

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η εν λόγω διατριβή εξετάζει ένα σύστημα διαχείρισης αποθηκευμένων προϊόντων καπνού, το οποίο χρησιμοποιεί ένα σύνολο πλήρως αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων - στόλος με Robotic Mobile Units (RMUs) - που λειτουργούν εντός κέντρων διανομής προϊόντων (Distribution Centers, DCs). Πρωταρχικός σκοπός των κέντρων διανομής αποτελεί η εξυπηρέτηση των αφικνούμενων παραγγελιών σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες ζήτησης και τους περιορισμούς παράδοσης.

Η εκτέλεση των παραγγελιών καθώς και η τοποθέτηση των κιβωτίων από τους ζητούμενους κωδικούς σε παλέτες για πώληση, λαμβάνει χώρα στους σταθμούς διαλογής (Picking Stations, PS) και περατώνεται από ανθρώπινες οντότητες, τους διαλογείς (Pickers), οι οποίοι αποτελούν σημαντικό παράγοντα της εύρωστης λειτουργίας των αυτοματοποιημένων κέντρων διανομής.

Η συνεισφορά των αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Αυτά μπορούν να σηκώνουν, να μεταφέρουν και να αναδιανέμουν κατά περίπτωση τις έτοιμες ή σχεδόν έτοιμες παραγγελίες εντός των εσωτερικών ορίων του κέντρου διανομής. Επιτελούν διαδικασίες προστιθεμένης αξίας όπως ολοκλήρωση αλλά και καλύτερη ταξινόμηση των έτοιμων παραγγελιών όπως ακόμα και τη συσκευασία αυτών πριν τις εναποθέσουν σε χώρους φόρτωσης στα φορτηγά.

Το περιγραφόμενο σύστημα διακρίνεται από ευελιξία όσον αφορά το χώρο, εφαρμόζοντας διαδικασίες βελτιστοποίησης και αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση αναφορικά με την διαχείριση πολλαπλών τύπων εμπορευμάτων.



Εικόνα 1.1: Άποψη ενός πολυεπίπεδου κέντρου διανομής, με τα ρομποτικά οχήματα, να διαχειρίζονται τράπεζες παλετών, που φέρουν ραφιέρες και κιβώτια προϊόντων καπνού.

(www.interlink.gr . © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. Παραχωρήθηκε άδεια χρήσης.).

1.2 Λίγα λόγια για το μελετώμενο σύστημα

Μέχρι πρόσφατα το σύστημα διαχείρισης υλικών (Material Handling System - MHS) συνήθως ήταν μια μεταφορική ταινία που μετέφερε προϊόντα από σημείο σε σημείο ή ένα σύστημα με καρότσια σε σιδηροτροχιές ή μια αλυσίδα μεταφοράς, πάντα κάτω από τον έλεγχο του υπολογιστή. Τα σύγχρονα συστήματα πλέον διαθέτουν αυτόνομα ρομποτικά οχήματα που πραγματοποιούν τις εργασίες μεταφοράς. Το υπό εξέταση σύστημα διαχείρισης υλικών είναι ικανό να διαχειριστεί σχεδόν κάθε είδους προϊόν όπως παλέτες αποτελούμενες από χάρτινα κιβώτια ή απλά τεμάχια ικανά να φιλοξενηθούν σε κατάλληλα διαμορφωμένα ράφια.

Η πιο σημαντική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα τέτοιο σύστημα είναι η διαλογή χάρτινων κιβωτίων από τον διαλογέα που βρίσκεται στους σταθμούς διαλογής. Τα κιβώτια ευρισκόμενα αρχικά πάνω στην εισερχόμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου, από την κυρίως αποθήκη, τοποθετούνται από τους διαλογείς, που βρίσκονται εντός του σταθμού διαλογής, προς μια εξερχόμενη παλέτα συμπληρώνοντας έτσι μια παραγγελία ή μέρος αυτής. Μια λίστα με εισερχόμενες παραγγελίες παραδίδεται στο σύστημα διαχείρισης υλικών με σκοπό την καλύτερη εξυπηρέτηση. Η λίστα απαρτίζεται από κωδικούς ζητούμενων προϊόντων (Stock Keeping Units - SKUs) και τις αντίστοιχες ζητούμενες ποσότητες. Κάθε ζεύγος (κωδικός, ποσότητα) λέγεται γραμμή (line). Κάθε λίστα εμπεριέχει επίσης την ταυτότητα παραγγελίας (order id). Οι παραγγελίες αντιστοιχούν σε παλέτες αποτελούμενες από προϊόντα με διαφορετικούς κωδικούς SKUs. Μια παραγγελία αποτελείται από ένα σετ τεμαχίων που απαιτείται να ανακτηθούν από το κέντρο διανομής προκειμένου να παραδοθούν τελικά στον πελάτη (παραγγελία πελάτη, Customer Order).

Ο κωδικός SKU είναι ένας μοναδικός αριθμός ταυτότητας χαρακτηριστικός για κάθε τύπο διακινούμενου προϊόντος. Αυτός διαφέρει από το σειριακό αριθμό (barcode), ο οποίος σηματοδοτεί κάθε συγκεκριμένο διακινούμενο προϊόν. Ως SKUs μπορούν να οριστούν για παράδειγμα μια συγκεκριμένη μάρκα τσιγάρων (π.χ. Davidoff, Marlboro, Prince, Assos κλπ). Οι εισερχόμενες προς απόθεση, απογραφή και αποθήκευση παλέτες μοναδιαίου φορτίου εμπεριέχουν εξ ορισμού αποκλειστικά έναν (1) κωδικό διατηρούμενου μοναδιαίου αποθέματος σε κάθε παλέτα. Το παραπάνω βρίσκεται σε πλήρη αντίθεση με τις ετοιμαζόμενες ή παραδοτέες παραγγελίες δηλαδή τις εξερχόμενες μεικτές παλέτες, που περιέχουν ποικιλία από προϊόντα και έχουν παραγγελθεί. Αυτά αποτελούνται συνεπώς από διαφορετικούς αριθμούς διατηρούμενων μοναδιαίων αποθεμάτων (SKUs) κάθε μια. Το εξεταζόμενο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κέντρα διανομής τα οποία τροφοδοτούν είτε καταστήματα λιανικών πωλήσεων ή άλλα κέντρα διανομής, δηλαδή επιχείρηση προς επιχείρηση (Business to Business - B2B) είτε απ' ευθείας προς τους πελάτες (Business to Customer - B2C).

1.3 Πεδίο εφαρμογής και σκοπός της διατριβής

Η εκπονούμενη εργασία επικεντρώνεται στην μοντελοποίηση και προσομοίωση ενός συστήματος κατανομής και διαχείρισης αποθηκευμένων προϊόντων στον διαθέσιμο κάθε φορά χώρο του κέντρου διανομής, με στόχο το βέλτιστο τρόπο εκτέλεσης των αφικνούμενων παραγγελιών. Στα παραπάνω περιλαμβάνονται μέθοδοι κατάλληλου διαχωρισμού των παραγγελιών σε ισοδύναμες παρτίδες (order splitting and batching methods), λαμβάνοντας υπόψη τα ήδη αποτεθειμένα και καταναμεμένα προϊόντα στον κυρίως χώρο απόθεσης και αποθήκευσης αλλά και τους υπόλοιπους χώρους του κέντρου διανομής.

Η σύνδεση των παραπάνω μεθόδων με τις εισερχόμενες κάθε φορά παραγγελίες και η δυνατότητα αλληλεπίδρασης των ρομποτικών οχημάτων με τα εγκατεστημένα συστήματα διαχείρισης αποθηκών (Warehouse Management Systems, WMS), βοηθούν στην βέλτιστη χωροθέτηση των αγαθών ενημερώνοντας με δυναμικό τρόπο και σε πραγματικό χρόνο για τις τυχόν μεταβολές σχετικά με την κατάσταση του αποθέματος στην αποθήκη. Με τον τρόπο αυτό το λογισμικό που υποστηρίζει τη συλλογή και διαχείριση παραγγελιών συμβάλλει στη βέλτιστη εκτέλεση των παραγγελιών και τη βέλτιστη μεταφορά των ζητούμενων προϊόντων.

1.4 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη του μελετώμενου συστήματος

- Ελαχιστοποίηση αποτυπώματος διοξειδίου του άνθρακα CO₂ με την εξάλειψη των αναγκών φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης των περιοχών αποθήκευσης καθώς οι ώρες που ο άνθρωπος απαιτείται να είναι παρών είναι ελάχιστες και έτσι υπάρχει μείωση της συνολικά δαπανώμενης ενέργειας
- Οι χρησιμοποιούμενες μπαταρίες για τα ρομποτικά οχήματα (RMUs) τύπου LiFePo είναι ιδιαίτερα ισχυρές με 100-150% υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις κλασσικές μολύβδου (Classic Lead) και λειτουργούν με αξιοπιστία υπό συνθήκες συνεχών αυξομειώσεων της τάσης. Χαρακτηρίζονται από χαμηλούς ρυθμούς αποφόρτισης και προσφέρουν ταχεία επαναφόρτιση. Ακόμα δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου των επιπέδων φόρτισης αλλά και προστασία σε περίπτωση φωτιάς. Διατίθενται σε ποικίλα σχήματα με μικρό όγκο. Επίσης είναι επαναχρησιμοποιούμενες και άρα πιο φιλικές στο περιβάλλον σε αντίθεση των κλασσικών μπαταριών μολύβδου που θεωρούνται ξεπερασμένες (βαριές με μεγάλο όγκο, αποφορτίζουν γρήγορα) και χρησιμοποιούνται κυρίως στα περνοφόρα οχήματα (Forklift).
- Ασφάλεια εργαζομένων καθώς δεν εμπλέκονται άμεσα εντός του χώρου εργασίας των RMUs αλλά δρουν σε ανεξάρτητες χωρικές οντότητες και ελαττώνεται έτσι το όποιο ρίσκο για κάποια "μη αποδεκτή" και επικίνδυνη μανούβρα από κάποιο εργαζόμενο
- Μη θορυβώδες και συνεπώς λιγότερο αγχωτικό περιβάλλον εργασίας για τους εργαζόμενους εντός του κέντρου διανομής

Ικανοποίηση εργαζομένων με ταυτόχρονη μείωση των διενέξεων μεταξύ των υπαλλήλων που εμπλέκονται στην διαδικασία πλήρωσης των αφικνούμενων παραγγελιών εντός του κέντρου διανομής

1.5 Πλεονεκτήματα του συστήματος διαχείρισης υλικών

- Αποτελεί ολοκληρωμένη προσέγγιση αναφορικά με την διαδικασία συλλογής και παράδοσης παραγγελιών, με την απαιτούμενη ακρίβεια υλοποιώντας διαδικασίες αυτόματης σήμανσης και ταυτοποίησης μέσω ρομπότ
- Ελεγκτασιμότητα: το σύστημα μπορεί να ελέγχει από ένα έως και εκατοντάδες ρομποτικά οχήματα (RMUs) και να προσαρμόζεται σε τυχόν αλλαγές των προϊόντων που μπορεί να διαχειριστεί
- Εύκολη προσαρμογή αναφορικά με τις όποιες ανακύπτουσες αλλαγές στην σειρά προτεραιότητας, εξυπηρέτησης αλλά και στις εν γένει προκύπτουσες απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης (φόρτιση μπαταριών, συντήρηση, αντικατάσταση των RMUs)
- Ταχεία και εύκολη εγκατάσταση, της τάξεως των μερικών εβδομάδων εκκινώντας από άδειο χώρο με ειδικό συμπαγές δάπεδο με ειδικά αυτοκόλλητα σήμανσης τύπου QR CODE και δυνατότητα κάθετης επέκτασης με πολυεπίπεδες δομές (βλέπε *Εικόνα 1.1*) με απαίτηση εγκατάστασης ελάχιστων ηλεκτρικών πριζών για την φόρτιση των ρομποτικών οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η αποθηκευτική πυκνότητα ενσωματώνοντας νεκρές περιοχές όπου οι παλέτες δεν είναι ευθέως προσεγγίσιμες από τους διαδρόμους του κέντρου διανομής.
- Το σύστημα είναι ικανό να ανταποκριθεί σε στιγμιαία αύξηση των παραγγελιών με αντίστοιχη προσαρμογή της ταχύτητας εξυπηρέτησης
- Άμεση ικανότητα προσαρμογής, της τάξης μερικών εβδομάδων, σε σχέση με αλλά συστήματα που απαιτούν μήνες
- Υψηλή παραγωγικότητα λόγω του έμφυτου παραλληλισμού των ανεξάρτητα κινούμενων ρομποτικών οχημάτων
- Διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και αδιάλειπτη εργασία με ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων αναμονής των διαλογέων εξαλείφοντας την ανάγκη βάρδισης
- Σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους της αποθήκης όπως αυτό εκφράζεται ως κόστος ανά κιβώτιο που διαχειρίστηκε από το σύστημα σε ένα κέντρο διανομής

Κεφάλαιο 2

2.1 Εισαγωγή

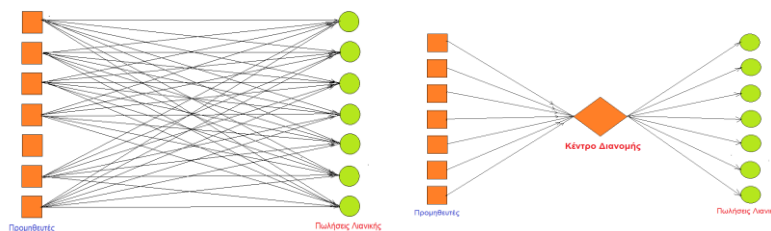
Το κέντρο διανομής αποτελεί μια εγκατάσταση που προσφέρει προσωρινή αποθήκευση για πολλά και διάφορα προϊόντα, ευρισκόμενα σε διαφορετικές θέσεις απόθεσης εντός αυτής. Τα κέντρα διανομής χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες διαδικασίες όπως αυτές της παραλαβής, απόθεσης, ανάκτησης και διαλογής των ζητούμενων προϊόντων. Τα χαρακτηριστικά που εμφανίζει το κάθε σύστημα μπορεί να διαφοροποιήσουν αισθητά την απόδοση του εκάστοτε κέντρου διανομής. Τα κέντρα διανομής μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα ανάκτησης μοναδιαίου φορτίου (unit load retrieval systems) που μεταφέρουν μοναδιαίες ποσότητες (πχ. ολόκληρες παλέτες) κομματιών ίδιου τύπου εκτελώντας μία μόνο φόρτωση ή/και εκφόρτωση ανά δρομολόγιο ή συστήματα διαλογής παραγγελιών (order-picking systems) που μεταφέρουν μικρές (κλασματικές) ποσότητες πολλών προϊόντων με πολλές στάσεις ανά δρομολόγιο. Συστήματα μοναδιαίου φορτίου συνήθως εγκαθίστανται προς τα ανάντη της εφοδιαστικής αλυσίδας και συνήθως συνδέονται με τις εγκαταστάσεις παραγωγής των διακινούμενων προϊόντων (Bartholdi and Hackman 2007).



Εικόνα 2.1: Η στρατηγική θέση των κέντρων διανομής κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ο λόγος ύπαρξης των κέντρων διανομής και των αποθηκών είναι να δημιουργούν καλύτερη διασύνδεση μεταξύ των προμηθευτών και των πελατών, ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ζήτησης, βοηθώντας στην ενοποίηση των προϊόντων και μειώνοντας τα κόστη αποστολής. Στο σημερινό ανταγωνιστικό περιβάλλον έχει ενταθεί η πίεση στους ασκούντες διοίκηση σε κέντρα διανομής για αντίστοιχη αύξηση του ρυθμού παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του λειτουργικού κόστους αλλά και του χρόνου συλλογής των παραγγελιών (Frazelle 2002).

Τα κέντρα διανομής αποτελούν σημεία κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου τα προϊόντα παύουν να κινούνται και απλώς “εναποτίθενται” όπως συνηθίζεται να λέγεται. Τα προϊόντα δεσμεύουν χώρο αλλά και χρόνο (ανθρωποώρες εργασίας). Τα διαθέσιμα μέσα αναφορικά με τον εξοπλισμό, τους χώρους και το προσωπικό να λειτουργούν, ικανοποιώντας τις παραγγελίες των πελατών. Η επιλογή τεχνολογίας και πόρων και η χωροθέτηση των τμημάτων επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση ενός κέντρου διανομής. Εξ ίσου σημαντικές όμως είναι οι στρατηγικές, πολιτικές και μέθοδοι λήψης αποφάσεων που εφαρμόζονται για την αποθήκευση, μεταφορά και διαλογή προϊόντων. Οι επιλογές αυτές έχουν καθολικές επιδράσεις και έτσι απαιτείται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη.



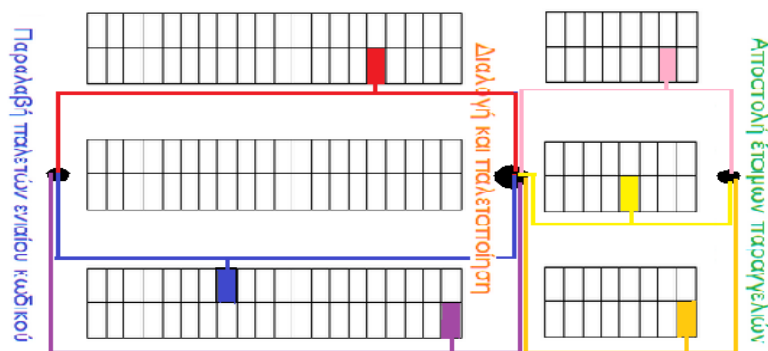
Εικόνα 2.2: Τα κέντρα διανομής με την προσφερόμενη ενοποίηση, διασφαλίζουν την οικονομική και αξιόπιστη διασύνδεση προμηθευτών και πελατών.

Σε μια δεδομένη ημέρα ή βάρδια ένα κέντρο διανομής έχει πολλές παραγγελίες να εκπληρώσει. Το εν λόγω κέντρο διανομής υλοποιεί εντός το πολύ 24 ωρών τη συλλογή, ενοποίηση και διανομή των προϊόντων που φιλοξενεί. Αυτές οι παραγγελίες μπορεί να είναι παρόμοιες σε ένα βαθμό αποτελούμενες από κοινούς κωδικούς ζητούμενων προϊόντων. Επίσης αν υπάρχουν ομοιότητες μεταξύ των παραγγελιών που απαιτούνται να αποσταλούν μαζί θα πρέπει αυτές να συλλέγονται κατά την ίδια χρονική περίοδο ώστε να αποφευχθεί η όποια ενδιάμεση αποθήκευση για μεγάλο χρονικό διάστημα στους χώρους απόθεσης έτοιμων παραγγελιών. Για παράδειγμα μπορεί κάποιες παραγγελίες να αποστέλλονται προς τους πελάτες χρησιμοποιώντας τους ίδιους μεταφορείς ή να έχουν παραπλήσιες ημερομηνίες παράδοσης.

Η διαδικασία της διαλογής είναι από τις πιο σημαντικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα κέντρα διανομής και ως εκ τούτου έχουν μεγάλη συνεισφορά στα κόστη του κέντρου διανομής. Η εν λόγω διαδικασία έχει αναγνωριστεί ως η πιο εντατική και κοστοβόρα εργασία για κάθε κέντρο διανομής (De Koster et al. 2005). Η διαδικασία πλήρωσης περιλαμβάνει την συλλογή συγκεκριμένων σετ από τα αποθηκευμένα προϊόντα και την αποστολή αυτών προς τον εκάστοτε πελάτη. Σε ένα τυπικό κέντρο διανομής οι παραγγελίες των πελατών συνήθως εκτελούνται ταυτόχρονα. Οι Coyle et al. 2003, εκτιμούν ότι τέτοιες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για το 65% του ολικού κόστους λειτουργίας μιας τυπικής αποθήκης. Επίσης σύμφωνα με τους Tompkins et al. 1996 η διαλογή των παραγγελιών ανέρχεται στο 55% των λειτουργικών εξόδων ενός κέντρου διανομής.

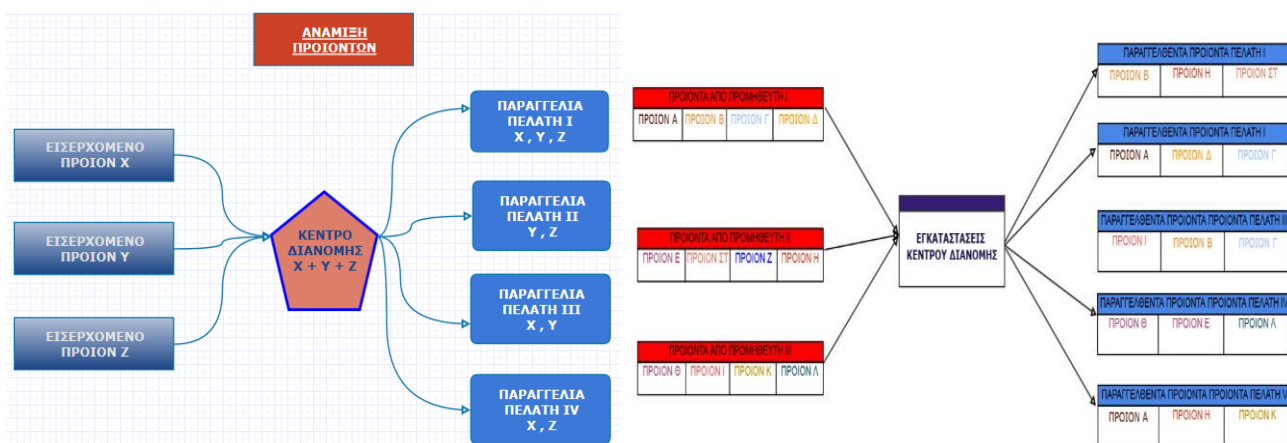
2.2 Βασικές λειτουργίες και συνιστώσες του μελετώμενου κέντρου διανομής

Θεωρούμε ότι στο εν λόγω κέντρο διανομής υπάρχει μόνο μια αποβάθρα παραλαβής και μια μόνο αποβάθρα αποστολής, με τις θέσεις τους να βρίσκονται αντιδιαμετρικά ή μια από την άλλη και σε κάθε περίπτωση να μην συμπίπτουν. Επιπλέον είναι σύνηθες τέτοιου είδους κέντρα διανομής να έχουν στενούς διαδρόμους αλλά και αυτόματα συστήματα αποθήκευσης και ανάκτησης των ζητούμενων προϊόντων (Roodbergen and Vis 2009), όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα που παρατίθεται παρακάτω.



Εικόνα 2.3: Σκαρίφημα του μελετώμενου κέντρου διανομής.

Σε ένα κέντρο διανομής μοναδιαίου φορτίου όλα τα προϊόντα αποτίθενται και ανακτώνται από την περιοχή κυρίως απόθεσης και αποθήκευσης αποκλειστικά και μόνο κατά παλέτες. Κάθε νέα εισερχόμενη παλέτα εμπεριέχει μόνο ένα συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος και μεταφέρεται ξεχωριστά ή κάθε μια από το εκάστοτε διαθέσιμο ρομποτικό όχημα. Η απόθεση και ανάκτηση των ζητούμενων προϊόντων από και προς τις κατάλληλες θέσεις αποτελεί κρίσιμης σημασίας παράγοντα για την ελαχιστοποίηση του κόστους σε ένα τέτοιο κέντρο διανομής.

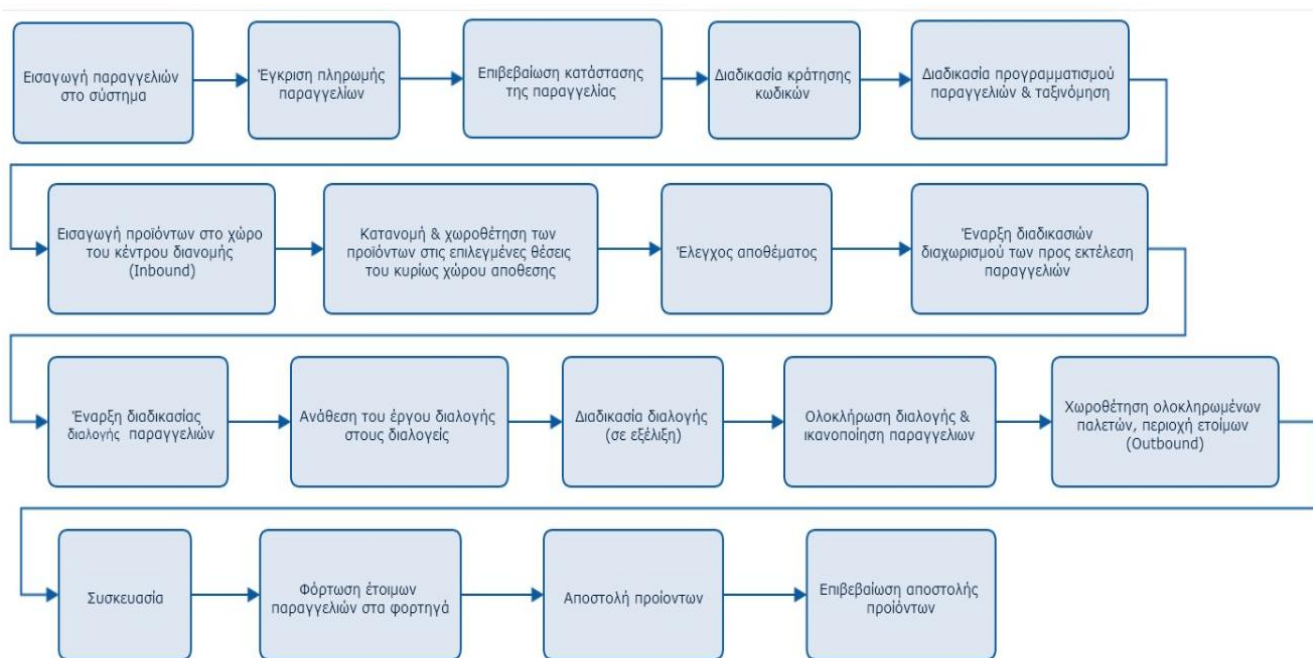


Εικόνα 2.4: Ενοποίηση προϊόντων για την κάλυψη παραγγελιών σε ένα κέντρο διανομής μοναδιαίου φορτίου και ένα απλό παράδειγμα πλήρωσης παραγγελιών των πελατών με τα απαιτούμενα προϊόντα προερχόμενα από τους αντίστοιχους προμηθευτές.

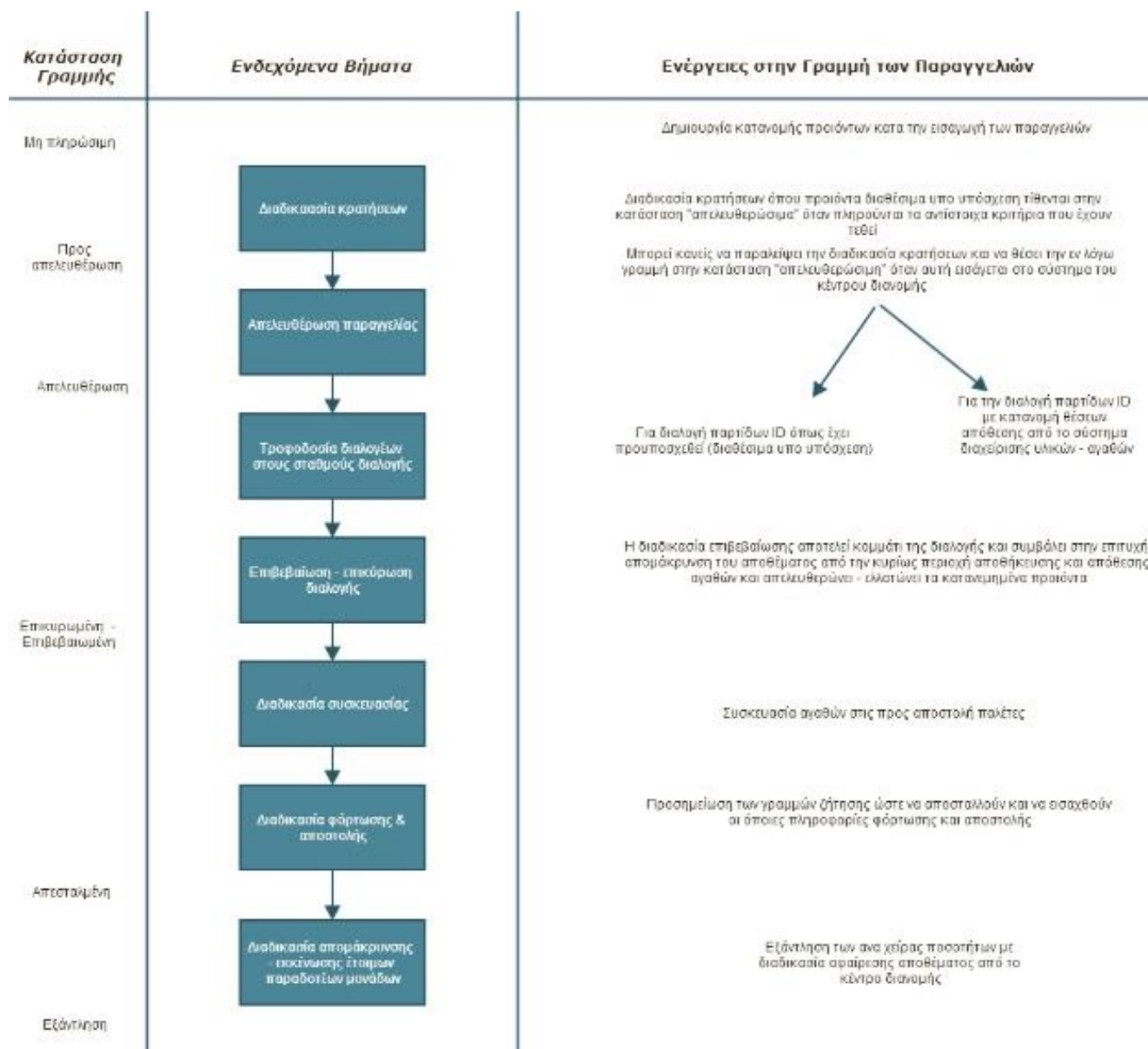
Το εν λόγω κέντρο διανομής με την ενσωμάτωση των ρομποτικών οχημάτων λειτουργεί στην λογική goods to man ή αλλιώς goods to person, όπως συνηθίζεται, όπου τα προϊόντα μέσω των ρομποτικών οχημάτων καταφθάνουν προς τον διαλογέα που βρίσκεται σταθερός στους σταθμούς διαλογής. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι σε ένα τέτοιο κέντρο διανομής έχει γίνει εναλλαγή του ρόλου των θέσεων απόθεσης και των θέσεων διαλογής σε σχέση με τα παλαιότερα συστήματα, man to goods ή person to goods, όπου οι διαλογείς ταξιδεύουν κατά μήκος των διαδρόμων του κέντρου, περισυλλέγοντας στο καρότσι που φέρουν τα ζητούμενα προϊόντα από κάθε παραγγελία.

Ο αριθμός των διαφορετικών προϊόντων σε ένα κέντρο διανομής μπορεί να είναι μεγάλος ενώ ταυτόχρονα οι ζητούμενες ποσότητες ανά παραγγελία σχετικά μικρές γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μια πολύπλοκη και σχετικά κοστοβόρα διαδικασία διαλογής. Στην εν λόγω εργασία αναφερόμαστε σε ένα κέντρο διανομής μικρού μεγέθους, με ρυθμούς παραγωγής που κυμαίνονται, το πολύ μέχρι τις 250-300 παλέτες ανά ημέρα με περιορισμένο αριθμό παραγγελιών που δέχεται περί τις 60 ανά ημέρα αλλά και με ένα σχετικά μικρό αριθμό κωδικών διατηρούμενου μοναδιαίου αποθέματος να διαχειριστεί περί τους 84.

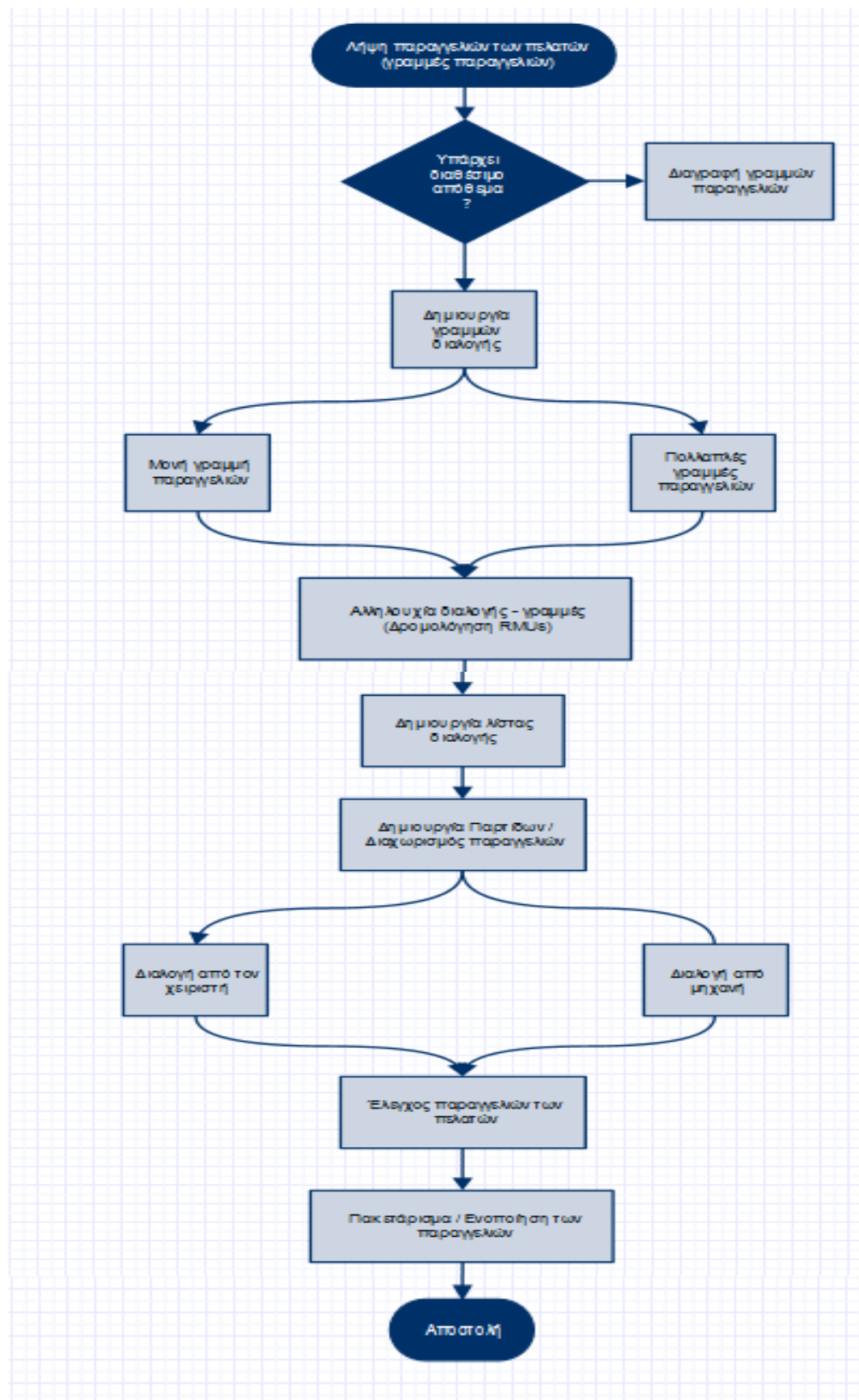
Εν γένει τέτοια συστήματα όπως το μελετώμενο απαιτούν συνεχή ροή και κίνηση προϊόντων ώστε να αποφεύγονται τα συχνά σταματήματα και ξεκινήματα των ρομποτικών οχημάτων. Αυτά συνεπάγονται σπατάλη ενέργειας και πολυπλοκότητα, δημιουργώντας κωλύματα και στενώσεις (bottlenecks) της ροής στο εσωτερικό του κέντρου διανομής.



Εικόνα 2.5: Τυπικά βήματα ακολουθούμενων διαδικασιών εντός ενός κέντρου διανομής εμπορευμάτων.



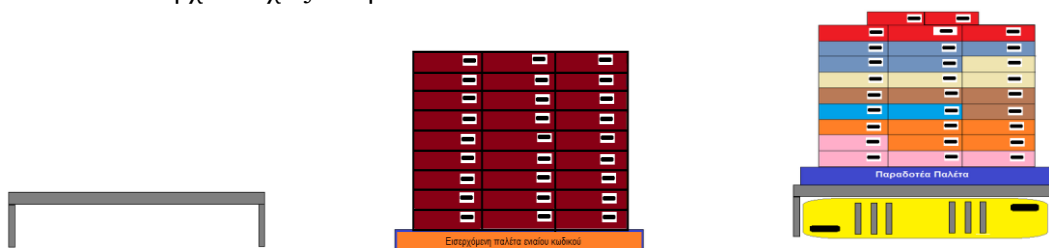
Εικόνα 2.6: Ακολουθούμενα βήματα και διαδικασίες κατά τον προγραμματισμό και εκτέλεση μιας παραγγελίας.



Εικόνα 2.7: Γενικό διάγραμμα εκτέλεσης και διαλογής παραγγελιών (Bartholdi & Hackman, 2011).

2.3 Παλέτες και βάσεις παλετών

Οι παλέτες τοποθετούνται πάνω σε ειδικά κατασκευασμένες βάσεις παλετών γνωστές ως τράπεζες, οι οποίες μπορούν να ενσωματώνονται πάνω στα ρομποτικά οχήματα και να μεταφέρονται από αυτά. Τα εισερχόμενα προϊόντα τοποθετούνται σε βάσεις παλετών. Με τον τρόπο αυτό μετακινείται το απόθεμα με ταχύτητα και αξιοπιστία είτε πρόκειται για εισερχόμενες παλέτες μοναδιαίου φορτίου είτε για ενδιάμεσες (μη ολοκληρωμένες) είτε για τελικές (ολοκληρωμένες) παλέτες παραγγελιών, κινούμενες εντός του χώρου του κέντρου διανομής. Το σύστημα διαχείρισης υλικών χρησιμοποιεί τις βάσεις παλετών ως στοιχείο για την καλύτερη διαχείριση των παλετών πάνω στις οποίες βρίσκονται τα προϊόντα και επιτρέπει έτσι στους διαλογείς την βέλτιστη από μέρους τους διαχείριση των κουτιών στους σταθμούς διαλογής. Ο αριθμός, το περιεχόμενο και η θέση κάθε βάσης αποθηκεύεται σε υπολογιστή ο οποίος αναθέτει στο κατάλληλο ρομποτικό όχημα την μεταφορά της συγκεκριμένης εισερχόμενης παλέτας σε μια θέση στον κυρίως χώρο απόθεσης. Έτσι κατά την ενεργοποίηση της διαδικασίας εκτέλεσης μιας παραγγελίας ο υπολογιστής ανασύρει την θέση της ζητούμενης παλέτας από την μνήμη και κατευθύνει ένα διαθέσιμο ρομποτικό όχημα ώστε να αναλάβει το έργο μεταφοράς αυτής προς τους σταθμούς διαλογής. Αφού τελειώσει η διαλογή του ζητούμενου κωδικού από το διαλογέα η παλέτα επιστρέφει στην θέση από όπου και αρχικά είχε ξεκινήσει.



Εικόνα 2.8: Μορφή των βάσεων παλετών (τραπεζών) και των διακινούμενων παλετών ώστε να μεταφέρονται με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα ρομποτικά οχήματα.

Επίσης θεωρείται καλή πρακτική οι ζητούμενες ποσότητες σε κάθε παραγγελία να μοιράζονται σε περισσότερες της μιας παλέτας με ομοιόμορφο τρόπο εκτός και αν το μέγεθος της παραγγελίας επιβάλλει ένα μέρος αυτής να στοιβαχθεί σε αμιγείς παλέτες. Μια παλέτα χρειάζεται να διαθέτει το χαρακτηριστικό της στιβαρότητας και έτσι σημασία δίνεται στον τρόπο που αυτή συμπληρώνεται από τον διαλογέα. Τέλος το βάρος αυτής θεωρούμε ότι δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την αξιόπιστη μετακίνηση της.

2.4 Κατηγοριοποίηση παλετών

Οι παλέτες διακρίνονται βάσει της λειτουργικής κατάστασης που βρίσκονται σε:

- **Έτοιμες προς παράδοση:** Είναι παλέτες γεμάτες με προϊόντα αναμένοντας φόρτωση και έξοδο από το κέντρο διανομής, γνωστές και ως μοναδιαίες παραδοτέες παλέτες (PDUs).
- **Παλέτες ημιτελείς:** Όταν δεν υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα προϊόντα στην αποθήκη γιατί δεν υπάρχουν διαθέσιμα RMUs για να υλοποιήσουν το έργο της μεταφοράς των παλετών, με τα ζητούμενα προϊόντα
- **Άδειες παλέτες:** Αυτές οδηγούνται στο σταθμό στοίβαξης των άδειων παλετών - Pallet Base Stacking Stations (PBSS)

Επιπλέον οι παλέτες μπορεί να χαρακτηριστούν με βάση την κατάσταση στην οποία βρίσκονται και διαχωρίζονται:

- **μη αξιόπιστες για εκτέλεση μεταφορικού έργου:** οπότε και μεταφέρονται προς επισκευή όπου εδó αναφερόμαστε σε σπασμένες ή ελαττωματικές παλέτες
- **πλήρως ακατάλληλες προς εκτέλεση μεταφορικού έργου:** οπότε απορρίπτονται και συλλέγονται σε ειδικό χώρο εκτός των αποθηκευτικών εγκαταστάσεων και οδηγούνται προς απόρριψη ή ανακύκλωση.

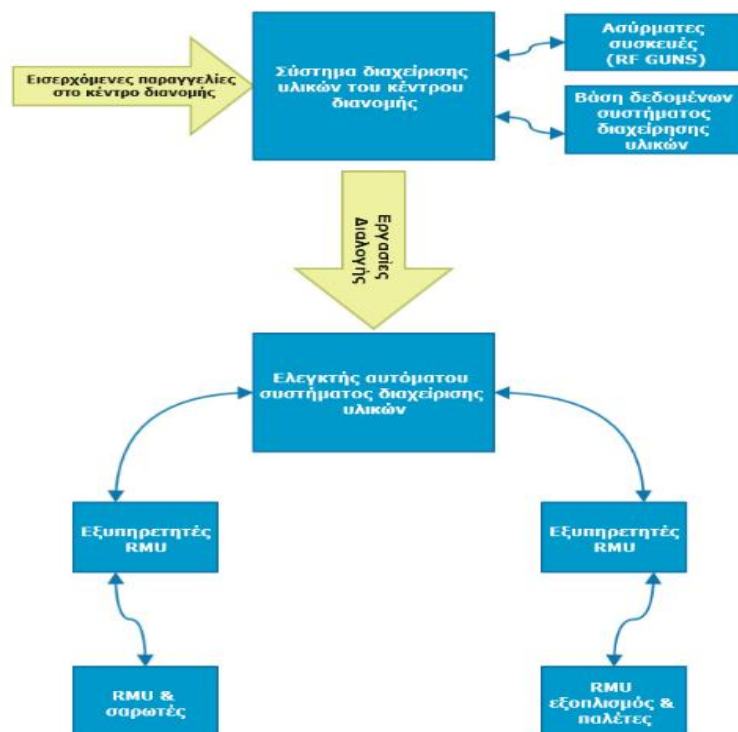
2.5 Το ρομποτικό όχημα - Διαχείριση στόλου ρομποτικών οχημάτων

Τα ρομποτικά οχήματα (RMUs) κινούνται στη λογική του στόλου, αποτελούν πλήρως αυτοκινούμενα οχήματα τα οποία είναι ικανά να μεταφέρουν τις ειδικά διαμορφωμένες βάσεις παλετών (τράπεζες) με τα προϊόντα που αυτές φέρουν εντός του χώρου εργασίας των και ελαχιστοποιώντας έτσι τις όποιες διαδικασίες μη προστιθέμενης αξίας (Non Value Added, NVA) εντός του κέντρου διανομής. Επιπλέον είναι επιφορτισμένα με την αναγνώριση, τροποποίηση και βέλτιστη αναδιανομή των θέσεων των παλετών αλλά και προϊόντων εν γένει προς επίτευξη οικονομικότερων λύσεων.



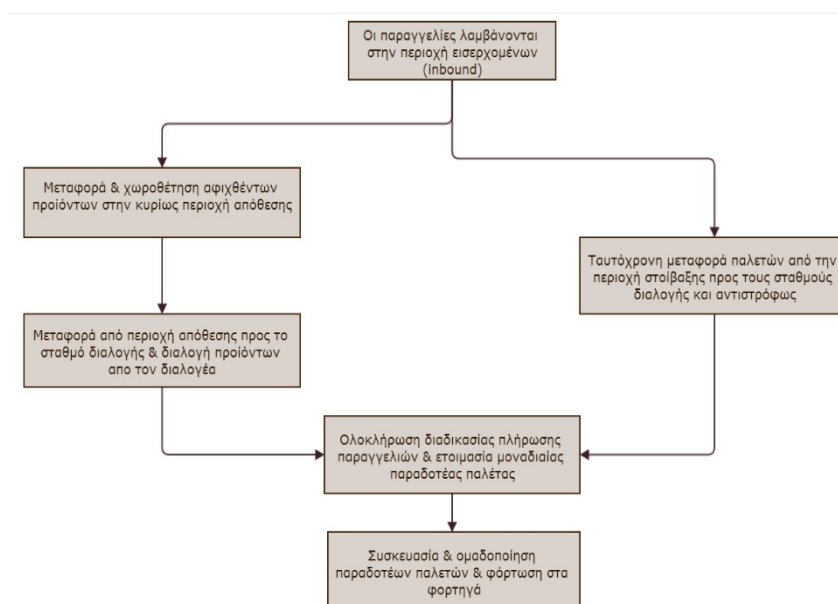
Εικόνα 2.9: Τα ρομποτικά οχήματα αποτελούν τον κορμό του συστήματος διαχείρισης υλικών του κέντρου διανομής
(www.interlink.gr . © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. Παραχωρήθηκε άδεια χρήσης.).

Ο εν λόγω στόλος ελέγχεται από ένα εξειδικευμένο σύστημα διαχείρισης υλικών που αποσκοπεί στη βέλτιστη ανάθεση και καταμερισμό του προκύπτοντος έργου μεταφοράς. Κάθε αίτημα μεταφοράς που αποστέλλεται στο σύστημα υφίσταται επεξεργασία και σε κάθε περίπτωση περατώνεται από την υπηρεσία ελέγχου του στόλου. Η λειτουργία των ρομποτικών οχημάτων επίσης σχετίζεται με την εγγενή ανάγκη τέτοιων συστημάτων όπου επιβάλλεται η συνεχής τροφοδοσία, ώστε να μην παρατηρηθεί κάποιου είδους έλλειψη.



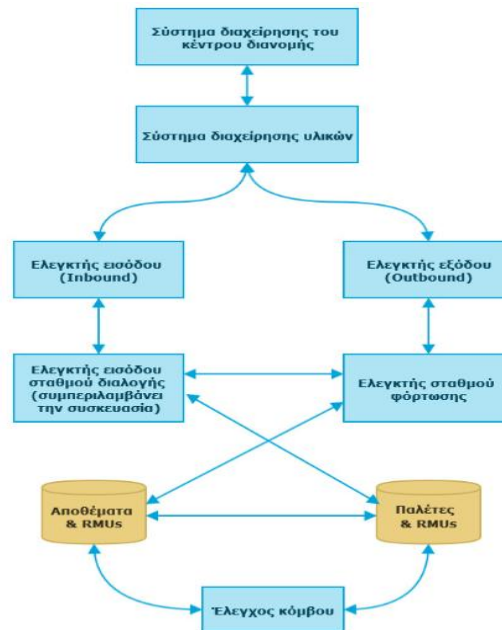
Εικόνα 2.10 Αναπαράσταση του συστήματος διαχείρισης υλικών και των συνδεδεμένων με αυτό στοιχείων.

Τα ρομποτικά οχήματα μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν πληροφορίες αναφορικά με τη θέση τους σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα του στόλου. Έτσι επιτυγχάνεται η καλύτερη ανάθεση του έργου μεταφοράς στο πιο κοντινό διαθέσιμο όχημα όπως ακόμα και η αποφυγή των μεταξύ τους συγκρούσεων. Κύριο έργο των ρομποτικών οχημάτων είναι η μεταφορά των παλετών μοναδιαίου φορτίου από την κυρίως περιοχή απογραφής και απόθεσης προς τους σταθμούς διαλογής έτσι ώστε να εφοδιάσουν τους διαλογείς με τα απαραίτητα προϊόντα που απαιτούνται για την εκτέλεση των παραγγελιών.



Εικόνα 2.11: Μεταφορά βάσεων παλετών στα διάφορα τμήματα του κέντρου διανομής.

Όταν μια παλέτα, τμήμα μιας εκτελούμενης παραγγελίας, έχει συμπληρωθεί τότε ένα ρομποτικό όχημα αναλαμβάνει την μεταφορά της, αρχικά από τη θέση του σταθμού διαλογής προς την περιοχή όπου λαμβάνει χώρα το τύλιγμα των παλετών. Ακολουθώς πραγματοποιείται η μεταφορά της στην περιοχή απόθεσης ετοιμών παραγγελιών και τελικά αυτή εναποτίθεται στην περιοχή μεταφοράς εξερχόμενων παραγγελιών έτσι ώστε να εξαχθεί επιτυχώς από το κέντρο διανομής. Επίσης ρομποτικά οχήματα μπορεί να κινούνται με κύριο σκοπό την μεταφορά κενών παλετών από και προς τους σταθμούς διαλογής όταν μια παραγγελία φθάσει στο σύστημα διαχείρισης υλικών του κέντρου διανομής. Συνοπτικά, τα ρομποτικά οχήματα εμπλέκονται σε όλες τις διαδικασίες εισαγωγής νέων προϊόντων στο κέντρο διανομής, ανανέωσης και βέλτιστης ανακατανομής τους και τελικά εξαγωγής των έτοιμων παραγγελιών.



Εικόνα 2.12: Αναπαράσταση συστήματος διαχείρισης του κέντρου διανομής και η αλληλεπίδραση ελεγκτών και βάσεων δεδομένων.

Η διαθεσιμότητα των οχημάτων χρειάζεται επίσης να ληφθεί υπόψη όπως επίσης και οι χρόνοι παύσης αυτών λόγω διαδικασιών συντήρησης φόρτισης ή και αλλαγής των μπαταριών τους.

2.6 Περιοχές και τομείς εντός του κέντρου διανομής

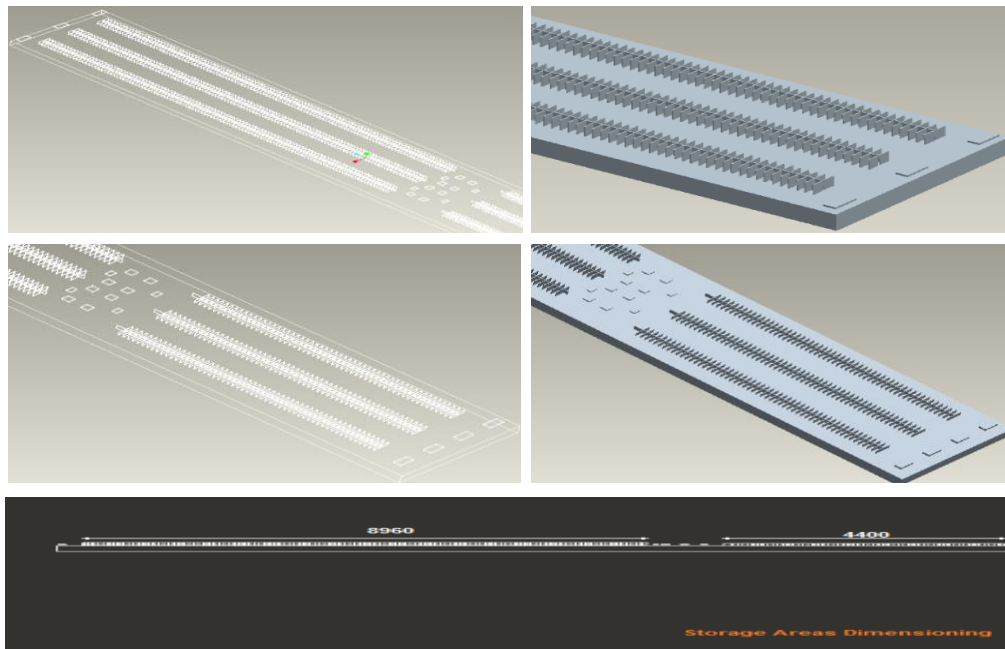
Οι παράγοντες που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη είναι η μορφή, η διάταξη και η διαστασιολόγηση των διαφόρων τομέων του κέντρου διανομής που θα μελετηθεί. Η σχεδίαση του κέντρου διανομής με τον απαραίτητο διαχωρισμό των τμημάτων αυτού αλλά και την κατάλληλη επιλογή των τεχνολογιών που θα εισαχθούν διέπει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του. Οι διαστάσεις του κέντρου διανομής καθορίζουν την χωρητικότητα αυτής και τα επίπεδα αποθεμάτων που μπορεί να φιλοξενήσει όπως επίσης και τον τρόπο με τον οποίο οι παραγγελίες συναρμολογούνται επηρεάζοντας τους ρυθμούς παραγωγής και τα λειτουργικά κόστη.

Έτσι το βέλτιστο σχήμα ενός κέντρου διανομής, αποτελούμενο από μακρόστενους διαδρόμους, έχει ως αποτέλεσμα συντομότερες διαδρομές σημειώνοντας ωστόσο ότι αυτά τα αποτελέσματα εξαρτώνται κυρίως από την επιλογή των κανόνων δρομολόγησης των ρομποτικών οχημάτων. Επίσης οι Bassan et al. 1980 θεωρούν ως βέλτιστη σχεδίαση το παραλληλόγραμμο με συστοιχίες ραφιών απόθεσης που είναι παράλληλοι προς τους μακρύτερους τοίχους αυτής. Έτσι για μεγάλες ζώνες απόθεσης προϊόντων και μικρές έως μεσαίες λίστες συλλογής τρεις με τέσσερις διάδρομοι έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερες διαδρομές από τα εμπλεκόμενα στην διαδικασία οχήματα.

Το κέντρο διανομής απαρτίζεται από διαφορετικούς τομείς όπως φαίνονται στις εικόνες που παρατίθενται αλλά και στα πρόχειρα σκαριφήματα.

Οι βασικοί αυτοί τομείς είναι οι ακόλουθοι:

- Απόθεσης και μεταφοράς εισερχόμενων πρώτων υλών - Inbound Transfer Stations Area
- Κυρίως απογραφής και αποθήκευσης - Main Inventory Storage Area
- Προσωρινής απόθεσης παλετών - Temporary Storage Slots Area
- Σταθμών διαλογής - Picking (Sorting) Stations Area
- Απόθεσης έτοιμων παραγγελιών - Completed Orders Storage Area
- Απόθεσης εξερχόμενων παραγγελιών - Outbound Storage Area



Εοικόνα 2.13: Γενική άποψη του κέντρου διανομής και των επί μέρους αυτού τομέων.

Κατά την διαδικασία εκτέλεσης των παραγγελιών τα ρομποτικά οχήματα μεταφέρουν τις βάσεις παλετών:

- Μεταξύ της περιοχής απόθεσης εισερχόμενων πρώτων υλών και της περιοχής κυρίως απογραφής και αποθήκευσης
- Μεταξύ της περιοχής κυρίως απογραφής και αποθήκευσης και των σταθμών διαλογής
- Από και προς τους σταθμούς διαλογής
- Μεταξύ της περιοχής των σταθμών διαλογής και της απόθεσης έτοιμων παραγγελιών
- Μεταξύ της περιοχής απόθεσης έτοιμων παραγγελιών και της περιοχής απόθεσης εξερχόμενων παραγγελιών

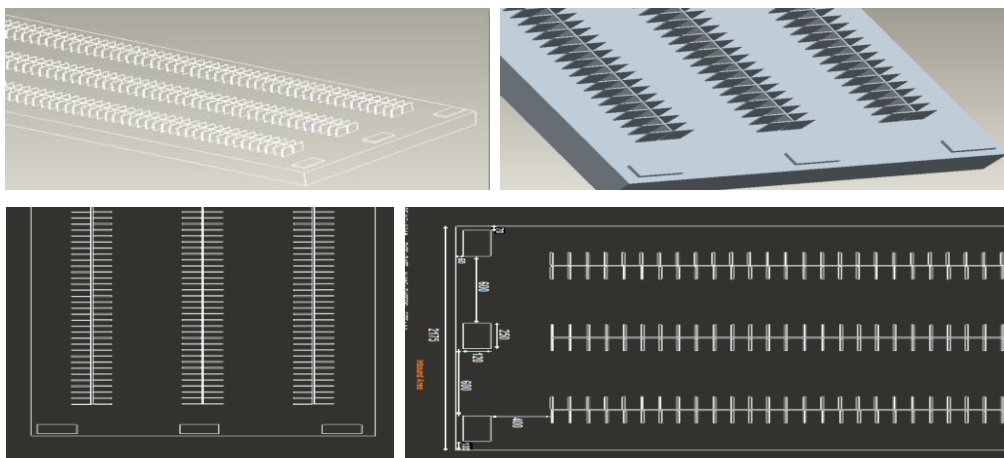
2.7 Αναλυτική περιγραφή των περιοχών του μελετώμενου κέντρου διανομής

Παρακάτω, ακολουθεί η περιγραφή και η επεξήγηση των διαδικασιών, που λαμβάνουν χώρα στους διάφορους τομείς του κέντρου διανομής. Τα κέντρα διανομής χαρακτηρίζονται από την ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων στο εσωτερικό αυτών αλλά και την ανάγκη για αρμονική μεταξύ τους συνεργασία.

2.7.1 Περιοχή μεταφοράς απόθεσης εισερχόμενων πρώτων υλών

Οι σταθμοί μεταφοράς εισερχόμενων πρώτων υλών χρησιμοποιούνται από τα ειδικά περονοφόρα οχήματα σε συνεργασία με το σύστημα διαχείρισης υλικών και σε συνδυασμό με την δραστηριότητα των ρομποτικών οχημάτων, ώστε να πραγματοποιηθεί η αναπλήρωση του αποθέματος.

Η εν λόγω περιοχή, περιλαμβάνει τρεις θέσεις απόθεσης των εισερχόμενων παλετών μοναδιαίου φορτίου στους χώρους του κέντρου διανομής. Η εισαγωγή και αναπλήρωση του αποθέματος επιτυγχάνεται μέσω των ρομποτικών οχημάτων που παραλαμβάνουν τα προϊόντα με σκοπό την μεταφορά τους στον κυρίως χώρο απόθεσης, απογραφής και αποθήκευσης. Γίνεται η υπόθεση ότι στο κέντρο διανομής εισέρχονται άμεσα προϊόντα όταν αυτό απαιτείται και ότι πάντα θα υπάρχει χώρος αυτά να τοποθετηθούν από την στιγμή που εισέρχονται. Έτσι, όταν ζητηθεί κάποιο προϊόν αυτό θα είναι διαθέσιμο και θα μπορεί πάντα να παραδίδεται χωρίς να παρατηρηθεί κάποια έλλειψη εφαρμογή στρατηγικής just in time.



Εικόνα 2.14: Απεικόνιση περιοχής παραλαβής εισερχόμενων παλετών μοναδιαίου φορτίου του κέντρου διανομής.

2.7.1.1 Διαδικασία εισαγωγής παλέτας μοναδιαίου φορτίου στο κέντρο διανομής

Αρχικά υποδεικνύεται από το σύστημα η ζητούμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου προς εισαγωγή. Μετά ένα ρομποτικό όχημα αποθέτει ένα τραπεζάκι στην κατάλληλη θέση του σταθμού εισερχομένων. Έπειτα ένα περονοφόρο όχημα αποθέτει την επιλεγμένη εισερχόμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου στην τράπεζα και απομακρύνεται. Τέλος, το ρομποτικό όχημα παραλαμβάνει την συγκεκριμένη τράπεζα που φέρει την εν λόγω παλέτα και την οδηγεί προς την προαποφασισμένη θέση απόθεσης στη κυρίως αποθήκη είτε σε οποιοδήποτε σημείο αυτή ζητηθεί. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση της εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ποσοτήτων μοναδιαίου φορτίου εντός του εσωτερικού του κέντρου διανομής.



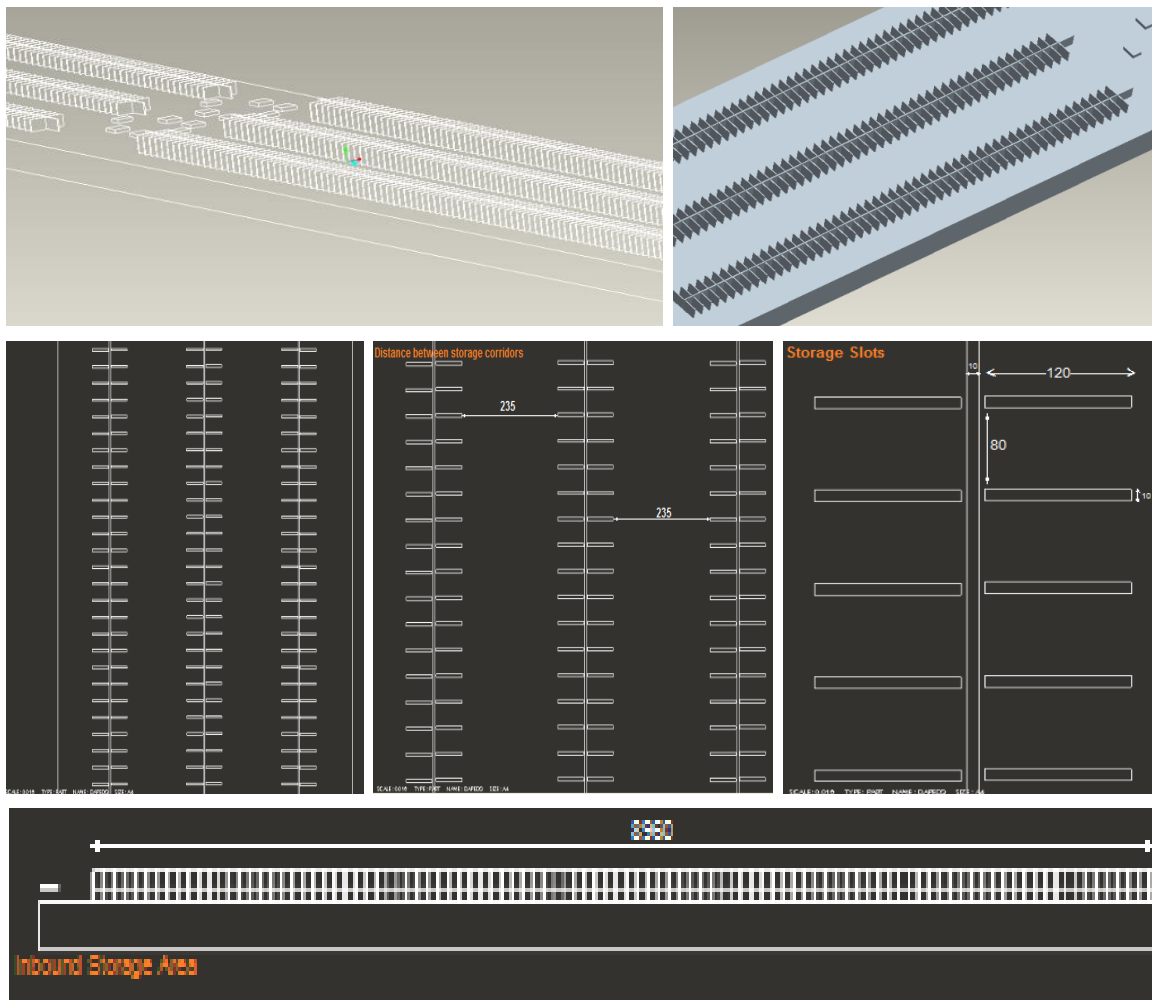
Εικόνα 2.15: Απεικόνιση διαδικασίας λήψης και μεταφοράς βάσης παλέτας (τράπεζας) από το ρομποτικό όχημα.

(www.interlink.gr . © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. Παραχωρήθηκε άδεια χρήσης.).

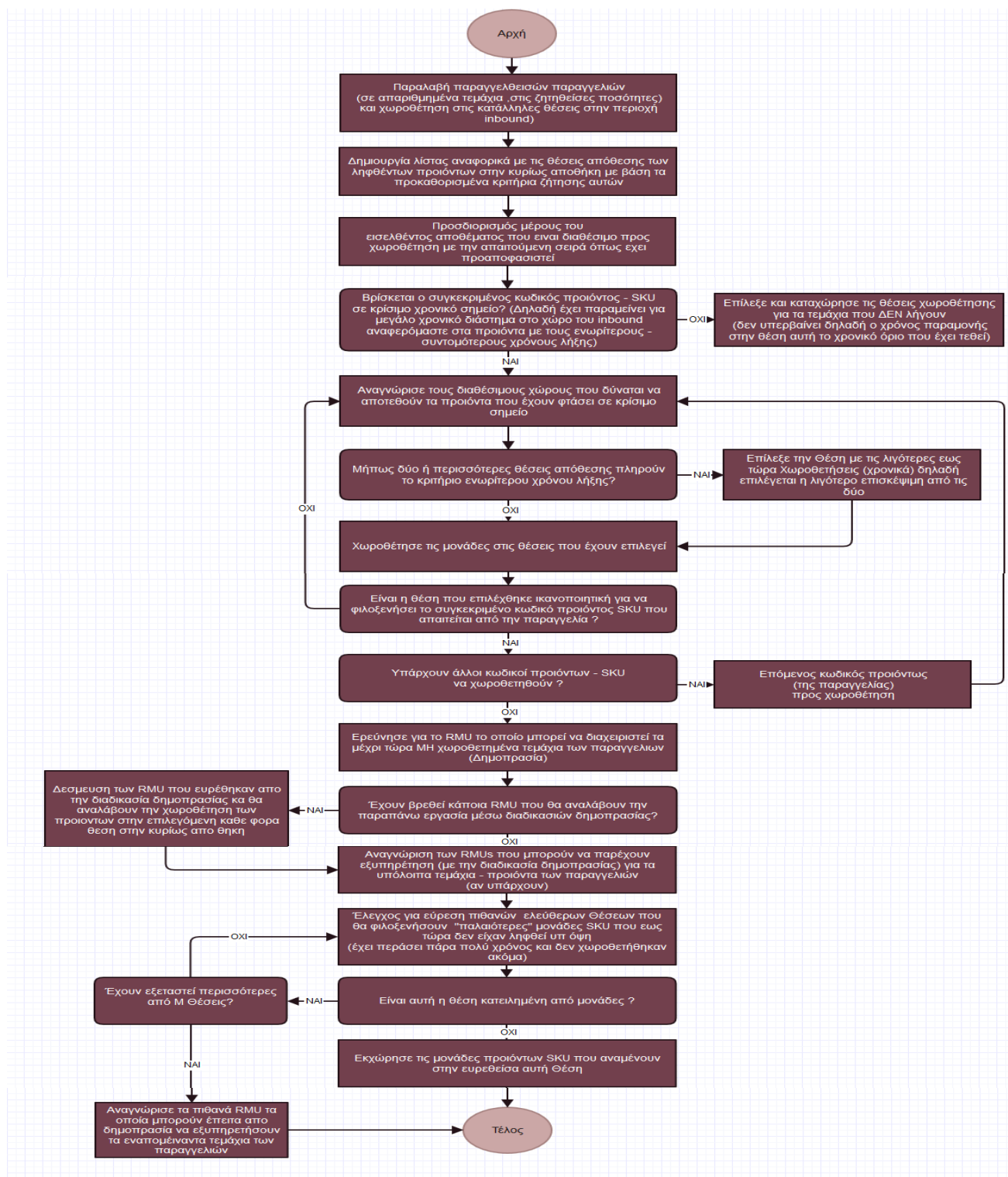
2.7.2 Περιοχή απογραφής και κύριας αποθήκευσης

Πρόκειται για την χωρικά μεγαλύτερη περιοχή όπου αποτίθενται και αποθηκεύονται πρόσκαιρα τα προϊόντα σε παλέτες μοναδιαίου φορτίου, αφού πρώτα έχουν περάσει από διαδικασία απογραφής από το σύστημα διαχείρισης υλικών. Αυτή αποτελείται από τρεις συστοιχίες ραφιών των 200 θέσεων η κάθε μια. Τα ρομποτικά οχήματα κατευθύνουν τις παλέτες μοναδιαίου φορτίου στην συγκεκριμένη περιοχή εφαρμόζοντας διαδικασίες βελτιστοποίησης αναφορικά με τις πιθανές θέσεις που πρόκειται να καταλάβουν.

Όσον αφορά τα κριτήρια επιλογής της θέσης απόθεσης παλετών εντός του κυρίως χώρου εναπόθεσης του κέντρου διανομής αυτά ακολουθούν το προφίλ ζήτησης των κωδικών των προϊόντων. Έτσι οι συστοιχίες ραφιών που περιέχονται σε αυτή την περιοχή χωρίζονται σε ζώνες. Εντός των ζωνών αυτών, ταξινομούνται τα προϊόντα και διαχωρίζονται σε ταχυκίνητα με μεγάλη συχνότητα ζήτησης και βραδυκίνητα με μικρότερη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αναγκαία οικονομία των διαδρομών των ρομποτικών οχημάτων, καθώς η απόσταση που χρειάζεται αυτά να διανύουν, από και προς τους σταθμούς διαλογής, είναι η μικρότερη δυνατή. Άρα η απόσταση από το σταθμό διαλογής πρέπει να ληφθεί υπόψη.



Εικόνα 2.16: Απεικόνιση της περιοχής απόθεσης και αποθήκευσης των διακινούμενων προϊόντων.



Εικόνα 2.17: Συνοπτικό διάγραμμα ροής που αναπαριστά την διαδικασία εισαγωγής, βέλτιστης χωροθέτησης των προϊόντων εντός του κυρίως χώρου απόθεσης αλλά και διαδικασιών βέλτιστης επιλογής των ρομποτικών οχημάτων.

2.7.3 Περιοχή προσωρινής απόθεσης παλετών

Ονομάζονται οι θέσεις που ευρίσκονται πλησίον και μπροστά από τους σταθμούς διαλογής, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως ουρά για τις παλέτες μοναδιαίου φορτίου που έρχονται από τον κυρίως χώρο απόθεσης προς τους σταθμούς διαλογής. Όταν ένα ρομποτικό όχημα φτάνει στα όρια των σταθμών διαλογής και βρίσκει την θέση εισόδου κατειλημμένη εναποθέτει την πιο πρόσφατα αφιχθείσα από τον κυρίως χώρο απόθεσης παλέτα στον ειδικό αυτό χώρο προσωρινής εναπόθεσης. Όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν και η θέση εισόδου του σταθμού γίνει διαθέσιμη τότε η αναμένουσα παλέτα μετακινείται για την παραλαβή των απαιτούμενων κωδικών από τον διαλογέα. Επιπλέον οι θέσεις αυτές αποτελούν εναλλακτική με σκοπό την ελάφρυνση του φόρτου εργασίας ή την αντιμετώπιση τυχών κωλυμάτων ώστε η παλέτα να μην καταλαμβάνει χώρο στις ενεργές θέσεις του σταθμού διαλογής.

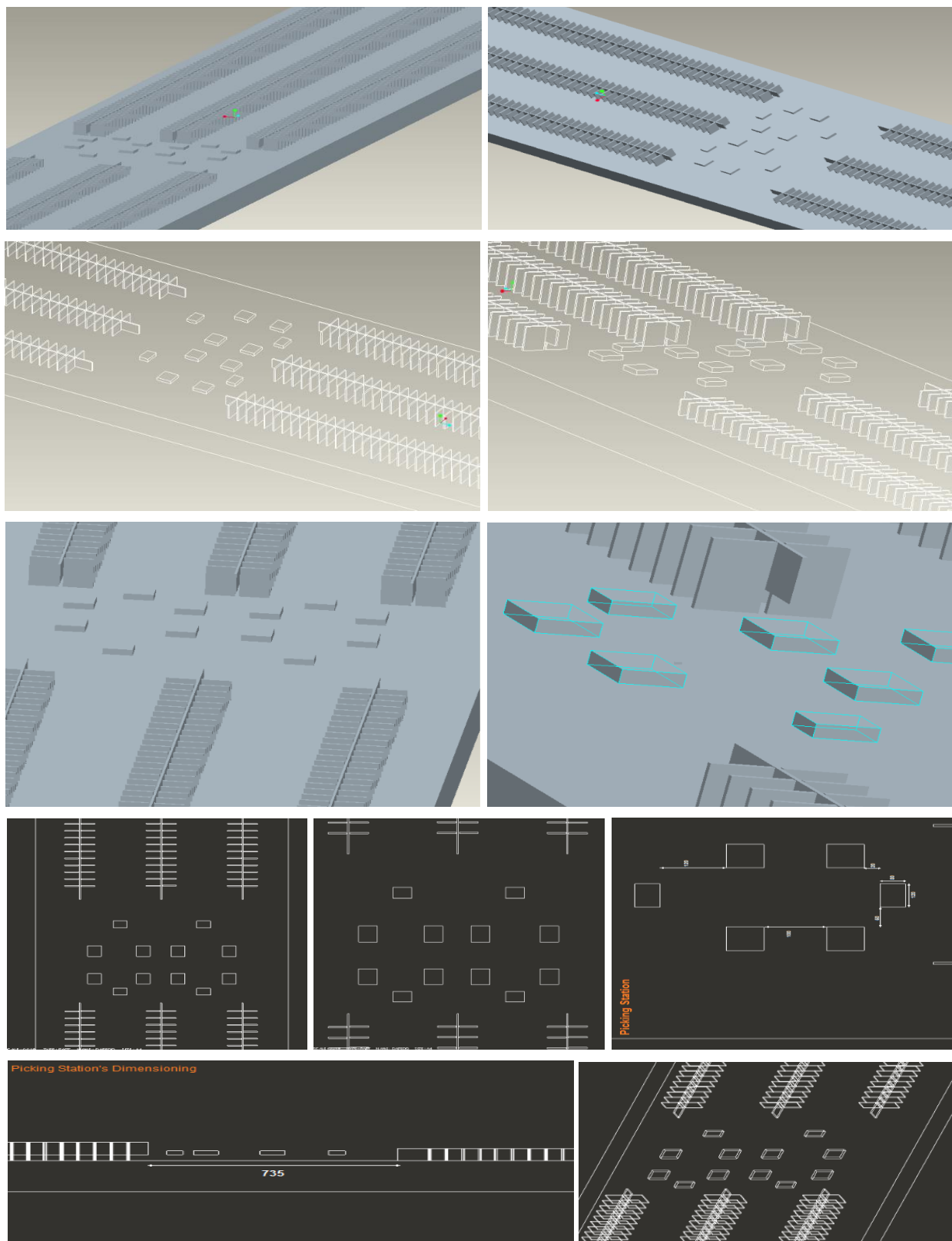
2.7.4 Περιοχή σταθμών διαλογής

Εκεί πραγματοποιείται η διαδικασία της διαλογής κιβωτίων. Το σύστημα διαλογής και πλήρωσης των παραγγελιών αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο ενός κέντρου διανομής. Η διαλογή και εκτέλεση των παραγγελιών ορίζεται ως η διαδικασία ανάκτησης και αναπλήρωσης των απαιτούμενων προϊόντων από τις θέσεις όπου αυτά είναι αποθεθειμένα εντός του κύριου χώρου αποθήκευσης, ικανοποιώντας τις παραγγελίες των πελατών.

Έτσι στην περιοχή των σταθμών διαλογής βρίσκεται ο διαλογέας και πλαισιώνεται από 4 θέσεις απόθεσης παλετών εκατέρωθεν αυτού οι οποίες αναπαριστούν τις παραγγελίες, με προϊόντα που φέρουν τα ρομποτικά οχήματα, με την βοήθεια συστήματος καθοδήγησης τύπου put to light. Μπροστά από τον διαλογέα διαμορφώνεται η θέση άφιξης του ρομποτικού οχήματος που μεταφέρει παλέτες προϊόντων μοναδιαίου φορτίου, προερχόμενες από την αποθήκη και με σκοπό την συμπλήρωση των παραγγελιών.

Στο χώρο πίσω από τον διαλογέα και αντιδιαμετρικά της θέσης υποδοχής της παλέτας διαμορφώνεται μια θέση βραχυπρόθεσμης απόθεσης, όταν δεν αναμένεται να συμπληρωθεί εντός μικρού χρονικού διαστήματος ή όταν αυτό απαιτείται από το σύστημα. Όταν η παλέτα βρίσκεται σε κρίσιμο σημείο, όπου θεωρούμε ότι εύκολα αυτή θα συμπληρωθεί για να φύγει, αναμένει εντός του σταθμού μέχρι να συμπληρωθεί με τους απαιτούμενους κωδικούς. Όταν ο χρόνος αναμονής για τη συμπλήρωση κρίνεται αρκετά μεγάλος, η παλέτα παραλαμβάνεται από ένα ρομποτικό όχημα και τοποθετείται σε μια εκ των διαθέσιμων θέσεων της περιοχής προσωρινής απόθεσης εκτός του σταθμού διαλογής. Αυτό μπορεί να συμβεί καθώς το ζητούμενο είδος ερχόμενο από την κυρίως αποθήκη αναμένει στην ουρά μέχρι την είσοδο του στο σταθμό διαλογής με αποτέλεσμα η καθυστέρηση αυτή να δημιουργήσει συνθήκες έλλειψης κωδικού. Μόλις ο εν ελλείψει κωδικός καταστεί ξανά διαθέσιμος, τότε αυτή επανατοποθετείται με την πρώτη ευκαιρία και αποκλειστικά στην θέση από όπου και αρχικά απομακρύνθηκε για την ολοκλήρωση της διαδικασίας πλήρωσης. Αν η συγκεκριμένη θέση έχει καταληφθεί από μια άλλη εκτελούμενη παραγγελία, τότε υποχρεούνται να αναμένει την εξυπηρέτηση της και έπειτα να επανατοποθετηθεί στη θέση του σταθμού διαλογής από όπου και απομακρύνθηκε. Ακολούθως η διαδικασία συνεχίζεται ομαλά προχωρώντας στα επόμενα στάδια.

Τέλος εκατέρωθεν της παραπάνω περιγραφείσας θέσης τοποθετούνται ακόμη δυο θέσεις τραpezών, με σκοπό την αποκλειστική φιλοξενία άδειων παλετών. Θεωρούμε ότι για λόγους ευκολίας δεν υπάρχει αλληλοκάλυψη των άδειων παλετών μεταξύ των δυο τραpezών. Αυτές προκύπτουν είτε από παλέτες τροφοδοσίας των παραγγελιών εντός του σταθμού διαλογής, είτε από την εισερχόμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου, που αδειάζει στον σταθμό διαλογής. Έτσι σκοπός αυτών των τραpezών είναι να χρησιμοποιηθούν η μια ως παροχή παλετών προς τον διαλογέα για την εκκίνηση νέων παραγγελιών και άρα ανάγκη για τοποθέτηση άδειων παλετών στις τράπεζες παραγγελιών, ενώ η άλλη για την έξοδο άδειων παλετών όταν δηλαδή αδειάζει η αφικνούμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου από την αποθήκη στο σταθμό διαλογής και άρα η άδεια παλέτα παραλαμβάνεται από τον διαλογέα του σταθμού και τοποθετείται στο συγκεκριμένο τραπέζι. Το ρομποτικό όχημα που πλέον δεν φέρει παλέτα πάνω του οδηγείται είτε στην περιοχή παραλαβής νέων εισερχόμενων κωδικών είτε στην εναπόθεση του τραpezιού (βάση παλέτας) σε ειδικό χώρο και στοίβαξης αυτών.

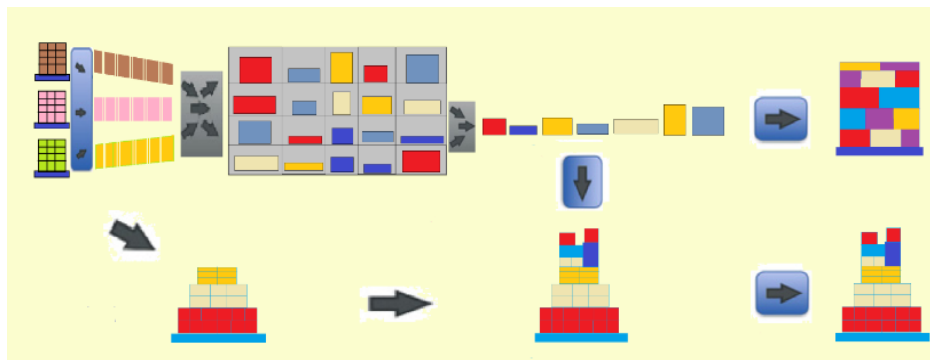


Εικόνα 2.18: Απεικόνιση των σταθμών διαλογής εντός των εγκαταστάσεων του κέντρου διανομής.

2.7.4.1 Εκτέλεση παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής

Κάθε μοναδιαία παραδοτέα παλέτα (PDU), που βρίσκεται στους σταθμούς διαλογής συμπληρώνεται με τους ζητούμενους, διαφορετικού τύπου κωδικούς διατηρούμενου αποθέματος, οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικές βάσεις παλετών μοναδιαίου φορτίου και σε διαφορετικά σημεία εντός του κυρίως χώρου εναπόθεσης των προϊόντων. Στην ιδανική περίπτωση απαιτείται η αποφυγή ή έστω ελαχιστοποίηση πολλαπλής εισδοχής των ίδιων κωδικών αποθέματος.

Ο διαλογέας εξυπηρετεί συνήθως περισσότερες της μιας παραγγελίες με κάθε διαδρομή του ρομποτικού οχήματος και για κάθε εισερχόμενο κωδικό. Η διαλογή παραγγελιών εμπεριέχει την κατάλληλη συνεργασία μεταξύ ρομποτικών οχημάτων και της ανθρώπινης οντότητας.



Εικόνα 2.19: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας εισδοχής απόθεσης, διαχωρισμού και πλήρωσης των παραγγελιών με τα ζητούμενα κάθε φορά προϊόντα.

Η διαδικασία διαλογής κιβωτίων μοναδιαίου φορτίου πραγματοποιείται όπως παρακάτω:

Γίνεται η επιλογή και επισήμανση των τραπεζών και των αντίστοιχων παλετών που θα φιλοξενήσουν τις προς πλήρωση παραγγελίες. Ακόλουθα τοποθετούνται οι τέσσερις (4) τράπεζες, με τις παλέτες που φέρουν, στον σταθμό διαλογής, δυο (2) ανά πλευρά σε κάθε σταθμό.



Εικόνα 2.20: Ρομποτικά οχήματα μεταφέροντας παλέτες μοναδιαίου φορτίου από την κυρίως αποθήκη προς τροφοδοσία των σταθμών διαλογής με τους ζητούμενους κωδικούς κάθε φορά.

(www.interlink.gr . © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. Παραχωρήθηκε άδεια χρήσης.).

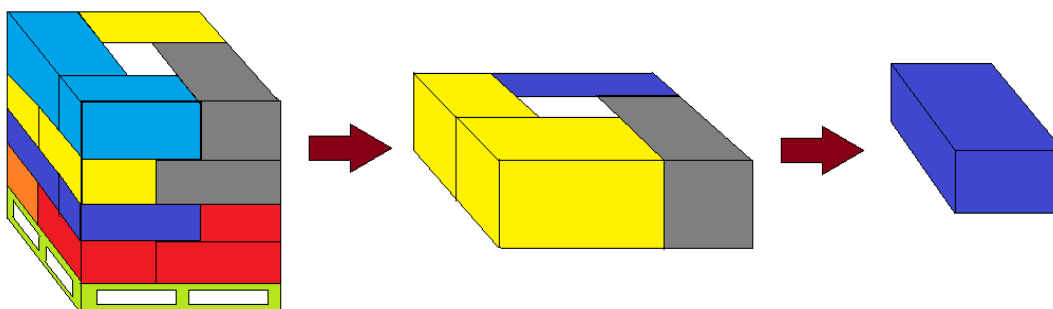
Η κάθε παλέτα αποτελεί και μια συγκεκριμένη παραγγελία - ή μέρος αυτής - με τις παραγγελίες που θα επιλεγούν προς εξυπηρέτηση να εκπληρώνουν το κριτήριο της μεγίστης συνέργειας. Φτάνοντας η πρώτη εισερχόμενη παλέτα μοναδιαίου φορτίου από την αποθήκη προς το σταθμό διαλογής εμφανίζεται στην οθόνη του σταθμού ο αριθμός των κιβωτίων, από τον συγκεκριμένο εισερχόμενο κωδικό, που πρέπει να επιλεγεί από τον διαλογέα. Έπειτα τοποθετούνται οι ζητούμενες ποσότητες στις κατάλληλες παραγγελίες. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου μεταφερθεί το σύνολο των απαιτούμενων κιβωτίων στις παραγγελίες. Αφού τελειώσει η εισερχόμενη παλέτα της αποθήκης από τον πρώτο σταθμό διαλογής #1 η ίδια παλέτα μεταφέρεται στον επόμενο σταθμό διαλογής #2 και την θέση της παίρνει η επομένη εισερχόμενη από την κυρίως αποθήκη που αναμένει κοκ.

Όταν μια παραγγελία εκκινήσει σε συγκεκριμένο σταθμό διαλογής και σε συγκεκριμένη θέση, τότε και η συνέχιση της διαδικασίας μέχρι την ολοκλήρωση της εν λόγω παραγγελίας θα πρέπει υποχρεωτικά να λαμβάνει χώρα στον ίδιο σταθμό διαλογής και στην ίδια θέση όπου και άνοιξε.

Οι πολιτικές διαλογής κατά παρτίδες συνεισφέρουν στην μεγιστοποίηση του ρυθμού παραγωγής του κέντρου διανομής συνολικά. Η διαλογή κατά παρτίδες επιλέγεται καθώς οι παραγγελίες που καταφθάνουν προς εξυπηρέτηση στα κέντρα διανομής είναι σχετικά μικρές σε μέγεθος. Οι πολιτικές αυτές βοηθούν στην καλύτερη εξυπηρέτηση των παραγγελιών που υλοποιούνται με τις μικρότερες δυνατές διαδρομές από τα RMUs. Τέλος όταν μια παραγγελία έχει συμπληρωθεί τότε το σύστημα ενημερώνεται για την ποσότητα του προϊόντος που έχει παραδοθεί και πλέον θεωρείται ότι αυτή πλέον λείπει από τα διαθέσιμα του κέντρου διανομής. Η ζήτηση των προϊόντων μειώνει το απόθεμα και έτσι νέες παραγγελίες αποστέλλονται και στην συνέχεια παραλαμβάνονται.

Σχετικά με τον τρόπο πλήρωσης της εξυπηρετούμενης παλέτας αυτός έχει ερευνηθεί από τον Steudal (1979) με στόχο τον κατάλληλο διαχωρισμό της παλέτας σε μικρότερες πανομοιότυπες ορθογώνιες περιοχές, ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ποσό του μη χρησιμοποιούμενου χώρου σε αυτή. Προϋπόθεση είναι αυτή να συμπληρώνεται από κιβώτια ορθογώνιας διατομής όπου όλα έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Ο Steudal αρχικά χρησιμοποιεί δυναμικό προγραμματισμό για τον καθορισμό της βέλτιστης ποσότητας των μικρών ορθογώνιων κατά μήκος κάθε πλευράς της εξυπηρετούμενης παλέτας. Έτσι σκοπός του αλγορίθμου που αναπτύσσεται εκεί είναι ο καθορισμός του κατάλληλου τρόπου διάταξης των κουτιών πάνω στην συναρμολογούμενη παλέτα, ούτως ώστε να ελαχιστοποιείται ο μη χρησιμοποιούμενος χώρος πάνω σε αυτή.

Το σύστημα δύναται να γνωρίζει τόσο τους κωδικούς που έχουν αφιχθεί όσο και αυτούς που αναμένονται. Έτσι οι συναρμολογούμενες παλέτες διαιρούνται σε νοητά επίπεδα. Κατά αυτό τον τρόπο το σύστημα μπορεί να κατευθύνει, ανάλογα με το επίπεδο πλήρωσης κάθε παλέτας, τα μελλοντικά εισερχόμενα κόμματα στις κατάλληλες παλέτες παραγγελιών. Τα παραπάνω πραγματοποιούνται ώστε αυτές να είναι κατά το δυνατό ομοιόμορφα συμπληρωμένες (με προϊόντα κοινού κωδικού ανά τμήμα ή επίπεδο της συναρμολογούμενης κάθε φορά παλέτας). Έτσι μπορεί να παρακολουθήσουμε το ρυθμό κάλυψης αλλά και το σημείο που κάθε εξυπηρετούμενη παλέτα βρίσκεται την δεδομένη χρονική στιγμή. Συνολικά, θα πρέπει η κάθε παλέτα που ετοιμάζεται προς παράδοση, να είναι ισόρροπα κτισμένη και να μπορεί να μετακινείται από το ένα σημείο του κέντρου διανομής στο άλλο με ταχύτητα και αξιοπιστία.



Εικόνα 2.21: Τρόπος πλήρωσης σύμμεικτων παλετών από ορθογώνια ίδιων διαστάσεων.

2.7.4.2 Ο διαλογέας

Η ανθρώπινη οντότητα που βρίσκεται στους σταθμούς διαλογής και εκτελεί με χειρωνακτικό τρόπο τις εργασίες διαλογής, συμπληρώνοντας τις εξερχόμενες παλέτες. Ειδικότερα οι χειριστές μεταφέρουν τα κιβώτια με προϊόντα από την εισερχόμενη παλέτα προς τις εξερχόμενες παλέτες (παραγγελίες) όπως υποδεικνύεται από το ειδικό σύστημα οδήγησης που είναι ενσωματωμένο στους εν λόγω σταθμούς διαλογής. Στην ουσία πρόκειται για ένα σύστημα διαλογής προς συσκευασία (pick to rack) όπου τα προϊόντα τοποθετούνται κατ' ευθείαν στις παραγγελίες από τους διαλογείς. Παρόμοια εργασία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και από ρομποτικούς βραχίονες που δύναται να εγκατασταθούν εντός των σταθμών διαλογής, απαλείφοντας την όποια ανθρώπινη εργασία συνολικά στα κέντρα διανομής.

Σε ότι αφορά την διαδικασία της διεκπεραίωσης των κουτιών από τους διαλογείς που ευρίσκονται στους σταθμούς διαλογής, θα πρέπει να οριστεί ένας χρόνος εξυπηρέτησης που απαιτείται ώστε να μεταφέρουν ένα κουτί από μια εισερχόμενη παλέτα (ερχόμενη από το χώρο απόθεσης με το ρομποτικό όχημα) προς μια εξερχόμενη παλέτα (συμπλήρωση κάποιας παραγγελίας). Όταν μια παλέτα αδειάζει (αφορά την εισερχόμενη με το ρομποτικό όχημα παλέτα) απαιτείται ένας χρόνος έτσι ώστε ο διαλογέας να μετακινήσει την άδεια παλέτα προς μια από τις δυο τράπεζες στοίβαξης άδειων παλετών εκατέρωθεν του σταθμού διαλογής. Ομοίως, όταν μια νέα παραγγελία εκκινεί σε μια από τις 4 θέσεις του σταθμού, απαιτείται ορισμένος χρόνος ώστε να μετακινηθεί μια άδεια παλέτα από την τράπεζα αποθέματος αυτών εκατέρωθεν του σταθμού προς τις θέσεις υποδοχής των εισερχόμενων προϊόντων του σταθμού διαλογής.

Γενικά λίγες προσπάθειες έχουν γίνει για να ενσωματώσουν το χειροκίνητο τμήμα του έργου συλλογής παραγγελιών που εκτελούνται από τον διαλογέα σε συγκεκριμένα πρότυπα χρόνου. Ο χρόνος που απαιτείται από τον διαλογέα ώστε να ανακτήσει τα προϊόντα και να τα τοποθετήσει στην κατάλληλη παραγγελία κάθε φορά, χαρακτηρίζεται είτε από γνωστούς αιτιοκρατικούς, (deterministic) είτε εκθετικά κατανομημένους χρόνους (exponentially distributed), Frazelle (1991). Οι χρόνοι αυτοί επιφέρουν καθυστερήσεις και επομένως διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο αναφορικά με το ρυθμό παραγωγής και άρα με την ταχύτητα που τα RMU επεξεργάζονται και μεταφέρουν τις νέες παλέτες στους σταθμούς διαλογής. Η συνεργασία των διαλογέων με τα ρομποτικά οχήματα παίζει σημαντικό ρόλο για την εύρυθμη και ταχεία λειτουργία των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στο κέντρο διανομής.

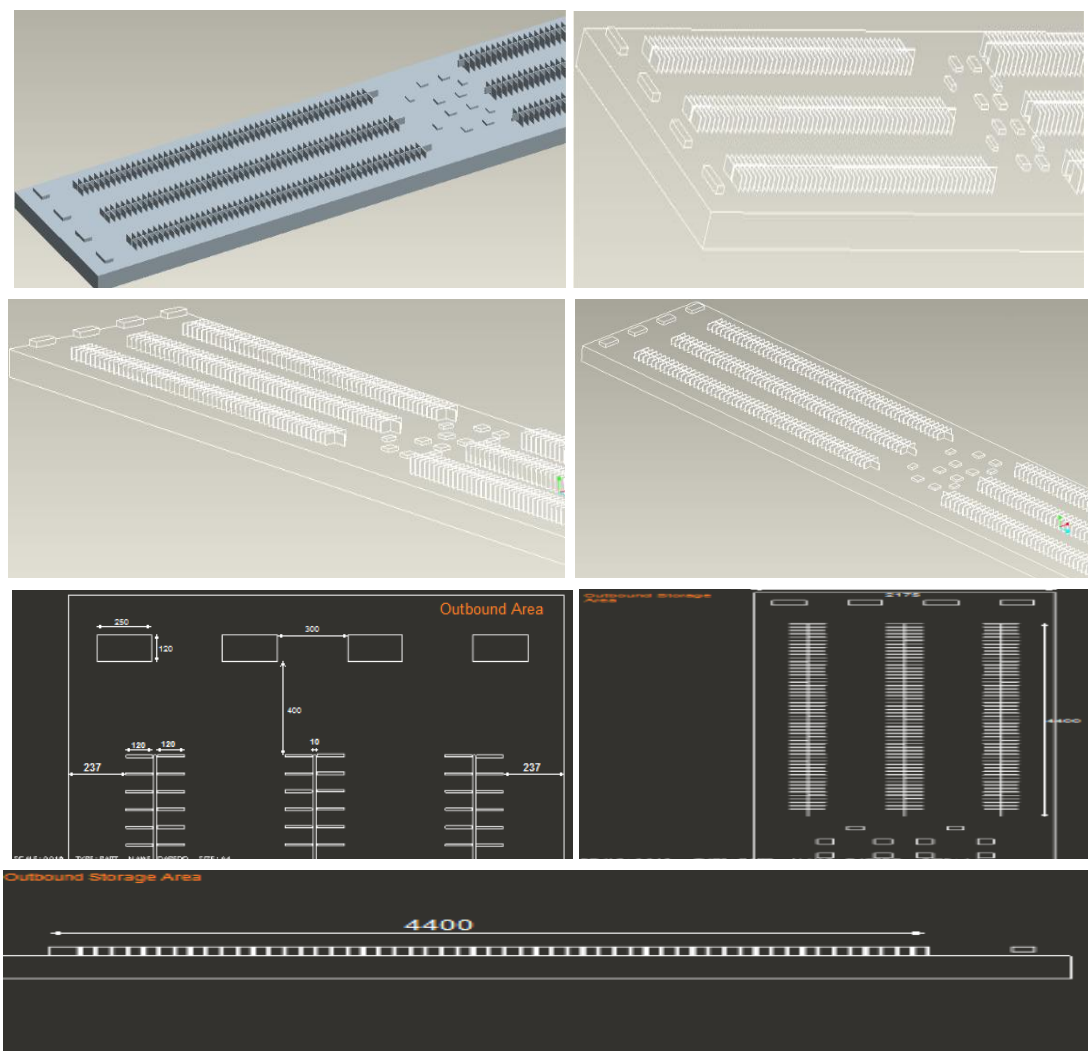


Εικόνα 2.22: Ο διαλογέας και το ρομποτικό όχημα με την τράπεζα, τη ραφιέρα και τα κιβώτια που αυτή φέρει.

(www.interlink.gr . © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. Παραχωρήθηκε άδεια χρήσης.).

2.7.5 Περιοχή απόθεσης έτοιμων παραγγελιών

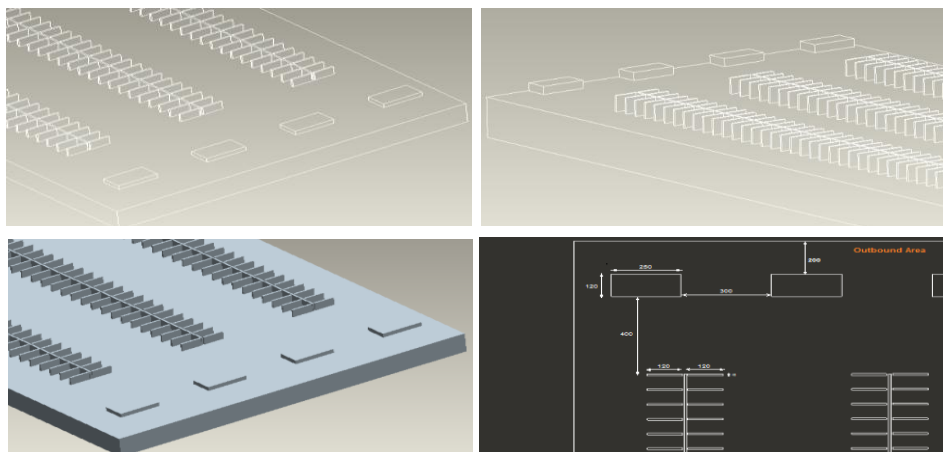
Πρόκειται για τον χώρο απόθεσης και προσωρινής αποθήκευσης των έτοιμων παραγγελιών. Αυτός αποτελείται από συνολικά 150 θέσεις, 50 σε κάθε διάδρομο. Αυτές καταλαμβάνονται από σύμμεικτες παλέτες που αποτελούν ένα μέρος ή το σύνολο των συναρμολογημένων παραγγελιών που καταφθάνουν μέσω των RMUs από τους σταθμούς διαλογής. Σε κάθε περίπτωση πραγματοποιείται πριν έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί αν ο αριθμός των τεμαχίων που αποτελούν μια παραγγελία έχει παραληφθεί και έχει συμπληρωθεί η συνολική παραγγελία. Τότε και μόνο τότε δύναται να εξαχθεί από το κέντρο διανομής συνολικά. Στις συγκεκριμένες θέσεις απόθεσης μπορεί να εφαρμοστεί το πρωτόκολλο εξυπηρέτησης σύμφωνα με τον κανόνα ενωρίτερης άφιξης, FIFO. (First In, First Out), με σκοπό την προσπάθεια για επίτευξη ομαλής ροής των παλετών και μη εμπλοκής το συστήματος.



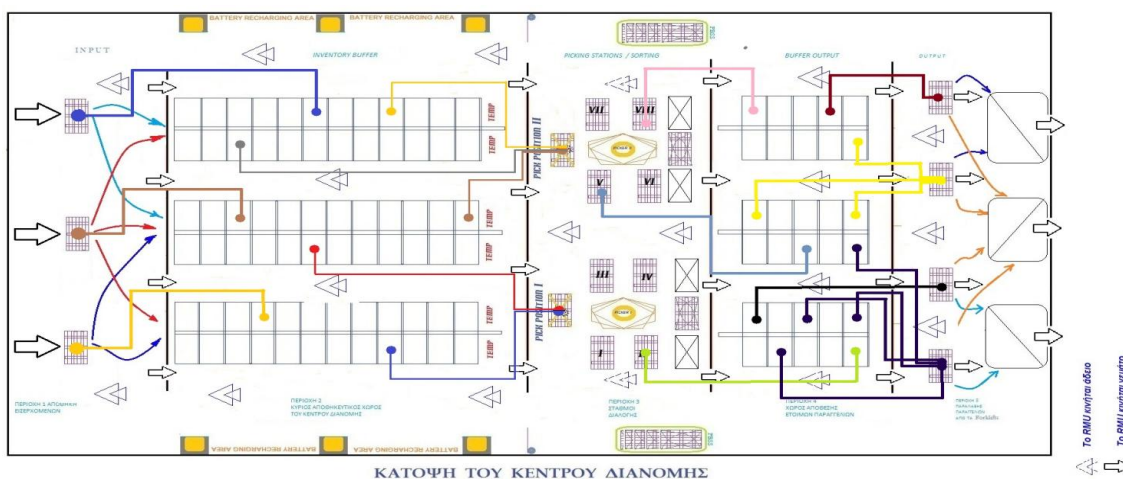
Εικόνα 2.23: Απόψεις της περιοχής απόθεσης εξερχομένων παραγγελιών του κέντρου διανομής.

2.7.6 Περιοχή μεταφοράς εξερχόμενων παραγγελιών

Είναι ο χώρος που χρησιμοποιείται από κοινού από τα περνοφόρα και τα ρομποτικά οχήματα, σε συνεργασία με το σύστημα διαχείρισης υλικών, ώστε αυτά να εξάγουν τις συμπληρωμένες τελικές παραγγελίες από το σύστημα. Οι συμπληρωμένες παραγγελίες μεταφέρονται μέσω των ρομποτικών οχημάτων από την περιοχή απόθεσης έτοιμων παραγγελιών προς την περιοχή μεταφοράς εξερχόμενων παραγγελιών. Αυτή αποτελείται από τέσσερις θέσεις διαμεταφοράς. Σε αυτή την περιοχή τα ρομποτικά οχήματα εναποθέτουν τις έτοιμες παραγγελίες και πλέον τις αναλαμβάνουν τα περνοφόρα οχήματα, προς φόρτωση στα φορτηγά.



Εικόνα 2.24: Περιοχή απόθεσης εξερχόμενων παραγγελιών του κέντρου διανομής.

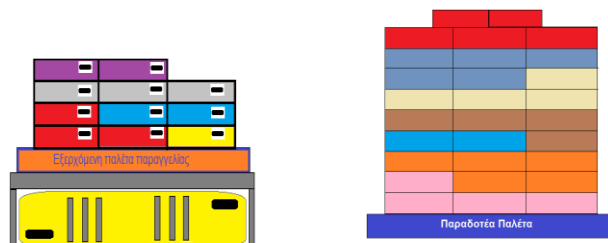


Εικόνα 2.25: Αναπαράσταση των διαδρομών δίνοντας έμφαση σε αυτές που δημιουργούνται κατά την διαδικασία εξόδου των παραγγελιών από το κέντρο διανομής.

2.7.6.1 Διαδικασία εξαγωγής ολοκληρωμένων μοναδιαίων παραδοτέων παλετών

Η διαδικασία ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

Ένα ρομποτικό όχημα αφήνει τις ολοκληρωμένες παραγγελίες στο χώρο απόθεσης των εξερχόμενων παραγγελιών. Συγκεκριμένες μέθοδοι όπως λ.χ. F.I.F.O. (First In, First Out) χρησιμοποιούνται για την προσθήκη των ολοκληρωμένων παραγγελιών στο χώρο των εξερχόμενων και την απομάκρυνση τους προς τις αποβάθρες φόρτωσης.



Εικόνα 2.26: Εξαγωγή ολοκληρωμένων παραγγελιών από το κέντρο διανομής.

Ένα ρομποτικό όχημα μεταφέρει την πρώτη παλέτα της παραγγελίας και την αποθέτει σε σταθμό διαμετακόμισης κοντά στις ράμπες φόρτωσης. Έπειτα ένα περionoφόρο όχημα παραλαμβάνει την παλέτα από τον σταθμό διαμετακόμισης και την μεταφέρει στην αποβάθρα φόρτωσης των φορτηγών. Το ρομποτικό όχημα που πλέον δεν φέρει πάνω του παλέτα μεταφέρει την άδεια πλέον τράπεζα και την εναποθέτει όπου αυτό ζητηθεί. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την ολοκλήρωση της μεταφοράς της συγκεκριμένης παραγγελίας. Τέλος το σύστημα ενημερώνει κάθε φορά που μια παραγγελία εξάγεται από το κέντρο διανομής.

2.8 Βοηθητικές περιοχές

2.8.1 Περιοχή στοίβαξης άδειων παλετών (Βοηθητική 1)

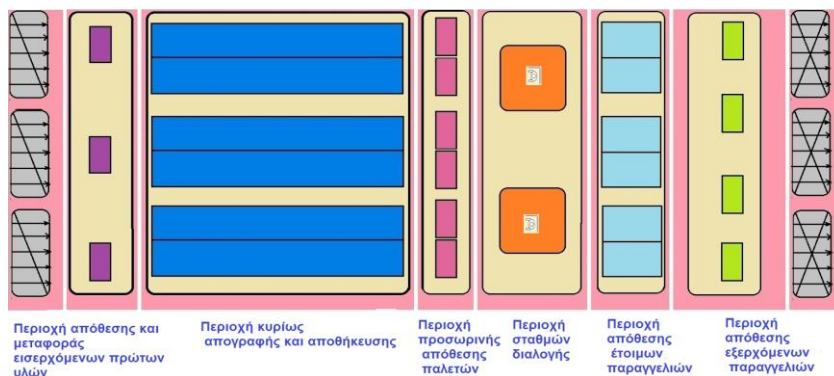
Οι άδειες παλέτες θα πρέπει να τοποθετούνται στις συγκεκριμένες αυτές περιοχές έτσι ώστε να είναι διαθέσιμες κάθε φορά που αυτό απαιτείται. Οι παλέτες θα πρέπει να μπορούν να μεταφερθούν πάνω σε τράπεζες, από τις περιοχές όπου αυτές στοιβάζονται προς τις περιοχές όπου και απαιτούνται, δηλαδή τους σταθμούς διαλογής, ώστε να μην παρατηρηθεί έλλειψη με συνέπεια την διατάραξη της ομαλής ροής προϊόντων. Στην περιοχή αυτή οι άδειες παλέτες θα πρέπει να ελέγχονται για την περίπτωση που αυτές είναι ελαττωματικές, οπότε χρήζουν επισκευής ή αντικατάστασης.

2.8.2 Περιοχή συσκευασίας έτοιμων παλετών (Βοηθητική 2)

Αποτελεί μια περιοχή πλησίον των σταθμών διαλογής, όπου πραγματοποιείται το τύλιγμα των παλετών με κατάλληλο υλικό - συνήθως μεμβράνη, με την βοήθεια μηχανής και την περιστροφική κίνηση του ρομποτικού οχήματος, γύρω από τον άξονα του. Έτσι διασφαλίζεται και σταθεροποιείται η προς εξαγωγή παλέτα πριν αυτή αποσταλεί στο χώρο απόθεσης των έτοιμων παραγγελιών.

2.8.3 Περιοχή φόρτισης ρομποτικών οχημάτων (Βοηθητική 3)

Είναι η περιοχή όπου βρίσκονται εγκατεστημένες ειδικές συσκευές με την βοήθεια των οποίων πραγματοποιείται η εκ περιτροπής φόρτιση των μπαταριών των ρομποτικών οχημάτων όποτε αυτό απαιτείται. Ο περιορισμός που πρέπει να τηρείται είναι ότι η διαδικασία της φόρτισης θα πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο η αξιοπιστία και λειτουργικότητα του συστήματος.



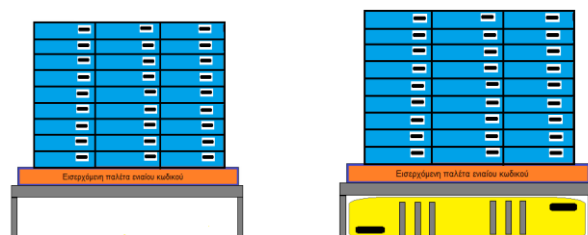
Εικόνα 2.27: Ένα πρόχειρο σκαρίφημα όπου απεικονίζονται συνοπτικά οι κύριες περιοχές του κέντρου διανομής.

2.9 Σταθμοί μεταφόρτωσης και λειτουργία περονοφόρων οχημάτων

Οι σταθμοί μεταφόρτωσης αποτελούν εγκαταστάσεις που επιτρέπουν στα περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα να εισάγουν ή να εξάγουν κατά περίπτωση, παλέτες με ή χωρίς φορτίο ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος κάθε φορά. Οι σταθμοί μεταφόρτωσης εγγυώνται στους οδηγούς των περονοφόρων οχημάτων ότι η διαδικασία παραλαβής και απελευθέρωσης μιας παλέτας πάνω στις τράπεζες (βάσεις παλετών) θα είναι ακριβής και χωρίς συγκρούσεις, προσφέροντας έτσι ένα ασφαλές και αξιόπιστο περιβάλλον, για την κοινή χρήση αυτών από ρομποτικά και περονοφόρα οχήματα. Τα περονοφόρα οχήματα εμπλέκονται στις διαδικασίες εισαγωγής νέων κωδικών και αναπλήρωσης των υπαρχόντων, όταν υφίσταται έλλειψη, καθώς και εξαγωγής των ετοιμών σύμμεικτων παλετών που αποτελούν τις έτοιμες παραγγελίες. Η λειτουργία τους συνδυάζεται με την δράση των ρομποτικών οχημάτων στα όρια του κέντρου διανομής. Επίσης είναι απαραίτητο να έχει προκαθοριστεί ο αριθμός των οδηγών και των εμπλεκόμενων περονοφόρων οχημάτων, όπως επίσης και η κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης αυτών, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι η ροή των διακινούμενων αγαθών θα είναι ομαλή. Η εύρυθμη λειτουργία των περονοφόρων οχημάτων βοηθά στην αποτροπή συμφόρησης και στενώσεων ή κωλυμάτων στους σταθμούς μεταφόρτωσης εισερχομένων και εξερχομένων αντίστοιχα, αλλά και εν γένει στο κέντρο διανομής.

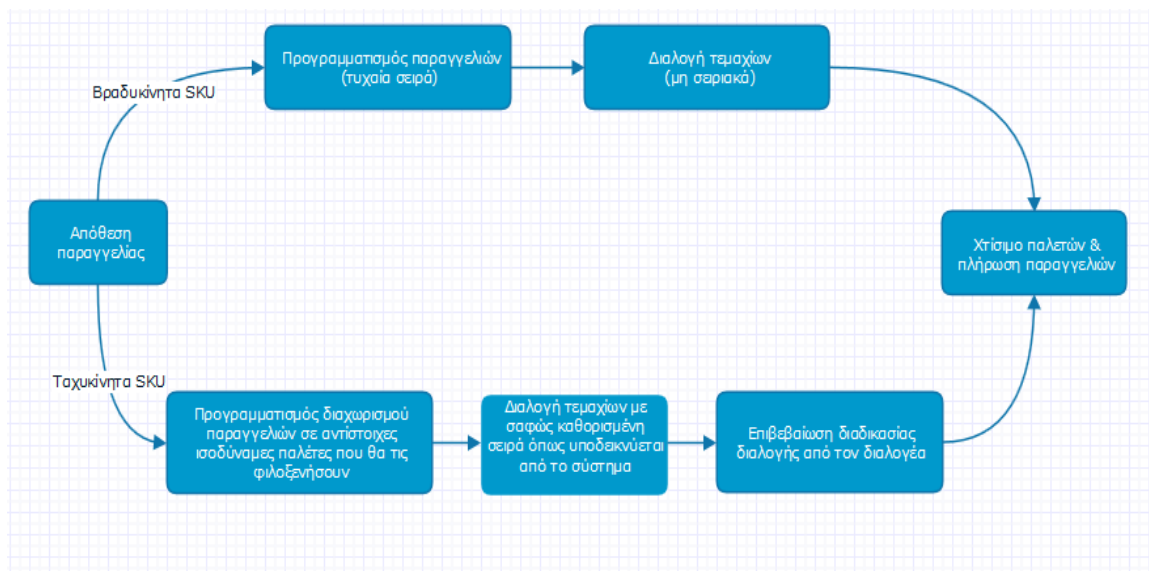
2.10 Ανατροφοδότηση αποθήκης

Η διαδικασία υποδεικνύει την μέθοδο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να ανακτηθούν οι ποσότητες όπου παρατηρείται έλλειψη. Όταν το εναπομείναν απόθεμα κάποιου κωδικού πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο, τότε ένα αίτημα ανατροφοδότησης και αναπλήρωσης του εν ελλείπει κωδικού αποθέματος πρέπει να αποσταλεί ούτως ώστε αυτός να καταστεί διαθέσιμος το συντομότερο δυνατό. Για τον λόγο αυτό κάθε φορά οι διαθέσιμες θέσεις εντός του κέντρου διανομής προσμετρούνται, ούτως ώστε να γίνει η αναπλήρωση με βάση τους κωδικούς διατηρούμενου μοναδιαίου αποθέματος που λείπουν ή αναμένεται να ζητηθούν. Για κάθε θέση απόθεσης ορίζεται ένα κόστος αποθήκευσης (κόστος επανατροφοδότησης) αντικατοπτρίζοντας το χρόνο ταξιδιού, ώστε ένα RMU να μεταφέρει μια πλήρη παλέτα από την αποβάθρα παραλαβής προς την θέση του κυρίως χώρου απόθεσης ή όπου αλλού αυτή ζητηθεί.

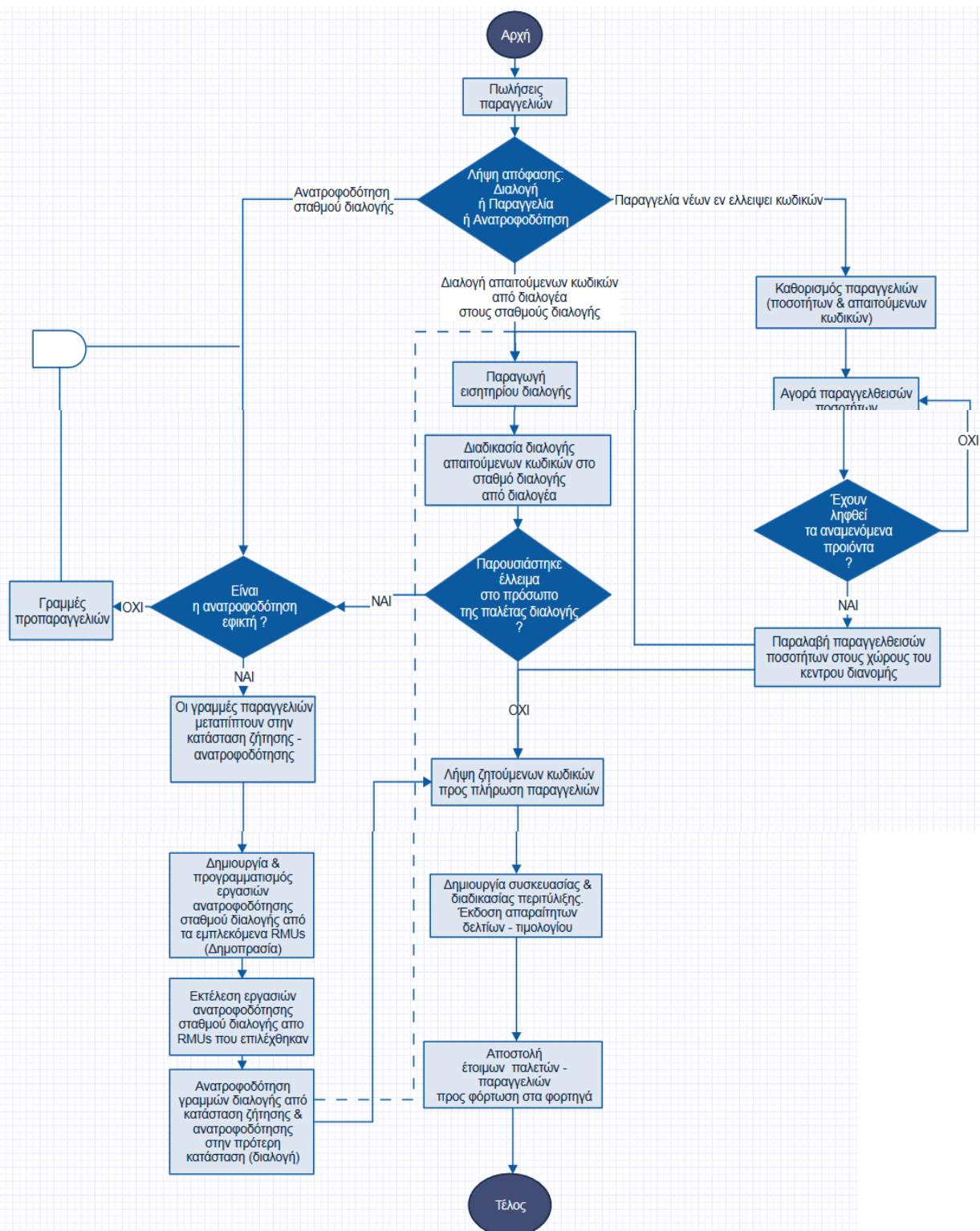


Εικόνα 2.28: Τα ρομποτικά οχήματα επανατροφοδοτούν τους εν ελλείπει κωδικούς.

Έτσι όταν το προφίλ της ζήτησης ενός συγκεκριμένου κωδικού είναι χαμηλό, τότε μιλάμε για μακροπρόθεσμη πολιτική ανανέωσης του αποθέματος και αφορά προϊόντα με χαμηλή συχνότητα κίνησης εντός του κέντρου διανομής. Στην περίπτωση που το προφίλ της ζήτησης ενός κωδικού είναι υψηλό, τότε πρέπει να κάνουμε με συχνή ανανέωση αποθέματος. Ένας γενικός κανόνας αναπλήρωσης αποθέματος είναι ότι αυτό θα αναπληρώνεται όταν το διατηρούμενο απόθεμα από κάθε κωδικό φτάσει στο 10% της αρχικής ποσότητας που είχε αρχικά εισαχθεί στο κέντρο διανομής. Εναλλακτικά ως ένα μέτρο ασφαλείας θεωρούμε ότι το απόθεμα δεν θα πρέπει ποτέ να πέφτει κάτω από μια (1) παλέτα ανά κωδικό αποθέματος στον κυρίως χώρο απογραφής και αποθήκευσης προϊόντων του κέντρου διανομής. Τέλος κατά την έναρξη και την διάρκεια της προσομοίωσης γίνεται η υπόθεση, ότι όλοι οι απαιτούμενοι κωδικοί προϊόντων είναι διαθέσιμοι στην εξωτερική περιοχή τροφοδοσίας του κέντρου διανομής και μπορούν, όταν αυτοί ζητηθούν, να εισέλθουν εντός αυτού, σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.



Εικόνα 2.29: Διαφοροποίηση του τρόπου διαλογής μεταξύ ταχυκίνητων και βραδυκίνητων κωδικών.



Εικόνα 2.30: Διάγραμμα ροής των βασικών διαδικασιών που υλοποιούνται σε ένα κέντρο διανομής.

Κεφάλαιο 3

3.1 Εισαγωγή

Το γενικό πρόβλημα της διαχείρισης παραγγελιών και κατανομής προϊόντων στον κυρίως χώρο απόθεσης εμπεριέχει μεθόδους ομαδοποίησης των προϊόντων καθώς και του βέλτιστου προγραμματισμού και πλήρωσης των παραγγελιών. Αυτή η ομαδοποίηση των προϊόντων στο χώρο κυρίως απόθεσης, με παρόμοια χαρακτηριστικά ζήτησης, ονομάζεται κλάση. Ο βέλτιστος προσδιορισμός των θέσεων απόθεσης σε κατάλληλες περιοχές περιλαμβάνει ομαδοποίηση των διαθέσιμων χώρων ανά πτέρυγες ή ανά ζώνες λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια. Αυτά συνδέονται με τις κύριες γραμμές παραγγελιών καθώς και τις επικρατούσες τάσεις αναφορικά με την ζήτηση, ανάλογα με την φύση των διακινούμενων προϊόντων αλλά και την περίοδο λειτουργίας του κέντρου διανομής (εποχικά χαρακτηριστικά όπου παρατηρείται αύξηση της ζήτησης προϊόντων καπνού το καλοκαίρι ενώ το χειμώνα αυτή μειώνεται). Έτσι πολλές φορές τα όρια των κλάσεων απόθεσης μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την περίοδο λειτουργίας του κέντρου διανομής και τις συνθήκες ζήτησης που διαμορφώνονται κάθε φορά. Τα παραπάνω βοηθούν με την σειρά τους την συνδυαστική συναρμολόγηση των παραγγελιών που συλλέγονται από καθορισμένες θέσεις με το δυνατό μικρότερο κόστος.

Έτσι αρκετές μεταβλητές χρειάζεται να ληφθούν υπόψη, όπως ο όλο και αυξανόμενος αριθμός των διακινούμενων κωδικών, η χωρητικότητα του συστήματος διαλογής, οι ταχυκίνητοι και βραδυκίνητοι κωδικοί αλλά και η συχνότητα αυτών στις εξυπηρετούμενες παραγγελίες. Για αυτό το σύστημα διαχείρισης υλικών ασχολείται μεταξύ άλλων με την διαχείριση των αποθεμάτων και παραγγελιών. Εμπεριέχει τον έλεγχο των διαθέσιμων πόρων κατά τις διαδικασίες υποδοχής, απογραφής και αναπλήρωσης των εισερχόμενων στο κέντρο διανομής κωδικών. Επιπλέον περιλαμβάνει την εκχώρηση του αποθέματος στις προς πλήρωση παραγγελίες, τις διαδικασίες εξαγωγής των έτοιμων παραγγελιών από το κέντρο διανομής όπως ακόμα και την κατάλληλη κατανομή και ανακατανομή των διατηρούμενων κωδικών.

Η διαχείριση των παραγγελιών μπορεί να περιλαμβάνει την ταυτοποίηση των προϊόντων που φιλοξενούνται πάνω στις παλέτες και αυτές με την σειρά τους στις βάσεις παλετών (τράπεζες), και την χωροθέτηση αυτών εντός συγκεκριμένων αλλά σαφώς καθορισμένων θέσεων στην αποθήκη του κέντρου διανομής

3.2 Πολιτικές ελέγχου αποθεμάτων

Ο σκοπός ενός συστήματος αποθεματικού ελέγχου είναι ο καθορισμός του πότε και πόσο χρειάζεται να παραγγελθεί, από κάθε κωδικό διακινούμενου προϊόντος. Η απόφαση πρέπει να βασίζεται στην αποθεματική θέση, στο ανά χείρας απόθεμα, στις παραγγελίες σε εκκρεμότητα, στην ανικανοποίητη ζήτηση, στην προβλεπόμενη ζήτηση, καθώς και στους διάφορους παράγοντες κόστους. Ανάλογα αν η αποθεματική θέση ελέγχεται συνεχώς ή ανά περιόδους οι πολιτικές διακρίνονται σε συνεχούς ή περιοδικού ελέγχου. Και οι δυο έχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Οι πολιτικές περιοδικού ελέγχου πλεονεκτούν στην περίπτωση διαχείρισης πολλών ειδών και ειδικά σε είδη υψηλής ζήτησης. Ανεξάρτητα των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε πολιτικής και οι δυο μπορούν να εφαρμόζονται και έχουν καλή απόδοση κάτω από στατικές διαδικασίες ζήτησης.

Πολιτική Ελέγχου (Q, r)

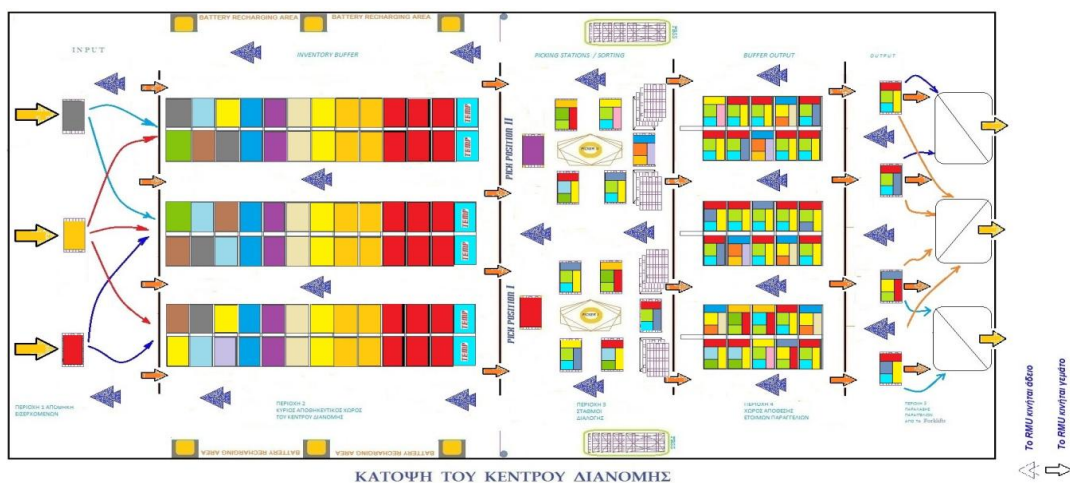
Σε αυτή την πολιτική, όταν η αποθεματική θέση παίρνει την τιμή r ή πέφτει κάτω από αυτή δίνεται παραγγελία μεγθους Q . Στην περίπτωση που έχουμε περιοδικό έλεγχο, είτε η ζήτηση είναι ομαλή είτε απότομη, όταν δίνεται μια παραγγελία η αποθεματική θέση βρίσκεται συνήθως κάτω από το σημείο r . Το μέγεθος της παραγγελίας είναι Q ενώ η αποθεματική θέση μετά την παραγγελία παίρνει τιμή μικρότερη από την $r+Q$.

Πολιτική Ελέγχου (s, S)

Πρόκειται για μια πολιτική παρόμοια της (Q, r) όπου $r=s$ και $Q=S-s$. Το σημείο παραγγελίας είναι το s . Όταν η αποθεματική θέση πέφτει κάτω από το s , τότε δίδεται παραγγελία τόσης ποσότητας όση απαιτείται για να πάρει η αποθεματική θέση την τιμή S . Στην περίπτωση διενέργειας περιοδικού ελέγχου με ομαλή ζήτηση η παραγγελία δίνεται συνήθως όταν η αποθεματική θέση βρίσκεται κάτω από το σημείο s .

Πολιτική S

Είναι πολιτικές παραλλαγές της (s, S) και εφαρμόζεται με περιοδικό έλεγχο. Στην πολιτική S δίδεται παραγγελία ακόμα και αν η αποθεματική θέση του ελέγχου δεν βρίσκεται κάτω από το s . Δηλαδή σε κάθε έλεγχο δίνεται παραγγελία τόσης ποσότητας, όσης απαιτείται για να πάρει η αποθεματική θέση την τιμή S εκτός και αν η ζήτηση κατά την διάρκεια της προηγούμενης περιόδου ήταν μηδέν. Γενικά η διαθεσιμότητα των κωδικών στην αποθήκη είναι αναγκαίο να παραμένει συνολικά σε ένα αποδεκτό επίπεδο, με σκοπό την ομαλή εξυπηρέτηση των παραγγελιών που φθάνουν και την αποφυγή των προβλημάτων λόγω έλλειψης αποθεμάτων. Τα συνήθη μοντέλα υιοθετούν πολιτικές ανατροφοδότησης με σταθερό και καθορισμένο επίπεδο επαναπαραγγελίας, αναφορικά με την ποσότητα για κάθε προϊόν.



Εικόνα 3.1: Η κατάσταση του κέντρου διανομής σε μια τυχαία χρονική στιγμή κατά την διάρκεια της λειτουργίας του.

3.3 Λίστες διαλογής και διαχωρισμός παραγγελιών

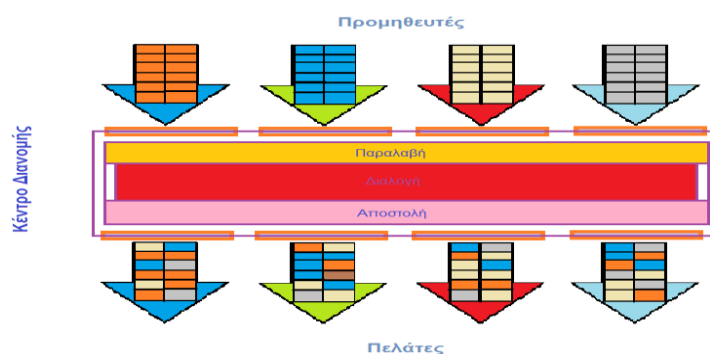
Μια λίστα διαλογής αποτελείται από εκείνους τους κωδικούς προϊόντων τα οποία έχουν παραγγελθεί από τον πελάτη. Το μέγεθος της λίστας διαλογής έχει επίδραση στην απόδοση του συστήματος και επηρεάζει τις μεθόδους διαλογής, τις πολιτικές απόθεσης, αλλά και δρομολόγησης, που εφαρμόζονται.

Σε συστήματα όπως το μελετώμενο τα επίπεδα εξοικονόμησης που επιτυγχάνονται εξαρτώνται από τον αριθμό των SKUs που υπάρχουν στην λίστα διαλογής, όπου μεγαλύτερες λίστες διαλογής τείνουν να αποδίδουν χαμηλότερα ποσοστά εξοικονομήσεων σε σχέση με πιο μικρές ή μεσαίου μεγέθους λίστες. Αυτό συμβαίνει καθώς μεγαλύτερες λίστες έχουν αυξημένη πιθανότητα να εμπεριέχουν όχι ιδιαίτερα δημοφιλή SKUs και έτσι προκύπτουν πολλαπλές και μεγάλες διαδρομές προς πιο απομακρυσμένες θέσεις απόθεσης από τους σταθμούς διαλογής.

Απώτερος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους ταξιδιού και η επίτευξη με την εισδοχή μιας παλέτας μοναδιαίου φορτίου, των μεγαλύτερων δυνατών συνεργειών αναφορικά με την πλήρωση των εκτελούμενων παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής. Η αλληλουχία των SKUs που τίθενται προς διαλογή υποδεικνύεται εύγλωττα στην λίστα διαλογής που παράγεται με σκοπό την μεγιστοποίηση της συνέργειας. Καθορίζεται δε με σκοπό την από κοινού χρήση της με τον αλγόριθμο δρομολόγησης των ρομποτικών οχημάτων. Η αλληλουχία μεταφοράς αυτών των κωδικών στην ουσία υλοποιεί την διαλογή και ενοποίηση των παραγγελιών. Η ενοποίηση αναφέρεται στην ομαδοποίηση των ζητούμενων προϊόντων τα οποία προορίζονται προς τον ίδιο πελάτη. Εν γένει, οι λειτουργίες αλληλουχίας περιέχουν μικρότερες λίστες διαλογής καθώς μια ενιαία παραγγελία διαχωρίζεται.

Η διαδικασία του διαχωρισμού των παραγγελιών είναι αρκετά σημαντική καθώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις εργασίες μεταφοράς. Κάθε παραγγελία περιλαμβάνει ένα αριθμό ζητούμενων κωδικών και διαιρείται σε ένα συγκεκριμένο αριθμό ισοδύναμων βάσεων παλετών αντικατοπτρίζοντας τα αντίστοιχα μέρη από τα οποία οι παραγγελίες αποτελούνται. Κάθε τέτοια παλέτα μπορεί να φιλοξενήσει το πολύ μέχρι και 50 κιβώτια, που περιέχουν προϊόντα καπνού. Κάθε φορά ένας αριθμός παραγγελιών θα μπορεί πάντα να ικανοποιείται λόγω καθορισμένου αριθμού διαθέσιμων ρομποτικών οχημάτων και της δεδομένης χωρητικότητας του κέντρου διανομής. Έτσι ένας ελάχιστος αριθμός βάσεων παλετών παραλαμβάνεται, ορίζοντας το μεταφορικό έργο που τα ρομποτικά οχήματα καλούνται αρχικά να φέρουν εις πέρας, σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια.

Όσον αφορά την διαίρεση μιας παραγγελίας, αρχικά αυτή μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως μεγάλη μεσαία ή μικρή, και να καθοριστούν τόσο οι ζητούμενοι κωδικοί, η συχνότητα εμφάνισης αυτών και η ποσότητα τους σε αυτή. Έπειτα κατά τον προγραμματισμό, οι παραγγελίες συνδυάζονται ανά ζεύγη από τις μεγαλύτερες σε μέγεθος προς τις μικρότερες έτσι ώστε να υπάρξει οικονομία αναφορικά με την βέλτιστη και συνδυαστική κάλυψη αυτών με κοινά ζητούμενους κωδικούς. Το ζεύγος από όπου προκύπτουν οι μεγαλύτερες οικονομίες επιλέγεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου όλες οι παραγγελίες έχουν καλυφθεί.



Εικόνα 3.2: Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας ενός τυπικού κέντρου διανομής.

Κάθε παραγγελία που λαμβάνεται από το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να ικανοποιηθεί δεσμεύοντας τους κωδικούς προϊόντων και ταυτόχρονα να συμπληρώνεται με γνώμονα την πραγματοποίηση του μικρότερου δυνατού αριθμού διαδρομών από τα εμπλεκόμενα στην όλη διαδικασία ρομποτικά οχήματα. Σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη των ζητούμενων κωδικών η παραγγελία ακυρώνεται.

3.4 Η ανάλυση EIQ

Πολυάριθμα τεμάχια από μικρές σχετικά παραγγελίες με σχετικά μεγάλη συχνότητα χαρακτηρίζουν συνήθως τέτοια κέντρα διανομής. Αυτά τα χαρακτηριστικά αυξάνουν το λειτουργικό κόστος αυτών. Η ανάλυση EIQ προσπαθεί να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα, ώστε να αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά ενός κέντρου διανομής προϊόντων καπνού και αναλύει περαιτέρω την σημασία του βαθμού της συχνότητας των παραγγελιών των πελατών μέσω των διαγραμμάτων EQ/EN/IQ/IK. Η ανάλυση EIQ είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο που υιοθετείται από τα σύστημα εφοδιασμού για τον προγραμματισμό και την κατανομή των προϊόντων. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την λήψη περισσότερων λεπτομερειών που αφορούν τις παραγγελίες των πελατών. Σε αυτή συμβολίζουμε: E τις παραγγελίες των πελατών, I τα ζητούμενα προϊόντα, K την συχνότητα εμφάνισης των προϊόντων και Q την αντίστοιχη ποσότητα αυτών. Έτσι μπορούν να προκύψουν τα ζεύγη EQ, EN, IQ, IK που μπορούν να αναπαρασταθούν στα αντίστοιχα γραφήματα όπου:

- EQ: συμβολίζεται η ποσότητα παραγγελιών Q από κάθε πελάτη E
- EN: αριθμός προϊόντων N που έχουν παραγγελθεί από τον κάθε πελάτη E
- IQ: ποσότητα παραγγελίας Q για κάθε προϊόν I
- IK: συχνότητα παραγγελιών K κάθε προϊόντος I

Γενικά η ανάλυση EIQ αποτελείται από πέντε βασικά βήματα:

- **Βήμα 1:** Συγκέντρωση της λίστας με τις παραγγελίες των πελατών για μια ή περισσότερες ημέρες
- **Βήμα 2:** Κατασκευή του πίνακα EIQ βασιζόμενοι στη λίστα συλλογής. Ο πίνακας δείχνει το αριθμό προϊόντων, που εμφανίζονται στην εκάστοτε παραγγελία. Καθορίζει τον αριθμό και την ποσότητα των προϊόντων, που πρέπει να μελετηθούν.
- **Βήμα 3:** Ανάλυση των EQ, EN, IQ και IK όπως αυτά λαμβάνονται από τα EIQ παραπάνω
- **Βήμα 4:** Διευθέτηση EQ, EN, IQ, IK κατά φθίνουσα σειρά
- **Βήμα 5:** Εκχώρηση προϊόντων σε θέσεις απόθεσης

Ο τελικός σκοπός της ανάλυσης EIQ είναι η υποστήριξη του σχεδιασμού ενός συστήματος ταξινόμησης. Χρησιμοποιείται για να διευκρινιστεί η σημαντικότητα κάποιων πελατών καθώς και τα πιο συχνά ζητούμενα προϊόντα, έτσι ώστε με τον τρόπο αυτό να μπορέσει να υποστηρίξει την καλύτερη δυνατή διάταξη των διαχειριζόμενων κωδικών προϊόντος στην αποθήκη αυτής. Η ανάλυση EIQ μπορεί εύκολα να συνδυαστεί με μεθόδους ταξινόμησης ABC όπως περιγράφεται παρακάτω ή άλλες, προσφέροντας τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται για τον σχεδιασμό και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για ένα κέντρο διανομής.

3.5 Ταξινόμηση ABC

Η ταξινόμηση ABC είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος προσφέροντας ένα μηχανισμό αναγνώρισης των κωδικών που είναι σημαντικοί. Το απόθεμα στον κυρίως χώρο απόθεσης διαχωρίζεται σε τρεις ή και περισσότερες κατηγορίες (A, B και C) έτσι ώστε να εκτιμηθεί η σημαντικότητα αυτών. Έτσι κατά την μέθοδο ταξινόμησης ABC τα προϊόντα διαχωρίζονται στις κλάσεις A, B, C αντίστοιχα βασιζόμενοι σε ποσοστιαίες αναλογίες για κάθε κλάση από το σύνολο των διακινούμενων προϊόντων.

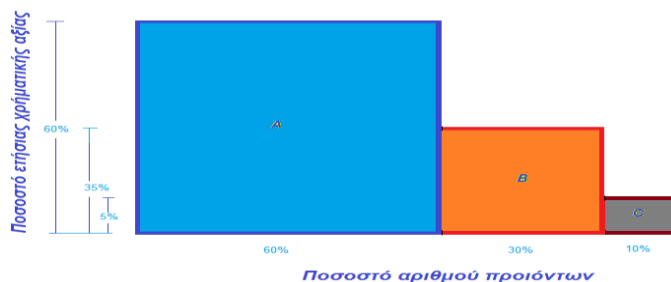
Υπάρχουν δυο παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη:

- ο αριθμός των κλάσεων απόθεσης
- ο αριθμός των SKUs προς συλλογή

Η κατανομή ABC χωρίζει τις παλέτες μοναδιαίου κωδικού σε διαφορετικές κλάσεις, σύμφωνα με τα κριτήρια ζήτησης αυτών, την ταχύτητα κίνησης τους (συχνότητα) και άρα την οικονομική απόδοση, κατά την διακίνηση τους μέσω του κέντρου διανομής. Τα προϊόντα ομαδοποιούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες (κλάσεις) κατά τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε τα ταχέως κινούμενα προϊόντα με μεγάλη οικονομική απόδοση να καταλαμβάνουν περίπου το 60% του διατιθέμενου χώρου, αυτά με ενδιάμεση ταχύτητα κίνησης και αντίστοιχα μικρότερη οικονομική απόδοση να καταλαμβάνουν το 30% του διατιθέμενου χώρου αυτής, ενώ οι πιο αργά κινούμενοι κωδικοί προϊόντων C με μικρή οικονομική απόδοση το 10% του διατιθέμενου χώρου, όπως φαίνεται και στο σχήμα που παρατίθεται.

Τα προϊόντα που εντάσσονται στην κλάση A καταλαμβάνουν θέσεις απόθεσης που είναι προσιτές και σχετικά κοντά στους σταθμούς διαλογής. Την κλάση B καταλαμβάνουν θέσεις πιο απομακρυσμένες από αυτούς ενώ τέλος

την κλάση C καταλαμβάνουν οι πιο δυσπρόσιτες θέσεις στο βάθος των διαδρόμων του σταθμού διαλογής. Αρχικά, η εκχώρηση προϊόντων στις αντίστοιχες κλάσεις καθορίζεται από την ανάλυση ΕΙQ. Έτσι πριν εκκινήσει η εκτέλεση των παραγγελιών περί των 84 διαφορετικοί κωδικοί προϊόντων κατατάσσονται στις κλάσεις A, B, C αντίστοιχα, με βάση την συχνότητα κίνησης και άρα την οικονομική απόδοση των διακινούμενων κωδικών, συνδυαζόμενοι είτε με μεθόδους αφιερωμένης είτε τυχαίας απόθεσης.

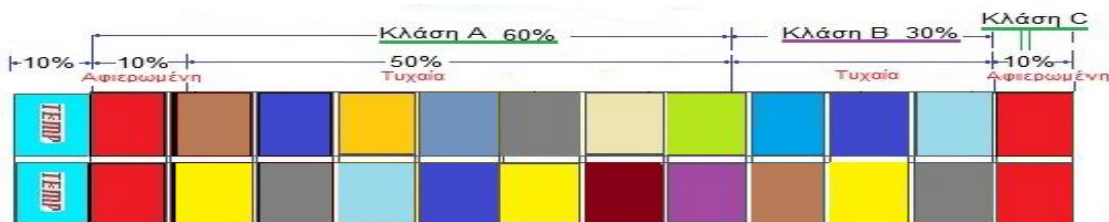


Εικόνα 3.3: Κατανομή προϊόντων στην κυρίως περιοχή απόθεσης σύμφωνα με την μέθοδο ABC.

Έτσι στην κλάση A το 10% των προϊόντων που εντάσσονται σε αυτή χαρακτηρίζονται από αφιερωμένη απόθεση (dedicated), καθώς είναι πολύ γρήγορα κινούμενα και παράγουν μεγάλη αξία, με το υπόλοιπο 50% που απομένει, επίσης προϊόντα ταχέως κινούμενα με μεγάλη συχνότητα ζήτησης και άρα μεγάλης αξίας, να χαρακτηρίζονται από τυχαία απόθεση (random). Στην κλάση B κατανέμονται κωδικοί προϊόντων με ενδιάμεση ταχύτητα κίνησης και συχνότητα, χαρακτηριζόμενοι από μέθοδο τυχαίας απόθεσης. Τέλος είναι η κατηγορία C όπου βρίσκονται τα πολύ αργά κινούμενα προϊόντα, με πολύ χαμηλή συχνότητα κίνησης με μικρό οικονομικό όφελος. Ωστόσο είναι απαραίτητα για την εύρυθμη λειτουργία του κέντρου διανομής και την κάλυψη της όποιας ζήτησης, καταλαμβάνουν δε το εναπομείναν 10% χαρακτηριζόμενα από αφιερωμένη μέθοδο απόθεσης. Συνοπτικά, τα προϊόντα κατανέμονται στις αντίστοιχες κλάσεις με βάση τις ποσοστιαίες αναλογίες για κάθε κλάση όπως παρακάτω από το σύνολο των τεμαχίων:

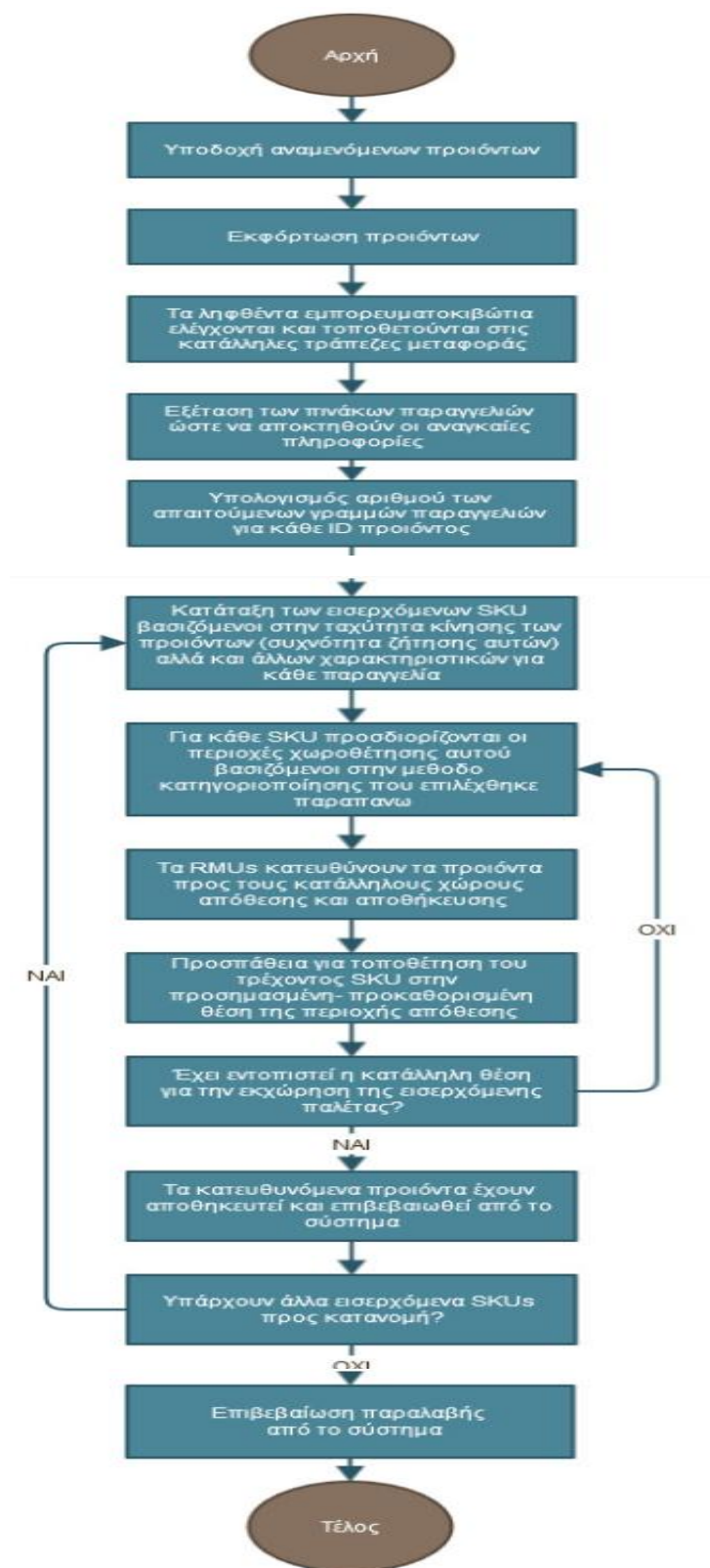
- κλάση A: 60% (10% αφιερωμένη+ 50% τυχαία)
- κλάση B: 30% τυχαία
- κλάση C: 10% αφιερωμένη

Στον κυρίως χώρο απόθεσης του κέντρου διανομής έχουμε 200 θέσεις απόθεσης, ανά συστοιχία θέσεων, άρα για 3 συστοιχίες, θα έχω συνολικά 600 θέσεις απόθεσης. Από αυτές τις 600 θέσεις το 10% εντάσσονται στην κλάση A και τις οποίες καταλαμβάνουν τα πολύ γρήγορα κινούμενα προϊόντα, με την μέθοδο αφιερωμένης απόθεσης και άρα αυτή η περιοχή θα διαθέτει συνολικά 60 θέσεις, δηλαδή 20 θέσεις ανά διάδρομο στην μορφή back to back. Το υπόλοιπο 50% της κλάσης A καταλαμβάνεται από τα ταχέως κινούμενα προϊόντα, που όμως εφαρμόζεται τυχαία απόθεση, άρα 300 θέσεις (100 ανά διάδρομο) καταλαμβάνονται από την περιοχή αυτή. Ακόλουθα, το υπόλοιπο 30% αφορά τα προϊόντα με μέση ταχύτητα εφαρμόζοντας μέθοδο τυχαίας απόθεσης, άρα καταλαμβάνει 180 θέσεις στην κλάση B (60 θέσεις σε κάθε διάδρομο). Τέλος, το 10% των θέσεων καταλαμβάνουν τα πολύ αργά κινούμενα προϊόντα, άρα 60 θέσεις (20 σε κάθε διάδρομο). Επιπρόσθετα αναφορικά με τις θέσεις προσωρινής απόθεσης έχουμε 20 για κάθε διάδρομο, άρα για 3 συστοιχίες ραφιών θα έχουμε στην διάθεση μας 60 θέσεις προσωρινής απόθεσης.



Εικόνα 3.4: Ποσοστιαία κατανομή των προϊόντων με την μέθοδο A.B.C. σε διάδρομο με αφιερωμένη και τυχαία απόθεση.

Έτσι, συνολικά στην κλάση A συνολικά, θα υπάρχουν θέσεις απόθεσης για 360 παλέτες, ενώ η περιοχή B, διαθέτει χώρο για 180 παλέτες και τέλος η περιοχή C, για 60 παλέτες.



Εικόνα 3.5: Ακολουθούμενη διαδικασία εισδοχής και προσπάθειας κατανομής του αποθέματος στις προεπιλεγθείσες θέσεις του κέντρου διανομής.

3.6 Πολιτικές αποθήκευσης και συλλογής

Η χρήση της κατάλληλης πολιτικής εξαρτάται από τις ανάγκες του κάθε κέντρου διανομής αλλά και τη φύση του διακινούμενου προϊόντος (εδώ των προϊόντων καπνού). Η σωστή και κατάλληλη χωροθέτηση των διακινούμενων προϊόντων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το χώρο αλλά και τους πόρους που διαθέτει το κάθε σύστημα προσδιορίζοντας έτσι εκτός από την λειτουργικότητα και την παραγωγικότητα της μονάδας.

Οι πολιτικές εκχώρησης των προϊόντων στις αντίστοιχες θέσεις γενικά χωρίζονται σε τρεις γενικευμένες κατηγορίες κατά τους Schwarz and Graves 1976:

- την τυχαία (random)
- την αφιερωμένη (dedicated)
- σε κλάσεις (class based)

Στην ουσία οι πολιτικές τυχαίας και αφιερωμένης κατανομής αποτελούν ακραίες περιπτώσεις της πολιτικής που βασίζεται σε κλάσεις, όπου κάθε κλάση έπειτα εκχωρείται στην κατάλληλη περιοχή του κέντρου διαλογής είτε εφαρμόζοντας τυχαία μέθοδο απόθεσης είτε αφιερωμένη. Γίνεται η υπόθεση ότι η κάθε παλέτα που εισέρχεται και αποτίθεται στους χώρους του κέντρου διανομής μπορεί να φιλοξενεί αποκλειστικά μόνο ένα τύπο προϊόντος. Επίσης όλες οι θέσεις απόθεσης στο κέντρο διανομής έχουν το ίδιο μέγεθος με αυτό της παλέτας που φιλοξενεί τα προϊόντα. Έτσι όλες οι θέσεις απόθεσης είναι υποψήφιος για την φιλοξενία των εισερχόμενων προϊόντων πάνω στις παλέτες. Για όλους τους πιθανούς τύπους του συστήματος συλλογής παραγγελιών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν η κατάλληλη μέθοδος κατάταξης και ταξινόμησης είναι μείζονος σημασίας για τον διαχωρισμό των προϊόντων στις αντίστοιχες κλάσεις, με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών συλλογής από τα RMUs και εν συνεχεία από τους διαλογείς. Για την υλοποίηση της όποιας μεθόδου επιλεγεί, απαιτούνται δεδομένα που αφορούν τους ζητούμενους κωδικούς, την ποσότητα που ζητείται από τον εκάστοτε πελάτη. Αυτά συνήθως ενυπάρχουν στην λίστα διαλογής. Επίσης σημαντικά είναι και τα δεδομένα που αφορούν την ακριβή θέση του προϊόντος σε κάθε κλάση αποθήκευσης, τις διαθέσιμες θέσεις εκείνη την χρονική στιγμή, καθώς επίσης και το μέγιστο και ελάχιστο απόθεμα, το οποίο απαιτείται από τον κάθε κωδικό προϊόντος, αλλά και την ημερομηνία εισαγωγής μαζί με άλλες χρηστικές πληροφορίες.

Η εκχώρηση των προϊόντων σε γνωστές και συγκεκριμένες θέσεις του κέντρου διανομής βοηθά να προσδιοριστούν οι βέλτιστες τεχνικές και μέθοδοι αναφορικά με την διαδικασία συλλογής των παραγγελιών με ταχύτητα και ακρίβεια. Συνήθως οι πολιτικές αυτές περιλαμβάνουν την χωροθέτηση των SKUs στις κατάλληλες θέσεις, βασιζόμενοι στα πρότυπα ζήτησης, όπως αυτά προκύπτουν από τις λίστες παραγγελιών που είναι γνωστές εκ των προτέρων. Η συνηθέστερα επιλεγόμενη τακτική τοποθετεί τα υψηλής κινητικότητας SKUs στις θέσεις των διαδρόμων συλλογής που βρίσκονται κοντά στους σταθμούς διαλογής, ενώ τους αντίστοιχα χαμηλής κινητικότητας κωδικούς τους τοποθετεί σε πιο απομακρυσμένα σημεία από αυτούς. Έτσι οι παλέτες με τη μικρότερη διάρκεια παραμονής εκχωρούνται στην κλάση με το μικρότερο μέσο χρόνο ταξιδιού. Επιπρόσθετα μια άλλη διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο κέντρο διανομής και προς το τέλος κάθε ημέρας είναι η ανακατανομή των κωδικών που έχουν απομείνει. Αυτό επιτυγχάνεται προωθώντας τις παλέτες όσο το δυνατό πιο μπροστά στα όρια κάθε κλάσης που αυτές ανήκουν. Συνήθως η ανακατανομή γίνεται στο 10%-15% το πολύ 20% του ημερήσιου όγκου των προϊόντων που φιλοξένησε το κέντρο διανομής. Οι πολιτικές αυτές είναι γενικά αρκετά αποτελεσματικές βελτιστοποιώντας την απόδοση του συστήματος απόθεσης προϊόντων.

3.7 Η κοινόχρηστη και η τυχαία μέθοδος απόθεσης

Η εκχώρηση των προϊόντων στις θέσεις απόθεσης αντανακλά τις όποιες αλλαγές αναφορικά με τη μίξη διακινούμενων προϊόντων από το κέντρο διανομής. Οι κοινόχρηστες μέθοδοι απόθεσης κωδικών δείχνουν να προσφέρουν καλά αποτελέσματα σχετικά με το χρόνο ταξιδιού. Μια κοινόχρηστη πολιτική, της οποίας περίπτωση αποτελεί η τυχαία αποθήκευση, επιτρέπει σε περισσότερα του ενός προϊόντα να καταλάβουν διαδοχικά την ίδια θέση απόθεσης, με ίση πιθανότητα προσημασμένους χώρους του κέντρου διανομής. Στην μέθοδο τυχαίας απόθεσης κάθε εισερχόμενος κωδικός μπορεί να καταλαμβάνει οποιαδήποτε θέση μέσα στην κλάση που αυτό εντάσσεται ενώ αντίθετα στην αφιερωμένη κάθε εισερχόμενος κωδικός προϊόντος έχει ένα συγκεκριμένο σετ από θέσεις προορισμού.

Ένα κέντρο διανομής που εφαρμόζει μια πολιτική κοινής χρήσης, πρέπει να βασίζεται σε ένα μηχανογραφημένο σύστημα παρακολούθησης των διακινούμενων προϊόντων. Έτσι, ένα προϊόν μπορεί να εκχωρείται σε διαφορετικές θέσεις εναλλακτικά με την πάροδο του χρόνου. Η πολιτική τυχαίας απόθεσης χρησιμοποιείται εκτενώς σε κέντρα διανομής καθώς είναι εύκολη στην εφαρμογή της και προσφέρει κατά γενική ομολογία μια ισορροπημένη χρήση του κέντρου διανομής. Σε αυτή μπορεί να εκχωρηθεί ένα προϊόν σε περισσότερες από μια θέσεις απόθεσης όταν μια θέση είναι ανοικτή και διαθέσιμη για ανακατανομή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη χρησιμοποίηση του χώρου σε σχέση με την αφιερωμένη λογική απόθεσης. Η τυχαία κατανομή ομοιάζει αρκετά με την πολιτική πλησιέστερης διαθέσιμης θέσης της οποίας η χρήση είναι εξίσου απλή και αποδίδει καλύτερα όταν η πυκνότητα των προϊόντων είναι υψηλή. Για παράδειγμα όταν ένας εισερχόμενος κωδικός SKU έχει την δυνατότητα να αποτεθεί σε K δυνατές θέσεις ίσου μεγέθους τότε η μέση χρησιμοποίηση του χώρου

δίδεται ως $\frac{K}{K+1}$. Έτσι μεταπίπτοντας από την μια (1) θέση αφιερωμένης απόθεσης προς δυο (2) εναλλακτικές

θέσεις απόθεσης αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της χρησιμοποίησης 50%-60%. Έτσι αυξάνοντας τον αριθμό των διαθέσιμων θέσεων αυξάνει και η αντίστοιχη χρησιμότητα αυτών ωστόσο η βελτίωση αυτή ελαττώνεται καθώς το K αυξάνει πολύ, η δε αύξηση του αριθμού των θέσεων, αυξάνει το απαιτούμενο κόστος διαχείρισης.

3.8 Η πλησιέστερη διαθέσιμη θέση

Μια πολιτική αποθήκευσης που ονομάζεται πλησιέστερη διαθέσιμη (μη κατειλημμένη θέση) συνήθως χρησιμοποιείται καθώς είναι εύκολη η χρήση της. Κάθε εισερχόμενη παλέτα εκχωρείται σε μια θέση εντός των συγκεκριμένων κλάσεων της αποθήκης, η οποία επιλέγεται τυχαία από το σύνολο των επιλέξιμων και διαθέσιμων θέσεων με την ίδια πιθανότητα εντός αυτών (Petersen 1997). Κατά την εφαρμογή του κανόνα τυχαίας απόθεσης κάθε κωδικός προϊόντος έχει την ίδια πιθανότητα να αποτεθεί σε κάθε μια από τις N διαθέσιμες θέσεις κάθε κλάσης. Ο κανόνας της πλησιέστερα διαθέσιμης θέσης έχει όπως παρακάτω.

Πριν από την διαδικασία της απόθεσης μιας εισερχόμενης παλέτας, αυτή εισάγεται σε μια λίστα, όπου οι διαθέσιμες θέσεις σαρώνονται και καθορίζονται αυτές που βρίσκονται πλησιέστερα στους σταθμούς διαλογής. Έπειτα οι παλέτες αποθηκεύονται σε μια από αυτές τις θέσεις. Με την προϋπόθεση ότι η παλέτα που αποτίθεται σε μια δεδομένη θέση είναι ανεξάρτητη από την προηγούμενη θέση τοποθέτησης, όλες οι θέσεις απόθεσης έχουν την ίδια πιθανότητα να λάβουν χώρα σε οποιαδήποτε από τις N θέσεις χρησιμοποιούνται. Ως εκ τούτου το σύστημα θα συμπεριφερθεί με τον ίδιο τρόπο ως εάν χρησιμοποιούνταν ο κανόνας τυχαίας απόθεσης. Έτσι μια μέθοδος ανάκτησης των ζητούμενων κωδικών προϊόντων από τις θέσεις που έχουν αποτεθεί εντός του κύριου χώρου απόθεσης του κέντρου διανομής περιγράφεται και στο παρακάτω γράφημα. Η παραπάνω παρουσιαζόμενη μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί κάλλιστα με την μέθοδο τυχαίας ανάθεσης και κατανομής των προϊόντων του αποθέματος. Η έννοια διαθέσιμο υπό υπόσχεση, που σε αυτό περιέχεται, σημαίνει ότι το σύστημα εκ των προτέρων δύναται να γνωρίζει ότι εντός εύλογα μικρού και πάντως ελεγχόμενου χρονικού διαστήματος το ζητούμενο προϊόν θα καταστεί διαθέσιμο και έτσι θεωρούμε ότι θα μπορεί να συμπληρώσει την παραγγελία, χωρίς να σημειωθεί κάποια μη ελεγχόμενη καθυστέρηση που μπορεί να προκαλέσει κάποιο πρόβλημα στην ομαλή ροή των προϊόντων.

Κεφάλαιο 4

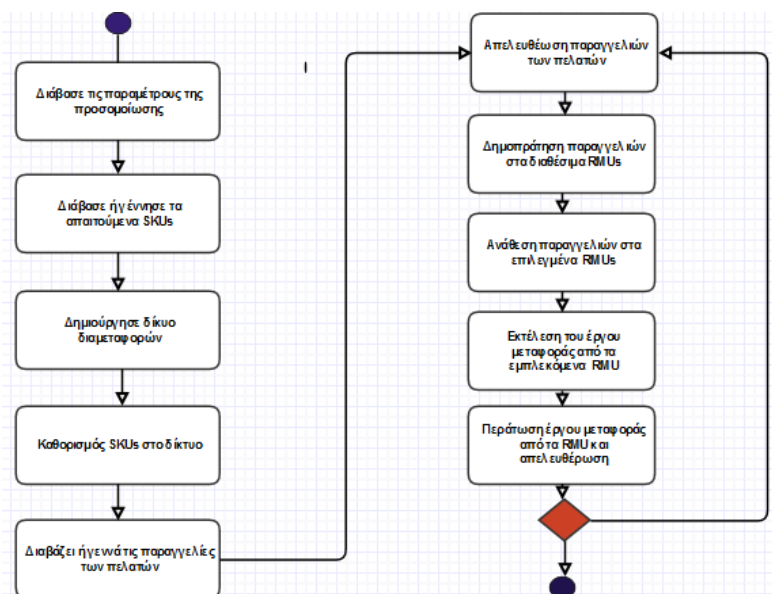
4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται εργαλεία ανάλυσης και βελτιστοποίησης κέντρων διανομής.

Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο ανάλυσης που βασίζεται στη μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με την βοήθεια υπολογιστή. Πρόκειται για μια διαδεδομένη τεχνική για την ανάλυση πολύπλοκων, πολυσύνθετων και δυναμικών συστημάτων, την αξιολόγηση της απόδοσης αυτών και μπορεί να εφαρμοστεί με πολύ καλά αποτελέσματα σε κέντρα διανομής εμπορευμάτων. Σε αυτά επειδή η επιβάρυνση από την αποθεματοποίηση εμπορευμάτων μπορεί να φτάσει έως και το 50% του τελικού κόστους πώλησης αυτών, πολλές εταιρείες αναζητούν τρόπους βελτιστοποίησης των μεθόδων διαχείρισης του όγκου των αγαθών που φιλοξενούν.

Η προσομοίωση βασίζεται συχνά στην παρατήρηση της αλλαγής της κατάστασης του εξεταζόμενου συστήματος κατά τις χρονικές στιγμές στις οποίες λαμβάνουν χώρα διακριτά γεγονότα, όπως άφιξη παραγγελίας, αναπλήρωση αποθέματος, άφιξη/αναχώρηση οχήματος, κοκ. Η προσομοίωση μοντέλων διακριτών γεγονότων έχει αναδειχθεί ως ένας από τους πιο δημοφιλείς και αποδοτικούς τρόπους για την ανάλυση αυτών.

Σε αντίθεση με την χρήση προσεγγιστικών μοντέλων, για τη μελέτη τέτοιων συστημάτων οι τεχνικές προσομοίωσης μπορούν να αποτελέσουν μια εναλλακτική οδό που προσφέρει πρακτικά 100% ακριβείς εκτιμήσεις. Ένα καλό μοντέλο δύναται να βοηθήσει τον σχεδιαστή τέτοιων συστημάτων, ώστε γρήγορα να μπορέσει να αξιολογήσει πολλές και εναλλακτικές επιλογές και με τον τρόπο αυτό να περιορίσει αισθητά τον χώρο σχεδίασης. Τέτοια μοντέλα προσομοίωσης χρησιμοποιούν εικονικά αντικείμενα αντιπροσωπεύοντας τα αντίστοιχα πραγματικά, προσπαθώντας να αναπαράγουν τη συμπεριφορά καθενός από αυτά, αλλά και την αλληλεπίδραση αυτών με τα αντικείμενα που έρχονται σε επαφή. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να εντοπιστούν τυχόν ανεπάρκειες, αστοχίες, δυσλειτουργίες ή κακές πολιτικές, πριν το σύστημα λειτουργήσει στην πράξη και να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη που επιβαρύνουν τέτοια πολύπλοκα συστήματα. Σε μερικές περιπτώσεις, ο κώδικας που αναπτύσσεται για την προσομοίωση του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματική λειτουργία με την προσθήκη κατάλληλων ελεγκτάσεων.



Εικόνα 4.1: Η γενική ιδέα της προσομοίωσης για το εν λόγω σύστημα (Verriet et al, 2013)

4.2 Υποθέσεις - Παραδοχές

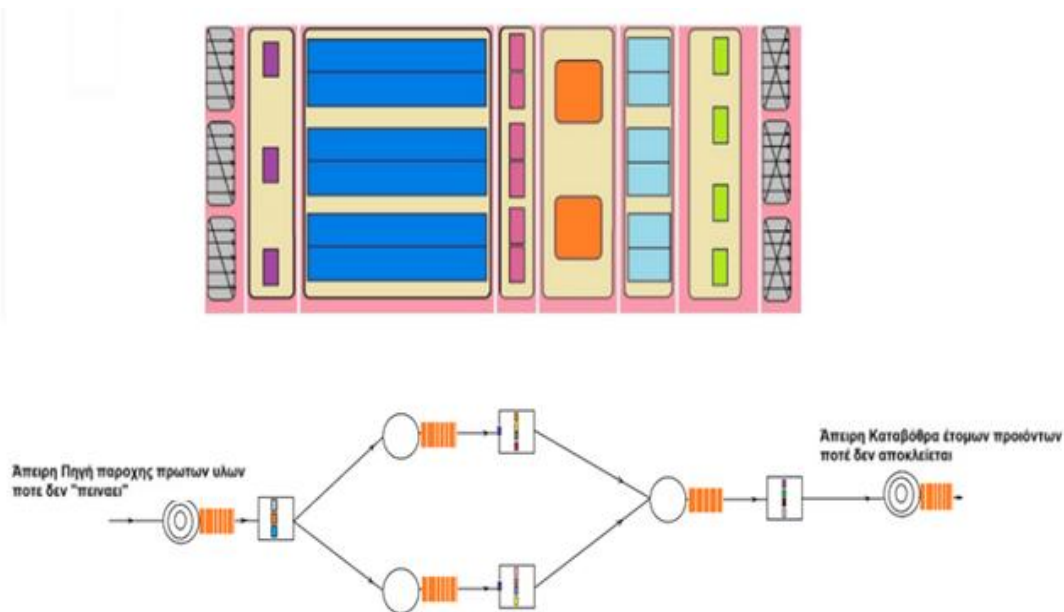
- Αρχικά θεωρούμε ότι το κέντρο διανομής είναι άδειο και κατά την έναρξη της προσομοίωσης πραγματοποιείται σταδιακά η πλήρωση του κυρίως χώρου απόθεσης της αποθήκης
- Οι παρτίδες των εισερχόμενων στο σύστημα παραγγελιών θα πρέπει να έχουν συμπληρωθεί την ίδια ημέρα κατά την οποία και ελήφθησαν. Σε περίπτωση που η εκτέλεση αυτών δεν έχει ολοκληρωθεί στο χρονικό διάστημα που έχει προβλεφτεί για το σκοπό αυτό τότε η λειτουργία του κέντρου διανομής επεκτείνεται τόσο ώστε να ικανοποιηθούν όλες οι παραγγελίες που το σύστημα έχει αρχικά αποδεχτεί.
- Η διάταξη των παλετών αποθήκευσης είναι αυστηρώς πλάτη με πλάτη (back to back) διαμορφώνοντας έτσι τους αναγκαίους διαδρόμους πρόσβασης που απαιτούνται για την κίνηση των ρομποτικών οχημάτων
- Η αρχική κατάσταση που ευρίσκεται η κυρίως αποθήκη του κέντρου διανομής είναι η ίδια με αυτή που αφέθηκε την προηγούμενη ημέρα ύστερα από την βέλτιστη αναδιάταξη των μοναδιαίων παλετών
- Κάθε παραγγελία όταν αυτή διαχωρίζεται στις αντίστοιχες βάσεις παλετών πλέον χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο και μοναδικό αριθμό που ονομάζεται μοναδιαίος αριθμός παραδοτέας παλέτας (Pallet Delivery Unit, PDU).
- Οι αναλογίες των αποθεμάτων για όλους τους κωδικούς είναι προκαθορισμένες, σύμφωνα με το προφίλ της ζήτησης, που στην περίπτωση μας θεωρείται σταθερό
- Πρέπει πάντοτε να υπάρχει τουλάχιστον μια παλέτα στην περιοχή απογραφής για κάθε κωδικό ικανοποιώντας έτσι την απαίτηση για διατήρηση ελάχιστου αποθέματος ασφάλειας
- Η κάθε παραγγελία ξεκινά σε συγκεκριμένο σταθμό διαλογής και σε συγκεκριμένη κάθε φορά θέση αυτού. Η συνέχιση της διαδικασίας μέχρι και την ολοκλήρωση αυτής θα πρέπει να λαμβάνει χώρα στην ίδια ακριβώς θέση της αρχικής εκκίνησης για την είσοδο της συγκεκριμένης παραγγελίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση όπου μια παραγγελία χρειαστεί να μεταφερθεί από την θέση που ήδη βρίσκεται σε μια θέση προσωρινής απόθεσης είτε εντός του σταθμού διαλογής είτε εκτός αυτού. Επιστρέφοντας αυτή θα πρέπει να τοποθετηθεί υποχρεωτικά ξανά στην αρχική της θέση από όπου και αναχώρησε.
- Στο κέντρο διανομής εισέρχονται άμεσα προϊόντα όταν αυτό απαιτείται και πάντα θα υπάρχει διαθέσιμος χώρος αυτά να τοποθετηθούν από την στιγμή που εισέρχονται
- Ο χρόνος μεταφοράς από το ένα σημείο στο άλλο περιλαμβάνεται στον χρόνο επεξεργασίας
- Όλες οι απαιτούμενες αποστάσεις υπολογίζονται απλουστευμένα χρησιμοποιώντας το μέτρο Ευκλείδειας απόστασης.

4.3 Αναπαράσταση του μοντέλου προσομοίωσης του κέντρου διανομής

Εν γένει οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε κέντρα διανομής συνδέονται με από την εμφάνιση πολυάριθμων διακριτών γεγονότων τυχαίων ή αιτιοκρατικών. Οι χρόνοι εμφάνισης και άλλα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των γεγονότων μπορεί να εξαρτώνται απ' ενός από τις (καθορισμένες) παραμέτρους του συστήματος, όπως για παράδειγμα η ταχύτητα ενός οχήματος που καθορίζει το χρόνο άφιξής του σε κάποιο σημείο του συστήματος, και απ' ετέρου από τυχαίους παράγοντες, όπως η άφιξη νέας παραγγελίας και οι τύποι και οι ποσότητες των αντίστοιχων προϊόντων που θα ζητηθούν. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίδουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος (Κουϊκόγλου Β. 2006).

Ένα σύστημα παραγωγής αποτελείται από ένα δίκτυο σταθμών παραγωγής. Η γραμμή παραγωγής συνίσταται από μηχανές ή σταθμούς παραγωγής συνδεδεμένες εν σειρά. Οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μηχανές συνδεδεμένες εν σειρά ή εν παραλλήλω και οι εργαζόμενοι σε αυτές δέχονται πρώτες ύλες ή ανεπεξέργαστα κομμάτια και παράγουν επεξεργασμένα είδη, εδώ οι διαλογείς συναρμολογούν τις αναμένουσες παραγγελίες από τους καταφθάνοντες, μέσω των RMUs, ζητούμενους κωδικούς. Υπό αυτή την έννοια οι σταθμοί διαλογής μπορούν να ιδωθούν ως τέτοιες "μηχανές" συνδεδεμένες εν σειρά ώστε να επιτυγχάνεται η αναγκαία συνεργατικότητα.

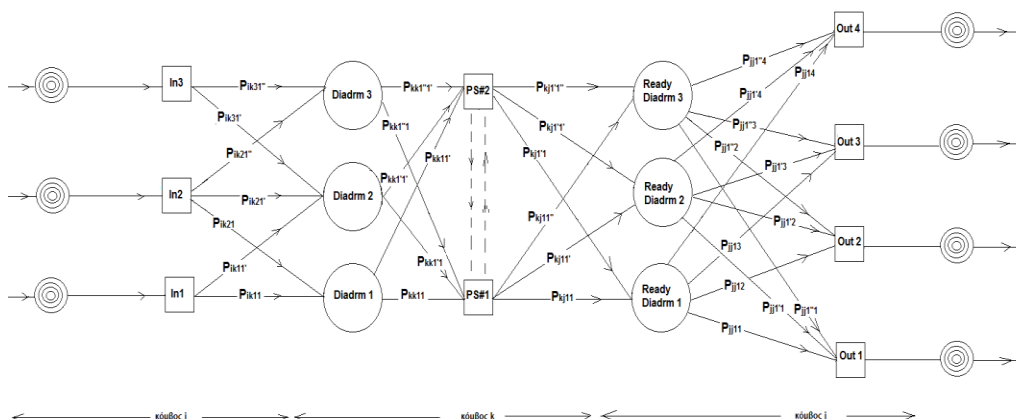
Για να αυξήσουμε την παραγωγικότητα ενός συστήματος τοποθετούμε ανάμεσα σε διαδοχικούς σταθμούς, χώρους εναπόθεσης τα λεγόμενα buffers, τα οποία διατηρούν αποθέματα πρώτων υλών προς επεξεργασία για τους επόμενους σταθμούς παραγωγής. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, το ρόλο των ενδιάμεσων buffers θα μπορούσαν να παίξουν, η περιοχή κυρίως απόθεσης και αποθήκευσης παλετών μοναδιαίου κωδικού, όπως ακόμα και ο χώρος απόθεσης έτοιμων παραγγελιών. Επιπρόσθετα θεωρούμε ότι υπάρχει μια αποθήκη άπειρων πρώτων υλών στην αρχή αντιπροσωπεύοντας μια ιδεατή ψευδομηχανή άπειρης παροχής πρώτων υλών, ενώ στο τέλος μια ακόμα ιδεατή ψευδομηχανή άπειρης ζήτησης προϊόντων (καταβόθρα) που απορροφά συνεχώς τα παραγόμενα προϊόντα - ολοκληρωμένες παραγγελίες του κέντρου διανομής.



Εικόνα4.2: Αντιστοιχία του κέντρου διανομής με την αναπαράσταση κόμβων του μοντέλου προσομοίωσης.



Εικόνα 4.3: Γενικευμένο διάγραμμα που απεικονίζει τις βασικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν το κέντρο διανομής.



Εικόνα 4.4: Οι πιθανές μεταβάσεις μεταξύ των κόμβων του μελετώμενου συστήματος.

Η λογική του προγράμματος προσομοίωσης περιλαμβάνει τις βασικές διαδικασίες που εκτελούνται στο μελετώμενο κέντρο διανομής, όπως αυτές διεξοδικά έχουν περιγραφεί και αναπαρασταθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Αναφερόμαστε στην εισαγωγή των κωδικών προϊόντων στο εσωτερικό του κέντρου διανομής, τη λογική απόθεσης και αναδιανομής στις κατάλληλες θέσεις των διαδρόμων της περιοχής κυρίως απόθεσης και αποθήκευσης. Ακόμα στην διαδικασία πλήρωσης των παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής με την κατάλληλη διαίρεση αυτών στις αντίστοιχες παλέτες και στην απόθεση αυτών στην περιοχή απόθεσης των εξερχόμενων παραγγελιών, με σκοπό την απομάκρυνση αυτών από τις εγκαταστάσεις του κέντρου διανομής.

Έτσι η προσομοίωση εκκινεί με την λήψη των προς εκτέλεση παραγγελιών των πελατών και ακολουθεί η κατάλληλη επεξεργασία αυτών και ταξινόμηση από την μεγαλύτερη σε μέγεθος προς την μικρότερη, πριν αυτές αποθηκευτούν στην βάση δεδομένων του συστήματος διαχείρισης υλικών του κέντρου διανομής. Αυτό πραγματοποιείται καθώς αναμένουμε οι μεγαλύτερες σε μεγέθους παραγγελίες να περιέχουν κοινούς και πολλαπλά ζητούμενους κωδικούς, εκμεταλλευόμενοι έτσι το χαρακτηριστικό της συνεργατικότητας στους σταθμούς διαλογής. Έτσι οι παραγγελίες λαμβάνονται στους σταθμούς διαλογής με βάση την παραπάνω κατάταξη. Επιπρόσθετα, αφού και οι προς απόθεση κωδικοί έχουν ταξινομηθεί με βάση την συχνότητα ζήτησής τους, πραγματοποιείται η διαδικασία εισαγωγής και χωροθέτησης των παλετών μοναδιαίου κωδικού στους κατάλληλους χώρους του κέντρου διανομής.

Το κέντρο διανομής αρχικά είναι άδειο και κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης πραγματοποιείται σταδιακά η πλήρωση του κυρίως χώρου απόθεσης της αποθήκης, με βάση τους ζητούμενους κωδικούς των παραγγελιών, από τα RMU και με τους κανόνες που έχουν τεθεί αναφορικά με την χωροθέτηση των κωδικών. Όταν η αρχική τροφοδοσία έχει περατωθεί τότε εκκινεί η διαδικασία πλήρωσης των παραγγελιών. Κατά την διάρκεια της ημέρας πραγματοποιούνται περιοδικά επιθεωρήσεις των επιπέδων των αποθεμάτων με σκοπό την καλύτερη παρακολούθηση και επαναπροσδιορισμό των αποφάσεων που λαμβάνονται.

Ο αλγόριθμος που αναπτύσσεται παρατίθεται με τον απαιτούμενο σχολιασμό στο παράρτημα στην σελίδα 57.

4.4 Βελτιστοποίηση του κέντρου διανομής

Παρακάτω παρατίθεται μια μοντελοποίηση του προβλήματος όπως αυτή προτείνεται σε σχετικό άρθρο από τους Lim et al. (2008).

Σε αυτό θεωρούμε ότι διαθέτουμε ένα κέντρο διανομής μοναδιαίου φορτίου όπου τα εμπλεκόμενα RMUs εκτελούν αποκλειστικά και μόνο διαδρομές μίας μόνο φόρτωσης ή/και εκφόρτωσης ανά δρομολόγιο. Ακόμα υποθέτουμε ότι διαθέτουμε ένα κέντρο διανομής με ξεχωριστές αποβάθρες που δεν συμπίπτουν μεταξύ τους, μια αποκλειστικά για τη είσοδο πρώτων υλών (πύλη εισόδου) και μια αντιδιαμετρικά αυτής, αποκλειστικά για την έξοδο των έτοιμων παραγγελιών. Ο χώρος των θέσεων απόθεσης διαιρείται στις διάφορες κλάσεις σύμφωνα με την ταξινόμηση ABC.

Κάθε κλάση έχει να κάνει με την θέση των προϊόντων στο χώρο με κριτήριο την συχνότητα ζήτησης τους (ομαδοποιημένα προϊόντα που έχουν συγκεκριμένες θέσεις απόθεσης μέσα στην κλάση). Οι κλάσεις δίνουν μια ένδειξη για την ζήτηση κάθε διακινούμενου προϊόντος. Όταν μια παλέτα εκχωρείται σε μια κλάση, αποτίθεται αυθαίρετα σε μια από τις διαθέσιμες θέσεις της.

Για κάθε θέση απόθεσης ορίζεται το κόστος απόθεσης (αντίστοιχα ανάκτησης) ως ο χρόνος ταξιδιού που απαιτείται από ένα RMU για να μεταφερθεί από την αποβάθρα εισερχόμενων πρώτων υλών προς τις θέσεις απόθεσης και το σταθμό διαλογής και πάλι πίσω.

Υποθέτουμε ότι κάθε θέση της κλάσης j έχει κόστος απόθεσης s_j και ανάκτησης r_j για κάθε $j=1...N$ όπου N ο αριθμός των κλάσεων. Ακόμα, κάθε κλάση j θεωρούμε ότι έχει χωρητικότητα c_j η οποία αναπαριστά τον αριθμό των θέσεων απόθεσης αυτής. Επιπλέον υποθέτουμε ότι, η N -στη κλάση αναπαριστά θέσεις απόθεσης για έκτακτες καταστάσεις (περιοχή προσωρινής απόθεσης) έχει άπειρη χωρητικότητα $C_N = \infty$, με υψηλό όμως κόστος απόθεσης και ανάκτησης. Εντός αυτής εναποτίθενται αυθαίρετα οι παλέτες με προϊόντα όταν οι συνθήκες το απαιτούν.

Επιπρόσθετα, υποθέτουμε ότι διαθέτουμε M προϊόντα ταξινομημένα με φθίνουσα συχνότητα ζήτησης από $i=1...M$. Ακόλουθα αυτά εκχωρούνται στις αντίστοιχες κλάσεις $j = 1, ..., M$ στις συστοιχίες ραφιών απόθεσης της κυρίως αποθήκης του κέντρου διανομής με βάση την ταξινόμηση που έχει προηγηθεί. Επιπλέον ο βραχυπρόθεσμος χρονικός ορίζοντας διαιρείται σε T περιόδους $t=1...T$.

Για ευκολία έχουμε:

$N=\{1...N\}$ είναι ο αριθμός των κλάσεων και $N^+=\{1,...,N-1\}$

$M=\{1...M\}$ αριθμός των παλετών

$T=\{1...T\}$ χρονική περίοδος και $T^+=\{1...T+1\}$, όπου $T+1$ η επομένη ημέρα.

Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού αναμενόμενου κόστους στον προβλεπόμενο βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ντετερμινιστικό μοντέλο στο οποίο όλες οι πληροφορίες στον βραχυπρόθεσμο γνωστό ορίζοντα και είναι διαθέσιμες στην αρχή της πρώτης περιόδου.

Το a_i^t συμβολίζει τον αριθμό των παλετών του προϊόντος i που αφικνούνται στην αρχή της περιόδου t .

Επιπλέον, το $u_{i,j}^t$ είναι η μεταβλητή απόφασης που καθορίζει τον αριθμό των αφικνούμενων παλετών από το προϊόν i τα οποία εκχωρούνται στην κλάση j στην περίοδο t .

Από την στιγμή που όλες οι αφιχθείσες παλέτες θα πρέπει υποχρεωτικά να εκχωρούνται σε κάποια κλάση θα

έχουμε: $\sum_{j \in N} u_{i,j}^t = a_i^t$ για $i \in M, t \in T$.

Όμοια το d_i^t υποδηλώνει τον αριθμό των παλετών για το προϊόν i τα οποία έχουν παραγγελθεί στην περίοδο t και

$w_{i,j}^t$ η μεταβλητή απόφασης που καθορίζει τον αριθμό των παλετών του προϊόντος i τα οποία ανακτώνται από

την κλάση j στην περίοδο t . Έτσι έχουμε: $\sum_{j \in N} w_{i,j}^t = d_i^t$ για τα $i \in M, t \in T$.

Το $x_{i,j}^t$ συμβολίζει τον αριθμό των παλετών του προϊόντος i στην κλάση j στην αρχή της περιόδου t .

Υποθέτουμε ότι αρχικά στο κέντρο διανομής δεν υπάρχει απόθεμα και έτσι θα έχω: $x_{i,j}^1 = 0 \forall i \in M, j \in N, t \in T^+$.

Το απόθεμα του προϊόντος i στην κλάση j στην αρχή της περιόδου $t+1$ είναι:

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + u_{i,j}^t - w_{i,j}^t \quad \forall \quad i \in M, j \in N, t \in T.$$

Καθώς το απόθεμα σε κάθε κλάση j δεν πρέπει να ξεπερνά την δεδομένη χωρητικότητα έχουμε τους ακόλουθους περιορισμούς αναφορικά με την χωρητικότητα:

$$\sum_{i \in M} (x_{i,j}^t + u_{i,j}^t) \leq c_j \quad \forall \quad j \in N^-, t \in T.$$

Οι μεταβλητές απόφασης θα πρέπει να είναι ακέραιοι. Ωστόσο για να προκύψει μια εύκολη στην χρήση διατύπωση, χαλαρώνουμε τον περιορισμό αυτό, επιτρέποντας κλασματικές ποσότητες, και διατυπώνουμε ένα γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό κόστος την αποθήκης του κέντρου διανομής ως εξής:

$$Z_D = \min \sum_{t \in T} \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} (s_j \cdot u_{i,j}^t + r_j \cdot w_{i,j}^t)$$

υπό τους κάτωθι περιορισμούς:

$$\sum_{j \in N} u_{i,j}^t = a_i^t, \quad i \in M, t \in T$$

$$\sum_{j \in N} w_{i,j}^t = d_i^t, \quad i \in M, t \in T$$

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + u_{i,j}^t - w_{i,j}^t, \quad i \in M, j \in N, t \in T$$

$$x_{i,j}^1 = 0, \quad i \in M, j \in N$$

$$\sum_{i \in M} (x_{i,j}^t + u_{i,j}^t) \leq c_j, \quad j \in N^-, t \in T$$

$$x_{i,j}^t \geq 0, \quad i \in M, j \in N, t \in T^+$$

$$u_{i,j}^t, w_{i,j}^t \geq 0, \quad i \in M, j \in N, t \in T$$

Υποθέτουμε ότι πάντα υπάρχει επαρκές και διαθέσιμο απόθεμα, έτσι ώστε να καλύψουν την ζήτηση σε κάθε περίοδο. Ισοδύναμα είναι: $\sum_{T=1}^t d_i^t \leq \sum_{T=1}^t a_i^T, \quad i \in M, t \in T$ όπου το αρχικό πρόβλημα ($\min Z_D$) είναι εφικτό αν

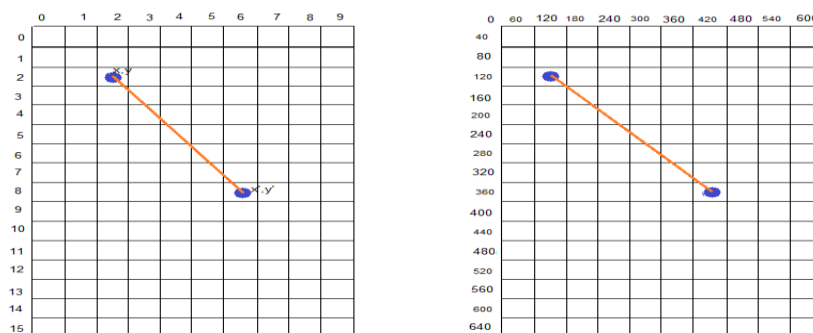
και μόνο αν η παραπάνω ανισότητα ισχύει. Σημειώνουμε επίσης ότι η αρχική προϋπόθεση $x_{i,j}^1 = 0$, για κάθε $i \in M, j \in N$ δεν είναι υπερβολικά περιοριστική. Επίσης η παραπάνω πρόταση μπορεί να επεκταθεί σε μια

γενικότερη σύνθεση στην οποία οι ανισότητες γίνονται: $\sum_{T=1}^t d_i^T \leq \sum_{T=1}^t a_i^T + \sum_{j \in N} x_{i,j}^1$, για κάθε $i \in M, t \in T$ όπου

$x_{i,j}^1 \geq 0$ για κάθε $i \in M, j \in N$.

4.5 Πλειοδοσία, δρομολόγηση και μέτρηση απόστασης

Τα παραπάνω επιτυγχάνονται μέσω διαδικασιών πλειοδοσίας των προς εκτέλεση εργασιών στα διαθέσιμα κάθε φορά ρομποτικά οχήματα με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Οι διαδικασίες πλειοδοσίας εφαρμόζονται από το σύστημα διαχείρισης υλικών και αποσκοπούν στην εύρεση του πλέον διαθέσιμου ρομποτικού οχήματος, για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας μεταφοράς. Για την επιλογή οχήματος λαμβάνονται υπόψη πρωτίστως η διαθεσιμότητα των ρομποτικών οχημάτων και η απόσταση του ρομποτικού οχήματος από την ζητούμενη θέση απόθεσης. Επίσης λαμβάνονται υπόψη και άλλα κριτήρια όπως η συνολική διαδρομή που το ρομποτικό όχημα έχει διανύσει μέχρι εκείνη την χρονική στιγμή, η στάθμη της μπαταρίας του όπως ακόμα και προηγούμενες αποφάσεις εκχώρησης έργου μεταφοράς. Εργασίες δηλαδή που έχουν ήδη εκτελεστεί ή και εργασίες που υλοποιούνται την δεδομένη στιγμή που η πλειοδοσία πραγματοποιείται ή ακόμα και εργασίες που έπονται και έχουν ήδη προγραμματιστεί. Για την επιλογή του ρομποτικού οχήματος και της βέλτιστης διαδρομής που αυτό θα ακολουθήσει χρειάζεται να είναι γνωστή η απόσταση μεταξύ ενός ζευγαριού θέσεων. Αυτές αφορούν αντίστοιχα το σημείο εκκίνησης του ρομποτικού οχήματος και το σημείο χωροθέτησης του προϊόντος στόχο. Έτσι για κάθε εργασία μεταφοράς που χρειάζεται να εκτελεστεί διατρέχονται όλα τα διαθέσιμα ρομποτικά οχήματα και προσδιορίζεται αυτό το οποίο βρίσκεται εγγύτερα στη θέση στόχο, δηλαδή έχει την μικρότερη απόσταση από αυτή. Τότε εκχωρείται σε αυτό το RMU η εργασία μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό πραγματώνεται η μεταφορά των παλετών μοναδιαίου κωδικού στο σταθμό διαλογής και έπειτα η επιστροφή του πάλι πίσω στην θέση από όπου και αρχικά ήταν αποτεθειμένο.



Εικόνα 4.5: Αντιστοίχιση του συστήματος μέτρησης στη μνήμη του υπολογιστή και του συστήματος μέτρησης της αποθήκης στο επίπεδο κίνησης του κέντρου διανομής για μέτρηση των αποστάσεων.

Έτσι, για την μέτρηση των αποστάσεων εντός του κέντρου διανομής χρειάζεται να γίνει μια αντιστοίχιση μεταξύ του επιπέδου κίνησης των ρομποτικών οχημάτων και των θέσεων του πίνακα στη μνήμη του υπολογιστή. Γίνεται λοιπόν διαχωρισμός του επιπέδου του κέντρου διανομής σε ίσα παραλληλόγραμμα με διαστάσεις αυτές της παλέτας, δηλαδή (80×120) και λαμβάνεται υπόψη το κέντρο του κάθε παραλληλογράμμου. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούμε να αντιστοιχίσουμε το κέντρο του παραλληλογράμμου με το αντίστοιχο κελί του πίνακα της μνήμης στον υπολογιστή και έτσι να κάνουμε εφικτή την μέτρηση των όποιων αποστάσεων εντός του κέντρου διανομής, όποτε αυτό απαιτείται. Έτσι ο κανόνας για τον υπολογισμό των αποστάσεων είναι:

$$X=[p_1 \cdot (2i+1)] \text{ , } Y=[p_2 \cdot (2j+1)]$$

όπου για παράδειγμα αν είναι: $p_1=40$, $p_2=60$ και $i=1$, $j=4$ θα έχω:

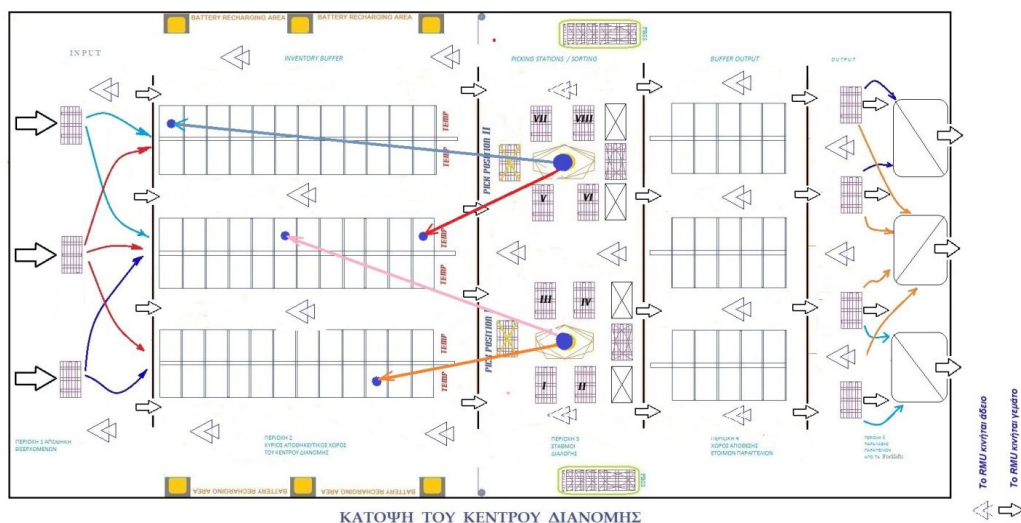
$$X=40 \cdot (2 \cdot 1 + 1) = 120 \text{ , } Y = 60 \cdot (2 \cdot 4 + 1) = 540$$

οπότε $X=120$ και $Y=540$, όπου i, j οι στήλες και οι γραμμές αντίστοιχα του πίνακα της μνήμης που αντιπροσωπεύει το επίπεδο κίνησης του κέντρου διανομής και p_1 , p_2 τα αντίστοιχα κέντρα τα μέσα των πλευρών του παραλληλογράμμου στο επίπεδο κίνησης του κέντρου διανομής.

Τότε η μεταξύ τους απόσταση μπορεί να υπολογιστεί απλά από την:

$$CompDist = \sqrt{(Y_{pallet} - Y_{RMU})^2 - (X_{pallet} - X_{RMU})^2}.$$

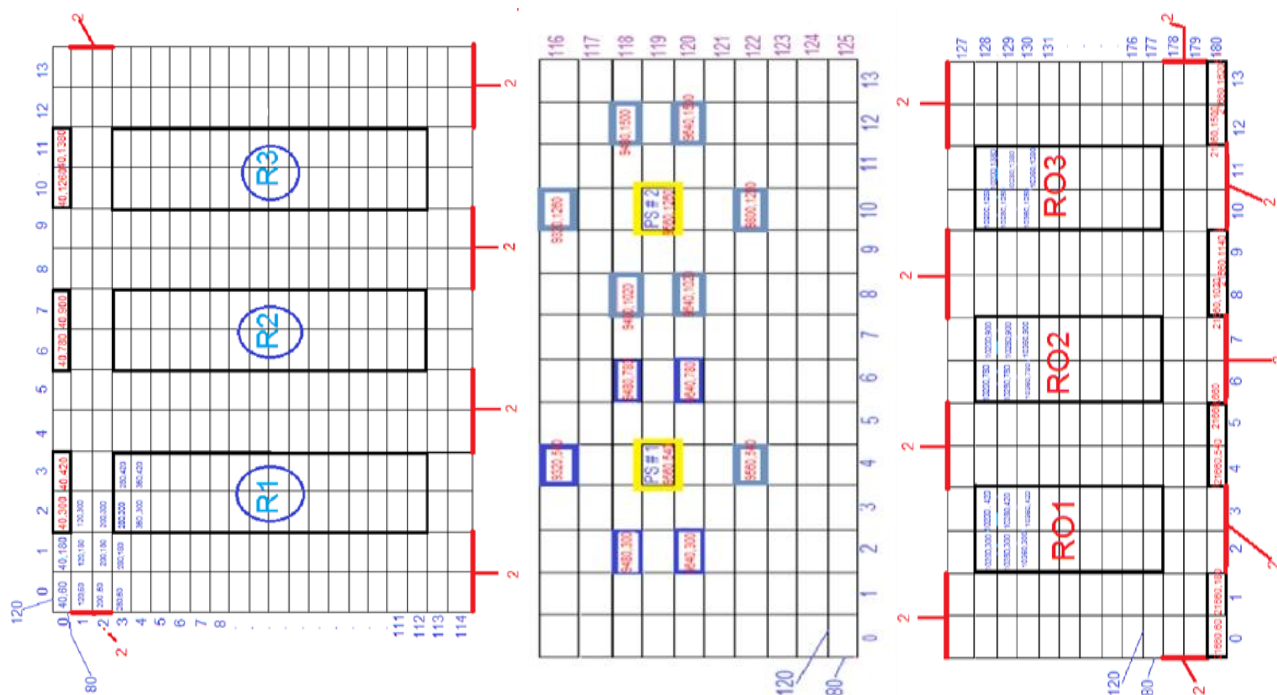
Η κατανομή των προϊόντων εντός του κέντρου διανομής πρέπει να πραγματοποιείται μετρώντας το διάνυσμα που ενώνει την θέση του αποθηκευμένου προϊόντος με την θέση του σταθμού διαλογής. Για να γίνει η μέτρηση της συνολικής απόστασης ταξιδιού οι σταθμοί διαλογής συνδέονται με τις θέσεις απόθεσης των προϊόντων.



Εικόνα 4.6: Οι αποφάσεις λαμβάνονται με βάση την απόσταση των προϊόντων από το σταθμό διαλογής από τον οποίο αυτά ζητούνται.

Για την δρομολόγηση των ρομποτικών οχημάτων επιλέγεται η χρήση πολλαπλών ευθύγραμμων τμημάτων σε συνδυασμό με κινήσεις τύπου Γ ή T ώστε με τον βέλτιστο και πιο οικονομικό τρόπο να προσεγγίζονται οι απαιτούμενες θέσεις. Η σχέση ανάμεσα στη χωροθέτηση του προϊόντος και τις ακολουθούμενες διαδρομές άρα και του χρόνου ταξιδιού, παίζει καθοριστικό ρόλο, ειδικά όταν στις λίστες παραγγελιών μεσαιού ή μεγάλου μεγέθους παρατηρείται μεγάλη πυκνότητα προϊόντων σε συνδυασμό με ταχέως αλλά και αργά κινούμενων και πάντως πολλαπλά ζητούμενων κωδικών, από διαφορετικές θέσεις απόθεσης εντός του κέντρου διανομής. Επιδιώκουμε λοιπόν διαδρομές που είναι ταυτόχρονα σύντομες, αποδοτικές και σχετικά απλές αποφεύγοντας όσο το δυνατό τις όποιες εμπλοκές και συγκρούσεις μεταξύ των ρομποτικών οχημάτων. Τα οχήματα σε τέτοια συστήματα μοιράζονται τους διαδρόμους του κέντρου. Επίσης θα μπορούσαμε να έχουμε ένα ρομποτικό όχημα να καταλαμβάνει στρατηγικές θέσεις ή να διενεργεί περιπολίες (patrol) γύρω από καθορισμένες θέσεις εντός του κέντρου διανομής.

Παρακάτω παρατίθενται σχήματα όπου αναπαριστούν το πλέγμα που παράγεται από τον αλγόριθμο για κάθε περιοχή του κέντρου διανομής. Σε αυτά φαίνονται οι θέσεις εισόδου και εξόδου, οι θέσεις απόθεσης της κυρίως περιοχής απόθεσης και της περιοχής απόθεσης έτοιμων παραγγελιών όπως ακόμα και αυτές του σταθμού διαλογής με τις αντίστοιχες συντεταγμένες αυτών.



Εικόνα 4.7: Αναπαράσταση του πλέγματος για την μέτρηση αποστάσεων και συντεταγμένες που παράγονται από τον αλγόριθμο για τις περιοχές: εισερχόμενων και κυρίως απόθεσης (πρώτο σχήμα), απόθεσης έτοιμων παραγγελιών (δεύτερο σχήμα), και του σταθμού διαλογής (τρίτο σχήμα).

4.6 Εισαγόμενα δεδομένα παραγγελιών πελατών και ταξινομήσεις

Για την μελέτη ενός συστήματος που να προσεγγίζει τη πραγματικότητα ελήφθησαν δεδομένα που αφορούν τις εισερχόμενες παραγγελίες. Τα δεδομένα αυτά αφορούν λίστες παραγγελιών πελατών που εισέρχονται σε παρόμοια κέντρα διανομής προς εξυπηρέτηση. Έτσι οι εισερχόμενοι κωδικοί προϊόντων και οι αντίστοιχες ζητούμενες ποσότητες παρέχονται στο σύστημα μέσω του εξωτερικού αρχείου. Διαθέτουμε δεδομένα για τις παραγγελίες που λαμβάνονται σε 4 διαφορετικές αλλά διαδοχικές ημέρες του ίδιου μήνα και αφορούν τους κωδικούς των παραγγελθέντων προϊόντων και τις αντίστοιχες ποσότητες αυτών μετρούμενες σε κιβώτια.

Παραχωρήθηκαν στοιχεία από την εταιρεία © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. (www.interlink.gr) τα οποία παρουσιάζουν τις παραγγελίες που δέχεται ένα παρόμοιο του μελετώμενου, κέντρο διανομής τις ημερομηνίες 3/9, 4/9, 5/9, και 6/9 για το έτος 2012. Αυτά αναπαριστούν την πιο επιβαρυνμένη εβδομάδα του μήνα Σεπτεμβρίου που το κέντρο διανομής δέχεται την μεγαλύτερη πίεση αναφορικά με τις παραγγελίες προϊόντων καπνού. Αυτά τα δεδομένα μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε το αρχικό απόθεμα με το οποίο θα γεμίσουμε το χώρο απόθεσης, τον απαιτούμενο αριθμό παλετών αλλά και τις θέσεις που αυτά θα καταλάβουν.

Ο αλγόριθμος θα τρέξει και για τις 4 διαφορετικές ημέρες που διατέθηκαν στοιχεία, και θα εξαχθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, θα πρέπει να παρέχουν μια πλήρη στατιστική περιλήψη της απόδοσης του συστήματος. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου τυπώνονται σε ένα αρχείο, το οποίο και εξάγεται από το σύστημα στο τέλος της προσομοίωσης.

Αναφορικά με την διαδικασία της ταξινόμησης των κωδικών και των παραγγελιών πριν αυτές εισαχθούν στο κέντρο διανομής προς χωροθέτηση και εκτέλεση αντίστοιχα πραγματοποιούνται τα παρακάτω.

Σε πρώτο στάδιο ταξινομούνται οι παραγγελίες, με βάση την ποσότητα των ζητούμενων κωδικών προϊόντων (κιβωτίων), από την μεγαλύτερη σε μέγεθος παραγγελία προς την μικρότερη. Η παραπάνω ταξινόμηση αποσκοπεί στην καλύτερη δυνατή τροφοδοσία των σταθμών διαλογής, αφού μεγαλύτερες σε μέγεθος παραγγελίες που εκτελούνται ταυτόχρονα συνήθως μεγιστοποιούν τις συνέργειες. Αυτό συμβαίνει καθώς με την έλευση ενός μοναδιαίου κωδικού από το χώρο απόθεσης, συμπληρώνονται κάθε φορά στους σταθμούς διαλογής, παραπάνω από μια αναμένουσες παραγγελίες με προϊόντα κάνοντας την διαδικασία πλήρωσης πιο οικονομική.

Έτσι αρχικά λαμβάνουμε τον πίνακα A με πρωτογενή δεδομένα από αρχείο που παραχωρήθηκε όπου σε αυτόν περιέχονται:

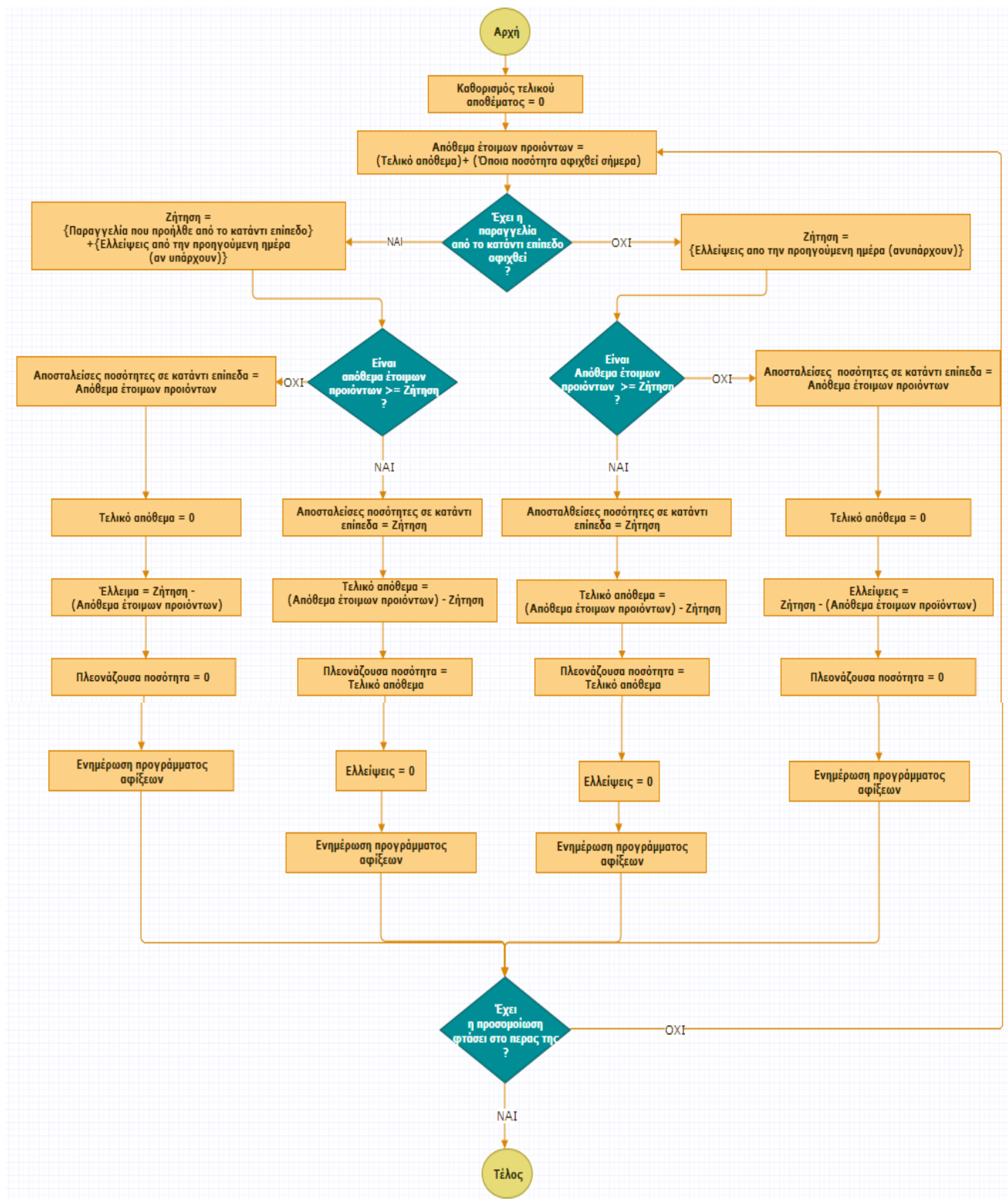
- ο αριθμός της παραγγελίας
- ο ζητούμενος κωδικός προϊόντος
- η ποσότητα αυτών κάθε φορά (κιβώτια)

Ο πίνακας αυτός με τα πρωτογενή δεδομένα διαχωρίζεται στους επιμέρους πίνακες AO (πίνακας αριθμού παραγγελιών), AS (πίνακας με τους ζητούμενους κωδικούς προϊόντος sku), και τέλος ο πίνακας ASK (με την ποσότητα κιβωτίων για κάθε ζητούμενο κωδικό).

Αρχικά πραγματοποιείται ταξινόμηση με βάση τον αριθμό παραγγελίας και αντίστοιχα των κωδικών skus αλλά και των ζητούμενων ποσοτήτων σε κιβώτια. Έτσι κάθε φορά που αλλάζει ο επαναλαμβανόμενος αριθμός κάθε παραγγελίας μετράω πόσες διαφορετικές παραγγελίες έχω και αυτό αποθηκεύεται στον πίνακα με τους μοναδικούς αριθμούς παραγγελιών AOU(Orders Unique), k γραμμών. Επίσης όσο έχω τον ίδιο αριθμό παραγγελίας αθροίζω τα κιβώτια από τα όποια αυτή αποτελείται στον πίνακα AOS (αθροίζονται ο αριθμός κιβωτίων των κωδικών sku κάθε παραγγελίας). Έτσι, τελικά το ζητούμενο αποτέλεσμα προκύπτει ταξινομώντας τον πίνακα AOS από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο και έτσι καταφέρνουμε να ταξινομήσουμε το άθροισμα του αριθμού κιβωτίων για κάθε παραγγελία από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο.

Σε δεύτερο στάδιο γίνεται η ταξινόμηση των skus με σκοπό την καλύτερη δυνατή χωροθέτηση αυτών στις συστοιχίες απόθεσης, με βάση την συχνότητα εμφάνισης τους στις παραγγελίες που δέχεται το κέντρο διανομής. Αυτό πραγματοποιείται γεμίζοντας τους πίνακες από το τέλος προς την αρχή (ανάποδα) ώστε οι κωδικοί με την μεγαλύτερη συχνότητα ζήτησης να τοποθετούνται εγγύτερα στους σταθμούς διαλογής και αυτοί με την μικρότερη συχνότητα εμφάνισης στις πιο πίσω θέσεις των συστοιχιών απόθεσης, με μεγαλύτερη φυσικά απόσταση από τους σταθμούς διαλογής. Έτσι διευκολύνεται η διαδικασία της τροφοδότησης των σταθμών διαλογής από τα ρομποτικά οχήματα με τον πιο οικονομικό τρόπο. Έτσι, αρχικά πραγματοποιείται η ταξινόμηση των skus με σκοπό την δημιουργία του πίνακα μοναδικών κωδικών. Γίνεται δηλαδή η ταξινόμηση του πίνακα AS (περιέχει τους κωδικούς sku) από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο με βάση τον αριθμό των παραγγελιών (πίνακας AO) και αντίστοιχα γίνεται για τον αριθμό των κιβωτίων που περιέχεται στον πίνακα ASK. Ακόλουθα στον πίνακα AS με τους κωδικούς sku βρίσκω τους μοναδικούς κωδικούς (κάθε φορά που βρίσκω κάποιο διαφορετικό κωδικό sku τον κρατάω στον πίνακα ASU(Sku Unique) ο οποίος περιέχει τους μοναδικούς αριθμούς sku). Έπειτα στον πίνακα ASS αθροίζονται τα κιβώτια των skus κάθε φορά που έχω επαναλαμβανόμενο κωδικό.

Τέλος ταξινομείται ο πίνακας ASS με το άθροισμα του αριθμού κιβωτίων από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο, το ίδιο συμβαίνει αντίστοιχα ταξινομώντας τον πίνακα των μοναδικών sku στον πίνακα ASU. Έτσι ταξινομούνται οι κωδικοί στις αντίστοιχες ποσότητες με βάση την συχνότητα ζήτησης τους στις συστοιχίες ραφιών της αποθήκης.



Εικόνα 4.8: Απεικόνιση της διαδικασίας τροφοδότησης του κέντρου διανομής εκκινώντας από άδεια αποθήκη.

4.7 Μέτρα απόδοσης του κέντρου διανομής

Τα μέτρα απόδοσης αποτελούν δείκτες αξιολόγησης των διαδικασιών οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ένα κέντρο διανομής όπως και της ποιότητας εξυπηρέτησης που αυτά προσφέρουν. Περιλαμβάνουν επίσης δείκτες που αφορούν τις ζητούμενες παραγγελίες ανά ημέρα, τον αριθμό διαχειριζόμενων παραγγελιών από το κέντρο διανομής ανά ημέρα, τις γραμμές ανά παραγγελία, τα κιβώτια ανά παραγγελία κ.ο.κ. Ένας από τους στόχους της προσομοίωσης είναι και η επιβεβαίωση κριτηρίων και μέτρων απόδοσης που έχουν τεθεί όπως αυτά του ρυθμού παραγωγής κάθε σταθμού διαλογής. Επιπλέον αυτά μπορεί να αφορούν το διαλογέα η απόδοση του οποίου μπορεί να μετρηθεί σε γραμμές ανά ώρα ή γραμμές ανά ημέρα ανά διαλογέα, ή γραμμές ανά διαλογέα ανά σταθμό διαλογής ή κιβώτια ανά ώρα ανά διαλογέα, ή γραμμές ανά ώρα ανά διαλογέα κ.ο.κ.

Ένα άλλο μέτρο απόδοσης είναι, πόσες φορές μια δεδομένη παλέτα εκτελεί απόθεση και ανάκτηση σε μια ημέρα όπως ακόμα και η συνολική διαδρομή που κάθε RMU έχει διατρέξει κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Επίσης οι δείκτες μπορεί ακόμα να περιλαμβάνουν τον αριθμό κομματιών που διακινήθηκαν από το σύστημα σε μια ημέρα, το απόθεμα που απομένει στο τέλος της ημέρας μετά την πλήρωση όλων των παραγγελιών αλλά και τον αριθμό κομματιών που απέμειναν στο σύστημα μετά το πέρας της προσομοίωσης όπως και το αντίστοιχο κόστος αυτών. Ακόμα μπορούν να εξαχθούν δείκτες αναφορικά με το ρυθμό απόρριψης κομματιών από το σύστημα όπως και οι πωλήσεις μετά το πέρας της αποστολής των παραγγελιών αλλά και το προκύπτον κέρδος από αυτές. Οι τιμές αυτών των δεικτών αξιολογούνται μετά την εξαγωγή και αποστολή των παραγγελιών και εκτυπώνονται στο τέλος της προσομοίωσης.

Κανείς μπορεί να εξαγει μέτρα απόδοσης, όπως ο ρυθμός πλήρωσης των παραγγελιών (Fill Rate) που ορίζεται ως:

$$\text{Ρυθμός πλήρωσης} = \frac{[\text{αριθμός παραγγελιών που συμπληρώθηκαν \& απεστάλησαν}]}{[\text{συνολικός αριθμός των παραγγελιών}]}$$

Αυτός αφορά τον αριθμό των παραγγελιών που συμπληρώθηκαν και απεστάλησαν εντός 24 ωρών σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των παραγγελιών που δέχθηκε το σύστημα την δεδομένη ημέρα.

Ακόμα μέτρα απόδοσης αφορούν τους χρόνους παράδοσης των ολοκληρωμένων παραγγελιών (Order fulfillment Lead Time) και υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{Χρόνος παράδοσης παραγγελιών} = \frac{[\text{σύνολο χρόνων παράδοσης για κάθε παραγγελία}]}{[\text{συνολικός αριθμός παραγγελιών}]}$$

Αυτός αφορά το χρόνο παράδοσης των ολοκληρωμένων παραγγελιών και υπολογίζεται, ως το άθροισμα των χρόνων παράδοσης, για κάθε παραγγελία ξεχωριστά προς το συνολικό αριθμό παραγγελιών.

Τέλος, ένας ακόμα δείκτης που αφορά την ιδανική εκτέλεση των παραγγελιών (Perfect order fulfillment) ορίζονται ως:

$$\text{Ιδανικά συμπληρωμένες παραγγελίες} = \frac{[\text{απεσταλμένες παραγγελίες}] - [\text{αυτές με ελαττωματικά έγγραφα}] - [\text{αυτές με ζημιές}]}{\text{σύνολο των παραγγελιών}}$$

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει το κλάσμα ή ποσοστό των παραγγελιών που έχουν αποσταλεί και δεν αντιμετωπίζουν οποιοδήποτε πρόβλημα αναφορικά με τα έγγραφα και δεν έχουν υποστεί κάποια ζημία κατά την μεταφορά τους, αν διαιρεθούν με το σύνολο των παραγγελιών που ελήφθησαν συνολικά την ημέρα εκείνη στο κέντρο διανομής. Ουσιαστικά αφορά το ποσοστό των παραγγελιών που πληρούν τα κριτήρια αποστολής όπως αυτά έχουν τεθεί εκ των προτέρων, δηλαδή την αποστολή των παραγγελιών με ολοκληρωμένα και έγκυρα έγγραφα καθώς και την απαραίτητη τεκμηρίωση αναφορικά με το πακετάρισμα ή τις φορτωτικές και τα τιμολόγια. Επίσης δεν θα πρέπει να παρουσιάζουν κάποιο ελάττωμα ή να έχουν υποστεί κάποια ζημία κατά την μεταφορά τους. Τέλος, ένα άλλο μέτρο απόδοσης έχει να κάνει με την πυκνότητα των αποτεθειμένων τεμαχίων. Χαμηλή πυκνότητα σε μια εισερχόμενη παραγγελία, με αυξημένη χωρική διασπορά των ζητούμενων κωδικών σημαίνει αυξημένους χρόνους ταξιδιού, για τα εμπλεκόμενα στην διαδικασία RMUs, με αυξημένους χρόνους παραμονής της εν λόγω παραγγελίας στους σταθμούς διαλογής, παρακωλύοντας την εύρυθμη διαδικασία εξυπηρέτησης των

υπόλοιπων παραγγελιών. Αντίστοιχα υψηλή πυκνότητα με μικρή χωρική διασπορά μειώνει, τόσο τους χρόνους ταξιδιού από τα RMUs, όσο και το χρόνο που μια παραγγελία παραμένει ανοικτή, καταλαμβάνοντας μια θέση εξυπηρέτησης για λιγότερο χρόνο στους σταθμούς διαλογής, μειώνοντας τα αντίστοιχα λειτουργικά κόστη, αποφορτίζοντας το σύστημα.

Η πυκνότητα τελικά επηρεάζει την απόδοση της συλλογής των παραγγελιών από τους χειριστές στους σταθμούς διαλογής και αυξάνει ή μειώνει κατά περίπτωση το χρόνο που μια παραγγελία καταλαμβάνει μια θέση εξυπηρέτησης στον εκάστοτε σταθμό διαλογής. Αυτή ορίζεται ως η ποικιλία των προϊόντων σε μια παραγγελία ενός πελάτη και υπολογίζεται ως:

$$\text{Πυκνότητα παραγγελιών} = \frac{\text{αριθμός προϊόντων στη παραγγελία ενός πελάτη}}{\text{συνολικός αριθμός των προϊόντων που βρίσκονται στην αποθήκη}}$$

Για παράδειγμα αν υπάρχουν 24 προϊόντα σε μια παραγγελία ενός πελάτη όταν ο συνολικός αριθμός των προϊόντων είναι 120 τότε η πυκνότητα συλλογής είναι $\frac{24}{120} = 0,2 = 20\%$. Τυπικές τιμές αναφορικά με την πυκνότητα παραγγελιών είναι: είτε 30% είτε 15% είτε 5%.

4.8 Κόστη

Σ' ένα κέντρο διανομής μπορεί να υπάρξουν μεταξύ άλλων τα παρακάτω κόστη.

Το κόστος προμήθειας, που αφορά κάθε παλέτα που εισέρχεται στις εγκαταστάσεις του κέντρου διανομής και εμπεριέχει τόσο το σταθερό κόστος ανεφοδιασμού όσο και το μοναδιαίο κόστος αγοράς, που αφορά κάθε μονάδα κωδικού που εισάγεται και αυτοματοποιείται με το δεύτερο να είναι ευθέως ανάλογο της ποσότητας q που έχει παραγγελθεί. Έτσι θα έχω το κόστος προμήθειας να είναι:

$$C_1 = K + u \cdot q, \quad q > 0 \quad \text{ή} \quad C_1 = 0, \quad q = 0$$

Όπου K το σταθερό κόστος προμήθειας για μια παλέτα να είναι $K = 1800$ χρηματικές μονάδες και u το μοναδιαίο κόστος αγοράς, για κάθε παλέτα που εισέρχεται, με τιμή $u = 10$ χρηματικές μονάδες, ανά εισερχόμενη παλέτα.

Το κόστος αποθεματοποίησης, που επιφέρει το τελικό απόθεμα που παραμένει αδιάθετο στους χώρους της αποθήκης στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται ως:

$$C_2 = h \cdot I$$

όπου h , το μοναδιαίο κόστος αποθεματοποίησης ανά μονάδα αποθέματος (παλέτα), που παραμένει στο κέντρο διανομής στο τέλος της ημέρας και I το τελικό απόθεμα μετρούμενο σε μοναδιαίες παλέτες με προϊόντα, που παρέμειναν στις εγκαταστάσεις του κέντρου διανομής στο τέλος της ημέρας.

Τέλος, αν υπάρχει κόστος έλλειψης, που προέρχεται από τις παραγγελίες που ακυρώθηκαν, επειδή δεν υπήρχαν άμεσα διαθέσιμα αποθέματα θα έχουμε:

$$C_3 = r \cdot Rej$$

όπου r , το σταθερό κόστος για κάθε παραγγελία που ακυρώνεται και Rej ο αριθμός των παραγγελιών που έχουν ακυρωθεί. Επιπλέον κάθε φορά που απορρίπτεται ή δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί κάποια παραγγελία μπορεί να υπάρξει αντίστοιχα και ένα επιπρόσθετο κόστος δυσφήμισης για την εταιρεία και αυτό μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\text{Costdefamation} = (\text{Costdefamation} + \pi)$$

όπου θεωρούμε ότι αυτό εμπεριέχει ένα σταθερό κόστος π ανά παραγγελία που απορρίπτεται το οποίο είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος της παραγγελίας που απορρίφτηκε.

Έτσι συνολικά, στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται το συνολικό κόστος του κέντρου διανομής, ως το άθροισμα των παραπάνω:

$$C_{\text{Total}} = C_1 + C_2 + C_3 + \text{Costdefamation}$$

Στην περίπτωση του κέντρου διανομής που αναφερόμαστε δεν υπάρχουν τα κόστη απόρριψης αποθεματοποίησης και δυσφήμισης καθώς όλες οι παραγγελίες που αρχικά αυτό δέχεται και φιλοξενεί εκτελούνται μέχρι το τέλος της ημέρας.

Τέλος σχετικά με το κέρδος έχουμε:

$$\text{Profit} = (P \cdot TH) - (C_{\text{Total}})$$

όπου το κέρδος (Profit) υπολογίζεται ως το μοναδιαίο κέρδος ($P = 200$ χρηματικές μονάδες ανά εξερχόμενη παλέτα) επί την συνολική ποσότητα που παρήχθη (TH), αν από αυτό αφαιρέσουμε το κόστος αποθεματοποίησης αναφορικά με τις ποσότητες που έμειναν αδιάθετες στο τέλος της ημέρας και αν επιπλέον αφαιρέσουμε το κόστος των ακυρώσεων.

4.9 Αποτελέσματα αλγορίθμου- Συμπεράσματα

Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα αναφορικά με τους δείκτες και τα μέτρα απόδοσης που πρόεκυψαν από τον αλγόριθμο που υλοποιήθηκε και για τις 4 ημέρες που υπήρχαν δεδομένα. Αυτά αποτελούν δείκτες αξιολόγησης των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε κέντρα διανομής και μπορεί να περιλαμβάνουν τον αριθμό των εγγραφών που δέχτηκε το κέντρο διανομής καθώς και το μέγεθος των παραγγελιών (ζητούμενες ποσότητες) σε μια ημέρα. Επίσης τον αριθμό των διαχειριζόμενων (μοναδικών) παραγγελιών και τον αριθμό (μοναδικών) κωδικών ανά ημέρα. Ακόμα την πυκνότητα των παραγγελιών και το συνολικό αριθμό κιβωτίων που διακινήθηκαν από το σύστημα σε μια ημέρα όπως και τον αριθμό κιβωτίων ανά ημέρα ανά διαλογέα στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 αντίστοιχα. Επιπρόσθετα το συνολικό ρυθμό παραγωγής του συστήματος όπως και το ρυθμό παραγωγής των σταθμών διαλογής #1 και #2. Υπολογίζεται επίσης ο συνολικός χρόνος λειτουργίας των RMUs, δηλαδή ο απαιτούμενος χρόνος για να φέρουν εις πέρας την εκτέλεση των παραγγελιών αλλά και τη συνολική διαδρομή που τα RMUs έχουν διατρέξει ανά ημέρα. Τέλος υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος παραμονής κομματιών στο σύστημα και ο χρόνος παραμονής των παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 αλλά και το κόστος προμήθειας πρώτων υλών (C1) και το προκύπτον κέρδος από τις πωλήσεις αποστολή παραγγελιών.

Μέτρα απόδοσης	Αριθμητικά Αποτελέσματα της ημέρας
Αριθμός εγγραφών	718 εγγραφές
Αριθμός μοναδικών παραγγελιών	61 παραγγελίες
Αριθμός μοναδικών κωδικών	84 κωδικούς
Αριθμός αποδεκτών παραγγελιών	61 παραγγελίες
Πυκνότητα Παραγγελιών (σχη για μεγάλη)	0,11 (11%)
Πυκνότητα Παραγγελιών (σχη για μικρή)	0,03 (3%)
Συνολικός αριθμός κιβωτίων στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 (αθροιστικά)	230 κιβώτια
Συνολικός ρυθμός παραγωγής	0,72 κιβώτια/sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής #1)	182 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #1	0,50 κιβώτια/sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής # 2)	48 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #2	0,13 κιβώτια/sec
Συνολική διαδρομή RMUs ανά ημέρα	17.098.440 cm (~171 Km)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης RMU ανά ημέρα	7.421,33 sec (2h 3min 41sec)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης (RMUs, διαλογέας ,περιτύλιξη) ανά ημέρα	8.122,83 sec (2h 15min 23sec)
Χρόνος παραμονής παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής	2.404 sec (40 min 4 sec)
Συνολικός χρόνος παραμονής κομματιών στο σύστημα	28.034 sec (7h 47min 14sec)
Συνολικό κόστος προμήθειας ανά ημέρα(C1)	4.390 \$
Κέρδος	7.810 \$

Πίνακας 1: Αποτελέσματα αλγορίθμου για την 1^η ημέρα.

Μέτρα απόδοσης	Αριθμητικά Αποτελέσματα 2ης ημέρας
Αριθμός εγγραφών	709 εγγραφές
Αριθμός μοναδικών παραγγελιών	39 παραγγελίες
Αριθμός μοναδικών κωδικών	75 κωδικούς
Αριθμός αποδεκτών παραγγελιών	39 παραγγελίες
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μεγάλη)	0,08 (8%)
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μικρή)	0,03 (3%)
Συνολικός αριθμός κιβωτίων στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 (αθροιστικά)	357 κιβώτια
Συνολικός ρυθμός παραγωγής	0,98 κιβώτια/sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής #1)	281 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #1	0,77 κιβώτια/sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής # 2)	76 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #2	0,21 κιβώτια/sec
Συνολική διαδρομή RMUs ανά ημέρα	16.724.177 cm (~167,2 Km)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης RMU ανά ημέρα	7.268,45 sec (2h 1 min 9 sec)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης (RMUs, διαλογέας ,περιτύλιξη) ανά ημέρα	8.357,30 sec (2h 19 min 17sec)
Χρόνος παραμονής παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής	2.385 sec (39min 45 sec)
Συνολικός χρόνος παραμονής κομματιών στο σύστημα	28.124 sec (7h 48 min 44sec)
Συνολικό κόστος προμήθειας ανά ημέρα(C1)	3.370 \$
Κέρδος	6.430 \$

Πίνακας 2: Αποτελέσματα αλγορίθμου για την 2^η ημέρα.

Μέτρα απόδοσης	Αριθμητικά Αποτελέσματα 3ης ημέρας
Αριθμός εγγραφών	649 εγγραφές
Αριθμός μοναδικών παραγγελιών	60 παραγγελίες
Αριθμός μοναδικών κωδικών	83 κωδικούς
Αριθμός αποδεκτών παραγγελιών	60 παραγγελίες
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μεγάλη)	0,16 (16%)
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μικρή)	0,03 (3%)
Συνολικός αριθμός κιβωτίων στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 (αθροιστικά)	257 κιβώτια
Συνολικός ρυθμός παραγωγής	0,86 κιβώτια/ sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής #1)	203 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #1	0,58 κιβώτια/ sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής # 2)	54 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #2	0,15 κιβώτια/ sec
Συνολική διαδρομή RMUs ανά ημέρα	15.171.859 cm (~151,7 Km)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης RMU ανά ημέρα	6.786,89 sec (1h 53min 7 sec)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης (RMUs, διαλογέας ,περιτύλιξη) ανά ημέρα	7.570,74 sec (2h 6 min 11sec)
Χρόνος παραμονής παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής	2.074 sec (34min 34sec)
Συνολικός χρόνος παραμονής κομματιών στο σύστημα	27.575 sec (7h 39min 35sec)
Συνολικό κόστος προμήθειας ανά ημέρα(C1)	4.830 \$
Κέρδος	7.170 \$

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αλγορίθμου για την 3^η ημέρα.

Μέτρα απόδοσης	Αριθμητικά Αποτελέσματα της ημέρας
Αριθμός εγγραφών	653 εγγραφές
Αριθμός μοναδικών παραγγελιών	62 παραγγελίες
Αριθμός μοναδικών κωδικών	83 κωδικούς
Αριθμός αποδεκτών παραγγελιών	62 παραγγελίες
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μεγάλη)	0,16 (16%)
Πυκνότητα Παραγγελιών (πχ για μικρή)	0,03 (3%)
Συνολικός αριθμός κιβωτίων στους σταθμούς διαλογής #1 και #2 (αθροιστικά)	244 κιβώτια
Συνολικός ρυθμός παραγωγής	0,81 κιβώτια/ sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής #1)	191 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #1	0,54 κιβώτια/ sec
Αριθμός κιβωτίων ανά διαλογέα (σταθμός διαλογής # 2)	53 κιβώτια
Ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #2	0,15 κιβώτια/ sec
Συνολική διαδρομή RMUs ανά ημέρα	15.393.402 cm (~153 Km)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης RMU ανά ημέρα	6.874,51 sec (1h 54 min 35 sec)
Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης (RMUs,διαλογέας ,περιτύλιξη) ανά ημέρα	7.618,71 sec (2h 6 min 58 sec)
Χρόνος παραμονής παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής	2.141 sec (35 min 41 sec)
Συνολικός χρόνος παραμονής κομματιών στο σύστημα	27.900 sec (7 h 45min)
Συνολικό κόστος προμήθειας ανά ημέρα(C1)	4.680 \$
Κέρδος	7.720 \$

Πίνακας 4: Αποτελέσματα αλγορίθμου για την 4^η ημέρα.

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει από τα εξαχθέντα αποτελέσματα του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε οι εγγραφές που δέχεται το κέντρο διανομής παραμένουν σε γενικά σταθερά επίπεδα κινούμενες ανάμεσα στις 649 έως 718. Σε ότι αφορά τον αριθμό των (μοναδικών) παραγγελιών που το κέντρο διανομής καλείται να φέρει εις πέρας αυτός είναι σχετικά μικρός και κυμαίνεται μεταξύ 59 έως 62 παραγγελίες ανά ημέρα. Το κέντρο διανομής φιλοξενεί και διαχειρίζεται ένα επίσης σχετικά μικρό αριθμό από 75 έως 84 (μοναδικούς) διαφορετικούς κωδικούς ανά ημέρα. Όλες οι παραγγελίες που καταφθάνουν στο κέντρο διανομής γίνονται αποδεκτές, εξυπηρετούνται και εξάγονται με επιτυχία σε ετοιμοπαράδοτες σύμμεικτες παλέτες με προϊόντα καπνού από το κέντρο διανομής.

Σε ότι αφορά την πυκνότητα των παραγγελιών, για την μεγαλύτερη σε μέγεθος παραγγελία, οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,11 (11%) έως 0,16 (16%) ενώ για μικρότερες σε μέγεθος παραγγελίες οι τιμές είναι της τάξης των 0,03 (3%). Οι τιμές αυτές συνάδουν με τα τυπικά όρια αναφοράς που συνήθως συναντώνται, δηλαδή μεταξύ 0,05 (5%) έως 0,3 (30%).

Σε ότι αφορά την πυκνότητα των παραγγελιών αυτή μετρήθηκε με σημείο αναφοράς την μεγαλύτερη σε μέγεθος παραγγελία για κάθε ημέρα. Για τις ημέρες 1 και 2 παρατηρούμε ότι έχουμε χαμηλή πυκνότητα παραγγελιών με τιμές 0,11(11%) και 0,08(8%) και έτσι οι αντίστοιχοι χρόνοι ταξιδιού των RMUs για την εκτέλεση του έργου μεταφοράς είναι αυξημένοι, δηλαδή 7.421,33sec (ή 2h 3min 41 sec) και 7.268,45sec (ή 2h 1 min 9sec) αντίστοιχα που με την σειρά τους επιφέρουν αύξηση της συνολικής διαδρομής που τα RMU διατρέχουν δηλαδή 17.098.440 cm (~171 Km) και 16.724.177 cm (~167,2 Km) αντίστοιχα με σκοπό την εκτέλεση του έργου μεταφοράς που αυτά αναλαμβάνουν και αυξάνουν το χρόνο παραμονής των παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής 2.404 sec (ή 40 min 4 sec) και 2.385 sec (ή 39 min 45 sec).

Σε ότι αφορά τις ημέρες 3 και 4 όπου η πυκνότητα παραγγελιών είναι υψηλότερη (16%) οι χρόνοι ταξιδιού των RMUs εμφανίζονται μειωμένοι δηλαδή 6.786,89 sec (ή 1h 53min 7 sec) και 6.874,51 sec (ή 1h 54 min 35 sec) αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι αντίστοιχα μειώνονται οι διαδρομές που τα ρομποτικά οχήματα διατρέχουν δηλαδή 15.171.859 cm (~151,7 Km) και 15.393.402 cm (~153 Km). Για την επίτευξη του παραπάνω αποτελέσματος τα συνολικά 18 στον αριθμό εμπλεκόμενα ρομποτικά οχήματα διήνυσαν κατά μέσο όρο 16.096.969,5 cm (~161 Km) διαδρομών εντός των εσωτερικών ορίων του συγκεκριμένου κέντρου διανομής. Επίσης τα εν λόγω ρομποτικά οχήματα για την επίτευξη του παραπάνω αποτελέσματος χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 7.087,795 sec (ή 1h 58min 7 sec) και μειώνουν τον αντίστοιχο χρόνο παραμονής των παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής 2.074 sec (ή 34min 34 sec) και 2.141 sec (ή 35 min 41 sec).

Ο συνολικός αριθμός κιβωτίων που το κέντρο διανομής διαχειρίστηκε κυμαίνεται μεταξύ 230 και 357 κιβώτια ανά ημέρα. Ο αριθμός των κιβωτίων που διαχειρίστηκε ο σταθμός διαλογής #1 κυμαίνεται από 182 έως 281 κιβώτια ενώ ο σταθμός διαλογής #2 διαχειρίστηκε από 48 έως 76 κιβώτια ανά ημέρα. Παρατηρείται μια έντονη ανισοκατανομή (μονόπλευρη φόρτιση) σχετικά με τον τρόπο που οι παραγγελίες εκτελούνται ανάμεσα στο σταθμό διαλογής #1 σε αντίθεση με το σταθμό διαλογής #2.

Ο συνολικός ρυθμός παράγωγης το κέντρου διανομής κυμαίνεται μεταξύ 72% έως 98% που θεωρείται ότι βρίσκεται σε αποδεκτά όρια (>70%). Ο ρυθμός παραγωγής του σταθμού διαλογής #1 κυμαίνεται μεταξύ 50% και 77% που θεωρείται γενικά αποδεκτός σε αντίθεση με το ρυθμό παραγωγής του σταθμού διαλογής #2 που κυμαίνεται μεταξύ 13% και 21% που θεωρείται ανεπαρκής και χρήζει βελτίωσης.

Σε ότι αφορά τα κόστη, το συνολικό κόστος προμήθειας για την εισαγωγή των απαιτούμενων ποσοτήτων πρώτων υλών κυμάνθηκε μεταξύ 4.390 \$ και 5.370 \$. Το αντίστοιχο κόστος σχετικά με την αποθεματοποίηση, θεωρούμε ότι είναι μηδέν καθώς στο τέλος της ημέρας έχουν διακινηθεί όλες οι πρώτες ύλες που εισήχθησαν το πρωί της ίδιας ημέρας. Έτσι το συνολικό κόστος για την περίπτωση του εν λόγω κέντρου διανομής αφορά αποκλειστικά και μόνο το κόστος προμήθειας.

Σε ότι αφορά το αντίστοιχο κέρδος που πρόεκυψε από την διαδικασία εκτέλεσης, ενοποίησης και πώλησης των σύμμεικτων ετοιμοπαράδοτων παλετών με προϊόντα καπνού αυτό ανήλθε μεταξύ 6.430 \$ και 7.810 \$.

4.10 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ο μελλοντικός ερευνητής θα ήταν χρήσιμο να δώσει βαρύτητα σε θέματα αναγνώρισης θέσης των ρομποτικών οχημάτων όπως ακόμα και της βέλτιστης κατανομής αυτών στους χώρους όπου αυτά εγκαθίστανται. Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δρομολόγηση και ο συντονισμός του στόλου των αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων, προσδίδοντας βαρύτητα στην αποφυγή συγκρούσεων ή εμποδίων, με υιοθέτηση κανόνων παραχώρησης προτεραιοτήτων. Επιπρόσθετα, μπορεί να μελετηθεί η επίδραση των χρόνων επισκευής και συντήρησης των ρομποτικών οχημάτων στην ομαλή λειτουργία τέτοιων συστημάτων.

Παράρτημα

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <algorithm>

#define row 110 //γραμμές του πίνακα απόθεσης
#define K 1800 //σταθερό κόστος προμήθειας
#define u 10 //μοναδιαίο κόστος αγοράς
#define P 200 //το κέρδος από την πώληση 1 έτοιμης παλέτας

//Αρχικοποίηση κλάσεων

class inbound //κλάση inbound: για το πλέγμα στην περιοχή εισερχομένων
{
public:
    int x,y; //συντεταγμένες
    int code; //κωδικός(sku)
    int time; //χρόνος (παραμονής)
};

class outbound //κλάση outbound: για το πλέγμα στην περιοχή εξερχομένων
{
public:
    int x,y; //συντεταγμένες
    int code; //κωδικός(pdu)
    int time; //χρόνος (παραμονής)
};

class PickStat //κλάση PickStat: για την περιοχή των σταθμών διαλογής
{
public:
    int x,y; //συντεταγμένες
    int code; //κωδικός(pdu)
    int time; //χρόνος (παραμονής)
    int noSKU; //αριθμός sku
};

class Robot //κλάση Robot: για το χειρισμό ρομποτικών οχημάτων
{
public:
    int x,y; //συντεταγμένες (RMUs)
    float time; //χρόνος (RMUs)
    int state; //κατάσταση RMUs (διαθέσιμο ή μη)
    int battery; //επίπεδο μπαταρίας (RMUs)
    float totalD; //συνολική απόσταση (RMUs)
};

//Συναρτήσεις

//Συνάρτηση υπολογισμού απόστασης οποιουδήποτε σημείου (x1,x2) από σημείο (y1,y2)
float codi (int x1,int x2,int y1,int y2)
{
    float d = sqrt((y2-y1)*(y2-y1)+(x2-x1)*(x2-x1));
    return d;
}

//Συνάρτηση επιλογής RMU
int rono(Robot A[], int x, int y) //εύρεση RMU (Α πίνακας RMUs και x,y συντεταγμένη RMUs στο χώρο)
{
    float RD[18]; //RD: αποθηκεύονται οι αποστάσεις των 18RMUs από σημείο στόχο
    for(int i=0; i<18; i++)
    {
        RD[i] = codi(A->x, x, A->y, y); //υπολογισμός απόστασης κάθε RMU από σημείο στόχο x,y
    }
    float min = RD[0];
    int minR = 0;
    for(int j=1; j<18; j++)
    {
        if(RD[j]<min)
        {
            min = RD[j];
            minR = j; //εύρεση της μικρότερης απόστασης από το σημείο στόχο
        } //κρατάει στη θέση j του RMU που θα αναλάβει τη μεταφορά
    }
    return minR;
}

//main
int main()
{
    float tPS=0, tRND=0; //χρόνος διαλογέα και χρόνος περιτύλιξης έτοιμης παραγγελίας

    inbound R1[110][2], R2[110][2], R3[110][2], T[115][14], IN[6]; //δημιουργία terrain στην περιοχή του inbound
}
```

```

// πίνακες R1 R2 R3 για τα inbound 110 θέσεων και 2 στηλών ο κάθε ένας
// πίνακας T για το terrain του inbound συνολικά 115 γραμμών και 15 στηλών
// IN[6] πίνακας για τις θέσεις εισαγωγής παλετών ενιαίου κωδικού

//οι συγκεκριμένες τιμές του πλέγματος για τις θέσεις εισερχομένων (SKU)

IN[0].x=40;
IN[0].y=300;
IN[0].code = 0;

IN[1].x=40;
IN[1].y=420;
IN[1].code = 0;

IN[2].x=40;
IN[2].y=780;
IN[2].code = 0;

//((δεν χρησιμοποιήθηκαν τελικά)

IN[3].x=40;
IN[3].y=900;
IN[3].code = 0;

IN[4].x=40;
IN[4].y=1260;
IN[4].code = 0;

IN[5].x=40;
IN[5].y=1380;
IN[5].code = 0;

int a1=3, b1=2, a2=3, b2=6, a3=3, b3=10; //οριοθέτηση πινάκων στο πλέγμα στις κατάλληλες στήλες

for(int i=0; i<110; i++) //περιοχή που καταλαμβάνουν οι πίνακες-συστοιχίες
{
    for(int j=0; j<2; j++) //ραφιών ενιαίου κωδικού (R1 R2 R3) στο inbound
    {
        R1[i][j].x= 40*(2*a1+1); //συντεταγμένες για τους πίνακες R1,R2,R3
        R1[i][j].y= 60*(2*b1+1);
        R1[i][j].code = 0; //αρχικά οι θέσεις απόθεσης είναι κενές(SKU)
        R1[i][j].time = 0; //ο χρόνος δεν έχει ξεκινήσει
        //((δεν έχουν αποτεθεί ακόμα παλέτες με προϊόντα-SKU)

        R2[i][j].x= 40*(2*a2+1);
        R2[i][j].y= 60*(2*b2+1);
        R2[i][j].code = 0; //όμοια για τη συστοιχία ραφιών R2
        R2[i][j].time = 0;

        R3[i][j].x= 40*(2*a3+1);
        R3[i][j].y= 60*(2*b3+1);
        R3[i][j].code = 0; //όμοια για τη συστοιχία ραφιών R3
        R3[i][j].time = 0;

        b1++;
        b2++;
        b3++;
    }
    b1=2;
    b2=6;
    b3=10;

    a1++;
    a2++;
    a3++;
}

for(int i=0; i<115; i++)
{
    for(int j=0; j<15; j++) //πλέγμα για terrain στην περιοχή του inbound (μέχρι 115)
    {
        T[i][j].x = 40*(2*i+1); //συντεταγμένες
        T[i][j].y = 60*(2*j+1);
        T[i][j].code=0; //οι θέσεις κενές
    }
}

PickStat PSIO1[3], PSIO2[3], PS1[2][2], PS2[2][2];

//PSIO1[3] PSIO2[3] : πίνακες θέσεων Input, εσωτερικού temp και picker στους σταθμούς διαλογής
//PS1[2][2].PS2[2][2] : πίνακες που αντικατοπτρίζουν θέσεις πλήρωσης παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής

int c=118, d1=2, d2=8;

for(int i=0; i<2; i++)
{
    for(int j=0; j<2; j++) //για τις θέσεις πλήρωσης παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής
    {
        PS1[i][j].x = 40*(2*c+1);
        PS1[i][j].y = 60*(2*d1+1); //συντεταγμένες για θέσεις πλήρωσης παραγγελιών σταθμού διαλογής #1
        PS1[i][j].code = 0; //αρχικά οι θέσεις απόθεσης είναι κενές (PDU)
        PS1[i][j].time = 0; //Ο χρόνος δεν έχει εκκινήσει ακόμα (δεν έχουν αποτεθεί ακόμα παραγγελίες-PDU)
        PS1[i][j].noSKU = 0; //αριθμός για τα sku
    }
}

```



```

PS2[i][j].x = 40*(2*c+1);
PS2[i][j].y = 60*(2*d2+1);
PS2[i][j].code = 0;
PS2[i][j].time = 0;
PS2[i][j].noSKU = 0;

//όμοια για το σταθμό διαλογής #2

d1=d1+4;
d2=d2+4;
}
d1=2;
d2=8;

c=c+2;
}

//συντεταγμένες θέσεων εισδοχής σταθμών διαλογής(θέση διαλογέα και θέση temp (εντός του σταθμού))

PSIO1[0].x=9320; //συντεταγμένες θέσης εισόδου του RMU στο σταθμό διαλογής #1
PSIO1[0].y=540;
PSIO1[0].code=0; //αρχικά η θέση κενή(PDU)

PSIO1[1].x=9560; //συντεταγμένες θέσης διαλογέα για το σταθμό διαλογής #1
PSIO1[1].y=540;
PSIO1[1].code=0; //αρχικά κενή

PSIO1[2].x=9800; //συντεταγμένες θέσης εσωτερικού temp για το σταθμό διαλογής #1
PSIO1[2].y=540;
PSIO1[2].code=0; //αρχικά η θέση κενή

PSIO2[0].x=9320; //συντεταγμένες θέσης εισόδου RMU του σταθμού διαλογής #2
PSIO2[0].y=1260;
PSIO2[0].code=0; //αρχικά η θέση κενή

PSIO2[1].x=9560; //συντεταγμένες θέσης διαλογέα του σταθμού διαλογής #2
PSIO2[1].y=1260;
PSIO2[1].code=0; //αρχικά θέση κενή

PSIO2[2].x=9800; //συντεταγμένες θέσης εσωτερικού temp του σταθμού διαλογής #2
PSIO2[2].y=1260;
PSIO2[2].code=0; //αρχικά η θέση κενή

outbound RO1[50][2], RO2[50][2], RO3[50][2], T_RO[54][14], Out[8];

// πίνακες RO1, RO2, RO3 για outbound 50 γραμμών και 2 στηλών
// πίνακας T_RO για terrain του outbound συνολικά 54 γραμμών και 14 στηλών

// πίνακας Out για 8 θέσεις εξερχομένων

a1=127, b1=2, a2=127, b2=6, a3=127, b3=10; // οριοθέτηση πινάκων στο πλέγμα στις κατάλληλες στήλες

for(int i=0; i<50; i++)
{
    for(int j=0; j<2; j++)
    {
        RO1[i][j].x = 40*(2*a1+1);
        RO1[i][j].y = 60*(2*b1+1);
        RO1[i][j].code = 0;
        RO1[i][j].time = 0;

        RO2[i][j].x = 40*(2*a2+1);
        RO2[i][j].y = 60*(2*b2+1);
        RO2[i][j].code = 0;
        RO2[i][j].time = 0;

        RO3[i][j].x = 40*(2*a3+1);
        RO3[i][j].y = 60*(2*b3+1);
        RO3[i][j].code = 0;
        RO3[i][j].time = 0;

        b1++;
        b2++;
        b3++;
    }
    b1=2;
    b2=6;
    b3=10;

    a1++;
    a2++;
    a3++;
}

Out[0].x=21660; // τιμές για θέσεις εξόδου από outbound
Out[0].y=60; // πρώτη από αριστερά θέση
Out[0].code=0; // αρχικά οι θέσεις εξόδου κενές(PDU)

Out[1].x=21660;
Out[1].y=180;
Out[1].code=0; //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά

Out[2].x=21660;
Out[2].y=540;
Out[2].code=0; //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά

```

```

        Out[3].x=21660;
        Out[3].y=660;
        Out[3].code=0;
        //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά
        //δεν χρησιμοποιήθηκαν

        Out[4].x=21660;
        Out[4].y=1020;
        Out[4].code=0;
        //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά

        Out[5].x=21660;
        Out[5].y=1140;
        Out[5].code=0;
        //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά

        Out[6].x=21660;
        Out[6].y=1500;
        Out[6].code=0;
        //όμοια η επόμενη προς τα δεξιά

        Out[7].x=21660;
        Out[7].y=1620;
        Out[7].code=0;
        //όμοια η τελευταία δεξιά θέση

        int at=127;
for(int i=0;i<54;i++)
{
    for(int j=0;j<15;j++)
    {
        T_RO[i][j].x = 40*(2*at+1);
        T_RO[i][j].y = 60*(2*j+1);
        T_RO[i][j].code=0;
        //συνολικό πλέγμα για terrain στην περιοχή outbound
        //οι θέσεις κενές
    }
    at++;
}

int nextEvent = 0;
// το επόμενο γεγονός που θα συμβεί στο σύστημα (τροφοδοσία)

if(nextEvent == 0)
{
    //αρχικά έχω μόνο αφίξεις εισαγωγή κωδικών-γέμισμα αποθήκης(παλέτες μοναδιαίου κωδικού SKUs)
    printf("Afixh paletwn monadiaiwn kwdikwn & topothethsh sta R1, R2, R3\n");
}

//άνοιγμα αρχείων και μέτρηση των γραμμών τους
FILE *point = fopen("Day4.txt", "r");
int ch;
int count=0;
do
{
    ch = fgetc(point);
    if( ch == '\n') count++;
}while( ch != EOF );

printf("Arithmos grammwn: %d\n",count);
fclose(point);
//από πόσες γραμμές αποτελούνται τα αρχεία

//άνοιγμα αρχείου για καταχώρηση των στοιχείων στους πίνακες
FILE *point2 = fopen("Day4.txt", "r");
int A[count*3];
for(int i = 0; i < (3*count); i++)
{
    fscanf( point2 , "%d," , &A[i]);
}
//Α[i] πίνακας με τα δεδομένα

//τοποθέτηση παραγγελιών σε πίνακες (PDUs)
int AO[count];
int j=0;
int i=0;
while(j<count)
{
    AO[j]=A[i];
    j++;
    i=i+3;
}
//παίρνει τις παραγγελίες (επαναλαμβανόμενες τριάδες)

//τοποθέτηση κωδικών SKUs σε πίνακα
int AS[count];
j=0;
i=1;
while(j<count)
{
    AS[j]=A[i];
    j++;
    i=i+3;
}
//παίρνει κωδικούς (sku) (επαναλαμβανόμενες τριάδες)

//τοποθέτηση αριθμού κιβωτίων των SKU στον πίνακα

```

```

int ASK[count]; //ASK πίνακας με ποσότητα κιβωτίων για κάθε κωδικό κάθε παραγγελίας
j=0;
i=2;
while(j<count)
{
    ASK[j]=A[i];
    j++;
    i=i+3; //παίρνει την ποσότητα των κιβωτίων (επαναλαμβανόμενες τριάδες)
}

//ταξινόμηση των παραγγελιών PDUs και δημιουργία πίνακα μοναδικών PDUs

int t1,t2,t3; //βοηθητικές μεταβλητές τύπου temp
for(i=0; i<count; i++)
{
    for(j=0; j<count-i; j++) //ταξινόμηση των παραγγελιών AO & αντίστοιχα των κωδικών AS & των κιβωτίων ASK
    {
        if(AO[j]>AO[j+1]) //συγκρίνω με βάση τον αριθμό της παραγγελίας
        {
            t1 = AO[j];
            AO[j] = AO[j+1]; //AO ο πίνακας των αριθμών παραγγελιών
            AO[j+1] = t1;

            t2 = AS[j];
            AS[j] = AS[j+1]; //αντίστοιχα για τον πίνακα AS των κωδικών των skus
            AS[j+1] = t2;

            t3 = ASK[j];
            ASK[j] = ASK[j+1]; //αντίστοιχα για τον πίνακα ASK των κιβωτίων των skus
            ASK[j+1] = t3;
        }
    }
}

i=1;
for(j=1; j<count; j++)
{
    if(AO[j-1]!=AO[j]) //μόλις αλλάξει ο επαναλαμβανόμενος αριθμός της παραγγελίας στον πίνακα παραγγελιών
    {
        i++;
    }
}

int k=i; //μετράω τις μοναδικές παραγγελίες
printf("O arithmos monadikwn paraggeliwn einai: %d\n",k);
int unique_orders = k;

int AOU[k], AOS[k]; //AOU πίνακας μοναδικών αριθμών παραγγελιών (AOOrdersUnique)
//AOS πίνακας που αθροίζονται ο αριθμός κιβωτίων των κωδικών sku κάθε παραγγελίας

AOU[0] = AO[0];
i=1;
for(j=1; j<count; j++)
{
    if(AO[j-1]!=AO[j]) //μόλις αλλάξει ο επαναλαμβανόμενος αριθμός παραγγελίας στον πίνακα παραγγελιών
    {
        AOU[i] = AO[j]; //βάζω τον αριθμό παραγγελίας στον πίνακα μοναδικών παραγγελιών (AOUnique)
        i++;
    }
}
i--;

j=0;
for(i=0; i<count; i++)
{
    AOS[i] = 0; //AOS πίνακας που αθροίζονται ο αριθμός κιβωτίων κάθε κωδικού sku κάθε παραγγελίας
    while(AOU[i]==AO[j]) //όσο έχω τον ίδιο αριθμό παραγγελίας
    {
        AOS[i] = AOS[i] + ASK[j]; //προσθέτω αθροιστικά τα κιβώτια που απαρτίζεται η παραγγελία με τα διαφορετικά SKUs
        j++;
    }
}

for(i=0; i<k; i++) //το k πλέον αναφέρεται στις μοναδικές παραγγελίες
{
    for(j=0; j<k-i; j++)
    {
        if(AOS[j]<AOS[j+1]) //ταξινόμηση από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο
        {
            t1 = AOS[j];
            AOS[j] = AOS[j+1]; //AOS πίνακας με αθροίσματα του αριθμού κιβωτίων των κωδικών sku κάθε παραγγελίας
            AOS[j+1] = t1;

            t2 = AOU[j];
            AOU[j] = AOU[j+1]; //αντίστοιχα στον πίνακα AOU(AOrdersUnique) με τους μοναδικούς αριθμούς παραγγελιών
            AOU[j+1] = t2;
        }
    }
}

//ταξινόμηση των SKUs και δημιουργία πίνακα μοναδικών SKUs

for(i=0; i<count; i++)
{
    for(j=0; j<count-i; j++)
    {

```

```

        if(AS[j]>AS[j+1])                //πίνακας AS των SKU
        {                                //ταξινόμηση από μικρότερο προς μεγαλύτερο
            t1 = AO[j];
            AO[j] = AO[j+1];              //για τον αριθμό παραγγελιών AO
            AO[j+1] = t1;

            t2 = AS[j];
            AS[j] = AS[j+1];              //αντίστοιχα για τους κωδικούς sku AS
            AS[j+1] = t2;

            t3 = ASK[j];
            ASK[j] = ASK[j+1];            //αντίστοιχα για τον αριθμό κιβωτίων ASK
            ASK[j+1] = t3;
        }
    }

    i=1;
    for(j=1; j<count; j++)                //για τους κωδικούς SKU τους κάνει μοναδικούς πίνακες(SUnique)
    {
        if(AS[j-1]!=AS[j])                //όσο βρίσκει κάποιο διαφορετικό κωδικό
        {
            i++;
        }
    }

    int codes=i;                          //το codes για μοναδικούς κωδικούς
    printf("O arithmos monadikwn kwdikwn einai: %d\n",codes);
    int unique_codes=i;

    k=i;                                  //τώρα το k μετράει αριθμό μοναδικών κωδικών(SKUs)
    int ASU[k], ASS[k];                   //ASU(nique) πίνακας με μοναδικό αριθμό skus και ASS πίνακας με άθροισμα των skus
    ASU[o] = AS[o];                       //για τους κωδικούς SKU τους κάνει μοναδικούς πίνακες(SUnique)
    i=1;
    for(j=1; j<count ; j++)
    {
        if(AS[j-1]!=AS[j])                //όσο βρίσκει κάποιο διαφορετικό κωδικό
        {
            ASU[i] = AS[j];                //βάζει τα στοιχεία AS στον πίνακα ASU από μια φορά
            i++;
        }
        //τα αντίστοιχα κιβώτια για κάθε κωδικό που επαναλαμβάνεται αθροίζονται για κάθε SKU
    }
    i--;

    j=0;
    for(i=0; i<k; i++)
    {
        ASS[i] = 0;                       //πίνακας με το άθροισμα των κιβωτίων skus
        while(ASU[i]==AS[j])                //όσο βρίσκει ίδιους κωδικούς
        {
            ASS[i] = ASS[i] + ASK[j];      //αθροίζει τον αριθμό των κιβωτίων
            j++;
        }
    }

    for(i=0; i<k; i++)
    {
        for(j=0; j<k-i; j++)
        {
            if(ASS[j]<ASS[j+1])            //ταξινόμηση με βάση το άθροισμα του αριθμού κιβωτίων
            {
                t1 = ASS[j];
                ASS[j] = ASS[j+1];          //ταξινόμηση για άθροισμα(ASS)κιβωτίων με ίδιους κωδικούς κάθε παραγγελίας
                ASS[j+1] = t1;

                t2 = ASU[j];
                ASU[j] = ASU[j+1];          //αντίστοιχα για τον πίνακα των μοναδικών sku
                ASU[j+1] = t2;
            }
        }
        //έτσι τα skus και τα κιβώτια μοιράζονται στους πίνακες R1 R2 R3 (συστοιχίες ραφιών) στην κυρίως αποθήκη
    }

    float totK=0;
    for(int k=0; k<count; k++)
    {
        totK+=ASK[k];                     //συνολικός αριθμός κομματιών στην αποθήκη
    }

    float densMAX = ASS[o] / totK;          //υπολογισμός πυκνότητας παραγγελιών (μεγαλύτερη σε μέγεθος παραγγελία της ημέρας)
    float densMIN = ASS[10] / totK;        //υπολογισμός πυκνότητας παραγγελιών (μια σχετικά μικρή παραγγελία της ίδιας ημέρας)

    printf("Pyknothta paraggelias(big) einai: %.2f\n", densMAX);
    printf("Pyknothta paraggelias(small) einai: %.2f\n", densMIN);

    //Αρχικοποίηση των RMU
    Robot RB[18];                          //πίνακας με τα RMUs (συνολικά 18 ρομποτικά οχήματα)
    for (int i=0; i<18; i++)
    {
        //αρχικά θεωρώ τα RMUs τυχαία διασκορπισμένα στο terrain (1680,14400)
        RB[i].x = rand() % 1680;            //συντεταγμένη x των RMUs με τυχαία κατανομή στο (0,1680)
        RB[i].y = rand() % 14400;          //συντεταγμένη y των RMUs με τυχαία κατανομή στο (0,14400)
        RB[i].time=0;                      //ο χρόνος (για τα RMU) δεν έχει ακόμα εκκινήσει
    }

```

```

RB[i].state=0; //αρχικά όλα διαθέσιμα για εκτέλεση έργου μεταφοράς
RB[i].battery=100; //επίπεδο μπαταρίας (αρχικά όλα είναι φορτισμένα 100%)
RB[i].totalD=0; //συνολική απόσταση που κάθε RMU έχει διανύσει (αρχικά μηδέν)
}

//τοποθέτηση των SKUs

i=row-11; //ψάχνει τον πίνακα ανάποδα από το τέλος προς την αρχή
j=0; // τα 10 πρώτα σε αυτόν είναι για temp
int pi=0; //ξεκινάει να γεμίζει από την πρώτη αριστερά συστοιχία ραφιών απόθεσης
for(int f=0; f<count; f++)
{
    int fl = 0; //σημαία (θέση διαθέσιμη ή όχι)
    while(i>=0 && fl==0) //διαβάζει κατά γραμμές τους πίνακες απόθεσης R1,R2,R3 και η θέση διαθέσιμη (SKU)
    {
        if(R1[i][j].code == 0 && pi==0) //μόλις βρει την πρώτη διαθέσιμη θέση στη συστοιχία ραφιών R1
        {
            R1[i][j].code = AS[f]; //εκχωρεί στην συγκεκριμένη θέση το συγκεκριμένο κωδικό SKU
            R1[i][j].time = R1[i][j].time + rand()%190 - (float)rand() / (float)RAND_MAX; //χρόνος παραμονής στη θέση αυτή (ψευδοτυχαίος)

            j++; //η θέση είναι κατειλημμένη
            fl=1; //πηγαίνει στην δεύτερη από αριστερά (ενδιάμεση συστοιχία ραφιών απόθεσης)
            pi=1; //παράγει ψευδοτυχαίο αριθμό στο διάστημα (0,18)
            un = rand() % 18; //επιλογή RMU που θα αναλάβει την εξυπηρέτηση
            rs=rano(RB, R1[i][j].x, R1[i][j].y); //για τα διαθέσιμα RMUs που είναι αρκούντως φορτισμένα
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
            {
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                //Χρόνος εξυπηρέτησης(ψευδοτυχαίος) του RMU (προστίθεται στον χρόνο που αυτό ήδη είχε)
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R1[i][j].x, RB[rs].y, R1[i][j].y))+rand() % 500;
                //η απόσταση του RMU για την εργασία μεταφοράς(προστίθεται στην απόσταση που αυτό ήδη είχε)
                RB[rs].state=1; //κατάσταση RMU κατειλημμένο
                RB[rs].battery--; //πέφτει η μπαταρία μια μονάδα
            }
        }
        else if (R2[i][j].code == 0 && pi==1) //κοιτάει στη δεύτερη συστοιχία ραφιών R2 (πρώτη διαθέσιμη θέση)
        {
            R2[i][j].code = AS[f];
            R2[i][j].time = R2[i][j].time + rand()%190 - (float)rand() / (float)RAND_MAX;

            j++;
            fl=1;
            pi=2; //πηγαίνει στην τρίτη (πιο δεξιά συστοιχία ραφιών απόθεσης)
            un = rand() % 18;
            rs=rano(RB, R2[i][j].x, R2[i][j].y);
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
            {
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R2[i][j].x, RB[rs].y, R2[i][j].y))+rand() % 500;
                RB[rs].state=1;
                RB[rs].battery--;
            }
        }
        else if (R3[i][j].code == 0 && pi==2) //κοιτάει στη τρίτη πιο δεξιά συστοιχία ραφιών R3 (πρώτη διαθέσιμη θέση)
        {
            R3[i][j].code = AS[f];
            R3[i][j].time = R3[i][j].time + rand()%190 - (float)rand() / (float)RAND_MAX;

            j++;
            fl=1;
            pi=0; //επιστρέφει στην πρώτη αριστερά συστοιχία
            un = rand() % 18;
            rs=rano(RB, R3[i][j].x, R3[i][j].y);
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
            {
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R3[i][j].x, RB[rs].y, R3[i][j].y))+rand() % 500;
                RB[rs].state=1;
                RB[rs].battery--;
            }
        }

        RB[rs].state=0; //όλα τα RMU πάλι διαθέσιμα
        RB[rs].battery=100; //μπαταρία γεμάτη
        RB[rs].time = RB[rs].time + rand() % 18; //χρόνος φόρτισης RMUs
        if(j==2)
        {
            i--;
        }
    }
}

nextEvent = 1; //Επόμενο γεγονός = 1 (Τροφοδοσία σταθμών διαλογής)

if(nextEvent == 1)
{
    printf("Trofodosia stathmwv dialoghs apo ta R1, R2, R3\n");
}

//εισαγωγή παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής

int op=0; //μετρητής αριθμού παραγγελιών
int tmp = row; //μετρητής για θέσεις temp (10)
while(op<unique_orders) //όσο έχω παραγγελίες (μοναδικές)

```



```

{
    int i=0;
    while(i<2)
    {
        int j=0;
        while(j<2)
        {
            if(PS1[i][j].code == 0 ) //αν υπάρχει διαθέσιμη θέση (σταθμός διαλογής #1) εκκινεί μια νέα παραγγελία
            {
                PS1[i][j].code=AOU[op]; //τοποθετώ την παραγγελία op στη διαθέσιμη θέση (i,j) του σταθμού διαλογής #1
                op++; //παίρνει την επόμενη παραγγελία
                j++;
                tPS+=3*ASS[op]; //κάθε κιβώτιο που μεταφέρει ο διαλογέας (χρόνος 1 χρονικές μονάδες)
                tRND+=0.05*ASS[op]; //χρόνος περιτύλιξης κάθε έτοιμης παλέτας παραγγελίας
                un = rand() % 18; //παραγωγή τυχαιού αριθμού στο διάστημα (0,18)
                PS1[i][j].noSKU = PS1[i][j].noSKU + ASS[op];
                //πρόσθεση αριθμού κιβωτίων του κωδικού αριθμού sku στη παραγγελία στη θέση (i,j) του σταθμού #1
                PS1[i][j].time = PS1[i][j].time + rand() % 75 + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                rs=rono(RB, PS1[i][j].x, PS1[i][j].y); //επιλογή RMU που θα αναλάβει το έργο μεταφοράς
                if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10) //για τα διαθέσιμα RMUs με επαρκή μπαταρία
                {
                    RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX; //χρόνος του RMU
                    RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, PS1[i][j].x, RB[rs].y, PS1[i][j].y))+rand() % 500;
                    RB[rs].state=1; //κατάσταση RMU κατελημμένο
                    RB[rs].battery--; //πέφτει η μπαταρία μια μονάδα
                }
            }
            else if(PS2[i][j].code == 0 ) //αν υπάρχει διαθέσιμη θέση να ανοίξει μια παραγγελία στο σταθμό διαλογής #2
            {
                PS2[i][j].code=AOU[op];
                op++;
                j++;
                tPS+=1*ASS[op];
                tRND+=0.05*ASS[op];
                un = rand() % 18;
                PS2[i][j].noSKU = PS2[i][j].noSKU + ASS[op];
                PS2[i][j].time = PS2[i][j].time + rand() % 75 + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                rs=rono(RB, PS2[i][j].x, PS2[i][j].y);
                if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
                {
                    RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                    RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, PS2[i][j].x, RB[rs].y, PS2[i][j].y))+rand() % 500;
                    RB[rs].state=1;
                    RB[rs].battery--;
                }
            }
            else //αν δεν υπάρχει καμία διαθέσιμη θέση σε κανένα από τους δυο σταθμούς διαλογής
            {
                j++; //συνεχίζει να ψάχνει στην επόμενη στήλη
                op++; //συνεχίζει με επόμενη παραγγελία
                tPS+=3*ASS[op]; //χρόνος για μεταφορά κουτιού από διαλογέα
                tRND+=0.05*ASS[op]; //χρόνος περιτύλιξης κάθε έτοιμης παλέτας παραγγελίας
                un1=rand() % (i+j); //παράγει τυχαιό αριθμό στο διάστημα (0,i+j)
                un2=rand() % (i+j); //παράγει τυχαιό αριθμό στο διάστημα(0,i+j)
                PS1[i][j].noSKU = PS1[i][j].noSKU + ASS[op];
                //πρόσθεση ακόμα ενός κουτιού κωδικού sku στην παραγγελία op στο #1
                PS1[i][j].time = PS1[i][j].time + rand() % 75 + (float)rand() / (float)RAND_MAX + un1;
                //ο αντίστοιχος χρόνος παραμονής μιας παραγγελίας στο #1
                PS2[i][j].noSKU = PS2[i][j].noSKU + ASS[op];
                //πρόσθεση ακόμα ενός κουτιού κωδικού sku στην παραγγελία op στο #2
                PS2[i][j].time = PS2[i][j].time + rand() % 75 + (float)rand() / (float)RAND_MAX + un2;
                //ο αντίστοιχος χρόνος παραμονής μιας παραγγελίας στο #2

                if(PS1[i][j].time % 300 == 0)
                //αν η παραγγελία στην θέση i,j στο #1 περιμένει σχετικά μικρό χρόνο (300 χρονικές μονάδες)
                {
                    PSIO1[2].code = AOU[op]; //η παραγγελία τοποθετείται στην εσωτερική θέση temp
                }
                else if(PS1[i][j].time > 300) //αλλιώς τοποθετείται στο εξωτερικό temp
                {
                    if(R1[tmp][j].code==0 && tmp>99)
                    //στην πρώτη διαθέσιμη θέση του R1 στις πρώτες 10 γραμμές του εξωτερικού temp
                    {
                        R1[tmp][j].code = AOU[op]; //η παραγγελία op τοποθετείται στην θέση tmp,j
                        rs=rono(RB, R1[tmp][j].x, R1[tmp][j].y); //εύρεση του κοντινότερου RMU
                        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
                        //από αυτά που είναι διαθέσιμα και έχουν μπαταρία
                        {
                            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                            //χρόνος για το RMU
                            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R1[tmp][j].x, RB[rs].y, R1[tmp][j].y))+rand() % 500;
                            //απόσταση που διανύει
                            RB[rs].state=1; //RMU μη διαθέσιμο
                            RB[rs].battery--; //αδειάζει μια μονάδα η μπαταρία
                            tmp--;
                        }
                    }
                    if(R2[tmp][j].code==0 && tmp>99)
                    //στην πρώτη διαθέσιμη θέση του R2 στις πρώτες 10 γραμμές του εξωτερικού temp
                    {
                        R2[tmp][j].code = AOU[op];
                        rs=rono(RB, R2[tmp][j].x, R2[tmp][j].y);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
        {
            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R2[tmp][j].x, RB[rs].y,
                R2[tmp][j].y))+rand() % 500;

            RB[rs].state=1;
            RB[rs].battery--;
            tmp--;
        }
    }
    if(R3[tmp][j].code==0 && tmp>99)
    //στην πρώτη διαθέσιμη θέση του R3 στις πρώτες 10 γραμμές του εξωτερικού temp
    {
        R3[tmp][j].code = AOU[op];
        rs=rano(RB, R3[tmp][j].x, R3[tmp][j].y);
        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
        {
            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R3[tmp][j].x, RB[rs].y,
                R3[tmp][j].y))+rand() % 500;

            RB[rs].state=1;
            RB[rs].battery--;
            tmp--;
        }
    }
}
else
{
    PS1[i][j].code = AOU[op];          //γυρίζει πίσω στη θέση όπου και έφυγε
}
if(PS2[i][j].time % 300 == 0)
{
    PSIO2[2].code = AOU[op];
}
else if(PS2[i][j].time > 300)
{
    if(R1[tmp][j].code==0 && tmp>99)
    {
        // ομοίως για το σταθμό διαλογής #2
        R1[tmp][j].code = AOU[op];
        rs=rano(RB, R1[tmp][j].x, R1[tmp][j].y);
        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
        {
            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R1[tmp][j].x, RB[rs].y,
                R1[tmp][j].y))+rand() % 500;

            RB[rs].state=1;
            RB[rs].battery--;
            tmp--;
        }
    }
    if(R2[tmp][j].code==0 && tmp>99)
    {
        R2[tmp][j].code = AOU[op];
        rs=rano(RB, R2[tmp][j].x, R2[tmp][j].y);
        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
        {
            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R2[tmp][j].x, RB[rs].y,
                R2[tmp][j].y))+rand() % 500;

            RB[rs].state=1;
            RB[rs].battery--;
            tmp--;
        }
    }
    if(R3[tmp][j].code==0 && tmp>99)
    {
        R3[tmp][j].code = AOU[op];
        rs=rano(RB, R3[tmp][j].x, R3[tmp][j].y);
        if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
        {
            RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, R3[tmp][j].x, RB[rs].y,
                R3[tmp][j].y))+rand() % 500;

            RB[rs].state=1;
            RB[rs].battery--;
            tmp--;
        }
    }
}
else
{
    PS2[i][j].code = PSIO2[2].code;    //γυρίζει πίσω στη θέση όπου και έφυγε
}
}
RB[rs].state=0;          //ξανά όλα διαθέσιμα
RB[rs].battery=100;      //φόρτιση
RB[rs].time = RB[rs].time + rand() % 18;    //χρόνος φόρτισης
}
i++;
}

}

int pre_ord = unique_orders;          //Οι παραγγελίες που έχουν παραχθεί απο το σύστημα είναι αυτές που αρχικά δέχθηκε

```

```

printf("Oi paraggelies pou exoun etoimastei einai: %d\n", pre_ord);

nextEvent = 2;

if(nextEvent == 2) //Παραλαβή έτοιμων παραγγελιών (σταθμούς διαλογής) και μετακίνηση στις συστοιχίες απόθεσης έτοιμων παραγγελιών
{
    printf("Metakinshsh etoimwn paraggeliwn apo stathmous dialoghs pros outbound\n");
}

//μετακίνηση παραγγελιών στο Outbound

i=49; //όταν μια ετοιμαζόμενη παλέτα παραγγελίας έχει γεμίσει (50 κομμάτια)
j=0;
pi=0; //ξεκινάει από την πρώτη αριστερά συστοιχία
for(int f=0; f<pre_ord+1; f++)
{
    int fl = 0; //σημαία ότι η θέση διαθέσιμη
    while(i>=0 && fl==0) //διαβάζει κατά γραμμές τις θέσεις και αν υπάρχει κάποια διαθέσιμη
    {
        if(RO1[i][j].code == 0 && pi==0 ) //αν στη συστοιχία ραφιών έτοιμων παραγγελιών RO1 υπάρχει θέση ελεύθερη
        {
            RO1[i][j].code = AS[f];
            //εκχωρεί στην συγκεκριμένη θέση την συγκεκριμένη έτοιμη παραγγελία (PDU)
            RO1[i][j].time = RO1[i][j].time + rand()%75 - (float)rand() / (float)RAND_MAX; //χρόνος παραμονής αυτής στο outbound
            j++;
            fl=1; //σημαία πάνω η θέση κατειλημμένη
            pi=1; //πηγαίνει στην αμέσως επόμενη (ενδιάμεση) συστοιχία ραφιών απόθεσης έτοιμων παραγγελιών
            un = rand() % 18; //παράγει ένα ψευδοτυχαίο αριθμό
            rs=rono(RB, RO1[i][j].x, RO1[i][j].y); //εύρεση του πιο κοντινού RMU
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10) //RMU διαθέσιμα και φορτισμένα
            {
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX; //παραγωγή χρόνου μεταφοράς για το RMU
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, RO1[i][j].x, RB[rs].y, RO1[i][j].y))+rand()%500;
                //προσθέτω την απόσταση που διήνυσε στην συνολική απόσταση του συγκεκριμένου RMU
                RB[rs].state=1; //πλέον αυτό είναι κατειλημμένο
                RB[rs].battery--; //πέρνει η μπαταρία μια μονάδα
            }
        }
        else if (RO2[i][j].code == 0 && pi==1 ) //αν στη συστοιχία ραφιών RO2 έτοιμων παραγγελιών υπάρχει θέση ελεύθερη
        {
            RO2[i][j].code = AS[f];
            RO2[i][j].time = RO2[i][j].time + rand()%75 - (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            j++;
            fl=1;
            pi=2; //πηγαίνει στην πιο δεξιά συστοιχία ραφιών
            un = rand() % 18;
            rs=rono(RB, RO2[i][j].x, RO2[i][j].y);
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
            {
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, RO2[i][j].x, RB[rs].y, RO2[i][j].y))+rand()%500;
                RB[rs].state=1;
                RB[rs].battery--;
            }
        }
        else if (RO3[i][j].code == 0 && pi==2 ) //αν στη συστοιχία ραφιών RO3 έτοιμων παραγγελιών υπάρχει θέση ελεύθερη
        {
            RO3[i][j].code = AS[f];
            RO3[i][j].time = RO3[i][j].time + rand()%75 - (float)rand() / (float)RAND_MAX;
            j++;
            fl=1;
            pi=0; //επιστρέφει στην πρώτη αριστερά συστοιχία ραφιών
            un = rand() % 18;
            rs=rono(RB, RO3[i][j].x, RO3[i][j].y);
            if(RB[rs].state == 0 && RB[rs].battery > 10)
            {
                //όμοια για συστοιχία ραφιών RO3
                RB[rs].time = RB[rs].time + (float)rand() / (float)RAND_MAX;
                RB[rs].totalD = RB[rs].totalD + 2*(codi(RB[rs].x, RO3[i][j].x, RB[rs].y, RO3[i][j].y))+rand()%500;
                RB[rs].state=1;
                RB[rs].battery--;
            }
        }
        }

        RB[rs].state=0; //ξανά όλα διαθέσιμα
        RB[rs].battery=100; //φόρτιση
        RB[rs].time = RB[rs].time + rand() % 18; //χρόνος φόρτισης

        if(j==2)
        {
            i--;
        }
    }
}

nextEvent = 3; //εξαγωγή έτοιμων παραγγελιών - εκτύπωση αποτελεσμάτων

//Μεταφορά έτοιμων παραγγελιών από την περιοχή απόθεσης στην περιοχή εξόδου από το κέντρο διανομής

if (nextEvent == 3)
{

```

```

float sum=0; //μετρητές κρατάνε το συνολικό χρόνο RMUs
for(int i=0; i<18; i++)
{
    sum+=RB[i].time; //άθροισμα χρόνων των RMUs
}

float dist=0; //συνολική απόσταση που τα RMUs έχουν διανύσει
for(int i=0; i<18; i++)
{
    dist+=RB[i].totalD;
}

float s1=0, s2=0; //μετρητές κρατάνε το σύνολο των χρόνων παραμονής παραγγελιών στους σταθμούς διαλογής #1 και #2
for(int i=0; i<2; i++)
{
    for(int j=0; j<2; j++)
    {
        s1+=PS1[i][j].time; //άθροισμα των επι μέρους χρόνων παραμονής για το σταθμό διαλογής #1
        s2+=PS2[i][j].time; //άθροισμα των επι μέρους χρόνων παραμονής για το σταθμό διαλογής #2
    }
}

int sk1=0, sk2=0; //μετρητές κρατάνε τον αριθμό κιβωτίων που έχουν περάσει από κάθε σταθμό διαλογής
for(int i=0; i<2; i++)
{
    for(int j=0; j<2; j++)
    {
        sk1+=PS1[i][j].noSKU; //άθροισμα του αριθμού των κομματιών που πέρασαν από το σταθμό διαλογής #1
        sk2+=PS2[i][j].noSKU; //άθροισμα του αριθμού των κομματιών που πέρασαν από το σταθμό διαλογής #2
    }
}

float sr=0, sro=0; //μεταβλητές που κρατάνε το χρόνο παραμονής σε inbound και outbound
for(int j=0; j<2; j++)
{
    for(int i=0; i<110; i++)
    {
        sr = sr + R1[i][j].time + R2[i][j].time + R3[i][j].time; //συνολικός χρόνος παραμονής στο inbound
    }

    for(int i=0; i<50; i++)
    {
        sro = sro + RO1[i][j].time + RO2[i][j].time + RO3[i][j].time; //συνολικός χρόνος παραμονής στο outbound
    }
}

float sumX = sum + tPS + tRND; //άθροισμα χρόνων εξυπηρέτησης (RMUs,διαλογέων,περιτύλιξης)
float sumR = s1 + s2 + sr + sro; //άθροισμα των χρόνων παραμονής των παλετών στο κέντρο διανομής συνολικά για την δεδομένη μέρα

float ssku=0;
for(int k=0; k<count; k++)
{
    ssku+=ASK[k]; //συνολικός αριθμός κιβωτίων που εισήχθησαν στο σύστημα (για κάθε κωδικό για κάθε παραγγελία)
}

float sys_thr = (float)ssku / (sumX+sumR); //ρυθμός παραγωγής

//printf("Rythmos paragwghs sto PS1 einai %.2f, Rythmos paragwghs sto PS2 einai %.2f \n",s1,s2);
float ps1_thr = (float)sk1 / (sumX+sumR); //ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #1
float ps2_thr = (float)sk2 / (sumX+sumR); //ρυθμός παραγωγής σταθμού διαλογής #2
float C1 = K + u*ssku; //υπολογισμός για το κόστος προμήθειας
float Profit = P*pre_ord - C1; //υπολογισμός για το κέρδος
printf("telos prosomoiwshs!!(telos ths hmeras)\n");
printf("Metra apodoshs...\n");
printf("=====\n");
printf("Ta ypologisthenta metra apodoshs einai...\n");
printf("O synolikos xronos twn RMUs einai: %.2f\n", sum);
printf("O synolikos xronos exyphrethshs (RMUs,dialogeas,tylixis): %.2f\n", sumX);
printf("O synolikos xronos paramonhs paraggelion se stathmous dialoghs einai: %.2f\n", s1+s2);
printf("O synolikos xronos stathma einai: %.2f\n", sumR);
printf("O arithmos twn koutiwn sto stathmo dialoghs 1 einai: %d\n", sk1);
printf("O arithmos twn koutiwn sto stathmo dialoghs 2 einai: %d\n", sk2);
printf("O arithmos twn koutiwn synolika stous stathmous dialoghs PS1+PS2 einai: %d\n", sk1+sk2);
printf("H synolikh apostash pou dihnysan ta RMUs einai: %.2f\n", dist);
printf("O synolikos rythmos paragwghs einai: %.2f\n", sys_thr*100);
printf("O rythmos paragwghs tou PS1 einai: %.2f\n", ps1_thr*100);
printf("O rythmos paragwghs tou PS2 einai: %.2f\n", ps2_thr*100);
printf("Kosth...\n");
printf("=====\n");
printf("Kostos promhtheias C1= %.2f\n", C1);
printf("Profit is: %.2f\n", Profit);

printf("Telos prosomoiwshs!\n");
}
system("pause");
}

```

Παράθεμα

Στο σημείο αυτό παρατίθεται η άδεια χρήσης οπτικοακουστικού υλικού όπως αυτή ζητήθηκε και τελικά παραχωρήθηκε από την εταιρεία © INTERLINK AUTOMATIONS S.A. (www.interlink.gr).

• Χορήγηση άδειας

Προς : INTERLINK AUTOMATIONS S.A.

Αγαπητέ κύριε/κυρία ,

Είμαι μεταπτυχιακός φοιτητής στο Πολυτεχνείο Κρήτης και προετοιμάζω την μεταπτυχιακή μου εργασία με τίτλο **"Προσομοίωση εκτέλεσης παραγγελιών σε κέντρο διανομής προϊόντων καπνού με χρήση αυτόματου συστήματος διαχείρισης υλικών"**.

Για τον λόγο αυτό ζητώ άδεια ώστε να μπορώ να χρησιμοποιήσω οπτικοακουστικό υλικό το οποίο περιέχεται στην ιστοσελίδα της εταιρείας σας www.interlink.gr

Παρακαλώ να μου χορηγήσετε την απαραίτητη άδεια με ηλεκτρονικό μήνυμα στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που παρατίθεται παρακάτω..

Με εκτίμηση ,

Ξένος Θωμάς

e-mail: publicthomasxe@yahoo.gr



adeia.docx

Προβολή | Λήψη ▾

• Χορήγηση άδειας χρήσης οπτικοακουστικού υλικού(2)

• Ioannis Kanellos

Προς Εγώ

Σήμερα στις 10:26 π.μ. ★

Αγαπητέ κ. Ξένο,

με το παρόν σας παρέχουμε την άδεια να χρησιμοποιήσετε ότι οπτικοακουστικό υλικό σας είναι χρήσιμο από το εταιρικό μας site στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας που ετοιμάζεται με τίτλο **"Προσομοίωση εκτέλεσης παραγγελιών σε κέντρο διανομής προϊόντων καπνού με χρήση συστήματος διαχείρισης υλικών"**.

Παραμένουμε στη διάθεσή σας για οποιαδήποτε επι πλέον βοήθεια χρειαστείτε.

Φιλικά



Ioannis Kanellos

President & CEO
Tel: +30 210 4822300
Mob: +30 6973 800301
Skype: yannis.kanellos

www.interlink.gr

• Χορήγηση άδειας χρήσης οπτικοακουστικού υλικού(2)

• Εγώ

Προς Ioannis Kanellos

Σήμερα στις 4:50 μ.μ. ★

Ευχαριστώ πολύ για την άμεση ανταπόκριση.

Με εκτίμηση Ξένος Θωμάς

Με/κος φοιτητής Μ.Π.Δ. Π.Κ.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

Bartholdi, J.J. and Hackman, S.T. (2011), "Warehouse and Distribution Science", The Supply Chain and Logistics Institute School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology Atlanta, GA B30332-0205, available at <http://www.warehouse-science.com/>.

Bassan, Y., Roll, Y. and Rosenblatt, M.J. (1980), "Internal layout design of a warehouse", AIIE Transactions, Vol. 12 No. 4.

Cormier, G. and Gunn, A. (1992), "A review of warehouse models" European Journal of Operational Research, North-Holland.

Coyle, J.J., Bardi, E.J. and Langley, C.J. (2003), "The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective", 7th ed., South-Western, Mason, OH.

Felix, T.S. and Chan, H.K. (2011), "Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage", Expert Systems with Applications.

Foley, R.D., and Frazelle, E.H. (1991), "Analytical results for miniload throughput and the distribution of dual command travel time", IIE Transactions 23/3, 273-281.

Frazelle, E. (2002), "World-class Warehousing and Material Handling", McGraw-Hill, New York, NY.

Gray, A.E., Karmarkar, U.S. and Seidmann, A. (1992), "Design and operation of an order consolidation warehouse: Models and application", European Journal of Operational Research, North-Holland.

Gua, J., Goetschalckx, M. and McGinnis, L.F. (2010), "Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review", European Journal of Operational Research.

Hausman, W.H., Schwarz, L.B. and Graves, S.C. (1976), "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems", Management Science, Vol. 22 No. 6.

Hwang, H.S. and Cho, G.S. (2006), "A performance evaluation model for order picking warehouse design", Computers and Industrial Engineering .

Ko, H.J., Ko, C.S., Kim, T. (2006), "A hybrid optimization/simulation approach for a distribution network design of 3PLS" Computers and Industrial Engineering.

Kochel, P. and Nielander, U. (2005), "Simulation-based optimisation of multi-echelon inventory systems", International Journal of Production Economics .

Le-Duc, T. and De Koster, R. (2005), "Travel distance estimation and storage zone optimisation in a 2-block class-based storage strategy warehouse", International Journal of Production Research.

Lim, Y.F., Sim, M. and Ang, M. (2008), " Robust Storage Assignment in Unit-Load Warehouses ", Management Science 58(11) 2114-2130. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business.
Available at: http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/3194

Muller, D.J. (1989), "AS/RS and warehouse modeling" Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference, MacNair, E.A., Musselman, K.J., Heidelberger, P. (eds.).

Oliveros, M.J. and Silván, G. (2002), "Simulation tool for managing a non - automated distribution warehouse", Proceedings 14th European Simulation Symposium, Verbraeck, A., Krug, W. (eds.), ©SCS Europe BVBA.

Patzke, R.L. (2008), "Key Attributes Used to Compare Pick to Light and Put to Light Technologies", A Research paper, The Graduate School University of Wisconsin-Stout.

- Petersen, C.G. (1997), “An evaluation of order-picking routeing policies”, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 17 No. 1.
- Petersen, C.G. (2002), “Considerations in order picking zone configuration”, International Journal of Operations and Management, Vol 22, No7 .
- Petersen, C.G. and Aase, G.R. (2004), “Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage” Operations Management and Information Systems.
- Roodbergen, K.J. and Vis, I.F.A. (2009), “A survey of literature on automated storage and retrieval systems”, European Journal of Operational Research.
- Rosenblatt, M.J. and Roll, Y. (1984), “Warehouse design with storage policy considerations”, International Journal of Production Research.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., and Zijm, W. H. M. (2000), “Warehouse design and control: framework and literature review”, European Journal of Operational Research.
- Ruehrdanz, K. (2011), “Order fulfillment systems finding the right configuration for your application”, presentation in promat at mhia international expo held at Mc Cormick place Chicago www.ProMatShow.com
- Ruiz, N., Giret, A., Botti, V. and Fera, V. (2011), “Agent-supported simulation environment for intelligent manufacturing and warehouse management systems”, International Journal of Production Research .
- Soulié, J. (2007), “C++ Language Tutorial”, available at: <http://www.cplusplus.com/doc/tutorial/>
- Steudal, H.J. (1979), “Generating pallet loading patterns: A special case of the two-dimensional cutting stock problem”, Management Science.
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J. (1996), “Facilities Planning”, John Wiley, New York, NY .
- Verriet, J., Hamberg, R., Caarls, J., Wijngaarden, B, (2013) “Warehouse simulation through model configuration”, PROCEEDINGS 27 European Conference on Modeling and Simulation) ©ECMS, Rekdalsbakken, W., Bye, R.T., Zhang, H.(eds).
- Wilson, H.G. (1977), “Order quantity, product popularity, and the location of stock in a warehouse”, AIIE Transactions.

Ελληνική

- Κουϊκόγλου, Β.Σ., (2006), “Προσομοίωση”, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μυγδαλάς, Α. και Καρακίτσιου, Α. (2005), “Εισαγωγή στην Εφοδιαστική Αλυσίδα”, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Σταματιάδης, Σ. (2014), “Εισαγωγή στην γλώσσα προγραμματισμού C++”, Σημειώσεις Διαλέξεων, Πανεπιστήμιο Κρήτης.
- Φίλης, Γ.Α., (2003) “Δίκτυα Παραγωγής”, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης.