

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ:

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΤΑΙΡΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΕΜΠΟΡΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

ΛΕΥΚΑΚΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΖΕΙΜΠΕΚΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

Χίος, Σεπτέμβριος 2020

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα αυτής της διπλωματικής εργασίας, κ. Ζεϊμπέκη Βασίλειο, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Αιγαίου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την ουσιαστική και αδιάκοπη καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα ευχαριστήσω τον διευθύνοντα σύμβολο της εταιρίας Synergy S.A. κ. Κορωναίο Παναγιώτη καθώς και τον κ. Ζημιανίτη Chief Logistics Officer της προαναφερθείσας εταιρίας, για τη στήριξη, τη φιλοξενία που μας προσέφεραν στις εγκαταστάσεις της επιχείρησης καθώς και για τις χρήσιμες πληροφορίες που μας έδωσαν.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη κα. Αμυγδάλου Λεμονιά, μέλος Ε.Τ.Ε.Π. του εργαστηρίου ΣΥΣΠΑΛ του τμήματος Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Αιγαίου για τη βοήθεια που μας προσέφερε κατά την εκμάθηση του λογισμικού προσομοίωσης FlexSim, καθώς και τους συμφοιτητές μου κα. Χατζηλαζάρου Ελένη και κ. Λιαδή Κωνσταντίνο για την άριστη συνεργασία και αλληλοβοήθεια που είχαμε κατά το διάστημα αυτό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της οικογένειας μου για τη συμπαράσταση που μου έδειξαν και την κατανόηση για το χρόνο που τους στέρησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Κατάλογος σχημάτων	7
Κατάλογος πινάκων	12
Επιτελική σύνοψη.....	13
Executive summary	16
1. Εισαγωγή	18
1.1 Συλλογή παραγγελιών στο περιβάλλον μιας σύγχρονης αποθήκης	18
1.2 Σκοπός και στόχοι της διπλωματικής εργασίας	19
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	19
2. Βιβλιογραφική επισκόπηση στη συλλογή παραγγελιών	22
2.1 Εισαγωγή	22
2.3 Η σημασία της συλλογής παραγγελιών	26
2.4 Ανάλυση παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία συλλογής.....	29
2.4.1 Αποθηκευτικό σύστημα (Storage system).....	30
2.4.2 Μέθοδοι συλλογής παραγγελιών (Order-picking methods).....	31
2.4.3 Τεχνολογίες συλλογής παραγγελιών (Order-picking technologies)	34
2.4.4 Σύστημα συλλογής (Collection system)	37
2.4.5 Μονάδα συλλογής (Picking unit).....	38
2.4.6 Πολιτικές δρομολόγησης (Routing policies)	39
2.5 Συγκεντρωτική παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας	40
2.6 Παράμετροι που διερευνήθηκαν στη μελέτη περίπτωσης	43
2.7 Σύνοψη	44
3. Μοντέλα και συστήματα προσομοίωσης.....	46
3.1 Εισαγωγή	46
3.2 Βασικές έννοιες προσομοίωσης	46
3.3 Προσομοίωση διακριτών γεγονότων.....	52
3.4 Εφαρμογές προσομοίωσης σε διαδικασίες logistics	55
3.5 Περιγραφή βασικών χαρακτηριστικών του λογισμικού FlexSim	57

3.6	Σύνοψη	62
4.	Περιγραφή υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης	64
4.1	Εισαγωγή	64
4.2	Προφίλ εταιρίας	64
4.3	Περιγραφή του αποθηκευτικού κυκλώματος	65
4.4	Περιγραφή μοντέλου προσομοίωσης	68
4.5	Δοκιμή μοντέλου	72
4.6	Σύνοψη	74
5.	Προτεινόμενα σενάρια για την αναδιοργάνωση της διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης	75
5.1	Εισαγωγή	75
5.2	Προτεινόμενο μοντέλο συλλογής με χρήση ραουλόδρομου και ραφιών live storage (TO-BE 1)	75
5.3	Δοκιμή μοντέλου συλλογής με χρήση ραουλόδρομου και ραφιών live storage (TO-BE 1)	84
5.4	Προτεινόμενο μοντέλο συλλογής με χρήση ραουλόδρομου, ραφιών live storage και ραφιών back-to-back (TO-BE 2)	85
5.5	Δοκιμή μοντέλου συλλογής με χρήση ραουλόδρομου, ραφιών live storage και ραφιών back-to-back (TO-BE 2)	92
5.6	Σύνοψη	94
6.	Οικονομοτεχνική αξιολόγηση πρότασης αναδιοργάνωσης της συλλογής παραγγελιών	96
6.1	Εισαγωγή	96
6.2	Συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων οικονομοτεχνικής αξιολόγησης	96
6.3	Σχεδιασμός οικονομοτεχνικής αξιολόγησης της πρότασης που αφορά στη μελέτη περίπτωσης	99
6.4	Δεδομένα και αποτελέσματα μοντέλου AS-IS	101
6.5	Δεδομένα και αποτελέσματα μοντέλου TO-BE 1	105
6.6	Ανάλυση ευαισθησίας	108
6.6	Σύνοψη	109

7. Συμπεράσματα.....	110
7.1 Ανασκόπηση των βασικών σημείων της έρευνας	110
7.2 Διατύπωση συμπερασμάτων από τη μελέτη	110
7.3 Μελλοντικοί στόχοι.....	112
Παραρτήματα	113
Παράρτημα Α : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης λειτουργίας συλλογής στο εργαλείο FlexSim (AS-IS)	113
Παράρτημα Β : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με χρήση ραφιών live storage και ραουλόδρομου, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 1A & TO-BE 1B).....	138
Παράρτημα Γ : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του υβριδικού μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με συνδυασμό ραφιών live storage-ραουλόδρομου και ραφιών back-to-back, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 2)	169
Παράρτημα Δ : Συνοδευτικό υλικό του οπτικού δίσκου	176
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	178

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Διαδικασίες αποθηκευτικών χώρων	21
Σχήμα 2.2: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της συλλογής.....	28
Σχήμα 2.3: Βασικές πολιτικές δρομολόγησης.....	39
Σχήμα 2.4: Πλήθος εργασιών/έτος σχετικά με παράγοντες που επηρεάζουν τη συλλογή... 40	
Σχήμα 3.1: Κατηγοριοποίηση μοντέλων.....	48
Σχήμα 3.2: Στάδια προσομοίωσης.....	50
Σχήμα 3.3: Η ροή της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων.....	53
Σχήμα 3.4: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Source.....	56
Σχήμα 3.5: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Queue.....	57
Σχήμα 3.6: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Operator.....	57
Σχήμα 3.7: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Dispatcher.....	58
Σχήμα 3.8: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Rack.....	58
Σχήμα 3.9: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Gravity Flow Rack.....	59
Σχήμα 3.10: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου A-Navigator.....	59
Σχήμα 3.11: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Transporter.....	60
Σχήμα 4.1: Κάτοψη πυροδιαμερίσματος.....	64
Σχήμα 4.2: Ακολουθούμενη διαδρομή πικαδόρου.....	66
Σχήμα 4.3: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου AS-IS.....	67
Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση Process Flow συλλογής παραγγελιών.....	69
Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου των επαναλήψεων.....	72
Σχήμα 4.6: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας της συλλογής.....	72
Σχήμα 5.1: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 1.....	76
Σχήμα 5.2: Γραφική απεικόνιση Process Flow συλλογής παραγγελιών.....	77
Σχήμα 5.3: Γραφική απεικόνιση προϊόντων στα ράφια.....	82
Σχήμα 5.4: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας συλλογής.....	85
Σχήμα 5.5: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 2.....	88

Σχήμα 5.6: Γραφική απεικόνιση προϊόντων στα ράφια.....	90
Σχήμα 5.7: Δεδομένα SKUs τύπου B και C.....	91
Σχήμα 5.8: Υπολογισμός Picking Time για κωδικούς B και C.....	87
Σχήμα 5.9: Υπολογισμός χρόνου ενοποίησης παλετών.....	93
Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας συλλογής.....	94
Σχήμα 6.1: Δεδομένα εκτιμώμενης ζήτησης και εσόδων μοντέλου AS-IS.....	102
Σχήμα 6.2: Δεδομένα κόστους προσωπικού κατά το 1ο έτος λειτουργίας & πλήθος εργαζομένων.....	102
Σχήμα 6.3: Δεδομένα λειτουργικού κόστους.....	102
Σχήμα 6.4: Χρηματοχρονοδιάγραμμα μοντέλου AS-IS.....	103
Σχήμα 6.5: Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών δεκαετίας.....	103
Σχήμα 6.6: Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.....	104
Σχήμα 6.7: Χρηματοχρονοδιάγραμμα μοντέλου AS-IS.....	105
Σχήμα 6.8: Δεδομένα κόστους προσωπικού κατά το 1ο έτος λειτουργίας	105
Σχήμα 6.9: Δεδομένα λειτουργικού κόστους.....	105
Σχήμα 6.10: Χρηματοχρονοδιάγραμμα μοντέλου TO-BE 1.....	106
Σχήμα 6.11: Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών δεκαετίας.....	106
Σχήμα 6.12 Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.....	107
Σχήμα 6.13: Χρηματοχρονοδιάγραμμα διαφοράς μοντέλων TO-BE 1 - AS-IS.....	107
Σχήμα 6.14: Ανάλυση ευαισθησίας στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης.....	108
Σχήμα A.1: Ιδιότητες πίνακα Inventories.....	113
Σχήμα A.2: Ιδιότητες πινάκων Report – Report2.....	114
Σχήμα A.3: Πεδία της λίστας Inventories_list.....	114
Σχήμα A.4: Ιδιότητες αντικειμένου Rack.....	115
Σχήμα A.5: Διαστάσεις αντικειμένου Rack.....	115
Σχήμα A.6: Ρύθμιση πεδίων καρτέλας Flow του αντικειμένου Rack.....	116
Σχήμα A.7: Ρύθμιση αντικειμένου Pallet_Source.....	117
Σχήμα A.8: Ρύθμιση διαστάσεων παλέτας.....	117

Σχήμα A.9: Ρυθμίσεις ιδιοτήτων αντικειμένου Empty_pallets.....	118
Σχήμα A.10: Ρυθμίσεις ιδιοτήτων αντικειμένου Order_Queue1.....	118
Σχήμα A.11: Τοποθέτηση χειροκίνητου παλετοφόρου στον Operator.....	119
Σχήμα A.12: Ρυθμίσεις Triggers που απαιτούνται στον Operator1.....	120
Σχήμα A.13: Γραφική αναπαράσταση του μοντέλου AS-IS.....	121
Σχήμα A.14: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία των εμπορευμάτων.....	122
Σχήμα A.15: Ορισμός labels στα tokens.....	123
Σχήμα A.16: Ορισμός labels νέας παλέτας πάνω στο ράφι.....	124
Σχήμα A.17: Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας δημιουργίας κιβωτίων.....	125
Σχήμα A.18: Τερματισμός του Process Flow.....	125
Σχήμα A.19: Σύνδεση λίστας Inventories_list με Process Flow.....	125
Σχήμα A.20: Δημιουργία του κιβωτίου πάνω στην παλέτα.....	126
Σχήμα A.21: Χρωματισμός του κιβωτίου πάνω στην παλέτα.....	127
Σχήμα A.22: Καθορισμός διαστάσεων κιβωτίου.....	127
Σχήμα A.23: Εισαγωγή δεδομένων στη λίστα.....	127
Σχήμα A.24: Εντολές Process Flow για την εκτέλεση της συλλογής.....	128
Σχήμα A.25: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία κινήσεων συλλογής.....	129
Σχήμα A.26: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία παραγγελίας.....	130
Σχήμα A.27: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία παραγγελίας.....	131
Σχήμα A.28: Εντολές Process Flow για είσοδο σε Zone.....	131
Σχήμα A.29: Εντολές Process Flow για λήψη δεδομένων συλλογής.....	132
Σχήμα A.30: Εντολές Process Flow για μέτρηση χρόνου έναρξης κίνησης συλλογής.....	132
Σχήμα A.31: Εντολές Process Flow για καταγραφή χρόνου συλλογής παραγγελιογραμμής.....	133
Σχήμα A.32: Εντολές Process Flow για ρύθμιση και κλήση Zone2.....	134
Σχήμα A.33: Εντολές Process Flow για φόρτωση κιβωτίου.....	135
Σχήμα A.34: Εντολές Process Flow για αναπλήρωση κιβωτίου.....	135
Σχήμα A.35: Εντολή Decision που καθορίζει τη συνέχεια της ροής.....	136
Σχήμα A.36: Εντολές Process Flow για εκφόρτωση παλέτας.....	137

Σχήμα Β.1: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα orders.....	139
Σχήμα Β.2: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα PickingMethod.....	140
Σχήμα Β.3: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Durations.....	140
Σχήμα Β.4: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Inventories.....	141
Σχήμα Β.5: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα PickingListOperator1.....	141
Σχήμα Β.6: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Report1.....	142
Σχήμα Β.7: Πεδία της λίστας Inventories.....	142
Σχήμα Β.8: Ρυθμίσεις ραφίου Live Storage 1.....	143
Σχήμα Β.9: Ρυθμίσεις ραουλόδρομου Conveyor1.....	144
Σχήμα Β.10: Ρύθμιση αντικειμένου PalletsSource.....	145
Σχήμα Β.11: Ρύθμιση διαστάσεων παλέτας.....	145
Σχήμα Β.12: Ρύθμιση Decision Point : DP1.....	146
Σχήμα Β.13: Ρύθμιση NN1 και Transporter1.....	147
Σχήμα Β.14: Ρύθμιση αντικειμένου OrdersToShipment.....	147
Σχήμα Β.15: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου.....	148
Σχήμα Β.16: Απεικόνιση του Process Flow : Rack filling process.....	149
Σχήμα Β.17: Ορισμός labels στα tokens.....	150
Σχήμα Β.18: Ορισμός labels στα tokens.....	150
Σχήμα Β.19: Ορισμός labels νέας παλέτας πάνω στο ράφι.....	151
Σχήμα Β.20: Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας δημιουργίας κιβωτίων.	152
Σχήμα Β.21: Δημιουργία του κιβωτίου πάνω στην παλέτα.....	152
Σχήμα Β.22: Χρωματισμός του κιβωτίου πάνω στην παλέτα.....	152
Σχήμα Β.23: Καθορισμός διαστάσεων κιβωτίου.....	153
Σχήμα Β.24: Εισαγωγή δεδομένων στη λίστα.....	154
Σχήμα Β.25: Τερματισμός του Process Flow.....	154
Σχήμα Β.26: Σύνδεση λίστας Inventories με Process Flow.....	154
Σχήμα Β.27: Επιλογή μεθόδου συλλογής κιβωτίων.....	155
Σχήμα Β.28: Process Flow συλλογής όλων των κιβωτίων της παραγγελίας.....	156

Σχήμα Β.29: Διακοπή και επανέναρξη κίνησης της παλέτας στον Conveyor1.....	156
Σχήμα Β.30: Ενεργοποίηση του τμήματος εκτέλεσης συλλογής κιβωτίων.....	156
Σχήμα Β.31: Επιλογή της κατάλληλης Picking List.....	157
Σχήμα Β.32: Έναρξη μέτρησης χρόνων συλλογής.....	158
Σχήμα Β.33: Επιλογή των κατάλληλων προϊόντων στη σωστή ποσότητα.....	159
Σχήμα Β.34: Φυσική συλλογή και αναπλήρωση.....	159
Σχήμα Β.35: Εντολές Process Flow για είσοδο και ρύθμιση Zone.....	160
Σχήμα Β.36: Εντολές Process Flow για λήψη δεδομένων συλλογής.....	161
Σχήμα Β.37: Εντολές Process Flow για συλλογή κιβωτίου από το ράφι.....	162
Σχήμα Β.38: Αναπλήρωση συλλεχθέντος κιβωτίου.....	162
Σχήμα Β.39: Κλήση Sub Flow για εκφόρτωση κιβωτίων στην παλέτα.....	163
Σχήμα Β.40: Ρυθμίσεις Zone2 για απόθεση κιβωτίων.....	163
Σχήμα Β.41: Ρυθμίσεις εκφόρτωσης των κιβωτίων.....	164
Σχήμα Β.42: Ρυθμίσεις καταγραφής χρόνου στον Global Table Report1.....	165
Σχήμα Β.43: Απελευθέρωση της παλέτας και τερματισμός Process Flow.....	165
Σχήμα Β.44: Process Flow συλλογής ενός κιβωτίου κάθε φορά.....	166
Σχήμα Β.45: Process Flow μοντέλου TO-BE 1.....	167
Σχήμα Γ.1: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 2.....	169
Σχήμα Γ.2: Αλλαγή ονομάτων πινάκων και λιστών στις εντολές.....	171
Σχήμα Γ.3: Αλλαγή διαστάσεων ραφιών Live Storage.....	173

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Παραλλαγές μεθόδου πικαδόρος στα αγαθά.....	30
Πίνακας 2.2: Βιβλιογραφικές αναφορές ανά παράγοντα.....	40
Πίνακας 4.1: Τύποι συσκευασίας αγαθών.....	65
Πίνακας 5.1: Ανάλυση κατά ABC.....	78
Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικά στοιχεία από την ανάλυση ABC.....	81
Πίνακας 5.3: Πλήθος προϊόντων ανά ράφι.....	81
Πίνακας 5.4: Προϊόντα ανά ράφι.....	82
Πίνακας 5.5: Πλήθος παραγγελιογραμμών ανά πικαδόρο.....	83
Πίνακας 5.6: Προϊόντα ανά ράφι.....	89
Πίνακας 5.7: Πλήθος παραγγελιογραμμών ανά πικαδόρο.....	89
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα σεναρίων αναδιοργάνωσης της λειτουργίας της αποθήκης...	94
Πίνακας 6.1: Μέθοδοι λήψης οικονομοτεχνικών αποφάσεων.....	96
Πίνακας 6.2: Σενάρια μεταβολής εσόδων & εξόδων.....	97
Πίνακας 7.1: Ποσοστά εξοικονόμησης χρόνου.....	111
Πίνακας Β.1: Περιγραφή και ονομασία πινάκων.....	138
Πίνακας Γ.1: Αντιστοιχία πινάκων AS-IS με TO-BE 2.....	170
Πίνακας Γ.2: Περιγραφή και ονομασία πινάκων.....	172
Πίνακας Δ.1: Συνοδευτικά αρχεία διπλωματικής.....	176

Επιτελική σύνοψη

Διερεύνηση εναλλακτικού εξοπλισμού αποθήκευσης και στρατηγικών συλλογής για τη βελτίωση της συλλογής παραγγελιών με χρήση προσομοίωσης: Μελέτη περίπτωσης σε εταιρία παραγωγής και εμπορίας τροφίμων και ποτών

Οι αποθήκες αποτελούν τα σημεία εκείνα της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου το προϊόν αποθηκεύεται, για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια διακινείται από εκεί, προκειμένου να φτάσει στους τελικούς αποδέκτες του. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη διαδικασία της αποθήκευσης είναι πολλά και σημαντικά. Προκειμένου όμως να υπάρξουν, βασική προϋπόθεση αποτελεί η αρμονική λειτουργία όλων των παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός αποθηκευτικού χώρου (εξοπλισμός, διαδικασίες, πληροφοριακά συστήματα, άνθρωποι). Είναι κοινά αποδεκτό ότι από όλες τις διαδικασίες που συναντάει κανείς σε μια αποθήκη, η διαδικασία της συλλογής παραγγελιών αποτελεί την πιο απαιτητική διαδικασία σε φόρτο εργασίας και έχει άμεση επιρροή τόσο στην παραγωγικότητα του προσωπικού όσο και στο λειτουργικό κόστος της αποθήκης. Κατά καιρούς έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία ποικίλες στρατηγικές συλλογής με σκοπό να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της συλλογής παραγγελιών, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συλλογή παραγγελιών είναι: Το σύστημα αποθήκευσης, η κατανομή των προϊόντων σε θέσεις αποθήκευσης (π.χ. κατά ABC), οι πολιτικές δρομολόγησης, οι τεχνολογίες συλλογής παραγγελιών, το σύστημα συλλογής, η μονάδα συλλογής και φυσικά το είδος του εξοπλισμού αποθήκευσης (ραφιών) που χρησιμοποιείται. Η διερεύνηση και η βελτιστοποίηση όλων των προαναφερθέντων παραγόντων δεν είναι εύκολο να υλοποιηθεί στην πράξη, λόγω του υψηλού κόστους, των προβλημάτων που πιθανώς να δημιουργηθούν στην ομαλή καθημερινή λειτουργία της αποθήκης και της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων. Έτσι, επιστρατεύεται η τεχνική της προσομοίωσης μέσω Η/Υ (χρήση λογισμικού προσομοίωσης). Υπάρχουν πολλές μέθοδοι προσομοίωσης όμως η πλέον εφαρμοζόμενη στους περισσότερους τομείς είναι η προσομοίωση διακριτών γεγονότων (Discrete event simulation). Γενικότερα, υπάρχει σημαντικός αριθμός λογισμικών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού FlexSim. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει ταυτόχρονα και οπτική απεικόνιση του μοντέλου προσομοίωσης, προσφέροντας μια πιο απτή αναπαράσταση της πραγματικότητας. Περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος αντικειμένων τα οποία μπορεί να συνδεθούν μεταξύ τους και να δημιουργηθεί ένα σύστημα. Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η παρούσα εργασία έχει ως βασικό σκοπό τη μελέτη της υφιστάμενης λειτουργίας ενός τμήματος

αποθήκης που διαχειρίζεται ταχυκίνητα καταναλωτικά προϊόντα (FMCGs) και το σχεδιασμό εναλλακτικών προτάσεων που πιθανώς θα αυξήσουν την παραγωγικότητα των εργαζομένων κατά τη διαδικασία της συλλογής παραγγελιών. Οι στόχοι της εργασίας είναι: (α) Βιβλιογραφική αναφορά στη συλλογή παραγγελιών και στις βασικές έννοιες της προσομοίωσης, (β) μοντελοποίηση της υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών, (γ) σχεδιασμός εναλλακτικών σεναρίων (what-if scenarios) συλλογής παραγγελιών, (δ) οικονομοτεχνική ανάλυση προτεινομένου σεναρίου και τέλος, (ε) πραγματοποίηση δοκιμών σε περιβάλλον προσομοίωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων. Με τη βοήθεια του λογισμικού πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της χρήσης εναλλακτικών συστημάτων αποθήκευσης (Ράφια live storage και χρήση ραουλόδρομου) καθώς επίσης και διαφορετικής πολιτικής συλλογής (zone picking) με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας (μείωση χρόνου συλλογής) της διαδικασίας της συλλογής. Όλα αυτά εφαρμόζονται στην περίπτωση μιας πολυεθνικής εταιρίας τροφίμων και ποτών. Αρχικά, αναπαρίσταται η τρέχουσα κατάσταση που εφαρμόζεται στη συλλογή παραγγελιών, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης. Αυτό περιλαμβάνει ράφια τύπου back-to-back και πολιτική δρομολόγησης τύπου Return εκτελώντας discrete picking. Το μοντέλο τροφοδοτείται με δεδομένα που προέρχονται από την πραγματική λειτουργία της επιχείρησης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δεδομένα για 4.848 παραγγελίες που αποτελούνται από 60.387 παραγγελιογραμμές. Στη συνέχεια, προτείνονται δυο εναλλακτικοί τρόποι εκτέλεσης του έργου της συλλογής παραγγελιών χρησιμοποιώντας μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης, η οποία περιλαμβάνει : (α) εγκατάσταση ραφιών τύπου live storage για την αποθήκευση του πλήθους των SKUs και χρήση ραουλόδρομου για την υποστήριξη της στρατηγικής zone picking, (β) μια υβριδική λύση που αποτελείται από συνδυασμό ραφιών τύπου live storage (για της αποθήκευση των κωδικών τύπου A – ταχυκίνητους κωδικούς) και χρήση ραφιών back-to-back για την αποθήκευση των υπολοίπων SKUs (κωδικοί τύπου B και C), με εφαρμογή πολιτικής zone picking και discrete picking και πολιτική δρομολόγησης Return αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα από τα μοντέλα προσομοίωσης είναι ενθαρρυντικά καθώς δείχνουν μείωση του συνολικού χρόνου συλλογής σε επίπεδα που κυμαίνονται μεταξύ 15% και 40%. Πιο αναλυτικά, στο μοντέλο που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ράφια live storage και ραουλόδρομο, υπήρξε βελτιωμένος χρόνος κατά 33,4% στην περίπτωση που ο πικαδόρος συλλέγει ένα κιβώτιο σε κάθε επίσκεψη στο ράφι και 39,7% στην περίπτωση που συλλέγει ταυτόχρονα όλα τα κιβώτια της παραγγελίας, μειώνοντας έτσι το μη ωφέλιμο χρόνο που δαπανάται στο περπάτημα. Στο υβριδικό μοντέλο διακρίνουμε δυο περιπτώσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την αποστολή δυο διαφορετικών παλετών στον πελάτη. Η μία με τους κωδικούς τύπου A και η άλλη με τους B και C. Στη περίπτωση αυτή το όφελος στην εξοικονόμηση χρόνο ανέρχεται σε ποσοστό 20,1%. Στην περίπτωση που οι παλέτες ενοποιούνται σε μία, η εξοικονόμηση φτάνει στο

14,7%. Τέλος κρίθηκε σκόπιμη η οικονομοτεχνική αξιολόγηση των προτάσεων. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η ακριβότερη περίπτωση του μοντέλου που χρησιμοποιεί live storage και ραουλόδρομο. Χρησιμοποιώντας τις έννοιες της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης, η επένδυση επιστρέφει τα επενδυθέντα κεφάλαια κατά το δεύτερο έτος λειτουργίας. Το γεγονός αυτό ενισχύει την υιοθέτηση τέτοιου είδους πρακτικών προκειμένου να βελτιωθεί το συνολικό επίπεδο παρεχόμενων υπηρεσιών.

Λέξεις Κλειδιά: Αποθήκευση, διαδικασίες αποθηκευτικών χώρων, μοντέλα προσομοίωσης, ράφια live storage, ραουλόδρομος, συλλογή προϊόντων, οικονομοτεχνική αξιολόγηση.

Executive summary

Testing alternative warehouse storage equipment for improving order picking via simulation modeling: The case of a multinational food and beverage company

Warehouse is the point in the supply chain where products are stored, for some time and then move from there, in order to reach their final recipients. The benefits of the storage process are numerous and significant. In order to obtain these benefits, the harmonious cooperation of all the factors that affect the operation of the warehouse, is a basic condition. It is generally accepted that among the typical processes of a warehouse, the order collection process is the most labor-intensive operation and has a direct impact on both staff productivity and the operating costs of the warehouse. From time to time, a variety of collection strategies have been proposed in the literature in order to improve the efficiency of order collection, taking into account a lot of factors. The main factors influencing the collection of orders are: The storage system, the distribution of the products in storage places (i.e. according to ABC), the routing policies, the order collection technologies, the collection system, the collection unit and of course the type of racks used in the warehouse. Investigating and optimizing all of the above factors is not easy to implement in practice, due to the high cost, problems that may arise in the smooth daily operation of the warehouse and the uncertainty of the results. Thus, simulation techniques using computers are adopted (use of simulation software). There are many simulation methods but the most applied in most areas is the simulation of discrete events (Discrete event simulation). In general, there is a significant number of software that use this method. The use of FlexSim software was chosen for this work. This software gives a visual representation of the simulation model, offering a more tangible representation of reality. It includes a large number of objects that can be interconnected to create a simulation system. Based on the above, the main purpose of this paper is to study the existing operation of a warehouse department that handles with fast-moving consumer goods (FMCGs) and to design alternative solutions that are likely to increase employee productivity during the process of order-picking. The objectives of the study are: (a) Literature review on the order-picking and the basic concepts of simulation methods, (b) modeling of the existing order-picking process, (c) design of alternative order-picking scenarios (what-if scenarios), (d) cost-benefit analysis of a proposed scenario and finally, (f) carrying out tests in a simulation environment and analysis of results. So, the software was used to investigate the use of alternative storage systems (Live storage shelves and use of conveyor belt) as well as a different collection policy (zone picking) in order to increase the efficiency (reduction of collection time) in the collection process. All

this applies in the case of a multinational food and beverage company. At first, the current situation applied to the order collection is represented, using the appropriate simulation model. This includes back-to-back racks and Return routing policy performing discrete picking. The model is victualled with data coming from the actual operation of the 3PL company. More specifically, the data of 4,848 orders consisting of 60,387 order-picking lines are used. After that, two alternative ways of performing the order collection task are proposed using modeling via simulation environment, which includes: (a) installing live storage racks to store the total SKUs and using a conveyor belt to support the zone picking strategy, (b) a hybrid system that consists of a combination of live storage type racks (for the storage of type A SKUs – fast moving products) and use of back-to-back shelves for the storage of B and C type SKUs, with application of zone picking and discrete picking policy and Return routing policy respectively. The results from the simulation models are encouraging as they show a reduction of the total collection time to levels that vary from 15% to 40%. More specifically, in the model that uses exclusively live storage racks and conveyor belt, an improved time by 33.4% was achieved, in case the picker collects one box at each visit to the rack, and 39.7% in case it collects all the boxes of the order at the same time, thus reducing the useless travelling time. In the hybrid model we distinguish two cases. The first involves the shipment of two different pallets to the customer. One with the type A SKUs and the other with the B and C type SKUs. In this case the benefit in time saving is 20.1%. In case the pallets are consolidated into one, the time saving reaches 14.7%. Finally, the economic and technical evaluation of the proposals was deemed appropriate. More specifically, the most expensive case of the model that uses live storage racks and conveyor belt was examined. Using the concepts of net present value (NPV) and internal rate of return (IRR), the investment returns the invested funds in the second year of operation. This reinforces the adoption of such practices in order to improve the overall level of quality of service provided.

Keywords: Warehouse, storage processes, simulation models, live storage racks, conveyor belt, product collection, economic and technical evaluation.

1. Εισαγωγή

1.1 Συλλογή παραγγελιών στο περιβάλλον μιας σύγχρονης αποθήκης

Κατά κοινή ομολογία, η διαδικασία της συλλογής παραγγελιών (order-picking) αποτελεί την πιο περίπλοκη λειτουργία στις περισσότερες αποθήκες. Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του φόρτου εργασίας και καθορίζει το επίπεδο ποιότητας που λαμβάνει ο τελικός πελάτης (Fager et al., 2019). Επιπλέον, αποτελεί μια από τις βασικότερες συνιστώσες του λειτουργικού κόστους μιας αποθήκης. Με βάση όλα τα παραπάνω, η ανάγκη για συνολική βελτίωση της συλλογής οδηγεί τις εταιρείες στο να προσπαθούν να εφαρμόσουν εναλλακτικές μεθόδους και τεχνικές συλλογής παραγγελιών ώστε να βελτιώσουν το παρεχόμενο επίπεδο υπηρεσιών μειώνοντας παράλληλα το λειτουργικό τους κόστος (De Koster et al., 2007). Η πρόκληση λοιπόν που έχουν να αντιμετωπίσουν οι εταιρείες είναι να εξασφαλίσουν την ομαλή ροή εργασίας, ώστε να αποφύγουν καθυστερήσεις και μείωση της παραγωγικότητας μέσα στους αποθηκευτικούς τους χώρους. (Bartholdi & Hackman, 2019).

Προκειμένου να επιτευχθεί ο ως άνω στόχος υπάρχουν εναλλακτικές προσεγγίσεις όπως για παράδειγμα η δυνατότητα ανάπτυξης αλγορίθμων δρομολόγησης του εργαζόμενου (picker) με στόχο να μειωθεί η διανυόμενη απόσταση κατά την προετοιμασία μιας παραγγελίας ή η χρήση μοντέλων προσομοίωσης όπου στρατηγικές συλλογής, πολιτικές δρομολόγησης και εναλλακτικός εξοπλισμός αποθήκευσης μπορούν να ελεγχθούν με χρήση what-if σεναρίων. Ειδικότερα, με τη χρήση προσομοίωσης αναπτύσσονται μοντέλα που απεικονίζουν την υφιστάμενη κατάσταση (με χρήση συνήθως πραγματικών δεδομένων) και στη συνέχεια προτείνονται εναλλακτικές με στόχο τη βελτίωση μιας διαδικασίας. (Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017).

Συγκεκριμένα, στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξεταστούν σενάρια που περιλαμβάνουν τη χρήση ραφιών live storage και ραουλόδρομου καθώς και μεικτών συστημάτων αποθήκευσης που αποτελούνται από συνδυασμό ραφιών live storage και ραφιών back-to-back. Επιπλέον, θα εξεταστεί μια εναλλακτική μέθοδος αποθήκευσης των εμπορευμάτων που βασίζεται στην ανάλυση ταχυκινήσις των διακινούμενων κωδικών (κατά ανάλυση ABC). Ως αποτέλεσμα, επιδιώκεται ο προσδιορισμός του ποσοστιαίου οφέλους στο χρόνο συλλογής (order picking time / picking efficiency) σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Λαμβάνοντας υπόψη και τον παράγοντα κόστους επένδυσης, προτείνονται συγκεκριμένες λύσεις έναντι άλλων, τεκμηριώνοντάς τες με χρήση μεθόδων ανάλυσης κόστους οφέλους καθώς και μέσω του υπολογισμού ποικίλων δεικτών και εκτελώντας ανάλυση ευαισθησίας στα προτεινόμενα οικονομοτεχνικά σενάρια (Harrisson & van Hoek, 2013).

1.2 Σκοπός και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της υφιστάμενης λειτουργίας και ο σχεδιασμός εναλλακτικών προτάσεων που μπορεί να αυξήσουν την παραγωγικότητα των εργαζομένων κατά τη διαδικασία της συλλογής παραγγελιών (order-picking) σε μια αποθήκη που διαχειρίζεται σημαντικό όγκο παραγγελιών και τα προϊόντα που διαχειρίζεται ανήκουν σε εταιρία παραγωγής και εμπορίας τροφίμων και ποτών. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός υιοθετείται η χρήση λογισμικού προσομοίωσης (εργαλείο FlexSim).

Η εν λόγω διπλωματική εργασία βασίζεται σε στοιχεία που προέρχονται από ελληνική εταιρία που παρέχει υπηρεσίες αποθήκευσης και διανομής (3PL) για λογαριασμό τρίτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποτυπωθεί τόσο η υφιστάμενη κατάσταση όσο και η προτεινόμενες μελλοντικές προέρχονται από στοιχεία πραγματικών παραγγελιών.

Οι επιμέρους στόχοι της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν τα εξής:

- Βιβλιογραφική αναφορά στις κατηγορίες και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη συλλογή παραγγελιών καθώς επίσης και στην έννοια και στα χαρακτηριστικά της προσομοίωσης.
- Μοντελοποίηση της υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών.
- Σχεδιασμός εναλλακτικών σεναρίων (what-if scenarios) συλλογής παραγγελιών με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητας της λειτουργίας της συλλογής παραγγελιών.
- Πραγματοποίηση δοκιμών σε περιβάλλον προσομοίωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων.
- Οικονομοτεχνική ανάλυση προτεινόμενου σεναρίου συλλογής παραγγελιών
- Διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με το όφελος που προκύπτει από την υιοθέτηση του προτεινόμενου σεναρίου συλλογής παραγγελιών

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, έχουν συγγραφεί επτά (7) κεφάλαια. Η δομή της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται παρακάτω.

1. Εισαγωγή

Περιλαμβάνει επεξήγηση του θέματος, ανάλυση των στόχων και των σκοπών της εργασίας και τέλος αναφορά στη δομή και στη μέθοδο που θα ακολουθηθεί.

2. Βιβλιογραφική επισκόπηση στη συλλογή παραγγελιών

Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται μια σύντομη επισκόπηση στη βιβλιογραφία και αναφέρεται στη διαδικασία της συλλογής παραγγελιών μέσα στο περιβάλλον μιας αποθήκης. Αναλύονται οι εναλλακτικοί εξοπλισμοί αποθήκευσης εμπορευμάτων, οι στρατηγικές συλλογής των προϊόντων, καθώς και οι πολιτικές δρομολόγησης των εργαζομένων. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνεται έμφαση στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.

3. Μοντέλα και συστήματα προσομοίωσης.

Η εργασία συνεχίζει με ανάλυση της θεωρίας της προσομοίωσης, αναπτύσσοντας τις βασικές έννοιες και μεθόδους προσομοίωσης. Έμφαση δίνεται στην προσομοίωση γεγονότων σε διακριτό χρόνο και τέλος το κεφάλαιο κλείνει με επεξήγηση των βασικών λειτουργιών του λογισμικού προσομοίωσης που χρησιμοποιείται στα παρακάτω κεφάλαια.

4. Περιγραφή υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά, τόσο στην εταιρία που μελετήθηκε, αλλά και στην αναλυτική περιγραφή του υφιστάμενου τρόπου λειτουργίας της αποθήκης. Επιπλέον, σε ένα μεγάλο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του υφιστάμενου τρόπου συλλογής παραγγελιών σε περιβάλλον προσομοίωσης. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με δοκιμή του μοντέλου και εξαγωγή συμπερασμάτων.

5. Προτεινόμενα σενάρια για την αναδιοργάνωση της διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης.

Εδώ προτείνονται δυο διαφορετικές εναλλακτικές περιπτώσεις οι οποίες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τον υφιστάμενο τρόπο συλλογής παραγγελιών και να οδηγήσουν το σύστημα σε αποδοτικότερη λειτουργία. Αυτές οι προτεινόμενες περιπτώσεις αναλύονται θεωρητικά και στη συνέχεια μοντελοποιούνται στο περιβάλλον προσομοίωσης του λογισμικού FlexSim.

6. Οικονομοτεχνική αξιολόγηση προτάσεων αναδιοργάνωσης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών

Οι προτεινόμενες περιπτώσεις αναδιοργάνωσης συνοδεύονται από οικονομοτεχνική μελέτη με την οποία θα διερευνηθούν σενάρια επιστροφής των επενδυμένων χρηματικών κεφαλαίων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λεπτομερής ανάλυση με χρήση τεχνικών ανάλυσης κόστους-οφέλους.

7. Συμπεράσματα

Το βασικό μέρος της διπλωματικής εργασίας κλείνει με αναλυτική παρουσίαση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από την προηγούμενη μελέτη και εφαρμογή των προτάσεων αναδιοργάνωσης του τρόπου λειτουργίας της αποθήκης.

Παραρτήματα

Στη συνέχεια ακολουθούν παραρτήματα που σκοπό έχουν να επεξηγήσουν βήμα προς βήμα τη διαδικασία κατασκευής των μοντέλων που περιγράφηκαν στα κεφάλαια 4 και 5, στο περιβάλλον του λογισμικού FlexSim.

Παράρτημα Α : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης λειτουργίας συλλογής στο εργαλείο FlexSim (AS-IS).

Παράρτημα Β : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με χρήση ραφιών live storage και ραουλόδρομου, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 1A & TO-BE 1B).

Παράρτημα Γ : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του υβριδικού μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με συνδυασμό ραφιών live storage-ραουλόδρομου και ραφιών back-to-back, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 2).

Παράρτημα Δ : Συνοδευτικό υλικό του οπτικού δίσκου.

2. Βιβλιογραφική επισκόπηση στη συλλογή παραγγελιών

2.1 Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην περιγραφή των κύριων διαδικασιών εκτέλεσης του αποθηκευτικού έργου, δίνοντας έμφαση στη συλλογή παραγγελιών που αποτελεί το βασικό αντικείμενο μελέτης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας. Αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους, η διαδικασία της συλλογής είναι η πλέον σημαντικότερη μέσα σε μια αποθήκη. Επιπλέον, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των παραγόντων που την επηρεάζουν και παρουσιάζεται η σχετική βιβλιογραφία. Συνεχίζοντας, επεξηγούνται λεπτομερώς οι παράμετροι που αφορούν στη συγκεκριμένη μελέτη και γίνεται αναφορά στις τροποποιήσεις που θα ακολουθήσουν στα επόμενα κεφάλαια, όταν θα μοντελοποιηθεί η διαδικασία σε περιβάλλον προσομοίωσης.

2.2 Διαδικασίες εκτέλεσης αποθηκευτικού έργου

Οι αποθήκες είναι τα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου το προϊόν σταματάει, για μικρό ή μεγάλο διάστημα και στη συνέχεια διακινείται από εκεί. (Bartholdi & Hackman, 2019). Αυτή η διαδικασία απαιτεί χώρο και χρόνο. Τόσο ο χώρος όσο και ο χρόνος σημαίνουν έξοδα για μια εταιρία. Αυτός είναι ο λόγος που η αποθήκευση δεν είναι μια απλή διαδικασία που μπορεί να βασιστεί σε εμπειρικούς κανόνες και πρόχειρες λύσεις. Αντίθετα, απαιτεί προσεκτική μελέτη και αντιμετώπιση των θεμάτων που προκύπτουν, με επιστημονικό τρόπο και στόχο την επίτευξη βέλτιστης αποδοτικότητας σε όλους τους εμπλεκόμενους τομείς. (Bartholdi & Hackman, 2019).

Αν εξετάσει κάποιος βαθύτερα τους λόγους για τους οποίους η ύπαρξη αποθηκευτικών χώρων είναι απαραίτητη, καταλήγει στα εξής συμπεράσματα: (Bartholdi & Hackman, 2019) (α) Ο βασικότερος λόγος ύπαρξης μιας αποθήκης είναι η δυνατότητα που δίνει σε μια εταιρία να ανταποκριθεί με ταχύτητα στις διακυμάνσεις της ζήτησης. Χαρακτηριστικοί παράγοντες που καθορίζουν αυτές τις διακυμάνσεις είναι η εποχικότητα και τα απρόβλεπτα δεδομένα. Χωρίς την ύπαρξη αποθηκευτικών χώρων, οι διακυμάνσεις της ζήτησης θα σήμαιναν ενδεχομένως κατάρρευση της εφοδιαστικού κυκλώματος μιας εταιρίας, (β) Επιπλέον, η παγκοσμιοποίηση του εμπορίου που δίνει τη δυνατότητα διακίνησης των αγαθών από χώρα σε χώρα και από ήπειρο σε ήπειρο, υποστηρίζεται σημαντικά από την ύπαρξη αποθηκών. Χωρίς αυτές οι καθυστερήσεις στους χρόνους παράδοσης θα ήταν αναπόφευκτες, λόγω ιδιομορφιών των μεταφορικών συστημάτων της κάθε περιοχής, αλλά και της μεγάλης απόστασης, (γ) Οι αποθήκες μπορούν επίσης να προστατεύσουν τις εταιρίες από ξαφνικές αλλαγές στην προσφορά. Διαθέτοντας αποθήκες, υπάρχει η δυνατότητα προμήθειας αγαθών μεγαλύτερες ποσότητες και καλύτερες τιμές,

αντισταθμίζοντας το κόστος αποθήκευσης και εξοικονομώντας χρήματα, (δ) Τέλος μια αποθήκη δίνει δυνατότητες ενοποίησης εμπορευμάτων (consolidation center) καθώς μπορεί να δέχεται προϊόντα από πολλούς προμηθευτές και να τα διανέμει σε πολλούς αποδέκτες. Η αντίθετη περίπτωση θα σήμαινε ότι ο κάθε προμηθευτής μπορεί να στείλει προϊόντα σε κάθε αποδέκτη. Ας υποθέσουμε ότι k προμηθευτές αποστέλλουν σε λ αποδέκτες. Χωρίς αποθήκη υπάρχουν $k \cdot \lambda$ συνδέσεις, ενώ με αποθήκη που λειτουργεί ως κέντρο διανομής υπάρχουν μόλις $k + \lambda$. Από όλα τα παραπάνω φαίνεται ότι η παρουσία αποθήκης είναι επιτακτική καθώς όχι μόνο εξυπηρετεί στην εξοικονόμηση χρήματος για τις εταιρίες, αλλά προσφέρει και καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης στον τελικό καταναλωτή. Αυτό είναι βασική επιδίωξη σε κάθε σύγχρονη επιχείρηση και πρέπει να υποστηριχθεί με κάθε δυνατό τρόπο. (Bartholdi & Hackman, 2019)

Προκειμένου όμως τα οφέλη που αναφέρθηκαν πιο πάνω να είναι εφικτά, χρειάζεται να υπάρξει σημαντική οργάνωση ώστε τα διάφορα τμήματα της αποθήκης να συνεργάζονται αρμονικά. Μια αποθήκη αποτελείται από μια σειρά από συνιστώσες και αν κάποια από αυτές δε συνεργάζεται σωστά με τις άλλες, υπάρχουν προβλήματα και καθυστερήσεις. (Khanzode & Shah, 2017). Οι συνιστώσες που πρέπει να συντονιστούν και να λειτουργήσουν σαν ολότητα, είναι οι εξής: (Bartholdi & Hackman, 2019).

- Εξοπλισμός
Στην κατηγορία του εξοπλισμού, ενδεικτικά αναφέρουμε το αποθηκευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται (ραφαρίες), τον εξοπλισμό ενδοδιακίνησης, τον εξοπλισμό διαχείρισης υλικών, τα συστήματα κλιματισμού, εξαερισμού και φωτισμού των χώρων κ.α.
- Ανθρώπινο δυναμικό
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι εργαζόμενοι στα τμήματα της αποθήκης, οι οποίοι αποτελούν το έμψυχο δυναμικό της επιχείρησης και χωρίς αυτούς τα υπόλοιπα μέρη δε μπορούν να λειτουργήσουν. Φυσικά, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το επίπεδο κατάρτισης τους, η έμφαση στην εργονομία σε κάθε φάση της εργασίας τους, καθώς και τα κίνητρα-αμοιβές που λαμβάνουν προκειμένου να αυξήσουν την παραγωγικότητα τους.
- Πληροφοριακά συστήματα
Μια σύγχρονη αποθήκη θεωρείται αδιανόητο να λειτουργήσει αποτελεσματικά χωρίς τη χρήση πληροφοριακών συστημάτων. Συγκεκριμένα το σύστημα διαχείρισης αποθήκης (WMS) σε συνδυασμό με φορητά τερματικά (scanners)

διαχειρίζονται την οποιαδήποτε διακίνηση προϊόντος που συμβαίνει και χωρίς αυτά η λειτουργία της αποθήκης δεν είναι δυνατή.

- Διαδικασίες

Εκτός βέβαια από τα παραπάνω, μια αποθήκη πρέπει να διαθέτει σωστό σχεδιασμό των διαδικασιών της. Αν οι διαδικασίες δεν έχουν οργανωθεί σωστά θα εμφανιστούν προβλήματα τα οποία θα οδηγήσουν σε μη αποδοτική λειτουργία. Αυτό συνεπάγεται μειωμένη αποδοτικότητα και κατά συνέπεια δυσαρεστημένους πελάτες.

Από όλα τα παραπάνω φαίνεται ότι αν ένα συστατικό της οργάνωσης ενός αποθηκευτικού χώρου δε λειτουργήσει σωστά, τότε η συνολική λειτουργία επηρεάζεται αρνητικά με δυσμενή αποτελέσματα. Από όλους όμως αυτούς τους παράγοντες που πρέπει να συνυπάρξουν αρμονικά, θα γίνει ανάλυση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα μέσα σε μια αποθήκη. (Bartholdi & Hackman, 2019)

Οι βασικές διαδικασίες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: (α) Εισερχόμενες διαδικασίες (inbound processes) και (β) Εξερχόμενες διαδικασίες (outbound processes). Πέρα από τις παραπάνω βασικές διαδικασίες, μπορεί να υλοποιηθούν και άλλες οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια. (Bartholdi & Hackman, 2019).

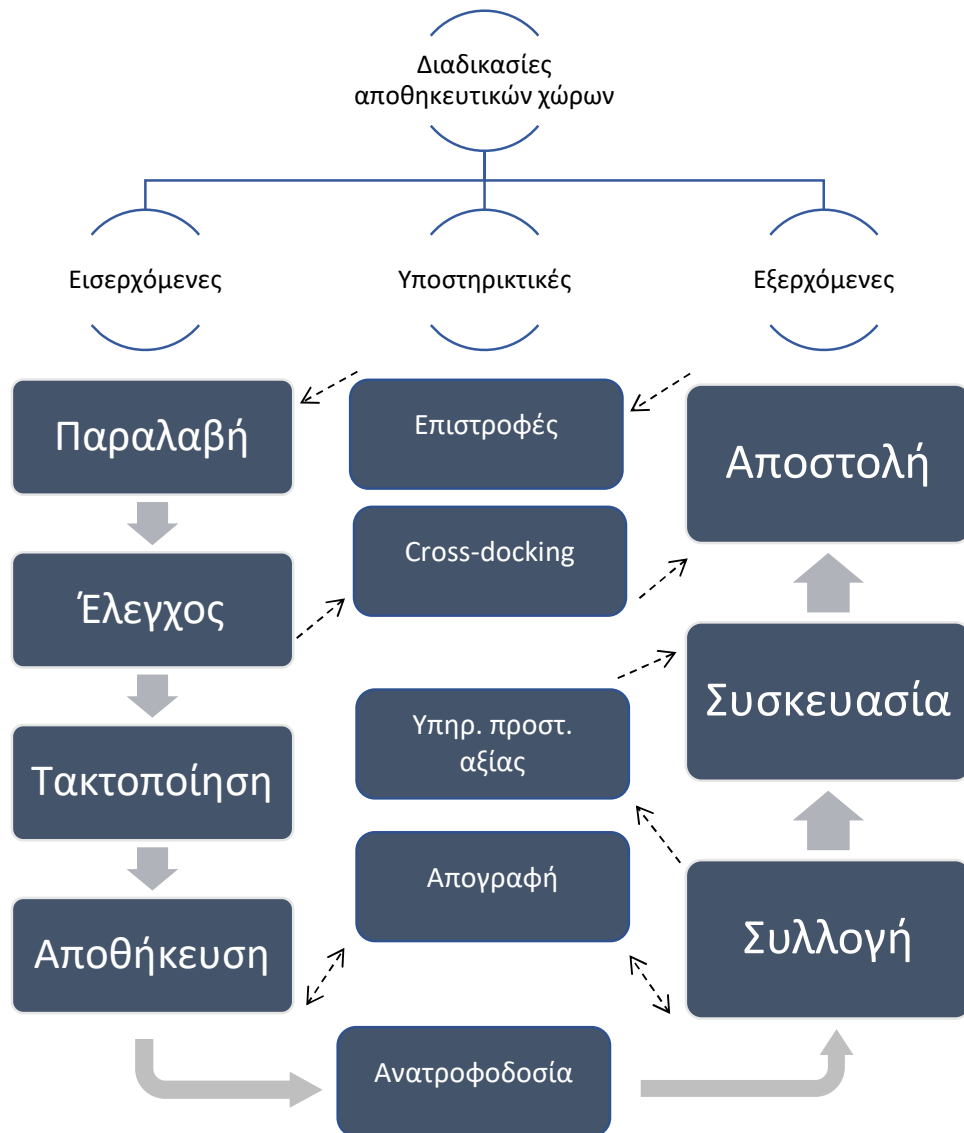
Στις εισερχόμενες διαδικασίες συναντάμε την παραλαβή των εμπορευμάτων και την τακτοποίηση. Προκειμένου η αποθήκη να μπορέσει να παράγει έργο πρέπει προηγουμένως να παραλάβει εμπορεύματα (receiving). Έτσι, τα φορτηγά καταφθάνουν στις ράμπες φορτοεκφόρτωσης σε χρόνους οι οποίοι είναι προκαθορισμένοι (time windows). Υπάρχουν συγκεκριμένοι κανόνες που διέπουν την προσέγγιση ενός φορτηγού σε μια ράμπα και την διαδικασία της εκφόρτωσης. Στο στάδιο αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία καθώς οι όποιες παραβλέψεις μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένες κινήσεις κατά την παραλαβή που συνεπάγονται κόστη και ατυχήματα. (Bartholdi & Hackman, 2019). Μόλις το εμπόρευμα έχει τοποθετηθεί στους χώρους προσωρινής εναπόθεσης ακολουθεί έλεγχος σε πολλαπλά επίπεδα. Ελέγχονται τα παραστατικά που το συνοδεύουν και σε περίπτωση που υπάρχουν διαφορές, ειδοποιείται το αρμόδιο τμήμα της αποθήκης. Επιπλέον, ο έλεγχος αφορά και στην φυσική κατάσταση του εμπορεύματος. Ενδεχόμενες φθορές ή αλλοιώσεις πρέπει να συνοδεύονται από τις αντίστοιχες ενέργειες. Ένα άλλο σημείο που γίνεται έλεγχος είναι στις ετικέτες που έχουν επικολληθεί από τους προμηθευτές. Μόλις περάσει το στάδιο αυτό με επιτυχία, το επόμενο που ακολουθεί είναι εκείνο της τακτοποίησης στα ράφια (put-away). Κατόπιν εντολών που εκδίδονται από το λογισμικό διαχείρισης της αποθήκης οι παλέτες με τα εμπορεύματα προωθούνται στον χώρο αποθήκευσης. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο προγραμματισμός της τακτοποίησης εξαρτάται

από διάφορους παράγοντες. Ενδεικτικά αναφέρεται το είδος του εμπορεύματος δηλαδή αν πρόκειται για ξηρό ή ψυχόμενο, καθώς και αν πρόκειται αποσταλεί άμεσα. Δηλαδή στην περίπτωση που η αποθήκη λειτουργεί ως cross-docking το στάδιο αυτό ενδέχεται παραληφθεί, καθώς τα προϊόντα θα αποσταλούν άμεσα ή θα πρέπει οι παλέτες να αποσυσκευασθούν και να δημιουργηθούν νέες που θα περιέχουν και άλλα SKUs. Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο της τακτοποίησης τα προϊόντα βρίσκονται αποθηκευμένα στα ράφια σε θέσεις που γνωρίζει το πληροφοριακό σύστημα. (Bartholdi & Hackman, 2019).

Ενδιάμεσα στις εισερχόμενες διαδικασίες και στις εξερχόμενες παρεμβάλλονται και άλλες. Η βασικότερη από αυτές είναι η διαδικασία της ανατροφοδосίας (replenishment). Προκειμένου να εξασφαλισθεί η απρόσκοπτη λειτουργία της συλλογής (picking), σε κάποιο χρόνο πριν από την έναρξη της, πρέπει να τοποθετηθούν προϊόντα στο επίπεδο 0, δηλαδή στη θέση συλλογής. Αυτά τα προϊόντα θα προέλθουν από ανώτερα επίπεδα των ραφαριών. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται κατόπιν εντολών αναπλήρωσης που προέρχονται από το πληροφοριακό σύστημα. (Bartholdi & Hackman, 2019). Άλλες ενδιάμεσες διεργασίες που ενδεχομένως να γίνονται μέσα στην αποθήκη είναι: Υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας (value-adding services) κατά τις οποίες γίνεται ανασυσκευασία των προϊόντων κατόπιν απαίτησης του αποθέτη, απογραφές (stock count) προκειμένου να ενημερωθεί η κατάσταση των αποθηκευμένων εμπορευμάτων, υπηρεσίες επιστροφών (reverse logistics) όπου κάποια προϊόντα επαναπροωθούνται ή οδηγούνται προς καταστροφή (Ravi, Shankar, 2006). Τέλος σαν ενδιάμεση διεργασία αναφέρεται συχνά η λειτουργία cross-docking που αναφέρθηκε ήδη.

Στη συνέχεια στην κατηγορία των εξερχόμενων διαδικασιών διακρίνονται οι διαδικασίες της συλλογής (picking), της συσκευασίας (packing) και της αποστολής (shipment). Η σημαντικότερη διαδικασία σε έναν αποθηκευτικό χώρο είναι αυτή της συλλογής παραγγελιών. Πρόκειται για την πιο χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία. Οι εργαζόμενοι κατά το στάδιο της συλλογής παραγγελιών, συλλέγουν τα προϊόντα που απαιτούνται από τις παραγγελίες των πελατών και τα οδηγούν σε χώρο της αποθήκης για το επόμενο στάδιο. Στην επόμενη ενότητα θα αναλυθεί η σημασία της. Αμέσως μετά από τη συλλογή, ακολουθεί το στάδιο της συσκευασίας. Εκεί οι εργαζόμενοι προετοιμάζουν τις παλέτες που θα αποσταλούν στους πελάτες. Ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής που έχει χρησιμοποιηθεί, ενδέχεται στις παλέτες απλώς να τοποθετείται προστατευτικό φιλμ ή άλλο υλικό, διαφορετικά ίσως χρειάζεται δημιουργία της τελικής παραγγελίας εκείνη τη στιγμή. Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό, οι παλέτες μεταφέρονται στο χώρο αποστολής που μπαίνουν σε σειρά αναμονής προς αποστολή. Έτσι περνάμε στο τελευταίο στάδιο των εξερχόμενων διαδικασιών της αποθήκης, εκείνο της αποστολής (shipment). Η τοποθέτηση γίνεται τρόπο που έχει προκαθοριστεί από το χρονοδιάγραμμα που δίνει το λογισμικό διαχείρισης της

αποθήκης, το οποίο λαμβάνει υπόψη μια σειρά από παράγοντες και παραμέτρους που αφορούν στις απαιτήσεις των πελατών. Στη συνέχεια γίνεται η φόρτωση στα φορτηγά και ολοκληρώνεται ο κύκλος των διαδικασιών ενός της αποθήκης. (Bartholdi & Hackman, 2019). Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζονται σχηματικά οι διαδικασίες που περιγράφηκαν παραπάνω.



Σχήμα 2.1: Διαδικασίες αποθηκευτικών χώρων (Bartholdi & Hackman, 2019)

2.3 Η σημασία της συλλογής παραγγελιών

Από όλες τις διαδικασίες που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, η πιο πολύπλοκη κατά κοινή ομολογία είναι η διαδικασία της συλλογής παραγγελιών (order-picking). (Fager et al., 2019). Η συλλογή παραγγελιών είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία

συγκεντρώνονται τα προϊόντα που απαρτίζουν την παραγγελία του κάθε πελάτη. Ο βαθμός αποτελεσματικότητας με τον οποίο υλοποιείται η διαδικασία της συλλογής παραγγελιών επηρεάζει συνολικά το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών. Οι βασικές συνιστώσες του επιπέδου εξυπηρέτησης οι οποίες επηρεάζονται είναι: (α) η ακρίβεια της παραγγελίας και (β) η έγκαιρη ολοκλήρωση της. Άλλωστε, αυτές οι δύο συνιστώσες μετριοούνται και με δείκτες απόδοσης (KPIs) προκειμένου να εκτιμηθεί η αποτελεσματική λειτουργία της αποθήκης (De Koster et al., 2007).

Πολλές επιστημονικές έρευνες έχουν δείξει ότι η συλλογή παραγγελιών είναι η πιο δύσκολη και η πιο ακριβή διαδικασία μέσα στην αποθήκη. Πιο συγκεκριμένα, από το συνολικό χρόνο που αφιερώνεται στη συλλογή των προϊόντων από τους εργαζόμενους σε ποσοστό 50-70% ο χρόνος αυτός δαπανάται σε μετακίνηση και μόλις σε ποσοστό 30%-50% ο εργαζόμενος ασχολείται με τη συλλογή. (Bartholdi & Hackman, 2019). Έτσι, βασικός στόχος στη σχεδίαση και υλοποίηση εναλλακτικών μεθόδων συλλογής παραγγελιών είναι η μείωση του ποσοστού μετακίνησης και η αύξηση του ωφέλιμου χρόνου συλλογής. Επιπλέον το χρηματικό κόστος που δαπανάται στη συλλογή των παραγγελιών αποτελεί κατά προσέγγιση το 55% του συνολικού λειτουργικού κόστους της αποθήκης. (Bartholdi & Hackman, 2019).

Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι η συγκεκριμένη διαδικασία δεν είναι εύκολο να υλοποιηθεί με αυτόματο τρόπο όπως οι περισσότερες άλλες διαδικασίες μέσα στην αποθήκη το σύστημα συλλογής επιλέγεται με βάση τις ανάγκες που υπάρχουν σε κάθε περίπτωση και οφείλει να ακολουθεί βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας (Bottani et al., 2019). Ενδεικτικά αναφέρουμε τις παρακάτω:

- Ελαχιστοποίηση διανυομένων αποστάσεων
- Χρήση εξοπλισμών που ελαχιστοποιούν την κόπωση του εργαζόμενου
- Ταχεία και εύκολη αναγνώριση των ειδών προς συλλογή
- Διαθεσιμότητα των ειδών
- Εκπαίδευση του προσωπικού με γνώμονα την ασφάλεια
- Διαχείριση με γνώμονα την αύξηση του επιπέδου εξυπηρέτησης των πελατών

Επιπλέον, η συλλογή παραγγελιών επηρεάζεται από μία σειρά παραγόντων οι οποίοι θα αναλυθούν στην επόμενη ενότητα. Εν συντομία αναφέρουμε τους τέσσερις βασικούς. Αυτοί είναι: η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην αποθήκη και συγκεκριμένα στο πληροφοριακό της σύστημα, ο σχεδιασμός της αποθήκης και ο τρόπος που τοποθέτησης των προϊόντων μέσα σε αυτήν, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται προκειμένου να υλοποιηθεί η διαδικασία

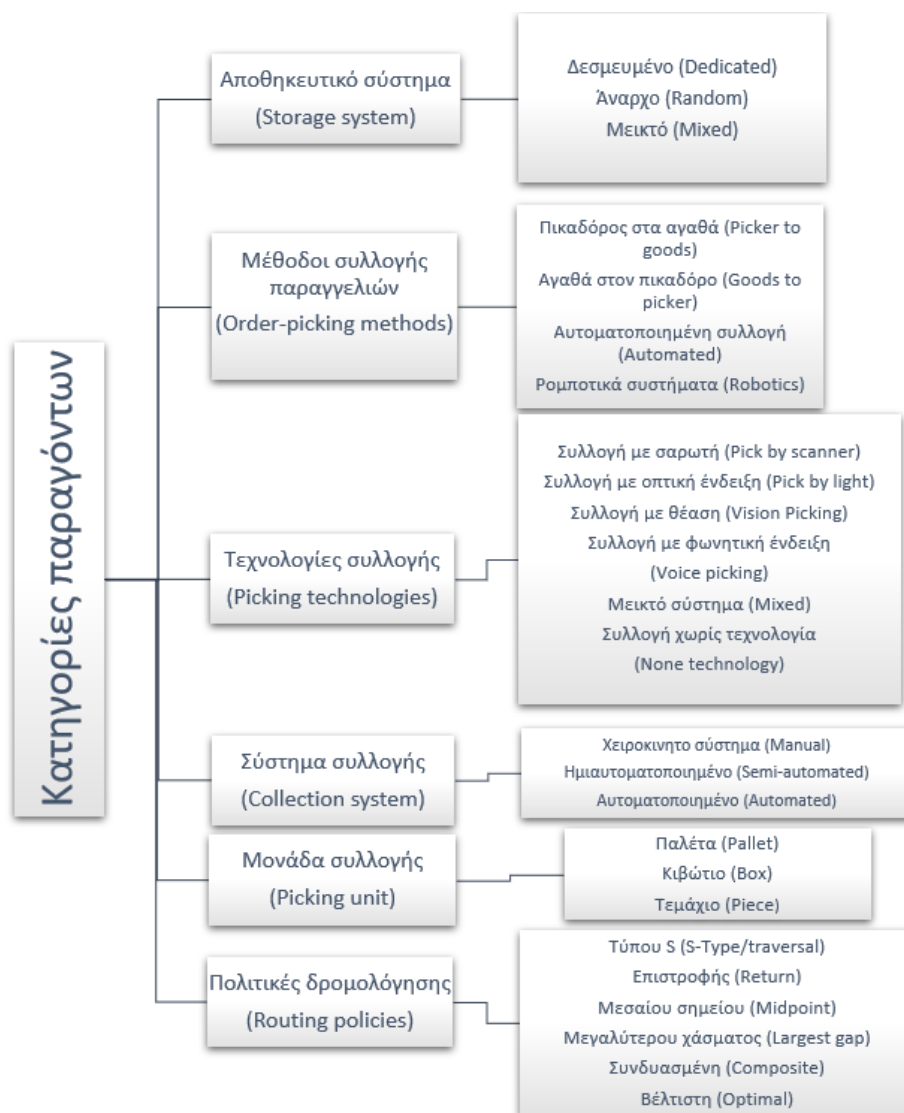
της συλλογής και τέλος η στρατηγική με την οποία εργάζονται τα άτομα που απασχολούνται στη συλλογή.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται τα προϊόντα πάνω στις ραφαρίες. Συγκεκριμένα υπάρχει μία σειρά από μελέτες που αποδεικνύουν ότι μία ανάλυση ταχυκινησίας μπορεί να δώσει τοποθέτηση των προϊόντων, με τρόπο ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα της συλλογής παραγγελιών. Η πιο γνωστή μέθοδος ανάλυσης ταχυκινησίας είναι η ανάλυση κατά ABC (ABC analysis). Στη συγκεκριμένη μέθοδο, οι κωδικοί προϊόντων που αποθηκεύονται στην αποθήκη χαρακτηρίζονται ως κωδικοί τύπου A εάν κινούνται συχνά, ως κωδικοί B εάν η συχνότητα ζήτησης τους είναι χαμηλότερη και τέλος ως κωδικοί C αν είναι αργοκίνητοι. Με βάση τη βιβλιογραφία (Reid & Sanders, 2016) το 20% των κωδικών είναι τύπου A και αποτελούν το 80% των κωδικών που περιέχονται στις παραγγελίες. Το υπόλοιπο 80% των κωδικών είναι B και C και αποτελούν το 20% των κωδικών που περιέχονται στις παραγγελίες. Επομένως υλοποιώντας μία τέτοια ανάλυση με βάση στοιχεία προηγούμενων περιόδων είναι δυνατή η στοίβαξη των προϊόντων στα ράφια με τέτοιο τρόπο ώστε για να συλλέξουν οι εργαζόμενοι τους κωδικούς A να απαιτείται να διανύσουν λίγα μέτρα. Οι κωδικοί B και C είναι προτιμότερο να είναι τοποθετημένοι σε πιο απομακρυσμένα σημεία της αποθήκης, καθώς η επισκεψιμότητα των εργαζόμενων σε αυτούς δεν είναι τόσο συχνή. Η παραπάνω αρχή έχει αποδειχθεί ότι ελαχιστοποιεί έως ένα βαθμό τα διανυόμενα μέτρα. (Reid & Sanders, 2016). Έτσι το ποσοστό 50 ως 70% που αναφέρθηκε προηγουμένως ότι δαπανάται σε μη ωφέλιμο χρόνο μπορεί να ελαττωθεί. αυτό συνεπάγεται ότι ο ωφέλιμος χρόνος συλλογής αυξάνεται και έτσι το συνολικό επίπεδο εξυπηρέτησης του πελάτη αυξάνεται. Όμως, ο κανόνας του 80-20 αποτελεί έναν εμπειρικό κανόνα ο οποίος δεν ισχύει πάντοτε σε όλες τις περιπτώσεις. Στην πραγματικότητα, τα πραγματικά δεδομένα που διαθέτει η αποθήκη για τον κάθε αποθέτη είναι εκείνα που θα καθορίσουν την ποσόστωση μεταξύ των τριών διαφορετικών κατηγοριών. Σε κάθε περίπτωση όμως αυτή η ανάλυση ταχυκινησίας βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα. (Reid & Sanders, 2016). Πρέπει όμως να ληφθεί σοβαρά υπόψιν ότι για να γίνει η αναδιάταξη των προϊόντων πάνω στις ραφαρίες απαιτείται ένας αρκετά μεγάλος χρόνος και απασχόληση αρκετών εργαζομένων. Επιπλέον, η ταχυκινησία των κωδικών μπορεί να ποικίλει από εποχή σε εποχή ή ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς που καθορίζουν τη ζήτηση. Δεν σημαίνει λοιπόν ότι εκτελώντας την ανάλυση μία και μοναδική φορά αναδιατάσσονται τα προϊόντα στα ράφια με βάση τα αποτελέσματα της και η αποθήκη θα λειτουργεί αποδοτικά επ' αόριστον. (Reid & Sanders, 2016).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι μετά από την ανάλυση αυτή υπάρχουν αρκετές διαφορετικές διατάξεις που μπορεί να επιλέγουν και κάθε μία να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα.

2.4 Ανάλυση παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία συλλογής

Η συγκεκριμένη ενότητα επικεντρώνεται στην αναλυτική περιγραφή των κατηγοριών των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία της συλλογής παραγγελιών. Παράλληλα, εξετάζονται οι πιθανές διαφορετικές περιπτώσεις που απαντώνται σε καθεμιά από τις κατηγορίες αυτές. Πριν να ξεκινήσει η αναλυτική περιγραφή καθεμιάς από αυτές, παρατίθεται δενδροδιάγραμμα που περιέχει τις κατηγορίες παραμέτρων ανά κατηγορία. Στο σχήμα 2.2 που ακολουθεί, απεικονίζονται γραφικά οι παραπάνω πληροφορίες.



Σχήμα 2.2: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της συλλογής

2.4.1 Αποθηκευτικό σύστημα (Storage system)

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη συλλογή παραγγελιών είναι το αποθηκευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην κάθε αποθήκη. Παρακάτω αναλύονται οι δυνατές περιπτώσεις. Έτσι έχουμε το δεσμευμένο, το άναρχο και το μεικτό σύστημα.

2.4.1.1 Δεσμευμένο σύστημα (Dedicated system)

Σύμφωνα με αυτή την επιλογή αποθηκευτικού συστήματος κάθε θέση συλλογής είναι δεσμευμένη για ένα συγκεκριμένο προϊόν. Ανάλογα με τη ζήτηση σε κάποια χρονική στιγμή, αποφασίζεται το πλήθος και η θέση των θέσεων συλλογής που θα δεσμευθούν. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει πλεονεκτήματα όπως, ευκολία εφαρμογής, άμεση δυνατότητα ελέγχου αποθέματος και αύξηση του επιπέδου αποδοτικότητας της συλλογής λόγω εξοικείωσης του προσωπικού με τις θέσεις συλλογής των προϊόντων. Παρόλα αυτά, δεν δίνει τη δυνατότητα υψηλής εκμετάλλευσης του διαθέσιμου χώρου και γενικότερα δίνει μειωμένη ευελιξία. Η χρήση του ενδείκνυται για μικρές αποθήκες με λίγους κωδικούς προϊόντων και μικρό αριθμό εργαζομένων. (Bottani et al., 2019; De Koster et al., 2007; Gu et al. 2007)

2.4.1.2 Άναρχο σύστημα (Random system)

Το σύστημα αυτό δεν αντιστοιχεί τις θέσεις συλλογής με τα προϊόντα αντίθετα δημιουργεί νέες θέσεις ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και την κατάσταση των ελευθέρων θέσεων στις ραφαρίες. Χρειάζεται υποχρεωτικά πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης αποθήκης διαφορετικά ο έλεγχος του είναι αδύνατος. Έτσι δίνει μεγαλύτερη ευελιξία και οδηγεί σε βελτιστοποίηση της χρήσης του χώρου αποθήκευσης. Συνήθως, η χρήση του ενδείκνυται χρησιμοποιώντας παράλληλα διάφορες τεχνολογίες συλλογής που οδηγούν σε λιγότερες άσκοπες μετακινήσεις των εργαζομένων. Σαν μειονέκτημα αναφέρεται η ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση των θέσεων συλλογής ανά προϊόν αλλά και των κινήσεων συλλογής και μάλιστα μέσω λογισμικού, διαφορετικά ο έλεγχος του καθίσταται εξαιρετικά δύσκολος. Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε αποθήκη αλλά κυρίως σε περιπτώσεις όπου έχουμε διαχείριση πολλών κωδικών, μεγάλο απόθεμα και παρουσιάζεται εποχικότητα. (Bottani et al., 2019; De Koster et al., 2007; Petersen & Aase, 2004)

2.4.1.3 Μεικτό σύστημα (Mixed system)

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται τόσο δεσμευμένο ποσό και άναρχο σύστημα ανάλογα με την περίπτωση και σύμφωνα πάντοτε με τις ανάγκες που έχει αποθήκη

τη δεδομένη χρονική στιγμή. Δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιεί δεσμευμένο για κάποιους συγκεκριμένους κωδικούς και άναρχο για όλους τους υπόλοιπους. Όπως είναι φυσικό καταφεύγοντας σε ένα μεικτό σύστημα επιδιώκεται η χρήση των πλεονεκτημάτων και των δύο συστημάτων και φυσικά ο περιορισμός των μειονεκτημάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι μία συνηθισμένη εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος είναι να χρησιμοποιείτε άναρχο σύστημα στον κύριο αποθηκευτικό χώρο (θέσεις stock), επιτρέποντας έτσι την καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου και ταυτόχρονα δεσμευμένο σύστημα στο χώρο συλλογής (θέσεις picking) παραγγελιών ώστε να επιτυγχάνεται ταχύτερη εκτέλεση της συλλογής. (Battini et al., 2016, Weidinger, 2018, Zhang et al., 2019).

2.4.2 Μέθοδοι συλλογής παραγγελιών (Order-picking methods)

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την αποδοτικότητα της συλλογής παραγγελιών είναι οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τη συλλογή των παραγγελιών. Διακρίνονται από το αν υπάρχει ανθρώπινη ενασχόληση ή όχι και από το αν ο πικαδόρος κινείται ή όχι. Έτσι έχουμε τις παρακάτω μεθόδους συλλογής.

2.4.2.1 Πικαδόρος στα αγαθά (Picker to goods)

Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη μέθοδο συλλογής παραγγελιών. Το βασικό της χαρακτηριστικό είναι ότι οι εργαζόμενοι επισκέπτονται τα ράφια και συλλέγουν τα προϊόντα από χαμηλά επίπεδα των ραφαριών. Βέβαια δεν υπάρχει μια και μοναδική μέθοδος αλλά υπάρχουν έξι διαφορετικές παραλλαγές οι οποίες συγκεντρώνονται στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί. Επιπλέον, για κάθε παραλλαγή δίνεται και το βασικό της χαρακτηριστικό. (Bottani et al., 2019, Caron et al., 2000, Gu et al. 2007, Hong, 2019, Weidinger, 2018).

Πίνακας 2.1: Παραλλαγές μεθόδου πικαδόρος στα αγαθά

A/A	Παραλλαγή μεθόδου	Περιγραφή
1	Discrete picking	Ο πικαδόρος σε κάθε διαδρομή συλλέγει τα προϊόντα μιας μόνο παραγγελίας με βάση τη λίστα συλλογής που διαθέτει και στη συνέχεια τα μεταφέρει στο χώρο συσκευασίας.
2	Multi-order picking	Ο πικαδόρος σε κάθε διαδρομή συλλέγει προϊόντα ταυτόχρονα για πολλές παραγγελίες με βάση τη λίστα συλλογής που διαθέτει και στη συνέχεια τα μεταφέρει στο χώρο συσκευασίας.

3	Batch picking	Ο πικαδόρος σε κάθε διαδρομή συλλέγει προϊόντα ταυτόχρονα για πολλές παραγγελίες και στη συνέχεια τα μεταφέρει στο χώρο συσκευασίας προκειμένου να γίνει διαχωρισμός και να δημιουργηθούν οι παραγγελίες.
4	Zone picking	Στη μέθοδο αυτή η αποθήκη είναι χωρισμένη σε ζώνες. Ο κάθε πικαδόρος διαχειρίζεται μια ζώνη. Έτσι η προετοιμασία της παραγγελίας γίνεται με διαδοχική μετάβαση της από κάθε μια ζώνη όπου ο αντίστοιχος πικαδόρος συλλέγει τους ανάλογους κωδικούς που διαχειρίζεται στη ζώνη του (με βάση το picking list).
5	Wave picking	Ο πικαδόρος επισκέπτεται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές τα προϊόντα, τα συλλέγει και μετά ακολουθεί και δεύτερη διαλογή ώστε να διαχωριστούν και να συσκευασθούν.
6	Bucket brigade picking	Πρόκειται για μια μέθοδο συλλογής που βασίζεται στην αρχή του σχηματισμού ανθρώπινης αλυσίδας προκειμένου να δημιουργηθεί μια αποτελεσματική ροή εργασίας. Έτσι, το μέσο στο οποίο συγκεντρώνονται τα είδη της παραγγελίας μεταβιβάζεται από τον ένα στον άλλο, ο οποίος συλλέγει προϊόντα και τα τοποθετεί εκεί. Μόλις ολοκληρωθεί η παραγγελία ο τελευταίος μετακινείται και αρχίζει να ασχολείται με μια νέα παραγγελία.

2.4.2.2 Αγαθά στον πικαδόρο (Goods to picker)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί όταν ο πικαδόρος επισκέπτεται τα ράφια προκειμένου να συλλέξει τα προϊόντα της παραγγελίας, ένα μεγάλο μέρος του χρόνου που απαιτείται δαπανάται σε χρόνο μετακίνησης ο οποίος δεν είναι παραγωγικός. Με στόχο τη μείωση του μη παραγωγικού χρόνου και επομένως του συνολικού, υιοθετούνται μέθοδοι κατά τις οποίες αντί να επισκέπτεται ο πικαδόρος τα ράφια για να εκτελέσει τη συλλογή, τα προϊόντα πηγαίνουν σε αυτόν με τη βοήθεια εξοπλισμού. Προκειμένου να υλοποιηθεί αυτή η διαδικασία απαιτείται ειδικός μηχανολογικός εξοπλισμός. Αυτός ο εξοπλισμός μπορεί να είναι put-to-wall, carousels,

ραουλοδρομοί κ.λπ.. Με τα συγκεκριμένα μέσα επιτυγχάνεται η μεταφορά των προϊόντων στα σημεία προετοιμασίας της παραγγελίας.

Πέρα από την μείωση του χρόνου περπατήματος του πικαδόρου, η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει και μία σειρά από άλλα πλεονεκτήματα. Έτσι, στη βιβλιογραφία συναντάμε αναφορές σύμφωνα με τις οποίες απαιτείται λιγότερος χώρος στην αποθήκη καθώς μειώνονται οι θέσεις συλλογής, δημιουργούνται εργονομικοί σταθμοί εργασίας και γενικά επιτυγχάνεται υψηλότερη παραγωγικότητα. (De Koster et al., 2007; Parikh & Meller, 2008; Litvac, 2016).

2.4.2.3 Αυτοματοποιημένη συλλογή (Automated picking)

Οι δύο προηγούμενες κατηγορίες που περιγράψαμε απαιτούν την απασχόληση εργαζομένων, πράγμα που συνεπάγεται δαπάνες προσωπικού και υψηλές χρονικές απαιτήσεις. Σε μία προσπάθεια να ελεγχθούν οι δύο προηγούμενοι παράγοντες, με σκοπό να περιοριστούν, οι εταιρείες έχουν σχεδιάσει και έχουν υλοποιήσει αυτοματοποιημένα συστήματα συλλογής. Χωρίς λοιπόν να απαιτείται η απασχόληση πικαδόρου, τα συστήματα τύπου A-frame, υλοποιούν αυτόματα το έργο της συλλογής των παραγγελιών. Η πλέον συνηθισμένη τους χρησιμότητα εμφανίζεται στη συλλογή τεμαχιακού προϊόντος η οποία είναι και η πιο απαιτητική. Σε ένα τέτοιο σύστημα απαιτείται τροφοδοσία με προϊόντα και ταυτόχρονα η χρήση ραουλόδρομων πάνω στους οποίους κινούνται πλαστικοί κάδοι (totes) προκειμένου να συλλέξουν τα προϊόντα. Συνήθως, κάθε τέτοιος πλαστικός κάδος χρησιμοποιείται για μία παραγγελία. Επομένως στο τέλος της διαδικασίας απλά χρειάζεται συσκευασία και πέρασμα στο επόμενο στάδιο.

Παρά όμως τα σημαντικά οφέλη που προκύπτουν από τέτοιου είδους εξοπλισμούς αυτοματοποιημένης συλλογής παραγγελιών πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος για την απόκτηση και συντήρηση ενός τέτοιου μηχανήματος ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα. Επομένως, προκειμένου να μπορεί να υποστηριχθεί μία τέτοια επένδυση πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένες συνθήκες κόστους του προϊόντος και της παραγγελίας. Επιπλέον, παρόλο που στη μέθοδο αυτή δεν απαιτείται ο ανθρώπινος παράγοντας κατά τη συλλογή, η χρήση του κρίνεται απαραίτητη στα υπόλοιπα στάδια εκτέλεσης της παραγγελίας. (Boysen et al., 2019; Matson & White, 1982).

2.4.2.4 Ρομποτικά συστήματα (Robotics)

Εκτός από τις προηγούμενες μεθόδους που παρουσιάστηκαν, υπάρχει και η δυνατότητα να εξαλειφθεί πλήρως η ανθρώπινη παρεμβολή στο έργο της συλλογής παραγγελιών. Μιλάμε τότε για πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα που

συνήθως αναφέρονται ως ρομποτικά. Αυτά τα μηχανήματα αναλαμβάνουν τη διεκπεραίωση όλων των σταδίων της εκτέλεσης της παραγγελίας χωρίς να απαιτείται η ενασχόληση ανθρώπων. Και στην περίπτωση αυτή πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος προμήθειας και λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι πολύ υψηλό. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος τέτοιες μέθοδοι δεν είναι ευρέως διαδεδομένες στις περισσότερες αποθήκες. Αντίθετα προτιμώνται στη μεγάλη πλειοψηφία οι δύο πρώτες κατά τις οποίες απαιτείται η απασχόληση ανθρώπων. (Boysen et al., 2019; De Koster et al., 2007; Roy et al., 2019).

2.4.3 Τεχνολογίες συλλογής παραγγελιών (Order-picking technologies)

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση της διαδικασίας είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των παραγγελιών. Έτσι έχουμε τεχνολογίες που χρησιμοποιείται σαρωτής, τεχνολογίες φωνής, με οπτική ένδειξη, με θέαση καθώς και συνδυασμούς αυτών. Δε λείπουν όμως και περιπτώσεις αποθηκών που δε χρησιμοποιείται καμία από τις ως άνω τεχνολογίες και η συλλογή γίνεται με έντυπη λίστα (Dukic et al., 2010).

2.4.3.1 Συλλογή με σαρωτή (Pick by scanner)

Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη τεχνική που χρησιμοποιεί τεχνολογία αναγνώστη γραμμωτού κώδικα ο οποίος διαβάζει ετικέτες barcode (RF scanner). Ο πικαδόρος είναι εξοπλισμένος με φορητό τερματικό ή smartphone και κάθε φορά που συλλέγει ένα προϊόν σαρώνει την ετικέτα του προϊόντος προκειμένου να επιβεβαιώσει τη συλλογή. Μπορεί να συνδυαστεί με σαρωτή τύπου δακτυλίου (Ring/Finger Scanner) ή με πτυσσόμενο σαρωτή ή με σαρωτή έξυπνου ρολογιού (Smartwatch scanner). Επιτρέπει στον πικαδόρο να έχει ελεύθερα χέρια και να επικεντρώνεται περισσότερο στη διαδικασία της συλλογής. Εφαρμόζεται σε μεγάλο πλήθος αποθηκών μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους. Έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους σε σχέση με άλλες τεχνολογίες που θα περιγραφούν παρακάτω. (Fager et al., 2019; Matusiak et al., 2107)

2.4.3.2 Συλλογή με οπτική ένδειξη (Pick by light)

Τα συστήματα συλλογής με οπτική ένδειξη διευκολύνουν τη λήψη παραγγελιών χωρίς χαρτί, διατηρώντας τα χέρια του πικαδόρου ελεύθερα. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ιδέα του να δίνονται οδηγίες απευθείας στην αποθήκη, στο σημείο που εκτελείται η συλλογή. (Fager et al., 2019).

Αντί να λαμβάνουν παραγγελίες με λίστα παραγγελιογραμμών, οι συσκευές αυτές φωτίζουν τη θέση του αντικειμένου και εμφανίζουν την ποσότητα που θα συλλεχθεί. Χάρη στην απλότητα του συστήματος η περίοδος εκπαίδευσης του πικαδόρου είναι πολύ σύντομη.

Τα συστήματα αυτά είναι διαφόρων κατηγοριών ανάλογα με τις απαιτήσεις. Για διαδικασίες που απαιτούν μέγιστη αξιοπιστία, υπάρχουν συσκευές εξοπλισμένες με αισθητήρες που εντοπίζουν αυτόματα εάν το επιλεγμένο στοιχείο είναι το σωστό, προειδοποιώντας τον χειριστή σε περίπτωση σφάλματος. Το ποσοστό σφάλματος μπορεί να ελαχιστοποιηθεί σε επίπεδο έως και 100%.

Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα προγραμματισμού, ώστε αρκετοί χειριστές να μπορούν να εργαστούν για την προετοιμασία της ίδιας παραγγελίας ή να γίνεται χρήση ενός μεμονωμένου χειριστή ο οποίος να μπορεί να προετοιμάσει πολλές παραγγελίες ταυτόχρονα. Το αποτέλεσμα της χρήσης αυτών των συστημάτων αυξάνει το πλήθος των παραγγελιών ανά ημέρα, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. (Fager et al., 2019; Matusiak et al., 2107; Pan et al., 2012)

2.4.3.3 Συλλογή με θέαση (Vision picking)

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο ο πικαδόρος χρησιμοποιεί ειδικά γυαλιά μέσω των οποίων εισέρχεται σε ένα περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία ο πικαδόρος μέσω διαφανούς οθόνης, δηλαδή των φακών που είναι ενσωματωμένοι στα γυαλιά, διαβάζει όλες τους απαραίτητες πληροφορίες που του αποστέλλει στο πληροφοριακό σύστημα της αποθήκης. (Schwerdtfeger et al., 2009). Έτσι μπορεί να δει και να διαβάσει οδηγίες σχετικές με το που θα κατευθυνθεί μέσα στους διαδρόμους, ποια προϊόντα θα επιλέξει, και πόση ποσότητα. Μόλις φθάσει στην αντίστοιχη θέση κοιτάζει προς τις ετικέτες που είναι επικολλημένες στα προϊόντα. Με αυτό επιτυγχάνεται ανάγνωση των ετικετών από τους αναγνώστες γραμμωτού κώδικα που είναι ενσωματωμένοι στο εμπρόσθιο μέρος των γυαλιών. Η διαδικασία συνεχίζεται κατ' αυτόν τον τρόπο μέχρις ότου να ολοκληρωθεί η παραγγελία και να λάβει νέες οπτικές οδηγίες για την επόμενη.

Η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής με σαρωτή ετικετών ή χωρίς χρήση τεχνολογίας. Απαιτεί μικρό χρόνο εκπαίδευσης, αλλά το κόστος υλοποίησης είναι αρκετά μεγάλο. Σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα η επένδυση αποσβένει λόγω της αύξησης της παραγωγικότητας (Schwerdtfeger et al., 2009).

2.4.3.4 Συλλογή με φωνητική ένδειξη (Voice picking)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί ένα σύστημα συλλογής παραγγελιών, χωρίς χρήση χαρτιού, το οποίο χρησιμοποιεί φωνητικές εντολές για να κατευθύνει τους πικαδόρους στο να εκτελέσουν τη συλλογή της παραγγελίας. Το σύστημα χρησιμοποιεί μια κατανοητή, καθημερινή γλώσσα προκειμένου να καθίσταται εύκολη η συνομιλία του πικαδόρου με το σύστημα. Λειτουργεί ως εξής: Κάθε πικαδόρος είναι εξοπλισμένος με μια συσκευή που περιέχει ακουστικό και μικρόφωνο καθώς και μια φορητή συσκευή ή τερματικό. (Matusiak et al., 2107)

Καθώς οι παραγγελίες εισάγονται στο λογισμικό διαχείρισης αποθηκών (WMS), τροποποιούνται κατάλληλα σε φωνητικές οδηγίες προς τους πικαδόρους. Η συσκευή του πικαδόρου εκφωνεί οδηγίες σχετικά με το ποιες θέσεις πρέπει να επισκεφθεί και τι προϊόντα να συλλέξει. Επιπλέον ο πικαδόρος μπορεί να τροφοδοτεί με πληροφορίες το σύστημα. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι: επιβεβαιωτικές ότι βρίσκεται στο σωστό διάδρομο, ότι συλλέχθηκε η απαιτούμενη ποσότητα, αλλά και άλλες που αφορούν στην διαθέσιμη ποσότητα του αποθέματος. Όταν ολοκληρωθεί η παραλαβή του προϊόντος, το σύστημα στέλνει τον πικαδόρο στην επόμενη τοποθεσία συλλογής. Επιπλέον, το σύστημα είναι υπεύθυνο για τη βελτιστοποίηση τη διαδρομής καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα και να ελαχιστοποιηθεί το περπάτημα στην αποθήκη. (Fager et al., 2019).

Συνήθως αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται σε αποθήκες που διαχειρίζονται μεγάλο αριθμό SKUs. Όσον αφορά τα οφέλη, τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι πολλά. Έχει αποδειχθεί η χρήση τους αυξάνει τους σχετιζόμενους δείκτες ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα. Απαιτεί μικρή διάρκεια εκπαίδευσης του προσωπικού επειδή χρησιμοποιεί απλή, καθημερινή γλώσσα, και οι πικαδόροι χρειάζεται εκπαιδευθούν σε περίπλοκες διαδικασίες όπως καταχώριση δεδομένων ή πώς να διαβάσουν περίπλοκα χαρτιά ή να ενημερωθούν σχετικά με τη διαδικασία επικόλλησης ετικετών. Επιπλέον, η όλη εργασία γίνεται με ευκολότερη και με λιγότερο κόπο πράγμα που οδηγεί σε αυξημένη παραγωγικότητα. (Fager et al., 2019; Matusiak et al., 2107)

2.4.3.5 Μεικτό σύστημα (Mixed)

Σε κάποιες αποθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυασμός από τις παραπάνω τεχνικές. Έτσι για παραγγελίες που απαιτούν ταχύτητα και ακρίβεια χρησιμοποιείται κάποιο εξελιγμένο σύστημα, ενώ για μικρές παραγγελίες χωρίς ιδιαίτερες συνθήκες

φόρτου χρησιμοποιείται σύστημα με ανάγνωση γραμμωτού κώδικα. Ο λόγος για τον οποίο δε γίνεται καθολική εφαρμογή ενός εξελιγμένου συστήματος είναι το αυξημένο κόστος για την προμήθεια και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Έτσι, πολλές αποθήκες επιλέγουν μεικτό σύστημα τεχνολογιών προκειμένου να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες αιχμής όπου απαιτείται εντατική και απαιτητική διαδικασία και τις απλούστερες τεχνολογίες στις υπόλοιπες περιπτώσεις. (Fager et al., 2019)

2.4.3.6 Συλλογή χωρίς τεχνολογία (None technology)

Σε μικρές αποθήκες, συνήθως δε χρησιμοποιείται κάποια από τις παραπάνω τεχνολογίες αλλά αντίθετα η συλλογή γίνεται με έντυπες λίστες. Οι κωδικοί προϊόντων είναι λίγοι και οι παραγγελίες εξίσου λίγες. Επιπλέον η αποθήκη ενδεχομένως να μη διαθέτει σύστημα διαχείρισης αποθήκης. Στις περιπτώσεις αυτές ο πικαδόρος λαμβάνει το χαρτί της παραγγελίας, συλλέγει τα προϊόντα χειροκίνητα και προχωράει την επόμενη. Με αυτό τον τρόπο η παραγωγικότητα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και αυξάνεται η πιθανότητα λάθους στην παραγγελία. (Boysen et al., 2019; Giannikas et al., 2017)

2.4.4 Σύστημα συλλογής (Collection system)

Σε ότι αφορά το χρησιμοποιούμενο σύστημα συλλογής των παραγγελιών, διακρίνουμε συστήματα που απαιτούν πλήρως, μερικώς ή καθόλου τον ανθρώπινο παράγοντα.

2.4.4.1 Χειροκίνητο σύστημα (Manual system)

Πρόκειται για τη μέθοδο που χρησιμοποιεί αποκλειστικά τον ανθρώπινο παράγοντα προκειμένου να διεκπεραιώσει όλη τη διαδικασία της συλλογής παραγγελιών. Δηλαδή, σε όλες τις φάσεις οι κινήσεις εκτελούνται από τον πικαδόρο. Στην περίπτωση αυτή δεν χρησιμοποιείται κανενός είδους αυτοματοποίηση σε κανένα στάδιο. Ο πικαδόρος λοιπόν, ξεκινάει από κάποιο σημείο έχοντας στη διάθεση του την παραγγελία, μεταβαίνει στα απαραίτητα σημεία της αποθήκης, συλλέγει τα προϊόντα και τέλος τα μεταφέρει στο χώρο συσκευασίας. (Battini et al., 2016; Giannikas et al., 2017; Parikh & Meller, 2008).

2.4.4.2 Ημιαυτοματοποιημένο σύστημα (Semi-automated system)

Στην περίπτωση αυτή συνυπάρχει τόσο ο ανθρώπινος παράγοντας όσο και εξοπλισμός με στόχο την εξυπηρέτηση των παραγγελιών. Έτσι, οι πικαδόροι διεκπεραιώνουν το έργο της συλλογής, υποβοηθούμενοι σε κάποια στάδια από

μηχανήματα που εκτελούν ταχύτερα και ορθότερα κάποιες φάσεις. Ο σκοπός αυτού του συστήματος είναι να βελτιστοποιήσει τη διαδικασία, διατηρώντας ταυτόχρονα τον άνθρωπο σε κάποια σημεία της. (De Koster et al.,2007; Rouwenhorst et al., 2000).

2.4.4.3 Αυτοματοποιημένο σύστημα (Automated system)

Εδώ αναφερόμαστε σε πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα συλλογής τα οποία φέρνουν σε πέρας την όλη διαδικασία της συλλογής. Η παρουσία ανθρώπου στη συλλογή δεν υφίσταται. (De Koster et al.,2007; Hwang, Song, 1993; Parikh & Meller, 2008).

2.4.5 Μονάδα συλλογής (Picking unit)

Το είδος της συσκευασίας που συλλέγεται έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία της συλλογής. Οι παραγγελίες ενδέχεται να ζητούν ολόκληρες παλέτες, κιβώτια ή τεμάχια.

2.4.5.1 Παλέτα (Pallet)

Πρόκειται για την περίπτωση που η παραγγελία αποτελείται από ολόκληρες παλέτες. Έτσι, η διαδικασία της συλλογής απαιτεί χρήση οχημάτων αποθήκης τα οποία θα συλλέξουν τις παλέτες, όχι απαραίτητα από το επίπεδο 0 αλλά από κάποιο υψηλότερο. Στην περίπτωση αυτή δεν δαπανάται χρόνος σε μεγάλες μετακινήσεις μέσα στην αποθήκη, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι η χρήση μηχανημάτων είναι απαραίτητη. Αυτό ανάλογα με το συνολικό φόρτο εργασίας ενδέχεται να επιφέρει καθυστερήσεις. (Baker & Canessa, 2009; Calzavara et al., 2017).

2.4.5.2 Κιβώτιο (Carton/Box)

Στην περίπτωση που η συλλογή γίνεται σε επίπεδο κιβωτίου συνήθως υλοποιείται από το επίπεδο 0 και λίγες φορές από το επίπεδο 1. Αποτελεί την πλέον συνηθισμένη περίπτωση. Εξαιτίας όμως των περιορισμένων θέσεων συλλογής και ανεξάρτητα με το αν έχει γίνει αναπλήρωση τους, κάποιες φορές παρατηρούνται ελλείψεις κατά τη διάρκεια της συλλογής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει χρόνος αναμονής ώστε κάποιο όχημα να μεταβεί στο συγκεκριμένο σημείο και να κατεβάσει μία νέα παλέτα από ανώτερο επίπεδο ώστε να υπάρξει και πάλι διαθεσιμότητα. (Baker & Canessa, 2009; Calzavara et al., 2017; Neumann & Medbo, 2010).

2.4.5.3 Τεμάχιο (Piece)

Στην περίπτωση αυτή η παραγγελία αποτελείται από τεμάχια τα οποία πρέπει να συλλεχθούν ένα προς ένα. Η τεμαχιακή συλλογή είναι η πιο περίπλοκη περίπτωση καθώς υπάρχει ένα πολύ μεγάλο πλήθος διαφορετικών κωδικών πράγμα που δυσκολεύει το έργο της συλλογής. Σε αυτή την περίπτωση οι μη αυτοματοποιημένες επιλογές απαιτούν μεγάλους χρόνους και έτσι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα συστήματα. (Baker & Canessa, 2009; Calzavara et al., 2017; Diefenbach & Glock, 2019).

2.4.6 Πολιτικές δρομολόγησης (Routing policies)

Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει τη συλλογή, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντικός είναι οι ακολουθούμενες πολιτικές δρομολόγησης. Έτσι έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις. (Dukic et al., 2010).

2.4.6.1 Τύπου S (S-type/traversal)

Πρόκειται για μια από τις πιο απλές πολιτικές. Ο πικαδόρος ξεκινάει από ένα σημείο και κινείται διαδοχικά μεταξύ των διαδρόμων που περιέχουν προϊόντα που τον ενδιαφέρουν. Μόλις ολοκληρώσει τη συλλογή, αποθέτει την παραγγελία και ξεκινάει από την αρχή με μια νέα. (Chackelson et al., 2013; Cano et al., 2017; Hwang & Lee, 2004).

2.4.6.2 Επιστροφής (Return)

Πρόκειται και πάλι για μια από τις πιο απλές τακτικές. Εδώ ο πικαδόρος μπαίνει και πάλι μόνο στους διαδρόμους που περιέχουν προϊόντα που τον ενδιαφέρουν, αλλά επιστρέφει και εξέρχεται από αυτόν από το ίδιο σημείο που εισήλθε. (Chackelson et al., 2013)

2.4.6.3 Μέσου σημείου (Midpoint)

Σύμφωνα αυτή τη στρατηγική η αποθήκη χωρίζεται σε δυο τμήμα. Έτσι ο κάθε πικαδόρος έχει πρόσβαση μέχρι τη μέση του διαδρόμου. Επιπλέον, σε αυτή τη στρατηγική, ο πικαδόρος πηγαίνει από τη μπροστινή πλευρά του διαδρόμου και επιστρέφει από την πίσω. (Chackelson et al., 2013)

2.4.6.4 Μεγαλύτερου χάσματος (Largest gap)

Η πολιτική αυτή μοιάζει αρκετά με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι ο πικαδόρος δεν κινείται μέχρι το μεσαίο σημείο, αλλά μέχρι το μεγαλύτερο χάσμα. Ως μεγαλύτερο χάσμα νοείται είτε η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κινήσεων

συλλογής ή μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου προϊόντος προς συλλογή. (Chackelson et al., 2013; Cano et al., 2017; Hwang & Lee, 2004).

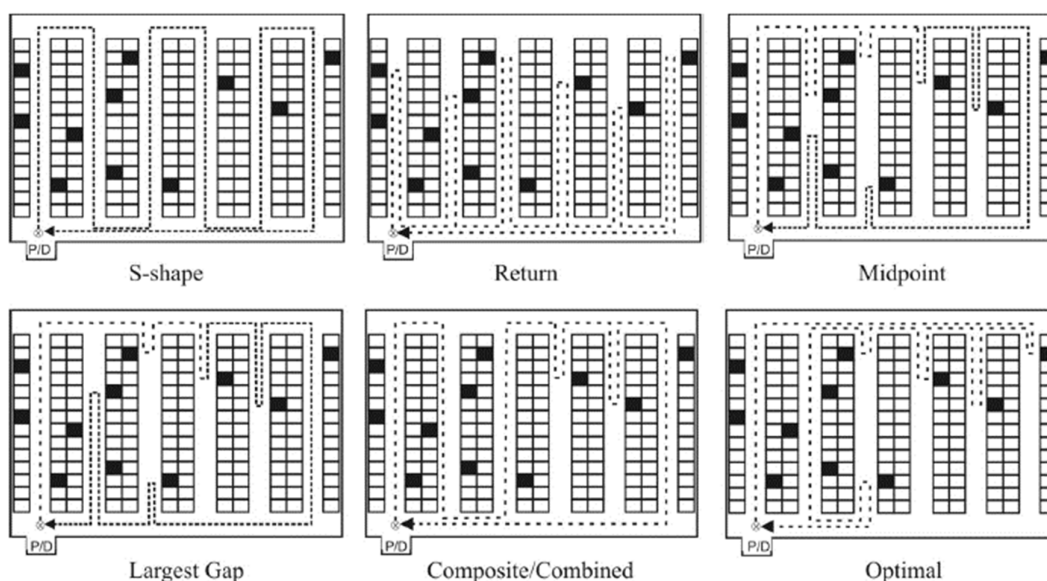
2.4.6.5 Συνδυασμένη (Composite)

Πρόκειται για μια περίπτωση που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του S-type και της πολιτικής Return. Η υλοποίηση πάντως παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. (Chackelson et al., 2013; Cano et al., 2017; Hwang & Lee, 2004).

2.4.6.6 Βέλτιστη (Optimal)

Στόχος αυτής της πολιτικής είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου περπατήματος μέσα στην αποθήκη. Χρησιμοποιεί ευρετικές τεχνικές συνδυάζοντας αρκετές από τις παραπάνω μεθόδους. Οι ευρετικές τεχνικές είναι εύκολες στην εφαρμογή και δίνουν λύσεις αρκετά κοντά στη βέλτιστη. (Chackelson et al., 2013)

Στο σχήμα 2.3 που ακολουθεί, εμφανίζονται σχηματικά οι προαναφερθείσες πολιτικές δρομολόγησης.



Σχήμα 2.3: Βασικές πολιτικές δρομολόγησης (Dukic et al., 2010)

2.5 Συγκεντρική παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας

Με την πάροδο των ετών παρατηρείται σταδιακά το παρακάτω φαινόμενο. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται στη συλλογή παραγγελιών ολοένα και εγκαταλείπουν τις εμπειρικές τεχνικές που χρησιμοποιούνταν παλιότερα και τη υιοθετούνται νέες που βασίζονται σε επιστημονικές προσεγγίσεις. Η τάση αυτή ισχυροποιείται με την πάροδο των ετών. Το σχήμα 2.4 απεικονίζει σε μορφή χρονογράμματος τη

διαχρονική αύξηση του πλήθους των δοκιμών και εργασιών που σχετίζονται με τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συλλογή παραγγελιών. Τα δεδομένα προέρχονται από δείγμα 132 εργασιών κατά τα τελευταία 39 έτη (1980-2019).



Σχήμα 2.4: Πλήθος εργασιών/έτος σχετικά με παράγοντες που επηρεάζουν τη συλλογή

Ο κάθε παράγοντας από αυτούς που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα αναλύεται σε μια πληθώρα επιστημονικών μελετών και άρθρων. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη μια ενδεικτική συγκεντρωτική αναφορά στη βιβλιογραφία που σχετίζεται με τη μελέτη αυτών των παραγόντων. Ο πίνακας 2.2 παρουσιάζει δείγμα της σχετιζόμενης βιβλιογραφίας που μελετήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας μελέτης.

Πίνακας 2.2: Βιβλιογραφικές αναφορές ανά παράγοντα

Υποενότητα αναφοράς	Παράγοντας	Περιπτώσεις ανά παράγοντα	Ενδεικτική βιβλιογραφία
2.4.1	Αποθηκευτικό σύστημα (Storage System)	Δεσμευμένο (Dedicated)	Bottani et al., 2019 De Koster et al., 2007 Gu et al., 2007
		Άναρχο (Random)	De Koster et al., 2007 Petersen & Aase, 2004
		Μεικτό (Mixed)	Battini et al., 2016 Weidinger, 2018 Zhang et al., 2019
2.4.2	Μέθοδοι συλλογής παραγγελιών (Order-picking methods)	Πικαδόρος στα αγαθά (Picker to goods)	Bottani et al., 2019 Caron et al., 2000 Gu et al., 2007 Hong, 2019 Weidinger, 2018
		Αγαθά στον πικαδόρο (Goods to picker)	De Koster et al., 2007 Parikh & Meller, 2008

			Litvak, 2016
		Αυτοματοποιημένη συλλογή (Automated)	Boysen et al., 2019 Matson & White, 1982
		Ρομποτικά συστήματα (Robotics)	Boysen et al., 2019 De Koster et al., 2007 Roy et al., 2019
2.4.3	Τεχνολογίες συλλογής (Picking technologies)	Συλλογή με σαρωτή (Pick by scanner)	Fager et al., 2019 Matusiak et al., 2017
		Συλλογή με οπτική ένδειξη (Pick by light)	Fager et al., 2019 Matusiak et al., 2107 Pan et al., 2012
		Συλλογή με θέαση (Vision Picking)	Schwerdtfeger et al., 2009
		Συλλογή με φωνητική ένδειξη (Voice picking)	Fager et al., 2019 Matusiak et al., 2107
		Μεικτό σύστημα (Mixed)	Fager et al., 2019
		Συλλογή χωρίς τεχνολογία (None technology)	Boysen et al., 2019 Giannikas et al., 2017
2.4.4	Σύστημα συλλογής (Collection system)	Χειροκίνητο σύστημα (Manual)	Battini et al., 2016 Giannikas et al., 2017 Parikh & Meller, 2008
		Ημιαυτοματοποιημένο (Semi-automated)	De Koster et al., 2007 Rouwenhorst et al., 2000
		Αυτοματοποιημένο (Automated)	De Koster et al., 2007 Hwang, Song, 1993 Parikh & Meller, 2008
2.4.5	Μονάδα συλλογής (Picking unit)	Παλέτα (Pallet)	Baker & Canessa, 2009 Calzavara et al., 2017
		Κιβώτιο (Box)	Baker & Canessa, 2009 Calzavara et al., 2017 Neumann & Medbo, 2010
		Τεμάχιο (Piece)	Baker & Canessa, 2009 Calzavara et al., 2017 Diefenbach & Glock, 2019
2.4.6	Πολιτικές δρομολόγησης (Routing policies)	Τύπου S (S-Type/traversal)	Chackelson et al., 2013 Cano et al., 2017 Hwang & Lee, 2004
		Επιστροφής (Return)	Chackelson et al., 2013
		Μεσαίου σημείου (Midpoint)	Chackelson et al., 2013
		Μεγαλύτερου χάσματος (Largest gap)	Chackelson et al., 2013 Cano et al., 2017 Hwang & Lee, 2004
		Συνδυασμένη (Composite)	Chackelson et al., 2013 Cano et al., 2017 Hwang & Lee, 2004
		Βέλτιστη (Optimal)	Chackelson et al., 2013

2.6 Παράμετροι που διερευνήθηκαν στη μελέτη περίπτωσης

Από όλους τους παράγοντες που αναπτύχθηκαν στην ενότητα 2.4 στην μελέτη περίπτωσης με την οποία ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζονται στη συνέχεια εκείνοι που ελήφθησαν υπόψη σε καθένα από τα μοντέλα προσομοίωσης.

Σε ότι αφορά το μοντέλο που περιγράφει την υφιστάμενη διαδικασία συλλογής παραγγελιών (AS-IS), ελήφθησαν υπόψη όλοι οι παράγοντες που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.4. Αρχικά το αποθηκευτικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε είναι το κλασικό ράφι για παλέτες τύπου back-to-back. Σε ότι αφορά τον παράγοντα του αποθηκευτικού συστήματος υιοθετήθηκε το δεσμευμένο σύστημα (Dedicated system), καθώς τα προϊόντα τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένες θέσεις και δεν υπήρξε αλλαγή τους κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης όλων των παραγγελιών. Για τον παράγοντα που έχει να κάνει με τη μέθοδο συλλογής παραγγελιών, η περίπτωση που ακολουθήθηκε είναι αυτή που ο πικαδόρος επισκέπτεται τις θέσεις συλλογής και μάλιστα εκτελεί διακριτή συλλογή (Discrete picking). Στις τεχνολογίες συλλογής θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται φορητοί σαρωτές (RF scanners) καθώς το λογισμικό προσομοίωσης λαμβάνει τα δεδομένα της συλλογής από πίνακες όπως ακριβώς τις λίστες με τις παραγγελιογραμμές που διαθέτουν οι πικαδόροι. Ως μονάδα συλλογής θεωρήθηκε το κιβώτιο (Carton/Box) με την παραδοχή ότι όλα τα προϊόντα έχουν τις ίδιες διαστάσεις συσκευασίας, χωρίς αυτό να επηρεάζει κάπου τη διαδικασία καθώς και στα επόμενα μοντέλα υιοθετήθηκε η ίδια πρακτική. Το σύστημα συλλογής είναι εξ' ολοκλήρου χειροκίνητο (manual) καθώς δεν υπεισέρχεται κάπου η χρήση κάποιου αυτοματισμού και τέλος ως πολιτική δρομολόγησης υιοθετήθηκε η τύπου επιστροφής (Return).

Κατόπιν, υλοποιείται αναδιοργάνωση της διαδικασίας συλλογής παραγγελιών με το σχεδιασμό και την υλοποίηση δυο διαφορετικών μοντέλων προσομοίωσης στο καθένα από τα οποία λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές απόψεις των παραγόντων που αναλύθηκαν στην ενότητα 2.4.

Συγκεκριμένα στο πρώτο μοντέλο (TO-BE1) χρησιμοποιείται ως αποθηκευτικό μέσο εξ' ολοκλήρου ράφι τύπου live storage και χρήση ραουλόδρομου για τη μεταφορά των παλετών κατά μήκος των θέσεων συλλογής. Έτσι, σε ότι αφορά τους παράγοντες, για το αποθηκευτικό σύστημα υιοθετήθηκε το δεσμευμένο σύστημα (Dedicated system), καθώς τα προϊόντα και εδώ τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις και δεν υπήρξε αλλαγή τους κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης όλων των παραγγελιών. Για τον παράγοντα που έχει να κάνει με τη μέθοδο συλλογής παραγγελιών, η περίπτωση που ακολουθήθηκε είναι αυτή που ο πικαδόρος επισκέπτεται τις θέσεις συλλογής και μάλιστα εκτελεί συλλογή σε ζώνες (Zone picking). Στις τεχνολογίες συλλογής θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται φορητοί

σαρωτές (RF scanners) καθώς το λογισμικό προσομοίωσης λαμβάνει τα δεδομένα της συλλογής από πίνακες όπως ακριβώς τις λίστες με τις παραγγελιογραμμές που διαθέτουν οι πικαδόροι. Ως μονάδα συλλογής θεωρήθηκε το κιβώτιο (Carton/Box) με την παραδοχή και εδώ ότι όλα τα προϊόντα έχουν τις ίδιες διαστάσεις συσκευασίας. Σε ότι αφορά το σύστημα συλλογής είναι ημιαυτοματοποιημένο (Semi-automated) καθώς χρησιμοποιείται ο ραουλόδρομος που αυτοματοποιεί ένα μέρος της διαδικασίας.

Ολοκληρώνοντας την παράγραφο αυτή, παρουσιάζονται οι παράγοντες που ελήφθησαν υπόψη για το τρίτο μοντέλο, το οποίο συνδυάζει τη χρήση ραφιών τύπου live storage για τα SKUs που καθορίζονται ως τύπου A και χρήση ραφιών τύπου back-to-back για τους υπόλοιπους τύπους προϊόντων, δηλαδή τους B και C (TO-BE2). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συλλογή στο μοντέλο αυτό αποτελούν συνδυασμό των δυο προηγούμενων, αφού η λογική είναι ότι εκτελούνται ταυτόχρονα τα δυο προηγούμενα. Επομένως, για το αποθηκευτικό σύστημα υιοθετήθηκε το δεσμευμένο σύστημα (Dedicated system). Για τον παράγοντα που σχετίζεται με τη μέθοδο συλλογής παραγγελιών, η περίπτωση που ακολουθήθηκε είναι αυτή που ο πικαδόρος επισκέπτεται τις θέσεις συλλογής και μάλιστα εκτελεί συλλογή σε ζώνες (Zone picking) αλλά και η μέθοδος που ο πικαδόρος εκτελεί διακριτή συλλογή (Discrete picking). Στις τεχνολογίες συλλογής θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται φορητοί σαρωτές (RF scanners) καθώς το λογισμικό προσομοίωσης λαμβάνει τα δεδομένα της συλλογής από πίνακες όπως ακριβώς τις λίστες με τις παραγγελιογραμμές που διαθέτουν οι πικαδόροι και στις δυο περιπτώσεις. Ως μονάδα συλλογής θεωρήθηκε το κιβώτιο (Carton/Box) με την ίδια παραδοχή ως προς το μέγεθος των κιβωτίων. Σε ότι αφορά το σύστημα συλλογής είναι ημιαυτοματοποιημένο (Semi-automated).

2.7 Σύνοψη

Από όλα τα παραπάνω εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα. Οι διαδικασίες σε μια αποθήκη καθορίζουν το συνολικό παρεχόμενο επίπεδο υπηρεσιών της εταιρίας. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η διαδικασία της συλλογής των παραγγελιών. Εκτός από τη σημαντικότητα της, ιδιαίτερης αναφοράς χρήζει ο πολυδιάστατος χαρακτήρας των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία αυτή. Απαιτείται προσεκτική μελέτη και σχεδιασμός ενδεχόμενων τροποποιήσεων στις παραμέτρους αυτών των παραγόντων. Αυτό γιατί, από τη μία το κόστος μετάβασης από μια μέθοδο σε μια άλλη είναι πολύ υψηλό και από την άλλη απαιτείται αρκετός χρόνος για την υλοποίηση της. Τα αποτελέσματα πάντως μπορεί δείξουν μεγάλη βελτίωση στην παραγωγικότητα και στο συνολικό επίπεδο της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η ανάγκη για συνεχή βελτίωση αποδεικνύεται και από το

μεγάλο πλήθος μελετών που εκπονούνται, ιδιαίτερα κατά την τελευταία πενταετία και που όλα δείχνουν ότι θα συνεχιστεί και στα επόμενα έτη.

3. Μοντέλα και συστήματα προσομοίωσης

3.1 Εισαγωγή

Η αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος με χρήση μαθηματικών μεθόδων, αν και είναι η πλέον ακριβής λύση δεν είναι πάντοτε εφικτό να υλοποιηθεί. Υπάρχουν πολλοί λόγοι στους οποίους οφείλεται η παραπάνω αδυναμία. Από την άλλη, υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μέθοδοι που είναι ικανές να πετύχουν τον παραπάνω στόχο με ικανοποιητική ακρίβεια. Μια από αυτές τις μεθόδους είναι η τεχνική της προσομοίωσης. (Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017). Η συγκεκριμένη τεχνική κλείνει σχεδόν έναν αιώνα από τότε που υπάρχουν οι πρώτες καταγεγραμμένες εμφανίσεις της στην επιστημονική και επιχειρησιακή βιβλιογραφία, αλλά η ραγδαία εξέλιξη της οφείλεται στην ταχεία ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων που συντελέστηκε κατά τις τελευταίες δεκαετίες. (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012).

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες της τεχνικής της προσομοίωσης. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις διάφορες μεθόδους προσομοίωσης, ορίζεται η έννοια του συστήματος, του μοντέλου και παρατίθενται τα πλεονεκτήματα της προσομοίωσης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να υλοποιηθεί με επιτυχία η κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης. Το κεφάλαιο συνεχίζει με την ενότητα που αναφέρεται στη μέθοδο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων την οποία χρησιμοποιεί το εργαλείο FlexSim. Το FlexSim είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Κατόπιν, αναλύονται διάφορες εφαρμογές από το χώρο των logistics μια από τις οποίες αποτελεί το θέμα αυτής της εργασίας. Ακολουθεί περιγραφή των βασικών στοιχείων και λειτουργιών του εργαλείου FlexSim και συγκεκριμένα της έκδοσης 19.2.3 στην οποία αναπτύχθηκαν τα μοντέλα που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με σύνοψη όλων όσων αναφέρθηκαν.

3.2 Βασικές έννοιες προσομοίωσης

Για την προσομοίωση έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί που επιδιώκουν να καλύψουν αυτό το πολύπλευρο θέμα μέσα σε λίγες γραμμές. Πρόκειται για πολύπλευρο ζήτημα καθώς μπορεί να εφαρμοσθεί σε μια ευρεία κλίμακα περιπτώσεων που η καθεμιά έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και παραμέτρους.

Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας καταλήγουμε στον ορισμό που παρατίθεται στα περισσότερα σύγχρονα βιβλία με ελαφρές παραλλαγές. Με τον όρο προσομοίωση εννοούμε : «Την τεχνική εκείνη που επιτυγχάνει την αναπαράσταση ενός συστήματος ή φαινομένου, μέσω ενός μοντέλου, με σκοπό την ευχερέστερη μελέτη της συμπεριφοράς του

και τη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της λειτουργίας του, χωρίς την ανάγκη πειραματισμών στο ίδιο το σύστημα». (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012). Αν θέλει κάποιος να αναλύσει περαιτέρω τον παραπάνω ορισμό πρέπει να επικεντρωθεί σε επιμέρους σημεία του, που επιδεικνύουν τις σημαντικές πτυχές της μεθόδου. Συγκεκριμένα, τονίζουμε, ότι όταν μιλάμε για προσομοίωση πάντοτε υπάρχει κάποιο μοντέλο που αναπαριστά την πραγματικότητα. Επιπλέον, αναφέρουμε ότι ο βασικός στόχος της προσομοίωσης είναι αφενός η πιο εύκολη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος και αφετέρου η λήψη αποφάσεων με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου. Και τέλος το κυριότερο απ' όλα. Με την τεχνική αυτή δεν χρειάζεται να γίνουν πειραματισμοί στο φυσικό σύστημα.

Στη συνέχεια ορίζουμε την έννοια του συστήματος, καθώς αποτελεί το βασικό αντικείμενο μελέτης μιας προσομοίωσης. Με τον όρο σύστημα εννοούμε «Το σύνολο των στοιχείων που αλληλοεπιδρούν και συνεργάζονται μεταξύ τους ή λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη κάποιου κοινού σκοπού». (Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017). Αναλύοντας παραπάνω τον ορισμό του συστήματος επισημαίνονται τα εξής: Το κάθε σύστημα αποτελείται από διάφορα στοιχεία, τα οποία βρίσκονται σε κάποιου είδους σύνδεση που τους επιτρέπει να λειτουργούν συμπληρωματικά το ένα ως προς το άλλο και το αποτέλεσμα αυτής της λειτουργίας είναι ένας κοινός σκοπός. Φυσικά ένα σύστημα δεν είναι αποκομμένο από το υπόλοιπο περιβάλλον. Σε αυτό εισέρχονται εισροές ή αλλιώς είσοδοι και εξέρχονται εκροές ή αλλιώς έξοδοι. (Yin & McKay, 2018)

Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία. Τις οντότητες, τα χαρακτηριστικά τους, και τις δραστηριότητες. Ως οντότητες θεωρούνται τα διάφορα αντικείμενα που απαρτίζουν το σύστημα. Ως χαρακτηριστικά εννοούνται οι ιδιότητες που κατέχουν οι οντότητες. Τέλος, ως δραστηριότητες λογίζονται οι διεργασίες που οδηγούν σε αλλαγή της κατάστασης του συστήματος. (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012). Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε έναν αποθηκευτικό χώρο ως σύστημα, μερικές οντότητες αυτού, είναι τα ράφια, οι εργαζόμενοι, τα προϊόντα κ.λπ. Χαρακτηριστικά για τα ράφια είναι, ο τύπος του ραφιού, οι διαστάσεις του κ.λπ. , για τον εργαζόμενο οι διαθέσιμες ώρες εργασίας , ο χρόνος που χρειάζεται για να συλλέξει ένα προϊόν κ.α. Τέλος για το προϊόν μερικά χαρακτηριστικά είναι : ο τύπος προϊόντος, το βάρος της μονάδας προϊόντος και άλλα. Ως δραστηριότητες στην εν λόγω αποθήκη με τα παραπάνω στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν οι παραγγελίες που τίθενται από τους αποθέτες, οι κινήσεις συλλογής προϊόντων προκειμένου να εκτελεστούν οι παραγγελίες, οι αποστολές παραγγελιών κ.α.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα συστήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με τη φύση της κατάστασης του συστήματος. Η μία κατηγορία περιλαμβάνει τα συνεχή

συστήματα στα οποία οι μεταβολές που προκαλούν οι δραστηριότητες είναι ομαλές και συνεχόμενες. Από την άλλη υπάρχουν τα διακριτά συστήματα στα οποία συμβαίνουν μεταβολές μόνο κατά το πέρας μιας δραστηριότητας ή κατά την έναρξη μιας νέας. (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012)

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαία η έναρξη της μελέτης της διεπαφής του φυσικού συστήματος με την προσομοίωση. Έτσι, πρέπει να οριστεί γενικότερα η έννοια του μοντέλου και να καταλήξουμε στην έννοια του μοντέλου προσομοίωσης. Με τον όρο μοντέλο εννοούμε: «Την αναπαράσταση κάποιου φυσικού συστήματος ή φαινομένου συμπεριλαμβανομένων και των πληροφοριών που έχουν συγκεντρωθεί με σκοπό τη μελέτη του συστήματος» (Ρουmeliώτης, 1998). Από τον ορισμό αυτό γίνεται εμφανές ότι δεν αρκεί να μεταφέρουμε το φυσικό σύστημα σε ένα άλλο περιβάλλον απλά ως ένα σύνολο οντοτήτων. Απαραίτητα στοιχεία που πλαισιώνουν την αναπαράσταση αποτελούν και οι διάφορες πληροφορίες που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του φυσικού συστήματος και κατά συνέπεια του μοντέλου προσομοίωσης.

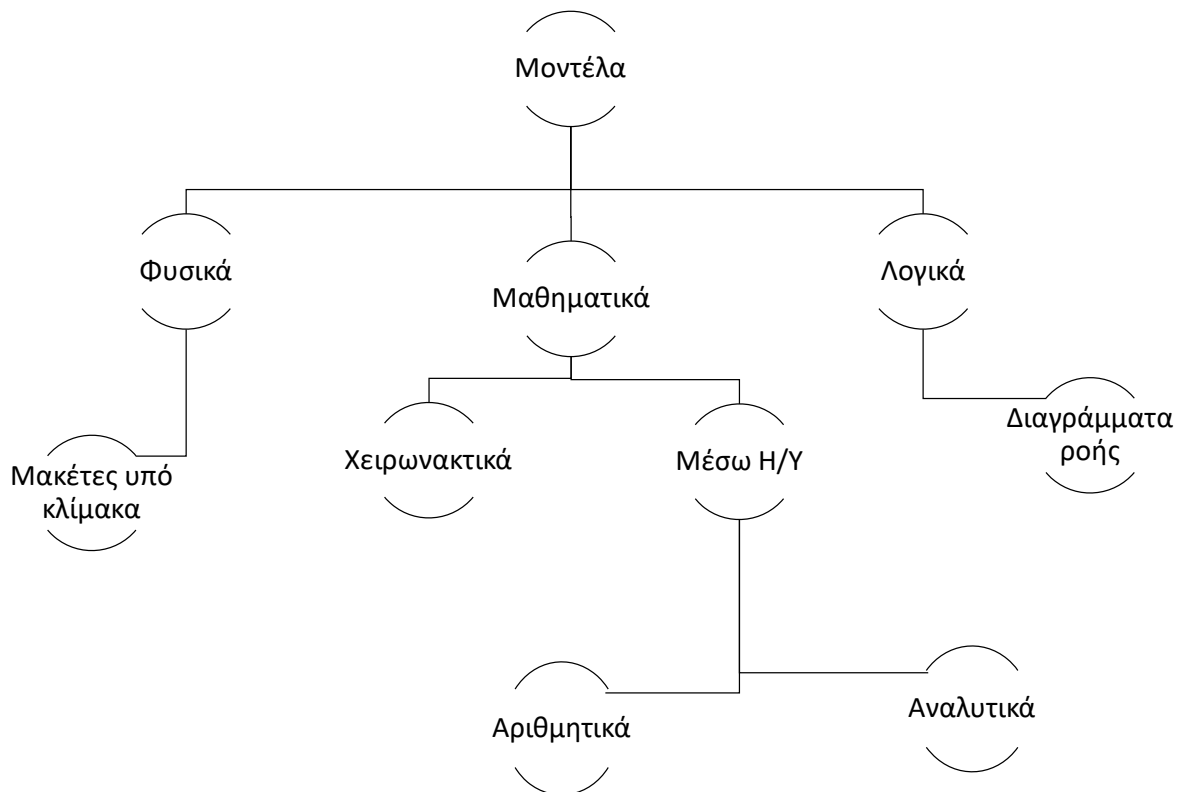
Παράλληλα, κρίνεται απαραίτητη η απαρίθμηση των λόγων για τους οποίους η προσομοίωση έχει καταστεί μια πολύ χρήσιμη και επιβεβλημένη τεχνική στις μέρες μας. Μάλιστα τα πεδία εφαρμογής της καλύπτουν μια ευρεία περιοχή επιστημών. Έτσι επισημαίνονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα: (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012; Επιμορφωτικό υλικό για την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στα Κέντρα Στήριξης Επιμόρφωσης, 2008)

- Μπορεί να αποτελεί την μόνη προσέγγιση για την επίλυση κάποιων προβλημάτων καθώς ίσως η πραγματική κατασκευή του φυσικού συστήματος ενδέχεται να μην είναι εφικτή.
- Κοστίζει λιγότερο από τη δημιουργία του πραγματικού συστήματος.
- Επιτρέπει μεγαλύτερη εμβάθυνση στην αντίληψη των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων του προβλήματος.
- Είναι ασφαλής μέθοδος σε αντίθεση με πολλά από τα πραγματικά πειράματα καθότι δίνει τη δυνατότητα δοκιμών χωρίς ρίσκο.
- Δίνει τη δυνατότητα επανάληψης του ίδιου φαινομένου κατά βούληση εκτελώντας παράλληλα ανάλυση ευαισθησίας.

- Δίνει τη δυνατότητα πλήρους εξέτασης του συστήματος που μελετάται από διαφορετικές σκοπιές με αποτέλεσμα το σχεδιασμό καλύτερων συστημάτων, περιορίζοντας παράλληλα ύπαρξη σφαλμάτων σε αυτά.

Μελετώντας όλα τα παραπάνω ίσως δημιουργείται η εντύπωση ότι η προσομοίωση είναι μια μέθοδος που λειτουργεί ως πανάκεια σε όλα τα προβλήματα σχεδιασμού συστημάτων. Ενδεχομένως, ένα αποτέλεσμα που θα προκύψει από προσομοίωση να μην είναι η βέλτιστη δυνατή λύση του προβλήματος. Επιπλέον, το μοντέλο ίσως να μην αντανακλά με ακρίβεια την υπό μελέτη κατάσταση λόγω των παραδοχών που έχουν γίνει για την υλοποίηση. Σε κάθε περίπτωση όμως τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα υπερτερούν των αδυναμιών.

Συνεχίζουμε την ανάπτυξη των βασικών εννοιών της προσομοίωσης ταξινομώντας τα μοντέλα σε κατηγορίες και επεξηγώντας το βασικό χαρακτηριστικό του καθενός. Στο παρακάτω ιεραρχικό διάγραμμα (Σχήμα 3.1) παρουσιάζονται οι πιθανές κατηγορίες που προκύπτουν από τη διαδικασία της μοντελοποίησης. (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012).



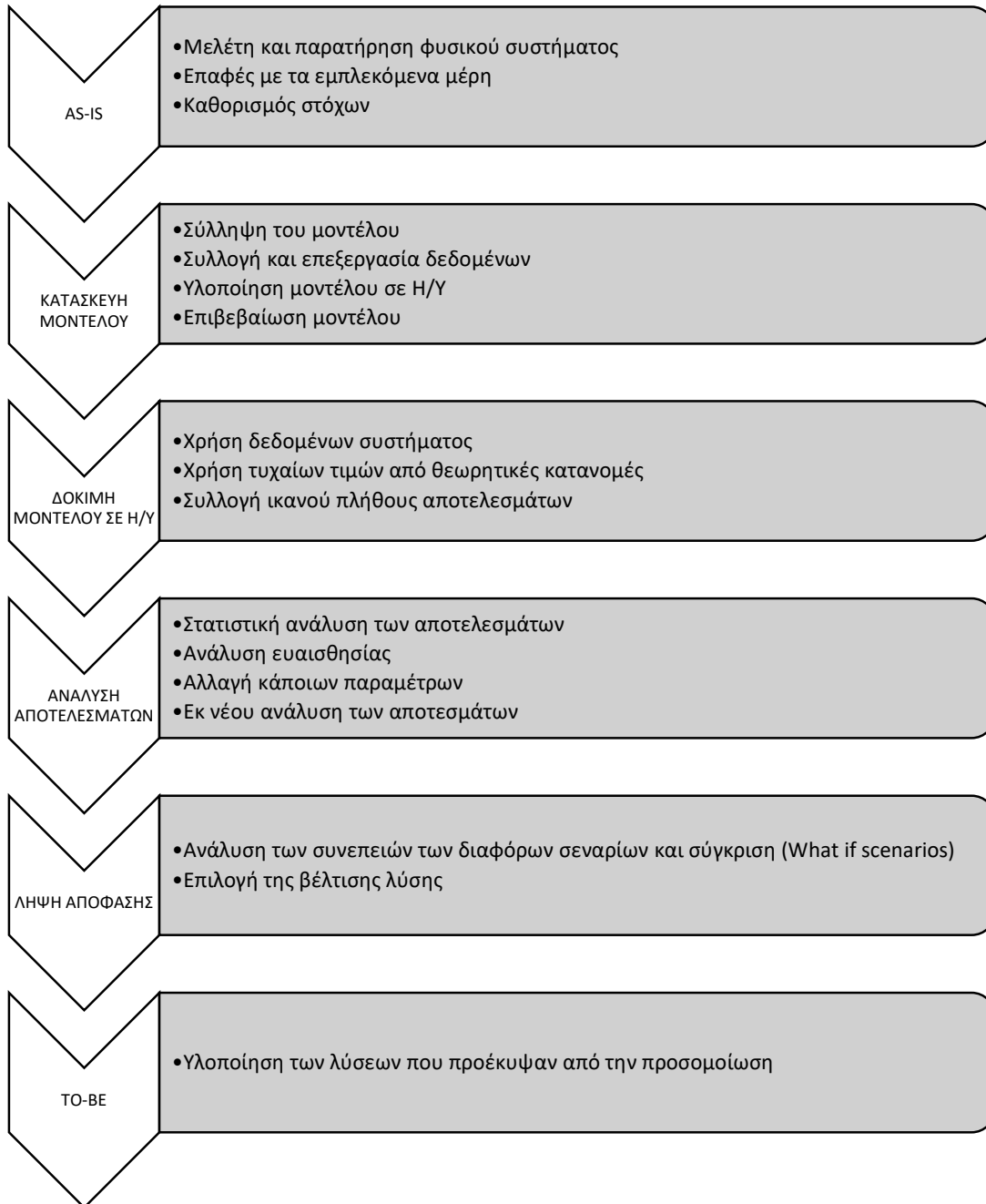
Σχήμα 3.1: Κατηγοριοποίηση μοντέλων (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012).

Στην κατηγορία των φυσικών μοντέλων έχουμε τις μακέτες, που κατασκευάζονται προκειμένου να δώσουν οπτική απεικόνιση του φυσικού συστήματος υπό κάποια κλίμακα. Δεν εμπεριέχουν κάποιου είδους λειτουργικότητα απλά βοηθούν στο να αποκτηθεί μια απτή απεικόνιση της πραγματικότητας. Στα λογικά μοντέλα συναντάμε τη δημιουργία διαγραμμάτων ροής που σκοπό έχουν να δώσουν τα βήματα της λειτουργίας ενός συστήματος που πρόκειται να υλοποιηθεί. Καταλήγοντας στα μαθηματικά μοντέλα διακρίνουμε δυο υποκατηγορίες που αφορούν στο μέσο υλοποίησής τους. Στην πρώτη κατηγορία έχουμε τα χειρωνακτικά, τα οποία θα μπορούσε κανείς να πει ότι προσεγγίζουν τα μοντέλα προσομοίωσης των αρχών της τεχνικής της προσομοίωσης όταν η χρήση Η/Υ ήταν ανύπαρκτη ή όχι τόσο διαδεδομένη. Η ευρεία υιοθέτηση των Η/Υ ως ένα βασικό και απαραίτητο εργαλείο κάθε υπολογιστικής διεργασίας έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της προσομοίωσης προς αυτή την κατεύθυνση. Ο τελευταίος διαχωρισμός έχει να κάνει με το αν το μοντέλο είναι αναλυτικό ή αριθμητικό. Το κριτήριο για την τελευταία κατηγοριοποίηση είναι το κατά πόσο τα αριθμητικά δεδομένα που τα περιγράφουν εξάγονται μέσω συγκεκριμένων συναρτήσεων (αναλυτικά) ή προκύπτουν εμπειρικά (αριθμητικά). Τέλος, μπορούμε να πούμε ότι κάποια από τα παραπάνω μοντέλα που αναφέρθηκαν δεν εξελίσσονται ώστε να καλύπτουν νέες ανάγκες απλά κατασκευάστηκαν για ένα συγκεκριμένο σκοπό και ονομάζονται στατικά ενώ κάποια μπορούν να προσαρμόζονται στις νέες απαιτήσεις και ονομάζονται δυναμικά. (Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017).

Στην τεχνική της προσομοίωσης αναφερόμαστε αποκλειστικά σε μαθηματικά μοντέλα που υλοποιούνται σε Η/Υ και τα δεδομένα τους προκύπτουν από την εμπειρία ή την παρατήρηση. Επομένως μιλάμε για αριθμητικά μοντέλα. Αξιοσημείωτο είναι πάντως το γεγονός ότι σε ένα μοντέλο προσομοίωσης που υλοποιείται στο περιβάλλον ενός λογισμικού σε Η/Υ εμπεριέχεται τόσο και η έννοια της οπτικοποίησης όπως δηλαδή στα φυσικά μοντέλα. Δηλαδή υλοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι ταυτόχρονα να έχουμε και μια μακέτα του φυσικού συστήματος στην οθόνη του Η/Υ. Επιπλέον, σε ένα σύγχρονο περιβάλλον προσομοίωσης η αλληλουχία των εντολών που προσδίδουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα έχουν τη μορφή του διαγράμματος ροής των λογικών μοντέλων και μάλιστα σε προηγμένη έκδοση καθώς μπορεί κάποιος να προγραμματίσει και τις λειτουργίες πάνω σε αυτά. Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι η μοντελοποίηση σε ένα σύγχρονο περιβάλλον προσομοίωσης είναι πολύπλευρη διαδικασία που καλύπτει εν μέρει όλες τις κατηγορίες μοντέλων.

Κλείνοντας τη συγκεκριμένη ενότητα γίνεται αναφορά στα απαραίτητα στάδια που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να σχεδιασθεί, να υλοποιηθεί και να αξιολογηθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα βήματα τα οποία πρέπει να

ακολουθηθούν με αφετηρία την υφιστάμενη κατάσταση (AS-IS) και προορισμό την προτεινόμενη κατάσταση (TO-BE) μέσω προσομοίωσης, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012).



Σχήμα 3.2: Στάδια προσομοίωσης (Γιαγλής & Καραγιαννάκη, 2012).

3.3 Προσομοίωση διακριτών γεγονότων

Η ενότητα αυτή επικεντρώνεται στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων στην οποία βασίζεται η λειτουργία του λογισμικού FlexSim που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση όλων των μοντέλων προσομοίωσης της παρούσας εργασίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε ένα διακριτό σύστημα, οι αλλαγές της κατάστασης λαμβάνουν χώρα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, όταν δηλαδή συμβεί κάποιο γεγονός. Τα γεγονότα αυτά και η αλληλεπίδρασή τους είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με ποικίλους τρόπους. Προκειμένου να συμβεί αυτό απαιτείται ύπαρξη μηχανισμών αύξησης του χρόνου και, συγκεκριμένα, ο μηχανισμός επόμενου γεγονότος και ο μηχανισμός σταθερού διαστήματος. (Law & Kelton, 2000).

Το τμήμα του μοντέλου προσομοίωσης που ασχολείται με την ροή του χρόνου ονομάζεται μηχανισμός ροής χρόνου. Έχει ως ρόλο την αύξηση του χρόνου προσομοίωσης αλλά και τον συγχρονισμό με υπόλοιπα αυτής, κατά την εμφάνιση των διαφόρων γεγονότων. Ο μηχανισμός ροής χρόνου διακρίνεται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες. Η μία είναι ο μηχανισμός επόμενου γεγονότος. Με το μηχανισμό αυτό καθορίζεται η χρονική στιγμή, κατά την οποία θα συμβεί το επόμενο γεγονός και το ρολόι της προσομοίωσης μεταβαίνει σε αυτή η χρονική στιγμή, παραλείποντας όλο το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα, στο οποίο δεν υπάρχει κανένα γεγονός. Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος πρέπει να υπάρχει μια λίστα γεγονότων, όπου καταγράφονται τα γεγονότα που πρόκειται να συμβούν στη συνέχεια. Η άλλη κατηγορία είναι ο μηχανισμός σταθερού χρονικού διαστήματος. Στο μηχανισμό αυτό δε θα δοθεί έμφαση καθώς χρησιμοποιείται κυρίως σε συνεχή συστήματα προσομοίωσης. Επιπλέον, υπάρχει και η μέθοδος των τριών φάσεων που αποτελεί έναν συνδυασμό των δύο παραπάνω μηχανισμών χρόνου. Η μέθοδος αυτή καθώς και οι διάφορες παραλλαγές της, θεωρείται η πιο διαδεδομένη σε ότι αφορά την διαχείριση της αύξησης του χρόνου. (Ρουμελιώτης, 2001)

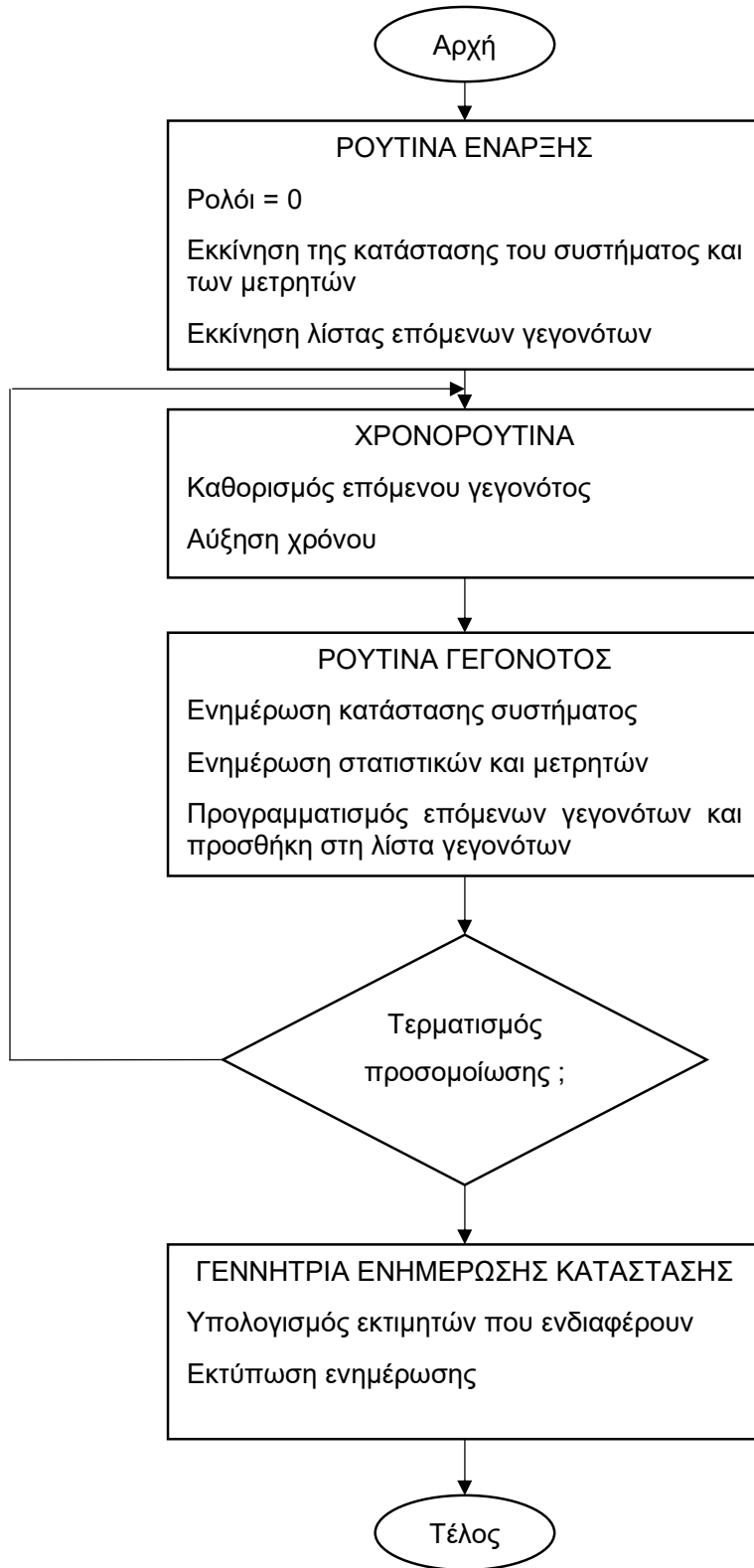
Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι προσομοίωσης αλλά η προσομοίωση διακριτών γεγονότων θεωρείται η πιο αποδοτική και άμεσα εφαρμόσιμη, παράγοντας αξιόπιστα μοντέλα. (Yin & McKay, 2018). Ενδεικτικά αναφέρονται και οι λοιπές μέθοδοι.

- Συνεχής προσομοίωση
- Συνδυασμένη προσομοίωση διακριτού-συνεχούς χρόνου.
- Προσομοίωση Monte-Carlo

Σε ότι αφορά την προσομοίωση διακριτών γεγονότων (DES Discrete Events Simulation) παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός οποιουδήποτε μοντέλου αυτής της κατηγορίας. Όλα τα μοντέλα αυτής της μορφής έχουν τους εξής κοινούς παράγοντες καθορισμού λειτουργίας: (Δινοπούλου & Χιωτίδης, 2010).

- Κατάσταση του συστήματος: Απαρτίζεται από το σύνολο των μεταβλητών κατάστασης που είναι απαραίτητο για την απεικόνιση της κατάστασης του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.
- Γενικό προσομοιωτικό ρολόι: Πρόκειται για μια μεταβλητή, η οποία δίνει την τρέχουσα τιμή του χρόνου προσομοίωσης
- Λίστα επόμενων γεγονότων: Πρόκειται για μια λίστα που περιλαμβάνει την επόμενη χρονική στιγμή για κάθε τύπο γεγονότος που θα συμβεί στο μέλλον.
- Στατιστικοί μετρητές: είναι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση στατιστικών πληροφοριών που σχετίζονται με την απόδοση του μοντέλου προσομοίωσης.
- Ρουτίνα έναρξης: είναι μια υπορουτίνα, η οποία έχει ως έργο την έναρξη της εκτέλεσης του μοντέλου στο χρόνο 0.
- Χρονоруτίνα: είναι μια υπορουτίνα, η οποία προσδιορίζει το επόμενο γεγονός από τη λίστα των γεγονότων και κατόπιν αυξάνει το χρόνο προσομοίωσης, προχωρώντας το ρολόι στη χρονική στιγμή που το γεγονός αυτό θα συμβεί.
- Ρουτίνα γεγονόςτος: είναι μια υπορουτίνα, η οποία ενημερώνει την κατάσταση του συστήματος, κατά τη διάρκεια κάποιου γεγονότος
- Γεννήτρια ενημέρωσης κατάστασης: είναι μια ρουτίνα, η οποία υπολογίζει εκτιμητές των επιθυμητών μεγεθών απόδοσης και εκτυπώνει την ανάλογη κατάσταση στο τέλος της προσομοίωσης.
- Κυρίως πρόγραμμα: Πρόκειται για ένα υποπρόγραμμα, το οποίο καλεί την χρονоруτίνα, για να καθορίσει το επόμενο γεγονός και στη συνέχεια μεταφέρει τον έλεγχο στην αντίστοιχη ρουτίνα γεγονότος, για να ενημερώσει την τρέχουσα κατάσταση του μοντέλου.

Στο σχήμα 3.3 που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής που απεικονίζει την εκτέλεση της προσομοίωσης διακριτού γεγονότος. Σε κάθε τμήμα του διαγράμματος ροής απεικονίζονται οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας. (Δινοπούλου & Χιωτίδης, 2010)



Σχήμα 3.3: Η ροή της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (Δινοπούλου & Χιωτίδης, 2010)

3.4 Εφαρμογές προσομοίωσης σε διαδικασίες logistics

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται εφαρμογές της προσομοίωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να δοκιμαστούν εναλλακτικοί τρόποι οργάνωσης διαδικασιών logistics. Συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά σε περιπτώσεις: (α) διαχείρισης αποθεμάτων, (β) εμπορευματικών μεταφορών, (γ) οργανωτική αναδιάρθρωση εγκαταστάσεων αποθήκης.

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία συναντάει κανείς μελέτες που περιλαμβάνουν μοντέλα προσομοίωσης τα οποία σχετίζονται με τη διαχείριση αποθεμάτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε μελέτη περίπτωσης αναδιοργάνωσης της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο προσομοίωσης Monte-Carlo και τις μεταβλητές του προβλήματος να λαμβάνονται ως τυχαίες μεταβλητές επιτυγχάνεται ολοκλήρωση μιας δυναμικής ανάλυσης εννοιών της διαχείρισης αποθεμάτων τόσο σε θεωρητικό όσο και σε ποσοτικό επίπεδο. Τα μοντέλα προσομοίωσης επιτρέπουν μια εκ των προτέρων διαχείριση και ανάλυση ποικίλων πιθανών αποτελεσμάτων και επιπτώσεων διαφόρων εναλλακτικών πολιτικών αποθέματος. Αυτές οι δοκιμές είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν στα πλαίσια του σημερινού ανταγωνιστικού οικονομικού περιβάλλοντος, όπου οι παραδοσιακές πολιτικές χρήζουν άμεσης βελτίωσης εξαιτίας της αβέβαιης, δυναμικής πραγματικότητας. (Marcikic & Radovanov, 2009)

Σε έναν άλλο τομέα που σχετίζεται με τα logistics, εκείνον που έχει να κάνει με τις μεταφορές εμπορευμάτων, υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες που χρησιμοποιούν μοντέλα προσομοίωσης. Εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης πολλαπλών διατροπικών (Intermodal) σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών η αξιολόγηση των επιδόσεων αποτελεί θέμα πρωταρχικής σημασίας τόσο για το σχεδιασμό όσο και για τη διαχείριση λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα λειτουργικότητας αυτών των σταθμών που σχετίζεται και με το σιδηροδρομικό δίκτυο σε σχέση με τα παραδοσιακά διατροπικά συστήματα έχει κάνει το ζήτημα της διαχείρισης ακόμη πιο περίπλοκο. Προκειμένου λοιπόν να παρέχονται ορθά και αντιληπτά ποσοτικά εργαλεία αξιολόγησης, έχουν δημιουργηθεί μοντέλα προσομοίωσης που βασίζονται στο πρότυπο Timed Petri Net. Αυτά τα μοντέλα προσφέρουν δυνατότητες λήψης αποφάσεων τόσο για το σχεδιασμό των σταθμών όσο και για τη λειτουργία τους. Επιπλέον, μια μέθοδος προσομοίωσης διαδρομής αμαξοστοιχίας έχει ενσωματωθεί για να παρέχει μια ακριβή προσομοίωση της διαδικασίας κίνησης της αμαξοστοιχίας. Τα δεδομένα με τα οποία τροφοδοτείται το μοντέλο βασίζονται σε πραγματικές περιπτώσεις τέτοιων σταθμών. Κατόπιν, διεξάγονται δοκιμές τα αποτελέσματα των οποίων λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν από τα εμπλεκόμενα μέρη. (Xuchao et al., 2018)

Στον τομέα των City logistics μπορεί κανείς να συναντήσει ενδιαφέρουσες εφαρμογές της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα υπάρχει ανάγκη για τον εντοπισμό κρίσιμων σταδίων και εκτέλεση πιθανών σεναρίων. Μια τέτοια ανάλυση μπορεί να επικεντρωθεί σε μεταφορές φορτίων, ζήτηση και προσφορά ανεφοδιασμού φορτίου (freight restocking demand and supply) αλλά και σε θέματα δρομολόγησης στόλου στο οδικό δίκτυο. Η προσομοίωση είναι σε θέση να αναδείξει σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που αφορούν τα city logistics και να οδηγήσει σε λήψεις αποφάσεων. Από τα αποτελέσματα των μοντέλων προσομοίωσης, μπορούν να υπολογιστούν επιδόσεις που αφορούν στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, τη ρύπανση και τα τροχαία ατυχήματα των φορτηγών οχημάτων. (Comi et al., 2012).

Στο τελευταίο μέρος αυτής της ενότητας γίνεται αναφορά σε εφαρμογές προσομοίωσης που μπορεί να υλοποιηθούν μέσα στις εγκαταστάσεις μιας αποθήκης.

Η προσομοίωση μπορεί να εφαρμοστεί στη λειτουργία παραλαβής εμπορευμάτων. Συγκεκριμένα υλοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης της αποθήκης και τροφοδοτώντας το με πραγματικά δεδομένα μπορούν να εντοπισθούν συμφορήσεις στη διαδικασία. Έτσι το επόμενο βήμα είναι η αναδιοργάνωση της διαδικασίας, τροποποιώντας μια σειρά από παραμέτρους. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να τροποποιηθεί το πρόγραμμα παραλαβών αλλάζοντας τα ωράρια των time windows με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την προσομοίωση. Επιπλέον, τα ευρήματα αυτά μπορεί να οδηγήσουν σε αποφάσεις ανασχεδιασμού των εγκαταστάσεων της αποθήκης σε ότι αφορά την επιφάνεια της πλατείας, το πλήθος και το είδος θυρών παραλαβής, αλλά και σε θέματα που αφορούν στο πλήθος των ατόμων που απασχολούνται.

Φυσικά το πρωτεύων ζήτημα που μπορεί να διερευνηθεί μέσα σε μια αποθήκη είναι εκείνο της συλλογής παραγγελιών, καθότι αποτελεί το βασικό παράγοντα κόστους. Άλλωστε αυτό είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας. Αρχικά υλοποιείται ένα μοντέλο προσομοίωσης που περιγράφει επ' ακριβώς την υφιστάμενη κατάσταση. Τροφοδοτείται με δεδομένα και παραμετροποιείται με τρόπο ώστε να πλησιάζει την πραγματικότητα. Στη συνέχεια ξεκινάνε οι δοκιμές, πραγματοποιώντας αλλαγές βασικών παραμέτρων. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να εμπεριέχουν αλλαγή είδους ραφιών, διαφορετικές πολιτικές δρομολόγησης, εναλλακτικούς εξοπλισμούς ενδοδιακίνησης, μεθόδους συλλογής, τοποθέτηση των προϊόντων στα ράφια με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, αλλά και συνδυασμούς περισσότερων παραγόντων. Τα μοντέλα που κατασκευάζονται επιδιώκουν να φέρουν σε πέρας τον ίδιο φόρτο εργασίας με καλύτερες επιδόσεις. Οι δοκιμές αυτών των μοντέλων δίνουν αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται ως οδηγός στη λήψη αποφάσεων.

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημανθεί ότι όποιο και αν είναι το πεδίο εφαρμογής της προσομοίωσης, η τελική επιδίωξη είναι η λήψη αποφάσεων ελαχιστοποιώντας το ρίσκο επένδυσης κεφαλαίων χωρίς να υπάρχει βεβαιότητα για την επιτυχία τους. Με την προσομοίωση εκτός από ότι δίνονται οι απαραίτητες ενδείξεις χωρίς ιδιαίτερα υψηλές διαθέσιμες κεφαλαίου σημαντικό είναι ότι δεν πρέπει να τροποποιηθούν οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις ή μέθοδοι λειτουργιών.

3.5 Περιγραφή βασικών χαρακτηριστικών του λογισμικού FlexSim

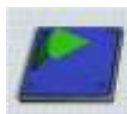
Προκειμένου να υλοποιηθούν μοντέλα προσομοίωσης απαιτείται χρήση Η/Υ στον οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο ένα λογισμικό εξειδικευμένο στην δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε διακριτό χρόνο. Σήμερα κυκλοφορούν αρκετά λογισμικά που ασχολούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Άλλα μπορούν να εφαρμοστούν για προσομοίωση γενικού σκοπού και άλλα ειδικεύονται σε συγκεκριμένου τύπου προσομοιώσεις.

Στην παρούσα εργασία το λογισμικό προσομοίωσης που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί είναι το FlexSim. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 19.2.3. Τα βασικά χαρακτηριστικά του περιγράφονται στη συνέχεια της ενότητας.

Ξεκινώντας, το μοντέλο δημιουργείται τοποθετώντας τα αντικείμενα του φυσικού συστήματος που πρέπει να προσομοιωθεί. Στο FlexSim τα αντικείμενα βρίσκονται στο αριστερό μέρος της οθόνης στην καρτέλα library. Με τη μέθοδο drag-drop επιλέγονται τα επιθυμητά αντικείμενα.

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα που μας απασχόλησαν.

➤ Source

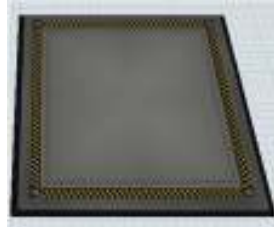


Σχήμα 3.4: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Source

Το αντικείμενο αυτό δίνει στο λογισμικό τη δυνατότητα να παράγει αντικείμενα ροής (Flow Items). Στην περίπτωση μας το χρησιμοποιήσαμε για να τροφοδοσιά άδειων παλετών.

Μπορεί επίσης να τροφοδοτεί με κιβώτια διαφόρων τύπων, καθώς και με διάφορα μέσα συλλογής αντικειμένων. Δίνει τη δυνατότητα να ορίζεται ο ρυθμός με τον οποίο θα δίνονται τα αντικείμενα, βασιζόμενο στις θεωρητικές κατανομές πιθανότητας, καθώς και με βάση προκαθορισμένο διάστημα ανάλογα με την επιθυμία του δημιουργού του μοντέλου.

➤ **Queue**



Σχήμα 3.5: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Queue

Πρόκειται για χώρους προσωρινής εναπόθεσης στους οποίους μπορούν να τοποθετηθούν τόσο τα FlowItems όσο και αντικείμενα που θα δημιουργηθούν από το μοντέλο. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκαν, τόσο για εναπόθεση άδειων παλετών, όσο και για χώρους εναπόθεσης ετοιμών παραγγελιών μετά τη διαδικασία της συλλογής. Δίνεται η δυνατότητα να παραμετροποιηθούν ως ένα βαθμό σε ότι αφορά τον τρόπο στοίβαξης κυρίως, αλλά και τη μέγιστη χωρητικότητα.

➤ **Operator**



Σχήμα 3.6: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Operator

Το αντικείμενο αυτό προσομοιώνει τον κάθε λογής εργαζόμενο που θα χρησιμοποιηθεί στα μοντέλα που δημιουργούνται. Ανήκει στην κατηγορία task executors η οποία περιλαμβάνει αντικείμενα που εκτελούν εργασίες. Μπορεί να παραμετροποιηθεί οπτικά, αλλά βασικά εκείνο που ενδιαφέρει είναι η συμπεριφορά του. Δίνεται η δυνατότητα να ορισθεί η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει, το πλήθος αντικειμένων που μπορεί να αναφέρει κ.α.

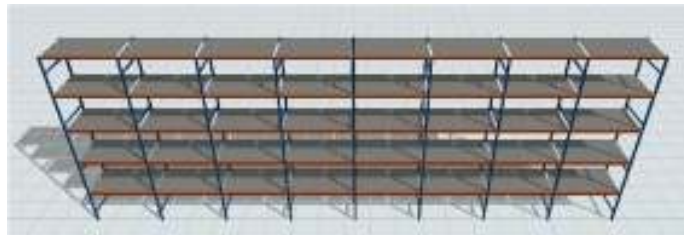
➤ **Dispatcher**



Σχήμα 3.7: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Dispatcher

Το λογισμικό παρέχει το εικονιζόμενο αντικείμενο, προκειμένου να κατανείμει και να συγχρονίσει τις εργασίες στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα task executors. Έτσι αν για παράδειγμα το μοντέλο χρησιμοποιεί 5 εργαζόμενους προκειμένου να διεκπεραιωθεί ένας φόρτος μιας εργασίας, η χρήση αυτού του αντικειμένου είναι απαραίτητη προκειμένου να τους συντονίσει και να λειτουργήσει αρμονικά όλο το σύστημα. Με dispatcher μπορούν επίσης να συντονιστούν περνοφόρα οχήματα, ρομποτικοί βραχίονες κ.α.

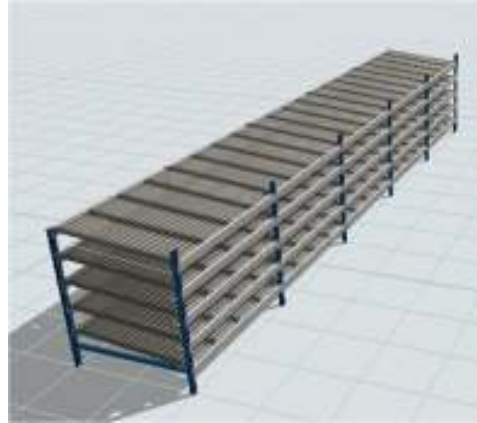
➤ **Rack**



Σχήμα 3.8: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Rack

Πρόκειται για το κοινό σύστημα αποθήκευσης back-to-back. Δίνεται η δυνατότητα να αποθηκεύσουμε τόσο μεμονωμένα αντικείμενα, όσο και παλετοποιημένα. Φυσικά σε ένα τέτοιο ράφι, ρυθμίζονται πλήρως οι διαστάσεις, τα επίπεδα τα φατνώματα αλλά και οι παλετοθέσεις ανά φάτνωμα. Βασική δυνατότητα παραμετροποίησης που παρέχεται από το λογισμικό είναι ο καθορισμός της πολιτικής με βάση την οποία θα γίνεται η τοποθέτηση των προϊόντων πάνω στο ράφι καθώς και η δυνατότητα καταγραφής στοιχείων των αποθηκευμένων προϊόντων σε λίστες (Global lists).

➤ **Gravity Flow Rack**



Σχήμα 3.9: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Gravity Flow Rack

Μια άλλη αποθηκευτική δομή προϊόντων είναι το ράφι τύπου Live storage. Πρόκειται το γνωστό τύπο ραφίου που αποτελείται από ράουλα πάνω στα οποία κυλάνε τα προϊόντα αφού είναι κατασκευασμένο υπό κλίση. Λειτουργεί με ιεραρχία FIFO καθώς τροφοδοτείται από το πίσω μέρος και ωθεί τα προϊόντα προς το εμπρός. Το FlexSim δίνει τη δυνατότητα να ρυθμιστούν το πλήθος επιπέδων, οι διαστάσεις η κλίση αλλά και το πλήθος θέσεων συλλογής.

➤ **A-Navigator**



Σχήμα 3.10: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου A-Navigator

Ουσιαστικά πρόκειται για μια δυνατότητα που αν χρησιμοποιηθεί μέσα σε κάποιο μοντέλο, προσδίδει βέλτιστη κίνηση των task executors διανύοντας τις ελάχιστες διαδρομές και παράλληλα εξασφαλίζει ότι θα κινούνται με λογικό τρόπο και δεν θα διέρχονται διαμέσου άλλων αντικειμένων. Για να λειτουργήσει πρέπει πρώτα να προστεθεί στο μοντέλο και στη συνέχεια να διασυνδεθεί με τα υπόλοιπα αντικείμενα.

➤ **Transporter**



Σχήμα 3.11: Γραφική απεικόνιση αντικειμένου Transporter

Στην ίδια κατηγορία με τους Operators ανήκει και το Transporter. Πρόκειται για το γνωστό περονοφόρο όχημα. Περιλαμβάνει παρόμοιες ρυθμίσεις με τον Operator και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μοντέλα για μεταφορά ογκωδών αντικειμένων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το λογισμικό περιλαμβάνει και άλλες κατηγορίες αντικειμένων για διάφορες άλλες λειτουργίες. Στο παραπάνω κείμενο περιγράφηκαν συνοπτικά όσα χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα της παρούσας μελέτης. Το πρώτο βήμα αφορά στην επιλογή των αντικειμένων που είναι απαραίτητα στο μοντέλο και η τοποθέτησή τους σε ένα κενό τρισδιάστατο χώρο που παρέχει το λογισμικό μόλις δημιουργηθεί ένα νέο αρχείο. Έτσι μόλις δημιουργήσουμε ένα νέο αρχείο και επιλέξουμε τις επιθυμητές μονάδες μέτρησης μήκους, χρόνου και όγκου, μεταφερόμαστε σε ένα κενό τρισδιάστατο χώρο. Εκεί τοποθετούνται να αντικείμενα. Το επόμενο βήμα είναι να προσαρμοστούν οπτικά με τη βοήθεια των ρυθμιστικών εργαλείων που παρέχονται.

Βέβαια, παρά την προηγμένη δυνατότητα οπτικοποίησης που παρέχει λογισμικό, το ουσιώδες κομμάτι εστιάζεται στη λειτουργικότητα του μοντέλου προσομοίωσης. Επομένως το σημαντικότερο όλων είναι η δημιουργία της επιθυμητής λογικής . Ξεκινάμε με τις συνδέσεις των αντικειμένων. Το FlexSim διαθέτει 3 διαφορετικούς τύπους συνδέσεων. Οι πιο συνηθισμένες είναι αυτές των τύπων A και S. Οι συνδέσεις τύπου A χρησιμοποιούνται για σύζευξη στατικών αντικειμένων όπως Sources, Queues, Racks προκειμένου να εξασφαλιστεί η μεταφορά αντικειμένων ροής μεταξύ αυτών. Οι συνδέσεις τύπου S προτιμώνται μεταξύ Task Executors και στατικών αντικειμένων προκειμένου η μεταφορά των αντικειμένων ροής να πραγματοποιηθεί από αυτούς.

Αφού τοποθετηθούν και οι συνδέσεις, στη συνέχεια γίνεται η παραμετροποίηση των αντικειμένων ανάλογα με την επιθυμητή λογική που θέλουμε να εισάγουμε στο μοντέλο. Σε μοντέλα που ενέχουν έως ένα βαθμό δυσκολίας, η παραμετροποίηση σε οπτικό περιβάλλον, είναι επαρκής. Υπάρχουν όμως συμπεριφορές οι οποίες δε μπορεί να επιτευχθούν με τις ήδη ενσωματωμένες ρυθμίσεις του λογισμικού. Εκεί πρέπει να γραφεί κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει το FlexSim. Πρόκειται για μια αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού που μοιάζει αρκετά με C++.

Από την άλλη, το FlexSim δίνει τη δυνατότητα να μη συνδεθούν τα αντικείμενα αλλά η αλληλουχία των δραστηριοτήτων να γίνει με βάση τη λειτουργία Process Flow. Το Process Flow είναι ένα υπό-περιβάλλον του λογισμικού που σε δυο διαστάσεις μπορεί κάποιος να φτιάξει μια οποιαδήποτε αλληλουχία εντολών ώστε να ελέγξει και να προγραμματίσει τη συμπεριφορά ενός αντικειμένου. Πρόκειται για έναν εναλλακτικό τρόπο επικοινωνίας με τα αντικείμενα που δίνει μεγαλύτερες δυνατότητες παραμετροποίησης. Κι εδώ πολλές φορές είναι απαραίτητη η συγγραφή κώδικα. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται στο Process Flow περιέχονται στην ενσωματωμένη βιβλιοθήκη του. Αρχικά επιλέγονται, τοποθετούνται σε μια λογική σειρά και στη συνέχεια τροποποιούνται οι ρυθμίσεις τους. Εδώ βασικό στοιχείο είναι η δημιουργία ετικετών (labels) που «προσκολλώνται» πάνω στα αντικείμενα ροής. Πρόκειται για ένα τρόπο διευθυνσιοδότησης. Στη συνέχεια μπορούμε να αναφερθούμε σε αυτά χρησιμοποιώντας εντολές του τύπου `token.label` σε οποιοδήποτε σημείο αυτό απαιτείται.

Τα μοντέλα προσομοίωσης που περιγράφονται παρακάτω, έχουν υλοποιηθεί εξ' ολοκλήρου με Process Flow καθώς περιείχαν αρκετά περίπλοκη λογική που δε θα μπορούσε να υλοποιηθεί διαφορετικά. Επιπλέον, αρκετά σημεία περιέχουν κώδικα προκειμένου να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι πέρα από την παραπάνω γενική περιγραφή, ακολουθούν κι άλλες αναλυτικές στα Παραρτήματα της εργασίας.

3.6 Σύνοψη

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό, συνοψίζουμε τα θέματα που αναπτύχθηκαν. Επιχειρήθηκε εισαγωγή στην έννοια και τα βασικά στοιχεία της προσομοίωσης ως μεθόδου σχεδιασμού και εκτέλεσης πειραμάτων με σκοπό τη λήψη αποφάσεων. Έγινε συνοπτική αναφορά στην εξέλιξη της ως πειραματική μέθοδος με χρήση υπολογιστή. Επιπλέον, κατέστη σαφές ότι η εργασία βασίζεται σε ένα εργαλείο προσομοίωσης που υλοποιεί προσομοίωση διακριτών συστημάτων χρησιμοποιώντας μοντέλα σε υπολογιστή. Στη

συνέχεια, εντοπίστηκαν χρήσεις της μεθόδου σε τομείς παροχής υπηρεσιών logistics που σκοπό έχουν τη λήψη αποτελεσμάτων που εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό ακρίβειας, περιορίζοντας παράλληλα το ρίσκο μιας επένδυσης που θα μπορούσε να αποδειχθεί αποτυχημένη. Μέσω αυτών των εφαρμογών, αποδείχθηκε ότι η χρήση της είναι πλέον επιβεβλημένη και αναμένεται να γίνει ακόμα περισσότερο στο μέλλον. Τέλος, παρουσιάστηκαν οι κύριες λειτουργίες του λογισμικού οι οποίες και θα αναπτυχθούν εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια καθώς θα υλοποιείται η μοντελοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης.

Το επόμενο κεφάλαιο ασχολείται με τη την υλοποίηση του φυσικού συστήματος αποθήκευσης προϊόντων και συλλογής παραγγελιών, όπου θα υλοποιηθούν στην πράξη όλα τα θεωρητικά στοιχεία που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες.

4. Περιγραφή υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης

4.1 Εισαγωγή

Στο συγκριμένο κεφάλαιο αρχικά γίνεται συνοπτική παρουσίαση της εταιρίας που μελετήθηκε. Κατόπιν, περιγράφεται η υφιστάμενη διαδικασία συλλογής παραγγελιών καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά του αποθηκευτικού χώρου μέσα στον οποίο προετοιμάζονται οι παραγγελίες. Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση του μοντέλου της υφιστάμενης κατάστασης (AS-IS). Έπειτα παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου προσομοίωσης σε σχέση με τα στοιχεία που προκύπτουν από τα πραγματικά δεδομένα και το κεφάλαιο κλείνει με μια σύνοψη που περιλαμβάνει τα βασικά συμπεράσματα.

4.2 Προφίλ εταιρίας

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας αποτέλεσε μια πολυεθνική εταιρία που δραστηριοποιείται εδώ και αρκετές δεκαετίες στην παραγωγή και εμπορία ταχέως κινούμενων καταναλωτικών αγαθών (FMCGs). Τα προϊόντα της πωλούνται σε περισσότερες από 200 χώρες σε όλο τον κόσμο και περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα καταναλωτικών αγαθών από αναψυκτικά και σνακ μέχρι είδη υγιεινής διατροφής.

Το όραμα της επιχείρησης είναι να διατηρεί ηγετική θέση στην κατηγορία των ταχέως κινούμενων καταναλωτικών αγαθών (τρόφιμα και ποτά) ακολουθώντας πάντοτε στρατηγικές ανάπτυξης που συμβαδίζουν με τη βιώσιμη ανάπτυξη και παράλληλα με την προσφορά ποιοτικών προϊόντων στους τελικούς καταναλωτές. Η βιώσιμη ανάπτυξη αναλύεται σε πολλές συνιστώσες. Από τη μια έχουμε την περιβαλλοντική συνιστώσα που έχει να κάνει με θέματα ορθών πρακτικών γεωργίας και κτηνοτροφίας, αλλά και με κοινωνικά θέματα όπως η μείωση της δασοκάλυψης και η κλιματική αλλαγή. Τέλος η εν λόγω εταιρία δίνει έμφαση στις ορθές διατροφικές πρακτικές κατά τη παραγωγή των προϊόντων. Παράλληλα, η εταιρία έχει να επιδείξει φιλανθρωπικό έργο μεγάλης κλίμακας.

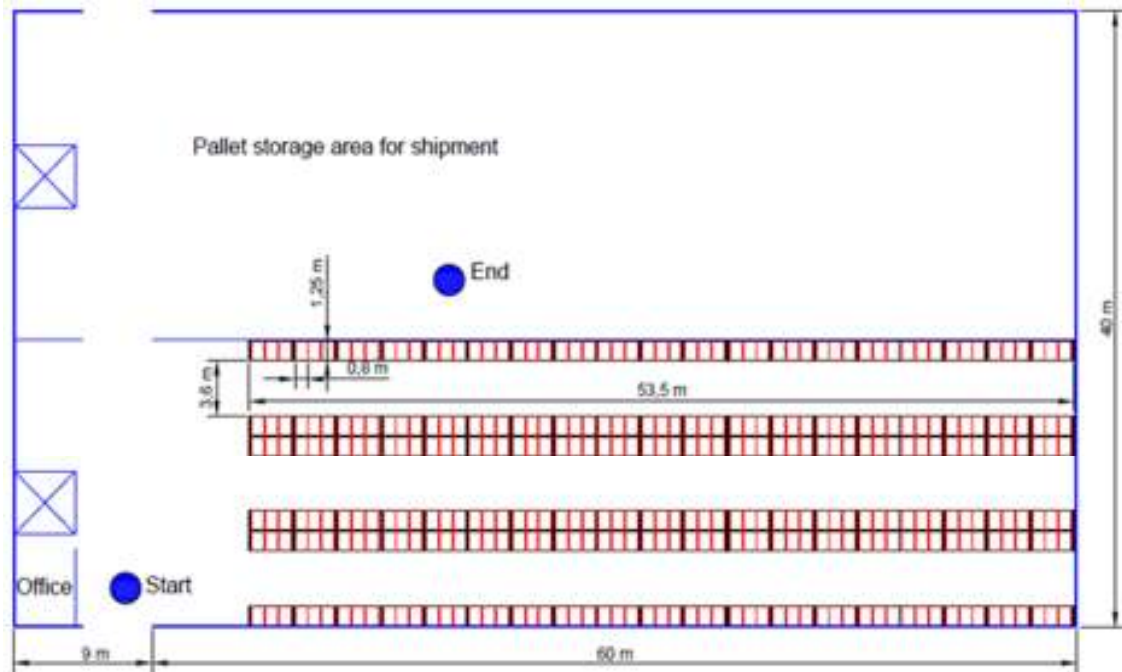
Η παρούσα εργασία εστιάζει σε δραστηριότητες που αφορούν στο παράρτημα της παραπάνω εταιρίας που δραστηριοποιείται στην Ελλάδα. Ειδικότερα, έχει δοθεί έγκριση στο παράρτημα της Ελλάδας τόσο για παραγωγή όσο και για εμπορία του μεγαλύτερου μέρους των ειδών της μητρικής εταιρίας. Η εν λόγω διπλωματική εργασία εστιάζει στην αποθήκευση των προϊόντων της εταιρίας (και ειδικότερα η συλλογή παραγγελιών) η οποία

γίνεται στην Ελλάδα μέσω ενός τρίτου συνεργάτη (Third-party logistics – 3PL) στον οποίο έχει αναθέσει την αποθήκευση και τη διανομή για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας.

4.3 Περιγραφή του αποθηκευτικού κυκλώματος

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η αποτύπωση της υπάρχουσας δομής λειτουργίας του αποθηκευτικού κυκλώματος της εταιρίας. Όπως αναφέρθηκε η εν λόγω εταιρία συνεργάζεται με επιχείρηση 3PL η οποία προσφέρει υπηρεσίες αποθήκευσης και διανομής των προϊόντων της. Η συγκεκριμένη επιχείρηση δραστηριοποιείται στην Αττική και εξυπηρετεί ένα αρκετό μεγάλο πλήθος αποθετών σε πλήρως εξοπλισμένες αποθήκες. Ένας από τους μεγαλύτερους αποθέτες της είναι και η συγκεκριμένη πολυεθνική. Προκειμένου να εκπονηθεί η παρούσα μελέτη, έγιναν πολλαπλές επισκέψεις στις εγκαταστάσεις της εταιρίας 3PL για αυτοψία (αποτύπωση σε κάτοψη του αποθηκευτικού χώρου στον οποίο αποθηκεύονται τα εμπορεύματα της εν λόγω πολυεθνικής εταιρίας) και για τη συλλογή των αναγκαίων πρωτογενών δεδομένων.

Για τη συγκεκριμένη πολυεθνική εταιρία, ο πάροχος 3PL έχει χρησιμοποιήσει ένα πυροδιαμέρισμα των αποθηκευτικών χώρων που διαθέτει με συνολική επιφάνεια 2760m². Τα προϊόντα είναι τοποθετημένα σε σύστημα αποθήκευσης back-to-back και καταλαμβάνουν 6 ραφαρίες αριθμημένες με τους αριθμούς 501-506. Κάθε ραφαρία αποτελείται από 19 φατνώματα. Σε κάθε επίπεδο κάθε φατνώματος υπάρχουν 3 παλετοθέσεις. Υπάρχουν 5 επίπεδα σε κάθε ραφαρία αλλά για τη συλλογή λαμβάνουμε υπόψη μόνο το επίπεδο 0. Επίσης, σε κάθε παλετοθέση μπορεί να υπάρχει ο ίδιος ή διαφορετικός κωδικός. Αυτό καθορίζεται από την εκάστοτε απόφαση της εταιρίας. Στην περίπτωση μας είχαμε ως δεδομένη τη θέση (δεσμευμένο σύστημα αποθήκευσης) από την οποία γίνεται η συλλογή του κάθε κωδικού. Επιπλέον για κατασκευαστικούς λόγους κάποια φατνώματα έχουν μείνει κενά. Η ανωτέρω περιγραφόμενη διάταξη αποτυπώνεται στο παρακάτω σχέδιο (Σχήμα 4.1). Επίσης στο εν λόγω σχέδιο αποτυπώνεται επίσης και το σημείο έναρξης της συλλογής καθώς και ο χώρος προσωρινής εναπόθεσης των ετοιμών προς αποστολή παραγγελιών.



Σχήμα 4.1: Κάτοψη πυροδιαμερίσματος

Στις παραπάνω ραφάριες υπάρχουν αποθηκευμένοι 103 διαφορετικοί κωδικοί (SKUs). Πρόκειται για ταχέως κινούμενα καταναλωτικά αγαθά (FMCGs) κυρίως αναψυκτικά και σνακ. Οι συσκευασίες ποικίλουν και αποτελούν ένα κριτήριο του τρόπου στοίβαξης πάνω στην παλέτα (οι κωδικοί με τις πιο σιβαρές συσκευασίες τοποθετούνται στο κάτω μέρος της παλέτας κατά τη συλλογή). Στον πίνακα 4.1 φαίνονται οι τύποι των συσκευασιών.

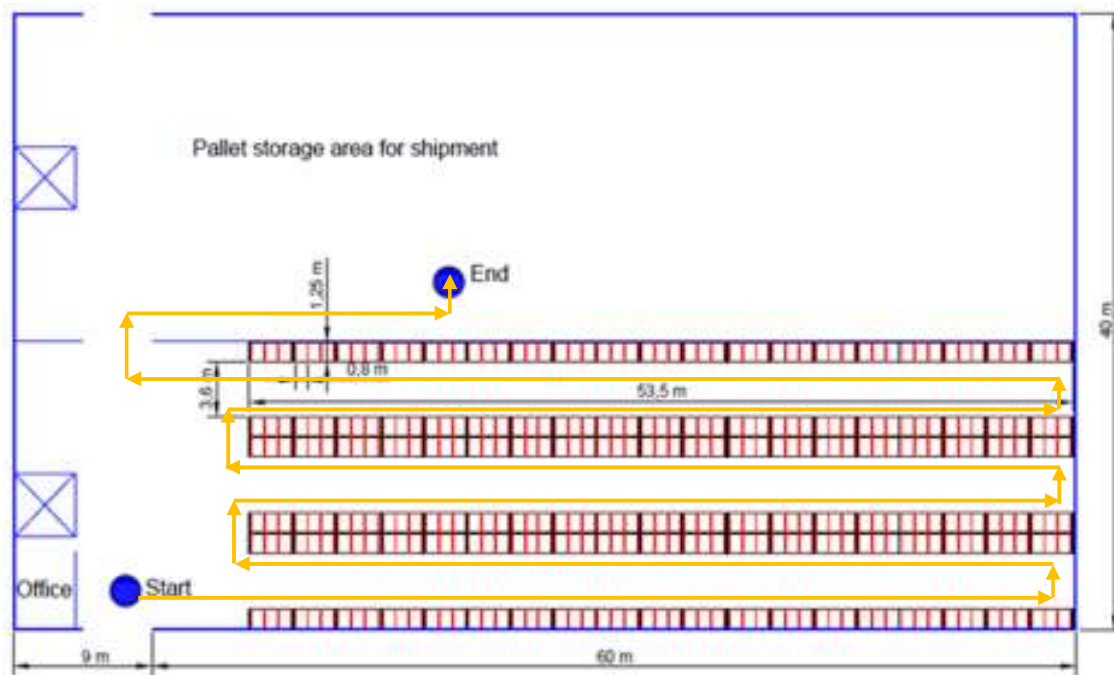
Πίνακας 4.1: Τύποι συσκευασίας αγαθών

A/A	Υλικό – Χωρητικότητα (ml)
1	Can 330
2	Can 200
3	Pet 1500
4	Pet 800
5	Pet 500
6	Tetrapack 1000
7	Tetrapack 250
8	Post Mix 10000
9	Glass 250 NRB

Πηγή: Πρωτογενή δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την εταιρία

Το λογισμικό διαχείρισης αποθηκευτικών χώρων (Warehouse Management System WMS) που χρησιμοποιείται από την εταιρία 3PL, δίνει ταξινομημένα με βάση την επιθυμητή στοίβαξη τα δεδομένα συλλογής. Για τη συλλογή των παραγγελιών χρησιμοποιείται ευρωπαϊκέτα με τυποποιημένες διαστάσεις (0,80m x 1,20 m). Επιπλέον, οι εργαζόμενοι που αναλαμβάνουν τη συλλογή παραγγελιών χρησιμοποιούν χειροκίνητο παλετοφόρο. Τα δεδομένα που λάβαμε περιλαμβάνουν τις παραγγελίες ενός ολόκληρου μήνα και αποτελούνται από 4.848 παραγγελίες. Συνολικά, οι συγκεκριμένες παραγγελίες περιλαμβάνουν 60.387 παραγγελιογραμμές.

Σε ότι αφορά την πολιτική με την οποία κινείται ο εργαζόμενος καταγράφηκαν οι κάτωθι κινήσεις από τις επιτόπιες παρατηρήσεις που έγιναν στον αποθηκευτικό χώρο. Ο εργαζόμενος ξεκινά από το σημείο Start που απεικονίζεται στο σχήμα 4.1 απ' όπου λαμβάνει μια κενή παλέτα. Στην συνέχεια διαθέτοντας φορητό ασύρματο αναγνώστη γραμμωτού κώδικα (barcode scanner) ακολουθεί πολιτική δρομολόγησης Return κινούμενος ανάμεσα στις ραφάριες συλλέγοντας τα προϊόντα και τοποθετώντας τα πάνω στην παλέτα. Το δρομολόγιο συνεχίζεται μέχρι να συλλεχθούν όλα τα εμπορεύματα της παραγγελίας (δηλαδή όλες οι παραγγελιογραμμές) και να καταλήξει στο σημείο End όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.1 (δες παραπάνω). Στο σχήμα 4.2 που ακολουθεί τα βέλη δείχνουν την ακολουθούμενη διαδρομή.



Σχήμα 4.2: Ακολουθούμενη διαδρομή πικαδόρου

Βέβαια, πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που η παραγγελία περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό κιβωτίων και πρέπει να χωριστεί σε περισσότερες από μια παλέτες, η διαδρομή διακόπτεται η παλέτα μεταφέρεται στο χώρο εναπόθεσης και ξεκινάει από την αρχή με μια νέα άδεια παλέτα. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να διακόψει αυτή τη διαδρομή είναι η διαφορετική αντίληψη που έχει κάποιος εργαζόμενος ως προς τη θέση που βρίσκονται τα προϊόντα. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί ακόμα και να περάσει κάτω από ένα κενό σημείο (π.χ. ραφαρία κενή χωρίς παλέτες), ανάμεσα σε δυο διαδρόμους.

Σε ότι αφορά τους χρόνους που απαιτούνται για τη συλλογή, μάς δόθηκαν δεδομένα που αφορούν τη διάρκεια που απαιτείται μεταξύ δυο διαφορετικών κινήσεων συλλογής. Επομένως αυτοί οι χρόνοι περιελάμβαναν το χρόνο συλλογής καθώς και το χρόνο που ο εργαζόμενος περπατάει από τη μια θέση συλλογής μέχρι την επόμενη. Σε αυτή την παράμετρο εμπεριέχεται μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας ως προς την εγκυρότητα καθώς υπάρχουν πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να κάνουν το σύστημα να μη μετρήσει σωστά το χρόνο. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής: α) Ένας εργαζόμενος δεν μετέβη άμεσα στην επόμενη θέση συλλογής αλλά απασχολήθηκε ενδιάμεσα με κάποια άλλη εργασία, β) Ενδεχομένως μπορεί να έκανε διάλειμμα και να άφησε το χρόνο να μετράει, γ) Άλλος παράγοντας μπορεί να είναι η έλλειψη προϊόντων στο επίπεδο 0 η οποία να τον ανάγκασε να περιμένει τροφοδοσία από κάποιο παραπάνω ράφι. Επομένως τα δεδομένα χρόνου αποτέλεσαν σημαντικά δύσκολο κομμάτι της μελέτης και αναλυθήκαν και καθαρίστηκαν (data cleansing) διεξοδικά μέχρις ότου καταλήξουμε στους αναγκαίους χρόνους που χρειαζόμασταν.

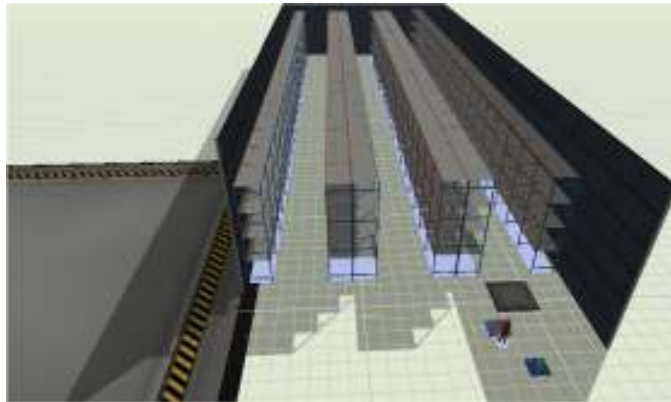
Κατά κοινή παραδοχή η διαδικασία της συλλογής δε μπορεί να τυποποιηθεί απόλυτα και να αναπαρασταθεί σε ένα μοντέλο καθώς εμπεριέχει αρκετά ασαφή λογική, ενώ το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργεί με ένα προκαθορισμένο τρόπο. Έτσι οδηγηθήκαμε σε κάποιες παραδοχές οι οποίες θα περιγραφούν στην ενότητα όπου γίνεται η αναπαράσταση του μοντέλου προσομοίωσης.

4.4 Περιγραφή μοντέλου προσομοίωσης

Βασική επιδίωξη ήταν η σωστή αποτύπωση της φυσικής αποθήκης (σε χωροταξικό επίπεδο, π.χ. διαστάσεις αποθηκευτικού χώρου, ραφαρίες, διάδρομοι) στο λογισμικό FlexSim. Αυτό αποτέλεσε απαραίτητο παράγοντα προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης (AS-IS scenario) με τις προτεινόμενες/εναλλακτικές μεθόδους συλλογής παραγγελιών (TO-BE scenarios). Η σωστή βάση προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος ήταν η ακριβής αναπαράσταση της αποθήκης με χρήση αντικειμένων του FlexSim. Επομένως ξεκίνησε η σχεδίαση του μοντέλου σε έμφαση στην

σωστή αναπαράσταση των αντικειμένων. Με οδηγό την κάτοψη της αποθήκης, αποτυπώθηκαν στο λογισμικό οι ίδιες διαστάσεις στις ραφαρίες, στους διαδρόμους και φυσικά ελήφθησαν υπόψη τα πραγματικά δεδομένα παραγγελιών.

Αρχικά, στο σχήμα 4.3, παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση του μοντέλου, προκειμένου να γίνει ευκολότερη η επεξήγησή του στις επόμενες σελίδες.

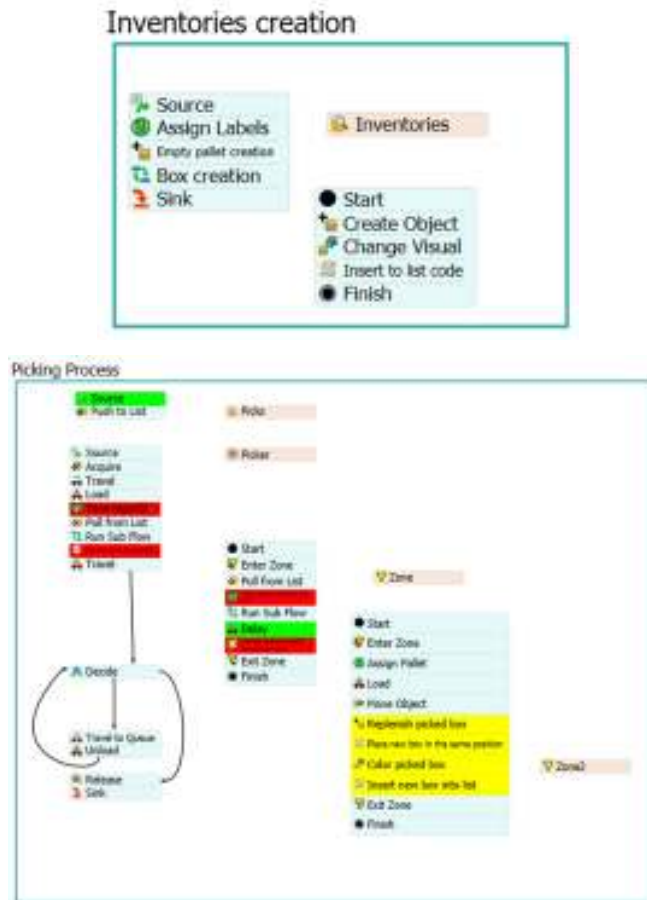


Σχήμα 4.3: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου AS-IS

Όπως διακρίνεται, υπάρχουν 6 ραφαρίες τύπου back-to-back για την αποθήκευση 103 SKUs. Κάθε ραφαρία έχει 5 επίπεδα αλλά για λόγους λιγότερων απαιτήσεων σε υπολογιστικούς πόρους τοποθετήθηκαν προϊόντα μόνο στις θέσεις από τις οποίες γίνεται η συλλογή προϊόντων στο επίπεδο 0, τα οποία ήταν απαραίτητα για την προσομοίωση της υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής προϊόντων. Επιπλέον, ενδιάμεσα στις δυο πρώτες ραφαρίες από δεξιά υπάρχει χώρος εναπόθεσης άδειων παλετών ο οποίος τροφοδοτείται από μια πηγή. Ο πικαδόρος ξεκινάει από το σημείο αυτό εξοπλισμένος με χειροκίνητο παλετοφόρο και κατευθύνεται προς της ραφαρίες ακολουθώντας πολιτική Return και μέθοδο συλλογής discrete picking. Μόλις τελειώσει με τη συλλογή της κάθε παραγγελίας εναποθέτει την παλέτα με τα προϊόντα στο χώρο προς αποστολή που βρίσκεται στα αριστερά όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.2. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συλλεχθούν οι 4.848 παραγγελίες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι όλη διαδικασία υλοποιείται χωρίς συνδέσεις μεταξύ των αντικειμένων καθώς η παραμετροποίηση των εντολών υλοποιείται με τη βοήθεια του Process Flow. Το Process Flow χωρίζεται σε δυο μέρη ανάλογα με το έργο που διεκπεραιώνει. Η μια φάση υλοποιεί την τοποθέτηση παλετοποιημένων προϊόντων στα ράφια κατά την έναρξη της προσομοίωσης, ενώ το δεύτερο μέρος αποτελείται από τις εντολές που υλοποιούν τη

διαδικασία της συλλογής. Παρακάτω ακολουθούν σχήματα που δίνουν οπτική απεικόνιση των δυο φάσεων που περιγράφηκαν παραπάνω.



Σχήμα 4.4: Γραφική απεικόνιση Process Flow συλλογής παραγγελιών

Σημειώνεται ότι στο παράρτημα Α υπάρχει αναλυτική περιγραφή των ρυθμίσεων που έγιναν σε καθεμιά από τις παραπάνω εντολές. Επιπλέον, στο μοντέλο έχουν εισαχθεί πρωτογενή δεδομένα που διατέθηκαν από την εταιρία. Συγκεκριμένα σε ειδικά διαμορφωμένο πίνακα (με γραμμογράφηση) υπάρχουν στοιχεία για την τοποθέτηση των προϊόντων σε συγκεκριμένες θέσεις πάνω στα ράφια. Ο εν λόγω πίνακας περιλαμβάνει τον κωδικό προϊόντος, τη ραφάρια στην οποία θα αποθηκευθεί το κάθε προϊόν, την ποσότητα ανά παλέτα, το επίπεδο, το φάτνωμα και τέλος την παλετοθέση.

Σε δεύτερο πίνακα υπάρχουν οι 60.387 παραγγελιογραμμές με την καθεμιά να περιλαμβάνει τον κωδικό προϊόντος, τον αριθμό παραγγελίας την ποσότητα αλλά και το χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή. Στο σημείο αυτό πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο χρόνο συλλογής του κάθε προϊόντος. Τα πρωτογενή δεδομένα που διατέθηκαν για τη μελέτη, περιλάμβαναν τη χρονική διάρκεια μεταξύ δυο κινήσεων συλλογής

συμπεριλαμβανομένου του χρόνου συλλογής αλλά και του χρόνου περπατήματος. Αυτό αποτέλεσε ιδιαίτερη δυσκολία κατά τη μοντελοποίηση της εν λόγω διαδικασίας καθώς έπρεπε να βρεθεί τρόπος να διαχωριστούν οι δυο χρόνοι. Στο μοντέλο υπήρξε η ανάγκη να δηλωθεί ο καθαρός χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή και στη συνέχεια να μετρήσει μόνο του το χρόνο που ο πικαδόρος περπατάει από τη μια θέση στην άλλη. Στο τέλος το άθροισμα αυτών των δυο χρόνων έπρεπε να ισούται με το δεδομένο χρόνο. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η εξής μεθοδολογία. Έγινε εκτέλεση του μοντέλου τροφοδοτώντας το με τους δεδομένους πρωτογενείς χρόνους. Τα αποτελέσματα περιείχαν τον επιπλέον χρόνο που δαπανήθηκε σε περπάτημα. Υπολογίζοντας τη διαφορά των δυο αυτών χρόνων προσδιορίστηκε ο χρόνος περπατήματος. Ακολούθησε ομοιόμορφη κατανομή του χρόνου αυτού στις 60.387 παραγγελιογραμμές και στη συνέχεια αφαίρεση του από τον δεδομένο χρόνο. Ότι απέμεινε ήταν ο καθαρός χρόνος συλλογής. Με αυτό το χρόνο τροφοδοτήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης στην τελική δοκιμή. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι η παραμετροποίηση και η δοκιμή του μοντέλου AS-IS πραγματοποιήθηκε ορίζοντας ως μέγιστη ταχύτητα κίνησης του πικαδόρου τα 2 km/h. (FlexSim online user manual)

Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη η χρήση δυο πινάκων που συλλέγουν δεδομένα χρόνου ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων και συγκρίσεων με τη φυσική διαδικασία της συλλογής παραγγελιών. Ο ένας πίνακας χρησιμεύει για την αποθήκευση του χρόνου για κάθε μεμονωμένη συλλογή και ο άλλος για το χρόνο που δαπανάται συνολικά για την κάθε παραγγελία.

Σημαντικό σημείο που πρέπει να αναφέρουμε είναι αυτό που έχει να κάνει με τις παραδοχές που έγιναν προκειμένου να υλοποιηθεί το μοντέλο. Συγκεκριμένα μια παραδοχή αφορά τη χρήση ενός μοναδικού πικαδόρου. Βέβαια αυτό δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα καθώς ο χρόνος που χρειάζεται ο ένας πικαδόρος μπορεί να επιμεριστεί στους πολλούς που χρησιμοποιεί η εταιρία. Μια άλλη παραδοχή έγινε σχετικά με την αναπλήρωση των κιβωτίων πάνω στις παλέτες. Στην πραγματικότητα όταν μια θέση αδειάζει, απαιτείται κάποιος χρόνος προκειμένου να υλοποιηθεί η διαδικασία αναπλήρωσης με προϊόντα. Στο μοντέλο έχει εισαχθεί διαδικασία η οποία λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο. Μόλις ένα κιβώτιο συλλεχθεί, αναπληρώνεται άμεσα (άρα δεν λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος ανατροφοδοσίας των θέσεων συλλογής). Επιπλέον, στο μοντέλο ο πικαδόρος ακολουθεί πάντα ένα συγκεκριμένο τρόπο εργασίας που στην πραγματικότητα δε μπορεί να είναι σταθερός. Είναι ευνόητο ότι τέτοιου είδους παράγοντες που αφορούν τον εργαζόμενο δεν είναι πάντα εφικτό να εισαχθούν σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, παρά μόνο σε ένα μικρό βαθμό.

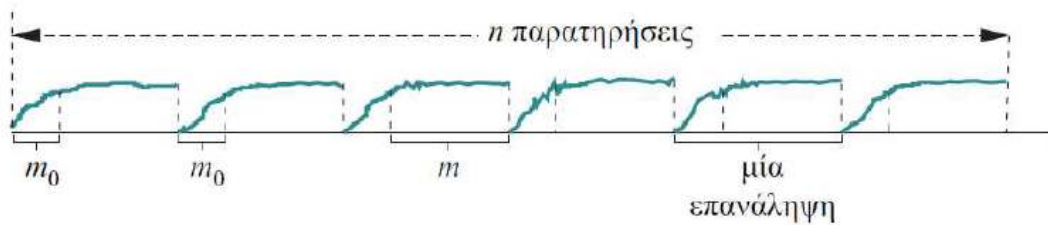
4.5 Δοκιμή μοντέλου

Έχοντας παραμετροποιήσει την κάθε εντολή καταλήξαμε στο στάδιο της τελικής δοκιμής ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο επετεύχθη ο βασικός στόχος, δηλαδή, η επιτυχημένη προσομοίωση της φυσικής αποθήκης. Ένα πρώτο ζήτημα που πρέπει να διερευνηθεί κατά την εκτέλεση ενός μοντέλου προσομοίωσης, είναι η ύπαρξη ή όχι, περιόδου προθέρμανσης (warm-up period).

Ως περίοδος προθέρμανσης νοείται το στάδιο εκείνο που πρέπει να υπάρξει ώστε το σύστημα να είναι σε θέση να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. (Κουϊκόγλου, 2002). Το μήκος αυτής της περιόδου είναι τόσο όσο απαιτείται προκειμένου το μοντέλο να φτάσει σε σταθερή κατάσταση (Steady state). Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που καθορίζουν τη διαδικασία αυτή. (Hoad, 2010) Βέβαια, η συλλογή αποτελεσμάτων από το μοντέλο κατά την περίοδο αυτή ενδέχεται να δώσει μη έγκυρα συμπεράσματα. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος τα αποτελέσματα κατά την περίοδο αυτή δε λαμβάνονται υπόψη. (Kolahí, 2011). Η περίοδος προθέρμανσης είναι απαραίτητη σε κάποιες περιπτώσεις μοντέλων και καθορίζεται από τη φύση του προβλήματος. Χαρακτηριστικά, γίνεται αναφορά σε περιπτώσεις συστημάτων αναμονής όπου απαιτείται χρόνος ώστε το σύστημα να έλθει σε συνθήκες σταθερής λειτουργίας. Στα μοντέλα που υλοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική, η φύση του προβλήματος ήταν τέτοια ώστε να μην χρειάζεται το στάδιο αυτό. Ο συγκεκριμένος ισχυρισμός τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι το σύστημα βρίσκεται ήδη σε σταθερή κατάσταση κατά την έναρξη της λειτουργίας και δεν απαιτείται κάποιος χρόνος αναμονής.

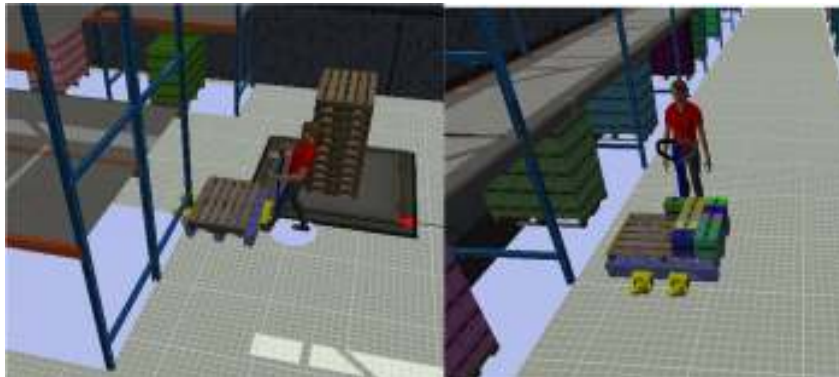
Το βασικότερο όμως σημείο στο οποίο έπρεπε να δοθεί σημασία, είναι το κατά πόσο εξασφαλίζεται η τυχαιότητα στους χρόνους συλλογής από τη στιγμή που βασιζόμαστε σε πραγματικά δεδομένα συλλογής παραγγελιών. Η συνήθης τακτική σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η προσαρμογή των δεδομένων σε θεωρητικές πιθανοτικές κατανομές και στη συνέχεια η παραγωγή τυχαίων αριθμών με χρήση αυτών των κατανομών με σκοπό να εκτελεστεί ένα μεγάλο πλήθος επαναλήψεων. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει τη στοχαστικότητα του μοντέλου. Σε περιπτώσεις που δεν υλοποιείται προσαρμογή σε θεωρητικές κατανομές, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται ώστε παραχθεί εμπειρική κατανομή. (Κουϊκόγλου, 2002). Στην περίπτωση μας η χρήση εμπειρικής κατανομής επιτυγχάνεται από το μεγάλο πλήθος δεδομένων που αφορούν τις παραγγελίες. Σύμφωνα με τη μέθοδο των επαναλήψεων, η προσομοίωση επαναλαμβάνεται πολλές φορές με τις ίδιες αρχικές συνθήκες. Κάθε φορά όμως χρησιμοποιείται διαφορετική παραγγελία. Οι παραγγελίες είναι επιλεγμένες με τυχαίο τρόπο από την πραγματική λειτουργία της αποθήκης, περιέχουν διαφορετικούς κωδικούς προϊόντων, διαφορετικά πλήθη προϊόντων και διαφορετικούς χρόνους υλοποίησης. Έτσι, θεωρούμε ότι οι παρατηρήσεις κατά τις επαναλήψεις είναι ανεξάρτητες. Τελικά ενώ το

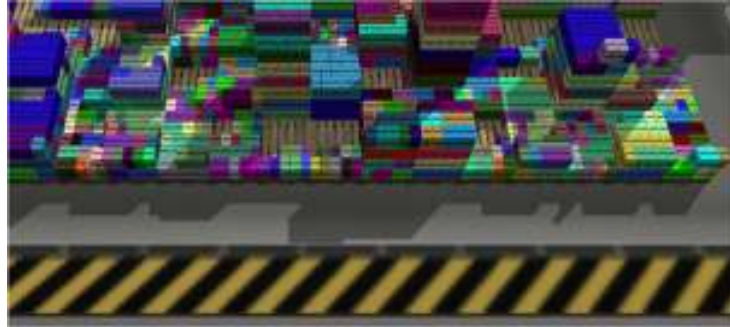
μοντέλο εκτελέστηκε μια φορά, ουσιαστικά εμπεριέχει μεγάλο πλήθος εκτελέσεων με τη μορφή τυχαίων παραγγελιών. Στο σχήμα 4.5 φαίνεται διαγραμματικά ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η μέθοδος. (Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017). Όπου m_0 το πλήθος των τιμών που δοκιμάζονται στο μοντέλο και θεωρούνται ως περίοδος προθέρμανσης και m το πλήθος των τιμών που δοκιμάζονται σε κάθε επανάληψη, εξαιρουμένων των τιμών του σταδίου της προθέρμανσης



Σχήμα 4.5: Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου των επαναλήψεων(Ρουμελιώτης & Σουραβλάς, 2017)

Έτσι το μοντέλο διεκπεραιώνει το σύνολο των 4.848 παραγγελιών σε 2.953.771 δευτερόλεπτα. Με βάση τα δεδομένα που διαθέταμε από την εταιρία ο χρόνος στον οποίο η αποθήκη υλοποίησε το έργο της συλλογής ήταν 2.953.777 δευτερόλεπτα. Δηλαδή το μοντέλο παρουσιάζει διαφορά μόλις 6 δευτερόλεπτων συγκρινόμενο με την πραγματική κατάσταση. Βέβαια, αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι χρησιμοποιώντας προσομοίωση απαιτείται περίπου μια ώρα σε ένα μέσο υπολογιστή (με χαρακτηριστικά: CPU AMD Ryzen 3 3200U @2.60 GHz, 16 GB RAM, AMD Radeon RX 5700 Graphics card, SSD) προκειμένου να εκτελέσει το φόρτο εργασίας ενός μήνα. Στο σχήμα 4.5 παρατίθενται στιγμιότυπα του μοντέλου από τη διαδικασία της συλλογής.





Σχήμα 4.6: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας της συλλογής

4.6 Σύνοψη

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα. Έχοντας υιοθετήσει κάποιες αναγκαίες παραδοχές κατέστη δυνατή η μεταφορά ενός φυσικού συστήματος συλλογής παραγγελιών, στα περιβάλλον ενός λογισμικού προσομοίωσης. Το αξιοσημείωτο του εγχειρήματος είναι ότι πέτυχε την ταύτιση των δυο συστημάτων σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό. Αυτό αποτελούσε βασική προϋπόθεση ώστε να καταστούν έγκυρες και αξιόπιστες οι συγκρίσεις με τα προτεινόμενα μοντέλα συλλογής παραγγελιών (TO-BE) που πρόκειται να περιγραφούν στις επόμενες ενότητες.

5. Προτεινόμενα σενάρια για την αναδιοργάνωση της διαδικασίας συλλογής παραγγελιών και μοντελοποίηση σε περιβάλλον προσομοίωσης

5.1 Εισαγωγή

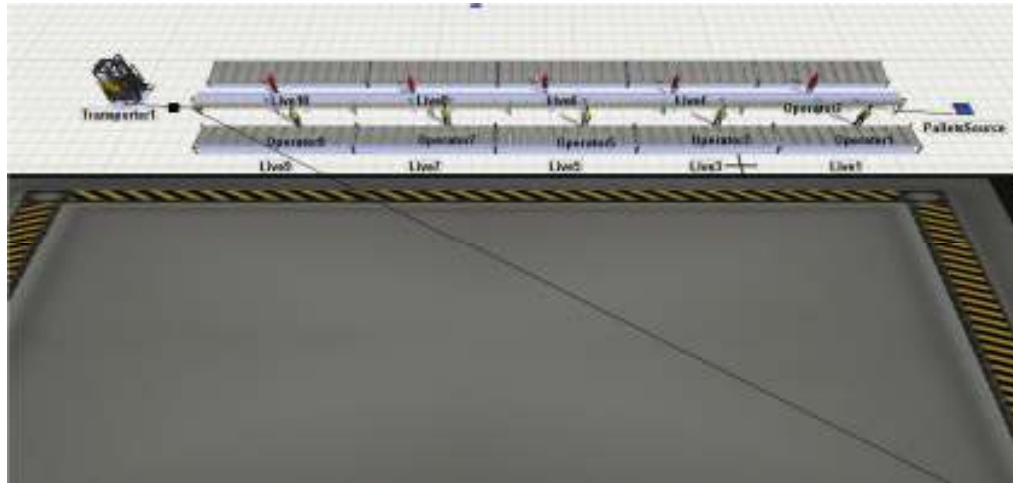
Μετά την αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης, ακολουθεί πρόταση και ανάλυση μοντέλων προσομοίωσης που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη λειτουργία της εν λόγω αποθήκης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται δυο διαφορετικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικό εξοπλισμό αποθήκευσης καθώς και διαφορετικούς τρόπους συλλογής παραγγελιών. Σε καθένα από αυτά τα μοντέλα έχουν δοκιμαστεί δυο διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Οι ενότητες που ακολουθούν, εμπεριέχουν περιγραφή των εναλλακτικών σεναρίων αλλά και λεπτομέρειες σχετικά με τη δομή του κάθε μοντέλου. Επιπλέον, επεξηγείται η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων και η ενσωμάτωση τους στα μοντέλα. Τέλος, ακολουθεί δοκιμή του μοντέλου προσομοίωσης σε κάθε σενάριο. Το κεφάλαιο κλείνει με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη των συγκεκριμένων προτάσεων.

5.2 Προτεινόμενο μοντέλο συλλογής με χρήση ραουλόδρομου και ραφιών live storage (TO-BE 1)

Με αυτό το μοντέλο επιδιώκεται βελτίωση της αποδοτικότητας μέσω ριζικών αλλαγών τόσο στον εξοπλισμό αποθήκευσης όσο και στη μέθοδο συλλογής των παραγγελιών. Έτσι, χρησιμοποιούνται ράφια τύπου Live Storage και ραουλόδρομος. Σε ότι αφορά τη μέθοδο συλλογής, εφαρμόζεται Zone Picking.

Η σωστή βάση που πρέπει να τεθεί προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος είναι πρωταρχικά η ακριβής αναπαράσταση της υποθετικής αποθήκης με χρήση αντικειμένων του FlexSim. Επομένως, η σχεδίαση του μοντέλου έγινε με έμφαση στην σωστή αναπαράσταση των αντικειμένων. Με οδηγό τα δεδομένα των προϊόντων και την ταχικινησία τους η οποία βασίστηκε την ανάλυση ABC που διεξήγαγε η εταιρία, τα 103 SKUs τοποθετήθηκαν σε 10 ράφια Live Storage.

Πριν προχωρήσει η ανάλυση του μοντέλου προσομοίωσης στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση του μοντέλου, προκειμένου να γίνει ευκολότερη η επεξήγησή του στις επόμενες σελίδες. Προκειμένου να γίνεται ευκολότερη αναφορά στο μοντέλο, του προσδώσαμε την ονομασία TO-BE 1.



Σχήμα 5.1: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 1

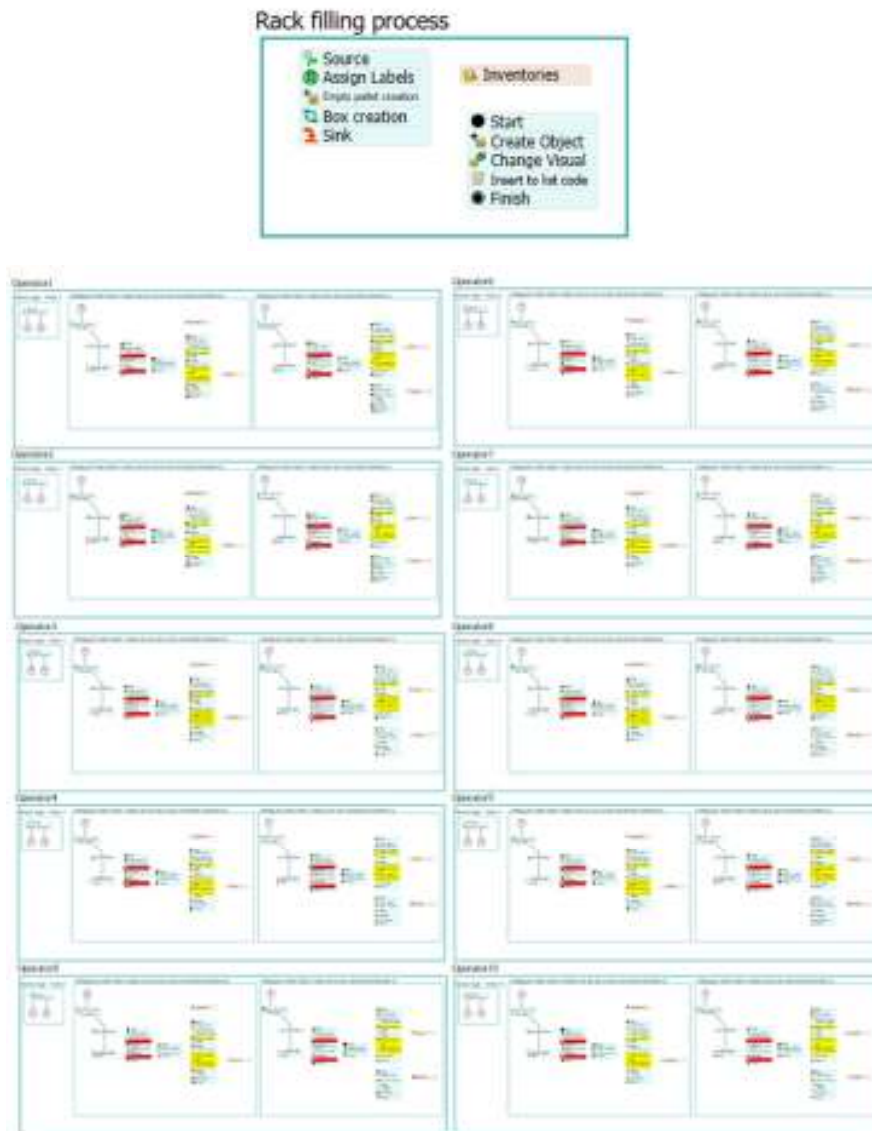
Όπως διακρίνεται, υπάρχουν 10 ράφια τύπου Live Storage (Live1-10) για την αποθήκευση 103 SKUs. Κάθε ράφι έχει 1 επίπεδο. Τα 10 ράφια είναι τοποθετημένα εκατέρωθεν του ραουλόδρομου που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των παλετών κατά τη συλλογή. Επιπλέον, στην αρχή του ραουλόδρομου υπάρχει πηγή που τον τροφοδοτεί με κενές παλέτες. Στο τέλος του ραουλόδρομου υπάρχει περονοφόρο το οποίο λαμβάνει τη παλέτα με την ολοκληρωμένη παραγγελία και τη μεταφέρει στην χώρο εναπόθεσης, ώστε να είναι έτοιμη προς αποστολή. Στη συγκεκριμένη πρόταση απαιτείται η ταυτόχρονη απασχόληση 10 εργαζομένων. Ο καθένας πικαδόρος έχει υπό την εποπτεία του ένα ράφι και στέκεται μπροστά από αυτό αναμένοντας άφιξη παλέτας που να τον αφορά.

Στη συνέχεια περιγράφεται η λογική λειτουργίας του μοντέλου. Η άδεια παλέτα ξεκινάει από την αρχή του ραουλόδρομου και κινείται πάνω σε αυτόν. Μόλις φτάνει σε ράφι που περιέχει προϊόντα για τη συγκεκριμένη παραγγελία, ο πικαδόρος αρχίζει να κινείται προς το ράφι, συλλέγοντας και τοποθετώντας πάνω στην παλέτα. Στη συνέχεια η παλέτα προχωράει στον επόμενο πικαδόρο, μέχρις ότου να συμπληρωθεί η παραγγελία και να προχωρήσει στο τέλος του ραουλόδρομου, όπου παραλαμβάνεται από το περονοφόρο. Έτσι είναι φανερό ότι εφαρμόζεται η μεθοδολογία του Zone Picking. Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συλλεχθούν οι 4.848 παραγγελίες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο έχει κατασκευαστεί ώστε να λειτουργεί με δυο διαφορετικές λογικές. Η πρώτη ακολουθεί την εξής τακτική. Μόλις η παλέτα σταματήσει μπροστά στον εργαζόμενο, αυτός κινείται προς το ράφι και συλλέγει όλα τα κιβώτια της παραγγελίας που υπάρχουν στο ράφι του. Έτσι διανύονται τα λιγότερα δυνατά μέτρα αλλά υπάρχει δυσκολία στην πραγματική εφαρμογή καθώς τα προϊόντα της παρούσας μελέτης

έχουν αρκετά μεγάλο βάρος και όγκο και η μεταφορά πολλών κιβωτίων καθίσταται αρκετά δύσκολη. Η δεύτερη λογική υποχρεώνει τον εργαζόμενο να συλλέγει ένα προς ένα τα κιβώτια και να τα τοποθετεί στην παλέτα. Αυτό επιλέγεται με μια απλή ρύθμιση στο μοντέλο όπως παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.

Η παραμετροποίηση των εντολών του μοντέλου υλοποιείται με τη βοήθεια του Process Flow. Το Process Flow χωρίζεται σε δυο μέρη ανάλογα με το έργο που διεκπεραιώνει. Η μια φάση υλοποιεί την τοποθέτηση παλετοποιημένων προϊόντων στα ράφια κατά την έναρξη της προσομοίωσης, ενώ το δεύτερο μέρος αποτελείται από τις εντολές που υλοποιούν τη διαδικασία της συλλογής. Παρακάτω στο σχήμα 5.2 ακολουθούν σχήματα που δίνουν οπτική απεικόνιση των δυο φάσεων που περιγράφηκαν παραπάνω.



Σχήμα 5.2: Γραφική απεικόνιση Process Flow συλλογής παραγγελιών

Το σχήμα 5.2 εξυπηρετεί στο να δοθεί μια γενική εικόνα του Process Flow αλλά κάθε εντολή που το απαρτίζει θα αναλυθεί λεπτομερώς στο παράρτημα Β.

Επιπλέον, στο μοντέλο έχουν εισαχθεί πρωτογενή δεδομένα σχετικά με τις παραγγελίες, τα οποία διατέθηκαν από την εταιρία. Προκειμένου όμως να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν υλοποιήθηκε προχωρημένη ανάλυση δεδομένων η οποία περιγράφεται αναλυτικά. Υπενθυμίζεται ότι στο μοντέλο AS-IS υπήρχαν 103 SKUs τοποθετημένα σε 107 παλετοθέσεις, λόγω του γεγονότος ότι κάποια SKUs εμφανίζονταν διπλή φορά. Επομένως κρίθηκε αναγκαίο τα 103 SKUs να μοιραστούν στα 10 ράφια. Λόγω αδυναμίας ομοιόμορφης κατανομής, αποφασίστηκε στα ράφια Live1-8 να υπάρχουν 10 SKUs/ράφι, στο Live9, 11 SKUs και τα υπόλοιπα 12 στο ράφι Live10.

Μια άλλη παράμετρος που κρίθηκε σημαντική ήταν να αποφασιστεί με ποιο κριτήριο θα γινόταν η επιλογή των προϊόντων που θα τοποθετηθούν σε κάθε ράφι. Τα δεδομένα που υπήρχαν, περιείχαν δείκτη ταχυκινήσια ανά κωδικό SKU, δηλαδή ανάλυση ABC. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη ανάλυση διεξήχθη από την εταιρία 3PL. Στον πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των SKUs με βάση την ανάλυση αυτή.

Πίνακας 5.1: Ανάλυση κατά ABC

SKU	Πλήθος κινήσεων συλλογής	Ποσοστό κινήσεων συλλογής	Σωρευτικό	Χαρακτηρισμός
65582900	2669	4,16%	4,16%	A
61515500	2283	3,56%	7,72%	A
65515500	2176	3,39%	11,11%	A
61343900	1971	3,07%	14,19%	A
8223900	1918	2,99%	17,18%	A
65395800	1898	2,96%	20,14%	A
68300500	1784	2,78%	22,92%	A
61545500	1775	2,77%	25,68%	A
67515500	1748	2,73%	28,41%	A
65396200	1710	2,67%	31,08%	A
61343800	1706	2,66%	33,74%	A
67363300	1491	2,32%	36,06%	A
8215800	1440	2,25%	38,31%	A
65583000	1433	2,23%	40,54%	A
8223800	1388	2,16%	42,70%	A
65396000	1352	2,11%	44,81%	A
8294600	1351	2,11%	46,92%	A

SKU	Πλήθος κινήσεων συλλογής	Ποσοστό κινήσεων συλλογής	Σωρευτικό	Χαρακτηρισμός
61363300	1333	2,08%	49,00%	A
68300400	1258	1,96%	50,96%	A
2035000	1223	1,91%	52,86%	A
61565700	1219	1,90%	54,77%	A
68301200	1144	1,78%	56,55%	A
61316600	1134	1,77%	58,32%	A
2025000	1126	1,76%	60,07%	A
2911000	1054	1,64%	61,72%	A
8225400	1026	1,60%	63,32%	A
61525500	978	1,52%	64,84%	B
2201000	968	1,51%	66,35%	B
68298700	899	1,40%	67,75%	B
61316700	882	1,38%	69,13%	B
68300900	861	1,34%	70,47%	B
68299000	840	1,31%	71,78%	B
65495800	817	1,27%	73,05%	B
67415200	799	1,25%	74,30%	B
61565800	786	1,23%	75,52%	B
95812800	766	1,19%	76,72%	B
2045000	728	1,14%	77,85%	B
95812900	715	1,11%	78,97%	B
65914700	635	0,99%	79,96%	B
2202500	634	0,99%	80,95%	B
8215600	623	0,97%	81,92%	B
2921100	569	0,89%	82,80%	B
65396400	557	0,87%	83,67%	B
2301400	540	0,84%	84,51%	B
68298900	532	0,83%	85,34%	B
65914600	518	0,81%	86,15%	B
92026000	505	0,79%	86,94%	B
61314900	497	0,77%	87,71%	B
2801000	428	0,67%	88,38%	B
61485400	409	0,64%	89,02%	B
92036000	405	0,63%	89,65%	B
68298600	399	0,62%	90,27%	C
65495600	378	0,59%	90,86%	C
2912500	373	0,58%	91,44%	C
65581800	373	0,58%	92,03%	C
2301500	295	0,46%	92,49%	C
2001000	293	0,46%	92,94%	C
68300000	288	0,45%	93,39%	C

SKU	Πλήθος κινήσεων συλλογής	Ποσοστό κινήσεων συλλογής	Σωρευτικό	Χαρακτηρισμός
61315800	272	0,42%	93,81%	C
2055000	255	0,40%	94,21%	C
2802500	220	0,34%	94,56%	C
2921200	211	0,33%	94,88%	C
65112300	207	0,32%	95,21%	C
61316800	189	0,29%	95,50%	C
65914800	184	0,29%	95,79%	C
67112300	180	0,28%	96,07%	C
65122400	169	0,26%	96,33%	C
61112500	166	0,26%	96,59%	C
61142500	165	0,26%	96,85%	C
61132500	148	0,23%	97,08%	C
61485300	139	0,22%	97,30%	C
2941000	125	0,19%	97,49%	C
68300100	118	0,18%	97,68%	C
68299400	117	0,18%	97,86%	C
61122600	114	0,18%	98,04%	C
67475200	101	0,16%	98,19%	C
64016600	100	0,16%	98,35%	C
65219600	95	0,15%	98,50%	C
65914900	93	0,14%	98,64%	C
67475300	92	0,14%	98,79%	C
2931000	92	0,14%	98,93%	C
67219500	68	0,11%	99,03%	C
65219700	67	0,10%	99,14%	C
65112700	58	0,09%	99,23%	C
68300800	55	0,09%	99,32%	C
61219600	53	0,08%	99,40%	C
61192300	48	0,07%	99,47%	C
4150100	46	0,07%	99,54%	C
4150000	42	0,07%	99,61%	C
61219700	27	0,04%	99,65%	C
4150300	27	0,04%	99,69%	C
2951000	27	0,04%	99,74%	C
2501000	27	0,04%	99,78%	C
68299900	25	0,04%	99,82%	C
68300700	24	0,04%	99,86%	C
65395600	22	0,03%	99,89%	C
68300300	16	0,02%	99,91%	C
68301000	11	0,02%	99,93%	C
61219800	11	0,02%	99,95%	C

SKU	Πλήθος κινήσεων συλλογής	Ποσοστό κινήσεων συλλογής	Σωρευτικό	Χαρακτηρισμός
68300200	10	0,02%	99,96%	C
68301100	9	0,01%	99,98%	C
2902100	8	0,01%	99,99%	C
1992200	6	0,01%	100,00%	C

Επομένως οι κωδικοί A αποτελούν το 63,32% των κινήσεων συλλογής, οι κωδικοί B το 26,33% και τέλος σε ποσοστό 10,35% ανέρχονται οι κωδικοί C. Τα πλήθη ανά κατηγορία και τα ποσοστά παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

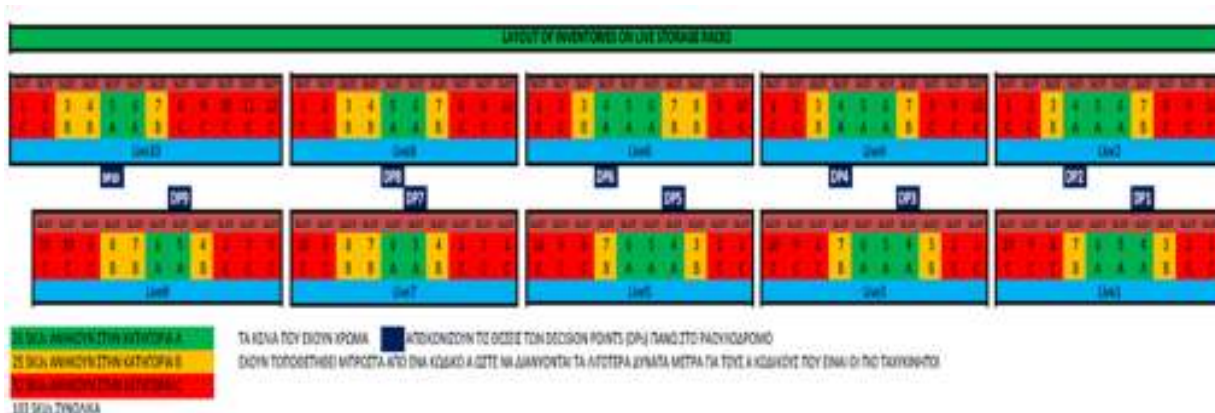
Πίνακας 5.2: Συγκεντρωτικά στοιχεία από την ανάλυση ABC

Τύπος	Πλήθος	Ποσοστό
A	26	63,32%
B	25	26,33%
C	52	10,35%

Το επόμενο στάδιο είναι οι κατανομή των προϊόντων στα ράφια. Είναι απαραίτητο κάθε ράφι να περιέχει προϊόντα και από τις 3 κατηγορίες ώστε ο φόρτος εργασίας να κατανέμεται ομοιόμορφα στους 10 εργαζόμενους. Σε διαφορετική περίπτωση κάποιος θα εργάζεται πολύ λιγότερο σε σχέση με κάποιους άλλους και δεν θα είναι αποδοτική η απασχόληση τους. Βέβαια, εδώ εγείρεται ένα μεγάλο θέμα σχετικά με το πως θα μπορούσε κάποιος με ένα δυναμικό αλγόριθμο να μπορεί ανάλογα με τα εκάστοτε δεδομένα παραγγελιογραμμών να ορίζει κάθε φορά ποια προϊόντα θα τοποθετηθούν σε κάθε ράφι, κι έτσι να επιτυγχάνεται απόλυτα ομοιόμορφη κατανομή με βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η κατανομή όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.3 και στο σχήμα 5.3.

Πίνακας 5.3: Προϊόντα ανά ράφι

Πικαδόρος/ράφι	Πλήθος A	Πλήθος B	Πλήθος C	Συνολικά
1ος/Live1	3	2	5	10
2ος/Live2	3	2	5	10
3ος/Live3	3	2	5	10
4ος/Live4	3	2	5	10
5ος/Live5	3	2	5	10
6ος/Live6	3	3	4	10
7ος/Live7	2	3	5	10
8ος/Live8	2	3	5	10
9ος/Live9	2	3	6	11
10ος/Live10	2	3	7	12



Σχήμα 5.3: Γραφική απεικόνιση προϊόντων στα ράφια

Στη συνέχεια, πρέπει να γίνει κατανομή των 60.387 παραγγελιογραμμών στους 10 πικαδόρους. Από το μοντέλο AS-IS υπάρχει πίνακας που περιέχει τα εν λόγω δεδομένα ταξινομημένα με βάση την παραγγελία και έπειτα με βάση τη θέση που είναι τοποθετημένο το κάθε προϊόν ώστε να εξασφαλίζεται η συλλογή με πολιτική Return. Με βάση τον πίνακα αυτό έπρεπε να δημιουργηθεί πίνακας για κάθε πικαδόρο με βάση το ποια προϊόντα περιέχει το ράφι του. Έτσι με τη βοήθεια του Microsoft Excel ακολουθήθηκε η παρακάτω τακτική. Με βάση το αρχείο όλων των παραγγελιογραμμών (60.387) , αρχικά για κάθε Itemcode και με χρήση της συνάρτησης Vlookup προστέθηκε στήλη που δείχνει αν το συγκεκριμένο προϊόν είναι A,B ή C. Μετά με χρήση πάλι της Vlookup προστέθηκε στήλη που δείχνει σε ποιο Live storage ανήκει το item επομένως και σε ποιον operator. Στη συνέχεια τα δεδομένα ταξινομήθηκαν με βάση το Live storage, μετά το Order number και μετά αν είναι A,B ή C. Τέλος, με χρήση του φίλτρου, ξεχωρίστηκαν οι PickingLists για κάθε Operator. Ενδεικτικά στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται λίγες γραμμές από την PickingList του Operator1.

Πίνακας 5.4: Προϊόντα ανά ράφι

Αριθμός παραγγελίας	Κωδικός είδους	Ποσότητα	Τύπος	Ράφι
1	2201000	1,00	B	1
1	68298600	1,00	C	1
1	65495600	1,00	C	1
1	2301500	1,00	C	1
3	65582900	2,00	A	1
3	65515500	2,00	A	1
3	2201000	1,00	B	1
3	65495600	1,00	C	1
3	2301500	1,00	C	1

Σημειώνεται ότι υπάρχουν 10 τέτοιοι πίνακες στο μοντέλο που ο καθένας έχει διαφορετικό πλήθος παραγγελιογραμμών. Τα στοιχεία περιλαμβάνονται στον πίνακα 5.5 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.5: Πλήθος παραγγελιογραμμών ανά πικαδόρο

Αριθμός πικαδόρου	Πλήθος παραγγελιογραμμών
1	10.319
2	8.408
3	7.514
4	6.826
5	6.053
6	6.142
7	4.342
8	3.895
9	3.696
10	3.192

Μια σημαντική διαφορά στο μοντέλο αυτό σε σχέση με το μοντέλο AS-IS εντοπίζεται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει διαφορετικός χρόνος για κάθε κίνηση συλλογής. Θεωρήθηκε ότι ο χρόνος που απαιτείται από τον πικαδόρο προκειμένου να συλλέξει ένα κιβώτιο ανέρχεται στα 5 δευτερόλεπτα ενώ ο χρόνος που χρειάζεται για να το αποθέσει την παλέτα στα 3 δευτερόλεπτα. Η συγκεκριμένη πληροφορία προήλθε ύστερα από αναζήτηση σε εταιρίες που κατασκευάζουν τέτοιου είδους εξοπλισμούς.

Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη η χρήση δέκα πινάκων που συλλέγουν δεδομένα χρόνου ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων και συγκρίσεων με την υπάρχουσα διαδικασία της συλλογής παραγγελιών.

Σημαντικό σημείο που πρέπει να αναφέρουμε είναι αυτό που έχει να κάνει με τις παραδοχές που έγιναν προκειμένου να υλοποιηθεί το μοντέλο. Μια βασική παραδοχή είναι αυτή που σχετίζεται με την αναπλήρωση των κιβωτίων πάνω στις παλέτες. Στην πραγματικότητα όταν μια θέση αδειάζει, απαιτείται κάποιος χρόνος προκειμένου να υλοποιηθεί η διαδικασία αναπλήρωσης με προϊόντα. Στο μοντέλο έχει εισαχθεί διαδικασία η οποία λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο. Μόλις ένα κιβώτιο συλλεχθεί, αναπληρώνεται άμεσα. Είναι λοιπόν δεδομένο ότι διαθέτουμε όση ποσότητα προϊόντων απαιτείται χωρίς να δαπανάται χρόνος στην ανατροφοδοσία.

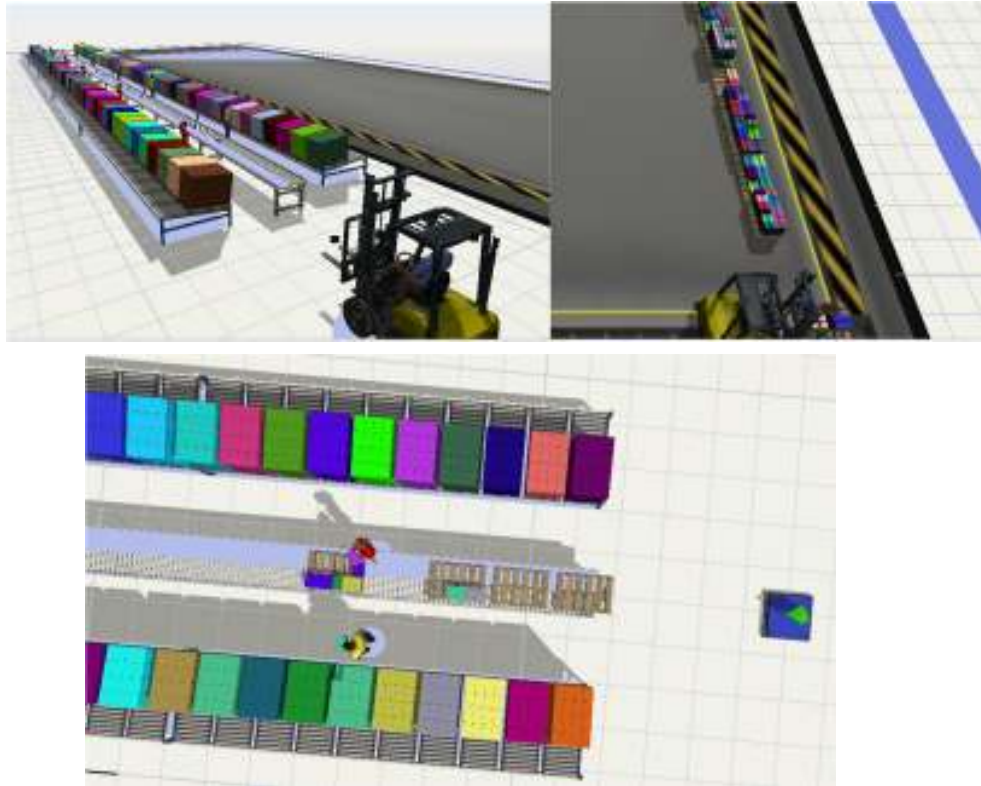
5.3 Δοκιμή μοντέλου συλλογής με χρήση ραουλόδρομου και ραφιών live storage (TO-BE 1)

Μετά την ολοκλήρωση της υλοποίησης του μοντέλου στο περιβάλλον του FlexSim, ακολούθησαν δοκιμές. Συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν δυο διαφορετικές δοκιμές ανάλογα με τον πλήθος κιβωτίων που συλλέγονται σε κάθε μετάβαση στο ράφι, όπως έχει ήδη περιγραφεί. Στόχος μας ήταν να προβούμε σε συγκρίσεις με το μοντέλο AS-IS και να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα. Ας δούμε λοιπόν τις δύο περιπτώσεις :

Μοντέλο TO-BE 1A : Όλα τα κιβώτια συλλέγονται σε μια κίνηση του πικαδόρου. Το μοντέλο διεκπεραιώνει το σύνολο των παραγγελιών σε 550.974 δευτερόλεπτα (περίπου 153 ώρες). Υπενθυμίζεται ότι στο μοντέλο AS-IS ο αντίστοιχος χρόνος ανήλθε στα 2.953.771 δευτερόλεπτα (περίπου 820 ώρες). Δηλαδή το μοντέλο παρουσιάζει βελτιωμένη επίδοση κατά 81,35%. Βέβαια, αυτό το ποσοστό μείωσης δεν είναι απόλυτα αξιοποιήσιμο καθώς δεν υπάρχει ισοδυναμία μεταξύ των δυο μοντέλων. Στο AS-IS εργάζεται ένας πικαδόρος, ενώ στο TO-BE 1 εργάζονται ταυτόχρονα 10 άτομα. Επομένως, προκειμένου να καταστεί έγκυρη η σύγκριση, λάβαμε το χρόνο που αφιερώνει ο κάθε πικαδόρος για να ολοκληρώσει τη λίστα με τις παραγγελιογραμμές που τον αφορούν. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες ReportX , $X=1, \dots, 10$. Αθροίζοντας του χρόνους συλλογής που λαμβάνονται από την τελευταία στήλη κάθε πίνακα, διαπιστώνει κανείς ότι απαιτείται συνολικός χρόνος εργασίας όλων των πικαδόρων ίσος με 1.781.080 δευτερόλεπτα (περίπου 495 ώρες). Ο χρόνος αυτός είναι βελτιωμένος σε ποσοστό 39,7% (περίπου 325 λιγότερες ώρες). Πρόκειται για μια ισοδύναμη σύγκριση, καθώς συγκρίνονται οι συνολικοί χρόνοι που απαιτείται να εργαστούν οι εμπλεκόμενοι άνθρωποι.

Μοντέλο TO-BE 1B : Σε κάθε μετάβαση στο ράφι συλλέγεται ένα μόνο κιβώτιο. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των παραγγελιών εκτελείται σε 618.208 δευτερόλεπτα (περίπου 171 ώρες). Σε σύγκριση και πάλι με το μοντέλο AS-IS (περίπου 820 ώρες) υπάρχει βελτίωση της τάξης του 79%. Για τον ίδιο λόγο που αναφέρθηκε και πριν, αυτό το ποσοστό μείωσης δεν είναι αξιόπιστο. Επομένως, προκειμένου να καταστεί έγκυρη η σύγκριση, λάβαμε το άθροισμα των χρόνων που αφιερώνουν στη συλλογή των κιβωτίων όλοι οι πικαδόροι. Τα δεδομένα ελήφθησαν και πάλι από τους πίνακες ReportX , $X=1, \dots, 10$. Έτσι ο χρόνος που απαιτείται είναι 1.967.886 δευτερόλεπτα (περίπου 547 ώρες). Έτσι εμφανίζεται βελτίωση σε ποσοστό 33,38% (περίπου 274 ώρες). Επισημαίνεται ότι η σύγκριση περίπτωση B είναι περισσότερο ρεαλιστική καθώς τα κιβώτια έχουν μεγάλο βάρος και όγκο πράγμα που καθιστά δύσκολη την ταυτόχρονη συλλογή περισσότερων του ενός ή δύο κιβωτίων.

Στο σχήμα 5.4 παρατίθενται στιγμιότυπα του μοντέλου από τη διαδικασία της συλλογής.



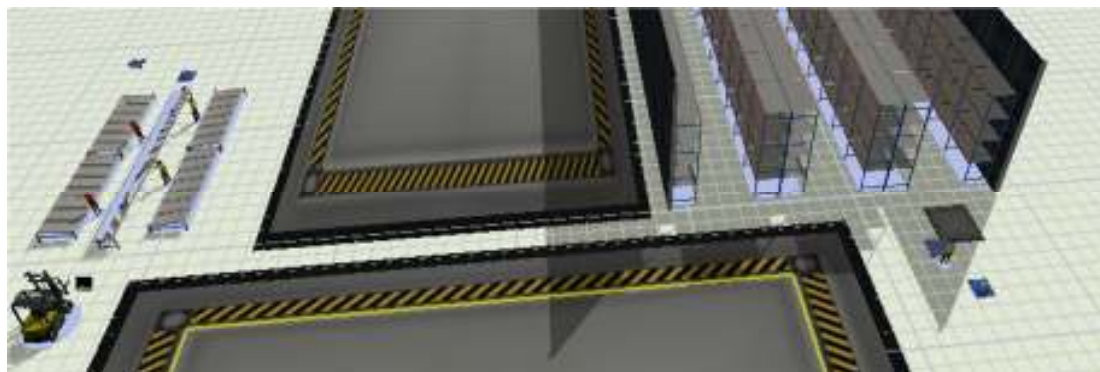
Σχήμα 5.4: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας συλλογής

5.4 Προτεινόμενο μοντέλο συλλογής με χρήση ραουλόδρομου, ραφιών live storage και ραφιών back-to-back (TO-BE 2)

Στο μοντέλο αυτό γίνεται συνδυασμός του υπάρχοντος εξοπλισμού της αποθήκης (ράφια back-to-back) και ραφιών τύπου live storage με ταυτόχρονη χρήση ραουλόδρομου. Έτσι, επιδιώκεται βελτίωση της αποδοτικότητας, χωρίς μεγάλη οικονομική επένδυση σε εξοπλισμούς αποθήκευσης. Βέβαια, στο συγκεκριμένο σύστημα απαιτείται παράλληλα συνδυασμός μεθόδων συλλογής (discrete και zone picking).

Το πρώτο βήμα κι εδώ είναι η αναπαράσταση της υποθετικής αποθήκης με χρήση αντικειμένων του FlexSim. Συνεπώς διατηρείται η διάταξη των ραφιών back-to-back όπως ακριβώς στο μοντέλο AS-IS και απαιτείται η προμήθεια 4 ραφιών live storage καθώς επίσης και ραουλόδρομου. Η λογική του διπλού συστήματος εξοπλισμού ραφιών, είναι η ακόλουθη. Στα ράφια live storage τοποθετούνται οι κωδικοί τύπου A, ενώ οι κωδικοί B και C παραμένουν στα ράφια back-to-back, αλλά αναδιατάσσονται. Κριτήριο για την αναδιάταξη, αποτελεί και πάλι ταχυκινησία των προϊόντων, η οποία βασίστηκε στην ανάλυση ABC που διεξήγαγε η εταιρία.

Πριν να προχωρήσει η ανάλυση του μοντέλου προσομοίωσης στο σχήμα 5.5 παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση του μοντέλου, προκειμένου να γίνει ευκολότερη η επεξήγησή του στις επόμενες σελίδες. Επιπλέον, για ευκολότερη αναφορά στο μοντέλο, του προσδώσαμε την ονομασία TO-BE 2.



Σχήμα 5.5: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 2

Όπως διακρίνεται στα αριστερά του σχήματος, υπάρχουν 4 ράφια τύπου live storage (Live1-4) για την αποθήκευση 26 SKUs. Κάθε ράφι έχει 1 επίπεδο. Τα 4 ράφια είναι τοποθετημένα εκατέρωθεν του ραουλόδρομου που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των παλετών κατά τη συλλογή των κιβωτίων. Επιπλέον, στην αρχή του ραουλόδρομου υπάρχει πηγή η οποία είναι υπεύθυνη για τη τροφοδοσία του συστήματος με κενές παλέτες. Στο τέλος του ραουλόδρομου υπάρχει περονοφόρο το οποίο είναι επιφορτισμένο με το έργο της μεταφοράς της παλέτας που περιέχει τους ταχικίνητους κωδικούς A σε προσωρινό χώρο εναπόθεσης, ώστε να είναι έτοιμη προς αποστολή ή για ενοποίηση με τους κωδικούς B και C. Σημειώνεται ότι οι κωδικοί B και C περιέχονται σε άλλη παλέτα. Στη συγκεκριμένη πρόταση απαιτείται η ταυτόχρονη απασχόληση 4 εργαζομένων για τη συλλογή των κωδικών τύπου A. Ο κάθε πικαδόρος έχει υπό την εποπτεία του ένα ράφι και παραμένει μπροστά από αυτό αναμένοντας άφιξη παλέτας που να τον αφορά.

Επιπλέον, στο άλλο μέρος της αποθήκης υπάρχει η υφιστάμενη εγκατάσταση των ραφιών back-to-back στα οποία έχουν τοποθετηθεί οι κωδικοί B και C. Η λογική τοποθέτησης είναι ακόλουθη : Το πιο ταχικίνητο B βρίσκεται στην παλετοθέση που βρίσκεται πλησιέστερα στο χώρο από τον οποίο ο πικαδόρος λαμβάνει την κενή παλέτα και προχωράει με τον ίδιο τρόπο, συμπληρώνοντας μια ραφαρία και στη συνέχεια προχωρώντας στην επόμενη. Έτσι δημιουργείται μια δεύτερη παλέτα η οποία περιέχει τους κωδικούς B και C.

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η λογική λειτουργίας του μοντέλου. Για το τμήμα των ραφιών live storage, η άδεια παλέτα ξεκινάει από την αρχή του ραουλόδρομου και κινείται πάνω σε αυτόν. Μόλις φτάνει σε ράφι που περιέχει προϊόντα τύπου A για τη συγκεκριμένη παραγγελία, ο πικαδόρος αρχίζει να κινείται προς το ράφι, συλλέγοντας τα και τοποθετώντας τα πάνω στην παλέτα. Στη συνέχεια η παλέτα προχωράει στον επόμενο πικαδόρο, μέχρις ότου να συμπληρωθεί η παραγγελία και να προχωρήσει στο τέλος του ραουλόδρομου, όπου παραλαμβάνεται από το περονοφόρο. Έτσι είναι φανερό ότι εφαρμόζεται η μεθοδολογία του Zone Picking. Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συλλεχθούν οι 4.848 παραγγελίες. Σημειώνεται ότι και πάλι δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνονται όλα μαζί τα κιβώτια σε κάθε προσέγγιση στο ράφι, ή ένα κιβώτιο ανά προσέγγιση.

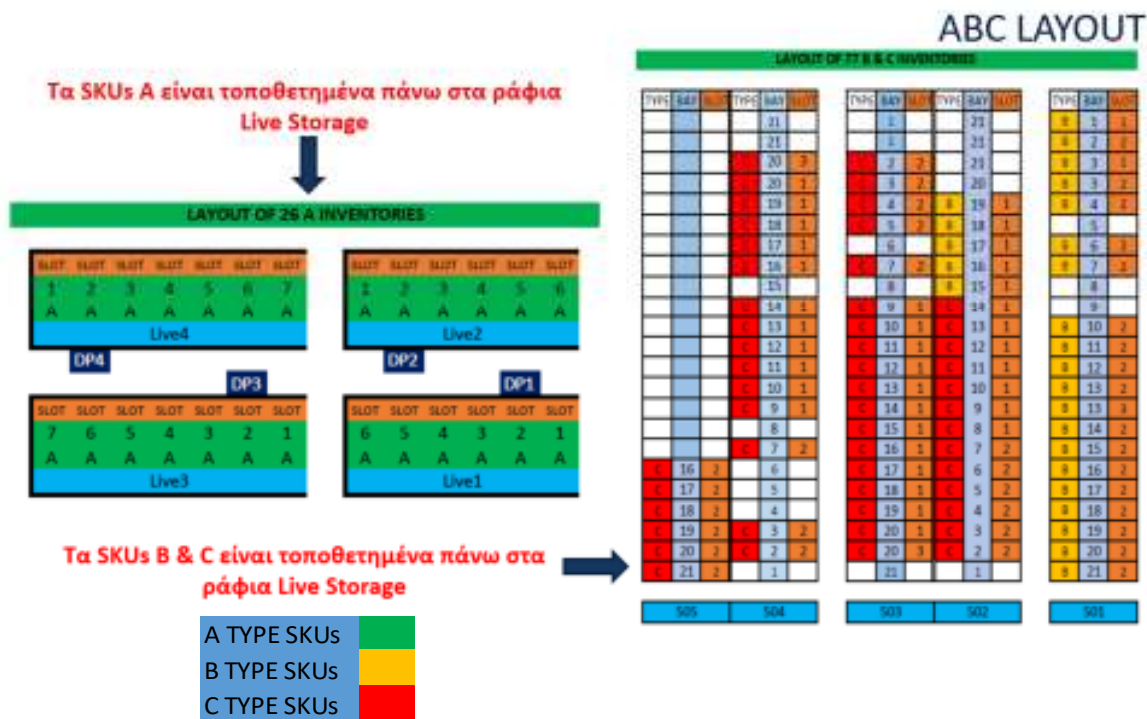
Η λογική λειτουργίας είναι η ίδια ακριβώς αυτήν του μοντέλου TO-BE 1 η οποία περιγράφηκε στην ενότητα 5.2 απλώς η διαδικασία γίνεται μόνο για τους κωδικούς A.

Για το τμήμα που υλοποιεί τη συλλογή των κωδικών B και C επισημαίνονται τα παρακάτω: Ο πικαδόρος λαμβάνει μια κενή παλέτα από το χώρο που βρίσκονται αποθηκευμένες και ξεκινάει να συλλέγει ακολουθώντας πολιτική Return και Discrete picking. Πρόκειται για την ίδια λογική με το μοντέλο AS-IS που περιγράφηκε στην ενότητα 4.5. Η διαφορά είναι ότι εδώ δεν πρόκειται για το σύνολο των κωδικών, αλλά αποκλειστικά για τους B και C.

Τα δυο συστήματα λειτουργούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και ταυτόχρονα υλοποιούν το έργο της συλλογής των 4.848 παραγγελιών. Στο τέλος, αναπόφευκτα υπάρχουν δύο παλέτες για κάθε παραγγελία. Οι επιλογές που έχει η εταιρία είναι: (α) Να αποστείλει δυο παλέτες στον πελάτη. (β) Να προχωρήσει σε ενοποίηση των δύο παλετών σε μια. Στη πρώτη επιλογή αυτό θα είχε αποτέλεσμα την αύξηση του πλήθους των αποστολών και επομένως των δρομολογίων. Στη δεύτερη, απαιτείται χρόνος για την ενοποίηση, ο οποίος θα παρουσιαστεί στην ενότητα 5.5, όπου θα δοκιμαστεί το μοντέλο.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η δοκιμή, στο μοντέλο έχουν εισαχθεί πρωτογενή δεδομένα σχετικά με τις παραγγελίες, τα οποία διατέθηκαν από την εταιρία. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση των δεδομένων που παρουσιάστηκε στην ενότητα 5.2 τοποθετήθηκαν τα δεδομένα των 26 κωδικών τύπου A στον πίνακα που έχει προβλεφθεί για το γέμισμα των ραφιών live storage και των υπολοίπων 77 στον πίνακα που είναι υπεύθυνος για την πλήρωση των ραφιών back-to-back. Λόγω αδυναμίας ομοιόμορφης κατανομής του πλήθους των SKUs/ράφι, αποφασίστηκε στα ράφια Live1, 2 να υπάρχουν 6 SKUs/ράφι και στα Live3, 4, 7 SKUs/ράφι.

Το επόμενο στάδιο είναι οι κατανομή των προϊόντων στα ράφια. Στο σχήμα 5.6 απεικονίζεται η κατανομή των SKUs στις παλετοθέσεις τόσο των live storage όσο και των back-to-back.



Σχήμα 5.6: Γραφική απεικόνιση προϊόντων στα ράφια

Στη συνέχεια, έπρεπε να γίνει κατανομή των 60.387 παραγγελιογραμμών στους 5 πικαδόρους, δηλαδή τους 4 που συλλέγουν τα SKUs τύπου A και τον άλλον για τα B και C. Με βάση τα αρχικά δεδομένα μοιράστηκαν οι παραγγελιογραμμές σε δυο λίστες. Η μία με τους κωδικούς τύπου A με 38.841 παραγγελιογραμμές και η άλλη με τους B και C με 22.019 παραγγελιογραμμές.

Από την πρώτη λίστα, έπρεπε να δημιουργηθεί πίνακας για κάθε πικαδόρο με βάση το ποια προϊόντα περιέχει το ράφι του. Έτσι με τη βοήθεια του Microsoft Excel ακολουθήθηκε η παρακάτω τακτική. Με βάση το αρχείο όλων των παραγγελιογραμμών που αφορούν σε κωδικούς A, αρχικά για κάθε Itemcode και με χρήση της συνάρτησης Vlookup προστέθηκε στήλη που δείχνει σε ποιο Live storage ανήκει το item επομένως και σε ποιον operator. Στη συνέχεια τα δεδομένα ταξινομήθηκαν με βάση το Live storage και μετά το Order. Τέλος, με

χρήση του φίλτρου, ξεχωρίστηκαν οι PickingLists για κάθε Operator. Ενδεικτικά στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται λίγες γραμμές από την PickingList του Operator1.

Πίνακας 5.6: Προϊόντα ανά ράφι

Αριθμός παραγγελίας	Κωδικός είδους	Ποσότητα	Τύπος	Ράφι
1	61343900	1,00	A	1
1	65395800	1,00	A	1
1	8223900	1,00	A	1
3	61343900	3,00	A	1
3	65582900	2,00	A	1
3	65515500	2,00	A	1
3	8223900	3,00	A	1
4	61343900	3,00	A	1
4	65582900	4,00	A	1
...

Σημειώνεται ότι υπάρχουν 4 τέτοιοι πίνακες στο μοντέλο που ο καθένας έχει διαφορετικό πλήθος παραγγελιογραμμών. Τα πλήθη των παραγγελιογραμμών περιλαμβάνονται στον πίνακα 5.7 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.7: Πλήθος παραγγελιογραμμών ανά πικαδόρο

Αριθμός πικαδόρου	Πλήθος παραγγελιογραμμών
1	12.409
2	9.774
3	9.134
4	7.524

Οι χρόνοι συλλογής από το ράφι και απόθεσης στην παλέτα ανά κιβώτιο, θεωρούνται σταθεροί στα 5 και 3 δευτερόλεπτα αντίστοιχα, όπως είχε γίνει και στο μοντέλο TO-BE 1. Στο τέλος της εκτέλεσης του μοντέλου ο χρόνος που δαπανήθηκε από κάθε πικαδόρο, βρίσκεται αποθηκευμένος στους πίνακες Report1-4.

Η δεύτερη λίστα που περιείχε τα δεδομένα των κωδικών B και C εισήχθη στον πίνακα του πικαδόρου ο οποίος εκτελεί το discrete picking από τις ραφαρίες back-to-back. Εδώ αντιμετωπίστηκαν δύο βασικά προβλήματα. Το ένα ήταν ότι κάποιες παραγγελίες δεν περιέχονταν κωδικό B και C. Οπότε στις περιπτώσεις αυτές πρέπει αναγκαστικά να δημιουργείται μια κενή παλέτα, διαφορετικά το μοντέλο σταματάει να λειτουργεί. Επιπλέον, πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου ο χρόνος συλλογής όπως είχε γίνει και στο μοντέλο AS-IS. Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα θέματα, ακολουθήθηκαν οι τακτικές που

περιγράφονται παρακάτω. Αρχικά στο σχήμα 5.7 δίνεται η μορφή των δεδομένων τα οποία έπρεπε να υποστούν την επεξεργασία.

OrderNo	Type	Quantity	User Time (sec)	Rack
1	2201000	1,00	10,83	501
1	68298700	1,00	57,92	501
1	61316700	1,00	14,72	501
1	68299000	1,00	21,85	501
1	65495800	1,00	9,87	501
1	67415200	1,00	14,83	501
1	2045000	1,00	21,68	501
1	2202500	1,00	24,10	501
1	2921100	1,00	16,87	501
1	65396400	1,00	16,47	501
1	2301400	1,00	18,11	501
1	68298900	1,00	12,61	501
1	61314900	1,00	16,70	502
1	68298600	1,00	22,38	502
1	65495600	1,00	17,70	502
1	2301500	1,00	21,56	502
1	68300000	1,00	45,40	502
1	61315800	1,00	12,92	502
1	2055000	1,00	16,82	502
1	68299400	1,00	18,99	503

Σχήμα 5.7: Δεδομένα SKUs τύπου B και C

Στο εν λόγω φύλλο δημιουργώντας μια στήλη που περιέχει μια εντολή if της μορφής : =if(a3-a2>1;a3-1;"") εντοπίζονται οι σειρές στις οποίες χάνεται η συνέχεια στους αριθμούς παραγγελιών. Κατόπιν με ταξινόμηση των αποτελεσμάτων της στήλης που δημιουργήθηκε και επικόλληση στο τέλος των παραγγελιογραμμών δημιουργούνται σειρές με κενές παραγγελίες. Στη συνέχεια εκτελείται ταξινόμηση σε όλη τη λίστα με βάση τον αριθμό παραγγελίας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να μην υπάρχει κενό στις παραγγελίες.

Το δεύτερο πρόβλημα του προσδιορισμού του χρόνου συλλογής αντιμετωπίστηκε δημιουργώντας το φύλλο που απεικονίζεται στο σχήμα 5.8 και εκτελώντας την ανάλυση δεδομένων που περιγράφεται παρακάτω.

Given time	Model Time	Fixed Time	Fixed time 2 with negatives	Fixed time 3 no negatives	Total given time	Total model Time	Total fixed	Walking time	Uniform distribution of walking time
30,83	12,33	5,61	5,61	5,61	1081454,438	1193825,79	968081,088	112.371,15	-5,22
57,92	58,92	52,71	52,71	52,71	sum negatives				
34,72	17,72	9,50	9,85	9,39	-100,39		Total fixed 2		constant
21,85	22,85	16,64	16,64	16,64	0,39		969203,48		0
9,87	11,37	4,65	26,65	26,65	20				
34,83	17,83	9,61	29,61	29,61	20		Total fixed 3		
21,68	26,18	16,48	16,48	16,48	20		969203,86		
34,10	28,1	18,88	18,88	18,88	20				
36,87	18,17	11,66	11,66	11,66	20				
16,47	16,97	11,26	11,26	11,26	8,06				
18,11	19,11	12,89	12,89	12,89					
12,61	15,96	7,99	27,39	27,39					
16,70	22,1	11,49	11,49	11,49					
22,38	23,38	17,16	17,16	17,16					
17,70	22,2	12,48	12,48	12,48					
21,56	24,06	16,35	16,35	16,35					
45,40	46,4	40,18	40,18	40,18					
12,92	15,92	7,71	27,71	27,71					
16,82	40,32	11,60	11,60	11,60					

Σχήμα 5.8: Υπολογισμός Picking Time για κωδικούς B και C

Αρχικά λαμβάνοντας τα πρωτογενή δεδομένα που διατέθηκαν από την εταιρία τοποθετούνται στη Στήλη A : Given time. Κατόπιν, εισάγονται στο μοντέλο ως χρόνος συλλογής και μετά από την εκτέλεση του, λαμβάνονται τα αποτελέσματα του πίνακα report6 (Τρίτη στήλη) και εισάγονται στη στήλη B. Εξαιρείται ο πρώτος χρόνος γιατί στην ουσία δεν αποτελεί χρόνο που δαπανήθηκε σε συλλογή, αλλά πρόκειται για το χρόνο από τη στιγμή που ο πικαδόρος πήρε την παλέτα μέχρι που έφτασε στην πρώτη θέση συλλογής. Στο τελευταίο στοιχείο εισάγεται και πάλι το Given time. Αθροίζονται οι στήλες A και B. Κελί F2 και G2 αντίστοιχα. Μετά από αφαίρεση των συνόλων, υπολογίζεται ο χρόνος βαδίσματος (Walking time I2). Διαιρώντας το κελί I2 με (22019-COUNTIF(A:A;"=0")) (παραγγελιογραμμές - μη μηδενικό χρόνο) επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή του χρόνου περπατήματος. Εξαιτίας του γεγονότος ότι κάποιες παραγγελίες δεν έχουν B & C άρα Picking Time 0, δημιουργείται η στήλη C : Fixed Time ως εξής : =IF(A2=0;0;A2-\$J\$2). Το πρόβλημα τώρα είναι ότι στη στήλη C υπάρχουν 126 αρνητικοί χρόνοι. Αθροίζονται στο κελί : F4 και βρίσκεται ότι διαφορά χρόνου -100,39 δευτερόλεπτα. Μηδανιός χρόνος αλλά πρέπει να γίνει διόρθωση. Ο χρόνος αυτός μοιράζεται σε 6 τμήματα των : 0,39, 20, 20, 20, 20 και 20 δευτερολέπτων αντίστοιχα τα οποία προστίθενται στα κίτρινα κελιά (τυχαία) ώστε να μηδενιστεί η διαφορά. Το επόμενο βήμα είναι να γίνει απαλοιφή των αρνητικών χρόνων. Δημιουργείται η στήλη E : Fixed Time 3 με την =IF(D2<0;0;D2). Επομένως τελικά υπάρχουν θετικοί χρόνοι και μηδενικά. Αυτή η στήλη εισάγεται στο μοντέλο ως χρόνος συλλογής.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι και στο συγκεκριμένο μοντέλο έχει γίνει η παραδοχή ότι δεν λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος αναπλήρωσης των θέσεων συλλογής. Αντιθέτως θεωρείται ότι υπάρχει όση διαθεσιμότητα χρειάζεται ώστε να υλοποιούνται οι απρόσκοπτα οι

παραγγελίες. Σημειώνεται ότι αναλυτική παρουσίαση των ρυθμίσεων του μοντέλου, γίνεται στο παράρτημα Γ της εργασίας.

5.5 Δοκιμή μοντέλου συλλογής με χρήση ραουλόδρομου, ραφιών live storage και ραφιών back-to-back (TO-BE 2)

Στη συνέχεια, προχωράμε σε δοκιμή του μοντέλου. Εδώ ακολουθήθηκε μόνο η λογική του να συλλέγεται ένα μόνο κιβώτιο σε κάθε επίσκεψη στο ράφι, αλλά εξετάστηκαν δυο σενάρια βασισμένα σε αυτή τη δοκιμή. Το ένα αφορά στην αποστολή δυο παλετών και το άλλο σε ενοποίηση των δυο παλετών σε μία.

Εκτελώντας το μοντέλο με την παραπάνω ρύθμιση και τα αποτελέσματα δίνουν συνολικό χρόνο διεκπεραίωσης του συνόλου των παραγγελιών σε 1.255.455 δευτερόλεπτα (περίπου 349 ώρες). Υπενθυμίζεται ότι στο μοντέλο AS-IS ο αντίστοιχος χρόνος ανήλθε στα 2.953.771 δευτερόλεπτα (περίπου 820 ώρες). Δηλαδή το μοντέλο παρουσιάζει βελτιωμένη επίδοση κατά 57,5%. Βέβαια, αυτό το ποσοστό μείωσης δεν είναι απόλυτα αξιοποιήσιμο καθώς δεν υπάρχει ισοδυναμία μεταξύ των δυο μοντέλων. Στο AS-IS εργάζεται ένας πικαδόρος, ενώ στο TO-BE 1 εργάζονται ταυτόχρονα 5 άτομα. Επομένως, προκειμένου να καταστεί έγκυρη η σύγκριση, λάβαμε το χρόνο που αφιερώνει ο κάθε πικαδόρος για να ολοκληρώσει τη λίστα με τις παραγγελιογραμμές που τον αφορούν. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν οι πίνακες ReportX , $X=1, \dots, 4$. Αθροίζοντας του χρόνους συλλογής που λαμβάνονται από την τελευταία στήλη κάθε πίνακα, διαπιστώνεται ότι απαιτείται συνολικός χρόνος εργασίας όλων των πικαδόρων ίσος με 2.359.206 δευτερόλεπτα (περίπου 655 ώρες). Ο χρόνος αυτός είναι βελτιωμένος σε ποσοστό 20,1% (περίπου 165 λιγότερες ώρες). Πρόκειται για μια ισοδύναμη σύγκριση, καθώς συγκρίνονται οι συνολικοί χρόνοι που απαιτείται να εργαστούν οι εμπλεκόμενοι εργαζόμενοι (πικαδόροι). Πρέπει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε αναφορά σε χρόνους του μοντέλου TO-BE 2 αφορά στο μέγιστο χρόνο μεταξύ discrete και zone picking. Όμως παρόλο που το σενάριο αυτό δεν απαιτεί μεγάλα κόστη σε επενδύσεις, απαιτεί το διπλάσιο αριθμών κινήσεων αποστολής καθώς σε κάθε παραγγελία αντιστοιχούν 2 παλέτες αντί για 1.

Εξετάζεται λοιπόν και η περίπτωση ενοποίησης των δυο παλετών. Αυτό θα υλοποιείται ως εξής. Οι δύο παλέτες τοποθετούνται σε χώρο προσωρινής εναπόθεσης και εκεί γίνεται χειροκίνητη ενοποίηση. Φυσικά λαμβάνονται τα κιβώτια από την παλέτα με το λιγότερο περιεχόμενο. Με τη βοήθεια φύλλου στο Microsoft Excel συνυπολογίστηκε και ο χρόνος ενοποίησης των δύο παλετών και καταλήξαμε σε ένα δεύτερο υποθετικό σενάριο. Στο σχήμα 5.9 απεικονίζεται τμήμα του εν λόγω φύλλου στο οποίο φαίνεται ότι ο χρόνος

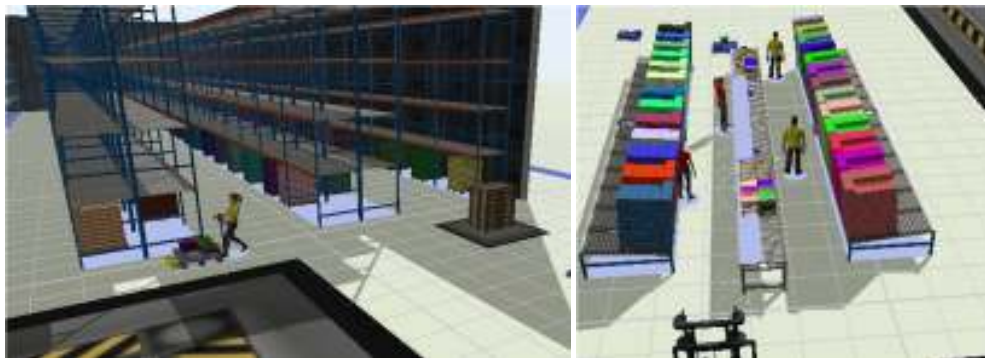
ενοποίησης ανά κιβώτιο έχει ορισθεί στα 3 δευτερόλεπτα κι έτσι προκύπτει συνολικός χρόνος ενοποίησης 160.056 δευτερόλεπτα.

Consolidation time per box 3 seconds				
OrderNo	No of B_C boxes	No of A boxes	Consolidation time based on the minimum quantity	Total
1	22	14	42	160056
2	22	0	0	
3	10	28	30	
4	8	28	24	
5	1	6	3	
6	33	31	93	
7	2	19	6	
8	54	0	0	
9	57	11	33	
10	7	4	12	
11	4	14	12	
12	1	15	3	
13	8	0	0	
14	2	4	6	
15	38	35	105	
16	6	20	18	
17	13	27	39	

Σχήμα 5.9: Υπολογισμός χρόνου ενοποίησης παλετών

Επομένως προσθέτοντας το χρόνο που απαιτήθηκε για ενοποίηση και το χρόνο που απαιτήθηκε για τη συλλογή, λαμβάνονται τα εξής αποτελέσματα : Συνολικός χρόνος διεκπεραίωσης 1.415.511 δευτερόλεπτα (περίπου 393 ώρες) δηλαδή 52% λιγότερος χρόνος σε σχέση με το AS-IS. Όμως ο πραγματικά ισοδύναμος χρόνος που πρέπει να συγκριθεί και απεικονίζει το φόρτο των 6 εργαζομένων έναντι του φόρτου του ενός στο μοντέλο AS-IS, ανέρχεται στα 2.519.262 δευτερόλεπτα (περίπου 700 ώρες). Δηλαδή πρόκειται για εξοικονόμηση 120 ωρών περίπου και σε όρους ποσοστού, εξοικονόμηση κατά περίπου 14,7%.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση του μοντέλου προσομοίωσης TO-BE 2, ακολουθούν στιγμιότυπα από διάφορες φάσεις της λειτουργίας στο σχήμα 5.10.





Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση της διαδικασίας συλλογής

5.6 Σύνοψη

Στο σημείο αυτό αφού έχουν υλοποιηθεί και εκτελεστεί τα μοντέλα προσομοίωσης των σεναρίων αναδιοργάνωσης της λειτουργίας της αποθήκης, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν. Συγκεκριμένα, στον πίνακα 5.8 της επόμενης σελίδας φαίνεται η εξοικονόμηση που προκύπτει από κάθε σενάριο.

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα σεναρίων αναδιοργάνωσης της λειτουργίας της αποθήκης

Μοντέλο TO-BE	Σενάριο	Ποσοστό οφέλους χρόνου picking vs AS-IS (%)
TO-BE 1 (Όλα τα SKUs σε Live Storage Racks)	What if Scenario #1 (TO-BE 1A) 1 κιβώτιο ανά pick	33,4
	What if Scenario #2 (TO-BE 1B) Όλα τα κιβώτια ανά pick	39,7
TO-BE 2 (Τα A SKUs σε Live Storage Racks, τα B & C SKUs σε back-to-back Racks)	What if Scenario #1 (TO-BE 2) Χωρίς ενοποίηση	20,1
	What if Scenario #2 (TO-BE 2 & MS EXCEL) Με ενοποίηση	14,7

Ένα άλλο γενικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι η αναγκαιότητα υιοθέτησης παραδοχών κατά τη δημιουργία των μοντέλων. Σε διαφορετική περίπτωση είναι αδύνατη η αποτύπωση ενός φυσικού συστήματος λόγω του μεγάλου πλήθους παραμέτρων που περιλαμβάνει, σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Βέβαια, αυτό εγκυμονεί τον κίνδυνο της μη επαλήθευσης των ευρημάτων της προσομοίωσης. Παρ' όλα αυτά οι ενδείξεις που προσφέρει η προσομοίωση

αποτελούν ένα σημαντικό οδηγό για το σχεδιασμό λύσεων στα διάφορα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει στις μέρες μας ο μηχανικός.

6. Οικονομοτεχνική αξιολόγηση πρότασης αναδιοργάνωσης της συλλογής παραγγελιών

6.1 Εισαγωγή

Όλες οι επενδύσεις έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Προκειμένου να υλοποιηθούν απαιτούν τη διάθεση ενός αρχικού κεφαλαίου. Στη συνέχεια, πάντοτε προκύπτουν και έξοδα από τη λειτουργία τους. Η ανάγκη για οικονομική αξιολόγηση της μελλοντικής επένδυσης είναι ιδιαίτερα επιτακτική ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που το κόστος υλοποίησης ανέρχεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Έτσι, τα εμπλεκόμενα μέρη προτού να προχωρήσουν στην υλοποίηση τέτοιων επενδύσεων, αναζητούν ένα τρόπο που θα τους δώσει πρόβλεψη για το κατά πόσο τα οφέλη που θα προκύψουν από την επένδυση αντισταθμίζουν τα επενδύσιμα κεφάλαια. Επιπλέον, ένα άλλο θέμα που τους ενδιαφέρει ιδιαίτερα είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο τα χρήματα που επενδύθηκαν θα αποσβεστούν. Προκειμένου να γίνει αυτό πραγματικότητα, υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι λήψης οικονομοτεχνικών αποφάσεων, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενη ενότητα. Στη συνέχεια, αναλύεται ο σχεδιασμός της πρότασης που εκπονήθηκε για την υπό μελέτη εταιρία, επεξηγούνται τα δεδομένα που απαιτούνται για την υλοποίηση αυτής της πρότασης και τέλος εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το βασικό ερώτημα που απασχολεί τα εμπλεκόμενα μέρη. Πότε η επένδυση θα αρχίσει να αποφέρει οφέλη.

6.2 Συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων οικονομοτεχνικής αξιολόγησης

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι κυριότερες μέθοδοι που συναντώνται στη βιβλιογραφία. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: (α) Αυτές που λαμβάνουν υπόψη τη μεταβαλλόμενη αξία του χρήματος και (β) αυτές που λαμβάνουν υπόψη τη μεταβολή της αξίας του χρήματος με την πάροδο του χρόνου. Η πρώτη κατηγορία χαρακτηρίζεται από απλότητα στην εφαρμογή της και λόγω των μειονεκτημάτων της δε θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση μας. Οι περιπτώσεις που λαμβάνουν υπόψη τη μεταβολή της αξίας του χρήματος παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 4 βασικότερες μέθοδοι που συναντάμε στη βιβλιογραφία (Μουστάκης, 2013).

Πίνακας 6.1: Μέθοδοι λήψης οικονομοτεχνικών αποφάσεων

α/α	Ονομασία μεθόδου
1	Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ, PW)
2	Ετήσια αξία (ΕΑ, AW)
3	Λόγος οφέλους-κόστους (B/C ratio)
4	Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (EBA, IRR)

1. Καθαρή παρούσα αξία (Present worth)

Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία έχει πολλές εφαρμογές. Η χρησιμότητα της δεν περιορίζεται μόνο σε προβλήματα λήψης οικονομοτεχνικών αποφάσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις που επιθυμεί κάποιος μια χρηματική αξία του μέλλοντος να την ανάγει σε σημερινή αξία. Η βασική της ιδέα είναι η ακόλουθη: Αν για μια επένδυση η διαφορά των οριακών οφελών εκφρασμένων σε ποσά του παρόντος και των οριακών κοστών εκφρασμένων σε ποσά του παρόντος είναι μεγαλύτερη ή ίση του μηδέν τότε η επένδυση είναι αποδεκτή. (Δούνιας & Μουστάκης, 2002)

Η λογική της μεθόδου είναι η εξής: Υποθέτουμε ότι μια επένδυση έχει κόστη αλλά και οφέλη. Αυτά μπορεί να είναι σε μια χρονική στιγμή ή επαναλαμβανόμενα. Σχεδιάζοντας ένα διάγραμμα χρηματοροών που περιέχει τόσο τα κόστη όσο και τα οφέλη, στη συνέχεια προσπαθούμε να κάνουμε αναγωγή των μελλοντικών αξιών στο παρόν. Είναι δηλαδή σαν μετατρέπουμε τη μελλοντική αξία της επένδυσης σε αξία του παρόντος. Έτσι αν η αξία της είναι θετική, αυτό σημαίνει ότι είναι συμφέρουσα. Βέβαια προκειμένου να γίνει αυτό απαιτείται καθορισμός της οικονομικής ζωής της επένδυσης καθώς και επιτόκιο. Ως οικονομική ζωή νοείται το πλήθος των ετών που υπολογίζεται να χρησιμοποιηθεί η επένδυση. Το επιτόκιο ορίζεται ως το ποσοστό επιστροφής της επένδυσης.

Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την παρούσα αξία ενός μελλοντικού ποσού είναι ο παρακάτω:

$$PA = \frac{MA}{(1 + i)^n}$$

Όπου PA η παρούσα αξία που μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε, MA η μελλοντική αξία, δηλαδή μετά από n χρονικές περιόδους, i το επιτόκιο και n το πλήθος των περιόδων μεταξύ του σήμερα και της μελλοντικής στιγμής. Στη συγκεκριμένη μελέτη η παρούσα αξία μιας χρηματοροής θα υπολογιστεί με τη βοήθεια της ενσωματωμένης συνάρτησης PV του λογισμικού Microsoft Excel.

2. Ετήσια αξία (Annual Worth)

Μια δεύτερη μέθοδος αποτίμησης επενδύσεων είναι αυτή της ετήσιας αξίας. Έχει την ίδια λογική με την μέθοδο της παρούσας αξίας, αλλά το βασικό της πλεονέκτημα είναι ότι η αποτίμηση της γίνεται σε ετήσια βάση που είναι το πιο σύνηθες στις χρηματοοικονομικές αναλύσεις. Έτσι τα ποσά που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση δεν χρειάζονται ιδιαίτερα μεγάλες μετατροπές καθώς προέρχονται από λογιστικές καταχωρήσεις σε ετήσια βάση. (Δούνιας & Μουστάκης, 2002).

Πρόκειται για μια απλή μέθοδο σε ότι αφορά την εφαρμογή της και το αποτέλεσμα της είναι ετήσιο κέρδος αν είναι θετικό ή ετήσια ζημιά αν είναι αρνητικό. Σε περιπτώσεις πολλών εναλλακτικών επενδύσεων, επιλέγεται εκείνη που έχει τη μεγαλύτερη ετήσια αξία.

Ο τύπος που δίνει την ετήσια αξία ενός ποσού είναι ο ακόλουθος:

$$EA = PA \cdot \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

Όπου EA η ετήσια αξία που μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε, PA η παρούσα αξία, i το επιτόκιο και n το πλήθος των περιόδων.

3. Λόγος οφέλους – κόστους (Benefit/cost ratio)

Η μέθοδος κόστους-οφέλους βασίζεται στην ίδια ιδέα με τις προηγούμενες δυο. Δηλαδή στο ότι η αξία του χρήματος μεταβάλλεται μέσα στην πάροδο του χρόνου. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη καθώς η χρήση της απαιτείται από το πολλές κρατικές υπηρεσίες. Έτσι δεν μένουν πολλά περιθώρια στον αναλυτή να επιλέξει κάποια εναλλακτική μέθοδο. Η βασική της ιδέα στηρίζεται στο γεγονός ότι μια επένδυση είναι συμφέρουσα αν ο λόγος όφελος προς κόστος είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τη μονάδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο τα οφέλη όσο και τα κόστη πρέπει να είναι εκφρασμένα σε όρους παρούσας αξίας. (Δούνιας & Μουστάκης, 2002).

Ο γενικός τύπος με τον οποίο υπολογίζεται ο λόγος οφέλους κόστους είναι:

$$O/K = \frac{PA \text{ οφελών}}{PA \text{ κοστών}}$$

Όπου O/K η τιμή του λόγου οφέλους κόστους, PA οφελών, η παρούσα αξία των οφελών που προκύπτουν από την επένδυση και PA κοστών, η παρούσα αξία που προκύπτει από όλα τα κόστη της επένδυσης.

4. Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal rate of return)

Η τελευταία μέθοδος αξιολόγησης που παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή είναι αυτή που απαιτεί τον προσδιορισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης. Πρόκειται για μια μέθοδο αξιολόγησης που έχει ως μεταβλητή απόφασης το ποσοστό (%) της απόδοσης της επένδυσης. Θεωρείται αρκετά περίπλοκη μέθοδος αν οι υπολογισμοί γίνουν χειρωνακτικά αλλά με τη βοήθεια Η/Υ η χρήση της απλουστεύεται αρκετά.

Ο EBA ορίζεται ως η τιμή του επιτοκίου i για την οποία η εξίσωση της παρούσας αξίας μιας χρηματοροής μηδενίζεται. Προκειμένου λοιπόν να προσδιορισθεί επιλύεται μια αλγεβρική εξίσωση. Μια λύση i της εξίσωσης ικανοποιεί οικονομικά το πρόβλημα εφόσον ο EBA είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου (ή τον ελάχιστο αποδεκτό βαθμό απόδοσης) i^* , δηλαδή εφόσον: $i > i^*$. Βέβαια δεν πρέπει να παραληφθεί ότι στην περίπτωση σύγκρισης λύσεων ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης δίνει σωστά αποτελέσματα μόνο όταν έχει γίνει αφαίρεση των δυο προτάσεων. (Δούνιας & Μουστάκης, 2002).

Στη μελέτη περίπτωσης με την οποία ασχολείται αυτή η εργασία, ο υπολογισμός του EBA θα υλοποιηθεί όπως και στην περίπτωση της παρούσας αξίας με τη βοήθεια του Microsoft Excel και συγκεκριμένα με χρήση της συνάρτησης IRR.

Κλείνοντας τη συγκεκριμένη ενότητα, σημειώνεται ότι οι μέθοδοι της παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης θα μας απασχολήσουν στο υπόλοιπο του κεφαλαίου. Βέβαια για να καταλήξει κάποιος στον υπολογισμό αυτών των μεγεθών πρέπει να υλοποιήσει προσεκτική ανάλυση των δεδομένων του προβλήματος, δηλαδή του κόστους και του οφέλους που θα προκύψουν από την επένδυση. Βέβαια, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση άλλων παραγόντων, όπως η φορολογία και η απόσβεση των εξοπλισμών.

6.3 Σχεδιασμός οικονομοτεχνικής αξιολόγησης της πρότασης που αφορά στη μελέτη περίπτωσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης για τη μελέτη περίπτωσης της πολυεθνικής εταιρίας που μελετήθηκε στην εργασία αυτή. Αρχικά επισημαίνεται ότι ο χρονικός ορίζοντας στον οποίο γίνεται η επένδυση καθορίζεται στα δέκα έτη. Αυτός ο χρονικός ορίζοντας καθορίστηκε από το γεγονός ότι οι εξοπλισμοί αυτού του είδους έχουν κατά προσέγγιση τόσα έτη οικονομικής ζωής ή στο γεγονός ότι μετά την πάροδο δέκα ετών, πιθανώς θα έχει υπάρξει μια νέα τεχνολογία ή οποία θα καθιστά την υπάρχουσα ξεπερασμένη. Έτσι τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογιστικό φύλλο αφορούν τα έτη 2021-2030 με δεδομένο ότι η επένδυση θα υλοποιηθεί μέσα στο έτος 2020. Επιπλέον, η οικονομοτεχνική μελέτη αφορά στο μοντέλο που χρησιμοποιεί εξ ολοκλήρου ράφια Live storage για το σύνολο των 103 SKUs και τη χρήση ραουλόδρομου. Το συγκεκριμένο μοντέλο ήταν αυτό που παρουσίασε το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και γι' αυτό επιλέχθηκε έναντι της άλλης προτεινόμενης λύσης. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση του συγκεκριμένου μοντέλου με τον μοντέλο της υπάρχουσας κατάστασης. Δηλαδή, ότι θα ακολουθήσει παρακάτω αφορά τα μοντέλα AS-IS και TO-BE 1.

Σε ότι αφορά τα έσοδα χρειάστηκαν τα συνολικά ποσά εσόδων για καθένα από τα παραπάνω έτη. Σύμφωνα με δεδομένα που ελήφθησαν από την εν λόγω εταιρία, αλλά και από πληροφορίες σχετικά με τα έσοδα από την παροχή υπηρεσιών στον τομέα αυτό, έγινε εκτίμηση σχετικά με τα έσοδα της επιχείρησης. Επιπλέον θεωρήθηκε ότι υπάρχει μια ποσοστιαία μεταβολή των εσόδων από έτος σε έτος. Τόσο για το μοντέλο AS-IS όσο και για το μοντέλο TO-BE 1 τα έσοδα θεωρήθηκαν σταθερά. Η διαφοροποίηση των δεδομένων αφορά στα κόστη. Συγκεκριμένα για το μοντέλο TO-BE 1, ως κόστος της αρχικής επένδυσης θεωρήθηκε το κόστος των ραφιών live storage, το κόστος σχεδιασμού και τοποθέτησης των ραφιών, το κόστος κτήσης του ραουλόδρομου, άλλων εξοπλισμών και ένα άλλο ποσό που χαρακτηρίστηκε ως απρόβλεπτα κόστη και περιλαμβάνει τυχόν άλλα κόστη που προέκυψαν κατά την υλοποίηση του έργου (Capital Expenses). Σε μια άλλη κατηγορία κόστους το οποίο πρέπει να καταβάλλεται σε κάθε έτος, θεωρήσαμε το κόστος προσωπικού. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος προσωπικού και πάλι έχει εκτιμηθεί υιοθετώντας την παραδοχή ότι ο εργαζόμενος απασχολείται εξ ολοκλήρου στη συλλογή, πράγμα που δε συμβαίνει στην πραγματικότητα. Με δεδομένο ότι στο μοντέλο TO-BE 1 έχουμε 33,4% εξοικονόμηση χρόνου, υπολογίσαμε κατά προσέγγιση το πλήθος των ατόμων που απασχολούνται σε κάθε μοντέλο. Έτσι, από τη στιγμή που στην παρούσα κατάσταση AS-IS απασχολούνται 16 άτομα, θεωρήθηκε ότι ανά δύο έτη θα απαιτείται απασχόληση ενός επιπλέον ατόμου καθώς ο φόρτος εργασίας αυξάνεται από έτος σε έτος. Με τη λογική αυτή ξεκινάμε με 16 άτομα προσωπικό και στο τέλος της δεκαετίας καταλήγουμε στα 20 άτομα. Στο μοντέλο TO-BE 1 χρησιμοποιείται πάντα σταθερός αριθμός εργαζομένων. Δέκα άτομα για τη συλλογή και ένας χειριστής περονοφόρου. Στη συνέχεια θεωρήθηκαν οι λειτουργικές δαπάνες της επιχείρησης στις κατηγορίες της ασφάλισης του εξοπλισμού αλλά και συντήρησης του. (Operational Expenses). Σε ότι αφορά το μοντέλο AS-IS δεν απαιτείται αγορά εξοπλισμού καθώς αυτός υπάρχει, απλά θεωρήθηκαν κάποια λειτουργικά έξοδα.

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, υπολογίσθηκαν τα έσοδα και τα έξοδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο κόστος προσωπικού συνυπολογίστηκε μια ετήσια αύξηση της τάξης του 2%. Για τις λειτουργικές δαπάνες το αντίστοιχο ποσοστό ανήλθε στο 3%.

Κατόπιν, αφαιρώντας τα συνολικά έξοδα από τα συνολικά έσοδα υπολογίσθηκαν τα μεικτά κέρδη. Για τις αποσβέσεις των εξοπλισμών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σταθερής απόσβεσης της οποίας το ποσοστό για τέτοιου είδους εξοπλισμούς ανέρχεται σε ποσοστό 4%. (Γκιούρλιας & Παύλου, 2020). Με την αφαίρεση των αποσβέσεων από τα μεικτά κέρδη προέκυψε το φορολογητέο εισόδημα. Με βάση την ισχύουσα φορολογική πολιτική για τις ανώνυμες εταιρείες, δηλαδή φορολογικός συντελεστής 24% (Γκιούρλιας & Παύλου, 2020),

υπολογίστηκε ο φόρος που αναλογεί. Τέλος, αφαιρώντας το φόρο από το φορολογητέο εισόδημα προέκυψαν τα καθαρά κέρδη. Όμως το ποσό που ενδιαφέρει για τη μετέπειτα οικονομική μελέτη είναι οι καθαρές ταμειακές ροές. Αυτές προέκυψαν σε κάθε έτος αθροίζοντας τις αποσβέσεις και το καθαρό κέρδος.

Στη συνέχεια έγιναν οι υπολογισμοί της καθαρής παρούσας αξίας για το χρονικό ορίζοντα των 10 ετών, λαμβάνοντας κυμαινόμενο επιτόκιο απόδοσης από 0% - 5% με βήμα 0,5% για κάθε μια περίπτωση ξεχωριστά. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης κατά το δέκατο έτος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο υπολογισμός του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (Δούνιας & Μουστάκης, 2002) δεν είναι αξιόπιστος όταν υπολογίζεται αυτόνομα σε κάθε εναλλακτική. Για το λόγο αυτό απαιτείται διενέργεια οριακής ανάλυσης η οποία και υλοποιήθηκε.

Απαραίτητη κρίθηκε η εκτέλεση ανάλυσης ευαισθησίας σε δυο παράγοντες. Ο ένας παράγοντας είναι τα έσοδα και ο άλλος τα έξοδα. Ο πίνακας 6.2 παρουσιάζει τα οκτώ εναλλακτικά σενάρια που υλοποιήθηκαν και για καθένα από τα οποία υπολογίστηκε ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης για την περίπτωση της οριακής ανάλυσης.

Πίνακας 6.2: Σενάρια μεταβολής εσόδων & εξόδων

α/α	Ποσοστό μεταβολής εσόδων	Ποσοστό μεταβολής εξόδων
1	-20%	+20%
2	-15%	+15%
3	-10%	+10%
4	-5%	+5%
5	+5%	-5%
6	+10%	-10%
7	+15%	-15%
8	+20%	-20%

Τα αποτελέσματα από την παραπάνω μέθοδο αξιολόγησης καθώς και την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε, παρουσιάζονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

6.4 Δεδομένα και αποτελέσματα μοντέλου AS-IS

Θεωρώντας ότι τα δεδομένα που μας διατέθηκαν αφορούσαν ένα σχετικά χαμηλής ζήτησης μήνα και αποτελούνταν από 60.387 παραγγελιογραμμές η οποία κατά μέσο όρο περιείχε 3 κιβώτια εκτιμήσαμε τα εξής: Για κάθε μήνα του έτους μεσοσταθμικά έχουμε 73250 παραγγελιογραμμές. Αν θεωρήσουμε ότι το κόστος παροχής της υπηρεσίας ανά κιβώτιο ανέρχεται στα 0,15€, τα έσοδα που προκύπτουν για το πρώτο έτος ανέρχονται στις

395.550€. Θεωρώντας αύξηση 3% για κάθε επόμενο έτος, προκύπτουν τα ποσά των εσόδων για κάθε έτος. Το σχήμα 6.1 παρουσιάζει αναλυτικά τα δεδομένα της εκτιμώμενης ζήτησης καθώς και τα έσοδα που προέκυψαν.

Εκτιμώμενη ζήτηση												
Μήνας	Πλήθος παραγγελιογραμμών	Μέσος όρος τεμαχίων ανα παραγγελιογραμμή 3										
Ιαν.	75000	Τιμή/κιβώτιο 0,15 €										
Φεβ.	62000											
Μαρ.	62000											
Απρ.	62000											
Μαί.	65000	ΕΣΟΔΑ/ΕΤΟΣ	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ιουν.	96000	Ποσό εσόδων	395.550,00 €	407.416,50 €	419.639,00 €	432.228,16 €	445.195,01 €	458.550,86 €	472.307,39 €	486.476,61 €	501.070,91 €	516.103,03 €
Ιουλ.	100000	Σύνολο	395.550,00 €	407.416,50 €	419.639,00 €	432.228,16 €	445.195,01 €	458.550,86 €	472.307,39 €	486.476,61 €	501.070,91 €	516.103,03 €
Αυγ.	96000											
Σεπ.	62000											
Οκτ.	62000											
Νοε.	62000											
Δεκ.	75000											
Μέσος όρος	73250											
Σύνολο	879000											

Σχήμα 6.1: Δεδομένα εκτιμώμενης ζήτησης και εσόδων μοντέλου AS-IS

Η εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο συνεχίζεται με την εισαγωγή εκτιμώμενου κόστους που πιθανόν να προκύψει με βάση όσα επεξηγήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Επειδή η εγκατάσταση υπάρχει ήδη, το μόνο κόστος που μπορεί να προκύψει θεωρήσαμε ότι ανέρχεται στο ποσό των 5.250€ και χαρακτηρίζεται ως απρόβλεπτα κόστη που μπορεί να προκύψουν από διάφορες πηγές.

Με βάση τα δεδομένα που επικρατούν στην αγορά υπολογίστηκε το κόστος προσωπικού για το πρώτο έτος λειτουργίας. Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζεται το κόστος του προσωπικού αλλά και το πλήθος των εργαζομένων που θα απαιτηθεί κατά τα έτη λειτουργίας.

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	Ετήσιος μισθός											
ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ	πρώτου έτους	Πλήθος 2021	Πλήθος 2022	Πλήθος 2023	Πλήθος 2024	Πλήθος 2025	Πλήθος 2026	Πλήθος 2027	Πλήθος 2028	Πλήθος 2029	Πλήθος 2030	
Εργαζόμενοι προετοιμασίας παραγγελιών	15.400,00 €	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	

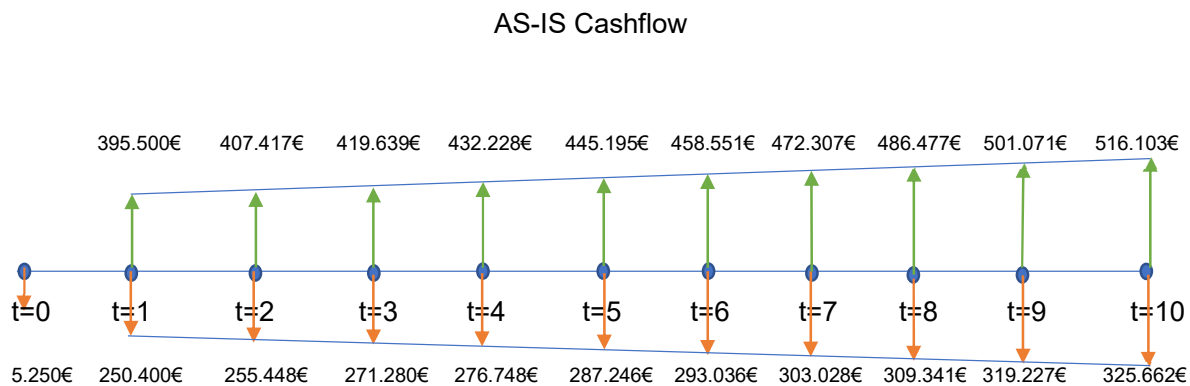
Σχήμα 6.2: Δεδομένα κόστους προσωπικού κατά το 1^ο έτος λειτουργίας & πλήθος εργαζομένων

Η οικονομοτεχνική ανάλυση συνεχίζει με το ετήσιο λειτουργικό κόστος που απαρτίζεται από το κόστος συντήρησης των εξοπλισμών και το κόστος ασφάλισης. Στο σχήμα 6.3 υπάρχουν αυτά τα δεδομένα.

ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ - ΓΕΝΙΚΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	ΠΟΣΟ
Ασφάλιση εξοπλισμού	1.500,00 €
Συντήρηση εξοπλισμού (Ραφιών, Παλετοφόρων κ.λ.π.)	2.500,00 €
Σύνολο	4.000,00 €

Σχήμα 6.3: Δεδομένα λειτουργικού κόστους

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα έσοδα και τα έξοδα, λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση του λειτουργικού κόστους από έτος σε έτος αλλά και το κόστος προσωπικού για τα επόμενα έτη. Αφού γίνει φορολογική εκκαθάριση υπολογίζονται οι καθαρές ταμειακές ροές οι οποίες χρησιμεύουν για τον υπολογισμό των ζητούμενων οικονομοτεχνικών δεικτών. Στο σχήμα 6.4 απεικονίζονται το χρηματοχρονοδιάγραμμα της περίπτωσης αυτής.



Σχήμα 6.4: Χρηματοχρονοδιάγραμμα μοντέλου AS-IS

Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί από τους οποίους προκύπτουν οι καθαρές ταμειακές ροές.

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
407.416,90 €	419.639,00 €	432.228,18 €	445.195,01 €	458.556,88 €	472.307,39 €	486.476,81 €	501.070,95 €	516.103,83 €
251.328,80 €	267.018,00 €	272.578,72 €	282.744,00 €	288.288,88 €	298.452,80 €	304.421,04 €	314.188,00 €	320.445,20 €
4.120,80 €	4.243,60 €	4.370,81 €	4.502,04 €	4.637,18 €	4.776,21 €	4.919,30 €	5.067,08 €	5.219,29 €
255.448,80 €	271.279,60 €	276.347,63 €	287.246,04 €	293.035,98 €	299.228,21 €	305.340,54 €	311.227,08 €	317.662,79 €
151.888,90 €	148.258,40 €	155.480,54 €	157.858,97 €	165.514,88 €	169.679,58 €	177.136,07 €	181.843,93 €	190.440,36 €
301,40 €	191,54 €	185,79 €	178,36 €	171,23 €	164,38 €	157,80 €	151,49 €	145,43 €
151.796,90 €	148.165,36 €	155.294,74 €	157.770,61 €	165.343,66 €	169.514,80 €	176.978,27 €	181.692,44 €	190.295,11 €
36.426,86 €	35.558,81 €	37.270,74 €	37.864,95 €	38.682,48 €	40.529,55 €	42.474,76 €	43.686,18 €	45.670,87 €
115.342,84 €	112.606,05 €	118.024,00 €	119.905,86 €	125.662,18 €	128.175,25 €	134.503,46 €	138.088,17 €	144.624,43 €
115.544,44 €	112.799,59 €	118.209,88 €	120.094,03 €	125.812,43 €	128.329,43 €	134.661,29 €	138.227,67 €	144.769,87 €

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΦΟΡΟΛΟΓΙΑΣ ΑΠΟ 1/1/2019

ΦΟΡΟΛΟΓΗΤΕΟ ΕΙΣΟΔΗΜΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΟΡΟΥ
ΟΡΙΣΜΟΔΗΓΗΤΕ	34,00%

ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΑΤΗΝ	4,00%
-------------------------	-------

ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	3,00%
--------------------------------------	-------

ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΛΗΠΤΕΥΜΑΤΩΝ	3,00%
-------------------------------	-------

Σχήμα 6.5: Υπολογισμοί καθαρών ταμειακών ροών δεκαετίας

Στο σημείο αυτό πριν προχωρήσουμε στον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης σημειώνουμε ότι τα δεδομένα κόστους και εσόδων έχουν δημιουργηθεί υιοθετώντας κάποιες παραδοχές που απλοποιούν την όλη διαδικασία, χωρίς όμως να χάνεται η χρησιμότητα του οικονομοτεχνικού μοντέλου. Η συγκεκριμένη απλούστευση έγινε για τους εξής λόγους: (α) Τέτοιου είδους δεδομένα είναι δύσκολο να εξευρεθούν καθώς αποτελούν ευαίσθητα οικονομικά στοιχεία των επιχειρήσεων και (β) ο βασικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η αναδιοργάνωση της διαδικασίας της

συλλογής σε περιβάλλον προσομοίωσης και όχι η χρηματοοικονομική μελέτη. Βέβαια, ο μηχανικός οικονομίας και διοίκησης πρέπει να θεωρεί ως βασική συνιστώσα, αυτή της οικονομοτεχνικής αξιολόγησης μιας πρότασης. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η ανάπτυξη ενός τέτοιου οικονομοτεχνικού μοντέλου.

Στο σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης για το 10^ο έτος, λαμβάνοντας κάθε φορά κυμαινόμενο κόστος ευκαιρίας από 0% έως 5% με βήμα 0,5%. Επειδή η παρούσα κατάσταση δεν έχει κάποιο ιδιαίτερος μεγάλο ποσό επένδυσης, θεωρούμε ότι το αντιπροσωπευτικότερο ποσοστό για το κόστος κεφαλαίου είναι αυτό που πλησιάζει το απλό επιτόκιο του ταμειυτηρίου, δηλαδή γύρω στην τιμή του 1,5%. Επομένως όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 που ακολουθεί, η πιο ενδιαφέρουσα τιμή της καθαρής παρούσας αξίας είναι εκείνη που αντιστοιχεί στο ποσοστό του 1,5% και ισούται με 1.142.437€.

Το γεγονός ότι είναι θετική επιδεικνύει ότι η υφιστάμενη λειτουργία της επιχείρησης είναι κερδοφόρα.



Σχήμα 6.6: Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης

Σε ότι αφορά τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης, θα συγκρίνουμε τις επενδύσεις σε επόμενη ενότητα αφού είναι αξιόπιστος για την περίπτωση σύγκρισης των δυο περιπτώσεων με υλοποίηση οριακής ανάλυσης.

Φυσικά, προκειμένου να μπορέσει κανείς να αποφανθεί για το ποια περίπτωση είναι καλύτερη, πρέπει να υλοποιηθεί η αντίστοιχη επεξεργασία για τα δεδομένα της περίπτωσης του μοντέλου TO-BE 1.

6.5 Δεδομένα και αποτελέσματα μοντέλου TO-BE 1

Προκειμένου να είναι υλοποιήσιμη η σύγκριση των δυο εναλλακτικών λύσεων, τα έσοδα πρέπει να διατηρηθούν σταθερά, όπως και στη περίπτωση του AS-IS.

Η εισαγωγή δεδομένων στο μοντέλο συνεχίζεται με την εισαγωγή εκτιμώμενου κόστους υλοποίησης της επένδυσης. Επειδή η επένδυση δεν υφίσταται και θα υλοποιηθεί εξ' ολοκλήρου, θα πρέπει αρχικά να ληφθούν υπόψιν τα κόστη υλοποίησης της αρχικής επένδυσης. Στο σχήμα 6.7 Παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα κόστη υλοποίησης.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	ΠΟΣΟ
Κόστος ραφιών Live Storage	123.600,00 €
Κόστος ραουλόδρομου	65.000,00 €
Απρόβλεπτα κόστη	27.350,00 €
Σχεδιασμός & τοποθέτηση	76.400,00 €
Σύνολο	292.350,00 €

Σχήμα 6.7: Χρηματοχρονοδιάγραμμα μοντέλου AS-IS

Με βάση τα δεδομένα που επικρατούν στην αγορά υπολογίστηκε το κόστος προσωπικού για το πρώτο έτος λειτουργίας. Στο σχήμα 6.8 παρουσιάζεται το κόστος του προσωπικού που θα απαιτηθεί κατά τα έτη λειτουργίας.

ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	Ετήσιος μισθός		
	πρώτου έτους	Πλήθος	Ποσό
Εργαζόμενοι προετοιμασίας παραγγελιών	15.400,00 €	10	154.000,00 €
Χειριστής περονοφόρου οχήματος	21.000,00 €	1	21.000,00 €
Σύνολο			175.000,00 €

Σχήμα 6.8: Δεδομένα κόστους προσωπικού κατά το 1^ο έτος λειτουργίας

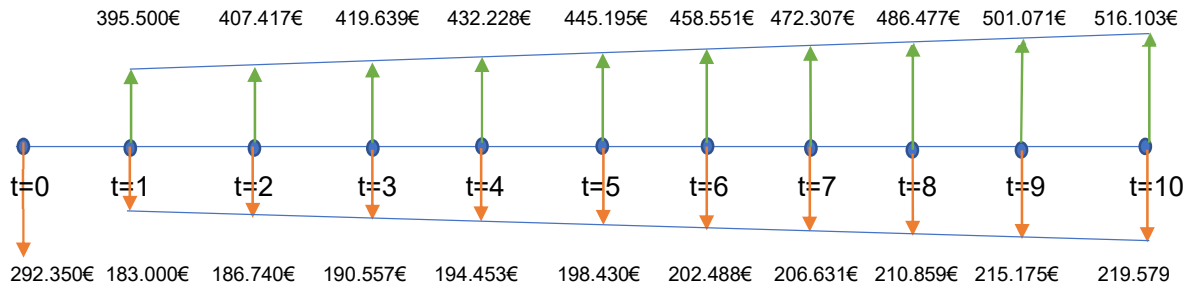
Η οικονομοτεχνική ανάλυση συνεχίζεται με το ετήσιο λειτουργικό κόστος που απαρτίζεται από το κόστος συντήρησης των εξοπλισμών και το κόστος ασφάλισης. Στο σχήμα 6.9 υπάρχουν αυτά τα δεδομένα.

ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ - ΓΕΝΙΚΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	ΠΟΣΟ
Ασφάλιση εξοπλισμού	3.000,00 €
Συντήρηση εξοπλισμού (Ραφιών, ραουλόδρομου, περονοφορου, RF scanners)	5.000,00 €
Σύνολο	8.000,00 €

Σχήμα 6.9: Δεδομένα λειτουργικού κόστους

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα έσοδα και τα έξοδα, λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση του λειτουργικού κόστους από έτος σε έτος αλλά και το κόστος προσωπικού για τα επόμενα έτη. Αφού γίνει φορολογική εκκαθάριση υπολογίζονται οι καθαρές ταμειακές ροές οι οποίες χρησιμεύουν για τον υπολογισμό των ζητούμενων οικονομοτεχνικών δεικτών. Στο σχήμα 6.10 απεικονίζονται το χρηματοχρονδιάγραμμα της περίπτωσης αυτής.

TO-BE 1 Cashflow



Σχήμα 6.10: Χρηματοχρονδιάγραμμα μοντέλου TO-BE 1

Στο σχήμα 6.11 παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί από τους οποίους προκύπτουν οι καθαρές ταμειακές ροές.

ΕΤΟΣ	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ΣΥΣΤΗΜΑ	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820
Ζητούμενα έσοδα	395.500,00 €	407.417,00 €	419.639,00 €	432.228,00 €	445.195,00 €	458.551,00 €	472.307,00 €	486.477,00 €	501.071,00 €	516.103,00 €
ΕΣΟΔΑ										
Εσοδα Προσέλευσης	178.000,00 €	178.500,00 €	182.070,00 €	183.711,40 €	185.420,40 €	191.216,14 €	197.070,42 €	202.070,00 €	205.000,00 €	209.161,20 €
Παρουσιακά έξοδα	8.000,00 €	8.200,00 €	8.400,00 €	8.741,81 €	9.094,07 €	9.576,29 €	9.992,42 €	10.428,00 €	10.124,18 €	10.408,19 €
Σύνολο εσόδων	180.000,00 €	180.700,00 €	180.507,00 €	180.913,23 €	180.429,90 €	181.640,85 €	187.078,00 €	191.642,00 €	194.875,82 €	198.753,01 €
Αλλοιων εσόδων	112.500,00 €	128.670,00 €	129.581,00 €	131.738,93 €	133.700,41 €	136.062,00 €	138.879,58 €	142.817,42 €	147.896,18 €	153.321,00 €
Αποσβέσεις	13.494,00 €	11.226,24 €	10.770,20 €	10.346,30 €	9.951,20 €	9.584,97 €	9.243,07 €	8.922,45 €	8.622,99 €	8.346,49 €
Επιπλέον/μειωθέντα	300.000,00 €	300.000,00 €	318.304,80 €	327.426,80 €	330.813,00 €	346.517,00 €	356.332,00 €	368.835,00 €	377.440,42 €	388.420,18 €
Φόρος/ισοσυναμίες	48.200,00 €	50.200,00 €	51.500,00 €	54.500,00 €	56.800,00 €	59.500,00 €	61.500,00 €	64.000,00 €	66.500,00 €	69.200,00 €
Καθαρά έσοδα μετά φόρου	152.000,00 €	150.100,00 €	149.511,00 €	151.845,53 €	153.895,12 €	157.062,08 €	165.579,00 €	182.919,55 €	188.347,82 €	199.502,61 €
Καθαρές ταμειακές ροές	184.000,00 €	178.400,00 €	178.880,00 €	181.182,01 €	181.525,90 €	186.895,91 €	194.111,03 €	211.576,00 €	219.905,00 €	227.354,61 €

Σχήμα 6.11: Υπολογισμός καθαρών ταμειακών ροών δεκαετίας

Στο σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης για το 10^ο έτος, λαμβάνοντας κάθε φορά κυμαινόμενο κόστος ευκαιρίας από 0% έως 5% με βήμα 0,5%. Θεωρούμε ότι η επένδυση δεν έχει κάποιο εξαιρετικά μεγάλο κόστος υλοποίησης οπότε η επιχείρηση δύναται να το υλοποιήσει με ίδια κεφάλαια, χωρίς ανάγκη για τραπεζικό δανεισμό. Έτσι, θεωρούμε ότι το αντιπροσωπευτικότερο ποσοστό για το κόστος κεφαλαίου είναι αυτό που πλησιάζει το απλό επιτόκιο του ταμειευτηρίου, δηλαδή γύρω στην τιμή του 1,5%. Επομένως όπως φαίνεται στο σχήμα 6.12 που ακολουθεί, η πιο ενδιαφέρουσα τιμή της καθαρής παρούσας αξίας είναι εκείνη που αντιστοιχεί στο ποσοστό του 1,5% και ισούται

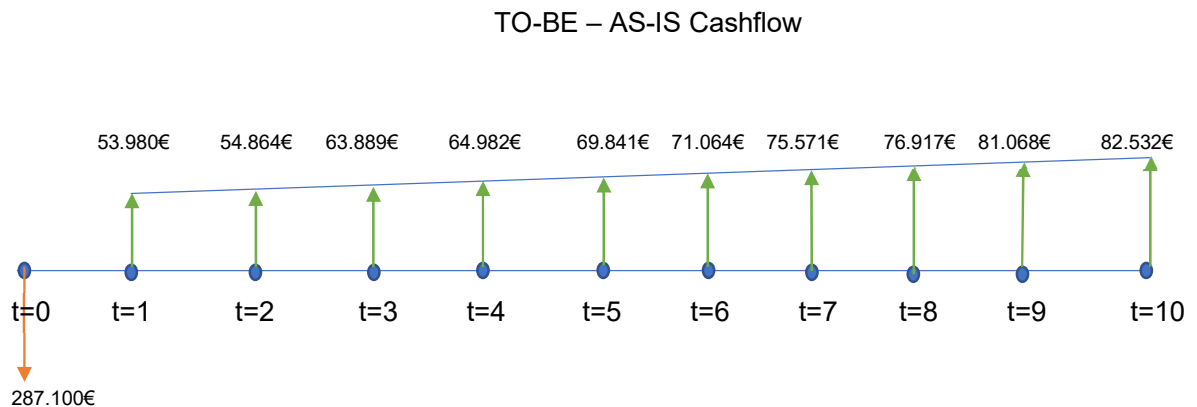
με 1.492.317€. Το γεγονός ότι είναι θετική αποδεικνύει ότι η προτεινόμενη λύση είναι προσοδοφόρα.



Σχήμα 6.12 Καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης

Φθάνοντας σε αυτό το σημείο, συγκρίνουμε τις δυο τιμές της καθαρής παρούσας αξίας. Εφόσον το μοντέλο TO-BE 1 δίνει μεγαλύτερη τιμή καθαρής παρούσας αξίας θεωρούμε ότι είναι η πλέον συμφέρουσα μεταξύ των δυο εναλλακτικών επιλογών.

Μένει τώρα να επιβεβαιωθεί το παραπάνω αποτέλεσμα με τη βοήθεια του εσωτερικού βαθμού απόδοσης. Πριν να γίνει αυτό εκτελούμε οριακή ανάλυση. Συγκεκριμένα, αφαιρούμε τις καθαρές ταμειακές ροές της υφιστάμενης κατάστασης (AS-IS) από τις καθαρές ταμειακές ροές της προτεινόμενης επένδυσης (TO-BE 1). Το χρηματοχρονοδιάγραμμα μετά από την αφαίρεση των λύσεων είναι το ακόλουθο στο σχήμα 6.13



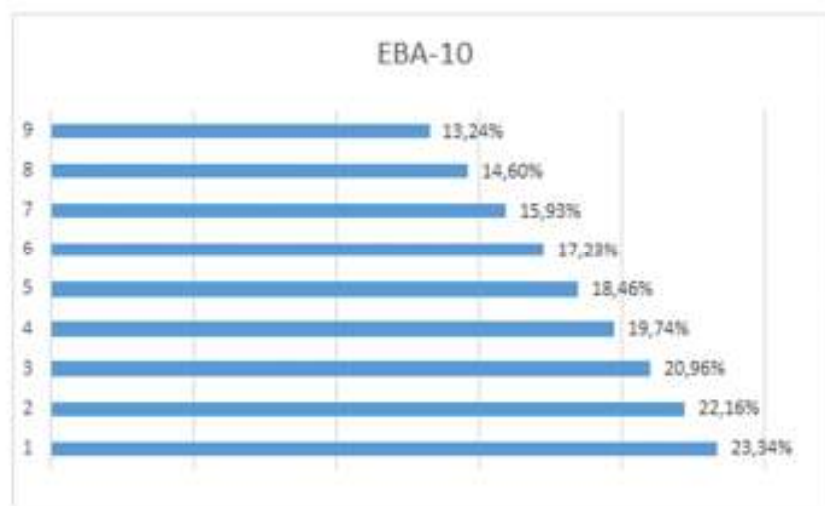
Σχήμα 6.13: Χρηματοχρονοδιάγραμμα διαφοράς μοντέλων TO-BE 1 - AS-IS

Η τιμή του εσωτερικού βαθμού απόδοσης που προκύπτει από την οριακή ανάλυση, όπως αυτή απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα είναι 18,5%. Επειδή είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο ταμειυτηρίου 1,5%, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η δεύτερη εναλλακτική (TO-BE 1) είναι η πλέον συμφέρουσα επιλογή. Τελικά με βάση τις δυο αυτές μεθόδους καταλήγουμε στο ίδιο συμπέρασμα που συγκλίνει προς την υιοθέτηση της λύσης που προτείνεται στο μοντέλο προσομοίωσης TO-BE 1.

6.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Προκειμένου να διερευνηθεί η ανταπόκριση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης που εξετάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, εκτελέστηκε ανάλυση ευαισθησίας. Η τροποποίηση έγινε στα έσοδα και στα έξοδα όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα 6.2. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 6.14.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΣΟΔΩΝ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΞΟΔΩΝ	EBA-10
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	-20,00%	20,00%	23,34%
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	-15,00%	15,00%	22,16%
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	-10,00%	10,00%	20,96%
ΣΕΝΑΡΙΟ 4	-5,00%	5,00%	19,74%
ΑΡΧΙΚΟ	0,00%	0,00%	18,46%
ΣΕΝΑΡΙΟ 5	5,00%	-5,00%	17,23%
ΣΕΝΑΡΙΟ 6	10,00%	-10,00%	15,93%
ΣΕΝΑΡΙΟ 7	15,00%	-15,00%	14,60%
ΣΕΝΑΡΙΟ 8	20,00%	-20,00%	13,24%



Σχήμα 6.14: Ανάλυση ευαισθησίας στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης

Αυτό που αξίζει να σχολιασθεί το γεγονός ότι σε κάθε περίπτωση ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το 1,5% και επομένως ακόμη και στο χειρότερο σενάριο η επένδυση αξίζει να υλοποιηθεί.

6.6 Σύνοψη

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων αναδιοργάνωσης και η παρουσίαση τους μέσω μοντέλων προσομοίωσης είναι η μια όψη του νομίσματος. Προκειμένου να γίνει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση των πιθανών εναλλακτικών υλοποιήσεων, η οικονομοτεχνική αξιολόγηση της κάθε πρότασης είναι επιβεβλημένη. Ο σύγχρονος ερευνητής οφείλει να έχει μελετήσει διεξοδικά όχι μόνο το τεχνικό κομμάτι, αλλά και τον παράγοντα κόστους της επένδυσης καθώς και το χρονικό ορίζοντα μέσα στον οποίο τα κεφάλαια που θα διατεθούν πρόκειται να αποσβεσθούν. Οι τεχνικές οικονομοτεχνικής αξιολόγησης δίνουν αυτή τη δυνατότητα ώστε ο μηχανικός να μπορεί να προτείνει μια ολοκληρωμένη και συμφέρουσα λύση.

7. Συμπεράσματα

7.1 Ανασκόπηση των βασικών σημείων της έρευνας

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας, κρίνεται απαραίτητο να γίνει μια ανασκόπηση των βασικών σημείων που χαρακτήρισαν και καθόρισαν την εξέλιξη της παρούσης. Αρχικά είναι σημαντικό να τονισθεί πως η εν λόγω διπλωματική εργασία μελέτησε δυο βασικούς επιστημονικούς τομείς, εκείνον της επιστήμης της εφοδιαστικής (Logistics science) και εκείνον της προσομοίωσης (Simulation) και αποκομίστηκε σημαντική εμπειρία και γνώση σε ένα σύγχρονο ταχέως εξελισσόμενο πεδίο. Το πεδίο της εφοδιαστικής αλυσίδας που με τη χρήση των μεθόδων της επιχειρησιακής έρευνας, των μαθηματικών και της επιστήμης των υπολογιστών βελτιώνεται και αναπτύσσεται μέρα με τη μέρα με στόχο να προσφέρει καλύτερο επίπεδο υπηρεσιών στον τελικό καταναλωτή.

Αρχικά αναδείχτηκε η σημασία των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και το ρόλο που διαδραματίζουν στη διακίνηση των προϊόντων. Παρουσιάστηκαν οι τυπικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια αποθήκη και η έρευνα κατέληξε στην ιδιαίτερη σημασία της συλλογής παραγγελιών που αποτελεί την πιο κοστοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία. Βασική λοιπόν επιδίωξη αποτελεί για κάθε αποθήκη να αυξήσει τον ωφέλιμο χρόνο που δαπανείται στη συλλογή παραγγελιών έναντι του μη ωφέλιμου χρόνου. Έτσι παράλληλα επιτυγχάνεται μείωση του λειτουργικού κόστους. Η βελτιστοποίηση αυτή επιτυγχάνεται με διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συλλογή παραγγελιών. Προκειμένου όμως οι δοκιμές να υλοποιούνται σε ασφαλές περιβάλλον, επιστρατεύουμε την τεχνική της προσομοίωσης. Σε ένα περιβάλλον λογισμικού προσομοίωσης σε Η/Υ χτίζουμε μοντέλα προσομοίωσης και εκτελώντας τα παίρνουμε αποτελέσματα. Η αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων οδηγεί σε σημαντικές αποφάσεις για την αναδιοργάνωση της διαδικασίας της συλλογής επενδύοντας σε εναλλακτικές προτάσεις. Παράλληλα, χρειάζεται οικονομοτεχνική μελέτη που θα διερευνήσει κατά πόσο τα κεφάλαια που θα επενδυθούν θα επιστραφούν σε συγκεκριμένη διάρκεια οικονομικής ζωής.

7.2 Διατύπωση συμπερασμάτων από τη μελέτη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διαθέταμε τα δεδομένα παραγγελιών ενός μήνα για 4.848 παραγγελίες, 60.387 παραγγελιογραμμών για ταχέως κινούμενα καταναλωτικά προϊόντα (FMCGs). Υλοποιήθηκε αρχικά το μοντέλο προσομοίωσης της υφιστάμενης διαδικασίας συλλογής παραγγελιών. Τα βασικά στοιχεία της μελέτης περίπτωσης καθώς και τα κύρια αποτελέσματα ακολουθούν.

Βασικά στοιχεία μελέτης περίπτωσης

- Σύστημα αποθήκευσης : Back-to-back
- Στοίβαξη προϊόντων : Σύμφωνα σε υφιστάμενη στοίβαξη
- Μέσο στοίβαξης : Euro pallet 1.20 x 0.80
- Τύπος προϊόντων : FMCGs
- Πλήθος SKUs : 103
- Πλήθος παραγγελιών : 4.848
- Πλήθος παραγγελιογραμμών : 60.387
- Πλήθος Pickers : 1
- Μέθοδος picking : Discrete
- Μέθοδος δρομολόγησης Picker (Routing policy) : Return
- Εξοπλισμός ενδοδιακίνησης : Χειροκίνητο παλετοφόρο

Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ποσοστιαίες εξοικονομήσεις σε χρόνο συλλογής παραγγελιών για κάθε μοντέλο. Τα συμπεράσματα είναι ενθαρρυντικά καθώς δείχνουν ότι η εξοικονόμηση κυμαίνεται μεταξύ 15% και 40%.

Πίνακας 7.1: Ποσοστά εξοικονόμησης χρόνου

Μοντέλα TO-BE	Σενάριο	Ποσοστό οφέλους χρόνου picking vs AS-IS (%)
TO-BE 1 (Όλα τα SKUs σε Live Storage Racks)	What if Scenario #1 : 1 κιβώτιο ανά pick	33,4
	What if Scenario #2 : Όλα τα κιβώτια ανά pick	39,7
TO-BE 2 (Τα A SKUs σε Live Storage Racks, τα B & C SKUs σε Back to back Racks)	What if Scenario #1 : Χωρίς Consolidation	20,1
	What if Scenario #2 : Με Consolidation	14,7

Τα παραπάνω αποτελέσματα σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την οικονομοτεχνική μελέτη που εκπονήθηκε, δείχνουν την αξία της επένδυσης σε σχεδιασμό λύσεων τροποποιώντας τους παράγοντες που καθορίζουν την αποδοτικότητα

της διαδικασίας της συλλογής παραγγελιών. Συγκεκριμένα, η οικονομοτεχνική μελέτη δείχνει ότι στο 2^ο χρόνο της επένδυσης έχουμε θετική τιμή καθαρής παρούσας αξίας και εσωτερικό βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο από το κόστος ευκαιρίας.

7.3 Μελλοντικοί στόχοι

Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2 η διαδικασία συλλογής παραγγελιών αποτελεί μια πολυδιάστατη έννοια της οποίας η αποδοτικότητα καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Έτσι, στα μελλοντικά μας σχέδια περιλαμβάνεται η διερεύνηση κι άλλων προτάσεων αναδιοργάνωσης των διαδικασιών συλλογής παραγγελιών, εξετάζοντας κι άλλους παράγοντες, πάντοτε με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης. Επιπλέον, σε δεύτερη φάση σκοπεύουμε να ασχοληθούμε με επανασχεδιασμό και άλλων διαδικασιών μέσα σε μια αποθήκη, πάντα χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοίωσης.

Παραρτήματα

Παράρτημα Α : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης λειτουργίας συλλογής στο εργαλείο FlexSim (AS-IS)

Στο παράρτημα Α γίνεται αναλυτική παρουσίαση της κατασκευής και της παραμετροποίησης του μοντέλου προσομοίωσης της υφιστάμενης κατάστασης, δηλαδή του μοντέλου AS-IS.

Αρχικά γίνεται περιγραφή των αντικειμένων που απαιτούνται. Προκειμένου να μπορέσουν να παραμετροποιηθούν σωστά, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία των πινάκων Global Tables και των λιστών Item Lists που χρησιμοποιήθηκαν. Έτσι υπήρξε ανάγκη για 4 πίνακες με ονόματα : Inventories, Picking_List, Report και Report2. Ο πίνακας Inventories θα χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή των δεδομένων των προϊόντων που θα τοποθετηθούν στα ράφια. Αποτελείται από 107 γραμμές και 6 στήλες. Οι επικεφαλίδες των στηλών είναι :

- Type: Κωδικός προϊόντος.
- Rack: Αριθμός ραφαρίας.
- Bay: Αριθμός φατώματος.
- Level: Αριθμός επιπέδου αποθήκευσης στη ραφαρία.
- Slot: Παλετοθυρίδα
- Quantity: Ποσότητα κιβωτίων πάνω στην παλέτα.

Προκειμένου να εισαχθεί ένας πίνακας, στην καρτέλα Toolbox πατάμε το πράσινο + και επιλέγοντας Global Table εισάγουμε όνομα του πίνακα στην καρτέλα Quick Properties στο δεξί μέρος της επιφάνειας εργασίας του FlexSim. Εκεί καθορίζεται ο αριθμός γραμμών και στηλών. Για το συγκεκριμένο πίνακα δίνουμε τα παρακάτω στοιχεία (Σχήμα Α.1).



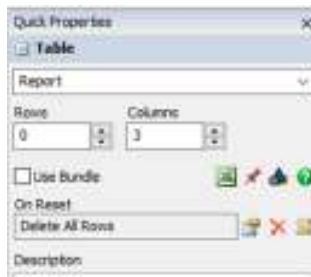
Σχήμα Α.1: Ιδιότητες πίνακα Inventories

Ο επόμενος πίνακας που χρειάζεται είναι αυτός που θα δεχτεί τα δεδομένα των παραγγελιών. Με την ίδια διαδικασία τον εισάγουμε, δίνοντας όνομα Picking_List , 60.387 γραμμές και 4 στήλες.

Οι επικεφαλίδες των στηλών που ορίστηκαν είναι :

- Type: Ο κωδικός προϊόντος που θα συλλεχθεί.
- Quantity: Η ποσότητα που θα συλλεχθεί από το συγκεκριμένο κωδικό.
- OrderNo: Ο κωδικός παραγγελίας
- Fixed time: Ο χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή του προϊόντος.

Για τους πίνακες Report και Report2 χρειάζεται και κάποια άλλη ρύθμιση. Επειδή θέλουμε να αδειάζουν σε κάθε νέα εκτέλεση του μοντέλου τους παραμετροποιούμε όπως φαίνεται στο σχήμα A.2.



Σχήμα A.2: Ιδιότητες πινάκων Report – Report2

Οι πίνακες αυτοί χρησιμεύουν για την αποθήκευση χρόνων που θα μετρηθούν στο μοντέλο, τόσο για το ξεχωριστό picking του κάθε κιβωτίου όσο και για το συνολικό χρόνο που απαιτείται για την παραγγελία.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο ορισμός των λιστών. Χρειάζονται δυο λίστες. Η λίστα Inventories_list στην οποία θα αποθηκευθούν τα Labels των προϊόντων του πίνακα Inventories και τη λίστα ItemList1 που θα περιέχει τα Labels των προϊόντων που αποθηκεύονται στα ράφια. Για να εισάγουμε μια λίστα ακολουθούμε παρόμοια τακτική με τον πίνακα. Στην καρτέλα Toolbox πατώντας το πράσινο + και επιλέγοντας Global List και στη συνέχεια Item List, εμφανίζεται καρτέλα στην οποία δίνουμε το όνομα και τα πεδία που πρέπει να αποθηκεύονται σε αυτήν.



Σχήμα A.3: Πεδία της λίστας Inventories_list

Για τη λίστα Inventories_list που χρησιμοποιήθηκε, εισήγαμε τα πεδία που φαίνονται στο σχήμα A.3. Με τον ίδιο τρόπο δημιουργήθηκε η λίστα ItemList1 χωρίς κάποια άλλη παραμετροποίηση.

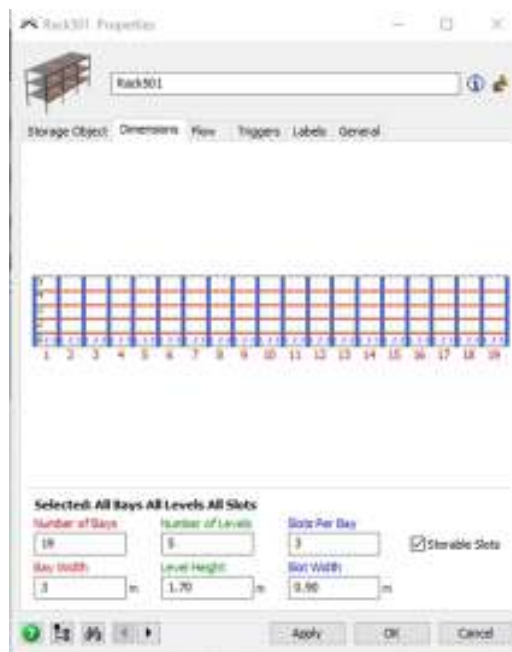
Στη συνέχεια ξεκινάει η εισαγωγή αντικειμένων. Απαιτούνται 6 όμοια Racks. Από το Library, ενότητα Warehousing του FlexSim εισάγεται το αντικείμενο Rack. Στη συνέχεια παραμετροποιείται ως εξής :



Όνομα : Rack501
 Slot Assignment Strategy : Matching Labels
 Εδώ στην ουσία δίνουμε στο λογισμικό την εντολή που καθορίζει σε ποια θέση να τοποθετεί τα προϊόντα στο ράφι. Απαιτείται παραμετροποίηση με κώδικα, όπως φαίνεται στο σχήμα A.4 :

```
Storage.Object current = ownerobject(c);
Object item = param(1);
Storage.Item storageItem =
Storage.Item(item);
/**popup:SlotByCondition*/
/**Matching Labels*/
storageItem.assignedSlot=current.getSlot(ite
m.Bay,item.Level,item.Slot);
```

Σχήμα A.4: Ιδιότητες αντικειμένου Rack



Σχήμα A.5: Διαστάσεις αντικειμένου Rack

Με τις εντολές του κώδικα στο σχήμα A.4, δίνεται η εντολή στο λογισμικό να τοποθετήσει το αντικείμενο στη θέση που υποδεικνύεται από τα labels που αυτό διαθέτει, με βάση το Bay το Level και το Slot.

Στην καρτέλα που απεικονίζεται στο σχήμα A.5, καθορίζονται οι διαστάσεις της ραφαρίας. Δίνουμε τις τιμές που φαίνεται στο σχήμα A.5.



Αρχικά απαιτείται η ενεργοποίηση του πεδίο Use as Fixed Resource που εξ' ορισμού είναι απενεργοποιημένο.

Στο πεδίο Output δίνεται η εντολή να αποθηκεύσει το κάθε προϊόν που μπαίνει στο ράφι στη λίστα με όνομα ItemList1.



Σχήμα A.6: Ρύθμιση πεδίων καρτέλας Flow του αντικειμένου Rack

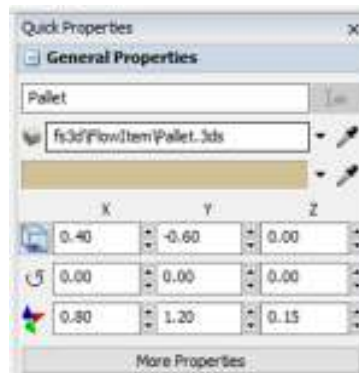
Στη συνέχεια με αντιγραφή – επικόλληση δημιουργούμε και τις άλλες 5 ραφαρίες, αλλάζοντας απλώς το όνομα της καθεμιάς.

Το επόμενο βήμα είναι να τοποθετηθεί μια πηγή Source που θα τροφοδοτεί το σύστημα με κενές παλέτες. Από το Library, εισάγουμε Source και δίνουμε τις επόμενες παραμέτρους. Το αντικείμενο ονομάζεται ως Pallet_Source, FlowItem Class : Pallet και ορίζεται ως πλήθος τροφοδοσίας οι 5000 παλέτες όπως φαίνεται στο σχήμα A.7. Υπήρχε ανάγκη για τουλάχιστον 4848 όσες και οι παραγγελίες. Δε χρειάζεται κάποια άλλη ρύθμιση παρά μόνο να ορισθούν οι επιθυμητές διαστάσεις της παλέτας. Το FlexSim διαθέτει το FlowItemBin που επιτρέπει να παραμετροποιηθεί η εμφάνιση όλων των αντικειμένων ροής.



Σχήμα A.7: Ρύθμιση αντικειμένου Pallet_Source

Από το toolbox επιλέγεται FlowItemBin και στη συνέχεια ανοίγουμε το Pallet. Στο δεξί μέρος της οθόνης εισάγονται οι διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα A.8.



Σχήμα A.8: Ρύθμιση διαστάσεων παλέτας

Επειδή οι παλέτες πρέπει να ωθούνται σε ένα χώρο προσωρινής εναπόθεσης, κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση ουράς (Queue) από το Library η οποία παίρνει το όνομα : Empty_pallets.



Στο αντικείμενο αυτό ορίζεται να δέχεται μέχρι 10 παλέτες, ώστε να μην δημιουργείται μεγάλη στοίβα και στο Item Placement εισάγεται η ρύθμιση Stack Vertically ώστε να τοποθετούνται σε στοίβα. Δεν απαιτείται κάποια άλλη σύνδεση (Σχήμα A.9). Απλώς πρέπει τα δυο αυτά αντικείμενα να συνδεθούν με βασική σύνδεση τύπου A. Αυτό επιτυγχάνεται κρατώντας πατημένο το A και επιλέγοντας τα αντικείμενα με κατεύθυνση από το Source προς το Queue.

Σχήμα A.9: Ρυθμίσεις ιδιοτήτων αντικειμένου Empty_pallets

Επιπλέον, απαιτείται μια ουρά (Queue) στην οποία θα τοποθετούνται οι παραγγελίες όταν θα είναι έτοιμες προς αποστολή. Έτσι εισάγεται ουρά με όνομα : Orders_Queue1 και δίνονται οι παράμετροι που φαίνονται στο σχήμα A.10.

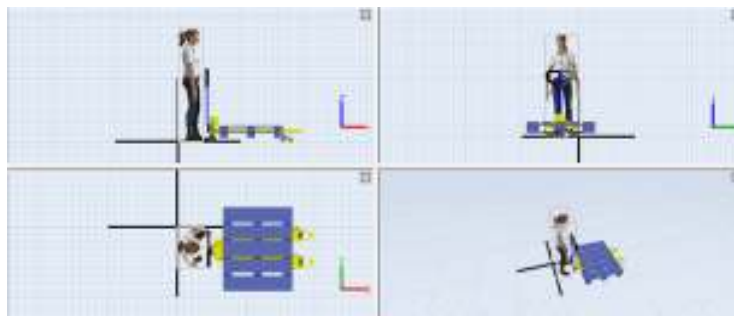


Σχήμα A.10: Ρυθμίσεις ιδιοτήτων αντικειμένου Order_Queue1

Ακολουθεί ο ορισμός του αντικειμένου Operator1 που αντιστοιχεί στον πικαδόρο. Πρέπει να προσαρμοστεί οπτικά, ώστε να μετακινεί ένα χειροκίνητο παλετοφόρο. Έτσι, κάνοντας διπλό κλικ στον Operator1, στην καρτέλα General και επιλέγοντας edit,



εισάγουμε το χειροκίνητο παλετοφόρο. Αρχικά από το Library ως BasicFR και στη συνέχεια εισάγοντας σε αυτό την εικόνα που εντοπίστηκε για το χειροκίνητο παλετοφόρο στον ιστότοπο <https://3dwarehouse.sketchup.com/>. Αφού ρυθμιστεί η θέση στην οποία θα τοποθετηθεί σε σχέση με τον πικαδόρο, τελικά έχουμε την παρακάτω εικόνα όπως φαίνεται στο σχήμα A.11.



Σχήμα A.11: Τοποθέτηση χειροκίνητου παλετοφόρου στον Operator

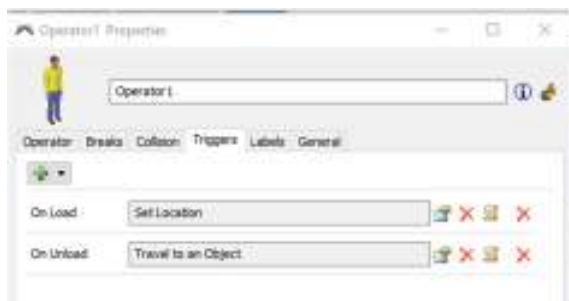
Στη συνέχεια εισάγονται οι παρακάτω ρυθμίσεις στον Operator1.



Max Speed : 2.06 Km/h. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 2 αλλά μετά από δοκιμές καταλήξαμε σε αυτή την τιμή ώστε να υπάρχει ταύτιση με τη φυσική αποθήκη.

Απαραίτητο ήταν να καθοριστούν Triggers που καθορίζουν παραμέτρους κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση προϊόντων.

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα A.12) απεικονίζεται η ρύθμιση των Triggers.



Το Trigger On Load χρησιμεύει για την τοποθέτηση της παλέτας με σωστή ευθυγράμμιση πάνω στο χειροκίνητο παλετοφόρο. Οι τιμές που δίνουμε είναι αυτές που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Κατόπιν το Trigger On Unload ρυθμίζεται ώστε να κατευθύνει τον πικαδόρο να επιστρέψει στο σημείο που βρίσκονται οι άδειες παλέτες, μόλις ξεφορτώσει την έτοιμη παραγγελία στο χώρο Orders_Queue1.

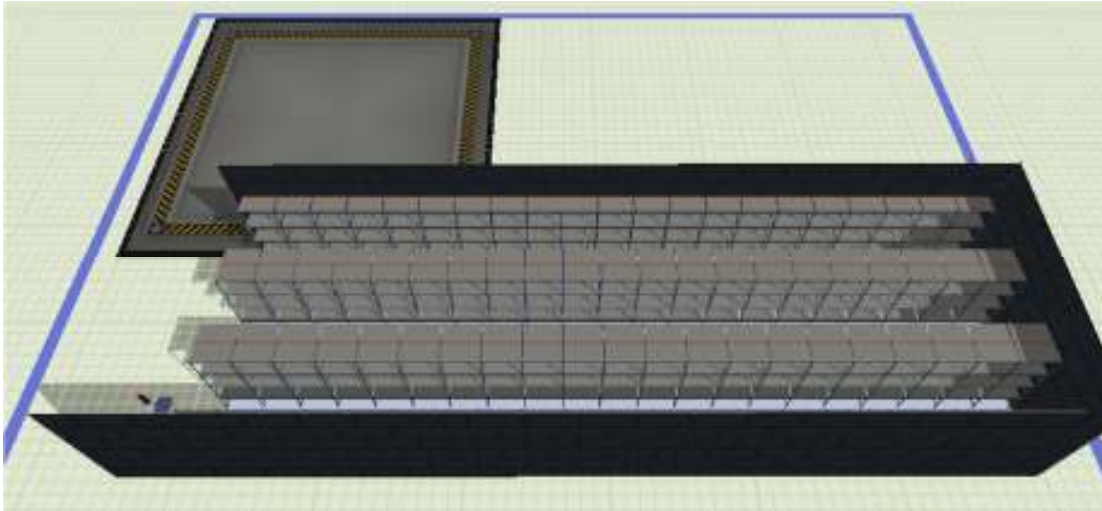


Σχήμα A.12: Ρυθμίσεις Triggers που απαιτούνται στον Operator1

Τελειώνοντας με την περιγραφή της κατασκευής της οπτικής απεικόνισης του μοντέλου, κρίνεται σκόπιμη η τοποθέτηση τοίχων στο πίσω μέρος των ραφαριών ώστε να αποτραπεί στον πικαδόρο η κίνηση εκτός του πυροδιαμερίσματος. Η εισαγωγή τοίχων γίνεται από το Library , Visual, Walls. Εισάγοντας τον τοίχο μπορούμε να ρυθμίσουμε το χρώμα, το πάχος και το ύψος του. Στη συνέχεια μπορούμε να τον σύρουμε μέχρις ότου να εφάπτεται στις ραφαρίες, στα σημεία που επιθυμούμε.

Μια βασική επιλογή που διαθέτει το FlexSim είναι το A*Navigator. Με την επιλογή αυτή γίνεται δυνατό να οριστεί η κίνηση του πικαδόρου ώστε να διανύονται τα ελάχιστα δυνατά μέτρα, χωρίς παράλληλα να κινείται μέσα από ραφαρίες, πράγμα που δεν έχει λογική. Για το επιτύχουμε αυτό ακολουθείται η εξής τακτική. Αρχικά από το Library, A*Navigation εισάγουμε το αντικείμενο A*Navigator. Το επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν όλα τα αντικείμενα με αυτό. Επομένως, αφού επιλεγούν όλα τα αντικείμενα (εκτός του A*Navigator) έχοντας πατημένο το πλήκτρο Ctrl και κάνοντας αριστερό κλικ στο ποντίκι ορίζοντας την περιοχή που θέλουμε, στη συνέχεια με σύνδεση τύπου A συνδέεται το A*Navigator με ένα

από τα επιλεγμένα αντικείμενα. Ακολουθεί γραφική απεικόνιση του μοντέλου στο σχήμα A.13.



Σχήμα A.13: Γραφική αναπαράσταση του μοντέλου AS-IS

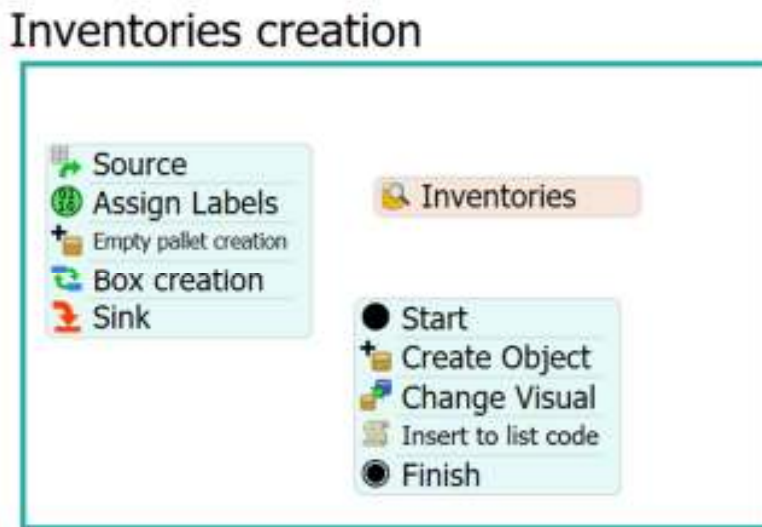
Για να επιτευχθεί η ακριβής θέση των αντικειμένων στο μοντέλο με σωστές αποστάσεις, όπως και στη φυσική εγκατάσταση απαιτείται συγγραφή και εκτέλεση του κώδικα που παρατίθεται στη συνέχεια. Αυτό υλοποιείται από το μενού του FlexSim στην επιλογή Debug, Script Console. Στο παράθυρο που ανοίγει γράφουμε και εκτελούμε τον κώδικα.

```
Object rack1 = Model.find("Rack501");
Object rack2 = Model.find("Rack502");
Object rack3 = Model.find("Rack503");
Object rack4 = Model.find("Rack504");
Object rack5 = Model.find("Rack505");
Object rack6 = Model.find("Rack506");
Object empty_pallets = Model.find("Empty_pallets");
Object orders_queue = Model.find("Orders_Queue1");
rack2.location.x = rack1.location.x;
rack3.location.x = rack1.location.x;
rack4.location.x = rack1.location.x;
rack5.location.x = rack1.location.x;
rack6.location.x = rack1.location.x;
rack2.location.y = rack1.location.y+5;
rack3.location.y = rack2.location.y+1.5;
rack4.location.y = rack3.location.y+5;
rack5.location.y = rack4.location.y+1.5;
rack6.location.y = rack5.location.y+5;
empty_pallets.location.x=rack1.location.x-3;
orders_queue.location.x = rack6.location.x-10;
orders_queue.location.y = rack6.location.y+28;
```

Μια ορθή πρακτική που μπορεί να ακολουθηθεί είναι η εξής. Το παραπάνω Script καλό είναι να αποθηκευθεί, καθώς αν κάποιο αντικείμενο μετακινηθεί, μπορεί να εκτελεστεί ξανά και όλα τα αντικείμενα να τοποθετηθούν στις σωστές θέσεις.

Στο σημείο αυτό μπορεί να ξεκινήσει η δημιουργία του Process Flow που θα εισάγει τη λογική της προσομοίωσης στο μοντέλο. Το Process Flow είναι χωρισμένο σε δυο μέρη. Στο μέρος Inventories creation κατά το οποίο γίνονται οι απαραίτητες ενέργειες για να γεμίζουν τα ράφια με προϊόντα και στο Picking Process που διεκπεραιώνει τη διαδικασία της συλλογής των παραγγελιών.

Ξεκινάμε με τη δημιουργία κι τοποθέτηση παλετοποιημένων προϊόντων στα ράφια. Στο σχήμα A.14 που ακολουθεί, φαίνεται η δομή του Process Flow και ακολουθεί επεξήγηση της κάθε ενέργειας.



Σχήμα A.14: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία των εμπορευμάτων

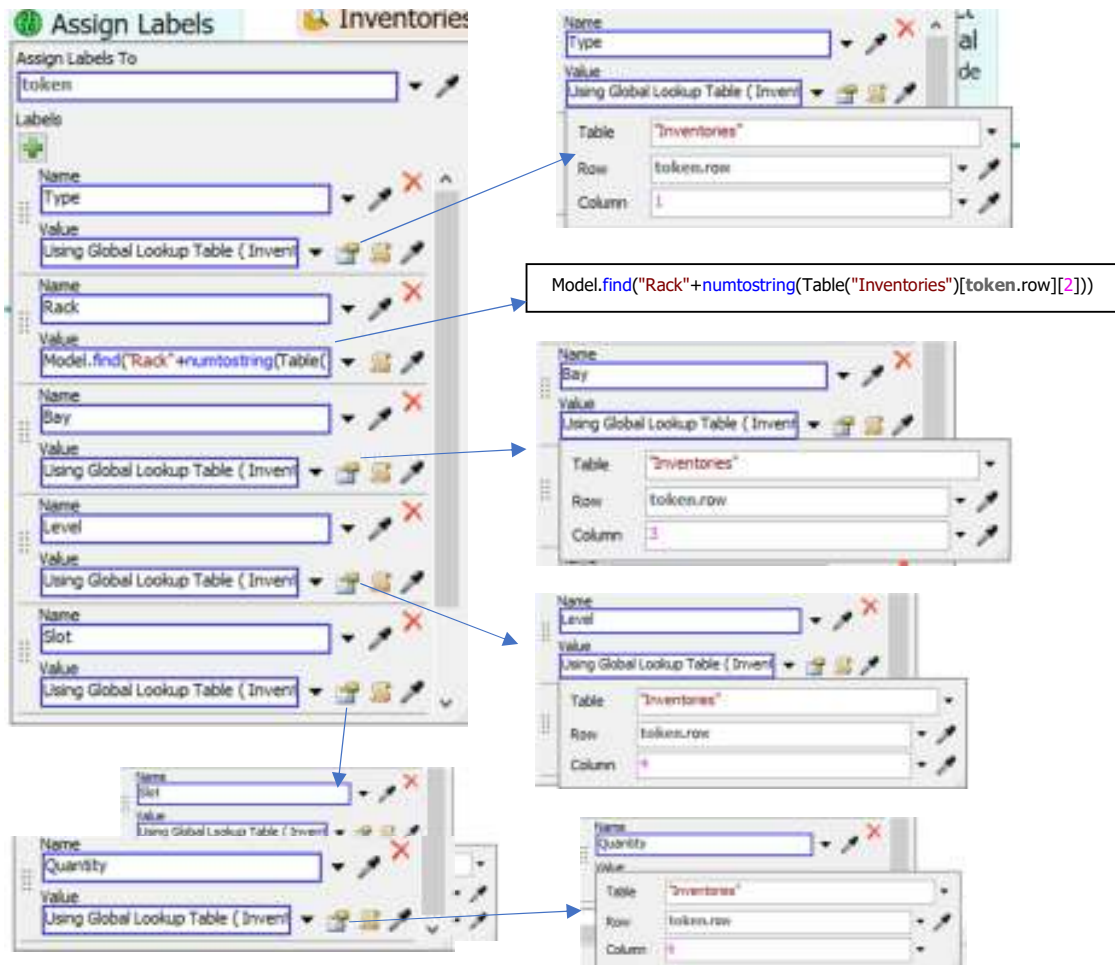


Αρχικά απαιτείται η ύπαρξη πηγής (Source) η οποία δημιουργεί γεγονότα εμφάνισης παλετών με αντικείμενα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό πρέπει να προσπελαστεί ο πίνακας Inventories κατά γραμμές. Αυτό επιτυγχάνεται γράφοντας λίγες γραμμές κώδικα όπως φαίνεται παρακάτω, οποίος τοποθετείται στο πεδίο Quantity.

```
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
int rowNum = param(3);
int repeatCount = param(4);
treenode Process Flow = ownerobject(activity);
return /**/Table("Inventories").numRows/**direct*/;
```

Επιπλέον πρέπει να δημιουργηθεί το label row με το οποίο θα γίνεται αναφορά σε μια γραμμή του πίνακα κάθε φορά που αυτό απαιτείται.

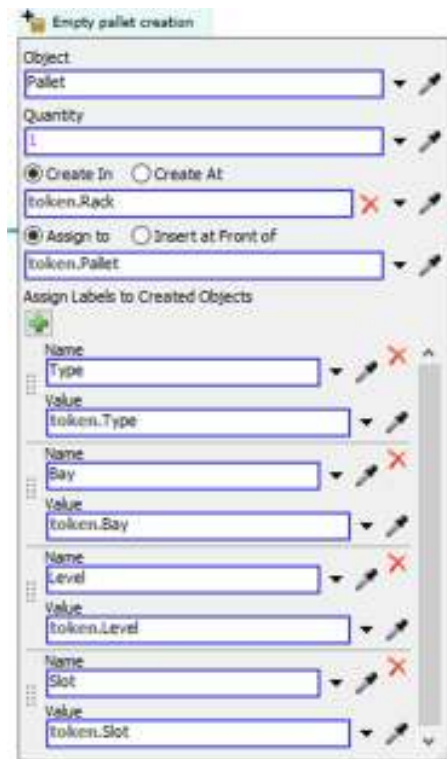
Στη συνέχεια ορίζονται labels σχετικές με στοιχεία ταυτοποίησης της θέσης, του είδους και της ποσότητας του κάθε αντικειμένου ροής που θα δημιουργηθεί.



Σχήμα A.15: Ορισμός labels στα tokens

Όπως φαίνεται στο σχήμα A.15, η άντληση των τιμών των labels που αφορούν Type, Bay, Level, Slot, Quantity γίνεται άμεσα από την αντίστοιχη στήλη του GlobalTable ενώ για τη σωστή δημιουργία του label που αφορά το Rack απαιτείται η εντολή `Model.find("Rack"+numtostring(Table("Inventories")[token.row][2]))` η οποία ουσιαστικά συνενώνει το λεκτικό Rack με τον αριθμό του Rack αφού τον μετατρέψει σε συμβολοσειρά κι έτσι βγάξει ως αποτέλεσμα Rack501 κ.λπ.

Στο επόμενο βήμα δημιουργούμε άδεια παλέτα πάνω στο ράφι, η οποία θα δεχθεί τα κιβώτια. Όπως φαίνεται στο σχήμα A.16, ορίζουμε ως αντικείμενο : Pallet, ποσότητα : 1, σημείο δημιουργίας token.Rack. Επιπλέον η παλέτα θα ταυτοποιείται και θα εντοπίζεται ως token.Pallet κληρονομώντας τα labels που ορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.



Σχήμα A.16: Ορισμός labels νέας παλέτας πάνω στο ράφι

Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργηθούν τα κιβώτια πάνω στις άδειες παλέτες που τοποθετήθηκαν πάνω στα ράφια. Αυτό απαιτεί επαναληπτικότητα κάποιων διαδικασιών και για το λόγο αυτό πρέπει να καλείται μια ξεχωριστή διαδικασία. Για να γίνει η κλήση της διαδικασίας δίνουμε την εντολή που φαίνεται στο σχήμα A.17 με τις αντίστοιχες ρυθμίσεις. Στην ουσία ορίζουμε ότι τα labels δεν θα κληρονομούνται από τα παιδιά (κιβώτια) αλλά θα είναι διαθέσιμες στους γονείς (παλέτες). Το μόνο label που θα έχουν τα κιβώτια είναι το Box.



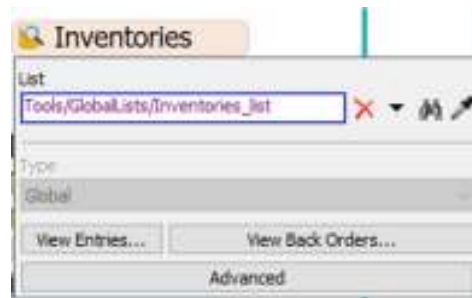
Σχήμα A.17: Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας δημιουργίας κιβωτίων.

Στο σχήμα A.18 που ακολουθεί, φαίνεται η εντολή που είναι απαραίτητη για τον τερματισμό του Process Flow.



Σχήμα A.18: Τερματισμός του Process Flow

Επειδή τοποθετούμε τα προϊόντα σε λίστα πρέπει να υπάρχει στο Process Flow η κατάλληλη εντολή που κάνει διαθέσιμη τη λίστα με όνομα Inventories_list. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω ρύθμιση όπως φαίνεται στο σχήμα A.18 που ακολουθεί.



Σχήμα A.19: Σύνδεση λίστα Inventories_list με Process Flow

Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του τμήματος του Process Flow που ασχολείται με τη δημιουργία και τη μορφοποίηση των κιβωτίων. Δηλαδή το τμήμα ενδιάμεσα στα σημεία Start και Finish που απεικονίζεται στο σχήμα A.14.

Αρχικά τοποθετείται η εντολή που είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του κιβωτίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα A.20, το αντικείμενο είναι Box, η ποσότητα είναι 1 τεμάχιο, δημιουργείται πάνω στον γονέα παλέτα (token.Pallet) λαμβάνει αναγνωριστικό token.Box και ταυτοποιείται με labels Type, Bay, Level, Rack και Slot όπως αυτές ορίστηκαν σε προηγούμενο βήμα του Process Flow.



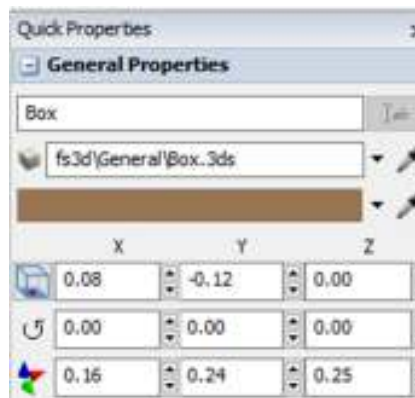
Σχήμα A.20: Δημιουργία του κιβωτίου πάνω στην παλέτα

Στη συνέχεια είναι απαραίτητο να χρωματιστεί το κάθε προϊόν διαφορετικά ώστε να είναι διακριτές οι διαφορετικές περιπτώσεις των αντικειμένων και να φαίνεται ότι πάνω σε μια παραγγελία υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι προϊόντων. Αν και πρόκειται για μια οπτική λεπτομέρεια, θεωρείται ουσιώδης γιατί δίνει την πραγματική εικόνα της συλλογής των παραγγελιών. Στο σχήμα A.21 φαίνεται η ρύθμιση με την οποία επιτυγχάνεται ο χρωματισμός με βάση τον τύπο του προϊόντος (Type) όπως αυτός έχει οριστεί στα προηγούμενα.



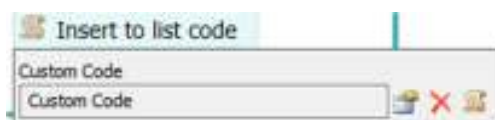
Σχήμα A.21: Χρωματισμός του κιβωτίου πάνω στην παλέτα

Επιπλέον εκτός του Process Flow πρέπει να γίνει και η κατάλληλη ρύθμιση των διαστάσεων του κιβωτίου ώστε να χωράει η επιθυμητή ποσότητα που ορίστηκε στη στήλη Quantity του πίνακα Inventories. Έτσι από το toolbox επιλέγουμε FlowItemBin και στη συνέχεια ανοίγουμε το Box. Στο δεξί μέρος της οθόνης δίνουμε τις διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα A.22.



Σχήμα A.22: Καθορισμός διαστάσεων κιβωτίου

Η τελευταία εντολή που πρέπει να ρυθμιστεί είναι η τοποθέτηση των δημιουργημένων κιβωτίων στη λίστα που ορίστηκε κι έχει όνομα Inventories_list. Στο σχήμα A.23 που ακολουθεί δίνεται ο κώδικας που επιτυγχάνει το παραπάνω ζητούμενο.



```

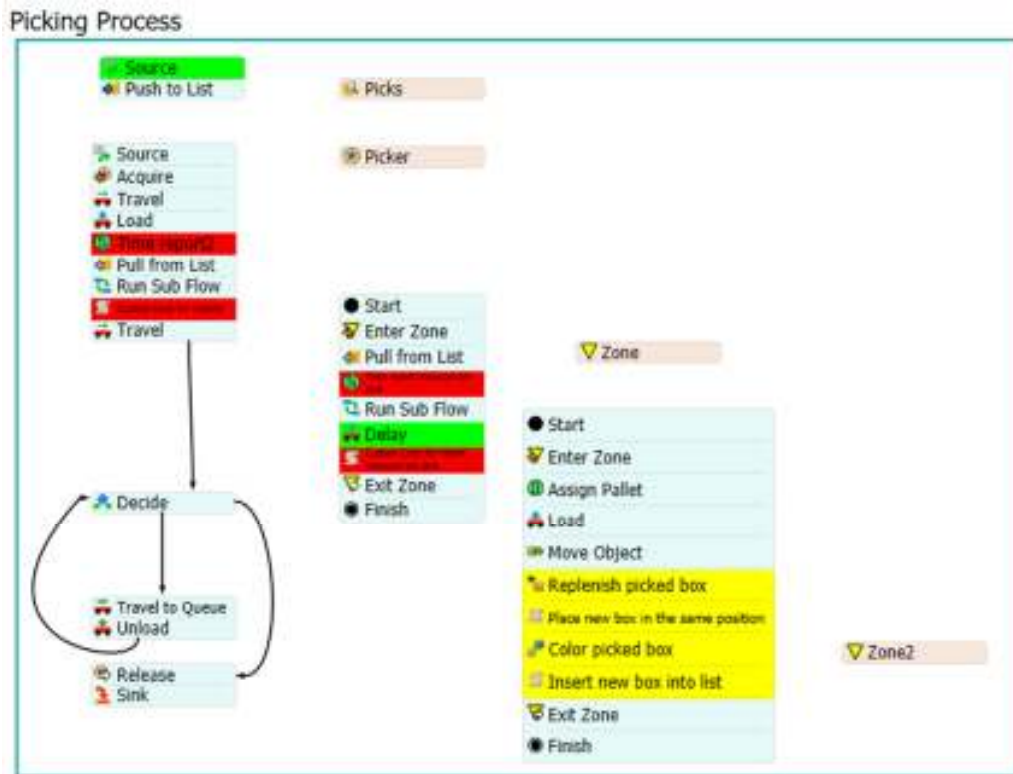
/**Custom Code*/
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode Process Flow = ownerobject(activity);

//list declaration
List Inventories_list=List("Inventories_list");
Inventories_list.push(token.Box);

```

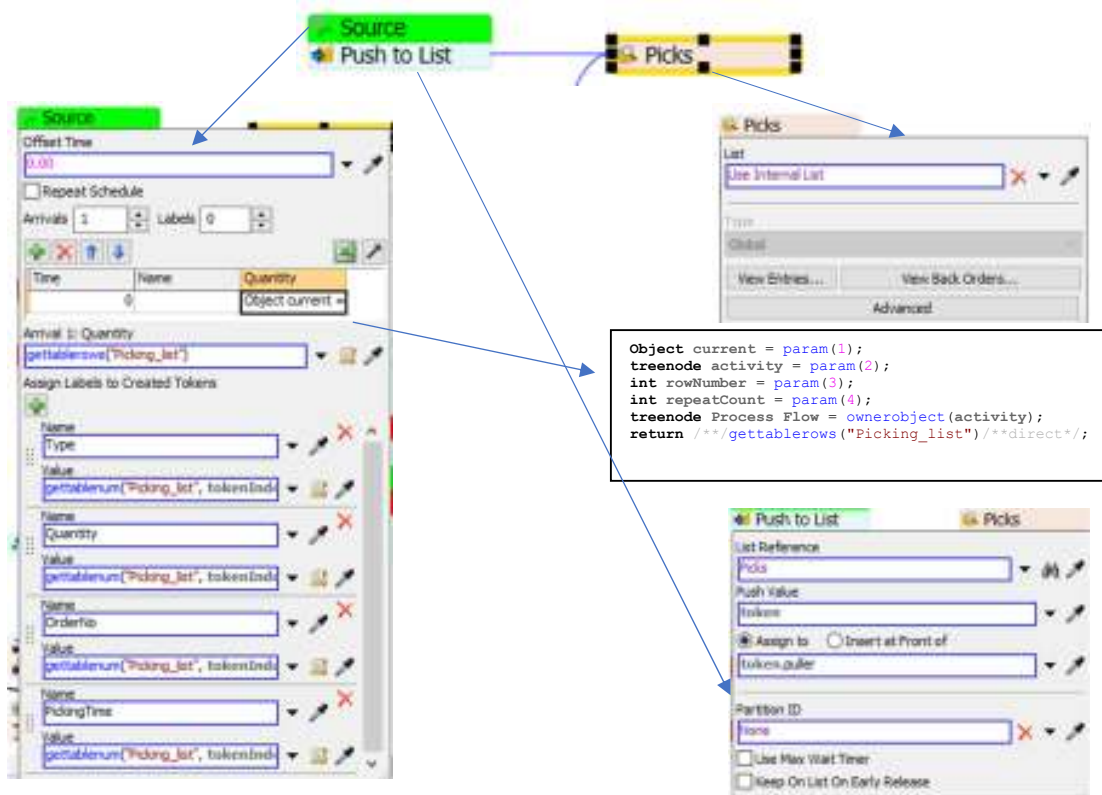
Σχήμα A.23: Εισαγωγή δεδομένων στη λίστα

Στη συνέχεια ακολουθεί πλήρης επεξήγηση του τμήματος του μοντέλου που είναι υπεύθυνο για τη συλλογή των παραγγελιών. Στο σχήμα A.24 που ακολουθεί, φαίνεται η δομή του Process Flow και ακολουθεί επεξήγηση της κάθε ενέργειας.



Σχήμα A.24: Εντολές Process Flow για την εκτέλεση της συλλογής

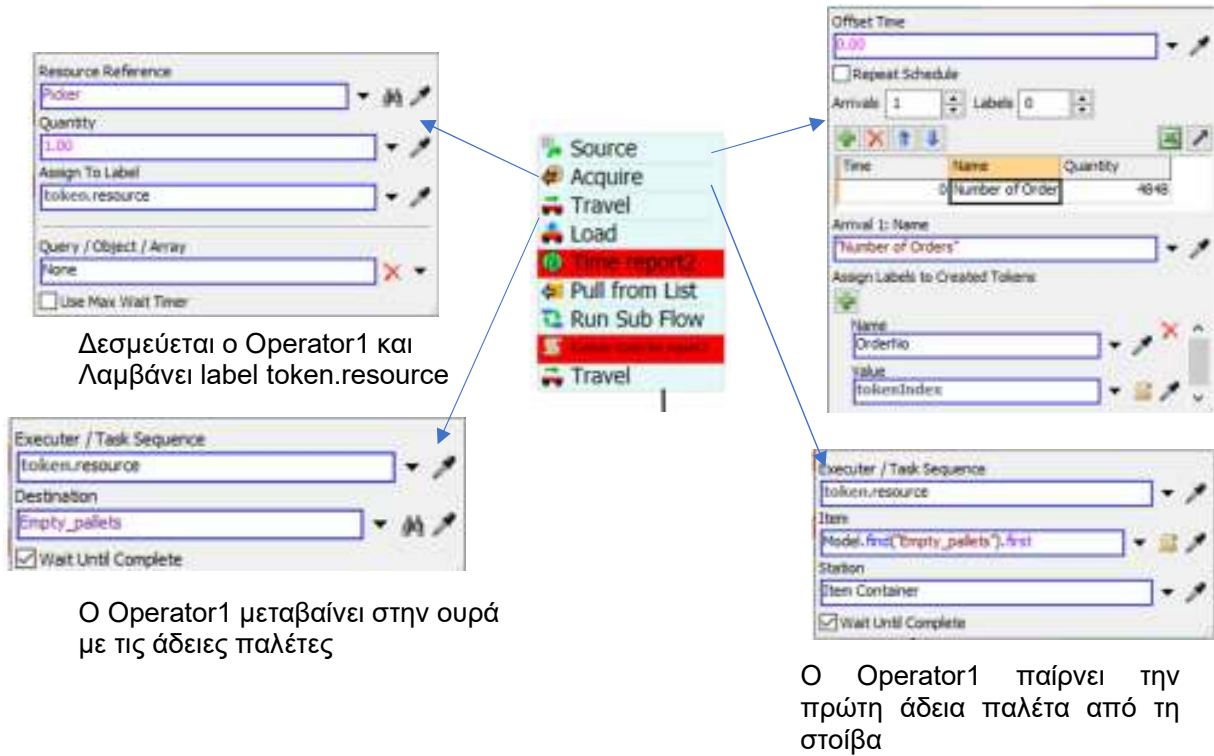
Στην αρχή πρέπει να οριστούν οι ενέργειες συλλογής τα οποία χαρακτηρίζονται ως Picks. Δηλαδή με βάση τον πίνακα Picking_list που περιέχει τις παραγγελιογραμμές δημιουργούνται οι κινήσεις συλλογής. Στο σχήμα A.25 που ακολουθεί απεικονίζεται η διάταξη και οι ρυθμίσεις των εντολών που επιτυγχάνουν τη δημιουργία κινήσεων συλλογής και την ώθηση των στοιχείων σε μια εσωτερική λίστα (Internal list). Τα στοιχεία που ωθούνται τη λίστα αυτή είναι : Type, Quantity, OrderNo, PickingTime που αντιστοιχούν στον κωδικό είδους, την ποσότητα που θα συλλεχθεί, τον αριθμό παραγγελίας καθώς και το χρόνο που απαιτείται για να γίνει η συλλογή. Αυτά τα δεδομένα προκειμένου να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε παρακάτω στάδια του Process Flow είναι απαραίτητο να αντληθούν από τον πίνακα και να τοποθετηθούν σε μια λίστα. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιείται ως Value στο εκάστοτε label, η εντολή `gettablenum("Picking_list", tokenIndex, i)` όπου i ο δείκτης της επιθυμητής στήλης του πίνακα. Ενώ, στο πεδίο Quantity απαιτείται τμήμα κώδικα όπως επισημαίνεται παρακάτω.



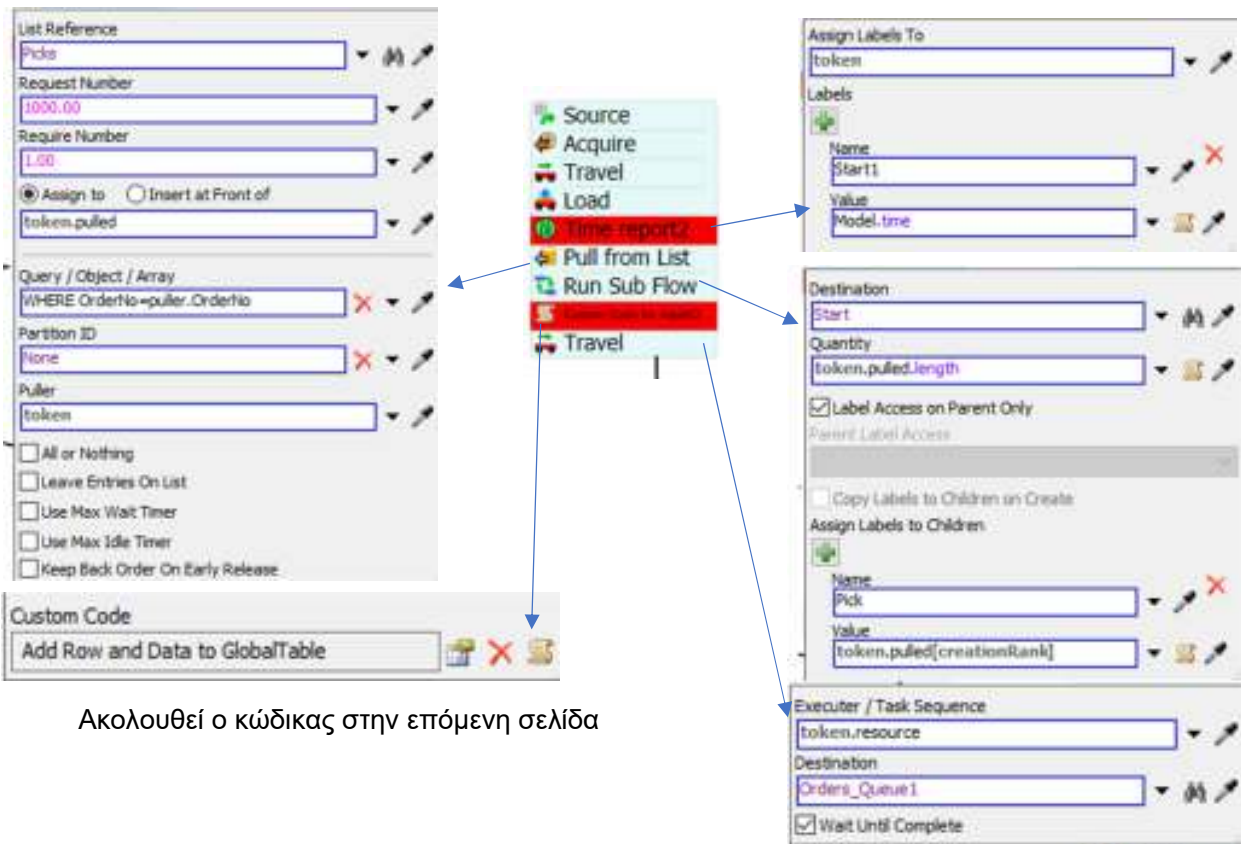
Σχήμα A.25: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία κινήσεων συλλογής

Στη συνέχεια ακολουθεί άλλο τμήμα του Process Flow που είναι υπεύθυνο για την δημιουργία των παραγγελιών. Ξεκινάει με τη δημιουργία 4.848 παραγγελιών, δεσμεύει τον Operator1 τον καθοδηγεί να μεταβεί στο αντικείμενο Empty_pallets, να φορτώσει μια άδεια παλέτα, και στη συνέχεια ζητάει από τη λίστα την εύρεση του αριθμού της παραγγελίας. Στην ουσία δίνει το έναυσμα της συλλογής για κάθε παραγγελία. Για το λόγο αυτό πριν από την εντολή αυτή καθορίζεται label για την καταγραφή του χρόνου έναρξης της παραγγελίας. Στη συνέχεια παρεμβάλλεται ένα Sub Flow διεκπεραιώνει τη συλλογή του προϊόντος. Μόλις αυτή τελειώσει απαιτείται και πάλι μέτρηση του χρόνου περάτωσης, ώστε η διαφορά των δυο χρόνων να ληφθεί ως διάρκεια της παραγγελίας. Τέλος έχουμε μετάβαση προς την ουρά Orders_Queue1 που τοποθετείται η παραγγελία. Στα σχήματα A.26 και A.27 φαίνονται οι ρυθμίσεις που επιτυγχάνουν την παραπάνω λογική. Φυσικά πρέπει προηγουμένως να οριστεί και ο Operator1 ως πόρος (Resource).





Σχήμα A.26: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία παραγγελίας



Σχήμα A.27: Εντολές Process Flow για τη δημιουργία παραγγελίας

Με το παρακάτω τμήμα κώδικα επιτυγχάνεται η καταγραφή των επιθυμητών χρόνων στον πίνακα Report2.

```

Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode Process Flow = ownerobject(activity);
{ //***** PickOption Start *****\\
/**popup:AddRowToGlobalTableNew*/
/**Add Row and Data to GlobalTable*/
/** \nAs each flowitem enters, add a new row to a GlobalTable and write data to that row.*/
Variant tableID = /** \nTable: *//**tag:table*//**/"Report2"/**/;
int columns = /** \nNumber of Columns: *//**tag:col_ct*//**/0/**/;

Table table;
switch (tableID.type) {
case VAR_TYPE_NODE: table = tableID; break;
case VAR_TYPE_STRING: table = Table(tableID.as(string)); break;
default:
table = reftable(tableID.as(int));
break;
}

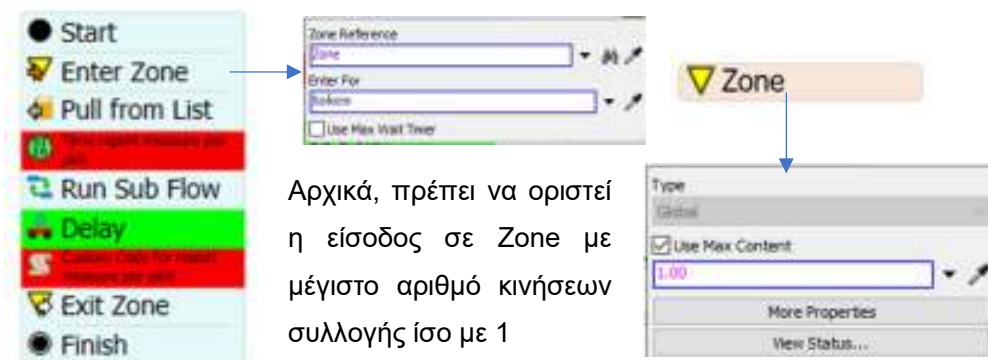
double rows = table.numRows + 1;

table.setSize(rows, maxof(columns, table.numCols));

/** \nCommands to set the data in the new row:*/
int i = 1;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/token.Start1/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time-token.Start1/**/; i++;
/** */
} //***** PickOption End *****\\

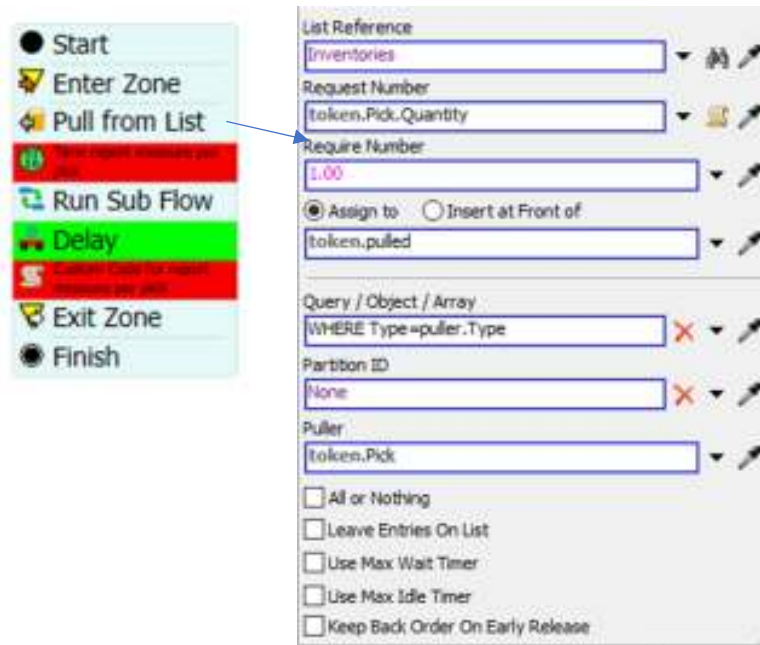
```

Συνεχίζουμε την επεξήγηση του τμήματος του Process Flow το οποίο ασχολείται τη προετοιμασία της συλλογής του κάθε κιβωτίου. Υπενθυμίζουμε ότι το τμήμα αυτό έχει κληθεί από προηγούμενο σημείο του γενικού Process Flow. Στο σχήμα A.28 που ακολουθεί βλέπουμε τις εντολές που ορίζουν την εντολή εισόδου σε Zone.



Σχήμα A.28: Εντολές Process Flow για είσοδο σε Zone

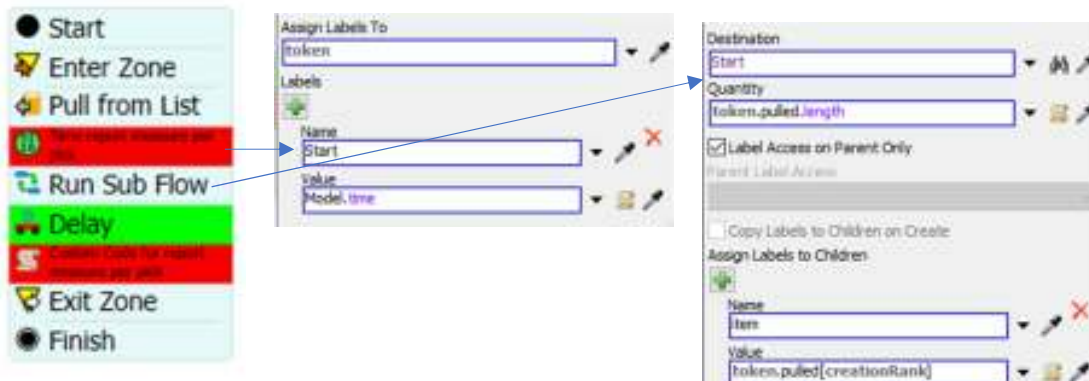
Το επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθεί είναι η λήψη των δεδομένων συλλογής κιβωτίου από τη λίστα Inventories. Η διαδικασία αυτή καθορίζεται στο σχήμα A.29 στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα A.29: Εντολές Process Flow για λήψη δεδομένων συλλογής

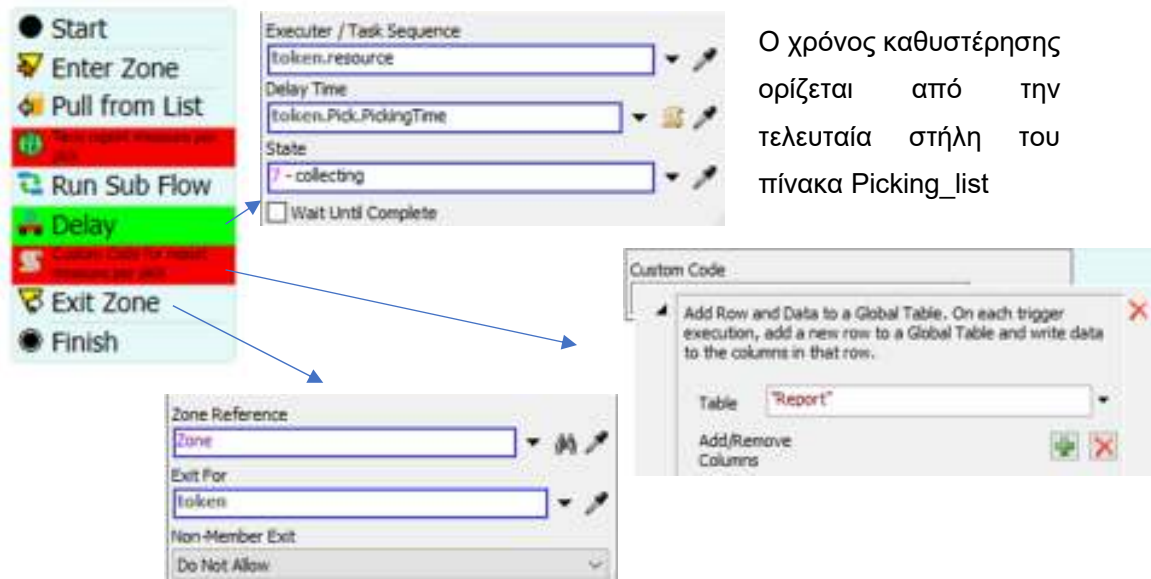
Ως λίστα αναφοράς καθορίζεται η λίστα Inventories, ως Request Number η ποσότητα που ορίζεται από την κάθε παραγγελιογραμμή, τα κιβώτια που θα συλλεχθούν λαμβάνουν το αναγνωριστικό token.pulled και φυσικά η επιλογή του σωστού τύπου κιβωτίου γίνεται με βάση το πεδίο Type. Για να το πετύχουμε αυτό απαιτείται το ερώτημα WHERE Type==puller.Type.

Κατόπιν συνεχίζουμε με μια εντολή που καθορίζει την έναρξη μέτρησης του χρόνου που απαιτείται για την κάθε κίνηση συλλογής, ορίζοντας ένα label όπως κάναμε και στην προηγούμενη περίπτωση καταγραφής χρόνου. Το Process Flow συνεχίζει με κλήση μιας άλλης αλληλουχίας εντολών που είναι υπεύθυνες πλέον για τη φυσική συλλογή του κιβωτίου. Στο σχήμα A.30 φαίνεται η ρύθμιση των δυο παραπάνω διαδικασιών.



Σχήμα A.30: Εντολές Process Flow για μέτρηση χρόνου έναρξης κίνησης συλλογής

Στις επόμενες σελίδες θα γίνει επεξήγηση της διαδικασίας που υλοποιεί τη φυσική συλλογή του κιβωτίου από το ράφι. Μόλις ολοκληρωθεί η συλλογή και ο πικαδόρος έχει συλλέξει την ποσότητα που ορίζει η παραγγελιογραμμή, υπάρχει εντολής καθυστέρησης (Delay) προκειμένου να προσομοιώσουμε το χρόνο συλλογής που απαιτήθηκε για την κίνηση αυτή στη φυσική εγκατάσταση της αποθήκης και με βάση τα δεδομένα που μας δόθηκαν. Στη συνέχεια ακολουθεί κώδικας που συλλέγει το χρόνο ολοκλήρωσης της συλλογής και υπολογίζει τη διαφορά των δυο χρόνων, γράφοντας τη στον πίνακα Report. Αυτή η διαφορά αποτελεί το χρόνο που αφιέρωσε το μοντέλο για την κάθε παραγγελιογραμμή. Τέλος το Process Flow βγαίνει από το Zone και επιστρέφει τον έλεγχο στο προηγούμενο τμήμα προκειμένου να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία και να ξεκινήσει η συλλογή των κιβωτίων που ορίζονται στην επόμενη παραγγελιογραμμή. Στο σχήμα A.31 απεικονίζονται οι παραπάνω ενέργειες.



Σχήμα A.31: Εντολές Process Flow για καταγραφή χρόνου συλλογής παραγγελιογραμμής

Ακολουθεί ο κώδικας που απαιτείται για καταγραφή των δεδομένων χρόνου στον πίνακα Report.

```
Variant tableID = /** \nTable: *//**tag:table*//**/"Report"*//**/;
int columns = /** \nNumber of Columns: *//**tag:col_ct*//**/0/**/;

Table table;
switch (tableID.type) {
case VAR_TYPE_NODE: table = tableID; break;
case VAR_TYPE_STRING: table = Table(tableID.as(string)); break;
default:
table = reftable(tableID.as(int));
break;
}
```

```

double rows = table.numRows + 1;

table.setSize(rows, maxof(columns, table.numCols));

/** \nCommands to set the data in the new row:*/
int i = 1;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/token.Start/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time-token.Start/**/; i++;

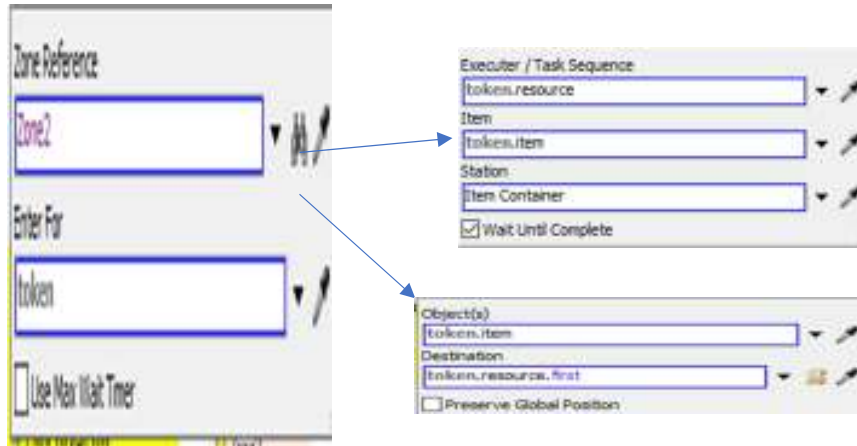
```

Περνάμε τώρα στο τμήμα του Process Flow που πραγματοποιεί τη φυσική συλλογή του κιβωτίου από το ράφι. Στη συνέχεια γίνεται η αναπλήρωση του προϊόντος που μόλις έχει συλλεχθεί. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, έχει γίνει η παραδοχή ότι υπάρχει επάρκεια κιβωτίων και δε χρειάζεται αναπλήρωση από ανώτερο επίπεδο του ραφιού. Προχωράμε λοιπόν στην ανάλυση των εντολών. Όπως φαίνεται στο σχήμα A.32 μόλις κληθεί το τμήμα αυτό απαιτείται η ενεργοποίηση του Zone2 και κατόπιν αντιστοίχιση labels για την παλέτα στην οποία τοποθετείται το κιβώτιο και για τη θέση του κιβωτίου.



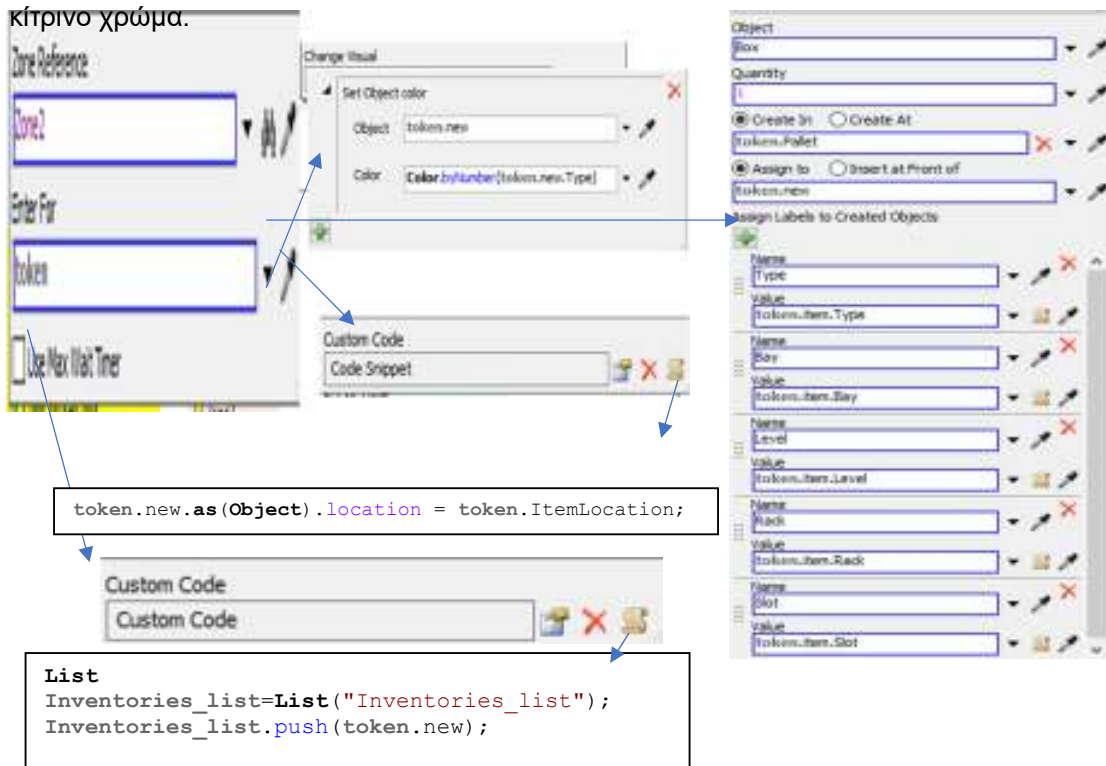
Σχήμα A.32: Εντολές Process Flow για ρύθμιση και κλήση Zone2

Στο σχήμα A.33 που ακολουθεί φαίνονται οι ρυθμίσεις των εντολών για τη φόρτωση και τη μεταφορά του κιβωτίου στην παλέτα.



Σχήμα A33: Εντολές Process Flow για φόρτωση κιβωτίου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εντολές που είναι υπεύθυνες για την αναπλήρωση του κιβωτίου πάνω στο ράφι (Σχήμα A.34). Μιλάμε για τις εντολές που είναι σημειωμένες με κίτρινο χρώμα.

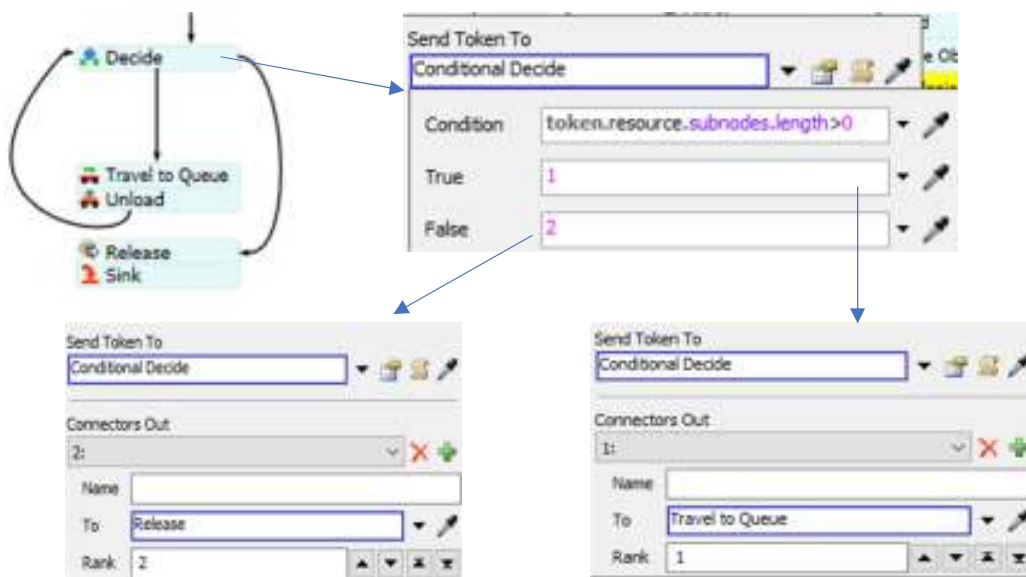


Σχήμα A.34: Εντολές Process Flow για αναπλήρωση κιβωτίου

Ξεκινώντας από την εντολή Replenish picked box, βλέπουμε ότι δημιουργούμε ένα νέο κιβώτιο πάνω στην παλέτα, του αντιστοιχίζουμε το αναγνωριστικό token.new και του εκχωρούμε τα labels που είχε το κιβώτιο που μόλις συλλέχθηκε. Κατόπιν με μια γραμμή

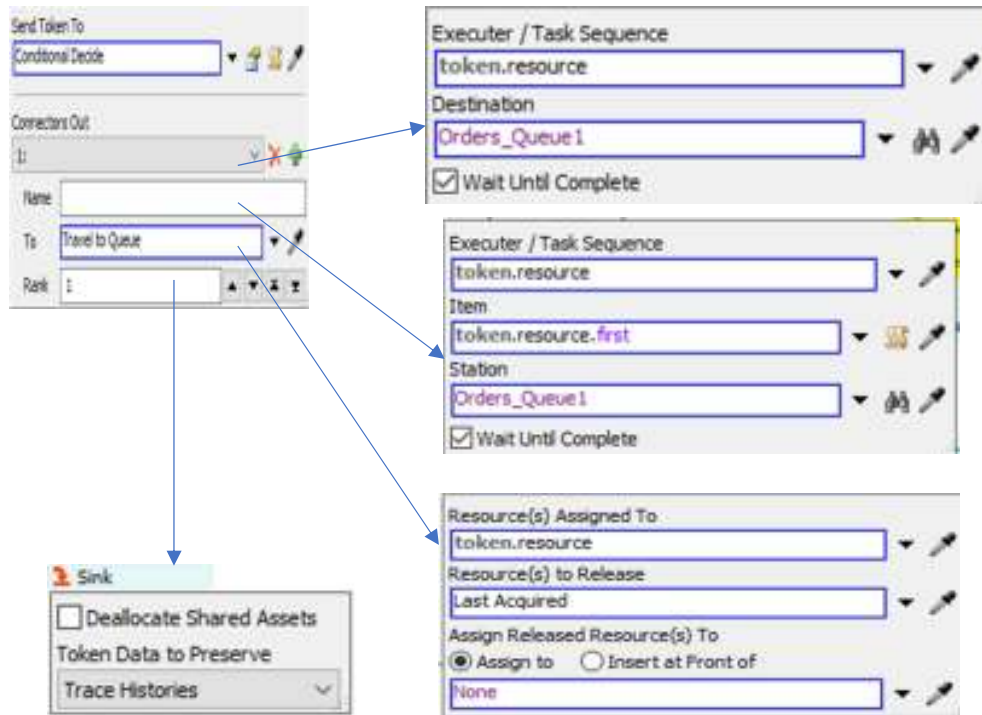
κώδικα ορίζουμε να τοποθετηθεί στην ίδια θέση με το συλλεχθεί. Η επόμενη εντολή το χρωματίζει με το ίδιο χρώμα. Τέλος πρέπει να εισαχθεί στη λίστα Inventories ώστε να είναι και πάλι διαθέσιμο.

Τέλος πρέπει να γίνει έξοδος από το Zone2 με την εντολή Exit Zone, χωρίς καμία ειδική ρύθμιση και ο έλεγχος επιστρέφει στο σημείο που υπάρχει η εντολή Decide και καθορίζει τη συνέχεια της ροής. Συγκεκριμένα ανάλογα με τη συνθήκη που φαίνεται παρακάτω ακολουθείται η επιλογή 1 που οδηγεί στην ουρά που τοποθετούνται οι παραγγελίες, ενώ η επιλογή 2 αποδεσμεύει τον Operator1. Οι εντολές του τμήματος αυτού φαίνονται στο σχήμα A.35 που ακολουθεί.



Σχήμα A.35: Εντολή Decision που καθορίζει τη συνέχεια της ροής

Το τελευταίο κομμάτι που ολοκληρώνει το Process Flow αποτελείται από τις εντολές που οδηγούν τον Operator1 στην ουρά που αφήνει τις παλέτες προς αποστολή, την εκφόρτωση την αποδέσμευση του Operator1 και φυσικά τον τερματισμό του Process Flow. Οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο σχήμα A.36 της επόμενης σελίδας.



Σχήμα A.36: Εντολές Process Flow για εκφόρτωση παλέτας

Παράρτημα Β : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με χρήση ραφιών live storage και ραουλόδρομου, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 1A & TO-BE 1B)

Στο παράρτημα Β γίνεται αναλυτική παρουσίαση της κατασκευής και της παραμετροποίησης του μοντέλου προσομοίωσης της πρώτης προτεινόμενης μεθόδου συλλογής παραγγελιών , δηλαδή του μοντέλου TO-BE 1.

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει το εξής χαρακτηριστικό. Συνδυάζει δυο διαφορετικές λειτουργικότητες αλλάζοντας μια μόνο παράμετρο. Συγκεκριμένα ο κάθε πικαδόρος μπορεί να συλλέγει ένα κιβώτιο σε κάθε προσέγγιση του στο ράφι ή όλο το πλήθος των κιβώτιων της παραγγελίας κάθε φορά.

Ξεκινώντας, είναι απαραίτητη η περιγραφή των αντικειμένων που θα χρησιμοποιηθούν. Με σκοπό τη σωστή παραμετροποίηση, απαιτείται η δημιουργία πινάκων Global Tables και των λιστών Item Lists που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα χρειάζονται 24 πίνακες και μια λίστα. Ακολουθεί πίνακας (Πίνακας Β.1) που περιέχει περιγραφή και ονομασία καθενός από τους 24 πίνακες που αναφέρθηκαν.

Πίνακας Β.1: Περιγραφή και ονομασία πινάκων

Ονομασία [πλήθος γραμμών],[πλήθος στηλών]	Περιγραφή
orders [4848],[2]	1 ^η στήλη, αριθμός παλετών/παραγγελία, 2 ^η στήλη α/α παραγγελίας
PickingMethod [1],[1]	Ανάλογα με την τιμή {0,1} επιλέγεται ποιο process flow θα λειτουργήσει. Αν έχει την τιμή 0 ο Operator συλλέγει ένα – ένα τα κιβώτια. Αν έχει την τιμή 0, συλλέγει όλα μαζί τα κιβώτια.
Inventories [103],[6]	Περιέχει για κάθε SKU τα εξής στοιχεία : Type (Κωδικός), Live (σε ποιο ράφι τοποθετείται), Bay (Σε ποιο φάτνωμα τοποθετείται), Level (Σε ποιο επίπεδο τοποθετείται), Slot (Σε ποια θυρίδα τοποθετείται), Quantity (Ποια ποσότητα τοποθετείται πάνω στα ράφια)
Durations [2],[1]	Στον πίνακα αυτό βρίσκονται οι χρόνοι καθυστέρησης που χρειάζονται για να

	φορτώσει και να ξεφορτώσει ένα κιβώτιο. Στο στοιχείο [1],[1] χρόνος φόρτωσης ενώ στο [2],[1] χρόνος ξεφορτώματος.
PickingListOperatorX [Y],[4] όπου X = 1, ..., 10 Y = 0, ..., Πλήθος παραγγελιογραμμών του OperatorX	Εδώ υπάρχουν οι παραγγελιογραμμές που αφορούν τον κάθε picker. 1 ^η στήλη : Ράφι πάντα X, 2 ^η στήλη Type, 3 ^η στήλη Quantity, 4 ^η στήλη Αριθμός παραγγελίας.
ReportX [Y],[3] όπου X = 1, ..., 10 όπου Y = 0, ..., Πλήθος παραγγελιογραμμών του OperatorX	Περιέχει το χρόνο συλλογής ανά picker ανά παραγγελία. Η πρώτη στήλη το χρόνο έναρξης της μέτρησης, μόλις δηλαδή σταμάτησε η παλέτα, η δεύτερη στήλη το χρόνο που ξεκίνησε η παλέτα για τον επόμενο και η τρίτη στήλη το χρόνο που διήρκεσε η συλλογή. Στο τέλος, οι τελευταίες στήλες σε όλους αυτούς τους πίνακες πρέπει να αθροιστούν. Επιπλέον πρέπει να προστεθεί και ο χρόνος που κινείται η παλέτα πάνω στο ραουλόδρομο για όλες τις παραγγελίες.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Παράρτημα Α, προκειμένου να εισαχθεί ένας πίνακας στο μοντέλο ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα : Στην καρτέλα Toolbox πατάμε το πράσινο + και επιλέγοντας Global Table εισάγουμε όνομα του πίνακα στην καρτέλα Quick Properties στο δεξί μέρος της επιφάνειας εργασίας του FlexSim. Εκεί καθορίζεται ο αριθμός γραμμών και στηλών. Για τον πίνακα orders εισάγονται τα παρακάτω στοιχεία στις ρυθμίσεις και στη συνέχεια τα δεδομένα των παραγγελιών, όπως απεικονίζεται στο σχήμα Β.1.

The image shows two parts of the FlexSim interface. On the left is the 'Quick Properties' window for a 'Table' object. The 'Table' dropdown is set to 'orders'. The 'Rows' field is set to 4808 and the 'Columns' field is set to 2. There are checkboxes for 'Use Bundle' and 'On Reset', and a 'Description' field. On the right is a preview of the 'orders' table, which has two columns: 'Pallets' and 'Order_ID'. The table contains 7 rows of data:

	Pallets	Order_ID
Row 1	1	1
Row 2	1	2
Row 3	1	3
Row 4	1	4
Row 5	1	5
Row 6	1	6
Row 7	1	7

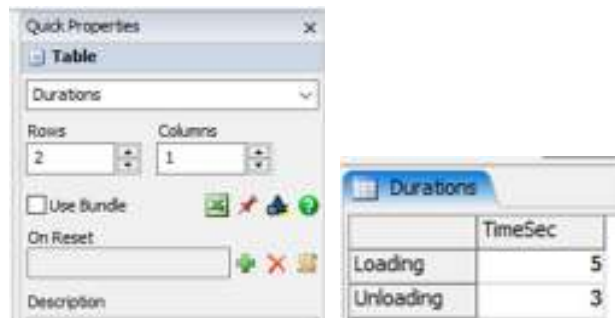
Σχήμα Β.1: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα orders

Με τον ίδιο τρόπο δημιουργείται ο πίνακας PickingMethod του οποίου τα στοιχεία και οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο σχήμα B.2. Το μοντέλο είναι ρυθμισμένο ώστε ο κάθε πικαδόρος να συλλέγει ένα προς ένα τα κιβώτια (Τιμή 0). Αν η τιμή αλλάξει σε 1 τότε θα συλλέξει όλα τα κιβώτια της παραγγελίας.



Σχήμα B.2: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα PickingMethod

Συνεχίζουμε την ανάλυση των Global Table με την περιγραφή του πίνακα Durations που παρουσιάζεται στο σχήμα B.3. Στην τρέχουσα εργασία ο χρόνος συλλογής του κιβωτίου έχει καθοριστεί στα 5 sec ενώ η απόθεση στην παλέτα θεωρήθηκε ότι διαρκεί 3 sec.



Σχήμα B.3: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Durations

Τα εμπορεύματα που διαθέτει συνολικά η αποθήκη βρίσκονται αποθηκευμένα στον πίνακα Inventories.

Οι επικεφαλίδες των στηλών του πίνακα είναι :

- Type: Κωδικός προϊόντος.
- Live: Αριθμός ραφιού Live Storage
- Bay: Αριθμός φατνώματος.
- Level: Αριθμός επιπέδου αποθήκευσης στη ραφαρία.
- Slot: Παλετοθυρίδα
- Quantity: Ποσότητα κιβωτίων πάνω στην παλέτα.

Στο σχήμα B.4 απεικονίζονται οι ιδιότητες και ένα τμήμα από τα δεδομένα του.

Row	Type	Live	Bay	Level	Slot	Quantity
Row 1	65582900	1	1	1	4	96
Row 2	61515500	1	1	1	5	96
Row 3	65515500	1	1	1	6	96
Row 4	61342900	2	1	1	4	96
Row 5	8222900	2	1	1	5	96
Row 6	65795800	2	1	1	6	96
Row 7	68300500	3	1	1	4	96
Row 8	61545500	3	1	1	5	96
Row 9	67515500	3	1	1	6	96
Row 10	65396200	4	1	1	4	96

Σχήμα Β.4: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Inventories

Στη συνέχεια έχουμε 10 πανομοιότυπους σε δομή πίνακες που περιέχουν τα δεδομένα συλλογής του κάθε πικαδόρου. Η ονομασία τους έχει κωδικοποιηθεί ως εξής : PickingListOperatorX, X=1,2,...,10 ο αριθμός πικαδόρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε πίνακας έχει διαφορετικό αριθμό γραμμών ανάλογα με τις παραγγελιογραμμές που έχει ο κάθε πικαδόρος. Αυτό εξαρτάται από το ποια προϊόντα περιέχονται στο ράφι του. Στο σχήμα Β.5 παρουσιάζεται ο πίνακας για τον Operator1 και εξυπακούεται ότι πρέπει να δημιουργηθούν και οι υπόλοιποι 9 για τους υπόλοιπους εργαζόμενους.

Οι επικεφαλίδες των στηλών που ορίστηκαν είναι :

- Live: Το ράφι Live Storage στο οποίο περιέχεται το προϊόν.
- Type: Ο κωδικός προϊόντος που θα συλλεχθεί.
- Quantity: Η ποσότητα που θα συλλεχθεί από το συγκεκριμένο κωδικό.
- ClientID: Ο κωδικός πελάτη που ταυτίζεται με τον κωδικό παραγγελίας.

Row	Live	Type	Quantity	ClientID
Row 1	1	2201000	1	1
Row 2	1	68298600	1	1
Row 3	1	65495600	1	1
Row 4	1	2301500	1	1
Row 5	1	65582900	2	3
Row 6	1	65515500	2	3
Row 7	1	2201000	1	3
Row 8	1	65495600	1	3
Row 9	1	2301500	1	3
Row 10	1	65582900	4	4

Σχήμα Β.5: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα PickingListOperator1

Τελειώνοντας με την ανάλυση των πινάκων, γίνεται ανάλυση των 10 πινάκων με ονομασία ReportX, X=1,2,...,10 όπου X ο αριθμός του Operator. Ο συγκεκριμένος πίνακας αποθηκεύει το χρόνο που απαιτήθηκε για τη διαπεραίωση της κάθε παραγγελιογραμμής. Σημειώνεται ότι το άθροισμα της τρίτης στήλης του πίνακα μας δίνει το συνολικό χρόνο εργασίας του κάθε πικαδόρου. Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή και ένα μέρος των

δεδομένων του πίνακα Report1 (Σχήμα Β.6) που μετράει τους χρόνους για τον Operator1. Αξίζει να σημειωθεί ότι όπου η τρίτη στήλη περιέχει την τιμή 0 αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο προϊόν δεν υπήρχε στην λίστα αυτού του πικαδόρου, άρα δε δαπάνησε χρόνο για μετάβαση στο ράφι, για συλλογή και εναπόθεση στην παλέτα. Ομοίως και οι υπόλοιποι 9 πίνακες.

Οι επικεφαλίδες των στηλών που ορίστηκαν είναι :

- StartTime: Ο χρόνος έναρξης της μέτρησης.
- EndTime: Ο χρόνος τερματισμού της διεκπεραίωσης μιας παραγγελιογραμμής.
- Duration: Οι διαφορά των δυο παραπάνω χρόνων.

	StartTime	EndTime	Duration
	3.42	47.42	44.00
	49.22	49.22	0
	51.02	121.02	70
	129.41	361.41	232
	363.21	363.21	0
	182.22	210.22	28
	232.52	328.52	96
	330.32	330.32	0
	343.90	343.90	0
	345.70	403.70	60
	1116.25	1116.25	0
	1118.05	1118.05	0
	1119.85	1119.85	0
	1120.18	1120.18	0

Σχήμα Β.6: Ιδιότητες και δεδομένα πίνακα Report1

Στη συνέχεια ορίζεται η Global List με όνομα Inventories στην οποία θα αποθηκευθούν τα Labels των προϊόντων του πίνακα Inventories. Για να εισαχθεί μια λίστα στο FlexSim ακολουθούμε παρόμοια τακτική με τον πίνακα. Στην καρτέλα Toolbox πατώντας το πράσινο + και επιλέγοντας Global List και στη συνέχεια Item List, εμφανίζεται καρτέλα στην οποία δίνουμε το όνομα και τα πεδία που πρέπει να αποθηκεύονται σε αυτήν (Σχήμα Β.7).



Σχήμα Β.7: Πεδία της λίστας Inventories

Στη συνέχεια ξεκινάει η υλοποίηση της οπτικής απεικόνισης του μοντέλου, εισάγοντας τα αντικείμενα. Απαιτούνται 10 ράφια τύπου Live Storage που στο λογισμικό αναφέρονται ως Gravity Flow Racks. Υπάρχουν 103 SKUs. Όπως έχει οριστεί στο κεφάλαιο 5, κάθε ράφι θα περιέχει ένα πλήθος από SKUs τύπου A, ένα πλήθος από SKUs τύπου B και ένα πλήθος από SKUs τύπου C. Υπενθυμίζεται ότι ο διαχωρισμός έχει γίνει με βάση την ταχυκινησία. Έτσι για να τοποθετηθούν όλα τα SKUs στα 8 από τα 10 ράφια πρέπει να τοποθετηθούν 10 SKUs και στα υπόλοιπα 2, 11 και 12 αντίστοιχα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εισαγωγή και η ρύθμιση του ενός από τα 10. Οι ρυθμίσεις είναι παρόμοιες για τα υπόλοιπα 9.

Από το Library, ενότητα Warehousing του FlexSim εισάγεται το αντικείμενο Gravity Flow Rack. Στο σχήμα B.8 που ακολουθεί φαίνονται οι καρτέλες με τις ρυθμίσεις που είναι αναγκαίο να γίνουν.

Όνομα : Live1

Slot Assignment Strategy :
Matching Labels

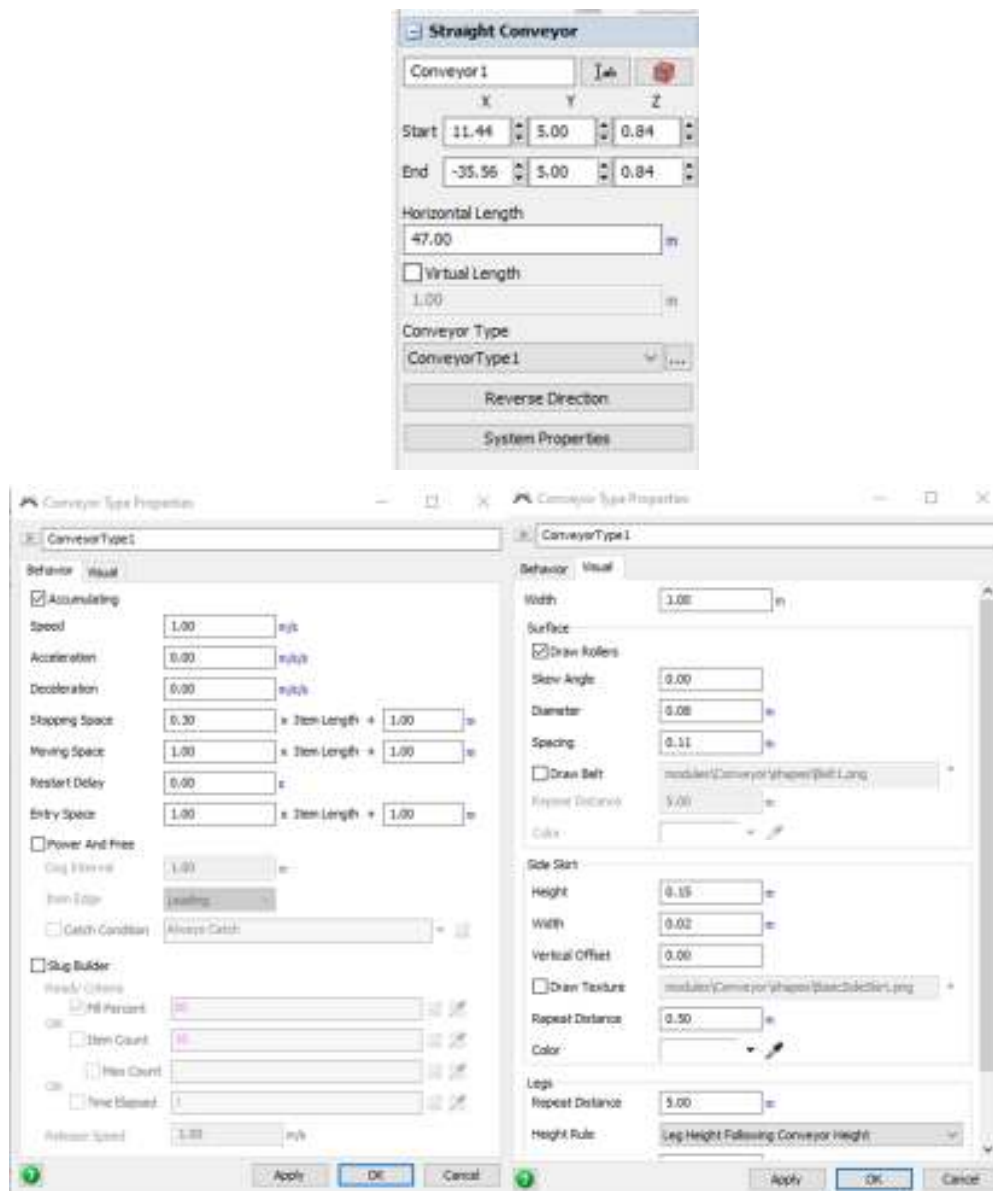
Κώδικας για τοποθέτηση στην
επιθυμητή θέση

```
Storage.Object current = ownerobject(c);
Object item = param(1);
Storage.Item storageItem = Storage.Item(item);
/**popup:SlotByCondition*/
/**Matching Labels*/
storageItem.assignedSlot=current.getSlot(item.Bay,item.Level,item.Slot);
```

Σχήμα B.8: Ρυθμίσεις ραφίου Live Storage 1

Το επόμενο αντικείμενο που πρέπει να εισαχθεί μετά τα 10 ράφια, είναι ο ραουλόδρομος πάνω στον οποίο θα κινούνται οι άδειες παλέτες. Στο FlexSim προκειμένου να εισαχθεί ένα τέτοιο αντικείμενο, από το Library πρέπει να επιλεγεί από την ενότητα Conveyors το

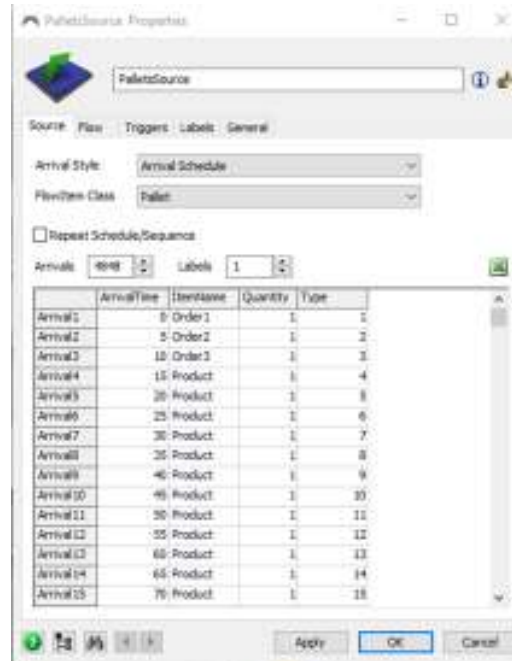
αντικείμενο Straight Conveyor και στη συνέχεια πρέπει να ρυθμιστεί. Στο σχήμα Β.9 φαίνονται όλες οι ρυθμίσεις του Conveyor1.



Σχήμα Β.9: Ρυθμίσεις ραουλόδρομου Conveyor1

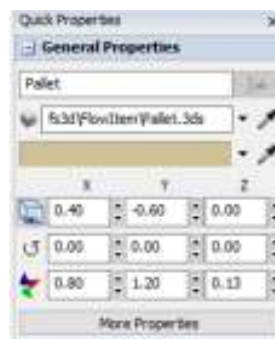
Ο ραουλόδρομος πρέπει να τροφοδοτείται με άδειες παλέτες. Για το σκοπό αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί πηγή Source, με όνομα PalletsSource και να συνδεθεί με το ραουλόδρομο με σύνδεση τύπου A. Στο σχήμα Β.10 δίνονται οι ρυθμίσεις που απαιτούνται. Από το Library, εισάγουμε Source και παραμετροποιούμε. Το αντικείμενο ονομάζεται ως PalletsSource, FlowItem Class : Pallet και δίνεται Arrival Schedule ώστε να δημιουργείται παλέτα κάθε 5 δευτερόλεπτα. Επιπλέον, σημειώνεται ότι χρειάζονται 4.848 αφίξεις. Δε

χρειάζεται κάποια άλλη ρύθμιση παρά μόνο να ορισθούν οι επιθυμητές διαστάσεις της παλέτας. Το FlexSim διαθέτει το FlowItemBin που επιτρέπει να παραμετροποιηθεί η εμφάνιση όλων των αντικειμένων ροής.



Σχήμα Β.10: Ρύθμιση αντικειμένου PalletSource

Από το toolbox επιλέγεται FlowItemBin και στη συνέχεια ανοίγουμε το Pallet. Στο δεξί μέρος της οθόνης εισάγονται οι διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα Β.11.



Σχήμα Β.11: Ρύθμιση διαστάσεων παλέτας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πηγή δημιουργίας των παλετών πρέπει να συνδεθεί με την είσοδο του ραουλόδρομου. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι χρειάζεται προσοχή στη φορά που δείχνουν τα βέλη πάνω στο ραουλόδρομο. Σε περίπτωση που δείχνουν αντίθετη από την

επιθυμητή, πρέπει να διορθωθεί πιέζοντας το πλήκτρο Reverse Direction, που υπάρχει στις ιδιότητες του Straight Conveyor, όπως απεικονίζεται στο σχήμα B.9.

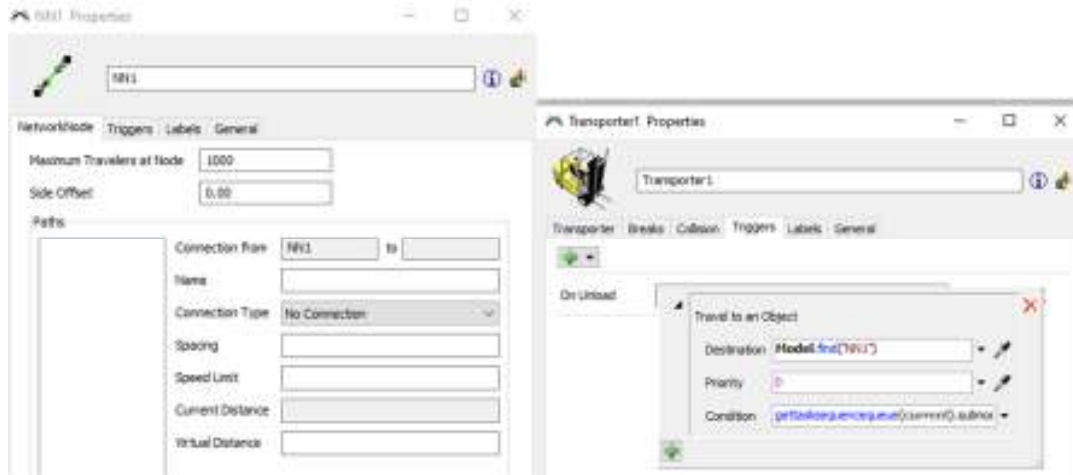
Όμως, με τις παραπάνω ρυθμίσεις εξασφαλίζεται κίνηση των παλετών πάνω στο ραουλόδρομο χωρίς να σταματάνε σε κάποιο σημείο ώστε να γίνεται η συλλογή των παραγγελιών. Έτσι πρέπει να τοποθετηθούν Decision Points σε διάφορα σημεία του ραουλόδρομου στα οποία θα γίνεται η διακοπή της ροής των παλετών. Προκειμένου να εισαχθεί Decision Point, από το Library στην κατηγορία Conveyor επιλέγεται Decision Points και τοποθετείται πάνω στο ραουλόδρομο στο επιθυμητό σημείο. Απαιτούνται 10 Decision Point, δηλαδή ίσο πλήθος με τους Operators, αλλά και τα ράφια. Στο Σχήμα B.12 που ακολουθεί φαίνεται η ρύθμιση ενός DP.



Σχήμα B.12: Ρύθμιση Decision Point : DP1

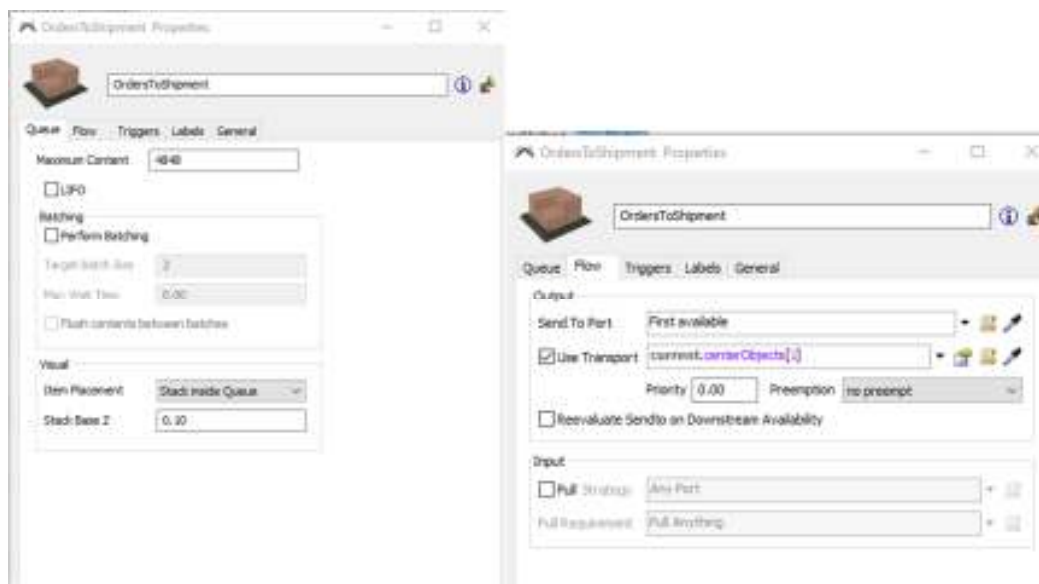
Το κάθε ράφι εξυπηρετείται από ένα εργαζόμενο. Έτσι εισάγονται 10 Operators μπροστά ακριβώς από τα DPs. Δεν απαιτείται καμία ιδιαίτερη ρύθμιση για τους Operators. Η παραμετροποίηση τους θα γίνει από το Process Flow.

Πλησιάζοντας προς την ολοκλήρωση της σχεδίασης, στο τέλος του ραουλόδρομου, χρειάζεται ένα περονοφόρο όχημα το οποίο αναλαμβάνει το έργο της μεταφοράς της παλέτας μετά τη συλλογή των κιβωτίων, από το ραουλόδρομο προς το χώρο εναπόθεσης προς αποστολή. Κρίνεται σκόπιμη και η χρήση ενός Network None στο τέλος του ραουλόδρομου ώστε να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για την επιστροφή του Forklift μετά την ολοκλήρωση της μεταφοράς. Από το Library, ενότητα Task Executors, εισάγεται το αντικείμενο Transporter και από την ενότητα Travel Networks το αντικείμενο NetworkNode. Στο σχήμα B.13 απεικονίζονται οι ρυθμίσεις του περονοφόρου και του NN1.



Σχήμα Β.13: Ρύθμιση NN1 και Transporter1

Το τελευταίο αντικείμενο είναι ο χώρος εναπόθεσης των ολοκληρωμένων παλετών. Επομένως από το Library, ενότητα Fixed Resources εισάγεται Queue με όνομα OrdersToShipment. Αφού ρυθμιστεί το επιθυμητό μέγεθος, γίνονται και οι απαραίτητες ρυθμίσεις όπως φαίνεται στο σχήμα Β.14.

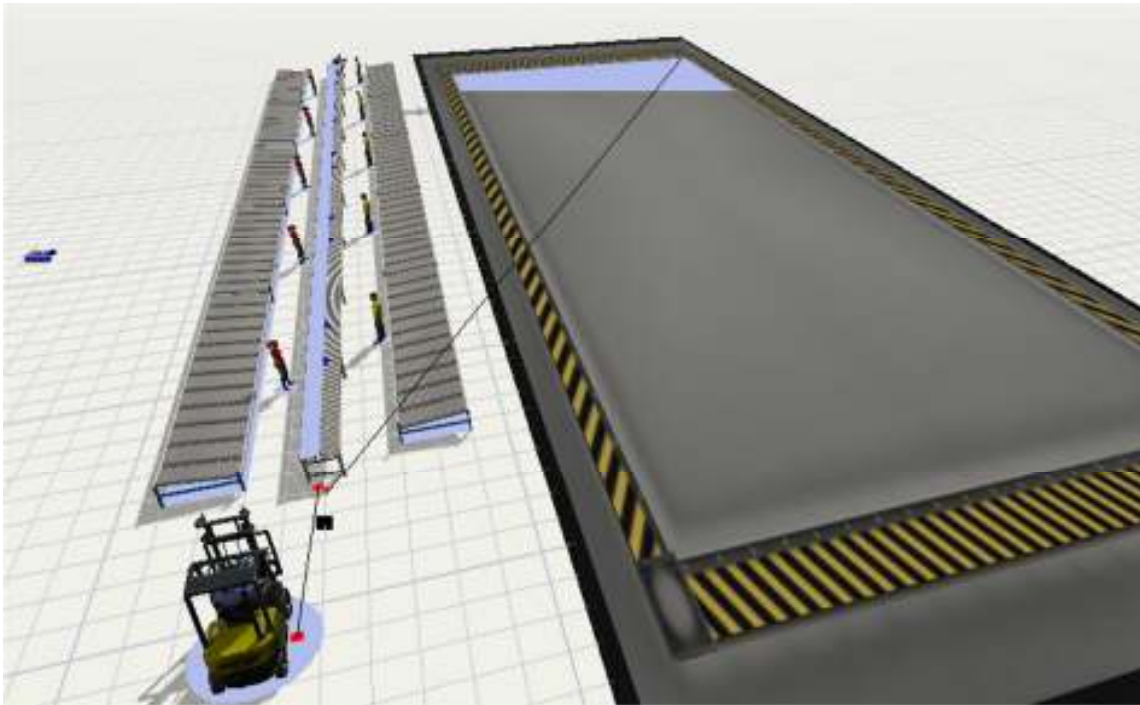


Σχήμα Β.14: Ρύθμιση αντικειμένου OrdersToShipment

Προκειμένου να υλοποιηθεί η ροή των παλετών, είναι απαραίτητες κάποιες συνδέσεις. Χρειάζεται λοιπόν σύνδεση τύπου A από την έξοδο του ραουλόδρομου προς την ουρά OrdersToShipment. Τέλος κεντρική σύνδεση μεταξύ του Conveyor1 και του Transporter1 ώστε να χρησιμοποιείται το Transporter για τη μεταφορά.

Το αντικείμενο A*Navigator είναι απαραίτητο ώστε να διανύονται τα ελάχιστα δυνατά μέτρα τόσο από τους Operators, όσο και από το Transporter1. Για το επιτύχουμε αυτό ακολουθείται η εξής τακτική. Αρχικά από το Library, A*Navigation εισάγουμε το αντικείμενο A*Navigator. Το επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν όλα τα αντικείμενα με αυτό. Επομένως, αφού επιλεγούν όλα τα αντικείμενα (εκτός του A*Navigator) έχοντας πατημένο το πλήκτρο Ctrl και κάνοντας αριστερό κλικ στο ποντίκι ορίζοντας την περιοχή που θέλουμε, στη συνέχεια με σύνδεση τύπου A συνδέεται το A*Navigator με ένα από τα επιλεγμένα αντικείμενα.

Η πλήρης διάταξη του μοντέλου προσομοίωσης παρουσιάζεται στο σχήμα Β.15.



Σχήμα Β.15: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου

Πριν το επόμενο βήμα, δηλαδή την υλοποίηση του Process Flow ο παρακάτω κώδικας είναι απαραίτητος ώστε να τοποθετηθούν τα αντικείμενα με βάση τις σωστές αποστάσεις που απαιτούνται. Αυτό υλοποιείται από το μενού του FlexSim στην επιλογή Debug, Script Console. Στο παράθυρο που ανοίγει γράφουμε και εκτελούμε τον κώδικα.

```
Object live1 = Model.find("Live1");  
Object live2 = Model.find("Live2");  
Object live3 = Model.find("Live3");  
Object live4 = Model.find("Live4");  
Object live5 = Model.find("Live5");  
Object live6 = Model.find("Live6");  
Object live7 = Model.find("Live7");  
Object live8 = Model.find("Live8");  
Object live9 = Model.find("Live9");  
Object live10 = Model.find("Live10");
```

```

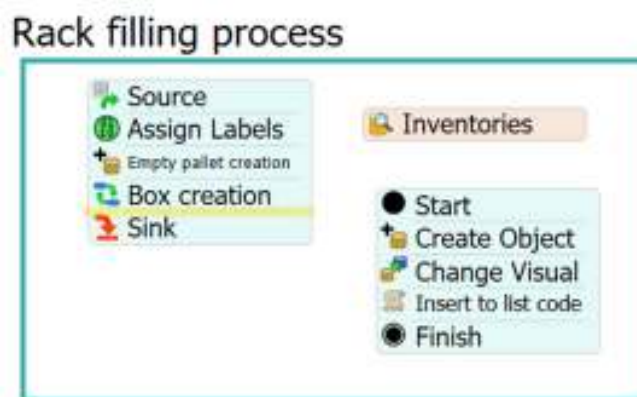
Object pallets = Model.find("PalletsSource");
Object orders_queue = Model.find("OrdersToShipment");
Object conveyor = Model.find("Conveyor1");
conveyor.location.x=live1.location.x+13.5;
conveyor.location.y=live1.location.y+2;
live2.location.x = live1.location.x;
live3.location.x = live1.location.x-13.5;
live4.location.x = live2.location.x-13.5;
live5.location.x = live3.location.x-13.5;
live6.location.x = live4.location.x-13.5;
live7.location.x = live5.location.x-13.5;
live8.location.x = live6.location.x-13.5;
live9.location.x = live7.location.x-14.7;
live10.location.x = live8.location.x-15.9;
live2.location.y = live1.location.y+6;
live3.location.y = live1.location.y;
live4.location.y = live1.location.y+6;
live5.location.y = live1.location.y;
live6.location.y = live1.location.y+6;
live7.location.y = live1.location.y;
live8.location.y = live1.location.y+6;
live9.location.y = live1.location.y;
live10.location.y = live1.location.y+6;

```

Το παραπάνω Script πρέπει να αποθηκευθεί, καθώς αν κάποιο αντικείμενο μετακινηθεί, μπορεί να εκτελεστεί ξανά και όλα τα αντικείμενα να τοποθετηθούν στις σωστές θέσεις.

Στο σημείο αυτό μπορεί να ξεκινήσει η δημιουργία του Process Flow που θα εισάγει τη λογική της προσομοίωσης στο μοντέλο. Το Process Flow είναι χωρισμένο σε 3 μέρη. Στο ένα μέρος γίνεται δημιουργία και τοποθέτηση των εμπορευμάτων πάνω στα ράφια. Στο δεύτερο μέρος γίνεται η συλλογή των παραγγελιών συλλέγοντας κάθε φορά ένα κιβώτιο και τέλος στο τρίτο μέρος γίνεται συλλογή όλων των κιβωτίων.

Ξεκινάμε με το μέρος που αναλαμβάνει τη δημιουργία κιβωτίων, τη στοίβαξη τους σε παλέτες και την τοποθέτηση στα ράφια. Η ονομασία του τμήματος αυτού είναι : Rack filling process και απεικονίζεται στο σχήμα B.16.



Σχήμα B.16: Απεικόνιση του Process Flow : Rack filling process



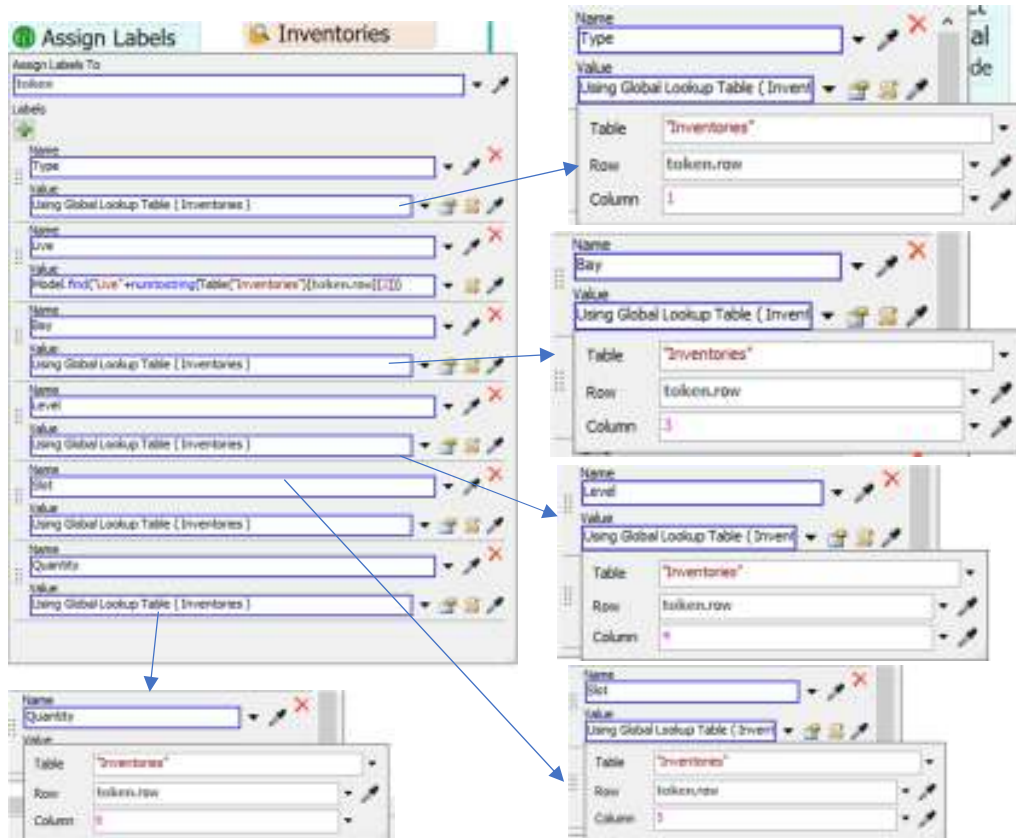
Αρχικά απαιτείται η ύπαρξη πηγής (Source) η οποία δημιουργεί γεγονότα εμφάνισης παλετών με αντικείμενα. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό πρέπει να προσπελαστεί ο πίνακας Inventories κατά γραμμές. Αυτό επιτυγχάνεται γράφοντας λίγες γραμμές κώδικα όπως φαίνεται παρακάτω, οποίος τοποθετείται στο πεδίο Quantity (Σχήμα Β.17).

```
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
int rowNum = param(3);
int repeatCount = param(4);
treenode processFlow =
ownerobject(activity);
return
/**/Table("Inventories").numRows/**direct*
```

Σχήμα Β.17: Ορισμός labels στα tokens

Επιπλέον πρέπει να δημιουργηθεί το label row με το οποίο θα γίνεται αναφορά σε μια γραμμή του πίνακα κάθε φορά που αυτό απαιτείται.

Στη συνέχεια ορίζονται labels σχετικά με στοιχεία ταυτοποίησης της θέσης, του είδους και της ποσότητας του κάθε αντικειμένου ροής που θα δημιουργηθεί. (Σχήμα Β.18).



Σχήμα Β.18: Ορισμός labels στα tokens

Όπως φαίνεται στο σχήμα B.18, η άντληση των τιμών των labels που αφορούν Type, Bay, Level, Slot, Quantity γίνεται άμεσα από την αντίστοιχη στήλη του GlobalTable ενώ για τη σωστή δημιουργία του label που αφορά στο ράφι Live Storage απαιτείται η εντολή `Model.find("Live"+numtostring(Table("Inventories")[token.row][2]))` η οποία ουσιαστικά συνενώνει το λεκτικό Live με τον αριθμό του Live αφού τον μετατρέψει σε συμβολοσειρά κι έτσι βγάζει ως αποτέλεσμα Live1 κ.λπ.

Στο επόμενο βήμα δημιουργείται άδεια παλέτα πάνω στο ράφι, η οποία θα δεχθεί τα κιβώτια. Όπως φαίνεται στο σχήμα B.19, ορίζουμε ως αντικείμενο : Pallet, ποσότητα : 1, σημείο δημιουργίας token.Live. Επιπλέον η παλέτα θα ταυτοποιείται και θα εντοπίζεται ως token.Pallet κληρονομώντας τα labels που ορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα.



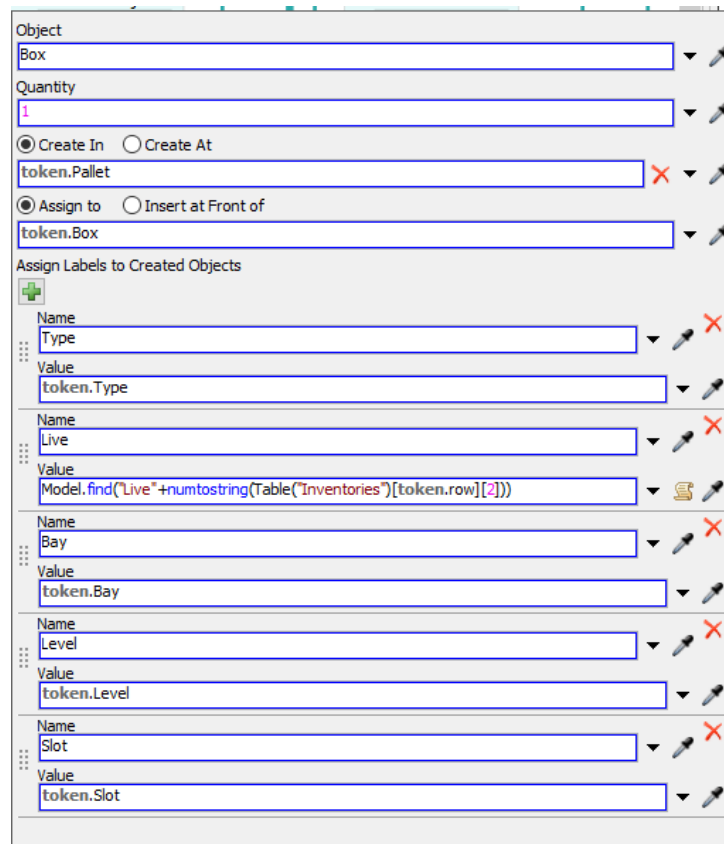
Σχήμα B.19: Ορισμός labels νέας παλέτας πάνω στο ράφι

Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργηθούν τα κιβώτια πάνω στις άδειες παλέτες που τοποθετήθηκαν πάνω στα ράφια. Αυτό απαιτεί επαναληπτικότητα κάποιων διαδικασιών και για το λόγο αυτό πρέπει να καλείται μια ξεχωριστή διαδικασία. Για να γίνει η κλήση της διαδικασίας δίνουμε την εντολή που φαίνεται στο σχήμα B.20 με τις αντίστοιχες ρυθμίσεις. Στην ουσία ορίζουμε ότι τα labels δεν θα κληρονομούνται από τα παιδιά (κιβώτια) αλλά θα είναι διαθέσιμες στους γονείς (παλέτες). Το μόνο label που θα έχουν τα κιβώτια είναι το Box.



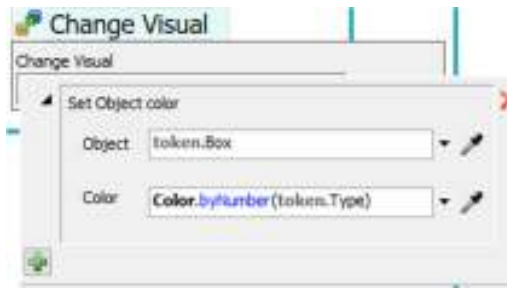
Σχήμα B.20: Έναρξη επαναληπτικής διαδικασίας δημιουργίας κιβωτίων.

Αμέσως μετά την έναρξη του Sub Flow, τοποθετείται η εντολή που είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του κιβωτίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα B.21, το αντικείμενο είναι Box, η ποσότητα είναι 1 τεμάχιο, δημιουργείται πάνω στον γονέα παλέτα (token.Pallet) λαμβάνει αναγνωριστικό token.Box και ταυτοποιείται με labels Type, Bay, Level, Live και Slot όπως αυτές ορίστηκαν σε προηγούμενο βήμα του Process Flow.



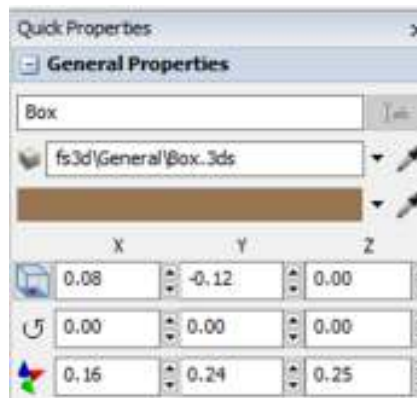
Σχήμα B.21: Δημιουργία του κιβωτίου πάνω στην παλέτα

Στη συνέχεια είναι απαραίτητο να χρωματιστεί το κάθε προϊόν διαφορετικά ώστε να είναι διακριτές οι διαφορετικές περιπτώσεις των αντικειμένων και να φαίνεται ότι πάνω σε μια παραγγελία υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι προϊόντων. Αν και πρόκειται για μια οπτική λεπτομέρεια, θεωρείται ουσιώδης γιατί δίνει την πραγματική εικόνα της συλλογής των παραγγελιών. Στο σχήμα B.22 φαίνεται η ρύθμιση με την οποία επιτυγχάνεται ο χρωματισμός με βάση τον τύπο του προϊόντος (Type) όπως αυτός έχει οριστεί στα προηγούμενα.



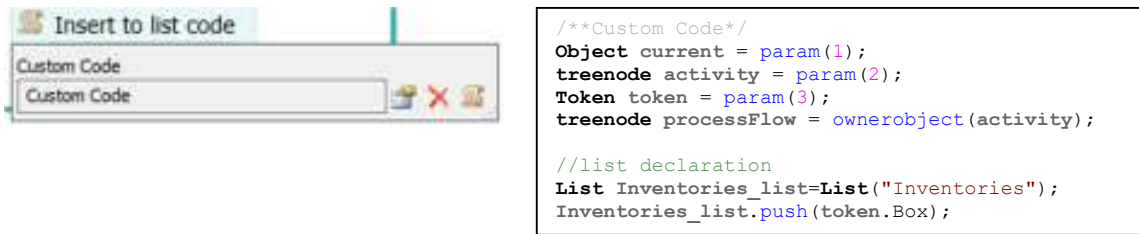
Σχήμα B.22: Χρωματισμός του κιβωτίου πάνω στην παλέτα

Επιπλέον εκτός του Process Flow πρέπει να γίνει και η κατάλληλη ρύθμιση των διαστάσεων του κιβωτίου ώστε να χωράει η επιθυμητή ποσότητα που ορίστηκε στη στήλη Quantity του πίνακα Inventories. Έτσι από το toolbox επιλέγουμε FlowItemBin και στη συνέχεια ανοίγουμε το Box. Στο δεξί μέρος της οθόνης δίνουμε τις διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα B.23.



Σχήμα B.23: Καθορισμός διαστάσεων κιβωτίου

Η τελευταία εντολή που πρέπει να ρυθμιστεί είναι η τοποθέτηση των δημιουργημένων κιβωτίων στη λίστα που ορίστηκε κι έχει όνομα Inventories. Στο σχήμα B.24 που ακολουθεί δίνεται ο κώδικας που επιτυγχάνει το παραπάνω ζητούμενο.



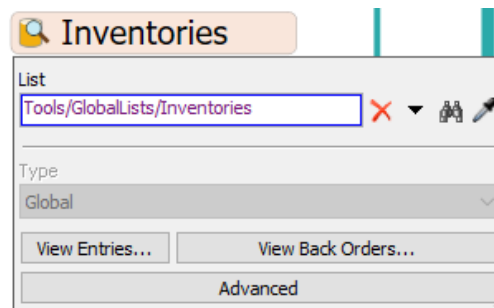
Σχήμα B.24: Εισαγωγή δεδομένων στη λίστα

Στο σχήμα B.25 που ακολουθεί, φαίνεται η εντολή που είναι απαραίτητη για τον τερματισμό του Process Flow.



Σχήμα B.25: Τερματισμός του Process Flow

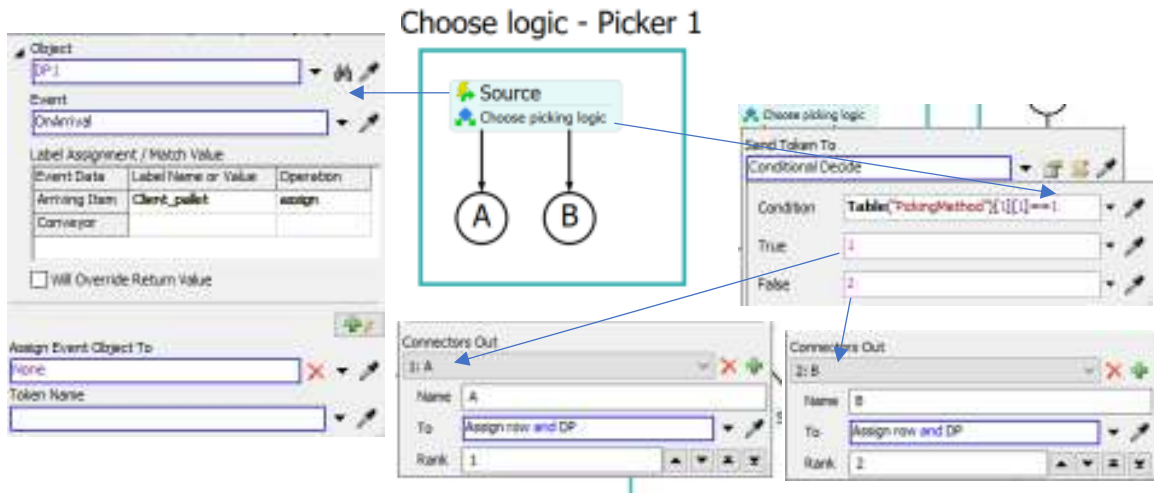
Επειδή τοποθετούμε τα προϊόντα σε λίστα πρέπει να υπάρχει στο Process Flow η κατάλληλη εντολή που κάνει διαθέσιμη τη λίστα με όνομα Inventories. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρακάτω ρύθμιση όπως φαίνεται στο σχήμα B.26 που ακολουθεί.



Σχήμα B.26: Σύνδεση λίστας Inventories με Process Flow

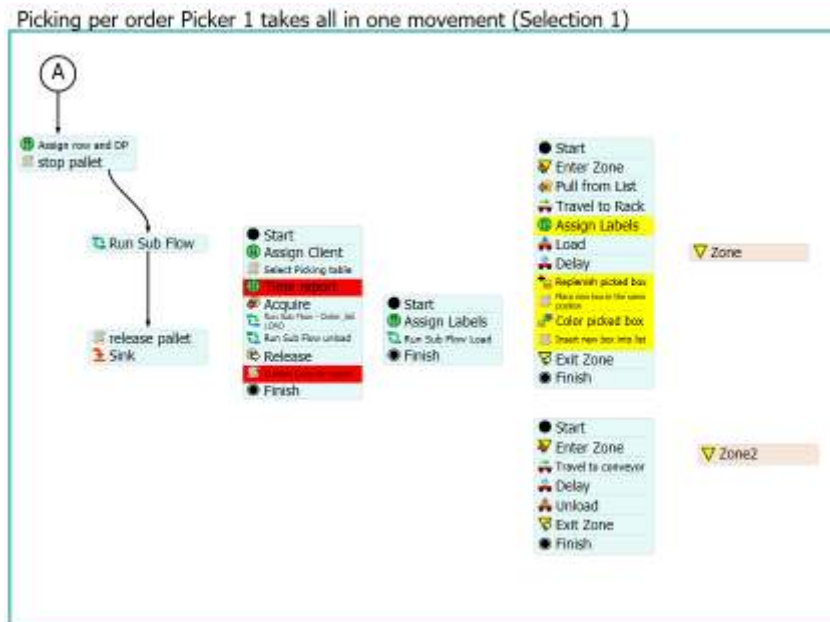
Πριν να γίνει η ανάλυση των επόμενων δυο τμημάτων του Process Flow, παρουσιάζεται ένα μικρό τμήμα εντολών που καθορίζει κάθε φορά ποιο τμήμα θα ενεργοποιηθεί. Η επιλογή αντλεί δεδομένα από τον πίνακα PickingMethod. Αν εκεί έχει καταχωρηθεί η τιμή 1 τότε ενεργοποιείται το τμήμα A του Process Flow ενώ αν υπάρχει η τιμή 0, ενεργοποιείται το τμήμα B. Στο σχήμα B.27 φαίνονται οι εντολές για τον Operator1 και με τον ίδιο τρόπο γίνονται για τους άλλους 9. Συγκεκριμένα ο τρόπος λειτουργίας είναι ο ακόλουθος : Η πηγή Source δημιουργεί ένα γεγονός στο αντικείμενο Decision Point 1 (DP1) και το συνδέει με την άδεια παλέτα. Στη συνέχεια αντλείται από τον πίνακα PickingMethod το περιεχόμενο

του μοναδικού του κελιού και αν ισούται με 1 η ροή κατευθύνεται στο Process Flow A, ενώ αν είναι 0 στο B.



Σχήμα B.27: Επιλογή μεθόδου συλλογής κιβωτίων

Τώρα θα εξηγηθεί η λογική A που αφορά στη συλλογή όλων μαζί των κιβωτίων σε κάθε προσέγγιση στο ράφι. Στο σχήμα B.28 δίνεται η δομή του Process Flow.



Σχήμα B.28: Process Flow συλλογής όλων των κιβωτίων της παραγγελίας

Αρχικά δίνεται η εντολή Assign row and DP ώστε να ορισθούν τα απαραίτητα Labels. Συγκεκριμένα χρειάζεται το label row στο οποίο καταχωρείται ο κωδικός της παραγγελίας του πελάτη και ο αριθμός του DP. Αμέσως μετά πρέπει να εκτελεστεί τμήμα κώδικα που επιτυγχάνει τη διακοπή της κίνησης της παλέτας πάνω στο Conveyor1 και επανέναρξη

αμέσως μόλις τελειώσει η φόρτωση από τον συγκεκριμένο πικαδόρο. Στο σχήμα B.28 φαίνεται η όλη διαδικασία. Τέλος εκτελείται το Sub Flow που σκοπό έχει να ενεργοποιήσει το τμήμα που εκτελεί τη συλλογή των κιβωτίων (Σχήμα B.29).

```

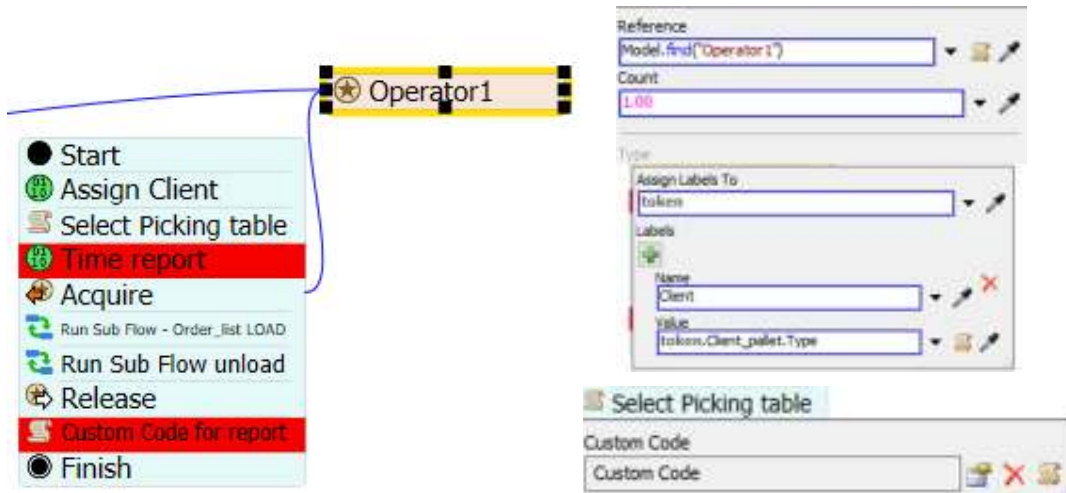
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode processFlow = ownerobject(activity);

{ /******* PickOption Start *****/}
/**popup:PFStopResumeConveyorItem*/
/**Stop/Resume Item on Conveyor*/
Object item = /** \nItem:
****tag:item****/token.Client_pallet/**/;
****tag:action****/conveyorstopitem(item)****/;
} /******* PickOption End *****/}

```

Σχήμα B.29: Διακοπή και επανέναρξη κίνησης της παλέτας στον Conveyor1

Σχήμα B.30: Ενεργοποίηση του τμήματος εκτέλεσης συλλογής κιβωτίων



```

/**Custom Code*/
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode processFlow = ownerobject(activity);

Table picking_list_1=Table("PickingListOperator1");
Table picking_list_2=Table("PickingListOperator2");
Table picking_list_3=Table("PickingListOperator3");
Table picking_list_4=Table("PickingListOperator4");
Table picking_list_5=Table("PickingListOperator5");
Table picking_list_6=Table("PickingListOperator6");
Table picking_list_7=Table("PickingListOperator7");
Table picking_list_8=Table("PickingListOperator8");
Table picking_list_9=Table("PickingListOperator9");
Table picking_list_10=Table("PickingListOperator10");
Table order_list=token.labels["order_list"].as(Table);
Table wynik;
Table picking;

int client_id=token.Client;
string dp_name=token.DP.name;
int dp_number=stringtonum(dp_name.slice(3,4));

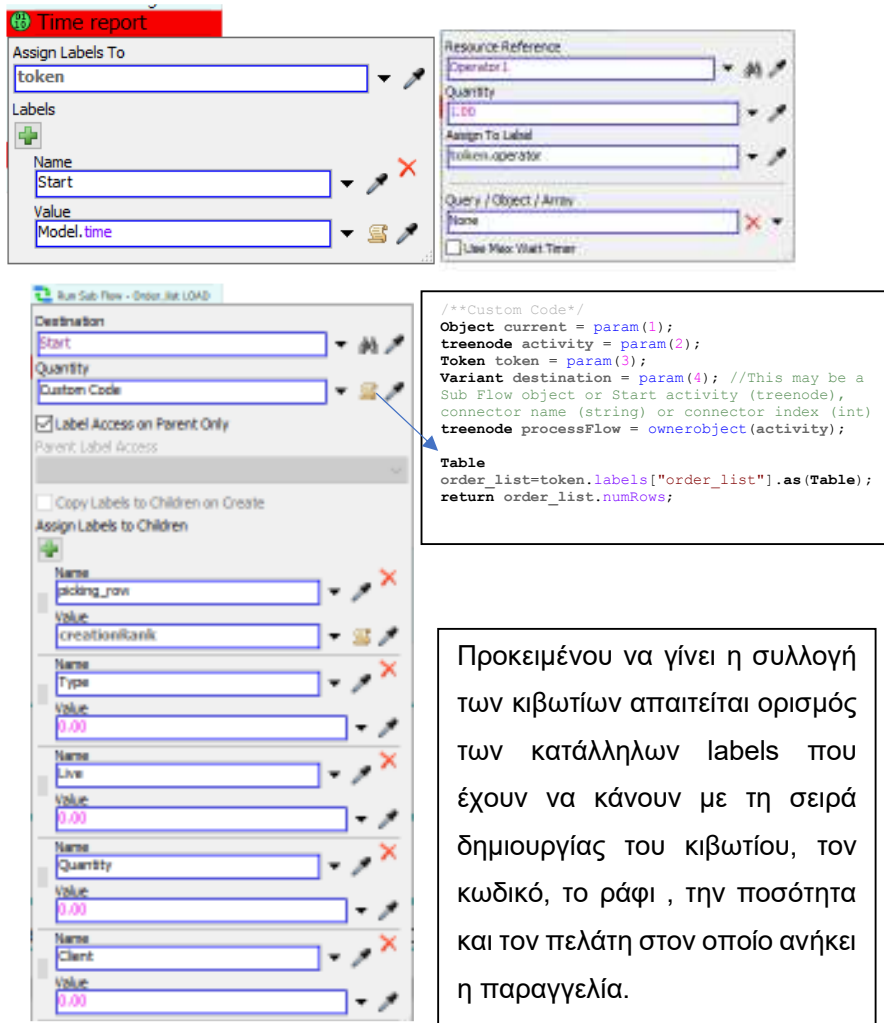
if(dp_number==1){
    picking=picking_list_1;
}else
    if(dp_number==2){
        picking=picking_list_2;
    }else
        if(dp_number==3){
            picking=picking_list_3;
        }else
            if(dp_number==4){
                picking=picking_list_4;
            }else
                if(dp_number==5){
                    picking=picking_list_5;
                }else
                    if(dp_number==6){
                        picking=picking_list_6;
                    }else
                        if(dp_number==7){
                            picking=picking_list_7;
                        }else
                            if(dp_number==8){
                                picking=picking_list_8;
                            }else
                                if(dp_number==9){
                                    picking=picking_list_9;
                                }else{
                                    picking=picking_list_10;
                                }
}

wynik=Table.query("SELECT * FROM $1 WHERE ClientID = $2 AND Quantity>0", picking, client_id);
wynik.cloneTo(order_list);

```

Σχήμα B.31: Επιλογή της κατάλληλης Picking List

Στο σχήμα B.31 της προηγούμενης σελίδας αρχικά ορίζεται ο Operator1 και στη συνέχεια δημιουργείται label για τον πελάτη. Ο κώδικας που ακολουθεί χρησιμεύει στο να ορισθεί η κατάλληλη Picking List με βάση το DP στο οποίο αναφερόμαστε. Στη συνέχεια ορίζεται η έναρξη καταγραφής των χρόνων με την εντολή Time Report η οποία δημιουργεί label με το χρόνο έναρξης της συλλογής και δεσμεύεται ο Operator1 και ενεργοποιείται το Sub Flow που είναι υπεύθυνο για τη φόρτωση των κιβωτίων που αφορούν μόνο το συγκεκριμένο ράφι που έχει υπό την ευθύνη του ο Operator1. Οι ρυθμίσεις των εντολών αυτών φαίνονται στο Σχήμα B.32.



Σχήμα B.32: Έναρξη μέτρησης χρόνων συλλογής

Το επόμενο βήμα οδηγεί στην επιλογή του επιθυμητού κωδικού προϊόντος καθώς και της σωστής ποσότητας. Κι εδώ απαιτείται η συγγραφή κώδικα, οποίος δίνεται στην επόμενη σελίδα στο σχήμα B.33.

```

/**Custom Code*/
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
Variant assignTo = param(4);
string labelName = param(5);
treenode processFlow = ownerobject(activity);

Table
order_list=token.labels["order_list"].as(Table);
return order_list[token.picking_row][2];

```

```

/**Custom Code*/
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
Variant assignTo = param(4);
string labelName = param(5);
treenode processFlow = ownerobject(activity);

Table
order_list=token.labels["order_list"].as(Table);
return order_list[token.picking_row][3];

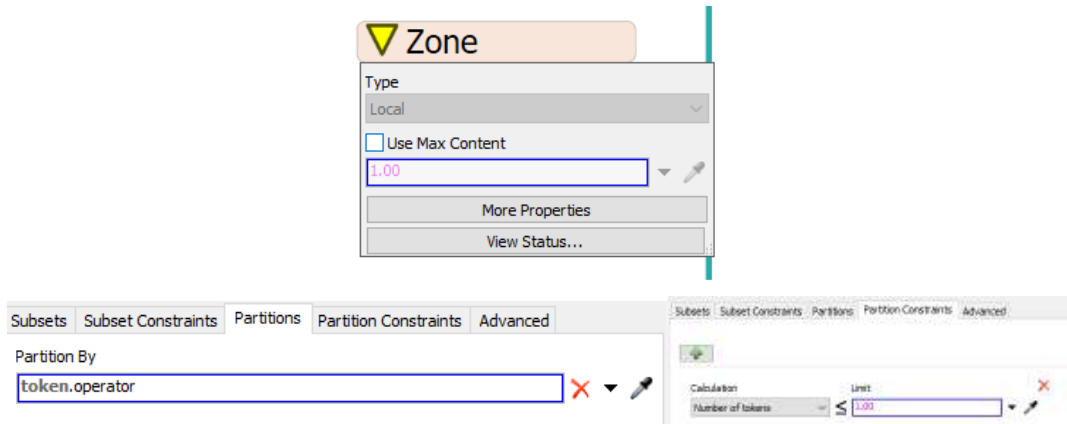
```

Σχήμα B.33: Επιλογή των κατάλληλων προϊόντων στη σωστή ποσότητα

Στη συνέχεια καλείται το επόμενο τμήμα Sub flow που υλοποιεί τη φυσική συλλογή και την αναπλήρωση του προϊόντος ώστε να υπάρχει πάντα η απαραίτητη επάρκεια (Σχήμα B.34)

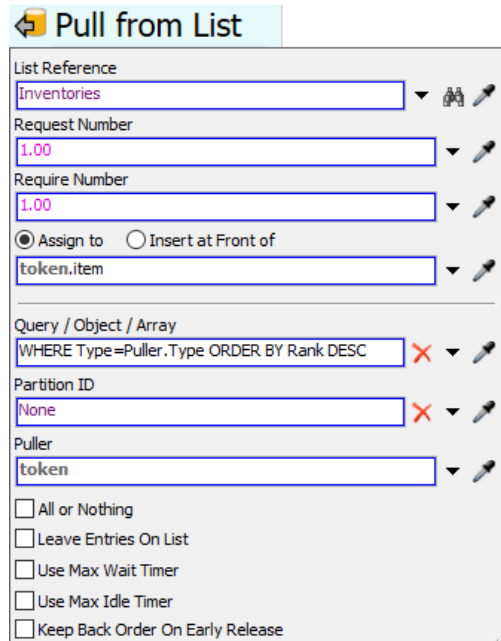
Σχήμα B.34: Φυσική συλλογή και αναπλήρωση

Με την ενεργοποίηση του Sub Flow, όπως απεικονίζει το σχήμα B.35 που ακολουθεί βλέπουμε τις εντολές που ορίζουν την εντολή εισόδου σε Zone καθώς και οι ρυθμίσεις του Zone.



Σχήμα B.35: Εντολές Process Flow για είσοδο και ρύθμιση Zone

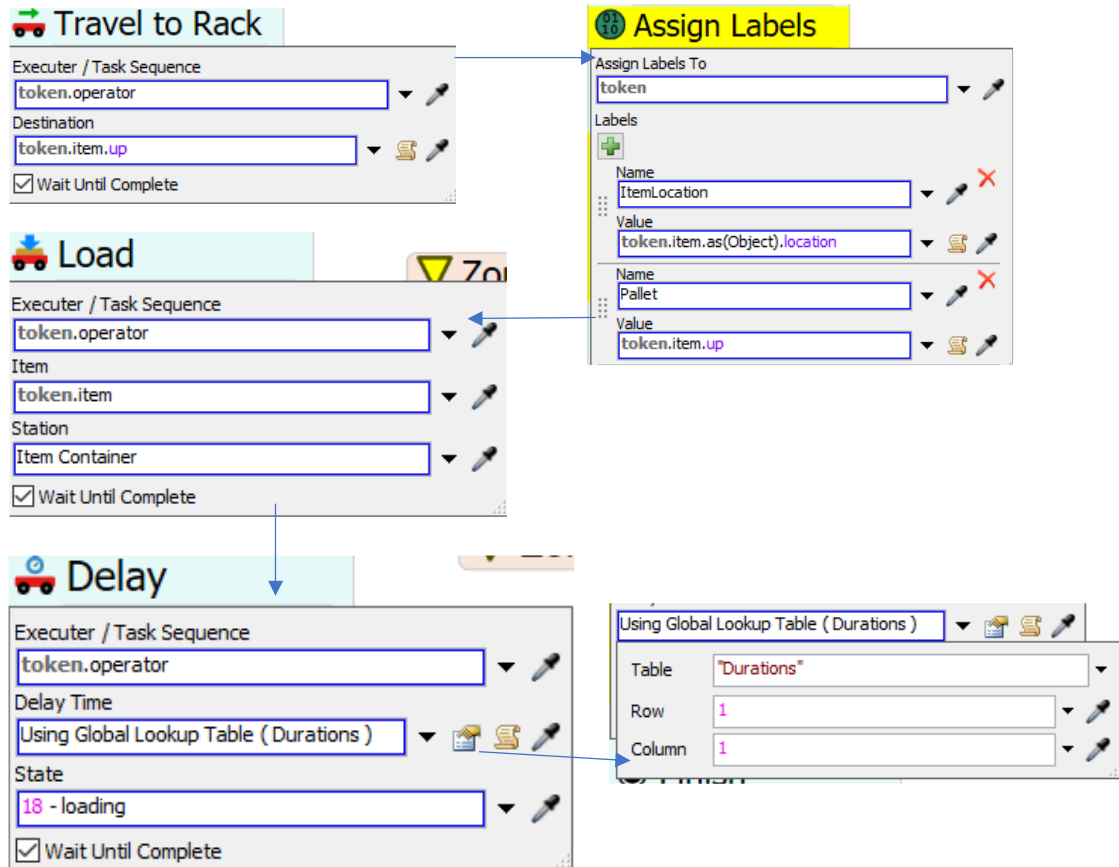
Το επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθεί είναι η λήψη των δεδομένων συλλογής κιβωτίου από τη λίστα Inventories. Η διαδικασία αυτή καθορίζεται στο σχήμα B.36 που ακολουθεί.



Σχήμα B.36: Εντολές Process Flow για λήψη δεδομένων συλλογής

Ως λίστα αναφοράς καθορίζεται η λίστα Inventories, ως Request Number 1 κιβώτιο, τα κιβώτια που θα συλλεχθούν λαμβάνουν το αναγνωριστικό token.item και φυσικά η επιλογή του σωστού τύπου κιβωτίου γίνεται με βάση το πεδίο Type. Για να το πετύχουμε αυτό απαιτείται το ερώτημα WHERE Type==puller.Type ORDER BY Rank DESC δίνοντας προτεραιότητα στο πιο πρόσφατο που τοποθετήθηκε, ώστε να μην αδειάζει το ράφι από το κάτω μέρος.

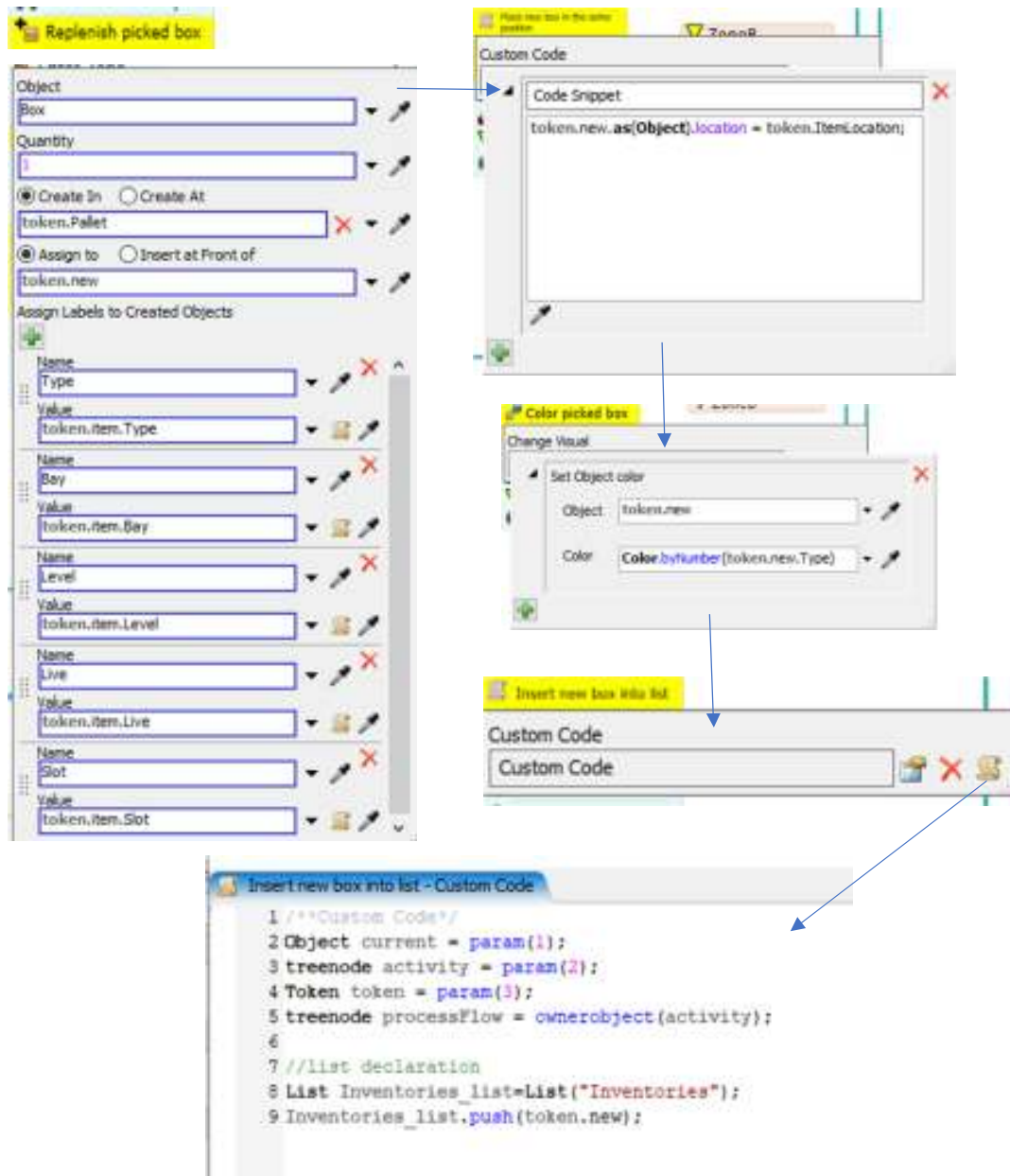
Οι επόμενες τρεις εντολές που ακολουθούν και απεικονίζονται στο σχήμα B.37 εξυπηρετούν στο να μετακινηθεί ο Operator1 στο ράφι, στη δημιουργία Label για το κιβώτιο που θα συλλεχθεί ώστε να μπορεί να αναπληρωθεί, φόρτωση του κιβωτίου και ορισμός καθυστέρησης που αντιστοιχεί στο χρόνο που έχει οριστεί για συλλογή και απόθεση στον πίνακα Durations.



Σχήμα B.37: Εντολές Process Flow για συλλογή κιβωτίου από το ράφι

Το Process Flow συνεχίζει με τη λειτουργία της αναπλήρωσης όπως αυτή περιγράφεται παρακάτω και απεικονίζεται στο σχήμα B.38. Η λογική με την οποία επιτυγχάνεται αυτού είναι η ακόλουθη. Αμέσως μετά τη συλλογή δημιουργείται ένα καινούργιο κιβώτιο χρωματίζεται με το ίδιο χρώμα, τοποθετείται πάνω στην παλέτα και τέλος ωθείτε και πάλι στη λίστα των αποθεμάτων προκειμένου να είναι διαθέσιμο και πάλι για την επόμενη συλλογή. Αυτά προϋποθέτουν να έχει ήδη καταγραφεί η προηγούμενη θέση του αντικείμενου που έχουμε συλλέξει. Στο Process flow για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να τοποθετήσουμε τις παρακάτω εντολές.

Δημιουργούμε Label με όνομα ItemLocation και της δίνουμε τιμή, την υπάρχουσα θέση του item που θα συλλέξουμε στο επόμενο βήμα, ώστε να ξέρουμε που θα τοποθετήσουμε το νέο.



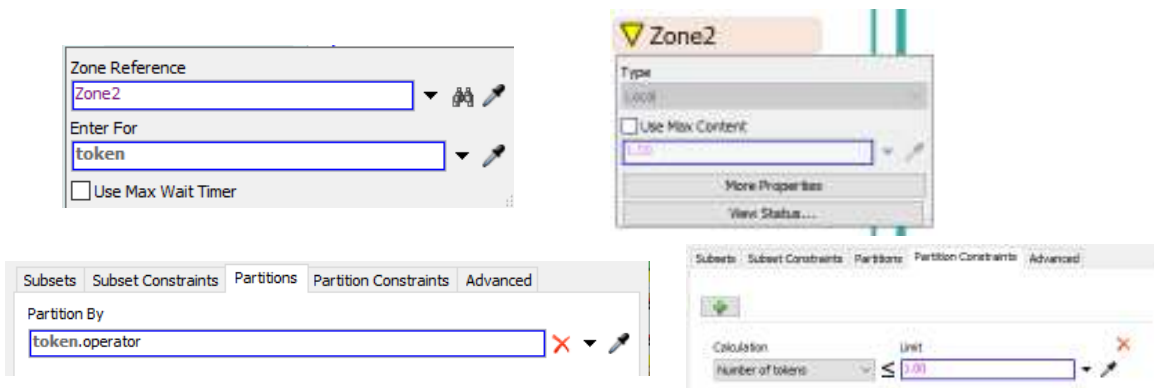
Σχήμα Β.38: Αναπλήρωση συλλεχθέντος κιβωτίου

Το Sub Flow ολοκληρώνεται με την έξοδο από το Zone **Exit Zone** και επιστροφή του ελέγχου στο σημείο που είχε κληθεί. Με την επιστροφή στο σημείο αυτό ξανακαλείται το Sub Flow ώστε να ληφθούν όλα τα κιβώτια της παραγγελίας. Μόλις όλα έχουν συλλεχθεί ολοκληρώνεται και αυτό το Sub Flow και ο έλεγχος επιστρέφει στο σημείο που αυτό είχε κληθεί. Μόλις ολοκληρωθεί και αυτό το Sub Flow, καλείται ένα άλλο που αναλαμβάνει στην εκφόρτωση των κιβωτίων στην παλέτα. Στο σχήμα Β.39 φαίνεται η κλήση του συγκεκριμένου Sub Flow και ακολουθεί η επεξήγηση των ρυθμίσεων του.



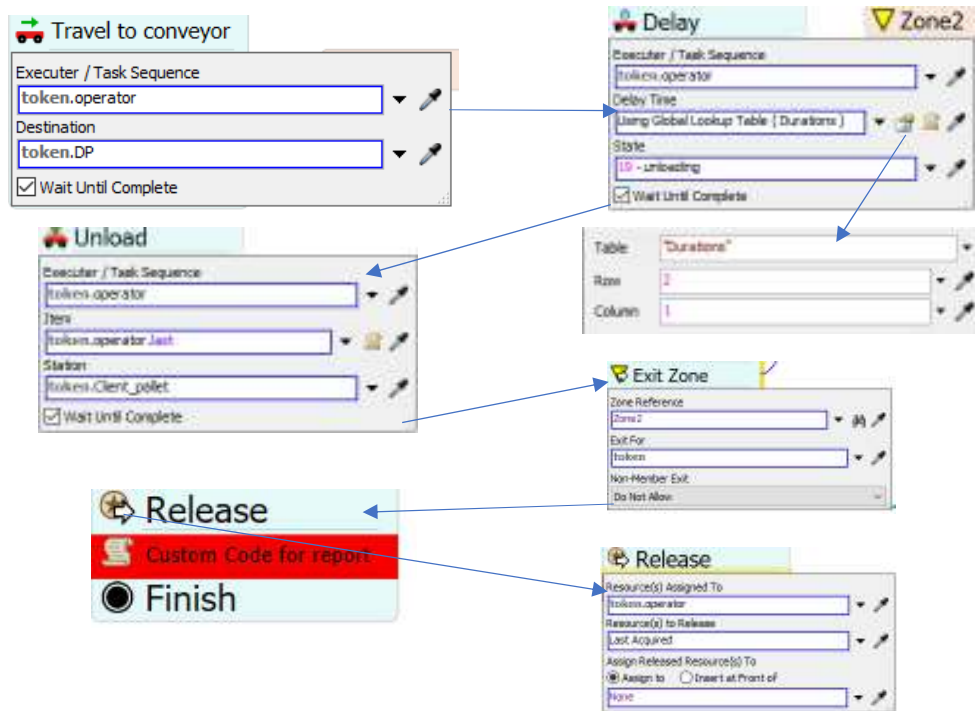
Σχήμα B.39: Κλήση Sub Flow για εκφόρτωση κιβωτίων στην παλέτα

Η πρώτη εντολή του Sub Flow υλοποιεί την είσοδο στο Zone2 του οποίου οι ρυθμίσεις παρουσιάζονται στο Σχήμα B.40.



Σχήμα B.40: Ρυθμίσεις Zone2 για απόθεση κιβωτίων

Στη συνέχεια ο Operator1 κινείται στον Conveyor1 και συγκεκριμένα στο DP με το οποίο έχει συνδεθεί. Στο σημείο αυτό τοποθετείται εντολή καθυστέρησης Delay ώστε να προσομοιωθεί ο χρόνος που απαιτείται για την εκφόρτωση των κιβωτίων με βάση τον πίνακα Durations. Ακολουθεί η εκφόρτωση και τέλος έξοδος από το Zone2, αποδέσμευση του Operator1 και καταγραφή του χρόνου τερματισμού της συλλογής κιβωτίων ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτήθηκε. Τέλος ο έλεγχος ροής επιστρέφει στο σημείο που είχε κληθεί το Sub Flow. Οι ενέργειες που περιγράφηκαν απεικονίζονται στο σχήμα B.41 της επόμενης σελίδας.



Σχήμα Β.41: Ρυθμίσεις εκφόρτωσης των κιβωτίων

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στον υπολογισμό της διάρκειας καθώς απαιτείται συγγραφή κώδικα και εισαγωγή των αποτελεσμάτων στον Global Table Report1. Οι λεπτομέρειες και ο κώδικας φαίνονται στον σχήμα Β.42.

```

Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode processFlow = ownerobject(activity);
{ /******* PickOption Start *****/
/**popup:AddRowToGlobalTableNew*/
/**Add Row and Data to GlobalTable*/
/** \nAs each flowitem enters, add a new row to a GlobalTable and write data to
that row.*/
Variant tableID = /** \nTable: ****tag:table****/"Report1"****/;
int columns = /** \nNumber of Columns: ****tag:col_ct****/0****/;

Table table;
switch (tableID.type) {
case VAR_TYPE_NODE: table = tableID; break;
case VAR_TYPE_STRING: table = Table(tableID.as(string)); break;
default:
table = reftable(tableID.as(int));
break;
}

double rows = table.numRows + 1;

```

```

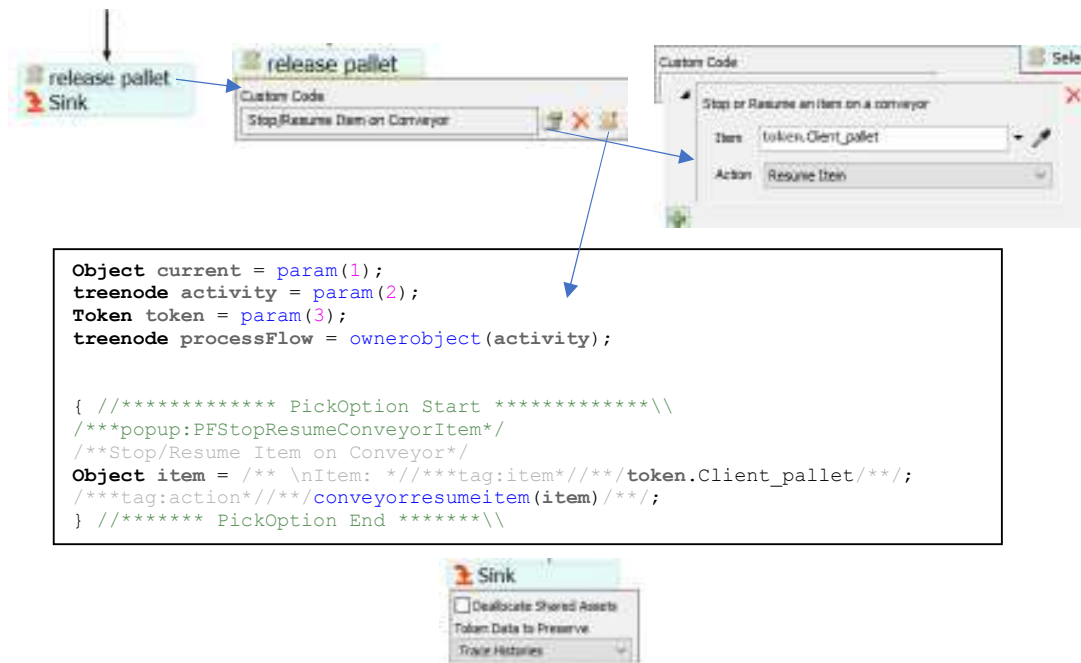
table.setSize(rows, maxof(columns, table.numCols));

/** \nCommands to set the data in the new row:*/
int i = 1;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/token.Start/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time/**/; i++;
/** \n */table[rows][i] = /** *//**/Model.time-token.Start/**/; i++;
/***/
} //***** PickOption End *****\

```

Σχήμα B.42: Ρυθμίσεις καταγραφής χρόνου στον Global Table Report1

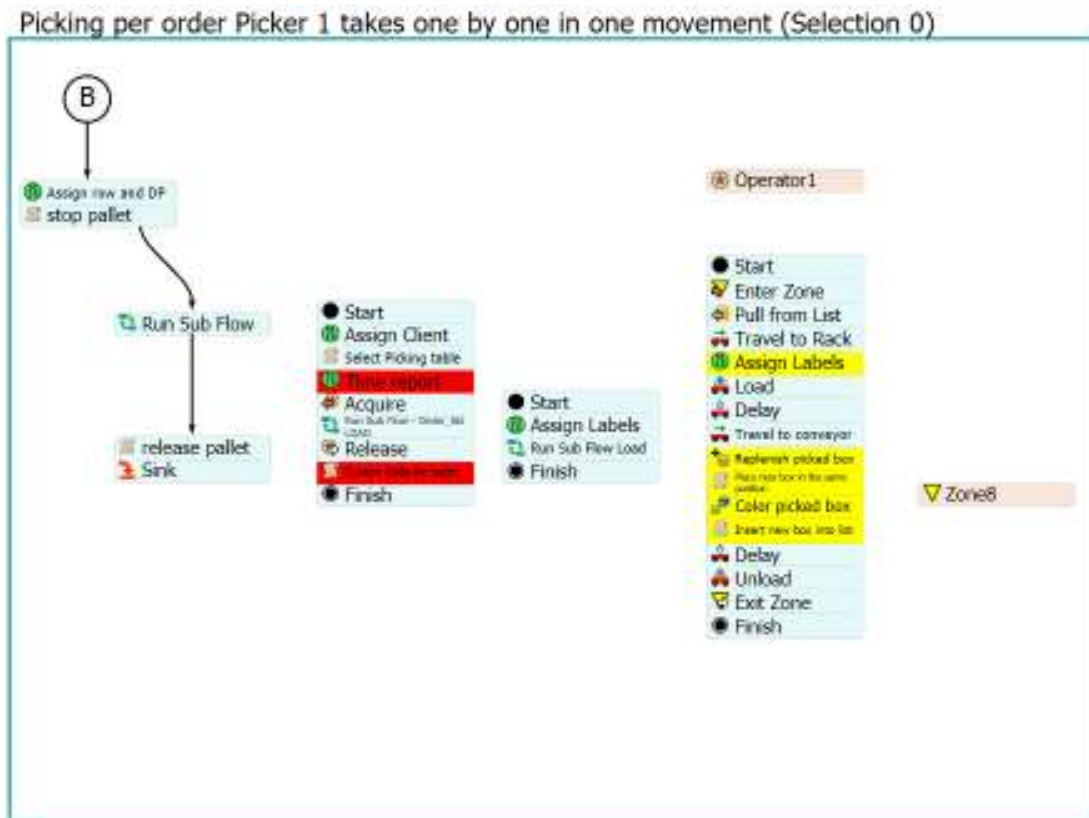
Στη συνέχεια ο έλεγχος επιστρέφει στο σημείο του Process Flow, όπου είχε κληθεί το Sub Flow μετά τη διακοπή κίνησης της παλέτας. Έτσι η επόμενη εντολή απελευθερώνει την παλέτα ώστε να ξεκινήσει από το DP1 και να συνεχίσει τη διαδρομή της πάνω στο Conveyor1 μέχρι το επόμενο DP στο οποίο απαιτείται να σταματήσει ξανά για να φορτωθεί με τα επόμενα κιβώτια από άλλον Operator. Η συγκεκριμένη ενέργεια απαιτεί συγγραφή κώδικα που δίνεται στο σχήμα B.43. Στη συνέχεια το Process Flow ολοκληρώνεται.



Σχήμα B.43: Απελευθέρωση της παλέτας και τερματισμός Process Flow

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω πρέπει να υλοποιηθεί και για τους υπόλοιπους 9 Operators τροποποιώντας κάθε φορά κάποια σημεία. Οι τροποποιήσεις θα παρουσιαστούν παρακάτω, αφού επεξηγηθεί και η λογική B.

Στη συνέχεια ακολουθεί η λογική B που αφορά στη συλλογή ενός μόνο κιβωτίου σε κάθε προσέγγιση στο ράφι. Στο σχήμα B.44 δίνεται η δομή του Process Flow.



Σχήμα B.44: Process Flow συλλογής ενός κιβωτίου κάθε φορά

Πρόκειται για τις ίδιες ακριβώς εντολές, αλλά σε κάποιο σημείο έχει τροποποιηθεί η σειρά. Στη λογική A υπήρχαν 4 Sub Flow. Το τελευταίο Sub Flow που καλούνταν με όνομα εντολής run Sub Flow unload (Σχήματα B.39, B.40 και B.41) είχε ως σκοπό την απόθεση στην παλέτα όλων των κιβωτίων που είχαν συλλεχθεί. Στη λογική B αυτό πρέπει να γίνεται κάθε φορά που συλλέγεται ένα κιβώτιο. Επομένως καταργείται το παραπάνω Sub Flow και οι εντολές του ενσωματώνονται στο Sub Flow με όνομα εντολής Run Sub Flow Load. Δηλαδή ουσιαστικά επαναλαμβάνονται οι ίδιες ρυθμίσεις εντολών αλλά τοποθετημένες σε διαφορετική σειρά. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι τώρα απαιτείται είσοδος σε Zone μόνο μια φορά. Συγκεκριμένα πρόκειται για το Zone8 που η είσοδος σε αυτό γίνεται κατά την έναρξη του Sub Flow ενώ η έξοδος στο τέλος του. Οι ρυθμίσεις είναι ακριβώς ίδιες όπως και στα άλλα Zones που έχουν περιγραφεί στη λογική A.

Το τελευταίο βήμα που απαιτείται προκειμένου να ολοκληρωθεί το μοντέλο είναι η αντιγραφή του συνολικού Process Flow που περιγράψαμε (Σχήματα B.23 – B.43) για τους

υπόλοιπους 9 Operators. Το τελικό Process Flow που διεκπεραιώνει τη συλλογή των παραγγελιών, παρουσιάζεται στο σχήμα B.45.



Σχήμα B.45: Process Flow μοντέλου TO-BE 1

Πρόκειμένου να γίνει αυτό απαιτείται αντιγραφή – επικόλληση του Process Flow του Operator1 και κάθε φορά να γίνουν οι ακόλουθες τροποποιήσεις :

- 1) Copy – Paste το Process Flow.
- 2) Αλλαγή ονόματος Process Flow και αριθμό Picker σε όλους τους τίτλους.
- 3) Στο Choose logic – Picker X :
Source : Αλλάζουμε τον αριθμό του DP.
- 4) Στη λογική B
 - Assign row and DP : Αλλάζουμε την τιμή του Label DP.
 - Custom Code for report : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του global table Report.
 - Στο Resource με όνομα OperatorX : Αλλάζουμε στο Reference τον αριθμό στο όνομα του Operator.

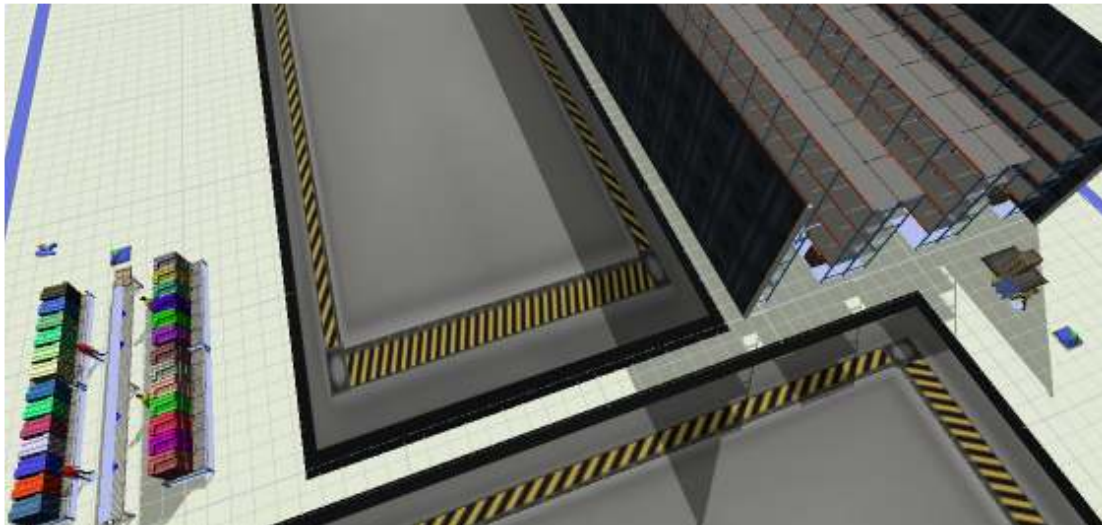
- Assign Labels : Στην τιμή του Label Live : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του PickingListOperator.
- 5) Στη λογική A
- Assign row and DP : Αλλάζουμε την τιμή του Label DP.
 - Custom Code for report : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του global table Report.
 - Assign Labels : Στην τιμή του Label Live : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του PickingListOperator.
- 6) Εισάγουμε στον GlobalTable PickingListOperator τα δεδομένα για τον αντίστοιχο picker.

Παράρτημα Γ : Επεξήγηση ρυθμίσεων και σχεδιασμού του υβριδικού μοντέλου προσομοίωσης της προτεινόμενης λειτουργίας συλλογής, με συνδυασμό ραφιών live storage-ραουλόδρομου και ραφιών back-to-back, στο εργαλείο FlexSim (TO-BE 2)

Στο παράρτημα Γ γίνεται περιγραφή των απαραίτητων ενεργειών που πρέπει να γίνουν, ώστε να συνδυαστούν τα μοντέλα AS-IS και TO-BE 1 με σκοπό να υλοποιηθεί το υβριδικό μοντέλο TO-BE 2.

Αρχικά υπενθυμίζεται ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η παραμετροποίηση του. Συγκεκριμένα, έχει αποφασιστεί τοποθέτηση των κωδικών A (με βάση την ταχυκίνησή) σε 4 Live Storage ράφια και τοποθέτηση των κωδικών B και C στα ράφια back-to-back. Έτσι απαιτείται συνδυασμός μεθόδων συλλογής παραγγελιών. Δηλαδή Zone Picking για εκείνα τα SKUs που βρίσκονται στα Live Storage και Discrete Picking για εκείνα που βρίσκονται στα back-to-back. Στο τέλος δημιουργούνται δυο ξεχωριστές παλέτες για κάθε παραγγελία οι οποίες μπορεί να αποσταλούν ξεχωριστά ή να ενοποιηθούν σε μια. Στο ζητούμενο της παρούσας μελέτης δεν απαιτούνταν ενοποίηση των δυο παλετών.

Στο Σχήμα Γ.1 απεικονίζεται μια γενική άποψη του μοντέλου που δείχνει τη διάταξη του εξοπλισμού.



Σχήμα Γ.1: Γραφική απεικόνιση του μοντέλου TO-BE 2

Η υλοποίηση αυτού του μοντέλου έχει γίνει λαμβάνοντας αυτούσιο το μοντέλο AS-IS , προσθέτοντας κατάλληλα τροποποιημένο ένα μέρος του μοντέλου TO-BE 1 ώστε να

εξυπηρετεί μόνο τα SKUs τύπου A. Παρακάτω δίνονται οδηγίες για το πως μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα παραρτήματα A και B. Έχει γίνει προσπάθεια να αποφευχθεί επανάληψη των ίδιων επεξηγήσεων αλλά αντίθετα να δοθούν σαφείς οδηγίες για το σωστό συνδυασμό.

Αρχικά ξεκινάμε με το μοντέλο AS-IS αφού αυτό δε χρειάζεται καμιά αλλαγή στην υλοποίηση του Process Flow παρά μόνο στη δομή των πινάκων, καθώς και στα δεδομένα του πίνακα Picking_list όπου πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα των κωδικών B και C. Δηλαδή το τμήμα αυτό λειτουργεί εξ' ολοκλήρου όπως το μοντέλο AS-IS αλλά με διαφορετικά δεδομένα παραγγελιογραμμών και επιπλέον, διαφορετική ονοματοδοσία και διαστάσεις στους πίνακες. Οι νέες ονομασίες καθώς και οι διαστάσεις των πινάκων παρουσιάζονται στον πίνακα Γ.1 που ακολουθεί.

Πίνακας Γ.1: Αντιστοιχία πινάκων AS-IS με TO-BE 2

Πίνακας μοντέλου AS-IS	Τροποποιημένος πίνακας μοντέλου TO-BE 2
Inventories [107],[6]	Inventories1[77],[6]
Picking_list [60387],[4]	Picking_list[22019],[4]
Report [0],[3]	Report6 [0],[3]
Report2 [0],[3]	Report5 [0],[3]

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει μετονομασία στη λίστα Inventories που πρέπει να μετονομαστεί σε Inventories1 χωρίς καμία άλλη τροποποίηση.

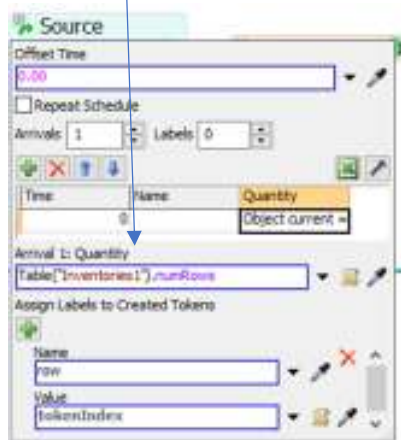
Προκειμένου όμως να καταστεί λειτουργικό το μοντέλο, ελέγχονται μια προς μια οι εντολές του Process Flow και αντικαθίστανται τα παλιά ονόματα των πινάκων και των λιστών με τα νέα, όπου αυτά εμφανίζονται.

Ακολουθεί παράδειγμα ώστε να γίνει αυτή η ενέργεια πλήρως κατανοητή, καθώς η σημασία της σωστής υλοποίησης είναι καθοριστική για τη σωστή λειτουργία του μοντέλου. Στο σχήμα Γ.2 δίνεται η τροποποίηση της εντολής Source στο τμήμα Inventories creation.



AS-IS

```
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
int rowNum = param(3);
int repeatCount = param(4);
treenode Process Flow = ownerobject(activity);
return
/**/Table("Inventories1").numRows/**direct*/;
```



TO-BE 2

Σχήμα Γ.2: Αλλαγή ονομάτων πινάκων και λιστών στις εντολές

Μόλις ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία καλό είναι να γίνει δοκιμή ώστε να διαπιστωθεί η επιτυχής τροποποίηση του μοντέλου μέχρι αυτό το σημείο. Ένα πρόβλημα που υπήρξε κατά τη μετατροπή λειτουργία ήταν ότι κάποιες παραγγελίες δεν περιείχαν κωδικούς B και C οπότε και έλειπαν κωδικοί παραγγελιών. Οπότε επειδή το μοντέλο λειτουργεί σειριακά ως προς τους κωδικούς παραγγελίας, όταν έφτανε στο σημείο που μια παραγγελία δεν υπήρχε, προκαλούνταν διακοπή της λειτουργίας. Αυτό αντιμετωπίστηκε όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5 καθώς η λύση έχει να κάνει με την ανάλυση των δεδομένων συλλογής και όχι με παραμετροποίηση των εντολών.

Στη συνέχεια από το μοντέλο TO-BE 1 γίνεται αντιγραφή-επικόλληση των τεσσάρων ραφιών Live Storage από τα 10 που υπήρχαν συνολικά. Για λόγους αποφυγής σύγχυσης επιλέγονται τα πρώτα τέσσερα ράφια. Επιπλέον, το τμήμα του Process Flow που πρέπει να μεταφερθεί στο νέο μοντέλο είναι αυτό που περιέχει τη δημιουργία εμπορευμάτων (Rack

filling process) καθώς και τα υποτημήματα για τους Operators 1 έως και 4. Βέβαια χρειάζονται κάποιες τροποποιήσεις ώστε να μπορέσει να καταστεί λειτουργικό και φυσικά εδώ πρέπει να εισαχθούν οι πίνακες και οι λίστες από μηδενική βάση. Έτσι στον πίνακα Γ.2 δίνονται τα ονόματα και οι διαστάσεις των απαραίτητων πινάκων.

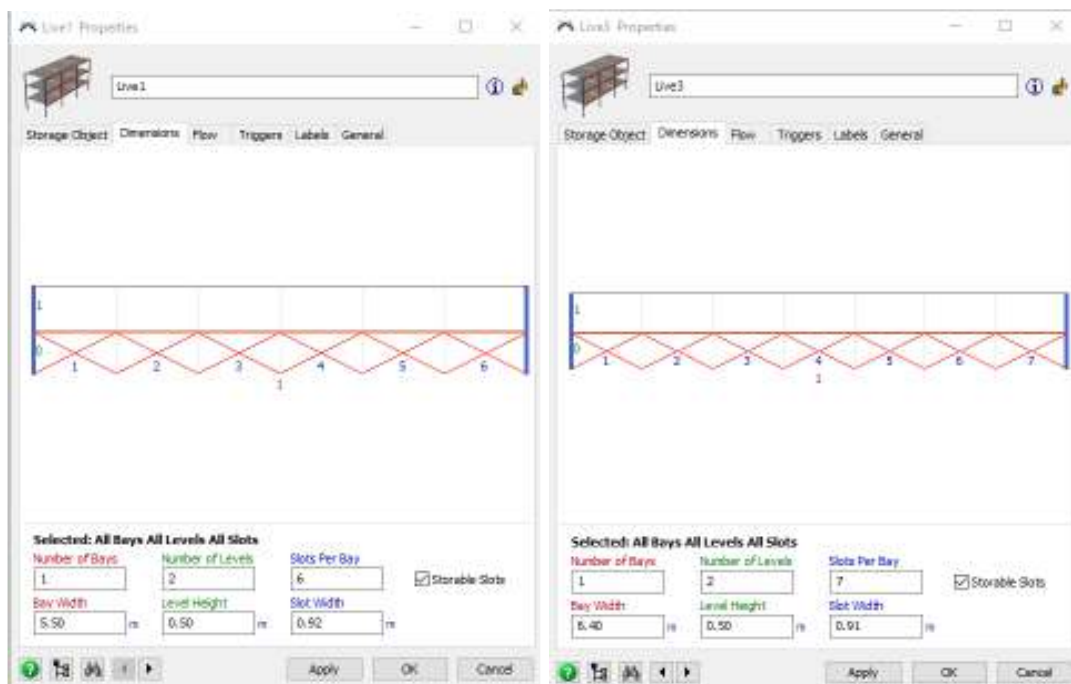
Πίνακας Γ.2: Περιγραφή και ονομασία πινάκων

Ονομασία [πλήθος γραμμών],[πλήθος στηλών]	Περιγραφή
orders [4848],[2]	1 ^η στήλη, αριθμός παλετών/παραγγελία, 2 ^η στήλη α/α παραγγελίας
PickingMethod [1],[1]	Ανάλογα με την τιμή {0,1} επιλέγεται ποιο process flow θα λειτουργήσει. Αν έχει την τιμή 0 ο Operator συλλέγει ένα – ένα τα κιβώτια. Αν έχει την τιμή 0, συλλέγει όλα μαζί τα κιβώτια.
Inventories [26],[6]	Περιέχει για κάθε A SKU τα εξής στοιχεία : Type (Κωδικός), Live (σε ποιο ράφι τοποθετείται), Bay (Σε ποιο φάτνωμα τοποθετείται), Level (Σε ποιο επίπεδο τοποθετείται), Slot (Σε ποια θυρίδα τοποθετείται), Quantity (Ποια ποσότητα τοποθετείται πάνω στα ράφια)
Durations [2],[1]	Στον πίνακα αυτό βρίσκονται οι χρόνοι καθυστέρησης που χρειάζονται για να φορτώσει και να ξεφορτώσει ένα κιβώτιο. Στο στοιχείο [1],[1] χρόνος φόρτωσης ενώ στο [2],[1] χρόνος ξεφορτώματος.
PickingListOperatorX [Y],[4] όπου X = 1 ,...,4 Y = 0, ... , Πλήθος παραγγελιογραμμών του OperatorX	Εδώ υπάρχουν οι παραγγελιογραμμές που αφορούν τον κάθε picker. 1 ^η στήλη : Ράφι πάντα X, 2 ^η στήλη Type, 3η στήλη Quantity, 4 ^η στήλη Αριθμός παραγγελίας.
ReportX [Y],[3] όπου X = 1, ...,4 όπου Y = 0, ... , Πλήθος παραγγελιογραμμών του OperatorX	Περιέχει το χρόνο συλλογής ανά picker ανά παραγγελία. Η πρώτη στήλη το χρόνο έναρξης της μέτρησης, μόλις δηλαδή σταμάτησε η παλέτα, η δεύτερη στήλη το χρόνο που ξεκίνησε η παλέτα για τον επόμενο και η τρίτη στήλη το χρόνο

που διήρκησε η συλλογή. Στο τέλος, οι τελευταίες στήλες σε όλους αυτούς τους πίνακες πρέπει να αθροιστούν. Επιπλέον πρέπει να προστεθεί και ο χρόνος που κινείται η παλέτα πάνω στο ραουλόδρομο για όλες τις παραγγελίες.

Η Global list με όνομα Inventories που υπήρχε στο μοντέλο TO-BE 1 δε χρειάστηκε μετονομασία.

Στα ράφια Live Storage τροποποιήθηκαν οι διαστάσεις καθώς τώρα τα 1 και 2 περιέχουν 6 τύπους κιβωτίων, ενώ τα 3 και 4 περιέχουν 7 διαφορετικούς τύπους. Ενδεικτικά στο σχήμα Γ.3 παρουσιάζονται οι διαστάσεις των ραφιών 1 και 3.



Σχήμα Γ.3: Αλλαγή διαστάσεων ραφιών Live Storage

Πριν να ξεκινήσει η τροποποίηση του Process Flow ο παρακάτω κώδικας είναι απαραίτητος ώστε να τοποθετηθούν τα αντικείμενα με βάση τις σωστές αποστάσεις που απαιτούνται. Αυτό, όπως έχει ήδη εξηγηθεί στα προηγούμενα παραρτήματα, υλοποιείται από το μενού του FlexSim στην επιλογή Debug, Script Console. Στο παράθυρο που ανοίγει γράφουμε και

εκτελούμε τον κώδικα που τακτοποιεί τα Live Storage, το Conveyor και το Queue σε σχέση με τα αντικείμενα του μοντέλου AS-IS.

```
Object live1 = Model.find("Live1");
Object live2 = Model.find("Live2");
Object live3 = Model.find("Live3");
Object live4 = Model.find("Live4");
Object orders_queue = Model.find("OrdersToShipment");
Object conveyor = Model.find("Conveyor1");
conveyor.location.x=live1.location.x+5.5;
conveyor.location.y=live1.location.y+2;
live2.location.x = live1.location.x;
live3.location.x = live1.location.x-6.6;
live4.location.x = live2.location.x-6.6;
live2.location.y = live1.location.y+6;
live3.location.y = live1.location.y;
live4.location.y = live1.location.y+6;
```

Το παραπάνω Script κρίνεται σκόπιμο να αποθηκευθεί, καθώς αν κάποιο αντικείμενο μετακινηθεί, μπορεί να εκτελεστεί ξανά και όλα τα αντικείμενα να τοποθετηθούν στις σωστές θέσεις.

Επιπλέον εισάγουμε αντικείμενο A*navigator και συνδέουμε όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα όπως περιγράφηκε και στα προηγούμενα μοντέλα.

Τώρα ξεκινάει η τροποποίηση του Process Flow για το τμήμα που εισήχθη από το TO-BE 1. Στο τμήμα Rack filling process δεν απαιτείται καμιά αλλαγή. Σε ότι αφορά τη συλλογή

```
/**Custom Code*/
Object current = param(1);
treenode activity = param(2);
Token token = param(3);
treenode processFlow = ownerobject(activity);

Table picking_list_1=Table("PickingListOperator1");
Table picking_list_2=Table("PickingListOperator2");
Table picking_list_3=Table("PickingListOperator3");
Table picking_list_4=Table("PickingListOperator4");
Table order_list=token.labels["order_list"].as(Table);
Table wynik;
Table picking;

int client_id=token.Client;
string dp_name=token.DP.name;
int dp_number=stringtonum(dp_name.slice(3,4));

if(dp_number==1){
    picking=picking_list_1;
}else
    if(dp_number==2){
        picking=picking_list_2;
}else
    if(dp_number==3){
        picking=picking_list_3;
}else{
        picking=picking_list_4;
    }

wynik=Table.query("SELECT * FROM $1 WHERE ClientID =$2 AND Quantity>0", picking, client_id);
wynik.cloneTo(order_list);
```

κιβωτίων απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία είναι η τροποποίηση του κώδικα που υπάρχει τόσο στη λογική A, όσο και στη B στο σημείο που αντιστοιχεί PickingList. Παράκατω ακολουθεί ο κώδικας που πρέπει να τοποθετηθεί στις εντολές Select Picking Table.

Αφού τροποποιηθεί ο κώδικας, αντιγράφουμε το Process Flow του Operator1 και το επικολλούμε για τους άλλους 3 Operators. Φυσικά πρέπει να γίνουν και τροποποιήσεις στα Process Flow όπως και στο μοντέλο TO-BE 1. Ακολουθούν οι τροποποιήσεις.

Operator1 και κάθε φορά να γίνουν οι ακόλουθες τροποποιήσεις :

- 1) Copy – Paste το Process Flow.
- 2) Αλλαγή ονόματος Process Flow και αριθμό Picker σε όλους τους τίτλους.
- 3) Στο Choose logic – Picker X :
Source : Αλλάζουμε τον αριθμό του DP.
- 4) Στη λογική B
 - Assign row and DP : Αλλάζουμε την τιμή του Label DP.
 - Custom Code for report : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του global table Report.
 - Στο Resource με όνομα OperatorX : Αλλάζουμε στο Reference τον αριθμό στο όνομα του Operator.
 - Assign Labels : Στην τιμή του Label Live : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του PickingListOperator.
- 5) Στη λογική A
 - Assign row and DP : Αλλάζουμε την τιμή του Label DP.
 - Custom Code for report : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του global table Report.
 - Assign Labels : Στην τιμή του Label Live : Αλλάζουμε τον αριθμό στο όνομα του PickingListOperator.
- 6) Εισάγουμε στον GlobalTable PickingListOperator τα δεδομένα για τον αντίστοιχο picker.

Παράρτημα Δ : Συνοδευτικό υλικό του οπτικού δίσκου

Η παρούσα διπλωματική διαθέτει συνοδευτικό οπτικό δίσκο που περιέχει τα κάτωθι αρχεία:

Πίνακας Δ.1: Συνοδευτικά αρχεία διπλωματικής

Όνομα αρχείου	Περιγραφή
Λευκάκης_διπλωματική.docx	Το αρχείο του Microsoft Word με το κείμενο της διπλωματικής
Λευκάκης_διπλωματική.pdf	Το αρχείο pdf με το κείμενο της διπλωματικής
Λευκάκης_παρουσίαση.pptx	Το αρχείο του Microsoft Powerpoint με τις διαφάνειες της διπλωματικής
AS-IS.fsm	Το αρχείο του FlexSim με το μοντέλο που αναπαριστά την υφιστάμενη διαδικασία συλλογής
TO-BE1A.fsm	Το αρχείο του FlexSim με το μοντέλο που αναπαριστά το 1 ^ο σενάριο αναδιοργάνωσης που χρησιμοποιεί ράφια Live storage και ραουλόδρομο, ρυθμισμένο ώστε ο πικαδόρος να συλλέγει ένα κιβώτιο κάθε φορά
TO-BE1B.fsm	Το αρχείο του FlexSim με το μοντέλο που αναπαριστά το 1 ^ο σενάριο αναδιοργάνωσης που χρησιμοποιεί ράφια Live storage και ραουλόδρομο, ρυθμισμένο ώστε ο πικαδόρος να συλλέγει όλα μαζί τα κιβώτια
TO-BE2.fsm	Το αρχείο του FlexSim με το μοντέλο που αναπαριστά το 2 ^ο σενάριο αναδιοργάνωσης που χρησιμοποιεί ράφια Live storage και ραουλόδρομο για τους κωδικούς τύπου A και ράφια Back-to-back για τους κωδικούς B & C
AS-IS_DATA.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel με όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο AS-IS καθώς και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τη δοκιμή.
TO-BE1_DATA.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel με όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο TO-BE1 καθώς και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τη δοκιμή
TO-BE2_DATA.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel με όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο TO-BE2 καθώς και τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τη δοκιμή

NPV-IRR_as-is.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel που περιλαμβάνει την οικονομοτεχνική μελέτη που περιλαμβάνεται στη διπλωματική εργασία και αφορά το μοντέλο AS-IS
NPV-IRR_to-be.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel που περιλαμβάνει την οικονομοτεχνική μελέτη που περιλαμβάνεται στη διπλωματική εργασία και αφορά το μοντέλο TO-BE 1
Οριακή ανάλυση IRR & Ανάλυση ευαισθησίας.xlsx	Το αρχείο του Microsoft Excel που περιλαμβάνει την οριακή ανάλυση και την ανάλυση ευαισθησίας για τον IRR
AS-IS.mp4	Το αρχείο mp4 που παρουσιάζει συνοπτικά το μοντέλο AS-IS
TO-BE1.mp4	Το αρχείο mp4 που παρουσιάζει συνοπτικά το μοντέλο TO-BE1
TO-BE2.mp4	Το αρχείο mp4 που παρουσιάζει συνοπτικά το μοντέλο TO-BE2

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Bahrami B., Aghezzaf E., Limere V., 2017, 'Using simulation to analyze picker blocking in manual order picking systems', *Proceedings of the 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy , pp. 1-2.
- Baker, Peter, Canessa, Marco. 2009, 'Warehouse design: A structured approach', *European Journal of Operational Research*, vol. 193, no. 2, pp. 425-436.
- Bartholdi, J.J., & Hackman, S.T. 2019, *Warehouse & Distribution Science*, The Supply Chain & Logistics Institute H. Milton Stewart School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology, US.
- Battini Daria, Glock Christoph H., Grosse Eric H., Persona Alessandro, Sgarbossa Fabio. 2016, 'Human energy expenditure in order picking storage assignment: A bi-objective method', *Computers & Industrial Engineering*, vol. 94, pp. 147-157.
- Bottani Eleonora, Volpi Andrea, Montanari Roberto. 2019, 'Design and optimization of order picking systems: An integrated procedure and two case studies', *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137.
- Boysen, Nils, Fedtke, Stefan, Weidinger, Felix. 2018, 'Optimizing automated sorting in warehouses: The minimum order spread sequencing problem', *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 1, pp. 386-400.
- Calzavara, Martina, Hanson, Robin, Sgarbossa, Fabio, Medbo, Lars, Johansson, Mats I. 2017, 'Picking from pallet and picking from boxes: a time and ergonomic study', *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 6888-6893.
- Cano, Jose & Correa-Espinal, Alexander A & Montoya, Rodrigo. 2017, 'An Evaluation of Picking Routing Policies to Improve Warehouse Efficiency', *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 8.
- Caron F., Marchet G., Perego A.. 2000, 'Optimal layout in low-level picker-to-part systems', *International Journal of Production Research* vol. 38, pp. 101-117.

- Chackelson C., Errasti A., Ciprés D., Lahoz F. 2013, 'Evaluating order picking performance trade-offs by configuring main operating strategies in a retail distributor: A Design of Experiments approach', *International Journal of Production Research*, vol. 51, no. 20, pp. 6097-6109.
- Charles G. Petersen, Gerald Aase. 2004, 'A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking', *International Journal of Production Economics*, vol. 92, no. 1, pp. 11-19.
- Chen F., Wang H., Xie Y., Qi C. 2014, 'An ACO-based online routing method for multiple order pickers with congestion consideration in warehouse', *Journal of Intelligent Manufacturing*, pp. 1-20.
- Chen, Xuchao, He, Shiwei, Li, Tingting, Li, Yubin. 2018, 'A Simulation Platform for Combined RailRoad Transport in Multiyards Intermodal Terminals', *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1-19.
- Comi, Antonio & Rosati, Luca. 2013, 'CLASS: a City Logistics Analysis and Simulation support System', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 87, pp. 321-337.
- 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*.
- Diefenbach Heiko, Glock Christoph H. 2019, 'Ergonomic and economic optimization of layout and item assignment of a U-shaped order picking zone', *Computers & Industrial Engineering*, vol. 138.
- Dukic, Goran, & Česnik, V. & Tihomir, Opetuk. 2010, 'Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing', *Strojarstvo*, vol. 52, pp. 23-31.
- Ene S., Öztürk N. 2012, 'Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry', *The international journal of advanced manufacturing technology*, vol. 60, pp. 787-797.
- Fager, P., Hanson, R., Medbo, L., Johansson, M.I. 2019, 'Kit preparation for mixed model assembly – Efficiency impact of the picking information system', *Computers and Industrial Engineering*, vol. 129, pp. 169-178.

- Fontana M.E., Nepomuceno V.S. 2016, 'Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-12.
- Gu, Jinxiang, Goetschalckx, Marc, McGinnis, Leon F. 2007, 'Research on warehouse operation: A comprehensive review', *European Journal of Operational Research*, vol. 177, no. 1, pp. 1-21.
- Harrison, A. & van Hoek, R. 2013, *Logistics: Μανάτζμεντ & Στρατηγική*, Α' έκδοση, Εκδόσεις Rosili, Ελλάδα.
- Hoad, Kathryn & Robinson, Stewart & Davies, Ruth. 2010. 'Automating warm-up length estimation.'. *JORS*. 61. pp. 1389-1403.
- Hong, Soondo, Johnson, Andrew L., Peters, Brett A. 2015, 'Quantifying picker blocking in a bucket brigade order picking system', *International Journal of Production Economics*, vol. 170, Part C, pp. 862-873.
- Hwang H. , Oh Y. H., Lee Y. K. 2004, 'An evaluation of routing policies for order-picking operations in low-level picker-to-part system', *International Journal of Production Research*, vol. 42, no. 18, pp. 3873-3889.
- Hwang Hark, Song Jin Young, 1993, 'Sequencing picking operations and travel time models for man-on-board storage and retrieval warehousing system', *International Journal of Production Economics*, vol. 29, no. 1, pp. 75-88.
- Kolahi, Samad, 2011. 'Simulation Model, Warm-up Period, and Simulation Length of Cellular Systems', *Proceedings - 2011 2nd International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, ISMS 2011. pp. 375 - 379. 10.1109
- Law, A.M. and Kelton, W.D. 2000, *Simulation Modelling and Analysis*, Mc-Graw Hill, 3rd Edition, US.
- Litvak, Nelly. 2006, 'Optimal picking of large orders in carousel systems', *Operations Research Letters*, vol. 34, no. 2, pp. 219-227.

- Manzini, R., Accorsi, R., Gamberi, M., Penazzi, S. 2015, 'Modeling class-based storage assignment over life cycle picking patterns', *International Journal of Production Economics*, vol. 170, Part C.
- Marcikic, Aleksandra & Radovanov, Boris. 2009, 'Simulation in inventory management. Perspectives of Innovations', *Economics and Business*, vol.3.
- Matson Jessica O., White John A. 1982, 'Operational research and material handling', *European Journal of Operational Research*, vol. 11, no. 4, pp. 309-318.
- Matusiak, Marek, De Koster René, Saarinen, Jari, 2017, 'Utilizing individual picker skills to improve order batching in a warehouse', *European Journal of Operational Research*, vol. 263, no. 3, pp. 888-899.
- Neumann, W.P., Medbo, L.2010, 'Ergonomic and technical aspects in the redesign of material supply systems: Big boxes vs. narrow bins', *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 40, no. 5, pp. 541-548.
- Pan Jason Chao-Hsien, Shih Po-Hsun, Wu Ming-Hung. 2012, 'Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system', *Computers & Industrial Engineering*, vol. 62, no. 2, pp. 527-535.
- Parikh, Pratik J., Meller, Russell D. 2008, 'Selecting between batch and zone order picking strategies in a distribution center', *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 44, no. 5, pp. 696-719.
- Ravi, V. and Shankar, R. 2006, 'Reverse logistics operations in paper industry: a case study', *Journal of Advances in Management Research*, vol. 3, no. 2, pp. 88-94.
- Reid, R. Dan, Sanders, Nada R. 2016, Διοίκηση επιχειρησιακών λειτουργιών, 1^η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Ελλάδα.
- Roodbergen, K.J., Koster, R., 2001. 'Routing methods for warehouses with multiple cross aisles', *International Journal of Production Research*, vol. 39, no. 9, pp. 1865–1883.

- Rouwenhorst ,B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J., Zijm, W.H.M. 2000, 'Warehouse design and control: Framework and literature review', *European Journal of Operational Research*, vol. 122, no. 3, pp. 515-533.
- Roy Debjit, Nigam Shobhit, De Koster René, Adan Ivo, Resing Jacques. 2019, 'Robot-storage zone assignment strategies in mobile fulfillment systems', *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 122, pp. 119-142.
- Schwerdtfeger, Bjoern & Reif, Rupert & Gunthner, Willibald & Klinker, Gudrun & Hamacher, Daniel & Schega, Lutz & Böckelmann, Irina & Doil, Fabian & Tümler, Johannes. 2009. 'Pick-by-Vision: A First Stress Test', *Science and Technology Proceedings - IEEE 2009 International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2009*, pp. 115 - 124.
- Vivek, Khanzode & Bhavin Shah. 2017. 'A comprehensive review of warehouse operational issues', *International Journal of Logistics Systems and Management*, vol.26.
- Weidinger Felix. 2018, 'Picker routing in rectangular mixed shelves warehouses', *Computers & Operations Research*, vol. 95, pp. 139-150.
- Yin, C, McKay, A. 2018, 'Introduction to Modeling and Simulation Techniques', *Proceedings of ISCIIA 2018 and ITCA 2018. The 8th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications and The 12th China-Japan International Workshop on Information Technology and Control Applications*.
- Zhang, Ren-Qian, Wang, Meng, Pan, Xing. 2019, 'New model of the storage location assignment problem considering demand correlation pattern', *Computers & Industrial Engineering*, vol. 129, pp. 210-219.
- Γαροφαλάκης Ιωάννης. 2015, 'Τεχνικές Εκτίμησης Υπολογιστικών Συστημάτων', Έκδοση: 1.0. Πάτρα, Ελλάδα.
- Γιαγλής Γιώργος, Καραγιαννάκη Αγγελική. 2012, *ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ*, Ο.Π.Α. (ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ), Ελλάδα.
- Γκιούρλιας Ιωάννης, Παύλου Χρήστος. 2020, *Φορολογική Δήλωση 2020 - Πρακτικός Οδηγός συμπλήρωσης για Νομικά Πρόσωπα*, Εκδόσεις EpsilonNet, Ελλάδα.

Δινοπούλου Βάγια, Χιωτίδης Γεώργιος. 2010, *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα - Β' τόμος*, Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ, Ελλάδα.

Δούνιας Γιώργος, Μουστάκης Βασίλης. 2002, *Μεθοδολογίες λήψης οικονομοτεχνικών αποφάσεων*, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Πυξίδα, Ελλάδα.

Επιμορφωτικό υλικό για την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στα Κέντρα Στήριξης Επιμόρφωσης, Τεύχος 2: Κλάδοι ΠΕ 60/70, δεύτερη έκδοση 2008, Πάτρα , ΙΤΥ.

Κουϊκόγλου Βασίλης. 2002, *Προσομοίωση – Σημειώσεις μαθήματος*, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μουστάκης, Β. Σ. 2013, *Πρακτικός Οδηγός Οικονομικής Ανάλυσης*, Εκδόσεις Τζιόλα, Ελλάδα.

Ρουμελιώτης, Μάνος. 2001, *Μοντελοποίηση και Προσομοίωση*, Πάτρα: ΕΑΠ, Ελλάδα.

Ρουμελιώτης Μ. & Σουραβλάς Σ. Ι. 2017, *Τεχνικές προσομοίωσης*, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Ελλάδα.