και αρθρώσεων (**joints**) που καθορίζουν ουσιαστικά το πεδίο και το εύρος κινήσεων του ρομπότ. Ο τύπος των συνδέσμων και των αρθρώσεων καθώς και το μέγεθος αυτών καθορίζει την ανατομία του ρομπότ καθώς και τη μηχανολογική του διάταξη [37].

Οι σύνδεσμοι είναι τα συμπαγή, σταθερά τμήματα της κατασκευής. Μια άρθρωση συνδέει δύο συνδέσμους, το σύνδεσμο εισόδου (**input link**) και το σύνδεσμο εξόδου (**output link**), επιτρέποντας ένα συγκεκριμένο εύρος κινήσεων, λειτουργεί δηλαδή παρόμοια με τις αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος, οι οποίες συνδέουν δύο τμήματα του σκελετού. Το εύρος και ο τύπος κίνησης που επιτρέπει μια άρθρωση περιγράφεται συχνά και με τον όρο βαθμός ελευθερίας (**degree of freedom**) της κίνησης. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, ένας τύπος άρθρωσης αντιστοιχίζεται με ένα βαθμό ελευθερίας της κίνησης. Οι βαθμοί ελευθερίας περιγράφονται συχνά και με τον όρο άξονες της κίνησης.

Τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ είναι σταθεροποιημένα σε μια βάση, συνήθως το δάπεδο ή κάποια άλλη οριζόντια βάση. Σε ένα τέτοιο ρομποτικό σύστημα, ως σύνδεσμος 0 ορίζεται ο σύνδεσμος που συνδέει τη βάση με την πρώτη άρθρωση (άρθρωση 1), για την οποία αποτελεί και το σύνδεσμο εισόδου (Εικ. 4.2). Σύνδεσμο εξόδου για την άρθρωση 1 αποτελεί ο σύνδεσμος 1, ο οποίος με τη σειρά αποτελεί του το σύνδεσμο εισόδου για την άρθρωση 2. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να αριθμηθούν όλα τα επιμέρους τμήματα του συστήματος χειρισμού [38].

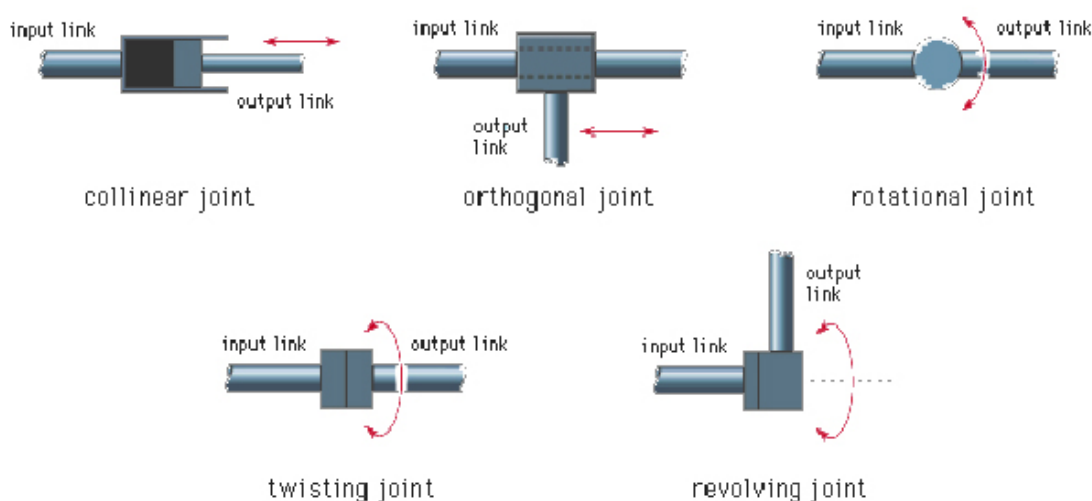


Σχήμα 4.2: Ανατομία αρθρώσεων και συνδέσμων σε ένα βιομηχανικό ρομπότ.

Όλοι οι τύποι αρθρώσεων μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες, δύο από τις οποίες σχετίζονται με τη γραμμική κίνηση και τρεις με τη περιστροφική. Οι βασικοί τύποι αρθρώσεων παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικ. 4.3 και είναι οι εξής [39].

- Γραμμική άρθρωση (**linear / type L joint**), η οποία επιτρέπει τη σχετική γραμμική κίνηση (ολίσθηση) των δύο συνδέσμων σε παράλληλες κατευθύνσεις/άξονες. 184

- Ορθογώνια άρθρωση (**orthogonal / type O joint**), όπου επιτρέπεται επίσης μια γραμμική μετατόπιση/ολίσθηση με τη διαφορά ότι ο σύνδεσμος εξόδου είναι κάθετος στον άξονα ολίσθησης
- Περιστροφική άρθρωση (**rotational / type R joint**), η οποία επιτρέπει περιστροφική κίνηση του συνδέσμου εξόδου ως προς άξονα, κάθετο στην άρθρωση.
- Άρθρωση στρέψης (**twisting / type T joint**), στην οποία η περιστροφή του συνδέσμου εξόδου γίνεται ως προς άξονα παράλληλο σε αυτό των δύο συνδέσμων.
- Άρθρωση κάθετης περιστροφής (**revolving / type V joint**), στην οποία ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος στο σύνδεσμο εισόδου και κάθετος στο σύνδεσμο εξόδου.

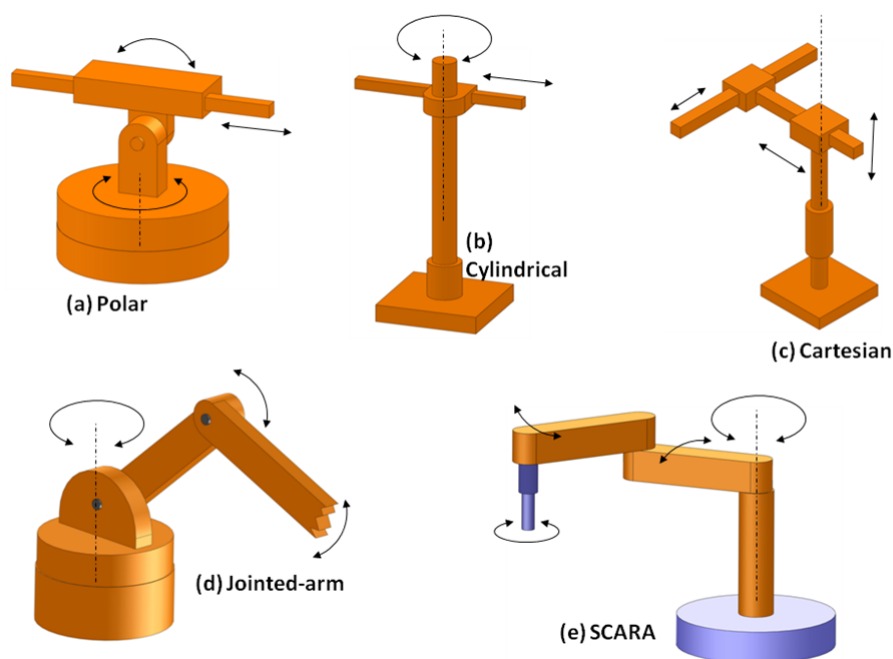


Σχήμα 4.3: Βασικοί τύποι αρθρώσεων.

Ένας ρομποτικός χειριστής μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικά τμήματα: το σύστημα κορμού-βραχίονα και το σύστημα του καρπού (**wrist**). Στην άκρη του καρπού είναι προσαρμοσμένο το ενεργό άκρο ή τελικό στοιχείο δράσης (end effector), δηλαδή, η συσκευή ή το εργαλείο, που επιτελεί την εργασία για την οποία χρησιμοποιείται το ρομπότ. Το ενεργό άκρο μπορεί να είναι μια αρπάγη (**gripper**) για το χειρισμό ενός κομματιού υπό επεξεργασία ή ένα εργαλείο για την εκτέλεση κάποιας διαδικασίας (εργαλείο συγκόλλησης, βαφής, κοπής κα). Το υποσύστημα βραχίονα-κορμού χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του ενεργού άκρου στο επιθυμητό σημείο και το υποσύστημα του καρπού για τον προσανατολισμό του άκρου [40]. Η ποικιλία στους τύπους αρθρώσεων επιτρέπει μεγάλη ποικιλία στο σχεδιασμό του κυρίως σώματος ενός χειριστή. Με βάση τους τύπους αρθρώσεων που περιγράφηκαν παραπάνω υπάρχουν 53 διαφορετικοί συνδυασμοί αρθρώσεων για το σχεδιασμό ενός χειριστή με τρεις βαθμούς ελευθερίας. Οι συνδυασμοί αυτοί αυξάνονται σημαντικά εάν συνυπολογίσει κανείς τις παραμέτρους του εύρους κίνησης κάθε άρθρωσης [40].

Παρόλ' αυτά υπάρχουν πέντε τυπικές διατάξεις χαρακτηριστικών συστημάτων χειρισμού, που εφαρμόζονται στα περισσότερα από τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ και παρουσιάζονται σχηματικά στην Εικ. 4.4 . Αναλυτικά οι διατάξεις αυτές είναι οι εξής.

- Σφαιρική/πολική διάταξη (**polar configuration**). Η διάταξη αυτή αποτελείται από ένα σύνδεσμο ολίσθησης (Λ) που μπορεί να περιστραφεί τόσο κάθετα (τύπος T) όσο και οριζόντια (τύπος P). Ο χώρος που καλύπτεται από μια τέτοια διάταξη έχει τη μορφή τμήματος σφαίρας.
- Κυλινδρική διάταξη (**cylindrical configuration**). Διάταξη που χρησιμοποιείται για την κάλυψη κυλινδρικού σωρού και αποτελείται από μια κάθετη στήλη στην οποία είναι προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος βραχίονας. Ο βραχίονας μπορεί να μετακινηθεί κάθετα ως προς τον άξονα της στήλης αλλά και οριζόντια μέσω μιας άρθρωσης τύπου O.
- Ορθογωνική/καρτεσιανή διάταξη (**Cartesian coordinate robot**). Αποτελείται από τρεις αρθρώσεις γραμμικής κίνησης και καλύπτει ένα ορθογώνιο χώρο.
- Διάταξη αρθρωτού βραχίονα (**jointed-arm robot**). Στην περίπτωση αυτή ο χειριστής προσομοιάζει τον ανθρώπινο βραχίονα. Αποτελείται συνήθως από μια κάθετη στήλη που περιστρέφεται γύρω από μια άρθρωση τύπου T. Στη στήλη είναι προσαρμοσμένη μια άρθρωση τύπου P αντίστοιχη του ώμου, της οποίας ο σύνδεσμος εξόδου συνδέεται επίσης με ένα σύνδεσμο τύπου P, ο οποίος αντιστοιχεί στον αγκώνα.
- Διάταξη **SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)**. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι παρόμοια με την αρθρωτή, από την οποία διαφέρει στις αρθρώσεις ώμου και αγκώνα, οι άξονες των οποίων είναι κάθετοι. Η διαφοροποίηση αυτή αυξάνει σημαντικά τη σταθερότητα της διάταξης στην κάθετη διεύθυνση, ενώ επιτρέπει και μεγάλο εύρος κινήσεων στο οριζόντιο επίπεδο. Αυτό καθιστά τη συγκεκριμένη διάταξη ιδανική για ρομπότ ανάκτησης και τοποθέτησης (pick-and-place).



Σχήμα 4.4: Τυπικές διατάξεις ρομποτικού χειριστή.

Όπως είναι εμφανές και από τα παραδείγματα, το σύστημα κορμού-βραχίονα διαθέτει συνήθως τρεις βασικούς βαθμούς ελευθερίας. Αντίστοιχα, το υποσύστημα ελέγχου του καρπού διαθέτει 2-3 βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση, οι οποίοι συνδέονται, κατά κύριο λόγο, με τη δυνατότητα περιστροφής του ενεργού άκρου ως προς τους τρεις άξονες του τοπικού συστήματος συντεταγμένων του καρπού. Οι τρεις αυτές δυνατότητες περιστροφής περιγράφονται με τους όρους **roll** (εγκάρσια, γύρω από τον άξονα x του βραχίονα), **pitch** (διαμήκης, αφορά συνήθως περιστροφή γύρω από τον άξονα y) και **yaw** (περιστροφή γύρω από τον άξονα z).

Για λόγους συντομίας και ανάλυσης, ο τύπος διάταξης ενός ρομποτικού χειριστή μπορεί να περιγραφεί και συμβολικά. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται τα σύμβολα για τους τύπους αρθρώσεων, που είναι και αυτές που κατά κύριο λόγο καθορίζουν τη διάταξη. Έτσι για παράδειγμα η κωδικοποίηση TRR:TR περιγράφει τη διάταξη ενός χειριστή αρθρωτού βραχίονα με τρεις βαθμούς ελευθερίας, έναν στρέψης και δύο περιστροφής (TRR), στο οποίο είναι προσαρμοσμένος ένας καρπός με δύο βαθμούς ελευθερίας, έναν στρέψης και έναν περιστροφής (TR).

4.1.2 Συστήματα ελέγχου των αρθρώσεων και της κίνησης

Οι αρθρώσεις ενός ρομπότ ενεργοποιούνται με τρεις τύπους μηχανισμών κίνησης, ηλεκτρικούς, πνευματικούς και υδραυλικούς. Πνευματικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερα ρομπότ που χρησιμοποιούνται για εργασίες χειρισμού ελαφρών υλικών και αντικειμένων. Ηλεκτρικοί και υδραυλικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούνται σε πιο απαιτητικές εφαρμογές. Το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης αποτελείται από ηλεκτρικούς κινητήρες (σερβοκινητήρες ή βηματικούς) αντιστοίχους με αυτούς που χρησιμοποιούνται σε NC συστήματα ελέγχου της κίνησης. Οι ηλεκτρικοί μηχανισμοί χρησιμοποιούνται συχνότερα λόγω της μεγαλύτερης σχετικά ακρίβειας, η οποία είναι το αποτέλεσμα της μεγάλης ανάπτυξης της σχετικής τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια. Υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως όταν απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα και δύναμη. Το σύστημα ελέγχου της κίνησης καθορίζει την ταχύτητα ανταπόκρισης (**speed of response**) αλλά και τη σταθερότητα (**stability**) του ρομπότ. Η σταθερότητα αναφέρεται στην παρουσία ταλαντώσεων και αστοχιών στη τοποθέτηση, καθώς το ενεργό άκρο κινείται από το ένα σημείο στο άλλο (όσο μικρότερες οι ταλαντώσεις τόσο μεγαλύτερη η σταθερότητα). Η ταχύτητα ανταπόκρισης αναφέρεται στην ταχύτητα με την οποία επιτυγχάνεται η μετακίνηση του άκρου από ένα σημείο σε κάποιο άλλο. Πολύ σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της ταχύτητας είναι η δυνατότητα επιτάχυνσης και επιβράδυνσης κατά την κίνηση μεταξύ δύο σημείων. Συνήθως ταχύτητα ανταπόκρισης και σταθερότητα συνδέονται αντιστρόφως ανάλογα, δηλαδή μια πιο σταθερή κατασκευή συνεπάγεται μικρότερη ταχύτητα ανταπόκρισης [40, 41].

4.1.3 Ψηφιακό σύστημα ελέγχου ρομπότ

Ο έλεγχος της κίνησης των αρθρώσεων ενός ρομπότ, κατά τη διάρκεια ενός προγραμματισμένου κύκλου εργασιών, επιτελείται μέσω του ψηφιακού συστήματος ελέγχου, το οποίο αποτελείται, συνήθως, από έναν H/Y, εξοπλισμένο με το κατάλληλο λογισμικό. Τα συστήματα ψηφιακού ελέγχου των ρομπότ μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: [40, 41].

- **Συστήματα ελέγχου κινήσεων περιορισμένης αλληλουχίας (limited sequence control).** Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα περιορίζεται σε απλούς προγραμματισμένους κύκλους κινήσεων, όπως η ανάκτηση και τοποθέτηση αντικειμένων/εξαρτημάτων/κομματιών από και προς συγκεκριμένες θέσεις. Ένας τέτοιος τύπος, απλής και επαναλαμβανόμενης κίνησης, μπορεί να οριστεί χρησιμοποιώντας τερματικά κίνησης και μηχανικά στοπ (limit and mechanical stops), καθώς και μηχανισμούς χρονικού προγραμματισμού της κίνησης των αρθρώσεων. Συνήθως τα αντίστοιχα ρομπότ διαθέτουν πνευματικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης.
- **Συστήματα σημειακού ελέγχου (point-to-point control).** Όπως και τα συστήματα αριθμητικού ελέγχου, υπάρχει η δυνατότητα σημειακού ελέγχου της κίνησης, κατά τον οποίο το ρομπότ επισκέπτεται διαδοχικά μια σειρά σημείων κατά τον κύκλο εργασιών. Τα σημεία αποθηκεύονται στη μνήμη από την οποία και ανακαλούνται σταδιακά για την καθοδήγηση της κίνησης του ρομπότ.
- **Συστήματα ελέγχου συνεχούς τροχιάς (continuous path control).** Στη συγκεκριμένη περίπτωση αποθηκεύεται στη μνήμη η τροχιά/διαδρομή (paths) της κίνησης, αντί για μεμονωμένα σημεία. Σε κάποιους από τους ομαλούς/κανονικούς τύπους κίνησης, όπως π.χ. η γραμμική, η τροχιά υπολογίζεται απευθείας από τον ελεγκτή, με βάση το σημείο εκκίνησης και τερματισμού της κίνησης και χρησιμοποιώντας μεθόδους παρεμβολής (interpolation methods). Για πιο ακανόνιστους (ελεύθερους) τύπους κίνησης, όπως η τροχιά του πιστολιού σε μια εργασία βαφής, η τροχιά προσεγγίζεται από μια σειρά σημείων, τα οποία είναι αρκετά πυκνά τοποθετημένα κατά μήκος διαδρομής.
- **Συστήματα ευφυούς ελέγχου (intelligent control).** Αφορά κυρίως ρομποτικά συστήματα στα οποία ο έλεγχος κίνησης δίνει την εντύπωση ευφυούς συμπεριφοράς. Κάποια ευφυή χαρακτηριστικά είναι η χρήση εξεζητημένων αισθητήρων, μηχανικής όρασης, συστημάτων επικοινωνίας και πολύπλοκων συστημάτων για το δυναμικό έλεγχο της κίνησης και τη διόρθωση σφαλμάτων σε αυτή. Τα συστήματα ευφυούς ελέγχου απαιτούν συνήθως υψηλότερη υπολογιστική ισχύ και πιο εξελιγμένο λογισμικό για τον προγραμματισμό και έλεγχο της κίνησης, από τα προηγούμενα συστήματα.

4.1.4 Ενεργό άκρο (End-effector)

Όπως προαναφέρθηκε το ενεργό άκρο ενός ρομπότ επιτρέπει την εκτέλεση διάφορων εργασιών από τα ρομπότ. Οι δύο βασικές κατηγορίες άκρων είναι οι αρπάγες (**grippers**) και τα εργαλεία. Η **αρπάγη** επιτρέπει τη συλλογή και το χειρισμό αντικειμένων κατά τη διάρκεια ενός κύκλου εργασιών, συνήθως για την τοποθέτηση ή τη συγκράτηση κομματιών και εξαρτημάτων υπό επεξεργασία ή συναρμολόγηση. Οι περισσότερες αρπάγες σχεδιάζονται κατά-παραγγελία για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι συνήθεις τύποι αρπάγης είναι οι εξής (Εικ. 4.5) :

- **Μηχανική αρπάγη (mechanical grippers),** η οποία αποτελείται από δύο ή περισσότερα δάκτυλα (fingers) που ενεργοποιούνται σε δύο τουλάχιστον θέσεις (ανοικτά/κλειστά) για την λήψη και συγκράτηση ενός αντικειμένου,

- **Αρπάγη κενού (vacuum grippers)**, η οποία διαθέτει προσαρμοσμένες βεντούζες για το χειρισμό κυρίως επίπεδων κομματιών,
- **Μαγνητική αρπάγη**, για το χειρισμό μεταλλικών αντικειμένων,
- **Αρπάγη με συγκολλητική ουσία (adhesive gripper)**, στην οποία χρησιμοποιείται κάποια συγκολλητική ουσία (κόλλα) για την συγκράτηση εύκαμπτων υλικών (π.χ. ύφασμα), και
- **Απλές μηχανικές αρπάγες**, στις οποίες συγκαταλέγονται απλά μηχανικά στοιχεία όπως άγκιστρα, γάντζοι, σέσουλες κλπ.

Αρκετά ρομπότ διαθέτουν μηχανισμούς προσαρμογής και εναλλαγής αρπαγών, ανάλογα με την εφαρμογή. Οι σύγχρονες αρπάγες μπορεί να διαθέτουν, επίσης, περισσότερα από δύο δάκτυλα, καθώς και αισθητήρες/μηχανισμούς ανάδρασης για τη ρύθμιση της δύναμης που ασκείται για τη συγκράτηση του αντικειμένου.



Σχήμα 4.5: Συνήθεις τύποι αρπάγης.

4.1.5 Προγραμματισμός ρομπότ

Ο κύκλος εργασιών ενός ρομπότ, όπως και μιας μηχανής CNC ή 3D εκτύπωσης επιτελείται με βάση ένα πρόγραμμα που καθορίζει τις κινήσεις του ρομπότ αλλά και άλλες υποστηρικτικές λειτουργίες, όπως την ενεργοποίηση του ενεργού άκρου και την επικοινωνία με άλλες μηχανές σε ένα κύτταρο παραγωγής. Στην περίπτωση των ρομπότ απλής αλληλουχίας κινήσεων, το πρόγραμμα κινήσεων είναι ουσιαστικά εμπεδωμένο στην κατασκευή, με τη

χρήση τερματικών διακοπών και μηχανικών εμποδίων που καθορίζουν απόλυτα την κίνηση, όπως σε μια απλή αυτόματη διάταξη. Στην πλειοψηφία, ωστόσο, των περιπτώσεων, τα ρομπότ διαθέτουν δυνατότητα προγραμματισμού της λειτουργίας μέσω του ψηφιακού συστήματος ελέγχου της κίνησης, το οποίο διαθέτει υπολογιστικές και αποθηκευτικές δυνατότητες [41]. Για τον προγραμματισμό ενός ρομπότ χρησιμοποιούνται τρεις κυρίως μέθοδοι:

- **Προγραμματισμός μέσω καθοδήγησης (lead-through programming).** Στον προγραμματισμό μέσω καθοδήγησης ο χειριστής διδάσκει (teach) το ρομπότ εκτελώντας διαδοχικά τις απαιτούμενες κινήσεις, οι οποίες αποθηκεύονται στη μνήμη του Η/Υ έτσι ώστε να ανακληθούν στη φάση εκτέλεσης του κύκλου εργασιών. Η εκτέλεση των κινήσεων από τον χειριστή γίνεται είτε με τη χρήση μιας συσκευής τηλεχειρισμού/διδασκαλίας (teach pendant) είτε με απευθείας χειρωνακτική, φυσική μετακίνηση του βραχίονα. Η χρήση της συσκευής τηλεχειρισμού ενδείκνυται για τον καθορισμό κινήσεων από σημείο σε σημείο ενώ η χειρωνακτική για την καταγραφή μιας τροχιάς κίνησης. Στην περίπτωση που το ρομπότ είναι ιδιαίτερα ογκώδες και βαρύ, ο χειρωνακτικός προγραμματισμός μπορεί να εκτελεστεί σε μια μικρότερη συσκευή (ομοίωμα) προγραμματισμού, η οποία έχει την ίδια διάταξη με το ρομπότ. Η καταγραφή της ταχύτητας κίνησης, που μπορεί να είναι επιθυμητή στην αποτύπωση μιας τροχιάς, επιτελείται με τη χρήση ειδικών χρονομέτρων.
- **Προγραμματισμός με τη χρήση ενσωματωμένου υπολογιστή (computer-like programming).** Σε αντίθεση με τα πρώτα χρόνια εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας, που η καθοδήγηση αποτελούσε τη βασική μέθοδο προγραμματισμού, η χρήση γλωσσών προγραμματισμού αποτελεί, πλέον, τη πιο συνηθισμένη μέθοδο καταγραφής και μεταφοράς εντολών σε ένα ρομπότ. Ο προγραμματισμός με τη χρήση κώδικα εντολών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε απευθείας, με τη χρήση του ψηφιακού συστήματος ελέγχου του ρομπότ (on-line programming), είτε μέσω ενός εξωτερικού Η/Υ (off-line programming).
- **Προγραμματισμός σε εξωτερικό Η/Υ (offline programming).** Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα επιτρέπουν τη συγγραφή του κώδικα σε ένα εξωτερικό Η/Υ και τη μεταφορά στη συνέχεια στο ψηφιακό σύστημα έλεγχου του ρομπότ. Ο εξωτερικός προγραμματισμός εξαλείφει τον μη παραγωγικό χρόνο που συνδέεται με την εκπαίδευση/προγραμματισμό, ενώ συνήθως συνδυάζεται με κάποιου είδους έλεγχο του προγράμματος μέσω γραφικής προσομοίωσης σε εικονικό περιβάλλον (virtual simulation). Ο εξωτερικός προγραμματισμός μπορεί επίσης να γίνει χρησιμοποιώντας κάποια γλώσσα υψηλότερου επιπέδου (higher level language). Στην περίπτωση αυτή ακολουθεί μια μετάφραση των εντολών στη γλώσσα της μηχανής χρησιμοποιώντας λογισμικό μετεπεξεργασίας (postprocessing software) όπως συμβαίνει αντίστοιχα σε εξοπλισμό CNC.

Το κύριο πλεονέκτημα της καθοδήγησης είναι ότι δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις/δεξιότητες προγραμματισμού και μπορεί να εκπαιδευτεί κανείς σχετικά εύκολα. Υπάρχουν όμως και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, με κυριότερα τα εξής:

- Κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ρομπότ, με αποτέλεσμα χαμένο παραγωγικό χρόνο.
- Η μέθοδος δεν επιτρέπει την εισαγωγή εντολών μαθηματικής λογικής (AND, OR, IF κοκ) αλλά και σύνθετων εντολών (π.χ. υπορουτίνες).
- Δεν επιτρέπεται η σύνδεση με συστήματα CAD/CAM και άλλο εξοπλισμό, η οποία είναι ένα από τα ζητούμενα σε παραγωγικά συστήματα με υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης.

Ο προγραμματισμός μέσω γλώσσας επιτρέπει την ενσωμάτωση εντολών/λειτουργιών που σχετίζονται με τα εξής:

- Έλεγχο και εκμετάλλευση των δεδομένων αισθητήρων,
- Έλεγχο υποστηρικτικού εξοπλισμού (π.χ ταινιόδρομος),
- Σύνταξη υπορουτινών και λογικών αλγορίθμων (εντολές επανάληψης κώδικα, έλεγχος υπόθεσης κλπ.), που δεν είναι δυνατές με την καθοδήγηση,
- Επεξεργασία δεδομένων και
- Επικοινωνία με άλλα συστήματα εξοπλισμό.

Οι περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού ρομποτικών συστημάτων προσομοιάζουν στις γλώσσες προγραμματισμού H/Y και εμπεριέχουν μια σειρά εντολών, που αντιστοιχούν σε εντολές της αγγλικής γλώσσας, για να διευκολύνουν τον προγραμματισμό (π.χ. εντολές MOVE, OPEN, CLOSE, GO TO, SPEED κλπ.). Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει μια γενικά αποδεκτή γλώσσα προγραμματισμού, αντίθετα κάθε κατασκευαστής έχει αναπτύξει την αντίστοιχη γλώσσα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών ρομποτικών συστημάτων.

4.1.6 Επιλογή κατάλληλου ρομπότ

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή ενός βιομηχανικού ρομπότ [42], που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή, είναι:

- Μέγιστο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει (payload).
- Ταχύτητα κίνησης (speed).
- Βαθμός επαναληψιμότητας διάφορων κινήσεων (repeatability).
- Αξιοπιστία (reliability).
- Μηχανική διάρθρωση του βραχίονα.
- Βαθμοί ελευθερίας κινήσεων.
- Σύστημα ελέγχου κίνησης.
- Μέγεθος της μνήμης υπολογιστικών προγραμμάτων.

- Μέγεθος του χώρου εργασίας (working envelope).

Εκτός των τεχνικών χαρακτηριστικών η επιλογή του κατάλληλου βιομηχανικού ρομπότ και η εισαγωγή του στην παραγωγική διαδικασία στηρίζεται και σε οικονομικές αναλύσεις κόστους-οφέλους. Η μείωση του κόστους και η βελτίωση της αξιοπιστίας καθώς και η εξέλιξη των σύνθετων βιομηχανικών ρομπότ είχε ως συνέπεια την σταδιακή εισαγωγή τους στις διαδικασίες παραγωγής, με παράλληλη μείωση του απασχολούμενου εργατικού δυναμικού. Οι οικονομικές συνέπειες στην παραγωγική διαδικασία είναι προφανώς σημαντικότερες. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη η αύξηση των ημερομισθίων είναι συγκριτικά μεγαλύτερη από την αύξηση του κόστους λειτουργίας ανά ώρα ενός ρομπότ. Τέλος, ένας παράγοντας που πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή ενός ρομπότ είναι και η ασφάλεια. Ο παράγοντας ασφαλείας είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για το προσωπικό προγραμματισμού και συντήρησης του βιομηχανικού ρομπότ που έρχονται σε άμεση (φυσική) επαφή με τα ρομπότ. Οι κινήσεις του ρομπότ σχετικά με άλλα γειτονικά μηχανήματα πρέπει να γίνονται έτσι ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις που μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές. Επίσης οι συσκευές συγκράτησης που προσαρμόζονται στο ενεργό άκρο του ρομπότ πρέπει να μπορούν να μεταφέρουν τα διάφορα κομμάτια από θέση σε θέση με ασφάλεια χωρίς να υπάρχει κίνδυνος απελευθέρωσης των κατά τη μεταφορά.

4.2 Ρομποτικοί Βραχίονες Εφαρμογής Μελέτης

4.2.1 KUKA LBR IIWA R800

Η σχεδίαση αυτού του ρομποτικού βραχίονα (Εικ.4.6) είναι ειδικά επιλεγμένη ώστε να προσομοιάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου βραχίονα, καθιστώντας τον ιδανικό για τη μελέτη ποικίλων εφαρμογών αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής αλλά και άλλων εφαρμογών όπως κινήσεις χειρισμού και αλλαγής θέσεων αντικειμένων. Είναι ένας ρομποτικός βραχίονας 7 βαθμών ελευθερίας που του προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια από αντίστοιχους ρομποτικούς βραχίονες 6 βαθμών ελευθερίας. Παράλληλα, έχει αισθητήρες ροπής σε κάθε άρθρωση, πράγμα που βελτιστοποιεί την κίνηση του ακόμα και σε απαιτητικές εφαρμογές και περιβάλλοντα [43].



Σχήμα 4.6: KUKA LBR IIWA R800.

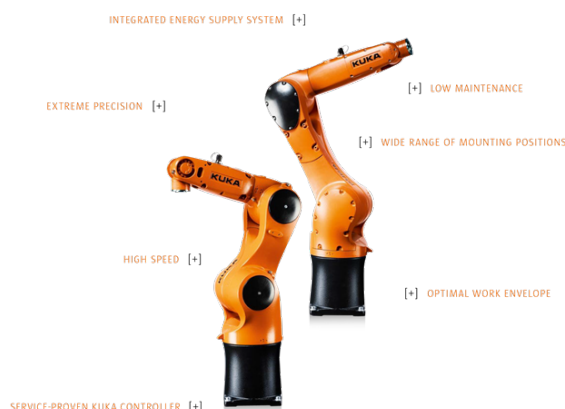
Τα κύρια χαρακτηριστικά του βραχίονα είναι:

- μέρη από αλουμίνιο (πλαίσιο βάσης, αρθρώσεις)
- ενσωματωμένη μονάδα κινητήρων (i) κινητήρες DC χωρίς (ii) ψήκτρες (iii)μειωτήρας με περίβλημα άξονα (iv) φρένα (v) τεχνολογία αισθητηρίων (αισθητήρες θέσης στον κινητήρα και στην έξοδο, αισθητήρας ροπής σε κάθε άρθρωση)
- ενσωματωμένος έλεγχος και ηλεκτρονικά ισχύος
- εσωτερική καλωδίωση
- επιπλέον υλικό (hardware) για τον έλεγχο του βραχίονα

Ο ελεγκτής του ρομποτικού βραχίονα KUKA LWR4+ είναι ο KRC2 της KUKA, ο οποίος στην ουσία είναι ένας υπολογιστής με Windows XP embedded.

4.2.2 KUKA KR AGILUS

Το KUKA KR AGILUS (Εικ.4.7) είναι ένα compact, όσον αφορά το χώρο που χρειάζεται για την τοποθέτησή του και πρακτικό ρομπότ, που σταθερά κατέχει υψηλή θέση στην κατηγορία του, ως προς την ταχύτητα κίνησής του. Ο ευέλικτος σχεδιασμός του και κίνηση υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας το καθιστούν κατάλληλο για εφαρμογές πακεταρίσματος, μετακίνησης φορτίων, κινήσεις ελέγχου, επεξεργασίας πλαστικού και άλλες [43].



Σχήμα 4.7: KUKA LBR IWA R800.

Με τη σειρά KR AGILUS, η KUKA παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη οικογένεια μικρών ρομπότ. Η απόδοση της σειράς KR AGILUS είναι μοναδική στην κατηγορία του ωφέλιμου φορτίου. Ορίζει πρότυπα με πέντε ή έξι άξονες, πολύ υψηλές ταχύτητες, μικρό χρόνο κύκλου και ολοκληρωμένο σύστημα παροχής ενέργειας. Τα ρομπότ χειρίζονται ακόμη και ασυνήθιστες δράσεις, είτε είναι εγκατεστημένα στο πάτωμα είτε στην οροφή ή, στην περίπτωση της έκδοσης 6 αξόνων, στον τοίχο. Όλα τα μοντέλα KR AGILUS λειτουργούν ομοιόμορφα με το service-proven KR C4, το οποίο είναι η παγκόσμια τεχνολογία ελέγχου για όλα τα μοντέλα ρομπότ KUKA.

Μοναδική σε αυτή την κλάση είναι η λειτουργία Safe Robot, η οποία απλοποιεί ριζικά την αποδοτική συνεργασία ανθρώπων και μηχανών. Αυτό επιτρέπει ολοκληρωμένες ιδέες αυτοματισμού.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του βραχίονα είναι:

- Ασύγκριτα υψηλή ταχύτητα και επαναληψιμότητα πιασίματος ανά δευτερόλεπτο.
- Εξαιρετική λειτουργικότητα και μοναδική αξιοπιστία.
- Εξειδικευμένο για εφαρμογές πακεταρίσματος
- Μεγάλο εύρος έκτασης λήψης του βραχίονα μεταξύ των μέγιστων επιλογών: 706.7mm, 901mm, 901.5mm, 1, 101mm.
- Payload: ανάλογα με το μοντέλο μπορεί να σηκώνει μέγιστο βάρος έως 6Kg ή 8Kg.

4.2.3 IRB360

Για σχεδόν 15 χρόνια, το IRB 360 FlexPicker της ABB (Εικ. 4.8) βρίσκεται στην κορυφή της προηγμένης τεχνολογίας ρομποτικής που αφορά την περισυλλογή και συσκευασία προϊόντων με υψηλή ταχύτητα. Σε σύγκριση με τον συμβατικό αυτοματισμό, προσφέρει πολύ μεγάλη ευελιξία διατηρώντας παράλληλα την ακρίβεια και τα υψηλά ωφέλιμα φορτία [44]. Η οικογένεια ρομπότ IRB 360 της ABB, πιο γνωστή ως FlexPicker, χάρης τον ευελικτο σχεδιασμό τους (γνωστό ως ΔΕΛΤΑ ρομπότ) είναι ικανή για εφαρμογές ταχύτερης επιλογής και έχει βελτιστοποιηθεί για εφαρμογές συσκευασίας. Το ρομπότ έχει εξαιρετική απόδοση κίνησης με τους μικρότερους χρόνους κύκλου λειτουργίας, με ακρίβεια και υψηλά ωφέλιμα φορτία.



Σχήμα 4.8: IRB 360 FlexPicker.

Η οικογένεια IRB 360 περιλαμβάνει παραλλαγές σε ωφέλιμο φορτίο, ανάμεσα σε 1 kg, 3 kg, 6 kg και 8 kg και φτάνει τα 800 mm, 1130 mm και 1600 mm, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει ένα IRB 360 για σχεδόν κάθε ανάγκη.

Με εξαιρετικό έλεγχο κίνησης, μικρούς χρόνους κύκλου λειτουργίας και μεγάλη ακρίβεια, το IRB 360 μπορεί να λειτουργεί σε πολύ υψηλές ταχύτητες σε διαφορετικά περιβάλλοντα από πολύ στενούς έως μεγάλους χώρους, με πολύ αυστηρές ανοχές. Κάθε FlexPicker επωφελείται επίσης από μια επανασχεδιασμένη φλάντζα εργαλείου, η οποία μπορεί να φιλοξενήσει μεγαλύτερες λαβές, επιτρέποντας τον αποτελεσματικό χειρισμό των προϊόντων που περιτυλίγονται με ροή σε υψηλές ταχύτητες από έναν ιμάντα ευρετηρίου.

Χαρακτηριστικά:

- Ευελιξία υψηλής ταχύτητας

- Υψηλή χωρητικότητα - ωφέλιμο φορτίο έως 8 κιλά
- Ανώτερη απόδοση παρακολούθησης
- Ολοκληρωμένο λογισμικό όρασης
- Ολοκληρωμένος έλεγχος ζωνών βιομηχανίας

4.2.4 IRB1600

Ο IRB1600 (Εικ. 4.9) είναι ένας γρήγορος και δυνατός βραχίονας, ιδανικός για εφαρμογές όπως: συγκολλήσεις, χυτεύσεις, εφαρμογές χειρισμού και βιομηχανίες συσκευασίας. Ένας κλασσικός ρομποτικός βραχίονας ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά με βέλτιστες δυνατότητες χειρισμού και λειτουργίας [44].



Σχήμα 4.9: IRB1600.

Χαρακτηριστικά :

- **Διπλάσια απόδοση.** Το IRB1600 έχει έως 50 % μικρότερους χρόνους κύκλου από ότι τα ανταγωνιστικά ρομπότ στον χειρισμό υλικού, την τροφοδοσία μηχανών και τις εφαρμογές επεξεργασίας. Επιταχύνει και επιβραδύνει ταχύτερα από άλλα ρομπότ, εξοικονομώντας χρόνο ενώ κινείστε ανάμεσα στις εργασίες. Αυτό είναι δυνατό λόγω του πατενταρισμένου ελέγχου κίνησης QuickMove δεύτερης γενιάς της ABB, σε συνδυασμό με τους ισχυρούς κινητήρες του ρομπότ και τις χαμηλές απώλειες τριβής στους οδοντωτούς τροχούς.
- **Βελτιστοποίηση και εξάλειψη από cutting corners.** Σε μεγάλες ταχύτητες, τα περισσότερα ρομπότ κόβουν τις γωνίες κίνησης τους. Με το IRB1600, η διαδρομή είναι η ίδια ανεξάρτητα από την ταχύτητα, χάρη στον μοναδικό συνδυασμό των χαρακτηριστικών brains and brawn του ρομπότ. Ο ευφυής έλεγχος κίνησης TrueMove δεύτερης

γενιάς σημαίνει "what-you-program-is-what-you-get", επιτρέποντας τον άμεσο προγραμματισμό του.

- **Εξαιρετική αξιοπιστία.** Το IPB 1600 προσφέρει εξαιρετική αξιοπιστία, ακόμη και στα πιο δύσκολα περιβάλλοντα με τους πιο απαιτητικούς κύκλους λειτουργίας. Ολόκληρος ο βραχίονας είναι IP 54 classed και τα επιμέρους ευαίσθητα μέρη του είναι IP 67 classed as standard. Η προαιρετική προστασία του Foundry Plus προσφέρει το IP 67 είναι η ειδική βαφή, η προστασία κατά της σκουριάς και είναι ειδικά σχεδιασμένη για σκληρά περιβάλλοντα χυτηρίου. Ο άκαμπτος και βαρύς σχεδιασμός σε συνδυασμό με τα γρανάζια, κάνουν το ρομπότ εξαιρετικά στιβαρό. Το λογισμικό έξυπνης ανίχνευσης σύγκρουσης προσθέτει περαιτέρω στην εξαιρετική αξιοπιστία του ρομπότ.
- **Εύκολη τοποθέτηση.** Η τοποθέτηση του ρομπότ είναι απολύτως ευέλικτη: σε ράφι, στον τοίχο, σε κεκλιμένη ή ανεστραμμένη επιφάνεια. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί μέσα σε ένα άλλο μηχάνημα, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα επαρκές ωφέλιμο φορτίο, καθώς το μέγιστο συνολικό φορτίο του φτάνει τα 36 κιλά. Τα ανεκτικά και οδοντωτά γρανάζια χαμηλής τριβής λόγω των τεχνολογιών QuickMove και TrueMove, μειώνουν την κατανάλωση ισχύος έως και 0,58kW στη μέγιστη ταχύτητα και ακόμα λιγότερο στις χαμηλές ταχύτητες. Ταυτόχρονα το αερομεταφερόμενο επίπεδο θορύβου μόλις < 70dB εξασφαλίζει ένα υγιές περιβάλλον ήχου.

4.2.5 IRB260

Αποκαλείται ρομπότ συσκευασίας (packing robot) καθώς σχεδιάστηκε και βελτιστοποιήθηκε κυρίως για εφαρμογές συσκευασίας. Είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις υψηλές απαιτήσεις τετοιων εφαρμογών ως προς το εύρος κίνησης και το ωφέλιμο φορτίο μεταφοράς, ενώ είναι αρκετά μικρό για να χωράει και να ενσωματώνεται σε συμπαγή μηχανήματα συσκευασίας. Σε συνδυασμό με την απόδοση ελέγχου κίνησης και παρακολούθησης της ABB, το ρομπότ IRB260 (Εικ. 4.10) είναι απόλυτα εφαρμόσιμο σε ε-ύκαμπτα συστήματα συσκευασίας [44].



Σχήμα 4.10: IRB260.

Χαρακτηριστικά:

- **Αξιόπιστο - Υψηλό χρόνο παραγωγής.** Το IRB260 θεωρείται ως το πιο δημοφιλές βιομηχανικό ρομπότ στον κόσμο, με εγκατεστημένες βάσεις σε περισσότερες από 14.000 μονάδες.
- **Γρήγοροι - Σύντομοι χρόνοι κύκλου.** Ο σχεδιασμός του είναι βελτιστοποιημένος και στοχοποιημένος για εφαρμογές συσκευασίας, και σε συνδυασμό με τον μοναδικό έλεγχο κίνησης *ABB* εξασφαλίζει μικρούς χρόνους κύκλου λειτουργίας.
- **Ακριβής - Συνεπής ποιότητα εξαρτημάτων.** Το ρομπότ έχει την καλύτερη ακρίβεια στην κλάση του και εξαιρετική απόδοση παρακολούθησης του μεταφορέα *ABB* με αποτέλεσμα την άριστη ακρίβεια επιλογής και θέσης, τόσο κατά την λειτουργία του με σταθερές θέσεις όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας πτήσης.
- **Ισχυρή - Μεγιστοποιημένη χρήση** Το ρομπότ είναι βελτιστοποιημένο για εφαρμογές συσκευασίας και συνδυάζει συμπαγή και υψηλή ταχύτητα με χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου 30kg.
- **Στιβαρό - σκληρό περιβάλλον παραγωγής** Ανθεκτικό σε σκληρά περιβάλλοντα - *IP67*.
- **Ευέλικτο - Ευέλικτη ολοκλήρωση και παραγωγή** Το μικρό βάρος και το ύψος, το ρομπότ ταιριάζει εύκολα σε συμπαγή μηχανήματα συσκευασίας. Με ένα φάκελο εργασίας βελτιστοποιημένο για εφαρμογές συσκευασίας, το ρομπότ γίνεται η φυσική επιλογή για αυτοματοποίηση ρομπότ. Το ρομπότ είναι πλήρως εξοπλισμένο με ενσωματωμένο αέρα και σήματα σε όλη τη διαδρομή προς τη λαβή. Σε συνδυασμό με το λογισμικό *ABB* συσκευασίας *SW, PickMaster*, το ρομπότ δεν είναι μόνο εύκολο να ενσωματωθεί από μηχανική άποψη αλλά και εξαιρετικά απλό στο πρόγραμμα.

4.3 Επιπρόσθετες Λειτουργίες KUKA Robots

Πριν καταλήξουμε στο ρομποτικό σύστημα που συγκεντρώνει όλα εκείνα τα ονομαστικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για την συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι καλό να λάβουμε υπόψη τις επιπρόσθετες λειτουργίες λογισμικού που παρέχει η KUKA και είναι ιδανικά σχεδιασμένες για να λειτουργούν πάνω στους βραχίονες της ίδιας της εταιρείας. Επιλέγοντας την αγορά των ενδεικνυόμενων λογισμικών της KUKA σε συνδυασμό με έναν βραχίονα KUKA βελτιστοποιούμε την λειτουργία του συστήματος και εξασφαλίζουμε την άμεση και ομαλή εγκατάσταση και εφαρμογή του. Στη συνέχεια παραθέτονται τα δύο βασικότερα πακέτα λογισμικών που είναι απαραίτητα για την προτεινόμενη εφαρμογή και τον τελειο συγχρονισμό λειτουργίας μέσα σε μία εφαρμογή pick-and-place σαν αυτή που μας ενδιαφέρει.

4.3.1 KUKA.ConveyorTech

Το KUKA.ConveyorTech είναι ένα έξτρα λογισμικό που παρέχεται από την KUKA ώστε να οργανώνει κατάλληλα τη συνεργασία των ρομπότ και των ζωνών μεταφοράς. Το λογισμικό

αυτό προσαρμόζει αυτόματα τις ενέργειες του ρομπότ στην κίνηση μιας γραμμής συναρμολόγησης ή ιμάντα μεταφοράς [45]. Με αυτό τον τρόπο, το ρομπότ μπορεί να εργάζεται αυτόνομα πάνω σε έναν ταχέως μετακινούμενο μεταφορέα ή να μετακινεί αντικείμενα από έναν μεταφορέα σε άλλο.

Λειτουργίες του KUKA.ConveyorTech

- Το πακέτο τεχνολογίας KUKA.ConveyorTech επιτρέπει την γρήγορη έναρξη λειτουργίας και τον εξαιρετικά απλό προγραμματισμό των εφαρμογών του μεταφορέα.
- Παράλληλα, επιτρέπει τη χρήση ζωνών μεταφοράς με ανιχνευτές, ακόμα και για μικρά ρομπότ με κωδικοποιητές.
- Το πακετάρισμα πραγματοποιείται χωρίς απώλεια χρόνου κύκλου.
- Το KUKA.ConveyorTech προσφέρει επίσης τη δυνατότητα πολλαπλής παρακολούθησης. Μπορούν να παρακολουθούνται εύκολα έως τρεις μεταφορείς, συμπεριλαμβανομένων γραμμικών και κυκλικών μεταφορέων σε μικτή λειτουργία. Και ταυτόχρονα μέχρι και 20 εξαρτήματα, να παρακολουθούνται ταυτόχρονα ανά μεταφορέα.

Το λογισμικό αυτό ενδείκνυται για την κοινή χρήση του με το KR AGILUS καθώς η παράλληλη λειτουργία τους επιτρέπει την αυτοματοποιημένη μετακίνηση αντικειμένων από την κινούμενη ζώνη (Εικ. 4.11).



Σχήμα 4.11: Τα KUKA.ConveyorTech και KR AGILUS σε συνεργασία.

Πλεονεκτήματα του λογισμικού KUKA.ConveyorTech

- Λιγότεροι χρόνοι κύκλου. Το ρομπότ χρησιμοποιεί το λογισμικό KUKA.ConveyorTech στο παρασκήνιο για συγχρονισμό με την κίνηση του μεταφορέα. Αυτό σημαίνει ότι

δεν είναι απαραίτητο να σταματήσουμε τον μεταφορικό ιμάντα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

- Συγχρονισμός “σε λειτουργία”. Οι κινήσεις μεταξύ συγχρονισμένων και μη συγχρονισμένων τμημάτων προγράμματος είναι δυνατές με σταθερή ταχύτητα μεταφοράς. Καθώς ο μεταφορέας διαρκεί συνεχώς, η όλη διαδικασία παραγωγής είναι πιο ευέλικτη. Ο κύκλος ρομπότ δεν επηρεάζεται από τον κύκλο μεταφοράς.
- Μεγαλύτερη ευελιξία. Χάρη στην υψηλή ακρίβεια τους, οι μεταφορείς μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με ευελιξία στις διαδικασίες συναρμολόγησης.
- Χαμηλές απαιτήσεις συστήματος. Έκδοση λογισμικού 7.0 και 7.1. Έξτρα πακέτο λογισμικού KUKA UserTech εγκατάσταση σε PC Windows.

4.3.2 KUKA.PickControl

Το πακέτο λογισμικού KUKA.PickControl είναι ένας εύκολος τρόπος για τον συντονισμό και τον έλεγχο πολλαπλών ρομπότ ώστε να αυξηθεί η παραγωγικότητα της συσκευασίας [46]. Ειδικά αναπτυγμένο για το τμήμα της αγοράς ταχείας μετακίνησης καταναλωτικών αγαθών (FMCG) και μη (Εικ. 4.12).



Σχήμα 4.12: Τα KUKA.PickControl και KR AGILUS σε συγχρονισμένη δράση σε εργοστάσιο συσκευασίας.

Το λογισμικό KUKA.PickControl έχει ενσωματωμένο ρομποτικό σύστημα παρακολούθησης των μεταφορικών μέσων του ιμάντα με αντίστοιχα ενσωματωμένη επεξεργασία εικόνας. Οι κύκλοι των προϊόντων καθίστανται μικρότεροι και βραχύτεροι, ενώ η αποδοτικότητα των πόρων και της ενέργειας λαμβάνει ολόένα και μεγαλύτερη διάσταση. Ιδιαίτερα στη βιομηχανία συσκευασίας και πακεταρίσματος, η οποία περιλαμβάνει γρήγορα πιασίματα, όπως ακριβώς και στην περίπτωση της ρομποτικής ανακύκλωσης απορριμμάτων, η αγορά είναι

ιδιαίτερα δυναμική και γρήγορη και απαιτεί ευέλικτες λύσεις. Μεγάλο πλεονέκτημα του αποτελεί η άμεση εφαρμογή του και η τέλεια λειτουργία του με ρομπότ KUKA. Ενώ ταυτόχρονα είναι απόλυτα κατάλληλο για βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Το KUKA.PickControl είναι επίσης ιδανικό σε λειτουργία tracking με πολλαπλά ρομπότ. Η λειτουργία αυτή θα είναι χρήσιμη στην περίπτωση που επιλεγούν περισσότερα από ένα ρομπότ για χρήση σε μία τέτοια εφαρμογή. Χρησιμοποιώντας το KUKA.PickControl, με την ενσωματωμένη λειτουργία επεξεργασία εικόνας, πολλαπλά ρομπότ δουλεύουν μαζί σε μια κοινή εργασία συλλογής ακόμα και σε αντίστροφες ζώνες μεταφοράς.

Το KUKA.PickControl είναι ένα εξειδικευμένο πακέτο λογισμικού που συντονίζει και συγχρονίζει τις διαδικασίες συλλογής και συσκευασίας που περιλαμβάνουν πολλαπλά ρομπότ και χρησιμοποιούνται σε εργασίες επιλογής και τοποθέτησης αντικειμένων σε βιομηχανίες συσκευασίας και πακεταρίσματος. Εξασφαλίζει μια ομαλή και ενεργειακά αποδοτική σειρά παραγωγής με τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Υποστήριξη προκαθορισμένων μοτίβων καταμέτρησης: Υπάρχει η δυνατότητα προκαθορισμού οποιουδήποτε αριθμού διαφορετικών μοτίβων καταμέτρησης ώστε να επιλογή το βέλτιστο σενάριο που απαιτείται κάθε στιγμή μέσω του περιβάλλοντος χρήσης. Με παράλληλη δυνατότητα προσομοίωσης ροής υλικού στον σχεδιασμό του συστήματος. Λειτουργία που μας δίνει τη δυνατότητα επιλογής του επιθυμητού ρυθμού απόδοσης λειτουργίας της εφαρμογής. Η KUKA εναρμονίζει τέλεια τα ρομπότ της, μέσω του λογισμικού αυτού, την ταχύτητα του μεταφορέα και την ταχύτητα ρομπότ με τη βοήθεια προσομοίωσης ροής υλικού.
- Αναγνώριση αντικειμένων και επιμέρους χαρακτηριστικών τους: Με το KUKA.VisionTech, επιτρέπεται η χρήση του ρομπότ σε αδόμητα περιβάλλοντα ενώ παράλληλα διατηρείται η προεπισκόπηση των κινούμενων αντικειμένων. Με την κάμερα υψηλής ποιότητας ενσωματωμένη IP 67, τα αντικείμενα αναγνωρίζονται σε 2D ώστε να είναι δυνατό να προσδιοριστούν και να αξιολογηθούν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος.
- Ενσωμάτωση οποιωνδήποτε επιθυμητών συστημάτων επεξεργασίας εικόνας: Με τη βοήθεια μιας διεπαφής προγραμματισμού, παρέχεται η δυνατότητα χρήσης και ενσωμάτωσης οποιουδήποτε εξωτερικού συστήματος επεξεργασίας εικόνας εαν απαιτείται από την εφαρμογή. Αυτό σημαίνει, ότι μπορούμε να εργαστούμε με τρισδιάστατα μοντέλα και πιο εξειδικευμένες λύσεις εάν αυτό κριθεί αναγκαίο κατά την πιλοτική λειτουργία της εφαρμογής.
- Ο 3D αισθητήρας από την KUKA επιτρέπει την 3D αντίληψη σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει 3D μέτρηση και τοποθέτηση στο διάστημα.
- Διάγνωση και ανάλυση ζωντανής καταγραφής στατιστικών στοιχείων: Χρησιμοποιώντας το KUKA.PickControl, μπορούμε να παρακολουθούμε τα δεδομένα και τα στατιστικά στοιχεία του τρέχοντος συστήματος real time, εντοπίζοντας έτσι λάθη, και βελτιστοποιώντας το σύστημα ανά πάσα στιγμή.

- Δυναμική κατανομή φορτίου: Δυνατότητα real time αναπροσαρμογής στις ανάγκες του συστήματος. Για παράδειγμα εάν το πρώτο ρομπότ δεν είναι σε θέση να πάρει το επιλεγμένο αντικείμενο από τον μεταφορέα, θα δοθεί άμεση εντολή εκτέλεσης της συγκεκριμένης δράσης στο επόμενο ρομπότ. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται μια ιεράρχηση εργασίας, μοιράζοντας τα καθήκοντα σε περισσότερα ρομπότ.
- Προσαρμογή του χρόνου εκτέλεσης: Πρέπει να τροποποιήσουμε το ύψος επιλογής ή να προσαρμόσουμε τις παραμέτρους επεξεργασίας εικόνας. Ο λεπτός συντονισμός του συστήματός σας μπορεί να υλοποιηθεί γρήγορα. Οι τροποποιήσεις μέσω προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) εφαρμόζονται απευθείας στο τρέχον σύστημα, εξοικονομώντας χρόνο.

Πλεονεκτήματα

- Πλήρες πακέτο με υλικό και λογισμικό. Με τον τρόπο αυτό αγοράζουμε κατευθείαν από την KUKA ότι απολύτως χρειάζεται για την αυτοματοποίηση των εργασιών επιλογής και συσκευασίας. Από το υλικό, όπως κάμερες και φακοί, μέχρι τυποποιημένες καλωδιώσεις και τις ενδεικτικές λύσεις λογισμικού.
- Ενσωματωμένο εργαλείο προσομοίωσης KUKA Work.Visual. Ο προσομοιωτής KUKA.WorkVisual Engineering μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε και να διαμορφώσουμε το σύστημά μας. Ακόμη και αν χρησιμοποιούμε βιομηχανικό υπολογιστή για την επεξεργασία εικόνας. Με τον τρόπο αυτό οι διασυνδέσεις διαμόρφωσης και ο χρόνος εκτέλεσης διαχωρίζονται αυστηρά μεταξύ τους.
- Γρήγορη εκκίνηση με οδηγό. Με την υποστήριξη εκκίνησης βήμα προς βήμα, ένας οδηγός μας βοηθάει στον προγραμματισμό: αυτό μας βοηθάει να αποφύγουμε σφάλματα και εξοικονομείται πολύτιμος χρόνος κατά τη βαθμονόμηση των μεταφορέων και των συστημάτων επεξεργασίας εικόνας.
- Ευελιξία. Το KUKA.PickControl είναι βαθμωτό. Όταν απαιτείται, μπορούμε να αφαιρέσουμε την ισχύ επεξεργασίας σε έναν ή περισσότερους βιομηχανικούς υπολογιστές για να αυξήσετε την παραγωγική μας ικανότητα.

Παραλλαγές Αγοράς

- KUKA.PickControl Master: βασικό πακέτο λογισμικού με ένα ρομπότ.
- KUKA.PickControl Slave: πρόσθετη μονάδα λογισμικού για κάθε επιπλέον ρομπότ.
- KUKA.PickControl Master Vision: Μονάδα λογισμικού που περιλαμβάνει πακέτο επεξεργασίας εικόνας KUKA.VisionTech.

Από την παραπάνω μελέτη γίνεται απόλυτα σαφές ότι η ανάπτυξη και λειτουργία ενός συστήματος ρομποτικής διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών στηρίζεται απόλυτα στην σωστή

επιλογή της καρδιάς του συστήματος που είναι ο ρομποτικός διαχωριστής. Για τον λόγο αυτό αναδεικνύεται σημαντικό να τεθούν οι βάσεις για μία τέτοια εγκατάσταση. Από τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι για μία τέτοια εφαρμογή θα χρειαστεί να τοποθετηθεί ένας ή και περισσότεροι βραχίονες με ενσωματωμένο όλο το αναγκαίο πρόσθετο λογισμικό που θα βελτιστοποιήσει την άμεση χρήση του και τον άψογο συγχρονισμό του με τον κινούμενο ιμάντα αλλά και με τα κινούμενα υλικά προς διαλογή.

4.4 Τελική Αποτίμηση Ρομποτικού Συστήματος και Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

4.4.1 Ποσοτική Αποτίμηση και Ποιοτική Αξιολόγηση Ρομποτικών Συστημάτων

Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε ποιό από τους παραπάνω τύπους ρομποτικών μοντέλων ικανοποιούν τα κριτήρια που απαιτεί μια τέτοια εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάμε με την καταγραφή των απαραίτητων προδιαγραφών που χρειάζονται για την βέλτιστη λειτουργία του βραχίονα.

Οι πηγές που βρήκαμε από τα αναρτημένα στοιχεία του ΕΣΔΑΚ και του ΔΕΔΙΣΑ στην Κρήτη [47], αναφέρουν ότι, αυτή τη στιγμή διαχωρίζονται 100 τόνοι απορριμμάτων σε μία εργάσιμη ημέρα, που σημαίνει σε 16 εργάσιμες ώρες (2 8ωρες βάρδιες). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ελάχιστη ταχύτητα που χρειάζεται να έχει ο βραχίονας πρέπει να ξεπερνά την προαναφερθείσα ποσότητα διαλογής στις ίδιες ώρες λειτουργίας [48]. Μαθηματικά αυτό μεταφράζεται ότι η απαιτούμενη ελάχιστη ταχύτητα κίνησης του ρομποτικού βραχίονα πρέπει να είναι: $0.1m/s$. Παράλληλα, βάση της χωροταξικής διάταξης τέτοιων εργοστασίων και των μεγεθών των ιμάντων διαλογής απαιτείται μέγιστη δυνατότητα έκτασης του βραχίονα (max reach) στο $1.0m$. Ενώ το μέγιστο δυνατό φορτίο μεταφοράς (max payload) καθορίζεται στο $1kg$ καθώς απευθυνόμαστε σε πλαστικές συσκευασίες (PET) με πολύ μικρό βάρος, μικρότερο του ενός κιλού. Στις προδιαγραφές που πρέπει να πληρεί το ρομπότ συγκαταλέγεται και ο χρόνος παράδοσης, καθώς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το ξεκίνημα μίας τέτοιας μεγάλης υλοποίησης και οι διαδικασίες παραγγελίας και αποστολής είναι μεν χρονοβόρες, αλλά δε πρέπει να καθυστερήσουν την ανάπτυξη του συστήματος, περισσότερο από τον προβλεπόμενο για κάθε περίπτωση χρόνο υλοποίησης και εφαρμογής.

Στον πίνακα της Εικ.4.13 συνοψίζονται οι πρότυπες λειτουργικές προδιαγραφές του βέλτιστου βραχίονα (Στήλη 2 "Standard Specs") και οι επιμέρους δυνατές για κάθε ένα ρομποτικό μοντέλο που εξετάζουμε (Στήλες 3-5). Από την καταγραφή των προδιαγραφών, προκύπτει ότι οι συγκεκριμένοι βραχίονες παρουσιάζουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, και ότι εργοστασιακά τον κάθε βραχίονα τον βρίσκουμε σε αρκετές παραλλαγές ταχυτήτων και κύκλου ζωής. Το IRB260 αποκλείστηκε από τις δυνατές επιλογές αρκετά νωρίς λόγω του μεγάλου χρόνου παράδοσης και των σχετικά συμβατικών και μη αναντικατάστατων χαρακτηριστικών του [49]. Μεταξύ των υπολοίπων, θα αποκλείσουμε και το ΔΕΛΤΑ ρόμπι IRB360, λόγω της κατασκευαστικής του μορφής. Πιο αναλυτικά, το συγκεκριμένο ρομπότ όπως και κάθε ΔΕΛΤΑ ρόμπι απαιτεί εγκατάσταση στο ταβάνι, κάτι που στην συγκεκριμένη εφαρμογή δεν είναι εφικτό λόγω χωροταξικής διατάξης των εργοστασίων ανακύκλωσης. Οι αποστάσεις α-

πο το ταβάνι είναι μεγάλες και η εγκατάσταση ενός τέτοιου ρομπότ θα ήταν χρονοβόρα και οικονομικά επιζήμια καθώς θα χρειαζόταν επιπλέον κατασκευή οροφής.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι η πιο κρίσιμη παράμετρος, που καθιστάται ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στους βραχίονες, είναι η ταχύτητα κίνησης και ο κύκλος ζωής. Για ένα βέλτιστο αποτέλεσμα, που να ξεχωρίζει τον μέγιστο αριθμό υλικών θα πρέπει μιά τέτοια εφαρμογή να στηριχτεί στην ταχύτητα του βραχίονα, όσα πιο πολλά picks το δευτερόλεπτο τόσο περισσότερα υλικά διαχωρισμένα. Μη ξεχνάμε και τον παράγοντα αστοχίας, καθώς σίγουρα ένα ποσοστό από την προσπάθειες αρπάγης θα αποβεί άκαρπο, πράγμα που συμβαίνει πάντα σε ρομποτικά συστήματα αρπάγης. Παρακάτω συνοψίζονται οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους επιλέγουμε το KUKA KR AGILUS ως το καταλληλότερο για μία εφαρμογή αυτόνομης ρομποτικής διαλογής [50].

- Όπως αναφέρθηκε ήδη, ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου βραχίονα είναι η **μορφή** του και ο τρόπος τοποθέτησής του. Τα ΔΕΛΤΑ ρομπότ, όπως ονομάζονται λόγω του σχήματός τους, έχουν την ιδιομορφία να κρέμονται ψηλά και να κινούνται από πάνω προς τα κάτω και στους 3 άξονες XYZ. Δεδομένης λοιπόν, της περιγραφής της απαιτούμενης τεχνολογίας που δόθηκε στο Κεφάλαιο 3, ο ιδανικός ρομποτικός βραχίονας δεν είναι βολικό να κρέμεται επάνω από τον ιμάντα διαλογής καθώς η εργοστασιακή χωροδιάταξη δεν το επιτρέπει. Το KUKA KR AGILUS, με μέγιστη έκταση 1.20μ είναι ιδανικό για τέτοια εφαρμογή καθώς ένας ιμάντας διαλογής σε αυτά τα εργοστάσια δε ξεπερνά το 0.80μ πλάτος. Δε γίνεται όμως να μη συμπεριλάβουμε 2 επιπλέον παραγοντες: (α) δεν θέλουμε να βρούμε τον βέλτιστο βραχίονα μόνο για το συγκεκριμένο εργαστάσιο αλλά να έχει όσο πιο ευρεία εφαρμογή γίνεται, άρα μας διευκολύνει να μην είμαστε οριακά στην μέγιστη έκταση και (β) οι βραχίονες δεν λειτουργούν σωστά σε πλήρη έκταση, είναι εργοστασιακό χαρακτηριστικό των βραχιόνων ότι σε πλήρη έκταση δε μπορούν να σηκώσουν το εργοστασιακό βάρος φορτίου και επίσης μεγαλώνει ο τζόγος, όπως λέγεται τεχνικά το τρεμόπαιγμα του βραχίονα σε οριακές συνθήκες λειτουργίας. Για τον λόγο αυτό, σύμφωνα με αυτή τη μελέτη η πιο αποδοτική εφαρμογή με βέλτιστη λειτουργία θα είχε 2 τέτοιους βραχίονες αντιδιαμετρικά του ιμάντα.
- Παράλληλα, το συγκεκριμένο arm έχει τη μεγαλύτερη **ταχύτητα** κίνησης και μαλιστα σχεδόν διπλάσια απ' τα υπόλοιπα και ενδείκνυται για εργοστασιακές εφαρμογές πακεταρίσματος και συλλογής. Όπως έχει γίνει σαφές σε μία τέτοια εφαρμογή η ταχύτητα του βραχίονα έχει προτεύοντα ρόλο ως προς την ποσότητα των απορριμμάτων που θα διαχωριστούν.
- Τέλος, εξίσου σημαντικό σε τέτοιες εφαρμογές είναι και το φορτίο που μπορεί να σηκώσει το ρομπότ. Στη δεδομένη εφαρμογή, βέβαια μιλάμε για άδειες πλαστικές συσκευασίες που έχουν αμελητέο βάρος συγκριτικά με το ονομαστικό τους **max payload**. Παρ' όλ' αυτά είναι ένας αξιοσημείωτος παράγοντας.
- Η **τιμή** είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας, ώστε να είναι ανταγωνιστικό σαν προϊόν αφού βγει στην αγορά, ακόμα κ αν τοποθετηθούν 2 βραχίονες σε κάθε κέντρο

διαλογής για ακόμα μεγαλύτερη παραγωγικότητα. Και σ' αυτή τη περίπτωση το KUKA KR AGILUS υπερτερεί των υπολοίπων.

Εν κατακλείδι, από την παραπάνω μελέτη προκύπτει ότι το KUKA KR AGILUS συγκεντρώνει όλα εκείνα τα ονομαστικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για μία τέτοια εφαρμογή αυτόνομης ρομποτικής διαχείρισης αστικών απορριμμάτων.

	Standard Specs	KUKA LBR R800	KUKA KR AGILUS	IRB 360	IRB1600	IRB260
Configuration Space	min 3 axis	7-axis robot	6-axis robot	4-axis robot	6-axis robot	4-axis robot
Max Payload	< 1kg	4 kg	5/10 kg	6 kg	6kgr	30kgr
Max Reach	< 1.5m	0.9m	1.5m	1.2m	1.45m	1.5m
Max Speed	the max possible	100mm/s	350mm/s	250mm/s	100 mm/s	100 mm/s
Acceleration Rate	the max possible	20 m/s ²	100-200 m/s ²	50-150 m/s ²	20m/s ²	20m/s ³
Repeatability	the min possible	±0.100mm	±0.020mm	±0.100mm	±0.050mm	±0.100mm
Price	~ 30.000€ + VAT	32.180€ + VAT	22.180€ + VAT	25.180€ + VAT	34.400€ + VAT	37.800€ + VAT
Delivery Time	< 10 weeks	7-8 weeks	7-8 weeks	8-9 weeks	8-9 weeks	20-22 weeks
Made off	-	KUKA	KUKA	ABB	ABB	ABB

Σχήμα 4.13: Πίνακας αποτίμησης ρομποτικών βραχιόνων.

4.4.2 Εκτίμηση Απόδοσης Λειτουργίας

Συμπερασματικά, όπως προκύπτει από την παραπάνω μελέτη το KR AGILUS robot συγκεντρώνει όλα τα ονομαστικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανικό για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Ως εκ τούτου, στην ενότητα αυτή θα δοθεί μία ποσοτική ανάλυση της απόδοσης του ιδανικού βραχίονα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους βραχίονες μελέτης. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η απόδοση του συστήματος ουσιαστικά μετριέται από την ποσότητα των απορριμμάτων που έχουν διαλεγεί. Αν θεωρήσουμε δηλαδή, όλες τις υπόλοιπες συνθήκες σταθερές, τον ιμάντα και την ταχύτητα κίνησής του, την ποσότητα των απορριμμάτων προς διαλογή, το σύστημα παρακολούθησης των υλικών και την αξιοπιστία του αλγορίθμου επιλογής, η ταχύτητα επιλογής του βραχίονα είναι αυτή που θα κάνει την διαφορά στην απόδοση του συστήματος [51].

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εφαρμογής μελέτης αλλά και μελετόντας αντίστοιχους δείκτες απόδοσης που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες δουλειές της βιβλιογραφίας [42, 53], ορίζουμε τον δείκτη απόδοσης (Index of Effectiveness IE) του βραχίονα ως εξής :

$$IE = \frac{picks}{time} \quad (4.1)$$

Σύμφωνα με αυτή τη τιμή, θα αποδώσουμε τις γραφικές παραστάσεις αποδοτικότητας των διαφορετικών τύπων βραχιόνων και του ανθρώπου κατά τη διάρκεια ενός 8ωρου, καθώς και τη διαφορά της απόδοσης του προτεινόμενου συστήματος ρομποτικής διαλογής (Robotic Waste Separator-RWS) με την μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενη μέθοδο χειροδιαλογής (HUMAN) για λειτουργία ενός μήνα και ενός έτους.

Στην Εικ. 4.14, αριστερά, δίνεται η γραφική παράσταση του δείκτη IE για τις περιπτώσεις των ρομπότ που μελετήσαμε στην προηγούμενη ενότητα και για τον άνθρωπο, ονόματι: "KUKA KR AGILUS", "KUKA LBR", "IRB360", "IRB1600", "IRB260", "HUMAN". Για τη γραφική παράσταση χρησιμοποιήθηκαν οι ονομαστικές τιμές δεικτών του κάθε ρομπότ καθώς και η εκτίμηση της βιβλιογραφίας ότι ο άνθρωπος μπορεί να κάνει περίπου 40 picks το λεπτό,

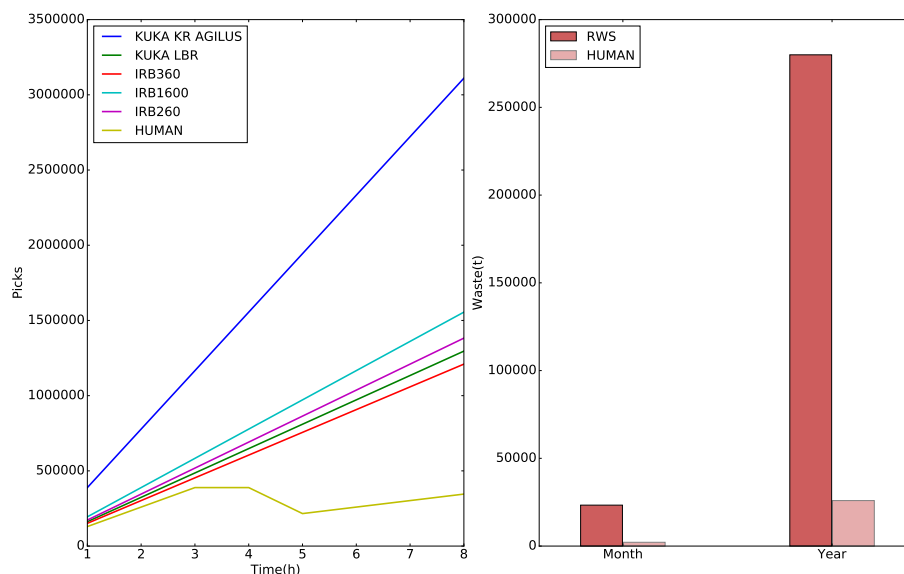
δηλαδή -0.6 picks/sec . Όλες οι ονομαστικές τιμές του δείκτη απόδοσης, που χρησιμοποιήθηκαν στις γραφικές παραστάσεις, όπως παρουσιάζονται και στα τυπικά χαρακτηριστικά του πίνακα της Εικ.4.13, συνοψίζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 4.1: Δείκτης Απόδοσης picks/sec

Agent	IE
KUKA KR AGILUS	1.8
KUKA LBR	0.75
IRB360	0.7
IRB1600	0.9
IRB260	0.8
HUMAN	0.6/0.2

Όπως φαίνεται και από τη γραφική παρασταση της Εικ. 4.14, αριστερά, μεγαλύτερη κλίση και περισσότερα picks το δωρο αποφέρει το ρομπότ της επιλογής μας, KUKA KR AGILUS. Ενώ τα υπόλοιπα ρομπότ φαίνεται να δουλεύουν περίπου στο μισό της απόδοσης του ιδανικού, και παράλληλα ο άνθρωπος δίνει τα χαμηλότερα ποσοστά, αφού η απόδοσή του τείνει να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της φυσικής κούρασης.

Τέλος, η Εικ. 4.14, δεξιά, μας δίνει μια πρόβλεψη της απόδοσης του αυτόνομου συστήματος διαλογής (RWS) με συνθήκες λειτουργίας του KUKA KR AGILUS σε σύγκριση με του ανθρώπου. Φυσικά η διαφορά, ειδικά σε βάθος χρόνου είναι μεγάλη καθώς υπολογίζουμε ένα ρομπότ έναντι ενός ανθρώπου. Υπολογίζεται λοιπόν ότι το ρομπότ, δουλεύοντας 16 ώρες ανά ημέρα για 30 μέρες τον μήνα και 12 μήνες το χρόνο, θα μπορεί να διαχειρίζεται προς διαλογή 300,000 τόνους απορριμμάτων, σε αντίθεση με τον άνθρωπο που υπολογίζεται να διαλέγει περίπου 22,000 τόνους. Η αποτίμηση των αποτελεσμάτων φαίνεται εξαιρετικά προσοδοφόρα για το αυτόνομο ρομποτικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένων και όλων των επιμέρους πλεονεκτημάτων που αναφέραμε στην εισαγωγή.



Σχήμα 4.14: Πίνακας αποτίμησης ρομποτικών βραχιόνων.

```

1 #!/usr/bin/env python
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import numpy as np
4
5 fs = 20
6 f, [ax1, ax2] = plt.subplots(1,2) #f, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3,1)
7 t = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
8 # r1-rh δείκτες απόδοσης
9 x1, r1 = [], 0.75
10 x2, r2 = [], 0.7
11 x3, r3 = [], 0.9
12 x4, r4 = [], 0.8
13 xo, ro = [], 1.8
14 xh, rh, rh2 = [], 0.6, 0.2
15 # θεωρούμε ότι ο άνθρωπος κουράζεται μετά από τις 3 ώρες και πέφτει ο δείκτης απόδοσης του
16 for i in range(len(t)):
17     x1.append(r1*t[i]*60.*60.*60.)
18     x2.append(r2*t[i]*60.*60.*60.)
19     x3.append(r3*t[i]*60.*60.*60.)
20     x4.append(r4*t[i]*60.*60.*60.)
21     xo.append(ro*t[i]*60.*60.*60.)
22     if i > 3:
23         xh.append(rh2*t[i]*60.*60.*60.)
24     elif i==3:
25         xh.append(rh*t[2]*60.*60.*60.)
26     else:
27         xh.append(rh*t[i]*60.*60.*60.)
28 ax1.plot(t, xo, linewidth=2.5)
29 ax1.plot(t, x1, linewidth=2.5)
30 ax1.plot(t, x2, linewidth=2.5)
31 ax1.plot(t, x3, linewidth=2.5)
32 ax1.plot(t, x4, linewidth=2.5)
33 ax1.plot(t, xh, linewidth=2.5)
34 ax1.set_ylabel('Picks', fontsize = fs)
35 ax1.tick_params('y', labelsize = fs)
36 ax1.set_xlabel('Time(h)', fontsize = fs)
37 ax1.tick_params('x', labelsize = fs)
38 ax1.legend(["KUKA KR AGILUS", "KUKA LBR", "IRB360", "IRB1600", "IRB260", "HUMAN"], loc='upper left', fontsize = fs)
39
40 w = 0.1; yo = [k/(8.*1000.) for k in xo]; yh = [l/(8.*1000.) for l in xh]; newt = [1, 1.5]
41 yo_month = yo[-1]*2*30 # 2 8wra, 30 days
42 yo_year = yo_month*12
43
44 yh_month = yh[-1]*2*25 # 2 8wra, 25 days
45 yh_year = yh_month*12
46 y_month = [yo_month, yh_month]
47 y_year = [yo_year, yh_year]
48
49 ax2.bar(newt, y_month, align='center', color="indianred", alpha=0.99, width = w, ecolor='black')
50 ax2.bar(newt, y_year, align='center', color="indianred", alpha=0.5, width = w, ecolor='black')
51 ax2.set_ylabel('Waste(t)', fontsize = fs)
52 ax2.tick_params('y', labelsize = fs)
53 plt.xticks(newt, ["Month", "Year"])
54 ax2.tick_params('x', labelsize = fs)
55 ax2.legend(["RWS", "HUMAN"], loc='upper left', fontsize = fs)
56 plt.show()

```

Σχήμα 4.15: Παράρτημα Α'.1:Python Code for Plots of Fig. 4.14.

Μέρος **III**

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Κεφάλαιο 5

Ολοκλήρωση τελικού συστήματος (system integration)

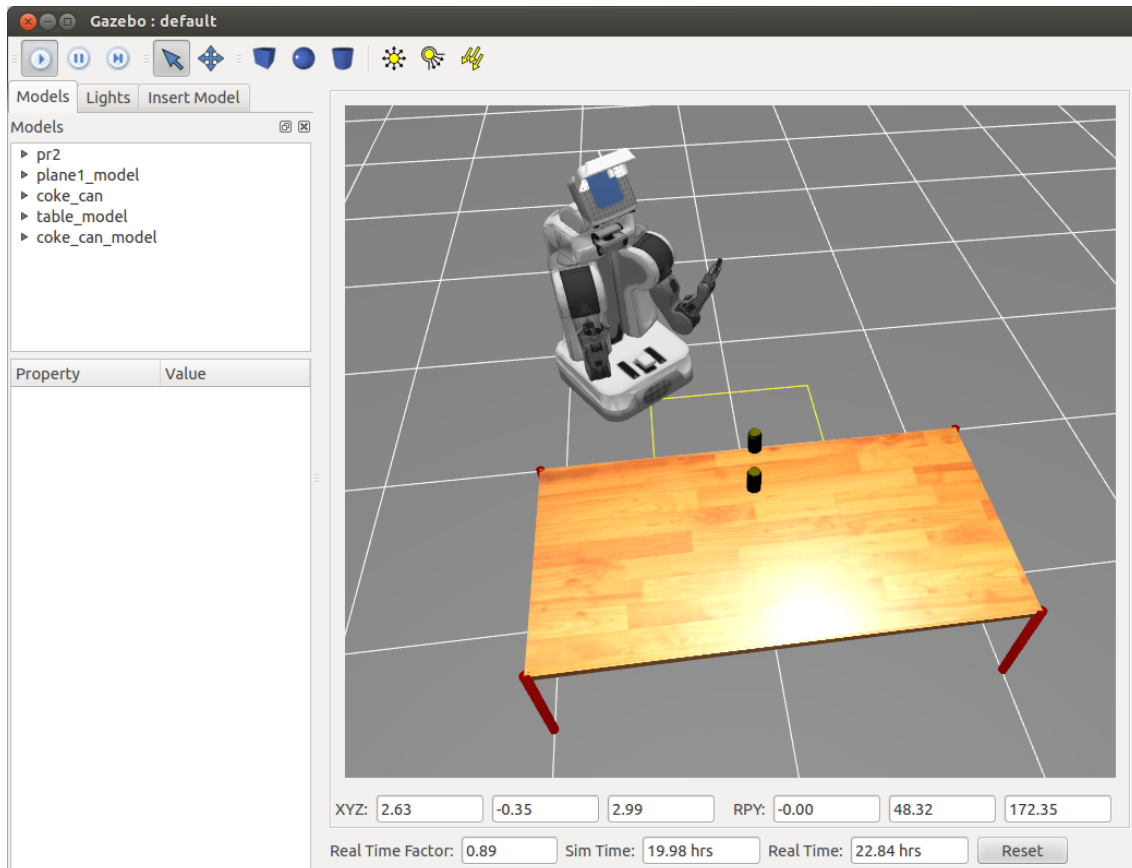
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ο έλεγχος καλής λειτουργίας του συστήματος στο περιβάλλον προσομοίωσης RoboDK.

5.1 Προσομοιωτές διαδραστικού περιβάλλοντος

Ένας προσομοιωτής ρομπότ χρησιμοποιείται για να υλοποιήσει ενσωματωμένες εφαρμογές με συγκεκριμένη λειτουργικότητα, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση κόστους και χρόνου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτές οι εφαρμογές μπορούν να μεταφερθούν σε πραγματικό ρομπότ χωρίς τροποποιήσεις. Η επιτυχία προσομοίωσης μιας εφαρμογής εξαρτάται από το πόσο καλά έχει σχεδιαστεί το εικονικό περιβάλλον του ρομπότ σε σχέση με το πραγματικό. Ως παράδειγμα αναφέρεται η δυσκολία προσομοίωσης αισθητήρων οι οποίοι λαμβάνουν τιμές από τον περιβάλλοντα χώρο σε πραγματικό χρόνο. Μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές για τη ρομποτική προσομοίωση και του περιβάλλοντος χώρου του είναι το 3D modeling. Αυτός ο τύπος προσομοίωσης περιέχει ένα εικονικό ρομπότ, το οποίο είναι ικανό να μιμηθεί την κίνηση και τη γενικότερη λειτουργικότητα ενός πραγματικού σε ένα εικονικό περιβάλλον. Μερικοί προσομοιωτές, όπως ο Gazebo διαθέτουν μηχανισμούς που επιτρέπουν μια πιο φυσική και ρεαλιστική κίνηση του ρομπότ.

5.1.1 Προσομοιωτής Gazebo

Το πρόγραμμα Gazebo είναι ένας multi-robot προσομοιωτής για ρεαλιστικά περιβάλλοντα (Εικ. 5.1) [54]. Είναι ικανό να προσομοιώσει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό από ρομπότ, αισθητήρες και αντικείμενα, σε τρισδιάστατο κόσμο. Παράγει εξίσου καλά την ανάδραση των δεδομένων ενός αισθητήρα αλλά και τις φυσικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων, οι οποίες συγκλίνουν αρκετά με τις πραγματικές. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα χρήσης εξωτερικών βιβλιοθηκών για τον έλεγχο του ρομπότ. Οι βιβλιοθήκες αυτές θα πρέπει να διαθέτουν τις κατάλληλες διεπαφές ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία με πλατφόρμες hardware. Επιπλέον, το Gazebo επιτρέπει την επικοινωνία με εξωτερικά συστήματα λογισμικού και ενδιάμεσου επιπέδου (middleware) όπως για παράδειγμα με το ROS (Robot Operating System). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το Gazebo υποστηρίζει generic interfaces μέσω plugins και TCP/IP επικοινωνίας.

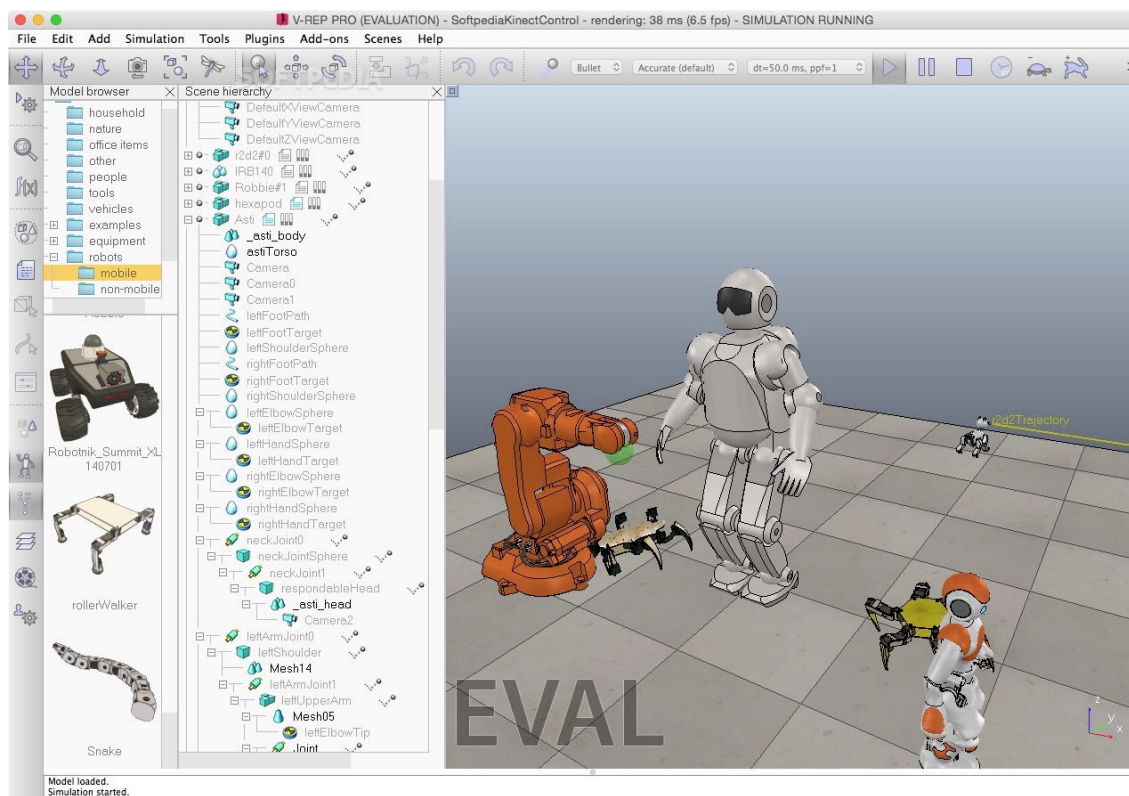


Σχήμα 5.1: Προσομοιωτής Gazebo.

5.1.2 Προσομοιωτής V-REP

Ο προσομοιωτής ρομπότ V-REP, διαθέτει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης, βασισμένο σε μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική ελέγχου (Εικ. 5.2). Κάθε αντικείμενο - μοντέλο μπορεί να ελέγχεται μεμονωμένα μέσω ενός ενσωματωμένου σεναρίου, plugin, ROS node(κόμβου), ή μέσω μιας προσαρμοσμένης λύσης του εκάστοτε χρήστη. Αυτό καθιστά το V-REP πολύ ευέλικτο και ιδανικό για εφαρμογές με πολλαπλά ρομπότ. Ο κώδικας των ελεγκτών μπορεί να γραφτεί σε C , C + +, Python, Java, Lua, Matlab ή Urbi. Το V-REP χρησιμοποιείται για την ταχεία ανάπτυξη αλγορίθμων, προσομοιώσεις αυτοματισμών, γρήγορη προτυποποίηση και την επαλήθευση, ρομπότ που σχετίζονται με την εκπαίδευση, την εξ αποστάσεως παρακολούθηση, την ασφάλεια διπλού ελέγχου, κλπ [55].

Χρήσιμα εργαλεία τα οποία διαθέτει για την προσομοίωση ενός ρομπότ είναι το collision detection, minimum distance calculation, dynamics/physics, vision sensor simulation, path planning κ.α. Όλα αυτά βοηθούν σε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση της προσομοίωσης του εικονικού ρομπότ με το πραγματικό. Ακόμα διαθέτει έτοιμα plugins για διάφορες λειτουργίες, όπως κίνηση οχήματος, χρήση αισθητήρων και περιήγηση σε εικονικό χώρο. Ένα ακόμα πολύ χρήσιμο εργαλείο που διαθέτει αυτός ο προσομοιωτής είναι η συνεργασία του με το ROS και αυτό γιατί ένας μεγάλος αριθμός προγραμματιστών ρομπότ, χρησιμοποιεί την πλατφόρμα αυτή.

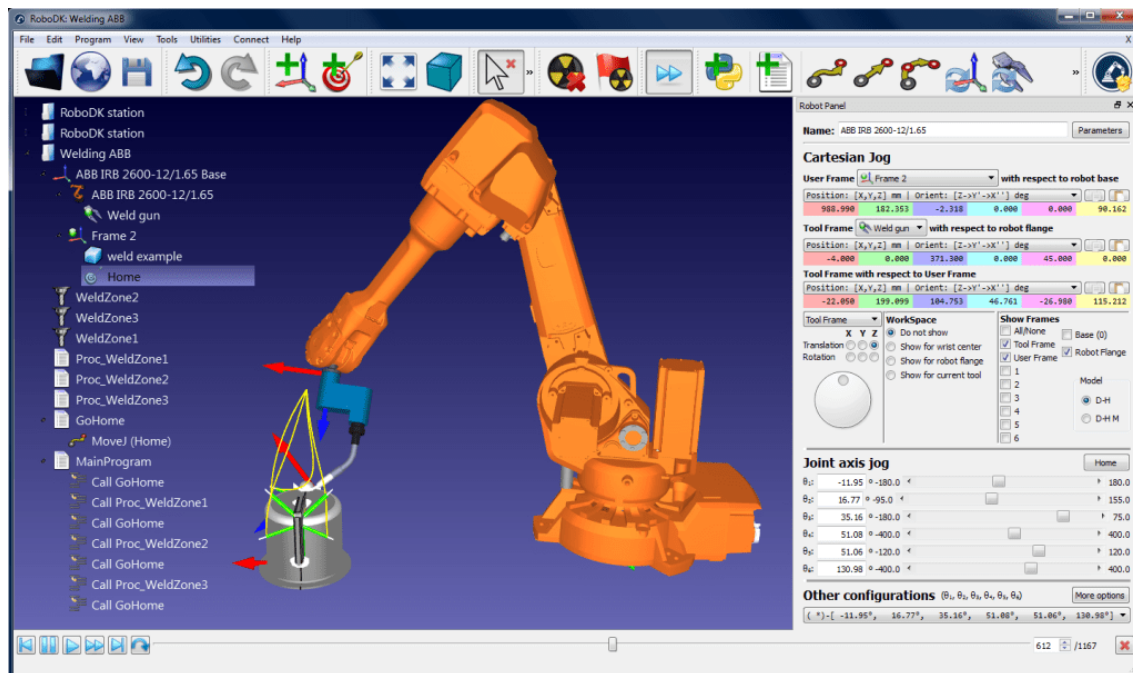


Σχήμα 5.2: Περιβάλλον προσομοιωτή V-REP.

5.1.3 Προσομοιωτής RoboDK

Το RoboDK είναι ένα λογισμικό προσομοιωτή για βιομηχανικά ρομπότ που παρέχει τη δυνατότητα offline programming (Εικ. 5.3). Κάθε σχέδιο υλοποίησης στο RoboDK μπορεί να ελέγχεται χειροκίνητα από το μεγάλο εύρος εργαλείων που διαθέτει ή ενός ενσωματωμένου προγράμματος προσαρμοσμένης λύσης του σε γλώσσες C, C++, Python. Διαθέτει ίσως την μεγαλύτερη βιβλιοθήκη βιομηχανικών ρομποτικών μοντέλων και μεγάλη ευελιξία προγραμματισμού σε βιομηχανικές προσομοιώσεις αυτόματου ελέγχου. Βασικό στοιχείο αποτελεί ότι μπορεί να εγκατασταθεί και σε Windows και σε Ubuntu [56].

Ο προσομοιωτής RoboDK είναι το κατάλληλο εργαλείο για να προσομοιώσουμε το βιομηχανικό ρομπότ που επιλέχθηκε σε μια πιλοτική εγκατάσταση με έναν απλό ιμάντα διαλογής και μερικά κινούμενα αντικείμενα. Καθώς η πλήρης έκδοση του λογισμικού δεν είναι ελεύθερα διαθέσιμη θα χρησιμοποιήσουμε το ελεύθερο trial version ενός μήνα που παρέχεται από την εταιρεία δωρεάν, και που για τις απαιτήσεις της εργασίας και του πειράματος είναι επαρκές.

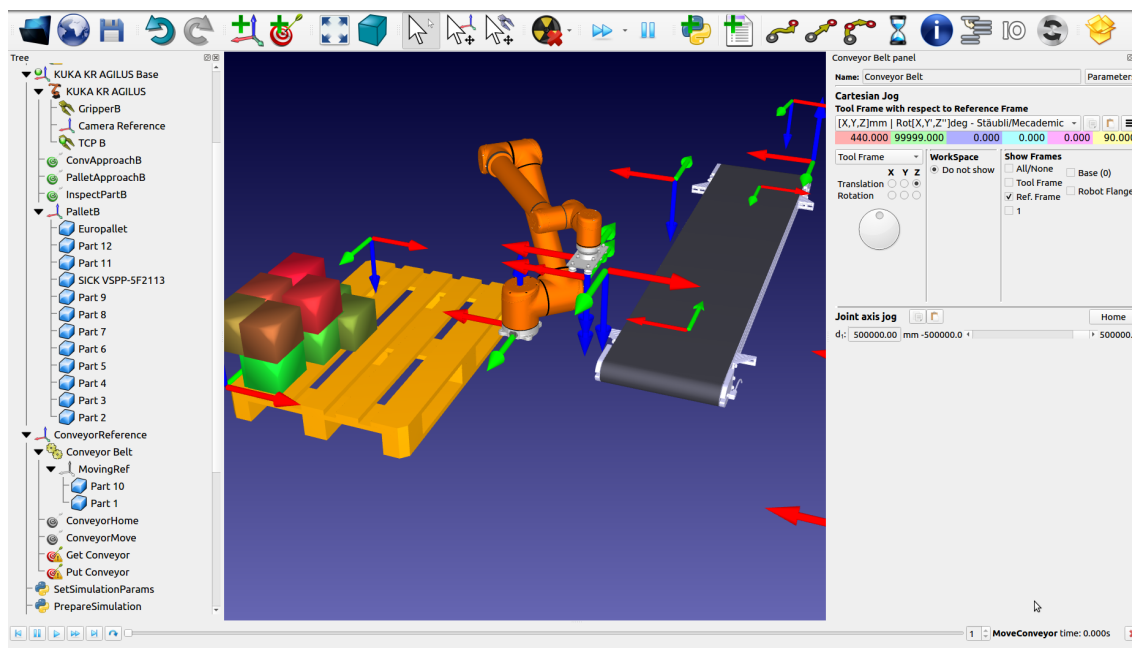


Σχήμα 5.3: Περιβάλλον προσομοιωτή RoboDK.

5.2 Προσομοίωση Ρομποτικού Διαχωριστή Ανακυκλώσιμων Υλικών στο περιβάλλον RoboDK

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της λειτουργίας της διάταξης του αυτόνομου ρομποτικού διαχωριστή με το KUKA KR AGILUS Robot στο περιβάλλον προσομοίωσης για βιομηχανικά ρομπότ RoboDK. Η προσομοίωση που μελετήσαμε αποτελείται από το μοντέλο του KUKA KR AGILUS Arm στο περιβάλλον RoboDK, έναν κινούμενο ιμάντα με μέση ταχύτητα κίνησης $2m/sec$, τετράγωνα κουτιά αμελητέου βάρους ($0.05Kg$) που προσομοιώνουν τα υλικά προς διαλογή, ένα εξωτερικό σύστημα κάμερας που εφαρμόζεται πάνω στο άκρο του ρομποτικού βραχίονα και αναγνωρίζει τα υλικά σύμφωνα με το χρώμα και μια παλέτα που χρησιμοποιήθηκε ως ο τελικός κάδος διαλογής καθώς η trial έκδοση του προσομοιωτή δεν έχει πολλά ελεύθερα αντικείμενα προς χρήση (για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε μόνο έναν κάδο διαλογής, γιατί δε μας επέτρεπε το πρόγραμμα να εισάγουμε επίπλεον αντικείμενα και λειτουργίες). Όλα τα επιμέρους μέρη της προσομοίωσης φαίνονται στην Εικ. 5.4. Η υλοποίηση μας αναπτύχθηκε σε κώδικα πηκτων και στηρίχτηκε στο Python API and tutorials που παρέχονται από τον προσομοιωτή.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος σύνδεσης του εικονικού κόσμου, με μοντέλα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχθεί στο λογισμικό RoboDK, θα περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος σύνδεσης του κόσμου που αναπτύχθηκε με το ρομποτικό μοντέλο ώστε να αυτοματοποιηθεί η κίνησή του. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής αφορά ένα εξειδικευμένο περιβάλλον προσομοίωσης βιομηχανικών ρομποτικών εφαρμογών και είναι ικανοποιητικά εύχρηστο, καθώς προσφέρει ένα λεπτομερές Application Programming Interface - API καθώς και αναλυτικά παραδείγματα σε Python και C. Στηριζόμενοι στα παραδείγματα για offline programming: "Pick and Place with Python" και "Conveyor with 2 robots" δημιουργήσαμε την δική μας



Σχήμα 5.4: Βασικό παράθυρο προσομοίωσης συστήματος με τα επιμέρους μέρη και λειτουργίες.

βασική σκηνή όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η trial έκδοση του RoboDK εγκαταστάθηκε σε Windows 10 και όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήσαμε μόνο τις ελεύθερες λειτουργίες που ήταν διαθέσιμες.

Για την εκτέλεση και συγγραφή των αλγορίθμων χρησιμοποιήθηκε ο ενσωματωμένος στον προσομοιωτή editor. Για τις ανάγκες εκτέλεσης των επιμέρους αλγορίθμων, SetSimulationParams, PrepareSimulation, SimulateCamera, PartsToConveyor, PartsToPallet, προστέθηκαν, για κάθε έναν αλγόριθμο, ένα σενάριο παιδιού (child script), το οποίο προσαρμόστηκε στον κώδικα της βασικής εφαρμογής (Main script). Έτσι, μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα η κάθε επιμέρους λειτουργία, ελέγχοντας τον αισθητήρα όρασης (κάμερα), την κίνηση των αντικειμένων, του ιμάντα και του βραχίονα ξεχωριστά.

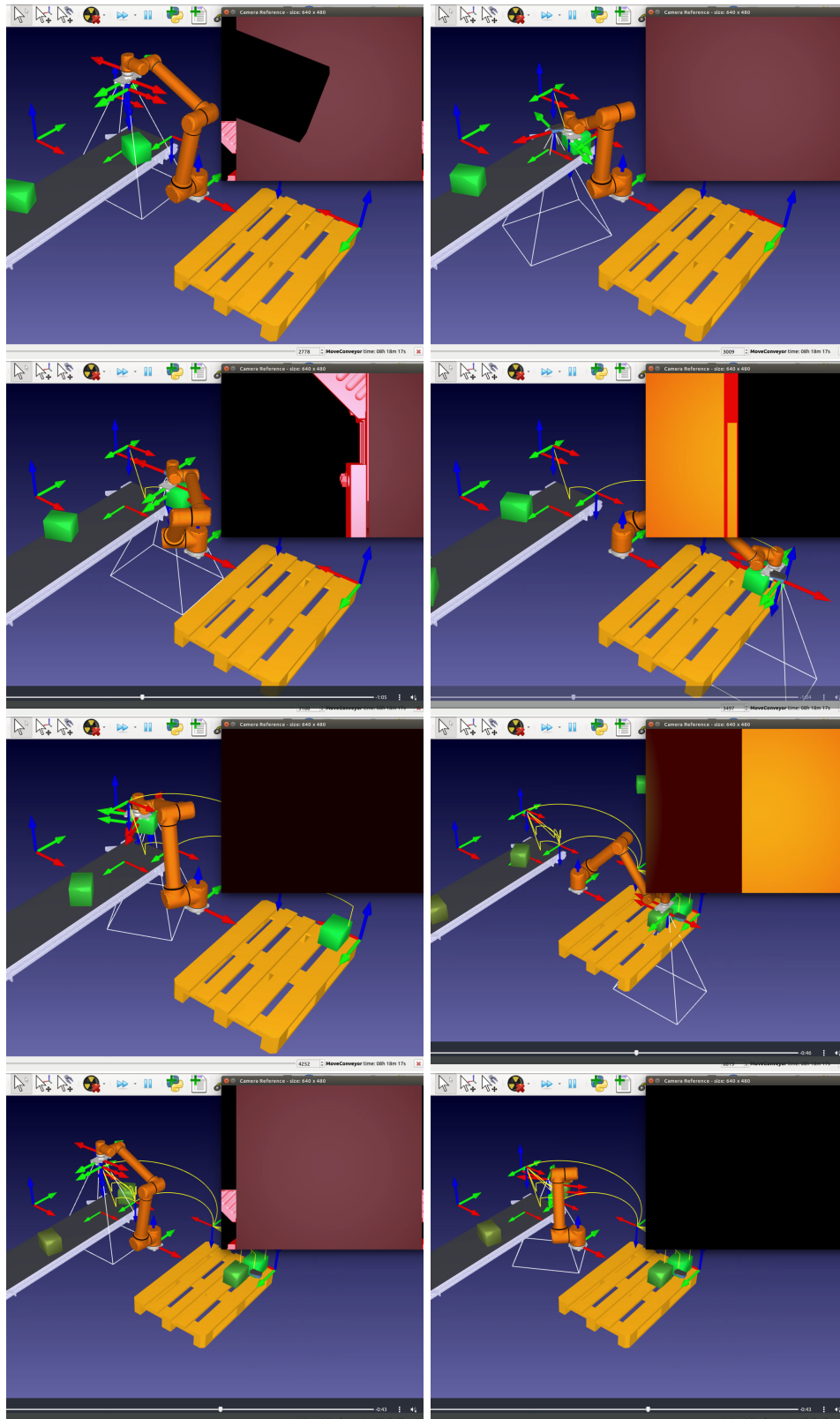
Πιο αναλυτικά, το κάθε script που αναπτύχθηκε για τις επιμέρους λειτουργίες περιγράφεται παρακάτω. Επίσης όλα τα python scripts παρατίθενται στο Παράρτημα Α.2 βασισμένοι στα παραδείγματα του RobotDK API [59].

- **SetSimulationParams Script.** Οι παράμετροι ελέγχου, μπορούν να επιλεγθούν, μέσα από το περιβάλλον προσομοίωσης. Για να επιτευχθεί η κίνηση των αντικειμένων, πρέπει να τοποθετηθούν τα δομικά τμήματα boxes, πάνω στον κινούμενο ιμάντα και μέσω του προγράμματος να συντονίσουμε να κινούνται μαζί του, για την ακρίβεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία attachObjects2Conveyor, ώστε να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία.
- **PrepareSimulation Script.** Η εκτέλεση του πρώτου σεναρίου ξεκινάει με τη διασύνδεση κώδικα και της αντίστοιχης σκηνής, καθώς και την αρχικοποίηση τιμών και αντικειμένων. Η διαδικασία αντιστοίχισης πραγματοποιείται με χρήση της εντολής GetObjectAssociatedWithScript, η οποία αναθέτει στη μεταβλήτη RobotBase για το χειρισμό της σκηνής. Στη συνέχεια, η ροή εκτέλεσης του σεναρίου συνεχίζεται με την αρχι-

κοποίηση των αντικειμένων των κινητήρων και του αισθητήρα, με χρήση της εντολής `GetObjectHandle`.

- **SimulateCamera Script.** Στη συνέχεια, μετά την αρχικοποίηση μεταβλητών και αντικειμένων, ξεκινάει η εκτέλεση του βασικού κώδικα του προγράμματος με τη διαχείριση του σεναρίου "παιδιού" που διαμορφώσαμε. Αρχικά, ξεκινάει να κινείται ο ιμάντας και ανοίγει η κάμερα. Και κάθε φορά που αναγνωρίζεται ένα χρώμα αντικειμένου και ο βραχίονας είναι σε κατάσταση πιασίματος εκτελείται η λειτουργία `PickObject`. Στη συνέχεια, το ρομπότ πρέπει να πιάσει το αντικείμενο και να το μεταφέρει το από τον ιμάντα στον κάδο/παλέτα εκτελώντας την λειτουργία `PlaceObject`. Η ανάγνωση της τιμής του χρώματος του αντικειμένου από την κάμερα γίνεται με χρήση της συνάρτησης `simReadColorSensor`, και η αναγνώριση του συγκεκριμένου χρώματος στηρίζεται σε μέθοδο αναγνώρισης και εντοπισμού χρώματος της `openncv` [57, 58] ενώ η ανάθεση της εντολής στο ρομπότ γίνεται στη μεταβλητή `signalOn`. Παράλληλα, η μεταβλητή `onCamera` αρχικοποιείται για το χειρισμό του αισθητήρα όρασης.
- **PartsToConveyor Script.** Οι λειτουργίες (functions) `moveParts` και `moveConveyor` για το χειρισμό των κινήσεων των αντικειμένων και του ιμάντα αντίστοιχα, ενεργοποιούνται. Τέλος, δίνεται ένα εύρος τιμών για την ταχύτητα των αντικειμένων και του ιμάντα.
- **PartsToPallet Script.** Το τελικό άκρο `end effector` που επιλέχθηκε για χρήση στην συγκεκριμένη προσομοίωση είναι μία αρπάγη βεντούζα που συγκρατεί με δύναμη το μικρό κιβώτιο διαλογής. Η συγκεκριμένη αρπάγη χρησιμοποιήθηκε για λόγους ευκολίας στην προσομοίωση, ενώ στην πραγματική εφαρμογή μία αρπάγη 2 δακτύλων είναι ικανοποιητική για τα πλαστικά υλικά προς διαλογή. Στο σημείο αυτό ο βραχίονας έχοντας αρπάξει το αντικείμενο το μεταφέρει στην προκαθορισμένη θέση στον κάδο διαλογής/παλέτα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με εκ νέου εκτέλεση του αλγορίθμου μέχρι να τελειώσουν οι επαναλήψεις του προγράμματος, ανάλογα με το πλήθος των αντικειμένων που έχουμε προς διαλογή.

Αντιπροσωπευτικά στιγμιότυπα από την εκτέλεση της προσομοίωσης φαίνονται στην Εικ. 5.5. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που μελετήσαμε έτσι όπως περιγράφονται στην ενότητα αυτή προέκυψαν μετά από πολλές επαναλήψεις του πειράματος και κατόπιν πολλών δοκιμών σε επιμέρους συστήματα, όπως η τοποθέτηση της κάμερας, το είδος της αρπάγης, την ταχύτητα του ιμάντα και την θέση του κάδου διαλογής.



Σχήμα 5.5: Στιγμιότυπα αναπαραγωγής συστήματος στον προσομοιωτή RoboDK.

Μέρος **III**

Επίλογος

Επίλογος

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διαπραγματεύτηκε τη μελέτη, αποτίμηση και επιλογή του κατάλληλου ρομποτικού βραχίονα που θα μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα προηγμένο σύστημα διαχωρισμού ανακυκλώσιμων υλικών, το οποίο θα διαχωρίζει με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια ανακυκλώσιμα υλικά σε πραγματικές συνθήκες βιομηχανίας διαλογής αστικών απορριμμάτων (κυριώς πλαστικών PET, HDPE, PP, PS, Tetrapack). Η επιλογή του κατάλληλου βραχίονα αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα σωστής λειτουργίας του συστήματος γι αυτό και είναι αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης, ένα προηγμένο σύστημα ρομποτικής διαλογής αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα αναμένεται να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στο υπάρχον παγειωμένο σκηνικό ανακύκλωσης όπως είναι η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, επιστημονικού προσωπικού με σημαντικά καλύτερες συνθήκες εργασίας συγκριτικά με το σήμερα, ενώ ταυτόχρονα θα συνεισφέρει σημαντικά στα παρακάτω [60]:

- Μείωση κινδύνων για την υγεία του προσωπικού στο στάδιο της διαλογής.
- Βελτίωση της απόδοσης της διαδικασίας διαλογής των απορριμμάτων.
- Αυξημένη εξαγόμενη ποσότητα.
- Υψηλότερα ποσοστά ανάκτησης, λόγω της τακτικής του "ρομποτικού πιασίματος" (98 – 99%) αντί της αεροδιαλογής, των οπτικών διαχωριστών και της χειροδιαλογής που αποφέρουν σήμερα ποσοστά (> 93 – 95%).
- Τη δραστική μείωση των κατά κεφαλή παραγόμενων αποβλήτων και την προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίησή τους και στην ανακύκλωση με χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων βιο-αποβλήτων, η οποία να εφαρμόζεται στο 50% του συνόλου των Αστικών Αποβλήτων (ΑΣΑ).
- Την ανάκτηση ενέργειας, η οποία να χρησιμοποιείται όταν έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια κάθε άλλου είδους ανάκτησης.
- Την υγειονομική ταφή, ως τελευταία, όμως, επιλογή, με στόχο να έχει περιοριστεί σε λιγότερο από το 30% του συνόλου των ΑΣΑ.

Συμπερασματικά θα λέγαμε, ότι αυτή η νέα μορφή ανακύκλωσης και διαλογής των ΑΣΑ, που έχει ήδη παγειωθεί σε Ευρώπη και Αμερική και κάνει τα πρώτα της βήματα στην Ελλάδα, θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο παγειωμένο σύστημα, που θα στηρίζονται κυρίως στην καρδιά του συστήματος που είναι ο ρομποτικός διαχωριστής. Ως εκ τούτου η παρούσα πτυχιακή μελέτησε όλες τις πτυχές του ιδανικού βραχίονα προς χρήση και κατέληξε ότι ιδανικό ρομπότ για αυτή την εφαρμογή αποτελεί το KUKA KR AGILUS, το οποίο σε συνδυασμό με μια μηχανική αρπάγη 2 δακτύλων και τα επιπρόσθετα λογισμικά της KUKA για αναγνώριση αντικειμένων και ρομποτικό πιάσιμο επάνω σε κινούμενο ιμάντα, KUKA.PickControl και KUKA.ConveyorTech αντίστοιχα, αποτελούν τα ιδανικά θεμέλια εργαλεία για τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος με ταχύτητα, ασφάλεια και ακρίβεια.

6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ως μελλοντικές επεκτάσεις του συνολικού συστήματος αυτόνομης ρομποτικής διαλογής, όπως είναι σαφές, θεωρούνται όλες οι δυνατές βελτιστοποιησείς τεχνικά και αλγοριθμικά που θα εξελίξουν το σύστημα.

Στα πλαίσια, τη μελέτης που έγινε στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα λέγαμε, ότι δυνατές επεκτάσεις είναι η εξειδικευμένη μελέτη και χαρακτηριστική προσομοίωση του κάθε επιμέρους τμήματος του αυτόνομου συστήματος διαλογής, δηλαδή, της μονάδας τροφοδοσίας ανακυκλώσιμων κλασμάτων (συγκεκριμένα σε ποια εργοστασιακά περιβαλλοντα θα πρέπει να εγκατασταθεί), το σύστημα οπτικής ανίχνευσης του υλικού διαλογής (εξαιρετικά σημαντικό για την ακρίβεια της θέσης επιλογής του υλικού απ' το ρομπότ) και τη συστοιχία κάδων διαλογής (τι υλικά μπορούν να διαχωριστούν με ρομποτικό τρόπο).

Τέλος, το πλήθος των ρομποτικών βραχιόνων που θα εγκατασταθούν σε κάθε μονάδα είναι μια ακόμα μελέτη που θα πρέπει να γίνει ξεχωριστά, καθώς και οι επιπτώσεις και προεκτάσεις στην ποικιλία υλικών προς διαλογή, που μπορεί να επιφέρει η χρήση ενός διαφορετικού τελικού άκρου αρπάγης πχ. βεντούζα κενού αέρος ή μαγνήτης για άλλου είδους υλικά.

Παράρτημα

Κώδικας Python

A.1 Python Code for Plots

```
#!/usr/bin/env python
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

fs = 20
f, [ax1, ax2] = plt.subplots(1,2) #f, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3,1)
t = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ]
# r1-rh
x1, r1 = [], 0.75
x2, r2 = [], 0.7
x3, r3 = [], 0.9
x4, r4 = [], 0.8
xo, ro = [], 1.8
xh, rh, rh2 = [], 0.6, 0.2

# Theoroume oti o antrwpos kourazetai meta apo 3 wres
# kai allazei o deikths apodoshs tou
for i in range(len(t)):
    x1.append(r1*t[i]*60.*60.*60.)
    x2.append(r2*t[i]*60.*60.*60.)
    x3.append(r3*t[i]*60.*60.*60.)
    x4.append(r4*t[i]*60.*60.*60.)
    xo.append(ro*t[i]*60.*60.*60.)
    if i >3:
        xh.append(rh2*t[i]*60.*60.*60.)
    elif i==3:
        xh.append(rh*t[2]*60.*60.*60.)
    else:
        xh.append(rh*t[i]*60.*60.*60.)
```

```

ax1.plot(t, xo, linewidth=2.5)
ax1.plot(t, x1, linewidth=2.5)
ax1.plot(t, x2, linewidth=2.5)
ax1.plot(t, x3, linewidth=2.5)
ax1.plot(t, x4, linewidth=2.5)
ax1.plot(t, xh, linewidth=2.5)
ax1.set_ylabel('Picks', fontsize = fs)
ax1.tick_params('y', labelsize = fs)
ax1.set_xlabel('Time(h)', fontsize = fs)
ax1.tick_params('x', labelsize = fs)
ax1.legend(["KUKA KR AGILUS", "KUKA LBR", "IRB360", "IRB1600", "IRB260", "HUMAN"], \
           loc='upper left', fontsize = fs)

w = 0.1; yo = [k/(8.*1000.) for k in xo]; yh = [1/(8.*1000.) for l in xh]; \
           newt = [1, 1.5]

yo_month = yo[-1]*2*30 # 2 Swra, 30 days
yo_year = yo_month*12

yh_month = yh[-1]*2*25 # 2 Swra, 25 days
yh_year = yh_month*12

y_month = [yo_month, yh_month]
y_year = [yo_year, yh_year]

ax2.bar(newt, y_month, align='center', color= "indianred", alpha=0.99, \
        width = w, ecolor='black')
ax2.bar(newt, y_year, align='center', color= "indianred", alpha=0.5, \
        width = w, ecolor='black')
ax2.set_ylabel('Waste(t)', fontsize = fs)
ax2.tick_params('y', labelsize = fs)
plt.xticks(newt, ["Month", "Year"])
ax2.tick_params('x', labelsize = fs)
ax2.legend(["RWS", "HUMAN"], loc='upper left', fontsize = fs)

plt.show()

```

A.2 Python Code for Simulation Robot DK

```

# =====
# SetSimulationParams Script
# =====

from robolink import *      # API to communicate with robodk
from robodk import *      # basic matrix operations
RL = Robolink()

# get the robot item:
robot = RL.Item( 'KUKA KR AGILUS' )

# get the home target and the welding targets:
home = RL.Item( 'Home' )
target = RL.Item( 'Target 1' )
# get the pose of the target (4x4 matrix):
poseref = target.Pose()

# move the robot to home, then to the center:
robot.MoveJ(home)
robot.MoveJ(target)

# make an hexagon around the center:
for i in range(7):
    ang = i*2*pi/6 #angle: 0, 60, 120, ...
    posei = poseref*rotz(ang)*transl(200,0,0)*rotz(-ang)
    robot.MoveL(posei)

# move back to the center, then home:
robot.MoveL(target)
robot.MoveJ(home)

def FK_Robot(dh_table, joints):
    """Computes the forward kinematics of the robot.
    dh_table must be in mm and radians, the joints vector must be in degrees."""
    Habs = []
    Hrel = []
    nlinks = len(dh_table)
    HiAbs = eye(4)

```

```

for i in range(nlinks):
    [rz,tx,tz,rx] = dh_table[i]
    rz = rz + joints[i]*pi/180
    Hi = dh(rz,tx,tz,rx)
    HiAbs = HiAbs*Hi
    Hrel.append(Hi)
    Habs.append(HiAbs)

return [HiAbs, Habs, Hrel]

def Frames_setup_absolute(frameparent, nframes):
    """Adds nframes to frameparent"""
    frames = []
    for i in range(nframes):
        newframe = frameparent.RL().AddFrame('frame %i' % (i+1), frameparent)
        newframe.setPose(transl(0,0,100*i))
        frames.append(newframe)

    return frames

def Frames_setup_relative(frameparent, nframes):
    """Adds nframes cascaded to frameparent"""
    frames = []
    parent = frameparent
    for i in range(nframes):
        newframe = frameparent.RL().AddFrame('frame %i' % (i+1), parent)
        parent = newframe
        newframe.setPose(transl(0,0,100))
        frames.append(newframe)

    return frames

def Set_Items_Pose(itemlist, poselist):
    """Sets the pose (3D position) of each item in itemlist"""
    for item, pose in zip(itemlist, poselist):
        item.setPose(pose)

def are_equal(j1, j2):
    """Returns True if j1 and j2 are equal, False otherwise"""
    if j1 is None or j2 is None:
        return False
    sum_diffs_abs = sum(abs(a - b) for a, b in zip(j1, j2))
    if sum_diffs_abs > 1e-3:

```

```

    return False
return True

#-----
# DH table of the robot: KUKA KR AGILUS
DH_Table = []
#           rZ (theta),  tX,  tZ,  rX (alpha)
DH_Table.append([           0,   0, 290, -90*pi/180])
DH_Table.append([ -90*pi/180, 270,   0,           0])
DH_Table.append([           0,  70,   0, -90*pi/180])
DH_Table.append([           0,   0, 302,  90*pi/180])
DH_Table.append([           0,   0,   0, -90*pi/180])
DH_Table.append([ 180*pi/180,   0,  72,           0])

# degrees of freedom: (6 for KUKA KR AGILUS)
DOFs = len(DH_Table)

# =====
# PrepareSimultion Script
# =====

# cleanup of all items containing "Mirror tests"
while True:
    todelete = RL.Item('Robot base')
    # make sure an item was found
    if not todelete.Valid():
        break
    # delete only frames
    if todelete.Type() == ITEM_CASE_FRAME:
        print('Deleting: ' + todelete.Name())
        todelete.Delete()

# setup the parent frames for the test:
parent_frameabs = RL.AddFrame('Robot base (absolute frames)')
parent_framerel = RL.AddFrame('Robot base (relative frames)')

# setup the child frames for the test:
frames_abs = Frames_setup_absolute(parent_frameabs, DOFs)
frames_rel = Frames_setup_relative(parent_framerel, DOFs)

```

```

last_joints = None

tic()
while True:
    # get the current robot joints
    joints = tr(robot.Joints())
    joints = joints.rows[0]

    # do not repaint if joints are the same
    if are_equal(joints, last_joints):
        continue

    # if joints changed, compute the forward kinematics for this position
    [Hrobot, HabsList, HrelList] = FK_Robot(DH_Table, joints)

    # turn off rendering after every Item call while we update all frames:
    RL.Render(False)
    # update all frames
    Set_Items_Pose(frames_abs, HabsList)
    Set_Items_Pose(frames_rel, HrelList)
    # render and turn on rendering
    RL.Render(True)

    last_joints = joints

    # display some information:
    toc()
    print('Current robot joints:')
    print(joints)
    print('Pose of the robot (forward kinematics):')
    print(Hrobot)
    print('\\n\\n')

# =====
# SimulateCamera Script
# =====
from robolink import *      # API to communicate with RoboDK
from robdk import *      # library for basic matrix operations
RDK = Robolink()

```

```

# Close any open 2D camera views
RDK.Cam2D_Close()

#camref = RDK.Item('Camera Reference',ITEM_TYPE_FRAME)
camref = RDK.ItemUserPick('Select the Camera location (reference, tool or object')

# set parameters in mm and degrees:
# FOV: Field of view in degrees (atan(0.5*height/distance) of the sensor
# FOCAL LENGHT: focal lenght in mm
# FAR LENGHT: maximum working distance (in mm)
# SIZE: size of the sensor in pixels
# BG_COLOR: background color (rgb color or named color: AARRGGBB)
# LIGHT_AMBIENT: ambient color (rgb color or named color: AARRGGBB)
# LIGHT_SPECULAR: specular color (rgb color or named color: AARRGGBB)
# LIGHT_DIFFUSE: diffuse color (rgb color or named color: AARRGGBB)
# DEPTH: Add this flag to create a 32 bit depth map

# cam_id = RDK.Cam2D_Add(camref, 'FOCAL LENGHT=6 FOV=32 \
#         FAR LENGHT=1000 SIZE=640x480 BG_COLOR=black ')
# cam_id = RDK.Cam2D_Add(camref, 'FOCAL LENGHT=6 FOV=32 \
#         FAR LENGHT=1000 SIZE=640x480 ')
# cam_id = RDK.Cam2D_Add(camref, 'FOCAL LENGHT=6 FOV=32 \
#         FAR LENGHT=1000 SIZE=640x480 DEPTH ')
cam_id = RDK.Cam2D_Add(camref, 'FOCAL LENGHT=6 FOV=32 FAR LENGHT=600 SIZE=640x480 \
        BG_COLOR=black LIGHT_AMBIENT=red LIGHT_DIFFUSE=black LIGHT_SPECULAR=white ')
# cam_id = RDK.Cam2D_Add(camref, 'POPUP ')

# =====
# PartsToConveyor Script
# =====

# This script simulates a conveyor belt
CONVEYOR_NAME = 'Conveyor'
PICKABLE_OBJECTS_KEYWORD = 'Part'

# Speed of movement in MM/S with respect to the conveyor coordinates:
MOVE_SPEED_MMS = [0,5,0]
REFRESH_RATE = 0.005

# Define workspace of the conveyor to pick the objects:

```

```

CONV_SZ_X_MIN = 0
CONV_SZ_X_MAX = 440
CONV_SZ_Y_MIN = 0
CONV_SZ_Y_MAX = 2000
CONV_SZ_Z_MIN = -200
CONV_SZ_Z_MAX = +500

# Move objects that reached the end of the conveyor and were not picked:
FALLEN_OBJECTS = [0,0,-500]

# Get the conveyor item and reference for work space:
conv = RDK.Item(CONVEYOR_NAME)
conv_reference = conv.Parent()
poseconv = conv_reference.PoseAbs()

# One second in real life means 1 second of simulation.
#The simulation speed is set to 1
SIMULATION_SPEED = 1

def is_inside_conveyor(pose):
    """Checks if a pose is inside the conveyor workspace"""
    pos = pose.Pos()
    if pos[0] > CONV_SZ_X_MIN and pos[0] < CONV_SZ_X_MAX and pos[1] > \
        CONV_SZ_Y_MIN and pos[1] < CONV_SZ_Y_MAX and pos[2] > \
        CONV_SZ_Z_MIN and pos[2] < CONV_SZ_Z_MAX:
        return True
    return False

def conveyor_move_object(pose, delta_time):
    """Moves the object pose through the conveyor
    depending on the time and speed"""
    delta_mm = mult3(MOVE_SPEED_MMS, delta_time)
    newpose = transl(delta_mm)*pose
    return newpose

# Get all objects (string list)
all_objects = RDK.ItemList(ITEM_TYPE_OBJECT)

# Convert object list into item pointers (faster)
# Also filter the list to take into account pickable objects only
objects = []
objects_name = []
objects_active = []

```



```

for i in range(len(all_objects)):
    if all_objects[i].count(PICKABLE_OBJECTS_KEYWORD) > 0:
        objects.append(RDK.Item(all_objects[i]))
        objects_name.append(all_objects[i])
        objects_active.append(False)

# The number of objects that can go in the conveyor
nobjects = len(objects)

# Infinite loop to simulate the conveyor behavior
current_time = 0
tic()
time_last = toc()
while True:
    for i in range(nobjects):
        obj_i = objects[i]

        # Skip if the object is already in the conveyor
        if objects_active[i]:
            continue

        # Check if the object has already been taken by a tool.
        if obj_i.Parent().Type() == ITEM_TYPE_TOOL:
            continue

        # Check if the object is within the conveyor work area
        posei = obj_i.PoseAbs()
        poseirel = invH(poseconv)*posei
        if is_inside_conveyor(poseirel):
            # take the object
            obj_i.setParentStatic(conv)
            print('Adding object %s to the conveyor' % objects_name[i])
            objects_active[i] = True

    # Second step: Update the position of every object in the conveyor
    SIMULATION_SPEED = RDK.SimulationSpeed()
    time_current = toc()
    time_delta = time_current - time_last
    time_last = time_current
    current_time = current_time + time_delta*SIMULATION_SPEED

    # Make a list of objects with their matching positions to update

```

```

obj_items = []
obj_poses_abs = []
for i in range(nobjects):
    obj_i = objects[i]

    # Check if the object has been picked from the conveyor
    if objects_active[i] and obj_i.Parent() != conv:
        objects_active[i] = False
        print('Object %s was picked from the conveyor' % objects_name[i])
        continue

    # Skip update for objects that are not in the conveyor
    if not objects_active[i]:
        continue

    # Update the position of the object
    posei = invH(poseconv)*obj_i.PoseAbs()
    newposei = conveyor_move_object(posei, time_delta*SIMULATION_SPEED)
    if not is_inside_conveyor(newposei):
        newposei = transl(FALLEN_OBJECTS)*newposei
        objects_active[i] = False

    #obj_i.setPose(newposei) # this will provoke a refresh (can be slow)
    obj_items.append(obj_i)
    obj_poses_abs.append(poseconv*newposei)

    # Update the object positions
    RDK.setPosesAbs(obj_items, obj_poses_abs)

    # Take a break...
    pause(REFRESH_RATE)

# =====
# PartsToPallet Script
# =====
##Pick and place

from robolink import * # API to communicate with robodk
from robodk import * # basic matrix operations

# Setup global parameters

```

```

BALL_DIAMETER = 100 # diameter of one ball
APPROACH = 100      # approach distance with the robot, in mm
nTCPs = 6           # number of TCP's in the tool

def box_calc(BALLS_SIDE=4, BALLS_MAX=None):
    if BALLS_MAX is None: BALLS_MAX = BALLS_SIDE**3
    xyz_list = []
    for h in range(BALLS_SIDE):
        for i in range(BALLS_SIDE):
            for j in range(BALLS_SIDE):
                xyz_list = xyz_list + [(i+0.5)*BALL_DIAMETER, \
                    (j+0.5)*BALL_DIAMETER, (h+0.5)*BALL_DIAMETER]
                if len(xyz_list) >= BALLS_MAX:
                    return xyz_list
    return xyz_list

def pyramid_calc(BALLS_SIDE=4):
    #the number of balls can be calculated as:
    BALL_DIAMETER = 100
    xyz_list = []
    sqrt2 = 2**(0.5)
    for h in range(BALLS_SIDE):
        for i in range(BALLS_SIDE-h):
            for j in range(BALLS_SIDE-h):
                height = h*BALL_DIAMETER/sqrt2 + BALL_DIAMETER/2
                xyz_list = xyz_list + [(i*BALL_DIAMETER + (h+1)*BALL_DIAMETER*0.5, \
                    j*BALL_DIAMETER + (h+1)*BALL_DIAMETER*0.5, height)]
    return xyz_list

def balls_setup(frame, positions):
    """Place a list of balls in a reference frame."""
    nballs = len(positions)
    step = 1/(nballs - 1)
    for i in range(nballs):
        newball = frame.Paste()
        #set item name
        newball.setName('ball ' + str(i))
        #set item position with respect to parent
        newball.setPose(transl(positions[i]))
        #make item visible but hide the reference frame
        newball.setVisible(True, False)
        #set RGBA color

```

```

        newball.Recolor([1-step*i, step*i, 0.2, 1])

def cleanup_balls(parentnodes):
    """Deletes all child items whose name starts with
    \"ball\", from the provided list of parent items."""
    todelete = []
    for item in parentnodes:
        todelete.append(item.Childs())
    todelete = robottool.Childs() + frame1.Childs() + frame2.Childs()
    for item in todelete:
        if item.Name().startswith('ball'):
            item.Delete()

def TCP_On(toolitem, tcp_id):
    toolitem.AttachClosest()
    toolitem.RL().RunMessage('Set air valve %i on' % (tcp_id+1))
    toolitem.RL().RunProgram('TCP_On(%i)' % (tcp_id+1));

def TCP_Off(toolitem, tcp_id, itemleave=0):
    toolitem.DetachClosest(itemleave)
    toolitem.RL().RunMessage('Set air valve %i off' % (tcp_id+1))
    toolitem.RL().RunProgram('TCP_Off(%i)' % (tcp_id+1));

#-----

# Starts from the beggining the API with RoboDK
RL = Robolink()

# Turn off automatic rendering (faster)
RL.Render(False)
RL.Set_Simulation_Speed(500);
# controls the simulation speed

# Gather required items from the station tree
robot = RL.Item('Fanuc M-710iC/50')
robottool = RL.Item('Tool')
frame1 = RL.Item('Table 1')
frame2 = RL.Item('Table 2')

# Copy a ball
ballref = RL.Item('reference ball')

```

```

ballref.Copy()

# Run a station program to replace the two tables
prog_reset = RL.Item('Replace objects')
prog_reset.RunProgram()

# Call custom procedure to remove old objects
cleanup_balls([robottool, frame1, frame2])

# Make a list of positions to place the objects
frame1_list = pyramid_calc(4)
frame2_list = pyramid_calc(4)

# Programmatically place the objects with a custom-made procedure
balls_setup(frame1, frame1_list)

# Turn on automatic rendering
RL.Render(True)

# Calculate tool frames for the suction cup tool of 6 suction cups
TCPs = []
for i in range(nTCPs):
    TCPs = TCPs + [transl(0,0,100)*rotz((360/nTCPs)*i*pi/180)*\
        transl(125,0,0)*roty(pi/2)]

# Move balls
robot.setTool(robottool) # this is automatic if there is only one tool
nballs_frame1 = len(frame1_list)
nballs_frame2 = len(frame2_list)
idTake = nballs_frame1 - 1
idLeave = 0
idTCP = 0
target_app_frame = transl(2*BALL_DIAMETER, 2*BALL_DIAMETER, 4*BALL_DIAMETER)
while idTake >= 0:
    ntake = min(nTCPs, idTake + 1)
    # approach to frame 1
    robot.setFrame(frame1)
    robottool.setHtool(TCPs[0])
    robot.MoveJ([0,0,0,0,10,-200])
    robot.MoveJ(target_app_frame)

    # grab ntake balls from frame 1
    for i in range(ntaxe):

```

```

    Htool = TCPs[i]
    robottool.setHtool(Htool)
    target = transl(frame1_list[idTake])*roty(pi)*rotx(30*pi/180)
    target_app = target*transl(0,0,-APPROACH)
    idTake = idTake - 1
    robot.MoveL(target_app)
    robot.MoveL(target)
    TCP_On(robottool, i)
    robot.MoveL(target_app)

# -----
# second priority: unload the tool
# approach to frame 2 and place the tool balls into table 2
robottool.setHtool(TCPs[0])
robot.MoveJ(target_app_frame)
robot.MoveJ([0,0,0,0,10,-200])
robot.setFrame(frame2)
robot.MoveJ(target_app_frame)
for i in range(ntake):
    Htool = TCPs[i]
    robottool.setHtool(Htool)
    if idLeave > nballs_frame2-1:
        raise Exception("No room left to place objects in Frame 2")

    # calculate target wrt frame1: rotation of 180 about Y
    # is needed since Z and X axis are inverted
    target = transl(frame2_list[idLeave])*roty(pi)*rotx(30*pi/180)
    target_app = target*transl(0,0,-APPROACH)
    idLeave = idLeave + 1
    robot.MoveL(target_app)
    robot.MoveL(target)
    TCP_Off(robottool, i, frame2)
    robot.MoveL(target_app)

robot.MoveJ(target_app_frame)

# Move home when the robot finishes
robot.MoveJ([0,0,0,0,10,-200])

```


Βιβλιογραφία

- [1] <https://www.anasasorter.com>
- [2] Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (ΕΕΑΑ), **Ετήσια έκθεση 2015-2016**, Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης.
- [3] <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE20BROCHURE.pdf>
- [4] https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/product?code=sdg_160
- [5] About 70 percent of trash can be recycled, Montgomery Advertiser, Ala., **URL**.
- [6] <https://www.Euroactive.com>
- [7] Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης, **Έκθεση Μάιος 2018**.
- [8] Πρακτικά Ημερίδας: "Εθνικό Στρατηγικό Πρόγραμμα Πρόληψης Παραγωγής Αποβλήτων Και Αναθεώρηση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων", Υπ. Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Πρόγραμμα "Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη", 10 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2014.
- [9] Διαλογή στη πηγή σε μεγάλους οργανισμούς, Σημειώσεις Καθηγήτριας Μερόπη Σαμαρά Μηλιώτου, Τμήμα Περιβάλλοντος Μάρτιος 2017, Λευκωσία.
- [10] <https://recycleatsource.gr/γιατί-διαλογή-στην-πηγή/>
- [11] RECYCLING FACTS, Grow NY, **URL**.
- [12] Βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων: Μία ολοκληρωμένη αποκεντρωμένη προσέγγιση, Μαρία Λοιζίδου, Καθηγήτρια ΕΜΠ, Αθήνα, 13 Δεκεμβρίου 2012.
- [13] <http://watt.com.gr/tehnologia/mihaniki-dialogi.aspx>
- [14] Διπλωματική Εργασία, "Ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης και ανάπτυξη σχεδίου για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των απορριμμάτων του Δήμου Ζαχάρως», Μήτσικας Αλέξανδρος, ΕΜΠ, 2015.
- [15] Εργαστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης Χανίων, Κώστας Πατεράκης, Μηχανολόγος Μηχανικός Δ/ντης Ε.Μ.Α.Κ. Χανίων, Παρουσίαση 2013.
- [16] Bedworth, D.D., Henderson, M.R. and Wolfe, P.M. (1991) Computer-integrated design and manufacturing, McGraw-Hill, New York.

- [17] Chapman, S. (2005) Electric Machinery Fundamentals, 4th Edition, McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering.
- [18] Ευαγγελάτος Δ. Σπυριδών, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Προοπτικές στο Δήμο Αιγάλεω, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούνιος 2013.
- [19] Αναπλ. Καθηγητής Δημοσθένης Σαρηγιάννης, Ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών-Τεχνολογίες διαχείρισης στερεών αποβλήτων, Αριστοτέλειο Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 2016.
- [20] Plastics Optical-Sorting Technologies, Canadian Plastics Industry Association 2017.
- [21] Huang, J., Pretz, T., Zhengfu, B. (2010). Intelligent solid waste proc. using optical sensor based sorting technology. 3rd International Congress on Image and Signal Proc. (CISP), Vol. 4, pp. 1657-1661.
- [22] Link AI: <https://sustainingourworld.com/2017/08/10/recycling-robotic-sorting-artificial-intelligence/>
- [23] Link AI Recycling: <https://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/sustainable/efficient-recycling-robotic-sorting-artificial-intelligence.htm>
- [24] Link Zen Robotics: <https://zenrobotics.com/>
- [25] Dr. Tuomas J. Lukka, Dr. Timo Tossavainen, Dr. Janne V. Kujala, and Dr. Tapani Raiko, "ZenRobotics Recycler - Robotic Sorting using Machine Learning", ZenRobotics Ltd. Vilhonkatu, Helsinki, Finland.
- [26] Link Sadako: <http://www.sadako.es/max-ai/>
- [27] Link Article for Sadako Recycling: <https://www.nanalyze.com/2018/01/ai-waste-management-robots-sadako/>
- [28] Link AMP Robotics <https://www.amprobotics.com/>
- [29] Veolia 2009, **From waste to resource.**
- [30] **ERT article for ANASA project.**
- [31] Ming-Kuei, H. (1962). Visual pattern recognition by moment invariants. IRE Transactions on Information Theory, Vol. 8, No. 2, pp. 179-187.
- [32] Shell, R.L., Hall, E.L. (2000) Handbook of Industrial Automation, Marcel Dekker, New York.
- [33] Guérin, Joris Stéphane, Thiery Nyiri, Eric Gibaru, Olivier, (2018), Unsupervised Robotic Sorting: Towards Autonomous Decision Making Robots, International Journal of Artificial Intelligence and Applications, 81-98.
- [34] **Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων.**

- [35] **www.waste-management-world.com**
- [36] **Article: Robots with superpowers to sort waste for recycling purposes.**
- [37] Anatomy Of A Robot, Stirling Paatz of robot integrators Barr and Paatz describes the anatomy of an industrial robot, Barr and Paatz Industrial Automation.
- [38] Gurudu Rishank Reddy Venkata Krishna Prashanth Eranki, Master's Degree Thesis, Design and Structural Analysis of a Robotic Arm, Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2016.
- [39] Industrial robotics-KCG College of Technology-Notes Presentation
- [40] Mamilla, Venkata, (2011), Study on Robot Anatomy and its Applications.
- [41] Εμίρης, Δ., Κουλουριώτης, Δ. (2006) Ρομποτική, 3η έκδοση, ΣΕΛΚΑ-4M Τεκδοτική, Αθήνα.
- [42] Kuric, Ivan Tlach, Vladimír Ságová, Zuzana Cisar, Miroslav Gritsuk, Igor, "Measurement of industrial robot pose repeatability" MATEC Web of Conferences., 2018.
- [43] **KUKA Robotics.**
- [44] **ABB Robotics.**
- [45] **kuka.conveyortech.**
- [46] **kuka_pickcontrol.**
- [47] Link ΕΣΔΑΚ: **<https://esdak.gr/category/conference/>**.
- [48] **Waste-Recycling/Assessment.**
- [49] **Robots begin to attack waste and dirt.**
- [50] Moulitanitis, Vassilis Katrantzis, Eleftherios A. Stravopodis, Nikos Aspragathos, Nikos, "A Comparative Study of Three Manipulator Performance Measures" 19-27, 2018.
- [51] **Global Waste Sorting Robots Market Analysis.**
- [52] **Global waste sorting robots market.**
- [53] Synodinos, Aris Aspragathos, Nikos, "Ύπολογισμός Δείκτη Επιδεξιότητας Ρομποτικού Βραχίονα Με Χρήση Ασαφούς Λογικής", 2015.
- [54] Gazebo Tutorial by Rasko Pjesivac.
- [55] Introduction to V-REP virtuel robot experimentation platform by Mathias Thor.
- [56] <https://robodk.com/index>

- [57] Beijing Income Resources Recovery Recycling Co., Ltd, "Automatic recycling glass machine for bottles, cans, paper and PET", **URL**.
- [58] Bradski, Adrian. Learning OpenCV, [Computer Vision with OpenCV Library, 1st ed: O'Reilly Media, 2008.
- [59] RoboDK API: **<https://github.com/RoboDK/RoboDK-API>**
- [60] **Κρήτη: Διαχείριση Απορριμάτων με τη βοήθεια Ρομπότ**, 2018, ΣΚΑΙ ειδήσεις.
- [61] <https://wasterobotic.com/en/>
- [62] <https://www.youtube.com/watch?v=0YFb25c5rAU>
- [63] Reverse Vending, Reverse Vending Machines, **URL**.
- [64] Goldstein, M. (1972). Nearest neighbor classification. IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 18, No. 5, pp. 627-630.

