



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση παραγωγικού συστήματος μέσω της χρήσης Arena software

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Βαϊραμάκη Σ. Παναγιώτη

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Στους γονείς μου:
Σταμάτιο και Αγγελική



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση παραγωγικού συστήματος μέσω της χρήσης Arena software

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παναγιώτης Σ. Βαϊραμάκης

Επιβλέπων : Ασκούνης Δημήτριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Μαρτίου 2018.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2018

.....
Παναγιώτης Σ. Βαϊραμάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Σ. ΒΑΪΡΑΜΑΚΗΣ, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	10
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	13
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	14
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	15
ABSTRACT	16
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.1 ΣΚΟΠΟΣ	19
1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	19
1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	21
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ	21
2.2.1 Μέθοδοι παλινδρόμησης.....	21
2.2.2 Μέθοδοι εξομάλυνσης	23
2.3 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΗΣ	25
2.3.1 Μοντέλα σταθερών ποσοτήτων παραγγελιών	26
2.3.2 Μοντέλα σταθερών περιόδων παραγγελιών.....	28
2.3.3 Υποδείγματα μίας περιόδου	29
2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	29
2.4.1 Συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (ERP).....	29
2.4.2 System Application Products (SAP).....	30
2.4.3 Η εφαρμογή των συστημάτων ERP.....	33
2.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (MRP).....	34
2.5.1 Βασικό πρόγραμμα παραγωγής.....	35
2.5.2 Δομή συστήματος προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών	37
2.5.3 Καθορισμός παρτίδας στα συστήματα MRP	40
2.6 ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	41
2.6.1 Η φύση και η σπουδαιότητα των κέντρων εργασίας	42
2.6.2 Τεχνικές και κανόνες καθορισμού προτεραιοτήτων.....	46
2.6.2.1 Χρονοπρογραμματισμός ν εργασιών σε μία μηχανή.....	46
2.6.2.2 Χρονοπρογραμματισμός ν εργασιών σε δύο μηχανές	46
2.6.2.3 Χρονοπρογραμματισμός ενός συγκεκριμένου αριθμού εργασιών στον ίδιο αριθμό μηχανών	47
2.6.2.4 Χρονοπρογραμματισμός ν εργασιών σε μ μηχανές.....	47
2.6.3 Έλεγχος διεργασιών παραγωγής.....	48
2.6.4 Χρονικός προγραμματισμός προσωπικού στις υπηρεσίες.....	50
2.6.4.1 Προγραμματισμός των χρόνων εργασιών ανά ημέρα.....	50
2.6.4.2 Προγραμματισμός των χρόνων εργασίας ανά ώρα.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	53

3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	53
3.2	ΟΡΙΣΜΟΙ.....	53
3.3	Η ΛΗΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	54
3.4	ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	55
3.5	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	57
3.6	ΔΙΑΣΗΜΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ.....	58
3.6.1	<i>Μαθηματικός προγραμματισμός.....</i>	58
3.6.1.1	<i>Γραμμικός προγραμματισμός.....</i>	59
3.6.1.2	<i>Δυσικά προβλήματα και ανάλυση ευαισθησίας.....</i>	60
3.6.2	<i>Δυναμικός προγραμματισμός.....</i>	61
3.6.3	<i>Δέντρα αποφάσεων.....</i>	64
3.6.3.1	<i>Εισαγωγή.....</i>	64
3.6.3.2	<i>Κύρια στοιχεία και δομή προβλήματος.....</i>	64
3.6.3.3	<i>Κριτήρια.....</i>	65
3.6.3.4	<i>Διαδικασία ανάλυσης και επίλυση.....</i>	67
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	69
4.1	ΣΤΟΧΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	69
4.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	69
4.3	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.....	71
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	73
5.1	ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ARENA.....	73
5.2	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	73
5.2.1	<i>Βελτιστοποίηση διαδικασίας παραγωγής.....</i>	73
5.2.2	<i>Τομέας υγείας.....</i>	74
5.2.3	<i>Εφοδιαστική αλυσίδα.....</i>	76
5.2.5	<i>Logistics.....</i>	78
5.2.6	<i>Κυβερνητικά και στρατιωτικά προγράμματα.....</i>	79
5.3	ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ.....	80
5.4	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ARENA.....	80
5.4.1	<i>Βασικές λειτουργίες.....</i>	80
5.4.2	<i>Προσαρμογή στο μοντέλο.....</i>	95
5.4.3	<i>Τελικό μοντέλο.....</i>	97
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΛΛΥΝΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.....	103
6.1	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	103
6.2	ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	104
6.3	ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	105
6.3.1	<i>Εφικτό πρόγραμμα (ως προς το ζυγιστήριο).....</i>	106
6.3.2	<i>Μη εφικτό πρόγραμμα (ως προς το ζυγιστήριο).....</i>	113
6.4	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	115
6.4.1	<i>Μέγιστη έξοδος συστήματος (Maximum output).....</i>	115
6.4.2	<i>Ελάχιστη χρησιμοποίηση ζυγιστικού σταθμού (Minimum weighing station utilization).....</i>	115
6.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	117
6.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	117
6.6.1	<i>Μείωση χρόνου ανάμιξης.....</i>	117
6.6.2	<i>Εισαγωγή πέμπτης αναμεικτικής μηχανής.....</i>	119
6.6.3	<i>Προσθήκη ζυγιστικής μηχανής.....</i>	122

6.6.3.1 Ελάχιστη χρησιμοποίηση (Minimum utilization).....	122
6.6.3.2 Μέγιστη χρησιμοποίηση (Maximum utilization)	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	125
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
7.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	145
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	153

Πίνακας Σχημάτων

- Σχήμα 2.1 Οι εταιρικές εφαρμογές του SAP
- Σχήμα 3.1 ιδανική διαδικασία κατασκευής μοντέλου
- Σχήμα 3.2 (Πηγή: Richard Bronson, Govindasami Naadimuthu 2010)
- Σχήμα 3.3 Δένδρο αποφάσεων
- Σχήμα 3.4 διαδικασία ανάλυσης αποφάσεων
- Σχήμα 4.1 Ροές στο εργοστάσιο
- Σχήμα 4.2 Αναλυτική ροή από την αποθήκη προς τον χώρο των αναμιξέων
- Σχήμα 5.1 create module
- Σχήμα 5.2 dispose module
- Σχήμα 5.3 process module
- Σχήμα 5.4 decide module
- Σχήμα 5.5 batch module
- Σχήμα 5.6 separate module
- Σχήμα 5.7 match module
- Σχήματα 5.8 Schedule module
- Σχήμα 5.9 Εναρκτήρια ακολουθία modules
- Σχήμα 5.10 ζυγιστικός σταθμός
- Σχήμα 5.11 decision module που οδεύει προς τις αναμιξείες
- Σχήμα 5.12 mixing module
- Σχήμα 5.13 separation module
- Σχήμα 5.14 decision module προς disposal module ή πλυντήριο
- Σχήμα 5.15 disposal module
- Σχήμα 5.16 washing room
- Σχήμα 5.17 decision module για ανακατεύθυνση πλυμένων containers
- Σχήμα 5.18 τελικό μοντέλο
- Σχήμα 6.1 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.2 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.3 Χρησιμοποίηση τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.4 ουρές αναμεικτικών μηχανών
- Σχήμα 6.5 ουρές ζυγιστικών σταθμών
- Σχήμα 6.6 Έξοδος μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.7 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα 6.8 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.9 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα 6.10 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα 6.11 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα 6.12 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα 6.13 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου
- Σχήμα 6.14 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα 6.15 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα 6.16 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα 6.17 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα 6.18 OptQuest λύση μέγιστης εξόδου συστήματος
- Σχήμα 6.19 Λύση OptQuest για ελάχιστη χρησιμοποίηση
- Σχήμα 6.20 Λύση OptQuest για μέγιστη χρησιμοποίηση

- Σχήμα Α.1 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.2 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.3 Χρησιμοποίηση τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.4 ουρές αναμεικτικών μηχανών
- Σχήμα Α.5 ουρές ζυγιστικών σταθμών
- Σχήμα Α.6 Έξοδος μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.7 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.8 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.9 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.10 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.11 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα Α.12 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα Α.13 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου
- Σχήμα Α.14 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.15 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.16 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα Α.17 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα Α.18 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.19 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.20 Χρησιμοποίηση τρίωρου ζυγιστικού σταθμού
- Σχήμα Α.21 ουρές αναμεικτικών μηχανών
- Σχήμα Α.22 ουρές ζυγιστικών σταθμών
- Σχήμα Α.23 Έξοδος μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.24 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.25 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.26 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.27 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.28 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα Α.29 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα Α.30 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου
- Σχήμα Α.31 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.32 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.33 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα Α.34 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα Α.35 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.36 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.37 Χρησιμοποίηση τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.38 ουρές αναμεικτικών μηχανών
- Σχήμα Α.39 ουρές ζυγιστικών σταθμών
- Σχήμα Α.40 Έξοδος μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.41 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.42 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.43 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.44 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα Α.45 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα Α.46 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα Α.47 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου
- Σχήμα Α.48 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα Α.49 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα Α.50 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3

- Σχήμα A.51 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα A.52 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.53 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.54 Χρησιμοποίηση τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.55 ουρές αναμεικτικών μηχανών
- Σχήμα A.56 ουρές ζυγιστικών σταθμών
- Σχήμα A.57 Έξοδος μονόωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.58 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα A.59 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.60 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα A.61 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 5
- Σχήμα A.62 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς
- Σχήμα A.63 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα A.64 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα A.65 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου
- Σχήμα A.66 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1
- Σχήμα A.67 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2
- Σχήμα A.68 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3
- Σχήμα A.69 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4
- Σχήμα A.70 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 5
- Σχήμα B.1 OptQuest Overview
- Σχήμα B.2 Controls summary
- Σχήμα B.3 Constraint Expression editor
- Σχήμα B.4 Objective Expression editor
- Σχήμα B.5 Simulation settings
- Σχήμα B.6 optimization screen
- Σχήμα B.7 Πίνακας λύσεων

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 6.1 Υπόμνημα

Πίνακας 6.2 Εφικτό πρόγραμμα

Πίνακας 6.3 ανάθεση εφικτού προγράμματος

Πίνακας 6.4 Ανέφικτο πρόγραμμα

Πίνακας 6.5 ανάθεση ανέφικτου προγράμματος

Πίνακας 6.6 ανάθεση ελάχιστης χρησιμοποίησης

Πίνακας 6.7 πρόγραμμα μειωμένου χρόνου ανάμιξης

Πίνακας 6.8 ανάθεση μειωμένου χρόνου ανάμιξης

Πίνακας 6.9 Πρόγραμμα με 5η αναμεικτική

Πίνακας 6.10 Ανάθεση με 5η αναμεικτική

Λίστα συντομογραφιών

MAD = Mean Absolute Deviation
SSE = Sum of Squared Errors
MSE = Mean Squared Error
SI = Seasonal Indices
EOQ = Economic Order Quality
EDDLT = Expected Demand During Lead Time
SS = Safety Stock
DDLT = Demand During Lead Time
ERP = Enterprise Resource Planning
MRP = Material Equipment Planning
MPS = master Production Schedule
BOM = Bill Of Materials
L4L = Lot for Lot
LUC = Least Unit Cost
LTC = Least Total Cost
MES = Manufacturing Execution System
SES = Service Evaluation System
RFID = Radio frequency Identification
OEM = Original Equipment Manufacturer
3PL = Third Person Logistics
ASN = Advanced Ship Notices
TAPS = Total Air Park Simulation
CF = Canadian Forces
SAR = Search And Rescue
MOB = Main Operating Bases

Περίληψη

Τα συστήματα αποφάσεων (ή αλλιώς επιχειρησιακή έρευνα) αποτελούν έναν σχετικά νέο επιστημονικό κλάδο, ο οποίος παρέχει σε έναν αποφασίζοντα πληθώρα εργαλείων, ώστε να διευκολυνθεί στην ορθή λήψη μίας απόφασης. Τα εργαλεία αυτά δίνουν στον αποφασίζοντα την δυνατότητα, να κατασκευάσει ένα μοντέλο, το οποίο λαμβάνει υπόψιν περιορισμούς και στόχους ενός συστήματος και προτείνει λύσεις σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, καθώς επίσης και να βελτιστοποιεί την λειτουργία του συστήματος. Αξίζει, να αναφερθεί ότι τα μοντέλα δεν λαμβάνουν αποφάσεις, αλλά μόνο προτείνουν λύσεις, επομένως η τελική ευθύνη απόφασης βαρύνει πάντα τον αποφασίζοντα.

Η διοίκηση παραγωγής, είναι ένας τομέας με κύριο αντικείμενο ενασχόλησης οργάνωση διοίκηση και εποπτεία του συνόλου των εργασιών μίας εταιρείας, όπως διαχείριση οικονομικο-λογιστικών θεμάτων, οργάνωση αποθήκης και χρονοπρογραμματισμός εργασιών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται ο συγκερασμός των δύο ανωτέρω κλάδων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου, σε κατάλληλο εργαλείο, ώστε τα συστήματα αποφάσεων να εισαχθούν πιο ενεργά στην διοίκηση παραγωγής. Δηλαδή οι αποφάσεις στην διοίκηση ενός παραγωγικού συστήματος, να λαμβάνονται από αντίστοιχο μοντέλο, που θα προσομοιώνει την λειτουργία και θα είναι σε θέση να προτείνει λύσεις ανάλογα τον εκάστοτε στόχο.

Το εργαλείο μοντελοποίησης, το οποίο επιλέχθηκε είναι το Arena της Rockwell. Στόχος είναι η μοντελοποίηση ενός εργοστασίου επεξεργασίας παρτίδων με λειτουργίες ζυγίσματος, ώστε να απαντηθούν τα βασικά ερωτήματα, όπως αν είναι επιτεύξιμο ένα πρόγραμμα παραγωγής και αν ναι με ποιο τρόπο (χρονοπρογραμματισμός και προτεραιοποίηση εργασιών στο παραγωγικό σύστημα). Ένα τέτοιο είναι το εργοστάσιο της Johnson & Johnson Hellas, η οποία παρείχε τα δεδομένα για την παρούσα διπλωματική. Να σημειωθεί, ότι η διπλωματική (και τα αποτελέσματα της) δεν θα έχει καμία εμπορική χρήση ή εκμετάλλευση, από το εργοστάσιο, ή κάποιον άλλο, απλά η Johnson & Johnson Hellas παρείχε δεδομένα για αυτή, αντί να κατασκευαζόταν και να λυνόταν ένα θεωρητικό πρόβλημα, για την πραγμάτωση της διπλωματικής.

Λέξεις Κλειδιά: Επιχειρησιακή έρευνα, Διοίκηση παραγωγής, Χρονοπρογραμματισμός εργασιών, Μοντελοποίηση παραγωγικού συστήματος, Βελτιστοποίηση λειτουργίας, Επεξεργασία παρτίδων

Abstract

Operational research is a relative new scientific discipline, which provides a decision maker with many tools, in order to help in proper taking of a decision. These tools give the decision maker the ability to construct a model, which takes into account constraints and objectives of a system and proposes solutions in a specific problem, as well as maximizes the system function. It is worth noting, that models don't make decisions, but only propose solutions, therefore the final responsibility always burdens the decision maker.

Production management is a sector with main objective of occupation the organization, administration and supervision of a company's total procedures, like financial bookkeeping, warehouse organization and task scheduling.

In this diploma thesis the combination of the previous two mentioned sectors is being attempted. The purpose of this current thesis is the construction of a model, in a suitable tool, in order to insert the operational research actively in production management. Namely lead to the decisions in the production of a production system being received by the corresponding model, which will be simulating the system's function and will be in place to propose solutions depending on each time's objective.

The simulation tools being chosen was Arena from Rockwell Automation. The purpose is modeling a batch production plant with weighing processes, in order to answer basic questions, like if a production schedule is achievable and if answer is yes then how (task scheduling and prioritization of actions in the system). A plant with such characteristics is Johnson & Johnsons' Hellas plant, which provided the input info for this thesis. Let it be noted here, that the thesis itself (as well as the results it will lead into) will have no commercial use or exploitation from the plant, or anyone else. Johnson & Johnson Hellas only provided data for the thesis for the sole reason of not constructing a theoretical problem for the manufacture of the thesis.

Keywords: Operational Research, Production Management, Task Scheduling, Production System Modeling, Functions maximizing, Batch Processing.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση λειτουργίας ενός παραγωγικού συστήματος μέσω της χρήσης Arena software. Στόχος η μοντελοποίηση του συστήματος και η παροχή λύσεων και προτάσεων για την βέλτιστη δυνατή λειτουργία του, ανάλογα τον εκάστοτε σκοπό.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Δημήτριο Ασκούνη, για την ευκαιρία, που μου έδωσε να αναλάβω μία τόσο ενδιαφέρουσα διπλωματική στο εργαστήριο, καθώς επίσης και για την βοήθεια και καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια φοίτησης μου στην σχολή. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ουρανία Μαρκάκη για την βοήθεια, την συμβολή της κατά την διάρκεια εκπόνηση της διπλωματικής και την σημαντική της στήριξη στο να λάβει αυτή την τελική της μορφή.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την διοίκηση της Johnson & Johnson Hellas για την ευκαιρία, που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα αληθινό πρόβλημα, καθώς επίσης και τον φίλο μου, Μιχαήλ Αυγουλή, που αποτέλεσε τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στο εργαστήριο και το εργοστάσιο, ώστε να υλοποιηθεί η παρούσα η εργασία και προσέφερε τα μέγιστα με την τεχνογνωσία και την πολύτιμη βοήθεια του σε ολόκληρη της διάρκεια εκπόνησης της.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου με τους οποίους συνεργάστηκα όλα αυτά τα χρόνια, αλλά και την οικογένεια και τους φίλους μου για την στήριξη τους σε όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

Βαϊραμάκης Παναγιώτης

Μάρτιος 2018

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία μίας εφαρμογής, η οποία να συνδέει άμεσα την διοίκηση παραγωγής με τα συστήματα αποφάσεων. Κάθε ένα από τα δύο προαναφερθέντα πεδία τυγχάνουν ραγδαίας ανάπτυξης τα τελευταία πενήντα χρόνια με τις εταιρείες, να επενδύουν υψηλά ποσά στην υιοθέτηση μεθόδων και εργαλείων με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητάς τους. Η εφαρμογή, που θα δημιουργηθεί στην παρούσα εργασία έχει σκοπό, να παρέχει στον αποφασίζοντα που είναι υπεύθυνος για την οργάνωση της παραγωγής ένα εργαλείο, που όχι μόνο θα του απεικονίζει την πορεία της παραγωγής, αν δώσει σαν είσοδο το πλάνο, που έχει στο μυαλό του, αλλά και εναλλακτικές λύσεις, βάσει διαφορετικών στόχων, ώστε να μπορεί να συγκρίνει τις λύσεις μεταξύ τους, ως προς τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μίας, για να αποφασίσει κατάλληλα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.

1.2 Περιγραφή προβλήματος

Στο πεδίο του σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής απαντάται πολύ συχνά το πρόβλημα δρομολόγησης εργασιών σε συνεχή συστήματα, υποστηριζόμενα από γραμμές συναρμολόγησης. Το πρόβλημα αυτό χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας, λόγω του μεγάλου όγκου των διαθέσιμων δεδομένων. Σε αντίθεση τις θεωρητικές προσεγγίσεις ωστόσο, οι πραγματικές βιομηχανικές εφαρμογές περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό περιορισμών (επιχειρησιακούς – παραγωγής - εμπορικούς).

Η αποτελεσματική λήψη αποφάσεων, ώστε να οργανωθούν σωστά ο συντονισμός των εργασιών, η διαχείριση των πρώτων υλών, του ανθρώπινου δυναμικού και του μηχανολογικού εξοπλισμού αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, που ο αποφασίζων καλείται να λύσει.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων είναι η ορθή μοντελοποίηση του συστήματος. Αυτό απαιτεί βαθιά κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος σε κάθε επίπεδο, ώστε οι επιμέρους παραδοχές, που γίνονται από τον αποφασίζοντα να είναι μη αμφισβητήσιμες, αλλά αντίθετα πλήρως αποδεκτές, ώστε να τεκμηριώνουν πλήρως το αποτέλεσμα.

- Τα επιστημονικά πεδία, που ασχολούνται κυρίως με αυτούς τους τομείς είναι
- η διοίκηση παραγωγής, η οποία παρέχει εργαλεία για την οργάνωση της λειτουργίας κάθε σταδίου της παραγωγής (διαχείριση αποθήκης, πρώτων υλών, κατανομή εργασιών σε μηχανήματα κλπ) και
 - τα συστήματα αποφάσεων, τα οποία μέσω είτε μαθηματικών εργαλείων (γραμμικός προγραμματισμός, δυναμικός προγραμματισμός) είτε πιο απεικονιστικών εργαλείων (δένδρα αποφάσεων) αναζητούν τη βέλτιστη δυνατή λύση με βάση τους περιορισμούς και τους στόχους της μοντελοποίησης. Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι, να συνδυάσει τα δύο αυτά πεδία σε μία εφαρμογή, που θα διευκολύνει τον αποφασίζοντα να κάνει την σωστή επιλογή σε κάθε πιθανό σενάριο.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας θα αναλυθεί κάθε ένα από αυτά τα δύο πεδία. Επίσης θα αναλυθεί το εργαλείο στο οποίο δημιουργήθηκε η εφαρμογή μας και οι λόγοι επιλογής του. Τέλος, θα παρουσιαστούν αποτελέσματα από την εφαρμογή του εργαλείου σε πραγματικές συνθήκες συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μας σε κάθε σενάριο.

1.3 Δομή διπλωματικής

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια. Το παρόν, πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εισαγωγή, όπου καθορίζεται το πλαίσιο μέσα στο οποίο κινείται η παρούσα διπλωματική εργασία, περιγράφεται το αντικείμενο της και αναλύονται τα σχετικά κεφάλαια.

Στο δεύτερο γίνεται μία ανάλυση του επιστημονικού πεδίου της διοίκησης παραγωγής, των τομέων, στους οποίους εφαρμόζεται και των πιο δημοφιλών εργαλείων τα οποία προσφέρει.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα συστήματα αποφάσεων, αναλύοντας κάποια από τα πιο σημαντικά εργαλεία, τα οποία αυτά παρέχουν, αποσκοπώντας σε πρώτη φάση στην κατανόηση τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη του τρέχοντος μοντέλου λειτουργίας, όπως αυτό ισχύει μέχρι τώρα σε πραγματικές συνθήκες, και άρα δίχως τη χρήση της εφαρμογής μας σε αυτό. Υπάρχουν σε αυτό συγκεκριμένες παραδοχές, βάσει των οποίων κατασκευάστηκε και ορίστηκαν τα χαρακτηριστικά του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο εργαλείο, που επιλέχθηκε για τη δημιουργία της εφαρμογής, στους λόγους επιλογής του, τις ικανότητες του και τον τρόπο μεταφοράς του τρέχοντος μοντέλου λειτουργίας μέσα σε αυτό

Το έκτο κεφάλαιο περιγράφει λεπτομερώς το πλαίσιο εφαρμογής, τα αποτελέσματα πριν και μετά τη χρήση της εφαρμογής μας, επιχειρεί τη σύγκριση αποτελεσμάτων εναλλακτικών σεναρίων καθώς και μία ανάλυση ευαισθησίας των λύσεων, που λάβαμε.

Το έβδομο κεφάλαιο αντιστοιχεί στην παράθεση των συμπερασμάτων και των προοπτικών εξέλιξης.

Τέλος, υπάρχουν σχετικά παραρτήματα για εργαλεία εντός του προσομοιωτικού εργαλείου, που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη αποτελεσμάτων από την κατασκευασθείσα εφαρμογή και την παράθεση γραφημάτων.

Κεφάλαιο 2 Διοίκηση παραγωγής και συστημάτων υπηρεσιών

2.1 Εισαγωγή

Η διοίκηση παραγωγής και συστημάτων υπηρεσιών περιλαμβάνει τα ζητήματα, που λαμβάνονται υπόψη για την τεκμηρίωση στρατηγικών, τακτικών και λειτουργικών αποφάσεων σε συστήματα παραγωγής προϊόντων ή υπηρεσιών. Ο κλάδος αφορά σε σύγχρονες προσεγγίσεις για ζητήματα όπως η επιλογή του προϊόντος, της περιοχής εγκατάστασης και της δυναμικότητας ενός παραγωγικού συστήματος και γενικά σε ζητήματα, που συνεπάγονται τη δέσμευση σημαντικών πόρων και επηρεάζουν μακροπρόθεσμα την απόδοση και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας της παραγωγής. Έτσι, αναπτύσσονται οι βασικές πτυχές, αναλύονται τα κριτήρια και παρουσιάζονται μέθοδοι και τεχνικές επίλυσης στρατηγικών προβλημάτων όπως “τι, πού, πόσο θα παραχθεί” με σκοπό την επιβίωση και ανάπτυξη ενός παραγωγικού συστήματος σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Στο παρόν κεφάλαιο γίνονται αναφορές σε συστήματα παραγωγής τόσο προϊόντων όσο και υπηρεσιών. Άλλωστε αυτές οι δύο περιπτώσεις συστημάτων χαρακτηρίζονται από παρόμοια προβλήματα, που για να επιλυθούν απαιτούν παρόμοιες προσεγγίσεις. Οι προσεγγίσεις, που θα παρουσιαστούν αφορούν προβλήματα, που ανακύπτουν από το σημερινό τρόπο οργάνωσης της παραγωγής στη βιομηχανία σε ανεπτυγμένες χώρες, αν και με δεδομένη την ταχύτητα εμφάνισης των τεχνολογικών αλλαγών και των παρεχόμενων υπηρεσιών, οι αρχές και οι μεθοδολογίες, που αναπτύσσονται είναι συνεχώς υπό εξέταση και αναμόρφωση.

Στην παρούσα διπλωματική θα επιχειρηθεί ο σωστός χρονοπρογραμματισμός εργασιών σε κέντρα εργασίας και η ορθή λειτουργία και διαχείριση της αποθήκης (έννοιες, που θα αναλυθούν στην συνέχεια του κεφαλαίου) ενός παραγωγικού συστήματος.

2.2 Μέθοδοι προβλέψεων

Ορισμός: Η πρόβλεψη είναι η πρόγνωση ή η εκτίμηση της μελλοντικής τιμής μίας μεταβλητής. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις τεχνικές ποσοτικής πρόβλεψης, όπως είναι οι μέθοδοι παλινδρόμησης και εξομάλυνσης.

2.2.1 Μέθοδοι παλινδρόμησης

Οι μέθοδοι παλινδρόμησης αφορούν τον ορισμό μία μαθηματικής σχέσης μεταξύ ανεξαρτητών και εξαρτημένων μεταβλητών. Η μεταβλητή, που πρόκειται να εκτιμηθεί ονομάζεται εξαρτημένη μεταβλητή, ενώ η μεταβλητή, που βοηθά στην εκτίμηση ονομάζεται ανεξάρτητη μεταβλητή. Η απλή παλινδρόμηση αναφέρεται στην γραμμική σχέση μεταξύ μίας εξαρτημένης και μίας ανεξάρτητης μεταβλητής. Η πολλαπλή παλινδρόμηση ασχολείται με μία εξαρτημένη μεταβλητή και δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές.

Απλή παλινδρόμηση: Έστω η εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης $Y = a + bX$, όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, X είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, a είναι η τέμνουσα του κατακόρυφου άξονα και b είναι η κλίση της ευθείας. Οι τιμές των σταθερών a και b βρίσκονται ως εξής:

$$a = \frac{\sum x^2 * \sum y - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n * \sum xy - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Όπου x είναι τα δεδομένα της ανεξάρτητης μεταβλητής, y είναι τα δεδομένα της εξαρτημένης μεταβλητής και n είναι το συνολικό πλήθος τιμών πειραματικών μετρήσεων. Αν χρησιμοποιήσουμε τις παραπάνω τιμές των a και b στην εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης $Y = a + bX$, μπορούμε να κάνουμε εκτίμηση της τιμής του Y για μία μελλοντική τιμή του X . Αυτή η απλή γραμμική παλινδρόμηση ονομάζεται και αιτιακή γραμμική παλινδρόμηση.

Αν τα δεδομένα είναι μία χρονοσειρά, η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η χρονική περίοδος και η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η μεταβλητή για την οποία θα γίνει η πρόβλεψη, για παράδειγμα οι πωλήσεις. Μία τέτοια σχέση, γνωστή ως γραμμική παλινδρόμηση χρονοσειρών ή γραμμική τάσεων, εκφράζεται με τη σχέση $Y = a + \beta T$, όπου T είναι η χρονική περίοδος.

Συντελεστές συσχέτισης και προσδιορισμού: Ο συντελεστής συσχέτισης (r) είναι ένα σχετικό μέτρο της σχέσης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής y και της ανεξάρτητης μεταβλητής x . Υπολογίζεται ως εξής:

$$r = \frac{n * \sum xy - \sum x * \sum y}{\sqrt{[n * \sum x^2 - (\sum x)^2][n * \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Όπου $-1 \leq r \leq 1$. Σχετίζονται τέλεια όταν $r = \pm 1$.

Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης. Αυτό είναι ένα μέτρο του τμήματος της διασποράς της εξαρτημένης μεταβλητής y το οποίο οφείλεται στην ανεξάρτητη μεταβλητή x . Να σημειωθεί, ότι $0 \leq r^2 \leq 1$. Για παράδειγμα αν $r^2 = 0,9$ η ανεξάρτητη μεταβλητή αιτιολογεί το 90% της διασποράς της εξαρτημένης μεταβλητής.

Τυπικό σφάλμα εκτίμησης: Το τυπικό σφάλμα (απόκλιση) της εκτίμησης (πρόβλεψης) είναι ένα μέτρο της διασποράς ή διασκορπισμού των παλαιότερων δεδομένων γύρω από τη γραμμή τάσεων (παλινδρόμησης). Δίνεται από την εξίσωση:

$$Se = \sqrt{\frac{\sum y^2 - a * \sum y - b * \sum xy}{n - 2}}$$

Ειδική περίπτωση: Λογαριθμικά (εκθετικά) μοντέλα

Τα λογαριθμικά ή εκθετικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για δεδομένα, που απεικονίζουν ανάπτυξη χωρίς να παρουσιάζουν ενδείξεις εξομάλυνσης. Οι μη γραμμικές εξισώσεις των εκθετικών μοντέλων μπορούν, να μετατραπούν σε γραμμικές συναρτήσεις ως εξής:

1. $W = AB^X$

Λογαριθμίζουμε και τα δύο μέλη: $\log(W) = \log(A) + X\log(B)$

Αντικαθιστούμε $Y = \log(W)$, $a = \log(A)$ και $b = \log(B)$, οπότε $Y = a + bX$

2. $W = e^{a+bX}$

Βρίσκουμε τον φυσικό λογάριθμο (βάση e) και των δύο μελών:

$\log_e(W) = (a + bX)\log_e(e) = a + bX$

Αντικαθιστούμε $Y = \log_e(W)$, οπότε $Y = a + bX$

Αφού προσδιορίσουμε τα a και b με τον συνήθη τρόπο, μπορούμε να βρούμε τις παραμέτρους A και B από τους αντιλογαρίθμους.

Πολλαπλή παλινδρόμηση: Έστω η εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης

$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$, όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, X_1, X_2, \dots, X_n είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές και $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ είναι οι συντελεστές.

2.2.2 Μέθοδοι εξομάλυνσης

Ένας τρόπος για να αφαιρέσουμε τις τυχαίες αποκλίσεις από μία χρονοσειρά είναι η εξομάλυνση της. Δύο μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η μέθοδος του κινητού μέσου όρου και η εκθετική εξομάλυνση.

Μέθοδος κινητού μέσου όρου: Με τη μέθοδο κινητού μέσου όρου βρίσκουμε την πρόβλεψη για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο εξάγοντας τον μέσο όρο των τιμών δεδομένων των πλέον πρόσφατων n περιόδων στην χρονοσειρά. Μαθηματικά, ο κινητός μέσος όρος υπολογίζεται ως εξής:

$$MA(n) = \frac{\sum(n)}{n}$$

Για παράδειγμα ο $MA(3)$ είναι ο κινητός μέσος όρος τριών περιόδων.

Μέθοδος σταθμισμένου κινητού μέσου όρου: Στη μέθοδο του σταθμισμένου κινητού μέσου όρου χρησιμοποιούνται διάφοροι συντελεστές στάθμισης για τις πλέον πρόσφατες n τιμές δεδομένων.

Εκθετική εξομάλυνση: Με την εκθετική εξομάλυνση βρίσκουμε τη νέα πρόβλεψη λαμβάνοντας το σταθμισμένο μέσο όρο των αμέσως προηγούμενων πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης. Το βασικό εκθετικό μοντέλο είναι το εξής:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)F_{t-1}, \quad F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

Όπου F_t = τιμή πρόβλεψης για την περίοδο t
 F_{t-1} = τιμή πρόβλεψης για την περίοδο $t-1$
 A_{t-1} = πραγματική τιμή περιόδου $t-1$
 α = ομαλή σταθερά ($0 \leq \alpha \leq 1$)

Εκθετική εξομάλυνση με τάση (εκθετική εξομάλυνση προσαρμοσμένη ως προς την τάση): Στην προσαρμοσμένη ως προς την τάση εκθετική εξομάλυνση χρησιμοποιείται τόσο μία εκθετικά εξομαλυσμένη συνιστώσα (S_t) όσο και μία συνιστώσα τάσης (T_t). Η νέα πρόβλεψη βρίσκεται μέσω των παρακάτω εξισώσεων:

$$S_t = \alpha A_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$$

$$F_{t+1} = S_t + T_t$$

$$F_{t+k} = S_t + kT_t$$

Όπου S_t είναι η εξομαλυσμένη τιμή πρόβλεψης για την περίοδο t , T_t είναι η τιμή της εκτίμησης τάσης για την περίοδο t , A_t είναι η πραγματική τιμή για την περίοδο t , α είναι η σταθερά εκθετικής εξομάλυνσης ($0 \leq \alpha \leq 1$), β είναι η σταθερά εξομάλυνσης τάσης ($0 \leq \beta \leq 1$), F_{t+1} είναι η τιμή πρόβλεψης για την περίοδο $t+1$ και F_{t+k} είναι η τιμή πρόβλεψης για την περίοδο $t+k$.

Αφού ο υπολογισμός της πρώτης εκτίμησης της τάσης T_2 χρειάζεται τις πρώτες δύο πραγματικές τιμές, η διαδικασία των υπολογισμών ξεκινά με $t = 2$ (και όχι με $t = 1$) ως εξής:

$$S_2 = A_2$$

$$T_2 = A_2 - A_1$$

$$S_3 = \alpha A_3 + (1+\alpha)(S_2 + T_2)$$

$$T_3 = \beta(S_3 - S_2) + (1-\beta)T_2$$

·
·
·

$$S_t = \alpha A_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$$

Ακρίβεια πρόβλεψης: Τα τρία μέτρα ακρίβειας της πρόβλεψης τα οποία χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι η μέση απόλυτη απόκλιση (mean absolute deviation – MAD), το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων (sum of squared errors – SSE) και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error – MSE). Αυτά ορίζονται ως εξής:

$$MAD = \frac{\sum |A_t - F_t|}{n}$$

$$SSE = \sum (A_t - F_t)^2$$

$$MSE = \frac{\sum (A_t - F_t)^2}{n}$$

Όπου A_t είναι η πραγματική τιμή t και F_t είναι η τιμή της πρόβλεψης σε χρόνο t . Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της τιμής πρόβλεψης ($A_t - F_t$) ονομάζεται σφάλμα πρόβλεψης.

Πρόβλεψη χρονοσειρών με πολλαπλασιαστικό μοντέλο: Τα υποκείμενα πρότυπα δεδομένων μίας χρονοσειράς αποτελούνται από συνιστώσες τάσης, κυκλικές συνιστώσες, εποχιακές συνιστώσες και τυχαίες συνιστώσες. Μία τάση επιδεικνύει την μακροπρόθεση ανοδική ή καθοδική κατεύθυνση των δεδομένων της χρονοσειράς. Ένας κύκλος δείχνει ένα μακροπρόθεσμο κυματοειδές επαναλαμβανόμενο πρότυπο δεδομένων. Η εποχικότητα είναι ένα βραχυπρόθεσμο επαναληπτικό πρότυπο δεδομένων. Με την τυχαία συνιστώσα συνυπολογίζονται οι ακανόνιστες μεταβολές οι οποίες οφείλονται σε πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, που δεν μπορούν να αιτιολογηθούν.

Το πολλαπλασιαστικό μοντέλο δίνεται παρακάτω:

$$y_t = T_t \times C_t \times S_t \times R_t$$

όπου: y_t = πραγματική τιμή χρονοσειράς

T_t = συνιστώσα τάσης

C_t = κυκλική συνιστώσα

S_t = εποχιακή συνιστώσα

R_t = τυχαία συνιστώσα

Διαδικασία ανάπτυξης πρόβλεψης χρονοσειράς για δεδομένα με εποχικότητα:

1. Υπολογίζουμε τους εποχιακούς δείκτες, για να μετρήσουμε τον βαθμό διαφορών μεταξύ των εποχών:

(α) Απομονώνουμε τον κύκλο τάσεων των δεδομένων υπολογίζοντας τους κινητούς μέσους όρους, όπου ο αριθμός των περιόδων είναι ίσος με τον αριθμό των εποχών. Οι κινητοί μέσοι

όροι που προκύπτουν, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν εποχιακές μεταβολές και δεν έχουν σχεδόν καθόλου τυχαίες μεταβολές είναι οι εξής:

$$MA_t = T_t \times C_t$$

(β) Υπολογίζουμε τον λόγο της χρονοσειράς ως προς τον κινητό μέσο όρο ως εξής:

$$\frac{y_t}{MA_t} = \frac{T_t \times C_t \times S_t \times R_t}{T_t \times C_t} = S_t \times R_t$$

(γ) Υπολογίζουμε τον μέσο όρο των παραπάνω λόγων για κάθε εποχή, ο οποίος αποτελεί μέτρο των εποχιακών διαφορών χωρίς σχεδόν καθόλου τυχαίες μεταβολές.

(δ) Προσαρμόζουμε τους παραπάνω μέσους λόγους για να βρούμε τους εποχιακούς δείκτες (seasonal indices – SI), όπου ο μέσος εποχιακός δείκτης είναι 1. Για παράδειγμα, για δεδομένα τριμήνων, πολλαπλασιάζουμε κάθε εποχιακό δείκτη επί 4 (άθροισμα των μη προσαρμοσμένων εποχιακών δεικτών).

Σημείωση: Αν η χρονοσειρά δεν περιέχει διακριτή κυκλική συνιστώσα, τότε χρησιμοποιούμε ανάλυση παλινδρόμησης αντί της μεθόδου κινητών μέσων όρων του βήματος (α).

Το πολλαπλασιαστικό μοντέλο χωρίς την κυκλική συνιστώσα είναι:

$$y_t = T_t \times S_t \times R_t$$

Αφού η γραμμική παλινδρόμηση δίνει την τάση των δεδομένων, υπολογίζουμε τον λόγο της χρονοσειράς προς την γραμμή παλινδρόμησης ως εξής:

$$\frac{y_t}{Y_t} = \frac{T_t \times S_t \times R_t}{T_t} = S_t \times R_t$$

Συνεχίζουμε με τα βήματα (γ) και (δ)

2. Χρησιμοποιούμε τους εποχιακούς δείκτες, για να αποδεσμεύσουμε τα δεδομένα από τις εποχές, να αφαιρέσουμε δηλαδή την επίδραση της εποχής από την χρονοσειρά, διαιρώντας κάθε τιμή της χρονοσειράς με τον αντίστοιχο εποχιακό δείκτη.
3. Βρίσκουμε μία εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης με την μορφή $T_t = a + bt$ για τα αποδεσμευμένα από τις εποχές δεδομένα. Αυτή θα αποτελεί την συνιστώσα τάσης τους πολλαπλασιαστικού μοντέλου.
4. Χρησιμοποιούμε την παραπάνω εξίσωση τάσης για πρόβλεψη μελλοντικών τιμών τάσεων.
5. Πολλαπλασιάζουμε τις παραπάνω τιμές τάσεων με τους αντίστοιχους εποχιακούς δείκτες, για να βρούμε τις προβλέψεις:

$$F_t = T_t \times SI_t$$

Σημείωση: Στο πολλαπλασιαστικό μοντέλο, ο υπολογισμός των συνιστωσών τάσεων και εποχικότητας δεν παρουσιάζει προβλήματα. Παρόλα αυτά, η εκτίμηση της κυκλικής συνιστώσας είναι ζήτημα κρίσης, αφού βασίζεται στο επίπεδο της οικονομικής δραστηριότητας, ή της δραστηριότητας κάθε κλάδου.

2.3 Υποδείγματα οργάνωσης αποθήκης

Απόθεμα: Το απόθεμα είναι ένα αδρανές σύνολο αντικειμένων για μελλοντική χρήση. Τα δύο κύρια ζητήματα των υποδειγμάτων οργάνωσης αποθήκης είναι η ποσότητα (το “όσο”) και ο χρόνος (το “πότε”) των παραγγελιών. Ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους αποθεματοποίησης, το οποίο αποτελείται από το κόστος διατήρησης και το κόστος παραγγελίας.

Τα υποδείγματα οργάνωσης αποθήκης μπορεί να είναι υποδείγματα ανεξάρτητης ή εξαρτημένης ζήτησης. Στα υποδείγματα ανεξάρτητης ζήτησης, η ζήτηση για ένα είδος δεν

εξαρτάται από την ζήτηση για άλλα είδη, που ανήκουν στο απόθεμα. Στα υποδείγματα εξαρτημένης ζήτησης, η ζήτηση για ένα είδος εξαρτάται από την ζήτηση άλλων αντίστοιχων αντικειμένων του αποθέματος. Συνήθως, τα τελικά προϊόντα (ολοκληρωμένα αγαθά) είναι παραδείγματα αποθεμάτων με ανεξάρτητη ζήτηση, ενώ τα εξαρτήματα συναρμολόγησης είναι παραδείγματα αποθεμάτων εξαρτημένης ζήτησης. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα συστήματα αποθεμάτων ανεξάρτητης ζήτησης.

2.3.1 Μοντέλα σταθερών ποσοτήτων παραγγελιών

Σε αυτό τον τύπο υποδείγματος η ποσότητα (το “πόσο”) της παραγγελίας είναι σταθερή, αλλά ο χρόνος (το “πότε”) της παραγγελίας διαφοροποιείται.

Προσδιορισμός σταθερών ποσοτήτων παραγγελίας:

Θα εξετάσουμε τις βέλτιστες ποσότητες παραγγελιών, οι οποίες ονομάζονται οικονομικές ποσότητες παραγγελίας (EOQ), για τις παρακάτω τρεις περιπτώσεις:

1. EOQ για αγορά
2. EOQ για παραγωγή
3. EOQ για εκπτώσεις με βάση την ποσότητα

I. Οικονομική ποσότητα παραγγελίας (EOQ) για αγορά

Σε αυτό το υπόδειγμα το συνολικό ετήσιο κόστος αποθέματος (TC) ορίζεται ως:

$TC = (Q/2)C + (D/Q)S =$ ετήσιο κόστος διατήρησης + ετήσιο κόστος παραγγελίας, όπου:
 $D =$ ετήσια ζήτηση (μονάδες/έτος)
 $Q =$ ποσότητα παραγγελίας (μονάδες/παραγγελία)
 $C =$ ετήσιο μοναδιαίο κόστος μεταφοράς = κόστος διατήρησης/αποθήκευσης (R) x μοναδιαίο κόστος απόκτησης τεμαχίου (ή τιμή μονάδας) (P)
 $S =$ κόστος παραγγελίας (χρηματικές μονάδες/παραγγελία)
 $TC =$ συνολικό ετήσιο κόστος αποθέματος (χρηματικές μονάδες/έτος)
 Για να βρούμε την EOQ θέτουμε την παράγωγο του TC ως προς Q ίση με μηδέν και λύνουμε ως προς Q.

$$EOQ = Q^* = \sqrt{(2DS)/C} \quad (1)$$

II. Οικονομική ποσότητα παραγγελίας (EOQ) για παραγωγή

Σε αυτό το υπόδειγμα, το συνολικό ετήσιο κόστος αποθέματος ορίζεται ως:

$TC = (Q/2)[p - d]/p]C + (D/Q)S =$ ετήσιο κόστος διατήρησης + ετήσιο λειτουργικό κόστος, όπου:
 $d =$ ρυθμός ζήτησης (μονάδες/χρονική περίοδο)
 $p =$ ρυθμός παραγωγής (μονάδες/ χρονική περίοδο)
 $S =$ λειτουργικό κόστος (χρηματικές μονάδες)
 $(Q/2)[p - d]/p]C =$ μέσο επίπεδο αποθέματος (μονάδες)

Για να βρούμε την ΕΟQ θέτουμε την παράγωγο του TC ως προς το Q ίση με μηδέν και λύνουμε ως προς Q

$$EOQ = Q^* = \sqrt{[2DS)/C] \left[\frac{p}{p-d} \right]} \quad (2)$$

III. *Οικονομική ποσότητα παραγγελίας (EOQ) για εκπτώσεις με βάση την ποσότητα*
 Στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις το μοναδιαίο κόστος αγοράς ή το μοναδιαίο κόστος παραγωγής (P) είναι σταθερό και συνεπώς δεν λαμβάνεται υπόψη. Παρόλα αυτά, αν παρέχονται εκπτώσεις με βάση την ποσότητα ή αναπροσαρμογές τιμών για μεγάλες ποσότητες παραγγελιών το P θα εξαρτάται από την ποσότητα κάθε παραγγελίας. Συνεπώς σε αυτό το υπόδειγμα, το P θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην εξίσωση του συνολικού κόστους ως εξής:

TC = ετήσιο κόστος διατήρησης + ετήσιο κόστος παραγγελίας + ετήσιο κόστος απόκτησης.

Για άμεση παράδοση το TC δίνεται από τον τύπο:

$$TC = (Q/2)C + (D+Q)S + DP \text{ και η ΕΟQ προσδιορίζεται από την εξίσωση (1).}$$

Για τμηματική παράδοση το TC δίνεται από τον τύπο:

$$TC = (Q/2)[(p - d)/p]C + (D+Q)S + DP \text{ και η ΕΟQ προσδιορίζεται από την εξίσωση (2)}$$

Συνήθως προσφέρονται μειώσεις τιμών για διάφορες ποσότητες παραγγελιών.

Προσδιορισμός των σημείων παραγγελίας (OP): Με τα παραπάνω υποδείγματα ΕΟQ αντιμετωπίστηκε ένα βασικό ζήτημα των υποδειγμάτων οργανωμένης αποθήκης, δηλαδή “πόσο” πρέπει να παραγγείλουμε. Το άλλο ζήτημα, του “πότε” πρέπει να παραγγείλουμε αντιμετωπίζεται από τα υποδείγματα OP. Η παραγγελία πρέπει να γίνεται όταν το επίπεδο του αποθέματος πέφτει στο OP, το οποίο προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$OP = EDDL T + SS$$

όπου: EDDL T = αναμενόμενη ζήτηση κατά τον χρόνο προπορείας

Χρόνος προπορείας = ο χρόνος μεταξύ παραγγελίας και παραλαβής (χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας)

SS = απόθεμα ασφαλείας (safety stock) = εφεδρικό απόθεμα για την αποφυγή έλλειψης εμπορεύματος όταν η πραγματική ζήτηση υπερβαίνει την αναμενόμενη.

Αφού είναι δύσκολο να αξιολογήσουμε το κόστος της έλλειψης εμπορεύματος, θα ορίσουμε το σημείο παραγγελίας σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης πελάτη, το οποίο είναι η πιθανότητα να μην προκύψει έλλειψη εμπορεύματος.

Υπάρχουν δύο τύποι κατανομών ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας (DDL T): μία διακριτική κατανομή DDL T για μικρό αριθμό μονάδων και μία συνεχής κατανομή DDL T για μεγάλο αριθμό μονάδων. Μπορούμε, να θεωρήσουμε ότι η διακριτή κατανομή DDL T περιγράφεται με κατανομή Poisson. Αντίθετα, για συνεχή τυχαία μεταβλητή DDL T, υποθέτουμε κανονική κατανομή. Το σημείο παραγγελίας δίνεται από τον τύπο:

$$OP = EDDL T + Z\sigma_{dl}$$

όπου: EDDL T = μέσος όρος ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας.

Z = αριθμός μονάδων τυπικής απόκλισης από τον μέσο όρο

σ_{dl} = Τυπική απόκλιση ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας

Στην ανάπτυξη των υποδειγμάτων OP, υποθέτουμε ότι ο χρόνος προπορείας είναι σταθερός χωρίς εποχιακά πρότυπα. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις οι οποίες συνεισφέρουν στην

μεταβλητότητα της ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας: η κυμαινόμενη ζήτηση (με σταθερό χρόνο προπορείας), ο κυμαινόμενος χρόνος προπορείας (με σταθερή περιοδική ζήτηση) και ο συνδυασμός κυμαινόμενης ζήτησης και κυμαινόμενου χρόνου προπορείας.

Περίπτωση 1: Η ζήτηση είναι κυμαινόμενη και ο χρόνος προπορείας είναι σταθερός:

$$OP = \bar{d}l + Z\sigma_d\sqrt{l}$$

όπου \bar{d} = μέση περιοδική ζήτηση

l = διάρκεια χρόνου προπορείας

σ_d = τυπική απόκλιση περιοδικής ζήτησης

$\sigma_d\sqrt{l}$ = σ_{dl} , αφού η τυπική απόκλιση της ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας είναι η τετραγωνική ρίζα του $\sigma_d^2(l)$, το οποίο είναι το άθροισμα l διαφοροποιήσεων περιοδικής ζήτησης

Περίπτωση 2: Η ζήτηση είναι σταθερή και ο χρόνος προπορείας είναι κυμαινόμενος:

$$OP = d\bar{l} + Z\sigma_l$$

όπου: \bar{l} = μέσος χρόνος προπορείας

σ_l = τυπική απόκλιση χρόνου προπορείας

d = περιοδική ζήτηση

Περίπτωση 3: Και η ζήτηση και ο χρόνος προπορείας μεταβάλλονται:

$$OP = \bar{d}\bar{l} + Z\sqrt{\sigma_d^2\bar{l} + \bar{d}^2\sigma_l^2}$$

Έλλειψη αποθέματος: Αφού το κόστος της έλλειψης εμπορεύματος είναι συνάρτηση του ποσού έλλειψης, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τον μέσο αριθμό των μονάδων, που μας λείπουν. Έστω η ζήτηση κατά το χρόνο προπορείας (εκτέλεση παραγγελίας) έχει κανονική κατανομή. Τότε :

$$E(n) = E(Z) * \sigma_{dl}$$

Όπου: $E(n)$ = μέσος αριθμός μονάδων, που λείπουν κατά τον χρόνο προπορείας

$E(Z)$ = τυποποιημένος αριθμός μονάδων που λείπουν (προκύπτει από πίνακες μοναδιαίων κανονικών συναρτήσεων απώλειας)

σ_{dl} = τυπική απόκλιση ζήτησης κατά τον χρόνο προπορείας

Ο μέσος αριθμός των μονάδων, που λείπουν σε διάστημα ενός έτους $E(N)$ ορίζεται ως εξής:

$$E(N) = E(n)(D/Q)$$

2.3.2 Μοντέλα σταθερών περιόδων παραγγελιών

Μέχρι τώρα είδαμε υποδείγματα σταθερών ποσοτήτων παραγγελιών, που βασίζονταν στις έννοιες EOQ και OP, δηλαδή παραγγελία της ποσότητας EOQ όταν το επίπεδο αποθέματος φτάνει στην ποσότητα OP. Σε τέτοια υποδείγματα, η ποσότητα παραγγελίας είναι σταθερή, αλλά διαφέρει το διάστημα, που μεσολαβεί μεταξύ των παραγγελιών. Παρόλα αυτά, τα υποδείγματα σταθερών περιόδων παραγγελίας αφορούν την παραγγελία διαφόρων ποσοτήτων σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Θεωρούμε την περίπτωση, στην οποία η ζήτηση είναι κυμαινόμενη (μεταβλητή) και ο χρόνος προπορείας σταθερός. Έστω, ότι η ζήτηση ακολουθεί κανονική κατανομή. Τότε η ποσότητα παραγγελίας δίνεται από τον τύπο:

$$Q^* = \bar{d}(T + I) + Z\sigma_d\sqrt{T + I} - I$$

Όπου: σ_d = τυπική απόκλιση ζήτησης

T = σταθερή περίοδος παραγγελίας

I = διάρκεια χρόνου προπορείας

I = ποσότητα διαθέσιμου αποθέματος

2.3.3 Υποδείγματα μίας περιόδου

Τα παραπάνω υποδείγματα σταθερών ποσοτήτων παραγγελιών και τα υποδείγματα σταθερών περιόδων παραγγελιών είναι χρήσιμα όταν το απόθεμα, που απομένει από έναν κύκλο παραγγελίας μπορεί, να προωθηθεί στον επόμενο κύκλο παραγγελίας. Παρόλα αυτά, μερικά είδη, όπως αναλώσιμα με ημερομηνία λήξης και πεπαλαιωμένα υλικά, δεν μπορούν να προωθηθούν στον επόμενο κύκλο παραγγελίας ή υπόκεινται σε ρήτρα μεταφοράς. Ο στόχος του υποδείγματος μίας περιόδου είναι η ελαχιστοποίηση των τιμών κόστους υπεραποθεματοποίησης και υποαποθεματοποίησης. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η ποσότητα παραγγελίας ικανοποιεί την παρακάτω εξίσωση βέλτιστου επιπέδου εξυπηρέτησης:

$$\text{Επίπεδο εξυπηρέτησης} = \frac{C_u}{C_u + C_o}$$

Όπου: C_u = κόστος υποαποθεματοποίησης = έσοδα/μονάδα – κόστος/μονάδα

C_o = κόστος υπεραποθεματοποίησης = κόστος/μονάδα + κόστος διατήρησης/μονάδα – αξία εκποίησης/μονάδα.

2.4 Συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων

2.4.1 Συστήματα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (ERP)

Ένα σύστημα προγραμματισμού επιχειρησιακών πόρων (enterprise resource planning – ERP), όταν εφαρμοστεί σωστά, συνδέει όλα τα τμήματα μίας επιχείρησης. Η παραγωγή γνωρίζει για τις νέες εντολές αμέσως μόλις εισαχθούν στο σύστημα. Οι πωλήσεις γνωρίζουν την ακριβή κατάσταση της παραγγελίας κάθε πελάτη. Οι προμήθειες γνωρίζουν κάθε λεπτό τι χρειάζεται η παραγωγή και το λογιστικό σύστημα ενημερώνεται όσο λαμβάνουν χώρα όλες οι σχετικές συναλλαγές. Τα πιθανά οφέλη είναι τεράστια. Μόνο από την μείωση της άχρηστης επανάληψης πληροφοριών μπορεί να εξοικονομηθούν εκατομμύρια ευρώ κάθε χρόνο. Ωστόσο το ουσιαστικό πλεονέκτημα έγκειται στους νέους τρόπους με τους οποίους μπορεί να λειτουργεί η επιχείρηση. Πολλές επαναλαμβανόμενες εργασίες μπορούν να εκλείψουν. Ο χρόνος, που απαιτείται, για να γίνουν οι υπόλοιπες εργασίες μπορεί να μειωθεί σημαντικά, λόγω της άμεσης διαθεσιμότητας των πληροφοριών. Με ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα ERP καινούριοι τρόποι λειτουργίας της επιχείρησης είναι πιθανοί. Φυσικά όλα αυτά είναι κοστοβόρα. Τα συστήματα ERP είναι πολύπλοκα και ακριβά, οπότε μπορεί να χρειαστούν δραστικές αλλαγές στην πορεία.

Σκοπός αυτής της παραγράφου είναι, να δώσει μία γενική εικόνα για το τι είναι ένα σύστημα ERP και πώς μπορεί να ωφελήσει μία επιχείρηση. Οι σημερινοί προμηθευτές ERP συστημάτων έχουν θέσει νέες προδιαγραφές στην ενοποίηση των πληροφοριών. Για αυτό και σε αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε σε μία εταιρεία, που λέγεται SAP AG και στο κεντρικό της προϊόν το R/3. Σκοπός δεν είναι η διαφήμιση του προϊόντος της SAP ως το μόνο προϊόν λογισμικού, που θα πρέπει μία εταιρεία να επιλέξει.

2.4.2 System Application Products (SAP)

Η SAP AG είναι μία γερμανική εταιρεία και ο παγκόσμιος ηγέτης της αγοράς λογισμικού ERP. Το κεντρικό προϊόν της είναι γνωστό ως R/3. Το λογισμικό αυτό είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε μία ρύθμιση τριών στρωμάτων πελατών/διακομιστών. Ο πυρήνας του συστήματος είναι ένα δίκτυο διακομιστών βάσης δεδομένων πολύ υψηλής ταχύτητας. Οι διακομιστές βάσης δεδομένων είναι ειδικοί υπολογιστές, οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι να διαχειρίζονται με αποτελεσματικότητα μεγάλες βάσεις δεδομένων. Οι εφαρμογές, οι οποίες αποτελούν τα τμήματα του λογισμικού, αναλύονται παρακάτω, ενώ πρέπει να σημειωθεί ακόμα, ότι μπορούν να λειτουργήσουν σε ανεξάρτητους υπολογιστές. Οι εφαρμογές είναι κατανομημένες σε δίκτυο γύρω από την ομάδα των υπολογιστών βάσης δεδομένων και έχουν ανεξάρτητη πρόσβαση σε αυτούς. Τέλος, οι χρήστες επικοινωνούν με τις εφαρμογές μέσω των τελικών διακομιστών.

Οι εφαρμογές είναι πλήρως ενοποιημένες, έτσι ώστε τα δεδομένα να διαμοιράζονται μεταξύ όλων των εφαρμογών. Εάν, για παράδειγμα ένας υπάλληλος καταχωρήσει μία συναλλαγή αποστολής στο κομμάτι των πωλήσεων και διανομών, η συναλλαγή φαίνεται αμέσως στα άλλα επιμέρους τμήματα του λογισμικού: Λογαριασμοί προς πληρωμή, Οικονομικό-Λογιστικό και διαχείριση αποθεμάτων και υλικού. Το κομμάτι του λογισμικού “παραγωγή και εφοδιαστική” περιέχει εφαρμογές που υποστηρίζουν όποιο θέμα έχει προαναφερθεί.

Το μεγαλύτερο μέρος της επιτυχίας του προϊόντος οφείλεται στην περιεκτική κάλυψη των επιχειρηματικών εφαρμογών. Κατά μία έννοια το SAP άλλαξε για πάντα το πρόσωπο της τεχνολογίας πληροφοριών. Πλέον, διαθέτουμε διεταιρικά ενοποιημένα συστήματα που θα μπορούσαμε μόνο να τα ονειρευτούμε λίγα χρόνια πριν. Τώρα οι εταιρείες μπορούν να σκέφτονται την αυτοματοποίηση των βασικών διαδικασιών σαν να ήταν μία υπηρεσία, όπως η παροχή ρεύματος ή νερού. Ας συνδέσουμε αυτά τα συστήματα, για να πάρουμε πίσω την πραγματική πρόκληση του επιχειρείν.

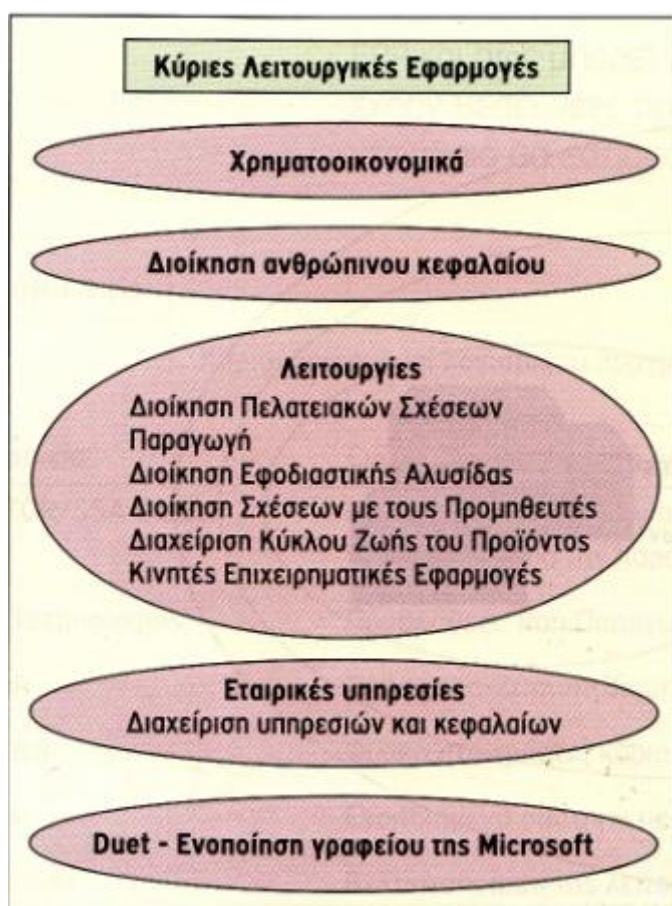
Φυσικά, κάτι τέτοιο δεν είναι και τόσο απλό. Το πρόβλημα είναι ότι πολλές εφαρμογές δεν συμβαδίζουν με τον τρόπο, που λειτουργούν μερικές επιχειρήσεις. Οι σύμβουλοι του SAP διατείνονται, ότι τα μέρη του προγράμματος έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τις “καλύτερες πρακτικές” στην βιομηχανία. Βέβαια, αυτό σημαίνει ότι η εταιρεία που επιθυμεί να εφαρμόσει το SAP πρέπει να αντικαταστήσει και τις πρακτικές της με εκείνες, που εφαρμόζονται από τους προγραμματιστές του SAP.

Περιοχές εφαρμογών του συστήματος SAP: Το λογισμικό SAP είναι δομημένο γύρω από μία ομάδα λειτουργικών εφαρμογών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε χωριστά είτε σε συνδυασμό. Οι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν διαδικασίες οι οποίες εκτείνονται σε διάφορους λειτουργικούς τομείς της εταιρείας. Μιας και οι διάφοροι τομείς του προγράμματος είναι ενοποιημένοι και χρησιμοποιούν μία κοινή βάση δεδομένων, συναλλαγές, που λαμβάνουν χώρα σε έναν τομέα κοινοποιούνται άμεσα και στους υπόλοιπους. Για παράδειγμα, εάν μία παραγγελία ληφθεί από έναν πελάτη μέσω διαδικτύου, το λογιστήριο, ο προγραμματισμός παραγωγής και το τμήμα προμηθειών γνωρίζουν άμεσα για την παραγγελία και τις επιπτώσεις, που έχει αυτή στους άλλους τομείς.

Οι εφαρμογές του SAP είναι δομημένες γύρω από σενάρια, τα οποία είναι πιθανόν να αντιμετωπίσει μία επιχείρηση. Για παράδειγμα, ένα σενάριο το οποίο καλύπτεται από την εφαρμογή “Διοίκηση πελατειακών σχέσεων” είναι εκείνο όπου ένας πωλητής μετακινείται από

πελάτη σε πελάτη και λαμβάνει παραγγελίες σε συχνή βάση. Η παρακολούθηση αυτών των επισκέψεων, οι τάσεις των αγορών των πελατών και οι μελλοντικές προσδοκίες τους υποστηρίζονται από αυτή την εφαρμογή. Επιπλέον υποστήριξη για την καταγραφή παραγγελιών με χρήση κινητού παρέχεται με συσκευών όπως η Palm και η Blackberry και της χρήσης της εφαρμογής Mobile Business. Πραγματικά, πάνω από χίλια διαφορετικά σενάρια υποστηρίζονται από αυτό το λογισμικό, απλά οι πελάτες χρειάζεται να διαλέξουν τις εφαρμογές, που ταιριάζουν περισσότερο στις ανάγκες τους. Το SAP αναπτύσσει συνεχώς καινούριες εφαρμογές πάνω σε διαφορετικά σενάρια, ώστε αυτές να απευθύνονται σε μία ολοένα ευρύτερη μερίδα πελατών

Ο πυρήνας, ή οι βασικές ERP εφαρμογές είναι “οι Οικονομικές, η Διαχείριση Ανθρώπινου Δυναμικού, οι Επιχειρησιακές και οι Γενικές Υπηρεσίες”, οι οποίες τυγχάνουν εφαρμογής σε πολλές και μεγάλες εταιρείες. Το SAP ανανεώνει τις εφαρμογές του δύο φορές τον χρόνο με βάση τις αλλαγές στις επιχειρησιακές πρακτικές, τις προόδους της τεχνολογίας και τις απαιτήσεις των πελατών του. Παρακάτω περιγράφεται εν συντομία η λειτουργία αυτών των εφαρμογών.



Σχήμα 2.1 Οι εταιρικές εφαρμογές του SAP (Πηγή: F. Robert Jacobs, Richard Chase 2012)

Οικονομικές εφαρμογές: Οι οικονομικές εφαρμογές παρέχουν την δυνατότητα διαχείρισης των οικονομικών λογαριασμών της εταιρείας. Αυτή η εφαρμογή διαιρείται σε τρία μέρη. Το οικονομικό και λογιστικό κομμάτι περιλαμβάνει το γενικό καθολικό, τους πληρωτέους λογαριασμούς, τους εισπρακτέους λογαριασμούς και τις επενδύσεις κεφαλαίου. Ακόμη, λαμβάνονται διαδικασίες κλεισίματος των βιβλίων για τον μήνα, τον χρόνο, της προετοιμασία των οικονομικών εκθέσεων καθώς και την δημιουργία του φύλλου του ισολογισμού. Το δεύτερο κομμάτι είναι η εταιρική διακυβέρνηση, δηλαδή η εσωτερική διοίκηση και οι λειτουργίες ελέγχου, που πρέπει να συμπεριληφθούν στα δεδομένα της εταιρικής διακυβέρνησης, η καταγραφή των

διοικητικών αποφάσεων και οι απαιτούμενοι έλεγχοι. Η τρίτη περιοχή είναι η οικονομική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, σχεδιασμένη έτσι ώστε να διαχειρίζεται τις χρηματικές ροές που σχετίζονται με τις δραστηριότητές της. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει τη διαχείριση των πιστώσεων των πελατών και των προμηθευτών, τη διαχείριση των ενδοεπιχειρησιακών χρηματικών διαθέσιμων, τη διαχείριση των χρηματικών ροών και τη διοίκηση των τραπεζικών σχέσεων.

Διοίκηση ανθρώπινου κεφαλαίου: Οι εφαρμογές σε αυτό το κομμάτι παρέχουν ένα σύνολο δυνατοτήτων για τη διαχείριση, τον προγραμματισμό, την πληρωμή και την πρόσληψη ατόμων που κινούν την εταιρεία. Περιλαμβάνει τη μισθοδοσία, τη διαχείριση παροχών, την εφαρμογή των δεδομένων διαχείρισης, το σχεδιασμό της ανάπτυξης προσωπικού, το σχεδιασμό του εργατικού δυναμικού, το πρόγραμμα και τον σχεδιασμό βαρδιών, τη διαχείριση του χρόνου και των εξόδων από τις μετακινήσεις προσωπικού. Οι λειτουργίες “διαχείρισης ταλέντου” είναι σχεδιασμένες, για να βοηθήσουν στην ευθυγράμμιση των στόχων της εταιρείας με αυτούς των εργαζομένων, στη μεγιστοποίηση των αποτελεσμάτων της εκπαίδευσης και την προσχώρηση των εργαζομένων σε επιδοτούμενα προγράμματα, που τους ταιριάζουν. Η ενοποιημένη θέση στόχων και η παρακολούθηση τους περιλαμβάνονται στην εφαρμογή. Οι εφαρμογές “Τοποθέτησης του Εργατικού Δυναμικού” βοηθούν στην ανάθεση των κατάλληλων εργασιών στους εργαζόμενους της εταιρείας με τις αντίστοιχες ικανότητες. Ακόμη, υποστηρίζεται η διαχείριση ομάδων εργασίας, καθώς και η παρακολούθηση της προόδου και του χρόνου εκτέλεσης ενός έργου.

Λειτουργίες: Το επιχειρησιακό κομμάτι είναι πολύπλοκο και περιλαμβάνει πολλές εφαρμογές. **Οι βασικές εφαρμογές προμηθειών και logistics** περιλαμβάνουν την διαχείριση υλικού, την συντήρηση των εγκαταστάσεων, τη διοίκηση ποιότητας και το σχεδιασμό και τον έλεγχο της παραγωγής. **Η διαχείριση των υλικών** καλύπτει όλες τις εργασίες στην εφοδιαστική αλυσίδα, συμπεριλαμβανομένων των αγορών, της αξιολόγησης των προμηθευτών, της επαλήθευσης των τιμολογίων και του σχεδιασμού της χρήσης υλικών. Επιπλέον περιλαμβάνει την διαχείριση των αποθεμάτων και της αποθήκης.

Η συντήρηση της εγκατάστασης υποστηρίζει δραστηριότητες οι οποίες σχετίζονται με το σχεδιασμό και την εκτέλεση επισκευών, καθώς και την προληπτική συντήρηση. Οι δραστηριότητες συντήρησης μπορούν εύκολα να μετρηθούν και να διαχειριστούν, μιας και το ποσοστό ολοκλήρωσης τους και το κόστος είναι πλέον διαθέσιμα.

Το κομμάτι της διοίκησης της ποιότητας εφαρμόζει σχέδια και υλοποιεί διαδικασίες για την επιθεώρηση και διασφάλιση της ποιότητας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO 9001. Αυτή η εφαρμογή είναι ενοποιημένη με την προμηθευτική και παραγωγική διαδικασία, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να αναγνωρίσει τα σημεία ελέγχου τόσο για τα εισερχόμενα υλικά όσο και για τα προϊόντα κατά την διαδικασία παραγωγής.

Η εφαρμογή του σχεδιασμού και ελέγχου παραγωγής υποστηρίζει τόσο την διακριτή όσο και την διαδικαστική παραγωγή. Ακόμη υποστηρίζεται η επαναλαμβανόμενη παραγωγή και οι παραγωγές τροποποιημένων παραγγελιών. Τα τμήματα αυτής της εφαρμογής υποστηρίζουν όλες τις φάσεις της παραγωγής, παρέχοντας δυνατότητες για διαβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας και το σχεδιασμό των απαιτήσεων, το σχεδιασμό απαιτήσεων υλικών, την κοστολόγηση προϊόντος, το κόστος της επεξεργασίας του υλικού και τη διαχείριση των τεχνικών αλλαγών.

Περιλαμβάνονται ακόμη εφαρμογές για **τις πωλήσεις και τη διανομή**. Η διαχείριση των παραγγελιών, η διαχείριση των μεταβολών, ο έλεγχος παραγγελιών εξωτερικού και η εκτέλεση αποστολών και μεταφοράς γίνονται μέσω των αντίστοιχων εφαρμογών. Αυτές οι εφαρμογές, όπως και οι άλλες μπορούν να εκτελεστούν παγκοσμίως, επιτρέποντας στο χρήστη να διαχειριστεί τη διαδικασία της πώλησης ανά την υφήλιο. Για παράδειγμα, μία παραγγελία μπορεί να ληφθεί στο

Hong Kong και εάν τα προϊόντα δεν είναι διαθέσιμα τοπικά, μπορούν να προμηθευτούν εσωτερικά από αποθήκες σε άλλα σημεία του πλανήτη, να αποσταλούν και να παραληφθούν στο σημείο που θέλει ο πελάτης

Στις πωλήσεις και στη διανομή, προϊόντα ή υπηρεσίες πωλούνται στους πελάτες. Η χρήση αυτής της εφαρμογής (όπως και άλλες εφαρμογές) απαιτεί από τη δομή της εταιρίας να αναπαρίσταται στο σύστημα. Έτσι, πιθανόν να αναπαραστήσουμε την δομή της εταιρείας από την οπτική γωνία της λογιστικής, της διαχείρισης υλικού ή των πωλήσεων και της διανομής. Τέλος, αυτές οι δομές μπορούν να συνδυαστούν.

Κατά την εισαγωγή μία παραγγελίας, το SAP αυτόματα παρέχει τις σωστές πληροφορίες τιμής, προσφορών, διαθεσιμότητας και επιλογών αποστολής. Η παραγγελία μιας παρτίδας είναι διαθέσιμη για εξειδικευμένες βιομηχανίες, όπως αυτή των τροφίμων, των φαρμάκων ή των χημικών. Οι χρήστες μπορεί να διατηρούν απόθεμα για συγκεκριμένους πελάτες, οι οποίοι μπορεί να ζητήσουν την παραγωγή υποκατασκευών ή μπορεί να εισάγουν παραγγελίες, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από συναρμολόγηση κατά παραγγελία, παραγωγή κατά παραγγελία, σχεδιασμό κατά παραγγελία μέχρι και ειδικές τροποποιημένες παραγγελίες.

Γενικές υπηρεσίες: Οι εφαρμογές “γενικές υπηρεσίες” είναι σχεδιασμένες να διαχειρίζονται ταυτόχρονα κεντρικές και αποκεντρωμένες υπηρεσίες. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει την διαχείριση του χαρτοφυλακίου των ακινήτων της επιχείρησης, συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης, της απόκτησης και της διάθεσης της περιουσίας της επιχείρησης, τη δημιουργία επιχειρήσεων και την ενημέρωση της πορείας των επενδύσεων. Στις υπόλοιπες εφαρμογές των εταιρικών υπηρεσιών περιλαμβάνεται και η διαχείριση ταξιδιών σε όλες τις πτυχές τους, από την υποβολή αίτησης για να ταξιδέψει κάποιος, την έγκριση της, μέχρι τη διαχείριση των κρατήσεων.

Τα τμήματα του προγράμματος SAP είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με όσα οι άνθρωποι της εταιρείας θεωρούν ως πρότυπες πρακτικές. Το SAP διαθέτει μία ομάδα έρευνας και ανάπτυξης, η οποία αναζητά συνεχώς νέους τρόπους για να φέρει σε πέρας μία διαδικασία ή υποδιαδικασία και κάθε αναβάθμιση του συστήματος είναι σχεδιασμένο, έτσι ώστε να αντανακλά τις νεότερες πρότυπες πρακτικές.

2.4.3 Η εφαρμογή των συστημάτων ERP

Το SAP έχει ισχυρό ανταγωνισμό. Εταιρείες όπως η Oracle, η I2 technologies, και η People Soft (που τώρα ανήκει στην oracle) έχουν εισέλθει στην αγορά. Ωστόσο το SAP είναι ο ηγέτης της αγοράς, με πάνω από 100.000 διαδικτυακούς τόπους και πάνω από 12.000.000 χρήστες. Η εφαρμογή των ERP κοστίζει, με το πραγματικό κόστος του λογισμικού να ανέρχεται στο 1/3 ή και λιγότερο του τελικού κόστους. Μεγάλες εταιρείες όπως η Chevron Corp, Bristol-Mayers Squibb δέσμευσαν 250.000.000 ή και παραπάνω, για να εφαρμόσουν τα συστήματα ERP.

Η εφαρμογή αυτών των συστημάτων ωστόσο δεν πετυχαίνει πάντα. Μία έρευνα, που έγινε από την σχολή Harvard Business ότι μεγάλο μέρος των διοικητικών στελεχών έτρεφαν αρνητικά συναισθήματα απέναντι στο λογισμικό ERP. Συγκεκριμένα, ένιωθαν ότι:

1. Η τεχνολογία ERP δεν μπορεί να υποστηρίξει την επιχείρησή τους.

2. Οι οργανισμοί τους δεν μπορούσαν να κάνουν τις απαραίτητες αλλαγές για να δρέψουν τα οφέλη των νέων συστημάτων.
3. Η εφαρμογή των ERP μπορεί στην πραγματικότητα να βλάψει την επιχείρησή τους.

Η ίδια έρευνα έδειχνε ότι εταιρείες, που έχουν εφαρμόσει τα ERP είχαν υπερβεί τους στόχους κόστους και προγράμματος και δεν είχαν τα οφέλη τα οποία προσδοκούσαν.

Παρά τις επιφυλάξεις για τα ERP, οι περισσότερες εταιρείες που ρωτήθηκαν από το Harvard είχαν ωφεληθεί. Οι πιο συνήθεις λόγοι εφαρμογής τους ήταν η πρόθεσή τους να τυποποιήσουν και να βελτιώσουν τις διαδικασίες, να βελτιώσουν την ενοποίηση του συστήματος καθώς και την ποιότητα των πληροφοριών. Αν και υπάρχουν αναφορές προβλημάτων στην εφαρμογή των ERP οι εταιρείες συνεχίζουν στην εφαρμογή τους λόγω της πιθανότητας μίας διόλου ευκαταφρόνητης ανταμοιβής. Πλέον, το SAP στοχεύει τις μικρές και τις μεσαίες επιχειρήσεις με το νέο προϊόν του, το Business One.

2.5 Προγραμματισμός απαιτήσεων υλικών (MRP)

Η έμφαση σε αυτήν την παράγραφο δίνεται στον προγραμματισμό απαιτήσεων υλικών (material requirements planning – MRP), που αποτελεί το βασικό κομμάτι της λογικής, που συνδέει τις λειτουργίες της παραγωγής από την άποψη του σχεδιασμού και του ελέγχου των υλικών. Το MRP έχει υιοθετηθεί σχεδόν παγκόσμια στις κατασκευαστικές εταιρείες, ακόμη και σε αυτές που θεωρούνται μικρές. Ο λόγος είναι, ότι το MRP αποτελεί μία λογική εύκολη στην κατανόηση προσέγγιση στο πρόβλημα του καθορισμού των εξαρτημάτων, των συστατικών τμημάτων και των πρώτων υλών που χρειάζονται για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος. Το MRP παρέχει επίσης το χρονοπρόγραμμα που προσδιορίζει πότε κάθε ένα από αυτά τα προϊόντα πρέπει να παραγγελθεί ή να παραχθεί.

Το MRP βασίζεται στην εξαρτώμενη ζήτηση. Η εξαρτώμενη ζήτηση προκαλείται από τη ζήτηση για ένα προϊόν υψηλότερου επιπέδου. Για παράδειγμα τα ελαστικά, οι ρόδες και οι μηχανές αποτελούν εξαρτώμενη ζήτηση, που βασίζεται στην ζήτηση για αυτοκίνητα.

Ο καθορισμός του αριθμού των απαραίτητων προϊόντων εξαρτώμενης ζήτησης είναι, στην ουσία μία απλή διαδικασία πολλαπλασιασμού. Εάν ένα κομμάτι A απαιτεί 5 κομμάτια B για να κατασκευαστεί, τότε 5 κομμάτια A χρειάζονται 25 κομμάτια B. Η βασική διαφορά ανάμεσα στην ανεξάρτητη ζήτηση και στην εξαρτώμενη ζήτηση είναι η εξής: Εάν το κομμάτι A πωλείται εκτός εταιρείας, η ποσότητα των κομματιών A που πουλάμε είναι αβέβαιη. Χρειάζεται να επιχειρήσουμε μία πρόβλεψη χρησιμοποιώντας δεδομένα του παρελθόντος, ή να κάνουμε κάτι σαν ανάλυση αγοράς. Εντούτοις, το κομμάτι B είναι ένα εξαρτώμενο προϊόν και η χρήση του εξαρτάται από το κομμάτι A. Ο αριθμός των B που χρειάζεται είναι απλά ο αριθμός των A επί πέντε. Ως αποτέλεσμα αυτού του τύπου του πολλαπλασιασμού, οι απαιτήσεις άλλων προϊόντων εξαρτώμενης ζήτησης τείνουν να γίνουν όλο και πιο άμορφες όσο προχωρούμε σε επόμενα στάδια της παραγωγής του προϊόντος. Αμορφία σημαίνει, ότι οι απαιτήσεις τείνουν να συνωστίζονται ή να συσσωρεύονται, αντί να έχουν έναν ομαλό διασκορπισμό. Αυτό προκαλείται επίσης από τον τρόπο, που γίνεται η παραγωγή. Όταν η παραγωγή πραγματοποιείται σε παρτίδες (ή ομάδες) τα προϊόντα που χρειάζονται για να κατασκευαστεί η παρτίδα αφαιρούνται από το απόθεμα σε ποσότητες (ίσως και όλα ταυτόχρονα) αντί ένα κάθε φορά.

2.5.1 Βασικό πρόγραμμα παραγωγής

Γενικά το βασικό πρόγραμμα παραγωγής ασχολείται με τα τελικά προϊόντα και αποτελεί μία σημαντική παράμετρο στην διαδικασία του MRP. Εντούτοις, εάν το τελικό προϊόν είναι αρκετά μεγάλο ή αρκετά εκτεταμένο, το κύριο πρόγραμμα μπορεί να προγραμματίσει, αντί για αυτό μεγάλα υποσύνολα ή συστατικά του στοιχεία.

Όλα τα συστήματα παραγωγής έχουν περιορισμένες δυνατότητες και περιορισμένους πόρους. Αυτό αποτελεί μία εργασία-πρόκληση για τον κύριο χρονο-προγραμματιστή. Αν και το συνολικό πλάνο παρέχει μία γενική γκάμα των λειτουργιών, ο κύριος χρονο-προγραμματιστής πρέπει να προσδιορίσει ακριβώς τι πρόκειται να παραχθεί. Αυτές οι αποφάσεις λαμβάνονται ενώ ανταποκρίνεται στις πιέσεις από ποικίλες λειτουργικές περιοχές, όπως το τμήμα πωλήσεων (ανταπόκριση στην υποσχεθείσα στον πελάτη ημερομηνία), το τμήμα χρηματοοικονομικών (ελαχιστοποίηση αποθέματος), την διοίκηση (μεγιστοποίηση παραγωγικότητας και εξυπηρέτηση πελατών, ελαχιστοποίηση αναγκών πόρων) και το τμήμα παραγωγής (προγράμματα επιπέδων και ελαχιστοποίηση χρόνου ρύθμισης).

Για τον καθορισμό ενός αποδεκτού εφικτού προγράμματος, που θα υλοποιηθεί στον χώρο παραγωγής, τα δοκιμαστικά προγράμματα κύριας παραγωγής εκτελούνται μέσω προγράμματος MRP, το οποίο περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Οι προγραμματισμένες εκδόσεις παραγγελιών που πραγματοποιούνται (ο λεπτομερής χρονικός προγραμματισμός παραγωγής) ελέγχονται, για να διασφαλιστεί, ότι οι πόροι είναι διαθέσιμοι και ότι οι χρόνοι ολοκλήρωσης είναι λογικοί. Αυτό που φαίνεται να είναι ένα εφικτό βασικό πρόγραμμα μπορεί να αποδειχθεί ότι απαιτεί εκτεταμένους πόρους, από την στιγμή που ο σχεδιασμός κατασκευής του προϊόντος έχει πραγματοποιηθεί και τα υλικά, τα κομμάτια και τα στοιχεία από τα κατώτερα επίπεδα έχουν καθοριστεί. Εάν αυτό πράγματι συμβεί (η συνήθης περίπτωση), τότε το κύριο πρόγραμμα παραγωγής τροποποιείται με αυτούς τους περιορισμούς και το πρόγραμμα MRP εκτελείται και πάλι. Για τη διασφάλιση του βασικού χρονικού προγραμματισμού παραγωγής, ο κύριος προγραμματιστής (ο ανθρώπινος παράγων) πρέπει:

- I. Να συμπεριλάβει όλες τις απαιτήσεις από τις πωλήσεις προϊόντων, την αναπλήρωση των αποθεμάτων, τα ανταλλακτικά και τις ενδο-εργοστασιακές απαιτήσεις.
- II. Να μην χάσει ποτέ την επαφή του με το συνολικό πλάνο.
- III. Να εμπλακεί στην υποσχεθείσα παραγγελία του πελάτη.
- IV. Να είναι ορατός σε όλα τα επίπεδα διαχείρισης.
- V. Να επιλύσει αντικειμενικά τις διαμάχες σε ζητήματα παραγωγής, marketing και σχεδιασμού.
- VI. Να εντοπίσει και να κοινοποιήσει όλα τα προβλήματα.

Το επόμενο κατώτερο επίπεδο στην διαδικασία σχεδιασμού είναι το βασικό πρόγραμμα παραγωγής. Το βασικό πρόγραμμα παραγωγής (master production schedule – MPS) είναι το βασικό σχέδιο χωρισμένο σε χρονικές περιόδους, το οποίο προσδιορίζει το πότε και το πόσο ολοκληρωμένα κομμάτια σχεδιάζει να κατασκευάσει η εταιρεία. Για παράδειγμα το συνολικό σχέδιο για μία εταιρεία επίπλων μπορεί να προσδιορίσει τον συνολικό όγκο στρωμάτων, που σχεδιάζει να παράγει τον επόμενο μήνα ή το επόμενο τρίμηνο. Το MPS προχωρά στο επόμενο βήμα και προσδιορίζει τις ακριβείς διαστάσεις των στρωμάτων, τα χαρακτηριστικά και το ύφος (style) τους. Όλα τα στρώματα που θα πουληθούν από την εταιρεία θα προσδιοριστούν από το MPS. Το MPS ορίζει επίσης, στην βάση συγκεκριμένων περιόδων (συνήθως εβδομαδιαίων) το πόσα και πότε θα χρειαστεί ο κάθε τύπος από αυτά τα στρώματα.

Η διαδικασία επιμερισμού είναι το πρόγραμμα του MRP το οποίο υπολογίζει και προγραμματίζει τις πρώτες ύλες, τα εξαρτήματα και τις προμήθειες, που χρειάζονται για να κατασκευαστεί το στρώμα, που έχει προσδιοριστεί από το MPS.

Φράγματα χρόνου: Το ερώτημα περί της ελαστικότητας μέσα στο πλαίσιο ενός βασικού χρονοπρογράμματος παραγωγής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: το χρόνο παραγωγής, τη δέσμευση των εξαρτημάτων και των συστατικών σε ένα συγκεκριμένο τελικό προϊόν, τη σχέση ανάμεσα στον πελάτη και τον πωλητή, το σύνολο της πλεονάζουσας παραγωγικής ικανότητας και την απροθυμία ή την προθυμία της διοίκησης να κάνει αλλαγές.

Σκοπός των φραγμάτων χρόνου είναι η διατήρηση μίας λογικά ελεγχόμενης ροής μέσα στο σύστημα παραγωγής. Εάν δεν τεθούν και τηρηθούν κάποιοι λειτουργικοί κανόνες το σύστημα μπορεί να είναι χαοτικό και γεμάτο καθυστερημένες παραγγελίες και σταθερή επίσπευση.

Η διοίκηση ορίζει τα χρονικά όρια ως περιόδους με ένα καθορισμένο επίπεδο ευκαιριών για τον πελάτη να κάνει αλλαγές (ο πελάτης μπορεί να είναι το ίδιο το τμήμα marketing της εταιρείας, το οποίο μπορεί να λάβει υπόψη τις προωθήσεις των προϊόντων, τη διεύρυνση της ποικιλίας ή κάτι αντίστοιχο). Κάθε εταιρεία έχει τα δικά της φράγματα χρόνου και τους δικούς της λειτουργικούς κανόνες. Υπό το πρίσμα αυτών των κανόνων, το παγιωμένο πρόγραμμα παραγωγής θα μπορούσε να οριστεί ως αυτό που είτε δεν υφίσταται καμία απολύτως αλλαγή, είτε υπόκειται σε ελάχιστες μόνο αλλαγές. Το μέτρια σταθερό μπορεί να επιτρέπει αλλαγές σε συγκεκριμένα προϊόντα, μέσα σε μία ομάδα προϊόντων για όσο διάστημα τα κομμάτια είναι διαθέσιμα. Το ελαστικό μπορεί να επιτρέπει σχεδόν κάθε παραλλαγή στα προϊόντα, με την προϋπόθεση ότι η παραγωγική ικανότητα παραμένει σχεδόν η ίδια και ότι δεν εμπλέκονται προϊόντα με μακρό βασικό χρόνο.

Κάποιες εταιρείες χρησιμοποιούν ένα χαρακτηριστικό γνωστό ως “διαθέσιμα προς πώληση/υπόσχεση” (available to promise) για προϊόντα τα οποία έχουν παραχθεί με βασικό πρόγραμμα. Αυτό το χαρακτηριστικό προσδιορίζει την διαφορά ανάμεσα στον αριθμό των μονάδων που περιλαμβάνονται αυτή τη στιγμή στο βασικό πρόγραμμα και στις σταθερές παραγγελίες πελατών. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι το βασικό πρόγραμμα προβλέπει, ότι 100 μονάδες του μοντέλου στρώματος 358 θα παραχθούν κατά την εβδομάδα 7. Εάν τώρα από τις σταθερές παραγγελίες πελατών προκύπτει ότι μόνο 65 από αυτά τα στρώματα έχουν στην πραγματικότητα πουληθεί, η ομάδα πωλήσεων διαθέτει ακόμα 35 στρώματα “υπόλοιπα προς πώληση/υπόσχεση” για παράδοση αυτή την εβδομάδα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα εξαιρετικό εργαλείο για τον συντονισμό των πωλήσεων και των παραγωγικών δραστηριοτήτων.

Που χρησιμοποιείται το MRP: Το MRP είναι πολύτιμο σε βιομηχανίες, όπου ένας αριθμός προϊόντων κατασκευάζεται σε παρτίδες, χρησιμοποιώντας τον ίδιο παραγωγικό εξοπλισμό. Το MRP είναι εξαιρετικά πολύτιμο στις εταιρείες, που εμπλέκονται σε λειτουργίες συναρμολόγησης και λιγότερο πολύτιμο σε αυτές που εμπλέκονται στις κατασκευές. Ένα ακόμη σημείο, που αξίζει να σημειώσουμε: Το MRP δεν λειτουργεί ικανοποιητικά στις εταιρείες που παράγουν έναν μικρό αριθμό μονάδων ετησίως. Ειδικότερα για εταιρείες, που παράγουν πολύπλοκα, ακριβά προϊόντα που απαιτούν εξελεγχόμενη έρευνα και σχεδιασμό, η εμπειρία έχει δείξει ότι ο χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας τείνει να είναι ιδιαίτερα μακρύς και αβέβαιος και η διαμόρφωση του προϊόντος ιδιαίτερα πολύπλοκη. Τέτοιες εταιρείες χρειάζονται τα χαρακτηριστικά ελέγχου, που προσφέρουν οι τεχνικές προγραμματισμού δικτύων.

2.5.2 Δομή συστήματος προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών

Το κομμάτι του προγραμματισμού απαιτήσεων υλικού των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων αλληλεπιδρά περισσότερο με το βασικό χρονοπρόγραμμα, τον κατάλογο των υλικών, το αρχείο καταγραφής των αποθεμάτων και τις αναφορές των προϊόντων.

Το σύστημα MRP λειτουργεί ως εξής: το βασικό χρονοπρόγραμμα παραγωγής καθορίζει τον αριθμό των προϊόντων που θα παραχθούν κατά την διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων. Ένας πίνακας υλικών προσδιορίζει τα συγκεκριμένα υλικά, που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί κάθε προϊόν και σωστές ποσότητες από αυτά. Το αρχείο της καταγραφής των αποθεμάτων περιέχει δεδομένα όπως τον αριθμό των διαθέσιμων μονάδων και σε παραγγελία. Αυτές οι τρεις πηγές – το βασικό πρόγραμμα παραγωγής, ο πίνακας υλικών και το αρχείο της καταγραφής των αποθεμάτων - καθίστανται οι πηγές δεδομένων για το πρόγραμμα απαιτήσεων υλικού, που διευρύνει το πρόγραμμα παραγωγής σε ένα λεπτομερές πλάνο προγραμματισμού παραγγελιών για ολόκληρη την αλυσίδα της παραγωγής.

Ζήτηση προϊόντων: Η ζήτηση προϊόντων για τελικά προϊόντα προέρχεται κατά κύριο λόγο από δύο βασικές πηγές. Η πρώτη περιλαμβάνει γνωστούς πελάτες που έχουν κάνει συγκεκριμένες παραγγελίες, όπως αυτές αποφασίστηκαν από το προσωπικό πωλήσεων ή από διατμηματικές συναλλαγές. Αυτές οι παραγγελίες συνήθως προβλέπουν συγκεκριμένες ημερομηνίες παράδοσης. Δεν υπάρχει πρόβλεψη σε αυτές τις παραγγελίες, απλώς τις προσθέτουμε. Αυτές είναι οι τυπικές, ανεξάρτητης ζήτησης παραγγελίες. Τα μοντέλα πρόβλεψης που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προβλεφθούν οι ποσότητες. Η ζήτηση από τους γνωστούς πελάτες και η πρόβλεψη της ζήτησης συνδυάζονται και καθίστανται η είσοδος για το βασικό πρόβλημα παραγωγής, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Παράλληλα, με τη ζήτηση για τελικά προϊόντα οι πελάτες παραγγέλνουν επίσης συγκεκριμένα εξαρτήματα και συστατικά στοιχεία, είτε ως ανταλλακτικά είτε για συντήρηση και επιδιόρθωση. Αυτές οι απαιτήσεις δεν αποτελούν συνήθως τμήμα του βασικού προγράμματος παραγωγής. Αντίθετα, εισάγονται αμέσως στο πρόγραμμα προγραμματισμού απαιτήσεων υλικού στα κατάλληλα επίπεδα. Δηλαδή προστίθενται σαν μία μεγάλη απαίτηση για αυτό το εξάρτημα ή συστατικό.

Πίνακας υλικών – Φασεολόγιο (BOM): Ο πίνακας υλικών (bill of materials – BOM) περιλαμβάνει την ολοκληρωμένη περιγραφή του προϊόντος, αναγράφει όχι μόνο τα υλικά, τα εξαρτήματα και τα συστατικά, αλλά επίσης και τα στάδια σύμφωνα με τα οποία κατασκευάζεται το προϊόν. Ο BOM αποτελεί μία από τις τρεις εισόδους στο πρόγραμμα MRP (οι άλλες δύο είναι το κύριο πρόγραμμα και το αρχείο καταγραφής των αποθεμάτων).

Το αρχείο BOM συχνά καλείται “αρχείο της δομής του προϊόντος”, ή “το δέντρο του προϊόντος”, καθώς παρουσιάζει το πώς ένα προϊόν κατασκευάζεται. Εμπεριέχει πληροφορίες για τον προσδιορισμό κάθε στοιχείου και την ποσότητα που χρησιμοποιείται σε κάθε μονάδα του στοιχείου, του οποίου αποτελεί τμήμα.

Οι πίνακες υλικών συχνά καταγράφουν τα εξαρτήματα χρησιμοποιώντας μία ιεραρχική δομή. Αυτό προσδιορίζει ευκρινώς κάθε στοιχείο και τον τρόπο με τον οποίο συναρμολογείται, καθώς κάθε πίνακας υλικού εκφράζει τα συστατικά κάθε στοιχείου. Εντούτοις από την πλευρά ενός υπολογιστή η αποθήκευση των στοιχείων σε οδοντωτές λίστες συστατικών είναι πολύ αποτελεσματική. Για να υπολογίσουμε το ποσό κάθε στοιχείου, που χρειάζεται στα κατώτερα επίπεδα, το καθένα θα πρέπει να επεκταθεί (“εκραγεί”) και να αθροιστεί. Μία πιο αποτελεσματική διαδικασία είναι η αποθήκευση των δεδομένων των συστατικών σε απλές λίστες ενός επιπέδου.

Δηλαδή, κάθε στοιχείο και συστατικό καταγράφεται σημειώνοντας μόνο τον παραγωγό του και τον αριθμό των μονάδων, που χρειάζονται σε κάθε μονάδα του παραγωγού του. Έτσι αποφεύγεται η επικάλυψη, καθώς συμπεριλαμβάνει κάθε συναρμολόγηση μόνο μία φορά.

Ένας αρθρωτός πίνακας υλικών είναι ο όρος για ένα οικοδομήσιμο στοιχείο, που μπορεί να παραχθεί και να αποθηκευτεί ως ένα υποσύνολο. Αποτελεί επίσης ένα πρότυπο στοιχείο, χωρίς επιλογές στο πλαίσιο της ενότητας. Πολλά τελικά προϊόντα, που είναι μεγάλα και ακριβά, προγραμματίζονται καλύτερα και ελέγχονται ως ενότητες (ή υποσύνολα). Είναι ιδιαίτερα επωφελές να προγραμματίζουμε ενότητες υποσυνόλων όταν τα ίδια αυτά υποσύνολα εμφανίζονται σε διαφορετικά τελικά προϊόντα. Για παράδειγμα ένας κατασκευαστής γερανών μπορεί να συνδυάσει φράγματα, μεταδόσεις και κινητήρες με μία ποικιλία τρόπων για να ανταποκριθεί στις ανάγκες των πελατών. Η χρήση ενός αρθρωτού πίνακα υλικών απλοποιεί τον προγραμματισμό και τον έλεγχο και επίσης καθιστά ευκολότερο να προβλέψουμε την χρήση διαφορετικών ενοτήτων. Ένα άλλο πλεονέκτημα στην χρήση αρθρωτού πίνακα υλικών είναι, ότι εάν το ίδιο στοιχείο χρησιμοποιείται σε έναν αριθμό προϊόντων, τότε η συνολική επένδυση σε απόθεμα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

Ένας πλήρης κατάλογος υλικών συμπεριλαμβάνει στοιχεία με κλασματικές επιλογές (ένας πλήρης πίνακας υλικών μπορεί να προσδιορίσει για παράδειγμα το 0,3 ενός συστατικού. Αυτό σημαίνει, ότι το 30% των μονάδων, που παράχθηκαν περιέχουν αυτό το συστατικό και το 70% δεν το περιέχουν). Οι αρθρωτοί πίνακες και οι σούπερ πίνακες υλικών αναφέρονται συχνά ως προγραμματισμένοι κατάλογοι υλικών, καθώς απλοποιούν την διαδικασία σχεδιασμού.

Κωδικοποίηση χαμηλότερου επιπέδου: Εάν όλα τα όμοια τμήματα παράγονται στο ίδιο επίπεδο για κάθε ολοκληρωμένο προϊόν, ο συνολικός αριθμός των τμημάτων και των υλικών, που χρειάζεται για ένα προϊόν μπορεί να υπολογιστεί εύκολα. Εάν όλα τα όμοια στοιχεία τοποθετηθούν στο ίδιο επίπεδο, είναι εύκολο για τον υπολογιστή να σαρώσει κάθε επίπεδο και να αθροίσει τον αριθμό των μονάδων, που απαιτούνται για κάθε στοιχείο.

Εγγραφές αποθεμάτων: Το αρχείο αποθεμάτων μπορεί να είναι αρκετά εκτενές. Το πρόγραμμα MRP έχει πρόσβαση στο πεδίο κατάστασης κάθε εγγραφής σύμφωνα με συγκεκριμένες χρονιές περιόδους (στην αργκό του MRP ονομάζονται κάδοι χρόνου). Σε αυτές τις εγγραφές υπάρχει πρόσβαση όταν χρειαστεί κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Όπως θα δούμε, το πρόγραμμα MRP εκτελεί την ανάλυση του από την κορυφή της δομής του προϊόντος προς τα κάτω, υπολογίζοντας τις απαιτήσεις από επίπεδο σε επίπεδο. Εντούτοις υπάρχουν φορές, που είναι επιθυμητό να προσδιορίσουμε το στοιχείο-γονέα που επέφερε τις απαιτήσεις υλικού. Το πρόγραμμα MRP επιτρέπει την δημιουργία ενός αρχείου “εντοπισμού” (peg) εγγραφών, είτε ξεχωριστά είτε ως τμήμα του αρχείου αποθεμάτων. Οι απαιτήσεις “εντοπισμού” (pegging) επιτρέπουν, να ανιχνεύσουμε εκ νέου μία απαίτηση υλικού προς τα πάνω στην δομή του προϊόντος σε κάθε επίπεδο, προσδιορίζοντας κάθε στοιχείο-γονέα, που δημιούργησε τη ζήτηση.

Αρχείο συναλλαγής των αποθεμάτων: Το αρχείο κατάστασης αποθεμάτων ενημερώνεται μέσω της αποστολής των συναλλαγών των αποθεμάτων τη στιγμή που πραγματοποιούνται. Αυτές οι συναλλαγές συμβαίνουν λόγω των εισπράξεων και των παραλαβών, των αποθεμάτων, των μικρών απωλειών, των λανθασμένων εξαρτημάτων, των ακυρωμένων παραγγελιών κοκ.

Το λογισμικό MRP: Το λογισμικό προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών λειτουργεί χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το αρχείο των αποθεμάτων, το κύριο πρόγραμμα και τον κατάλογο υλικών. Η διαδικασία υπολογισμού των ακριβών απαιτήσεων για κάθε στοιχείο που διαχειρίζεται το σύστημα αναφέρεται συχνά ως διαδικασία “έκρηξης”. Δουλεύοντας από το ανώτερο επίπεδο προς τα κάτω στον πίνακα υλικών, οι απαιτήσεις από τα στοιχεία-γονείς χρησιμοποιούνται

για τον υπολογισμό των απαιτήσεων των συστατικών στοιχείων. Λαμβάνονται υπόψη τα τρέχοντα ισοζύγια καθώς και οι παραγγελίες, που είναι προγραμματισμένες για παραλαβή στο μέλλον. Ακολουθεί μία γενική περιγραφή της διαδικασίας “έκρηξης” του MRP:

1. Οι απαιτήσεις για τα προϊόντα στο επίπεδο 0, που κατά κανόνα αναφέρονται ως “τελικά προϊόντα” προκύπτουν από το κύριο πρόγραμμα. Αυτές οι απαιτήσεις αναφέρονται και ως οι “μεικτές απαιτήσεις” από το πρόγραμμα του MRP. Συνήθως οι μεικτές απαιτήσεις προγραμματίζονται σε εβδομαδιαία χρονικά “πακέτα”.
2. Στην συνέχεια το πρόγραμμα χρησιμοποιεί το τρέχον διαθέσιμο υπόλοιπο, μαζί με το πρόγραμμα παραγγελιών, που θα παραληφθεί στο μέλλον για τον υπολογισμό των “καθαρών απαιτήσεων”. Οι καθαρές απαιτήσεις είναι τα ποσά, που απαιτούνται εβδομάδα προς εβδομάδα στο μέλλον, πάνω και πέρα από αυτό που βρίσκεται αυτή την στιγμή στο χέρι ή δεσμευτεί σε μία παραγγελία που ήδη έχει προγραμματιστεί.
3. Χρησιμοποιώντας καθαρές απαιτήσεις, το πρόγραμμα υπολογίζει πότε οι παραγγελίες πρέπει να παραληφθούν για να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις. Αυτό μπορεί να είναι μία απλή διαδικασία προγραμματισμού των παραγγελιών, που θα φθάσουν με βάση τις ακριβείς καθαρές απαιτήσεις ή μία πιο πολύπλοκη διαδικασία, όπου οι απαιτήσεις συνδυάζονται για πολλαπλές περιόδους. Αυτό το πρόγραμμα του πότε οι παραγγελίες πρέπει να φθάσουν, αναφέρεται ως “προγραμματισμένες παραλαβές παραγγελιών”.
4. Από την στιγμή, που κατά κανόνα υπάρχει ένας χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας, που σχετίζεται με κάθε παραγγελία, το επόμενο βήμα είναι η εξεύρεση ενός προγράμματος του πότε οι παραγγελίες πράγματι τίθενται σε κυκλοφορία. Αυτό γίνεται με τον συμψηφισμό των “προγραμματισμένων παραλαβών παραγγελιών” κατά τον απαιτούμενο βασικό χρόνο. Αυτό το πρόγραμμα αναφέρεται ως “προγραμματισμένη έκδοση παραγγελιών”.
5. Μετά την ολοκλήρωση των τεσσάρων αυτών βημάτων για όλα τα προϊόντα του επιπέδου 0, το πρόγραμμα προχωρά στα στοιχεία του επιπέδου 1.
6. Οι μεικτές απαιτήσεις για κάθε στοιχείο του επιπέδου 1 υπολογίζονται από το πρόγραμμα της προγραμματισμένης έκδοσης παραγγελιών για τους παραγωγούς κάθε στοιχείου του επιπέδου 1. Οποιαδήποτε επιπρόσθετη ανεξάρτητη ζήτηση πρέπει επίσης να συμπεριληφθεί στις μεικτές απαιτήσεις.
7. Μετά τον καθορισμό των μεικτών απαιτήσεων, υπολογίζονται οι καθαρές απαιτήσεις, οι προγραμματισμένες παραλαβές παραγγελιών και οι προγραμματισμένες εκδόσεις παραγγελιών, όπως περιγράφηκε στα βήματα 2 έως 4 παραπάνω.
8. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε επίπεδο στον πίνακα υλικών.

Η διαδικασία της πραγματοποίησης αυτών των υπολογισμών είναι κατά πολύ απλούστερη της περιγραφής. Κατά κανόνα οι υπολογισμοί της “έκρηξης” πραγματοποιούνται κάθε εβδομάδα ή όποτε πραγματοποιούνται αλλαγές στο βασικό πρόγραμμα. Κάποια προγράμματα MRP έχουν την επιλογή της παραγωγής άμεσων προγραμμάτων, τα οποία ονομάζονται προγράμματα καθαρής αλλαγής. Τα συστήματα καθαρής αλλαγής (net change systems) αποτελούν μία καθοδηγούμενη δραστηριότητα και οι απαιτήσεις και τα προγράμματα ενημερώνονται κάθε φορά, που πραγματοποιείται μία συναλλαγή που έχει αντίκτυπο στο στοιχείο. Η καθαρή αλλαγή διευκολύνει το σύστημα να αντικατοπτρίσει σε “πραγματικό χρόνο” την ακριβή κατάσταση κάθε στοιχείου που διαχειρίζεται το σύστημα.

2.5.3 Καθορισμός παρτίδας στα συστήματα MRP

Ο καθορισμός του μεγέθους των παρτίδων σε ένα σύστημα MRP συνιστά ένα πολύπλοκο και δύσκολο πρόβλημα. Το μέγεθος της παρτίδας είναι οι ποσότητες των εξαρτημάτων που προέρχονται από τη σχεδιασμένη παραλαβή παραγγελίας συν τα εξαρτήματα σχεδιασμένης παραγωγής παραγγελιών ενός συστήματος MRP. Για προϊόντα, που παράγονται εντός της εταιρείας, το μέγεθος των παρτίδων είναι οι παραγόμενες ποσότητες των σειρών παραγωγής. Για τα αγορασμένα εξαρτήματα είναι οι ποσότητες, που παραγγέλθηκαν από τους προμηθευτές. Σε γενικές γραμμές το μέγεθος των παρτίδων αντιστοιχεί στις μερικές απαιτήσεις για μία ή περισσότερες χρονικές περιόδους,

Οι περισσότερες τεχνικές καθορισμού του μεγέθους των παρτίδων ασχολούνται με το πώς θα εξισορροπήσουν το κόστος εγκατάστασης ή παραγγελίας με το κόστος εκμετάλλευσης, που συνδέονται με την ικανοποίηση των καθαρών απαιτήσεων που δημιουργήθηκαν από τη διαδικασία σχεδιασμού του MRP. Πολλά συστήματα MRP έχουν επιλογές υπολογισμού του μεγέθους των παρτίδων με βάση ορισμένες από τις πλέον συνηθισμένες τεχνικές. Η χρήση τεχνικών μέτρησης των παρτίδων αυξάνει την πολυπλοκότητα εκτέλεσης προγραμμάτων MRP σε ένα εργοστάσιο. Σε μία προσπάθεια μείωσης του κόστους εγκατάστασης, το απόθεμα που δημιουργείται από τα μεγαλύτερα μεγέθη παρτίδων χρειάζεται αποθήκευση, καθιστώντας τον εφοδιασμό σε ένα εργοστάσιο ακόμα πιο πολύπλοκο.

Στην συνέχεια για εξηγήσουμε τέσσερις τεχνικές μέτρησης μεγέθους παρτίδων. Οι τεχνικές, που παρουσιάζονται είναι η παρτίδα-προς-παρτίδα (lot for lot – L4L), η τεχνική οικονομικής ποσότητας παραγγελίας (economic order quantity – EOQ), το μικρότερο συνολικό κόστος (least unit cost – LUC) και το μικρότερο κόστος μονάδας (least unit cost – LUC).

Κανόνας ποσότητα έναντι ποσότητα: Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι ο κανόνας ποσότητα έναντι ποσότητα (L4L). Αυτή:

- Θέτει σχεδιασμένες παραγγελίες, που ταιριάζουν ακριβώς με τις καθарές απαιτήσεις.
- Παράγει ακριβώς αυτό, που είναι απαραίτητο κάθε εβδομάδα, δίχως τίποτα να μεταφέρεται τις επόμενες χρονικές περιόδους.
- Ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς.
- Δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος εγκατάστασης ή τους περιορισμούς δυνατοτήτων.

Επειδή η λογική της παρτίδας-προς-παρτίδα προϋποθέτει, ότι η ποσότητα παραγωγής θα ταιριάζει ακριβώς με την απαιτούμενη ποσότητα δε θα μείνει στο τέλος καθόλου απόθεμα. Δίχως καθόλου απόθεμα κατά την επόμενη εβδομάδα το κόστος διατήρησης θα είναι μηδενικό. Όμως το σύστημα παρτίδα-προς-παρτίδα απαιτεί ένα κόστος προετοιμασίας κάθε εβδομάδα. Συμπτωματικά, υπάρχει κόστος εγκατάστασης κάθε εβδομάδα, διότι πρόκειται για ένα κέντρο εργασίας, όπου επεξεργάζεται μία ποικιλία αντικειμένων κάθε εβδομάδα. Αυτό δεν ισχύει εκεί, όπου το κέντρο εργασίας είναι προσηλωμένο σε ένα προϊόν και παραμένει αδρανές όταν δεν παράγεται το συγκεκριμένο προϊόν (στην περίπτωση αυτή μόνο μία εγκατάσταση θα αρκούσε). Το σύστημα παρτίδα-προς-παρτίδα αυξάνει το κόστος προετοιμασίας

Κανόνας οικονομικής ποσότητας παραγγελίας: Στο κεφάλαιο 2.3.1 συζητήσαμε ήδη το μοντέλο EOQ, το οποίο εξισορροπεί το κόστος προετοιμασίας και διατήρησης. Σε ένα μοντέλο EOQ πρέπει είτε να υπάρχει αρκετά σταθερή ζήτηση, είτε να διατηρείται απόθεμα ασφαλείας, για να ικανοποιείται η μεταβλητότητα της ζήτησης. Το μοντέλο EOQ κάνει υπολογισμό της συνολικής ετήσιας ζήτησης, του κόστους ή παραγγελίας, και του ετήσιου κόστους διατήρησης. Το EOQ δεν σχεδιάστηκε για ένα σύστημα με διακριτές χρονικές περιόδους όπως το MRP. Οι τεχνικές μέτρησης παρτίδας, που χρησιμοποιούνται στο MRP προϋποθέτουν, ότι μερικές απαιτήσεις ικανοποιούνται στην αρχή της περιόδου. Το κόστος διατήρησης χρεώνεται τότε μόνο στο τελικό απόθεμα μίας περιόδου και όχι στο μέσο απόθεμα, όπως συμβαίνει με το μοντέλο EOQ. Το EOQ προϋποθέτει, ότι τμήματα χρησιμοποιούνται συνεχώς κατά την διάρκεια μίας περιόδου. Τα μεγέθη παρτίδας που δημιουργούνται από το EOQ δεν καλύπτουν πάντα το σύνολο των περιόδων. Για παράδειγμα το EOQ μπορεί να παρέχει τις απαιτήσεις για 4,6 περιόδους.

Κανόνας του μικρότερου ολικού κόστους: Ο κανόνας του μικρότερου ολικού κόστους (least total cost – LTC) είναι μία δυναμική τεχνική μέτρησης του μεγέθους της παρτίδας, που υπολογίζει την ποσότητα παραγγελίας συγκρίνοντας το κόστος μεταφοράς και το κόστος προετοιμασίας (ή παραγγελίας) για διάφορα μεγέθη παρτίδας και στη συνέχεια επιλέγει την παρτίδα με την οποία αυτά ισοδυναμούν.

Κανόνας του μικρότερου κόστους μονάδας: Η μέθοδος του μικρότερου κόστους μονάδας (least unit cost – LUC) είναι μία δυναμική τεχνική μέτρησης του μεγέθους της παρτίδας, που προσθέτει το κόστος παραγγελίας και διατήρησης σε απόθεμα για κάθε δοκιμαστικό μέγεθος παρτίδας και διαιρεί με τον αριθμό των κομματιών κάθε παρτίδας, επιλέγοντας το μέγεθος παρτίδας με το μικρότερο κόστος μονάδας.

2.6 Χρονικός προγραμματισμός

Ο χρονικός προγραμματισμός (ή χρονοπρογραμματισμός) των λειτουργιών βρίσκεται στην καρδιά αυτών που αναφέρονται σήμερα ως Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής (MES). Ένα MES είναι ένα σύστημα πληροφοριών που προγραμματίζει, επισπεύδει, ανιχνεύει, παρακολουθεί και ελέγχει την παραγωγή σε ένα εργοστάσιο. Τέτοια συστήματα παρέχουν σύνδεση πραγματικού χρόνου με τα συστήματα MRP, με το σχεδιασμό προϊόντων και διαδικασιών, και με τα συστήματα που εκτείνονται πέραν του εργοστασίου, όπως η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, το ERP, οι πωλήσεις και η διαχείριση των υπηρεσιών. Ένας αριθμός εξειδικευμένων εταιρειών λογισμικού αναπτύσσουν και εφαρμόζουν τα MES ως τμήμα μίας σειράς εργαλείων λογισμικού.

Όμοια με ένα MES, ένα Σύστημα Υλοποίησης Υπηρεσιών (SES) είναι ένα σύστημα πληροφοριών, που συνδέει τα προγράμματα, ανιχνεύει, επισπεύδει, παρακολουθεί και ελέγχει τις συναλλαγές των πελατών με την οργάνωση των υπηρεσιών και τους υπαλλήλους. Προφανώς ο βαθμός στον οποίο ο καθένας από αυτούς τους παράγοντες συμμετέχει στο παιχνίδι εξαρτάται από το βαθμό της φυσικής εμπλοκής του πελάτη στην οργάνωση των υπηρεσιών, από τον αριθμό των σταδίων της υπηρεσίας και από το κατά πόσο η υπηρεσία είναι τυποποιημένη (πχ. μία προγραμματισμένη αεροπορική πτήση) ή προσαρμοσμένη (πχ. μία επίσκεψη στο νοσοκομείο). Τα κοινά χαρακτηριστικά οποιουδήποτε μεγάλου συστήματος είναι μία κεντρική βάση δεδομένων, που περιέχει όλες τις σχετικές πληροφορίες πάνω στη διαθεσιμότητα των πόρων και τους πελάτες, και μία λειτουργία διαχειριστικού ελέγχου που ενσωματώνει και επιβλέπει την διαδικασία.

2.6.1 Η φύση και η σπουδαιότητα των κέντρων εργασίας

Κέντρο εργασίας: Ένα κέντρο εργασίας (work center) είναι μία περιοχή σε μία επιχείρηση στην οποία οργανώνονται οι παραγωγικοί πόροι και ολοκληρώνεται η εργασία. Το κέντρο εργασίας μπορεί να είναι μία απλή μηχανή, μία ομάδα μηχανών ή μία περιοχή, όπου εκτελείται ένας συγκεκριμένος τύπος εργασίας. Αυτά τα κέντρα εργασίας μπορούν να οργανωθούν με βάση τη λειτουργία των ρυθμίσεων ενός κέντρου εργασίας, ή μέσω του προϊόντος σε ροή, τη γραμμή συναρμολόγησης, ή την κυτταρική διαμόρφωση της τεχνολογίας ομάδας (παραγωγή σε κύτταρα παραγωγής, group technology cell, GT cell).

Στην περίπτωση των κέντρων εργασίας οι εργασίες χρειάζεται να δρομολογηθούν ανάμεσα σε λειτουργικά οργανωμένα κέντρα εργασίας για να ολοκληρωθεί η δουλειά. Όταν μία εργασία φτάνει σε ένα κέντρο εργασίας - για παράδειγμα το τμήμα γεωτρήσεων σε ένα εργοστάσιο που κατασκευάζει τροποποιημένα κυκλώματα - μπαίνει σε μία σειρά αναμένοντας μία μηχανή γεώτρησης, που μπορεί να ανοίξει τις απαιτούμενες τρύπες. Σε αυτή την περίπτωση, ο προγραμματισμός περιλαμβάνει τον καθορισμό της σειράς για την εκτέλεση των εργασιών, καθώς και την επιλογή μιας μηχανής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διανοιχθούν οι τρύπες.

Ένα χαρακτηριστικό, που ξεχωρίζει ένα σύστημα προγραμματισμού από ένα άλλο, είναι το πώς η δυνατότητα λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό του προγράμματος. Τα συστήματα χρονικού προγραμματισμού μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε απεριόριστη είτε πεπερασμένη φόρτωση.

Η μη πεπερασμένη φόρτωση (infinite loading) επιλέγεται, όταν η εργασία ανατίθεται σε ένα κέντρο εργασίας με βάση απλώς το τι χρειάζεται σε βάθος χρόνου. Δε λαμβάνεται υπόψη άμεσα το κατά πόσο υπάρχει επάρκεια των πόρων που είναι απαραίτητοι για να ολοκληρωθεί η εργασία, ούτε και η πραγματική αλληλουχία της εργασίας ως έχει με βάση τους πόρους στο κέντρο εργασίας. Συχνά γίνεται ένας απλός έλεγχος των βασικών πόρων, για να διαπιστωθεί πόσο υπερφορτωμένοι είναι. Αυτό πραγματοποιείται με τον υπολογισμό του ποσού εργασίας που απαιτείται για μία περίοδο (συνήθως μία εβδομάδα), χρησιμοποιώντας πρότυπους χρόνους εγκατάστασης και εκτέλεσης για κάθε παραγγελία. Όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα απεριόριστης φόρτωσης, ο χρόνος εκτέλεσης παραγγελίας υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη πολλούς από τους αναμενόμενους χρόνους λειτουργίας (χρόνος εγκατάστασης και εκτέλεσης) συν την προσδοκώμενη καθυστέρηση αναμονής λόγω της κίνησης του υλικού και της επεξεργασίας της παραγγελίας.

Μία προσέγγιση πεπερασμένης φόρτωσης (finite loading): στην πραγματικότητα προγραμματίζει λεπτομερώς κάθε πόρο χρησιμοποιώντας τον χρόνο εγκατάστασης που απαιτείται για κάθε παραγγελία. Στην ουσία το σύστημα καθορίζει ακριβώς τι θα γίνει με κάθε πόρο κάθε στιγμή κατά την διάρκεια της εργάσιμης μέρας. Εάν μία λειτουργία καθυστερήσει λόγω έλλειψης ενός κομματιού, η παραγγελία θα αναμείνει στη σειρά και θα περιμένει μέχρι το κομμάτι να είναι διαθέσιμο από μία προηγούμενη λειτουργία. Θεωρητικά όλα τα προγράμματα είναι εφικτά, όταν χρησιμοποιείται η πεπερασμένη φόρτωση.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό, που διαχωρίζει τα συστήματα χρονικού προγραμματισμού είναι το κατά πόσο το πρόγραμμα έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί προς τα εμπρός ή προς τα πίσω στον χρόνο. Σε αυτή την εμπρός πίσω διάσταση ο πιο κοινός είναι ο κανονικός χρονικός προγραμματισμός.

Ο χρονικός προγραμματισμός σταθερού σημείου εκκίνησης (forward scheduling): αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία το σύστημα λαμβάνει μία παραγγελία και στην συνέχεια προγραμματίζει κάθε λειτουργία, που πρέπει να πραγματοποιηθεί στο μέλλον. Ένα σύστημα, που εφαρμόζει αυτού του τύπου τον χρονικό προγραμματισμό μπορεί να ορίσει τη συντομότερη δυνατή ημερομηνία στην οποία μία παραγγελία μπορεί να ολοκληρωθεί.

Αντίθετα, ο χρονικός προγραμματισμός σταθερού σημείου λήξης, ή αντίστροφος χρονικός προγραμματισμός (backwards scheduling): ξεκινά από κάποια ημερομηνία στο μέλλον (πιθανόν την προθεσμία) και προγραμματίζει όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες σε αντίθετη ακολουθία. Ο αντίστροφος χρονοπρογραμματισμός αποκαλύπτει το πότε μία παραγγελία πρέπει να ξεκινήσει προκειμένου να έχει εκτελεστεί μέχρι μία συγκεκριμένη ημερομηνία.

Ένας σύστημα προγραμματισμού απαιτήσεων υλικού (MRP) αποτελεί ένα παράδειγμα ενός συστήματος απεριόριστου αντίστροφου χρονοπρογραμματισμού για υλικά. Με απλό MRP, κάθε παραγγελία έχει μία προθεσμία σε κάποιο χρονικό σημείο στο μέλλον. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα υπολογίζει τις ανάγκες σε κομμάτια, προγραμματίζοντας αντίστροφα τον χρόνο που οι λειτουργίες θα εκτελεστούν για να ολοκληρωθούν οι παραγγελίες. Ο χρόνος που απαιτείται για να κατασκευαστεί κάθε κομμάτι (ή παρτίδα κομματιών) υπολογίζεται με βάση ιστορικά στοιχεία. Οι χρονικοί προγραμματισμοί, που αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο προορίζονται για τις διαδικασίες, που απαιτούνται για να κατασκευαστούν αυτά τα κομμάτια.

Μέχρι στιγμής ο όρος “πόροι” έχει χρησιμοποιηθεί με μία γενική έννοια. Στην πράξη, πρέπει να αποφασίσουμε τι πραγματικά θα προγραμματίσουμε. Σε γενικές γραμμές οι διεργασίες αναφέρονται είτε ως μηχανο-κεντρική διεργασία είτε ως ανθρωπο-κεντρική διεργασία.

Σε μηχανο-κεντρική διεργασία (machine limited process): ο εξοπλισμός αποτελεί τον βασικό πόρο, που χρονοπρογραμματίζεται. Ομοίως σε μία ανθρωπο-κεντρική διεργασία (labor-limited process) οι άνθρωποι αποτελούν τον βασικό πόρο που χρονοπρογραμματίζεται. Οι περισσότερες πραγματικές διεργασίες ανήκουν είτε στην μία είτε στην άλλη κατηγορία, αλλά ευτυχώς όχι και στις δύο.

Το κατά πόσο η χωρητικότητα λαμβάνεται υπόψη εξαρτάται από την διαδικασία. Η διαθέσιμη υπολογιστική τεχνολογία επιτρέπει την παραγωγή πολύ λεπτομερών προγραμμάτων, όπως τον προγραμματισμό κάθε εργασίας σε κάθε μηχανή και τη μετατόπιση ενός συγκεκριμένου εργαζομένου σε μία μηχανή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο. Συστήματα που καταγράφουν την ακριβή κατάσταση κάθε εργασίας και κάθε πόρου είναι επίσης διαθέσιμα. Χρησιμοποιώντας RFID ή τεχνολογία τοποθέτησης γραμμικού (bar code), αυτά τα συστήματα μπορούν να καταγράψουν αποτελεσματικά όλες αυτές τις λεπτομερείς πληροφορίες.

Τυπικές λειτουργίες χρονικού προγραμματισμού και ελέγχου: Οι ακόλουθες λειτουργίες πρέπει να εκτελεστούν κατά τον προγραμματισμό και τον έλεγχο μίας λειτουργίας:

1. Κατανομή παραγγελιών, εξοπλισμού και προσωπικού σε κέντρα εργασίας ή άλλες εξειδικευμένες τοποθεσίες. Στην ουσία αυτό αποτελεί ένα βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό δυνατοτήτων.
2. Καθορισμός της αλληλουχίας της εκτέλεσης παραγγελιών (δηλαδή καθορισμός των προτεραιοτήτων στις εργασίες).
3. Έναρξη εκτέλεσης προγραμματισμένης εργασίας. Αυτή συνήθως ορίζεται ως αποστολή των παραγγελιών.

4. Έλεγχος διεργασιών παραγωγής, που περιλαμβάνει:
 - α) Επανεξέταση της κατάστασης και έλεγχο της προόδου των παραγγελιών καθώς γίνεται η επεξεργασία τους
 - β) Επίσπευση των καθυστερημένων και σημαντικών παραγγελιών.

Στην αρχή της ημέρας ο προγραμματιστής επιλέγει και καθορίζει την σειρά εργασιών που θα εκτελεστούν σε διαφορετικούς σταθμούς εργασίας. Οι αποφάσεις του προγραμματιστή θα βασιστούν στις λειτουργικές απαιτήσεις και στις απαιτήσεις δρομολόγησης κάθε εργασίας, στην σειρά των εργασιών πριν από κάθε κέντρο εργασίας, στις προτεραιότητες, στην διαθεσιμότητα σε υλικά, στις προσδοκώμενες παραγγελίες που θα τεθούν σε κυκλοφορία αργότερα μέσα στην ημέρα και στις δυνατότητες των πόρων του κέντρου εργασίας (εργατικό δυναμικό ή/και μηχανές).

Για να βοηθήσει στην οργάνωση του προγράμματος, ο προγραμματιστής θα αντλήσει πληροφορίες για την κατάσταση της δουλειάς από την προηγούμενη ημέρα, από εξωτερικές πληροφορίες που παρέχονται από τον κεντρικό έλεγχο της παραγωγής, την μηχανική διαδικασία κ.ο.κ. Ο προγραμματιστής θα διαβουλευθεί επίσης με τον επικεφαλής του τμήματος για το κατά πόσο η εκτέλεση του προγράμματος είναι εφικτή, ιδίως σε συνάρτηση με τα ζητήματα εργατικού δυναμικού και τα πιθανά κωλύματα. Οι λεπτομέρειες του προγράμματος κοινοποιούνται στους εργαζόμενους μέσω της αποστολής λιστών που αναγράφονται στους τερματικούς υπολογιστές και σε έντυπες εκτυπώσεις, ή μέσω της αποστολής μίας λίστας με το τι θα πρέπει να έχει προτεραιότητα. Οι πίνακες προγραμμάτων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί τρόποι για να κοινοποιηθεί η προτεραιότητα και η τρέχουσα κατάσταση της δουλειάς.

Στόχοι του χρονικού προγραμματισμού των κέντρων εργασίας: Οι στόχοι του προγραμματισμού των κέντρων εργασίας είναι να:

1. Ανταπεξέλθουν στις προθεσμίες.
2. Ελαχιστοποιήσουν το χρόνο εκτέλεσης παραγγελίας.
3. Ελαχιστοποιήσουν το χρόνο ή και το κόστος εκτέλεσης.
4. Ελαχιστοποιήσουν το απόθεμα της εργασίας εν εξελίξει.
5. Μεγιστοποιήσουν τη χρησιμοποίηση μηχανών ή εργατικής δύναμης.

Είναι απίθανο και συχνά μη επιθυμητό, να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα όλοι αυτοί οι στόχοι. Για παράδειγμα η διατήρηση όλου του εξοπλισμού ή/και των υπαλλήλων απασχολημένων μπορεί να οδηγήσει στην υποχρέωση διατήρησης μεγάλου αποθέματος. Ή άλλο παράδειγμα είναι πιθανόν να ανταπεξέλθετε στις 99 από τις προθεσμίες σας, αλλά να έχετε σημειώσει μία αποτυχία στο πρόγραμμα, εάν μία προθεσμία που χάθηκε αφορούσε μία σημαντική δουλειά ή έναν βασικό πελάτη. Το κρίσιμο σημείο, όπως συμβαίνει και σε άλλες παραγωγικές διεργασίες, είναι η διατήρηση μίας προοπτικής συστημάτων για να διασφαλιστεί ότι οι στόχοι του κέντρου εργασίας είναι συγχρονισμένοι με την λειτουργική στρατηγική της οργάνωσης.

Αλληλουχία (σειριοποίηση) εργασιών: Η διαδικασία καθορισμού της σειράς των εργασιών σε κάποια μηχανή, ή σε κάποιο κέντρο εργασίας είναι γνωστή ως σειριοποίηση (sequencing) ή σειριοποίηση προτεραιοτήτων. Κανόνες προτεραιότητας (priority rules) είναι οι κανόνες, που χρησιμοποιούνται για να λειτουργήσει μία αλληλουχία εργασιών. Αυτοί μπορεί να είναι πολύ απλοί, απαιτώντας μόνο εργασίες να τεθούν σε σειρά με βάση κάποιο δεδομένο, όπως ο χρόνος της διαδικασίας, η προθεσμία ή η σειρά της άφιξης. Άλλοι κανόνες, αν και εξίσου απλοί, μπορεί να απαιτούν αρκετές πληροφορίες, κατά κανόνα για να εξάγουν έναν αριθμό ευρετηρίου, όπως ο κανόνας της μικρότερης αδράνειας και ο κανόνας του κρίσιμου λόγου (και οι δύο θα οριστούν στην

συνέχεια). Άλλοι, όπως ο κανόνας του Johnson (θα συζητηθεί επίσης αργότερα) εφαρμόζονται στον χρονικό προγραμματισμό εργασιών σε μία αλληλουχία μηχανών και απαιτούν μία υπολογιστική διαδικασία για τον προσδιορισμό της σειράς εκτέλεσης. Οκτώ από τους πιο κοινούς κανόνες προτεραιότητας (για αλληλουχία εργασιών) παρουσιάζονται παρακάτω:

1. FCFS (έφθασε πρώτη, εξυπηρετήθηκε πρώτη). Οι παραγγελίες εκτελούνται με την σειρά, που έφτασαν στο τμήμα.
2. SOT (μικρότερος απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας). Εκτέλεση δουλειάς με το μικρότερο χρόνο επεξεργασίας πρώτα, μετά αυτής με τον επόμενο μικρότερο κ.ο.κ. Αυτό μερικές φορές αναφέρεται ως SPT (μικρότερος χρόνος επεξεργασίας). Συχνά αυτός ο κανόνας συνδυάζεται με έναν κανόνα βραδύτητας, για να μην καθυστερούν υπερβολικά οι δουλειές με μεγαλύτερους χρόνους.
3. EDD (πρώτα οι κοντινότερες προθεσμίες παράδοσης). Εκτέλεση πρώτα της δουλειάς με την κοντινότερη προθεσμία παράδοσης.
4. STR (υπολειπόμενος χρόνος περιθωρίου). Αυτός υπολογίζεται ως ο χρόνος, που υπολείπεται πριν την προθεσμία παράδοσης μείον τον υπολειπόμενο χρόνο της διαδικασίας. Οι παραγγελίες με τον μικρότερο υπολειπόμενο χρόνο παράδοσης εκτελούνται πρώτα.
 $STR = \text{Χρόνος που υπολείπεται πριν την προθεσμία} - \text{Υπολειπόμενος χρόνος διαδικασίας}$
5. STR/OP (υπολειπόμενος χρόνος περιθωρίου ανά λειτουργία). Οι παραγγελίες με τον μικρότερο χρόνο περιθωρίου ανά αριθμό λειτουργιών εκτελούνται πρώτα.
 $STR/OP = STR / \text{Αριθμός υπολειπόμενων λειτουργιών}$
6. CR (κρίσιμος λόγος). Αυτός υπολογίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στην προθεσμία και στην τρέχουσα ημερομηνία διά του αριθμού των εργασιμων ημερών που υπολείπονται. Οι παραγγελίες με το μικρότερο CR εκτελούνται πρώτες.
7. LCFS (έφθασε τελευταία εξυπηρετείται πρώτη). Αυτός ο κανόνας τηρείται συχνά από μόνος του. Καθώς φθάνουν οι παραγγελίες, τοποθετούνται στην κορυφή του σωρού. Ο χειριστής συνήθως διαλέγει την παραγγελία στην κορυφή για να την εκτελέσει πρώτα.
8. Τυχαία σειρά ή ιδιοτροπία. Οι επόπτες ή οι χειριστές συνήθως διαλέγουν οποιαδήποτε δουλειά νομίζουν, ότι πρέπει να εκτελεστεί.

Τα ακόλουθα πρότυπα μέτρα εκτέλεσης του χρονικού προγράμματος χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των κανόνων προτεραιότητας:

1. Ανταπόκριση στις προθεσμίες των πελατών ή στις επόμενες λειτουργίες.
2. Ελαχιστοποίηση του χρόνου ροής (του χρόνου που μία δουλειά καταναλώνει στην διαδικασία).
3. Ελαχιστοποίηση του αποθέματος της εργασίας εν εξελίξει.
4. Ελαχιστοποίηση του χρόνου αργίας των μηχανών ή των εργαζομένων.

2.6.2 Τεχνικές και κανόνες καθορισμού προτεραιοτήτων

2.6.2.1 Χρονοπρογραμματισμός *ν* εργασιών σε μία μηχανή

Για τον προγραμματισμό *ν* εργασιών σε μία μηχανή κατασκευάζουμε έναν πίνακα, που να έχει για στήλες:

- I. Τις εργασίες (παραγγελίες) που λήφθηκαν, ταξινομημένες με σειρά άφιξης
- II. Τον χρόνο της διαδικασίας (συνήθως σε ημέρες)
- III. Την προθεσμία παράδοσης (πόσες μέρες απομένουν)
- IV. Τον χρόνο ροής (σε ημέρες). Υπολογίζεται αν αθροίσουμε τον χρόνο ροής κάθε παραγγελίας με το άθροισμα των χρόνων ροής των προηγούμενων παραγγελιών.

Έπειτα προχωράμε σε υπολογισμό των δεικτών κάθε κανόνα προτεραιότητας (αν θέλουμε, να έχουμε πλήρη εικόνα και να τους συγκρίνουμε μεταξύ τους, σε περίπτωση, που δεν είναι προφανές ποιος είναι καταλληλότερος για εμάς) ώστε να βρούμε τον συνολικό χρόνο ροής κάθε δείκτη (σε ημέρες), τον μέσο χρόνο ροής (επίσης σε ημέρες) και τον μέσο όρο καθυστέρησης (σε ημέρες) και να επιλέξουμε τον κανόνα, που δίνει τους μικρότερους χρόνους.

2.6.2.2 Χρονοπρογραμματισμός *ν* εργασιών σε δύο μηχανές

Το επόμενο βήμα ως προς την πολυπλοκότητα είναι η περίπτωση του προβλήματος $n/2$ σε συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop), όπου δύο ή περισσότερες εργασίες πρέπει να εκτελεστούν σε δύο μηχανές με μία κοινή αλληλουχία. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση $n/1$, υπάρχει μία προσέγγιση, που οδηγεί στη βέλτιστη λύση σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. Στόχος αυτής της προσέγγισης, που ονομάζεται Κανόνας του Johnson (Johnson's rule) ή μέθοδος του Johnson (από το όνομα αυτού, που την ανέπτυξε), είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου ροής από την έναρξη της πρώτης εργασίας μέχρι την ολοκλήρωση της τελευταίας. Ο κανόνας του Johnson αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1. Καταγραφή του χρόνου επεξεργασίας για κάθε εργασία και στις δύο μηχανές.
2. Επιλογή του συντομότερου χρόνου επεξεργασίας.
3. Εάν ο συντομότερος χρόνος αφορά την πρώτη μηχανή επεξεργασίας, εκτελέστε την εργασία πρώτη. Εάν αφορά την δεύτερη μηχανή, εκτελέστε την εργασία στο τέλος. Σε περίπτωση ισότητας εκτελέστε την εργασία στην πρώτη μηχανή.
4. Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 για κάθε εργασία, που απομένει μέχρι να ολοκληρωθεί το χρονοπρόγραμμα.

Η μέθοδος του Johnson έχει επεκταθεί για να προσφέρει την βέλτιστη λύση για την $n/3$ περίπτωση. Όταν προκύπτουν προβλήματα χρονοπρογραμματισμού συστημάτων συνεχούς ροής μεγαλύτερα από $n/3$ (και γενικά προκύπτουν), δεν είναι διαθέσιμες διαδικασίες αναλυτικών λύσεων, που να οδηγούν στην βέλτιστη λύση. Ο λόγος για αυτό είναι, ότι παρά το γεγονός ότι οι εργασίες μπορεί να φθάνουν με στατική μορφή στην πρώτη μηχανή, το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού γίνεται δυναμικό, και οι σειρές αναμονής αρχίζουν να διαμορφώνονται

μπροστά από την ροή των μηχανών. Σε αυτό το σημείο προκύπτει ένα πολυεπίπεδο πρόβλημα αναμονής, το οποίο γενικά επιλύεται με τεχνικές προσομοίωσης.

2.6.2.3 Χρονοπρογραμματισμός ενός συγκεκριμένου αριθμού εργασιών στον ίδιο αριθμό μηχανών

Ορισμένα κέντρα εργασίας έχουν επαρκείς μηχανές κατάλληλου τύπου για να ξεκινήσουν όλες τις εργασίες την ίδια στιγμή. Εδώ, το πρόβλημα δεν είναι ποια εργασία θα εκτελεστεί πρώτα, αλλά ποια συγκεκριμένη ανάθεση συγκεκριμένων εργασιών σε συγκεκριμένες μηχανές θα οδηγήσει στο καλύτερο δυνατό χρονοπρόγραμμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της ανάθεσης.

Η μέθοδος της ανάθεσης (assignment method): είναι μία ειδική περίπτωση της μεθόδου μεταφοράς του γραμμικού προγραμματισμού. Μπορεί να εφαρμοστεί σε καταστάσεις όπου υπάρχουν n πηγές προμήθειας και n ζητήσεις χρήσης (όπως πέντε εργασίες σε πέντε μηχανές), και ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση κάποιων μεγεθών αποτελεσματικότητας. Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη σε εφαρμογές, που περιλαμβάνουν κατανομή εργασιών σε κέντρα εργασιών, ανθρώπων σε εργασίες κ.ο.κ. Η μέθοδος της ανάθεσης είναι κατάλληλη για την επίλυση προβλημάτων, που παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- I. Υπάρχουν n “πράγματα” για να διαμοιραστούν σε n “προορισμούς”.
- II. Κάθε πράγμα πρέπει να κατευθυνθεί προς έναν και μόνο προορισμό.
- III. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα κριτήριο (για παράδειγμα ελάχιστο κόστος, μέγιστο κέρδος, ή ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης).

2.6.2.4 Χρονοπρογραμματισμός n εργασιών σε m μηχανές

Τα σύνθετα κέντρα εργασίας χαρακτηρίζονται από πολλαπλά κέντρα μηχανών που εκτελούν μία ποικιλία διαφορετικών εργασιών, που φθάνουν στα κέντρα εργασιών περιοδικά κατά την διάρκεια της ημέρας. Εάν υπάρχουν n εργασίες για να εκτελεστούν σε m μηχανές, και όλες οι εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε όλες τις μηχανές, τότε υπάρχουν $(n!)^m$ εναλλακτικά χρονοπρογράμματα για αυτό το σύνολο εργασιών. Λόγω του μεγάλου αριθμού των προγραμμάτων που είναι διαθέσιμα ακόμη και για μικρά κέντρα εργασίας, η προσομοίωση μέσω υπολογιστή αποτελεί τον μόνο πρακτικό τρόπο καθορισμού των σχετικών πλεονεκτημάτων των διαφόρων κανόνων προτεραιότητας σε τέτοιες καταστάσεις

Ποιος κανόνας προτεραιότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί; Πιστεύουμε ότι οι ανάγκες των περισσότερων κατασκευαστών πραγματοποιούνται ευλόγως από ένα σχετικά απλό σχήμα προτεραιότητας, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες αρχές:

1. Θα πρέπει να είναι δυναμικός, δηλαδή συχνά υπολογισμός κατά την διάρκεια μίας εργασίας, για να αντικατοπτρίζονται οι μεταβαλλόμενες συνθήκες.
2. Θα πρέπει να βασίζεται, με τον έναν ή με τον άλλο τρόπο στη χαλαρότητα χρόνου (η διαφορά ανάμεσα στην δουλειά που πρέπει να γίνει σε μία εργασία και στον χρόνο που υπολείπεται για να διεκπεραιωθεί αυτή).

Οι πιο πρόσφατες προσεγγίσεις συνδυάζουν την προσομοίωση με αποτελέσματα ανθρωπίνων χρονοπρογραμματιστών για την δημιουργία χρονοπρογραμμάτων.

2.6.3 Έλεγχος διεργασιών παραγωγής

Ο χρονοπρογραμματισμός των προτεραιοτήτων των εργασιών είναι μόνο μία πλευρά του ελέγχου διεργασιών παραγωγής (shop-floor control) (που τώρα καλείται συχνά και έλεγχος παραγωγικής δραστηριότητας (production activity control)). Το APICS Dictionary ορίζει ένα σύστημα ελέγχου διεργασιών παραγωγής ως:

Ένα σύστημα για την αξιοποίηση των δεδομένων της διεργασίας παραγωγής, καθώς επίσης και των φακέλων επεξεργασίας των δεδομένων, για τη διατήρηση και κοινοποίηση των πληροφοριών στα τμήματα παραγγελιών και στα κέντρα εργασίας.

Οι βασικές λειτουργίες του ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας είναι:

1. Ανάθεση προτεραιότητας σε κάθε παραγγελία.
2. Παρακολούθηση/καταγραφή πληροφορίας για τον όγκο των εργασιών, που είναι σε εξέλιξη.
3. Ενημέρωση του αρμόδιου γραφείου για την κατάσταση κάθε παραγγελίας.
4. Παροχή πραγματικών δεδομένων για σκοπούς αποτελεσματικού ελέγχου χωρητικότητας.
5. Παροχή πραγματικών δεδομένων ανά μηχανή για λογιστική παρακολούθηση και έλεγχο αποθεμάτων των εργασιών που βρίσκονται σε εξέλιξη.
6. Μέτρηση αποτελεσματικότητας, βαθμού χρησιμοποίησης και παραγωγικότητας του ανθρώπινου δυναμικού και των μηχανών.

Διαγράμματα Gantt: Μικρότερα συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shops) προϊόντων και ανεξάρτητα τμήματα μεγαλύτερων συστημάτων χρησιμοποιούν το αξιόπιστο διάγραμμα Gantt, για να βοηθήσουν στον σχεδιασμό και στην εκτέλεση των εργασιών τους. Το διάγραμμα Gantt είναι ένας τύπος ιστογράμματος, που σχεδιάζει εργασίες σε σχέση με τον χρόνο. Τα διαγράμματα Gantt χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό έργων (projects), καθώς επίσης και για το συντονισμό ενός αριθμού χρονοπρογραμματισμένων δραστηριοτήτων.

Εργαλεία ελέγχου των διεργασιών παραγωγής: Τα βασικά εργαλεία του ελέγχου παραγωγής διεργασιών είναι:

1. Η ημερήσια λίστα αποστολής, που παρουσιάζει στον επόπτη ποιες εργασίες πρέπει να εκτελεστούν, την προτεραιότητα τους και πόσο χρόνο θα χρειαστεί η κάθε μία.
2. Διάφορες αναφορές κατάστασης και εξαίρεσης, που περιλαμβάνουν:
 - α) Την αναμενόμενη αναφορά καθυστέρησης, που δημιουργείται μία ή δύο φορές την εβδομάδα, για να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν σοβαρές καθυστερήσεις, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το βασικό χρονοπρόγραμμα παραγωγής.
 - β) Αναφορές υπολειμμάτων κατά την παραγωγή.
 - γ) Αναφορές εργασιών, που έχουν αναθεωρηθεί.
 - δ) Περιληπτικές αναφορές επιδόσεων, που καταγράφουν τον αριθμό και το ποσοστό των παραγγελιών που ολοκληρώθηκαν εντός του προγράμματος, την καθυστέρηση των ανολοκλήρωτων παραγγελιών, τον όγκο των προϊόντων που παράχθηκαν κ.ο.κ.
3. Μία αναφορά ελέγχου εισροής/εκροής που χρησιμοποιείται από τον επόπτη για την παρακολούθηση της σχέσης φόρτου εργασίας-δυναμικότητας για κάθε σταθμό εργασίας.

Έλεγχος εισροών/εκροών: Ο έλεγχος εισροών/εκροών (input/output, I/O) είναι βασικό χαρακτηριστικό ενός βιομηχανικού συστήματος σχεδιασμού και ελέγχου των διεργασιών παραγωγής. Η βασική του αρχή είναι ότι η σχεδιασμένη εισροή εργασίας σε ένα κέντρο εργασίας δεν πρέπει ποτέ να ξεπερνά την προγραμματισμένη εκροή εργασίας. Όταν η εισροή ξεπερνά την εκροή δημιουργούνται καθυστερήσεις στο κέντρο εργασίας, που με την σειρά τους αυξάνουν τον χρόνο του υπολογισμού εκτέλεσης παραγγελίας για την ροή των εργασιών. Επιπλέον, όταν οι εργασίες συσσωρεύονται στο κέντρο εργασίας, δημιουργείται συμφόρηση, η επεξεργασία καθίσταται αναποτελεσματική και η ροή εργασίας στα επόμενα κέντρα εργασίας γίνεται σποραδική. Η διαδικασία ελέγχου θα περιλάβει την εύρεση της αιτίας των προβλημάτων, που μεταδόθηκαν από προηγούμενα κέντρα εργασίας και την προσαρμογή της χωρητικότητας και της εισροής αντίστοιχα (όταν το πρόβλημα δεν βρίσκεται στο κέντρο, που φαίνεται να έχει πρόβλημα, αλλά στην τροφοδοσία του από προηγούμενο κέντρο). Η λύση είναι απλή: Είτε αύξηση της χωρητικότητας στο σταθμό του σημείου συμφόρησης, είτε μείωση της εισροής αυτού. Η μείωση της εισροής στα κέντρα εργασίας είναι του σημείου συμφόρησης είναι συμπτωματικά το πρώτο βήμα που προτείνεται από τους συμβούλους ελέγχου παραγωγής όταν τα συστήματα παραγωγής τύπου job shops αντιμετωπίζουν πρόβλημα.

Ακεραιότητα δεδομένων: Τα συστήματα ελέγχου των διεργασιών παραγωγής στα περισσότερα σύγχρονα εργοστάσια έχουν πλέον μηχανογραφηθεί, με τις πληροφορίες για την κατάσταση των εργασιών να εγγράφονται απ'ευθείας σε έναν υπολογιστή, καθώς η εργασία εισέρχεται και εγκαταλείπει ένα κέντρο εργασίας.

Πολλά εργοστάσια έχουν υιοθετήσει την χρήση γραμμικών κωδικών (bar-codes) και οπτικών σαρωτών, για να επιταχύνουν την διαδικασία αναφοράς και να μειώσουν τα σφάλματα καταχώρησης δεδομένων. Όπως μπορείτε να μαντέψετε, τα βασικά προβλήματα στον έλεγχο των διεργασιών παραγωγής είναι η ανακρίβεια των δεδομένων και η έλλειψη επικαιροποίησης. Όταν αυτά συμβαίνουν, τα δεδομένα που αφορούν το συνολικό σύστημα σχεδιασμού είναι ανακριβή, και λαμβάνονται λανθασμένες αποφάσεις στο ζήτημα της παραγωγής. Τυπικά αποτελέσματα είναι η υπέρβαση σε απόθεμα, τα προβλήματα έλλειψης αποθέματος ή και τα δύο, υπέρβαση προθεσμιών παράδοσης και ανακρίβειες στην κοστολόγηση των εργασιών.

Φυσικά η διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων απαιτεί να είναι υγιές το σύστημα συλλογής δεδομένων. Αλλά το σημαντικότερο απαιτείται προσήλωση στο σύστημα από όσους αλληλεπιδρούν με αυτό. Οι περισσότερες εταιρείες το αναγνωρίζουν, αλλά το να διατηρούν αυτό το οποίο αναφέρεται ως πειθαρχία παραγωγικής διαδικασίας, ακεραιότητα δεδομένων ή υπευθυνότητα δεδομένων δεν είναι πάντα εύκολο. Και παρά τις περιοδικές απόπειρες να καταδειχθεί η σπουδαιότητα της προσεκτικής αναφοράς της με τη δημιουργία ομάδων εργασίας για την ακεραιότητα των δεδομένων, ανακρίβειες μπορούν να εισχωρήσουν στο σύστημα με πολλούς τρόπους. Ένας εργαζόμενος σε γραμμή ρίχνει ένα κομμάτι κάτω από τον πάγκο εργασίας και παίρνει ένα άλλο για αντικατάσταση από το απόθεμα, χωρίς να αναφέρει καμία από τις δύο συναλλαγές. Ένας υπάλληλος στο απόθεμα διαπράττει ένα σφάλμα σε μία καταμέτρηση του κύκλου. Ένας μηχανικός κατασκευής αποτυγχάνει να δει μία αλλαγή στη δρομολόγηση ενός κομματιού. Ένας επόπτης τμήματος αποφασίζει να εκτελέσει τις εργασίες με διαφορετική αλληλουχία από αυτή, που προσδιορίστηκε στην λίστα αποστολής.

Αρχές χρονοπρογραμματισμού κέντρων εργασίας: Ένα μεγάλο μέρος της συζήτησης πάνω στα συστήματα χρονοπρογραμματισμού των κέντρων εργασίας μπορεί να συνοψιστεί στις ακόλουθες αρχές:

1. Υπάρχει ένα άμεσο ισοδύναμο ανάμεσα στη ροή εργασίας και στη ροή μετρητών.
2. Η αποτελεσματικότητα οποιουδήποτε συστήματος θα πρέπει να μετρηθεί με βάση την ταχύτητα ροής στο σύστημα.
3. Ο χρονικός προγραμματισμός κατά σειρά, με αλληπάλληλα διαδικαστικά βήματα.
4. Από τη στιγμή που ξεκίνησε μία εργασία δεν πρέπει να διακοπεί.
5. Η ταχύτητα ροής αυξάνεται αν εστιάσουμε την προσοχή μας στα κέντρα εργασίας και στις εργασίες του σημείου συμφόρησης.
6. Αναπρογραμματισμός ημέρας.
7. Λήψη αναφοράς κάθε ημέρα για τις εργασίες, που δεν ολοκληρώθηκαν σε κάθε κέντρο εργασίας.
8. Συνδυασμός των πληροφοριών εισροής του κέντρου εργασίας με αυτό που πράγματι μπορεί να κάνει ο εργαζόμενος.
9. Όταν είναι επιθυμητή η αύξηση της εισροής, γίνεται αναζήτηση της ασυμβατότητας ανάμεσα στον μηχανικό σχεδιασμό και στην εκτέλεση της διαδικασίας.
10. Η βεβαιότητα των προτύπων, των δρομολογήσεων κ.ο.κ δεν είναι πιθανή σε μία παραγωγική διαδικασία, αλλά οφείλουμε να εργαζόμαστε για την επίτευξή της.

2.6.4 Χρονικός προγραμματισμός προσωπικού στις υπηρεσίες

Το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού στους περισσότερους οργανισμούς υπηρεσιών κινείται σε τροχιά γύρω από τον καθορισμό εβδομαδιαίων, ημερήσιων και ωριαίων χρονοπρογραμμάτων του προσωπικού. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μία απλή προσέγγιση για την ανάπτυξη τέτοιων χρονοπρογραμμάτων.

2.6.4.1 Προγραμματισμός των χρόνων εργασιών ανά ημέρα

Τώρα θα παρουσιαστεί το πώς συγκροτούν τους ημερήσιους χρόνους εργασίας τα τμήματα τραπεζικών συμψηφισμών και οι υποστηρικτικές λειτουργίες μεγάλων τραπεζικών υποκαταστημάτων. Βασικά, η διοίκηση της τράπεζας θέλει να καταρτίσει ένα σχέδιο προσωπικού που:

- I. Χρειάζεται το μικρότερο αριθμό εργαζομένων για να φέρει εις πέρας τον καθημερινό φόρτο εργασίας.
- II. Ελαχιστοποιεί την διακύμανση ανάμεσα στην πραγματική και στη σχεδιασμένη εκροή.

Κατά τη διαμόρφωση του προβλήματος η διοίκηση της τράπεζας ορίζει την εισροή (επιταγές, αναφορές, επενδυτικά έγγραφα κ.ο.κ), ως προϊόντα τα οποία δρομολογούνται μέσω διαφορετικών διαδικασιών ή λειτουργιών (παραλαβή, διαλογή, κωδικοποίηση κ.ο.κ).

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος πραγματοποιείται μία ημερήσια πρόβλεψη ζήτησης ανά προϊόν για κάθε λειτουργία. Αυτό μετατρέπεται σε ώρες εργασίας που απαιτούνται ανά λειτουργία, που με την σειρά τους μετατρέπονται σε εργαζόμενους που απαιτούνται ανά λειτουργία. Αυτά τα σχήματα συγκροτούνται στη συνέχεια σε πίνακα, αθροίζονται και προσαρμόζονται με βάση τον παράγοντα των απουσιών και των διακοπών, για να δώσουν τις σχεδιασμένες ώρες. Στην συνέχεια διαιρούνται με τον αριθμό των ωρών κατά την διάρκεια της εργάσιμης ημέρας, για να αποδώσουν τον αριθμό των εργαζομένων που απαιτούνται. Αυτό αποφέρει τις ημερήσιες εργατικές ώρες που απαιτούνται και αυτό καθίσταται η βάση για έναν τμηματικό σχεδιασμό προσωπικού, που καταγράφει τους εργαζόμενους που απαιτούνται, τους

εργαζόμενους, που είναι διαθέσιμοι τις διακυμάνσεις και τις διαχειριστικές ενέργειες για να αντιμετωπιστούν οι διακυμάνσεις.

2.6.4.2 Προγραμματισμός των χρόνων εργασίας ανά ώρα

Οι υπηρεσίες, όπως τα εστιατόρια αντιμετωπίζουν μεταβαλλόμενες απαιτήσεις από ώρα σε ώρα. Περισσότεροι εργαζόμενοι είναι αναγκαίοι τις ώρες αιχμής και λιγότεροι στα μεσοδιαστήματα. Η διοίκηση πρέπει να προσαρμόζεται συνεχώς σε αυτή τη μεταβαλλόμενη ζήτηση. Αυτού του τύπου ο σχεδιασμός του προσωπικού μπορεί να προσεγγιστεί μέσω της εφαρμογής ενός άλλου κανόνα, της αρχής της “πρώτης ώρας”. Ας υποθέσουμε, ότι κάθε εργαζόμενος δουλεύει ασταμάτητα σε μία οχτάωρη βάρδια. Ο κανόνας της πρώτης ώρας ορίζει, ότι για την πρώτη ώρα αναθέτουμε την δουλειά σε έναν αριθμό εργαζομένων ίσο προς τις απαιτήσεις αυτής της χρονικής περιόδου. Για κάθε περίοδο, που έπεται αναθέτουμε τη δουλειά στον ακριβή αριθμό των επιπρόσθετων εργαζομένων που απαιτούνται για να ανταποκριθούμε στις ανάγκες. Εάν σε μία περίοδο ένας ή περισσότεροι εργαζόμενοι ολοκληρώσουν την βάρδια τους, η προσθήκη περισσότερων εργαζομένων γίνεται μόνο εάν είναι απαραίτητοι για να ανταποκριθούμε στις ανάγκες.

Μία άλλη επιλογή είναι η διάσπαση των βαρδιών. Για παράδειγμα, ο εργαζόμενος μπορεί να έρθει, να εργαστεί για τέσσερις ώρες και στην συνέχεια να έρθει δύο ώρες αργότερα για τέσσερις ακόμα ώρες. Ο αντίκτυπος αυτής της επιλογής στον χρονοπρογραμματισμό είναι στην ουσία ανάλογος με αυτόν, της αλλαγής του μεγέθους της παρτίδας. Όταν οι εργαζόμενοι ξεκινούν να εργάζονται, πρέπει να καταγραφούν, να αλλάξουν στολές και πιθανόν να λάβουν τις απαραίτητες πληροφορίες από τους εργαζόμενους της προηγούμενης βάρδιας. Αυτή η προετοιμασία μπορεί να θεωρηθεί ως το “κόστος προετοιμασίας” σε ένα σενάριο παραγωγής. Η διάσπαση των βαρδιών συνεπάγεται μικρότερα μεγέθη παρτίδων στην παραγωγή και ως εκ τούτου περισσότερη προετοιμασία.

Κεφάλαιο 3 Συστήματα Αποφάσεων

3.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα αποφάσεων είναι ένας νέος σχετικά επιστημονικός κλάδος, που έχει σαν κύριο στόχο, να προσφέρει στον αποφασίζοντα επιστημονικά εργαλεία-μεθοδολογίες, που θα τον διευκολύνουν στη λήψη της απόφασης με βάση αντικειμενικά κριτήρια. Ο όρος συστήματα αποφάσεων χρησιμοποιείται αντί του όρου επιχειρησιακή έρευνα, που αποτελεί πιστή μετάφραση του αγγλικού όρου Operational Research.

Τα επιστημονικά εργαλεία, που προσφέρουν τα συστήματα αποφάσεων είναι τα μοντέλα. Ένας συνοπτικός ορισμός για τα μοντέλα είναι: “Μοντέλα είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου από τον πραγματικό κόσμο με σύμβολα, διά μέσου μίας αφαιρετικής διαδικασίας”.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των μοντέλων. Μία βασική διάκριση είναι αυτή, που ξεχωρίζει τα μοντέλα σε φυσικά, αναλογικά και συμβολικά. Ένας άλλος χωρισμός των μοντέλων είναι σε μοντέλα βελτιστοποίησης και σε μοντέλα προσομοίωσης.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία τόσο ενός μοντέλου προσομοίωσης, όσο και ενός (μαθηματικού) μοντέλου βελτιστοποίησης (ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση αυτών στις επόμενες παραγράφους) σε ένα εργαλείο. Τα αποτελέσματα, που θα προκύψουν από τα συγκεκριμένα μοντέλα, θα χρησιμοποιηθούν για την λήψη αποφάσεων σε ένα παραγωγικό σύστημα, καθώς επίσης και για την παροχή προτάσεων βελτιστοποίησης του.

3.2 Ορισμοί

Έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφοροι παρεμφερείς ορισμοί για τα συστήματα αποφάσεων. Ένας χαρακτηριστικός είναι των Ackoff και Sasienni από το σύγγραμμα “Fundamentals of Operations Research” :

Επιχειρησιακή έρευνα μπορεί να θεωρηθεί, ότι είναι:

- I. Η εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων
- II. Από μικτές ομάδες επιστημόνων
- III. Σε προβλήματα, που αφορούν τον έλεγχο οργανωμένων συστημάτων, που αποτελούνται από ανθρώπους και μηχανές κατά τρόπο, ώστε να παρέχουν λύσεις, που εξυπηρετούν κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους σκοπούς του οργανισμού ως συνόλου.

Ένας άλλος συνοπτικός μα αρκετά ικανοποιητικός ορισμός είναι: “Τα συστήματα αποφάσεων είναι η επιστημονική προετοιμασία των αποφάσεων της διοίκησης με την επιστημονική ανάλυση των δεδομένων και τη δημιουργία μαθηματικών προτύπων”.

Όπως προκύπτει και από τους ορισμούς, που παρατίθενται παραπάνω τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων αποφάσεων είναι:

- I. Είναι επιστήμη των αποφάσεων
- II. Είναι κλάδος διεπιστημονικού χαρακτήρα
- III. Βασικό της “εργαλείο” είναι η χρήση μοντέλων

IV. Υιοθετεί την επιστημονική προσέγγιση

Όπως προαναφέρθηκε κύριος στόχος των συστημάτων αποφάσεων, του νέου αυτού επιστημονικού κλάδου, είναι να προσφέρει στον αποφασίζοντα επιστημονικά εργαλεία-μεθοδολογίες, που θα τον διευκολύνουν στην λήψη της απόφασης με βάση αντικειμενικά κριτήρια. Προσπαθεί δηλαδή, να δημιουργήσει ένα επιστημονικό υπόβαθρο στο οποίο θα στηρίζεται η διαδικασία λήψης μίας απόφασης.

3.3 Η λήψη των αποφάσεων

Εισαγωγικά στοιχεία: Τα προβλήματα λήψης απόφασης είναι από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που ανέκαθεν αντιμετώπιζε ο άνθρωπος. Ένα πρόβλημα απόφασης συνίστανται στην επιλογή από μία σειρά εναλλακτικών τρόπων δράσης, εκείνου του τρόπου δράσης, που εξασφαλίζει την καλύτερη εξυπηρέτηση των στόχων, που έχουν τεθεί. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων απόφασης βασιζόταν μέχρι τα μέσα περίπου του περασμένου αιώνα στην εμπειρία, τη διαίσθηση και την “κοινή λογική” του αποφασίζοντα.

Ιστορικά στοιχεία: Καθώς τα προβλήματα λήψης απόφασης γίνονταν ολοένα και πιο σύνθετα, ή, αν το εκφράσουμε διαφορετικά αύξανε το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των συστημάτων απόφασης άρχισε, να διαφαίνεται η ανάγκη για μία πιο συστηματική και επιστημονική αντιμετώπιση των προβλημάτων απόφασης. Ένας νέος επιστημονικός κλάδος με την ονομασία “Επιστήμη των αποφάσεων” ή “Επιχειρησιακή έρευνα” (πιο διαδεδομένος ο δεύτερος όρος) ήρθε με την ανάπτυξη του να καλύψει το κενό, που υπήρχε. Όπως και πολλοί άλλοι επιστημονικοί κλάδοι γεννήθηκε και αναπτύχθηκε τον καιρό, που φούντωνε ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος. Στην Αγγλία πρώτα το 1940 και στη συνέχεια στις ΗΠΑ δημιουργήθηκαν ομάδες επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, που εφάρμοσαν με επιτυχία επιστημονικές μεθόδους σε στρατιωτικά προβλήματα λήψης απόφασης, όπως βέλτιστο μέγεθος νηοπομπής, βέλτιστη αξιοποίηση ραντάρ και άλλα. Μετά τον πόλεμο έγιναν συνέδρια επιστημόνων, που είχαν λάβει μέρος στις ομάδες αυτές και καθιερώθηκε ο νέος επιστημονικός όρος με την ονομασία Operations Research. Μία εύστοχη μετάφραση στα ελληνικά θα ήταν “Έρευνα των λειτουργιών”, αλλά στην χώρα μας έχει επικρατήσει ο όχι και τόσο επιτυχημένος όρος “Επιχειρησιακή έρευνα”.

Διεπιστημονικός χαρακτήρας: Στις ομάδες επιστημόνων, που συστάθηκαν κατά την διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου και από τις οποίες τέθηκαν τα θεμέλια των συστημάτων αποφάσεων, συμμετείχαν επιστήμονες πολλών ειδικοτήτων, όπως μαθηματικοί, μηχανικοί, οικονομολόγοι, ψυχολόγοι και άλλα. Η μικτή σύνθεση των ομάδων βοήθησε πολύ, επειδή τα προς λύση προβλήματα ήταν σύνθετα και πολυδιάστατα. Ακόμα και σήμερα τα περισσότερα από τα προβλήματα αποφάσεων δεν μπορούν, να υπαχθούν στο πεδίο μίας επιστήμης. Έτσι τα συστήματα αποφάσεων χρησιμοποιούν γνώσεις και μεθοδολογίες, από πολλές βασικές επιστήμες (όπως τα μαθηματικά και οι οικονομικές επιστήμες), για να αντιμετωπίσουν τα διάφορα προβλήματα. Είναι δηλαδή εφαρμοσμένη επιστήμη. Διεξάγεται συνήθως από μικτές ομάδες επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, έχει, όπως λέγεται διεπιστημονικό χαρακτήρα.

Μαθηματικά πρότυπα ή μοντέλα: Συνηθισμένη μεθοδολογία στα συστήματα αποφάσεων είναι η κατασκευή και η χρήση μοντέλων. Αυτά είναι αφαιρετικές αναπαραστάσεις των συστημάτων των συστημάτων τα οποία θέλουμε να μελετήσουμε. Τις περισσότερες φορές λαμβάνουν την μορφή μαθηματικών σχέσεων και λέγονται μαθηματικά μοντέλα ή πρότυπα. Η βοήθεια, που προσφέρουν είναι διπλή:

- I. Μπορούμε, να πειραματιστούμε με τα μοντέλα κάτι, που είναι τις περισσότερες φορές αδύνατο με ένα πραγματικό σύστημα (αφού μάλιστα κατασκευαστεί το μοντέλο ενός συστήματος είναι δυνατό, να λειτουργήσει πολύ ταχύτερα από το πραγματικό σύστημα). Αυτό σημαίνει, ότι μπορούμε, να εκτιμήσουμε με βάση ποσοτικά στοιχεία, τις συνέπειες εναλλακτικών τρόπων δράσης (μοντέλα προσομοίωσης).
- II. Μπορούμε με την χρήση μοντέλων, να προσεγγίσουμε ή να υπολογίσουμε την “βέλτιστη” απόφαση, αυτή δηλαδή, που είναι προτιμότερη σύμφωνα με τα κριτήρια, που εμείς έχουμε θέσει (μοντέλα βελτιστοποίησης).

Συστημική προσέγγιση: Τα συστήματα αποφάσεων έχουν υιοθετήσει τη συστημική θεώρηση των προβλημάτων, που εξετάζουν. Αυτό σημαίνει, ότι το αντικείμενο του προβλήματος εξετάζεται σαν ενιαίο σύνολο (σύστημα), οριοθετημένο από το περιβάλλον του, με το οποίο όμως αλληλεπιδρά. Παράλληλα το σύστημα διαιρείται σε υποσυστήματα, τα οποία επιδρούν μεταξύ τους. Σκοπός του επιχειρησιακού ερευνητή είναι, να αναλύσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών του συστήματος και αν είναι δυνατόν να τις περιγράψει με μαθηματικές σχέσεις, να κατασκευάσει δηλαδή ένα μαθηματικό πρότυπο του συστήματος.

3.4 Τα μοντέλα και η χρήση τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Ιστορική αναδρομή: Ο άνθρωπος ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα ζώα για την ικανότητα του, να κατασκευάζει και να χρησιμοποιεί εργαλεία. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα πνευματικά εργαλεία, γιατί με αυτά αποκτούμε την δυνατότητα, να προσαρμοζόμαστε στο παρόν και να προγραμματίζουμε το μέλλον. Ένα βασικό πνευματικό εργαλείο είναι τα μοντέλα, που μας επιτρέπουν να λύνουμε προβλήματα και να επικοινωνούμε.

Τα μοντέλα έχουν εξελιχθεί, για να καλύπτουν τις ανάγκες μας. Οι πρωτόγονοι άνθρωποι ανέπτυξαν το πιο σημαντικό μοντέλο, την γλώσσα, για να επιζήσουν. Καθώς η ζωή γινόταν πιο σύνθετη και ο όγκος των πληροφοριών, που έρχονταν στην αντίληψη του ανθρώπου πιο μεγάλος, αναπτύχθηκαν πιο ευρεία μοντέλα, όπως οι εικόνες, που έλαβαν σιγά σιγά πιο αφηρημένη μορφή, τη γραφή. Αργότερα κατασκευάστηκαν χάρτες, για να βοηθήσουν τη γρήγορη και ασφαλή επικοινωνία. Στα μέσα του 17^{ου} αιώνα κατασκευάζονται γραφικές παραστάσεις σε συστήματα συντεταγμένων, για να διευκολυνθεί η παρατήρηση και ανάλυση συσχετιζόμενων πληροφοριών. Αυτές οι παραστάσεις εισήγαγαν στην ιδέα των αριθμητικά ορισμένων σχέσεων, των μαθηματικών συναρτήσεων, που με την σειρά τους αποτέλεσαν τα θεμέλια της σύγχρονης επιστήμης.

Τι είναι τα μοντέλα;

Στην συνέχεια θα γίνει προσπάθεια, να απαντηθούν οι ερωτήσεις τι είναι τα μοντέλα, τι κοινό έχουν μεταξύ τους, ή τι είναι αυτό, που τα κάνει μοντέλα. Κάθε μοντέλο αναπαριστά κάτι από τον πραγματικό κόσμο, ένα σύστημα, ένα γεγονός, μία κατάσταση ή μία διαδικασία. Μοντέλο λοιπόν είναι η αναπαράσταση ενός αντικειμένου από τον πραγματικό κόσμο με σύμβολα, διά μέσου μίας αφαιρετικής διαδικασίας.

Διακρίσεις μοντέλων (I):

Τα μοντέλα, που χρησιμοποιούνται για επιστημονικούς λόγους μπορούν, να ταξινομηθούν κατά διάφορους τρόπους. Μία βασική διάκριση είναι αυτή, που ξεχωρίζει τα μοντέλα σε φυσικά, αναλογικά και συμβολικά.

1) Φυσικά μοντέλα:

Το φυσικό μοντέλο είναι πιστή αναπαράσταση του αντικειμένου, που εξετάζεται. Διαφέρει μονάχα στο μέγεθος. Μπορεί να είναι σε σμίκρυνση (π.χ. χάρτες) ή σε μεγέθυνση (π.χ.

σχέδια, φωτογραφίες). Τα μοντέλα αυτού του είδους είναι συγκεκριμένα και προσδιορίζονται για ειδικές χρήσεις.

2) Αναλογικά μοντέλα:

Στα αναλογικά μοντέλα υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των ιδιοτήτων του πραγματικού συστήματος και των ιδιοτήτων του μοντέλου, που είναι διαφορετικής φύσης. Για παράδειγμα το υψόμετρο των βουνών αντιστοιχεί σε γεωδαιτικές γραμμές και η τάση ενός ηλεκτρικού πεδίου σε ισοδυναμικές γραμμές. Μεγάλη σπουδαιότητα έχει ο αναλογικός ηλεκτρονικός υπολογιστής, που είναι αναλογικό μοντέλο πολλαπλής χρήσης.

3) Συμβολικά μοντέλα:

Στα συμβολικά μοντέλα η αναπαράσταση της πραγματικότητας γίνεται με τη βοήθεια μαθηματικών συμβόλων. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος συνήθως περιγράφονται με μαθηματικές σχέσεις, για αυτό ονομάζονται μαθηματικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά είναι τα πλέον αφηρημένα και γενικά αυτό τα κάνει πιο εύχρηστα. Είναι το είδος των μοντέλων, που χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές στα συστήματα αποφάσεων.

Διακρίσεις μοντέλων (II):

Ένας άλλος χωρισμός των μοντέλων είναι σε μοντέλα βελτιστοποίησης και σε μοντέλα προσομοίωσης.

1) Μοντέλα βελτιστοποίησης:

Τα μοντέλα βελτιστοποίησης είναι τις περισσότερες φορές μαθηματικά μοντέλα και έχουν την παρακάτω γενική μορφή:

Υπάρχει συνάρτηση $Z=F(X_i, Y_i)$ όπου:

Z : είναι η συνάρτηση χρησιμότητας ή αντικειμενική συνάρτηση ή οικονομική συνάρτηση

X_i : ελεγχόμενες μεταβλητές, δηλαδή μεταβλητές των οποίων τις τιμές μπορούμε, να ρυθμίσουμε

Y_i : ανεξάρτητες μεταβλητές, δηλαδή μεταβλητές, που επηρεάζονται από φυσικούς παράγοντες έξω από τον έλεγχο μας.

Ακόμα υπάρχουν της μορφής: $G(X_i, Y_i) \leq 0$ μεταξύ των μεταβλητών X_i και Y_i .

Ζητείται να προσδιοριστούν οι τιμές των ελεγχόμενων μεταβλητών X_i για τις οποίες η συνάρτηση Z λαμβάνει μέγιστη ή ελάχιστη τιμή.

2) Μοντέλα προσομοίωσης:

Όταν η πολυπλοκότητα ή η ειδική φύση της δομής ενός συστήματος δεν επιτρέπει την κατασκευή ενός αναλυτικού μαθηματικού μοντέλου το πρόβλημα μπορεί πολλές φορές να αντιμετωπιστεί με την κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης. Ένα τέτοιο μοντέλο αναπαριστά:

- a) Τα στοιχεία του συστήματος
- b) Τις δραστηριότητες κάθε στοιχείου
- c) Τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων
- d) Τις εισροές και τις εκροές του συστήματος

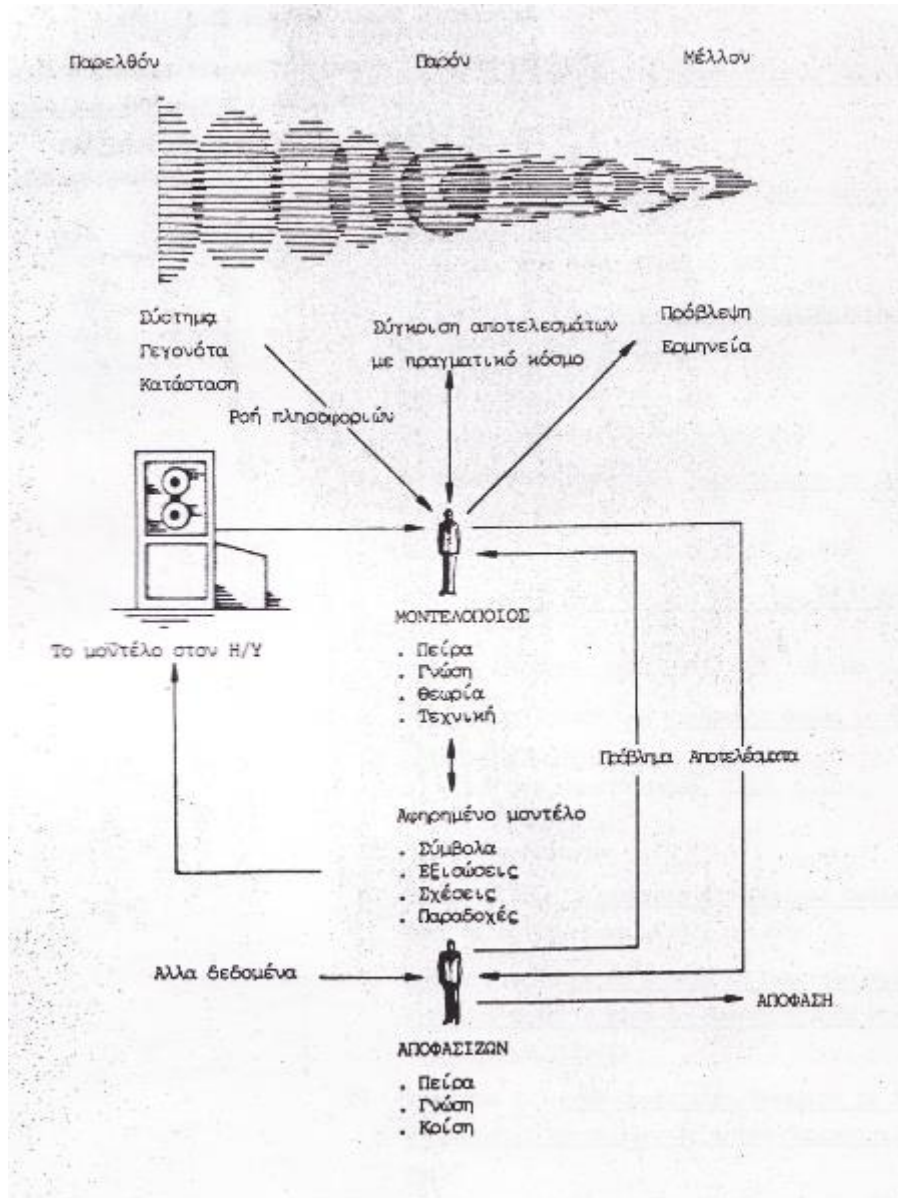
Η αναπαράσταση των δραστηριοτήτων και της αλληλεπίδρασης τους γίνεται δυναμικά (διαχρονικά) και σε τέτοιο βαθμό λεπτομέρειας ώστε, να διατηρούνται η βασική δομή και οι λειτουργίες του συστήματος.

Μοντέλα και πραγματικός κόσμος

Ένα πραγματικό σύστημα συνήθως είναι πολύπλοκο, δαιδαλώδες. Προκειμένου, να περιγραφεί με ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων πρέπει, να γίνουν ορισμένες υποθέσεις, ή παραδοχές κάτω από τις οποίες και μόνο το μοντέλο θα περιγράφει την πραγματικότητα. Οι υποθέσεις πρέπει να γίνουν κατά τρόπο πλήρη, αντικειμενικό και λειτουργικό, αλλά πάλι πρέπει να έχουμε υπ’ όψιν μας, ότι το μοντέλο εκφράζει ατελώς και από ορισμένη μόνο σκοπιά τη δομή και τη λειτουργία του πραγματικού συστήματος. Η σχέση του μοντέλου με το πραγματικό σύστημα, που αναπαριστά, μπορεί να προσομοιασθεί με τη σχέση της φωτογραφίας και αντικειμένου. Υπάρχουν άπειρες δυνατές φωτογραφίες, όσες και οι θέσεις από τις οποίες μπορούν να ληφθούν. Το ίδιο συμβαίνει και με τα μοντέλα. Δεν υπάρχει το “αντικειμενικό μοντέλο”, που θα απεικονίζει την λειτουργία του συστήματος, όπως μία μαθηματική σχέση απεικονίζει έναν φυσικό νόμο. Ένα μοντέλο είναι απλά μία αναπαράσταση του μελετώμενου συστήματος από μία ορισμένη γωνία και από ορισμένη θέση σκοπιμότητας. Αυτό είναι κάτι, που πρέπει να το έχουμε στο μυαλό μας, όταν προβαίνουμε στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου.

3.5 Κατασκευή και χρήση μοντέλων

Έχουμε από την μία μεριά τον αποφασίζοντα, που έχει να αντιμετωπίσει κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα και από την άλλη τον μοντελοποιό, που δέχεται το πρόβλημα από τον αποφασίζοντα. Ο μοντελοποιός παίρνει πληροφορίες σχετικές με το πρόβλημα μελετώντας το παρελθόν και χρησιμοποιώντας την πείρα και τις γνώσεις του κάνει ορισμένες παραδοχές και καταλήγει στην κατασκευή ενός αφηρημένου μοντέλου, που αποτελείται από σύμβολα, σχέσεις και εξισώσεις. Στη συνέχεια εγκαθιστά το μοντέλο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, αφού καταστρώσει το πρόγραμμα στον κατάλληλο κώδικα, και το δοκιμάζει συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με ιστορικά στοιχεία. Εφόσον το μοντέλο αποτύχει σε αυτό το τεστ-σύγκριση με τον πραγματικό κόσμο ο μοντελοποιός αρχίζει από την αρχή. Εάν όμως το μοντέλο αποδειχθεί επιτυχημένο, τότε μπορεί να το χρησιμοποιήσει με τις ειδικές παραδοχές και για τις ανάγκες του προβλήματος. Παίρνει τα αποτελέσματα από τον υπολογιστή και ερμηνεύει τις περισσότερες φορές με την βοήθεια του αποφασίζοντα. Ο τελευταίος έχοντας στην διάθεση του τα αποτελέσματα και τα άλλα δεδομένα του προβλήματος λαμβάνει την τελική απόφαση με την βοήθεια της εμπειρίας, των γνώσεων και της κρίσης του. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3.1, που ακολουθεί.



Σχήμα 3.1 ιδανική διαδικασία κατασκευής μοντέλου (Πηγή: Μ.Σαμουηλίδης, Κ.Βλάχος, Ι.Ψαρράς 1986)

3.6 Διάσημα εργαλεία

3.6.1 Μαθηματικός προγραμματισμός

Προβλήματα Βελτιστοποίησης:

Σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης επιδιώκεται η μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μίας συγκεκριμένης ποσότητας, η οποία ονομάζεται αντικειμενική και εξαρτάται από έναν πεπερασμένο αριθμό μεταβλητών εισόδου. Αυτές οι μεταβλητές μπορεί να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ή μπορεί να συνδέονται με έναν ή περισσότερους περιορισμούς.

Παράδειγμα: Έστω, ότι θέλω να ελαχιστοποιήσω την συνάρτηση $Z = X_1^2 + X_2^2$
 με περιορισμούς: $X_1 - X_2 = 3$
 $X_2 \geq 2$

Το πρόβλημα είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για την αντικειμενική συνάρτηση Z . Οι X_1 και X_2 είναι οι μεταβλητές εισόδου, που συνδέονται με δύο τρόπους: η X_1 πρέπει να ξεπερνά την X_2 κατά 3 μονάδες και επίσης η X_2 πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του 2. Για τις μεταβλητές εισόδου θέλουμε, να βρούμε τις τιμές, που ελαχιστοποιούν το άθροισμα των τετραγώνων τους κάτω από ορισμένα όρια, που επιβάλλονται από τους περιορισμούς.

Ένα μαθηματικό πρόγραμμα είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί δίνονται με την μορφή μαθηματικών συναρτήσεων και συναρτησιακών σχέσεων, όπως στο παραπάνω παράδειγμα. Τα μαθηματικά προγράμματα έχουν συνήθως την μορφή:

Βελτιστοποίηση της συνάρτησης: $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

με περιορισμούς:

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Κάθε μία από τις σχέσεις περιορισμών 3.1 εμπεριέχει ένα από τα σύμβολα $\geq, =, \leq$. Τα μαθηματικά προγράμματα χωρίς περιορισμούς καλύπτονται από την διατύπωση 3.1, αν επιλέξουμε μηδενική τιμή για κάθε μία από τις συναρτήσεις g_i και τις σταθερές b_i .

3.6.1.1 Γραμμικός προγραμματισμός

Ένα μαθηματικό πρόγραμμα της μορφής της εξίσωσης 3.1 είναι γραμμικό αν η συνάρτηση $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ και κάθε συνάρτηση $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i = 1, 2, \dots, m$ είναι γραμμικές ως προς καθένα από τα ορίσματα τους, δηλαδή αν:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \quad (3.2)$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \quad (3.3)$$

Όπου C_i, a_{ij} $i=1, 2, \dots, n$ είναι γνωστές σταθερές.

Κάθε άλλο μαθηματικό πρόγραμμα είναι μη γραμμικό

Διατύπωση προβλήματος: Τις περισσότερες φορές, τα προβλήματα βελτιστοποίησης διατυπώνονται φραστικά. Η διαδικασία επίλυσης περιλαμβάνει την μοντελοποίηση του προβλήματος με ένα μαθηματικό πρόγραμμα και στη συνέχεια την επίλυση του προγράμματος με διάφορες τεχνικές. Για την μετατροπή ενός λεκτικού προβλήματος σε μαθηματικό πρόγραμμα προτείνεται η ακόλουθη προσέγγιση.

Βήμα 1^ο: Καθορίζεται η ποσότητα, που θα βελτιστοποιηθεί και εκφράζεται ως μαθηματική συνάρτηση. Αυτό βοηθά στον ορισμό των μεταβλητών εισόδου.

Βήμα 2^ο: Προσδιορίζονται όλες οι απαιτήσεις και οι συνθήκες, που αναφέρονται ρητά και εκφράζονται μαθηματικά. Αυτές οι απαιτήσεις και συνθήκες αποτελούν τους περιορισμούς.

Βήμα 3^ο: Εκφράζονται οι όποιες κρυφές συνθήκες υπάρχουν. Αυτές οι συνθήκες δεν αναφέρονται στο πρόβλημα, αλλά είναι προφανείς από την φυσική κατάσταση που μοντελοποιείται. Γενικά, στις συνθήκες αυτές συγκαταλέγονται απαιτήσεις μη αρνητικότητας ή ακεραιότητας των μεταβλητών εισόδου.

Σύμβαση λύσης: Σε κάθε μαθηματικό πρόγραμμα αναζητούμε μία λύση. Αν υπάρχουν αρκετές, εξίσου βέλτιστες λύσεις, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από αυτές. Δεν υπάρχει προτίμηση ανάμεσα σε εξίσου βέλτιστες λύσεις, αν δεν αναφέρεται ρητά κάποια προτίμηση στους περιορισμούς.

3.6.1.2 Δυικά προβλήματα και ανάλυση ευαισθησίας

Κάθε γραμμικό πρόγραμμα με μεταβλητές x_1, x_2, \dots, x_n σχετίζεται με ένα άλλο πρόγραμμα με μεταβλητές w_1, w_2, \dots, w_m (όπου m είναι ο ρυθμός των περιορισμών του αρχικού προγράμματος), το οποίο είναι γνωστό ως το δυικό του. Το αρχικό πρόγραμμα, που ονομάζεται πρωτεύον προσδιορίζει πλήρως την μορφή του δυικού του.

Το δυικό πρόβλημα: Σύμφωνα με τη θεωρία της δυικότητας σε κάθε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού μπορούμε να αντιστοιχίσουμε ένα δεύτερο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, που ονομάζεται δυικό σε αντίθεση με το αρχικό πρόβλημα, που ονομάζεται πρωτεύον. Η βέλτιστη δυνατή λύση του ενός προβλήματος μπορεί να βρεθεί από την βέλτιστη δυνατή λύση του άλλου. Η επίλυση του δυικού προβλήματος μπορεί να διευκολύνει την επίλυση του πρωτεύοντος και δίνει χρήσιμες οικονομικές πληροφορίες.

Αν θεωρήσουμε, ότι το πρωτεύον πρόβλημα είναι στην κανονική μορφή, τότε το δυικό πρόβλημα προκύπτει ως εξής:

- I. Το πρωτεύον πρόβλημα είναι πρόβλημα μεγιστοποίησης, ενώ το δυικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης
- II. Κάθε στήλη του συστήματος των περιορισμών του πρωτεύοντος προβλήματος μετατρέπεται σε περιορισμό του δυικού. Δηλαδή σε κάθε μεταβλητή του πρωτεύοντος αντιστοιχεί ένας περιορισμός του δυικού.
- III. Οι σταθεροί όροι των περιορισμών του πρωτεύοντος προβλήματος είναι οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης του δυικού.
- IV. Οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης του πρωτεύοντος προβλήματος είναι οι σταθεροί όροι των περιορισμών του δυικού.
- V. Οι περιορισμοί του πρωτεύοντος προβλήματος είναι τύπου \leq ενώ οι περιορισμοί του δυικού είναι τύπου \geq

Δύϊκές λύσεις:

Θεώρημα δυισμού: Αν υπάρχει βέλτιστη λύση είτε για το πρωτεύον είτε για το συμμετρικό δυικό πρόγραμμα, τότε το άλλο πρόγραμμα έχει και αυτό βέλτιστη λύση και οι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις έχουν την ίδια βέλτιστη τιμή.

Ανάλυση ευαισθησίας: Ο σκοπός του γραμμικού προγραμματισμού δεν ολοκληρώνεται με την εύρεση της βέλτιστης λύσης του γραμμικού μοντέλου ενός πραγματικού προβλήματος. Η ανάλυση ευαισθησίας του γραμμικού προγραμματισμού συνεχίζει την επεξεργασία της βέλτιστης λύσης, ώστε να παρέχει πρόσθετη πρακτική αντίληψη του υποδείγματος. Αφού αυτή η ανάλυση εξετάζει πόσο ευαίσθητη είναι η βέλτιστη λύση στις μεταβολές των συντελεστών του υποδείγματος γραμμικού προγραμματισμού ονομάζεται ανάλυση ευαισθησίας. Αυτή η διεργασία είναι επίσης γνωστή και ως ανάλυση μεταβελτιστότητας, επειδή ξεκινά μετά την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Αφού ζούμε σε έναν δυναμικό κόσμο, που μεταβάλλεται συνεχώς αυτή η μελέτη των επιδράσεων στην λύση λόγω των μεταβολών στα δεδομένα του προβλήματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη.

Γενικά μας ενδιαφέρει να βρούμε τις επιπτώσεις των παρακάτω μεταβολών στην βέλτιστη λύση γραμμικού προγραμματισμού:

- I. Μεταβολές στο κέρδος/μονάδα ή στο κόστος/μονάδα της αντικειμενικής συνάρτησης.
- II. Μεταβολές στη διαθεσιμότητα των πόρων ή των δυνατοτήτων των κέντρων παραγωγής/εξυπηρέτησης ή των ορίων των απαιτήσεων (διάνυσμα απαιτήσεων, ή τα δεξιά μέλη των περιορισμών).
- III. Μεταβολές στις απαιτήσεις πόρων/μονάδες προϊόντων ή δραστηριοτήτων (τεχνολογικοί συντελεστές των μεταβλητών) στους περιορισμούς.
- IV. Προσθήκη ενός νέου προϊόντος ή δραστηριότητας (μεταβλητή).
- V. Προσθήκη ενός νέου περιορισμού.

3.6.2 Δυναμικός προγραμματισμός

Πολυσταδιακές διαδικασίες αποφάσεων:

Μία πολυσταδιακή διαδικασία αποφάσεων είναι μία διαδικασία, που μπορεί να χωριστεί σε έναν αριθμό διαδοχικών βημάτων ή σταδίων, τα οποία μπορούν να ολοκληρωθούν με έναν ή περισσότερους τρόπους. Οι επιλογές για την ολοκλήρωση των σταδίων ονομάζονται αποφάσεις. Πολιτική είναι μία ακολουθία αποφάσεων, μία για κάθε στάδιο της διαδικασίας.

Οι συνθήκες της διαδικασίας σε κάθε στάδιο ονομάζονται κατάσταση στο συγκεκριμένο στάδιο. Με κάθε απόφαση υλοποιείται μία μετάβαση από την τρέχουσα κατάσταση σε μία κατάσταση, που σχετίζεται με το επόμενο στάδιο. Μία πολυσταδιακή διαδικασία αποφάσεων είναι πεπερασμένη, αν ο αριθμός των σταδίων στη διαδικασία είναι πεπερασμένος και ο αριθμός των καταστάσεων που σχετίζονται με κάθε στάδιο είναι πεπερασμένος.

Πολλές πολυσταδιακές διαδικασίες αποφάσεων έχουν αποδόσεις (κόστος ή οφέλη), που σχετίζονται με κάθε απόφαση. Αυτές οι αποδόσεις μπορεί να διαφέρουν τόσο ως προς το στάδιο όσο και ως προς την κατάσταση της διαδικασίας. Ο στόχος της ανάλυσης τέτοιων διαδικασιών είναι ο

προσδιορισμός μίας βέλτιστης πολιτικής, εκείνης που θα έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη συνολική απόδοση.

Μία πολυσταδιακή διαδικασία είναι αιτιοκρατική αν είναι γνωστό με ακρίβεια το αποτέλεσμα κάθε απόφασης (και συγκεκριμένα, η κατάσταση που δημιουργείται από την απόφαση).

Ένα μαθηματικό πρόγραμμα: Το μαθηματικό πρόγραμμα

$$\begin{array}{ll} \text{Βελτιστοποίησης:} & Z = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n) \\ \text{Με περιορισμό:} & x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq b \\ \text{Με:} & \text{όλες τις μεταβλητές μη αρνητικές και ακέραιους} \end{array} \quad (3.4)$$

Στο οποίο τα $f_1(x_1)$, $f_2(x_2)$, $f_n(x_n)$ είναι γνωστές (μη γραμμικές) συναρτήσεις μίας μεταβλητής και το b είναι ένας γνωστός μη αρνητικός ακέραιος μοντελοποιεί μία σημαντική κατηγορία πολυσταδιακών διαδικασιών αποφάσεων. Εδώ ο αριθμός των σταδίων είναι n . Το στάδιο 1 περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της μεταβλητής απόφασης x_1 με προκύπτουσα συμμετοχή $f_1(x_1)$ στην συνολική απόδοση κλπ. Οι καταστάσεις είναι $0, 1, 2, \dots, b$ και αντιπροσωπεύουν πιθανές αξίες για τον αριθμό των μονάδων, που διατίθενται προς κατανομή/ανάθεση. Αυτές οι καταστάσεις είναι συσχετισμένες με όλα τα στάδια μετά το πρώτο, ενώ το στάδιο 1 έχει την μοναδική κατάσταση b .

Δυναμικός προγραμματισμός: Ο δυναμικός προγραμματισμός είναι μία προσέγγιση για την βελτιστοποίηση πολυσταδιακών διαδικασιών αποφάσεων. Βασίζεται στην αρχή βελτιστότητας του Bellman.

Αρχή βελτιστότητας: Μία βέλτιστη πολιτική έχει την ιδιότητα, ότι ανεξάρτητα από τις αποφάσεις, που έγιναν στην διάρκεια ενός συγκεκριμένου σταδίου για την είσοδο σε μία συγκεκριμένη κατάσταση οι υπόλοιπες αποφάσεις πρέπει να συνιστούν μία βέλτιστη πολιτική για την έξοδο από αυτήν την κατάσταση.

Για την εφαρμογή αυτής της αρχής ξεκινάμε με το τελευταίο στάδιο μίας διαδικασίας n σταδίων και προσδιορίζουμε για κάθε κατάσταση τη βέλτιστη πολιτική για την έξοδο από αυτή την κατάσταση και την ολοκλήρωση της διαδικασίας, θεωρώντας ότι όλα αυτά τα προηγούμενα στάδια έχουν ολοκληρωθεί. Στην συνέχεια ανατρέχουμε αντίστροφα στην διαδικασία στάδιο προς στάδιο. Σε κάθε στάδιο προσδιορίζουμε την βέλτιστη πολιτική για την έξοδο από κάθε κατάσταση και την ολοκλήρωση της διαδικασίας, θεωρώντας ότι όλα τα προηγούμενα στάδια έχουν ολοκληρωθεί και χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα, που έχουν ήδη βρεθεί από το επόμενο στάδιο. Έτσι υπολογίζονται οι καταχωρήσεις του πίνακα 3.1 όπου:

$U \equiv$ η μεταβλητή κατάστασης, οι τιμές της οποίας προσδιορίζουν τις καταστάσεις

$m_j(u) \equiv$ η βέλτιστη απόδοση από την ολοκλήρωση της διαδικασίας ξεκινώντας από το στάδιο j στην κατάσταση u

$d_j(u) \equiv$ η απόφαση η οποία έγινε στο στάδιο j και επιτυγχάνει την $m_j(u)$

	u					
	0	1	2	3	...	
$m_n(u)$						} Τελευταίο στάδιο
$d_n(u)$						
$m_{n-1}(u)$						} Προτελευταίο στάδιο
$d_{n-1}(u)$						
...					
$m_1(u)$						} Πρώτο στάδιο
$d_1(u)$						

Σχήμα 3.2 (Πηγή: Richard Bronson, Govindasami Naadimuthu 2010)

Οι καταχωρήσεις που αντιστοιχούν στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας $m_n(u)$ και $d_n(u)$ είναι σε γενικές γραμμές εύκολο να υπολογιστούν. Οι υπόλοιπες καταχωρήσεις βρίσκονται με αναδρομική διαδικασία υπολογισμού, δηλαδή οι καταχωρήσεις για το στάδιο j ($j=1, 2, \dots, n-1$) προσδιορίζονται ως προς τις καταχωρήσεις του σταδίου $j+1$. Ο αναδρομικός τύπος υπολογισμού εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα και πρέπει να βρίσκεται εκ νέου για κάθε διαφορετικό τύπο πολυσταδιακής διαδικασίας.

Για λόγους απλούστευσης, η σχεδίαση του πίνακα που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2 βασίστηκε στην παραδοχή, ότι κάθε στάδιο έχει το ίδιο σύνολο καταστάσεων. Παρόλο που αυτό μπορούμε πάντα να το επιβάλλουμε (με κατάλληλη ανάθεση τιμών “ποινών” στις συναρτήσεις απόδοσης m_j), συχνά είναι πιο φυσική η χρήση διαφορετικών μεταβλητών κατάστασης, καθεμία με το δικό της εύρος τιμών, για κάθε στάδιο. Φυσικά, αυτή η χρήση δεν αλλοιώνει με κανέναν τρόπο την αρχή της βελτιστότητας.

Η προσέγγιση του δυναμικού προγραμματισμού ταιριάζει ιδιαίτερα σε διαδικασίες που μοντελοποιούνται από το σύστημα X.4, διαδικασίες στις οποίες η απόδοση κάθε απόφασης είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες αποφάσεις. Για το σύστημα X.4 οι τιμές του $m_n(u)$ για $u= 0, 1, \dots, b$ δίνονται από τον τύπο:

$$m_n(u) = \text{βέλτιστο} \{f_n(x)\} \text{ για } 0 \leq x \leq u \quad 3.5$$

Ο αναδρομικός τύπος είναι:

$$m_j(u) = \text{βέλτιστο} \{f_j(x) + m_{j+1}(u-x)\} \text{ για } 0 \leq x \leq u \quad 3.6$$

για $j= n-1, n-2, \dots, 1$. Στη σχέση 3.5 η μεταβλητή απόφασης x (η οποία συμβολίζεται με x_n στην 3.4) παίρνει ακέραιες τιμές, όπως και το x ($\equiv x_j$) στην 3.6. Θεωρούμε, ότι η τιμή του x , που δίνει το βέλτιστο στην 3.5 είναι η $d_j(u)$. Αν οποιοδήποτε από αυτά τα δύο βέλτιστα δίνονται από πολλές

τιμές του x , επιλέγουμε αυθαίρετα μία από αυτές ως την βέλτιστη απόφαση. Η βέλτιστη λύση για το πρόγραμμα 3.4 είναι η $z^* = m_1(b)$, η οποία είναι η βέλτιστη απόδοση από την ολοκλήρωση της διαδικασίας, αν στο στάδιο 1 υπήρχαν αρχικά b διαθέσιμες μονάδες για κατανομή. Αφού έχει προσδιοριστεί το z , οι βέλτιστες αποφάσεις x_1^* , x_2^* , ..., x_n^* βρίσκονται διαδοχικά από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} x_1^* &= d_1(b) \\ x_2^* &= d_2(b - x_1^*) \\ x_3^* &= d_3(b - x_1^* - x_2^*) \\ &\dots\dots\dots \\ x_n^* &= d_n(b - x_1^* - x_2^* - \dots - x_{n-1}^*) \end{aligned}$$

3.6.3 Δέντρα αποφάσεων

3.6.3.1 Εισαγωγή

Τα προβλήματα λήψης απόφασης είναι από τα πιο συνηθισμένα, που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος. Ένα πρόβλημα λήψης απόφασης συνίσταται στην επιλογή από σειρά εναλλακτικών τρόπων δράσης, εκείνου, που εξασφαλίζει την καλύτερη εξυπηρέτηση των στόχων, που έχουν τεθεί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποφάσεων είναι η επιλογή επενδύσεων, εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά, επιλογή νέας τεχνολογίας, επιλογή θέσης κατασκευής εργοστασίου και άλλα πολλά. Βασικές παράμετροι ενός προβλήματος απόφασης είναι οι στόχοι του αποφασίζοντα, τα τεχνικά δεδομένα, τα οικονομικά δεδομένα, οι καταστάσεις της φύσης που επηρεάζουν το πρόβλημα και οι πληροφορίες που υπάρχουν, ή μπορεί να αποκτηθούν για τις καταστάσεις αυτές.

Τα δένδρα αποφάσεων είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό των βέλτιστων αποφάσεων για πολύπλοκες διαδικασίες. Ξεκινάμε από τους τερματικούς κόμβους και κινούμαστε σειριακά προς τα πίσω διαμέσου του δικτύου, υπολογίζοντας τις αναμενόμενες απολαβές στους ενδιάμεσους κόμβους. Κάθε απολαβή γράφεται πάνω από τον αντίστοιχο κόμβο. Προτεινόμενη απόφαση είναι εκείνη, που οδηγεί σε μέγιστη αναμενόμενη απολαβή.

3.6.3.2 Κύρια στοιχεία και δομή προβλήματος

Δένδρο αποφάσεων είναι ένα προσανατολισμένο δένδρο, που αναπαριστά μία διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι κόμβοι συμβολίζουν χρονικά σημεία στα οποία:

- I. Πρέπει να ληφθεί κάποια απόφαση από τον λήπτη αποφάσεων.
- II. Ο λήπτης αντιμετωπίζει κάποια κατάσταση της φύσης.
- III. Ολοκληρώνεται η διαδικασία.

Από έναν κόμβο, που εμπίπτει στην κατηγορία (I) εκπορεύεται μία διακλάδωση για κάθε πιθανή απόφαση. Από έναν κόμβο της κατηγορίας (II) εκπορεύεται μία διακλάδωση για κάθε πιθανή κατάσταση της φύσης. Κάτω από κάθε διακλάδωση αναγράφεται η πιθανότητα του αντίστοιχου ενδεχομένου, όταν αυτή ορίζεται. Υπάρχουν δύο είδη κόμβων:

- I. Οι κόμβοι απόφασης, που συμβολίζονται με τετράγωνο.
- II. Οι κόμβοι τυχαίων γεγονότων που συμβολίζονται με κύκλο.

Από κάθε κόμβο απόφασης ξεκινούν κλάδοι, που απεικονίζουν όλες τις εναλλακτικές δράσεις του προβλήματος, ενώ από κόμβο τυχαίων γεγονότων ξεκινούν κλάδοι, που απεικονίζουν όλες τις αντίστοιχες δυνατές καταστάσεις της φύσης.

Τα κύρια στοιχεία ενός προβλήματος απόφασης είναι:

- I. Ο αποφασίζων
- II. Οι στόχοι του αποφασίζοντα
- III. Οι εναλλακτικές δράσεις
- IV. Οι διάφορες καταστάσεις της φύσης
- V. Τα κέρδη

Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης δράσης απαιτείται η ύπαρξη ενός κανόνα ή ενός κριτηρίου. Υπάρχουν πολλά κριτήρια, που θα αναφερθούν παρακάτω.

3.6.3.3 Κριτήρια

Απλοϊκά κριτήρια αποφάσεων: Το κριτήριο *minimax* (ή *απαισιόδοξο κριτήριο*) υπαγορεύει την επιλογή της απόφασης, που ελαχιστοποιεί τη μέγιστη πιθανή απώλεια για τον λήπτη αποφάσεων. Στα πλαίσια της μήτρας απολαβών είναι η απόφαση, που μεγιστοποιεί το ελάχιστο πιθανό κέρδος. Το *αισιόδοξο σενάριο* (*optimistic criterion*) υπαγορεύει την επιλογή της απόφασης, που μεγιστοποιεί την πιθανή απολαβή. Το κριτήριο της μέσης οδού (*middle-of-the-road criterion*) οδηγεί σε επιλογή της απόφασης για την οποία ο μέσος όρος της μέγιστης και της ελάχιστης απολαβής είναι ο μεγαλύτερος. Καθώς κανένα από αυτά τα κριτήρια δε βασίζεται στις πιθανές καταστάσεις της φύσης, θεωρούνται κατώτερα από άλλα κριτήρια, που βασίζονται στις καταστάσεις της φύσης. Στην συνέχεια θα εξετάσουμε δύο πιθανοτικά κριτήρια.

Κριτήριο a priori: Το κριτήριο *a priori* (ή κριτήριο Bayes) είναι η επιλογή της απόφασης, που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη απολαβή.

Κριτήριο a posteriori: Αν είναι εφικτή η διεξαγωγή ενός πειράματος το οποίο παρέχει πληροφορίες για την πραγματική κατάσταση της φύσης, τότε δεδομένα από αυτό το πείραμα θα μπορούσαν να συνδυαστούν με τις αρχικές πιθανότητες των διαφόρων καταστάσεων, για να δώσουν μία ενημερωμένη κατανομή πιθανοτήτων. Συμβολίζουμε το αποτέλεσμα του πειράματος με θ και θεωρούμε, ότι η αξιοπιστία του πειράματος δίνεται από τις δεσμευμένες πιθανότητες $P(\theta|S_1), P(\theta|S_2), \dots, P(\theta|S_n)$. Οι ενημερωμένες (ή *a posteriori*) πιθανότητες των καταστάσεων $P(\theta|S_1), P(\theta|S_2), \dots, P(\theta|S_n)$ προσδιορίζονται από το θεώρημα Bayes. Το κριτήριο *a posteriori* υποδεικνύει την επιλογή της απόφασης, που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη απολαβή, αν ληφθεί υπόψη η ενημερωμένη κατανομή πιθανοτήτων.

Θεώρημα Bayes: Θεωρείστε έναν δειγματικό χώρο L , που αποτελείται από όλα τα πιθανά αποτελέσματα ενός λογικού (εννοιολογικού) πειράματος (για παράδειγμα την πρόβλεψη της κατάστασης της φύσης σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή). Αν τα A και B είναι δύο ενδεχόμενα (υποσύνολα) του L , τότε η δεσμευμένη πιθανότητα του ενδεχομένου A με δεδομένο ότι το ενδεχόμενο B έχει προκύψει και η δεσμευμένη πιθανότητα του B με δεδομένο ότι το A έχει προκύψει ορίζεται από την σχέση:

$$P(A \cap B) = P(B) \cdot P(A|B) = P(A) \cdot P(B|A) \quad (1)$$

Όπου $A \cap B$ είναι η τομή των A και B . Με επίλυση της (1) έχουμε:

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) \cdot P(B)}{P(A)} \quad (2)$$

Στο οποίο θεωρούμε, ότι $P(A) > 0$. Η εξίσωση (2) είναι η απλή μορφή του θεωρήματος Bayes.

Η πιο συνήθης μορφή βρίσκεται με την εισαγωγή ενός συνόλου αλληλοαναιρούμενων ενδεχομένων, (H_1, H_2, \dots, H_n) , η ένωση των οποίων είναι L . Τότε:

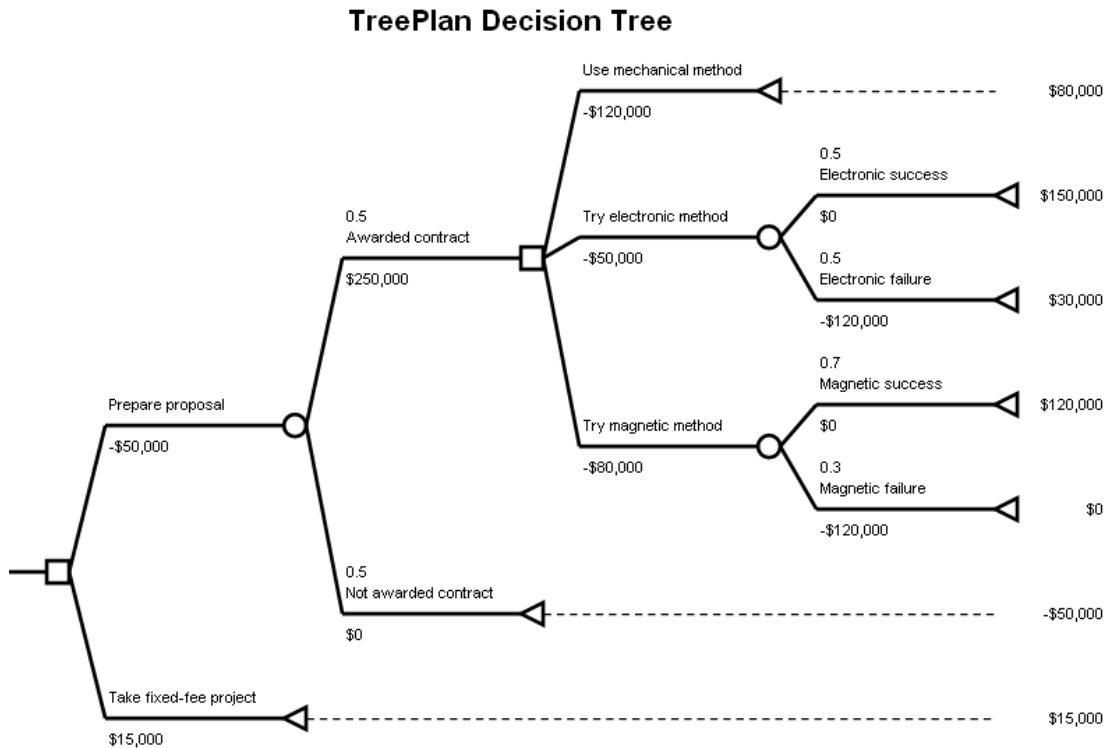
$$P(A) = P(A \cap H_1) + P(A \cap H_2) + \dots + P(A \cap H_n) \quad (3)$$

Με αντικατάσταση της σχέσης (3) στην (2) και επιλέγοντας $B = H_i$ έχουμε:

$$P(H_i|A) = \frac{P(A|H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_{j=1}^n P(A|H_j) \cdot P(H_j)} \quad (4)$$

Γενικά το θεώρημα Bayes στην μορφή της σχέσης (4), υπολογίζει την πιθανότητα του “αιτίου” H_i με δεδομένο, ότι είναι αληθές το αποτέλεσμα A .

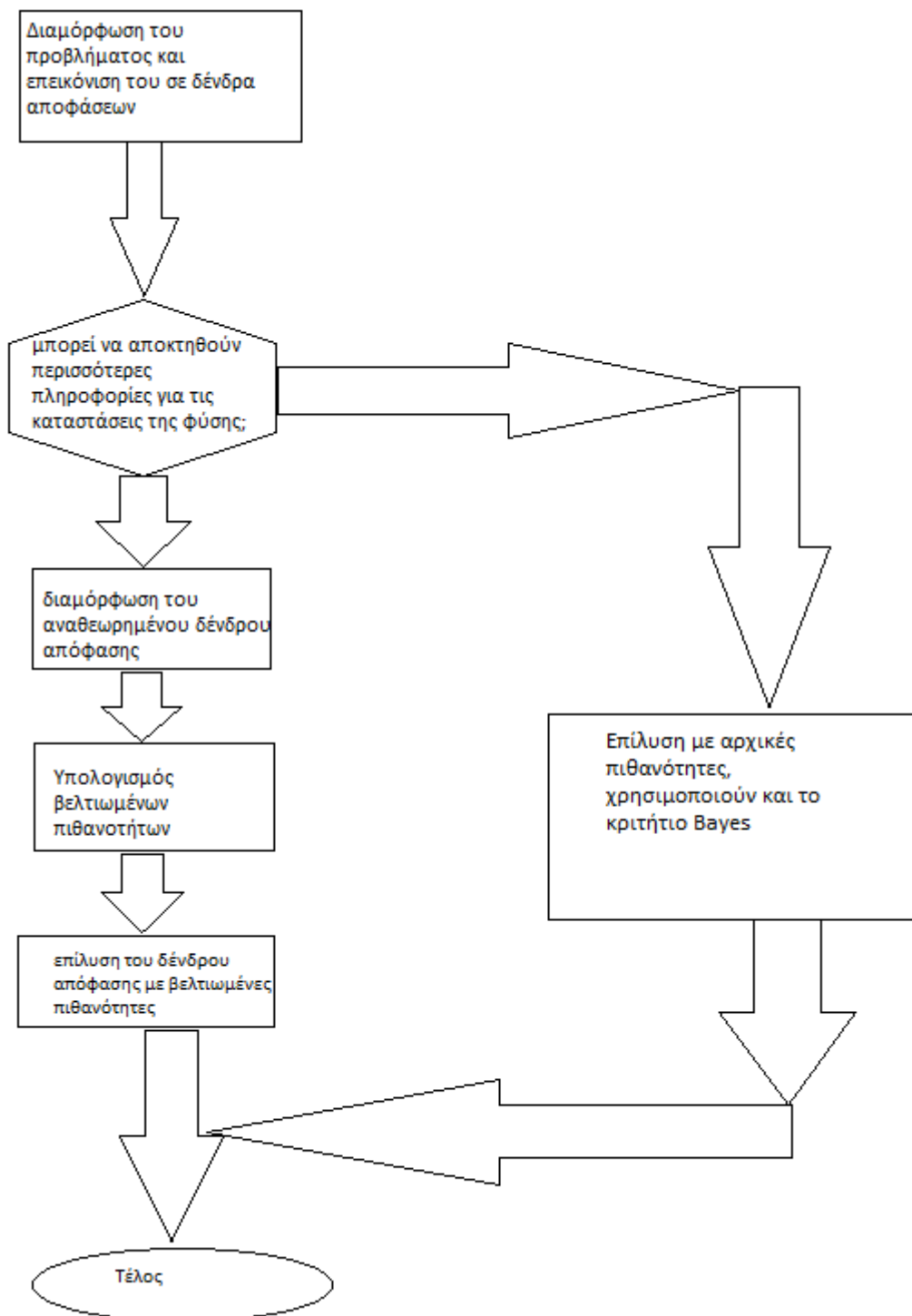
Ακολουθεί στο σχήμα 3.3 η εικόνα ενός δέντρου αποφάσεων, που περιλαμβάνει όσα έχουν περιγραφεί ανωτέρω:



Σχήμα 3.3 Δένδρο αποφάσεων

3.6.3.4 Διαδικασία ανάλυσης και επίλυση

Στο σχήμα 3.4, που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία ανάλυσης αποφάσεων



Σχήμα 3.4 διαδικασία ανάλυσης αποφάσεων (Πηγή: Μ.Σαμουηλίδης, Κ.Βλάχος, Ι.Ψαρράς 1986)

Βήματα επίλυσης δένδρου αποφάσεων:

- I. Απεικονίζεται το πρόβλημα απόφασης με την βοήθεια του δένδρου
- II. Στις κορυφές (των κλάδων) του δένδρου αναγράφεται το κέρδος, που θα προκύψει, αν ο αποφασίζων ακολουθήσει την αντίστοιχη πορεία
- III. Σημειώνεται πάνω σε κάθε κλαδί, που παριστάνει τυχαίο γεγονός ή πιθανότητα του γεγονότος. Χρειάζεται προσοχή στην περίπτωση, που οι σημειούμενες πιθανότητες είναι “υπό όρο”.
- IV. Ακολουθείται πορεία υπολογισμών από τις κορυφές του δένδρου προς την ρίζα του δένδρου για τον καθορισμό της “βέλτιστης απόφασης” σύμφωνα με το κριτήριο της προσδοκώμενης αξίας των κερδών.
- V. Σε κάθε κόμβο τυχαίων γεγονότων η προσδοκώμενη αξία (τιμή) των κερδών. Ο κόμβος και όλα τα κλαδιά, που ξεκινούν από αυτόν μπορούν, να αντικατασταθούν από την προσδοκώμενη αξία.
- VI. Σε κάθε κόμβο αποφάσεων επιλέγεται η απόφαση με την μεγαλύτερη προσδοκώμενη αξία κερδών. Διαγράφονται όλα τα άλλα κλαδιά, που ξεκινούν από τον κόμβο, που μπορεί να αντικατασταθεί με την προσδοκώμενη αξία της απόφασης, που επιλέχθηκε.

Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη μοντέλου

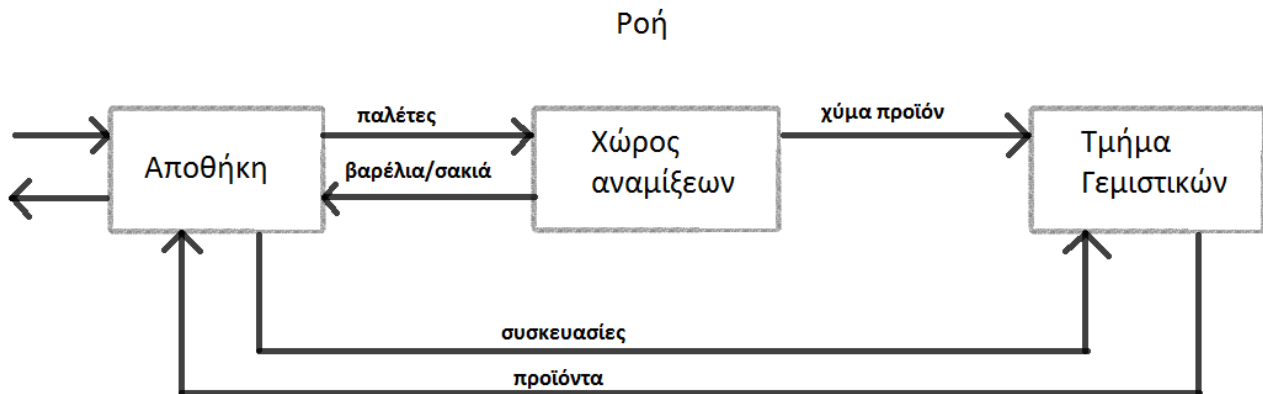
4.1 Στόχος μοντελοποίησης

Στόχος της μοντελοποίησης είναι η δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου, που να περιγράφει επαρκώς και όσο το δυνατότερο ακριβέστερα την λειτουργία της γραμμής παραγωγής. Πρέπει το μοντέλο να είναι σε θέση να λειτουργήσει ως ρυθμιστής των επιμέρους εργασιών, επιβάλλοντας το σωστό συντονισμό εργασιών ταυτόχρονα με την κατανομή των πόρων σε αυτές (πρώτες ύλες, μηχανολογικός εξοπλισμός κλπ.). Ωστόσο, πρέπει να παραμείνει ευέλικτο σε αλλαγές μιας και σε πραγματικές συνθήκες τα πάντα αλλάζουν δυναμικά και πολλές φορές απρόβλεπτα. Άρα πρέπει αντίστοιχα άμεσα και εύκολα να υποστηρίζεται η προσαρμογή και ο ανασχεδιασμός βάσει των νέων συνθηκών. Στην επόμενη παράγραφο θα αναφερθούν οι ισχύουσες συνθήκες σε ένα εργοστάσιο και το πώς έχει επιχειρηθεί η μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής του.

4.2 Περιβάλλον εφαρμογής

Πλαίσιο αναφοράς για τη δημιουργία του μοντέλου μας, θα αποτελέσει η λειτουργία μιας γραμμής παραγωγής καλλυντικών προϊόντων. Για να αξιολογηθεί η προσέγγιση και η αξιοπιστία της μοντελοποίησης, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα (data sets) που προέρχονται από τη γραμμή παραγωγής της Johnson & Johnson.

Μία συνοπτική εικόνα του εργοστασίου και τον ροών ανάμεσα στα κύρια τμήματα του φαίνεται στο σχήμα 4.1

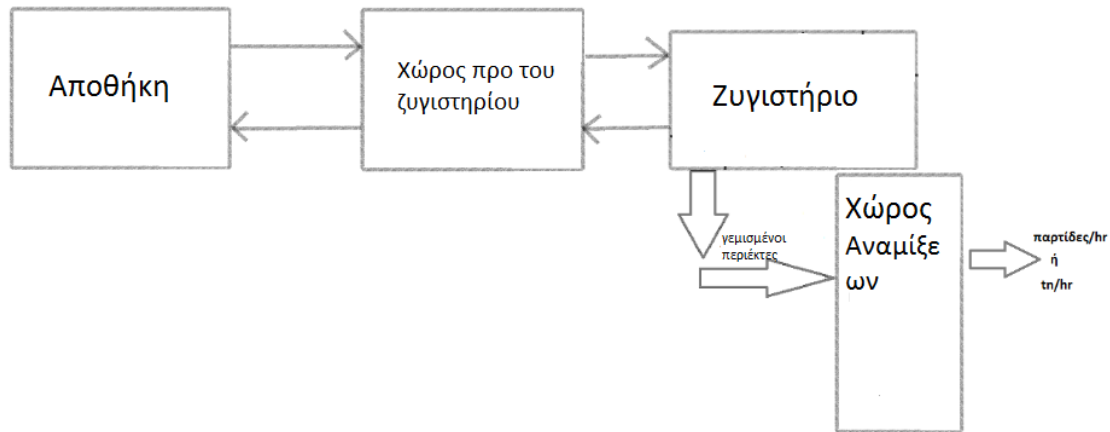


Σχήμα 4.1 Ροές στο εργοστάσιο

Στο σχήμα 4.1 γίνεται φανερό, ότι οι περισσότερες ροές στο εργοστάσιο είναι αμφίδρομες. Η αποθήκη είναι το μοναδικό τμήμα, που επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον, για εισαγωγή πρώτων υλών σε αυτή ή/και εξαγωγή των τελικών προϊόντων από το σύστημα. Περιέχει τις πρώτες ύλες και τις τροφοδοτεί σε παλέτες (που μπορεί να περιέχουν περισσότερες της μίας πρώτες ύλες) προς τις αναμίξεις. Αντίστοιχα, όποια πρώτη ύλη περισσέψει επιστρέφεται στην αποθήκη σε βαρέλια ή σακιά, ανάλογα το αρχικό δοχείο, στο οποίο βρισκόταν. Οι αναμίξεις τροφοδοτούν το τμήμα με τις γεμιστικές μηχανές, ώστε να συσκευασθούν τα τελικά προϊόντα (είναι η μοναδική μονόδρομη σχέση στο σύστημα). Τέλος το τμήμα των γεμιστικών μηχανών δέχεται από την αποθήκη συσκευασίες για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, με τα οποία και προμηθεύει την αποθήκη.

Γίνεται άμεσα αντιληπτό, ότι πρέπει ο ρυθμός παραγωγής (service rate) ενός υποσυστήματος να είναι τουλάχιστον ίδιος με του επόμενου, καθώς αυτά λειτουργούν σειριακά.

Ο στόχος της μελέτης είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ζυγιστηρίου (βλέπε εικόνα 4.2) ως προς το κομμάτι του εξοπλισμού, με σεβασμό στους φυσικούς περιορισμούς. Θέλουμε να πετύχουμε βελτιστοποίηση ως προς το χρόνο. Οι περιορισμοί, που αντιμετωπίζουμε έχουν να κάνουν με το διαθέσιμο εξοπλισμό και το πρόγραμμα αναμίξεων, που είναι γνωστό και πρέπει να τηρηθεί. Το αποτέλεσμα της εργασίας θα είναι η προτεραιοποίηση των εργασιών που πρέπει να επιτελέσει το ζυγιστήριο, ώστε να έχει τροφοδοτήσει εγκαίρως το αναμεικτήριο.



Σχήμα 4.2 Αναλυτική ροή από την αποθήκη προς τον χώρο των αναμίξεων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2, οι πρώτες ύλες και οι περιέκτες δεν πηγαίνουν απ' ευθείας στο τμήμα των αναμίξεων (όπως είδαμε στο σχήμα 4.1), αλλά πρώτα περνάνε από έναν χώρο, που βρίσκεται πριν το ζυγιστήριο, καθώς επίσης και το ίδιο το ζυγιστήριο. Έπειτα, μετά την ζύγιση των πρώτων υλών, αυτές πηγαίνουν στον χώρο των αναμίξεων, μέσα σε ειδικούς περιέκτες. Χρήσιμα επιμέρους χαρακτηριστικά του κάθε τμήματος, που πρέπει να ληφθούν υπόψιν από το σχήμα 4.2 αποτελούν τα κάτωθι:

Αποθήκη:

Έχει διαφορετικές ύλες σε κάθε παλέτα (και πιθανόν σε διαφορετικού είδους βαρέλια ή/και σακιά), γίνονται μεταφορές από και προς τον χώρο προ του ζυγιστηρίου, που τροφοδοτεί το ζυγιστήριο

Χώρος προ του ζυγιστηρίου:

Στον χώρο προ του ζυγιστηρίου πρέπει να υπάρχουν διαθέσιμα τα πράγματα, που θα χρειαστούν στο ζυγιστήριο, αναμεικτήριο και συσκευαστήριο στις επόμενες 36 ώρες.

Ζυγιστήριο:

Είναι ο χώρος, που ζυγίζονται οι πρώτες ύλες οι οποίες απαιτούνται για την παραγωγή ενός προϊόντος και βρίσκονται σε χαμηλή περιεκτικότητα ανά προϊόν. Για το ζύγισμα χρησιμοποιούνται μεταλλικοί ή πλαστικοί περιέκτες.

Χώρος Αναμίξεων:

Στον χώρο αυτό βρίσκονται οι αναμεικτικές μηχανές που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Οι μηχανές πρέπει να έχουν τις πρώτες ύλες από το ζυγιστήριο εγκαίρως για την επίτευξη του προγράμματος παραγωγής. Υπάρχει επίσης διαθέσιμος χώρος για προσωρινή αποθήκευση ήδη

ζυγισμένων υλικών (είτε αυτά είναι προζυγισμένα από την προηγούμενη μέρα είτε ζυγίστηκαν νωρίτερα από το αναμενόμενο), που περιμένουν να τροφοδοτήσουν τις αναμίξεις.

Πλυντήριο:

Υπάρχει διαθέσιμο πλυντήριο, στο οποίο οδηγούνται προς πλύσιμο τα δοχεία, που μετέφεραν τις πρώτες ύλες από το ζυγιστήριο προς τις αναμίξεις. Ο ρόλος του μας ενδιαφέρει, διότι πρέπει να πλυθούν τα προς επαναχρησιμοποίηση δοχεία, εφόσον έχουμε διαθέσιμο πεπερασμένο αριθμό περιεκτών.

4.3 Προκλήσεις και σχετικές παραδοχές

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν επιχειρείται η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ζυγιστηρίου ως προς τον χρόνο, λαμβάνοντας υπόψιν τους φυσικούς περιορισμούς για χώρο, χρόνο και περιέκτες (τόσο ως προς τον αριθμό τους όσο και ως προς τον χώρο, που καταλαμβάνουν).

Επίσης, επιχειρείται το ζυγιστήριο, να έχει τροφοδοτηθεί εγκαίρως από την αποθήκη, καθώς επίσης και η εκ των προτέρων μεταφορά υλών από την αποθήκη για το ζυγιστήριο, όταν σε κάποια βάρδια του ζυγιστηρίου δεν υπάρχει διαθέσιμο άτομο για μεταφορά από ή/και προς την αποθήκη.

Ο συντονισμός των δύο αυτών τμημάτων επομένως καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την έγκαιρη τροφοδοσία των αναμίξεων.

Ιδανικά η είσοδος (input) για την κατασκευή του προγράμματος του ζυγιστηρίου είναι ένα διάγραμμα Gantt με την παραγωγή, που πρέπει να πραγματοποιηθεί από τις αναμίξεις. Δεδομένου αυτού, μπορεί να κατασκευαστεί ένα πρόγραμμα με κύλιση προς τα αριστερά (εκ των προτέρων), για να είναι έτοιμα όσα χρειάζονται από την προηγούμενη βάρδια ή μέρα, ανάλογα την περίπτωση.

Η αποθήκη μεταφέρει τις πρώτες ύλες βλέποντας, τι ποσότητα χρειάζεται από κάθε ύλη χωριστά, αντί για κάθε φόρμουλα.

Επομένως, συνοπτικά θέλουμε να πετύχουμε βελτιστοποίηση της λειτουργίας του ζυγιστηρίου ως προς το κομμάτι του εξοπλισμού, με σεβασμό στους φυσικούς περιορισμούς. Θέλουμε η βελτιστοποίηση αυτή να είναι σε πρώτη φάση ως προς τον χρόνο, σεβόμενη τους περιορισμούς και το πρόγραμμα προς επίτευξη των αναμίξεων, ώστε να λάβουμε σαν έξοδο την προτεραιοποίηση των εργασιών, που πρέπει να επιτελέσει το ζυγιστήριο.

Γίνεται επομένως κατανοητή η χρησιμότητα ενός εργαλείου, που να βλέπει το ζυγιστήριο σαν σταθμό εργασίας (workstation) το οποίο έχει γνωστές τόσο τις πρώτες ύλες όσο και τους περιέκτες και αποσκοπεί στην έγκαιρη παραγωγή όσων υλών χρειάζονται οι αναμίξεις.

Ακόμα, το εργαλείο θα βοηθήσει στο να τρέξουμε περισσότερα σενάρια και να έχουμε περισσότερες προσομοιώσεις ως προς τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε επιμέρους πλάνου λειτουργίας (κάτι, που δεν γίνεται αυτή την στιγμή). Η δημιουργία αυτού του εργαλείου αποτελεί τον κύριο σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με τη μεταφορά όσων αναφέρθηκαν παραπάνω με αποδεκτή ακρίβεια σε ένα προσομοιωτικό πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 5 Εργαλείο μοντελοποίησης και προσομοίωσης

5.1 Το εργαλείο Arena

Το Arena της Rockwell είναι ένα λογισμικό, που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να εισάγουν τη δύναμη της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης στην καθημερινότητα τους. Είναι σχεδιασμένο για την ανάλυση της επίδρασης αλλαγών συμπεριλαμβανομένων σημαντικών και πολύπλοκων επανασχεδιασμών, που σχετίζονται με γραμμές παραγωγής, βιομηχανοποίηση, διαχείριση αποθήκης, συστήματα υπηρεσιών και πολλά άλλα. Το λογισμικό arena παρέχει πληθώρα επιλογών για την κάλυψη σε βάθος μοντέλων κάθε πολυπλοκότητας.

Μερικά τυπικά σενάρια αποτελούν:

- Η λεπτομερής ανάλυση οποιουδήποτε τύπου κατασκευαστικού συστήματος
- Η ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων εξυπηρέτησης και διαχείρισης πελατών
- Η ανάλυση παγκόσμιας αλυσίδας προμηθειών, που περιλαμβάνει διαχείριση αποθήκης, μεταφορά και συστήματα διαχείρισης
- Η πρόβλεψη απόδοσης συστήματος βάσει σημαντικών παραμέτρων, όπως το κόστος, η χρησιμοποίηση πόρων και η διακίνηση (throughput)
- Η αναγνώριση σημείων συμφόρησης στις διαδικασίες, όπως ο σχηματισμός υψηλής ουράς αντικειμένων προς διαχείριση ή η υπερ-χρησιμοποίηση πόρων
- Ο σχεδιασμός προσωπικού, εξοπλισμού ή ανάγκης σε υλικά

Το Arena είναι σχεδιασμένο για συμβούλους επιχειρήσεων, αναλυτές και μηχανικούς διαχείρισης συστημάτων. Αποτελεί ένα εργαλείο ηλεκτρονικού υπολογιστή, που μπορεί να αποτελέσει φυσική επέκταση σε όσους έχουν συνηθίσει να χρησιμοποιούν διάφορα διαγράμματα ροής όπως το Visio για να βοηθήσει στην επίδειξη, πρόβλεψη και μέτρηση της στρατηγικής λειτουργίας ενός συστήματος. Προσφέρει διαφορετικές εκδόσεις (Standard, Professional κλπ) ωστόσο εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την ακαδημαϊκή έκδοση, η οποία έρχεται βεβαίως με κάποιους περιορισμούς.

5.2 Εφαρμογές

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν κάποιες από τις εφαρμογές του arena σε πραγματικές συνθήκες. Θα παρουσιαστεί ένα test case από κάθε κατηγορία, ώστε να μην μακρηγορήσει το κεφάλαιο περισσότερο από το επιθυμητό

5.2.1 Βελτιστοποίηση διαδικασίας παραγωγής

Παρασκήνιο: Ένας μεγάλος κατασκευαστής οικιακών συσκευών κατασκευάζει μία γραμμή κατασκευής ψυγείων

Πρόκληση: Ένας μεγάλος κατασκευαστής οικιακών συσκευών ήθελε να επανασχεδιάσει ένα σημαντικό μέρος της (γραμμικής) διαδικασίας τελικής συναρμολόγησης ψυγείων καθώς επίσης και να εφαρμόσει έναν αποτελεσματικό και κατάλληλο πρόγραμμα παραγωγής για αυτή την διαδικασία.

Σημαντικοί στόχοι:

- Ορισμός κατάλληλου μεγέθους χώρου προσωρινής αποθήκευσης για την γραμμή αυτή
- Καθορισμός επιπλέον χώρου για αγορά νέου εξοπλισμού

Το σύστημα υπό αξιολόγηση παρήγαγε διαφόρων μεγεθών ψυγεία. Έπειτα τα μετέφερε για συσκευασία και ακολούθως σε έναν χώρο για καταχώρηση. Ο περιορισμένος αριθμός πόρων απαιτούσε, το σωστό “μίγμα” ψυγείων θα έμπαινε στο συσκευαστήριο, για να βελτιστοποιηθεί η χρήση εξοπλισμού, καθώς οι χρόνοι αλλαγής χρειάζονταν σημαντικό χρονικό διάστημα. Πριν από το συσκευαστήριο υπάρχει ένας χώρος τροφοδοσίας, όπου αποθηκεύονταν ψυγεία για χρήση αργότερα, ή όταν υπήρχε καθυστέρηση στην παραγωγή λόγω βλαβών ή/και συμφόρησης σε κάποιο σημείο της παραγωγής. Χρειαζόταν περισσότερος χώρος τροφοδοσίας για αποθήκευση υπερχειλίσης και επιπρόσθετος χώρος έπρεπε να οριστεί για την αγορά νέου εξοπλισμού. Η εταιρεία ήταν πρόθυμη να επενδύσει σε περισσότερο εξοπλισμό και ανθρώπινο δυναμικό, ήθελαν ωστόσο να έχουν μία πιο καθαρή εικόνα για το τι θα χρειαστεί, να γίνει. Επομένως ζητήθηκε από την συμβουλευτική ομάδα του Rockwell Automation Arena να δώσει μία προσιτή και εφαρμόσιμη λύση.

Λύση: Δημιουργήθηκε ένα κατασκευαστικό προσομοιωτικό μοντέλο χρησιμοποιώντας το Arena. Το υψηλής λεπτομέρειας μοντέλο αξιολόγησε τη δυναμική ροή των προϊόντων μέσα στο σύστημα, συμπεριλαμβανόμενης της διαχείρισης υλικών καθώς και των διαδικασιών παραγωγής. Το υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας απαιτούνταν, για να συλληφθούν οι ευαισθησίες του συστήματος στις διαδικασίες παραγωγής εντός του συστήματος. Η ανάλυση έδειξε ξεκάθαρα το μέγεθος του χώρου τροφοδοσίας, που ήταν απαραίτητος για διαφορετικά σενάρια παραγωγής καθώς και για πολλαπλές διατάξεις εξοπλισμού. Μία λεπτομερής απεικόνιση του συστήματος παρείχε επιβεβαίωση του μοντέλου, δείχνοντας κάθε ψυγείο καθώς εκείνο διέσχισε το σύστημα (συμπεριλαμβανομένων κωλυμάτων του συστήματος) καθώς και δυναμικά την κατάσταση των ρυθμιστών.

Αποτελέσματα: Τρέχοντας το αναμενόμενο πρόγραμμα παραγωγής μέσω του κατασκευαστικού μοντέλου προσομοίωσης, το Arena ήταν ικανό να βρει έναν σχεδιασμό με τον ιδανικό χώρο τροφοδοσίας καθώς επίσης και τους ελάχιστους δυνατούς πόρους συστήματος, που ήταν απαραίτητοι για επιτευχθούν οι στόχοι παραγωγής. Διάφορες ισορροπίες στα κόστη υπολογίστηκαν με το μοντέλο, ισορροπώντας το κόστος εξοπλισμού και το κόστος μεταφοράς έναντι του κόστους διακίνησης και όγκου.

5.2.2 Τομέας υγείας

Παρασκήνιο: Μετά από χρόνια αποτυχημένων προσπαθειών βελτίωσης του τρέχοντος κέντρου επειγόντων περιστατικών, ένα νοσοκομείο αποφάσισε, να χρησιμοποιήσει μοντέλο προσομοίωσης. Ο υπερβολικός χρόνος παραμονής ασθενών ήταν ένας παράγοντας κλειδί στην ολοένα μειούμενη φήμη του νοσοκομείου. Τα στελέχη του νοσοκομείου αναγνώρισαν την αξία, που μία προσομοίωση θα μπορούσε να παρέχει στο νοσοκομείο τους. Η συμβουλευτική ομάδα του Rockwell Automation Arena κλήθηκε να αναπτύξει ένα μοντέλο προσομοίωσης του νοσοκομείου του τρέχοντος τμήματος επειγόντων περιστατικών και να εκτιμήσει διάφορα σενάρια αλλαγής. Η προσομοίωση φροντίδας υγείας βοήθησε το νοσοκομείο στο να λαμβάνει ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τη μελλοντική κατάσταση του τμήματος επειγόντων περιστατικών (στο εξής ΕΠ).

Πρόκληση: Χρειάστηκε απλά μία γρήγορη επίσκεψη στο τμήμα ΕΠ για να αναγνωριστεί, ότι υπήρχε πρόβλημα. Ο χώρος αναμονής ήταν γεμάτος με αμήχανους ασθενείς αγχωμένους για να λάβουν πρόσβαση σε ιατρική περίθαλψη. Κάθε κρεβάτι του τμήματος ΕΠ ήταν γεμάτο. Νοσοκόμες και γιατροί φαίνονταν αγχωμένοι και εξαντλημένοι από υπερβολική εργασία. Έπρεπε σίγουρα να υπάρχει τρόπος να λειτουργήσει το τμήμα ΕΠ καλύτερα και αποτελεσματικότερα. Συνεντεύξεις με γιατρούς, νοσοκόμες και μέλη του νοσοκομείου προσέφεραν μία βαθύτερη και πιο ακριβή εικόνα στα θέματα του τμήματος ΕΠ. Μεταβιβάστηκε, ότι οι ψυχοασθενείς ήταν ένα μεγάλο πρόβλημα, αποτελώντας το 25% των ασθενών και δημιουργώντας μεγάλες καθυστερήσεις στη διάρκεια της διαδικασίας. Ο χρόνος για τους ειδικούς, να ανταποκριθούν στις κλήσεις των ιατρών δημιουργούσε επίσης κώλυμα στην διαδικασία. Το τρέχον επίπεδο προσωπικού οφείλει να αναφερθεί. Η αναλογία ασθενών-γιατρών άγγιζε το 44.000 προς 1, τιμή εξωφρενικά υψηλή. Η βελτίωση της διαδικασίας εγγραφής και ταξινόμησης θα μπορούσε επίσης να βοηθήσει το πρόβλημα με την υψηλή συγκέντρωση και περιπλάνηση ασθενών έξω από το τμήμα ΕΠ. Η ομάδα του νοσοκομείου ανησυχούσε, ότι μία νέα εγκατάσταση ήταν η μόνη λύση, για να βελτιωθεί το τμήμα ΕΠ. Στο παρελθόν συμβουλευτικές ομάδες είχαν προτείνει κεφάλαιο δαπάνης ύψους 500,000 δολαρίων ως τη μοναδική λύση στην αποτυχία του τμήματος ΕΠ.

Ο χρόνος παραμονής αντιστοιχεί στο διάστημα μεταξύ του οποίου ένας ασθενής εισέρχεται στο τμήμα ΕΠ μέχρι να φύγει. Όλες οι διαδικασίες, αποτελεσματικές ή μη συνεισφέρουν σε αυτόν, και έπρεπε να καταγραφούν κατάλληλα. Το λογισμικό προσομοίωσης φροντίδας υγείας ήταν το κατάλληλο εργαλείο για να μοντελοποιήσει αυτές τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος από την εισαγωγή του ασθενή μέχρι την έξοδο του. Ένα μοντέλο προσομοίωσης του νοσοκομείου θα μπορούσε να δείξει πώς οι προτεινόμενες αλλαγές θα επηρέαζαν το τμήμα ΕΠ και θα ενεργοποιούσαν καλύτερη λήψη αποφάσεων. Ένα μοντέλο προσομοίωσης του νοσοκομείου θα επέτρεπε επίσης στο τελευταίο, να δοκιμάσει έναν προτεινόμενο ανασχεδιασμό της ροής των ασθενών, όπου οι ασθενείς ήταν ταυτόχρονα ταξινομημένοι, υπό περίθαλψη, εξεταζόμενοι και εκτιμούνταν η κατάσταση τους. Το λογισμικό προσομοίωσης φροντίδας υγείας ήταν το καλύτερο εργαλείο, που επέτρεπε ολοκληρωμένη ανάλυση του τρέχοντος συστήματος και καθορισμό της σωστής “ροής” από εδώ και πέρα.

Λύση: Όταν οι ροές προσομοίωσης είχαν οριστεί και οι προδιαγραφές είχαν καθοριστεί, οι σύμβουλοι της Rockwell κατασκεύασαν ένα μοντέλο προσομοίωσης Arena επιτρέποντας την πλήρη αξιολόγηση των πιθανών σεναρίων και πειραματίστηκαν με το σύστημα πριν κάνουν οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή. Ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα με τα μοντέλα πρόβλεψης στην φροντίδα υγείας είναι ο ανθρώπινος παράγοντας. Ενώ έπρεπε να οριστεί μία αυστηρή ροή διαδικασιών, στην πραγματικότητα οι αποφάσεις λαμβάνονταν διαφορετικά από γιατρούς και νοσοκόμες και οι ασθενείς ήταν πολύ πιθανό να αποκλίνουν από ένα προαποφασισμένο “μονοπάτι”. Ο ορισμός μίας ρεαλιστικής ροής ασθενών και η συλλογή ακριβώς στοιχείων ήταν παράγοντες κλειδιά στην επιτυχία του εγχειρήματος.

Το τελικό μοντέλο αποτελούνταν από ένα Excel User Interface συνδυασμένο με το μοντέλο προσομοίωσης Arena του νοσοκομείου. Το Excel User Interface έδινε την δυνατότητα στο χρήστη, να εισάγει εύκολα δεδομένα, να τρέξει το μοντέλο και να δει αποτελέσματα. Πολλαπλά συγκριτικά σενάρια μπορούσαν να δημιουργηθούν με την αλλαγή διάφορων εισόδων στο Excel User Interface. Ο χρήστης μπορούσε να διαχειριστεί διαδικασίες, ροές, καθυστερήσεις στις διαδικασίες, δρομολόγηση ασθενών καθώς επίσης και προγράμματα πόρων, και διαθεσιμότητα κρεβατιών, όλα από το user interface. Μόλις ένα σενάριο “έτρεχε” ο χρήστης μπορούσε να ποσοτικοποιήσει τα αποτελέσματα εξετάζοντας τι διάφορες σελίδες των αποτελεσμάτων. Από το χρόνο διαμονής ασθενών, μέχρι τη λειτουργικότητα των πόρων πολλές σημαντικές έξοδοι καταγράφονταν σε κάθε

προσομοίωση. Ανάλυση και σύγκριση των σεναρίων παρείχε σημαντικές πληροφορίες για τη λήψη των σωστών αποφάσεων. Η ομάδα του νοσοκομείου ανυπομονούσε να δει πώς οι παράγοντες εισόδου επηρέαζαν το μέσο χρόνο, που οι ασθενείς έμεναν στο τμήμα ΕΠ.

Αποτελέσματα: Η προσομοίωση έδωσε κάποια αποτελέσματα, τα οποία ήταν αντίθετα με την αρχική κατανόηση των προβλημάτων από το νοσοκομείο. Στην αρχή της μελέτης υπήρχε μία συγκεκριμένη ανησυχία για τους ψυχασθενείς. Αυτή η ανησυχία αποδείχθηκε αβάσιμη, καθώς τελικά οι ψυχασθενείς ήταν μόνο το 4% του συνολικού πληθυσμού των ασθενών. Τρέχοντας την προσομοίωση έχοντας αφαιρέσει τους ψυχασθενείς υπήρξε ελάχιστη βελτίωση της διαδικασίας. Υπήρχε μία εντύπωση στο προσωπικό, ότι αυτοί οι ασθενείς αποτελούσαν μεγαλύτερο μερίδιο των ασθενών, επειδή έτειναν να είναι πιο ανήσυχοι κατά την εισαγωγή τους στο σύστημα. Υπήρξε επίσης μία μείζων ανησυχία, ότι η μονάδα τηλεμετρίας ήταν αναχαιτιστικός παράγοντας στην μετακίνηση των ασθενών από τον τομέα ΕΠ. Μετά από προσεχτική ανάλυση της μονάδας τηλεμετρίας το γεγονός αυτό αποδείχθηκε άλλος ένας μύθος του νοσοκομείου. Επιπροσθέτως, η προτεινόμενη νέα εγκατάσταση δεν ήταν μία λύση, για να βελτιωθεί η παρακμάζουσα εξυπηρέτηση στην μονάδα ΕΠ. Η προσομοίωση του νοσοκομείου απέδειξε, ότι αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών, χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα κρεβάτια στην μονάδα ΕΠ και προσθέτοντας άλλο έναν γιατρό ως διαθέσιμο πόρο, η μονάδα ΕΠ μπορούσε να λειτουργήσει σε αποδεκτό επίπεδο. Τα προβλήματα, που υπήρχαν δεν θα λύνονταν με τη λειτουργία μίας νέας εγκατάστασης. Στο νοσοκομείο δόθηκε η συμβουλή, να βελτιώσουν πρώτα τις τωρινές τους διαδικασίες πριν από οποιαδήποτε επένδυση. Τα ποσοτικά δεδομένα που παρείχε το λογισμικό προσομοίωσης έδωσαν την ικανότητα στους αποφασίζοντες, να ακολουθήσουν τις πιο αποτελεσματικές αλλαγές στο τμήμα ΕΠ και να αποφύγουν την επένδυση περισσότερων από 500.000 δολαρίων σε νέες εγκαταστάσεις.

5.2.3 Εφοδιαστική αλυσίδα

Παρασκήνιο: Ένας πάροχος υπηρεσίας κατασκευής ηλεκτρονικών ειδών με έδρα την Καλιφόρνια, με διεθνή τοποθέτηση και δραστηριότητα επισκευών και συντήρησης στην Ευρώπη, τοποθετεί τον εαυτό του ως ηγετικό πάροχο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε εταιρείες τύπου OEM (Original Equipment Manufacturers) ανά τον κόσμο.

Πρόκληση: Οι ανώτεροι διευθυντές ήθελαν να επανασχεδιάσουν την αλυσίδα προμηθειών της εταιρείας ώστε, να μπορούν να μοιραστούν πόρους και κανάλια σε μία συμβατική αλλά και αντίστροφη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας. Στόχος τους ήταν να χρησιμοποιήσουν το λογισμικό προσομοίωσης εφοδιαστικής αλυσίδας για να καθορίσουν την καλύτερη στρατηγική και να σχεδιάσουν την πιο αποτελεσματική εφοδιαστική αλυσίδα, που θα μεγιστοποιούσε την εξυπηρέτηση πελατών και να ελαχιστοποιούσε το κόστος. Συμβατική διαχείριση είναι η κίνηση ενός νέου προϊόντος από τον κατασκευαστή στον τελικό πελάτη. Αντίστροφη διαχείριση είναι η επιστροφή ενός επισκευασμένου προϊόντος σε έναν πελάτη και η μετακίνηση ελαττωματικών προϊόντων από έναν πελάτη προς τον OEM για επισκευή. Η αλυσίδα προμηθειών σε ένα συνδυαστικό σύστημα συμβατικής και αντίστροφης διαχείρισης είναι εξαιρετικά πολύπλοκη λόγω νέων, επισκευασμένων, και ελαττωματικών προϊόντων να ρέουν σε κοινά κανάλια και να χρησιμοποιούν τους κοινόχρηστους πόρους. Για να σχεδιαστεί πιο αποτελεσματικά η διαμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι ανώτεροι διευθυντές της εταιρείας κάλεσαν την συμβουλευτική ομάδα του Rockwell Automation Arena, που συνεργάστηκε με κορυφαία συμβουλευτική εταιρεία.

Οι σύμβουλοι εφάρμοσαν το λογισμικό προσομοιώσεων Rockwell Arena για να δημιουργήσουν μία προσομοίωση βασισμένη στην βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας. Έχτισαν

ένα περιεκτικό μοντέλο που αντανάκλούσε τις τέσσερις κατασκευαστικές και επιδιορθωτικές τοποθεσίες της εταιρείας σε τρεις χώρες και εννέα γραμμές παραγωγής και εγκαταστάσεις επιδιορθώσεων σε εννέα χώρες.

Λύση: Η προσομοίωση της κατάστασης ως είχε έδειξε την απόδοση της τρέχουσας υπηρεσίας και διαδικασιών επιδιόρθωσης για νέα, επισκευασμένα και ελαττωματικά προϊόντα. Το μοντέλο βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας κάλυψε πάνω από 150.000 Εξουσιοδοτήσεις Επισκευής Προϊόντων, 20 3PL (third party logistics providers), 15 τοποθεσίες OEM, τρία κέντρα επιμέλειας, 100 αποθήκες ή απομακρυσμένες τοποθεσίες stock προϊόντων και τέσσερα τηλεφωνικά κέντρα. Το μοντέλο βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας μέτρησε την επίδραση του σχεδιασμού στον χρόνο παράδοσης παραγγελίας, στα επίπεδα αποθέματος, στο WIP (work in process), στα κόστη επισκευής και χρησιμοποίησης τηλεφωνικού κέντρου. Για να παρέχει μία ρεαλιστική εικόνα του κόστους μεταφοράς προϊόντων μεταξύ χωρών, το μοντέλο επίσης περιλάμβανε απόθεμα, κόστη και φόρους σχετικούς με την μεταφορά, με τους χρόνους μεταφοράς να διαχωρίζονται από τους 3PL. Μετά την επιβεβαίωση του τρέχοντος (as-is) μοντέλου χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα από τους προηγούμενους δώδεκα μήνες, κατασκευάστηκαν πέντε προσδοκώμενα (to-be) εναλλακτικά σχέδια δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας χρησιμοποιώντας το λογισμικό βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας του Arena. Οι προσδοκώμενες (to-be) εναλλακτικές αντανάκλυσαν αλλαγές στη δομή επιμέλειας της εταιρείας, τη στρατηγική διαχείρισης αποθέματος, τη διαχείριση του τηλεφωνικού κέντρου, τη στρατηγική αναπλήρωσης αποθέματος και τη στρατηγική επισκευής.

Αποτελέσματα: Το μοντέλο βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας έδειξε, ότι μόνο δύο από τους πέντε εναλλακτικούς σχεδιασμούς συμφωνούσαν με τους στόχους της εταιρείας, αλλά μόνο ένας εκ των δύο είχε το χαμηλότερο κόστος και την υψηλότερη εξυπηρέτηση πελατών. Ο τελικός σχεδιασμός προέβλεψε 39% μείωση στις τιμές απογραφής ελαττωματικών και επισκευασμένων προϊόντων και κόστους μεταφοράς. Το μοντέλο κατέδειξε πώς τα κόστη επισκευής μπορούσαν να μειωθούν αν ο κατασκευαστής επιδιόρθωνε ελαττωματικά προϊόντα μόνο όταν αυτό χρειαζόταν. Επιπροσθέτως, έδειξε σε ποιο σημείο το υπερβολικό και απαρχαιωμένο απόθεμα μπορούσε να εξαφανιστεί. Ο σχεδιασμός επίσης διευκρίνισε μία μείωση 16% στα κόστη μεταφοράς απ' ευθείας αποστολή σαν επιλογή μεταφοράς και καθιερώνοντας ASN (Advanced Ship Notices). Το μοντέλο βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας διευκρίνισε ακόμα πώς να μειωθούν τα κόστη ενοποιώντας εισερχόμενες και εξερχόμενες παραγγελίες, ενοποιώντας 3PLs και μοιράζοντας πόρους ανά την Ευρώπη. Το μοντέλο καθόρισε ότι μία εφοδιαστική αλυσίδα συμβατικής και αντίστροφης διαχείρισης θα μεγιστοποιούσε την εξυπηρέτηση και θα ελαχιστοποιούσε τα κόστη χειρισμού νέων, επιδιορθωμένων και ελαττωματικών προϊόντων. Το Arena βοήθησε να ανακαλυφθεί η ιδανική στρατηγική διαχείρισης και ο σχεδιασμός δικτύου για διαμοιρασμό των πόρων και καναλιών στην εφοδιαστική αλυσίδα του κατασκευαστή. Τα εξοικονομούμενα χρήματα από τη χρήση του εργαλείου προσομοίωσης εφοδιαστικής αλυσίδας Arena υπολογίζονται μεγαλύτερα των πενήντα εκατομμυρίων δολαρίων.

5.2.5 Logistics

Παρασκήνιο: Η εταιρεία λειτουργεί ως η μεγαλύτερη εταιρεία εξυπηρέτησης πακεταρισμένων εμπορευμάτων και είναι ηγετικός προμηθευτής υπηρεσιών logistics και μεταφοράς.

Πρόκληση: Ένας λάθος υπολογισμένος όγκος πακέτων ή μία καθυστερημένη πτήση μπορούν εύκολα να γίνουν ένα υπολογιστικό βάσανο.

Λύση: Κάθε νύχτα, περισσότερα από ογδόντα αεροσκάφη φθάνουν στην τοποθεσία, για να ξεφορτώσουν πακέτα, να περάσουν οποιοδήποτε τεχνικό έλεγχο και επιδιορθώσεις χρειάζεται, και να αναχωρήσουν, για να μεταφέρουν τα πακέτα της επόμενης μέρας. Για να επιτευχθούν και να διατηρηθούν τα επίπεδα ικανοποίησης των πελατών, που η συγκεκριμένη εταιρεία απαιτεί, η ανάκαμψη των αεροσκαφών πρέπει να επιχειρείται γρήγορα και αποτελεσματικά για να ακολουθεί προγράμματα αναχωρήσεων, που είναι κρίσιμα για μία πετυχημένη επιχείρηση. Η εταιρεία χρειαζόταν ένα εργαλείο, που θα επέτρεπε στους σχεδιαστές, να οργανώσουν τους πόρους με βάση τις αφίξεις αεροσκαφών, τις αναχωρήσεις αεροσκαφών και να μεταβάλλουν τον όγκο των πακέτων. Προσέλαβαν τη συμβουλευτική ομάδα του Rockwell Automation Arena και αγόρασαν το λογισμικό προσομοιώσεων Rockwell Arena, για να μειώσουν τον χρόνο ανάκαμψης των αεροσκαφών.

Δουλεύοντας κοντά με το προσωπικό της εταιρείας, η Rockwell Automation χρησιμοποίησε το Arena, για να δημιουργήσει ένα λεπτομερές μοντέλο του κεντρικού σημείου επιχειρήσεων στο Louisville. Το έργο προσομοίωσης, επονομαζόμενο TAPS (Total Air Park Simulation), προσομοιώνει το ξεφόρτωμα του αεροσκάφους, τη μεταφορά πακέτων στο κέντρο, την ταξινόμηση αυτών, και το φόρτωμα των πακέτων στο εξερχόμενο αεροσκάφος. Το μοντέλο επίσης προσομοιώνει τη συντήρηση και τροφοδοσία καυσίμων των αεροσκαφών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστούν τα επίπεδα επάνδρωσης και ο απαιτούμενος εξοπλισμός.

Το μοντέλο TAPS είναι πλήρως απεικονιστικό ώστε το πεπειραμένο προσωπικό να παρατηρεί την κίνηση των αεροσκαφών, πληρώματα, και εξοπλισμό από την εναέρια θέα του κέντρου Louisville. Προσαρμοσμένες αναφορές εξόδων του συστήματος από το μοντέλο προσομοίωσης Arena περιλαμβάνουν πληροφορίες αναχώρησης των αεροσκαφών, χρησιμοποίηση πληρωμάτων και απαιτήσεις σε εξοπλισμό. Αυτές οι αναφορές επιτρέπουν στους σχεδιαστές να προγραμματίσουν και να τοποθετήσουν προσωπικό στα πληρώματα σωστά για τις αναμενόμενες δραστηριότητες κάθε απόγευμα. Το μοντέλο σχεδιάστηκε, για να δώσει έμφαση στην ευκαμψία, ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες της εταιρείας τόσο σήμερα όσο και στο μέλλον.

Αποτελέσματα: Το μοντέλο προσομοίωσης του Arena παρείχε προτάσεις οι οποίες επέτρεψαν την εταιρική επίγνωση για το αν χρειάζεται ή όχι να γίνει επένδυση σε ακριβό εξοπλισμό για τη φόρτωση και αποφόρτωση των αεροσκαφών. Σχεδιάζοντας σωστά τα πληρώματα εργασίας και καθορίζοντας την προτιμώμενη κατανομή εξοπλισμού η πιθανή εξοικονόμηση για την εταιρεία μπορούσε να μετρηθεί σε εκατομμύρια δολάρια. Επιπρόσθετα, η δοκιμή νέων στρατηγικών επεξεργασίας έχει επέτρεψε βελτιώσεις για εφαρμοσθούν καθώς επίσης ενίσχυση ποιότητας εξυπηρέτησης και μείωση εξόδων παραγωγής.

Ένα από τα πολλά πλεονεκτήματα χρήσης του μοντέλου TAPS είναι ότι η εταιρεία μπορεί να πειραματιστεί με επιχειρησιακές αλλαγές πριν τις εφαρμοστεί. Ένας εικονικά απεριόριστος αριθμός από εναλλακτικά σενάρια μπορεί να εξεταστεί αλλάζοντας εισόδους του μοντέλου, όπως το πρόγραμμα πτήσεων, η ταξινόμηση εργασίας, και τα επίπεδα εξοπλισμού. Το προσωπικό της εταιρείας μπορεί τώρα προσομοιώσει ένα διάστημα έξι ωρών (οι επιχειρήσεις μίας βραδιάς) σε μερικά μόνο λεπτά, που επιτρέπει στο μοντέλο να χρησιμοποιηθεί για αλλαγές της τελευταίας στιγμής, ώστε να βοηθήσει στην πρόληψη καθυστερήσεων πτήσεων.

5.2.6 Κυβερνητικά και στρατιωτικά προγράμματα

Παρασκήνιο: τα CH149 Cormorant είναι η ονομασία των Καναδικών Δυνάμεων (Canadian Forces – CF) για το AgustaWestland EH101, το μοναδικό ελικόπτερο μεμονωμένης έρευνας και διάσωσης (Search And Rescue – SAR) των καναδικών εναέριων δυνάμεων. Από την προμήθεια του, η διαθεσιμότητα για επιχειρήσεις του στόλου CH149 είναι μικρότερη από ότι αρχικά υπολογιζόταν. Αυτή η μελέτη διεξήχθη, για να καθορίσει αν η χαμηλή λειτουργικότητα του στόλου ήταν εξ' αιτίας το προγράμματος συντήρησης. Ένα μοντέλο διακριτών γεγονότων δημιουργήθηκε, για να καθοριστεί ο αριθμός των διαθέσιμων αεροσκαφών σε οποιαδήποτε στιγμή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, υποθέτοντας μία ιδανική φειδωλή κατάσταση. Η ανάλυση έδειξε, ότι ο τρέχοντας στόλος μπορεί να επιχειρεί από τέσσερις (ή ακόμα και τρεις) κύριες λειτουργικές βάσεις (Main Operating Bases - MOBs) σε μία ιδανική κατάσταση, υπονοώντας, ότι το πρόβλημα διαθεσιμότητας του στόλου δεν μπορεί θεωρητικά, να επιλυθεί απλά επιλύοντας το πρόβλημα επιμέλειας των εφεδρικών ελικοπτέρων.

Πρόκληση: Ο καθορισμός του αριθμού των διαθέσιμων αεροσκαφών ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης, θεωρώντας μια ιδανική κατάσταση ως προς τα διαθέσιμα αεροσκάφη σε αναμονή.

Λύση: Για να επιλυθεί το πρόβλημα της διαθεσιμότητας του στόλου σε ένα ιδανικό και φειδωλό σενάριο, όλες οι διαδικασίες συντήρησης που επιχειρούνται στα αεροσκάφη καθορίστηκαν, μαζί με τη διάρκεια και τη συχνότητα εφαρμογής τους. Ένα μοντέλο διακριτών συμβάντων δημιουργήθηκε, για να καθορίσει τον αριθμό των διαθέσιμων αεροσκαφών ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, υποθέτοντας ένα ιδανικό σενάριο και το μέτρο απόδοσης που αναφέρεται στην διαθεσιμότητα SAR αεροσκαφών σε αναμονή στο μοντέλο συγκρίθηκε με τα επιθυμητά του επίπεδα.

Αποτελέσματα: Μελετώντας το μέτρο απόδοσης του στόλου σχετικά με την διαθεσιμότητα SAR αεροσκαφών σε αναμονή σε ένα ιδανικό σενάριο, αποδίδεται μία ερώτηση ως προς το αν η φτωχή διαθεσιμότητα στόλου είναι αποτέλεσμα του προγράμματος συντήρησης του (που περιλαμβάνει τους προγραμματισμένους ελέγχους και συντήρηση, επιδιορθωτική συντήρηση κλπ) και αν το πρόβλημα της διαθεσιμότητας του στόλου μπορεί ενδεχομένως να λυθεί λύνοντας το υπολογιστικό αυτό πρόβλημα.

Βρέθηκε, ότι για να επιτευχθεί ο στόχος, τουλάχιστον 7 αεροσκάφη απαιτούνταν στο MOB Comox και τουλάχιστον 6 αεροσκάφη απαιτούνται σε όλα τα άλλα MOBs υποθέτοντας ιδανική πρόσβαση σε εφεδρικά αεροσκάφη. Επομένως τουλάχιστον 25 ή 19 αεροσκάφη είναι απαραίτητα αν τέσσερις ή τρεις βάσεις είναι επιθυμητές, αντίστοιχα.

Επιπροσθέτως, φάνηκε ότι μία μείωση 25% στη διάρκεια των μείζονων, ελάσσονων και εκτός ακολουθίας ελέγχων του αεροσκάφους είχε σημαντικές επιπτώσεις στον αριθμό των απαραίτητων αεροσκαφών. Φάνηκε, ότι με εφαρμογή αυτών των μειώσεων, μόνο 5 αεροσκάφη χρειάζονται σε κάθε φάση σε ένα ιδανικό σενάριο, για ένα σύνολο 20 αεροσκαφών αν 4 MOBs είναι σε λειτουργία, ή ένα σύνολο 15 αεροσκαφών, αν 3 MOBs είναι σε λειτουργία. Δεν πρέπει να αναμένεται, ότι ο τρέχων στόλος των 14 αεροσκαφών μπορεί να επιχειρεί επ' άπειρον από 4 ή ακόμα και 3 MOBs χωρίς σημαντικές αλλαγές στο πρόγραμμα συντηρήσεων του στόλου.

Αυτά τα αποτελέσματα συνεπάγονται ότι το πρόβλημα διαθεσιμότητας του στόλου (δηλαδή να μην πληροί το εύρος της μέτρησης απόδοσης) δεν μπορεί θεωρητικά να λυθεί λύνοντας απλά το

υπολογιστικό πρόβλημα των εφεδρικών αεροσκαφών. Οι ανάγκες συντήρησης του στόλου χρειάζεται να μειωθούν ή το μέγεθος του στόλου πρέπει να μεγαλώσει, ώστε να επιτευχθεί το εύρος του δείκτη απόδοσης. Ένας αριθμός προτάσεων σχετικά με τη διαθεσιμότητα του στόλου CH149 έγιναν προς το στρατιωτικό προσωπικό κατά την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης. Αυτές οι προτάσεις είχαν σημαντική επιρροή στα προγράμματα συντήρησης του στόλου καθώς επίσης και σε μελλοντική απόκτηση ελίκων, φτερών και αεροσκαφών διάσωσης.

5.3 Τεκμηρίωση επιλογής

Το Arena επιλέχθηκε λόγω των πολλών δυνατοτήτων του, που περιγράφονται και στην επίλυση των test cases της παραγράφου 5.2. Συγκεκριμένα, η ικανότητα του να δημιουργεί τόσο ένα μοντέλο προσομοίωσης (για παρακολούθηση της ως έχουσας λειτουργίας) όσο και ενός μοντέλου βελτιστοποίησης (για την πρόταση λύσεων και δοκιμή αυτών στο μοντέλο προσομοίωσης) ήταν το δυνατό του σημείο έναντι άλλων προσομοιωτικών. Παράλληλα, η ικανότητα του αυτή, είναι ακριβώς ο σκοπός, που έπρεπε να εξυπηρετηθεί, δηλαδή η εισαγωγή των συστημάτων αποφάσεων στην διοίκηση παραγωγής, με το μοντέλο προσομοίωσης να αποτελεί το εργαλείο της διοίκησης παραγωγής, ενώ το μοντέλο βελτιστοποίησης το εργαλείο των συστημάτων αποφάσεων, που προτείνει ενδεχόμενες αλλαγές στη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Στην περίπτωση μας το προσομοιωτικό μοντέλο δημιουργείται στο Arena, ενώ το μοντέλο βελτιστοποίησης στο OptQuest, ένα εργαλείο του Arena, η λειτουργία του οποίου θα αναλυθεί σε παράρτημα.

5.4 Μεταφορά του μοντέλου στο Arena

5.4.1 Βασικές λειτουργίες

Το Arena επιτελεί τις διαφορετικές του διαδικασίες μέσω modules, που αναλόγως το είδος και την ρύθμιση τους καταλήγουν στην προσομοίωση του επιθυμητού επιπέδου. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναφέρουμε τα βασικότερα εξ' αυτών, που χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά του μοντέλου μας ως μοντέλο προσομοίωσης στο Arena.

Create module:



Σχήμα 5.1 create module

Αυτό το module προορίζεται ως σημείο έναρξης των οντοτήτων που κυκλοφορούν σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Οι οντότητες δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα ή βάσει ενός χρόνου μεταξύ των αφίξεων τους. Έπειτα οι οντότητες φεύγουν από το module και ξεκινάει η επεξεργασία τους από το σύστημα. Ο τύπος της οντότητας καθορίζεται σε αυτό το module.

Τυπικές χρήσεις του module :

- Η αρχή της παραγωγής ενός εξαρτήματος σε μία γραμμή παραγωγής
- Η άφιξη ενός εγγράφου (για παράδειγμα σειρά, έλεγχος, εφαρμογή κλπ) σε μία επιχειρησιακή διαδικασία.
- Η άφιξη ενός πελάτη σε ένα σημείο εξυπηρέτησης (για παράδειγμα κατάσταση, εστιατόριο, γραφείο πληροφοριών κλπ)

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module
- Entity Type: Το όνομα της οντότητας, που θα δημιουργηθεί
- Type: Ο τύπος της ροής άφιξης. Οι πιθανοί τύποι περιλαμβάνουν Random (χρησιμοποιεί μία εκθετική κατανομή με χαρακτηριστικά, που εισάγονται από τον χρήστη), Schedule (χρησιμοποιεί μία εκθετική κατανομή, με τη μέση τιμή να υπολογίζεται από το καθορισμένο module προγράμματος), Constant (ο χρήστης ορίζει μία σταθερή τιμή, για παράδειγμα 100), ή Expression (λίστα με διάφορες κατανομές).
- Value: Καθορίζει τη μέση τιμή της εκθετικής κατανομής (αν χρησιμοποιείται ο τύπος Random), ή τη σταθερή τιμή (αν χρησιμοποιείται ο τύπος constant) για τον χρόνο μεταξύ των αφίξεων. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Random, ή Constant.
- Schedule name: Αναγνωρίζει το όνομα του προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί. Το πρόγραμμα ορίζει ένα πρότυπο αφίξεων για τις οντότητες, που φθάνουν στο σύστημα. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Schedule.
- Expression: Οποιαδήποτε κατανομή ή τιμή καθορίζει τον χρόνο μεταξύ των αφίξεων. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Expression.
- Units: Οι μονάδες χρόνου, που θα χρησιμοποιηθούν για την πρώτη δημιουργία και το χρονικό διάστημα μεταξύ των αφίξεων. ΔΕΝ χρησιμοποιείται αν ο τύπος είναι Schedule.
- Entities per arrival: Ο αριθμός των οντοτήτων, που θα εισέλθουν στο σύστημα οποιαδήποτε χρονική στιγμή με κάθε άφιξη.
- Max Arrivals: Ο μέγιστος αριθμός οντοτήτων, που αυτό το module θα δημιουργήσει. Όταν φτάσει αυτή την τιμή, η δημιουργία νέων οντοτήτων από αυτό το module σταματάει.
- First Creation: Ο χρόνος έναρξης για την πρώτη οντότητα που θα φτάσει στο σύστημα από αυτό το module. ΔΕΝ χρησιμοποιείται, όταν ο τύπος είναι Schedule.

Dispose module:



Σχήμα 5.2 dispose module

Αυτό το module προορίζεται ως τερματικό σημείο για τις οντότητες σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Στατιστικά για τις οντότητες μπορούν να καταγραφούν πριν οντότητα αποτεθεί.

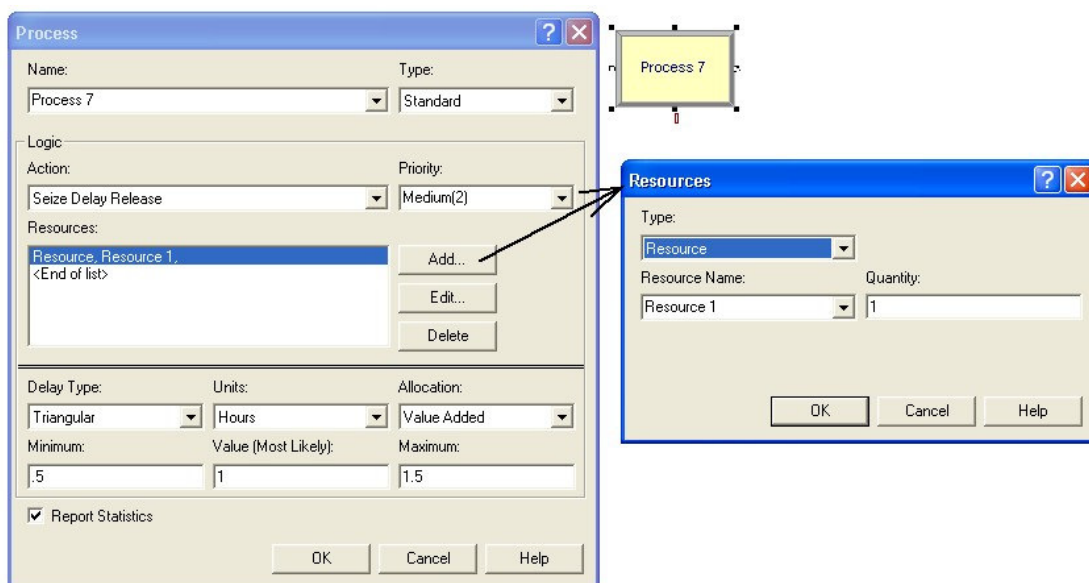
Τυπικές χρήσεις του module:

- Εξαρτήματα εξέρχονται της μοντελοποιημένης εγκατάστασης
- Ο τερματισμός μίας επιχειρησιακής διαδικασίας
- Πελάτες φεύγουν από το κατάστημα

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- Record entity statistics: Καθορίζει αν τα στατιστικά της εισερχόμενης οντότητας θα καταγραφούν. Τα στατιστικά περιλαμβάνουν value added χρόνους, non value added χρόνους, χρόνους αναμονής, χρόνους μεταφοράς, άλλους χρόνους, συνολικό χρόνο, value added κόστος, non value added κόστος, κόστος αναμονής, κόστος μεταφοράς, άλλα κόστη και συνολικό κόστος.

Process module:



Σχήμα 5.3 process module

Αυτό το module είναι η κύρια μέθοδος διαδικασιών στο μοντέλο. Επιλογές για κατάσχεση και ελευθέρωση περιορισμένων πόρων είναι διαθέσιμες. Επιπλέον, υπάρχει η επιλογή να χρησιμοποιηθεί ένα υπομοντέλο να καθορίζει ιεραρχική ορισμένη από τον χρήστη λογική. Ο χρόνος επεξεργασίας διανέμεται στην οντότητα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως value added, non value added, μεταφοράς, αναμονής ή της. Το συσχετισμένο κόστος θα προστεθεί στην αντίστοιχη κατηγορία.

Τυπικές χρήσεις του module:

- Επεξεργασία της εξαρτήματος
- Αναθεώρηση της εγγράφου για την ολοκλήρωση του
- Εκτέλεση εντολών
- Εξυπηρέτηση του πελάτη

Επιλογές εντός του module:

- **Name:** Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- **Type:** Μέθοδος καθορισμού λογικής εντός του module. Η επιλογή Standard υποδεικνύει, ότι όλη η λογική θα αποθηκευτεί εντός του Process module και θα καθοριστεί από μία συγκεκριμένη ενέργεια. Η επιλογή Submodel δείχνει, ότι η λογική θα καθοριστεί ιεραρχικά σε ένα υπομοντέλο, που μπορεί να περιλαμβάνει οποιοδήποτε αριθμό λογικών modules.
- **Action:** Το είδος της επεξεργασίας που θα συμβεί εντός του module. Η επιλογή Delay απλά υποδεικνύει, ότι μία καθυστέρηση διαδικασίας θα πραγματοποιηθεί χωρίς περιορισμό πόρων. Η επιλογή Seize delay δείχνει ότι κάποιος-οι πόρος-οι θα ανατεθεί στο module και θα συμβεί η καθυστέρηση, αλλά της-οι ο-οι πόρος-οι θα ελευθερωθεί κάποια χρονική στιγμή αργότερα. Η επιλογή Seize Delay Release δείχνει ότι κάποιος-οι πόρος-οι θα ανατεθούν ακολουθούμενοι από έναν χρόνο καθυστέρησης και μετά ο-οι ανατεθειμένος-οι πόρος-οι θα ελευθερωθεί-ουν. Η επιλογή Delay release δείχνει ότι κάποιος-οι πόρος-οι είχαν προηγουμένως ανατεθεί και ότι η οντότητα απλά θα καθυστερήσει να ελευθερώσει τον/της συγκεκριμένο-ους πόρο-ους. Χρησιμοποιούνται μόνο όταν ο τύπος είναι Standard.
- **Priority:** Η τιμή προτεραιότητας, που καθορίζεται για μία οντότητα, που περιμένει στο module, αν μία ή περισσότερες οντότητες περιμένουν για τον ίδιο πόρο -ους οπουδήποτε στο μοντέλο. Δεν είναι ορατό σαν επιλογή όταν έχει επιλεγθεί ως δράση Delay ή Delay release ή όταν ο τύπος είναι υπομοντέλο.
- **Resources:** Λίστα με της πόρους ή τα σετ πόρων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία οντοτήτων. Δεν εμφανίζεται ως επιλογή όταν η δράση είναι Delay ή όταν ο τύπος είναι υπομοντέλο.
- **Delay type:** Τύπος κατανομής ή μεθόδου καθορισμού των παραμέτρων καθυστέρησης. Οι επιλογές Constant και Expression απαιτούν μία τιμή, ενώ η επιλογές Normal, Uniform και Triangular απαιτούν αρκετές παραμέτρους.
- **Units:** Χρονικές μονάδες για τις παραμέτρους καθυστέρησης.
- **Allocation:** Καθορίζει πώς οι χρόνοι και τα κόστη επεξεργασίας θα κατανεμηθούν στην οντότητα. Η διαδικασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως Value Added, Non-Value Added,

Transfer, Wait ή Other, και τα σχετικά κόστη θα προστεθούν στην αντίστοιχη κατηγορία της της διαδικασίας και της οντότητας.

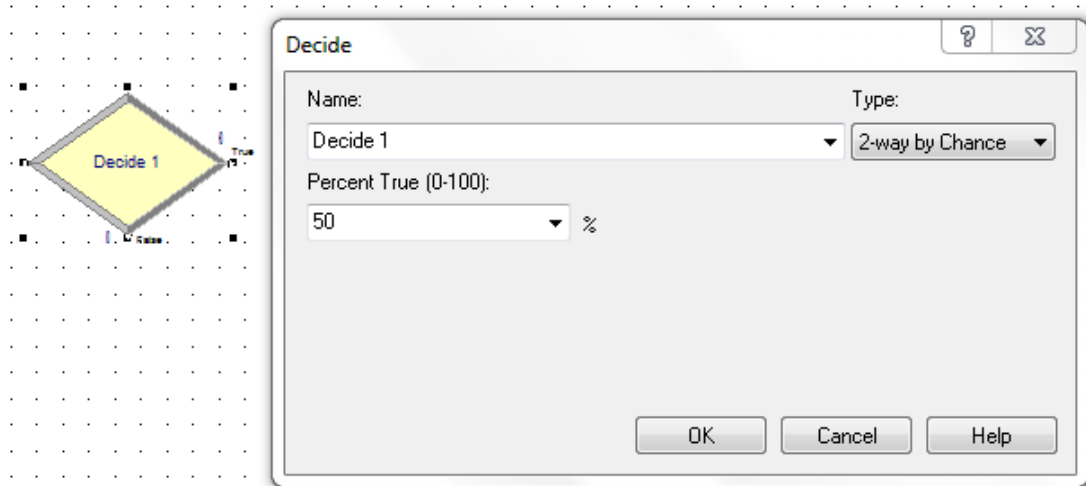
- **Minimum:** Πεδίο παραμέτρου για τον ορισμό της ελάχιστης τιμής για μία είτε ομοιόμορφη είτε τριγωνική κατανομή.
- **Value:** Πεδίο παραμέτρου για τον ορισμό της μέσης τιμής για μία κανονική κατανομή, την τιμή της σταθερού χρόνου καθυστέρησης ή για τη λειτουργία τριγωνικής κατανομής.
- **Maximum:** Πεδίο παραμέτρου για τον καθορισμό της μέγιστης τιμής για μία είτε ομοιόμορφη είτε τριγωνική κατανομή.
- **Std Dev:** Πεδίο παραμέτρου για τον καθορισμό της τυπικής απόκλισης για μία κανονική κατανομή.
- **Expression:** Πεδίο παραμέτρου για τον ορισμό της έκφρασης που η τιμή της αξιολογείται και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του χρόνου καθυστέρησης.
- **Report Statistics:** Καθορίζει αν θα καταγραφούν αυτόματα ή όχι στατιστικά και αν θα αποθηκευτούν στην αναφορά αποτελεσμάτων της διαδικασίας.

Επιλογές εντός του module – επιλογές διαχείρισης πόρων:

- **Type:** Προσδιορισμός της συγκεκριμένου πόρου, ή επιλογή από μία κοινοπραξία πόρων (αυτό είναι ένα set πόρων)
- **Resource Name:** Το όνομα του πόρου που θα δεσμευτεί ή/και ελευθερωθεί. Εμφανίζεται μόνο αν ο τύπος είναι Resource.
- **Set Name:** Το όνομα του σετ από το οποίο ένα μέλος θα δεσμευτεί ή/και ελευθερωθεί. Εμφανίζεται μόνο αν ο τύπος είναι set.
- **Quantity:** Αριθμός πόρων της συγκεκριμένου ονόματος ή της δοσμένου set που θα δεσμευτεί/ελευθερωθεί. Για τα set αυτή η τιμή καθορίζει μόνο τον αριθμό της επιλεγμένου πόρου που θα δεσμευτεί/ελευθερωθεί (βάσει της δυναμικότητας του πόρου), όχι τον αριθμό των μελών του σετ που θα δεσμευτούν/ελευθερωθούν.
- **Selection Rule:** Μέθοδος επιλογής ανάμεσα σε διαθέσιμους πόρους της set. Cyclical θα ανακυκλώσει ανάμεσα στα διαθέσιμα μέλη (για παράδειγμα 1^ο μέλος-2^ο μέλος-3^ο μέλος-1^ο μέλος-2^ο μέλος-3^ο μέλος). Random θα διαλέξει τυχαία ένα μέλος. Preferred order θα επιλέγει πάντα το πρώτο διαθέσιμο μέλος (1^ο μέλος, αν είναι διαθέσιμο μετά 2^ο μέλος, αν είναι διαθέσιμο μετά 3^ο μέλος, αν είναι διαθέσιμο κλπ). Specific member απαιτεί μία χαρακτηριστική τιμή εισόδου για να καθορίσει ποιο μέλος του set (που έχει προηγουμένως σωθεί στο πεδίο attribute). Largest remaining Capacity και Smallest Number Busy χρησιμοποιούνται για πόρους με πολλαπλή ικανότητα επεξεργασίας. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι set.
- **Save Attribute:** Όνομα της ιδιότητας που χρησιμοποιείται για να σώσει τον ενδεικτικό αριθμό μέσα στο set του μέλους που επιλέγεται. Αυτή η ιδιότητα μπορεί αργότερα να αναφερθεί με τον κανόνα του Specific Selection Rule. Δεν εμφανίζεται όταν ο κανόνας είναι Specific member. Αν η δράση έχει οριστεί ως Delay release η τιμή που ορίζεται καθορίζει ποιο μέλος (ο ενδεικτικός αριθμός) θα ελευθερωθεί. Αν δεν έχει καθοριστεί ιδιότητα, η οντότητα θα ελευθερώσει το μέλος του σετ που είχε δεσμευτεί τελευταίο.

- Set Index: Ο ενδεικτικός αριθμός μέσα στο set του ζητούμενου μέλους. Εμφανίζεται μόνο όταν ο κανόνας επιλογής είναι Specific member. Αν η δράση έχει οριστεί ως Delay Release η τιμή που ορίζεται καθορίζει ποιο μέλος (ενδεικτικός αριθμός) του set θα ελευθερωθεί.

Decide module:



Σχήμα 5.4 decide module

Το συγκεκριμένο module αποτελεί τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στο σύστημα. Περιλαμβάνει επιλογές, για να λάβει αποφάσεις βάσει ενός ή περισσότερων συνθηκών (για παράδειγμα, αν κινούνται στο σύστημα κάρτες διαφορετικών χρωμάτων και ο τύπος οντότητας που θέλουμε να διαχωρίσουμε είναι Χρυσή Κάρτα), ή βάσει μίας ή περισσότερων πιθανοτήτων (για παράδειγμα 75% True, 25% False). Οι συνθήκες μπορούν να βασιστούν σε τιμές ιδιοτήτων (για παράδειγμα προτεραιότητα), τιμές μεταβλητών (για παράδειγμα αριθμό απορριφθέντων), τύπο οντότητας, ή μία έκφραση (για παράδειγμα NQ(Process a Queue)).

Υπάρχουν δύο σημεία εξόδου από το decide module όταν ο τύπος του είναι είτε 2-way by chance ή 2-way by condition. Υπάρχει ένα σημείο εξόδου για “αληθείς” οντότητες και ένα για “ψευδείς” οντότητες. Όταν ο τύπος είναι N-way by chance ή N-way by condition υπάρχουν πολλαπλά σημεία εξόδου, ένα για κάθε ποσοστό ή συνθήκη και ένα μοναδικό “άλλο” σημείο εξόδου για όλα τα άλλα σενάρια. Ο αριθμός των εξερχόμενων οντοτήτων κάθε τύπου (αληθή/ψευδή) απεικονίζεται μόνο για τύπους 2-way by chance και 2-way by condition.

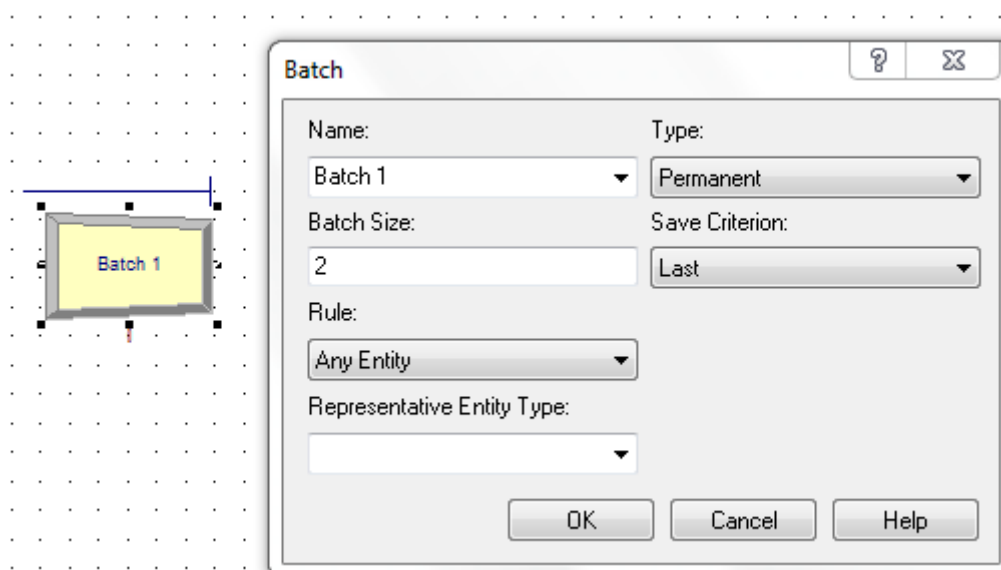
Τυπικές χρήσεις:

- Αποστολή ενός ελαττωματικού εξαρτήματος για επαναεπεξεργασία
- Διακλάδωση αποδεκτών έναντι αποτυχημένων ελέγχων
- Αποστολή πελατών με προτεραιότητα σε εξειδικευμένες διαδικασίες.

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.

- **Type:** Δείχνει αν η απόφαση λαμβάνεται βάσει συνθήκης (παράδειγμα αν $X > Y$) ή βάσει ποσοστού/πιθανότητας (για παράδειγμα 60% ναι 40% όχι). Ο τύπος μπορεί να καθοριστεί είτε σαν 2-way ή N-way. Ο 2-way επιτρέπει έλεγχο για μία συνθήκη ή πιθανότητα (συν την “ψευδή” έξοδο). Ο N-way επιτρέπει έλεγχο για οποιονδήποτε αριθμό συνθηκών ή πιθανοτήτων καθοριστούν καθώς επίσης και μία “διαφορετική” έξοδο.
- **Conditions:** Ορίζει μία ή περισσότερες συνθήκες που χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν τις οντότητες σε διαφορετικά modules. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι N-way by conditions.
- **Percentages:** Ορίζει ένα ή περισσότερα ποσοστά, που χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν τις οντότητες σε διαφορετικά modules. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι N-way by chance.
- **Percent True:** Η τιμή που θα ελεγχθεί για να καθορίσει το ποσοστό των οντοτήτων, που θα σταλούν στην “αληθή” έξοδο.
- **If:** Τύπος της συνθήκης, που θα είναι διαθέσιμη για αξιολόγηση. Variable, Variable Array (1D), Variable Array (2D), Attribute, Entity, Type, Expression.
- **Named:** Καθορίζει το όνομα της μεταβλητής, ιδιότητας ή τύπου οντότητας που θα αξιολογηθεί όταν μία οντότητα εισέλθει στο module. Δεν χρησιμοποιείται όταν ο τύπος είναι Expression.
- **Is:** Αξιολογητής της συνθήκης. Εφαρμόζεται μόνο όταν οι συνθήκες είναι Attribute και Variable.
- **Row:** Καθορίζει την ένδειξη της σειράς σε έναν πίνακα μεταβλητών. Εφαρμόζεται μόνο όταν ο τύπος είναι N-way by condition ή 2-way by condition και η μεταβλητή είναι μονοδιάστατος ή δισδιάστατος πίνακας.
- **Column:** Καθορίζει την ένδειξη της στήλης σε έναν πίνακα μεταβλητών. Εφαρμόζεται μόνο όταν ο τύπος είναι N-way by condition ή 2-way by condition και η μεταβλητή είναι μονοδιάστατος ή δισδιάστατος πίνακας.
- **Value:** Έκφραση που είτε θα συγκριθεί με μία ιδιότητα ή μεταβλητή ή θα αξιολογηθεί σαν απλή έκφραση για να καθοριστεί αν είναι αληθής ή ψευδής. Δεν εφαρμόζεται όταν η συνθήκη είναι Entity Type. Αν ο τύπος είναι Expression αυτή η τιμή πρέπει επίσης να περιλαμβάνει αξιολογητή (για παράδειγμα Χρώμα διάφορο του κόκκινου).

Batch module:

Σχήμα 5.5 batch module

Αυτό το module προορίζεται για το μηχανισμό ομαδοποίησης εντός του μοντέλου προσομοίωσης. Οι ομαδοποιήσεις μπορούν, να είναι προσωρινές ή μόνιμες. Προσωρινές ομαδοποιήσεις πρέπει αργότερα, να χωριστούν χρησιμοποιώντας το Separate module.

Οι ομαδοποιήσεις μπορούν, να γίνουν με οποιοδήποτε καθορισμένο αριθμό εισερχόμενων οντοτήτων, ή μπορούν να “ζευγαρώσουν” μαζί βάσει μίας ιδιότητας. Οι οντότητες, που εισέρχονται στο module τοποθετούνται σε μία ουρά μέχρι να μαζευτεί ο απαραίτητος αριθμός οντοτήτων. Μόλις μαζευτεί, μία νέα αντιπροσωπευτική οντότητα δημιουργείται.

Τυπικές χρήσεις του module:

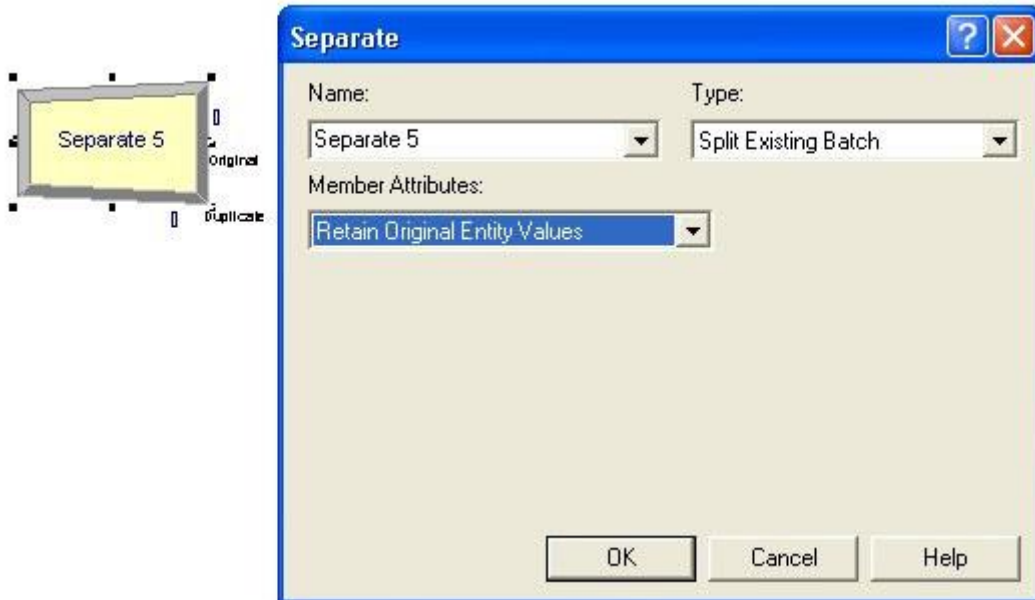
- Συλλογή ενός αριθμού εξαρτημάτων πριν την έναρξη επεξεργασίας
- Σύνδεση ενός ασθενούς και του ιστορικού του πριν κλειστεί ραντεβού.

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- Type: Μέθοδος ομαδοποίησης οντοτήτων
- Batch Size: Αριθμός οντοτήτων, που θα ομαδοποιηθούν.
- Save criterion: Μέθοδος για ανάθεση ορισμένων από το χρήστη τιμών ιδιοτήτων της αντιπροσωπευτικής οντότητας.
- Rule: Καθορίζει πώς θα ομαδοποιηθούν οι εισερχόμενες οντότητες. Επιλέγοντας Any entity θα λάβει τον αριθμό των οντοτήτων, που ορίστηκε στο Batch Size και θα τις ομαδοποιήσει μαζί. Επιλέγοντας By Attribute καθορίζεται, ότι η τιμή της καθορισμένης ιδιότητας πρέπει να ταιριάζει, για να ομαδοποιηθούν οι οντότητες. Για παράδειγμα, αν ορίσουμε ως Attribute Name το χρώμα, όλες οι οντότητες πρέπει να έχουν το ίδιο χρώμα, για να ομαδοποιηθούν, αλλιώς θα περιμένουν στο module για επιπρόσθετες εισερχόμενες οντότητες.

- Attribute name: Το όνομα της ιδιότητας η τιμής της οποίας πρέπει, να ταιριάζει με την τιμή των άλλων εισερχόμενων οντοτήτων, για να γίνει η ομαδοποίηση. Εφαρμόζεται μόνο όταν ο κανόνας είναι By Attribute.
- Representative Entity: Ο τύπος οντότητας της εξερχόμενης αντιπροσωπευτικής οντότητας.

Separate module:



Σχήμα 5.6 separate module

Αυτό το module μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε, για να αντιγράψει μία εισερχόμενη οντότητα σε πολλαπλές οντότητες, είτε για να διαχωρίσει μία προηγουμένως ομαδοποιημένη οντότητα. Καθορίζονται επίσης κανόνες για την ανάθεση του κόστους και των χρόνων στις οντότητες αντίγραφα. Καθορίζονται επίσης κανόνες για την ανάθεση ιδιοτήτων στις οντότητες μέλη.

Όταν χωρίζεται μία υπάρχουσα ομαδοποίηση, η προσωρινή αντιπροσωπευτική οντότητα που είχε δημιουργηθεί αποβάλλεται και οι αρχικές οντότητες που δημιούργησαν την ομάδα ανακτώνται. Οι οντότητες προχωράνε ακολουθιακά από το module με την ίδια σειρά με την οποία είχαν αρχικά τοποθετηθεί στην ομάδα.

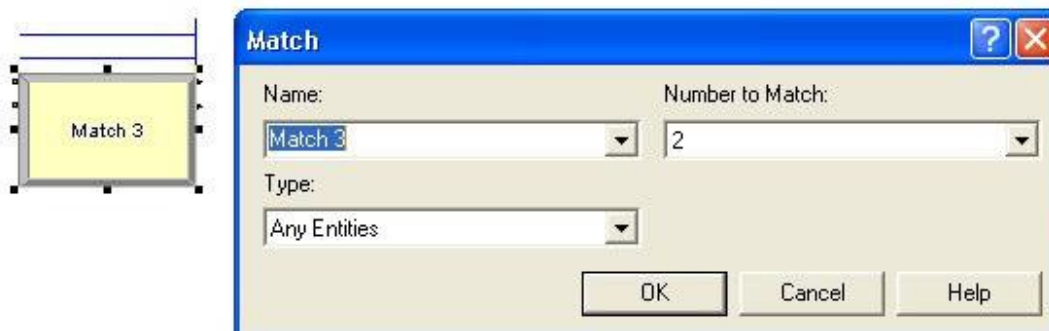
Κατά την αντιγραφή οντοτήτων, ο καθορισμένος αριθμός αντιγράφων κατασκευάζονται και στέλνονται από το module. Η αρχική αυθεντική οντότητα επίσης φεύγει από το module.

Τυπικές χρήσεις του module:

- Αποστολή μεμονωμένων οντοτήτων στα αντίστοιχα κουτιά, που απομακρύνθηκαν από ένα container.
- Αποστολή μίας παραγγελίας ταυτόχρονα σε κοστολόγηση και εξυπηρέτηση για παράλληλη επεξεργασία.
- Χωρισμός προηγουμένως ομαδοποιημένων εγγράφων.

Επιλογές εντός του module:

- **Name:** Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- **Type:** Μέθοδος διαχωρισμού της εισερχόμενης οντότητας. Αν επιλεγεί Duplicate Original απλά θα λάβει την αυθεντική οντότητα και θα δημιουργήσει έναν ορισμένο αριθμό πανομοιότυπων αντιγράφων. Αν επιλεγεί Split Existing Branch απαιτείται η εισερχόμενη οντότητα να είναι προσωρινά ομαδοποιημένη οντότητα από τη χρήση batch module. Οι αρχικές οντότητες από την ομαδοποίηση θα χωριστούν.
- **Percent Cost to duplicates:** Ανάθεση κόστους και χρόνου της εισερχόμενης οντότητας στα εξερχόμενα αντίγραφα. Αυτή η τιμή καθορίζεται ως ένα ποσοστό της τιμής κόστους και χρόνου της αυθεντικής οντότητας (μεταξύ 0 και 100). Το ποσοστό που καθορίζεται να χωριστεί εξίσου μεταξύ των αντιγράφων, ενώ η αυθεντική οντότητα θα διατηρήσει το υπόλοιπο ποσοστό κόστους και χρόνου. Ορατό μόνο όταν ο τύπος είναι Duplicate original.
- **# of duplicates:** Αριθμός των εξερχόμενων οντοτήτων που θα αφήσουν το module, επιπλέον της αυθεντικής εισερχόμενης οντότητας. Εφαρμόζεται μόνο όταν ο τύπος είναι Duplicate original.
- **Member Attributes:** Μέθοδος καθορισμού του τρόπου ανάθεσης στην αντιπροσωπευτική οντότητα τιμών ιδιοτήτων των αυθεντικών οντοτήτων. Αυτές οι επιλογές σχετίζονται με έξι από τις ειδικού χαρακτήρα ιδιότητες (Entity.Type, Entity.Picture, Entity.Sequence, Entity.Station, Entity.Jobstep, και Entity.HoldCostRate) και όλες τις ορισμένες από τον χρήστη ιδιότητες. Εφαρμόζεται μόνο όταν ο τύπος είναι Split Existing Branch.
- **Attribute Name:** Το όνομα των ιδιοτήτων της αντιπροσωπευτικής οντότητας που αναθέτονται στις αρχικές τιμές των οντοτήτων της ομάδας. Εφαρμόζεται μόνο όταν Member Attributes έχει την τιμή Take Specific Representative Values.

Match module:

Σχήμα 5.7 match module

Το match module φέρνει μαζί έναν συγκεκριμένο αριθμό οντοτήτων, που περιμένουν σε διαφορετικές ουρές. Το ζευγάρι μπορεί να επιτευχθεί, μόνο όταν υπάρχει τουλάχιστον μία οντότητα σε κάθε μία από τις επιθυμητές ουρές. Επιπροσθέτως, μπορεί να καθοριστεί ώστε οι οντότητες, που περιμένουν στις ουρές, να έχουν ίδιες τιμές σε μία συγκεκριμένη ιδιότητα, πριν ξεκινήσει το ζευγάρι.

Όταν μία οντότητα εισέρχεται στο Match module σε μία από τις έως και πέντε σχετικές ουρές, βάσει του σημείου εισόδου με το οποίο έχει συνδεθεί. Οι οντότητες θα παραμείνουν στις σχετικές ουρές μέχρι να εμφανιστεί ένα ζευγάρι.

Μόλις εμφανισθεί ένα ζευγάρι (δηλαδή τουλάχιστον μία οντότητα σε κάθε ουρά), μία οντότητα από κάθε ουρά απελευθερώνεται για να ζευγαρωθεί. Οι ζευγαρωμένες οντότητες τότε συγχρονίζονται για αποχώρηση από το module.

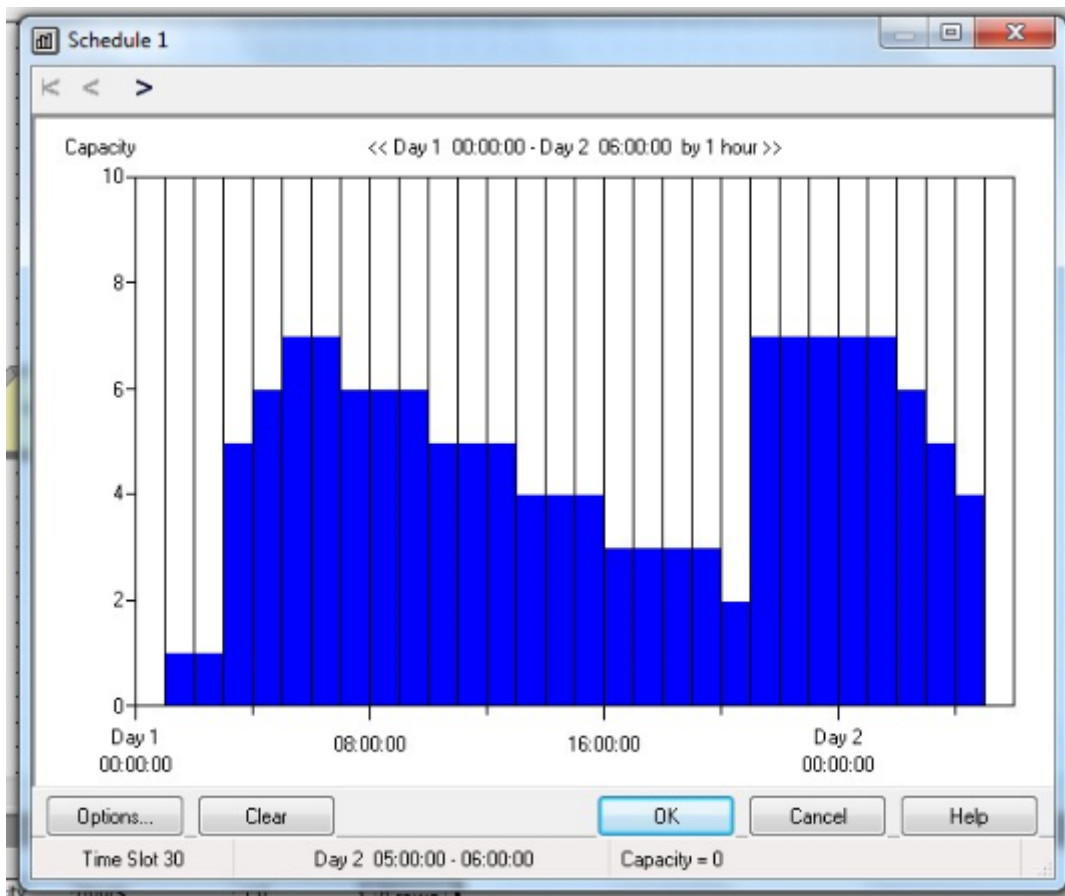
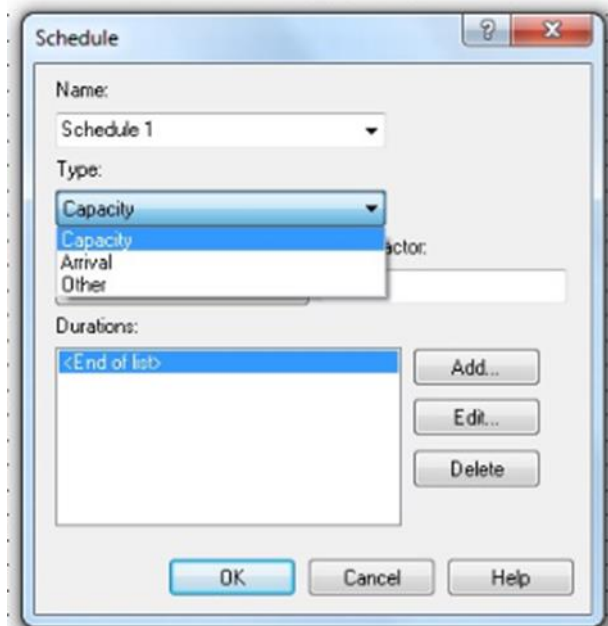
Τυπικές χρήσεις του module:

- Συναρμολόγηση ενός εξαρτήματος
- Συλλογή διαφόρων προϊόντων για την παραγγελία ενός πελάτη
- Συγχρονισμός εξόδου ενός πελάτη με εξυπηρετημένη παραγγελία.

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- Number to match: Αριθμός των υπό ζευγάρωμα οντοτήτων, που πρέπει να διαμένουν σε διαφορετικές ουρές πριν να μπορέσει να ολοκληρωθεί ένα ζευγάρωμα.
- Type: Μέθοδος ζευγαρώματος των εισερχόμενων οντοτήτων. Αν ο τύπος είναι Any Entities, μία οντότητα πρέπει να διαμένει σε κάθε ουρά, ώστε να ολοκληρωθεί ένα ζευγάρι. Αν ο τύπος είναι Based on attribute μία οντότητα πρέπει να διαμένει σε κάθε ουρά με την ίδια τιμή ιδιότητας.
- Attribute Name: Όνομα ιδιότητας που θα χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της τιμής ζευγαρώματος της αφιχθείσας οντότητας. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Based on attribute.

Schedule module:



Σχήματα 5.8 Schedule module

Αυτό το module δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με το resource module για να δημιουργήσει ένα επιχειρησιακό πρόγραμμα, ή με το create module για να ορίσει ένα πρόγραμμα αφίξεων. Επιπροσθέτως, ένα πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να αναφερθεί σε παράγοντες χρόνων καθυστέρησης βάσει του χρόνου προσομοίωσης.

Τυπικές χρήσεις:

- Πρόγραμμα εργασίας προσωπικού, περιλαμβανομένων των διαλειμμάτων
- Πρότυπα κατανομής εξοπλισμού
- Όγκος των πελατών, που μπαίνουν σε ένα κατάστημα
- Καμπύλη εκμάθησης για νέους εργάτες

Επιλογές εντός του module:

- **Name:** Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- **Type:** Είδος του προγράμματος που ορίζεται. Αυτό μπορεί να είναι Capacity related (για προγράμματα πόρων), ή Arrival Related (για Create modules), ή Other (ποικίλοι χρόνοι και παράγοντες καθυστέρησης).
- **Time Units:** Οι χρονικές μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν για το πρόγραμμα.
- **Scale Factor:** Μέθοδος προσαρμογής του προγράμματος για αυξήσεις ή μειώσεις σε τιμές Arrivals/Other. Η τιμή στα πεδία θα πολλαπλασιαστεί με το scale factor για να καθορίσουν τις νέες τιμές. ΔΕΝ είναι διαθέσιμο για προγράμματα τύπου Capacity.
- **Durations:** Καταγράφει την τιμή και την διάρκεια των ζευγαριών για το πρόγραμμα. Οι τιμές μπορεί να είναι capacity, arrival, ή other ενώ η διάρκεια ορίζεται σε χρονικές μονάδες. Τα ζευγάρια προγραμμάτων θα επαναληφθούν εφόσον όλες οι διάρκειες έχουν ολοκληρωθεί, εκτός αν η τελευταία διάρκεια, που απομένει είναι κενή (άπειρη). Δεδομένα του προγράμματος μπορούν να εισαχθούν γραφικά χρησιμοποιώντας τον διαχειριστή γραφήματος του προγράμματος, ή χειροκίνητα μέσω των πεδίων value/duration.
- **Value:** Αντιπροσωπεύει είτε τη χωρητικότητα ενός πόρου (αν ο τύπος είναι Capacity) είναι τον ρυθμό αφίξεων (αν ο τύπος είναι Arrival), ή κάποια άλλη τιμή (αν ο τύπος είναι Other). Παραδείγματα άλλων τύπων μπορεί να είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται σε μια έκφραση καθυστέρησης για να εξισορροπήσει τον χρόνο καθυστέρησης κατά την διάρκειας διάφορων διαστημάτων της μέρας.
- **Duration:** Η χρονική διάρκεια για την οποία η καθορισμένη τιμή θα είναι έγκυρη.

Set module:

Το συγκεκριμένο module δεδομένων ορίζει διάφορους τύπους set, περιλαμβανομένων πόρων, μετρητών, λογαριασμών, τύπου οντότητας και φωτογραφίες οντότητας. Τα set πόρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε process modules (και Seize, Release, Enter, and Leave of the Advanced Process and Advanced Transfer panels). Set μετρητών και λογαριασμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε record modules. Set ουρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε Seize, Hold, Access, Request, Leave, and Allocate modules των Advanced Process και Advanced Transfer panels εργαλειοθηκών.

Τυπικές χρήσεις του module:

- Μηχανήματα, που μπορούν να επιτελέσουν την ίδια διαδικασία σε μία κατασκευαστική εγκατάσταση.

- Επόπτες ολοκληρώνουν τις αγορές σε ένα κατάστημα.
- Μεταφορά αγορών υποδεχόμενες σε ένα γραφείο.
- Ένα σετ εικόνων αντίστοιχο σε έναν τύπο οντοτήτων.

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- Type: Τύπος του οριζόμενου σετ
- Members: Επανάληψη του group που καθορίζει τους πόρους μέλη με το σετ. Η σειρά καταγραφής των μελών εντός του επανειλημμένου group είναι σημαντική όταν χρησιμοποιούνται κανόνες επιλογής όπως Preferred order ή Cyclical.
- Resource Name: Το όνομα του πόρου που θα συμπεριληφθεί στο σετ. Χρησιμοποιείται μόνο όταν το είδος είναι Resource
- Tally Name: Το όνομα του λογαριασμού εντός του σετ λογαριασμών. Χρησιμοποιείται μόνο όταν το είδος είναι tally.
- Counter Name: Το όνομα του δείκτη εντός του σετ δεικτών. Χρησιμοποιείται μόνο όταν το είδος είναι Counter.
- Entity type: Το όνομα της οντότητας εντός του σετ οντοτήτων. Χρησιμοποιείται μόνο όταν το είδος είναι Entity.
- Picture Name: Το όνομα της εικόνας εντός του σετ εικόνων. Χρησιμοποιείται μόνο όταν το είδος είναι Picture.

Resource module:

Αυτό το module δεδομένων ορίζει τους πόρους στο σύστημα προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών κόστους και διαθεσιμότητας πόρων. Οι πόροι μπορούν να έχουν μία καθορισμένη δυναμικότητα, που δεν διαφέρει κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων, ή μπορούν να λειτουργήσουν βάσει προγράμματος. Ανακοπή πόρων και καταστάσεις μπορούν επίσης, να καθοριστούν σε αυτό το module.

Τυπικές χρήσεις του module:

- Εξοπλισμός (μηχανολογικός, τηλεφωνικές γραμμές, ταμεία κλπ)
- Άνθρωποι (διαχείριση διαδικασιών, πωλήσεις εμπορευμάτων ή/και υπηρεσιών, χειριστές κλπ)

Επιλογές εντός του module:

- Name: Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- Type: μέθοδος καθορισμού δυναμικότητας του πόρου. Αν επιλεγεί Fixed capacity δε θα αλλάξει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αν επιλεγεί Based on schedule υποδεικνύεται

ότι ένα schedule module χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις πληροφορίες δυναμικότητας και διάρκειας λειτουργίας του πόρου.

- Capacity: Αριθμός των πόρων ενός συγκεκριμένου είδους που είναι διαθέσιμοι στο σύστημα προς επεξεργασία. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Fixed Capacity.
- Schedule Name: Αναγνωρίζει το όνομα του προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί από τον πόρο. Το πρόγραμμα καθορίζει την δυναμικότητα του πόρου για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Schedule.
- Schedule rule: Υποδεικνύει πότε η πραγματική δυναμικότητα πρόκειται να αλλάξει όταν απαιτείται μείωση δυναμικότητας για έναν απασχολημένο πόρο. Χρησιμοποιείται μόνο όταν ο τύπος είναι Schedule.
- Busy/Hour: Κόστος ανά ώρα ενός πόρου που επεξεργάζεται μία οντότητα. Ο πόρος γίνεται “απασχολημένος” όταν αναθέτεται αρχικά σε μία οντότητα και γίνεται “άεργος” όταν ελευθερώνεται. Κατά την διάρκεια του χρόνου, που είναι “απασχολημένος” το κόστος θα συσσωρεύεται βάσει του busy/hour κόστους. Το κόστος ανά ώρα προσαρμόζεται αυτόματα στις μονάδες χρόνου, που έχουν οριστεί στις παραμέτρους αναπαραγωγής στην σελίδα Run->Setup του μενού του Arena.
- Idle/hour: Busy/Hour: Κόστος ανά ώρα ενός πόρου που παραμένει άεργος. Ο πόρος γίνεται “άεργος” όταν δεν επεξεργάζεται καμία οντότητα. Κατά τη διάρκεια του χρόνου, που είναι “άεργος” το κόστος θα συσσωρεύεται βάσει του idle/hour κόστους. Το κόστος ανά ώρα προσαρμόζεται αυτόματα στις μονάδες χρόνου, που έχουν οριστεί στις παραμέτρους αναπαραγωγής στην σελίδα Run->Setup του μενού του Arena.
- Per use: Κόστος ενός πόρου σε βάση χρήσης, ανεξαρτήτως του χρόνου του οποίου χρησιμοποιείται. Κάθε φορά που ένας πόρος ανατίθεται σε μία οντότητα, θα προκαλέσει κόστος/χρήση.
- StateSet Name: Όνομα των καταστάσεων που μπορεί να ανατεθούν σε έναν πόρο κατά την προσομοίωση.
- Initial State: Αρχική κατάσταση ενός πόρου. Αν καθοριστεί, πρέπει να οριστεί μέσα από μία επαναλαμβανόμενη ομάδα ονομάτων καταστάσεων. Αυτό το πεδίο γίνεται ορατό μόνο όταν οριστεί StateSet Name.
- Failures: Καταγράφονται όλα τα σφάλματα που συνδέονται με έναν πόρο.
- ✓ Failure Name: Όνομα του σφάλματος, που σχετίζεται με τον πόρο.
- ✓ Failure rule: Συμπεριφορά, που θα πρέπει να εφαρμοστεί, όταν ένα σφάλμα πρόκειται να συμβεί για έναν απασχολημένο πόρο.
- Report Statistics: Καθορίζει αν συλλεχθούν ή όχι αυτόματα στατιστικά και θα αποθηκευτούν στην αναφορά αποτελεσμάτων για αυτό τον πόρο.

Queue module:

Αυτό το module δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κανόνας κατάστασης σε μία ουρά. Ο προκαθορισμένος κανόνας είναι για όλες τις ουρές First In – First Out εκτός, αν οριστεί διαφορετικά στο module. Υπάρχει ένα αντίστοιχο πεδίο, που επιτρέπει στην ουρά να οριστεί ως κοινόχρηστη.

Τυπικές χρήσεις:

- Στοιβά εργασίας, που περιμένει έναν πόρο σε ένα process module.
- Περιοχή αναμονής εγγράφων, που περιμένουν να ομαδοποιηθούν σε ένα batch module.

Επιλογές εντός του module:

- **Name:** Μοναδικό όνομα χαρακτηριστικό του module, που απεικονίζεται στο σχέδιο του module.
- **Type:** Ο κανόνας ταξινόμησης στην ουρά, που μπορεί να βασιστεί σε μία ιδιότητα. Οι τύποι περιλαμβάνουν First In, First Out; Last In, First Out; Lowest Attribute Value (first); και Highest Attribute Value (first). Μία χαμηλή τιμή ιδιότητας θα ήταν 0 ή 1, ενώ μία υψηλή θα μπορούσε να είναι 200 ή 300.
- **Attribute Name:** Ιδιότητα, που θα αξιολογηθεί για τους τύπους Lowest Attribute Value ή Highest Attribute Value. Οι οντότητες με τη μικρότερη ή την υψηλότερη τιμή θα τοποθετηθούν πρώτες στην ουρά, με τις ισότιμες να διεκπεραιώνονται μέσω του κανόνα First In – First Out.
- **Shared:** Κυτίο ελέγχου, που καθορίζει αν μία συγκεκριμένη ουρά θα χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλά σημεία εντός του μοντέλου προσομοίωσης. Κοινόχρηστες ουρές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε seizing resources (για παράδειγμα με το Seize module από το Advanced process panel).
- **Report Statistics:** Καθορίζει αν θα συλλεχθούν ή όχι αυτόματα στατιστικά και θα αποθηκευτούν στην αναφορά αποτελεσμάτων για αυτή την ουρά.

5.4.2 Προσαρμογή στο μοντέλο

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα αναφερθεί, ο τρόπος χρήσης των modules, για να εξυπηρετηθεί ο σκοπός της απεικόνισης του μοντέλου και της μετατροπής του σε ένα μοντέλο προσομοίωσης εντός του Arena.

Create Module:

Χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των παρτίδων, που κυκλοφορούν στο σύστημα, καθώς επίσης και των δοχείων αυτών.

- **Name:** Ορίστηκε σε κάθε module το όνομα του. Δεν είναι απαραίτητο αυτό να ταυτίζεται με το όνομα της οντότητας, που κατασκευάζει. Για παράδειγμα, αν έχουμε μία δίωρη παρτίδα που θα κατευθυνθεί στην μηχανή Samic 1, μπορεί το όνομα του module να είναι Samic I 2 hour portion creation, ενώ ο τύπος οντότητας Samic I 2 hour portion.
- **Entity type:** Το (αντιπροσωπευτικό) της οντότητας, που δημιουργήθηκε.
- **Type:** Επιλέχθηκε Constant, ώστε να διαχειριζόμαστε σταθερά χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων.
- **Units:** Σαν χρονικές μονάδες επιλέχθηκαν οι ώρες.
- **Entities per arrival:** Ήταν πάντα ίσο με 1, μιας και θέλαμε ένα αντικείμενο (παρτίδα/container) με κάθε άφιξη.
- **Value, Max Arrivals, First creation:** Διέφεραν ανάλογα τα δεδομένα της προσομοίωσης σε κάθε module.

Dispose module:

Χρησιμοποιήθηκε ως σημείο εξόδου των παρτίδων από το σύστημα. Το όνομα ορίστηκε σε Portion Disposal και επιλέχθηκε καταγραφή στατιστικών.

Process module:

Χρησιμοποιήθηκαν, για να προσομοιάσουν τις διαδικασίες ζυγίσματος, αναμίξεων και πλύσιματος δοχείων.

- Name: ορίστηκε το όνομα κάθε διαδικασίας (για ποια ζυγιστική μηχανή, ή ποια αναμεικτική μηχανή πρόκειται, ή το πλυντήριο).
- Type: Επιλέχθηκε standard εφόσον δεν χρησιμοποιήσαμε υπομοντέλα.
- Action: Επιλέχθηκε Seize delay release επειδή θέλαμε ο πόρος να μένει απασχολημένος όσο επεξεργάζοταν κάποια οντότητα και να ελευθερωνόταν αμέσως μετά.
- Priority: Αφέθηκε η προκαθορισμένη τιμή Medium.
- Resources: Διαφέρει ανάλογα την διαδικασία για την οποία μιλάμε (ζύγισμα, ανάμιξη, πλύσιμο). Στην καρτέλα, που εμφανίζεται για επεξεργασία των πόρων, επιλέχθηκε σαν τύπος τόσο Resource όσο και set ανάλογα το σενάριο.
- Delay type: Επιλέχθηκε ο τύπος Constant, παρ' ότι οι χρόνοι επεξεργασίας παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις, διότι θεωρήθηκε σωστό ο μοντέλο να δίνει αποτελέσματα με βάση το χειρότερο χρονικά σενάριο.
- Allocation: Όλες οι διαδικασίες, που προσομοιώθηκαν ανήκουν στην κατηγορία Value Added.
- Value: Διαφέρει ανάλογα τη διαδικασία για την οποία μιλάμε.
- Report Statistics: Επιλέχθηκε, να καταγραφούν στατιστικά για όλα τα process modules.

Decide module:

Χρησιμοποιήθηκε, για να καθορίζει μετά το ζύγισμα σε ποια αναμεικτική μηχανή θα πάει η παρτίδα. Επίσης μετά τον διαχωρισμό παρτίδας από container χρησιμοποιήθηκε, για να στείλει τις παρτίδες στο dispose module ενώ τα containers στο πλυντήριο. Τέλος, μετά το πλύσιμο έστειλε τα containers στο αντίστοιχο match τους, ώστε να είναι ξανά διαθέσιμα για χρήση.

- Name: Ορίστηκε ως όνομα η συνθήκη η οποία εξεταζόταν στο συγκεκριμένο module.
- Type: Χρησιμοποιήθηκε παντού N-way by condition ή 2-way by condition ανάλογα πόσες εναλλακτικές διαδρομές υπήρχαν για τις παρτίδες.

Match Module:

Χρησιμοποιήθηκε ώστε να “ζευγαρώσει” κάθε παρτίδα με το αντίστοιχο container της.

- Name: Δόθηκε ως όνομα σε κάθε ένα το είδος των στοιχείων (παρτίδα και container) ως προς τον χρόνο ζυγίσματος και την αναμεικτική μηχανή προορισμού, που ζευγάρωνε (παράδειγμα Samic I 1 hour portion match).
- Number to match: Ορίστηκε ως 2, αφού σκοπός ήταν να ζευγαρώσουν παρτίδες με τα αντίστοιχα containers.
- Type: Ορίστηκε ως any entities.

Batch module:

Χρησιμοποιήθηκε για να ενώσει προσωρινά παρτίδες και containers. Ο σκοπός, που εξυπηρετεί έτσι, είναι να μην φτάσουν στο ζυγιστήριο παρτίδες προς ζύγιση, αν δεν έχει εξασφαλιστεί ότι υπάρχουν διαθέσιμα τα αντίστοιχα containers.

- Name: όπως και στο match module, δόθηκε ως όνομα σε κάθε ένα το είδος των στοιχείων (παρτίδα και container) ως προς τον χρόνο ζυγίσματος και την αναμεικτική μηχανή προορισμού, που ζευγάρωνε (παράδειγμα Samic I 1 hour portion batch).
- Type: Επιλέχθηκε temporary, καθώς μετά θέλουμε να διαχωρίσουμε εκ νέου παρτίδα από container.
- Batch size: Ορίστηκε ως 2 αφού ομαδοποιούμε 2 οντότητες σε μία νέα.
- Save Criterion: Αφέθηκε το προεπιλεγμένο last
- Rule: Επιλέχθηκε Any entity στην ίδια λογική με το match.
- Representative Entity Type: Ορίστηκε καταχρηστικά ως filled containers της αντίστοιχης παρτίδας, διότι ναι μεν δεν είναι γεμάτα κατά την είσοδο στο ζυγιστήριο, αλλά ως γεμάτα φεύγουν από αυτό.

Separate module:

Χρησιμοποιείται για να χωρίζει την παρτίδα από το container και να οδηγήσει το κάθε ένα στο αντίστοιχο ακόλουθο module.

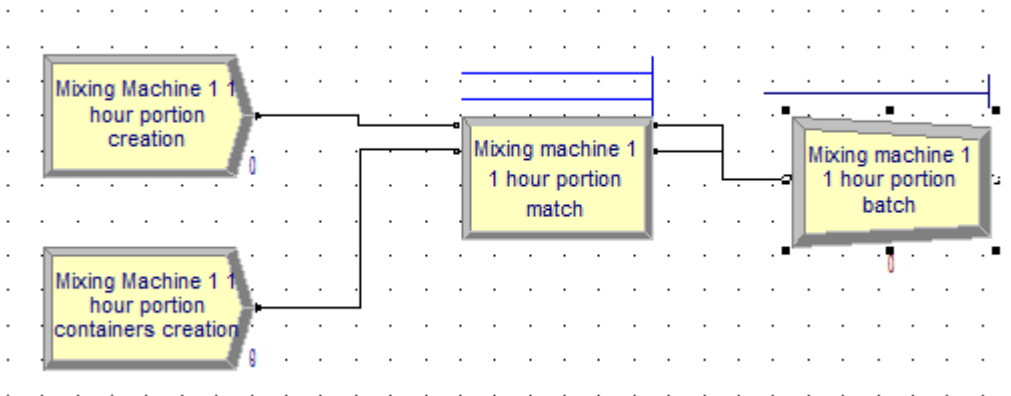
- Name: Δόθηκε το όνομα της αναμεικτικής μηχανής της οποίας έπεται (παράδειγμα Vetus I separation).
- Type: Επιλέχθηκε Split existing batch εφόσον θέλουμε να διαχωρίσουμε μία <<ομάδα>> που εμείς δημιουργήσαμε με το batch module νωρίτερα.
- Member attributes: Επιλέχθηκε Retain original Entity Values εφόσον θέλουμε να κρίνουμε το μονοπάτι, που θα ακολουθήσουν οι αρχικές οντότητες βάσει αυτού του χαρακτηριστικού τους (παρτίδες προς disposal, containers προς πλυντήριο).
- Schedule module:
- Χρησιμοποιήθηκε για καθορισμό προγράμματος στα process modules έναντι ενός fixed capacity.

5.4.3 Τελικό μοντέλο

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναλυθεί η τελική μορφή του μοντέλου προσομοίωσης το οποίο κατασκευάστηκε. Για την κατασκευή του έπρεπε να υπάρξει σεβασμός στο όριο των 150 modules

της φοιτητικής έκδοσης του Arena, και τον περιορισμένο αριθμό οντοτήτων σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (περισσότερα για αυτό στο κεφάλαιο 6).

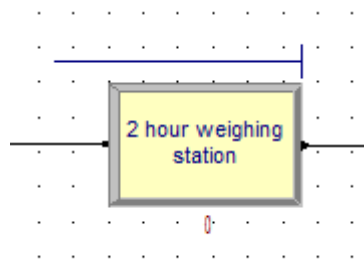
Αρχικά ξεκινάμε με μία ακολουθία τεσσάρων module όπως φαίνεται ακολούθως:



Σχήμα 5.9 Εναρκτήρια ακολουθία modules

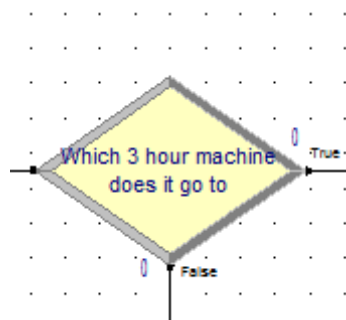
Στο σχήμα 5.9 έχουμε πάρει ως παράδειγμα τη δημιουργία μονόφωνων παρτίδων και containers της αναμεικτικής μηχανής Mixing Machine 1, το ζευγάρωμα και την ομαδοποίηση τους πριν φύγουν για το ζυγιστήριο.

Ακολουθεί ένα process module για κάθε ένα από τα τρία διαφορετικά είδη ζυγίσματος, που αναφέρεται στις διαθέσιμες ζυγαριές και εκτελεί την διαδικασία ζυγίσματος. Για παράδειγμα το process module των δίφων ζυγισμάτων:



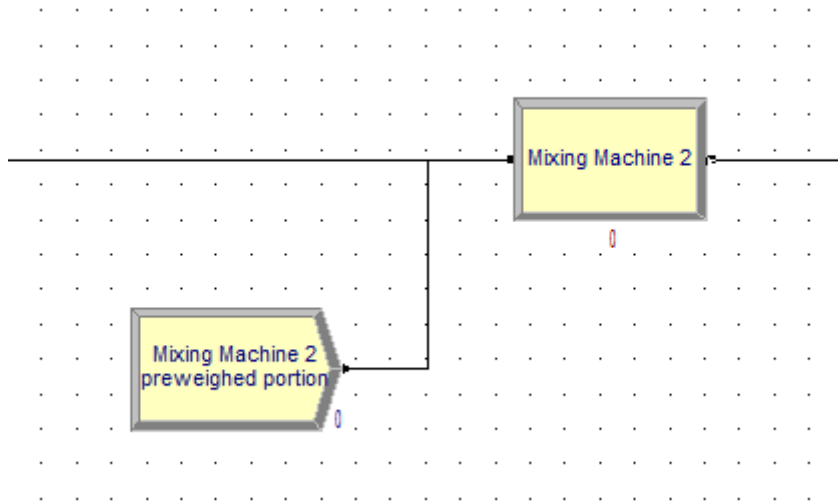
Σχήμα 5.10 ζυγιστικός σταθμός

Έπειτα έρχεται ένα decide module να αποφασίσει σε ποια αναμεικτική μηχανή θα κατευθυνθεί η κάθε οντότητα.. Ακολουθεί παράδειγμα το decide module που βρίσκεται μετά τις ζυγαριές τριών ωρών.



Σχήμα 5.11 decision module που οδεύει προς τις αναμίξεις

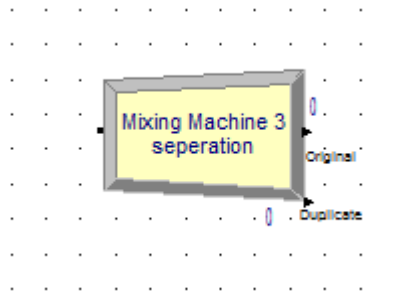
Μετά, οδηγούμαστε πλέον στα process modules των αναμεικτικών μηχανών, για παράδειγμα της ΜΗ



Σχήμα 5.12 mixing module

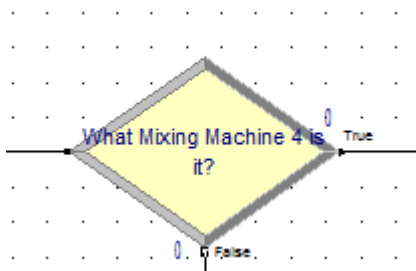
Παρατηρούμε, ότι εκτός από το decide module υπάρχει και ένα create module, που τροφοδοτεί την αναμεικτική μηχανή. Πρόκειται για τις προ ζυγισμένες από την προηγούμενη μέρα παρτίδες, καθώς όπως είναι κατανοητό, αν η μέρα “ξεκινάει” στις 6 το πρωί, είναι αδύνατον να ζυγιστούν άμεσα παρτίδες, που πρέπει να αναμειχθούν εκείνη την ώρα. Στις προ ζυγισμένες παρατηρούμε ωστόσο ότι δεν υπάρχουν δοχεία, επιλογή, που έγινε συνειδητά για την εξοικονόμηση modules.

Κάθε αναμεικτική μηχανή ακολουθείται από ένα separate module, που διαχωρίζει πλέον την παρτίδα από τα δοχεία της, έστω για παράδειγμα το separate module της Mixing Machine 3



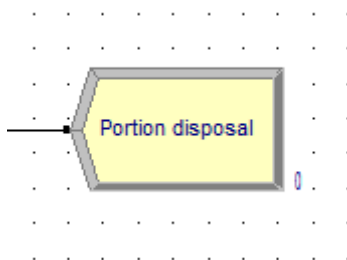
Σχήμα 5.13 separation module

Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα decision module, που καθορίζει αν η οντότητα είναι παρτίδα ή container, ώστε να κατευθυνθεί στο dispose module ή στο process module του πλυντηρίου αντίστοιχα. Έστω για παράδειγμα το decision module της Mixing machine 4

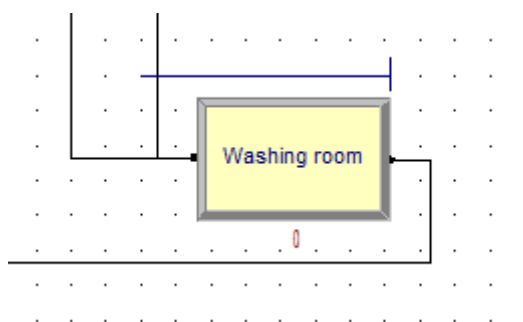


Σχήμα 5.14 decision module προς disposal module ή πλυντήριο

Ακολουθεί το disposal module στο οποίο κατευθύνονται όλες οι εξερχόμενες από τα προηγούμενα decision modules παρτίδες και το process module του πλυντηρίου

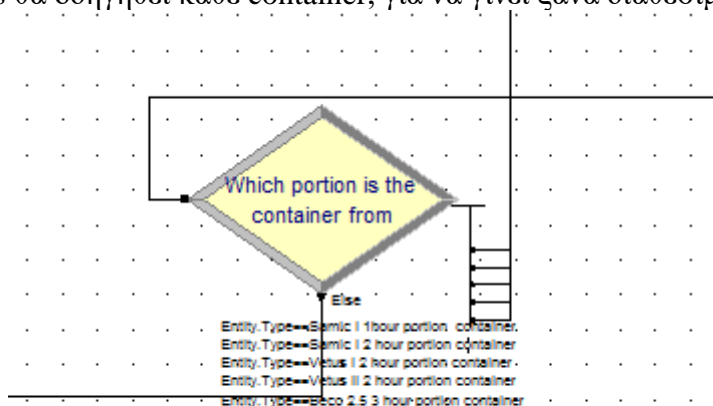


Σχήμα 5.15 disposal module



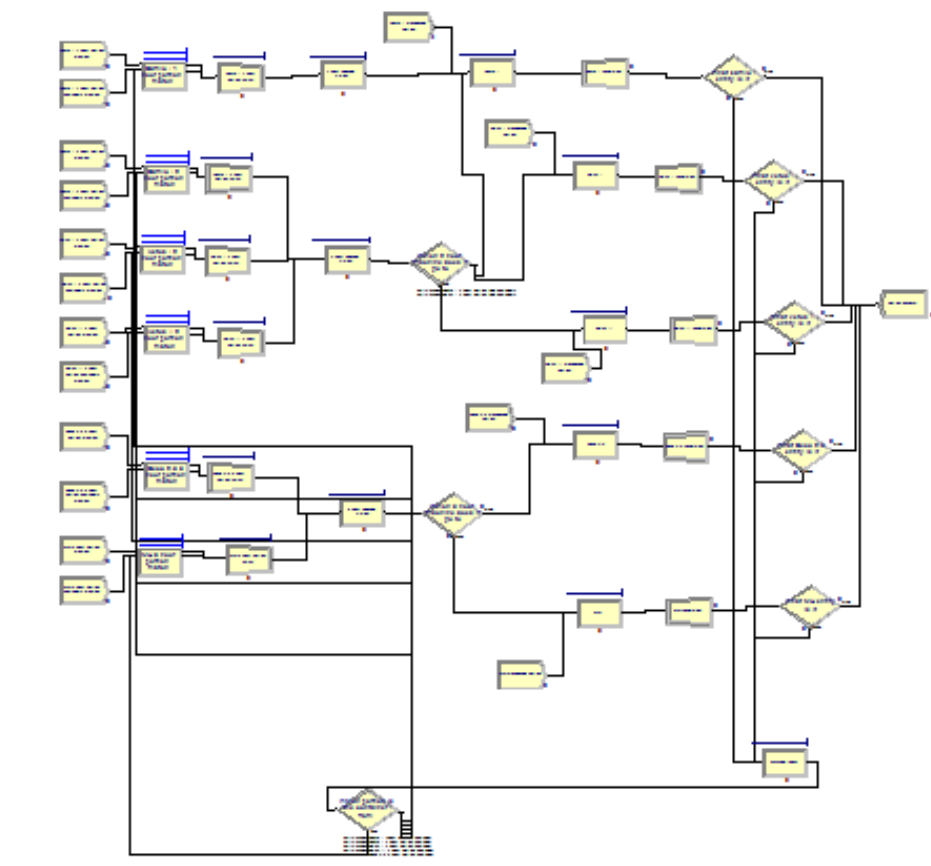
Σχήμα 5.16 washing room

Τέλος, την έξοδο του πλυντηρίου ακολουθεί ένα decision module, που καθορίζει σε ποιο από τα αρχικά match modules θα οδηγηθεί κάθε container, για να γίνει ξανά διαθέσιμο προς χρήση



Σχήμα 5.17 decision module για ανακατεύθυνση πλυμένων containers

Το τελικό μοντέλο έχει την παρακάτω μορφή όπως στο σχήμα 5.18



Σχήμα 5.18 τελικό μοντέλο

Κεφάλαιο 6 Εφαρμογή του μοντέλου σε ένα πρότυπο σύστημα παραγωγής καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων.

6.1 Μοντελοποιώντας ένα σύστημα

Σε αντίθεση με τις καθαρά φυσικές επιστήμες, όπως η φυσική, η χημεία ή τα μαθηματικά, η θεωρία παραγωγής πολύ σπάνια αναπτύσσεται με έναν καθαρά αναλυτικό τρόπο, παρότι υπάρχουν νόμοι, που “κυβερνούν” την λογική παραγωγής. Αυτό μπορεί να προέρχεται από το γεγονός ότι η παραγωγή, με άλλα λόγια η μετατροπή εισόδων σε εξόδους, προφανώς δεν είναι το ίδιο, όπως για παράδειγμα η φυσική που περιγράφεται από μαθηματικές σχέσεις τύπου $y = f(x)$ με μία ντετερμινιστική λύση. Ωστόσο, η παραγωγή είναι μία πολυδιάστατη επιστήμη με χαρακτηριστικά:

- Εφαρμογής μαθηματικών σχετικών με την παραγωγή
- Χρήσης και ανάθεσης διάφορων περιορισμένων πόρων
- Σεβασμού στις οικονομικές απαιτήσεις
- Ύπαρξης εντός ενός μη ντετερμινιστικού περιβάλλοντος διαφορετικών πιθανών αλλά επίσης μη βέλτιστων λύσεων

Ο τελικός στόχος της παραγωγής είναι να δημιουργήσει αξία για την κοινωνία, που να συμμορφώνεται με ένα μακροχρόνιο και βιώσιμο εταιρικό πλάνο. Εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος με περιορισμένους πόρους, οι οικονομικές απαιτήσεις επιβάλλουν την μετατροπή παραγόντων εισόδου (όπως οι πρώτες ύλες) σε παράγοντες εξόδου (όπως ενδιάμεσα εξαρτήματα ή χρησιμοποιήσιμα πλέον προϊόντα). Ο μετασχηματισμός πρέπει να γίνει με έναν ιδανικό τρόπο. Οι οικονομολόγοι συνήθιζαν, να προτείνουν:

- Μεγιστοποίηση εξόδου για δοσμένη είσοδο
- Ελαχιστοποίηση εισόδου για επίτευξη συγκεκριμένης εξόδου

Για ένα παραγωγικό σύστημα συνήθως εφαρμόζεται το δεύτερο. Εν αντιθέσει με την φυσική και την χημεία η παραγωγή είναι ένα πολύπλοκο διεπιστημονικό πεδίο. Η πολυπλοκότητα της ορίζεται από τα χαρακτηριστικά των πολλαπλών υποσυστημάτων που περιλαμβάνονται καθώς επίσης και των πολλαπλών βαθμών ελευθερίας για την κατανόηση της μετατροπής. Τα κύρια υποσυστήματα είναι:

- Διαθέσιμοι πόροι, όπως μηχανήματα, ανθρώπινο δυναμικό και ο χρόνος σε ένα συγκεκριμένο και περιορισμένο χρονικό πλαίσιο.
- Η ισορροπία μεταξύ των διάφορων πόρων εισόδου, για παράδειγμα πρώτων υλών και εξαρτημάτων, που χρειάζονται για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.
- Κατασκευαστικοί κανόνες της εφαρμοσμένης διαδικασίας μετασχηματισμού

Σε αντίθεση με τις περισσότερες ερευνητικές τεχνικές, που βελτιστοποιούν όχι μόνο, αλλά κυρίως στατικά προβλήματα, η πολυπλοκότητα ενός παραγωγικού συστήματος είναι περαιτέρω επαυξημένη από την προσωρινή δυναμική επίτευξης τυχαίων παραγγελιών πελατών (όπως μη προσδοκώμενη αύξηση ζήτησης) με ενδεχομένως υψηλή μεταβλητότητα μείγματος προϊόντων ανά παραγγελία. Για τη διαχείριση των απαιτήσεων διανομής εντός ενός εξελισσόμενου μη στατικού γενικού πλαισίου, ο χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού είναι φραγμένος και συχνά επιλύεται με προγραμματισμένες εβδομαδιαίες καμπάνιες παραγωγής. Συνεπώς σε ένα παραγωγικό σύστημα η παραγωγή ορίζεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, που προσπαθεί να πετύχει:

- Βελτιστοποίηση ενός περιορισμένου συστήματος
- Συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των πελατών
- Διαθεσιμότητα περιορισμένων πόρων παραγωγής
- Εφαρμογή κατάλληλης ανάθεσης, για παράδειγμα χρονοπρογραμματισμό μηχανών
- Τήρηση του οικονομικού όρου της ελαχιστοποίησης σπατάλης εισόδων και πόρων του συστήματος.

Για τη μοντελοποίηση του παραγωγικού συστήματος με το οποίο καταπιάστηκε η παρούσα διπλωματική εργασία ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Επίσκεψη και αναλυτική καταγραφή του χώρου και του εξοπλισμού
- Καταγραφή των σχέσεων μεταξύ των τμημάτων
- Ανάλυση του έως πρότινος τρόπου λειτουργίας
- Επιλογή κατάλληλου προσομοιωτικού εργαλείου, βάσει των στόχων, που πρέπει να επιτευχθούν
- Προσαρμογή των δεδομένων στο εργαλείο και αποδεκτή μεταφορά της πραγματικής λειτουργίας σε αυτό
- Εισαγωγή εισόδων και “τρέξιμο” προσομοιώσεων
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων
- Πρόταση λύσεων για τη βελτίωση της συνολικής λειτουργίας

6.2 Πλαίσιο εφαρμογής

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, έπρεπε να γίνουν παραδοχές για την προσαρμογή του μοντέλου στη φοιτητική έκδοση του arena. Η τελική μορφή υπενθυμίζεται, ότι περιλαμβάνει σεβασμό στο όριο των 150 modules της φοιτητικής έκδοσης του Arena. Ο στόχος είναι να δομηθεί μία μεθοδολογία και ένα σχετικό μοντέλο το οποίο θα εξηγήσει πώς μπορεί να αναπαρασταθεί η ροή διεργασιών ενός παραγωγικού συστήματος, με στόχο την καλύτερη εποπτεία και έλεγχο της παραγωγής και των σχετικών δεικτών αυτής. Για να μπορούν να εξαχθούν ρεαλιστικά επιχειρησιακά συμπεράσματα, καθίσταται σαφές ότι η πολυπλοκότητα των σημερινών παραγωγικών μονάδων απαιτεί τη χρήση της πλήρους έκδοσης του λογισμικού, φτάνοντας σε μοντέλα όπου χιλιάδες modules θα μπορούν να αναπαραστήσουν μια πιστή προσομοίωση της πραγματικότητας.

Η παρακάτω εφαρμογή στο πρότυπο που έχει τεθεί στα πλαίσια της εργασίας αντανακλά σε πολύ μεγάλο εύρος και βάθος το πλήθος διαφορετικών συμπερασμάτων που μπορεί να εξάγει ένας αποφασίζοντας ως απόρροια μιας ορθής μοντελοποίησης. Σε αυτό το πλαίσιο, έπρεπε να γίνουν κάποιες σημαντικές παραδοχές λόγω των περιορισμών της φοιτητικής έκδοσης

- Ομαδοποίηση των ζυγισμάτων σε 3 κατηγορίες, όπου καταχρηστικά η διάρκειά τους είναι είναι μία, δύο ή τρεις ώρες.
- Το σύστημα έχει 4 διαφορετικές τεχνολογίες (είδη) αναμικτήρων όπου μπορούν να παραχθούν όλα τα πιθανά είδη προϊόντων ως προς τις απαιτήσεις ζυγίσματος.
- Κάθε μηχανή χρειάζεται ένα χειριστή.
- Οι ζυγαριές, που είναι διαθέσιμες είναι σε θέση να αναλάβουν οποιοδήποτε από τα 3 είδη ζυγίσματος αρκεί, να μην βρίσκονται πάνω από 3 ταυτόχρονα σε λειτουργία (εφόσον μέχρι 3 χωράνε ταυτόχρονα στον διαθέσιμο χώρο).

- Υπάρχουν προζυγισμένες παρτίδες προς ανάμιξη, οι οποίες έχουν ζυγιστεί την προηγούμενη μέρα, ώστε να είναι διαθέσιμες για ανάμιξη το πρωί.
- Ακόμα για τις ανάγκες της διπλωματικής θεωρήθηκε τελικά, ότι υπάρχουν διαθέσιμοι όλοι οι απαραίτητοι περιέκτες στους οποίους τοποθετούνται οι ύλες μετά το ζύγισμα, καθώς επίσης οι περιέκτες των προζυγισμένων παρτίδων δεν λήφθηκαν υπόψιν.
- Για το ζύγισμα των πρώτων υλών οι οποίες απαιτούνται για την παραγωγή ενός προϊόντος και βρίσκονται σε χαμηλή περιεκτικότητα ανά προϊόν χρησιμοποιούνται μεταλλικοί ή πλαστικοί περιέκτες
- Μετά από έναν συγκεκριμένο αριθμό αναμίξεων, απαιτείται πλύσιμο και απολύμανση των αναμεικτικών μηχανών. Ο χρόνος περαίωσης του ποικίλει ανάλογα την μηχανή.
- Η αποθήκη τροφοδοτεί το ζυγιστήριο με παρτίδες, ομαδοποιημένες κατά τον χρόνο ζυγίσματος τους, όπως αναφέρεται ανωτέρω. Μία παρτίδα αποτελεί το σύνολο των πρώτων υλών, που απαιτεί να ζυγιστούν και να πάνε στην ίδια αναμεικτική μηχανή για την ίδια ανάμιξη.
- Το πλύσιμο των περιεκτών στο πλυντήριο διαρκεί 2,5 ώρες.

6.3 Αρχικοποίηση και εφαρμογή του μοντέλου

Στην παρούσα παράγραφο θα αναλυθούν δύο πιθανά προγράμματα, ένα επιτεύξιμο και ένα μη επιτεύξιμο. Όπως θα σημειωθεί και στα δύο, υπάρχουν παρτίδες οι οποίες έχουν ζυγιστεί από την προηγούμενη μέρα, ώστε να είναι διαθέσιμες για ανάμιξη με την έναρξη της πρωινής βάρδιας στις 6 το πρωί. Επίσης, ο διαθέσιμος (συνολικός) χώρος για παραμονή των παρτίδων σε αναμονή για ζύγισμα ή ανάμιξη είναι 11 παρτίδες. Τέλος, οι αναμεικτικές μηχανές 1 και 2 έχουν διάρκεια ανάμιξης 8 ώρες και πρέπει μετά από το πολύ 4 αναμίξεις, να γίνει ένα πλύσιμο διάρκειας 5 ωρών. Αντίστοιχα η αναμεικτική μηχανή 3 έχει διάρκεια ανάμιξης 7 ώρες και πρέπει το πολύ ανά 5 αναμίξεις να κάνει ένα πλύσιμο διάρκειας 5 ωρών. Όμοια η αναμεικτική μηχανή 4 έχει διάρκεια ανάμιξης 4 ώρες και πρέπει να κάνει ένα πλύσιμο διάρκειας 6 ωρών ανά 4 παρτίδες το πολύ. Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται εποπτικά οι δραστηριότητες και οι συντομογραφίες, που θα χρησιμοποιηθούν για αυτές, σε ένα υπόμνημα.

Δραστηριότητα	Συντομογραφία
Μονόωρη παρτίδα	M
Δίωρη παρτίδα	Δ
Τρίωρη παρτίδα	T
Πλύσιμο και απολύμανση	Π + Α
Προζυγισμένη παρτίδα	ΠΡ

Πίνακας 6.1 Υπόμνημα

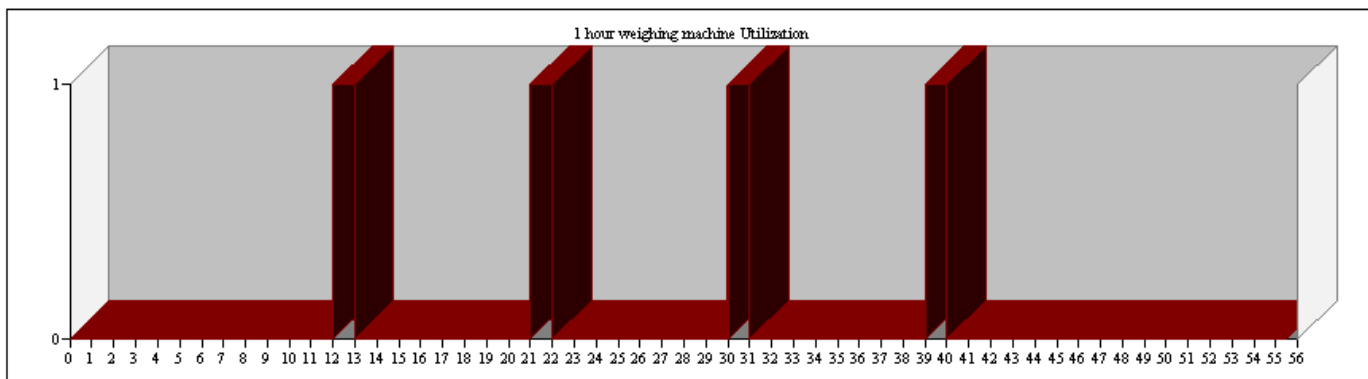
6.3.1 Εφικτό πρόγραμμα (ως προς το ζυγιστήριο)

Μηχανή	Έναρξη	Λήξη	Δραστηριότητα
Αναμεικτική μηχανή 1	6:00	14:00	M + ΠΡ
	14:00	22:00	M
	22:00	6:00	M
	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	19:00	M
	19:00	3:00	M
Αναμεικτική μηχανή 2	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	19:00	Δ
	19:00	3:00	Δ
	3:00	11:00	Δ
	11:00	19:00	Δ
	19:00	0:00	Π + Α
Αναμεικτική μηχανή 3	6:00	13:00	T + ΠΡ
	13:00	18:00	Π + Α
	18:00	1:00	T
	1:00	8:00	T
	8:00	15:00	T
	15:00	22:00	T
	22:00	5:00	T
Αναμεικτική μηχανή 4	6:00	10:00	T + ΠΡ
	10:00	14:00	T
	14:00	18:00	T
	18:00	0:00	Π + Α
	0:00	4:00	T
	4:00	8:00	T
	8:00	12:00	T
	12:00	18:00	Π + Α
	18:00	22:00	T
	22:00	2:00	T
	2:00	6:00	T

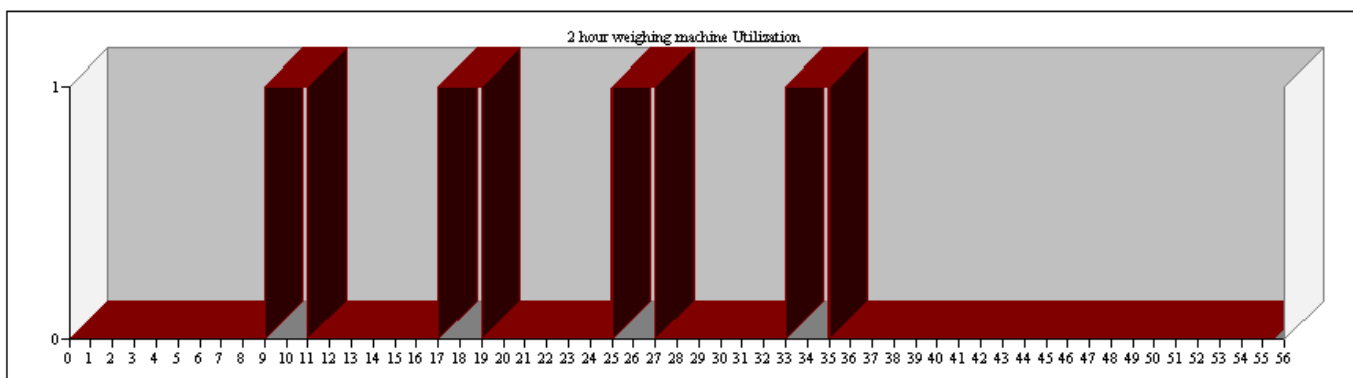
Πίνακας 6.2 Εφικτό πρόγραμμα

Θα εξετάσουμε αναλυτικά τα διαγράμματα, ώστε να φτιάξουμε έναν πίνακα, που θα κάνει ανάθεση την κάθε παρτίδα στην ζυγαριά, στην οποία ζυγίστηκε, αναφέροντας την διάρκεια ζυγίσματος, αλλά και πιθανή καθυστέρηση (εν προκειμένω 0), όπως επίσης και το ποσοστό χρήσης της ζυγαριάς.

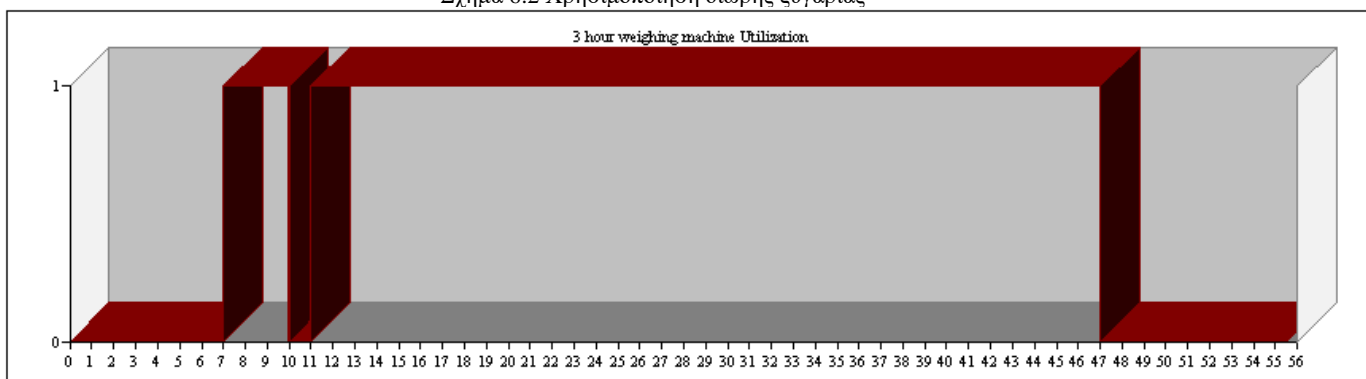
Αρχικά βλέπουμε τις ώρες, που λειτούργησε κάθε ζυγιστική μηχανή:



Σχήμα 6.1 Χρησιμοποίηση μονώρορης ζυγαριάς

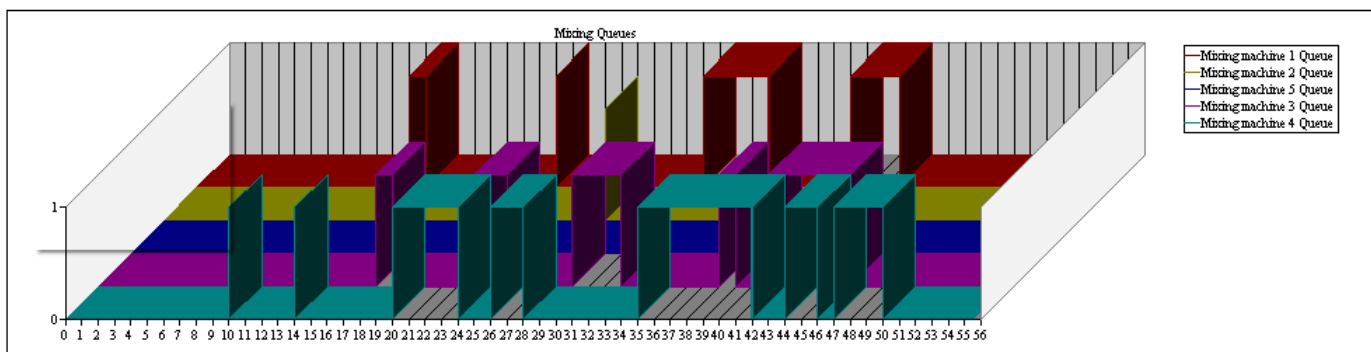


Σχήμα 6.2 Χρησιμοποίηση δίωρορης ζυγαριάς

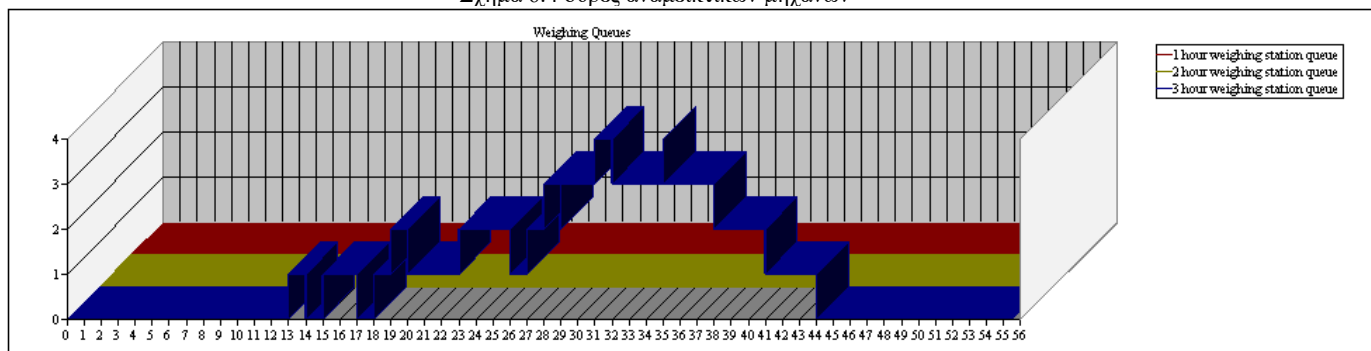


Σχήμα 6.3 Χρησιμοποίηση τρίωρορης ζυγαριάς

Έπειτα ελέγχουμε τις ουρές, για να σιγουρευτούμε, ότι δεν παραβιάσαμε κάποιον περιορισμό, έχοντας παραπάνω από 11 παρτίδες σε αναμονή ταυτόχρονα.



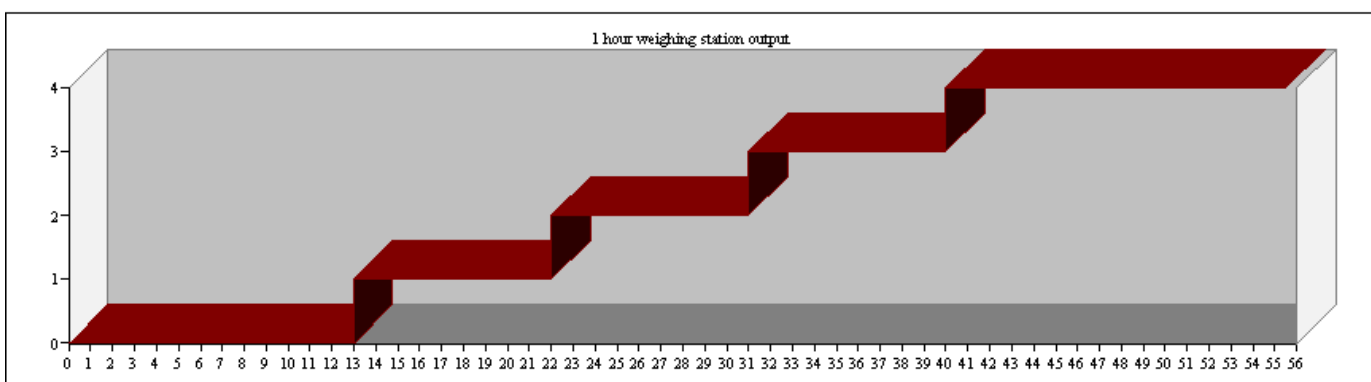
Σχήμα 6.4 ουρές αναμεικτικών μηχανών



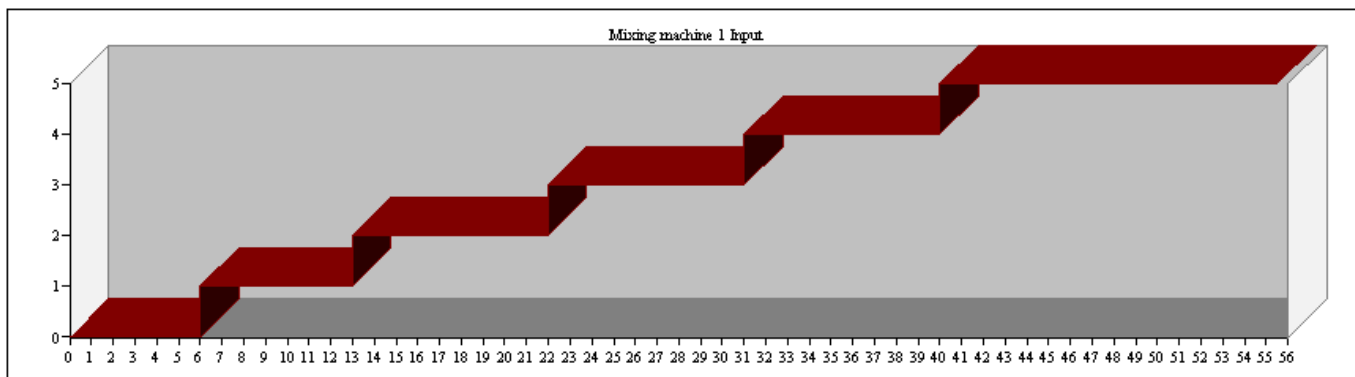
Σχήμα 6.5 ουρές ζυγιστικών σταθμών

Μετά θα συγκρίνουμε τον χρόνο εξόδου από κάθε ζυγιστική μηχανή, με τους αντίστοιχους χρόνους εισόδου κάθε αναμεικτικής μηχανής, ώστε στις ζυγαριές που επεξεργάζονται παρτίδες για πολλές μηχανές να ξέρουμε, που κατευθύνθηκε κάθε παρτίδα και ποια χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν υπάρχει χρόνος μεταφοράς από το ζυγιστήριο στον χώρο των αναμιξεων. Στο συγκεκριμένο σενάριο αυτό θα ήταν δυνατό για τις μονώρες και τις δίωρες παρτίδες, αλλά από τα γραφήματα χρησιμοποίησης των ζυγαριών, ωστόσο παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά για λόγους πληρότητας, επειδή αυτό δεν ισχύει σε όλα τα σενάρια, άρα πρέπει να γίνει κατανοητός ο τρόπος εξαγωγής του πίνακα ανάθεσης. Επομένως στα γραφήματα εξετάζουμε με ποια αναμεικτικής μηχανής τον χρόνο εισόδου ταυτίζεται ο χρόνος εξόδου από την ζυγαριά. Έτσι με μία απλή αφαίρεση του αντίστοιχου χρόνου διάρκειας ζυγίσματος, μπορούμε να υπολογίσουμε και την ώρα έναρξης του ζυγίσματος.

Μονώρες:

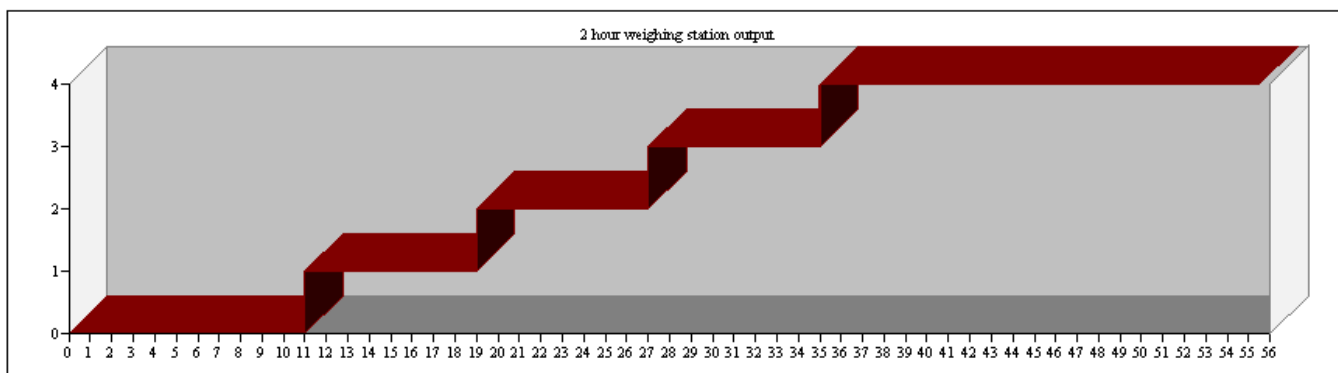


Σχήμα 6.6 Έξοδος μονώρης ζυγαριάς

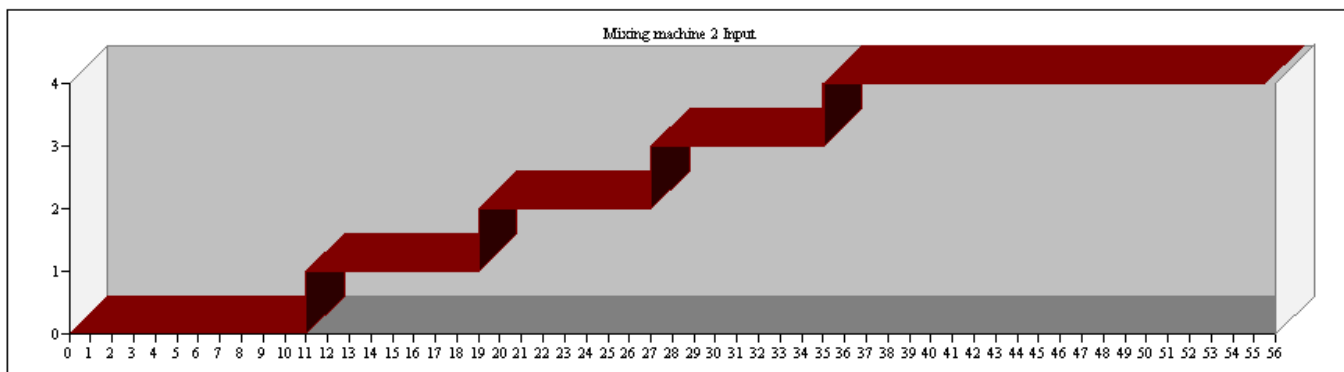


Σχήμα 6.7 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1

Δίωρες:

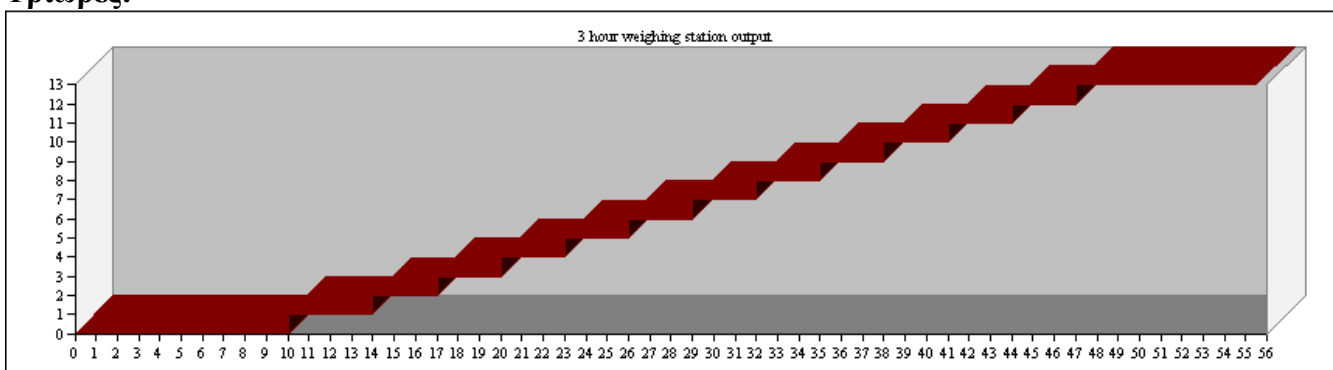


Σχήμα 6.8 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς

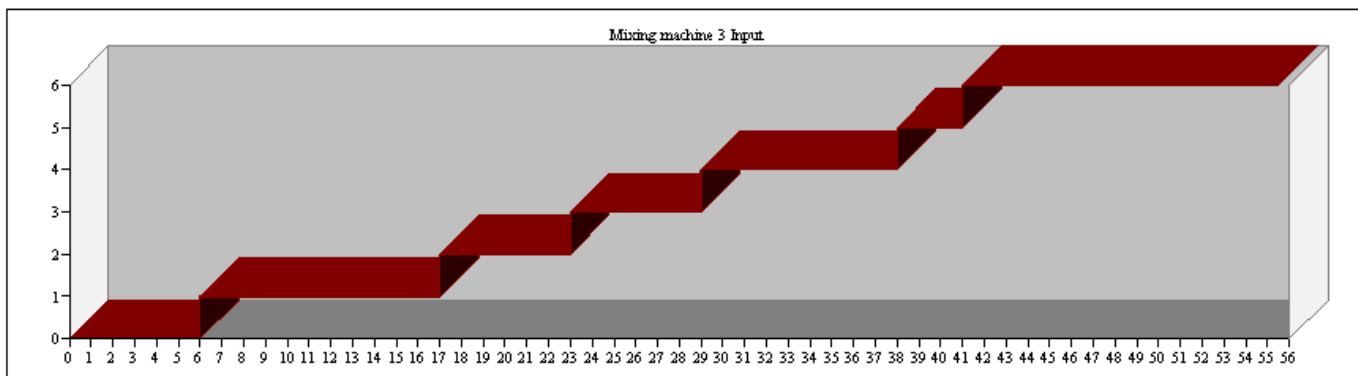


Σχήμα 6.9 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2

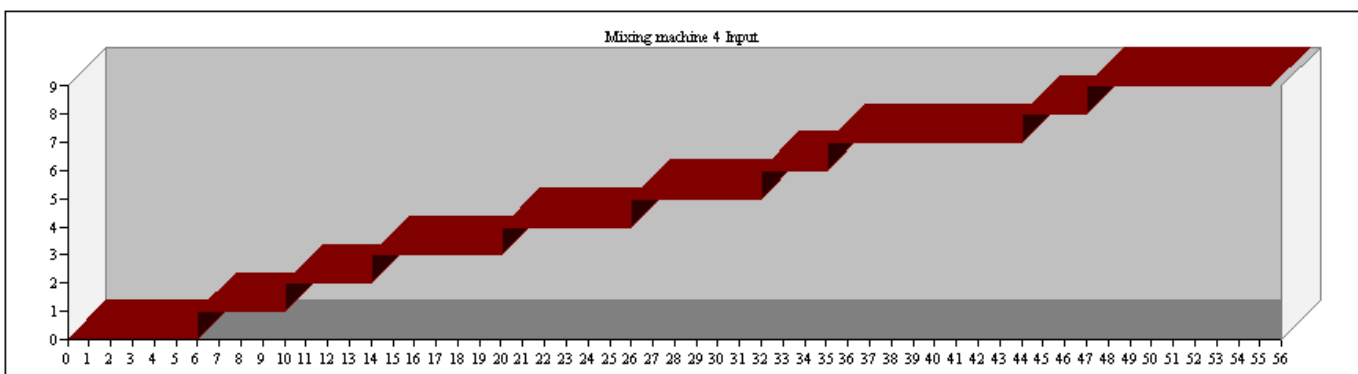
Τρίωρες:



Σχήμα 6.10 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς

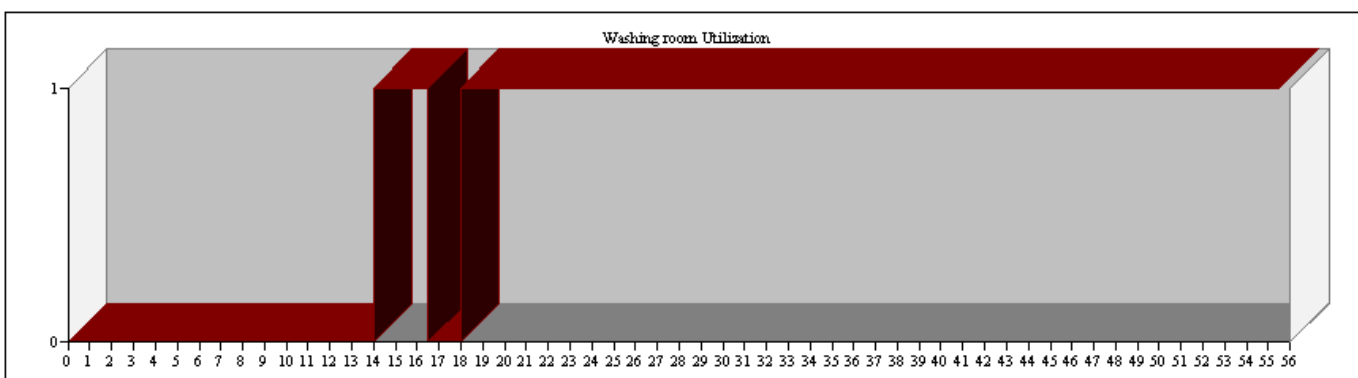


Σχήμα 6.11 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3



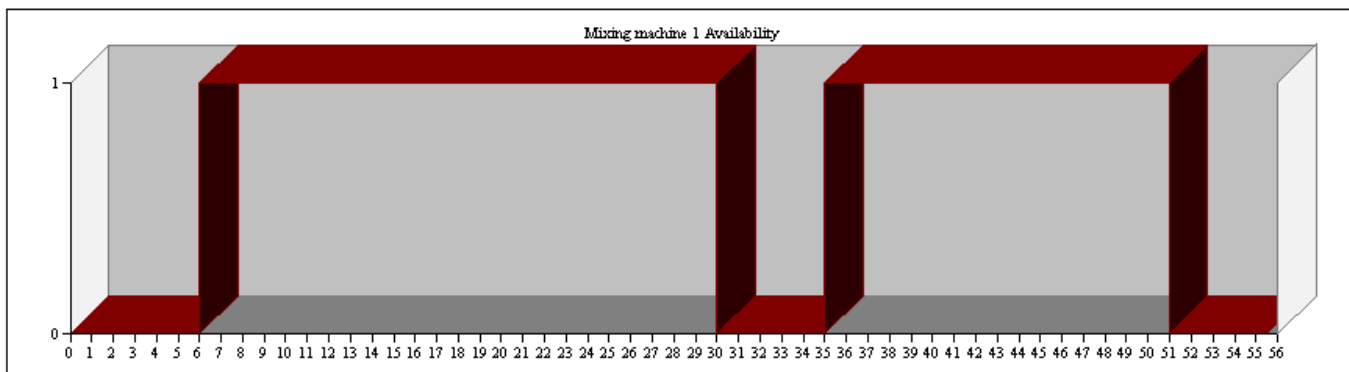
Σχήμα 6.12 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4

Ακόμα κοιτάζουμε την χρησιμοποίηση του πλυντηρίου, το οποίο αναμενόμενα υπερχρησιμοποιείται, αφού στο τέλος του διημέρου φθάνουν για πλύσιμο δοχεία, που θα χρησιμοποιηθούν την επόμενη μέρα (δηλαδή σε άλλη αντίστοιχα προσομοίωση)

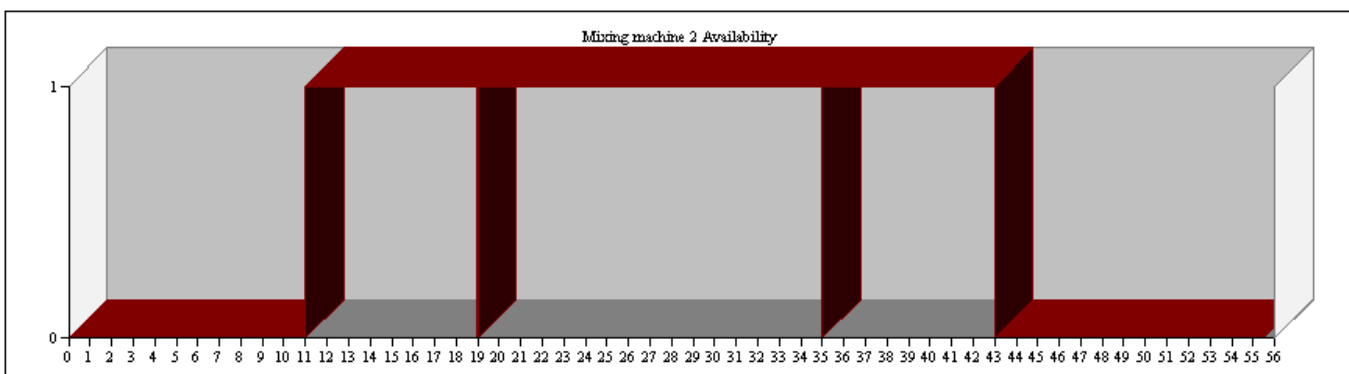


Σχήμα 6.13 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου

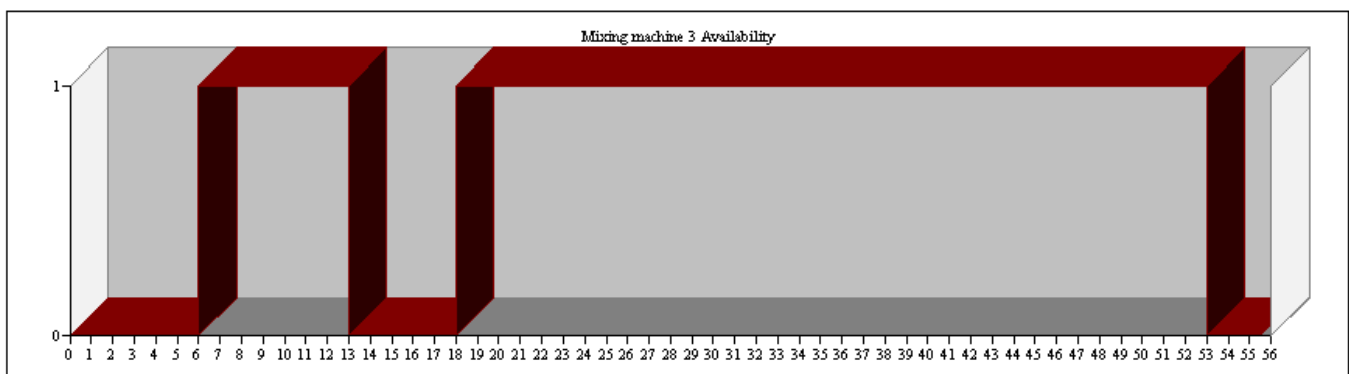
Προς επιβεβαίωση της επίτευξης του προγράμματος (ή προς εμφάνιση του τρόπου λειτουργίας σε μη επιτεύξιμο πρόγραμμα) μπορούμε να κοιτάζουμε τα utilizations των αναμεικτικών, που σε περίπτωση επιτεύξιμου προγράμματος ταυτίζονται με τις ώρες που δώσαμε σαν είσοδο, αλλιώς μπορούμε να δούμε (στην περίπτωση του μη επιτεύξιμου προγράμματος) ποιες παρτίδες εν τέλει παρήχθησαν.



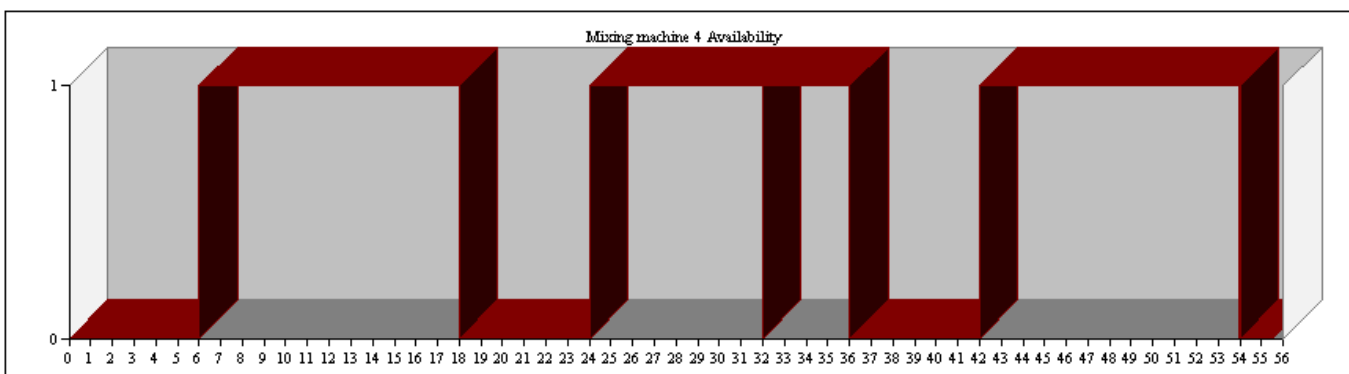
Σχήμα 6.14 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1



Σχήμα 6.15 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2



Σχήμα 6.16 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3



Σχήμα 6.17 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4

Ακολουθώντας την μεθοδολογία, που αναφέρθηκε ανωτέρω, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας ανάθεσης:

Ζυγαριά	Έναρξη	Λήξη	Προς Αναμεικτική	Καθυστέρηση (h)	Χρησιμοποίηση προσομοίωσης (%)	Πραγματική χρησιμοποίηση (%)
Μονόωρη ζυγαριά	12:00	13:00	1	0	7,4	8,325
	21:00	22:00	1	0		
	6:00	7:00	1	0		
	15:00	16:00	1	0		
Δίωρη ζυγαριά	9:00	11:00	2	0	14,8	16,65
	17:00	19:00	2	0		
	1:00	3:00	2	0		
	9:00	11:00	2	0		
Τρίωρη ζυγαριά	7:00	10:00	4	0	72,2	81,225
	11:00	14:00	4	0		
	14:00	17:00	3	0		
	17:00	20:00	4	0		
	20:00	23:00	3	0		
	23:00	2:00	4	0		
	2:00	5:00	3	0		
	5:00	8:00	4	0		
	8:00	11:00	4	0		
	11:00	14:00	3	0		
	14:00	17:00	3	0		
	17:00	20:00	4	0		
20:00	23:00	4	0			

Πίνακας 6.3 ανάθεση εφικτού προγράμματος

Παρατηρήσεις:

1. Στον πίνακα υπάρχουν δύο τιμές για την χρησιμοποίηση της κάθε ζυγαριάς. Αυτό συμβαίνει διότι η προσομοίωση για διευκόλυνση στα διαγράμματα έτρεχε από τις 12 π.μ της πρώτης μέρας, ενώ οποιαδήποτε ενέργεια γίνεται από τις 6 π.μ και μετά. Επομένως το ποσοστό χρησιμοποίησης, που έδωσε η προσομοίωση είναι μικρότερο του πραγματικού. Το πραγματικό υπολογίζεται αν κάνουνε αναγωγή του δοσμένου από την προσομοίωση αποτελέσματος σε 48 ώρες, δηλαδή πολλαπλασιάζοντας το αποτέλεσμα με 54 και διαιρώντας το με 48, πράξη που ισοδυναμεί με τον πολλαπλασιασμό του με τον παράγοντα 1,125.
2. Υπάρχει μηδενική καθυστέρηση σε όλες τις παρτίδες, εφόσον το πρόγραμμα επιτεύχθηκε.
3. Το χαμηλό ποσοστό χρησιμοποίησης των μονόωρων και δίωρων ζυγαριών αφήνει περιθώριο για σκέψη, ότι είναι δυνατόν να λειτουργούν δύο ζυγιστικές μηχανές για τρίωρα ζυγίσματα χωρίς ωστόσο να λειτουργούν περισσότερες από τρεις ζυγιστικές μηχανές ταυτόχρονα για την επίτευξη του προγράμματος, ώστε να χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά ο εξοπλισμός, αλλά αυτό θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης σε επόμενη παράγραφο.
4. Στα διαγράμματα των αναμεικτικών μηχανών χρησιμοποιείται ο όρος availability έναντι του όρου utilization. Αυτό συμβαίνει διότι χρησιμοποίηση (utilization) ίση με το μηδέν θα σήμαινε, ότι δεν θα υπήρχε χειριστής στην αναμεικτική μηχανή κατά την διάρκεια του

πλυσίματος, κάτι που δεν ισχύει. Για αυτό χρησιμοποιείται ο όρος διαθεσιμότητα (availability) που δείχνει αν είναι διαθέσιμη για να παράγει (αναμιξεί) παρτίδες ή όχι.

5. Ο περιορισμός για τον χώρο ικανοποιούνταν.

6.3.2 Μη εφικτό πρόγραμμα (ως προς το ζυγιστήριο)

Μηχανή	Έναρξη	Λήξη	Δράση
Αναμεικτική μηχανή 1	6:00	14:00	M + ΠΡ
	14:00	22:00	M
	22:00	6:00	M
	6:00	14:00	M
	14:00	19:00	Π + Α
	19:00	3:00	M
Αναμεικτική μηχανή 2	6:00	14:00	Δ + ΠΡ
	14:00	22:00	Δ
	22:00	6:00	Δ
	6:00	14:00	Δ
	14:00	19:00	Π + Α
	19:00	3:00	Δ
Αναμεικτική μηχανή 3	6:00	13:00	T + ΠΡ
	13:00	20:00	T
	20:00	3:00	T
	3:00	10:00	T
	10:00	17:00	T
	17:00	22:00	Π + Α
	22:00	5:00	T
Αναμεικτική μηχανή 4	6:00	10:00	T + ΠΡ
	10:00	14:00	T
	14:00	18:00	T
	18:00	22:00	T
	22:00	4:00	Π + Α
	4:00	8:00	T
	8:00	12:00	T
	12:00	16:00	T
	16:00	20:00	T
	20:00	2:00	Π + Α
2:00	6:00	T	

Πίνακας 6.4 Ανέφικτο πρόγραμμα

Με την ίδια μέθοδο με την παράγραφο 6.2.1 προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας ανάθεσης (τα διαγράμματα όλων των πινάκων, που ακολουθούν βρίσκονται στο παράρτημα Α)

Ζυγαριά	Έναρξη	Λήξη	Προς Αναμεικτική	Καθυστέρηση (h)	Χρησιμοποίηση προσομοίωσης (%)	Πραγματική χρησιμοποίηση (%)
Μονόωρη ζυγαριά	12:00	13:00	1	0	7,4	8,325
	20:00	21:00	1	0		
	4:00	5:00	1	0		
	12:00	13:00	1	0		
Δίωρη ζυγαριά	9:00	11:00	2	0	14,8	16,65
	17:00	19:00	2	0		
	1:00	3:00	2	0		
	9:00	11:00	2	0		
Τρίωρη ζυγαριά	6:00	9:00	3	0	72,2	81,225
	9:00	12:00	4	2		
	12:00	15:00	3	0		
	15:00	18:00	4	4		
	18:00	21:00	4	0		
	21:00	0:00	3	0		
	0:00	3:00	4	4		
	3:00	6:00	4	4		
	6:00	9:00	3	0		
	9:00	12:00	4	4		
	12:00	15:00	3	0		
	15:00	18:00	4	4		
18:00	21:00	4	4			

Πίνακας 6.5 ανάθεση ανέφικτου προγράμματος

Παρατηρήσεις:

1. Στον πίνακα υπάρχουν δύο τιμές για την χρησιμοποίηση της κάθε ζυγαριάς, για τον λόγο, που αναφέρθηκε και στην παράγραφο 6.2.1
2. Στα διαγράμματα των αναμεικτικών μηχανών χρησιμοποιείται ο όρος availability έναντι του όρου utilization, πάλι για τον ίδιο λόγο με την παράγραφο 6.2.1. Στο εξής δεν θα αναφέρονται τα συγκεκριμένα δύο συμπεράσματα, επειδή αποτελούν κοινό στοιχείο όλων των προσομοιώσεων.
3. Παρατηρείται καθυστέρηση στις παρτίδες της 4^{ης} αναμεικτικής μηχανής, η οποία δίνεται αθροιστικά (επομένως η πρώτη της ζυγισμένη παρτίδα άργησε 2 ώρες, η 2^η άλλες 2 και επομένως συνολικά 4, καθυστέρηση που δεν κατέστη δυνατό να αποφευχθεί ή να μειωθεί για όλες τις επόμενες παρτίδες).
4. Η τελευταία παρτίδα της 4^{ης} μηχανής αν και ζυγίζεται, έχει καθυστερήσει αρκετά, ώστε να μην προλάβει να αναμιχθεί, λόγω του πλυσίματος.
5. Ο περιορισμός για τον χώρο ικανοποιούνταν.
6. Ο χρόνος, που φαίνεται κενός στο τέλος της δεύτερης μέρας, δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την “χαμένη” παρτίδα, που δεν αναμίχθηκε, αφού ζυγίστηκε κανονικά, αλλά δεν πρόλαβε να αναμιχθεί. Μπορεί ωστόσο να χρησιμοποιηθεί για προζυγίσματα

επόμενης μέρας (κάτι που δεν μας απασχολεί στο σενάριο μας), επομένως εξαντλήσαμε κάθε διαθέσιμη χρονική μονάδα για τα τρία ζυγίσματα του διημέρου.

7. Ενώ ο αριθμός των τριώρων παρτίδων παραμένει ο ίδιος το πρόγραμμα τελικά είναι ανέφικτο. Ο λόγος είναι οι περισσότερες κοινές ώρες λειτουργίας των αναμεικτικών μηχανών 3 και 4 στην αρχή της πρώτης μέρας, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση που προκαλείται στην αρχή και την αδυναμία ανάκαμψης από αυτή. Επομένως δεν παίζει ρόλο μόνο ο αριθμός παρτίδων για την κατάρτιση προγράμματος, αλλά και η κατανομή των παρτίδων σε αυτό.
8. Αν και ανέφικτο είχε την ίδια παραγωγή με το εφικτό, επειδή η “χαμένη” παρτίδα “εξισορροπείται” από την προζυγισμένη παρτίδα της αναμεικτικής μηχανής 2 (για αυτό και δεν φαίνεται αλλαγή στην χρησιμοποίηση της δίωρης ζυγαριάς, ενώ παράγει παραπάνω αναμεικτική).

6.4 Εναλλακτικά σενάρια

Στην παρούσα παράγραφο θα εξεταστούν ορισμένα εναλλακτικά σενάρια για την λειτουργία του μοντέλου.

6.4.1 Μέγιστη έξοδος συστήματος (Maximum output)

Θα χρησιμοποιηθεί στο ανέφικτο πρόγραμμα, για να μας δείξει ποια είναι η βέλτιστη δυνατή παραγωγή σε αυτό. Στο εφικτό πρόγραμμα δεν έχει νόημα η χρήση του, επειδή ήδη η έξοδος είναι ίση με την ζητούμενη και άρα τη μέγιστη δυνατή. Για τον εντοπισμό της λύσης θα χρησιμοποιηθεί το OptQuest, ένα εργαλείο εντός του Arena (βλέπε παράρτημα Β για περισσότερες λεπτομέρειες).

Τρέχοντας το OptQuest με μοναδικό περιορισμό τον αριθμό των διαθέσιμων μηχανών, λαμβάνουμε τα εξής αποτελέσματα:

Best Solutions		Optimal solution found.					
Best Solutions							
	Included	Simulation	Objective Value	Status	1 hour weighing machine	2 hour weighing machine	3 hour weighing machine
	<input type="checkbox"/>	1	24	Feasible	1	1	1

Σχήμα 6.18 OptQuest λύση μέγιστης εξόδου συστήματος

Το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει, ότι δεν ήταν δυνατόν να παραχθούν και οι 25 ζητούμενες παρτίδες, άρα στο ανέφικτο πρόγραμμα δεν υπήρξε λάθος στον χειρισμό και ήταν όντως αδύνατον να επιτευχθεί στην ώρα του. Τα διαγράμματα επομένως ταυτίζονται με αυτά, που είχαμε στο ανέφικτο πρόγραμμα.

6.4.2 Ελάχιστη χρησιμοποίηση ζυγιστικού σταθμού (Minimum weighing station utilization)

Όπως ειπώθηκε και στην παράγραφο 6.2.1 το μικρό ποσοστό χρησιμοποίησης των μονώρων και δίωρων ζυγαριών, οδηγεί σε σκέψεις, ότι μπορούμε να διαθέσουμε 2 ζυγαριές για τρία ζυγίσματα υπό την προϋπόθεση ότι τις ώρες που θα λειτουργούν ταυτόχρονα αυτές οι δύο να μην λειτουργούν ταυτόχρονα και δίωρα με μονώρα ζυγίσματα, διότι έτσι θα ήταν σαν να έχουμε 4 ζυγιστικές μηχανές, κάτι που δεν ισχύει. Θα εφαρμόσουμε αυτόν τον τρόπο σκέψης στο εφικτό πρόγραμμα (μιας και στο ανέφικτο ήδη υπερχρησιμοποιείται η τριώρη ζυγαριά), ώστε να έχουμε

ιδανικότερη κατανομή χρόνου στους διαθέσιμους ζυγούς, αντί να υπερφορτώνουμε κάποιον ενώ οι άλλοι υπολειτουργούν. Από τα παραπάνω προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας ανάθεσης:

Ζυγαριά	Έναρξη	Λήξη	Προς Αναμεικτική	Καθυστέρηση (h)	Χρησιμοποίηση προσομοίωσης (%)	Πραγματική χρησιμοποίηση (%)
Μονόωρη ζυγαριά	13:00	14:00	1	0	7,4	8,325
	21:00	22:00	1	0		
	5:00	6:00	1	0		
	13:00	14:00	1	0		
Δίωρη ζυγαριά	9:00	11:00	2	0	14,8	16,65
	17:00	19:00	2	0		
	1:00	3:00	2	0		
	9:00	11:00	2	0		
Τρίωρη ζυγαριά νούμερο 1	6:00	9:00	4	0	38,9	43,7625
	11:00	14:00	3 και 4	0		
	18:00	21:00	3	0		
	1:00	4:00	3	0		
	7:00	10:00	4	0		
	12:00	15:00	4	0		
	17:00	20:00	4	0		
Τρίωρη ζυγαριά νούμερο 2	11:00	14:00	3 και 4	0	33,3	37,4625
	16:00	19:00	4	0		
	21:00	24:00:00	4	0		
	2:00	5:00	4	0		
	8:00	11:00	3	0		
	15:00	18:00	3	0		

Πίνακας 6.6 ανάθεση ελάχιστης χρησιμοποίησης

Παρατηρήσεις:

1. Το πρόγραμμα εξακολουθεί να είναι εφικτό.
2. Ο τρίωρος ζυγιστικός σταθμός έχει μέση χρησιμοποίηση $(38,9 + 33,3)/2 = 36,1\%$, επομένως όντως μειώθηκε η χρησιμοποίησή του.
3. Ο περιορισμός για τον χώρο ικανοποιείται.
4. Δεν δημιουργείται πλέον ουρά ούτε από τα τρίωρα ζυγίσματα στον ζυγιστικό σταθμό, λόγω καλύτερης κατανομής αυτών.

6.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Κυριότερη διαφορά ανάμεσα σε εφικτό και ανέφικτο πρόγραμμα είναι ο τρόπος σύνταξης τους. Βλέπουμε, ότι το ζυγιστήριο αδυνατεί να παράξει έναν συγκεκριμένο αριθμό παρτίδων, που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν σε θέση να τα καταφέρει. Επομένως πρέπει κατά την κατάρτιση προγράμματος αναμίξεων, να λαμβάνεται υπόψιν η χρονική στιγμή κατά την οποία θα υπάρξει φόρτος σε κάποια ζυγαριά, η οποία ενδεχομένως να προλάβει να φέρει σε πέρας το έργο της, αν γίνουν αλλαγές στην χρονική στιγμή των πλυσιμάτων. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι, ότι στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης της χρησιμοποίησης των ζυγιστικών σταθμών, υπήρχε περίπτωση να μην έμενε εφικτό το πρόγραμμα. Σε αυτή την περίπτωση, ο αποφασίζων έχοντας πλήρη γνώση πλέον, του χρόνου ζυγίσματος που χρειάζεται συνολικά για την επίτευξη του προγράμματος (από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του εφικτού προγράμματος) θα μπορούσε να αλλάξει με χειρισμούς από την αποθήκη και την αλληλουχία και τον χρόνο παραγγελίας των παρτίδων, ώστε να το έκανε σε 2^ο χρόνο εφικτό. Η πληροφορία, που εξάγεται από τα διαγράμματα χρησιμοποίησης ζυγιστικών μηχανών είναι το μεγαλύτερο “όπλο” του στον τρόπο με τον οποίο θα λάβει αποφάσεις. Για παράδειγμα αν είχαμε ταυτόχρονη λειτουργία δύο τρίωρων ζυγιστικών μηχανών, μονόωρης και δίωρης, αλλά υπήρχε μία ώρα κενό στην μία τρίωρη, ο αποφασίζων θα μπορούσε να μεταθέσει εκεί την μονόωρη, που θα δημιουργούσε το πρόβλημα, αρκεί να προλάβαινε να ζυγιστεί εγκαίρως (απαραίτητη προϋπόθεση) και να μην παραβίαζε τον περιορισμό του χώρου (σε 2^ο χρόνο).

6.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Σε αυτή την παράγραφο θα αναλυθεί μία μελέτη ευαισθησίας του συστήματος. Θα εξεταστούν τρεις περιπτώσεις, δύο πρακτικά (για μείωση του χρόνου ανάμιξης των παρτίδων η μία και εισαγωγή πέμπτης αναμεικτικής μηχανής η άλλη) και μία μόνο θεωρητικά (εισαγωγή 4^{ης} ζυγαριάς και τρόποι εκμετάλλευσής της).

6.6.1 Μείωση χρόνου ανάμιξης

Το συγκεκριμένο σενάριο θα δείξει, αν μπορεί να χωρέσει νωρίτερα κάποια ανάμιξη, άρα αν εμμέσως αυξηθεί η παραγωγή ή πόσο νωρίτερα μπορεί να επιτευχθεί η εξεταζόμενη παραγωγή. Θα εφαρμοστεί στο εφικτό πρόγραμμα, αφού στο ανέφικτο ήδη δεν προλαβαίνουμε την παραγωγή, επομένως θα ήταν ανούσιο να δούμε τι θα γινόταν, αν μειώναμε τον χρόνο ανάμιξης (άρα αυξάναμε την ζητούμενη παραγωγή, που ήδη δεν βγήκε), καθώς μόνο να χειροτερέψει τα αποτελέσματα θα μπορούσε. Για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης, μειώθηκε ο χρόνος των αναμεικτικών μηχανών 1, 2 και 3 στις 6 ώρες από 8, ενώ έμεινε σταθερός στις 4 ώρες ο χρόνος ανάμιξης της 4^{ης} μηχανής. Για τα πλυσίματα ισχύουν οι ίδιοι κανόνες, που είχαν αναφερθεί στην παράγραφο 6.2. Το πρόγραμμα, που δοκιμάστηκε ήταν το ακόλουθο:

Μηχανή	Έναρξη	Λήξη	Δραστηριότητα
Αναμεικτική μηχανή 1	6:00	12:00	M + ΠΡ
	12:00	18:00	M
	18:00	24:00:00	M
	24:00:00	6:00	M

	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	17:00	Μ
	17:00	23:00	Μ
	23:00	5:00	Μ
Αναμεικτική μηχανή 2	6:00	12:00	Δ + ΠΡ
	12:00	18:00	Δ
	18:00	0:00	Δ
	0:00	6:00	Δ
	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	17:00	Δ
	17:00	23:00	Δ
	23:00	5:00	Δ
Αναμεικτική μηχανή 3	6:00	12:00	Τ + ΠΡ
	12:00	18:00	Τ
	18:00	0:00	Τ
	0:00	6:00	Τ
	6:00	12:00	Τ
	12:00	17:00	Π + Α
	17:00	23:00	Τ
	23:00	5:00	Τ
Αναμεικτική μηχανή 4	6:00	10:00	Τ + ΠΡ
	10:00	14:00	Τ
	14:00	18:00	Τ
	18:00	0:00	Π + Α
	0:00	4:00	Τ
	4:00	8:00	Τ
	8:00	12:00	Τ
	12:00	18:00	Π + Α
	18:00	22:00	Τ
	22:00	2:00	Τ
	2:00	6:00	Τ

Πίνακας 6.7 πρόγραμμα μειωμένου χρόνου ανάμιξης

Και τα αποτελέσματα ανάθεσης τα ακόλουθα:

Ζυγαριά	Έναρξη	Λήξη	Προς Αναμεικτική	Καθυστερήση (h)	Χρησιμοποίηση προσομοίωσης (%)	Πραγματική χρησιμοποίηση (%)
Μονόωρη ζυγαριά	10:00	11:00	1	0	11,1	12,4875
	16:00	17:00	1	0		
	22:00	23:00	1	0		
	4:00	5:00	1	0		
	10:00	11:00	1	0		
	16:00	17:00	1	0		

Δίωρη ζυγαριά	8:00	10:00	2	0	22,2	24,975
	14:00	16:00	2	0		
	20:00	22:00	2	0		
	2:00	4:00	2	0		
	8:00	10:00	2	0		
	14:00	16:00	2	0		
Τρίωρη ζυγαριά	6:00	9:00	4	0	77,7	87,4125
	9:00	12:00	3	0		
	12:00	15:00	4	1		
	15:00	18:00	3	0		
	18:00	21:00	4	1		
	21:00	0:00	3	0		
	0:00	3:00	4	1		
	3:00	6:00	3	0		
	6:00	9:00	4	1		
	9:00	12:00	3	0		
	12:00	15:00	4	1		
	15:00	18:00	3	0		
	18:00	21:00	4	1		
	21:00	0:00	4	1		

Πίνακας 6.8 ανάθεση μειωμένου χρόνου ανάμιξης

Παρατηρήσεις:

1. Αύξηση της συνολικής παραγωγής από 24 σε 29 παρτίδες (αύξηση 21%)
2. Αύξηση σε όλες τις επί μέρους ζυγαριές (6 από 4 σε δίωρες και μονόωρες, 14 από 13 σε τρίωρες)
3. Η οργάνωση του προγράμματος επέτρεψε να αυξηθεί η παραγωγή μέσω και προζυγισμένης παρτίδας, που αποτελεί την 5^η παρτίδα της αύξησης.
4. Το πρόγραμμα είναι ανέφικτο, προκαλείται μία ώρα καθυστέρηση στην τρίωρη ζυγαριά, η οποία δυστυχώς δεν ανακτάται στην πορεία, δηλαδή ενώ η παρτίδα ζυγίζεται κανονικά δεν προλαβαίνει να αναμιχθεί.
5. Ο περιορισμός για τον χώρο ικανοποιείται.
6. Μπορεί το πρόγραμμα να κατέληξε μη εφικτό, ωστόσο τα αποτελέσματα ενθαρρυντικά μιας και υπήρξε καθυστέρηση μόνο μιας παρτίδας και μόνο για μία ώρα, ενώ η συνολική παραγωγή αυξήθηκε κατά 21%.

6.6.2 Εισαγωγή πέμπτης αναμεικτικής μηχανής

Αυτή η ανάλυση θα δείξει την αύξηση στην παραγωγή και τη χρήση των ζυγιστικών σταθμών και κατά πόσο οι ζυγιστικοί σταθμοί μπορούν να ανταπεξέλθουν σε εγκατάσταση νέας αναμεικτικής μηχανής. Η νέα μηχανή θα έχει τον ίδιο ρόλο με την αναμεικτική μηχανή 2, μιας και οι περισσότερες παρτίδες ποσοστιαία είναι δίωρες, άρα εκεί χρειάζεται αύξηση η παραγωγή. Για τον

χρόνο ανάμιξης και τα πλυσίματα ισχύουν οι κανόνες της παραγράφου 6.2. Το πρόγραμμα είναι το ακόλουθο (το εφικτό με μία παραπάνω αναμεικτική μηχανή).

Μηχανή	Έναρξη	Λήξη	Δραστηριότητα
Αναμεικτική μηχανή 1	6:00	14:00	M + ΠΡ
	14:00	22:00	M
	22:00	6:00	M
	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	19:00	M
	19:00	3:00	M
Αναμεικτική μηχανή 2	6:00	11:00	Π + Α
	11:00	19:00	Δ
	19:00	3:00	Δ
	3:00	11:00	Δ
	11:00	19:00	Δ
	19:00	0:00	Π + Α
Αναμεικτική μηχανή 3	6:00	13:00	T + ΠΡ
	13:00	18:00	Π + Α
	18:00	1:00	T
	1:00	8:00	T
	8:00	15:00	T
	15:00	22:00	T
	22:00	5:00	T
Αναμεικτική μηχανή 4	6:00	10:00	T
	10:00	14:00	T
	14:00	18:00	T
	18:00	0:00	Π + Α
	0:00	4:00	T
	4:00	8:00	T
	8:00	12:00	T
	12:00	18:00	Π + Α
	18:00	22:00	T
	22:00	2:00	T
	2:00	6:00	T
Αναμεικτική μηχανή 5	6:00	14:00	Δ + ΠΡ
	14:00	22:00	Δ
	22:00	3:00	Π + Α
	3:00	11:00	Δ
	11:00	19:00	Δ
	19:00	3:00	Δ

Πίνακας 6.9 Πρόγραμμα με 5^η αναμεικτική

Και ο πίνακας ανάθεσης, που προκύπτει:

Ζυγαριά	Έναρξη	Λήξη	Προς Αναμεικτική	Καθυστέρηση (h)	Χρησιμοποίηση προσομοίωσης (%)	Πραγματική χρησιμοποίηση (%)
Μονόωρη ζυγαριά	12:00	13:00	1	0	7,4	8,325
	21:00	22:00	1	0		
	6:00	7:00	1	0		
	15:00	16:00	1	0		
Δίωρη ζυγαριά	9:00	11:00	2	0	29,6	33,3
	12:00	14:00	5	0		
	17:00	19:00	2	0		
	20:00	22:00	5	0		
	1:00	3:00	2	0		
	4:00	6:00	5	0		
	19:00	11:00	2	0		
	12:00	14:00	5	0		
Τρίωρη ζυγαριά	6:00	9:00	4	0	72,2	81,225
	11:00	14:00	4	0		
	14:00	17:00	3	0		
	17:00	20:00	4	0		
	20:00	23:00	3	0		
	23:00	2:00	4	0		
	2:00	5:00	3	0		
	5:00	8:00	4	0		
	8:00	11:00	3	0		
	11:00	14:00	4	0		
	14:00	17:00	3	0		
	17:00	20:00	4	0		
	20:00	23:00	4	0		

Πίνακας 6.10 Ανάθεση με 5^η αναμεικτική

Παρατηρήσεις:

1. Παρατηρήθηκε διπλασιασμός της παραγωγής στις δίωρες παρτίδες.
2. Το νέο πρόγραμμα εξακολουθεί να είναι εφικτό.
3. Ικανοποιείται και πάλι ο περιορισμός για τον χώρο.

6.6.3 Προσθήκη ζυγιστικής μηχανής

Σε αυτή την παράγραφο θα εξετασθεί θεωρητικά η προσθήκη 4^{ης} ζυγιστικής μηχανής και ο καλύτερος τρόπος αξιοποίησης της βάσει του OptQuest.

6.6.3.1 Ελάχιστη χρησιμοποίηση (Minimum utilization)

Σε αυτό το σενάριο θα γίνει φανερό πώς γίνεται η καλύτερη κατανομή πόρων και ποια μηχανή θα “ξεκουράσει” η νέα ζυγαριά. Είναι σημαντικό σενάριο, διότι πολλές φορές θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη χρήση των ζυγαριών είτε για μείωση του κόστους λειτουργίας είτε για συντήρησή τους. Θα χρησιμοποιήσουμε το εφικτό πρόγραμμα εδώ ως δεδομένο. Επομένως εισάγοντας στο OptQuest μοναδικό περιορισμό τον αριθμό των ζυγαριών έχουμε σαν αποτέλεσμα:

Best Solutions		Optimal solution found.					
Best Solutions							
	Included	Simulation	Objective Value	Status	1 hour weighing machine	2 hour weighing machine	3 hour weighing machine
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0.5625	Feasible	1	1	2
	<input type="checkbox"/>	3	0.839286	Feasible	1	2	1
	<input type="checkbox"/>	4	0.875	Feasible	2	1	1
	<input type="checkbox"/>	1	0.910714	Feasible	1	1	1

Σχήμα 6.19 Λύση OptQuest για ελάχιστη χρησιμοποίηση

Παρατηρήσεις:

1. Δεδομένου, ότι έμειναν σταθερές οι μονόωρες και οι δίωρες ζυγαριές, είναι δεδομένο, ότι εκεί υπάρχει χρησιμοποίηση 7,4% και 14,8% αντίστοιχα. Άρα αφαιρώντας αυτά από το 56,25% του OptQuest συμπεραίνουμε, ότι ο τρίωρος ζυγιστικός σταθμός έχει 34,05% μέσο ποσοστό χρήσης.
2. Το συνολικό utilization όπως φαίνεται στο σχήμα 6.19 μειώθηκε σημαντικά από 0,92/3 σε 0,5625/3.
3. Η νέα ζυγιστική μηχανή θα πρέπει να λάβει τρία ζυγίσματα για να πετύχει τον σκοπό της.

6.6.3.2 Μέγιστη χρησιμοποίηση (Maximum utilization)

Το ακόλουθο σενάριο θα δείξει πώς θα αξιοποιηθεί στο έπακρο δυνατόν ο υπάρχων εξοπλισμός και αν υπήρχε διαθέσιμη παραπάνω ζυγαριά, που θα

χρησιμοποιούνταν. Αποτελεί εν δυνάμει δυαδικό πρόβλημα αυτού της παραγράφου 6.6.3.1. Χρησιμοποιώντας πάλι το OptQuest με τον ίδιο τρόπο έχουμε:

Best Solutions		Optimal solution found.					
Best Solutions							
	Included	Simulation	Objective Value	Status	1 hour weighing machine	2 hour weighing machine	3 hour weighing machine
<input type="checkbox"/>		1	0.910714	Feasible	1	1	1
<input type="checkbox"/>		4	0.875	Feasible	2	1	1
<input type="checkbox"/>		3	0.839286	Feasible	1	2	1
<input type="checkbox"/>		2	0.5625	Feasible	1	1	2

Σχήμα 6.20 Λύση OptQuest για μέγιστη χρησιμοποίηση

Παρατηρήσεις:

1. Δίνονται τα ίδια αποτελέσματα με την παράγραφο 6.6.3.1 αλλά με αντίστροφη σειρά. Επομένως επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα εκείνης της παραγράφου, αφού ο σκοπός ήταν η επίτευξη του αντίθετου αποτελέσματος.
2. Η λύση με μέγιστη χρησιμοποίηση είναι με μία ζυγαριά σε κάθε είδος, αποτέλεσμα αναμενόμενο σε εφικτό πρόγραμμα.
3. Αν έπρεπε να κρατηθεί υψηλή χρησιμοποίηση (utilization) η νέα ζυγαριά θα τοποθετούνταν σε μονόωρα ζυγίσματα. Ο λόγος είναι, ότι θα βοηθούσαν έτσι η λιγότερο χρησιμοποιημένη ζυγαριά, άρα θα έμεναν σε υψηλά επίπεδα λειτουργίας χωρίς ελάφρυνση οι άλλες (κυρίως η τρίωρη, που έχει στα περισσότερα σενάρια τον μεγαλύτερο φόρτο εργασίας).

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα - Προοπτικές

7.1 Συμπεράσματα

Το μοντέλο, που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής επιτυγχάνει τον σκοπό της εισαγωγής των συστημάτων αποφάσεων ενεργά στη διοίκηση της παραγωγής. Στο κομμάτι των συστημάτων αποφάσεων υπάρχει πλέον ένα μοντέλο, το οποίο περιγράφει την λειτουργία και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τμημάτων, ώστε ο αποφασίζων να δοκιμάζει τις ιδέες του και να διασταυρώνει, αν το σύστημα ανταποκρίνεται όπως εκείνος περίμενε. Στο κομμάτι της διοίκησης παραγωγής, έχει πλέον ένα εργαλείο, το οποίο είναι ικανό, να ρυθμίσει τις αποφάσεις του και να τις αιτιολογήσει καθώς επίσης και να δώσει προτάσεις λαμβάνοντας υπόψιν τον αντίστοιχο στόχο. Ο αποφασίζων έχει πλέον πληροφορία, για το πώς ακριβώς επηρεάζει το σύστημα κάθε σχετική του απόφαση αναφορικά με τον χρόνο και τις προτεραιότητες. Ακόμα, έχει πλέον όχι απλά πληροφορίες, αλλά και εικόνα, του πώς μία μικρή αλλαγή αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα (δηλαδή τα θετικά και τα αρνητικά κάθε αλλαγής). Στα θετικά τοποθετείται και η ευκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει το μοντέλο και να τρέξει εκ νέου μία προσομοίωση, αν προκύψει κάποιο πρόβλημα κατά την διάρκεια της μέρας.

Στο κομμάτι της εφαρμογής του εργαλείου τώρα, ελήφθησαν ορισμένα αξιολογικά συμπεράσματα και προτάσεις. Αρχικά, είναι φανερό, ότι η κατασκευή προγράμματος αναμίξεων μπορεί να λαμβάνει υπόψιν περισσότερο ενεργά την ικανότητα λειτουργίας του ζυγιστηρίου, ώστε να προκύπτουν λιγότερες έως μηδενικές αποκλίσεις από το αρχικό που δίνεται προς παραγωγή. Δεύτερον, μπορεί πλέον πριν από κάθε δοκιμή να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις και ο αποφασίζων να έχει την απόλυτη ευθύνη για τον τελικό λόγο, ανάλογα τα κριτήρια του. Για παράδειγμα στην παράγραφο 6.5.1, μπορεί η καθυστέρηση μίας ώρας, ενώ η παραγωγή αυξήθηκε κατά 21%, να θεωρηθεί ως καλό αποτέλεσμα, δεδομένης της πίεσης, που δέχτηκε το σύστημα, ή μπορεί να απορριφθεί, επειδή ο απόλυτος σκοπός είναι να επιτυγχάνεται πάντα το πρόγραμμα χωρίς χρονικές αποκλίσεις. Τέλος αξίζει να σημειωθεί, ότι εφόσον σε όλα τα σενάρια η ζυγαριά με το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποίησης είναι η τρίωρη, η προσθήκη μίας ζυγαριάς θα πρέπει σίγουρα να είναι για τρίωρα ζυγίσματα (όπως φάνηκε στην παράγραφο 6.6.3.1) ή η προσθήκη αναμεικτικής μηχανής να είναι για ανάμιξη παρτίδων με μία ή δύο (όπως στην παράγραφο 6.6.2) ώρες διάρκεια ζυγίσματος. Διαφορετικά, με τον τρέχοντα εξοπλισμό θεωρείται αναγκαία η λήψη απόφασης με την μεθοδολογία, που μελετήθηκε στην παράγραφο 6.3.2 για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος.

7.2 Προοπτικές

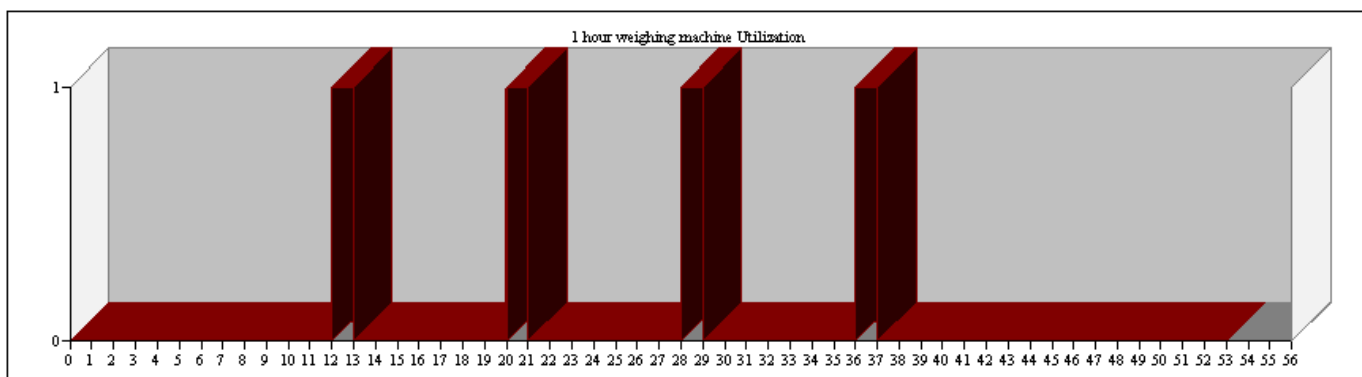
Αν και ο σκοπός της διπλωματικής επιτεύχθηκε, υπάρχουν πολλά πράγματα, που θα μπορούσαν να γίνουν ακόμα πάνω σε αυτό το πρόβλημα. Για παράδειγμα

- Θα μπορούσε να υπήρχε πιο αναλυτική περιγραφή του πλυντηρίου.
- Ακόμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το arena σε κάθε ένα από τα εμπλεκόμενα τμήματα χωριστά σε δικό του μοντέλο (αποθήκη, ζυγιστήριο, αναμίξεις, πλυντήριο) και τα αποτελέσματα από τις επί μέρους προσομοιώσεις να δίνονται ως είσοδος για το συνολικό μοντέλο.
- Επίσης, θα μπορούσε το μοντέλο να μπει σε μεγαλύτερο βαθμό λεπτομέρειας και να οδηγούνται στο ζυγιστήριο πρώτες ύλες, αντί ολόκληρες παρτίδες.
- Επιπροσθέτως, θα μπορούσε το arena να λαμβάνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από το ζυγιστήριο, ώστε να αντιλαμβάνεται και να προσαρμόζεται μόνο τους στις αλλαγές, αντί να ρυθμίζει από την αρχή την προσομοίωση ο χειριστής.
- Επιπλέον, στο κομμάτι των σεναρίων θα μπορούσε να προστεθεί ένα σενάριο, που να υπολογίζει το ελάχιστο κόστος λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο κόστη λειτουργίας όσο και μη λειτουργίας (λόγω συντήρησης, βλάβης ή μικρής χρησιμοποίησης).
- Τέλος, θα μπορούσαν να μελετηθούν συνδυαστικά σενάρια (για παράδειγμα μείωση του χρόνου διάρκειας ανάμιξης με ταυτόχρονη προσθήκη αναμεικτικής μηχανής) ώστε να γίνει περαιτέρω προσπάθεια επέκτασης και ταυτόχρονα βελτιστοποίησης λειτουργίας.

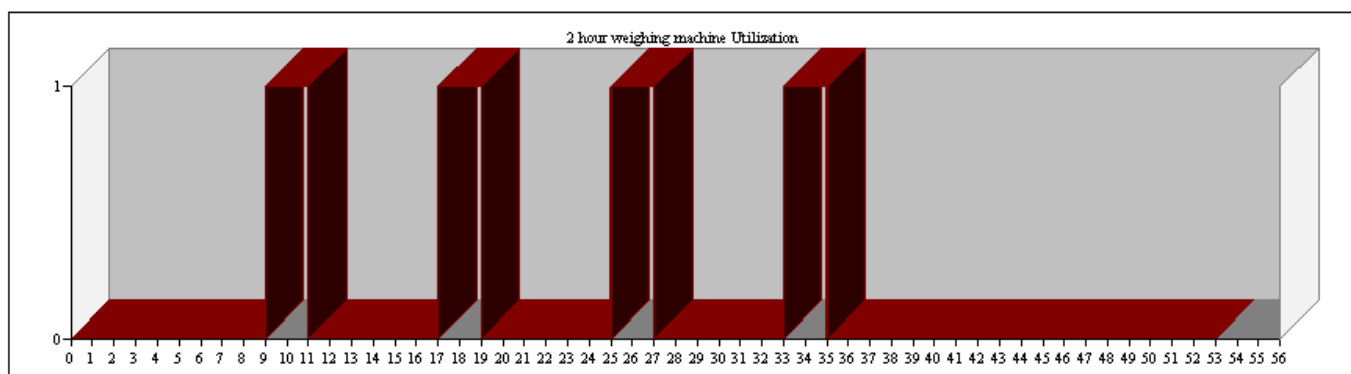
Παράρτημα Α

Το παρόν παράρτημα περιέχει τα διαγράμματα των διαφορετικών σεναρίων, που παρουσιάστηκαν στο 6^ο κεφάλαιο, βάσει των οποίων εξήχθησαν οι πίνακες ανάθεσης, οι οποίοι παρουσιάστηκαν σε αυτό. Για λόγους ευκολίας, τα διαγράμματα παρουσιάζονται με την ίδια σειρά, με την οποία δόθηκαν και στην παράγραφο 6.3.1.

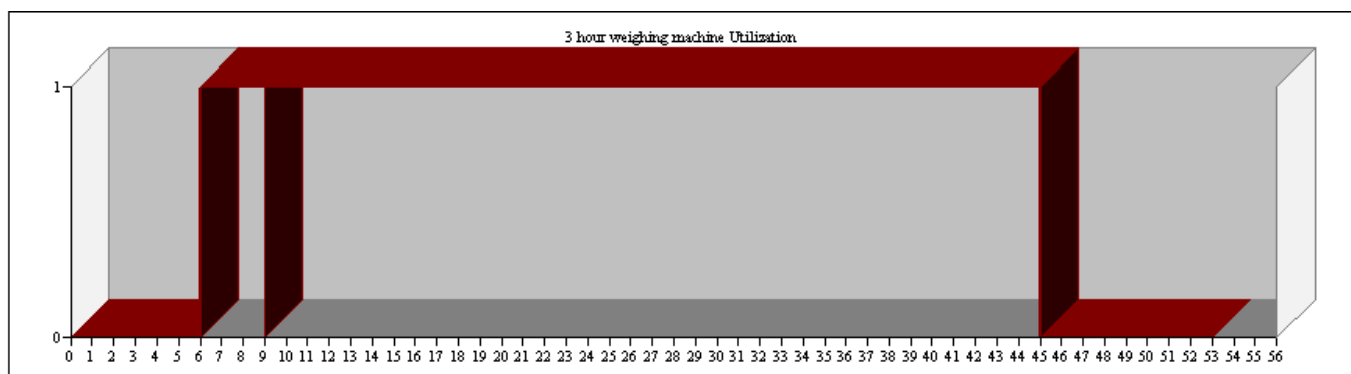
Μη εφικτό πρόγραμμα:



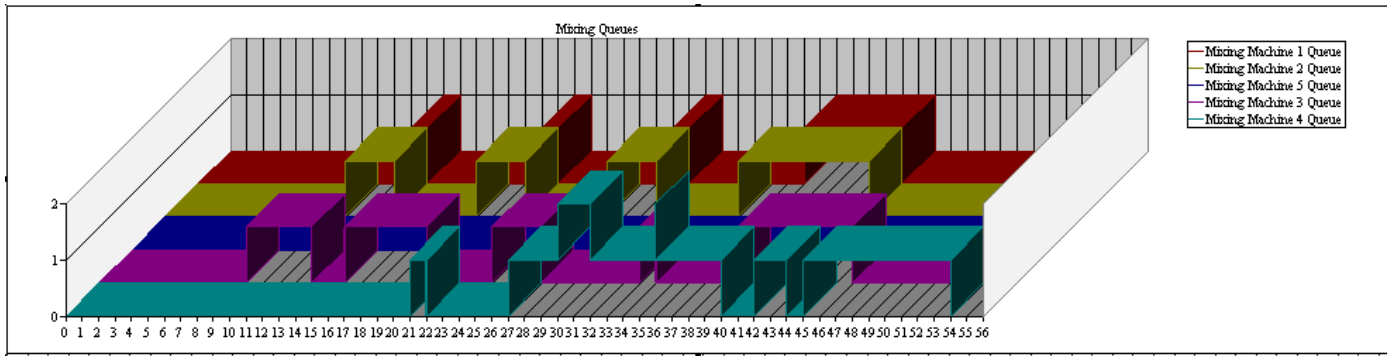
Σχήμα Α.1 Χρησιμοποίηση μονώροης ζυγαριάς



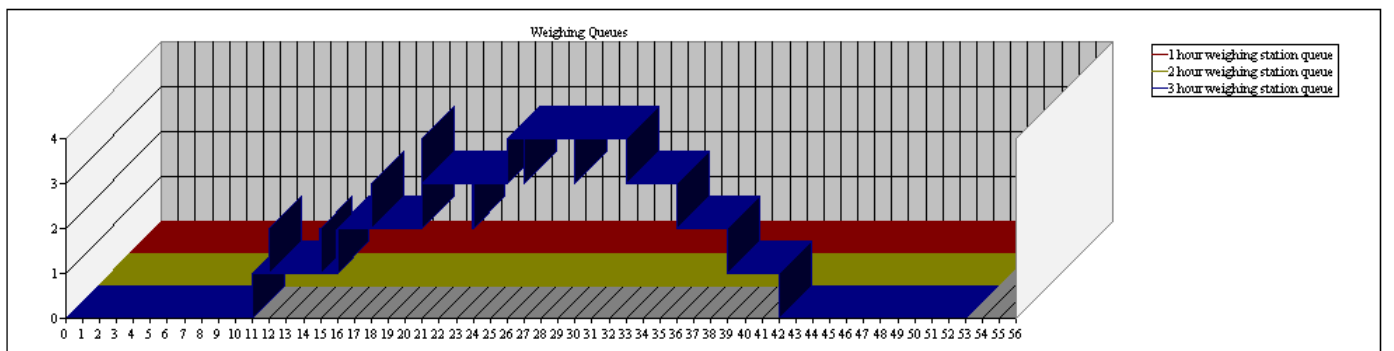
Σχήμα Α.2 Χρησιμοποίηση δίωροης ζυγαριάς



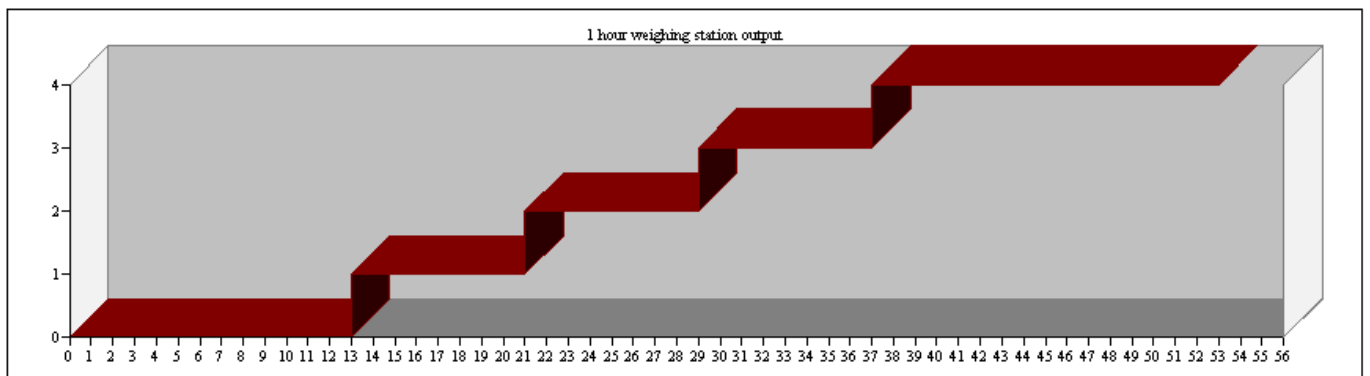
Σχήμα Α.3 Χρησιμοποίηση τρίωροης ζυγαριάς



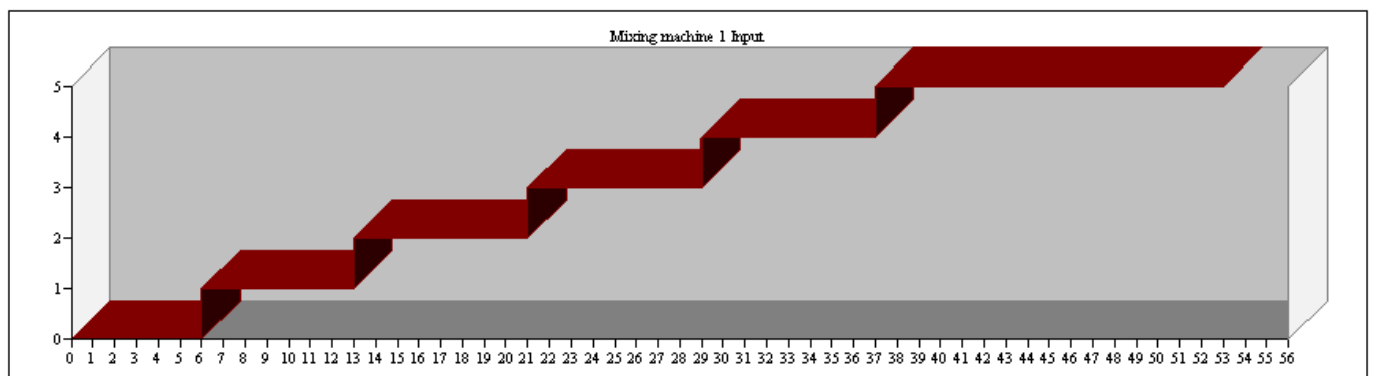
Σχήμα Α.4 ουρές αναμεικτικών μηχανών



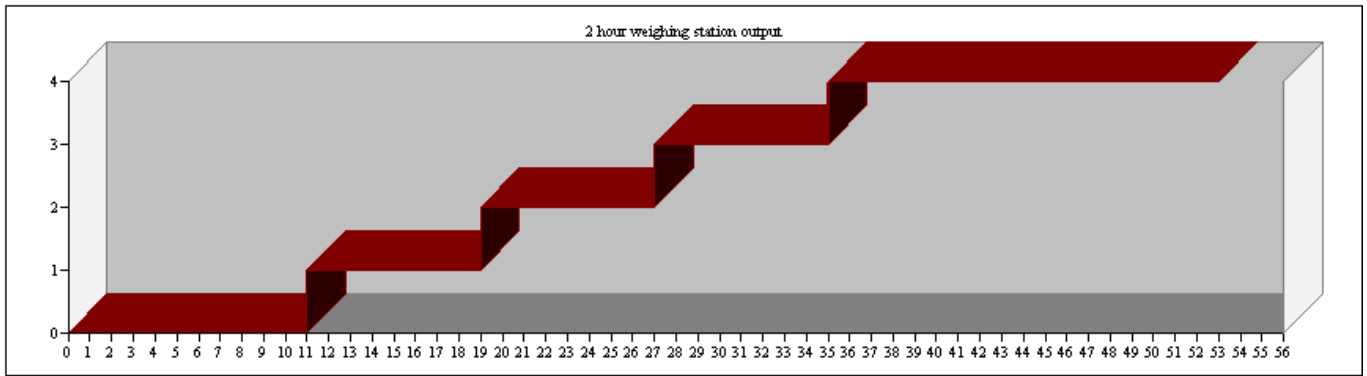
Σχήμα Α.5 ουρές ζυγιστικών σταθμών



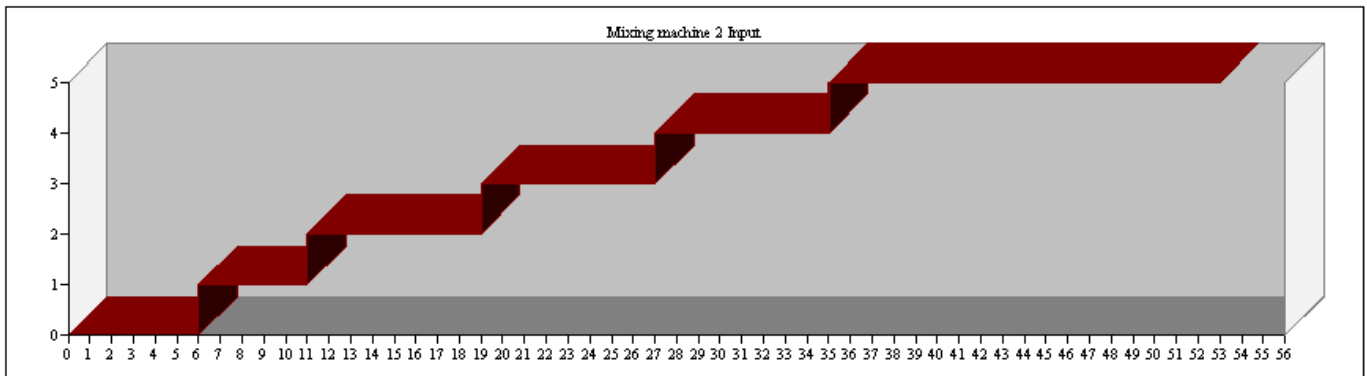
Σχήμα Α.6 Έξοδος μονώρορης ζυγαριάς



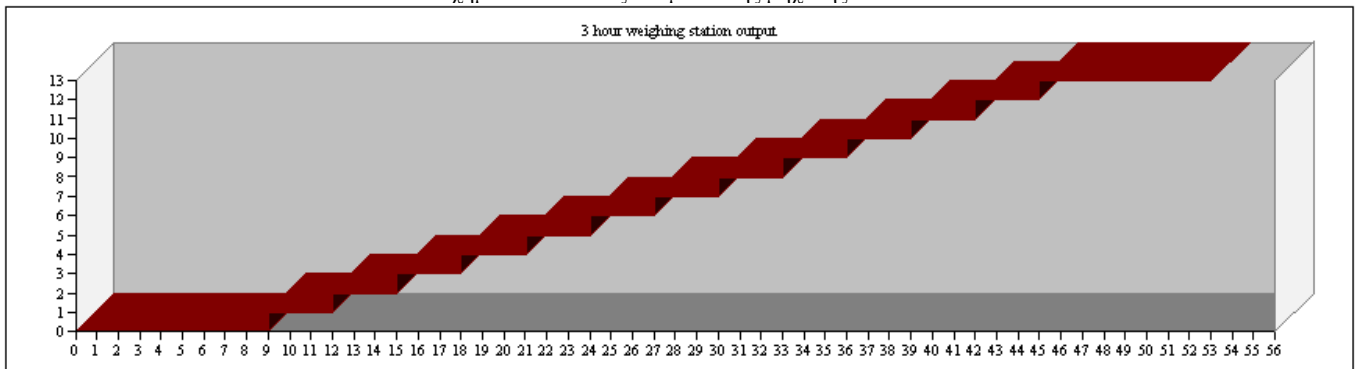
Σχήμα Α.7 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1



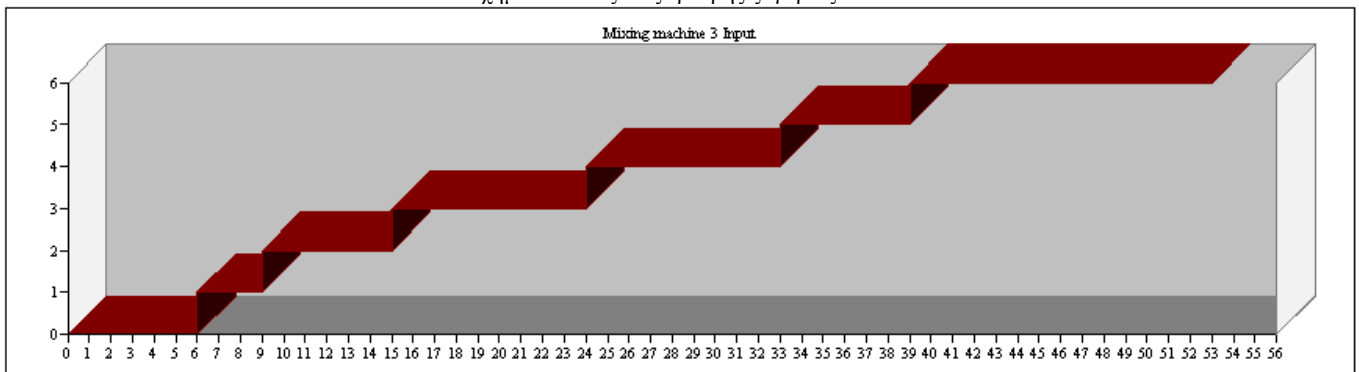
Σχήμα Α.8 Έξοδος διώρης ζυγαριάς



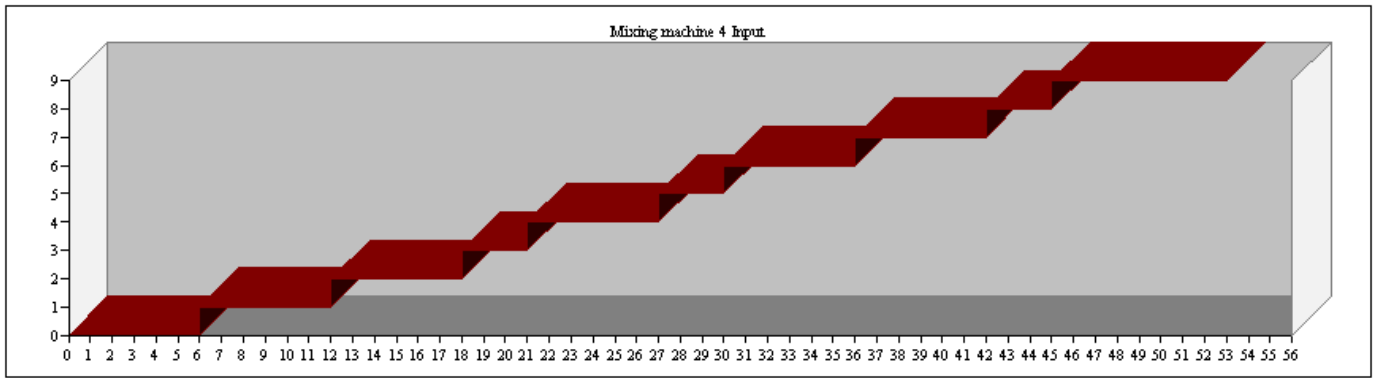
Σχήμα Α.9 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2



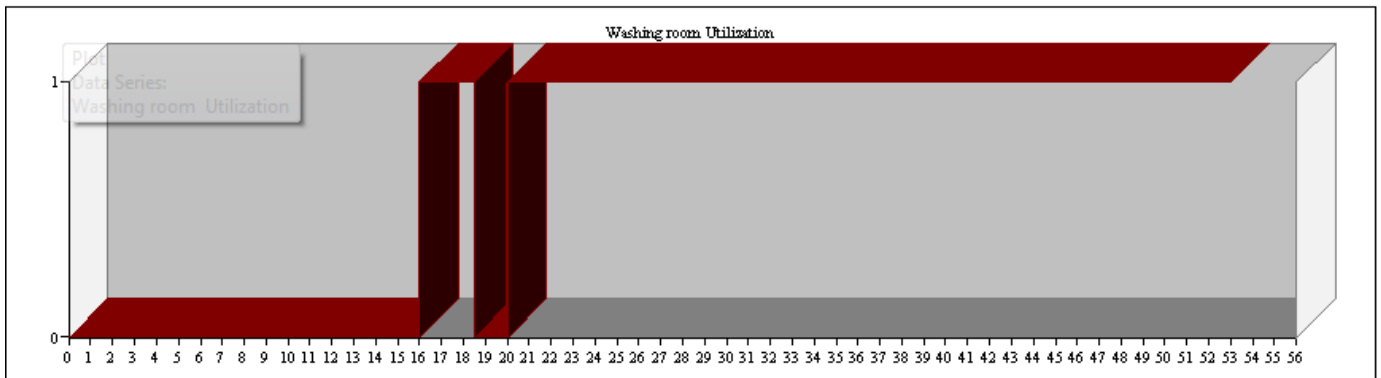
Σχήμα Α.10 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς



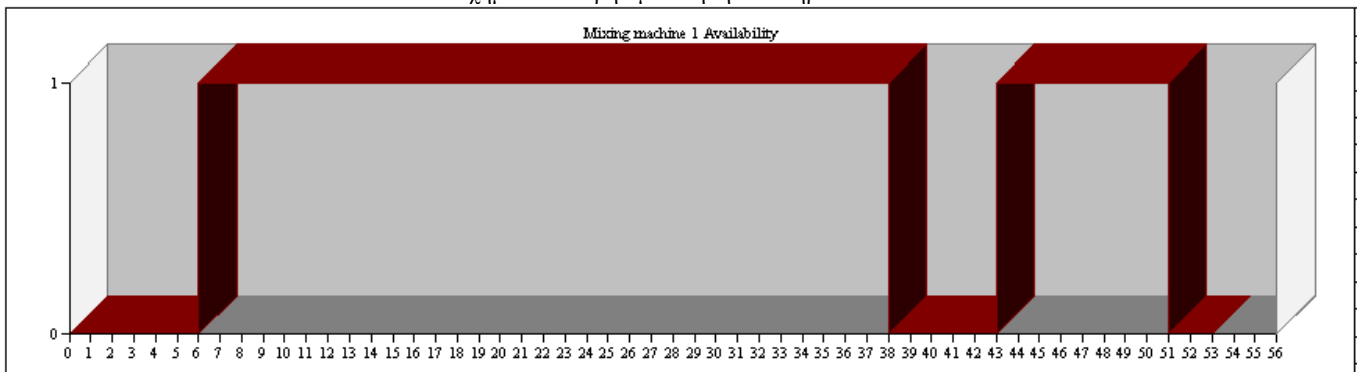
Σχήμα Α.11 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3



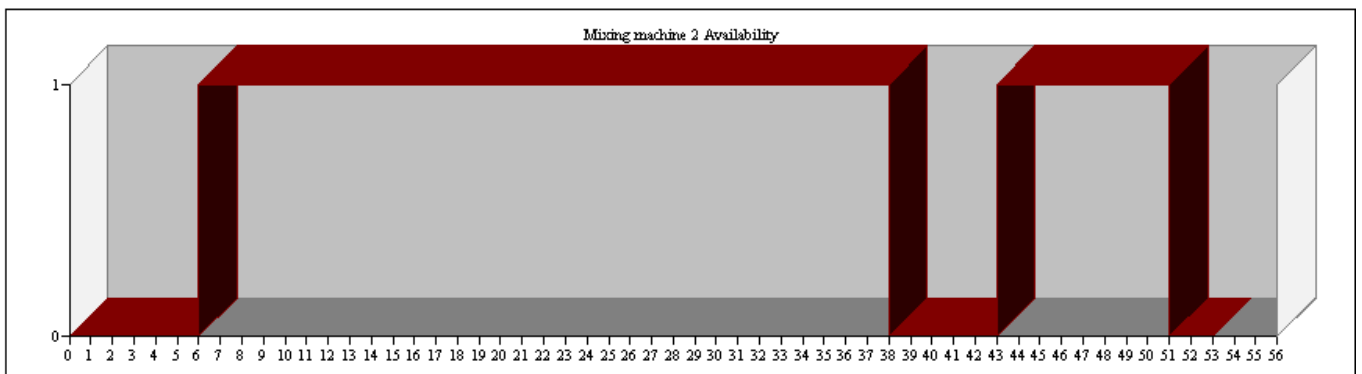
Σχήμα A.12 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4



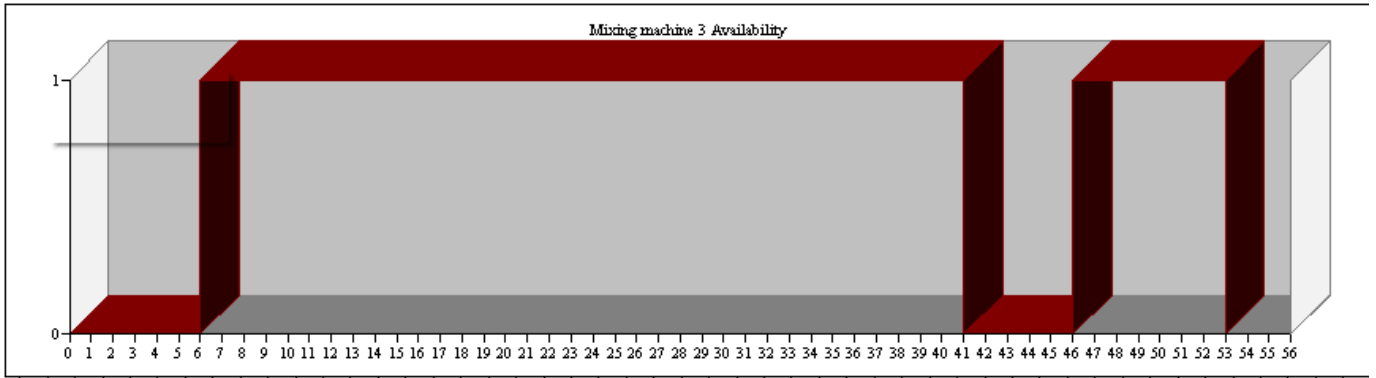
Σχήμα A.13 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου



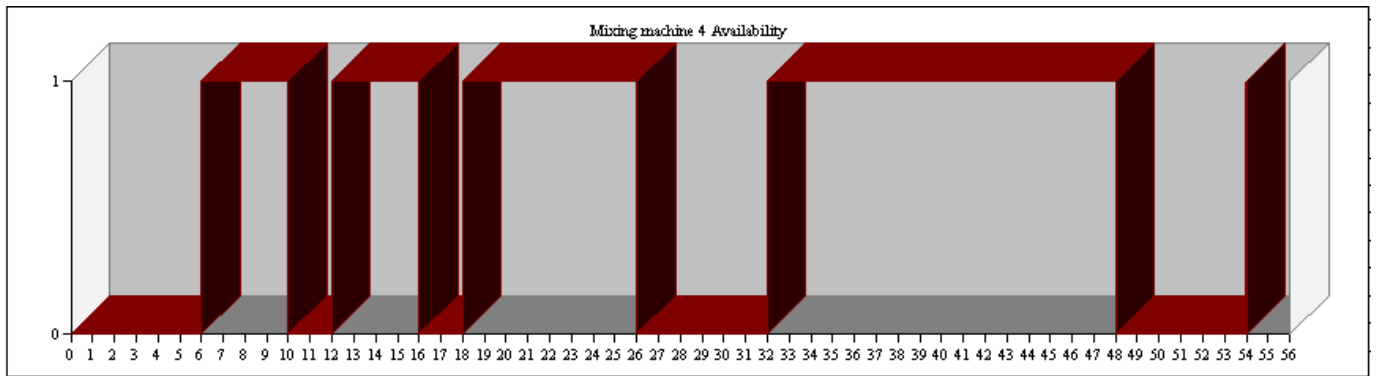
Σχήμα A.14 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1



Σχήμα A.15 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2

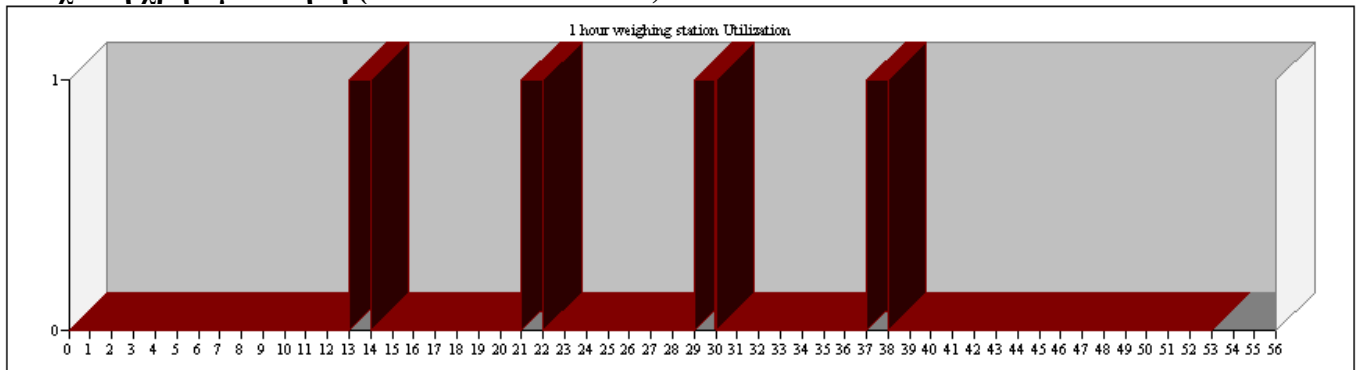


Σχήμα Α.16 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3

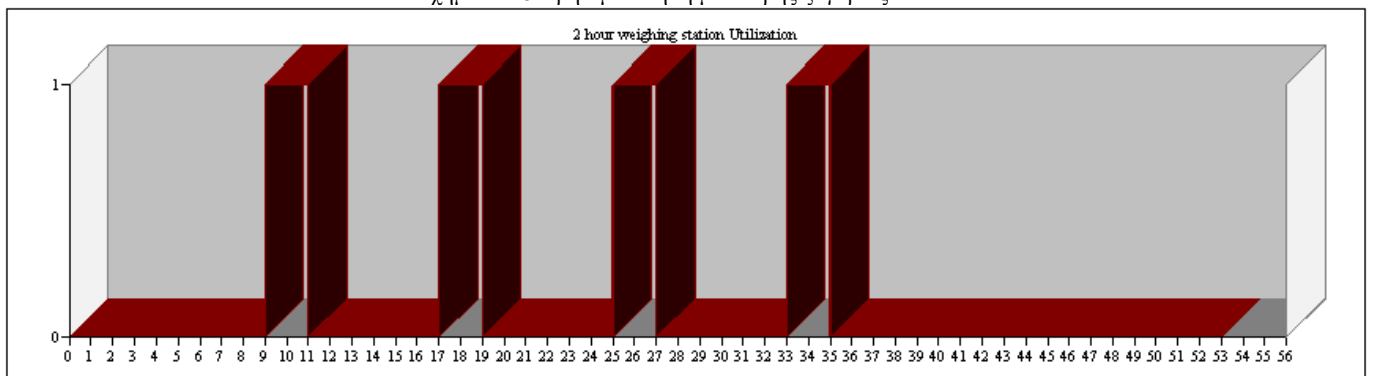


Σχήμα Α.17 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4

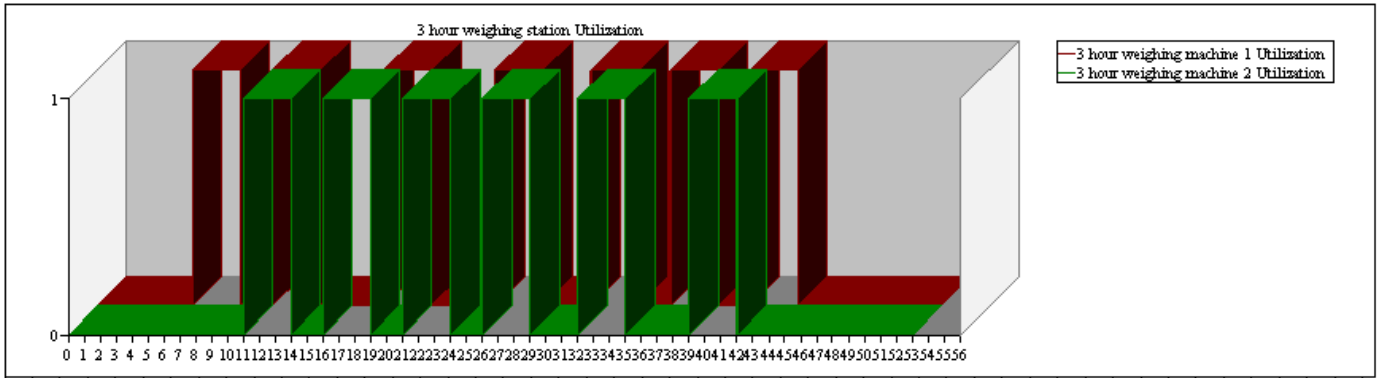
Ελάχιστη χρησιμοποίηση (Minimum utilization):



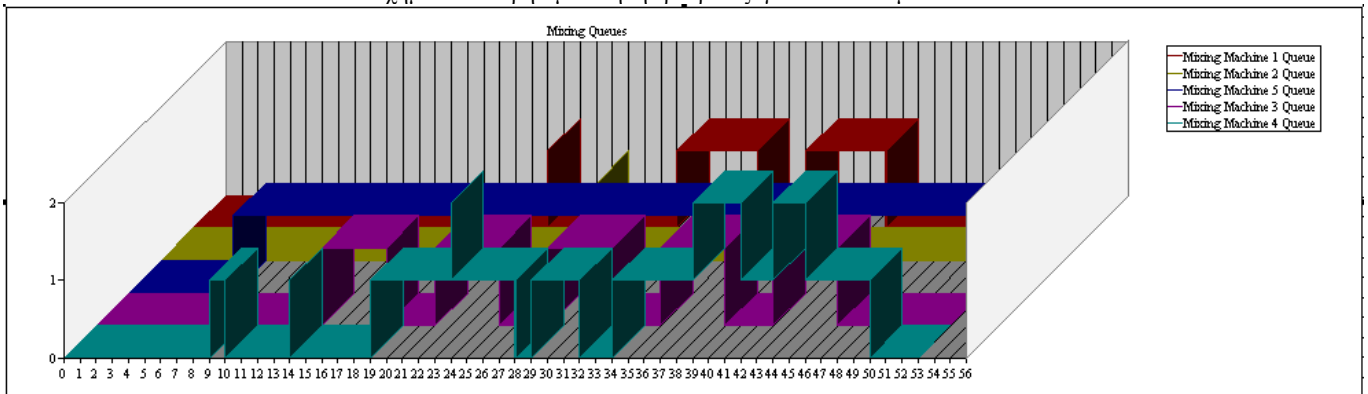
Σχήμα Α.18 Χρησιμοποίηση μονώροης ζυγαριάς



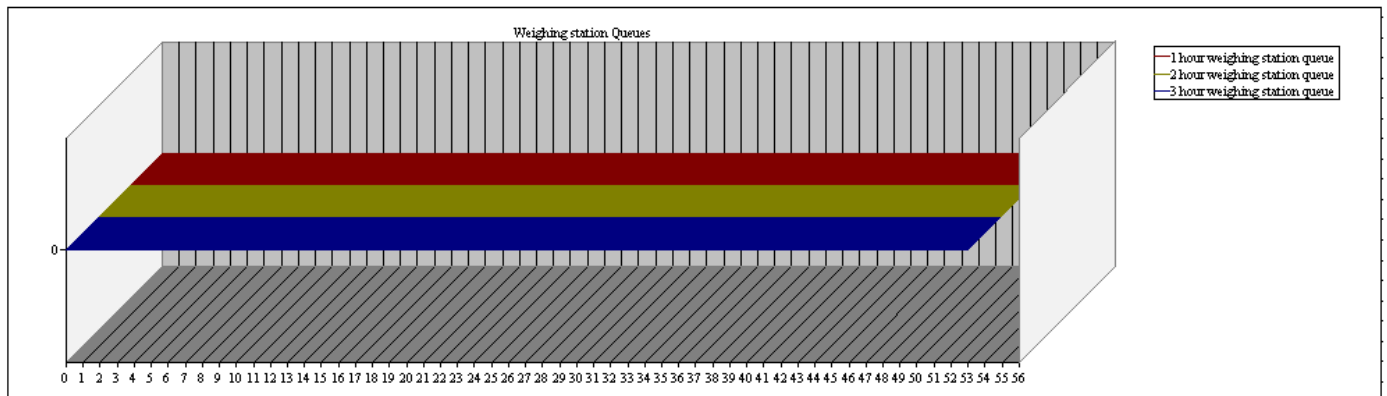
Σχήμα Α.19 Χρησιμοποίηση δίωροης ζυγαριάς



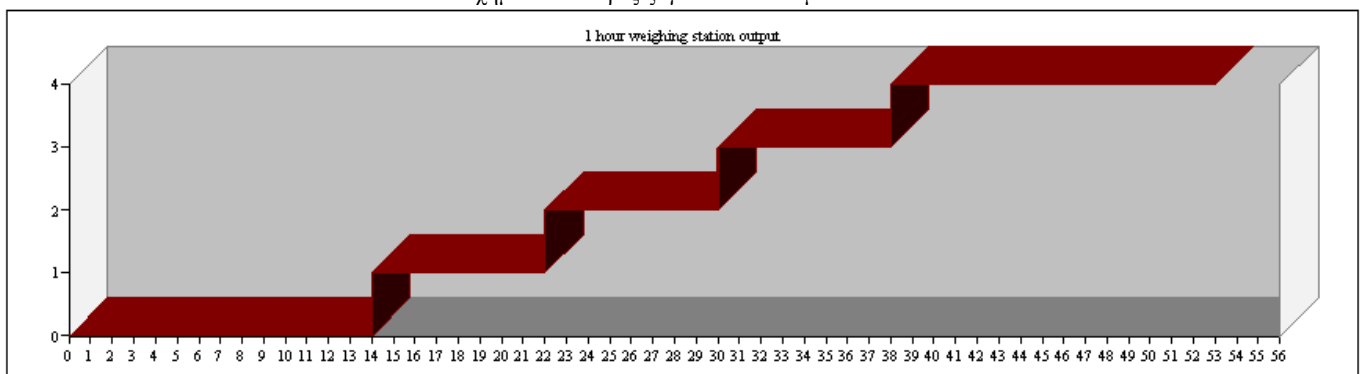
Σχήμα A.20 Χρησιμοποίηση τρίωρου ζυγιστικού σταθμού



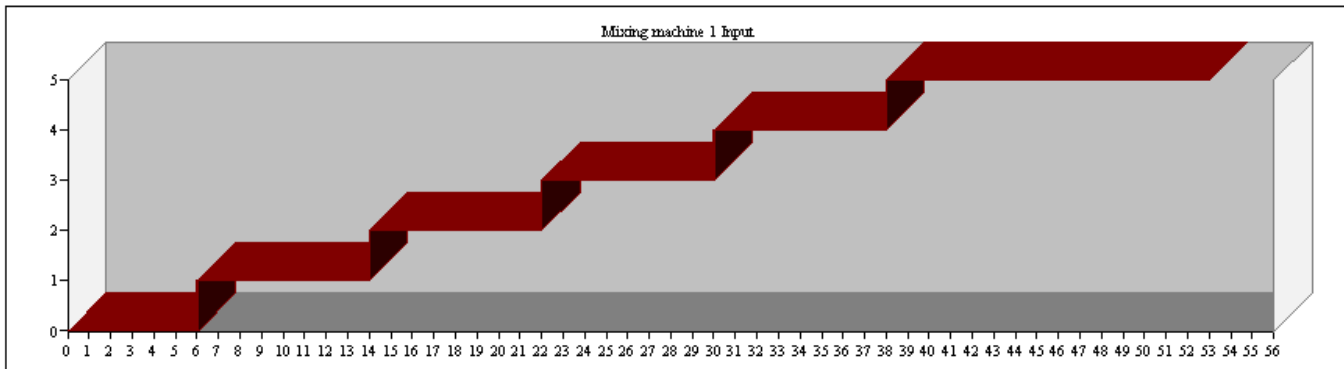
Σχήμα A.21 ουρές αναμεικτικών μηχανών



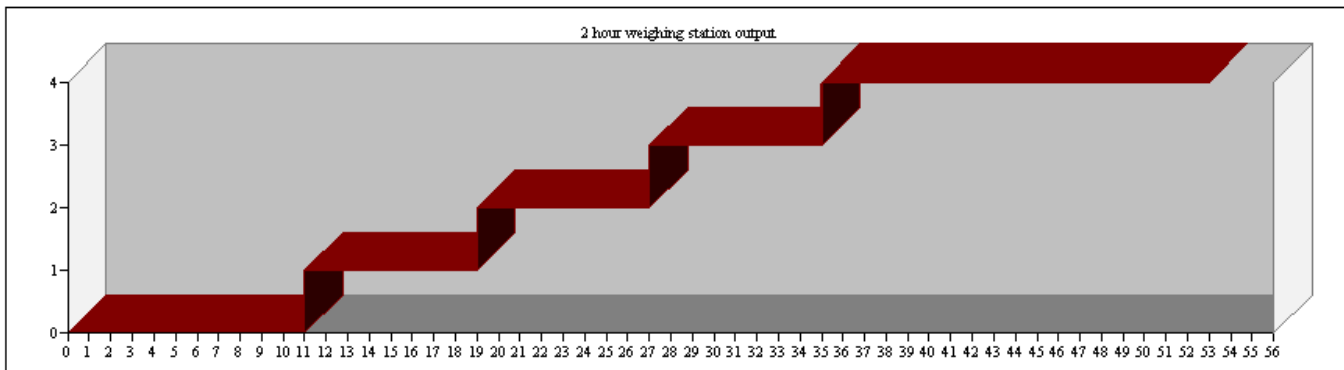
Σχήμα A.22 ουρές ζυγιστικών σταθμών



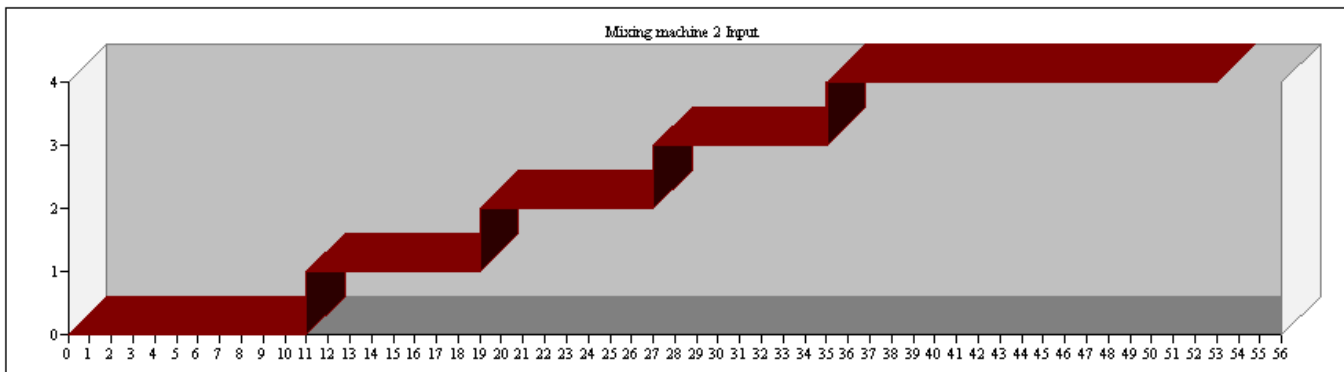
Σχήμα A.23 Έξοδος μονώροης ζυγαριάς



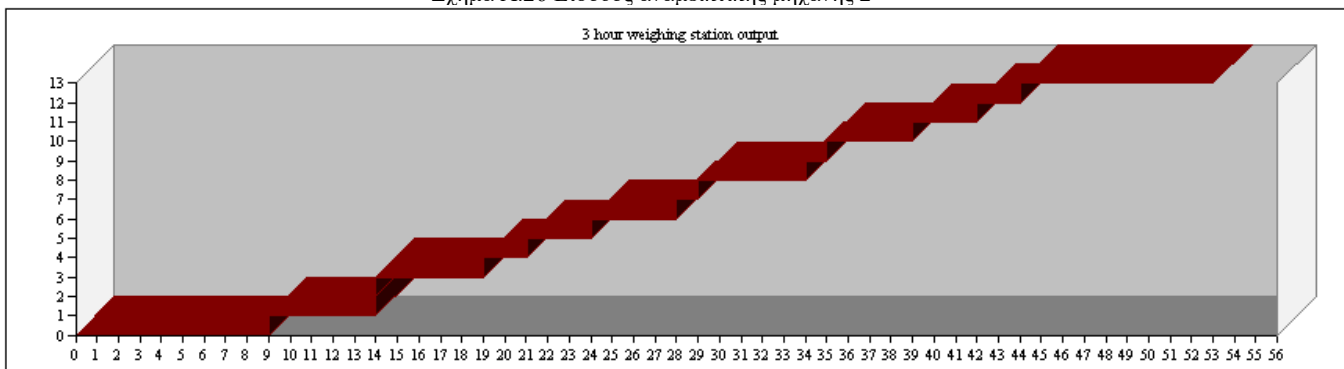
Σχήμα A.24 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1



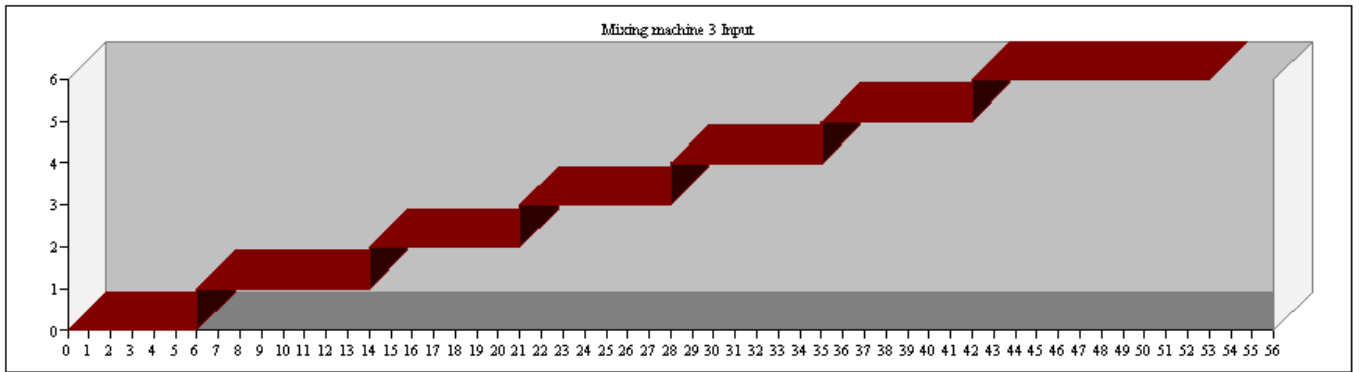
Σχήμα A.25 Έξοδος δίωρης ζυγαριάς



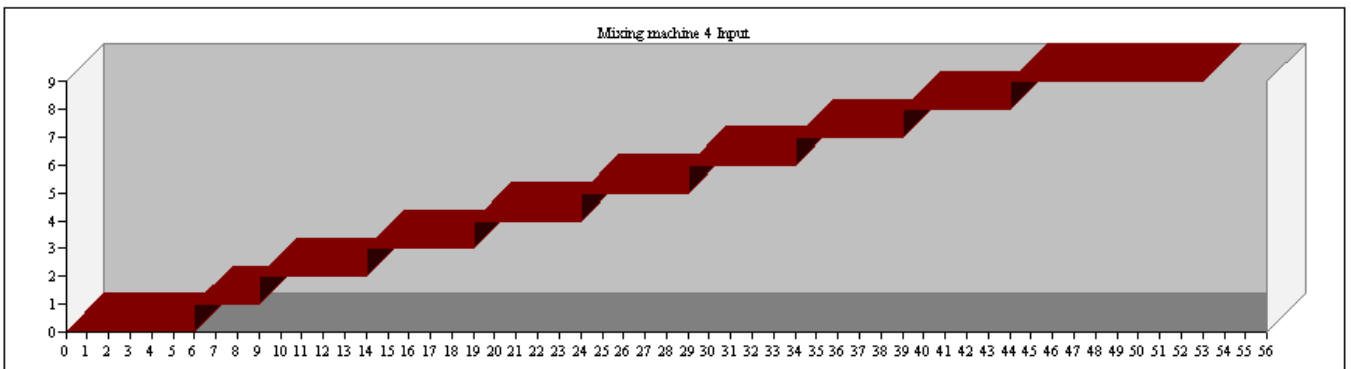
Σχήμα A.26 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2



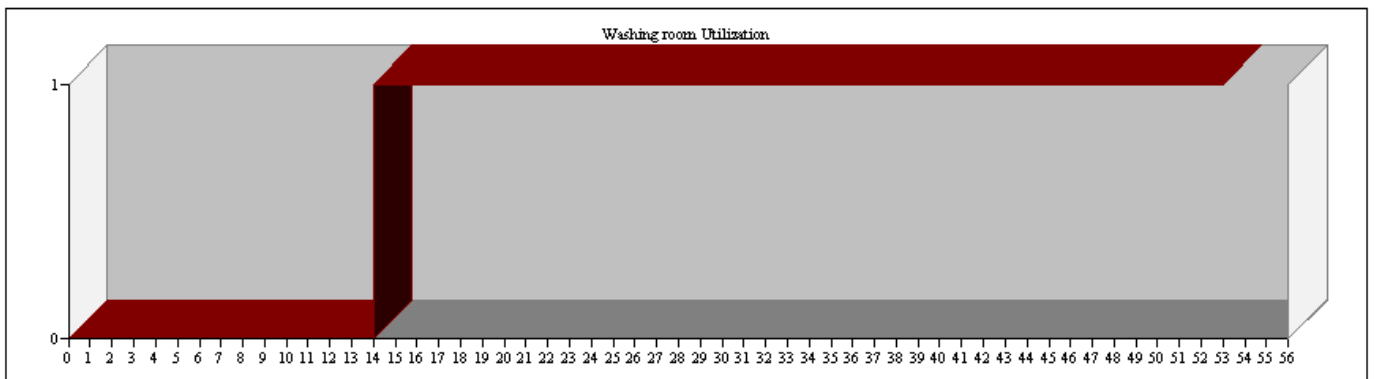
Σχήμα A.27 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς



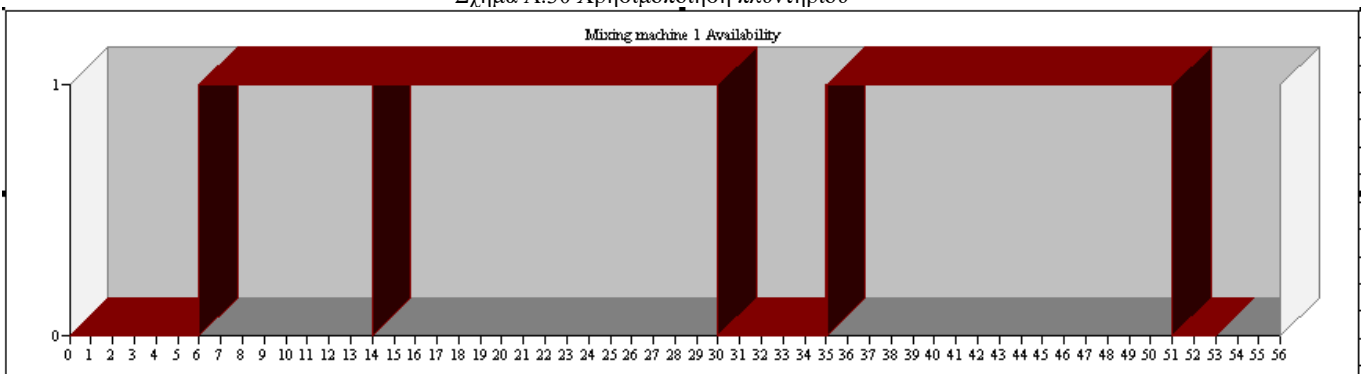
Σχήμα A.28 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3



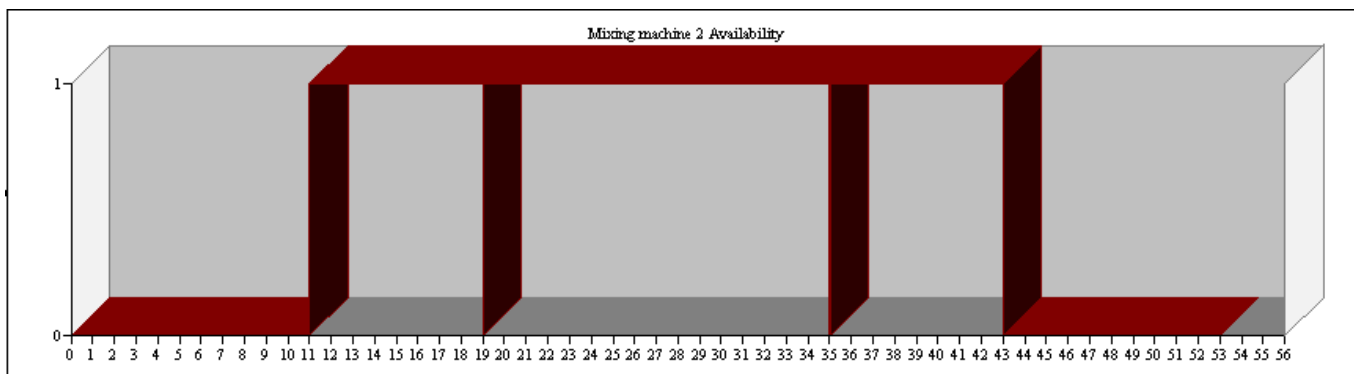
Σχήμα A.29 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4



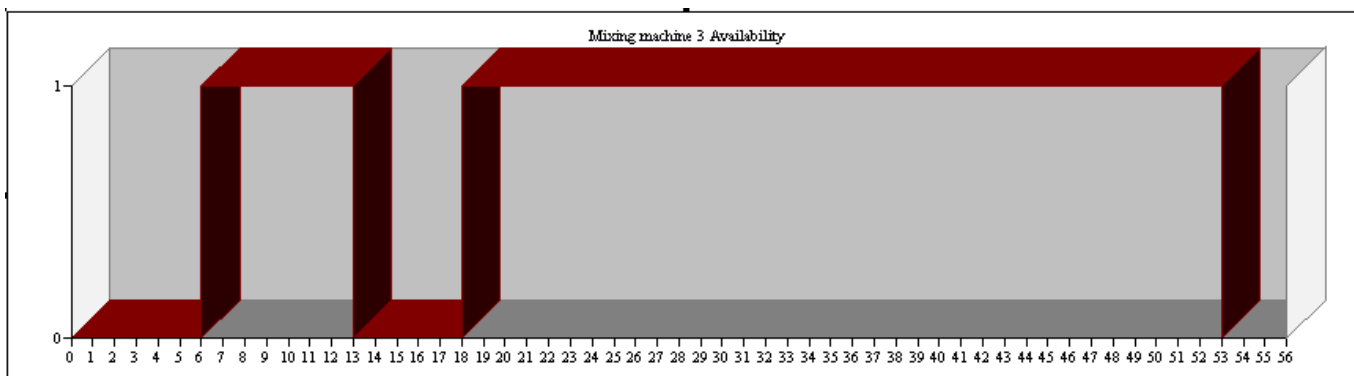
Σχήμα A.30 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου



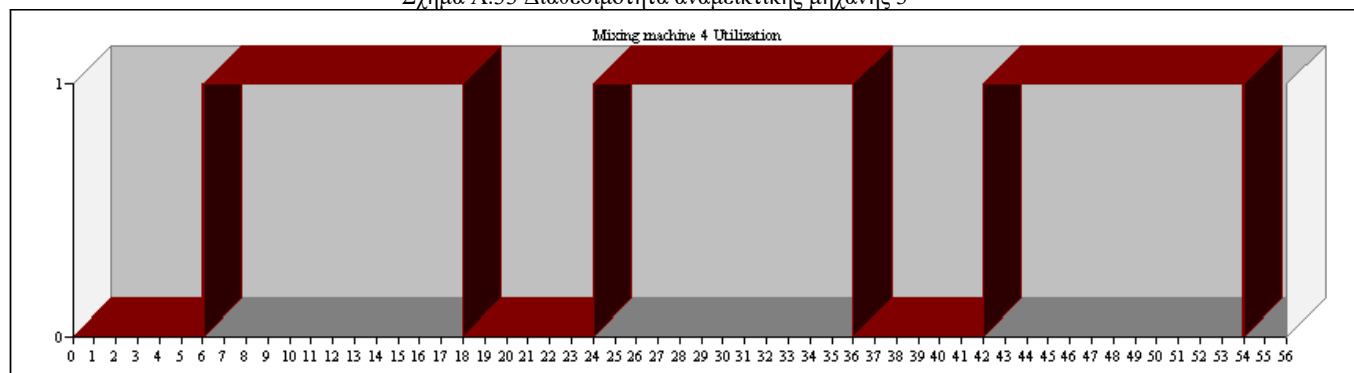
Σχήμα A.31 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1



Σχήμα A.32 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2

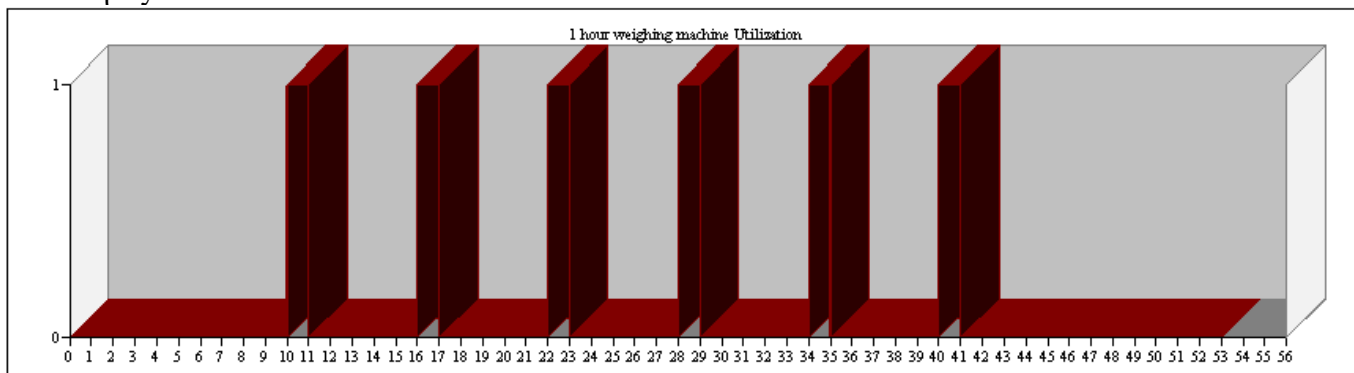


Σχήμα A.33 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3

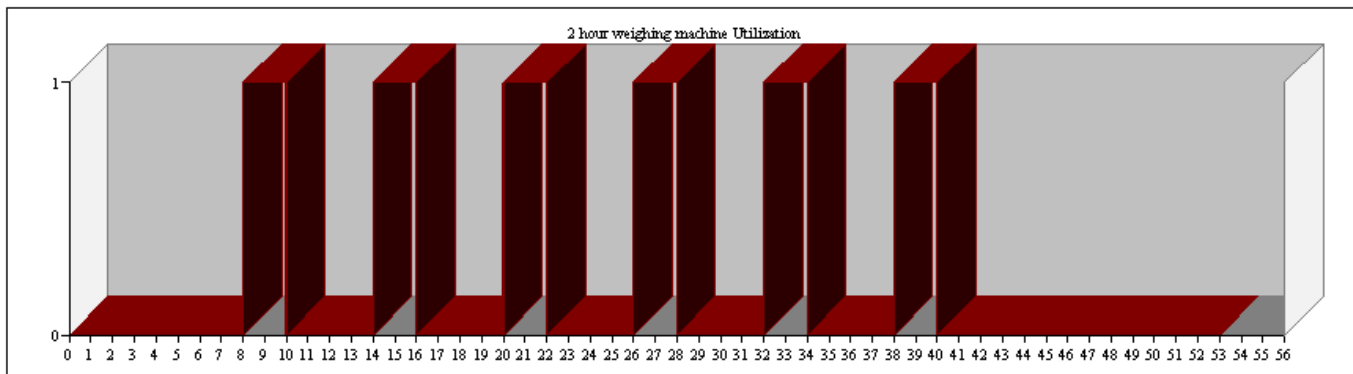


Σχήμα A.34 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4

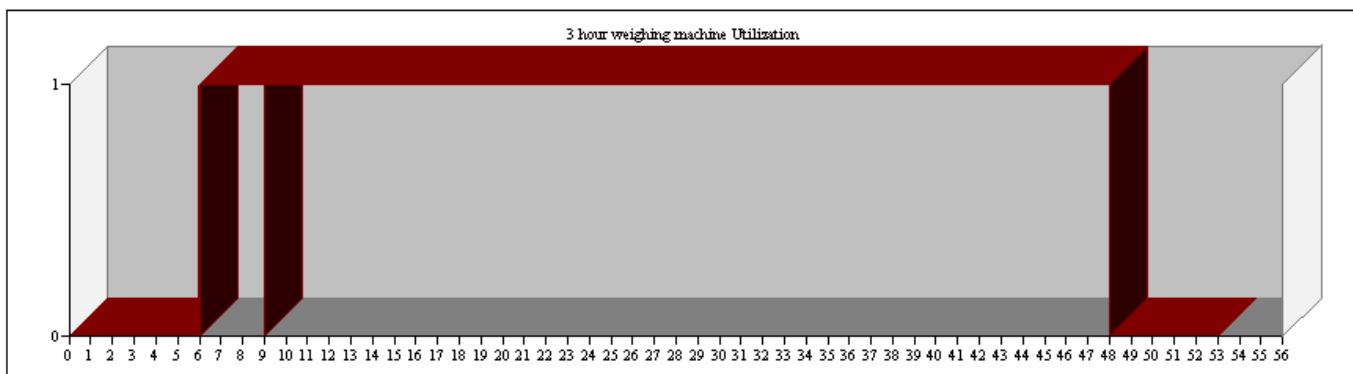
Μείωση Cycle Time:



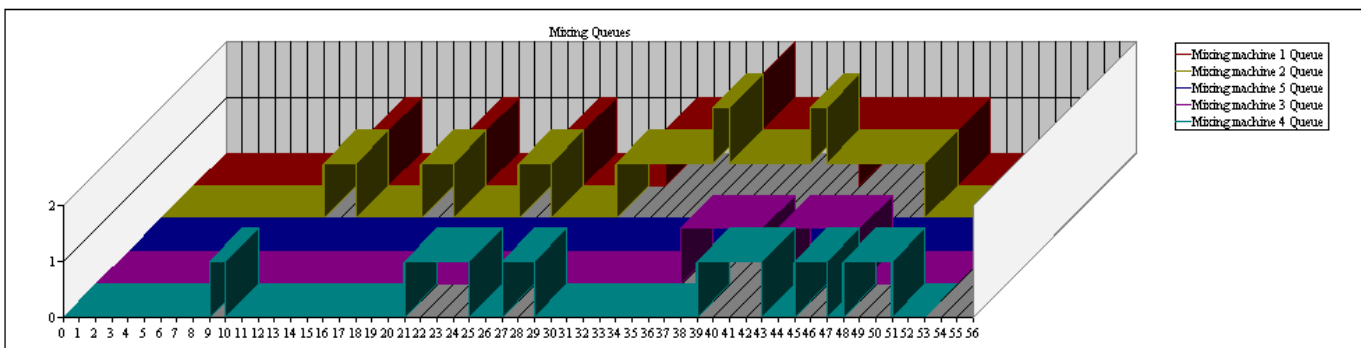
Σχήμα A.35 Χρησιμοποίηση μονώροης ζυγαριάς



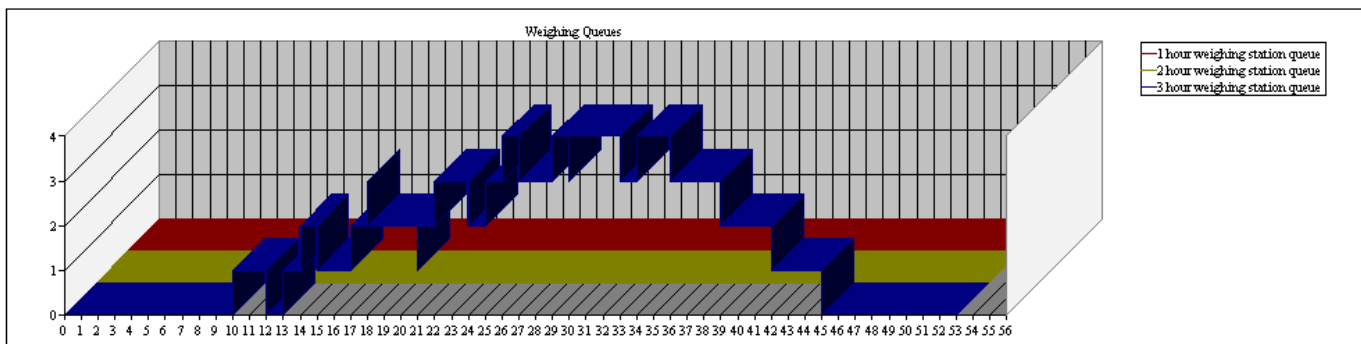
Σχήμα Α.36 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς



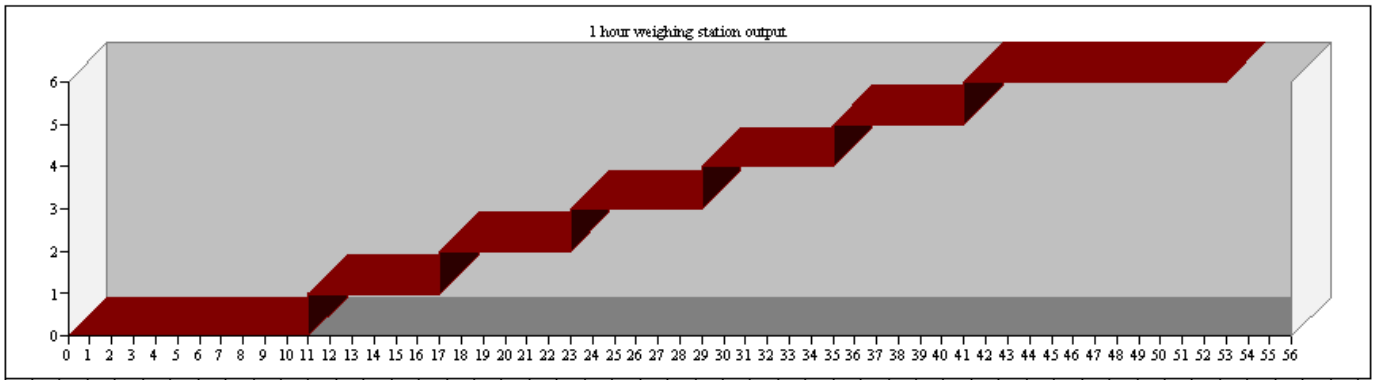
Σχήμα Α.37 Χρησιμοποίηση τριώρης ζυγαριάς



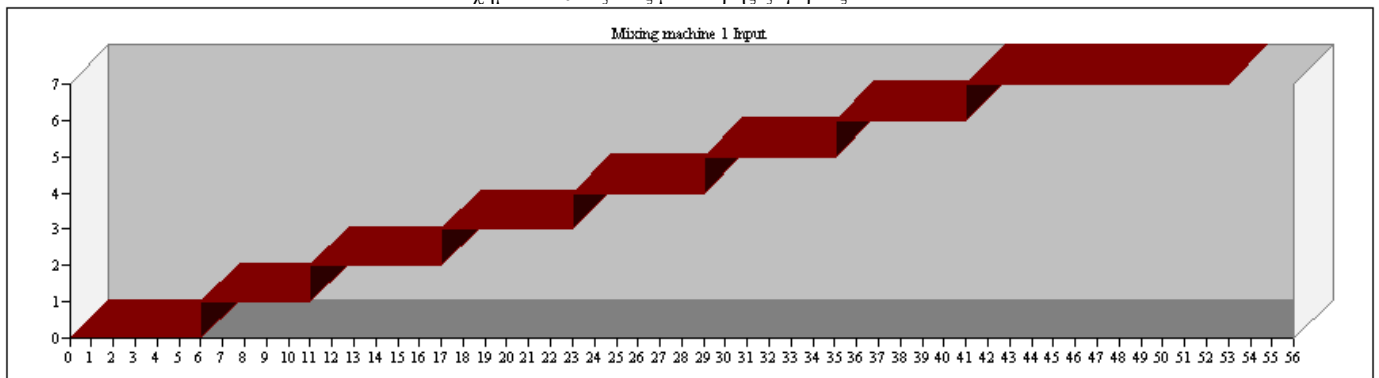
Σχήμα Α.38 ουρές αναμεικτικών μηχανών



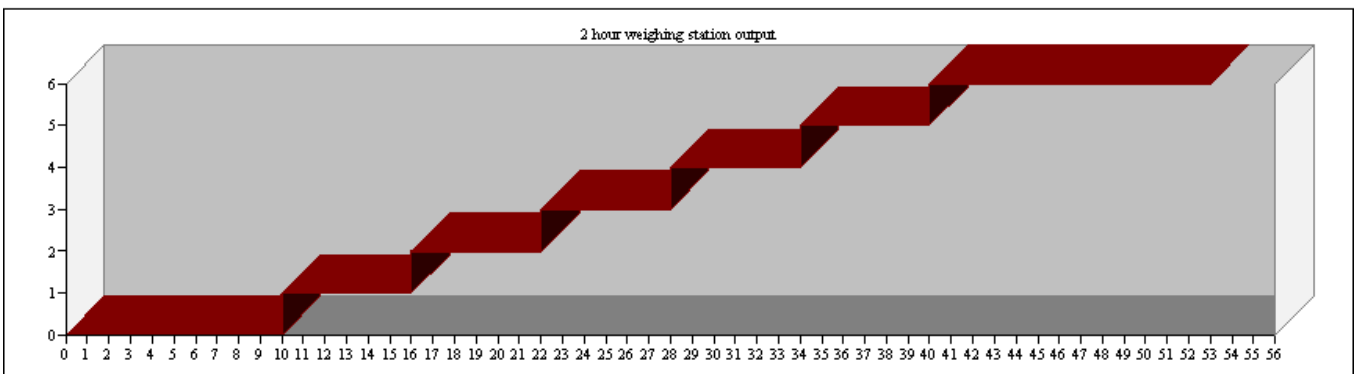
Σχήμα Α.39 ουρές ζυγιστικών σταθμών



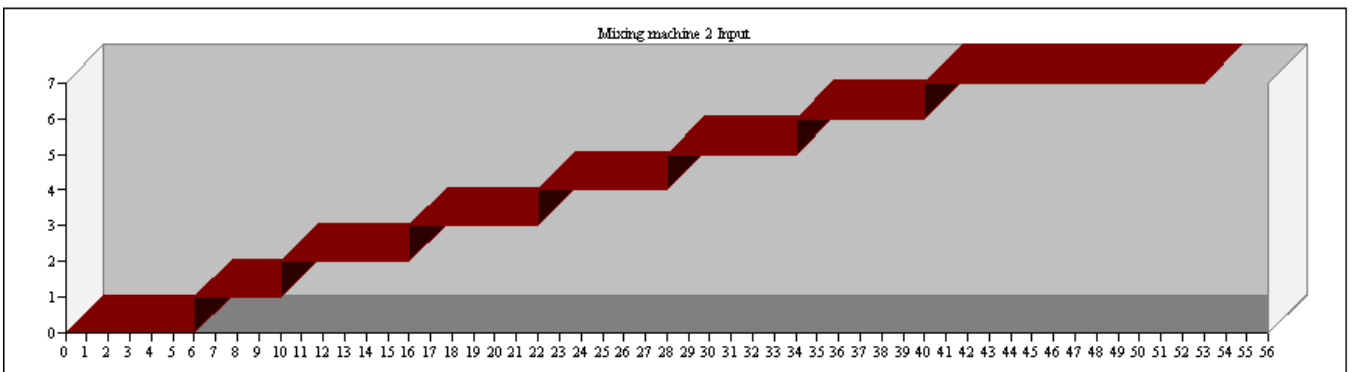
Σχήμα A.40 Έξοδος μονώροης ζυγαριάς



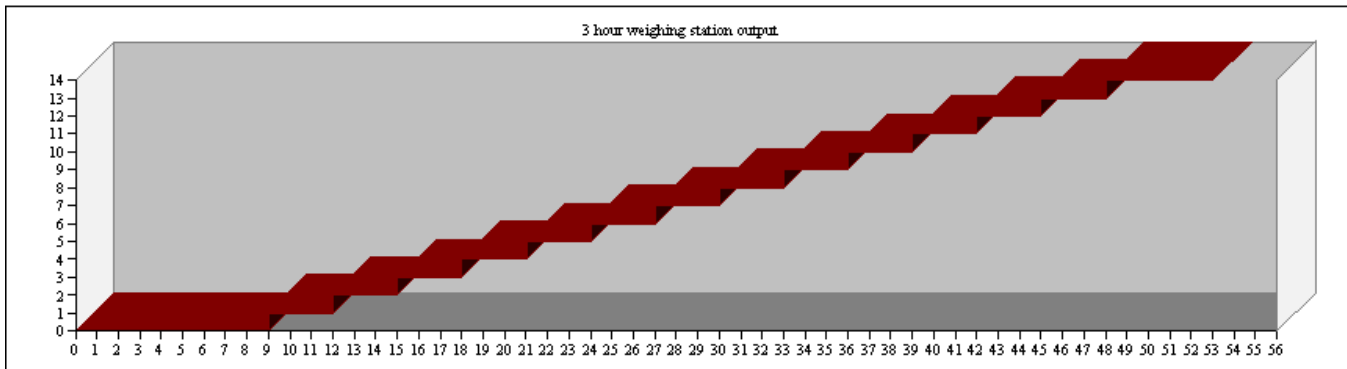
Σχήμα A.41 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1



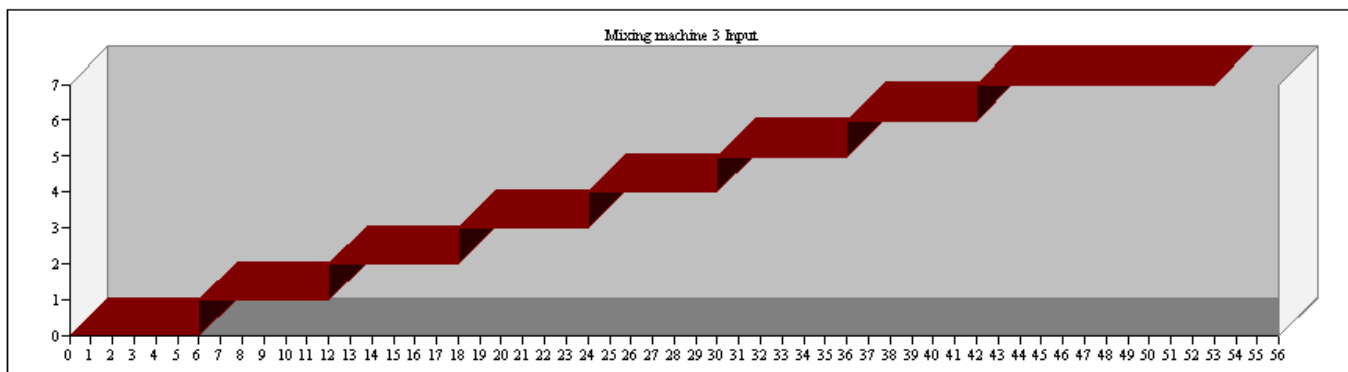
Σχήμα A.42 Έξοδος δίωροης ζυγαριάς



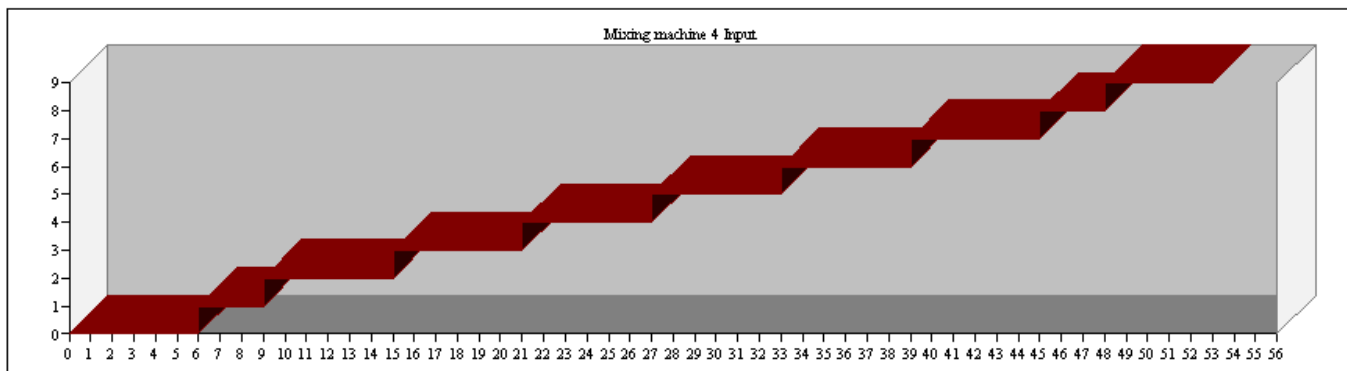
Σχήμα A.43 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2



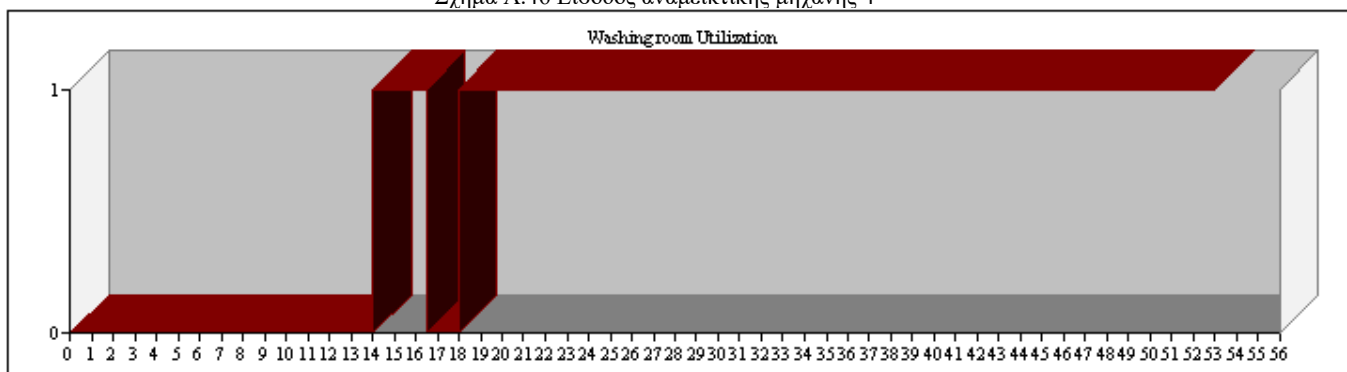
Σχήμα A.44 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς



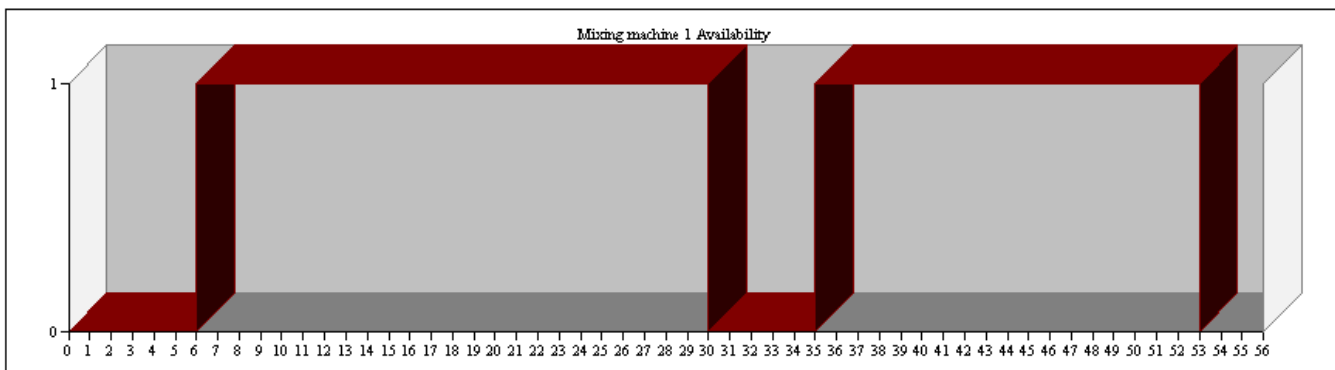
Σχήμα A.45 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3



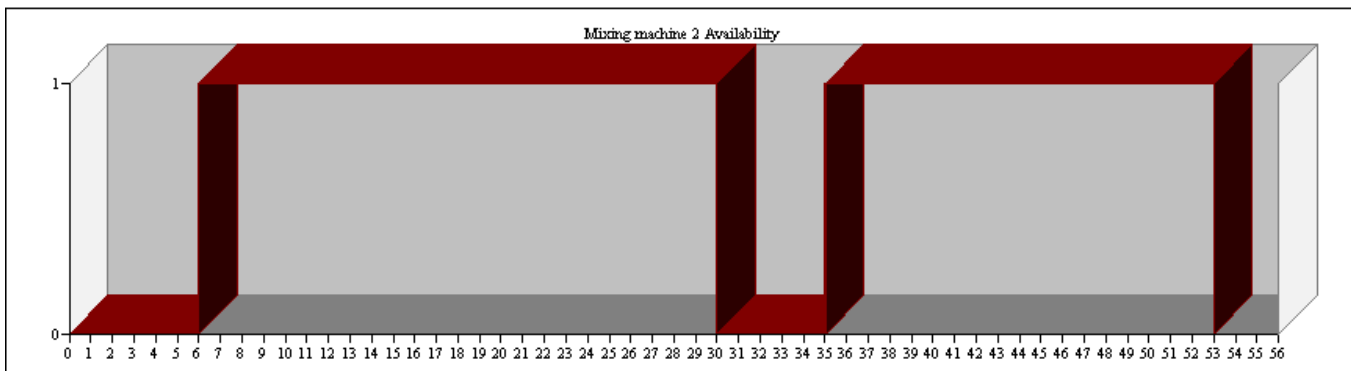
Σχήμα A.46 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4



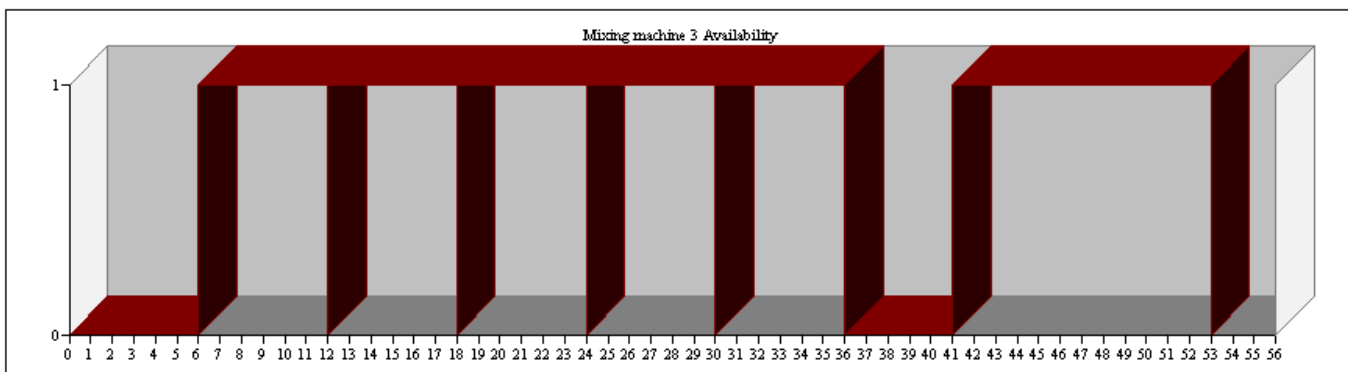
Σχήμα A.47 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου



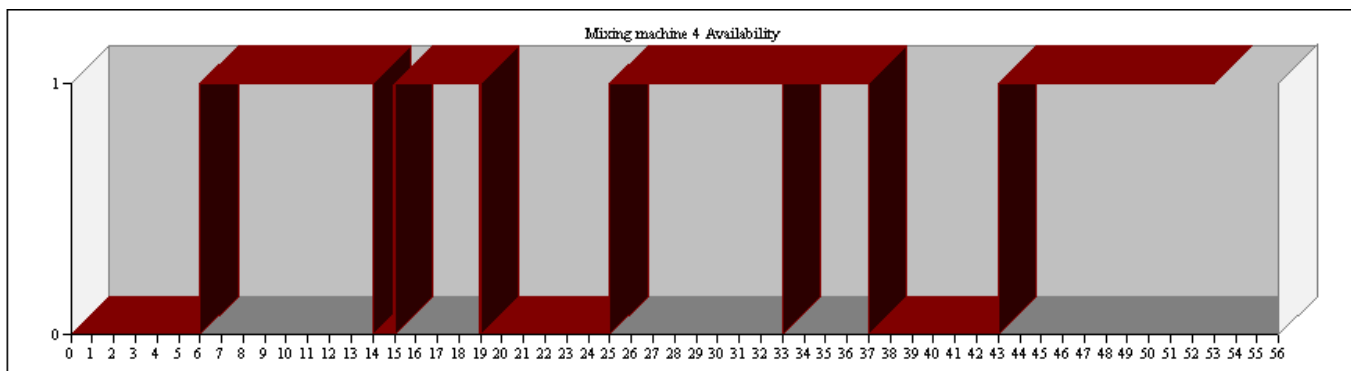
Σχήμα A.48 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1



Σχήμα A.49 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2

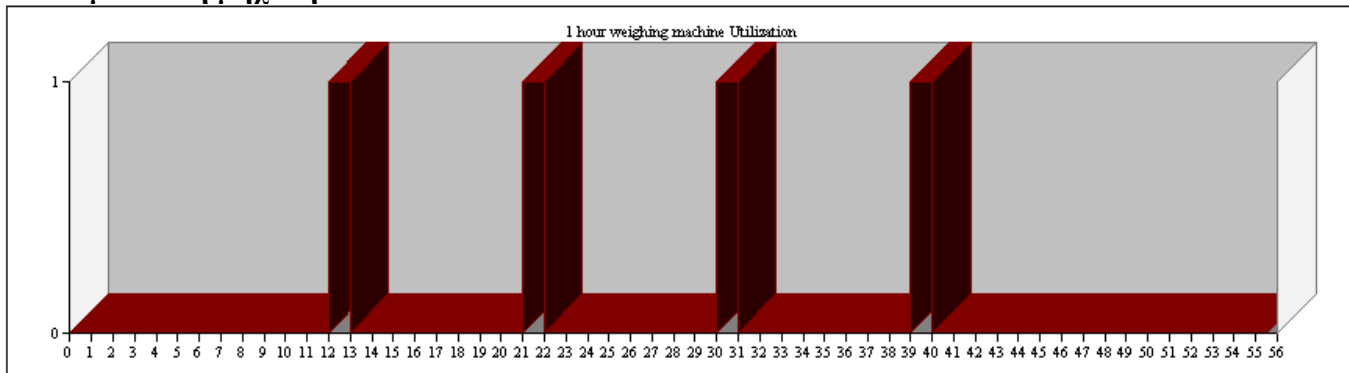


Σχήμα A.50 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3

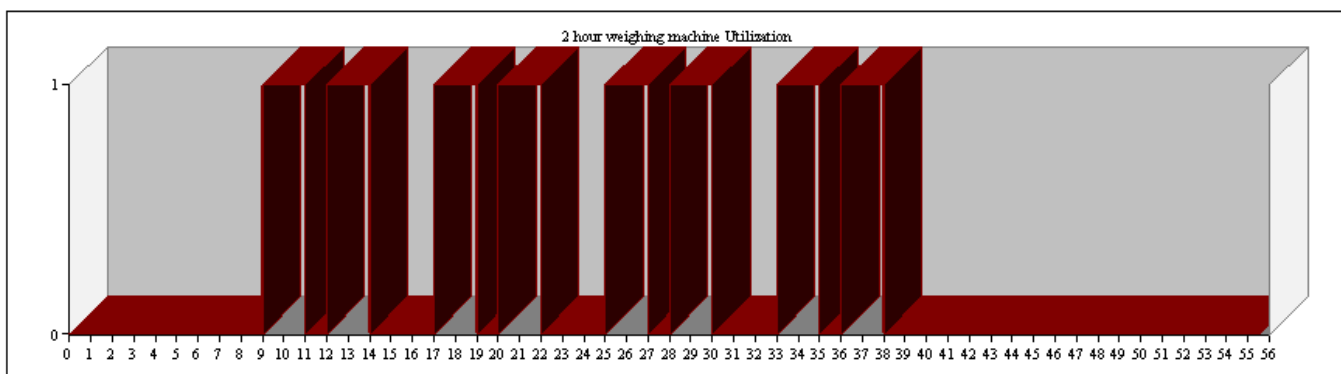


Σχήμα A.51 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4

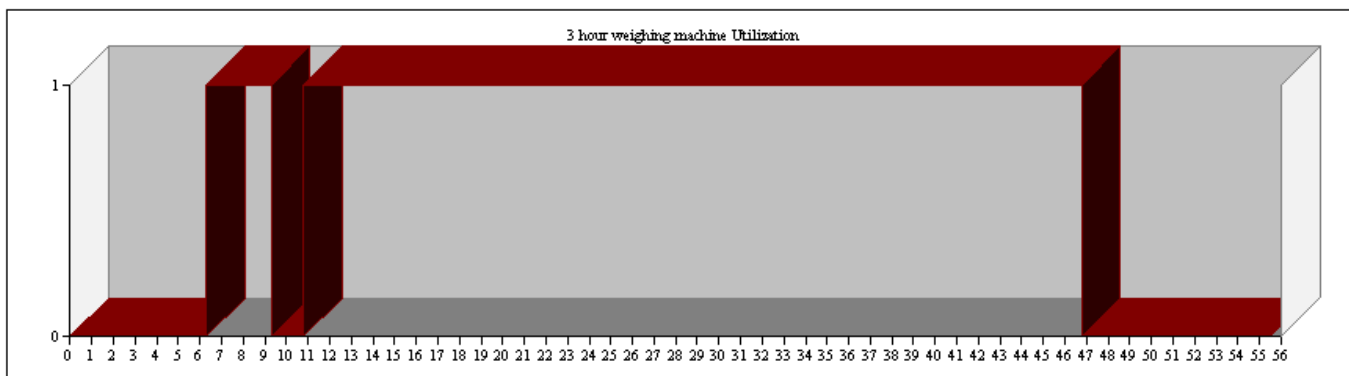
5^η αναμεικτική μηχανή:



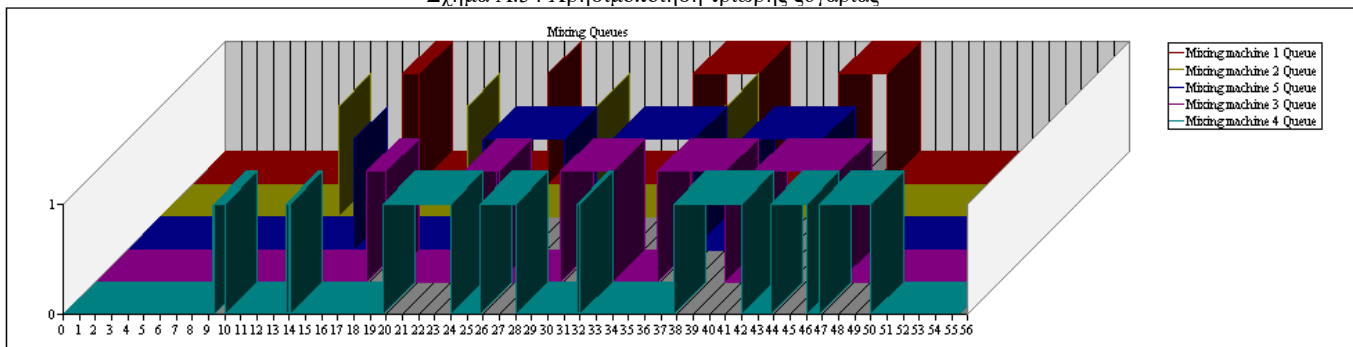
Σχήμα A.52 Χρησιμοποίηση μονόωρης ζυγαριάς



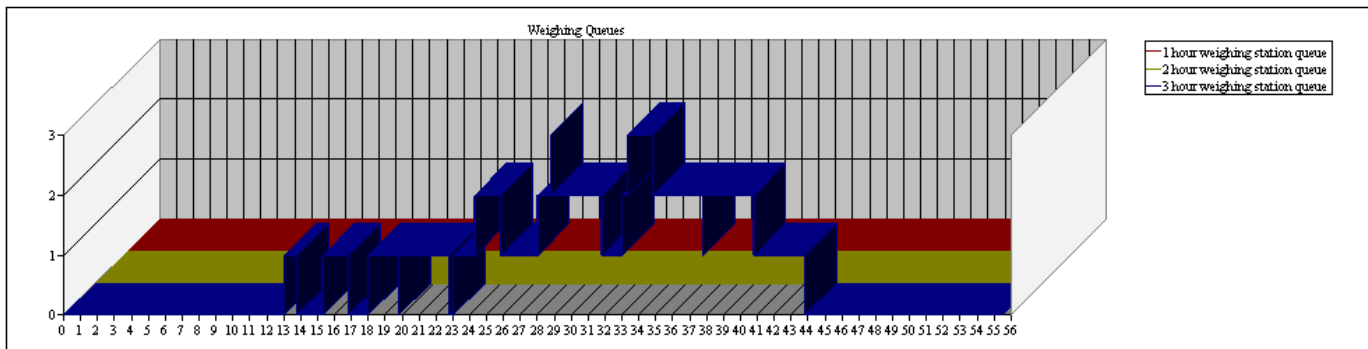
Σχήμα A.53 Χρησιμοποίηση δίωρης ζυγαριάς



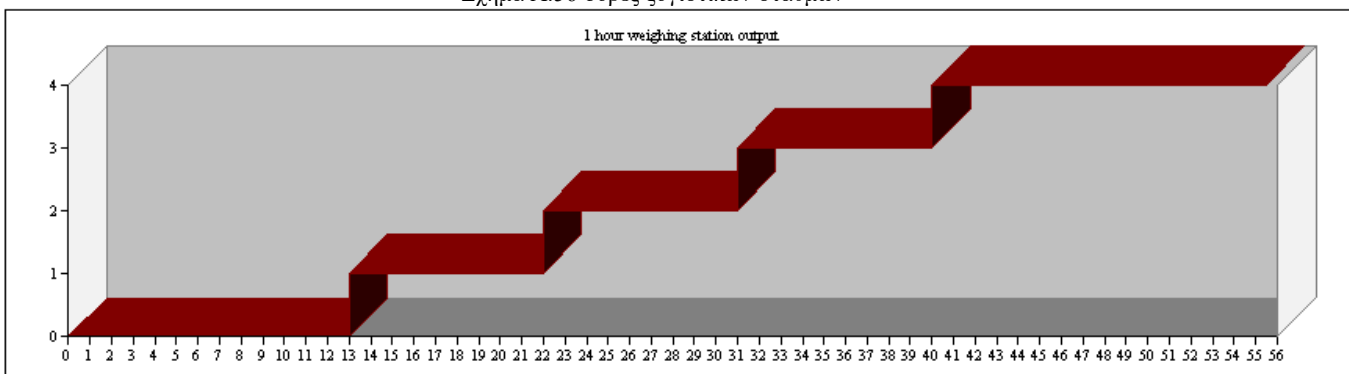
Σχήμα A.54 Χρησιμοποίηση τρίωρης ζυγαριάς



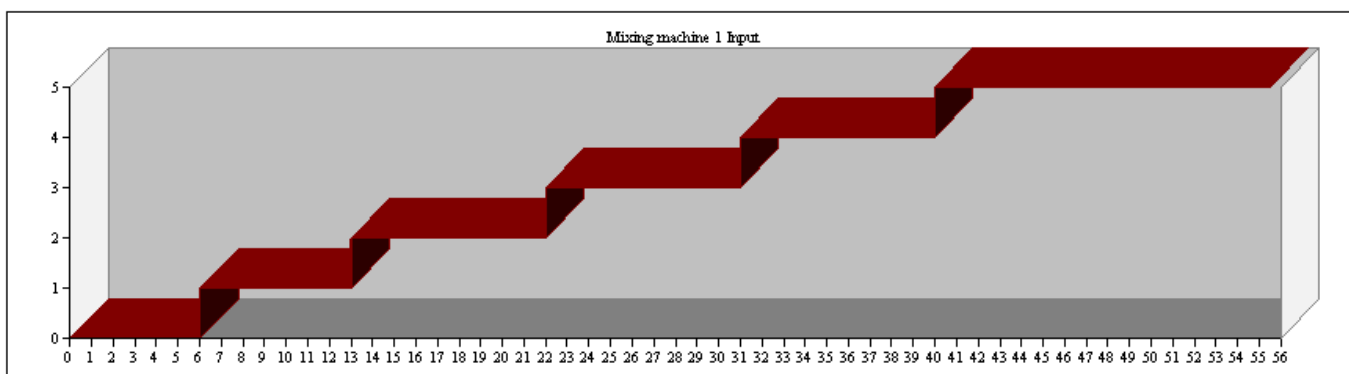
Σχήμα A.55 ουρές αναμεικτικών μηχανών



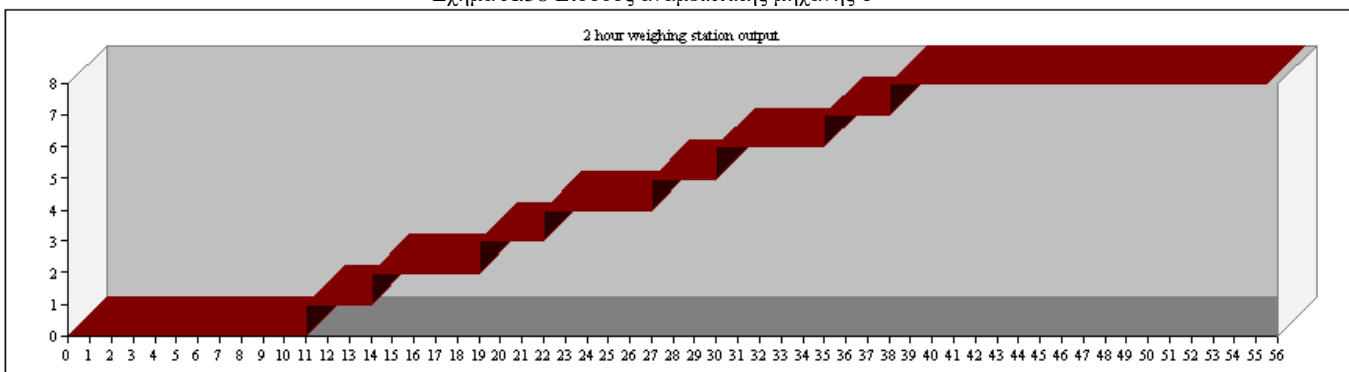
Σχήμα A.56 ουρές ζυγιστικών σταθμών



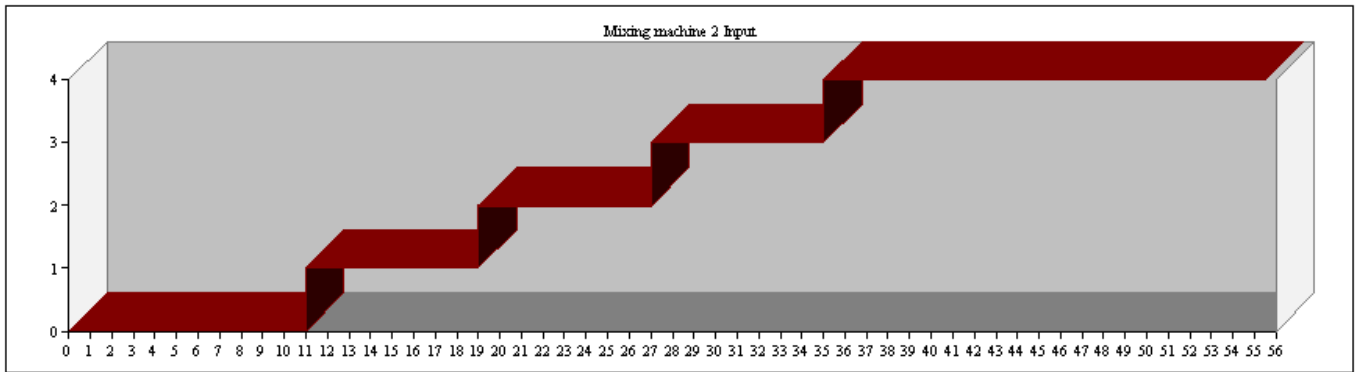
Σχήμα A.57 Έξοδος μονώρορης ζυγαριάς



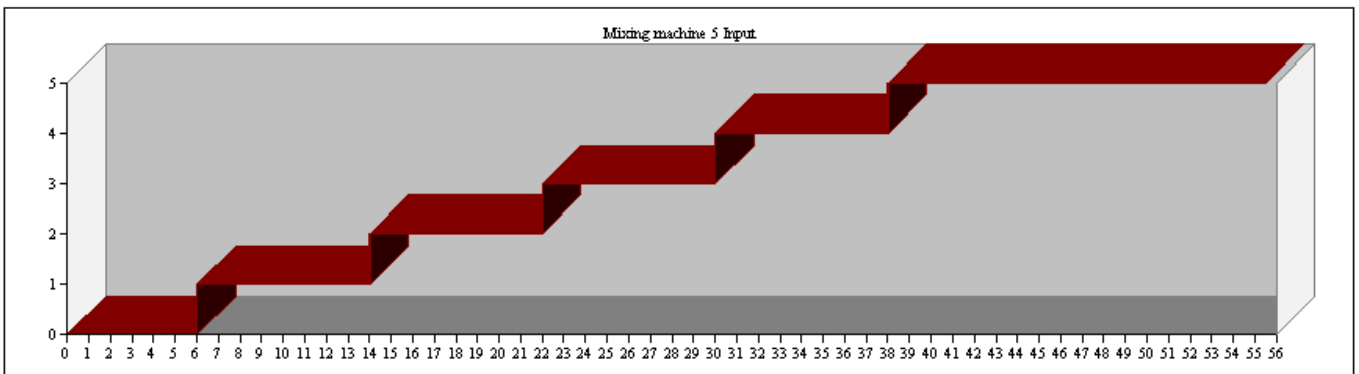
Σχήμα A.58 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 1



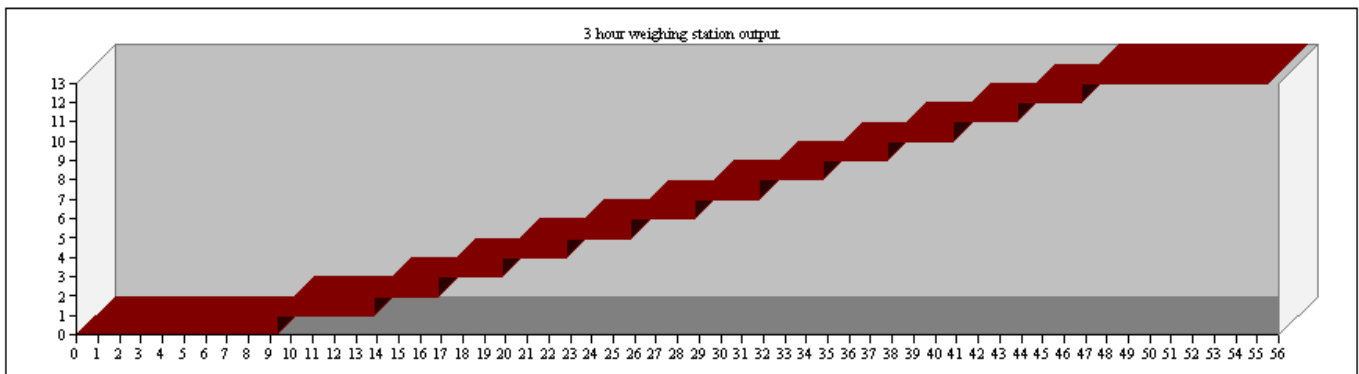
Σχήμα A.59 Έξοδος δίωροης ζυγαριάς



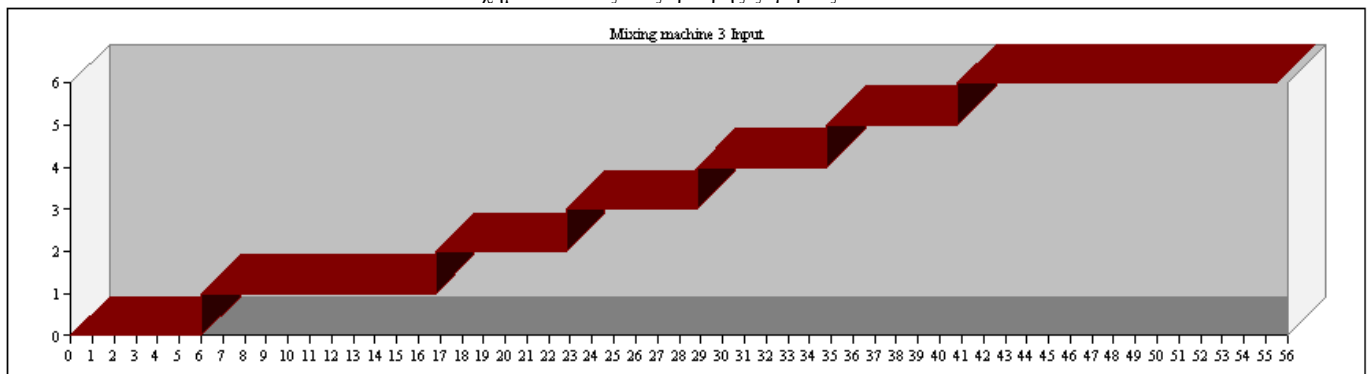
Σχήμα A.60 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 2



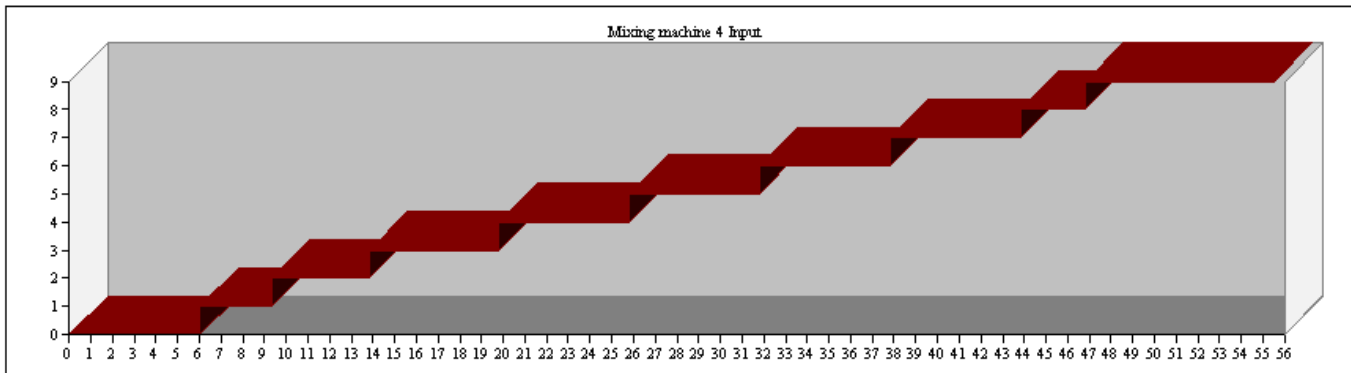
Σχήμα A.61 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 5



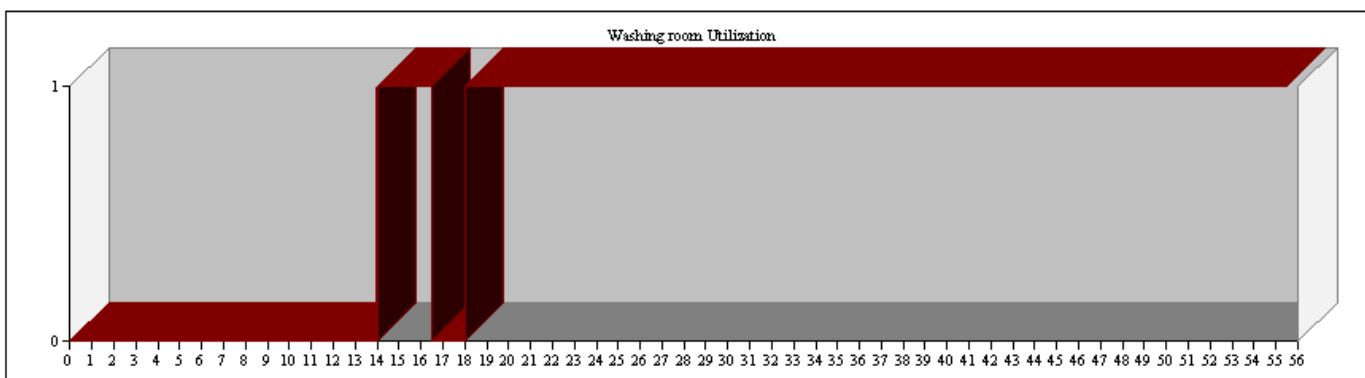
Σχήμα A.62 Έξοδος τρίωρης ζυγαριάς



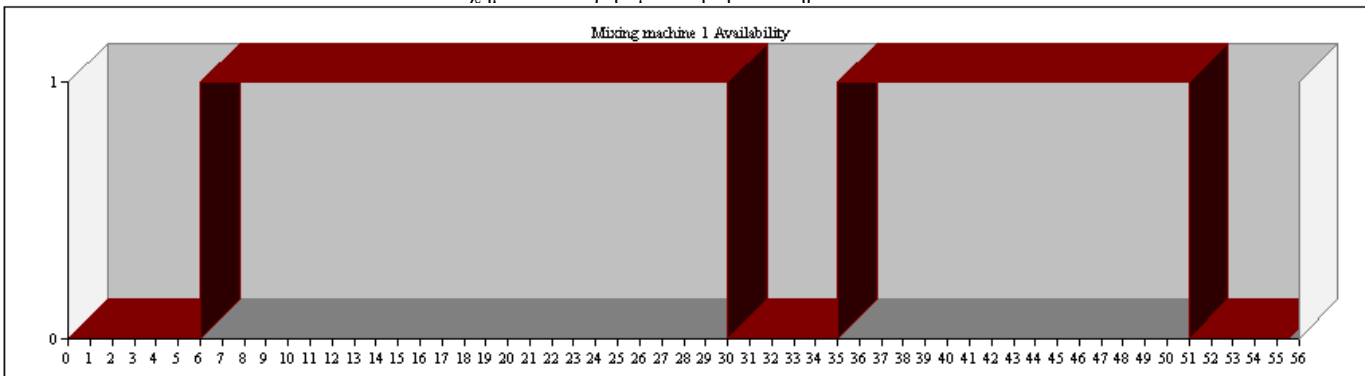
Σχήμα A.63 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 3



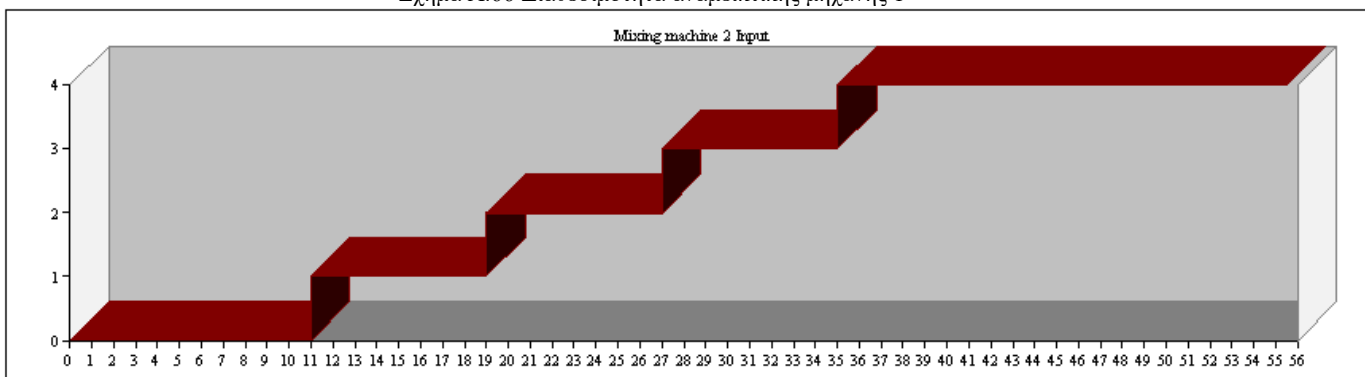
Σχήμα A.64 Είσοδος αναμεικτικής μηχανής 4



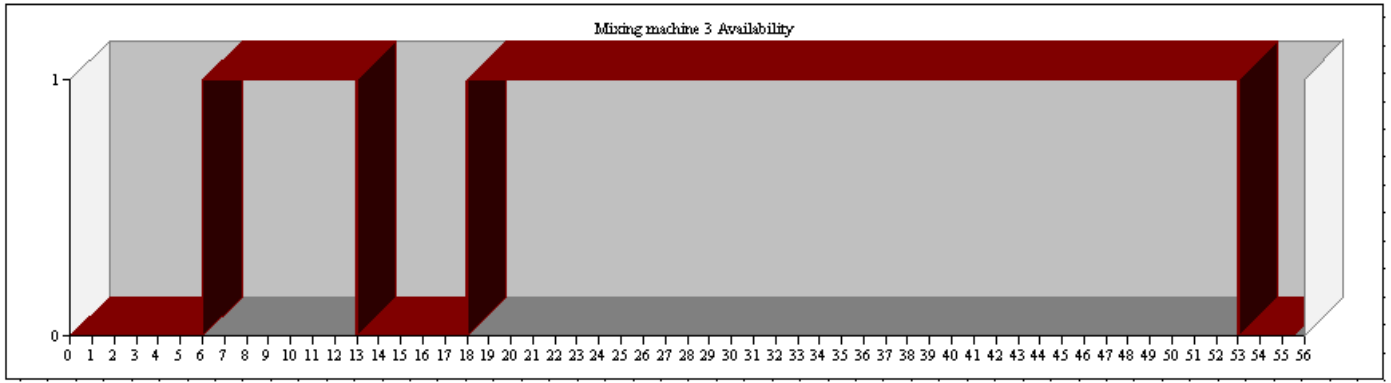
Σχήμα A.65 Χρησιμοποίηση πλυντηρίου



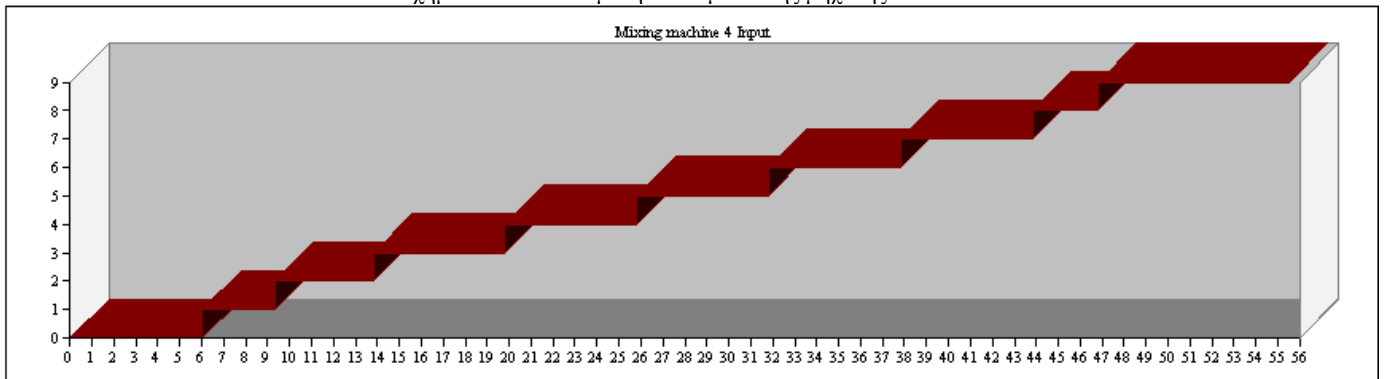
Σχήμα A.66 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 1



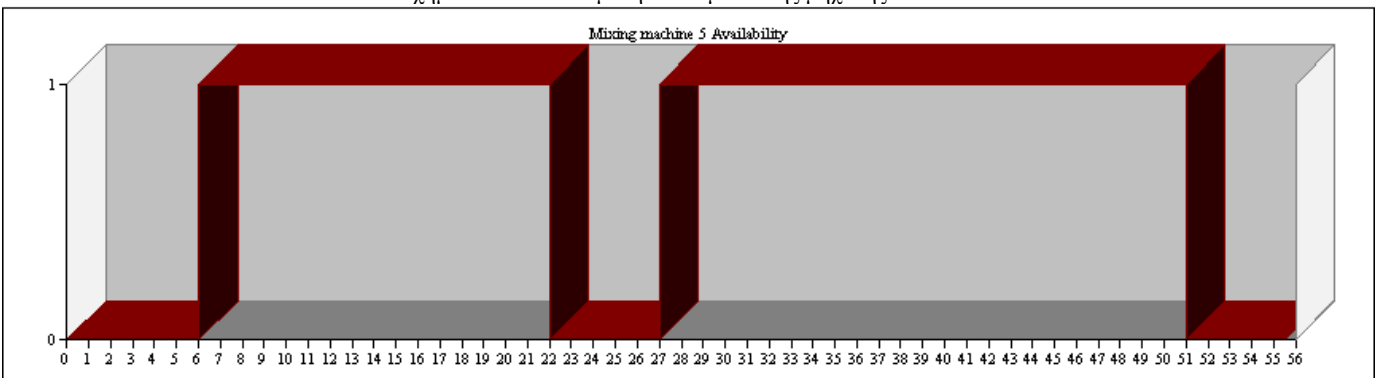
Σχήμα A.67 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 2



Σχήμα A.68 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 3



Σχήμα A.69 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 4



Σχήμα A.70 Διαθεσιμότητα αναμεικτικής μηχανής 5

Παράρτημα Β

OptQuest for arena

Η πρόσφατη ανάπτυξη στον τομέα της βελτιστοποίησης έχει επιτρέψει την δημιουργία ιδιοφυιών μεθόδων αναζήτησης ικανών, να βρουν βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη λύση (ή και λύσεις) σε πολύπλοκα προβλήματα, που περιλαμβάνουν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας. Συνήθως, οι βέλτιστες λύσεις μπορούν να βρεθούν ανάμεσα σε τεράστιες ομάδες πιθανών λύσεων, ακόμα και αν εξερευνάται μόνο ένα μικρό μέρος τους. Το OptQuest είναι το αποτέλεσμα εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών αναζήτησης σε συνδυασμό με προσομοιωτικά μοντέλα κατασκευασμένα για το Arena.

Μόλις έχει περιγραφεί σωστά το πρόβλημα προσομοίωσης (από άποψη επιλογής ελέγχων, αποκρίσεων, στόχου, και πιθανών περιορισμών), το Arena “καλείται” κάθε φορά που πρέπει να αξιολογηθεί μία διαφορετική ομάδα χειρισμών (ελέγχων). Η μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται από το OptQuest αξιολογεί τις αποκρίσεις από την τρέχουσα προσομοίωση, αναλύει και συνδυάζει αυτές με αποκρίσεις από προηγούμενες προσομοιώσεις και καθορίζει μία νέα ομάδα ελέγχων, που έπειτα αξιολογούνται “τρέχοντας” το μοντέλο του Arena. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία, που δημιουργεί επιτυχώς νέες ομάδες τιμών για τους ελέγχους, χωρίς απαραίτητα να βελτιώνονται όλοι, αλλά η οποία σε βάθος χρόνου εφοδιάζει με μία πολύ αποτελεσματική τροχιά προς την βέλτιστη λύση (ή λύσεις). Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ικανοποιηθεί μία συνθήκη τερματισμού (συνήθως σταματάει από έναν αριθμό προσομοιώσεων όπου το OptQuest θεωρεί ότι η στοχευόμενη τιμή σταμάτησε να βελτιώνεται). Ο τελικός στόχος είναι να βρεθεί λύση (ή λύσεις), που να βελτιστοποιούν (μεγιστοποιούν είτε ελαχιστοποιούν) την τιμή της μεταβλητής στόχου του μοντέλου.

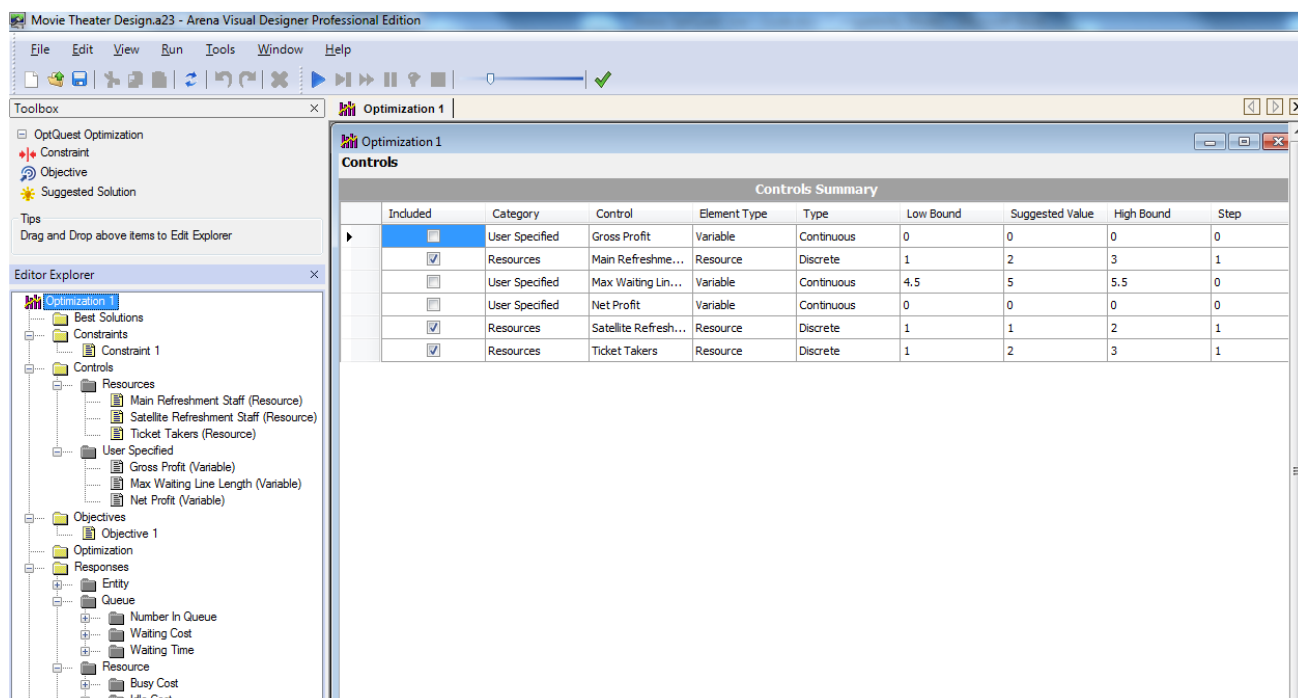
Μόλις το OptQuest τερματιστεί, οι τιμές των ελέγχων στο Arena επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση. Το OptQuest δεν επηρεάζει καθόλου το αρχικό μοντέλο του Arena.

Περιβάλλον χρήσης OptQuest

Το OptQuest για το Arena έχει μία δενδροειδή μορφή, που απεικονίζει τα στοιχεία του μοντέλου βελτιστοποίησης (ελέγχους, αποκρίσεις, περιορισμούς, στόχους, προτεινόμενες λύσεις και ιδιότητες διαμόρφωσης βελτιστοποίησης) σαν κλάδους σε μία κατασκευή δέντρου στο αριστερό παράθυρο. Όταν επιλεγεί, κάθε κλάδος απεικονίζει το συνοπτικό πλέγμα του στο δεξί παράθυρο. Οι καταχωρήσεις στο δέντρο που περιλαμβάνουν μία ένδειξη πρόσθεσης ή αφαίρεσης (+/-) πριν από το όνομα του περιγραφέα μπορούν να επεκταθούν ή να συμμαζευτούν, για να αποκαλύψουν ή να κρύψουν τις υποκατηγορίες. Επιλέγοντας το κύριο επίπεδο θα εμφανιστεί ένα συνοπτικό φύλλο, ενώ επιλέγοντας την υποκατηγορία θα εμφανιστεί ένα παράθυρο για επεξεργασία του επιλεγμένου κλάδου.

Κάποιοι μεμονωμένοι κλάδοι στο δέντρο θα εμφανίζουν ένα μενού επεξεργασίας με δεξί κλικ. Το κάθε ένα εκπροσωπεί μία δράση, που είναι συγκεκριμένη για αυτό το αντικείμενο του δέντρου. Για παράδειγμα ένα δεξί κλικ στο “Controls” απεικονίζει είτε “Select All” είτε “Remove

All”, αναλόγως της κατάστασης του δένδρου, ενώ ένα κλικ στα “Constraints” ή “Objectives” απεικονίζει μία επιλογή “Copy” ή “Delete”.



Σχήμα Β.1 OptQuest Overview

Οι στήλες κάθε συνοπτικού φύλλου μπορούν να αναδιαταχθούν απλά με κλικ στην επικεφαλίδα κάθε επιλεγμένης στήλης.

Κάθε καταχώρηση σε ένα παράθυρο επεξεργασίας αποθηκεύεται όταν κλείσει το παράθυρο επεξεργασίας ή αν πιάσουμε το πλήκτρο “Enter”, ακόμα και αν είναι λανθασμένο. Λανθασμένες πληροφορίες θα επισημαίνονται με κίτρινο χρώμα. Το κίτρινο χρώμα θα αφαιρεθεί, όταν εισαχθεί σωστή καταχώρηση.

Παράδειγμα: Mega movie model

Ο ευκολότερος τρόπος να γίνει κατανοητό το τι επιτυγχάνει το OptQuest είναι να εφαρμοστεί σε ένα πολύ απλό παράδειγμα. Η Mega Movie Corporation μελετά τον πιο αποτελεσματικό τρόπο τοποθέτησης του προσωπικού στο συγκρότημα του κινηματογράφου τους. Ο κύριος στόχος της εταιρείας είναι να μεγιστοποιηθούν τα καθαρά κέρδη, ενώ ο αριθμός των υπαλλήλων περιορίζεται σε οκτώ ανθρώπους. Υπάρχουν επιπλέον περιορισμοί προσωπικού, όπως αυτοί απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Staff	Lower Bound	Current Staffing	Upper Bound
Main Refreshment Staff	1	2	4
Satellite Refreshment Staff	1	1	4
Ticket Takers	1	2	3

Το πρόβλημα απόφασης είναι να διευθυνθεί το προσωπικό σε κάθε εργασία λαμβάνοντας υπόψιν το όριο του συνολικού αριθμού ανθρώπων.

Για να ανοίξει το πρώτο παράδειγμα:

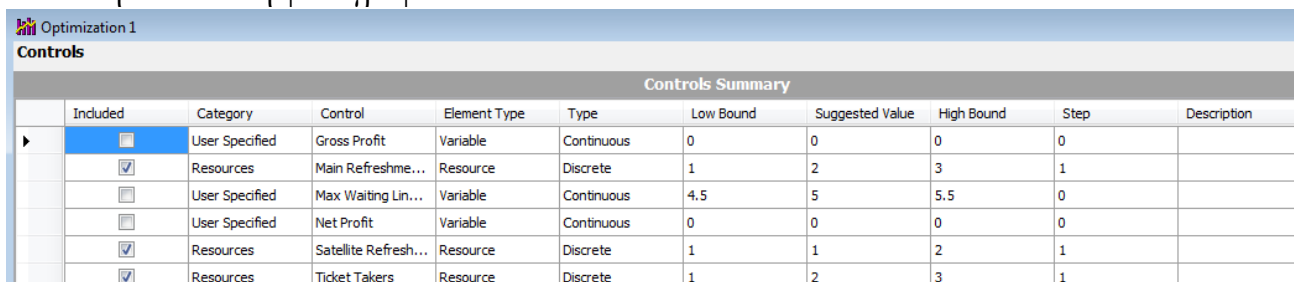
1. Ξεκινάμε το Arena.
2. Ανοίγουμε το “Movie theater Design.doe” μοντέλο από τον φάκελο παραδειγμάτων του Arena.

Πριν τρέξει το OptQuest, καθορίζονται οι πόροι της απόφασης και οι μεταβλητές. Σε αυτό το μοντέλο, το προσωπικό, που επιτελεί κάθε εργασία ορίζεται ως πόροι. Η ιδιότητα κάθε πόρου θα χρησιμοποιηθεί ως έλεγχος στην μελέτη βελτιστοποίησης

Τρέγοντας το OptQuest:

Για να τρέξει το OptQuest για το μοντέλο Movie theater Design

1. Εκκινούμε το OptQuest από το Arena επιλέγοντας “Tools” -> “OptQuest for arena”
Αυτό θα ανοίξει το αρχικό παράθυρο OptQuest.
2. Όταν ξεκινάμε ένα νέο αρχείο, το OptQuest εμφανίζει το πρώτο από τα κύρια παράθυρα χειρισμού. Θα ανοίξουμε αυτά τα παράθυρα με συγκεκριμένη σειρά σε αυτό το παράδειγμα, αλλά μπορούμε να ξαναανοίξουμε όποιο παράθυρο είτε από το δέντρο είτε διαλέγοντας από τις επιλογές του μενού “View”. Αρχικά ανοίγει η σύνοψη ελέγχων και δείχνει ένα πλέγμα μεταβλητών και πόρων του μοντέλου arena.
3. Επιλέγουμε controls για την βελτιστοποίηση. Επιλέγουμε “MAIN REFRESHMENT STAFF”, “SATELLITE REFRESHMENT STAFF”, και “TICKET TAKERS” για βελτιστοποίηση, κάνοντας κλικ στο αντίστοιχο κουτί ελέγχου στην στήλη “included”. Μπορούμε επίσης να σύρουμε το αντικείμενο ελέγχου από το δέντρο ελέγχων στο πλέγμα ελέγχων.
4. Τροποποιούμε τα όρια και τις προτεινόμενες τιμές για κάθε ένα από τους ελέγχους πόρων κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή, ή επιλέγοντας τον αντίστοιχο έλεγχο από το δέντρο. Οι τιμές μπορούν να εισαχθούν είτε απευθείας στα κελιά του πλέγματος είτε τροποποιώντας τις επιλογές στο παράθυρο “Properties”. Προσαρμόζουμε τα “UPPER BOUNDS” για το “MAIN REFRESHMENT STAFF” και “REFRESHMENT STAFF” για να ταιριάζουν με αυτά στην ακόλουθη φωτογραφία.

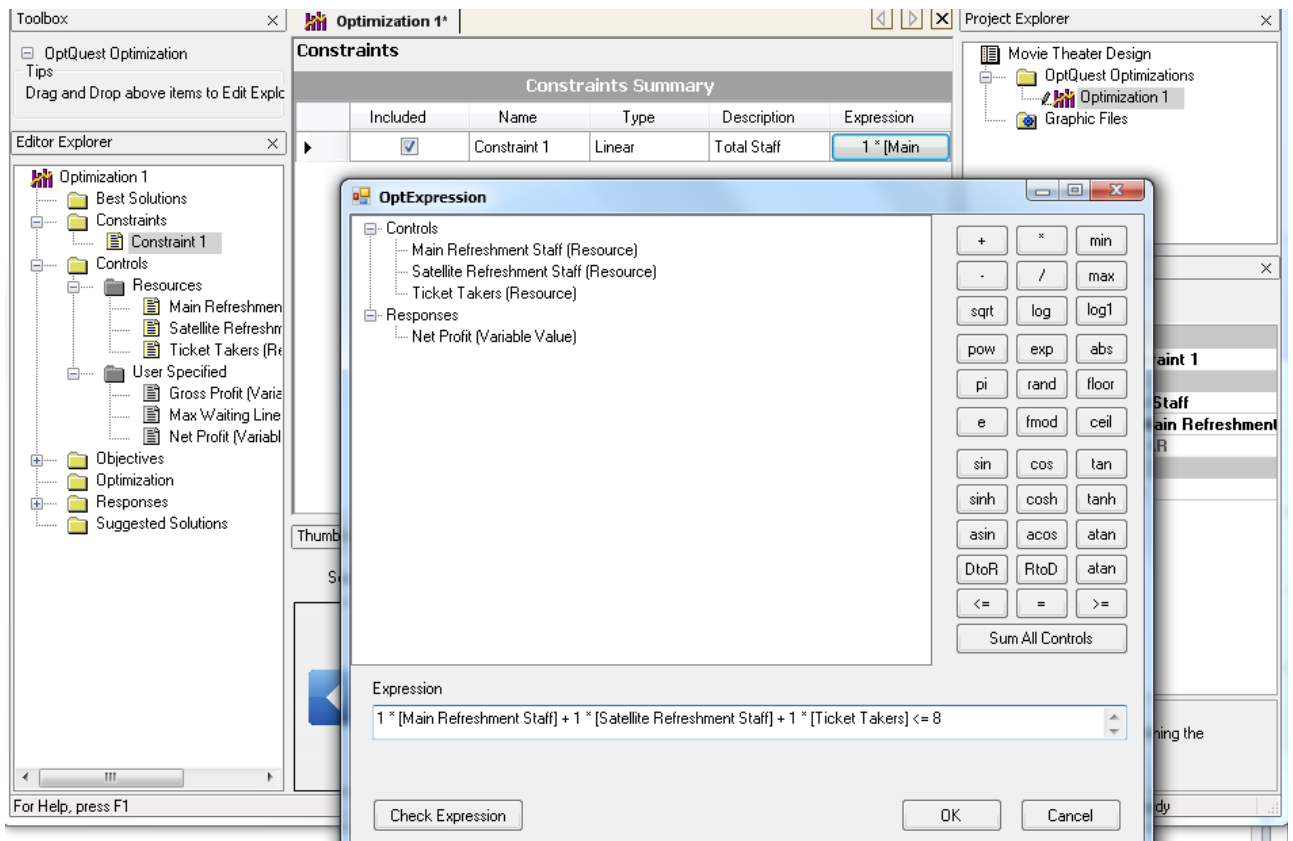


Optimization 1										
Controls										
Controls Summary										
	Included	Category	Control	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
	<input type="checkbox"/>	User Specified	Gross Profit	Variable	Continuous	0	0	0	0	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Resources	Main Refreshme...	Resource	Discrete	1	2	3	1	
	<input type="checkbox"/>	User Specified	Max Waiting Lin...	Variable	Continuous	4.5	5	5.5	0	
	<input type="checkbox"/>	User Specified	Net Profit	Variable	Continuous	0	0	0	0	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Resources	Satellite Refresh...	Resource	Discrete	1	1	2	1	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Resources	Ticket Takers	Resource	Discrete	1	2	3	1	

Σχήμα B.2 Controls summary

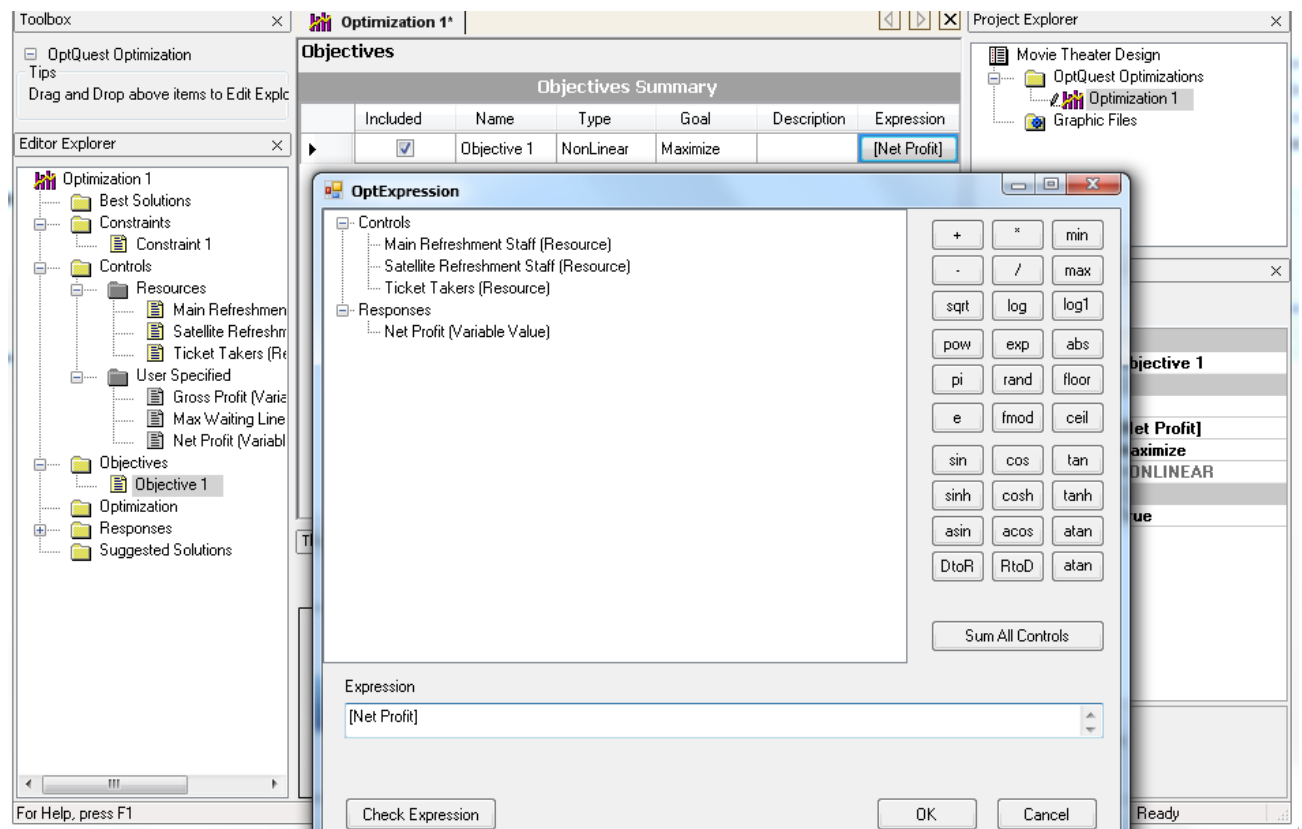
5. Μετά θα ανοίξουμε το παράθυρο “Responses Summary” επιλέγοντας τον κλάδο “responses” από το δέντρο για να εμφανιστούν τα αποτελέσματα ή οι έξοδοι από την προσομοίωση του Arena. Αυτή η έξοδος δεν μπορεί να τροποποιηθεί. Ωστόσο, η διοίκηση θέλει να μεγιστοποιήσουμε τα καθαρά κέρδη, οπότε θέλουμε να επιλέξουμε την μεταβλητή “Net Profit” επιλέγοντας το αντίστοιχο κουτί στην στήλη “Included”. Μπορούμε να αναδιατάξουμε την λίστα κάνοντας αριστερό κλικ στον τίτλο “Included” ώστε να εμφανιστεί η μεταβλητή “Net Profit” στην κορυφή της λίστας.
6. Επιλέγουμε τον κλάδο “Constraints” από το δέντρο για να εμφανιστεί το πλέγμα “Constraint Summary”. Το “Constraint” θα εμφανιστεί στο παράθυρο “constraint summary” όπου θα ορίσουμε την έκφραση του. Από την στιγμή, που το συνολικό προσωπικό δεν πρέπει, να ξεπεράσει τους οχτώ ανθρώπους, πρέπει να προσθέσουμε ένα constraint που να περιορίσει την αναζήτηση λύσεων, που ικανοποιεί τον περιορισμό της διοίκησης. “Σέρνουμε” έναν “Constraint” από το “κουτί εργαλείων” (tool box) στο παράθυρο “Editor Explorer” για να προσθέσουμε ένα “Constraint”. Εισάγουμε έναν “constraint” με το όνομα “Constraint 1”, που να αντιπροσωπεύει το συνολικό προσωπικό. Μπορούμε να ονοματίσουμε “Total Staff” στο πεδίο “Description”. Ανοίγουμε το “Expression Builder” επιλέγοντας το κελί “Expression” από το πλέγμα, ή πιέζοντας το πλήκτρο “...” . Τροποποιούμε την γραμμή “Expression” επιλέγοντας “<=” και τυπώνοντας 8 για να ολοκληρωθεί η είσοδος. Η νέα είσοδος θα πρέπει να φαίνεται ως:

$$1 * [\text{Main Refreshment Staff}] + 1 * [\text{Satellite Refreshment Staff}] + 1 * [\text{Ticket Takers}] \leq 8$$



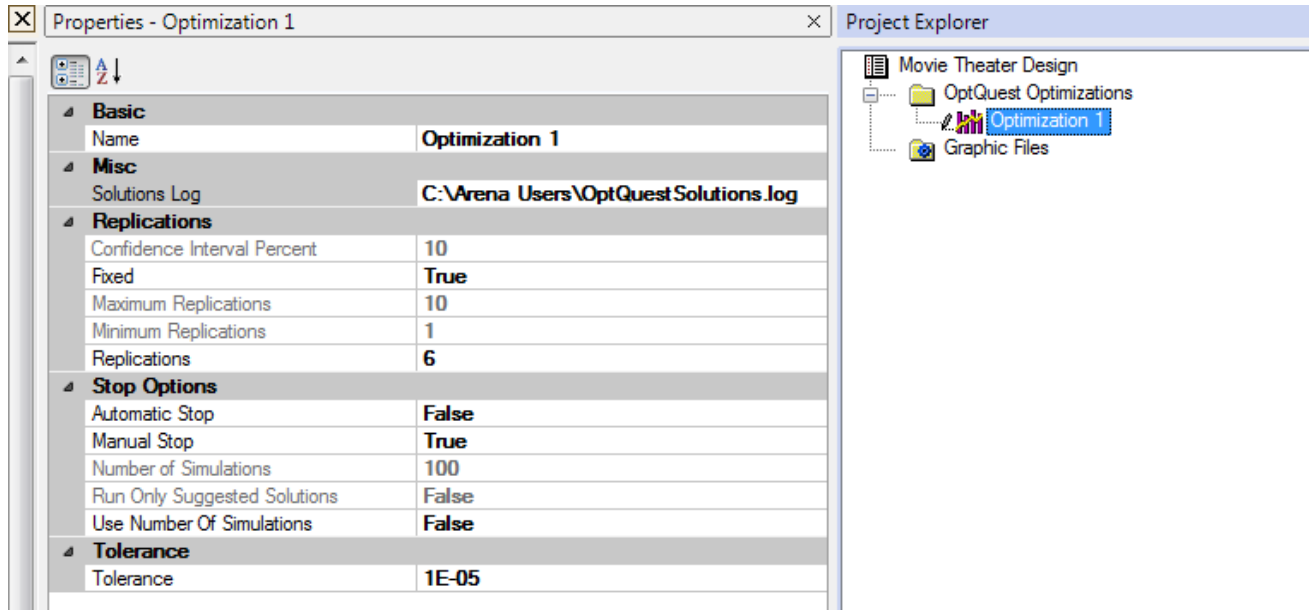
Σχήμα B.3 Constraint Expression editor

7. Μετά θα ορίσουμε “objective” , οπότε επιλέγουμε “Objectives” από το “Toolbox” και εισάγουμε ένα “objective” στον “editor explorer”. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η διοίκηση θέλει να μεγιστοποιήσει τα καθαρά κέρδη. Για να το επιτύχουμε αυτό, θα χρησιμοποιήσουμε την μεγιστοποίηση της μεταβλητής “Net Profit” σαν “objective” για το μοντέλο βελτιστοποίησης. Για να ορίσουμε “Objective”, επιλέγουμε το κουτί “Included” (Θα αποδεχτούμε το προκαθορισμένο όνομα). Για το πεδίο “Expression”, επιλέγουμε την μεταβλητή “Net Profit”. Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την ορθότητα της έκφρασης κάνοντας αριστερό κλικ στην επιλογή “Check Expression”.



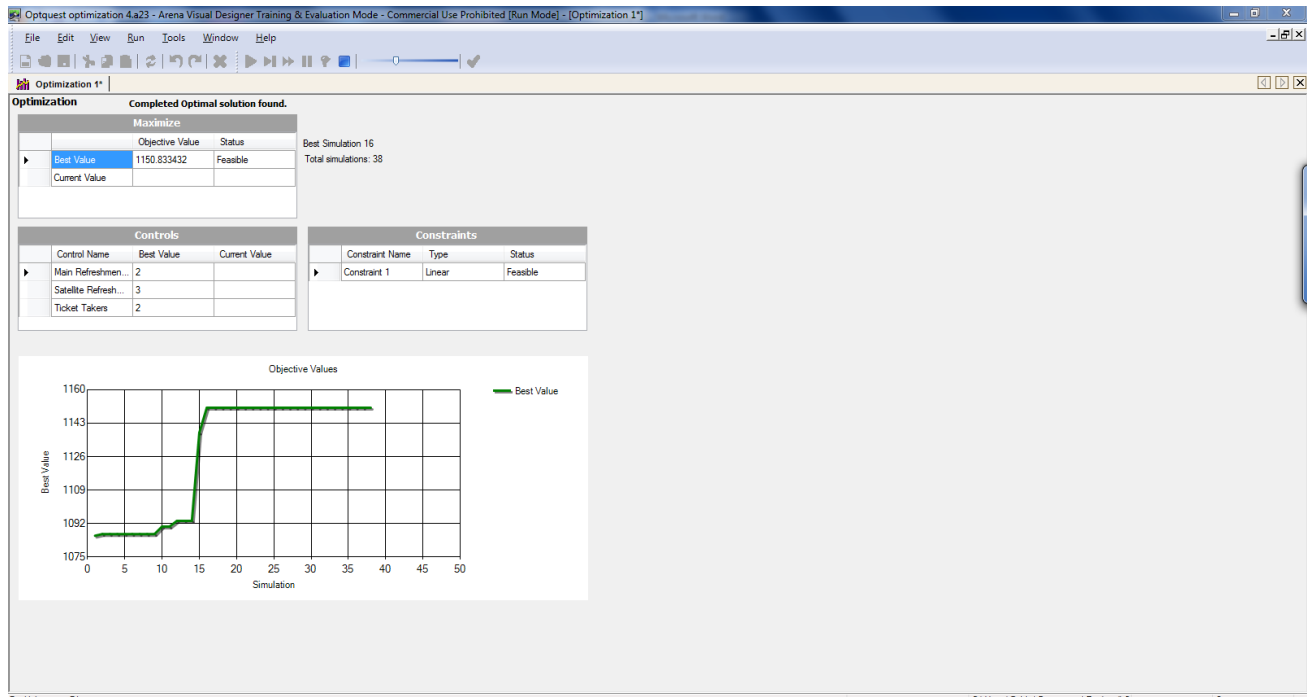
Σχήμα Β.4 Objective Expression editor

8. Για να ορίσουμε διάφορες επιλογές βελτιστοποίησης, κάνουμε δεξί κλικ στο “Optimization” στο “Project Explorer” και επιλέγουμε “Properties”. Για τον οδηγό του “Movie Theater Design” θα αποδεχτούμε τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις και να πατήσουμε απλά Run->Go.



Σχήμα B.5 Simulation settings

Όσο τρέχει η βελτιστοποίηση, το παράθυρο “optimization” δείχνει την πρόοδο της αναζήτησης. Το πλέγμα στην κορυφή δείχνει την καλύτερη τιμή “Objective” που έχει βρεθεί ως τώρα, καθώς επίσης και την τιμή του “objective” για την τρέχουσα λύση. Το πλέγμα “Controls” εμφανίζει τις τιμές κάθε ελέγχου για την βέλτιστη λύση και την τρέχουσα λύση. Αν έχουν οριστεί περιορισμοί, το πλέγμα “Constraints” θα μας πει, αν η βέλτιστη λύση ικανοποιεί τον περιορισμό (ένδειξη “feasible”) ή αν παραβιάζει τον ορισμένο περιορισμό. (ένδειξη “infeasible”). Το γράφημα στο κάτω μέρος σχεδιάζει τις καλύτερες τιμές του “Objective” για κάθε προσομοίωση.



Σχήμα B.6 optimization screen

Κατά την ολοκλήρωση της βελτιστοποίησης θα εμφανιστούν οι 25 καλύτερες λύσεις. Η πρώτη γραμμή στο πλέγμα θα είναι η καλύτερη λύση, η δεύτερη σειρά η δεύτερη καλύτερη λύση κ.ο.κ. Στο παράδειγμα “Movie Theater Design”, βρέθηκε μία άριστη λύση. Οι βέλτιστες λύσεις συνοψίζονται σε έναν πίνακα λύσεων, όπως αυτός φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Included	Simulation	Objective Value	Status	Main Refreshment	Satellite	Ticket Takers
<input type="checkbox"/>	16	1150.833432	Feasible	2	3	2
<input type="checkbox"/>	15	1138.156576	Feasible	2	4	2
<input type="checkbox"/>	28	1134.526289	Feasible	3	2	3
<input type="checkbox"/>	20	1122.225495	Feasible	3	1	2
<input type="checkbox"/>	23	1120.231965	Feasible	2	2	2
<input type="checkbox"/>	17	1116.253247	Feasible	1	4	2
<input type="checkbox"/>	18	1103.115663	Feasible	3	2	2
<input type="checkbox"/>	12	1093.315394	Feasible	4	1	2
<input type="checkbox"/>	10	1090.394230	Feasible	1	3	2
<input type="checkbox"/>	26	1087.681363	Feasible	3	1	3
<input type="checkbox"/>	2	1086.611285	Feasible	3	3	2
<input type="checkbox"/>	1	1085.751724	Feasible	2	1	2
<input type="checkbox"/>	3	1072.784911	Feasible	4	2	2
<input type="checkbox"/>	11	1065.494783	Feasible	2	3	3
<input type="checkbox"/>	13	1063.717672	Feasible	3	1	1
<input type="checkbox"/>	37	1060.005051	Feasible	1	3	3
<input type="checkbox"/>	29	1059.347625	Feasible	2	2	1
<input type="checkbox"/>	6	1057.242904	Feasible	1	4	3
<input type="checkbox"/>	14	1056.997230	Feasible	1	3	1
<input type="checkbox"/>	34	1048.876315	Feasible	1	4	1
<input type="checkbox"/>	5	1048.315824	Feasible	4	1	3
<input type="checkbox"/>	21	1047.049760	Feasible	1	2	2
<input type="checkbox"/>	9	1044.054184	Feasible	2	2	3
<input type="checkbox"/>	27	1038.585344	Feasible	3	2	1
<input type="checkbox"/>	35	1032.288037	Feasible	4	1	1

Σχήμα Β.7 Πίνακας λύσεων

Μπορούμε να εξετάσουμε μία συγκεκριμένη λύση πιο λεπτομερώς επιλέγοντας την λύση από το πλέγμα. Θα εμφανιστούν οι λεπτομέρειες κάθε λύσης που θα επιλεγεί, συμπεριλαμβανομένων των τιμών κάθε περιορισμού, που έχει καθοριστεί. Πρέπει, να σημειωθεί ότι η πρώτη λύση που εξετάζεται από το OptQuest αποτελείται από τις αρχικές τιμές ελέγχων του μοντέλου. Διαφορετικές αρχικές τιμές μπορούν να δώσουν διαφορετική ακολουθία λύσεων καθώς επίσης και διαφορετική βέλτιστη λύση. Για αυτό τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι ακριβώς ίδια με τα παραπάνω, όταν τρέξετε το παράδειγμα. Για αυτή την βελτιστοποίηση βλέπουμε, ότι η καλύτερη κατανομή είναι 2 εργαζόμενοι στο “main refreshment stand”, 3 εργαζόμενοι στο “satellite refreshment stand” και 2 εργαζόμενοι “ticket takers”.

Κλείνοντας το παράδειγμα:

Για να κλείσουμε το πρώτο παράδειγμα επιλέγουμε “File” -> “Exit”, όταν το OptQuest θα μας προτρέψει να σώσουμε το αρχείο βελτιστοποίησης πριν το κλείσουμε θα επιλέξουμε “No”. Το αρχείο βελτιστοποίησης “Movie Theater Design1.a23” περιλαμβάνεται ήδη στον φάκελο “Examples”.

Βιβλιογραφία

1. Μ.Σαμουηλίδης, Κ.Βλάχος, Ι.Ψαρράς, Συστήματα Αποφάσεων, ΕΜΠ 1986
2. Ι.Ψαρράς, Δ.Ασκούνης, Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών, ΕΜΠ 2001
3. Φ.Πετρόπουλος, Β.Ασημακόπουλος, Επιχειρησιακές Προβλέψεις 2011
4. Richard Bronson, Govindasami Naadimuthu, Schaum's Outline of Operations Research 2010
5. F. Robert Jacobs, Richard Chase, Operations and Supply Chain Management, 2012
6. Russell L. Ackoff, Maurice W. Sasieni, Fundamentals of Operations Research, 1968
7. Giovanni Parmigiani, Lurdes Inoue, Decision Theory Principles and Approaches 2009
8. Bruno G. Rüttimeann, Lean Compendium: Introduction to Modern Manufacturing Theory, 2018
9. Getting Started with Arena, PUBLICATION ARENA 2010
10. OptQuest for Arena User's Guide, PUBLICATION ARENAO 2012
11. Packaging Template User's Guide, PUBLICATION ARENPK 2012
12. Template Developer's Guide, PUBLICATION ARENDG 2012
13. Variables Guide, PUBLICATION ARENAV 2012