

Pick 'n place palettize application

Ονόματα Φοιτητών / email φοιτητών:

Αργυρού Μιχάλης, tm20358@edu.hmu.gr

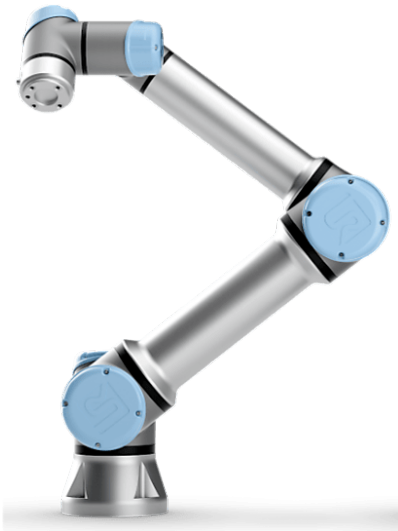
Παξιμαδάκης Αλέξανδρος, tm20347@edu.hmu.gr

Δρακάκης Κωνσταντίνος, th20049@edu.hmu.gr

Γερακαράκος Κωνσταντάκος Παναγιώτης, tm20181@edu.hmu.gr

Κουτάκης Μάριος, tm20326@edu.hmu.gr

Λώλος Παναγιώτης, tm20287@edu.hmu.gr



Εικόνα: Ρομποτικός Βραχίονας UR5e

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι
Εαρινό Εξάμηνο 2025



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Περιγραφή Εργασίας	2
2	Πνευματική & Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία	4
3	Μηχανολογικό Σχέδιο - CAD	10
4	Κώδικας	15
5	Παραδοχές	17
6	Τρόποι βελτιστοποίησης	18
7	Βιβλιογραφία	19
8	Βίντεο επίδειξης της παλετοποίησης	19



1 Περιγραφή Εργασίας

Στο πλαίσιο του παρόντος έργου, καλούμαστε να υλοποιήσουμε ένα σύστημα αυτοματοποιημένης ταξινόμησης και παλετοποίησης αλουμινένιων κυλινδρικών κουτιών αναψυκτικού, τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: ψηλά και χαμηλά. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μεταφορά των κουτιών μέσω ταινιόδρομου, την ανίχνευση του ύψους τους με χρήση αισθητήρων και, τέλος, την παλετοποίησή τους σε κατάλληλες θέσεις: δύο διαφορετικές τετράγωνα παλέτες αποτελούμενες από τέσσερα κουτάκια.

Η τοπολογία του συστήματος στον χώρο απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, και περιλαμβάνει τα εξής βασικά στοιχεία:

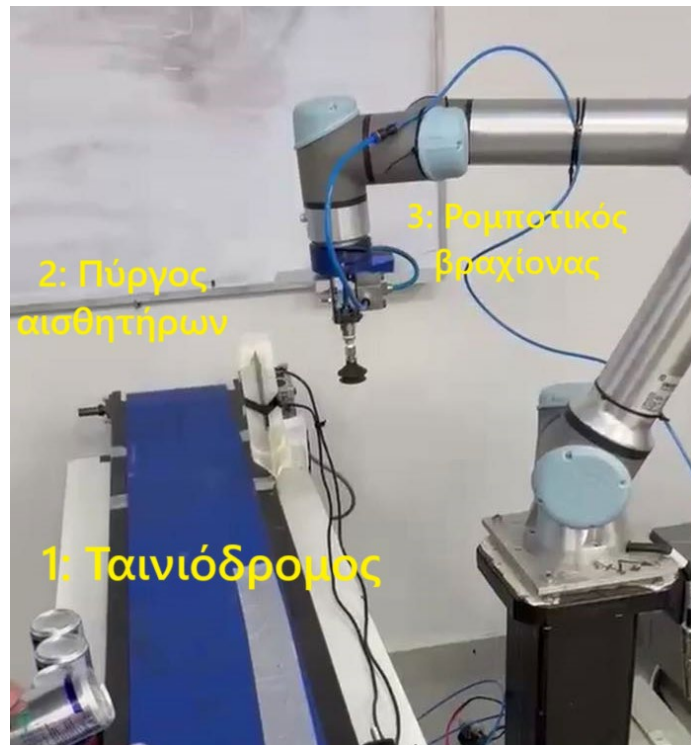
- 1) Τον ταινιόδρομο, μέσω του οποίου μεταφέρονται τα κουτάκια.
- 2) Τον πύργο αισθητήρων, ο οποίος αναλαμβάνει την αναγνώριση του ύψους των αντικειμένων.
- 3) Το ρομποτικό βραχίονα UR5e της εταιρείας Universal Robots, το οποίο εκτελεί την αρπαγή και μετακίνηση των κουτιών.
- 4) Ένα τραπέζι εργασίας, το οποίο λειτουργεί ως επιφάνεια τοποθέτησης των δύο παλετών.

Ο πύργος αισθητήρων έχει κατασκευαστεί από ένα ορθογώνιο τεμάχιο φελιζόλ, το οποίο φέρει δύο οπές στις οποίες έχουν τοποθετηθεί χωρητικοί αισθητήρες σε συγκεκριμένα ύψη. Οι αισθητήρες είναι προσανατολισμένοι ώστε να ανιχνεύουν τη διαφορά ύψους μεταξύ ψηλών και χαμηλών κυλίνδρων, επιτρέποντας την ταξινόμηση των αντικειμένων.

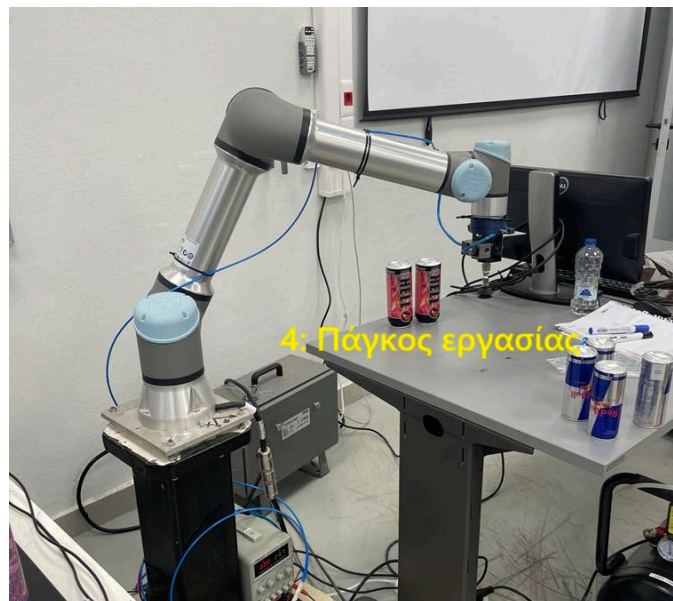
Αξιοσημείωτο είναι ότι, παρόλο που είχε αρχικά σχεδιαστεί η δημιουργία ειδικής κατασκευής για τον εγκλωβισμό των κουτιών, αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε τελικά. Αντί αυτής, επελέγη η τοποθέτηση των κουτιών κατά τον άξονα Χ του ταινιόδρομου, ώστε να εξασφαλίζεται η πλησιέστερη δυνατή προσέγγιση των αντικειμένων στους αισθητήρες, αυξάνοντας την αξιοπιστία της ανίχνευσης.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι
Εαρινό Εξάμηνο 2025



Εικόνα 1.1: 1^ο μέρος τοπολογίας συστήματος



Εικόνα 1.2: 2^ο μέρος τοπολογίας της διάταξης

2 Πνευματική & Ηλεκτρολογική συνδεσμολογία

Η βάση του πνευματικού μας συστήματος είναι ο αεροσυμπιεστής (compressor) για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα. Χρησιμοποιήσαμε αυτόν που υπήρχε διαθέσιμο στο εργαστήριο. Ήταν ένας της AIBILI με 500 Watt ισχύ. Όλα τα πνευματικά – υδραυλικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με σωληνάκια υψηλής πίεσης, για να μην καταρρεύσει το σύστημα ή υπάρχουν τυχόν διαρροές. Στην συνέχεια, υπάρχει ο ρυθμιστής πίεσης που έχει εύρος τιμών από 0 έως και 16 bar. Η αλλιώς από 0 έως 1,6 MPa. Εμείς ρυθμίσαμε την πίεση στο 1,5 bar (δεν χρειαζόμαστε παραπάνω). Για να ρυθμίσει κανείς την πίεση πρέπει να σπρώξει τον μπλε μοχλό προς τα έξω, και να τον γυρίσει κατάλληλα ανάλογα με το αν χρειάζεται λιγότερο ή περισσότερο πίεση. Μετά, υπήρχε στο σύστημα ένας μηχανικός διακόπτης, που ενεργοποιούσε ή απενεργοποιούσε την ροή προς το υπόλοιπο κύκλωμα. Στο εργαστήριο χρησιμοποιήσαμε μία βαλβίδα πέντε θέσεων με δύο καταστάσεις. Οι θέσεις και οι καταστάσεις, γίνονται ξεκάθαρες στην παρακάτω εικόνα. Η δεξιά κατάσταση ενεργοποιείται όταν υπό την απουσία ρεύματος. Είναι η κατάσταση όταν στο σύστημα υπάρχει αδράνεια. Η αριστερή κατάσταση, ενεργοποιείται με κάποιον ηλεκτρονόμο (relay).



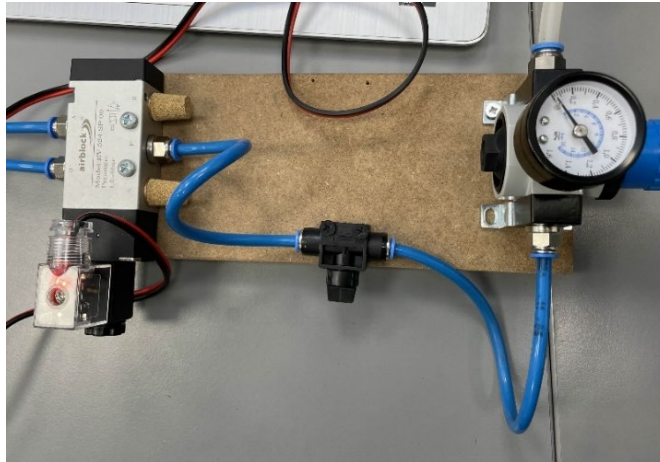
Εικόνα 2.1: Αεροσυμπιεστής

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι
Εαρινό Εξάμηνο 2025



Στα δεξιά φαίνεται ο ρυθμιστής πίεσης με τον μοχλό του (μπλε). Το μαύρο στοιχείο στο κέντρο της εικόνας είναι ο διακόπτης που ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την ροή. Στα δεξιά είναι η βαλβίδα πέντε θέσεων & δύο καταστάσεων. Στο εξάρτημα που φωτίζει ένα λαμπάκι, είναι το ρελέ που ενεργοποιεί την δεξιά κατάσταση της βαλβίδας. Τα χρυσά στοιχεία πάνω στην βαλβίδα, είναι σιγαστήρες ώστε να μην παράγεται θόρυβος όταν εξέρχεται από εκεί ο αέρας.



Εικόνα 2.2: Πνευματικό σύστημα

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι

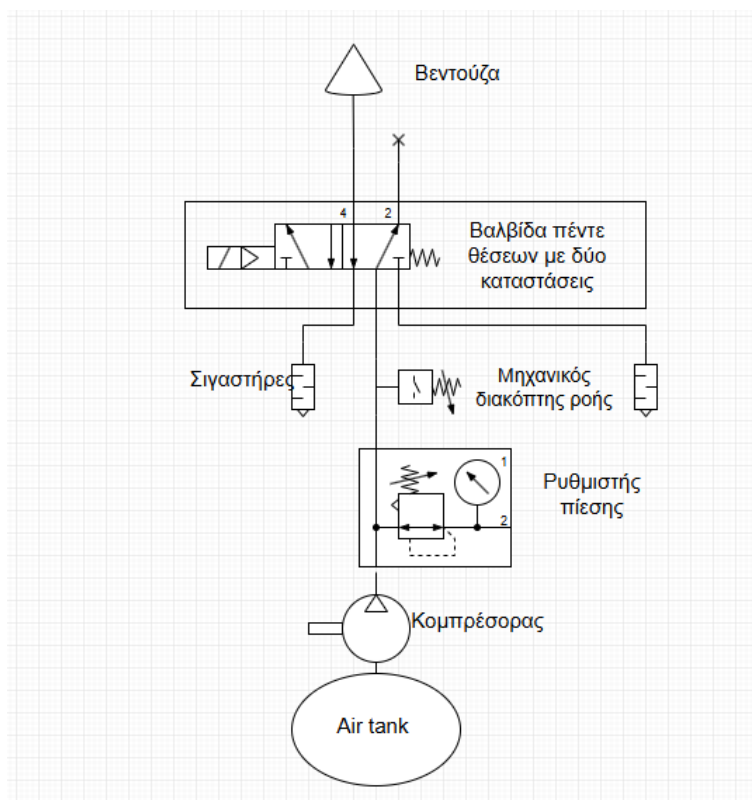
Εαρινό Εξάμηνο 2025

Τέλος, στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται η έξοδος της πνευματικής διάταξης, η βεντούζα στην απόληξη του ρομποτικού βραχίονα με την οποία πραγματοποιείται η μεταφορά των κουτιών.



Εικόνα 2.3: Η βεντούζα στο άκρο του ρομποτικού βραχίονα

Με την βοήθεια του λογισμικού etools.smc κατασκευάσαμε την πνευματική συνδεσμολογία online.



Εικόνα 2.4: Πνευματικό διάγραμμα

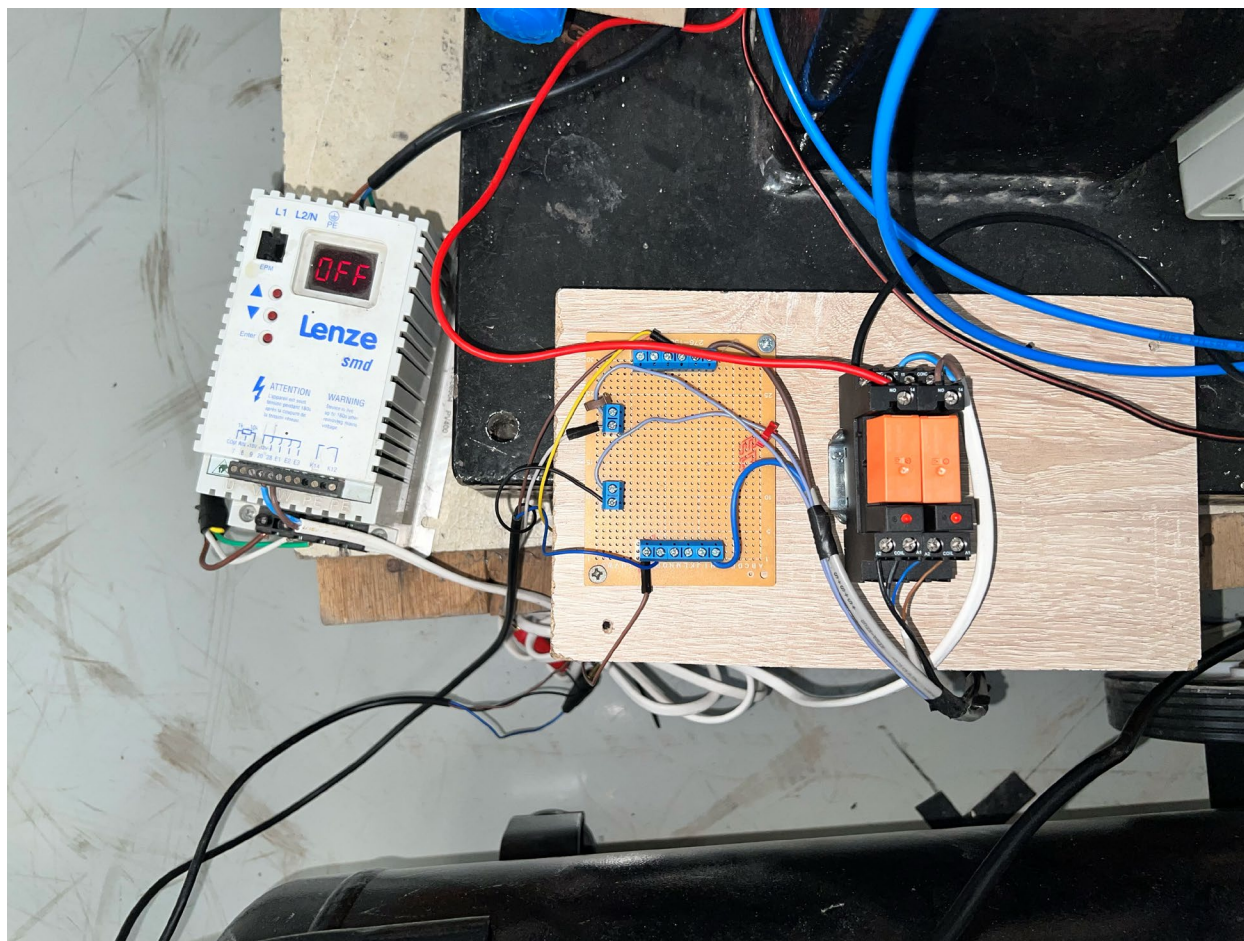
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι

Εαρινό Εξάμηνο 2025

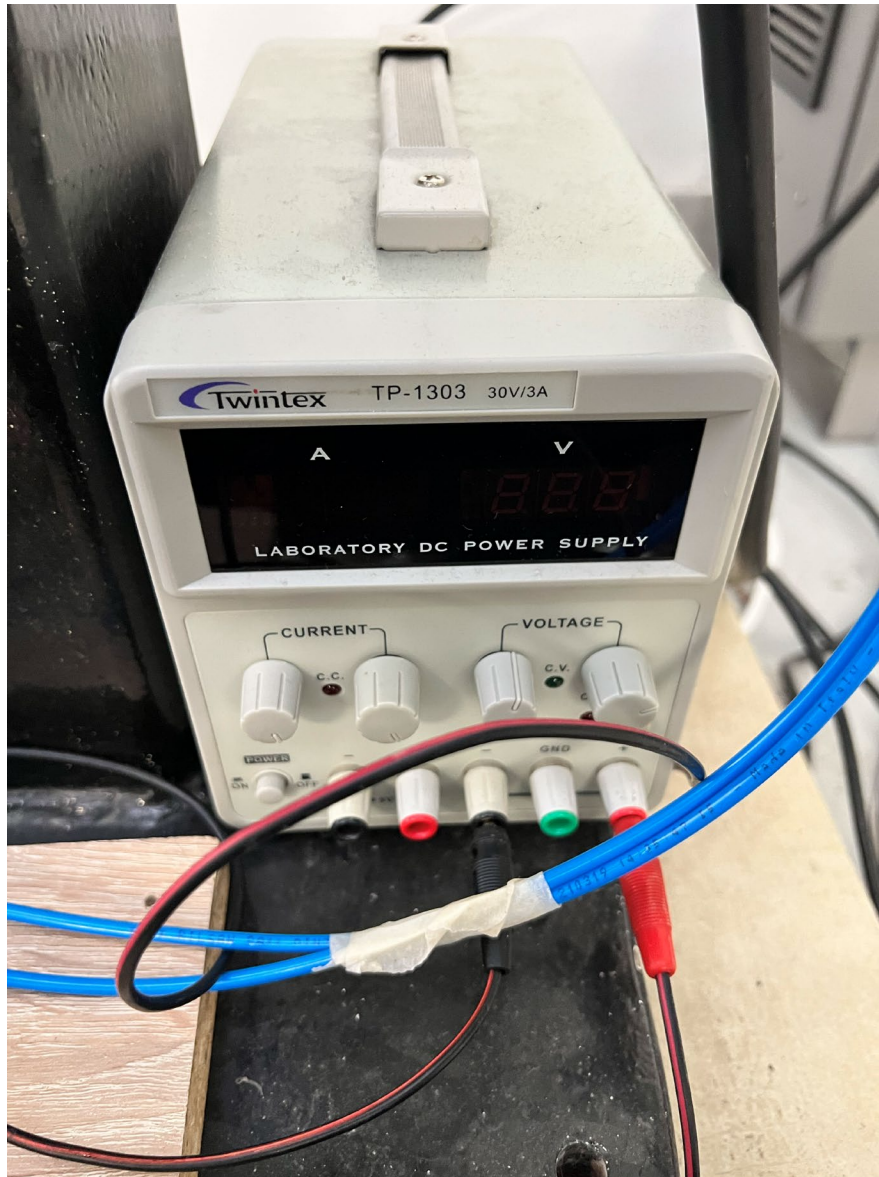


Η φυσική υλοποίηση του ηλεκτρικού κυκλώματος, το οποίο περιλαμβάνει τον inverter Lenze smd για τον έλεγχο του κινητήρα του ταινιόδρομου, ένα τυπωμένο breadboard με ενδιάμεσες συνδέσεις για την επεξεργασία των σημάτων από τους αισθητήρες, δύο επαγωγικούς αισθητήρες για την ανίχνευση των μεταλλικών δοχείων, ένα εργαστηριακό ρυθμιζόμενο τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος (DC power supply), καθώς και ένα διπλό ρελέ το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο τόσο του inverter όσο και του βραχίονα με την αρπάγη (βεντούζα).



Εικόνα 2.5: Απεικόνιση του κυκλώματος αυτοματισμού

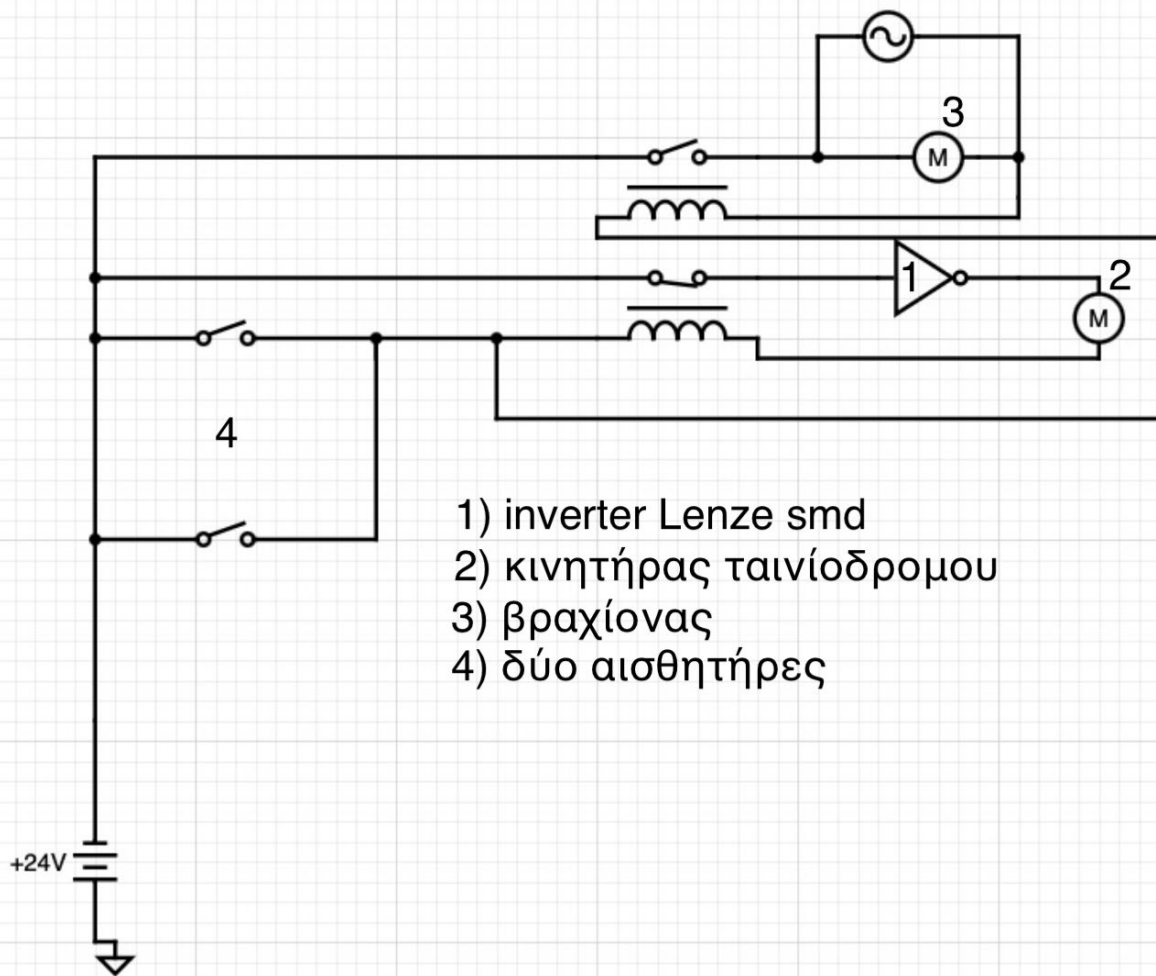
Το διάγραμμα του κυκλώματος που θα δείτε παρακάτω, αποτελείται από ένα σύστημα αυτοματισμού ελέγχου ταινιόδρομου με χρήση δύο επαγωγικών αισθητήρων, inverter και βραχίονα μεταφοράς. Η τροφοδοσία του συστήματος και συγκεκριμένα των επαγωγικών αισθητήρων γίνεται με πηγή συνεχούς τάσης +24DC, ενώ ο κινητήρας του ταινιόδρομου τροφοδοτείται μέσω τριφασικού inverter, ο οποίος ρυθμίζει την ταχύτητα και λειτουργία του κινητήρα.



Εικόνα 2.6: Απεικόνιση εργαστηριακού τροφοδοτικού

Στην είσοδο του κυκλώματος βρίσκονται δύο επαγωγικοί αισθητήρες συνδεδεμένοι σε παράλληλη διάταξη (λογική OR), ώστε να ενεργοποιούν το σύστημα εφόσον ανιχνεύσει αντικείμενο οποιοσδήποτε από τους δυο ή και οι δυο. Το πρώτο relay ενεργοποιεί επαφή που διακόπτει το σήμα προς τον inverter, σταματώντας έτσι τη λειτουργία του ταινιόδρομου. Παράλληλα, ενεργοποιείται και το δεύτερο relay, το οποίο μέσω ανεξάρτητης εξωτερικής τροφοδοσίας, δίνει σήμα σε έναν δεύτερο κινητήρα που αντιστοιχεί στον βραχίονα μεταφοράς.

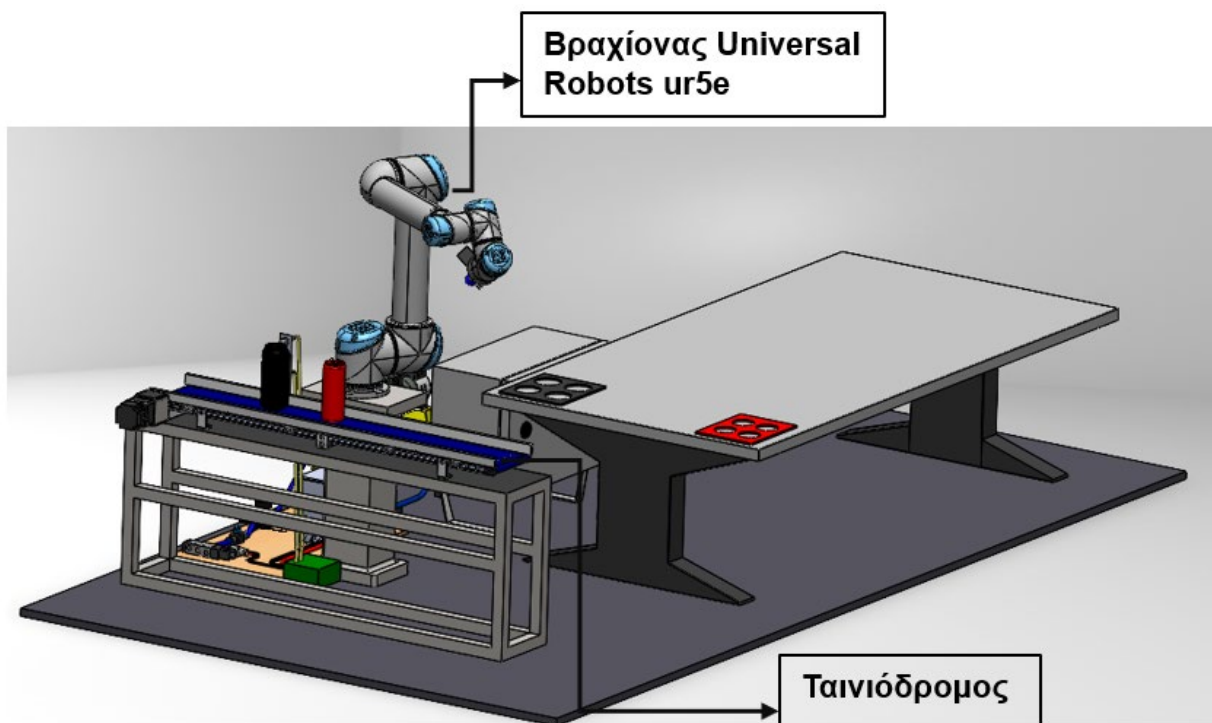
Ο βραχίονας, μόλις λάβει εντολή, εκτελεί την προβλεπόμενη διαδικασία αρπαγής και μεταφοράς του αντικειμένου. Ο κινητήρας του βραχίονα τροφοδοτείται από ξεχωριστή πηγή και η ενεργοποίηση του γίνεται αποκλειστικά μέσω της επαφής του δεύτερου relay.



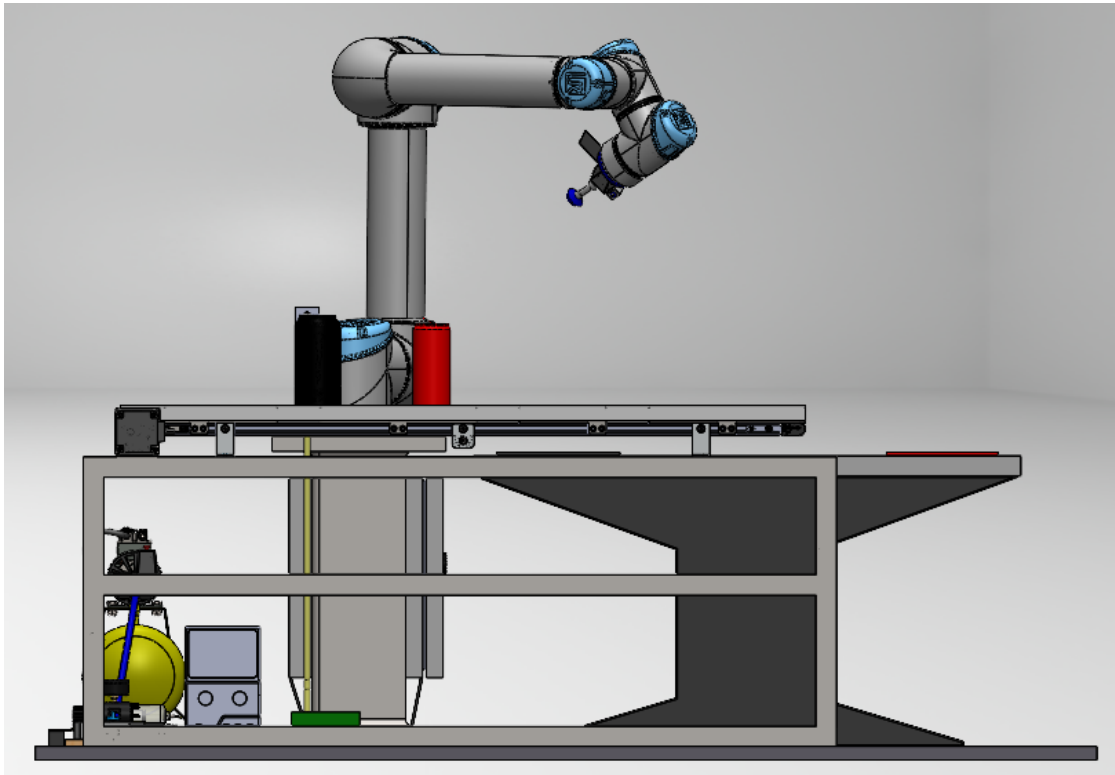
Εικόνα 2.7: Απεικόνιση διαγράμματος ηλεκτρικού κυκλώματος από το λογισμικό Circuit Diagram

3 Μηχανολογικό Σχέδιο - CAD

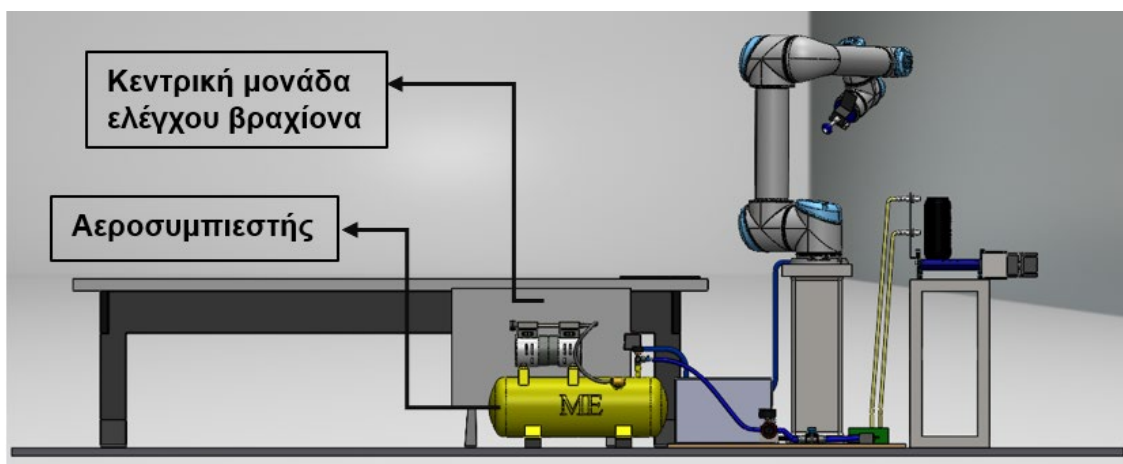
Για την πλήρη προσομοίωση της διάταξης εργαστηρίου, ακολουθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του συστήματος σχεδιασμένο στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks. Με αυτή την προσομοίωση γίνεται πιο κατανοητή η συνδεσμολογία και δίνει χώρο για βελτιώσεις στην πραγματική διάταξη καθώς υπάρχει η δυνατότητα να προστεθεί οτιδήποτε άλλο εξάρτημα πριν εγκατασταθεί στην πραγματικότητα (κυρίως για χωροταξία). Το παρακάτω σχέδιο είναι πολύ κοντά στην πραγματική διάταξη με τις μόνες διαφορές να είναι η καλωδίωση που έγινε με αυτό τον τρόπο ώστε να γίνει με εύκολο τρόπο (δεν είναι πλήρης και λεπτομερής) και ο ταινιόδρομος που δεν είναι το ίδιο μοντέλο με αυτόν του εργαστηρίου (σχεδόν ίδιες διαστάσεις).



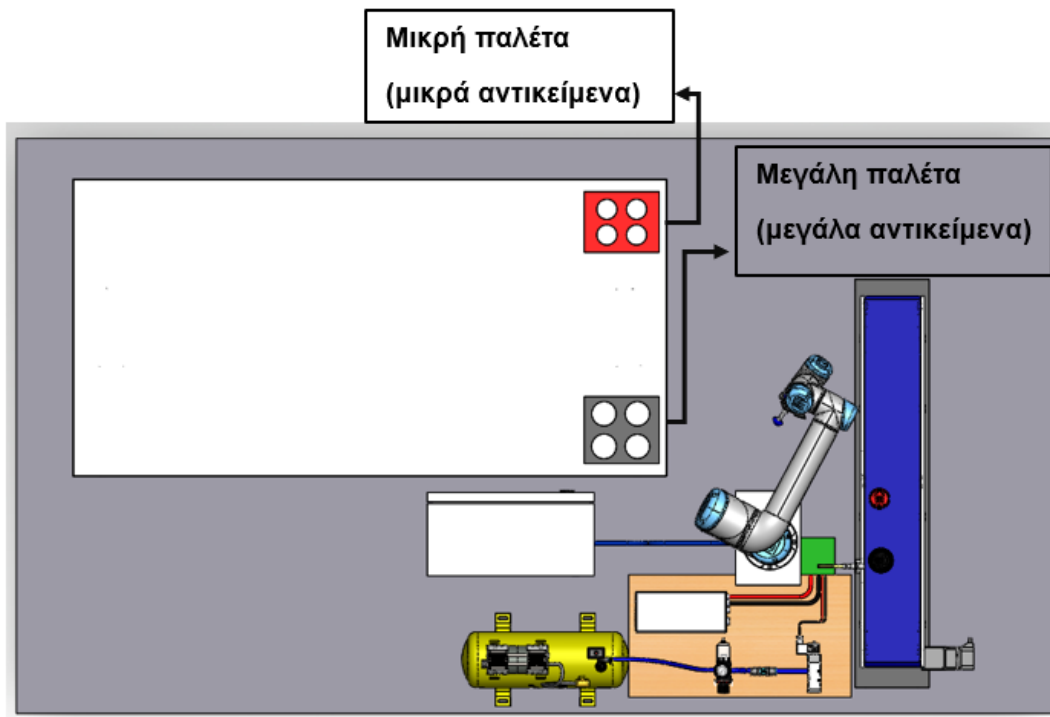
Εικόνα 3.1: Ολοκληρωμένο σχέδιο διάταξης (1)



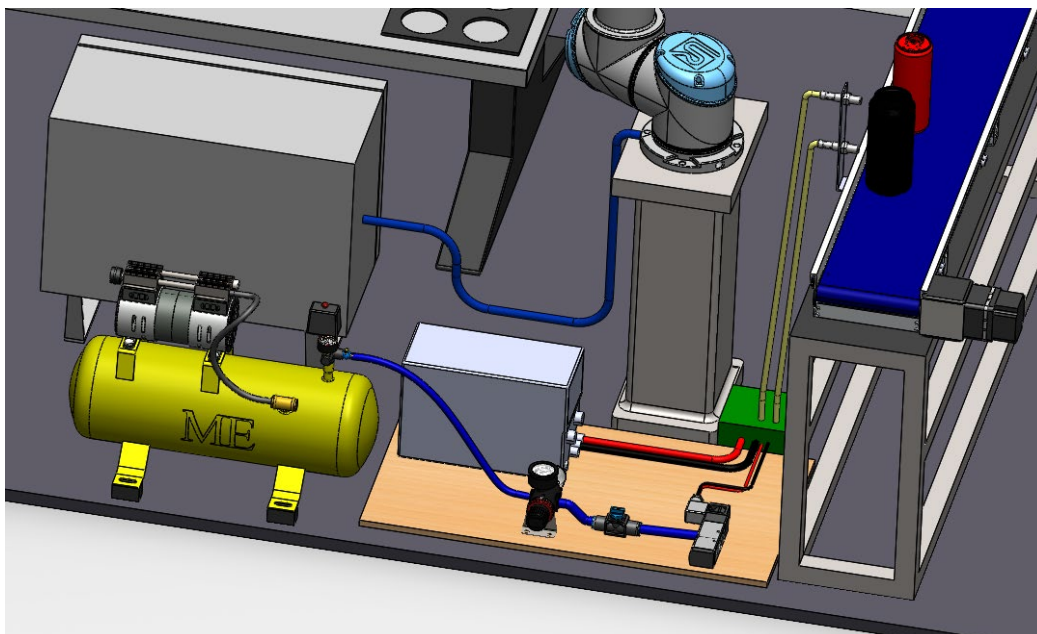
Εικόνα 3.2: Ολοκληρωμένο σχέδιο διάταξης (2)



Εικόνα 3.3: Ολοκληρωμένο σχέδιο διάταξης (3).



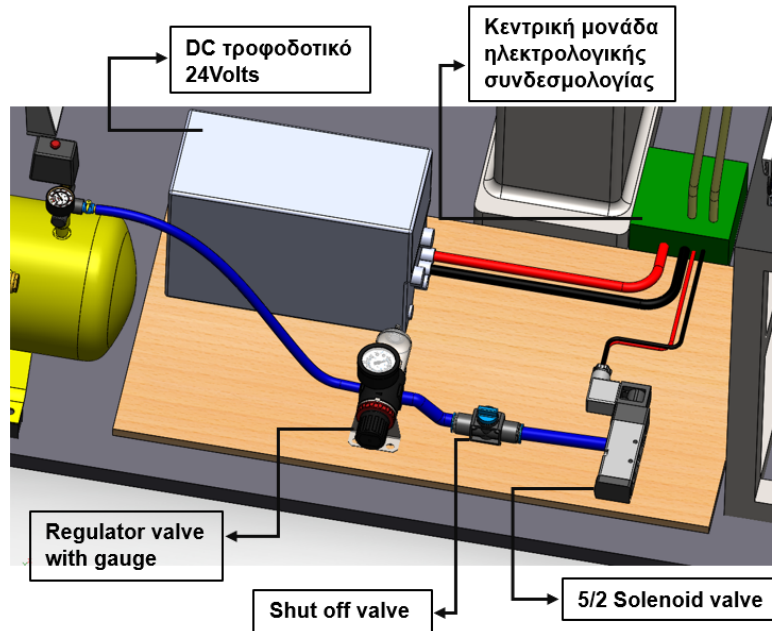
Εικόνα 3.4: Ολοκληρωμένο σχέδιο διάταξης (4)



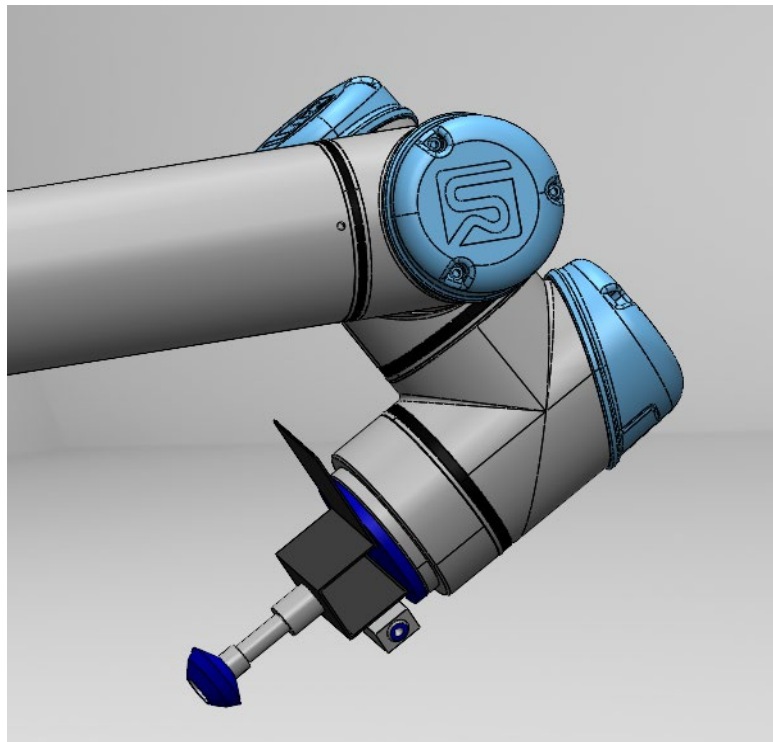
Εικόνα 3.5: Συνδεσμολογία - επιμέρους εξαρτήματα

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

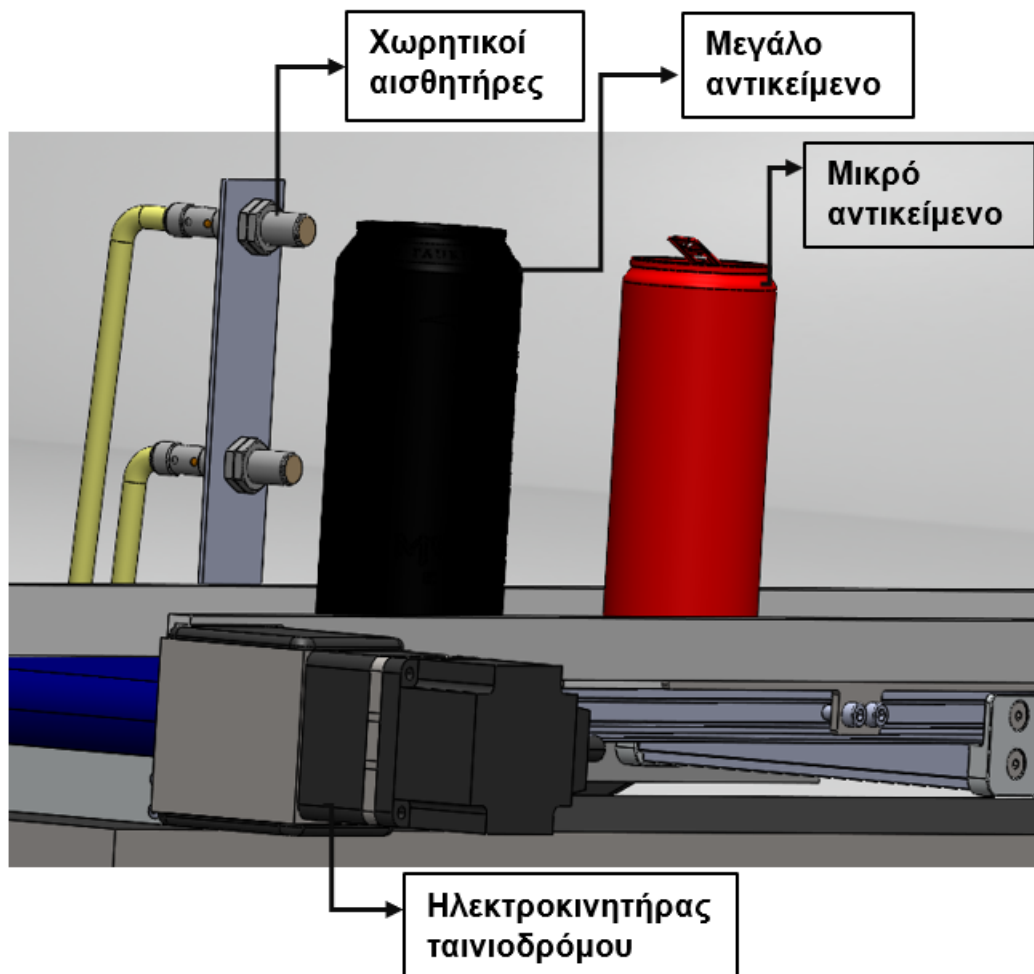
Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι
Εαρινό Εξάμηνο 2025



Εικόνα 3.6: Ηλεκτρο-πνευματικό κύκλωμα



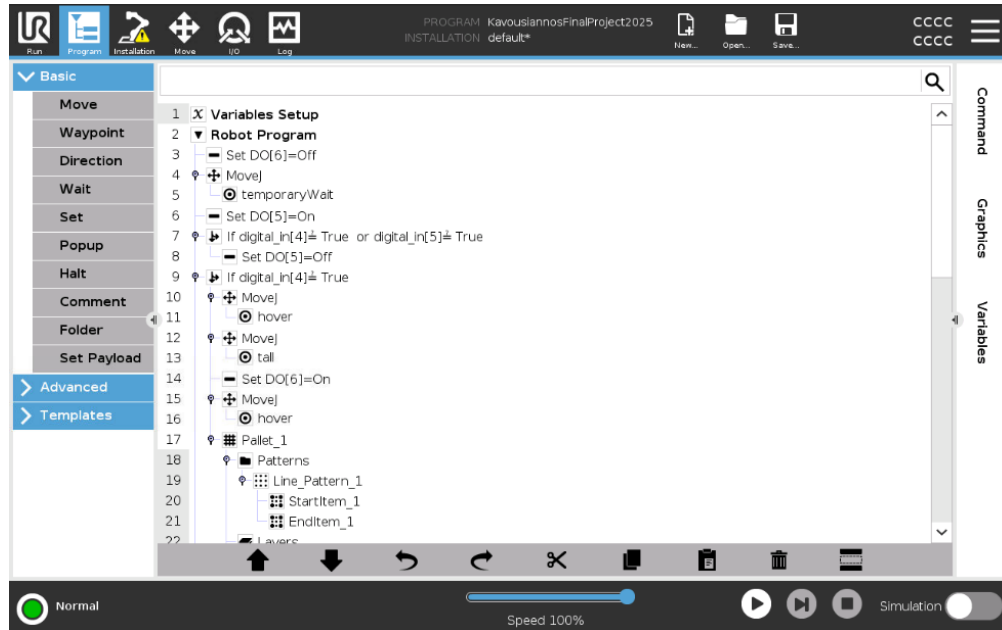
Εικόνα 3.7: Vacuum Gripper



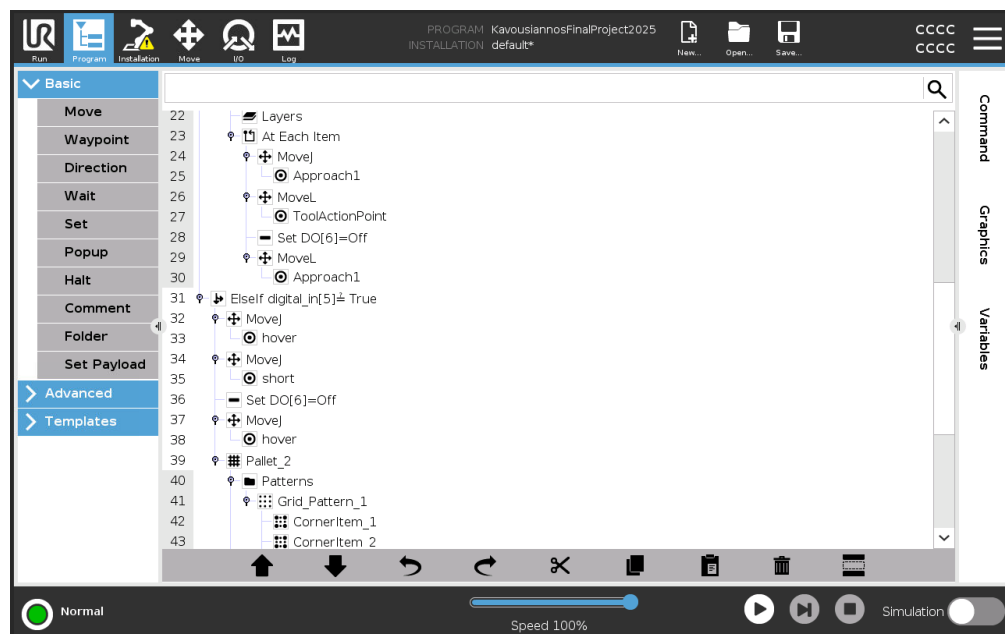
Εικόνα 3.8: Διάταξη αισθητήρων

4 Κώδικας

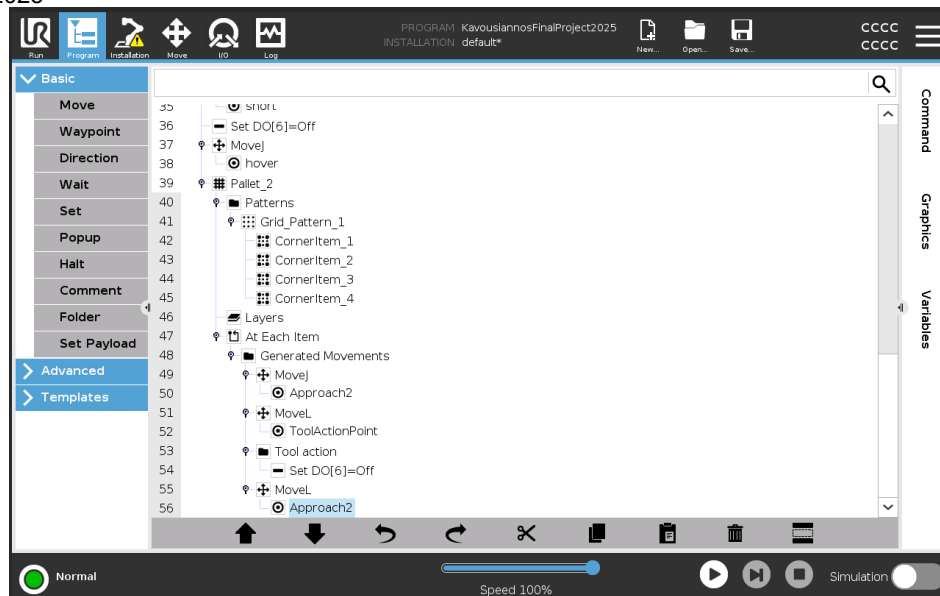
Polyscope interface σε browser based περιβάλλον με docker container.



Εικόνα 4.1: 1^ο μέρος του κώδικα



Εικόνα 4.2: 2^ο μέρος του κώδικα



Εικόνα 4.3: 3^ο μέρος του κώδικα

Επεξήγηση του κώδικα:

Αρχικά, ο ρομποτικός βραχίονας παραμένει σε μια προκαθορισμένη θέση αναμονής (*temporaryWait*), ενώ ο ταινιόδρομος βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται έως ότου ενεργοποιηθεί ένας από τους δύο αισθητήρες, γεγονός που υποδηλώνει ότι ένα αλουμινένιο κουτί έχει παγιδευτεί σε προκαθορισμένο σημείο στον χώρο, με γνωστές συντεταγμένες.

Με τον εντοπισμό του κουτιού, ο ταινιόδρομος ακινητοποιείται και ελέγχει αν πρόκειται για ψηλό κύλινδρο, ενεργοποιώντας την πρώτη συνθήκη ελέγχου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο τελικός ενεργοποιητής (*end effector*) μετακινείται σε θέση *hover*, σε σημείο ευρισκόμενο ακριβώς πάνω από το αντικείμενο.

Ακολούθως, ο τελικός ενεργοποιητής κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω μέχρι να φτάσει στο σημείο επαφής με τον ψηλό κύλινδρο το Κεντρικό Σημείο Εργαλείου (TCP). Τότε ενεργοποιείται η έξοδος της βεντούζας και εφαρμόζεται αναρρόφηση για τη συγκράτηση του αντικειμένου. Στη συνέχεια, ο ενεργοποιητής επιστρέφει στη θέση αιώρησης (*hover*).

Έπειτα από τον καθορισμό του αρχικού και του τελικού σημείου της τετράγωνης παλετοποίησης, το αντικείμενο κατευθύνεται προς το προκαθορισμένο σημείο προσέγγισης της παλέτας (*Approach1*), όπου και τοποθετείται με συγκεκριμένη σειρά. Η βεντούζα απενεργοποιείται, το Κεντρικό Σημείο Εργαλείου επιστρέφει στο *Approach1* και εν συνεχεία επανέρχεται στη θέση αναμονής (*temporaryWait*).

Το δεύτερο σκέλος της διαδικασίας ακολουθεί παρόμοια λογική για τους χαμηλούς κυλίνδρους.



5 Παραδοχές

- **Ταινιόδρομος:**

1. Δεν είναι πακτωμένος σε κάποια βάση, με αποτέλεσμα οι μικρές μετατοπίσεις του να επηρεάζουν δραματικά τις συντεταγμένες του σημείου από το οποίο θα σηκωθεί το μπουκάλι.
2. Ο ταινιόδρομος ταλαντώνεται κατά την διάρκεια της κίνησης του, οπότε τα άδεια μπουκάλια να μετατοπίζονται.

- **Πίεση:**

1. Η πίεση που εφαρμόζεται από την αρπάγη πρέπει να είναι 1.5 bar. Αυτό γίνεται επειδή μέσα από τις δοκιμές διαπιστώθηκε πως όταν η πίεση έπαιρνε μεγαλύτερες τιμές η αρπάγη άφηνε απότομα (βίαια) τα μπουκάλια.
2. Ο αεροσυμπιεστής πρέπει να είναι γεμάτος πριν πραγματοποιηθεί η εργασία.

- **Κουτάκια:**

1. Είναι άδεια με την παραδοχή ότι γεμίζουν μετά οπότε έχουν πρακτικά μηδενική μάζα και είναι επιρρεπής στις μεταβολές του αέρα, όταν φυσικά τα αφήσει η αρπάγη.
2. Είναι τοποθετημένα πάνω στον ταινιόδρομο ανάποδα για πρακτικούς λόγους (Να μπορεί να δημιουργηθεί αρνητική πίεση και να σηκωθούν τα κουτάκια, χωρίς να καταστραφούν).
3. Η τοποθέτηση τους έγινε με το χέρι, λόγω απουσίας μηχανισμού.

- **Θρανίο:**

1. Θεωρείται πως είναι πακτωμένο .
2. Ομοίως με τον ταινιόδρομο έτσι κι εδώ οι δονήσεις και οι μετατοπίσεις επηρεάζουν την ακρίβεια τις δουλειάς.



6 Τρόποι βελτιστοποίησης

Κατά την υλοποίηση της εργασίας παρατηρήσαμε κάποιους παράγοντες που επηρέαζαν αρνητικά την ακρίβεια και την αξιοπιστία της. Επομένως για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος προτείνονται κάποιες βελτιστοποιήσεις.

Αρχικά το θρανίο όπου τοποθετήσαμε τον ταινιόδρομο θα μπορούσαμε να το είχαμε πακτώσει, έτσι ώστε να μην πραγματοποιείτε κάποια μεταβολή όσο αφορά το σημείο όπου σηκώναμε τα μπουκάλια. Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει σωστή τάνυση της ταινίας ώστε να καταπολεμηθούν οι αστάθειες της.

Για την πίεση θα μπορούσαμε να προσθέσουμε κάποιο σύστημα αυτόματου ελέγχου σε συνδυασμό με αισθητήρα πίεσης ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση ανεξαρτήτως συνθηκών.

Για τα κουτάκια θα μπορούσαμε να είχαμε προσθέσει κάποιον μηχανισμό ευθυγράμμισης όπου θα κατευθύνει τα μπουκάλια στην σωστή τελική θέση ανεξάρτητα αν είχαν τοποθετηθεί σε λάθος σημείο. Μια ακόμα χρήσιμη βελτίωση θα ήταν η προσθήκη ενός αισθητήρα βάρους στο σημείο όπου ο βραχίονας πιάνει τα κουτάκια. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα θα μπορούσε να ελέγχει σε πραγματικό χρόνο αν το κουτί έχει πιαστεί σωστά. Ένα τέτοιο στοιχείο προσθέτει μια μορφή επιβεβαίωσης της σωστής λειτουργίας και συμβάλλοντας στην αποφυγή λαθών κατά τη μεταφορά.

Ακόμα μερικές βελτιστοποιήσεις που μπορούν να εφαρμοστούν είναι να προσθέσουμε ένα σύστημα μηχανικής όρασης με κάμερα, όπου θα αξιοποιείται η κάμερα για την αναγνώριση της θέσης, του σχήματος αλλά και τι είδος κουτί είναι πριν την εκτέλεση της αρπάγης. Επιπροσθέτως η βελτιστοποίηση της τροχιάς του βραχίονα μπορεί να επιτευχθεί μέσω αποδοτικότερων αλγορίθμων κίνησης, όπως αντίστροφης κινηματικής για ομαλότερη και ακριβέστερη μετακίνηση. Τέλος, η αξιοποίηση της ανάλυσης δεδομένων απόδοσης και σφαλμάτων μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη συνεχή βελτίωση του συστήματος, μέσω στοχευμένης ανατροφοδότησης και βελτιώσεων βασισμένων σε πραγματικά λειτουργικά δεδομένα.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατεύθυνση Ρομποτικής – Μηχατρονικής 0813.8.010.0 – Ρομποτική Ι
Εαρινό Εξάμηνο 2025



7 Βιβλιογραφία

- [1] <https://vention.io/parts/universal-robots-ur5e-collaborative-robot-arm-2445>
- [2] <https://www.circuit-diagram.org/editor/>
- [3] <https://etools.smc.at/pneudraw/?id=pdf7585ce5-478a-4741-aldjtsja2onbrnqectv5n>
- [4] <https://www.flintec.com/learn/weight-sensor/load-cell>
- [5] [Universal Robots - Connecting Internal Inputs and Outputs \(I/O\) on the robot's controller](#)
- [5] [electromechanical modeling and identification of the ur5 eseries robot.pdf](#)
- [6] [\(PDF\) Singularity Analysis and Complete Methods to Compute the Inverse Kinematics for a 6-DOF UR/TM-Type Robot](#)
- [7] [train-yolov8-object-detection-on-custom-dataset.ipynb - Colab](#)
- [8] [Guide and example: UR Remote Control via TCPIP - Technical Questions / Robot Communication - Universal Robots Forum](#)

8 Βίντεο επίδειξης της παλετοποίησης

Link για Google Drive:

https://drive.google.com/file/d/1gGuYip1PJyqHd4uZJmxyn4OuPjoA2_sF/view?fbclid=IwY2xjawKtRDpleHRuA2FlbQlXMAbicmlkETEya2tCU21OaXlIMGNHMFNZAR5umV4DIS9Ua4klf8kSydBYSPaMpkoux4jOUrtCsObPAE5ngBu3TeIVD9mwoQ_aem_Eo8ylUH_8OB9tnts4sk5Sg