



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ PICKING ΣΕ ΜΙΑ ΑΠΟΘΗΚΗ ΜΕΣΩ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

υπό
ΜΠΑΛΤΖΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2021

© 2021 Μπαλτζής Αλέξανδρος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Στυλιανός Κουκούμαλος Καθηγητής, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Δημήτριος Παντελής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Θα ήθελα αρχικά να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Στυλιανό Κουκούμιαλο, για την πρόταση του για συνεργασία μαζί του και για την βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια εκπλήρωσης της εργασίας.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου και σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών για τη μετάγχιση γνώσεων μέσω των μαθημάτων τους. Οι ευχαριστίες επεκτείνονται και στον Καθηγητή κ. Σταμπουλή Γεώργιο του τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, καθώς οι γνώσεις και οι συμβουλές του ήταν καθοριστικές στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, και σε όλους τους φίλους μου για τη συνεχή υποστήριξη και βοήθεια τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ PICKING ΣΕ ΜΙΑ ΑΠΟΘΗΚΗ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΜΠΑΛΤΖΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2021

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Στυλιανός Κουκούμιαλος,

Καθηγητής Διοίκησης Επιχειρήσεων

Περίληψη

Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο πρόβλεψης της απόδοσης ενός συστήματος καθώς και της κατανόησης της λειτουργίας του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία δημιουργείται ένα μοντέλο προσομοίωσης για τον τομέα του picking ενός διαδικτυακού σούπερμάρκετ. Η επιχείρηση αυτή αποτελεί υποθετικό μοντέλο και με τη βοήθεια της προσομοίωσης ελέγχονται κομμάτια της λειτουργίας της. Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης, παρουσιάζεται το προσομοιωτικό πακέτο (Arena Simulation) το οποίο χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της προσομοίωσης. Έπειτα, δίνεται μια εικόνα του συστήματος προς μοντελοποίηση. Αφού καθοριστούν οι παράμετροι και οι σταθερές αυτού, επόμενο βήμα αποτελεί η δημιουργία του μοντέλου. Αυτό αποτελείται από 3 κύρια κομμάτια: την άφιξη των παραγγελιών, την εκτέλεση μιας παραγγελίας και την εναπόθεσή της στον τελικό σταθμό μαζί με τη καταγραφή των απαραίτητων αποτελεσμάτων. Τα μέτρα απόδοσης που πρόκειται να εξεταστούν είναι κυρίως ο μέσος χρόνος εκτέλεσης μιας παραγγελίας, η απαίτηση σε αριθμό εργαζομένων και η συσσώρευση των παραγγελιών πριν αυτές αποχωρήσουν από το σύστημα. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διάφορα εναλλακτικά σενάρια, μεταβάλλοντας τις διάφορες παραμέτρους του συστήματος. Αυτές είναι η διάταξη των αντικειμένων στην αποθήκη, ο αριθμός των εργαζομένων, οι χρονικές καθυστερήσεις διαμέσου της αποθήκης, καθώς και ο τρόπος εκτέλεσης των παραγγελιών. Τα αποτελέσματα αυτών συγκρίνονται ώστε να βγουν τα επιθυμητά πορίσματα. Τέλος, γίνεται μία σύνοψη όλων όσων παρουσιάστηκαν και δίνονται βελτιωτικές προτάσεις και επεκτατικές ενέργειες.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοίωση, Ηλεκτρονικό εμπόριο, Arena Simulation, picking, Βελτιωτικά σενάρια, διάταξη κωδικών, Αποθήκη

OPTIMIZATION OF WAREHOUSE SPACE, ITEM STORAGE AND PICKING ROUTES

MPALTZIS ALEXANDROS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2021

Supervisor: Dr Stylianos Koukounialos

Professor of Operational Management

Abstract

Simulation is a tool for predicting the performance of a system as well as understanding its operation. The present thesis deals with the creation of a simulation model representing the picking operations of an e-commerce warehouse. With the help of the simulation, parts of the operations of this hypothetical model are tested. At first, an introduction is made by analyzing the definitions and points to be tackled. Moreover, the simulation program at use (Arena Simulation) and its basic functions and operations are presented. Then, the whole operation of the model is described in detail and it is accompanied with the establishment of all the necessary variables and constants for its operation. The next step, is the building of the model. It consists by three main parts: the arrival of the orders, the picking and routing operations and the deposit of the ready orders with the data collection. The efficiency measures that are to be optimized are the order throughput, the required personnel and the accumulation of the ready orders before they leave the system. Following that, multiple scenarios have been constructed in order for their outcomes to be compared and produce the desired results. Such thing was done by changing values in the system's variables and constants such as the item layout, the number of pickers, time delays during the routing and picking processes and the picking strategy. Lastly, a summary of the thesis and its results is made and some prospects for further extension of the work are proposed.

Key Words: Simulation, E-commerce, Arena simulation, Picking, Improvement Scenarios, Item Layout, Warehouse

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Εφοδιαστική αλυσίδα και Logistics	1
1.2	Αποθήκευση και κέντρο διανομής	2
1.2.1	Εκπλήρωση παραγγελιών (order picking)	3
1.3	Εισαγωγή στην Προσομοίωση	6
1.3.1	Συστήματα και Μοντελοποίηση	7
2	Παρουσίαση του συστήματος προς μελέτη και του προγράμματος προσομοίωσης	8
2.1	Σύστημα κέντρου διανομής	8
2.1.1	Γενική εικόνα συστήματος	8
2.1.2	Τμήμα παραλαβής παραγγελιών	8
2.1.3	Εκτέλεση παραγγελίας και επιλεγόμενη διαδρομή	10
2.1.4	Εναπόθεση και ολοκλήρωση της παραγγελίας	12
2.2	Παρουσίαση λειτουργίας του προγράμματος Arena	12
2.2.1	Περιβάλλον και λειτουργίες	12
2.2.2	Δομοστοιχεία (modules)	15
2.2.3	Πρόσθετα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν	19
3	Παρουσίαση μοντέλου προσομοίωσης	21
3.1	Τμήμα άφιξης οντοτήτων και προσδιορισμός προτεραιότητας	21
3.2	Πλοήγηση picker και συλλογή αντικειμένων	27
3.3	Ολοκλήρωση παραγγελίας και συλλογή αποτελεσμάτων	32
4	Προσομοίωση και αποτελέσματα εναλλακτικών λειτουργικών σεναρίων	38
4.1	Επιλογή διάταξης αντικειμένων	38
4.2	Επιλογή μεθοδολογίας order picking	41
4.2.1	Pick to order picking	41
4.2.2	Cluster picking	46
4.3	Βαρύτητα χρόνων καθυστέρησης κατά την εκτέλεση παραγγελίας	49
4.4	Αριθμός έτοιμων παραγγελιών προς αποχώρηση	51
5	Συμπεράσματα και προτάσεις επέκτασης	54
5.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων	54
5.2	Βελτιωτικές προτάσεις	54
6	Βιβλιογραφία	56

Κατάλογος Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 1.1 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ [1]	1
ΣΧΗΜΑ 1.2 ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΠΟΘΗΚΗΣ [3]	2
ΣΧΗΜΑ 1.3 PICKING [5]	3
ΣΧΗΜΑ 1.4 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΥΠΟΥ S [7]	5
ΣΧΗΜΑ 1.5 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΚΕΝΟΥ [7]	5
ΣΧΗΜΑ 1.6 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ [7]	6
ΣΧΗΜΑ 1.7 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ [7]	6
ΣΧΗΜΑ 2.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΠΟΘΗΚΗΣ.....	11
ΣΧΗΜΑ 2.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ PICKER [7].....	11
ΣΧΗΜΑ 2.3 ΛΟΓΟΤΥΠΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ARENA.....	12
ΣΧΗΜΑ 2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ARENA.....	13
ΣΧΗΜΑ 2.5 ΚΥΡΙΟ ΜΕΝΟΥ.....	14
ΣΧΗΜΑ 2.6 ΜΕΝΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	14
ΣΧΗΜΑ 2.7 CREATE MODULE.....	15
ΣΧΗΜΑ 2.8 DISPOSE MODULE.....	15
ΣΧΗΜΑ 2.9 PROCESS MODULE.....	16
ΣΧΗΜΑ 2.10 ASSIGN MODULE.....	16
ΣΧΗΜΑ 2.11 DECIDE MODULE.....	16
ΣΧΗΜΑ 2.12 RECORD MODULE.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.13 HOLD MODULE.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.14 SEARCH MODULE.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.15 STATION MODULE.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.16 ROUTE MODULE.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.17 SUBMODEL MODULE.....	18
ΣΧΗΜΑ 2.18 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ARENA [11]	18
ΣΧΗΜΑ 2.19 PROCESS ANALYZER.....	19
ΣΧΗΜΑ 2.20 OUTPUT ANALYZE.....	20
ΣΧΗΜΑ 3.1 ΚΟΜΜΑΤΙ ΑΦΙΞΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ.....	21
ΣΧΗΜΑ 3.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΑΦΙΞΕΩΝ, ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ.....	22
ΣΧΗΜΑ 3.3 TIME SLOT SUBMODEL.....	22
ΣΧΗΜΑ 3.4 DECIDE MODULE TIMESLOT SUBMODEL.....	23
ΣΧΗΜΑ 3.5 HOLD MODULES TIMESLOT SUBMODEL.....	23
ΣΧΗΜΑ 3.6 ORDER ASSIGNMENT LOGIC SUBMODEL.....	23
ΣΧΗΜΑ 3.7 ASSIGN MODULE IN ORDER ASSIGNMENT SUBMODEL.....	23
ΣΧΗΜΑ 3.8 BATCHING SUBMODEL.....	24
ΣΧΗΜΑ 3.9 BATCH MODULE IN BATCHING SUBMODEL.....	24
ΣΧΗΜΑ 3.10 HOLD MODULE IN BATCHING SUBMODEL.....	25
ΣΧΗΜΑ 3.11 DECIDE MODULE IN BATCHING SUBMODEL.....	25
ΣΧΗΜΑ 3.12 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ SEIZE PICKER.....	25
ΣΧΗΜΑ 3.13 GIVE ORDER TO PICKER AND STARTING AISLE SUBMODEL.....	26
ΣΧΗΜΑ 3.14 GIVE PICKLIST TO PICKER.....	26
ΣΧΗΜΑ 3.15 AB ASSIGNS SUBMODEL.....	27
ΣΧΗΜΑ 3.16 SEARCH MODULES IN AB ASSIGN SUBMODEL.....	27
ΣΧΗΜΑ 3.17 ΚΟΜΜΑΤΙ PICKING ΚΑΙ ROUTING.....	28
ΣΧΗΜΑ 3.18 SUBMODEL A3B2.....	28
ΣΧΗΜΑ 3.19 A3B2 NO MORE AISLE ITEMS MODULE.....	29
ΣΧΗΜΑ 3.20 DELAY TIME EXPRESSION.....	30
ΣΧΗΜΑ 3.21 A3B2 LAST KNOWN POSITION MODULE.....	30
ΣΧΗΜΑ 3.22 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ.....	30
ΣΧΗΜΑ 3.23 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ.....	31
ΣΧΗΜΑ 3.24 ΠΡΟΣΔΩΣΗ ATTRIBUTE ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ, ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΚΑΙ LKP.....	31

ΣΧΗΜΑ 3.25 ΤΜΗΜΑ PICKING ANIMATION.....	32
ΣΧΗΜΑ 3.26 ΤΜΗΜΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ	32
ΣΧΗΜΑ 3.27 ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ	33
ΣΧΗΜΑ 3.28 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ.....	34
ΣΧΗΜΑ 3.29 ΤΜΗΜΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ CLUSTER PICKING	34
ΣΧΗΜΑ 3.30 ΣΥΛΛΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ CLUSTER PICKING	35
ΣΧΗΜΑ 3.31 ΤΜΗΜΑ ΕΚΜΗΔΕΝΙΣΗΣ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ	35
ΣΧΗΜΑ 3.32 CREATE MODULE ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΚΜΗΔΕΝΙΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ	36
ΣΧΗΜΑ 3.33 REFRESH TOTAL AWAITING ORDERS MODULE	36
ΣΧΗΜΑ 3.34 ΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	37
ΣΧΗΜΑ 4.1 PARETO FRONT LAYOUT	39
ΣΧΗΜΑ 4.2 PARETO SIDE LAYOUT	39
ΣΧΗΜΑ 4.3 PARETO BACK LAYOUT	39
ΣΧΗΜΑ 4.4 EQUAL LAYOUT	39
ΣΧΗΜΑ 4.5 ABC LAYOUT.....	40

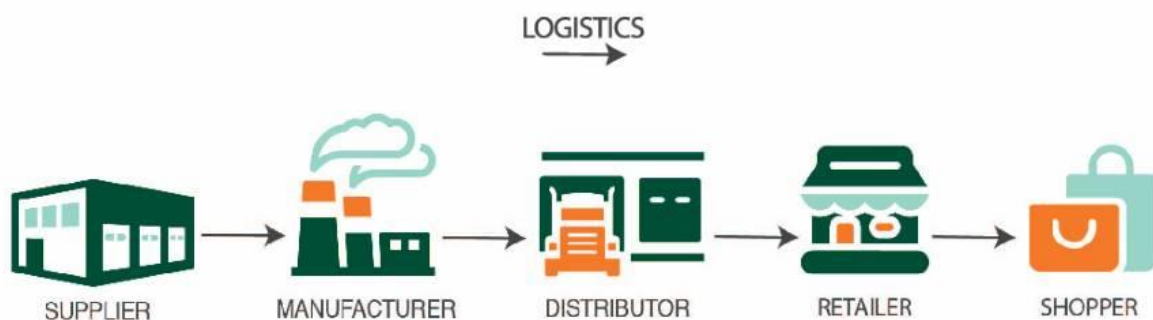
Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΥΘΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΘΥΡΙΔΑΣ	10
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ ΑΝΑ ΔΙΑΤΑΞΗ	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΑΝΑ ΔΙΑΤΑΞΗ	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=30 ΜΕ PICK TO ORDER ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=27 ΜΕ PICK TO ORDER ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=25 ΜΕ PICK TO ORDER ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΚΑΙ PICKER ΜΕ PICK TO ORDER ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ PICKER ΜΕ PICK TO ORDER	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ ΜΕ PICK TO ORDER	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ ΜΕ PICK TO ORDER	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10 ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΕΚΜΗΔΕΝΙΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΜΕ PICK TO ORDER ΚΑΙ TRAVERSE AISLE TIME=25	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11 ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΕΚΜΗΔΕΝΙΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΜΕ PICK TO ORDER ΚΑΙ TRAVERSE AISLE TIME=27	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=27 ΣΕ CLUSTER PICKING ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=30 ΣΕ CLUSTER PICKING ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ TRAVERSE AISLE TIME=32 ΣΕ CLUSTER PICKING ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΚΑΙ PICKER ΜΕ CLUSTER PICKING	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.16 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ PICKER ΜΕ CLUSTER PICKING	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.17 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ ΜΕ CLUSTER PICKING	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.18 ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ ΜΕ CLUSTER PICKING	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.19 ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ PICKER ΜΕ TRAVERSE AISLE TIME=27	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.20 ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ PICKER ΜΕ TRAVERSE AISLE TIME=30	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.21 ΔΟΚΙΜΕΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΑ PICKER ΜΕ TRAVERSE AISLE TIME=32	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.22 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ PICK DELAY	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.23 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ TRAVERSE AISLE TIME	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.24 ΑΝΑΜΕΝΟΥΣΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ 20 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.25 ΑΝΑΜΕΝΟΥΣΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ 50 ΔΗΜΟΥΣ.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.26 ΑΝΑΜΕΝΟΥΣΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΙΑΣ ΗΜΕΡΑΣ ΓΙΑ 50 ΔΗΜΟΥΣ.....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.27 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΟΘΥΡΙΔΑΣ	53

1 Εισαγωγή

1.1 Εφοδιαστική αλυσίδα και Logistics

Ο όρος Logistics και η διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κάνουν την εμφάνισή τους πολύ συχνά στον τομέα της οργάνωσης και διοίκησης των επιχειρήσεων. Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στο σχεδιασμό και τη διαχείριση όλων των ενεργειών-δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τις διαδικασίες προμήθειας, την παραγωγή-μεταποίηση και όλες τις δραστηριότητες της διανομής. Κατ' ουσία, ενοποιεί και ολοκληρώνει τον σχεδιασμό, τις προμήθειες, την παραγωγή, την αποθήκευση, τη μεταφορά και τις πωλήσεις τόσο μέσα στις επιχειρήσεις όσο και μεταξύ αυτών. Ο αντικειμενικός λοιπόν σκοπός της Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι η αύξηση της συνολικής κερδοφορίας κατά μήκος της αλυσίδας, που συνεπάγεται την αύξηση της κερδοφορίας όλων των εταίρων της. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατανόηση και την ικανοποίηση των πελατειακών αναγκών στον απαιτούμενο χρόνο και με την προσφορά προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας και ανταγωνιστικού κόστους. Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, απαραίτητα χαρακτηριστικά των εφοδιαστικών αλυσίδων, που ανταγωνίζονται μέσα στο σύγχρονο παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον, είναι η ευελιξία και η ταχεία προσαρμοστικότητα τους στις δυναμικά μεταβαλλόμενες συνθήκες, που με τον καιρό γίνονται όλο και πιο απαιτητικές.



Σχήμα 1.1 Αναπαράσταση Εφοδιαστικής Αλυσίδας [1]

Logistics είναι εκείνο το τμήμα της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας που σχεδιάζει, υλοποιεί και ελέγχει την αποδοτική και αποτελεσματική, κανονική και αντίστροφη, ροή και αποθήκευση των προϊόντων, των υπηρεσιών και των σχετικών πληροφοριών από το σημείο προέλευσής τους έως το σημείο κατανάλωσής τους, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των πελατών. Ενδεικτικές περιοχές εφαρμογών των Logistics περιλαμβάνουν τα: Business Logistics, Systems Logistics, Maritime Logistics, Logistics Υγείας, Logistics Στρατού, Περιβαλλοντικά Logistics, City Logistics, Crisis Logistics, Logistics Υπηρεσιών, Agro-logistics και Reverse Logistics. Τα Logistics βρίσκουν εφαρμογή σε δύο κυρίως επίπεδα :

- Το πρώτο πεδίο είναι η επιχείρηση, η οποία πρέπει να οργανώσει την εισροή, την εσωτερική διακίνηση και την εκροή υλικών και προϊόντων κατά τέτοιον τρόπο, έτσι ώστε να εξασφαλίζει τη μέγιστη ικανοποίηση των πελατών της.

- Το δεύτερο πεδίο είναι η εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία αποτελείται από όλες εκείνες τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς που είναι απαραίτητοι έτσι ώστε ένα προϊόν, από πρώτες ύλες να καταλήξει στον τελικό πελάτη. Η αποτελεσματική οργάνωση και διοίκηση της ροής προϊόντων και πληροφοριών σε αυτήν την αλυσίδα αποτελεί επιτακτική ανάγκη σε μία παγκοσμιοποιημένη και ψηφιακή οικονομία, όπου ο ανταγωνισμός από ατομικός (επιχείρηση εναντίον επιχείρησης) γίνεται συλλογικός (εφοδιαστική αλυσίδα εναντίον εφοδιαστικής αλυσίδας). [2]

1.2 Αποθήκευση και κέντρο διανομής

Ένα δομικό στοιχείο στη σειρά της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και ένα που επιδέχεται πολλές αλλαγές, βελτιώσεις και παραμετροποιήσεις με την χρήση των Logistics, είναι αυτό της αποθήκης. Η αποθήκευση αποτελεί μια γέφυρα στα επιμέρους μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας και προσθέτει επιπλέον χρόνους και καταστάσεις σε αυτήν. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την εφαρμογή και τη διαχείριση μιας αποθήκης ή ενός κέντρου διανομής στα πλαίσια μιας πολυεπίπεδης εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως:

- **Βελτιστοποίηση της απόδοσης :** Μια βασική απαίτηση οποιουδήποτε πελάτη είναι η άμεση εκπλήρωση της παραγγελίας του. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η πρόβλεψη του χρόνου και της ποσότητας της παραγγελίας είναι δύσκολη, έως και αδύνατη. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη δημιουργίας ενός αποθέματος προϊόντων, ώστε να διασφαλιστεί η ετοιμότητα προς αποστολή. Επιπροσθέτως, η ραγδαία αύξηση των προϊόντων, η τάση για όλο και μικρότερες παραγγελίες και η ανάγκη για τους ελάχιστους δυνατούς χρόνους παράδοσης, καθιστούν την αποθήκη ή το κέντρο διανομής, ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στην επίτευξη της επιτυχίας.
- **Μείωση μεταφορικών κοστών :** Ένας από τους βασικούς λόγους αποθήκευσης είναι η προσπάθεια μείωσης του κόστους μεταφοράς και η επίτευξη μεταφορών σταθερού βήματος, αξιοποιώντας στο μέγιστο τη φορτωτική ικανότητα των μέσων. Σε γενικά πλαίσια, η διαχείριση πολλών και μικρών ποσοτήτων είναι δύσκολη και μη αποδοτική καθώς και οι διαθέσιμοι πόροι (αριθμός πυλών αποθήκης, χώρος αλλαγών κ.ο.κ.) δεν μπορούν να αξιοποιηθούν ανάλογα ή δεν είναι διαμορφωμένοι για τέτοιου είδους διαχείριση. Ειδικά το λιανεμπόριο υπολείπεται των χωρητικότητων να διαχειρίζεται πολλές και συχνές παραγγελίες, τόσο σε πόρους, όσο και σε προσωπικό.



Σχήμα 1.2 Πρότυπο αποθήκης [3]

- **Διασφάλιση παραγωγικότητας :** Οι εφοδιαστικές αλυσίδες που έχουν χτιστεί στα πλαίσια των just-in-time (JIT) παραγγελιών, είναι πολύ ευαίσθητες σε διαταραχές του συστήματός τους και επιδέχονται πολλά σφάλματα καθώς λειτουργούν με το ελάχιστο δυνατό απόθεμα . Έτσι, η αποθήκευση κάποιων αντικειμένων των απαιτητικών επίπεδων της εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι αυτή που θα διασφαλίσει την συνεχή παροχή των εμπορευμάτων
- **Εξισορρόπηση απαιτούμενων και προς αποστολή ποσοτήτων :** Η αγορά πλέον δεν ορίζεται από τον πωλητή αλλά από τον πελάτη και την ζήτηση (σύστημα έλξης- Pull System). Παρόλα αυτά αρκετές επιχειρήσεις αναγκάζονται να παράγουν μεγάλες παρτίδες προϊόντων. Η παραγωγική διαδικασία χαρακτηρίζεται από πολλά διαφορετικά στάδια και ενέργειες. Έτσι για να αποφευχθούν νεκροί χρόνοι, χρήζει μεγάλης σημασίας για τη συνεχή αξιοποίηση των βιομηχανικών πόρων η σωστή αποθήκευση των ημιτελών προϊόντων.
- **Χρήση της τοποθέτησης της αγοράς:** Η αποθήκευση που προκαλείται από ποσοτικές εκπτώσεις είναι ένα κλασικό κοστολογικό πρόβλημα, τόσο από τη μεριά του παρόχου (ποσοτική υποβάθμιση), όσο και από την άλλη μεριά (εκπλήρωση παραγγελιών, διαπραγμάτευση τιμών).[4]

1.2.1 Εκπλήρωση παραγγελιών (order picking)

Μια από τις βασικές λειτουργίες μιας αποθήκης που λειτουργεί ως κέντρο διανομής είναι η εκπλήρωση των παραγγελιών. Ο όρος order picking ορίζεται ως η ενοποίηση μιας εξατομικευμένης ποσότητας ενός ή περισσότερων διαφορετικών αντικειμένων, ώστε αυτή να αποσταλεί στον παραλήπτη. Το picking είναι μια εργασία μεγάλης έντασης και ένα κοστολογικά υψηλό κομμάτι μιας αποθήκης ή κέντρου διανομής. Για αυτό τον λόγο του δίνεται και μεγάλη σημασία για την ομαλή λειτουργία του όλου συστήματος.



Σχήμα 1.3 Picking [5]

Κατά τη σχεδίαση μιας ροής αντικειμένων ενός συστήματος με εκπλήρωση παραγγελιών, αποτελεί σημαντική προϋπόθεση ο καθορισμός των παραμέτρων του order picking, έτσι ώστε να ολοκληρώνεται με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Οι βασικοί στόχοι προς επίτευξη είναι :

- Ελαχιστοποίηση συνολικής διαδρομής
- Μεγιστοποίηση του χώρου picking και η σωστή διάταξη αντικειμένων

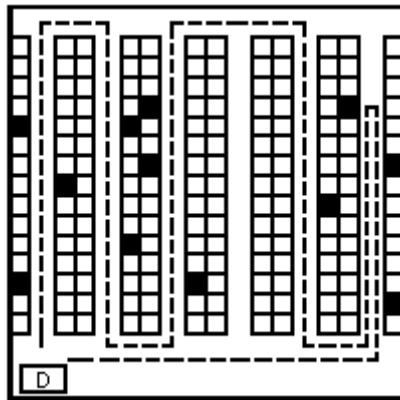
- Ελαχιστοποίηση λαθών στην παραγγελία
- Ελαχιστοποίηση εργατικών ατυχημάτων[4]

Οι κατηγορίες στις οποίες μπορεί να κατηγοριοποιηθεί το picking είναι ποικίλες. Μια από τις σημαντικότερες είναι η μέθοδος εκπλήρωσης της παραγγελίας. Αυξανόμενης της ζήτησης, σημαντικής σημασίας χρήζει η διατήρηση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν όσο περισσότερες παραγγελίες γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και άνευ σφαλμάτων. Οι απλοποιημένες μέθοδοι μπορεί να είναι μια εύκολη, γρήγορη και αποτελεσματική λύση για τις μικρές επιχειρήσεις αλλά καθώς η κλίμακα μεγαλώνει, απαιτούνται πιο συνθέτες και πολύπλοκες ενέργειες. Επίσης, η χρήση σύγχρονου εξοπλισμού (ρομποτικό εξοπλισμό) μπορεί να αποσυμφορήσει καταστάσεις σε μεγάλους όγκους αποθεμάτων. Ωστόσο, αποτελεί μια δαπανηρή λύση, η οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε είδος αποθήκης. Έτσι, οι κύριες μεθοδολογίες order picking είναι :

- **Pick to Order:** Αποτελεί την απλούστερη μέθοδο. Ουσιαστικά ο εργαζόμενος λαμβάνει μια παραγγελία με τους αναγραφόμενους κωδικούς και διασχίζει την αποθήκη συλλέγοντάς τους. Είναι από τις πιο κοινές μεθόδους και περισσότερο εφαρμοσμένες σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Δεν ενδείκνυται όμως για πολύ μεγάλες κλίμακες, καθώς ο απαιτούμενος αριθμός εργαζομένων θα είναι απαγορευτικός.
- **Batch Picking:** Ο κάθε picker αναλαμβάνει δύο ή περισσότερες παραγγελίες, οι οποίες εκπληρώνονται από τον ίδιο, η μία μετά την άλλη. Στις διαδοχικές πορείες του, ο εργαζόμενος συγκεντρώνει έναν από τους κωδικούς για όλες τις παραγγελίες και έπειτα προχωράει στον επόμενο. Αφότου ολοκληρωθούν οι προαπαιτούμενοι κωδικοί, οι παραγγελίες διαχωρίζονται και ετοιμάζονται προς αποστολή. Αυτή η μέθοδος ενισχύεται με έναν καλό καταμερισμό αντικειμένων στην αποθήκη, αλλά απαιτεί επιπρόσθετο χρόνο στην ενοποίηση των επιμέρους παραγγελιών μετά το picking.
- **Wave Picking:** Είναι ανάλογο του Batch Picking, με τη διαφορά ότι οι παραγγελίες ανατίθενται σε κύματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το πότε αυτές θα ανατεθούν εξαρτάται από παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα της μεταφορικής ή η ανάγκη συγκεκριμένης συσκευασίας. Πολύ συχνά προϋποθέτει ανάλογο λογισμικό για την ανάθεση και επιπρόσθετους χρόνους στο τέλος της παραγγελίας, οδηγώντας σε υψηλούς δείκτες παραγωγικότητας.
- **Zone Picking:** Εδώ οι pickers κινούνται σε συγκεκριμένες περιοχές της αποθήκης και είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή αντικειμένων μόνο της ζώνης τους. Μόλις η παραγγελία περάσει από όλες τις ζώνες, ενοποιείται και αποδεσμεύεται. Με αυτή τη μέθοδο, μειώνεται σημαντικά η συνολική απόσταση ενός εργαζομένου και αυξάνεται η ταχύτητα εκπλήρωσης παραγγελιών. Από την άλλη, συνήθως απαιτείται μηχανισμός κινούμενων κιβωτίων ανά των ζωνών για τη διεκπεραίωση παραγγελιών. Επίσης, καθώς η ζήτηση παρουσιάζει διακυμάνσεις, ίσως κάποια ζώνη να επιβαρυνθεί με περισσότερο φόρτο εργασίας από μια άλλη. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι εύλογη η συστηματική αλλαγή του προγράμματος εργαζομένων.
- **Cluster Picking:** Οι pickers διεκπεραιώνουν ταυτόχρονα πολλές παραγγελίες καθώς κινούνται στην αποθήκη χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό για το διαχωρισμό μεταξύ αυτών. Η μέθοδος μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική και παραγωγική αλλά επιφέρει και μεγάλα ποσοστά λάθους. [6]

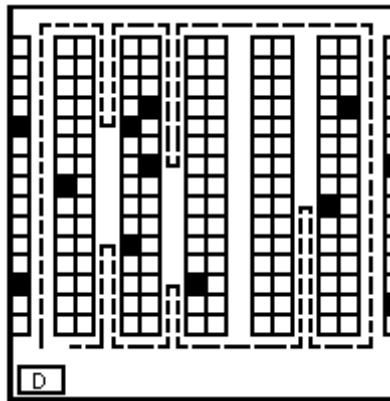
Όταν επιλέγεται κάποια μέθοδος που απαιτεί την κινητοποίηση ενός ατόμου στα πλαίσια όλης της αποθήκης, τότε κρίνεται σημαντικό η σωστή επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει. Τέσσερις βασικές και συχνές μέθοδοι δρομολόγησης είναι : σχήματος S, μεγαλύτερου κενού, συνδυαστική μέθοδος και η βέλτιστη διαδρομή.

Στη διαδρομή σχήματος S οι διάδρομοι οι οποίοι έχουν τουλάχιστον ένα αντικείμενο διασχίζονται εξολοκλήρου, ενώ αυτοί που δεν έχουν απλώς προσπερνιούνται προχωρώντας στον επόμενο διάδρομο. Έτσι σχηματίζεται μια συνολική διαδρομή τύπου S. Αποτελεί μια συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική, καθώς είναι ευκολά κατανοητή και εντάξιμη σε οποιοδήποτε σύστημα. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η τεχνική σε μια αποθήκη με μόνο μια σειρά διάδρομων και κοινό σημείο έναρξης και λήξης της παραγγελίας.



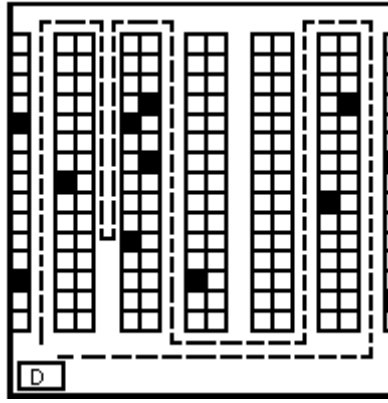
Σχήμα 1.4 Διαδρομή τύπου S [7]

Η διαδρομή μεγαλύτερου κενού είναι μια διαδρομή στην οποία ο picker πάντα επιστρέφει από την αρχή του διάδρομου που ξεκίνησε. Το σημείο επιστροφής καθορίζεται από το μεγαλύτερο κενό μεταξύ 2 διαδοχικών αντικειμένων. Το μεγαλύτερο κενό είναι αυτό που απορρίπτεται και δεν διασχίζεται.



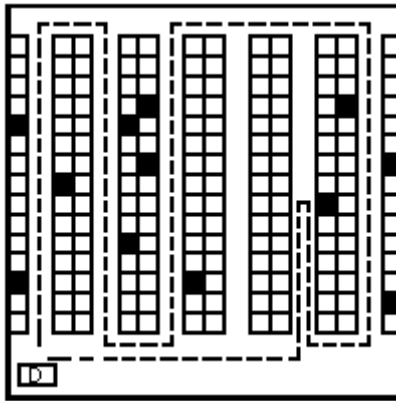
Σχήμα 1.5 Διαδρομή μεγαλύτερου κενού [7]

Στη συνδυαστική διαδρομή πρέπει να παρθεί απόφαση, μετά την είσοδο και τη συλλογή αντικειμένων σε ένα διάδρομο, για το εάν το τελικό σημείο είναι ο μπροστινός ή όχι διάδρομος, βάσει της ελάχιστης διαδρομής. Αποτελεί μια συγχώνευση της διαδρομής τύπου S και του μεγαλύτερου κενού.



Σχήμα 1.6 Συνδυαστική διαδρομή [7]

Τέλος υπάρχει η βέλτιστη διαδρομή. Όπως υποδηλώνει το όνομά της, βάσει αλγορίθμου επιλέγεται η συντομότερη δυνατή διαδρομή για τη συλλογή των αντικειμένων. Μπορεί από τη μια πλευρά να εξυπηρετεί στη μέγιστη μείωση χρόνου συλλογής, αλλά από την άλλη γίνεται αρκετά περίπλοκη σε σύνθετες διατάξεις αποθηκών.[7]



Σχήμα 1.7 Βέλτιστη διαδρομή [7]

Όλες οι παραπάνω διαδρομές και τα παραδείγματα στα σχήματα είναι εφαρμοζόμενα σε μια απλή διάταξη μιας σειράς διαδρόμων. Όλες οι τεχνικές μπορούν να επεκταθούν και σε συστήματα με ενδιάμεσους κάθετους διάδρομους. Λεπτομερέστερη αναφορά και ανάλυση τέτοιας τεχνικής θα γίνει στο κεφάλαιο 2, όπου και θα χρησιμοποιηθεί μια από αυτές.

1.3 Εισαγωγή στην Προσομοίωση

Η έννοια της προσομοίωσης αναφέρεται σ' ένα ευρύ φάσμα μεθόδων και εφαρμογών με απώτερο σκοπό τη μίμηση πραγματικών συστημάτων, συνήθως με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλων προγραμμάτων. Στην πραγματικότητα ο ορός προσομοίωση μπορεί να θεωρηθεί πολύ γενικός, καθώς η ιδέα του μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς και επιχειρήσεις. Τις πρώτες της εμφανίσεις της έκανε τη δεκαετία του 1950. Η προσομοίωση τότε ήταν δαπανηρή και η χρήση της πολύ περιορισμένη. Προγράμματα φτιαγμένα από διδάκτορες στημένα σε γλώσσες προγραμματισμού, όπως η FORTRAN, έτρεχαν σε μεγάλες διατάξεις κοστίζοντας 600-1000\$ ανά ώρα. Η μορφή που έχει έως

σήμερα η προσομοίωση διαμορφώθηκε το 1970 με 1980. Προβλήματα στη βιομηχανία ανάγκασαν άτομα να δώσουν γρήγορες και έγκυρες λύσεις στα προβλήματά τους μέσω αυτής. Αργότερα εντάχθηκε στον κύκλο σπουδών αρκετών πανεπιστημίων βιομηχανικής διοίκησης από τα οποία και επεκτάθηκε. Με το πέρασμα του χρόνου, η χρήση της προσομοίωσης κέρδιζε ολοένα και περισσότερο έδαφος καθώς με την αύξηση της διαθέσιμης υπολογιστικής δύναμης και με την εμφάνιση καινούριων προσομοιωτικών προγραμμάτων, εμπλουτιζόταν το σύνολο των προβλημάτων που μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με αυτή.[8-10]

1.3.1 Συστήματα και Μοντελοποίηση

Η υπολογιστική προσομοίωση αντιμετωπίζει και επεξεργάζεται μοντέλα συστημάτων. Ένα σύστημα μιας διεργασίας ή πολλών διεργασιών, πραγματικό ή μη, είναι αντικείμενα για προσομοίωση. Ενδεικτικά παραδείγματα συστημάτων μπορεί να είναι:

- ❖ Μια βιομηχανία με εργαζομένους, μηχανές, μεταφορικά οχήματα, μεταφορικοί μάντες και χώρο αποθήκευσης.
- ❖ Μια τράπεζα με πελάτες διαφορετικού τύπου, πολλαπλούς εξυπηρετητές και ATM
- ❖ Ένα νοσοκομείο με το προσωπικό, τους αφικνούμενους ασθενείς, διαφορετικά δωμάτια εξυπηρέτησης και ποικίλο εξοπλισμό
- ❖ Ένα οδικό σύστημα μιας περιοχής με κεντρικές αρτηρίες, εξόδους, διασταυρώσεις και φωτεινούς σηματοδότες.

Ένα σύστημα συνήθως μελετάται για να εξετασθεί η λειτουργία του, να βελτιωθεί ή να προσχεδιαστεί και να δοκιμαστεί εάν δεν υπάρχει ακόμα. Πριν κατασκευαστεί ένα μοντέλο ενός συστήματος απαιτείται λεπτομερής δουλειά. Η κατανόηση των δομικών στοιχείων και της κάθε λειτουργίας και ενέργειας μέσα σ' ένα σύστημα, αποτελεί κομβικό σημείο στη δόμηση ενός σωστού μοντέλου, καθώς ακόμα και μια μικρή παρανόηση μπορεί να οδηγήσει σε πολλά διαφορετικά αποτελέσματα από τα επιθυμητά.

Η προσομοίωση ενός μοντέλου ενός συστήματος προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Εάν κάποιο σύστημα είναι αρκετά απλό, τότε είναι πιθανό να αναλυθεί χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως μαθηματικές εκφράσεις, θεωρία ουρών, διαφορικές εξισώσεις ή μαθηματικό προγραμματισμό. Τα περισσότερα σύστημα στην πραγματικότητα είναι αρκετά περιπλοκά για να μπορούν να αναλυθούν με απλές μεθόδους. Εδώ είναι όπου η προσομοίωση βρίσκει τη λύση. Μέσω αυτής μπορούν να προσεγγιστούν αρκετά ικανοποιητικά συστήματα τα οποία δεν θα μπορούσαν ποτέ να επιλυθούν μέσω αναλυτικών εκφράσεων. Εδώ βέβαια υπάρχει και ένα μικρό μειονέκτημα της προσομοίωσης. Πολλές φορές τα αποτελέσματα της είναι απλώς προσεγγίσεις και εκτιμήσεις και όχι ακριβείς λύσεις.[8]

2 Παρουσίαση του συστήματος προς μελέτη και του προγράμματος προσομοίωσης

Στο ακόλουθο κεφάλαιο, κύριος στόχος είναι η αναλυτική παρουσίαση του συστήματος προς μοντελοποίηση και έπειτα η εισαγωγή στις λειτουργίες του προσομοιωτικού προγράμματος Arena. Αυτά τα δυο στοιχεία θα δουλέψουν συνεργατικά ως βάση για την ολοκληρωμένη παρουσίαση του τελικού μοντέλου που υλοποιήθηκε και πως αυτό λειτουργεί.

2.1 Σύστημα κέντρου διανομής

2.1.1 Γενική εικόνα συστήματος

Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια από τις χρήσεις της προσομοίωσης είναι η δοκιμή συστημάτων πριν αυτά υλοποιηθούν. Υποβοηθάται έτσι όλη η επιχειρηματική ιδέα και επένδυση και δημιουργούνται τα θεμέλια υλοποίησης αυτής στην περίπτωση που τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ικανοποιητικά.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα γίνει λόγος για ένα κέντρο διανομής προϊόντων υπεραγοράς (supermarket). Τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται μια αυξητική τάση όσον αφορά τη χρήση του διαδικτύου για την ολοκλήρωση αγορών. Με κάθε φύσης καταστήματα να λαμβάνουν τη θέση τους σε αυτό το επαγγελματικό περιβάλλον, έτσι και τα περισσότερα πλέον supermarket δημιουργούν τις δικές τους ηλεκτρονικές πλατφόρμες για την υλοποίηση παραγγελιών εξ' αποστάσεως. Αυτή η κατάσταση υποβοηθήθηκε και μάλλον εκβιάστηκε λόγω των τελευταίων, παγκόσμιας τάξης μέτρων, κατά του κορωνοϊού. Η φυσική παρουσία στα supermarket περιορίστηκε και πολλές φορές ακόμα και αδυνατούσε να υπάρχει. Αυτό με τη σειρά του οδήγησε τη στροφή των καταναλωτών, αλλά και των προμηθευτών, σε μια διαφορετική τύπου συναλλαγή, την ηλεκτρονική.

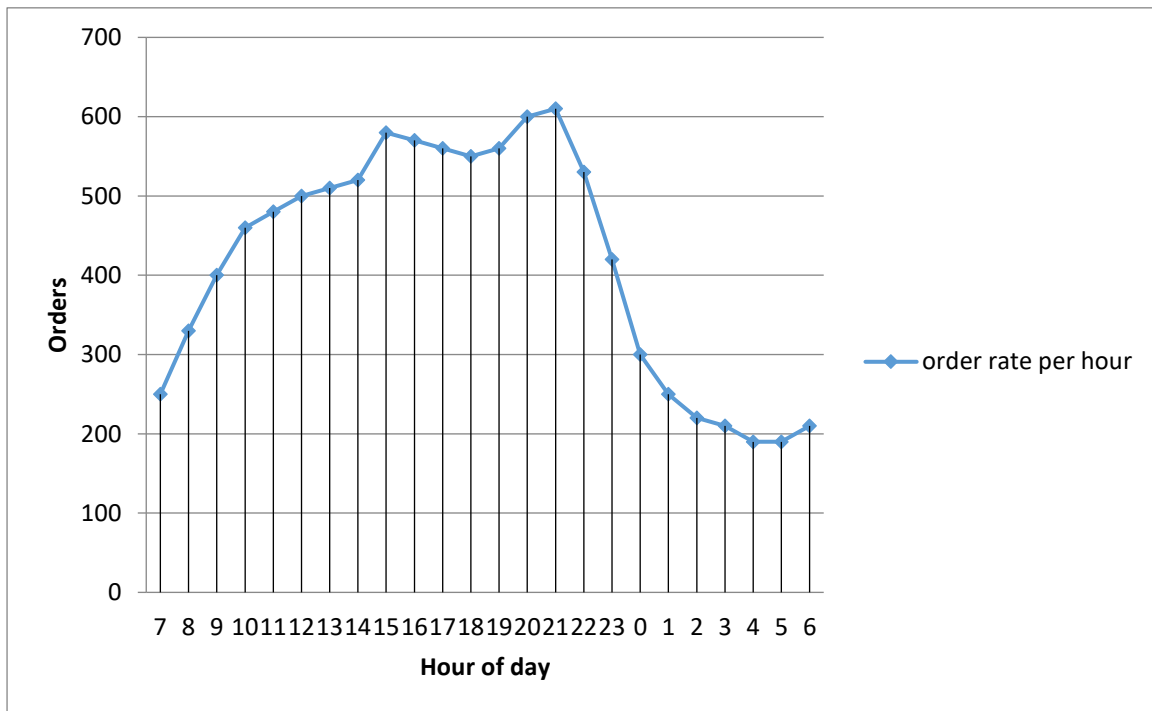
Το κέντρο διανομής προς εξέταση θα λαμβάνει ηλεκτρονικά τις παραγγελίες του κάθε ενδιαφερομένου. Μετά από μια κατάταξη προτεραιότητας, αυτές θα υλοποιούνται από τους εργαζομένους στην αποθήκη. Τέλος, όντας αυτές έτοιμες, θα αναμένουν το μεταφορικό τους μέσο, με τη βοήθεια και του οποίου θα καταφθάνουν στην πόρτα του καταναλωτή. Στις επόμενες υποενότητες, θα θιχτεί κάθε δομικό μέρος του συστήματος αναλυτικά και θα αναφερθούν όλες οι παραδοχές και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία αυτού.

2.1.2 Τμήμα παραλαβής παραγγελιών

Το συγκεκριμένο τμήμα είναι υπεύθυνο για την παραλαβή των παραγγελιών και τη σωστή τους ταξινόμηση όσον αφορά την προτεραιότητά τους για εκπλήρωση. Οι παραγγελίες καταφθάνουν στο κέντρο 24 ώρες το 24ωρο δεδομένου ότι ο πελάτης μπορεί να κάνει την

παραγγελία του ανά πασα στιγμή μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Βέβαια, ο ρυθμός έλευσης αυτών έχει διαμορφωθεί ανάλογα την ώρα και τη στιγμή της ημέρας, καθώς δεν είναι όλες οι στιγμές ισάξιες. Έτσι, για παράδειγμα έχει δοθεί προτεραιότητα στις μεσημεριανές ώρες, όπου συνήθως κόσμος σχολά από την εργασία του ή έχει κάποιο διάλλειμα και τις βραδινές ώρες, όπου πλέον οποιοσδήποτε μπορεί μετά το πέρας της ημέρας του να εντοπίσει τις ελλείψεις του νοικοκυριού του και να πραγματοποιήσει την παραγγελία με την ηρεμία του.

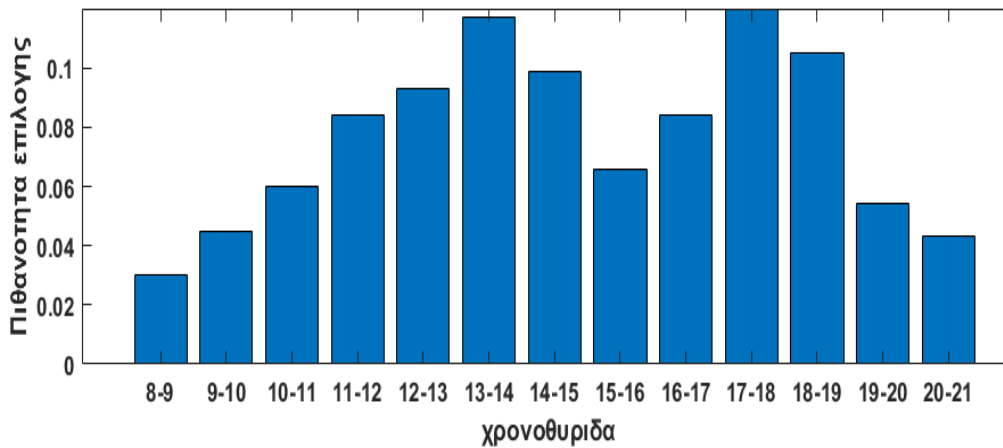
Πίνακας 2.1 Κατανομή ρυθμού αφίξεων παραγγελιών



Ο εκτιμώμενος αριθμός παραγγελιών ανέρχεται στις 10000 ημερησίως, καθώς θεωρούμε πως το εξυπερητούμενο κοινό είναι μια πόλη σαν την Αθήνα.

Πέρα από το πότε θα καταφθάσει μια παραγγελία, σημαντικό ρολό στο μοντέλο έχει και το πότε επιθυμεί ο πελάτης την παραλαβή της. Γι' αυτό τον λόγο, μέσα στην ημέρα υπάρχουν διαθέσιμες χρονοθυρίδες από τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο καταναλωτής. Αυτό στο σύστημα μεταφράζεται ως η ώρα αποδέσμευσης της παραγγελίας, ώστε αυτή να ολοκληρωθεί στην ώρα της και να είναι διαθέσιμη για φόρτωση εντός της επιλεγόμενης χρονοθυρίδας. Αυτό το σημείο καθιστά το σύστημα ως ένα σύστημα έλξης (pull system), όπου ο πελάτης και η ζήτηση είναι τα στοιχεία που καθορίζουν την εργασία. Βάσει εύλογων παραδοχών, έχουν διαμορφωθεί οι πιθανότητες επιλογής κάθε χρονοθυρίδας, με κορυφαίες βραδινές και πρωινές ώρες και μετέπειτα στα μέσα της ημέρας (1-3μ.μ.).

Πίνακας 2.2 Κατανομή πιθανότητας επιλογής χρονοθυρίδας

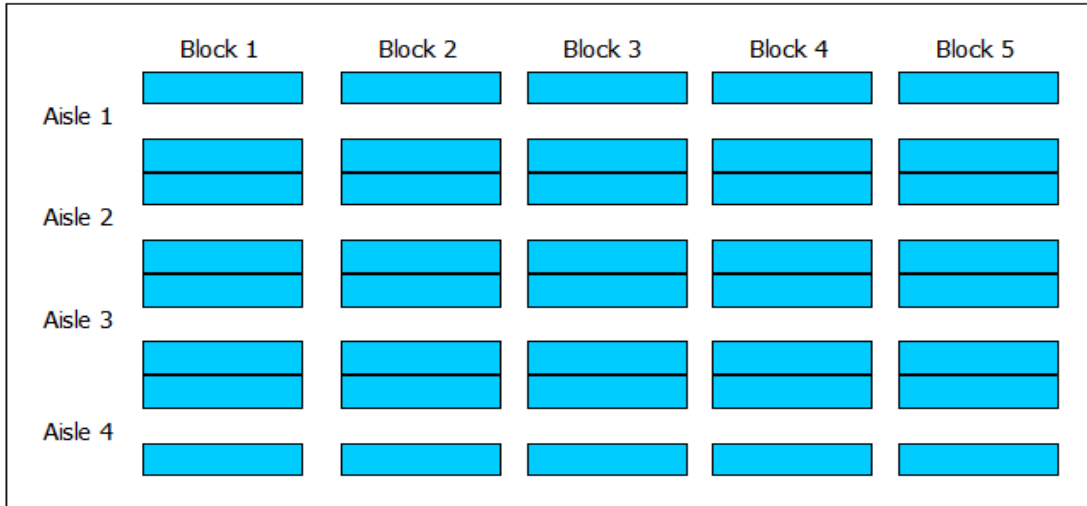


Το επόμενο στάδιο μιας παραγγελίας είναι ο προσδιορισμός προτεραιότητας. Οι αφικνούμενες παραγγελίες συσσωρεύονται σε ουρές αναμονής ανάλογα με την επιλεγόμενη χρονοθυρίδα και απελευθερώνονται μόλις έρθει η κατάλληλη στιγμή. Παραγγελίες που επιθυμούν χρονοθυρίδα που δεν είναι διαθέσιμη στο υπόλοιπο της ημέρας ή κατέφθασαν αρκετά αργά για την υλοποίησή τους, πιστώνονται στην ουρά της επομένης ημέρας και δέχονται ένα προβάδισμα όσον αφορά την προτεραιότητα.

Μόλις καταφθάσει η κατάλληλη στιγμή και ένα σύνολο παραγγελιών αποδεσμευτούν από την ουρά αναμονής τους, είναι πλέον στη θέση να δεσμεύσουν τους διαθέσιμους pickers και να εκτελεστούν. Με αυτό το βήμα, γίνεται είσοδος στο επόμενο τμήμα του συστήματος.

2.1.3 Εκτέλεση παραγγελίας και επιλεγόμενη διαδρομή

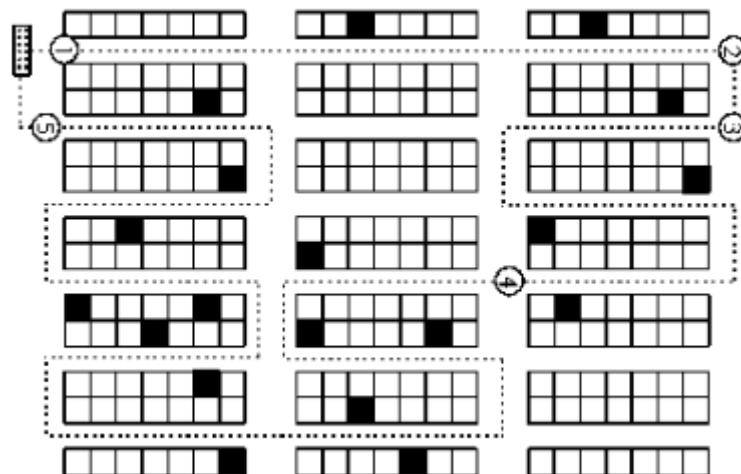
Έχοντας αδράξει μία προς εκτέλεση παραγγελία, ο picker είναι πλέον στην θέση να ξεκινήσει τη διαδρομή του στους χώρους της αποθήκης, συλλέγοντας όλα τα απαραίτητα αντικείμενα για την ολοκλήρωση αυτής. Υπάρχουν πολλές δυνατές εναλλακτικές όσον αφορά τον χάρτη μιας αποθήκης. Στην παρούσα εργασία έχει υποτεθεί το σχήμα 2.1. Οι κύριες συντεταγμένες της αποθήκης αποτελούνται από διαδρόμους (aisles) και τμήματα (blocks). Αποθηκευμένα αντικείμενα υπάρχουν και στις δύο μεριές κάθε διαδρόμου. Ανάμεσα στα blocks υπάρχουν ενδιάμεσοι κάθετοι διάδρομοι (cross aisles), που υποβοηθούν τη μετάβαση από ένα διάδρομο σε ένα άλλο και ανάμεσα στα blocks. Αυτή η μετάβαση είναι εφικτή και μετά το block 5. Αυτές οι διαδρομές δεν περιέχουν αντικείμενα προς συλλογή και με την βοήθεια αυτών καθορίζεται η πορεία ενός picker για την εκτέλεση μιας παραγγελίας. Οι διάδρομοι μπορούν να διασχιστούν αμφίρροπα και οι δυο πλευρές τους δεν απέχουν μεταξύ τους σημαντική απόσταση.



Σχήμα 2.1 Διάταξη αποθήκης

Ο επιλεγόμενος τρόπος δημιουργίας διαδρομής είναι ο ευρετικός τύπου S (έχει γίνει λόγος στο κεφάλαιο 1). Η εκκίνηση κάθε διαδρομής γίνεται από την αρχή του διάδρομου 1. Ο βασικός κανόνας είναι πως οποιοσδήποτε διάδρομος (aisle x – block x) περιέχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο, διασχίζεται εξ' ολοκλήρου, ενώ αυτοί που δεν περιέχουν κανένα αντικείμενο, απλώς παραλείπονται. Με τη βοήθεια ενός παραδείγματος θα παρουσιαστεί ο αλγόριθμος εύρεσης της διαδρομής.

Έστω η παρακάτω διάταξη (πιο απλή για να γίνει πιο κατανοητή). Τα μαυρισμένα κουτάκια αντιπροσωπεύουν αντικείμενα προς συλλογή.



Σχήμα 2.2 Παράδειγμα διαδρομής Picker [7]

Ξεκινώντας από το σημείο 1, επιλέγεται ο πρώτος κύριος διάδρομος που περιέχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο. Ο διάδρομος αυτός διασχίζεται μέχρι και το τελευταίο block που περιέχει αντικείμενα. Έπειτα, ελέγχεται το πιο απομακρυσμένο block που περιέχει αντικείμενα και γίνεται η μετάβαση σε αυτό (αν πρόκειται για το ίδιο block δεν γίνεται

κάποια μετάβαση). Από αυτή τη θέση πλέον γίνεται η εύρεση του πιο αριστερά ή πιο δεξιά διαδρόμου που περιέχει τουλάχιστον ένα αντικείμενο. Αφού αυτή η επαναληπτική διαδικασία προσπελάσει όλα τα αντικείμενα του παρόντος block και δεν υπάρχουν αλλά, τότε γίνεται η μετάβαση στο πιο κάτω block, όπου και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμα αντικείμενα σε όλο το block, αυτό απλώς διασχίζεται δια μέσου του πιο κοντινού διάδρομου. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μόλις διασχιστούν όλοι οι απαραίτητοι διάδρομοι και συλλεχθούν όλα τα αναγκαία αντικείμενα.[7]

2.1.4 Εναπόθεση και ολοκλήρωση της παραγγελίας

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδρομή του, ο picker κατευθύνεται στην περιοχή φόρτωσης, όπου και οφείλει να εναποθέσει την παραγγελία στο κατάλληλο μέρος (ανάλογα με την τοποθεσία αποστολής). Αφού αυτή η θέση βρεθεί, ο picker επιστρέφει στην αρχική του θέση για να αναλάβει εκ νέου μια καινούρια παραγγελία και να επαναλάβει την όποια διαδρομή χρειαστεί. Οι συσσωρευμένες στον τελικό χώρο παραγγελίες αναμένουν τη φόρτωση τους στα διαθέσιμα φορτηγά μόλις αυτά καταφτάσουν.

2.2 Παρουσίαση λειτουργίας του προγράμματος Arena

Για την δημιουργία οποιουδήποτε προσομοιωτικού μοντέλου χρειάζεται το αντίστοιχο προσομοιωτικό πρόγραμμα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το Arena Simulation της Rockwell Automation. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί το περιβάλλον, τα στοιχεία και οι λειτουργίες του προσομοιωτικού προγράμματος, έτσι ώστε να γίνουν αντιληπτά και ξεκάθαρα όλα όσα χρειάζονται για τη διαμόρφωση του τελικού μοντέλου προσομοίωσης.

2.2.1 Περιβάλλον και λειτουργίες

Το Arena επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώσει το μοντέλο του, τοποθετώντας στο περιβάλλον του δομοστοιχεία (modules) διαφορετικών σχημάτων, καθένα από τα οποία υποδηλώνει μια διαφορετική λογική διεργασία. Με τον συνδυασμό και την ένωση των διαφόρων module επιτυγχάνεται η υλοποίηση αμέτρητων συστημάτων και διαδικασιών.

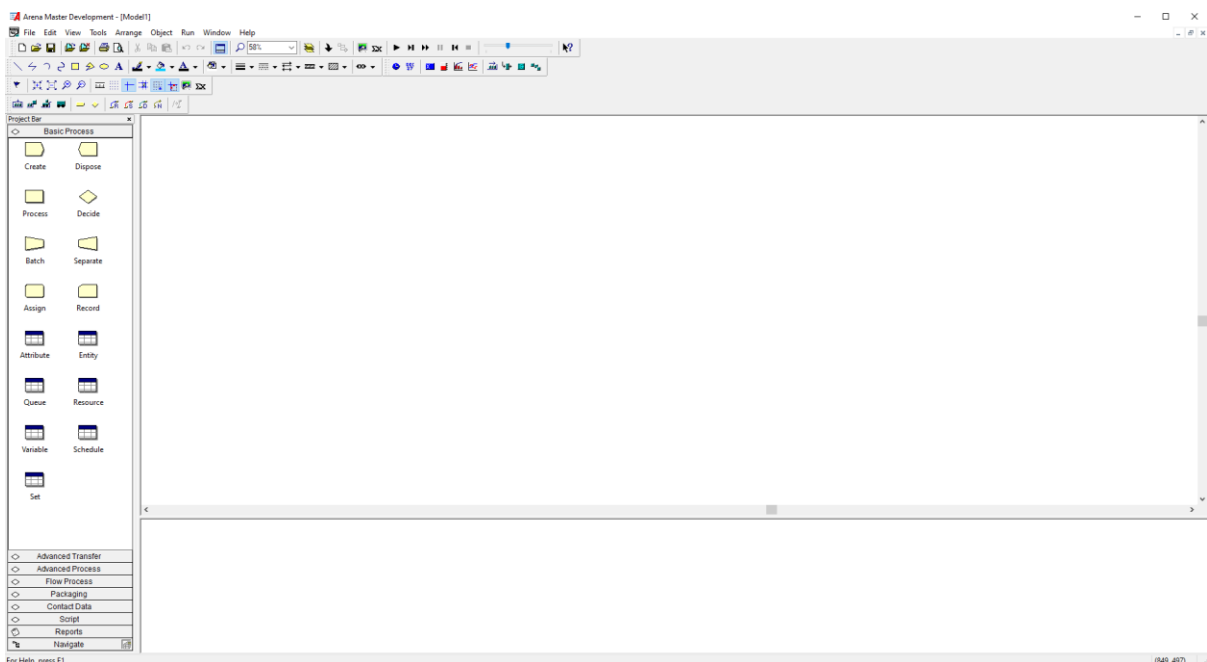


Σχήμα 2.3 Λογότυπο προγράμματος Arena

Το Arena χρησιμοποιεί την προσομοιωτική γλώσσα SIMAN. Μπορεί επίσης να συντονιστεί με τεχνολογίες της Microsoft, όπως είναι το Visual Basic for Applications, σε περίπτωση που το μοντέλο χρειάζεται περαιτέρω αυτοματοποίηση μέσω συγκεκριμένων αλγορίθμων.

Ένας σημαντικός παράγοντας επιλογής του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν η ευκολία χρήσης του. Το περιβάλλον και τα modules είναι πολύ εύκολα κατανοήσιμα και χρηστικά ακόμα και σε αρχάριους χρήστες. Παρόλ' αυτά, με την κατάλληλη εμπειρία και στα κατάλληλα χεριά, το πρόγραμμα μπορεί να αποδειχθεί ένα άκρως σημαντικό εργαλείο για την επίλυση πολλών προβλημάτων.

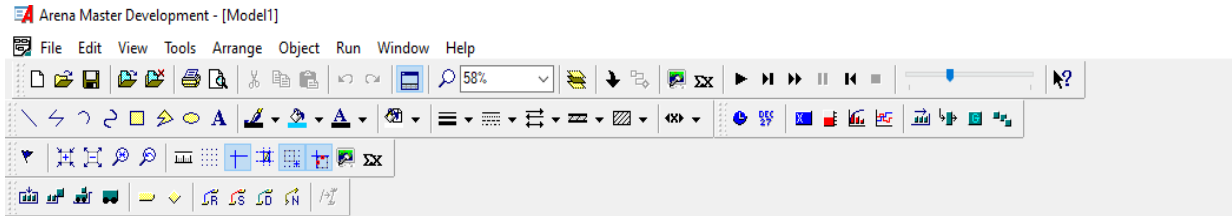
Ανοίγοντας ένα νέο παράθυρο Arena, ο χρήστης αντικρίζει κάποιους βασικούς τομείς σε αυτό. Το μεγαλύτερο τμήμα του παραθύρου καταλαμβάνει η επιφάνεια εργασίας, τοποθετημένη στα δεξιά. Πάνω σε αυτή λαμβάνουν χώρα και όλες οι κύριες λειτουργίες και ενέργειες για τη δημιουργία του μοντέλου, όπως τοποθέτηση και ρύθμιση των module ή δημιουργία κάποιου animation. Ο χώρος κάτω από αυτή δεσμεύεται από την απεικόνιση του μοντέλου μέσω λογιστικών φύλλων (spreadsheet). Εκεί απεικονίζονται όλες οι πληροφορίες ενός επιλεγμένου στοιχείου και από εκεί ελέγχονται. Σημαντικό είναι ανά πασα στιγμή και τα δύο κομμάτια του παραθύρου να είναι διαθέσιμα.



Σχήμα 2.4 Περιβάλλον προγράμματος Arena

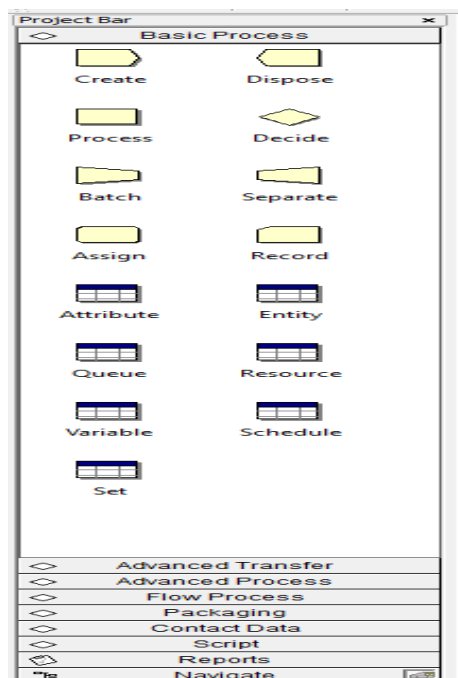
Πάνω από την επιφάνεια εργασίας λαμβάνουν χώρα το κύριο μενού και τα toolbars. Το κύριο μενού περιέχει βασικές και γενικές λειτουργίες, όπως είναι η δημιουργία ή το άνοιγμα κάποιου αρχείου (file), λειτουργίες τύπου copy-paste στο edit και ρυθμίσεις προβολής του όλου παραθύρου στο view. Οι πιο εξατομικευμένες στο Arena λειτουργίες βρίσκονται στα Tools, Arrange, Object και Run. Στο Tools περιέχονται πρόσθετα εργαλεία που ενισχύουν και υποβοηθούν την υλοποίηση της μοντελοποίησης. Για παράδειγμα υπάρχει το Input Analyzer, χρηστικό για την εύρεση και εκτίμηση κατανομών βάσει δεδομένων, ή το Process Analyzer, το οποίο καθιστά ικανό το τρέξιμο πολλαπλών σεναρίων της ίδιας προσομοίωσης. Αυτά θα παρουσιαστούν και στην υποενότητα 2.2.3. Στην υποκατηγορία object βρίσκεται η

βασική λειτουργία connect, χάρη της οποίας επιτυγχάνεται η ροή στο σύστημα και η εντολή submodel, με την οποία δημιουργείται ένα υπομοντέλο. Με τα υπομοντέλα υποβοηθάται ο καλύτερος κατακερματισμός του όλου συστήματος και η καλύτερη απομόνωση λειτουργιών και εννοιών ώστε αυτές να γίνουν ξεκάθαρες. Τέλος στην υποκατηγορία Run βρίσκονται όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη ρύθμιση της ταχύτητας της προσομοίωσης, καθώς και όλων των διάφορων παραμέτρων αυτής.



Σχήμα 2.5 Κόριο μενού

Στο αριστερό μέρος του παραθύρου γίνεται αντιληπτό το μενού αντικειμένων. Εδώ περιέχονται όλα τα διαθέσιμα στον χρήστη εργαλεία για τη μετατροπή οποιουδήποτε συστήματος στο επιθυμητό μοντέλο. Όλα αυτά κατηγοριοποιούνται βάσει των λειτουργιών και των δυνατοτήτων τους, κάτι που βοηθά στην επιλογή συγκεκριμένων στοιχείων για την εκπλήρωση ανάλογων στόχων. Σε κάθε υποκατηγορία, πέρα από τα modules, υπάρχουν και οι πίνακες, στοιχεία που συγκεντρώνουν όλες τις απαραίτητες για την προσομοίωση πληροφορίες. Μέσω αυτών γίνεται ο ορισμός πολλών παραμέτρων, η εύκολη προβολή αυτών και η οποιαδήποτε αλλαγή τους. Υπάρχει η επιλογή από τον χρήστη να προσθέσει ή να μειώσει τις προβαλλόμενες υποκατηγορίες.



Σχήμα 2.6 Μενού Αντικειμένων

2.2.2 Δομοστοιχεία (modules)

Τα modules είναι τα βασικά στοιχεία του Arena. Με τη βοήθεια αυτών κατασκευάζεται η όποια προσομοίωση. Κάθε module αντικατοπτρίζει μια συγκεκριμένη έννοια και λειτουργία. Σε αυτά ανήκουν τα module ροής και τα module δεδομένων (πίνακες). Καθώς υπάρχει μία τεράστια πληθώρα τέτοιων στοιχείων στο Arena, ποτέ κάποια προσομοίωση δεν χρησιμοποιεί όλα από αυτά. Έτσι και η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη χρήση κάποιων από αυτά για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου. Παρακάτω θα δοθούν αναλυτικές πληροφορίες για καθένα από τα στοιχεία. Αυτές είναι απαραίτητες για το επόμενο βήμα· την παρουσίαση λειτουργίας του μοντέλου.

Create: το module αυτό αναπαριστά την άφιξη οντοτήτων στο σύστημα. Οι οντότητες (entities) είναι αυτές που με την ροή τους, δια μέσω του συστήματος, δίνουν το έναυσμα για οποιαδήποτε αλλαγή. Όλα τα στοιχεία για καθενιά από αυτές βρίσκονται στο data module Entities. Στο module Create καθορίζεται ο τρόπος και η συχνότητα των αφίξεων.



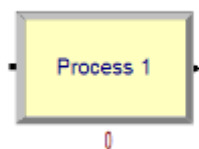
Σχήμα 2.7 Create module

Dispose: Η χρήση του έγκειται στην απομάκρυνση οντοτήτων από το μοντέλο, υποδηλώνοντας έτσι την έξοδό τους από το σύστημα.



Σχήμα 2.8 Dispose module

Process: Μέσω αυτού αναπαριστάται οποιαδήποτε διεργασία του συστήματος. Συνδέεται άρρητα με κάποια δέσμευση πόρου, τη χρονοκαθυστέρησή του και την αποδέσμευσή του (**seize-delay-release**). Ο συνδυασμός αυτών των τριών ενεργειών μπορεί να εναλλαχθεί για να ικανοποιήσει την όποια απαίτηση για μοντελοποίηση. Οι τρεις αυτές ενέργειες βρίσκονται αυτόνομες και στην υποκατηγορία Advanced Process. Αυτό δίνει μια μεγάλη ελευθερία του καθενός από αυτά σε κάθε σημείο του μοντέλου. Οι διεργασίες αυτές συνδέονται με το module δεδομένων Resources και Queue. Στο Resources αναγράφονται όλοι οι διαθέσιμοι πόροι του συστήματος (μηχανές, εξοπλισμοί κ.τ.λ.) και οι παράμετροι αυτών. Στο Queue προβάλλονται όλες οι ουρές αναμονής που δημιουργούνται στο σύστημα. Για παράδειγμα, αν δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι σε μια διεργασία Process, τότε ο υπόλοιπος αριθμός οντοτήτων περιμένει στην εκάστοτε ουρά αναμονής.



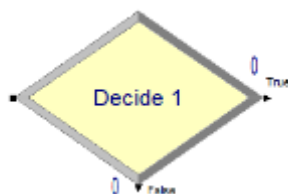
Σχήμα 2.9 Process module

Assign: Πολλές φορές στη διάρκεια της προσομοίωσης γεννάται η ανάγκη για τη δημιουργία ή αλλαγή χαρακτηριστικών και μεταβλητών του συστήματος. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του Assign. Στοιχεία που συνδέονται στενά με το assign είναι τα χαρακτηριστικά (attributes) και οι μεταβλητές (variables). Τα attributes μπορούν να παρομοιαστούν με 'καρτελάκια' που επικολλώνται πάνω σε κάθε οντότητα, προσδίδοντάς τους έτσι μια ξεχωριστή ιδιότητα. Από την άλλη μεριά, τα variables είναι καθολικές μεταβλητές του συστήματος. Μια καλή αναλογία θα ήταν πως αποτελούν έναν πίνακα που αναγράφονται πληροφορίες κοινές για όλες της οντότητες. Όταν κάποια από αυτές αλλάξει, μια άλλη θα πάρει τη θέση της και θα είναι η ισχύουσα για όλες.



Σχήμα 2.10 Assign module

Decide: Όπως σε κάθε γλώσσα προγραμματισμού υπάρχει η εντολή if, έτσι και αντίστοιχα στο Arena υπάρχει το decide module. Το συγκεκριμένο δομοστοιχείο δίνει πιθανές διαδρομές στις οντότητες βάσει πιθανοτήτων ή μαθηματικών εκφράσεων.



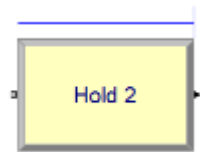
Σχήμα 2.11 Decide module

Record: Το στοιχείο Record χρησιμοποιείται για τη συλλογή στατιστικών δεδομένων, όπως ένας χρόνος, ένας μέσος αριθμός ή και μια συχνότητα. Το data module που περιλαμβάνει όλα τα στατιστικά για προβολή, αλλαγή, αλλά και δημιουργία νέων, είναι το Statistics data module.



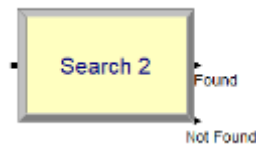
Σχήμα 2.12 Record module

Hold: Το Hold κρατά τις αφικνούμενες οντότητες σε μια ουρά αναμονής περιμένοντας κάποιο σήμα ή την εκπλήρωση κάποιας έκφρασης για την απελευθέρωσή τους.



Σχήμα 2.13 Hold module

Search: Το στοιχείο αυτό αναζητά μια ουρά αναμονής, ένα γκρουπ ή μια έκφραση μέχρι να ικανοποιηθεί μια συγκεκριμένη συνθήκη.



Σχήμα 2.14 Search module

Station: Το module αυτό χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σημείο του συστήματος που εκτελείται μια διαδικασία ή για να οριοθετήσει μια περιοχή όπου γίνεται μια συγκεκριμένη δραστηριότητα.



Σχήμα 2.15 Station module

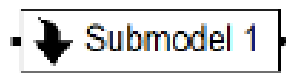
Route: Συνδεδεμένο με το Station και πολύ συχνά χρησιμοποιούμενο με αυτό, το Route βοηθά στη μετακίνηση οντοτήτων μεταξύ σταθμών.



Σχήμα 2.16 Route module

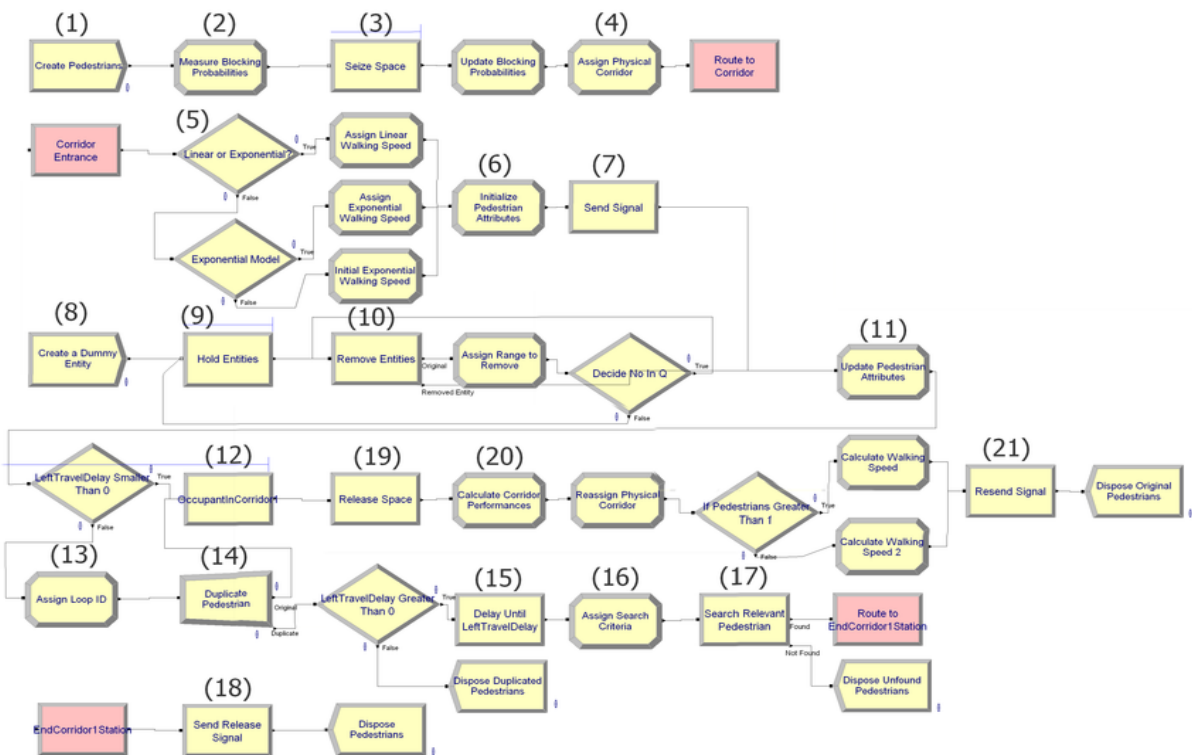
Set and Advanced Set: Όταν ο αριθμός στοιχείων δομών και οντοτήτων γίνεται μεγάλος σε ένα σύστημα, είναι επιθυμητό και αποδοτικό να υπάρχει μια ουσιώδης ομαδοποίηση. Αυτή γίνεται με τα παραπάνω data modules. Έτσι επιτρέπεται η πιο γρήγορη προσπέλαση των στοιχείων αυτών και γίνονται άμεσα πιο προσβάσιμα και κατανοητά στον χρήστη. Μπορεί, επίσης, να προσδώσει δυνατότητες προγραμματισμού κάποιου στοιχείου που δεν θα γινόταν ειδάλλως.

Submodel: Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην υποενότητα 2.2.1, αποτελεί στοιχείο για την καλύτερη καταμέριση διεργασιών του συστήματος και συμβάλλει στην καλύτερη αντίληψη του.[8-10]



Σχήμα 2.17 Submodel module

Στο σχήμα 2.18 απεικονίζεται η συνεργατική χρήση αρκετών module για την υλοποίηση ενός προσομοιωτικού μοντέλου.



Σχήμα 2.18 Παράδειγμα μοντέλου στο Arena [11]

2.2.3 Πρόσθετα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

Το προσομοιωτικό πακέτο προσομοίωσης Arena Simulation διαθέτει κάποια επιμέρους ανεξάρτητα προγράμματα που επαυξάνουν τις ολικές δυνατότητες του χρήστη και προσφέρουν πιο εξατομικευμένες και λεπτομερείς λειτουργίες. Δυο από αυτά τα προγράμματα χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

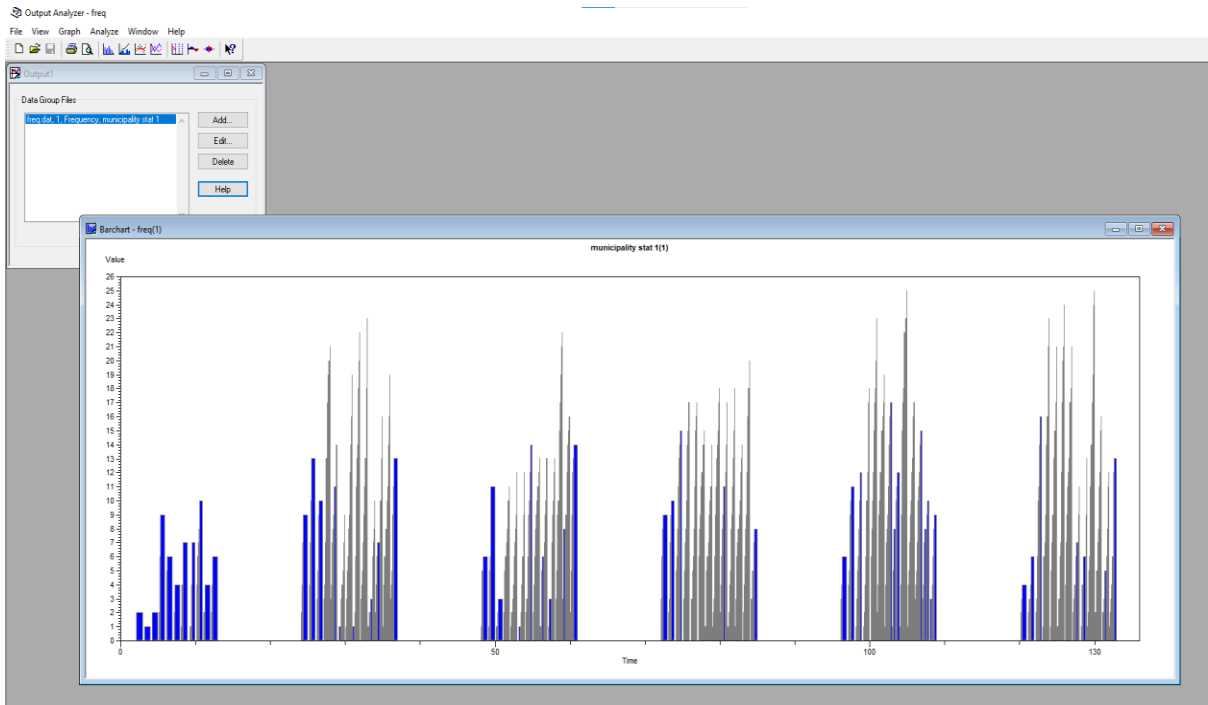
Το πρώτο από αυτά αποτελεί το Process Analyzer. Μέσω αυτού του προγράμματος δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να τρέξει πολλαπλά σενάρια μίας προσομοίωσης. Ως σενάριο μπορεί να οριστεί η προσομοίωση με την αλλαγή μιας ή και περισσότερων μεταβλητών. Μέσω αυτού επιλέγονται οι προς εξέταση παράμετροι (controls), καθώς και τα επιθυμητά από κάθε προσομοίωση αποτελέσματα (responses).

The screenshot shows the Process Analyzer interface with a table of simulation results. The table has columns for Scenario Properties, Controls, and Responses. The data is organized into rows for each scenario and control.

Scenario Properties		Controls										Responses					
S	Name	Program File	Reps	pick 51 60	pick 61 70	pick 71 80	pick 81 90	pick 91 100	traverse aisle time	pick delay	Record Throughput	Record if on time	record last time slot	Record delayed	picker1 NumL erSetzed	picker1 Schedu ledUtilizato	Record if on time
1	Scenario 1	11: dpl1 ton1	1	1	0	0	0	0	30	3	0.100	-4	0	21193	728	0.882	11.000
2	Scenario 2	11: dpl1 ton1	1	1	1	0	0	0	30	3	0.100	-3	0	20628	713	0.876	12.000
3	Scenario 3	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	0	0	30	3	0.100	-2	317	9553	861	0.905	13.000
4	Scenario 4	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	0	30	3	0.100	0	0	0	583	0.717	1.000
5	Scenario 5	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	1	30	3	0.100	0	0	0	530	0.843	1.000
6	Scenario 6	11: dpl1 ton1	1	1	0	0	0	0	27	3	0.094	-3	0	21500	763	0.884	11.000
7	Scenario 7	11: dpl1 ton1	1	1	1	0	0	0	27	3	0.094	-2	0	16708	749	0.857	13.000
8	Scenario 8	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	0	0	27	3	0.094	-1	0	1561	655	0.754	1.000
9	Scenario 9	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	0	27	3	0.094	0	0	592	0.681	1.000	
10	Scenario 10	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	1	27	3	0.094	0	0	521	0.608	1.000	
11	Scenario 11	11: dpl1 ton1	1	1	0	0	0	0	25	3	0.090	-3	0	21503	791	0.876	12.000
12	Scenario 12	11: dpl1 ton1	1	1	1	0	0	0	25	3	0.090	-2	183	13216	763	0.832	13.000
13	Scenario 13	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	0	0	25	3	0.090	-1	0	211	650	0.727	1.000
14	Scenario 14	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	0	25	3	0.090	0	0	528	0.646	1.000	
15	Scenario 15	11: dpl1 ton1	1	1	1	1	1	1	25	3	0.090	0	0	0	528	0.579	1.000
16	Scenario 16	3: dpl1 cluste	1	1	0	0	0	0	30	3	0.142	-1	---	2174	441	0.760	1.000
17	Scenario 17	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	30	3	0.142	0	---	0	368	0.842	1.000
18	Scenario 18	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	30	3	0.142	0	---	0	330	0.572	1.000
19	Scenario 19	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	0	30	3	0.142	0	---	0	286	0.505	1.000
20	Scenario 20	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	30	3	0.142	0	---	0	258	0.448	1.000
21	Scenario 21	3: dpl1 cluste	1	1	0	0	0	0	27	5	0.155	-2	---	12373	438	0.319	13.000
22	Scenario 22	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	27	5	0.155	-1	---	10	380	0.712	1.000
23	Scenario 23	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	0	0	27	5	0.155	0	---	0	336	0.625	1.000
24	Scenario 24	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	0	27	5	0.155	0	---	0	293	0.557	1.000
25	Scenario 25	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	27	5	0.155	0	---	0	260	0.520	1.000
26	Scenario 26	3: dpl1 cluste	1	1	0	0	0	0	20	3	0.115	0	---	0	438	0.612	1.000
27	Scenario 27	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	20	3	0.115	0	---	0	375	0.525	1.000
28	Scenario 28	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	0	0	20	3	0.115	0	---	0	329	0.480	1.000
29	Scenario 29	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	0	20	3	0.114	1	---	0	296	0.411	1.000
30	Scenario 30	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	20	3	0.114	1	---	0	259	0.381	1.000
31	Scenario 31	3: dpl1 cluste	1	1	0	0	0	0	25	5	0.149	-2	---	7286	442	0.797	13.000
32	Scenario 32	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	25	5	0.149	0	---	0	376	0.684	1.000
33	Scenario 33	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	0	0	25	5	0.149	0	---	0	336	0.600	1.000
34	Scenario 34	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	0	25	5	0.149	0	---	0	293	0.523	1.000
35	Scenario 35	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	25	5	0.150	0	---	0	266	0.479	1.000
36	Scenario 36	3: dpl1 cluste	1	1	0	0	0	0	30	5	0.163	-2	---	16658	436	0.856	13.000
37	Scenario 37	3: dpl1 cluste	1	1	1	0	0	0	30	5	0.163	-1	---	1245	379	0.748	1.000
38	Scenario 38	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	0	0	30	5	0.163	0	---	0	328	0.651	1.000
39	Scenario 39	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	0	30	5	0.163	0	---	0	294	0.581	1.000
40	Scenario 40	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	30	5	0.163	0	---	0	261	0.520	1.000
41	Scenario 41	3: dpl1 cluste	1	1	1	1	1	1	30	5	0.160	0	---	0	232	0.492	1.000

Σχήμα 2.19 Process Analyzer

Το δεύτερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το Output Analyzer. Το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί ανεξάρτητα από το Arena. Ως είσοδο χρησιμοποιεί τα αρχεία εξόδου που δημιουργούνται μέσω του Statistical data module. Πολλές από τις λειτουργίες του είναι εφικτές και μέσω του ίδιου του Arena. Ωστόσο, προσφέρει πολλές παραπάνω δυνατότητες όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων και τη σύγκριση αυτών.



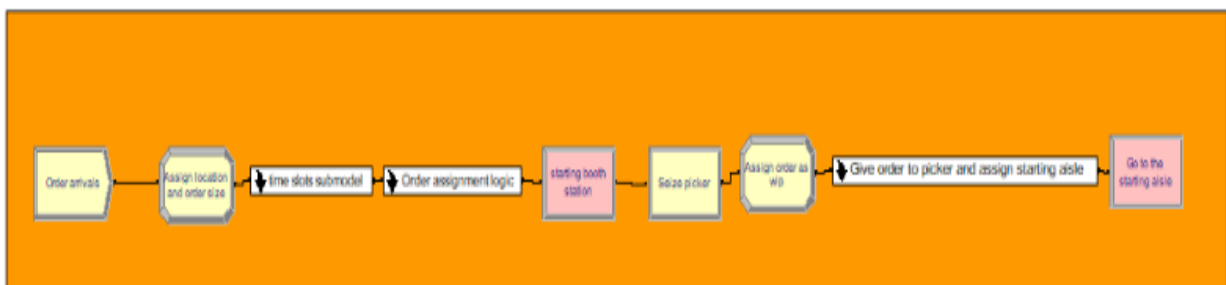
Σχήμα 2.20 Output Analyze

3 Παρουσίαση μοντέλου προσομοίωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική και λεπτομερής περιγραφή του προσομοιωτικού μοντέλου που δημιουργήθηκε για τους σκοπούς της εργασίας. Ακολουθώντας τη φυσική ροή του συστήματος, θα επεξηγηθούν τα δομοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, γιατί χρησιμοποιήθηκαν, ο ρόλος τους στο σύστημα, καθώς και πως όλα αυτά συνεργάζονται για να μας προσφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Θα προσεγγιστεί κάθε κομμάτι του συστήματος ξεχωριστά, όπως και αυτό κατακερματίστηκε στην παρουσίασή του στην ενότητα 2.1.

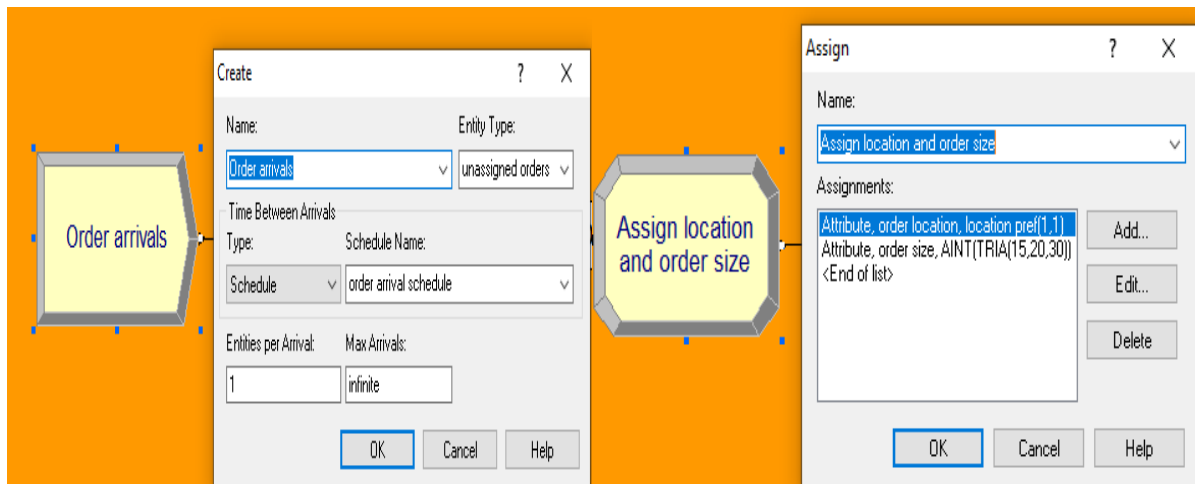
3.1 Τμήμα άφιξης οντοτήτων και προσδιορισμός προτεραιότητας

Το πρώτο κομμάτι του μοντέλου απευθύνεται στην έλευση των παραγγελιών, στην κατάταξη αυτών σε ουρές αναμονής και την δέσμευσή τους από τους picker την κατάλληλη στιγμή. Το κομμάτι αυτό του συστήματος απεικονίζεται στο σχήμα 3.1 .



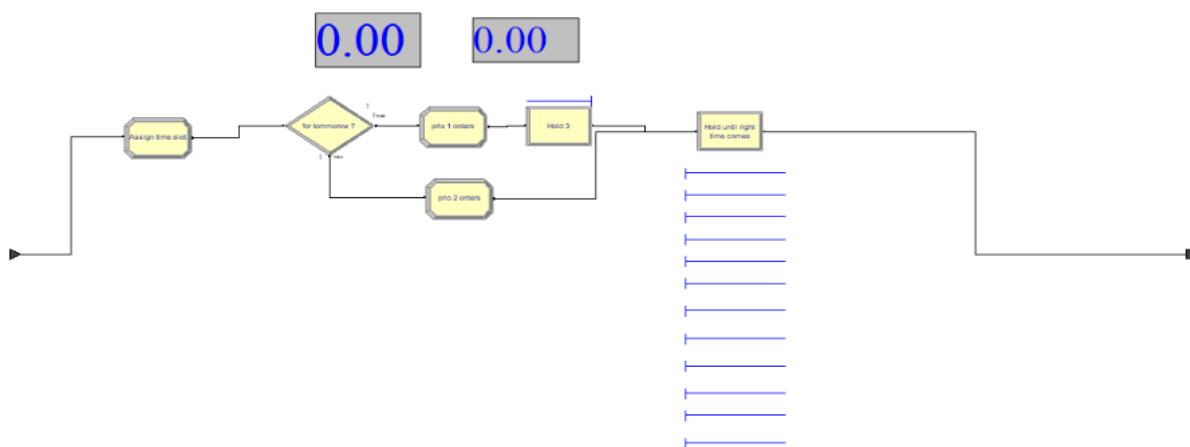
Σχήμα 3.1 Κομμάτι άφιξης παραγγελιών

Με την βοήθεια ενός create module πραγματοποιείται η έλευση παραγγελιών. Ο ρυθμός έλευσης έχει αντικατασταθεί με ένα πρόγραμμα (schedule), το οποίο ρυθμίζει τον ρυθμό αφίξεων ανάλογα με την ώρα της ημέρας, όπως και παρουσιάστηκε στη ενότητα 2.1. Με την είσοδο τους στο σύστημα, πρέπει να καθοριστεί ο προορισμός και το μέγεθος της παραγγελίας. Αυτά προσδιορίζονται μέσω ενός assign και αποτελούν attributes για την παραγγελία, δηλαδή κάτι το ξεχωριστό για την κάθε οντότητα. Το μέγεθος της παραγγελίας καθορίζεται από μια τριγωνική κατανομή με μέση τιμή 20, ελάχιστη 15 και μέγιστη 30. Καθώς πρόκειται για μια συνεχή κατανομή χρειάστηκε και η χρήση της συνάρτησης AINT με την οποία λαμβάνεται και ο ακέραιος αριθμός προϊόντων. Η επιλογή προορισμού είναι και αυτή μια μεταβλητή του συστήματος. Μια περίπτωση της είναι όλοι οι δήμοι ή οι περιοχές να στέλνουν παραγγελίες ισοπίθانا, ενώ η δεύτερη είναι με μια λογική Pareto, μια κατανομή όπου το 80% των παραγγελιών να έρχονται από το 20% των δήμων. Οι δυο αυτές εναλλακτικές έχουν αποθηκευτεί σαν εκφράσεις σε έναν 2x1 πίνακα, για τη γρήγορη εναλλαγή τους.



Σχήμα 3.2 Ρυθμίσεις αφίξεων, τοποθεσίας και μεγέθους παραγγελίας

Προχωρώντας, πρέπει να προσδιοριστεί η επιθυμητή χρονοθυρίδα. Με κατανομή που έχει παρουσιαστεί στην ενότητα 2.1, η παραγγελία δέχεται το attribute time slot, το οποίο καθορίζει και τη συμπεριφορά της παραγγελίας στο υπόλοιπο του υπομοντέλου. Αν δύναται, η παραγγελία χρεώνεται σε μια από τις διαθέσιμες, για το υπόλοιπο της ημέρας, ουρές αναμονής, ενώ αντιθέτως, εφόσον είναι εκτός χρονικών πλαισίων, δεσμεύεται και αναμένει τον ερχομό της επομένης για την απελευθέρωσή της. Αυτή η λειτουργία εκτελείται αρχικά από το στοιχείο του decide, το οποίο καθορίζει αν πρόκειται για μια σημερινή ή αυριανή παραγγελία, αξιολογώντας τον τωρινό χρόνο προσομοίωσης και σε ποιο κομμάτι της ώρας βρισκόμαστε. Τα δυο ακόλουθα assign δίνουν την προτεραιότητα σε παλαιότερες και πιο άμεσες παραγγελίες δίνοντας το attribute time slot + 1, ενώ οι σημερινές δέχονται ένα +2. Η χαμηλότερη αυτή τιμή του attribute θα αξιοποιηθεί αργότερα στο μοντέλο. Μετέπειτα, ένα hold module κατακρατά όλες τις αυριανές παραγγελίες, ενώ ένα άλλο hold καταμοιράζει τις σημερινές παραγγελίες σε ουρές αναμονής ανάλογα με την επιλεγμένη χρονοθυρίδα. Με βάση την ώρα αποδέσμευσης (release time), που αποτελεί μια μεταβλητή για το σύστημά μας, οι παραγγελίες συνεχίζουν τη ροή τους μόλις καταφθάσει η σωστή στιγμή.



Σχήμα 3.3 Time slot submodel

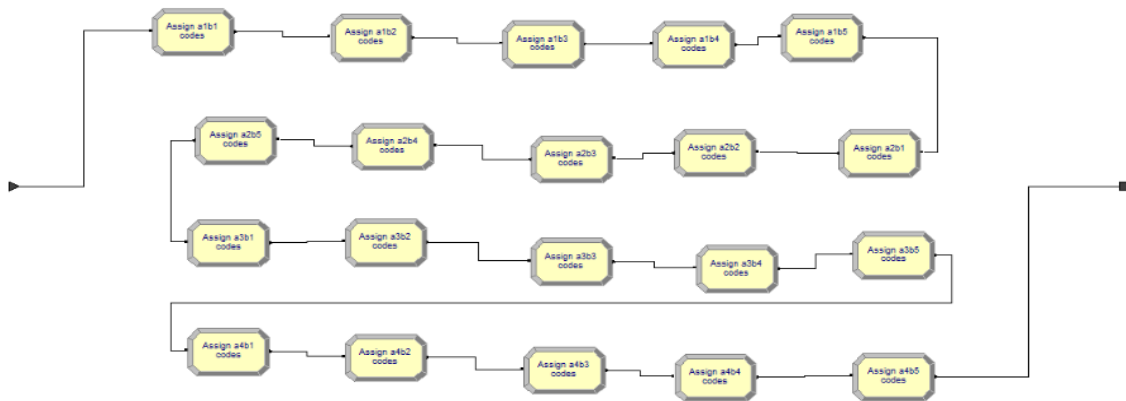
Decide - Basic Process				
	Name	Type	If	Value
1	for tomorrow ?	2-way by Condition	Expression	(time slot-CalHour(TNOW))==Release time && AMOD(CalMinute(TNOW),60)>prio time time slot-CalHour(TNOW)<=0

Σχήμα 3.4 Decide module timeslot submodel

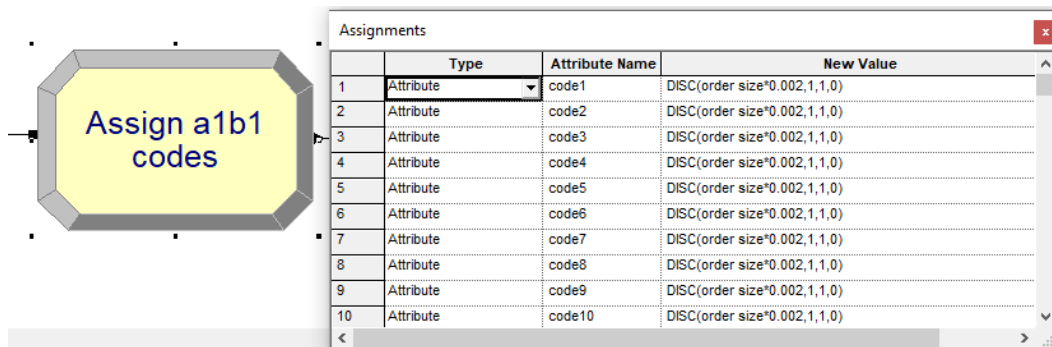
Hold - Advanced Process							
	Name	Type	Condition	Queue Type	Queue Name	Set Name	Set Index
1	Hold until right time comes	Scan for Condition	(time slot - CalHour(TNOW) <= Release time && time slot - CalHour(TNOW) >=0)	Set	Hold until right	holding queue Set 3	time slot
2	Hold 8	Scan for Condition	CalHour(TNOW) >=15 && CalHour(TNOW) <= 23	Queue	Hold 8.Queue	Hold 8 Set.Queue	1

Σχήμα 3.5 Hold modules timeslot submodel

Στο επόμενο κομμάτι, οι παραγγελίες θα κληθούν να χαρακτηριστούν με βάση τα προϊόντα που η καθεμιά επιθυμεί. Η πιθανότητα των προϊόντων είναι ακόμα μια μεταβλητή του συστήματος. Οι δυο κύριες εναλλακτικές είναι σύμφωνα με την λογική Pareto (20% των προϊόντων αποτελούν το 80% της παραγγελίας) και με την abc ανάλυση (20-30-50% προϊόντων αποτελούν το αντίστοιχο 70-20-10% της παραγγελίας). Μια περίπτωση που εξετάστηκε μόνο και μόνο για σύγκριση ήταν αυτή των ισοπίθανων για επιλογή προϊόντων. Έτσι, στο υπομοντελο order assignment logic, δίνεται σε κάθε προϊόν με βάση την τοποθεσία του στην αποθήκη (aisle και block) η πιθανότητα συλλογής του. Αυτή η πιθανότητα είναι μια διακριτή κατανομή (DISC), η οποία σε συνδυασμό με το μέγεθος της παραγγελίας (order size), επιτυγχάνουν τις παραπάνω κατανομές και τους περιορισμούς μεγέθους.

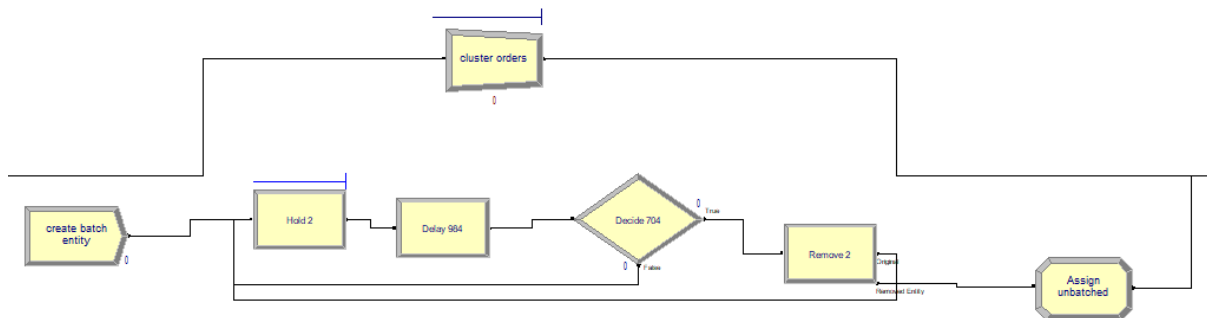


Σχήμα 3.6 Order assignment logic submodel



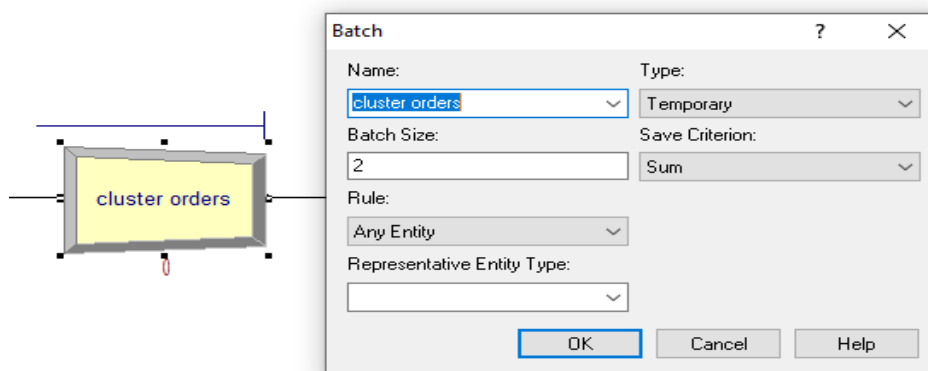
Σχήμα 3.7 Assign module in order assignment submodel

Μια ακόμα μέθοδος εκτέλεσης παραγγελιών που μελετάται και εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία είναι το cluster picking. Γι' αυτόν τον λόγο χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένα παρόμοιο μοντέλο με κάποιες αλλαγές, ώστε να καλύπτει τις ανάγκες της συγκεκριμένης μεθόδου. Μια από αυτές τις αλλαγές κάνει την εμφάνισή της σε αυτό το σημείο. Τη δεδομένη στιγμή στη ροή του συστήματος απαιτείται η ενοποίηση των παραγγελιών σαν μια πλέον, πριν αυτές να δεσμεύσουν έναν picker.



Σχήμα 3.8 Batching submodel

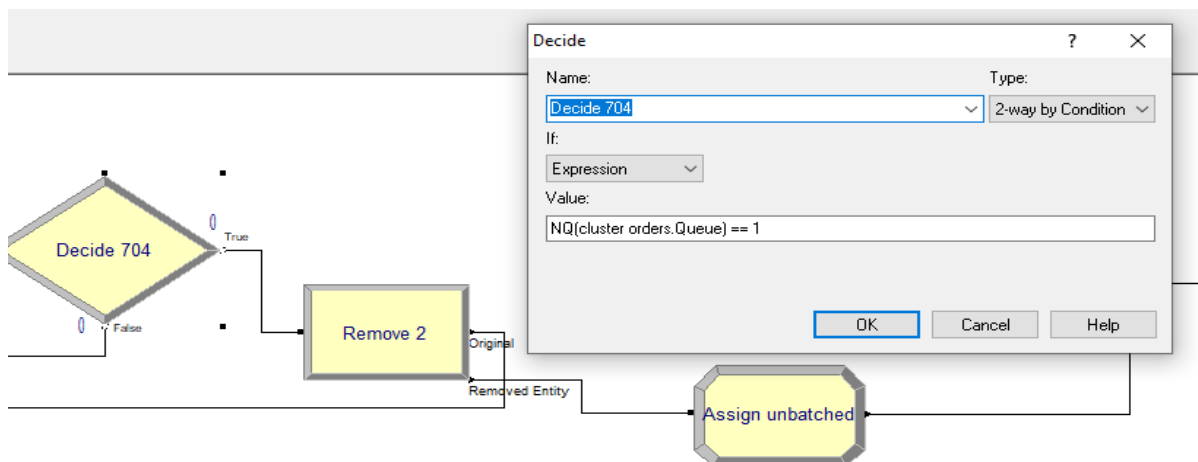
Τη διαδικασία της ενοποίησης πραγματοποιεί ένα batch module. Μόλις δύο οντότητες βρεθούν στην ουρά αναμονής του, τότε αυτές ενοποιούνται προσωρινά αθροίζοντας τα όλα έως τώρα χαρακτηριστικά. Η πρόσθεση αυτών εξυπηρετεί στην εύρεση των επιθυμητών αντικειμένων για κάθε παραγγελία. Η όλη διαδικασία ρυθμίζεται από μια ελεγκτική οντότητα. Αυτή δημιουργείται και αναμένει μέχρι να υπάρχει μόνο μια παραγγελία στην ουρά αναμονής της ενοποίησης. Επειδή το σύστημα είναι δομημένο ώστε να αφήνει ένα μεγάλο αριθμό παραγγελιών ταυτόχρονα, σε περίπτωση περιττού αριθμού αυτών, κάποια παραγγελία θα απομείνει. Έτσι, με μια μικρή καθυστέρηση μετά την απελευθέρωση της ελεγκτικής οντότητας, αν ο εναπομείναν αριθμός στην ουρά αναμονής είναι έναν, σημαίνει πως πρόκειται για παραγγελία που χρειάζεται να αποδεσμευτεί και να αδράξει μόνη της έναν εργαζόμενο. Έτσι, με τη χρήση ενός module remove, αφαιρούμε την οντότητα από την ουρά αναμονής και τη χαρακτηρίζουμε ως απομονωμένη (unbatched), καθώς αυτό θα βοηθήσει στο τελικό κομμάτι της προσομοίωσης. Η ελεγκτική οντότητα επιστρέφει στο hold όπου και αναμένει για παρόμοια κατάσταση.



Σχήμα 3.9 Batch module in batching submodel

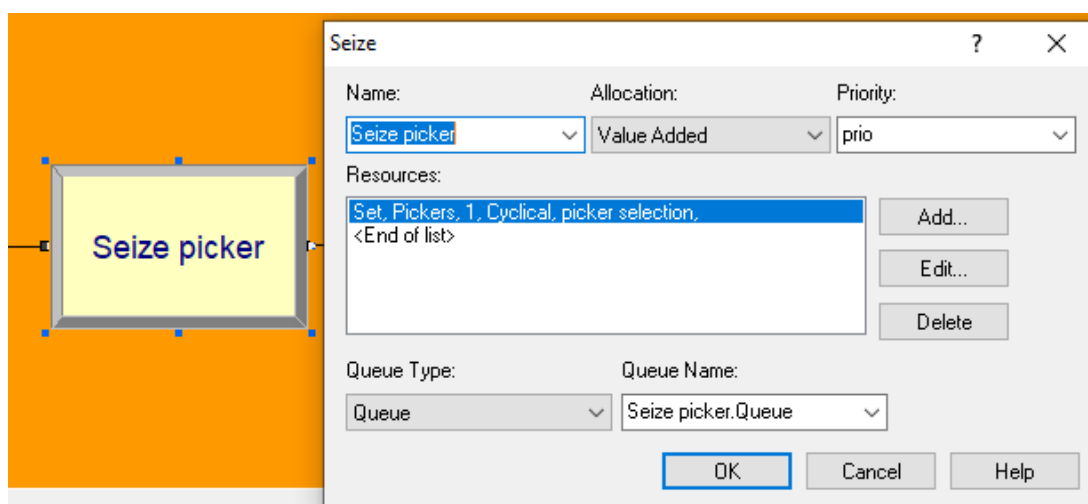
Hold - Advanced Process					
	Name	Type	Condition	Queue Type	Queue Name
1 ▶	Hold 2	Scan for Condition	$NQ(\text{cluster orders.Queue}) == 1 \ \&\& \ \text{AMOD}(\text{CalMinute}(\text{TNOW}),60) > \text{prio time} + 10$	Queue	Hold 2.Queue

Σχήμα 3.10 Hold module in batching submodel



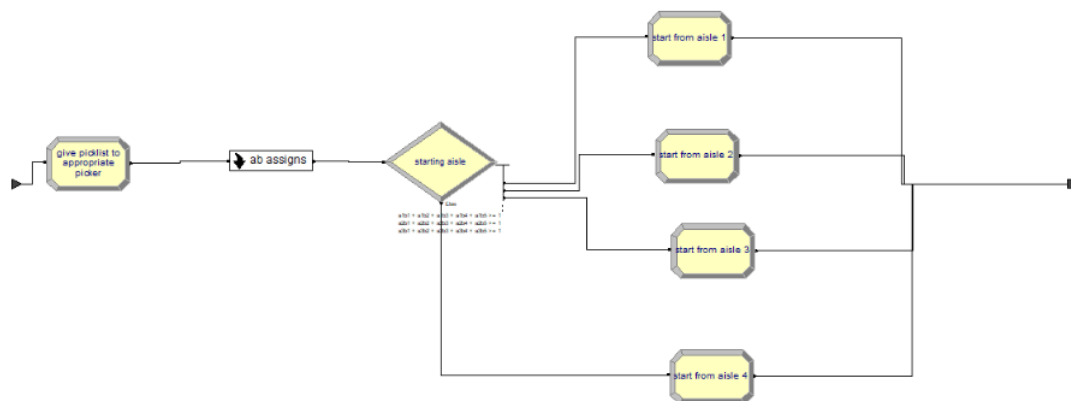
Σχήμα 3.11 Decide module in batching submodel

Αφού ολοκληρωθεί η ανάθεση των πιθανοτήτων, η παραγγελία πιστώνεται στον αρχικό σταθμό starting booth, ώστε να μπορεί να εκκινήσει η διαδρομή της στους διαδρόμους της αποθήκης. Σειρά έχει η δέσμευση ενός picker για την εκτέλεσή της. Εδώ η χρήση ενός seize module δεσμεύει τον πρώτο διαθέσιμο picker. Όλοι οι picker έχουν χωρητικότητα μιας παραγγελίας. Επίσης, αυτοί έχουν ομαδοποιηθεί σε ένα set (pickers), έτσι ώστε η κλήση τους σε διάφορα σημεία της προσομοίωσης να είναι πιο άμεση και εύκολη. Επίσης, η προτεραιότητα δέσμευσης έχει οριστεί με το attribute prio. Στο Arena, η χαμηλότερη τιμή μιας μεταβλητής έχει μεγαλύτερη ισχύ. Έτσι και τώρα το +1 και +2, που ορίστηκαν στο υπομοντέλο time slot submodel λειτουργούν ως ρυθμιστές προτεραιότητας. Ένας ακόμα τρόπος εκτέλεσης της ίδιας λειτουργίας θα ήταν ο ορισμός χαμηλότερης τιμής ενός attribute στην ουρά αναμονής της δέσμευσης των picker.



Σχήμα 3.12 Ρυθμίσεις seize picker

Εφόσον η παραγγελία αδράξει τον διαθέσιμο picker, θα πρέπει να γίνει καταχώρηση της παραγγελίας στη λίστα του κάθε picker. Αυτό θα συμβεί στο ακόλουθο υπομοντέλο. Στα πλαίσια αυτού του μοντέλου χρησιμοποιείται η μεταβλητή active order για να δοθεί η λίστα των επιλεγόμενων προϊόντων σε κάθε εργαζόμενο. Μέχρι τώρα όλα τα δεδομένα για επιλογή προϊόντων έχουν αποθηκευτεί σε attribute σε κάθε οντότητα ξεχωριστά. Η προσπέλασή τους, ένα προς ένα, θα ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία και καταπονητική για το σύστημα. Για τον λόγο αυτό κάθε μια από αυτές τις τιμές καταγράφονται σε ένα δισδιάστατο πίνακα (active order). Με τη βοήθεια αυτού πλέον η επιλογή της διαδρομής και της συλλογής προϊόντων θα είναι και πιο γρήγορα προσπελάσιμη, αλλά και ξεχωριστή για τον κάθε εργαζόμενο. Το γεγονός αυτό θα εξυπηρετήσει στο επόμενο μεγάλο κομμάτι της προσομοίωσης.

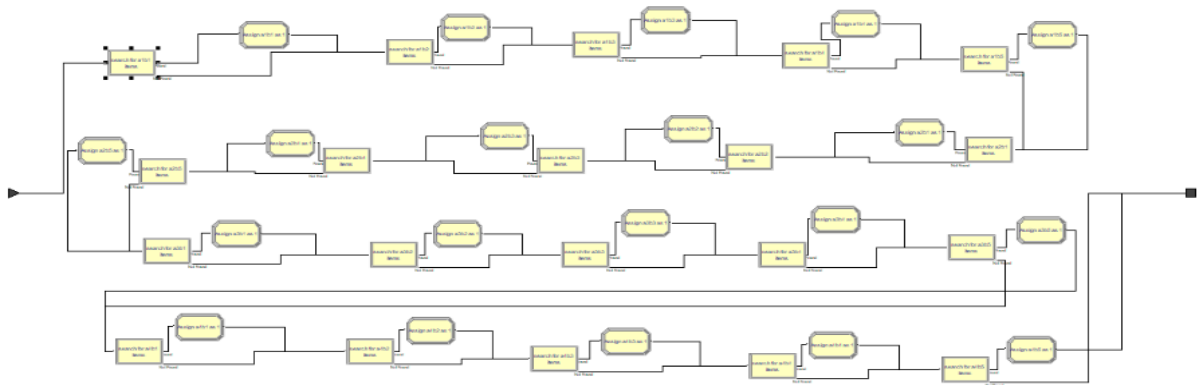


Σχήμα 3.13 Give order to picker and starting aisle submodel

	Type	Other	New Value
1	Other	VAR(active order set(picker selection),1,1)	code1
2	Other	VAR(active order set(picker selection),2,1)	code2
3	Other	VAR(active order set(picker selection),3,1)	code3
4	Other	VAR(active order set(picker selection),4,1)	code4
5	Other	VAR(active order set(picker selection),5,1)	code5
6	Other	VAR(active order set(picker selection),6,1)	code6
7	Other	VAR(active order set(picker selection),7,1)	code7
8	Other	VAR(active order set(picker selection),8,1)	code8
9	Other	VAR(active order set(picker selection),9,1)	code9

Σχήμα 3.14 Give picklist to picker

Το κομμάτι του ab assigns που ακολουθεί, θα δώσει μια τιμή σε κάθε μία από τις 20 διαφορετικές συντεταγμένες της αποθήκης βάσει της ύπαρξης ή μη προϊόντων προς συλλογή στον εκάστοτε διάδρομο. Με τη χρήση ενός search module σκανάρεται όλο το τμήμα του διαδρόμου, διαμέσως της μεταβλητής active order, και επιλέγεται το εάν ο διάδρομος χρειάζεται να διασχιστεί ή όχι.



Σχήμα 3.15 ab assigns submodel

Search - Advanced Process					
	Name	Type	Starting Value	Ending Value	Search Condition
1	search for a1b1 items	Search an Expression	1	100	VAR(active order set(picker selection),J,1)>0
2	search for a1b2 items	Search an Expression	101	200	VAR(active order set(picker selection),J,1)>0
3	search for a1b3 items	Search an Expression	201	300	VAR(active order set(picker selection),J,1)>0
4	search for a1b4 items	Search an Expression	301	400	VAR(active order set(picker selection),J,1)>0
5	search for a1b5 items	Search an Expression	401	500	VAR(active order set(picker selection),J,1)>0
6	search for a2b1 items	Search an Expression	1	100	VAR(active order set(picker selection),J,2)>0
7	search for a2b2 items	Search an Expression	101	200	VAR(active order set(picker selection),J,2)>0
8	search for a2b3 items	Search an Expression	201	300	VAR(active order set(picker selection),J,2)>0
9	search for a2b4 items	Search an Expression	301	400	VAR(active order set(picker selection),J,2)>0
10	search for a2b5 items	Search an Expression	401	500	VAR(active order set(picker selection),J,2)>0

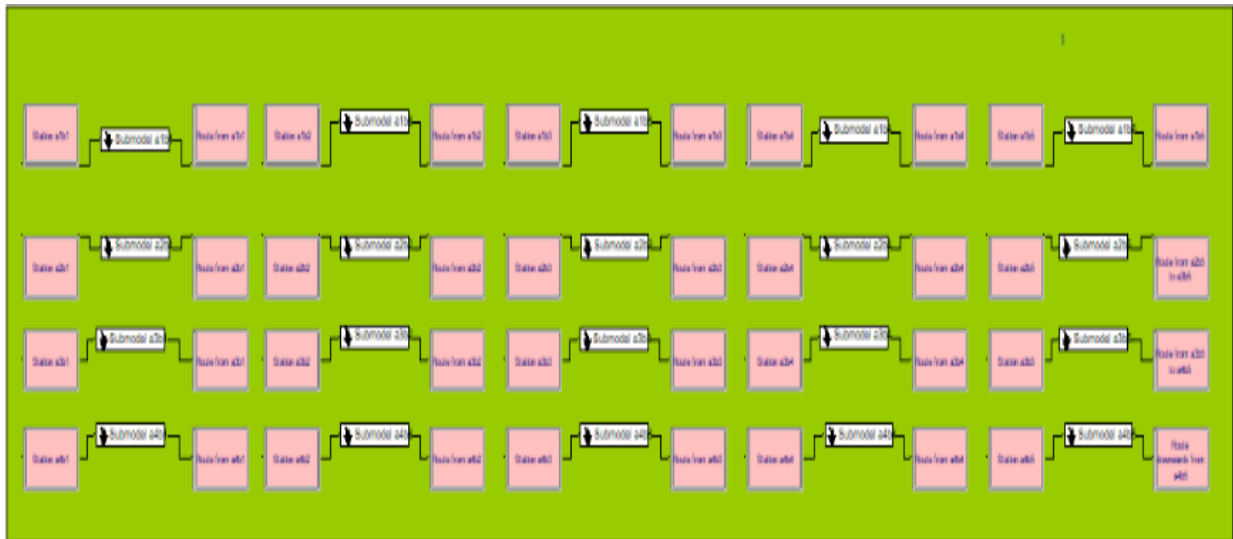
Σχήμα 3.16 Search modules in ab assign submodel

Τελευταίο κομμάτι του παρόντος υπομοντέλου είναι η επιλογή εναρκτήριου διαδρόμου. Από τον πρώτο ολικό διάδρομο και μέχρι τον τέταρτο, ελέγχεται αν υπάρχει προϊόν σε κάποιο υποκομμάτι του. Εάν όχι παραλείπεται και προχωρά στον επόμενο. Ο πρώτος διάδρομος που θα βρεθεί, με τουλάχιστον ένα αντικείμενο σε κάποιο σημείο του, θα είναι και ο αρχικός. Αφού αυτός επιλεγεί, ανατίθεται και μια χρονοκαθυστέρηση (travel time) σε μορφή attribute που θα χρεωθεί στην οντότητα μόλις αυτή εισέλθει στο τελικό route module του τομέα αυτού. Σημαντική επίσης είναι η σημείωση ενός χαρακτηριστικού του lkp (last known position). Το στοιχείο αυτό παίζει καθοριστικό ρόλο στη σωστή καθοδήγηση του picker δια μέσου της αποθήκης. Η αρχική του τιμή είναι μηδέν.

3.2 Πλοήγηση picker και συλλογή αντικειμένων

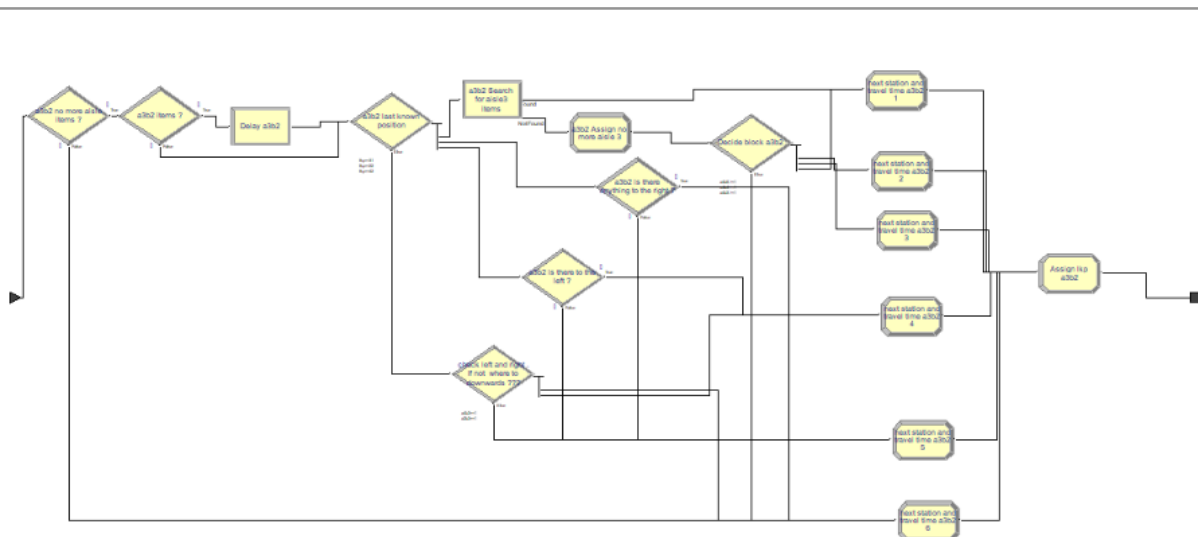
Στο σημείο αυτό του συστήματος, η παραγγελία έχει δεσμεύσει έναν picker και ο αρχικός διάδρομος για την εκκίνηση της διαδρομής έχει επιλεγεί. Για κάθε μια από τις 20 διαφορετικές συντεταγμένες (4 aisles , 5 blocks) έχει δημιουργηθεί και ένα υπομοντελο που καθορίζει τις καθυστερήσεις και την επόμενη κίνηση και θέση του εργαζομένου. Το κάθε υπομοντελο συνοδεύεται από ένα station module, υποδηλώνοντας την είσοδο και την αρχή

του διαδρόμου, και ένα route module που θα κατευθύνει τον εργαζόμενο στο επόμενο βήμα της διαδρομής του.



Σχήμα 3.17 Κομμάτι picking και routing

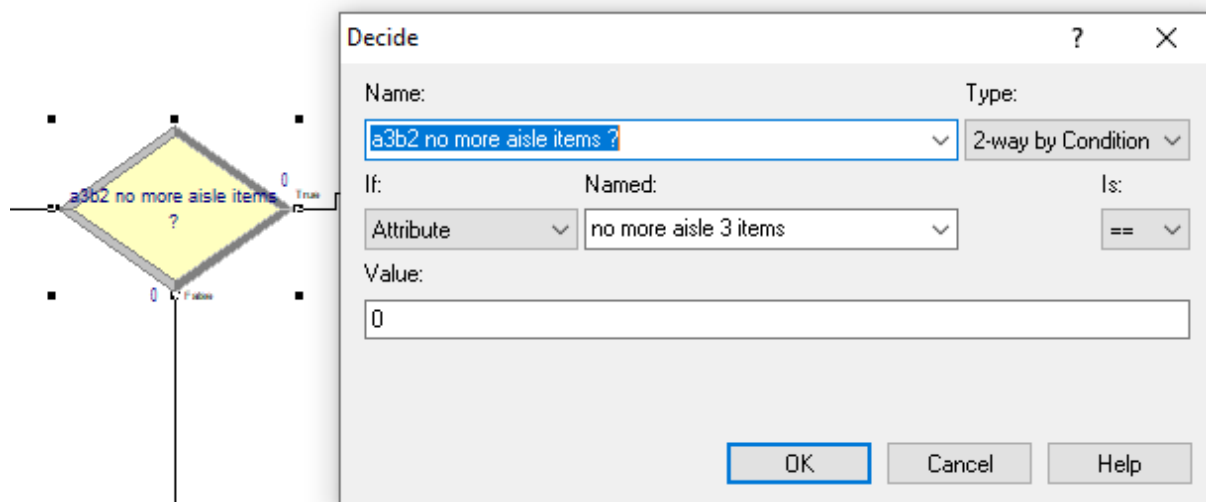
Όλα τα υπομοντέλα ακολουθούν παρόμοια λογική όσον αφορά τη λειτουργία τους και τις ενέργειές τους. Για τον λόγο αυτόν θα τυχτεί ένα από τα υπομοντέλα, έτσι ώστε να μπορεί να παρουσιαστεί η σκεπτική πίσω από την κίνηση και το υπόβαθρο των αποφάσεων. Το υπομοντέλο αυτό θα είναι του σημείο a3b2 (το a υποδηλώνει aisle και το b block), καθώς ο τρίτος διάδρομος καλύπτει το μεγαλύτερο φάσμα επιλογών και κινήσεων και η μελέτη θα δώσει μια πλήρη εικόνα αυτής της λειτουργίας.



Σχήμα 3.18 Submodel a3b2

Με την είσοδο σε οποιοδήποτε υπομοντέλο αυτού του κομματιού, γίνεται η χρήση ενός decide module για ένα συγκεκριμένο έλεγχο. Η συνθήκη του ελέγχου αυτού εξετάζει εάν το

attribute «no more aisle items» έχει την τιμή 1. Αυτό αυτόματα σημαίνει πως ο picker έχει δρομολογηθεί σε αυτό το σημείο από ένα προηγούμενο διάδρομο της ίδιας κύριας αρτηρίας. Έχοντας την τιμή 1 στο συγκεκριμένο attribute σημαίνει πως δεν υπάρχει άλλο προς επιλογή αντικείμενο στον κύριο διάδρομο και πως το επόμενο βήμα είναι η σάρωση του πιο απομακρυσμένου εν δυνάμει block. Συνεπώς, κατευθείαν ανακατευθύνεται στο σημείο a4b2 καθώς οι προηγούμενοι διάδρομοι ή θα έχουν προσπελαστεί ή δεν θα είχαν κάποιο προϊόν εξ' αρχής.



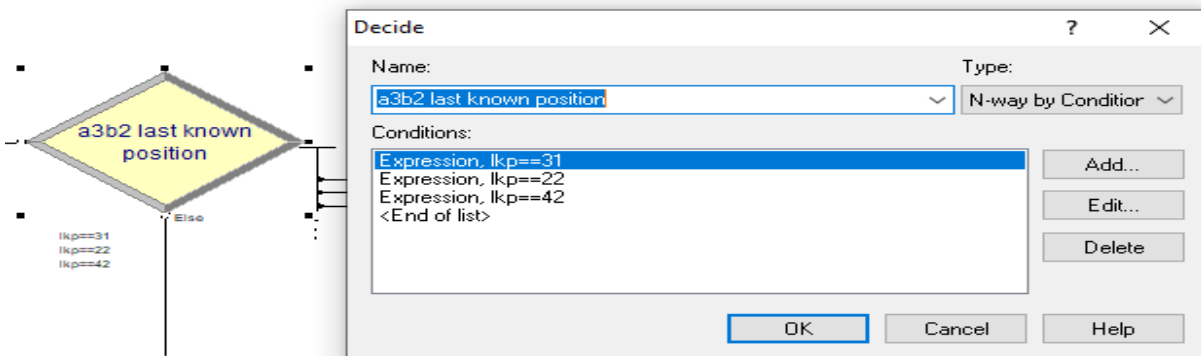
Σχήμα 3.19 a3b2 no more aisle items module

Επόμενος και βασικός έλεγχος, είναι αυτός της ύπαρξης προϊόντων προς συλλογή. Αν ο διάδρομος αυτός περιέχει επιθυμητά αντικείμενα, τότε το αντίστοιχο attribute του θα έχει σηματοδοτηθεί με την τιμή 1 στον πρώτο τομέα του μοντέλου (ab assigns). Έτσι, προχωρά σ' ένα delay module που θα καθυστερήσει την παραγγελία ανάλογα με την ποσότητα αντικειμένων που απαιτεί αυτή. Η έκφραση για την καθυστέρηση περιέχει και αυτή μεταβλητές που ανάλογα με την τιμή τους θα καθορίζουν το μέγεθος της καθυστέρησης. Η πρώτη είναι η traverse aisle time. Αυτή καθορίζει τον χρόνο που χρειάζεται ένας picker για να διασχίσει όλο τον διάδρομο. Η εναλλαγή στην τιμή της καθορίζει ουσιαστικά το πόσο γρήγορα μπορούν να κινούνται οι picker, καθώς και το μέγεθος του διαδρόμου. Έστω για παράδειγμα να θεωρήσουμε πως όλα τα αντικείμενα βρίσκονται σε παλέτες. Η ισοκατανομή αυτών στην αποθήκη θα δώσει 100 παλέτες ανά σημείο. Εφόσον ο διάδρομος δίνει δυνατότητα συλλογής και από τις δυο μεριές του αυτό οδηγεί σε 50 παλέτες ανά μεριά. Εάν ακόμα υποθεθεί ότι όλες οι παλέτες βρίσκονται στο έδαφος (ground level) με διαστάσεις ευρωπαϊκής, αυτό οδηγεί σε ένα συνολικό μήκος διαδρόμου περίπου 50 μέτρα. Με μια μέση ταχύτητα υπαλλήλου 1.6 m/s (ταχύτητα φυσιολογικού περιπάτου), ένας υπάλληλος θα χρειαστεί 31.25 δευτερόλεπτα μόνο να διασχίσει τον διάδρομο. Στον χρόνο αυτό, έρχεται να προστεθεί και ο χρόνος καθυστέρησης προκειμένου να συλλεχθεί καθένα από τα αντικείμενα συλλογής αυτού του διαδρόμου, pick delay. Όποιο αντικείμενο πρόκειται να προστεθεί στο καλάθι του πελάτη, έχει σίγουρα το αντίστοιχο attribute του ίσο με 1 (order assignment logic). Έτσι αυτό αθροιστικά θα αυξήσει τη συνολική καθυστέρηση στον διάδρομο. Για λόγους ευκολίας, έχει υποθεθεί πως ο εργαζόμενος δεν παρεμποδίζεται από άλλους και πως ανά πάσα στιγμή όλοι οι pickers μπορούν να συλλέξουν το ίδιο αντικείμενο χωρίς πρόβλημα.

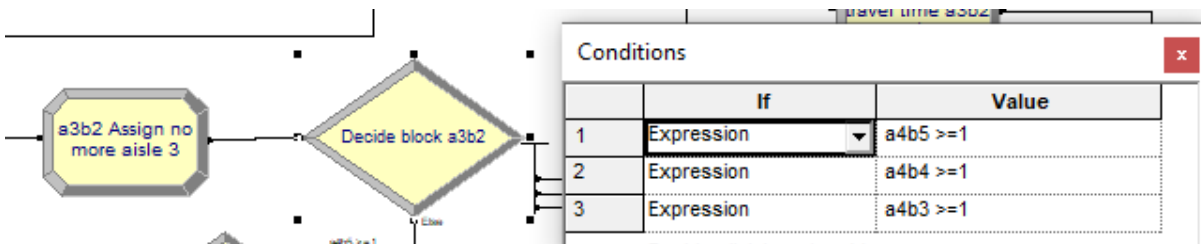
Delay Time	Units
<pre> traverse aisle time+(code1101+code1102+code1103+code1104+code1105+code1106+code1107+code1108+code1109+code1110+code1111+code1112+code1113+code1114+code1115+code1116+code1117+code1118+code1119+code1120+code1121+code1122+code1123+code1124+code1125+code1126+code1127+code1128+code1129+code1130+code1131+code1132+code1133+code1134+code1135+code1136+code1137+code1138+code1139+code1140+code1141+code1142+code1143+code1144+code1145+code1146+code1147+code1148+code1149+code1150+code1151+code1152+code1153+code1154+code1155+code1156+code1157+code1158+code1159+code1160+code1161+code1162+code1163+code1164+code1165+code1166+code1167+code1168+code1169+code1170+code1171+code1172+code1173+code1174+code1175+code1176+code1177+code1178+code1179+code1180+code1181+code1182+code1183+code1184+code1185+code1186+code1187+code1188+code1189+code1190+code1191+code1192+code1193+code1194+code1195+code1196+code1197+code1198+code1199+code1200)*pick delay </pre>	Seconds

Σχήμα 3.20 Delay time expression

Αφού ξεπεραστεί και αυτό το σημείο του υπομοντέλου, σειρά έχει ο καθορισμός της επομένης θέσης του picker. Πρώτος και καθοριστικός έλεγχος είναι αυτός της τελευταίας γνωστής θέσης του Picker. Ουσιαστικά η γνώση του από που ήρθε ο εργαζόμενος όχι μόνο θα αποτρέψει την επιστροφή σε ένα διάδρομο για δεύτερη φορά, αλλά και θα βοηθήσει στη σωστή ανακατεύθυνση από το παρόν σημείο. Μια περίπτωση είναι ο ερχομός από τον ίδιο διάδρομο και πίσω (a3b1). Η περίπτωση αυτή οδηγεί σε ένα search module, το οποίο αναζητά σε όλη την υπολειπομένη στήλη του τρέχοντος διαδρόμου (active order) για κάποιο επιθυμητό προϊόν. Αν υπάρχει, τότε η επόμενη θέση του θα είναι ένας διάδρομος μπροστά. Αν όχι θα χρειαστεί να αλλάξει το attribute «no more aisle items» σε 1 και έπειτα να προχωρήσει στην εύρεση του πιο απομακρυσμένου με αντικείμενα block.



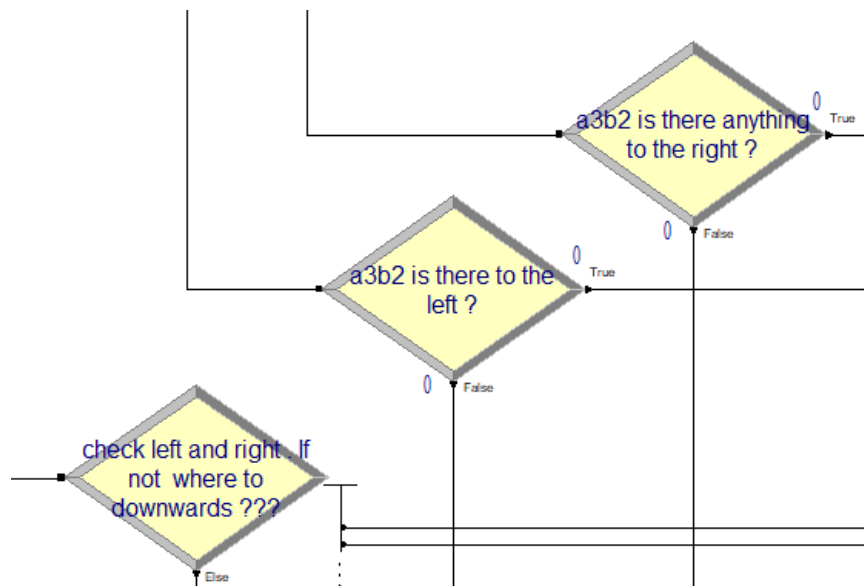
Σχήμα 3.21 a3b2 last known position module



Σχήμα 3.22 Επιλογή επόμενης θέσης

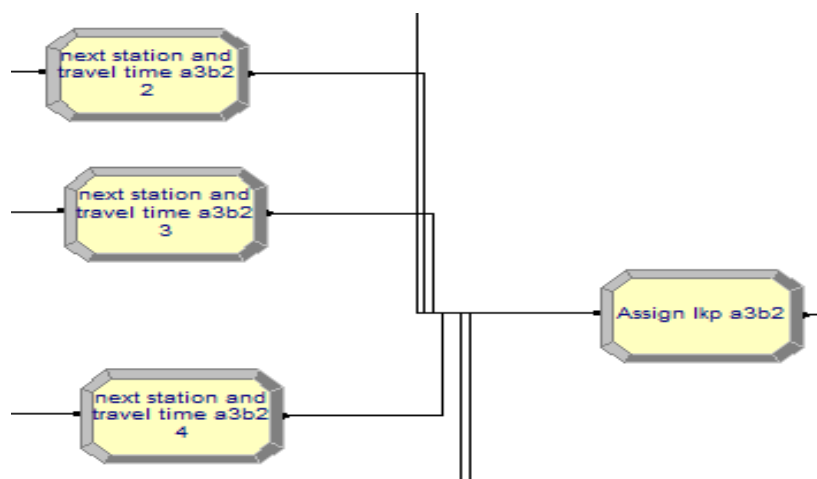
Μια άλλη εκδοχή είναι η τελευταία θέση του Picker να είναι η a2b2. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται να γίνει έλεγχος με ένα decide module για ύπαρξη αντικειμένων στο a4b2. Αν υπάρχουν, τότε θα προχωρήσει σ' αυτόν. Ειδικά θα κατευθυνθεί στο αμέσως κατώτερο block και στη θέση a3b1. Ίδια λογική εφαρμόζεται σε μια κίνηση με τελευταία γνωστή θέση την a4b2.

Οποιαδήποτε άλλη περίπτωση σημαίνει κάθοδος από ανώτερο block. Αυτή η κάθοδος είναι το εναρκτήριο έναυσμα για αναζήτηση στο block στο οποίο βρισκόμαστε. Η αναζήτηση και η εύρεση κάποιου αντικειμένου θα οδηγήσει τον εργαζόμενο σε κάποιον πλαϊνό διάδρομο. Αλλιώς θα συνεχιστεί η κάθοδος στο block 1.



Σχήμα 3.23 Πιθανές εναλλακτικές διαδρομές

Τελικώς, αφού αποφασιστεί η επόμενη θέση της διαδρομής, τα ανάλογα assign θα προσδώσουν κατάλληλες τιμές στα attribute «next station» και «travel time» ώστε αυτά να αναγνωριστούν στο τελικό route module. Λίγο πριν την έξοδό του από το υπομοντέλο, η οντότητα περνά από ένα assign, το οποίο είναι υπεύθυνο για την πρόσδοση της τελευταίας γνωστής θέσης (lkr), όπου και αυτή με τη σειρά της στο επόμενο υπομοντέλο θα καθορίσει τη συμπεριφορά και την κατεύθυνση του picker.



Σχήμα 3.24 Πρόσδοση attribute επόμενης θέσης, χρόνου διαδρομής και lkr

Τα σημεία εξόδου από αυτό το κομμάτι του μοντέλου και η μετάβαση στο τελικό, γίνεται στα περιθωριακά υπομοντέλα. Από εκεί κάποιες περιπτώσεις ωθούν την οντότητα στην μετάβαση του τελικού σταδίου της προσομοίωσης.

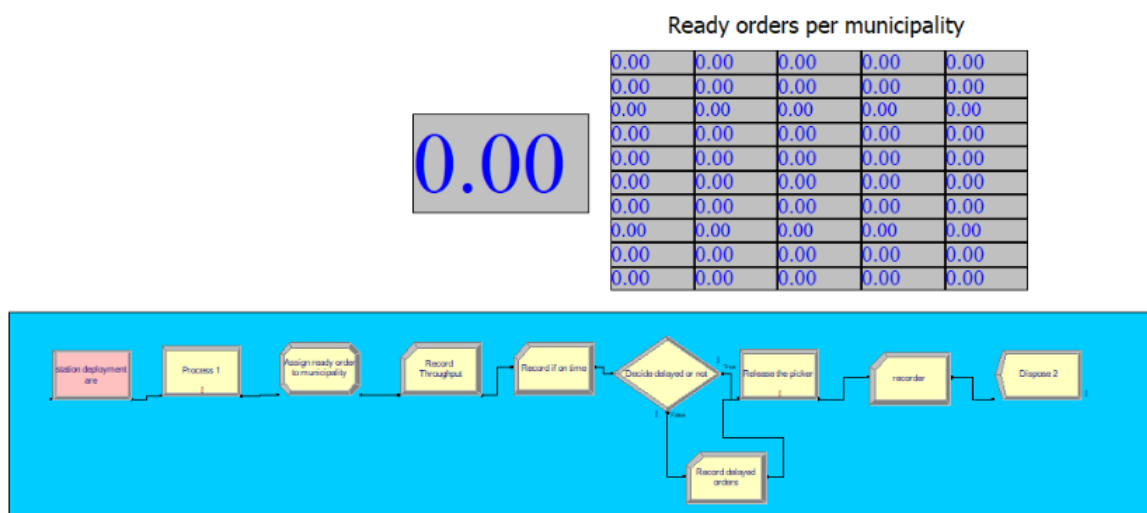
Η όλη διαδικασία και πλοήγηση δια μέσω των διάδρομων έχει δοκιμαστεί και αναπαρασταθεί με τη βοήθεια κατάλληλου animation.



Σχήμα 3.25 Τμήμα picking animation

3.3 Ολοκλήρωση παραγγελίας και συλλογή αποτελεσμάτων

Το τελικό στάδιο της προσομοίωσης του συστήματος λαμβάνει χώρα μετά την ολοκλήρωση και της τελευταίας συλλογής προϊόντος. Ο picker κατευθύνεται στην περιοχή εναπόθεσης των καλαθιών. Αυτή πρόκειται να είναι κατάλληλα διαιρεμένη αναλόγως με το πλήθος των εξυπηρετούμενων τοποθεσιών, είτε για 50 δήμους είτε για 20 ευρύτερες περιοχές. Στο τμήμα αυτό της προσομοίωσης καταγράφονται και αρκετά από τα τελικά αποτελέσματα που θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 4.



Σχήμα 3.26 Τμήμα ολοκλήρωσης παραγγελίας

Το αρχικό station module είναι το μοναδικό που διαφέρει από όλα τα άλλα του συστήματος. Σ' αυτό είναι καταχωρημένοι όλοι οι εναλλακτικοί σταθμοί των υποπεριοχών ως ένα set σταθμών. Αυτό διευκολύνει τον προγραμματισμό ανάθεσης τελικού προορισμού, καθώς και την εξοικονόμηση χώρου και υπολογιστικού φόρτου.

Το ακόλουθο process module χαρακτηρίζει την καθυστέρηση για την εναπόθεση της παραγγελίας και όποιας τελικής πιστωτικής διαδικασίας απαιτείται πριν τη λήξη της. Εφόσον ολοκληρωθεί αυτή, η παραγγελία μπορεί πλέον να θεωρηθεί έτοιμη για αναχώρηση. Το πλήθος των παραγγελιών ανά περιοχή απεικονίζεται από τον πίνακα (animation) άνω του τμήματος της προσομοίωσης. Αυτό βοηθά στην βεβαίωση της σωστής λειτουργίας του μοντέλου, αλλά και στον έλεγχο των στατιστικών αυτών σε πραγματικό χρόνο. Ένα assign υλοποιεί την αύξηση όλων των καταμετρητών κάθε τοποθεσίας. Οι έτοιμες παραγγελίες ανά τοποθεσία αποτελούν ακόμα ένα set στο σύστημα μέσω του οποίου διευκολύνεται η λειτουργία.

	Type	Variable Name	Other	New Value
1	Other	Variable 1	loc orders (order location,1)	loc orders (order location ,1) + 1
2	Variable	total orders	J	total orders + 1

Σχήμα 3.27 Μετρητής έτοιμων παραγγελιών

Ένα κρίσιμο για τη μελέτη στατιστικό, είναι η χρόνος υλοποίησης της παραγγελίας. Αυτό καταμετράται αμέσως μετά, μέσω ενός record module. Προχωρώντας, συναντάται ακόμα ένας έλεγχος, αυτός των καθυστερημένων παραγγελιών. Οι παραγγελίες αφήνονται για υλοποίηση 1 ή 2 ώρες πριν την απαιτούμενη αναχώρησή τους. Εάν ο τωρινός χρόνος προσομοίωσης έχει ξεπεράσει την απαιτούμενη χρονοθυρίδα, τότε η παραγγελία θεωρείται αργοπορημένη και χρεώνεται ως μια. Το πλήθος αυτών είναι ένας αριθμός που χρήζει προσοχής, καθώς μια μεγάλη τιμή του είναι ανεπιθύμητη.

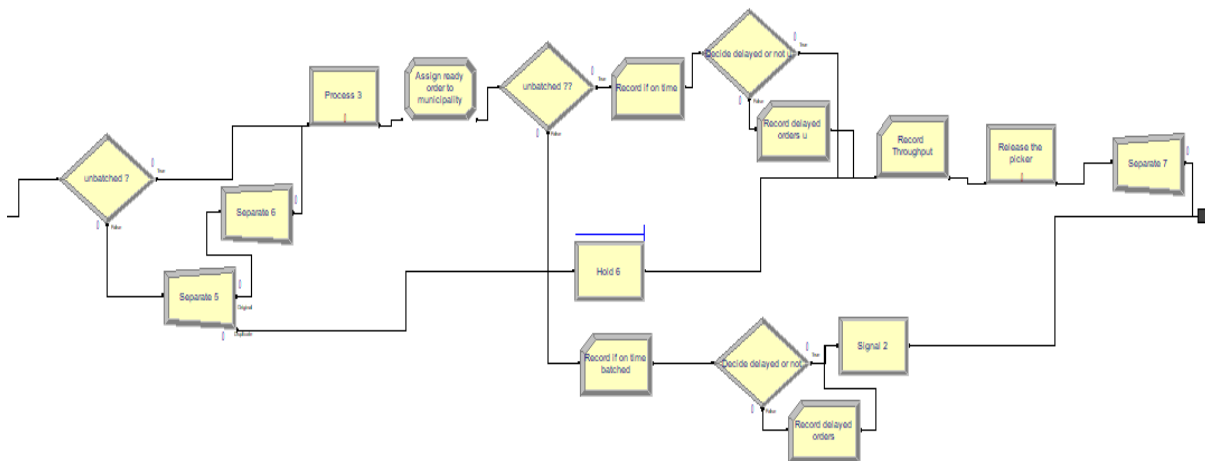
Ένα στατιστικό το οποίο καταμετράται χωρίς την βοήθεια κάποιου module, είναι το πλήθος των έτοιμων παραγγελιών για κάθε χρονική στιγμή. Με τη χρήση των statistic data module, δίνεται η δυνατότητα καταγραφής συχνοτήτων ορισμένων τιμών του μοντέλου, έτσι ώστε αυτές να μπορούν να αξιολογηθούν στην τελική αναφορά. Αφού υπάρχει ήδη ένα ορισμένο set με τις έτοιμες παραγγελίες, ο ορισμός μόνο των επιθυμητών προς καταγραφή ευρών δίνει τα ανάλογα αποτελέσματα.

Statistic - Advanced Process								
	Name	Type	Frequency Type	Expression	Collection Period	Report Label	Output File	Categories
1	municipality stat 1	Frequency	Value	loc orders(1,1)	Entire Replication	municipality stat 1		5 rows
2	municipality stat 2	Frequency	Value					
3	municipality stat 3	Frequency	Value					
4	municipality stat 4	Frequency	Value					
5	municipality stat 5	Frequency	Value					
6	municipality stat 6	Frequency	Value					
7	municipality stat 7	Frequency	Value					
8	municipality stat 8	Frequency	Value					
9	municipality stat 9	Frequency	Value					

Categories					
	Constant or Range	Value	High Value	Category Name	Category Option
1	Range	0	10		Include
2	Range	10	15		Include
3	Range	15	20		Include
4	Range	20	50		Include
5	Constant	0			Include

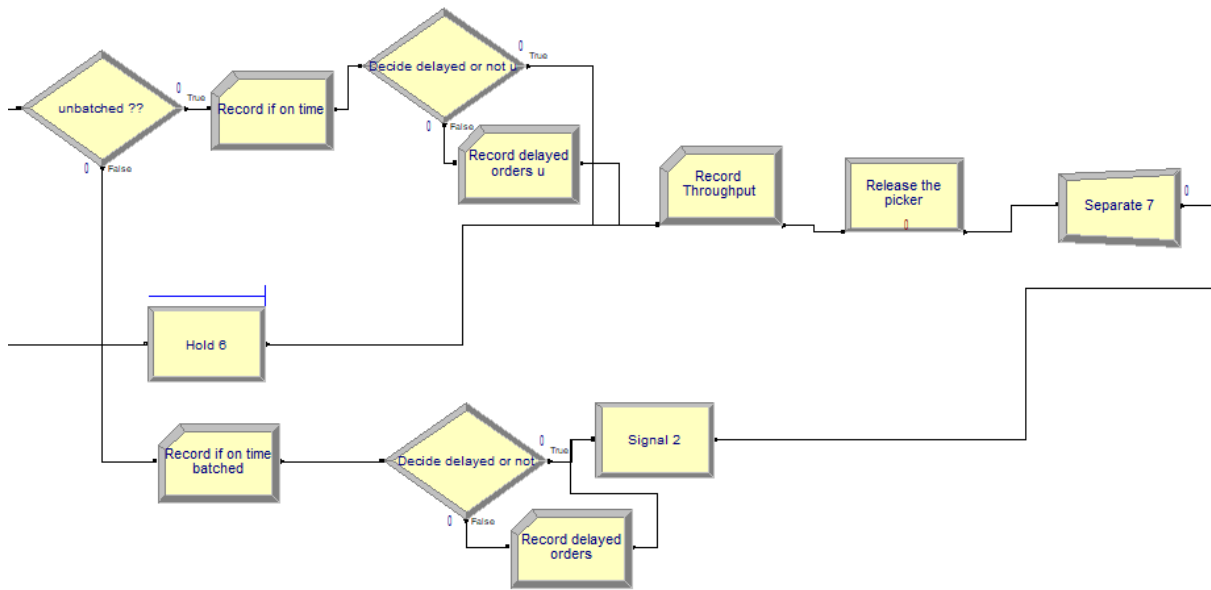
Σχήμα 3.28 Συλλογή συχνοτήτων έτοιμων παραγγελιών

Στο κομμάτι αυτό της μοντελοποίησης, απαιτήθηκε ακόμα μια αλλαγή για το σωστό τρέξιμο της περίπτωσης του cluster picking. Το εναλλακτικό υπομοντέλο απεικονίζεται παρακάτω.



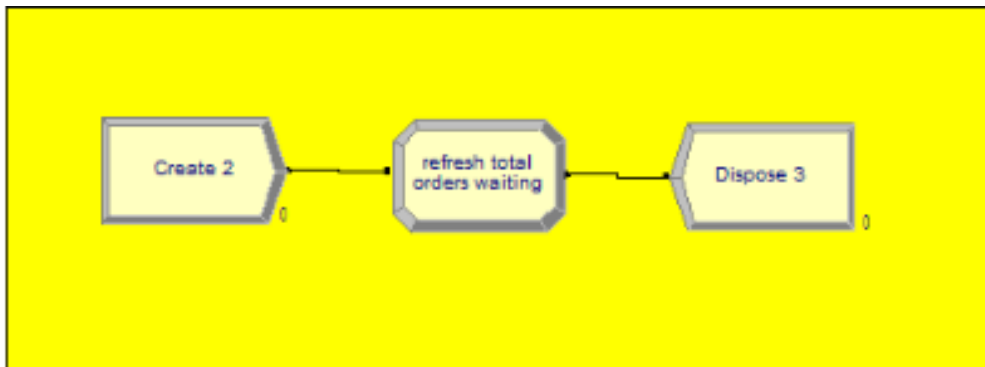
Σχήμα 3.29 Τμήμα ολοκλήρωσης παραγγελίας cluster picking

Οι παραγγελίες χρειάζεται πρώτα να διαιρεθούν για συγκεκριμένες καταμετρήσεις ή και να παραμείνουν ενωμένες για άλλες. Αρχικά ένα separate module αντιγράφει της ενοποιημένες παραγγελίες, ώστε και οι δύο προαναφερθείσες εκδοχές να μπορούν να αξιοποιηθούν. Έπειτα, η καθυστέρηση εναπόθεσης χρεώνεται σε κάθε παραγγελία ξεχωριστά, όπως και η αύξηση του μετρητή έτοιμων παραγγελιών. Έτσι, απαιτείται η χρήση ενός separate module ώστε η προσωρινή ενοποίηση να επιστρέψει στις δύο αρχικές παραγγελίες, με όλα τα εξατομικευμένα για κάθε μία attributes. Ακολουθεί η καταγραφή των αργοπορημένων παραγγελιών. Εάν οι παραγγελίες είχαν συζευχθεί, τότε θα ακολουθήσουν μια παρόμοια αλλά παράλληλη διαδρομή. Αυτή στο τέλος της έχει ένα signal module. Αυτό απελευθερώνει την αρχική αντιγραφή της ενοποιημένης παραγγελίας που αναμένει σε ένα hold. Η διαδικασία αυτή γίνεται διότι τα απαραίτητα χαρακτηριστικά προς καταγραφή και λειτουργία, όπως ο χρόνος εκτέλεσης της παραγγελίας, αλλά και η δέσμευση του picker, ήταν δεσμευμένα στην ενοποιημένη παραγγελία και όχι στις επιμέρους. Τέλος, χρειάζεται ένας τελευταίος διαχωρισμός της διπλότυπης ενοποιημένης παραγγελίας, ώστε αυτή να μπορεί να αποχωρήσει από το σύστημα.



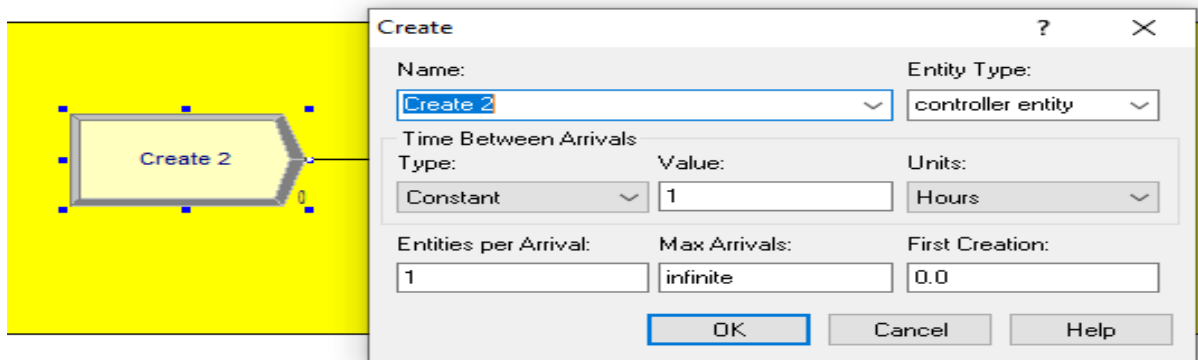
Σχήμα 3.30 Συλλογή αποτελεσμάτων cluster picking

Ένα τελευταίο μικρό κομμάτι του μοντέλου που αποτελεί απαραίτητη προσθήκη για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, είναι αυτό της ανανέωσης και εκμηδένισης των παραγγελιών. Όπως έχει ήδη δείχθει, οι έτοιμες παραγγελίες συσσωρεύονται στο τέλος του συστήματος αναμένοντας την αποχώρησή τους. Όμως, οι οντότητες είναι αυτές που αποχωρούν αυξάνοντας μόνο τους ανάλογους μετρητές. Καθώς αυτά τα νούμερα είναι προς μελέτη, κρίθηκε σημαντικό η ανά σταθερά χρονικά διαστήματα εκμηδένισή τους. Ουσιαστικά αυτό προσομοιώνει σε μικρό βαθμό τις αφίξεις των φορτηγών για την αποστολή των παραγγελιών.

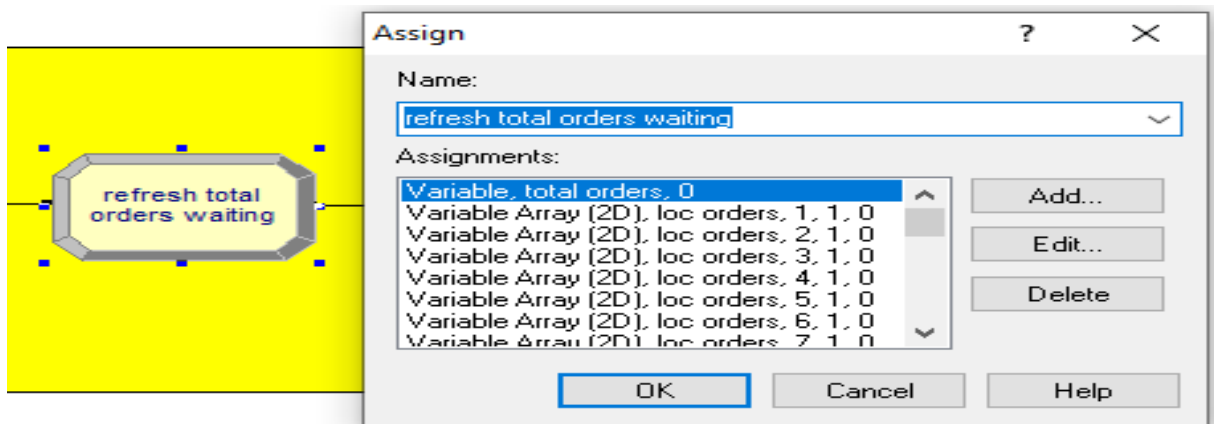


Σχήμα 3.31 Τμήμα εκμηδένισης έτοιμων παραγγελιών

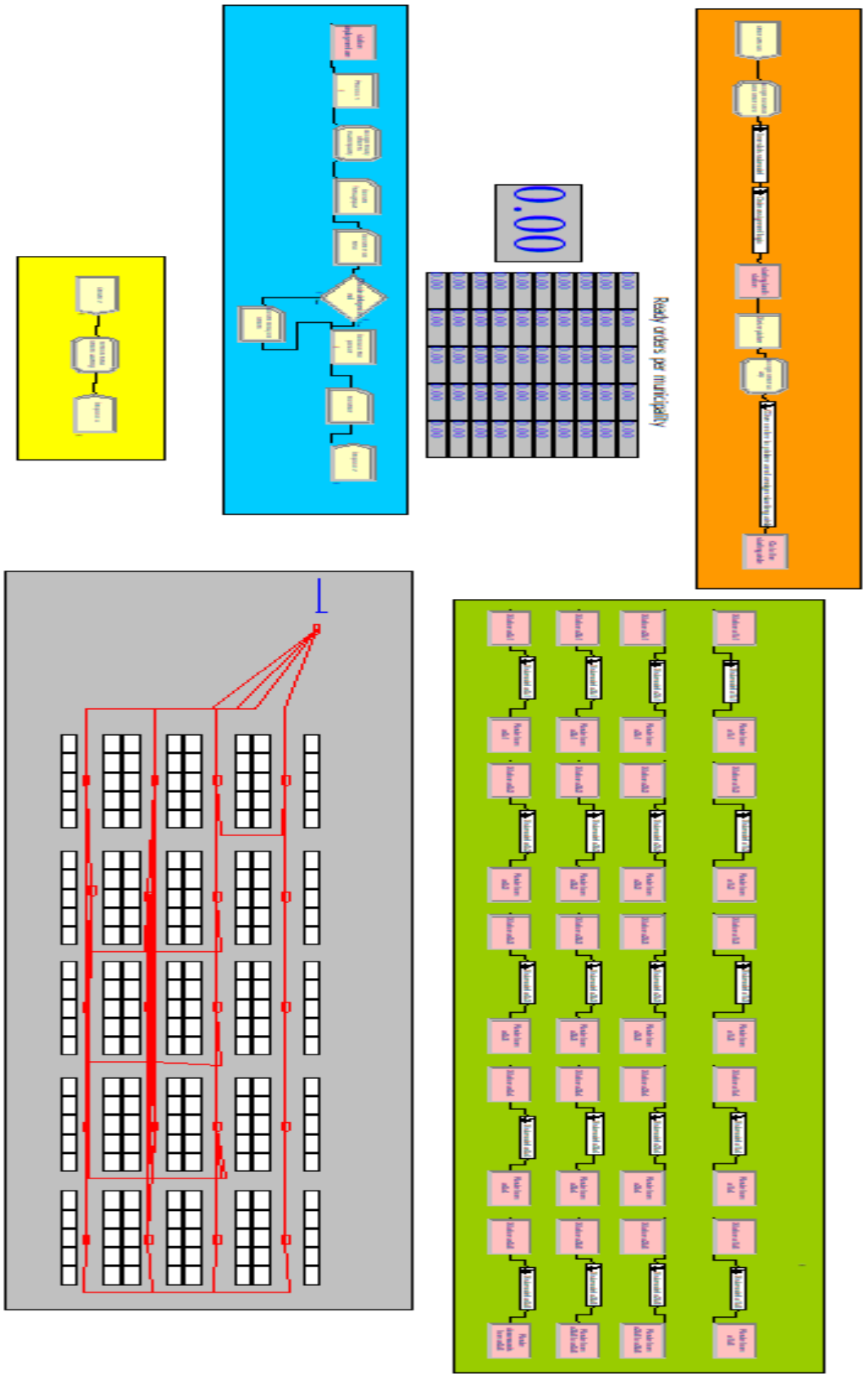
Ένα create module έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να εισάγει οντότητες ανά σταθερά χρονικά διαστήματα, μιας ώρας στην παρούσα περίπτωση. Αυτές οι οντότητες περνούν από ένα assign στο οποίο θα εκμηδενίσουν και θα ανανεώσουν όλους τους μετρητές έτοιμων παραγγελιών του συστήματος. Αμέσως μετά αποχωρούν χωρίς να έχουν κάποια άλλη λειτουργία. Με αυτόν τον τρόπο δύναται η ευκαιρία ελέγχου του αριθμού των έτοιμων παραγγελιών ανά ώρα, αλλά και της αποφυγής συσσώρευσης μεγάλων αριθμών στο τέλος της προσομοίωσης, που θα είναι αρκετά δύσκολο να επεξηγηθούν και να ερμηνευτούν.



Σχήμα 3.32 Create module στο τμήμα εκμηδένισης παραγγελιών



Σχήμα 3.33 Refresh total awaiting orders module



Σχήμα 3.34 Ολικό μοντέλο

4 Προσομοίωση και αποτελέσματα εναλλακτικών λειτουργικών σεναρίων

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν διάφορα σενάρια και εκδοχές για τις προσομοιώσεις του συστήματος. Θα δοθούν διαφορετικές τιμές στις μεταβλητές του συστήματος. Μετά από κάθε προσομοίωση τα επιθυμητά αποτελέσματα αποθηκεύονται, γίνεται μια οπτικοποίηση για τη καλύτερη κατανόησή τους και συγκρίνονται μεταξύ τους για την εξαγωγή των όποιων αποτελεσμάτων.

Όλα τα μοντέλα, οι προσομοιώσεις και τα σενάρια δημιουργήθηκαν και έτρεξαν σε υπολογιστή, τα χαρακτηριστικά του οποίου είναι τα εξής:

- Επεξεργαστής: AMD FX(tm) 6350 Six-core Processor
- Εγκατεστημένη μνήμη: 8,00 GB
- Λογισμικό: Windows 10 Professional 64-bit.

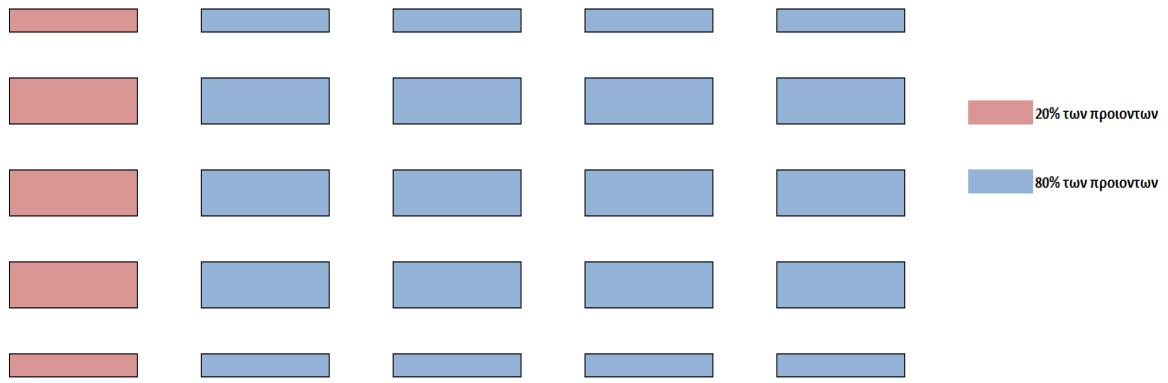
Είναι καλό να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως όλες οι προσομοιώσεις τρέχουν για ένα διάστημα 136 ωρών. Αυτό αντιστοιχεί σε περίοδο μίας εργάσιμης εβδομάδας. Τα αποτελέσματα έχουν ελεγχθεί και σε πολύ μεγαλύτερες διάρκειες (1 μήνα) για να διαβεβαιωθεί η εγκυρότητα τους. Εφόσον αυτά προέκυπταν τα ίδια, είτε κατά τιμή είτε ποσοστιαία, προτιμήθηκε η περίοδος της 1 εβδομάδας, καθώς έτσι σώθηκε υπολογιστική ισχύς και πρωτίστως χρόνος. Πιο συγκεκριμένα, μία προσομοίωση της μίας εβδομάδας χρειάζεται δύο λεπτά για την εκτέλεσή της, ενώ μία προσομοίωση του ενός μήνα πέντε λεπτά.

4.1 Επιλογή διάταξης αντικειμένων

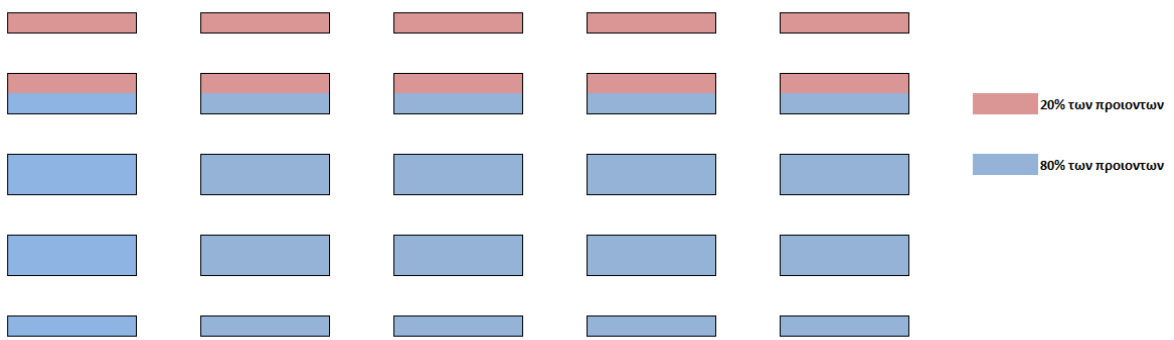
Μια παράμετρος που θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την ολική απόδοση του συστήματος, είναι το πως θα κατανεμηθούν τα προϊόντα στον διαθέσιμο χώρο της αποθήκης. Μια τυχαία κατανομή τους μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλους χρόνους εκπλήρωσης παραγγελιών, καθώς και ταυτόχρονη κόπωση από το εργατικό δυναμικό.

Κάτι που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη διάταξη των αντικειμένων είναι η ζήτησή τους. Προϊόντα, τα οποία εμφανίζονται πολύ συχνά σε παραγγελίες και είναι πολύ πιθανό να παρθούν κατά τη διαδρομή του picker στην αποθήκη, πρέπει να τοποθετηθούν σε σωστή θέση για τη διευκόλυνση της λειτουργίας της. Καθώς δεν υπήρχαν τα απαραίτητα δεδομένα για την ακριβή ζήτηση διάφορων κωδίκων ενός σουπερμάρκετ, έγινε η εφαρμογή της λογικής Pareto καθώς και μιας ανάλυσης ABC σε ένα σύνολο 2000 κωδίκων. Στη λογική Pareto, έγινε η παραδοχή πως το 20% των ολικών προϊόντων αποτελούν το 80% της κάθε παραγγελίας, ενώ το υπολειπόμενο 80% των προϊόντων συμπληρώνει το άλλο 20% της παραγγελίας. Με ανάλογη λογική, στην ανάλυση ABC έγινε η υπόθεση πως το 20%, 30%, 50% των προϊόντων αποτελούν το αντίστοιχο 70%, 20%, 10% της ολικής παραγγελίας.

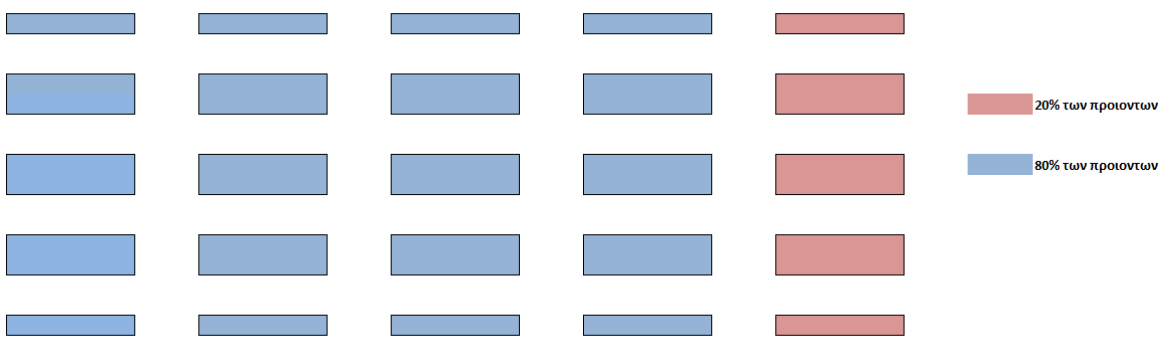
Με τις παραδοχές αυτές, επόμενο βήμα είναι η επιλογή και σύγκριση πιθανών διατάξεων. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι πιθανές αυτές εκδοχές.



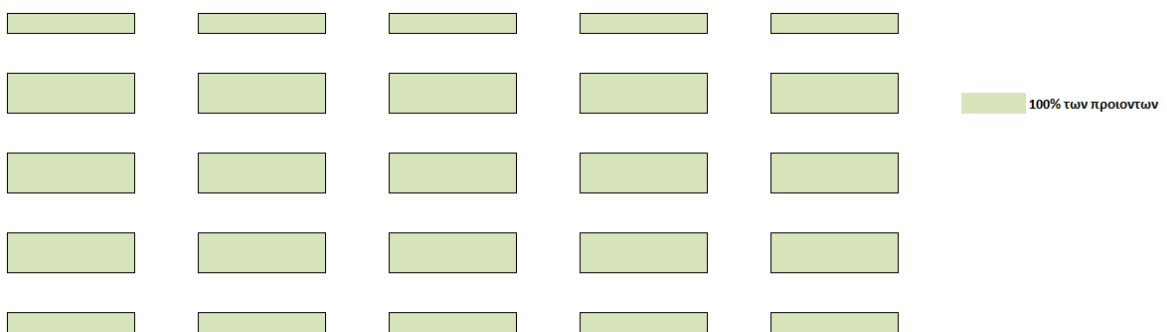
Σχήμα 4.1 Pareto front layout



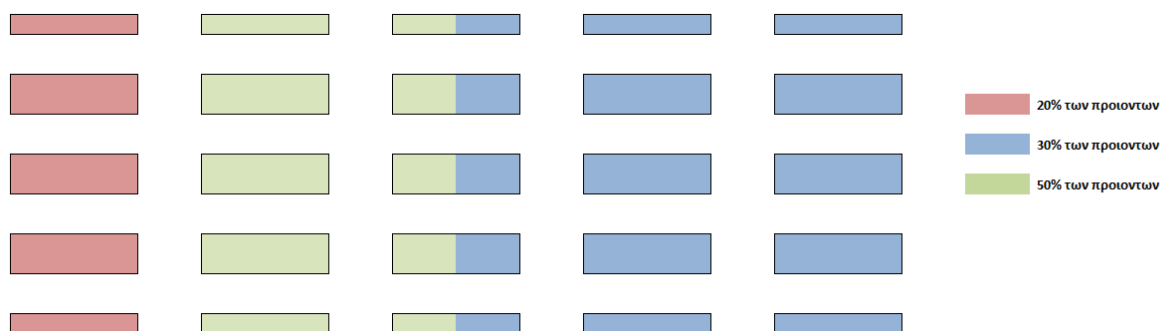
Σχήμα 4.2 Pareto side layout



Σχήμα 4.3 Pareto back layout



Σχήμα 4.4 Equal layout

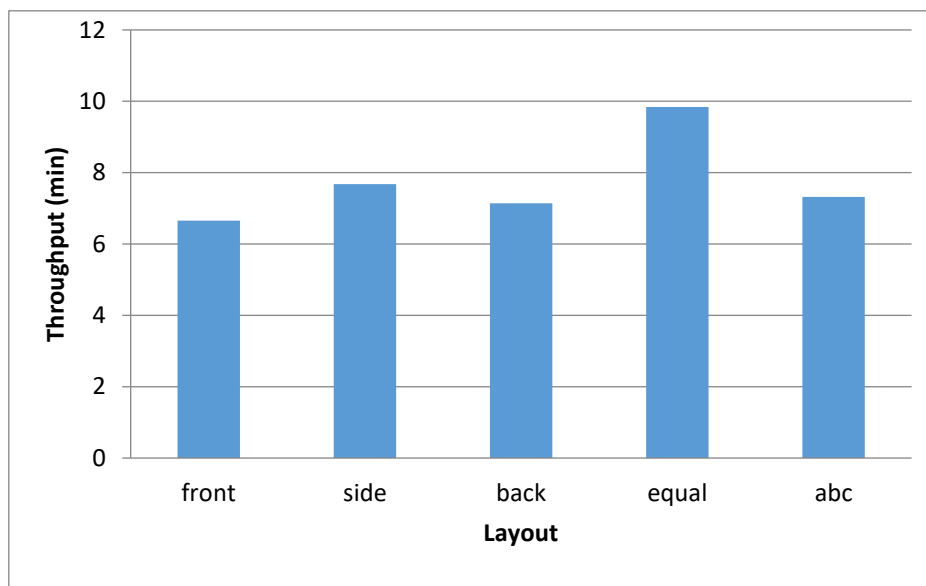


Σχήμα 4.5 ABC layout

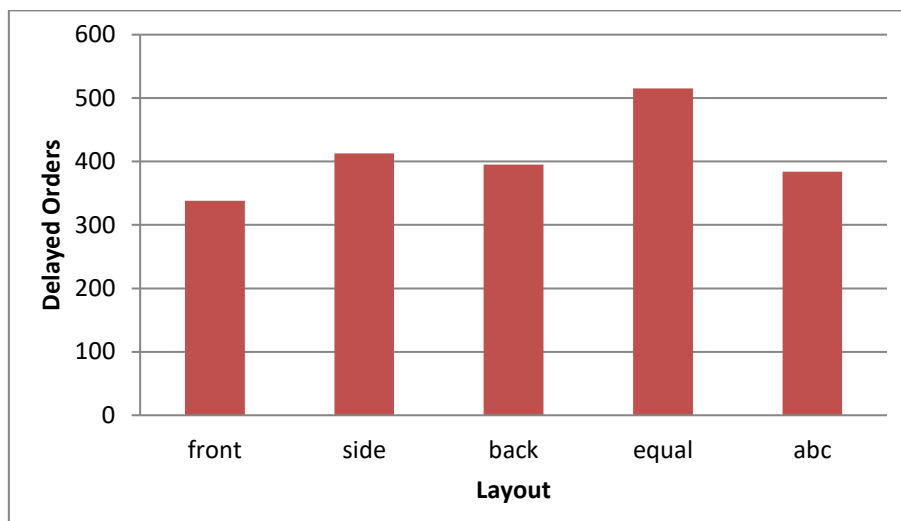
Στην περίπτωση Pareto front, το 20% των πιο συχνών αντικειμένων τοποθετούνται σε όλο το πρώτο block. Στις περιπτώσεις side και back, αυτή η κατανομή γίνεται σε όλο τον πρώτο διάδρομο και το τελευταίο block αντίστοιχα. Στην abc κατανομή ακολουθήθηκε η διάταξη front, δηλαδή το πιο συχνά αντικείμενα στα πιο κοντινά blocks. Τέλος, για να προσομοιωθεί η περίπτωση της τυχαίας διάταξης των αντικειμένων, έγινε η υπόθεση πως κάθε ένας από τους κωδικούς είναι ισοπίθανο να συλλεχθεί (περίπτωση equal).

Η προσομοίωση σύγκρινε αυτές τις διατάξεις με κοινό αριθμό εργαζομένων, κοινές χρονικές καθυστερήσεις και με τη μέθοδο pick to order. Τα μέτρα απόδοσης προς εξέταση είναι ο χρόνος εκπλήρωσης της παραγγελίας και οι καθυστερημένες παραγγελίες (αυτές που δεν πρόλαβαν να προετοιμαστούν στην επιθυμητή τους χρονοθυρίδα). Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα.

Πίνακας 4.1 Μέσος χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας ανά διάταξη



Πίνακας 4.2 Καθυστερημένες παραγγελίες ανά διάταξη



Γίνεται ξεκάθαρο, καθώς ήταν και εύλογο, πως η καλύτερη των περιπτώσεων είναι η διάταξη front. Συσσωρεύοντας τα αντικείμενα μεγαλύτερης κίνησης στο 1^ο block, μειώνεται ο χρόνος συλλογής της παραγγελίας, εφόσον ο picker δεν χρειάζεται να καλύψει μεγάλες αποστάσεις για την ολοκλήρωσή της. Με τον μειωμένο αυτόν χρόνο, κάθε picker μπορεί να εκτελεί περισσότερη εργασία και έτσι μειώνεται και ο αριθμός των καθυστερημένων παραγγελιών. Ανάλογα αποτελέσματα δίνει η περίπτωση της ABC διάταξης με ελαφρώς μεγαλύτερο χρόνο και αριθμό παραγγελιών. Αυτό συμβαίνει λόγω του περαιτέρω καταμερισμού και κατηγοριοποίησης των προϊόντων ως προς την πιθανότητα ζήτησής τους. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί και τους εργαζομένους πιο 'βαθιά' στην αποθήκη και προσθέτει στον ολικό χρόνο. Η χειρίστη των περιπτώσεων είναι αυτή της διάταξης equal. Ο συνδυασμός του αλγορίθμου κίνησης διάμεσου της αποθήκης με την παρούσα διάταξη δεν είναι αποδεκτός. Οι εργαζόμενοι εξαναγκάζονται σε κάθε τους παραγγελία να διανύσουν τους περισσότερους από τους διάδρομους της αποθήκης επιβραδύνοντας πολύ την όλη διαδικασία. Μαζί με αυτό ακολουθεί και ένας μεγάλος αριθμός καθυστερημένων παραγγελιών που αποδεικνύει πόσο σημαντική είναι η σωστή διάταξη των αντικειμένων.

4.2 Επιλογή μεθοδολογίας order picking

4.2.1 Pick to order picking

Η επόμενη σύγκριση που θα πραγματοποιηθεί είναι αυτή αναμεσα στους τρόπους συλλογής των παραγγελιών. Το μοντέλο εξ' αρχής υιοθετεί μια νοοτροπία wave picking, εφόσον οι παραγγελίες αφήνονται για εκτέλεση μόνο 1 ώρα πριν την απαιτούμενη αναχώρησή τους. Έτσι, τώρα οι δύο προς μελέτη μεθοδολογίες είναι η πιο κοινή και απλή, pick to order, και η cluster picking. Στη μέθοδο pick to order ανατίθεται μια παραγγελία σε κάθε picker και μόνο όταν αυτός τη φέρει εις πέρας, αποδεσμεύεται και είναι σε θέση να εκτελέσει την επόμενη διαθέσιμη. Στη μέθοδο cluster picking, η διαφορά έγκειται στο ότι οι παραγγελίες ομαδοποιούνται ανά δυο και τότε αντιστοιχίζονται στον εργαζόμενο. Έτσι, αυτός σε κάθε

διάδρομο της αποθήκης θα χρειαστεί να συλλέξει συσσωρευτικά τα προϊόντα και για τις δυο αυτές παραγγελίες.

Στην προηγούμενη ενότητα φάνηκε πως η καλύτερη διάταξη ήταν η Pareto front. Θα χρησιμοποιηθεί αυτή η διάταξη για να συγκριθούν οι δύο διαφορετικές μεθοδολογίες. Οι παράμετροι προς αλλαγή πλέον θα είναι: ο χρόνος διάσχισης του διάδρομου (traverse aisle time), ο χρόνος καθυστέρησης συλλογής αντικειμένου (pick delay) και ο συνολικός αριθμός των picker. Στην περίπτωση pick to order (1on1), ο χρόνος pick delay έχει επιλεγεί στα 3 δευτερόλεπτα, ενώ στη μέθοδο cluster picking στα 5 δευτερόλεπτα. Ένας μέσος χρόνος ανά pick κυμαίνεται αναμεσα σ' αυτές τις δύο τιμές. Θεωρώντας ότι είναι πιο δύσκολο και απαιτεί περισσότερο προσοχή η εκτέλεση δύο ταυτόχρονων παραγγελιών, ο μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης ανατέθηκε στη μεθοδολογία cluster. Με παρόμοια λογική δοθήκαν και οι χρόνοι traverse aisle time. Στη μέθοδο cluster δοθήκαν μεγαλύτερες τιμές για να ληφθεί, έτσι, υπόψιν το επιπλέον βάρος και ο επιπλέον όγκος που κουβαλά μαζί του ο εργαζόμενος. Έχει γίνει αναφορά πως ο εκτιμώμενος χρόνος διάσχισης του διάδρομου με μια μέση ταχύτητα βαδίσματος κυμαίνεται γύρω στα 30 δευτερόλεπτα. Αυτό μπορεί να αλλάξει δραστικά με το πόσο γρηγορά κινούνται οι pickers ή το πόσοι κωδικοί μπορούν να δεσμεύσουν ένα συγκεκριμένο χώρο. Για παράδειγμα, αν έναντι ολόκληρων παλετών χρησιμοποιηθούν ράουλα (live storage) για τα αντικείμενα, αυτό εξυπηρετεί και στον χρόνο pick delay, αλλά και στη διάρκεια traverse aisle time, καθώς περισσότεροι κωδικοί είναι ανά πασα στιγμή διαθέσιμοι στο εύρος του picker, διευκολύνοντας έτσι κατά πολύ την εργασία του.

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα αποτελέσματα για διάφορες δοκιμές στη μεθοδολογία pick to order.

Πίνακας 4.3 Αποτελέσματα για traverse aisle time=30 με pick to order μεθοδολογία

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay	
60	21193	728	173,3333333	0,882	4	11
70	20628	713	169,7619048	0,876	3	12
80	9553	661	157,3809524	0,805	2	13
90	0	583	138,8095238	0,717	0	0
100	0	530	126,1904762	0,643	0	0

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα για traverse aisle time=27 με pick to order μεθοδολογία

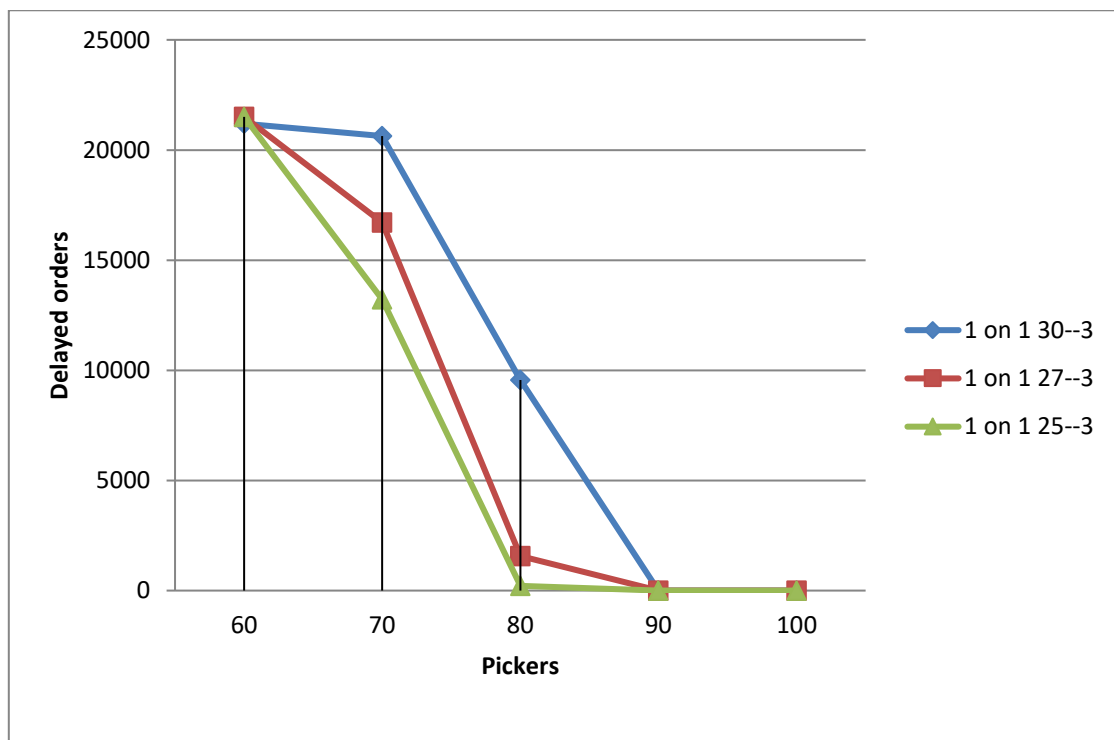
pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay	
60	21500	763	181,6666667	0,884	3	11
70	16708	749	178,3333333	0,857	2	13
80	1561	655	155,952381	0,754	1	0
90	0	592	140,952381	0,681	0	0
100	0	521	124,047619	0,609	0	0

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα για traverse aisle time=25 με pick to order μεθοδολογία

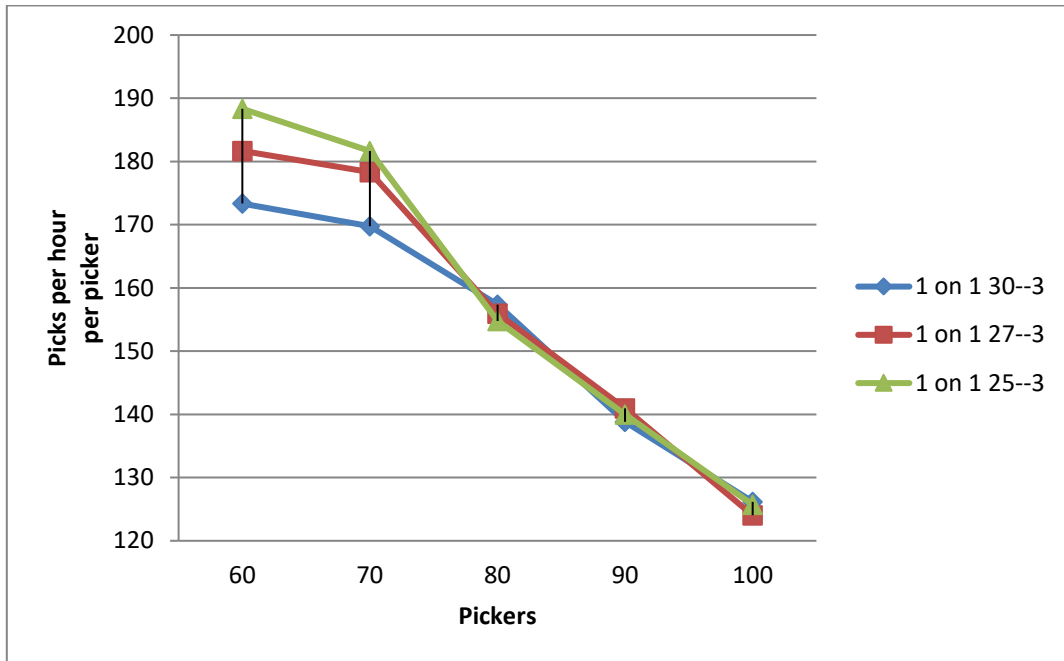
pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay	
60	21503	791	188,3333333	0,876	3	13
70	13216	763	181,6666667	0,832	2	0
80	211	650	154,7619048	0,727	1	0
90	0	588	140	0,646	0	0
100	0	528	125,7142857	0,579	0	0

Επίσης στα ακόλουθα γραφήματα γίνεται η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών χρόνων. Στη μέθοδο, το «1 on 1» δηλώνει τη μέθοδο pick to order, ενώ οι χρόνοι χωρισμένοι με '--' υποδηλώνουν αντίστοιχα τους χρόνους traverse aisle time και pick delay.

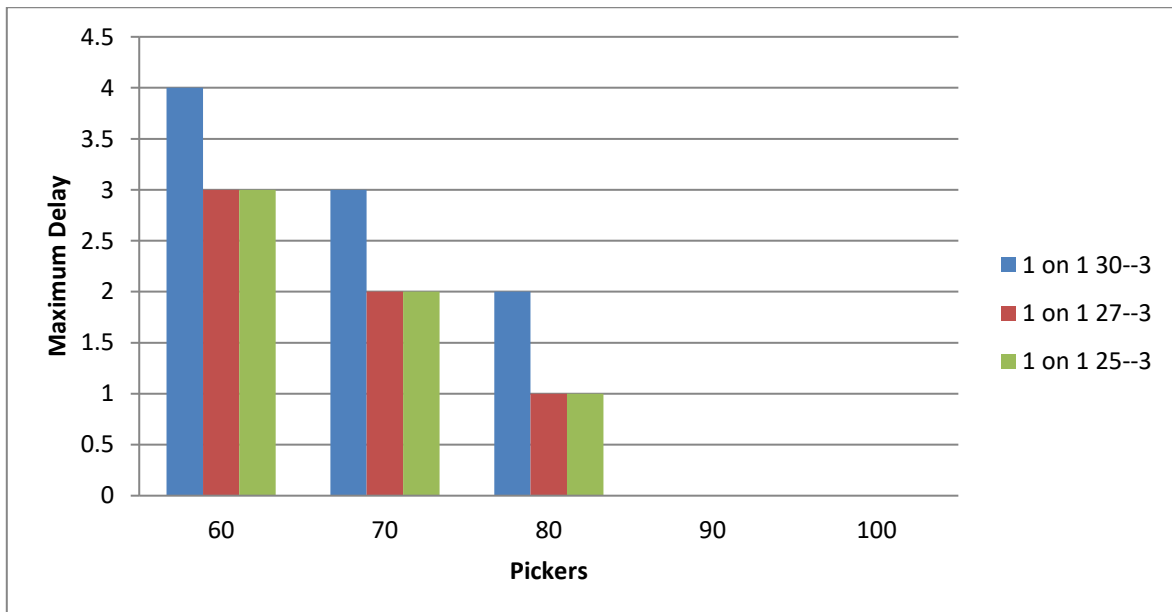
Πίνακας 4.6 Καθυστερημένες παραγγελίες για διαφορετικούς χρόνους και picker με pick to order μεθοδολογία



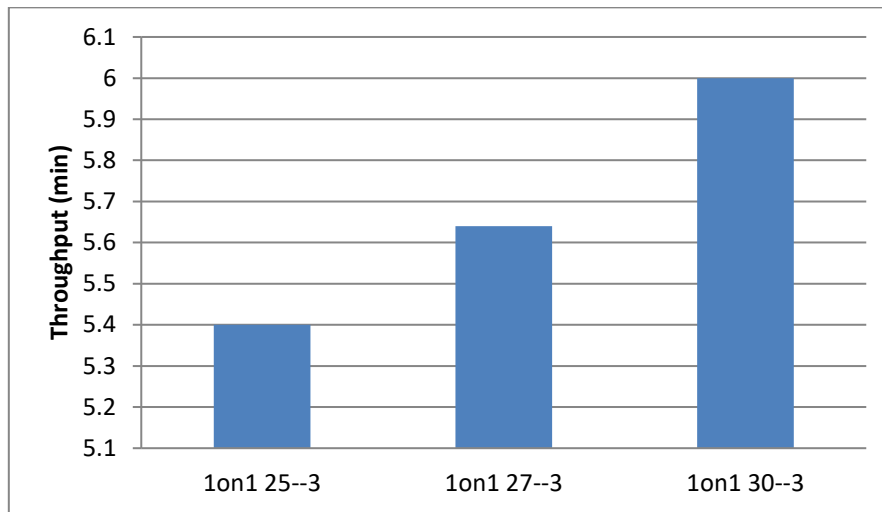
Πίνακας 4.7 Απαιτούμενη παραγωγικότητα ανά picker με pick to order



Πίνακας 4.8 Μέγιστες καθυστερήσεις με pick to order



Πίνακας 4.9 Μέσος χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας με pick to order



Στο πρώτο γράφημα είναι ορατή η μεταβολή του αριθμού των καθυστερημένων παραγγελιών με την αύξηση του προσωπικού. Αποτελεί λογικό αποτέλεσμα, καθώς με περισσότερο εργατικό δυναμικό εκτελούνται περισσότερες παραγγελίες ανά πασα στιγμή. Ο αριθμός των 60 εργαζομένων φαίνεται πως δεν είναι μια εφικτή λύση. Ανεξαρτήτως των επιλεγόμενων χρόνων pick delay και traverse aisle time τα αποτελέσματα είναι απαγορευτικά. Ένας μεγάλος όγκος παραγγελιών καθυστερεί με καθυστερήσεις μέχρι και 4 ώρες (4 χρονοθυρίδες μιας ώρας). Η απαίτηση για αποδοτικότητα ανά εργαζόμενο είναι αρκετά μεγάλη, μέχρι και 190 picks/ώρα, κάτι που χωρίς την απαραίτητη διάταξη και εξοπλισμό είναι δύσκολο έως και αδύνατο.

Από την άλλη μεριά σε κάθε χρονική περίπτωση, η επιλογή 90 εργαζομένων εκμηδενίζει τις καθυστερημένες παραγγελίες και βρίσκεται σε λογικά πλαίσια όσον αναφορά την αποδοτικότητα των εργαζομένων με 140 picks/ώρα. Έτσι, η επιλογή του απαιτούμενου προσωπικού βρίσκεται κάτω από το όριο των 90. Βέβαια στην περίπτωση 30—3 (traverse aisle time—pick delay) φαίνεται πως η αλλαγή είναι αρκετά απότομη και πως για να λειτουργήσει το σύστημα εντός λογικών πλαισίων, μάλλον θα χρειαστεί η χρησιμοποίηση και των 90 picker. Στις άλλες δύο περιπτώσεις, οι αλλαγές είναι πολύ πιο ήπιες. Ο αριθμός των καθυστερημένων παραγγελιών είναι ήδη αρκετά χαμηλός και με μέγιστη καθυστέρηση την 1 ώρα. Στο εύρος μέχρι και των 84 picker επιτυγχάνεται και ένα αποδεκτό 150 picks/ώρα. Αυτό σημαίνει πως το μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ομαλά υπό αυτές τις συνθήκες. Λεπτομερέστερα, έγιναν οι προσομοιώσεις για τις περιπτώσεις 27—3 και 25—3 για την εύρεση του ακριβή αριθμού απαιτούμενων εργαζομένων.

Πίνακας 4.10 Δοκιμές για εκμηδένιση καθυστερημένων παραγγελιών με pick to order και traverse aisle time=25

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour
81	18	649	154,5238095
82	0	644	153,3333333
83	0	629	149,7619048

Πίνακας 4.11 Δοκιμές για εκμηδένιση καθυστερημένων παραγγελιών με pick to order και traverse aisle time=27

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour
81	1016	666	158,5714286
82	356	650	154,7619048
83	329	638	151,9047619
84	1	620	147,6190476

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται εμφανές πως η διαφορά 2 δευτερολέπτων σε μια χρονική καθυστέρηση (από 27 σε 25), επιφέρει μείωση έναν με δύο εργαζομένους. Τέτοια αποτελέσματα είναι καλό να παίρνονται υπόψιν κατά τη διάρκεια σχεδιασμού μιας λειτουργίας της αποθήκης. Για παράδειγμα, υπάρχει η περίπτωση η διάταξη, ο εξοπλισμός ή και ο χώρος να μην επιτρέπουν το όριο των 25 δευτερολέπτων και έτσι κάποιος να χρειαστεί αναγκαστικά να καταφύγει σε δύο ακόμα ενεργά άτομα στο προσωπικό.

4.2.2 Cluster picking

Όπως στην προηγούμενη υποενότητα εξετάστηκε και αναλύθηκε η περίπτωση pick to order, έτσι τώρα σε αυτή σειρά έχει η μέθοδος cluster picking. Όπως έχει αναφερθεί, στην περίπτωση αυτή ο κάθε picker είναι υπεύθυνος για δύο παραγγελίες τη φορά, τις οποίες φέρνει και ταυτόχρονα εις πέρας. Μια τέτοια διαδικασία, η οποία είναι πιο απαιτητική από την απλούστερη εκδοχή της, είναι λογικό να πιστωθεί με μεγαλύτερους χρόνους καθυστέρησης από την προηγούμενη για μια σωστή σύγκριση. Έτσι, οι χρόνοι traverse aisle time τώρα κυμαίνονται στα 25, 27 ή 32 δευτερόλεπτα και ο χρόνος pick delay αυξάνεται στα 5 δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα για τις επιμέρους δοκιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα για traverse aisle time=27 σε cluster picking μεθοδολογία

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay
60	12373	439	209,047619	0,819	2 13
70	10	380	180,952381	0,712	1 0
80	0	336	160	0,625	0 0
90	0	293	139,5238095	0,557	0 0
100	0	260	123,8095238	0,49	0 0

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα για traverse aile time=30 σε cluster picking μεθοδολογία

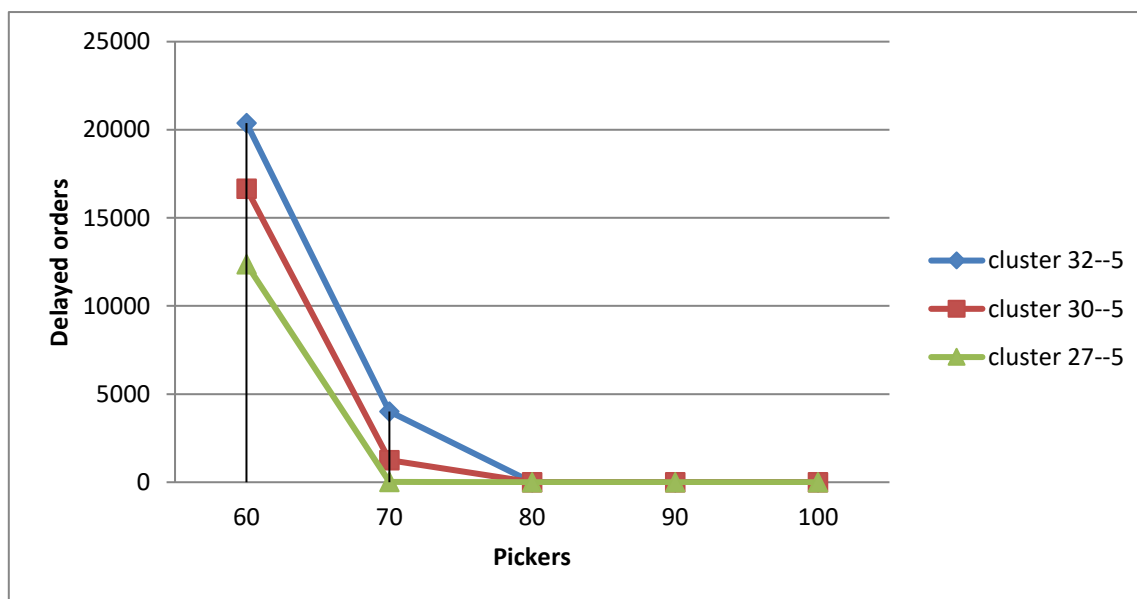
pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay	
60	16658	430	204,7619048	0,856	2	13
70	1245	379	180,4761905	0,748	1	1
80	0	326	155,2380952	0,651	0	0
90	0	294	140	0,581	0	0
100	0	261	124,2857143	0,52	0	0

Πίνακας 4.14 Αποτελέσματα για traverse aile time=32 σε cluster picking μεθοδολογία

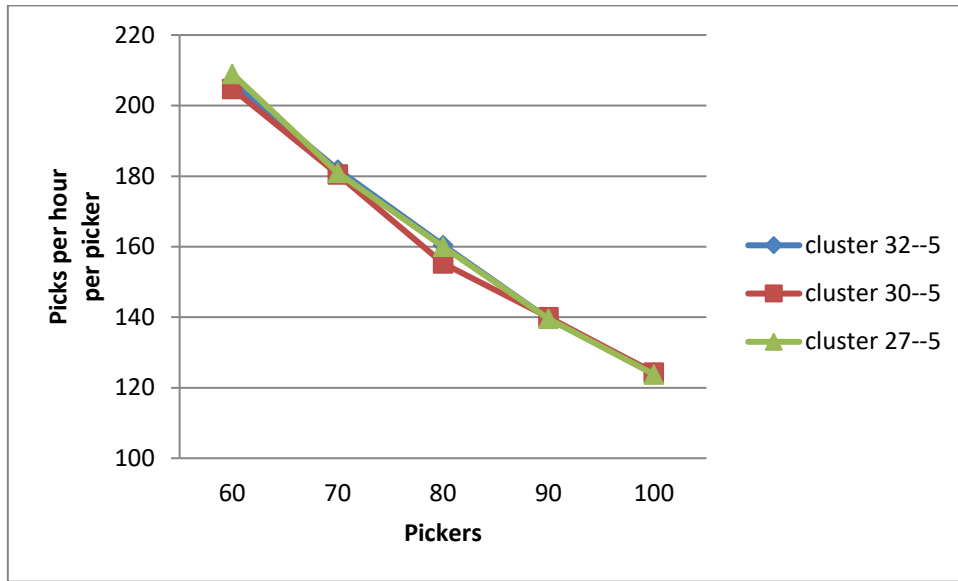
pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour	utilization	maximum delay	
60	20378	434	206,6666667	0,875	3	13
70	4020	382	181,9047619	0,778	1	1
80	0	337	160,4761905	0,68	0	0
90	0	293	139,5238095	0,593	0	0
100	0	261	124,2857143	0,541	0	0

Ακολούθως, οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα για μια καλύτερη ερμηνεία και σύγκριση.

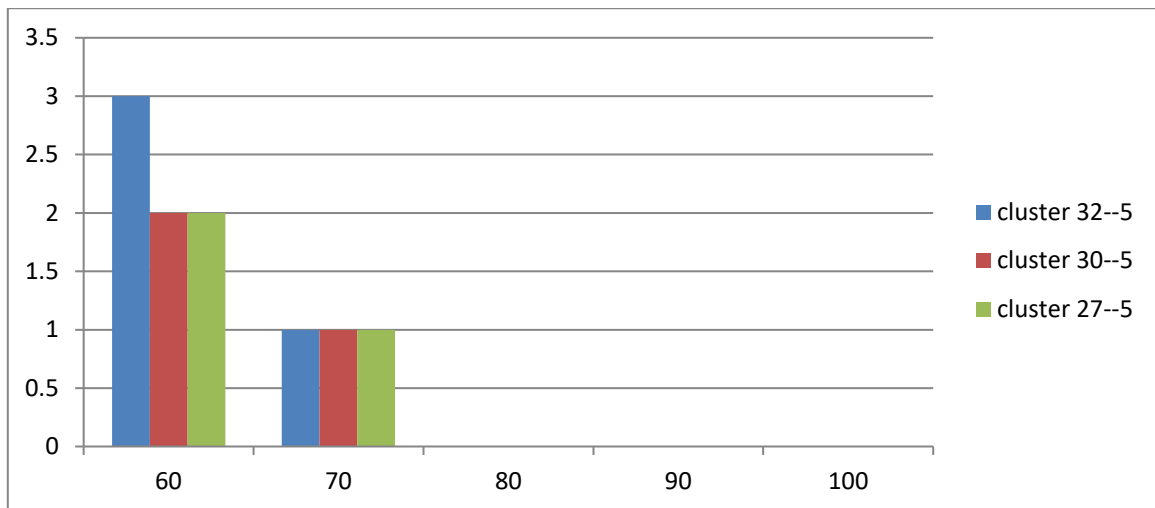
Πίνακας 4.15 Καθυστερημένες παραγγελίες για διαφορετικούς χρόνους και picker με cluster picking



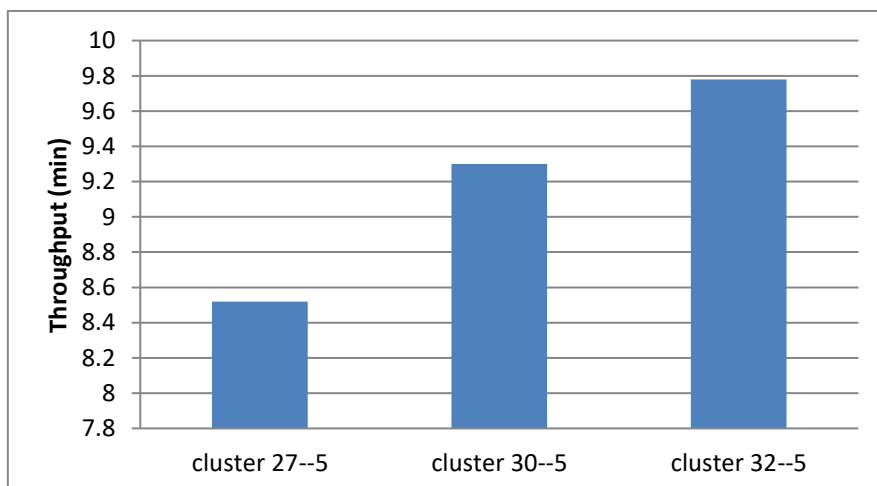
Πίνακας 4.16 Απαιτούμενη παραγωγικότητα ανά picker με cluster picking



Πίνακας 4.17 Μέγιστες καθυστερήσεις με cluster picking



Πίνακας 4.18 Μέσος χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας με cluster picking



Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η μέθοδος cluster μειώνει τον ολικό αριθμό καθυστερημένων παραγγελιών με λιγότερο απαιτούμενο προσωπικό. Αυτό με μια πρώτη ματιά είναι αρκετά ενθαρρυντικό, αλλά από την άλλη απαιτεί σχετικά μεγαλύτερες αποδόσεις από τους picker (~170 picks/ώρα). Κάτι τέτοιο είναι πολύ δύσκολο έως μη εφικτό με απλή χρήση του εργατικό δυναμικού και χωρίς κάποια μηχανική ή ρομποτική υποβοήθηση. Παρόλη την εκμηδένιση των καθυστερήσεων, εκτελέστηκαν επιπλέον προσομοιώσεις για την εύρεση του ακριβή αριθμό picker ώστε να υπάρχει και μια πιο εφικτή παραγωγικότητα.

Πίνακας 4.19 Δοκιμές για καλύτερη απαιτούμενη παραγωγικότητα ανά picker με *traverse aisle time*=27

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour
81	0	323	153,8095238

Πίνακας 4.20 Δοκιμές για καλύτερη απαιτούμενη παραγωγικότητα ανά picker με *traverse aisle time*=30

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour
81	0	326	155,2380952
82	0	330	157,1428571
83	0	318	151,4285714

Πίνακας 4.21 Δοκιμές για καλύτερη απαιτούμενη παραγωγικότητα ανά picker με *traverse aisle time*=32

pickers	delayed orders	orders completed by picker	pick per hour
81	0	331	157,6190476
82	0	321	152,8571429
83	0	329	156,6666667
84	0	322	153,3333333

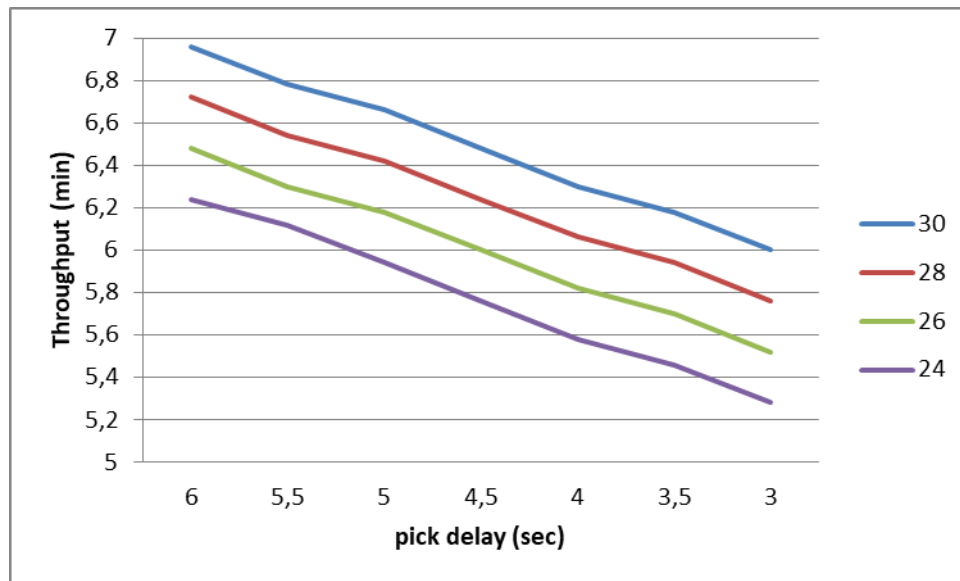
Γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω αποτελέσματα ότι για σχετικά ίδιες αποδοτικότητες με τη μεθοδολογία *pick to order*, απαιτούνται περίπου ίδιοι αριθμοί εργαζομένων. Το πλεονέκτημα στη μέθοδο *cluster picking* είναι πως οι καθυστερήσεις, ένα από τα κύρια ζητήματα, εξαλείφονται πολύ πιο γρηγορά, περίπου στους 75 pickers. Η μεθοδολογία αυτή από τη φύση της (δύο ταυτόχρονες παραγγελίες) μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερες αποδοτικότητες, πόσο μάλλον και με τη χρήση σωστού εξοπλισμού. Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους που εγκυμονεί είναι η πιθανότητα λάθους. Γενικότερα, στα πλαίσια μια αποθήκης και στη διαδικασία του *picking*, όσο πιο σύνθετη είναι η εφαρμοζόμενη στρατηγική και μέθοδος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα λάθους στην τελική παραγγελία. Επίσης, η χρήση αυτής της μεθόδου, απαιτεί ένα πιο σύνθετο εξοπλισμό για τη συλλογή αντικειμένων.

4.3 Βαρύτητα χρόνων καθυστέρησης κατά την εκτέλεση παραγγελίας

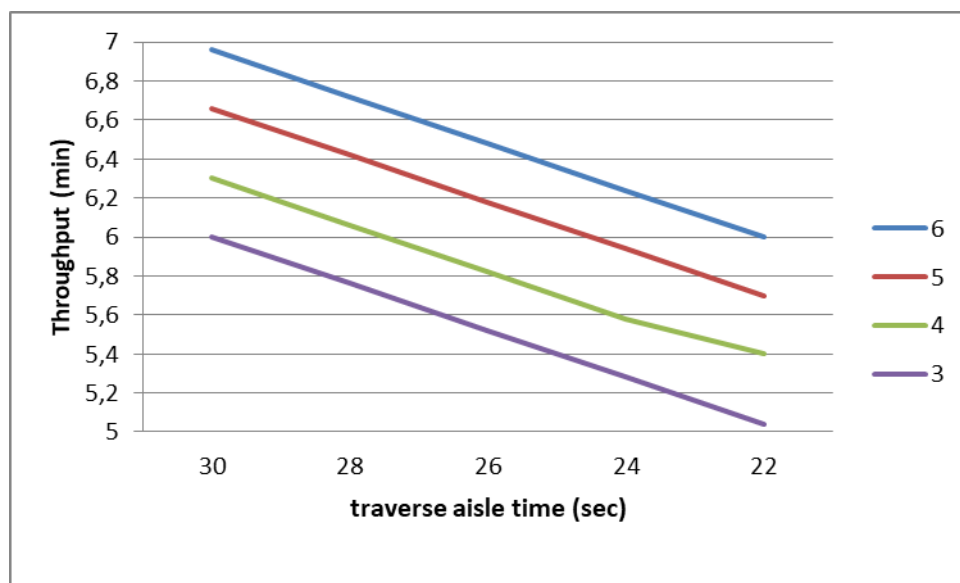
Όπως παρουσιάστηκε και στις προηγούμενες υποενότητες, χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλές τιμές στις παραμέτρους *traverse aisle time* και *pick delay* ανά τα διαφορετικά σενάρια. Εφαρμόστηκαν οι εύλογες τιμές αυτών στις ανάλογες μεθόδους *picking*. Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί ποιος από αυτούς τους δύο παράγοντες έχει μεγαλύτερη επιρροή στο συνολικό χρόνο εκτέλεσης παραγγελίας. Για τον λόγο αυτόν, δημιουργήθηκαν σενάρια εναλλαγής των τιμών αυτών στις δυο προαναφερθείσες μεθοδολογίες *picking*. Καθώς τα

αποτελέσματα και των δύο περιπτώσεων ήταν σχεδόν ταυτόσημα, θα παρουσιαστούν αυτά μόνο της περίπτωσης pick to order, καθώς μπορεί να εξαχθεί από αυτά αποτέλεσμα.

Πίνακας 4.22 Μεταβολή μέσου χρόνου παραγγελίας με την αλλαγή pick delay



Πίνακας 4.23 Μεταβολή μέσου χρόνου παραγγελίας με την αλλαγή traverse aisle time



Παρατηρείται και στους δύο παραπάνω πίνακες πως η συσχέτιση των παραμέτρων είναι γραμμική με τον χρόνο εκτέλεσης παραγγελίας. Η μεγάλη διαφορά έγκειται στην κλίση των γραμμών. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε ίδιες ολικές διαφορές ανά κατηγορία (μέγιστο περίπτωσης-ελάχιστο περίπτωσης). Όμως για την ίδια διαφορά χρειάστηκε μείωση κατά 8 δευτερόλεπτα στην παράμετρο traverse aisle time, ενώ μόνο 3 δευτερόλεπτα στην pick delay. Αυτό δείχνει πως είναι προτιμότερο να γίνεται προσπάθεια μείωσης της pick delay έναντι της traverse aisle time. Αυτό γίνεται μέσω πιο έμπειρων picker και καλύτερο σύστημα αναγνώρισης κωδικού. Από την άλλη μεριά, μια μείωση στον χρόνο traverse aisle time σημαίνει αλλαγή στη διάταξη του διαδρόμου, ώστε αυτός να συμπεριλαμβάνει περισσότερα αντικείμενα και έτσι να μειωθεί το μήκος του. Κάτι τέτοιο είναι αρκετά δύσκολο, καθώς ο εξοπλισμός για αποθήκευση και διάταξη των κωδικών είναι συγκεκριμένων διαστάσεων και

δεν αλλάζει εύκολα στα πλαίσια μίας αποθήκης. Ένας άλλος τρόπος μείωσης αυτού του χρόνου θα ήταν η πιο γρήγορη κίνηση των εργαζομένων. Κάτι τέτοιο είναι καταπονετικό για τους picker σ' έναν συνεχόμενο ρυθμό 8 ωρών.

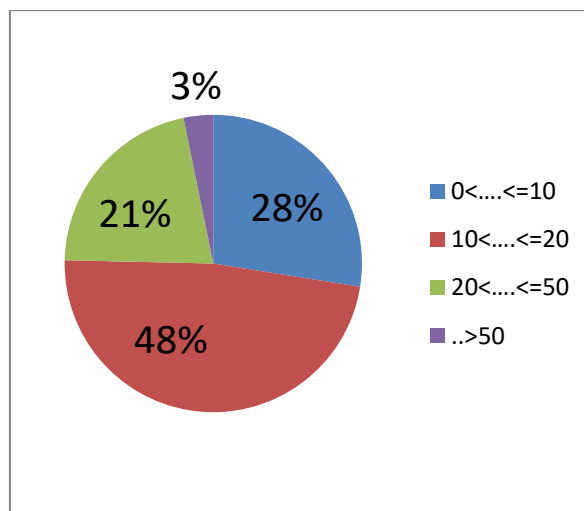
4.4 Αριθμός έτοιμων παραγγελιών προς αποχώρηση

Ένα ακόμα μέτρο που θα πρέπει να εξεταστεί είναι αυτό του αριθμού των έτοιμων παραγγελιών. Όταν κάποιος picker συλλεγεί και το τελευταίο πλέον αντικείμενο μιας παραγγελίας, οδεύει να εναποθέσει το σύνολο αυτής στον κατάλληλο σταθμό. Αυτό θα κριθεί ανάλογα με την τελική τοποθεσία της παραγγελίας.

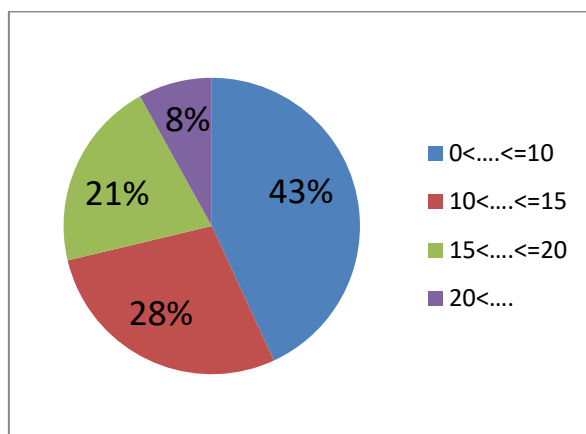
Οι δυο περιπτώσεις εξυπηρετούμενων τοποθεσιών, όπως έχει προαναφερθεί, είναι είτε ένα σύνολο 50 δήμων, είτε ένα σύνολο 20 ευρύτερων περιοχών. Σε κάθε περίπτωση είναι αρεστό να μην υπάρχει μεγάλος αριθμός και όγκος αναμενόντων παραγγελιών. Αυτό μπορεί να επιφέρει προβλήματα είτε με το χώρο της αποθήκης ή λάθη κατά την φόρτωση ή και αδυναμία φόρτωσης κάποιας παραγγελίας. Για τον λόγο αυτό, έχει τεθεί το όριο των 20 έτοιμων παραγγελιών ανά δήμο και 50 παραγγελιών ανά περιοχή.

Μέσω των προηγούμενων προσομοιώσεων προέκυψαν και συλλέχθηκαν οι συχνότητες αυτές.

Πίνακας 4.24 Αναμενόμενες παραγγελίες στην διάρκεια της προσομοίωσης για 20 περιοχές



Πίνακας 4.25 Αναμενόμενες παραγγελίες στην διάρκεια της προσομοίωσης για 50 δήμους

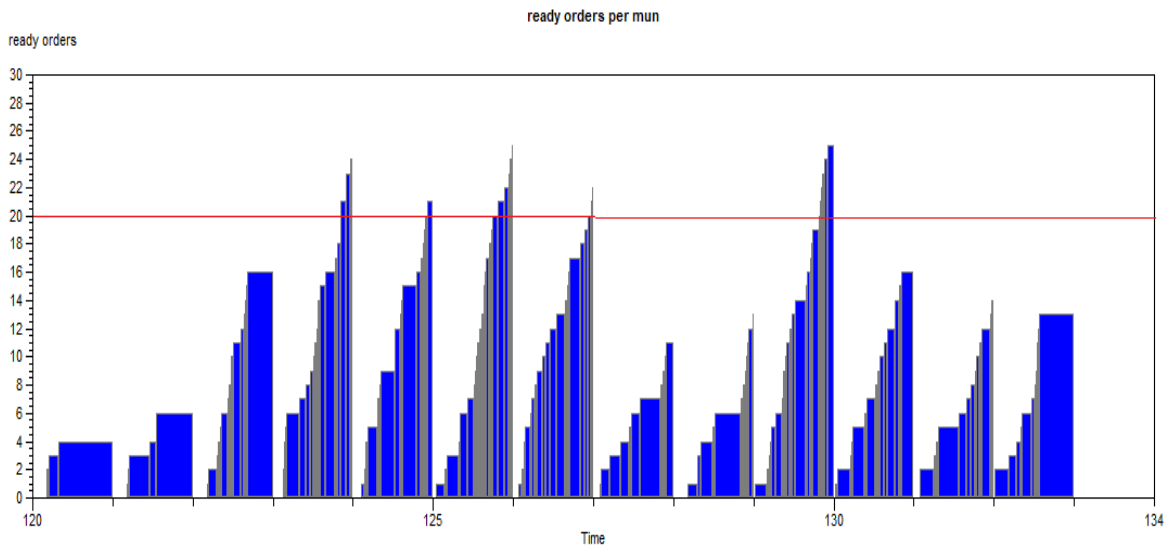


Στην περίπτωση των 50 δήμων, ένα 8% του χρόνου είναι αυτό που καταγράφεται εκτός ορίων. Στο διάστημα 6 εργάσιμων ημερών αυτό αντιστοιχεί σε 6.72 συνολικές ώρες. Αποτελεί ένα μικρό, αλλά όχι αμελητέο ποσοστό. Οι μετρήσεις συχνότητας πάρθηκαν σε διαστήματα μιας ώρας. Έτσι, ένα μεγάλο ποσοστό ίσως να εξαναγκάζει την αύξηση της πυκνότητας των δρομολογίων των φορτηγών για παραλαβή παραγγελιών.

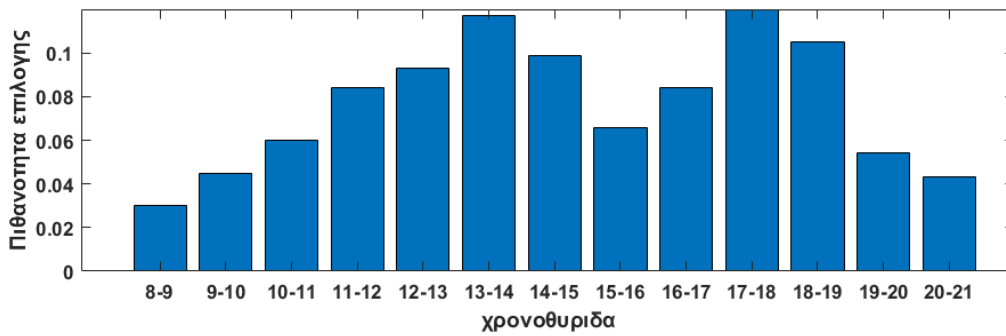
Από την άλλη μεριά η εξυπηρέτηση 20 περιοχών εξομαλύνει κατευθείαν τα αποτελέσματα. Μόλις ένα 3% του συνολικού χρόνου βρίσκεται εκτός ορίων (2.5 ώρες). Ένα τέτοιο ποσοστό είναι πολύ πιο διαχειρίσιμο και πιο κοντά στα επιτρεπτά όρια. Αρά φαίνεται πως ο καταμερισμός σε μεγαλύτερες περιοχές και σε μικρότερο αριθμό αυτών ωφελεί την όλη λειτουργία, καθώς και επιτρέπει μεγαλύτερο αριθμό αναμενόντων παραγγελιών. Αυτό βέβαια θα πρέπει να συνοδευτεί και με την αξιοποίηση κατάλληλων οχημάτων και δρομολογίων, κάτι που βρίσκεται εκτός φάσματος της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήταν καλό να παρουσιαστεί πως δεν είναι όλες οι ώρες υπεύθυνες για καταπάτηση των ορίων στις έτοιμες παραγγελίες. Η επιλογή χρονοθυρίδας έχει κάποιες τάσεις που οδηγούν σε κάποιες κορυφώσεις μέσα στην ημέρα. Αυτές οι ακμές είναι υπεύθυνες για τα παραπάνω ποσοστά και γύρω από αυτές θα πρέπει να εφαρμοστούν τα όποια μέτρα. Στο παρακάτω ιστόγραμμα γίνεται ορατός ο αριθμός των έτοιμων παραγγελιών για έναν δήμο στη διάρκεια μιας ημέρας και τότε αυτός βρίσκεται πάνω από το επιτρεπτό όριο.

Πίνακας 4.26 Αναμένουσες παραγγελίες στην διάρκεια μίας ημέρας για 50 δήμους



Πίνακας 4.27 Κατανομή πιθανότητας επιλογής χρονοθυρίδας



Ο πίνακας 4.26 της πιθανότητας επιλογής χρονοθυρίδας παρουσιάζεται ξανά για συγκριτικούς λόγους. Είναι ορατό ότι γύρω από τις ώρες αιχμής καταπατούνται και τα όρια. Επίσης, γεγονός που ανακουφίζει την όλη κατάσταση, αποτελεί η μικρή άνοδος άνω του επιτρεπτού ορίου, οπότε αυτή εμφανίζεται. Αυτό διευκολύνει ακόμα περισσότερο την αντιμετώπιση του προβλήματος, καθώς δεν είναι μεγάλος ο αριθμός παραγγελιών που χρήςζουν χώρο.

5 Συμπεράσματα και προτάσεις επέκτασης

5.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Ο επιθυμητός στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός προσομοιωτικού μοντέλου που να αντικατοπτρίζει τη διαδικασία του picking στα πλαίσια ενός κέντρου διανομής ηλεκτρονικών παραγγελιών (διαδικτυακό supermarket). Εφόσον αυτό ολοκληρώθηκε, έγιναν τα απαραίτητα εύλογα σενάρια για την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων. Επίσης, τέθηκαν κάποιοι στόχοι και περιορισμοί. Μέσω αυτών αναδείχθηκαν οι δυνατότητες της προσομοίωσης όσον αναφορά τη βελτιστοποίηση του εν λόγω συστήματος. Με σύγκριση σεναρίων και με τη χρήση διαφορετικών παραμέτρων, εξήχθησαν συμπεράσματα και πάρθηκαν αποτελέσματα.

Μια καλή διάταξη αντικειμένων στην αποθήκη παίζει καθοριστικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία της. Η κατηγοριοποίηση αντικειμένων κατά την κίνησή τους και η τοποθέτηση αυτών στις κοντινότερες δυνατές τοποθεσίες, ελαχιστοποιεί τους απαιτούμενους χρόνους εκτέλεσης παραγγελιών και δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στις καθυστερήσεις.

Η επιλογή επίσης μιας μεθοδολογίας picking έχει αντίκτυπο στο όλο σύστημα. Η μεθοδολογία pick to order αποτελεί την απλούστερη τακτική. Επιφέρει ελάχιστα λάθη, έχει μικρούς χρόνους εκτέλεσης παραγγελιών, δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό αλλά χρειάζεται το ανάλογο εργατικό δυναμικό. Από την άλλη μεριά η μέθοδος cluster picking, είναι πολύ πιο αποτελεσματική στην εξάλειψη καθυστερήσεων με μικρότερο αριθμό picker. Το αντίτιμο αυτής είναι πως απαιτεί μεγαλύτερους ρυθμούς παραγωγικότητας, που αν δεν είναι εφικτοί από τους ίδιους τους εργαζομένους, θα πρέπει να συνοδευτεί με τον απαραίτητο υποβοηθητικό εξοπλισμό, τόσο στην αποθήκευση, όσο και στη συλλογή.

Τέλος η πάσχιση για βελτίωση της καθυστέρησης picking κάθε αντικειμένου επιφέρει πολύ πιο εύκολα μείωση του χρόνου εκτέλεσης παραγγελίας απ' ό τι η μείωση του χρόνου διάσχισης του διαδρόμου.

5.2 Βελτιωτικές προτάσεις

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επιδέχεται πολλά βελτιωτικά σενάρια και σε πολλές κατευθύνσεις. Μερικές από τις ενέργειες που μπορούν να επεκτείνουν περαιτέρω την εργασία και να την βελτιώσουν είναι:

1. Δοκιμή διαφορετικής χωροθέτησης της αποθήκης. Το μοντέλο της εργασίας επικεντρώθηκε σε μια διάταξη με 4 κύριους διάδρομους και 5 ενότητες. Οι πιθανές διατάξεις είναι πολυάριθμες.
2. Εφαρμογή διαφορετικής μεθοδολογίας επιλογής διαδρομής picking. Μέθοδοι, όπως του μεγαλύτερου κενού ή και της βέλτιστης διαδρομής (μέσω αλγορίθμου), μπορούν να εφαρμοστούν.
3. Εφαρμογή περισσότερων μεθόδων picking, όπως το batch picking

4. Χρήση ακριβών δεδομένων ζήτησης για τα εκάστοτε προϊόντα, καθώς και διαφορετικός αριθμός αυτών.
5. Εξέταση αντικτύπου συνωστισμού στους διαδρόμους της αποθήκης.
6. Εισαγωγή των διάφορων κοστών. Ένα από τα σημαντικότερα αποτελεί αυτό του εργατικού δυναμικού.
7. Προσαρμογή εξατομικευμένων ωραρίων. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και βρέθηκε ο ελάχιστος αριθμός απαιτούμενων εργαζομένων για την εκπλήρωση των στόχων. Υπολείπεται η ανάθεση ωραρίων στον κάθε εργαζόμενο ανάλογα τη ζήτηση και την απαίτηση σε εργατικό δυναμικό.

6 Βιβλιογραφία

- [1]: David Widdifield (2020) Logistics vs. Supply Chain Management: What's the Difference? : <https://jindal.utdallas.edu/blog/logistics-vs-supply-chain-management>
- [2]: Τι είναι τα Logistics; ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ : <https://www.supplychain.gr/βιβλιοθήκη/26-τι-είναι-τα-logistics.html>
- [3]: Nicole O'connell (2020) The Rising Demand Of Warehouse Space: <https://www.strategicsourceror.com/2020/06/the-rising-demand-of-warehouse-space.html>
- [4]: Michael ten Hompel, Thorsten Schmidt, *Warehouse Management_ Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems (Intralogistik)*, 2006
- [5]: <https://us.teldevice.com/product/warehouse-management-system/>
- [6]: Ruthie Bowles, 2019, Order Picking Productivity: Everything You Need to Know in 2019: <https://www.logiwa.com/blog/order-picking-productivity>
- [7]: ERIM Routing Strategies: <https://www.irim.eur.nl/material-handling-forum/research-education/tools/calc-order-picking-time/what-to-do/routing-strategies/>
- [8]: W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Nancy Swets, 2014, *Simulation with Arena*, McGraw-Hill Education
- [9]: Αγγελίδης Θεόδωρος (2019). Μελέτη Περίπτωσης Επιχείρησης Ελέγχου Ηλεκτρονικών Καρτών με Χρήση Προσομοίωσης
- [10]: Manuel D. Rossetti, 2015, *Simulation Modeling and Arena*, Wiley
- [11]: Ruzelan Khalid, Mohd Kamal Bin Mohd Nawawi, Luthful Alahi Kawsar, Noraida Abdul Ghani, Anton Kamil (2013) A Discrete Event Simulation Model for Evaluating the Performances of an M/G/C/C State Dependent Queuing System, *PLoS ONE*, 8(4)
- [12]: Behnam Bahramia, El-Houssaine Aghezzafa, Veronique Limere (2017) Using simulation to analyze picker blocking in manual order picking systems, *Procedia Manufacturing*, Volume 11, 1798-1808
- [13]: James P. Womack, Daniel T. Jones, *Lean Thinking_ Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Free Press, 2003
- [14]: Timothy McLean, *On Time, In Full_ Achieving Perfect Delivery with Lean Thinking in Purchasing, Supply Chain, and Production Planning*, 2017, Productivity Press
- [15]: Namrata Shetty, Bhawesh Sah, Sung Hoon Chung (2020) Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation, *SN Applied Sciences*, Αρθρο 311
- [16]: Κουϊκόγλου Βασίλειος, Κωσταντάς Δημήτριος , *Προσομοίωση Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων*, 2016

[17]: Kees Jan Roodbergen, René de Koster (2001) Routing methods for warehouses with multiple cross aisles, *International Journal of Production Research*, 1865-1883

[18]:Li Zhou, Lili Sun, Zhaochan Li, Weipeng Li, Ning Cao & Russell Higgs(2018) Study on a storage location strategy based on clustering and association algorithms, *Soft Computing*, Αρθρο 24, 5499-5516