



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ
ΕΡΕΥΝΑΣ

**Βελτιστοποίηση των Θέσεων Συλλογής Σύγχρονου
Αποθηκευτικού Κέντρου Μεγάλης Επιχείρησης Παραγωγής
και Εμπορίας Προϊόντων Τεχνολογίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΚΑΠΟΥ

Επιβλέπων:

Πόνης Σταύρος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ

Φεβρουάριος 2021

Copyright © Βασιλική Κάπου, 2021
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.
©2021 – All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Βαδίζοντας προς τον τερματισμό των προπτυχιακών μου σπουδών, δεν θα μπορούσα ποτέ να φανταστώ πως θα μου δινόταν η ευκαιρία να μελετήσω στην διπλωματική μου εργασία ένα αντικείμενο το οποίο εκπροσωπεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα τα ενδιαφέροντα και τους στόχους μου για τον μελλοντικό τομέα εργασίας μου. Σε αυτό το βήμα που μου δίνεται, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σ. Πόνη, για όλη την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάληψη της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα, κ. Γ. Πλάκα, για τις σημαντικές συμβουλές που μου παρείχε, όποια στιγμή και αν τις χρειαζόμουν.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον θείο μου, Νίκο, ο οποίος με στήριξε στα πρώτα μου επαγγελματικά βήματα, και μου μετέδωσε τις γνώσεις και την αγάπη του για τον τομέα των Logistics.

Ακόμα, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον σύντροφο μου Κωνσταντίνο, Μηχανολόγο Μηχανικό και ερευνητή του Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών του ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη του, τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου συνολικά.

Κλείνοντας, θα ήθελα να πω ένα τεράστιο ευχαριστώ σε όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους που βρίσκονταν δίπλα μου σε κάθε βήμα. Ιδιαίτερα, ευχαριστώ πολύ τη μητέρα μου, Μαρία, που ανέκαθεν στήριζε τα όνειρα μου και πάλευε για αυτά, και τον πατέρα μου, Κώστα, που πάντα μου υπενθύμιζε πως δεν υπάρχει τίποτα το οποίο δεν μπορώ να πετύχω.

Βασιλική Κάπου,

Φεβρουάριος 2021

*Στη μητέρα μου, που μου έχει
αφιερώσει πολλά δικά της βιβλία.*

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «Βελτιστοποίηση των Θέσεων Συλλογής Σύγχρονου Αποθηκευτικού Κέντρου Μεγάλης Επιχείρησης Παραγωγής και Εμπορίας Προϊόντων Τεχνολογίας» πραγματεύεται την εκτενή μελέτη που διεξήχθη και εφαρμόστηκε σε κέντρο διανομής και αποθήκευσης Ελληνικής εταιρείας τεχνολογίας, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας των θέσεων και τη μείωση του χρόνου συλλογής παραγγελιών, μέσω της κατάλληλης ανάθεσης των προϊόντων στις θέσεις συλλογής. Βασικό κριτήριο της διαδικασίας αποτέλεσε η ελάττωση των παραγόντων κόπωσης του ανθρώπινου δυναμικού και η αύξηση της εργονομίας της εργασίας τους.

Αρχικά, παρατίθενται σύμφωνα με την βιβλιογραφία τα επιμέρους συστήματα συλλογής προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην πλειονότητα των αποθηκών, και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην προσφορά του έμψυχου δυναμικού για την διεκπεραίωση των διαδικασιών συλλογής, ένας τομέας που παρουσιάζει σημαντικό ερευνητικό κενό. Ακόμα, γίνεται αναφορά στις πολιτικές αποθήκευσης των αγαθών, αλλά και σε μελέτες που έχουν διεξαχθεί για την βελτίωση τους.

Στη συνέχεια, αφού παρουσιαστεί λεπτομερώς η διάταξη του αποθηκευτικού χώρου που εξετάζεται, αλλά και τα λειτουργικά προβλήματα που δημιουργούνται λόγω των στρατηγικών που εφαρμόζονται από την επιχείρηση, επέρχεται η ανάλυση της διαδικασίας της βελτιστοποίησης. Σε αυτό το σημείο αναλύονται οι αντικειμενικοί στόχοι, τα κριτήρια, και οι περιορισμοί του συστήματος, και κατόπιν επεξηγείται η λογική και τα επιμέρους βήματα της ανάπτυξης του αλγορίθμου, μέσω διαγραμμάτων ροής. Συγκεκριμένα, αφού βελτιστοποιηθεί η χωρητικότητα του συστήματος και οριστούν οι νέες διαστάσεις των θέσεων συλλογής, οι διάφοροι τύποι θέσεων βάση μεγέθους και τάξης κινητικότητας κατανέμονται σε έναν ιδανικό διάδρομο, σύμφωνα με τις ανάγκες του συστήματος, ο οποίος αναπαράγεται σε όλους τους υπόλοιπους. Εν συνεχεία, ανατίθενται τα επιμέρους προϊόντα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους και την ισορροπημένη κατανομή του φόρτου εργασίας στους επιμέρους διαδρόμους, και κατόπιν υπολογίζεται ο βαθμός εργονομίας βάση εμπειρικού συστήματος που προτείνεται.

Μετά το πέρας της διαδικασίας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συγκρίνεται το αρχικό σύστημα αποθήκευσης με το βελτιστοποιημένο. Ειδικότερα, έμφαση δίνεται στη μείωση του συνολικού νεκρού όγκου και στην αύξηση του ποσοστού αξιοποίησης του χώρου. Ακόμα, υπολογίζεται η άνοδος του βαθμού εργονομίας της ανθρώπινης εργασίας, ως απόρροια της βελτίωσης της τοποθεσίας των θέσεων και του τρόπου κατανομής των προϊόντων.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	6
Περιεχόμενα.....	7
Κατάλογος Γραφημάτων	10
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Πινάκων.....	13
1. Εισαγωγή	14
1.1 Θέμα Εργασίας.....	14
1.2 Δομή.....	15
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	17
2.1 Συλλογή Παραγγελιών.....	17
2.1.1 Συστήματα Συλλογής Παραγγελιών.....	17
2.1.2 Αντικειμενικοί Στόχοι της Συλλογής Παραγγελιών	21
2.1.3 Επιρροή Αποφάσεων στην Αποδοτικότητα της Συλλογής.....	22
2.2 Ανθρώπινος Παράγοντας στη Συλλογή Προϊόντων	23
2.2.1 Λόγοι Επικράτησης Ανθρώπινου Δυναμικού	23
2.2.2 Εισαγωγή Ανθρώπινου Παράγοντα στον Σχεδιασμό των Συστημάτων Συλλογής	24
2.3 Πολιτικές Αποθήκευσης Προϊόντων (Storage Policies).....	26
2.3.1 Τυχαία Πολιτική Αποθήκευσης (Random Storage Policy).....	26
2.3.2 Αφосωμένη Πολιτική Αποθήκευσης (Dedicated Storage Policy).....	26
2.3.3 Πολιτική Κοντινότερης Διαθέσιμης Θέσης (Closest Open Location Storage).....	27
2.3.4 Πολιτική Αποθήκευσης με βάση την Κινητικότητα (Full-turnover Storage Policy).....	27
2.3.5 Πολιτική Αποθήκευσης με Χρήση Τάξεων (Class-based Storage Policy).....	27
2.3.6 Συσχετισμένη Πολιτική Αποθήκευσης (Correlated-based Storage Policy).....	29
2.4 Ανάθεση Προϊόντων σε Θέσεις Συλλογής (Storage Location Assignment Problem - SLAP) ...	30
Μαθηματική Προσέγγιση του Προβλήματος	31
Χρησιμοποιούμενες Πολιτικές Αποθήκευσης	31
Χρησιμοποιούμενοι Αντικειμενικοί Στόχοι.....	31
Προτεινόμενοι Μελλοντικοί Τομείς Έρευνας	32
3. Περιγραφή Επιχείρησης	33
3.1 Είδη Προϊόντων και Συσκευασιών	34
3.2 Διάταξη Αποθηκευτικού Κέντρου	36
3.2.1 Αποθηκευτικός Τομέας.....	36

3.2.2 Τομέας Παραλαβών και Αποστολών	42
3.2.3 Γραφεία	42
3.2.4 Κατάστημα	43
3.3 Ροή Υλικών	43
3.3.1 Άφιξη Προϊόντων	43
3.3.2 Πολιτική Ανάθεσης Θέσης Συλλογής (Storage Policy).....	44
3.3.3 Συλλογή Προϊόντων Τομέα Α	44
3.3.4 Ανεφοδιασμός.....	46
3.4 Χρήση Τεχνολογικών Μέσων	47
3.5 Προβλήματα Αποθηκευτικού Χώρου	48
3.5.1 Επιλογή Θέσεων Συλλογής	48
3.5.2 Μεγέθη Θέσεων Συλλογής	49
3.5.3 Διαδικασία Συλλογής και Ανεφοδιασμού	49
3.5.4 Ονοματολογία Θέσεων.....	49
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	51
4.1. Στόχοι Βελτιστοποίησης.....	51
4.2. Παρουσίαση Εταιρικών Δεδομένων	52
4.3. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων και Σύνδεση με την Ανάλυση.....	54
4.4 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης	58
4.4.1. Στρατηγική Προσανατολισμού Τοποθέτησης σε Στατικές Θέσεις.....	58
4.4.2. Εύρεση Νέων Διαστάσεων Στατικών Θέσεων	67
4.4.3. Συνδυαστική Εύρεση Βέλτιστων Διαστάσεων Δυναμικών και Στατικών Θέσεων.....	71
4.4.4. Διάταξη Στατικών Διαδρόμων.....	76
4.4.5. Κατανομή Προϊόντων σε Στατικές Θέσεις	89
4.4.6. Διάταξη Δυναμικών Διαδρόμων	91
4.4.7. Κατανομή Προϊόντων σε Δυναμικές Θέσεις.....	97
4.4.8. Διαχείριση Προϊόντων σε άλλες Περιόδους.....	98
5. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	100
5.1 Αποτελέσματα Βήματος 1.....	100
5.2 Αποτελέσματα Βήματος 2.....	102
5.3 Αποτελέσματα Βήματος 3.....	104
5.3.1 Συνολικός Αναγκαίος Όγκος.....	105
5.3.2 Συνολικός Νεκρός Όγκος	105
5.3.3 Ποσοστό Αξιοποίησης Όγκου	106
5.3.4 Μέσος Όγκος ανά Προϊόν.....	106
5.3.5 Σύγκριση Αρχικού και Βελτιστοποιημένου Συστήματος.....	108

5.4 Αποτελέσματα Βήματος 4.....	109
5.5 Αποτελέσματα Βήματος 5.....	113
5.6 Αποτελέσματα Βήματος 6.....	116
5.7 Αποτελέσματα Βήματος 7.....	118
5.8 Μέτρηση Εργονομίας.....	121
5.9 Μέτρηση Επάρκειας	123
6. Συμπεράσματα	124
7. Βιβλιογραφία	128
Παράρτημα Αλγορίθμων	132

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1 - Κύριος Προσανατολισμός Τοποθέτησης.....	101
Γράφημα 2 - Ύπαρξη Δευτερεύοντος Προσανατολισμού Τοποθέτησης.....	101
Γράφημα 3 - Είδος Δευτερεύοντος Προσανατολισμού.....	102
Γράφημα 4 - Μεταβολή Συνολικού Αναγκαίου Όγκου ανά Προτεινόμενο Ζεύγος.....	105
Γράφημα 5 - Καμπύλη Μεταβολής του Νεκρού Όγκου.....	105
Γράφημα 6 - Καμπύλη Μεταβολής Ποσοστού Αξιοποίησης.....	106
Γράφημα 7 - Καμπύλη Μεταβολής του Πλήθους των Ειδών που χωράνε στα Μεγέθη των Θέσεων.....	107
Γράφημα 8 - Καμπύλη Μεταβολής του Μέσου Αναγκαίου Όγκου ανά Προϊόν.....	107
Γράφημα 9 - Σύγκριση Νεκρού Όγκου.....	108
Γράφημα 10 - Σύγκριση Αναγκαίου Όγκου.....	108
Γράφημα 11 - Σύγκριση Ποσοστού Αξιοποίησης.....	109
Γράφημα 12 - Ποσοστό Ειδών ανά Τάξη.....	110
Γράφημα 13 - Ποσοστό Κινήσεων ανά Τάξη.....	110
Γράφημα 14 - Μεγέθη Στατικών Θέσεων Βελτιστοποιημένου Συστήματος.....	111
Γράφημα 15 - Μεγέθη Στατικών Θέσεων Αρχικού Συστήματος.....	111
Γράφημα 16 - Κινήσεις Διαδρόμων Ισογείου (15-34) στο Αρχικό Σύστημα.....	113
Γράφημα 17 - Κινήσεις Διαδρόμων Ημιώροφου (45-64) στο Αρχικό Σύστημα.....	113
Γράφημα 18 - Κατανομή Φόρτου σε Επίπεδο Ορόφων (Αρχικό Σύστημα).....	114
Γράφημα 19 - Κινήσεις Διαδρόμων Ισογείου (15-34) στο Βελτιστοποιημένο Σύστημα.....	114
Γράφημα 20 - Κινήσεις Διαδρόμων Ημιώροφου (45-64) στο Βελτιστοποιημένο Σύστημα.....	115
Γράφημα 21 - Κατανομή Φόρτου σε Επίπεδο Ορόφων (Βελτιστοποιημένο Σύστημα).....	115
Γράφημα 22 - Ποσοστό Ειδών που Αλλάζουν Διάδρομο.....	116
Γράφημα 23 - Ποσοστό Ειδών που Αλλάζουν Όροφο.....	116
Γράφημα 24 - Ποσοστό Δυναμικών Θέσεων.....	117
Γράφημα 25 - Ποσοστό Προϊόντων ανά Τάξη σε Δυναμικούς Διαδρόμους.....	117
Γράφημα 26 - Κατανομή Φόρτου Δυναμικών Διαδρόμων (Αρχικό Σύστημα).....	119
Γράφημα 27 - Κατανομή Φόρτου Δυναμικών Διαδρόμων (Βελτιστοποιημένο Σύστημα).....	119
Γράφημα 28 - Κατανομή Διαδρόμου 66 (Βελτιστοποιημένο Σύστημα).....	120
Γράφημα 29 - Κατανομή Διαδρόμου 12 (Βελτιστοποιημένο Σύστημα).....	120
Γράφημα 30 - Κατανομή Διαδρόμου 12 (Αρχικό Σύστημα).....	120
Γράφημα 31 - Κατανομή Διαδρόμου 66 (Αρχικό Σύστημα).....	120
Γράφημα 32 - Δυναμικά Είδη που Αλλάζουν Όροφο.....	120
Γράφημα 33 - Είδη που Αλλάζουν Αποθηκευτικό Τομέα.....	121
Γράφημα 34 - Επάρκεια Ειδών.....	123

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1- Σύστημα Put-to-Light (Boysen et al., 2020)	20
Εικόνα 2-Συστήματα Συλλογής Παραγγελιών (Dallari et al, 2009).....	21
Εικόνα 3 - Χρονική Επίδραση των Επιμέρους Δραστηριότητες Συλλογής Παραγγελιών (Tompkins et al, 2003)	21
Εικόνα 4- Βαρύτητα Ερευνητικού Ενδιαφέροντος (Kudelska and Pawlowski, 2019).....	25
Εικόνα 5 - Κρίσιμο Πλήθος Τάξεων (Yu et al., 2015)	28
Εικόνα 6- Είδη Διάταξης ABC (Burinskiene, 2010).....	29
Εικόνα 7- Αλληλεπίδραση Ανθρώπου και Συστήματος.....	32
Εικόνα 8 - Αντικρουόμενοι Στόχοι	32
Εικόνα 9 - Κάτοψη Ισογείου Αποθήκης	36
Εικόνα 10 - Αποθηκευτικοί Τομείς	36
Εικόνα 11 - Δεξιά Στήλη Στατικών Διαδρόμων	39
Εικόνα 12 - Αριστερή Στήλη Στατικών Διαδρόμων	39
Εικόνα 13 - Είδη και Μεγέθη Θέσεων Τομέα Α	40
Εικόνα 14 - Πλάγια Όψη Δυναμικών Ραφιών.....	40
Εικόνα 15 - Κάτοψη Τομέα Α	41
Εικόνα 16 - Παράγοντες που Συμβάλλουν στην Διαδικασία	52
Εικόνα 17 - Εταιρικά Δεδομένα	54
Εικόνα 18 - Ανάλυση ABC (Heizer et al., 2017).....	57
Εικόνα 19 - Έξι Προσανατολισμοί Τοποθέτησης	59
Εικόνα 20 - Αριθμός Συσκευασιών κατά το Βάθος.....	60
Εικόνα 21 - Συσκευασίες κατά Βάθος και Ύψος	60
Εικόνα 22 - Υπόχωρος κατά Βάθος (α) και καθ' Ύψος (β).....	61
Εικόνα 23 - Διπλασιασμός Όγκου Υπόχωρων (α) και (β).....	62
Εικόνα 24 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 1	63
Εικόνα 25 - Βήμα 2 Στρατηγικής Τοποθέτησης	65
Εικόνα 26 - Βήμα 3 Στρατηγικής Τοποθέτησης	65
Εικόνα 27 - Βήμα 4 Στρατηγικής Τοποθέτησης	65
Εικόνα 28 - Βήμα 6 Στρατηγικής Τοποθέτησης	66
Εικόνα 29- Γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας (Plakas et al., 2020)	66
Εικόνα 30 - Θέσεις χωρίς Ενδιάμεση Χάρη (α) και Θέσεις με Χάρη (β)	69
Εικόνα 31 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 2	71
Εικόνα 32 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 3	75
Εικόνα 33- (de Koster et al, 2007).....	78
Εικόνα 34 - Πλάγια Όψη Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου με Κατακόρυφη Ταξινόμηση Θέσεων ABC.....	79
Εικόνα 35 - Τρόποι Προσπέλασης Θέσεων	85
Εικόνα 36 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 4.....	86
Εικόνα 37 - Πρόσοψη Αριστερής Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου	87
Εικόνα 38 - Πρόσοψη Δεξιάς Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου	87
Εικόνα 39 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 5	91
Εικόνα 40 - Κάτοψη και Αρίθμηση ενός Δυναμικού Διαδρόμου	92
Εικόνα 41 - Πρόσοψη Αριστερής Στήλης Δυναμικού Διαδρόμου (Πλευρά Ανεφοδιασμού).....	96
Εικόνα 42 - Βελτιωμένη Αρίθμηση Φατνωμάτων Δυναμικού Διαδρόμου.....	96

Εικόνα 43- Βήματα Διαδικασίας Βελτιστοποίησης	100
Εικόνα 44 - Τομή Διαδρόμου εξ Αριστερών (Δεξιά Στήλη Ραφιών)	112
Εικόνα 45 - Τομή Διαδρόμου εκ Δεξιών (Αριστερή Στήλη Ραφιών)	112
Εικόνα 46 - Πρόσοψη Αριστερής στήλης Δυναμικών Διαδρόμων	118

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 - Συγκεντρωτικά Στοιχεία Πολιτικών Αποθήκευσης.....	30
Πίνακας 2 - Μοντελοποίηση Προσανατολισμών Τοποθέτησης.....	59
Πίνακας 3 -Περιορισμοί Φατνώματος και Ραφιού για κάθε Τύπο Θέσης	82
Πίνακας 4 Περιορισμοί Ραφιού ανά Τάξη Κινητικότητας	82
Πίνακας 5 - Περιορισμοί Φατνώματος ανά Τάξη Κινητικότητας	82
Πίνακας 6 - Περιορισμοί Ραφιού ανά Μέγεθος Θέσης.....	82
Πίνακας 7 - Τύποι Θέσεων ανά Στήλη Διαδρόμου	83
Πίνακας 8 - Βαθμοί Δυσκολίας Φατνώματος	88
Πίνακας 9 - Βαθμοί Δυσκολίας Ραφιού	88
Πίνακας 10 - Βαρύτητα Τάξης Κινητικότητας	88
Πίνακας 11 - Τύπος Θέσεων ανά Δυναμικό Διάδρομο	94
Πίνακας 12 - Περιορισμοί Δυναμικών Ραφιών ανά Τάξη Κινητικότητας.....	95
Πίνακας 13 - Περιορισμοί Δυναμικού Ραφιού ανά Μέγεθος Θέσης	95
Πίνακας 14 - Ανώτατο και Κατώτατο Όριο Δυναμικού Ραφιού	95
Πίνακας 15 - Τύποι Θέσεων ανά Στήλη Δυναμικών Διαδρόμων.....	95
Πίνακας 16 - Προτεινόμενα Μήκη S και Κριτήρια Επιλογής	102
Πίνακας 17 - Προτεινόμενα Μήκη και Πλήθος Θέσεων ανά Ράφι	103
Πίνακας 18 - Προτεινόμενα Ζεύγη Βήματος 3.....	104
Πίνακας 19 - Αριθμός Θέσεων ανά Διάδρομο.....	111
Πίνακας 20 - Ποσοστό Δυναμικών Θέσεων ανά Τάξη.....	117
Πίνακας 21 - Σύγκριση Βαθμού Δυσκολίας και Εργονομίας Συστήματος Πριν και Μετά	122

1. Εισαγωγή

1.1 Θέμα Εργασίας

Σε μία εποχή όπου οι σύγχρονες επιχειρήσεις καλούνται να ανταπεξέλθουν στον υπέρμετρο και παγκόσμιο πλέον ανταγωνισμό, η επιστήμη των Logistics αποτελεί το κατ' εξοχήν μέσο της επίτευξης ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στην ικανοποίηση των πελατών και στην αύξηση της αξίας των προϊόντων. Συγκεκριμένα, μία από τις δέκα στρατηγικές και πιο σημαντικές αποφάσεις που καλείται να λάβει μία εταιρεία για την εύρυθμη λειτουργία της, σχετίζεται με τη Διοίκηση του Αποθέματος (Inventory Management). Αυτό έχει ωθήσει την πλειονότητα των οργανισμών στο να επενδύουν μεγάλο κεφάλαιο για την έρευνα και την ανάπτυξη μεθόδων βελτίωσης των συστημάτων Αποθήκευσης και Διανομής, καθώς με αυτόν τον τρόπο διατηρούν την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα τους, εντός του ταχύτατα μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος στο οποίο δραστηριοποιούνται, με τις συνεχώς αναδυόμενες απαιτήσεις του.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία εκτεταμένη και ενδελεχής μελέτη στον τομέα της Αποθήκευσης και Συλλογής προϊόντων, σε μία από τις μεγαλύτερες Ελληνικές Εταιρείες Τεχνολογίας με πολυεθνική δράση, με κύριο στόχο της αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας του συστήματος λειτουργίας, καθώς και την άνοδο της εργονομίας της ανθρώπινης εργασίας.

Αναλυτικότερα, σε πρώτο στάδιο η μελέτη περιλαμβάνει τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας των θέσεων συλλογής, μέσω της εύρεσης των βέλτιστων μεγεθών θέσεων που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των προϊόντων που η εταιρεία διαχειρίζεται. Απώτερος στόχος αυτού είναι η αύξηση της αξιοποίησης του χώρου, με σκοπό τη μείωση της ανάγκης συχνού ανεφοδιασμού των θέσεων και τη δυνατότητα μελλοντικής διεύρυνσης του κωδικολογίου.

Σε δεύτερο στάδιο, εξετάζεται η μείωση του χρόνου συλλογής των αγαθών μέσω της κατάλληλης επιλογής θέσης κάθε προϊόντος, βάση των εξατομικευμένων χαρακτηριστικών του, όπως το μέγεθος, η κινητικότητα, η ζήτηση και το βάρος. Εκτός αυτού, δόθηκε εξέχουσα σημασία και βαρύτητα στην βελτίωση των συνθηκών εργασίας του έμψυχου δυναμικού, το οποίο αποτελεί τον ζωτικό πυρήνα των αποθηκών που βασίζονται σε χειρωνακτικές λειτουργίες, και οι οποίες αποτελούν την συντριπτική πλειονότητα. Πιο συγκεκριμένα, όλες οι επιλογές έγιναν με κύριο γνώμονα την αύξηση της εργονομίας και τη μείωση της κόπωσης, σωματικής και πνευματικής, που υφίστανται οι εργαζόμενοι, και παρόλο που αποτελεί ένα πρόβλημα που πλήττει ιδιαίτερα την ανθρώπινη υγεία, συνεχίζει να απαλείφεται διαρκώς από τις εξισώσεις των υπαρχουσών μελετών βελτιστοποίησης, οι οποίες εστιάζουν μονομερώς σε τεχνοκρατικά κριτήρια χρόνου.

Όλη η διαδικασία της βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκε μέσω της δημιουργίας αλγορίθμων στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB, με την επικουρική χρήση του MS Excel για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Με την παρούσα έρευνα εισάγονται δύο ιδιαίτερα καινοτόμες προτάσεις, οι οποίες κατόπιν βιβλιογραφικής έρευνας διαπιστώθηκε πως εκλείπουν. Η πρώτη αποτελεί την εισαγωγή εργονομικών περιορισμών που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα στον σχεδιασμό του συστήματος αποφάσεων του αλγορίθμου, καθώς και ένα εμπειρικό σύστημα μέτρησης της αύξησης της εργονομίας, μέσω της μείωσης του βαθμού δυσκολίας της χειρωνακτικής διαχείρισης των αγαθών. Το δεύτερο σχετίζεται με την στρατηγική τοποθέτησης και ανεφοδιασμού των προϊόντων στις θέσεις συλλογής, που επιτυγχάνεται με την εύρεση του βέλτιστου προσανατολισμού των συσκευασιών που μεγιστοποιεί τη χωρητικότητα τους, και κατόπιν αυτού, με

τη χρήση επιβοηθητικών γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, οι αρμόδιοι εργαζόμενοι θα καθοδηγούνται βήμα προς βήμα, μέσω της απεικόνισης της μεθοδολογίας του τρόπου εναπόθεσης των προϊόντων στις θέσεις συλλογής.

Στο τελικό στάδιο της εργασίας, παρουσιάζονται μελλοντικές βελτιωτικές προτάσεις που μπορούν να ερευνηθούν, όπως είναι η συσχέτιση των αγαθών και η ανάλυση της πιθανότητας που έχουν συγκεκριμένοι κωδικοί να εμφανίζονται στην ίδια παραγγελία, με σκοπό την αποθήκευση τους σε κοντινές θέσεις. Ακόμα προτείνεται η δημιουργία ενός απόλυτου συστήματος μέτρησης της εργονομίας στο πλαίσιο της συγκεκριμένης επιχείρησης, που να μπορεί να προσδιορίσει μελλοντικά τα θετικά οφέλη που προήλθαν από τη βελτιστοποίηση του συστήματος, επαληθεύοντας έτσι τα αποτελέσματα του εμπειρικού τρόπου μέτρησης που προτάθηκε.

Καταληκτικά, πρόκειται για μία ανάλυση που έχει εφαρμοστεί ήδη σε μεγάλο μέρος της εντός του κέντρου αποθήκευσης και διανομής της συγκεκριμένης εταιρείας, με ιδιαίτερα θετικά και ενθαρρυντικά αποτελέσματα, και με μεγάλη ευελιξία προσαρμογής στις ανάγκες εναλλακτικών επιχειρήσεων.

1.2 Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από ένα σύνολο επτά κεφαλαίων και ενός παραρτήματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στη θεματολογία με την οποία σχετίζεται η μελέτη, καθώς και την δομή των επιμέρους κεφαλαίων που θα ακολουθήσουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνεται το θεωρητικό μέρος της εργασίας, που προέρχεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση η οποία εστίασε στην δραστηριότητα της συλλογής προϊόντων και στην συνεισφορά του ανθρώπινου παράγοντα σε αυτή, καθώς επίσης και στις πολιτικές αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά και σε παρόμοιες μελέτες που έχουν διεξαχθεί για τη βελτιστοποίησή τους.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί την περιγραφή της δομής του κέντρου διανομής, βάση του οποίου σχεδιάζεται το σύστημα βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, χωρίς να γίνει καμία αναφορά στην επωνυμία της εταιρείας, περιγράφεται η διάταξη του αποθηκευτικού τομέα που θα μας απασχολήσει, τα υπάρχοντα τεχνολογικά συστήματα, το σύστημα συλλογής και οι πολιτικές αποθήκευσης, καθώς επίσης τα προβλήματα και οι δυσλειτουργίες που δημιουργούνται κατά την αλληλεπίδραση των ανθρώπων με τον χώρο εργασίας τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι αντικειμενικοί στόχοι της βελτιστοποίησης, και κατόπιν αναλύονται βήμα προς βήμα τα επιμέρους στάδια του αλγόριθμου, των οποίων η λογική απεικονίζεται και σε διαγράμματα ροής. Ακόμα, επεξηγείται κάθε απόφαση που πάρθηκε κατά την δόμηση του κώδικα, και κάθε περιορισμός που τέθηκε ως παράμετρος για την παραγωγή του βέλτιστου συστήματος αποθήκευσης της δεδομένης επιχείρησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης, και έτσι συγκρίνεται το αρχικό με το βέλτιστο σύστημα αποθήκευσης που προέκυψε από όλη την διαδικασία.

Στο έκτο κεφάλαιο αφού συνοψίζονται κάποια γενικά συμπεράσματα, στη συνέχεια προτείνονται μελλοντικά πεδία έρευνας που θα μπορούσαν να εξελίξουν ακόμα περισσότερο το νέο σύστημα, και

να επαληθεύσουν κάποια αποτελέσματα που προέκυψαν από εμπειρικές μεθόδους, όπως η μέτρηση της εργονομίας.

Στο κεφάλαιο επτά παρατίθενται όλες οι επιστημονικές πηγές και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, στο παράρτημα, περιλαμβάνονται όλοι οι κώδικες που συντέθηκαν για την διεξαγωγή της βελτιστοποίησης, στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Για την διεξαγωγή της εν λόγω βελτιστοποίησης κρίθηκε μείζονος σημασίας να ερευνηθούν σε βάθος θεμελιώδεις έννοιες και δραστηριότητες, οι οποίες σχετίζονται με τις λειτουργίες που καλούμαστε να βελτιώσουμε σε μετέπειτα στάδιο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται βαθιά κατανόηση των μεθόδων και στρατηγικών που διέπουν τον τομέα των Logistics στα σύγχρονα αποθηκευτικά κέντρα, καθώς επίσης δίνεται η ευκαιρία για περαιτέρω ενημέρωση ως προς εφάμιλλες μελέτες και ευρήματα που έχουν επιτευχθεί.

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν καθοριστική η διερεύνηση των μεθόδων συλλογής (Order Picking Strategies) που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση των αποθηκευμένων αγαθών, με ιδιαίτερη έμφαση στην χειρωνακτική συλλογή, καθότι θα μας απασχολήσει εν συνεχεία, και πως εκείνη μπορεί να γίνει πιο αποδοτική. Ακόμα, η εργονομία της εργασίας σε επίπεδο συλλογής προϊόντων θα μελετηθεί ενδελεχώς, και θα αναδειχθεί η αξία του ανθρώπινου παράγοντα ως μέσω βελτιστοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας. Τέλος, άμεσα εξαρτώμενο πεδίο ενδιαφέροντος είναι οι επιμέρους πολιτικές αποθήκευσης (Storage Policies) καθώς και το πρόβλημα της ανάθεσης των αγαθών στις κατάλληλες θέσεις βάση των χαρακτηριστικών τους (Storage Location Assignment Problem – SLAP), το οποίο αποτελεί έναν από τους κύριους τομείς της μελέτης.

2.1 Συλλογή Παραγγελιών

Συλλογή παραγγελιών ορίζεται ως η ανάκτηση συγκεκριμένου είδους και ποσότητας προϊόντων εντός ενός αποθηκευτικού χώρου, με σκοπό την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών και απαιτήσεων του πελάτη (Goetschalckx and Ashayeri, 1989). Ειδικότερα, πρόκειται για τη σημαντικότερη λειτουργία εντός των αποθηκών, η οποία παρουσιάζει τα υψηλότερα επίπεδα χειρωνακτικής δραστηριότητας. Συγχρόνως, είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, καθώς έχει υπολογιστεί πως πάνω από το 55% του συνολικού λειτουργικού κόστους μίας αποθήκης, αποδίδεται στην διαδικασία συλλογής (Tomprkins et al, 2010).

Σε μία εποχή με πρωτοφανή αύξηση νέων τάσεων στην αγορά, όπως είναι το ηλεκτρονικό εμπόριο (Wruck et al., 2017), η παγκοσμιοποίηση, η λογική της just-in-time παραγωγικής διαδικασίας, οι οικονομίες κλίμακας (economies of scale) για την μείωση του κόστους και άλλα, η σπουδαιότητα της ταχείας συλλογής μεγάλου όγκου προϊόντων απασχολεί ιδιαίτερα τους οργανισμούς, οι οποίοι προσπαθούν να σταθούν στο ύψος των αναδυόμενων απαιτήσεων (Marchet et al., 2015). Ταυτόχρονα, η ικανοποίηση των πελατών, που αποτελεί αντικειμενικό στόχο των σύγχρονων επιχειρήσεων, συνδέεται άμεσα με την αποδοτικότητα των διαδικασιών συλλογής, καθώς κάποια πιθανή καθυστέρηση στη συγκέντρωση των απαραίτητων για μία παραγγελία αγαθών, ενδέχεται να οδηγήσει σε αργοπορημένη αποστολή της παραγγελίας και κατόπιν σε κλονισμό της αξιοπιστίας και εικόνας της εταιρείας στην αγορά, καθώς θα εγείρει την δυσαρέσκεια των πελατών (Walters, 2009). Ως εκ τούτου, δίνεται μεγάλη βαρύτητα στον αποδοτικό και αποτελεσματικό σχεδιασμό των μεθόδων συλλογής προϊόντων.

2.1.1 Συστήματα Συλλογής Παραγγελιών

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα κυριότερα συστήματα συλλογής προϊόντων σύμφωνα με την επιστημονική βιβλιογραφία. Εδώ πρέπει να επισημανθεί πως ο τρόπος με τον οποίο αυτά ταξινομούνται διαφέρει από έρευνα σε έρευνα, και για αυτόν το λόγο στην παρούσα ανασκόπηση δεν προτιμάται κάποια υπάρχουσα ταξινόμηση, αλλά περιλαμβάνονται στοιχεία από πλήθος μελετών.

Picker-to-Parts

Πρόκειται για την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία συλλογής, κατά την οποία ο συλλέκτης κινούμενος μεταξύ των επιμέρους διαδρόμων της αποθήκης, μεταβαίνει στην αντίστοιχη θέση όπου είναι τοποθετημένο το υποδεικνυόμενο προϊόν, και λαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα είτε χειροκίνητα, είτε με την χρήση βοηθητικών μέσων (De Koster, 2004). Πιο συγκεκριμένα, από τον παραπάνω τρόπο απορρέουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις, η συλλογή από χαμηλό (low-level order picking) και υψηλό επίπεδο (high-level order picking) (Caron et al., 2000).

Η πρώτη κατηγορία αφορά την ανάκτηση αγαθών από ράφια που βρίσκονται στο ύψος του γεμιστή, ή και από καλάθια εναπόθεσης προϊόντων (bin shelving storage). Στην δεύτερη κατηγορία, ο εργαζόμενος εισέρχεται πάνω ή μέσα σε μηχανικά μέσα για τη μετάβαση του στη θέση μεγάλου ύψους, τα οποία χειρίζεται ο ίδιος, όπως ανυψωτικά μηχανήματα συλλογής (lifting order-pick truck) ή γεραμούς (crane). Μετά τη μεταφορά του συλλέκτη στο κατάλληλο επίπεδο της θέσης, το μηχάνημα σταματάει αυτόματα και αναμένει την διεκπεραίωση της συλλογής, η οποία γίνεται χειροκίνητα από τον εργαζόμενο και όχι από κάποιον άλλον αυτοματισμό (Gu et al., 2005). Η συγκεκριμένη υποκατηγορία του συστήματος picker-to-parts καλείται και μέθοδος man-aboard.

Επιπλέον, η συγκεκριμένη κατηγορία μπορεί να βελτιωθεί με την χρήση αλγορίθμων διαδρομής (routing) εντός του αποθηκευτικού χώρου, την κατάλληλη τοποθέτηση των προϊόντων στις θέσεις συλλογής (allocation policies), καθώς και την αντικατάσταση των έντυπων λιστών συλλογής από σκάνερς ή οπτικοακουστικές συσκευές (Caron et al., 2000).

Parts-to-Picker

Η παραπάνω μέθοδος περιλαμβάνει την χρήση αυτοματισμών αποθήκευσης και ανάκτησης προϊόντων (AS/RS), κατά την οποία γερανοί που βρίσκονται καθ' ύψος των διαδρόμων (aisle-bound cranes, miniloads) και στροβιλοδρόμια (carousels), συλλέγουν μία ή και περισσότερες αποθηκευτικές μονάδες ή παλέτες σύμφωνα με τις εντολές των παραγγελιών, και τα μεταφέρουν στο σημείο εναπόθεσης (depot) (Manzini et al., 2005). Σε αυτό το σημείο, ο συλλέκτης χειροκίνητα παραλαμβάνει τις απαραίτητες ποσότητες των προϊόντων που χρειάζεται, ενώ οι υπολειπόμενες επιστρέφουν στην αρχική τους θέση. Καθότι η κατηγορία parts-to-pickers παρουσιάζει υψηλά επίπεδα αυτοματισμού, κεντρίζει πολύ περισσότερο το ερευνητικό ενδιαφέρον (De Koster et al., 2007).

Παρότι η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων, σε επίπεδο απαιτούμενου εργατικού δυναμικού και διαθέσιμου χώρου, εμπεριέχει τον κίνδυνο της δημιουργίας συμφόρησης μη διεκπεραιωμένων εντολών συλλογής (bottleneck) λόγω της σταθερής χωρητικότητας και δυναμικής των αυτοματοποιημένων συστημάτων, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε καθυστερήσεις στην συγκέντρωση των παραγγελιών, σε μείωση της αξιοποίησης του ανθρώπινου παράγοντα και εν τέλει σε πτώση της παραγωγικότητας (Dallari et al., 2009). Επομένως, η χρήση τέτοιων συστημάτων είναι προτιμότερη σε περιπτώσεις διαχείρισης μεγάλων ποσοτήτων αγαθών, με χαμηλό επίπεδο ροής, άρα και κινητικότητας.

Pick-to-Box

Το σύστημα pick-to-box αποτελεί μία μέθοδο συλλογής κατά την οποία ο αποθηκευτικός τομέας είναι χωρισμένος σε επιμέρους ζώνες, ή αλλιώς σταθμούς, στους οποίους απασχολείται συγκεκριμένος αριθμός συλλεκτών, διαφορετικοί για τον κάθε έναν (zone picking) (Petersen, 2000). Όλες οι ζώνες συνδέονται μεταξύ τους με ραουλόδρομους ή ιμάντες μεταφοράς, που διευκολύνουν την μετακίνηση των κουτιών εναπόθεσης, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα συλλεγμένα προϊόντα. Η διαδικασία συλλογής των αγαθών με χρήση διακριτών σταθμών ανάγεται σε δύο τρόπους, στην

προοδευτική (progressive zoning) και την ταυτόχρονη συλλογή (synchronized zoning) (De Koster et al, 2007).

Κατά την προοδευτική συλλογή, που αλλιώς ονομάζεται και pick-and-pass, το κουτί εναπόθεσης, το οποίο αντιστοιχεί σε μεμονωμένη παραγγελία (Strict-order Policy), ξεκινάει να κινείται από την πρώτη ζώνη, όπου γίνεται η ανάκτηση των προϊόντων που βρίσκονται στον συγκεκριμένο σταθμό, και κατόπιν μετακινείται στην επόμενη κατά σειρά ζώνη, μέχρι να ολοκληρωθεί η συλλογή των συνολικών αγαθών (Le-Duc and De Koster, 2005). Η ταυτόχρονη μέθοδος συλλογής μοιράζεται κοινές αρχές με την προοδευτική, αλλά στη δεδομένη περίπτωση όλοι οι συλλέκτες ανακτούν προϊόντα συγχρόνως για την ίδια παραγγελία, ο κάθε ένας από τη ζώνη του, χωρίς να περιμένουν να τελειώσει πρώτα η συλλογή από τη μία ζώνη για να περάσει στην επόμενη (De Koster et al, 2007). Επομένως, με το σύστημα pick-to-box, αποφεύγεται η ανάγκη τελικής ταξινόμησης των προϊόντων στις επιμέρους παραγγελίες πελατών, καθώς είναι ήδη ομαδοποιημένα, και μειώνεται δραστικά η συνολική διαδρομή και ο χρόνος για την συλλογή των αγαθών, υπό τον όρο του ισορροπημένου διαμοιρασμού του φόρτου εργασίας στις αντίστοιχες ζώνες (Goetschalckx and Ashayeri, 1989). Η παραπάνω μέθοδος είναι προτιμότερη για την διαχείριση μεγάλου πλήθους αγαθών, με μικρό μέγεθος και μεσαία επίπεδα κινητικότητας.

Pick-and-Sort

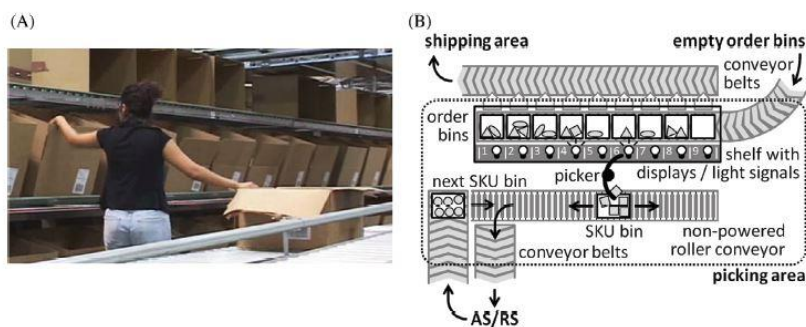
Σε αυτή την περίπτωση η συλλογή των προϊόντων εκτυλίσσεται για ομαδοποιημένες παραγγελίες πελατών (batch picking/picking by article), και περιλαμβάνει τη συλλογή ενός μόνο προϊόντος κάθε φορά. Κατά την ανάκτηση του αγαθού αυτού, ο συλλέκτης λαμβάνει από τη θέση την ποσότητα που αντιστοιχεί σε μεγάλο πλήθος παραγγελιών, και στη συνέχεια τις εναποθέτει εντός του κουτιού συλλογής. Το τελευταίο μέσω ιμάντα μεταφοράς, ο οποίος ρυθμίζεται από κλειστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου που καθορίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε κουτί, μεταβαίνει στο ορισμένο από το σύστημα σημείο όπου εκεί θα πραγματοποιηθεί ο διαμοιρασμός των ποσοτήτων, που συλλέχθηκαν, στις επιμέρους παραγγελίες (Dallari et al, 2009). Το σύστημα pick-and-sort δουλεύει σε συνδυασμό με τη μέθοδο picking wave, κατά την οποία συλλέγονται και ταξινομούνται οι κωδικό ομαδοποιημένων παραγγελιών οι οποίες έχουν έναν κοινό περιορισμό, όπως αναχώρηση εντός ενός αυστηρά καθορισμένου χρόνου, ενώ το επόμενο picking wave ξεκινά εφόσον έχουν ταξινομηθεί τα συλλεγμένα προϊόντα του προηγούμενου (Marchet et al, 2015). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως μειώνεται σημαντικά ο αριθμός των επισκέψεων στις θέσεις συλλογής, αφού γίνεται μαζικά. Στον αντίποδα, η ταξινόμηση στο τέλος της διαδικασίας συνιστά μία χρονοβόρα διαδικασία που εμπεριέχει τον κίνδυνο λαθών. Το σύστημα pick-and-sort προτείνεται για περιπτώσεις επικάλυψης εντολών συλλογής, μεγάλη ροή υλικών αλλά και απουσία εύθραυστων τεμαχίων.

Sort-While-Pick

Εναλλαγή του παραπάνω συστήματος αποτελεί το sort-while-pick, κατά το οποίο ο εργαζόμενος ενώ συλλέγει την ποσότητα για πολλές παραγγελίες, με το που φτάσει στο σημείο εναπόθεσης, τις μοιράζει σε μικρότερες συσκευασίες, που βρίσκονται εντός του κουτιού εναπόθεσης, οι οποίες αντιστοιχούν σε μεμονωμένες παραγγελίες (De Koster et al, 2007). Η συγκεκριμένη μέθοδος ενδείκνυται για παραγγελίες με μικρό πλήθος προϊόντων, οι οποίες μοιάζουν μεταξύ τους, και μειώνει δραματικά τον χρόνο συλλογής, αποφεύγοντας και την διαδικασία ταξινόμησης που θα ακολουθούσε υπό άλλες συνθήκες. Παρόλα αυτά, καθώς τα παραπάνω κριτήρια ομαδοποίησης περιπλέκουν αρκετά την διαδικασία, η μέθοδος δεν χρησιμοποιείται με μεγάλη συχνότητα (Ruben and Jacobs, 1999).

Put-to-Light

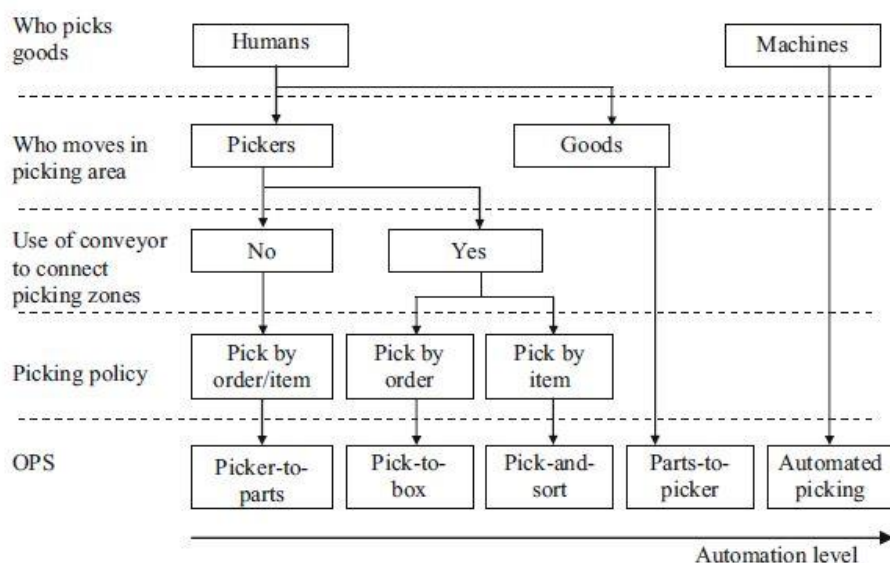
Μια ακόμα ενδιαφέρουσα περίπτωση του συστήματος pick-and-sort είναι η μέθοδος put-to-light. Σύμφωνα με αυτή, ο συλλέκτης κινείται μεταξύ ενός ιμάντα μεταφοράς και μίας στήλης ραφιών, στα οποία όμως αυτή τη φορά δεν είναι αποθηκευμένα τα προϊόντα αλλά είναι τοποθετημένα τα κουτιά συλλογής, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία μεμονωμένη παραγγελία (Boysen et al., 2020). Μέσω του ιμάντα μεταφοράς, περνάνε μπροστά από τον συλλέκτη κουτιά τα οποία φέρουν μεγάλη ποσότητα από ένα συγκεκριμένο κωδικό το κάθε ένα, καταφτάνοντας από τον αποθηκευτικό χώρο είτε μέσω αυτόματου συστήματος αποθήκευσης και ανάκτησης (ASRS), είτε μέσω συστήματος batch picking, χειρωνακτικά από κάποιον άλλον συλλέκτη (Boysen et al., 2019). Κάθε κουτί SKU περνάει από το κινούμενο τμήμα του ιμάντα στο μη κινούμενο ώστε να σταματήσει μπροστά στον συλλέκτη. Τότε πάνω από τα πακέτα της κάθε παραγγελίας εμφανίζονται φωτεινές ενδείξεις όπου πληροφορούν τον εργαζόμενο πόση ποσότητα και σε ποια παραγγελία πρέπει να εναποθέσει τεμάχια από τον συγκεκριμένο κωδικό που έχει μπροστά του. Αφού τελειώσει η ταξινόμηση, το κουτί επιστρέφει στον χώρο αποθήκευσης, και νέα συσκευασία με διαφορετικό αγαθό το διαδέχεται. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου να ολοκληρωθούν όλες οι εντολές του τρέχοντος κύματος (picking wave), και να ξεκινήσει το αμέσως επόμενο (De Koster et al., 2007). Η τεχνική put-to-light εφαρμόζεται με επιτυχία σε περιπτώσεις μικρών και ελαφριών αγαθών, υπό τον όρο ότι οι ομαδοποιημένες παραγγελίες του κύματος έχουν ίδιες απαιτήσεις σε είδος κωδικών (Füßler and Boysen, 2017).



Εικόνα 1- Σύστημα Put-to-Light (Boysen et al., 2020)

Αυτοματοποιημένο Σύστημα Συλλογής

Η πλήρως αυτοματοποιημένη μέθοδος συλλογής εμπεριέχει τη χρήση ρομποτικών συστημάτων τα οποία λαμβάνουν την απαιτούμενη ποσότητα υλικών από τις θέσεις αποθήκευσης, και την παραθέτουν στα κουτιά εναπόθεσης, τα οποία μέσω ιμάντων μεταφοράς και συστημάτων αυτόματου ελέγχου κινούνται εντός των επιμέρους τμημάτων της αποθήκης (Baker and Halim 2007). Ενδείκνυται για περιπτώσεις ευαίσθητων αγαθών, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη κινητικότητα. Παρόλα αυτά αποτελούν σπάνιες περιπτώσεις συλλογής εντός των σύγχρονων αποθηκευτικών κέντρων, τα οποία βασίζονται στην πλειονότητά τους σε χειρωνακτικές δραστηριότητες (De Koster et al, 2007), λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης και της μειωμένης ευελιξίας και προσαρμοστικότητας στην οποιαδήποτε μεταβολή της αποθηκευτικής διάταξης ή του είδους των προϊόντων (Marchet et al, 2015). Καθότι η συγκεκριμένη διπλωματική εξετάζει την συλλογή αγαθών από τη σκοπιά του ανθρώπινου παράγοντα, δεν θα επεκταθούμε περισσότερο στην χρήση αυτοματισμών.

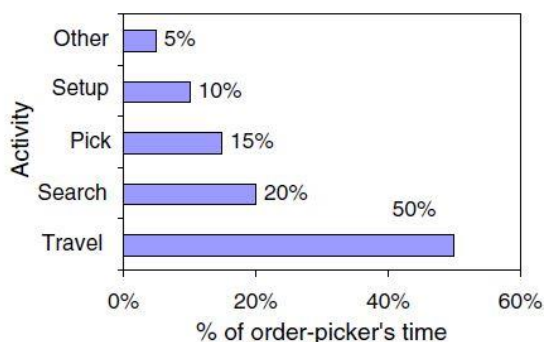


Εικόνα 2-Συστήματα Συλλογής Παραγγελιών (Dallari et al, 2009)

2.1.2 Αντικειμενικοί Στόχοι της Συλλογής Παραγγελιών

Χρόνος Συλλογής Παραγγελιών

Η αποδοτική συλλογή των παραγγελιών αποτελεί δείκτη παραγωγικότητας και ικανοποίησης των πελατών για μία επιχείρηση, ειδικά όταν τα Logistics υπάγονται στις πρωτεύουσες δραστηριότητες που στηρίζουν τον αντικειμενικό σκοπό της (Heizer et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μία ισχυρά αλληλένδετη σχέση μεταξύ του επιπέδου εξυπηρέτησης και της συλλογής των προϊόντων, καθώς όσο πιο γρήγορα ανακτώνται τα απαιτούμενα αγαθά, τόσο πιο σύντομα θα είναι διαθέσιμα για αποστολή στους πελάτες. Ακόμα, μικροί κύκλοι συλλογής επιδεικνύουν υψηλά επίπεδα ευελιξίας, ακόμα και στη διαχείριση απρόβλεπτων μεταβολών της ζήτησης (De Koster et al, 2007). Συνεπώς ο παράγοντας του χρόνου αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας και βελτίωσης. Όπως διαφαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ο συνολικός χρόνος συλλογής μπορεί να αναχθεί στην επίδραση τεσσάρων δραστηριοτήτων.



Εικόνα 3 - Χρονική Επίδραση των Επιμέρους Δραστηριοτήτες Συλλογής Παραγγελιών (Tompkins et al, 2003)

Αρχικά, το μεγαλύτερο ποσοστό του απαιτούμενου χρόνου αποδίδεται στην διαδρομή που εκτελεί ο συλλέκτης για να μεταβεί στην θέση του προϊόντος, το οποίο ανέρχεται στο 50%, ενώ ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης της θέσης και του κατάλληλου προϊόντος (20%), ο χρόνος ανάκτησης της ποσότητας (15%) αλλά και η προετοιμασία πριν τη συλλογή (10%), όπως η ανάγνωση της εντολής

από έντυπες λίστες, το σκάνερ ή άλλα βοηθητικά συστήματα. Καθότι λοιπόν η διάνυση της απόστασης έχει και το μεγαλύτερο ποσοστό βαρύτητας, η μείωση του χρόνου που αντιστοιχεί σε αυτή θεωρείται ως ο κατ' εξοχήν σημαντικότερος παράγοντας βελτίωσης της συλλογής προϊόντων (Petersen and Aase, 2004), και συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον, καθώς ο συγκεκριμένος χρόνος είναι μία σπατάλη, που αυξάνει τις απαιτούμενες εργατοώρες, χωρίς δεν προσδίδει καμία προστιθέμενη αξία στο τελικό προϊόν (Bartholdi and Hackman, 2005). Εφόσον ο χρόνος διάνυσης μίας διαδρομής είναι συνάρτηση της απόστασης που καλύπτεται (όσο μεγαλύτερη είναι εκείνη, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται), για την βελτιστοποίηση της παραπάνω παραμέτρου, βιβλιογραφικά η απόσταση χρησιμοποιείται με δύο μορφές, τη μέση απόσταση ανά διαδρομή συλλογής, και τη συνολική απόσταση αθροιστικά για όλες τις διαδρομές. Όπως είναι εμφανές, μειώνοντας την πρώτη, ελαχιστοποιείται αυτομάτως και η δεύτερη.

Σύμφωνα με τους Tompkins et al. (2010), παρόλο που ο χρόνος εύρεσης και ανάκτησης των προϊόντων ανέρχεται στο 35% του συνολικού χρόνου συλλογής, η πλειονότητα των ερευνών δεν συνυπολογίζει αυτό το ποσοστό στον σχεδιασμό των συστημάτων.

Εναλλακτικοί Παράμετροι Βελτιστοποίησης

Εκτός όμως από την παράμετρο του χρόνου, εξίσου σημαντικοί αντικειμενικοί στόχοι αποτελούν τα ακόλουθα, όπως παρουσιάστηκαν από τους De Koster et al. (2007):

- Ελαχιστοποίηση του κόστους, το οποίο συνεπάγεται με τη μείωση του χρόνου συλλογής, που αποφέρει μείωση των απαιτούμενων εργατοωρών, άρα και του κόστους για το ανθρώπινο δυναμικό. Εκτός αυτού, η μείωση του κόστους συνδέεται με λειτουργικές αποφάσεις ή τεχνολογικές επενδύσεις στον αποθηκευτικό τομέα.
- Ελαχιστοποίηση του χρονικού κύκλου παραγγελίας (order cycle time), δηλαδή του χρονικού διαστήματος από τη στιγμή που παραλαμβάνεται ένα υλικό από την αποθήκη, μέχρι την στιγμή που παραδίδεται στον πελάτη, άμεσα εξαρτώμενο του χρόνου συλλογής (Heizer et al, 2017)
- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης του χώρου, χωρίς τη δημιουργία υψηλού νεκρού όγκου
- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των διαθέσιμων μέσων και μηχανισμών
- Μεγιστοποίηση της αξιοποίησης του ανθρώπινου δυναμικού
- Μεγιστοποίηση της προσβασιμότητας των εργαζομένων σε όλα τα αποθηκευμένα σημεία

Σύμφωνα με τους van Gills et al. (2018), ενώ ο παραδοσιακός τρόπος βελτίωσης της διαδικασίας συλλογής επικεντρωνόταν στη μείωση του χρόνου διάνυσης της απόστασης, οι νέες εξελίξεις στην αγορά απαιτούν πολυπαραγοντικές αναλύσεις, που να λαμβάνουν υπόψιν προβλήματα που σχετίζονται με την ποιότητα των υπηρεσιών συλλογής και τη μείωση των λαθών, τον ισορροπημένο διαμοιρασμό του φόρτου εργασίας για αποφυγή της κυκλοφορικής συμφόρησης στους διαδρόμους (picker blocking) (Lee et al., 2020; Pan et al., 2012), καθώς και τα χρησιμοποιούμενα επίπεδα ανθρώπινου δυναμικού, παράγοντες που δεν λαμβάνουν την απαραίτητη προσοχή και είναι υποτιμημένοι, αλλά θα μπορούσαν να αποδώσουν ουσιαστική διαφορά.

2.1.3 Επιρροή Αποφάσεων στην Αποδοτικότητα της Συλλογής

Σε γενικές γραμμές, ο τρόπος της συλλογής επηρεάζεται ιδιαίτερα από τα χαρακτηριστικά του αποθηκευτικού τομέα, όπως το μέγεθος της αποθήκης και τη διάταξη των θέσεων, το είδος και το πλήθος των προϊόντων που διαχειρίζεται, το επίπεδο ροής υλικών και κινητικότητας (throughput), τα χρησιμοποιούμενα μέσα καθώς και το εργατικό δυναμικό (Jeroen, 1999). Οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες αποφάσεων, τις στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές αποφάσεις τις οποίες λαμβάνει κάθε επιχείρηση (Rouwenhorst et al., 2000).

Στρατηγικές Αποφάσεις

Πιο συγκεκριμένα, οι στρατηγικές αποφάσεις αποτελούνται από τον σχεδιασμό και την επιλογή των πολιτικών της χρήσης των διαθέσιμων πόρων, με σκοπό την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων της εταιρείας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η διάταξη του αποθηκευτικού χώρου, ο σχεδιασμός των θέσεων συλλογής, η επιλογή τοποθεσίας της αποθήκης, καθώς και η επένδυση σε τεχνολογικά μέσα και αυτοματισμούς (Davarzani and Norrman, 2015). Πρόκειται για αποφάσεις πολύ κρίσιμες και παγιωμένες, καθώς είναι ιδιαίτερα δύσκολο και δαπανηρό να διαφοροποιηθούν αφού έχουν εφαρμοστεί (Walters, 2009).

Τακτικές Αποφάσεις

Οι τακτικές αποφάσεις, σύμφωνα με τον Van den Berg (1999), αποτελούν μεσοπρόθεσμα επιχειρηματικά σχέδια, όπως ο διαχωρισμός των επιμέρους ζωνών συλλογής, η χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου, και άλλα, ενώ το χρονικό εύρος το οποίο αφορούν κυμαίνεται μεταξύ των 3 μηνών και τριών ετών, ανάλογα με την περίπτωση (Heizer et al., 2017).

Λειτουργικές Αποφάσεις

Οι λειτουργικές αποφάσεις καθορίζουν τις βραχυπρόθεσμες επιδιώξεις του οργανισμού, και αφορούν χρονικό διάστημα κάτω των τριών μηνών (Heizer et al., 2017). Σχετίζονται κατά βάση με καθημερινές δραστηριότητες που τελούνται εντός των κέντρων διανομής, όπως το συστήματα ομαδοποίησης των παραγγελιών (batching), ο προγραμματισμός παραγωγής, η αντιστοίχιση προϊόντων σε θέσεις συλλογής και η ανάθεση του εργατικού δυναμικού στα επιμέρους πόστα (Gu et al., 2007). Οι λειτουργικές αποφάσεις εξαρτώνται άμεσα από τους περιορισμούς που ανάγουν στο σύστημα οι στρατηγικές και οι τακτικές, κάτι το οποίο έχει άμεση επιρροή και στη διεξαγωγή της μετέπειτα μελέτης βελτιστοποίησης.

2.2 Ανθρώπινος Παράγοντας στη Συλλογή Προϊόντων

Το έμψυχο εργατικό δυναμικό αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες απόδοσης του συστήματος συλλογής των αγαθών. Ειδικότερα, η λειτουργία του 80% των αποθηκευτικών κέντρων της Ευρώπης βασίζεται αποκλειστικά σε χειρωνακτικές δραστηριότητες (Napolitano, 2012), ενώ μόλις το 5% λειτουργεί πλήρως αυτοματοποιημένα (Kudelska and Pawlowski, 2019). Επομένως, καμία προσπάθεια για βελτιστοποίηση της διαδικασίας συλλογής δεν μπορεί να είναι πλήρως πετυχημένη, χωρίς τη συνεισφορά του ανθρώπινου δυναμικού (Grosse et al, 2017).

2.2.1 Λόγοι Επικράτησης Ανθρώπινου Δυναμικού

Ένας από τους βασικούς λόγους που παρά την τεχνολογική πρόοδο και την ύπαρξη πρωτοπόρων αυτοματισμών, τα ανθρωποκεντρικά συστήματα συλλογής προϊόντων είναι προτιμότερα, είναι το ότι προσφέρουν μεγάλη ευελιξία και προσαρμοστικότητα στο έντονα δυναμικό περιβάλλον λειτουργίας των σύγχρονων επιχειρήσεων (Richards, 2017). Μάλιστα, η νέα τάση στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό των αγαθών είναι η εισαγωγή προϊόντων στην αγορά με αρκετά μικρό κύκλο ζωής (Heizer et al., 2017). Ως αποτέλεσμα αυτού, το κωδικολόγιο το οποίο διαθέτουν οι επιχειρήσεις μεταβάλλεται πολύ γρήγορα, με τις τελευταίες να καλούνται να προσαρμόζουν τα λειτουργικά τους συστήματα στις απαιτήσεις των συνεχώς ανανεωμένων προϊόντων τους. Κάτι τέτοιο ενώ είναι εφικτό όταν οι δραστηριότητες στηρίζονται πάνω στον ανθρώπινο παράγοντα, γίνεται αρκετά πιο περίπλοκο όταν οι διαδικασίες είναι καθαρά αυτοματοποιημένες, με το σύστημα αυτό να είναι ειδικά σχεδιασμένο, με συγκριμένους περιορισμούς και κριτήρια, τα οποία δεν μπορούν να αλλάξουν εύκολα (Grosse et al., 2017). Εκτός αυτού, οι νοητικές δεξιότητες και η κριτική σκέψη την οποία κατέχει ο ανθρώπινος εγκέφαλος, τον καθιστά ικανό να επιλύει προβλήματα και να αξιολογεί

συνδυαστικά διάφορα ερεθίσματα, αντιμετωπίζοντας δύσκολες καταστάσεις, χαρακτηριστικό που αποτελεί και το βασικότερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα των ανθρώπων έναντι των μηχανών.

Φυσικά όμως αυτή η επιλογή εγείρει και κάποια μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος του εργατικού δυναμικού (Tomprkins et al, 2010), καθώς και τον εκτεταμένο κίνδυνο εμφάνισης σφαλμάτων κατά την συλλογή προϊόντων, όπως λανθασμένη ποσότητα ή είδος αγαθών (Battini et al., 2015), τα οποία ενδέχεται να παρακωλύσουν την αποστολή των παραγγελιών στους πελάτες, με αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών (Berger and Ludwig, 2007). Εκτός όμως από τα ανθρωπογενή αίτια, τα λάθη κατά την ανάκτηση αγαθών οφείλονται στα συστήματα συλλογής που χρησιμοποιούνται, στις μεθόδους αποθήκευσης, στη μορφή των λιστών συλλογής και στον συντονισμό της εργασίας, καθώς και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως τα επίπεδα φωταγώγησης των διαδρόμων και ο θόρυβος (Burinskiene, 2010).

2.2.2 Εισαγωγή Ανθρώπινου Παράγοντα στον Σχεδιασμό των Συστημάτων Συλλογής

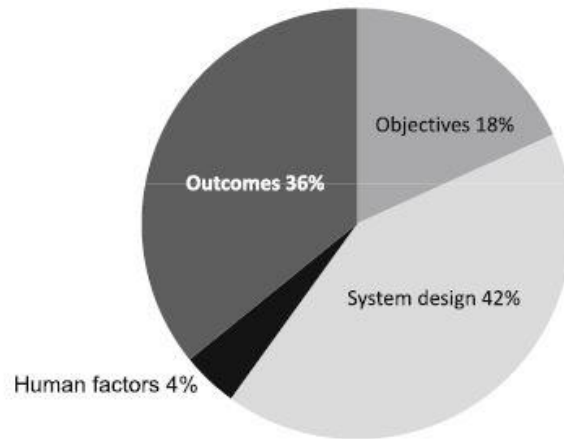
Ο σχεδιασμός των λειτουργικών διαδικασιών, και ειδικά η διάταξη του χώρου, η ανάθεση των προϊόντων σε θέσεις, η διαδρομή (routing) αλλά και η ομαδοποίηση των παραγγελιών, επιδρούν άμεσα στην συλλογή των προϊόντων, καθώς τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δύναται να διευκολύνουν ή να δυσκολέψουν την εργασία του ανθρώπινου δυναμικού, και άρα την απόδοσή του (Grosse et al., 2015). Σύμφωνα με τους Rouwenhorst et al. (2000), οι εργονομικές συνθήκες εργασίας και το αντίκτυπο αυτών στην παραγωγικότητα και την υγεία των ανθρώπων, είναι παράγοντες που δύσκολα ποσοτικοποιούνται, καθώς τα αποτελέσματα τους ενδέχεται να είναι εμφανή μακροπρόθεσμα ή να βασίζονται σε ποιοτικές μεθόδους μέτρησης (qualitative methods).

Παρά τον κρίσιμο ρόλο του έμψυχου δυναμικού στη συλλογή προϊόντων, η επιρροή του ανθρώπινου παράγοντα «απαλείφεται» από τις εξισώσεις σχεδιασμού συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, καθώς στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, ο αντικειμενικός στόχος βελτιστοποίησης είναι η μονόπλευρη ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας, χωρίς να αναδεικνύεται ούτε η επίδραση του ανθρώπου στην απόδοση του συστήματος, αλλά ούτε και η επίδραση του συστήματος στην ακεραιότητα του ανθρώπου (Grosse et al., 2017). Συγκεκριμένα, οι Boudreau et al. (2003) μέσω της έρευνας τους στον τομέα της αλληλεπίδρασης των ανθρώπων και του συστήματος, τόνισαν πως σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι ερευνητές προκειμένου να απλουστεύσουν τη μοντελοποίηση των επιχειρησιακών συστημάτων που μελετούν, αποτυγχάνουν πλήρως στο να συμπεριλάβουν τον ανθρώπινο παράγοντα, προβαίνοντας στις εξής λανθασμένες παραδοχές:

- Οι εργαζόμενοι δεν αποτελούν σημαντικό παράγοντα βελτιστοποίησης.
- Ο χρόνος διεκπεραίωσης των επιμέρους δραστηριοτήτων είναι αιτιοκρατικός, δηλαδή εξαρτάται αποκλειστικά από την ίδια την δραστηριότητα και είναι πάντα ίδιος όσες φορές και εάν επαναληφθεί.
- Οι εργαζόμενοι χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια, δηλαδή σταθερά στοιχεία που δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις το ένα από το άλλο.
- Δεν υφίστανται διαλείμματα κατά την εργασία ή απουσίες.
- Παράγοντες όπως η δυνατότητα εκμάθησης, η πιθανότητα να ξεχαστούν γνώσεις, η κούραση και η πνευματική φόρτιση δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Για παράδειγμα, ένας λιγότερο εξοικειωμένος συλλέκτης με τον χώρο αποθήκευσης, που ακόμα εγκλιματίζεται με τις επιμέρους διαδικασίες, χρειάζεται πολύ περισσότερο χρόνο για να βρει τα κατάλληλα ράφια και να ταυτοποιήσει τις θέσεις συλλογής και το είδος των αγαθών από έναν πεπειραμένο εργαζόμενο (Grosse and Glock, 2013). Ομοίως, η πνευματική και σωματική κόπωση, η οποία αυξάνεται με την πάροδο της βάρδιας, επιδρά στην επίδοση των ανθρώπων. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες έρευνες θεωρούν τον χρόνο συλλογής ως ένα σταθερό μέγεθος, όταν στην

πραγματικότητα είναι απόλυτα δυναμικό και μεταβαλλόμενο (Larco, 2010). Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνεται το πεδίο βαρύτητας των ερευνών που σχετίζονται με τη συλλογή προϊόντων μετά από βιβλιογραφική ανασκόπηση που διεξήχθη από τις Kudelska και Pawlowski (2019), κατά την οποία φαίνεται πόσο παραγκωνισμένος είναι ο ανθρώπινος παράγοντας από τις αναλύσεις βελτιστοποίησης.



Εικόνα 4- Βαρύτητα Ερευνητικού Ενδιαφέροντος (Kudelska and Pawlowski, 2019)

Ως απόρροια των παραπάνω παρατηρήσεων, οι Neumann and Dul (2010) επισήμαναν πως η απόδοση του συστήματος της συλλογής εξαρτάται από τρία ανθρωπογενή χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αλληλεπίδραση των εργαζομένων με το σύστημα:

- Σωματική κατάσταση, στην οποία υπάγονται όλοι οι παράγοντες κόπωσης, κακής στάσης σώματος, αλλά και καταπόνησης που υφίσταται ένας εργαζόμενος λόγω μεγάλων φορτίων που καλείται να διαχειρίζεται χειρωνακτικά. Πιο συγκεκριμένα μέσα στις χειρωνακτικές δραστηριότητες ενός συλλέκτη κατατάσσονται το περπάτημα ανάμεσα στους διαδρόμους, η διαχείριση προϊόντων μεγάλου όγκου και βάρους, το σκύψιμο και το σήκωμα. Αυτό αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό των εργαζομένων μετά από χρόνια απασχόληση σε αποθηκευτικά κέντρα αναπτύσσει μυοσκελετικά σύνδρομα (MSDs), ειδικότερα σε σημεία όπως η πλάτη, η μέση, και τα γόνατα (Lavender et al., 2012).
- Νοητική κατάσταση, η οποία περιλαμβάνει όλη την πνευματική φόρτιση του ατόμου στον χώρο εργασίας του, την άνοια λόγω της επαναληψιμότητας των δραστηριοτήτων, αλλά και την ανάγκη απομνημόνευσης διαδικασιών και θέσεων συλλογής (Grosse and Glock 2013).
- Ψυχολογική κατάσταση, η οποία σχετίζεται με όλους τους παράγοντες παρακίνησης και επιβράβευσης (Lodree et al., 2009), την ικανοποίηση και την επίτευξη των στόχων του εργαζομένου (Shikdar and Das, 2003), το άγχος που βιώνει λόγω του ανταγωνισμού και του φόρτου εργασίας, καθώς και η πίεση από τους προϊστάμενους.

Καταληκτικά, παρά την πολυπρισματική συνεισφορά του ανθρώπινου δυναμικού στην αύξηση της αποδοτικότητας της συλλογής παραγγελιών, ο συγκεκριμένος παράγοντας τείνει να αμελείται από τις υπάρχουσες έρευνες σύμφωνα με τους Grosse et al. (2017), οι οποίοι αναδεικνύουν τον τομέα διερεύνησης της βελτίωσης των εργασιακών συνθηκών ως αντικειμενικό στόχο που πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στις μελέτες βελτιστοποίησης των διαδικασιών συλλογής. Συγχρόνως, οι Kuijt-Evers et al. (2007) τονίζουν πως η αύξηση της εργονομίας και ο περιορισμός της δυσφορίας δύναται να επιφέρουν μακροχρόνια οφέλη στην ελαχιστοποίηση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας.

2.3 Πολιτικές Αποθήκευσης Προϊόντων (Storage Policies)

Η πολιτική αποθήκευσης ορίζεται ως ένα σύνολο κανόνων με βάση των οποίων τα επιμέρους προϊόντα αποθηκεύονται σε θέσεις συλλογής ή αποθέματος, μέχρι να χρειαστεί να ανακτηθούν κατόπιν παραγγελίας από τον πελάτη (De Koster et al., 2007). Καθώς το σύστημα συλλογής και η στρατηγική αποθήκευσης είναι δύο άμεσα αλληλένδετα ζητήματα, θα πρέπει να καθοριστούν το ένα συναρτήσει του άλλου. Σύμφωνα με τους van Gils et al. (2018), η πολιτική αποθήκευσης άπτεται των τακτικών αποφάσεων που καλείται να λάβει μία επιχείρηση, και έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγικότητα της σε βάθος χρόνου.

Αρχικά, στον αποθηκευτικό χώρο γίνεται ξεκάθαρη διάκριση μεταξύ των θέσεων συλλογής (pick stock/forward area) και των θέσεων αποθέματος (bulk stock/reverse area), με τις τελευταίες να συμβάλλουν στον ανεφοδιασμό των θέσεων συλλογής, κάθε φορά που δεν υπάρχει επάρκεια προϊόντων για την κάλυψη των αναγκών. Τα δύο είδη θέσεων σύμφωνα με τους De Koster et al. (2007) θα πρέπει να ανήκουν σε διαφορετικούς τομείς, με τον χώρο της συλλογής να έχει διαστασιολογικούς περιορισμούς, καθώς όσο πιο μικρός είναι, τόσο πιο σύντομη θα είναι και η διαδικασία ανάκτησης αγαθών από αυτόν. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις όπου κάποιοι κωδικοί είναι ιδιαίτερα ταχυκίνητοι και πωλούνται σε μεγάλες παρτίδες, ή εάν είναι εξαιρετικά αργοκίνητοι, είναι προτιμότερο να αποθηκεύονται απευθείας σε θέσεις αποθέματος, χωρίς να διατηρούν και θέσεις συλλογής (Bartholdi and Hackman, 2005).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει βιβλιογραφικά πως εκτός από τις στατικές θέσεις ραφιών, υπάρχουν και οι δυναμικές, στις οποίες τα προϊόντα μετακινούνται στην κατάλληλη θέση συλλογής πάνω στην ώρα (just-in-time) για τη διεκπεραίωση μίας εντολής, με πιο συχνή τη χρήση στροβιλοδρόμιου (Driskill et al., 2011). Οι μέθοδοι αποθήκευσης προϊόντων εκεί διαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση και τη διάταξη τους, και θα μας απασχολήσουν περαιτέρω στο στάδιο της βελτιστοποίησης.

2.3.1 Τυχαία Πολιτική Αποθήκευσης (Random Storage Policy)

Σύμφωνα με την τυχαία πολιτική αποθήκευσης, κάθε εισερχόμενο προϊόν τοποθετείται με τυχαίο τρόπο σε μία από τις ελεύθερες θέσεις συλλογής που υπάρχουν τη δεδομένη στιγμή (Petersen, 1997). Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι τα υψηλά επίπεδα αξιοποίησης της χωρητικότητας του αποθηκευτικού τομέα, καθώς οποιοδήποτε προϊόν μπορεί να εισαχθεί σε οποιαδήποτε θέση (Wang et al., 2020). Ακόμα, λόγω της τυχαιότητας που διέπει τη μέθοδο, παρατηρείται πιο ισορροπημένος διαμοιρασμός του φόρτου εργασίας στους αντίστοιχους διαδρόμους, και αποφυγή της συμφόρησης (Lee et al., 2020). Στον αντίποδα, δημιουργεί εργονομικά προβλήματα, καθώς οι συλλέκτες και το προσωπικό δεν προλαβαίνουν να εξοικειωθούν με τη τοποθεσία του κάθε προϊόντος, κάτι το οποίο έχει επίδραση στην ταχύτητα με την οποία διεκπεραιώνουν τις εντολές συλλογής. Εκτός αυτού, ένα τυχαίο σύστημα αποθήκευσης θα μπορούσε να αποδώσει αποκλειστικά με την χρήση κάποιου λογισμικού διαχείρισης αποθέματος (ERP) (De Koster et al., 2007), κάτι το οποίο αυξάνει ιδιαίτερα το λειτουργικό κόστος της επιχείρησης.

2.3.2 Αφοσιωμένη Πολιτική Αποθήκευσης (Dedicated Storage Policy)

Η αφοσιωμένη πολιτική αποθήκευσης παρουσιάζει ακριβώς τις αντίθετες αρχές από την τυχαία, καθώς στη δεδομένη περίπτωση κάθε κωδικός διαθέτει μια μεμονωμένη και σταθερά καθορισμένη θέση μέσα στον αποθηκευτικό χώρο, σχεδιασμένη κατάλληλα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του (De Koster et al., 2007). Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιοποιεί σημαντικά χαρακτηριστικά του κάθε κωδικού, όπως την κινητικότητα, ζήτηση, όγκο, βάρος και άλλα, ώστε να το κατατάξει στη καλύτερη θέση (Wang et al., 2020). Το σημαντικότερο προτέρημα της μεθόδου είναι πως προσφέρει υψηλά επίπεδα αποδοτικότητας κατά τη συλλογή, καθώς οι εργαζόμενοι γνωρίζουν ακριβώς που θα βρουν κάθε προϊόν που τους ζητείται (Murpani et al., 2010). Παρόλα αυτά, η θέση κάθε προϊόντος κρατείται

ακόμα και όταν ο κωδικός έχει έλλειψη στην αποθήκη, δημιουργώντας προβληματική αξιοποίηση του χώρου, του οποίου το αναγκαίο μέγεθος αυξάνεται. Ακόμα, σε περιπτώσεις εποχικών ειδών, οι θέσεις θα πρέπει να μεταβάλλονται κατά την περίοδο του χρόνου, κάτι το οποίο δεν συνάδει με την λογική της αφοσιωμένης πολιτικής (Konacs, 2011). Παρότι σύμφωνα με τους Lee και Elsayed (2005), η συγκεκριμένη μέθοδος ενδείκνυται για μικρούς αποθηκευτικούς χώρους με στατικό κωδικολόγιο, οι Fumi et al. (2013) πρότειναν μία διαφορετική προσέγγιση της αφοσιωμένης πολιτικής, η οποία αφορά και αποθήκες μεγάλης κλίμακας, όπου επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση του αναγκαίου αποθηκευτικού χώρου, χωρίς τη χρήση ακριβών λογισμικών διαχείρισης αποθέματος.

2.3.3 Πολιτική Κοντινότερης Διαθέσιμης Θέσης (Closest Open Location Storage)

Η παραπάνω μέθοδος λαμβάνει χώρα στην περίπτωση όπου οι ίδιοι οι συλλέκτες καθορίζουν την τοποθεσία που θα αποθηκευτεί ένας κωδικός (Gomez et al., 2008). Οι εργαζόμενοι επιλέγουν την πρώτη διαθέσιμη θέση που θα συναντήσουν, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να καταλαμβάνονται όλες οι θέσεις κοντά στο σημείο εναπόθεσης, με πιο απομακρυσμένα σημεία να μένουν ανεκμετάλλευτα. Η συγκεκριμένη πολιτική παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την τυχαία, αλλά σύμφωνα με τους Hausman et al. (1976), οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν ίδια επίδοση μόνο στην περίπτωση αποθήκευσης υλικών ως παλέτες (full pallets), τα οποία δεν θα μας απασχολήσουν περαιτέρω.

2.3.4 Πολιτική Αποθήκευσης με βάση την Κινητικότητα (Full-turnover Storage Policy)

Σύμφωνα με την δεδομένη πολιτική, τα προϊόντα ταξινομούνται με βάση την κινητικότητά τους, με τους ταχυκίνητους κωδικούς να μπαίνουν πιο κοντά στο σημείο εναπόθεσης, ενώ όσο μεγαλώνει η απόσταση από αυτό να μειώνεται αναλογικά και η κινητικότητα των τοποθετημένων προϊόντων (Wang et al., 2020). Ένα πρώιμο είδος της συγκεκριμένης στρατηγικής θεωρείται το cube-per-order index (COI), σύμφωνα με το οποίο ένα προϊόν χαρακτηρίζεται από την αναλογία μεταξύ του αναγκαίου χώρου αποθήκευσης που χρειάζεται και τον αριθμό των φορών όπου ο συλλέκτης θα χρειαστεί να μεταβεί στη θέση για να συλλέξει μία ποσότητα, εντός καθορισμένης χρονικής περιόδου (Heskett, 1964). Το κύριο αρνητικό της ανάλυσης με βάση την κινητικότητα, είναι πως η τελευταία παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα μέσα στον χρόνο, και έτσι η θέση συλλογής κάποιων υλικών θα πρέπει να διαφοροποιείται ανάλογα.

Κοντά στη λογική της κινητικότητας είναι και η πολιτική volume-based, κατά την οποία η ανάθεση γίνεται με βάση τη ζήτηση, δηλαδή τον αριθμό των τεμαχίων που πωλούνται εντός πεπερασμένου χρόνου (Liu, 1999).

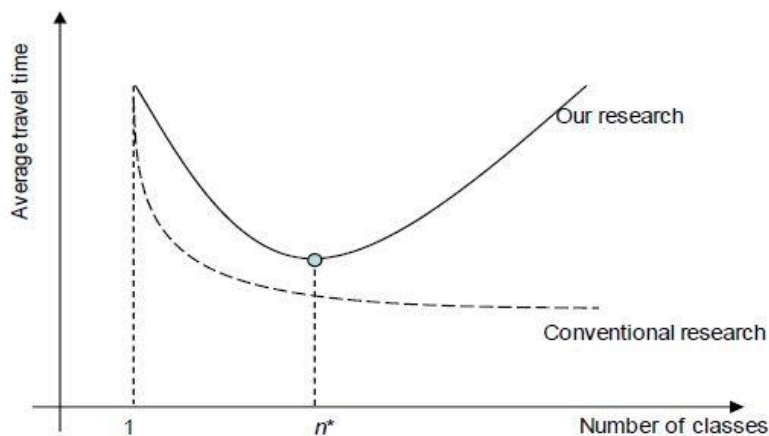
2.3.5 Πολιτική Αποθήκευσης με Χρήση Τάξεων (Class-based Storage Policy)

Η μέθοδος class-based συνδυάζει χαρακτηριστικά από την τυχαία και αφοσιωμένη πολιτική, καθώς διαχωρίζει τα προϊόντα σε επιμέρους τάξεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε καθορισμένες περιοχές εντός του αποθηκευτικού χώρου, και κάθε κωδικός αναθέτεται σε μία τυχαία διαθέσιμη θέση εντός της επιλεγμένης τάξης (Graves et al., 1977).

Πρόκειται για την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πολιτική ανάθεσης (Yu et al., 2015), η οποία βασίζεται πάνω στην ανάλυση ABC, ως απόρροια της θεωρίας του Pareto, Ιταλού οικονομολόγου, και η οποία εφαρμόζεται κατά κόρον σε πλήθος κέντρων αποθήκευσης. Ο Pareto συγκεκριμένα αναφέρει πως υπάρχουν “λίγα” τα οποία είναι κρίσιμα, και “πολλά” τα οποία είναι ασήμαντα («critical few and trivial many»). Η ιδέα που προκύπτει από αυτό είναι πως τα προϊόντα ομαδοποιούνται σε τάξεις έτσι ώστε οι ταχυκίνητοι κωδικοί, που περιλαμβάνουν περίπου το 15% των αγαθών, να συγκεντρώνουν περίπου το 80% της συνολικής ζήτησης, ή κινητικότητας, ή εσόδων (Walters, 2009). Συνήθως ο αριθμός τάξεων που χρησιμοποιούνται είναι τρεις, η τάξη A με τους ταχυκίνητους κωδικούς, η B με τους ενδιάμεσους και η C με τους αργοκίνητους. Τα προϊόντα της

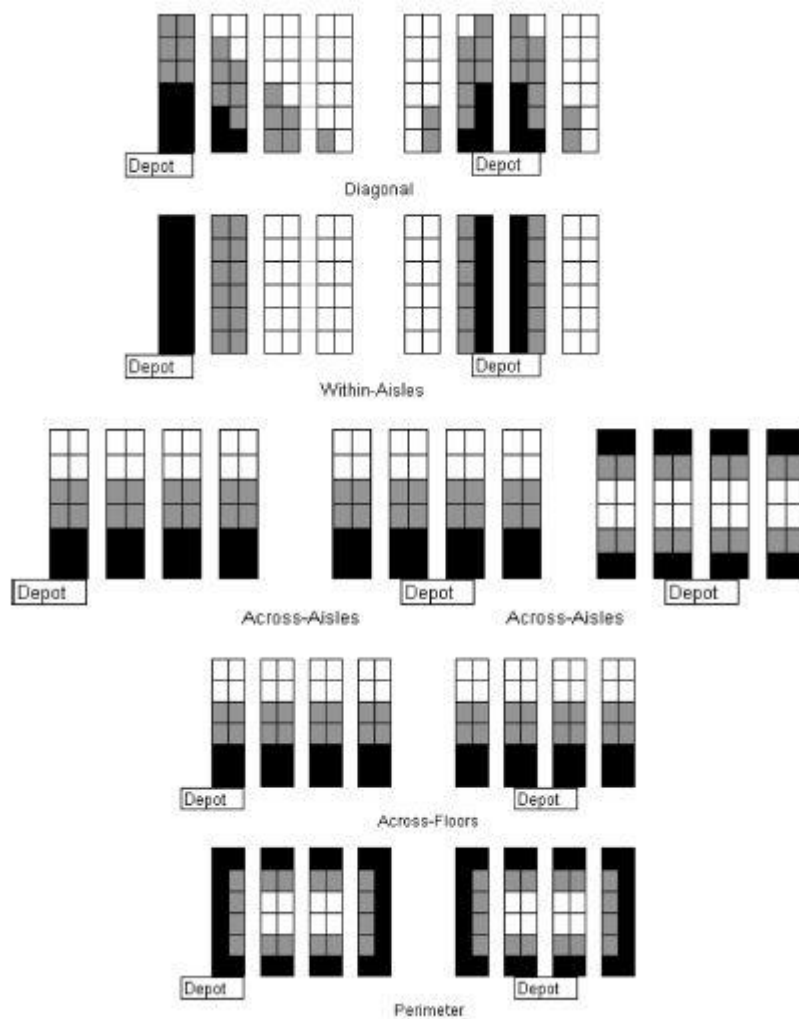
πρώτης τάξης αποθηκεύονται σε περιοχή που βρίσκεται κοντά στο σημείο εναπόθεσης, ενώ όσο απομακρυνόμαστε αυτό, τοποθετούνται τα αγαθά των υπολοίπων τάξεων, με αποτέλεσμα ο χρόνος συλλογής να μειώνεται.

Ωστόσο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο πλήθος τάξεων. Σύμφωνα με τους Hausman et al. (1976), εάν γίνει η θεώρηση πως το πλήθος προϊόντων που ταξινομείται σε κάθε τάξη είναι μη-πεπερασμένο (άπειρο), τότε το μέγεθος του χώρου αποθήκευσης για μία δεδομένη τάξη ισούται με τον συνολικό μέσο όρο του μεγέθους των προϊόντων που αποθηκεύονται σε αυτή την τάξη, και άρα το πλήθος τάξεων δεν επηρεάζει τον συνολικό απαιτούμενο χώρο της αποθήκης. Αντιθέτως, οι Yu et al. (2015) θεωρώντας πεπερασμένο αριθμό αγαθών ανά τάξη, απέδειξαν πως μεγάλο πλήθος τάξεων μπορεί να μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο συλλογής, αλλά αυξάνει σημαντικά τον χώρο που χρειάζονται για να αποθηκευτούν τα προϊόντα, άρα και το λειτουργικό κόστος της δομής, καθώς σε κάθε τάξη ισοδυναμούν λιγότερες θέσεις, άρα και λιγότερες επιλογές αποθήκευσης. Συγκεκριμένα υπέδειξαν ότι ανάλογα με την περίπτωση υπάρχει ένα κρίσιμο πλήθος, κάτω ή πάνω του οποίου ο χρόνος συλλογής αυξάνεται.



Εικόνα 5 - Κρίσιμο Πλήθος Τάξεων (Yu et al., 2015)

Σε βιβλιογραφικό επίπεδο δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες διαχωρισμού των προϊόντων στις επιμέρους τάξεις, αλλά ούτε και βέλτιστος αριθμός τάξεων για το σύστημα συλλογής χαμηλού ύψους με τη μέθοδο picker-to-parts (De Koster et al., 2007). Σύμφωνα με την τοποθεσία του σημείου εναπόθεσης, προτείνεται πλήθος ειδών διάταξης των τάξεων, τα οποία διακρίνονται στην παρακάτω **εικόνα**, με το μαύρο χρώμα να εκπροσωπεί τα προϊόντα A, το γκρι τα B, και το άσπρο τα C (Burinskiene, 2010).



Εικόνα 6- Είδη Διάταξης ABC (Burinskiene, 2010)

2.3.6 Συσχετισμένη Πολιτική Αποθήκευσης (Correlated-based Storage Policy)

Η στρατηγική correlated-based, η οποία εναλλακτικά καλείται και family grouping, ομαδοποιεί κωδικούς που εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους, δηλαδή εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα στις ίδιες παραγγελίες (Bindi et al., 2009; Zhang, 2016). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο χρόνος συλλογής, καθώς σχετιζόμενα αντικείμενα τοποθετούνται κοντά το ένα στο άλλο, στον ίδιο διάδρομο ή στην ίδια ζώνη, και έτσι αποφεύγεται επιπρόσθετη προσπάθεια συλλογής, όπου το κουτί της παραγγελίας πρέπει να περάσει σειριακά από πολλές ζώνες για να συγκεντρωθούν τα απαραίτητα αγαθά (Frazelle and Sharp, 1989).

Μία πολύ ενδιαφέρουσα έρευνα που διεξήχθη από τους Lee et al. (2020), προτείνει τη συσχετισμένη πολιτική ως τη βέλτιστη στρατηγική αποθήκευσης, υπό τον όρο ότι συνδυάζεται με τον έλεγχο της κυκλοφορικής συμφόρησης στις επιμέρους ζώνες και τους διαδρόμους. Ειδικότερα, καταλήγουν στο ότι ο παραπάνω συνδυασμός μειώνει τον χρόνο συλλογής κατά 48.74% σε σύγκριση με την τυχαία πολιτική (random), 23.82% με την class-based και 7.58% με την απλή μέθοδο συσχέτισης (correlated-based). Όπως εξηγούν, ενώ η επιλογή κοντινών θέσεων για προϊόντα υψηλής συσχέτισης δύναται να μειώσει σημαντικά τον χρόνο συλλογής, συνήθως επιφέρει ανισορροπία στον φόρτο εργασίας, που δημιουργεί άλλα λειτουργικά ζητήματα στην επίδοση της αποθήκης. Το συγκεκριμένο πρόβλημα

θεωρείται πολυκριτηριακό, και εμπεριέχει τη δυσκολία των αντικρουόμενων στόχων που καλείται να επιτύχει. Σύμφωνα με τον Pareto, τέτοια προβλήματα καταλήγουν σε έναν αριθμό από ισότιμες λύσεις, κάθε μία από τις οποίες ικανοποιεί σε διαφορετικό βαθμό τους επιμέρους στόχους, και επιλέγεται η βέλτιστη από αυτές ανάλογα με τις προτεραιότητες που έχουν τεθεί. Η συγκεκριμένη μελέτη είναι ιδιαίτερα σημαντική για διατάξεις αποθηκών με στενούς διαδρόμους και μεγάλο πλήθος συλλεκτών (Mallema et al., 1988).

Εν κατακλείδι, στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία κάθε μεθόδου που αναπτύχθηκε.

ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	ΘΕΤΙΚΑ	ΑΡΝΗΤΙΚΑ
RANDOM	<ul style="list-style-type: none"> ΥΨΗΛΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΟΣ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟΣ ΦΟΡΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 	<ul style="list-style-type: none"> ΕΡΓΟΝΟΜΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΑΥΞΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ ΧΡΗΣΗ ERP ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ
DEDICATED	<ul style="list-style-type: none"> ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΩΔΙΚΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΘΕΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ 	<ul style="list-style-type: none"> ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΛΛΑΓΗ ΘΕΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΠΟΧΙΚΑ ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΓΙΑ ΜΙΚΡΗ ΕΚΤΑΣΗ ΑΠΟΘΗΚΗΣ
CLOSEST OPEN LOCATION	<ul style="list-style-type: none"> ΓΡΗΓΟΡΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΘΕΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΔΙΟ ΤΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΧΩΡΙΣ ΜΕΣΑΖΟΝΤΕΣ 	<ul style="list-style-type: none"> ΘΕΣΕΙΣ ΜΑΚΡΙΑ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΕΝΔΕΧΕΤΑΙ ΝΑ ΜΕΝΟΥΝ ΑΝΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΤΕΣ
FULL-TURNOVER (CUBE-PER-ORDER)	<ul style="list-style-type: none"> ΤΑΧΥΚΙΝΗΤΟΙ ΚΩΔΙΚΟΙ ΜΠΑΙΝΟΥΝ ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΜΕΙΩΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ 	<ul style="list-style-type: none"> ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑΣ ΕΝΤΟΝΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ
CLASS-BASED	<ul style="list-style-type: none"> ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ 	<ul style="list-style-type: none"> ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΑΞΕΩΝ ΘΕΛΕΙ ΠΡΟΣΟΧΗ ΚΑΘΩΣ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΥΞΗΣΕΙ ΤΟΝ ΑΝΑΓΚΑΙΟ ΧΩΡΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
CORRELATED-BASED (FAMILY GROUPING)	<ul style="list-style-type: none"> ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΟΠΟΥ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΣΥΛΛΕΓΟΝΤΑΙ ΜΑΖΙ 	<ul style="list-style-type: none"> ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΟΥΣ

Πίνακας 1 - Συγκεντρωτικά Στοιχεία Πολιτικών Αποθήκευσης

2.4 Ανάθεση Προϊόντων σε Θέσεις Συλλογής (Storage Location Assignment Problem - SLAP)

Το πρόβλημα της αντιστοίχισης των αγαθών σε κατάλληλες θέσεις συλλογής είναι ένα σημαντικό ζήτημα που απασχολεί ιδιαίτερα τις επιχειρήσεις, καθώς συνδέεται άμεσα με τα λειτουργικά κόστη και την αξιοποίηση της χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου (Bodnar and Lysgaard, 2014). Ο τρόπος επίλυσης του γίνεται όλο και πιο περίπλοκος, λόγω της έντονης μεταβολής της ζήτησης και των τάσεων στη σύγχρονη αγορά (Ang et al., 2012). Ακόμα, εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως η διάταξη του χώρου και των θέσεων, το μέγεθος και η χωρητικότητα τους, τα φυσικά χαρακτηριστικά των προϊόντων που διαχειρίζεται η αποθήκη, και άλλα.

Μαθηματική Προσέγγιση του Προβλήματος

Η μαθηματική προσέγγιση του λαμβάνει το πρόβλημα εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ των προϊόντων και των διαθέσιμων θέσεων, όπως παρουσιάζεται ακολούθως:

- Εάν τα προϊόντα είναι λιγότερα από τον διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο, το πρόβλημα προσδιορίζεται ως NP-Hard, εξαιτίας των εναλλακτικών που δημιουργούνται στην επιλογή της ανάθεσης (Frazelle and Sharp, 1989).
- Εάν τα προϊόντα είναι ίσα με τις προσφερόμενες θέσεις, το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως τετραγωνικό (Quadratic Allocation Problem) (Kofler, 2015).
- Εάν ο αριθμός προϊόντων είναι μεγαλύτερος από τον διαθέσιμο χώρο, και έτσι σε μία θέση τοποθετούνται περισσότερα από ένα είδη, τότε η προσέγγιση γίνεται σύμφωνα με το πρόβλημα knapsack (Gu et al., 2010).

Oι Rejes et al. (2019), ανακαλύπτοντας ένα κενό στη βιβλιογραφία, δημοσίευσαν μία εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την έρευνα που έχει γίνει στον τομέα της βελτιστοποιημένης ανάθεσης προϊόντων, το οποίο έχει απασχολήσει το ερευνητικό ενδιαφέρον ιδιαίτερα μετά το 2008. Για τους σκοπούς της έρευνας, εξετάστηκαν 190 μελέτες, οι οποίες είτε πρότειναν κάποια μέθοδο επίλυσης του SLAP, στηρίζοντας τη με πειραματικά δεδομένα, είτε διεξήγαγαν μελέτη σε υπάρχουσα αποθηκευτική δομή.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανασκόπηση, το μαθηματικό μοντέλο που παρατηρήθηκε περισσότερο ήταν Mixed Integer Programming, κατά τα οποία όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι ακέραιοι αριθμοί, καθώς οι περισσότερες μονάδες εντός των αποθηκευτικών κέντρων είναι κβαντισμένες. Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται και στην βελτιστοποίηση που διεξάγεται στο πλαίσιο της διπλωματικής. Εκτός αυτού, χρησιμοποιήθηκε δυαδικός και μη-γραμμικός προγραμματισμός, μέθοδος του Pareto, καθώς και αλγόριθμοι Branch and Bound. Τέλος, οι περισσότεροι αλγόριθμοι που σχεδιάστηκαν ήταν Ευρετικοί (Heuristics), δηλαδή συγκρίνοντας πλήθος πιθανών λύσεων, κατέληγαν σε αυτή που θεωρούταν βέλτιστη βάση των στόχων που είχαν τεθεί.

Χρησιμοποιούμενες Πολιτικές Αποθήκευσης

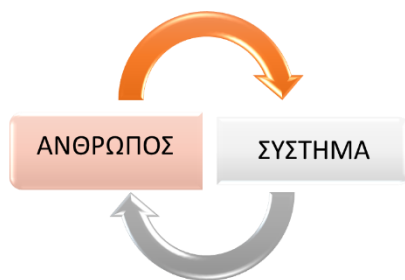
Αξίζει να σημειωθεί πως οι δημοφιλέστερες πολιτικές αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται είναι η class-based, με ποσοστό εμφάνισης της τάξης του 21%, ακολουθούμενη από την τυχαία (random) πολιτική, με ποσοστό 14%. Οι δύο παραπάνω στρατηγικές συχνά χρησιμοποιούνταν και ως μέτρο σύγκρισης για τη μελέτη εναλλακτικών μεθόδων. Η cube-per-order ισοβάθμησε με την correlated-based στο 9%, με την dedicated-based να ακολουθεί στη σειρά με 7%, ενώ από τις βασικές πολιτικές που αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, η closest to the depot έρχεται τελευταία σε προτίμηση, με ποσοστό μόλις 5% (Rejes et al., 2019).

Χρησιμοποιούμενοι Αντικειμενικοί Στόχοι

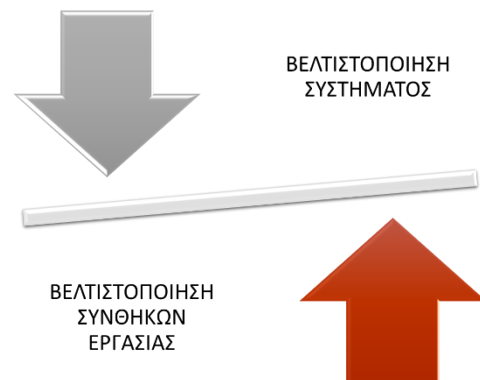
Όσον αφορά τους αντικειμενικούς στόχους των βελτιστοποιήσεων, 38% των ερευνών στόχευαν τη μείωση της απαιτούμενης διαδρομής για τη συλλογή, ενώ το 32% τον χρόνο διάνυσης της απόστασης (Rejes et al., 2019). Σύμφωνα με τους Gu et al. (2007), ο συνηθέστερος στόχος προς βελτίωση, και συγκεκριμένα ελαχιστοποίηση, είναι ο χρονικός κύκλος προετοιμασίας των παραγγελιών (order cycle time), λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς του συστήματος.

Προτεινόμενοι Μελλοντικοί Τομείς Έρευνας

Μετά την εξονυχιστική τους ανασκόπηση, οι Rejes et al. (2019) ανέδειξαν πως έχει δοθεί πολύ μικρή σημασία στην βιωσιμότητα των λειτουργικών συστημάτων, και ιδιαίτερα σε τομείς που σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα, την διοίκηση πληροφοριών και την μελέτη περιβαλλοντικών στοιχείων, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα τόνισαν πως η προσέγγιση από τη σκοπιά του έμψυχου δυναμικού μία αποθήκης αποτελεί τον κυριότερο ερευνητικό τομέα που πρέπει να διερευνηθεί, ειδικά από τη στιγμή που οι περισσότερες διαδικασίες εντός των κέντρων διανομής είναι χειρωνακτικές (Larco et al., 2017).



Εικόνα 7- Αλληλεπίδραση Ανθρώπου και Συστήματος



Εικόνα 8 - Αντικρουόμενοι Στόχοι

Επομένως προτείνεται ως μελλοντικό πεδίο έρευνας η βελτιστοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών, όπου η βαρύτητα θα μοιράζεται ισότιμα τόσο στην ελαχιστοποίηση του κόστους και του χρόνου συλλογής, όσο και στις εργονομικές συνθήκες εργασίας του ανθρώπου, παρόλο που οι δύο στόχοι μπορεί να είναι και έντονα αντικρουόμενοι (conflict of interests).

3. Περιγραφή Επιχείρησης

Η επιχείρηση στην οποία στηρίζεται η βελτιστοποίηση του αποθηκευτικού χώρου που πραγματεύεται η συγκεκριμένη διπλωματική, αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες λιανικής πώλησης που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα, με εξειδίκευση στον τομέα της τεχνολογίας. Εκτός από την εγχώρια δραστηριότητα, η εταιρεία διατηρεί παραρτήματα και σε άλλες χώρες του εξωτερικού, κάτι που την κατατάσσει στην κατηγορία των Πολυεθνικών Επιχειρήσεων. Σε εθνικό επίπεδο, αποτελεί την πρώτη επιλογή των καταναλωτών για αγορά προϊόντων τεχνολογίας, ενώ διαχειρίζεται πάνω από 30 φυσικά καταστήματα και ένα (1) ηλεκτρονικό, καθώς και δύο (2) αποθηκευτικά κέντρα διανομής.

Ειδικότερα, το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της δεδομένης επιχείρησης είναι η ασυναγώνιστη ταχύτητα στη διανομή των αγαθών. Συγκεκριμένα, η εταιρεία δεσμεύεται να παραδίδει κάθε παραγγελία που γίνεται είτε από τα φυσικά καταστήματα, είτε ηλεκτρονικά απευθείας από τον πελάτη, εντός μίας ημέρας. Αυτό σημαίνει πως εάν μία παραγγελία ολοκληρωθεί μέχρι και τα μεσάνυχτα της μίας εργάσιμης ημέρας, ο πελάτης θα παραλάβει το προϊόν στον χώρο του την αμέσως επόμενη εργάσιμη. Εκτός αυτού, η επιχείρηση κατέχει υψηλό επίπεδο στην εξυπηρέτηση πελατών, τόσο κατά τη διάρκεια της φυσικής πώλησης των προϊόντων, όσο και στο στάδιο της τεχνικής υποστήριξης, προσφέροντας επίλυση σε κάθε πρόβλημα που ενδέχεται να αντιμετωπίσει ο καταναλωτής κατόπιν μίας αγοράς.

Προκειμένου να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των ταχύτατων διανομών, η εταιρεία επενδύει ένα τεράστιο μέρος των παραγωγικών της πόρων σε δραστηριότητες που σχετίζονται με τα Συστήματα Αποθήκευσης και Διανομής. Ως εκ τούτου, διατηρεί τα δικά της αποθηκευτικά κέντρα, τα οποία και διαχειρίζεται η ίδια, χωρίς την εμπλοκή εξωτερικών συνεργατών (3PL), όπως κάνουν πολλές εταιρείες λιανικής πώλησης. Με αυτόν τον τρόπο, διατηρεί τον έλεγχο και την ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών, κατέχοντας εξέχουσα θέση στον τομέα της ικανοποίησης των πελατών. Αντιθέτως, μία από τις δραστηριότητες της, εκτός της εμπορικής, είναι υπηρεσίες αποθήκευσης και διανομής για άλλες επιχειρήσεις, εντός των αποθηκευτικών της κέντρων. Επομένως, ο τομέας της αποθήκευσης των προϊόντων αποτελεί την κατ' εξοχήν κύρια δραστηριότητα της συγκεκριμένης εταιρείας, πάνω στην οποία βασίζεται το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που έχει στην αγορά.

Παρά το υψηλό επίπεδο οργάνωσης και τις εύρυθμες λειτουργίες της, είναι επόμενο όταν μία εταιρεία εστιάζει πολύ στο κομμάτι της ευελιξίας, που της επιτρέπει να εξυπηρετεί τους πελάτες της με τον βέλτιστο τρόπο (Agility), να μην επενδύει ισότιμα στην αποδοτικότητα και την εργονομία. Επιπλέον, η πολυετής δραστηριοποίηση μίας εταιρείας, εκτός από εμπειρία σε έναν συγκεκριμένο τομέα, ενδέχεται να επιφέρει κάποιου είδους άτυπη τυποποίηση (standardization) στην διεκπεραίωση των επιμέρους διαδικασιών, η οποία μπορεί να παγιώσει τον τρόπο εργασίας των ανθρώπων εντός της επιχείρησης, χωρίς όμως αυτός ο τρόπος να συνάδει με στις σύγχρονες απαιτήσεις που δημιουργούνται. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραγόντων, μειώνει την απόδοση και την παραγωγικότητα, προβληματικές τις οποίες καλείται να επιλύσει η συγκεκριμένη διπλωματική.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθεί πλήθος δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την αποθήκευση και την διακίνηση των προϊόντων εντός των αποθηκευτικών εγκαταστάσεων της εταιρείας, και θα παρουσιαστούν τα λειτουργικά προβλήματα τα οποία καλείται να επιλύσει η διεξαγόμενη διπλωματική μελέτη.

3.1 Είδη Προϊόντων και Συσκευασιών

Η εν λόγω επιχείρηση διατηρεί ένα ιδιαίτερα ευρύ κωδικολόγιο, το οποίο περιλαμβάνει ως επί το πλείστον προϊόντα τεχνολογίας, έπιπλα, είδη γραφείου αλλά και οικιακές συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρουσιάζονται κάποια βασικά είδη τα οποία παρέχονται από τον όμιλο.

Προϊόντα Τεχνολογίας

Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, σταθερές μονάδες (desktop) αλλά και φορητές (laptop), καθώς και είδη που συνοδεύουν αυτούς, όπως πληκτρολόγια, ηχεία, ποντίκια, οθόνες, θήκες μεταφοράς και ακουστικά. Εκτός αυτών, η εταιρεία παρέχει συσκευές τηλεπικοινωνίας, κινητές και σταθερές, μαζί με τα αντίστοιχα ηλεκτρονικά εξαρτήματα όπως έξυπνα ρολόγια (smart watches), ακουστικά, φορτιστές και θήκες. Άλλα προϊόντα που υπάγονται στην κατηγορία αυτή είναι οι φωτογραφικές μηχανές, συστήματα συναγερμού, ηλεκτρονικά παιχνίδια, μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones), αυτόματα πατίνια, καθώς και ανεξάρτητα τεμάχια ηλεκτρονικών υπολογιστών (spare parts), όπως σκληροί δίσκοι, κάρτες γραφικών, πύργοι (pc towers) και μνήμες RAM, τα οποία χρησιμοποιεί για να συναρμολογεί εξατομικευμένες παραγγελίες πελατών (customized orders).

Οικιακές Συσκευές

Πρόκειται για μία ευρεία κατηγορία που περιλαμβάνει τηλεοράσεις, κουζίνες, ψυγεία, πλυντήρια, συσκευές μαγειρικής, ιονιστές και συσκευές καθαρισμού αέρα, θερμαντικά σώματα, και πολλά άλλα.

Γραφική Ύλη και Αναλώσιμα

Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται όλα τα σχολικά προϊόντα, όπως εκπαιδευτικά βιβλία, τετράδια, είδη ζωγραφικής και τσάντες, λογοτεχνικά αναγνώσματα, είδη σχεδίου και μοντελισμού, καθώς και προϊόντα για κατασκευή μακετών.

Παιχνίδια

Πρόκειται για μία πολύ πρόσφατη κατηγορία που ξεκίνησε να εισάγει η εταιρία στο κωδικολόγιο της, η οποία περιλαμβάνει επιτραπέζια αλλά και παιδικά παιχνίδια.

Είδη Σπιτιού

Η επιχείρηση παρέχει πολλούς κωδικούς διακοσμητικών ειδών, όπως μαξιλάρια, κεριά, εποχικά στολίδια, κούπες αλλά και κάποια μικρά έργα τέχνης.

Έπιπλα

Η κατηγορία των επίπλων περιλαμβάνει μικρό αριθμό προϊόντων, με τα κύρια από αυτά να είναι διάφορα είδη γραφείων και αντίστοιχων καρεκλών, πολυθρόνες, μικρά τραπεζάκια και συρταριέρες για αναλώσιμα είδη, δηλαδή προϊόντα που σχετίζονται με τον χώρο ενός γραφείου.

Προϊόντα από Εταιρεία για Εταιρεία (B2B)

Σε αυτούς τους κωδικούς συγκαταλέγονται τα αγαθά τα οποία η επιχείρηση προμηθεύει αποκλειστικά σε άλλες επιχειρήσεις, ή αναλώνει η ίδια, αλλά όχι στο ευρύ κοινό. Τέτοιοι κωδικοί είναι καθαριστικά προϊόντα, καφέδες και συσκευασμένα γλυκά, ποτήρια και πιάτα μίας χρήσης, χαρτοπετσέτες και χαρτικά, αντισηπτικά είδη, χάρτινες συσκευασίες και σακούλες.

Προϊόντα Εξωτερικών Συνεργατών (3PL)

Οι κωδικοί που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία δεν είναι προϊόντα που μεταπωλεί η επιχείρηση στα καταστήματα της, αλλά αγαθά των οποίων αναλαμβάνει την αποθήκευση και διανομή για λογαριασμό άλλων συνεργατών της, που δεν διαθέτουν δικά τους αποθηκευτικά κέντρα.

Για την αποθήκευση των παραπάνω ειδών, η εταιρεία διατηρεί δύο μεγάλα κέντρα διανομής, τα οποία βρίσκονται σε γνωστές βιομηχανικές ζώνες, στις οποίες δημιουργούνται συγκροτήματα από τις περισσότερες αποθήκες εντός του Νομού Αττικής (clustering). Αυτό δίνει την ευκαιρία στην εταιρεία να συνεργάζεται με εξωτερικούς διανομείς για την μεταφορά των προϊόντων, εκτός από τη χρήση των ιδιωτικών της οχημάτων, οι οποίοι δραστηριοποιούνται στην ευρύτερη περιοχή, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος μεταφορών.

Η επιχείρηση διαθέτει δύο κατηγορίες προϊόντων βάσει της επωνυμίας τους. Αρχικά, μεταπωλεί αγαθά με διεθνή επωνυμία, για τα οποία συνεργάζεται με μεγάλο πλήθος προμηθευτών, τους οποίους όμως αλλάζει ανά τακτά χρονικά διαστήματα, διατηρώντας λίγες μόνο μακροχρόνιες συνεργασίες με κάποιους που θεωρεί περισσότερο έμπιστους. Ο λόγος που προβαίνει σε αυτό το βήμα είναι καθότι έτσι εξασφαλίζει ευελιξία σε περίπτωση που κάποιος προμηθευτής αδυνατεί να παρέχει την ποσότητα που η εταιρεία επιζητά, οπότε και θα παραγγείλει το προϊόν από κάποιον άλλον συνεργαζόμενο. Η δεύτερη κατηγορία αγαθών, είναι τα προϊόντα της δικής της επωνυμίας, τα οποία κατασκευάζει κυρίως σε χώρες του εξωτερικού και στη συνέχεια εισάγει στην Ελληνική αγορά.

Για την αποθήκευση των αγαθών στις θέσεις συλλογής, η επιχείρηση χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικές αποθηκευτικές μονάδες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω, ανάλογα με τον τρόπο αρχικής συσκευασίας που παραλαμβάνει τα προϊόντα από τους προμηθευτές.

Επίπεδο Τεμαχίου (ST)

Κάποια αγαθά αποθηκεύονται με την μικρότερη συσκευασία τους, τη συσκευασία που διατίθενται προς πώληση, η οποία φέρει πάνω τον αναγνωριστικό τους κωδικό (Barcode). Τέτοια είδη είναι ογκώδη προϊόντα, των οποίων οι διαστάσεις των εξωτερικών συσκευασιών τους δεν χωράνε στα ράφια του τομέα αποθήκευσης, αλλά χωράνε οι διαστάσεις που έχουν σε επίπεδο τεμαχίου, πράγμα που συναντάται σε λίγες σχετικά περιπτώσεις.

Επίπεδο Κουτιού (BOX)

Πρόκειται για τη δεύτερη μεγαλύτερη αποθηκευτική μονάδα, η οποία αποτελεί την συσκευασία που περικλείει τα επιμέρους τεμάχια προς πώληση. Αυτό το είδος αποτελεί και την συχνότερη αποθηκευτική μονάδα που χρησιμοποιεί η επιχείρηση στις θέσεις συλλογής.

Επίπεδο Κιβωτίου (CAR)

Είναι η συσκευασία η οποία περιλαμβάνει τα επιμέρους κουτιά, που περιέχουν τα τεμάχια του κωδικού, και αποτελεί την τρίτη κατά σειρά αποθηκευτική μονάδα, και δεύτερη πιο συχνά χρησιμοποιούμενη.

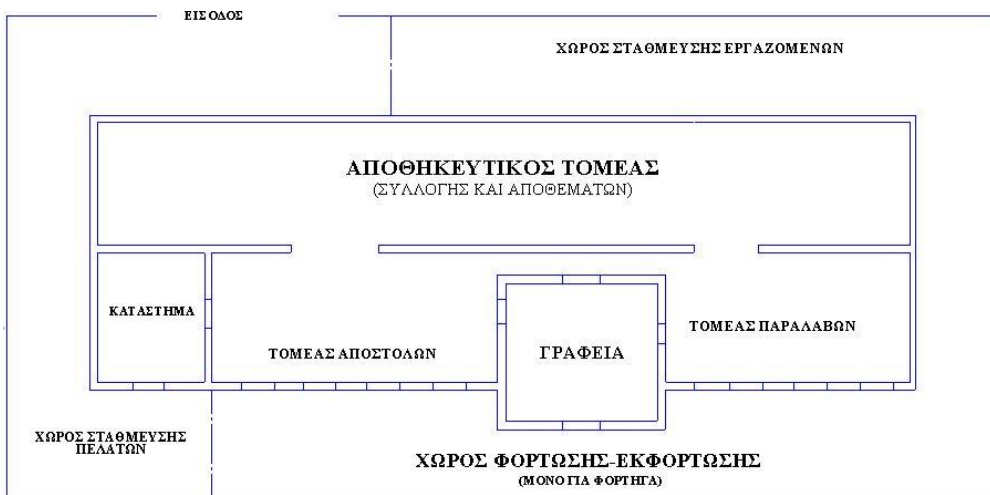
Επίπεδο Υπερσυσκευασίας (SCAR)

Εσωκλείει συσκευασίες σε επίπεδο κιβωτίου και αποτελεί το μεγαλύτερο είδος μονάδας που συναντάται ένα προϊόν στον χώρο αποθήκευσης. Για παράδειγμα, εάν ένα στυλό που πωλείται αυτόνομα και όχι ως μέρος συσκευασίας, θεωρείται πως είναι το τεμάχιο του κωδικού, η συσκευασία της δωδεκάδας μέσα στην οποία θα παραληφθεί από την αποθήκη είναι το κουτί, ενώ το κιβώτιο είναι η συσκευασία που βρίσκονται μέσα οι επιμέρους δωδεκάδες αυτού του τεμαχίου. Εάν υπάρχει και συσκευασία που περικλείει τα κιβώτια, αυτή καλείται υπερσυσκευασία, και συναντάται συχνά σε ταχυκίνητους κωδικούς γραφικής ύλης.

3.2 Διάταξη Αποθηκευτικού Κέντρου

Ο αποθηκευτικός χώρος τον οποίο εξετάζει η συγκεκριμένη διπλωματική, βρίσκεται στο μεγαλύτερο εκ των δύο κέντρων διανομής, οπότε για τους σκοπούς της εργασίας παρακάτω θα αναλυθεί η χωροταξική διάταξη της συγκεκριμένης αποθήκης, και ειδικότερα του τομέα στον οποίο θα διεξαχθεί η μελέτη.

Η κάτοψη του ισόγειου επιπέδου παρουσιάζεται στην παρακάτω **εικόνα**, όπου όπως φαίνεται χωρίζεται σε πέντε βασικούς τομείς, οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια.



Εικόνα 9 - Κάτοψη Ισογείου Αποθήκης

3.2.1 Αποθηκευτικός Τομέας

Καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση του κτηρίου, με τον συνολικό αποθηκευτικό χώρο να ανέρχεται στα 25.000 m². Ο τομέας αυτός περιλαμβάνει δύο βασικούς υποτομείς, τον χώρο θέσεων συλλογής των προϊόντων (picking), και τον χώρο θέσεων αποθέματος (stock), στον οποίο καταχωρείται η επιπρόσθετη ποσότητα των υλικών που υπάρχουν στον χώρο συλλογής, και χρησιμοποιείται για τον ανεφοδιασμό του. Ο κάθε ένας από τους παραπάνω υποτομείς, διαιρείται σε τέσσερα μικρότερα τμήματα αποθήκευσης, ανάλογα με το είδος των προϊόντων που αποθηκεύονται στο κάθε ένα. Ο εν λόγω διαχωρισμός παρουσιάζεται στην **εικόνα** που ακολουθεί.

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

		ΜΙΚΡΕΣ	ΜΕΓΑΛΕΣ
ΤΙΜΗ	ΧΑΜΗΛΗ	<ul style="list-style-type: none"> ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΠΙΤΙΟΥ ΣΧΟΛΙΚΑ ΕΙΔΗ ΕΙΔΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΒΙΒΛΙΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΜΙΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΑ B2B ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΑΞΙΑΣ <p style="text-align: center;">A</p>	<ul style="list-style-type: none"> ΕΠΙΠΛΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΦΘΗΝΕΣ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΘΗΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΠΥΡΓΟΙ DESKTOP <p style="text-align: center;">Γ</p>
	ΥΨΗΛΗ	<ul style="list-style-type: none"> ΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΘΗΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΠΟΝΤΙΚΙΑ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΑ ΗΧΕΙΑ TABLET DVD ΠΑΙΧΝΙΔΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ SPARE PARTS <p style="text-align: center;">B</p>	<ul style="list-style-type: none"> ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΙΣ ΘΘΗΝΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΦΟΡΗΤΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ <p style="text-align: center;">Δ</p>

Εικόνα 10 - Αποθηκευτικοί Τομείς

Τα κριτήρια επιλογής του τμήματος αποθήκευσης είναι οι διαστάσεις του προϊόντος αλλά και η τιμή του. Ο λόγος που εξετάζονται οι διαστάσεις και όχι ο όγκος του, είναι διότι ένας κωδικός μπορεί να έχει μία δυσανάλογα μεγάλη διάσταση συγκριτικά με τις άλλες δύο, ακόμα και αν έχει συνολικά μικρό όγκο. Το όριο των διαστάσεων ορίζεται σύμφωνα με την δυνατότητα τους να χωρέσουν μέσα στα τυποποιημένα κουτιά μεταφοράς που διαθέτει η εταιρία για την αποστολή των παραγγελιών, ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να συσκευαστούν εξατομικευμένα. Στην περίπτωση της τιμής, ο διαχωρισμός των μικρών προϊόντων γίνεται με βάση εάν πρέπει να προσαρτηθεί αντικλεπτικό σε αυτά ή όχι.

Τομέας Μικρών Υλικών Χαμηλής Τιμής

Με βάση τα παραπάνω, αρχικά υπάρχει το τμήμα για τα αγαθά μικρών διαστάσεων και χαμηλής τιμής, όπως τα σχολικά αναλώσιμα, διακοσμητικά, παιχνίδια, βιβλία και τσάντες. Για λόγους προστασίας δεδομένων και ονομασιών, ο συγκεκριμένος τομέας θα αποκαλείται Α. Στο εξεταζόμενο τμήμα οι συνθήκες ασφάλειας δεν είναι αυστηρές, καθώς όποιος εργαζόμενος επιθυμεί μπορεί να μεταβεί για να αναλώσει προϊόντα τα οποία χρειάζεται για τη δουλεία του.

Αρχικά ο χώρος συλλογής αποτελείται από δύο είδη διαδρόμων, τους στατικούς και τους δυναμικούς. Οι στατικοί διάδρομοι σε πλήθος ανέρχονται στους 40 και αποτελούνται ο κάθε ένας από δύο στήλες ραφιών που βρίσκονται στα αριστερά και δεξιά, με συνολικό μήκος 8000 mm. Η κάθε στήλη αριθμεί πέντε (5) φάτνωμα, μήκους 1600 mm, τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο, ενώ το κάθε φάτνωμα αποτελείται από τέσσερις μεταλλικούς πυλώνες, πάνω στους οποίους είναι μόνιμα βιδωμένα ράφια, τα οποία ισαπέχουν το ένα με το άλλο. Ο συνολικός τους αριθμός ανά φάτνωμα είναι πέντε (5), με απόσταση 450 mm μεταξύ τους, εκ των οποίων το ωφέλιμο ύψος για την αποθήκευση των αγαθών, εάν προσμετρηθεί το πάχος του ραφιού και του υποστηρικτικού δοκαριού, είναι 390 mm, με το βάθος τους να φτάνει τα 520 mm.

Οι 40 διάδρομοι χωρίζονται ισόποσα σε δύο επίπεδα, στο ισόγειο και στον πρώτο ημιώροφο, και βαίνουν όλοι καθέτως σε έναν ενιαίο ραουλόδρομο (conveyor) που εξυπηρετεί τη ροή των υλικών εντός του τομέα.

Οι θέσεις που βρίσκονται σε αυτούς τους διαδρόμους ονομάζονται στατικές καθώς οι συσκευασίες που αποθηκεύονται εκεί δεν μετακινούνται από μόνες τους, εκτός και αν τις μετατοπίσει κάποιος αρμόδιος συλλέκτης (picker) ή γεμιστής. Τα μεγέθη των στατικών θέσεων, σύμφωνα με τους διαστασιολογικούς περιορισμούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι συνολικά τέσσερα, και είναι όλα πολλαπλάσια του όγκου μίας βασικής μονάδας που ονομάζεται S. Η μονάδα S έχει διαστάσεις

320mm (μήκος) x 390 mm (ύψος) x 520 mm (βάθος)

Με βάση την S προκύπτουν άλλα τρία είδη θέσεων, με μοναδική διαφοροποίηση αυτή του μήκους, καθώς το ύψος και το βάθος δεν μπορούν να αλλάξουν λόγω των διαστάσεων που έχουν τα ράφια.

- Θέσεις S2, όπου αποτελούν τον υποδιπλάσιο όγκο της S με διαστάσεις 160 mm (μήκος) x 390 mm (ύψος) x 520 mm (βάθος).
- Θέσεις 2S, με τον διπλάσιο όγκο της S διαστάσεων 640 mm (μήκος) x 390 mm (ύψος) x 520 mm (βάθος)
- Θέσεις 4S, με τον τετραπλάσιο όγκο της S, διαστάσεων 640 mm (μήκος) x 780 mm (ύψος) x 520 mm (βάθος). Η ιδιαιτερότητα αυτού του τύπου είναι πως είναι οι μόνες θέσεις όπου το ύψος διπλασιάζεται, καθώς αντί για πέντε ράφια ανά φάτνωμα, υπάρχουν μόνο τρία. Οι

θέσεις βρίσκονται μόνες τους σε δύο συγκεκριμένους διαδρόμους λόγω της διαφορετικής τους δομής, φιλοξενώντας μόλις το 0,5% των συνολικών προϊόντων του εξεταζόμενου τομέα.

Σύμφωνα με τις παραπάνω διαστάσεις, ο ελάχιστος αριθμός θέσεων που χωράνε σε ένα ράφι είναι τρεις, δηλαδή δύο θέσεις 2S και μία S, και ο μέγιστος είναι 10, εάν είναι όλες S2. Τα όρια κάθε θέσης δεν είναι ευδιάκριτα καθώς δεν υπάρχουν διαχωριστικά μεταξύ τους. Κάθε μία από μία από αυτές έχει ένα ξεχωριστό όνομα, που δίνει κωδικοποιημένες πληροφορίες για το που ακριβώς βρίσκεται εντός του αποθηκευτικού τομέα. Το όνομα των θέσεων αποτελείται από έναν 8-ψηφίο κωδικό της μορφής

AA BB ΓΓ ΔΔ

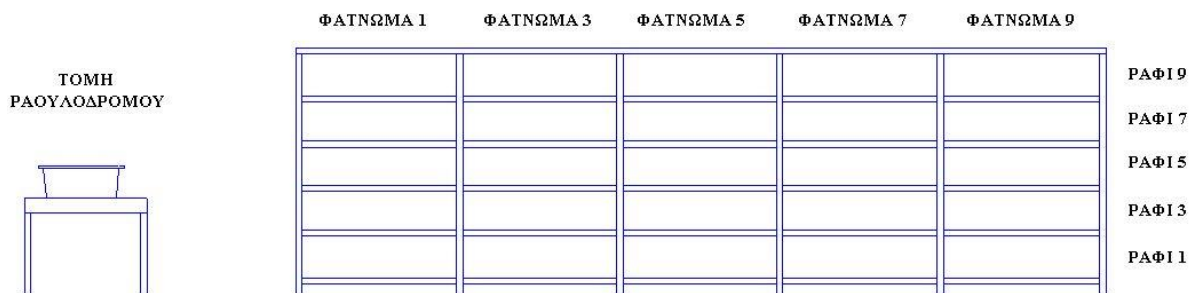
Το 1^ο και 2^ο ψηφίο δηλώνει τον διάδρομο όπου βρίσκεται. Οι στατικοί διάδρομοι ξεκινούν για το ισόγειο από τον αριθμό 15 μέχρι τον 34, και για τον ημιώροφο από τον 45 μέχρι τον 64.

Το 3^ο και 4^ο ψηφίο, δίνουν τον αύξοντα αριθμό του φατνώματος στο οποίο βρίσκονται. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα μονά φατνώματα των διαδρόμων βρίσκονται στην αριστερή στήλη, έτσι όπως κοιτάει ένας συλλέκτης τον διάδρομο από το σημείο εναπόθεσης προϊόντων στο ράουλο, ενώ τα ζυγά φατνώματα στην δεξιά στήλη.

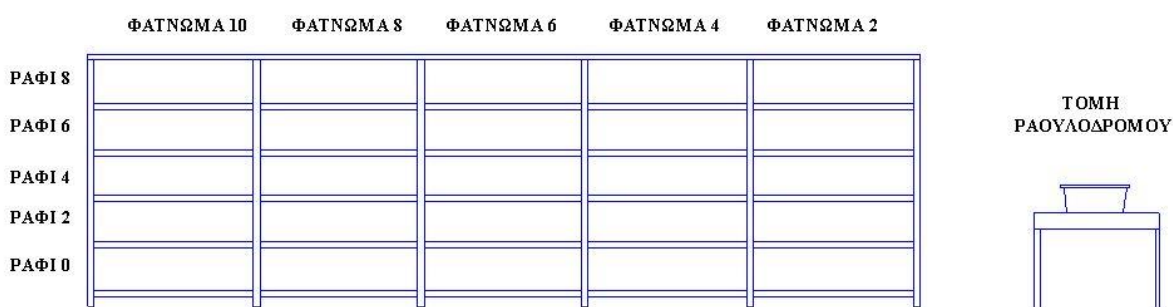
Το 5^ο και το 6^ο ψηφίο είναι δύο μηδενικά. Κάποτε η εταιρεία εκτός από αυτά τα πέντε ράφια ανά φάτνωμα, διατηρούσε ένα έκτο ως χώρο αποθέματος για κάποιες θέσεις συλλογής που βρίσκονταν σε από κάτω ράφια. Στη συνέχεια διαπίστωσε πως κάτι τέτοιο δεν ήταν εργονομικό, οπότε και τα αφαίρεσε. Για αυτό τον λόγο στις θέσεις συλλογής στο 5^ο και 6^ο ψηφίο υπάρχουν δύο μηδενικά, ενώ στις αντίστοιχες του αποθέματος στο έκτο ράφι υπήρχε ο αριθμός 01, ώστε να διακρίνονται εύκολα οι θέσεις συλλογής από τις θέσεις αποθέματος. Πλέον όμως που οι τελευταίες δεν υφίστανται στο συγκεκριμένο χώρο, τα δύο αυτά ψηφία συνεχίζουν να υπάρχουν χωρίς να εξυπηρετούν κάποια ανάγκη.

Το 7^ο ψηφίο εκπροσωπεί τον αύξοντα αριθμό των θέσεων στο ράφι. Αυτός ο αριθμός ξεκινάει από το 1 και μεταβάλλεται ανά 2 νούμερα, με ακολουθία 1, 3, 5, 7, 9 και τα λοιπά, κινούμενος από το σημείο του ραφιού που βρίσκεται κοντά στο σημείο εναπόθεσης, με κατεύθυνση προς το βάθος του διαδρόμου. Σε περίπτωση που γίνει διψήφιος, καταλαμβάνει και το 6^ο ψηφίο του κωδικού, που υπό άλλες συνθήκες δεν χρησιμοποιείται.

Τέλος, το 8^ο ψηφίο δηλώνει τον αριθμό του ραφιού, από το έδαφος και προς τα επάνω, και ξεκινάει από το 1 για τα μονά φατνώματα και από το 0 για τα ζυγά. Η παραπάνω ονοματολογία παρουσιάζει αρκετά προβλήματα εργονομίας, τα οποία θα αναλυθούν εν συνεχεία. Η χαρακτηριστική διάταξη των δύο στηλών ανά στατικό διάδρομο, φαίνονται στις ακόλουθες **εικόνες**.



**ΜΟΝΑ ΦΑΤΝΩΜΑΤΑ
ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ**
Εικόνα 12 - Αριστερή Στήλη Στατικών Διαδρόμων

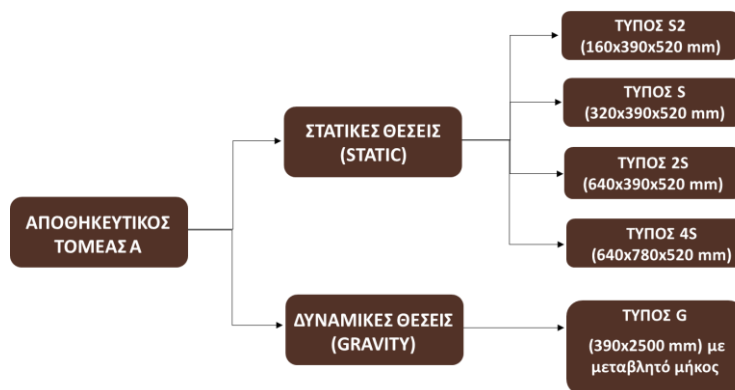


**ΖΥΓΑ ΦΑΤΝΩΜΑΤΑ
ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ**
Εικόνα 11 - Δεξιά Στήλη Στατικών Διαδρόμων

Σειρά έχουν οι δυναμικοί διάδρομοι του συγκεκριμένου τμήματος. Το όνομα τους αποδίδεται στο γεγονός πως σε αντίθεση με τους στατικούς, τα προϊόντα εκεί μετακινούνται κατά το βάθος της θέσης. Οι δυναμικοί διάδρομοι είναι δύο, ο 12 και ο 66, που βρίσκονται στο ισόγειο και στον ημιώροφο αντίστοιχα. Κάθε ένας από αυτούς αποτελείται από 32 φατνώματα, χωρισμένα σε στήλες των 16 αριστερά και δεξιά. Ενδιάμεσα στις δύο στήλες, βρίσκεται ένας μεταφορικός ραουλόδρομος δύο κατευθύνσεων, ο οποίος εξυπηρετεί την μετακίνηση των συλλεγμένων προϊόντων από τα δυναμικά ράφια. Μεταξύ της κάθε στήλης και του ραουλόδρομου μετακινούνται οι συλλέκτες, ενώ από την πίσω πλευρά των ραφιών γίνεται ο ανεφοδιασμός.

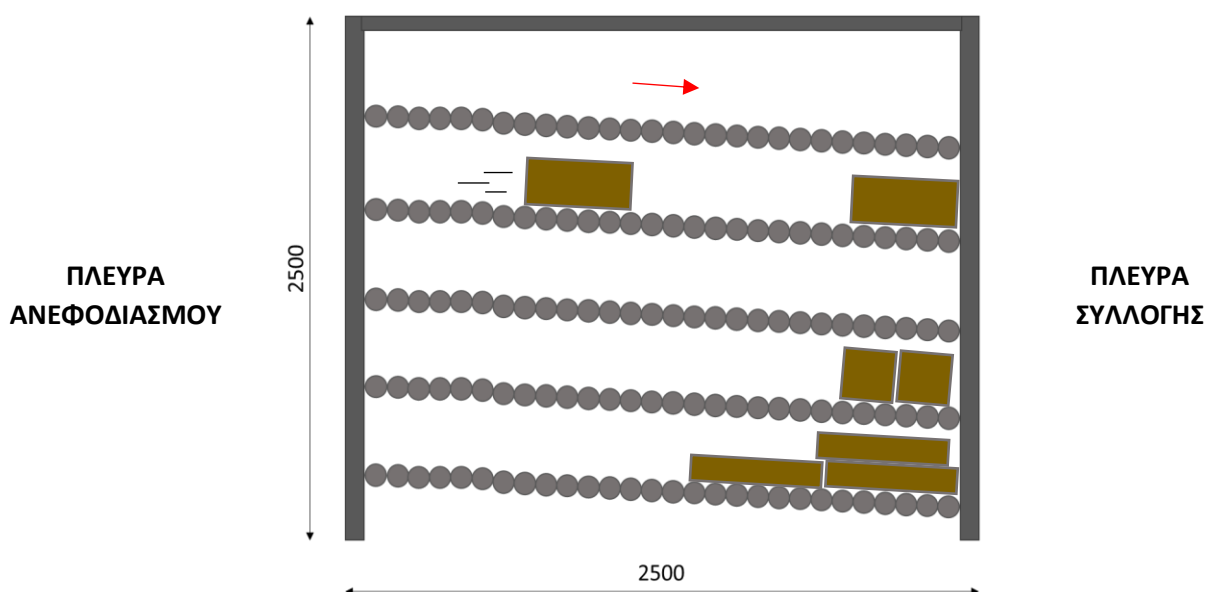
Το κάθε φατνώμα αποτελείται και σε αυτή την περίπτωση από πέντε ράφια, μήκους των 1600 mm και ωφέλιμου ύψους αποθήκευσης 390 mm. Η πρώτη βασική διαφορά από το στατικά είναι το βάθος τους, όπου εδώ ανέρχεται στα 2500 mm. Η δεύτερη είναι πως ενώ τα στατικά ράφια έχουν λεία και οριζόντια επιφάνεια, τα δυναμικά ράφια αποτελούνται από μικρά ράουλα, τα οποία είναι παράλληλα τοποθετημένα κατά την έννοια του μήκους και εκτείνονται σε όλο το βάθος του ραφιού. Συγχρόνως, η κατασκευή τους είναι επικλινή, και έτσι ό,τι συσκευασία τοποθετείται από την πίσω πλευρά, λόγω βαρυτικών δυνάμεων ολισθαίνει προς την μπροστινή. Το μεγάλο βάθος αυτών των ραφιών εξυπηρετεί την αποθήκευση πολλών συσκευασιών ανά θέση, και η κλίση τους διευκολύνει την συνεχή μετακίνηση τους προς το μέρος του συλλέκτη, κάτι που κάνει κατάλληλες τις δυναμικές θέσεις για εξαιρετικά ταχυκίνητα προϊόντα, ή για συσκευασίες μεγάλων διαστάσεων που δεν χωράνε αλλού.

Όσον αφορά το μέγεθος των θέσεων, η αντίστοιχη μονάδα S του στατικού τμήματος, εδώ ονομάζεται G, αλλά έχει τις ίδιες διαστάσεις κατά μήκος και ύψος με την S. Έτσι για την μονάδα G με διαστάσεις 320 mm x 390 mm x 2500 mm, προκύπτουν αντιστοίχως άλλα δύο είδη θέσεων, οι G2 με το υποδιπλάσιο μήκος, και οι 2G με το διπλάσιο. Σε αυτό το σημείο όμως πρέπει να γίνει μία σημαντική παρατήρηση. Αν και θεωρητικά η εταιρεία διατηρεί τρία είδη δυναμικών θέσεων που είναι ορισμένα στο σύστημα με τα συγκεκριμένα ονόματα, στον φυσικό χώρο της αποθήκης δεν ισχύει το ίδιο. Οι δυναμικές θέσεις, σε αντίθεση με τις στατικές, οριοθετούνται με αποσπώμενα διαχωριστικά, τα οποία κάθε φορά οι εργαζόμενοι, και ειδικά οι γεμιστές, αλλάζουν κατά το δοκούν ώστε να χωρέσουν τα προϊόντα. Ως εκ τούτου, σχεδόν καμία δυναμική θέση δεν έχει ακριβώς το ίδιο μήκος με κάποια άλλη του ίδιου είδους, οπότε και κατά την αντιστοίχιση των προϊόντων σε δυναμικές θέσεις συλλογής, οι διαχειριστές του συστήματος δεν δίνουν καμία σημασία τι τύπος θέσης αναγράφεται συστημικά, και επιλέγουν μία τυχαία, αφού γνωρίζουν πως δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα και τα διαχωριστικά μπορούν να μετακινηθούν εάν δεν χωράνε οι συσκευασίες στην επιλεγμένη θέση.



Εικόνα 13 - Είδη και Μεγέθη Θέσεων Τομέα Α

Καθώς η πρόσοψη των δυναμικών φατνωμάτων είναι ίδια με αυτή των στατικών, στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η πλάγια όψη σε τομή ενός δυναμικού φατνώματος πέντε ραφιών. Σημειώνεται πως αρχικά τα δυναμικά ράφια είναι οριζόντια και μετά από κάποιο βάθος αποκτούν την κλίση που αναγκάζει τα προϊόντα να μετακινούνται.



Εικόνα 14 - Πλάγια Όψη Δυναμικών Ραφιών

Ακόμα παρουσιάζεται η γενική κάτοψη του τομέα, η οποία είναι ίδια και για τους δύο ορόφους.



Εικόνα 15 - Κάτοψη Τομέα Α

Το τμήμα των κωδικών μικρών διαστάσεων και χαμηλής τιμής είναι ο αποθηκευτικός τομέας στον οποίο πρόκειται να βασιστεί η εν λόγω βελτιστοποίηση που πραγματεύεται η εργασία, η οποία θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 4. Για λόγους πληρότητας, θα αναφερθούν πληροφορίες και για τους υπόλοιπους αποθηκευτικούς τομείς, χωρίς να γίνει εκτεταμένη ανάλυση, καθώς υπερβαίνει τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Τομέας Μικρών Υλικών Υψηλής Τιμής

Σε αυτόν τον τομέα, έστω Β, συγκαταλέγονται όλα τα ηλεκτρονικά είδη μικρών διαστάσεων, τα οποία έχουν μεγάλη αξία. Σε αυτούς τους κωδικούς προσαρτώνται αντικλεπτικές συσκευές, όπως κονκάρδα αράχνης (WASP) για ποικίλα μεγέθη συσκευασιών, αντικλεπτική θήκη για ηλεκτρονικά παιχνίδια αλλά και αυτοκόλλητες ετικέτες που φέρουν πάνω τον κωδικό αναγνώρισης του προϊόντος. Οι συνθήκες ασφάλειας στον συγκεκριμένο χώρο αποθήκευσης είναι ιδιαίτερα τεταμένες και αυστηρές, καθώς φυλάσσεται από κλειστό σύστημα παρακολούθησης, διαθέτει συναγερμούς σε όλες τις εισόδους και εξόδους και θύρα ανίχνευσης μετάλλων. Επιπλέον η είσοδος επιτρέπεται μόνο σε ειδικά εξουσιοδοτημένους υπαλλήλους που εργάζονται χρόνια στην επιχείρηση και απασχολούνται αποκλειστικά στον συγκεκριμένο τομέα και όχι σε άλλα πόστα εργασίας στην αποθήκη. Οι συνολικές θέσεις αυτού του χώρου είναι σημαντικά λιγότερες από τον τομέα Α, καθώς οι κωδικοί που αποθηκεύονται εκεί είναι πιο περιορισμένοι. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα προϊόντα προσφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό των ετήσιων εσόδων της επιχείρησης.

Τομέας Μεγάλων Υλικών Χαμηλής Τιμής

Ο τομέας Γ φιλοξενεί προϊόντα των οποίων οι διαστάσεις δεν τους επιτρέπουν να αποθηκευτούν στον τομέα Α, όπως για παράδειγμα έπιπλα, οικιακές συσκευές, ογκώδη παιχνίδια και άλλα. Οι θέσεις αυτού του τμήματος είναι μεγάλου ύψους, ξεκινώντας από το επίπεδο του εδάφους και φτάνοντας τα 8 μέτρα ύψος. Ως εκ τούτου, η συλλογή των αγαθών γίνεται με την χρήση βοηθητικών

μηχανισμών, όπως περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα αντίβαρου, πλαϊνής φόρτωσης, και παλετοφόρων, τα οποία χειρίζεται εκπαιδευμένο προσωπικό με ειδική άδεια οδήγησης. Η ιδιαιτερότητα αυτού του τομέα είναι ότι περιλαμβάνει και προϊόντα μικρού μεγέθους τα οποία κατέχουν θέση συλλογής και στον τομέα Α. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι πωλούνται σε μεγάλες παρτίδες, οπότε όταν μία παραγγελία απαιτεί μεγάλη ποσότητα αυτών των κωδικών, ποσότητα που ξεπερνά αυτή της μίας αποθηκευτικής μονάδας, η συλλογή γίνεται απευθείας από τον τομέα Γ, ώστε να μην ανεφοδιάζεται η θέση του τομέα Α όπου χωράει λιγότερα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση γίνεται συλλογή από τον τελευταίο.

Τομέας Μεγάλων Υλικών Υψηλής Τιμής

Στο τμήμα Δ, το οποίο η εταιρεία αποκαλεί και κλουβί, αποθηκεύονται προϊόντα μεγάλων διαστάσεων τα οποία είναι και πολύ ακριβά, όπως τηλεοράσεις, φορητοί και σταθεροί υπολογιστές, οθόνες, εκτυπωτές και άλλα. Η ονομασία κλουβί προκύπτει από το γεγονός ότι οι συγκεκριμένοι διάδρομοι που ανήκουν στον τομέα Δ είναι εντός ενός υπερμεγέθους κλουβιού, το οποίο ασφαλίζει περιμετρικά όλον τον τομέα και εκτείνεται καθ' όλο το ύψος, κλείνοντας και τον χώρο πάνω από αυτόν. Το κλουβί κλειδώνεται κατά το κλείσιμο της αποθήκης ώστε να διασφαλιστεί ο έλεγχος και η προστασία των αγαθών εντός αυτού, τα οποία έχουν πολύ μεγάλη χρηματική αξία για την επιχείρηση. Η διάταξη των θέσεων είναι ίδια με αυτή του τομέα Γ, δηλαδή θέσεις μεγάλου ύψους, και ο τρόπος συλλογής και απόθεσης από και προς τις θέσεις γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση των μηχανημάτων που προαναφέρθηκαν.

Κάθε ένας από τους παραπάνω τομείς συλλογής διαθέτει και τον αντίστοιχο τομέα θέσεων αποθέματος, που βρίσκονται σε ράφια μεγάλου ύψους, είτε στον τομέα Γ για τα προϊόντα των τμημάτων Α και Γ, είτε στον τομέα Δ, εντός του κλουβιού, για τα αντίστοιχα του τμήματος Β και Δ.

3.2.2 Τομέας Παραλαβών και Αποστολών

Ο τομέας παραλαβών αποτελεί τον χώρο στον οποίο γίνεται η εκφόρτωση όλων των παραληφθέντων προϊόντων. Τα αγαθά τα οποία καταφτάνουν στον χώρο αυτόν διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στους κωδικούς προς αποθήκευση και στα αγαθά προς διαμονή διασταύρωσης (Cross-docking), δηλαδή των προϊόντων εκείνων που δεν απαιτείται αποθήκευση στους χώρους της επιχείρησης, αλλά μεταβαίνουν απευθείας στον χώρο αποστολών, για άμεση παράδοση στους παραλήπτες. Ο χώρος αποστολών βρίσκεται δίπλα στον χώρο παραλαβών, αλλά διαχωρίζεται από αυτόν λόγω των γραφείων που παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Αυτό εξυπηρετεί στο να μην μπερδεύονται συσκευασίες που μόλις έφτασαν με άλλες που πρόκειται να διανεμηθούν. Παρά την ενδιάμεση παρεμβολή των γραφείων, οι δύο τομείς συνδέονται μέσω ενός μεγάλου διαδρόμου, όπως φαίνεται στην κάτοψη, ο οποίος διευκολύνει τη ταχεία ροή των υλικών από τις παραλαβές στις αποστολές, με χρήση ηλεκτρικών παλετοφόρων.

3.2.3 Γραφεία

Η επιχείρηση διατηρεί τα κεντρικά της γραφεία στο συγκεκριμένο κέντρο διανομής. Εκεί συστεγάζονται όλα τα επιμέρους τμήματα διοίκησης, όπως το τμήμα Αποθήκευσης και Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Πωλήσεων, Οικονομικών και Λογιστικής, Προώθησης και Δημοσίων Σχέσεων, Ανθρώπινου Δυναμικού, Τεχνικής Υποστήριξης και Συναρμολόγησης. Το κτήριο των γραφείων αποτελεί τμήμα του κέντρου διανομής, και όχι διαφορετικό συγκρότημα, και περιλαμβάνει τρεις ορόφους, με τα γραφεία του τομέα Αποθήκευσης και Εφοδιαστικής Αλυσίδας να βρίσκονται στο ισόγειο, για άμεση πρόσβαση των εργαζομένων στην αποθήκη. Οι εργαζόμενοι των άλλων τμημάτων χρειάζονται ειδική άδεια για να μεταβούν στους αποθηκευτικούς χώρους.

3.2.4 Κατάστημα

Η επιχείρηση διατηρεί το κατάστημα του δήμου εντός του κέντρου διανομής, το οποίο διαχωρίζεται από την αποθήκη, καθώς η είσοδος στους πελάτες απαγορεύεται αυστηρά. Σε αυτό πωλούνται σχεδόν όλα τα είδη που περιλαμβάνει το κωδικολόγιο της εταιρείας, και διατίθενται υπηρεσίες τεχνικής υποστήριξης και επισκευής σε περίπτωση βλάβης των ηλεκτρονικών ειδών.

3.3 Ροή Υλικών

Στην παρούσα ενότητα θα περιγραφεί η διακίνηση των προϊόντων εντός του κέντρου διανομής, συγκεκριμένα για τον Τομέα Α, από τη στιγμή που παραλαμβάνονται από την εταιρεία, μέχρι την ώρα που αποστέλλονται στον πελάτη. Ακόμα θα περιγραφεί η πολιτική ανάθεσης θέσεων που ακολουθεί η επιχείρηση, καθώς και οι επιμέρους διαδικασίες συλλογής και ανεφοδιασμού.

3.3.1 Άφιξη Προϊόντων

Η άφιξη των υλικών γίνεται στον ειδικά διαμορφωμένο χώρο εκφόρτωσης ο οποίος αναλύθηκε παραπάνω. Το μέσο μεταφοράς πλησιάζει μία από τις ράμπες που διαθέτει ο τομέας παραλαβών με την όπισθεν, και οι παλέτες με τους κωδικούς μεταφέρονται από το φορτηγό εντός του κτηρίου μέσω ηλεκτρικών παλετοφόρων. Με την εκφόρτωση και πριν τα υλικά μεταβούν στον χώρο αποθήκευσης, θα πρέπει να ελεγχθούν για την ποιότητα και την ποσότητα τους, επομένως η διαδικασία που ακολουθεί περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Κάθε μέρα η εταιρεία τυπώνει λίστες με όλους τους κωδικούς που πρόκειται να παραλάβει, παλιούς και νέους, και τις μοιράζει στους αρμόδιους εργαζομένους του τομέα παραλαβών αλλά και της διοίκησης του συστήματος (SAP). Οι αναμενόμενες παραλαβές υπάρχουν και εντός του συστήματος.
2. Κατά την άφιξη τους, όλα τα υλικά στοιχίζονται εντός οριοθετημένων περιοχών και ομαδοποιούνται ανάλογα με τον προμηθευτή από τον οποίο προέρχονται.
3. Στη συνέχεια ελέγχεται εάν η υπάρχουσα ποσότητα συνάδει με την αναμενόμενη. Ο αρμόδιος ελεγκτής σκανάρει τον κωδικό αναγνώρισης της συσκευασίας, και πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα, το είδος και την τιμή του προϊόντος εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή. Εκεί επιβεβαιώνει στο σύστημα ότι παραλήφθηκε όλη η προσδοκώμενη ποσότητα, αλλιώς η επιχείρηση πρέπει να επικοινωνήσει άμεσα με τον προμηθευτή ή την εταιρεία μεταφοράς.
4. Στη συνέχεια ελέγχεται από το σύστημα εάν ο συγκεκριμένος κωδικός είναι παλιός ή νέος, δηλαδή εάν είναι η πρώτη του άφιξη στην αποθήκη ή όχι. Δημιουργούνται έτσι τρία πιθανά σενάρια:
 - Εάν ο κωδικός είναι νέος, πρέπει να του καταχωρηθεί μία θέση στο σύστημα από τους εργαζόμενους του τομέα Αποθήκευσης και Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Η πολιτική ανάθεσης θα περιγραφεί παρακάτω.
 - Εάν ο κωδικός είναι παλιός και διατηρεί θέση συλλογής και η θέση του έχει επάρκεια προϊόντων, η ποσότητα που μόλις παραλήφθηκε μεταφέρεται αμέσως στον τομέα αποθεμάτων (Stock), ενώ εάν δεν υπάρχει επάρκεια, μεταφέρεται όση ποσότητα ορίζεται από το σύστημα στην θέση συλλογής, και η υπόλοιπη στη θέση αποθέματος.
 - Τέλος, εάν ο κωδικός είναι μεν παλιός, αλλά δεν διατηρεί θέση συλλογής, τότε βάση ιστορικότητας το σύστημα τον αναθέτει αυτόματα σε μία τυχαία διαθέσιμη θέση τους ίδιου είδους που ήταν και η αρχική του, και μεταφέρει ένα μέρος της ποσότητας εκεί, ενώ η υπόλοιπη πάει στον τομέα αποθέματος.
5. Η μεταφορά των κωδικών γίνεται με ηλεκτρικά παλετοφόρα μέχρι τον εκάστοτε τομέα αποθήκευσης, και από εκεί χρησιμοποιούνται είτε χειροκίνητες καλαθούνες για τους τομείς Α και Β, είτε περονοφόρα ανυψωτικά για τις ψηλές θέσεις των Γ και Δ.

3.3.2 Πολιτική Ανάθεσης Θέσης Συλλογής (Storage Policy)

Μεγάλη σημασία έχει να σχολιαστεί ο τρόπος ανάθεσης ενός προϊόντος σε μία θέση. Η πολιτική ανάθεσης είναι τυχαία (Random Storage Policy), καθώς ο κάθε κωδικός διατηρεί μία συγκεκριμένη θέση συλλογής στην αποθήκη για όσο βρίσκεται εντός αυτής, αλλά με το που πωληθεί όλη η ποσότητα του και δεν αναμένεται άφιξη νέας παρτίδας, το σύστημα διαγράφει την αντιστοίχιση και αναθέτει νέο προϊόν σε αυτή τη θέση. Ο τρόπος όμως επιλογής του τομέα ή του είδους της θέσης δεν είναι τυχαίος, αλλά βασίζεται σε κάποια κριτήρια.

Κατά την άφιξη ενός νέου κωδικού, χωρίς θέση συλλογής ή ιστορικά δεδομένα εντός του SAP, οι εργαζόμενοι των συστημάτων καλούνται να μεταβούν στον χώρο παραλαβών για να αξιολογήσουν το νέο προϊόν. Αρχικά θα πρέπει να αποφασίσουν σε ποιόν τομέα αποθήκευσης θα το κατατάξουν, με κριτήριο τις διαστάσεις που έχει σε επίπεδο τεμαχίου και την τιμή του, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Στη συνέχεια, για τον τομέα που επέλεξαν, πρέπει να αποφανθούν σε ποιο είδος θέσης είναι καλύτερο να ανατεθεί ο κωδικός. Για τον τομέα Γ και Δ όπου τα προϊόντα αποθηκεύονται πάνω στις παλέτες, οι θέσεις καθορίζονται βάση του ύψους της παλέτας με την οποία έγινε η παραλαβή. Όμως για τα τμήματα Α και Β, όπου οι θέσεις, στατικές και δυναμικές, είναι πολύ μικρότερων διαστάσεων, η μέθοδος είναι πιο περίπλοκη. Εκεί ο εργαζόμενος καλείται να μετρήσει τις ακριβείς διαστάσεις της εξωτερικής συσκευασίας. Αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις τέσσερις που αναλύθηκαν παραπάνω. Συνήθως, με λίγες εξαιρέσεις, στη θέση συλλογής το προϊόν μπαίνει με βάση την αποθηκευτική μονάδα με την οποία παραλήφθηκε. Στη συνέχεια, ο εργαζόμενος γνωρίζοντας τις επιμέρους διαστάσεις κάθε είδους θέσης, αντιστοιχίζει το προϊόν στην μικρότερη δυνατή που το χωράει, με σκοπό την μέγιστη αξιοποίηση χώρου, και κατόπιν ελέγχει εάν μπορεί να τοποθετήσει και παραπάνω από μία συσκευασία στην ίδια θέση. Το κριτήριο με βάση το οποίο επιλέγει εάν αυτή η θέση θα είναι στατική ή δυναμική έγκειται στην ποσότητα των συσκευασιών που ήρθαν στην αποθήκη. Εάν η ποσότητα είναι μεγάλη, συμπεραίνει πως ο κωδικός προβλέπεται (forecasting) να είναι ταχυκίνητος, οπότε και τον τοποθετεί σε δυναμικές θέσεις. Σε αντίθετη περίπτωση, και εάν χωράει φυσικά, το προϊόν ανατίθεται σε στατικές.

Αφού ολοκληρώσει αυτήν την αξιολόγηση, μεταβαίνει πάλι στον χώρο των γραφείων όπου εκεί διαλέγει συστημικά μία τυχαία διαθέσιμη θέση του είδους και του τομέα που επέλεξε με βάση τα παραπάνω κριτήρια. Στη συνέχεια καθορίζει τις μέγιστες ποσότητες των συσκευασιών που χωράνε στη θέση, οι οποίες υπολογίζονται με το μάτι και όχι με κάποιον συστηματικό τρόπο, συμπληρώνει την ποσότητα στην οποία θα γίνει ανεφοδιασμός καθώς και άλλες επιλογές, όπως προσάρτηση αντικλεπτικών. Το κριτήριο εναπόθεσης, που είναι κατά βάση οι διαστάσεις της μίας συσκευασίας, δημιουργεί πολλά προβλήματα αποδοτικότητας τα οποία θα σχολιαστούν στη συνέχεια, και θα επιλυθούν μέσω της βελτιστοποίησης.

3.3.3 Συλλογή Προϊόντων Τομέα Α

Για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, η περιγραφή των μεθόδων συλλογής θα εστιάσει κυρίως στα προϊόντα του τομέα Α, όπου θα γίνει και η μετέπειτα μελέτη. Η διαδικασία της συλλογής είναι παρόμοια για τις στατικές και δυναμικές θέσεις, με κάποιες διαφορές που θα εξηγηθούν στη συνέχεια.

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω, όλοι οι στατικοί διάδρομοι του τομέα Α, και στο ισόγειο και στον πρώτο ημιώροφο, βαίνουν καθέτως σε έναν ενιαίο ραουλόδρομο, ο οποίος αποτελείται σε κάποια σημεία από ταινία μεταφοράς ενώ σε κάποια άλλα από ράουλα κύλισης. Η διαδρομή του ραουλόδρομου περνάει με τη σειρά από όλα τα σημεία του τομέα Α, ξεκινώντας από το ισόγειο, και συγκεκριμένα από το στατικό τμήμα. Εν συνεχεία, αφού περάσει σειριακά από όλους τους

διαδρόμους μεταξύ του 15 και 34, συνεχίζει προς τον δυναμικό διάδρομο 12, σαρώνοντας αρχικά όλα τα φατνώματα της αριστερής στήλης, ενώ στο τέλος του διαδρόμου αλλάζει κατεύθυνση και κινείται προς τα πίσω, περνώντας από όλα τα φατνώματα της δεξιάς στήλης. Αφού πλέον έχει καλύψει όλους τους διαδρόμους του ισογείου, ο ραουλόδρομος αλλάζει επίπεδο, ανεβαίνοντας στον πρώτο ημιώροφο. Αυτή τη φορά ακολουθεί την αντίθετη διαδρομή, περνώντας πρώτα από την δεξιά στήλη του δυναμικού διαδρόμου 66, μετά από την αριστερή και τέλος καθέτως από όλους τους στατικούς διαδρόμους, ξεκινώντας από τον 64 και πηγαίνοντας προς τον 45. Αφού ολοκληρωθεί και η διαδρομή του στον πρώτο ημιώροφο, αλλάζει επίπεδο, ανεβαίνοντας στον δεύτερο όπου εκεί πλέον εντοπίζεται ο τομέας Β.

Η συλλογή των προϊόντων έχει διττό ρόλο, καθώς η επιχείρηση καλείται να συγκεντρώσει τόσο τις παραγγελίες που προορίζονται για τα καταστήματά της, όσο και τις ατομικές παραγγελίες των πελατών μέσω του διαδικτύου. Για τις πρώτες, χρησιμοποιούνται πλαστικά κουτιά διαστάσεων 300 mm x 350 mm x 400 mm, τα οποία είναι επαναχρησιμοποιούμενα καθώς με την διανομή στο κατάστημα οι συσκευασίες αυτές επιστρέφονται πάλι στην αποθήκη. Για τις δεύτερες παραγγελίες, χρησιμοποιούνται χάρτινες συσκευασίες ποικίλων διαστάσεων ανάλογα με τον όγκο των προϊόντων. Σε κάθε κουτί εναπόθεσης αποδίδεται ένας κωδικός αναγνώρισης με αυτοκόλλητη ετικέτα που τοποθετείται πάνω στα τοιχώματα του, με βάση τον οποίο το σύστημα αντιστοιχίζει ένα πλήθος διαφόρων προϊόντων που κατά τη διάρκεια της συλλογής θα πρέπει να αποδοθούν μέσα στο αντίστοιχο κουτί εναπόθεσης. Τονίζεται πως κάθε κουτί προορίζεται για ξεχωριστές παραγγελίες, είτε πρόκειται για τους πελάτες, είτε για τα καταστήματα. Εάν μία παραγγελία απαιτεί προϊόντα και από τον τομέα Β, τότε το κουτί εναπόθεσης περνάει μέσω του ραουλόδρομου από τα αντίστοιχα σημεία. Στον τομέα Γ και Δ, όπου τα αγαθά είναι μεγάλων διαστάσεων, δεν υπάρχουν ραουλόδρομοι και η συλλογή γίνεται με μηχανικά μέσα.

Τα εν λόγω κουτιά μετακινούνται εντός της αποθήκης πάνω στον κινούμενο ραουλόδρομο, και το κάθε ένα περνάει από κάθε σημείο του τομέα Α. Τόσο ο στατικός όσο και ο δυναμικός τομέας χωρίζονται σε επιμέρους ζώνες, στις οποίες απασχολούνται από δύο μέχρι και τέσσερις συλλέκτες ανάλογα με τον φόρτο εργασίας της βάρδιας. Για τον στατικό τομέα, η κάθε ζώνη περιλαμβάνει τέσσερις με πέντε διαδρόμους, ενώ στον δυναμικό τομέα ο διαχωρισμός γίνεται σε επίπεδο φατνώματος, όπου σε κάθε ζώνη αντιστοιχούν πέντε με έξι. Φυσικά στην ίδια ζώνη ανήκουν αποκλειστικά θέσεις που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, και όχι σε διαφορετικούς ορόφους.

Κάθε κουτί με αναγραφόμενο τον κωδικό αναγνώρισης σταματάει στον σταθμό κάθε ζώνης, σύμφωνα με την σειρά που ακολουθεί ο ραουλόδρομος, μόνο εάν το σύστημα ορίζει ότι πρέπει να συλλεχθούν προϊόντα από τον συγκεκριμένο σταθμό, αλλιώς προχωράει απευθείας στον επόμενο. Σε περίπτωση που το κουτί δεν απαιτεί προϊόντα από άλλους ορόφους, τότε ο ραουλόδρομος διακλαδίζεται σε κάποια σημεία ώστε να αποφεύγεται η ανώφελη μετακίνηση των κουτιών σε όλο τον τομέα, και αυτά τα πακέτα πηγαίνουν απευθείας για έλεγχο ποιότητας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως εάν υπάρχει ένα σύνολο από ατομικές παραγγελίες πελατών, όπου η κάθε μία έχει μικρό αριθμό τεμαχίων οπότε και μπαίνει σε μικρές συσκευασίες κουτιών, και μόνο εάν αυτές έχουν πολλά κοινά προϊόντα μεταξύ τους, τότε οι συγκεκριμένες παραγγελίες ομαδοποιούνται σε ένα μεγάλο κουτί εναπόθεσης, το οποίο περιλαμβάνει στο εσωτερικό του μικρότερες θέσεις που χωράνε τις ατομικές συσκευασίες τους, κάθε μία από τις οποίες φέρει διαφορετικό κωδικό αναγνώρισης, ανεξάρτητο από αυτόν του εξωτερικού κουτιού. Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε η συλλογή παραγγελιών που είναι μικρές, δηλαδή περνάνε από λίγες ζώνες, και όμοιες, δηλαδή περνάνε από τις ίδιες ακριβώς ζώνες και απαιτούν τους ίδιους κωδικούς, να γίνεται ταυτόχρονα.

Κατά την άφιξη ενός κουτιού σε έναν από τους σταθμούς, ο πρώτος ελεύθερος συλλέκτης το παραλαμβάνει και σαρώνει με την χρήση σκάνερ τον αναγνωριστικό κωδικό του. Τότε στην οθόνη

του σκάνερ εμφανίζεται η πρώτη θέση, εντός της ζώνης του, από την οποία πρέπει να κάνει τη συλλογή, αλλά και η αντίστοιχη ποσότητα. Αφού μεταβεί στη θέση, σκανάρει τον κωδικό του προϊόντος που βρίσκεται εκεί, ώστε το σύστημα να επαληθεύσει ότι αυτό είναι το προϊόν το οποίο απαιτείται να συλλέξει. Τότε ο συλλέκτης λαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα από κάποια ήδη ανοιγμένη συσκευασία, ή ανοίγει νέα εάν δεν υπάρχει κάποια άλλη. Αφού μετρήσει με προσοχή τα τεμάχια, στη συνέχεια επανέρχεται στην θέση εναπόθεσης και τα παραθέτει μέσα στο κουτί. Παράλληλα, εάν υπάρχει και δεύτερος ελεύθερος εργαζόμενος στην ίδια ζώνη, σκανάροντας και αυτός τον κωδικό πάνω στο κουτί, το σύστημα διαιρεί τις εντολές ισόποσα στους δύο συλλέκτες ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία. Σε περίπτωση που το εν λόγω κουτί έχει μέσα μικρότερες ομαδοποιημένες παραγγελίες με ατομικούς κωδικούς, ο συλλέκτης καλείται να μοιράσει τα συλλεγμένα τεμάχια στις αντίστοιχες συσκευασίες. Σκανάρωντας κάθε ατομικό κωδικό, το σκάνερ του λέει τι ποσότητα πρέπει να εναποθέσει εντός των επιμέρους κουτιών (sort-while-pick). Υπογραμμίζεται πως αυτή η περίπτωση αποτελεί μικρό ποσοστό των συνολικών εντολών συλλογής για τη συγκεκριμένη εταιρεία. Με την ολοκλήρωση της συλλογής όλων των απαραίτητων κωδικών και ποσοτήτων, το κουτί προχωράει στην αμέσως επόμενη ζώνη, ενώ το διαδέχεται το επόμενο στη σειρά. Συνεπώς, είναι ξεκάθαρο πως η μέθοδος συλλογής των προϊόντων του τομέα Α είναι «*Συλλέκτης-σε-Τεμάχιο*» (Picker-to-Part), με συνδυασμό ομαδικής (Batch Picking) και διακριτής συλλογή προϊόντων (Discrete Picking) ανάλογα με τον όγκο της παραγγελίας, η οποία έχει προοδευτικό χαρακτήρα καθώς ολοκληρώνεται σταδιακά, με το κουτί να περνάει από ζώνη σε ζώνη (Progressive Zoning).

Η διαδικασία συλλογής της παραγγελίας ολοκληρώνεται με τον έλεγχο των προϊόντων εντός του κουτιού εναπόθεσης. Το κουτί περνάει πάνω από ζυγαριά ακριβείας, η οποία σκανάρει τον κωδικό αναγνώρισης του, και συγκρίνει το τρέχον ωφέλιμο βάρος περιεχομένου με το αναμενόμενο, καθώς στο σύστημα είναι καταχωρημένο το τεμαχιακό βάρος κάθε κωδικού αλλά και η ποσότητα του τεμαχίων εντός της παραγγελίας. Με αυτόν τον τρόπο η επιχείρηση διασφαλίζει πως δεν έχει γίνει κάποιο λάθος κατά την συλλογή των αγαθών. Εφόσον το κουτί παραγγελίας περάσει τον έλεγχο, σφραγίζεται και καταλήγει μέσω του ραουλόδρομου στον τομέα αποστολών.

3.3.4 Ανεφοδιασμός

Η διαδικασία του ανεφοδιασμού αποτελεί μία πολύ σημαντική λειτουργία για τον τομέα της αποθήκευσης. Με την έννοια ανεφοδιασμός νοείται η τροφοδοσία της θέσης συλλογής με επιπλέον συσκευασίες προερχόμενες από τη θέση αποθέματος, ή και κατευθείαν από τις παραλαβές, στην περίπτωση όπου η εναπομένουσα ποσότητα δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της ζήτησης. Ο ανεφοδιασμός απαιτεί την απασχόληση πλήθους παραγωγικών πόρων, όπως αρμόδιους γεμιστές, χειριστές ανυψωτικών και μηχανήματα μεταφοράς.

Εντός του συστήματος καταχωρείται για κάθε κωδικό η ελάχιστη ποσότητα τεμαχίων κατά την οποία δημιουργείται αυτόματα εντολή ανεφοδιασμού στη θέση συλλογής. Αυτή η ποσότητα εξαρτάται από το μέγεθος της θέσης και την κινητικότητα του υλικού. Συνήθως η εταιρεία επιλέγει την ποσότητα αυτή ώστε μέχρι να γίνει ο ανεφοδιασμός, η θέση να μην βρεθεί με μηδενικό αριθμό τεμαχίων, καθώς τότε παρακωλύεται η διαδικασία συλλογής. Παρόλα αυτά, λόγω των πολύ συχνών εντολών ανεφοδιασμού που δημιουργούνται, για λόγους που θα εξηγηθούν σε επόμενη ενότητα, οι παραγωγικοί πόροι δεν μπορούν να διεκπεραιώσουν εντός του επιζητούμενου χρόνου όλες τις εντολές, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καθυστερήσεις.

Αφού η ποσότητα ανεφοδιασμού συλλεχθεί από τις θέσεις αποθέματος μεγάλου ύψους, στη συνέχεια εναποτίθενται σε ειδικά μεταφορικά μηχανήματα που φέρουν πάνω τους καλάθους μεγάλου μεγέθους, οι οποίες μεταφέρουν την ποσότητα αυτή στον τομέα Α. Ακολούθως, οι αρμόδιοι

γεμιστές λαμβάνουν στο σκάνερ τους μία σειρά από εντολές ανεφοδιασμού, οι οποίες είναι ταξινομημένες ανάλογα με τον αύξοντα αριθμό των θέσεων, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόσταση που διανύει ο γεμιστής κατά τον ανεφοδιασμό. Κάθε εμφανιζόμενη εντολή υποδηλώνει στον χρήστη σε ποια θέση πρέπει να μεταβεί, και πόσες αποθηκευτικές μονάδες πρέπει να τοποθετήσει. Ο χρήστης τότε σκανάροντας τη μία συσκευασία λαμβάνει την απαραίτητη επιβεβαίωση για την καταλληλότητα του προϊόντος που πάει να τοποθετήσει στην εν λόγω θέση, και προχωράει στην διεκπεραίωση της εντολής. Ο προσανατολισμός των συσκευασιών κατά την τοποθέτησή τους είναι τυχαίος, και ο γεμιστής καλείται κατά το δοκούν να κρίνει πως είναι καλύτερο να μπουν ώστε να χωρέσει όλη η ποσότητα.

3.4 Χρήση Τεχνολογικών Μέσων

Για τους λειτουργικούς της σκοπούς η επιχείρηση χρησιμοποιεί το λογισμικό SAP, ένα ERP πρόγραμμα ειδικά διαμορφωμένο σύμφωνα τις απαιτήσεις της, το οποίο της επιτρέπει να ελέγχει το αποθηκευτικό σύστημα, και όχι μόνο. Συγκεκριμένα μέσω του SAP η εταιρεία διαχειρίζεται οποιαδήποτε κίνηση προϊόντων γίνεται εντός και εκτός του κέντρου διανομής, γνωρίζοντας κάθε στιγμή την ποσότητα κάθε κωδικού και τη τοποθεσία κάθε τεμαχίου του εντός της εφοδιαστικής της αλυσίδας. Αυτό σημαίνει πως συστημικά οι πληροφορίες που αφορούν ένα προϊόν δεν περιορίζονται μόνο κατά το στάδιο της παρουσίας του μέσα στην αποθήκη, αλλά και πριν την άφιξη του, όπως και μετά την αποστολή του στον τελικό παραλήπτη. Εκτός αυτού, το SAP χρησιμοποιείται για μετρήσεις χωρητικότητας και παραγωγικότητας των εργαζομένων, για διοίκηση έργων μέσα στον αποθηκευτικό χώρο, καθώς και για ιστορικές αναλύσεις δεδομένων ζήτησης, οι οποίες καταλήγουν σε πιο έγκυρες και ασφαλείς μελλοντικές προβλέψεις για τα νέα αγαθά που προμηθεύεται η αποθήκη. Επιπρόσθετα, από την στιγμή που όλοι οι εργαζόμενοι διατηρούν τον προσωπικό τους λογαριασμό εντός του συστήματος, διατηρείται απόλυτη διαφάνεια σχετικά με τις ενέργειες στις οποίες προβαίνει ο κάθε ένας, και έτσι σε περίπτωση προβλήματος μπορεί να βρεθεί γρήγορα σε ποιο σημείο παρεμποδίστηκε η διαδικασία, και από ποιόν. Τέλος, το SAP χρησιμοποιείται και από τους εργαζομένους των καταστημάτων, οι οποίοι γνωρίζουν διαρκώς τα αποθέματα ενός κωδικού στον χώρο τους, σε άλλα καταστήματα ή και στην αποθήκη, ενώ παράλληλα οι εργαζόμενοι του κέντρου διανομής, ενημερώνονται για κάθε πώληση που γίνεται στα φυσικά καταστήματα. Αυτό το κλειστό σύστημα ελέγχου και ανατροφοδότησης είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης και διανομής.

Σε επίπεδο χρησιμοποιούμενων μηχανισμών, το συγκεκριμένο κέντρο διανομής κατατάσσεται στην κατηγορία των μηχανοποιημένων αποθηκών (mechanized warehouses), καθώς τα τεχνολογικά μέσα τα οποία διαθέτει, διατελούν υποστηρικτικό ρόλο για τις ανθρωποκεντρικές της λειτουργίες. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει ισορροπία μεταξύ των χειρωνακτικών εργασιών και της χρήσης αυτοματισμών. Πιο συγκεκριμένα, η κατηγορία των αυτοματοποιημένων συστημάτων αποτελείται από τους κινητούς ραουλόδρομους, οι οποίοι οδηγούν αυτόματα τα κουτιά εναπόθεσης στην διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσουν, ωθώντας τα στην κατεύθυνση των κατάλληλων διακλαδώσεων για να μην περάσουν από χώρους που δεν συμβαίνει καμία δραστηριότητα προστιθέμενης προς το προϊόν αξίας. Εκτός αυτού, το σύστημα ζυγίσματος είναι απόλυτα αυτοματοποιημένο, διαχωρίζοντας χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση τα προβληματικά κουτιά, δηλαδή αυτά που έχουν έλλειψη ή υπερπληθώρα αγαθών συγκριτικά με την δοθείσα παραγγελία. Εκτός αυτών, όλα τα υπόλοιπα μηχανοποιημένα συστήματα λειτουργούν κατόπιν χειρισμού από το ανθρώπινο δυναμικό, το οποίο είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο με ειδική άδεια. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι τα ηλεκτρικά παλετοφόρα, περονοφόρα μηχανήματα (fork-lift trucks), ανυψωτικά μηχανήματα συλλογής (lifting order-picking machines), πλαϊνής φόρτωσης (turret trucks) και άλλα.

3.5 Προβλήματα Αποθηκευτικού Χώρου

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθούν όλα τα προβλήματα που προκύπτουν από τις διαδικασίες του αναφέρθηκαν παραπάνω, τα οποία μειώνουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος. Αυτά τα προβλήματα αποτελούν τα δομικά τμήματα των αντικειμενικών στόχων της βελτιστοποίησης η οποία θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

3.5.1 Επιλογή Θέσεων Συλλογής

Τα μειονεκτήματα του τρόπου με τον οποίο τα προϊόντα αντιστοιχίζονται σε θέσεις συλλογής, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που κληθήκαμε να επιλύσουμε. Πιο συγκεκριμένα, η ανάθεση αυτή βασίζεται ως επί το πλείστον στις διαστάσεις της αποθηκευτικής μονάδας. Ως εκ τούτου, απορρέουν δύο σημαντικά ζητήματα, η έλλειψη εργονομίας και επάρκειας. Η εργονομία της θέσης συνδέεται άμεσα με την ποιότητα των εργασιακών συνθηκών του ανθρώπινου δυναμικού στον τομέα της συλλογής και του ανεφοδιασμού, η οποία δυσχεραίνεται όταν η επιλεγμένη θέση προκαλεί μεγάλο εργασιακό φόρτο και κόπωση στους εργαζομένους. Για παράδειγμα, κατά την αντιστοίχιση των θέσεων δεν λαμβάνεται υπόψιν το βάρος της αποθηκευτικής μονάδας, με αποτέλεσμα πολλές φορές ογκώδη και βαριά προϊόντα να τοποθετούνται σε ψηλές θέσεις, αναγκάζοντας τους εργαζομένους να σηκώνουν πολύ βάρος σε μεγάλο ύψος με τα χέρια τους, κάτι που ενδέχεται να οδηγήσει τόσο σε τραυματισμό, όσο και σε μελλοντικές ανατομικές δυσμορφίες στην πλάτη και τα γόνατα. Επιπλέον, δεν προσμετράται ο παράγοντας της κινητικότητας των προϊόντων, και έτσι ταχικίνητοι κωδικοί τοποθετούνται σε θέσεις πολύ μακριά από τον ραουλόδρομο, αναγκάζοντας τους συλλέκτες να πραγματοποιούν πολλές φορές μέσα στη μέρα μεγάλες αποστάσεις, κάτι που τους κάνει λιγότερο παραγωγικούς και ενεργητικούς με την πάροδο της ώρας.

Ακόμα, η παράβλεψη της κινητικότητας των επιμέρους κωδικών δημιουργεί συμφόρηση κινήσεων σε ορισμένους διαδρόμους, ενώ άλλοι μένουν οριακά αναξιοποίητοι. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα και στον διαμοιρασμό του φόρτου εργασίας, καθώς κάποιες ζώνες συλλογής είναι ιδιαίτερα επιβαρυνμένες, με τους εργαζομένους να εξουθενώνονται, ενώ οι αντίστοιχοι συλλέκτες άλλων σταθμών μένουν για ώρα χωρίς εντολές συλλογής από το σύστημα.

Από την άλλη η επάρκεια ημερών των τοποθετημένων συσκευασιών είναι σημαντικά μικρή, καθώς κάθε προϊόν μπαίνει στην μικρότερη δυνατή θέση που μπορεί να χωρέσει η αποθηκευτική του μονάδα. Αποτέλεσμα αυτού είναι κάποια είδη να απαιτούν καθημερινό ανεφοδιασμό της θέσης συλλογής τους, δημιουργώντας μεγάλη συσσώρευση εντολών γεμίσματος, οι οποίες όταν δεν μπορούν να διεκπεραιωθούν εγκαίρως, προκαλούν καθυστερήσεις στην προετοιμασία των παραγγελιών. Και ενώ αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να αποφευχθεί με την τοποθέτηση μικρότερων αλλά ταχικίνητων αποθηκευτικών μονάδων σε μεγαλύτερες θέσεις συλλογής, ικανές να χωρέσουν περισσότερες συσκευασίες, το κριτήριο της διάστασης ως μοναδικό παράγοντα επιλογής θέσης εντός του τομέα Α ενδυναμώνει το υπάρχον πρόβλημα.

Τέλος, καθώς η μέγιστη ποσότητα συσκευασιών, όπως ειπώθηκε, καθορίζεται κατά το δοκούν από τον εργαζόμενο χωρίς κάποιο συστηματοποιημένο τρόπο, γίνονται συχνά λάθη με τους διαχειριστές του συστήματος να προβαίνουν σε άστοχη αξιολόγηση του όγκου των θέσεων, αναθέτοντας περισσότερες, ή λιγότερες, συσκευασίες από ότι μπορεί να φιλοξενήσει η θέση. Ως αποτέλεσμα αυτού, πολλές φορές είτε σχηματίζεται μεγάλος νεκρός όγκος, είτε λόγω απουσίας ευδιάκριτων ορίων της κάθε θέσης, οι γεμιστές καταλαμβάνουν χώρο και από διπλανές θέσεις για να τοποθετήσουν μεγάλες ποσότητες που δεν χωράνε σε μία.

3.5.2 Μεγέθη Θέσεων Συλλογής

Ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι τα μεγέθη των υπαρχουσών θέσεων συλλογής, και συγκεκριμένα των μονάδων S και G. Οι βασικές μονάδες μελετήθηκαν και καθορίστηκαν κατά τη δημιουργία του συγκεκριμένου αποθηκευτικού κέντρου, πριν περίπου 15 χρόνια. Έκτοτε, ενώ το κωδικολόγιο της επιχείρησης έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά, με αύξηση της τάξης του 50 %, δεν έχει επανεξεταστεί από την εταιρεία το ενδεχόμενο τα μεγέθη των θέσεων συλλογής να χρήζουν άμεσης τροποποίησης λόγω των νέων απαιτήσεων που δημιουργούνται. Ακόμα, δεδομένου του προβλήματος των δυναμικών θέσεων, όπου δεν υπάρχει συγκεκριμένο μέγεθος το οποίο να τηρείται και λαμβάνοντας υπόψιν πως η εταιρεία σκοπεύει να προβεί σε ακόμα μεγαλύτερη επέκταση του κωδικολογίου της, κρίνεται απαραίτητο να γίνει βελτιστοποίηση και των μεγεθών και αλλά της χωρητικότητας των θέσεων συλλογής.

3.5.3 Διαδικασία Συλλογής και Ανεφοδιασμού

Κατά την διαδικασία του ανεφοδιασμού, ο εργαζόμενος καλείται να υποθέσει τον κατάλληλο τρόπο που πρέπει να τοποθετήσει στη θέση συλλογής την ποσότητα συσκευασιών που ορίζεται από το σύστημα. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντικά χρονοβόρα, από τη στιγμή που δεν υπάρχει συστηματική μέθοδος τοποθέτησης που να εφαρμόζεται καθολικά από όλους. Ως αποτέλεσμα αυτού, η κούραση του γεμιστή αυξάνεται, μειώνοντας την ταχύτητα του ανεφοδιασμού αλλά και την πνευματική του αντοχή, ο οποίος μετά από ώρες δουλειάς εναποθέτει με τελείως τυχαίο τρόπο τις συσκευασίες, πιάνοντας τον χώρο από διπλανές θέσεις, ή ακόμα και θέσεις των κάτω ή πάνω ραφιών, εάν αυτές είναι άδειες. Αυτό όμως δημιουργεί σημαντικό πρόβλημα στην δραστηριότητα συλλογής, καθώς συλλέκτες αναφέρουν χαρακτηριστικά πως υπάρχουν φορές που δεν μπορούν να βρουν τις συσκευασίες στη θέση που υποδεικνύεται από το σύστημα, και χρειάζεται να ψάχνουν στις γειτονικές θέσεις.

3.5.4 Ονοματολογία Θέσεων

Συχνό πρόβλημα που επισημαίνουν οι εργαζόμενοι, και ειδικά το νέο προσωπικό που βρίσκεται στο στάδιο του εγκλιματισμού, είναι η ονοματολογία των θέσεων. Ενώ τα πρώτα τέσσερα ψηφία, που δηλώνουν τον διάδρομο και το φάτνωμα, είναι απόλυτα κατανοητά, υπάρχει συχνή σύγχυση με τα υπόλοιπα τέσσερα, καθώς όπως λένε δεν καταλαβαίνουν τον λόγο που κάποιοι κωδικοί έχουν μηδενικά στο 5^ο και 6^ο ψηφίο, ενώ κάποιοι άλλοι καταλαμβάνουν το 6^ο ψηφίο για να δηλωθεί ο διψήφιος αριθμός της θέσης τους. Ειδικά για την περίπτωση του 8^{ου} ψηφίου, που δηλώνει το ράφι, υποστηρίζουν πως δεν υπάρχει λογική στο ότι τα ζυγά φάτνωματα ξεκινούν από το ράφι 0 μέχρι το 8, ενώ τα μονά από το 1 μέχρι το 9, καθώς δεν τους βοηθάει να εντοπίζουν αμέσως το ράφι κατά τη διάρκεια συλλογής ή ανεφοδιασμού. Το παρόν πρόβλημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς η πλειονότητα του προσωπικού της συγκεκριμένης αποθήκης είναι εργολαβικό, με σύμβαση ορισμένου χρόνου, το οποίο προσλαμβάνεται σε περιόδους με μεγάλο φόρτο εργασίας. Επομένως η γρήγορη εναλλαγή των υπαλλήλων δεν είναι βοηθητικός παράγοντας για την εξοικείωση τους με την ονοματολογία, η οποία πρέπει να γίνεται πλήρως κατανοητή σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Πέρα από τη δυσκολία της κατανόησης, κατά τον ανεφοδιασμό των δυναμικών ραφιών, όπου οι εντολές εμφανίζονται σύμφωνα με την ταξινόμηση της ονοματολογίας των θέσεων, από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, εάν η μία εντολή αφορά το φάτνωμα 6 και η αμέσως επόμενη το φάτνωμα 7, επειδή ο ανεφοδιασμός γίνεται από άλλες πλευρές για τα ζυγά και τα μονά φάτνωματα, αυτό αναγκάζει τους εργαζομένους να κάνουν τον κύκλο του δυναμικού διαδρόμου για να βρεθούν στην απέναντι πλευρά προκειμένου να ανεφοδιάζουν σειριακά τα φάτνωματα. Όπως είναι εμφανές, αυτό δημιουργεί πολύ μεγάλη κόπωση, ειδικά εάν αναλογιστούμε πως χρειάζεται οι εργαζόμενοι να φέρουν μαζί τους τις κινούμενες με ροδάκια καλαθούνες που περιέχουν τις συσκευασίες ανεφοδιασμού. Επομένως κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί μία εναλλακτική ονοματολογία των

θέσεων, ώστε να αξιοποιούνται όλα τα ψηφία, να είναι εύκολη στην κατανόηση αλλά και να διευκολύνει την ταξινόμηση των εντολών ανεφοδιασμού.

Στο κεφάλαιο 4 που ακολουθεί, θα γίνει πλήρης ανάλυση των βημάτων της βελτιστοποίησης που διεξήχθη και θα αιτιολογηθεί κάθε επιλογή που έγινε βάση των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν αλλά και των μορφολογικών περιορισμών της διάταξης του τομέα Α.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1. Στόχοι Βελτιστοποίησης

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας η οποία αναπτύχθηκε για τη βελτιστοποίηση του αποθηκευτικού χώρου της εταιρείας. Για τους σκοπούς αυτούς, παραχωρήθηκε ένα σημαντικό μέρος των εταιρικών δεδομένων, των οποίων τα ονόματα διαφοροποιήθηκαν για λόγους ασφάλειας και προστασίας του απορρήτου.

Η ανάλυση επικεντρώνεται σε δύο θεμελιώδεις στόχους που παρουσιάζονται ακολούθως:

1. Μεγιστοποίηση της Χωρητικότητας του Αποθηκευτικού Χώρου

Η χωρητικότητα (capacity) είναι ένα σημαντικό μέγεθος το οποίο δρα ως κριτήριο και μέτρο αποδοτικότητας εντός μίας παραγωγικής διαδικασίας. Σε επίπεδο αποθήκευσης συνήθως εκφράζεται σύμφωνα με τον όγκο και το πλήθος των προϊόντων που μπορούν να φιλοξενηθούν εντός μίας δομής. Στην πραγματικότητα, η χωρητικότητα εκφράζεται και μέσω του επιπέδου της κίνησης των προϊόντων εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η κινητικότητα, τόσο λιγότερο μένουν τα προϊόντα εντός του αποθηκευτικού κέντρου, και εν τελεί μεγιστοποιείται ο όγκος των αγαθών που έχει φιλοξενήσει η αποθήκη. Επιπλέον, η χωρητικότητα δεν μπορεί να ορισθεί επαρκώς χωρίς να υπολογιστεί ο νεκρός όγκος που δημιουργείται.

Με βάση την ανωτέρα προσέγγιση, η χωρητικότητα πρόκειται να βελτιωθεί με δύο τρόπους. Αρχικά, θα προσδιοριστεί εάν τα υπάρχοντα μεγέθη θέσεων είναι τα κατάλληλα για τα προϊόντα που διαχειρίζεται η εταιρεία, και στη συνέχεια θα βρεθούν τα βέλτιστα μεγέθη σύμφωνα με τον χρησιμοποιούμενο χώρο αποθήκευσης και τον νεκρό χώρο που δημιουργείται. Το κριτήριο αυτής της ανάλυσης θα είναι η επίτευξη συγκεκριμένης επάρκειας ημερών στις θέσεις συλλογής, η οποία έχει ζητηθεί από την εταιρεία.

2. Αύξηση Παραγωγικότητας

Με την αύξηση της παραγωγικότητας νοείται είτε ο αποδοτικός συνδυασμός των υπάρχοντων παραγωγικών πόρων που διαθέτει η εταιρεία, όπως κεφάλαιο, άνθρωποι και μέσα, με σκοπό την αύξηση των εκροών της, είτε η μείωση των απαιτούμενων πόρων, κρατώντας όμως σταθερά τα παραγόμενα αγαθά.

Στο πλαίσιο μίας αποθηκευτικής μονάδας, η αύξηση της παραγωγικότητας συνδέεται άμεσα με την επίδοση τόσο των ανθρώπων όσο και των τεχνολογικών συστημάτων. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, η παραγωγικότητα εξετάζεται από τη σκοπιά του εργατικού δυναμικού και πως αυτό αλληλεπιδρά με τα βοηθητικά μέσα παραγωγής και την διάταξη του χώρου εργασίας.

Ο πρώτος παράγοντας που θα εξεταστεί είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου συλλογής των απαιτούμενων προϊόντων για τις παραγγελίες, μέσω της εύρεσης κατάλληλων θέσεων αποθήκευσης που επιτρέπουν την ομαλή κίνηση των ανθρώπων και των υλικών εντός της αποθήκης. Με αυτόν τον τρόπο, οι αποστάσεις που πρέπει να διανύει ο εργαζόμενος κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας μειώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος των διεκπεραιωμένων παραγγελιών.

Ο δεύτερος παράγοντας που εξετάζεται είναι η εργονομία του εργασιακού περιβάλλοντος και η αποφυγή παραγόντων κόπωσης, που δημιουργούν τόσο πνευματική άνια όσο και σωματική καταπόνηση, ιδιαίτερα σε έναν χώρο εργασίας όπως τα αποθηκευτικά κέντρα που απαιτούν συνεχή επανάληψη μεγάλου πλήθους χειροκίνητων δραστηριοτήτων.



Εικόνα 16 - Παράγοντες που Συμβάλλουν στην Διαδικασία

Συμπερασματικά, για την παρούσα ανάλυση δεν αρκεί μόνο να εξεταστεί ποια θέση είναι η καλύτερη για κάθε προϊόν, αλλά και αν οι υπάρχουσες θέσεις που διατηρεί η αποθήκη είναι κατάλληλες για το πλήθος και το είδος των προϊόντων τα οποία διαχειρίζεται. Τέλος, αντίθετα με τις υπάρχουσες έρευνες, ο αντικειμενικός στόχος της βελτιστοποίησης δεν θα είναι μονόπλευρη μείωση του χρόνου συλλογής, αλλά και η βελτίωση των εργασιακών συνθηκών του έμψυχου δυναμικού, ένα στοιχείο ιδιαίτερα παραγκωνισμένο σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

4.2. Παρουσίαση Εταιρικών Δεδομένων

Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται το είδος των αριθμητικών δεδομένων, τα οποία δόθηκαν από την εταιρεία για την βελτιστοποίηση του αποθηκευτικού χώρου. Σε αυτό το σημείο είναι σκόπιμο να τονιστεί πως πληροφορίες που αφορούν τις στρατηγικές, δραστηριότητες και λειτουργίες που εφαρμόζει η επιχείρηση στην αποθήκη έχουν ήδη παρουσιαστεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 3, οπότε και θεωρούνται γνωστά για τον ακόλουθο σχεδιασμό.

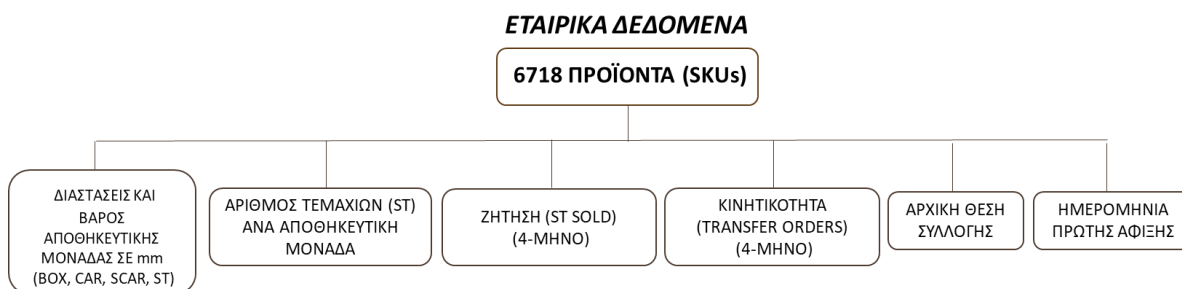
Η παρούσα ανάλυση αφορά ένα συγκεκριμένο κομμάτι της αποθήκης το οποίο περιλαμβάνει προϊόντα μικρού όγκου αλλά και χαμηλού κόστους. Η εταιρεία διακρίνει τα αγαθά μικρών διαστάσεων ανάλογα με τη δυνατότητα που έχουν να χωρέσουν μέσα σε τυποποιημένα κουτιά που χρησιμοποιεί είτε για τη συλλογή τους, κουτιά εναπόθεσης προϊόντων παραγγελιών, είτε για τη μεταφορά τους στα καταστήματα και απευθείας στον πελάτη. Ως εκ τούτου, οι συνθήκες αποθήκευσης διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος των προϊόντων, καθώς η διαδικασία συλλογής μικρών τεμαχίων γίνεται χειροκίνητα από τους υπεύθυνους συλλέκτες χωρίς τη χρήση βοηθημάτων, όπως ανυψωτικά μηχανήματα, ή άλλου είδους μηχανικά μέσα. Επιπλέον, λόγω του χαμηλού κόστους των προϊόντων, οι συνθήκες ασφάλειας δεν είναι εντατικοποιημένες στον εξεταζόμενο τομέα, αλλά και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως τα επίπεδα θερμοκρασίας ή υγρασίας δεν ελέγχονται τακτικά στον χώρο, παρά μόνο όταν επηρεάζουν την απόδοση των εργαζομένων.

Τα δεδομένα τα οποία δόθηκαν από την εταιρεία, και παρουσιάζονται στην εικόνα 17, αφορούν ένα δείγμα 6718 διαφορετικών κωδικών (SKUs), για τα οποία γνωρίζουμε τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ονομασίες κωδικών
- Χρησιμοποιούμενη αποθηκευτική μονάδα στην θέση συλλογής, δηλαδή εάν τοποθετείται σε επίπεδο τεμαχίου (ST), κουτιού (BOX), κιβωτίου (CAR) ή υπερσυσκευασίας (SCAR). Η επιλογή αυτή γίνεται από την εταιρεία, συνήθως με γνώμονα τη συσκευασία με την οποία ο προμηθευτής αποστέλλει τα προϊόντα.
- Διαστάσεις τεμαχίου και αποθηκευτικής μονάδας, δηλαδή μήκος, πλάτος και ύψος σε mm.
- Ποσότητα τεμαχίων σε μονάδα ST που περιλαμβάνονται στη χρησιμοποιούμενη αποθηκευτική μονάδα στη θέση συλλογής.
- Βάρος του κάθε προϊόντος σε επίπεδο τεμαχίου αλλά και συνολικά της αποθηκευτικής μονάδας, εκφρασμένο σε kg .
- Ζήτηση, η οποία ορίζεται σύμφωνα με το πλήθος τεμαχίων ενός κωδικού που έχουν πωληθεί μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Θεωρήθηκε σκόπιμο από την εταιρεία για λόγους που επεξηγούνται παρακάτω, η ζήτηση να δοθεί για μία περίοδο του έτους:
 - 2/9/19 - 5/1/20
Σε αυτό το διάστημα ανήκει το τελευταίο τετράμηνο του έτους, συμπεριλαμβανομένης της σχολικής περιόδου, της Black Friday εβδομάδας, καθώς και των Χριστουγέννων.

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε ο εν λόγω διαχωρισμός του έτους, είναι διότι κατά το τελευταίο τετράμηνο παρατηρείται μία έντονη μεταβολή της κινητικότητας των προϊόντων, καθώς εποχές όπως η σχολική και η χριστουγεννιάτικη περιλαμβάνουν πολλά εποχικά είδη, των οποίων οι πωλήσεις εκτοξεύονται για αυτή την περίοδο, και σχεδόν μηδενίζονται για το υπόλοιπο έτος. Επιπρόσθετα, το παραπάνω τετράμηνο, εάν και συνιστά το 1/3 του ετήσιου χρόνου λειτουργίας της εταιρείας, προσφέρει πάνω από το 50% των ετήσιων εσόδων (Annual Dollar Volume) και κινήσεων εντός της αποθήκης, καθώς τότε παρατηρείται μία γενικευμένη αύξηση της κατανάλωσης, σχεδόν για όλα τα είδη. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητο η βελτιστοποίηση της χωρητικότητας να γίνει βάση του τετράμηνου, το οποίο συνιστά την πιο επιβαρυσμένη περίοδο ζήτησης στην οποία καλείται να ανταπεξέλθει η επιχείρηση, καθώς εάν μπορεί να ανταποκριθεί στο πιο βαρύ σενάριο, μπορεί σίγουρα και στα υπόλοιπα.

- Κινητικότητα προϊόντων (transfer orders), η οποία δεν συνδέεται με τον αριθμό τεμαχίων, δηλαδή τη ζήτηση ενός κωδικού, αλλά με το πόσες φορές ο συλλέκτης (picker) θα πρέπει να μεταβεί στη θέση συλλογής του προϊόντος, για να παραλάβει μία δεδομένη ποσότητα. Αυτό σημαίνει πως παρόλο που ενδέχεται να συλλέξει από ένα (1) τεμάχιο μέχρι πολλά παραπάνω σύμφωνα με την παραγγελία, θα πραγματοποιήσει την διαδρομή μία φορά. Η κινητικότητα δίνεται και αυτή για το τετράμηνο, σύμφωνα ακριβώς με ό,τι αναφέρθηκε για την περίπτωση της ζήτησης.
- Αρχική θέση συλλογής που είχε το προϊόν πριν τη διαδικασία βελτιστοποίησης.
- Πρώτη ημερομηνία άφιξης του κωδικού στην αποθήκη



Εικόνα 17 - Εταιρικά Δεδομένα

4.3. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων και Σύνδεση με την Ανάλυση

Όλα τα δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την εταιρεία δόθηκαν στην αρχική τους διάταξη όπως προέκυψαν μέσω του χρησιμοποιούμενου λογισμικού SAP, σε μορφή EXCEL. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία βελτιστοποίησης, τα στοιχεία έπρεπε να έρθουν σε επεξεργάσιμη μορφή, η οποία εξηγείται ακολούθως με την σειρά όπου παρουσιάστηκε το κάθε είδος δεδομένων στο υποκεφάλαιο 4.2.

Ονομασίες

Οι ονομασίες των προϊόντων αλλάχθηκαν, και αντικαταστάθηκαν με μία αλληλουχία ψηφίων από το 1 έως το 6718, όσο είναι φυσικά και το πλήθος τους, ώστε να διατηρηθεί η πολιτική απορρήτου κατόπιν συμφωνίας.

Αποθηκευτική Μονάδα

Η εταιρεία συνέστησε να μην γίνουν αλλαγές στο είδος της αποθηκευτικής μονάδας, παρά μόνο εάν αυτή δυσχεραίνει τον χειρισμό των αντικειμένων ή μειώνει την αποδοτικότητα της τοποθέτησης προϊόντων. Για αυτόν τον λόγο, το πρώτο στάδιο της βελτιστοποίησης λαμβάνει ως αποθηκευτικές μονάδες τις δεδομένες από το σύστημα για κάθε προϊόν, ενώ σε δεύτερο στάδιο προτείνονται σχετικές αλλαγές όπου αυτό είναι απολύτως απαραίτητο.

Διαστάσεις

Το είδος των διαστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν είναι αυτές της αποθηκευτικής μονάδας, οι οποίες αναγράφονται πάνω στο ίδιο το κουτί από τον αρχικό προμηθευτή. Δεν έχει τόσο σημασία ποια τιμή αφορά το ύψος, πλάτος ή βάθος, καθώς τα κουτιά τοποθετούνται με τυχαία κατεύθυνση στη θέση. Αυτό που έχει όμως σημασία για την ανάλυση είναι να γνωρίζουμε την μέγιστη διάσταση, την μεσαία και την ελάχιστη. Η συντριπτική πλειοψηφία των συσκευασιών έχουν ως βάση τους το χαρτί, πέρα από ελάχιστες περιπτώσεις που είναι πλαστικές ή νάιλον. Αυτό τις καθιστά ιδιαίτερα επιρρεπείς σε εξωτερικές κακώσεις κατά τη μεταφορά, όπως τσαλάκωμα, στραπατσάρισμα και σκίσιμο. Επιπλέον, παράγοντες υγρασίας που ενδέχεται να υπάρχουν στο περιβάλλον τόσο των παραλαβών όσο και της αποθήκευσης του συγκεκριμένου τομέα, δημιουργούν παραμόρφωση των διαστάσεων, με πολλές κούτες να φουσκώνουν και να καμπυλώνονται είτε την ώρα της άφιξης, είτε με την πάροδο του χρόνου. Για αυτούς τους λόγους, προστέθηκε μία απόκλιση της τάξης του +1.5% σε κάθε διάσταση της συσκευασίας για όλα τα προϊόντα.

Τεμάχια και Βάρος

Η ποσότητα τεμαχίων σε μονάδα ST ανά αποθηκευτική μονάδα δεν χρειάστηκε κάποια περαιτέρω τροποποίηση, όπως και το βάρος, το οποίο λαμβάνεται ως παράγοντας συνολικά για την συσκευασία και όχι για το κάθε τεμάχιο. Το βάρος παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην εργονομία της εργασίας, καθώς υπάρχουν συσκευασίες ιδιαίτερα βαριές και ογκώδεις, τις οποίες δεν είναι εύκολο να σηκώσει με τα χέρια του ο εργαζόμενος που κάνει τον ανεφοδιασμό, και να τις τοποθετήσει σε μία υψηλή θέση συλλογής. Πολλά προβλήματα στη μέση, στους καρπούς αλλά και στα γόνατα έχουν αναφερθεί σε μεγαλύτερες ηλικίες από ανθρώπους μετά από μακροχρόνια εργασία σε αποθήκες.

Ζήτηση και Επάρκεια

Η ζήτηση, η οποία συνδέεται με την επάρκεια των προϊόντων, έπρεπε να αναλυθεί σε ζήτηση/ημέρα. Για να υπολογιστεί με ακρίβεια, βρέθηκε ο αριθμός των εργάσιμων ημερών της εταιρείας, όπου σε επίπεδο εβδομάδας είναι 5.5 μέρες, εάν υπολογιστεί ότι το Σάββατο λειτουργεί μόνο το κομμάτι που εξυπηρετεί τις παραγγελίες των καταστημάτων και όχι τις ηλεκτρονικές αγορές των πελατών. Με αυτή τη λογική, και εξαιρώντας κάθε ημέρα αργίας, η εταιρεία δούλεψε 284 μέρες για το εξεταζόμενο έτος, με τις 96 από αυτές να αφορούν το τελευταίο τετράμηνο. Παρόλα αυτά, καθώς υπάρχουν προϊόντα που προστέθηκαν στο κωδικολόγιο της επιχείρησης κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, οι παραπάνω ημέρες αφορούν τα προϊόντα που προϋπήρχαν αυτής. Για όλα τα υπόλοιπα, δοθείσας της ημερομηνίας της πρώτης άφιξης τους στην αποθήκη, υπολογίζονται οι ακριβείς εργάσιμες μέρες όπου είναι διαθέσιμα προς πώληση. Εν συνεχεία, είναι απαραίτητο να εξηγηθεί πως η ζήτηση ανά ημέρα συνδέεται με την επάρκεια στη θέση συλλογής αλλά και την παραγωγικότητα του συστήματος.

Επάρκεια ορίζεται η ικανή ποσότητα αγαθών που καλύπτει συγκεκριμένες ανάγκες εντός μίας ορισμένης περιόδου. Στην περίπτωση της αποθήκης, οι ανάγκες αυτές συνδέονται με τη ζήτηση που έχει ένα προϊόν, ενώ η επάρκεια με τον αριθμό των τεμαχίων που χρειάζονται για να καλυφθεί αυτή η ζήτηση για ένα δοσμένο διάστημα. Η χρονική περίοδος επάρκειας που ζητήθηκε από την εταιρία είναι μία εβδομάδα, ή σε επίπεδο εργάσιμων ημερών, είναι 5.5 ημέρες. Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή της συγκεκριμένης επάρκειας, σχετίζονται άμεσα με τους διαθέσιμους πόρους της επιχείρησης και τον καταμερισμό των εργασιών. Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, κάθε φορά που η ποσότητα ενός κωδικού πέφτει κάτω από μία συγκεκριμένη τιμή, δίνεται εντολή από το σύστημα να ανεφοδιαστεί η θέση συλλογής από νέα ποσότητα υλικών, τα οποία υπάρχουν σε θέσεις μεγάλου ύψους στον τομέα Αποθέματος (Stock). Για αυτόν τον σκοπό, απασχολούνται πλήθος παραγωγικών πόρων, όπως ανυψωτικά μηχανήματα και γεμιστές, οι οποίοι δεν μπορούν να ανταπεξέρχονται στον φόρτο εργασίας εάν η ανατροφοδότηση είναι πολύ συχνή, δηλαδή η επάρκεια μικρή. Από την άλλη πλευρά, εάν η επάρκεια είναι πολύ μεγάλη, αυτό δημιουργεί μικρή κινητικότητα (throughput) προϊόντων στην αποθήκη, τα οποία καταλαμβάνουν για πολύ καιρό σημαντικό χώρο, χάνοντας την αγοραστική τους αξία με την πάροδο του χρόνου και δημιουργώντας μεγαλύτερο νεκρό όγκο και ανάγκη για αύξηση του χώρου αποθήκευσης.

Με βάση τα παραπάνω, από τον υπολογισμό της ημερήσιας ζήτησης, δηλαδή τον αριθμό τεμαχίων/ημέρα, προκύπτει η ζήτηση/εβδομάδα και με δεδομένο τον αριθμό τεμαχίων/αποθηκευτική μονάδα, προσδιορίζεται ο αριθμός των αποθηκευτικών μονάδων που πρέπει να υπάρχει στη θέση συλλογής για επάρκεια μίας εβδομάδας, σύμφωνα με τη σχέση (1).

$$\text{Απαιτούμενος Αριθμός Συσκευασιών} = \frac{\text{Αριθμός Συσκευασιών}}{5.5 \text{ Ημέρες}} = \text{roundup} \left(\frac{\left(\frac{\text{Αριθμός Τεμαχίων}}{\text{Ημέρα}} * 5.5 \text{ Ημέρες} \right)}{\frac{\text{Αριθμός Τεμαχίων}}{\text{Συσκευασία}}} \right)$$

Άμεση συνέπεια του απαιτούμενου αριθμού συσκευασιών είναι πως ο όγκος και οι διαστάσεις της θέσης στην οποία θα τοποθετηθεί το προϊόν δεν εξαρτώνται από τις διαστάσεις που έχει η μία αποθηκευτική συσκευασία, αλλά από τις διαστάσεις και τον προσανατολισμό που θα τοποθετηθούν όλες μαζί στην ίδια θέση. Πάνω σε αυτή τη λογική εξετάζεται εάν οι υπάρχουσες θέσεις μπορούν να καλύψουν αυτές τις ανάγκες της επάρκειας, καθώς και ποια είναι τα βέλτιστα μεγέθη θέσεων.

Κινητικότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η κινητικότητα σχετίζεται με τις εντολές συλλογής που λαμβάνει ένας εργαζόμενος μέσα σε μία ημέρα, δηλαδή πόσες φορές θα πρέπει να μεταβεί σε μία θέση για να συλλέξει την απαιτούμενη ποσότητα. Με βάση αυτή τη λογική, προϊόντα με μεγάλη κινητικότητα, δηλαδή πολλές εντολές μεταφοράς (transfer orders) είναι βέλτιστο να τοποθετούνται σε θέσεις όπου η μετάβαση του εργαζόμενου μπορεί να είναι γρήγορη και η συλλογή να γίνεται με τον ελάχιστο δυνατό κόπο. Αντιθέτως, προϊόντα με χαμηλή κινητικότητα, μπορούν να τοποθετηθούν σε θέσεις όπου η συλλογή τους δεν είναι τόσο άμεση. Ο λόγος για τον οποίο δίνεται έμφαση στην ταχύτητα της συλλογής και όχι στην απόσταση της θέσης από το σημείο εναπόθεσης των προϊόντων, δηλαδή το ράουλο, θα εξηγηθεί στη συνέχεια.

Για τον σκοπό αυτό, κρίνεται απαραίτητη η διακριτοποίηση των προϊόντων σε κατηγορίες ανάλογα με το επίπεδο κινητικότητας που έχουν. Ο τρόπος ομαδοποίησης βασίζεται στην ανάλυση ABC, που προκύπτει ως απόρροια της θεωρίας του Pareto, Ιταλού οικονομολόγου, και η οποία εφαρμόζεται κατά κόρον σε πλήθος κέντρων αποθήκευσης. Ο Pareto συγκεκριμένα αναφέρει πως υπάρχουν “λίγα” τα οποία είναι κρίσιμα, και “πολλά” τα οποία είναι ασήμαντα («critical few and trivial many»). Στην πράξη, αυτό σημαίνει πως λίγα προϊόντα είναι αυτά που προσφέρουν την πλειονότητα των ετήσιων εσόδων ή κινήσεων μίας εταιρείας, ενώ τα περισσότερα έχουν πολύ μικρή συμμετοχή σε αυτό. Κατά την μέθοδο ABC, τα προϊόντα κατηγοριοποιούνται σε τρεις τάξεις, A, B και C, ανάλογα με τον Ετήσιο Όγκο Εσόδων (Annual Dollar Volume), δηλαδή την τιμή κάθε τεμαχίου ενός προϊόντος πολλαπλασιασμένο με την συνολική ποσότητα των τεμαχίων που έχουν πωληθεί (Heizer et al, 2017). Στην περίπτωση που εξετάζουμε, εφόσον όλα τα προϊόντα κυμαίνονται σε κοντινές τιμές, με χαμηλή αξία, η διάκριση αυτή θα γίνει σύμφωνα με το ποσοστό κινήσεων που συγκεντρώνει κάθε προϊόν επί του συνολικού αριθμού κινήσεων που γίνονται μέσα στην αποθήκη, εντός του τετράμηνου.

Η επεξεργασία των δεδομένων ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

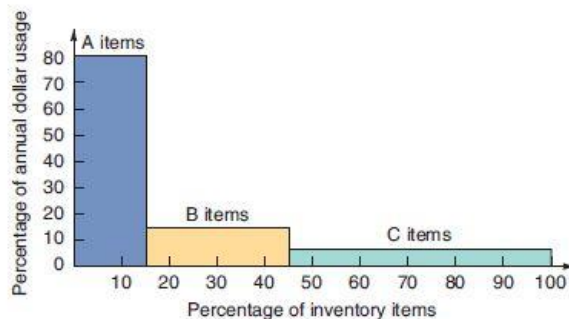
- I. Η κινητικότητα εκφράζεται σε κινήσεις/ημέρα, χρησιμοποιώντας τον ίδιο αριθμό εργασιμων ημερών που είχε βρεθεί για κάθε προϊόν κατά το στάδιο επεξεργασίας της ζήτησης.
- II. Τα δεδομένα των προϊόντων στο EXCEL ταξινομούνται από τον μεγαλύτερο προς τον μικρότερο αριθμό κινήσεων/ημέρα.
- III. Προστίθενται οι κινήσεις/ημέρα όλων των προϊόντων για την εύρεση του συνολικού αριθμού κινήσεων/ημέρα για τον εξεταζόμενο τομέα της αποθήκης.
- IV. Εύρεση του ποσοστού κινήσεων που καταλαμβάνουν οι ημερήσιες κινήσεις κάθε κωδικού ως προς τον συνολικό αριθμό, σύμφωνα με τη σχέση (2)

$$\text{Ποσοστό Κινήσεων Υλικού } i = \frac{\frac{\text{Κινήσεις Υλικού } i}{\text{Ημέρα}}}{\frac{\text{Συνολικές Κινήσεις Τομέα}}{\text{Ημέρα}}} * 100\% \quad (2)$$

V. Πρόσθεση ποσοστού κινήσεων όλων των υλικών σύμφωνα με τη σειρά ταξινόμησης, δηλαδή από το μεγαλύτερο στο μικρότερο.

Κατά τη μέθοδο ABC, ο διαχωρισμός γίνεται ως εξής:

- Τάξη A: Απαρτίζεται περίπου από το 15-20 % των προϊόντων που συγκεντρώνει το 70-80% της συνολικής κινητικότητας.
- Τάξη B: Περιλαμβάνει το 20-30% των προϊόντων που εκπροσωπούν το 15-30% των συνολικών κινήσεων.
- Τάξη C: Συνίσταται από 50-65% των κωδικών που καταλαμβάνουν περίπου το 5-15% του συνόλου των κινήσεων.



Εικόνα 18 - Ανάλυση ABC (Heizer et al., 2017)

Σύμφωνα με την ανωτέρα κατηγοριοποίηση και κατόπιν πλήθους δοκιμών για την εύρεση των οριακών τιμών της ημερήσιας κινητικότητας που οριοθετεί την κάθε τάξη ώστε να συνάδει με την κατηγοριοποίηση της μεθόδου, επιλέχθηκαν τα παρακάτω διαστήματα:

- Τάξη A: Προϊόντα των οποίων οι ημερήσιες κινήσεις τους είναι μεγαλύτερες και ίσες του 4.5
- Τάξη B: Προϊόντα με κινήσεις που ημερησίως είναι μεγαλύτερες και ίσες του 1.5, αλλά μικρότερες από 4.5
- Τάξη C: Όλα τα υπολειπόμενα προϊόντα, με κινητικότητα μικρότερη του 1.5, δηλαδή κωδικοί που μπορεί να μην έχουν και καμία κίνηση εντός της μέρας.

Τα αποτελέσματα του διαχωρισμού των τάξεων θα χρησιμοποιηθούν κατά την ανάθεση της νέας θέσης συλλογής, η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Αρχική Θέση Συλλογής

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, η ονοματολογία των θέσεων δίνει στοιχεία για την ακριβή τοποθεσία του υλικού στην αποθήκη, καθώς και το πως θα την εντοπίσει με ευκολία ο συλλέκτης. Παρόλο που το είδος της αρχικής θέσης δεν επηρεάζει την ανάλυση, αφού η διαμόρφωση των διαδρόμων θα αλλάξει ριζικά, αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι ο διάδρομος στον οποίο βρισκόταν το κάθε υλικό, καθώς κατά τον επαναπροσδιορισμό της νέας θέσης συλλογής, ο ανεπτυγμένος αλγόριθμος που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια εξετάζει πρώτα το ενδεχόμενο το προϊόν να μπορεί να τοποθετηθεί στον αρχικό διάδρομο που βρισκόταν. Με αυτόν τον τρόπο, το στάδιο των φυσικών αλλαγών στην αποθήκη μετά το πέρας της βελτιστοποίησης θα γίνει με μεγαλύτερη ταχύτητα, χωρίς

να αναγκάζει τους εργαζόμενους να μεταφέρουν πολλά προϊόντα σε άλλους διαδρόμους ή και σε άλλους ορόφους.

Ημερομηνία Πρώτης Άφιξης

Όπως ήδη εξηγήθηκε, χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των ακριβών εργάσιμων ημερών κατά τις οποίες βρίσκεται το κάθε προϊόν στον χώρο της αποθήκης, με σκοπό την επεξεργασία της ζήτησης και της κινητικότητας.

4.4 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης

Κατόπιν της αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων σύμφωνα με τον τρόπο που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, παρουσιάζεται λεπτομερώς και βήμα προς βήμα η διαδικασία της βελτιστοποίησης αλλά και η κατασκευή του ανάλογο αλγορίθμου. Για λόγους συνοχής του κειμένου, οι κώδικες που αναπτύχθηκαν στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB παρατίθενται σε ξεχωριστό παράρτημα στο τέλος της διπλωματικής εργασίας και δεν παρεμβάλλονται κατά τη διάρκεια της προτεινόμενης μοντελοποίησης, η οποία θα εξηγηθεί με τη χρήση διαγραμμάτων ροής. Η διαδικασία είναι υβριδική, καθώς χρησιμοποιείται συγχρόνως το EXCEL, τόσο για την εισαγωγή των δεδομένων στην MATLAB όσο και για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που παράγει ο αλγόριθμος.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας, είναι η κατασκευή ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης, σχεδιασμένο σύμφωνα με τις ανάγκες και τους μορφολογικούς περιορισμούς των διατάξεων εντός του αποθηκευτικού χώρου της εταιρείας, ο οποίος θα λαμβάνει ως είσοδο τα προαναφερθέντα δεδομένα και θα παράγει ως έξοδο την τελική διάταξη θέσεων και προϊόντων μέσα στην αποθήκη. Πιο συγκεκριμένα, θα υπολογίζει το βέλτιστο μέγεθος των θέσεων ανάλογα με τις ανάγκες των προϊόντων, το πλήθος των διαφορετικών ειδών θέσεων ως προς το μέγεθος και την τάξη κινητικότητας, και θα ταξινομεί τις θέσεις στους υπάρχοντες διαδρόμους. Εν συνεχεία, θα τοποθετεί τα προϊόντα στις κατάλληλες θέσεις, με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του χρόνου συλλογής, τον ισορροπημένο διαμοιρασμό του φόρτου εργασίας στους διαδρόμους και την επίτευξη επάρκειας με σεβασμό στην εργονομία και τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας των ανθρώπων.

Υπογραμμίζεται πως εφόσον οι ανάγκες της αποθήκης στην περίπτωση του τετράμηνου είναι κατά 34% πιο αυξημένες από το υπόλοιπο έτος, αλλά και με πιο διευρυμένο κωδικολόγιο, η βελτιστοποίηση του αποθηκευτικού χώρου θα μελετηθεί με βάση τα δεδομένα του τετράμηνου που είναι και το πιο επιφορτισμένο σενάριο.

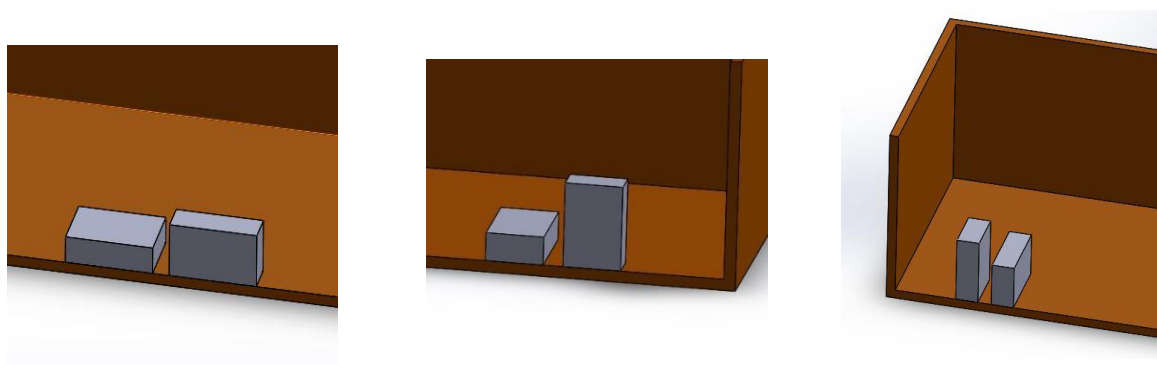
4.4.1. Στρατηγική Προσανατολισμού Τοποθέτησης σε Στατικές Θέσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί κατά την περιγραφή της εταιρείας, ο τρόπος τοποθέτησης των συσκευασιών είτε κατά το πρώτο γέμισμα της θέσης συλλογής, είτε κατά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού της ήταν τυχαίος, χωρίς να υπάρχει συγκεκριμένη στρατηγική που να ορίζει πως ο αρμόδιος αποθηκάριος πρέπει να τοποθετήσει τις συσκευασίες. Ως αποτέλεσμα αυτού, πολλές φορές οι συσκευασίες δεν χωρούσαν κατάλληλα και καταλάμβαναν χώρο από διπλανές θέσεις, εφόσον δεν υπάρχουν διακριτά όρια μεταξύ τους, όπως κάποιο διαχωριστικό.

Στην αρχική επεξεργασία δεδομένων, βρέθηκε μέσω της ζήτησης ο απαιτούμενος αριθμός συσκευασιών ώστε η επάρκεια του κωδικού στη θέση συλλογής να είναι μία εβδομάδα, ή και λίγο παραπάνω εφόσον οι μονάδες των συσκευασιών θεωρούνται κβάντα και δεν μπορούν να διαιρεθούν. Ο σκοπός της εύρεσης του βέλτιστου προσανατολισμού τοποθέτησης είναι η

μεγιστοποίηση της χωρητικότητας των θέσεων, που θα χωράνε την απαιτούμενη ποσότητα συσκευασιών για επάρκεια μίας εβδομάδας, στον ελάχιστο δυνατό όγκο. Υπενθυμίζεται πως η στατικές θέσεις, οι οποίες αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, είναι σταθερές κατά ύψος, στα 390 mm, και κατά βάθος, στα 520 mm, λόγω των μορφολογικών χαρακτηριστικών της δομής των ραφιών, τα οποία η εταιρεία θέλει να κρατήσει ακριβώς όπως είναι. Επομένως, ο μοναδικός παράγοντας που εξετάζεται ως προς την αποδοτικότητα του είναι εκείνος του μήκους των θέσεων, το οποίο δεν μπορεί να ξεπερνά τα 1600 mm, όπου είναι και το μήκος των ραφιών για ένα φάτνωμα.

Για την επιλογή του βέλτιστου προσανατολισμού εξετάζονται έξι (6) διαφορετικές περιπτώσεις, καθώς εάν θεωρήσουμε τη συσκευασία ως ένα ελεύθερο σώμα, οι περιστροφικοί βαθμοί ελευθερίας μέσα σε μία δεδομένη θέση, χωρίς μετατόπιση του σώματος από τη θέση αυτή, είναι έξι, όπως φαίνεται και στα ακόλουθα σχήματα.



Εικόνα 19 - Έξι Προσανατολισμοί Τοποθέτησης

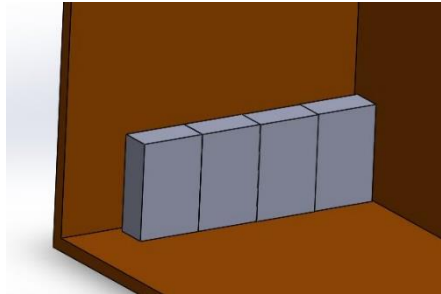
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ
1	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
2	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΣΑΙΑ
3	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ
4	ΜΕΣΑΙΑ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
5	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΑΙΑ
6	ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ

Πίνακας 2 - Μοντελοποίηση Προσανατολισμών Τοποθέτησης

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι έξι διαφορετικοί προσανατολισμοί με την 1^η στήλη να δίνει τον αύξοντα αριθμό του προσανατολισμού. Η 2^η στήλη παρουσιάζει πληροφορίες σχετικά με το ποια από τις τρεις διαστάσεις μίας συσκευασίας, μέγιστη, μεσαία ή ελάχιστη, θα τοποθετηθεί παράλληλα ως προς το μήκος της θέσης. Ομοίως στην 3^η στήλη, αναφέρεται ποια διάσταση θα τοποθετηθεί κατά την έννοια του βάθους, ενώ στην 4^η και τελευταία αναγράφεται η διάσταση της συσκευασίας που θα μπει κατά την έννοια του ύψους.

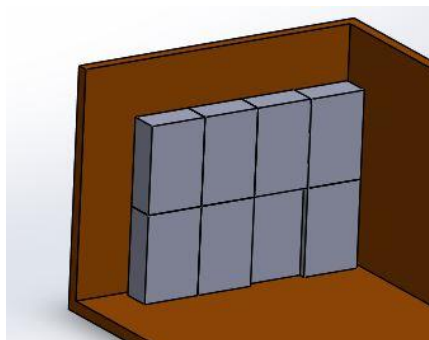
Η ανάλυση δεν βασίζεται στα αρχικά μεγέθη των θέσεων, καθώς σκοπός είναι να βρεθούν τα βέλτιστα και να συγκριθούν με το αρχικό σύστημα αποθήκευσης. Το βάθος και το ύψος είναι σταθερά ορισμένα και αμετάβλητα, ενώ από κάθε προσανατολισμό που θα εξετάζεται θα προκύπτει ένα απαιτούμενο μήκος ραφιού ώστε να χωράει όλος ο αριθμός των αναγκαίων συσκευασιών, το οποίο δεν μπορεί ξεπερνά το συνολικό μήκος του ραφιού. Ο αλγόριθμος ξεκινάει εξετάζοντας την περίπτωση του πρώτου προϊόντος, από τα 6718. Για το κάθε προϊόν εξετάζονται και οι έξι προσανατολισμοί με την σειρά. Για τον 1^ο προσανατολισμό, το πρόγραμμα ελέγχει εάν η συσκευασία

χωράει κατά αυτόν τον τρόπο στη θέση, συγκρίνοντας κάθε διάσταση της θέσης με την αντίστοιχη της συσκευασίας που ορίζει ο προσανατολισμός. Εάν χωράει, υπολογίζεται ο αριθμός των ακέραιων συσκευασιών που μπορούν να χωρέσουν κατά βάθος, η μία ακριβώς πίσω από την άλλη με τον ίδιο ακριβώς προσανατολισμό.



Εικόνα 20 - Αριθμός Συσκευασιών κατά το Βάθος

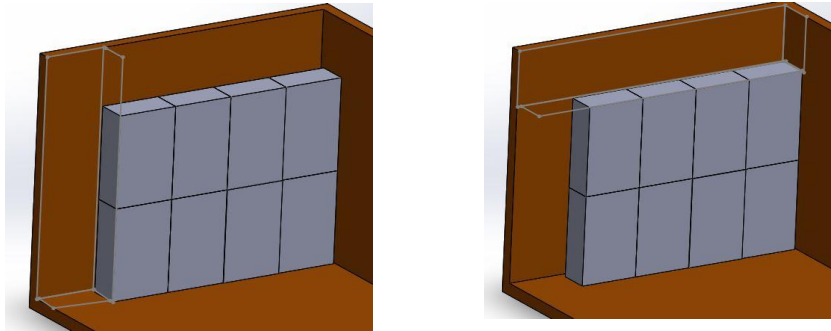
Εν συνεχεία, υπολογίζεται ο αντίστοιχος ακέραιος αριθμός συσκευασιών που χωράνε κατά το ύψος, η μία πάνω στην άλλη, και ο πολλαπλασιασμός των συσκευασιών κατά βάθος και κατά ύψος, δίνουν τον αριθμό των συσκευασιών που μπορούν να χωρέσουν σε μία στήλη, δηλαδή με το ίδιο μήκος θέσης χωρίς αυτό να αυξηθεί. Στην περίπτωση που απεικονίζεται στις παρατιθέμενες εικόνες, χωράνε 4 συσκευασίες κατά βάθος, 2 συσκευασίες κατά ύψος, άρα 8 συσκευασίες στο ίδιο μήκος.



Εικόνα 21 - Συσκευασίες κατά Βάθος και Ύψος

Σε επόμενο βήμα, ο αριθμός αυτός συγκρίνεται με τις απαιτούμενες συσκευασίες που πρέπει να έχει η θέση. Εάν είναι μεγαλύτερος ή ίσος με αυτές, η διαδικασία τερματίζεται, το μήκος της θέσης για τον πρώτο προσανατολισμό καταγράφεται και το πρόγραμμα περνά στη διερεύνηση του επόμενου κατά σειρά προσανατολισμού.

Στην περίπτωση που ο αριθμός είναι μικρότερος, πριν ο αλγόριθμος προσθέσει μία ακόμα στήλη κατά την έννοια του μήκους, εξετάζει μήπως μπορούν να χωρέσουν συσκευασίες με έναν διαφορετικό προσανατολισμό στον νεκρό όγκο που αφήνει η πρώτη στήλη, χωρίς να μεταβληθεί το μήκος της θέσης. Με την τοποθέτηση της πρώτης στήλης όπως διαφαίνεται, δημιουργούνται δύο νεκροί επικαλυπτόμενοι υπόχωροι, οι οποίοι παρουσιάζονται ακολούθως.



Εικόνα 22 - Υπόχωρος κατά Βάθος (α) και καθ' Ύψος (β)

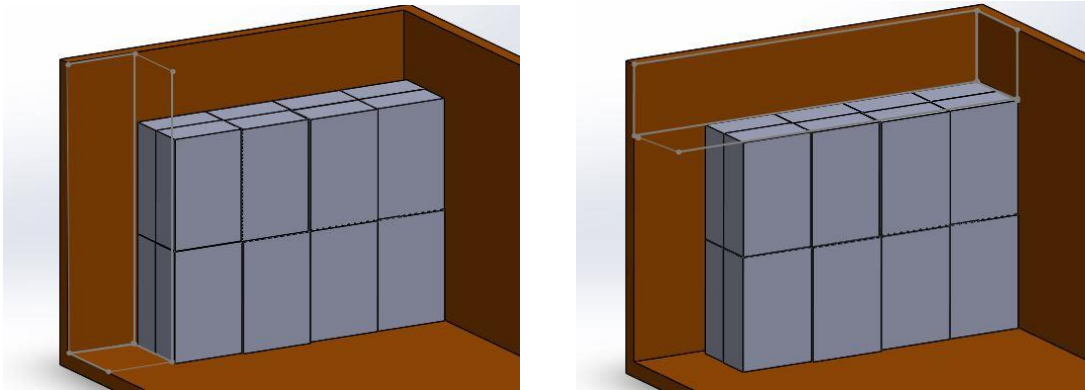
Ο πρώτος νεκρός όγκος σχηματίζεται λόγω του κενού χώρου κατά την έννοια του βάθους ενώ περιλαμβάνει το καθολικό ύψος του ραφιού, ενώ ο δεύτερος νεκρός όγκος δημιουργείται λόγω του κενού χώρου καθ' ύψος, και επεκτείνεται σε ολόκληρο το βάθος. Εφόσον δεν χωράνε όλες οι συσκευασίες του κωδικού σε μία στήλη, γίνεται προσπάθεια για όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση του νεκρού όγκου, πριν προστεθεί δεύτερη στήλη κατά την έννοια του μήκους.

Σε αυτή την περίπτωση, ο αλγόριθμος εξετάζει αρχικά τον πρώτο χώρο. Για να ελεγχθεί εάν χωράει κάποια συσκευασία εκεί, πρέπει η μέγιστη διάσταση της συσκευασίας να είναι μικρότερη ή ίση από την μέγιστη του εξεταζόμενου υπόχωρου, η μεσαία μικρότερη ή ίση της μεσαίας του χώρου, ομοίως και η ελάχιστη. Εάν χωράει η συσκευασία, εξετάζονται πόσες συσκευασίες χωράνε κατά την έννοια του βάθους και του ύψους μέσα σε αυτόν τον χώρο, οπότε και υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός. Ομοίως, η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για τον δεύτερο υπόχωρο. Ο αλγόριθμος κρατάει από τα δύο νούμερα που προκύπτουν για τους δύο υποχώρους το μεγαλύτερο και καταγράφεται ο αντίστοιχος υποχώρος ως επιπρόσθετη στρατηγική αποθήκευσης στη θέση ή αλλιώς ως δεύτερος προσανατολισμός, λαμβάνοντας τον αριθμό 1 εάν είναι ο υπόχωρος (α) της εικόνας 22, ή 2 εάν είναι ο (β).

Ο λόγος που επιλέγεται ο ένας χώρος από τους δύο άπτεται στην εργονομία που πρέπει να έχει η διαδικασία του ανεφοδιασμού της θέσης. Ο γεμιστής, ο οποίος καλείται να διεκπεραιώσει δεκάδες άλλες όμοιες διαδικασίες μέσα στη βάρδια του, είναι αδύνατο να προσπαθεί να βάλει τα προϊόντα σε μία θέση με πάνω από δύο προσανατολισμούς, σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα και με τη λιγότερη δυνατή νοητική φόρτιση. Οπότε ο μέγιστος αριθμός προσανατολισμών που μπορεί να τοποθετηθεί ένα προϊόν στη θέση συλλογής είναι δύο (2). Κάθε τι μεγαλύτερο μειώνει την εργονομία και κατά συνέπεια την παραγωγικότητα, καθώς αυξάνει την πιθανότητα λαθών, με τον εργαζόμενο να καλείται να επιλύσει κάποιου είδους παζλ για να βάλει τα προϊόντα στη θέση.

Στη συνέχεια, η ποσότητα που βρέθηκε για τον δεύτερο προσανατολισμό, η οποία είναι φυσικά μηδέν (0) εάν δεν χωράει καμία συσκευασία σε κανέναν από τους δύο υπόχωρους, συνυπολογίζεται με τον αρχικό αριθμό των συσκευασιών του πρώτου προσανατολισμού, για το συγκεκριμένο παράδειγμα με το 8, και ελέγχεται εκ νέου η συνθήκη των απαιτούμενων συσκευασιών. Εάν η τρέχουσα ποσότητα είναι μεγαλύτερη ή ίση της επιθυμητής, ο αλγόριθμος προχωράει στην εξέταση του επόμενου κατά σειρά προσανατολισμού. Εάν συνεχίζει να είναι μικρότερη, προστίθεται μία δεύτερη στήλη σύμφωνα με τον αρχικό προσανατολισμό, οπότε διπλασιάζεται το μήκος θέσης, και επαναλαμβάνεται ακριβώς η ίδια διαδικασία. Βασική παρατήρηση εδώ είναι πως εάν στον προηγούμενο κύκλο δεν είχε τοποθετηθεί καμία συσκευασία στους νεκρούς χώρους, οι νεκροί χώροι του νέου κύκλου έχουν ίδιες διαστάσεις κατά βάθος και ύψος, αλλά στο αναξιοποίητο νεκρό μήκος του προηγούμενου έχει προστεθεί και το νεκρό μήκος του νέου κύκλου. Οπότε οι νεκροί όγκοι που

Θα εξεταστούν είναι διπλάσιοι αυτή τη φορά όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, και αυξάνονται με κάθε νέο κύκλο εάν μείνουν ανεκμετάλλευτοι στους προηγούμενους.



Εικόνα 23 - Διπλασιασμός Όγκου Υπόχωρων (α) και (β)

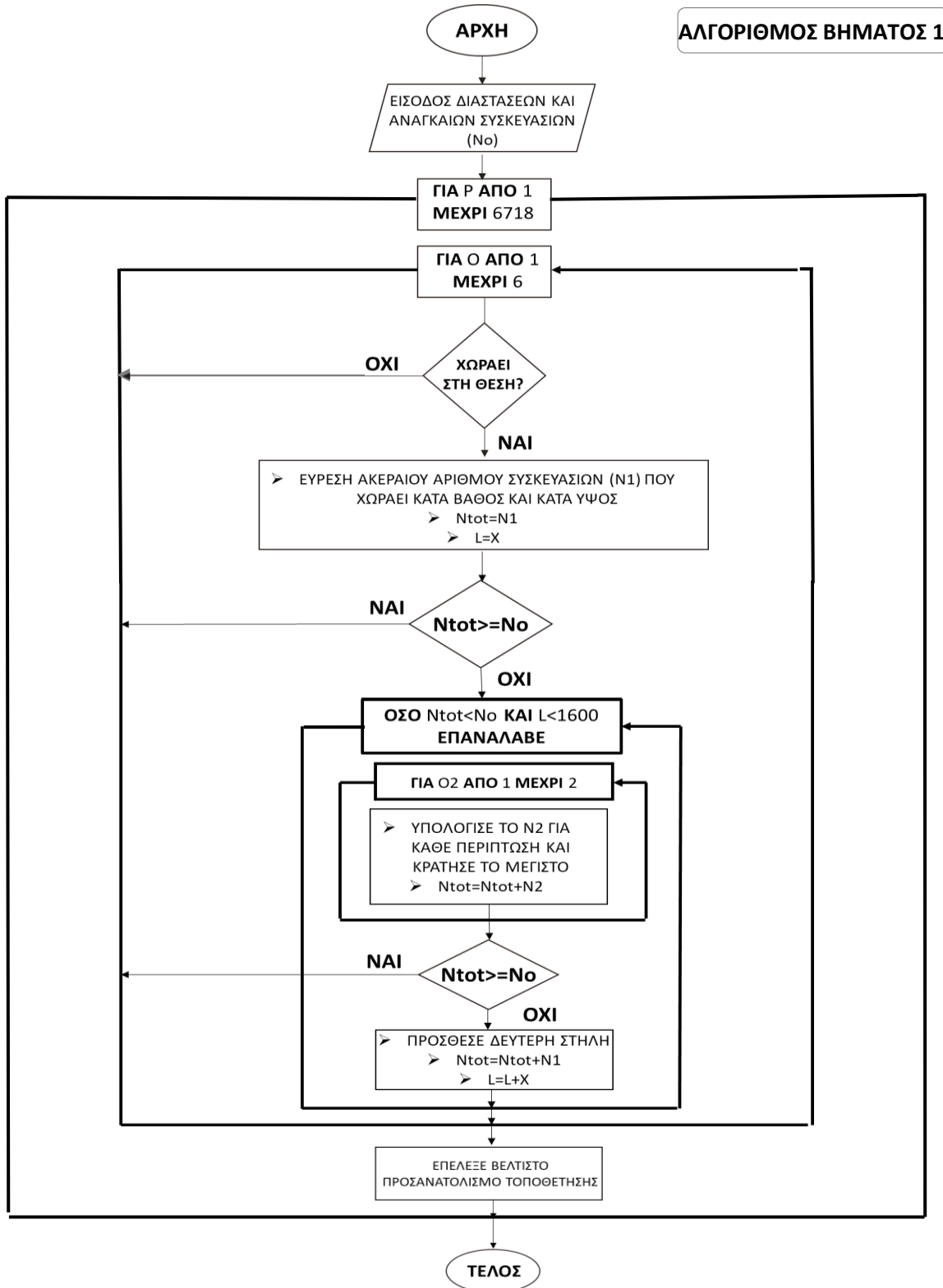
Η παραπάνω διαδικασία τερματίζεται είτε όταν χωρέσουν όλες οι απαιτούμενες συσκευασίες, είτε όταν το αναγκαίο μήκος θέσης ξεπεράσει το σταθερό μήκος που έχει το ράφι. Σε περίπτωση που εξαρχής μία συσκευασία δεν χωράει στο ράφι λόγω διαστάσεων, ή επειδή οι διαστάσεις του ραφιού δεν αρκούν για να καλυφθεί η επάρκεια, στη θέση του προσανατολισμού καταχωρείται ο αριθμός μηδέν, όπως και στην αντίστοιχη ποσότητα. Έτσι η διαδικασία συνεχίζει με τον έλεγχο του δεύτερου προσανατολισμού, ακολουθώντας ακριβώς τα ίδια βήματα.

Μετά το πέρας του ελέγχου και των έξι προσανατολισμών, πρέπει να διαπιστωθεί ποιος αυτούς τους είναι ο βέλτιστος. Τα κριτήρια της επιλογής είναι αρχικά να χωράει όλες τις συσκευασίες που χρειάζεται η θέση για να έχει επάρκεια. Από τους προσανατολισμούς που χωράνε όλον το αριθμό επιλέγονται αυτοί με το ελάχιστο μήκος θέσης, και εάν υπάρχουν δύο ίσα ελάχιστα μήκη, το τελικό κριτήριο είναι πιο από αυτά χωράει τον μέγιστο αριθμό συσκευασιών. Βασικός περιορισμός είναι καμία από τις διαστάσεις με τις οποίες στηρίζεται η συσκευασία στο ράφι, και πάνω της τοποθετούνται άλλες, να μην είναι μικρότερη των 50 mm, καθώς η συσκευασία δεν θα κρατηθεί σταθερή εάν υπάρχει χώρος δεξιά ή αριστερά, με αποτέλεσμα να πέσει στο πλάι. Για παράδειγμα, κάποια βιβλία που τοποθετούνται ως μονάδες ST, δεν μπορούν να στηριχτούν σε καμία περίπτωση κατά την έννοια του πάχους τους.

Σε αυτό το σημείο τονίζεται πως εάν ο αντικειμενικός στόχος ήταν αποκλειστικά η μεγιστοποίηση της χωρητικότητας χωρίς την επίτευξη συγκεκριμένης επάρκειας, τότε το κριτήριο επιλογής θα ήταν ο μέγιστος αριθμός συσκευασιών ανά μονάδα μήκους ραφιού, και όχι το ελάχιστο μήκος θέσης για το οποίο πληρείται η επάρκεια. Ένα τέτοιο κριτήριο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση όπου η εταιρεία ενδιαφερόταν να καταργήσει τις θέσης αποθέματος (stock) και να τοποθετεί ολόκληρη την ποσότητα αποθέματος στις θέσης συλλογής. Το συγκεκριμένο σενάριο δεν συμπεριλαμβάνεται στους στόχους της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, οπότε και δεν μελετάται περαιτέρω.

Στο τέλος του κύκλου που αφορά το κάθε προϊόν, καταχωρείται σε πίνακα ο βέλτιστος προσανατολισμός που επιλέχθηκε (από 1 μέχρι 6), το απαιτούμενο μήκος θέσης (L), η συνολική ποσότητα συσκευασιών που μπορεί να χωρέσει (Ntot), καθώς ο δευτερεύον προσανατολισμός (1 ή 2), εάν υπάρχει, μαζί με τις συσκευασίες που αντιστοιχούν σε αυτόν (N2). Στην περίπτωση όπου ένα προϊόν ή μία ποσότητα δεν χωράει με κανέναν από τους έξι κύριους προσανατολισμούς στα στατικά ράφια, η στρατηγική που του καταχωρείται είναι το μηδέν. Όλα τα παραπάνω στοιχεία

χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθεί ο κωδικός της στρατηγικής για την τοποθέτηση των προϊόντων, τον οποίο θα βλέπει ο γεμιστής και θα γνωρίζει ακριβώς πως πρέπει να τοποθετήσει τα προϊόντα στη θέση. Όλη η διαδικασία που αναλύθηκε, συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής, όπου No είναι ο αναγκαίος αριθμός συσκευασιών, και X η διάσταση της συσκευασίας που μπαίνει κατά το μήκος.



Εικόνα 24 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 1

Στη συνέχεια, και αφού έχουμε πλέον τον βέλτιστο προσανατολισμό για όλα τα προϊόντα, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας κωδικός όπου θα εκφράζει ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευασίες μπορούν να χωρέσουν στην θέση, χωρίς να απαιτείται από τον γεμιστή να φανταστεί ή να κάνει υποθέσεις μόνος του, κάτι που θα μείωνε την απόδοση του και φυσικά θα τον ταλαιπωρούσε πνευματικά.

Ο κωδικός ο οποίος προτείνεται, σχέση (3), και εξυπηρετεί βέλτιστα τις ανάγκες του συστήματος αποτελείται από εννέα (9) ψηφία και παρουσιάζεται ακολούθως με παραμετρική μορφή, μόνο για τα προϊόντα που ο προσανατολισμός τους δεν είναι 0.

$$1A 2B 3\Gamma | N_1 | H | N_2 \quad (3)$$

Κάθε ένα από τα εννέα ψηφία εκπροσωπεί μία πληροφορία τοποθέτησης:

- 1^ο Ψηφίο
Ο αριθμός 1, οποίος είναι σταθερός, εκπροσωπεί την διεύθυνση κατά την έννοια του μήκους της θέσης.
- 3^ο Ψηφίο
Ο αριθμός 2, που είναι σταθερός, εκπροσωπεί την διεύθυνση κατά την έννοια του βάθους της θέσης.
- 5^ο Ψηφίο
Ο αριθμός 3, που είναι σταθερός, εκπροσωπεί την διεύθυνση κατά την έννοια του ύψους της θέσης.

Οι τιμές που παίρνουν οι παράμετροι A , B , και Γ , εκφράζουν ποιο μέγεθος της συσκευασίας μπαίνει σε κάθε διεύθυνση της θέσης και αντιστοιχεί πάντα στο ψηφίο που βρίσκεται εξ' αριστερών. Οι παράμετροι A, B και Γ μπορούν να πάρουν τις τιμές 1, 2 και 3, όπου το 1 συμβολίζει την μεγάλη διάσταση της συσκευασίας, το 2 τη μεσαία και το 3 τη μικρότερη.

Για παράδειγμα, εάν τα έξι (6) πρώτα ψηφία του κωδικού είναι 132231, ο γεμιστής θα ερμηνεύει τον κωδικό ανά ζεύγη των δύο. Τα δύο πρώτα ψηφία, 13, σημαίνουν ότι στην διεύθυνση του μήκους της θέσης θα μπει η μικρότερη διάσταση της συσκευασίας. Τα επόμενα δύο, 22, δηλώνουν πως κατά την έννοια του βάθους θα μπει η μεσαία διάσταση της συσκευασίας, ενώ το 31 καθορίζει πως κατά την διεύθυνση του ύψους θα μπει η μεγαλύτερη διάσταση της συσκευασίας.

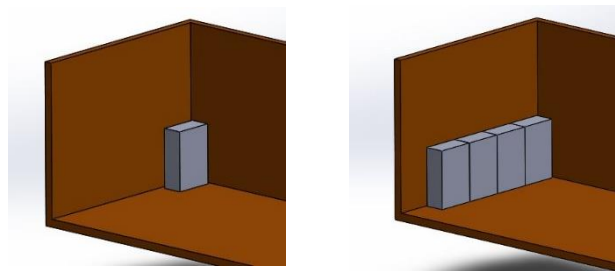
Στη συνέχεια, ο αριθμός N_1 δηλώνει πόσες συσκευασίες θα μπου με τον κύριο προσανατολισμό, όπου η διαδικασία βελτιστοποίησης ανέδειξε ως τον καλύτερο. Η παράμετρος H δηλώνει τον δευτερεύον προσανατολισμό. Εάν δεν υπάρχει, τότε το H είναι 0. Εάν όμως ο αλγόριθμος υπολόγισε ότι χωράνε συσκευασίες στον πρώτο υπόχωρο, λόγω νεκρού όγκου κατά το βάθος, τότε το H παίρνει την τιμή 1, αλλιώς εάν μιλάμε για τον δεύτερο υπόχωρο, στο νεκρό ύψος, παίρνει την τιμή 2. Τέλος η μεταβλητή N_2 εκπροσωπεί τον αριθμό συσκευασιών που θα μπου με τον δεύτερο τρόπο.

Σε συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος, ο κωδικός 132231/4/2/1, πληροφορεί τον εργαζόμενο πως πρέπει να βάλει τέσσερις συσκευασίες σύμφωνα με τον κύριο προσανατολισμό, και στον νεκρό όγκο από πάνω τους μπορεί να βάλει ακόμα μία, με τέτοιο τρόπο ώστε να χωράει. Όπως θα συζητηθεί και στο κεφάλαιο 6, είναι λίγα τα προϊόντα που επιδέχονται και δεύτερο προσανατολισμό στη θέση τους, και συνήθως οι συσκευασίες που αντιστοιχούν σε αυτόν είναι λιγότερες από τρεις.

Το ερώτημα που δημιουργείται τώρα είναι πως οι γεμιστές θα ξέρουν με ποια σειρά πρέπει να βάλουν τις συσκευασίες στη θέση συλλογής. Αρχικά, επειδή οι εργαζόμενοι της εξεταζόμενης εταιρείας είναι συνηθισμένοι στο να βάζουν τα προϊόντα με τελείως τυχαίο τρόπο, διαφορετικό κάθε

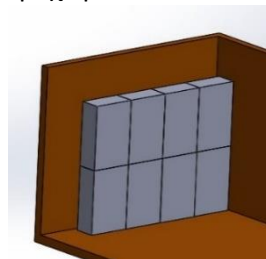
φορά, ανάλογα με την υπομονή, την κούραση και τον φόρτο εργασίας που έχουν, κρίνεται απαραίτητο πριν εφαρμοστεί το σύστημα της στρατηγικής τοποθέτησης, οι αρμόδιοι γεμιστές να λάβουν εκπαίδευση και ενημέρωση σχετικά με τη νέα διαδικασία που θα ακολουθούν, και να αποκτήσουν οικειότητα με την ερμηνεία των κωδικών τοποθέτησης που θα καλούνται να συμβουλευούνται. Για τον λόγο αυτό, παρακάτω προτείνεται ενδεικτικά μία ακολουθία βημάτων, με τα οποία ο εργαζόμενος θα μπορεί να διεκπεραιώσει με ταχύτητα την τοποθέτηση.

- 1) Προσεκτική ανάγνωση και ερμηνεία του κωδικού, σύμφωνα με την ενισχυτική εκπαίδευση που έχει δοθεί στους αρμόδιους γεμιστές. Για το παράδειγμα που ακολουθεί, ο κωδικός είναι 132231/16/2/2.
- 2) Τοποθέτηση των προϊόντων του κύριου προσανατολισμού, δηλαδή τη N_1 ποσότητα του κωδικού, ξεκινώντας από την πίσω αριστερή γωνία της θέσης, και συνεχίζοντας κατά την διεύθυνση του βάθους προς τα μπροστά, μέχρι να μην χωράνε άλλες συσκευασίες σε αυτή τη διεύθυνση.



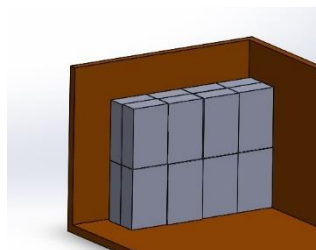
Εικόνα 25 - Βήμα 2 Στρατηγικής Τοποθέτησης

- 3) Επανάληψη της διαδικασίας δημιουργώντας μία δεύτερη σειρά πάνω από την πρώτη, χωρίς να αλλάξει η στήλη, μέχρις ότου να μην μπορεί να μπει άλλη σειρά κατά τη έννοια του ύψους. Εάν δεν χωράει δεύτερη σειρά, προχωράει κατευθείαν στο βήμα 4.



Εικόνα 26 - Βήμα 3 Στρατηγικής Τοποθέτησης

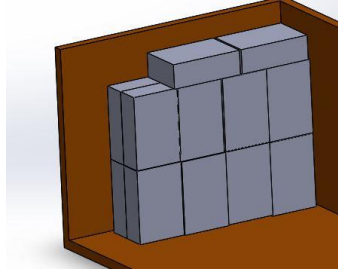
- 4) Σε περίπτωση που οι εναπομένουσες συσκευασίες είναι περισσότερες από τον αριθμό N_2 , που θα μπει στο νεκρό όγκο, άρα οι τοποθετημένες λιγότερες από τον N_1 , επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 και 3, δημιουργώντας μία πανομοιότυπη στήλη στα δεξιά της προηγούμενης.



Εικόνα 27 - Βήμα 4 Στρατηγικής Τοποθέτησης

- 5) Ελέγχεται πάλι η συνθήκη του βήματος 4. Εάν είναι αληθής, ο γεμιστής προσθέτει άλλη μία στήλη με τον τρόπο του βήματος 2 και 3, αλλιώς, οι υπόλοιπες συσκευασίες τοποθετούνται στον νεκρό χώρο που υποδεικνύει ο αριθμός H του κωδικού.

- 6) Ο γεμιστής βάζει τις συσκευασίες, με τέτοιον τρόπο ώστε η μέγιστη πλευρά τους να χωράει στη μέγιστη του χώρου, η μεσαία πλευρά στη μεσαία του χώρου και αντίστοιχα η ελάχιστη, γεμίζοντας πάλι κατά την έννοια του βάρους, μετά κατά το ύψος και τέλος προσθέτοντας δεύτερη στήλη, εάν χρειάζεται. Οι συσκευασίες N_2 είναι κατά κανόνα πολύ λιγότερες από τις N_1 , οπότε με την αρχική τοποθέτηση των συσκευασιών N_1 , ο τρόπος εισαγωγής των N_2 γίνεται προφανής.



Εικόνα 28 - Βήμα 6 Στρατηγικής Τοποθέτησης

Τα βήματα που προτείνονται έχουν απόλυτα μαθηματική λογική καθώς συνάδουν με τον τρόπο που τοποθετεί και ο κώδικας τις συσκευασίες στις θέσεις. Επομένως πρόκειται για μία διαδικασία πολύ τυποποιημένη, που μπορεί να αφομοιωθεί και εμπεδωθεί από το προσωπικό σε γρήγορο χρονικό διάστημα, μειώνοντας τις πιθανότητες λαθών και τον χρόνο γεμίσματος. Ακόμα και για συσκευασίες που κάποιες διαστάσεις είναι πολύ κοντινές για να αναγνωριστούν με το μάτι, ο γεμιστής μπορεί να συμβουλευτεί τις αναγραφόμενες στη συσκευασία διαστάσεις από τον προμηθευτή.

Παρόλα αυτά, το είδος των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την αποθήκη, λόγω του υψηλού χειρωνακτικού επιπέδου που τις χαρακτηρίζει, αναγκάζει τους εργαζομένους πολλές φορές να καταφεύγουν σε προσωπικές επιλογές και εμπειρικές συντομεύσεις σχετικά με τον τρόπο διεκπεραίωσης μίας διαδικασίας. Η γνωστική εργονομία που αναπτύσσεται ως συνέπεια αυτού, οδηγεί στην εκτέλεση τυποποιημένων κινήσεων, που παγιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Ως εκ τούτου, οι εργαζόμενοι είναι αρκετά δύσκολο να αλλάξουν την λογική με την οποία δούλευαν και να δεχτούν ένα καινοτόμο σύστημα, όσο καλύτερο και αν εμείς του εγγυόμαστε πως θα είναι μελλοντικά. Έτσι και στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπου ο ανεφοδιασμός των θέσεων γινόταν με τυχαίο τρόπο, η εισαγωγή ενός συστήματος στρατηγικής τοποθέτησης που στηρίζεται σε μεθοδολογία δεν μπορεί να γίνει αμέσως δεκτό, όχι τουλάχιστον χωρίς τη χρήση κάποιου βοηθητικού μέσου.

Καθότι η παγκόσμια αγορά διανύει την 4^η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0), ο τομέας των Logistics υιοθετεί συνεχώς πρωτοπόρα λειτουργικά συστήματα, που βασίζονται σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου, επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality), εφαρμογές δικτύων επικοινωνίας όπως το Internet of Things και άλλα (Plakas et al., 2020). Ήδη πολλά αποθηκευτικά κέντρα έχουν ενσωματώσει στην καθημερινή δραστηριότητά τους γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας, που καθοδηγούν τους εργαζομένους σχετικά με το που πρέπει να μεταβούν, τι εντολή πρέπει να εκτελέσουν και με ποιον τρόπο.



Εικόνα 29- Γυαλιά Επαυξημένης Πραγματικότητας (Plakas et al., 2020)

Σύμφωνα με τους μελλοντικούς σκοπούς της επιχείρησης, η οποία θέλει να επενδύσει στην χρήση γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας, προτείνεται το σύστημα της στρατηγικής τοποθέτησης και η λογική των βημάτων που ακολουθεί ο αλγόριθμος να παρουσιάζονται ως εικόνες στον γεμιστή κατά την διάρκεια του ανεφοδιασμού, όπως παρουσιάζονταν και στα επιμέρους βήματα που προηγήθηκαν. Δηλαδή, για κάθε προϊόν θα εμφανίζονται ο κωδικός της τοποθέτησης που αναλύθηκε προηγουμένως, καθώς και οι εικόνες που αντιστοιχούν σε κάθε βήμα, σύμφωνα με τις οποίες θα τοποθετούνται οι συσκευασίες στις θέσεις συλλογής. Με την οπτικοποίηση της διαδικασίας απορρέουν τα παρακάτω οφέλη:

- Διευκόλυνση της κατανόησης του νέου συστήματος και των κωδικών τοποθέτησης
- Μείωση της πιθανότητας σφαλμάτων κατά τον ανεφοδιασμό
- Αύξηση ταχύτητας διεκπεραίωσης της διαδικασίας
- Μείωση ανίας που βιώνει ο εργαζόμενος λόγω των επαναλαμβανόμενων εντολών που διατελεί κατά τη διάρκεια της βάρδιας του

Το παρόν μοντέλο της στρατηγικής τοποθέτησης μπορεί κάλλιστα να εφαρμοστεί σε ευρύ πλήθος αποθηκών που διαχειρίζεται προϊόντα εντός τετραγωνισμένων συσκευασιών, βελτιώνοντας την διαδικασία του ανεφοδιασμού και τη χωρητικότητα των θέσεων συλλογής.

Σε αυτό το σημείο, όπου και το πρώτο βήμα της βελτιστοποίησης φτάνει στο τέλος, τονίζεται πως όσα προϊόντα έλαβαν στρατηγική 0 είναι κωδικοί που είτε το μέγεθος της συσκευασίας τους δεν χωράει σε στατικά ράφια, είτε η επάρκεια δεν πληρείται. Επομένως αυτοί οι κωδικοί θα επανεξεταστούν για τις δυναμικές θέσεις που είναι μεγαλύτερες.

4.4.2. Εύρεση Νέων Διαστάσεων Στατικών Θέσεων

Στο προηγούμενο βήμα, πέρα της εύρεσης της βέλτιστης στρατηγικής τοποθέτησης, υπολογίστηκε και το απαιτούμενο μήκος θέσης του κάθε προϊόντος, ώστε να χωράνε οι αναγκαίες συσκευασίες για επάρκεια μίας εβδομάδα στη θέση συλλογής. Πριν προχωρήσουμε στο δεύτερο βήμα της βελτιστοποίησης, είναι σκόπιμο να θέσουμε τους στόχους της διαδικασίας και να επεξηγηθεί ο λόγος που αυτοί επιλέχθηκαν.

Το αρχικό σύστημα που χρησιμοποιούσε η εταιρεία περιλάμβανε τέσσερα είδη στατικών θέσεων, όπως αυτά αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4. Οι θέσεις αυτές είναι πολλαπλάσια η μία της άλλης και προέρχονται από μία βασική μονάδα, την μονάδα S, η οποία είχε διαστάσεις 320 mm μήκος, 520 mm βάθος και 390 mm ύψος. Σε αυτό το βήμα του αλγορίθμου, θα βρεθεί το νέο βέλτιστο μήκος της μονάδας S, εφόσον το ύψος και το βάθος των ραφιών είναι αμετάβλητα. Για τους σκοπούς αυτούς θα γίνουν οι παρακάτω παραδοχές, σύμφωνα με τους περιορισμούς που πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα:

➤ Τύποι Στατικών Θέσεων

Σε αντίθεση με το αρχικό σύστημα, ο αλγόριθμος της βελτιστοποίησης θα εξετάσει τρία και όχι τέσσερα είδη θέσεων. Η απόφαση αποτελεί το αποτέλεσμα της ανάλυσης δύο διαφορετικών παραγόντων. Ο πρώτος παράγοντας αφορά τον νεκρό όγκο που δημιουργείται στην αποθήκη λόγω της ύπαρξης των θέσεων 4S, οι οποίες έχουν διπλάσιο ύψος από τις υπόλοιπες. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις συστάσεις που έγιναν από την εξεταζόμενη εταιρεία, τα προϊόντα που καταλήγουν να μπουν στον συγκεκριμένο τύπο θέσης είναι της τάξης του 0.5% των συνολικών προϊόντων του τομέα. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι εν λόγω θέσεις που καταλαμβάνουν δύο διαδρόμους εκ του συνόλου των 40, αφήνουν πολύ μεγάλο νεκρό όγκο, εφόσον οι συσκευασίες που μπαίνουν εκεί έχουν

τέτοιο μέγεθος που δεν χωράνε σε κανένα άλλο είδος των στατικών ή δυναμικών θέσεων για λίγα μόλις εκατοστά, αλλά συγχρόνως στην πλειονότητα των περιπτώσεων δεν χωράει ούτε δεύτερη συσκευασία στις θέσεις 4S. Ακόμα, λόγω του μικρού πλήθους θέσεων που διαθέτουν οι συγκεκριμένοι διάδρομοι, έχουν τεράστιες αποκλείσεις στον αριθμό κινήσεων και στον φόρτο εργασίας από τους υπόλοιπους 38 διαδρόμους, με αποτέλεσμα να μένουν σχεδόν ανεκμετάλλευτοι. Τα προϊόντα τα οποία αποθηκεύονταν μέχρι τώρα σε αυτές τις θέσεις, θα εξεταστεί εάν μπορούν να χωρέσουν στα νέα είδη θέσεων που θα προκύψουν, είτε στατικών είτε δυναμικών, ανάλογα με τον νέο νεκρό όγκο που θα δημιουργείται. Σε περίπτωση που η τοποθέτηση τους είναι ασύμφορη για τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος, θα γίνει σύσταση στην επιχείρηση για αναθεώρηση και επανεξέταση της αποθηκευτικής μονάδας με την οποία τοποθετούνται στη θέση.

Ο δεύτερος παράγοντας σχετίζεται με την ανάλυση ABC η οποία αναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο. Αυτή τη φορά, η μέθοδος δεν αφορά τάξεις κινητικότητας, αλλά τον αριθμό των τύπων θέσεων βάση διαστάσεων που υπάρχουν, και οι οποίες λειτουργούν ως μία επιπλέον μορφή ταξινόμησης. Μελέτες έχουν δείξει πως ο λόγος που χρησιμοποιούνται τρεις τάξεις και όχι πολύ περισσότερες ή λιγότερες είναι η ύπαρξη ενός κρίσιμου αριθμού, για τον οποίο το σύστημα είναι βέλτιστο. Ύπαρξη πολλών τύπων θέσεων, άρα και τάξεων, δεν σημαίνει καλύτερη απόδοση, αλλά αντιθέτως σημαίνει ότι πολλές τάξεις με μικρότερο αριθμό θέσεων ανά τάξη, καταλήγουν σε μεγαλύτερες απαιτήσεις χώρου (Yu et al., 2015), καθώς η πολιτική τοποθέτησης τείνει να γίνει πιο εστιασμένη (dedicated storage policy). Από την άλλη, λίγα είδη θέσεων, για παράδειγμα δύο, οδηγούν στην δημιουργία τεράστιων νεκρών όγκων, καθώς μικρά προϊόντα που δεν χωράνε για λίγα εκατοστά στον μικρό τύπο, καταχωρούνται στον μεγάλο αφήνοντας ανεκμετάλλευτο χώρο.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, όπου η κατανομή των προϊόντων στην εταιρεία είναι τυχαία (random storage policy), πάνω από τρία είδη μεγέθους στατικών θέσεων θα περιορίζουν τις επιλογές αποθήκευσης των προϊόντων, ενώ από δύο και κάτω, θα δημιουργούν ανεπιθύμητο νεκρό όγκο. Για όλους αυτούς του λόγους, η βελτιστοποίηση θα αποδώσει τρία μεγέθη θέσεων.

➤ Διαστάσεις Στατικών Θέσεων

Η παρούσα ανάλυση θα διατηρήσει την αρχική λογική των πολλαπλάσιων της μονάδας S για δύο λόγους. Αρχικά, είναι απόλυτα εργονομικό για τους εργαζομένους, οι οποίοι μπορούν οπτικά να ξεχωρίσουν κατευθείαν τον κάθε τύπο θέσης, εάν ο ένας είναι πολλαπλάσιος του αλλού. Σε αντίθετη περίπτωση, δεν αυξάνεται μόνο η πιθανότητα λαθών, αλλά μειώνεται η χωρητικότητα του συστήματος, καθώς θέσεις που έχουν πολύ κοντινές διαστάσεις, δεν εξυπηρετούν τις ανάγκες των προϊόντων. Συμπερασματικά, το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου βήματος θα δώσει ένα νέο μήκος S, από το οποίο θα προκύπτουν οι θέσεις S2, με το μισό μήκος της βασικής μονάδας, οι S, και οι 2S, με το διπλάσιο μήκος.

Ο νέος αλγόριθμος λαμβάνει ως είσοδο την έξοδο του προηγούμενου βήματος, δηλαδή το απαιτούμενο μήκος θέσης που θέλει κάθε προϊόν. Γνωρίζουμε ότι οι διαστασιολογικοί περιορισμοί του ραφιού, που έχουν ληφθεί υπόψιν στο 1^ο βήμα, απαγορεύουν οποιοδήποτε μήκος θέσης άνω των 1600 mm. Εφόσον όμως ο μεγαλύτερος τύπος θέσης, ο 2S, πρέπει να χωράει στα στατικά ράφια, σημαίνει πως το μέγιστο μήκος που μπορεί το σύστημα να του αποδώσει είναι 1600 mm, και άρα το μέγιστο μήκος της βασικής μονάδας S θα είναι τα 800 mm. Από την αντίθετη πλευρά, το μικρότερο μήκος που μπορούμε να θεωρήσουμε για τη βασική μονάδα είναι το 1 mm, καθώς αποτελεί και την μικρότερη υποδιαίρεση ενός συμβατικού μέτρου που χρησιμοποιείται στις αποθήκες.

Ο προτεινόμενος κώδικας που αναπτύχθηκε, εξετάζει τις περιπτώσεις 800 διαφορετικών μηκών της βασικής μονάδας, ξεκινώντας από το 1 έως τα 800 mm με βήμα 1 mm, με σκοπό τον υπολογισμό των παρακάτω παραγόντων.

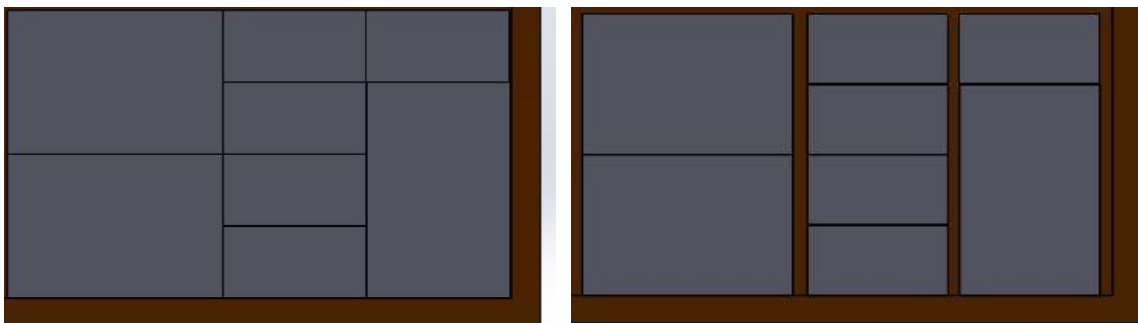
Αρχικά, για κάθε εξεταζόμενο μήκος S, υπολογίζεται αναλογικά και η διάσταση που αντιστοιχεί στις θέσεις S2 και 2S. Στη συνέχεια, το αναγκαίο μήκος κάθε προϊόντος που προέκυψε από τον αλγόριθμο της στρατηγικής τοποθέτησης, συγκρίνεται με το μήκος του κάθε τύπου θέσης, και καταχωρείται στον μικρότερο δυνατό τύπο. Με αυτόν τον τρόπο, για κάθε βασική μονάδα που εξετάζεται, προκύπτουν πόσα προϊόντα χωράνε στον κάθε τύπο θέσης, άρα και πόσα συνολικά μπορούν να χωρέσουν σε στατικές θέσεις για αυτό το μήκος S. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ θα ήταν αναμενόμενο η συνθήκη που θα ελέγχεται για το εάν χωράει ένα προϊόν σε μία θέση να ήταν η:

$$L_{NEEDED} \leq L_{SLOT} \quad (4)$$

στην οποία το αναγκαίο μήκος θέσης του κωδικού (L_{NEEDED}) θα ήταν μικρότερο ή ίσο από το μήκος θέσης (L_{SLOT}), η πραγματική συνθήκη που εξετάζεται είναι η:

$$L_{NEEDED} + 15 \leq L_{SLOT} \quad (5)$$

Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι σε ένα σύστημα αποθήκευσης όπου στο προηγούμενο βήμα έγινε προσπάθεια για τη βέλτιστη εκμετάλλευση κάθε νεκρού όγκου στη θέση, αλλά και η απουσία διακριτών ορίων μεταξύ των θέσεων που ανήκουν στο ίδιο ράφι, αφήνει σχεδόν μηδενικά κενά, τα οποία από άποψη νεκρού χώρου μπορεί να είναι θετικό που δεν υπάρχουν, αλλά από άποψη εργονομίας, δεν είναι. Λαμβάνοντας υπόψιν τη διαδικασία συλλογής των τεμαχίων, κατά την οποία ο αρμόδιος εργαζόμενος που μεταβαίνει στη θέση πρέπει να τραβήξει προς τα έξω τη συσκευασία από την οποία θα συλλέξει τα απαραίτητα τεμάχια, διαπιστώνεται πως εάν δεν υπάρχει χάρη μεταξύ των θέσεων και αυτές έχουν μέγιστη εκμετάλλευση χώρου, είναι ιδιαίτερα δύσκολο και χρονοβόρο για τον συλλέκτη να διαχειριστεί τις συσκευασίες, όπως για παράδειγμα να βάλει τα χέρια του μέσα στη θέση και να τραβήξει ένα κουτί. Για αυτόν τον λόγο, η κάθε θέση πρέπει να έχει αριστερά και δεξιά της ένα κενό της τάξης των 15 mm από τις συσκευασίες του διπλανού κωδικού, που ισοδυναμεί περίπου με το πάχος της παλάμης ενός μέσου ανθρώπου, όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 30 - Θέσεις χωρίς Ενδιάμεση Χάρη (α) και Θέσεις με Χάρη (β)

Όπως προκύπτει με βάση τη λογική, για κάθε ράφι που έχει N αριθμό θέσεων, συνολικά τα κενά που πρέπει να υπάρχουν είναι N+1. Ενώ τα πρώτα N κενά εξασφαλίζονται από τη συνθήκη (5), το τελευταίο κενό θα εξασφαλιστεί στη συνέχεια από το νεκρό μήκος που αφήνουν οι διατεταγμένες θέσεις στο ράφι. Στη συνέχεια ο κώδικας ελέγχει πόσες θέσεις από το κάθε είδος μπορούν να χωρέσουν σε ένα ράφι, ξεκινώντας από τον μικρότερο τύπο, δηλαδή τις S2, συνεχίζοντας με τις S και

ολοκληρώνοντας με τις 2S. Η διαδικασία που ακολουθεί, εξαρτάται από το είδος της θέσης που εξετάζεται.

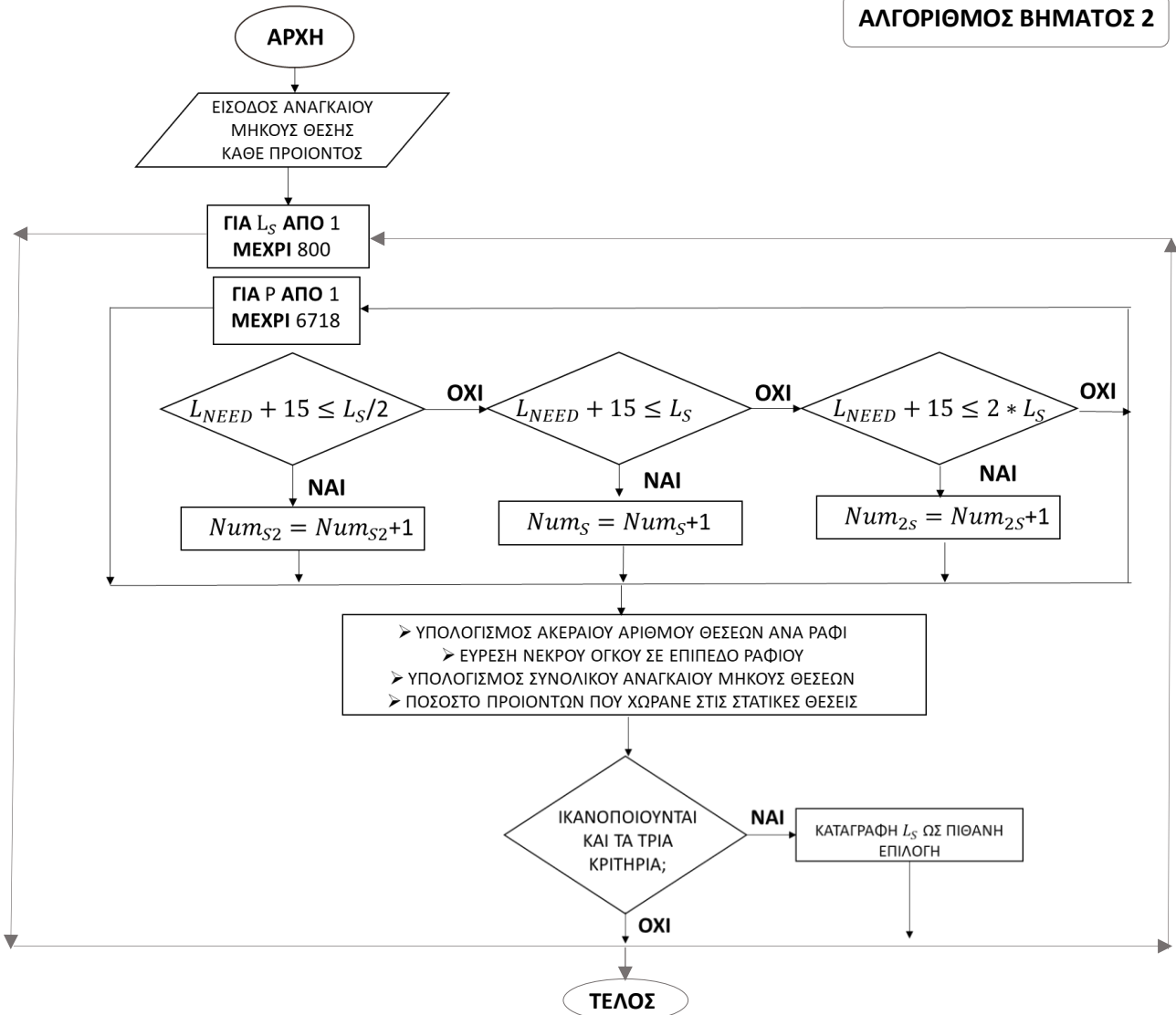
- Για την περίπτωση των S2, αφού υπολογιστεί ο ακέραιος αριθμός θέσεων που χωράνε στο ράφι, στη συνέχεια από το κενό μήκος αφαιρούνται 15 mm, που αποτελούν το τελευταίο κενό που πρέπει να υπάρχει, δηλαδή το N+1, και ότι υπολείπεται σε μήκος συγκαταλέγεται στον νεκρό όγκο σε επίπεδο ραφίου.
- Για την περίπτωση των θέσεων S, μετά την εύρεση του ακέραιου αριθμού θέσεων, εξετάζεται αρχικά εάν στο υπολειπόμενο μήκος μπορεί να χωρέσει μία θέση S2. Εάν ναι, προστίθεται και αυτή στο αξιοποιούμενο μήκος ραφίου, και κατόπιν αφαιρούνται τα 15 mm από τον υπόλοιπο χώρο. Το μήκος που απομένει, συμπληφίζεται στον νεκρό όγκο.
- Για την περίπτωση 2S, ακολουθείται η ίδια διαδικασία, μόνο που εδώ εξετάζεται εάν χωράνε και θέσεις S αλλά και S2 στο νεκρό μήκος. Στη συνέχεια αφαιρούνται πάλι τα 15 mm και υπολογίζεται ο αναξιοποίητος χώρος.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τα 800 διαφορετικά μήκη S. Αφού ολοκληρωθεί ο επαναληπτικός κύκλος, ο αλγόριθμος καταλήγει στα έξι (6) προτεινόμενα βασικά μήκη. Τα τρία κριτήρια επιλογής που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- 1) Ο συντελεστής κάλυψης του μήκους των στατικών ραφιών από τα προϊόντα που εξετάζονται να είναι το πολύ 0.85. Αυτό ήταν ένας περιορισμός που δόθηκε από την εταιρεία, καθώς επιθυμεί να προβεί σε αύξηση του κωδικολογίου στο άμεσο μέλλον, και θέλει να περιορίσει την πληρότητα των στατικών θέσεων. Το συνολικό μήκος των στατικών ραφιών ανέρχεται στα 3.200.000 mm, οπότε μήκη S που απαιτούν πάνω από 2.720.000 mm για την αποθήκευση των προϊόντων στον στατικό τομέα απορρίπτονται.
- 2) Τα επιλεγμένα μήκη πρέπει να αποφέρουν συνολική αποθήκευση προϊόντων άνω του 75% του συνόλου που εξετάζεται. Μικρότερο ποσοστό, αναγκάζει τα προϊόντα να αποθηκευτούν σε θέσεις gravity, οι οποίες είναι πολύ μεγάλες και θα δημιουργούν υψηλό νεκρό όγκο.
- 3) Το νεκρό μήκος ραφίου που θα αφήνουν οι θέσεις, το οποίο βρέθηκε στα παραπάνω βήματα, θα πρέπει κυμαίνεται από -1 έως 1. Στην περίπτωση που είναι -1, σημαίνει ότι η χάρη (N+1) στο τέλος του ραφίου είναι 14 mm αντί για 15, κάτι το οποίο δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα, αλλά αντίθετα αξίζει να εξεταστεί και αυτό ως πιθανό σενάριο.

Σημαντική παρατήρηση είναι ότι πλέον ο νεκρός όγκος προέρχεται από δύο αιτίες. Είναι ο νεκρός όγκος σε επίπεδο ραφίου, λόγω υπολειπόμενου κενού μήκους από τις διατεταγμένες θέσεις ανά ράφι, και είναι και ο νεκρός όγκος σε επίπεδο θέσης, δηλαδή αυτός που δημιουργείται στη θέση μετά την τοποθέτηση των αναγκαίων για την επάρκεια συσκευασιών.

Με βάση τα τρία αυτά κριτήρια, ο αλγόριθμος προτείνει έξι πιθανά βέλτιστα μήκη, στα οποία δεν περιλαμβάνεται το 320 mm, που ήταν η μονάδα μήκους του αρχικού συστήματος. Για λόγους όμως τελικής σύγκρισης, θα συμπεριληφθεί στην ακόλουθη διαδικασία ως 7^η πιθανή λύση. Τα αποτελέσματα θα συζητηθούν στο Κεφάλαιο 5. Η διαδικασία που αναλύθηκε, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 31 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 2

Στο συγκεκριμένο σημείο, δεν έχουμε αρκετά δεδομένα ώστε να καταλήξουμε στο ποιο από αυτά τα μήκη είναι το καλύτερο, καθώς οι στατικές θέσεις βρίσκονται σε άμεση σύνδεση με τις δυναμικές. Όσα προϊόντα δεν χωράνε να αποθηκευτούν στις στατικές λόγω της επιλογής του μήκους S , αναγκάζονται να μεταφερθούν στις δυναμικές. Οπότε, όπως είναι κατανοητό, ένα μικρό μήκος S που στέλνει πολλούς κωδικούς σε δυναμικές θέσεις, μπορεί να εξασφαλίζει μεγάλο αριθμό θέσεων και μικρό νεκρό όγκο σε επίπεδο θέσης για τον στατικό τομέα, αλλά από την άλλη, ο νεκρός όγκος σε επίπεδο δυναμικών θέσεων εκτοξεύεται. Στην αντίθετη περίπτωση, μεγάλο μήκος S εξασφαλίζει μικρό νεκρό όγκο στις δυναμικές θέσεις, αλλά επίσης μικραίνει τον αριθμό στατικών θέσεων συλλογής, αυξάνοντας παράλληλα τον ανεκμετάλλετο τους όγκο. Ο στόχος λοιπόν είναι να βρεθεί μία μέση και βέλτιστη λύση.

4.4.3. Συνδυαστική Εύρεση Βέλτιστων Διαστάσεων Δυναμικών και Στατικών Θέσεων

Η παρούσα ενότητα αποτελεί το 3^ο βήμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Στόχοι αυτού του βήματος είναι να αποφασιστεί ποιο είναι το βέλτιστο μήκος της μονάδας S για τις στατικές θέσεις, και συγχρόνως να βρεθεί και το αντίστοιχο μήκος της μονάδας G , όπου αντιστοιχεί στην βασική μονάδα των δυναμικών θέσεων. Όπως αναφέρθηκε στο τέλος του προηγούμενου βήματος, οι δύο μονάδες αν και αναφέρονται σε άλλα είδη αποθήκευσης είναι άμεσα συνυφασμένες. Επομένως, μία

ανάλυση για τον δυναμικό τομέα χωρίς να λαμβάνετε υπόψιν ο στατικός, θα κατέληγε ενδεχομένως σε κάποιες προτεινόμενες λύσεις για τη μονάδα G, οι οποίες όμως δεν θα συνδέονταν απαραίτητα με τις προτεινόμενες της μονάδας S. Αντιθέτως, αυτό που πρέπει να διεξαχθεί είναι η εύρεση της βέλτιστης μονάδας G για κάθε προτεινόμενη μονάδα S, και στο τέλος να συγκριθούν τα προτεινόμενα πλέον ζευγάρια (S,G) ώστε να βρεθεί το καλύτερο.

Η επαναληπτική διαδικασία η οποία θα περιγραφεί εν συνεχεία, θα διεκπεραιωθεί συνολικά επτά φορές, έξι για τα προτεινόμενα S και άλλη μία για το μέγεθος S του αρχικού συστήματος, το 320 mm.

Για την πρώτη εξεταζόμενη τιμή μήκους, ο αλγόριθμος ξεκινάει εξετάζοντας πόσα προϊόντα χωράνε στα τρία μεγέθη στατικών θέσεων που προκύπτουν, και τα διαχωρίζει αυτά που αναγκαστικά θα πρέπει να αποθηκευτούν σε δυναμικές θέσεις. Μέσα σε αυτά τα προϊόντα περιλαμβάνονται και αυτά που κατά το 1^ο βήμα είχε βρεθεί πως δεν γίνεται να χωρέσουν σε στατικές θέσεις, είτε λόγω επάρκειας είτε λόγω διαστάσεων συσκευασίας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο νεκρός όγκος για τον στατικό τομέα, και σε επίπεδο ραφιών, λόγω νεκρού μήκους κατά το μήκος του φατνώματος, αλλά και σε επίπεδο θέσεων κατόπιν της τοποθέτησης των προϊόντων.

Ο νεκρός όγκος σε επίπεδο ραφίου υπολογίζεται ως:

$$V_{DR} = L_{DEAD} * H * D * N_R \quad (6)$$

όπου,

$$V_{DR} = \text{Νεκρός όγκος σε επίπεδο ραφίου (mm}^3\text{)}$$

$$L_{DEAD} = \text{Ανεκμετάλευτο μήκος ανά ράφι (mm)}$$

$$H = \text{Ύψος ραφίου} = 390 \text{ mm}$$

$$D = \text{Βάθος ραφίου} = 520 \text{ mm}$$

$$N_R = \text{Αριθμός ραφιών στατικού τομέα} = 2000 \text{ ράφια}$$

Ο νεκρός όγκος σε επίπεδο θέσης υπολογίζεται ως:

$$V_{DS} = \sum_1^{6718} (V_{SLOT_i} - V_{package_i} * N_{tot_i}) = \sum_1^{6718} (H * D * L_{SLOT_i} - V_{package_i} * N_{tot_i}) \quad (7)$$

όπου,

$$V_{DS} = \text{Συνολικός νεκρός όγκος σε επίπεδο θέσης (mm}^3\text{)}$$

$$L_{SLOT_i} = \text{Μήκος θέσης προϊόντος } i \text{ (mm)}$$

$$V_{package_i} = \text{Όγκος συσκευασίας προϊόντος } i \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$N_{tot_i} = \text{Απαιτούμενος αριθμός συσκευασιών στη θέση για το προϊόν } i$$

Όσα από τα προϊόντα δεν χωράνε στις στατικές θέσεις, δεν συνυπολογίζονται στους υπολογισμούς που εκτελεί ο κώδικας. Αφού πλέον είναι διαχωρισμένα τα προϊόντα σε στατικά και δυναμικά, και έχει υπολογιστεί ο νεκρός όγκος στον στατικό τομέα, ο αλγόριθμος προχωράει στον υπολογισμό του βέλτιστου μήκους G για τις δυναμικές θέσεις. Για όλα τα δυναμικά προϊόντα, επαναλαμβάνεται

ακριβώς η ίδια διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τον στατικό τομέα βήμα προς βήμα. Οι διαφορές όμως που συναντώνται στις αντίστοιχες θέσεις του δυναμικού τομέα είναι οι παρακάτω:

- Το βάθος των θέσεων αλλάζει από 520 mm και γίνεται 2500 mm, ενώ το ύψος και το μήκος των ραφιών ανά φάτνωμα διατηρούνται σταθερά, στα 390 mm και 1600 mm αντίστοιχα.
- Στα δυναμικά ράφια, όπου τα προϊόντα κινούνται κατά τη διεύθυνση του βάθους λόγω βαρυτικών δυνάμεων, η κάθε θέση οριοθετείται από τις γειτονικές της, με την χρήση αποσπώμενων μεταλλικών διαχωριστικών που βρίσκονται σε όλο το βάθος του ραφιού. Τα διαχωριστικά αυτά έχουν πλάτος 20 mm και ύψος 40 mm. Οπότε η χάρη μεταξύ των δυναμικών θέσεων θα είναι αναγκαστικά όσο και το πλάτος των διαχωριστικών, δηλαδή στα 2 εκατοστά, αντί των 1.5 που ήταν στις στατικές. Η χάρη στην άκρη του ραφιού θα ανέρχεται και αυτή στα 20 mm για λόγους ομοιομορφίας.

Είναι επόμενο πως όσο μικρότερη είναι η μονάδα S, τόσο περισσότερα θα είναι τα προϊόντα που εξετάζονται για τις δυναμικές θέσεις. Για αυτούς τους κωδικούς, όπως και στα στατικά, το πρώτο βήμα είναι να βρεθεί ο βέλτιστος προσανατολισμός αποθήκευσης, ο οποίος θα οδηγήσει στην εύρεση της στρατηγικής τοποθέτησης και στην κατασκευή του ανάλογου κωδικού. Συγχρόνως, υπολογίζεται και το αναγκαίο μήκος θέσης για τα δυναμικά ράφια που πρέπει να έχει το κάθε προϊόν που εξετάζεται, ώστε να πληρείται το κριτήριο της επάρκειας σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του μήκους. Ο βασικός περιορισμός του συστήματος και αυτή τη φορά είναι πως το υπολογιζόμενο μήκος θέσης δεν μπορεί να ξεπερνά τα 1600 mm.

Φυσικά, παρόλο που οι δυναμικές θέσεις κατέχουν μεγάλο όγκο, κάποια εξαιρετικά ταχυκίνητα προϊόντα βρέθηκε πως δεν μπορούν να συμπληρώσουν την επιθυμητή επάρκεια, ακόμα και όταν η θέση είναι ίση με ολόκληρο το ράφι. Ακόμα, υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό προϊόντων, όπου οι διαστάσεις τους δεν χωράνε σε δυναμικές θέσεις, τα οποία αποθηκεύονταν στις θέσεις 4S του αρχικού συστήματος. Και για τις δύο αυτές περιπτώσεις, θα συζητηθεί στο τέλος της ανάλυσης τι πρέπει να γίνει.

Αφού βρεθεί η στρατηγική τοποθέτησης και το αναγκαίο μήκος θέσης, στη συνέχεια πρέπει να βρεθούν οι διαφορετικοί τύποι δυναμικών θέσεων λόγω διαστάσεων. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ενώ για τον στατικό τομέα η αποθήκη διατηρούσε συγκεκριμένα μεγέθη θέσεων, για τον δυναμικό τομέα οι θέσεις ήταν τυχαίες. Αν και συστημικά υπήρχαν θέσεις G1, G2 και G3, σε φυσικό επίπεδο μέσα στην αποθήκη, επειδή τα διαχωριστικά ήταν αποσπώμενα και οι δυναμικές θέσεις είχαν μικρότερη πληρότητα, οι γεμιστές αυθαίρετα μετατόπιζαν τα διαχωριστικά κατά το δοκούν ώστε να χωρέσουν οι συσκευασίες. Ως αποτέλεσμα αυτού, κάθε δυναμική θέση είχε διαφορετικό μήκος, και δεν υπήρχε ένα ενιαίο και ομοιόμορφο σύστημα αποθήκευσης, παρά τη θεωρητική ονοματολογία. Το γεγονός αυτό ήταν ευρέως γνωστό, οπότε οι υπεύθυνοι της διαχείρισης του συστήματος, δεν λάμβαναν υπόψιν με ποιόν τύπο είναι καταχωρημένη στο SAP μία δυναμική θέση όταν της αντιστοιχίζαν ένα προϊόν, καθώς ήξεραν πως δεν είχε αντίκρισμα στην πραγματικότητα.

Στόχος της βελτιστοποίησης είναι η επίλυση αυτού του προβλήματος, με την εύρεση συγκεκριμένων τύπων δυναμικών θέσεων, στις οποίες πλέον θα ανατίθενται τα κατάλληλα προϊόντα. Για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.4.2, σκοπός είναι η εύρεση τριών τύπων θέσεων, ούτε λιγότερων αλλά ούτε και περισσότερων, πολλαπλάσια η μία της άλλης, με ονοματολογία ανάλογη του στατικού τομέα, δηλαδή G για τη βασική μονάδα, G2 για το υποδιπλάσιο της και 2G για το διπλάσιο μέγεθος.

Στο δεύτερο βήμα, ο αλγόριθμος υπολογίζει για 800 διαφορετικές βασικές μονάδες, από 1 μέχρι 800 mm με βήμα 1, πόσα προϊόντα αποθηκεύονται και πόσα μένουν εκτός θέσεων, εάν επαρκεί το μήκος των δυναμικών θέσεων για την αποθήκευσή τους, με πληρότητα μικρότερη του 95%, πόσες θέσεις από το κάθε είδος χωράνε ανά ράφι και ποιο είναι το νεκρό μήκος σε επίπεδο ραφιού.

Από τα παραπάνω 800 μήκη, πρέπει να επιλεγθούν κάποια προτεινόμενα προς περαιτέρω εξέταση, όπως έγινε και με τα στατικά. Τα κριτήρια της συγκεκριμένης επιλογής είναι τα εξής:

- 1) Η πληρότητα του μήκους των δυναμικών θέσεων δεν πρέπει να ξεπερνά το 90%. Εφόσον το συνολικό μήκος είναι 512.000 mm, το όριο του συνολικού απαιτούμενου μήκους για την αποθήκευση των αγαθών είναι 460.800 mm. Οτιδήποτε άλλο δίνει μεγαλύτερο μήκος δεν προτείνεται από τον κώδικα.
- 2) Πρέπει να μπορούν να αποθηκευτούν πάνω από το 93% των εξεταζόμενων προϊόντων. Το 93% βρέθηκε μετά από πειραματικές δοκιμές, καθώς μεγαλύτερο ποσοστό δημιουργούσε μεγάλο νεκρό όγκο, ενώ μικρότερο ποσοστό απέκλειε την αποθήκευση πολλών προϊόντων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου είναι και το τελικό στάδιο της μεγιστοποίησης της χωρητικότητας, το κριτήριο του νεκρού όγκου θα εισαχθεί μετά την αρχική επιλογή των δυναμικών μεγεθών, καθώς είναι αντικρουόμενος παράγοντας με το ελάχιστο ποσοστό αποθηκευμένων αγαθών, οπότε και εξετάζεται ξεχωριστά ώστε να ελεγχθούν όσες περισσότερες περιπτώσεις γίνεται.

Στο αμέσως επόμενο στάδιο, για την κάθε επιλεγθείσα περίπτωση μήκους, υπολογίζεται ο νεκρός όγκος, σε επίπεδο ραφιού και σε επίπεδο θέσεων σύμφωνα με τις σχέσεις (6) και (7), και εν τέλει επιλέγεται εκείνο το μήκος το οποίο επιφέρει τον συνολικά μικρότερο νεκρό όγκο για τον δυναμικό τομέα.

Η ανωτέρα διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση μήκους S , για την οποία υπολογίζεται το βέλτιστο μήκος G , δημιουργώντας έτσι έξι πιθανά ζευγάρια, τα οποία ελέγχονται για την αποδοτικότητα που προσφέρουν βάση των παρακάτω κριτηρίων.

- I. Η ελαχιστοποίηση του καταλαμβανόμενου συνολικού όγκου και στα δύο είδη αποθήκευσης, δυναμικό και στατικό, του εξεταζόμενου τομέα της εταιρείας.
- II. Η ελαχιστοποίηση του συνολικού νεκρού όγκου στην ολότητα του τομέα
- III. Η μεγιστοποίηση του συντελεστή αξιοποίησης όγκου το οποίο δίνεται από την σχέση (8) που ακολουθεί

$$\text{Ποσοστό Αξιοποίησης} = \frac{\text{Ωφέλιμος Όγκος} * 100\%}{\text{Χρησιμοποιούμενος Όγκος}} = \frac{\text{Χρησιμοποιούμενος Όγκος} - \text{Νεκρός Όγκος}}{\text{Χρησιμοποιούμενος Όγκος}} * 100\% \quad (8)$$

Όπως φαίνεται από την σχέση (8), στην περίπτωση που το ποσοστό αξιοποίησης ήταν 100%, δεν θα υπήρχε καθόλου νεκρός όγκος και όλος ο χρησιμοποιούμενος χώρος θα ήταν ωφέλιμος. Οπότε, η μεγιστοποίηση αυτού του συντελεστή είναι παράγοντας μέτρησης της αποδοτικότητας της χωρητικότητας του συστήματος.

- IV. Η ελαχιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου όγκου ανά προϊόν, σύμφωνα με τη σχέση (9)

$$\text{Χρησιμοποιούμενος Όγκος Ανά Προϊόν} = \frac{\text{Χρησιμοποιούμενος Όγκος}}{\text{Αριθμός Προϊόντων Τομέα}}$$

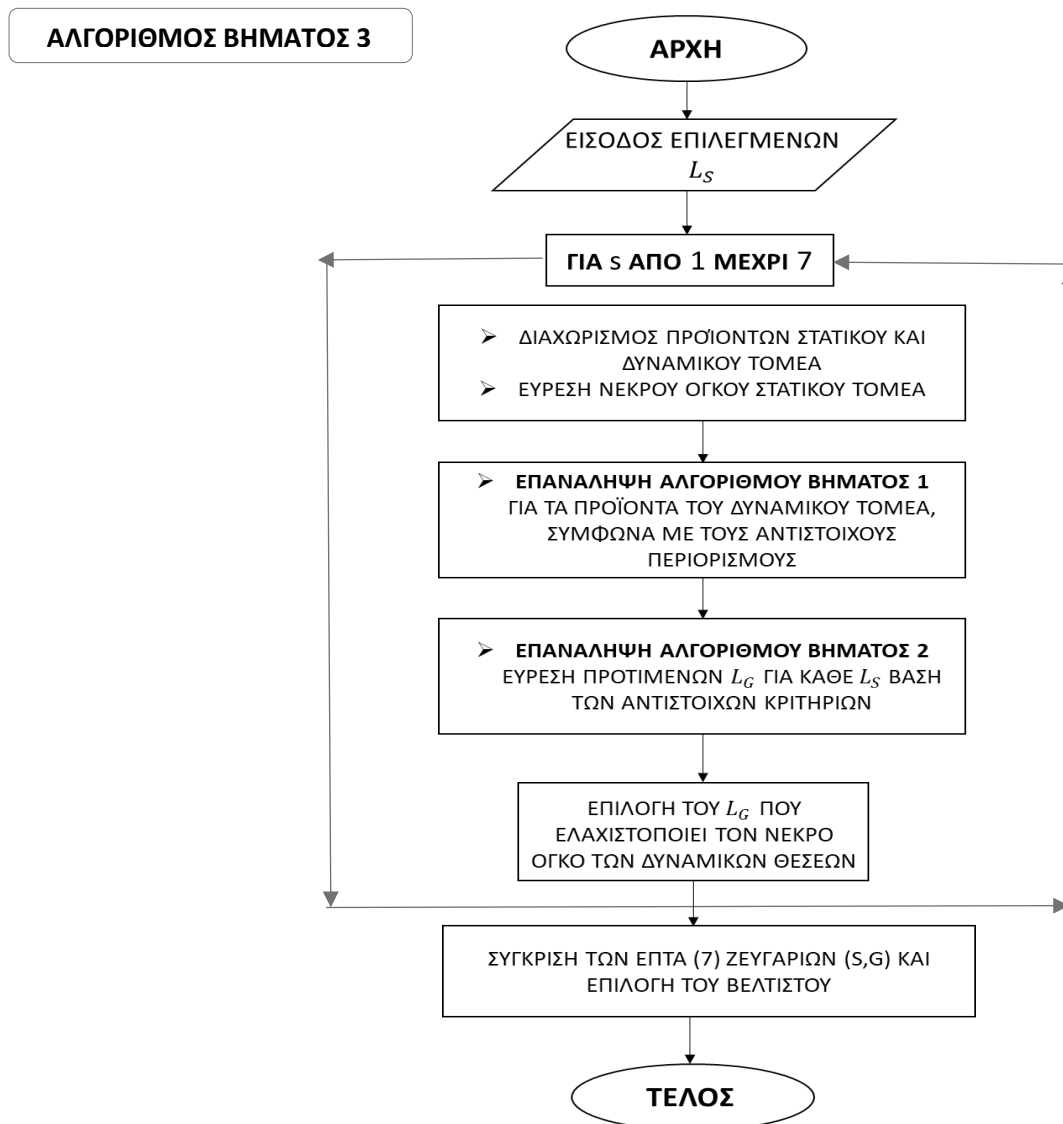
Ο αριθμός προϊόντων του τομέα, δεν είναι τα 6718 προϊόντα που εξετάζονται, αλλά τα προϊόντα που μπορούν να αποθηκευτούν στον τομέα ανάλογα με το εξεταζόμενο ζεύγος (S,G). Οπότε η σχέση (9) δίνει τον μέσο όρο του όγκου που αντιστοιχεί σε κάθε αγαθό που αποθηκεύεται στον τομέα.

Σύμφωνα με τα τέσσερα παραπάνω κριτήρια, η τελική επιλογή του βέλτιστου ζεύγους των βασικών μονάδων, η οποία θα σχολιαστεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 5, είναι

$$(S, G) = (352, 395) \text{ mm}$$

Τα προϊόντα τα οποία έμειναν εκτός και του δυναμικού τομέα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά τους κωδικούς που δεν συγκεντρώνουν την απαραίτητη επάρκεια εντός των θέσεων που επιλέχθηκαν. Για αυτούς τους κωδικούς θα εξεταστεί ποια θα είναι η ποσότητα τους ώστε να μπορούν να χωρέσουν στην μεγαλύτερη δυναμική θέση, και τι ποσοστό της επάρκειας χάνουν από αυτό. Στην δεύτερη περίπτωση όπου τα προϊόντα δεν χωράνε λόγω διαστάσεων σε καμία θέση, τότε θα γίνει πρόταση στην εταιρεία να επανεξετάσει είτε τον τομέα αποθήκευσης τους μέσα στην αποθήκη, είτε την χρησιμοποιούμενη αποθηκευτική τους μονάδα.

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα ροής του παρακάτω σχήματος.



Εικόνα 32 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 3

4.4.4. Διάταξη Στατικών Διαδρόμων

Το ακόλουθο υποκεφάλαιο πραγματεύεται το 4^ο βήμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης, το οποίο αφορά την εύρεση των στατικών θέσεων που θα ικανοποιούν τις ανάγκες του συστήματος καθώς και την ταξινόμηση των θέσεων στους 40 διαδρόμους του στατικού τομέα.

Σύμφωνα με την ανάλυση η οποία προέκυψε από τα προηγούμενα βήματα, τα είδη των στατικών θέσεων βάση των διαστάσεων τους είναι τρία, τα S2, S και 2S, στα οποία τα προϊόντα δεν ταξινομούνται μόνο βάση των διαστάσεων που έχουν, αλλά και της επιθυμητής επάρκειας, καθώς ένας κωδικός με μικρή συσκευασία αν και μπορεί να χωράει στη μικρότερη δυνατή θέση, λόγω μεγάλης ζήτησης ενδέχεται να χρειάζεται να μπει στην μεγαλύτερη.

Πέρα όμως αυτού του διαχωρισμού, κατά την αρχική επεξεργασία των δεδομένων αναλύθηκε η τάξη κινητικότητας στην οποία ανήκει κάθε προϊόν, ανάλογα με τον αριθμό των ημερήσιων εντολών μεταφοράς του. Έτσι έχουμε τα προϊόντα τάξης A τα οποία είναι ταχυκίνητα, την τάξη B για προϊόντα μεσαίας κίνησης, και την τάξη C για τους αργοκίνητους κωδικούς. Τα όρια της κάθε τάξης παρουσιάζονται λεπτομερώς στην ενότητα 4.3.

Η κινητικότητα ενός κωδικού προσδιορίζει την ανάγκη για ταχεία διεκπεραίωση της μεταφοράς ενός προϊόντος από το σημείο αποθήκευσης του, στο σημείο εναπόθεσης, η οποία ταχύτητα εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος σχετίζεται με τον χρόνο, άρα την απόσταση, που χρειάζεται ο αρμόδιος συλλέκτης να μεταβεί από το σημείο εναπόθεσης στη θέση, και πάλι πίσω. Ο δεύτερος αφορά τον χρόνο που θα κάνει να βρει και να συλλέξει τα τεμάχια από την αντίστοιχη θέση, διαδικασία που ανέρχεται στο 35% του συνολικού χρόνου συλλογής (Tompkins et al, 2010). Παράγοντες εξάρτησης είναι το πόσο εργονομική θα είναι τόσο η θέση, όσο και το ράφι στο οποίο βρίσκεται. Περισσότερες λεπτομέρειες θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

Όπως είναι εμφανές, το κάθε προϊόν χαρακτηρίζεται από δύο παράγοντες. Από το μέγεθος της θέσης που χρειάζεται, αλλά και από την τάξη κινητικότητας στην οποία ανήκει. Οπότε η κάθε τάξη κινητικότητας πρέπει να περιλαμβάνει θέσεις όλων των μεγεθών, καθώς οι διαστάσεις δεν σχετίζονται με τις κινήσεις του κωδικού. Ως εκ τούτου, στην πραγματικότητα οι στατικές θέσεις προσδιορίζονται από δύο πληροφορίες ως XY, όπου το X εκπροσωπεί την τάξη της θέσης, δηλαδή A,B ή C, ενώ το Y το μέγεθος της θέσης, δηλαδή S2, S και 2S. Επομένως, οι θέσεις βάση των δύο χαρακτηριστικών τους κατηγοριοποιούνται σε:

- A2S: μεγάλη στατική θέση που ανήκει στην τάξη A
- AS: μεσαία στατική θέση που ανήκει στην τάξη A
- AS2: μικρή στατική θέση που ανήκει στην τάξη A
- B2S: μεγάλη στατική θέση που ανήκει στην τάξη B
- BS: μεσαία στατική θέση που ανήκει στην τάξη B
- BS2: μικρή στατική θέση που ανήκει στην τάξη B
- C2S: μεγάλη στατική θέση που ανήκει στην τάξη C
- CS: μεσαία στατική θέση που ανήκει στην τάξη C
- CS2: μικρή στατική θέση που ανήκει στην τάξη C

Το επόμενο στάδιο, πριν τον σχεδιασμό του 4^{ου} αλγορίθμου, είναι να τεθούν τα κριτήρια με τα οποία θα κατανεμηθούν οι θέσεις στους διαδρόμους. Αρχικά, οι διάδρομοι ως διάταξη είναι ακριβώς όμοιοι, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, με τον κάθε έναν από αυτούς να αποτελείται από δύο στήλες αντικριστών ραφιών, αριστερά και δεξιά, οι οποίες χωρίζονται σε πέντε (5) φατνώματα των

πέντε (5) επιπέδων. Συνολικά δηλαδή ο κάθε διάδρομος έχει 10 φατνώματα και άρα 50 ράφια των 1600 mm. Όλοι οι διάδρομοι βαίνουν κάθετα σε έναν κοινό ραουλόδρομο, οπότε έχουν την ίδια ακριβώς απόσταση από το σημείο εναπόθεσης. Για αυτόν τον λόγο, ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε, ισοκατανέμει τις θέσεις στους 40 διαδρόμους, δηλαδή παράγει την διάταξη ενός ιδανικού διαδρόμου που καλύπτει τις ανάγκες αποθήκευσης, και τον αντιγράφει σε όλους τους υπόλοιπους.

Αρχικά, για το μήκος S που έχει επιλεγεί, δηλαδή 352 mm, σε κάθε ράφι μπορούν να συμβούν τα παρακάτω κύρια σενάρια:

- Εννέα θέσεις μικρού μεγέθους, δηλαδή 9 των S_2
- Τέσσερις θέσεις μεσαίου μεγέθους και μία μικρού, δηλαδή 4 των S και 1 των S_2
- Δύο θέσεις μεγάλου μεγέθους και μία μικρού, δηλαδή 2 θέσεις $2S$ και 1 θέση S_2

Εμφανώς, υπάρχουν και πολλές άλλες παραλλαγές των παραπάνω σεναρίων, εφόσον ο ένας τύπος είναι πολλαπλάσιος του άλλου. Στην τελική διάταξη των διαδρόμων συναντώνται σχεδόν όλες οι διαφορετικές περιπτώσεις.

Εφόσον ο σχεδιασμός θα γίνει στο επίπεδο του ενός διαδρόμου, οι συνολικές ανάγκες όλου του στατικού τομέα θα πρέπει να μεταφραστούν σε αριθμό θέσεων που αντιστοιχούν στον έναν διάδρομο. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα:

- 1) Υπολογισμός αριθμού προϊόντων που κατατάσσονται στην κάθε κατηγορία των εννέα θέσεων που αναπτύχθηκαν παραπάνω, βάση διαστάσεων και τάξης κινητικότητας.
- 2) Υπολογισμός του αντίστοιχου ποσοστού προϊόντων για κάθε είδος θέσης, σχέση (9)

$$\text{Ποσοστό Προϊόντων σε θέσεις } XY = \frac{\text{Αριθμός Προϊόντων σε θέσεις } XY}{\text{Συνολικός Αριθμός Προϊόντων Στατικού Τομέα}} * 100\% \quad (9)$$

- 3) Εάν ο κάθε διάδρομος μπορεί να χωρέσει 100 προϊόντα, τα οποία χρειάζονται τα ποσοστά θέσεων του βήματος 2, θα πρέπει αυτές οι θέσεις να μετατραπούν σε επίπεδο μήκους S ($L_S=352$), σύμφωνα με τη σχέση (10)

$$\text{Μήκος Θέσεων } XY \text{ ανά } 100 \text{ Προϊόντα} = (\text{Ποσοστό Προϊόντων σε θέσεις } XY) * \frac{L_{XY}}{L_S} \quad (10)$$

- 4) Άθροισμα όλων των επιμέρους Μηκών Θέσεων XY ανά 100 προϊόντα, που βρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε ανά διάδρομο με χωρητικότητα 100 προϊόντων, ποιο είναι το συνολικό μήκος των θέσεων που χρειαζόμαστε σε επίπεδο S .
- 5) Εφόσον στο κάθε ράφι μπορούν να χωρέσουν 4 θέσεις τύπου S και μία θέση τύπου S_2 , το συνολικό μήκος ραφίου, σε επίπεδο S , είναι 4,5 S . Με ανάλογη λογική, εφόσον ο κάθε διάδρομος αποτελείται από 50 ράφια, το συνολικό μήκος του διαδρόμου, σε επίπεδο S , είναι 225 S .
- 6) Εφόσον γνωρίζουμε το μήκος για τον κάθε τύπο θέσης σε επίπεδο S ανά διάδρομο, το συνολικό απαιτούμενο μήκος διαδρόμου ανά 100 προϊόντα, και το συνολικό μήκος ραφιών

του διαδρόμου, εύκολα υπολογίζουμε τι αριθμός θέσεων για κάθε τύπο αντιστοιχεί σε κάθε διάδρομο, σύμφωνα με τις ανάγκες των προϊόντων και τη σχέση (11)

Αριθμός θέσεων XY ανά Διάδρομο

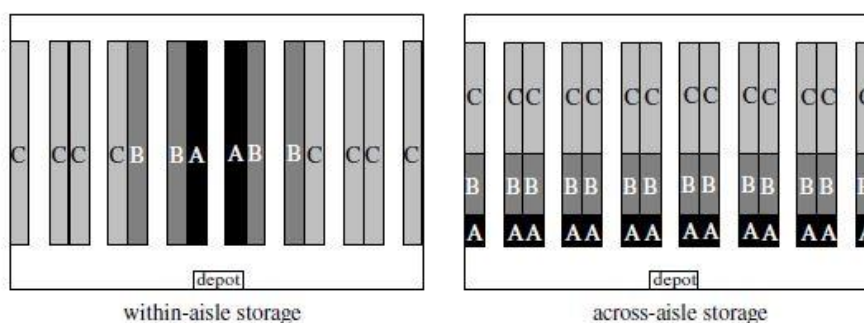
$$= \text{round} \left(\left(\frac{(\text{Μήκος θέσεων XY ανά 100 Προϊόντα}) * (\text{Συνολικό Μήκος Ραφιών Διαδρόμου})}{\text{Απαιτούμενο Μήκος Ραφιών Διαδρόμου ανά 100 Προϊόντα}} \right) * \frac{L_S}{L_{XY}} \right) \quad (11)$$

Φυσικά η σχέση 11 πρέπει να στρογγυλοποιηθεί καθώς είναι αδύνατο να βγει δεκαδικός αριθμός θέσεων, αλλά η στρογγυλοποίηση γίνεται έτσι ώστε να μην μένει καμία θέση ανεκμετάλλευτη σε κανέναν διάδρομο. Για λόγους πληρότητας, αν και θα σχολιαστούν στο Κεφάλαιο 5, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο αριθμός για κάθε είδος θέσης ανά διάδρομο.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΗΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ
A2S	8
AS	6
AS2	4
B2S	20
BS	31
BS2	15
C2S	25
CS	52
CS2	41

Πίνακας 3 - Αριθμός Θέσεων ανά Είδος στον Ιδανικό Διάδρομο

Αφού βρέθηκαν πόσες θέσεις από το κάθε είδος πρέπει να χωρέσουν σε κάθε διάδρομο, σειρά τώρα έχει ο τρόπος που αυτές θα τοποθετηθούν σε αυτόν. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, σε περίπτωση όπου το σημείο εναπόθεσης είναι παράλληλο στους διαδρόμους, οι κοντινοί σε αυτό διάδρομοι χρησιμοποιούνται για την τάξη A ενώ οι πιο απομακρυσμένοι για την C. Εάν όμως οι διάδρομοι βαίνουν καθέτως στο σημείο εναπόθεσης, είθισται οι κωδικό της τάξης A να τοποθετούνται κοντά στο σημείο εναπόθεσης, δηλαδή στην αρχή του διαδρόμου, ακολουθούμενοι από τους κωδικούς B και τέλος μακριά από το ράουλο, να βρίσκονται οι κωδικό C (de Koster et al, 2006). Χαρακτηριστικά παραδείγματα και των δύο περιπτώσεων φαίνονται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33- (de Koster et al, 2007)

Εκ πρώτης όψεως φαίνεται πως το σύστημα που εξετάζεται στην δεδομένη περίπτωση είναι συναφές με την δεύτερη εκδοχή της κατηγοριοποίησης των τάξεων, στην οποία γίνεται κάθετη διαίρεση της κάτοψης των διαδρόμων, δημιουργώντας τρεις παράλληλες ζώνες στον διάδρομο εναπόθεσης. Η ζώνη που βρίσκεται πιο κοντά στον ραουλόδρομο είναι προϊόντα Α, ενώ καθώς αυξάνεται η απόσταση κατά την έννοια του βάθους, τα προϊόντα γίνονται τάξης Β και μετά C.

Εάν παρατηρούσαμε αυτή την διάταξη σε πλάγια τομή, καθώς δηλαδή κοιτάμε σε πρόσοψη τα ράφια με τις θέσεις, ο διαχωρισμός που θα βλέπαμε με αυτή τη λογική για την αριστερή στήλη ενός εκ των διαδρόμων, απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 34 - Πλάγια Όψη Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου με Κατακόρυφη Ταξινόμηση Θέσεων ABC

Εάν θεωρηθεί πως στα αριστερά αυτής της στήλης είναι το σημείο εναπόθεσης, τα ράφια με το κίτρινο χρώμα αντιστοιχούν στην τάξη Α, το πορτοκαλί στην τάξη Β και τέλος το κόκκινο στην τάξη C. Ένας τέτοιος διαχωρισμός έχει όντως μία λογική βάση, εάν δεν ληφθούν υπόψιν κριτήρια που άπτονται της εργονομία. Είναι αλήθεια πως όσο πιο κοντά βρίσκεται μία θέση στον ραουλόδρομο, τόσο μικρότερος θα είναι ο χρόνος μετάβασης του συλλέκτη σε αυτή. Παρόλα αυτά, μικρή απόσταση δεν εγγυάται ούτε εργονομία, άρα και βελτίωση των συνθηκών εργασίας για τον άνθρωπο, αλλά ούτε και μείωση του χρόνου της διαδικασίας συλλογής.

Περίπτωση 5^{ου} Ραφιού

Πιο συγκεκριμένα, θα εξεταστεί η γενική περίπτωση των προϊόντων που αποθηκεύονται στο 5^ο ράφι του φανώματος. Συνολικά το φάνωμα έχει ύψος 2.4 m, που σημαίνει πως το χαμηλότερο σημείο από το οποίο μπορεί ο συλλέκτης να πιάσει και να τραβήξει μία συσκευασία από το 5^ο ράφι, βρίσκεται σε υψόμετρο 2 m από το έδαφος. Το ύψος ενός μέσου εργαζόμενου στην αποθήκη της εταιρείας είναι περίπου 1.7 m, δεδομένου ότι η ποσοστωση ανδρών και γυναικών συγκεκριμένα για την εργασία της συλλογής κυμαίνεται περίπου στο 50%. Ο ίδιος άνθρωπος με τα χέρια στην ανάταση φτάνει μετά βίας τα 2 m, πράγμα που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη διαδικασία συλλογής αγαθών από το συγκεκριμένο ράφι, η οποία περιλαμβάνει την παρακάτω αλληλουχία κινήσεων.

Αρχικά, προκειμένου να παραλάβει την απαιτούμενη από το σύστημα ποσότητα, ο εργαζόμενος χρειάζεται να κατεβάσει μία συσκευασία από το ράφι, για να μπορεί να την ανοίξει εάν είναι κλειστή ή για να συλλέξει μεγάλο πλήθος τεμαχίων χωρίς να κάνει λάθος κατά τη μέτρηση. Κατά τη μεταφορά της αποθηκευτικής μονάδας, θα πρέπει να βρει κάποιον χώρο για να την ακουμπήσει προσωρινά. Εάν κανένα από τα γειτονικά ράφια δεν είναι κενό και η συσκευασία έχει μεγάλο βάρος, θα αναγκαστεί να την αφήσει στο δάπεδο ώστε να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες. Αυτό προϋποθέτει και σκύψιμο από τον ίδιο τον συλλέκτη, αλλά συγχρόνως δημιουργείται ένα εμπόδιο στον διάδρομο που είναι ήδη στενός, περιορίζοντας την ομαλή κίνηση των υπόλοιπων συλλεκτών εντός αυτού. Αφού παραλάβει τα αναγκαία αγαθά, θα πρέπει να τα ακουμπήσει στιγμιαία κάπου αλλού, προκειμένου να σηκώσει και να τοποθετήσει πάλι τη συσκευασία εκεί που βρισκόταν στην αρχή.

Εκτός αυτού, η συγκεκριμένη διαδικασία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη καθώς εάν δεν πιάσει σταθερά την κούτα που θα τραβήξει από το ράφι, μπορεί να πέσει κάτι πάνω του, είτε από το ίδιο το προϊόν είτε από τα γειτονικά που μπορεί να μετακινηθούν ακούσια και να τον τραυματίσουν.

Η παραπάνω διαδικασία συλλογής αποτελεί ένα σενάριο μέτριας δυσκολίας για το συγκεκριμένο επίπεδο, καθώς εάν η συσκευασία δεν βρίσκεται στην άκρη του ραφίου αλλά είναι λίγο πιο μέσα, πριν προβεί στην προαναφερθείσα σειρά κινήσεων, ο εργαζόμενος αναγκάζεται να βρει ένα από τα τρία (3) βοηθητικά σκαμπό που υπάρχουν στον κάθε όροφο του τομέα, τα οποία μπορεί να είναι σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ των 20 διαδρόμων, ή να είναι και κατελιημμένα από άλλους συναδέλφους του, να το μεταφέρει στη θέση που είναι το προϊόν, και να ανέβει σε αυτό ώστε να έχει πρόσβαση στη συσκευασία στο βάθος του ραφίου.

Όπως είναι προφανές, σενάρια σαν το παραπάνω δεν θα αποτελούσαν πρόβλημα εάν διεκπεραιώνονταν ελάχιστες φορές μέσα στη μέρα για κάποιους αργοκίνητους κωδικούς, αλλά εάν υπάρχουν ταχυκίνητα προϊόντα Α τάξης, ή ακόμα και Β, τοποθετημένα σε ψηλά ράφια, αυτό αυξάνει κατακόρυφα τους χρόνους συλλογής και κουράζει σημαντικά τον εργαζόμενο, ακόμα και αν βρίσκονται ακριβώς δίπλα στο σημείο τελικής εναπόθεσης. Επομένως από άποψη εργονομίας, το 5^ο ράφι αποτελεί την 5^η και χειρότερη επιλογή, ανεξαρτήτως της απόστασης του από το ράουλο.

Περίπτωση 1^{ου} Ραφίου

Ενώ η κοινή λογική λέει πως ένα ράφι το οποίο είναι μόλις 150 mm πάνω από το επίπεδο εδάφους έχει εύκολη προσβασιμότητα, η εργονομία της εργασίας επιβεβαιώνει την ακριβώς αντίθετη περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευασίες που τοποθετούνται στο πρώτο ράφι, βρίσκονται οριακά κάτω από το ύψος του γονάτου ενός ανθρώπου με μέσο ύψος 1.7 m. Αυτό συνεπάγεται με το ότι κατά τη συλλογή, ο εργαζόμενος θα αναγκαστεί να σκύψει, ρίχνοντας το βάρος του σώματος του είτε στην μέση του, εάν κάμψει τον κορμό του προς τα μπροστά διατηρώντας τεντωμένα τα πόδια του, είτε στα γόνατα εάν χρειαστεί να τα λυγίσει για να μειώσει το ύψος του.

Η περίπτωση του 1^{ου} ραφίου είναι σαφώς λιγότερο επιβαρυνμένη από αυτή του 5^{ου}, αλλά δύναται να προκαλέσει σωματική κόπωση και πόνους στους εργαζομένους κατά τη διάρκεια μίας εντατικοποιημένης βάρδιας, εάν υπάρχουν προϊόντα τάξης Α σε αυτά τα ράφια, ενώ σε μακροχρόνια βάση είναι πιθανόν οι εργαζόμενοι να παρουσιάσουν ορθοπεδικά προβλήματα στη μέση και στα γόνατα από το συχνό σκύψιμο (Hamberg-van Reenen et al. 2008). Συνεπώς, εργονομικά το 1^ο ράφι καταλαμβάνει την 4^η θέση.

Περίπτωση 2^{ου} και 4^{ου} Ραφίου

Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι σχετικά ισοδύναμες, με την περίπτωση του 2^{ου} ραφίου να είναι ελαφρώς καλύτερη, καθώς απαιτεί μία λιγότερη κίνηση για τη συλλογή προϊόντων. Η φυσική στάση σώματος του ανθρώπου περιλαμβάνει την ελεύθερη θέση των χεριών με φορά προς τα κάτω. Εάν μία συσκευασία βρίσκεται στο δεύτερο ράφι, ξεκινάει από το ύψος των 500 mm και μπορεί εκτείνεται μέχρι και τα 900 mm. Το ύψος των χεριών του ανθρώπου σε ελεύθερη θέση τα καθιστά ικανά να συλλέξουν την απαραίτητη ποσότητα, χωρίς να χρειαστεί να σηκωθούν, όπως θα γινόταν στην περίπτωση του 4^{ου} ραφίου. Από την άλλη, υπάρχει η πιθανότητα να χρειαστεί ο εργαζόμενος να σκύψει ελαφρώς, αλλά αρκετά λιγότερο από ότι στο 1^ο ράφι. Αντιθέτως, στο 4^ο ράφι ένας άνθρωπος με ύψος κάτω του μέσου όρου ίσως χρειαστεί να εκτείνει τις μύτες των ποδιών του για να φτάσει κάτι από το βάθος του ραφίου. Παρόλο που τα δύο αυτά ράφια είναι σχετικά ισότιμα, σε μία απόλυτα χειρωνακτική εργασία όπως η συλλογή προϊόντων, κάθε κίνηση προσθέτει σωματικό φόρτο στον εργαζόμενο, και όπου είναι εφικτό, είναι ωφέλιμο να αποφεύγεται. Άρα, από την σκοπιά της εργονομίας, το 2^ο ράφι βρίσκεται στην 2^η θέση, ενώ το 4^ο στην 3^η με μικρή διαφορά.

Περίπτωση 3^{ου} Ραφιού

Το 3^ο ράφι του φατνώματος ξεκινάει από ύψος 1,05 m και τελειώνει σε ύψος 1,45 m, δηλαδή βρίσκεται στο ύψος του θώρακα ενός μέσου εργαζομένου. Το συγκεκριμένο ύψος αποτελεί την επονομαζόμενη «Χρυσή Ζώνη», δηλαδή το πιο εργονομικό ύψος τοποθέτησης ταχυκίνητων προϊόντων, όπου οι εντολές συλλογής τους εμφανίζονται με πολύ μεγάλη συχνότητα μέσα στην ημέρα (Jones and Battieste, 2004). Αυτή η ζώνη εντοπίζεται μεταξύ του ύψους της μέσης και των ώμων του συλλέκτη, οπότε σύμφωνα με αυτό, εργονομικά το 3^ο ράφι είναι η καλύτερη επιλογή ύψους θέσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, εμπειρικά μπορούμε να καταλάβουμε πως ο χρόνος συλλογής καθώς και η κόπωση του εργαζομένου είναι μικρότερα στην περίπτωση που ναι μεν θα διανύσει μεγαλύτερη απόσταση, αλλά θα συλλέξει προϊόντα από το 3^ο, 2^ο ή 4^ο ράφι, παρά στην περίπτωση όπου θα διανύσει μικρότερη μεν απόσταση, αλλά το προϊόν θα βρίσκεται στο 5^ο ή στο 1^ο ράφι.

Εκτός αυτού, σημαντικός παράγοντας εργονομίας, που θα ληφθεί υπόψιν είναι το βάρος των συσκευασιών, καθώς η διαχείριση αποθηκευτικών μονάδων μεγάλου βάρους σε ψηλά ράφια μειώνει την εργονομία και την παραγωγικότητα, αυξάνοντας την κόπωση και την επικινδυνότητα (Larco, de Koster et al, 2017). Από σκοπιά δε στατικότητας του φατνώματος, είναι καλύτερο τα βαριά προϊόντα να βρίσκονται σε χαμηλό ύψος (Walter, 2017). Ως εκ τούτου, οι μεγάλες θέσεις για οποιαδήποτε κατηγορία, δεν μπορούν να μπαίνουν σε ψηλά ράφια, δηλαδή στο 4^ο και στο 5^ο, καθώς είναι οι μόνες στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν ιδιαίτερα ογκώδεις συσκευασίες, οι οποίες πλην ελαχίστων εξαιρέσεων συνοδεύονται από μεγάλο βάρος.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, που αφορούν την εργονομία του ύψους, θα πρέπει για το κάθε είδος των εννέα θέσεων που βρέθηκαν σε προηγούμενο στάδιο, να τεθούν κάποιοι περιορισμοί ως προς την τοποθεσία τους μέσα στον διάδρομο, ώστε βάση αυτών ο αλγόριθμος να κατατάξει με το βέλτιστο τρόπο τις θέσεις.

Για την παρακάτω ανάλυση, είναι σκόπιμο να σκεφτούμε τον κάθε διάδρομο ως έναν τετραδιάστατο πίνακα,

$$SL(r, x, y, s)$$

- Η πρώτη διάσταση αυτού του πίνακα, r , παίρνει τις τιμές 1 και 2, και συμβολίζει την αριστερή ή τη δεξιά στήλη φατνωμάτων του διαδρόμου αντίστοιχα, έτσι όπως τον βλέπει ένας συλλέκτης από το σημείο εναπόθεσης.
- Η δεύτερη διάσταση του πίνακα προσδιορίζει τον αριθμό του φατνώματος, και αυξάνεται καθώς ο συλλέκτης προχωράει κατά το βάθος του διαδρόμου. Εφόσον η κάθε στήλη έχει συνολικά πέντε (5) φατνώματα, άρα 10 ανά διάδρομο, το x παίρνει τιμές από το 1, το πιο κοντινό στο σημείο εναπόθεσης φάτνωμα, μέχρι το 5, για το πιο απομακρυσμένο.
- Το y προσδιορίζει τον αριθμό του ραφιού στο κάθε φάτνωμα, λαμβάνοντας τιμές από το 1, για το πιο χαμηλό ράφι, μέχρι 5, για το πιο ψηλό.
- Το s συμβολίζει τον αύξοντα αριθμό των θέσεων σε κάθε ράφι, ξεκινώντας πάντα από την πλευρά που βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο εναπόθεσης όπως κοιτάει ο συλλέκτης το ράφι, και συνεχίζοντας προς την αντίθετη. Κάθε ράφι μπορεί να πάρει από τρεις θέσεις, δηλαδή δύο θέσεις των 2S και μία των S2, μέχρι το πολύ εννέα θέσεις, εάν είναι όλες τύπου S2.

Όλες οι θέσεις θα μοιραστούν με όμοιο τρόπο στις δύο στήλες. Παρόλα αυτά επειδή κάποιες έχουν μόνο αριθμό ανά διάδρομο, η αριστερή και δεξιά στήλη θα έχουν κάποιες μικρές διαφορές. Στον

παρακάτω πίνακα, για τον κάθε τύπο θέσης συνοψίζονται τα επιτρεπτά όρια για τις μεταβλητές x και y του πίνακα SL, δηλαδή φάτνωμα και ράφι, βάση των παραγόντων εργονομίας που αναλύθηκαν.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΕΩΝ	ΦΑΤΝΩΜΑ		ΡΑΦΙ	
	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax
A2S	1	2	2	3
AS	1	2	2	3
AS2	1	2	2	3
B2S	1	4	1	3
BS	1	4	1	4
BS2	1	4	1	4
C2S	1	5	1	3
CS	1	5	1	5
CS2	1	5	1	5

Πίνακας 4 - Περιορισμοί Φατνώματος και Ραφιού για κάθε Τύπο Θέσης

Για πιο εποπτική απεικόνιση, στους παρακάτω πίνακες φαίνεται ποια ράφια και φατνώματα είναι επιτρεπτά, ή όχι, ανάλογα με την τάξη των θέσεων, και ποια ράφια είναι επιτρεπτά ανάλογα με το μέγεθός τους.

ΤΑΞΗ	ΡΑΦΙ 1	ΡΑΦΙ 2	ΡΑΦΙ 3	ΡΑΦΙ 4	ΡΑΦΙ 5
A	✗	●	●	✗	✗
B	●	●	●	●	✗
C	●	●	●	●	●

Πίνακας 5 Περιορισμοί Ραφιού ανά Τάξη Κινητικότητας

ΤΑΞΗ	ΦΑΤΝΩΜΑ 1	ΦΑΤΝΩΜΑ 2	ΦΑΤΝΩΜΑ 3	ΦΑΤΝΩΜΑ 4	ΦΑΤΝΩΜΑ 5
A	●	●	✗	✗	✗
B	●	●	●	●	✗
C	●	●	●	●	●

Πίνακας 6 - Περιορισμοί Φατνώματος ανά Τάξη Κινητικότητας

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΡΑΦΙ 1	ΡΑΦΙ 2	ΡΑΦΙ 3	ΡΑΦΙ 4	ΡΑΦΙ 5
2S	●	●	●	✗	✗
S	●	●	●	●	●
S2	●	●	●	●	●

Πίνακας 7 - Περιορισμοί Ραφιού ανά Μέγεθος Θέσης

Ο αλγόριθμος του βήματος 4, λαμβάνει ως είσοδο τον αριθμό κάθε τύπου θέσης που πρέπει να τοποθετήσει στον κάθε διάδρομο, καθώς και τους περιορισμούς που έχουν τεθεί για την κάθε μία εξ αυτών. Εν συνεχεία ξεκινάει να τοποθετεί τις θέσεις πρώτα στην αριστερή στήλη, δηλαδή για $r = 1$, και έπειτα στην δεξιά, $r = 2$.

Η σειρά που θα τοποθετούνται οι θέσεις είναι σύμφωνα με τη σειρά που εμφανίζονται στον πίνακα 7, δηλαδή πρώτα η τάξη A, μετά η B και τέλος η C, καθώς η τοποθέτηση θα γίνεται ξεκινώντας από το φάτνωμα 1 και συνεχίζοντας προς το 5. Όσον αφορά τις θέσεις εντός κάθε τάξης, πρώτα θα

τοποθετούνται οι μεγάλες, 2S, μετά οι S, και στο τέλος οι S2. Αυτό γίνεται καθώς οι μεγάλες θέσεις έχουν περιορισμό ως προς το ράφι που μπαίνουν και πρέπει να τοποθετηθούν πριν οι μικρότερες καταλάβουν τους επιτρεπτούς χώρους των μεγάλων. Ακόμα, οι μικρές θέσεις μπορούν να τοποθετηθούν στο κενό που αφήνουν οι μεγάλες ή οι μεσαίες στα ράφια. Αντιθέτως εάν έμπαιναν εκείνες πρώτες, μετά ίσως να μην υπήρχε συνεχόμενος χώρος για τις μεγαλύτερες θέσεις.

Για κάθε τύπο που εξετάζεται, προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιομορφία γίνεται μεταξύ των δύο στηλών, η συνθήκη που θα ελέγχεται για ζυγό αριθμό θέσεων θα είναι η

$$N_{XY_stored} < \frac{N_{XY_tot}}{2} = N_{XY_max} \quad (12)$$

αλλιώς εάν είναι μονός εξετάζεται η συνθήκη

$$N_{XY_stored} < \frac{N_{XY_tot}}{2} + 1 = N_{XY_max} \quad (13)$$

όπου

N_{XY_stored} = αριθμός θέσεων XY που έχει αποθηκευτεί στην στήλη

N_{XY_tot} = συνολικός αριθμός θέσεων XY που πρέπει να αποθηκευτούν στον διάδρομο

Οι παραπάνω συνθήκες ορίζουν πως για τα ζυγά νούμερα, θα αποθηκευτούν μισές θέσεις στην δεξιά στήλη και μισές στην αριστερή, ενώ για τα μονά νούμερα, στην αριστερή θα αποθηκευτούν τα μισά και ένα παραπάνω για όσα είδη χωράνε. Για τα υπόλοιπα, η μία παραπάνω θέση θα τοποθετηθεί στη δεξιά στήλη. Με βάση αυτό, τα αποτελέσματα των δύο στηλών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΕΩΝ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ	ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ
A2S	4	4	8
AS	3	3	6
AS2	2	2	4
B2S	10	10	20
BS	16	15	31
BS2	8	7	15
C2S	12	13	25
CS	26	26	52
CS2	21	20	41

Πίνακας 8 - Τύποι Θέσεων ανά Στήλη Διαδρόμου

Η λογική σύμφωνα με την οποία λειτουργεί ο αλγόριθμος διαμοιρασμού των θέσεων σε κάθε στήλη του διαδρόμου είναι πως για κάθε εξεταζόμενο είδος τη φορά, πρώτα θα γεμίζει όλα τα κενά στο ελάχιστο φάτνωμα που ορίζεται από τις συνθήκες, δηλαδή το x_{min} , για τα διάφορα ράφια των περιορισμών, και έπειτα θα προχωράει στο επόμενο φάτνωμα μέχρι να φτάσει στο τελευταίο, το x_{max} . Ενδέχεται όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, ο αριθμός ενός είδους για την μία στήλη να συμπληρωθεί χωρίς να χρειαστεί η χρήση του τελευταίου φάτνωματος της συνθήκης του.

Στην περίπτωση όμως των ραφιών, η τοποθέτηση δεν γίνεται απαραίτητα από το ελάχιστο στο μέγιστο, καθώς οι παράγοντες εργονομία διαφοροποιούνται. Πιο συγκεκριμένα, για τις μεγάλες θέσεις, όπου όπως αναφέρθηκε πρέπει να βρίσκονται χαμηλά, ο αλγόριθμος θα ξεκινήσει να τις τοποθετεί από το χαμηλότερο ράφι, μέχρι το ψηλότερο που ορίζουν οι περιορισμοί. Αντιθέτως, οι

μεσαίες και μικρές θέσεις, ξεκινάνε να τοποθετούνται από το μέγιστο ράφι του περιορισμού τους, μέχρι το ελάχιστο. Για αυτόν τον λόγο, για κάθε είδος θέσης αρχικοποιούνται οι μεταβλητές x_{pr} και y_{pr} , οι οποίες υποδεικνύουν στον αλγόριθμο το αρχικό φάτνωμα και ράφι αντίστοιχα από το οποίο θα ξεκινήσει η τοποθέτηση.

Η διαδικασία αρχίζει από την αριστερή στήλη ($r = 1$). Για το πρώτο είδος θέσης, ελέγχεται στο αρχικό φάτνωμα και αρχικό ράφι εάν υπάρχει διαθέσιμος χώρος (L_{xy_remain}) τόσο μεγάλος ώστε να μπορεί να χωρέσει η θέση που εξετάζεται (L_{SLOT}). Εάν δεν υπάρχει, το ράφι αυξάνεται κατά ένα, ή μειώνεται αντίστοιχα με την περίπτωση, και εξετάζεται η ίδια συνθήκη για το επόμενο στη σειρά.

$$L_{xy_remain} > L_{SLOT} \quad (14)$$

Εάν όμως υπάρχει διαθέσιμος χώρος, ο κώδικας τοποθετεί εκεί τη θέση, ενώ συγχρόνως μειώνει το διαθέσιμο μήκος ραφιού όσο το μήκος της θέσης που τοποθέτησε, του οποίου η αρχική τιμή ήταν προφανώς 1600 mm.

$$L_{xy_remain} = L_{xy_remain} - L_{SLOT} \quad (15)$$

Στη συνέχεια αυξάνει κατά ένα τον τοποθετημένο αριθμό θέσεων (N_{XY_stored}) του είδους (XY) που εξετάζει, ώστε ανά πάσα στιγμή να γνωρίζει πόσες θέσεις ανά είδος έχουν ανατεθεί στα ράφια.

$$N_{XY_stored} = N_{XY_stored} + 1 \quad (16)$$

Τέλος, αυξάνει κατά ένα τον συνολικό αριθμό θέσεων που υπάρχει στο συγκεκριμένο ράφι, του συγκεκριμένου φατνώματος, στην στήλη που εξετάζεται. Υπενθυμίζεται πως ο μέγιστος αριθμός θέσεων που μπορούν να χωρέσουν σε ένα ράφι είναι εννέα και ο ελάχιστος τρεις, ανάλογα με το είδος των θέσεων. Αυτό το βήμα είναι πάρα πολύ σημαντικό για τον κώδικα της ονοματολογίας των θέσεων που θα παρουσιαστεί παρακάτω. Ο παραπάνω αριθμός τοποθετείται σε ένα πίνακα της μορφής

$$D(r, x, y) = D(r, x, y) + 1 \quad (17)$$

ο οποίος παίζει τον ρόλο της μεταβλητής s του πίνακα $SL(r, x, y, s)$ που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

Στη συνέχεια ελέγχονται πάλι οι συνθήκες (12) και (13), ανάλογα με την περίπτωση, και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία εάν είναι αληθείς. Εάν όμως σε αυτόν τον κύκλο το αρχικό ράφι δεν έχει άλλον διαθέσιμο χώρο, ο αλγόριθμος προχωράει με την εξέταση του επόμενου κατά σειρά ραφιού. Σε περίπτωση που στο αρχικό φάτνωμα η θέση που εξετάζεται δεν χωράει σε κανένα από τα επιτρεπόμενα ράφια, τότε ο κώδικας συνεχίζει με το επόμενο κατά σειρά φάτνωμα, από το οποίο ξεκινάει τη διαδικασία πάλι από το αρχικό ράφι, εξετάζοντας ακριβώς τις ίδιες συνθήκες.

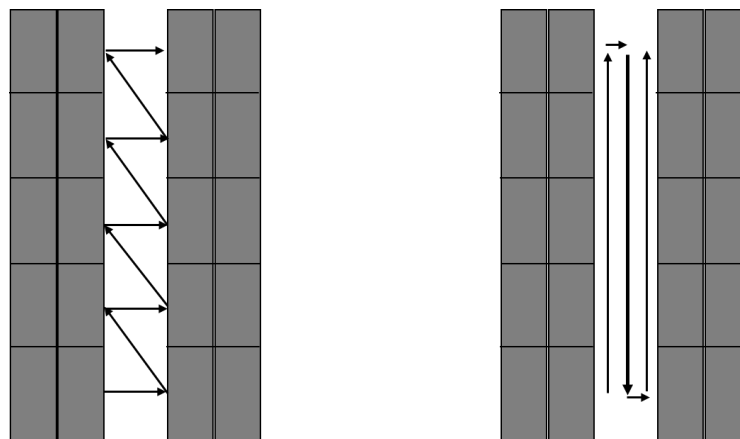
Η παραπάνω επαναληπτική διαδικασία ολοκληρώνεται είτε όταν έχει αποθηκευτεί όλος ο αριθμός θέσεων που έχει οριστεί για την συγκεκριμένη στήλη, δηλαδή οι συνθήκες (12) και (13) σταματήσουν να είναι αληθείς, είτε όταν δεν χωράνε άλλες θέσεις αυτού του είδους σε κανένα από τα επιτρεπόμενα ράφια και φατνώματα, δηλαδή η συνθήκη (14) βγαίνει παντού ψευδής.

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος ακολουθεί πάλι τα ίδια βήματα για το επόμενο κατά σειρά είδος θέσης. Εφόσον έχουν εξεταστεί και οι εννέα τύποι, συνεχίζει με την δεξιά στήλη του διαδρόμου ($r = 2$), αρχικοποιώντας πάλι το διαθέσιμο μήκος των ραφιών και επαναλαμβάνοντας όλη την επαναληπτική διαδικασία για τον υπολειπόμενο αριθμό του κάθε είδους θέσης.

Στη συνέχεια αφού ανατέθηκαν όλες οι θέσεις στον διάδρομο, θα πρέπει να οριστεί η νέα ονοματολογία τους. Σύμφωνα με τα όσα παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, η ονοματολογία δημιουργούσε σύγχυση στους εργαζομένους, ειδικά στο προσωπικό που ήταν καινούργιο και έπρεπε να εγκλιματιστεί γρήγορα. Οπότε η νέα ονοματολογία, που θα είναι επίσης 8-ψήφια, θα ακολουθεί τις παρακάτω αρχές:

AA BB ΓΓ ΔΔ

- Τα δύο πρώτα ψηφία, AA, θα εκφράζουν τον αριθμό του διαδρόμου στον οποίο θα βρίσκεται η θέση, και θα παίρνουν τις τιμές 12 και 66 για τις δυναμικές θέσεις, και 15 με 34 και 45 με 64 για τις στατικές θέσεις του τομέα.
- Το 3^ο και 4^ο ψηφίο, BB, προσδιορίζει τον αύξοντα αριθμό του φατνώματος στον οποίο βρίσκεται η θέση. Τα φατνώματα της αριστερής στήλης θα παίρνουν μονές τιμές, ενώ τα αντίστοιχα της δεξιάς ζυγές. Με αυτόν τον τρόπο, τα φατνώματα 1 και 2 για παράδειγμα θα είναι αντικριστά και θα αντιστοιχούν στο $\chi = 1$ από το σημείο εναπόθεσης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διττός. Αρχικά οι εργαζόμενοι θα είναι σε θέση να ξεχωρίζουν εάν η θέση βρίσκεται στην αριστερή ή δεξιά στήλη έτσι όπως κοιτάνε από το σημείο εναπόθεσης. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της συλλογής ή του γεμίσματος, όπου οι εντολές ταξινομούνται με την αύξουσα σειρά των αντίστοιχων θέσεων, η διαδικασία θα είναι πιο γρήγορη εάν ο εργαζόμενος μετακινείται ζιγκ-ζαγκ από το ένα φάτνωμα στο άλλο, παρά στην περίπτωση που πηγαίνει σειριακά αλλά χρειάζεται να προσπελάσει τον διάδρομο δύο φορές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

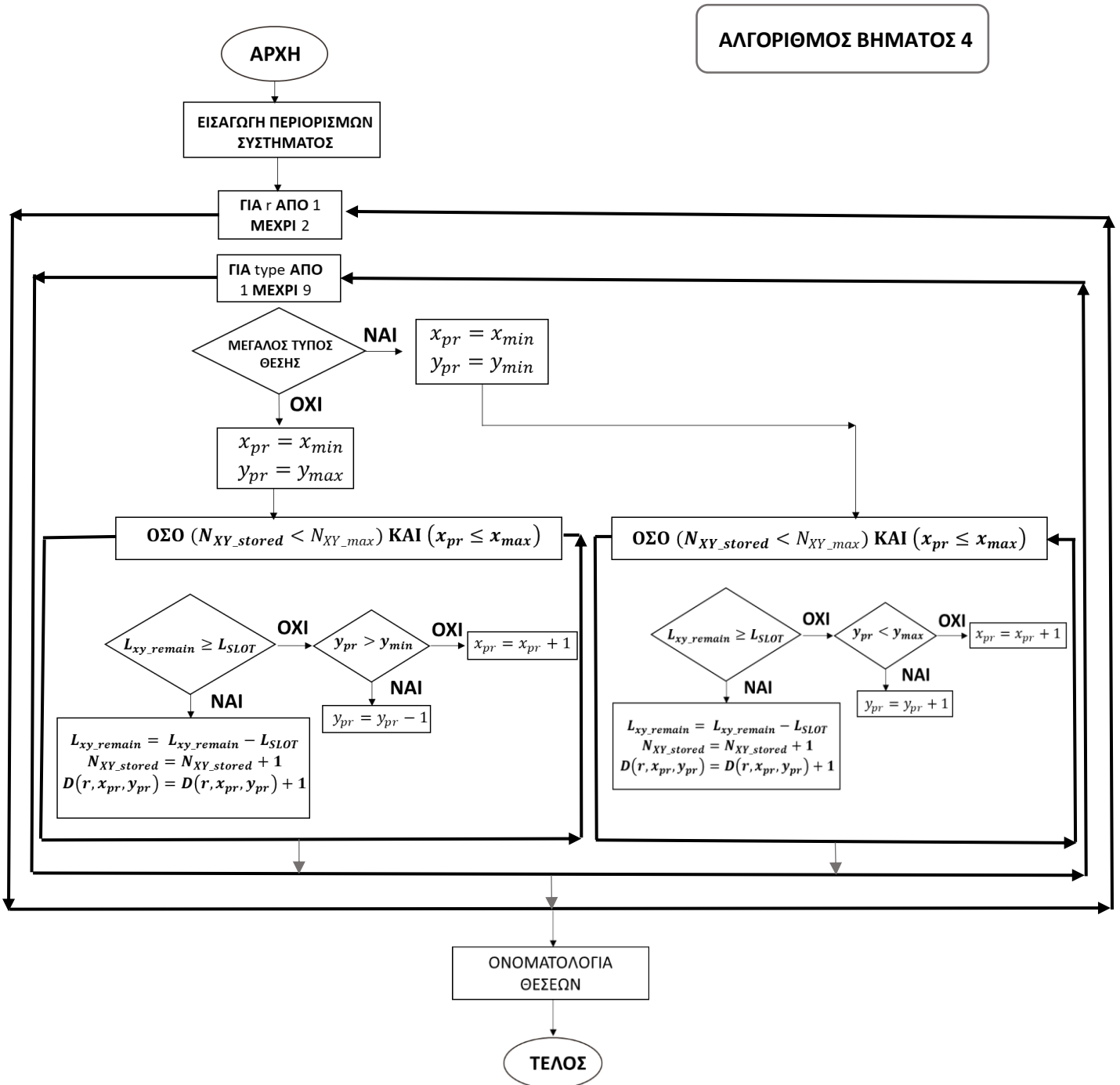


Εικόνα 35 - Τρόποι Προσπέλασης Θέσεων

- Το 5^ο και 6^ο ψηφίο θα προσδιορίζει τον αριθμό του ραφιού που βρίσκεται η θέση. Καθώς το ψηλότερο ράφι είναι το 5^ο, μπροστά θα μεσολαβεί ο αριθμός 0. Ο λόγος που διατηρήθηκαν δύο ψηφία είναι καθώς σε περίπτωση που η εταιρεία θα ήθελε να προβεί μελλοντικά σε καθ' ύψος επέκταση των ραφιών, να μην χρειάζεται να αλλάξει ξανά την ονοματολογία των θέσεων, αλλά απλά να προσθέσει ράφια κατά την έννοια του ύψους.
- Το 7^ο και 8^ο ψηφίο προσδιορίζει τον αύξοντα αριθμό της θέσης στο ράφι, δηλαδή τον αριθμό s του πίνακα $SL(r,x,y,s)$ ή τον αριθμό $D(r,x,y)$ που υπολογιζόταν κατά τη διάρκεια του διαμοιρασμού των θέσεων, ξεκινώντας σε κάθε περίπτωση από την πλευρά του ραφιού που βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο εναπόθεσης και συνεχίζοντας προς την αντίθετη διεύθυνση. Για την αριστερή στήλη αυτό είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά, ενώ για την δεξιά στήλη είναι από τα δεξιά του ραφιού προς τα αριστερά.

Με βάση την λογική που παρουσιάστηκε παραπάνω, και η οποία ισχύει μόνο για τις στατικές θέσεις, καθώς στις δυναμικές η αρίθμηση των φατνωμάτων θα γίνεται σειριακά, ο αλγόριθμος καταχωρεί το αντίστοιχο όνομα σε κάθε θέση που τοποθέτησε στους διαδρόμους 15 με 34 και 45 με 64.

Όλη η διαδικασία του 4^{ου} βήματος της συνολικής βελτιστοποίησης διαφαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 36 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 4

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την αριστερή και δεξιά στήλη του διαδρόμου, με το σημείο εναπόθεσης να είναι αριστερά και δεξιά των στηλών αντίστοιχα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο διαχωρισμός των τριών τάξεων, ο οποίος δεν συνάδει με τις τυπικές βιβλιογραφικές περιπτώσεις διαχωρισμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς λήφθηκε υπόψιν για τον σχεδιασμό ένα ευρύ πλήθος παραγόντων εργονομίας, που όχι μόνο θα μειώσει τους χρόνους συλλογής, αλλά θα διευκολύνει τους εργαζομένους μειώνοντας την κόπωση τους και αυξάνοντας την παραγωγικότητά τους.

CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	
BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	BS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS2	CS2	CS2	CS2
A2S	A2S	A2S	A2S	AS2	AS	AS	AS	AS	BS	BS2	B2S	B2S	B2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	
A2S	A2S	A2S	A2S	AS2	B2S	B2S	B2S	B2S	BS2	B2S	B2S	B2S	B2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	
B2S	B2S	B2S	B2S	BS2	B2S	B2S	B2S	B2S	BS	BS	BS	BS2	BS2	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	

Εικόνα 37 - Πρόσοψη Αριστερής Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου

CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS
CS2	CS2	CS2	CS2	CS2	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS
CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	B2S	B2S	B2S	B2S	BS2	BS	AS	AS	AS	AS2	A2S	A2S	A2S	A2S	
CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	B2S	B2S	B2S	B2S	BS2	B2S	B2S	B2S	B2S	AS2	A2S	A2S	A2S	A2S	
CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	C2S	C2S	C2S	CS2	C2S	BS2	BS	BS	BS2	B2S	B2S	B2S	B2S	BS2	B2S	B2S	B2S	B2S	

Εικόνα 38 - Πρόσοψη Δεξιάς Στήλης Ραφιών Στατικού Διαδρόμου

Μέτρηση Εργονομίας

Παρόλα αυτά, θα πρέπει να αποδειχθεί όντως πως το νέο σύστημα από σκοπιά εργονομίας είναι καλύτερο από το αρχικό. Με δεδομένο πως η εργονομία ενός συστήματος είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, προτείνεται ένας εμπειρικός τρόπος μέτρησης, με βαθμολόγηση της δυσκολίας που έχει η διαχείριση κάθε προϊόντος, ανάλογα με την τάξη κινητικότητας, το ράφι, το φάτνωμα της θέσης του, καθώς και το βάρος.

Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται ένας βαθμός δυσκολίας σύμφωνα με τη σχέση (18) για τις στατικές θέσεις και σύμφωνα με την σχέση (19) για τις δυναμικές, ως

$$\text{Βαθμός Δυσκολίας} = (\text{Βαρύτητα Τάξης}) * [(\text{Βαθμός Φατνώματος}) + (\text{Βαθμός Ραφιού}) + (\text{Βάρος Συσκευασίας}) * (\text{Βαθμός Ραφιού})] \quad (18)$$

$$\text{Βαθμός Δυσκολίας} = (\text{Βαρύτητα Τάξης}) * [(\text{Βαθμός Ραφιού}) + (\text{Βάρος Συσκευασίας}) * (\text{Βαθμός Ραφιού})] \quad (19)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις, ο βαθμός δυσκολίας διαχείρισης για κάθε στατικό προϊόν προκύπτει ως το άθροισμα του βαθμού δυσκολίας του ραφιού στο οποίο είναι τοποθετημένο το προϊόν, με τον βαθμό του φατνώματος και το βάρος της συσκευασίας επί τον βαθμό δυσκολίας του ραφιού, καθώς η δυσκολία διαχείρισης είναι διαφορετική εάν μία βαριά συσκευασία τοποθετηθεί σε χαμηλό ράφι, από το να τοποθετηθεί σε ψηλό. Το παραπάνω άθροισμα πολλαπλασιάζεται με την βαρύτητα λόγω τάξης που έχει το κάθε προϊόν, καθώς όσο μεγαλύτερη κινητικότητα έχει το προϊόν τόσο περισσότερο καλείται ο συλλέκτης να αντιμετωπίσει τη δυσκολία του κατά τη διάρκεια της μέρας. Για τα δυναμικά ράφια ισχύει το ίδιο, αλλά επειδή όλα τα φατνώματα βαίνουν κατευθείαν στο σημείο συλλογής, δεν θεωρείται πως η μετάβαση στο φάτνωμα έχει κάποια δυσκολία που

μεταβάλλεται, άρα και δεν λαμβάνεται υπόψιν. Βάση των παραπάνω, προκύπτουν οι παρακάτω βαθμολογικοί πίνακες για τους επιμέρους παράγοντες.

ΡΑΦΙ	ΒΑΘΜΟΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΡΑΦΙΟΥ
1ο	4
2ο	2
3ο	1
4ο	3
5ο	5

Πίνακας 10 - Βαθμοί Δυσκολίας Ραφιού

ΦΑΤΝΩΜΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΦΑΤΝΩΜΑΤΟΣ
1ο	0.5
2ο	1
3ο	1.5
4ο	2
5ο	2.5

Πίνακας 9 - Βαθμοί Δυσκολίας Φατνώματος

ΤΑΞΗ ΕΙΔΟΥΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ ΤΑΞΗΣ
A	6
B	3
C	1

Πίνακας 11 - Βαρύτητα Τάξης Κινητικότητας

Όπως φαίνεται, η βαθμολογία των ραφιών έχει γίνει σύμφωνα με τις εργονομικές παρατηρήσεις της ενότητας 4.4.4, και ξεκινάει με τον ελάχιστο βαθμό 1 για το 3^ο ράφι μέχρι τον βαθμό 5 για το 5^ο. Για τον βαθμό των φατνωμάτων παρατηρείται πως οι αντίστοιχες βαθμολογίες είναι υποδιπλάσιες από εκείνες των ραφιών. Αυτό έγινε καθότι θεωρούμε πως το περπάτημα είναι η πιο εύκολη χειρωνακτική δραστηριότητα από αυτές που καλείται να κάνει ένας συλλέκτης, και έτσι η βαρύτητα του είναι η μισή της αντίστοιχης του ραφιού. Όσο πιο κοντά βρίσκεται το φάτνωμα στο σημείο εναπόθεσης, τόσο μικρότερος είναι και ο βαθμός δυσκολίας, ξεκινώντας από το 0.5 για το 1^ο φάτνωμα και φτάνοντας μέχρι το 2.5 για το 5^ο. Τέλος, η βαρύτητα βάση της κινητικότητας παίζει ιδιαίτερο λόγο, καθώς ορίζει κατά κάποιον τρόπο πόσες φορές ο συλλέκτης θα έρθει αντιμέτωπος με τη διαχείριση του εκάστοτε προϊόντος μέσα στη μέρα, άρα και με τη δυσκολία που το συνοδεύει. Καθότι τα προϊόντα τάξης A λαμβάνουν το 55% των συνολικών κινήσεων, ο βαθμός που θα αντιστοιχεί σε αυτά είναι το 6, καθώς περίπου 6 στις 10 εντολές κινήσεων που θα διεκπεραιώνει ο συλλέκτης κατά την ημερήσια βάρδια του, θα αντιστοιχούν στην τάξη A. Αντιστοίχως για το 33% των κινήσεων, δίνεται ο βαθμός 3 στα προϊόντα B, ενώ για το 12% δίνεται ο βαθμός 1 στα C.

Εφόσον θεωρητικά η δυσκολία είναι το αντίθετο μέγεθος της ευκολίας, που εκφράζει την εργονομία μπορούμε να ορίσουμε έναν βαθμό εργονομίας ως

$$\text{Βαθμός Εργονομίας} = \frac{1}{\text{Βαθμός Δυσκολίας}} \quad (20)$$

σύμφωνα με τον οποίο, όσο αυξάνεται η δυσκολία, μειώνεται αναλογικά και η εργονομία. Τα αποτελέσματα του προτεινόμενου συστήματος μέτρησης παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

4.4.5. Κατανομή Προϊόντων σε Στατικές Θέσεις

Αφού πλέον έχουν ταξινομηθεί και οι θέσεις ισάξια στους διαδρόμους, με σεβασμό στα εργονομικά κριτήρια που τέθηκαν στην ενότητα 4.4.4, σειρά έχει η κατανομή όλων των κωδικών που μπορούν να μπουν σε στατικά ράφια, σύμφωνα με τα βελτιστοποιημένα μεγέθη των θέσεων, το οποίο και αποτελεί το 5^ο βήμα της βελτιστοποίησης. Σύμφωνα με την αρχική επεξεργασία των δεδομένων γνωρίζουμε την τάξη κινητικότητας κάθε υλικού, ενώ κατά το 3^ο βήμα όπου υπολογίστηκε το βέλτιστο ζευγάρι (S,G), βρέθηκε και σε ποιον τύπο θέσης βάση διαστάσεων, S2, S ή 2S, πρέπει να τοποθετηθεί το κάθε ένα. Επομένως με τον συνδυασμό της τάξης και του μεγέθους θέσης, βρίσκεται σε ποιο από τα εννέα παραπάνω είδη θέσεων ανήκει κάθε κωδικός του στατικού τομέα.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί πως επειδή η παρούσα μελέτη βελτιστοποίησης θα εφαρμοστεί μέσα στο αποθηκευτικό κέντρο της συγκεκριμένης εταιρείας, πέρα από την εργονομία που αφορά το κομμάτι της λειτουργίας των διαδικασιών μετά την εφαρμογή της, σημαντική επίσης είναι και η εργονομία που αφορά το στάδιο της υλοποίησης. Εξαιτίας αυτού, θα υπάρξει ολική ανακατανομή των προϊόντων, καθώς θα αλλάξει και η αναγκαία θέση στην οποία πρέπει να είναι, αλλά και συνολικά της δομής όλων των διαδρόμων του τομέα. Ως εκ τούτου, οι εργαζόμενοι που θα απασχοληθούν πάνω σε αυτό το εγχείρημα, θα κληθούν να μεταφέρουν τις συσκευασίες κάθε προϊόντος από την παλιά στη νέα θέση, χειροκίνητα. Όπως είναι εμφανές, αυτή η διαδικασία είναι πολύ επίπονη αλλά και χρονοβόρα. Για αυτόν τον λόγο, κατά το στάδιο της κατανομής, ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψιν την αρχική θέση για κάθε προϊόν, η οποία δίνει πληροφορίες για τον διάδρομο που βρίσκεται, και προσπαθεί πρώτα να το τοποθετήσει στον ίδιο ή σε κάποιον γειτονικό διάδρομο, πριν εξετάσει πιο απομακρυσμένους.

Πέρα από αυτό, βασικό κριτήριο για την κατανομή των προϊόντων είναι ο ισάξιος διαμοιρασμός του φόρτου εργασίας, δηλαδή των κινήσεων, μία προβληματική που πληγεί ιδιαίτερα την εν λόγω εταιρεία. Σε αντίθετη περίπτωση, θα υπήρχε συμφόρηση εντολών σε ορισμένους διαδρόμους, άρα και εργαζόμενων οι οποίοι δεν θα μπορούσαν να κινηθούν με ευκολία, ενώ άλλοι διάδρομοι θα συγκέντρωναν ελάχιστη επισκεψιμότητα μέσα στην ημέρα.

Γνωρίζοντας την ημερήσια κινητικότητα κάθε κωδικού, για 5842 προϊόντα, εύκολα υπολογίζεται και η συνολική, 11236 εντολές κινήσεων, η οποία θα πρέπει να μοιραστεί ισόποσα σε 40 διαδρόμους, δίνοντας και ένα περιθώριο της τάξης του 1,26%. Επομένως οριοθετούνται οι συνολικές κινήσεις ανά διάδρομο σύμφωνα με τη σχέση

$$\text{Μέγιστες Κινήσεις ανά Διάδρομο } (T_{max}) = \frac{\sum_1^{5842} \text{Κινήσεις ανά Κωδικό}}{40} (1 + 0,0126) \quad (21)$$

Το παραπάνω περιθώριο δίνεται διότι καθώς τα προϊόντα θεωρούνται κβαντισμένες μονάδες, είναι πιθανό το άθροισμα των κινήσεων τους ανά διάδρομο να μην μπορεί να πιάσει την ακριβή υποδιαίρεση των συνολικών κινήσεων στους διαδρόμους, που ισούται με 280.9 κινήσεις, και έτσι να μείνουν προϊόντα εκτός θέσεων ενώ υπάρχει χώρος. Το παραπάνω περιθώριο μετά από δοκιμές βρέθηκε ότι είναι το μικρότερο που μπορεί να λάβει η σχέση (20).

Ο αλγόριθμος ξεκινάει εισάγοντας για όλους τους κωδικούς τον αρχικό διάδρομο στον οποίο βρίσκονταν, τον βέλτιστο τύπο θέσης τους, από τον συνδυασμό της τάξης και του μεγέθους, αλλά και την ημερήσια κινητικότητα τους. Για το πρώτο προϊόν, διαβάζει σε ποιόν διάδρομο βρισκόταν αρχικά. Εάν αυτός ο διάδρομος είναι στατικός και όχι δυναμικός, τότε ελέγχει εάν στον συγκεκριμένο διάδρομο υπάρχει διαθέσιμη θέση του είδους που χρειάζεται το προϊόν και εάν ο συνολικός φόρτος του διαδρόμου μαζί με τις κινήσεις αυτού του κωδικού δεν υπερβαίνει το μέγιστο όριο. Εάν ισχύουν και οι δύο συνθήκες τότε ελέγχονται σειριακά από το μικρότερο στο μεγαλύτερο, βάση ονόματος,

όλες οι θέσεις του διαδρόμου, μέχρι να βρεθεί μία άδεια θέση του είδους του αναζητείται. Με το που βρεθεί, ο αλγόριθμος αντιστοιχίζει το προϊόν αυτό με τη συγκεκριμένη θέση, μειώνοντας τον αριθμό αυτού του τύπου θέσης για τον συγκεκριμένο διάδρομο κατά ένα, και καταχωρώντας την εν λόγω θέση ως «γεμάτη». Με αυτόν τον τρόπο, δεν μπορεί να γίνει διπλή καταχώρηση και ο αλγόριθμος γνωρίζει πάντα τον υπολειπόμενο αριθμό θέσεων κάθε είδους σε κάθε διάδρομο.

Στην περίπτωση όπου το προϊόν δεν δύναται να αποθηκευτεί στον αρχικό του διάδρομο, τότε ο αλγόριθμος ακολουθεί διαφορετική λογική ανάλογα με τον αρχικό διάδρομο που βρισκόταν η θέση.

Δυναμικοί Διάδρομοι 12 και 66

Οι διάδρομοι 12 και 66 συνιστούν τις δυναμικές θέσεις. Εάν έχει κριθεί ότι ένα προϊόν πρέπει να μεταφερθεί σε στατική θέση, τότε αποκλείεται να μείνει στον αρχικό διάδρομο. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος στοχεύει εφόσον δεν μπορεί να το κρατήσει στον ίδιο διάδρομο, να κρατήσει τουλάχιστον το προϊόν στον ίδιο όροφο. Οπότε για τον διάδρομο 12, εξετάζονται σειριακά πρώτα οι διάδρομοι 15 με 34 και εάν δεν βρεθεί κανένα κενό, τότε μεταφέρεται σε κάποιον διάδρομο του ημιώροφου. Αντιθέτως, εάν ο αρχικός διάδρομος είναι ο 66 που βρίσκεται στον ημιώροφο, εξετάζονται πρώτα οι διάδρομοι 45 με 64, και μετά το ισόγειο εάν είναι απαραίτητο.

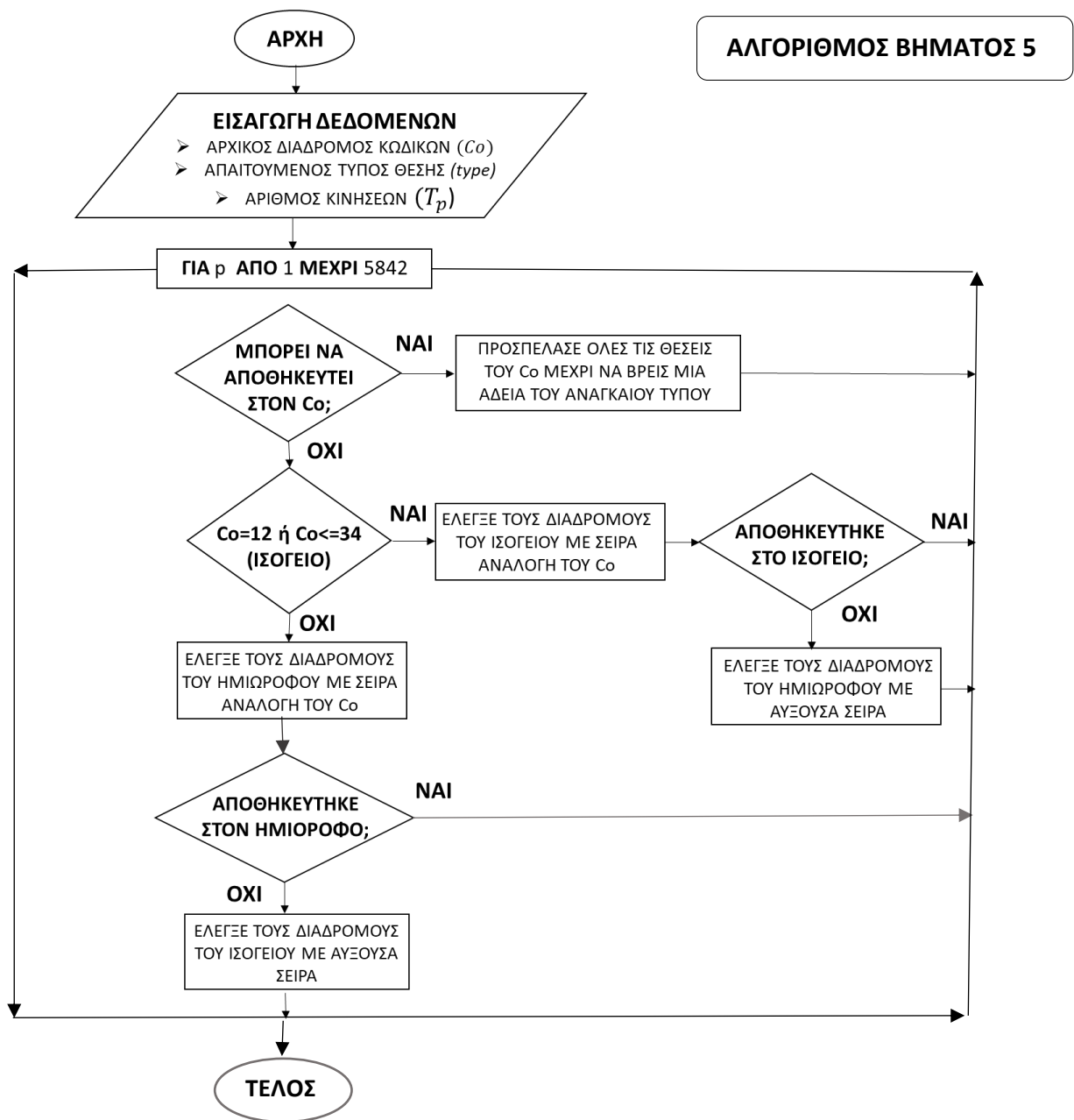
Ακριανοί Διάδρομοι 15, 34, 45 και 64

Οι διάδρομοι 15 και 34 αποτελούν τους ακραίους διαδρόμους του ισογείου, ενώ οι 45 και 64 τους ακραίους του ημιώροφου. Σε περίπτωση που κάποιο προϊόν δεν μπορεί να μπει στον 15, εξετάζονται όλοι οι διάδρομοι από τον 16 μέχρι τον 34 με τη σειρά μέχρι να βρεθεί θέση στον πιο κοντινό διάδρομο. Αντίθετα για τον 34, εξετάζονται όλοι οι διάδρομοι με αντίθετη κατεύθυνση όμως, δηλαδή από τον 33, που είναι ο πιο κοντινός, μέχρι τον 15. Ίδια διαδικασία πραγματοποιείται αντίστοιχα για τον 45 και τον 64.

Μεσαίοι Διάδρομοι 16-33 και 46-63

Για κάθε έναν από τους μεσαίους διαδρόμους, εξετάζονται εναλλάξ οι διάδρομοι που βρίσκονται πριν και μετά από τον εξεταζόμενο, αυξάνοντας και μειώνοντας κατά ένα τον αύξοντα αριθμό του αρχικού διαδρόμου. Εάν δεν αποθηκευτεί στους γειτονικούς διαδρόμους, γίνεται η ίδια διαδικασία αυξάνοντας κατά 2 τον αριθμό, μέχρι κάποια πλευρά να φτάσει σε ακριανό διάδρομο οπότε ο αλγόριθμος να συνεχίσει να αυξάνει, ή να μειώνει, μόνο από την άλλη πλευρά. Η διαδικασία τερματίζεται όταν βρεθεί διαθέσιμη θέση σε κάποιον από αυτούς τους διαδρόμους, αλλιώς εξετάζονται σειριακά οι διάδρομοι του άλλου επιπέδου.

Για κάθε διάδρομο που εξετάζεται, πρώτα ελέγχονται οι συνθήκες που αναφέρθηκαν στην αρχή και μετά ο διάδρομος σαρώνεται για την εύρεση της κατάλληλης θέσης, αλλιώς ο αλγόριθμος προχωράει στην εξέταση του επόμενου. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν το προϊόν αντιστοιχιστεί με την κατάλληλη θέση. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται και για τα 5842 προϊόντα, και στο τέλος ο αλγόριθμος αποδίδει την τελική και βέλτιστη διάταξη όλου του στατικού τομέα. Η παραπάνω ανάλυση συνοψίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής.



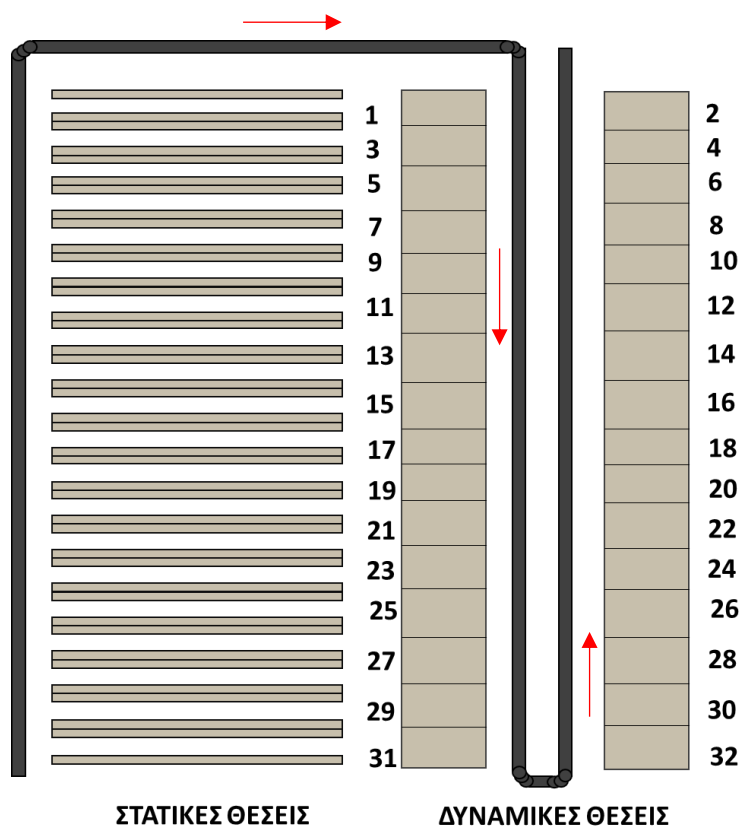
Εικόνα 39 - Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου Βήματος 5

4.4.6. Διάταξη Δυναμικών Διαδρόμων

Με την προηγούμενη ενότητα έκλεισε ο κύκλος της διαδικασίας που αφορούσε τον στατικό τομέα. Σειρά τώρα έχει το 6^ο βήμα της βελτιστοποίησης, το οποίο διεκπεραιώνει τον διαμοιρασμό των δυναμικών θέσεων στους αντίστοιχους διαδρόμους, δηλαδή στον 12 και 66. Στόχος είναι ο σχεδιασμός ενός ιδανικού δυναμικού διαδρόμου που θα αντιγραφεί πιστά στους προαναφερθέντες.

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3, οι δυναμικοί διάδρομοι αποτελούνται από 32 φατνώματα των πέντε ραφιών, χωρισμένα σε δύο στήλες των 16. Η ιδιαιτερότητα είναι πως όλες οι θέσεις βαίνουν κάθετα σε ραουλόδρομο, ο οποίος εξυπηρετεί την μετακίνηση των κουτιών εναπόθεσης και διασχίζει κατά μήκος όλον τον διάδρομο, περνώντας σειριακά από τα φατνώματα της αριστερής στήλης, ενώ

στη συνέχεια κάνει αναστροφή και σαρώνει προς τα πίσω όλα τα φατνώματα της δεξιάς. Η κάτοψη ενός δυναμικού διαδρόμου, και η τοποθεσία του ως προς τον στατικό τομέα, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 40 - Κάτοψη και Αρίθμηση ενός Δυναμικού Διαδρόμου

Τα δυναμικά ράφια λόγω του πολύ μεγάλου βάθους που έχουν μπορούν να καλύψουν την αποθήκευση πολλών αποθηκευτικών μονάδων, και χρησιμοποιούνται κυρίως για ταχυκίνητους κωδικούς, τάξης Α. Παρόλα αυτά, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους φιλοξενούν και πιο αργοκίνητα προϊόντα των οποίων οι διαστάσεις δεν χωράνε πουθενά αλλού. Κάθε συλλέκτης αναλαμβάνει να διεκπεραιώνει τις συλλογές για συγκεκριμένο αριθμό φατνωμάτων, ευρισκόμενα σε σειρά αλλά και στην ίδια στήλη, και κινείται παράλληλα με τα ράφια, ανάμεσα σε αυτά και τον ραουλόδρομο. Συγχρόνως, ο ανεφοδιασμός των θέσεων γίνεται από την πίσω πλευρά των ραφιών.

Από την προηγούμενη ανάλυση, συγκεκριμένα από το 3^ο βήμα, έχουν βρεθεί τα προϊόντα τα οποία δεν χωράνε σε στατικά ράφια και για αυτά έχει υπολογιστεί το αναγκαίο μήκος που πρέπει να έχει η δυναμική τους θέση καθώς και η στρατηγική τοποθέτησης τους. Ακόμα, έχει βρεθεί στο στάδιο της αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων και η τάξη κινητικότητας που έχουν. Βάση αυτών των δύο, και κατά αναλογία με τις στατικές θέσεις, προκύπτουν τα παρακάτω είδη δυναμικών θέσεων.

- A2G: μεγάλη δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Α
- AG: μεσαία δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Α
- AG2: μικρή δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Α
- B2G: μεγάλη δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Β
- BG: μεσαία δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Β
- BG2: μικρή δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη Β
- C2G: μεγάλη δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη C

- CG: μεσαία δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη C
- CG2: μικρή δυναμική θέση που ανήκει στην τάξη C

Αμέσως, ο αλγόριθμος συγκρίνει το αναγκαίο μήκος θέσης με τη διάσταση του κάθε τύπου, 2G, G και G2, προκειμένου να αποδώσει ένα μέγεθος θέσης στον κάθε κωδικό. Η συνθήκη με την οποία ελέγχεται εάν χωράει ο κωδικός στη θέση είναι η ακόλουθη,

$$L_{NEEDED} + 20 \leq L_{SLOT} \quad (22)$$

όπου το 20 mm είναι το πάχος του διαχωριστικού μεταξύ των θέσεων, άρα και η χάρη που πρέπει να υπάρχει μεταξύ τους, όπου στην περίπτωση των στατικών θέσεων ανερχόταν στα 15 mm.

Παρόλο το μεγάλο μέγεθος των δυναμικών θέσεων, κάποια προϊόντα δεν χωράνε είτε λόγω επάρκειας, δηλαδή δεν χωράει ο αριθμός των αναγκαίων συσκευασιών, είτε λόγω διαστάσεων της αποθηκευτικής μονάδας. Ανάλογα με την αιτία, ο αλγόριθμος ακολουθεί διαφορετικές ενέργειες.

- Εάν ο λόγος αδυναμίας αποθήκευσης είναι οι διαστάσεις της αποθηκευτικής μονάδας του κωδικού, τότε αυτά τα προϊόντα διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα και μένουν εκτός της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται σύσταση στην εταιρεία να αλλάξει είτε τον τομέα αποθήκευσης τους, μεταφέροντας τα στον τομέα με τα ογκώδη αγαθά, είτε να αναθεωρήσει την συσκευασία που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση στη θέση συλλογής, καθώς ενδέχεται να διατηρούν και υποσυσκευασίες με τις οποίες θα μπορούν να αποθηκευτούν με μεγαλύτερη ευκολία. Το ποσοστό αυτών των προϊόντων ανέρχεται μόλις στο 0,68% επί του συνόλου των 6718, δηλαδή 46 κωδικοί.
- Εάν η αιτία είναι ο μεγάλος αριθμός των συσκευασιών για την επίτευξη της επάρκειας, τότε ο αλγόριθμος επανεξετάζει τα συγκεκριμένα προϊόντα, και βρίσκει ποια είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να μπει στην θέση συλλογής ώστε αυτοί οι κωδικοί να χωράνε στον μεγαλύτερο τύπο των δυναμικών θέσεων, δηλαδή τον 2G, θυσιάζοντας έτσι ένα μέρος της επάρκειας. Σε άλλη περίπτωση, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δύο διπλανές θέσεις για τη συλλογή του ίδιου κωδικού, αλλά η εταιρεία αρνήθηκε την συγκεκριμένη πρόταση καθώς επιθυμεί να διατηρεί μόνο μία για τον κάθε έναν εξ' αυτών.

Εφόσον εξεταστούν οι παραπάνω παράγοντες και βρεθεί και ο τύπος θέσης βάση διαστάσεων και για τα προϊόντα που δεν χωρούσαν πριν, στη συνέχεια με τον συνδυασμό της τάξης κινητικότητας αντιστοιχίζεται ο ιδανικός από τους εννέα παραπάνω τύπους δυναμικών θέσεων για το κάθε προϊόν και έτσι υπολογίζεται και συνολικά πόσες θέσεις από τον κάθε τύπο χρειάζονται για την κάλυψη των συγκεκριμένων αναγκών. Τα συνολικά προϊόντα ανέρχονται στα 830.

Όπως έγινε και με τις στατικές θέσεις, πρέπει να αναχθεί το αναγκαίο πλήθος θέσεων σε επίπεδο δυναμικού διαδρόμου μέσω των ακόλουθων βημάτων:

- 1) Υπολογισμός αριθμού προϊόντων που κατατάσσονται στην κάθε κατηγορία των εννέα θέσεων που αναπτύχθηκαν παραπάνω, βάση διαστάσεων και τάξης κινητικότητας.
- 2) Υπολογισμός του αντίστοιχου ποσοστού προϊόντων για κάθε είδος θέσης, σχέση (23)

$$\text{Ποσοστό Προϊόντων σε θέσεις } XY = \frac{\text{Αριθμός Προϊόντων σε θέσεις } XY}{\text{Συνολικός Αριθμός Προϊόντων Δυναμικού Τομέα}} * 100\% \quad (23)$$

- 3) Εάν ο κάθε διάδρομος μπορεί να χωρέσει 100 προϊόντα, τα οποία χρειάζονται τα ποσοστά θέσεων του βήματος 2, θα πρέπει αυτές οι θέσεις να μετατραπούν σε επίπεδο μήκους G σύμφωνα με τη σχέση (20)

$$\text{Μήκος Θέσεων } XY \text{ ανά 100 Προϊόντα} = (\text{Ποσοστό Προϊόντων σε θέσεις } XY) * \frac{L_{XY}}{L_G} \quad (24)$$

- 4) Άθροισμα όλων των επιμέρους Μηκών Θέσεων XY ανά 100 προϊόντα, που βρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε ανά διάδρομο με χωρητικότητα 100 προϊόντων, ποιο είναι το συνολικό μήκος των θέσεων που χρειαζόμαστε σε επίπεδο G.
- 5) Εφόσον στο κάθε ράφι μπορούν να χωρέσουν 4 θέσεις τύπου G, το συνολικό μήκος ραφιού, σε επίπεδο G, είναι 4G. Με ανάλογη λογική, εφόσον ο κάθε δυναμικός διάδρομος αποτελείται από 160 ράφια, το συνολικό μήκος του διαδρόμου, σε επίπεδο G, είναι 640 G .
- 6) Εφόσον γνωρίζουμε το μήκος για τον κάθε τύπο θέσης σε επίπεδο G ανά διάδρομο, το συνολικό απαιτούμενο μήκος διαδρόμου ανά 100 προϊόντα, και το συνολικό μήκος ραφιών του διαδρόμου, εύκολα υπολογίζουμε τι αριθμός θέσεων για κάθε τύπο αντιστοιχεί σε κάθε διάδρομο, σύμφωνα με τις ανάγκες των προϊόντων και την σχέση (11)

Αριθμός Θέσεων XY ανά Διάδρομο

$$= \text{round} \left(\left(\frac{(\text{Μήκος Θέσεων } XY \text{ ανά 100 Προϊόντα}) * (\text{Συνολικό Μήκος Ραφιών Διαδρόμου})}{\text{Απαιτούμενο Μήκος Ραφιών Διαδρόμου ανα 100 Προϊόντα}} \right) * \frac{L_G}{L_{XY}} \right) \quad (25)$$

Ο αριθμός θέσεων κάθε τύπου ανά διάδρομο που υπολογίστηκε παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ
A2G	114
AG	184
AG2	0
B2G	50
BG	72
BG2	3
C2G	14
CG	9
CG2	34

Πίνακας 12 - Τύπος Θέσεων ανά Δυναμικό Διάδρομο

Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει η τοποθέτηση των παραπάνω θέσεων στα δυναμικά ράφια. Ενώ η διαδικασία που θα ακολουθηθεί θα είναι πανομοιότυπη με αυτή των στατικών ραφιών, στα δυναμικά υπάρχουν κάποιες βασικές διαφορές.

Αρχικά, εφόσον όλες οι θέσεις ισαπέχουν από το ράουλο, ο μόνος παράγοντας που θα εξεταστεί και ο οποίος αναλύθηκε πολύ λεπτομερώς στην ενότητα 4.4.4, είναι το ύψος στο οποίο βρίσκεται η θέση. Κατ' αναλογία, η πλειοψηφία των μεγάλων θέσεων θα τοποθετηθεί σε χαμηλά ράφια, ενώ τα επιτρεπόμενα ράφια θα διαφοροποιούνται από τάξη σε τάξη κινητικότητας, ώστε τα προϊόντα Α να καταλαμβάνουν ράφια σε εργονομικό ύψος. Καθότι όμως όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι

περισσότερες θέσεις είναι τάξης A, κάτι πολύ λογικό για τα δυναμικά προϊόντα, αναγκαστικά θα υπάρχουν κωδικοί A που δεν θα χωράνε στο 3^ο ή 2^ο ράφι που είναι τα προτιμότερα, αλλά θα κυμαίνονται από το 1^ο μέχρι και το 4^ο. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα όρια ραφιών που έχουν τεθεί για την κάθε τάξη και διάσταση θέσης, αλλά και συνολικά για τον κάθε τύπο.

ΤΑΞΗ	ΡΑΦΙ 1	ΡΑΦΙ 2	ΡΑΦΙ 3	ΡΑΦΙ 4	ΡΑΦΙ 5
A	●	●	●	●	✘
B	●	●	●	●	●
C	●	●	●	●	●

Πίνακας 13 - Περιορισμοί Δυναμικών Ραφιών ανά Τάξη Κινητικότητας

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΡΑΦΙ 1	ΡΑΦΙ 2	ΡΑΦΙ 3	ΡΑΦΙ 4	ΡΑΦΙ 5
2G	●	●	●	●	●
G	●	●	●	●	●
G2	●	●	●	●	●

Πίνακας 14 - Περιορισμοί Δυναμικού Ραφιού ανά Μέγεθος Θέσης

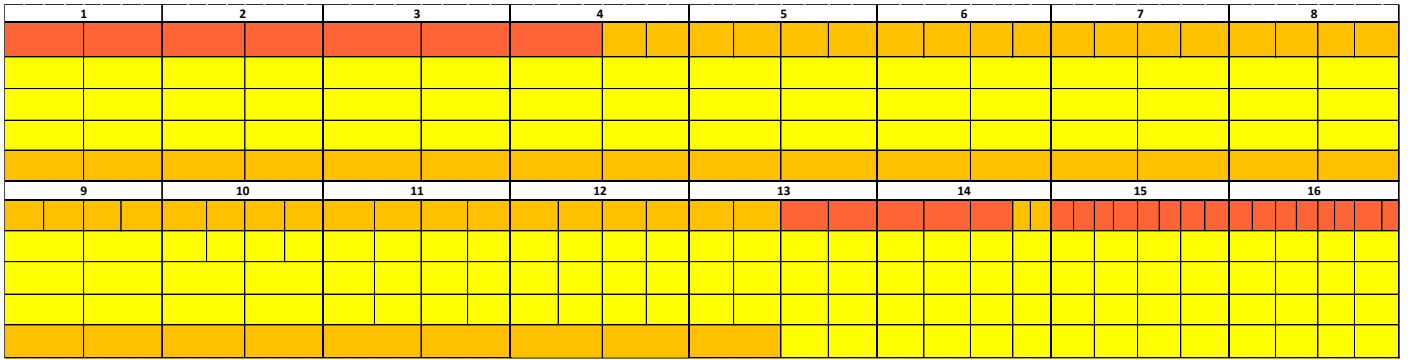
ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΕΩΝ	ΡΑΦΙ	
	Υmin	Υmax
A2G	2	4
AG	1	4
AG2	1	4
B2G	1	4
BG	1	5
BG2	1	5
C2G	1	5
CG	1	5
CG2	1	5

Πίνακας 15 - Ανώτατο και Κατώτατο Όριο Δυναμικού Ραφιού

Με βάση αυτά, ο αλγόριθμος ξεκινάει να τοποθετεί τις θέσεις στα ράφια αρχίζοντας από τις μεγάλες, πρώτα της τάξης A, μετά της B και τέλος της C, και συνεχίζοντας με αντίστοιχη λογική στις μεσαίες και μικρές θέσεις. Ο αλγόριθμος ξεκινάει την τοποθέτηση πρώτα με την αριστερή στήλη των ραφιών, δηλαδή από τα μονά φατνώματα σύμφωνα με την αρχική ονοματολογία, και συνεχίζει ,με την δεξιά στήλη μέχρι να αποθηκευτούν όλες οι θέσεις. Τα βήματα που ακολουθεί είναι ακριβώς ίδια με αυτά των στατικών θέσεων, μόνο που εδώ λαμβάνει υπόψιν τους διαφορετικούς περιορισμούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Το αποτέλεσμα του αριθμού θέσεων κάθε τύπου που αντιστοιχεί στις δύο στήλες του διαδρόμου φαίνεται στον πίνακα 15, ενώ η τελική διάταξη των θέσεων για την αριστερή στήλη του ιδανικού διαδρόμου παρουσιάζεται στην εικόνα 41.

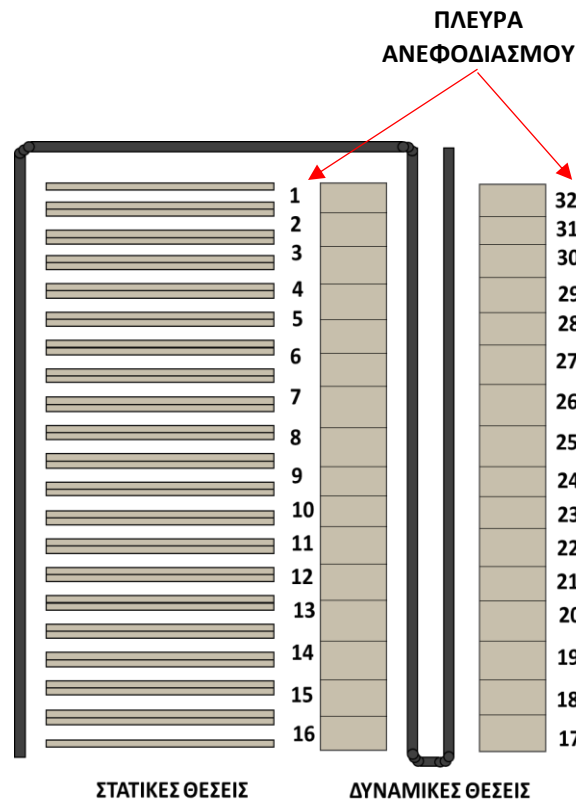
ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΕΩΝ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΣΤΗΛΗ	ΔΕΞΙΑ ΣΤΗΛΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ
A2G	57	57	114
AG	92	92	184
AG2	0	0	0
B2G	25	25	50
BG	36	36	72
BG2	2	1	3
C2G	7	7	14
CG	5	4	9
CG2	16	18	34

Πίνακας 16 - Τύποι Θέσεων ανά Στήλη Δυναμικών Διαδρόμων



Εικόνα 41 - Πρόσφιξη Αριστερής Στήλης Δυναμικού Διαδρόμου (Πλευρά Ανεφοδιασμού)

Για την ολοκλήρωση της ταξινόμησης των δυναμικών θέσεων, σειρά έχει η ονοματολογία τους, η οποία θα βασιστεί στις ίδιες αρχές που ορίστηκαν για τις στατικές, δηλαδή 8-ψήφιο όνομα θέσης, με τα δύο πρώτα ψηφία να προσδιορίζουν τον διάδρομο, 12 ή 66, τα επόμενα 2 το φάτνωμα, 1 με 32, τα επόμενα δύο το ράφι, 1 με 5, και τα τελευταία δύο τον αύξοντα αριθμό της θέσης στο ράφι. Η πρώτη διαφορά θα είναι πως το νούμερο της θέσης στο ράφι, από την μπροστινή πλευρά που το κοιτάει ο συλλέκτης, θα αυξάνεται για όλα τα φαντώματα, μονά και ζυγά, από τα αριστερά προς τα δεξιά, ενώ για τον γεμιστή που θα τα βλέπει από την πίσω πλευρά, ο αριθμός θα αυξάνεται από τα δεξιά προς τα αριστερά. Η δεύτερη διαφορά είναι ο αριθμός των θέσεων ανά ράφι. Αφού η βασική μονάδα G είναι μεγαλύτερη της S, πλέον ο ελάχιστος αριθμός θέσεων ανά ράφι είναι δύο, εάν είναι θέσεις 2G, και ο μέγιστος είναι οκτώ, εάν είναι όλες G2. Όπως διαφαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, ανάλογα με τις παραλλαγές ο αριθμός θέσεων ανά ράφι αλλάζει. Η τελευταία διαφορά έγκειται στην αρίθμηση των φαντωμάτων. Ενώ η αρχική ονοματολογία διαχώριζε αριστερά τα μονά φαντώματα και δεξιά τα ζυγά, η νέα αριθμεί τα φαντώματα σειριακά, σύμφωνα με την παρακάτω διάταξη του σχήματος.



Εικόνα 42 - Βελτιωμένη Αρίθμηση Φαντωμάτων Δυναμικού Διαδρόμου

Ο λόγος που τα φαινόμενα αριθμούνται με αυτόν τον τρόπο, είναι καθώς η αρχική ονομασία αντιστοιχούσε σε μία παλιά διάταξη που διατηρούσε η εταιρεία και την οποία άλλαξε πριν μικρό χρονικό διάστημα, με τον ραουλόδρομο να βρίσκεται περιμετρικά και όχι ανάμεσα από τις δύο στήλες, και τις θέσεις να είναι ανεστραμμένες. Αυτό σημαίνει πως ο ανεφοδιασμός για όλα τα φαινόμενα γινόταν με τους γεμιστές να κινούνται σε έναν κοινό διάδρομο. Οπότε σε αυτή τη διάταξη, ο ανεφοδιασμός γινόταν με διαγώνια κίνηση των γεμιστών (ζιγκ-ζαγκ) όπως στα στατικά ράφια. Πλέον όμως που οι γεμιστές κινούνται σε διαφορετικούς διαδρόμους για να γεμίσουν τις θέσεις κάθε στήλης, εάν η μία εντολή αφορά το φάτνωμα 8 και η αμέσως επόμενη το κατά σειρά φάτνωμα 9, ο εργαζόμενος θα πρέπει να κάνει τον κύκλο και να πάει στην απέναντι πλευρά για να γεμίσει την επόμενη θέση, πράγμα διόλου εργονομικό και παραγωγικό. Επομένως, η νέα ονοματολογία θα διευκολύνει την σειριακή προσπέλαση των ραφιών, που είναι βέλτιστη για την συγκεκριμένη διάταξη των δυναμικών διαδρόμων.

4.4.7. Κατανομή Προϊόντων σε Δυναμικές Θέσεις

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται το 7^ο και τελευταίο βήμα της βελτιστοποίησης του αποθηκευτικού χώρου, το οποίο αφορά την αντιστοίχιση των 830 κωδικών που αναλύθηκαν παραπάνω, στις δυναμικές θέσεις, οι οποίες έχουν πλέον καταχωρηθεί στους διαδρόμους 12 και 66.

Ο τρόπος τοποθέτησης γίνεται με χρήση του ίδιου αλγορίθμου που παρουσιάστηκε στο 5^ο βήμα, με κάποιες όμως διαφοροποιήσεις.

Αρχικά, όπως και στην περίπτωση των στατικών ραφιών, θα πρέπει ο φόρτος εργασίας, δηλαδή οι κινήσεις, ανάμεσα στους δύο διαδρόμους, 12 και 66, να είναι ισοζυγισμένος. Οπότε σε επίπεδο διαδρόμων, οι συνολικές ημερήσιες κινήσεις των δυναμικών προϊόντων, οι οποίες ανέρχονται στις 7666, να μοιραστούν σε 3.833 κινήσεις ανά διάδρομο. Η απόκλιση που θα συνυπολογιστεί θα είναι μεγαλύτερη από αυτή των στατικών, καθώς το πλήθος των διαδρόμων είναι σημαντικά μικρότερο, και οι ημερήσιες κινήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε κωδικό είναι πολύ μεγαλύτερες. Για αυτόν τον λόγο, η ελάχιστη απόκλιση των κινήσεων ανά διάδρομο ανέρχεται στο 15%, και έτσι η σχέση (18) διαμορφώνεται στην ακόλουθη

$$\text{Μέγιστες Κινήσεις ανά Διάδρομο } (T_{max}) = \frac{\sum_1^{830} \text{Κινήσεις ανά Κωδικό}}{2} (1 + 0,15) \quad (24)$$

Εκτός αυτού, εισάγεται και ένας νέος περιορισμός, όπου είναι η μέγιστες κινήσεις ανά στήλη διαδρόμου. Όπως καταλαβαίνουμε, από τη στιγμή που η κάθε στήλη έχει διαφορετικούς συλλέκτες, εάν η μία από τις δύο είναι υπερφορτωμένη, αυτό θα επιφέρει δυσανάλογο φόρτο εργασίας στους εργαζομένους μόνο της μίας στήλης. Η ελάχιστη απόκλιση που βρέθηκε είναι το 17,8%, και παρουσιάζεται στην παρακάτω σχέση

$$\text{Μέγιστες Κινήσεις ανά Στήλη Διαδρόμου } (Tr_{max}) = \frac{\sum_1^{830} \text{Κινήσεις ανά Κωδικό}}{4} (1 + 0,178) \quad (25)$$

Για όλα τα προϊόντα που εξετάζονται, μεγάλη σημασία έχει ο αρχικός διάδρομος που βρίσκονταν, ώστε να αποφευχθούν κοστοβόρες σε χρόνο μετακινήσεις των κωδικών σε άλλους ορόφους. Σαφώς το βέλτιστο σενάριο θα ήταν το προϊόν να παραμένει εάν είναι δυνατόν και στο ίδιο φάτνωμα, αλλά εφόσον οι ονομασίες και η αρίθμηση άλλαξε, αναγκαστικά θα πρέπει να αλλάξουν και οι θέσεις.

Έτσι λοιπόν εξετάζεται ο αρχικός διάδρομος. Εάν είναι ο 12 ή κάποιος στατικός διάδρομος από τον 15 μέχρι τον 34, ελέγχεται πρώτα εάν το προϊόν μπορεί να αποθηκευτεί στον διάδρομο 12, που βρίσκεται στο ισόγειο, και εάν δεν μπορεί, τότε ελέγχεται ο διάδρομος 66.

Στην αντίθετη περίπτωση όπου ο προηγούμενος διάδρομος ήταν ο 66 ή κάποιος στατικός από τον 45 μέχρι τον 64, εξετάζεται εάν μπορεί να αποθηκευτεί πρώτα στον 66 και εάν όχι τότε πηγαίνει στον 12.

Οι συνθήκες που εξετάζονται ώστε ένας κωδικός να τοποθετηθεί σε έναν διάδρομο είναι οι παρακάτω:

- Να υπάρχει θέση του συγκεκριμένου τύπου στον εξεταζόμενο διάδρομο, και η οποία να είναι διαθέσιμη
- Οι συνολικές ημερήσιες κινήσεις του διαδρόμου, συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων του κωδικού που εξετάζεται προς αποθήκευση, να μην υπερβαίνουν το ανώτατο όριο σύμφωνα με τη σχέση (24)

Εάν οι συνθήκες βγουν αληθείς, τότε ο αλγόριθμος ελέγχει εάν ο κωδικός μπορεί να αποθηκευτεί στην πρώτη στήλη εξετάζοντας τα εξής:

- Να υπάρχει διαθέσιμη θέση του είδους που απαιτεί ο κωδικός σε αυτή τη στήλη
- Οι συνολικές κινήσεις της στήλης, συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων του κωδικού που εξετάζεται προς αποθήκευση, να μην υπερβαίνουν το ανώτατο όριο σύμφωνα με τη σχέση (25)

Εάν οι δύο συνθήκες βγουν αληθείς, τότε σαρώνονται όλες οι θέσεις σειριακά από το 1^ο μέχρι και το 16^ο φάτνωμα, μέχρι να βρεθεί μία κενή που να είναι κατάλληλη. Εάν κάποια συνθήκη είναι ψευδής, ελέγχονται οι ίδιες συνθήκες για τη δεύτερη στήλη, όπου εάν ισχύουν, ο αλγόριθμος ξεκινάει να σαρώνει σειριακά τις θέσεις της δεύτερης στήλης, δηλαδή από το 17^ο φάτνωμα και μετά.

Εάν οι συνθήκες δεν ισχύουν ούτε για τη δεύτερη στήλη, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τον άλλον δυναμικό διάδρομο, μέχρι να βρεθεί θέση. Οι αποκλίσεις που έχουν οριστεί για τις σχέσεις (24) και (25) είναι οι ελάχιστες για τις οποίες όλα τα προϊόντα αποθηκεύονται χωρίς κανένα πρόβλημα. Σε περίπτωση που ήταν μικρότερες, αυτό θα εμπόδιζε την αποθήκευση κάποιων κωδικών ακόμα και αν υπήρχε πλεονασμός ελεύθερων θέσεων.

4.4.8. Διαχείριση Προϊόντων σε άλλες Περιόδους

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, η διαδικασία βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκε για την περίοδο του τελευταίου τετράμηνου του εξεταζόμενου έτους, εφόσον ήταν η πιο επιβαρυνμένη περίοδος, παρουσιάζοντας αύξηση κινήσεων κατά 34% αλλά και διευρυμένο κωδικολόγιο.

Επειδή πολλά από τα προϊόντα που εξετάστηκαν σε προηγούμενα βήματα, συμπεριλήφθηκαν στον κατάλογο πωλήσεων πρώτη φορά εντός του τετράμηνου, δεν υπάρχουν στοιχεία ζήτησης και κινητικότητας για την περίοδο του προηγούμενου οκτάμηνου. Αφού η εταιρεία συγκεντρώσει επαρκή ιστορικά στοιχεία για αυτά, θα προβεί η ίδια στις απαραίτητες αλλαγές, χρησιμοποιώντας ακριβώς τους ίδιους αλγόριθμους που δημιουργήθηκαν για το τετράμηνο.

Για όλους τους υπόλοιπους κωδικούς, αφού το σύστημα SAP διαμορφωθεί σύμφωνα με τους προτεινόμενους κώδικες, θα μπορεί να αναλύει αυτόματα την αναγκαία ποσότητα συσκευασιών για επάρκεια μίας εβδομάδας, αλλά και την τάξη κινητικότητας του κάθε αγαθού ανάλογα με την περίοδο του διανύει η εταιρεία, σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία τα οποία καταγράφονται στο σύστημα. Οπότε τα βήματα που θα επαναλαμβάνονται για κάθε ένα από τα προϊόντα για τις υπόλοιπες εποχές του έτους, αλλά θα γίνονται αυτόματα από το SAP, είναι τα παρακάτω:

- 1) Επανάληψη βήματος 1, κατά το οποίο υπολογίζεται το αναγκαίο μήκος που πρέπει να έχει η νέα στατική θέση του εκάστοτε αγαθού, με βάση την αλλαγή της ζήτησης. Κατόπιν βρίσκεται και ο νέος κωδικός στρατηγικής τοποθέτησης στη θέση συλλογής.
- 2) Αντιστοίχιση προϊόντος στην κατάλληλη θέση βάση του αναγκαίου μήκους. Εάν δεν χωράει σε στατική θέση, επαναλαμβάνεται το βήμα 1 για δυναμική θέση, και αντιστοιχίζεται στον κατάλληλο τύπο.
- 3) Εάν δεν χωράει ούτε σε δυναμική θέση, τότε μειώνεται η ποσότητα συσκευασιών για να χωράει στον μεγαλύτερο δυναμικό τύπο, θυσιάζοντας την επάρκεια της εβδομάδας.
- 4) Συνδυασμός τύπου θέσης βάση διαστάσεων με τάξη κινητικότητας.
- 5) Σύγκριση θέσης οκταμήνου με αντίστοιχη τετράμηνου, και καταχώρηση του προϊόντος ως εποχικό είδος, δηλαδή κωδικού που αλλάζει τύπο θέσης ανάλογα με την χρονική περίοδο.

Επομένως κάθε φορά που θα αλλάζει η περίοδος του χρόνου, το σύστημα SAP αυτόματα θα διεξάγει τα παραπάνω βήματα, και θα πληροφορεί την εταιρεία για τις αλλαγές των θέσεων που πρέπει να γίνουν σε κάποια συγκεκριμένα προϊόντα.

5. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Αφού η διαδικασία της βελτιστοποίησης ολοκληρώθηκε επιτυχώς σύμφωνα με τα επιμέρους βήματα που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4, σειρά έχει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, καθώς και η σύγκριση με το αρχικό σύστημα το οποίο κληθήκαμε να βελτιώσουμε. Για εποπτικούς λόγους, στην παρακάτω εικόνα υπενθυμίζονται τα στάδια βελτιστοποίησης που ακολουθήσαμε.



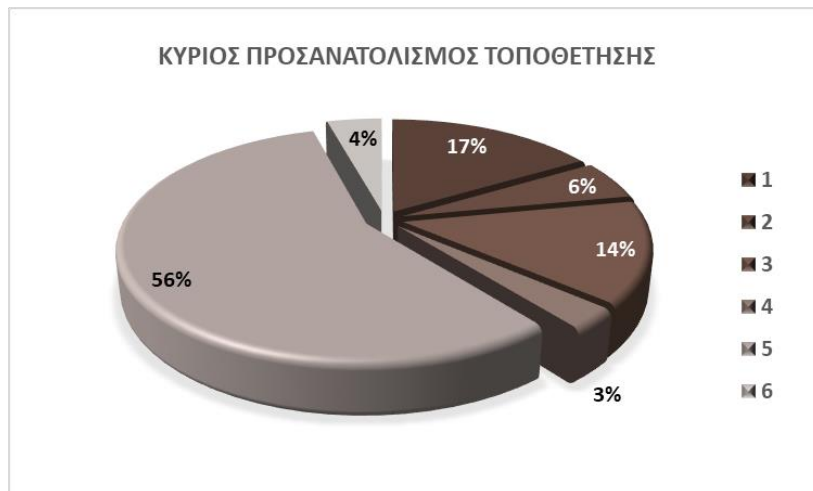
Εικόνα 43- Βήματα Διαδικασίας Βελτιστοποίησης

5.1 Αποτελέσματα Βήματος 1

Κατά το 1^ο βήμα, βρέθηκε ο βέλτιστος προσανατολισμός τοποθέτησης κάθε προϊόντος, ώστε πρώτον η θέση να έχει επάρκεια συσκευασιών μίας εβδομάδας, βάση των δεδομένων ζήτησης, και δεύτερον να μεγιστοποιείται η χωρητικότητα της, ενώ ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται το μήκος θέσης που χρειάζεται το προϊόν για να αποθηκευτεί. Η διαδικασία αυτή οδήγησε στην δημιουργία του κωδικού στρατηγικής τοποθέτησης για το κάθε είδος, καθώς και στην εύρεση του απαιτούμενου μήκους θέσης όλων των εξεταζόμενων προϊόντων. Ακόμα, έγινε εύρεση των προϊόντων τα οποία δεν χωράνε σε στατικά ράφια είτε λόγω διαστάσεων της συσκευασίας τους, είτε λόγω επάρκειας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως ο μέσος όρος των αναγκαίων μηκών που βρέθηκαν για όσα προϊόντα χωράνε σε στατικά ράφια ανέρχεται στα

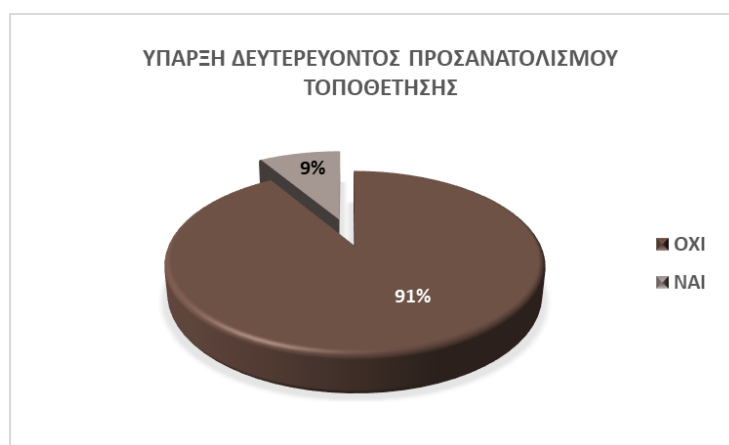
$$L_{avg} = 351 \text{ mm}$$

που όπως θα αναλυθεί παρακάτω προσεγγίζει με καλή ακρίβεια το βέλτιστο μήκος της μονάδας S που προέκυψε. Σύμφωνα με τα ευρήματα, τα ποσοστά των επιμέρους προσανατολισμών παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα.



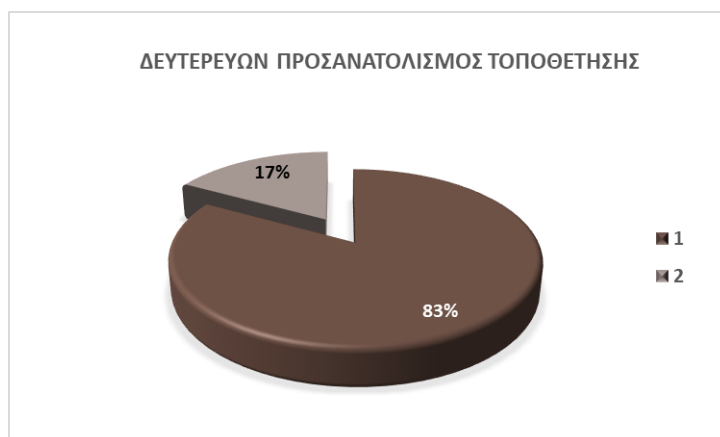
Γράφημα 1 - Κύριος Προσανατολισμός Τοποθέτησης

Όπως διαφαίνεται στο διάγραμμα 1, παρατηρείται διακύμανση μεταξύ των βέλτιστων προσανατολισμών στους οποίους αντιστοιχούν τα προϊόντα, με τον προσανατολισμό 5 να συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά, της τάξης του 56%. Υπενθυμίζεται πως κατά τον προσανατολισμό 5, η μικρότερη διάσταση των συσκευασιών τοποθετείται κατά την έννοια του μήκους της θέσης, ενώ η μεγαλύτερη κατά το βάθος. Είναι επομένως αρκετά λογικό το ότι παρουσιάζει υψηλό ποσοστό, καθώς συνάδει με την λογική πως όσο πιο μικρό είναι το απαιτούμενο μήκος μίας θέσης, με σταθερό ύψος και βάθος, που χωράει ένας αριθμός συσκευασιών, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η αξιοποίηση του όγκου. Αμέσως μετά ακολουθεί ο προσανατολισμός 1, στον οποίο αντίθετα με τον 5, η μεγαλύτερη διάσταση τοποθετείται κατά την έννοια του μήκους. Αυτό ανταποκρίνεται σε πλήθος περιπτώσεων, όπως σε δυσανάλογες διαστάσεις συσκευασιών που δεν χωράνε με κανέναν άλλον τρόπο. Σε ανάλογο ποσοστό, 14%, εμφανίζεται και ο τρόπος 3, ενώ οι 2,4 και 6 ανέρχονται σε ποσοστά μικρότερα του 6%.



Γράφημα 2 - Υπαρξη Δευτερεύοντος Προσανατολισμού Τοποθέτησης

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το ποσοστό των προϊόντων, τα οποία επιδέχονται και 2^ο προσανατολισμό τοποθέτησης στις θέσεις συλλογής τους. Πιο συγκεκριμένα το 91% δεν περιλαμβάνει δεύτερο προσανατολισμό, καθώς ο νεκρός όγκος που αφήνει ο κύριος δεν επαρκεί για να χωρέσουν άλλες συσκευασίες με εναλλακτικό τρόπο.



Γράφημα 3 - Είδος Δευτερεύοντος Προσανατολισμού

Τέλος, παρατηρείται πως από τα προϊόντα που επιδέχονται και δεύτερο προσανατολισμό, για το 83% αυτών οι συσκευασίες τοποθετούνται στον νεκρό υπόχωρο κατά την έννοια του βάθους (1), ενώ μόλις το 17% αφήνει αρκετό νεκρό χώρο κατά την έννοια του ύψους (2).

5.2 Αποτελέσματα Βήματος 2

Στο δεύτερο βήμα της βελτιστοποίησης, για 800 διαφορετικά μήκη S, από το 1 μέχρι τα 800 mm με βήμα 1 mm, υπολογίστηκαν τα επιμέρους μήκη S2 και 2S, και κατόπιν βρέθηκε το νεκρό μήκος για κάθε ένα από αυτά σε επίπεδο ραφιού, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 4.4.2. Από το σύνολο των διαφορετικών μηκών S, ο αλγόριθμος ανέδειξε έξι προτεινόμενα μήκη, για τα οποία αποθηκεύεται πάνω από το 75% των εξεταζόμενων προϊόντων, ο συντελεστής κάλυψης του μήκους των στατικών ραφιών είναι μικρότερος του 0.85, και το νεκρό μήκος σε επίπεδο ραφιού είναι μικρότερο ή ίσο του 1 mm. Οι πιθανές λύσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

S2 (mm)	S (mm)	2S (mm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΡΑΦΙΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΩΔΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΩΡΑΝΕ	ΝΕΚΡΟ ΜΗΚΟΣ ΑΝΑ ΡΑΦΙ (mm)
122	244	488	0.48	75.9%	-1
132	264	528	0.50	76.9%	1
144	288	576	0.58	83.7%	1
158.5	317	634	0.66	89.3%	0
176	352	704	0.72	92.0%	1
198	396	792	0.79	93.2%	1

Πίνακας 17 - Προτεινόμενα Μήκη S και Κριτήρια Επιλογής

Όπως είναι εμφανές, σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν τεθεί, τα προτεινόμενα μεγέθη S ξεκινούν από τα 244 mm, η οποία επιλογή επιφέρει κάλυψη στατικών ραφιών κατά 0.48, δηλαδή σχεδόν το μισό μήκος του τομέα, για την αποθήκευση του 75.9% των εξεταζόμενων προϊόντων. Το μεγαλύτερο μέγεθος το οποίο προέκυψε ανέρχεται στα 396 mm, σύμφωνα με το οποίο ο συντελεστής κάλυψης είναι 0.79, ενώ το 93.2% των εξεταζόμενων προϊόντων μπορούν να αποθηκευτούν στις στατικές θέσεις που δημιουργούνται. Είναι λογικό πως όσο μεγαλύτερο είναι το βασικό μήκος S, τόσο υψηλότερος θα είναι και ο συντελεστής κάλυψης, ενώ συγχρόνως θα μπορούν να αποθηκευτούν περισσότερα αγαθά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το μέγεθος 320 mm, το οποίο είναι το βασικό μήκος της μονάδας S του αρχικού συστήματος, δεν περιλαμβάνεται καν στις προτεινόμενες λύσεις του αλγορίθμου, κάτι το οποίο αποτελεί και την πρώτη ένδειξη της ανάγκης εύρεσης νέων μεγεθών θέσεων που να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις των προϊόντων που διαχειρίζεται η αποθήκη.

ΜΕΓΕΘΗ ΘΕΣΕΩΝ			ΡΑΦΙ S2	ΡΑΦΙ S		ΡΑΦΙ 2S			ΠΛΗΘΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΑΝΑ ΡΑΦΙ	
S2 (mm)	S (mm)	2S (mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ S2	ΑΡΙΘΜΟΣ S	ΑΡΙΘΜΟΣ S2	ΑΡΙΘΜΟΣ 2S	ΑΡΙΘΜΟΣ S2	ΑΡΙΘΜΟΣ S	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ
122	244	488	13	6	1	3	1	0	4	13
132	264	528	12	6	0	3	0	0	3	12
144	288	576	11	5	1	2	3	1	5	11
158.5	317	634	10	5	0	2	2	1	4	10
176	352	704	9	4	1	2	1	0	3	9
198	396	792	8	4	0	2	0	0	2	8

Πίνακας 18 - Προτεινόμενα Μήκη και Πλήθος Θέσεων ανά Ράφι

Στον πίνακα 17, για κάθε προτεινόμενο μήκος διαφαίνεται ο αριθμός θέσεων κάθε είδους που χωράνε ανά ράφι, αλλά και οι συμπληρωματικές θέσεις μικρότερου μεγέθους, όπου είναι εφικτό, μέχρι να καλυφθεί πλήρως το ράφι. Για παράδειγμα, στην περίπτωση 2, τα 264 mm, σε κάθε ράφι δεν χωράει καμία συμπληρωματική θέση, ενώ στην τρίτη περίπτωση για τα 288 mm, ισχύει ένα από τα ακόλουθα σενάρια:

- Περιλαμβάνονται 11 θέσεις μεγέθους 2S
- Περιλαμβάνονται πέντε (5) θέσεις S και μία (1) S2
- Περιλαμβάνονται δύο (2) θέσεις 2S, που θα συμπληρώνονται είτε από τρεις (3) θέσεις S2, είτε από μία (1) S και μία (1) S2

Εφόσον η μία θέση είναι πολλαπλάσιο της άλλης, υπάρχουν πολλές παραλλαγές των παραπάνω σεναρίων, τις οποίες και εξετάζει ο αλγόριθμος σε επόμενο βήμα όπου γίνεται η τοποθέτηση των θέσεων. Για κάθε προτεινόμενο μήκος S προκύπτει ένα ελάχιστο και ένα μέγιστο πλήθος θέσεων ανά ράφι, ανάλογα με το σενάριο που έχει επιλεγεί, ή την παραλλαγή του. Για το τελευταίο παράδειγμα που αναφέρθηκε, οι αντίστοιχες τιμές όπως διαφαίνεται είναι το 5 και το 11.

Όπως παρατηρείται, όσο μικρότερο είναι το μήκος θέσεων, τόσο μεγαλύτερο θα είναι το μέγιστο πλήθος τους ανά ράφι. Η συγκεκριμένη παρατήρηση όμως δεν έχει κάποια βαρύτητα στην βελτιστοποίηση, καθότι παρόλο που με ένα μικρό μήκος μπορούν να υπάρχουν περισσότερες θέσεις, τα προϊόντα που θα χωράνε θα είναι λιγότερα. Επομένως, το μέγεθος των θέσεων και το πλήθος τους αποτελούν αντικρουόμενους στόχους.

5.3 Αποτελέσματα Βήματος 3

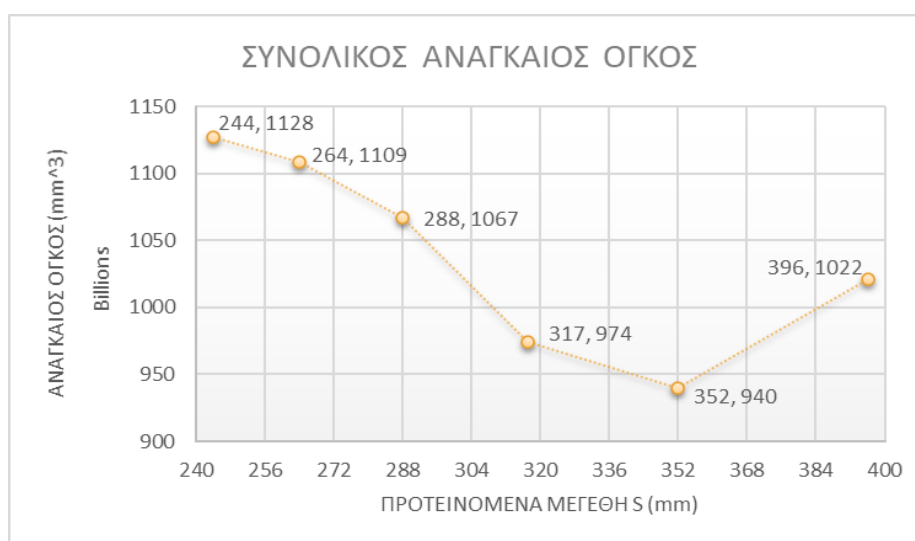
Στο 3^ο βήμα γίνεται εύρεση του βέλτιστου μήκους G, για τον δυναμικό τομέα, που αντιστοιχεί σε κάθε προτεινόμενο μήκος S που προέκυψε κατά το βήμα 2. Κατόπιν, υπολογίζεται ο συνολικός αναγκαίος όγκος για την αποθήκευση των προϊόντων, αθροίζοντας τους αντίστοιχους όγκους του στατικού και δυναμικού τομέα, καθώς και ο συνολικός νεκρός όγκος, και σε επίπεδο θέσης και σε επίπεδο ραφίου. Αφού υπολογιστούν τα παραπάνω έξι (6) προτεινόμενα ζεύγη (S,G), ελέγχονται τα τέσσερα κριτήρια που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.4.3, δηλαδή η ελαχιστοποίηση συνολικού αναγκαίου και νεκρού όγκου, η αύξηση του ποσοστού αξιοποίησης χώρου, και η μείωση του αναγκαίου όγκου ανά προϊόν. Με βάση τα παραπάνω, στον πίνακα 18 διαφαίνονται τα αποτελέσματα για κάθε ζεύγος, αλλά και τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μεγεθών του αρχικού συστήματος. Υπογραμμίζεται πως εφόσον ο δυναμικός τομέας δεν είχε συγκεκριμένα μεγέθη θέσεων, βρέθηκε για το αρχικό μέγεθος S το βέλτιστο μέγεθος G, ώστε να μπορεί να γίνει η τελική σύγκριση.

S (mm)	G (mm)	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΝΕΚΡΟΣ ΟΓΚΟΣ (mm ³)	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΝΑΓΚΑΙΟΣ ΟΓΚΟΣ (mm ³)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ (%)	ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΧΩΡΑΝΕ	ΜΕΣΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ (mm ³)
244	316	5.39E+11	1.13E+12	52.18	6551	1.72E+08
264	316	5.08E+11	1.11E+12	54.19	6565	1.69E+08
288	395	5.13E+11	1.07E+12	51.90	6587	1.62E+08
317	395	4.59E+11	9.74E+11	52.67	6601	1.48E+08
320	395	5.33E+11	9.65E+11	44.73	6609	1.46E+08
352	395	4.14E+11	9.40E+11	55.96	6667	1.41E+08
396	790	5.32E+11	1.02E+12	47.90	6698	1.53E+08

Πίνακας 19 - Προτεινόμενα Ζεύγη Βήματος 3

Πέρα των προτεινόμενων τιμών, στον παραπάνω πίνακα το βέλος υποδεικνύει και τα μεγέθη του αρχικού συστήματος, για τα οποία υπολογίζει όλες τις παραμέτρους με βάση τις οποίες θα πραγματοποιηθεί η σύγκριση. Αξίζει να παρατηρήσουμε πως το βέλτιστο μήκος των δυναμικών θέσεων είναι ίδιο για διαφορετικές τιμές του S, κάτι αναμενόμενο καθώς για την επιλογή του G πρέπει ο συντελεστής κάλυψης των δυναμικών ραφιών να είναι μικρότερος του 90%, να μπορούν να αποθηκεύονται πάνω από το 93% των υπολειπόμενων προϊόντων, και να ελαχιστοποιείται ο συνολικός νεκρός όγκος, κριτήρια τα οποία πληρούσε το ίδιο G για διαφορετικά S. Παρακάτω θα εξεταστούν ένα προς ένα τα τέσσερα επιμέρους κριτήρια, με βάση των οποίων ο αλγόριθμος κατέληξε στο βέλτιστο ζεύγος.

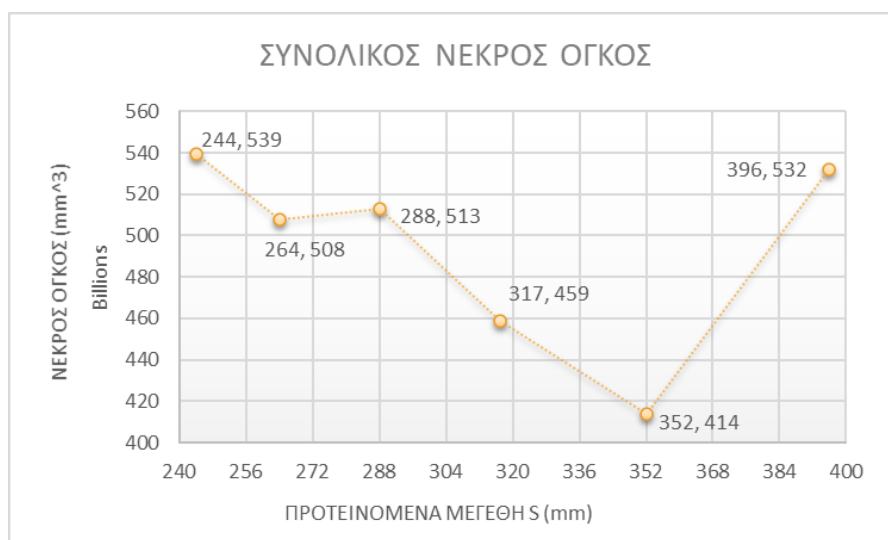
5.3.1 Συνολικός Αναγκαίος Όγκος



Γράφημα 4 - Μεταβολή Συνολικού Αναγκαίου Όγκου ανά Προτεινόμενο Ζεύγος

Όπως παρατηρείται στο γράφημα 4, ο αναγκαίος όγκος αποθήκευσης των προϊόντων σε θέσεις συλλογής μεγιστοποιείται στα $11,28 * 10^{11} \text{ mm}^3$, για την περίπτωση του ζεύγους (244,316) mm, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό καθώς η συγκεκριμένη επιλογή επιτρέπει μόλις στο 75.9% των συνολικών προϊόντων να αποθηκευτούν στον στατικό τομέα, εξαναγκάζοντας τα υπόλοιπα 1619 αγαθά να τοποθετηθούν σε δυναμικές θέσεις, οι οποίες έχουν πολύ μεγαλύτερο όγκο από ότι χρειάζονται τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα. Παρατηρούμε πως όσο μεγαλώνει το βασικό μέγεθος S, ο αναγκαίος όγκος μειώνεται, μέχρι που φτάνουμε σε ένα τοπικό ελάχιστο για S = 352 mm, για τα οποία ελαχιστοποιείται ο αναγκαίος όγκος στα $9,4 * 10^{11} \text{ mm}^3$. Η αμέσως επόμενη επιλογή αυτού, τα 396 mm επιφέρουν ξανά αύξηση του αναγκαίου όγκου, που αγγίζει τα $11,02 * 10^{11} \text{ mm}^3$, καθώς πλέον οι στατικές θέσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι πρέπει, παρόλο που μπορούν να αποθηκευτεί εκεί το 93.2% των κωδικών. Συνεπώς, σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο, το ζεύγος (352,395) αναδεικνύεται ως η καλύτερη επιλογή.

5.3.2 Συνολικός Νεκρός Όγκος

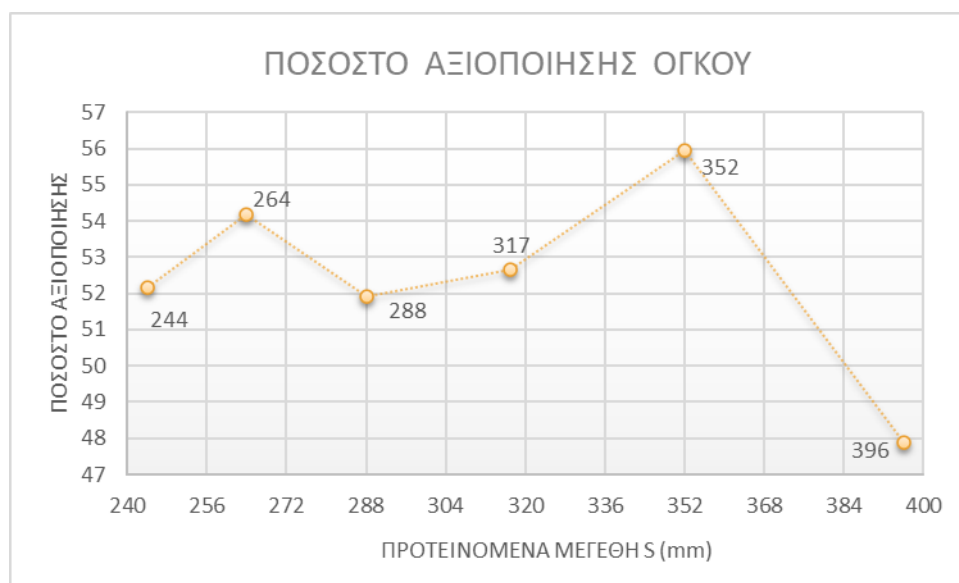


Γράφημα 5 - Καμπύλη Μεταβολής του Νεκρού Όγκου

Στην καμπύλη του διαγράμματος 5 παρουσιάζεται η μεταβολή του συνολικού νεκρού όγκου, και σε επίπεδο θέσης και σε επίπεδο ραφίου για τον στατικό και δυναμικό τομέα, η οποία φαίνεται να ακολουθεί μία κοινή λογική με την καμπύλη του αναγκαίου χώρου. Ξανά ο μέγιστος νεκρός όγκος υπολογίζεται στα $5,39 * 10^{11} mm^3$ για το ζεύγος (224,316), ακολουθώντας καθοδική πορεία μέχρι τα $4,14 * 10^{11} mm^3$ για την περίπτωση (352,395), ενώ αυξάνεται πάλι για το ζεύγος (396,790). Η μορφή που βλέπουμε είναι αναμενόμενη, καθώς εάν τα S είναι μικρά, δημιουργείται υψηλός νεκρός όγκος στα δυναμικά ράφια από το πλήθος των κωδικών που πάει εκεί, ενώ όταν τα S πολύ μεγάλα, δημιουργείται νεκρός όγκος στον στατικό τομέα, λόγω υπερμεγέθους θέσεων. Και για το δεύτερο κριτήριο, το ζεύγος (352,395) είναι το καλύτερο.

5.3.3 Ποσοστό Αξιοποίησης Όγκου

Υπενθυμίζεται πως το ποσοστό αξιοποίησης δηλώνει τι μέρος του αναγκαίου όγκου είναι όντως ωφέλιμο, δηλαδή καταλαμβάνεται από κάποια συσκευασία. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα.

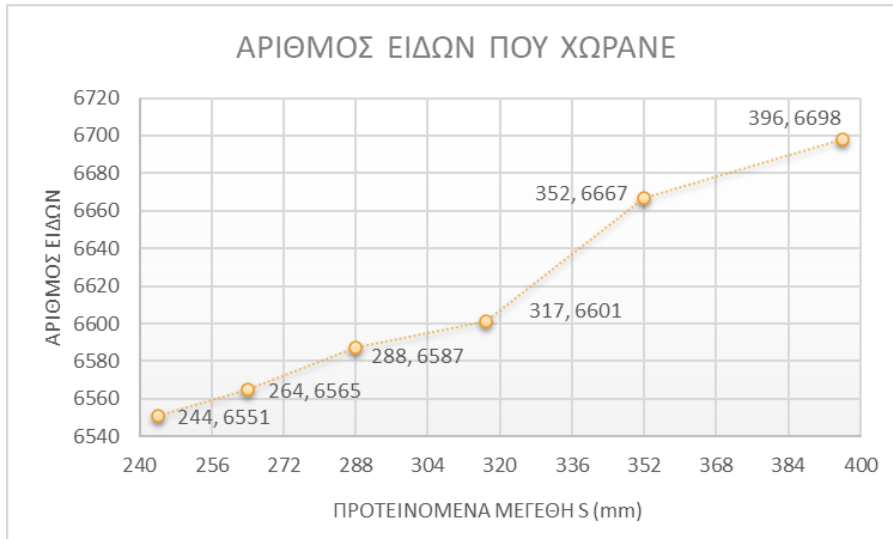


Γράφημα 6 - Καμπύλη Μεταβολής Ποσοστού Αξιοποίησης

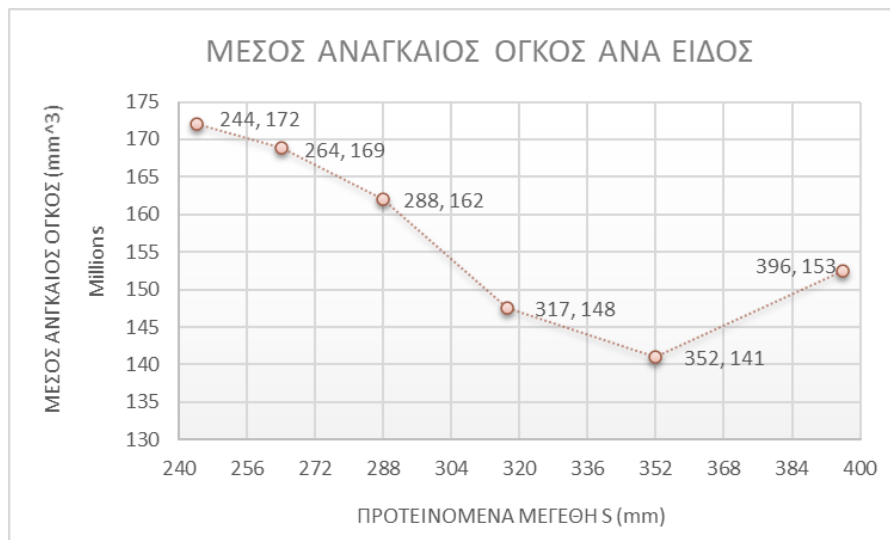
Τα ευρήματα δείχνουν πως το μικρότερο ποσοστό αξιοποίησης αγγίζει το 47.9% και εμφανίζεται για το ζεύγος (396,790), που είναι και η τελευταία περίπτωση με τα μεγαλύτερα μεγέθη. Μάλιστα, σύμφωνα με τον ορισμό του ποσοστού αξιοποίησης, ο νεκρός όγκος στην συγκεκριμένη περίπτωση υπερβαίνει τον ωφέλιμο. Όλες οι υπόλοιπες επιλογές προσφέρουν αξιοποίηση όγκου άνω του 50%, με το ζεύγος (352,395) να παρουσιάζει την μέγιστη τιμή, στο 56%. Κατά συνέπεια, και το τρίτο κριτήριο προάγει την συγκεκριμένη λύση ως βέλτιστη.

5.3.4 Μέσος Όγκος ανά Προϊόν

Ο μέσος όγκος ανά προϊόν είναι σκόπιμο να εξεταστεί συναρτήσει του αριθμού προϊόντων που χωράνε να αποθηκευτούν, βάση διαστάσεων συσκευασίας, είτε στον στατικό είτε στον δυναμικό τομέα. Με αυτόν τον τρόπο θα αποδειχθεί ότι ενώ για μεγάλα S χωράνε περισσότερα προϊόντα, τελικώς ο όγκος που αντιστοιχεί σε κάθε ένα από αυτά είναι πολύ μεγαλύτερος από άλλες περιπτώσεις.



Γράφημα 7 - Καμπύλη Μεταβολής του Πλήθους των Ειδών που χωράνε στα Μεγέθη των Θέσεων



Γράφημα 8 - Καμπύλη Μεταβολής του Μέσου Αναγκαίου Όγκου ανά Προϊόν

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 7, το πλήθος των προϊόντων που μπορούν να αποθηκευτούν στον τομέα είναι ανάλογο με το μέγεθος των θέσεων. Παρόλα αυτά, στο διάγραμμα 8 βλέπουμε πως ο μέσος όγκος είναι μέγιστος για το ζεύγος (244,316) και μειώνεται με την αύξηση του S, μέχρι να ελαχιστοποιηθεί στα $1,4 * 10^8 \text{ mm}^3$ για το ζεύγος (352,395). Μετά από αυτό, παρατηρούμε πως με την αύξηση των προϊόντων της επόμενης επιλογής δεν δημιουργείται ισάξια μείωση του μέσου όγκου ανά προϊόν, αλλά αντιθέτως αυξάνεται πάλι. Κατά συνέπεια, είναι προτιμότερο να θυσιάσουμε την αποθήκευση 31 παραπάνω κωδικών (διαφορά μεταξύ 5^{ης} και 6^{ης} επιλογή), που αποτελεί το 0.45% των εξεταζόμενων αγαθών, εξοικονομώντας έτσι 7% περισσότερο όγκο, παρά το αντίστροφο. Καταληκτικά, και με το τέταρτο κριτήριο αποδεικνύεται ότι το ζεύγος (352,395) είναι βέλτιστο.

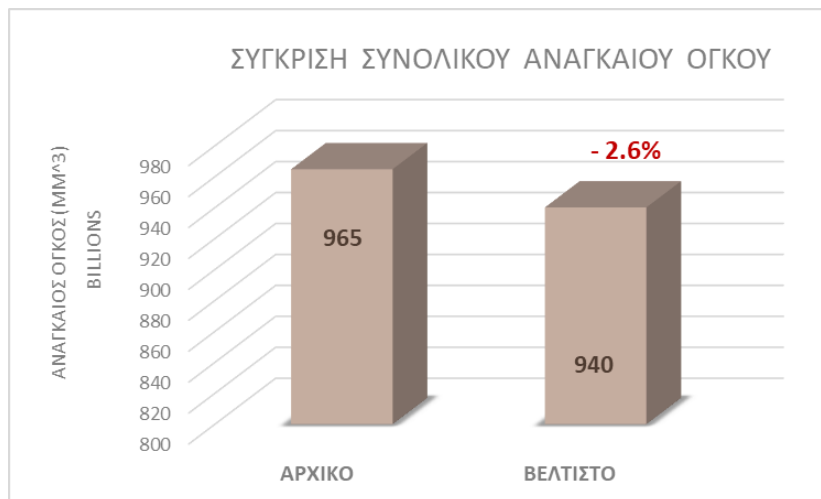
Επομένως, μετά τον έλεγχο των τεσσάρων παραπάνω κριτηρίων, ο αλγόριθμος κατέληξε στο βέλτιστο ζευγάρι μεγεθών θέσεων για στατικό και δυναμικό τομέα, το (352,395) mm. Σε περίπτωση που το κάθε κριτήριο αναδείκνυε διαφορετικό βέλτιστο, η επιλογή θα γινόταν με κριτήρια βαρύτητας.

5.3.5 Σύγκριση Αρχικού και Βελτιστοποιημένου Συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, επειδή οι δυναμικές θέσεις του αρχικού συστήματος δεν είχαν συγκεκριμένες διαστάσεις, θα θεωρηθεί πως η αρχική μονάδα G ήταν ίση με 395 mm, το οποίο είναι το βέλτιστο μήκος G που προέκυψε από τον αλγόριθμο εάν το S είναι 320 mm. Επομένως, θεωρείται το αρχικό ζεύγος (320,395), και το βελτιστοποιημένο (352,395).

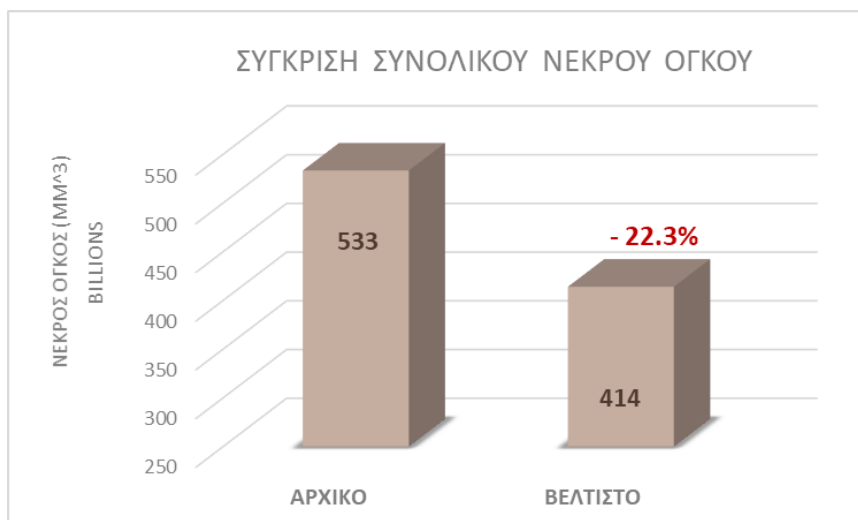
Νεκρός Όγκος

Ο συνολικός νεκρός όγκος προκύπτει ως το άθροισμα που νεκρού όγκου σε επίπεδο θέσης και επίπεδο ραφιού. Ο νεκρός όγκος σε επίπεδο θέσης ορίζεται ως το ποσοστό του χώρου που καταλαμβάνεται για την αποθήκευση ενός προϊόντος, αλλά παραμένει κενός καθώς δεν είναι αρκετά μεγάλος ώστε να προστεθεί κάποια συσκευασία εκεί. Αντιθέτως ο νεκρός όγκος σε επίπεδο ραφιού αποτελεί τον χώρο που δεν χρησιμοποιείται σε κάθε ράφι, καθώς δεν χωράει σε αυτόν κάποια άλλη θέση. Όπως υπολογίστηκε, ενώ ο νεκρός όγκος στο παλιό σύστημα ήταν $5,33 * 10^{11} \text{ mm}^3$, στο βελτιστοποιημένο σύστημα ανέρχεται στο $4,14 * 10^{11} \text{ mm}^3$, το οποίο υποδηλώνει μείωση κατά 22.3% σε σύγκριση με το αρχικό, κάτι το οποίο ικανοποιεί ένα από τα βασικά κριτήρια της βελτιστοποίησης της χωρητικότητας του συστήματος.



Γράφημα 9 - Σύγκριση Νεκρού Όγκου

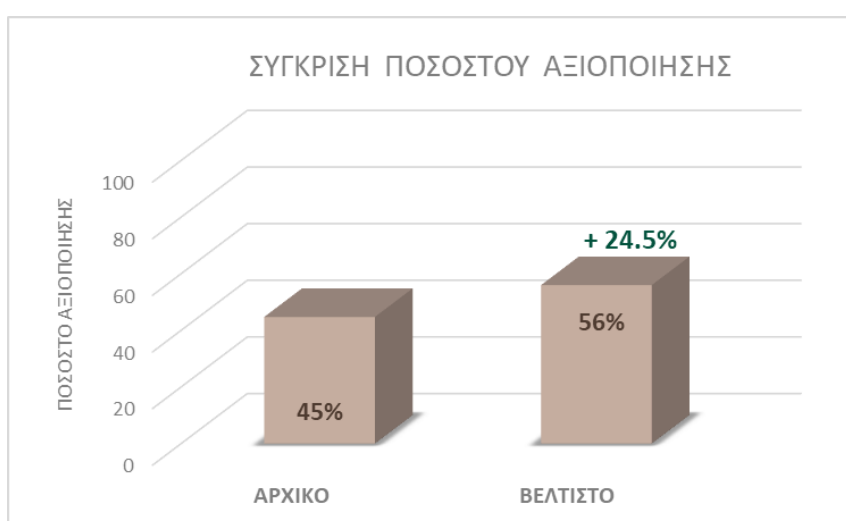
Αναγκαίος Όγκος



Γράφημα 10 - Σύγκριση Αναγκαίου Όγκου

Σύμφωνα με το γράφημα 10, ο αναγκαίος όγκος για την αποθήκευση των προϊόντων στο βελτιστοποιημένο σύστημα είναι ελαφρώς μειωμένος, κατά 2.6%. Αυτό συμβαίνει διότι παρόλο που μεγάλωσε το μέγεθος των στατικών θέσεων, και αυξήθηκε ο αριθμός των συσκευασιών σε θέσεις συλλογής για πολλούς κωδικούς, ώστε να εξασφαλίζεται επάρκεια μίας εβδομάδας, οι κατάργηση των θέσεων 4S, που απαιτούσαν μεγάλο όγκο χωρίς να αξιοποιούνται επαρκώς, μείωσε τις συνολικές ανάγκες όγκου. Επιπλέον, εκτός αποθήκευσης έχουν μείνει 47 κωδικοί, για τους οποίους έγινε σύσταση στην εταιρεία να επανεξετάσει την αποθηκευτική τους μονάδα ή τον τομέα που τοποθετούνται, καθώς είχαν ιδιαίτερα ογκώδη συσκευασίες, με προβληματική διαχείριση, και δεν χωρούσαν ούτε σε δυναμικές ούτε σε στατικές θέσεις. Επομένως προτιμήθηκε να θυσιάσει η αποθήκευση τους παρά η αποδοτικότητα του χώρου.

Ποσοστό Αξιοποίησης Όγκου



Γράφημα 11 - Σύγκριση Ποσοστού Αξιοποίησης

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσοστό αξιοποίησης όγκου, δηλαδή η αναλογία ωφέλιμου χώρου προς αναγκαίο/χρησιμοποιούμενο, το οποίο αποτελεί σημαντικό δείκτη αξιολόγησης της χωρητικότητας. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, ενώ το ποσοστό αξιοποίησης του αρχικού συστήματος ήταν 45%, με τον νεκρό όγκο δηλαδή να είναι μεγαλύτερος από τον ωφέλιμο, το βελτιστοποιημένο σύστημα δημιουργεί αύξηση της αξιοποίησης κατά 24.5% σε σύγκριση με το προηγούμενο, αγγίζοντας το ποσοστό του 56%.

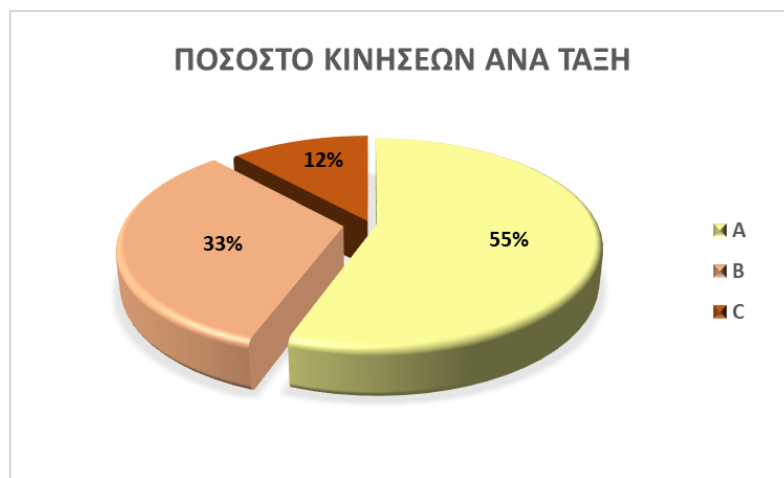
Καταληκτικά, είναι εμφανές πως το νέο σύστημα που προτείνεται είναι από κάθε άποψη πιο αποδοτικό από το αρχικό, βελτιώνοντας την χωρητικότητα των θέσεων και συνεισφέροντας στη μείωση του νεκρού όγκου, με την αύξηση της αξιοποίησης του χρησιμοποιούμενου.

5.4 Αποτελέσματα Βήματος 4

Στη συνέχεια, προκειμένου να γίνει η κατανομή των θέσεων στους διαδρόμους, έπρεπε να βρεθεί το ποσοστό των θέσεων ανά κατηγορία που είχαν ανάγκη τα προϊόντα που διαχειρίζεται η αποθήκη. Για εποπτικούς λόγους, στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα ποσοστά προϊόντων ανά τάξη, σύμφωνα με την ανάλυση ABC, και ανά μέγεθος θέσης, για τον στατικό τομέα.



Γράφημα 12 - Ποσοστό Ειδών ανά Τάξη



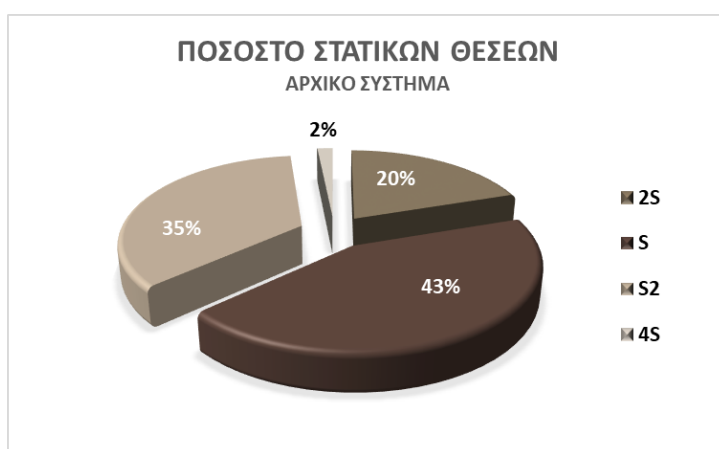
Γράφημα 13 - Ποσοστό Κινήσεων ανά Τάξη

Όπως φαίνεται από το γράφημα 12 και 13, καθώς και σύμφωνα με τα όρια που τέθηκαν για την κινητικότητα κατά την διακριτοποίηση των προϊόντων σε τάξεις, βρέθηκε ότι το 16% των προϊόντων συνιστά την τάξη A, συγκεντρώνοντας το 55% της συνολικής κινητικότητας του τομέα, το 31% αποτελεί την τάξη B, εκπροσωπώντας το 33% της κινητικότητας, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των αγαθών, που ανέρχεται στο 53% ανήκει στην κατηγορία C και δημιουργεί μόλις το 12% των ημερήσιων κινήσεων. Υπενθυμίζεται πως η αποθήκη δεν λειτουργούσε με class-based πολιτική αποθήκευσης, και άρα δεν μπορεί να συγκριθεί ως προς τις τάξεις το νέο με το αρχικό μοντέλο.

Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι ανάγκες των διάφορων μεγεθών θέσεων, δηλαδή S2, S και 2S, σύμφωνα με το βέλτιστο μέγεθος S που βρέθηκε παραπάνω. Έτσι λοιπόν τα 5837 προϊόντα που βρέθηκε ότι μπορούν να αποθηκευτούν στον στατικό τομέα, χρειάζονται κατά 29% μικρό μέγεθος θέσης, S2, κατά 27% μεγάλο μέγεθος, 2S, ενώ η πλειοψηφία του 44% αποθηκεύεται σε θέσεις S. Συγκριτικά με το αρχικό σύστημα (γράφημα 15), το οποίο περιλαμβάνει και θέσεις 4S, βλέπουμε πως ακολουθείται μία παρόμοια λογική, με τις θέσεις S2 να εμφανίζονται ελαφρώς μειωμένες, από 35% σε 29%, οι θέσεις S να διατηρούνται στα ίδια επίπεδα, ενώ οι θέσεις 2S να αυξάνονται από 20% στα 27%, κάτι που εξηγείται από την κατάργηση των θέσεων 4S, αλλά και την αύξηση της επάρκειας του συστήματος.



Γράφημα 14 - Μεγέθη Στατικών Θέσεων Βελτιστοποιημένου Συστήματος



Γράφημα 15 - Μεγέθη Στατικών Θέσεων Αρχικού Συστήματος

Εν συνεχεία, βρέθηκε τι ποσοστό των επιμέρους μεγεθών θέσεων χρειάζονται τα προϊόντα κάθε τάξης ξεχωριστά, και αυτά ανάχθηκαν σε επίπεδο S για έναν στατικό διάδρομο. Υπενθυμίζεται πως ο στόχος ήταν η εύρεση ενός «ιδανικού» διαδρόμου, σύμφωνα με τον οποίο θα δομηθούν όλοι οι υπόλοιποι στατικοί διάδρομοι. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται πόσες θέσεις ανά μέγεθος και ανά τάξη θα πρέπει να υπάρχουν σε κάθε διάδρομο, και σε τι ποσοστό αντιστοιχεί το κάθε ένα.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ	ΕΠΙΠΕΔΟ S
A2S	4%	8	16
AS	3%	6	6
AS2	2%	4	2
B2S	10%	20	40
BS	15%	31	31
BS2	7%	15	7.5
C2S	12%	25	50
CS	26%	52	52
CS2	20%	41	20.5
TOTAL		202	225

Πίνακας 20 - Αριθμός Θέσεων ανά Διάδρομο

Αφού υπολογίστηκαν τα ποσοτικά στοιχεία του διαδρόμου, στη συνέχεια τέθηκαν οι εργονομικοί περιορισμοί του συστήματος, που σχετίζονται με την ποιότητα της εργασίας των συλλεκτών και γεμιστών, και συμπεριλήφθηκαν στον αλγόριθμο, ο οποίος έκανε κατανομή των επιμέρους θέσεων βάση αυτών των περιορισμών. Το αποτέλεσμα αυτής της κατανομής φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.

CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2		
BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS2	CS2	CS2	CS2	CS2
A2S		A2S		AS2	AS	AS	AS	BS	BS2	B2S		B2S		CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		CS2		
A2S		A2S		AS2	B2S		B2S		BS2	B2S		B2S		CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		CS2		
B2S		B2S		BS2	B2S		B2S		BS2	BS	BS	BS	BS2	BS2	CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		CS2	

Εικόνα 45 - Τομή Διαδρόμου εκ Δεξιών (Αριστερή Στήλη Ραφιών)

CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS			
CS2	CS2	CS2	CS2	CS2	CS	CS	CS2	CS	CS	CS	CS	CS	CS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS	BS2	BS	BS	BS	BS
CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		CS2	B2S		B2S		BS2	BS	AS	AS	AS	AS2	A2S		A2S				
CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		CS2	B2S		B2S		BS2	B2S		B2S		AS2	A2S		A2S				
CS2	C2S		C2S		CS2	C2S		C2S		C2S		BS2	BS	BS	BS2	B2S		B2S		BS2	B2S		B2S				

Εικόνα 44 - Τομή Διαδρόμου εξ Αριστερών (Δεξιά Στήλη Ραφιών)

Στην εικόνα 45, παρουσιάζεται η κατανομή των θέσεων στην αριστερή στήλη του διαδρόμου, έτσι όπως βλέπει ο συλλέκτης τον διάδρομο έχοντας πίσω του το σημείο εναπόθεσης. Φυσικά ο ραουλόδρομος βρίσκεται στο αριστερό μέρος της συγκεκριμένης στήλης, και έτσι οι θέσεις της τάξης Α βρίσκονται κοντά σε αυτόν, αλλά συγχρόνως εντοπίζονται και στο καταλληλότερο ύψος σύμφωνα με τους εργονομικούς παράγοντες που τέθηκαν, δηλαδή στο 3^ο και 2^ο ράφι. Στη συνέχεια παρατηρούμε πως ακολουθούν οι θέσεις τάξης Β, οι οποίες περικυκλώνουν τις Α στο 1^ο φάτνωμα, ευρισκόμενες στο 1^ο και 4^ο ράφι, τα οποία είναι λιγότερο εργονομικά, ενώ όσο αυξάνουν τα φάτνωμα, οι θέσεις Β καταλαμβάνουν από το 1^ο μέχρι το 4^ο ράφι, μέχρι και το 3^ο φάτνωμα. Τέλος υπάρχουν οι θέσεις C, οι οποίες εντοπίζονται και κοντά στον ραουλόδρομο, αλλά στο 5^ο ράφι που είναι το λιγότερο εργονομικό από όλα, περικυκλώνοντας τις άλλες δύο τάξεις, ενώ από το 3^ο φάτνωμα και μετά εντοπίζονται σε οποιοδήποτε από τα 5 ράφια. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στο να τοποθετηθούν θέσεις μεγάλου όγκου, δηλαδή οι 2S, στις οποίες είναι πιθανότερο να μπαίνουν βαριές και ογκώδεις συσκευασίες σε εργονομικά ράφια, δηλαδή από το 1^ο μέχρι το 3^ο, ώστε να μπορούν να τις διαχειρίζονται οι εργαζόμενοι με μεγαλύτερη ευκολία. Ως αποτέλεσμα αυτού, καμία θέση μεγάλου μεγέθους δεν έχει τοποθετηθεί στο 4^ο ή 5^ο ράφι.

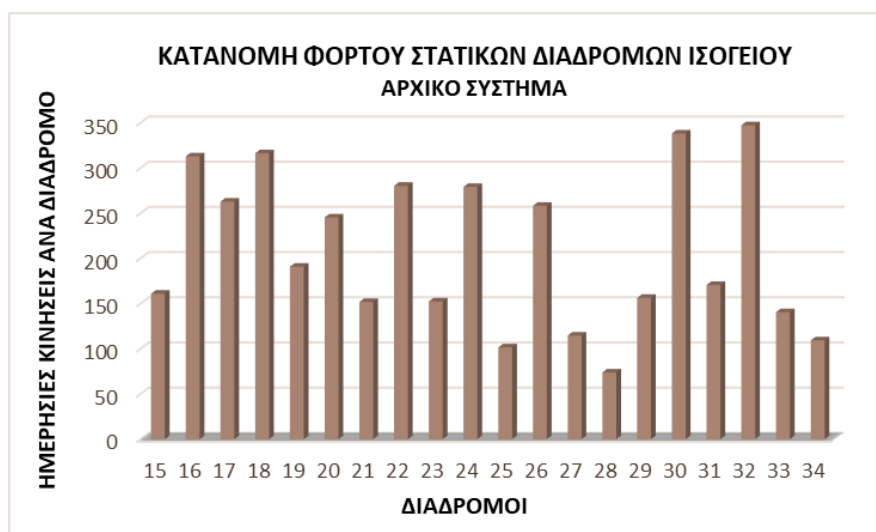
Όμοια λογική ακολουθεί και η δεξιά στήλη του διαδρόμου, της οποίας η πρόοψη φαίνεται στην εικόνα 44, αλλά επειδή το σημείο εναπόθεσης βρίσκεται στα δεξιά της στήλης, οι θέσεις φαίνονται ανεστραμμένες (αντικατοπτρισμός). Στην πραγματικότητα, κάθε τάξη της δεξιάς στήλης είναι ακριβώς απέναντι από την εφάμιλλή της της αριστερής στήλης.

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ο διαχωρισμός των τάξεων δεν συμπίπτει με καμία περίπτωση που αναφέρεται στην βιβλιογραφία, καθώς σε όλες εκλείπει ο ανθρώπινος παράγοντας και η διευκόλυνση των συνθηκών εργασίας του. Η συγκεκριμένη μορφή θυμίζει φλόγα, της οποίας το κεντρικό σημείο εντοπίζεται στην πρώτη θέση του πρώτου φάτνωματος στο 3^ο ράφι, η οποία είναι και η πιο εργονομική από όλες, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτή, καθ' ύψος ή κατά βάθος, αλλάζει η «θερμοκρασία» της φλόγας, δηλαδή η κινητικότητα και η εργονομία των θέσεων.

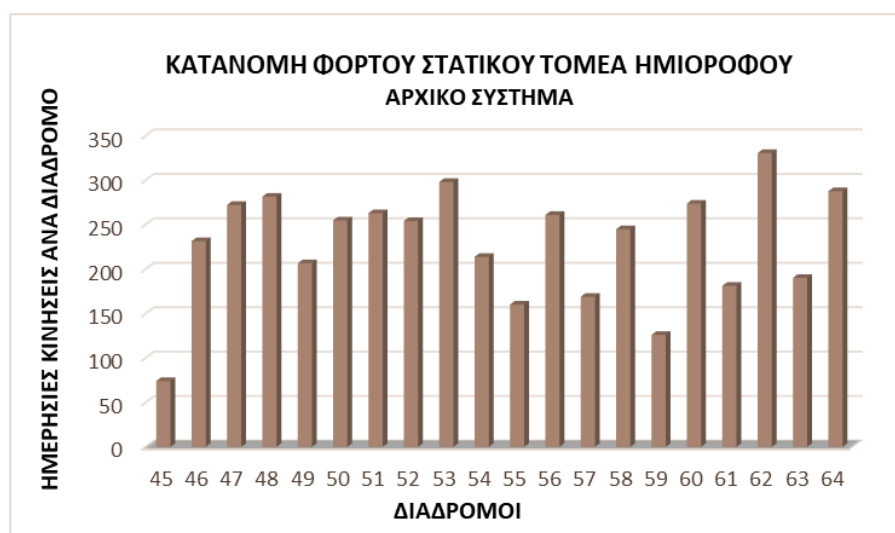
Με την ολοκλήρωση της κατανομής των θέσεων, ο αλγόριθμος προσδιορίζει τη νέα ονοματολογία τους, σύμφωνα με τον τρόπο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, η οποία είναι πιο κατανοητή και παρέχει με ακριβέστερο τρόπο τις πληροφορίες για τον τρόπο εύρεσης της εκάστοτε θέσης, ειδικότερα για το νέο προσωπικό που δεν είναι εξοικειωμένο με τις διαδικασίες. Ταυτόχρονα, παρουσιάζει μικρές διαφορές με την παλιά ονοματολογία, ώστε να είναι εύκολο να εμπεδωθεί και από τους πιο παλιούς εργαζόμενους της εταιρείας, που είχαν συνηθίσει στην προηγούμενη.

5.5 Αποτελέσματα Βήματος 5

Κατά το 5^ο βήμα, σκοπός ήταν η κατανομή των προϊόντων στις θέσεις που έχουν οριστεί για κάθε διάδρομο, με βάση το είδος της τάξης και του μεγέθους θέσης που απαιτεί ο κάθε κωδικός, και κύριο κριτήριο τον ισορροπημένο διαμοιρασμό του φόρτου εργασίας, δηλαδή των κινήσεων στους επιμέρους διαδρόμους. Στα παρακάτω διαγράμματα διαφαίνεται ο φόρτος εργασίας ανά διάδρομο στο αρχικό σύστημα.



Γράφημα 16 - Κινήσεις Διαδρόμων Ισογείου (15-34) στο Αρχικό Σύστημα



Γράφημα 17 - Κινήσεις Διαδρόμων Ημιώροφου (45-64) στο Αρχικό Σύστημα

Όπως είναι εμφανές από τα διαγράμματα 16 και 17, η κατανομή του φόρτου εργασίας στους επιμέρους διαδρόμους σύμφωνα με το αρχικό σύστημα, παρουσίαζε πολύ έντονες διακυμάνσεις, με

κάποιους διαδρόμους, όπως ο 18, 30, 62 και άλλοι, να έχουν τριπλάσια σχεδόν κινητικότητα από κάποιους άλλους, όπως ο 28 και ο 45. Αυτό σημαίνει πως υπήρχε μεγάλη κυκλοφορική συμφόρηση συλλεκτών σε κάποιους διαδρόμους, άρα και καθυστέρηση της διαδικασίας της συλλογής, ενώ άλλοι διάδρομοι είχαν ελάχιστη επισκεψιμότητα σε ημερήσια βάση. Σε αντίθεση με την παραπάνω εικόνα, φαίνεται πως στο σύνολο τους οι κινήσεις ήταν σχετικά ισότιμα μοιρασμένες στους δύο ορόφους, το ισόγειο και τον ημιώροφο, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 15, χωρίς αυτό να συνεπάγεται με αποδοτικότητα με επίπεδο μικροκλίμακας, δηλαδή στους διαδρόμους.

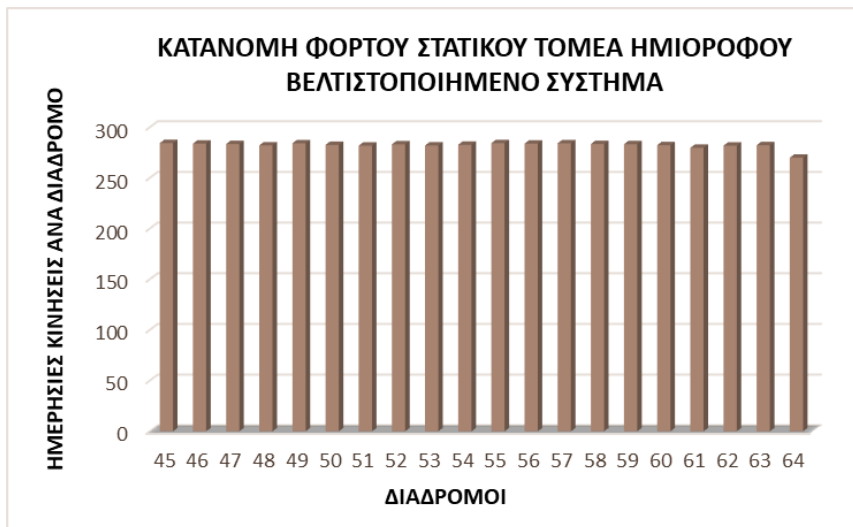


Γράφημα 18 - Κατανομή Φόρτου σε Επίπεδο Ορόφων (Αρχικό Σύστημα)

Σύμφωνα με την ανάλυση του Κεφαλαίου 4, και συγκεκριμένα τη σχέση (21), οι ημερήσιες κινήσεις ανά διάδρομο πρέπει να ανέρχονται στις 284.45. Με βάση αυτό το όριο, η κατανομή φόρτου στο βελτιστοποιημένο σύστημα παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Γράφημα 19 - Κινήσεις Διαδρόμων Ισογείου (15-34) στο Βελτιστοποιημένο Σύστημα



Γράφημα 20 - Κινήσεις Διαδρόμων Ημιώροφου (45-64) στο Βελτιστοποιημένο Σύστημα

Σύμφωνα με τα διαγράμματα 19 και 20, με το πέρας του 5^{ου} βήματος της διαδικασίας βελτιστοποίησης, ο φόρτος εργασίας βρίσκεται πλέον σε απόλυτη ισορροπία, με διακυμάνσεις μικρότερες της τάξης του 0.1%, τόσο σε επίπεδο μικροκλίμακας των διαδρόμων, όσο και σε επίπεδο μακροκλίμακας των ορόφων, αφού πλέον οι κινήσεις μοιράζονται 50-50 στο ισόγειο και τον ημιώροφο, όπως φαίνεται στο γράφημα 21.



Γράφημα 21 - Κατανομή Φόρτου σε Επίπεδο Ορόφων (Βελτιστοποιημένο Σύστημα)

Ο τρόπος τοποθέτησης των προϊόντων επέβαλε στον αλγόριθμο να εξετάζει κάθε φορά πρώτα τον διάδρομο στον οποίο βρισκόταν αρχικά το προϊόν, και εάν δεν υπήρχε χώρος αποθήκευσης, τότε εξέταζε σειριακά τους αμέσως κοντινότερους διαδρόμους, ώστε κατά τις αλλαγές των προϊόντων στις νέες θέσεις, να μην χρειάζεται οι εργαζόμενοι να κάνουν χειρωνακτικά άσκοπες μετακινήσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.

Πιο συγκεκριμένα, από το σύνολο των προϊόντων του στατικού τομέα, 82% παραμένει στον ίδιο διάδρομο, αλλάζοντας μόνο τη θέση του, ενώ μόλις 12% των προϊόντων χρειάζεται να αλλάξει και διάδρομο εκτός από θέση. Όσον αφορά τον όροφο, μόνο το 1% των συνολικών κωδικών τοποθετείται σε διαφορετικό επίπεδο, ενώ το 99% διατηρεί το αρχικό του.



Γράφημα 22 - Ποσοστό Ειδών που Αλλάζουν Διάδρομο



Γράφημα 23 - Ποσοστό Ειδών που Αλλάζουν Όροφο

Τα παραπάνω ευρήματα αποδεικνύουν πως το 5^ο βήμα της βελτιστοποίησης όχι μόνο συντέλεσε στην εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας σε επίπεδο διαδρόμων και ορόφων, εξαλείφοντας έτσι την κυκλοφορική συμφόρηση, αλλά επίσης επέφερε αλλαγές που απαιτούν τη λιγότερη δυνατή προσπάθεια για τη διεκπεραίωση τους, εξοικονομώντας χρόνο αλλά και διευκολύνοντας ταυτόχρονα την εργασία του έμψυχου δυναμικού, το οποίο καλείται να πραγματοποιήσει χειρωνακτικά τις απαιτούμενες αλλαγές, αλλά με τον ελάχιστο δυνατό κόπο.

5.6 Αποτελέσματα Βήματος 6

Στο 6^ο βήμα της βελτιστοποίησης ακολουθείται πάλι η ίδια ανάλυση, με σκοπό να βρεθούν οι ανάγκες του συστήματος σε θέσεις G2, G και 2G, που χρειάζεται η κάθε τάξη αγαθών. Με όμοια λογική αρχικά παρουσιάζονται τα επιμέρους ποσοστά των μεγεθών θέσεων που χρειάζεται ο δυναμικός τομέας. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, σε δυναμικές θέσεις θα αποθηκευτούν 830 κωδικοί, από τους οποίους η πλειονότητα του 55% χρειάζεται θέσεις τύπου G, ακολουθούμενη από το 39% των αγαθών που τοποθετούνται σε θέσεις 2G, ενώ μικρές δυναμικές θέσεις G2 απαιτεί μόλις το 6% των προϊόντων (γράφημα 24).



Γράφημα 24 - Ποσοστό Δυναμικών Θέσεων

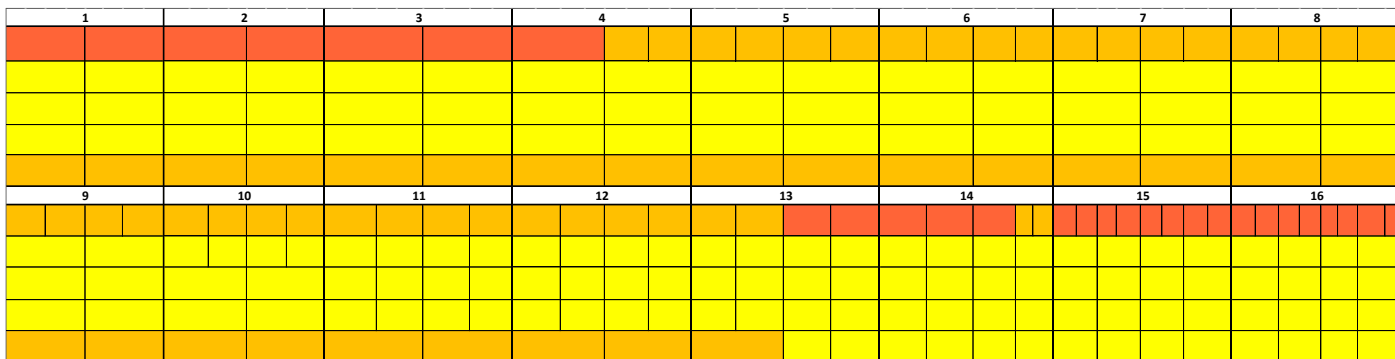


Γράφημα 25 - Ποσοστό Προϊόντων ανά Τάξη σε Δυναμικούς Διαδρόμους

Σύμφωνα με το γράφημα 25, από τα προϊόντα που αποθηκεύονται εκεί, το 62% ανήκει στην τάξη A, το 28% στην τάξη B ενώ μόλις το 10% στη τάξη C. Τα παραπάνω ποσοστά είναι αρκετά αναμενόμενα, καθώς οι δυναμικές θέσεις είναι κατάλληλες για την αποθήκευση ταχικίνητων κωδικών λόγω του μεγάλου όγκου τους, για την επάρκεια των οποίων απαιτείται μεγάλο πλήθος συσκευασιών ανά θέση συλλογής. Από την άλλη, είναι λογικό να υπάρχουν έστω και κάποια προϊόντα C, τα οποία λόγω μεγάλων διαστάσεων συσκευασίας δεν μπορούν να χωρέσουν σε στατικές θέσεις.

ΕΙΔΟΣ ΘΕΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑ ΔΙΑΔΡΟΜΟ	ΕΠΙΠΕΔΟ G
A2G	24%	114	228
AG	38%	184	184
AG2	0%	0	0
B2G	10%	50	100
BG	15%	72	72
BG2	1%	3	1.5
C2G	3%	14	28
CG	2%	9	9
CG2	7%	35	17.5
SUM		481	640

Πίνακας 21 - Ποσοστό Δυναμικών Θέσεων ανά Τάξη



Εικόνα 46 - Πρόσωση Αριστερής στήλης Δυναμικών Διαδρόμων

Με τον συνδυασμό των ποσοστών των ειδών θέσεων βάση μεγέθους και τάξης κινητικότητας, και την αναγωγή τους σε μονάδα G, γίνεται εύρεση του αριθμού των θέσεων ανά κατηγορία που πρέπει να περιλαμβάνεται σε κάθε δυναμικό διάδρομο, και οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 20. Στη συνέχεια, με βάση τους εργονομικούς περιορισμούς που τέθηκαν για τις δυναμικές θέσεις, ο αλγόριθμος προβαίνει στην κατανομή τους, με λογική παρόμοια της αντίστοιχης για τους στατικούς διαδρόμους. Το αποτέλεσμα της κατανομής στην αριστερή στήλη των δυναμικών διαδρόμων φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Η εικόνα 46 παρουσιάζει την διαμόρφωση των θέσεων σύμφωνα με τον τρόπο που βλέπει ο γεμιστής τα ράφια από την πίσω πλευρά για την αριστερή στήλη, δηλαδή από την πλευρά του ανεφοδιασμού. Όπως βλέπουμε, τα φατνώματα ξεκινάνε σειριακά από το 1 μέχρι το 16, ενώ στη δεξιά, η οποία είναι πανομοιότυπη και για αυτό παραλείπεται σαν εικόνα, περιλαμβάνουν το 17 μέχρι το 32. Σε πραγματικό χώρο, τα φατνώματα 1 με 16 που φαίνονται στην εικόνα 46 είναι συνευθειακά, αλλά απεικονίζονται το ένα κάτω από το άλλο λόγω μεγάλου μήκους του σχήματος. Όπως και στην περίπτωση του στατικού τομέα, ο αλγόριθμος τοποθετεί τις θέσεις τάξης A σε εργονομικά ύψη, καταλαμβάνοντας όλο το μήκος των ραφιών 2, 3 και 4, ενώ μερικές αναγκαστικά τοποθετούνται στο 1°. Οι θέσεις τάξης B εντοπίζονται ως επί το πλείστον στο 1° ράφι, και ορισμένες στο 5°, ενώ οι C περιορίζονται αποκλειστικά στο 5° ράφι, που είναι και το λιγότερο βολικό ύψος. Βαρύτητα δόθηκε επίσης στο να τοποθετηθούν οι μεγάλοι μεγέθους θέσεις σε χαμηλά ράφια, καθώς εκεί δύναται να αποθηκευτούν προϊόντα με μεγάλο βάρος και όγκο. Για τα προϊόντα C, αναγκαστικά οι μεγάλες θέσεις τους τοποθετήθηκαν στο 5° ράφι, καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα ανάγκαζε θέσεις τύπου A να μπουν εκεί. Εν συνεχεία ακολουθεί η απόδοση ονομάτων, έτσι ώστε ο ανεφοδιασμός να γίνεται σειριακά από φάτνωμα σε φάτνωμα, και όχι διαγώνια όπως συνέβαινε στο αρχικό σύστημα.

5.7 Αποτελέσματα Βήματος 7

Κατά το 7° και τελευταίο βήμα της βελτιστοποίησης, το σύνολο των 830 προϊόντων που αντιστοιχούν στον δυναμικό τομέα κατανεμήθηκε στις επιμέρους θέσεις, σύμφωνα με την τάξη και το μέγεθος της θέσης που απαιτούσαν, με βασικό κριτήριο αυτή τη φορά ο φόρτος εργασίας να είναι ισότιμα μοιρασμένος τόσο μεταξύ των δύο στηλών του ίδιου διαδρόμου, καθώς στην κάθε πλευρά απασχολούνται διαφορετικοί εργαζόμενοι, όσο και μεταξύ των δύο διαδρόμων, 12 και 66, που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα.



Γράφημα 26 - Κατανομή Φόρτου Δυναμικών Διαδρόμων (Αρχικό Σύστημα)

Όπως φαίνεται πολύ καλά από το διάγραμμα 23, η κατανομή του φόρτου εργασίας μεταξύ του διαδρόμου 12 και 66, άρα και του ισογείου με τον ημιώροφο, παρουσίαζε σημαντική απόκλιση, με τον διάδρομο 66 να συγκεντρώνει περίπου 41.7% λιγότερη κινητικότητα από τον διάδρομο 12. Κατόπιν της βελτιστοποίησης, η διαφορά δεν εξομαλύνθηκε πλήρως, καθώς όσο λιγότεροι είναι οι διάδρομοι και όσο μεγαλύτερη είναι η ατομική κινητικότητα των κωδικών οδηγούμεστε σε μεγαλύτερες αποκλίσεις χωρίς να μπορεί να επιτευχθεί απόλυτη ισορροπία. Παρόλα αυτά, και σύμφωνα με το διάγραμμα 27, πλέον ο διάδρομος 66 συγκεντρώνει μόλις 13.2% λιγότερη κινητικότητα από τον 12.



Γράφημα 27 - Κατανομή Φόρτου Δυναμικών Διαδρόμων (Βελτιστοποιημένο Σύστημα)

Ακόμα, δεν εξομαλύνθηκε μόνο ο φόρτος μεταξύ των διαδρόμων αλλά και των στηλών του κάθε διαδρόμου, καθώς ενώ στον διάδρομο 12, στο αρχικό σύστημα η κινητικότητα μοιραζόταν σε 35-65% μεταξύ αριστερής και δεξιάς στήλης (γράφημα 28), στο νέο σύστημα πλέον αντιστοιχεί σε 52-48% αντίστοιχα (γράφημα 29). Ανάλογη μεταβολή υπήρξε και στον διάδρομο 66, όπου από 39-61% (γράφημα 30), πλέον καταμετρείται στο 53-47% σύμφωνα με το σχήμα 3.



Γράφημα 28 - Κατανομή Διαδρόμου 12 (Αρχικό Σύστημα)



Γράφημα 28 - Κατανομή Διαδρόμου 12 (Βελτιστοποιημένο Σύστημα)

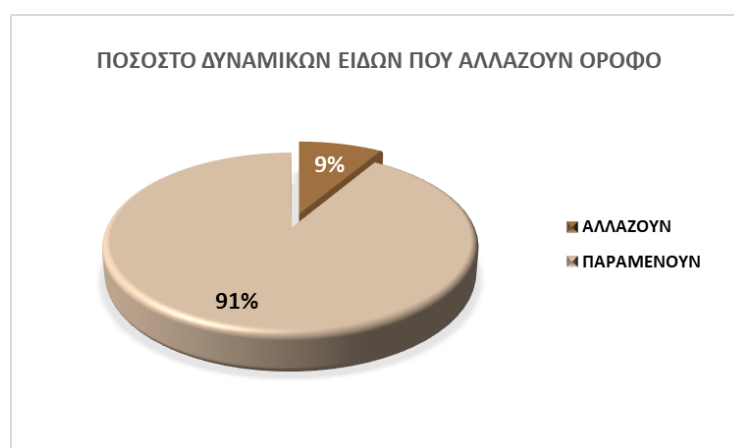


Γράφημα 30 - Κατανομή Διαδρόμου 66 (Αρχικό Σύστημα)



Γράφημα 31 - Κατανομή Διαδρόμου 66 (Βελτιστοποιημένο Σύστημα)

Και στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε προσπάθεια ώστε τα προϊόντα να αποθηκευτούν στον ίδιο όροφο με τον αρχικό τους. Το αποτέλεσμα αυτού είναι πως το 91% των δυναμικών προϊόντων, είτε προέρχεται από αρχικές δυναμικές θέσεις, είτε από στατικές, διατηρεί το αρχικό του επίπεδο, ενώ σε αλλαγές ορόφου εξαναγκάζεται μόλις το 9%.



Γράφημα 32 - Δυναμικά Είδη που Αλλάζουν Όροφο

Στο γράφημα 33 παρουσιάζονται τα επιμέρους ποσοστά των προϊόντων τα οποία άλλαξαν τομέα αποθήκευσης. Στο σύνολο των 6667 κωδικών του αποθηκεύτηκαν, το 5% μεταφέρεται από στατικές

σε δυναμικές θέσεις, το 8% από δυναμικές σε στατικές, ενώ το 87% παραμένει στον αποθηκευτικό τομέα που ήταν πριν.



Γράφημα 33 - Είδη που Αλλάζουν Αποθηκευτικό Τομέα

Τέλος, όπως αναφέρθηκε, υπήρξαν 47 προϊόντα τα οποία δεν μπορούσαν να αποθηκευτούν ούτε σε στατικές, ούτε σε δυναμικές θέσεις, καθώς οι διαστάσεις των αποθηκευτικών μονάδων που χρησιμοποιούνται είναι ασύμφωτες για την βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος, η οποία διασφαλίζεται με την επιλογή του βέλτιστου ζεύγους (352,395). Το ποσοστό που αντιστοιχεί σε αυτά τα αγαθά ανέρχεται 0.7%, για τα οποία γίνεται σύσταση στη εταιρεία να επανεξετάσει το είδος της συσκευασίας με την οποία αποθηκεύονται, επιλέγοντας την αμέσως μικρότερη μονάδα. Για παράδειγμα εάν ένας κωδικός παραλαμβάνεται σε επίπεδο κιβωτίου (CAR), μπορεί να αποθηκεύεται σε επίπεδο κουτιού (BOX) στις θέσεις συλλογής. Εάν από την άλλη ο κωδικός τοποθετείται ήδη με την μικρότερη μονάδα, το τεμάχιο (ST), τότε σημαίνει πως το προϊόν αυτό έχει πολύ μεγάλες διαστάσεις για να χωράει και σε κουτί εναπόθεσης πέρα από τη θέση, και έτσι πρέπει να μεταφερθεί άμεσα από τον τομέα Α που εξετάζουμε, στον τομέα Γ που περιλαμβάνει τα ογκώδη προϊόντα χαμηλών τιμών.

5.8 Μέτρηση Εργονομίας

Όπως έχει ειπωθεί, η εργονομία είναι ένας παράγοντας που δύσκολα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και άπτεται κυρίως σε ποιοτικές μεθόδους μετρήσεων, όπως την άποψη των εργαζόμενων, ερωτηματολόγια ή παρατήρηση και καταγραφή της ροής της εργασίας. Παρόλα αυτά στο κεφάλαιο 4, προτάθηκε μία εμπειρική μέθοδος σύμφωνα με την οποία μπορούμε να βαθμολογήσουμε τα επιμέρους εργονομικά κριτήρια που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό, με σκοπό τη μέτρηση της δυσκολίας της εργασίας, σχέσεις (18) και (19), η οποία σύμφωνα με τη σχέση (20) αποτελεί το αντίστροφο μέγεθος της εργονομίας, καθώς όσο αυξάνεται η δυσκολία, τόσο μειώνεται η εργονομία.

Για κάθε ένα προϊόν από τα 6667 που αποθηκεύτηκε στον τομέα Α, έγινε εύρεση του ραφίου και του φατνώματος της θέσης του, και για το αρχικό και για το βελτιστοποιημένο μοντέλο, του βάρους της αποθηκευτικής μονάδας με την οποία τοποθετείται στην εκάστοτε θέση συλλογής, καθώς επίσης ορίστηκε και η βαρύτητα του ανάλογα με την τάξη κινητικότητας, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4. Επομένως με την άθροιση της δυσκολίας διαχείρισης των επιμέρους ειδών ανάλογα με τη θέση συλλογής, πριν και μετά, υπολογίστηκε ο συνολικός βαθμός δυσκολίας του αρχικού και του τελικού συστήματος, και κατ' επέκταση και ο βαθμός εργονομίας τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΔΥΣΚΟΛΙΑΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΕΡΓΟΝΟΜΙΑΣ
ΑΡΧΙΚΟ	397459.91	2.52E-06
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ	302996.50	3.30E-06
ΔΙΑΦΟΡΑ	-24%	31%

Πίνακας 22 - Σύγκριση Βαθμού Δυσκολίας και Εργονομίας Συστήματος Πριν και Μετά



Γράφημα 34 - Μείωση Βαθμού Δυσκολίας



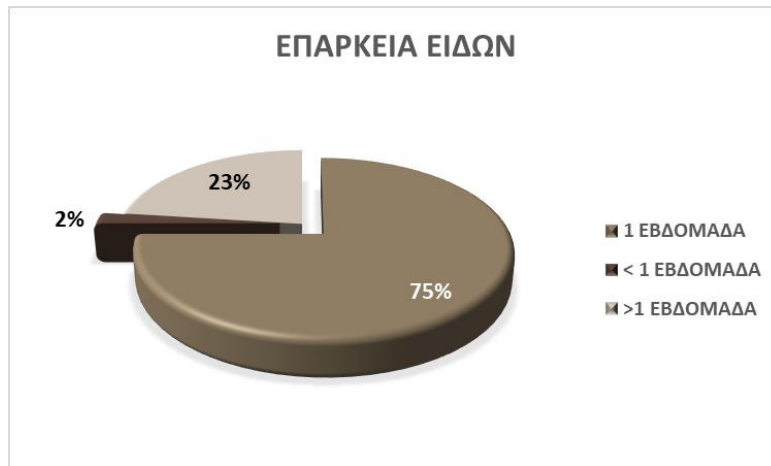
Γράφημα 35 - Αύξηση Βαθμού Εργονομίας

Σύμφωνα με τον πίνακα 21 και τα γραφήματα 34 και 35, ο βαθμός δυσκολίας που συγκέντρωσε το αρχικό σύστημα ήταν 397.459, ενώ κατόπιν της βελτιστοποίησης, η δυσκολία μειώθηκε κατά 24%, πέφτοντας βαθμολογικά στους 302.996 βαθμούς. Αντιθέτως, η εργονομία που για το αρχικό σύστημα φαίνεται να είναι ιδιαίτερα χαμηλή, στους $2.52 \cdot 10^{-6}$ βαθμούς, παρουσιάζει μία εντυπωσιακή άνοδο κατά 31% σύμφωνα με το βελτιστοποιημένο σύστημα. Ενώ κάποιος θα περίμενε η εργονομία μετά από όλα αυτά τα κριτήρια που συμπεριλήφθηκαν να αυξηθεί πάνω από 50%, έπεται μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση. Η πολιτική αποθήκευσης του αρχικού συστήματος ήταν πλησιέστερη προς την τυχαία (random). Η ύπαρξη τυχειότητας σε ένα αποθηκευτικό σύστημα συνεπάγεται πως υπάρχουν ίδιες πιθανότητες ένα προϊόν να μπει στην κατάλληλη εργονομικά θέση, με το να μην μπει.

Δηλαδή, στην τυχαία αποθήκευση δεν σημαίνει πως όλα τα προϊόντα είναι τοποθετημένα σε τελείως λάθος θέσεις, καθώς η τυχειότητα λειτουργεί εξισορροπητικά στο σύστημα επιλογής. Για αυτό τον λόγο η εργονομία αυξήθηκε 31%, το οποίο θεωρείται ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό, εάν αναλογιστούμε τις πιθανότητες του αρχικού συστήματος.

5.9 Μέτρηση Επάρκειας

Καθώς ένας από τους παράγοντες που λειτούργησε καθοριστικά στην βελτίωση της χωρητικότητας ήταν η επίτευξη επάρκειας για μία εβδομάδα, είναι σημαντικό να διαπιστώσουμε εάν τελικά επιτεύχθηκε η συγκεκριμένη επάρκεια.



Γράφημα 36 - Επάρκεια Ειδών

Σύμφωνα με τις μετρήσεις, για το 75% των προϊόντων επιτευχθεί επάρκεια που άγγιζε σχεδόν τη μία εβδομάδα ακριβώς, και συγκεκριμένα 5.5 εργάσιμες ημέρες, σύμφωνα με την επιθυμία της εταιρείας. Για το 2% των προϊόντων ήταν αδύνατο να επιτευχθεί επάρκεια μίας εβδομάδας διατηρώντας μία μόνο θέση συλλογή, λόγω μεγάλης κινητικότητας, οπότε για αυτά επιλέχθηκε η μεγαλύτερη θέση του συστήματος, 2G, στην οποία τοποθετήθηκαν με τον βέλτιστο προσανατολισμό οι μέγιστες συσκευασίες που χωρούσαν. Τέλος, το 23% συγκεντρώνει κινητικότητα άνω της μίας εβδομάδας, καθώς πολλά προϊόντα τα οποία είναι εξαιρετικά αργοκίνητα, με μία μόνο συσκευασία στη θέση συλλογής μπορεί να παρουσιάσουν επάρκεια μηνών. Η συνολική μέση επάρκεια και των 6667 προϊόντων του τομέα Α ανέρχεται στις 2.58 εβδομάδες.

6. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η βελτίωση του αποθηκευτικού χώρου και των συνθηκών εργασίας των εργαζομένων, στο κέντρο αποθήκευσης και διανομής γνωστής Ελληνικής εταιρείας τεχνολογικών ειδών. Για την εκπόνηση της εργασίας, αρχικά διεξήχθη μία λεπτομερής βιβλιογραφική έρευνα στις μεθόδους συλλογής που χρησιμοποιούνται ευρέως στις σύγχρονες αποθήκες. Από αυτή προέκυψε πως παρά τις αλματώδεις τεχνολογικές εξελίξεις, που προσφέρουν αυτοματοποιημένα συστήματα συλλογής αγαθών σε μικρότερο χρόνο και με λιγότερα λάθη, ο ανθρώπινος παράγοντας συνεχίζει να κατέχει εξέχουσα θέση στις λειτουργίες αποθήκευσης και διανομής, καθώς χαρακτηρίζεται από ευελιξία και ταχεία προσαρμοστικότητα σε οποιαδήποτε αλλαγή προκύψει, ειδικά σε ένα δυναμικό περιβάλλον λειτουργίας όπως είναι η σύγχρονη αγορά. Ακόμα, διαθέτοντας κριτική ικανότητα και αναλυτική σκέψη, το έμπυχο δυναμικό μπορεί να επιλύσει προβλήματα και να συνεισφέρει στην βελτίωση των διαδικασιών, κάτι που αποτελεί το ανταγωνιστικό του πλεονέκτημα έναντι των μηχανών. Για αυτό των λόγων, οι χειρωνακτικές αποθήκες αποτελούν την πλειοψηφία των εν ενεργεία κέντρων διανομής, με κάποιες από αυτές να ορίζονται ως μηχανοποιημένες, προσφέροντας τεχνολογικά μέσα τα οποία λειτουργούν βοηθητικά στις ανθρωποκεντρικές τους δραστηριότητες. Με τον άνθρωπο να αποτελεί τον ζωτικό πυρήνα της επιχείρησης, κρίθηκε αναγκαίο να μελετηθεί εάν πέρα από εμπειρικές και πρακτικές παρατηρήσεις, λαμβάνει την ίδια αξία και σε ερευνητικό επίπεδο. Προς έκπληξη μας διαπιστώσαμε πως ενώ ο χειρωνακτικός φόρτος εργασίας δημιουργεί πρόωρα σωματικά προβλήματα στους εργαζομένους των αποθηκών, όπως ανατομικές κακώσεις στην μέση και τα γόνατα, μειώνοντας την ποιότητα ζωής κατά τη μέση ηλικία τους, ο ανθρώπινος παράγοντας παραβλέπεται σε αναλύσεις βελτιστοποίησης της συλλογής προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας τον χρόνο αιτιοκρατικό και την ανθρώπινη ενέργεια σταθερή και αμετάβλητη, οι ερευνητές προβαίνουν σε μη ρεαλιστικές απλουστεύσεις, θεωρώντας ως αντικειμενικό στόχο τους την μονόπλευρη μείωση του χρόνου συλλογής, χωρίς να εισάγονται παράγοντες εργονομίας στον σχεδιασμό μίας διαδικασίας που είναι απόλυτα συνυφασμένη με την απόδοση του εργαζομένου. Αυτό αποτελεί και το πρώτο βιβλιογραφικό κενό, το οποίο καλύφθηκε σε έναν ικανοποιητικό βαθμό από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Επιπρόσθετα, μελετήθηκαν οι επιμέρους πολιτικές αποθήκευσης των προϊόντων στις θέσεις συλλογής, για τις οποίες έγινε εμφανές πως η επιλογή τους εξαρτάται άμεσα από τη διάταξη του κέντρου αποθήκευσης, τις μεθόδους συλλογής, καθώς και τα προϊόντα που καλείται να διαχειριστεί η επιχείρηση. Τέλος, προβαίνοντας σε έρευνα για εφάμιλλες μελέτες βελτίωσης των θέσεων συλλογής των προϊόντων (SLAP), βρέθηκε πως και σε αυτόν τον τομέα το σημαντικότερο κενό των ερευνών εντοπίζεται στο επίπεδο της ανάλυσης του έμπυχου δυναμικού και της διευκόλυνσης της εργασίας του.

Στη συνέχεια, αφού πραγματοποιήθηκε η περιγραφή της εταιρείας, των προϊόντων και των διατάξεων της, αποσαφηνίστηκαν οι στρατηγικές συλλογής και αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία της. Ειδικότερα, η συλλογή των προϊόντων στον τομέα Α, τον οποίο εξετάζουμε, γίνεται από στατικές ή δυναμικές θέσεις. Οι στατικοί διάδρομοι του τομέα, που χωρίζονται σε δύο ορόφους, βάνουν όλοι καθέτως στον ενιαίο κινούμενο ραουλόδρομο, ενώ οι δυναμικοί βρίσκονται παράλληλα με αυτόν. Όλοι οι διάδρομοι χωρίζονται σε επιμέρους ζώνες/σταθμούς, στους οποίους απασχολείται διαφορετικό πλήθος συλλεκτών. Η διαδικασία συλλογής βασίζεται στο σύστημα picker-to-parts, ενώ γίνεται προοδευτικά, με τα κουτιά παραγγελιών να περνούν σειριακά από τους επιμέρους σταθμούς, μέχρις ότου να συγκεντρωθούν όλα τα τεμάχια μίας παραγγελίας, ενώ εφαρμόζεται είτε το σύστημα pick-and-pass, που αφορά τη συλλογή κωδικών αυστηρά για μία παραγγελία, είτε το short-while-pick, όπου συλλέγονται μαζικά τεμάχια για πολλές παραγγελίες και

ταξινομούνται τη στιγμή της εναπόθεσης στο κουτί από τον ίδιο τον συλλέκτη. Η συλλογή γίνεται χειροκίνητα από τους εργαζομένους, χωρίς χρήση μηχανικών μέσων, οι οποίοι λαμβάνουν τις εντολές κινήσεως των προϊόντων μέσω της χρήσης σκάνερ. Η πολιτική της αποθήκευσης προσεγγίζεται ακριβέστερα από την τυχαία πολιτική (random storage policy), κατά την οποία τα προϊόντα τοποθετούνται με τυχαιότητα στις διαθέσιμες θέσεις του τομέα. Αυτό με τη σειρά του πυροδοτεί μία σειρά από προβλήματα, όπως η μικρή επάρκεια των προϊόντων στη θέση συλλογής, εφόσον η θέση επιλέγεται με βάση το μέγεθος της συσκευασίας και όχι με κριτήριο τη ζήτηση του προϊόντος. Ακόμα, παράγοντες όπως η κινητικότητα και το βάρος παραλείπονται εντελώς, με αποτέλεσμα βαριά και ογκώδη προϊόντα να τοποθετούνται σε υψηλές θέσεις και να γίνεται δύσκολη η διαχείρισή τους, ενώ ταχυκίνητοι κωδικοί να είναι σε θέσεις μακριά από το σημείο εναπόθεσης, αναγκάζοντας τους εργαζομένους να καλύπτουν μεγάλη απόσταση για τη συλλογή τους. Εκτός των παραπάνω, και παρά το ότι η τυχαία πολιτική εξασφαλίζει ισορροπημένη κατανομή του φόρτου εργασίας στους διαδρόμους σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το συγκεκριμένο σύστημα δημιουργεί σημαντική κυκλοφορική συμφόρηση συλλεκτών σε ορισμένους διαδρόμους, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο μέσος χρόνος συλλογής προϊόντων και η κόπωση των εργαζομένων. Επιπλέον, τα μεγέθη των θέσεων για τις δυναμικές θέσεις δεν είναι ορισμένα και ενιαία, με τους χειριστές να μεταβάλλουν αυθαίρετα τα όρια τους, ενώ τα μεγέθη των στατικών θέσεων ανταποκρίνονται στις ανάγκες του κωδικολογίου που διαχειριζόταν η εταιρεία προ δεκαετίας. Ακόμα, η ονοματολογία των θέσεων δυσχέρανε την εύρεση της τοποθεσίας της, ειδικά για το νέο προσωπικό, που είναι εργολαβικό και αποτελεί την πλειονότητα των εργαζομένων. Τέλος, ο ανεφοδιασμός των θέσεων συλλογής γινόταν με τελείως τυχαίο τρόπο, με τους γεμιστές να μην ξέρουν ακριβώς με τι σειρά και τι προσανατολισμό να βάλουν τις συσκευασίες, κάτι το οποίο αύξανε την πνευματική τους κόπωση και τους ωθούσε να καταλαμβάνουν χώρο από διπλανές θέσεις.

Με αφορμή όλες τις προαναφερθείσες προβληματικές, αλλά και τους φυσικούς περιορισμούς λόγω της διάταξης του συστήματος, αρχικά εξετάστηκε εάν τα υπάρχοντα μεγέθη θέσεων είναι κατάλληλα για τις ανάγκες του συστήματος. Ο τρόπος προσέγγισης ήταν η εύρεση των θέσεων να γίνει από την αρχή, χωρίς να ληφθούν υπόψη τα αρχικά μεγέθη. Σε πρώτο στάδιο, για το σύνολο 6718 κωδικών, βρέθηκε ο βέλτιστος προσανατολισμός αποθήκευσης των συσκευασιών κάθε προϊόντος για τα στατικά ράφια συλλογής, μέσα από πλήθος έξι πιθανών λύσεων, με κριτήριο η επάρκεια να ανέρχεται στη μία εβδομάδα και το μήκος της απαιτούμενης θέσης να ελαχιστοποιείται, δηλαδή να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα της. Κατόπιν, κατασκευάστηκε ένας κωδικός στρατηγικής τοποθέτησης, παρέχοντας πληροφορίες στον γεμιστή κατά τον ανεφοδιασμό για τον προσανατολισμό και τον αριθμό συσκευασιών που πρέπει να εναποθέσει στη θέση συλλογής. Ο συγκεκριμένος κωδικός συνοδεύεται από μία λεπτομερή και εικονογραφημένη μεθοδολογία τοποθέτησης, η οποία δύναται να υποστηριχτεί από γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας για την διευκόλυνση του εργαζομένου, μία επένδυση που είναι ούτως η άλλως στα άμεσα σχέδια της συγκεκριμένης επιχείρησης. Σε δεύτερο βήμα, ο αλγόριθμος εξετάζοντας 800 πιθανά μήκη για τη βασική μονάδα στατικών θέσεων, S , πρότεινε έξι τα οποία θεωρούσε βέλτιστα, σύμφωνα με τα κριτήρια κάλυψης του υπάρχοντος αποθηκευτικού χώρου και ελαχιστοποίησης του νεκρού μήκους ανά ράφι. Για κάθε μία από αυτές τις έξι πιθανές λύσεις, στο τρίτο βήμα της βελτιστοποίησης βρέθηκε η βέλτιστη μονάδα μήκους των δυναμικών θέσεων, δημιουργώντας πλέον έξι προτεινόμενα ζεύγη, εκ των οποίων απουσίαζαν τα τρέχοντα μεγέθη θέσεων του αποθηκευτικού χώρου. Με βάση την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου αλλά και του νεκρού όγκου, καθώς και την μεγιστοποίηση της αξιοποίησης του χώρου, δηλαδή του ωφέλιμου όγκου, ο αλγόριθμος επέλεξε το ζεύγος (352,396) ως τα βέλτιστα βασικά μεγέθη των θέσεων, από τα οποία προκύπτουν όλα τα υπόλοιπα. Στο τέταρτο βήμα, διεξήχθη μία ανάλυση ABC με βάση την κινητικότητα των προϊόντων, τα οποία χωρίστηκαν σε τρεις τάξεις κινητικότητας, και μία δεύτερη ανάλυση κατά την οποία κάθε προϊόν αντιστοιχήθηκε σε

ένα μέγεθος στατικής θέσης με βάση το αναγκαίο μήκος που απαιτείται για επάρκεια μίας εβδομάδας. Με τον συνδυασμό των δύο ειδών, τάξης και μέγεθος θέσης, βρέθηκε το πλήθος των θέσεων ανά είδος που πρέπει να έχει κάθε στατικός διάδρομος για να καλύπτει τις ανάγκες του συστήματος. Κατόπιν, μελετήθηκαν σε βάθος παράγοντες εργονομίας σχετικοί με το ύψος και την απόσταση μίας θέσης από το ράουλο, καθώς και του βάρους του κωδικού σε σχέση με το ύψος που επιτρέπεται να τοποθετηθεί. Βάση αυτών των παραγόντων, εισήχθησαν στο σύστημα πλήθος εργονομικών περιορισμών, οι οποίοι οριοθέτησαν καθ' ύψος και κατά βάθος σε κάθε διάδρομο τον χώρο που ταξινομήθηκαν τα διάφορα είδη των θέσεων, δίνοντας τους παράλληλα νέα ονόματα, ίδιας λογικής με τα αρχικά αλλά με ουσιώδεις διαφορές που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση τους. Στο πέμπτο βήμα, για όσα προϊόντα χωρούσαν να μπου σε στατικές θέσεις, έγινε η κατανομή τους στους διαδρόμους, με βασικά κριτήρια να μοιράζεται ισορροπημένα ο φόρτος εργασίας ανά διάδρομο, τα βαριά προϊόντα να μην μπαίνουν σε ψηλές θέσεις, και γενικότερα όλα τα αγαθά να τοποθετούνται εάν όχι στον ίδιο διάδρομο με τον αρχικό, τουλάχιστον στον αμέσως κοντινότερο, για την διευκόλυνση των τελικών αλλαγών. Στο έκτο βήμα πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία εύρεσης του αριθμού θέσεων ανά είδος και ανά διάδρομο για τον δυναμικό τομέα, για τον οποίο εφαρμόστηκαν παρόμοιοι εργονομικοί περιορισμοί και αλλαγές στην ονοματολογία. Τέλος, κατά το έβδομο στάδιο, τα 830 προϊόντα που βρέθηκαν ότι χωράνε μόνο στον δυναμικό τομέα ταξινομήθηκαν στους δυναμικούς διαδρόμους, λαμβάνοντας υπόψιν τα ίδια κριτήρια του βάρους, του φόρτου, και των ελάχιστων δυνατών μετακινήσεων όπως έγινε στους στατικούς. Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψε πως για 51 προϊόντα θα πρέπει να επανεξεταστεί η αποθηκευτική τους μονάδα από την εταιρεία, καθώς η διαχείριση των διαστάσεων της είναι ασύμφορη.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας βελτιστοποίησης ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, καθώς σε σύγκριση με το αρχικό σύστημα, το βελτιωμένο παρουσίασε μείωση του συνολικού νεκρού όγκου κατά 22.3%, καθώς επίσης και ελάττωση του συνολικού αναγκαίου όγκου κατά 2.6%, παρά την αύξηση των συσκευασιών και των μεγεθών των θέσεων. Επιπρόσθετα, το ποσοστό αξιοποίησης του χώρου, δηλαδή ο ωφέλιμος όγκος του συστήματος προς τον αναγκαίο, σημείωσε μία εντυπωσιακή αύξηση κατά 24.5%. Η μέση επάρκεια των προϊόντων στις θέσεις συλλογής ανέρχεται πλέον στις 2.58 εβδομάδες, με το 75% των προϊόντων να συγκεντρώνουν επάρκεια ακριβώς μίας εβδομάδας. Όσον αφορά τη διακύμανση του φόρτου εργασίας ανά διάδρομο, από διακυμάνσεις της τάξης του 70% που παρουσίαζε το αρχικό σύστημα, πλέον οι κινήσεις είναι απόλυτα ισορροπημένες, με αποκλίσεις μικρότερες από 0.1% από διάδρομο σε διάδρομο του στατικού τομέα. Αλλά και για τον δυναμικό τομέα, που οι αποκλίσεις άγγιζαν το 50%, πλέον υπολογίζονται στο 13%, μία μείωση πολύ σημαντική καθώς οι υψηλές τιμές κινητικότητας των δυναμικών προϊόντων, οι οποίες θεωρούνται κβαντισμένα μεγέθη, δημιουργούν μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των διαδρόμων από ότι στον στατικό τομέα. Τέλος, δημιουργήθηκε εμπειρικό βαθμολογικό σύστημα της δυσκολίας διαχείρισης ενός προϊόντος, ανάλογα με την κινητικότητα του, το ύψος της θέσης του, την απόσταση της από το σημείο εναπόθεσης, και φυσικά το βάρος του. Με την εύρεση των επιμέρους βαθμών δυσκολίας όλων των προϊόντων, πριν και μετά τη βελτιστοποίηση, βρέθηκε πως το νέο σύστημα παρουσιάζει πτώση στον συνολικό βαθμό δυσκολίας διαχείρισης των αγαθών κατά 24%, ενώ η εργονομία, που ορίζεται ως το αντίστροφο μέγεθος της δυσκολίας, καταγράφει εντυπωσιακή αύξηση κατά 31%. Τέλος, σύμφωνα με τις πρώτες ενδείξεις που έλαβε η εταιρεία μέσω του συστήματος SAP, ο μέσος χρόνος συλλογής ανά εργαζόμενο μειώθηκε αισθητά.

Κλείνοντας τον μακροσκελή κύκλο βελτιστοποίησης, ανοίγει ένας νέος, εξίσου σημαντικός κύκλος που περιλαμβάνει τις προτεινόμενες μελλοντικές μελέτες, με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση του εξεταζόμενου συστήματος. Αρχικά, ένα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης θα ήταν η συσχέτιση της ζήτησης συγκεκριμένων κωδικών και η τοποθέτηση τους σε κοντινές θέσεις. Αυτό εμπίπτει στην λογική της *correlated* πολιτικής αποθήκευσης, η οποία ορίζει πως προϊόντα με υψηλή συχνότητα εμφάνισης

στην ίδια παραγγελία, τοποθετούνται εντός του ίδιου διαδρόμου ή της ίδιας ζώνης, προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος συλλογής και το κουτί εναπόθεσης να μην εξαναγκάζεται σε ανούσιες μετακινήσεις σειριακά σε όλες τις ζώνες. Η συγκεκριμένη στρατηγική είναι απαραίτητο να γίνει στο πλαίσιο ελέγχου του καταμερισμού του φόρτου εργασίας, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της συγκέντρωσης οικογένειας αγαθών σε μεμονωμένους διαδρόμους, στους οποίους εκτοξεύεται η κινητικότητα. Παρόμοιες έρευνες έχουν αναδείξει τον συνδυασμό των παραγόντων ελέγχου του φόρτου και της συσχέτισης ως την καλύτερη μέθοδο αποθήκευσης για τη μείωση του χρόνου συλλογής. Ακόμα, προτείνεται μελλοντικά η αξιολόγηση της εργονομίας μέσω των δεικτών του συστήματος NASA Task Load Index (NASA-TLX), το οποίο πρόκειται για ένα εμπειρικό σύστημα καταμέτρησης του φόρτου εργασίας, το οποίο αναπτύχθηκε από τη NASA με σκοπό την αξιολόγηση των δραστηριοτήτων, της αποδοτικότητας των ανθρώπων, και της δυναμικής του συστήματος, βρίσκοντας εφαρμογή σε μεγάλο εύρος πεδίων και επιχειρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να επαληθευτούν τα ευρήματα του εμπειρικού συστήματος μέτρησης της εργονομίας που προτάθηκε στο πλαίσιο της εργασίας, αναμένοντας ενθαρρυντικά μελλοντικά αποτελέσματα.

Καταληκτικά, θεωρούμε πως με την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής δόθηκε ισάξια σημασία στην εργονομία του συστήματος με τη μείωση του χρόνου συλλογής, και την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του, καλύπτοντας έτσι ένα σημαντικό ερευνητικό κενό στο πεδίο της βελτίωσης των διαδικασιών συλλογής και αποθήκευσης αγαθών. Με αυτόν τον τρόπο τερματίζεται η πολυδαίδαλη διαδικασία της βελτιστοποίησης, η οποία παρήγαγε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα βάση των περιορισμών του φυσικού συστήματος, των κριτηρίων και των αντικειμενικών στόχων που τέθηκαν. Σε αυτό το σημείο λοιπόν, κάθε ερευνητής ταλανίζεται με τα εξής ερωτήματα. «Υπάρχει άνω όριο στη βελτίωση; Μπορώ να κάνω κάτι ακόμα καλύτερο; Και αν ναι, αξίζει;».

Η θεωρία της φυσικής εξέλιξης, που αποτελεί την απαρχή και τον τρόπο λειτουργίας του κόσμου, ορίζει πως η φυσική επιλογή ευνοεί εκείνα τα συστήματα με τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και ευελιξία ανταπόκρισης στις συνεχείς μεταβολές του περιβάλλοντος. Έτσι και στην περίπτωση των επιχειρήσεων, μόνο εκείνα τα συστήματα που μπορούν να συμβαδίσουν με την μεταβλητότητα της αγοράς και των απαιτήσεων της, μπορούν τελικά να επιβιώσουν. Και καθώς αυτή η λογική είναι γνωστή και κοινώς αποδεκτή, ο άνθρωπος, ως ο κατ' εξοχήν μηχανισμός εξέλιξης, παλεύει διαρκώς για την επίτευξη του βέλτιστου. Καθότι όμως η απόλυτη τελειότητα είναι κάτι ουτοπικό, η μεγαλύτερη αρετή ενός ερευνητή είναι η αντίληψη του πότε το σύστημα του είναι αρκετά αποδοτικό, ώστε να τερματίσει τον ατέρμονα βρόχο βελτιστοποίησης, ο οποίος μετά από ένα σημείο είναι βέβαιο πως δεν θα αποδώσει καμία σημαντικά μεγαλύτερη αξία στον στόχο του.

7. Βιβλιογραφία

1. Ang, M., Lim, Y. F., & Sim, M. (2012). Robust storage assignment in unit-load warehouses. *Management Science*, 58(11), 2114-2130
2. Baker, P., & Halim, Z. (2007). An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*.
3. Bartholdi, J.J., Hackman, S.T., 2005. Warehouse & distribution science. Available on line at: <http://www.tli.gatech.edu/whscience/book/wh-sci.pdf> (accessed May 2005)
4. Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2015). A comparative analysis of different paperless picking systems. *Industrial Management & Data Systems*.
5. Berger, S. M., & Ludwig, T. D. (2007). Reducing warehouse employee errors using voice-assisted technology that provided immediate feedback. *Journal of Organizational Behavior Management*, 27(1), 1-31.
6. Bindi, F., Manzini, R., Pareschi, A., & Regattieri, A. (2009). Similarity-based storage allocation rules in an order picking system: an application to the food service industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 12, 233–247
7. Bodnar, P., & Lysgaard, J. (2014). A dynamic programming algorithm for the space allocation and aisle positioning problem. *Journal of the Operational Research Society*, 65(9), 1315-1324.
8. Boudreau, J., Hopp, W., McClain, J. O., & Thomas, L. J. (2003). On the interface between operations and human resources management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(3), 179-202.
9. Boysen, N., de Koster, R., & Füßler, D. (2019). The forgotten sons: Warehousing systems for brick-and-mortar retail chains (Working Paper). Friedrich-Schiller-University Jena.
10. Boysen, N., Füßler, D., & Stephan, K. (2020). See the light: Optimization of put-to-light order picking systems. *Naval Research Logistics (NRL)*, 67(1), 3-20.
11. Brynzér, H., & Johansson, M. I. (1995). Design and performance of kitting and order picking systems. *International Journal of production economics*, 41(1-3), 115-125.
12. Burinskiene, A. (2010). Order picking process at warehouses. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 6(2), 162-178.
13. Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (2000). Optimal layout in low-level picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 38(1), 101-117.
14. Chen, L. Langevin, A. and Riopel, D., 2011. A tabu search algorithm for the relocation problem in a warehousing system. *International Journal of Production Economics*, 129 (1), 147–156.
15. Dallari, F., Marchet, G., & Melacini, M. (2009). Design of order picking system. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 42(1-2), 1-12.
16. Davarzani, H., & Norrman, A. (2015). Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input. *Logistics Research*, 8(1), 1.
17. De Koster, R. (2004). How to assess a warehouse operation in a single tour. *Technology Report*. Erasmus University, Netherlands.
18. De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research*, 182(2), 481-501.
19. Driskill, D. S., Morrison, S. D., & Froehlich, R. L. (2011). U.S. Patent Application No. 13/029,731.
20. Frazelle, E.A. and Sharp, G.P. (1989). Correlated assignment strategy can improve any order-picking operation. *Industrial Engineering*, 21(4), 33–37.
21. Fumi, A., Scarabotti, L., & Schiraldi, M. M. (2013). Minimizing warehouse space with a dedicated storage policy. *International Journal of Engineering Business Management*, 5, 21.

22. Füßler, D., & Boysen, N. (2017). Efficient order processing in an inverse order picking system. *Computers&Operations Research*, 88, 150–160.
23. Goetschalckx, M., & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking. *Logistics World*
24. Gómez, A., Iglesias, M., de la Fuente, D., & Menéndez, M. (2008). Estado del arte en políticas de ubicación de productos en almacén. In *II International Conference on Industrial Engineering and industrial Management* (pp. 1095-1102). Burgos, España.
25. Graves, S.C., Hausman, W.H., Schwarz, L.B., 1977. Storage retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science* 23, 935–945.
26. Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2013). An experimental investigation of learning effects in order picking systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
27. Grosse, E. H., Glock, C. H., & Neumann, W. P. (2017). Human factors in order picking: a content analysis of the literature. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1260-1276.
28. Grosse, E. H., Glock, C. H., Jaber, M. Y., & Neumann, W. P. (2015). Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities. *International Journal of Production Research*, 53(3), 695-717
29. Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. (2005). A comprehensive review of warehouse operation. *Eur J Oper Res*, 177(1), 1-21.
30. Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1-21.
31. Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems. *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 1013-1021.
32. Hamberg-van Reenen, H., H. A. J. van der Beek, B.M. Blatter, M. P. van der Grintenand, and P.M. Bongers. (2008). Does musculoskeletal discomfort at work predict future musculoskeletal pain?. *Ergonomics* 51 (5): 637–648.
33. Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 22, 629–638
34. Heizer, J., Render, B., Munson, C. (2017). *Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. 10th ed. Pearson, London
35. Heskett, J.L., 1964. Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout. *Transport and Distribution Management* 4, 23–30.
36. JEROEN P. van den BERG (1999) A literature survey on planning and control of warehousing systems, *IIE Transactions*, 31:8, 751-762
37. Jones, E. C., and T. Battieste. 2004. "Golden Retrieval." *Industrial Engineer* 36 (6): 37–41.
38. Kofler, M. (2014). Optimising the storage location assignment problem under dynamic conditions *Optimising the Storage Location Assignment Problem Under Dynamic Conditions*, (Doctoral dissertation, Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät).
39. Kovács, A., 2011. Optimizing the Storage Assignment in a Warehouse Served by Milkrun Logistics. *International Journal of Production Economics*, 133 (1), 312-318.
40. Kudelska, I., & Pawłowski, G. (2019). Influence of assortment allocation management in the warehouse on the human workload. *Central European Journal of Operations Research*, 1-17.
41. Kuijt-Evers, L. F. M., Bosch, T., Huysmans, M. A., De Looze, M. P., & Vink, P. (2007). Association between objective and subjective measurements of comfort and discomfort in hand tools. *Applied ergonomics*, 38(5), 643-654.
42. Larco Martinelli, J. (2010). *Incorporating Worker-Specific Factors in Operations Management Models* (No. EPS-2010-217-LIS).

43. Larco, J. A., de Koster, R., Roodbergen, K. J., & Dul, J. (2017). Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6407-6422.
44. Lavender, S. A., Marras, W. S., Ferguson, S. A., Splittstoesser, R. E., & Yang, G. (2012). Developing physical exposure-based back injury risk models applicable to manual handling jobs in distribution centers. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 9(7), 450-459.
45. Le-Duc, T., & De Koster, M. B. M. (2005). Determining number of zones in a pick-and-pack orderpicking system.
46. Lee*, M. K., & Elsayed, E. A. (2005). Optimization of warehouse storage capacity under a dedicated storage policy. *International Journal of Production Research*, 43(9), 1785-1805.
47. Lee, I. G., Chung, S. H., & Yoon, S. W. (2020). Two-stage storage assignment to minimize travel time and congestion for warehouse order picking operations. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106129.
48. Liu, C.M., 1999. Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers and Operations Research* 26, 989–1002.
49. Lodree, E. J., C. D. Geiger, and X. Jiang. 2009. "Taxonomy for Integrating Scheduling Theory and Human Factors: Review and Research Opportunities." *International Journal of Industrial Ergonomics* 39 (1): 39–51.
50. Manzini R, Gamberi M, Regattieri A (2005) Design and control of an AS/RS. *Int J Adv Manuf Technol* 28(7–8):766–774
51. Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(1), 82-98.
52. Mellema, P. M., & Smith, C. A. (1988, December). Simulation analysis of narrow-aisle order selection systems. In *Proceedings of the 20th conference on Winter simulation* (pp. 597-602).
53. Muppani, V.R., Adil, G.K. and Bandyopadhyay, A., 2010. A review of methodologies for class-based storage location assignment in a warehouse. *International Journal of Advanced Operations Management*, 2 (3-4), 274-291.
54. Napolitano, M. (2012). 2012 warehouse/DC operations survey: mixed signals. *Logistics management (Highlands Ranch, Colo.: 2002)*, 51(11).
55. Neumann, W. P., & Dul, J. (2010). Human factors: spanning the gap between OM and HRM. *International journal of operations & production management*.
56. Pan, J. C.-H., & M.-H., W. (2012). Throughput analysis for order picking system with multiple pickers and aisle congestion considerations. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1661–1672
57. Petersen C. G. (2000). An evaluation of order picking policies for mail order companies. *Production and operations management*, 9(4), 319-335.
58. Petersen, C. G. (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11), 1098–1111.
59. Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11-19.
60. Plakas, G., Ponis, S. T., Agalinos, K., Aretoulaki, E., & Gayalis, S. P. (2020). Augmented Reality in Manufacturing and Logistics: Lessons Learnt from a Real-Life Industrial Application. *Procedia Manufacturing*, 51, 1629-1635.
61. Reyes, J., Solano-Charris, E., & Montoya-Torres, J. (2019). The storage location assignment problem: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10(2), 199-224.

62. Richards, G. (2017). Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. Kogan Page Publishers.
63. Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European journal of operational research*, 122(3), 515-533.
64. Ruben, R. A., & Jacobs, F. R. (1999). Batch construction heuristics and storage assignment strategies for walk/ride and pick systems. *Management Science*, 45(4), 575-596.
65. Shikdar, A., and B. Das. 2003. "A Strategy for Improving Worker Satisfaction and Job Attitudes in a Repetitive Industrial Task: Application of Production Standards and Performance Feedback." *Ergonomics* 46 (5): 466–481.
66. Tompkins, J. A., Y. A. White, E. H. Bozer, and J. M. A. Tanchoco. 2010. *Facilities Planning*. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley.
67. Van Den Berg, J. P. (1999). A literature survey on planning and control of warehousing systems. *IIE transactions*, 31(8), 751-762.
68. van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 1-15
69. Walters, D. (2009), *Supply Chain Management: An introduction to Logistics*. 2nd ed. Red Globe Press, London
70. Wang, M., Zhang, R. Q., & Fan, K. (2020). Improving order-picking operation through efficient storage location assignment: A new approach. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106186.
71. Wruck, S., Vis, I. F., & Boter, J. (2017). Risk control for staff planning in e-commerce warehouses. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6453-6469.
72. Yu, Y., de Koster, R. B., & Guo, X. (2015). Class-Based Storage with a Finite Number of Items: Using More Classes is not Always Better. *Production and operations management*, 24(8), 1235-1247.
73. Zhang, Y. (2016). Correlated storage assignment strategy to reduce travel distance in order picking. *IFAC-PapersOnLine*, 49(2), 30-35.

Παράρτημα Αλγορίθμων

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 1

```
T = xlsread('ALL PRODUCTS.xlsx', 'B2:F6719');
C1=zeros(6,2);
C2=zeros(6,2);
C3=zeros(6,2);
N=zeros(6718,7);
NN=zeros(6718,6,5);
R=zeros(554,4);
for i=1:6
    C1(i,1)=1600;
    C2(i,1)=520;
    C3(i,1)=390;
end
for p=1:6718
    C1(1,2)=T(p,1);
    C1(2,2)=T(p,1);
    C1(3,2)=T(p,2);
    C1(4,2)=T(p,2);
    C1(5,2)=T(p,3);
    C1(6,2)=T(p,3);
    C2(1,2)=T(p,2);
    C2(2,2)=T(p,3);
    C2(3,2)=T(p,1);
    C2(4,2)=T(p,3);
    C2(5,2)=T(p,1);
    C2(6,2)=T(p,2);
    C3(1,2)=T(p,3);
    C3(2,2)=T(p,2);
    C3(3,2)=T(p,3);
    C3(4,2)=T(p,1);
    C3(5,2)=T(p,2);
    C3(6,2)=T(p,1);
    for o=1:6
        n1=0;
        n2=0;
        l=0;
        x=0;
        sor=0;
        if (C1(o,2)<=C1(o,1)) && (C2(o,2)<=C2(o,1)) && (C3(o,2)<=C3(o,1))
            D=floor(C2(o,1)/C2(o,2)); %arithmos kata vathos
            H=floor(C3(o,1)/C3(o,2)); %arithmos kata ypsos
            n1=D*H;
            l=C1(o,2); %mikos rafiou
            x=l; %diathesimo mikos 2ou orientation
            w=1;
            sor=0;
            De=C2(o,1)-D*C2(o,2); %nekros xoros kata vathos
            He=C3(o,1)-H*C3(o,2); %nekros xoros kata ypsos
            A(1)=De; %topothesisi sto keno vathos
            B(1)=C3(o,1);
            A(2)=C2(o,1); %topothesisi sto keno ypsos
            B(2)=He;
            while (n1<T(p,5) && l<=1570)
                nc=0;
                for oo=1:2
                    nadd=0;
                    PR=[C1(o,2) C2(o,2) C3(o,2)];
```

```

SL=[A(oo) B(oo) x];
MDP=C1(o,2)+C2(o,2)+C3(o,2)-max(PR)-min(PR); %PRODUCT'S MID
MDS=A(oo)+B(oo)+x-max(SL)-min(SL); %EMPTY SPACE MID
if (max(SL)>=max(PR)) && (min(SL)>=min(PR)) &&
(MDS>=MDP)

    K=floor(max(SL)/max(PR));
    R=floor(MDS/MDP);
    U=floor(min(SL)/min(PR));
    nadd=K*R*U;
end
if nadd>nc
    nc=nadd;
    sor=oo; %secondary orientation
end
end
if nc==0
    w=w+1;
else
    w=1;
end
n1=n1+nc;
n2=n2+nc;
if n1<T(p,5)
    n1=n1+D*H;
    l=1+C1(o,2);
    x=C1(o,2)*w;
end
end
end
NN(p,o,1)=n1; %total number of boxes
NN(p,o,2)=n2; %syskeuasies me deytero prosanatolismo
NN(p,o,3)=1; %mikos
NN(p,o,4)=sor; %secondary placement strategy (1-2)

if T(p,5)<=n1
    NN(p,o,5)=1; %1 ean xoraei oli i posothta allios 0
end
end

nmin=10000000000;
for aa=1:6
    if (NN(p,aa,5)==1) %mono ean xoraei sth thesi
        if (nmin>NN(p,aa,3)) && (NN(p,aa,3)>=50) %gia na stekete kai na
dexete paketa apo pano
            nmin=NN(p,aa,3);
            N(p,1)=aa;
            N(p,2)=NN(p,aa,1);
            N(p,3)=NN(p,aa,4);
            N(p,4)=NN(p,aa,2);
            N(p,5)=NN(p,aa,3);
            N(p,6)=NN(p,aa,5);
            N(p,7)=NN(p,aa,1)-T(p,5);
        end
    end
end
end
xlswrite('results placement 4-month.xlsx',N);

```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 2

```
N = xlsread('results placement 4-month.xlsx','A1:F6718');

R=zeros(800,18);
for l=1:1:800
    FL=0;
    FHL=0;
    FDL=0;
    DSL=0;
    hl=1/2;
    dl=1*2;

    dsp=0;
    for p=1:6718
        if (N(p,5)~=0) && (N(p,6)==1)
            if (N(p,5)<=hl-15)
                FHL=FHL+1;
                DSL=DSL+(hl-15-N(p,5));
            elseif N(p,5)<=l-15
                FL=FL+1;
                DSL=DSL+(l-15-N(p,5));
            elseif N(p,5)<=dl-15
                FDL=FDL+1;
                DSL=DSL+(dl-15-N(p,5));
            end
        end
    end
    end

    R(1,1)=hl;
    R(1,2)=1;
    R(1,3)=dl;
    R(1,4)=FHL;
    R(1,5)=FL;
    R(1,6)=FDL;
    R(1,7)=DSL;

    R(1,9)=floor(1600/hl);
    R(1,10)=mod(1600,hl)-15;

    R(1,11)=floor(1600/l);
    if hl<=mod(1600,l)
        R(1,12)=floor(mod(1600,l)/hl);
    end
    R(1,13)=mod(1600,l)-R(1,12)*hl-15;

    R(1,14)=floor(1600/dl);
    if hl<=mod(1600,dl)
        R(1,15)=floor(mod(1600,dl)/hl);
    end

    if l<=mod(1600,dl)
        R(1,16)=floor(mod(1600,dl)/l);
    end
    R(1,17)=mod(1600,dl)-R(1,15)*hl-15;

end
xlswrite('results VARIETIONS L 4-month.xlsx',R);
```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 3

```
N1N = xlsread('results placement 4-month.xlsx','A1:G6718');
T = xlsread('ALL PRODUCTS.xlsx','B2:F6719');
LL = xlsread('L EXAMINATION.xlsx','A3:C9');

finn=zeros(7,6718,9);
L=zeros(7,6);
for ii=1:7          %PERIPTOSEIS STATIC 1

    [SSL,dsst,vs]=deadspacestatic(ii,N1N,LL,T); %static dead space
    according to 1

    %gravity analysis

    a=0;
    for d=1:6718
        if (SSL(d,1)==0) || (SSL(d,1)==4) %ean mpainei sta gravity
            a=a+1;
        end
    end
    jkl=a

    N = zeros(a,8);
    N2 = zeros(a,6,6);

    b=0;
    fit=0;
    for pp=1:6718

        if (SSL(pp,1)==0) || (SSL(pp,1)==4)
            b=b+1;
            [CC1,CC2,CC3]= cmatrixesgr(pp,T); %DIMIOYRGIA PINAKON C1,C2,C3
        end
        %gia gravity

        tt=T(pp,5);
        [N,fit]=lfordiforient(b,pp,N,CC1,CC2,CC3,tt,fit); %diaforetika l
        %analoga me orientation
    end

end
if ii==6
    xlswrite('results placement 4-month gravity.xlsx',N);
end

[PP,CC,RR]=Lvar(N,a,fit); %pithana lg

[dsg,blg,vg,fit2]=optllg(PP,CC,N,a,T);

L(ii,1)=LL(ii,2); %ls
L(ii,2)=blg; %lg
L(ii,3)=dsg+dsst; %ds
L(ii,4)=vs+vg; %volume used
L(ii,5)=(L(ii,4)-L(ii,3))/L(ii,4)*100;
L(ii,6)=(6718-a)+fit2;

if ii==1
    xlswrite('lg varieties for ls 244.xlsx',RR);
    e=fit
end
```

```

end

finn=SLTYPE(ii,SSL,N,blg,N1N,finn); %total matrix

end

xlswrite('couples lg and ls 4-month.xlsx',L);
FL=finall(L) %final couple of Ls and Lg
optslot=optimalslots(finn,FL(1,1));
xlswrite('OPTIMAL SLOTS TOTAL 4-MONTH.xlsx',optslot);

ΕΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ 3

function [SL,dss,vss] = deadspacestatic(i,N1,L,TT)

SL = zeros(6718,1);
dss=0;
vss=0;
totss=0;
for pp=1:6718
    if (N1(pp,5)==0) || (N1(pp,6)==0)
        SL(pp,1)=0; %den xorouse apo thn arxi
    else
        if (N1(pp,5)+15<=L(i,1))
            SL(pp,1)=1; %xoraei sto half-1
            dss=dss+((L(i,1)*520*390)-
N1(pp,2)*TT(pp,1)*TT(pp,2)*TT(pp,3));
            vss=vss+L(i,1)*520*390;
        elseif (N1(pp,5)+15<=L(i,2))
            SL(pp,1)=2; %xoraei sto 1
            dss=dss+((L(i,2)*520*390)-
N1(pp,2)*TT(pp,1)*TT(pp,2)*TT(pp,3));
            vss=vss+L(i,2)*520*390;
        elseif (N1(pp,5)+15<=L(i,3))
            SL(pp,1)=3; %xoraei sto double 1
            dss=dss+((L(i,3)*520*390)-
N1(pp,2)*TT(pp,1)*TT(pp,2)*TT(pp,3));
            vss=vss+L(i,3)*520*390;
        else
            SL(pp,1)=4; %den xoraei logo epilogis 1
        end
    end
end

if (floor(1600/L(i,1))*L(i,1)+15)<=1600
    dss=dss+(1600-
(floor(1600/L(i,1))*L(i,1)+15))*520*390*vss/(1600*520*390);
else
    dss=dss+(1600-((floor(1600/L(i,1))-
1)*L(i,1)+15))*520*390*vss/(1600*520*390);
end

end

.....

function [C1,C2,C3] = cmatrixesgr(p,TT)

C1=zeros(6,2);
C2=zeros(6,2);
C3=zeros(6,2);

```



```

for J=1:6
    C1(J,1)=2500;
    C2(J,1)=1570;
    C3(J,1)=390;
end

C1(1,2)=TT(p,1);
C1(2,2)=TT(p,1);
C1(3,2)=TT(p,2);
C1(4,2)=TT(p,2);
C1(5,2)=TT(p,3);
C1(6,2)=TT(p,3);

C2(1,2)=TT(p,2);
C2(2,2)=TT(p,3);
C2(3,2)=TT(p,1);
C2(4,2)=TT(p,3);
C2(5,2)=TT(p,1);
C2(6,2)=TT(p,2);

C3(1,2)=TT(p,3);
C3(2,2)=TT(p,2);
C3(3,2)=TT(p,3);
C3(4,2)=TT(p,1);
C3(5,2)=TT(p,2);
C3(6,2)=TT(p,1);

end
.....

function [N1,fitt] = lfordiforient(aa,p,N1,C1,C2,C3,TT,fitt)

    NN=zeros(6,6);
    for o=1:6

        n1=0;
        n2=0;
        l=0;
        x=0;
        sor=0;

        if (C1(o,2)<=C1(o,1)) && (C2(o,2)<=C2(o,1)) &&
(C3(o,2)<=C3(o,1))

            D=floor(C1(o,1)/C1(o,2));           %arithmos kata vathos
            H=floor(C3(o,1)/C3(o,2));           %arithmos kata ypsos
            n1=D*H;
            l=C2(o,2);                           %mikos rafiou
            x=1;                                  %diathesimo mikos 2ou

orientation

            w=1;
            sor=0;

            De=C1(o,1)-D*C1(o,2);               %nekros xoros kata vathos
            He=C3(o,1)-H*C3(o,2);               %nekros xoros kata ypsos

vathos

            A(1)=De;                             %topothesisi sto keno
            B(1)=C3(o,1);

```

```

yposos      A(2)=C1(o,1);          %topothesisi sto keno

      B(2)=He;

      while (n1<TT) && (l<=1570)
          nc=0;

          for oo=1:2
              nadd=0;
              PR=[C1(o,2) C2(o,2) C3(o,2)];
              SS=[A(oo) B(oo) x];
              MDP=C1(o,2)+C2(o,2)+C3(o,2)-max(PR)-min(PR);

%PRODUCT'S MID
%EMPTY SPACE MID

              if (max(SS)>=max(PR)) && (min(SS)>=min(PR)) &&
(MDS>=MDP)

                  K=floor(max(SS)/max(PR));
                  R=floor(MDS/MDP);
                  U=floor(min(SS)/min(PR));

                  nadd=K*R*U;
              end

              if nadd>nc
                  nc=nadd;
                  sor=oo;      %secondary orientation
              end

          end

          if nc==0
              w=w+1;
          else
              w=1;
          end

          n1=n1+nc;
          n2=n2+nc;

          if n1<TT
              n1=n1+D*H;
              l=l+C1(o,2);
              x=C2(o,2)*w;
          end
      end
  end

  NN(o,1)=p;          %arithos product
  NN(o,2)=n1;        %total number of boxes
  NN(o,3)=n2;        %syskeuasies me deytero prosanatolismo
  NN(o,4)=1;         %mikos
  NN(o,5)=sor;       %secondary placement strategy (1-2)

  if TT<=n1
      NN(o,6)=1;     %1 ean xoraai oli i posothta allios 0
  end

end

```

```

nmin=10000000000;
for K=1:6
    N1(aa,1)=p;    %product
    if (nmin>NN(K,4)) && (NN(K,4)>=50) %gia na stekete kai na
dexete paketa apo pano
        nmin=NN(K,4);
        N1(aa,2)=K;    %main strategy
        N1(aa,3)=NN(K,2); %total number of boxes
        N1(aa,4)=NN(K,5); %secondary strategy
        N1(aa,5)=NN(K,3); %number of boxes with secondary
strategy
        N1(aa,6)=NN(K,4); %length needed
        N1(aa,7)=NN(K,6); %xoraiei oli i posothta? (0/1)
        N1(aa,8)=NN(K,2)-TT; %surplus of boxes
    end
end

if (N1(aa,3)~=0) && (N1(aa,6)<=1570)
    fitt=fitt+1;
end

end

.....

function [P,C,R] = Lvar(NN,aa,fitt)

R=zeros(800,17);
for l=1:1:800
    FL=0;
    FHL=0;
    FDL=0;
    DSL=0;
    hl=1/2;
    dl=1*2;

    dsp=0;
    for p=1:aa
        if (NN(p,6)~=0) && (NN(p,7)==1)
            if (NN(p,6)+20<=hl)
                FHL=FHL+1;
                DSL=DSL+(hl-20-NN(p,6));
            elseif NN(p,6)+20<=1
                FL=FL+1;
                DSL=DSL+(1-20-NN(p,6));
            elseif NN(p,6)+20<=dl
                FDL=FDL+1;
                DSL=DSL+(dl-20-NN(p,6));
            end
        end
    end

    R(1,1)=hl;
    R(1,2)=1;
    R(1,3)=dl;
    R(1,4)=FHL;
    R(1,5)=FL;
    R(1,6)=FDL;
    R(1,7)=DSL;
    R(1,8)=FDL+FL+FHL;

```

```

R(1,9)=floor(1600/h1);
R(1,10)=mod(1600,h1)-20;

R(1,11)=floor(1600/l);
if hl<=mod(1600,l)
    R(1,12)=floor(mod(1600,l)/hl);
end
R(1,13)=mod(1600,l)-R(1,12)*hl-20;

R(1,14)=floor(1600/dl);
if hl<=mod(1600,dl)
    R(1,15)=floor(mod(1600,dl)/hl);
end

if l<=mod(1600,dl)
    R(1,16)=floor(mod(1600,dl)/l);
end
R(1,17)=mod(1600,dl)-R(1,15)*hl-20;

end

C=0;
P=zeros(800,4);

for y=1:800    %l gia ta opoia xorane ola ta proionta

    if (R(y,8)>=0.93*fitt) %&& (abs(R(y,10))<=pmin) %&&
        C=C+1;
        P(C,1)=y; %lg
        P(C,2)=abs(R(y,10)); %dead length/rack
        P(C,3)=R(y,4)+R(y,5)+R(y,6); %number of products fit
        P(C,4)=R(y,8);
    end
end
end

.....

function [mindsg,lgopt,vvgopt,fitt2] = optllg(P,C,NN,aa,TT)
dfg=C
DSG=zeros(C,1);
for i=1:C
    dsg=0;
    sum=0; %volume of needed slots
    for j=1:aa
        pr=NN(j,1); %pragmatikos kodikos
        if NN(j,6)+20<=P(i,1)/2
            dsg=dsg+P(i,1)/2*390*2500-
NN(j,3)*TT(pr,1)*TT(pr,2)*TT(pr,3);
            sum=sum+P(i,1)/2*390*2500;
        elseif NN(j,6)+20<=P(i,1)
            dsg=dsg+P(i,1)*390*2500-NN(j,3)*TT(pr,1)*TT(pr,2)*TT(pr,3);
            sum=sum+P(i,1)*390*2500;
        else
            dsg=dsg+P(i,1)*2*390*2500-
NN(j,3)*TT(pr,1)*TT(pr,2)*TT(pr,3);
            sum=sum+P(i,1)*2*390*2500;
        end
    end
end

```

```

end
vvg=sum; %volume used

if (floor(1600/P(i,1))*P(i,1)+20)<=1600

    dsg=dsg+(1600-
(floor(1600/P(i,1))*P(i,1)+20))*390*2500*sum/1600*2500*390; %plus dead
space from dead length/rack

else
    dsg=dsg+(1600-((floor(1600/P(i,1))-
1)*P(i,1)+20))*390*2500*sum/1600*2500*390;
end

DSG(i,1)=dsg;
DSG(i,2)=vvg;
end

mindsg=10000000000000000;
for k=1:C
    if DSG(k,1)<mindsg
        mindsg=DSG(k,1);
        lgopt=P(k,1); %lg me min dead space
        vvgopt=DSG(k,2);
        fitt2=P(k,4);
    end
end
end
end
.....

function [fin] = SLTYPE(g,SLL,N1,lg,NN,fin)
aaa=0;
for i=1:6718
    fin(g,i,1)=i;
    if (SLL(i,1)==0) || (SLL(i,1)==4)
        aaa=aaa+1;
        fin(g,i,2)=N1(aaa,2); %main strategy
        fin(g,i,3)=N1(aaa,3); %total num boxes
        fin(g,i,4)=N1(aaa,4); %second strategy
        fin(g,i,5)=N1(aaa,5); %second strat boxes
        fin(g,i,6)=N1(aaa,6); %length
        fin(g,i,7)=N1(aaa,7); %1 or 0
        fin(g,i,8)=N1(aaa,8); %surplus

        if (N1(aaa,6)==0)
            fin(g,i,9)=1000; %den xoraei san kouta
        elseif (N1(aaa,6)+20<=lg/2)
            fin(g,i,9)=11; %lg/2 slot
        elseif N1(aaa,6)+20<=lg
            fin(g,i,9)=22; %lg slot
        elseif N1(aaa,6)+20<=2*lg
            fin(g,i,9)=33; %2lg slot
        else
            fin(g,i,9)=0; %xoraei san kouta alla oxi san posotita
        end
    end
else
    fin(g,i,2)=NN(i,1);
    fin(g,i,3)=NN(i,2);
    fin(g,i,4)=NN(i,3);
    fin(g,i,5)=NN(i,4);
    fin(g,i,6)=NN(i,5);
end

```

```

        fin(g,i,7)=NN(i,6);
        fin(g,i,8)=NN(i,7);
        fin(g,i,9)=SLL(i,1);
    end
end

end

.....

function [FLL] = finall(LL)

    minds=100000000000000000000;
    FLL=zeros(1,3);
    for i=1:7
        if LL(i,3)<minds
            minds=LL(i,3);
            FLL(1,1)=i;
            FLL(1,2)=LL(i,1);    %ls
            FLL(1,3)=LL(i,2);    %lg
        end
    end
end

.....

function [tot] = optimalslots(fin,g)
    tot=zeros(6718,9);
    for i=1:6718
        tot(i,1)=g;
        tot(i,2)=fin(g,i,1);
        tot(i,3)=fin(g,i,2);
        tot(i,4)=fin(g,i,3);
        tot(i,5)=fin(g,i,4);
        tot(i,6)=fin(g,i,5);
        tot(i,7)=fin(g,i,6);
        tot(i,8)=fin(g,i,7);
        tot(i,9)=fin(g,i,8);
        tot(i,10)=fin(g,i,9);
    end
end

```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 4

```

R=xlsread('STATIC TOTAL 4-MONTH.xlsx','B2:M5843');
halfs=0;
s=0;
doubles=0;
as2=0;
as=0;
a2s=0;
bs2=0;
bs=0;
b2s=0;
cs2=0;
cs=0;
c2s=0;

for i=1:5842
    if R(i,10)==1
        halfs=halfs+1;
    end
end

```

```

elseif R(i,10)==2
    s=s+1;
else
    doubles=doubles+1;
end
end

pers2=(halfs/5842)*100;
pers=(s/5842)*100;
per2s=(doubles/5842)*100;

ls=352;
rack=1600;

slevelperrack=floor(rack/ls)+floor(mod(rack,ls)/(ls/2))*0.5; %s level per
rack
slevelpercor=slevelperrack*5*10;

%for 100 products se epipedo s

nums2=pers2/2;
nums=pers;
num2s=per2s*2;

totals=nums2+nums+num2s;

%TYPE SLOTS PER CORRIDOR

COR(1,1)=(nums2*slevelpercor)/totals)*2; %number or s2 per corridor
COR(2,1)=(nums*slevelpercor)/totals); %number of s per corridor
COR(3,1)=(num2s*slevelpercor)/totals)*0.5; %number of 2s per corridor

%ANALYSIS FOR SLOT TYPE AND CLASS

for j=1:5842
    if (R(j,10)==1 && R(j,12)==1)
        as2=as2+1;
    elseif (R(j,10)==2 && R(j,12)==1)
        as=as+1;
    elseif (R(j,10)==3 && R(j,12)==1)
        a2s=a2s+1;
    elseif (R(j,10)==1 && R(j,12)==2)
        bs2=bs2+1;
    elseif (R(j,10)==2 && R(j,12)==2)
        bs=bs+1;
    elseif (R(j,10)==3 && R(j,12)==2)
        b2s=b2s+1;
    elseif (R(j,10)==1 && R(j,12)==3)
        cs2=cs2+1;
    elseif (R(j,10)==2 && R(j,12)==3)
        cs=cs+1;
    elseif (R(j,10)==3 && R(j,12)==3)
        c2s=c2s+1;
    end
end

peras2=(as2/5842)*100;
peras=(as/5842)*100;

pera2s=(a2s/5842)*100;
perbs2=(bs2/5842)*100;

```

```

perbs=(bs/5842)*100;
perb2s=(b2s/5842)*100;
percs2=(cs2/5842)*100;
percs=(cs/5842)*100;
perc2s=(c2s/5842)*100;

numas2=peras2/2;
numas=peras;
numa2s=pera2s*2;
numaslevel=numas2+numas+numa2s;

numbs2=perbs2/2;
numbs=perbs;
numb2s=perb2s*2;
numbslevel=numbs2+numbs+numb2s;

numcs2=percs2/2;
numcs=percs;
numc2s=perc2s*2;
numcslevel=numcs2+numcs+numc2s;

totalclass=numaslevel+numbslevel+numcslevel;

COR(6,1)=round(((numas2*slevelperc)/totals)*2)+2; %number or ss2 per
corridor
COR(5,1)=round(((numas*slevelperc)/totals))+1; %number of as per
corridor
COR(4,1)=round(((numa2s*slevelperc)/totals)*0.5); %number of a2s per
corridor

COR(9,1)=round(((numbs2*slevelperc)/totals)*2); %number or bs2 per
corridor
COR(8,1)=round(((numbs*slevelperc)/totals)); %number bof s per
corridor
COR(7,1)=round(((numb2s*slevelperc)/totals)*0.5); %number of b2s per
corridor

COR(12,1)=round(((numcs2*slevelperc)/totals)*2); %number or cs2 per
corridor
COR(11,1)=round(((numcs*slevelperc)/totals)); %number of cs per
corridor
COR(10,1)=round(((numc2s*slevelperc)/totals)*0.5); %number of c2s per
corridor

COR(1,2)=halfs;
COR(2,2)=s;
COR(3,2)=doubles;
COR(6,2)=as2;
COR(5,2)=as+1;
COR(4,2)=a2s;
COR(9,2)=bs2;
COR(8,2)=bs;
COR(7,2)=b2s;
COR(12,2)=cs2;
COR(11,2)=cs;
COR(10,2)=c2s;

COR(4,3)=704;
COR(7,3)=704;
COR(10,3)=704;
COR(5,3)=352;

```



```

COR(8,3)=352;
COR(11,3)=352;
COR(6,3)=176;
COR(9,3)=176;
COR(12,3)=176;

xlswrite('SLOTS PER CORRIDOR.xlsx',COR);

%layout of slots

SL=zeros(2,5,5,9);
num=zeros(12,1);
D=zeros(2,5,5);
ss=352;

for r=1:2           %left and right line

    C=zeros(5,5);

    for xx=1:5
        for yy=1:5
            C(xx,yy)=1600;
        end
    end

    for k=4:12
        aa=0;

%constraints
        if k==4      %A2s CLASS
            xmin=1;
            xmax=2;
            ymin=3;
            ymax=4;
        elseif k==5  %As CLASS
            xmin=1;
            xmax=2;
            ymin=3;
            ymax=4;
        elseif k==6  %As2 CLASS
            xmin=1;
            xmax=2;
            ymin=3;
            ymax=4;
        elseif k==7  %B2s CLASS
            xmin=1;
            xmax=4;
            ymin=3;
            ymax=5;
        elseif k==8  %Bs CLASS
            xmin=1;
            xmax=4;
            ymin=2;
            ymax=5;
        elseif k==9  %Bs2 CLASS
            xmin=1;
            xmax=4;
            ymin=2;
            ymax=5;
        elseif k==10 %C2s
            xmin=1;

```

```

        xmax=5;
        ymin=3;
        ymax=5;
elseif k==11      %Cs
    xmin=1;
    xmax=5;
    ymin=1;
    ymax=5;
elseif k==12     %Cs2
    xmin=1;
    xmax=5;
    ymin=1;
    ymax=5;
end

l=1;
if mod(COR(k,1),2)~=0
    lim=(floor(COR(k,1)/2)+1);
else
    lim=floor(COR(k,1)/2);
end

if k==4||k==9          % 2S SLOT

        xpr=xmin;
        ypr=ymax;
        yo=ypr;
        xo=xpr;

        while (aa<lim) && (num(k,1)<COR(k,1)) && (l==1)
            if C(yo,xo)>=COR(k,3) %megethos slot
                num(k,1)=num(k,1)+1;
                D(r,xo,yo)=D(r,xo,yo)+1;
                aa=aa+1;
                C(yo,xo)=C(yo,xo)-COR(k,3);
                SL(r,xo,yo,D(r,xo,yo))=k; %bb max 9
            else
                if yo-1>=ymin
                    yo=yo-1;
                elseif xo+1<=xmax
                    yo=ypr;
                    xo=xo+1;
                else
                    l=0;
                end
            end
        end

end

else          %s / s2 SLOT
    xpr=xmin;
    ypr=ymin;
    yo=ypr;
    xo=xpr;

        while (aa<lim) && (num(k,1)<COR(k,1)) && (l==1)

```



```

for t=15:34
    ii=0;
    jj=0;
    for mati=1:10
        if mod(mati,2)~=0    %left line (line1)
            racc=0;
            ii=ii+1;
            for rack3=5:-1:1
                racc=racc+1;
                for numsl=1:D(1,ii,rack3)
                    sl=sl+1;
slots
                    slot(sl,1)=t;
                    slot(sl,2)=mati;
                    slot(sl,3)=racc;
                    slot(sl,4)=numsl;
                    slot(sl,5)=SL(1,ii,rack3,numsl);
                    % number of total
                    %corridor
                    %mati
                    %rack
                    %slot
                    %slot type
                end
            end
        else
            racc2=0;
            jj=jj+1;
            for rack4=5:-1:1
                racc2=racc2+1;
                for numsl2=1:D(2,jj,rack4)
                    sl=sl+1;
slots
                    slot(sl,1)=t;
                    slot(sl,2)=mati;
                    slot(sl,3)=racc;
                    slot(sl,4)=numsl2;
                    slot(sl,5)=SL(2,jj,rack4,numsl2);
                    % number of total
                    %corridor
                    %mati
                    %rack
                    %slot
                    %slot type
                end
            end
        end
    end
end

for tt=45:64
    ii=0;
    jj=0;
    for matii=1:10
        if mod(matii,2)~=0    %left line (line1)
            racc=0;
            ii=ii+1;
            for rackk3=5:-1:1
                racc=racc+1;
                for numsl1=1:D(1,ii,rackk3)
                    sl=sl+1;
slots
                    slot(sl,1)=tt;
                    slot(sl,2)=matii;
                    slot(sl,3)=racc;
                    slot(sl,4)=numsl1;
                    slot(sl,5)=SL(1,ii,rackk3,numsl1);
                    % number of total
                    %corridor
                    %mati
                    %rack
                    %slot
                    %slot type
                end
            end
        else
            racc2=0;
            jj=jj+1;

```

```

        for rackk4=5:-1:1
            racc2=racc2+1;
            for numsl12=1:D(2,jj,rackk4)
                sl=sl+1; % number of total
slots
                slot(sl,1)=tt; %corridor
                slot(sl,2)=matii; %mati
                slot(sl,3)=racc2; %rack
                slot(sl,4)=numsl12; %slot
                slot(sl,5)=SL(2,jj,rackk4,numsl12); %slot type
            end
        end
    end
end
end
end

xlswrite('SLOT NAME.xlsx',slot);

```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 5

```

F=xlsread('TYPE OF SLOT_CLASS_TRANSFER ORDERS_FOR FINAL
ASSIGNMENT.xlsx','C2:L5843');
T=xlsread('SLOT NAME.xlsx','A2:F8081');
rest=xlsread('REMAINING SLOTS PER CORRIDOR','A1:L66');

maxtr=F(1,9)+0.01259*F(1,9);

SLOT=zeros(8080,6);
TRC=zeros(66,1);
NOSTORED=zeros(5842,1);

for i=1:8080
    SLOT(i,1)=T(i,1); %corridor
    SLOT(i,2)=T(i,6); %slot name
    SLOT(i,3)=T(i,5); %type(4-12)
    SLOT(i,6)=T(i,3); %rack
end

y=0;

for j=1:5842
    oldcor=F(j,3);
    l=0;
    vv=0;

    if F(j,10)<=22 %max rack due to weight
        maxrack=5;
    else
        maxrack=5;
    end
    % periptosi 1- xoraei ston palio diadromo.....

    if TRC(oldcor,1)+F(j,7)<=maxtr && rest(oldcor,F(j,6))~=0 &&
oldcor~=12 && oldcor~=66 && oldcor~=65 && oldcor~=35 %ean mporei na mpei
ston palio diadromo
        cor=0;
        while cor==0
            vv=vv+1; %1st slot of old corridor
            if SLOT(vv,1)==oldcor

```

```

        cor=1;                %mexri na vrei to old coridдор
    end
end
gh=vv;
while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor
    if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
        l=1;
        SLOT(vv,4)=F(j,1);                %product
        SLOT(vv,5)=1;                    %oti einai piasmeni
        TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
        rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
    end
    if l==0
        vv=vv+1;
    end
end
% periptosi 2 - den
xoraei.....
    else
%periptosi 2a -
diadromos%12.....

        if oldcor==12
            vv=vv+1;
            while l==0 && SLOT(vv,1)<=64                %mono sto isogio
                if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                    l=1;
                    SLOT(vv,4)=F(j,1);                %product
                    SLOT(vv,5)=1;                    %oti einai piasmeni
                    TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                    rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
                end
                if l==0
                    vv=vv+1;
                end
            end
        end
%periptosi 2b- diadromos
66.....

        elseif oldcor==66
            cor2=0;
            while cor2==0
                vv=vv+1;
                if SLOT(vv,1)>=35
                    cor2=1;
                end
            end

            while l==0 && SLOT(vv,1)<=64 && vv<=8079
                if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                    l=1;
                    SLOT(vv,4)=F(j,1);                %product
                    SLOT(vv,5)=1;                    %oti einai piasmeni
                    TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                    rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
                end
                if l==0
                    vv=vv+1;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
%periptosi 2c- akraioi diadromoi.....

    elseif oldcor==15 || oldcor==45
        cor3=0;
        while cor3==0
            vv=vv+1;
            if SLOT(vv,1)>=oldcor+1
                cor3=1;
            end
        end
        while l==0 && vv<=8080 && SLOT(vv,1)<=oldcor+19
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0
                vv=vv+1;
            end
        end
    elseif oldcor==64 || oldcor==34
        cor4=0;
        while cor4==0
            vv=vv+1;
            if SLOT(vv,1)==oldcor
                cor4=1;
            end
        end
        vv=vv-1;
        while l==0 && vv>0 && SLOT(vv,1)>=oldcor-19
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0
                vv=vv-1;
            end
        end
    elseif oldcor==65 || oldcor==35
        cor4=0;
        while cor4==0
            vv=vv+1;
            if SLOT(vv,1)==oldcor-1
                cor4=1;
            end
        end
        vv=vv-1;
    end
end

```

```

        while l==0 && SLOT(vv,1)>=oldcor-19
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0
                vv=vv-1;
            end
        end
%periptosi 2d-lo epipedo.....

    elseif oldcor>15 && oldcor<34
        cor5=0;
        while cor5==0
            vv=vv+1;
            if SLOT(vv,1)>=oldcor+1
                cor5=1;
            end
        end

        while l==0 && SLOT(vv,1)<=34
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
                rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0
                vv=vv+1;
            end
        end

        if l==0 %den xorese sta forward corridor
            cor5=0;
            vv=0;
            while cor5==0
                vv=vv+1;
                if SLOT(vv,1)==oldcor
                    cor5=1;
                end
            end

            vv=vv-1;
            while l==0 && vv>0 && SLOT(vv,1)>=15
                if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                    l=1;
                    SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                    SLOT(vv,5)=1; %oti einai
piasmeni
                    TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);

                rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0

```



```

        vv=vv-1;
    end
end
end

%periptosi 2e-2o epipedo.....
elseif oldcor>45 && oldcor<64
    cor6=0;
    while cor6==0
        vv=vv+1;
        if SLOT(vv,1)>=oldcor+1
            cor6=1;
        end
    end

    while l==0 && vv<=8080 && SLOT(vv,1)<=64
        if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
            l=1;
            SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
            SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
            TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
            rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
        end
        if l==0
            vv=vv+1;
        end
    end

    if l==0
        cor6=0;
        vv=0;
        while cor6==0
            vv=vv+1;
            if SLOT(vv,1)==oldcor
                cor6=1;
            end
        end

        vv=vv-1;
        while l==0 && SLOT(vv,1)>=35
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7)<=maxtr && maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai
piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
            end
            rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            if l==0
                vv=vv-1;
            end
        end
    end

    if l==0
        y=y+1;
    end
end
end
end

```

```

        NOSTORED(y,1)=F(j,1);
    end

end

xlswrite('FINAL ASSIGNMENT.xlsx',SLOT);
xlswrite('NO STORED PRODUCTS',NOSTORED);
-----
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 6

T = xlsread('ALL PRODUCTS.xlsx','B2:F6719');
N1 = xlsread('results placement 4-month.xlsx','A1:G6718');
B = xlsread('results placement 4-month gravity.xlsx','A1:H876');
SL = zeros(6718,2);
GL= zeros(876,2);

LS=352;
LG=395;
NS2=0;
NS=0;
N2S=0;
N0=0;
Nunf=0;
NG0=0;
NGuf=0;
NG2=0;
NG=0;
N2G=0;
lessfit=0;
nofit=0;

    for pp=1:6718
        if (N1(pp,5)==0) || (N1(pp,6)==0)
            SL(pp,1)=pp; %den xorouse apo thn arxi (EPARKEIA
H DIASTASEIS)
            SL(pp,2)=0;
            N0=N0+1;
        else
            if (N1(pp,5)+15<=LS/2)
                SL(pp,1)=pp; %xoraiei sto half-1
                SL(pp,2)=1;
                NS2=NS2+1;
            elseif (N1(pp,5)+15<=LS)
                SL(pp,1)=pp; %xoraiei sto 1
                SL(pp,2)=2;
                NS=NS+1;
            elseif (N1(pp,5)+15<=LS*2)
                SL(pp,1)=pp; %xoraiei sto double 1
                SL(pp,2)=3;
                N2S=N2S+1;
            else
                SL(pp,1)=pp; %den xoraiei logo epilogis 1
                SL(pp,2)=4;
                Nunf=Nunf+1;
            end
        end
    end

end

for uf=1:876
    GL(uf,1)=B(uf,1); %product

```

```

if B(uf,2)==0
    GL(uf,2)=0;           %den xoraiei apo thn arxh
    NG0=NG0+1;
else
    if (B(uf,6)+20<=LG/2)
        GL(uf,2)=11;
        NG2=NG2+1;
    elseif (B(uf,6)+20<=LG)
        GL(uf,2)=22;
        NG=NG+1;
    elseif (B(uf,6)+20<=2*LG)
        GL(uf,2)=33;
        N2G=N2G+1;
    else
        GL(uf,2)=44;     %den xoraiei katopin epilogis lg
        NGuf=NGuf+1;
    end
end
end

for g=1:876
    if (GL(g,2)==0) || (GL(g,2)==44)
        if (T(GL(g,1),1)<=2500) && (T(GL(g,1),2)+20<=790) &&
            (T(GL(g,1),3)<=390)
            GL(g,2)=1000; %xoraiei mikroteri posothta
            lessfit=lessfit+1;
        else
            GL(g,2)=0;     %den xvraei me tipota
            nofit=nofit+1;
        end
    end
end

C1=zeros(6,2);
C2=zeros(6,2);
C3=zeros(6,2);
N=zeros(67,10);
NN=zeros(67,6,5);

for i=1:6
    C1(i,1)=2500;
    C2(i,1)=790;
    C3(i,1)=390;
end

for p=1:876
    if GL(p,2)==1000

        C1(1,2)=T(p,1);
        C1(2,2)=T(p,1);
        C1(3,2)=T(p,2);
        C1(4,2)=T(p,2);
        C1(5,2)=T(p,3);
        C1(6,2)=T(p,3);

        C2(1,2)=T(p,2);
        C2(2,2)=T(p,3);
        C2(3,2)=T(p,1);
        C2(4,2)=T(p,3);
    end
end

```

```

C2(5,2)=T(p,1);
C2(6,2)=T(p,2);

C3(1,2)=T(p,3);
C3(2,2)=T(p,2);
C3(3,2)=T(p,3);
C3(4,2)=T(p,1);
C3(5,2)=T(p,2);
C3(6,2)=T(p,1);

for o=1:6

    n1=0;
    n2=0;
    l=0;
    x=0;
    sor=0;
    r1=0;

    if (C1(o,2)<=C1(o,1)) && (C2(o,2)<=C2(o,1)) && (C3(o,2)<=C3(o,1))

        D=floor(C1(o,1)/C1(o,2));           %arithmos kata VATHOS
        H=floor(C3(o,1)/C3(o,2));           %arithmos kata YPSOS
        n1=D*H;
        l=C2(o,2);                           %mikos rafiou
        r1=1;
        x=1;                                   %diathesimo mikos 2ou orientation
        w=1;
        sor=0;

        De=C1(o,1)-D*C1(o,2);               %nekros xoros kata vathos
        He=C3(o,1)-H*C3(o,2);               %nekros xoros kata ypsos

        A(1)=De;                             %topothesisi sto keno vathos
        B(1)=C3(o,1);

        A(2)=C1(o,1);                         %topothesisi sto keno ypsos
        B(2)=He;

        while (l<=790) && (n1<T(p,4))
            nc=0;

            for oo=1:2
                nadd=0;
                PR=[C1(o,2) C2(o,2) C3(o,2)];
                SL=[A(oo) B(oo) x];
                MDP=C1(o,2)+C2(o,2)+C3(o,2)-max(PR)-min(PR); %PRODUCT'S
MID
                MDS=A(oo)+B(oo)+x-max(SL)-min(SL); %EMPTY
SPACE MID

                if (max(SL)>=max(PR)) && (min(SL)>=min(PR)) &&
(MDS>=MDP)

                    K=floor(max(SL)/max(PR));
                    R=floor(MDS/MDP);
                    U=floor(min(SL)/min(PR));

                    nadd=K*R*U;
            end
        end
    end
end

```

```

        if nadd>nc
            nc=nadd;
            sor=oo;      %secondary orientation
        end

    end

    if nc==0
        w=w+1;
    else
        w=1;
    end

    n1=n1+nc;
    n2=n2+nc;

    if (1+C2(o,2)+20<=790) && (n1<T(p,4))
        n1=n1+D*H;
        l=1+C2(o,2);
        x=C2(o,2)*w;
        r1=1;
    else
        r1=1;
        l=1000;
    end
end
end

NN(p,o,1)=n1;          %total number of boxes
NN(p,o,2)=n2;          %syskeuasies me deytero prosanatolismo
NN(p,o,3)=r1;          %mikos
NN(p,o,4)=sor;         %secondary placement strategy (1-2)

if T(p,4)<=n1
    NN(p,o,5)=1;       %1 ean xoraei oli i posothta allios 0
end
end

nmin=10000000000;
for aa=1:6
    if (NN(p,aa,3)~=0)
        if (nmin>NN(p,aa,3)) && (NN(p,aa,3)>=50) %gia na stekete kai na
dexeite paketa apo pano
            nmin=NN(p,aa,3);
            N(p,1)=GL(p,1); %product
            N(p,2)=aa;      %main strategy
            N(p,3)=NN(p,aa,1); %n1
            N(p,4)=NN(p,aa,4); %second strategy
            N(p,5)=NN(p,aa,2); %n2
            N(p,6)=NN(p,aa,3); %lneeded
            N(p,7)=NN(p,aa,5); %xoraei olo
            N(p,8)=NN(p,aa,1)-T(p,4); %ypoloipo
        end
    end
end

if N(p,6)==0;
    N(p,9)=1000; %kati paei lathos
else
    if N(p,6)+20<=197.5

```

```

        GL(p,2)=11; %g2
    elseif N(p,6)+20<=395
        GL(p,2)=22; %g
    elseif N(p,6)<=790
        GL(p,2)=33; %2g nobody is gonna know
    else
        N(p,9)=7530760; %lathos ston kodika
    end
end

if abs(N(p,8))>=0.5*T(p,4)
    N(p,10)=2;
else
    N(p,10)=1;
end
end
end

```

```

xlswrite('results placement lessfit 4-month.xlsx',N);
xlswrite('results slots for lessfit 4-month.xlsx',GL);

```

```

.....
.....

```

```

R=xlsread('GRAVITY TOTAL 4-MONTH.xlsx','A2:I831');
% halves=0;
% s=0;
% doubles=0;
ag2=0;
ag=0;
a2g=0;
bg2=0;
bg=0;
b2g=0;
cg2=0;
cg=0;
c2g=0;
COR=zeros(12,4);

```

```

ls=395;
rack=1600;

```

```

glevelperrack=floor(rack/ls); %g level per rack
glevelpercort=glevelperrack*5*32;

```

```

%ANALYSIS FOR SLOT TYPE AND CLASS

```

```

for j=1:830
    if R(j,8)==1
        if R(j,9)==6
            ag2=ag2+1;
        elseif (R(j,9)==5)
            ag=ag+1;
        elseif R(j,9)==4
            a2g=a2g+1;
        elseif R(j,9)==9
            bg2=bg2+1;
        elseif R(j,9)==8
            bg=bg+1;
        end
    end
end

```

```

elseif R(j,9)==7
    b2g=b2g+1;
elseif (R(j,9)==12)
    cg2=cg2+1;
elseif (R(j,9)==11)
    cg=cg+1;
elseif (R(j,9)==10)
    c2g=c2g+1;
end
else
    if R(j,9)==6
        ag2=ag2+2;
    elseif (R(j,9)==5)
        ag=ag+2;
    elseif R(j,9)==4
        a2g=a2g+2;
    elseif R(j,9)==9
        bg2=bg2+2;
    elseif R(j,9)==8
        bg=bg+2;
    elseif R(j,9)==7
        b2g=b2g+2;
    elseif (R(j,9)==12)
        cg2=cg2+2;
    elseif (R(j,9)==11)
        cg=cg+2;
    elseif (R(j,9)==10)
        c2g=c2g+2;
    end
end
end

perag2=(ag2/830)*100;
perag=(ag/830)*100;
pera2g=(a2g/830)*100;
perbg2=(bg2/830)*100;
perbg=(bg/830)*100;
perb2g=(b2g/830)*100;
perc2g=(cg2/830)*100;
percg=(cg/830)*100;
perc2g=(c2g/830)*100;

numag2=perag2/2;
numag=perag;
numa2g=pera2g*2;
numaglevel=numag2+numag+numa2g;

numbg2=perbg2/2;
numbg=perbg;
numb2g=perb2g*2;
numbglevel=numbg2+numbg+numb2g;

numcg2=perc2g/2;
numcg=percg;
numc2g=perc2g*2;
numcglevel=numcg2+numcg+numc2g;

totalclass=numaglevel+numbglevel+numcglevel;

```

```

COR(10,1)=round(((numag2*glevelpercor)/totalclass)*2); %number or ss2 per
corridor
COR(7,1)=round(((numag*glevelpercor)/totalclass)); %number of as per
corridor
COR(4,1)=round(((numa2g*glevelpercor)/totalclass)*0.5); %number of a2s per
corridor

COR(11,1)=round(((numbg2*glevelpercor)/totalclass)*2); %number or bs2 per
corridor
COR(8,1)=round(((numbg*glevelpercor)/totalclass)); %number bof s per
corridor
COR(5,1)=round(((numb2g*glevelpercor)/totalclass)*0.5); %number of b2s per
corridor

COR(12,1)=round(((numcg2*glevelpercor)/totalclass)*2); %number or cs2 per
corridor
COR(9,1)=round(((numcg*glevelpercor)/totalclass)); %number of cs per
corridor
COR(6,1)=round(((numc2g*glevelpercor)/totalclass)*0.5); %number of c2s per
corridor

COR(10,2)=ag2;
COR(7,2)=ag;
COR(4,2)=a2g;
COR(11,2)=bg2;
COR(8,2)=bg;
COR(5,2)=b2g;
COR(12,2)=cg2;
COR(9,2)=cg;
COR(6,2)=c2g;

COR(4,3)=790;
COR(5,3)=790;
COR(6,3)=790;
COR(7,3)=395;
COR(8,3)=395;
COR(9,3)=395;
COR(10,3)=395/2;
COR(11,3)=395/2;
COR(12,3)=395/2;

COR(4,4)=4;
COR(5,4)=7;
COR(6,4)=10;
COR(7,4)=5;
COR(8,4)=8;
COR(9,4)=11;
COR(10,4)=6;
COR(11,4)=9;
COR(12,4)=12;

xlswrite('SLOTS PER gravity mati.xlsx',COR);

%layout of slots

SI=zeros(2,16,5,8);
num=zeros(12,1);
D=zeros(2,16,5);
ss=395;

for r=1:2 %left and right line

```



```

C=zeros(5,16);

for yy=1:5
    for xx=1:16
        C(yy,xx)=1600;
    end
end

for k=4:12
    if k~=10
        aa=0;

%constraints
        if k==4    %A2s CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=2;
            ymax=4;
        elseif k==5    %B2s CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=2;
            ymax=5;
        elseif k==6    %C2s CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=1;
            ymax=5;
        elseif k==7    %As CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=2;
            ymax=5;
        elseif k==8    %Bs CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=1;
            ymax=5;
        elseif k==9    %Cs CLASS
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=1;
            ymax=5;
        elseif k==10    %As2
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=2;
            ymax=5;
        elseif k==11    %Bs2
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=1;
            ymax=5;
        elseif k==12    %Cs2
            xmin=1;
            xmax=16;
            ymin=1;
            ymax=5;
        end
    end
end

```

```

l=1;
if mod(COR(k,1),2)~=0
    lim=(floor(COR(k,1)/2)+1);
else
    lim=floor(COR(k,1)/2);
end

if k==4 || k==5 || k==6           % 2g SLOT

    xpr=xmin;
    ypr=ymin;
    yo=ypr;
    xo=xpr;

    while (aa<lim) && (num(k,1)<COR(k,1)) && (l==1)
        if C(yo,xo)>=COR(k,3) %megethos slot
            num(k,1)=num(k,1)+1;
            D(r,xo,yo)=D(r,xo,yo)+1;
            aa=aa+1;
            C(yo,xo)=C(yo,xo)-COR(k,3);
            SL(r,xo,yo,D(r,xo,yo))=COR(k,4);           %bb
        else
            if yo-1>=ymin
                yo=yo-1;
            elseif xo+1<=xmax
                yo=ypr;
                xo=xo+1;
            else
                l=0;
            end
        end
    end

else %s / s2 SLOT
    xpr=xmin;
    ypr=ymin;
    yo=ypr;
    xo=xpr;

    while (aa<lim) && (num(k,1)<COR(k,1)) && (l==1)
        if C(yo,xo)>=COR(k,3) %megethos slot
            num(k,1)=num(k,1)+1;
            D(r,xo,yo)=D(r,xo,yo)+1;
            aa=aa+1;
            C(yo,xo)=C(yo,xo)-COR(k,3);
            SL(r,xo,yo,D(r,xo,yo))=COR(k,4);           %bb
        else
            if yo+1<=ymax
                yo=yo+1;
            elseif xo+1<=xmax
                yo=ypr;
                xo=xo+1;
            else
                l=0;
            end
        end
    end
end

```



```

        slot(sl,3)=racc;           %rack
        slot(sl,4)=numsl1;       %slot
        slot(sl,5)=SL(1,matii,rackk3,numsl1); %slot type
    end
end
end
jj=17;
for matiii=17:32
    racc2=0;
    jj=jj-1;
    for rackk4=5:-1:1
        racc2=racc2+1;
        for numsl12=1:D(2,jj,rackk4)
            sl=sl+1;           % number of total
slots
            slot(sl,1)=tt;     %corridor
            slot(sl,2)=matiii; %mati
            slot(sl,3)=racc2;  %rack
            slot(sl,4)=numsl12;%slot
            slot(sl,5)=SL(2,jj,rackk4,numsl12); %slot type
        end
    end
end
if tt==12
    tt=66;
else
    tt=0;
end
end
end

xlswrite('GRAVITY SLOT NAME 2.xlsx',slot);

```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΒΗΜΑΤΟΣ 7

```

F=xlswread('TYPE OF SLOT_CLASS_TRANSFER ORDERS_FOR FINAL
ASSIGNMENT_GRAVITY.xlsx','C2:M831');
T=xlswread('GRAVITY SLOT NAME 2.xlsx','A1:F960');
rest=xlswread('REMAINING SLOTS PER CORRIDOR GRAVITY','A1:L66');

maxtrr=1.178*F(1,9);
maxtrc=2.15*F(1,9);

SLOT=zeros(960,6);
TRC=zeros(66,1);
TRR=zeros(66,2,1);
NOSTORED=zeros(830,1);

for i=1:960
    SLOT(i,1)=T(i,1); %corridor
    SLOT(i,2)=T(i,6); %slot name
    SLOT(i,3)=T(i,5); %type(4-12)
    SLOT(i,6)=T(i,3); %rack
    SLOT(i,7)=T(i,2); %mati
end

```

```

y=0;

for j=1:830
    oldcor=F(j,3);
    l=0;
    vv=0;

    if F(j,10)<=22      %max rack due to weight
        maxrack=5;
    else
        maxrack=5;
    end
    % periptosi 1- xoraei ston palio
    diadromo.....
    .....
    %     if F(j,11)==1
    if oldcor==66 || oldcor==12
        cor=0;
        while cor==0
            vv=vv+1;          %1st slot of old corridor
            if SLOT(vv,1)==oldcor
                cor=1;          %mexri na vrei to old coriddor
            end
        end
        if TRC(oldcor,1)+F(j,7)<=maxtrc  && rest(oldcor,F(j,6))~=0  %ean
mporei na mpei ston palio diadromo
            if TRR(oldcor,1,1)+F(j,7)<=maxtrr
                while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=16
                    if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
                        l=1;
                        SLOT(vv,4)=F(j,1);          %product
                        SLOT(vv,5)=1;          %oti einai piasmeni
                        TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7); %kinhseis
ana diadromo
                        TRR(oldcor,1,1)=TRR(oldcor,1,1)+F(j,7);          %kinhseis
ana sthlh
                        rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
                    end
                    if l==0
                        vv=vv+1;
                    end
                end
            end
        end
        if l==0
            cor=0;
            if vv==0;
                vv=1;
            end
            while cor==0          %1st slot of old corridor
                if SLOT(vv,7)==17
                    cor=1;          %mexri na vrei to old coriddor
                else
                    vv=vv+1;
                end
            end
        end
        if TRR(oldcor,2,1)+F(j,7)<=maxtrr
            while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=32

```

```

        if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
            l=1;
            SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
            SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
            TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
%kinhseis ana diadromo
            TRR(oldcor,2,1)=TRR(oldcor,2,1)+F(j,7);
%kinhseis ana sthlh
rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0 && vv<960
                vv=vv+1;
            end
        end
    end
else %den xoraiei ston palio diadromo
    if oldcor==12
        oldcor=66;
    else
        oldcor=12;
    end
    vv=0;
    if TRC(oldcor,1)+F(j,7)<=maxtrc && rest(oldcor,F(j,6))~=0
%ean mporei na mpei ston palio diadromo
        cor=0;
        while cor==0
            vv=vv+1; %1st slot of old corridor
            if SLOT(vv,1)==oldcor
                cor=1; %mexri na vrei to old coridror
            end
        end
    end

    if TRR(oldcor,1,1)+F(j,7)<=maxtrr
        while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=16
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
%kinhseis ana diadromo
                TRR(oldcor,1,1)=TRR(oldcor,1,1)+F(j,7);
%kinhseis ana sthlh
rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
                    end
                    if l==0
                        vv=vv+1;
                    end
                end
            end
        if l==0
            cor=0;
            if vv==0;
                vv=1;
            end
            while cor==0 %1st slot of old corridor
                if SLOT(vv,7)==17

```

```

cor=1; %mexri na vrei to old
coriddor
    else
        vv=vv+1;
    end
end
if TRR(oldcor,2,1)+F(j,7)<=maxtrr
    while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=32
        if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
            l=1;
            SLOT(vv,4)=F(j,1);
%product
            SLOT(vv,5)=1; %oti einai
piasmeni
TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7); %kinhseis ana diadromo
            TRR(oldcor,2,1)=TRR(oldcor,2,1)+F(j,7);
%kinhseis ana sthlh
rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
            end
            if l==0
                vv=vv+1;
            end
        end
    end
end
end
end
% periptosi 2 -
static.....
    else
        if oldcor>=15 && oldcor<=35 %epilogi orofou
            oldcor=12;
        else
            oldcor=66;
        end
        if TRC(oldcor,1)+F(j,7)<=maxtrc && rest(oldcor,F(j,6))~=0 %ean
mporei na mpei ston palio diadromo
            if TRR(oldcor,1,1)+F(j,7)<=maxtrr
                cor=0;
                while cor==0
                    vv=vv+1; %1st slot of old corridor
                    if SLOT(vv,1)==oldcor
                        cor=1; %mexri na vrei to old coriddor
                    end
                end
                while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=16
                    if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
                        l=1;
                        SLOT(vv,4)=F(j,1); %product
                        SLOT(vv,5)=1; %oti einai piasmeni
                        TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7); %kinhseis
ana diadromo
                        TRR(oldcor,1,1)=TRR(oldcor,1,1)+F(j,7); %kinhseis
ana sthlh
                        rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;

```

```

        end
        if l==0
            vv=vv+1;
        end
    end
end
if l==0
    cor=0;
    if vv==0;
        vv=1;
    end
    while cor==0
        if SLOT(vv,7)==17
            cor=1;
        else
            vv=vv+1;
        end
    end
    if TRR(oldcor,2,1)+F(j,7)<=maxtrr
        while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=32
            if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
                l=1;
                SLOT(vv,4)=F(j,1);
                SLOT(vv,5)=1;
                TRC(SLOT(vv,1),1)=TRC(SLOT(vv,1),1)+F(j,7);
%kinhseis ana diadromo
                TRR(oldcor,2,1)=TRR(oldcor,2,1)+F(j,7);
%kinhseis ana sthlh
rest(SLOT(vv,1),F(j,6))=rest(SLOT(vv,1),F(j,6))-1;
                end
                if l==0 && vv<960
                    vv=vv+1;
                end
            end
        end
    else %den xoraei ston palio diadromo
        if oldcor==12
            oldcor=66;
        else
            oldcor=12;
        end
        vv=0;
        if TRC(oldcor,1)+F(j,7)<=maxtrc && rest(oldcor,F(j,6))~=0
%ean mporei na mpei ston palio diadromo
            cor=0;
            while cor==0
                vv=vv+1;
                if SLOT(vv,1)==oldcor
                    cor=1;
                end
            end
            if TRR(oldcor,1,1)+F(j,7)<=maxtrr
                while l==0 && SLOT(vv,1)==oldcor && SLOT(vv,7)<=16
                    if SLOT(vv,3)==F(j,6) && SLOT(vv,5)==0 &&
maxrack>=SLOT(vv,6)
                        l=1;
                        SLOT(vv,4)=F(j,1);

```