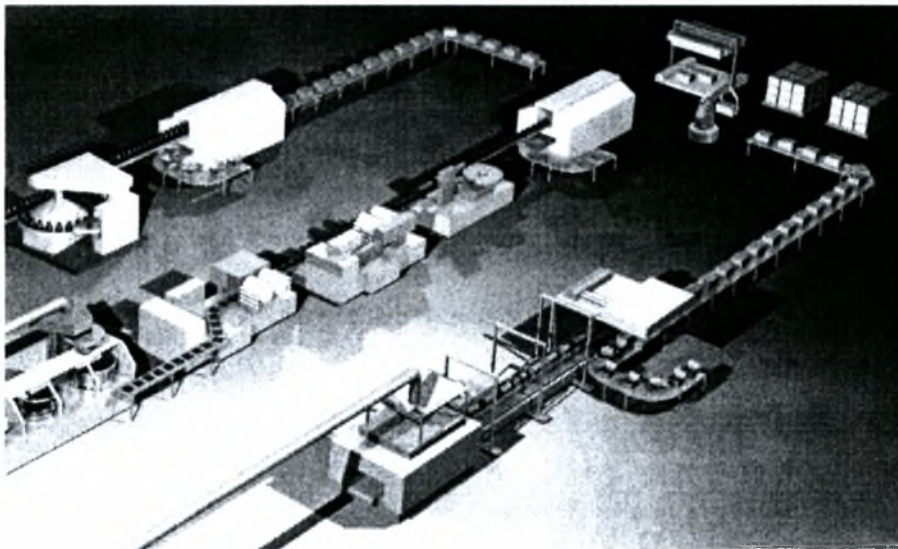


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ: ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Μεταπτυχιακή Εργασία**

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**

**ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**  
**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ**



**ΜΟΣΧΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

Διπλωματούχος Μηχανολόγος & Αεροναυπηγός Μηχανικός

Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πάτρας, 2004

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βόλος 2006



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4849/1  
Ημερ. Εισ.: 21-11-2006  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
664  
ΜΟΣ

© 2006 Νικόλαος Μοσχόπουλος

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

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Πενταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

### Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)

Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Διοίκησης Παραγωγής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Δεύτερος Εξεταστής

Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Βελτιστοποίησης Συστημάτων Παραγωγής / Μεταφορών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Τρίτος Εξεταστής

Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης

Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Τέταρτος Εξεταστής

Δρ. Δημήτριος Παντελής

Διδάσκων ΠΔ 407/80, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### Πέμπτος Εξεταστής

Δρ. Αναστάσιος Σταματέλλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Μηχανών Εσωτερικής Καύσης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Γεώργιο Μιχαϊλίδη, Νικόλαο Γεωργίου, Βασίλειο Κωνσταντίνου και Μιχαήλ Ιωάννου για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Επίσης, ευχαριστώ την Ευανθία Τσομίδα για την κατανόησή της, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Δημήτριο και Ιωάννα Μοσχόπουλου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους τα 2 αυτά χρόνια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Αφιερώνω αυτήν τη μεταπτυχιακή εργασία στους γονείς μου.

Νίκος Μοσχόπουλος

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**  
**ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**  
**ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΚΑΤΕΨΥΓΜΕΝΩΝ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΟΣΧΟΠΟΥΛΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 2006

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος,

Αναπληρωτής Καθηγητής Συστημάτων Παραγωγής

**Περίληψη**

Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο πρόβλεψης της απόδοσης ενός συστήματος καθώς και της κατανόησης λειτουργίας του. Σε αυτήν τη μεταπτυχιακή εργασία μοντελοποιούμε και τη γραμμή παραγωγής Νο1 και τις γραμμές συσκευασίας Νο1 και Νο4 της βιομηχανίας τροφίμων Γενική Τροφίμων Α.Ε. Συγκεκριμένα, κατασκευάζουμε ένα αποτελεσματικό εργαλείο διαχείρισης και δοκιμών διαφορετικών σεναρίων παραγωγής και κατανόησης των παραγωγικών διεργασιών των παραπάνω γραμμών. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να προσδιορίσουμε το χρόνο υλοποίησης διάφορων προγραμμάτων παραγωγής ή/και με αλλαγές συγκεκριμένων παραμέτρων να προβλεφθούν μελλοντικές εφικτές τροποποιήσεις του συστήματος. Επίσης, τα μοντέλα που αναπτύσσονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρότυπα για ανάλυση παρόμοιων διεργασιών σε βιομηχανίες υψηλών ρυθμών παραγωγής.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο.....	1
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	1
1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	2
<b>Κεφάλαιο 2: Προσομοίωση.....</b>	<b>4</b>
2.1 Κατηγορίες Συστημάτων.....	4
2.2 Διαδικασία Προσομοίωσης.....	6
2.3 Προσομοίωση Συστημάτων Υψηλού Ρυθμού.....	6
2.3.1 Υψηλής Ταχύτητας Εφαρμογές.....	7
2.3.2 Θεωρήσεις για τη Μοντελοποίηση Υψηλού Ρυθμού Συστημάτων.....	8
2.3.3 Συνδυασμός Συνεχών και Διακριτών Διεργασιών.....	8
2.3.4 Προσομοιωτής με Διακριτές Ικανότητες.....	10
2.3.5 Συμπεράσματα.....	12
<b>Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του Πακέτου Προσομοίωσης.....</b>	<b>13</b>
3.1 Γενικές Ιδέες του Προτύπου Προσομοίωσης.....	13
3.2 Μεθοδολογία Μοντελοποίησης.....	14
3.3 Απαραίτητα Στοιχεία κατά την Προσομοίωση.....	18
3.3.1 Ιμάντας (Conveyor).....	18
3.3.2 Σύνδεση ιμάντα (Conveyor Link).....	19
3.3.3 Μηχανή (Machine) .....	20
3.3.4 Σύνδεση Μηχανής (Machine Link) .....	25
3.3.5 Παλετοποιητής (Palletizer) και Αποπαλετοποιητής (Depalletizer).....	25
3.3.6 Προϊόν (Product) .....	30
3.3.7 Σχέδια Παραγωγής (Production Plans) .....	30
3.3.8 Εντολή “Προσομοίωσε” (Simulate).....	31
3.3.9 Αποθήκη (Storage).....	31
3.3.10 Διακόπτης (Switch).....	32
3.3.11 Δεξαμενή (Tank).....	32

3.3.12	Βαλβίδα (Valve).....	33
3.4	Κοινές Επιλογές Λειτουργίας των Στοιχείων.....	33
3.4.1	Δράσεις (Actions).....	33
3.4.2	Σχηματική Απεικόνιση (Animation).....	34
3.4.3	Ελεγκτές (Controls).....	34
3.4.4	Απώλεια (Loss).....	34
3.4.5	Παραγωγή και Αλλαγές της (Production and Changeovers).....	34
3.4.6	Αξιοπιστία (Reliability).....	35
3.4.7	Εκτέλεση (Run).....	35
3.4.8	Προγραμματισμένα Σταματήματα (Scheduled Stops).....	35
3.4.9	Sensors dialog.....	36
3.5	Αξιοπιστία και Απώλεια Παραγωγής.....	36
3.5.1	Αξιοπιστία (Reliability).....	36
3.5.2	Απώλεια παραγωγής (Loss).....	39
<b>Κεφάλαιο 4: Περιγραφή Γραμμών Παραγωγής και Συσκευασίας.....</b>		<b>40</b>
4.1	Γραμμή Παραγωγής Νο1 (αρίθμηση: A01 έως A45).....	40
4.2	Γραμμή Συσκευασίας Νο1 (αρίθμηση: P50 έως P61).....	44
4.3	Γραμμή Συσκευασίας Νο4 (αρίθμηση: P75 έως P81).....	46
<b>Κεφάλαιο 5: Αναλυτική Μοντελοποίηση των Γραμμών.....</b>		<b>50</b>
5.1	Μοντελοποίηση Γραμμής Παραγωγής Νο1.....	50
5.2	Μοντελοποίηση Γραμμής Συσκευασίας Νο1.....	67
5.2.1	Σενάριο 1.....	67
5.2.2	Σενάριο 2.....	80
5.3	Μοντελοποίηση Γραμμής Συσκευασίας Νο4.....	89
5.3.1	Σενάριο 1.....	89
5.3.2	Σενάριο 2.....	99
<b>Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....</b>		<b>109</b>
6.1	Επιλογή Τύπου Προσομοίωσης.....	109
6.2	Εκτίμηση Παραμέτρων.....	109
6.3	Ερμηνεία Αποτελεσμάτων.....	111

6.3.1	Γραμμή Παραγωγής Νο1.....	115
6.3.2	Γραμμή Συσκευασίας Νο1.....	118
	> Σενάριο 1.....	118
	> Σενάριο 2.....	120
6.3.3	Γραμμή Συσκευασίας Νο4.....	122
	> Σενάριο 1.....	122
	> Σενάριο 2.....	123
6.4	Συμπεράσματα.....	125
<b>Κεφάλαιο 7: Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας.....</b>		<b>129</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>		<b>131</b>

## **Παράρτημα (αρχεία σε ηλεκτρονική μορφή στο cd-rom)**

### **Παράρτημα Α – Μοντέλα των Γραμμών στο Arena**

Production Line 1.doe

Packaging Line 1.doe

Packaging Line 1v2.doe

Packaging Line 4.doe

Packaging Line 4v2.doe

### **Παράρτημα Β – Αποτελέσματα και Μοντέλα Συγκρίσεων (ένδειξη alternative)**

Production Line 1.doe, Production Line 1 (alternative).doe

Production Line 1 Results, Production Line 1 Results (alternative) – μορφή pdf και xls

Packaging Line 1.doe

Packaging Line 1 Results – μορφή pdf και xls

Packaging Line 1v2.doe

Packaging Line 1v2 Results – μορφή pdf και xls

Packaging Line 4.doe, Production Line 4 (alternative).doe

Packaging Line 4 Results, Production Line 4 Results (alternative) – μορφή pdf και xls

Packaging Line 4v2.doe

Packaging Line 4v2 Results – μορφή pdf και xls

### **Παράρτημα Γ – Εφαρμογή Υπολογισμού Παραμέτρων των Μοντέλων**

Technical Features of Equipment.xls



## Κατάλογος πινάκων

### Γραμμή Παραγωγής Νο1

Πίνακας 5-1: Χρόνοι Λειτουργίας Σταθμών A11, A2 & Ρυθμός Παραγωγής Γραμμής.....	51
Πίνακας 5-2: Αριθμός Φορητών στην Ουρά.....	57
Πίνακας 5-3: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή.....	58
Πίνακας 5-4: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων A40_A42_A38_A37_A36_A32.....	59
Πίνακας 5-5: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Πλυντηρίου A30 και Αντλίας A31.....	59
Πίνακας 5-6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Προκοπτικών και Ακροκοπτικών A23 – A16.....	60
Πίνακας 5-7: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βραστήρα A11.....	62
Πίνακας 5-8: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων A10_A9_A8_A7_A6_A5.....	62
Πίνακας 5-9: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Καταψύκτη A2.....	64
Πίνακας 5-10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή.....	65
Πίνακας 5-11: Χωρητικότητα Αποθήκης 1.....	65

### Γραμμή Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 1)

Πίνακας 5-12: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων.....	67
Πίνακας 5-13: Σχέδιο Παραγωγής και Χρόνοι Προετοιμασίας Γραμμής ανά Προϊόν.....	68
Πίνακας 5-14: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βαλβίδας.....	71
Πίνακας 5-15: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεξαμενής.....	71
Πίνακας 5-16: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Πακέτων P54.....	72
Πίνακας 5-17: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P54.....	73
Πίνακας 5-18: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P55_P56.....	74
Πίνακας 5-19: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Εγκιβωτισμού P57_P58.....	75
Πίνακας 5-20: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P59.....	75
Πίνακας 5-21: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή.....	77
Πίνακας 5-22: Χωρητικότητα Αποθήκης 1.....	77

### Γραμμή Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 2)

Πίνακας 5-23: Χωρητικότητα Αποθήκης 1.....	81
Πίνακας 5-24: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή.....	82
Πίνακας 5-25: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P50_P51_P52_P53.....	83
Πίνακας 5-26: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P54.....	84

Πίνακας 5-27: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P55_P56.....	84
Πίνακας 5-28: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Εγκιβωτισμού P57_P58.....	85
Πίνακας 5-29: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P59.....	86
Πίνακας 5-30: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κλειστικού – Εκτυπωτικού P60_P61.....	86
Πίνακας 5-31: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ράουλων.....	87
Πίνακας 5-32: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή.....	88
Πίνακας 5-33: Χωρητικότητα Αποθήκης 2.....	88
<b><u>Γραμμή Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 1)</u></b>	
Πίνακας 5-34: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων.....	89
Πίνακας 5-35: Σχέδιο Παραγωγής και Χρόνοι Προετοιμασίας Γραμμής ανά Προϊόν.....	90
Πίνακας 5-36: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βαλβίδας.....	93
Πίνακας 5-37: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεξαμενής.....	93
Πίνακας 5-38: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Πακέτων P78_P79.....	94
Πίνακας 5-39: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P78_P79.....	95
Πίνακας 5-40: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P80.....	96
Πίνακας 5-41: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή.....	97
Πίνακας 5-42: Χωρητικότητα Αποθήκης 1.....	97
<b><u>Γραμμή Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 2)</u></b>	
Πίνακας 5-43: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων και Μέγεθος Συσκευασίας.....	99
Πίνακας 5-44: Σχέδιο Παραγωγής, Πολλαπλασιαστής και Χρόνοι Προετοιμασίας.....	100
Πίνακας 5-45: Χωρητικότητα Αποθήκης 1.....	102
Πίνακας 5-46: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή.....	103
Πίνακας 5-47: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P75_P76_P77.....	104
Πίνακας 5-48: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P78_P79.....	105
Πίνακας 5-49: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P80.....	105
Πίνακας 5-50: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διακόπτη.....	105
Πίνακας 5-51: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων Α και Β.....	106
Πίνακας 5-52: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή Α.....	106
Πίνακας 5-53: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή Β.....	107
Πίνακας 5-54: Χωρητικότητα Αποθήκης 2.....	107

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2-1: Τρόποι Μελέτης Λειτουργίας Ενός Συστήματος.....	5
Σχήμα 2-2: Προσέγγιση Ανάπτυξης Μοντέλου Προσομοίωσης.....	11
Σχήμα 3-1: Βήματα Ανάπτυξης Μοντέλου.....	14
Σχήμα 3-2: Τυπικό Διάγραμμα Ανάπτυξης Μοντέλου.....	15
Σχήμα 3-3: Δομή Προτύπου Προσομοίωσης.....	16
Σχήμα 3-4: Ιμάντας Συγκέντρωσης.....	18
Σχήμα 3-5: Απεικόνιση Ιμάντα στο Μοντέλο.....	19
Σχήμα 3-6: Σύνδεση Ιμάντα.....	20
Σχήμα 3-7: Βασική Μηχανή.....	20
Σχήμα 3-8: Απεικόνιση Βασικής Μηχανής στο Μοντέλο.....	21
Σχήμα 3-9: Μηχανή Συναρμολόγησης.....	22
Σχήμα 3-10: Απεικόνιση Μηχανής Συναρμολόγησης στο Μοντέλο.....	22
Σχήμα 3-11: Μηχανή Γεμίσματος.....	23
Σχήμα 3-12: Απεικόνιση Μηχανής Γεμίσματος στο Μοντέλο.....	23
Σχήμα 3-13: Μηχανής Ιμάντας.....	24
Σχήμα 3-14: Απεικόνιση Μηχανής Ιμάντα στο Μοντέλο.....	24
Σχήμα 3-15: Σύνδεση Μηχανής.....	25
Σχήμα 3-16: Αρχή Λειτουργίας Παλετοποιητή.....	26
Σχήμα 3-17: Απεικόνιση Παλετοποιητή στο μοντέλο.....	28
Σχήμα 3-18: Αρχή Λειτουργίας Αποπαλετοποιητή.....	29
Σχήμα 3-19: Απεικόνιση Προϊόντων και Σχεδίου Παραγωγής στο Μοντέλο.....	30
Σχήμα 3-20: Εντολή “Προσομοίωσε”.....	31
Σχήμα 3-21: Απεικόνιση Αποθήκης στο Μοντέλο.....	31
Σχήμα 3-22: Απεικόνιση Διακόπτη στο Μοντέλο.....	32
Σχήμα 3-23: Απεικόνιση Δεξαμενής στο Μοντέλο.....	33
Σχήμα 3-24: Απεικόνιση Βαλβίδας στο Μοντέλο.....	33
Σχήμα 3-25: Προσδιορισμός Αξιοπιστίας στο Μοντέλο.....	37
Σχήμα 3-26: Προσδιορισμός Απώλειας Παραγωγής στο Μοντέλο.....	39
Σχήμα 4-1: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Παραγωγής Νο1.....	47

<b>Σχήμα 4-2: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο1.....</b>	<b>48</b>
<b>Σχήμα 4-3: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο4.....</b>	<b>49</b>
<b>Σχήμα 5-1: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Παραγωγής Νο1.....</b>	<b>52</b>
<b>Σχήμα 5-2α: Απεικόνιση 1<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1.....</b>	<b>53</b>
<b>Σχήμα 5-2β: Απεικόνιση 2<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1.....</b>	<b>54</b>
<b>Σχήμα 5-2γ: Απεικόνιση 3<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1.....</b>	<b>55</b>
<b>Σχήμα 5-3: Απεικόνιση Συνολικής Γραμμής Παραγωγής Νο1.....</b>	<b>56</b>
<b>Σχήμα 5-4: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο1.....</b>	<b>69</b>
<b>Σχήμα 5-5: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 1).....</b>	<b>70</b>
<b>Σχήμα 5-6: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 2).....</b>	<b>81</b>
<b>Σχήμα 5-7: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο4.....</b>	<b>91</b>
<b>Σχήμα 5-8: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 1).....</b>	<b>92</b>
<b>Σχήμα 5-9: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 2).....</b>	<b>101</b>

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, παραθέτουμε μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της.

## 1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο πρόβλεψης της απόδοσης ενός συστήματος, καθώς και της κατανόησης λειτουργίας του. Μας επιτρέπει να δοκιμάζουμε διάφορα σχέδια συστημάτων πριν την υλοποίησή τους και να μειώνουμε τους κινδύνους που σχετίζονται με την εγκατάσταση νέων συστημάτων ή την τροποποίηση των ήδη υπάρχοντων. Έχοντας ως βάση το τελευταίο επιχείρημα, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ενός γενικού εικονικού μοντέλου περιγραφής των παραγωγικών διεργασιών της Γενικής Τροφίμων Α.Ε.

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία συνεισφέρει στην κατασκευή ενός αποτελεσματικού εργαλείου διαχείρισης και δοκιμών διαφορετικών σεναρίων παραγωγής και κατανόησης των παραγωγικών διεργασιών της γραμμής παραγωγής Νο1 και γραμμών συσκευασίας Νο1 και Νο4 του εργοστασίου. Μας βοηθάει, επίσης, να προσδιορίσουμε το χρόνο υλοποίησης διάφορων προγραμμάτων παραγωγής. Τέλος, το μοντέλο μπορεί να δράσει σαν ένα αποτελεσματικό εργαλείο ελέγχου αλλαγών στις παραμέτρους του, ώστε να προβλεφθούν μελλοντικές εφικτές τροποποιήσεις του συστήματος και των διεργασιών και να παρατηρηθούν οι αντίστοιχες επιπτώσεις τους.

## 1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Αρκετές μελέτες αναφέρονται στην προσομοίωση και τη διαδικασία υλοποίησής της. Ο Κουϊκόγλου Β. [2] ορίζει την προσομοίωση, αναλύει τις κατηγορίες συστημάτων της και παραθέτει το πεδίο εφαρμογών της. Επίσης, οι Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. [5] και Kelton W. David, Sadowski P. Randall, Sadowski A. Deborah [8] αναπτύσσουν τη μεθοδολογία της προσομοίωσης και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων της.

Ο Sturrock T. David [14] εισάγει τη διαδικασία προσομοίωσης στις γραμμές υψηλού ρυθμού, όπως της βιομηχανίας τροφίμων, και προτείνει πρακτικές λύσεις. Παρομοίως, οι Huda M. Abu, Chung A. Christopher [7] εξετάζουν τις διεργασίες που περιλαμβάνουν το μετασχηματισμό της πρώτης ύλης από ρευστή κατάσταση σε διακριτά πακέτα. Η Rockwell Automation [12] προτείνει λύσεις βελτιστοποίησης της απόδοσης συστημάτων σε βιομηχανίες τροφίμων.

Ορισμοί βασικών εννοιών και προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης της απόδοσης ενός συστήματος δίνονται και από τους Hopp W. J., Spearman M. L. [6]. Στο ίδιο πλαίσιο κινείται και η εργασία των Liberopoulos G., Tsarouhas P. [11], οι οποίοι επικεντρώνονται στη βιομηχανία τροφίμων.

Κρίσιμος παράγοντας της εύρυθμης λειτουργίας ενός συστήματος είναι η αξιοπιστία του. Αναλυτικές εκφράσεις της παρουσιάζονται από τον Sheldon M. Ross [13]. Δεδομένου ότι οι σταθμοί που παρουσιάζονται στην εργασία των Liberopoulos G., Tsarouhas P. [10] έχουν ομοιότητες μ' αυτούς που αναπτύξαμε στα μοντέλα μας, αρκετά δεδομένα αξιοπιστίας χρησιμοποιήθηκαν απ' την έρευνα αυτή. Και επειδή η πρώτη ύλη είναι αλλοιώσιμη (λαχανικό), δεν μπορεί να παραμείνει πάνω από κάποιο χρονικό διάστημα στη γραμμή όταν αυτή σταματήσει (Liberopoulos G., Kozanidis G., Tsarouhas P. [9]). Έτσι ορίζουμε τις απώλειες παραγωγής.

Πληροφορίες για την εταιρεία χρησιμοποιήθηκαν από το ετήσιο δελτίο της ΓΕΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ Α.Ε. [1]. Για την ανάπτυξη του μοντέλου μας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της σπουδαστικής εργασίας του Μοσχόπουλου Ν. [3] και το εγχειρίδιο της Rockwell, "Arena Packaging Template – User's Guide" [4].

### **1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας**

Η μεταπτυχιακή εργασία χωρίζεται σε 5 ενότητες. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύουμε την έννοια της προσομοίωσης και πως αυτή μας βοηθάει να μοντελοποιήσουμε ένα σύστημα με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Επιπροσθέτως, δίνεται η μεθοδολογία σχεδιασμού ενός μοντέλου και επικεντρώνεται στη διαδικασία μοντελοποίησης υψηλού ρυθμού συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται ο βασικός μηχανισμός ανάπτυξης και μοντελοποίησης ενός συστήματος. Συγκεκριμένα, αναλύεται το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του εικονικού μοντέλου και δίνεται μια πλήρη αναφορά των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία του. Επίσης, το κεφάλαιο αυτό μπορεί ν' αποτελέσει ένας συνοπτικός οδηγός ανάπτυξης συστημάτων στο γραφικό περιβάλλον του ARENA.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφουμε τις παραγωγικές διαδικασίες που συμβαίνουν στο εργοστάσιο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Γίνεται πλήρης περιγραφή της γραμμής παραγωγής No1 και των γραμμών συσκευασίας No1 και No4 και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής τους. Τέλος, αξίζει ν' αναφερθεί ότι υπάρχουν συνολικά 18 θάλαμοι ψύξης χωρητικότητας 600 τόνων ο καθένας (οι μεγαλύτεροι στην Ελλάδα), στους οποίους αποθηκεύεται το ημιέτοιμο προϊόν της γραμμής παραγωγής και το τελικό προϊόν των γραμμών συσκευασίας.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφουμε αναλυτικά τη διαδικασία ανάπτυξης και μοντελοποίησης του συστήματος. Μοντελοποιούμε τις γραμμές παραγωγής No1 και συσκευασίας No1 και No4. Εισάγοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους λειτουργίας των επιμέρους μηχανών κάθε γραμμής, εξετάζουμε τη συμπεριφορά τους μακροπρόθεσμα. Επίσης, για κάθε γραμμή επιλέγονται διαφορετικά σχέδια παραγωγής.

Στο Κεφάλαιο 6 αναλύουμε τ' αποτελέσματα της προσομοίωσης. Κατά τη μοντελοποίηση του συστήματος έγινε εισαγωγή τυχαίων μεταβλητών, όπως αξιοπιστία, ρυθμοί αφίξεων φορτηγών και κλαρκ, απώλεια παραγωγής και χρόνοι αλλαγής παλετών. Σκοπός του κεφαλαίου (και κατ' επέκταση της μεταπτυχιακής εργασίας) δεν είναι η σε βάθος στατιστική ανάλυση των παραμέτρων του συστήματος, αλλά μια πρώτη εκτίμηση της απόδοσής του και προτείνουμε πιθανές λύσεις βελτίωσής του.

Τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7.

Τέλος, στα παραρτήματα δίνονται, σε ηλεκτρονική μορφή στο cd-rom, τα αρχεία των μοντέλων για κάθε γραμμή και η εφαρμογή υπολογισμού των παραμέτρων τους ανάλογα με το επιθυμητό σχέδιο παραγωγής.

## Κεφάλαιο 2: Προσομοίωση

Προσομοίωση (simulation) είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια υπολογιστή. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις, και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος.

Αν οι σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συστήματος είναι απλές, τότε το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο τα περισσότερα συστήματα περιγράφονται από πολύπλοκα μοντέλα των οποίων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για τη μελέτη τους εφαρμόζονται οι λεγόμενες αριθμητικές μέθοδοι. Τέτοιες είναι η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση συνίσταται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου του υπό εξέταση συστήματος με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και στην εκτέλεση ενός (ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές αποτυπώνοντάς το στο χρόνο.

Μερικά τυπικά πεδία εφαρμογών της προσομοίωσης είναι:

- Ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Έλεγχος αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)

Με την προσομοίωση μπορεί κανείς να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα ή απόδοση ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευασθεί με σκοπό τη βέλτιστη σχεδίασή του και την αποφυγή λαθών.

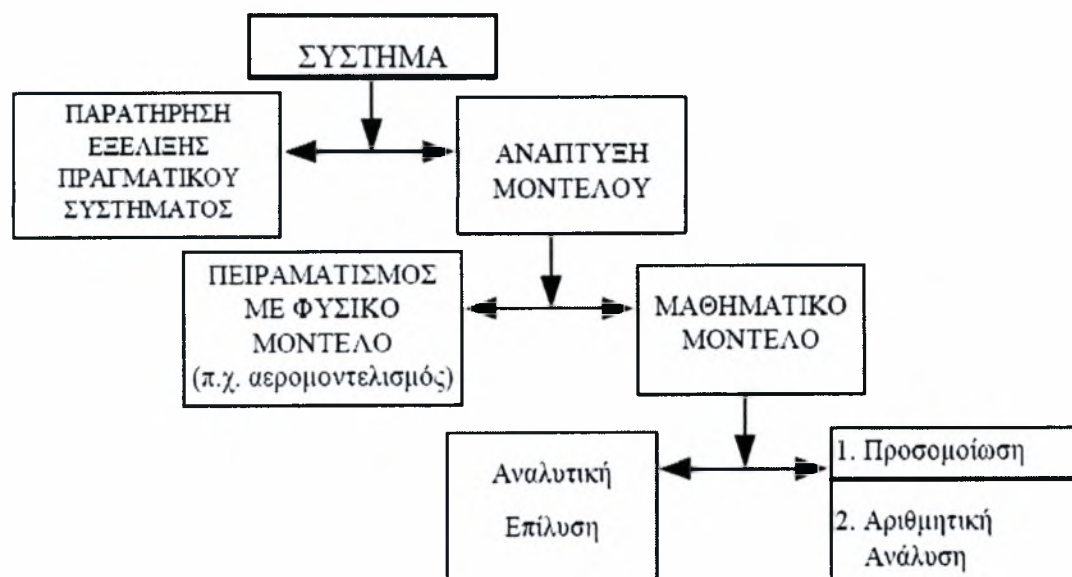
### 2.1 Κατηγορίες Συστημάτων

Ανάλογα με το αν παρουσιάζουν διαχρονική εξέλιξη, τα συστήματα διακρίνονται σε δυναμικά και στατικά (dynamic/static). Δυναμικό είναι το σύστημα του οποίου η κατάσταση είναι συνάρτηση του χρόνου. Στατικό είναι το σύστημα το οποίο δε μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.



Τα δυναμικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα διακριτού χρόνου (discrete-time systems), συστήματα συνεχούς χρόνου (continuous-time systems) και υβριδικά συστήματα (hybrid systems). Στα συστήματα διακριτού χρόνου η κατάσταση μεταβάλλεται βηματικά (απότομα) σε διακριτές χρονικές στιγμές  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , ενώ παραμένει σταθερή στα διαστήματα  $[t_1, t_2), [t_2, t_3), \dots$ . Συνεχές είναι το σύστημα του οποίου η κατάσταση είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου. Η διαχρονική συμπεριφορά συνεχών συστημάτων περιγράφεται συνήθως από διαφορικές εξισώσεις. Στην πράξη, στα συνήθη συστήματα η κατάσταση είναι κατά διαστήματα συνεχής συνάρτηση του χρόνου και κάποιες χρονικές στιγμές παρουσιάζει βηματικές (απότομες) μεταβολές. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται υβριδικά. Στα υβριδικά συστήματα η κατάσταση μεταβάλλεται βηματικά (απότομα) σε διακριτές χρονικές στιγμές  $t_1, t_2, t_3, \dots$ , και συνεχώς στα διαστήματα  $[t_1, t_2), [t_2, t_3), \dots$

Τα συστήματα διακρίνονται επίσης σε στοχαστικά (stochastic) και αιτιοκρατικά (deterministic). Αν το μοντέλο του συστήματος είναι συνάρτηση γνωστών παραμέτρων, τότε το σύστημα είναι αιτιοκρατικό. Αν οι παράμετροι εμφανίζουν τυχαίες μεταβολές, τότε είναι στοχαστικό. Για την προσομοίωση στοχαστικών συστημάτων απαιτείται η "παραγωγή" τυχαίων αριθμών που ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές. Το σχήμα 2-1 δείχνει τους τρόπους με τους οποίους μπορεί κανείς να μελετήσει τη λειτουργία ενός συστήματος.



Σχήμα 2-1: Τρόποι Μελέτης Λειτουργίας Ενός Συστήματος

## 2.2 Διαδικασία Προσομοίωσης

Η μεθοδολογία ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης αφήνεται στην κρίση του αναλυτή συστημάτων, αλλά γενικά ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Διατύπωση του προβλήματος (τι θα μελετήσω)
2. Προσδιορισμός σκοπού του συνολικού έργου μοντελοποίησης
3. Σύλληψη της ιδέας του μοντέλου (πως πρέπει να γίνει)
4. Συλλογή δεδομένων
5. Μεταφορά του μοντέλου σε κάποιο πακέτο προσομοίωσης
6. Επαλήθευση του μοντέλου (είναι σωστά σχεδιασμένο στον υπολογιστή;)
7. Επικύρωση του μοντέλου (ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα;)
8. Σχεδιασμός πειράματος
9. Τρέξιμο του μοντέλου και ανάλυση των αποτελεσμάτων
10. Περισσότερες επαναλήψεις;
11. Δημιουργία αναφορών
12. Εκτέλεση (ακριβής αναπαράσταση της πραγματικότητας)

## 2.3 Προσομοίωση Συστημάτων Υψηλού Ρυθμού

Παρόλο που η χρησιμότητα της προσομοίωσης έχει αναπτυχθεί τα τελευταία 35 χρόνια, υπάρχουν ωστόσο περιπτώσεις στις οποίες έγιναν μεγάλες επενδύσεις σε νέα ή τροποποιημένα συστήματα χωρίς όμως να επωφεληθούν από τη δύναμη πρόβλεψής της. Σε μερικές περιπτώσεις αυτά τα συστήματα έτυχαν έλλειψη χωρητικότητας απ' ότι είχαν αρχικά σχεδιαστεί και έπρεπε να τροποποιηθούν μετά την υλοποίησή τους. Αυτό όμως κοστίζει και είναι χρονοβόρο με τις γνωστές επιπτώσεις στην παραγωγή. Όμως, ένα συχνότερο λάθος που γίνεται είναι να χτίζονται συστήματα με υπερβολική χωρητικότητα. Παρόλο που αυτά τα συστήματα καλύπτουν τις απαιτήσεις, κρίνονται αναποτελεσματικά γιατί καταναλώνουν αρκετούς πόρους και κοστίζουν πολύ. Μια ανάλυση θα μπορούσε να επιτρέψει στους σχεδιαστές να διαστασιολογήσουν το σύστημα ομοίμορφα, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις.

Τα τελευταία 5 χρόνια έχουν γίνει δραματικές αλλαγές και βελτιώσεις στην τεχνολογία της προσομοίωσης ευρύνοντάς την σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα εργαλεία της προσομοίωσης έχουν διευρυνθεί από μια απλή γλώσσα μοντελοποίησης σε πολύ ισχυρά και ευέλικτα γραφικά περιβάλλοντα. Τα εργαλεία γίνονται ολοένα πιο εύκολα και πιο προσιτά σε νέους χρήστες και με την είσοδο των υπολογιστών στην καθημερινότητα η ανάλυση ενός συστήματος μιας επιχείρησης είναι πολύ πιο ευκολότερη από ποτέ. Επιπροσθέτως, τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την υποστήριξη ενός συνόλου παραμέτρων από την αρχική εισαγωγή δεδομένων και την ανάλυσή τους έως την επαλήθευση, επικύρωση, τον σχεδιασμό πειραμάτων και την ανάλυση αποτελεσμάτων. Τέλος, το γραφικό περιβάλλον επιτρέπει την απεικόνιση του συστήματος όπως έχει στην πραγματικότητα.

### 2.3.1 Υψηλής Ταχύτητας Εφαρμογές

Οι υψηλού ρυθμού διεργασίες λαμβάνουν χώρα συνήθως σε εκατοντάδες ή χιλιάδες οντότητες το λεπτό. Τυπικά παραδείγματα είναι κουτάκια ή μπουκάλια στη βιομηχανία τροφίμων, τσιγάρα στη βιομηχανία καπνού, κτλ. Η προσομοίωση σ' αυτά τα συστήματα έχει συνήθως τον ίδιο αντικειμενικό σκοπό.

Προβλήματα και ερωτήματα που μπορεί να αναλυθούν και να απαντηθούν μέσω της προσομοίωσης είναι:

- Ποια είναι τα σημεία μπουτιλιαρίσματος (bottleneck) στο σύστημα;
- Γιατί η ταχύτητα της γραμμής είναι χαμηλότερη απ' ό,τι σχεδιάστηκε;
- Μπορεί μια συγκέντρωση υλικού (accumulation) να αυξήσει την απόδοση παραγωγής (throughput) και πόσο;
- Πως μπορώ να μειώσω το χρόνο στησίματος (setup time) της γραμμής στην επόμενη αλλαγή της παραγωγής;
- Που πρέπει να τοποθετηθούν αισθητήρες για να βελτιώσω την απόδοση;
- Ποιο θα είναι το κόστος αν ο νέος εξοπλισμός δε συμφωνεί με τις προδιαγραφές αξιοπιστίας;

### **2.3.2 Θεωρήσεις για τη Μοντελοποίηση Υψηλού Ρυθμού Συστημάτων**

Αρκετά υψηλής ταχύτητας, μικρά τεμάχια, προσανατολισμένα σε διεργασίες ροής συναντιόνται στη βιομηχανία τροφίμων. Αυτοί οι τύποι λειτουργιών περιλαμβάνουν το μετασχηματισμό ενός προϊόντος από ρευστή κατάσταση σε διακριτά πακέτα. Αυτός ο μετασχηματισμός μπορεί να μοντελοποιηθεί με συνεχείς και διακριτές διεργασίες, με σεβασμό στο χρόνο, ώστε να φτιάξουμε επαρκή μοντέλα.

Πολλά συστήματα προσομοιώνονται είτε με διακριτές διεργασίες είτε με συνεχείς. Όμως, αλλά συστήματα απαιτούν πιο περίπλοκα συνεχή γεγονότα ή ακόμα την προσομοίωση συνδυασμού συνεχών και διακριτών γεγονότων. Η βιομηχανία τροφίμων είναι ένας τυπικός τομέας στον οποίο το μοντέλο ξεκινάει με μια προσέγγιση συνεχών γεγονότων (εισαγωγή πρώτης ύλης και επεξεργασία της) και στη συνέχεια καταλήγει σε προσέγγιση διακριτών γεγονότων (γραμμές συσκευασίας). Ο τύπος αυτός μοντέλου δέχεται ότι η πρώτη ύλη βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση (λόγω των πολύ μικρών κομματιών της) και αργότερα μετασχηματίζεται σε ατομικές συσκευασίες.

Για ένα σύστημα που συνδυάζει τόσο συνεχείς διεργασίες όσο και διακριτές η πολυπλοκότητά του πηγάζει από τη διαφορετικότητα των στοιχείων που πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο και να ελέγχουν και τα δυο συστήματα. Η συνεχής μεταβλητή παρακολουθείται καθώς περνάει μια τιμή μετάβασης, η οποία στη συνέχεια πυροδοτεί μια διακριτή αλλαγή. Η τιμή μετάβασης προσδιορίζεται από ένα εύρος και καθώς κινείται μέσα σ' αυτό, τότε μπορεί να συμβεί μια αλλαγή στο σύστημα και θα είναι μια διακριτή αλλαγή. Συνεπώς, ένα σύστημα με συνεχείς και διακριτές διεργασίες θα πρέπει προσεκτικά να σχεδιάζεται, ώστε να διατηρεί την ισορροπία μεταξύ των δύο καταστάσεων.

### **2.3.3 Συνδυασμός Συνεχών και Διακριτών Διεργασιών**

Σ' ένα συνεχές μοντέλο η κατάσταση του συστήματος αλλάζει με το χρόνο. Ακόμα και αν η αλλαγή αυτή μπορεί να παρασταθεί με μια εξίσωση, τις περισσότερες φορές αυτό δεν είναι εφικτό λόγω της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης των επιμέρους στοιχείων του συστήματος. Όμως, μια εξίσωση μπορεί να επινοηθεί, ώστε να περιλαμβάνει αυτές τις αλλαγές των καταστάσεων του συ-

στήματος. Ο ρυθμός αλλαγής της μεταβλητής είναι η παράγωγος της κατάστασης του συστήματος. Τέτοιες εξισώσεις περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες εξισώσεις και λέγονται διαφορικές εξισώσεις. Επομένως, οι συνεχείς διεργασίες των μηχανών παριστάνονται από ένα σετ διαφορικών εξισώσεων. Αυτές οι εξισώσεις χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης. Μια μεταβλητή κατάστασης δεν παραμένει σταθερή μεταξύ δύο γεγονότων και η τιμή της αλλάζει σύμφωνα με τις διαφορικές εξισώσεις. Ένα παράδειγμα μιας μεταβλητής κατάστασης μπορεί να είναι το επίπεδο υλικού σε μια δεξαμενή. Εφόσον η κατάσταση της μεταβλητής αλλάζει με το χρόνο ο αναλυτής του συστήματος θα πρέπει να προσέξει το πεδίο τιμών της. Στο παράδειγμά μας η συγκεκριμένη μεταβλητή δεν μπορεί να πάρει τιμές αρνητικές. Μπορεί αυτή η προσέγγιση των διαφορικών εξισώσεων να μη φαντάζει δύσκολη σε μεγάλης κλίμακας συστήματα όμως, είναι Αρκετά δύσκολη όταν αυτά έχουν υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και μικρής χωρητικότητας στοιχεία, όπως συμβαίνει στις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων.

Η μοντελοποίηση τέτοιων συστημάτων προσθέτει δυσκολίες λόγω των υψηλών ταχυτήτων. Υπάρχουν τρεις βασικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση αυτών των συστημάτων με αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Μια κοινή προσέγγιση μοντελοποίησης είναι η προσομοίωση διακριτών γεγονότων (*discrete-event simulation*). Σ' αυτήν την προσέγγιση κάθε δραστηριότητα ή κατάσταση του συστήματος αλλάζει για κάθε οντότητα που μεταφέρεται. Μας επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε με αρκετή ευελιξία και λεπτομέρεια το σύστημα. Δυστυχώς όμως, για τις γραμμές υψηλών ταχυτήτων αυτή η προσέγγιση, της ιχνηλάτησης κάθε οντότητας από τις χιλιάδες που υπάρχουν, έχει ως αποτέλεσμα πολύ αργούς χρόνους εκτέλεσης, ακόμα και τις πιο ισχυρές μηχανές προσομοίωσης.

Για την αποτελεσματική χρήση της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων πρέπει να καταφύγουμε σε μια τεχνική που ονομάζεται συνάθροιση (*aggregation*). Η τεχνική της συνάθροισης μας επιτρέπει να αναπαραστήσουμε κάθε οντότητα με μια ποσότητα ή παρτίδα οντοτήτων. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι μια οντότητα παριστάνει 1 Kgr ή 20 μπουκαλάκια. Η τεχνική αυτή βελτιώνει την ταχύτητα εκτέλεσης του πειράματος και γενικά διατηρεί την ευελιξία του συστήματος. Όμως, θυσίες πρέπει να γίνουν στην ακρί-

βεια και λεπτομέρεια του πειράματος. Π.χ. αν μια οντότητα παριστάνει 500 κουτάκια, τότε όλες οι διεργασίες πρέπει να στρογγυλοποιηθούν στα 500 κουτάκια. Επιπλέον είναι δύσκολο να γίνει έλεγχος της ροής. Π.χ. είναι δύσκολο στο παραπάνω μοντέλο να τοποθετήσουμε κάποιον αισθητήρα σ' έναν ιμάντα ο οποίος να δίνει εντολή σ' αυτόν όταν πάνω του υπάρχουν 400 κουτάκια.

Μια δεύτερη προσέγγιση είναι η χρήση συνεχών εξισώσεων (*continuous equations*) σε συνδυασμό με (ή όχι) της προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Οι συνεχείς εξισώσεις μπορούν να μοντελοποιήσουν είτε υψηλού ρυθμού γραμμές, είτε απλά τμήματα αυτών (π.χ. έναν ιμάντα). Μας επιτρέπουν την εκτέλεση γρήγορων πειραμάτων και την εύκολη μοντελοποίηση όλων των μηχανημάτων. Όμως, η πολυπλοκότητα των μαθηματικών εξισώσεων αυξάνεται δραματικά με το μέγεθος του προβλήματος. Έτσι, η αναγκαία λεπτομέρεια για τη λύση πραγματικών προβλημάτων συχνά δεν αναπαριστάνεται με τη χρήση ενός σετ εξισώσεων.

Η τρίτη προσέγγιση αναφέρεται στον προσομοιωτή διεργασιών υψηλού ρυθμού (*high-speed simulator*), ο οποίος βασίζεται σε μια αλγοριθμική προσέγγιση παρά στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Τα εργαλεία αυτά έχουν δομές για την εύκολη μοντελοποίηση γραμμών υψηλού ρυθμού και χρησιμοποιούν ορολογία η οποία καθιστά εύκολη την εκμάθηση και ανάπτυξη πραγματικών μοντέλων. Επιπλέον οι προσομοιωτές έχουν το πλεονέκτημα της εισαγωγής αλγορίθμων από τον χρήστη ανάλογα με το σύστημα το οποίο χρειάζεται να αναλυθεί. Έχουν όμως, ακόμα κάποιους περιορισμούς όσον αφορά την πολυπλοκότητα του συστήματος το οποίο θέλουμε με ακρίβεια να μοντελοποιήσουμε, ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε με προχωρημένες τεχνικές λογικού ελέγχου του συστήματος.

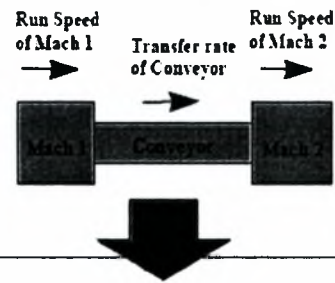
### **2.3.4 Προσομοιωτής με Διακριτές Ικανότητες**

Στο σχήμα 2-2 φαίνεται η διαδικασία προσέγγισης κατά την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης.

1. Place the elements of the system.

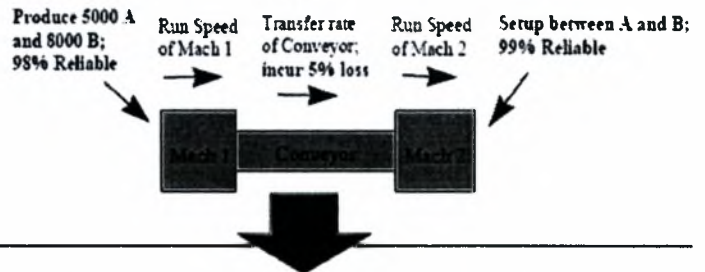
- Machines
- Conveyors
- Surge Areas
- Merges Splits

and define run parameters like size and speed.



2. Specify optional attributes or production requirements.

- Reliability
- Loss
- Changeovers

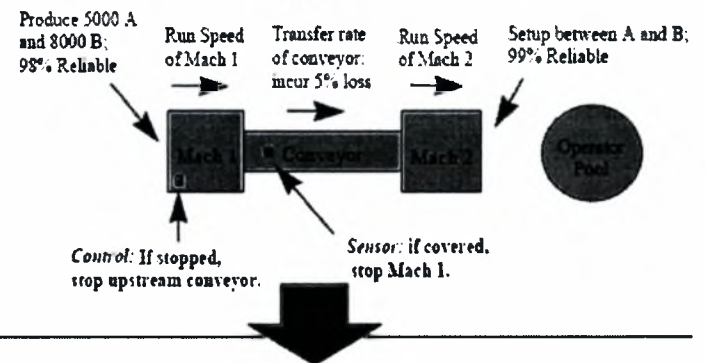


3. Model interactions between elements.

- Controls
- Sensors

4. Add operator constraints.

- Operators
- Operator breaks and schedules
- Operator sets



5. Specify statistics and simulate.

- Custom report
- Spreadsheet export

*Collect:*

Descriptive information, performance statistics, costs, detailed statistics, data formatted for spreadsheets

Σχήμα 2-2: Προσέγγιση Ανάπτυξης Μοντέλου Προσομοίωσης

➤ Βήμα 1: Τοποθέτηση στοιχείων του συστήματος

- Μηχανές (Machines)
- Ιμάντες (Conveyors)
- Δεξαμενές (Surge Areas)
- Στοιχεία ένωσης/διαχωρισμού γραμμή (Merges/Splits)
- προσδιορισμός παραμέτρων λειτουργίας (μέγεθος, ταχύτητα, κτλ.)

➤ Βήμα 2: Ορισμός προαιρετικών ιδιοτήτων ή απαιτήσεων παραγωγής

- Αξιοπιστία (Reliability)
- Χάσιμο παραγωγής (Loss)
- Χρόνοι μεταξύ αλλαγών παραγωγής (Changeovers)

- Βήμα 3: Αλληλεπιδράσεις του μοντέλου μεταξύ των στοιχείων του
  - Ελεγκτές (Controls)
  - Αισθητήρες (Sensors)
- Βήμα 4: Προσθήκη περιορισμών εργατικού δυναμικού
  - Εργάτες (Operators)
  - Διαλείμματα και χρονοδιαγράμματα (Breaks and Schedules)
  - Σετ εργατών (Operator sets)
- Βήμα 5: Προσδιορισμός στατιστικών και προσομοίωση
  - Αναφορές (Reports)
  - Έγγραφο σε λογιστικά φύλλα (Spreadsheet export)

### 2.3.5 Συμπεράσματα

Τα κέρδη από μια αποτελεσματική προσομοίωση στις βιομηχανίες υψηλού ρυθμού παραγωγής είναι εμφανή. Μας βοηθάει να:

- Παράγουμε και να εκτιμήσουμε νέες ιδέες κατανοώντας τις επιπτώσεις.
- Μειώσουμε το ρίσκο κατά τη λήψη αποφάσεων για το σύστημα.
- Εξαλείψουμε τα μπουλιάρια, τον υπερβολικό εξοπλισμό και το αχρείαστο πλεόνασμα πόρων.
- Σχεδιάσουμε πρότυπες γραμμές και δυναμικά συστήματα ελέγχου.
- Μειώσουμε τους χρόνους εκκίνησης των μηχανών.
- Κατανοήσουμε πως τα μηχανήματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Ακόμα και μια μικρή βελτίωση στην απόδοση ενός συστήματος μπορεί να επιφέρει τεράστια κέρδη. Τα ολοκληρωμένα πακέτα προσομοίωσης ξεπερνούν τις κοινές δυσκολίες. Επειδή είναι ειδικά σχεδιασμένα για αυτές τις βιομηχανίες, δύσκολα και πολύπλοκα συστήματα μπορούν να μοντελοποιηθούν εύκολα χωρίς τη συγγραφή κάποιου κώδικα.



## Κεφάλαιο 3: Περιγραφή Πακέτου Προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο βασικός μηχανισμός ανάπτυξης και μοντελοποίησης ενός συστήματος. Συγκεκριμένα, αναλύεται το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του εικονικού μοντέλου και δίνεται μια πλήρη αναφορά των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία του. Επίσης, το κεφάλαιο αυτό μπορεί ν' αποτελέσει ένας συνοπτικός οδηγός ανάπτυξης συστημάτων στο γραφικό περιβάλλον του ARENA.

### 3.1 Γενικές Ιδέες του Προτύπου Προσομοίωσης

Το πρότυπο Arena Packaging σχεδιάστηκε ειδικά για την προσομοίωση παραγωγικών συστημάτων υψηλών ρυθμών, οι οποίοι εκφράζονται σε εκατοντάδες ακόμα και χιλιάδες οντότητες το λεπτό. Το συγκεκριμένο πρότυπο μας επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε εύκολα γραμμές παραγωγής στις οποίες έχουμε υψηλές ταχύτητες μεταφοράς προϊόντων, καθώς και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα από την προσομοίωση. Περιέχει μια σειρά από συγκεκριμένα στοιχεία (modules). Κάθε ένα από αυτά ελέγχεται με διάφορες παραμέτρους, οι οποίες προσδιορίζουν τη λογική λειτουργίας τους, τα δεδομένα, την απεικόνιση (animation) και την επιλεκτική συλλογή στατιστικών. Περιλαμβάνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Μηχανές (Machines):** Χρησιμοποιούνται για τη φυσική επεξεργασία των προϊόντων ή τη μετατροπή τους σε κάτι άλλο.
- **Ιμάντες (Conveyors):** Χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των μεταφορικών ταινιών και τη συσσώρευση προϊόντων που μπορεί να υπάρχει επάνω τους, αν η επόμενη μηχανή διακόψει τη λειτουργία της. Επίσης χρησιμεύουν και για τη μοντελοποίηση αποθηκευτικών χώρων (buffers) μεταξύ των μηχανών.
- **Συνδέσεις μηχανών και ιμάντων (Machine Link, Conveyor Link):** Χρησιμοποιούνται για την απ' ευθείας σύνδεση δύο μηχανών ή ιμάντων.
- **Συγχώνευση (Merge), διαχωρισμός (Split) και διακόπτης (Switch):** Χρησιμοποιούνται μεταξύ των ιμάντων και στους οποίους τα προϊόντα διαχωρίζονται ή συνδυάζονται.

- **Παλετοποιητές (Palletizers) και αποθήκες (Storages):** Χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση εκείνων των τμημάτων του συστήματος στα οποία έχουμε αποθήκευση προϊόντων σε παλέτες ή αφαίρεση παλετών.
- **Βαλβίδες (Valves) και δεξαμενές (Tanks):** Χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση περιορισμών που τίθενται λόγω των ρευστών ή για διεργασίες γεμίσματος (filling operations).
- **Προϊόντα (Products) και σχέδια παραγωγής (Production Plans):** Χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση πολλαπλών προϊόντων επεξεργασίας σ' ένα σύστημα και τον προσδιορισμό των απαιτήσεών τους.
- **Προσομοίωση (Simulate):** Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό προχωρημένων παραμέτρων μοντελοποίησης (π.χ. μονάδες μέτρησης, επιλεκτική συλλογή στατιστικών, κτλ.).

### 3.2 Μεθοδολογία Μοντελοποίησης

Μπορούμε να ξεκινήσουμε την ανάλυση του συστήματος συλλέγοντας κατ' αρχήν πληροφορίες και δεδομένα τα οποία θα μας παρέχουν επαρκή κατανόηση τόσο του προβλήματος όσο και του συστήματος που θα αναλυθεί. Εφόσον αυτό το βήμα ολοκληρωθεί είμαστε πλέον έτοιμοι ν' αρχίσουμε τη μοντελοποίηση.

Εισάγουμε πέντε βήματα μεθοδολογίας για την ανάπτυξη του μοντέλου, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 3-1.

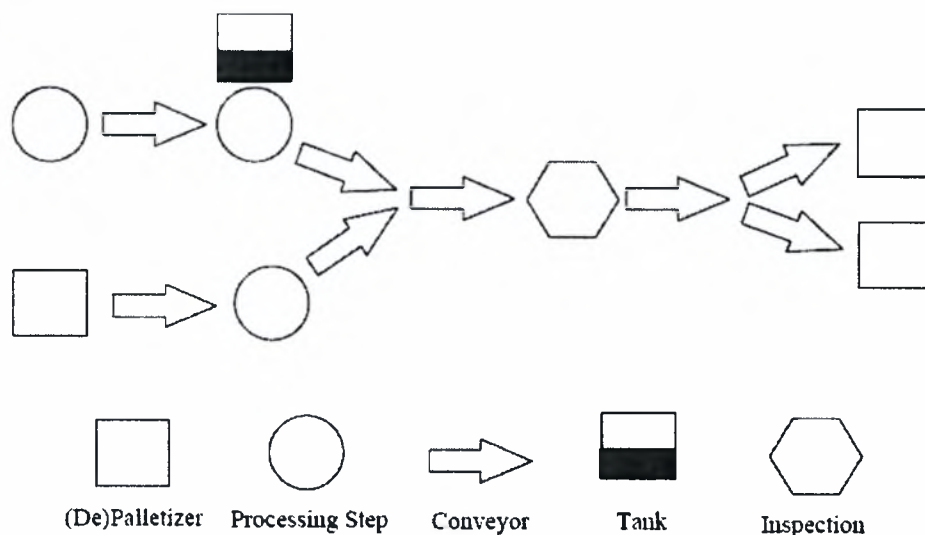


Σχήμα 3-1: Βήματα Ανάπτυξης Μοντέλου

- **Βήμα 1: Τοποθέτηση και σύνδεση εξοπλισμού**

Αρχικά σχεδιάζουμε το διάγραμμα ροής της γραμμής στο χαρτί, προσεκτικώς όλα τα βήματα, μέχρι η πρώτη ύλη μετατραπεί σε τελικό προϊόν. Για το σκοπό αυτό έχοντας δεδομένο τα υπάρχοντα εργαλεία του προτύπου μπο-

ρούμε να τοποθετήσουμε μηχανές, ιμάντες, πελετοποιητές, δεξαμενές και τα υπόλοιπα στοιχεία, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-2.



Σχήμα 3-2: Τυπικό Διάγραμμα Ανάπτυξης Μοντέλου

Εφόσον έχουμε σχεδιάσει το διάγραμμα ροής, τοποθετούμε τα αντίστοιχα στοιχεία του προτύπου στο σχεδιαστικό παράθυρο του Arena.

#### ▪ Βήμα 2: Προσδιορισμός συμπεριφοράς εξοπλισμού

Το επόμενο βήμα είναι να καθορίσουμε τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας (π.χ. ταχύτητες λειτουργίας, ρυθμούς), τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (π.χ. αξιοπιστία, διαλογή) και τις διαστάσεις (π.χ. μήκος, πλάτος, χωρητικότητα) των επιμέρους στοιχείων της γραμμής.

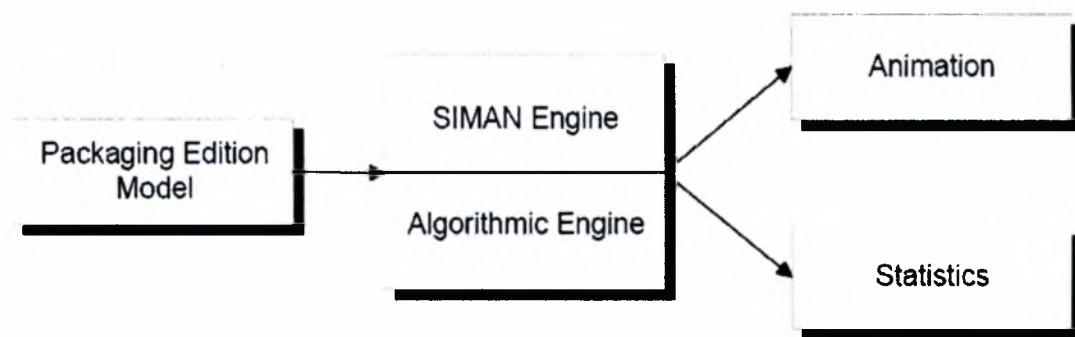
#### ▪ Βήμα 3: Εκτέλεση της προσομοίωσης

Σε αυτό το σημείο πιθανώς να μην είμαστε έτοιμοι ακόμα να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για το μοντέλο μας. Το σίγουρο είναι, όμως, ότι θα έχουμε ήδη φτιάξει ένα πολύ καλό εργαλείο για τη μελέτη του συστήματος και το μόνο που θα χρειαστεί να κάνουμε θα είναι μικρές τροποποιήσεις κατά τη λειτουργία του. Καλό είναι να τρέξουμε το μοντέλο μας για να δούμε αν αυτό συμφωνεί με τη λογική του πραγματικού συστήματος. Μεγάλη βοήθεια προσφέρει και η δυνατότητα απεικόνισης (animation) της λειτουργίας της γραμμής. Μπορούμε επίσης να πειραματιστούμε με διάφορα σενάρια λειτουργίας.

Όταν αρχίζει η προσομοίωση, επεξεργάζονται τα δεδομένα και όλες οι πληροφορίες που είχαμε εισάγει στο μοντέλο και αυτομάτως δημιουργούνται

μεταβλητές για κάθε ένα στοιχείο του συστήματος. Αυτές οι μεταβλητές μπορεί να περιγράφουν την κατάσταση (state) του συστήματος. Αλλάζουν δυναμικά καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τέτοιες μεταβλητές είναι η κατάσταση του εξοπλισμού, οι ταχύτητες λειτουργίας, οι ρυθμοί εισόδου και εξόδου, το επίπεδο των δεξαμενών, κτλ.

Το μοντέλο του συστήματος είναι είσοδος σε μια μηχανή προσομοίωσης, ειδικά σχεδιασμένη για υψηλών ρυθμών γραμμές παραγωγής. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιεί δύο ξεχωριστές τεχνολογίες: τη γλώσσα προσομοίωσης SIMAN και έναν αλγοριθμικό πυρήνα. Ο αλγόριθμος της γλώσσας SIMAN διαχειρίζεται τα διακριτά γεγονότα, όπως βλάβες, χρόνους αλλαγής προϊόντων (changeovers), σταματήματα και άλλους πόρους του συστήματος. Η γλώσσα SIMAN είναι ειδικά σχεδιασμένη να διεξάγει προσομοιώσεις διακριτών γεγονότων. Η γενική δομή του προτύπου φαίνεται στο σχήμα 3-3.



Σχήμα 3-3: Δομή Προτύπου Προσομοίωσης

#### ▪ Βήμα 4: Συλλογή στατιστικών δεδομένων

Κύριος αντικειμενικός σκοπός μιας προσομοίωσης είναι η έκδοση στατιστικών δεδομένων για την απόδοση ενός συστήματος, ώστε να μπορούν να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις.

Όταν η προσομοίωση σταματήσει τα στατιστικά αποτελέσματα αποθηκεύονται σε ένα αρχείο της Microsoft Access. Τα στατιστικά αποθηκεύονται με μορφή αναφορών (reports) και δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για τους επιμέρους πόρους του συστήματος.

Τα στατιστικά κατηγοριοποιούνται σε ενότητες ανά τύπο εξοπλισμού του συστήματος (π.χ. όλες οι μηχανές, όλοι οι ιμάντες, κτλ.). Μέσα σε κάθε ενότητα τα στατιστικά εκδίδονται κατά στοιχείο (module) και ομαδοποιούνται σε

κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι: περιγραφή (Description), ανασκόπηση τεμαχίων (Units Summary), μετρητής δραστηριοτήτων (Activity Counter), συνολικός χρόνος (Total Time), κόστος (Cost), απόδοση (Performance), χρήση (Usage) και αλλά (Other). Τα στατιστικά δεν παράγονται εξ 'ορισμού αλλά αντιθέτως μπορούμε να επιλέξουμε αυτά που μας χρειάζονται να εξαχθούν.

#### ▪ Βήμα 5 – Υλοποίηση προσομοίωσης με διαφορετικά σενάρια

Εφόσον έχουμε ήδη φτιάξει το τελικό μοντέλο ορίζοντας πλήρως τις παραμέτρους λειτουργίας του, μπορούμε, στη συνέχεια, να πειραματιστούμε με πιο σύνθετα σενάρια, όπως:

**Προϊόντα, σχέδια παραγωγής και χρόνοι αλλαγών μεταξύ προϊόντων:** η προσομοίωση διεξάγεται με τη ροή ενός μόνο προϊόντος αλλά μας δίνεται η επιλογή να θέσουμε διαφορετικούς τύπους προϊόντων και μ' αυτόν τον τρόπο να ορίσουμε χρόνους στησίματος των μηχανών κατά τις αλλαγές των προϊόντων (changeovers), ταχύτητες λειτουργίας του εξοπλισμού ανάλογα με το ποιο προϊόν παράγεται, κτλ.

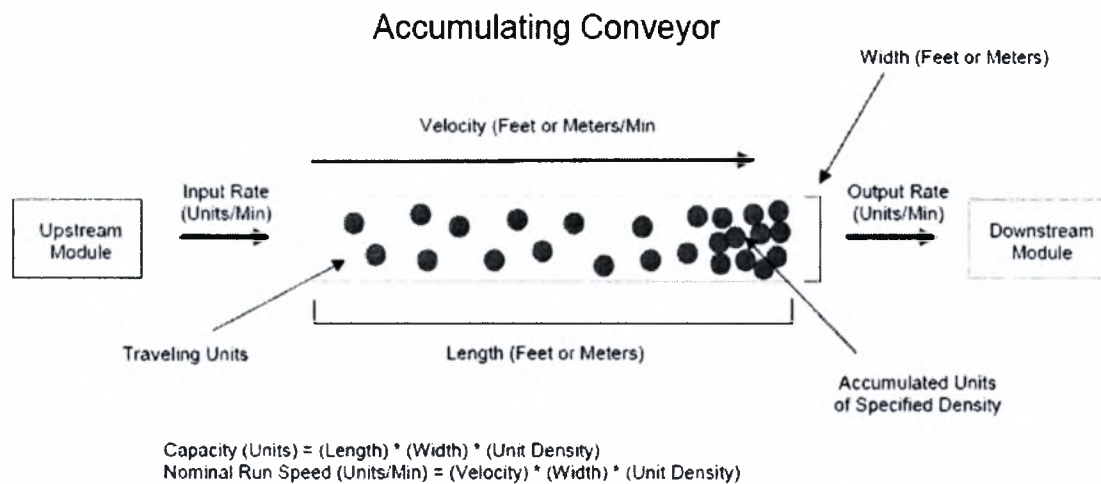
**Προγραμματισμένα σταματήματα:** για τις μηχανές, τους ιμάντες και τους πελετοποιητές μπορούμε να ορίσουμε προγραμματισμένα σταματήματα, π.χ. συντήρηση. Ο προγραμματισμένος χρόνος που διαρκεί η παύση λειτουργίας ενός μηχανήματος δεν προσμετράται στο χρόνο που σταμάτησε το μηχάνημα λόγω βλάβης. Επίσης ο χρόνος αυτός δε λαμβάνεται υπ' όψη και στο βαθμό απαχόλησής του.

**Δυναμικός έλεγχος της γραμμής:** ο δυναμικός έλεγχος της γραμμής είναι απαραίτητος για τη ρύθμιση συγκεκριμένων καταστάσεων στο σύστημα και πραγματοποιείται με τους ελεγκτές (controls) και τους αισθητήρες (sensors). Οι ελεγκτές, οι οποίοι τοποθετούνται σε μηχανές, ιμάντες και πελετοποιητές, παρακολουθούν την κατάσταση του συστήματος υπό μία ή περισσότερες συνθήκες. Όταν μία συνθήκη είναι αληθής (true), τότε μία ή περισσότερες δράσεις (actions) μπορούν να συμβούν (π.χ. αλλαγή ταχύτητας λειτουργίας μιας μηχανής). Οι αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται σε ιμάντες και δεξαμενές, παρακολουθούν τα επίπεδα συσσώρευσης υλικού ή ρευστού αντίστοιχα. Όταν ο αισθητήρας έχει καλυφθεί (ή όχι), τότε μία ή περισσότερες δράσεις συμβαίνουν.

### 3.3 Απαραίτητα Στοιχεία (modules) κατά την Προσομοίωση

#### 3.3.1 Ιμάντας (Conveyor)

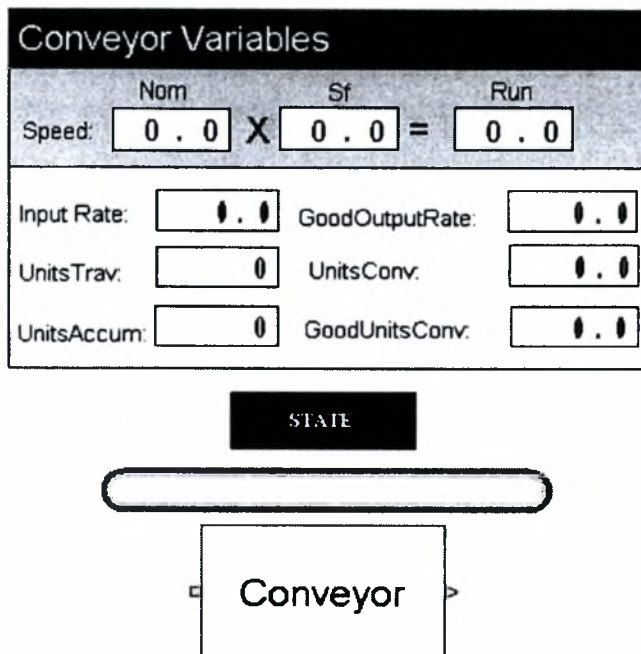
Αυτό το στοιχείο προσδιορίζει τον ιμάντα διακίνησης υλικού μέσα στο σύστημα. Οι ιμάντες συγκέντρωσης (accumulating conveyors) επιτρέπουν να μετακινούν υλικό πάνω τους ακόμα και αν στο τέλος του ιμάντα η έξοδος του υλικού από αυτόν έχει σταματήσει. Χρησιμοποιούνται τυπικά σαν αποθηκευτικοί χώροι (buffers) μεταξύ των σταθμών εργασίας έτσι, ώστε να εξομαλυνθούν πιθανές διακυμάνσεις του ρυθμού παραγωγής λόγω σταματημάτων, βλαβών, διαφορετικών ταχυτήτων, κτλ. Το σχήμα 3-4 δείχνει έναν τέτοιο ιμάντα, καθώς και την αντίστοιχη ορολογία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 3-4: Ιμάντας Συγκέντρωσης

Προϊόντα εισέρχονται στον ιμάντα και κινούνται καθ' όλο το μήκος του. Αν ο ρυθμός εισόδου της μηχανής μετά το τέλος του ιμάντα είναι μικρότερος ή ίσος με το ρυθμό εισόδου του υλικού στον ιμάντα, τότε αυτό συγκεντρώνεται στο τέλος του ιμάντα και πριν τον επόμενο σταθμό. Στο σχήμα 3-5 φαίνεται πως απεικονίζεται ο ιμάντας στο μοντέλο, καθώς και οι αντίστοιχες μεταβλητές του (Conveyor Variables).

Τα προαιρετικά χαρακτηριστικά (options) του ιμάντα καθορίζονται με: ελεγκτές (controls), απώλεια παραγωγής (loss), αισθητήρες (sensors), αξιοπιστία (reliability) και προγραμματισμένα σταματήματα (scheduled stops).



Σχήμα 3-5: Απεικόνιση Ιμάντα στο Μοντέλο

Όπου:

Nominal Speed: ονομαστικός ρυθμός ιμάντα [Units/Min]

Speed Factor (Sf): συντελεστής ταχύτητας ιμάντα

Run Speed: τρέχον ρυθμός ιμάντα = Nominal Speed x Sf

Input Rate: τρέχον ρυθμός εισόδου τεμαχίων [Units/Min]

Good Output Rate: τρέχον ρυθμός εξόδου καλών τεμαχίων

Units Traveling: τρέχον αριθμός τεμαχίων πάνω στον ιμάντα [Units]

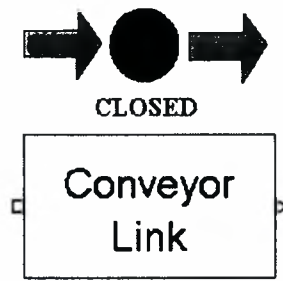
Units Conveyed: συνολικός αριθμός εξερχόμενων τεμαχίων

Units Accumulated: τρέχον αριθμός συγκεντρωμένων τεμαχίων

Good Units Conveyed: συνολικός αριθμός καλών εξερχόμενων τεμαχίων

### 3.3.2 Σύνδεση ιμάντα (Conveyor Link)

Το στοιχείο αυτό (σχήμα 3-6) χρησιμοποιείται για την απ' ευθείας ένωση δύο ιμάντων. Ο λόγος για τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε δύο διαφορετικούς ιμάντες είναι γιατί μπορεί να έχουν διαφορετικές ταχύτητες ή διαφορετικές αξιοπιστίες. Αν τα παραπάνω στοιχεία δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους μπορούμε να θεωρήσουμε δύο ή περισσότερους ιμάντες σαν έναν.



Σχήμα 3-6: Σύνδεση Ιμάντα

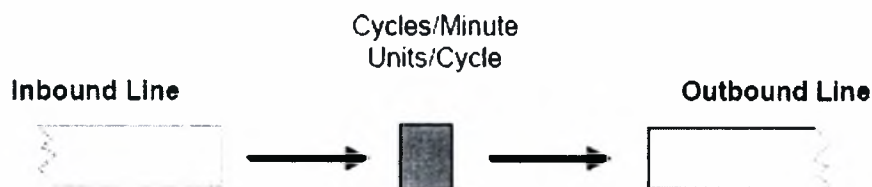
### 3.3.3 Μηχανή (Machine)

Το στοιχείο αυτό προσδιορίζει την επεξεργασία υλικού που συμβαίνει σ' ένα σύστημα. Υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι μηχανών: Βασική Μηχανή (Basic Machine), Μηχανή Συναρμολόγησης (Assembly Machine), Μηχανή Γεμίματος (Filling Machine) και Μηχανή Ιμάντας (Conveyor Machine).

- **Basic Machine:** Χρησιμοποιείται για βασικές διεργασίες, όπως εκτύπωση, επιθεώρηση, συσκευασία και δεν περιλαμβάνει πολλαπλές γραμμές εισόδου. Η ονομαστική της ταχύτητα λειτουργίας ορίζεται σε κύκλους/λεπτό (cycles/min) και τεμάχια/κύκλο (units/cycle). Οι μηχανή αυτή δεν έχει χωρητικότητα και η διεργασία που επιτελεί είναι στιγμιαία. Η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στο σχήμα 3-7.

## Basic Machine

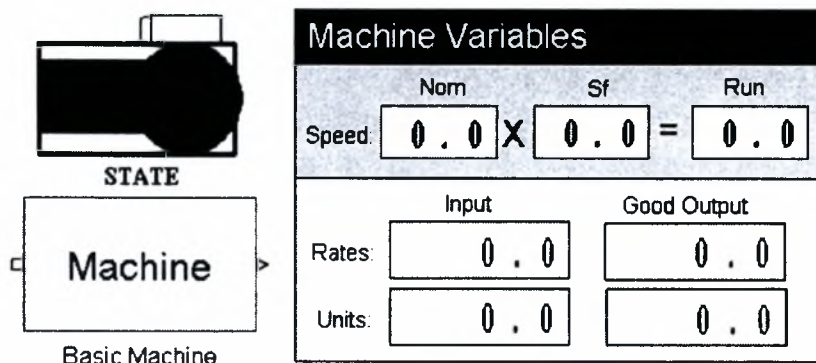
### Nominal Run Speed



Σχήμα 3-7: Βασική Μηχανή

Στο σχήμα 3-8 φαίνεται πως απεικονίζεται η μηχανή στο μοντέλο, καθώς και οι αντίστοιχες μεταβλητές της (Machine Variables).





Σχήμα 3-8: Απεικόνιση Βασικής Μηχανής στο Μοντέλο

Όπου:

Nominal Speed: ονομαστικός ρυθμός μηχανής [Units/Min]

Speed Factor (Sf): συντελεστής ταχύτητας μηχανής

Run Speed: τρέχον ρυθμός μηχανής = Nominal Speed x Sf

Input Rate: τρέχον ρυθμός εισόδου τεμαχίων [Units/Min]

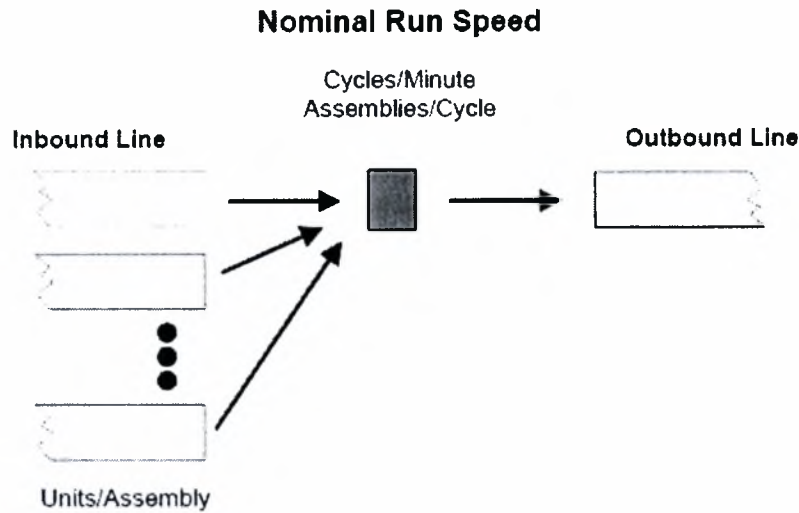
Good Output Rate: τρέχον ρυθμός εξόδου καλών τεμαχίων

Input Units: συνολικός αριθμός εισερχόμενων τεμαχίων [Units]

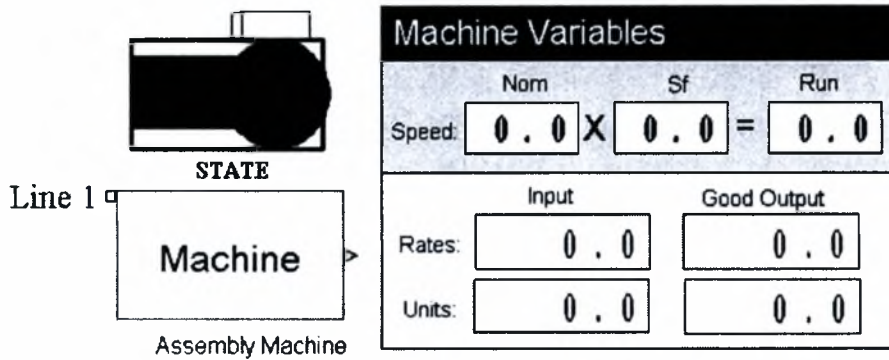
Good Output Units: συνολικός αριθμός καλών εξερχόμενων τεμαχίων

- Assembly Machine:** Χρησιμοποιείται για τη συγχώνευση δύο ή περισσότερων εισερχόμενων γραμμών (εκτός υγρών). Η ονομαστική της ταχύτητα λειτουργίας ορίζεται σε κύκλους/λεπτό (cycles/min) και συναρμολογήσεις/κύκλο (assemblies/cycle). Εκτός της ταχύτητας συναρμολόγησης, οι ρυθμοί εξόδου των εισερχόμενων γραμμών εξαρτώνται και από την τιμή τεμάχια/συναρμολόγηση (units/assembly) που απαιτούνται από κάθε γραμμή. Αν μόνο μία γραμμή εισέρχεται στη μηχανή, τότε η τελευταία μπορεί να προσδιορίσει μία διεργασία παρτιδοποίησης. Οι μηχανή αυτή δεν έχει χωρητικότητα και η διεργασία που επιτελεί είναι στιγμιαία. Η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στο σχήμα 3-9 και στο σχήμα 3-10 φαίνεται η απεικόνισή της στο μοντέλο.

# Assembly Machine



Σχήμα 3-9: Μηχανή Συναρμολόγησης

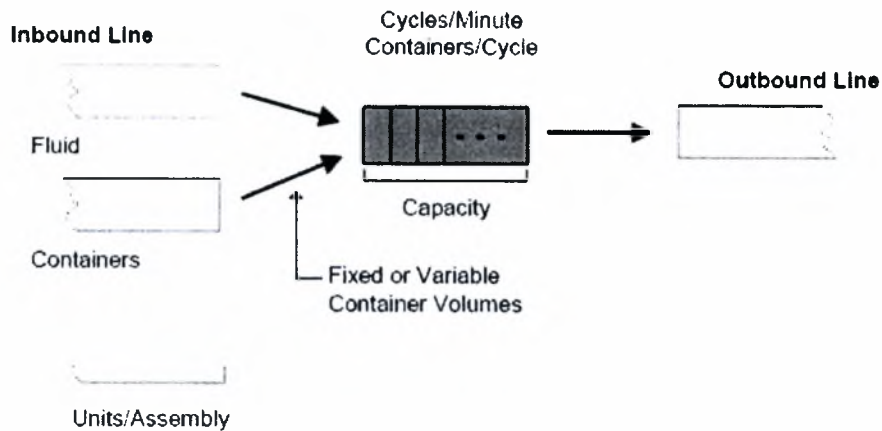


Σχήμα 3-10: Απεικόνιση Μηχανής Συναρμολόγησης στο Μοντέλο

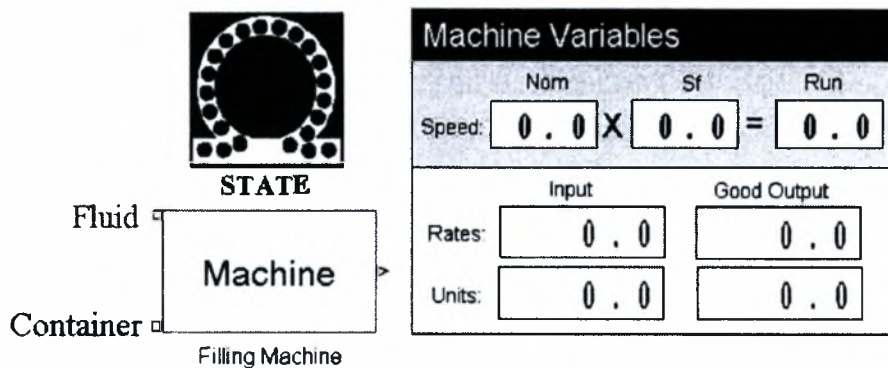
- Filling Machine:** Χρησιμοποιείται για τη συγχώνευση γραμμής η οποία φέρει υλικό σε ρευστή κατάσταση με γραμμή η οποία στέλνει δοχεία (containers). Η ονομαστική της ταχύτητα λειτουργίας ορίζεται σε κύκλους/λεπτό (cycles/minute) και δοχεία/κύκλο (containers/cycle). Για να μοντελοποιηθεί η κίνηση του προϊόντος κατά τη διάρκεια της διεργασίας γεμίσματος πρέπει να προσδιορισθεί η χωρητικότητα των δοχείων (Containers Volumes). Οι χωρητικότητες αυτές μπορεί να είναι σταθερές (Fixed) ή να μεταβάλλονται ανάλογα με το παραγόμενο προϊόν (Variable). Το στοιχείο που μπορεί να συνδεθεί στο σημείο εισόδου ρευστού (fluid inbound line) είναι η δεξαμενή (Tank). Στο σημείο εισόδου των δοχείων (container input line) μπορεί να συνδεθεί ιμάντας ή σύνδεση μηχανής. Η αρχή λειτουργίας της και η απεικόνισή της φαίνονται στα σχήματα 3-11 και 3-12 αντίστοιχα.

# Filling Machine

## Nominal Run Speed



Σχήμα 3-11: Μηχανή Γεμίματος



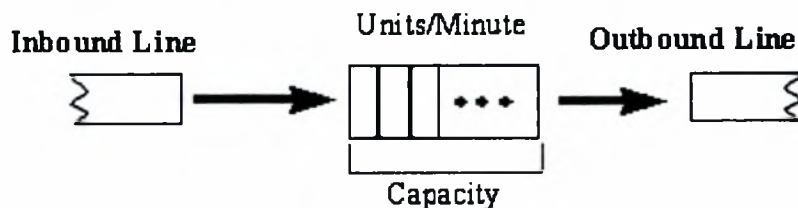
Σχήμα 3-12: Απεικόνιση Μηχανής Γεμίματος στο Μοντέλο

- Conveyor Machine:** Χρησιμοποιείται για διεργασίες οι οποίες απαιτούν μοναδική κίνηση του προϊόντος σε μη συγκεντρωτικό ιμάντα (π.χ. διεργασίες πλυσίματος). Το μέγεθος της μηχανής προσδιορίζεται από τη χωρητικότητά της (αριθμός τεμαχίων που μπορεί να είναι στον ιμάντα ταυτόχρονα) και η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας της ορίζεται σε τεμάχια/λεπτό (units/minute). Η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στο σχήμα 3-13 και στο σχήμα 3-14 φαίνεται η απεικόνισή της στο μοντέλο.

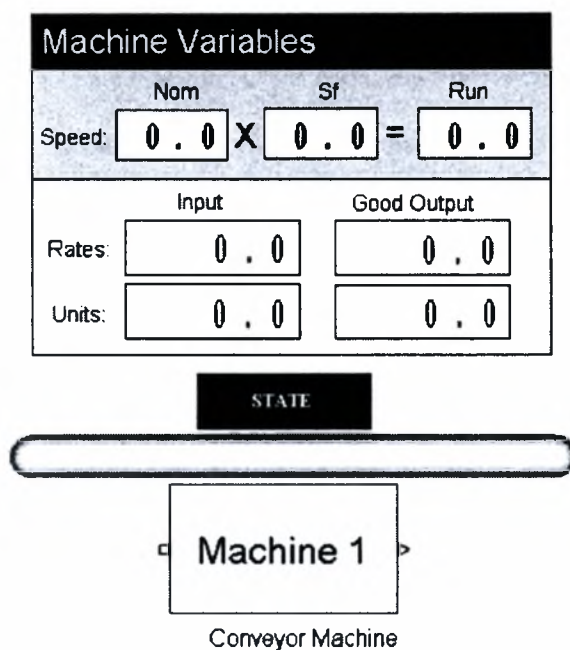
# Conveyor Machine

(Non-Accumulating Conveyor)

## Nominal Run Speed



Σχήμα 3-13: Μηχανής Ιμάντας

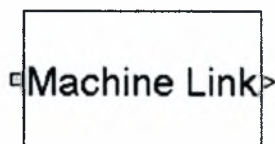


Σχήμα 3-14: Απεικόνιση Μηχανής Ιμάντα στο Μοντέλο

Για όλους τους τύπους μηχανών μπορούμε να καθορίσουμε προαιρετικά χαρακτηριστικά (options): ελεγκτές (controls), απώλεια παραγωγής (loss), χρόνους στησίματος μηχανών για τις αλλαγές μεταξύ διαφορετικών προϊόντων (changeovers), αξιοπιστία (reliability) και προγραμματισμένα σταματήματα (scheduled stops). Η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας των μηχανών αναφέρεται στη μέγιστη ταχύτητα παραγωγής. Στην είσοδο κάθε μηχανής (εκτός Filling Machine) μπορεί να συνδεθεί ιμάντας ή Machine Link. Στην έξοδό τους (συμπεριλαμβανομένου της Filling Machine) μπορεί να συνδεθεί ιμάντας ή Machine Link. Απ' ευθείας σύνδεση μεταξύ των μηχανών δεν μπορεί να υπάρξει παρά μόνο με ένα Machine Link (περιέχει κάποιο αμελητέο ποσό συσσώρευσης μεταξύ των μηχανών).

### 3.3.4 Σύνδεση Μηχανής (Machine Link)

Το στοιχείο αυτό (σχήμα 3-15) χρησιμοποιείται για την απ' ευθείας ένωση 2 μηχανών, όταν μεταξύ των μηχανών δεν αναμένουμε συγκέντρωση υλικού ή όταν δε θέλουμε να έχουμε ενδιάμεσο αποθηκευτικό χώρο (buffer). Στην αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν ιμάντα.



Σχήμα 3-15: Σύνδεση Μηχανής

Αν θέλουμε να συνδέσουμε 2 στοιχεία που δεν είναι μηχανές και δε θέλουμε σχηματισμό buffer, τότε χρησιμοποιούμε ιμάντα με ονομαστική ταχύτητα υψηλή (π.χ. 100000 meters/min) και ορίζω μήκος, πλάτος και πυκνότητα υλικού τέτοια, ώστε η χωρητικότητα του ιμάντα να είναι 1 unit. Η μέθοδος αυτή προσεγγίζει ένα αμελητέο buffer.

### 3.3.5 Παλετοποιητής (Palletizer) και Αποπαλετοποιητής (Depalletizer)

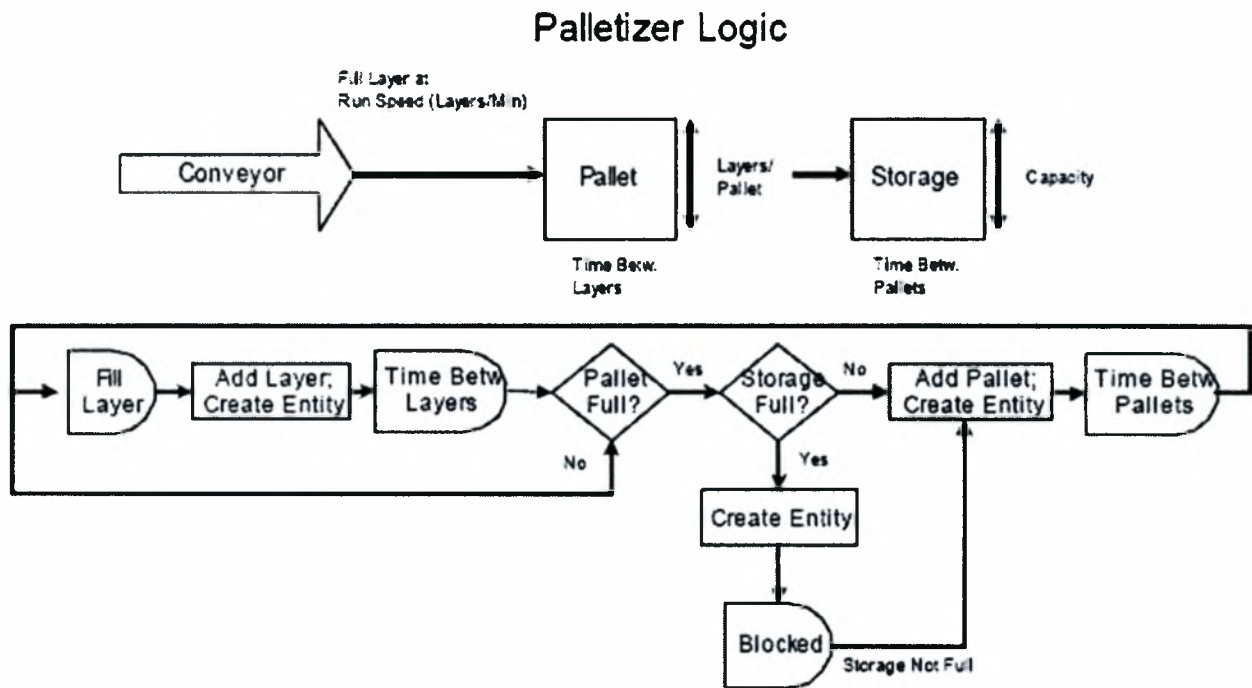
Το στοιχείο αυτό είναι η φυσική κατάληξη μιας γραμμής παραγωγής και προϊόντα αποθηκεύονται ή αφαιρούνται από παλέτες. Προσδιορίζει, είτε παλετοποίηση, είτε αποπαλετοποίηση. Ο παλετοποιητής μετατρέπει το υλικό σε διακριτές παλέτες. Αντιστρόφως ο αποπαλετοποιητής μετατρέπει τις παλέτες σε υλικό το οποίο τροφοδοτεί τη γραμμή.

Ο αποπαλετοποιητής τοποθετείται στην αρχή της γραμμής παραγωγής, αφαιρεί παλέτες από την αποθήκη και στέλνει το υλικό στον πρώτο ιμάντα της γραμμής. Ο παλετοποιητής τοποθετείται στο τέλος της γραμμής, τροφοδοτείται από το υλικό (ή προϊόντα) που έρχονται σ' αυτόν από τον ιμάντα, το στοιβάζει σε παλέτες και τις τοποθετεί στην αποθήκη.

Χρησιμοποιούμε το στοιχείο αυτό όταν:

- Διακριτές παρτίδες προϊόντων μέσα ή έξω από τη γραμμή είναι η λύση του προβλήματος. Η υψηλού ρυθμού ροή διακριτοποιείται σε επίπεδα (layers) και παλέτες (pallets) και οι διακριτές αυτές οντότητες, με χαμηλή ταχύτητα, μπορούν να παραληφθούν ή να σταλούν σε κάποιο σύστημα.

- Έχουμε περιορισμούς παροχής ή αποθήκευσης στο σύστημα. Σε συνδυασμό με το στοιχείο αποθήκευσης (Storage) ο παλετοποιητής μοντελοποιεί την έλλειψη υλικού στην αρχή κάθε γραμμής εξαιτίας ανεπαρκούς τροφοδοσίας πρώτης ύλης. Ομοίως μπορούμε να μοντελοποιήσουμε τα μπλοκαρίσματα (blockages) που συμβαίνουν σε μια γραμμή εξαιτίας της έλλειψης αποθηκευτικού χώρου για τελικά προϊόντα.
- **Palletizer:** Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στο σχήμα 3-16.



Σχήμα 3-16: Αρχή Λειτουργίας Παλετοποιητή

Κατ' αρχήν ο παλετοποιητής παραλαμβάνει υλικό από τον εισερχόμενο ιμάντα στην ταχύτητά του και γεμίζει ένα επίπεδο (layer). Αν Sf ο συντελεστής ταχύτητάς του (speed factor), τότε η ταχύτητα λειτουργίας του υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Run Speed (layers/min)} = \text{Nom. Run Speed (layers/min)} * \text{Sf}$$

ή

$$\text{Run Speed (units/min)} = \text{Nom. Run Speed (layers/min)} * \text{Sf} * \text{Units/Layer.}$$

Π.χ. ας υποθέσουμε ότι ο παλετοποιητής έχει Nom. Run Speed = 3 layers/min) και Units/Layer = 150. Υποθέτουμε ότι Sf = 1. Όταν γεμίσει 1 επίπεδο, τότε τροφοδοτείται με υλικό από τον εισερχόμενο ιμάντα με ρυθμό

450 units/min (3 layers/min \* 150 units/layer). Επομένως, αν υπάρχει αρκετό διαθέσιμο υλικό θα πάρει περίπου 20 sec να γεμίσει ένα επίπεδο.

Αφού γεμίσει το επίπεδο, τότε καθυστερεί για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (χρόνος μεταξύ επιπέδων – Time Between Layers). Τυπικά αυτό το διάστημα αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται για ν' αλλάξει ένα layer μέσα στη παλέτα. Μπορεί επίσης να αναπαριστάνει κάθε άλλο χρόνο που απαιτείται πριν αρχίσει το γέμισμα του επόμενου layer. Όπου Time Between Layers μπορεί να είναι ένας σταθερός χρόνος ή μια τυχαία κατανομή. Να σημειωθεί ότι ο εισερχόμενος ρυθμός του κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου είναι 0.

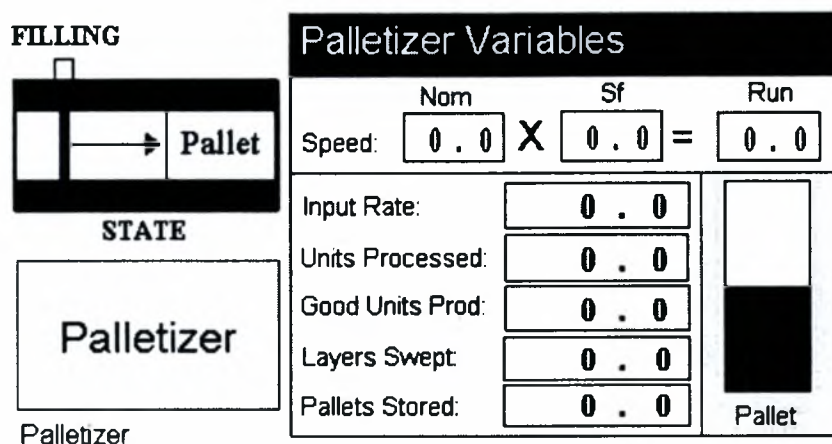
Αφού περάσει ο Time Between Layers, τότε η μηχανή ελέγχει αν η παλέτα έχει γεμίσει. Η παράμετρος Layers/Pallet προσδιορίζει το μέγεθος της παλέτας. Αν ο αριθμός των επιπέδων της παλέτας είναι μικρότερος από την παράμετρο Layers/Pallet, τότε αρχίζει να γεμίζει ένα άλλο επίπεδο. Αν ο αριθμός των επιπέδων της παλέτας είναι ίσος με την παράμετρο Layers/Pallet (η παλέτα είναι πλήρης), τότε η μηχανή προσπαθεί να τοποθετήσει την ολοκληρωμένη παλέτα στην αποθήκη.

Η παράμετρος Storage Name καθορίζει το που θα αποθηκεύονται οι παλέτες. Αν δεν την ορίσουμε, τότε ο παλετοποιητής υποθέτει άπειρη χωρητικότητα αποθήκης. Αν στο πεδίο αυτό υπάρχει κάποιο όνομα αποθήκης (Storage), τότε ελέγχεται αν η αποθήκη είναι πλήρης ή όχι πριν προστεθεί μια παλέτα σ' αυτήν. Αν η αποθήκη είναι πλήρης, τότε ο παλετοποιητής δεν μπορεί να προσθέσει παλέτα και μπλοκάρεται (blocked). Παραμένει μπλοκαρισμένος μέχρι να αδειάσει χώρος στην αποθήκη. Να σημειώσουμε εδώ ότι μπορούμε να ορίσουμε κάποιο διακριτό γεγονός κάθε φορά που μπλοκάρεται η μηχανή και έτσι να καταμετρούμε όλα τα μπλοκαρίσματα που συμβαίνουν.

Εφόσον μία παλέτα αποθηκευτεί, ο παλετοποιητής μπορεί να καθυστερεί για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (χρόνος μεταξύ παλετών – Time Between Pallets). Ο χρόνος αυτός παριστάνει το χρόνο που απαιτείται να αποθηκευτεί μια παλέτα, το χρόνο προετοιμασίας (setup time) της επόμενης παλέτας ή οποιαδήποτε άλλο χρόνο που απαιτείται πριν αρχίσει το

γέμισμα του πρώτου layer της επόμενης παλέτας. Ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι σταθερός ή να δίνεται από μια τυχαία κατανομή. Ο εισερχόμενος ρυθμός κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου είναι 0.

Στο σχήμα 3-17 φαίνεται πως απεικονίζεται η μηχανή στο μοντέλο, καθώς και οι αντίστοιχες μεταβλητές της (Palletizer Variables).



Σχήμα 3-17: Απεικόνιση Παλετοποιητή στο Μοντέλο

Όπου:

Nominal Speed: ονομαστικός ρυθμός παλετοποιητή [Layers/Min]

Speed Factor (Sf): συντελεστής ταχύτητας παλετοποιητή

Run Speed: τρέχον ρυθμός παλετοποιητή = Nominal Speed x Sf

Input Rate: τρέχον ρυθμός εισόδου τεμαχίων [Units/Min]

Units Processed: συνολικός αριθμός εισερχόμενων τεμαχίων [Units]

Good Units Produced: συνολικός αριθμός καλών παραγόμενων τεμαχίων

Layers Swept: αριθμός αλλαγών μεταξύ επιπέδων [Layers]

Pallets Stored: συνολικός αριθμός αποθηκευμένων παλετών [Pallets]

Το υλικό συγκεντρώνεται μπροστά από τον παλετοποιητή και εξέρχεται από τον ιμάντα με ρυθμό:  $(\text{Units/Layer}) \cdot (\text{Nom. Run Speed})$  units/min, υποθέτοντας  $Sf = 1$ ). Κατόπιν αποθηκεύεται μία παλέτα κάθε φορά μέχρι να συμπληρωθεί η μέγιστη χωρητικότητα της αποθήκης.

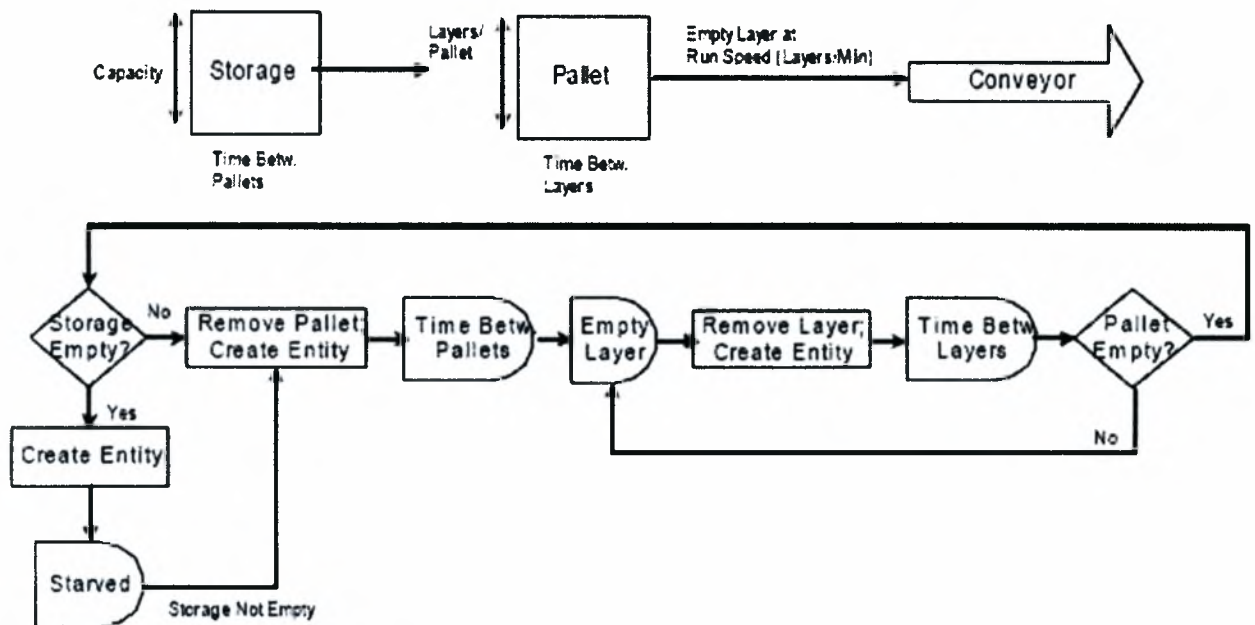
Τα προαιρετικά χαρακτηριστικά (options) του παλετοποιητή καθορίζονται με: ελεγκτές (controls), απώλεια παραγωγής (loss), χρόνους στησίματος



μηχανών για τις αλλαγές μεταξύ διαφορετικών προϊόντων (changeovers), αξιοπιστία (reliability), προγραμματισμένα σταματήματα (scheduled stops) και λογική διακριτής οντότητας (discrete entity logic).

- **Depalletizer:** Η λογική λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτήν του παλετοποιητή και η συμπεριφορά του φαίνεται στο σχήμα 3-18.

### Depalletizer Logic



Σχήμα 3-18: Αρχή Λειτουργίας Αποπαλετοποιητή

Το υλικό αφαιρείται από τον αποπαλετοποιητή και εξέρχεται από τον ιμάντα με ρυθμό:  $(\text{Units/Layer}) \cdot (\text{Nom. Run Speed}) \text{ units/min}$ , υποθέτοντας  $S_f = 1$ , αν δεν έχει προηγουμένως κλείσει ο παλετοποιητής στο τέλος της γραμμής ή δεν υπάρχει απόθεμα στον αποθηκευτικό χώρο. Οι παράμετροι λειτουργίας του αποπαλετοποιητή είναι όμοιοι με του παλετοποιητή, με τη διαφορά ότι το υλικό δεν αφαιρείται από το σύστημα αλλά εισάγεται σ' αυτό από κάποιον αποθηκευτικό χώρο.

Και οι δύο τύποι μηχανών διακρίνονται για την αλληλεπίδραση που έχουν μεταξύ διακριτών και μη-διακριτών διεργασιών. Επειδή κάθε διακριτή διεργασία προκαλεί ανανεώσεις του συστήματος, η πολλαπλή χρήση τους μπορεί να επιβραδύνει την ταχύτητα προσομοίωσης του μοντέλου. Αν ισχύει αυτό, τότε η ταχύτητα προσομοίωσης μπορεί δραματικά να βελτιω-

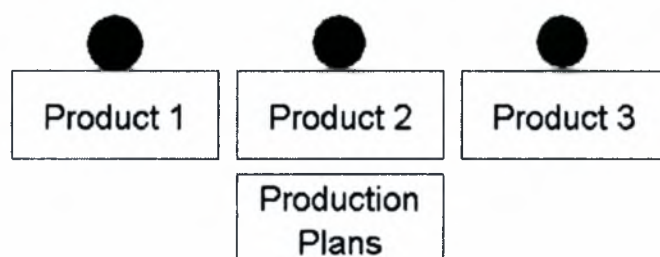
θεί μειώνοντας την αλληλεπίδραση των διακριτών λειτουργιών στο ελάχιστο. Ένας τρόπος να το κάνουμε αυτό είναι να υποθέσουμε ότι υπάρχει μόνο 1 layer/pallet. Τότε θέτουμε Units/Layer το συνολικό αριθμό τεμαχίων της παλέτας, Time Between Layers = 0 και Layers/Pallet = 1. Φυσικά, αν μας ενδιαφέρουν οι εσωτερικές διεργασίες σε μία παλέτα, τότε πρέπει να εξετάσουμε πιο λεπτομερειακά τα επιπλέον γνωρίσματά της.

### 3.3.6 Προϊόν (Product)

Το στοιχείο αυτό καθορίζει το όνομα του προϊόντος το οποίο παράγεται στο σύστημα. Τα ονόματα των προϊόντων μπορούν να γίνουν αναφορές για τους χρόνους αλλαγών μεταξύ τους (changeovers), τους διακόπτες (switches) και σχέδια παραγωγής (production plans). Αν ονόματα προϊόντων δεν αναφερθούν στο μοντέλο, τότε το σύστημα θεωρεί παραγωγή ενός προϊόντος. Έτσι, τα στοιχεία προϊόν (Products) και σχέδια παραγωγής (Production Plans) είναι απαραίτητα στο μοντέλο μόνο όταν διαφορετικά προϊόντα επεξεργάζονται στο σύστημα και υπάρχει λογική εξαρτημένη από τα προϊόντα (changeovers, ταχύτητες λειτουργίας των μηχανών ανάλογα με το προϊόν, κτλ).

### 3.3.7 Σχέδια Παραγωγής (Production Plans)

Το στοιχείο αυτό προσδιορίζει τις παραμέτρους για το σχέδιο παραγωγής. Τα σχέδια αυτά υλοποιούνται από τις μηχανές μέσω της επιλογής παραγωγής και αλλαγής της (Production and Changeover). Το σχήμα 3-19 απεικονίζει 3 διαφορετικά προϊόντα και το σχέδιο παραγωγής τους στο μοντέλο.



Σχήμα 3-19: Απεικόνιση Προϊόντων και Σχεδίου Παραγωγής στο Μοντέλο

Το σχέδιο παραγωγής σε μια μηχανή εκτελείται με την εξής σειρά:

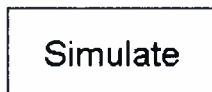
1. Πραγματοποιείται ο χρόνος προετοιμασίας (setup time).

2. Παράγεται η ποσότητα του προϊόντος.
3. Υλοποιείται το επόμενο βήμα του σχεδίου

Όταν όλα τα βήματα του σχεδίου τελειώσουν, η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή μέχρι να τελειώσει ο χρόνος προσομοίωσης. Κατά τη διάρκεια του setup time, η κατάσταση (state) της μηχανής θέτεται Changeover και το σύνολο των αλλαγών καταγράφεται.

### 3.3.8 Εντολή “Προσομοίωσε” (Simulate)

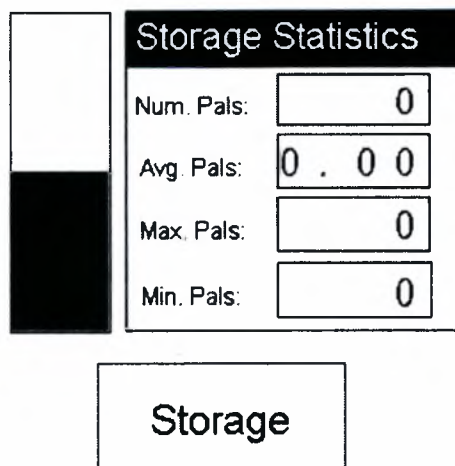
Το στοιχείο αυτό (σχήμα 3-20) προσδιορίζει προχωρημένες επιλογές προσομοίωσης, όπως μονάδες μέτρησης, όρια του μοντέλου, στατιστικά δεδομένα και δίνει εντολή στο σύστημα ν’ αρχίσει η προσομοίωση.



Σχήμα 3-20: Εντολή “Προσομοίωσε”

### 3.3.9 Αποθήκη (Storage)

Το στοιχείο αυτό μας επιτρέπει να καθορίσουμε παραμέτρους για τον αποθηκευτικό χώρο καθώς και τα ανάλογα στατιστικά. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το στοιχείο Palletizer. Στο σχήμα 3-21 φαίνεται η απεικόνιση της αποθήκης στο μοντέλο, καθώς και τα αντίστοιχα στατιστικά (Storage Statistics) που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.



Σχήμα 3-21: Απεικόνιση Αποθήκης στο Μοντέλο

Όπου:

Number of Pallets: αριθμός παλετών που έχουν αποθηκευτεί [Pallets]

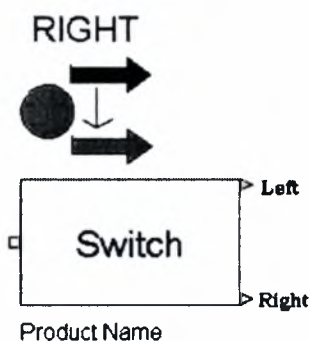
Average Number of Pallets: μέσος αριθμός αποθηκευμένων παλετών

Maximum Number of Pallets: μέγιστος αριθμός αποθηκευμένων παλετών

Minimum Number of Pallets: ελάχιστος αριθμός αποθηκευμένων παλετών

### 3.3.10 Διακόπτης (Switch)

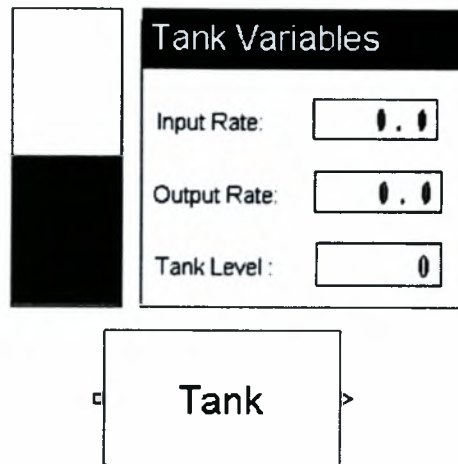
Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει τη ροή από μία εισερχόμενη γραμμή σε δύο εξερχόμενες γραμμές (left stream, right stream). Η ροή μπορεί να ρυθμιστεί είτε από το εισερχόμενο προϊόν, είτε από διακριτά γεγονότα, είτε από τον αριθμό προϊόντων που έχουν φτάσει στο στοιχείο. Επίσης μπορούμε να ορίσουμε κάποια καθυστέρηση για την αλλαγή των ροών (Time to Switch). Στο σχήμα 3-22 φαίνεται η απεικόνιση του διακόπτη στο μοντέλο.



Σχήμα 3-22: Απεικόνιση Διακόπτη στο Μοντέλο

### 3.3.11 Δεξαμενή (Tank)

Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για της περιγραφή κάποιας δεξαμενής συγκέντρωσης ρευστού. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις βαλβίδες για τον έλεγχο της ροής και τροφοδοτεί τη μηχανή γεμίσματος. Τυπικά, συνδέεται με μία βαλβίδα για τον έλεγχο της εισερχόμενης ροής στη δεξαμενή και μετά η δεξαμενή. Στο σχήμα 3-23 φαίνεται η απεικόνιση της δεξαμενής στο μοντέλο και οι αντίστοιχες μεταβλητές της (Tank Variables).



Σχήμα 3-23: Απεικόνιση Δεξαμενής στο Μοντέλο

Όπου:

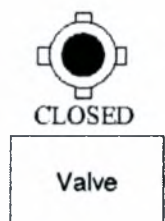
Input Rate: ρυθμός εισόδου ρευστού στη δεξαμενή [Volume/Min]

Output Rate: ρυθμός εξόδου ρευστού από τη δεξαμενή

Tank Level: τρέχον ποσότητα ρευστού στη δεξαμενή [Volume]

### 3.3.12 Βαλβίδα (Valve)

Η βαλβίδα (σχήμα 3-24) ρυθμίζει τη ροή του ρευστού από, προς ή μεταξύ δεξαμενών και η κατάσταση της ορίζεται κλειστή (Closed) ή ανοιχτή (Open).



Σχήμα 3-24: Απεικόνιση Βαλβίδας στο Μοντέλο

## 3.4 Κοινές Επιλογές Λειτουργίας των Στοιχείων

### 3.4.1 Δράσεις (Actions)

Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να επηρεάσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος μέσα από καθορισμένες δράσεις. Ορίζονται μέσω των ελεγκτών (Controls) και αισθητήρων (Sensors) σε στοιχεία όπως μηχανές (Machines),

ιμάντες (Conveyors) και παλετοποιητές (Palletizers) και ενεργοποιούνται όταν ο κατάλληλος αισθητήρας ή ελεγκτής ενεργοποιηθεί.

### **3.4.2 Σχηματική Απεικόνιση (Animation)**

Η επιλογή της σχηματικής απεικόνισης εμφανίζεται στα περισσότερα στοιχεία για να μας δώσει μια οπτική περιγραφή του μοντέλου που προσομοιώνουμε. Ανάλογα με το στοιχείο (module) διαφορετικές επιλογές είναι διαθέσιμες: δείκτης κατάστασης μηχανήματος (state indicator), μπλοκάρισμα/έλλειψη προϊόντος (blocked/starved symbols), εικόνα προϊόντος (product picture) και πίνακας μεταβλητών (variables table).

### **3.4.3 Ελεγκτές (Controls)**

Οι ελεγκτές προσδιορίζουν τους ελέγχους που πρέπει να γίνουν για κάθε τύπο μηχανών, ιμάντων ή παλετοποιητών. Για κάθε ελεγκτή εκτιμάται μια κατάσταση (condition). Η ενεργοποίησή του προϋποθέτει όλες τις συνθήκες του να είναι TRUE (είναι λογικής AND). Τότε λαμβάνει χώρα το σετ δράσεων που έχει οριστεί. Οι ελεγκτές εκτιμώνται σε διακριτά χρονικά διαστήματα και όχι συνεχή, δηλαδή κάθε φορά που η κατάσταση ενός μηχανήματος αλλάζει.

### **3.4.4 Απώλεια (Loss)**

Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να καθορίσουμε τη ποσότητα του προϊόντος που χάνεται κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του. Στατιστικά δεδομένα συλλέγονται γι' αυτόν το σκοπό. Η απώλεια παραγωγής χωρίζεται σε: Event-Based Loss ή απώλεια λόγω κάποιου γεγονότος και Production-Based Loss ή απώλεια συγκεκριμένου ποσοστού προϊόντων.

### **3.4.5 Παραγωγή και Αλλαγές της (Production and Changeovers)**

Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να καθορίσουμε παραμέτρους των αλλαγών παραγωγής μεταξύ διαφορετικών προϊόντων. Οι αλλαγές αυτές μπορούν καθοριστούν είτε μέσα από το σχέδιο παραγωγής (production plan), είτε μέσω

των διαφορετικών προϊόντων που εισέρχονται σε ένα στοιχείο από το προηγούμενό του. Και για τις δύο επιλογές μπορούμε να δεσμεύσουμε κάποιο χρόνο που απαιτείται για την προετοιμασία παραγωγής του επόμενου προϊόντος. Αν έχουμε απώλεια παραγωγής (loss), τότε μπορούμε στο σχέδιο παραγωγής να ορίσουμε τις ποσότητες των πραγματικά καλών προϊόντων που στέλνονται στο επόμενο μηχάνημα (Good Units Produced).

#### **3.4.6 Αξιοπιστία (Reliability)**

Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να καθορίσουμε τυχαίες βλάβες των μηχανών, ιμάντων και παλετοποιητών. Προσδιορίζουμε την αξιοπιστία ενός μηχανήματος με βάση τον προσδοκώμενο χρόνο λειτουργίας του (Expected Uptime), την πιθανότητα το μηχάνημα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο να μη χαλάσει (Reliability Over A Time Span), ή μπορούμε να ορίσουμε ατομικές βλάβες (Individual Failure Streams, δηλαδή διαφορετικό ρυθμό βλαβών ανάλογα με τα προς επεξεργασία προϊόντα, οι βλάβες συμβαίνουν με βάση πόσα προϊόντα επεξεργάζονται και όχι πόσο χρόνο λειτούργησε ο σταθμός, κτλ). Κατά τη διάρκεια βλάβης η κατάσταση (state) του μηχανήματος θέτεται Failed.

#### **3.4.7 Εκτέλεση (Run)**

Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να ορίσουμε τον αρχικό συντελεστή ταχύτητας (speed factor) ενός στοιχείου (όπου ορίζεται).

#### **3.4.8 Προγραμματισμένα Σταματήματα (Scheduled Stops)**

Η επιλογή αυτή προσδιορίζει τις προγραμματισμένες διακοπές ή σταματήματα σε μια μηχανή, ιμάντα ή παλετοποιητή, λόγω συντήρησης, κτλ. Διαφέρουν από τις βλάβες στο ότι είναι προγραμματισμένα σταματήματα σε αντίθεση με τις βλάβες που συμβαίνουν τυχαία.

Κατά τη διάρκεια ενός σταματήματος η κατάσταση του μηχανήματος θέτεται Stopped. Συμβαίνουν μόνο όταν το μηχάνημα λειτουργεί και όχι όταν είναι σταματημένο. Αν κάποιο μηχάνημα είναι ήδη σταματημένο (εκτός scheduled

stop) και έχει προγραμματιστεί να σταματήσει, τότε όταν ξεκινήσει η λειτουργία του θα μεταβληθεί η κατάστασή του σε Stopped.

### 3.4.9 Sensors dialog

Η τοποθέτησή τους πραγματοποιείται στους ιμάντες και η ρύθμισή τους γίνεται συναρτήσει του μήκους του ιμάντα. Τοποθετείται σε απόσταση μετρημένη από το τέλος του ιμάντα ή σε κάποιο ποσοστό του μήκους του. Εφόσον ένας αισθητήρας ενεργοποιηθεί, είτε λαμβάνει κάποια δράση (action), είτε δημιουργείται μία διακριτή οντότητα.

Όταν ο ιμάντας γεμίζει και τείνει να μπλοκαριστεί τότε αυτόματα ένας αισθητήρας θέτει το συντελεστή ταχύτητας της προηγούμενης μηχανής ίσο με 0. Επίσης, ένας άλλος αυτόματος αισθητήρας (Automatic Upstream Restart) θα θέσει ξανά σε λειτουργία την προηγούμενη μηχανή αν ο ιμάντας αδειάσει. Αν θελήσουμε η προηγούμενη μηχανή να αρχίσει νωρίτερα, απλά προσθέτουμε έναν ακόμη αισθητήρα, σε κατάλληλη θέση, και ορίζουμε να αρχίσει η λειτουργία της προηγούμενης μηχανής όταν αυτός δεν καλύπτεται (uncovered).

Όπως και σε ένα πραγματικό σύστημα αν τοποθετήσουμε πολύ κοντά τους αισθητήρες αυτοί θα προκαλέσουν ταλαντώσεις του συστήματος και μείωση της απόδοσής του. Π.χ. αν τοποθετήσουμε έναν αισθητήρα στο 99% του μήκους του ιμάντα (δηλαδή σχεδόν στην αρχή του) και αυτός προκαλεί επανεκκίνηση της προηγούμενης μηχανής, τότε είναι βέβαιο ότι η προηγούμενη μηχανή θα ταλαντεύεται μεταξύ των καταστάσεων blocked και working.

## 3.5 Αξιοπιστία και Απώλεια Παραγωγής

### 3.5.1 Αξιοπιστία (Reliability)

Ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό ενός μηχανήματος είναι η ικανότητά του να λειτουργεί χωρίς βλάβη. Βλάβες των μηχανών συνεπάγονται απώλεια παραγωγής οι οποίες έχουν δραματικές επιπτώσεις στην απόδοση ενός συστήματος. Είναι σημαντικό να διατηρείται σταθερός ο ρυθμός παραγωγής μιας γραμμής ελαχιστοποιώντας τις διακοπές της. Γι' αυτόν το λόγο οι τεχνικοί επιτελούν σε τακτά χρονικά διαστήματα προληπτική συντήρηση όλων των στοι-

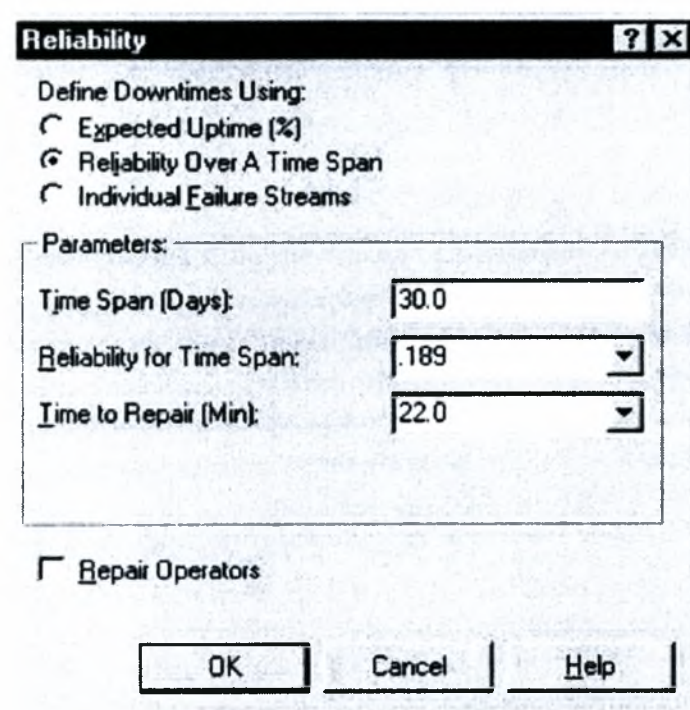


χείων της γραμμής. Δυστυχώς, απροσδόκητα σταματήματα και βλάβες συμβαίνουν πάντα, αναγκάζοντας το κομμάτι της γραμμής που βρίσκεται πριν το σταθμό που υπέστη βλάβη να σταματήσει και να δημιουργείται έτσι ένα κενό στην υπόλοιπη γραμμή. Επιπλέον αν η βλάβη διαρκεί αρκετή ώρα πιθανόν να υπάρχει και χάσιμο υλικού λόγω της φθοράς της ποιότητάς του με το χρόνο.

Αν  $p_i$  είναι η πιθανότητα ότι το στοιχείο  $i$  θα λειτουργεί, τότε ορίζουμε τη συνάρτηση αξιοπιστίας  $n$  ανεξάρτητων στοιχείων ενός συστήματος συνδεδεμένα σε σειρά με την έκφραση:

$$r(p) = \prod_{i=1}^n p_i, \quad \forall i = 1, \dots, n$$

Μπορούμε να ορίσουμε τυχαίες βλάβες στο μοντέλο για τις μηχανές, τους μάντες και τους πελετοποιητές. Υπάρχουν τρεις επιλογές (σχήμα 3-25) για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας ενός συστήματος:



Σχήμα 3-25: Προσδιορισμός Αξιοπιστίας στο Μοντέλο

- **Προσδοκώμενος χρόνος λειτουργίας (Expected Uptime %):** Η επιλογή αυτή μας επιτρέπει να καθορίσουμε το ποσοστό το οποίο θα λειτουργεί ο σταθμός (Expected Uptime) χωρίς την πιθανότητα κάποιας βλάβης και το χρόνο που χρειάζεται για να επισκευαστεί (Time to Repair). Είναι ο πιο απλός τρόπος καθορισμού της αξιοπιστίας όταν δεν έχουμε αναλυτικά

στατιστικά δεδομένα. Πολλές φορές ο χρόνος λειτουργίας αναφέρεται ως διαθεσιμότητα (Availability) και ισχύει η έκφραση:

$$\text{Availability} = \text{Operational Time} / (\text{Operational Time} + \text{Failed Time})$$

Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (MTBF – Mean Time Between Failures) λαμβάνεται τυχαία απ' την εκθετική κατανομή και ισχύει η έκφραση:

$$\text{MTBF} = \text{Time to Repair} * (\text{Exp. Uptime \%} / (100 - \text{Exp. Uptime \%})).$$

Για τις μηχανές και τους πελετοποιητές ο χρόνος αυτός λογίζεται ως ο μέσος χρόνος επεξεργασίας μεταξύ βλαβών (δεν περιλαμβάνεται ο χρόνος αδράνειας), ενώ για τους ιμάντες λογίζεται ως ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας τους που έχουμε μετακίνηση υλικού σ' αυτούς. Αν τρέξουμε το μοντέλο για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, τότε ισχύει η έκφραση:

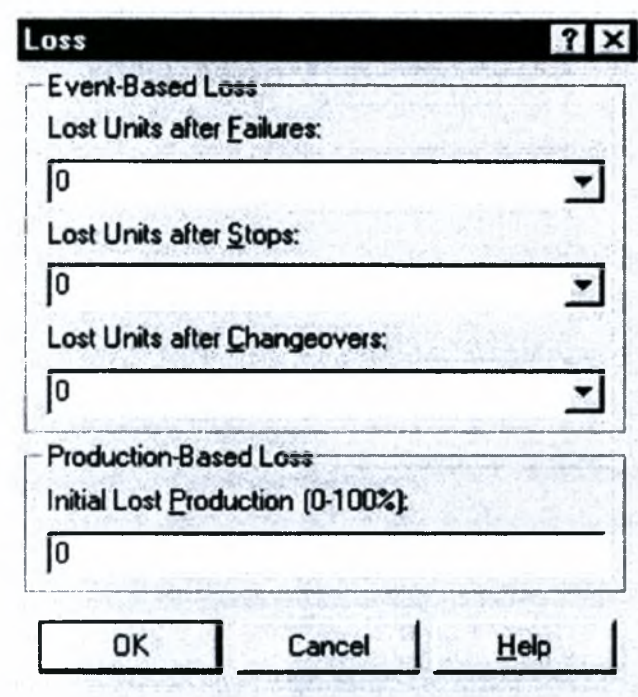
$$\text{Total Time Running} / (\text{Total Time Running} + \text{Total Time Failed}) = \text{Expected Uptime}.$$

Όταν μία βλάβη συμβαίνει η κατάσταση του στοιχείου αλλάζει σε Failed. Ο χρόνος σταματήματος θα είναι ο χρόνος επισκευής (Time to Repair).

- **Αξιοπιστία σ' ένα χρονικό διάστημα (Reliability Over A Time Span):** Πιο αυστηρά η αξιοπιστία ορίζεται ως η πιθανότητα ένα εξάρτημα να μην αστοχήσει μέσα σε κάποιο χρόνο λειτουργίας του (time span). Θεωρητικά ισχύει η ισότητα  $R = e^{-\lambda t}$ , όπου R είναι η αξιοπιστία ( $0 \leq R \leq 1$ ), t είναι το χρονικό διάστημα ( $t > 0$ ) για το οποίο ισχύει η αξιοπιστία και λ είναι ο ρυθμός βλαβών (failure rate). Μπορούμε να ορίσουμε το χρόνο μεταξύ επισκευών (Time to Repair) με μια από τις γνωστές κατανομές.
- **Εξατομικευμένος ρυθμός βλαβών (Individual Failure Streams):** Χρησιμοποιούμε αυτή την επιλογή όταν θέλουμε:
  - Μοντελοποίηση διεργασιών με διαφορετικούς ρυθμούς βλαβών
  - Διαφορετικούς τύπους βλαβών (π.χ. σπάνιους, συχνούς) και κάθε ένας έχει μοναδικό ρυθμό βλαβών
  - Οι βλάβες να μην εξαρτώνται από το χρόνο αλλά από τα πόσα κομμάτια έχουν επεξεργαστεί (throughput).

### 3.5.2 Απώλεια παραγωγής (Loss)

Ένας άλλος παράγοντας της συμπεριφοράς του συστήματος είναι η απώλεια παραγωγής κατά τη διάρκεια τόσο της επεξεργασίας όσο και της μεταφοράς. Η απώλεια παραγωγής κοστίζει και έχει δραματικές συνέπειες στην απόδοσή του. Υπάρχουν δύο είδη απώλειας παραγωγής (σχήμα 3-26):



Σχήμα 3-26: Προσδιορισμός Απώλειας Παραγωγής στο Μοντέλο

- **Απώλεια βασισμένη σε γεγονότα (Event-Based Loss):** Ο πρώτος τύπος απώλειας αναφέρεται στα διακριτά γεγονότα που μπορεί να συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής, όπως βλάβες (Failures), σταματήματα (Stops) και αλλαγές προϊόντων (Changeovers). Μπορούμε να εισάγουμε για κάθε μία περίπτωση είτε κάποιο σταθερό αριθμό, είτε κάποια τυχαία κατανομή, είτε κάποια μεταβλητή (Variable).
- **Απώλεια βασισμένη στην παραγωγή (Production-based loss):** Η δεύτερη περίπτωση είναι η πιο γενική έκφραση του ρυθμού απώλειας παραγωγής. Ορίζεται σαν ποσοστό του ολικού ρυθμού εξόδου προϊόντων του εξοπλισμού. Ισχύει η έκφραση:

$$\text{Output Rate} = \text{Good Output Rate} + (\text{Lost Production \%} * \text{Output Rate})$$

## Κεφάλαιο 4: Περιγραφή Γραμμών

### Παραγωγής και Συσκευασίας

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε τις παραγωγικές διαδικασίες που συμβαίνουν στο εργοστάσιο κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Γίνεται πλήρης περιγραφή της γραμμής παραγωγής Νο1 και των γραμμών συσκευασίας Νο1 και Νο4 και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής τους. Τέλος, αξίζει ν' αναφερθεί ότι υπάρχουν συνολικά 18 θάλαμοι ψύξης χωρητικότητας 600 τόνων ο καθένας (οι μεγαλύτεροι στην Ελλάδα), στους οποίους αποθηκεύεται το ημιέτοιμο προϊόν της γραμμής παραγωγής και το τελικό προϊόν των γραμμών συσκευασίας.

#### 4.1 Γραμμή Παραγωγής Νο1 (αρίθμηση: A01 έως A45)

Η γραμμή αποτελείται από διάφορους σταθμούς σε σειρά οι οποίοι ενώνονται με κοινούς ιμάντες μεταφοράς και μηχανισμούς ελέγχου της ροής. Η μεταφορά του υλικού γίνεται αυτόματα σε όλη τη γραμμή παραγωγής. Εκτός από τη φόρτωση και εκφόρτωση όλες οι άλλες διεργασίες γίνονται αυτόματα.

Δεν υπάρχουν ενδιάμεσοι αποθηκευτικοί χώροι, οπότε το υλικό κινείται απ' ευθείας από τον ένα σταθμό στον άλλο. Η γραμμή ελέγχεται σταθερά από προσωπικό για την ομαλή λειτουργία της και την εξασφάλιση της ποιότητας του προϊόντος.

Ο πιο αργός σταθμός της γραμμής είναι ο βραστήρας (boiler) ή/και ο καταψύκτης (refrigerator). Ο σχεδιαστής της γραμμής εξασφάλισε ότι όλες οι άλλες μηχανές δε θα λειτουργούν με ταχύτητα μεγαλύτερη της ταχύτητας λειτουργίας του πιο αργού σταθμού. Δηλαδή, η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής θα είναι ίση με αυτήν του πιο αργού σταθμού. Λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανημάτων όταν μια βλάβη συμβαίνει όλοι οι προηγούμενοι σταθμοί σταματούν τη λειτουργία τους. Επιπλέον, το υλικό που έχει μείνει στη γραμμή, αναλόγως που σταμάτησε και πόσο έχει μείνει, είτε θα πεταχτεί, είτε θα συνεχίσει τη ροή του μετά την επισκευή της βλάβης. Επομένως η πραγματικός ρυθμός λειτουργίας της γραμμής μπορεί να είναι πολύ μικρότερος από τον ονομαστικό.

Από καταγραφές διαπιστώθηκε ότι η γραμμή, υπό φυσιολογικές συνθήκες, λειτουργεί στο 80% της δυναμικότητάς της και με ρυθμό περίπου 3 tn/hr. Η ονομαστική δυναμικότητα της γραμμής είναι περίπου  $\frac{3}{0.8} = 3,75 \frac{tn}{hr}$ . Χρησιμοποιείται σε αυτόν το βαθμό, ώστε όταν κληθεί να αντεπεξέλθει σε περιόδους υψηλής ζήτησης να μπορέσει να την ικανοποιήσει.

Η γραμμή αποτελείται από 6 διακριτές περιοχές-σταθμούς. Κάθε σταθμός ενσωματώνει τη μηχανή επεξεργασίας και τις επόμενες μεταφορικές ταινίες:

- Σταθμός 1: Ξεφόρτωμα από το φορτηγό στη χαρμανιέρα και ροή του υλικού μέσω των μεταφορικών ταινιών στο πλυντήριο.
- Σταθμός 2: Πλύση της πρώτης ύλης και μεταφορά της στα προοπτικά και κοπτικά εργαλεία.
- Σταθμός 3: Κοπή (διαμόρφωση) της πρώτης ύλης σε συγκεκριμένο μέγεθος και μεταφορά της στο βραστήρα.
- Σταθμός 4: Βράσιμο της πρώτης ύλης για χρονικό διάστημα 4 – 20 min και μεταφορά της στον ψυκτικό θάλαμο.
- Σταθμός 5: Ψύξη της πρώτης ύλης για χρονικό διάστημα 4 – 20 min και μεταφορά της στο σταθμό παλετοποίησης.
- Σταθμός 6. Συσκευασία της πρώτης ύλης σε παλέτες των 3 τσουβαλιών.

Συγκεκριμένα, και σύμφωνα με την αρίθμηση που δίνεται στο εργοστάσιο, η πρώτη ύλη ρίχνεται από το φορτηγό στη χαρμανιέρα (A41) όπου και συκεντρώνεται. Η χαρμανιέρα είναι μια μεγάλη σε μήκος και πλάτος μεταφορική ταινία, μικρής κλίσης προς τα πάνω και έχει δύο άξονες με δόντια, κατά μήκος της, για να ρίχνουν λίγο-λίγο το προϊόν στη μεταφορική ταινία που ακολουθεί.

Κατόπιν μέσω της μεταφορικής ταινίας (A40) οδηγείται στο δονητομεταφορέα ή τρέμουλο (A42). Ο τελευταίος είναι μια πλατφόρμα με σήτα και καθαρίζει – αποχρωματίζει την πρώτη ύλη από χρώματα, πέτρες και γενικά σχετικά μεγάλα ξένα σώματα, με δόνηση. Ταυτόχρονα, λόγω της μικρής κλίσης του, προκαλεί μεταφορά της πρώτης ύλης προς το αναβατόρ (A38).

Στη συνέχεια από το αναβατόρ, η πρώτη ύλη οδηγείται σε ένα τρέμουλο – δονητή (A37) με κλίση για να την ισοκατανήμει, ώστε να γίνει εύκολα η δια-

λογή της από ελαφριά αυτή τη φορά σκουπίδια, όπως φύλλα, με τη βοήθεια του αεροδιαλογέα (A36). Ο αεροδιαλογέας είναι ένας κλειστός χώρος με ανεμιστήρες και φυσάει από κάτω την πρώτη ύλη και απομακρύνει κυρίως τα φύλλα. Τα σκουπίδια οδηγούνται από τη μεταφορική ταινία σκουπιδιών (A33) εκτός γραμμής όπου και συλλέγονται.

Κατόπιν, η πρώτη ύλη πηγαίνει στην ταινία διαλογής (A32) στην οποία βρίσκονται εργάτες για τη διαλογή του νωπού προϊόντος. Το "καλό" προϊόν μεταφέρεται στο πλυντήριο (A30). Το πλυντήριο είναι μια κλειστή κυκλική δεξαμενή η οποία αποτελείται από πολλαπλές σειρές μπεκ, κατά μήκος, για το πλύσιμο και καθάρισμα του προϊόντος με ψεκασμό. Δίπλα από το πλυντήριο υπάρχει αντλία πλυντηρίου (A31).

Το προϊόν μπορεί να περιέχει τσαμπιά ή όχι, οπότε μεταφέρεται στον αρματοδιαλογέα (A29) για να ξεχωρίσουν τα προϊόντα με τσαμπιά και μη. Όσα προϊόντα είναι καθαρά πέφτουν στη μεταφορική ταινία (A27), ενώ όσα έχουν στις άκρες τους τσαμπιά πιάνονται στον αρματοκόφτη (A26), κόβονται και από εκεί πηγαίνουν σε δεύτερη μεταφορική ταινία (A28), καθαρά πλέον. Να διευκρινίσουμε ότι ο αρματοδιαλογέας είναι μια διάταξη αποτελούμενη από ένα τύμπανο (άξονας μεγάλης διαμέτρου) το οποίο φέρει, στην περιμέτρώ του και καθ' όλο το μήκος του, άγκιστρα τα οποία με την περιστροφή του τυμπάνου "γραπώνουν" το υλικό που έχει στις άκρες τους αρμάθες.

Στη συνέχεια η πρώτη ύλη από τον αρματοδιαλογέα οδεύει στο αναβατόρ τύπου Z (A25) και από εκεί στο δονητομεταφορέα διασποράς (A24). Ο τελευταίος είναι χρήσιμος να υπάρχει σε αυτήν την φάση γιατί θα πρέπει να ισοκατανεμηθεί το προϊόν στην πλατφόρμα του, πρώτου οδηγηθεί στα τέσσερα προκοπτικά (A23 έως A20), τα οποία βρίσκονται σε παράλληλη διάταξη. Τα προκοπτικά μαζί με τα ακροκοπτικά (A19 έως A16), τα οποία βρίσκονται αμέσως μετά τα προκοπτικά, κόβουν τα κοτσάνια και τις άκρες, αντίστοιχα. Τα σκουπίδια πέφτουν στις μεταφορικές ταινίες (A44 και A43) και από εκεί με το αναβατόρ (A45) διώχνονται σε κάδο. Τα προκοπτικά και τα ακροκοπτικά είναι μεγάλα κυλινδρικά τύμπανα που στο εσωτερικό της περιμέτρου τους έχουν μαχαίρια τα οποία περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα ρυθμιζόμενη. Επίσης υπάρχουν μπεκ, ώστε να ψεκάζουν με νερό το προϊόν και να διώχνουν τα

σκουπίδια. Κάθε προκοπτικό βρίσκεται ακριβώς πίσω από κάθε ακροκοπτικό, ώστε μετά το τέλος της πρόκοψης να ρίχνει το προϊόν στο ακροκοπτικό.

Τα προϊόντα μετά την κατεργασία της κοπής μεταφέρονται στις ταινίες περισυλλογής (A15 και A14) και από εκεί στο αναβατόρ (A13). Το αναβατορ ρίχνει το προϊόν στον δονητή (A12), ο οποίος, όπως είπαμε, έχει κάποια μικρή κλίση και ωθεί το υλικό στο βραστήρα (A11). Ο βραστήρας είναι ένας κλίβανος μέσα στον οποίο ρίχνεται το προϊόν, κυρίως για παστερίωση, βράζεται για περίπου 4 – 20 min (ανάλογα με το προϊόν) σε θερμοκρασίες 92<sup>0</sup>C – 99<sup>0</sup>C.

Κατόπιν το προϊόν μέσω της μεταφορικής ταινίας (A10) οδηγείται σε θάλαμο (A9) για μια πρώτη ψύξη με νερό δικτύου. Ταυτόχρονα γίνεται και πλύσιμο του προϊόντος με ψεκάσμο (μπεκ). Μετά την πρώτη ψύξη το προϊόν έχει πλέον θερμοκρασία περιβάλλοντος και από το δονητομεταφορέα (A8) πηγαίνει στην ταινία διαλογής (A7). Εκεί πάλι υπάρχουν εργάτες για την διαλογή του “καλού” προϊόντος. Μέσω του αναβατόρ (A6) το προϊόν ρίχνεται στο δονητομεταφορέα (A5) και στην συνέχεια στο ψυκτικό τούνελ (A2).

Ο δονητομεταφορέας είναι χρήσιμος πριν το τούνελ για να ισοκατανήμει τη το προϊόν στην πλατφόρμα του με αποτέλεσμα να εισέρχεται στον ψυκτικό θάλαμο σιγά-σιγά και μεμονωμένο. Δηλαδή, να γίνει ομοιόμορφη η ψύξη του και όχι σαν μια ολόκληρη μάζα. Στο ψυκτικό τούνελ το προϊόν παθαίνει ισχυρό σοκ. Από θερμοκρασία περιβάλλοντος ψύχεται στους -18<sup>0</sup>C για 4 έως 20 min περίπου, ανάλογα με το προϊόν.

Το προϊόν βγαίνοντας από το ψυκτικό τούνελ οδηγείται σ’ ένα δονητή για να καταλήξει ισοκατανεμημένο στα 3 τάμπερ – χωνιά (A1). Εκεί βρίσκονται τσουβάλια των 50 Kgr για την περισυλλογή του ημιέτοιμου προϊόντος.

Η γραμμή παραγωγής δε βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο λόγω του όγκου και του μεγέθους των μηχανημάτων που την αποτελούν. Έτσι κρίνεται αναγκαίο σε πολλά τμήματα της να υπάρχουν κατάλληλες διατάξεις για την μεταφορά της πρώτης ύλης σε διάφορα ύψη. Αυτό πετυχαίνεται με τα αναβατόρ. Η όλη διαδικασία στην γραμμή παραγωγής από την στιγμή της τροφοδοσίας της στην χαρμανιέρα μέχρι την εξαγωγή του ημιέτοιμου προϊόντος στα τσουβάλια διαρκεί 20 min περίπου, αλλά γενικά εξαρτάται από τους χρόνους βρασμού και ψύξης στους σταθμούς A11 και A2 αντίστοιχα.

Η γραμμή είναι ευέλικτη. Χρησιμοποιείται για την κατεργασία φασολιού, αλλά από το σημείο A13 έως το σημείο A1 και με την προσθήκη μεταφορικής ταινίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την κατεργασία άλλων προϊόντων, όπως ρεβίθι, ξερό φασόλι, φακή και αρακάς.

Η δυναμικότητα της γραμμής είναι περίπου 3 τόνοι/ώρα.

Γίνεται τακτική, προληπτική συντήρησή της, ώστε να διατηρεί την εύρυθμη λειτουργία της και να προλαμβάνονται μελλοντικές βλάβες. Πραγματοποιείται περιοδικά και περιλαμβάνει ένα σετ εργασιών, όπως επιθεώρηση, καθαρισμός, λίπανση, ρύθμιση, ευθυγράμμιση, κτλ, συγκεκριμένων σημείων της γραμμής.

Κάθε εβδομάδα πραγματοποιείται:

- Επιθεώρηση των ιμάντων μεταφοράς και καθαρισμός της γραμμής από υλικό που έχει συσσωρευτεί στα μηχανήματα.
- Έλεγχος και καθαρισμός των ακροφυσίων νερού στο πλυντήριο.
- Έλεγχος και ρύθμιση των μαχαιριών στο σταθμό προοπτικών και κοπτικών εργαλείων.
- Έλεγχος του βραστήρα και του θαλάμου ψύξης για τυχόν αστοχίες.

Η προληπτική συντήρηση πραγματοποιείται για να αυξήσει την αξιοπιστία της γραμμής, όχι όμως, να προβλέψει τυχόν βλάβες κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Όταν μια βλάβη συμβεί οι τεχνικοί προσπαθούν να την επιδιορθώσουν το ταχύτερο δυνατό, ώστε να αρχίσει ξανά η παραγωγή, εκτός αν πρόκειται για μεγάλη ζημιά και απαιτείται η παραγγελία ανταλλακτικού. Σ' αυτήν την περίπτωση σταματάει η παραγωγή και αναλόγως σε ποιο σημείο έχει μείνει το υλικό είτε συνεχίζει, είτε απορρίπτεται.

## **4.2 Γραμμή Συσκευασίας Νο1 (αρίθμηση: P50 έως P61)**

Το προϊόν πέφτει αρχικά στο δονητή αποχιονισμού (P50). Ο τελευταίος είναι μια πλατφόρμα με δονούμενη σήτα, ώστε να προκαλεί αποχιονισμό του προϊόντος. Στη συνέχεια πηγαίνει σε ταινία διαλογής (P51), στην οποία βρίσκονται 3 με 4 εργάτες για τη διαλογή του καλού προϊόντος.



Κατόπιν μέσω ενός αναβατόρ (P52), οδεύει σ' ένα δονητή τροφοδοσίας (P53), ο οποίος το ρίχνει με την σειρά του στο ζυγιστικό – κλειστικό (P54), το οποίο βρίσκεται στον πάνω και στον κάτω όροφο του εργοστασίου. Από P50 έως P54 τα μηχανήματα βρίσκονται στον πρώτο όροφο. Η γραμμή επικοινωνεί με το ισόγειο μέσω ανοίγματος που βρίσκεται στο πάτωμα του ορόφου.

Το ζυγιστικό – κλειστικό είναι μια μηχανή αυτόματη για το ζύγισμα και το κλείσιμο των σακουλιών. Το σακουλάκι τυλίγεται σε έναν κάθετο κύλινδρο που βρίσκεται στερεωμένος στη μηχανή και σφραγίζεται με τρεις δαγκάνες: μία για το κάθετο σφράγισμά του και δύο για το οριζόντιο. Παράλληλα ο κύλινδρος είναι ανοικτός στο εσωτερικό του, ώστε να ρίχνεται το προϊόν στο σακουλάκι. Καθώς το προϊόν πέφτει στο σακουλάκι συγχρόνως ζυγίζεται από την μηχανή. Το ζυγιστικό βρίσκεται στον πάνω όροφο και αποτελείται από 14 κεφαλές οι οποίες κάνουν ανάμειξη βάρους ή/και προϊόντων. Αφού γίνει αυτή η διεργασία το προϊόν πέφτει στον κάτω όροφο όπου και βρίσκεται το κλειστικό.

Κατόπιν το προϊόν, συσκευασμένο, περνάει κάτω από έναν ανιχνευτή μετάλλων (P55). Είναι μια διάταξη σε σχήμα Π. Το προϊόν περνάει από μέσα του και γίνεται ανίχνευση του περιεχομένου σε μέταλλο. Αν πραγματικά περιέχει μέταλλο το σακουλάκι διώχνεται μέσω μιας ειδικής βαλβίδας που ανοίγει γι' αυτόν το σκοπό.

Στη συνέχεια τα σακουλάκια με τη μεταφορική ταινία (P56) πηγαίνουν στους πάγκους γεμίσματος κιβωτίων (P57 και P58) στους οποίους βρίσκεται προσωπικό και τοποθετεί τα σακουλάκια σε κιβώτια.

Συνεχίζοντας τη διαδικασία, ο δονητής (P59) ωθεί τα κιβώτια στο κλειστικό χαρτοκιβωτίων (P60) όπου και σφραγίζονται τα κιβώτια και τέλος πηγαίνουν στο εκτυπωτικό (P61) στο οποίο εκτυπώνονται οι ονομασίες των διάφορων εταιριών που θα τα παραλάβουν, διάφοροι κωδικοί των προϊόντων, κτλ.

Η γραμμή συσκευασίας δε βρίσκεται όλη στο ίδιο επίπεδο αλλά από το σημείο P50 έως P54 βρίσκεται στον πρώτο όροφο και εν συνεχεία τα προϊόντα πέφτουν στο ισόγειο από τη μηχανή P54 και συνεχίζεται κανονικά η παραγωγική διαδικασία στις μηχανές P54 έως P61.

Η συνολική διαδικασία της γραμμής συσκευασίας, από τη στιγμή που το προϊόν πέφτει στο δονητή αποχιονισμού μέχρι το εκτυπωτικό χαρτοκιβώτιων, διαρκεί περίπου 15 min και γίνεται σε θερμοκρασία 0<sup>0</sup>C.

Η δυναμικότητά της γραμμής είναι περίπου:

- 70 σακουλάκια/min (4200 σακ/hr), σε συσκευασίες των 450 gr.
- 60 σακουλάκια/min (3600 σακ/hr), σε συσκευασίες του 1 Kgr.
- 35 σακουλάκια/min (2100 σακ/hr), σε συσκευασίες των 2,5 Kgr.

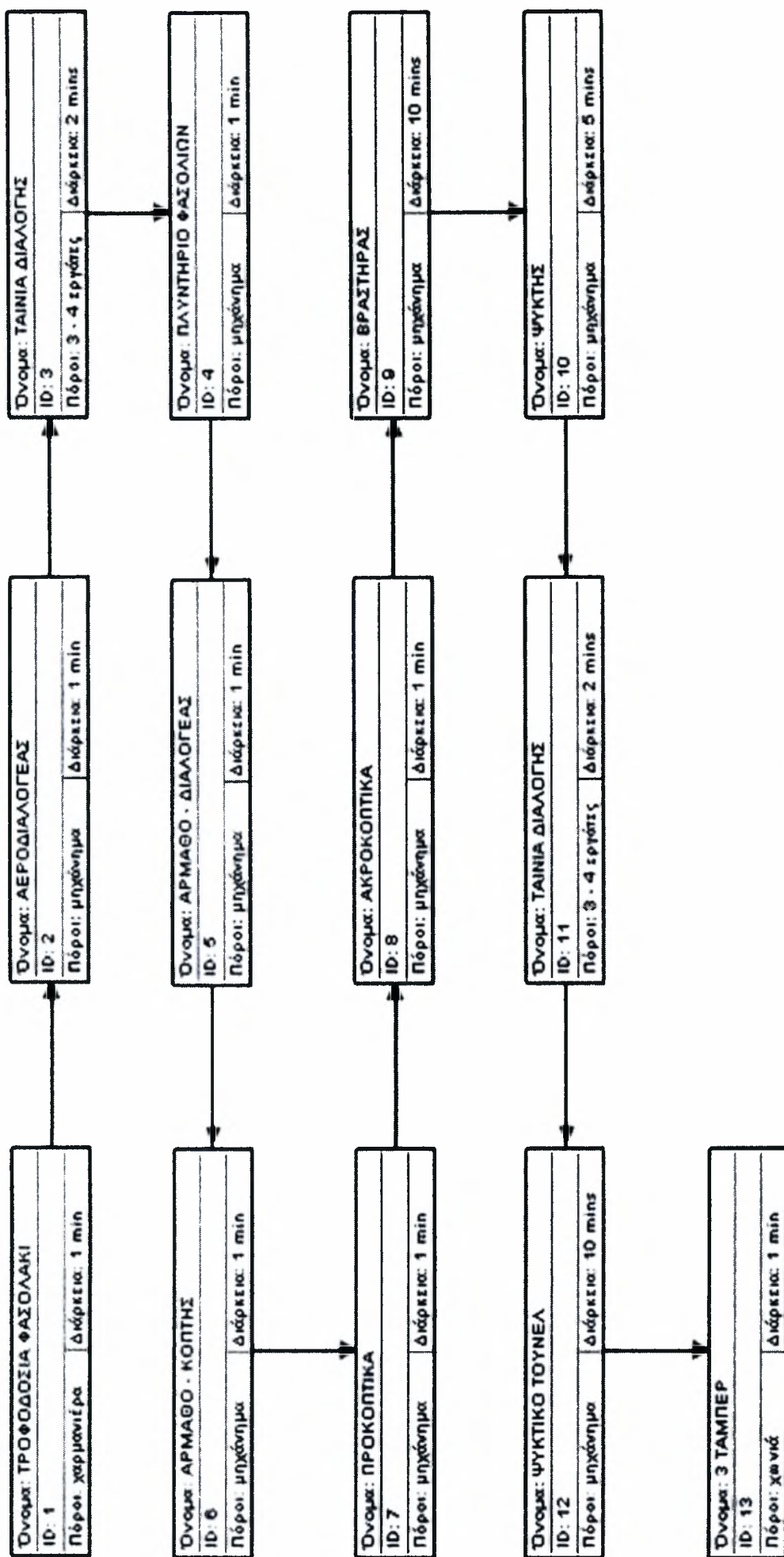
### **4.3 Γραμμή Συσκευασίας Νο4 (αρίθμηση: P75 έως P81)**

Η γραμμή συσκευασίας Νο4 είναι η μεγάλη γραμμή που χρησιμοποιείται για συσκευασίες των 5 και 10 Kgr. Το προϊόν πέφτει σ' ένα δονητή (P75) και από εκεί οδηγείται σε ταινία διαλογής (P76), στην οποία βρίσκονται 2 με 3 άτομα για τη διαλογή του προϊόντος. Κατόπιν το προϊόν μέσω του αναβατόρ (P77) ρίχνεται στη ζυγιστική – κλειστική μηχανή (P78), συσκευάζεται σε τσουβάλια, ζυγίζεται και σφραγίζεται μ' ένα χειροκίνητο κολλητικό (P79). Συσκευασμένα τα προϊόντα οδηγούνται με το ραουλόδρομο (P80) σε παλέτες (P81). Η γραμμή αυτή βρίσκεται σε ένα επίπεδο (στο ισόγειο).

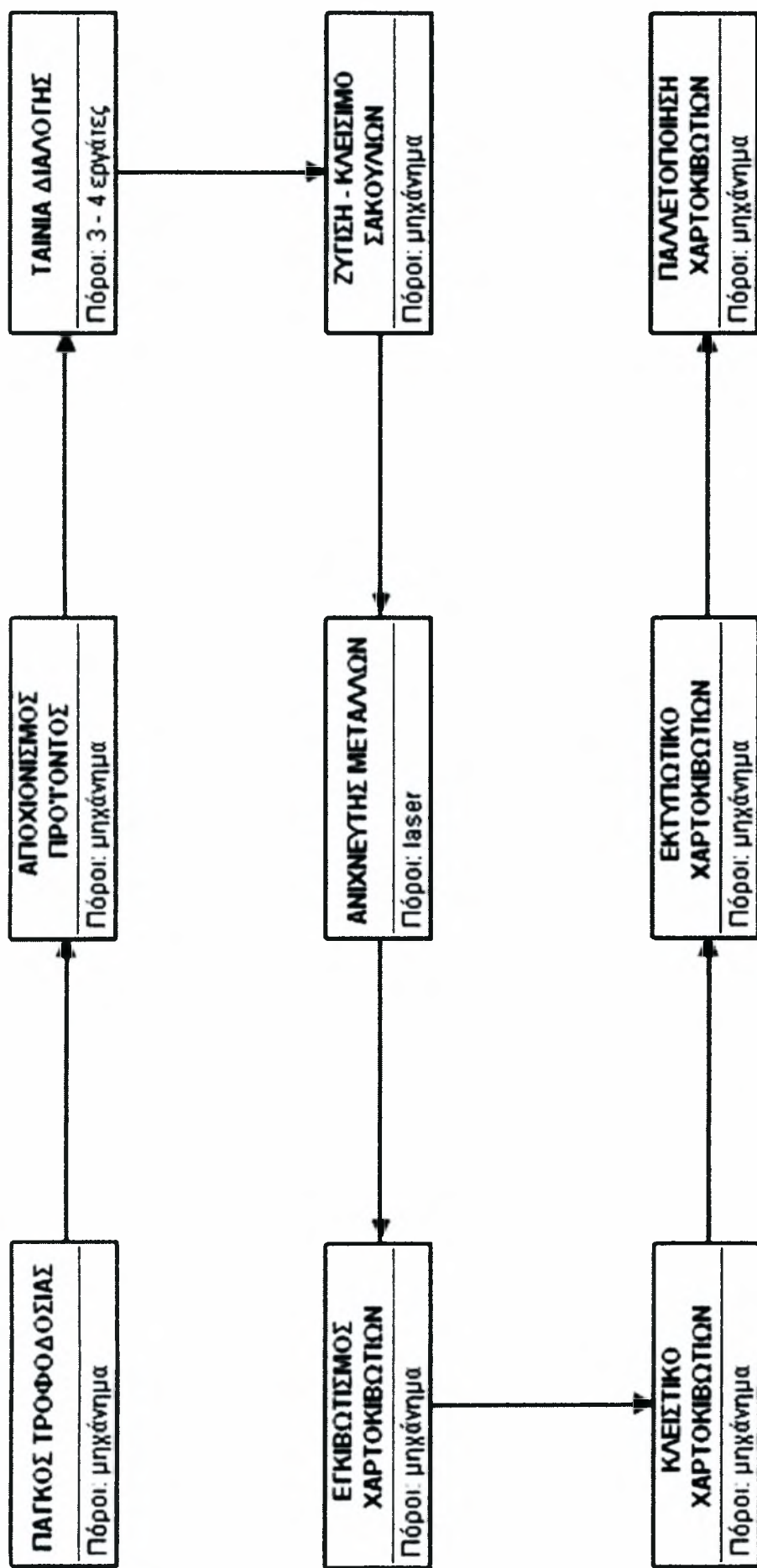
Η δυναμικότητά της καθορίζεται από την ταχύτητα εργασίας του προσωπικού που βρίσκεται στην γραμμή, αλλά γενικά χρησιμοποιείται για παραγωγή:

- 20 τσουβάλια/min (1200 τσουβ/hr), σε συσκευασίες των 5 Kgr.
- 10 τσουβάλια/min (600 τσουβ/hr), σε συσκευασίες των 10 Kgr.

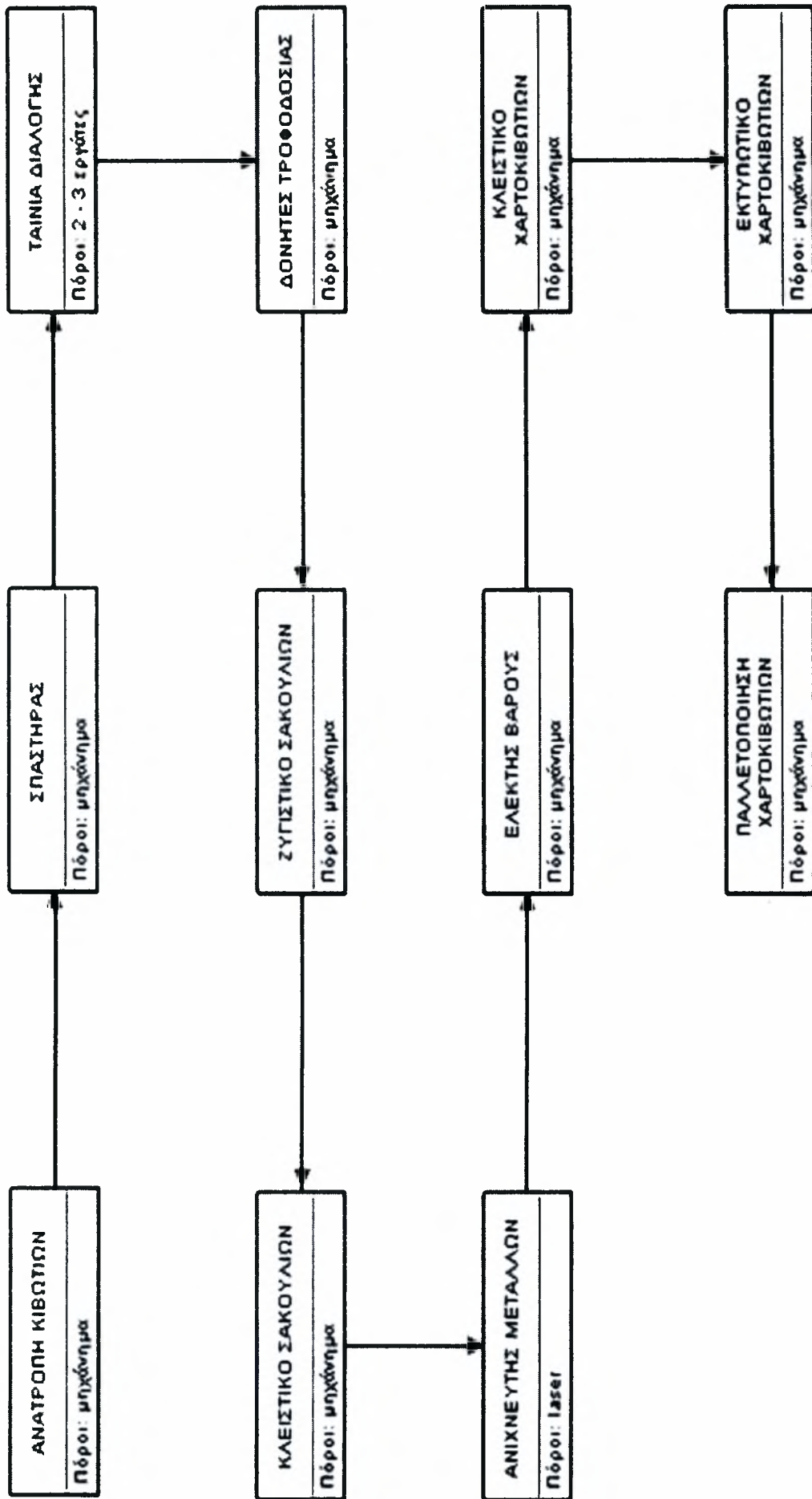
➤ Στο ένθετο σχέδιο κάτοψης του εργοστασίου (παράρτημα) φαίνονται ολόκληρες οι γραμμές παραγωγής και συσκευασίας με τους ανάλογους συμβολισμούς τους. Κατόπιν, παραθέτουμε τα γενικά διαγράμματα ροής των γραμμών που περιγράφηκαν (σχήμα 4-1, σχήμα 4-2, σχήμα 4-3).



Σχήμα 4-1: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Παραγωγής Νο1



Σχήμα 4-2: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο1



Σχήμα 4-3: Γενικό Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο4

## Κεφάλαιο 5: Αναλυτική Μοντελοποίηση των Γραμμών

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε αναλυτικά τη διαδικασία ανάπτυξης και μοντελοποίησης του συστήματος στο γραφικό περιβάλλον του ARENA. Μοντελοποιούμε τις γραμμές παραγωγής Νο1 και συσκευασίας Νο1 και Νο4. Εισάγοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους λειτουργίας των επιμέρους μηχανών κάθε γραμμής (ταχύτητες λειτουργίας, απώλειες παραγωγής, αξιοπιστία, κ.α.) εξετάζουμε τη συμπεριφορά τους μακροπρόθεσμα. Επίσης, για κάθε γραμμή επιλέγονται διαφορετικά σχέδια παραγωγής.

Συγκεκριμένα, για τη γραμμή παραγωγής Νο1 το σενάριο λειτουργίας της περιλαμβάνει την παραγωγή ημιτέτοιμου προϊόντος με ρυθμό περίπου 3 tn/hr.

Για τη γραμμή συσκευασίας Νο1, επιλέγονται 2 διαφορετικά σενάρια:

- Σενάριο 1: παραγωγή 3 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 70 σακ/min, 60 σακ/min και 30 σακ/min σε συσκευασίες των 0,45 Kgr, 1 Kgr και 2,5 Kgr αντίστοιχα και στο τέλος της γραμμής τα σακουλάκια παλετοποιούνται.
- Σενάριο 2: παραγωγή σε συσκευασίες του 1 Kgr (η μεγαλύτερη ζήτηση από την αγορά) ή γενικά σε συσκευασίες των X Kgr.

Στη γραμμή συσκευασίας Νο4, επίσης επιλέγονται 2 διαφορετικά σενάρια:

- Σενάριο 1: παραγωγή 2 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 20 σακ/min και 10 σακ/min σε συσκευασίες των 5 Kgr και 10 Kgr αντίστοιχα και επειδή οι συσκευασίες είναι μεγάλες δε γίνεται εγκιβωτισμός τους, αλλά οδηγούνται κατ' ευθείαν στην ίδια μηχανή δημιουργίας παλετών.
- Σενάριο 2: παραγωγή των ίδιων προϊόντων, αλλά η παλετοποίησή τους γίνεται ξεχωριστά και παραλαμβάνονται από διαφορετικά κλαρκ.

### 5.1 Μοντελοποίηση Γραμμής Παραγωγής Νο1

Η γραμμή παραγωγής λειτουργεί περίπου στο 80% της ονομαστικής δυναμικότητάς της και με ρυθμό 3 tn/hr = 50 Kgr/min. Μοντελοποιούμε τη γραμμή με συνολικά 10 σταθμούς εργασίας από τους οποίους η πρώτη ύλη υφίσταται διάφορες διεργασίες. Αναλυτική περιγραφή αυτών δίνεται παρακάτω.

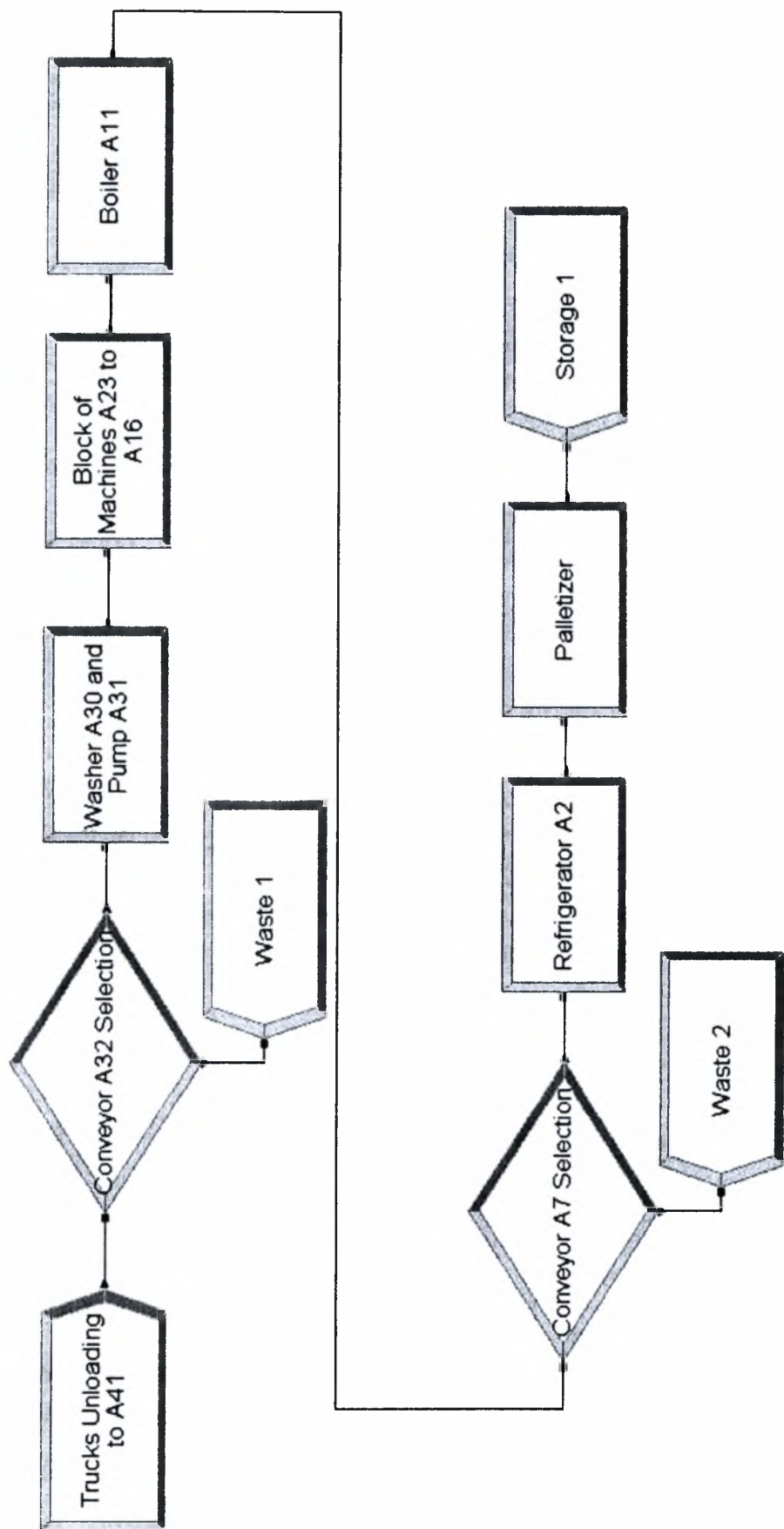
Οι πιο αργοί σταθμοί είναι ο βραστήρας (boiler) ή/και ο καταψύκτης (refrigerator). Ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας τους επηρεάζουν και το ρυθμό παραγωγής της γραμμής. Αν  $t$  ο επιθυμητός χρόνος παραμονής της πρώτης ύλης στο βραστήρα ή στον καταψύκτη,  $C$  η χωρητικότητα αυτών των σταθμών αντίστοιχα και  $r$  ο ρυθμός λειτουργίας της γραμμής, τότε από τη σχέση  $t = \frac{C}{r}$ , (5.1) μπορούμε να καθορίσουμε το χρόνο που θέλουμε να διατηρηθεί η πρώτη ύλη σε κάθε σταθμό. Εισάγοντας τα δεδομένα στο EXCEL και βάσει του ρυθμού παραγωγής ρυθμίζουμε τις παραμέτρους λειτουργίας όλων των σταθμών. Στον πίνακα 5-1 φαίνονται οι επιθυμητοί χρόνοι λειτουργίας κάθε σταθμού και ο αντίστοιχος ρυθμός παραγωγής της γραμμής =  $\text{MIN}(r_b, r_r)$ .

Running Time (Min)	
Boiler	5
Refrigerator	4
Adjusted Output Rate	
Output Rate (Kgr/Min)	50

Πίνακας 5-1: Χρόνοι Λειτουργίας Σταθμών A11, A2 και Ρυθμός Παραγωγής Γραμμής

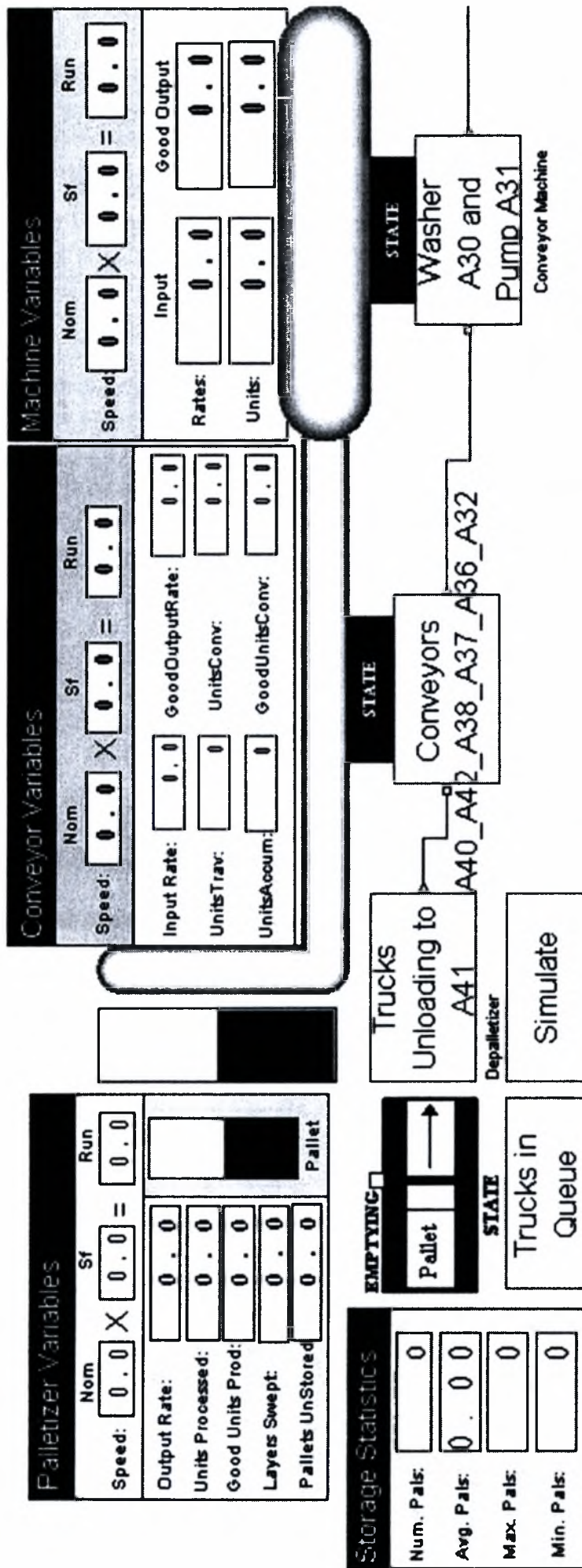
Για την εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, όπου units εκφράζουμε την ποσότητα της πρώτης ύλης σε Kgr.

Στο σχήμα 5-1 παρουσιάζουμε το διάγραμμα ροής της γραμμής, ενώ στα σχήματα 5-2α, 5-2β και 5-2γ φαίνεται, τμηματικά (λόγω του μεγέθους της), η μοντελοποίηση της γραμμής στο περιβάλλον προσομοίωσης του ARENA. Τέλος, στο σχήμα 5-3 παρουσιάζεται η συνολική εικόνα του μοντέλου.

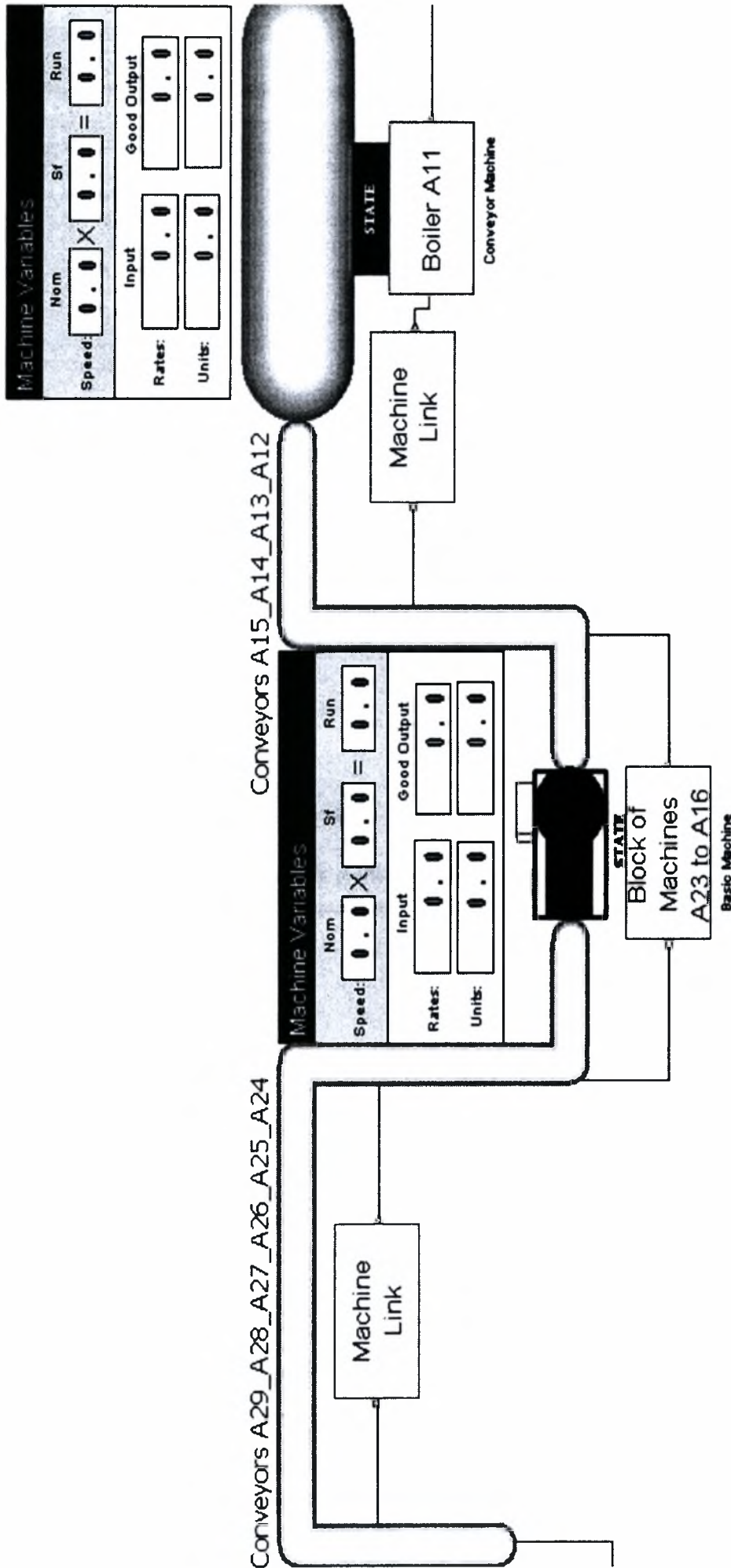


Σχήμα 5-1: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Παραγωγής Νο1

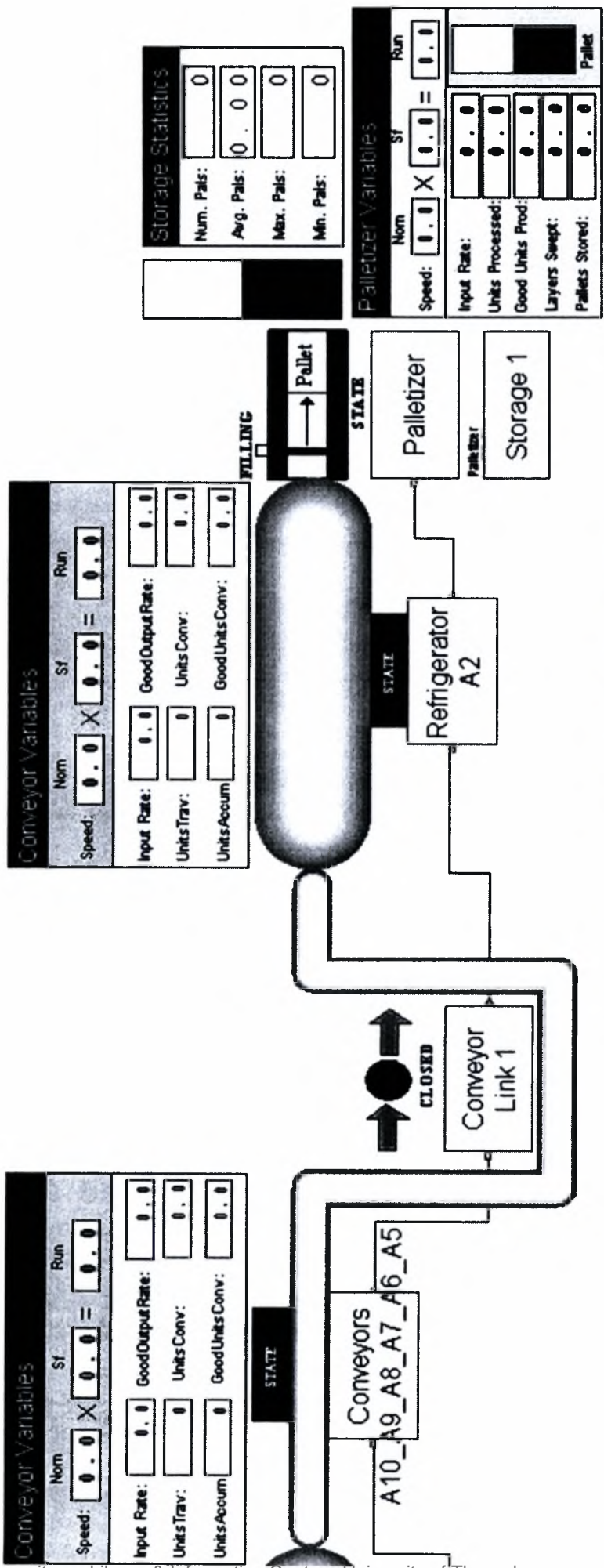




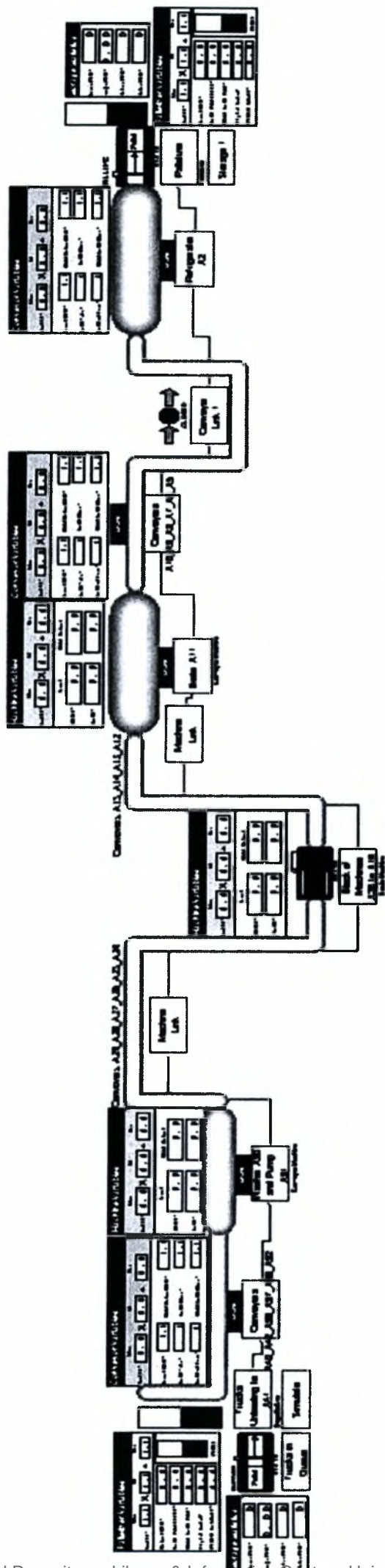
Σχήμα 5-2α: Απεικόνιση 1<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1



Σχήμα 5-2β: Απεικόνιση 2<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1



Σχήμα 5-2γ: Απεικόνιση 3<sup>ου</sup> Τμήματος Γραμμής Παραγωγής Νο1



Σχήμα 5-3: Απεικόνιση Συνολικής Γραμμής Παραγωγής Νο1

## Φορτηγά στη ουρά (Trucks in Queue)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Δείχνει τον αριθμό των φορτηγών που περιμένουν στην ουρά για να ξεφορτώσουν στη χαρμανιέρα. Πρακτικά είναι τόσα όσα έχουν παραγγελθεί να έρθουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. στη διάρκεια μιας βάρδιας). Μπορούμε, επίσης, να ορίσουμε χρόνο μεταξύ αφίξεων κάποια κατανομή, μέσω της μηχανής ξεφορτώματος (depalletizer), όπως θα δούμε παρακάτω, στο πεδίο χρόνος μεταξύ παλετών (time between pallets). Στα δεδομένα του module ορίζουμε όπου pallets = αριθμός φορτηγών (πίνακας 5-2).

Trucks in Queue	
Initial Inventory (Pallets)	50
Capacity (Pallets)	50

Πίνακας 5-2: Αριθμός Φορτηγών στην Ουρά

## Ξεφόρτωση φορτηγών στη χαρμανιέρα (Trucks Unloading to A41)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Depalletizer.

Τα φορτηγά με την είσοδό τους στη γραμμή ξεφορτώνουν στη χαρμανιέρα A41 και από εκεί με ρυθμό = 50 Kgr/min, δηλαδή ίσο με το ρυθμό του πιο αργού σταθμού (βραστήρας – boiler), προχωρεί το υλικό. Μια καρότσα ενός φορτηγού έχει 500 Kgr πρώτη ύλη, δηλαδή 500 Kgr/layer, όπου layer = καρότσα, pallet = φορτηγό και layer/pallet = 1.

Αν υποθέσουμε ότι χρειάζονται περίπου 5 min για την είσοδο του φορτηγού στη γραμμή και την προετοιμασία του για την εκφόρτωση της πρώτης ύλης, τότε η καρότσα αδειάζει με ρυθμό  $\frac{1 \text{ layer}}{5 \text{ min}} = 0,2 \frac{\text{layers}}{\text{min}}$ . Εφόσον 1 layer αντιστοιχεί σε μια καρότσα, χρόνος αλλαγής μεταξύ τους δεν υπάρχει, άρα time between layers = 0. Ακόμη ο χρόνος μεταξύ των παλετών (time between pallets) θα είναι ίσος, όπως αναφέραμε προηγουμένως, με το χρόνο μεταξύ διαδοχικών αφίξεων των φορτηγών στο σύστημα. Έστω ότι είναι μια ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ 5 και 10 min, υποθέτοντας ότι τα φορτηγά είναι ήδη στο σύστημα και περιμένουν να ξεφορτώσουν. Αν μας ενδιαφέρει μόνο η γραμμή παραγωγής και όχι τι γίνεται έξω από αυτήν, τότε μπορώ να θεωρήσω την τιμή αυτή 0, ώστε να μην έχουμε σταματήματα λόγω μη ύπαρξης πρώτης ύλης.

Ο σταθμός παρουσιάζει βλάβες με ρυθμό  $\lambda = 1/480$  βλάβες/ώρα. Στη βάρδια (Time Span) των 8 ωρών, παρουσιάζει βαθμό αξιοπιστίας 0,98347. Τέλος, για την επιδιόρθωσή του (Time to Repair) απαιτούνται περίπου 5 έως 45 min, με μέσο όρο τα 30 min. Επιλέγουμε για το σκοπό αυτό τριγωνική κατανομή. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του σταθμού φαίνονται στον πίνακα 5-3.

Depalletizer	
Kgr/Layer	500
Nom. Run Speed (Layers/Min)	0,2
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	1
Time Between Pallets (Min)	UNIF (5,10)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/480
Reliability for Time Span	0,98347
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-3: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή

### **Ιμάντες A40 A42 A38 A37 A36 A32**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Υπάρχουν 6 ιμάντες μεταφοράς συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε σειρά και σε διαφορετικά χωροταξικά επίπεδα. Θεωρούμε το μήκος τους σαν έναν ιμάντα με μήκος το άθροισμα των επιμέρους μηκών, χωρίς αυτό να βλάπτει τη διαδικασία της προσομοίωσης. Εφόσον δεν υπάρχει συσσώρευση σ' αυτούς θα μπορούσαμε να τους θεωρήσουμε αμελητέους, αλλά επειδή γίνεται διαλογή προϊόντος είναι αναγκαία η μοντελοποίηση αυτών.

Λόγω της διαλογής υπάρχει κάποιο ποσοστό απώλειας παραγωγής 2%. Επίσης γίνονται τακτικές συντηρήσεις αυτών και πρακτικά σπανίως εμφανίζονται βλάβες ή αστοχίες εξαρτημάτων, αλλά λόγω των δονητομεταφορέων που υπάρχουν είναι πιθανό να παρουσιάσουν κάποιες βλάβες. Ο ρυθμός βλαβών τους είναι  $\lambda = 1/440$  βλάβες/ώρα και επειδή είναι συνδεδεμένοι σε σειρά θεωρούμε τη συνολική αξιοπιστία του σταθμού ίση με το γινόμενο των επιμέρους αξιοπιστίων και η οποία είναι 0,89665. Ο χρόνος επιδιόρθωσής τους, όπως και όλων των άλλων στοιχείων, ορίζεται με μια τριγωνική κατανομή με παραμέτρους (5,30,45). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ιμάντων φαίνονται στον πίνακα 5-4.

<b>Conveyors A40_A42_A38_A37_A36_A32</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Adjusted Velocity (Meters/Min)	10
Length (Meters)	21
Width (Meters)	1
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	5
Production-Based Loss	
Loss (%)	2
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,89665
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-4: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων A40\_A42\_A38\_A37\_A36\_A32

### **Πλυντήριο και αντλία πλυντηρίου (Washer A30 and Pump A31)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor Machine.

Είναι το συγκρότημα πλυντηρίου και αντλίας νερού. Πρακτικά είναι ένας ιμάντας με πολλαπλές σειρές μπεκ κατά μήκος του. Εφόσον λειτουργεί στο

$$80\% \text{ θα έχει ονομαστικό ρυθμό} = \frac{50kgr / min}{0,8} = 62,5kgr / min$$

Επίσης η χωρητικότητά του θα είναι 20 Kgr. Είναι ουσιαστικά η ποσότητα ύλης που μαζεύεται μέχρι να βγει απ' το σταθμό. Άρα η διαδικασία πλυσίμα-

$$\text{τος κρατάει περίπου } \frac{20kgr}{50kgr / min} \cdot 60 \text{ sec} = 24 \text{ sec}$$

Επίσης λόγω των πολλαπλών σειρών μπεκ παρουσιάζει βλάβες των ακροφυσίων ή/και της αντλίας, οι οποίες ανέρχονται σε 1 βλάβη ανά 960 ώρες. Η αντλία είναι σε σειρά με το πλυντήριο, άρα η αξιοπιστία του σταθμού θεωρείται το γινόμενο των δύο αυτών αξιοπιστίων. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 5-5.

<b>Washer A30 and Pump A31</b>	
Kgr/Minute	80
Capacity (Kgr)	20
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/960
Reliability for Time Span	0,98347
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-5: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Πλυντηρίου A30 και Αντλίας A31

## Ιμάντες A29 A28 A27 A26 A25 A24

Για λόγους παραστατικότητας και απεικόνισης της γραμμής και εφόσον δεν υπάρχει συσσώρευση υλικού πάνω τους, οι αντίστοιχοι ιμάντες απλά κάνουν μεταφορά της πρώτης ύλης μεταξύ των σταθμών με ρυθμό ίσο με το ρυθμό εξόδου της μηχανής που βρίσκεται στην είσοδο του ιμάντα και είναι το πλυντήριο A30. Επίσης η αξιοπιστία τους και ο χρόνος μεταφοράς ενσωματώνονται στον προηγούμενο σταθμό.

## Μπλοκ προοπτικών και ακροκοπτικών (Block of Machines A23 – A16)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Αποτελεί το συγκρότημα των προκοπτικών και κοπτικών εργαλείων της γραμμής. Ο ρυθμός λειτουργίας τους είναι στιγμιαίος και ίσος με 50 Kgr/min ή ονομαστικός ρυθμός =  $\frac{50\text{kg}r/\text{min}}{0,8} = 62,5\text{kg}r/\text{min}$ . Λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής των τυμπάνων τους και των πολλαπλών σειρών μαχαιριών που υπάρχουν καθ' όλη την περίμετρό τους παρουσιάζουν συχνές βλάβες με ρυθμό 1 βλάβη στις 300 ώρες λειτουργίας και βαθμό αξιοπιστίας κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας 0,97369. Επίσης ο χρόνος επισκευής τους καθορίζεται ως TRIA (5, 30, 45). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 6.

<b>Block of Machinery A23 to A16</b>	
Cycles/Minute	80
Units/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/300
Reliability for Time Span	0,97369
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-6: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Προκοπτικών και Ακροκοπτικών A23 – A16

## Ιμάντες A15 A14 A13 A12

Ισχύουν ότι και για τους ιμάντες A29\_A28\_A27\_A26\_A25\_A24. Εφόσον δεν υπάρχει συσσώρευση υλικού πάνω τους, οι αντίστοιχοι ιμάντες απλά κάνουν μεταφορά της πρώτης ύλης μεταξύ των σταθμών με ρυθμό ίσο με το ρυθμό εξόδου της μηχανής που βρίσκεται στην είσοδο του ιμάντα και είναι το συγκρότημα προκοπτικών και κοπτικών A23 – A16. Επίσης η αξιοπιστία τους και ο χρόνος μεταφοράς ενσωματώνονται στον προηγούμενο σταθμό.



## Βραστήρας A11 (Boiler A11)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor Machine.

Ο βραστήρας είναι ένας απ' τους πιο αργούς σταθμούς της γραμμής. Λειτουργεί στα 50 Kgr/min και οι ρυθμοί των υπόλοιπων μηχανών εξαρτώνται από το δικό του ρυθμό. Ο μέγιστος χρόνος λειτουργίας του είναι τα 20 min και η χωρητικότητά του περίπου 150 Kgr. Το προϊόν συγκεντρώνεται μέχρι τα 150 Kgr, υφίσταται επεξεργασία με ρυθμό 50 Kgr/min και συνεχίζει την πορεία του στον επόμενο σταθμό.

Είναι ένας μη-συσσωρευτικός ιμάντας (non-accumulative conveyor), ώστε μόλις μπαίνει το υλικό να παραμένει, μέχρι να διανύσει όλη την ταινία, περί-

που για  $\frac{250\text{kg}}{50\text{kg}/\text{min}} = 5\text{ min}$

Τελικά αν θέλουμε λειτουργία βραστήρα μεταξύ 4 και 20 min θα πρέπει ν' αλλάζουμε κάθε φορά τον ονομαστικό ρυθμό λειτουργίας του, επιδιώκοντας τον επιθυμητό χρόνο λειτουργίας ή/και ρυθμό της γραμμής. Δηλαδή αν:

$C_b$ : χωρητικότητα του βραστήρα = 250 Kgr,

$t_b$ : χρόνος επεξεργασίας = 4 έως 20 min,

$r_b$ : ρυθμός επεξεργασίας,

$$\text{τότε } t_b = \frac{C_b}{r_b}, \quad (5.2)$$

Η ονομαστική χωρητικότητά του είναι 250 Kgr. Ουσιαστικά με τη χωρητικότητα ορίζω πόσο υλικό θα συγκεντρωθεί στη μηχανή πριν αυτό εξέλθει απ' αυτή. Π.χ. αν θέλω  $t_b = 4\text{ min}$  και  $C_b = 250\text{ Kgr}$ , τότε  $r_b = 250/4 = 62,5\text{ Kgr/min}$ , ο οποίος θα είναι και ο ρυθμός της γραμμής. Αν θέλω  $t_b = 20\text{ min}$  και  $C_b = 250\text{ Kgr}$ , τότε  $r_b = 250/20 = 12,5\text{ Kgr/min}$ .

Γενικά, όμως, ο ρυθμός της γραμμής, όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, εξαρτάται και από αυτόν του άλλου αργού σταθμού και θα είναι πάντα:

$$\text{Ρυθμός γραμμής} = \text{MIN} (r_b, r_r).$$

Αν πάθει βλάβη ο βραστήρας, τότε το προϊόν που βρίσκεται μέσα του αχρηστεύεται. Ορίζουμε σαν απώλεια παραγωγής κάποιο γεγονός. Για τη μέ-

τρηση της ποσότητας που χάνεται, τη στιγμή που ο βραστήρας παθαίνει βλάβη, ορίζουμε τη μεταβλητή απώλειας Boiler A11\_UnitsInside. Επίσης, η συχνότητα βλαβών του είναι 1/360 βλάβες/ώρα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του βραστήρα φαίνονται στον πίνακα 5-7.

<b>Boiler A11</b>	
Nominal Rate (Kgr/Min)	80
Adjusted Rate (Kgr/Min)	50
Capacity (Kgr)	250
Event-Based Loss (Failure)	
Boiler A11_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/360
Reliability for Time Span	0,97802
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-7: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βραστήρα A11

### Ιμάντες A10 A9 A8 A7 A6 A5

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Υπάρχουν 6 ιμάντες μεταφοράς συνδεδεμένοι μεταξύ τους σε σειρά. Οι παράμετροι λειτουργίας τους ορίζονται όμοια με τους προηγούμενους ιμάντες της γραμμής (ιμάντες A40\_A42\_A38\_A37\_A36\_A32). Λόγω της διαλογής υπάρχει κάποιο ποσοστό απώλειας παραγωγής 2%. Ο ρυθμός βλαβών τους είναι  $\lambda = 1/440$  βλάβες/ώρα και επειδή είναι συνδεδεμένοι σε σειρά θεωρούμε τη συνολική αξιοπιστία του σταθμού ίση με το γινόμενο των επιμέρους αξιοπιστιών και η οποία είναι 0,89665. Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 5-8.

<b>Conveyors A10_A9_A8_A7_A6_A5</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Adjusted Velocity (Meters/Min)	20
Length (Meters)	15
Width (Meters)	0,625
Unit Density (Units/Sq. Meter)	4
Production-Based Loss	
Loss (%)	2
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,89665
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-8: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων A10\_A9\_A8\_A7\_A6\_A5

## Καταψύκτης (Refrigerator A2)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Είναι μια μεταφορική ταινία η οποία περνάει μέσα από ψυκτικό θάλαμο και ψύχει το προϊόν με ρυθμό  $= 1,25 \frac{m}{min} \cdot 4m \cdot 10 \frac{kg}{m^2} = 50kg/min$ . Ο χρόνος λειτουργίας του είναι από 4 έως 20 min. Η χωρητικότητά του είναι: (μήκος x πλάτος x πυκνότητα υλικού)  $= 5m \cdot 4m \cdot 10 \frac{kg}{m^2} = 200kg$ .

Το προϊόν φτάνει στο ψύκτη και ψύχεται αραιά διασκορπισμένο και ομοιόμορφα για να μην υπάρχουν συσσωματώματα (π.χ. 2-3 κομματάκια πρώτης ύλης κολλημένα μεταξύ τους λόγω της απότομης ψύξης που υφίσταται).

Τελικά αν θέλουμε λειτουργία καταψύκτη μεταξύ 4 και 20 min θα πρέπει ν' αλλάζουμε κάθε φορά την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας του, επιδιώκοντας τον επιθυμητό χρόνο λειτουργίας ή/και ρυθμό της γραμμής. Ο χρόνος ψύξης υπολογίζεται όπως και στο βραστήρα. Δηλαδή αν:

$C_r$ : χωρητικότητα του καταψύκτη = 200 Kgr,

$t_r$ : χρόνος επεξεργασίας = 4 έως 20 min,

$r_r$ : ρυθμός επεξεργασίας,

$$\text{τότε } t_r = \frac{C_r}{r_r}, \quad (5.3)$$

Επίσης, αν:

$V_r$ : ταχύτητα λειτουργίας του καταψύκτη,

$w$ : πλάτος ιμάντα = 4 m,

$d$ : πυκνότητα υλικού στον ιμάντα  $10 \text{ Kgr/m}^2$ ,

$$\text{τότε } V_r = \frac{r_r}{w \cdot d} = \frac{50}{4 \cdot 10} = 1,25 \text{ m/min}, \quad (5.4)$$

Η ταχύτητά του ρυθμίζεται κάθε φορά ανάλογα με τον επιθυμητό χρόνο ψύξης των προϊόντων και ο ρυθμός της γραμμής θα είναι MIN ( $r_b$ ,  $r_r$ ).

Αν πάθει βλάβη ο καταψύκτης, τότε το προϊόν που βρίσκεται μέσα του αχρηστεύεται. Ορίζουμε σαν απώλεια παραγωγής κάποιο γεγονός. Για τη μέ-

τρηση της ποσότητας που χάνεται, τη στιγμή που ο καταψύκτης παθαίνει βλάβη, ορίζουμε τη μεταβλητή απώλειας Refrigerator A2\_UnitsInside. Επίσης, η συχνότητα βλαβών του είναι 1/200 βλάβες/ώρα, η αξιοπιστία του για χρονικό διάστημα 8 ωρών είναι 0,96079 και ο χρόνος επισκευής του ορίζεται από την τριγωνική κατανομή με παραμέτρους (5,30,45). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καταψύκτη φαίνονται στον πίνακα 5-9.

Refrigerator A2	
Nominal Velocity (Meters/Min)	50
Adjusted Velocity (Meters/Min)	1,25
Adjusted Rate (Kgr/Min)	50
Length (Meters)	5
Width (Meters)	4
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	10
Capacity (Kgr)	200
Event-Based Loss	
Refrigerator A2_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/200
Reliability for Time Span	0,96079
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-9: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Καταψύκτη A2

### Παλετοποιητής (Palletizer)

Το προϊόν, μετά το ισχυρό σοκ ψύξης που παθαίνει, ρίχνεται σε 3 χωνιά και από κάτω υπάρχουν τσουβάλια των 50 Kgr, τα οποία γεμίζουν ταυτό-

χρονα με ρυθμό 50 Kgr/min ή  $\frac{50 \text{ kgr} / \text{min}}{3 \text{ τσουβαλια}} \approx 16,67 \frac{\text{kgr} / \text{min}}{\text{τσουβαλι}}$ .

Θεωρούμε παλέτα των 3 τσουβαλιών ή 3 layers/pallet. Θέλουμε τουλάχιστον τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής, δηλαδή 50 Kgr/min.

$$\text{Έχω } 16 \frac{\text{kgr}}{\text{layer}} \cdot X \frac{\text{layers}}{\text{min}} = 50 \frac{\text{kgr}}{\text{min}} \Rightarrow X = 1 \frac{\text{layer}}{\text{min}}$$

Δουλεύει στο 80% της δυναμικότητάς της, άρα έχω  $\frac{1}{0.8} = 1,25 \frac{\text{layers}}{\text{min}}$  ονομαστική ταχύτητα.

$$\text{Ονομαστικός χρόνος σχηματισμού παλέτας} = \frac{3 \text{ layers} / \text{pallet}}{1,25 \text{ layers} / \text{min}} = 2,4 \frac{\text{min}}{\text{pallet}}$$

Επίσης, κάθε φορά που γεμίζουν τα τσουβάλια ο χρόνος αλλαγής τους μπορεί να προσομοιωθεί με κάποια κατανομή στο πεδίο *time between pallets*. Έστω ότι η αλλαγή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 min. Η ομοιόμορφη κατανομή είναι κατάλληλη για το σκοπό αυτό (UNIF(1,3)).

Ο ρυθμός βλαβών είναι 1/400 βλάβες/ώρα, η αξιοπιστία 0,98020 και ο χρόνος επισκευής ορίζεται με την κατανομή TRIA (5,30,45). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 5-10.

<b>Palletizer</b>	
Kgr/Layer	50
Nom. Run Speed (Layers/Min)	1,25
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	3
Time Between Pallets (Min)	UNIF(1,3)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate λ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,98020
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-10: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή

### **Αποθήκη 1 (Storage 1)**

Είναι η αποθήκη των 600 tn. Χωράει  $\frac{600.000kgr}{50 \frac{kgr}{layer} \cdot 3 \frac{layers}{pallet}} = 4000 \text{ pallets}$ , ή γε-

νικά όσο θέλουμε να παράξουμε. Στον πίνακα 5-11 τυπικά ορίζουμε τη μέγιστη ποσότητα που χωράει μια αποθήκη, δηλαδή 4000 παλέτες.

<b>Storage 1</b>	
Initial Inventory (Pallets)	4000
Capacity (Pallets)	4000

Πίνακας 5-11: Χωρητικότητα Αποθήκης 1

Αν θέλουμε ν' αφήσουμε το πείραμα να τρέχει για αόριστο χρονικό διάστημα μπορούμε να ορίσουμε την αποθήκη έναν πολύ μεγάλο αριθμό. γενικά, όμως θα ισχύει, αν:

X: ρυθμός παραγωγής (Kgr/min),

Y: χωρητικότητα ανά παλέτα (Kgr/pallet),

Y/X: ρυθμός δημιουργίας παλέτας (min/pallet),

τότε μπορούμε να ρυθμίσουμε τη χωρητικότητα των τσουβαλιών, ώστε να έχουμε λιγότερες αλλαγές μεταξύ παλετών. Ένας τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε τσουβάλια μεγαλύτερα των 50 Kgr. Σε κάθε περίπτωση η αποθήκη θα χωράει συνολικά:

$$\frac{600.000kgr}{Y \frac{kgr}{pallet}} = \frac{600000}{Y} pallets, \quad (5.5)$$

Ο ονομαστικός (μέγιστος) χρόνος γεμίσματος της αποθήκης θα είναι:

$$\frac{(600.000/Y)pallets}{(X/Y)pallets/min} = \frac{600.000}{X} min, \quad (5.6)$$

Ο χρόνος αυτός, βέβαια, είναι προσαυξημένος με όλους τους χρόνους καθυστέρησης, όπως χρόνους αλλαγής παλετών, χρόνους αφίξεων, χρόνους επισκευής βλαβών, κ.α.

## 5.2 Γραμμή Συσκευασίας Νο1

### 5.2.1 Σενάριο 1

Στη γραμμή συσκευασίας 1 επιζητούμε την παραγωγή 3 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 70 σακ/min, 60 σακ/min και 30 σακ/min σε συσκευασίες των 0,45 Kgr, 1 Kgr και 2,5 Kgr αντίστοιχα. Στο τέλος της γραμμής τα πακέτα οδηγούνται στη μηχανή παλετοποίησης και συσκευάζονται σε παλέτες των  $16 \frac{\text{κιβώτια}}{\text{layer}} \cdot 4 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 64 \text{κιβ} / \text{pallet}$ . Μοντελοποιούμε τη γραμμή συσκευ-

ασίας με συνολικά 7 σταθμούς εργασίας από τους οποίους η πρώτη ύλη υφίσταται διάφορες διεργασίες. Αναλυτική περιγραφή των λειτουργιών τους γίνεται παρακάτω.

Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίσματος των σακουλιών (filler). Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο ρυθμό παραγωγής αλλάζω τις ποσότητες των προϊόντων. Οι υπολογισμοί γίνονται εύκολα στο EXCEL και στον πίνακα 5-12 φαίνονται οι παραγόμενες ποσότητες.

Adjusted Output Rate	
Product 1	
Output Rate (Units/Min)	70
Product 2	
Output Rate (Units/Min)	60
Product 3	
Output Rate (Units/Min)	30

Πίνακας 5-12: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων

Οι συντελεστές ταχύτητας των διαφόρων μηχανών εξαρτώνται και αλλάζουν σύμφωνα με τη ζητούμενη παραγωγή.

Επειδή έχουμε 64 κιβ/pallet και κάθε κιβώτιο έχει 10 σακ., τότε η παλέτα θα έχει συνολικά 640 σακουλάκια. Επομένως κάθε παραγόμενη ποσότητα των προϊόντων θα πρέπει να είναι πολλαπλάσια του 640 στο σχέδιο παραγωγής ή γενικά ίση με:

$$Multiplier = \frac{\text{Κιβώτια}}{\text{Layer}} \cdot \frac{\text{Layers}}{\text{Pallet}} \cdot \frac{\text{Σακουλάκια}}{\text{Κιβώτιο}} = X \frac{\text{Σακουλάκια}}{\text{Pallet}}, \quad (5.7)$$

Στο σχέδιο παραγωγής, το οποίο φαίνεται στον πίνακα 5-13 μπορούμε να ορίσουμε και χρόνους προετοιμασίας των μηχανών κατά την αλλαγή της πα-

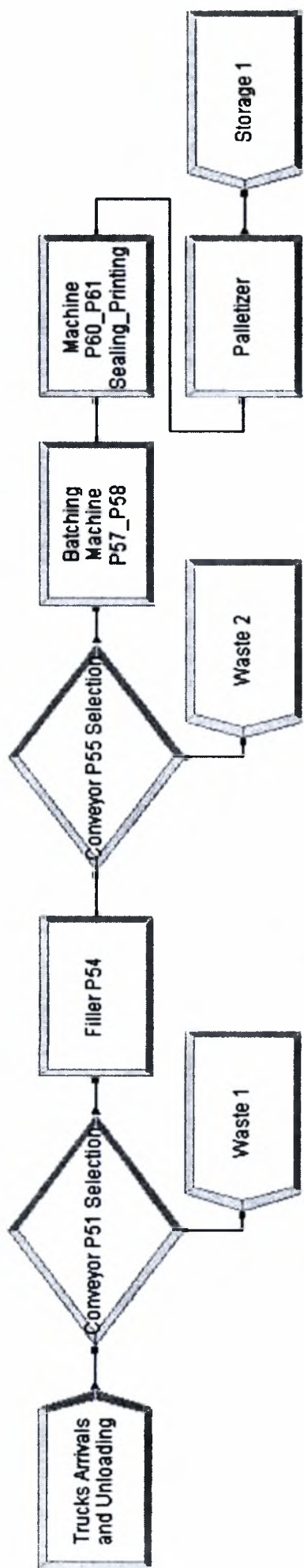
ραγωγής ανάμεσα σε διαφορετικά προϊόντα. Έστω ότι είναι μια ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ 5 και 10 min, δηλαδή UNIF(5,10) και ότι θέλουμε να φτιάξουμε 10 παλέτες προϊόντος 1, 8 παλέτες προϊόντος 2 και 5 παλέτες προϊόντος 3. Ο πολλαπλασιαστής (multiplier) μπορεί ν' αλλάξει ανάλογα με το μέγεθος παλέτας που θέλουμε να φτιάξουμε.

<b>Production Plan 1</b>	
Multiplier	640
Product 1	
Setup Time (Minutes)	UNIF (5,10)
Quantity (Units)	6400
Product 2	
Setup Time (Minutes)	UNIF (5,10)
Quantity (Units)	5120
Product 3	
Setup Time (Minutes)	UNIF (5,10)
Quantity (Units)	3200

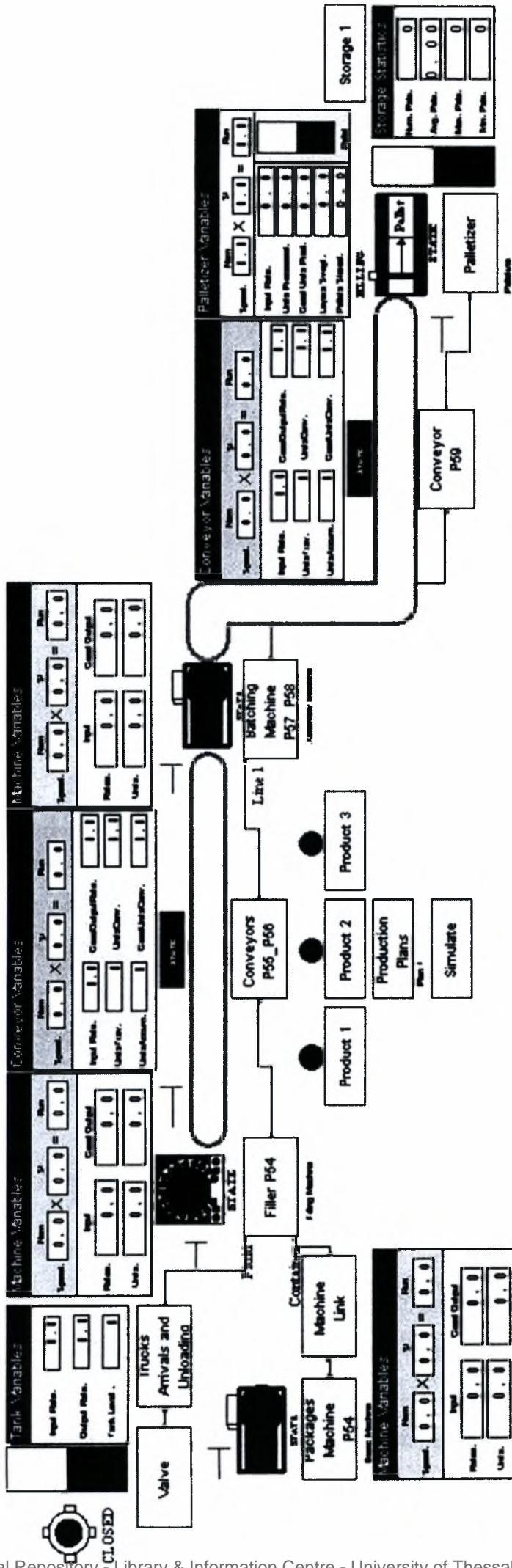
*Πίνακας 5-13: Σχέδιο Παραγωγής και Χρόνοι Προετοιμασίας Γραμμής για κάθε Προϊόν*

Στο σχήμα 5-4 παρουσιάζουμε το διάγραμμα ροής της γραμμής, ενώ στο σχήμα 5-5 φαίνεται η μοντελοποίηση της γραμμής στο περιβάλλον προσομοίωσης του ARENA (για το συγκεκριμένο σενάριο).





Σχήμα 5-4: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο1



Σχήμα 5-5: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 1)

## Βαλβίδα (Valve)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Valve.

Η παραγωγή καθορίζεται από τον πίνακα 1 και θέλω να είναι τουλάχιστον:

$$\max(70\text{σακ} / \text{min}, 60\text{σακ} / \text{min}, 30\text{σακ} / \text{min}) = \max(70 \cdot 0.45, 60 \cdot 1, 30 \cdot 2.5) = \\ = \max(31.5 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}, 60 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}, 75 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}) = 75 \frac{\text{kgr}}{\text{min}} . \text{ Ρυθμίζουμε το ρυθμό λειτουργίας της}$$

στο 80%, δηλαδή  $\frac{75}{0.8} = 93.785 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$  ονομαστική παροχή. Αρχικά θεωρείται κλειστή, γιατί η αποθήκη είναι γεμάτη. Τα χαρακτηριστικά της βαλβίδας φαίνονται στον πίνακα 5-14.

Valve	
Maximum Rate (Kgr/min)	93,75
Initial State	Closed

Πίνακας 5-14: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βαλβίδας

## Αφιξη φορτηγών και ξεφόρτωμα (Trucks Arrivals and Unloading)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Tank.

Είναι η είσοδος του προϊόντος (πρώτης ύλης στις μεταφορικές ταινίες) και επειδή δεν έχω συσσώρευση σ' αυτές θεωρούμε ότι είναι αμελητέες, χωρίς αυτό να διαφοροποιεί τα αποτελέσματα (βλέπε ιμάντες). Η δεξαμενή μπορεί να είναι όσο η αποθήκη (600.000 Kgr ) ή να ορίσουμε εμείς την ποσότητα που θέλουμε να παράξουμε ρυθμίζοντας ανάλογα και τη βαλβίδα. Έχουμε 2 αισθητήρες που ρυθμίζουν τη ροή πρώτης ύλης στη δεξαμενή μέσω της βαλβίδας: ο πρώτος είναι τοποθετημένος έτσι ώστε όταν φτάσει η ποσότητα πρώτης ύλης στο 0,01% της χωρητικότητας της δεξαμενής ανοίγει η βαλβίδα και με ρυθμό 93,75 Kgr/min τροφοδοτεί τη γραμμή με πρώτη ύλη. Αν φτάσει στο 99,9% κλείνει η βαλβίδα και συνεχίζεται η διαδικασία. Ταυτόχρονα η γραμμή απορροφά την πρώτη ύλη. Η χωρητικότητα της δεξαμενής και το σημείο τοποθέτησης των αισθητήρων φαίνονται στον πίνακα 5-15.

Tank	
Capacity (Kgr)	600000
Location (0-100%)	
Sensor 1	99,9%
Sensor 2	0,01%

Πίνακας 5-15: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεξαμενής

## Μηχανή συσκευασίας

### α. Μηχανή πακέτων (Packages Machine P54)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Στέλνει σακουλάκια (containers) με ονομαστικό ρυθμό 100 units/min. Δουλεύει στο 70% της δυναμικότητάς της για να παράξει 70 σακ/min προϊόντος 1, στο 60% της δυναμικότητάς της για να παράξει 60 σακ/min προϊόντος 2 και στο 30% της δυναμικότητάς της για να παραξει 30 σακ/min προϊόντος 3, με συντελεστές ταχύτητας 0,7, 0,6 και 0,3 αντίστοιχα για κάθε προϊόν. Γενικά, όμως, ο ρυθμός λειτουργίας της καθορίζεται από την αρχική ζήτηση και σύμφωνα μ' αυτή ορίζεται κάποιος συντελεστής ταχύτητας, ο οποίος αλλάζει μέσω των ελεγκτών (controls). Αν:

$P_i$ : ζήτηση για κάθε προϊόν  $i$ , ( $i = 1, 2, 3$ )

$r_{P54}$ : ονομαστικός ρυθμός λειτουργίας της μηχανής = 100 units/min,

$sf$ : συντελεστής ταχύτητας (speed factor) της μηχανής,

τότε ο συντελεστής ταχύτητας της μηχανής θα είναι:  $sf = \frac{P_i}{r_{P54}}$ , (5.8)

Όταν γίνεται αλλαγή προϊόντων αλλάζει και η ταχύτητα λειτουργίας των ιμάντων P55\_P56 και P59 με ονομαστική ταχύτητα 200 units/min και 50 units/min αντίστοιχα στο 35% και 14% αντίστοιχα, ώστε να συμφωνούν με το μέγιστο ρυθμό της γραμμής (70 σακ/min).

Επίσης, σ' αυτήν τη μηχανή καθορίζουμε ότι οι χρόνοι αλλαγής μεταξύ προϊόντων (changeovers) θα γίνονται σύμφωνα με το σχέδιο παραγωγής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής αυτής φαίνονται στον πίνακα 5-16.

Packages Machine P54	
Cycles/Minute	100
Units/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Speed Factors for Product 1	
Packages Machine P54	0,7
Speed Factors for Product 2	
Packages Machine P54	0,6
Speed Factors for Product 3	
Packages Machine P54	0,3

Πίνακας 5-16: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Πακέτων P54

## β. Μηχανή Γεμίσματος (Filler P54)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Filling Machine.

Αποτελεί μαζί με την προηγούμενη μηχανή το ζυγιστικό – κλειστικό. Συνδυάζει διακριτές διεργασίες (παραγωγή σακουλιών) με συνεχείς (γέμισμα σακουλιών με κάποιο ρυθμό) και θεωρείται ενιαία με τη μηχανή πακέτων. Σ' αυτήν τη μηχανή ορίζουμε το βάρος της συσκευασίας κάθε προϊόντος (container volumes): 0,45 Kgr, 1 Kgr και 2,5 Kgr αντίστοιχα.

Η μηχανή παθαίνει βλάβες με ρυθμό 1/240 βλάβες/ώρα και η αξιοπιστία της ορίζεται σε 0,89937 για χρονικό διάστημα 8 ωρών. Η αξιοπιστία της περιλαμβάνει και τις αξιοπιστίες των ιμάντων P50\_P51\_P52\_P53. Αν πάθει βλάβη η μηχανή, τότε το προϊόν που βρίσκεται μέσα της χάνεται. Ορίζουμε σαν απώλεια παραγωγής κάποιο γεγονός (βλάβη) και η ποσότητα που χάνεται εκείνη τη στιγμή ορίζεται από τη μεταβλητή απώλειας Filler P78\_UnitsInside. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 5-17.

Filler P54	
Cycles/Minute	100
Containers/Cycle	1
Capacity	1
Initial Speed Factor	1
Event-Based Loss (Failure)	
Filler P54_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/240
Reliability for Time Span	0,89937
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Container Volumes (Kgr)	
Product 1	0,45
Product 2	1
Product 3	2,5

Πίνακας 5-17: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P54

## Ιμάντες P55 P56

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Για να υπάρχει συγχρονισμός με την υπόλοιπη γραμμή ρυθμίζονται, ώστε να έχουν ρυθμό λειτουργίας το ρυθμό της γραμμής, δηλαδή 70 units/min. Αν :

$r_c$ : ο ονομαστικός ρυθμός λειτουργίας των ιμάντων = 200 units/min,

τότε ο συντελεστής ταχύτητας των ιμάντων θα είναι:

$$sf = \frac{\max(P_i)}{r_c}, \quad (5.9)$$

Στον αριθμητή έχω  $\max(P_i)$  γιατί θέλουμε ταχύτητα ιμάντα τουλάχιστον ίση με την ταχύτητα παραγωγής. Ορίζουμε συντελεστή ταχύτητας = 0,35 για κάθε προϊόν μέσω των ελεγκτών (controls). Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που εισέρχεται ένα προϊόν αλλάζει ο ρυθμός μεταφοράς του σε  $200 \cdot 0,35 = 70$  units/min. Επίσης, στον ιμάντα γίνεται διαλογή προϊόντος (ανίχνευση μετάλλου). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ιμάντα φαίνονται στον πίνακα 5-18.

<b>Conveyors P55_P56</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Adjusted Rate (Units/Min)	70
Length (Meters)	3
Width (Meters)	0,5
Unit Density (Units/Sq. Meter)	4
Production-Based Loss	
Loss (%)	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,96429
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Speed Factors for Product 1	
Conveyors P55_P56	0,35
Speed Factors for Product 2	
Conveyors P55_P56	0,35
Speed Factors for Product 3	
Conveyors P55_P56	0,35

Πίνακας 5-18: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P55\_P56

### **Εγκιβωτισμός (Batching Machine P57 P58)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Assembly Machine.

Γίνεται εγκιβωτισμός των σακουλιών ανά 10, δηλαδή έχω 10 σακ/κιβ. Είναι μια μηχανή παρτιδοποίησης με ονομαστικό ρυθμό =  $10 \frac{\text{assemblies}}{\text{min}}$ . Ο ρυθμός της πέφτει σύμφωνα με το ρυθμό λειτουργίας της γραμμής στο 70%, 60% και 30% του ονομαστικού ρυθμού της για κάθε προϊόν. Επειδή το κιβώτιο μπορεί να περιέχει λιγότερα ή περισσότερα από 10 σακουλάκια, ορίζουμε την ποσότητα αυτή μεταβλητή και εισάγοντας τα δεδομένα στο EXCEL υπολογίζουμε

τις λοιπές παραμέτρους των σταθμών σύμφωνα. Συγκεκριμένα αλλάζει ο αρχικός πολλαπλασιαστής (ορίστηκε 640) σύμφωνα με τη σχέση (5.7). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής φαίνονται στον πίνακα 5-19.

<b>Batching Machine P57_P58</b>	
Cycles/Minute	10
Assemblies/Cycle	1
Units/Assembly	10
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-19: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Εγκιβωτισμού P57\_P58

### Ιμάντας P59

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Από αυτό το σημείο και μετά τα units είναι εκφρασμένα σε κιβώτια και όχι σακουλάκια. Θέλουμε να διατηρήσουμε το μέγιστο ρυθμό λειτουργίας της γραμμής που είναι 7 κιβ/min. Ο συντελεστής ταχύτητας υπολογίζεται ως εξής:

Ονομαστικός ρυθμός μεταφοράς κιβωτίων = 50 κιβ/min, οπότε ορίζω συντελεστή ταχύτητας =  $\frac{7 \text{ κιβ} / \text{min}}{50 \text{ κιβ} / \text{min}} = 0.14$  για κάθε προϊόν. Τα χαρακτηριστικά

λειτουργίας του ιμάντα φαίνονται στον πίνακα 5-20.

<b>Conveyor P59</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	50
Running Velocity (Meters/Min)	7
Length (Meters)	3
Width (Meters)	1
Unit Density (Units/Sq. Meter)	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Speed Factors for Product 1	
Conveyors P59	0,14
Speed Factors for Product 2	
Conveyors P59	0,14
Speed Factors for Product 3	
Conveyors P59	0,14

Πίνακας 5-20: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P59

## Παλετοποιητής (Palletizer)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Palletizer.

Θεωρώ παλέτα  $4 \cdot 4 = 16$  κιβ/layer και 4 layers/pallet. Θέλουμε τουλάχιστον τη μέγιστη ταχύτητα της γραμμής, δηλαδή 70 units/min ή 7 κιβ/min.

Η ταχύτητά της υπολογίζεται ως εξής:

$$16 \frac{\text{κιβ}}{\text{layer}} \cdot X \frac{\text{layers}}{\text{min}} \geq 7 \frac{\text{κιβ}}{\text{min}} \Rightarrow X \geq 0.4375 \frac{\text{layers}}{\text{min}}.$$
 Δουλεύει στο 70% της δυ-

ναμικότητάς της, άρα έχουμε  $\frac{0.4375}{0.8} = 0,625 \frac{\text{layers}}{\text{min}}$  ονομαστική ταχύτητα.

Επειδή έχουμε διαφορετικού μεγέθους προϊόντα αλλά παλετοποιούνται σε ίδιο μέγεθος παλέτας, πως μπορούμε να ξεχωρίσουμε πόσες παλέτες φτιάξαμε από κάθε προϊόν, εφόσον έχουμε το ίδιο μηχάνημα παλετοποίησης;

Συνολικά θα έχουμε:

$$640 \text{ σακ/pallet} = \begin{cases} 64 \frac{\text{κιβ}}{\text{pallet}} \cdot 10 \frac{\text{σακ}}{\text{κιβ}} \cdot 0.45 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ}} = 288 \text{kgr / pallet, product 1} \\ 64 \cdot 10 \cdot 1 = 640 \text{kgr / pallet, product 2} \\ 64 \cdot 10 \cdot 2.5 = 1600 \text{kgr / pallet, product 3} \end{cases}$$

Στο σχέδιο παραγωγής οι ποσότητες (units) αναφέρονται σε σακουλάκια. Άρα για να φτιάξουμε ολόκληρες παλέτες θα έχουμε πολλαπλάσια του 640.

Αν θέλουμε σύνολο  $(\alpha + \beta + \gamma)$  παλέτες από τις οποίες  $\alpha$  παλέτες προϊόν 1,  $\beta$  παλέτες προϊόν 2 και  $\gamma$  παλέτες προϊόν 3, θα έχουμε στο σύνολο των παλετών για πολλαπλά σχέδια παραγωγής  $\frac{\alpha}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot 100\%$  παλέτες product 1,

$\frac{\beta}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot 100\%$  παλέτες product 2 και  $\frac{\gamma}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot 100\%$  παλέτες product 3. Αν

αφήσουμε το σχέδιο να τρέχει και φτιάξουμε  $X$  συνολικά παλέτες από αυτές

$\frac{\alpha}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot X$ ,  $\frac{\beta}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot X$ ,  $\frac{\gamma}{\alpha + \beta + \gamma} \cdot X$  θα είναι product 1, 2 και 3 αντί-

στοιχα, με την προϋπόθεση όταν τελειώσει η προσομοίωση να καταλήξουμε σε παραγωγή του product 1 και να τη διακόψουμε προτού αποθηκευτεί η πα-



λέτα του. Δηλαδή θα πρέπει να γίνονται κάθε φορά πλήρεις κύκλοι του σχεδίου. Για κάθε προϊόν, οι χρόνοι σχηματισμού παλετών είναι:

$$\text{Product 1} \Rightarrow 1 \text{ pallet ανά } \frac{640 \text{units / pallet}}{70 \text{units / min}} \approx 9.14 \text{ min ή } \frac{640}{70} \alpha \text{ min οι } \alpha \text{ παλέτες.}$$

$$\text{Product 2} \Rightarrow 1 \text{ pallet ανά } \frac{640}{60} \text{ min} \approx 10.67 \text{ min ή } \frac{640}{60} \beta \text{ min οι } \beta \text{ παλέτες.}$$

$$\text{Product 3} \Rightarrow 1 \text{ pallet ανά } \frac{640}{30} \text{ min} \approx 21.33 \text{ min ή } \frac{640}{30} \gamma \text{ min οι } \gamma \text{ παλέτες.}$$

Το σχέδιο θα επαναλαμβάνεται για όσο διαρκεί η προσομοίωση και θα υλοποιείται σε  $\left( \frac{640}{70} \alpha + \frac{640}{60} \beta + \frac{640}{30} \gamma \right) \text{ min}$  (με πλήρεις κύκλους κάθε φορά).

Επίσης, κάθε φορά που γεμίζει η παλέτα ο χρόνος αλλαγής (time between pallets) μπορεί να προσομοιωθεί με κάποια κατανομή. Επιλέγουμε την ομοιόμορφη κατανομή με χρόνους αλλαγής παλετών μεταξύ 1 και 3 min. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παλετοποιητή φαίνονται στον πίνακα 5-21.

Palletizer	
Units/Layer	16
Nom. Run Speed (Layers/Min)	0,625
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	4
Time Between Pallets (Min)	UNIF (1,3)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,92817
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-21: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή

Η αξιοπιστία της μηχανής περιλαμβάνει και τις αξιοπιστίες των προηγούμενων σταθμών, δηλαδή κλειστικό – εκτυπωτικό (Machine P60\_P61) και τα ράουλα. Αναλυτική προσέγγιση αυτών δίνεται στο επόμενο μοντέλο.

### Αποθήκη 1 (Storage 1)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Είναι η ψυχόμενη αποθήκη των 600 tn. Αν παράξουμε τη μέγιστη ποσότητα, δηλαδή κιβώτια 25 Kgr (= 2,5 Kgr/σακ x 10 σακ/κιβ) ή 1600 Kgr/pallet,

τότε θα χωράνε  $\frac{600000kgr}{1600kgr / pallet} = 375 \text{ pallets}$  (ή αν τα 1600 Kgr/pallet τα σπά-

σουμε σε 2 παλέτες, λόγω ανικανότητας του κλαρκ να μεταφέρει τέτοια ποσότητα, σε 800 Kgr/pallet θα έχω  $375 \cdot 2 = 750 \text{ pallets}$ ).

Στο module βάζουμε, αν παράξουμε μόνο το product 3, τις 375 παλέτες και όχι τις 750 γιατί η αποθήκη δε λαμβάνει υπ' όψη το μέγεθος των παλετών αλλά το βάρος τους. Είτε στις 375 παλέτες των 1600 Kgr/pallet αναφερθούμε, είτε στις 750 παλέτες των 800 Kgr/pallet είναι το ίδιο, αφού δίνουν 600000 Kgr έκαστο (πίνακας 5-22).

Storage 1	
Initial Inventory (Pallets)	0
Capacity (Pallets)	375

Πίνακας 5-22: Χωρητικότητα Αποθήκης 1

Αν παράξουμε το «ελαφρύ» προϊόν των 0,45 Kgr/σακ ή 288 Kgr/pallet θα χρειαστώ  $\frac{600000kgr}{288kgr / pallet} \approx 2083 \text{ pallets}$ . Αν παράξουμε το προϊόν του 1 Kgr ή

640 Kgr/pallet θα χρειαστούμε  $\frac{600000kgr}{640kgr / pallet} = 937.5 \text{ pallets}$ . Επομένως, σε

κάθε περίπτωση η ποσότητα των παλετών της αποθήκης θα μεταβάλλεται μεταξύ 375 παλέτες (ή 750 παλέτες) product 3 και 2083 παλέτες product 1.

Για να γεμίσουμε μια αποθήκη των 600 tn μπορούμε να φτιάξουμε μέγιστο  $288\alpha + 640\beta + 1600\gamma = 600000 \text{ Kgr}$ , (5.10). Επίσης Συνολικά θα έχουμε  $\alpha + \beta + \gamma = X \text{ pallets}$ , (5.11), όπου  $X$  η μέγιστη ποσότητα παλετών που μπορεί να χωρέσει η αποθήκη. Αν ξέρουμε και την αναλογία παλετών για κάθε προϊόν, δηλαδή  $\left(\frac{\alpha}{\beta}, \frac{\beta}{\gamma}\right)$ , (5.12) ή  $\left(\frac{\beta}{\gamma}, \frac{\gamma}{\alpha}\right)$ , (5.13) ή  $\left(\frac{\gamma}{\alpha}, \frac{\alpha}{\beta}\right)$ , (5.14),  $\alpha, \beta, \gamma \neq 0$ , τότε μπορούμε να υπολογίσουμε μέχρι πόσες παλέτες μπορεί να χωρέσει η αποθήκη (ή πόσες φορές θα χρειαστεί να τρέξουμε το σχέδιο).

- Για  $\alpha = 0$ , ισχύουν οι (5.10), (5.11), (5.12).
- Για  $\beta = 0$ , ισχύουν οι (5.10), (5.11), (5.14).
- Για  $\gamma = 0$ , ισχύουν οι (5.10), (5.11), (5.13).
- Για  $(\alpha, \beta) = (0, 0)$  ή  $(\beta, \gamma) = (0, 0)$  ή  $(\gamma, \alpha) = (0, 0)$ , ισχύει μόνο η (5.11).

Π.χ. έστω ότι θέλουμε να φτιάξουμε:

$$\alpha = 10 \text{ παλέτες προϊόντος 1} \Rightarrow 640 \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}} \cdot 10 \text{ pallets} = 6400 \text{kgr} = 6400 \text{units},$$

$$\beta = 5 \text{ παλέτες προϊόντος 2} \Rightarrow 640 \cdot 5 = 3200 \text{kgr} = 3200 \text{units},$$

$$\gamma = 2 \text{ παλέτες προϊόντος 3} \Rightarrow 640 \cdot 2 = 280 \text{kgr} = 280 \text{units}.$$

Οι ποσότητες αυτές θα φαίνονται στο σχέδιο παραγωγής και αυτό θα επαναλαμβάνεται για όσο διαρκεί η προσομοίωση. Η αναλογία παλετών που θα φτιάχνονται για κάθε προϊόν θα είναι (χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις σχέσεις ((5.10), (5.11), (5.12))),  $\frac{\alpha}{\beta} = 2, \frac{\beta}{\gamma} = 2,5$ . Έτσι, θα έχω:

$$\left\{ \begin{array}{l} 288\alpha + 640\beta + 1600\gamma = 600000 \\ \alpha + \beta + \gamma - X = 0 \\ \alpha - 2\beta = 0 \\ \beta - 2,5\gamma = 0 \end{array} \right. , \sum_{4 \times 4} \text{ με λύσεις τις: } \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{18750}{29} \text{ pallets} \\ \beta = \frac{9375}{29} \text{ pallets} \\ \gamma = \frac{3750}{29} \text{ pallets} \\ X = \frac{31875}{29} \text{ pallets} \end{array} \right.$$

όπου X είναι η μέγιστη ποσότητα παλετών που θα δεχθεί η αποθήκη αν επαναλάβω το ίδιο σχέδιο έπ' αόριστον.

Να διευκρινίσουμε ότι στο σχέδιο ορίσαμε αρχικές ποσότητες προϊόντων πολλαπλάσια του 640 για να φτιάχνω ολόκληρες παλέτες κάθε φορά, αφού κάθε παλέτα περιλαμβάνει 640 σακουλάκια. Ο συνολικός χρόνος για να γεμίσει η αποθήκη θα είναι:

$$\left( \frac{640}{70} \alpha + \frac{640}{60} \beta + \frac{640}{30} \gamma \right) \min = \frac{640}{70} \cdot \frac{18750}{29} + \frac{640}{60} \cdot \frac{9375}{29} + \frac{640}{30} \cdot \frac{3750}{29} \approx 12118.23 \text{ min}$$

και το ίδιο σχέδιο θα πρέπει να επαναληφθεί για:

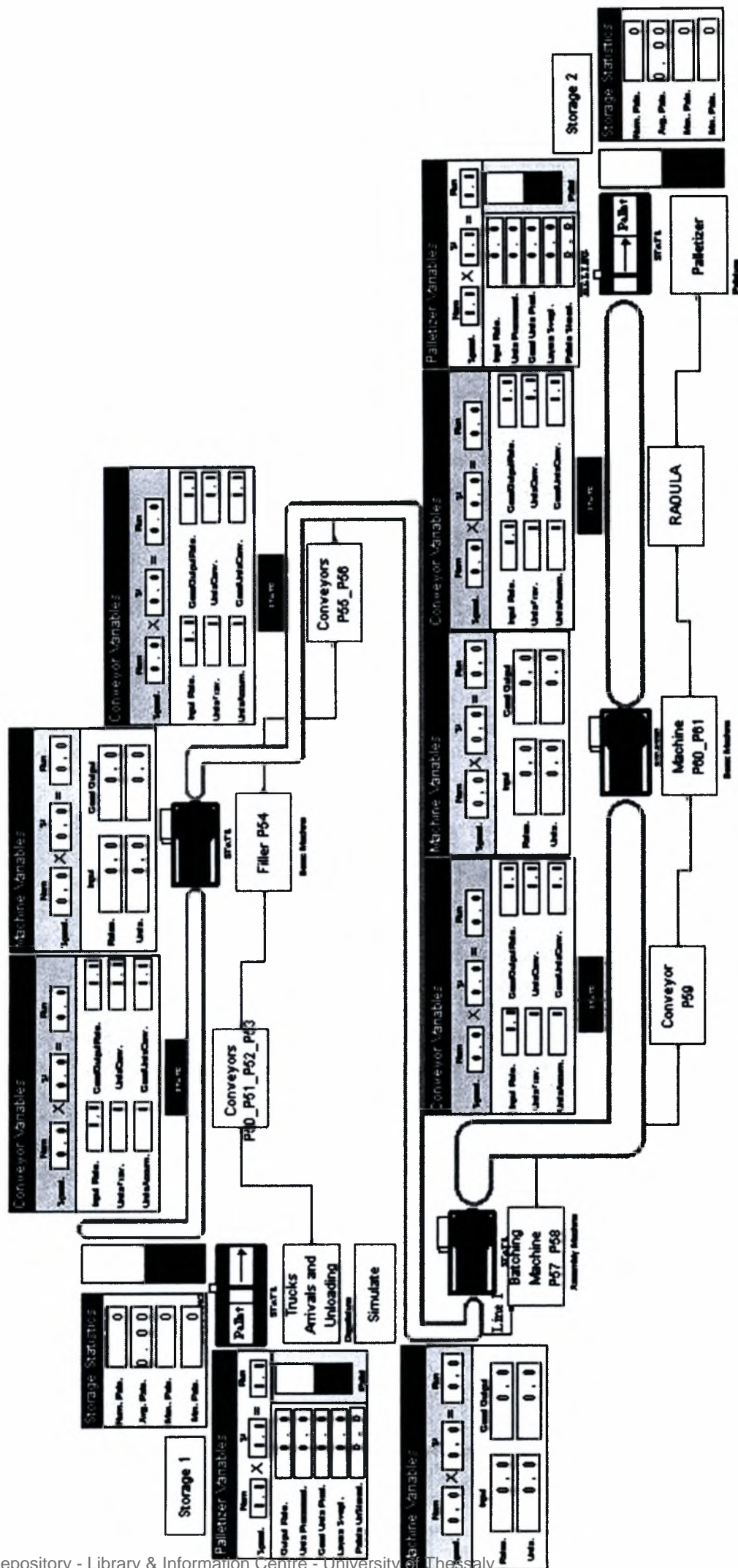
$$\frac{\left( \frac{640}{70} \cdot \frac{18750}{29} + \frac{640}{60} \cdot \frac{9375}{29} + \frac{640}{30} \cdot \frac{3750}{29} \right)}{\left( \frac{640}{70} \cdot 10 + \frac{640}{60} \cdot 5 + \frac{640}{30} \cdot 2 \right)} = \frac{12118.23 \text{ min}}{187.43 \text{ min}} \approx 64.66 \text{ φορές.}$$

### 5.2.2 Σενάριο 2

Παραγωγή σε συσκευασίες του 1 Kgr (η μεγαλύτερη ζήτηση από την αγορά) ή γενικά X Kgr. Ορίζουμε όπου units = Kgr μέχρι τη μηχανή εγκιβωτισμού (P57\_P58), στην οποία γίνεται εγκιβωτισμός ανά 10 και κατόπιν τα units αναφέρονται σε κιβώτια των 10 Kgr.

Εισάγοντας τα δεδομένα στο EXCEL και ρυθμίζοντας τον επιθυμητό ρυθμό ή/και το πόσα σακουλάκια θα χωράει το κιβώτιο υπολογίζουμε τις υπόλοιπες παραμέτρους των στοιχείων. Η ποσότητα του σακουλιού παραμένει σταθερή και ίση με 1 Kgr αλλά γενικά θα είναι ανεξάρτητη από το ζητούμενο ρυθμό παραγωγής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ζήτηση ανέρχεται στα 60 Kgr/min ή 6 κιβ/min.

Στο σχήμα 5-6 φαίνεται η μοντελοποίηση της γραμμής στο περιβάλλον προσομοίωσης του ARENA (για το συγκεκριμένο σενάριο).



Σχήμα 5-6: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο1 (σενάριο 2)

### Αποθήκη 1 (Storage 1)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

$$\text{Έχω } 600.000 \text{ Kgr αποθηκευμένα ή } \frac{600000}{50 \frac{\text{kgr}}{\text{τσουβ}} \cdot 3 \frac{\text{τσουβ}}{\text{pallet}}} = 4000 \text{ pallets (πίνα-$$

κας 5-23) αρχικό απόθεμα ή γενικά ορίζουμε εμείς τη ποσότητα παράγωγης.

Storage 1	
Initial Inventory (Pallets)	4000
Capacity (Pallets)	4000

Πίνακας 5-23: Χωρητικότητα Αποθήκης 1

### Άφιξη φορτηγών και ξεφόρτωμα (Trucks Arrivals and Unloading)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Depalletizer.

Ξεφόρτωμα των κλαρκ με ρυθμό τουλάχιστον 60 Kgr/min, εφόσον έχω ζήτηση 60 σακ/min. Η πρώτη ύλη έρχεται σε τσουβάλια των 50 Kgr και σε παρτίδες των 3. Δηλαδή θα έχω 50 Kgr/layer. Επίσης ο ρυθμός αλλαγής τσουβαλιών θα πρέπει να είναι 1,2 layers/min, όπου layer = τσουβάλι, ώστε να δια-

τηρήσω το ρυθμός της γραμμής που είναι  $50 \frac{\text{kgr}}{\text{layer}} \cdot 1.2 \frac{\text{layers}}{\text{min}} = 60 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ . Ο ονο-

μαστικός ρυθμός λειτουργίας είναι 1,875 layers/min και στο πεδίο χρόνος μεταξύ παλετών (time between pallets) μπορούμε να ορίσουμε το χρόνο μεταξύ αφίξεων των κλαρκ. Έστω ότι είναι μια ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ 1 και 3 min. Επίσης ορίζουμε και ποσοστό βλαβών κατά τη διάρκεια μιας βάρδιας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σταθμού φαίνονται στον πίνακα 5-24.

Depalletizer	
Units (Kgr)/Layer	50
Nom. Run Speed (Layers/Min)	1,875
Adjusted Speed (Layers/Min)	1,2
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	3
Time Between Pallets (Min)	UNIF (1,3)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/480
Reliability for Time Span	0,98347
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-24: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή

### Ιμάντες P50 P51 P52 P53

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας τους 100 m/min και ο αντίστοιχος ρυθμός υπολογίζεται σε  $= 100 \frac{m}{min} \cdot 0,75m \cdot 2 \frac{kgr}{m^2} = 150kgr / min$

Ρυθμίζεται έτσι, ώστε να συμφωνεί με το ρυθμό μεταφοράς της πρώτης ύλης στο σύστημα, δηλαδή συντελεστής ταχύτητας  $= \frac{60kgr / min}{150kgr / min} = 0,4$ . Άρα

θέτω την ταχύτητα στα  $0,4 \cdot 100m / min = 40m / min$ . Κάθε φορά που θέλουμε ν' αλλάξουμε το ρυθμό παραγωγής της γραμμής επεμβαίνουμε στους ιμάντες και αλλάζουμε την ονομαστική τους ταχύτητα, ώστε ο ρυθμός μεταφοράς = ρυθμός παραγωγής. Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί γίνονται εύκολα στη φόρμα του EXCEL. Ο συνολικός ιμάντας έχει αξιοπιστία το γινόμενο των επιμέρους αξιοπιστιών. Οι παράμετροι λειτουργίας του φαίνονται στον πίνακα 5-25.

<b>Conveyors P50_P51_P52_P53</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Running Velocity (Meters/Min)	40
Length (Meters)	6
Width (Meters)	0,75
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	2
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate λ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,92985
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-25: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P50\_P51\_P52\_P53

### Μηχανή Γεμίσματος (Filler P54)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Δουλεύει με ονομαστικό ρυθμό 100 Kgr/min αλλά η πραγματική του ταχύτητα πέφτει στο ρυθμό λειτουργίας της γραμμής (60 Kgr/min).

Επίσης, κάθε φορά που παθαίνει βλάβη (με ρυθμό 1 βλάβη ανά 240 ώρες) όσα προϊόντα βρίσκονται μέσα της απορρίπτονται. Η απώλεια παραγωγής περιγράφεται από το γεγονός της βλάβης και η μεταβλητή που ορίζει την απώλεια είναι η Filler P54\_UnitsInside. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της φαίνονται στον πίνακα 5-26.

Filler P54	
Cycles/Minute	100
Units (Kgr)/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Event-Based Loss (Failure)	
Filler P54_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/240
Reliability for Time Span	0,96722
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-26: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίματος P54

### Ιμάντες P55 P56

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας τους είναι 100 m/min και ο ονομαστικός ρυθμός τους είναι  $100 \frac{m}{min} \cdot 0,5m \cdot 4 \frac{kgr}{m^2} = 200kgr / min$

Ρυθμίζονται, ώστε να συγχρονίζονται με το ρυθμό της γραμμής, δηλαδή ο συντελεστής ταχύτητας θα είναι  $Sf = \frac{60kgr / min}{200kgr / min} = 0,3$  και η ταχύτητα λειτουργίας τους ίση με  $0,3 \cdot 100m / min = 30m / min$ .

Επίσης, λόγω του ανιχνευτή μετάλλου υπάρχει διαλογή προϊόντος (1%). Ο ρυθμός βλαβών τους ορίζεται, όπως και σε όλους τους ιμάντες, σε 1 βλάβη κάθε 440 ώρες και η αξιοπιστία θα είναι το γινόμενο των επιμέρους αξιοπιστιών των ιμάντων P55\_P56. Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας τους φαίνονται στον πίνακα 5-27.

Conveyors P55_P56	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Running Velocity (Meters/Min)	30
Length (Meters)	3
Width (Meters)	0,5
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	4
Production-Based Loss	
Loss (%)	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,96429
Time to Repair (Minutes)	TRIA (5,30,45)

Πίνακας 5-27: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P55\_P56



## Εγκιβωτισμός (Batching Machine P57\_P58)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Assembly Machine.

Γίνεται εγκιβωτισμός των σακουλιών ανά 10, δηλαδή έχω 10 σακ/κιβ. Είναι μια μηχανή παρτιδοποίησης με ονομαστικό ρυθμό =  $10 \frac{\text{assemblies}}{\text{min}}$ .

Ο ρυθμός της πέφτει σύμφωνα με το ρυθμό λειτουργίας της γραμμής στο 60% του ονομαστικού ρυθμού, δηλαδή δουλεύει με 6 κιβ/min. Αλλάζοντας το μέγεθος κιβωτίων π.χ. σε 5 σακ/κιβ και διατηρώντας τον ίδιο ρυθμό γραμμής, τότε αλλάζουν ανάλογα και οι ταχύτητες των επόμενων ιμάντων. Δηλαδή αν:

$V_c$ : ταχύτητα λειτουργίας ιμάντα (m/min),

$w$ : πλάτος ιμάντα (m),

$d$ : πυκνότητα υλικού στον ιμάντα (κιβ/m<sup>2</sup>)

$k$ : Kgr ανά κιβώτιο (Kgr/κιβ),

$$\text{τότε } V_c = \frac{P}{w \cdot d \cdot k}, \quad (5.15)$$

Τα χαρακτηριστικά της μηχανής εγκιβωτισμού φαίνονται στον πίνακα 5-28.

Batching Machine P57_P58	
Cycles/Minute	100
Assemblies/Cycle	1
Units (Kgr)/Assembly	10
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-28: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Εγκιβωτισμού P57\_P58

## Ιμάντας P59

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας = 50 m/min και ονομαστικός ρυθμός λειτουργίας =  $50 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1\text{m} \cdot 1 \frac{\text{κιβ}}{\text{m}^2} = 50 \text{κιβ} / \text{min} = 500 \text{kgr} / \text{min}$ , αφού κάθε κιβώτιο έχει 10 σακουλάκια του 1 Kgr. Ρυθμίζεται, ώστε συντελεστής ταχύτητας να είναι

ίσος με  $\frac{60\text{kg}/\text{min}}{500\text{kg}/\text{min}} = 0,12$ . Άρα, η ταχύτητά του είναι  $0,12 \cdot 50\text{m}/\text{min} = 6\text{m}/\text{min}$

ή από τη σχέση (5.15). Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 5-29.

<b>Conveyor P59</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	50
Running Velocity (Meters/Min)	6
Length (Meters)	3
Width (Meters)	1
Unit Density (Units/Sq. Meter)	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-29: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P59

### **Κλειστικό – Εκτυπωτικό (Machine P60 P61)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Εκτελεί στιγμιαία επεξεργασία των κιβωτίων ανά 1 κάθε φορά (1 unit/cycle) με ονομαστικό ρυθμό 10 κιβ/min, ο οποίος πέφτει στο ρυθμό της γραμμής που είναι 6 κιβ/min. Ο ρυθμός βλαβών της είναι 1/440 βλάβες/ώρα και ο χρόνος επισκευής της ορίζεται από μια τριγωνική κατανομή πίνακας 5-30.

<b>Machine P60_P61</b>	
Cycles/Minute	10
Units/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,96429
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-30: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κλειστικού – Εκτυπωτικού P60\_P61

### **Ιμάντας RAOULA**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Τα κιβώτια μετά το εκτυπωτικό οδηγούνται στο σταθμό παλετοποίησης. Η ονομαστική ταχύτητα είναι ίση με 50 m/min και ο ονομαστικός ρυθμός υπολο-

γίζεται σε  $50 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1\text{m} \cdot 2 \frac{\text{κιβ}}{\text{m}^2} = 100\text{κιβ}/\text{min} = 1000\text{kg}/\text{min}$ . Ρυθμίζεται έτσι, ώστε

ο συντελεστής ταχύτητας =  $\frac{60kgr / min}{1000kgr / min} = 0,06$ . Άρα η ταχύτητά του ορίζεται στα  $0,06 \cdot 50m / min = 3m / min$  ή από τη σχέση (5.15). Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του φαίνονται στον πίνακα 5-31.

RAOULA	
Nominal Velocity (Meters/Min)	50
Running Velocity (Meters/Min)	3
Length (Meters)	3
Width (Meters)	1
Unit Density (Units/Sq. Meter)	2
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-31: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ράουλων

### Παλετοποιητής (Palletizer)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Palletizer.

Θεωρώ παλέτα  $4 \cdot 4 = 16$  κιβ/layer και 4 layers/pallet. Θέλουμε τουλάχιστον τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής, δηλαδή 70 units/min ή 7 κιβ/min τα οποία προκύπτουν από την παραγωγή των συσκευασιών του 0,45 Kgr.

Έχουμε  $16 \frac{\text{κιβ}}{\text{layer}} \cdot X \frac{\text{layers}}{\text{min}} \geq 7 \frac{\text{κιβ}}{\text{min}} \Rightarrow X \geq 0.4375 \frac{\text{layers}}{\text{min}}$ . Δουλεύει στο 70%

της δυναμικότητάς της, άρα έχουμε  $\frac{0.4375}{0.8} = 0,625 \frac{\text{layers}}{\text{min}}$  ονομαστική ταχύ-

τητα. Για παραγωγή 6 κιβ/min η μηχανή δουλεύει στο  $\frac{6\text{κιβ} / \text{min}}{10\text{κιβ} / \text{min}} \cdot 100\% = 60\%$

της ονομαστικής δυναμικότητάς της.

Συνολικά έχουμε:  $64 \frac{\text{κιβ}}{\text{pallet}} \cdot 10 \frac{\text{σακ}}{\text{κιβ}} \cdot 1 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ}} = 640\text{kgr} / \text{pallet} = 640\text{σακ} / \text{pallet}$ .

Η ποσότητα αυτή θα εξαρτάται, βέβαια, και από τον αριθμό σακουλιών που έχει 1 κιβώτιο και ο οποίος ορίζεται στη μηχανή εγκιβωτισμού, όπως είδαμε παραπάνω. Ο χρόνος σχηματισμού των παλετών είναι:

1 pallet ανά  $\frac{640\text{units} / \text{pallet}}{60\text{units} / \text{min}} \approx 10.67 \text{ min}$  ή  $\frac{640}{60} \beta \text{ min}$  οι  $\beta$  παλέτες.

Συνολικά το σχέδιο υλοποιείται σε  $\left(\frac{640}{60}\beta\right)$  min και επαναλαμβάνεται όσο τρέχει η προσομοίωση (κάνω πλήρεις κύκλους κάθε φορά).

Επίσης, κάθε φορά που γεμίζει η παλέτα ο χρόνος αλλαγής της μπορεί να προσομοιωθεί με κάποια κατανομή στο πεδίο time between pallets. Η αλλαγή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 min και επιλέγουμε την ομοιόμορφη κατανομή. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 5-32.

Palletizer	
Units/Layer	25
Nom. Run Speed (Layers/Min)	2,4
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	5
Time Between Pallets (Min)	0
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,98020
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-32: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή

## **Αποθήκη 2 (Storage 2)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Έστω ότι θέλουμε να φτιάξουμε μόνο ένα προϊόν με ρυθμό  $X$  Kgr/min και σε κάθε κιβώτιο χωράνε  $Y$  Kgr/κιβ, τότε ο ρυθμός αποθήκευσης των κιβωτίων θα είναι  $X/Y$  κιβ/min. Εφόσον η παλέτα αποτελείται από  $Z$  κιβ/pallet, τότε για το σχηματισμό 1 παλέτας θα χρειαστούμε  $\frac{Z}{X/Y} = \frac{Z \cdot Y}{X} \frac{\text{min}}{\text{pallet}}$ , (5.16).

Επίσης η αποθήκη των 600 tn θα χωράει  $\frac{600000 \text{ kgr}}{Z \cdot Y \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}}} = \frac{600000}{Z \cdot Y} \text{ pallets}$ ,

(5.17) ή για το συγκεκριμένο παράδειγμα 937,5 παλέτες (πίνακας 5-33).

Storage 2	
Initial Inventory (Pallets)	0
Capacity (Pallets)	937

Πίνακας 5-33: Χωρητικότητα Αποθήκης 2

## 5.3 Γραμμή Συσκευασίας Νο4

### 5.3.1 Σενάριο 1

Στη γραμμή συσκευασίας 4 επιζητούμε την παραγωγή 2 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 20 σακ/min και 10 σακ/min σε συσκευασίες των 5 Kgr και 10 Kgr αντίστοιχα. Οι συσκευασίες λόγω του μεγέθους τους δεν οδηγούνται σε κάποια μηχανή εγκιβωτισμού, όπως συμβαίνει με τις μικρότερες συσκευασίες, αλλά οδηγούνται κατ' ευθείαν στη μηχανή δημιουργίας παλετών. Η μηχανή παλετοποίησης αποτελείται από:

$$25 \frac{\text{σακούλες}}{\text{layer}} \cdot 5 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 125 \text{σακ} / \text{pallet}, \quad (5.18)$$

Μοντελοποιούμε τη γραμμή συσκευασίας με συνολικά 5 σταθμούς εργασίας από τους οποίους η πρώτη ύλη υφίσταται διάφορες διεργασίες. Αναλυτική περιγραφή αυτών δίνεται παρακάτω.

Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίσματος των σακουλιών (filler). Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο ρυθμό παραγωγής αλλάζουμε τις ποσότητες των προϊόντων. Οι υπολογισμοί γίνονται εύκολα στο EXCEL και στον πίνακα 5-34 φαίνονται οι παραγόμενες ποσότητες.

Adjusted Output Rate	
Product 1	
Output Rate (Units/Min)	20
Product 2	
Output Rate (Units/Min)	10

Πίνακας 5-34: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων

Οι συντελεστές ταχύτητας των διαφόρων μηχανών εξαρτώνται και αλλάζουν σύμφωνα με τη ζητούμενη παραγωγή.

Επειδή έχουμε 125 σακ/pallet κάθε παραγόμενη ποσότητα των προϊόντων θα πρέπει να είναι πολλαπλάσια του 125 στο σχέδιο παραγωγής ή γενικά ί-

σος με  $Multiplier = \frac{\text{σακούλες}}{\text{Layer}} \cdot \frac{\text{Layers}}{\text{Pallet}} = X \frac{\text{σακούλες}}{\text{Pallet}}, \quad (5.19)$

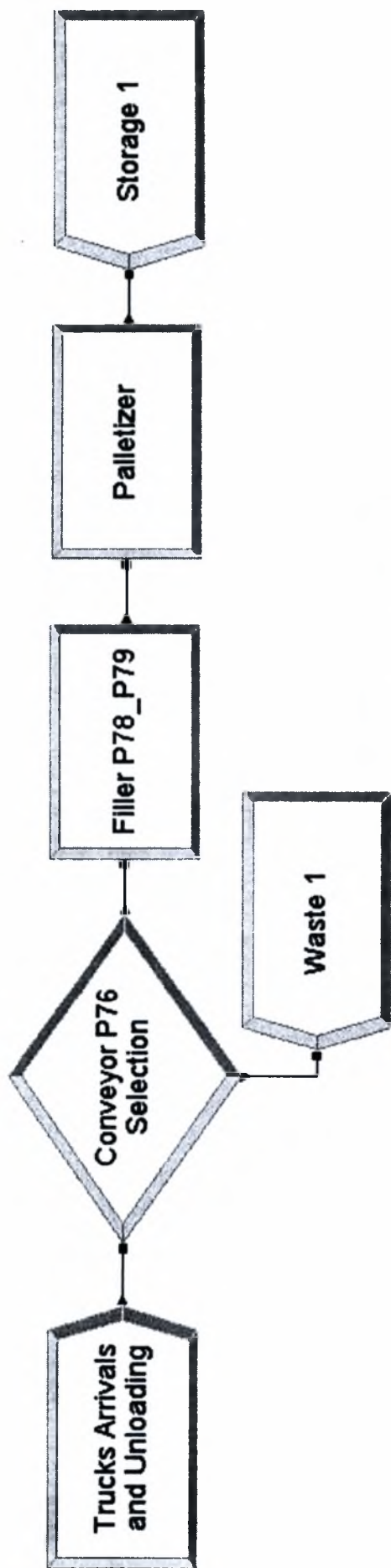
Στο σχέδιο παραγωγής, το οποίο φαίνεται στον πίνακα 5-35, μπορούμε να ορίσουμε και χρόνους προετοιμασίας των μηχανών κατά την αλλαγή της παραγωγής ανάμεσα σε διαφορετικά προϊόντα. Έστω ότι είναι μια ομοιόμορφη

κατανομή μεταξύ 5 και 10 min, δηλαδή UNIF(5,10) και ότι θέλω να φτιάξω 10 παλέτες προϊόντος 1 και 8 παλέτες προϊόντος 2. Ο πολλαπλασιαστής (multiplier) μπορεί ν' αλλάξει ανάλογα με το μέγεθος παλέτας που επιθυμούμε.

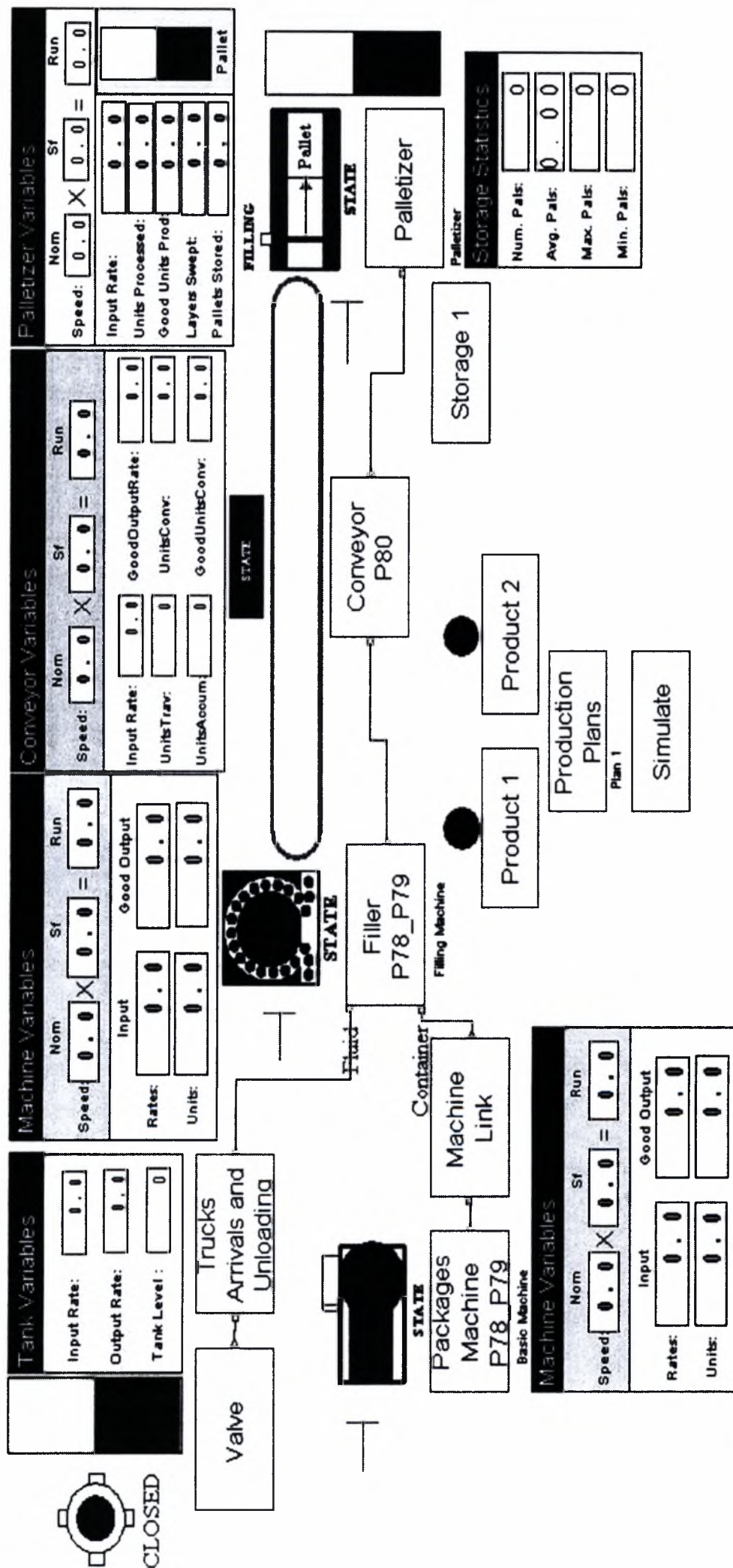
Production Plan 1	
Multiplier	125
Product 1	
Setup Time (Minutes)	UNIF (5,10)
Quantity (Units)	1250
Product 2	
Setup Time (Minutes)	UNIF (5,10)
Quantity (Units)	1000

Πίνακας 5-35: Σχέδιο Παραγωγής και Χρόνοι Προετοιμασίας Γραμμής για κάθε Προϊόν

Στο σχήμα 5-7 παρουσιάζουμε το διάγραμμα ροής της γραμμής, ενώ στο σχήμα 5-8 φαίνεται η μοντελοποίηση της γραμμής στο περιβάλλον προσομοίωσης του ARENA (για το συγκεκριμένο σενάριο).



Σχήμα 5-7: Διάγραμμα Ροής Γραμμής Συσκευασίας Νο4



Σχήμα 5-8: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 1)



## **Βαλβίδα (Valve)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Valve.

Η παραγωγή (πίνακας 5-34) θέλουμε να είναι τουλάχιστον:

$$\max(20\text{σακ} / \text{min}, 10\text{σακ} / \text{min}) = \max(20 \cdot 5, 10 \cdot 10) = 100 \frac{\text{kg}r}{\text{min}}. \text{ Ρυθμίζεται στο } 80\%$$

με ονομαστική παροχή  $\frac{100}{0.8} = 125 \frac{\text{kg}r}{\text{min}}$ . Αρχικά θεωρείται κλειστή (η αποθήκη

είναι γεμάτη). Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 5-36.

Valve	
Maximum Rate (Kgr/min)	125
Initial State	Closed

Πίνακας 5-36: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βαλβίδας

## **Αφιξη φορτηγών και ξεφόρτωμα (Trucks Arrivals and Unloading)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Tank.

Είναι η είσοδος του προϊόντος (πρώτης ύλης στις μεταφορικές ταινίες) και επειδή δεν έχω συσσώρευση τις θεωρούμε αμελητέες, χωρίς αυτό να διαφοροποιεί τ' αποτελέσματα. Η δεξαμενή μπορεί να είναι όσο η αποθήκη (600 tn) ή όσο θέλουμε να παράξουμε, ρυθμίζοντας ανάλογα τη βαλβίδα.

Έχουμε 2 αισθητήρες που ρυθμίζουν τη ροή πρώτης ύλης στη δεξαμενή μέσω της βαλβίδας: ο πρώτος είναι τοποθετείται έτσι, ώστε όταν φτάσει η ποσότητα πρώτης ύλης στο 0,01% της χωρητικότητας της δεξαμενής ανοίγει η βαλβίδα και με ρυθμό 93,75 Kgr/min τροφοδοτεί τη γραμμή με πρώτη ύλη. Αν φτάσει στο 99,9% κλείνει η βαλβίδα και συνεχίζεται η διαδικασία. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 5-37.

Tank	
Capacity (Kgr)	600000
Location (0-100%)	
Sensor 1	99,9%
Sensor 2	0,01%

Πίνακας 5-37: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δεξαμενής

## **Μηχανή συσκευασίας**

### **α. Μηχανή Πακέτων (Packages Machine P78\_P79)**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Στέλνει σακουλάκια (containers) με ονομαστικό ρυθμό 25 units/min. Δουλεύει στο 80% της δυναμικότητάς της για να παράξει 20 σακ/min προϊόντος 1 και στο 40% της δυναμικότητάς της για να παραξει 10 σακ/min προϊόντος 2, με συντελεστές ταχύτητας 0,8, 0,4 αντίστοιχα για κάθε προϊόν. Γενικά, όμως, ο ρυθμός λειτουργίας της καθορίζεται από την αρχική ζήτηση και σύμφωνα μ' αυτή ορίζεται κάποιος συντελεστής ταχύτητας, ο οποίος αλλάζει μέσω των ελεγκτών (controls). Αν:

$P_i$ : η ζήτηση για κάθε προϊόν  $i$ , ( $i = 1, 2$ ),

$r_{P78\_P79}$ : ο ονομαστικός ρυθμός λειτουργίας της μηχανής = 25 units/min,

$sf$ : συντελεστής ταχύτητας (speed factor) της μηχανής,

τότε ο συντελεστής ταχύτητας της μηχανής θα είναι:  $sf = \frac{P_i}{r_{P78\_P79}}$ , (5.20)

Όταν γίνεται αλλαγή προϊόντων αλλάζει και η ταχύτητα λειτουργίας του ιμάντα P80 με ονομαστικό ρυθμό 100 units/min στο 20%, ώστε να συμφωνεί με το μέγιστο ρυθμό της γραμμής (20 σακ/min). Επίσης, σ' αυτήν τη μηχανή καθορίζω ότι οι χρόνοι αλλαγής μεταξύ προϊόντων (changeovers) θα γίνονται σύμφωνα με το σχέδιο παραγωγής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής αυτής φαίνονται στον πίνακα 5-38.

<b>Packages Machine P78_P79</b>	
Cycles/Minute	25
Units/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Speed Factors for Product 1	
Packaging Machine P78_P79	0,8
Speed Factors for Product 2	
Packaging Machine P78_P79	0,4

Πίνακας 5-38: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Πακέτων P78\_P79

## β. Μηχανή Γεμίσματος (Filler P78\_P79)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Filling Machine.

Αποτελεί μαζί με την προηγούμενη μηχανή το ζυγιστικό – κλειστικό (βλέπε Γραμμή Συσκευασίας Νο1). Η ταχύτητά της τροποποιείται ανάλογα με την ταχύτητα που στέλνει τα πακέτα η προηγούμενη μηχανή, δηλαδή με ρυθμό 20 σακ/min και 10 σακ/min. Επίσης ορίζουμε βάρος των σακουλιών (container

volumes), δηλαδή τις ποσότητες σε Kgr που θα έχει η συσκευασία κάθε προϊόντος, δηλαδή 5 και 10 Kgr αντίστοιχα.

Η μηχανή παθαίνει βλάβες με ρυθμό 1/240 βλάβες/ώρα και η αξιοπιστία της ορίζεται σε 0,91587 για χρονικό διάστημα 8 ωρών. Η αξιοπιστία της περιλαμβάνει και τις αξιοπιστίες των ιμάντων P750\_P76\_P77. Αν πάθει βλάβη η μηχανή, το προϊόν που βρίσκεται μέσα της χάνεται. Ορίζουμε σαν απώλεια παραγωγής κάποιο γεγονός (βλάβη) και η ποσότητας που χάνεται εκείνη τη στιγμή ορίζεται από τη μεταβλητή απώλειας Filler P78\_P79\_UnitsInside. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 5-39.

Filler P78_79	
Cycles/Minute	25
Containers/Cycle	1
Capacity (Containers)	1
Initial Speed Factor	1
Event-Based Loss (Failure)	
Filler P78_P79_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/240
Reliability for Time Span	0,91587
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Container Volumes (Kgr)	
Product 1	5
Product 2	10

Πίνακας 5-39: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίσματος P78\_P79

### **Ιμάντας P80**

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Για να υπάρχει συγχρονισμός με την υπόλοιπη γραμμή τον ρυθμίζω ώστε να έχει μέγιστο ρυθμό λειτουργίας το ρυθμό της γραμμής, δηλαδή τουλάχιστον 20 units/min. Ο συντελεστής ταχύτητας του ιμάντα θα είναι  $sf = \frac{\max(P_i)}{r_c}$ ,

(5.21). Στον αριθμητή έχουμε  $\max(P_i)$  γιατί θέλουμε ταχύτητα ιμάντα τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη ταχύτητα παραγωγής. Ορίζουμε συντελεστή ταχύτητας = 0,2 για κάθε προϊόν μέσω των ελεγκτών (controls) που έχει. Αυτό σημαίνει ότι κάθε φορά που εισέρχεται ένα προϊόν αλλάζει ο ρυθμός μεταφοράς του σε  $100 \cdot 0.2 = 20$  units/min, όσο είναι η ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ιμάντα φαίνονται στον πίνακα 5-40.

Conveyor P80	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Adjusted Rate (Units/Min)	20
Length (Meters)	3
Width (Meters)	1
Unit Density (Units/Sq. Meter)	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Speed Factors for Product 1	
Conveyor P80	0,2
Speed Factors for Product 2	
Conveyor P80	0,2

Πίνακας 5-40: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P80

### Παλετοποιητής (Palletizer)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Palletizer.

Θεωρούμε παλέτα  $5 \cdot 5 = 25$  units/layer και 5 layers/pallet. Θέλουμε τουλάχιστον τη μέγιστη ταχύτητα της γραμμής, δηλαδή 20 units/min ή θα έχουμε:

$$25 \frac{\text{units}}{\text{layer}} \cdot X \frac{\text{layers}}{\text{min}} \geq 20 \frac{\text{units}}{\text{min}} \Rightarrow X \geq 0,8 \frac{\text{layers}}{\text{min}}.$$

Δουλεύει στο 80% της δυναμικότητάς της, άρα έχω  $\frac{0,8}{0,8} = 1 \frac{\text{layer}}{\text{min}}$  ονομαστική ταχύτητα.

Επειδή έχουμε διαφορετικού μεγέθους τσουβάλια και παλετοποιούνται στην ίδια μηχανή, πως ξεχωρίζουμε τις παλέτες κάθε προϊόντος;

$$\text{Συνολικά έχω } 125 \text{ units/pallet} = \begin{cases} 125 \cdot 5 \text{ kgr / unit} = 625 \text{ kgr / pallet, product 1} \\ 125 \cdot 10 \text{ kgr / unit} = 1250 \text{ kgr / pallet, product 2} \end{cases}$$

Στο σχέδιο παραγωγής οι ποσότητες αναφέρονται σε units, άρα θα έχουμε πολλαπλάσια του 125 για να φτιάξουμε ολόκληρες παλέτες. Αν θέλουμε ( $\alpha + \beta$ ) παλέτες από τις οποίες  $\alpha$  παλέτες προϊόν 1 και  $\beta$  παλέτες προϊόν 2, θα έχουμε, για πολλαπλά σχέδια παραγωγής  $\frac{\alpha}{\alpha + \beta} \cdot 100\%$  και  $\frac{\beta}{\alpha + \beta} \cdot 100\%$  παλέτες από κάθε προϊόν. Αν αφήσουμε το σχέδιο να τρέχει και φτιάξουμε  $X$  συνολικά παλέτες από αυτές  $\frac{\alpha}{\alpha + \beta} \cdot X$ , (5.22) θα είναι προϊόν 1 και  $\frac{\beta}{\alpha + \beta} \cdot X$ ,

(5.23) προϊόν 2, υπό την προϋπόθεση όταν τελειώσει η προσομοίωση να κα-

ταλήξουμε σε παραγωγή του προϊόντος 1 και να τη διακόψουμε προτού αποθηκευτεί η παλέτα του. Δηλαδή θα πρέπει να γίνονται κάθε φορά πλήρεις κύκλοι του σχεδίου. Επίσης, έχουμε για τους χρόνους σχηματισμού παλετών:

Product 1  $\Rightarrow$  1 pallet ανά 6,25 min  $\Rightarrow$  6.25 $\alpha$  min, (5.24) οι  $\alpha$  παλέτες.

Product 2  $\Rightarrow$  1 pallet ανά 12,5 min  $\Rightarrow$  12.5 $\beta$  min, (5.25) οι  $\beta$  παλέτες.

Το σχέδιο θα επαναλαμβάνεται για όσο διαρκεί η προσομοίωση και θα υλοποιείται σε  $(6,25\alpha + 12,5\beta)$  min, (5.26). Επίσης κάθε φορά που γεμίζει η παλέτα ο χρόνος αλλαγής της προσομοιώνεται, στο πεδίο time between pallets, με την ομοιόμορφη κατανομή και χρόνους αλλαγών μεταξύ 1 και 3 min. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παλετοποιητή φαίνονται στον πίνακα 5-41.

Palletizer	
Units/Layer	25
Nom. Run Speed (Layers/Min)	1
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	5
Time Between Pallets (Min)	UNIF(1,3)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,98020
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-41: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή

### Αποθήκη 1 (Storage 1)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Είναι η ψυχόμενη αποθήκη των 600 tn ή αν παράξουμε μόνο τη μέγιστη ποσότητα δηλαδή σακουλές 10 Kgr (προϊόν 2) ή 10 Kgr/σακ x 125 σακ/pallet = 1250 Kgr/pallet, θα χωράνε  $\frac{600000}{1250} = 480$  pallets, (πίνακας 5-42). Αν παρά-

ξουμε τσουβάλια 5 Kgr (προϊόν 1) θα έχουμε  $\frac{600000}{625} = 960$  pallets.

Storage 1	
Initial Inventory (Pallets)	0
Capacity (Pallets)	480

Πίνακας 5-42: Χωρητικότητα Αποθήκης 1

Επομένως, σε κάθε περίπτωση η ποσότητα των παλετών της αποθήκης θα μεταβάλλεται μεταξύ 480 παλέτες προϊόν 2 και 960 παλέτες προϊόν 1. Για να γεμίσει μια αποθήκη των 600 τμ μπορώ να φτιάξω μέγιστο  $625\alpha + 1250\beta = 600000$  Kgr, (5.27). Επίσης Συνολικά θα έχω  $\alpha + \beta = X$  pallets, (5.28), όπου  $X$  η μέγιστη ποσότητα παλετών που μπορεί να χωρέσει η αποθήκη. Αν ξέρουμε και την αναλογία παλετών για κάθε προϊόν, δηλαδή  $y = \frac{\alpha}{\beta}, \beta \neq 0$ , (5.29), τότε μπορούμε να υπολογίσουμε μέχρι πόσες παλέτες μπορούμε να φτιάξουμε για να γεμίσει η αποθήκη (ή πόσες φορές θα τρέξουμε το σχέδιο παραγωγής).

- Για  $\alpha = 0$  (ή  $\beta = 0$ ), ισχύουν μόνο οι (5.27) και (5.28).

Π.χ. έστω ότι θέλουμε να φτιάξουμε:

$$\alpha = 16 \text{ παλέτες προϊόντος 1} \Rightarrow 125 \frac{\sigma\alpha\kappa}{\text{pallet}} \cdot 16 \text{ pallets} = 2000\sigma\alpha\kappa,$$

$$\beta = 4 \text{ παλέτες προϊόντος 2} \Rightarrow 125 \cdot 4 = 500\sigma\alpha\kappa.$$

Οι ποσότητες αυτές θα φαίνονται στο σχέδιο παραγωγής και αυτό θα επαναλαμβάνεται για όσο διαρκεί η προσομοίωση μέχρι να τη σταματήσουμε ή μέχρι να θέσουμε ένα όριο λίγο μεγαλύτερο από  $(6,25\alpha + 12,5\beta)$  min. Η αναλογία παλετών που θα φτιάχνονται για κάθε προϊόν θα είναι  $y = \frac{\alpha}{\beta} = 4$ .

Από τις σχέσεις (5.27), (5.28) και (5.29) θα έχω:

$$\begin{cases} 625\alpha + 1250\beta = 600000 \\ \alpha + \beta - X = 0 \\ \alpha - 4\beta = 0 \end{cases}, \sum_{3 \times 3} \text{ με λύσεις τις: } \begin{cases} \alpha = 640 \text{ pallets} \\ \beta = 160 \text{ pallets} \\ X = 800 \text{ pallets} \end{cases}$$

όπου  $X$  είναι η μέγιστη ποσότητα παλετών που θα δεχθεί η αποθήκη αν επαναλάβουμε το ίδιο σχέδιο έπ' αόριστον.

Ο συνολικός χρόνος για να γεμίσει η αποθήκη (σχέση 5.26) θα είναι:

$$(6,25 \cdot 640 + 12,5 \cdot 160) = 6000 \text{ min και το ίδιο σχέδιο θα πρέπει να επαναληφθεί:}$$

$$\frac{(6,25 \cdot 640 + 12,5 \cdot 160)}{(6,25 \cdot 16 + 12,5 \cdot 4)} = \frac{6000 \text{ min}}{150 \text{ min}} = 40 \text{ φορές.}$$

### 5.3.2 Σενάριο 2

Επιζητούμε παραγωγή 2 προϊόντων σε συσκευασίες των 5 και 10 Kgr και με ρυθμούς  $20 \frac{\text{σακ}}{\text{min}} \cdot 5 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ}} = 100 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$  και  $12 \frac{\text{σακ}}{\text{min}} \cdot 10 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ}} = 120 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$  αντίστοιχα.

Τα προϊόντα λόγω διαφορετικού μεγέθους τους παλετοποιούνται ξεχωριστά και παραλαμβάνονται από διαφορετικού μεγέθους κλαρκ. Το προϊόν 1 μπαίνει σε παλέτες των  $25 \frac{\text{σακ}}{\text{layer}} \cdot 5 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 125 \frac{\text{σακ}}{\text{pallet}} = 625 \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}}$ , (5.30) και το προϊόν

2 σε παλέτες των  $16 \frac{\text{σακ}}{\text{layer}} \cdot 4 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 64 \frac{\text{σακ}}{\text{pallet}} = 640 \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}}$ , (5.31).

Μοντελοποιούμε τη γραμμή συσκευασίας με συνολικά 6 σταθμούς εργασίας από τους οποίους η πρώτη ύλη υφίσταται διάφορες διεργασίες. Αναλυτική περιγραφή αυτών δίνεται παρακάτω.

Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίσματος των σακουλιών (filler). Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο ρυθμό παραγωγής αλλάζουμε τις ποσότητες των προϊόντων. Οι υπολογισμοί γίνονται εύκολα στο EXCEL και στον πίνακα 5-43 φαίνονται οι παραγόμενες ποσότητες.

Adjusted Output Rate	
Product 1	
Output Rate (Units/Min)	20
Container Volume	5
Product 2	
Output Rate (Units/Min)	12
Container Volume	10

Πίνακας 5-43: Ρυθμοί Παραγωγής Προϊόντων και Μέγεθος Συσκευασίας

Οι συντελεστές ταχύτητας των διαφόρων μηχανών εξαρτώνται και αλλάζουν σύμφωνα με τη ζητούμενη παραγωγή.

Ο ρόλος του πολλαπλασιαστή είναι και εδώ ίδιος όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα. Επειδή έχουμε 625 Kgr/pallet προϊόντος 1 και 640 Kgr/pallet προϊόντος 2, τότε οι παραγόμενες ποσότητες των προϊόντων θα πρέπει να είναι πολλαπλάσιες του 625 και 640 στο σχέδιο παραγωγής ή γε-

νικά ίση με  $Multiplier = \frac{\text{kgr}}{\text{Layer}} \cdot \frac{\text{Layers}}{\text{Pallet}} = X \frac{\text{kgr}}{\text{Pallet}}$ , (5.32). Στο σχέδιο παραγωγής,

το οποίο φαίνεται στον πίνακα 5-44, μπορούμε να ορίσουμε και χρόνους

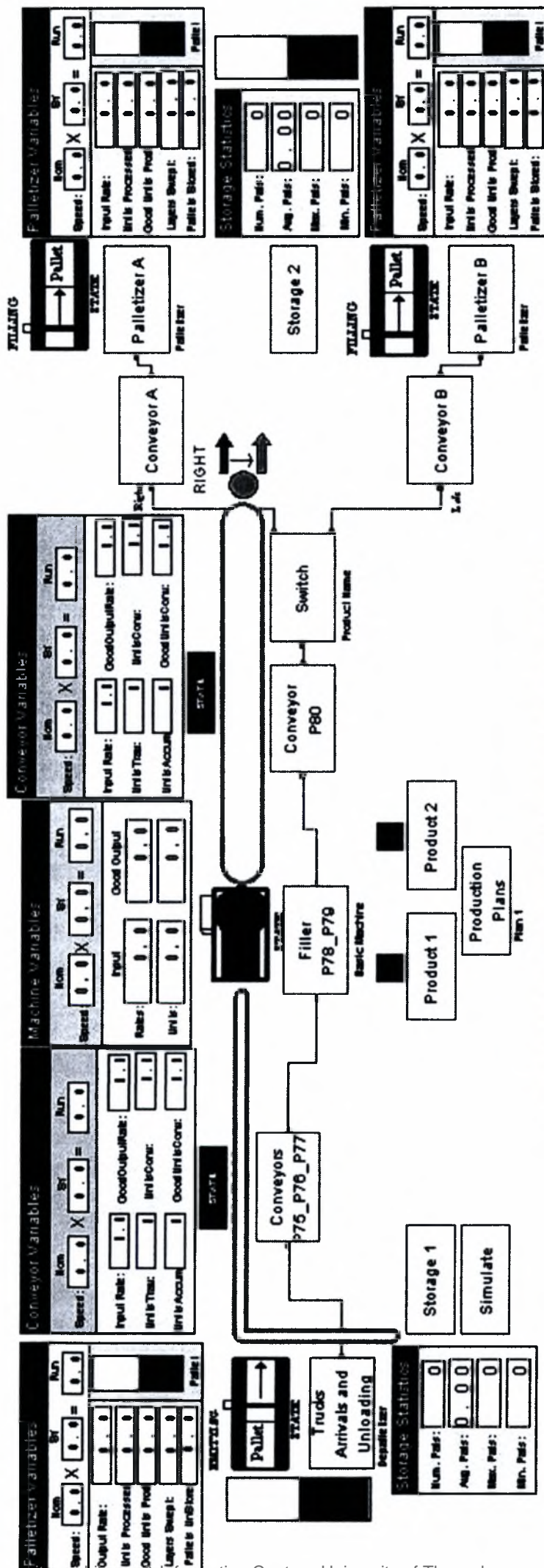
προετοιμασίας των μηχανών κατά την αλλαγή της παραγωγής ανάμεσα σε διαφορετικά προϊόντα. Έστω ότι είναι μια ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ 5 και 10 min, δηλαδή UNIF(5,10) και ότι θέλουμε να φτιάξουμε 10 παλέτες προϊόντος 1 και 8 παλέτες προϊόντος 2. Οι πολλαπλασιαστές κάθε προϊόντος αλλάζουν ανάλογα με το μέγεθος παλέτας που θέλουμε να φτιάξουμε.

Production Plan 1	
Product 1	
Multiplier	625
Setup Time (Minutes)	UNIF(5,10)
Quantity (Kgr)	6250
Product 2	
Multiplier	640
Setup Time (Minutes)	UNIF(5,10)
Quantity (Kgr)	5120

*Πίνακας 5-44: Σχέδιο Παραγωγής, Πολλαπλασιαστής και Χρόνοι Προετοιμασίας Γραμμής*

Στο σχήμα 5-9 φαίνεται η μοντελοποίηση της γραμμής στο περιβάλλον προσομοίωσης του ARENA (για το συγκεκριμένο σενάριο).





Σχήμα 5-9: Απεικόνιση Γραμμής Συσκευασίας Νο4 (σενάριο 2)

## Αποθήκη 1 (Storage 1)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Αποθήκη 600 tn (ή όσα θέλω να παράξω) από την οποία εισέρχεται η πρώτη ύλη στη γραμμή. Είναι συγκεντρωμένη σε τσουβάλια των 50 Kgr και ανά 3 σε παλέτες. Δηλαδή η ψυχόμενη αποθήκη από την παραγωγή μπορεί

να έχει μέχρι 
$$\frac{600000}{50 \frac{\text{kgr}}{\text{τσουβ}} \cdot 3 \frac{\text{τσουβ}}{\text{pallet}}} = 4000 \text{ pallets}$$
 (πίνακας 5-45).

Storage 1	
Initial Inventory (Pallets)	4000
Capacity (Pallets)	4000

Πίνακας 5-45: Χωρητικότητα Αποθήκης 1

## Άφιξη φορτηγών και ξεφόρτωμα (Trucks Arrivals and Unloading)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Depalletizer.

Ξεφόρτωμα φορτηγού (κλαρκ των 50 Kgr/layer) με ονομαστικό ρυθμό 125 kgr/min και ονομαστική ταχύτητα 2,5 layers/min. Ορίζουμε units = Kgr και layers = τσουβάλια πρώτης ύλης. Κάθε κλαρκ φέρει 3 τσουβάλια (γεμίζουν ανά 3 από τη γραμμή παραγωγής, πηγαίνουν στα ψυγεία και από εκεί στις γραμμές συσκευασίας). Για παραγωγή 120 Kgr/min η μηχανή δουλεύει στο  $\frac{120}{125} = 96\%$

της δυναμικότητάς της. Επίσης, υπάρχουν ελεγκτές, στην αρχή της γραμμής, οι οποίοι ρυθμίζουν τους συντελεστές ταχύτητας των επόμενων μηχανών. Αν:

$V_i$ : ποσότητα (Kgr) σακουλιού  $i$ , ( $i = 1, 2$ ),

$P_i$ : ρυθμός παραγωγής (σακ/min) προϊόντος  $i$ , ( $i = 1, 2$ ),

$r_D$ : ρυθμός αυτού του στοιχείου =  $50 \frac{\text{kgr}}{\text{layer}} \cdot 2,5 \frac{\text{layers}}{\text{min}} = 125 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ ,

$r_{P75\_P76\_P77}$ : ρυθμός ιμάντα P75\_P76\_P77 =  $50 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1\text{m} \cdot 4 \frac{\text{kgr}}{\text{m}^2} = 200 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ ,

$r_{P80}$ : ρυθμός ιμάντα P80 =  $100 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1\text{m} \cdot 10 \frac{\text{kgr}}{\text{m}^2} = 1000 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ ,

τότε οι συντελεστές ταχύτητας των μηχανών της γραμμής για παραγωγή κάθε προϊόντος θα είναι:

- **Παραγωγή προϊόντος 1**

Συντελεστής ταχύτητας depalletizer:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_D}, \frac{P_2V_2}{r_D}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{125}, \frac{12 \cdot 10}{125}\right) = \max(0.8, 0.96) = 0.96,$$

συντελεστής ταχύτητας ιμάντα P75\_P76\_P77:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_{P75\_P76\_P77}}, \frac{P_2V_2}{r_{P75\_P76\_P77}}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{200}, \frac{12 \cdot 10}{200}\right) = \max(0.2, 0.6) = 0.6,$$

συντελεστής ταχύτητας ιμάντα P80:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_{P80}}, \frac{P_2V_2}{r_{P80}}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{1000}, \frac{12 \cdot 10}{1000}\right) = \max(0.1, 0.12) = 0.12.$$

- **Παραγωγή προϊόντος 2**

Συντελεστής ταχύτητας depalletizer:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_D}, \frac{P_2V_2}{r_D}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{125}, \frac{12 \cdot 10}{125}\right) = \max(0.8, 0.96) = 0.96,$$

συντελεστής ταχύτητας ιμάντα P75\_P76\_P77:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_{P75\_P76\_P77}}, \frac{P_2V_2}{r_{P75\_P76\_P77}}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{200}, \frac{12 \cdot 10}{200}\right) = \max(0.2, 0.6) = 0.6,$$

συντελεστής ταχύτητας ιμάντα P80:

$$\max\left(\frac{P_1V_1}{r_{P80}}, \frac{P_2V_2}{r_{P80}}\right) = \max\left(\frac{20 \cdot 5}{1000}, \frac{12 \cdot 10}{1000}\right) = \max(0.1, 0.12) = 0.12.$$

Πιθανό χρόνο στησίματος των μηχανών κάθε φάρα που αλλάζουν τα προϊόντα (changeovers) ορίζουμε από εδώ. Τον ορίζουμε στην αρχή της παραγωγής, γιατί αν π.χ. είχαμε κάπου αλλού μέσα στη γραμμή τα προϊόντα που θα είχαν ήδη φύγει θα συσσωρεύονταν πριν τη μηχανή που κάνει την αλλαγή. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του στοιχείου φαίνονται στον πίνακα 5-46.

<b>Depalletizer</b>	
Units (Kgr)/Layer	50
Nom. Run Speed (Layers/Min)	2,5
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	3
Time Between Pallets (Min)	UNIF(1,3)

Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/480
Reliability for Time Span	0,98347
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)
Speed Factors for Product 1	
Palletizer	0,96
Conveyor P75_P76_P77	0,6
Conveyor P80	0,12
Speed Factors for Product 2	
Palletizer	0,96
Conveyor P75_P76_P77	0,6
Conveyor P80	0,12

Πίνακας 5-46: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αποπαλετοποιητή

### Ιμάντες P75 P76 P77

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Αποτελείται από 3 ιμάντες συνδεδεμένους σε σειρά και ισχύουν όσα έχουμε αναφέρει για τους ιμάντες αυτούς. Ο συντελεστής ταχύτητας ρυθμίζεται στην αρχή της παραγωγής από το στοιχείο depalletizer.

Τα λοιπά τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 5-47.

<b>Conveyor P75_P76_P77</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	50
Running Velocity (Meters/Min)	30
Length (Meters)	5
Width (Meters)	1
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	4
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,94692
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-47: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων P75\_P76\_P77

### Μηχανή Γεμίσματος (Filler P78 P79)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Basic Machine.

Δουλεύει με ονομαστική ταχύτητα 125 Kgr/min. Η μηχανή παθαίνει βλάβες με ρυθμό 1/240 βλάβες/ώρα. Αν πάθει βλάβη η μηχανή, το προϊόν που βρίσκεται μέσα της χάνεται. Ορίζουμε την απώλεια αυτή από τη μεταβλητή Filler P78\_P79\_UnitsInside. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής φαίνονται στον πίνακα 5-48.

Filler P78_P79	
Cycles/Minute	125
Units/Cycle	1
Initial Speed Factor	1
Event-Based Loss (Failure)	
Filler P78_P79_UnitsInside	Variable
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/240
Reliability for Time Span	0,96722
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-48: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μηχανής Γεμίματος P78\_P79

### Ιμάντας P80

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Ισχύει και εδώ: ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας x συντελεστής ταχύτητας  
 $= 1000kgr / min \cdot 0.12 = 120kgr / min$ , με τεχνικά χαρακτηριστικά του πίνακα 5-49.

Conveyor P80	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100
Running Velocity (Meters/Min)	12
Length (Meters)	3
Width (Meters)	1
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	10
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/440
Reliability for Time Span	0,98198
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-49: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντα P80

### Διακόπτης (Switch)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Switch.

Διαχωρίζει και στέλνει το προϊόν 1 στον παλετοποιητή A και το προϊόν 2 στον παλετοποιητή B. Αρχικά είναι στραμμένος αριστερά και σε κάθε αλλαγή των προϊόντων μπορούμε να ορίσουμε χρόνο αλλαγής (Time to Switch).

Switch	
Time to Switch (Min)	0
Initial Direction	Left
Product Direction	
Product 1	Left
Product 2	Right

Πίνακας 5-50: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διακόπτη

## Ιμάντες A και B

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Conveyor.

Χρησιμεύουν απλά ως σύνδεση μεταξύ διακόπτη και παλετοποιητή. Λόγω της αμελητέας συσσώρευσης, δε χρειαζόμαστε ενδιάμεσο αποθηκευτικό χώρο (buffer), απλά μια σύνδεση. Έτσι, θέτουμε μια πολύ μεγάλη ταχύτητα π.χ. 100000 m/min και μήκος, πλάτος, πυκνότητα τέτοια, ώστε το γινόμενο τους να είναι ίσο με 1. Τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 5-51.

<b>Conveyor A</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100000
Length (Meters)	1
Width (Meters)	1
Unit Density (Kgr/Sq. Meter)	1
<b>Conveyor B</b>	
Nominal Velocity (Meters/Min)	100000
Length (Meters)	1
Width (Meters)	1
Unit Density (Kg/Sq. Meter)	1

Πίνακας 5-51: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ιμάντων A και B

## Μηχανές δημιουργίας παλετών (Palletizer A, Palletizer B)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Palletizer.

### ▪ Palletizer A

Ο παλετοποιητής A έχει 25 σακ./layer, 5 layers/pallet, με χωρητικότητα παλέτας  $25 \frac{\text{σακ.}}{\text{layer}} \cdot 5 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ.}} \cdot 5 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 625 \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}}$ . Η ονομαστική ταχύτητά του είναι

$125 \frac{\text{kgr}}{\text{layer}} \cdot 1 \frac{\text{layer}}{\text{min}} = 125 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ . Εφόσον παράγουμε 20 σακ/min = 100 Kgr/min,

δουλεύει στο  $\frac{100}{125} = 0.8$  ή 80% της ονομαστικής δυναμικότητάς του. Ο χρόνος

αλλαγής της παλέτας κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 min, σύμφωνα με την ομοιόμορφη κατανομή. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 5-52.

<b>Palletizer A</b>	
Units (Kgr)/Layer	125
Nom. Run Speed (Layers/Min)	1
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	5
Time Between Pallets (Min)	UNIF(1,3)
Initial Speed Factor	1

Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,98020
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-52: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή A

#### ▪ Palletizer B

Ο παλετοποιητής B έχει 16 σακ/layer, 4 layers/pallet, με χωρητικότητα παλέτας  $16 \frac{\text{σακ.}}{\text{layer}} \cdot 10 \frac{\text{kgr}}{\text{σακ.}} \cdot 4 \frac{\text{layers}}{\text{pallet}} = 640 \frac{\text{kgr}}{\text{pallet}}$ . Η ονομαστική ταχύτητά του είναι

$160 \frac{\text{kgr}}{\text{layer}} \cdot 0,78125 \frac{\text{layer}}{\text{min}} = 125 \frac{\text{kgr}}{\text{min}}$ . Παράγουμε 12 σακ/min = 120 Kgr/min, δη-

λαδή δουλεύει στο  $\frac{120}{125} = 0,96$  ή 96% της ονομαστικής δυναμικότητάς του. Ο

χρόνος αλλαγής της παλέτας κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 min, σύμφωνα με την ομοιόμορφη κατανομή. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 5-53.

Palletizer B	
Units (Kgr)/Layer	160
Nom. Run Speed (Layers/Min)	0,78125
Time Between Layers (Min)	0
Layers/Pallet	4
Time Between Pallets (Min)	UNIF(1,3)
Initial Speed Factor	1
Reliability Over A Time Span	
Time Span (Hours)	8
Failures Rate $\lambda$ (Failures/Hour)	1/400
Reliability for Time Span	0,98020
Time to Repair (Minutes)	TRIA(5,30,45)

Πίνακας 5-53: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Παλετοποιητή B

#### Αποθήκη 2 (Storage 2)

Η προσομοίωση γίνεται με το στοιχείο: Storage.

Αν παράξουμε μόνο τη μέγιστη ποσότητα, δηλαδή σακουλές των 10 Kgr,

θα χωράνε  $\frac{600000 \text{kgr}}{640 \text{kgr} / \text{pallet}} = 937,5 \text{ pallets}$ , (πίνακας 5-54).

Storage 2	
Initial Inventory (Pallets)	0
Capacity (Pallets)	937

Πίνακας 5-54: Χωρητικότητα Αποθήκης 2

Αν παράξουμε τη μικρότερη ποσότητα, δηλαδή σακουλάκια των 5 Kgr η αποθήκη γεμίζει με  $\frac{600000kgr}{625 \frac{kgr}{pallet}} = 960 \text{ pallets}$ .

Στο σχέδιο παραγωγής οι ποσότητες αναφέρονται σε units και θα πρέπει να είναι εκφρασμένες σε πολλαπλάσια του 625 και 640 για το προϊόν 1 και 2 αντίστοιχα, για να φτιάχνουμε ολόκληρες παλέτες. Επίσης, το σχέδιο θα πρέπει να κάνει πλήρεις κύκλους. Για κάθε προϊόν θα ισχύουν:

▪ **Προϊόν 1:**

Για ρυθμό 100 Kgr/min ο ρυθμός σχηματισμού παλέτας θα είναι:

$$\frac{625kgr / pallet}{100kgr / pallet} = 6.25 \frac{min}{pallet} \text{ ή } 6,25\alpha \text{ min η δημιουργία } \alpha \text{ παλετών.}$$

▪ **Προϊόν 2:**

Για ρυθμό 120 Kgr/min ο ρυθμός σχηματισμού παλέτας θα είναι:

$$\frac{640kgr / pallet}{120kgr / pallet} = 5.333 \frac{min}{pallet} \text{ ή } 5,33\beta \text{ min η δημιουργία } \beta \text{ παλετών.}$$

Συνολικά θα χρειαστώ τουλάχιστον  $(6,25\alpha + 5,33\beta)$  min/pallet.

Π.χ. αν θέλουμε να φτιάξουμε  $\alpha = 3$  παλέτες προϊόντος 1 και  $\beta = 2$  παλέτες προϊόντος 2, στο σχέδιο θα πρέπει να ορίσω  $3 \cdot 625 = 1875kgr$  για το προϊόν 1 και  $2 \cdot 640 = 1280kgr$  για το προϊόν 2. Ο χρόνος υλοποίησης του σχεδίου θα είναι  $(6,25\alpha + 5,33\beta) = 18,75 + 10,66 = 29,41$  min.

Ισχύουν και εδώ ότι και στο προηγούμενο μοντέλο, δηλαδή οι σχέσεις (5.27), (5.28), (5.29). Σ' αυτήν την περίπτωση ξέρουμε πόσες παλέτες θα δημιουργηθούν από κάθε προϊόν, λόγω των ξεχωριστών παλετοποιητών αλλά είναι άγνωστη η μέγιστη χωρητικότητα της αποθήκης, αν διατηρήσουμε το ίδιο σχέδιο παραγωγής. Επομένως από τις γνωστές σχέσεις υπολογίζεται η ποσότητα X. Αν υπάρχει ήδη υλικό μέσα στην αποθήκη, τότε απλά στη σχέση (5.27) αφαιρούμε την ποσότητα αυτή (εκφρασμένη σε Kgr) από τα 600.000 Kgr και λύνουμε κανονικά το σύστημα.



## Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε τ' αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αποδεικνύουμε τη σωστή σχεδίαση των μοντέλων (επαλήθευση) και ότι τα αποτελέσματα συμφωνούν με την πραγματικότητα (επικύρωση). Τα στάδια επαλήθευσης και επικύρωσης (verification – validation) χρήζουν τα μοντέλα ικανά, ώστε να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την περιγραφή και στατιστική ανάλυση παρόμοιων διεργασιών. Σκοπός του κεφαλαίου (και κατ' επέκταση της μεταπτυχιακής εργασίας) δεν είναι η σε βάθος στατιστική ανάλυση των παραμέτρων του συστήματος, αλλά μια πρώτη εκτίμηση της απόδοσής του και η εύρεση πιθανών λύσεων βελτίωσής του. Κατόπιν, γίνεται ενδεικτική σύγκριση των αρχικών αποτελεσμάτων της γραμμής παραγωγής Νο1 και γραμμής συσκευασίας Νο4 (σενάριο 1) με τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν από την εφαρμογή κάποιων από τα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης του συστήματος.

### 6.1 Επιλογή Τύπου Προσομοίωσης

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων μιας προσομοίωσης προϋποθέτει το διαχωρισμό μεταξύ μεταβατικής ή τελεσεμένης προσομοίωσης (transient or terminating simulation) και προσομοίωσης στη μόνιμη κατάσταση (steady-state simulation). Η μεταβατική προσομοίωση εκτελείται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αρχίζει σε χρόνο 0 και τελειώνει σε χρόνο  $T_E$ , όπου  $E$  είναι κάποιο γεγονός (ή σενάριο γεγονότων), το οποίο σταματάει την προσομοίωση. Η προσομοίωση μόνιμης κατάστασης εκτελείται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Είναι στην κρίση του αναλυτή ποιον τύπο θα επιλέξει, ανάλογα με το αν ενδιαφέρεται να μελετήσει τι συμβαίνει σε κάποιο χρονικό διάστημα (σε μια βάρδια) ή να εξετάσει συστήματα τα οποία λειτουργούν αδιάκοπα (γραμμές παραγωγής).

### 6.2 Εκτίμηση Παραμέτρων

Ανεξαρτήτως τύπου προσομοίωσης, το ARENA προσπαθεί να υπολογίσει κάθε στατιστικό που συλλέγεται μέσα σε μισού πλάτους (half-width ή h.w.) διάστημα εμπιστοσύνης 95% (επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha = 0,05$ ) για το μέσο  $\theta$  του αντίστοιχου στατιστικού, βασισμένο στην t-κατανομή, δηλαδή:

$$h.w. = t_{\alpha/2, R-1} \cdot \hat{\sigma}(\hat{\theta}), \quad (6.1)$$

όπου  $\hat{\sigma}(\hat{\theta}) = S/\sqrt{R}$ , S είναι η δειγματική σταθερή απόκλιση και R ο αριθμός επαναλήψεων.

Επίσης, έστω ότι επιθυμούμε κάποιο πολύ μικρό σφάλμα  $\varepsilon$ , δηλαδή να εκτιμήσουμε την παράμετρο  $\theta$  από το  $\hat{\theta}$  μέσα σε  $\pm \varepsilon$  με πολύ υψηλή πιθανότητα, έστω  $(1-\alpha)$  αυτή η πιθανότητα. Υποθέτουμε ότι στην αρχή έχουμε κάνει

$$R_0 \text{ ανεξάρτητες επαναλήψεις, τότε από την έκφραση } R \geq \left( \frac{t_{\alpha/2, R-1} \cdot S_0}{\varepsilon} \right)^2, \quad (6.2)$$

υπολογίζουμε επαναληπτικά τον απαιτούμενο αριθμό επαναλήψεων για την εκτέλεση του πειράματος ικανοποιώντας την ανισότητα  $R \geq R_0$ .

Επειδή  $t_{\alpha/2, R-1} \geq z_{\alpha/2}$ , μια αρχική εκτίμηση του R μπορούμε να πάρουμε και από τον τύπο  $R \geq \left( \frac{z_{\alpha/2} \cdot S_0}{\varepsilon} \right)^2$ , (6.2) όπου  $z_{\alpha/2}$  είναι το  $100(1 - \alpha/2)$  ποσοστιαίο σημείο της κανονικής κατανομής. Και εφόσον  $t_{\alpha/2, R-1} \approx z_{\alpha/2}$ , η σχέση (6.2) είναι χρήσιμη για μεγάλα R ( $R > 50$ ). Έχοντας υπολογίσει το μέγεθος του R, εκτελούμε επιπλέον  $R - R_0$  επαναλήψεις και σχηματίζουμε το  $100(1-\alpha/2)\%$  διάστημα εμπιστοσύνης για το  $\theta$  από την έκφραση:

$$\hat{\theta} - t_{\alpha/2, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} \leq \theta \leq \hat{\theta} + t_{\alpha/2, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}}, \quad (6.3)$$

όπου  $\hat{\theta}$ , S υπολογίζονται για όλες τις R επαναλήψεις από:

$$\hat{\theta} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{\theta}_r \text{ και } \hat{\sigma}^2(\hat{\theta}) = \frac{1}{(R-1)R} \sum_{r=1}^R (\hat{\theta}_r - \hat{\theta})^2 = S^2 / R.$$

Τέλος, για κάθε παράμετρο, το ARENA υπολογίζει τη μέση τιμή της από τη σχέση  $\hat{\theta} - h.w. \leq \theta \leq \hat{\theta} + h.w.$ , όπου το h.w. μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας τον αριθμό των επαναλήψεων.

Εναλλακτικά, μπορούμε ν' αυξήσουμε το χρόνο προσομοίωσης  $T_0 + T_E$  σε κάθε επανάληψη, όπου  $T_0$  ο χρόνος για τις  $R_0$  επαναλήψεις. Δηλαδή, θα χρειαστεί να εκτελέσουμε την προσομοίωση για χρόνο  $(R/R_0)(T_0 + T_E)$  και θα μπορούμε στο διάστημα 0 έως  $(R/R_0)T_0$  να μη λάβουμε υπόψη τα αντίστοιχα στα-

τιστικά (Warm-up Period). Το πλεονέκτημα της αύξησης του χρόνου προσομοίωσης σε κάθε επανάληψη και της πρόσθετης διαγραφής δεδομένων στην αρχή της επανάληψης για χρόνο  $(R/R_0)T_0$ , μας επιτρέπει να μειώσουμε κάθε μεροληπτική εκτίμηση των παραμέτρων.

### 6.3 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω επιλέξαμε να μελετήσουμε τι συμβαίνει στη μόνιμη κατάσταση. Τρέξαμε τα μοντέλα σε 10 επαναλήψεις για χρόνο  $T_E = 10000$  ώρες. Επίσης, ο χρόνος κύκλου των γραμμών είναι μεταξύ 20 και 30 λεπτά και μετά σταθεροποιείται η λειτουργία τους. Επίσης, λάβαμε ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα “προθέρμανσης”,  $T_0 = 1000$  ώρες (warm-up period), ώστε να είμαστε σίγουροι ότι η λειτουργία των γραμμών έχει εξομαλυνθεί. Δηλαδή, συνολικό χρόνο προσομοίωσης ορίσαμε τις 11000 ώρες. Κατά τη περίοδο της “προθέρμανσης” δε γίνεται συλλογή αποτελεσμάτων. Οι χρόνοι είναι εκφρασμένοι σε ώρες (hours). Τέλος, αφαιρέσαμε από τα μοντέλα τους αρχικούς ή/και τελικούς αποθηκευτικούς χώρους, ώστε να μπορούμε να τρέξουμε τις προσομοιώσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα (άπειρη αποθήκη).

Τα αποτελέσματα δείχνουν σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% τη μέση εκτίμηση κάθε μεταβλητής  $\hat{\theta}$  με απόκλιση  $\pm h.w.$ , δηλαδή  $\hat{\theta} \pm h.w.$  Επίσης, όπου max average και min average υπολογίζονται οι μέσες τιμές των 10 μεγαλύτερων και μικρότερων τιμών των επαναλήψεων αντίστοιχα.

Στο σημείο αυτό, χρήσιμο θα ήταν να ερμηνεύσουμε τις κυριότερες μεταβλητές που υπολογίζονται, πριν αρχίσουμε την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα είναι συγκεντρωμένα σε 3 κατηγορίες: ιμάντες, μηχανές και σταθμοί δημιουργίας ή διάσπασης παλετών.

➤ Για τους ιμάντες ισχύουν τα εξής:

**Σύνοψη Τεμαχίων (Unit Summary):** Υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός: μεταφερόμενων τεμαχίων (Total Units Conveyed = Total Good Units Conveyed + Total Units Lost), καλών μεταφερόμενων τεμαχίων (Total Good Units Conveyed), απωλειών παραγωγής (Total Units Lost) και τεμαχίων στον ιμάντα (Current Units Inside).

**Μετρητής Δραστηριοτήτων:** Υπολογίζεται ο αριθμός: βλαβών (Number of Failures), προγραμματισμένων σταματημάτων (Number of Scheduled Stops) και μπλοκαρισμάτων εκτός βλάβης ή/και προγραμματισμένου σταματήματος ((Number of Blockages).

**Απόδοση (Performance):** Υπολογίζονται: μέσος αριθμός τεμαχίων όταν συντελεστής ταχύτητας = 0 (Average Units On When Speed Factor Equalled 0). Επίσης, για συντελεστή ταχύτητας > 0, υπολογίζονται: μέσος αριθμός τεμαχίων που μετακινούνται κατά τη λειτουργία του ιμάντα (Average Units Traveling), μέσος αριθμός συγκεντρωμένων τεμαχίων (Average Units Accumulated), μέσος ρυθμός εισόδου τεμαχίων (Average Input Rate), μέσος ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων (Average Good Output Rate), μέσος χρόνος παροχής τεμαχίων στον επόμενο σταθμό (Average Supply Time Time = (Average Units Traveling + Average Units Accumulated) / Average Good Output Rate) και μέσος χρόνος αποθήκευσης τεμαχίων όταν έχει μπλοκαριστεί (Average Buffer Time = (Capacity - Average Units Traveling - Average Units Accumulated) / Average Input Rate). Τέλος, υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής ταχύτητας > 0 (Average Speed Factor Greater Than 0), η αποδοτικότητά για μεταφορά καλού προϊόντος (Yield = ((Total Good Units Conveyed)/(Total Units Conveyed)) \* 100) και ο δείκτης απόδοσης (Performance Index = (Yield \* Utilization \* Average Speed Factor) / 100). Υπό ιδανικές συνθήκες είναι  $PI \geq 100$ . Αν  $PI = 100$  σημαίνει ότι δεν υπάρχουν απώλειες και ότι πάντα προωθούνται τα προϊόντα στον επόμενο σταθμό με την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας του ιμάντα. Φυσιολογικά, θα πρέπει  $PI < 100$ . Αν είναι ιδιαίτερα χαμηλός, τότε ίσως υπάρχει μεταβλητότητα στο σύστημα. Σ' αυτήν την περίπτωση ο εντοπισμός και η εξάλειψη της πηγής χαμηλού PI μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα.

**Συνολικός Χρόνος (Total Time):** Υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι: γρήγορης κατάστασης (Total Time Fast με συντελεστή ταχύτητας > 1), κατάστασης λειτουργίας (Total Time Working με συντελεστή ταχύτητας = 1), αργής κατάστασης (Total Time Slow με συντελεστή ταχύτητας < 1), έλλειψης τεμαχίων (Total Time Starved = Total Time Slow + Total Time Working + Total Time Fast), μπλοκαρισμάτων (Total Time Blocked με συντελε-

στή ταχύτητας 0 και για λόγους διάφορους από βλάβη ή προγραμματισμένο σταμάτημα), βλαβών (Total Time Failed) και προγραμματισμένων σταματημάτων (Total Time Stopped και για προγραμματισμένα σταματήματα). Επίσης, υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι όταν: συντελεστής ταχύτητας > 0 (Total Time Speed Factor > 0) και συντελεστής ταχύτητας = 0 (Total Time Speed Factor = 0).

**Χρησιμοποίηση (Usage):** Υπολογίζεται η απασχόληση (Utilization) του ιμάντα ή αλλιώς το ποσοστό χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου ο ιμάντας ήταν ικανός να μεταφέρει προϊόντα, δηλαδή  $Utilization = (Total\ Time\ Speed\ Factor\ Greater\ Than\ 0) / (Simulation\ Run\ Length - Total\ Time\ Stopped)$ , όπου Simulation Run Length είναι η διάρκεια προσομοίωση.

➤ Για τις μηχανές ισχύουν τα εξής:

**Σύνοψη Τεμαχίων (Unit Summary):** Υπολογίζεται ο αριθμός: τεμαχίων που έχουν επεξεργαστεί ( $Total\ Units\ Processed = Total\ Good\ Units\ Produced + Total\ Units\ Lost + Current\ Units\ Inside$ ), καλών παραγόμενων τεμαχίων (Total Good Units Produced), απωλειών παραγωγής (Total Units Lost) και προϊόντων στη μηχανή (Current Units Inside, είναι 0 στη βασική μηχανή και μηχανή συναρμολόγησης γιατί δεν έχουν χωρητικότητα).

**Μετρητής Δραστηριοτήτων (Activity Counter):** Υπολογίζεται ο αριθμός: βλαβών (Number of Failures), αλλαγών παραγωγής (Number of Changeovers), προγραμματισμένων σταματημάτων (Number of Scheduled Stops) και μπλοκαρισμάτων (Number of Blockages, εκτός βλαβών, αλλαγών παραγωγής και προγραμματισμένων σταματημάτων).

**Απόδοση (Performance):** Υπολογίζονται: μέσος συντελεστής ταχύτητας > 0 (Average Speed Factor Greater Than 0), μέσος ρυθμός παραγωγής > 0 (Average Output Rate Greater Than 0), μέσος συντελεστής παραγωγής (Average Output Factor), αποδοτικότητα της μηχανής για παραγωγή καλού προϊόντος ( $Yield = ((Total\ Good\ Units\ Produced) / (Total\ Good\ Units\ Produced + Total\ Units\ Lost)) * 100$ ) και δείκτης απόδοσης PI (Performance Index, ισχύουν και εδώ ότι και για τους ιμάντες).

**Συνολικός Χρόνος (Total Time):** Υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι: γρήγορης κατάστασης (Total Time Fast), κατάστασης λειτουργίας (Total Time

Working) αργής κατάστασης (Total Time Slow), έλλειψης προϊόντος (Total Time Starved, όταν ο ρυθμός εισόδου ήταν 0), μπλοκαρισμάτων (Total Time Blocked), βλαβών (Total Time Failed), αλλαγών παραγωγής (Total Time Changeover) και προγραμματισμένων σταματημάτων (Total Time Stopped). Επίσης, υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι όταν: συντελεστής ταχύτητας > 0 (Total Time Speed Factor Greater Than 0) και ρυθμός παραγωγής > 0 (Total Time Output Rate Greater Than 0).

**Χρησιμοποίηση (Usage):** Υπολογίζεται η απασχόληση (Utilization) ή το ποσοστό χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου η μηχανή παρήγαγε πραγματικά καλό ή/και σκάρτο προϊόν, δηλαδή  $Utilization = (Total\ Time\ Output\ Rate\ Greater\ Than\ 0) / (Simulation\ Run\ Length - Total\ Time\ Stopped)$ .

- Για τους σταθμούς δημιουργίας και διάσπασης παλετών ισχύουν τα εξής:

**Σύνοψη Τεμαχίων (Unit Summary):** Ανάλογα με το αν είναι παλετοποιητής ή αποπαλετοποιητής υπολογίζεται ο αριθμός: τεμαχίων που έχουν εισαχθεί στον παλετοποιητή ή έχουν φύγει από τον αποπαλετοποιητή ( $Total\ Units\ Processed = Total\ Good\ Units\ Produced + Total\ Units\ Lost$ ), καλών παραγόμενων προϊόντων (Total Good Units Produced) που έχουν τοποθετηθεί στις παλέτες (παλετοποιητής) ή έχουν σταλεί στη γραμμή (αποπαλετοποιητής), απωλειών (Total Units Lost), επιπέδων που προστέθηκαν ή αφαιρέθηκαν (Total Layers Swept) και παλετών που αποθηκεύτηκαν στην αποθήκη ή αφαιρέθηκαν από αυτήν (Total Pallets (Un)Stored).

**Μετρητής Δραστηριοτήτων (Activity Counter):** Υπολογίζεται ο αριθμός: βλαβών (Number of Failures), αλλαγών παραγωγής (Number of Changeovers), προγραμματισμένων σταματημάτων (Number of Scheduled Stops) και μπλοκαρισμάτων (Number of Blockages).

**Απόδοση (Performance):** Υπολογίζονται: μέσος συντελεστής ταχύτητας > 0 (Average Speed Factor Greater Than 0), μέσος ρυθμός παραγωγής > 0 (Average Output Rate Greater Than 0), μέσος συντελεστής παραγωγής ( $(Average\ Output\ Factor = (Average\ Output\ Rate) / (Nominal\ Run\ Speed * Units/Layer))$ ), αποδοτικότητα για παραγωγή καλού προϊόντος ( $Yield = ((Total\ Good\ Units\ Produced) / (Total\ Units\ Processed)) * 100$ ) και δείκτης απόδοσης PI (Performance Index). Αν  $PI = 100$ , τότε δεν υπάρχουν απώ-

λειτουργεί και πάντα λειτουργεί στην ονομαστική του ταχύτητα. Δηλαδή, ποτέ δεν είναι σε κατάσταση έλλειψης (starved), μπλοκαρίσματος (blocked), αλλαγών παραγωγής (changeovers) ή βλαβών (failed).

**Συνολικός Χρόνος (Total Time):** Υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι: γρήγορης κατάστασης (Total Time Fast), κατάστασης λειτουργίας (Total Time Working), αργής κατάστασης (Total Time Slow), έλλειψης (Total Time Starved), μπλοκαρισμάτων (Total Time Blocked), βλαβών (Total Time Failed), αλλαγών παραγωγής (Total Time Changeover) και προγραμματισμένων σταματημάτων (Total Time Stopped). Επίσης, υπολογίζονται οι συνολικοί χρόνοι όταν: συντελεστής ταχύτητας  $> 0$  (Total Time Speed Factor Greater Than 0), ρυθμός παραγωγής  $> 0$  (Total Time Output Rate Greater Than 0), υπάρχουν αλλαγές επιπέδων (Total Time Between Layers) και υπάρχουν αλλαγές παλετών (Total Time Between Pallets).

**Χρησιμοποίηση (Usage):** Υπολογίζεται η απασχόληση (Utilization) ή το ποσοστό χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου γινόταν γέμισμα ή άδειασμα των επιπέδων ή δεν υπήρχε επεξεργασία εξαιτίας του χρόνου μεταξύ επιπέδων (Time Between Layers) και του χρόνου μεταξύ παλετών (Time Between Pallets), δηλαδή  $Utilization = (Total\ Time\ Output\ Rate\ Greater\ Than\ 0 + Total\ Time\ Betw.\ Layers + Total\ Time\ Betw.\ Pallets) / (Simulation\ Run\ Length - Total\ Time\ Stopped)$ .

Οι αναφορές των αποτελεσμάτων δίνονται σε ηλεκτρονική μορφή στο παράρτημα. Παρακάτω εξηγούμε, ανά κατηγορία στοιχείων και όπως περιγράφηκαν προηγουμένως, τα πιο σημαντικά αποτελέσματα και τα οποία καθορίζουν τη γενική συμπεριφορά των γραμμών.

### 6.3.1 Γραμμή Παραγωγής Νο1

Υπενθυμίζουμε ότι, η γραμμή παραγωγής λειτουργεί περίπου στο 80% της ονομαστικής δυναμικότητάς της και με ρυθμό  $3\ tn/hr = 50\ Kgr/min$ . Οι πιο αργοί σταθμοί είναι ο βραστήρας (boiler) ή/και ο καταψύκτης (refrigerator). Επίσης, όπου units εκφράζουμε την ποσότητα της πρώτης ύλης σε Kgr

- **Ιμάντες:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τους ιμάντες A10\_A9\_A8\_A7\_A6\_A5, A40\_A42\_A38\_A37\_A36\_A32, καθώς και τον καταψύκτη A2. Έχουμε μέ-

σο WIP  $21,5\pm 13,36$ ,  $78,9\pm 27,57$  και  $123,8\pm 40,29$  Kgr αντίστοιχα. Το γεγονός της αυξημένης απόκλισης οφείλεται στις λίγες επαναλήψεις της προσομοίωσης, αλλά γενικά δίνεται μια καλή εικόνα του τρέχοντος προϊό- ντος στο σύστημα. Οι απώλειες ανέρχονται σε περίπου  $308911,9\pm 251,6$ ,  $315216,8\pm 256,85$  και  $7452,3\pm 985,76$  Kgr. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Ο αριθμός βλαβών είναι  $135,8\pm 6,43$ ,  $136,5\pm 7,49$  και  $52,1\pm 6,28$  και ο ρυθ- μός καλών παραγόμενων προϊόντων είναι  $1522.92\pm 0,9$ ,  $1554.04\pm 0,98$  και  $1516,49\pm 1,02$  Kgr. Η μέση συσσώρευση επάνω τους είναι  $5,8307\pm 0,01$ ,  $5,58707\pm 0,05$  και  $90,0003\pm 0,09$  Kgr. Επίσης, ένα χρήσιμο στατιστικό, λό- γω της ευαισθησίας του προϊόντος, είναι πόσα Kgr μένουν στους ιμάντες όταν σταματήσουν, δηλαδή  $24,5585\pm 1,04$ ,  $59,1699\pm 2,37$  και  $143,61\pm 5,44$ . Ο δείκτης αποδοτικότητας PI είναι αντίστοιχα  $97,4045\pm 0,03$ ,  $97,4021\pm 0,03$  και  $99,72\pm 0,04$ , τιμές οι οποίες κρίνονται αρκετά καλές, εφόσον δεν έχουμε πολλές απώλειες. Οι χρόνοι διάρκειας των βλαβών είναι  $60,7668\pm 3,22$ ,  $61,0116\pm 3,47$  και  $23,5398\pm 2,87$  ώρες. Γενικά οι ιμάντες λειτουργούν για  $9939,23\pm 3,22$ ,  $9938,99\pm 3,47$  και  $9976,46\pm 2,87$  ώρες (συντελεστής ταχύτη- τας  $> 0$ ) και είναι σταματημένοι για  $60,7668\pm 3,22$ ,  $31,0116\pm 3,47$  και  $23,5398\pm 2,87$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας  $= 0$ ). Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι ιμάντες λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς μεταφορά επάνω τους (starved) είναι  $3534\pm 2,74$ ,  $4357,06\pm 3,51$ ,  $3439,58\pm 3,55$  ώρες. Γενικά ο βαθμός απασχόλησής τους είναι αρκετά μεγάλος με τιμές  $99,39\pm 0,03$ ,  $99,39\pm 0,03$  και  $99,76\pm 0,03$  αντίστοιχα.

- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν το μπλοκ μηχανών A23 έως A16, το βραστήρα A11 και το πλυντήριο A30. Γενικά επειδή είναι μηχανές στιγ- μιαίας επεξεργασίας το WIP και οι απώλειες θεωρούνται αμελητέα. Μόνο στο βραστήρα θα μπορούσαμε να έχουμε απώλειες, λόγω της χωρητικό- τητάς του, αλλά και εκεί παρατηρούνται αμελητέες. Συναντούμε πολύ συ- χνά μπλοκαρίσματα,  $13390,7\pm 34,47$ ,  $47072,8\pm 55,98$  και  $13266,3\pm 33,34$  αντίστοιχα για τις 10000 ώρες ή 4,7 μπλοκαρίσματα την ώρα στον πιο αρ- γό σταθμό το βραστήρα. Αυτά οφείλονται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέ- λος της γραμμής υπάρχουν καθυστερήσεις στις αλλαγές μεταξύ παλετών, οπότε αναγκάζεται η γραμμή να σταματήσει. Συχνότερες βλάβες παθαίνει



το μπλοκ μηχανών A23 έως A16 με περίπου  $17,1 \pm 2,71$  βλάβες στις 10000 ώρες, οι οποίες μαζί με τις βλάβες των υπόλοιπων μηχανών θα μπορούσαν να θεωρηθούν αμελητέες λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας τους. Οι δείκτες απόδοσης είναι  $32,1784 \pm 0,03$ ,  $51,4852 \pm 0,04$  και  $32,1784 \pm 0,03$ , ιδιαίτερα χαμηλοί και οφείλεται στο ότι οι μηχανές δε δουλεύουν στην ονομαστική τους ταχύτητα αλλά χαμηλότερα και στη χαμηλή απασχόλησή τους. Οι μέσοι χρόνοι μπλοκαρίσματος είναι  $375,69 \pm 4,46$ ,  $1802,87 \pm 4,56$ ,  $376,17 \pm 4,57$ . Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι μηχανές λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς επεξεργασία (starved) είναι  $4365.1 \pm 2.05$ ,  $2945.25 \pm 3.25$  και  $4370.17 \pm 1.99$  ώρες. Οι χρόνοι που οι ρυθμοί παραγωγής  $> 0$  είναι  $5251,9 \pm 4,28$ ,  $5251,83 \pm 4,28$  και  $5253,66 \pm 4,28$  ώρες, σχετικά χαμηλές τιμές λόγω των συχνών μπλοκαρισμάτων. Οι χρόνοι αυτοί έχουν αντίκτυπο στους βαθμούς απασχόλησης των μηχανών και που είναι  $52,519 \pm 0,04$ ,  $52,5183 \pm 0,04$  και  $52,5366 \pm 0,04$ .

- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής και το σταθμό εκφόρτωσης πρώτης ύλης στην αρχή της γραμμής. Συνολικά αποθηκεύονται στους ψυκτικούς θαλάμους  $100861,7 \pm 86,12$  παλέτες και αδειάζουν από τα φορηγά στη χαρμανιέρα  $31521,5 \pm 25,71$  καρότσες σε 10000 ώρες. Μπλοκαρίσματα υπάρχουν στην εκφόρτωση πρώτης ύλης περίπου  $11694,9 \pm 28,8$ . Επίσης, ο αριθμός βλαβών των σταθμών αυτών είναι  $22 \pm 3,58$  και  $16,4 \pm 2,41$  ανά 10000 ώρες, λόγω των υψηλών βαθμών αξιοπιστίας τους. Οι δείκτες απόδοσής τους PI ορίζονται σε  $67,0785 \pm 0,06$  και  $45,9749 \pm 0,03$ , ιδιαίτερα χαμηλοί και οφείλεται στο ότι οι σταθμοί δε δουλεύουν στην ονομαστική τους ταχύτητα. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών είναι  $3362 \pm 3,38$  και  $3941,39 \pm 3,71$  ώρες. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος στην εκφόρτωση είναι  $797,7 \pm 7,22$  ώρες. Ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλετοποιητής λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό να αποθηκεύσει (starved) είναι  $1553,92 \pm 7,52$  ώρες. Οι βαθμοί απασχόλησης των σταθμών εξαρτώνται από τους χρόνους που οι ρυθμοί παραγωγής ήταν μεγαλύτεροι από 0 και τους χρόνους μεταξύ παλετών και είναι  $84,3632 \pm 0,07$  και  $91,9507 \pm 0,07$ .

### 6.3.2 Γραμμή Συσκευασίας Νο1

#### ➤ Σενάριο 1

Υπενθυμίζουμε ότι, επιζητούμε την παραγωγή 3 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 70 σακ/min, 60 σακ/min και 30 σακ/min σε συσκευασίες των 0,45 Kgr, 1 Kgr και 2,5 Kgr αντίστοιχα. Ορίζουμε όπου units = σακουλάκια μέχρι τη μηχανή P57\_P58, στην οποία γίνεται εγκιβωτισμός ανά 10 και κατόπιν τα units αναφέρονται σε κιβώτια των 10 Kgr. Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίσματος των σακουλιών (filler).

- **Ιμάντες:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τους ιμάντες P59 (units = κιβώτια) και P55\_P56 (units = σακουλάκια). Για κάθε έναν από αυτούς έχουμε μέσο WIP σε σακουλάκια  $2,1 \pm 0,79$  και  $4,8 \pm 0,94$  αντίστοιχα. Απώλειες έχουμε στο δεύτερο ιμάντα και είναι  $245193,2 \pm 93,99$  σακουλάκια. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Ο αριθμός βλαβών είναι  $21,9 \pm 2,91$  και  $47,4 \pm 5,45$  και ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων είναι  $242,98 \pm 0,08$  κιβώτια και  $2457,09 \pm 0,6$  σακουλάκια. Η μέση συσσώρευση επάνω τους θεωρείται αμελητέα, αλλά όταν αυτοί σταματήσουν (συντελεστής ταχύτητας = 0) μένουν επάνω τους περίπου  $1,9812 \pm 0,24$  κιβώτια και  $4,2923 \pm 0,21$  σακουλάκια. Οι δείκτες απόδοσής τους PI είναι  $13,9865 \pm 0,01$  και  $34,5772 \pm 0,01$ , τιμές ιδιαίτερα χαμηλές λόγω του χαμηλού συντελεστή ταχύτητας που ορίσαμε. Οι χρόνοι διάρκειας των βλαβών θεωρούνται αμελητέοι. Οι ιμάντες λειτουργούν στη χαμηλή ταχύτητα για  $9990,37 \pm 1,09$  και  $9979 \pm 2,59$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας > 0). Ακόμη οι λειτουργίες των ιμάντων, χωρίς να υπάρχει υλικό προς μεταφορά επάνω τους (starved) είναι  $975,13 \pm 2,93$  και  $678,48 \pm 1,22$  ώρες. Γενικά ο βαθμός απασχόλησής τους είναι αρκετά μεγάλος με τιμές  $99,9 \pm 0,01$  και  $99,79 \pm 0,03$ .
- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τη μηχανή παρτιδοποίησης P57\_P58 (units = κιβώτια), τη μηχανή γεμίσματος P54 (units = Kgr) και τη μηχανή πακέτων P54 (units = Kgr). Επειδή είναι μηχανές στιγμιαίας επεξεργασίας το WIP και οι απώλειες θεωρούνται αμελητέα. Υπάρχουν συχνά μπλοκαρίσματα,  $37711,9 \pm 14,51$ ,  $37720,6 \pm 9,73$  και  $37720,9 \pm 9,32$ , τα οποία οφείλονται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέλος της γραμμής υπάρχουν καθυστερήσεις στις αλλαγές μεταξύ παλετών, οπότε αναγκάζεται η

γραμμή να σταματήσει ή/και στις αλλαγές μεταξύ των σχεδίων παραγωγής. Μάλιστα στη μηχανή πακέτων P54 έχουμε  $4997,1 \pm 2,09$  τέτοιες αλλαγές. Συχνότερες βλάβες παθαίνει η μηχανή παρτιδοποίησης με  $18,6 \pm 1,69$  βλάβες στις 10000 ώρες, οι οποίες μαζί με τις βλάβες των υπόλοιπων μηχανών θα μπορούσαν να θεωρηθούν αμελητέες λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας τους. Οι δείκτες απόδοσης PI υπολογίστηκαν  $40,4569 \pm 0,02$ ,  $40,8655 \pm 0,02$  και  $40,8655 \pm 0,02$ , ιδιαίτερα χαμηλοί και οφείλεται περισσότερο στο ότι οι μηχανές δεν δουλεύουν στην ονομαστική τους ταχύτητα αλλά χαμηλότερα και λιγότερο στο βαθμό απασχόλησής τους. Οι μέσοι χρόνοι μπλοκαρίσματος υπολογίζονται σε  $1447,89 \pm 1,61$ ,  $1510,2 \pm 2,87$  και  $1507,12 \pm 3,01$  ώρες. Οι πολλές αλλαγές στη μηχανή πακέτων P54 καθυστερούν τη γραμμή για συνολικά  $624,52 \pm 1,12$  ώρες. Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι μηχανές λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς επεξεργασία (starved) είναι  $697,26 \pm 2,89$ ,  $624,39 \pm 1,13$  και 0 ώρες αντίστοιχα. Τέλος, οι χρόνοι, με ρυθμούς παραγωγής των μηχανών μεγαλύτερους από 0, είναι  $7846,59 \pm 3,09$ ,  $7865,27 \pm 3,1$  και  $7868,37 \pm 3,1$  ώρες και αντίστοιχοι βαθμοί απασχόλησης  $78,4659 \pm 0,03$ ,  $78,6527 \pm 0,03$  και  $78,6837 \pm 0,03$ .

- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής. Συνολικά αποθηκεύονται στους ψυκτικούς θαλάμους  $37928,5 \pm 14,44$  παλέτες. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Επίσης, ο αριθμός βλαβών του σταθμού είναι  $21 \pm 5,27$ . Ο δείκτης απόδοσής του PI ορίζεται σε  $47,0615 \pm 0,02$ , ιδιαίτερα χαμηλός και οφείλεται στο ότι ο σταθμός δε δουλεύει στην ονομαστική του ταχύτητα αλλά χαμηλότερα. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών είναι  $1265,05 \pm 1,35$  ώρες. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλετοποιητής λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό να αποθηκεύσει (starved) είναι  $976,32 \pm 3,36$  ώρες. Ο βαθμός απασχόλησης του σταθμού εξαρτάται από το χρόνο που ο ρυθμός παραγωγής του ήταν μεγαλύτερος από 0 και το χρόνο αλλαγής μεταξύ παλετών και είναι  $90,1417 \pm 0,04$ .

## ➤ Σενάριο 2

Υπενθυμίζουμε ότι, έχουμε παραγωγή σε συσκευασίες του 1 Kgr. Ορίζουμε όπου units = Kgr μέχρι τη μηχανή P57\_P58, στην οποία γίνεται εγκιβωτισμός ανά 10 και κατόπιν τα units αναφέρονται σε κιβώτια των 10 Kgr.

- **Ιμάντες:** Αναφερόμαστε στους ιμάντες P59, P50 έως P53, P55\_P56 και τα ράουλα. Για κάθε έναν από αυτούς έχουμε μέσο WIP  $1,8 \pm 0,94$  κιβώτια,  $3,6 \pm 3,32$  Kgr,  $2,7 \pm 2,13$  Kgr και  $3,7 \pm 1,97$  κιβώτια. Οι απώλειες είναι σχεδόν αμελητέες, λόγω των υψηλών βαθμών αξιοπιστίας τους. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Ο αριθμός βλαβών είναι  $22,8 \pm 2,56$ ,  $90,1 \pm 6,91$ ,  $44,5 \pm 5,78$ ,  $22,6 \pm 4,28$  και ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων  $178,66 \pm 0,06$  κιβώτια,  $1792,04 \pm 0,74$  Kgr,  $1788,31 \pm 0,76$  Kgr και  $178,66 \pm 0,07$  κιβώτια αντίστοιχα. Η μέση συσσώρευση επάνω τους θεωρείται αμελητέα. Όταν, όμως αυτοί σταματήσουν (συντελεστής ταχύτητας = 0) υπάρχουν επάνω τους  $1,8454 \pm 0,1$  κιβώτια,  $5,3777 \pm 0$ , Kgr,  $3,6642 \pm 0,29$  Kgr και  $3,5563 \pm 0,33$  κιβώτια. Οι δείκτες απόδοσης PI είναι αντίστοιχα  $99,89 \pm 0,01$ ,  $99,59 \pm 0,03$ ,  $99,8 \pm 0,02$  και  $99,9 \pm 0,02$ , τιμές ιδιαίτερα υψηλές επειδή δεν υπάρχουν απώλειες. Οι χρόνοι διάρκειας των βλαβών θεωρούνται αμελητέοι. Οι ιμάντες λειτουργούν για περίπου  $9989,5 \pm 1,01$ ,  $9959,35 \pm 3,23$ ,  $9980,13 \pm 2$  και  $9989,87 \pm 1,82$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας > 0) και είναι σταματημένοι για  $10,5038 \pm 1,01$ ,  $40,6487 \pm 3,23$ ,  $19,8668 \pm 2$  και  $10,1285 \pm 1,82$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας = 0). Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι ιμάντες λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς μεταφορά επάνω τους (starved) είναι  $4196,15 \pm 3,81$ ,  $4027,32 \pm 3,15$ ,  $4050,08 \pm 2,13$  και  $4405,27 \pm 2,79$  ώρες. Η απασχόλησή τους είναι  $99,89 \pm 0,01$ ,  $99,59 \pm 0,03$ ,  $99,8 \pm 0,02$ ,  $99,9 \pm 0,02$ .
- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τη μηχανή P57\_P58 (παρτιδοποίησης), τη μηχανή γεμίματος P54 και το εκτυπωτικό-κλειστικό P60\_P61. Επειδή είναι μηχανές στιγμιαίας επεξεργασίας το WIP και οι απώλειες θεωρούνται αμελητέα. Τα μπλοκαρίσματα υπολογίζονται σε  $21723,9 \pm 46,7$ ,  $21714,4 \pm 48,31$  και  $22384,3 \pm 39,39$  αντίστοιχα για τις 10000 ώρες. Αυτά οφείλονται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέλος της γραμμής υπάρχουν καθυστερήσεις στις αλλαγές μεταξύ παλετών, οπότε αναγκάζεται η γραμμή να σταματήσει. Ο αριθμός βλαβών τους είναι  $11,3 \pm 2,43$ ,  $20,7 \pm 3,27$  και

24,3±4,71 και λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας τους θα μπορούσαν να θεωρηθούν αμελητέες. Οι δείκτες απόδοσής PI τους είναι ίδιοι και ίσοι με 29,7459±0,01, ιδιαίτερα χαμηλοί και οφείλεται στο ότι οι μηχανές δεν δουλεύουν στην ονομαστική τους ταχύτητα αλλά χαμηλότερα και στη χαμηλή απασχόλησή τους. Οι μέσοι χρόνοι μπλοκαρίσματός είναι 1027,55±4,56, 1028,35±2,77 και 1010,05±2,31 ώρες. Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι μηχανές λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς επεξεργασία (starved) είναι 4009,77±3,43, 4004,99±2,42 και 4021,49±2,83 ώρες. Οι χρόνοι που οι ρυθμοί παραγωγής τους ήταν μεγαλύτεροι από 0 είναι ίδιοι και ίσοι με 4957,7±1,94 ώρες, λόγω των συχνών μπλοκαρισμάτων. Οι χρόνοι αυτοί έχουν αντίκτυπο στους βαθμούς απασχόλησης των μηχανών, είναι ίδιοι και ίσοι με 49,577±0,02.

- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής και το σταθμό εκφόρτωσης πρώτης ύλης στην αρχή της γραμμής. Συνολικά αποθηκεύονται στους ψυκτικούς θαλάμους 27886,8±10,88 παλέτες και αδειάζουν από τα φορτηγά στη χαρμανιέρα 118983,8±46,46 καρότσες σε 10000 ώρες. Μπλοκαρίσματα υπάρχουν στην εκφόρτωση πρώτης ύλης περίπου 21773,1±49,75. Ο αριθμός βλαβών των σταθμών είναι 14,5±3,15 και 17,1±3,35 ανά 10000 ώρες, λόγω των υψηλών βαθμών αξιοπιστίας τους. Οι δείκτες απόδοσής τους PI ορίζονται σε 22,0805±0,01 και 89,231±0,03. Ο χαμηλός δείκτης του παλετοποιητή οφείλεται στο ότι ο σταθμός δε δουλεύει στην ονομαστική του ταχύτητα αλλά χαμηλότερα. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών είναι 930,5±1,55 και 3965,49±2,34 ώρες. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος κατά την εκφόρτωση είναι 1069,3±4,12 ώρες. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλετοποιητής λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό να αποθηκεύσει (starved) είναι 4105,33±2,94 ώρες. Οι βαθμοί απασχόλησης των σταθμών εξαρτώνται από τους χρόνους που οι ρυθμοί παραγωγής τους ήταν μεγαλύτεροι από 0 και τους χρόνους αλλαγής μεταξύ παλετών και είναι 58,882±0,03 και 89,2319±0,03 αντίστοιχα. Ο παλετοποιητής έχει χαμηλό βαθμό απασχόλησης, επειδή ο χρόνος που ο ρυθμός παραγωγής του ήταν μεγαλύτερος από 0 είναι χαμηλός.

### 6.3.3 Γραμμή Συσκευασίας Νο4

#### ➤ Σενάριο 1

Υπενθυμίζουμε ότι, επιζητούμε την παραγωγή 2 διαφορετικών προϊόντων με ρυθμούς 20 σακ/min και 10 σακ/min σε συσκευασίες των 5 Kgr και 10 Kgr αντίστοιχα. Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίσματος (filler).

- **Ιμάντες:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον ιμάντα P80. Το μέσο WIP είναι περίπου  $2,3 \pm 0,68$  σακουλάκια. Οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Ο αριθμός βλαβών είναι  $22 \pm 3,79$  και ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων είναι  $640,65 \pm 0,16$  σακουλάκια. Η μέση συσσώρευση θεωρείται αμελητέα. Μένουν περίπου  $2,0105 \pm 0,15$  σακουλάκια στον ιμάντα όταν αυτός σταματά. Ο δείκτης απόδοσής του PI είναι  $19,9813 \pm 0,01$ , τιμή ιδιαίτερα χαμηλή λόγω του χαμηλού συντελεστή ταχύτητας που ορίσαμε. Ο χρόνος διάρκειας των βλαβών είναι  $9,3435 \pm 1,62$  ώρες. Ο ιμάντας λειτουργεί για  $9990,66 \pm 1,62$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας  $> 0$ ). Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο ο ιμάντας λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό προς μεταφορά επάνω του (starved) είναι  $825,39 \pm 1,37$  ώρες. Ο βαθμός απασχόλησής του είναι αρκετά μεγάλος με τιμή  $99,91 \pm 0,02$ .
- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τη μηχανή γεμίσματος P78\_P79 (η μηχανή πακέτων P78\_P79 θεωρείται ενιαία με τη μηχανή γεμίσματος και έχει περίπου τα ίδια στατιστικά). Επειδή είναι μηχανή στιγμιαίας επεξεργασίας το WIP και οι απώλειες θεωρούνται αμελητέα. Υπάρχουν αρκετά συχνά μπλοκαρίσματα περίπου  $45552,2 \pm 11,36$ . Αυτά οφείλονται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέλος της γραμμής υπάρχουν καθυστερήσεις στις αλλαγές μεταξύ παλετών, οπότε αναγκάζεται η γραμμή να σταματήσει ή/και στις αλλαγές μεταξύ των σχεδίων παραγωγής. Συνολικά υπάρχουν  $5689,4 \pm 1,18$  τέτοιες αλλαγές. Βλάβες δεν παρατηρήθηκαν, λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας της. Ο δείκτης απόδοσης PI είναι  $42,6699 \pm 0,01$  και οφείλεται περισσότερο στο ότι η μηχανή δε δουλεύει στην ονομαστική της ταχύτητα αλλά χαμηλότερα και λιγότερο στο βαθμό απασχόλησής τους. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματός της είναι  $1600,9 \pm 1,95$  ώρες. Οι αλλαγές στη μηχανή πακέτων P78\_P79 καθυστερούν τη γραμμή περίπου

711,56±1,41 ώρες. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο η μηχανή λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό προς επεξεργασία (starved) είναι 711,49±1,4 ώρες. Ο χρόνος που ο ρυθμός παραγωγής της ήταν μεγαλύτερος από 0 είναι 7687,61±1,82 ώρες. Ο χρόνος αυτός καθορίζει το βαθμό απασχόλησης της μηχανής και που είναι 76,8761±0,02.

- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής. Συνολικά αποθηκεύονται στους ψυκτικούς θαλάμους 51203,9±11,82 παλέτες. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Επίσης, ο αριθμός βλαβών του σταθμού είναι 22,9±2,89. Ο δείκτης απόδοσής του PI ορίζεται σε 52,2089±0,01, ιδιαίτερα χαμηλός και οφείλεται στο ότι ο σταθμός δε δουλεύει στην ονομαστική του ταχύτητα αλλά χαμηλότερα. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών είναι 1707,45±1,49 ώρες. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλετοποιητής λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό να αποθηκεύσει (starved) είναι 644,88±1,68 ώρες. Ο βαθμός απασχόλησης του σταθμού εξαρτάται από το χρόνο που ο ρυθμός παραγωγής του ήταν μεγαλύτερος από 0 και το χρόνο αλλαγής μεταξύ παλετών και είναι 93,4521±0,01.

## ➤ Σενάριο 2

Υπενθυμίζουμε ότι, επιζητούμε παραγωγή 2 προϊόντων σε συσκευασίες των 5 και 10 Kgr με ρυθμούς 100 Kgr/min και 120 Kgr/min, αντίστοιχα. Τα προϊόντα λόγω διαφορετικού μεγέθους τους παλετοποιούνται ξεχωριστά και παραλαμβάνονται από διαφορετικού μεγέθους κλαρκ. Ο πιο αργός σταθμός είναι η μηχανή γεμίματος των σακουλιών (filler). Επίσης, όπου units εκφράζουμε την ποσότητα της πρώτης ύλης σε Kgr.

- **Ιμάντες:** Αναφερόμαστε στους ιμάντες P80 και P75\_P76\_P77. Οι ιμάντες A και B χρησιμοποιούνται απλά ως σύνδεση (βλέπε κεφάλαιο 5.3.2). Έτσι για τους δύο ιμάντες έχουμε μέσο WIP 13,8±1072 και 9±7,11 Kgr. Οι απώλειες είναι αμελητέες. Μπλοκαρίσματα δεν υπάρχουν. Ο αριθμός βλαβών τους είναι 23,2±4,26 και 65,3±5,99 και ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων είναι 2340,85±1,05 και 2345,27±0,81 Kgr. Η μέση συσσώ-

ρευση επάνω τους θεωρείται αμελητέα. Όταν σταματούν (συντελεστής ταχύτητας = 0) υπάρχουν  $12,1684 \pm 2$  και  $8,6875 \pm 0,89$  Kgr επάνω τους. Οι δείκτες απόδοσης PI είναι αντίστοιχα  $11,9877 \pm 0,01$  και  $59,8259 \pm 0,01$ , τιμές ιδιαίτερα χαμηλές λόγω των χαμηλών συντελεστών ταχύτητας που τους ορίσαμε. Οι χρόνοι διάρκειας των βλαβών θεωρούνται αμελητέοι. Οι ιμάντες λειτουργούν σε χαμηλή ταχύτητα για περίπου  $9989,78 \pm 2,09$  και  $9970,99 \pm 2,48$  ώρες. (συντελεστής ταχύτητας > 0) και είναι σταματημένοι για  $10,219 \pm 2,09$  και  $29,0132 \pm 2,48$  ώρες (συντελεστής ταχύτητας = 0). Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι ιμάντες λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς μεταφορά (starved) είναι  $5861,37 \pm 2,37$  και  $5798,77 \pm 2,78$  ώρες. Η απασχόλησή τους είναι υψηλή με τιμές  $99,9 \pm 0,02$  και  $99,71 \pm 0,02$ .

- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τη μηχανή γεμίματος P78\_P79. Επειδή είναι μηχανή στιγμιαίας επεξεργασίας το WIP και οι απώλειες θεωρούνται αμελητέα. Υπάρχουν περίπου  $28999,5 \pm 41,11$  μπλοκαρίσματα τα οποία οφείλονται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέλος της γραμμής υπάρχουν καθυστερήσεις στις αλλαγές μεταξύ παλετών. Ο αριθμός βλαβών της είναι  $13,8 \pm 1,84$  και λόγω του υψηλού βαθμού αξιοπιστίας της θα μπορούσαν να θεωρηθούν αμελητέες. Ο δείκτης απόδοσης είναι  $31,1795 \pm 0,01$ , ιδιαίτερα χαμηλός και οφείλεται στο ότι η μηχανή δε δουλεύει στην ονομαστική της ταχύτητα και στη χαμηλή απασχόλησή της. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος είναι  $1011,5 \pm 2,51$  ώρες. Ο χρόνος κατά τον οποίο η μηχανή λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό προς επεξεργασία (starved) είναι  $5220,19 \pm 3,24$  ώρες. Ο χρόνος που ο ρυθμός παραγωγής της ήταν μεγαλύτερος από 0 είναι  $3247,9 \pm 1,44$  ώρες, λόγω των συχνών μπλοκαρισμάτων. Ο χρόνος αυτός έχει αντίκτυπο στο βαθμό απασχόλησής της και που είναι ίσος με  $32,479 \pm 0,01$ .
- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τους πελετοποιητές A και B στο τέλος της γραμμής και το σταθμό εκφόρτωσης πρώτης ύλης στην αρχή της γραμμής. Συνολικά αποθηκεύονται στους ψυκτικούς θαλάμους  $20567,4 \pm 9,65$  και  $16452,9 \pm 7,1$  παλέτες αντίστοιχα και αδειάζουν από τα φορτηγά στη χαρμανιέρα  $155897,5 \pm 69,4$  καρότσες σε 10000 ώρες. Μπλοκαρίσματα υπάρχουν στην εκφόρτωση



πρώτης ύλης περίπου  $29078,3 \pm 38,46$ . Επίσης, ο αριθμός βλαβών των σταθμών είναι  $7,1 \pm 1,52$ ,  $4,7 \pm 1,58$  και  $19,5 \pm 3,49$  ανά 10000 ώρες, λόγω των υψηλών βαθμών αξιοπιστίας τους. Οι δείκτες απόδοσής τους PI ορίζονται σε  $23,7339 \pm 0,01$ ,  $19,3078 \pm 0,01$  και  $81,0595 \pm 0,04$ . Οι χαμηλοί δείκτες των παλετοποιητών οφείλονται στο ότι οι σταθμοί δε δουλεύουν στην ονομαστική τους ταχύτητα αλλά χαμηλότερα. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών είναι  $685,97 \pm 1,22$ ,  $548,04 \pm 1,07$  και  $5195,88 \pm 3,39$  ώρες. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος κατά την εκφόρτωση είναι  $1033,89 \pm 3,49$  ώρες. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο οι παλετοποιητές λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς αποθήκευση (starved) είναι  $7527,85 \pm 1,43$  και  $7989,22 \pm 1,02$  ώρες. Οι βαθμοί απασχόλησης των σταθμών εξαρτώνται από τους χρόνους που οι ρυθμοί παραγωγής τους ήταν μεγαλύτεροι από 0 και τους χρόνους αλλαγής μεταξύ παλετών και είναι  $24,6893 \pm 0,01$ ,  $20,0866 \pm 0,01$  και  $84,4378 \pm 0,04$  αντίστοιχα. Οι παλετοποιητές έχουν χαμηλό βαθμό απασχόλησης, επειδή ο χρόνος που ο ρυθμός παραγωγής τους ήταν μεγαλύτερος από 0 είναι χαμηλός.

## 6.4 Συμπεράσματα

Με την εκτέλεση των προσομοιώσεων αποτυπώθηκε μια γενική εικόνα του συστήματος. Ο μηχανικός της επιχείρησης μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει τα σημεία μποτιλιαρίσματος, καθυστερήσεις, ποιες μηχανές παθαίνουν συχνά βλάβες και πόσο υλικό παραμένει στο σύστημα όταν αυτό σταματάει. Μελετώντας αναλυτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούμε να βγάλουμε παρόμοια συμπεράσματα για όλους τους σταθμούς. Διαφορές και τυχόν αποκλίσεις από την ιδανική λειτουργία των γραμμών οφείλονται κυρίως σε καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές προϊόντων, κατά την εκφόρτωση των κλαρκ στις γραμμές και κατά τη διαδικασία παλετοποίησης.

Όλες οι γραμμές του εργοστασίου είναι πλήρως αυτοματοποιημένες και υπάρχει συγχρονισμός των διεργασιών που επιτελούνται σε αυτές (synchronized automatic transfer line). Με την εισαγωγή, όμως, της τυχαιότητας εμφανίστηκε και η μεταβλητότητα, η οποία διαφοροποίησε τη γενική συμπεριφορά των γραμμών από την ιδανική λειτουργία τους. Αναζητώντας και εντοπίζοντας

τη μεταβλητότητα στο σύστημα θα μπορούσε να βελτιωθεί η υπάρχουσα κατάσταση. Η αύξηση της παροχής (Throughput) και η μείωση του χρόνου κύκλου (Cycle Time) και των εργασιών σε εξέλιξη (WIP) επιτυγχάνονται με:

1. Αύξηση της απασχόλησης των σταθμών.
2. Μείωση του ρυθμού μπουτλιαρίσματος.
3. Μείωση των αλλαγών μεταξύ παλετών και των σχεδίων παραγωγής.
4. Λειτουργία των σταθμών κοντά στην ονομαστική τους ταχύτητα και αρχίζοντας από τον πιο αργό σταθμό μειώνουμε τον χρόνο επεξεργασίας.
5. Μείωση των χρόνων στησίματος (setup time) των μηχανών.
6. Μείωση του ρυθμού βλαβών και της διάρκειας επισκευής τους.
7. Μείωση της επίδρασης των βλαβών με χρήση ενδιάμεσου σταθμού αποθήκευσης προϊόντων (buffer), μειώνοντας έτσι τις απώλειες σε μια βλάβη.

Ενδεικτικά, πραγματοποιήσαμε μικρές μεταβολές στις παραμέτρους μερικών στοιχείων (modules) της γραμμής παραγωγής No1 και γραμμής συσκευασίας No4 (σενάριο 1) και παρατηρήθηκαν σημαντικές βελτιώσεις.

➤ Συγκεκριμένα, στη γραμμή παραγωγής No1 έγιναν οι εξής αλλαγές:

1. Αλλαγή χρονικού διαστήματος μεταξύ αφίξεων των φορτηγών στη γραμμή, από UNIF(5,10) σε UNIF(5,8). (στοιχείο Trucks Unloading to A41)
2. Αλλαγή ποσοστού απωλειών σε ταινία διαλογής, από 2% σε 1%. (στοιχείο Conveyors A10\_A9\_A8\_A7\_A6\_A5)
3. Αλλαγή χρονικού διαστήματος μεταξύ παλετών στο τέλος της γραμμής, από UNIF(1,2) σε UNIF(0.5,1). (στοιχείο Palletizer).

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις των αλλαγών αυτών είναι:

- **Ιμάντες:** Το μέσο WIP για τους ιμάντες A40\_A42\_A38\_A37\_A36\_A32 μειώθηκε περίπου κατά 41,8%, αλλά Αυξήθηκε κατά 25,1% και 13,9% για τους ιμάντες A10 έως A5 και τον καταψύκτη A2 αντίστοιχα. Οι απώλειες για τους ιμάντες A10 έως A5 μειώθηκαν κατά 44%, λόγω της αλλαγής του ποσοστού απωλειών. Αξιοσημείωτο είναι ότι μειώθηκαν και οι απώλειες στους ιμάντες A40 έως A32 κατά 12% και στον καταψύκτη A2 κατά 10%.

Ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων βελτιώθηκε κατά τουλάχιστον 12% περίπου (ιμάντες A40 έως A32). Επίσης, η μέση συσσώρευση επάνω τους μειώθηκε κατά 56,6%, 67,6% και 36,7% για τους ιμάντες A10 έως A5, A40 έως A32 και τον καταψύκτη A2 αντίστοιχα.

- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν το μπλοκ μηχανών A23 έως A16, το βραστήρα A11 και το πλυντήριο A30. Με τις αλλαγές μειώσαμε δραματικά τα μπλοκαρίσματα των σταθμών κατά 70,6%, 11,2% και 71,8%. Επίσης, επιτύχαμε αύξηση των δεικτών απόδοσης κατά 12,5%, 12% και 11,8% αντίστοιχα. Εφόσον μειώθηκαν τα μπλοκαρίσματα μειώθηκε και ο χρόνος διάρκειάς τους κατά 64,1%, 45,8% και 63,3%. Ακόμη οι χρόνοι κατά τους οποίους οι μηχανές λειτουργούν αλλά δεν έχουν υλικό προς επεξεργασία (starved), δηλαδή κατά κάποιο τρόπο οι χρόνοι αδράνειάς τους, μεταβλήθηκαν κατά 8,9 μείωση, 6,6% αύξηση και 8,9% μείωση για κάθε σταθμό αντίστοιχα. Οι χρόνοι που οι ρυθμοί παραγωγής > 0 αυξήθηκαν κατά 12%, εξαιτίας της μείωσης των μπλοκαρισμάτων. Οι χρόνοι αυτοί επηρεάζουν αναλογικά τους βαθμούς απασχόλησης των μηχανών και οι οποίοι αυξήθηκαν επίσης κατά 12% περίπου.
- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής και το σταθμό εκφόρτωσης πρώτης ύλης στην αρχή της γραμμής. Συνολικά αυξήσαμε τον αριθμό αποθηκευμένων παλετών κατά 13,1% και τον αριθμό παλετών (καρότσες) που αδειάζουν τα φορτηγά στη χαρμανιέρα κατά 12%. Μπλοκαρίσματα υπάρχουν στην εκφόρτωση πρώτης ύλης και μειώθηκαν κατά 73,2%. Οι δείκτες απόδοσής τους PI μεταβλήθηκαν κατά 15% μείωση και 5,4% αύξηση αντίστοιχα.  $5,9749 \pm 0,03$ . Επίσης, μειώθηκαν και οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών, κατά 57,6% και 3% αντίστοιχα. Εφόσον μειώσαμε τα μπλοκαρίσματα μειώθηκε και ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος στην εκφόρτωση κατά 64,3%. Αυξήθηκε, όμως ο χρόνος κατά τον οποίο ο παλετοποιητής παραμένει αδρανής (starved) κατά 81,3% το οποίο έχει επίπτωση στην απασχόλησή του και η οποία μειώθηκε κατά 15% ενώ για το σταθμό εκφόρτωσης Αυξήθηκε κατά 5,5%.

- Στη γραμμή συσκευασίας Νο4 (σενάριο 1) έγιναν οι εξής αλλαγές:
1. Αλλαγή χρόνου προετοιμασίας προϊόντων, από UNIF(5,10) σε UNIF(4,8). (στοιχείο Production Plans)
  2. Αλλαγή χρονικού διαστήματος μεταξύ παλετών στο τέλος της γραμμής, από UNIF(1,3) σε UNIF(0.5,1,5). (στοιχείο Palletizer).

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις των αλλαγών αυτών είναι:

- **Ιμάντες:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον ιμάντα P80. Το μέσο WIP παρέμεινε σχεδόν ίδιο και ίσο με περίπου 2,3 σακουλάκια. Αυξήθηκε ο ρυθμός καλών παραγόμενων προϊόντων κατά 10% και μειώθηκε ο χρόνος κατά τον οποίο ο ιμάντας λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό προς μεταφορά επάνω του (starved) κατά 9%. Όλες οι μεταβλητές παρέμειναν στα ίδια επίπεδα.
- **Μηχανές:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τη μηχανή γεμίσματος P78\_P79 (η μηχανή πακέτων P78\_P79 θεωρείται ενιαία με τη μηχανή γεμίσματος και έχει περίπου τα ίδια στατιστικά). Ο αριθμός μπλοκαρισμάτων αυξήθηκε κατά 10% και οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι στο τέλος της γραμμής υπάρχουν πιο συχνές αλλαγές μεταξύ παλετών ή/και αλλαγές μεταξύ των σχεδίων παραγωγής. Οι αλλαγές αυτές αυξήθηκαν κατά 10%. Ο δείκτης απόδοσης PI αυξήθηκε κατά 10%. Ο μέσος χρόνος μπλοκαρίσματος της μειώθηκε κατά 42,3%. Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός αλλαγών σχεδίων παραγωγής αυξήθηκε κατά 10% οι αλλαγές αυτές, όμως δεν καθυστερούν το σύστημα, αλλά παρατηρήθηκε μείωση τους κατά 12,1%, λόγω της μείωσης του χρόνου προετοιμασίας των προϊόντων. Ακόμη ο χρόνος κατά τον οποίο η μηχανή λειτουργεί αλλά δεν έχει υλικό προς επεξεργασία (starved) μειώθηκε κατά 12,1%. Ο χρόνος που ο ρυθμός παραγωγής της ήταν μεγαλύτερος από 0 αυξήθηκε κατά 10% και η αύξηση αυτή επηρέασε αναλογικά και το βαθμό απασχόλησής της (αύξηση 10%).
- **Σταθμοί δημιουργίας και διάσπασης παλετών:** Οι παρατηρήσεις αφορούν τον παλετοποιητή στο τέλος της γραμμής. Συνολικά αυξήθηκαν οι παλέτες που αποθηκεύονται κατά 10%. Οι συνολικές καθυστερήσεις κατά τις αλλαγές μεταξύ παλετών μειώθηκαν κατά 45%. Οι υπόλοιπες μεταβλητές του σταθμού παρέμειναν σχεδόν ίδιες.

## Κεφάλαιο 7: Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σε αυτήν τη μεταπτυχιακή εργασία περιγράψαμε τις παραγωγικές διεργασίες του εργοστασίου και στη συνέχεια, κατασκευάσαμε εικονικά μοντέλα των γραμμών παραγωγής No1 και συσκευασίας No1 και No4. Τέλος, εκτελέσαμε τις προσομοιώσεις των μοντέλων και συγκρίναμε εναλλακτικούς τρόπους λειτουργίας της γραμμής παραγωγής No1 και συσκευασίας No4 (σενάριο 1). Συγκεκριμένα, ακολουθήσαμε τα εξής βήματα:

Βήμα 1<sup>ο</sup>: Κατανόηση της μεθοδολογίας σχεδίασης και ανάπτυξης ενός μοντέλου σε γραφικό περιβάλλον.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Περιγραφή και ανάλυση των παραγωγικών διεργασιών.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Εφαρμογή του προτύπου προσομοίωσης στη σχεδίαση των παραγωγικών συστημάτων.

Βήμα 4<sup>ο</sup>: Λεπτομερής εισαγωγή των παραμέτρων κάθε συστήματος, ώστε να ανταποκρίνεται πλήρως στην πραγματικότητα.

Βήμα 5<sup>ο</sup>: Εκτέλεση προσομοιώσεων και επιβεβαίωση ότι τα μοντέλα συμφωνούν με την πραγματικότητα.

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Ανάλυση και σύγκριση αποτελεσμάτων με εναλλακτικά σενάρια.

Μερικά από τα ερωτήματα που έμειναν αναπάντητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω έρευνας είναι:

1. Η λεπτομερής στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και των διάφορων μεταβλητών της γραμμής.
2. Η αλλαγή μερικών παραμέτρων στα μοντέλα, όπως ταχύτητες λειτουργίας σταθμών, ρυθμοί βλαβών, ρυθμοί αφίξεων πρώτης ύλης ή κλαρκ, χρόνοι στησίματος μηχανών, απώλειες παραγωγής και η μελέτη των συνεπειών τους που θα επιφέρουν στη συμπεριφορά των γραμμών.
3. Η σύγκριση και εκτίμηση εναλλακτικών σχεδίων παραγωγής, δηλαδή παραγωγή πολλαπλών προϊόντων και σε διάφορα μεγέθη συσκευασιών με διαφορετικούς κάθε φορά τρόπους παλετοποίησης.
4. Η εκτέλεση των προσομοιώσεων με τον τύπο της μεταβατικής προσομοίωσης, δηλαδή με πολλές επαναλήψεις και σε βάρδιες των 8 ωρών.

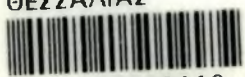
5. Η μελέτη του συστήματος όταν η ποιότητα του προϊόντος ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου κατά τη βλάβη ενός σταθμού. Επειδή υπάρχουν αλλοιώσιμα προϊόντα (λαχανικά), με εισαγωγή κατάλληλων μεταβλητών μπορούμε να ορίσουμε την κατάσταση αποδοχής του προϊόντος.
6. Ο εντοπισμός και ανάλυση της μεταβλητότητας του συστήματος και εύρεση επιπλέον μέτρων για τη μείωσή της.
7. Η χρησιμοποίηση των μοντέλων ως πρότυπα για την ανάλυση οποιωνδήποτε παραγωγικών συστημάτων υψηλού ρυθμού παραγωγής, αρκεί να αλλαχθούν τα αρχικά δεδομένα. Π.χ. οι γραμμές συσκευασίας σε αρκετές βιομηχανίες παρουσιάζουν ομοιότητες. Έτσι, οι μηχανές και οι ιμάντες μεταφοράς των μοντέλων θα μπορούσαν να προσομοιώσουν οποιαδήποτε παρόμοια διεργασία με κατάλληλη αλλαγή των παραμέτρων τους.

## Βιβλιογραφία

- [1] ΓΕΝΙΚΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ Α.Ε. (2006), Ετήσιο Δελτίο 2005, Θεσσαλονίκη
- [2] Κουϊκόγλου Β. (2002), *Προσομοίωση – Σημειώσεις μαθήματος*, Κρήτη
- [3] Μοσχόπουλος Ν. (2002), *Αποτύπωση Βιομηχανικής Επιχείρησης*, Σπουδαστική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πάτρα
- [4] Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. (2001), *Discrete-Event System Simulation*, Series in Industrial & Systems Engineering, Prentice Hall Int., New Jersey
- [5] Hopp W. J., Spearman M. L. (2000), *Factory Physics*, McGraw Hill, Boston
- [6] Huda M. A, Chung A. C. (2002), "Simulation modeling and analysis issues for high-speed combined continuous and discrete food industry manufacturing processes", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, pp. 473-483
- [7] Kelton W. D, Sadowski P. R, Sadowski A. D (1998), *Simulation with Arena*, Industrial Engineering Series, McGraw-Hill International Editions, Boston
- [8] Liberopoulos G., Kozanidis G., Tsarouhas P. (2005), "Performance Evaluation of an Automatic Transfer Line with WIP Scrapping during Long Failures", University of Thessaly, Greece
- [9] Liberopoulos G., Tsarouhas P. (2005), "Reliability analysis of an automated pizza production line", *Journal of Food Engineering*, Vol. 69, pp. 79-96
- [10] Liberopoulos G., Tsarouhas P. (2002), "Systems Analysis Speeds Up Chipita's Food-Processing Line", *Interfaces*, Vol. 32, No 3, pp. 62-76
- [11] Rockwell Software Inc., (2003), *Arena Packaging Template – User's Guide*
- [12] Rockwell Automation (2003), "Fresh Ideas in Food Manufacturing – Optimizing Your Operations", [www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com)
- [13] Ross, S. (2003), *Introduction to Probability Models*, Academic Press, New York
- [14] Sturrock T. D (2001), "Effective Simulation of High Speed Systems", Systems Modeling Corporation, SAT (Simulations und Automations Technologie) GmbH, Gesellschaft fur IT Consulting und System Integration, [www.sat.com](http://www.sat.com)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000089116