



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΘΩΜΑΣ

ΑΜ:2017010147

Χανιά, 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με την συμβολή τους ενίσχυσαν στην ολοκλήρωση της υφιστάμενης διπλωματικής εργασίας.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δοϊτσίδα Ελευθέριο για την διαρκή και άμεση καθοδήγηση, την πρόθυμη επώμιση του θέματος και το έμπρακτο ενδιαφέρον του σε αυτό.

Ευχαριστώ επίσης πολύ όλη την ομάδα της Condor robotics για την θερμή υποδοχή, συνεργασία και καθοδήγηση, καθώς η παραχώρηση του εξοπλισμού για προσωπική μελέτη και εξέταση αποφάνθηκε αναγκαία αφενός για την επιλογή του προς μελέτη θέματος, αφετέρου για την μελλοντική πορεία μου σε ακαδημαϊκό και επαγγελματικό επίπεδο.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τον οικογενειακό μου φίλο Κωνσταντίνο Καψημάλη για την πολύτιμη βοήθειά και τον χρόνο που αφιέρωσε στην επίλυση θεμάτων προγραμματισμού με υψηλές απαιτήσεις της γλώσσας python.

Τέλος με μεγάλη εγκαρδιότητα οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια και τα κοντινά μου άτομα και την σύντροφό μου που με στήριζαν καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου προσπάθεια και με βοήθησαν να εξελίξω τους γενικούς μου ορίζοντες και τις βλέψεις μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται τα στάδια δρομολόγησης, προετοιμασίας και αποστολής ενός συσκευασμένου προϊόντος στη γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου. Αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των σταδίων και εντοπίζονται οι αδυναμίες και οι προοπτικές τους. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη λειτουργία μιας μηχανής επανατοποθέτησης, την παλετοποίηση και την αποστολή. Σε κάθε στάδιο, δίνεται έμφαση στην αποδοτική λειτουργία και την καλή χρήση του εξοπλισμού αλλά και του χώρου. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να παρουσιαστεί μια γραμμή παραγωγής τριών σταδίων και να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη της λειτουργίας της, προτείνοντας λύσεις που βασίζονται στη χρήση ρομποτικών βραχιόνων για συγκεκριμένες εργασίες. Αρχικά πραγματοποιήθηκε σχεδίαση των προτεινόμενων μηχανών με χρήση λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος με χρήση κατάλληλου λογισμικού και τέλος, προτείνεται μια ανάλυση διαχείρισης του αποθέματος του προϊόντος. Η ανάλυση αυτή προωθεί την οργάνωση της αποστολής, δίνοντας έμφαση στο πακετάρισμα, στη βελτιστοποιημένη χωροθέτηση του προϊόντος και στην καλύτερη δυνατή πλήρωση του χώρου.

SUMMARY

In this thesis, the stages of routing, preparation, and shipment of a packaged product in a factory's production line are described. The technical characteristics of these stages are analysed, and their weaknesses and potentials are identified. The process includes the operation of a repositioning machine, palletizing, and shipment analysis. Each stage emphasizes efficient operation and optimal use of space. It was necessary to study the use of industrial robotic arms in both the packaging machine and the palletizing process, where most actions are performed by a robotic system. This study was supported by the team at Condor Robotics, who provided workspace, equipment, and time to help me complete this thesis.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....	4
2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ.....	4
2.2 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ROBOT ONFIGURATIONS).....	5
2.2.1 ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΑ ΡΟΜΠΟΤ.....	5
2.2.2 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΥΠΟΥ SCARA.....	6
2.2.3 ΑΡΘΡΩΤΑ ΡΟΜΠΟΤ.....	6
2.2.4 ΡΟΜΠΟΤ ΤΥΠΟΥ ΔΕΛΤΑ.....	7
2.2.5 ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤ.....	7
2.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ.....	8
2.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	8
2.3.1.1 Εκτός σύνδεσης προγραμματισμός (Offline Programming).....	8
2.3.1.2 Προγραμματισμός σε σύνδεση (Online programming).....	9
2.3.1.3 Χειριστήριο ελέγχου ρομποτικού βραχίονα (Teach Pendant).....	9
2.3.2 ΕΓΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ TEACH PENDANT.....	10
2.3.3 ΙΔΙΟΚΤΗΤΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	11
2.3.3.1 Η Γλώσσα AS στο λογισμικό K-Roset.....	12
2.3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ K-ROSET.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	15

ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ / ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΥ.....	15
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΣΤΑΘΜΟΥ PICK AND PLACE.....	16
3.3.1 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	17
3.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	19
3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	20
3.4.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΣΕ ΑΥΤΟCAD.....	20
3.4.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	23
3.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΕ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ (PARTS).....	24
3.4.3.1 Διαδρομή δρομολόγησης χαρτοκιβωτίων.....	24
3.4.3.2 Διαδρομή δρομολόγησης προϊόντων.....	27
3.4.3.3 Ρομπότ Kawasaki RS020N.....	32
3.4.4 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ..ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΥ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	38
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	38
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	38
4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	39
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΟ WEBOTS.....	40
4.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	40
4.3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	41
4.3.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	41
4.3.3 ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ / INITIALIZATION BRACHIONA.....	42
4.3.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΥΧΝΕΥΣΗΣ.....	42
4.3.5 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ.....	43

4.3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	43
4.3.7 PALLET STACKING -PALLET OPTIMIZATION.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	47
ΠΑΚΕΤΑΡΙΣΜΑ /ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ.....	47
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	47
5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	48
5.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	48
5.2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΕ ΠΑΛΕΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΑΛΕΤΑΣ ΣΕ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ.....	50
5.2.4 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ.....	51
5.3 ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	52
5.3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ 1 ^η	52
5.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ 2 ^η	54
5.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ.....	64
5.4 ΒCΤ ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ.....	64
5.4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΒCΤ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	67
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
6.2 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στη σημερινή βιομηχανία απαιτείται μεγάλη ευελιξία λόγω του αυξανόμενου παγκόσμιου ανταγωνισμού. Η ζήτηση για ευφυή ευέλικτα συστήματα αυτοματοποιημένης παραγωγής αυξάνεται συνεχώς. Τα συστήματα αυτά έρχονται για να δώσουν λύση σε θέματα κόστους, εργασιακής ασφάλειας, χρόνων, ποιότητας και ποσότητας παραγωγής. Η αυτοματοποίηση αποσκοπεί στον εκσυγχρονισμό, την καινοτομία, την ακρίβεια αλλά και την ανακάλυψη νέων αποδοτικών μεθόδων παραγωγής προϊόντων. Αναλυτικότερα μερικοί λόγοι επιλογής μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας παραγωγής είναι οι εξής :

- **Αύξηση παραγωγικότητας.** Οι ώρες και οι βάρδιες των εργαζομένων αναδιαμορφώνονται. Το αυτοματοποιημένο σύστημα λειτουργεί συνεχώς σε καθορισμένους χρόνους. Ο ρόλος των εργαζομένων μετατρέπεται και εστιάζει στην ομαλή λειτουργία των συστημάτων μέσω επίβλεψης και προκαθορισμένων χειρισμών με τη βοήθεια υποσυστημάτων και εγχειριδίων. Έτσι, ο στόχος είναι μια συνεχής παραγωγική διαδικασία.
- **Μείωση χειρωνακτικής εργασίας (εργατοώρες).** Μειώνονται οι δαπάνες, βελτιστοποιείται η αξιοποίηση των πόρων και του ανθρώπινου δυναμικού, εξοικονομείται το κόστος διεργασίας και ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα κατά αυτήν.
- **Άμεση συνεισφορά στην ασφάλεια εργασίας.** Η εγκατάσταση ενός συστήματος αυτόματων μηχανών προϋποθέτει την πρόβλεψη παραμέτρων που καθιστούν ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας με απομόνωση όσο το δυνατόν των διαφόρων κινδύνων. Για παράδειγμα, η περίφραξη του περιβάλλοντος όπου πραγματοποιούνται κινήσεις ρομπότ, επικοινωνία του συστήματος με αισθητήρες ασφαλείας και σηματοδότες κ.α.
- **Βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος.** Επιτυγχάνεται καθώς υπάρχει μια σταθερή διαδικασία συνεχούς παραγωγής προϊόντος που τηρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές με γνώμονα την ποιότητα . Έτσι μειώνονται τα ελαττωματικά προϊόντα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου στην ελληνική εταιρεία "Condor Robotics". Στον χώρο της εταιρείας, μετά από εισαγωγή και εκπαίδευση σε θέματα ρομποτικής, αυτοματοποίησης, δρομολόγησης προϊόντων, μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών στοιχείων, μου δόθηκε η ευκαιρία να μελετήσω σε βάθος και να πειραματιστώ με τη λειτουργία βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων. Επιπλέον, μπόρεσα να μελετήσω μία υπάρχουσα μηχανή επανατοποθέτησης με προσαρτημένο ρομποτικό βραχίονα η οποία ήταν έτοιμη για εγκατάσταση σε βιομηχανικές εφαρμογές. Έπειτα από ανάλυση σχεδιάστηκε μια τρισδιάστατη απεικόνιση της.

Η μηχανή επανατοποθέτησης ή εγκιβωτισμού είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των δυνατοτήτων των αυτοματοποιημένων διαδικασιών, ειδικά στις εφαρμογές διαλογής και τοποθέτησης (pick and place). Η μηχανή αυτή χρησιμοποιείται για να μετακινεί προϊόντα ή υλικά από ένα σημείο σε ένα άλλο, με ακρίβεια και ταχύτητα. Κατά τη χρήση της, δόθηκε μεγάλη σημασία στην ομαλή προώθηση του προϊόντος ή υλικού στην επόμενη φάση της παραγωγής. Αυτό περιλαμβάνει την προσεκτική διαχείριση κάθε σταδίου, από τη λήψη του προϊόντος μέχρι την τοποθέτησή του στη σωστή θέση. Η λεπτομέρεια και η ακρίβεια σε κάθε βήμα είναι κρίσιμες για να διασφαλιστεί ότι τα προϊόντα μετακινούνται χωρίς λάθη και καθυστερήσεις. Επιπλέον, εισάγονται διάφορες παράμετροι στη διαδικασία, όπως η ταχύτητα κίνησης, η δύναμη λαβής και η θέση τοποθέτησης, ώστε να προσαρμόζεται η μηχανή στις ανάγκες κάθε εφαρμογής. Τέλος, η μηχανή εξάγει σημαντικά δεδομένα και πληροφορίες, όπως ο αριθμός των αντικειμένων που έχουν μετακινηθεί και τυχόν σφάλματα, για να βοηθήσει στην παρακολούθηση και βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, η μηχανή επανατοποθέτησης συμβάλλει στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και μειώνοντας τα λάθη και τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση των εργασιών.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι να παρουσιαστεί μια γραμμή παραγωγής τριών σταδίων και να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη της λειτουργίας της. Η εργασία δομείται ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται θέματα που αφορούν τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες και συγκεκριμένα τη διαδικασία διαλογής και τοποθέτησης. Παρουσιάζονται διαφορετικοί τύποι ρομποτικών συστημάτων και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους. Τέλος, γίνεται αναφορά στον προγραμματισμό των συστημάτων αυτών, μέσω λογισμικών και στις γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στον βιομηχανικό χώρο.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται μελέτη της υφιστάμενης μηχανής, καθώς και ανάλυση των επιμέρους εξαρτημάτων που την απαρτίζουν και στην συνέχεια πραγματοποιείται αποτύπωση σε τρισδιάστατο σχέδιο με έμφαση στην λεπτομέρεια και τα μηχανικά της στοιχεία. Παράλληλα με την σχεδίαση, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoCAD για την λεπτομερή μελέτη του μηχανολογικού σχεδίου της πραγματικής μηχανής, ώστε να αντληθούν στοιχεία για τις διαστάσεις, την διάταξη και τις συνδέσεις των εξαρτημάτων. Η τρισδιάστατη σχεδίαση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό SolidWorks, που είναι κατάλληλο για την δημιουργία σύνθετων εξαρτημάτων και συναρμολογήσεων, την σχεδίαση υψηλής ακρίβειας και την εύρεση λύσεων σε θέματα παραγωγής και οργάνωση τεχνικών δεδομένων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η προσομοίωση της διαδικασίας παλετοποίησης μέσω του λογισμικού Webots. Συνοπτικά, η προσομοίωση μιας διαδικασίας παλετοποίησης περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας εικονικής αναπαράστασης της διαδικασίας, τη βελτιστοποίηση και την επικύρωση διαφόρων πτυχών, όπως η αποτελεσματικότητα, η απόδοση και η χρήση πόρων. Στο πρόγραμμα διαμορφώθηκε το περιβάλλον εργασίας, όπου εισήχθησαν τα απαραίτητα μοντέλα και γράφτηκε ο κώδικας λειτουργίας σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Η υλοποίηση της διαδικασίας πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση μιας σειράς βημάτων και ρυθμίσεων ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος με αποδοτικότητα, ακρίβεια και εξάλειψη σφαλμάτων. Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο με ρεαλιστικά μέσα, προσπαθώντας να προσεγγίσει όσο το δυνατόν περισσότερο μια αντίστοιχη πραγματική εφαρμογή.

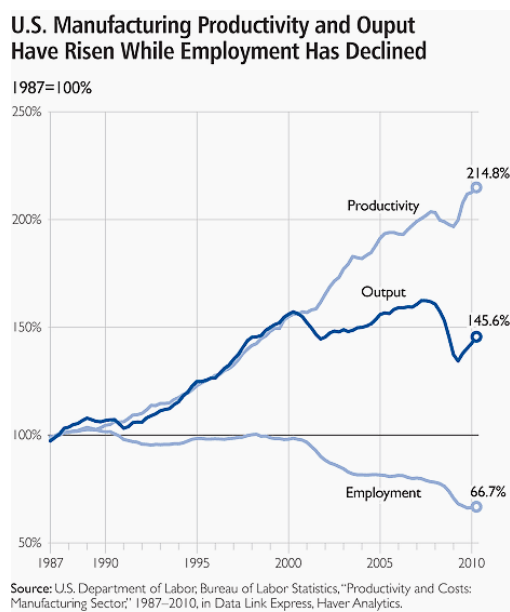
Στο πέμπτο κεφάλαιο, μέσω του λογισμικού PLMPack Stackbuilder, προτείνεται μια ανάλυση διαχείρισης του αποθέματος του προϊόντος που περιγράφηκε ενδεικτικά στα κεφάλαια 3 και 4. Η ανάλυση αυτή προωθεί την οργάνωση της αποστολής, δίνοντας έμφαση στο πακετάρισμα, στη βελτιστοποιημένη χωροθέτηση του προϊόντος και στην καλύτερη δυνατή πλήρωση του χώρου. Επίσης, παράγει επίσημες αναφορές με τα αποτελέσματα της επιλεγμένης ανάλυσης. Η ανάλυση ολοκληρώνεται με προτάσεις λύσεων για την επιλογή του κατάλληλου υλικού συσκευασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις εκάστοτε παραμέτρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

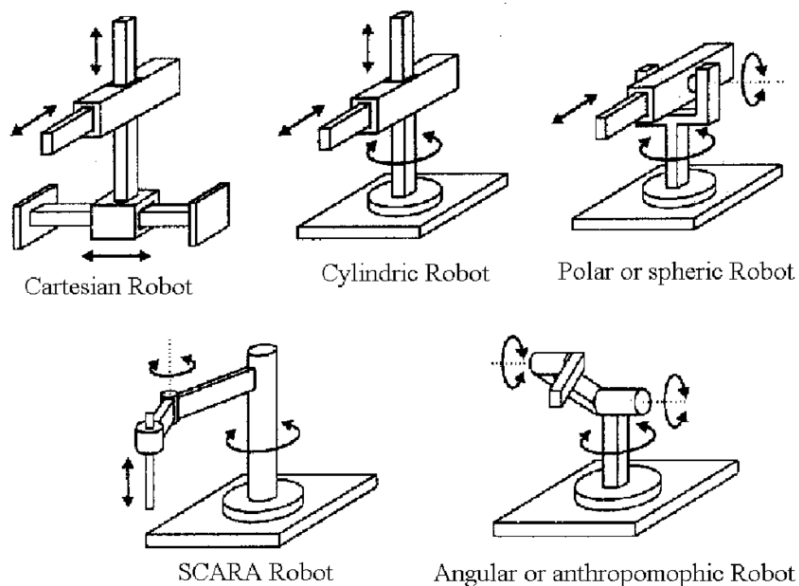
Τα συστήματα τοποθέτησης εξαρτημάτων, ξεκίνησαν να εμφανίζονται την δεκαετία του 1980 ως τεχνολογία επιφανειακής τοποθέτησης (Surface-mount technology – SMT), αποκλειστικά για την τοποθέτηση των μικρών ηλεκτρονικών στοιχείων όπως πυκνωτών και αντιστάσεων σε ηλεκτρονικές πλακέτες, μια διαδικασία στην οποία απαιτείται υψηλή ακρίβεια ταχύτητα και επαναληψιμότητα. Η ανάγκη της βιομηχανίας για αυτοματοποιημένες λύσεις σε συνδυασμό με την εξέλιξη των ρομποτικών συστημάτων οδήγησε στην πληθώρα εφαρμογών που συναντάμε σήμερα [1]. Αυτοματοποιημένα συστήματα όπως συστήματα συναρμολόγησης και συγκολλήσεως στην αυτοκινητοβιομηχανία, εφαρμογές διαλογής προϊόντων (Bin Picking) στην διαδικασία ανακύκλωσης και στην γεωργία καθώς επίσης εφαρμογές παλετοποίησης, εγκιβωτισμού και επανατοποθέτησης (pick and place) στην βιομηχανική παραγωγή έχουν μεταμορφώσει την παγκόσμια βιομηχανία και αγορά (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Στατιστικά αμερικάνικου ινστιτούτου εργασίας 2010[2]

2.2 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ROBOT CONFIGURATIONS)

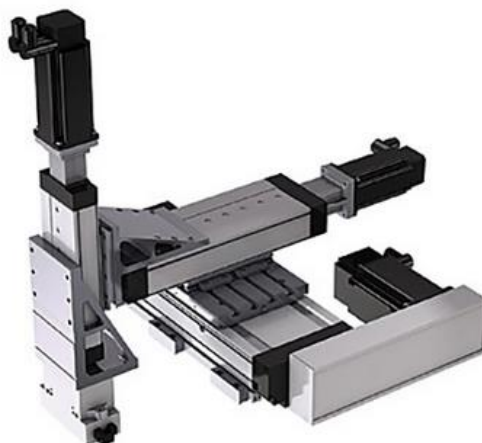
Σύμφωνα με το πρότυπο ISO [3], βιομηχανικό ρομπότ ονομάζεται ένα αυτόματα ελεγχόμενο, πολλαπλών χρήσεων σύστημα με δυνατότητα επαναπρογραμματισμού σε τρεις ή περισσότερους άξονες. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε κινητό, ανάλογα με τη χρήση του σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς και εφαρμογές. Δεδομένου ότι σε αυτή την εργασία θα συναντήσουμε αρθρωτά ρομπότ ή ρομποτικούς βραχίονες που ενεργούν σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες, είναι σημαντικό να εξετάσουμε ορισμένους βασικούς τύπους βιομηχανικών ρομπότ και μερικά χαρακτηριστικά τους, ώστε να κατανοήσουμε ζητήματα όπως η ακρίβεια, η ταχύτητα, η γεωμετρική προσέγγιση και διάταξη, που προσαρμόζονται στις διάφορες απαιτήσεις της βιομηχανίας. Ενδεικτικοί σχηματισμοί ρομποτικών συστημάτων παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 Τύποι Ρομποτικών διατάξεων [4]

2.2.1 ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΑ ΡΟΜΠΟΤ

Είναι συστήματα που η διαμόρφωσή τους επιτρέπει την κίνηση στους τρεις ορθογώνιους άξονες του Καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (X, Y, Z). Η κίνηση γίνεται μέσω τριών συρόμενων αρθρώσεων που ολισθαίνουν σε έναν σκελετό και βρίσκουν χρησιμότητα σε εφαρμογές κοπής, σε μηχανές CNC αλλά και σε εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Καρτεσιανό ρομπότ [5]

2.2.2 ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΥΠΟΥ SCARA

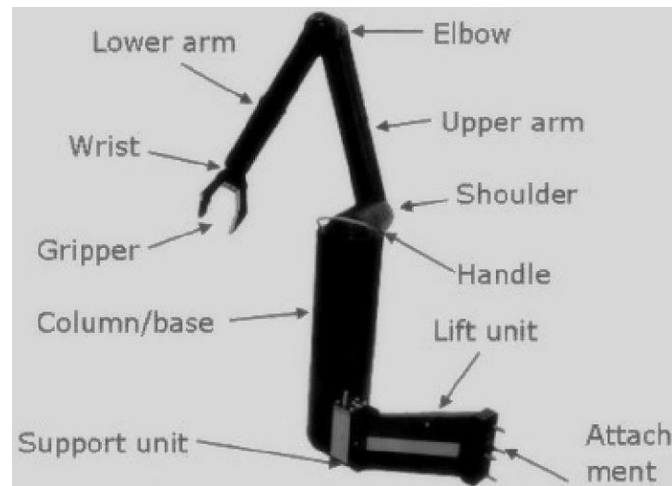
Τα ρομπότ τύπου SCARA φέρουν παράλληλες περιστροφικές αρθρώσεις προσφέροντας στο ρομπότ δυνατότητες υψηλών ταχυτήτων, ακρίβειας καθώς και ομαλότητας της κίνησης [6]. Το υψηλό τους πλεονέκτημα σε διεργασίες που απαιτούν πλευρικές κινήσεις, τα καθιστά ιδιαίτερος εύχρηστα τόσο σε εφαρμογές επεξεργασίας τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων όσο και σε συναρμολογήσεις ηλεκτρονικών και μηχανικών εξαρτημάτων. Αξίζει επίσης να αναφερθεί η ευχέρεια εγκατάστασης τους, χαρακτηριστικό που προωθεί την ευελιξία παραγωγής μιας επιχείρησης (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4 Ρομπότ Scara, μοντέλο THL 300 [7]

2.2.3 ΑΡΘΡΩΤΑ ΡΟΜΠΟΤ

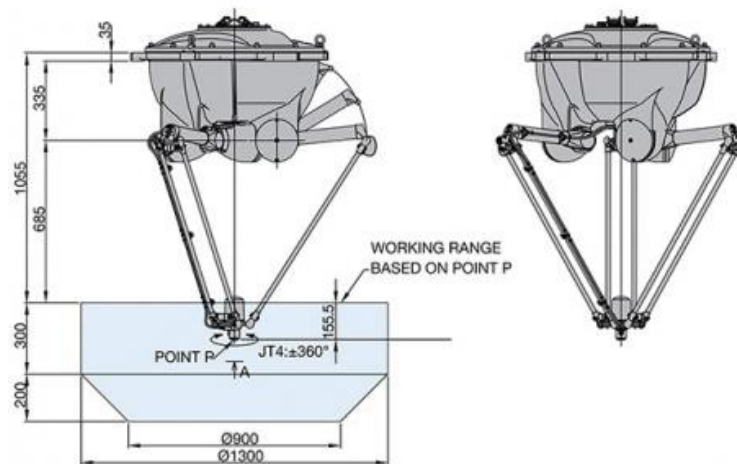
Το παρουσιαστικό αλλά και η λειτουργία τους προσεγγίζει το ανθρώπινο χέρι. Φέρουν πολλαπλές περιστροφικές αρθρώσεις και συνδέσμους οι οποίες συνδέονται καταλήγοντας σε μία συστρεφόμενη βάση. Η συνδεσμολογία τους επιτρέπει την προσέγγιση μιας θέσης στον χώρο με περισσότερες από μία διατάξεις, για τον λόγο αυτό συναντώνται σε απαιτητικές βιομηχανικές εφαρμογές όπως συσκευασίας, συγκολλήσεως, βαφής κ.α (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 Αρθρωτό Ρομπότ και τα μέρη αυτού [8]

2.2.4 ΡΟΜΠΟΤ ΤΥΠΟΥ ΔΕΛΤΑ

Εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1980, χωρίς άμεση αναγνώριση από την βιομηχανία έως και τις αρχές του 1990. Αποτελείται από παράλληλα τμήματα συνήθως τρία ή τέσσερα σε αριθμό που το καθένα ελέγχεται από έναν ηλεκτροκινητήρα και όλα καταλήγουν σε μία κεφαλή. Το αποτέλεσμα είναι μια συγχρονισμένη κίνηση της κεφαλής στον τρισδιάστατο χώρο [9]. Οι υψηλές ταχύτητες τους τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές συναρμολόγησης, διαλογής και μετακίνησης τεμαχίων, επεξεργασίας και χειρισμού τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων. Στην Εικόνα 2.6 βλέπουμε ένα ρομπότ δέλτα, 6 αξόνων.

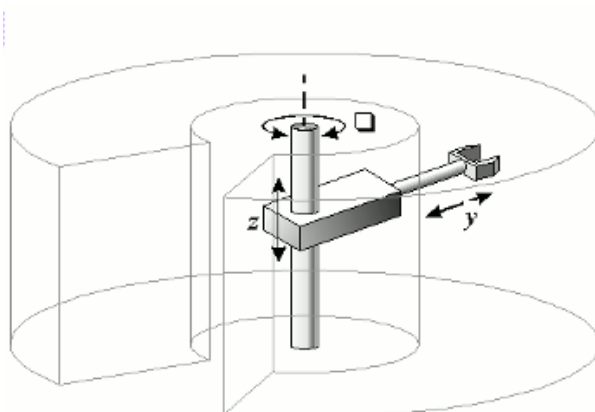


Εικόνα 2.6 Ρομπότ Δέλτα , μοντέλο YF003N, κατασκευαστής Kawasaki robotics

2.2.5 ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΡΟΜΠΟΤ

Φέρουν σύνθετες κυλινδρικές αρθρώσεις, συνδυάζοντας στοιχεία τόσο των αρθρωτών όσο και των καρτεσιανών ρομπότ καθώς έχουν την δυνατότητα κίνησης σε οριζόντιο, κατακόρυφο και περιστροφικό άξονα. Βρίσκουν εφαρμογή σε εξεζητημένες διεργασίες περιορισμένου χώρου όπως συναρμολόγησης, σημειακής συγκόλλησης, χειρισμό εργαλειομηχανών και μηχανών χύτευσης [10]. Είναι ιδιαίτερα εύχρηστα λόγω της απλής δομής, της υψηλής ακρίβειας και

ταχύτητας τους. Στην παρακάτω εικόνα το διάγραμμα μας δείχνει την μορφή και τον όγκο που καταλαμβάνει ένα κυλινδρικό ρομπότ κατά την εργασία του (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 Κυλινδρικό ρομπότ και εμβέλεια [10]

2.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

2.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

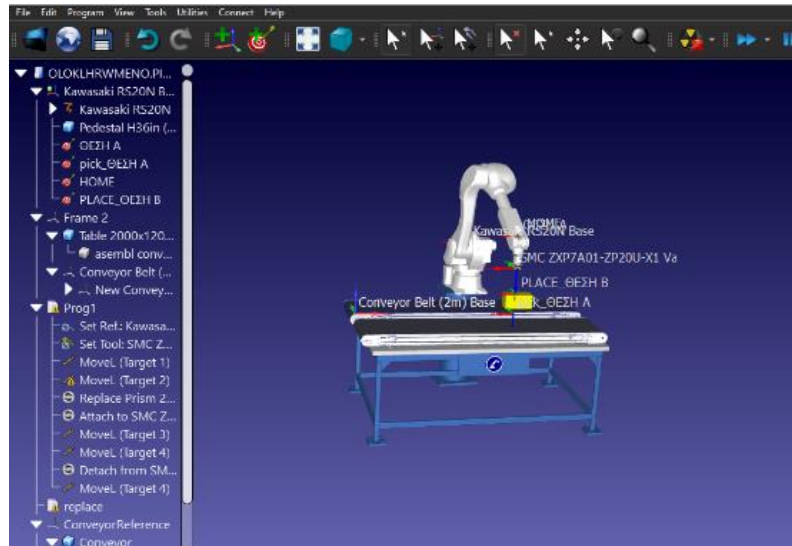
Παρότι κάθε ρομποτικό σύστημα διαφέρει από ένα άλλο όσον αφορά την διάταξη (τύπος του ρομπότ) και την εφαρμογή για την οποία προβλέπεται η χρήση του, ο προγραμματισμός των συστημάτων αυτών γίνεται μέσω δύο συγκεκριμένων μεθόδων, όπου παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.3.1.1 Εκτός σύνδεσης προγραμματισμός (*Offline Programming*)

Ο εκτός σύνδεσης προγραμματισμός είναι η μέθοδος προγραμματισμού που πραγματοποιείται εκτός του χώρου εργασίας, ανεξάρτητα από το πραγματικό περιβάλλον του ρομπότ. Ο προγραμματισμός γίνεται με χρήση γλωσσών προγραμματισμού όπως Python και C++, συνήθως σε ένα λογισμικό τρισδιάστατης προσομοίωσης. Στη συνέχεια, το επαληθευμένο πρόγραμμα καταχωρείται στο πραγματικό σύστημα. Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν επηρεάζεται η παραγωγική διαδικασία από τις δοκιμές που είναι απαραίτητες πριν την πραγματική εφαρμογή και οι οποίες μπορεί να είναι χρονοβόρες. Οι δοκιμές αυτές συνήθως αποσκοπούν στη μελέτη και ακρίβεια των κινήσεων, στην αποφυγή συγκρούσεων και στη βελτιστοποίηση των κύκλων και χρόνων εργασιών. Ο προγραμματισμός είναι μια κρίσιμη διαδικασία από την οποία εξαρτάται η ορθή λειτουργία και η αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και η ασφάλεια του ρομπότ και των εργαζομένων. Συνεπώς, ανάλογα με την εφαρμογή, προσδιορίζεται και η δυσκολία στον προγραμματισμό, ο οποίος μπορεί να απαιτεί σημαντικό χρόνο για την ολοκλήρωσή του. Ωστόσο, με τη μέθοδο του εκτός σύνδεσης προγραμματισμού, οι πραγματικές λειτουργίες παραμένουν ανεπηρέαστες.

Κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Robot DK για την περαιτέρω κατανόηση λειτουργικών θεμάτων που αφορούν μια αυτοματοποιημένη

διαδικασία, καθώς και τον προγραμματισμό ενός βιομηχανικού ρομπότ. Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει στον χρήστη ένα ψηφιακό τρισδιάστατο περιβάλλον εκτός σύνδεσης (offline programming) για τον προγραμματισμό διαφόρων ενεργειών σε διάφορες ρομποτικές εφαρμογές, αλλά και για την προσομοίωση επαναλαμβανόμενων διαδικασιών σε καθορισμένες ταχύτητες και χρόνους εργασιών. Πραγματοποιήθηκε επίσης η εγγραφή ενός προγράμματος pick and place με διάταξη παρόμοια με αυτήν που θα παρουσιαστεί αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο.



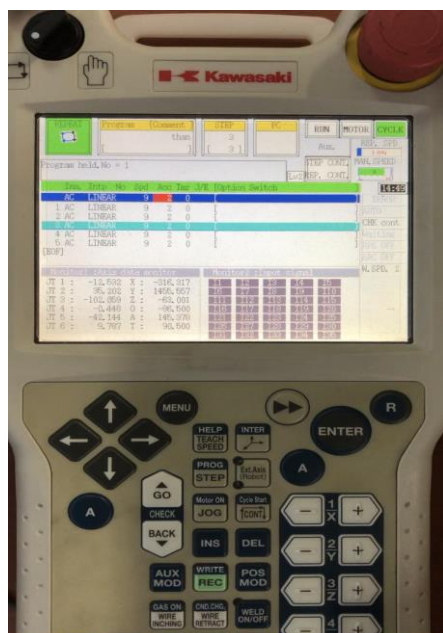
Εικόνα 2.8 Περιβάλλον Λογισμικού RoboDk

2.3.1.2 Προγραμματισμός σε σύνδεση (Online programming)

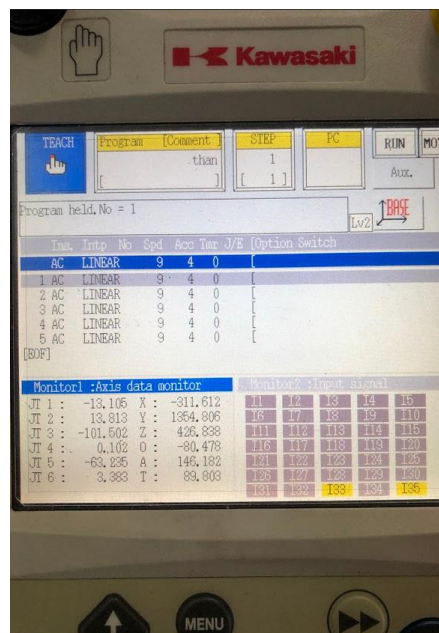
Για τη μέθοδο προγραμματισμού σε σύνδεση, το ρομπότ αφαιρείται από τη γραμμή παραγωγής και τίθεται σε λειτουργία προγραμματισμού μάθησης (teaching mode). Η εγγραφή του κώδικα πραγματοποιείται κυρίως μέσω του ειδικού χειριστηρίου “teach pendant”, αλλά είναι επίσης εφικτό να γίνει και μέσω λογισμικού με την εκάστοτε γλώσσα προγραμματισμού. Η διαφορά από την προηγούμενη μέθοδο είναι ότι η εγγραφή των ενεργειών αφορά το πραγματικό σύστημα και όχι ένα προσομοιωμένο μοντέλο.

2.3.1.3 Χειριστήριο ελέγχου ρομποτικού βραχίονα (Teach Pendant)

Το χειριστήριο ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα επιτρέπει τον προγραμματισμό και την εκτέλεση κινήσεων και ενεργειών σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τη ρύθμιση πληθώρας παραμέτρων όπως βαθμονόμησης, καθορισμού ακρίβειας και ταχυτήτων. Όλα τα βιομηχανικά ρομπότ είναι συμβατά με την εκάστοτε κονσόλα χειρισμού τους, η οποία συνδέεται απευθείας στο ρομπότ, επιτρέποντας έλεγχο κατά τη λειτουργία είτε αυτό βρίσκεται σε κατάσταση επανάληψης είτε προγραμματισμού εκμάθησης. Συνήθως, διαθέτουν ένα αρκετά εύχρηστο περιβάλλον διεπαφής (interface), από το οποίο ο εκάστοτε προγραμματιστής δύναται να καταγράψει θέσεις και να ρυθμίσει τον επιθυμητό τρόπο προσέγγισης των κινήσεων στις θέσεις αυτές, στο πραγματικό περιβάλλον.



α)



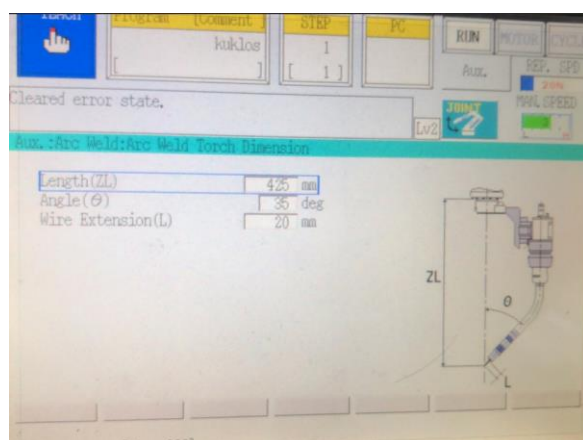
β)

Εικόνα 2.9 α) Εκτέλεση γραμμικών κινήσεων σε χειριστήριο teach pendant (λειτουργία repeat)
β) Εγγραφή γραμμικών κινήσεων σε χειριστήριο teach pendant (λειτουργία teach)

2.3.2 ΕΓΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΕ TEACH PENDANT

Πριν την εγγραφή ενός προγράμματος, απαιτείται να γίνουν ορισμένες ενέργειες. Κατ' αρχάς, για λόγους ασφάλειας, το σύστημά μας πρέπει να βρίσκεται σε μία σταθερή και ασφαλή θέση ή αλλιώς να είναι πακτωμένο και να διαθέτει τον απαραίτητο χώρο, ανάλογα με τις προδιαγραφές της εμβέλειάς του. Έπειτα, γίνεται η βαθμονόμηση των παραμέτρων, ανάλογα με το εργαλείο που φέρει στην κεφαλή του, καθώς και των παραμέτρων όπως ο καθορισμός των διαστάσεών του, η ευθυγράμμιση (aligning) και η ευαισθησία του κατά την επαφή.

Για παράδειγμα, κατά την εφαρμογή της συγκόλλησης, καθώς η γεωμετρική τοποθέτηση του πυρσού είναι υψίστης σημασίας για την ποιότητα της συγκόλλησης, επιλέγονται οι κατάλληλες τιμές όσον αφορά τη γωνία, το μήκος του σύρματος και την απόσταση του πυρσού από το σημείο συγκόλλησης, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.10 Εισαγωγή διαστάσεων εργαλείου

Στη συνέχεια η εγγραφή του κώδικα με χρήση του χειριστηρίου ελέγχου γίνεται ως εξής. Αρχικά το ρομπότ θέτεται σε ρύθμιση εκμάθησης εργασίας (teaching mode) όπου καταχωρούνται οι θέσεις και επιλέγεται ο κατάλληλος για την εφαρμογή τρόπος κίνησης της ρομποτικής διάταξης. Η προσέγγιση μιας θέσης για παράδειγμα από ένα αρθρωτό ρομπότ μπορεί να γίνει με προτεραιότητα [12]:

1. ως προς το αντικείμενο που πλησιάζει η κεφαλή (linear move)
2. ως προς τις αρθρώσεις και την συνεργασία τους κατά την προσέγγιση μιας θέσης (joint move)
3. ως προς το έργο και των καταχωρημένων παραμέτρων του εργαλείου αυτού(tool move).

Αξίζει επίσης να σταθούμε στη σημασία της επιλογής ενός συνδυαστικού τρόπου με τον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι κινήσεις, από τους τρεις διαφορετικούς τρόπους που αναφέραμε, ώστε να μην τερματίζονται οι μοίρες περιστροφής των αρθρώσεων. Αυτό συνεπάγεται την αποφυγή επιβάρυνσης των σερβοκινητήρων και διασφάλιση της ποιότητας της εργασίας. Στη συνέχεια, καταχωρούνται οι ταχύτητες λειτουργίας. Αφού έχει ολοκληρωθεί και επαληθευτεί η ομαλή εκτέλεση των διαφόρων κινήσεων και ενεργειών κατά τη διαδικασία της εκμάθησης, προχωράμε στη διαδικασία της επανάληψης. Για να τεθεί το ρομπότ σε λειτουργία επανάληψης (repeat mode), ο χρήστης στρέφει τον διακόπτη του teach pendant, όπως βλέπουμε και από την εικόνα 2.9, και επιλέγεται ο κύκλος εργασιών και οι ταχύτητες αυτών.

2.3.3 ΙΔΙΟΚΤΗΤΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία διαφέρουν ανάλογα την εταιρία που τα κατασκευάζει, παρόλα αυτά έχουν ορισμένα κοινά στοιχεία που ξεπερνούν τις διαφορές τους ως προς την γλώσσα προγραμματισμού τους. Στοιχεία όπως οδηγίες για συντονισμένες κινήσεις των συνδέσμων, ευρέως διαδεδομένες ρομποτικές διατάξεις (configurations) και εφαρμογές αυτών συναντώνται με παρόμοιο τρόπο στις περισσότερες γλώσσες ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Ακολουθεί ένα πίνακας που περιλαμβάνει τους γνωστότερους κατασκευαστές με τα αντίστοιχα λογισμικά και γλώσσες προγραμματισμού αυτών [12].

Manufacturer	Name of the product for modeling, programming and simulation	Programming language
Kuka Roboter	Kuka Sim Pro	KRL
Fanuc Robotics	RoboGuide	KAREL
Mitsubishi Robotics	RT Toolbox	MELFA-BASIC
Comau	RoboSim Pro	PDL2
Adept	Adept ACE	V, V +
ABB	RobotStudio	RAPID
Kawaski Robotics	K-Roset	AS
Stäubli Robotics	Staubli Robotics Suite	VAL3
Universal Robots	RoboDK	URScript
Epson	Epson RC +	SPEL ⁺
Denso Robotics	WinCAPS III	PacScript
Motoman Robotics-Yaskawa	MotoSim EG-VRC	INFORM
Panasonic-Matsushita	DTPS Desk Top Programming & Simulation System	PARL-1
Toshiba	TSAssist	SCOL
FESTO	COSIMIR [®] (Cell Oriented Simulation of Industrial Robots)	FTL or different depending on the used robot type

Εικόνα 2.9 Διάγραμμα γλωσσών προγραμματισμού [13]

2.3.3.1 Η Γλώσσα AS στο λογισμικό K-Roset

Στα συστήματα της εταιρίας KAWASAKI ROBOT η επικρατούσα γλώσσα για τον προγραμματισμό και την λειτουργία είναι η AS η οποία βασίζεται στην δημιουργία προγραμμάτων υπεύθυνων για την υλοποίηση των προοριζόμενων έργων. Η γλώσσα AS εξυπηρετεί δύο βασικούς τύπους εντολών:

1. Σε Εντολές παρακολούθησης όπου χρησιμοποιείται για τη σύνταξη, την επεξεργασία και την εκτέλεση προγραμμάτων. Οι εντολές παρακολούθησης εισάγονται μετά την προτροπή (>) που εμφανίζεται στην οθόνη και εκτελούνται αμέσως. Ορισμένες από τις εντολές της οθόνης χρησιμοποιούνται στα προγράμματος οδηγίες προγράμματος.
2. Σε οδηγίες προγράμματος όπου χρησιμοποιείται για να κατευθύνει τις κινήσεις του ρομπότ, να παρακολουθεί ή να ελέγχει εξωτερικά σήματα σε προγράμματα. Ένα πρόγραμμα είναι μια συλλογή από οδηγίες προγράμματος.

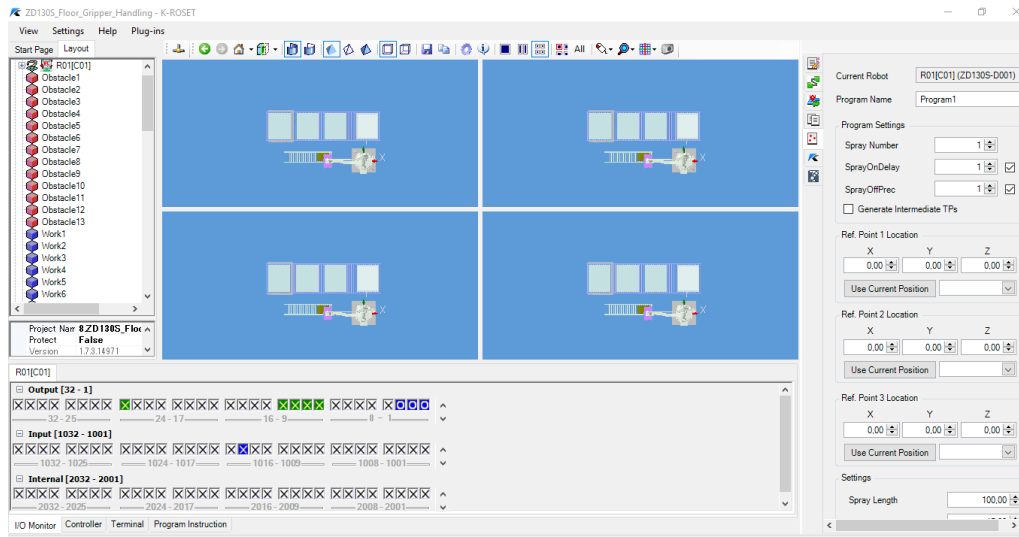
Η γλώσσα AS παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες, που είναι οι ακόλουθες:

1. Η κίνηση του ρομπότ γίνεται κατά μήκος μιας τροχιάς συνεχούς διαδρομής (Κίνηση CP: Συνεχές Μονοπάτι κίνησης).
2. Παρέχονται δύο συστήματα συντεταγμένων: α) συντεταγμένες βάσης οι οποίες τοποθετούν την αρχή τους στη βάση του ρομπότ και β) οι συντεταγμένες του εργαλείου οι οποίες τοποθετούν την αρχή τους στο εργαλείο που είναι προσαρτημένο στο άκρο του βραχίονα.
3. Το ρομπότ δύναται να μετακινηθεί μόνο με ένα προεπιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων σε κάθε πρόγραμμα.

4. Οι συντεταγμένες μπορούν να μετατοπιστούν ή να περιστραφούν ανάλογα με την κατάσταση της εργασίας.
5. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία διδασκαλίας ή επανάληψης, το ρομπότ μπορεί να μετακινηθεί κατά μήκος μιας διαδρομής διατηρώντας τον προσανατολισμό του εργαλείου μέσω της εντολής `tool move`.
6. Τα προγράμματα μπορούν να ονομαστούν ελεύθερα και να αποθηκευτούν χωρίς περιορισμούς.
7. Κάθε μονάδα λειτουργίας μπορεί να οριστεί ως πρόγραμμα. Τα προγράμματα μπορούν να συνδυαστούν για την δημιουργία ενός σύνθετου προγράμματος που φέρει πολλές «Υπορουτίνες» (subroutines).
8. Με την παρακολούθηση των σημάτων, τα προγράμματα μπορούν να διακοπούν και να διακλαδωθούν σε διαφορετικό πρόγραμμα.
9. Αναστολή των κινήσεων ρεύματος όταν εισάγεται εξωτερικό σήμα.
10. Μπορεί να εκτελεστεί ένα πρόγραμμα ελέγχου διαδικασίας (πρόγραμμα υπολογιστή) χωρίς εντολή κίνησης ταυτόχρονα με πρόγραμμα ελέγχου ρομπότ.
11. Δεδομένα που αφορούν προγράμματα, υπορουτίνες αλλά και συγκεκριμένες μπορούν να εμφανίζονται σε τερματικά και να αποθηκευτούν σε συσκευές αποθήκευσης όπως για παράδειγμα μια μονάδα μνήμης flash USB.
12. Ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας έναν προσωπικό υπολογιστή φορτωμένο με το λογισμικό επικοινωνίας τερματικού. για προγραμματισμό εκτός σύνδεσης (offline programming).

2.3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ K-ROSET

Το λογισμικό K-Roset λειτουργεί με γλώσσα AS παρέχει στον χρήστη τις δυνατότητες δημιουργίας τρισδιάστων μοντέλων εγκαταστάσεων, προγραμματισμού αλλά και προσομοίωσης αυτών σε λειτουργία, με σκοπό την επαλήθευση των προγραμμάτων για την μείωση των κινδύνων και την απαλοιφή προβλημάτων που αναμένεται να εμφανιστούν κατά την εφαρμογή στο πραγματικό σύστημα. Παρομοίως με το λογισμικό RoboDk που αναφέραμε στην παράγραφο 2.4.1 το K-Roset ακολουθεί μέθοδο offline programming αλλά προορίζεται μόνο για εμπορική χρήση. Αναλυτικότερα στην εικόνα 2.9 βλέπουμε το περιβάλλον εργασίας, όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα ψηφιακό περιβάλλον λειτουργίας τοποθετώντας αντικείμενα στο χώρο, επιλέγοντας τα κατάλληλα ρομποτικά συστήματα και προσαρμόζοντας την θέση αυτών στον χώρο μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Ακόμα μπορεί να προγραμματίσει την ρομποτική διάταξη την οποία έχει επιλέξει για την συγκεκριμένη εφαρμογή του και να προσομοιώσει την λειτουργία του συστήματος εντοπίζοντας έτσι σφάλματα όπως συγκρούσεις (collisions), και αστοχίες όπως την αδυναμία πραγματοποίησης μιας ενέργειας ή μιας εσφαλμένης υπόθεσης.



Εικόνα 2.9 Περιβάλλον εργασίας K-Roset 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ / ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΗ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση ρομποτικών αυτοματισμών στη μεταποιητική βιομηχανία έχει αυξηθεί ραγδαία. Καινοτομίες στην ρομποτική αλλά και τον αυτοματισμό έχουν μετατρέψει την σημερινή βιομηχανία, δίνοντάς της ευελιξία στις διαδικασίες παραγωγής, επιτρέποντας έτσι την αδιάλειπτη παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας με σχετικά χαμηλό κόστος ενώ παράλληλα το ανθρώπινο δυναμικό αποδεσμεύεται από τις επαναλαμβανόμενες τυποποιημένες εργασίες. Τα συστήματα επιλογής και τοποθέτησης προσφέρουν αυξημένη αποτελεσματικότητα, ακρίβεια και συνέπεια σε εργασίες που περιλαμβάνουν το χειρισμό, τη διαλογή, τη συναρμολόγηση και τη συσκευασία των αντικειμένων, καθιστώντας τα πολύτιμα σε ένα ευρύ φάσμα τομέων που αφορούν την βιομηχανία όπως:

- **Βιομηχανία Κατασκευής:** Οι ρομποτικές μηχανές επιλογής και τοποθέτησης χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανίες κατασκευής για εργασίες όπως η ανάκτηση συστατικών από μια μεταφορική ταινία και η τοποθέτησή τους σε ένα εργαλείο ή η συσκευασία τους.
- **Συναρμολόγηση Ηλεκτρονικών:** Στην κατασκευή ηλεκτρονικών όπου χρησιμοποιούνται για την ακριβή τοποθέτηση εξαρτημάτων επιφάνειας στοιχεία σε εκτυπωμένες κυκλωματικές πλακέτες (PCBs).
- **Συσκευασία Τροφίμων:** Τα συστήματα επιλογής και τοποθέτησης χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τροφίμων για την ταξινόμηση, την διάταξη και τη συσκευασία προϊόντων.
- **Φαρμακευτικά:** Στην κατασκευή φαρμάκων, τα ρομπότ επιλογής και τοποθέτησης μπορούν να χειριστούν ευαίσθητα αντικείμενα όπως χάπια ή φιαλίδια, εξασφαλίζοντας ακριβή τοποθέτηση και συσκευασία.
- **Λογιστική και Αποθήκευση:** Η τεχνολογία επιλογής και τοποθέτησης χρησιμοποιείται στην εφοδιαστική και την αποθήκευση για εργασίες όπως η ταξινόμηση δεμάτων και η οργάνωση αποθεμάτων.

- **Αυτοκινητοβιομηχανία:** Οι ρομποτικές μηχανές επιλογής και τοποθέτησης χρησιμοποιούνται στις γραμμές παραγωγής αυτοκινήτων για εργασίες όπως η συγκόλληση μεταλλικών στοιχείων, η τοποθέτηση εξαρτημάτων ή συστατικών σε οχήματα κατά την παραγωγή κ.α.
- **Συναρμολόγηση Ιατρικών Συσκευών:** Στη βιομηχανία ιατρικών συσκευών, τα συστήματα επιλογής και τοποθέτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συναρμολόγηση σύνθετων ιατρικών συσκευών με ακρίβεια και συνέπεια.

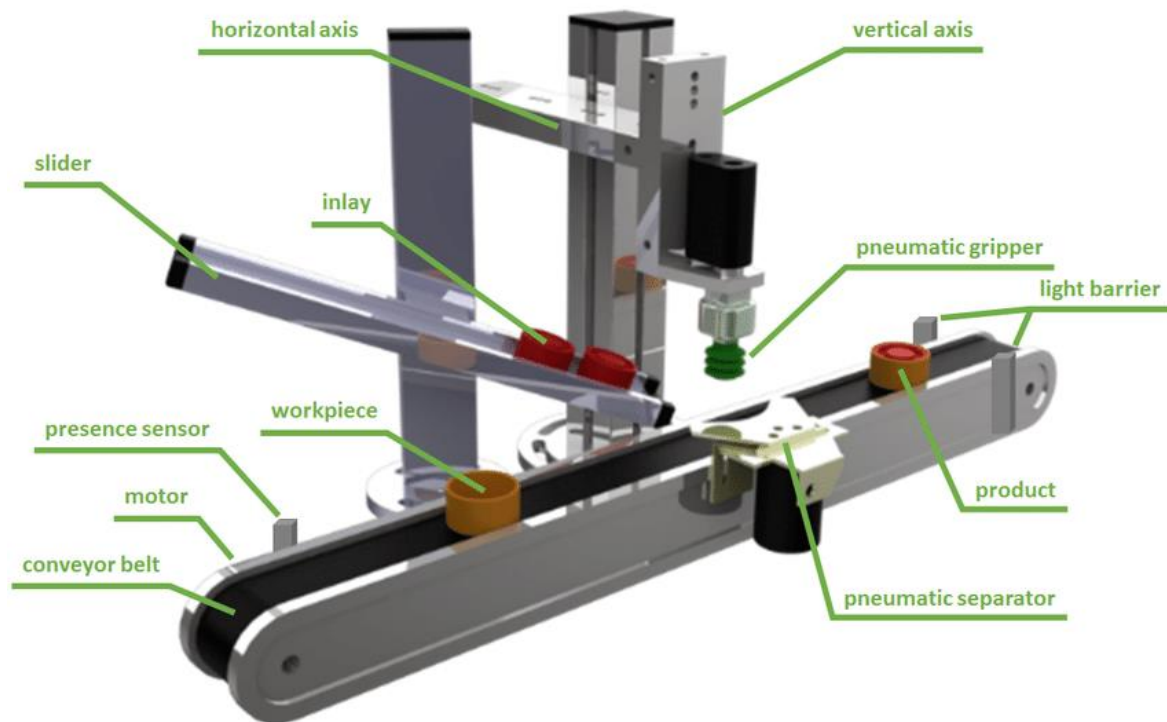
Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εστιάσουμε σε μία υφιστάμενη αυτοματοποιημένη μηχανή εγκιβωτισμού, αναλύοντας τη λειτουργία της με σκοπό τη σχεδίαση και προσάρτησή της σε μια υποθετική γραμμή παραγωγής τριών σταδίων. Η μηχανή εγκιβωτισμού, της οποίας (i) θα αναλύσουμε τα μηχανικά της στοιχεία, (ii) θα σχεδιάσουμε την τρισδιάστατη απεικόνισή της και (iii) θα μελετήσουμε τα σενάρια λειτουργίας της, αποτελεί το πρώτο στάδιο της συνολικής μας παραγωγικής διαδικασίας. Οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται εντός των ορίων της μηχανής αυτής είναι η δρομολόγηση και επανατοποθέτηση συσκευασμένων προϊόντων (κυπέλων) σε καθορισμένων διαστάσεων χαρτοκιβώτια. Με τον όρο «εγκιβωτισμός» εννοούμε μια διεργασία τύπου pick and place, όπου οι συσκευασίες τοποθετούνται σε κιβώτια και δρομολογούνται με προορισμό το επόμενο στάδιο στην γραμμή παραγωγής. Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη εφαρμογή, η τοποθέτηση μιας εξάδας κυπέλων σε χάρτινες συσκευασίες κυβικού σχήματος αποτελεί την εφαρμογή εγκιβωτισμού. Τονίζεται ότι η μηχανή που μελετάμε αποτελεί μια προσαρμογή των διαδικασιών pick and place σε εφαρμογή συσκευασίας.

3.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΣΤΑΘΜΟΥ PICK AND PLACE

Μια σύνηθες εφαρμογή Pick and place, μπορούμε να την περιορίσουμε σε ένα καθορισμένο περιβάλλον εργασίας αποτελούμενο από τα εξής στοιχεία:

- Μια κύρια μηχανή που φέρει μεγάλο μέρος του εξοπλισμού.
- Μεταφορικές ταινίες ή ραουλοδιαδρομές, τροφοδοτούμενες από ηλεκτροκινητήρες ρυθμισμένους σε κατάλληλους χρόνους λειτουργίας, με γνώμονα την αποδοτική ομαλή λειτουργία της μηχανής.
- Συστήματα επιθεώρησης όπως φωτοκύτταρα, επαγωγικοί ελεγκτές και άλλα αισθητήρια όργανα, που ελέγχουν την ομαλή λειτουργία, ρυθμίζουν την ακρίβεια των ενεργειών που πραγματοποιούνται και τροφοδοτούν ένα υπολογιστικό σύστημα με δεδομένα προς επεξεργασία (inputs).
- Υποσυστήματα που δέχονται εντολές, όπως είναι τα πνευματικά συστήματα πεπιεσμένου αέρα τα οποία έπειτα από εντολές μια κεντρικής υπολογιστικής μονάδας δέχονται σήμα για την ενεργοποίηση εμβόλων.
- Προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) που αποθηκεύουν οδηγίες από τον χρήστη, δέχονται εισόδους (inputs) και στέλνουν σήματα (outputs) σε υποσυστήματα ενεργειών
- Ρομποτικά συστήματα τοποθετημένα στην κύρια μηχανή ή σε συγκεκριμένη διάταξη στον χώρο ή το ταβάνι για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών.

Μια ενδεικτική διάταξη παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Δομή ενός σταθμού pick and place[14]

3.3.1 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Το κυρίως αυτοματοποιημένο σύστημα αποτελείται από δύο μεταφορικές ταινίες, το ρομπότ Kawasaki RS020N (ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων) κατάλληλο για εφαρμογές επανατοποθέτησης, το πνευματικό σύστημα και τα έμβολα, όργανα ελέγχου εισόδων - εξόδων όπως φωτοκύτταρα και επαγωγικούς ελεγκτές, τον ηλεκτρολογικό πίνακα και την υπολογιστική μονάδα του ρομπότ. Στη μεταφορική ταινία μεγαλύτερου πλάτους δρομολογούνται τα κύπελα και στη διπλή ταινία δρομολογούνται τα χαρτοκιβώτια. Το ρομπότ πραγματοποιεί τον επαναλαμβανόμενο εγκιβωτισμό των τεμαχίων σε εξάδες με τη βοήθεια ενός συνόλου εντολών από πνευματικά συστήματα, που ενεργοποιούν έμβολα μέσω της χρήσης επαγωγικών αισθητήρων και φωτοκύτταρων.

Έχει επίσης υλοποιηθεί ένα σύνολο αυτόματων εντολών υπεύθυνο για τις διάφορες περιπτώσεις λειτουργίας, ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή, ασφαλής και αποδοτική λειτουργία, τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τη μηχανή. Τα σενάρια αυτά προβλέπουν διάφορα σφάλματα, αστοχίες και δυσλειτουργίες από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες, με σκοπό να ανιχνεύουν την πρόκλησή τους, να ενημερώνουν το σύστημα και τον χειριστή, και να ρυθμίζουν τις διάφορες ενέργειες που θα ακολουθήσουν, ώστε να επιτευχθεί η επανέναρξη ή η διακοπή της διαδικασίας.

Η κύρια μεταλλική κατασκευή, δηλαδή το τραπέζι και τα μεταλλικά φύλλα, αποτελούνται αποκλειστικά από ανοξείδωτο ατσάλι για λόγους ελαστικότητας και αντοχής τόσο στις τάσεις όσο και στη σκουριά. Το όλο σύστημα περιφράσσεται από πολυκαρμπονικά φύλλα (plexiglass) για την αποφυγή παρέμβασης αλλά και την ασφάλεια του προσωπικού (Εικόνα 3.2).



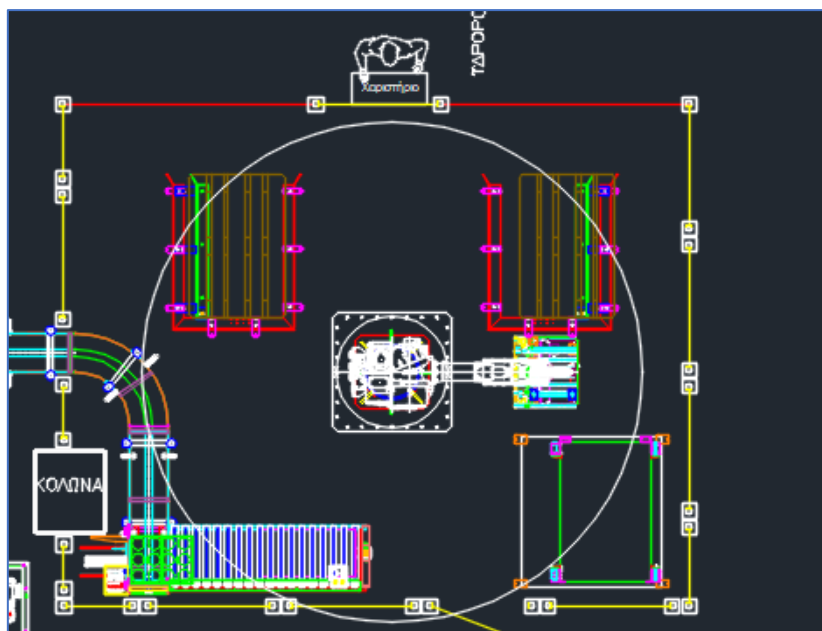
Εικόνα 3.2 Υφιστάμενη Μηχανή Εγκιβωτισμού

Πέρα από την προστασία που παρέχει η περιφράξη της κατασκευής, αισθητήρες εγγύτητας (proximity sensors) είναι κατάλληλα εγκατεστημένοι, ώστε αν ανοίξει κάποια πόρτα με σκοπό την πρόσβαση στο εσωτερικό της μηχανής εν ώρα λειτουργίας, να ενεργοποιηθούν φωτεινές ενδείξεις και να ανασταλούν οι διάφορες λειτουργίες, έως ότου όλες οι παράμετροι λειτουργίας να τηρούνται και ο χειριστής να δώσει την εντολή επανέναρξης διαδικασίας (reset). Οι αισθητήρες είναι ορατοί στην Εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3 Αισθητήρες Εγγύτητας (Proximity Sensors)

Στην συνέχεια της γραμμής παραγωγής, ακολουθεί μια ραυλοδιαδρομή με στροφή η οποία οδηγεί τα χαρτοκιβώτια στο δεύτερο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, όπου άλλο ρομπότ πραγματοποιεί την παλετοποίηση με συγκεκριμένη διάταξη. Η διάταξη παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.4 Μηχανολογικό Σχέδιο διαδικασίας Παλετοποίησης σε AutoCAD

Δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω στην εφαρμογή παλετοποίησης καθώς θα την περιγράψουμε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4. Ωστόσο, θα επικεντρωθούμε στις διαφορές ενέργειες που απαιτείται να πραγματοποιηθούν στην μηχανή εγκιβωτισμού, ώστε να ολοκληρωθεί η αυτόματη επαναλαμβανόμενη τοποθέτηση εξάδων κυπέλων σε χαρτοκιβώτια.

3.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

Η διαδικασία ξεκινά στο σημείο τροφοδοσίας, όπου τα κύπελλα τοποθετούνται στην σχεδιασμένη κατάλληλα γι' αυτά μεταφορική ταινία. Στη συνέχεια δρομολογούνται στο σημείο όπου θα συγκεντρωθούν σε συγκεκριμένη θέση ως εξάδα, αλλά και με κατάλληλες μεταξύ τους αποστάσεις (Εικόνα 3.5). Αισθητήρια όργανα ενημερώνουν την κεντρική υπολογιστική μονάδα PLC με δεδομένα εισόδου, ώστε να πραγματοποιηθεί η επόμενη ενέργεια της σειράς των ενεργειών που έχουν προγραμματιστεί. Η αρπάγη του ρομπότ προσανατολισμένη σε άξονα πάνω από την εξάδα των κυπέλων προσεγγίζει την διεύθυνση που έχει προγραμματιστεί να «κλείσει» η αρπάγη.

Στην συνέχεια, δεδομένου ότι η σύσφιξη των κυπέλων στην αρπάγη έχει εκτελεστεί με σωστό τρόπο και τα κύπελλα βρίσκονται σε κατάσταση να μετατοπιστούν, το ρομπότ πραγματοποιεί τις προγραμματισμένες κινήσεις και τα απελευθερώνει στο εσωτερικό του χαρτοκιβωτίου το οποίο αναμένει την αναχώρησή του. Όλες οι ενέργειες και τα στάδια διεργασίας, παρεμβάλλονται από αισθητήρια όργανα που τροφοδοτούν το PLC με δεδομένα. Ταυτόχρονα έμβολα τροφοδοτούμενα από σύστημα πεπιεσμένου αέρα δέχονται εντολές από το PLC ώστε να ρυθμίζονται οι αναχωρήσεις. Το αποτέλεσμα είναι μια ομαλή

επαναλαμβανόμενη λειτουργία όπου οι διάφορες δρομολογημένες ενέργειες γίνονται ακολουθιακά και εξαρτώνται από την σωστή λειτουργία των προηγούμενων.



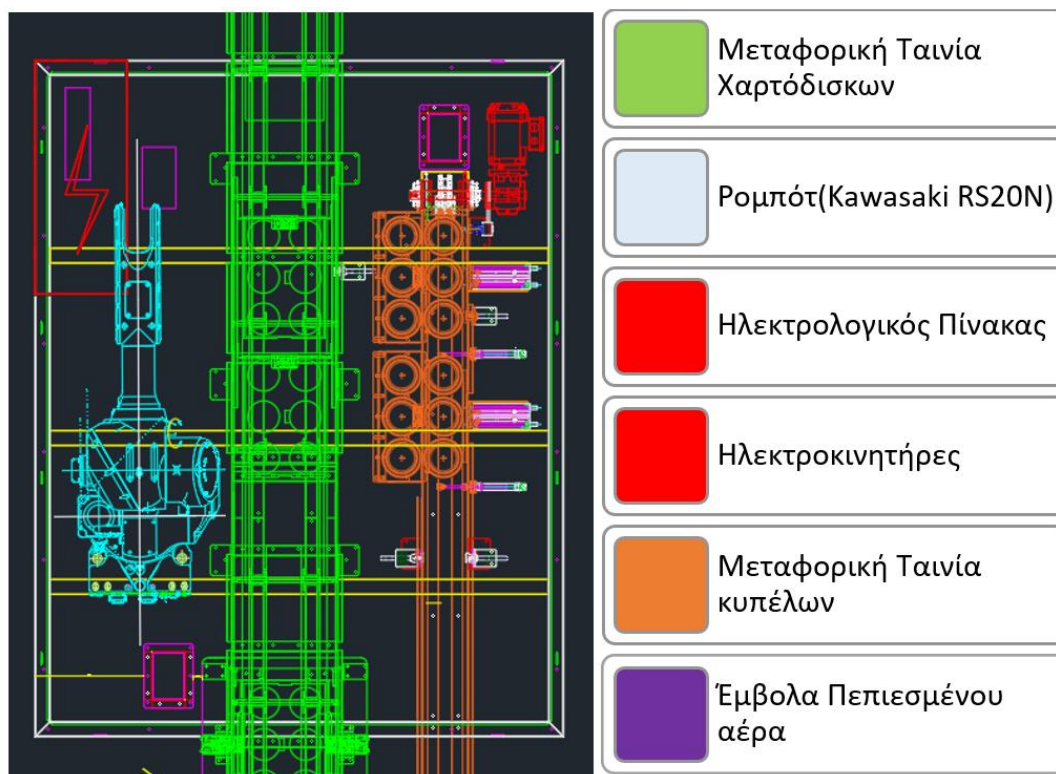
Εικόνα 3.5 Σημείο συγκέντρωσης και διάταξης κυπέλλων

3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε λεπτομερής σχεδίαση και συναρμολόγηση των μεταλλικών κατασκευών και των μηχανικών στοιχείων από τα οποία απαρτίζεται η μηχανή του εγκιβωτισμού με την βοήθεια των λογισμικών AutoCAD και SolidWorks. Θα αναλύσουμε την μηχανή σε τμήματα εξηγώντας ορισμένες ιδιαιτερότητες καθώς και την χρησιμότητα τους.

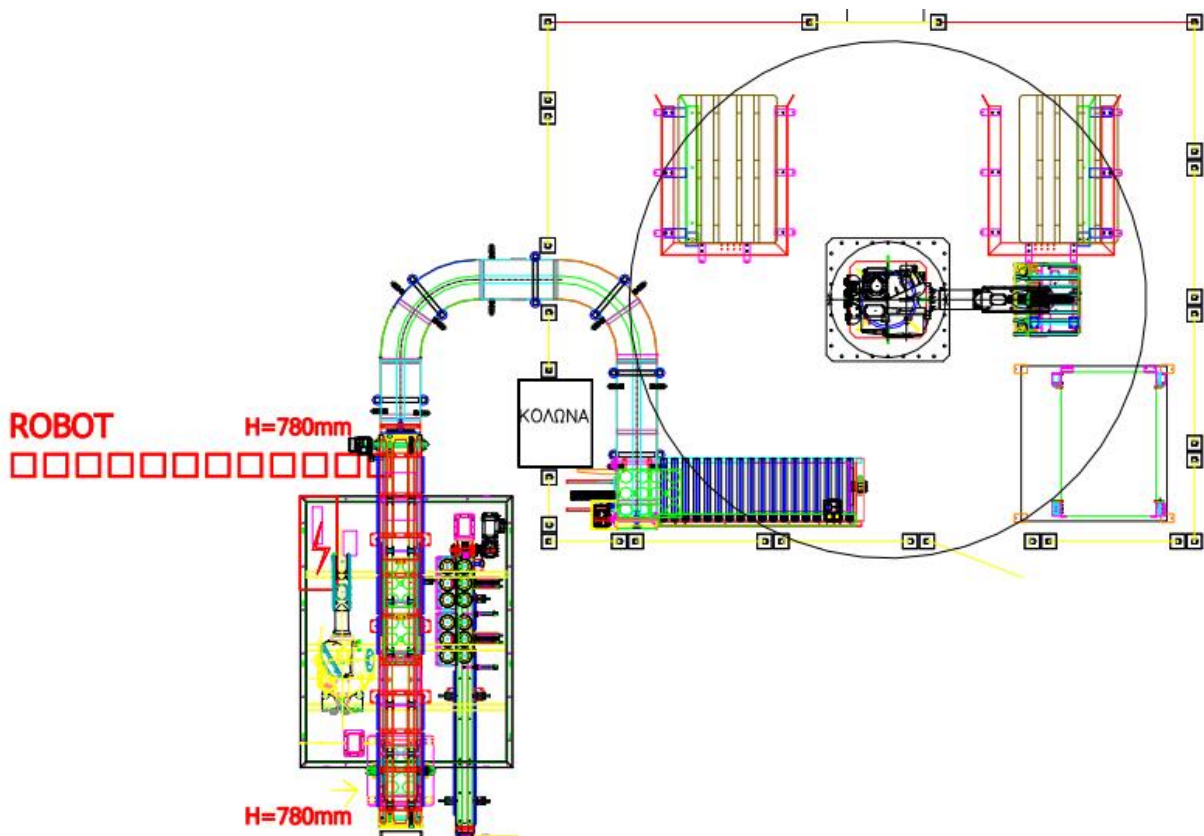
3.4.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΣΕ ΑΥΤΟCAD

Από τα μηχανολογικά σχέδια του AutoCAD αντλήθηκαν πληροφορίες και λεπτομέρειες για τα μηχανικά μέρη, τα στοιχεία της μηχανής και των διαστάσεων. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα μηχανολογικά σχέδια της μηχανής, καθώς και της ευρύτερης εγκατάστασης.



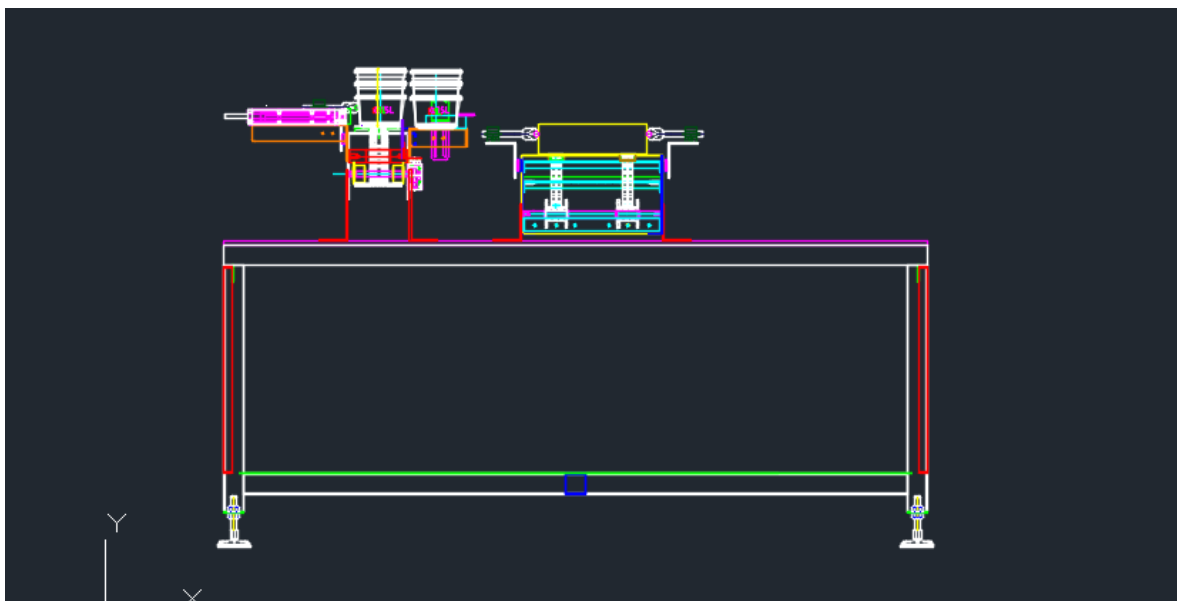
Εικόνα 3.6 Κάτοψη Σχεδίου Μηχανής Εγκιβωτισμού και διάφορα μέρη αυτής

Στην εικόνα 3.6 παρατίθεται η Κάτοψη του Σχεδίου Μηχανής Εγκιβωτισμού και διάφορα μέρη αυτής. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζεται η λεπτομερής κάτοψη της μηχανής εγκιβωτισμού, όπου φαίνονται τα κύρια μηχανικά μέρη, όπως η κεντρική μονάδα, οι μεταφορικές ταινίες και οι μηχανισμοί στήριξης. Τα διακριτά μέρη περιλαμβάνουν τα βασικά εξαρτήματα και τις συνδέσεις που επιτρέπουν την ομαλή λειτουργία της μηχανής.



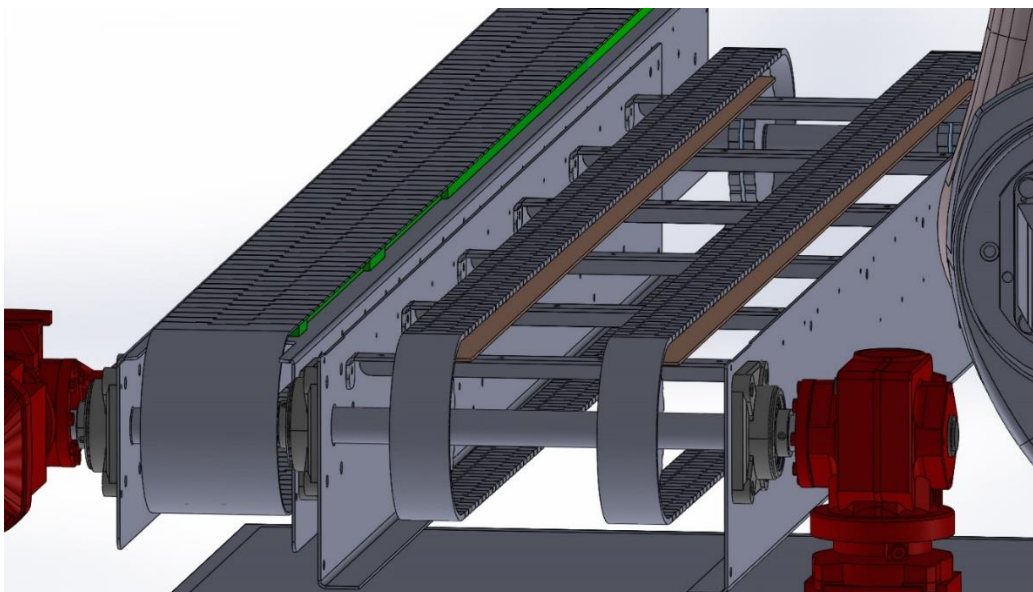
Εικόνα 3.7 Κάτοψη συνολικού σχεδίου εγκατάστασης.

Στην Εικόνα 3.7 παρατίθεται η κάτοψη του συνολικού σχεδίου εγκατάστασης, η οποία περιλαμβάνει τη μηχανή εγκιβωτισμού, μια μεταφορική ταινία στροφής, μια ραουλοδιαδρομή, τον βραχίονα παλετοποίησης και τις παλέτες αναμονής του αποθέματος. Αυτή η εικόνα προσφέρει μια ολοκληρωμένη απεικόνιση της διάταξης και της θέσης των διαφόρων στοιχείων σε σχέση με το συνολικό σύστημα.



Εικόνα 3.8 Πλάγια όψη μηχανής εγκιβωτισμού

Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζεται αναλυτικότερα η πλάγια όψη της μηχανής εγκιβωτισμού. Αναλυτικότερα, οι διαστάσεις των μεταφορικών ταινιών, των βάσεων, των οδοντωτών τροχών, των οπών και άλλων στοιχείων μελετήθηκαν και λήφθηκαν υπ' όψη για τον σχεδιασμό της τρισδιάστατης αναπαράστασης της μηχανής στο πρόγραμμα του λογισμικού Solidworks.



Εικόνα 3.9 Οι μεταφορικές ταινίες της μηχανής εγκιβωτισμού στο πρόγραμμα του SolidWorks

Στην Εικόνα 3.9 παρουσιάζει την ολοκληρωμένη τρισδιάστατη αναπαράσταση της μηχανής εγκιβωτισμού, η οποία δημιουργήθηκε στο λογισμικό Solidworks. Η λεπτομερής σχεδίαση και συναρμολόγηση επιτρέπουν την ακριβή απεικόνιση των μηχανικών μερών και της λειτουργίας της μηχανής εντός λογικών πλαισίων.

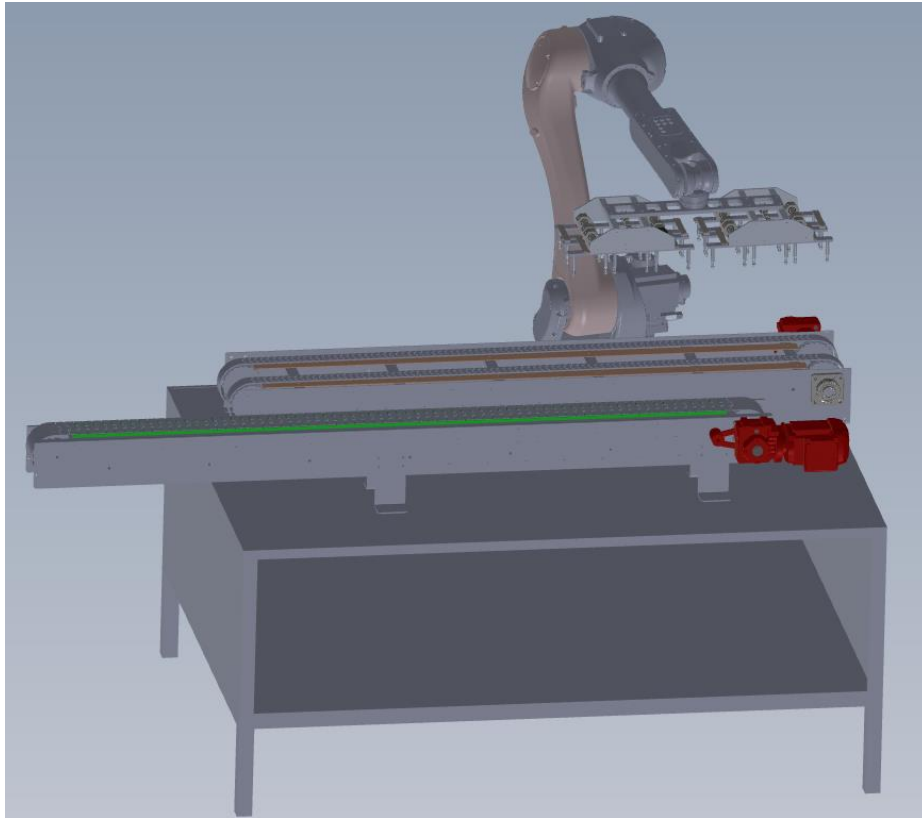
3.4.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΠΙΛΕΞΙΜΟΤΗΤΗΣ

Το τρισδιάστατο μοντέλο της μηχανής δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού SolidWorks. Το λογισμικό αυτό επικεντρώνεται στην σχεδίαση δυσδιάστατων και τρισδιάστατων αντικειμένων και κατασκευών σε ένα εύχρηστο περιβάλλον υψηλής ακρίβειας και λεπτομέρειας, προσφέροντας στον χρήστη την δυνατότητα μηχανικής μάθησης και καλύτερης κατανόησης κατά τον σχεδιασμό.

Η μηχανή που σχεδιάστηκε αποτελείται από 4 κύρια τμήματα :

1. Διαδρομή προϊόντος
2. Διαδρομή χαρτοκιβωτίων
3. Ρομποτικός Βραχίονας
4. Μεταλλικό Τραπέζι

Με εξαίρεση τον ρομποτικό βραχίονα και τους ηλεκτροκινητήρες, κάθε κομμάτι (part) και μηχανικό στοιχείο που είναι ορατό στο σχέδιο της Εικόνας 3.9 σχεδιάστηκε με συγκεκριμένες διαστάσεις και δίνοντας σημασία στην λεπτομέρεια των χαρακτηριστικών για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη αναπαράσταση της πραγματικής μηχανής.



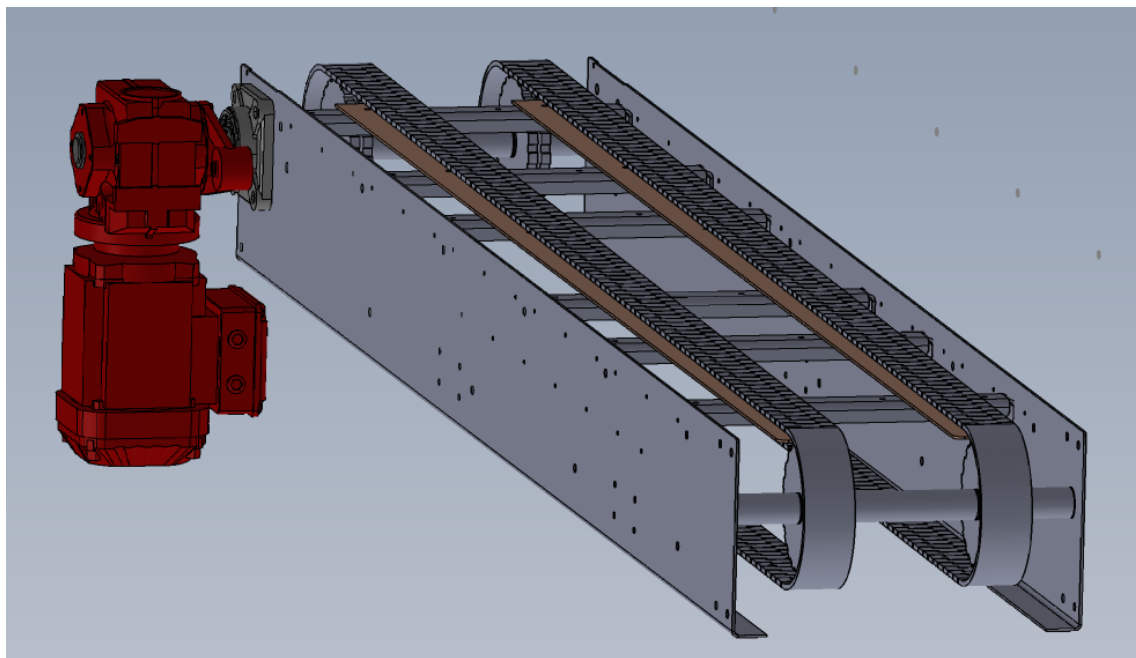
Εικόνα 3.10 Μηχανή εγκιβωτισμού σχεδιασμένη στο SolidWorks

3.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΕ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ (PARTS)

Στις συνέχειες παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται η μηχανή εγκιβωτισμού που σχεδιάστηκε στο SolidWorks, καθώς και η χρησιμότητά τους.

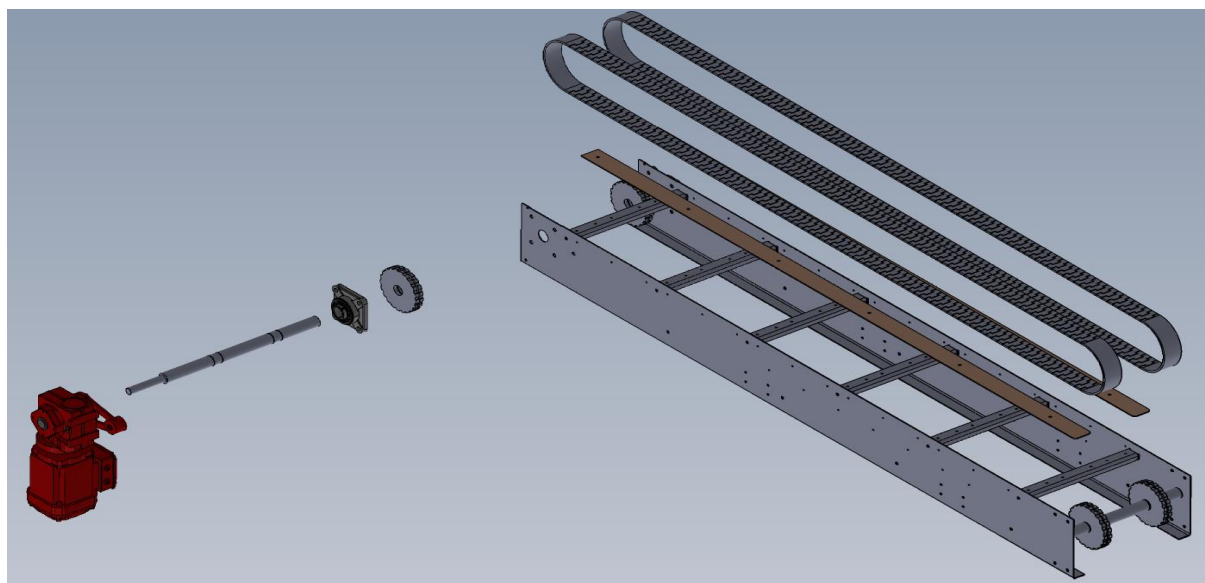
3.4.3.1 Διαδρομή δρομολόγησης χαρτοκιβωτίων

Η μεταφορά των χαρτοκιβωτίων πραγματοποιείται από δύο μεταφορικές ταινίες μικρού πλάτους, συγχρονισμένες από έναν κινητήριο άξονα. Τα μηχανικά μέρη προσδένονται στον μεταλλικό σκελετό της Εικόνας 3.11 και στη συνέχεια τοποθετείται με κατάλληλη γεωμετρία και προσανατολισμό στη μηχανή εγκιβωτισμού.

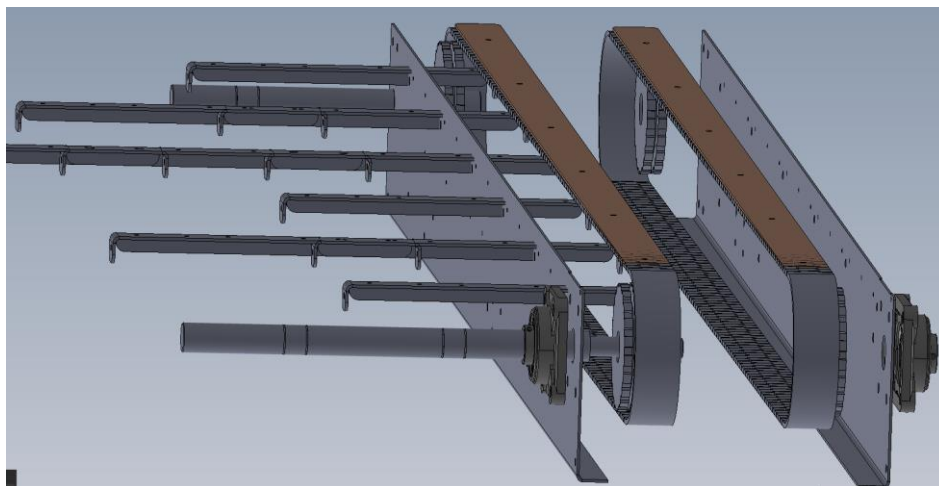


Εικόνα 3.11 Διαδρομή δρομολόγησης χαρτοκιβωτίων

Στην Εικόνα 3.12 παρουσιάζονται τα διαφορετικά τμήματα από τα οποία απαρτίζεται η διαδρομή μεταφοράς των χαρτοκιβωτίων. Διακρίνονται: μια μεταλλική κατασκευή και τα λαμάκια που την συνδέουν, δύο μεταφορικές ταινίες, ένας ηλεκτροκινητήρας τύπου SA37, τα γρανάζια, οι άξονες, τα ρουλεμάν και η φλάντζα που συνδέεται με τον κινητήρα.

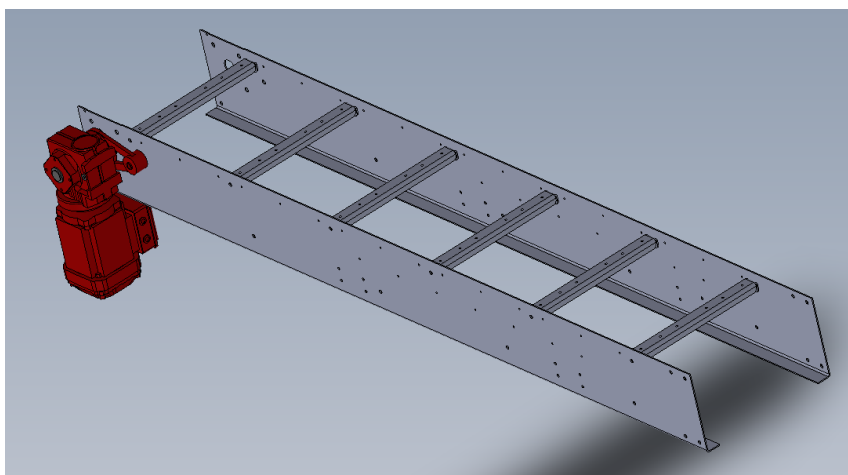


Εικόνα 3.12 Βάση δρομολόγησης χαρτοκιβωτίων με τα δομικά της στοιχεία



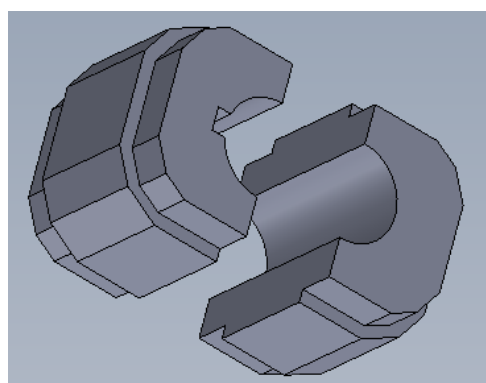
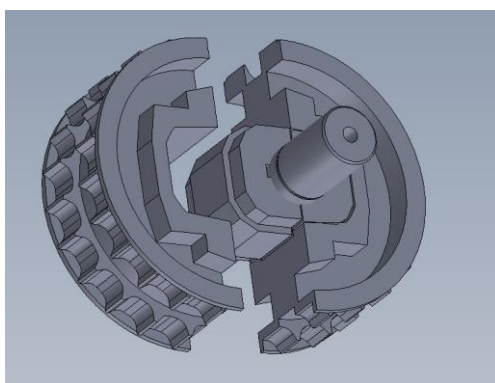
Εικόνα 3.13 Βάση δρομολόγησης χαρτοκιβωτίων με τα δομικά της στοιχεία

Η κύρια μεταλλική κατασκευή αποτελείται αποκλειστικά από ανοξείδωτο ατσάλι λόγω της σκληρότητας, ελαστικότητας και αντοχής τόσο στις τάσεις όσο και στην σκουριά. Η διάταξη των μεταλλικών φύλλων και των λαμών είναι εξαιρετικά απλή. Επίσης, είναι εμφανής ο ελικοειδής ηλεκτροκινητήρας SA37 της SEW-EURODRIVE τοποθετημένος κατακόρυφα για καλύτερη αξιοποίηση του χώρου.



Εικόνα 3.14 Μεταλλικός σκελετός βάσης

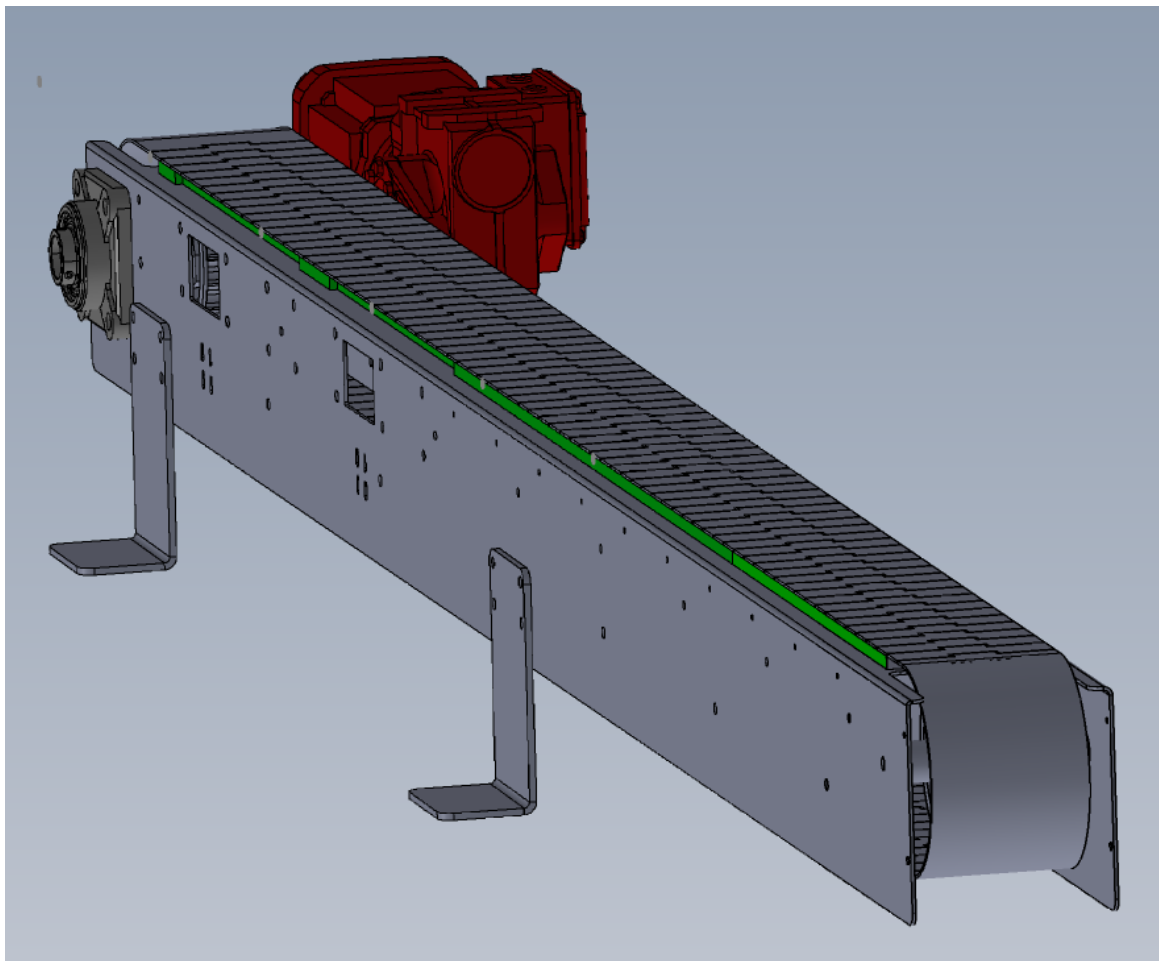
Οι οδοντωτοί τροχοί προσαρμοσμένοι ο καθένας σε μια άτρακτο όπως της Εικόνας 3.11 με σκοπό την κίνηση της μεταφορικής ταινίας.



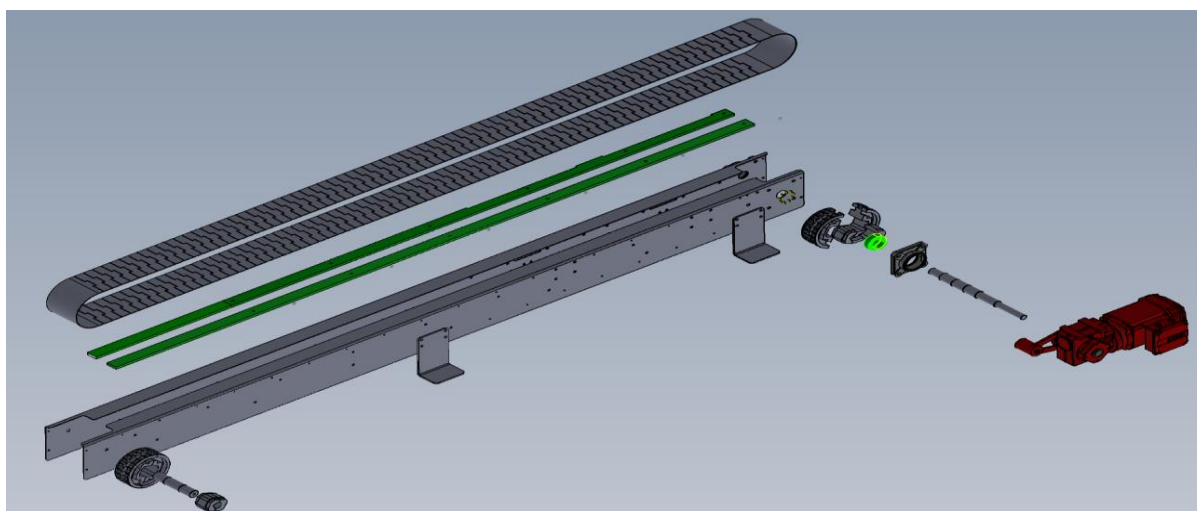
Εικόνα 3.15 Οδοντωτοί τροχοί και Μηχανισμός πρόσδεσης

3.4.3.2 Διαδρομή δρομολόγησης προϊόντων

Η μεταφορά του συσκευασμένου προϊόντος, δηλαδή των κυπέλλων πραγματοποιείται από μία διάταξη μεταφορικής ταινίας, παρόμοιας με αυτής των χαρτοκιβωτίων. Ο μεταλλικός σκελετός φέρει σχεδόν τα ίδια επιμέρους τμήματα όπως τον ηλεκτροκινητήρα, άξονες, ζώνη μεταφοράς κλπ.



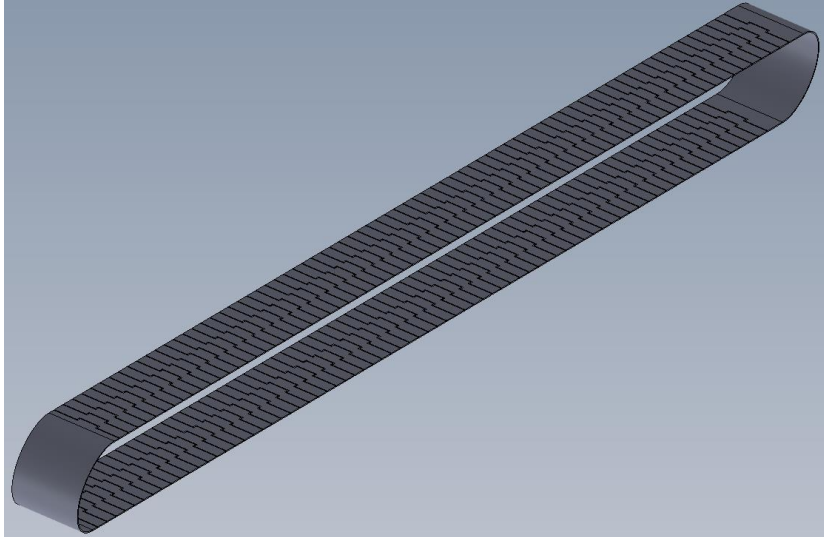
Εικόνα 3.16 Διαδρομή δρομολόγησης προϊόντων-κυπέλλων



Εικόνα 3.17 Διαδρομή δρομολόγησης προϊόντων-κυπέλλων σε exploded view.

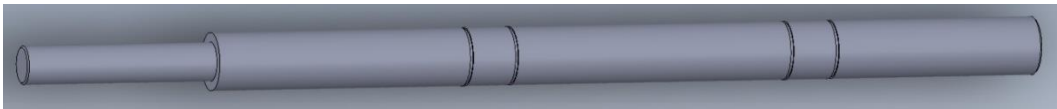
Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζονται τα διάφορα δομικά τμήματα:

1. Η Μεταφορική Ταινία των κυπέλλων είναι επιλεγμένη κατάλληλα για την ανάλογη εφαρμογή, δίνοντας σημασία στην στατική τριβή κατά την επαφή του υλικού της ταινίας με το αντικείμενο-προϊόν δρομολόγησης. Επίσης λαμβάνεται υπόψιν η πιθανή φθορά λόγω χρήσης.



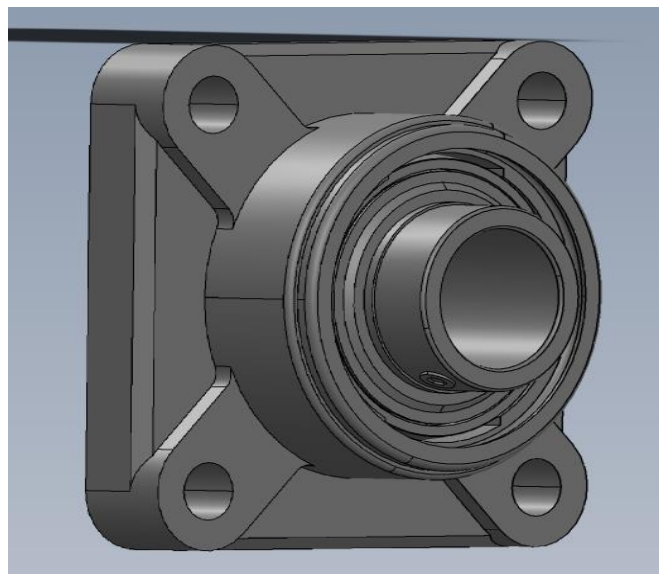
Εικόνα 3.18 Μεταφορική ταινία κυπέλλων

2. Ο Άξονας μεταδίδει την κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα στην μεταφορική ταινία με την βοήθεια γραναζιών που προσδένουν στις κατάλληλες υποδοχές όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.11.



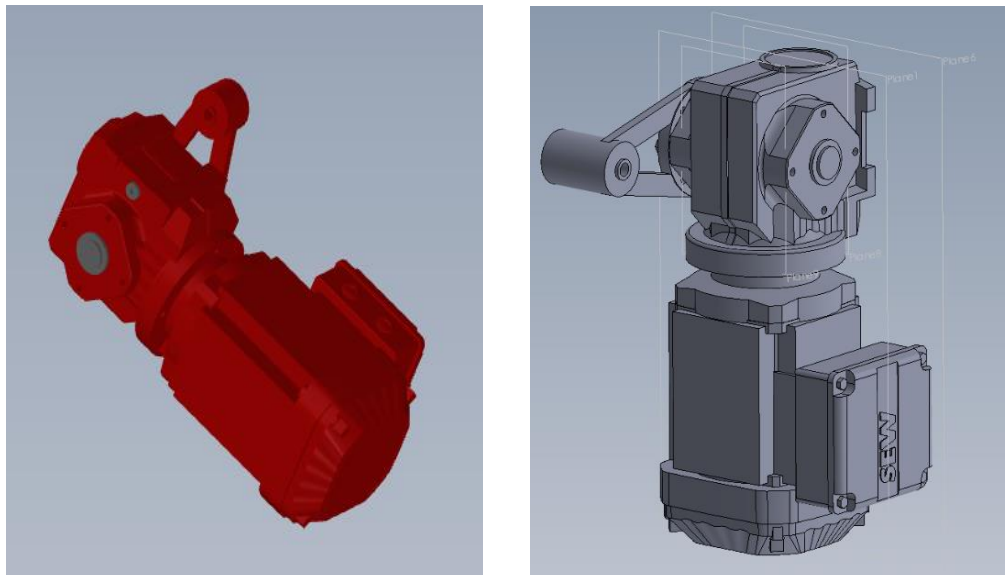
Εικόνα 3.19 Άτρακτος-Άξονας περιστροφής των παρακάτω γραναζιών.

3. Ρουλεμάν με τετράγωνη φλάντζα στήριξης με εκτεταμένο εσωτερικό δακτύλιο. Τοποθετείται σε ζεύγος ενδιάμεσα του κινητήρα και της ατράκτου.



Εικόνα 3.20 Ρουλεμάν φλάντζας

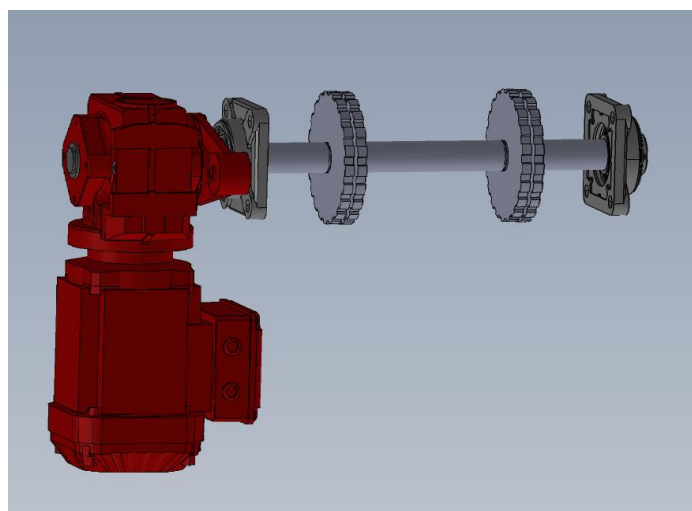
4. Ελικοειδής Κινητήρας SA37. Η επιλογή των ηλεκτροκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος γίνεται με γνώμονα την αξιοπιστία τους σε θέματα ανθεκτικότητας και χαμηλής ανάγκης συντήρησης καθώς τόσο η δυσλειτουργία τους όσο και η επισκευή ή η αντικατάστασή τους σημαίνει στάση εργασιών για την μηχανή και ελάττωση της συνολικής παραγωγικής δυναμικότητας της εκάστοτε βιομηχανίας.



Εικόνα 3.23 Ελικοειδής Κινητήρας SA37σειράς S της SEW-EURODRIVE

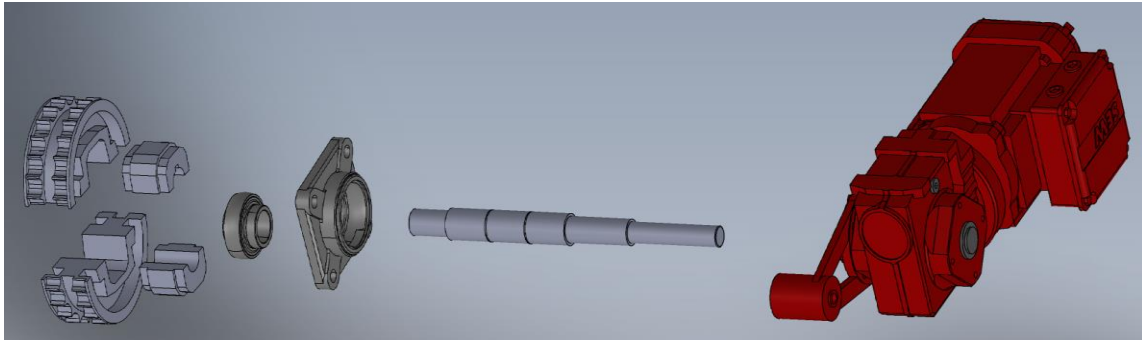
Χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα SA37:

Μέγεθος: 37
Τοποθέτηση/mounting style: Κοίλος άξονας
Σχέση μείωσης μειωτήρα μετάδοσης: 6.80 - 288.00
Ροπή εξόδου: 43 - 4,000 Nm
Εύρος ισχύος κινητήρα: 0.12 - 22 kW
Οφέλη: Οικονομική λειτουργία Χαμηλός θόρυβος Υψηλά επιτρεπόμενα υπερκερασμένα φορτία



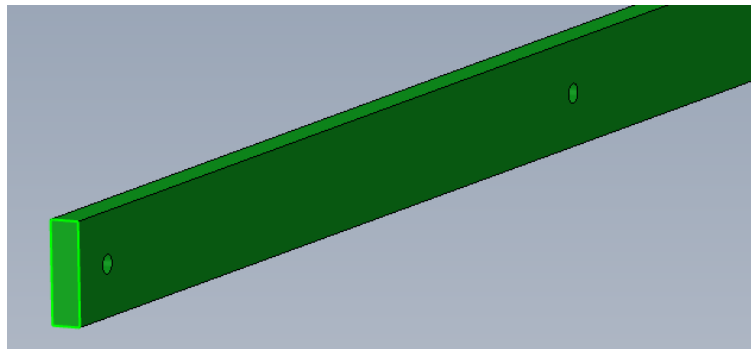
Εικόνα 3.21 Πρόσδεση κινητήρα

Στην Εικόνα 3.22 παρουσιάζεται, η πρόσδεση του κινητήρα που επιτυγχάνεται από τα εξής μηχανικά στοιχεία: Γρανάζι-Άξονας -Ρουλεμάν -Φλάτζα.

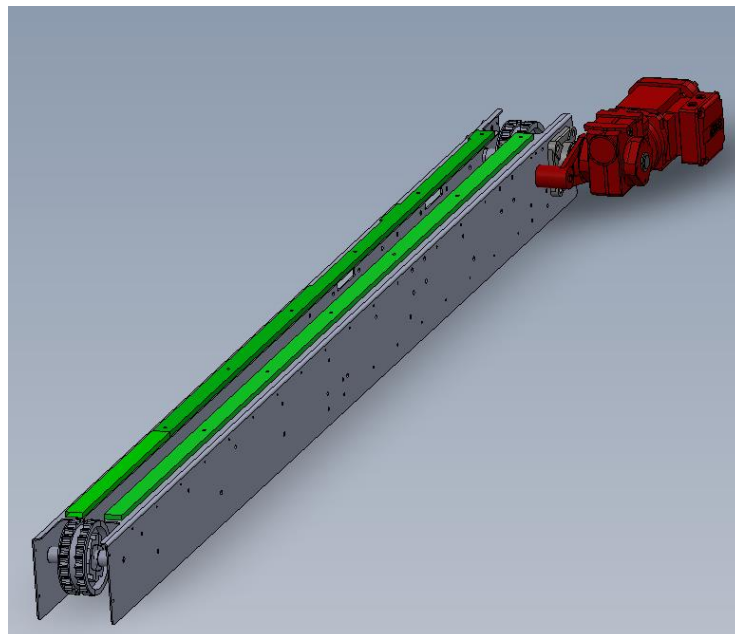


Εικόνα 3.22 Πρόσδεση κινητήρα σε exploded view

5. Οι πλαστικές πλατφόρμες που είναι προσδεμένες στην επιφάνεια της μεταφορικής ταινίας αποτρέπουν την τριβή με την μεταλλική κατασκευή και επιτρέπουν την ομαλή ολίσθηση δίχως φθορές.

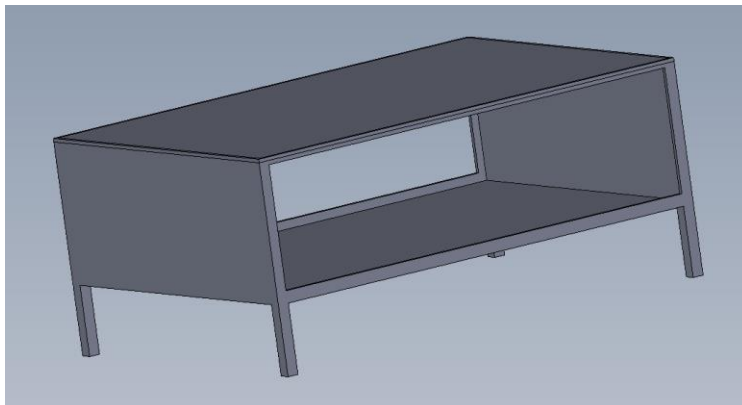


Εικόνα 3.24 Πλαστικές πλατφόρμες



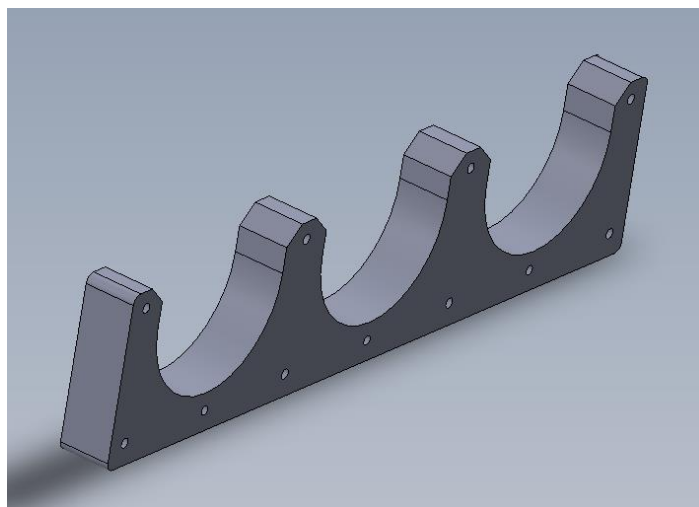
Εικόνα 3.25 Βάση δρομολόγησης προϊόντων-κυπέλλων χωρίς ζώνη μεταφοράς

6. Το μεταλλικό τραπέζι από ανοξείδωτο ατσάλι αποτελεί τη βάση στην οποία προσδένονται οι μεταφορικές ταινίες και ο ρομποτικός βραχίονας. Ο κενός χώρος κάτω από την επιφάνεια του τραπεζιού προορίζεται για την τοποθέτηση κρίσιμων στοιχείων, όπως η κεντρική μονάδα του ρομπότ (controller), το PLC και μέρος του πνευματικού συστήματος. Επιπλέον, το τραπέζι υποστηρίζει διάφορα χειριστήρια και ενδείξεις, συμπεριλαμβανομένων διακοπών χειρισμού παύσης και επανέναρξης, ενδεικτικών λαμπών, φάρου σήμανσης λειτουργίας και πίνακα ελέγχου. Λόγω της πολυπλοκότητας αυτών των στοιχείων, δεν ήταν δυνατό να σχεδιαστούν λεπτομερώς στο τελικό μοντέλο.



Εικόνα 3.26 Μεταλλικό τραπέζι

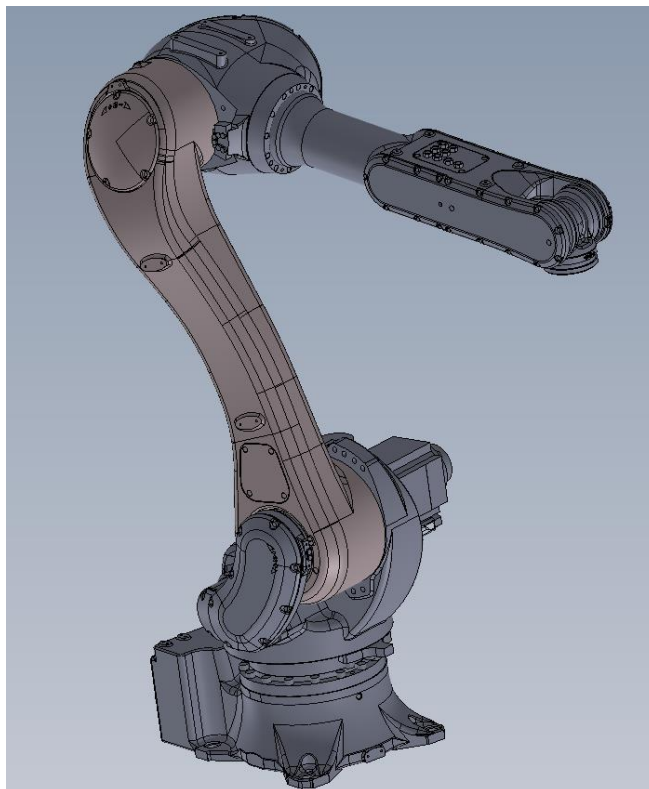
7. Εξάρτημα στοίχισης κυπέλλων στο σημείο φόρτωσης.
Η φόρτωση των κυπέλλων στην αρπάγη αποτελεί ένα δύσκολο πρόβλημα διότι η προσέγγιση της αρπάγης στα τεμάχια πρέπει να γίνεται με υψηλή ακρίβεια και εστίαση. Παρότι το εξάρτημα στοίχισης κυπέλλων στο σημείο φόρτωσης (Νούμερο 7) σχεδιάστηκε και θεωρήθηκε απαραίτητο για την πλήρη λειτουργικότητα της μηχανής, δεν τοποθετήθηκε στο τελικό μοντέλο λόγω περιορισμένων δυνατοτήτων κατά τη σχεδίαση. Το εξάρτημα αυτό είναι κρίσιμο για τη σωστή φόρτωση των κυπέλλων στην αρπάγη, διασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια και εστίαση κατά την επανατοποθέτηση. Η σχεδιάσή του δείχνει τη δυνατότητα περαιτέρω βελτιώσεων και επέκτασης των δυνατοτήτων της μηχανής.



Εικόνα 3.27 Εξάρτημα στοίχισης κυπέλλων στο σημείο φόρτωσης

3.4.3.3 Ρομπότ Kawasaki RS020N

Ο συγκεκριμένος ρομποτικός βραχίονας είναι της σειράς R της εταιρίας Kawasaki (Εικόνα 3.28). Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το ρομπότ είναι τοποθετημένο και πακτωμένο επάνω στο τραπέζι βάσης της μηχανής εγκιβωτισμού με σκοπό την διευκόλυνση των ενεργειών που πραγματοποιεί στο επίπεδο των μεταφορικών ταινιών.

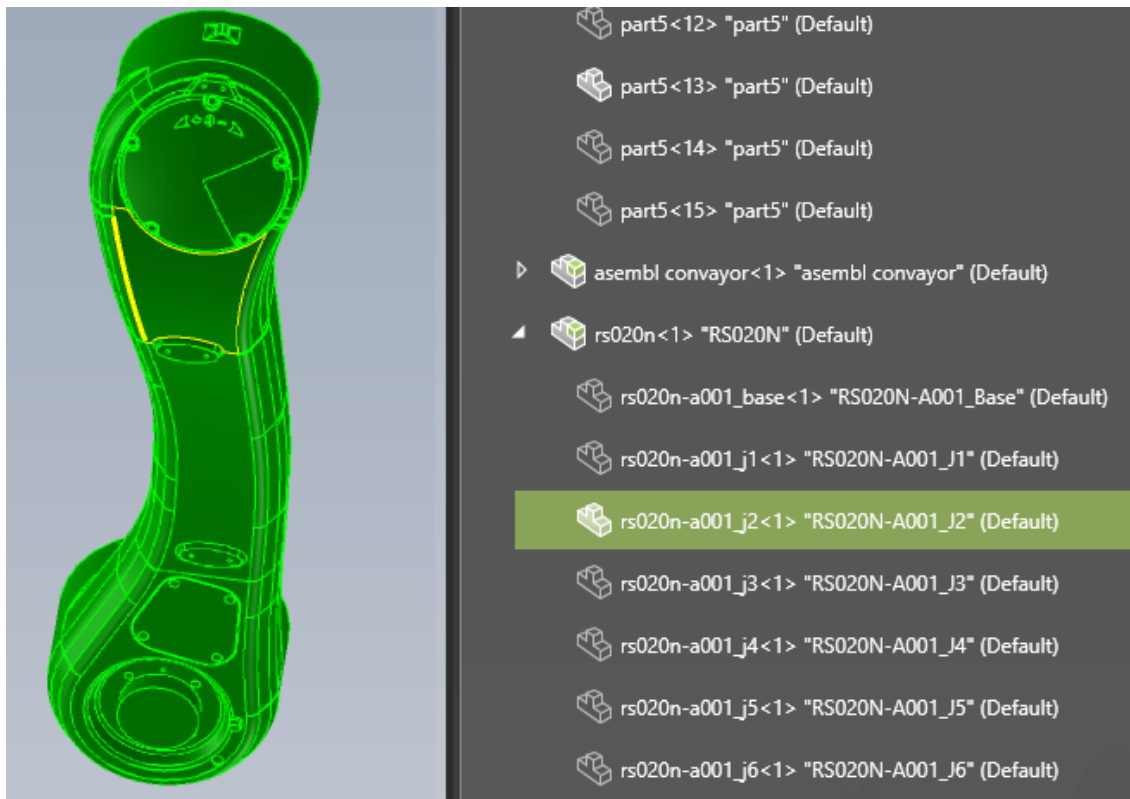


Εικόνα 3.28 Ρομπότ Kawasaki RS020N σε Solid Works

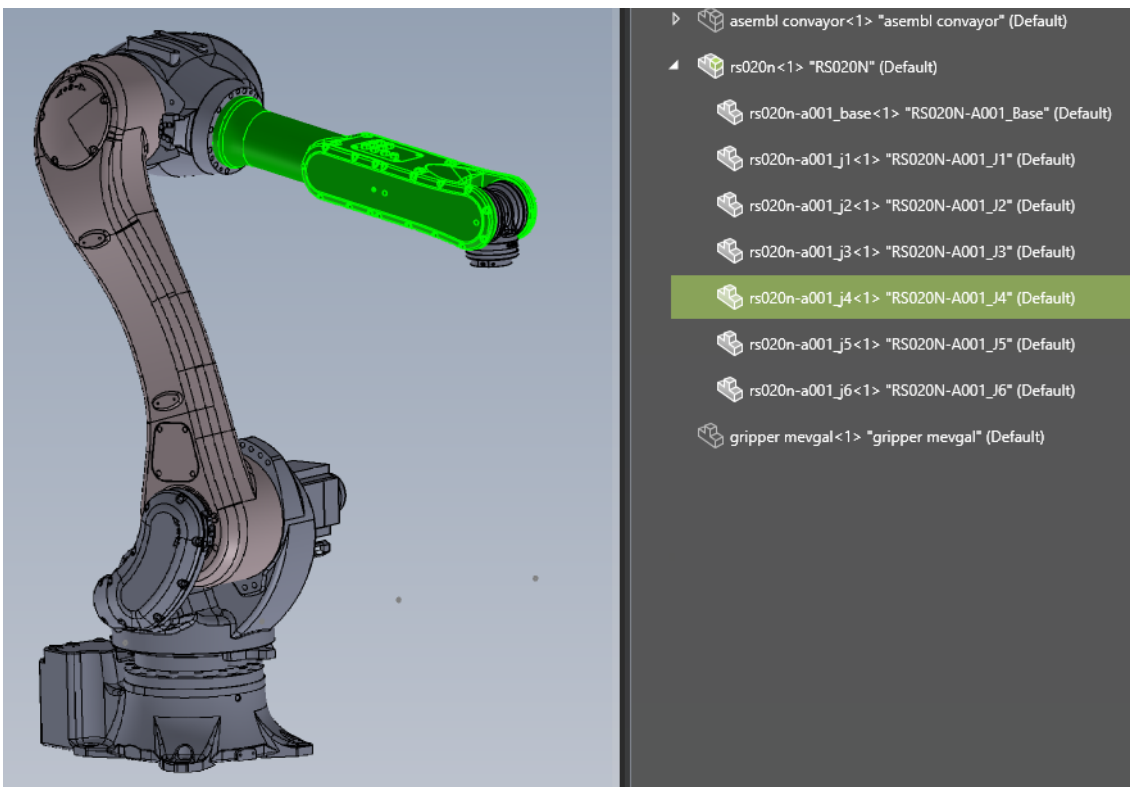
Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού βραχίονα είναι τα ακόλουθα:

Άξονες: 6 αρθρώσεις
Ωφέλιμο φορτίο: 20Kg
Μέγιστη εμβέλεια: 1725 mm
Κατηγορίας: Γενικών χρήσεων 3-80kg
Δυνατότητα τοποθέτησης : Δάπεδο, οροφή
Βάρος: 230Kg
Δυνατότητα σημάτων διεπαφής: 24 input και 24 output (interface)

Το τρισδιάστατο μοντέλο του ρομπότ ανακτήθηκε ως σχέδιο CAD αρχείου DXF, από την επίσημη ιστοσελίδα της Kawasaki, <https://kawasakirobotics.com/> [15]. Η διάταξη, αποτελείται από μια συναρμολόγηση (assembly) 6 τμημάτων (parts) και την βάση. Κάθε τμήμα αποτελείται από κάθε σύνδεσμο μαζί με την προηγούμενη εκάστοτε άρθρωση. Ενδεικτικό παράδειγμα για την περίπτωση του 4^{ου} συνδέσμου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.30.



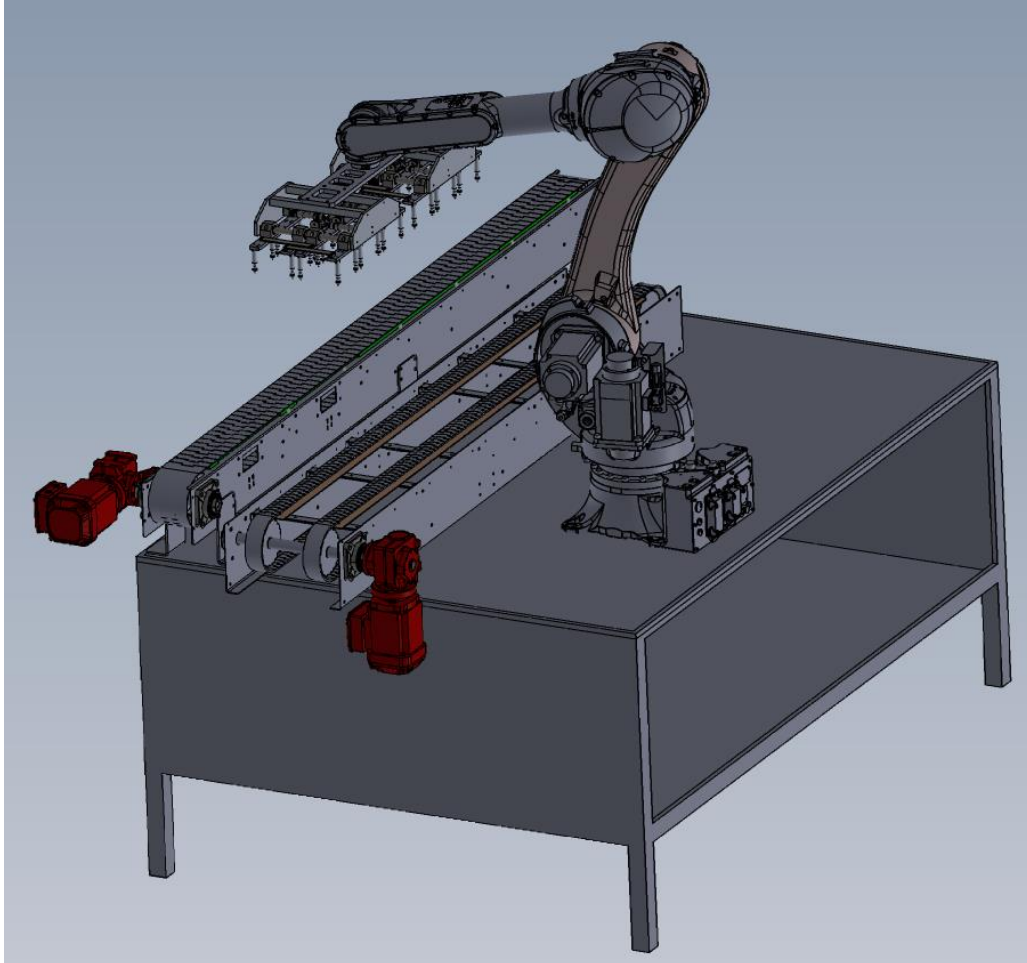
Εικόνα 3.29 Part J2(Joint 2)



Εικόνα 3.30 Part J4(Joint 4)

3.4.4 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟΥ

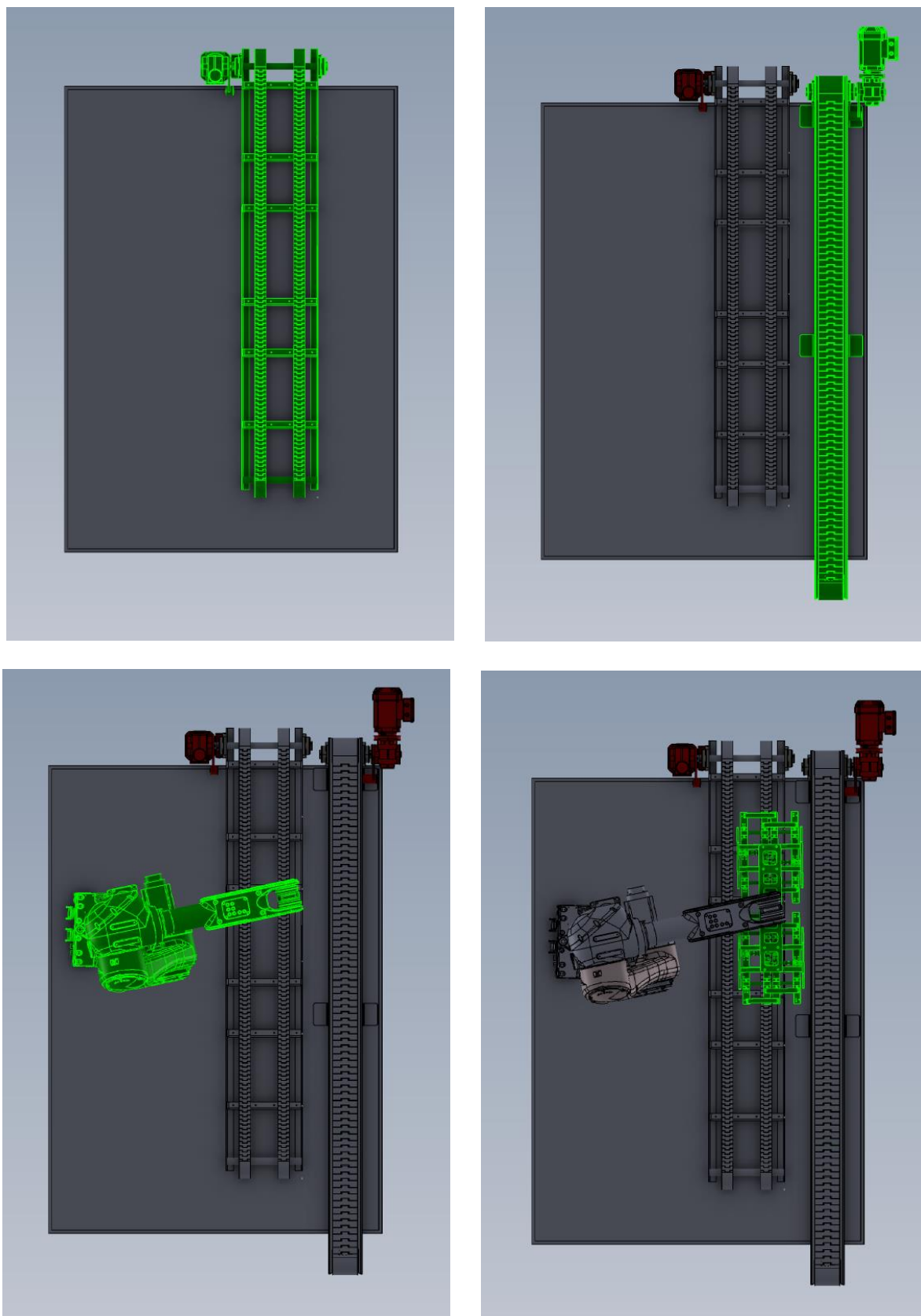
Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού όλων των parts ακολουθεί η συναρμολόγηση χαμηλής πολυπλοκότητας καθώς τα κυρίως δομικά στοιχεία είναι πλέον οι δύο μεταφορικές διαδρομές, το ρομπότ RS20N και το μεταλλικό τραπέζι.



Εικόνα 3.31 Τρισδιάστατη απεικόνιση συναρμολογημένης μηχανής εγκιβωτισμού

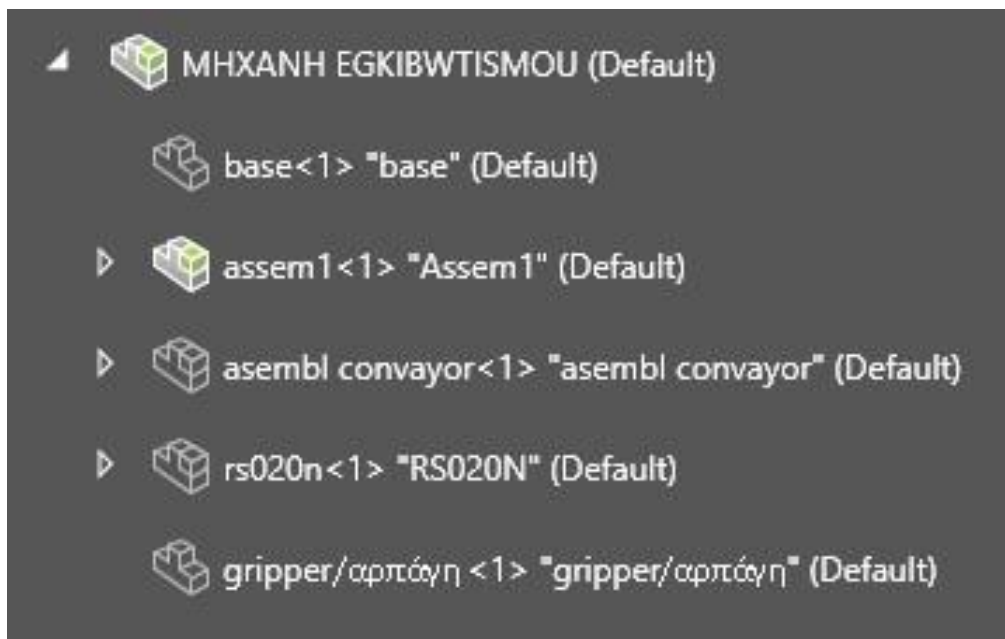
Παρατηρούμε ότι η διαδρομή των χαρτοκιβωτίων (διπλή μεταφορική ταινία) τοποθετείται σε ύψος χαμηλότερο εν σχέση με της πρώτης. Αυτό έχει σχεδιαστεί, με σκοπό την ομαλή και εύρυθμη λειτουργία του βραχίονα, καθώς κινείται στην διεύθυνση των δύο διαδρομών.

Θέτοντας τις κατάλληλες διευθετήσεις (arrangements) τοποθετείται το κάθε τμήμα στην εκάστοτε γεωμετρική του θέση πάνω στο τραπέζι όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.32.

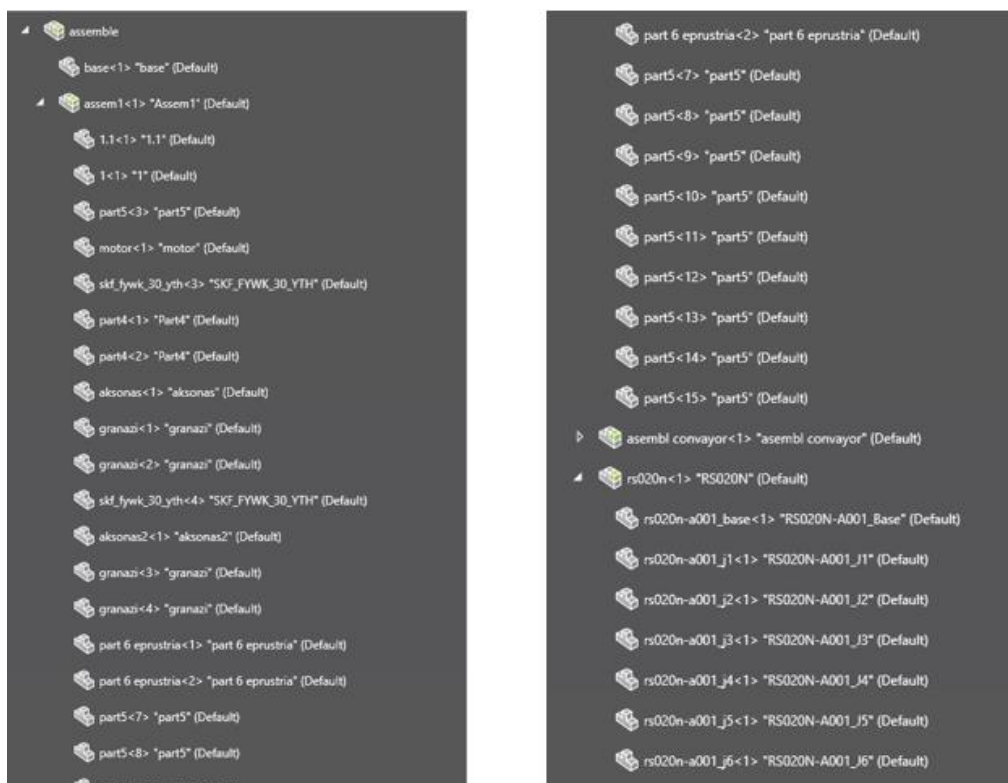


Εικόνα 3.32 Τοποθετήσεις των 4 τμημάτων

Στις Εικόνες 3.33 και 3.34 παρουσιάζονται τα κυρίως τμήματα και τα λοιπά εξαρτήματα που έχουν ήδη αναλυθεί στις προηγούμενες παραγράφους.

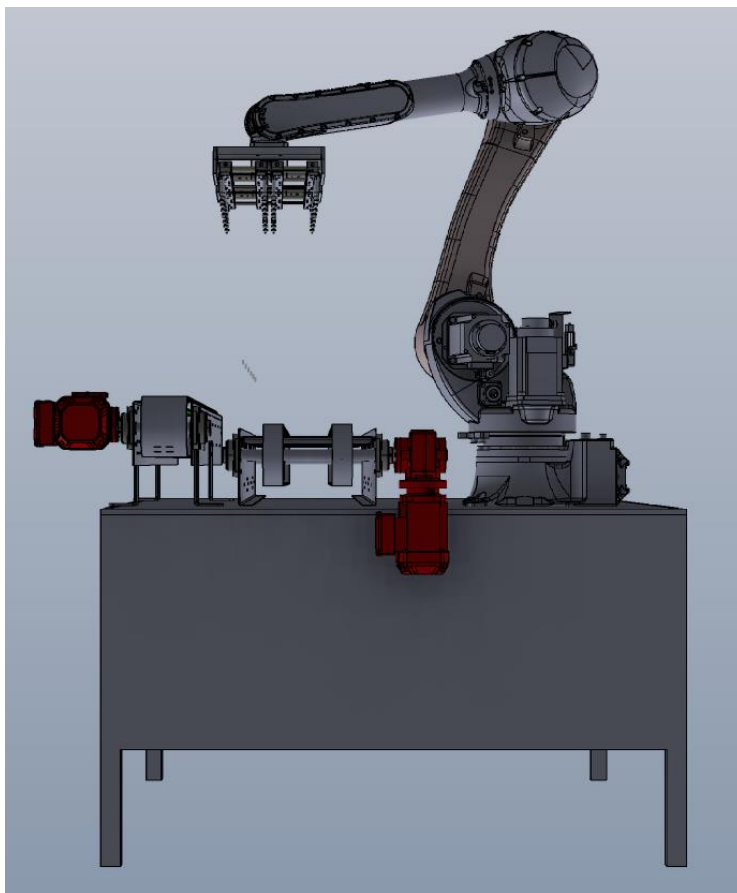


Εικόνα 3.33 Main Components of the assembly

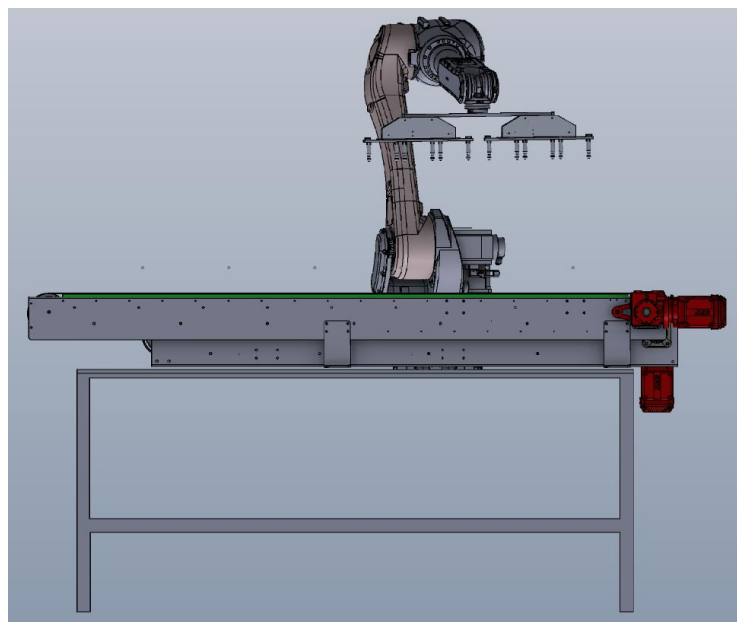


Εικόνα 3.34 Εξαρτήματα της συναρμολόγησης

Το τελικό αποτέλεσμα της συναρμολόγησης παρουσιάζεται στις Εικόνες 3.35 και 3.36.



Εικόνα 3.35 Δεξιά Πλάγια Όψη



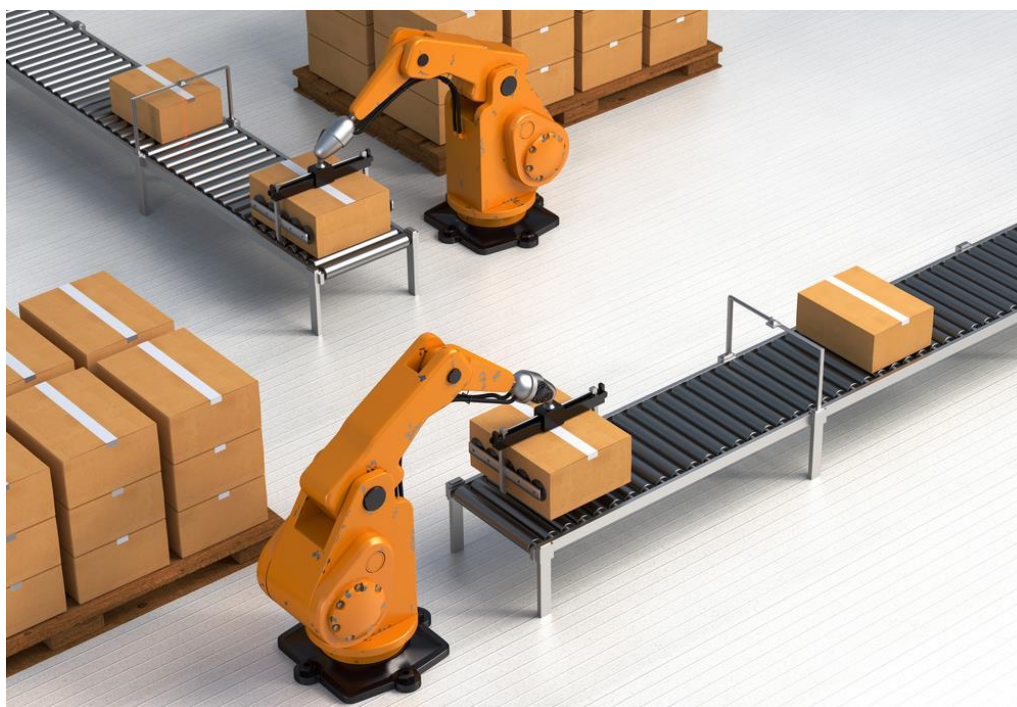
Εικόνα 3.36 Πρόσωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της παλετοποίησης είναι η μεθοδική στοίβαξη μιας ποσότητας προϊόντων με συγκεκριμένη διάταξη σε παλέτα. Αποτελεί μία ευέλικτη διαδικασία καθώς εφαρμόζεται σε πληθώρα προϊόντων όπως χαρτοκιβώτια, σακιά, μπουκάλια και οτιδήποτε δύναται να φορτωθεί ομοιόμορφα και με ακρίβεια σε παλέτα μεταφοράς. Οι παλέτες ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος διακρίνονται σε ομογενή και ετερογενή, για παράδειγμα μία παλέτα που φέρει δύο ή παραπάνω διαφορετικού είδους προϊόντος χαρακτηρίζεται ετερογενής. Επίσης η διαδικασία αναλόγως την εφαρμογή διακρίνεται σε διαδοχική ή παράλληλη. Συνήθως προϊόντα χαμηλής ευθραυστότητας φορτώνονται διαδοχικά σε μία παλέτα την φορά. Η διαδικασία πραγματοποιείται ευρέως στην βιομηχανία από αρθρωτά ρομπότ ή αλλιώς ρομποτικούς βραχίονες λόγω των υψηλών ταχυτήτων, της ακρίβειας κατά την τοποθέτηση και της ακτίνας στον χώρο που λειτουργούν. Μια ενδεικτική διάταξη παλετοποίησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1.



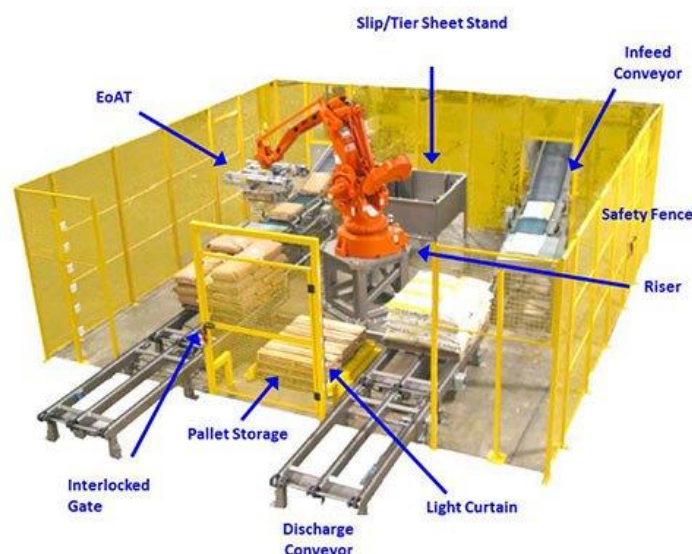
Εικόνα 4.1 Μοντέλο Παλετοποίησης της εταιρίας IGPS [16]

4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

- 1) **Μειωμένο λειτουργικό κόστος:** Λειτουργούν αδιάλειπτα με γνώμονα τον περιορισμό των σφαλμάτων και την αύξηση της απόδοσης λόγω των υψηλών ταχυτήτων.
- 2) **Εξοικονόμηση χώρου:** Οι ρομποτικοί βραχίονες καταλαμβάνουν συνήθως λιγότερο χώρο από τα περισσότερα συμβατικά συστήματα που βασίζονται σε μεταφορείς. Συνεπώς είναι συμφέρουσα η εφαρμογή τους σε εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας όπου ο χώρος είναι περιορισμένος.
- 3) **Ευελιξία Παραγωγής:** Η αρθρωτή τους διάταξη επιτρέπει την τοποθέτησή τους ακόμα και στην περίπτωση μικρών χώρων ή ακόμα και στην οροφή. Ακόμα μέσω του επαναπρογραμματισμού τους, φέρουν εις πέρας πληθώρα εφαρμογών. Τέλος σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ένα σύστημα πολλαπλών βραχιόνων δύναται να μειώσει ραγδαία τους χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών.
- 4) **Ευκολία ενσωμάτωσης:** Λόγω αυτονομίας οι ρομποτικοί βραχίονες παλετοποίησης, δύναται να προστεθούν σε μια γραμμή παραγωγής χωρίς να παρεμβάλουν στην υπάρχουσα παραγωγική ροή άλλων εργασιών. Αντιθέτως η προσθήκη τους ανοίγει σταδιακά τον δρόμο στην προσάρτηση και άλλων καινοτομιών όπως τα αυτόνομα καθοδηγούμενα οχήματα (AGV) που δυνητικά μπορούν να εξυπηρετήσουν νεοσύστατες γραμμές παραγωγής. Οι εταιρείες έτσι μπορούν να ξεκινήσουν πιλοτικά να δοκιμάζουν νέα προϊόντα, συσκευασίες και μοντέλα εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ συνεχίζουν τις υπάρχουσες σειρές προϊόντων και εξυπηρετούν υπάρχοντες πελάτες.
- 5) **Άμεση συνεισφορά στην ασφάλεια εργασίας:** Διάφοροι κίνδυνοι και εργονομικά ζητήματα εξαλείφονται στο περιβάλλον των εργαζομένων αφού οι αυτόματες διαδικασίες προβλέπουν την ασφαλή λειτουργία και ολοκλήρωση των διαφόρων εργασιών.

Μια ενδεικτική διάταξη παλετοποίησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2.

PARTS OF A ROBOTIC PALLETIZER



Εικόνα 4.2 Εξαρτήματα ρομποτικού παλετοποιητή [17]

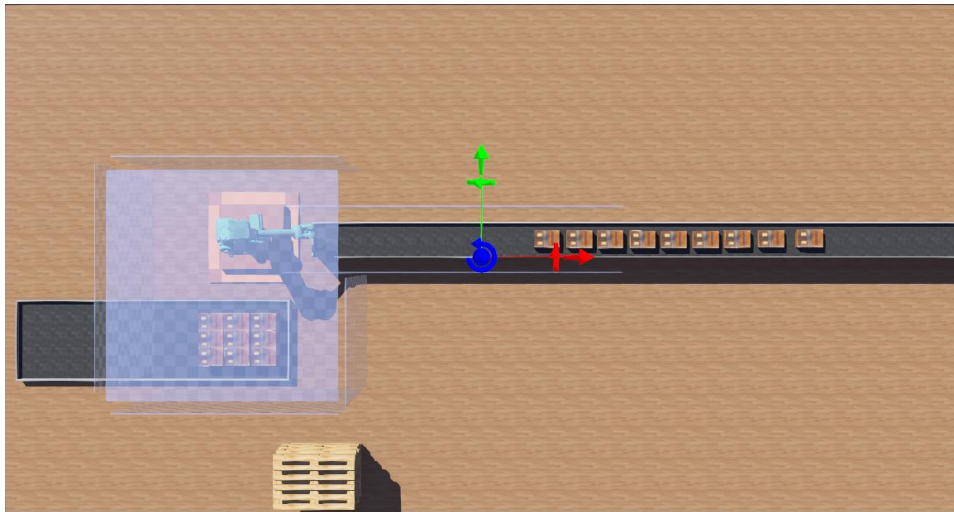
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΟ WEBOTS

Το Webots είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open source) που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ρομπότ. Παρέχει ένα πλήρες περιβάλλον ανάπτυξης για τη μοντελοποίηση, τον προγραμματισμό και την προσομοίωση ρομπότ [18]. Στο πρόγραμμα αυτό αναπτύχθηκε η προσομοίωση του τρίτου σταδίου της γραμμής παραγωγής όπου εκτελείται σε πραγματικό χρόνο η διαδικασία της παλετοποίησης.

4.3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

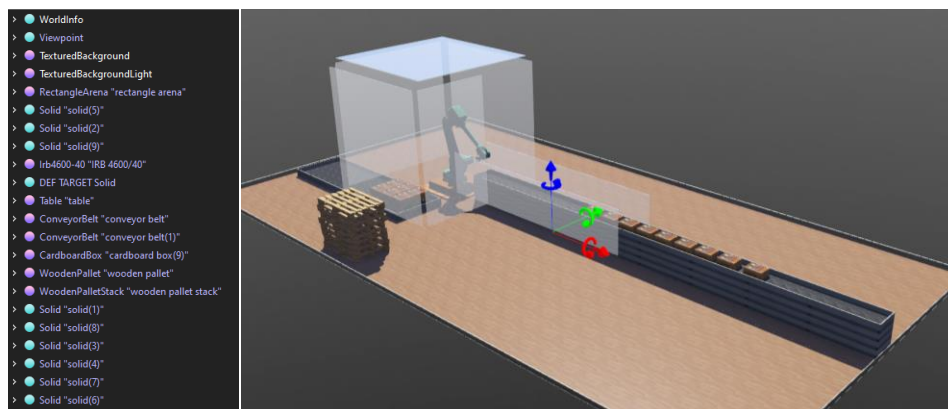
Στην Εικόνα 4.3 διακρίνονται τα στοιχεία που εισάχθηκαν στον περιβάλλοντα χώρο :

1. Το ρομπότ 6 βαθμών ελευθερίας (6DOF) ABB IRB 4600/40 με ωφέλιμο φορτίο έως 40 κιλά, πακτωμένο σε μία βάση .
2. Μεταφορικές ταινίες που με την κίνησή τους τροφοδοτούν την διαδικασία.
3. Ευρωπαϊκού τύπου παλέτες διαστάσεων 800x1200.
4. Συγκεκριμένο πλήθος χαρτοκιβωτίων (9 κομμάτια) των 6 κιλών.
5. Περίφραξη προστασίας.



Εικόνα 4.3 Κάτοψη του περιβάλλοντος χώρου προσομοίωσης λειτουργίας

Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η προσομοιωμένη γραμμή καθώς και η δενδρική δομή που περιέχει τους κόμβους της προσομοίωσης.



Εικόνα 4.4 Πίνακας Περιεχομένων και Περιβάλλον προσομοίωσης λειτουργίας

4.3.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ

Τα βιομηχανικά ρομπότ ενεργοποιούνται από ελεγκτές, οι οποίοι τα προγραμματίζουν για συγκεκριμένες λειτουργίες, ελέγχουν τη λειτουργία τους και στέλνουν τις απαραίτητες εξόδους ώστε να ενημερώνεται ο χρήστης για το αποτέλεσμα των ενεργειών που εκτελούνται. Επιτρέπουν επίσης τον επαναπρογραμματισμό μέσω επιτόπιων ρυθμίσεων, ευνοώντας την ευελιξία παραγωγής. Για τον έλεγχο της λειτουργίας του βραχίονα σε αυτήν τη συγκεκριμένη προσομοίωση, ήταν απαραίτητη η εγγραφή του κώδικα σε γλώσσα Python, η οποία είναι υπεύθυνη για όλες τις ενέργειες που πραγματοποιεί το ρομπότ.

4.3.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

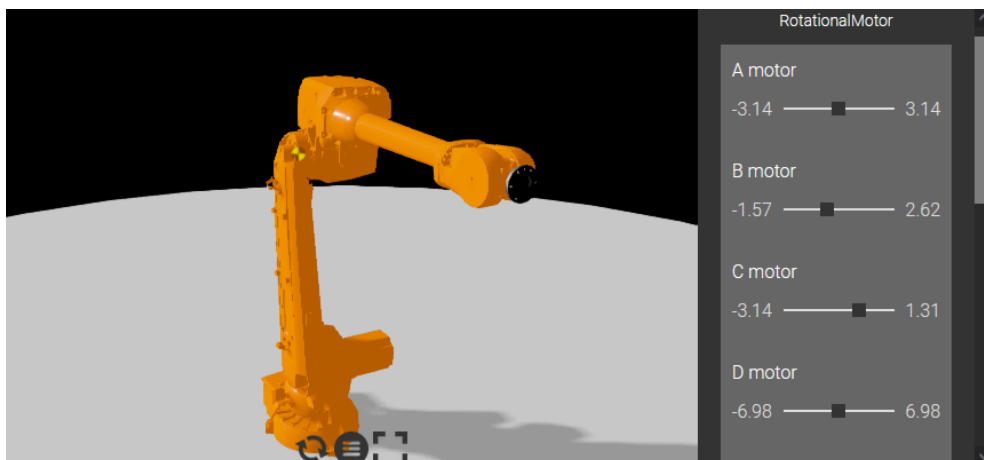
Το πρόγραμμά μας χρησιμοποιεί επίσης τη βιβλιοθήκη της python Ikpy (inverse kinematics Library) [20] όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5, στην γραμμή 22 του κώδικα εισάγουμε από την ikpy το δομοστοιχείο (module) chain, που ενεργοποιεί και ελέγχει κάθε έναν από τους 6 κινητήρες του ρομπότ που βρίσκονται στις αρθρώσεις του.

```

1 # Copyright 1996-2023 Cyberbotics Ltd.
2 #
3 # Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
4 # you may not use this file except in compliance with the License.
5 # You may obtain a copy of the License at
6 #
7 #     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
8 #
9 # Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
10 # distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
11 # WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
12 # See the License for the specific language governing permissions and
13 # limitations under the License.
14
15 """Demonstration of inverse kinematics using the "ikpy" Python module."""
16
17
18 import sys
19 import tempfile
20 try:
21     import ikpy
22     from ikpy.chain import Chain
23 except ImportError:
24     sys.exit('The "ikpy" Python module is not installed. '
25             'To run this sample, please upgrade "pip" and install ikpy with this command: "pip install ikpy"')
26
27 import math
28 from controller import Supervisor, VacuumGripper, DistanceSensor
29
30 if ikpy.__version__[0] < '3':
31     sys.exit('The "ikpy" Python module version is too old. '
32             'Please upgrade "ikpy" Python module to version "3.0" or newer with this command: "pip install --upgrade ikpy"')
33
34 IKPY_MAX_ITERATIONS = 4

```

Εικόνα 4.5 Αντίστροφη Κινηματική (ikpy) και Arm chain



Εικόνα 4.6 Κινητήρες ρομπότ [19]

4.3.3 ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ / INITIALIZATION ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Για την αρχικοποίηση του βραχίονα, εκτός από την τρισδιάστατη αναπαράσταση του ρομπότ, είναι απαραίτητο να εισάγουμε και το αρχείο URDF (Unified Robot Description Format). Το URDF ορίζει τις γεωμετρικές και φυσικές ιδιότητες του ρομπότ, οι οποίες περιλαμβάνουν τους συνδέσμους, τις αρθρώσεις, τους αισθητήρες σύγκρουσης και οπτικής, κ.ά. Όπως φαίνεται στη γραμμή κώδικα 40 της Εικόνας 4.7, ήταν απαραίτητη η μετατροπή του αρχείου URDF σε μορφή κατάλληλη για τη χρήση του από το πρόγραμμα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία ενός προσωρινού αρχείου στο οποίο εγγράφονται τα δεδομένα του URDF, και το όνομα του αρχείου αποθηκεύεται στη συνέχεια ως μεταβλητή.

```

40 # Create the arm chain from the URDF
41 filename = None
42 with tempfile.NamedTemporaryFile(suffix='.urdf', delete=False) as file:
43     filename = file.name
44     file.write(supervisor.getUrdf().encode('utf-8'))
45
46 armChain = Chain.from_urdf_file(filename, active_links_mask=[False, True, True, True, True, False, False, False])
47 print(armChain.links)
48 # Initialize the arm motors and encoders.
49 motors = []
50 for link in armChain.links:
51     if 'motor' in link.name:
52         motor = supervisor.getDevice(link.name)
53         motor.setVelocity(1.0)
54         position_sensor = motor.getPositionSensor()
55         position_sensor.enable(timeStep)
56         motors.append(motor)

```

Εικόνα 4.7 Αρχικοποίηση κινητήρων

Είναι επίσης απαραίτητο να ορίσουμε στις μεταβλητές τις αρχικές θέσεις των κινητήρων του ρομπότ αλλά και του σημείου Target-Position ώστε ο ελεγκτής να δέχεται σε κάθε βήμα (Time-Step) τις διάφορες θέσεις από ένα σχετικό σύστημα συντεταγμένων στον χώρο. Στην γραμμή 46 ενεργοποιούμε τους επιθυμητούς κινητήρες του ρομπότ. Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός σχετικών συντεταγμένων με σημείο αναφοράς την διαφορά θέσεων βραχίονα-target.

```

# Get the absolute position of the target and the arm base.
armPosition = arm.getPosition()

# Compute the position of the target relatively to the arm.
# define positions outside of while loop and rotate between them - the definitions here are re-implemented every TIME_STEP
# x and y axis are inverted because the arm is not aligned with the Webots global axes.
x = targetPosition[0] - armPosition[0]
y = targetPosition[1] - armPosition[1]
z = targetPosition[2] - armPosition[2]

```

Εικόνα 4.8 Υπολογισμός του Σημείου Target-Position σε σχέση με τις συντεταγμένες του βραχίονα

4.3.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΥΧΝΕΥΣΗΣ

Στην αρπάγη τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας απόστασης ο οποίος, όσο είναι ενεργός, ελέγχει εάν η απόσταση του κοντινότερου εμποδίου είναι μικρότερη από τιμή που ορίσαμε εμείς ως τιμή ευαισθησίας. Με την άφιξη κάθε χαρτοκιβωτίου στο σημείο 'pick' ο αισθητήρας απόστασης πληροφορεί ότι βρέθηκε εμπόδιο.

Την χρονική στιγμή που ταυτόχρονα:

α) βρίσκεται κουτί κάτω από την κεφαλή του βραχίονα και

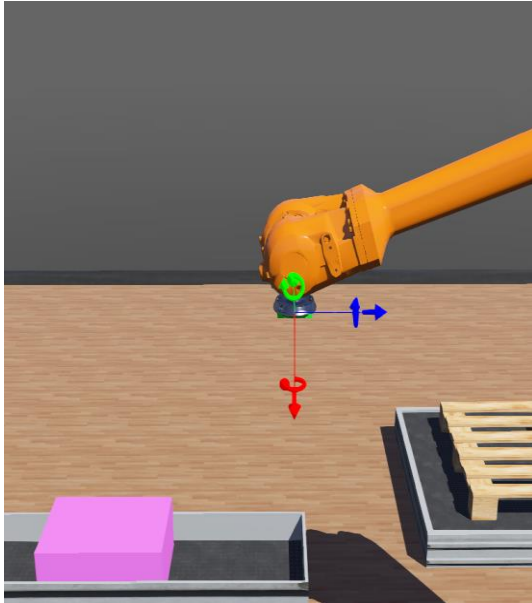
β) ο βραχίονας βρίσκεται στην θέση pickwait

δίνονται οι εντολές :

α) απενεργοποίηση του αισθητήρα ανίχνευσης

β) ενεργοποίηση της αρπάγης

Αν στην συνέχεια έχει πιάσει κουτί τότε θα το τοποθετήσει στην κατάλληλη θέση. Αν όχι τότε θα περιμένει για άφιξη.



```
# #if ds.Laser is enabled check for boxes and enable gripper
if not ds.getSamplingPeriod() == 0:
    print(ds.getValue())
    #disable ds laser when box is detected
    if (ds.getValue()) < 6400.0 and (ds.getValue()) != 0:
        count_start = True
        print("BOX DETECTED", ds.getValue(), "targetPos:", targetPosition)

    ds.disable()
    targetPosition = PICK_POSITION
    print("PickPos:", PICK_POSITION)
    print("NewTarget:", targetPosition)
    gripper.turnOn()

#check if the gripper is attached to a box or not
if gripper.isOn():
    if gripper.getPresence():
        if count == 10:
            print("LIFT BOX")
            targetPosition = BOX_GRABBED
            motors[5].setPosition(math.pi/2)

        if count == 30:
            targetPosition = placeRestPosition
            # targetPosition = placePosition
            # targetPosition[2] = targetPosition[2] + 2
            print("PLACE REST AT:", targetPosition)

        if count == 50:
            targetPosition = placePosition
            # targetPosition[2] = targetPosition[2] - 2
            print("PLACE AT:", targetPosition)

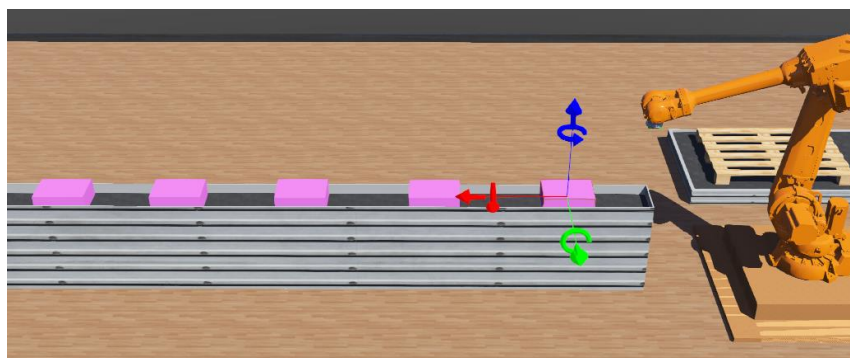
        if count == 70:
            gripper.turnOff()

    if count == 80:
        targetPosition[2] = 2
        print("LIFT ARM")
```

Εικόνα 4.9 Αισθητήρας Απόστασης

4.3.5 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ

Η ομαλή λειτουργία της διαδικασίας Pick and Place επιτυγχάνεται επίσης με την συγχρονισμένη συνεργασία βραχίονα – ζώνης μεταφοράς. Αναλυτικότερα έπειτα από δοκιμές και μελέτη των σφαλμάτων απαιτείται ο καθορισμός της ταχύτητας της ζώνης μεταφοράς καθώς και η απόσταση μεταξύ των κουτιών ώστε να μην έρθουν σε επαφή κατά την αναμονή τους για τοποθέτηση. Οι αφίξεις των κουτιών που προορίζονται για τοποθέτηση πρέπει να συγχρονίζονται με τις ενέργειες που εκτελεί ο βραχίονας.



Εικόνα 4.10 Αναμονή άφιξης

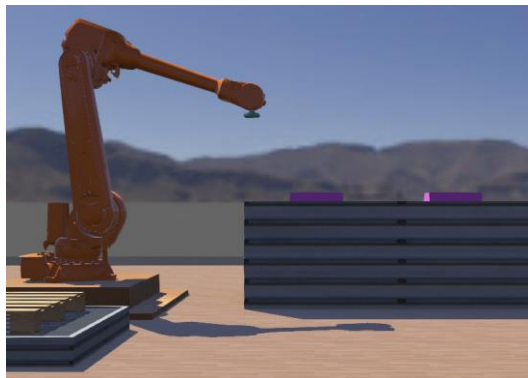
4.3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΛΕΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για την παλετοποίηση, ο ελεγκτής ακολουθεί μια διαδικασία pick and place. Η προσομοίωση ξεκινά με το ρομπότ να μεταβαίνει από τη θέση αρχικοποίησης (Initial Position) στη θέση ανάπαυσης (Rest Position) και να περιμένει την άφιξη του πρώτου χαρτοκιβωτίου.

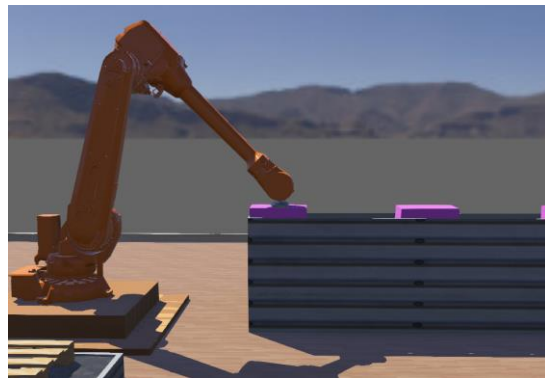
Όταν φτάσει το χαρτοκιβώτιο, ο αισθητήρας ενεργοποιεί την αρπάγη, ο βραχίονας μετακινείται στη θέση pick και κάνει attach. Στη συνέχεια, το ρομπότ σηκώνει το χαρτοκιβώτιο ελαφρώς ψηλότερα από τη θέση ανάπαυσης, στην βοηθητική θέση Pick-Rest. Έπειτα, μετακινείται στην βοηθητική θέση Place-Rest, η οποία βρίσκεται στον ίδιο προσανατολισμό με τη θέση Place αλλά σε ψηλότερο z. Αμέσως μετά, πηγαίνει στη θέση Place, όπου αφήνει το χαρτοκιβώτιο και επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι να συμπληρωθεί η παλέτα με 9 χαρτοκιβώτια, δηλαδή ένα layer. Τα βασικότερα βήματα είναι τα εξής:

1. Rest Position
2. Pick Position
3. Place Position
4. Repeat
5. Shut Down

Στις Εικόνες 4.11 έως 4.13 παρουσιάζονται τα στάδια της λειτουργίας, από το πρώτο κουτί που συμπληρώνεται στην παλέτα, έως της ολοκλήρωσης της προσομοίωσης:

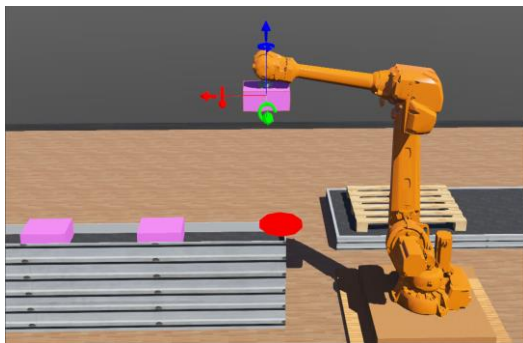


(α)

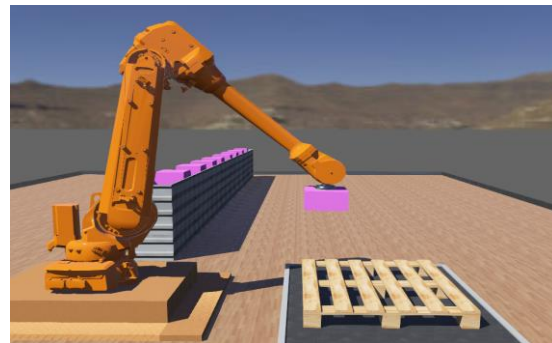


(β)

Εικόνα 4.11 (α) REST-POSITION (β) PICK-POSITION

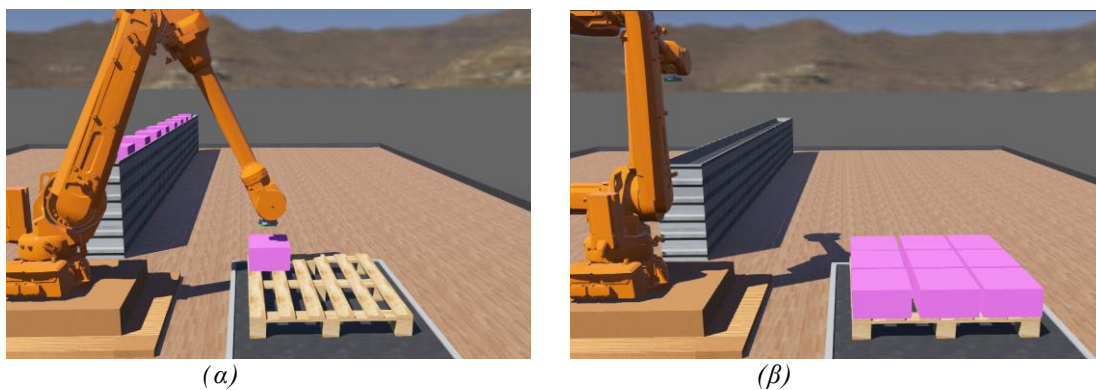


(α)



(β)

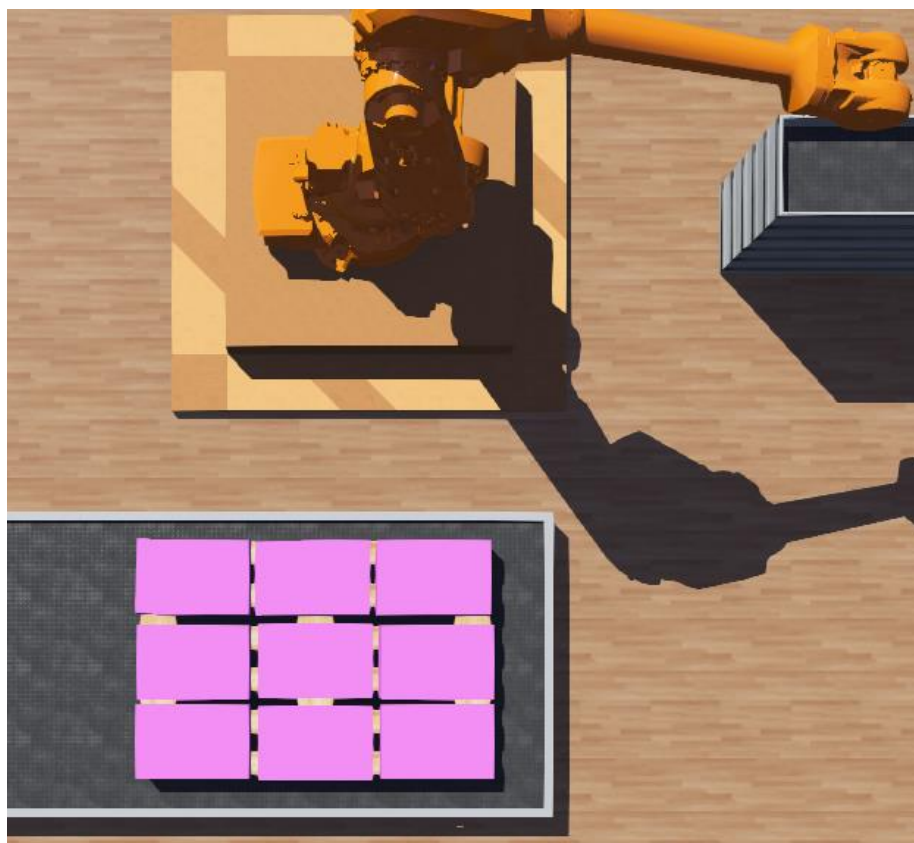
Εικόνα 4.12 (α) PICK-REST-POSITION (β) PLACE-REST-POSITION



Εικόνα 4.13 (α) *PLACE-POSITION* (β) *PALET-STACK1 COMPLETION*

4.3.7 PALLET STACKING -PALLET OPTIMIZATION

Η Βελτιστοποίηση στοίχισης επιτυγχάνεται με τον ορισμό των συντεταγμένων των θέσεων και του προσανατολισμού κάθε χαρτοκιβωτίου στην παλέτα. Στην Εικόνα 4.13 είναι εμφανές το μοτίβο της τοποθέτησης του πρώτου στρώματος.



Εικόνα 4.14 Ολοκλήρωση 1st layer

```

80 pickRestPosition = [1.29, -0.05, 1.4]
81 PICK_POSITION = [1.44, -0.048, 0.841]
82
83 BOX_GRABBED = [1.44, -0.048, 2]
84
85 # placeRestPosition_z = [1.32, -0.048, 1.5]
86
87 placeRestPosition = [-0.19, -1.575, 1.35]
88
89
90
91 box_x1 = 0.218
92 box_x2 = -0.192
93 box_x3 = -0.602
94
95
96
97 box_y1 = -1.31
98 box_y2 = -1.59
99 box_y3 = -1.86
100
101 box_z = 0.5
102 box_z2 = 1 #z pos for place Rest positions
103
104 placePositions = [[box_x1, box_y1, box_z], [box_x1, box_y2, box_z], [box_x1, box_y3, box_z], [box_x2, box_y1, box_z], [box_x2, box_y2, box_z], [box_x2, box_y3, box_z],
105
106 placeRestPositions = [[box_x1, box_y1, box_z2], [box_x1, box_y2, box_z2], [box_x1, box_y3, box_z2], [box_x2, box_y1, box_z2], [box_x2, box_y2, box_z2], [box_x2, box_y3,
107
108 targetPosition = pickRestPosition #initialise target position
109

```

Εικόνα 4.15: Συντεταγμένες τοποθέτησης κιβωτίων

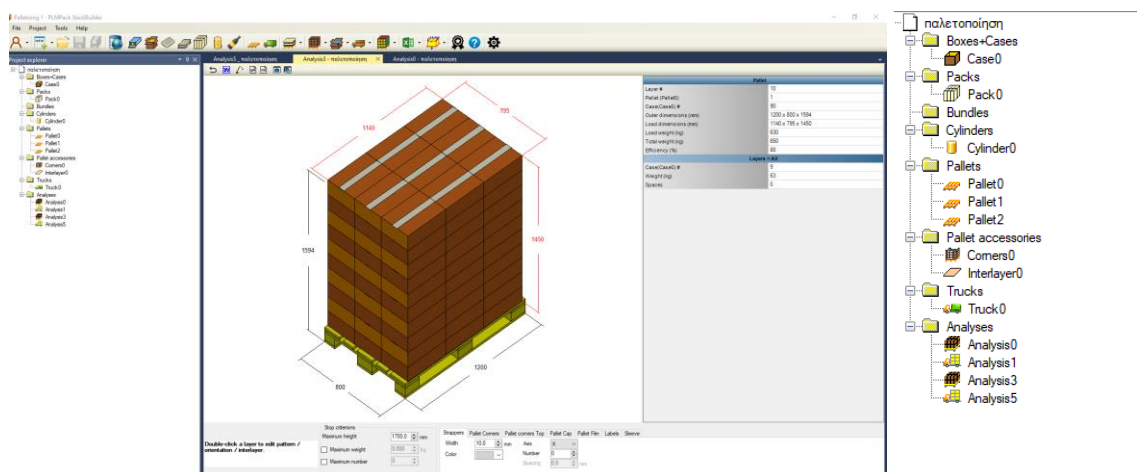
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΚΕΤΑΡΙΣΜΑ /ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανακεφαλαιώνοντας, η αλληλουχία των διαδικασιών που περιγράφονται στα κεφάλαια 3 και 4 ολοκληρώνεται στο κεφάλαιο 5 με μία ανάλυση διαχείρισης αποθέματος προς αποστολή. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω του δωρεάν για χρήση προγράμματος PLMPack StackBuilder (Εικόνα 5.1). Πρόκειται για ένα εύχρηστο λογισμικό σχεδιασμού και βελτιστοποίησης των διαδικασιών συσκευασίας, ομογενούς και ετερογενούς παλετοποίησης, και αποστολής του προϊόντος. Το πρόγραμμα βοηθά στην ταυτόχρονη επίλυση προβλημάτων, όπως είναι η εύρεση της βέλτιστης δυνατής διάταξης για τη στοίβαξη των κιβωτίων με τη μέγιστη πλήρωση του χώρου. Στο κεφάλαιο αυτό, οι αναλύσεις που ακολουθούν πραγματοποιούνται την ομογενή στοίβαξη 14 στρώσεων (layers) χαρτοκιβωτίων, τα οποία περιέχουν συσκευασίες τροφίμων σε εξάδες.

Τα χαρτοκιβώτια συμπληρώνουν παλέτες, οι οποίες στη συνέχεια συμπληρώνουν εμπορευματοκιβώτια. Σκοπός της μελέτης αυτού του κεφαλαίου είναι να βρεθεί, μέσω ανάλυσης υψηλής ακρίβειας, ο καλύτερος τρόπος πλήρωσης του αποθέματος για τη μέγιστη δυνατή μεταφορά προϊόντος, τηρώντας περιορισμούς όπως η διατήρηση της ποιότητας της συσκευασίας.

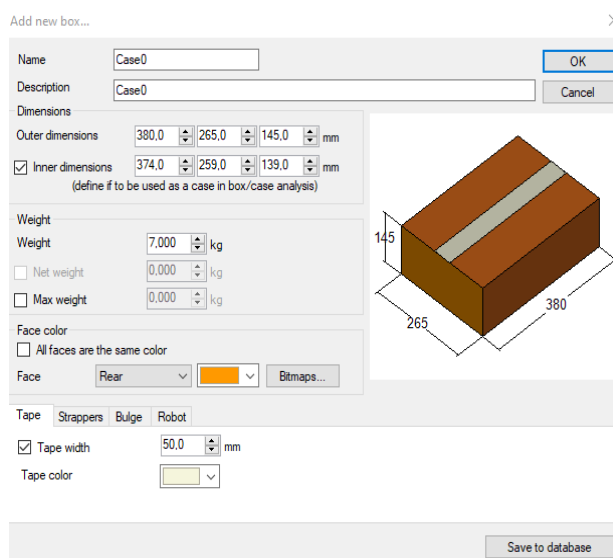


Εικόνα 5.1 Περιβάλλον λογισμικού PLMPack StackBuilder

5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ-ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

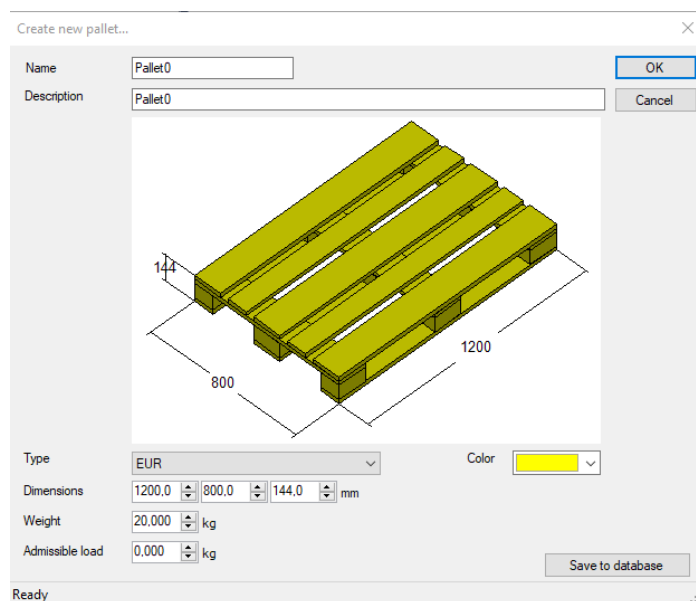
5.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Η ανάλυση ξεκινά με την επιλογή των διάφορων παραμέτρων, όπως οι διαστάσεις και το βάρος του χαρτοκιβωτίου. Οι διαστάσεις που εισάχθηκαν στο πρόγραμμα είναι αυτές των χαρτοκιβωτίων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Το βάρος ορίστηκε αρχικά στα 7 kg για την ενδεικτική ανάλυση και στη συνέχεια στα 6,5 kg στα πειράματα εύρεσης καλύτερης λύσης. Έχει γίνει η υπόθεση ότι κάθε χαρτοκιβώτιο περιέχει μία εξάδα συσκευασιών ενός κιλού τροφίμων, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν νωρίτερα για τη μελέτη της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής.



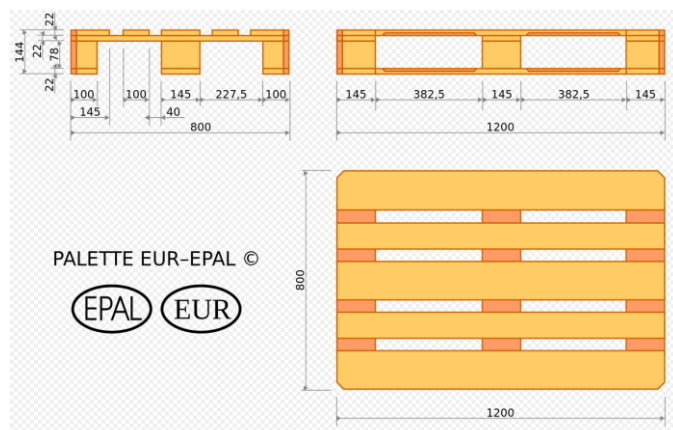
Εικόνα 5.2 Παράμετροι τεμαχίου

Στη συνέχεια επιλέχθηκε ο τύπος παλέτας που θα χρησιμοποιηθεί. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε η ευρωπαϊκή παλέτα διαστάσεων (1200 x 800x 144)mm.



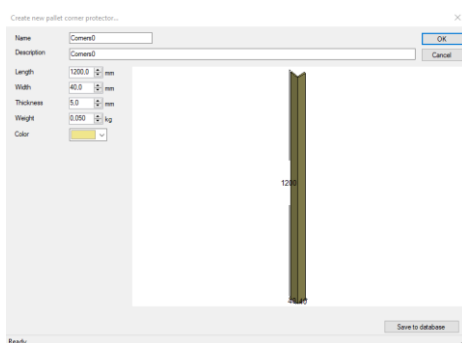
Εικόνα 5.3 Διαστάσεις Παλέτας

Το ασφαλές ωφέλιμο φορτίο μιας ευρωπαϊκής παλέτας ορίζεται στα 1500 κιλά, αν αυτό είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο, ενώ το μέγιστο πρόσθετο φορτίο κατά την στοιβάξη δύναται να φτάσει τα 4000 κιλά. Ακόμα το μέγιστο ύψος στοιβάξης φορτίου σε ευρωπαϊκού τύπου παλέτα ορίζεται στα 2,2 μέτρα. Συνεπώς οι αναλύσεις μας πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψιν τους συγκεκριμένους περιορισμούς, που παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.

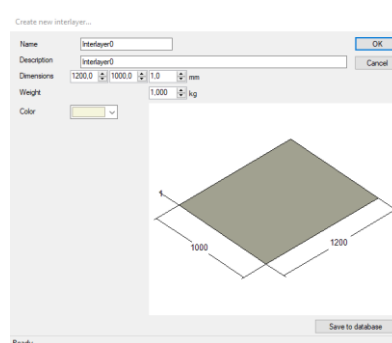


Εικόνα 5.4 Προδιαγραφές Ευρωπαϊκής Παλέτας[22]

Για την διασφάλιση της ποιότητας των τεμαχίων κατά την μεταφορά προβλέπονται επιπλέον εξαρτήματα προστασίας όπως γωνίες, ενδιάμεσες επιφάνειες των στοιβάδων καθώς και δερματικές ταινίες (Εικόνα 5.5).



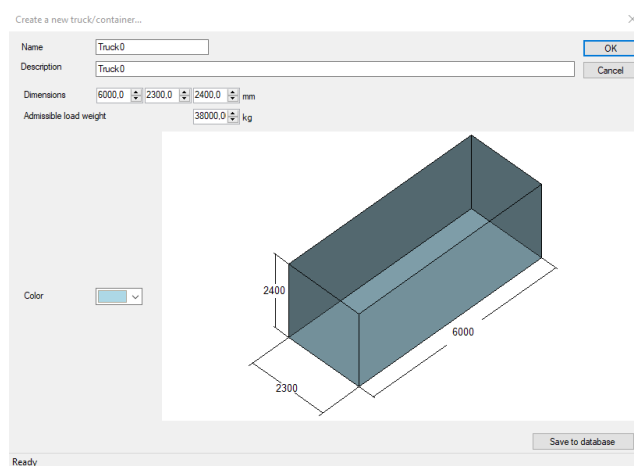
(α)



(β)

Εικόνα 5.5 (α) Προστατευτικές Γωνίες και (β) Χαρτόνια προστασίας διάκενων

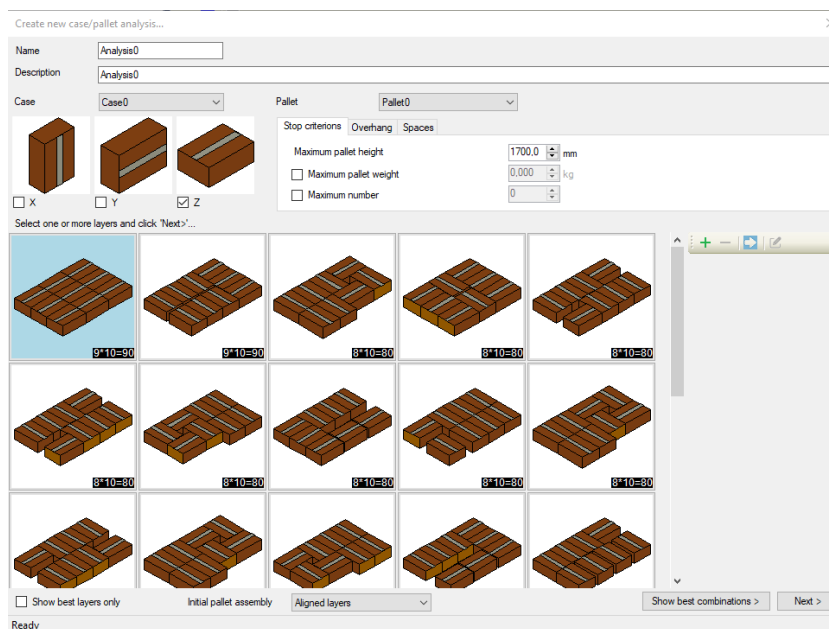
Τέλος επιλέγονται οι διαστάσεις για το εμπορευματοκιβώτιο μεταφοράς του φορτίου.



Εικόνα 5.7 Διαστάσεις Εμπορευματοκιβωτίου

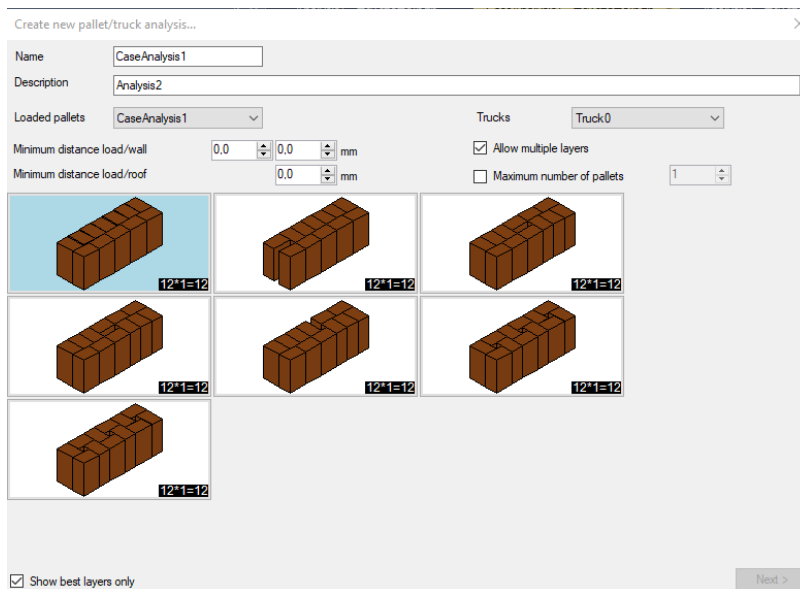
5.2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΕ ΠΑΛΕΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΑΛΕΤΑΣ ΣΕ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΟ

Αρχικά επιλέγουμε τον προσανατολισμό και την διάταξη όπου τα χαρτοκιβώτια τοποθετούνται στην ευρωπαϊκή παλέτα, με σκοπό την καλύτερη πλήρωση του χώρου λαμβάνοντας υπόψιν την κατανομή του φορτίου. Ενδεικτικές διατάξεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.8 Διάφορες διατάξεις στρώσεων τεμαχίων σε παλέτα.

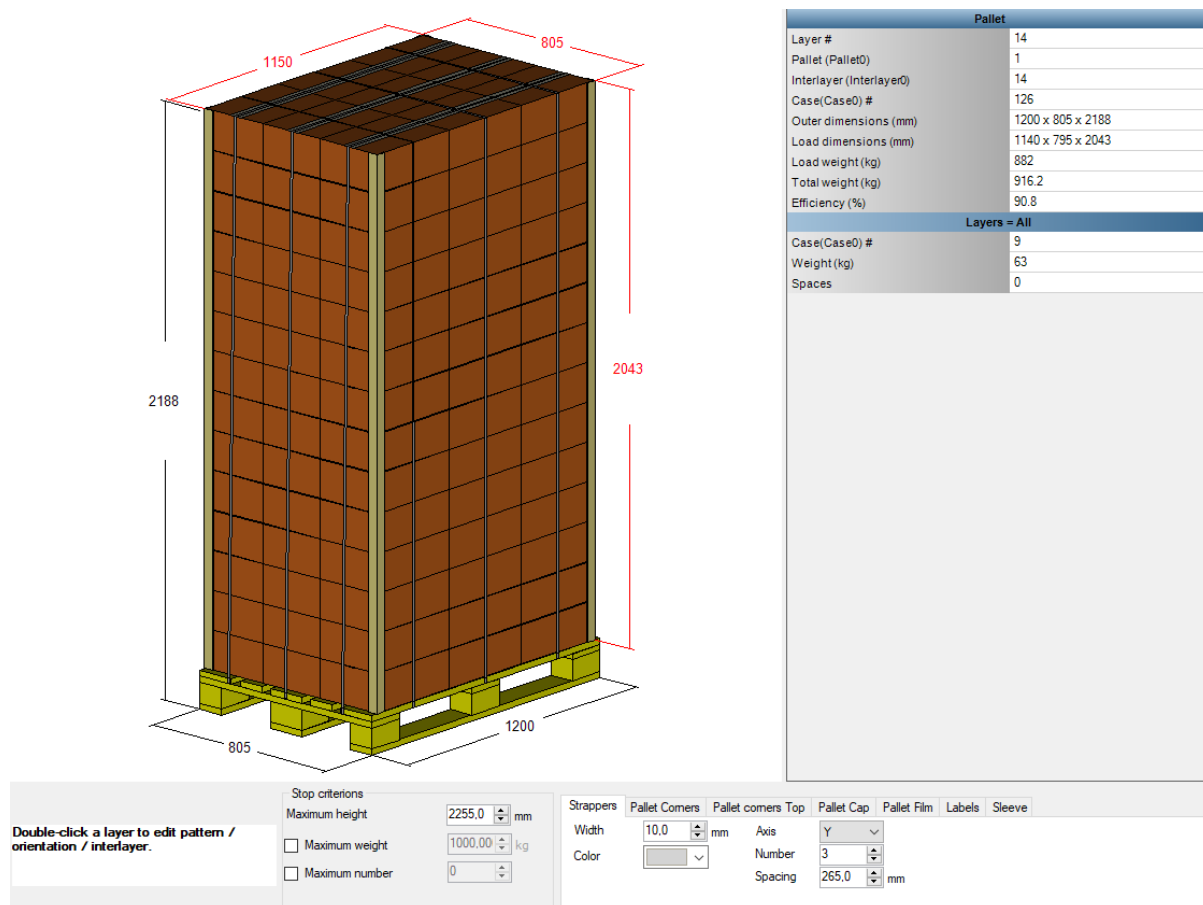
Με ανάλογο τρόπο επιλέγουμε την διάταξη τοποθέτησης των παλετών στο εσωτερικό εμπορευματοκιβωτίου (Εικόνα 5.9).



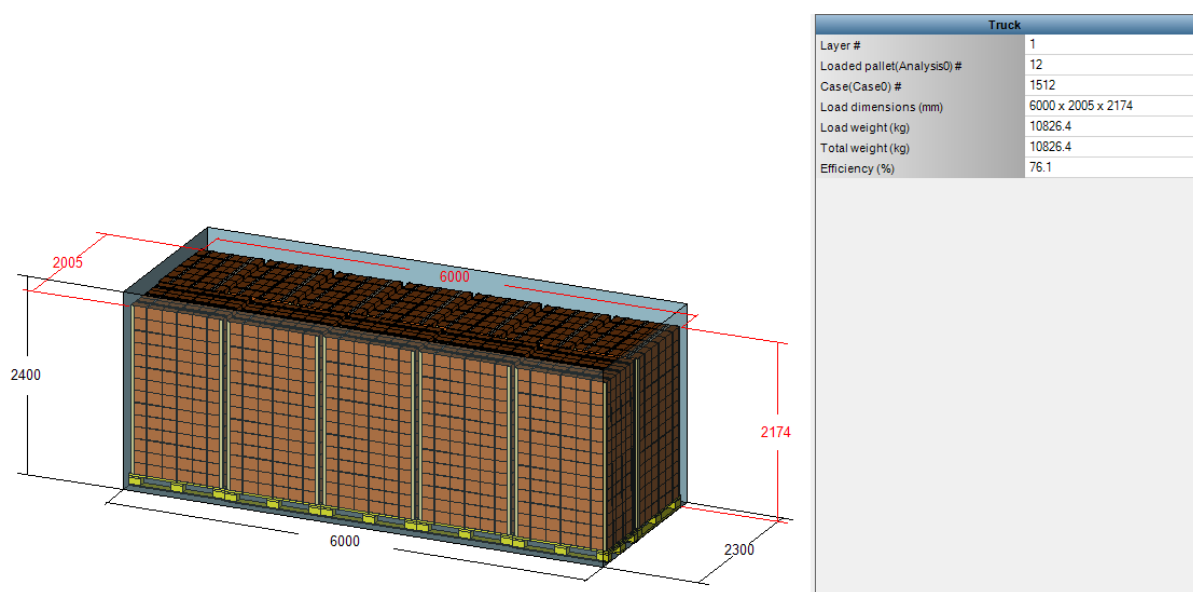
Εικόνα 5.9 Διάφορες διατάξεις παλετών σε εμπορευματοκιβώτιο

5.2.4 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ

Η παρακάτω ανάλυση είναι ενδεικτική της απλής διάταξης 3x3 που ακολουθήσαμε στο κεφάλαιο 4 κατά την προσομοίωση. Αφού ορίσαμε τις διάφορες παραμέτρους το πρόγραμμα εξάγει τα παρακάτω αποτελέσματα:



Εικόνα 5.10 Ανάλυση Παλέτας



Εικόνα 5.11 Ανάλυση Εμπορευματοκιβωτίου

Ακόμα εξάγει την παρακάτω επίσημη αναφορά διαχείρισης αποθέματος σε αρχείο του word με εκτυπώσιμη μορφή.

Δεδομένα Παλλέτας:

Case(Case1)	126
Cases x Layers	0 x 14 + 9 x 14
Number of interlayers	14
Load weight	882 (kg)
Load dimensions	1140 x 795 x 2043 (mm)
Weight	916,2 (kg)
Overall dimensions	1200 x 805 x 2188 (mm)
Volume efficiency	90,8

Αποτελέσματα-Λύσεις εμπορευματοκιβωτίου:

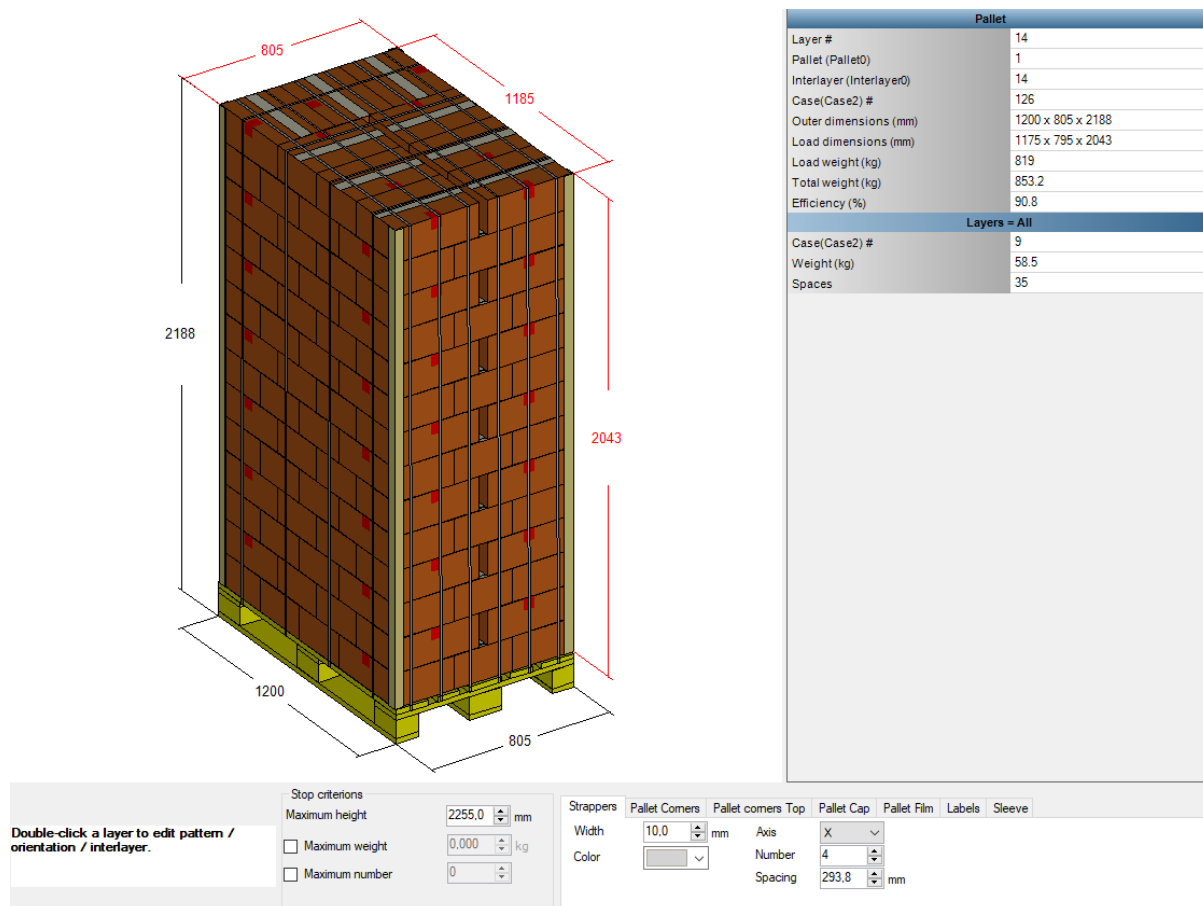
Loaded pallet(Analysis1)	12
Case(Case1)	1512
Cases x Layers	12 x 1
Load weight	10826,4 (kg)
Load dimensions	6000 x 2005 x 2174 (mm)
Weight	10826,4 (kg)
Overall dimensions	6000 x 2300 x 2400 (mm)
Volume efficiency	76,1

5.3 ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

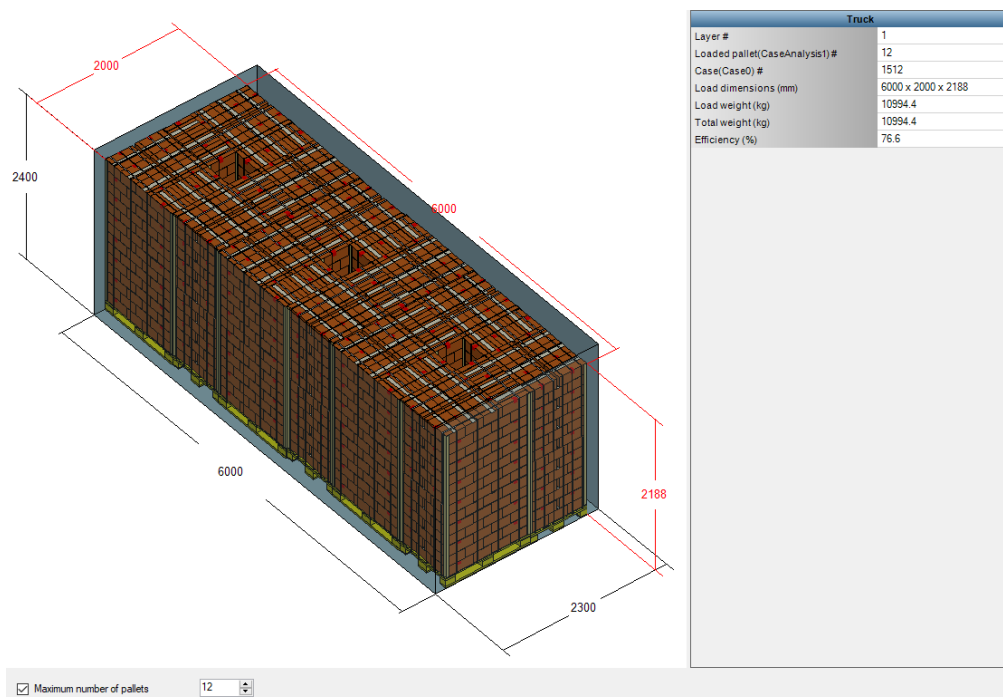
Στο σημείο αυτό θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από δύο αναλύσεις με διαφορετικές διατάξεις παλέτας και εμπορευματοκιβωτίου που το πρόγραμμα προτείνει ως αποδοτικότερες. Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα τους ως προς την καλύτερη πλήρωση του χώρου και την μεταφορά όσο το δυνατόν περισσότερου εμπορεύματος ώστε να επιλέξουμε την καλύτερη.

5.3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ 1^η

Ακολουθήσαμε τα βήματα όπως στην ενδεικτική ανάλυση επιλέγοντας την προβλεπόμενη διάταξη 9 τεμαχίων σε κάθε στοίβα με 14 layers. Η κάθε παλέτα φέρει 126 τεμάχια προϊόντος, με επικάλυψη του εμβαδού χώρου της παλέτας να φτάνει σε απόδοση 90.8%. Τα δεδομένα αυτά αποτυπώνονται στην εικόνα 5.12

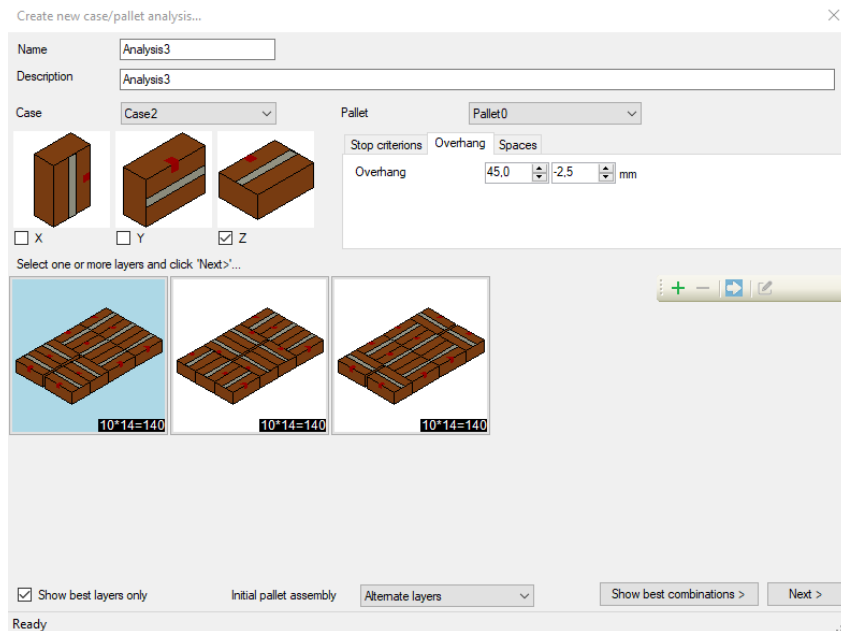
Εικόνα 5.12 1^η Διάταξη Παλέτας

Το εμπορευματοκιβώτιο συμπληρώνεται με 12 παλέτες και η ανάλυση του εμπορευματοκιβωτίου της παραπάνω διάταξης δίνει απόδοση πλήρωσης χώρου 76.6%.

Εικόνα 5.13 1^η Ανάλυση Εμπορευματοκιβωτίου

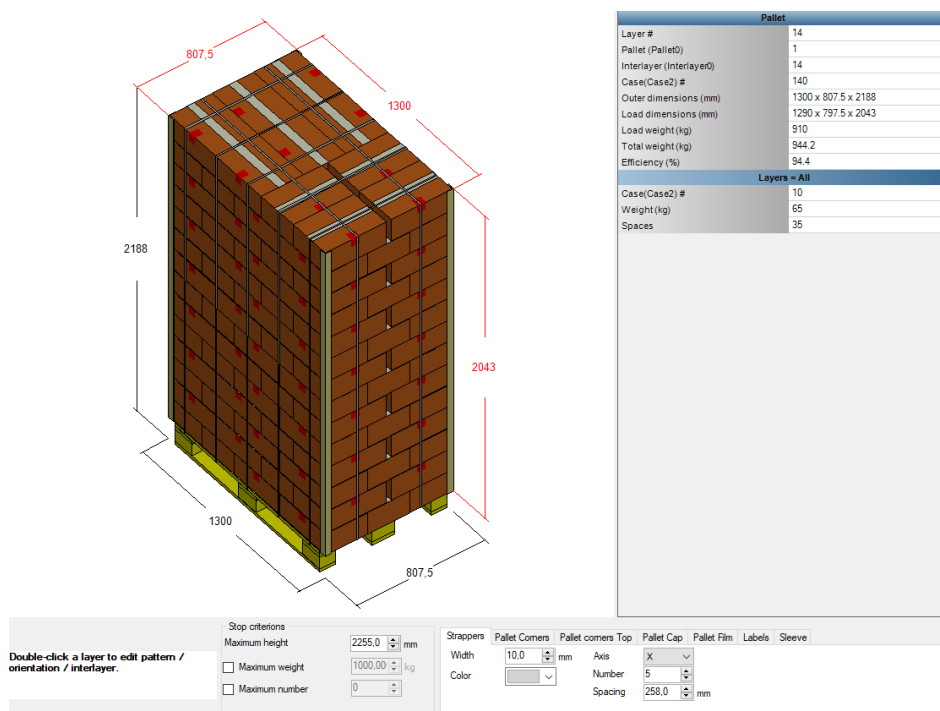
5.3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ 2^η

Στην ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκε η εντολή overhang όπου ορίζοντας τις αποστάσεις των περιθωρίων υπερκάλυψης του εμβαδού της παλέτας προστέθηκε ένα παραπάνω τεμάχιο σε κάθε στοίβα.



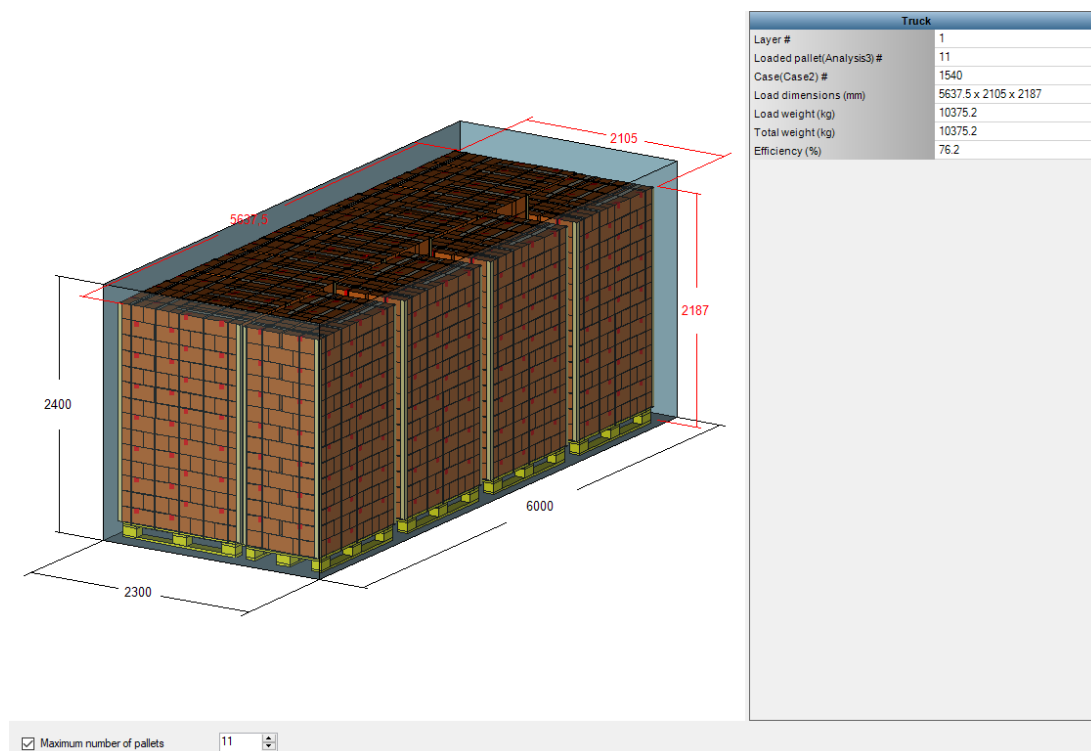
Εικόνα 5.14 Διάταξη Στοίβαξης με Overhang

Το αποτέλεσμα της υπερκάλυψης είναι κάθε παλέτα να φέρει 140 χαρτοκιβώτια με αποδοτικότητα πλήρωσης του εμβαδού χώρου να αυξάνεται σε 94.2%



Εικόνα 5.15 2^η Ανάλυση Παλέτας

Η ανάλυση του εμπορευματοκιβωτίου όμως σύμφωνα με την παραπάνω διάταξη δίνει απόδοση 76.2% καθώς η πλήρωσή του γίνεται με 11 παλέτες.



Εικόνα 5.16 2^η Ανάλυση Εμπορευματοκιβωτίου

Από το PLMPACK εξάχθηκαν οι δύο αναφορές σε φυλλάδια:

Document ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ

**Description
Date**

31/8/2023

Author

ATHANASIOS THOMAS



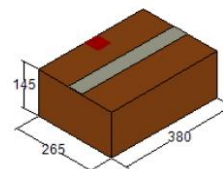
Analysis: Case Analysis1

Description Case Analysis1

Case

Name Case1
Description Χαρτοκιβώτιο
Dimensions 380 x 265 x 145 (mm)

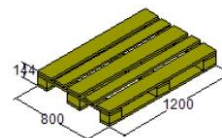
Weight 6,5 (kg)



Pallet

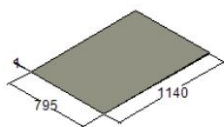
Name Pallet1
Description Ευρωπαϊκή Παλέτα
Dimensions 1200 x 800 x 144 (mm)

Weight 20 (kg)



Interlayer

Name Interlayer1
Description Interlayer1
Thickness 1 (mm)



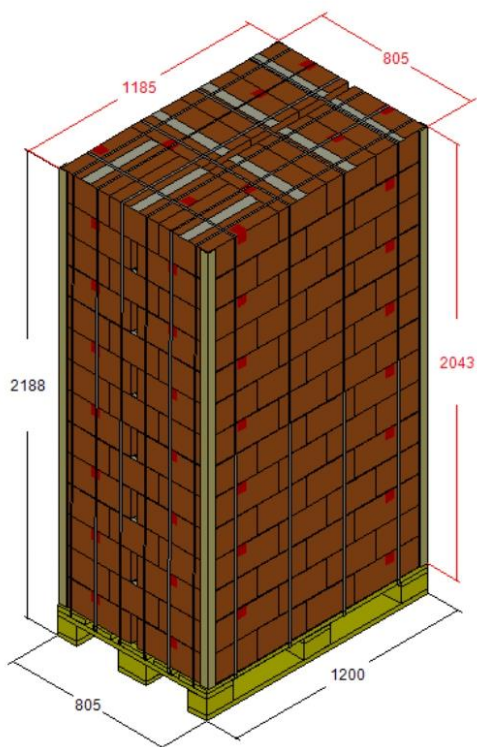
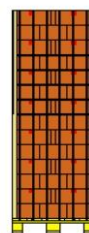
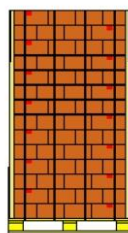
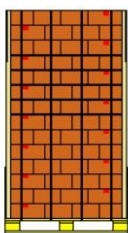
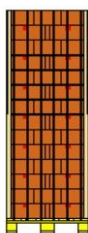
Weight ()

Constraint set

Maximum pallet height 2255 (mm))

Solution

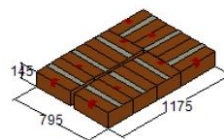
Case(Case1) 126
Cases x Layers 0 x 14 + 9 x 14
Number of interlayers 14
Load weight 819 (kg)
Load dimensions 1175 x 795 x 2043 (mm)
Weight 853,2 (kg)
Overall dimensions 1200 x 805 x 2188 (mm)
Volume efficiency 90,8



Layer(s)

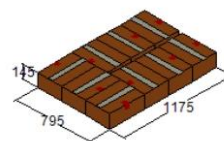
Layer Indexes 1,3,5,7,9,11,13
Case(Case1) 9
Weight 58,5 (kg)

Spaces 35 (mm)



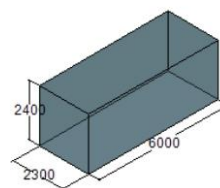
Layer Indexes 2,4,6,8,10,12,14
Case(Case1) 9
Weight 58,5 (kg)

Spaces 35 (mm)

**Analysis: Truck Analysis1**

Description TruckAnalysis1
Name Διαχείριση εμπορευματοκιβωτίου
Dimensions 6000 x 2300 x 2400 (mm)

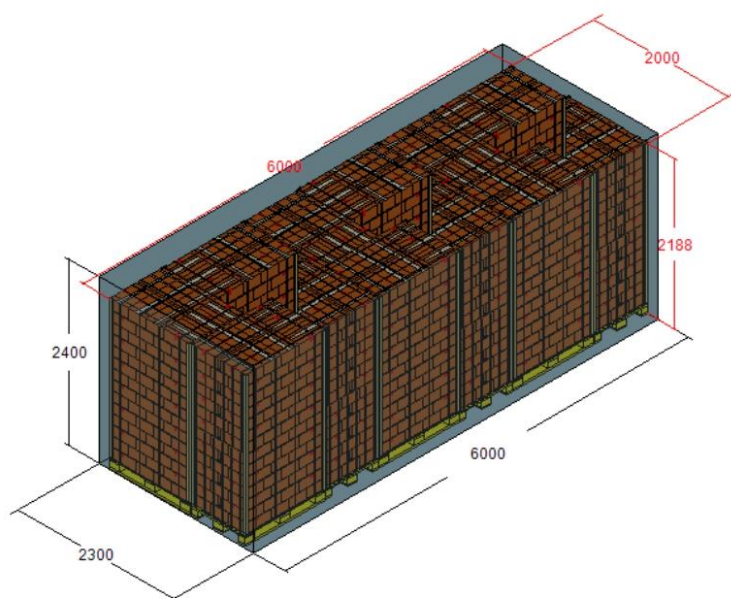
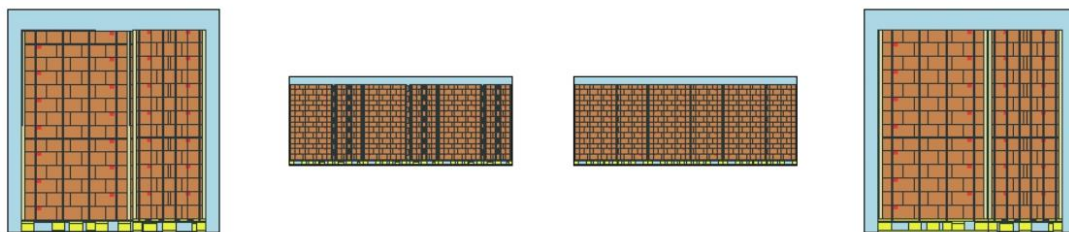
Admissible load 38000 (kg)

**Constraint set**

Maximum weight 38000 (kg)
12

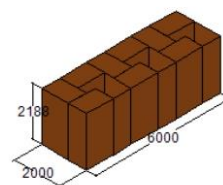
Solution

Loaded pallet(CaseAnalysis1) 12
Case(Case1) 1512
Cases x Layers 12 x 1
Load weight 10238,4 (kg)
Load dimensions 6000 x 2000 x 2188 (mm)
Weight 10238,4 (kg)
Overall dimensions 6000 x 2300 x 2400 (mm)
Volume efficiency 76,6



Layer(s)

Layer Indexes	1
Loaded pallet(CaseAnalysis1)	12
Case(Case1)	1512
Weight	10238,4 (kg)
Spaces	400 (mm)



Document ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ

Description
Date

31/8/2023

Author

ATHANASIOS THOMAS



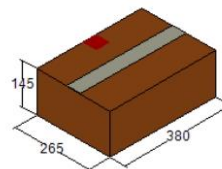
Analysis: Case Analysis 2

Description Case Analysis2

Case

Name Case1
Description Χαρτοκιβώτιο
Dimensions 380 x 265 x 145 (mm)

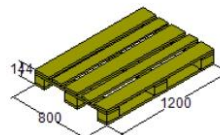
Weight 6,5 (kg)



Pallet

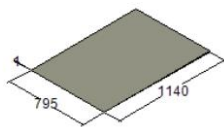
Name Pallet1
Description Pallet1
Dimensions 1200 x 800 x 144 (mm)

Weight 20 (kg)



Interlayer

Name Interlayer1
Description Interlayer1
Thickness 1 (mm)



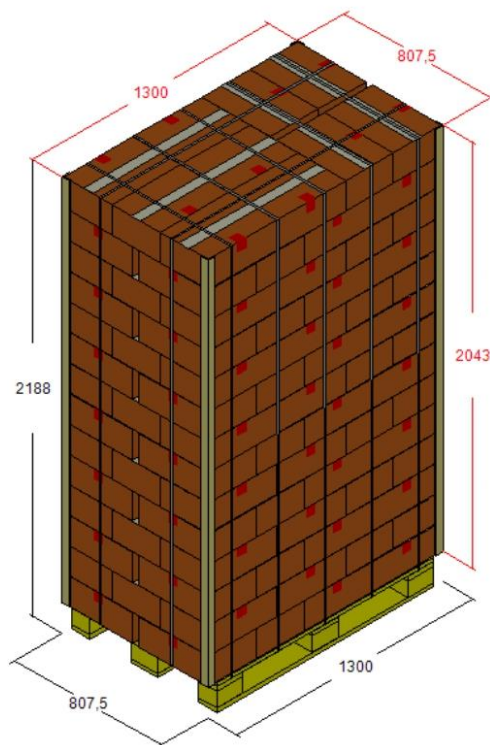
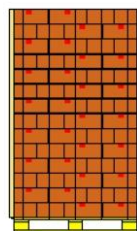
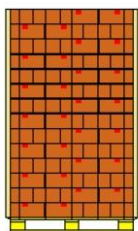
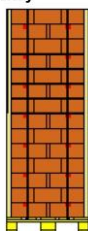
Weight ()

Constraint set

Maximum pallet height 2255 (mm))

Solution

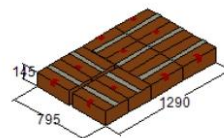
Case(Case1) 140
 Cases x Layers 0 x 14 + 10 x 14
 Number of interlayers 14
 Load weight 910 (kg)
 Load dimensions 1290 x 797,5 x 2043 (mm)
 Weight 944,2 (kg)
 Overall dimensions 1300 x 807,5 x 2188 (mm)
 Volume efficiency 94,4



Layer(s)

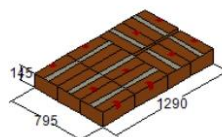
Layer Indexes 1,3,5,7,9,11,13
Case(Case1) 10
Weight 65 (kg)

Spaces 35 (mm)



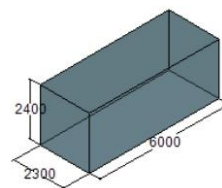
Layer Indexes 2,4,6,8,10,12,14
Case(Case1) 10
Weight 65 (kg)

Spaces 35 (mm)

**Analysis: Truck Analysis2**

Description TruckAnalysis2
Name Διαχείριση εμπορευματοκιβωτίου
Dimensions 6000 x 2300 x 2400 (mm)

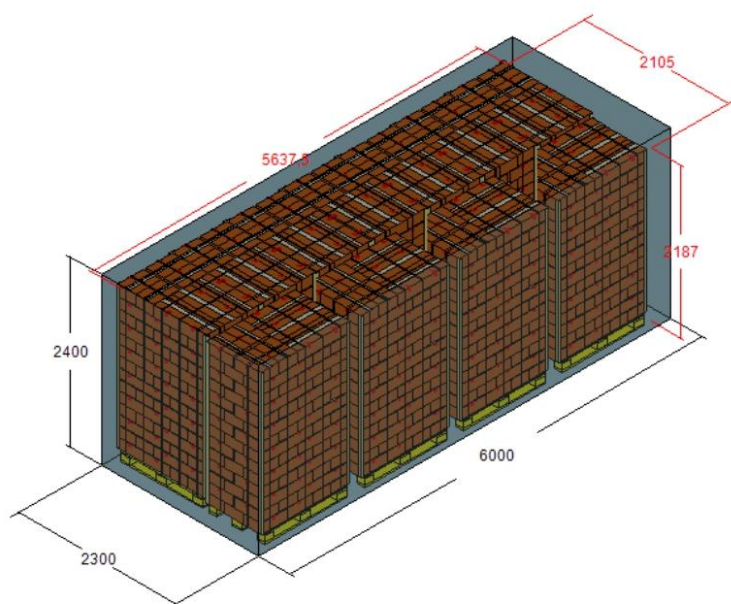
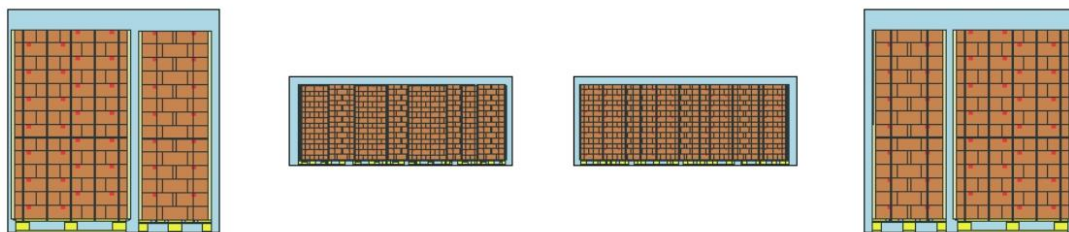
Admissible load 38000 (kg)

**Constraint set**

Maximum weight 38000 (kg)
11

Solution

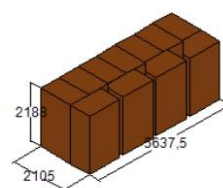
Loaded pallet(Analysis2) 11
Case(Case2) 1540
Cases x Layers 11 x 1
Load weight 10386,2 (kg)
Load dimensions 5637,5 x 2105 x 2187 (mm)
Weight 10386,2 (kg)
Overall dimensions 6000 x 2300 x 2400 (mm)
Volume efficiency 76,3



Layer(s)

Layer Indexes	1
Loaded pallet(Analysis3)	11
Case(Case1)	1540
Weight	10386,2 (kg)

Spaces	145 (mm)
--------	----------

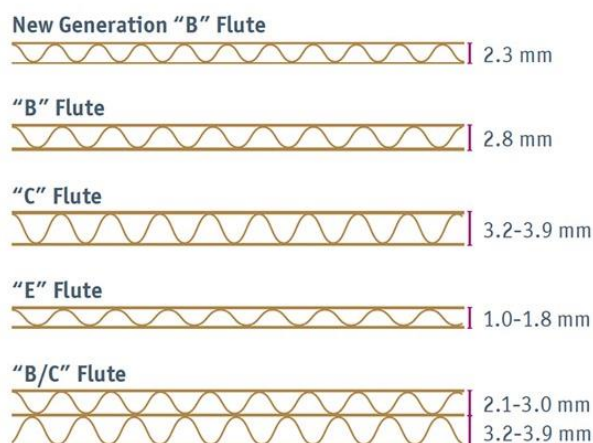


5.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Κατά την ανάλυση 2 παρότι η συμπλήρωση του εμπορευματοκιβωτίου δίνει απόδοση πλήρωσης του χώρου 76,3%, ελαφρώς χειρότερη εν σχέση με την απόδοση της 1^{ης} που δίνει απόδοση 76,6, μεταφέρουμε 28 τεμάχια περισσότερα λόγω της διάταξης που επιλέξαμε. Οπότε η ανάλυση 2 προτείνεται ως βέλτιστη λύση του προβλήματος διαχείρισης του αποθέματός μας.

5.4 BCT ΔΟΚΙΜΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Ο κύριος ρόλος της συσκευασίας πάσης φύσεως είναι να προστατεύει και να μεταφέρει τα εμπορεύματα καθώς ταξιδεύουν από το σημείο παρασκευής στον τελικό προορισμό, κάνοντας πιθανόν αρκετές στάσεις στη διαδρομή. Η διασφάλιση για την ακεραιότητα της συσκευασίας κατά την μεταφορά γίνεται μέσω ανάλυσης κατανομής φορτίου. Τα προβλήματα που συναντιούνται είναι 2 φύσεων αναλόγως με το υλικό που φέρουν οι συσκευασίες καθώς πολύ μεγάλο ή πολύ βαρύ υλικό επιβαρύνει την μεταφορά σε βάρος και χώρο ενώ πολύ μικρό ή πολύ ελαφρύ υλικό αυξάνει τις πιθανότητες του κινδύνου φθαρμένων ή συνθλιμμένων κουτιών [25] (και πιθανών κατεστραμμένων προϊόντων). Συνεπώς απαιτείται η επιλογή του κατάλληλου υλικού αναλόγως την περίπτωση.



Εικόνα 5.17 Τύποι κυματοειδούς χαρτονιού [23]

Η αντοχή ενός κουτιού από κυματοειδές ινοσανίδες μετριέται με μια δοκιμή κάθετης συμπίεσης κουτιού (BCT). Η BCT δοκιμή εκφράζει την αντοχή του κυματοειδούς χαρτονιού λαμβάνοντας υπόψη το προϊόν που μεταφέρει ή τη μορφή του κουτιού.

Οι τέσσερις βασικές μηχανικές ιδιότητες που επηρεάζουν την δομική συμπεριφορά του κυματοειδούς υλικού είναι:

- τα χαρτιά και οι προσανατολισμοί των ινών τους
- το ύψος των κυμάτων,
- ο αριθμός των κυμάτων και η μεταξύ τους απόσταση
- η αξιοπιστία των γραμμών κόλλας.

Η εξίσωση McKee [24] υπολογίζει την αντοχή ενός χαρτοκιβωτίου ως:

$$BCT = k1ECT^BS^{1-b}Z^{2b-1}$$

Και γενικά τροποποιείται για όλα τα χαρτοκιβώτια ως:

$$BCT = k1(ECT)^{0,75}S^{0,25}Z^{0,5}$$

Όπου:

S δομική σκληρότητα

ECT = (Edge Crush Test) η τιμή αυτή εκφράζει την ικανότητα ενός μικρού κομματιού χαρτονιού να αντιστέκεται στη συμπίεση όταν κοπεί σε συγκεκριμένο σχήμα και τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες

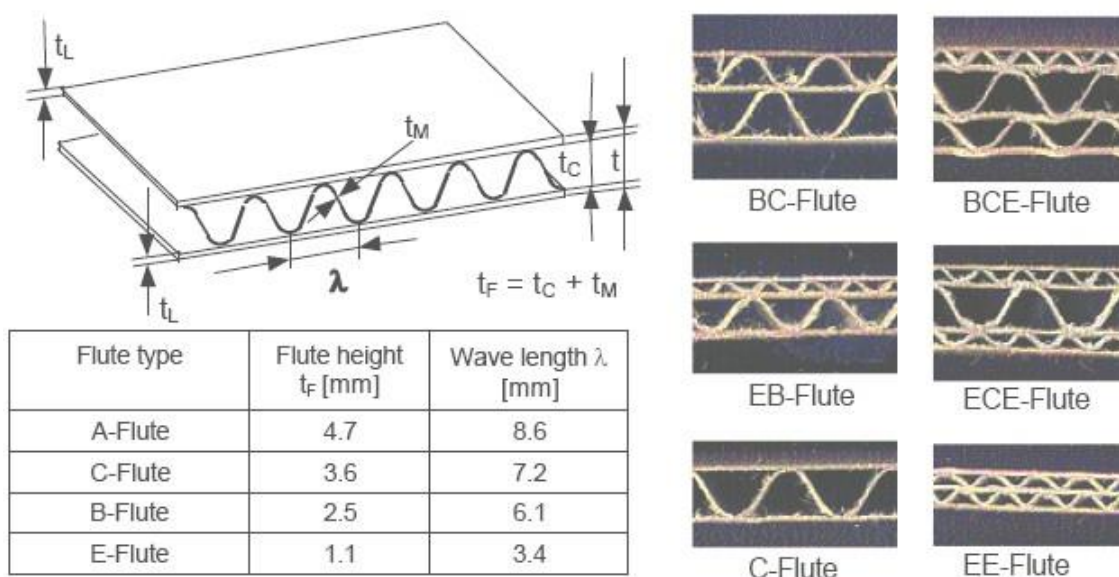
S: Η περίμετρος του κιβωτίου, που συνήθως μετράται σε ίντσες ή εκατοστά.

Z: Το βάθος του κιβωτίου, δηλαδή η απόσταση από την κορυφή μέχρι τον πάτο του κιβωτίου.

t : το πάχος του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένο το χαρτοκιβώτιο.

k1: σταθερά που προσαρμόζεται ανάλογα με τα υλικά και τις συνθήκες της δοκιμής.

Οι τιμές BCT γνωστοποιούν την απόδοση της συσκευασίας λαμβάνοντας υπόψη μεταβλητές όπως τι μπαίνει στο κουτί, πώς θα στοιβάζεται ή αν θα παλετοποιηθεί το κουτί καθώς και τη διάρκεια ζωής του κιβωτίου για να παράγει μια τιμή στόχο που να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του πελάτη.



Εικόνα 5.18 Γεωμετρικές διαστάσεις και άλλοι τύποι κυματοειδούς χαρτονιού [25]

Στην περίπτωση μας, αναζητούμε τον κατάλληλο τύπο κυματοειδούς χαρτονιού για τη συσκευασία που θα περιέχει μία εξάδα κυλινδρικών κυπέλλων του ενός κιλού. Θέτοντας τις διαστάσεις και τις παραμέτρους πρώτον για τη διάταξη και δεύτερον για τον αριθμό των επιπέδων της στοιβάξης στο λογισμικό PLMPack, λαμβάνουμε τη λίστα των προτεινόμενων υλικών και τον εκάστοτε μέγιστο αριθμό στοιβάξης που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πραγματικές εφαρμογές. Συνεπώς, από τη λίστα της παρακάτω εικόνας που μας παρέχει το

πρόγραμμα, ο τύπος του χαρτονιού που προτείνεται στην περίπτωση μας είναι το κυματοειδές χαρτόνι τύπου BC 275 GSM¹.

The screenshot shows the Mc Kee formula software interface. On the left, there is a table listing various materials with their profiles, thicknesses, ECT values, static BCT, and maximum layer counts. The material BC_275 Grade-994 g/m2 is highlighted in blue. On the right, there is a 3D visualization of a pallet stack with dimensions 1200x1000x2800 mm. Below the visualization, there are summary statistics: Total case count: 140, Total pallet weight: 873 kg, Weight on lowest case: 78 kg. At the bottom right, there is a 'Dynamic BCT' table showing humidity and storage time data.

Name	Profile	Thickness (mm)	ECT	Static BCT (daN)	Max. layer count
A_125 Grade-498 g/m2	A	4.85	6.62	372.86	7
A_150 Grade-556 g/m2	A	4.9	7.3	413.31	8
A_175 Grade-600 g/m2	A	5.08	7.69	443.44	8
A_200 Grade-634 g/m2	A	5.05	8.3	477.17	9
B_125 Grade-459 g/m2	B	2.87	6.77	292.16	5
B_150 Grade-507 g/m2	B	2.87	5.64	243.39	5
B_150 Grade-514 g/m2	B	2.88	6	259.39	5
B_150 Grade-520 g/m2	B	3	6.77	298.8	6
B_150 Grade-589 g/m2	B	3.04	6.82	303.04	6
B_175 Grade-545 g/m2	B	2.89	5.95	257.68	5
B_175 Grade-555 g/m2	B	2.97	7.23	317.48	6
B_175 Grade-558 g/m2	B	2.86	6.43	276.99	5
B_175 Grade-619 g/m2	B	3.14	5.93	267.86	5
B_200 Grade-594 g/m2	B	2.8	8.52	363.1	7
B_200 Grade-605 g/m2	B	2.98	7.84	344.86	6
B_200 Grade-608 g/m2	B	3.17	7.6	344.95	6
B_200 Grade-610 g/m2	B	2.97	6.85	300.8	6
B_250 Grade-556 g/m2	B	2.84	8.33	357.57	7
B_250 Grade-576 g/m2	B	2.94	9.38	409.77	7
B_250 Grade-595 g/m2	B	2.97	9	395.21	7
B_275 Grade-859 g/m2	B	3.31	9.88	458.39	8
B_275 Grade-865 g/m2	B	3.15	10.28	465.1	8
BC_200 Grade-530 g/m2	BC	6.43	9.65	627.17	11
BC_275 Grade-1022 g/m2	BC	6.46	11.52	750.47	13
BC_275 Grade-923 g/m2	BC	5.87	9.6	595.72	11
BC_275 Grade-974 g/m2	BC	6.7	11.02	731.32	13
BC_275 Grade-976 g/m2	BC	6.82	10.87	727.89	13
BC_275 Grade-994 g/m2	BC	7.17	11.5	789.89	14
BC_350 Grade-1027 g/m2	BC	6.45	11.13	724.5	13
BC_350 Grade-1137 g/m2	BC	6.46	13.45	876.2	15
C_125 Grade-410 g/m2	C	3.4	5.46	256.79	5
C_125 Grade-444 g/m2	C	3.68	6.5	318.23	6
C_125 Grade-454 g/m2	C	3.78	6	297.78	6
C_150 Grade-465 g/m2	C	3.98	6.14	312.81	6
C_150 Grade-514 g/m2	C	4	5.4	275.81	5
C_150 Grade-525 g/m2	C	3.73	5.9	290.84	5
C_150 Grade-528 g/m2	C	3.9	5.95	300.02	6
C_150 Grade-533 g/m2	C	4.02	5.1	261.15	5
C_150 Grade-571 g/m2	C	4	4.94	252.31	5
C_175 Grade-550 g/m2	C	3.83	6.78	308.78	6

Actual number of layers: 14

Total case count : 140
Total pallet weight : 873 kg
Weight on lowest case : 78 kg

Dynamic BCT
Printed area: Simple

Humidity (%) / Storage	0-45%	46-55%	56-65%	66-75%	76-85%	86-100%
0 day	868.88	789.89	710.80	631.91	552.93	394.85
1-3 days	806.22	552.93	497.63	442.34	387.05	276.46
4-10 days	564.77	513.43	462.09	410.74	359.40	236.72
11-30 days	521.33	473.84	426.54	379.15	331.76	236.97
1-3 months	477.88	434.44	391.00	347.55	304.11	217.22
3-4 months	434.44	394.85	355.45	315.96	276.46	197.47
more than 4 months	391.00	355.45	319.91	284.36	249.62	177.73

Εικόνα 5.17 Λίστα υλικών δοκιμής συμπίεσης (BCT)

5.4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ BCT ΔΟΚΙΜΗΣ

Με την ολοκλήρωση της δοκιμής αντοχής στο κεφάλαιο 5.4, επαληθεύεται η πρόταση λύσης για το πρόβλημα διαχείρισης του αποθέματος. Έπειτα από την εισαγωγή πραγματικών τιμών στο πρόβλημά μας, όπως οι διαστάσεις, το βάρος και η γεωμετρική τοποθέτηση του προϊόντος, το πρόγραμμα μας παρέχει δεδομένα και προτάσεις λύσεων σε θέματα διάταξης, επιλογής υλικών καθώς και το ποσοστό επί τοις εκατό ανάπτυξης υγρασίας στο στοιβαγμένο και προς μεταφορά υλικό. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί ο βέλτιστος τρόπος αποστολής της συσκευασίας σε ακέραιη κατάσταση.

¹ GSM=Grams per Square Meter

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ/ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη και βελτιστοποίηση των διαδικασιών συσκευασίας και δρομολόγησης προϊόντων με τη χρήση βιομηχανικών ρομποτικών συστημάτων. Από την εκπόνηση της εργασίας προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: Η ενσωμάτωση βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων, όπως το Kawasaki RS020N, αποδείχθηκε εξαιρετικά αποδοτική για εφαρμογές επανατοποθέτησης και παλετοποίησης. Τα ρομπότ αυτά επιτρέπουν την ακριβή και γρήγορη εκτέλεση επαναλαμβανόμενων εργασιών, μειώνοντας τα σφάλματα και βελτιώνοντας τη συνολική παραγωγικότητα. Επίσης, η χρήση λογισμικών AutoCAD και SolidWorks για την τρισδιάστατη απεικόνιση και προσομοίωση των μηχανών επανατοποθέτησης ήταν κρίσιμη. Η δυνατότητα λεπτομερούς σχεδίασης και ανάλυσης των μηχανικών στοιχείων συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής.

Επιπλέον, η ανάλυση με το λογισμικό PLMPack StackBuilder προσέφερε πολύτιμα δεδομένα για τη βέλτιστη χωροθέτηση και την επιλογή κατάλληλων υλικών συσκευασίας. Η ανάλυση της αποθήκευσης και μεταφοράς ανέδειξε ότι η επιλογή της κατάλληλης διάταξης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα, όπως φαίνεται από την προτεινόμενη ανάλυση 2 που επέτρεψε τη μεταφορά περισσότερων τεμαχίων.

Η εκπαίδευση και πρακτική εμπειρία που αποκτήθηκε στην "Condor Robotics" ήταν ζωτικής σημασίας για την κατανόηση και τον χειρισμό των ρομποτικών συστημάτων. Η άμεση εμπλοκή με τον εξοπλισμό και η πειραματική εργασία βελτίωσαν τις γνώσεις και δεξιότητες στον τομέα της ρομποτικής και της αυτοματοποίησης.

Τέλος, η ολοκληρωμένη μελέτη της γραμμής παραγωγής τριών σταδίων ανέδειξε την ανάγκη μιας ολιστικής προσέγγισης για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Η συνδυασμένη χρήση ρομποτικών συστημάτων, προσομοιώσεων και αναλύσεων οδήγησε σε σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα, την ποιότητα και τη συνολική απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας.

Συνολικά, η εργασία καταδεικνύει ότι η ενσωμάτωση προηγμένων ρομποτικών συστημάτων και εξειδικευμένων λογισμικών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την

αποδοτικότητα και την ποιότητα στη βιομηχανική παραγωγή, προσφέροντας ευελιξία και ακρίβεια στις διαδικασίες.

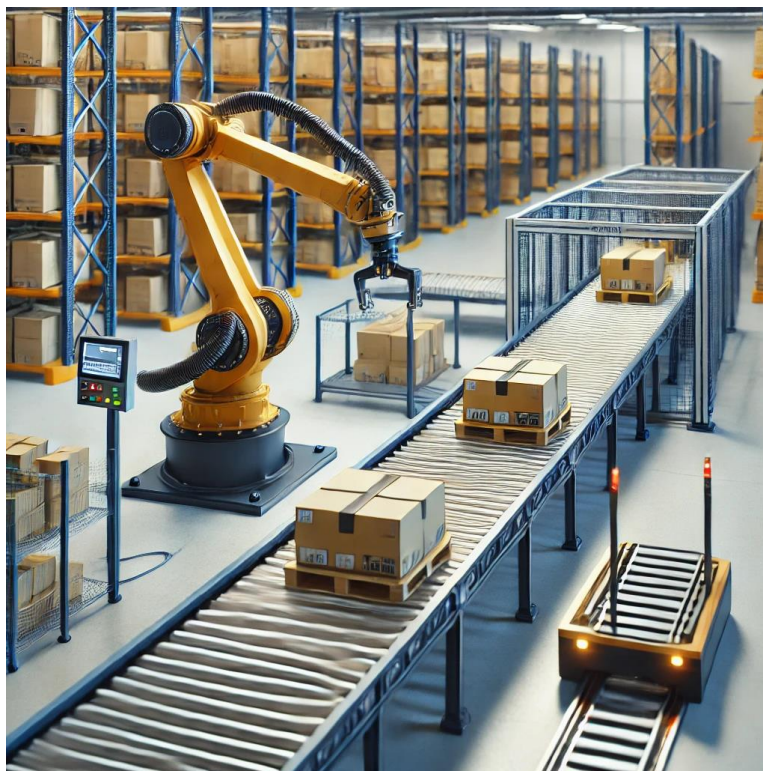
6.2 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Οι μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας μελέτης μπορούν να επικεντρωθούν στη βελτιστοποίηση και την εφαρμογή προηγμένων ρομποτικών συστημάτων σε πολυπλοκότερες γραμμές παραγωγής. Μια σημαντική κατεύθυνση είναι η διερεύνηση και εφαρμογή διαφορετικών διατάξεων για τις λειτουργίες παλετοποίησης και pick and place, αξιοποιώντας πολλαπλούς ρομποτικούς βραχίονες σε συνδυαστική λειτουργία. Αυτά τα συστήματα μπορούν να λειτουργούν σε συνεργασία μεταξύ τους, επιτρέποντας την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών διαδικασιών και την αλληλεπίδραση μεταξύ των ρομπότ για την επίτευξη υψηλότερης αποδοτικότητας.

Για παράδειγμα, η χρήση δύο ή περισσότερων βραχιόνων μπορεί να επιτρέψει τη συνεχή ροή υλικών σε μια γραμμή παραγωγής, όπου ο ένας βραχίονας αναλαμβάνει την τοποθέτηση προϊόντων σε κιβώτια και ο άλλος την παλετοποίηση αυτών των κιβωτίων. Η ενσωμάτωση αισθητήρων και συστημάτων επικοινωνίας μεταξύ των βραχιόνων διασφαλίζει την αρμονική και συντονισμένη λειτουργία τους, ελαχιστοποιώντας τα λάθη και βελτιώνοντας την παραγωγικότητα.

Συνολικά, οι επεκτάσεις αυτές στοχεύουν στη δημιουργία ευέλικτων και αποδοτικών γραμμών παραγωγής που μπορούν να προσαρμόζονται εύκολα στις ανάγκες της βιομηχανίας, προσφέροντας υψηλή ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων εξελιγμένων γραμμών παραγωγής.



Προσομοίωση αυτοματοποιημένης αποθήκης

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει την προσομοίωση ενός συστήματος αυτοματοποίησης αποθήκης όπου ένας ρομποτικός βραχίονας χειρίζεται μια ολοκληρωμένη παλέτα. Η σκηνή περιλαμβάνει ένα σύστημα μεταφορικών ταινιών που μεταφέρει προϊόντα προς τον ρομποτικό βραχίονα, ο οποίος τοποθετεί τα προϊόντα στην παλέτα. Κοντά, ένας άλλος ρομποτικός βραχίονας ή ένα αυτοματοποιημένο σύστημα καθοδηγούμενων οχημάτων (AGV) είναι έτοιμο να μεταφέρει την πλήρως φορτωμένη παλέτα στον χώρο αποθήκευσης. Το υπόβαθρο της αποθήκης διαθέτει ράφια αποθήκευσης με τακτοποιημένες παλέτες. Το περιβάλλον είναι καθαρό, σύγχρονο και καλά φωτισμένο, παρουσιάζοντας προηγμένη τεχνολογία αυτοματοποίησης.



Συνδεδεμένη γραμμή παραγωγής με στάδια εγκιβωτισμού και παλετοποίησης

Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει μια συνδεδεμένη γραμμή παραγωγής που περιλαμβάνει δύο κύρια στάδια: πρώτα, μια μηχανή εγκιβωτισμού και στη συνέχεια, μια διαδικασία παλετοποίησης. Η γραμμή παραγωγής συνδέει τα δύο στάδια και καταλήγει σε ένα σημείο διαλογής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Ford, “A History of Placement Programming and Optimization”, *Circuits Assembly online magazine*, 2015
- [2] J. Sherk, “Technology Explains Drop in Manufacturing Jobs”, 2010
- [3] L. McGarry, J. Butterfield, A. Murphy, “Assessment of ISO Standardisation to Identify an Industrial Robot's Base Frame”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume74, 2022
- [4] E. Rosales, Q. Gan, J. Gan, “Forward and Inverse Kinematics Models for a 5-dof Pioneer 2 Robot Arm”, 2002
- [5] D. Collins, “What is a Cartesian robot?”, *Linear Motion Tips*, 2018
- [6] See Han Tay, Wai Heng Choong, Hou Pin Yoong, “A Review of SCARA Robot Control System”, *IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAIET)*, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 1-6, 2022, DOI: 10.1109/IICAIET55139.2022.9936755.
- [7] Ανακτήθηκε από <https://condoras.com/scara-robots/> (τελευταία πρόσβαση 01/01/24)
- [8] V. Patidar, R. Tiwari, “Survey of Robotic Arm and Parameters”, *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 2016, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ICCCI.2016.7479938.
- [9] M. Opl, M. Holub, J. Pavlík, F. Bradáč, P. Blecha, “DELTA - Robot with Parallel Kinematics”, *Brno University of Technology*, 2012, DOI: [10.1007/978-3-642-23244-2_54](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23244-2_54)
- [10] J. D. Lakhani, K. P. Hirpara, B. M. Garala , *Automation-Robot Kinematics: A Review*, R. K. College of Engineering and Technology, Volume 1, Issue 7, 2012
- [11] S. Hoener, F.T. Mellert, “Toward the Factory of the Future”, *Offline Programming of Industrial Robots*, pp.597-602, *Springer*, Berlin, 1985, DOI: 10.1007/978-3-642-82580-4
- [12] S. Mitsi, K.-D Bouzakis, G. Mansour, Dimitrios Sagris, Georgios Maliaris, “Off-line programming of an industrial robot for manufacturing”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 26, pp. 262-267, 2005
- [13] R. Trochimczuk & A. Łukaszewicz, & R. Szczebiot, & I. Mircheski & A. Kirillov . “Modeling, Programming and simulation of robotized workcells created for industrial and service needs”, 2019
- [14] K. Dorofeev & M. Wenger, “Evaluating Skill-Based Control Architecture for Flexible Automation Systems”, “*2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Zaragoza, Spain, pp. 1077-1084, 2019, DOI: 10.1109/ETFA.2019.8869050
- [15] Kawasaki Robotics, CAD(DXF): <https://kawasakirobotics.com/asia-oceania/products-robots/rs020n/> (τελευταία πρόσβαση 01/01/24)

- [16] iGPS, “The Benefits of Robotic Palletizing”, “Why You Should Invest in a Palletizer”, 2023
- [17] Bastian Solutions, “Robotic Palletizing vs. Conventional Automated Palletizing”, Bastian Solutions, 2011
- [18] Cyberbotics, (2023), Webots Documentation [Webots Reference Manual] αναρτήθηκε από: <https://www.cyberbotics.com/doc/reference/index>
- [19] Cyberbotics, (2023), IRB4600-40 Webots Documentation [Webots User Guide] αναρτήθηκε από: <https://www.cyberbotics.com/doc/guide/irb4600-40?version=R2021a>
- [20] P. Manceron, (2022), Ikpy/CITATION.cff, Github:
<https://github.com/Phylliade/ikpy/blob/master/CITATION.cff>
- [21] D. Tolla, (2023), abb_irb4600_40_255, Github:
https://github.com/Daniella1/urdf_files_dataset/blob/main/urdf_files/ros-industrial/xacro_generated/abb/abb_irb4600_support/urdf/irb4600_40_255.urdf
- [22] F. JIA, Z. Tao and F. Wang, 2021, “Wooden pallet image segmentation based on Otsu and marker watershed.” *Journal of Physics: Conference Series* 1976, DOI: [10.1088/1742-6596/1976/1/012005](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1976/1/012005)
- [23] Ανακτήθηκε από https://www.shop.hazel4d.com/en/product/cardboard-single-wall-cartons/0201-style-single-wall-cartons--00_Single%20C%20Boxes (τελευταία πρόσβαση (06/02/2023))
- [24] Α. Καναβούρας, “Συσκευασία τροφίμων Μέρος Α’ Εγχειρίδιο Θεωρίας”, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Εργαστήριο μηχανικής τροφίμων, 2015, Α113,
<https://oeclass.aua.gr/eclass/modules/document/file.php/ETDA153/1.%20%CE%95%CE%93%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%94%CE%99%CE%9F%20%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91%CE%A3%20%CE%A4%CE%A1%CE%9F%CE%A6%CE%99%CE%9C%CE%A9%CE%9D.%20%CE%9C%CE%95%CE%A1%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%27%2018-7-2015.pdf>
- [25] Jochen Pflug, Ignaas Verpoest, Dirk Vandepitte, "Folded Honeycomb Cardboard and Core Material for Structural Applications," "5th International Conference on Sandwich Construction", ICSC 5, pp.361–372, 1999

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρατίθενται όλες οι γραμμές του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε με σχόλια επεξήγησης όλων των βημάτων για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης:

```
# Copyright 1996-2023 Cyberbotics Ltd.
#
# Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
# you may not use this file except in compliance with the License.
# You may obtain a copy of the License at
#
#     https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
#
# Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
# distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
# WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or
# implied.
# See the License for the specific language governing permissions and
# limitations under the License.

"""Demonstration of inverse kinematics using the "ikpy" Python
module."""

# -----
# -----

# Σε αυτό το μέρος ακολουθούμε ακριβώς τα βήματα του παραδείγματος
import sys
import tempfile
try:
    import ikpy
    from ikpy.chain import Chain
except ImportError:
    sys.exit('The "ikpy" Python module is not installed. '
            'To run this sample, please upgrade "pip" and install ikpy '
            'with this command: "pip install ikpy"')

# -----
# -----

# Εδώ εισάγουμε από την βιβλιοθήκη controller
# τα modules που θα χρειαστούμε
# για να χρησιμοποιήσουμε το ρομπότ μας,
# την αρπάγη και τους αισθητήρες απόστασης.

import math
from controller import Supervisor, VacuumGripper, DistanceSensor

# -----
# -----

# Εδώ ελέγχεται η έκδοση της python που είναι εγκατεστημένη στον H/Y
# που λειτουργεί το πρόγραμμα Webots.

if ikpy.__version__[0] < '3':
    sys.exit('The "ikpy" Python module version is too old. ')
```

```

        'Please upgrade "ikpy" Python module to version "3.0" or
newer with this command: "pip install --upgrade ikpy"')

IKPY_MAX_ITERATIONS = 4

# -----
# -----

#Αρχικοποίηση του Supervisor (Επόπτη), που επιτρέπει στ 'ρομποτ' μας
# να ελέγχει και να συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον
προσομοίωσης.

# Initialize the Webots Supervisor.
supervisor = Supervisor()
timeStep = int(4 * supervisor.getBasicTimeStep())

# Μετατροπή του αρχείου URDF σε μορφή που μπορεί να κατανοήσει και να
χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για προσομοίωση του βραχίονα.
# Create the arm chain from the URDF
filename = None
with tempfile.NamedTemporaryFile(suffix='.urdf', delete=False) as file:
    filename = file.name
    file.write(supervisor.getUrdf().encode('utf-8'))

#Εδώ καθορίζεται ποιά μοτέρ του βραχίονα θα είναι ενεργά και ποιά όχι.
armChain = Chain.from_urdf_file(filename, active_links_mask=[False,
True, True, True, True, False, False, False])
print(armChain.links)

#-----
#-----

#Αρχικοποίηση του βραχίονα, των αισθητήρων απόστασης και της αρπάγης

# Initialize the arm motors and encoders.
motors = []
for link in armChain.links:
    if 'motor' in link.name:
        motor = supervisor.getDevice(link.name)
        motor.setVelocity(1.0)
        position_sensor = motor.getPositionSensor()
        position_sensor.enable(timeStep)
        motors.append(motor)

#initialize gripper
gripper = VacuumGripper("gripper")

gripper.enablePresence(100) #gripper presence sampling period

#initialize sensor
ds = DistanceSensor("ds")
ds.enable(1)

```

```

# Get the arm nodes.
arm = supervisor.getSelf()

#-----
#-----

#Καθορισμός των συντεταγμένων για τις θέσεις που πρέπει διαδοχικά να
περαστεί η αρπάγη για να τοποθετήσει ένα κουτί στην παλέτα και να
επιστρέψει.

pickRestPosition = [1.29, -0.05, 1.4]
PICK_POSITION = [1.44, -0.048, 0.841]
BOX_GRABBED = [1.44, -0.048, 2]
placeRestPosition = [-0.19, -1.575, 1.35]

# Καθορισμός των συντεταγμένων X και Y
box_x1 = 0.218
box_x2 = -0.192
box_x3 = -0.602

box_y1 = -1.31
box_y2 = -1.59
box_y3 = -1.86

box_z = 0.5
box_z2 = 1 #z pos for place Rest positions

placePositions = [[box_x1, box_y1, box_z], [box_x1, box_y2, box_z],
[box_x1, box_y3, box_z], [box_x2, box_y1, box_z], [box_x2, box_y2,
box_z], [box_x2, box_y3, box_z], [box_x3, box_y1, box_z], [box_x3, box_y2,
box_z], [box_x3, box_y3, box_z]]

placeRestPositions = [[box_x1, box_y1, box_z2], [box_x1, box_y2,
box_z2], [box_x1, box_y3, box_z2], [box_x2, box_y1, box_z2], [box_x2,
box_y2, box_z2], [box_x2, box_y3, box_z2], [box_x3, box_y1,
box_z2], [box_x3, box_y2, box_z2], [box_x3, box_y3, box_z2]]

targetPosition = pickRestPosition #initialise target position

#-----
#-----

#Αρχικοποίηση μερικών βοηθητικών μεταβλητών που βοηθούν να εκτελεστεί η
προσομοίωση με την σωστή σειρά βημάτων.
counter = 0
count_start = False
index = 0

#Η προσομοίωση θα σταματάει όταν έχουν τοποθετηθεί 9 κουτιά στην
παλέτα.
while supervisor.step(timeStep) != -1:
    if index == 9:
        break #stop execution when out of boxes
    placePosition = placePositions[index]
    placeRestPosition = placeRestPositions[index]

    if count_start:

```

```

        counter = counter + 1
        print(counter)

#-----
#-----

#Εδώ βρίσκεται ο αλγόριθμος που εκτέλει τα βήματα που χρειάζονται για
να τοποθετηθεί ένα κουτί.
# Οι θέσεις που τοποθετούνται τα κουτιά ακολουθούν συγκεκριμένη σειρά.

    # Get the absolute position of the target and the arm base.
    armPosition = arm.getPosition()

    # Compute the position of the target relatively to the arm.
    #define positions outside of while loop and rotate between them -
the definitions here are re-implemented every TIME_STEP
    x = targetPosition[0] - armPosition[0]
    y = targetPosition[1] - armPosition[1]
    z = targetPosition[2] - armPosition[2]

    #if ds laser is enabled check for boxes and enable gripper
    if not ds.getSamplingPeriod() == 0:
        print(ds.getValue())
        #disable ds laser when box is detected
        if (ds.getValue()) < 6400.0 and (ds.getValue()) != 0:
            count_start = True
            print("BOX DETECTED", ds.getValue(), "targetPos:",
targetPosition)

            ds.disable()
            targetPosition = PICK_POSITION
            print("PickPos:", PICK_POSITION)
            print ("NewTarget:", targetPosition)
            gripper.turnOn()

    #check if the gripper is attached to a box or not
    if gripper.isOn():

        if gripper.getPresence():
            if counter == 10:
                print("LIFT_BOX")
                targetPosition = BOX_GRABBED
                motors[5].setPosition(math.pi/2)

            if counter == 30:
                targetPosition = placeRestPosition
                print("PLACE_REST AT:", targetPosition)

            if counter == 50:
                targetPosition = placePosition
                print("PLACE AT:", targetPosition)

            if counter == 70:
                gripper.turnOff()

```

```

    if counter == 80:
        targetPosition[2] = 2
        print("LIFT ARM")

if counter == 90:
    targetPosition = pickRestPosition
    print("WAIT FOR NEXT BOX")

    if counter == 110:
        ds.enable(1)
        counter = 0
        index = index + 1
        print(index)
        count_start = False

#-----
-----

#Εδώ υπολογίζονται οι μοίρες που πρέπει να περιστραφούν τα μοτέρ
του βραχίονα ώστε να φτάσει η αρπάγη
# που είναι προσκολλημένη στην άκρη του στα επιθυμητά σημεία.

# Call "ikpy" to compute the inverse kinematics of the arm.
initial_position = [0] + [m.getPositionSensor().getValue() for m in
motors] + [0]
ikResults = armChain.inverse_kinematics([x, y, z],
max_iter=IKPY_MAX_ITERATIONS, initial_position=initial_position)

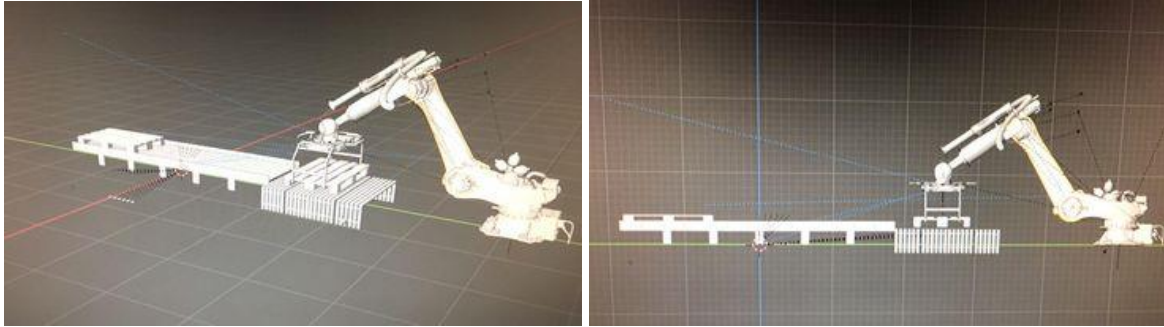
# Recalculate the inverse kinematics of the arm if necessary.
position = armChain.forward_kinematics(ikResults)
squared_distance = (position[0, 3] - x)**2 + (position[1, 3] -
y)**2 + (position[2, 3] - z)**2
if math.sqrt(squared_distance) > 0.03:
    ikResults = armChain.inverse_kinematics([x, y, z])

# Actuate the arm motors with the IK results.
for i in range(3):
    motors[i].setPosition(ikResults[i + 1])

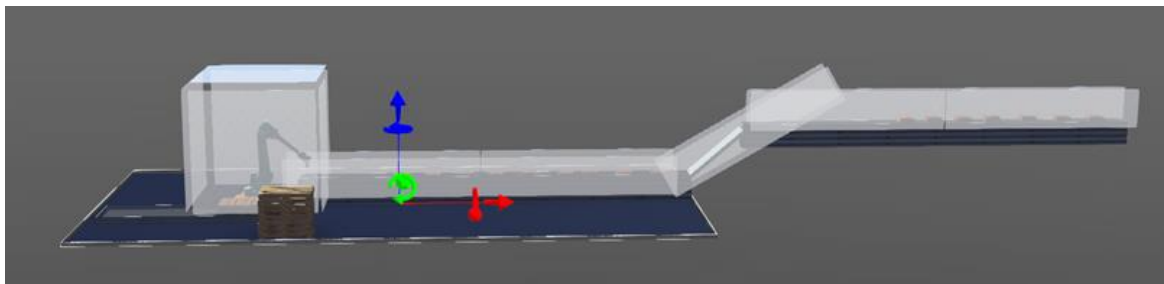
motors[4].setPosition(-ikResults[2] - ikResults[3] + math.pi / 2)
motors[5].setPosition(ikResults[1] + math.pi/2)

```

Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν προσομοιώσεις, αρχικές προσπάθειες διαφορετικών αναλύσεων που δεν εφαρμόστηκαν στην τελική εργασία, αλλά παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση και τη μελέτη της βιομηχανικής αυτοματοποίησης. Αυτές οι εικόνες παρουσιάζουν διάφορες διατάξεις και αναλύσεις που διερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης, με στόχο τη βελτίωση των διαδικασιών συσκευασίας και παλετοποίησης.



Προσπάθεια εγγραφής προγράμματος προσομοίωσης στο blender με σκοπό την αυτόματη φόρτωση παλέτας.



Ενδεικτικό Περιβάλλον διάταξης με γλίστρα και περισσότερες μεταφορικές ταινίες



Στοιβαξη παλέτας σε παλέτα

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Analysis name	Case name	Case description	Ext. length	Ext. width	Ext. height	Max pallet height	Solution case count	Layers	Cases per layer	Load weight	Weight	Volume efficiency	Image
2	CaseAnalysis1	Case2	Case2	380	265	145	2255	126	14	9	819	851,2	90,7838496	
3	Analysis01	Case0	Case0	380	265	145	2255	126	14	9	882	901,2	90,7838496	
4	Analysis3	Case2	Case2	380	265	145	2255	140	14	10	910	944,2	94,42357401	

Αποτελέσματα των αναλύσεων σε excel