



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ &  
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

---

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗ  
ΓΡΑΜΜΗ ΕΜΦΙΑΛΩΣΗΣ ΦΙΑΛΩΝ PET 0.5,1  
ΚΑΙ 1.5 ΛΙΤ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΕΤΑΝΑΠ Α.Ε.-  
ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΝΕΡΟ ΣΑΜΑΡΙΑ**

---

ΛΕΙΒΑΔΙΩΤΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

*Επιβλέπων:*

Τσιναράκης Γεώργιος

Στην οικογένεια μου.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας διπλωματικής εργασίας κύριο Τσιναράκη για την πολύτιμη βοήθεια του, τις συμβουλές του και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους και φίλους μου για την στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το διάστημα. Επιπλέον οφείλω να ευχαριστήσω τον Βροντάκη Κωνσταντίνο για την βοήθεια που μου παρείχε σε τεχνικά θέματα στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους της βιομηχανίας ETANAΠ Α.Ε. - Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά και ιδιαίτερα τον πρόεδρο Δ.Σ. κύριο Αποστολάκη Εμμανουήλ και τον Μηχανικό Παραγωγής της εταιρείας κύριο Βανδουλάκη Ιωάννη, για την παροχή των απαιτούμενων πληροφοριών για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τις ώρες που διέθεσαν για επίλυση αποριών σχετικών με την εργασία μου και για την εύρεση πληροφοριών σχετικών με αυτή.

## Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται μια εκ των γραμμών εμφιάλωσης της εταιρείας ETANAP A.E. - Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά. Η συγκεκριμένη γραμμή χρησιμοποιείται για την εμφιάλωση φιαλών PET 0.5,1 και 1.5 lit. Στα πλαίσια της εργασίας αρχικά γίνεται καταγραφή και μελέτη της τρέχουσας λειτουργίας της γραμμής παραγωγής. Βάσει των στοιχείων (ποσοτικών, χρονικών, ποιοτικών) που δημιουργούνται σε πρώτη φάση διαγράμματα ροής, από τα οποία εξάγονται μοντέλα με Δίκτυα Petri, επειδή η διαδικασία εμφιάλωσης του κάθε είδους φιάλης εν μέρει διαφοροποιείται.

Από τη μελέτη των μοντέλων και προσομοιώσεις βασικών ρεαλιστικών σεναρίων, εντοπίζονται κρίσιμες παράμετροι της όλης διαδικασίας που δρουν περιοριστικά στη παραγωγικότητα της γραμμής. Σε τελικό στάδιο χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης ζήτησης που αξιοποιούν δεδομένα πωλήσεων προηγούμενων ετών και διαμορφώνεται μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού.

## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή .....	13
1.1	Κίνητρα .....	13
1.2	Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....	14
1.3	Μέθοδος επίλυσης .....	14
1.4	Συνεισφορά και στόχος της διπλωματικής εργασίας .....	15
1.5	Δομή διπλωματικής εργασίας .....	16
2	Παρουσίαση θεμελιωδών εννοιών (σχετική θεωρία) .....	18
2.1	Μοντελοποίηση .....	18
2.1.1	Διαδικασία μοντελοποίησης .....	19
2.2	Δίκτυα Petri .....	20
2.2.1	Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri .....	20
2.2.2	Συνήθη δίκτυα Petri .....	22
2.3	Επεκτάσεις δικτύων Petri .....	27
2.3.1	Χρονικά δίκτυα Petri .....	28
2.3.2	Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri .....	29
2.3.3	Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri .....	30
2.4	Προσομοίωση .....	32
2.5	Πρόβλεψη .....	34
2.5.1	Διαδικασία πρόβλεψης .....	35
2.5.2	Μέθοδοι πρόβλεψης .....	36
2.6	Γραμμικός προγραμματισμός .....	40
2.6.1	Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος .....	41
2.6.2	Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων ΓΠ .....	42
2.6.3	Ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός .....	42
3	Η βιομηχανία ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. Α.Ε. – Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά .....	44
3.1	Αγορά εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα .....	44
3.2	Παρουσίαση της βιομηχανίας .....	46
3.3	Γεωγραφική θέση εταιρείας .....	47
3.4	Περιγραφή πηγής άντλησης νερού .....	48
3.5	Χημικά χαρακτηριστικά νερού .....	48
3.6	Διαδικασία άντλησης νερού .....	49
3.7	Ποιοτικός έλεγχος νερού .....	49

3.8	Αποθήκευση και διακίνηση έτοιμου προϊόντος .....	51
3.9	Δεδομένα πωλήσεων εταιρείας .....	51
4	Παραγωγική διαδικασία .....	55
4.1	Γραμμές εμφιάλωσης νερού .....	55
4.2	Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας.....	56
5	Πρόβλεψη ζήτησης για το έτος 2016 .....	72
5.1	Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της βιομηχανίας.....	72
5.1.1	Απλός Κινητός Μέσος (Simple Moving Average).....	72
5.1.2	Διπλός Κινητός Μέσος ( Double Moving Average) .....	75
5.1.3	Μέθοδος Brown .....	78
5.2	Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων .....	83
5.2.1	Μέσο σφάλμα (Mean error-ME).....	83
5.2.2	Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean absolute deviation-MAD) .....	84
5.2.3	Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean squared error- MSE) .....	85
5.2.4	Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα ( Mean percentage error-MPE) .....	86
5.2.5	Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα ( Mean absolute percentage error- MAPE) .....	87
5.3	Συμπεράσματα πρόβλεψης.....	88
6	Μοντελοποίηση της διαδικασίας εμφιάλωσης με δίκτυα Petri και προσομοίωση βασικών σεναρίων λειτουργίας.....	90
6.1	Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την εμφιάλωση συσκευασιών PET της υπό μελέτης βιομηχανίας με δίκτυα Petri .....	90
6.2	Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 6x1.5 .....	100
6.3	Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 12x0.5 .....	105
6.4	Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 24x0.5 .....	108
6.5	Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 12x1 .....	112
7	Μοντελοποίηση Γραμμικού Προβλήματος .....	115
7.1	Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος .....	115
7.2	Επίλυση του προβλήματος.....	119
8	Συμπεράσματα και Προτάσεις .....	120
8.1	Ανακεφαλαίωση .....	120
8.2	Συμπεράσματα.....	121
8.3	Προτάσεις .....	122
8.4	Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας .....	122

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του .....	25
Εικόνα 2: Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού .....	27
Εικόνα 3: Λογότυπο εταιρείας .....	46
Εικόνα 4: Η βιομηχανία ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ Α.Ε. – Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά .....	47
Εικόνα 5: Τοποθεσία βιομηχανίας στο χάρτη .....	47
Εικόνα 6: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 12x0.5 .....	51
Εικόνα 7: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 6x1.5 .....	52
Εικόνα 8: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 12x1 .....	52
Εικόνα 9: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 24x0.5 .....	53
Εικόνα 10: Ποσοστά πωλήσεων ανά συσκευασία .....	53
Εικόνα 11: Διαφορετικά είδη παραγόμενων φιαλών .....	55
Εικόνα 12: Διαφορετικά είδη φιαλών PET της υπό μελέτη γραμμής εμφιάλωσης.....	57
Εικόνα 13: Προδιαμορφώματα τελικών φιαλών (preforms) .....	58
Εικόνα 14: Shrink film.....	58
Εικόνα 15: Ετικέτες.....	59
Εικόνα 16: Χαρτόδισκοι .....	59
Εικόνα 17: Stretch film.....	59
Εικόνα 18: Monoblock .....	60
Εικόνα 19: Δεξαμενή preforms .....	61
Εικόνα 20: Μεταφορά preforms στο αναβατήριο.....	61
Εικόνα 21: Προσανατολισμός preforms στο αναβατήριο .....	61
Εικόνα 22: Αερομεταφορά preforms (είσοδος στο monoblock) .....	62
Εικόνα 23: Φουσκωτική μηχανή εντός monoblock .....	62
Εικόνα 24: Δεξαμενή πωμάτων .....	63

Εικόνα 25: Γεμιστική μηχανή και πωματέζα.....	64
Εικόνα 26: Έξοδος μονoblock .....	64
Εικόνα 27: Κάδος ελαττωματικών.....	65
Εικόνα 28: Καταγραφικό Laser .....	65
Εικόνα 29: Αναμονές .....	66
Εικόνα 30: Ετικετέζα.....	66
Εικόνα 31: Ελαττωματικά ετικετοποίησης .....	66
Εικόνα 32: Τοποθέτηση shrink film.....	67
Εικόνα 33: Τοποθέτηση χερουλίου (χερουλιέρα) .....	67
Εικόνα 34: Συσκευασίες στο διάδρομο για τη δημιουργία παλέτας .....	68
Εικόνα 35: Τοποθέτηση χαρτόδισκων στη παλέτα .....	69
Εικόνα 36: Είσοδος παλέτας στο χώρο της τύλιξης .....	69
Εικόνα 37: Τοποθέτηση stretch film από την τυλιχτική μηχανή .....	70
Εικόνα 38: Έτοιμες παλέτες για παραλαβή προς την αποθήκη .....	70
Εικόνα 39: Χώρος αποθηκών .....	71
Εικόνα 40: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016.....	73
Εικόνα 41: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016 .....	73
Εικόνα 42: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016.....	74
Εικόνα 43: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016 .....	74
Εικόνα 44: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016 .....	76
Εικόνα 45: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016 .....	76



Εικόνα 46: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016.....	77
Εικόνα 47: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016 .....	77
Εικόνα 48: Μεταβολή του δείκτη RMSE για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου $\alpha$ για τη συσκευασία 6x1.5 .....	79
Εικόνα 49: Μεταβολή του δείκτη RMSE για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου $\alpha$ για τη συσκευασία 12x0.5 .....	79
Εικόνα 50: Μεταβολή του δείκτη RMSE για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου $\alpha$ για τη συσκευασία 12x1 .....	80
Εικόνα 51: Μεταβολή του δείκτη RMSE για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου $\alpha$ για τη συσκευασία 24x0.5 .....	80
Εικόνα 52: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016.....	81
Εικόνα 53: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016.....	81
Εικόνα 54: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016.....	82
Εικόνα 55: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016.....	82
Εικόνα 56: Πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2016, για όλους τους τύπους συσκευασίας .....	89
Εικόνα 57: Παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 6x1.5 και 12x0.5 .....	91
Εικόνα 58: Παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 12x1 και 24x0.5 .....	91
Εικόνα 59: Κωδικοποιημένη παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 6x1.5 και 12x0.5 .....	92
Εικόνα 60: Κωδικοποιημένη παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 24x0.5 και 12x1 .....	92

Εικόνα 61: 1 <sup>ο</sup> στάδιο 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου .....	95
Εικόνα 62: 2 <sup>ο</sup> στάδιο 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου .....	96
Εικόνα 63: 3 <sup>ο</sup> στάδιο 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου .....	97
Εικόνα 64: Διαστάσεις συσκευασιών .....	98
Εικόνα 65: 4 <sup>ο</sup> στάδιο 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου .....	98
Εικόνα 66: Παρουσίαση θέσεων φωτοκύτταρων .....	99
Εικόνα 67: Μορφή δεδομένων φωτοκύτταρων .....	100

## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Εισαγωγές και εξαγωγές εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα για τα έτη 2012, 2013 και 2014.....	45
Πίνακας 2: Πλήθος δεμάτων στη παλέτα ανάλογα τη συσκευασία.....	68
Πίνακας 3: Χωρητικότητα παλετών στις αποθήκες .....	70
Πίνακας 4: Αξιολόγηση προβλέψεων με κριτήριο Μέσο Σφάλμα .....	84
Πίνακας 5: Αξιολόγηση προβλέψεων με κριτήριο Μέσο Σφάλμα .....	85
Πίνακας 6: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα Τετραγώνου.....	86
Πίνακας 7: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Τετραγωνική Ρίζα Μέσου Σφάλματος Τετραγώνου .....	86
Πίνακας 8: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα .....	87
Πίνακας 9: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα .....	88
Πίνακας 10: Παρουσίαση θέσεων 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου.....	93
Πίνακας 11: Παρουσίαση μεταβάσεων 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου .....	93
Πίνακας 12: Παρουσίαση τόξων 1 <sup>ου</sup> γενικού μοντέλου.....	94
Πίνακας 13: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 6x1.5 .....	100
Πίνακας 14: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 6x1.5.....	101
Πίνακας 15: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 6x1.5 .....	102
Πίνακας 16: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 6x1.5 .....	103
Πίνακας 17: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 6x1.5.....	103
Πίνακας 18: Αντιπαραβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 6x1.5 .....	104
Πίνακας 19: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 12x0.5 .....	105
Πίνακας 20: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 12x0.5.....	105

Πίνακας 21: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 12x0.5 .....	106
Πίνακας 22: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 12x0.5 ...	107
Πίνακας 23: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 12x0.5 .....	107
Πίνακας 24: Αντιπαράβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 12x0.5 .....	108
Πίνακας 25: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 24x0.5 .....	108
Πίνακας 26: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 24x0.5.....	109
Πίνακας 27: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 24x0.5 .....	109
Πίνακας 28: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 24x0.5 ...	110
Πίνακας 29: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 24x0.5 .....	111
Πίνακας 30: Αντιπαράβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 24x0.5 .....	111
Πίνακας 31: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 12x1	112
Πίνακας 32: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 12x1.....	112
Πίνακας 33: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 12x1 .....	113
Πίνακας 34: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 12x1 .....	113
Πίνακας 35: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 12x1	114
Πίνακας 36: Αντιπαράβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 12x1 .....	114
Πίνακας 37: Μορφή πίνακα μεταβλητών κόστους.....	116

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Κίνητρα

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον με τον έντονο ανταγωνισμό και τις διαρκώς εντεινόμενες πιέσεις για περιορισμό των χρόνων και του κόστους παραγωγής, η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων και των παραγωγικών δυνατοτήτων, είναι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες για την επιβίωση και την ανάπτυξη των βιομηχανιών. Η μελέτη προβλημάτων σχετικά με τα βιομηχανικά συστήματα και τα συστήματα παραγωγής αποτελεί ιδιαίτερα δημοφιλές αντικείμενο στην επιστημονική κοινότητα, αφού ακόμα και μικρές αναβαθμίσεις και εξελίξεις μπορεί να οδηγήσουν σε τεράστια οφέλη [41]. Σε αυτό συνεισφέρει το μεγάλο εύρος αντικειμένων που σχετίζονται με τα συστήματα παραγωγής καθώς και το γεγονός ότι πολλά προβλήματα δεν μπορούν να επιλυθούν αναλυτικά της λόγω ιδιαίτερα αυξημένης πολυπλοκότητας.

Στη σύγχρονη βιομηχανική πραγματικότητα όπου ο ανταγωνισμός σε όλα τα επίπεδα ολοένα γίνεται πιο ισχυρός, ο αποδοτικός προγραμματισμός της παραγωγικής διαδικασίας σε συνδυασμό με την κατάλληλη πρόβλεψη, κρίνεται κάτι παραπάνω από σημαντικό. Μία σωστή μελέτη αποφέρει σε μία βιομηχανία μεγαλύτερα κέρδη όσο και ένα πιο «υγιές» περιβάλλον λειτουργίας από την άποψη της σωστής αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων. Παρόλα αυτά ο παράγοντας της αβεβαιότητας που είναι παρόν τόσο στο επίπεδο της αγοράς και της οικονομίας όσο και της λειτουργίας μιας επιχείρησης, δεν δίδει αρκετά περιθώρια στη εκπόνηση μιας αποτελεσματικής και ρεαλιστικής μελέτης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών είναι η χρήση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών πωλήσεων, όπου σε συνδυασμό με τα εργαλεία προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό μιας λύσης που δεν είναι βέλτιστη.

## **1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη μιας βιομηχανίας παραγωγής εμφιαλωμένου νερού που εδράζεται στο νομό των Χανίων της Κρήτης. Σε πρώτο στάδιο καταγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας της μονάδας, τα στάδια κατεργασίας, η χρονική διάρκεια της κάθε εργασίας, οι τρόποι αλληλεπίδρασης καθώς και οι ροές των πρώτων υλών και των προϊόντων μέσα στην μονάδα. Στη συνέχεια γίνεται μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής των τεσσάρων διαφορετικών ειδών συσκευασίας φιαλών PET και με τη βοήθεια προσομοιώσεων μελετώνται τα βασικά σενάρια παραγωγής. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τους διάφορους περιορισμούς (φυσικούς, τεχνολογικούς και οικονομικούς) με αποτέλεσμα να προσεγγιστεί ο τρόπος λειτουργίας σαν ένας συνδυασμός πολλών παραμέτρων που λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές και με χαρακτηριστικά που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, πραγματοποιείται η πρόβλεψη του όγκου παραγωγής σε επίπεδο μήνα για κάθε κατηγορία συσκευασίας ξεχωριστά και σε συνεργασία με το βασικό στέλεχος της επιχείρησης. Στη συνέχεια επιλέγεται το πιο αποδοτικό και κατά συνέπεια το πιο έγκυρο μοντέλο, συγκρίνοντας τα. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν, από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος, προτείνεται μηνιαίο πλάνο παραγωγής που μεγιστοποιεί το κέρδος, στηριζόμενο στις πωλήσεις των προηγούμενων ετών, από όπου αντλήθηκαν και τα δεδομένα.

## **1.3 Μέθοδος επίλυσης**

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή για την ανάπτυξη του πλαισίου μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, είναι τα χρονικά δίκτυα Petri (ΔΡ) κι οι επεκτάσεις τόξων. Τα ΔΡ συνδυάζουν ένα απλό γραφικό περιβάλλον, που αυξάνει σημαντικά τη δυνατότητα κατανόησης κι εποπτικής παρακολούθησης της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος, με ένα πλήρες μαθηματικό πλαίσιο που διευκολύνει την χρήση των κατασκευαζόμενων μοντέλων για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των συστημάτων που αναπαριστούν. Επιπλέον, τα μοντέλα που κατασκευάζονται με ΔΡ είναι πιο συμπυκνωμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα που προκύπτουν με χρήση άλλων εργαλείων

μοντελοποίησης όπως για παράδειγμα, τα αυτόματα. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί το γεγονός πως διαθέτουν πλήρη συλλογή από εργαλεία ανάλυσης και μπορούν να συνδυαστούν με άλλα εργαλεία για την ικανοποίηση πιο εξειδικευμένων αναγκών [5],[6],[7].

Παράλληλα χρησιμοποιούνται ποσοτικά μοντέλα μαθηματικής πρόβλεψης για τα διαφορετικά είδη-προϊόντα συσκευασίας που παράγονται για το έτος 2016 αξιοποιώντας τα δεδομένα πωλήσεων των τελευταίων έξι ετών. Βασισμένα στις ποσότητες που υπολογίζονται, δημιουργείται γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους με τους αντίστοιχους τεχνολογικούς και φυσικούς περιορισμούς.

#### **1.4 Συνεισφορά και στόχος της διπλωματικής εργασίας**

Η ιδέα εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ξεκίνησε από την ανάγκη για βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας στο συγκεκριμένο κλάδο όπου οι απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται και τη διαπίστωση πως πολλές σημαντικές αποφάσεις και διαδικασίες για την λειτουργία της μονάδας εκτελούνται και προσδιορίζονται εμπειρικά. Σε συνεργασία με τα βασικά στελέχη της επιχείρησης και με τους ίδιους τους εργαζόμενους, δόθηκε η δυνατότητα για την άντληση όλων των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για την παραγωγική διαδικασία. Πολλά από τα στοιχεία αυτά είναι ευαίσθητα-απόρρητα και αφορούν κατά κύριο λόγο τη σχέση με τους προμηθευτές, τις πρώτες ύλες, τα έσοδα, τα έξοδα, τη δυναμικότητα του συστήματος αλλά κυρίως τις επιμέρους αναλυτικές διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή των διαφόρων ειδών συσκευασίας φιαλών PET.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τη χωροθέτηση, τη διασύνδεση, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών και την δυναμικότητα των αποθηκών, σε συνδυασμό με τις παραγωγικές δυνατότητες υλοποιείται ένα μοντέλο λειτουργίας του εργοστασίου, το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης μέσω προσομοίωσης.

## 1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται και οι αντικειμενικοί στόχοι που τέθηκαν καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στις κύριες έννοιες των δικτύων Petri, η διασαφήνιση των οποίων κρίνεται αναγκαία, αφού τα δίκτυα Petri χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση και προσομοίωση της υπό μελέτη γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των όρων μοντελοποίηση, προσομοίωση, πρόβλεψη και γραμμικός προγραμματισμός που αποτελούν αντικείμενα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υπό μελέτη βιομηχανία ETANAΠ Α.Ε-Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή της γεωγραφικής θέσης και ιστορική αναδρομή της εταιρίας από το ξεκίνημα της μέχρι σήμερα. Έπειτα παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία εκείνα που έχουν σχέση με το νερό που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη βιομηχανία εμφιάλωσης, όπως είναι τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού, η περιγραφή της πηγής και η διαδικασία άντλησης αυτού. Ακολούθως αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος του έτοιμου προϊόντος καθώς και η διαδικασία αποθήκευσης και διακίνησης του στη αγορά. Στην τελευταία παράγραφο του κεφαλαίου αυτού, καταγράφονται τα δεδομένα πωλήσεων της βιομηχανίας ανά τύπο τελικού προϊόντος, όπως αυτά παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας για την τελευταία εξαετία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση της παραγωγικής διαδικασίας της υπό μελέτη γραμμής παραγωγής της βιομηχανίας. Σε πρώτο στάδιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας για κάθε τύπο συσκευασίας ξεχωριστά, συμπεριλαμβάνοντας και τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής. Έπειτα παρουσιάζονται οι χώροι και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των παραγόμενων προϊόντων της βιομηχανίας όπως επίσης και των πρώτων υλών που απαιτούνται για το εκάστοτε τελικό προϊόν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η πρόβλεψη της ζήτησης της βιομηχανίας για το έτος 2016, χρησιμοποιώντας δεδομένα των έξι προηγούμενων ετών. Αναλύονται οι μέθοδοι πρόβλεψης, όπως επίσης και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση τους. Τέλος επιλέγεται η μέθοδος πρόβλεψης



που παρουσιάζει τα πιο ακριβή δεδομένα και παρουσιάζεται αναλυτικά η προβλεπόμενη ζήτηση ανά τύπο τελικού προϊόντος.

Στο έκτο κεφάλαιο υλοποιούνται τα μοντέλα για το κάθε προϊόν ξεχωριστά, με δίκτυα Petri. Στη συνέχεια αναλύεται βήμα-βήμα η διαδικασία δημιουργίας των μοντέλων, παρουσιάζοντας την σημασία του κάθε κόμβου αλλά και του τρόπου σύνδεσης του με τους υπόλοιπους.

Στο έβδομο κεφάλαιο το πρόβλημα προγραμματισμού της παραγωγής μοντελοποιείται σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του κέρδους. Αναλύονται όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, η αντικειμενική συνάρτηση και οι μεταβλητές απόφασης και περιγράφεται η διαδικασία επίλυσης που μπορεί να ακολουθηθεί αν διατίθενται όλα τα αναγκαία δεδομένα.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια, ενώ προτείνονται παράλληλα λύσεις για την αύξηση της παραγωγής ή/και αύξηση του ετήσιου κέρδους και πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της τρέχουσας εργασίας.

## 2 Παρουσίαση θεμελιωδών εννοιών (σχετική θεωρία)

### 2.1 Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι η διαδικασία αναπαράστασης των πραγματικών δεδομένων του συστήματος αυτού που είναι διαθέσιμα, με σκοπό την αναπαραγωγή του φυσικού συστήματος (μαθηματικά, στο εργαστήριο ή μέσω προσομοίωσης με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών). Το μοντέλο ενός συστήματος είναι η απλοποιημένη αναπαράσταση του, που περιέχει λογικές ή / και μαθηματικές συσχετίσεις που περιγράφουν το σύστημα σε όρους κατάστασης, οντοτήτων (συστατικών μερών του) και των χαρακτηριστικών τους, συνόλων, γεγονότων, ενεργειών και καθυστερήσεων. Εναλλακτικά ένα μοντέλο ορίζεται ως ένας αλγόριθμος ή ως ένα σύνολο από εξισώσεις το οποίο συνδυάζεται με ένα σύνολο από τιμές δεδομένων (π.χ. αρχικές συνθήκες και τιμές) για να αναπαραστήσει τη σημαντική συμπεριφορά ενός συστήματος, μιας διαδικασίας ή ενός φαινομένου.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του κάτω από διαφορετικές συνθήκες (για διαφορετικές τιμές παραμέτρων ή διαφορετικές συναρτήσεις εισόδου). Το μοντέλο ενός συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπέρα για τη σχεδίαση ή επανασχεδίαση του, για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή που διασφαλίζει πως η συμπεριφορά του ικανοποιεί δεδομένους περιορισμούς κι απαιτήσεις, για την εξερεύνηση, επαλήθευση και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του σύμφωνα με συγκεκριμένες αντικειμενικές συναρτήσεις και για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της συμπεριφοράς του.

Σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η κατασκευή ενός μοντέλου αποτελεί η δυνατότητα για μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς κι αποδοτικότητας του συστήματος κάτω από ακραίες συνθήκες λειτουργίας που για διάφορους λόγους δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (λόγω της ύπαρξης κινδύνων, μεγάλου κόστους ή ακόμα και της πρόκλησης αντιδράσεων) ή σε περιπτώσεις που το φυσικό σύστημα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό στην αρχή της παραγράφου, τα μοντέλα αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις των αντίστοιχων συστημάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή η αναπαράσταση του συνόλου των πλευρών, των χαρακτηριστικών, των διαδικασιών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ενός συστήματος θα οδηγούσε σε μοντέλα αντίστοιχης

πολυπλοκότητας με τα πραγματικά συστήματα. Στην περίπτωση αυτή, τα μοντέλα που θα προέκυπταν δε θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παραπέρα για τη μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος, αφού τα υπάρχοντα εργαλεία ανάλυσης θα ήταν άχρηστα, ενώ για να προκύψουν κάποια αποτελέσματα θα απαιτούνταν μεγάλος χρόνος και υπολογιστική ισχύς. Η πραγματική πρόκληση της μοντελοποίησης είναι η εύρεση του αναγκαίου αριθμού αρχών, γεγονότων και διαδικασιών που συνθέτουν την παρατηρούμενη πολυπλοκότητα ενός συστήματος, τα οποία σε συνδυασμό με μια σειρά από σωστά ορισμένες παραδοχές περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του. Επιπλέον, οι ανάγκες μοντελοποίησης, ανάλυσης ή ελέγχου έχουν σημαντική επιρροή στο γεγονός αν ένα σύστημα πρέπει να θεωρηθεί υβριδικό ή όχι [1].

### **2.1.1 Διαδικασία μοντελοποίησης**

Ο σκελετός της διαδικασίας μοντελοποίησης αναπτύχθηκε από τους Bandler και Grinder και συνοψίζεται στα ακόλουθα 5 βήματα [2]:

1. Αναγνώρισε τα συστατικά μέρη του μοντέλου.
2. Συγκέντρωσε πληροφορίες για τις μεταξύ τους σχέσεις, προτεραιότητες, τρόπους σύνδεσης και λειτουργίας, χαρακτηριστικά, χρήση κοινών πόρων.
3. Κατασκεύασε το μοντέλο.
4. Δοκίμασε το μοντέλο χρησιμοποιώντας το (αν μπορείς να γίνει κατά αντιπαράσταση με το πραγματικό σύστημα, όποτε τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα).
5. Τροποποίησε το μοντέλο αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο κι όρισε την αρχική του κατάσταση.

Τα πέντε βήματα δεν αποτελούν γραμμική διαδικασία, αφού κάθε ένα τροφοδοτεί τα επόμενα κι ανατροφοδοτεί τα προηγούμενα, οδηγώντας σε αρκετές επαναλήψεις τον αλγόριθμο μέχρι να μοντέλο να λάβει την οριστική του μορφή. Επιπλέον, η τελική μορφή αναθεωρείται οποτεδήποτε προκύψουν νέα δεδομένα, το μοντέλο αποδειχθεί ανεπαρκές για την περιγραφή καταστάσεων, επεκταθεί ή τροποποιηθεί η χρήση του συστήματος.

Η παραπάνω διαδικασία χωρίζεται στο στάδιο κατασκευής και το στάδιο προσομοίωσης του μοντέλου. Στο πρώτο, δημιουργούνται η βασική δομή κι οι κανόνες του μοντέλου για να του δώσουν την μορφή που μπορεί να περιγράψει τις καταστάσεις που συναντιόνται στο σύστημα. Στη συνέχεια το μοντέλο πρέπει να αναλυθεί με χρήση κατάλληλων εργαλείων και να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του,

ώστε να αποφευχθούν λάθη που δυσχεραίνουν τη χρήση του και μειώνουν την αποτελεσματικότητά του. Στο στάδιο του τρεξίματος, το μοντέλο διερευνάται κι εξετάζεται κατά πόσον η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σε αυτή του πραγματικού συστήματος. Κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά του μπορούν να τροποποιηθούν, αλλά η βασική του δομή παραμένει αναλλοίωτη.

## **2.2 Δίκτυα Petri**

### **2.2.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri**

Τα ΔΡ είναι ένα θεωρητικό μοντέλο ροής πληροφορίας. Οι έννοιες, ιδιότητες, χαρακτηριστικά, εργαλεία ανάλυσης και τεχνικές που σχετίζονται με αυτά αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια για εύρεση απλών, φυσικών κι αποτελεσματικών μεθόδων για περιγραφή κι ανάλυση της ροής πληροφορίας και του ελέγχου συστημάτων [3].

Τα δίκτυα Petri συνδυάζουν γραφικά και μαθηματικά εργαλεία για τη μοντελοποίηση συστημάτων που χαρακτηρίζονται ως παράλληλα, κατανεμημένα, ασύγχρονα, μη αιτιοκρατικά ή στοχαστικά. Οι δυνατότητες γραφικής αναπαράστασης τους αποκτούν επιπλέον αξία από το γεγονός ότι τα μοντέλα που κατασκευάζονται συντίθενται από μικρό αριθμό τύπων στοιχείων, με αποτέλεσμα να αποτελούν μια γλώσσα μοντελοποίησης, η χρήση της οποίας μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή [4]. Ως γραφικό εργαλείο τα ΔΡ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο απεικόνισης κι επικοινωνίας παρόμοιο με τα διαγράμματα ροής, τα λογικά δέντρα και τα δομικά διαγράμματα. Σε σχέση με άλλες τεχνικές γραφικής αναπαράστασης είναι κατάλληλα για αναπαράσταση με φυσικό τρόπο λογικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ή των δραστηριοτήτων σε ένα σύστημα. Τα ΔΡ συνδυάζοντας την έννοια της κατανεμημένης κατάστασης με ένα κανόνα αλλαγής κατάστασης, υλοποιούν τα στατικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά πραγματικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπολογιστικών εργαλείων που επιτρέπουν την προσομοίωση τους, τα καθιστούν ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο ανάπτυξης πολύπλοκων συστημάτων. Ως μαθηματικό εργαλείο χρησιμοποιούνται για την κατάστρωση εξισώσεων κατάστασης, αλγεβρικών εξισώσεων κι άλλων μαθηματικών μοντέλων που καθορίζουν τη συμπεριφορά των συστημάτων [5]. Επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από θεωρητικούς αλλά και από

εφαρμοσμένους επιστήμονες, αποτελούν ισχυρό μέσο επικοινωνίας και συνεννόησης μεταξύ μελών των δύο αυτών ομάδων [6].

Κάποιες από τις πλέον κοινές καταστάσεις συστημάτων διακριτών γεγονότων για την αναπαράσταση των οποίων χρησιμοποιούνται δίκτυα Petri περιλαμβάνουν αμοιβαία αποκλειόμενα γεγονότα, κατανομή κοινών πόρων σε ένα σύστημα, περιορισμούς προαπαιτούμενων κι ακολουθίες γεγονότων. Τα βασικότερα αντικείμενα για τα οποία χρησιμοποιούνται τα ΔΡ είναι η μοντελοποίηση, ανάλυση συμπεριφοράς, αξιολόγηση αποδοτικότητας, επιβεβαίωση δομικών ιδιοτήτων, προσομοίωση, παρακολούθηση, χρονοπρογραμματισμός, εποπτικός έλεγχος κι έλεγχος σε πραγματικό χρόνο συστημάτων [6]. Τα ΔΡ μπορούν να εντοπίσουν παράγοντες που δρουν περιοριστικά στην απόδοση ενός συστήματος, προτείνοντας παράλληλα αλλαγές και βελτιώσεις που θα βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του [7]. Επιπλέον, μπορούν να προσομοιώσουν τις δυναμικά εξελισσόμενες και παράλληλες δραστηριότητες των συστημάτων, επιτρέπουν την ιεραρχική μοντελοποίηση και τη μοντελοποίηση συστημάτων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας.

Οι επιστημονικοί τομείς στους οποίους έχουν μέχρι σήμερα χρησιμοποιηθεί τα δίκτυα Petri προέρχονται από χώρους με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ένας από τους τομείς στον οποίο παρατηρείται μεγάλος αριθμός και ποικιλία εφαρμογών των ΔΡ είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα συστήματα επεξεργασίας πληροφορίας. Προβλήματα σχετικά με ηλεκτρονικούς υπολογιστές στα οποία χρησιμοποιούνται ΔΡ αναφέρονται σε πρωτοκόλλα επικοινωνίας και κατανεμημένα συστήματα, συστήματα πολυμέσων, επεξεργασία δεδομένων, μεταγωγτιστές, τοπικά δίκτυα, ψηφιακά κυκλώματα, υπολογιστικά συστήματα ροής δεδομένων, πληροφοριακά συστήματα γραφείου, ηλεκτρονικές υπηρεσίες και κατανεμημένες ηλεκτρονικές επιχειρήσεις, μοντελοποίηση υλικού (hardware), ψηφιακά φίλτρα, συστήματα μνήμης πολλαπλών επεξεργαστών, αναζήτηση κι επαλήθευση γνώσης, συστήματα πολλαπλών πρακτόρων, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και κέντρα, VLSI, αλγοριθμικά συστατικά, παράλληλα προγράμματα και βάσεις δεδομένων.

Τα ΔΡ έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλούς ακόμα τομείς, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης κι αξιολόγησης αποδοτικότητας συστημάτων πολλών εξυπηρετητών - πολλαπλών ουρών, μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, εφοδιαστικών αλυσίδων, χημικών εργοστασίων, ενεργειακών συστημάτων, αυτοματοποίησης εργοστασίων, συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας (εναέριας ή επίγειας), προβλήματα χρονοπρογραμματισμού κι ελέγχου σιδηροδρομικών δικτύων, συστήματα στρατιωτικών εντολών κι ελέγχου, επιλογή

συμπεριφοράς πλοήγησης, εφαρμογές ρομποτικού ελέγχου, προσομοίωση πολλαπλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών και διαχείριση έργων.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επέκταση στη χρήση των δικτύων Petri σε εφαρμογές που απέχουν σημαντικά από τις παραδοσιακές εφαρμογές μηχανικών. Τέτοια παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μελέτη συμπεριφοράς κι αντίδρασης ομάδων ή ατόμων κάτω από δεδομένες συνθήκες, μοντέλα αποφάσεων, διαδικασιών εξέλιξης και νευρωνικών δικτύων, εφαρμογές προερχόμενες από την εργονομία (π.χ. διάγνωση σφαλμάτων [8]), εφαρμογές στην ιατρική και τη βιοτεχνολογία [9], μοντελοποίηση βιολογικών διαδικασιών (μεταβολικών διαδικασιών) και βιοχημεία, μοντελοποίηση οικολογικών διαδικασιών και περιβαλλοντικών θεμάτων [10].

### **2.2.2 Συνήθη δίκτυα Petri**

Τα συνήθη δίκτυα Petri (Ordinary Petri Nets - OPNs) αποτέλεσαν το βασικό μοντέλο για όλες τις παραλλαγές και επεκτάσεις που προέκυψαν στη συνέχεια. Το αρχικό μοντέλο δεν περιλαμβάνει σύνδεση με την έννοια του χρόνου, αλλά αναπαριστά ακολουθίες εκτέλεσης διακριτών γεγονότων καθώς και τις λογικές συνδέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μερών του υπό μελέτη συστήματος. Η ακολουθία εκτέλεσης των γεγονότων σε ένα σύστημα μοντελοποιημένο με ΔΡ είναι μια από τις επιτρεπόμενες από τη δομή του δικτύου, γεγονός που οδηγεί σε μη αιτιοκρατία στην εκτέλεση του.

#### **2.2.2.1 Δομικά στοιχεία δικτύων Petri**

Ένα ΔΡ είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που αποτελείται από δύο τύπους κόμβων τις θέσεις και τις μεταβάσεις, στο οποίο ένα σύνολο από αφηρημένες οντότητες που από εδώ και πέρα θα ονομάζονται τελείες (tokens) μετακινούνται, δημιουργούνται ή εξαφανίζονται. Γραφικά οι τελείες συμβολίζονται ως μαύρες τελείες (•) και δεν εμφανίζονται αυτόνομα στο δίκτυο, αλλά αλληλεπιδρούν με τους δύο τύπους κόμβων που το συνθέτουν.

Οι θέσεις περιγράφουν τις καταστάσεις (κάθε θέση μια μερική κατάσταση) και τους πόρους του συστήματος κι αντιπροσωπεύονται γραφικά από κύκλους (○). Οι θέσεις είναι τα παθητικά στοιχεία του δικτύου, που αναφέρονται και ως δίαυλοι κι είναι ικανά να αποθηκεύσουν υλικά (π.χ. κομμάτια σε μηχανές και αποθήκες) και μη (π.χ. πληροφορίες) συστατικά ενός συστήματος. Ο σκοπός των θέσεων είναι να

αναπαραστήσουν την αποκεντρωμένη φύση του συστήματος και την κατανεμημένη κατάσταση της πληροφορίας σε ένα σύνθετο σύστημα [11].

Οι μεταβάσεις έχουν την έννοια των γεγονότων που συμβαίνουν στο σύστημα κι η πραγματοποίησή τους μεταβάλλει την κατάσταση του. Γραφικά αντιπροσωπεύονται από τετράγωνα ή μπάρες ( $\square$  ή  $\text{—}$ ) κι αποτελούν τα ενεργά στοιχεία του συστήματος. Μια μετάβαση μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ενέργεια, μια διαδικασία, μια επεξεργασία, μια δραστηριότητα, το υπολογιστικό βήμα ενός αλγορίθμου, μια λογική πρόταση ή ένα επεξεργαστή σήματος [12]. Οι μεταβάσεις αναφέρονται και ως υπηρεσίες κι είναι ικανές να παράγουν, να μεταφέρουν ή να μετατρέπουν τελείες. Οι θέσεις μαζί με τις μεταβάσεις αναπαριστούν τη στατική δομή ενός δικτύου Petri ενώ οι τελείες καθορίζουν τη δυναμική του κατάστασης.

Τα στοιχεία των δύο συνόλων κόμβων συνδέονται με χρήση προσανατολισμένων τόξων (τα τόξα συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις ή το αντίστροφο, αλλά ένα τόξο δεν επιτρέπεται να συνδέσει στοιχεία του ίδιου συνόλου). Τα τόξα αναπαριστούν φυσική σύνδεση, δικαιώματα πρόσβασης, λογικές συνδέσεις μεταξύ θέσεων και μεταβάσεων, απαίτηση σε πόρους, την εξαγωγή συμπερασμάτων, ενώ καθορίζουν την προτεραιότητα στην εκτέλεση ανταγωνιζόμενων εργασιών ή τη σειρά με την οποία κάποιες εργασίες θα εκτελεστούν. Γενικά, κάθε τόξο συνοδεύεται από ένα θετικό ακέραιο που αντιπροσωπεύει το βάρος πολλαπλότητας του. Σε περίπτωση που για κάποιο τόξο δεν εμφανίζεται ο αριθμός αυτός, το βάρος του θεωρείται μοναδιαίο. Στα συνήθη ΔΡ, τα βάρη όλων των τόξων είναι ίσα με τη μονάδα.

Οι τελείες αποθηκεύονται μέσα στις θέσεις του δικτύου, ενώ ταξιδεύουν μέσω των τόξων κι η ροή τους στο δίκτυο ρυθμίζεται από τις μεταβάσεις που τίθενται σε ετοιμότητα από την παρουσία τους στις κατάλληλες θέσεις. Όταν μια θέση περιέχει μεγάλο αριθμό τελειών αναγράφεται μέσα σε αυτή ο αντίστοιχος αριθμός. Οι τελείες σε μια θέση αναπαριστούν τη διαθεσιμότητα ενός πόρου, την κατάσταση του πόρου (π.χ. αν μια μηχανή είναι διαθέσιμη ή όχι), υποθέσεις ή σήματα εισόδου κι εξόδου. Το βάρος πολλαπλότητας ενός τόξου αντιστοιχεί στον αριθμό από τελείες που προστίθενται ή αφαιρούνται στη θέση εισόδου (ή στις θέσεις εισόδου) ή εξόδου αντίστοιχα της μετάβασης που λειτουργεί.

### 2.2.2.2 Μαθηματικός ορισμός συνήθων δικτύων Petri

Ένα σύνηθες δίκτυο Petri είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που ορίζεται από την πεντάδα στοιχείων:  $\Delta P = \{P, T, I, O, m_0\}$ , όπου :

- $P = \{p_1, p_2 \dots p_{np}\}$  είναι ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από θέσεις.
- $T = \{t_1, t_2 \dots t_{nt}\}$  ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από μεταβάσεις.

Η τομή των συνόλων των θέσεων και των μεταβάσεων είναι το κενό σύνολο ( $P \cap T = \emptyset$ ), ενώ η ένωση τους ορίζει το σύνολο  $V$  των κόμβων του δικτύου  $P \cup T = V$ .

- $I: (P \times T) \rightarrow N$  είναι ο πίνακας συμβάντων εισόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των τόξων με κατεύθυνση από θέσεις προς μεταβάσεις.
- $O: (P \times T) \rightarrow N$  είναι ο πίνακας συμβάντων εξόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των κατευθυνόμενων τόξων από μεταβάσεις προς θέσεις αντίστοιχα.

Το σύνολο των τόξων ενός δικτύου Petri  $A$ , είναι  $A = I \cup O$ . Το αναπαριστά το σύνολο των μη αρνητικών ακεραίων αριθμών.

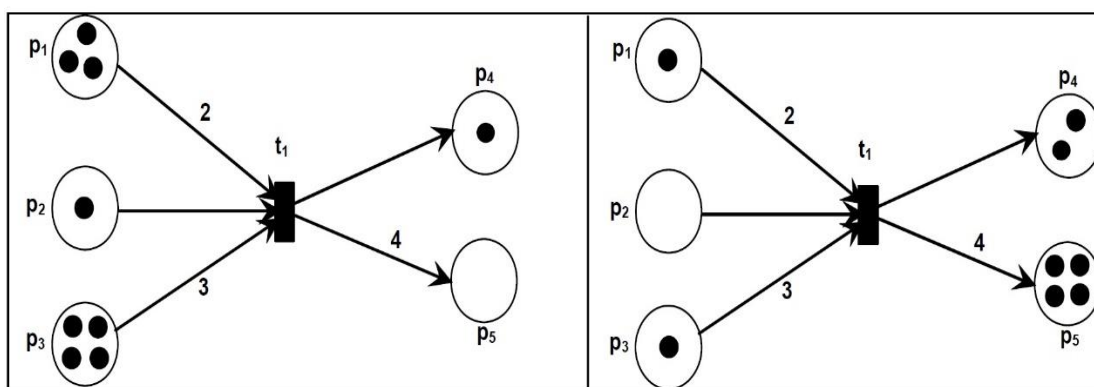
- $m_0$  συμβολίζεται η αρχική σήμανση του  $\Delta P$ , δηλαδή η αρχική κατανομή των τελειών στις θέσεις του (οι αριθμοί τελειών που βρίσκονται σε κάθε θέση).

### 2.2.2.3 Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων

Για να ενεργοποιηθεί μια μετάβαση, πρέπει να είναι πρώτα σε ετοιμότητα. Στα συνήθη  $\Delta P$  μια μετάβαση είναι σε ετοιμότητα (enabled) όταν όλες οι θέσεις εισόδου της περιέχουν τουλάχιστον μια τελεία. Δηλαδή, η  $t \in T$  είναι σε ετοιμότητα αν  $m(p_j) > 0$  για κάθε  $p_j \in P$  για το οποίο ισχύει  $I(p_j, t) = 1$ . Οι θέσεις εισόδου μιας μετάβασης έχουν δηλαδή την έννοια των προϋποθέσεων για την ενεργοποίησή της. Γενικά, μια μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα όταν όλες οι θέσεις εισόδου περιέχουν αριθμό από τελείες μεγαλύτερο ή ίσο των βαρών των αντίστοιχων τόξων σύνδεσης της μετάβασης με τις θέσεις εισόδου. Μία μετάβαση ενεργοποιείται (fires) μέσω της απομάκρυνσης τελειών από τις θέσεις εισόδου της και της προσθήκης τελειών στις θέσεις εξόδου της, σύμφωνα με τα βάρη των αντιστοιχών τόξων. Ο αριθμός των τελειών που αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου δεν είναι πάντα ίδιος με τον αριθμό τελειών που προστίθενται στις θέσεις εξόδου. Ο παραπάνω μηχανισμός ενεργοποίησης μεταβάσεων είναι γνωστός κι ως “token game”.



Υπάρχουν περιπτώσεις που μια μετάβαση σε ετοιμότητα δεν ενεργοποιείται, όπως για παράδειγμα όταν περισσότερες από μια μεταβάσεις έχουν μια κοινή θέση εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Στην πράξη, το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε προβλήματα κατανομής κοινών πόρων σε ένα σύστημα και σε προβλήματα αμοιβαία αποκλειόμενων γεγονότων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μεταβολή της κατανομής τελειών σε ένα απλό ΔΡ που προκαλείται από την ενεργοποίηση της μετάβασης του.



Εικόνα 1: Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του

Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εισόδου ονομάζεται μετάβαση πηγής (source transition) και τροφοδοτεί με τελείες το σύστημα χωρίς να καταναλώνει κάποιες από τις υπάρχουσες. Το φαινόμενο αυτό αντιστοιχεί στην εμφάνιση για παράδειγμα μη ελεγχόμενων γεγονότων, όπως οι βλάβες κι οι αφίξεις παραγγελιών σε ένα σύστημα. Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εξόδου ονομάζεται μετάβαση βύθισης (sink transition) και καταναλώνει τελείες χωρίς να παράγει νέες. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται για παράδειγμα σε ένα σύστημα όταν τα έτοιμα προϊόντα απομακρύνονται για να παραδοθούν στους πελάτες.

#### 2.2.2.4 Σημάνσεις δικτύων Petri

Η κατάσταση ενός ΔΡ περιγράφεται κάθε στιγμή από τη σήμανσή του, η οποία προκύπτει από την αντιστοίχιση σε κάθε θέση ενός μη αρνητικού ακέραιου αριθμού που αναπαριστά τον αριθμό από τελείες που βρίσκονται σε αυτή την τρέχουσα στιγμή. Η σήμανση ενός ΔΡ συμβολίζεται με το γράμμα  $m$  και είναι ένα διάνυσμα μεγέθους ίσου με τον αριθμό θέσεων του. Η αρχική σήμανση ενός ΔΡ είναι υπεύθυνη για όλες τις σημάνσεις που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση των διαδοχικών ενεργοποιήσεων. Οι σημάνσεις αυτές συμβολίζονται ως  $m_i$ , όπου ο

δείκτης  $i$  είναι θετικός ακέραιος αριθμός που δείχνει τον αύξοντα αριθμό της τρέχουσας ενεργοποίησης.

Όταν σε ένα ΔΡ η κατάσταση του οποίου περιγράφεται αρχικά από τη σήμανση  $m_i$ , ενεργοποιηθεί μια μετάβαση  $t_j$  σε ετοιμότητα, προκύπτει η νέα του σήμανση  $m_{i+1}$  που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$m_{i+1}(p_j) = m_i(p_j) + O(p_j, t_i) - I(p_j, t_i), \text{ για } j = 1, 2, \dots, n$$

όπου  $n$  ο αριθμός των θέσεων που συνθέτουν το δίκτυο. Η σήμανση  $m_{i+1}$  λέγεται προσεγγίσιμη από την αρχική σήμανση  $m_i$ . Η αλλαγή κατάστασης του ΔΡ από  $m_{i+1}$  σε  $m_{i+1}$  λόγω της ενεργοποίησης της  $t_j$  συμβολίζεται ως:  $m_i \xrightarrow{t_j} m_{i+1}$ .

#### **2.2.2.5 Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔΡ**

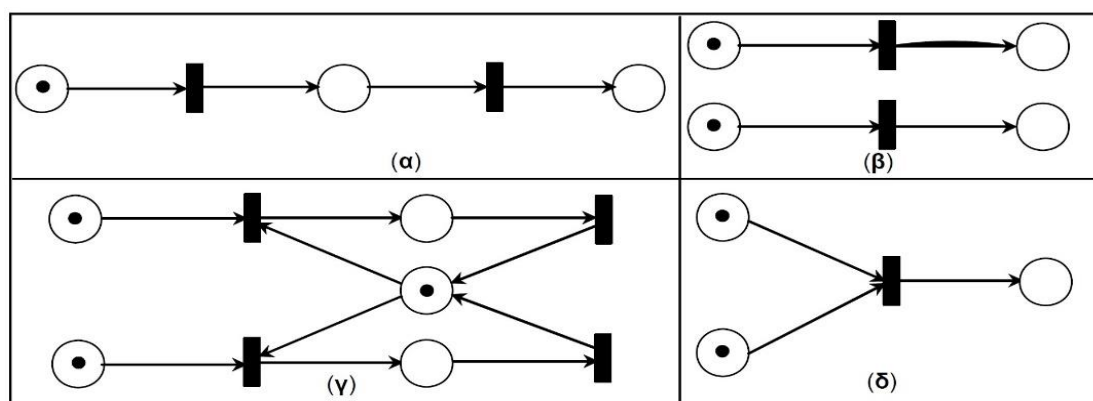
Οι πιο βασικές καταστάσεις που εμφανίζονται κατά τη μελέτη συστημάτων διακριτών γεγονότων είναι η ακολουθία γεγονότων, η παραλληλία, ο αμοιβαίος αποκλεισμός κι ο συγχρονισμός. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ΔΡ ανταποκρίνονται στις ανάγκες μοντελοποίησης τους. Δύο επιπλέον καταστάσεις συνήθεις για τα συστήματα διακριτών γεγονότων είναι το αδιέξοδο και η σύγκρουση.

Η ακολουθία ή ακολουθιακή συμπεριφορά αναφέρεται σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από δύο μεταβάσεις, όπου η θέση εξόδου της πρώτης αποτελεί τη θέση εισόδου της δεύτερης. Στην περίπτωση αυτή η δεύτερη μετάβαση δε μπορεί να ενεργοποιηθεί αν δεν προηγηθεί ενεργοποίηση της πρώτης. Η παραλληλία ή ταυτοχρονισμός συμβαίνει όταν δύο μεταβάσεις είναι σε ετοιμότητα και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (δεν έχουν κοινές εισόδους, ή οι θέσεις εξόδου της μιας δεν αποτελούν εισόδους στην άλλη), οπότε μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός συνδέεται με την ύπαρξη κοινών πόρων σε ένα σύστημα. Σε αυτόν, δύο μεταβάσεις είναι παράλληλα σε ετοιμότητα σε κάποια σήμανση, όμως δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν κι οι δύο εξαιτίας της ύπαρξης κοινής θέσης εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Η ενεργοποίηση της μιας μετάβασης αφαιρεί την ετοιμότητα της άλλης, η οποία έχει μια τουλάχιστον κενή θέση εισόδου. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός αποτελεί περίπτωση σύγκρουσης. Σε περιπτώσεις συγκρούσεων, η επιλογή της μετάβασης που θα ενεργοποιηθεί, μπορεί να γίνει με διαφορετικά κριτήρια, όπως την ύπαρξη προτεραιοτήτων, τη συνολική

κατάσταση του συστήματος, την απόδοση πιθανοτήτων, την ετοιμότητα των μεταβάσεων σε διαφορετικό χρόνο κτλ.

Ο συγχρονισμός παρατηρείται όταν μια μετάβαση έχει περισσότερες από μια θέσεις εισόδου. Στην περίπτωση αυτή, η μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα μέχρι να βρεθούν τελείες σε όλες της τις θέσεις εισόδου. Χαρακτηριστική περίπτωση κατεργασίας που είναι αναγκαίος ο συγχρονισμός αποτελούν οι συναρμολογήσεις στα συστήματα παραγωγής. Η αναπαράσταση με δίκτυα Petri των παραπάνω γεγονότων παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Αδιέξοδο εμφανίζεται σε ένα ΔΡ όταν φτάσει σε μια κατάσταση όπου καμία μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί και συνεπώς η εκτέλεση του δικτύου διακόπτεται. Με λίγες εξαιρέσεις (π.χ. όταν μελετάται η εξυπηρέτηση συγκεκριμένου αριθμού πελατών σε ένα σύστημα), πρόκειται για ανεπιθύμητη κατάσταση που οφείλεται σε λάθος σχεδιασμού, κι απαιτεί τον επανασχεδιασμό μέρους του συστήματος ή του μοντέλου του [13].



Εικόνα 2: Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού

## 2.3 Επεκτάσεις δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι επεκτάσεις ΔΡ που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη για τη μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής διάφορων κατηγοριών. Συγκεκριμένα, ορίζονται και παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των χρονικών ΔΡ καθώς κι οι

επεκτάσεις τόξων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με το αρχικό μοντέλο ή τις επεκτάσεις του. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι επεκτάσεων που δεν παρουσιάζονται αφού δεν εντάσσονται στους σκοπούς της μελέτης αυτής.

### 2.3.1 Χρονικά δίκτυα Petri

Τα χρονικά ΔΡ χρησιμοποιούνται για την ποσοτική ανάλυση αποδοτικότητας και τον έλεγχο αξιοπιστίας συστημάτων στο πέρασμα του χρόνου. Στα χρονικά ΔΡ εισάγεται στη λειτουργία του δικτύου η έννοια του χρόνου, την οποία είχε εσκεμμένα παραλείψει ο Petri [14], αφού θεωρούσε ανεπιθύμητες κάποιες συνέπειες της. Η εισαγωγή της έννοιας του χρόνου γίνεται συνδέοντας χρονικές καθυστερήσεις με τους κόμβους του δικτύου. Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορούν να συνδέονται και με τους δύο τύπους κόμβων, όμως για λόγους ευκολίας ανάλυσης προτιμάται όλες οι καθυστερήσεις να συνδέονται είτε με θέσεις είτε με μεταβάσεις [15]. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται ΔΡ στα οποία οι χρόνοι έχουν συνδεθεί με τις μεταβάσεις, τα οποία ονομάζονται t-χρονικά δίκτυα Petri. Σε αυτά η χρονική καθυστέρηση μεσολαβεί από τη στιγμή που η μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα μέχρι να ενεργοποιηθεί.

Ένα χρονικό δίκτυο Petri ορίζεται αυστηρά από την εξάδα από στοιχεία:

$$TPN = \{P, T, I, O, m_0, D\}$$

Τα πέντε πρώτα στοιχεία είναι αυτά που περιγράφηκαν στον αντίστοιχο ορισμό των συνήθων δικτύων Petri και το D είναι ένα διάνυσμα m στοιχείων που αναπαριστά τις χρονικές καθυστερήσεις των μεταβάσεων κι είναι συνάρτηση από το σύνολο των μη-αρνητικών πραγματικών αριθμών  $(0, \infty)$ . Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορεί να είναι σταθερές (αιτιοκρατικά ΔΡ), να είναι τυχαίες μεταβλητές (π.χ. να ακολουθούν εκθετικές, ομοιόμορφες κτλ. κατανομές οπότε πρόκειται για στοχαστικά ΔΡ) ή ακόμα και να είναι συναρτήσεις των σημάνσεων θέσεων του δικτύου.

Η δραστηριότητα που περιγράφει μια μετάβαση, ολοκληρώνεται με δύο διαδοχικά στοιχειώδη γεγονότα. Ο χρόνος μεταξύ των δύο γεγονότων μπορεί να είναι μηδενικός, οπότε πρόκειται για άμεση μετάβαση ή όχι οπότε η μετάβαση ενεργοποιείται με καθυστέρηση και ονομάζεται χρονική. Για λόγους καλύτερης διάκρισης των όσων ισχύουν, με μαύρο χρώμα (■) συμβολίζονται οι άμεσες μεταβάσεις και με λευκό (□) οι χρονικές μεταβάσεις. Οι τελείες αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου κατά την πραγματοποίηση του πρώτου στοιχειώδους γεγονότος και τοποθετούνται στις θέσεις εξόδου με την πραγματοποίηση του δεύτερου [16], [17].

Για παράδειγμα, η επιδιόρθωση μιας μηχανής ξεκινάει με το γεγονός «έναρξη επιδιόρθωσης» και τελειώνει με την «ολοκλήρωση επιδιόρθωσης».

Οι ιδιότητες και τα εργαλεία ανάλυσης των χρονικών δικτύων Petri είναι τα ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν για τα συνήθη δίκτυα Petri. Παρόλα αυτά, αν επιχειρηθεί η ανάλυση ενός χρονικού ΔΡ μέσω του αντίστοιχου συνήθους, θα οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα εξαιτίας του μη συνυπολογισμού του χρόνου.

### 2.3.2 Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri

Συχνά, το σύνολο τόξων  $A$  ενός ΔΡ, χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, το υποσύνολο των συνήθων τόξων και το υποσύνολο των άλλων τύπων τόξων (επεκτάσεων). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι δύο πλέον δημοφιλείς τύποι επεκτάσεων τόξων, τα τόξα ενεργοποίησης (activator arcs) και τα τόξα παρεμπόδισης (inhibitor arcs) [18] - [21]. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των κατηγοριών τόξων είναι πως έχουν κατεύθυνση μόνο από θέσεις προς μεταβάσεις κι όχι αντίστροφα, καθώς επίσης και το ότι δε συμβαίνει ροή τελειών μέσω αυτών, αλλά χρησιμοποιούνται για να θέσουν σε ετοιμότητα ή να εμποδίσουν την ενεργοποίηση μεταβάσεων με βάση την παρουσία τελειών σε συγκεκριμένες θέσεις.

- Ένα τόξο ενεργοποίησης βάρους  $W$  με κατεύθυνση από μια θέση  $p_i$  προς μια μετάβαση  $t_j$ , επιτρέπει στην  $t_j$  να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) \geq W$$

- Ένα τόξο παρεμπόδισης βάρους  $W$  με κατεύθυνση από θέση  $p_i$  προς μετάβαση  $t_j$ , επιτρέπει στην  $t_j$  να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί, μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) < W$$

Για λόγους διάκρισης, τα συνήθη τόξα αναπαρίστανται με απλά βέλη ( $\rightarrow$ ), τα τόξα ενεργοποίησης έχουν διακεκομμένη γραμμή ( $\dashrightarrow$ ) και τα τόξα παρεμπόδισης αναπαρίστανται ως βέλη με ένα μικρό κύκλο στο τέλος τους ( $\rightarrow\circ$ ).

Πρέπει να σημειωθεί πως στην περίπτωση που ένα ΔΡ είναι  $k$ -περιορισμένο, τα τόξα ενεργοποίησης και παρεμπόδισης μπορούν να αντικατασταθούν από

ισοδύναμες δομές συνήθων ΔΡ [22]. Το κύριο χαρακτηριστικό στην περίπτωση αυτή είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα, αφού για την αντικατάσταση ενός τόξου απαιτείται ολόκληρη δομή συνήθους δικτύου Petri. Οι επεκτάσεις τόξων βοηθούν σημαντικά την απόδοση προτεραιοτήτων και την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ μεταβάσεων.

### 2.3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των ΔΡ και τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με άλλες μεθόδους μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων, όπως αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία [11], [23] - [25]. Τα στοιχεία αυτά οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου εργαλείου ως εργαλείο υλοποίησης στην παρούσα μελέτη.

Τα ΔΡ αποτελούν ένα καλά ορισμένο γραφικό και μαθηματικό φορμαλισμό μοντελοποίησης, σε αντίθεση με άλλες αντίστοιχες τεχνικές, όπου η μια από τις δύο αυτές ιδιότητες είναι καλά ανεπτυγμένη ενώ η άλλη έχει προστεθεί με λιγότερο συστηματικό τρόπο. Να σημειωθεί πως και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά των ΔΡ είναι υψηλής σημασίας, αφού η διαδικασία ανάπτυξης απαιτεί τη χρήση γραφικών αλλά και αλγοριθμικών εργαλείων. Το γραφικό περιβάλλον βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση και το μαθηματικό υπόβαθρο στην κατάστρωση εξισώσεων και προσομοίωση των μοντέλων που προκύπτουν. Η προσομοίωση αποτελεί το βασικότερο εργαλείο ανάλυσης αποδοτικότητας των ΔΡ.

Στη μεγάλη απήχηση των ΔΡ στην επιστημονική κοινότητα συντελεί το γεγονός πως μπορούν να αναπαραστήσουν αποτελεσματικά όλα τα βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων διακριτών γεγονότων με αλληλεπιδρώντα συστατικά μέρη, δηλαδή την ακολουθία γεγονότων, την παραλληλία, το συγχρονισμό, τον αμοιβαίο αποκλεισμό, την κατανομή κοινών πόρων, την ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων διεργασιών, την τυχαιότητα, την εμφάνιση αδιεξόδων και τις συγκρούσεις. Ουσιαστικά, τα δομικά στοιχεία (θέσεις, μεταβάσεις και τρόποι σύνδεσης τους) των ΔΡ περιγράφουν τη στατική δομή ενός συστήματος, ενώ οι τελείες αναπαριστούν κάθε στιγμή τη δυναμική του κατάσταση.

Έχει οριστεί μεγάλος αριθμός επεκτάσεων του αρχικού μοντέλου που βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες αναπαράστασης του. Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουν μεταξύ άλλων την πληρέστερη ποσοτική ανάλυση συστημάτων (χρονικά ΔΡ), την αναπαράσταση συνεχών ή υβριδικών συστημάτων (συνεχή και υβριδικά ΔΡ), την πιο συμπυκνωμένη αναπαράσταση συστημάτων μέσω της σύνδεσης θέσεων με διαφορετικούς τύπους τελειών, όπου κάθε τύπος τελείας

συνδέεται με διαφορετικές δομές δεδομένων (υψηλού επιπέδου ΔΡ όπως για παράδειγμα τα έγχρωμα ΔΡ), την αναπαράσταση μη βεβαίας γνώσης για την κατάσταση ενός συστήματος (ασαφή ΔΡ), τη δυνατότητα εξωτερικοί ελεγκτές να επηρεάσουν την εξέλιξη της κατάστασης των τελειών στο δίκτυο (ελεγχόμενα ΔΡ), την αναπαράσταση υποθετικού λόγου (ΔΡ με επεκτάσεις τόξων) και ΔΡ στα οποία ένα δίκτυο μπορεί να αποτελέσει τελεία ενός άλλου δικτύου (αντικειμενοστραφή ΔΡ). Επίσης τα ΔΡ είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την ιεραρχική μοντελοποίηση συστημάτων, αφού μια θέση ή μια μετάβαση μπορεί να αντικατασταθεί από ένα υποδίκτυο για να παρέχει πιο λεπτομερή περιγραφή κάποιων συστατικών μερών (για τις ανάγκες αυτές έχει αναπτυχθεί κατηγορία ιεραρχικών επεκτάσεων ΔΡ).

Η μεταβολή της κατάστασης σε ένα ΔΡ ορίζεται από τη ροή των τελειών μέσα σε αυτό. Αυτό σημαίνει πως μια περιορισμένη σε μέγεθος δομή ΔΡ μπορεί να αναπαραστήσει μεγάλο πλήθος διαφορετικών καταστάσεων καθώς κι αλλαγές των αρχικών χαρακτηριστικών του μοντέλου ( $m_o$ ), κάτι που δεν ισχύει για άλλες μεθόδους μοντελοποίησης όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων και τα αυτόματα που αναπαριστούν ένα σταθερό σύνολο καταστάσεων (κάθε κατάσταση αναπαρίσταται από ένα κόμβο) και πρέπει να τροποποιηθούν συνολικά όταν μεταβάλλονται οι πληροφορίες των αρχικών καταστάσεων. Ακόμα, τα αυτόματα έχουν αποδειχθεί στην πράξη ανεπαρκή για την περιγραφή παράλληλων δραστηριοτήτων, ενώ οι τελείες στα ΔΡ μπορούν σαφώς να αναπαραστήσουν ταυτόχρονα την κατάσταση πολλαπλών συστατικών μερών του συστήματος. Αυτό προκύπτει από το ότι τα αυτόματα αναπαριστούν την κατάσταση του συνολικού συστήματος σε μια χρονική στιγμή, ενώ τα ΔΡ περιγράφουν τις καταστάσεις των συστατικών του μερών ανεξάρτητα. Τα ΔΡ είναι το πιο κατάλληλο εργαλείο μοντελοποίησης για την αναπαράσταση συστημάτων με επαναλαμβανόμενες δομές και ροές και μεγάλους χώρους προσεγγίσιμων καταστάσεων. Η χρήση λεκτικών περιγραφών ή μαθηματικών παραστάσεων στις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων δυσκολεύει την κατανόηση των μοντέλων από μη ειδικούς σε σχέση με την απλή γραφική αναπαράσταση των ΔΡ η οποία κάνει δυνατή την οπτικοποίηση της ροής καταστάσεων σε ένα σύστημα και τον εντοπισμό των εξαρτήσεων μεταξύ των μερών του. Επίσης, η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση συστημάτων που μπορεί να γίνει σε συστήματα μοντελοποιημένα με ΔΡ είναι πιο ολοκληρωμένη και μπορεί να δώσει πιο σημαντικά αποτελέσματα, ενώ η χρήση τους μπορεί να συνδυαστεί με πλήθος άλλων εργαλείων στα πλαίσια μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών.

Τα ΔΡ εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα κι έναντι των αλυσίδων Markov. Στα ΔΡ ο αριθμός θέσεων και μεταβάσεων του μοντέλου αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της πολυπλοκότητας του υπό μελέτη συστήματος, ενώ στην ίδια περίπτωση ο αριθμός καταστάσεων της αντίστοιχης αλυσίδας Markov αυξάνει εκθετικά. Επίσης,

η δυνατότητα χρήσης θεμελιωδών υποσυστημάτων κατά τη σχεδίαση ενός ΔΡ επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση του κι επέκταση του όταν αυτό είναι αναγκαίο προσθέτοντας τις αναγκαίες θέσεις μεταβάσεις και τελείες. Στην περίπτωση των αλυσίδων Markov η παραμικρή τροποποίηση του συστήματος απαιτεί τον εκ νέου ορισμό όλων των καταστάσεων του μοντέλου. Να σημειωθεί πως η αλυσίδα Markov ενός ΔΡ μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα μέσω του γράφου προσεγγισιμότητας του και να χρησιμοποιηθεί για παραπέρα ανάλυση αποδοτικότητας του συστήματος.

Επιπλέον πλεονέκτημα των ΔΡ αποτελεί το γεγονός πως έχουν αναπτυχθεί πλήρεις τεχνικές για την ανάλυση ιδιοτήτων (γράφοι προσεγγισιμότητας και καλυψιμότητας, πίνακας συμβάντων και αναλλοίωτα) των μοντέλων που υλοποιούνται. Ακόμα έχει αναπτυχθεί μεγάλη ποικιλία προγραμμάτων σχεδιασμού, προσομοίωσης κι ανάλυσης μοντέλων υλοποιηθέντων με διάφορες κατηγορίες ΔΡ, αρκετά από τα οποία είναι ελεύθερα διαθέσιμα από το διαδίκτυο. Η χρήση ΔΡ σε συνδυασμό με προσεγγίσεις θεμελιωδών υποσυστημάτων, επιτρέπουν την εύκολη τροποποίηση, ανανέωση κι επέκταση κομματιών των μοντέλων που έχουν υλοποιηθεί, χωρίς να απαιτείται αλλαγή ολόκληρου του μοντέλου.

Τα δίκτυα Petri επιτρέπουν ακόμα την υλοποίηση στρατηγικών εποπτικού ελέγχου για την εξάλειψη επικινδύνων καταστάσεων από τη λειτουργία ενός συστήματος. Δύο κύριες προσεγγίσεις εποπτικού ελέγχου βασισμένου σε δίκτυα Petri, είναι ο εποπτικός έλεγχος χαρτογράφησης (mapping supervisor), όπου η πολιτική ελέγχου υπολογίζεται από ένα ελεγκτή πραγματικού χρόνου ως συνάρτηση ανατροφοδότησης της σήμανσης του ΔΡ και ο εποπτικός έλεγχος ενσωματωμένου ελεγκτή(compiled supervisor), όπου η πολιτική ελέγχου αναπαρίσταται στη δομή του δικτύου.

## 2.4 Προσομοίωση

Η έννοια της προσομοίωσης (simulation) εμφανίστηκε αρχικά στο χώρο της επιστημονικής έρευνας ως τεχνική μελέτης των αποτελεσμάτων μιας δράσης πάνω σε ένα φαινόμενο χωρίς να απαιτείται παρέμβαση στο ίδιο το φαινόμενο. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την κατανόηση αρχών λειτουργίας πολλών φυσικών, βιολογικών και κοινωνικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή [26].



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. Αν οι σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συστήματος είναι απλές, τότε είναι δυνατή η εύρεση λύσεων κλειστής μορφής, οπότε λέμε ότι το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο σε συστήματα που περιγράφονται από πολύπλοκα μοντέλα και διάνυσμα κατάστασης μεγάλων διαστάσεων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για την μελέτη αυτών των συστημάτων 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 αποτυπώνοντας ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του συστήματος στο χρόνο. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος.

Η προσομοίωση ευρίσκει εφαρμογές:

- Στην ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Στον έλεγχο αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Στη μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)
- Στη μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία, τηλεπικοινωνίες)
- Στην αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (χρηματιστήριο, επενδύσεις, marketing).

Με την προσομοίωση μπορεί κανείς να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα ή απόδοση ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευασθεί με σκοπό τη βέλτιστη σχεδίαση του και έχει στόχο την οικονομικότερη, ταχύτερη και λιγότερο επικίνδυνη απεικόνιση της πραγματικότητας σε υπολογιστικό περιβάλλον.

## 2.5 Πρόβλεψη

Η πρόβλεψη αποτελεί την διαδικασία υπολογισμού μιας τιμής του μέλλοντος με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για το παρελθόν και το παρόν αλλά και την ανάλυση των τάσεων. Για την επίτευξη μιας όσο το δυνατόν ακριβέστερης πρόβλεψης, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση τα δεδομένα να είναι ενημερωμένα. Ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα είναι κεντρικής σημασίας για την πρόβλεψη, γι' αυτό το σκοπό δηλώνεται και ο βαθμός αβεβαιότητας.

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές συνθήκες ως αποτέλεσμα του παγκόσμιου ανταγωνισμού και των ραγδαίων τεχνολογικών αλλαγών ασκούν πιέσεις στις επιχειρήσεις για όσο το δυνατόν πιο ακριβείς προβλέψεις. Οι προβλέψεις είναι αναγκαίες προκειμένου να καθορίσει μια επιχείρηση τους πόρους που θα χρειαστεί και τις ανάγκες της σε προσωπικό, να προγραμματίσει την διαδικασία παραγωγής και τις δραστηριότητες της με σκοπό να ολοκληρώσει έγκαιρα όλες τις μελλοντικές ανάγκες της αγοράς. Οι ακριβείς προβλέψεις επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αξιοποιούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες του εξοπλισμού, να διαχειρίζονται αποτελεσματικά το προσωπικό τους, να μειώνουν τους μέσους χρόνους και κατά συνέπεια τα μέσα κόστη παραγωγής καθώς και να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο το απόθεμα πρώτων υλών και προϊόντων [27] – [30]. Πρέπει να σημειωθεί πως οποιαδήποτε μέθοδος πρόβλεψης και να χρησιμοποιηθεί, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα αφού πολλοί τυχαίοι παράγοντες συμβάλουν σε αυτό. Το ζητούμενο μιας αποτελεσματικής μεθόδου πρόβλεψης είναι οι αποκλίσεις αυτές να είναι οι μικρότερες δυνατές κι η επιλογή της μεθοδολογίας που θα χρησιμοποιηθεί τελικά πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πρόβλεψη, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργούν σήμερα οι επιχειρήσεις, είναι αναγκαία και μια από τις πλέον σημαντικές λειτουργίες της διοικήσεως των επιχειρήσεων. Επιπλέον, η πρόβλεψη καλύπτει τις πληροφοριακές ανάγκες των διαφόρων λειτουργικών τμημάτων των επιχειρήσεων και δρα υποστηρικτικά των αποφάσεων που λαμβάνουν. Ωστόσο, μια πρόβλεψη όσο ακριβής και αν είναι δεν δύναται να εξαλείψει εντελώς το στοιχείο της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το σημερινό περιβάλλον λειτουργίας των επιχειρήσεων. Αποτελεί όμως σημαντική πηγή πληροφόρησης για τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων, καθώς περιορίζει, κατά το μέτρο του δυνατού, το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Οι μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να βασιστούν είτε σε μαθηματικά μοντέλα με τη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων, είτε σε ποιοτικές μεθόδους

βασισμένες στην διοικητική εμπειρία των στελεχών της επιχείρησης, είτε σε συνδυασμό και των δύο. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους πρόβλεψης, τα πλεονεκτήματα αλλά και οι περιορισμοί τους και τέλος θα πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για την ζήτηση διαφορετικών τύπων δερμάτων χρησιμοποιώντας δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την υπό μελέτη βιομηχανία. Η πρόβλεψη που θα πραγματοποιηθεί στο σχετικό κεφάλαιο, αφορά την ζήτηση συσκευασιών για το έτος 2016. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί για κάθε τύπο συσκευασίας ξεχωριστά χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα την ζήτηση σε κάθε τύπο για τα έτη 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 και 2015.

Η ζήτηση νερού (όλων των τύπων συσκευασιών) δεν θεωρείται σταθερή και ομαλά κατανομημένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται έντονη εποχικότητα αλλά και αύξηση της ζήτησης κυρίως σε περιόδους όπου αυξάνεται ο τουρισμός στην Ελλάδα, δηλαδή την άνοιξη, το καλοκαίρι. Το φαινόμενο αυτό όμως δεν μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια κατά τη διαδικασία πρόβλεψης καθώς εμφανίζεται σε τυχαίες περιόδους και εξαρτάται άμεσα από την τάση της αγοράς.

### **2.5.1 Διαδικασία πρόβλεψης**

Η διαδικασία της πρόβλεψης αποτελείται από συνολικά πέντε διαδοχικά στάδια τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια:

- Καθορισμός προβλήματος (problem definition). Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί τις περισσότερες φορές το δυσκολότερο μέρος της πρόβλεψης αλλά ταυτόχρονα και το πιο σημαντικό. Αυτό συμβαίνει γιατί θα πρέπει να καταστούν σαφή θέματα που σχετίζονται κυρίως με τον τρόπο χρήσης των προβλέψεων αλλά και από το ποιοι θα τις χρησιμοποιήσουν.
- Συγκέντρωση πληροφοριών (information gathering). Το συγκεκριμένο στάδιο χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Τις πληροφορίες που αποτελούν στατιστικά, συνήθως αριθμητικά δεδομένα και εκείνες που σχετίζονται με την κρίση, την πείρα και την εμπειρία όσων ασχολούνται με το υπό μελέτη αντικείμενο. Οι πληροφορίες είναι απαραίτητο να συλλεχθούν πριν από την έναρξη της διαδικασίας της πρόβλεψης και παράλληλα να είναι σαφώς ορισμένες και κατατοπιστικές.
- Προκαταρκτική ανάλυση (exploratory analysis). Το συγκεκριμένο στάδιο σχετίζεται με το είδος της πληροφορίας που μπορεί να προκύψει από την ακατέργαστη πληροφορία που έχει ήδη συλλεχθεί. Αρχικά, γίνεται

γραφική αναπαράσταση των δεδομένων και υπολογίζονται μια σειρά από στατιστικούς δείκτες όπως π.χ. η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο καθώς και η γραμμική τάση. Οι δείκτες αναδεικνύουν κάποια δευτερεύοντα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, έτσι ώστε να προκύψει μια ολοκληρωμένη εικόνα των δεδομένων, δίδοντας παράλληλα απαντήσεις σε ερωτήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη λανθασμένων προτύπων, την ύπαρξη σημαντικής τάσης ή/και εποχικότητας όπως επίσης αν υπάρχουν ασυνήθιστες τιμές (outliers). Η ανάλυση αυτή οδηγεί στην οικογένεια μοντέλων που αναμένεται να δώσει ικανοποιητικές προβλέψεις.

- Επιλογή και προσαρμογή μοντέλων (choosing & fitting models). Στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιείται η αναγνώριση και ο καθορισμός των παραμέτρων διαφόρων ποσοτικών μοντέλων πρόβλεψης που έχουν επιλεγεί στο προηγούμενο στάδιο. Σχολιάζονται όλες οι πιθανές εκδοχές πρόβλεψης που έχουν κηρυχθεί κατάλληλες για εφαρμογή και σταδιακά αποκλείονται, καταλήγοντας σε μία.
- Εφαρμογή και αξιολόγηση μοντέλου (using & evaluating forecasting model). Στο συγκεκριμένο στάδιο το μοντέλο που έχει επιλεγεί, εφαρμόζεται και καταγράφονται τα αποτελέσματά του, θετικά ή αρνητικά. Αν κριθεί απαραίτητο και εφόσον ζητηθεί επαναλαμβάνονται κάποια βήματα της διαδικασίας για να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα.

Με την ολοκλήρωση της πρόβλεψης και της καταγραφής των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται μέτρηση σφάλματος για τον εντοπισμό της απόκλισης των αποτελεσμάτων από την πραγματικότητα. Όσο πιο μικρή είναι η απόκλιση αυτή, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται ότι είναι η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε, δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσδιορίζει με σχετικά μεγαλύτερη ακρίβεια τις τιμές που εξετάζει. Αντίθετα, όσο περισσότερο απέχουν οι πραγματικές τιμές από τις προβλεπόμενες, τόσο λιγότερο αξιόλογη είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος πρόβλεψης. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

## **2.5.2 Μέθοδοι πρόβλεψης**

Οι μέθοδοι πρόβλεψης σε δύο κύριες κατηγορίες, τις ποιοτικές και τις ποσοτικές. Οι ποιοτικές μέθοδοι θεωρούνται υποκειμενικές, βασίζονται σε εκτιμήσεις-γνώμες ειδικών και περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό το στοιχείο της προκατάληψης. Σε αντίθεση όμως με τις ποιοτικές, οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται στη μαθηματική

μοντελοποίηση, είναι αντικειμενικές και επαναλήψιμες. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε μεθόδους προεκβολής (ανάλυση χρονοσειρών), αιτιατικές μεθόδους και τη μέθοδο της προσομοίωσης. Η ανάλυση χρονοσειρών στηρίζεται στην ιδέα ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων και ασχολείται με την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων σε παράγοντες όπως η τάση, η εποχικότητα, ο ανταγωνισμός, κ.λπ. Οι αιτιατικές μέθοδοι πρόβλεψης θεωρούν ότι η ζήτηση εξαρτάται από ορισμένους εξωτερικούς (μακροοικονομικούς) παράγοντες. Η δυσκολία της μεθόδου έγκειται στο γεγονός πως η μεταβλητή για την οποία γίνεται η πρόβλεψη εξαρτάται με κάποιο τρόπο από ένα ή περισσότερα εξωγενή στοιχεία όπου δυσκολεύουν την εύρεση της κατάλληλης μαθηματικής σχέσης. Κατά μία γενική εικόνα τα αιτιατικά μοντέλα είναι περίπλοκα καθώς λαμβάνουν υπόψη τους πολλές παραμέτρους. Τέλος η μέθοδος της προσομοίωσης παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής μιας σειράς υποθέσεων σχετικά με την πρόβλεψη και την δημιουργία κατάλληλου μοντέλου το οποίο κατά την εφαρμογή του μας δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε επίπεδο πρόβλεψης. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι δύο κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης.

#### **2.5.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι πρόβλεψης**

Οι ποιοτικές μέθοδοι προβλέψεων ονομάζονται και «υποκειμενικές» μέθοδοι προβλέψεων, επειδή σε πολύ μεγάλο βαθμό στηρίζονται στην πείρα και στις υποκειμενικές εκτιμήσεις ανθρώπων μέσα αλλά και έξω από μια επιχείρηση. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν υπάρχουν επαρκή (ή και καθόλου) αριθμητικά δεδομένα, όταν ο διαθέσιμος χρόνος για τη διαμόρφωση προβλέψεων με αναλυτική τεχνική κρίνεται ανεπαρκής και για πολύ μακροχρόνιες προβλέψεις. Για παράδειγμα, η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος ή μιας νέας υπηρεσίας αντιπροσωπεύουν επιχειρηματικές δραστηριότητες με πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη προηγούμενη πείρα. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις η χρήση μιας ποιοτικής μεθόδου πρόβλεψης είναι επιτακτική, καθώς δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία ώστε να επιλεγθεί κάποια από τις ποσοτικές μεθόδους προβλέψεων που υπάρχουν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποιοτικές μεθόδους πρόβλεψης:

- Grass Roots. Η πρόβλεψη πραγματοποιείται από δεδομένα που προέρχονται από εκείνους που έρχονται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο της πρόβλεψης, όπως πωλητές στην περίπτωση πρόβλεψης πωλήσεων ενός προϊόντος.
- Έρευνα Αγοράς. Συλλογή δεδομένων από διάφορους τρόπους (συνεντεύξεις, ερωτηματολόγιο,...) με στόχο τον έλεγχο συνθηκών της αγοράς. Θεωρείται μακροπρόθεσμη μέθοδος πρόβλεψης κυρίως για νέα προϊόντα.
- Συμβούλιο τεχνικών. Ελεύθερη ανταλλαγή απόψεων σε συνελεύσεις. Οι συμμετέχοντες μπορεί να είναι στελέχη, πωλητές και πελάτες.
- Ιστορική αναλογία. Σύνδεση του αντικειμένου πρόβλεψης με ένα παρόμοιο μέγεθος. Χρήσιμη για το σχεδιασμό νέων προϊόντων όπου η πρόβλεψη πραγματοποιείται σύμφωνα με το ιστορικό ενός παρόμοιου προϊόντος.
- Μέθοδος Delphi. Μια ομάδα ειδικών απαντάει σε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο τροποποιείται σύμφωνα με τα αποτελέσματα και αποστέλλεται ξανά με στόχο να δημιουργηθεί μία διαδικασία μάθησης για τα μέλη της ομάδας χωρίς πίεση από προϊστάμενους.
- Μέθοδος Brainstorming. Ομαδική ή ατομική τεχνική κατά την οποία πραγματοποιείται προσπάθεια για την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από την δημιουργία ενός καταλόγου από αυθόρμητες απόψεις που προσφέρονται από τα μέλη της επιχείρησης.

### 2.5.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τις ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης οι οποίες στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα λειτουργίας. Ο τρόπος λειτουργίας των μεθόδων είναι συγκεκριμένος και αντικειμενικός με δυνατότητα εμφάνισης όμοιων αποτελεσμάτων κάτω από τις ίδιες συνθήκες χρήσης. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση στατιστικών αποτελεσμάτων βασισμένων σε παλιότερα κυρίως στοιχεία. Η οικογένεια αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εύρεση πιο άμεσων προβλέψεων, δεδομένα για επόμενες χρονικές περιόδους όπως εβδομάδα, μήνας, χρόνος κ.τ.λ. Για παράδειγμα, αν καταγράψουμε τις ημερήσιες τιμές κλεισίματος μια συγκεκριμένης μετοχής στο ελληνικό χρηματιστήριο για χρονικό διάστημα 5 ετών, τότε έχουμε στη διάθεσή μας ένα στατιστικό αποτέλεσμα για τις τιμές που λάμβανε η μετοχή το χρονικό διάστημα αυτό. Αναλύοντας τα δεδομένα γίνεται πρόβλεψη για την τιμή που ενδεχομένως να λάβει η μετοχή στο άμεσο ακόλουθο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποσοτικές μεθόδους

πρόβλεψης και των τριών υποκατηγοριών (ανάλυση χρονοσειρών, αιτιατικές και προσομοίωσης):

- Μέθοδος προεκβολής. Θεωρεί ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων.
- Απλός κινητός μέσος (Simple moving average). Απλός μέσος όρος  $n$  παρατηρήσεων όπου κάθε σημείο έχει την ίδια βαρύτητα.
- Σταθμισμένος κινητός μέσος (Weighted moving average). Ορισμένα σημεία (συνήθως τα πιο πρόσφατα) έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον υπολογισμό του μέσου όρου.
- Διπλός κινητός μέσος (Double moving average). Υπολογίζεται ο απλός κινητός μέσος δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Brown. Η στάθμιση των δεδομένων μειώνεται εκθετικά σε σχέση με τον χρόνο δίνοντας μεγαλύτερη στάθμιση στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Γνωστή και ως απλή εκθετική εξομάλυνση (Simple exponential smoothing).
- Διπλή εκθετική εξομάλυνση (Double exponential smoothing). Η εξομάλυνση των παρατηρήσεων γίνεται δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Holt. Επέκταση της μεθόδου Brown (απλή εκθετική εξομάλυνση). Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει τάση στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση.
- Μέθοδος Winters. Επέκταση της μεθόδου Holt (εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση). Χρησιμοποιείται όταν εντοπίζεται τάση και εποχικότητα στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση και την εποχικότητα.
- Παλινδρόμηση. Προσαρμογή γραμμικής σχέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων είναι η πιο συνηθισμένη τέτοια μέθοδος γραμμικής προσαρμογής.
- Box-Jenkins. Περίπλοκη και ακριβής στατιστική μέθοδος που σχετίζει στατιστικά μοντέλα με τα δεδομένα και προσαρμόζει το μοντέλο στην χρονοσειρά με την χρήση κατανομών Bezier.
- Χρονοσειρές Shinskin. Αποτελεσματική μέθοδος ανάλυσης χρονοσειρών σε εποχικότητα, τάση και τυχαιότητα. Απαιτεί δεδομένα τουλάχιστον τριών ετών και είναι πολύ αποτελεσματική στον εντοπισμό του σημείου αλλαγής.

## 2.6 Γραμμικός προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) αποτελεί το δημοφιλέστερο μοντέλο στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας αλλά και της διοικητικής επιστήμης (management science) γενικότερα. Κυριαρχεί σήμερα η αντίληψη ότι, τρεις στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνα σε πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στο γραμμικό προγραμματισμό (ΓΠ) [31].

Ο γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο τρόπο. Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή καλλιεργήσιμης γης σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες, κ.λπ. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κ.λπ.

Από μαθηματική πλευρά ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο επιχειρείται η βελτιστοποίηση (είτε μεγιστοποίηση είτε ελαχιστοποίηση) μιας ή περισσότερων γραμμικών συναρτήσεων (κριτήρια βελτιστοποίησης) αγνώστων πραγματικών μεταβλητών των οποίων το πεδίο τιμών οριοθετείται έμμεσα από γραμμικούς περιορισμούς (ανισοεξισώσεις) συναρτήσει των μεταβλητών αυτών. Η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, εξελίχθηκε ως μεθοδολογία βελτιστοποίησης ενός και μόνο κριτηρίου απόφασης με την ονομασία αντικειμενική συνάρτηση (objective function). Όμως, η πολυπλοκότητα των συστημάτων απόφασης καθώς και οι συνθήκες ανταγωνιστικότητας κάτω από τις οποίες παίρνονται οι αποφάσεις καθιστούν την προσέγγιση αυτή κάθε άλλο παρά ρεαλιστική.



### 2.6.1 Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ενός γραμμικού προβλήματος μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια στάδια τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια [32].

#### 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Αντικείμενο της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης οι οποίες οφείλουν να αντανakλούν απόλυτα (μοντελοποιούν) το ζητούμενο της απόφασης, μέσα από τις ανάγκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα παρθεί η απόφαση και σύμφωνα με τις αξίες της κοινωνίας.

Το αντικείμενο της απόφασης ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό του συνόλου των λύσεων μετά από τη διαμόρφωση των περιορισμών που είναι γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί, οι φυσικοί περιορισμοί, οι διαθέσιμοι πόροι και οι προτιμήσεις είναι η πηγή των έμμεσων επιτρεπτών ορίων μέσα στα οποία «κινούνται» οι τιμές των μεταβλητών απόφασης.

#### 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Κριτήρια απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής του προβλήματος οφείλει να διαμορφώσει γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις σύμφωνα με τους στόχους της επιχείρησης ή του οργανισμού καθώς και τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων.

#### 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Μοντέλα απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής χρησιμοποιεί μια σειρά από αλγορίθμους και συναφείς τεχνικές για την επίτευξη «καλών» λύσεων και την τεκμηρίωση των λύσεων αυτών.

#### 4<sup>ο</sup> Στάδιο: Υποστήριξη της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής προσπαθεί να πείσει τον αποφασίζοντα για την «αξία» μιας λύσης. Σε περίπτωση που η λύση και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον που θα παρθεί η απόφαση δεν ικανοποιούν τον αποφασίζοντα, θα πρέπει να αναθεωρηθεί ένας ή περισσότεροι από τους παράγοντες: τεχνολογία, περιβάλλον, πόροι και προτιμήσεις.

### 2.6.2 Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων ΓΠ

Για να είναι θεμιτή η προσέγγιση ενός γραμμικού προβλήματος απόφασης μέσω ενός κλασικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να ισχύουν οι προϋποθέσεις που ακολουθούν [33].

- **Γραμμικότητα:** Το αποτέλεσμα, είτε αυτό είναι όρος περιορισμού είτε όρος αντικειμενικής συνάρτησης, είναι γραμμική συνάρτηση του αιτίου που το προκαλεί. Στην αντίθετη περίπτωση το μοντέλο εμπίπτει στο χώρο του μη γραμμικού προγραμματισμού.
- **Διαιρετότητα:** Οι μεταβλητές απόφασης είναι άπειρα διαιρετές, εκφράζονται, για παράδειγμα, σε μονάδες μήκους, βάρους, κ.λπ. Σε περίπτωση που οι μεταβλητές δεσμεύονται να πάρουν όλες ακέραιες τιμές, το πρόβλημα εμπίπτει στην κατηγορία του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν δεσμεύονται όλες οι μεταβλητές να πάρουν ακέραιες τιμές, αλλά μονάχα μερικές από αυτές, τότε το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.
- **Βεβαιότητα:** Τα δεδομένα του προβλήματος (αριθμητικά στοιχεία) είναι γνωστά με απόλυτη βεβαιότητα. Όταν ορισμένα από αυτά δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα, αλλά ακολουθούν γνωστούς στατιστικούς νόμους, ο προγραμματισμός λέγεται στοχαστικός. Ενώ όταν η πληροφορία για κάποιους συντελεστές είναι προσεγγιστική, είναι δηλαδή διαστήματα στα οποία ανήκουν ασαφώς οι συντελεστές αυτοί, ο προγραμματισμός λέγεται ασαφής.
- **Μονοδιάστατη:** Στον κλασικό γραμμικό προγραμματισμό η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να είναι μια και μοναδική (μονοδιάστατος ή μονοκριτήριος). Στην αντίθετη περίπτωση, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του πολυκριτήριου γραμμικού προγραμματισμού.

### 2.6.3 Ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός

Σε ένα κλασικό (συνεχές) γραμμικό πρόγραμμα οι τιμές των μεταβλητών μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως αυτή που αναφέρεται στο γραμμικό πρόβλημα της συγκεκριμένης βιομηχανίας, μερικές από τις μεταβλητές υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Τέτοιες μεταβλητές είναι για παράδειγμα αυτές που δηλώνουν αριθμό εργατών, αποφάσεις χρηματοδότησης ή όπως στο συγκεκριμένο πρόβλημα, παρτίδες επεξεργαζόμενων

τεμαχίων. Τα προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού που ο περιορισμός ακεραιότητας δεν ισχύει για όλες τις μεταβλητές, ονομάζονται προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού. Στην συγκεκριμένη διατριβή το γραμμικό πρόβλημα ανήκει σε αυτή την κατηγορία μιας και η μεταβλητή απόφασης για τον καθορισμό των παραγόμενων συσκευασιών φιαλών PET θα πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός, όπως και η μεταβλητή απόφασης που καθορίζει το μηνιαίο απόθεμα.

### **3 Η βιομηχανία ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. Α.Ε. – Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά**

#### **3.1 Αγορά εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα**

Το Νερό είναι το πιο σημαντικό, μετά το οξυγόνο, συστατικό ζωής για τον άνθρωπο, όπως ακριβώς και για την φύση. Καλύπτει από το μισό έως τα δύο τρίτα του ανθρώπινου οργανισμού ανάλογα με το ποσοστό λίπους κάθε σώματος, το φύλο και την ηλικία. Η θρεπτική αξία του νερού είναι υπέρ-πολύτιμη. Ένας άνθρωπος μπορεί να επιβιώσει χωρίς φαγητό ακόμα και 70 μέρες αλλά χωρίς νερό δεν μπορεί να επιβιώσει περισσότερο από 15 μέρες. Η Ελλάδα είναι πλούσια σε υδάτινους πόρους διατηρώντας μια μέση ετήσια βροχόπτωση 700 mm / χρόνο περίπου σε τρεις διαφορετικές κλιματικές περιοχές εν μέσω σημαντικών αλλαγών που παρατηρούνται στο γενικότερο κλίμα του πλανήτη μας [36].

Τα εμφιαλωμένα νερά διακρίνονται σε «Φυσικά μεταλλικά νερά» και «Επιτραπέζια νερά». Την πρώτη κατηγορία απαρτίζουν τα νερά τα οποία εμφιαλώνονται χωρίς καμιά άλλη επεξεργασία πέραν ενός απλού φιλτραρίσματος, ενώ την δεύτερη κατηγορία αποτελούν νερά τα οποία συνήθως υποβάλλονται σε χημική επεξεργασία για να καταστούν πόσιμα σύμφωνα βέβαια με όλες τις προϋποθέσεις εμφιάλωσης του επιτραπέζιου νερού, οι οποίες καθορίζονται από την Εθνική και την Κοινοτική νομοθεσία. Τα σημαντικότερα σχετικά νομοθετήματα είναι τα ακόλουθα [34]:

- ΔΥΓ2/ΓΠ/ΟΙΚ.38295/07: Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
- Υ2/2600/01: Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης”, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998.
- ΥΠ. ΚΟΙΝ. ΥΠ. Α1β/4841/79 (ΦΕΚ Β’ 696): Περί της ποιότητας των εμφιαλωμένων νερών.
- Υ2/329/98: Εκμετάλλευση και θέση στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών (τροποποίηση του Π.Δ. 433/83 σε συμμόρφωση προς την οδηγία 96/70 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 28.10.96).
- 433/83: Όροι εκμεταλλεύσεως και κυκλοφορίας στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών.

Ο κλάδος των εμφιαλωμένων νερών περιλαμβάνει σημαντικό αριθμό μικρομεσαίων επιχειρήσεων και ολιγάριθμες μεγάλες εταιρείες (Coca Cola 3E, Nestle, Χήτος-Ζαγόρι, Βίκος, ΕΤΑΝΑΠ Α.Ε.), οι οποίες είτε ασχολούνται αποκλειστικά με την εμφιάλωση νερού, είτε δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο κλάδο τροφίμων και ποτών. Η Ελλάδα έχει αναγνωρίσει 42 εμπορικές επωνυμίες (με το αντίστοιχο όνομα της πηγής) Φυσικών Μεταλλικών Νερών οι οποίες έχουν δημοσιευτεί στην επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις 29 Οκτωβρίου 2013 (C315/1). Σύμφωνα με παλαιότερα στοιχεία (έτους 1999) του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών, στην Ελληνική αγορά κυκλοφορούσαν 67 εμπορικά σήματα εμφιαλωμένου νερού από τα οποία τα 23 ήταν Φυσικά Μεταλλικά Νερά και τα 44 Επιτραπέζια νερά.

Σημειώνεται ότι η αγορά του εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα ανέρχεται σε 170 εκατ. ευρώ ετησίως και παραμένει ιδιαίτερα ανταγωνιστική, καθώς η κρίση πιέζει τα τελευταία χρόνια τις τιμές των προϊόντων [35]. Στην Ελλάδα η μέση ετήσια κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού είναι 90 λίτρα κατά κεφαλή (με βάση στοιχεία του 2011), έναντι 150 λίτρων που είναι ο ευρωπαϊκός μέσος όρος. Αν και σε σχέση με τα 30 λίτρα/άτομο που ήταν η μέση ετήσια κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα πριν από δέκα χρόνια, παρατηρείται τώρα σημαντική αύξηση, θεωρείται ότι υπάρχει ακόμη σημαντικό περιθώριο αύξησης της κατανάλωσης, με την προϋπόθεση βέβαια της ανάκαμψης της κατανάλωσης και της τουριστικής κίνησης.

Στον τομέα των εισαγωγών και των εξαγωγών εμφιαλωμένου νερού (Φυσικού μεταλλικού, Επιτραπέζιου και Ανθρακούχου) η εικόνα για τα έτη 2012, 2013 και 2014 σε αξία (ευρώ) με το αντίστοιχο αποτέλεσμα στο εμπορικό ισοζύγιο της χώρας μας έχει ως εξής [36]:

ΕΤΟΣ	Εισαγωγές	Εξαγωγές	Ισοζύγιο
2012	2.330.451	8.488.309	+6.157.858
2013	2.289.462	7.443.740	+5.154.278
2014	3.301.085	8.483.700	+5.182.615
<b>Σύνολα</b>	<b>7.920.998</b>	<b>24.415.749</b>	<b>+16.494.751</b>

Πίνακας 1: Εισαγωγές και εξαγωγές εμφιαλωμένου νερού στην Ελλάδα για τα έτη 2012, 2013 και 2014

### 3.2 Παρουσίαση της βιομηχανίας



Εικόνα 3: Λογότυπο εταιρείας

Η ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. Α.Ε. (ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΑ - [www.etanap.gr](http://www.etanap.gr)) ιδρύθηκε με πρωτοβουλία του εκλιπόντος Αρχιεπισκόπου Σελίνου και Κισσάμου Σεβασμιότατου Ειρηναίου Γαλανάκη το 1978 ως πολυμετοχική εταιρεία και άρχισε να λειτουργεί το έτος 1980 με τη μορφή Ανώνυμης Εταιρείας. Η πολυμετοχική εταιρεία λαϊκής βάσης εμφιαλώνει και διαθέτει το γνωστό επιτραπέζιο νερό "Σαμαριά", από τις πηγές Στύλου Χανίων. Η ολοκλήρωση της πρώτης φάσης του επενδυτικού της προγράμματος είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός από τα πιο σύγχρονα εργοστάσια εμφιάλωσης νερού στην Ελλάδα. Τα τελευταία χρόνια η ΕΤΑΝΑΠ έχει κάνει σημαντικές επενδύσεις στον τεχνολογικό εξοπλισμό και στις κτιριακές εγκαταστάσεις αναβαθμίζοντας τις υπηρεσίες της και αυξάνοντας την παραγωγή και τα σημεία πώλησης στην Ελλάδα και εξωτερικό. Πιο συγκεκριμένα η ΕΤΑΝΑΠ εξάγει τα προϊόντα της σε Αυστραλία, Κουβέιτ, Αμερική, Κίνα, Αραβικά Εμιράτα, Κατάρ, Κύπρο, Γερμανία και Ολλανδία. Από το 2005 λειτουργεί υποκατάστημα στην Αθήνα για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών της. Το 2010 ολοκληρώθηκε επένδυση ύψους 6.250.000€ με την εγκατάσταση δυο υπερσύγχρονων γραμμών παραγωγής. Η εταιρεία εκτός από την παραγωγή εμφιαλωμένου νερού δραστηριοποιείται από το 2010 και στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την εγκατάσταση δυο φωτοβολταϊκών πάρκων σε ιδιόκτητες εκτάσεις.



Εικόνα 4: Η βιομηχανία ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ Α.Ε. – Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά

### 3.3 Γεωγραφική θέση εταιρείας

Οι εγκαταστάσεις της ΕΤΑΝΑΠ βρίσκονται στο χωριό Στύλος Αποκορώνου, σε ένα φυσικό περιβάλλον, το οποίο απέχει 16 χλμ. από την πόλη των Χανίων και 11 χλμ. από το λιμάνι της Σούδας, κοντά στον αρχαίο οικισμό της Απτέρας όπου ακόμα διατηρείται το αρχαίο Ρωμαϊκό υδραγωγείο. Το εργοστάσιο στο οποίο εμφιαλώνεται και συσκευάζεται το νερό SAMARIA είναι στεγασμένο σε μία επιφάνεια που καλύπτει συνολικά 8.500 τ.μ. σε ιδιόκτητο οικόπεδο 16 στρεμμάτων και απασχολεί ως μόνιμο προσωπικό 37 άτομα. Πρόκειται για μια περιοχή πλούσια σε φυσικές πηγές καθώς βρίσκεται στους βόρειους πρόποδες των Λευκών Ορέων όπου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους υπάρχει έντονη δραστηριότητα του υδάτινου στοιχείου.



Εικόνα 5: Τοποθεσία βιομηχανίας στο χάρτη

### 3.4 Περιγραφή πηγής άντλησης νερού

Η ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ Α.Ε. – ΣΑΜΑΡΙΑ συγκεντρώνει αυτό το νερό από τους πρόποδες των Λευκών Ορέων, το εμφιαλώνει χωρίς κατεργασία και το προσφέρει αυτούσιο χαρίζοντας σ' όλους που το επιλέγουν τα νάματα (φυσικά νερά) της Κρητικής φύσης σε κάθε σταγόνα του. Κατά την Ελληνική μυθολογία, ο ίδιος ο θεός Δίας επισκεπτόταν τα περίφημα Λευκά Όρη της Κρήτης για να ξεδιψάσει με τα κρυστάλλινα, καθαρά νερά τους. Τα Λευκά Όρη αποτελούνται από ένα μαγευτικό σύνολο ψηλών κορυφών, φαραγγιών και αμέτρητων σπηλαίων. Καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του Νομού Χανίων και αποτελούν την κύρια οροσειρά της Κρήτης. Με μήκος 50 χιλιόμετρα και πλάτος 25, έχουν περίπου 50 κορυφές που ξεπερνούν το υψόμετρο των 2000 μέτρων. Αυτή η ορεινή μορφολογία έχει διαφυλάξει τα Λευκά Όρη από την ανθρώπινη παρέμβαση διατηρώντας τα φυσικά χαρακτηριστικά του τόπου και κρατώντας τον ανεπηρέαστο από κάθε είδους μόλυνση. Στα βάθη του επιβλητικού όγκου τους απλώνεται και το περίφημο φαράγγι της Σαμαριάς, γνωστό ως το μεγαλοπρεπέστερο και ομορφότερο σε ολόκληρη την Ευρώπη. Πρόκειται επίσης για ένα αναγνωρισμένο βιότοπο με μοναδική σε πλούτο χλωρίδα και πανίδα και με περισσότερες από 20 κρυστάλλινες πηγές νερού. Το καθαρίο νερό των Λευκών Ορέων απορροφάται από τις χιονοσκεπαστες κορυφές τους και το υπέδαφος όπου εμπλουτίζεται με όλα τα ευεργετικά συστατικά του.

### 3.5 Χημικά χαρακτηριστικά νερού

Ο τρόπος μεταφοράς του νερού, από την πηγή στη μονάδα εμφιάλωσης, εξασφαλίζει την άριστη ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η πηγή υδροδότησης του εργοστασίου βρίσκεται στους πρόποδες των ΛΕΥΚΩΝ ΟΡΕΩΝ σε υψόμετρο 85 μέτρων. Η περιοχή περιέχεται στο Γεωλογικό Φύλλο « Χανιά» 1:50000 του ΙΓΜΕ όπου απεικονίζονται οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Η τομή της γεώτρησης σε υδρογεωλογικές μελέτες που έχουν γίνει, δείχνει πως περιβάλλεται από μαργαϊκούς ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι είναι χαμηλής διαπερατότητας, διότι έχουν μικρή ικανότητα να επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσα από τη μάζα τους, άρα ο υδροφόρος ορίζοντας είναι προφυλαγμένος από επιφανειακούς υδροφόρους –εάν υπάρχουν-, άρα από κάθε είδους μολύνσεις. Από συνεχείς επίσημες αναλύσεις (κάθε εποχή του χρόνου) επί δεκαετίας και πλέον, οι σταθερά χαμηλές τιμές  $\text{NO}_2$  και  $\text{NO}_3$  αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει επιρροή του υδροφόρου ορίζοντα από ανθρώπινες



παρεμβάσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο υδροφόρος ορίζοντας της γεώτρησης βρίσκεται σε βάθος 150-180 μέτρα και το νερό αντλείται από βάθος 50 μέτρων. Η περιεκτικότητά του σε νάτριο είναι χαμηλή, οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί πως είναι κατάλληλο για δίαιτα πτωχή σε νάτριο.

### **3.6 Διαδικασία άντλησης νερού**

Το νερό αντλείται από τη γεώτρηση «Διχαλορήματα» στην περιοχή του Στύλου που έχει στη κατοχή της η ΕΤΑΝΑΠ και κατόπιν φιλτραρίσματος προχωρά στις γραμμές εμφιάλωσης. Η άντληση του νερού γίνεται από υδροφόρο ορίζοντα βάθους 150-180 μέτρων νότια, νοτιοδυτικά του χωριού Στύλος στους πρόποδες των Λευκών Ορέων. Το νερό ανέρχεται με στατική πίεση στα 50 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους απ' όπου και πραγματοποιείται η άντληση. Η γεώτρηση είναι κατασκευασμένη με αυστηρές προδιαγραφές για τη χρησιμοποίηση από εργοστάσιο εμφιάλωσης νερού (ανοξειδωτες σωληνώσεις, απομόνωση από τον περιβάλλοντα χώρο και τον ανθρώπινο παράγοντα). Η μεταφορά του νερού στο εργοστάσιο γίνεται με αδιάβλητο τρόπο μέσω ανοξειδωτων σωληνώσεων. Κατόπιν φιλτράρεται από δυο συστοιχίες φίλτρων, χωρίς να υπόκειται σε χημική επεξεργασία ή έκθεση σε ακτινοβολία για την εξυγίανσή του, διατηρώντας έτσι το φυσικό του χαρακτήρα και τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά αναλλοίωτα.

### **3.7 Ποιοτικός έλεγχος νερού**

Ο ρόλος του Ποιοτικού Ελέγχου στις εταιρείες εμφιάλωσης είναι μείζονος σημασίας. Η διασφάλιση της ποιότητας του προϊόντος είναι συνεχής ώστε να εξασφαλίζεται η απουσία παραγόντων που μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για την υγεία των καταναλωτών. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού η ΕΤΑΝΑΠ διαθέτει σύγχρονο Μικροβιολογικό εργαστήριο που με καθημερινούς ελέγχους της παραγωγής και αναλύσεις πιστοποιείται η μοναδική ποιότητα του νερού SAMARIA. Καθημερινά πραγματοποιούνται όλες οι απαιτούμενες αναλύσεις ξεκινώντας από το νερό της γεώτρησης, τις πρώτες ύλες, το δίκτυο, το έτοιμο προϊόν και το προϊόν που βρίσκεται στο στάδιο της αποθήκευσης. Περαιτέρω, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, πραγματοποιούνται έλεγχοι στη γεώτρηση και στο τελικό προϊόν της ΕΤΑΝΑΠ από

το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και το Εργαστήριο Μικροβιολογίας Τροφίμων και Νερού της Ιατρικής σχολής Πανεπιστημίου Κρήτης, όπου επιβεβαιώνεται η σταθερή χημική σύσταση του νερού SAMARIA. Επιπλέον δείγματα για ανάλυση αποστέλλονται στο Γενικό Χημείο του Κράτους (Χημική Υπηρεσία Ρόδου και Δ' Χημική Υπηρεσία Αθηνών), στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος και στο ΕΕΑΕ. Μια τυπική χημική ανάλυση του νερού της ΕΤΑΝΑΠ παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Τιμή
pH		7,9
Αγωγιμότητα (25°C)	μS/cm	306
Στερεό υπόλειμμα (180°C)	mg/l	180
Ολική σκληρότητα	mg/l (CaCO <sub>3</sub> )	130.3
<b>Κατιόντα / Cations</b>		
Ασβέστιο Ca	mg/l	30
Μαγνήσιο Mg	mg/l	14,1
Νάτριο Na	mg/l	7,6
Κάλιο K	mg/l	<0,5
Αμμώνιο NH <sub>4</sub>	mg/l	<0,1
<b>Ανιόντα / Anions</b>		
Όξινα Ανθρακικά HCO <sub>3</sub>	mg/l	148
Χλωριούχα Cl	mg/l	13,1
Θειικά SO <sub>4</sub>	mg/l	<6
Νιτρικά NO <sub>3</sub>	mg/l	<5
Νιτρώδη NO <sub>2</sub>	mg/l	<0,05

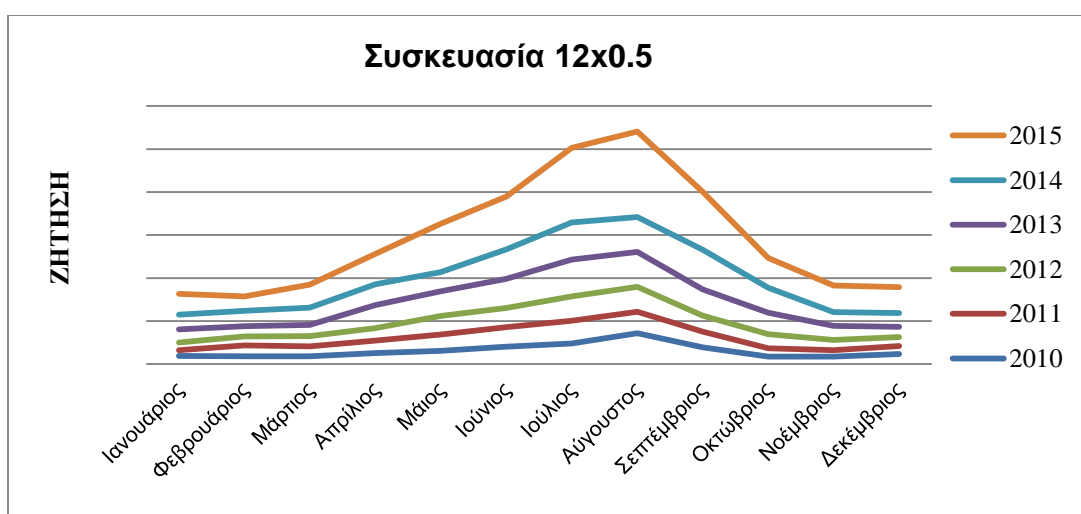
Πίνακας 2: Μέσος όρος τιμών των τεσσάρων υποχρεωτικών αναλύσεων του νερού SAMARIA

### 3.8 Αποθήκευση και διακίνηση έτοιμου προϊόντος

Η αποθήκευση των προϊόντων μας γίνεται σε αποθήκες κλειστές, σκιερές, χωρίς οσμές και κλιματιζόμενες. Η ΕΤΑΝΑΠ διαθέτει σύγχρονους αποθηκευτικούς χώρους προσαρμοσμένους στις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN ISO 22000: 2005 έτσι ώστε κατά την αποθήκευση του τελικού προϊόντος να διασφαλίζονται:

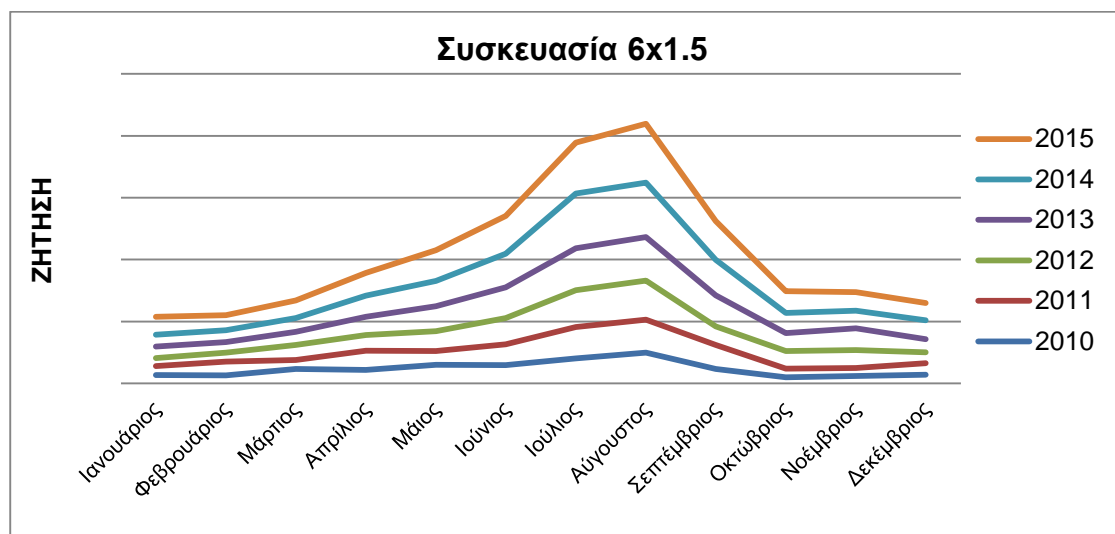
- Η επαρκής και σωστά κατανομημένη αποθήκευση του προϊόντος έτσι ώστε να τηρείται ο κανόνας FIFO (first-in-first-out, δηλαδή το πρώτο που αποθηκεύεται είναι και το πρώτο που διανέμεται – έτσι ώστε το προϊόν περνάει το λιγότερο δυνατό χρόνο στην αποθήκη).
- Οι κανόνες υγιεινής, εύκολης και αποτελεσματικής απολύμανσης, καθαριότητας και συντήρησης των χώρων.
- Η άνετη και ασφαλής μετακίνηση των οχημάτων μεταφοράς κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση του προϊόντος.
- Οι κατάλληλες συνθήκες για την ασφαλή παραμονή των προϊόντων στις αποθήκες της εταιρείας.
- Τέλος η διακίνηση των προϊόντων γίνεται με ιδιόκτητα φορτηγά οχήματα κλειστού τύπου είτε με συνεργαζόμενες μεταφορικές εταιρείες, οχήματα των οποίων πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές για διακίνηση νερού.

### 3.9 Δεδομένα πωλήσεων εταιρείας

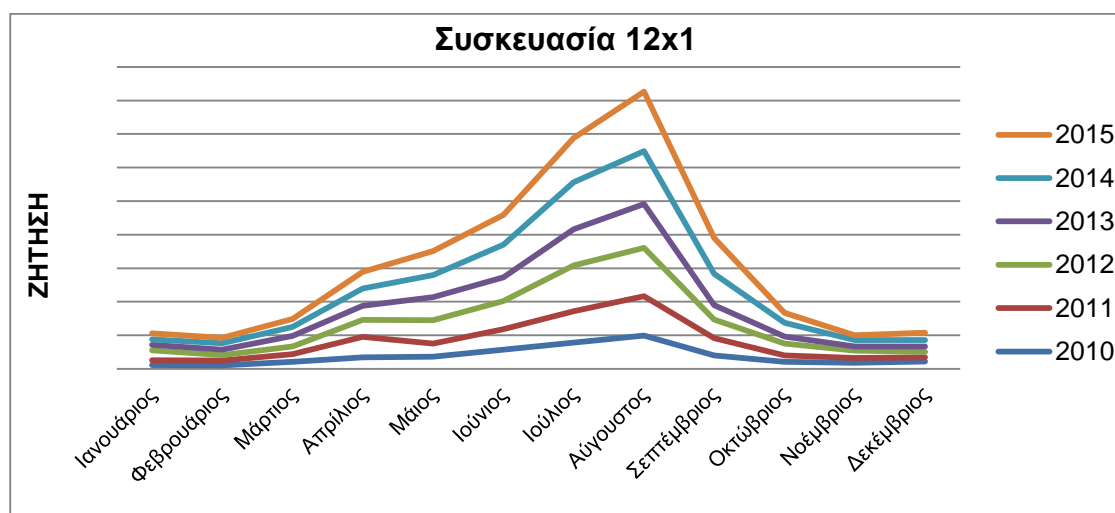


Εικόνα 6: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 12x0.5

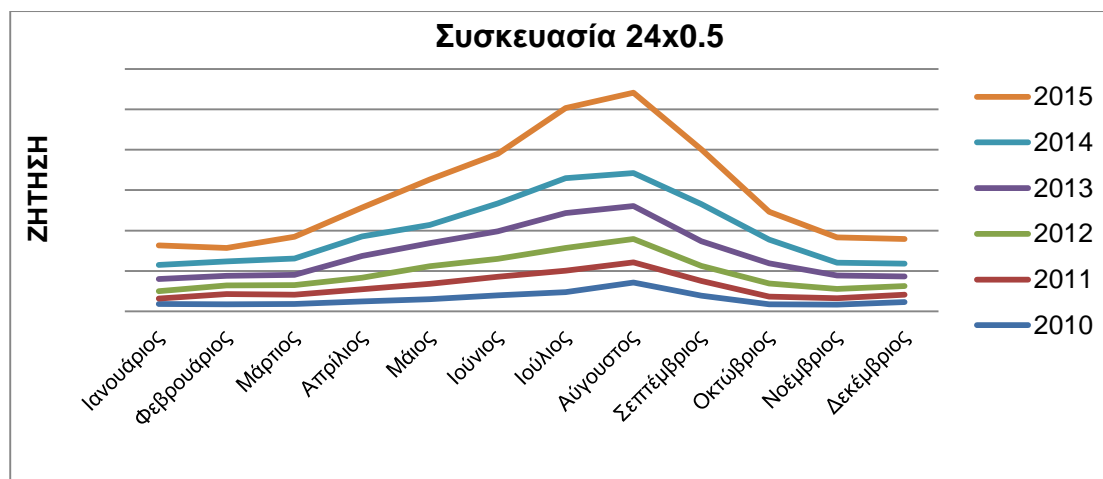
Στις εικόνες (6-9) παρουσιάζονται τα ετήσια στοιχεία πωλήσεων ανά τύπο συσκευασίας, σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων της υπό μελέτη βιομηχανίας.



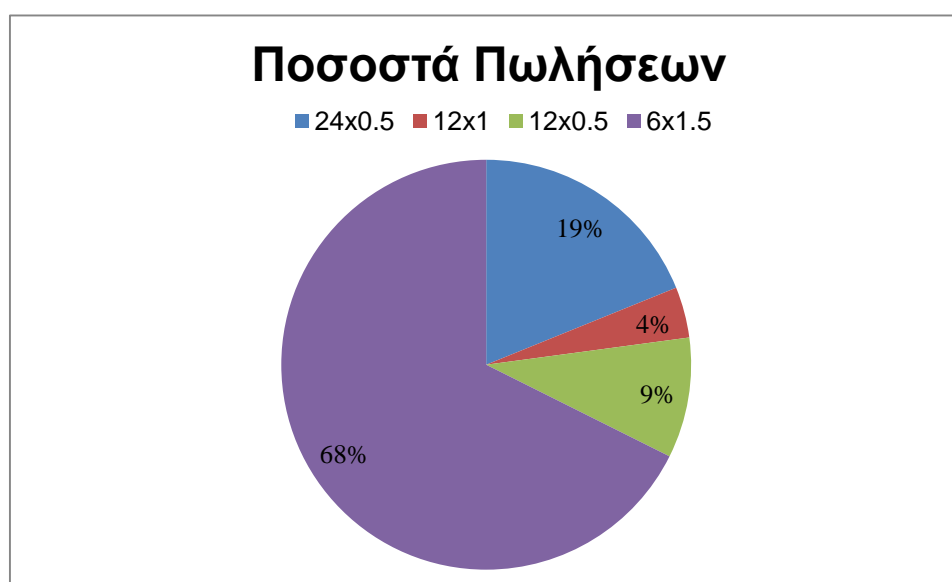
Εικόνα 7: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 6x1.5



Εικόνα 8: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 12x1



Εικόνα 9: Ετήσιες πωλήσεις συσκευασίας 24x0.5



Εικόνα 10: Ποσοστά πωλήσεων ανά συσκευασία

Ταυτόχρονα εντοπίζεται έντονη εποχικότητα στις πωλήσεις, η οποία οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό του αγοραστικού κοινού συνδέεται άμεσα με την τουριστική περίοδο η οποία αυξάνεται ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (στην Ελλάδα την τρέχουσα τουριστική περίοδο αναμένονται περίπου είκοσι οκτώ εκατομμύρια τουρίστες).

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζονται τα ποσοστά πωλήσεων για τους τέσσερεις διαφορετικούς τύπους συσκευασιών η παραγωγή των οποίων λαμβάνει χώρα στην υπό μελέτη μονάδα, σύμφωνα με τα δεδομένα πωλήσεων των έξι

τελευταίων ετών. Όπως παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό πωλήσεων καταλαμβάνει η συσκευασία 6x1.5 (68%). Ακολουθεί η συσκευασία 24x0.5 (19%), η συσκευασία 12x0.5 (9%) και τέλος η συσκευασία 12x1 (4%). Το τελευταίο χαμηλό ποσοστό του προϊόντος αυτού ως προς τις συνολικές πωλήσεις, μπορεί εύκολα να εξηγηθεί, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η συσκευασία 12x1 διατίθεται μόνο σε ξενοδοχειακές μονάδες.

## 4 Παραγωγική διαδικασία

### 4.1 Γραμμές εμφιάλωσης νερού

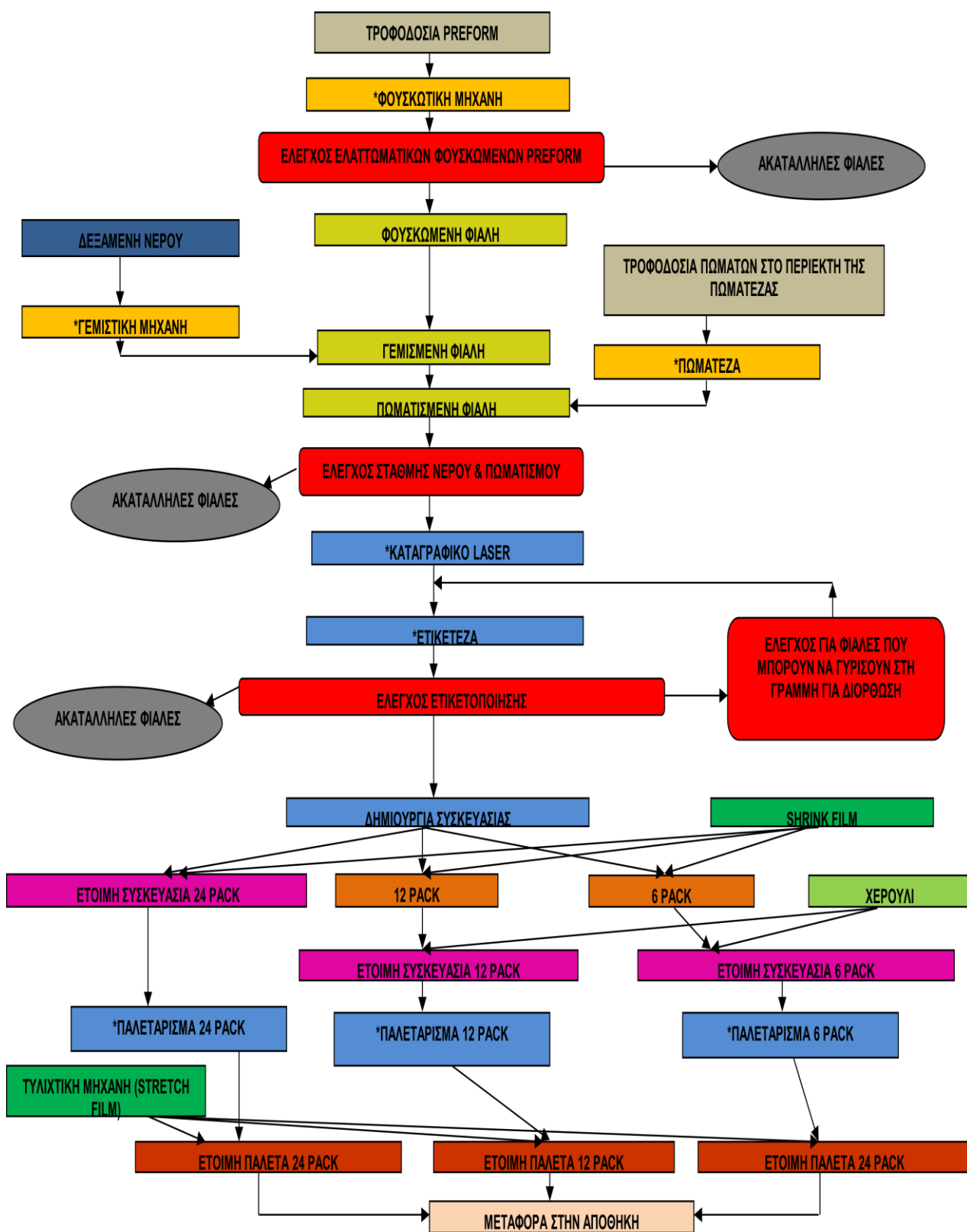
Η ΕΤΑΝΑΠ διαθέτει 4 αυτοματοποιημένες γραμμές εμφιάλωσης νερού:

- Στην πρώτη γραμμή γίνεται η εμφιάλωση φιαλών PET (συσκευασία από πολυαιθυλένιο) 0.75 lt και 0.5 ή 1.5 (σε περίπτωση μεγάλης βλάβης της 4<sup>ης</sup> γραμμής) και είναι δυναμικότητας 11.000 φιαλών ανά ώρα.
- Η δεύτερη γραμμή χρησιμοποιείται για την εμφιάλωση γυάλινων φιαλών 1 lt και για εμφιάλωση ανθρακούχου νερού σε φιάλες 0.33 lt. Η δυναμικότητα της συγκεκριμένης γραμμής ανέρχεται σε 6.000 φιάλες ανά ώρα.
- Στην τρίτη γραμμή το φυσικό νερό SAMARIA εμφιαλώνεται σε φιάλες PET των 5 και 10 lt. Η δυναμικότητα αυτής της γραμμής κυμαίνεται στα 12.000 / h.
- Το 2008, μέσα στα πλαίσια ανάπτυξης της ΕΤ.ΑΝ.ΑΠ. Α.Ε. ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση νέας γραμμής παραγωγής προηγμένης τεχνολογίας. Η νέα γραμμή παραγωγής χρησιμοποιείται για την εμφιάλωση φιαλών PET 0.5, 1 και 1.5 lt και η δυναμικότητά της ανέρχεται σε 18.000 ανά ώρα.



Εικόνα 11: Διαφορετικά είδη παραγόμενων φιαλών



## 4.2 Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας



\* : δηλώνει την ύπαρξη φωτοκύτταρου



Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η λειτουργία της 4<sup>ης</sup> και πιο σύγχρονης γραμμής εμφιάλωσης. Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται συνοπτικά οι επιμέρους ενέργειες και τα βήματα που απαιτούνται για τη διαδικασία εμφιάλωσης φιαλών PET 0,5,1 και 1.5 lit της εταιρείας ETANAΠ Α.Ε. - Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά στη συγκεκριμένη γραμμή.

	<p><b><u>Κωδικοί προϊόντος :</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 24x 0.5 lit</li> <li>2) (10+2) x 0.5 lit</li> <li>3) 12 x 0.5 lit</li> <li>4) 6 x 0.5 lit</li> </ol>
	<p><b><u>Κωδικοί προϊόντος :</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 12 x 1 lit</li> </ol>
	<p><b><u>Κωδικοί προϊόντος :</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 6 x 1.5 lit</li> <li>2) (5+1) x 1.5 lit</li> </ol>

Εικόνα 12: Διαφορετικά είδη φιαλών PET της υπό μελέτη γραμμής εμφιάλωσης

Αρχικά πραγματοποιείται έλεγχος της επάρκειας της καταλληλότητας και ικανοποίησης προδιαγραφών των βοηθητικών πρώτων υλών που είναι αναγκαίες για την παραγωγή του προϊόντος. Ως βοηθητικές πρώτες ύλες θεωρούνται τα πώματα, τα preforms (προδιαμορφώματα φιαλών), οι ετικέτες, η κόλλα της ετικετέζας, το

shrink film, το stretch film, το μελάνι των εκτυπωτών, οι χαρτόδισκοι και το χερούλι (στις εικόνες 13 έως 17 φαίνονται οι επιμέρους βοηθητικές πρώτες ύλες). Ως κύρια πρώτη ύλη θεωρείται το νερό το οποίο λαμβάνεται από την πηγή και διοχετεύεται στις γραμμές εμφιάλωσης.



*Εικόνα 13: Προδιαμορφώματα τελικών φιαλών (preforms)*



*Εικόνα 14: Shrink film*





Εικόνα 15: Ετικέτες



Εικόνα 16: Χαρτόδισκοι



Εικόνα 17: Stretch film

Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος της επάρκειας των δευτερευουσών πρώτων υλών μπορεί να αρχίσει η διαδικασία της εμφιάλωσης εντός του μονoblock. Ως μονoblock (εικόνα 18) θεωρείται το κλειστό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τη φουσκωτική μηχανή, τη γεμιστική μηχανή και τέλος την πωματέζα (ίδιες ταχύτητες και οι τρεις μηχανές). Είναι κατασκευασμένο από την εταιρεία Sidel και δεν επιτρέπει την ανθρώπινη παρέμβαση εντός του. Το γεγονός αυτό καθιστά περιττή την ύπαρξη ξεπλυτικής μηχανής, αφού οι φουσκωμένες φιάλες αφού οι φουσκωμένες φιάλες δεν έρχονται σε επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντα χώρου, ως εκ' τούτου δε χρειάζεται να ξεπλυθούν. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτό με τη κλειστή διάταξη τέτοιου τύπου εξοικονομείται χώρος, χρόνος και ενέργεια.



*Εικόνα 18: Monoblock*

Σε πρώτο στάδιο λοιπόν ανοίγονται οι συσκευασίες των preform και πραγματοποιείται δειγματοληπτικός έλεγχος (π.χ. ελέγχονται 10 από κάθε κούτα) ως προς το βάρος και το μέγεθος τους. Τα preform στη συνέχεια μεταφέρονται με ιμάντα στο αναβατόριο (διάδρομος που καταλήγει στην είσοδο του μονoblock). Αμέσως μετά γίνεται προσανατολισμός των preform, ώστε να είναι όλα κάθετα, πριν εισέλθουν στο μονoblock. Τέλος, περνάνε από λάμπες UV στην κάθοδο του αναβατορίου. Μετά από όλα αυτά είναι έτοιμα να τοποθετηθούν στον περιέκτη της φουσκωτικής μηχανής (ονομαστική ταχύτητα 18.000 bottles per hour - bph) μέσω αερομεταφοράς.





*Εικόνα 19: Δεξαμενή preforms*



*Εικόνα 20: Μεταφορά preforms στο αναβατήριο*

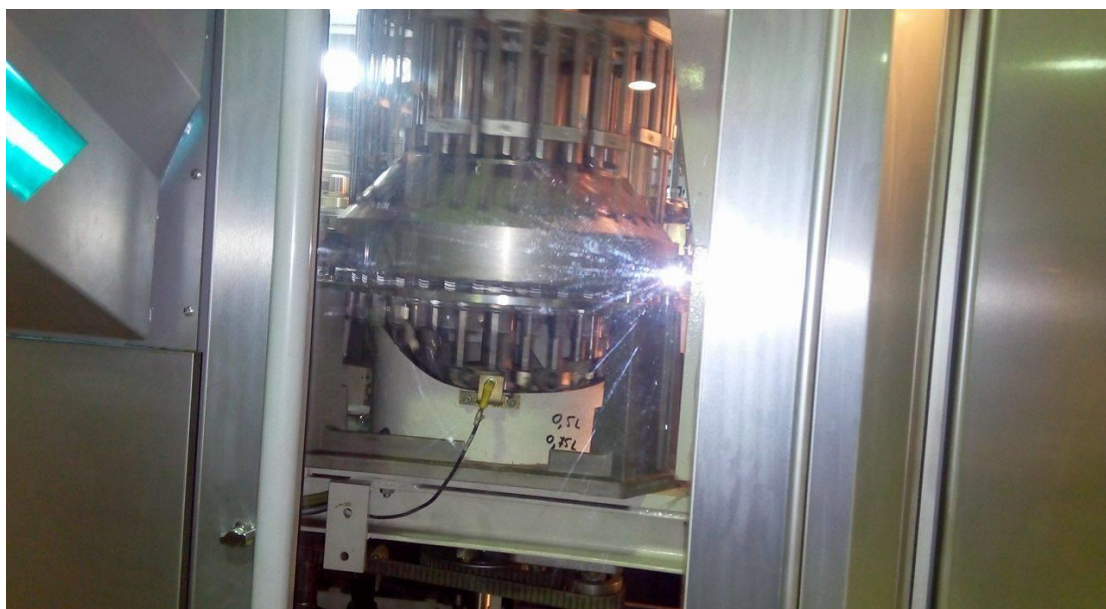


*Εικόνα 21: Προσανατολισμός preforms στο αναβατήριο*



*Εικόνα 22: Αερομεταφορά preforms (είσοδος στο μονoblock)*

Έπειτα ακολουθεί η διαμόρφωση των preform στη φουσκωτική μηχανή (λαμβάνουν το τελικό τους σχήμα και μέγεθος) και ξεκινάει η διαδικασία της φούσκωσης (εικόνα 23). Κάθε preform που φουσκώνεται και μετατρέπεται σε φιάλη ελέγχεται αυτόματα ταυτόχρονα για τυχόν ελαττώματα.



*Εικόνα 23: Φουσκωτική μηχανή εντός μονoblock*



Παράλληλα με τη διαδικασία φούσκωσης των preforms πραγματοποιείται η διαδικασία τοποθέτησης των πωμάτων στο περιέκτη της πωματέζας (ονομαστική ταχύτητα 18.000 bph), έτσι ώστε να είναι όλα έτοιμα τη στιγμή που θα γεμιστούν οι φιάλες με νερό. Πιο συγκεκριμένα, τα πώματα μέσω ταινιομεταφοράς ευθυγραμμίζονται και ελέγχονται για ελαττωματικά. Στη συνέχεια απολυμαίνονται με ακτινοβολία UV, καθαρίζονται με αναρρόφηση και τοποθετούνται στη πωματέζα.



*Εικόνα 24: Δεξαμενή πωμάτων*

Αφού ολοκληρωθούν οι διαδικασίες φουσκώματος των preforms και τοποθέτησης των πωμάτων στη πωματέζα, μπορεί να ξεκινήσει το γέμισμα των φιαλών στη γεμιστική μηχανή (ονομαστική ταχύτητα 18.000 bph).



*Εικόνα 25: Γεμιστική μηχανή και πωματέζα*

Μετά την πλήρωση των μπουκαλιών PET με νερό ακολουθεί ο πωματισμός τους. Οι φιάλες που εξέρχονται από τη πωματέζα περνάνε από ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ορθού πωματισμού και στάθμης νερού.



*Εικόνα 26: Έξοδος monoblock*





*Εικόνα 27: Κάδος ελαττωματικών*

Στη συνέχεια οι φιάλες περνάνε από το καταγραφικό laser (εικόνα 28) όπου και τους τυπώνεται στη συσκευασία η ημερομηνία παραγωγής και λήξης. Ακολούθως, και αφού οι φιάλες διασχίσουν τις αναμονές (προσωρινοί αποθηκευτικοί χώροι εντός της γραμμής παραγωγής), σειρά έχει η ετικετζά (μέγιστη ταχύτητα 26.000 bph – ονομαστική) στην οποία πραγματοποιείται η τοποθέτηση ετικέτας στη φιάλη. Στην έξοδο της ετικετοποίησης λαμβάνει χώρα ο γενικός έλεγχος τοποθέτησης ετικέτας.



*Εικόνα 28: Καταγραφικό Laser*





Εικόνα 29: Αναμονές



Εικόνα 30: Ετικετέζα



Εικόνα 31: Ελαττωματικά ετικετοποίησης

Στο σημείο αυτό οι φιάλες είναι έτοιμες να συσκευαστούν σε 24άδες, 12άδες ή δάδες ανάλογα με τον κωδικό (σύμφωνα με την εντολή παραγωγής που έχει δοθεί στη συγκεκριμένη βάρδια). Πιο συγκεκριμένα, διέρχονται μέσα από το φούρνο συσκευασίας και τοποθετείται σε αυτές εξωτερικά το shrink film (εικόνα 32) για να δημιουργηθούν οι πολλαπλές συσκευασίες. Η ταχύτητα τοποθέτησης του shrink film διαφοροποιείται ανάλογα το κωδικό :

- 12x0.5, (5+1)x1.5, 6x1.5, (10+2)x0.5 : 65 δέματα/λεπτό(ονομαστική)
- 24x0.5: 40 δέματα/λεπτό
- 12x1: 38 δέματα/λεπτό

Για τις συσκευασίες των 12x0.5 και 6x1.5 μετά τη συρρίκνωση του shrink film ακολουθεί η τοποθέτηση χερουλιού στην χερουλιέρα (60 δέματα/λεπτό για τη συσκευασία 6x1.5 και 36 δέματα/λεπτό αντίστοιχα για τη συσκευασία 12x0.5).



*Εικόνα 32: Τοποθέτηση shrink film*



*Εικόνα 33: Τοποθέτηση χερουλιού (χερουλιέρα)*



Στη συνέχεια, σειρά έχει η δημιουργία των παλετών από τις επιμέρους συσκευασίες των φιαλών μέσω της αυτόματης μηχανής δημιουργίας παλετών. Για το παλετάρισμα υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί χρόνοι ανάλογα το μέγεθος της συσκευασίας :

- 12x0.5, (10+2)x0.5: 63 δέματα/λεπτό
- 12x1: 40 δέματα/λεπτό
- 24x0.5: 34 δέματα/λεπτό
- 6x1.5,(5+1)x1.5: 63 δέματα/λεπτό

Οι παλέτες καταλαμβάνουν ίδιο εμβαδόν ανεξάρτητα του κωδικού που περιέχουν. Ο αριθμός των συσκευασιών εντός παλέτας διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος των φιαλών που συσκευάζονται καθώς και με τον τύπο της πολλαπλής συσκευασίας.

6 x 1.5 lit	84 εξάδες
(5+1) x 1.5 lit	84 εξάδες
12 x 1 lit	50 δωδεκάδες
24 x 0.5 lit	63 εικοσιτετράδες
(10+2) x 0.5 lit	133 δωδεκάδες
12 x 0.5 lit	133 δωδεκάδες
6 x 0.5 lit	266 εξάδες

*Πίνακας 2: Πλήθος δεμάτων στη παλέτα ανάλογα τη συσκευασία*



*Εικόνα 34: Συσκευασίες στο διάδρομο για τη δημιουργία παλέτας*



*Εικόνα 35: Τοποθέτηση χαρτόδισκων στη παλέτα*

Τέλος, τοποθετείται στη τυλιχτική μηχανή (1.33 λεπτά/παλέτα) το stretch film εξωτερικά της παλέτας, αναγράφεται σε αυτό ο αριθμός της παλέτας και εν τέλει μεταφέρεται στην αποθήκη.



*Εικόνα 36: Είσοδος παλέτας στο χώρο της τύλιξης*





Εικόνα 37: Τοποθέτηση stretch film από την τυλιχτική μηχανή



Εικόνα 38: Έτοιμες παλέτες για παραλαβή προς την αποθήκη

Οι αποθήκες χωρίζονται σε 4 μέρη (Α,Β,Γ και Δ) κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική χωρητικότητα :

Α	576 παλέτες
Β	696 παλέτες
Γ (μόνο για το προϊόν (5+1)×1.5)	552 παλέτες
Δ	576 παλέτες

Πίνακας 3: Χωρητικότητα παλετών στις αποθήκες



*Εικόνα 39: Χώρος αποθηκών*

## 5 Πρόβλεψη ζήτησης για το έτος 2016

### 5.1 Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της βιομηχανίας

Για την πρόβλεψη της ζήτησης της υπό μελέτη βιομηχανίας επιλέχθηκαν ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης. Η επιλογή αυτή έγινε με δεδομένη την ικανοποιητική παροχή παρατηρήσεων, που παραχωρήθηκαν από τα στελέχη της βιομηχανίας, που θα οδηγούσε σε αντικειμενικότερα και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, μειώνοντας ταυτόχρονα την υψηλή τυχαιότητα που εντοπίζεται στις ποιοτικές μεθόδους. Επιπλέον οι προβλέψεις που θα πραγματοποιούνταν θα αφορούσαν το άμεσο μέλλον, τον επόμενο χρόνο (2016). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τις μηνιαίες πωλήσεις κάθε ξεχωριστού είδους τελικού προϊόντος για τα έξι τελευταία χρόνια. Πιο συγκεκριμένα οι κυματομορφές προέκυψαν από τη χρησιμοποίηση δεδομένων των ετών 2010 έως 2015, χωρίς αυτά ωστόσο να μπορούν να παρουσιαστούν καθώς θεωρούνται απόρρητα δεδομένα για την επιχείρηση. Οι ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο απλός κινητός μέσος, ο διπλός κινητός μέσος και η μέθοδος Brown και θα αναλυθούν στη συνέχεια [37].

#### 5.1.1 Απλός Κινητός Μέσος (Simple Moving Average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των  $m$  πιο πρόσφατων παρατηρήσεων της υπό εξέταση χρονοσειράς. Ο μέσος αυτός αποκαλείται «κινητός» γιατί κάθε φορά που γίνεται διαθέσιμη μια νέα παρατήρηση, μπορεί να υπολογιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη ένας νέος αριθμητικός μέσος. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς  $Y_t$  όπου  $t=1,2,\dots,m$  χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του απλού κινητού μέσου, δίνονται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\hat{Y}_{t+1} = M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

Όπου:

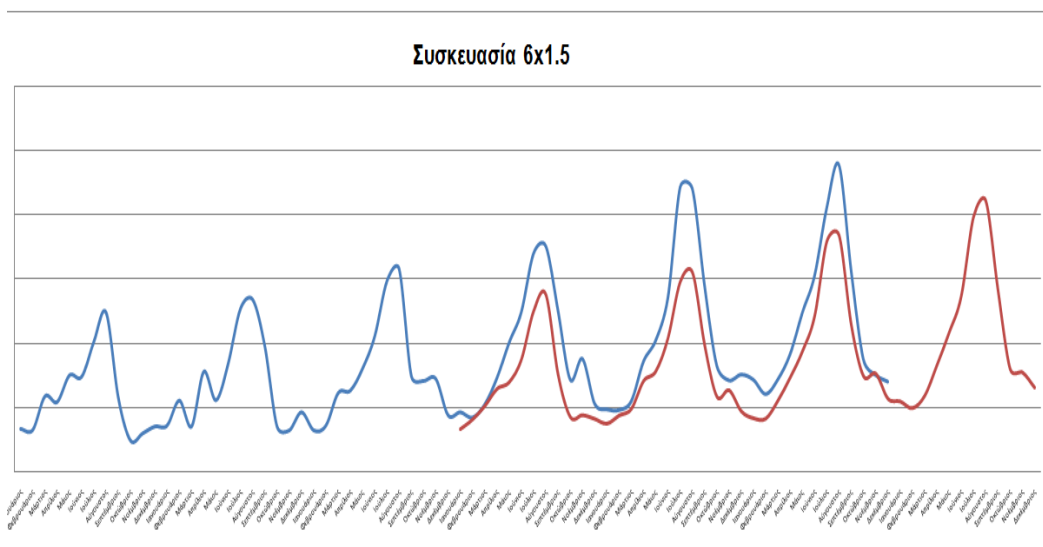
$\hat{Y}_{t+1}$  = η πρόβλεψη για την περίοδο  $(t+1)$

$M_{t+1}$  = ο απλός κινητός μέσος για την περίοδο  $(t+1)$  και

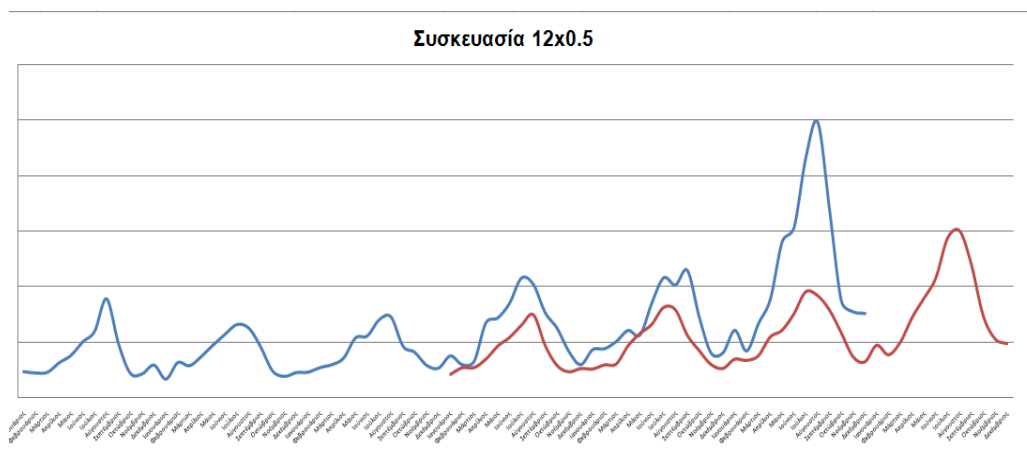
$m$  = ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του απλού κινητού μέσου



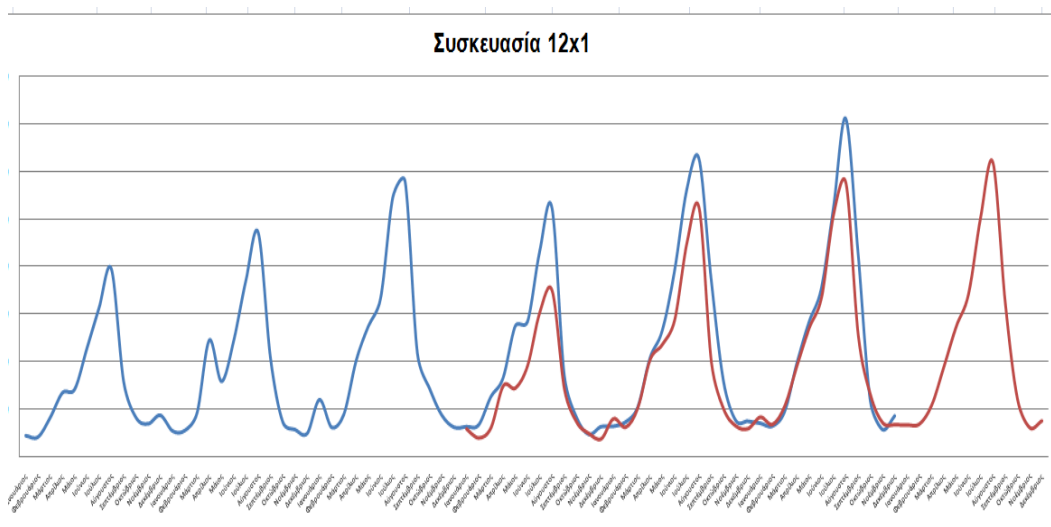
Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε ανά μήνα, αφού τα δεδομένα της ζήτησης που δόθηκαν από την εταιρεία ήταν και αυτά σε επίπεδο μηνιαίο, δηλαδή για την πρόβλεψη της ζήτησης του Ιανουαρίου του 2016, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία για τον Ιανουάριο του 2010, τον Ιανουάριο του 2011, τον Ιανουάριο του 2012, τον Ιανουάριο του 2013, τον Ιανουάριο του 2014 και τον Ιανουάριο του 2015. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά συσκευασία, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με κόκκινο οι τιμές της πρόβλεψης.



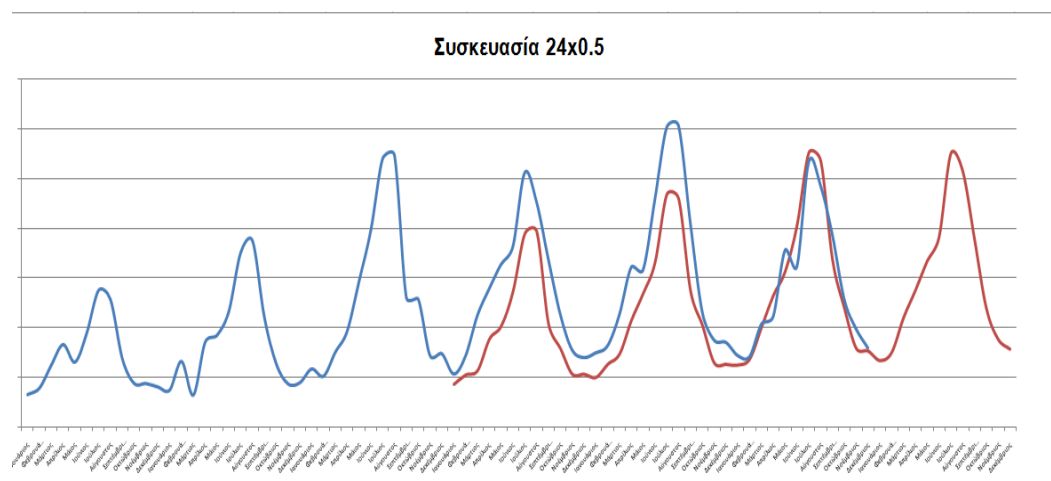
Εικόνα 40: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016



Εικόνα 41: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016



Εικόνα 42: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016



Εικόνα 43: Πρόβλεψη ζήτησης με απλό κινητό μέσο για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016

Παρατηρείται, με βάση και την προσαρμογή των γραμμών πρόβλεψης στα δεδομένα στις εικόνες 40-43, ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αν και η πιο «απλή» στην εφαρμογή της παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα, προβλέποντας με ικανοποιητική ακρίβεια την εποχικότητα αλλά και την τάση για όλες τις συσκευασίες εκτός από αυτή των 12x0.5. Η συγκεκριμένη συσκευασία παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις στις ακραίες τιμές πράγμα που οφείλεται στη ραγδαία αύξηση των πωλήσεων του αμέσως προηγούμενου έτους, λόγω της εισαγωγής της προσφοράς των (10+2)x0.5 στην ήδη υπάρχουσα συσκευασία.

### 5.1.2 Διπλός Κινητός Μέσος ( Double Moving Average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς που εξετάζουμε παρουσιάζουν μια ανοδική ή πτωτική εξελικτική πορεία που εκφράζεται από κάποια γραμμική τάση, όπως η αποτύπωση των πωλήσεων σε διάγραμμα κάνει φανερό για την υπό μελέτη περίοδο στη συγκεκριμένη περίπτωση. Βάσει αυτής της μεθόδου, ο απλός κινητός μέσος εφαρμόζεται δύο φορές. Ο δεύτερος κινητός υπολογίζεται από τους πρώτους κινητούς μέσους. Παράλληλα κατά την διαδικασία της διαμόρφωσης προβλέψεων λαμβάνεται υπόψη και η γραμμική τάση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Η διαδικασία διαμόρφωσης προβλέψεων με τον διπλό μέσο όρο πραγματοποιείται σε πέντε στάδια:

1° Στάδιο: Υπολογισμός του απλού κινητού μέσου m-περιόδων,  $M_t$ . Δηλαδή:

$$M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

2° Στάδιο: Υπολογισμός του διπλού κινητού μέσου m-περιόδων,  $M'_t$ . Δηλαδή:

$$M'_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j M_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

3° Στάδιο: Υπολογισμός της διαφοράς  $a_t$ . Ως:

$$a_t = 2 * M_t - M'_t$$

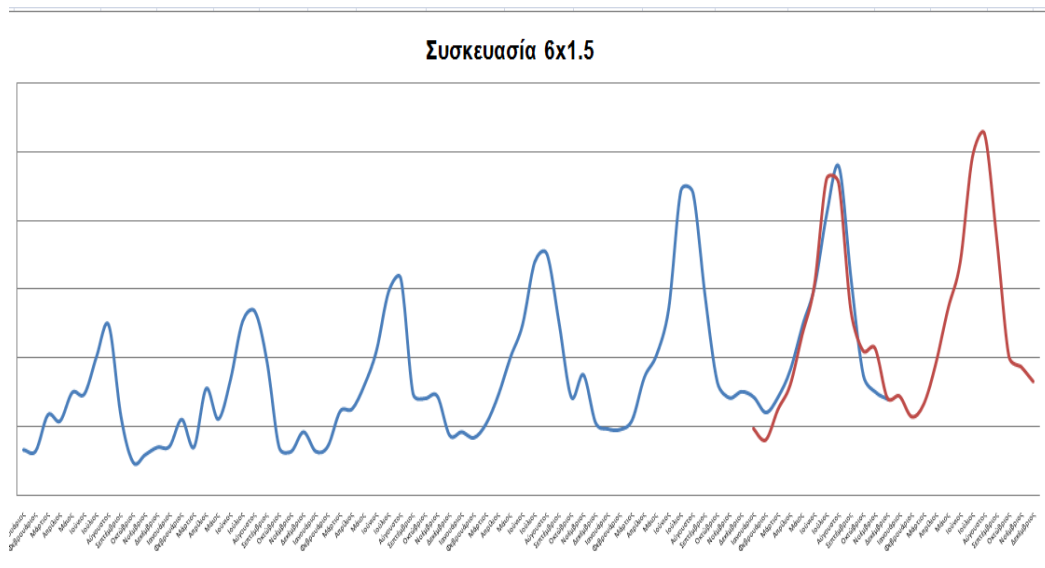
4° Στάδιο: Υπολογισμός του παράγοντα προσαρμογής για την τάση,  $b_t$ . Ως:

$$b_t = \frac{2}{(m-1)} * (M_t - M'_t)$$

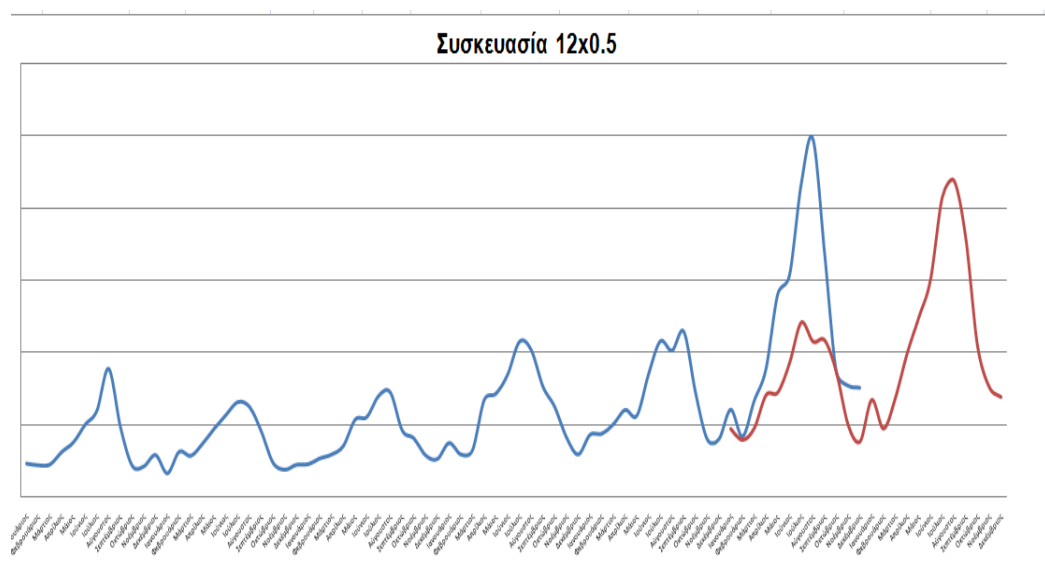
5° Στάδιο: Υπολογισμός της πρόβλεψης  $\hat{Y}_{t+h}$  για την h μελλοντική περίοδο. Ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = a_t + h * b_t$$

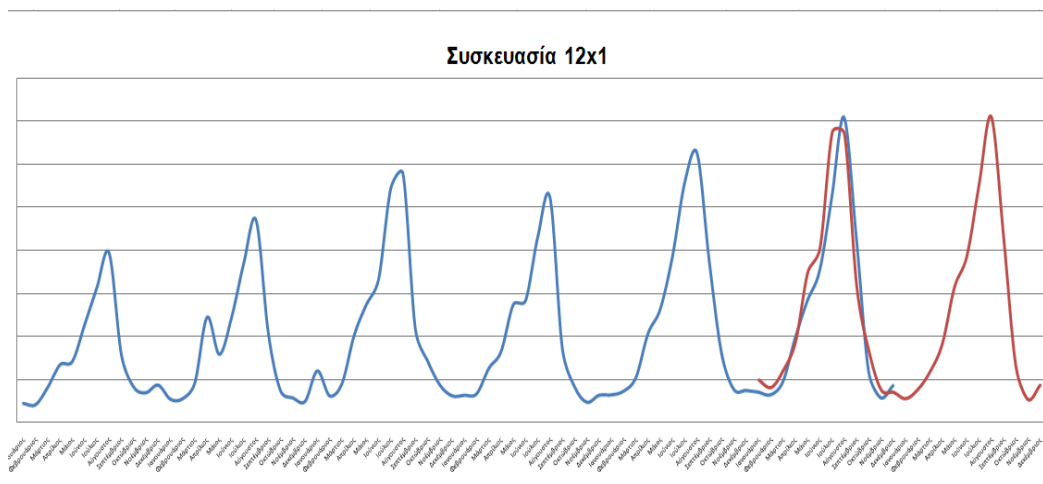
Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε επίσης ανά μήνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο συσκευασίας, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα (εικόνες 44 έως 47). Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με κόκκινο οι τιμές της πρόβλεψης.



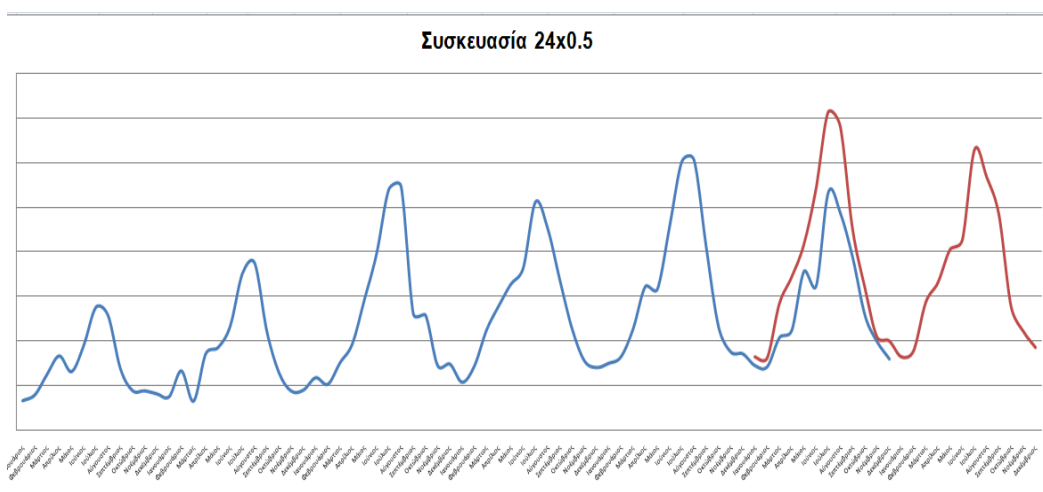
Εικόνα 44: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016



Εικόνα 45: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016



Εικόνα 46: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016



Εικόνα 47: Πρόβλεψη ζήτησης με διπλό κινητό μέσο για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016

Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει μία αρκετά καλή προσαρμογή στην εποχικότητα. Παρόλα αυτά, υστερεί στη πρόβλεψη της τάσης αλλά και κάποιων ακραίων τιμών κυρίως στις συσκευασίες 24x0.5 και 12x0.5. Συγκριτικά με την πρώτη μέθοδο που εφαρμόστηκε (απλός κινητός μέσος), τα αποτελέσματα της είναι σχετικά ικανοποιητικά.

### 5.1.3 Μέθοδος Brown

Σύμφωνα με τη μέθοδο Brown οι προβλέψεις δημιουργούνται βάσει κάποιου σταθμικού μέσου όρου, έτσι ώστε να δίνεται διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις, σε σχέση πάντοτε με την προβλεπόμενη περίοδο, από αυτή που δίνεται στις πιο απομακρυσμένες. Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου, θα θεωρηθούν ότι οι προβλέψεις της χρονοσειράς που εξετάζεται δημιουργούνται ως εξής:

$$\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + a * (1 - a) * Y_{t-1} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-2} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-n}$$

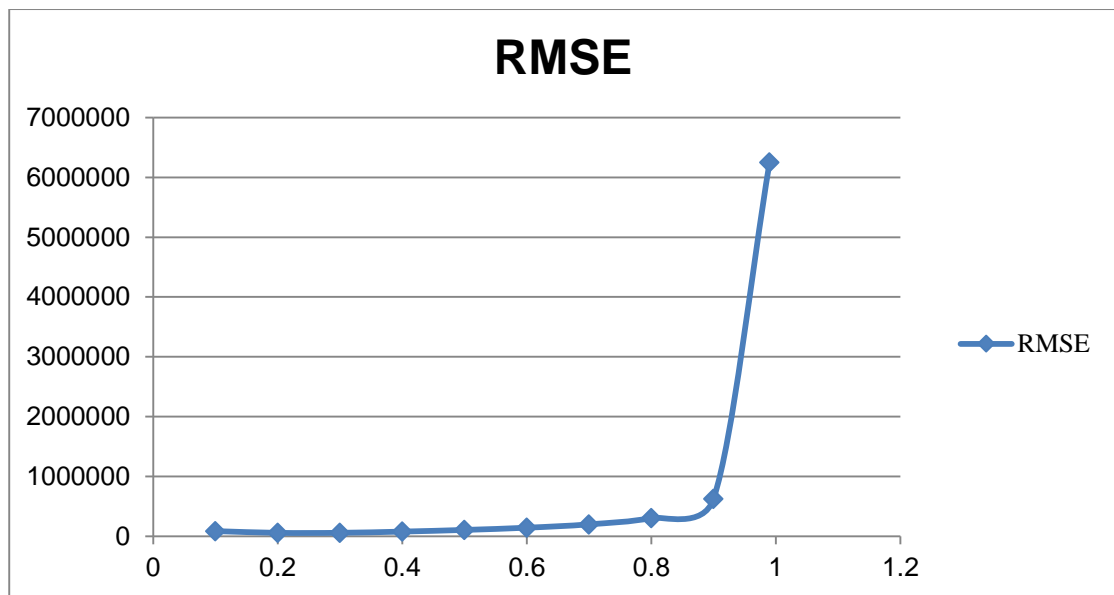
Η παράμετρος  $a$  της παραπάνω σχέσης ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης (smoothing constant) και λαμβάνει τιμές από μηδέν έως ένα, δηλαδή  $0 \leq a \leq 1$ . Βάσει της προηγούμενης σχέσης, η πρόβλεψη  $\hat{Y}_t$  για την περίοδο  $t$ , που γίνεται στην αρχή της περιόδου αυτής θα είναι:

$$\hat{Y}_t = a * Y_{t-1} + a * (1 - a) * Y_{t-2} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-3} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-1-n}$$

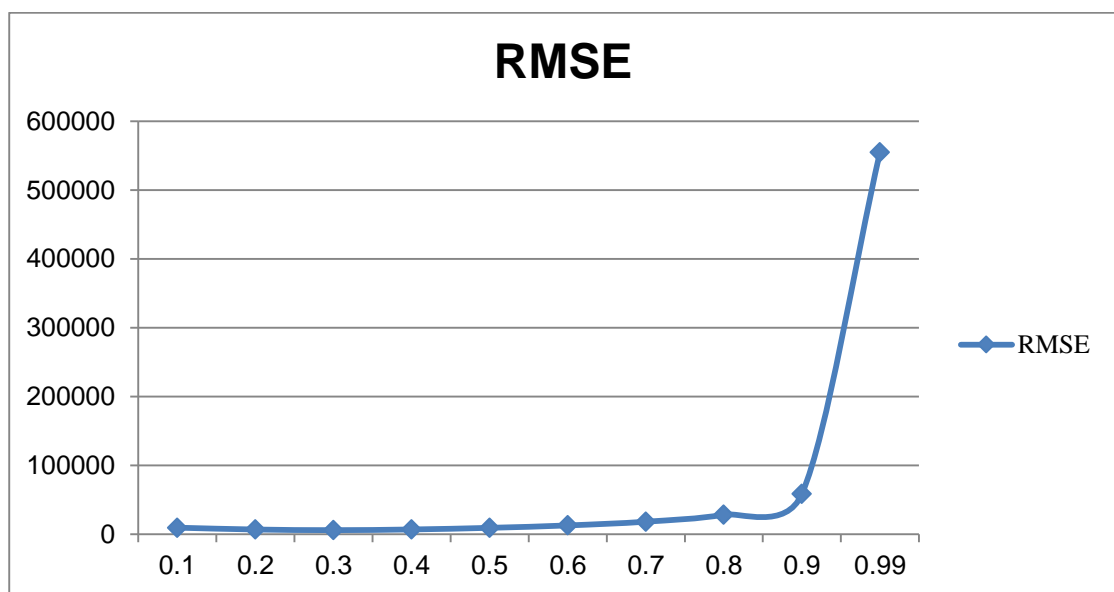
Σύμφωνα με τις δύο παραπάνω σχέσεις, προκύπτει η μαθηματική έκφραση της μεθόδου Brown: :

$$\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + (1 - a) * \hat{Y}_t, \text{ όπου } t=2,3,\dots,n \text{ και με αρχική συνθήκη } \hat{Y}_2 = Y_1.$$

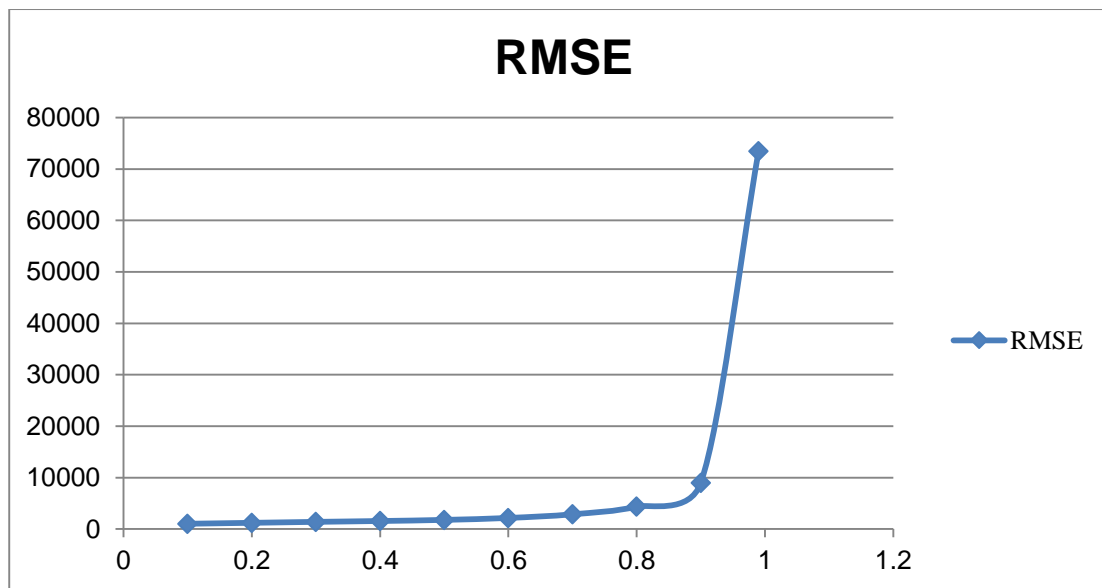
Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $a$ , επηρέαζαν κατά πολύ την πρόβλεψη αλλά και το σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο, με τη βοήθεια του Microsoft Excel, πραγματοποιήθηκε επίλυση σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του σφάλματος (σύμφωνα με τους δείκτες που υπολογίζονται στην παράγραφο 5.2), με μοναδικό άγνωστο την παράμετρο  $a$  για κάθε μήνα του έτους. Για παράδειγμα για τη συσκευασία 6x1.5 όπως προκύπτει από το διάγραμμα της εικόνας 48, η τιμή του  $a$  που ελαχιστοποιεί το RMSE για το μήνα Δεκέμβριο είναι το 0,2. Αντίστοιχα για τις συσκευασίες 12x0.5, 12x1 και 24x0.5 οι τιμές του  $a$  δειγματοληπτικά για το μήνα Δεκέμβριο φαίνονται στα διαγράμματα.



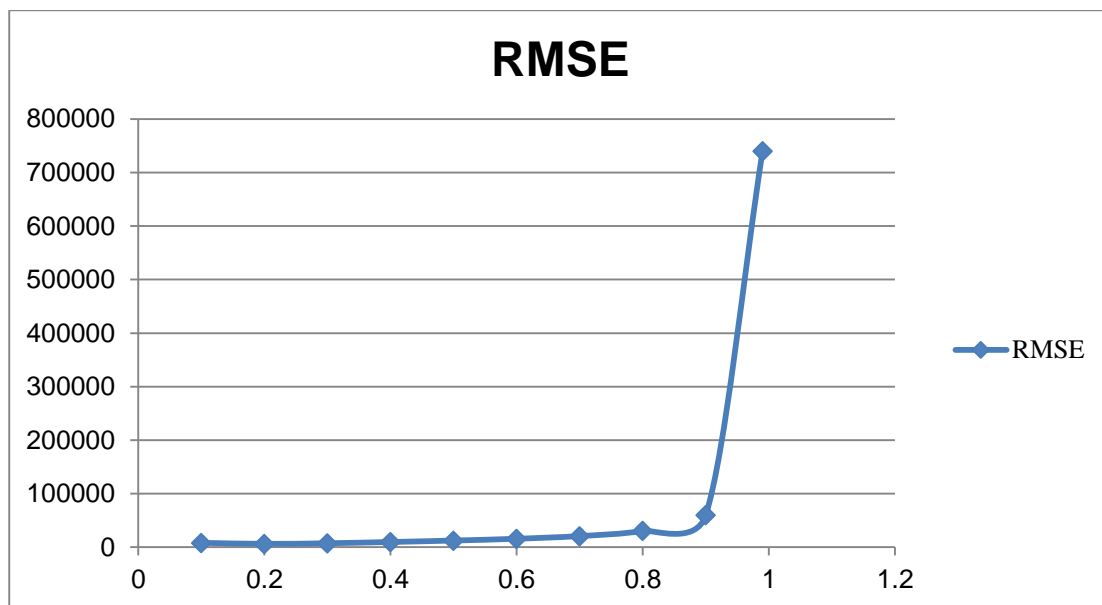
Εικόνα 48: Μεταβολή του δείκτη *RMSE* για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $\alpha$  για τη συσκευασία 6x1.5



Εικόνα 49: Μεταβολή του δείκτη *RMSE* για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου  $\alpha$  για τη συσκευασία 12x0.5



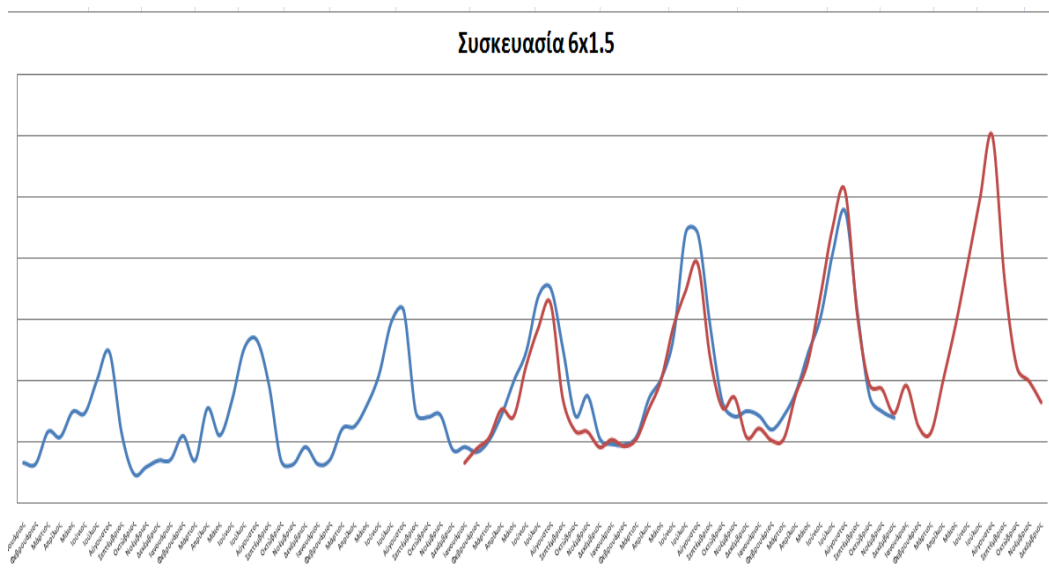
Εικόνα 50: Μεταβολή του δείκτη *RMSE* για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου *a* για τη συσκευασία 12x1



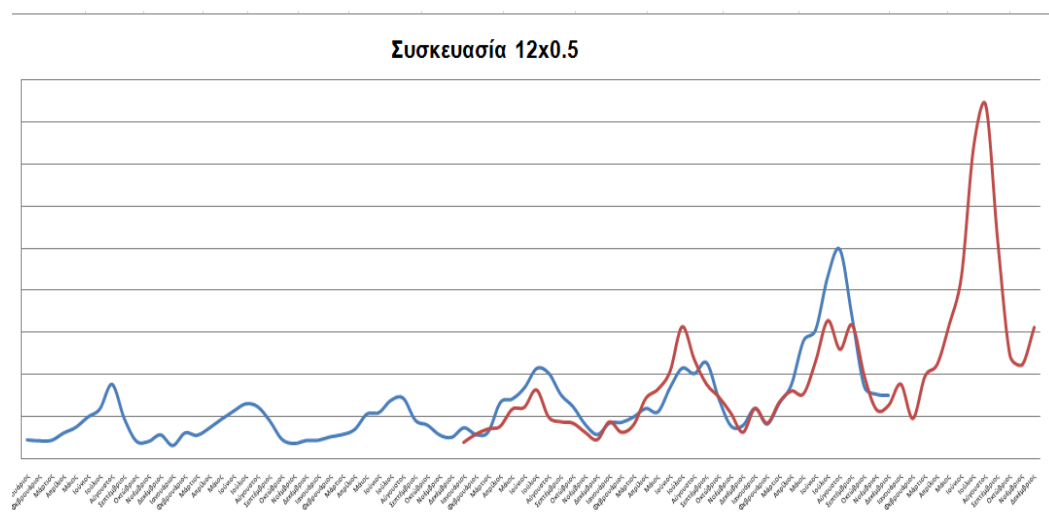
Εικόνα 51: Μεταβολή του δείκτη *RMSE* για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου *a* για τη συσκευασία 24x0.5

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά τύπο συσκευασίας, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα (εικόνες 52-55). Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με κόκκινο οι τιμές της πρόβλεψης.

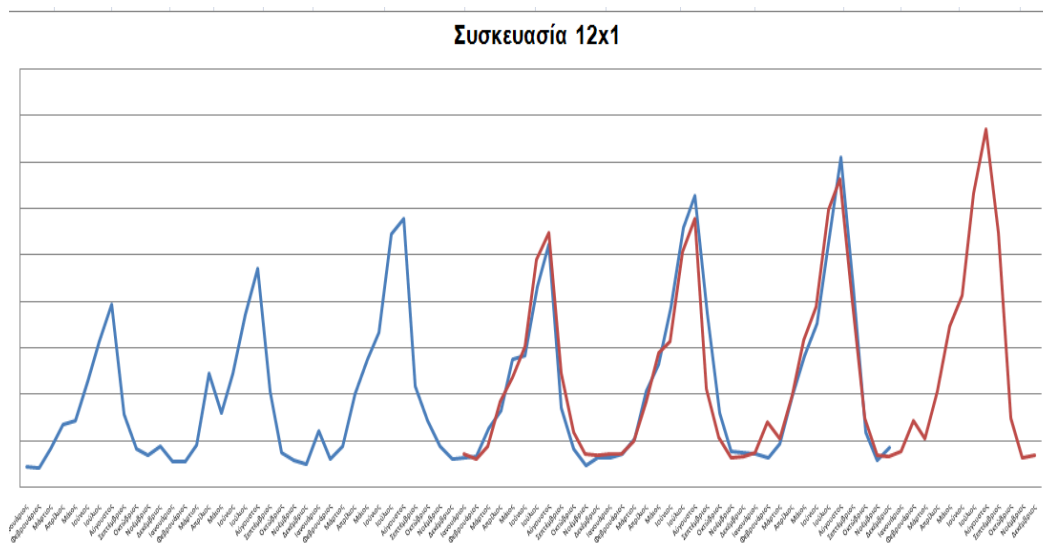




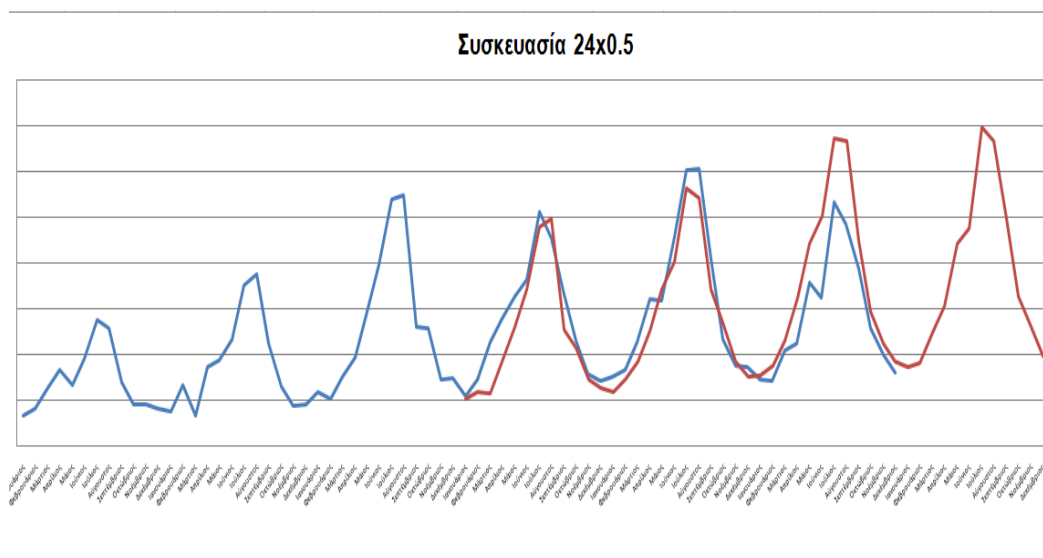
Εικόνα 52: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 6x1.5 για το έτος 2016



Εικόνα 53: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 12x0.5 για το έτος 2016



Εικόνα 54: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 12x1 για το έτος 2016



Εικόνα 55: Πρόβλεψη ζήτησης με μέθοδο Brown για συσκευασία 24x0.5 για το έτος 2016

Η μέθοδος Brown παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα, προβλέποντας με μεγάλη ακρίβεια την εποχικότητα, ιδιαίτερα για τις συσκευασίες 12x1 και 24x0.5. Επιπλέον εντοπίζει πολύ σωστά κάποιες ακραίες τιμές που εμφανίζονται κατά περιόδους σε όλους τους τύπους συσκευασιών, σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες μεθόδους που εφαρμόστηκαν.

## 5.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων

Σκοπός της εφαρμογής των κριτηρίων για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων, είναι η επιλογή της πιο κατάλληλης και αξιόπιστης μεθόδου πρόβλεψης [38],[39]. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στην απόκλιση που παρουσιάζουν οι προβλεπόμενες σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της χρονοσειράς. Η απόκλιση αυτή καλείται «Σφάλμα Πρόβλεψης» και ορίζεται ως:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όπου:

$Y_t$ : Η πραγματική τιμή της περιόδου  $t$

$\hat{Y}_t$ : Η προβλεπόμενη τιμή της περιόδου  $t$

Όσο μικρότερες είναι οι αποκλίσεις αυτές, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Τα κριτήρια που θα εξεταστούν στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν κυρίως για την επιλογή της καλύτερης μεθόδου πρόβλεψης από αυτές που εφαρμόστηκαν.

### 5.2.1 Μέσο σφάλμα (Mean error-ME)

Το μέσο σφάλμα είναι το πιο απλό μέτρο για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης. Ορίζεται ως το άθροισμα των τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των  $n$ -περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και επηρεάζεται σημαντικά από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$ME = \frac{1}{n} * \sum_t e_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους τέσσερεις διαφορετικούς τύπους συσκευασιών. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο συσκευασίας.

ΜΕ	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	- 24,47	- 17.740,59	- 14.974,78
6x1.5	47.348,00	3.623,86	- 5.745,74
12x0.5	24.520,42	18.217,97	10.340,76
12x1	1.356,44	- 946,90	- 718,78

Πίνακας 4: Αξιολόγηση προβλέψεων με κριτήριο Μέσο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Brown εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τους δύο από τους τέσσερις τύπους συσκευασιών.

### 5.2.2 Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean absolute deviation-MAD)

Η μέση απόλυτη απόκλιση εκφράζει την μέση τιμή των απόλυτων αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των απόλυτων τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και δεν επηρεάζεται από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$MAD = \frac{1}{n} * \sum_t |e_t|, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους τέσσερις διαφορετικούς τύπους συσκευασίας. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση ανά τύπο συσκευασίας.

MAD	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	6.359,53	17.740,59	14.974,78
6x1.5	47.960,11	29.636,48	22.675,92
12x0.5	24.520,42	18.217,97	11.172,86
12x1	1.773,50	2.419,85	1.536,96

Πίνακας 5: Αξιολόγηση προβλέψεων με κριτήριο Μέσο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Brown εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης στους τρεις από τους τέσσερεις τύπους συσκευασίας (12x0.5, 12x1, και 6x1.5).

### 5.2.3 Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean squared error- MSE)

Το μέσο σφάλμα τετραγώνου είναι η μέση τιμή των τετραγώνων των αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιοδών που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις. Πιο συγκεκριμένα:

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Αντίστοιχα προκύπτει και η τετραγωνική ρίζα μέσου σφάλματος τετραγώνου (Root mean squared error-RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2}, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των προαναφερθέντων κριτηρίων στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους τέσσερεις διαφορετικούς τύπους συσκευασίας. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο.

MSE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	54.679.683,42	505.150.418,71	364.305.960,32
6x1.5	3.036.510.638,46	1.228.695.532,26	687.137.364,35
12x0.5	890.855.246,19	538.996.599,19	307.718.800,70
12x1	10.482.978,09	10.196.636,30	3.727.648,42

Πίνακας 6: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Σφάλμα Τετραγώνου

RMSE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	27.339.841,71	252.575.209,36	182.152.980,16
6x1.5	1.518.255.319,23	614.347.766,13	343.568.682,18
12x0.5	445.427.623,10	269.498.299,59	153.859.400,35
12x1	5.241.489,05	5.098.318,15	1.863.824,21

Πίνακας 7: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Τετραγωνική Ρίζα Μέσου Σφάλματος Τετραγώνου

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Brown εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης στους τρεις από τους τέσσερις τύπους συσκευασίας (12x0.5, 12x1, και 6x1.5) ενώ στη συσκευασία 24x0.5 υπερτερεί ο απλός κινητός μέσος.

#### 5.2.4 Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα ( Mean percentage error-MPE)

Το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κατά πόσο η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε είναι αμερόληπτη ή όχι και ορίζεται ως το άθροισμα των σφαλμάτων των χρονοσειρών προς τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές της χρονοσειράς διαιρούμενο με τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Πιο συγκεκριμένα:

$$MPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left( \frac{e_t}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όταν οι τιμές που λαμβάνει αυτό το κριτήριο είναι κοντά στο μηδέν, τότε η μέθοδος πρόβλεψης θεωρείται αμερόληπτη. Μεγάλες τιμές του κριτηρίου, σημαίνουν πως η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει μεγάλη μεροληψία. Όταν το κριτήριο παρουσιάζει αρνητική τιμή, συνεπάγεται ότι η μέθοδος πρόβλεψης παρέχει υπερεκτιμημένες προβλεπόμενες τιμές, σε σχέση με τις πραγματικές. Αντιθέτως όταν η τιμή είναι θετική, οι τιμές της χρονοσειράς είναι υποεκτιμημένες. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους τέσσερεις διαφορετικούς τύπους συσκευασίας. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

MPE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	0,02	- 0,29	- 0,24
6x1.5	0,21	0,03	- 0,00
12x0.5	0,47	0,32	0,15
12x1	0,03	- 0,14	- 0,14

Πίνακας 8: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου, τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τις συσκευασίες 6x1.5, 12x0.5 και 12x1 εμφανίζει και πάλι η μέθοδος Brown.

### 5.2.5 Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα ( Mean absolute percentage error-MAPE)

Το συγκεκριμένο κριτήριο εξετάζει το πόσο μεγάλο είναι το σφάλμα της πρόβλεψης σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων των χρονοσειρών προς τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές της χρονοσειράς διαιρούμενο με τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Πιο συγκεκριμένα:

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left( \frac{|e_t|}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συγκεκριμένου κριτηρίου, τόσο πιο καλή θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τους τέσσερεις διαφορετικούς τύπους δέρματος. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ανά τύπο δέρματος.

MAPE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ (m=3)	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN
24x0.5	0,11	0,29	0,24
6x1.5	0,21	0,16	0,11
12x0.5	0,47	0,32	0,18
12x1	0,13	0,23	0,20

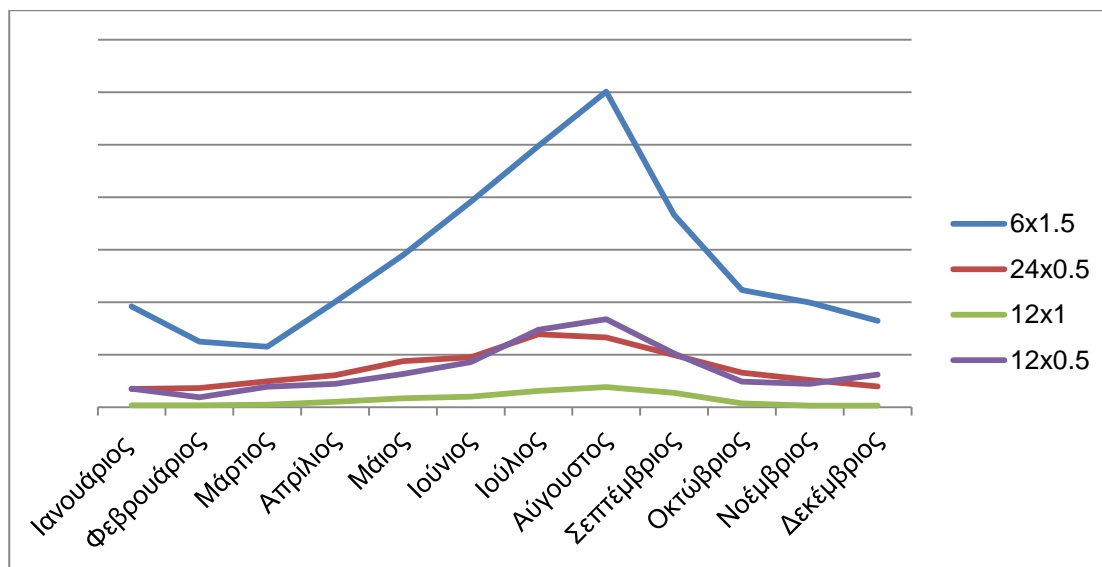
Πίνακας 9: Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα

Στο παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι βάσει το κριτηρίου του μέσου ποσοστιαίου σφάλματος, η μέθοδος Brown και ο απλός κινητός μέσος εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα υπερτερώντας έναντι του διπλού κινητού μέσου. Πιο συγκεκριμένα για τις συσκευασίες 24x0.5 και 12x1 ο απλός κινητός αποδίδει το μικρότερο σφάλμα ενώ για τις υπόλοιπες συσκευασίες η μέθοδος Brown.

### 5.3 Συμπεράσματα πρόβλεψης

Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή των κριτηρίων, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η μέθοδος Brown εμφανίζει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα (μικρότερες αποκλίσεις) από τις υπόλοιπες δύο μεθόδους, υπερτερώντας στα πέντε από τα έξι κριτήρια, σχεδόν για όλους τους τύπους συσκευασίας. Έτσι η μέθοδος Brown επιλέχθηκε και από τα κύρια στελέχη της υπό μελέτη βιομηχανίας, θεωρώντας ότι δίνει μία πολύ καλή εικόνα της μελλοντικής ζήτησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της για την πρόβλεψη της ζήτησης του έτους 2016 παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα αντίστοιχα:





Εικόνα 56: Πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2016, για όλους τους τύπους συσκευασίας

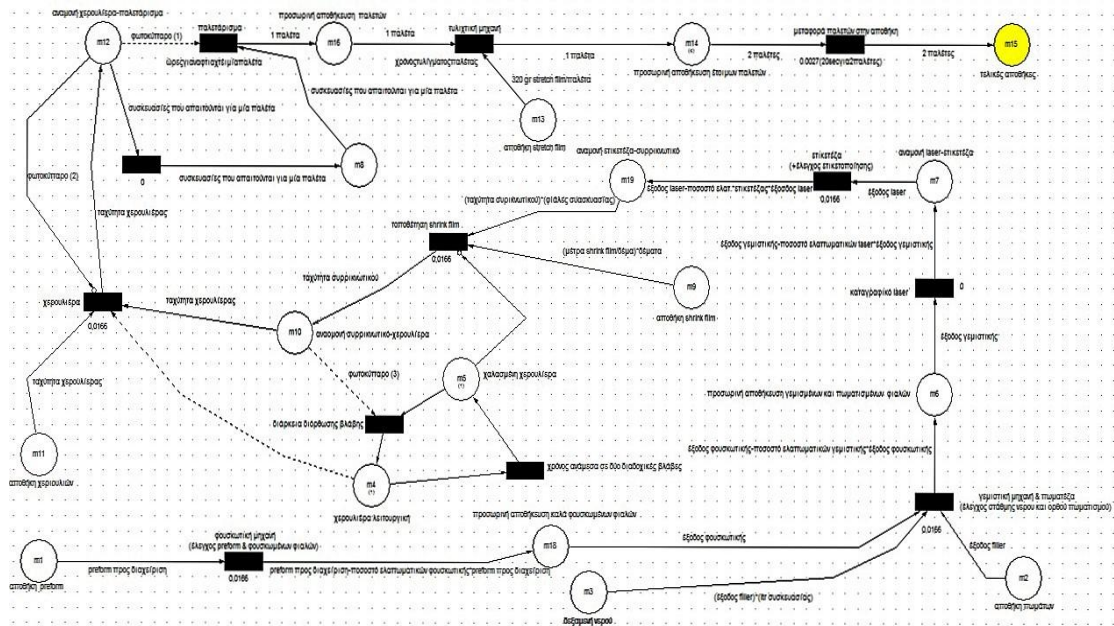
Παρατηρείται ότι η ζήτηση νερού (εικόνα 56) κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η κατανάλωση νερού είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της θερμοκρασίας. Παράλληλα η αύξηση του τουρισμού (που φτάνει έως και τα είκοσι οκτώ εκατομμύρια το 2016) τους μήνες αυτούς είναι ένα κλασσικό φαινόμενο που συντελεί στην ραγδαία αύξηση της ζήτησης. Το φαινόμενο αυτό θα ενταθεί δεδομένης της αυξητικής τάσης του τουρισμού στο χώρο που δραστηριοποιείται η ΕΤΑΝΑΠ Α.Ε.- Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά. Το γεγονός αυτό καθιστά την ανάγκη για σωστό προγραμματισμό παραγωγής και αποθεματοποίησης πιο επιτακτικό.

## **6 Μοντελοποίηση της διαδικασίας εμφιάλωσης με δίκτυα Petri και προσομοίωση βασικών σεναρίων λειτουργίας**

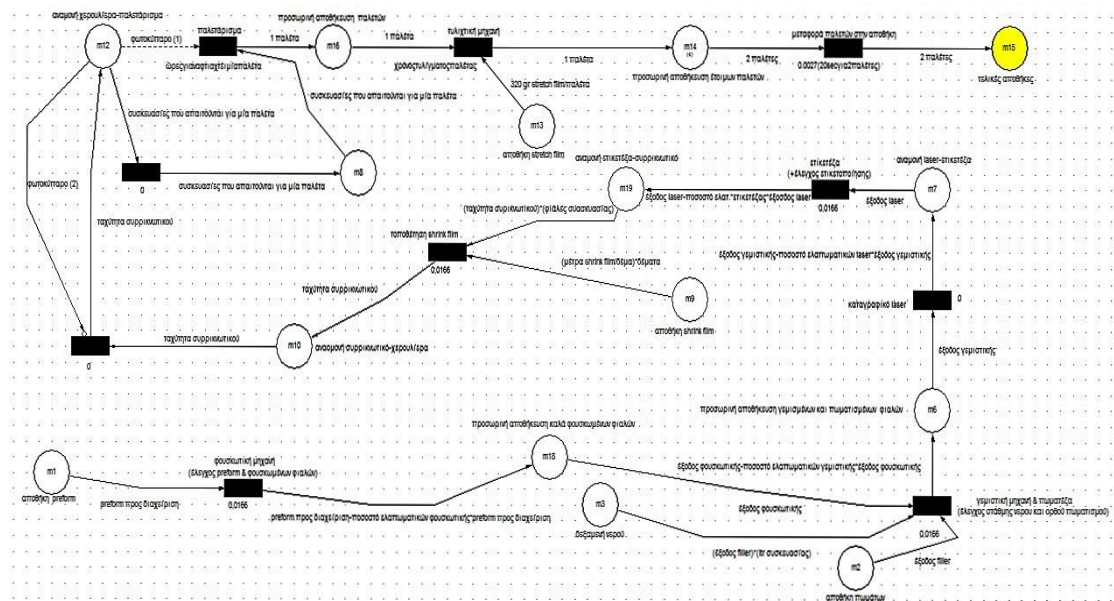
### **6.1 Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την εμφιάλωση συσκευασιών PET της υπό μελέτης βιομηχανίας με δίκτυα Petri**

Σε αυτή την ενότητα υλοποιούνται τα μοντέλα των επιμέρους εργασιών που απαρτίζουν την γραμμή εμφιάλωσης της βιομηχανίας και για τις τέσσερεις συσκευασίες: 6x1.5, 12x0.5, 12x1 και 24x0.5 ltr. Για την πιο αποτελεσματική αλλά και αναλυτικότερη μελέτη της διαδικασίας εμφιάλωσης, δημιουργήθηκαν δύο παραλλαγές του μοντέλου βάση των κοινών τους χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα σε ένα μοντέλο περιλαμβάνονται οι συσκευασίες στις οποίες τοποθετείται χερούλι (6x1.5 και 12x0.5) και στο άλλο οι υπόλοιπες (24x0.5 και 12x1) στις οποίες δε τοποθετείται χερούλι. Η υλοποίηση και στη συνέχεια, η προσομοίωση σεναρίων των μοντέλων αυτών, πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού μοντελοποίησης και προσομοίωσης χρονικών και συνεχών δικτύων Petri, Visual ObjectNet++ [40].

Αρχικά υλοποιείται το μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας στο οποίο ορίζονται οι δομικές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος καθώς και τα στάδια της παραγωγής, η ακολουθία και ο τρόπος διασύνδεσης των σταδίων αυτών, οι πρώτες ύλες που συμμετέχουν και τα προϊόντα που παράγονται από κάθε στάδιο καθώς και πιθανοί συντελεστές πολλαπλότητας με βάση τους οποίους γίνεται ο διαχωρισμός τόσο των πρώτων υλών, όσο και ενδιάμεσων προϊόντων καθώς και δομές που διασφαλίζουν την ακολουθία εκτέλεσης των διεργασιών. Στη συνέχεια δημιουργείται μηχανισμός για την αναπαράσταση των αμοιβαίως αποκλειόμενων εργασιών, επιτρέποντας έτσι την διαδοχική λειτουργία τους. Επιπλέον το μοντέλο εμπλουτίζεται με ποσοτικές παραμέτρους, που κατά κύριο λόγο αναφέρονται στις χρονικές καθυστερήσεις των (μη συνεχών) διαδικασιών, στις χωρητικότητες των αποθηκών, στα μεγέθη των παρτίδων αλλά και στα βάρη πολλαπλότητας των τόξων.

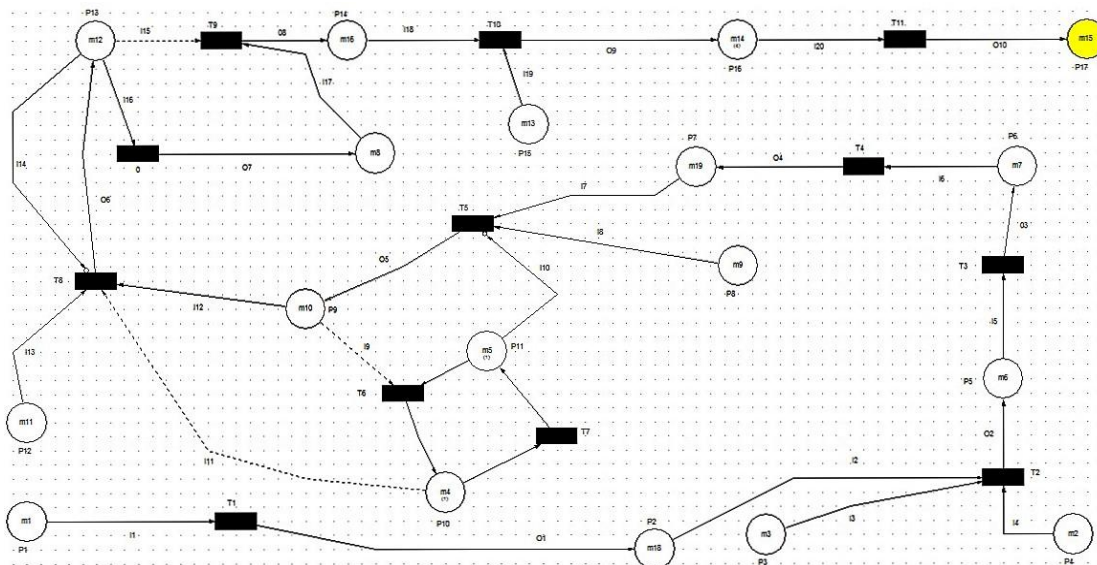


Εικόνα 57: Παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 6x1.5 και 12x0.5

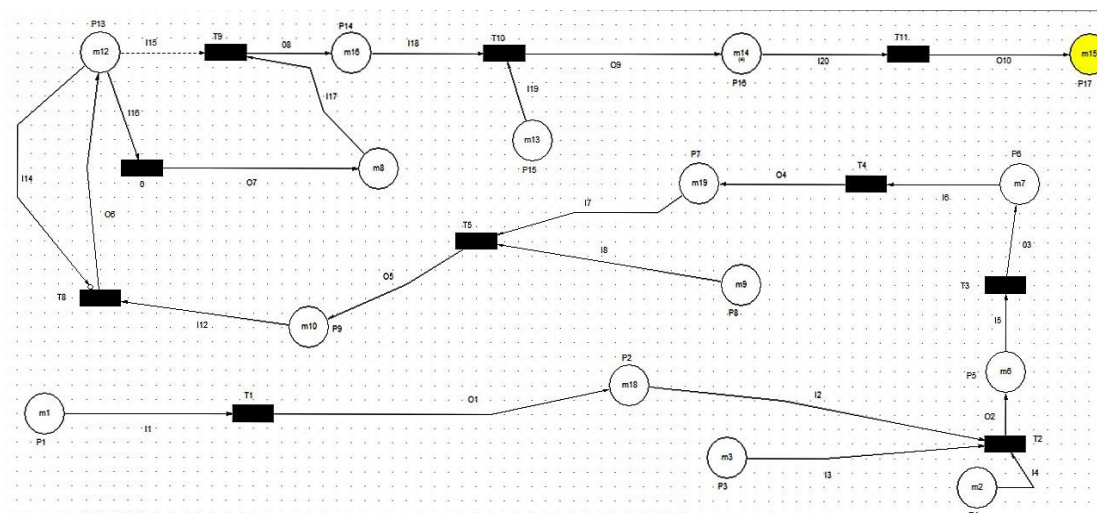


Εικόνα 58: Παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 12x1 και 24x0.5

Γίνεται εύκολα αντιληπτό από τις παραπάνω δύο εικόνες, πως τα δύο αυτά βασικά μοντέλα εμφιάλωσης έχουν ακριβώς την ίδια δομή και λειτουργία με μοναδική διαφορά να είναι η ύπαρξη μίας επιπλέον μηχανής, της χερουλιέρας.



Εικόνα 59: Κωδικοποιημένη παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 6x1.5 και 12x0.5



Εικόνα 60: Κωδικοποιημένη παρουσίαση γενικού μοντέλου συσκευασιών 24x0.5 και 12x1

Οι παρακάτω πίνακες επεξηγούν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του μοντέλου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri. Στην επόμενη στήλη παρουσιάζονται οι χωρητικότητες των θέσεων καθώς και η καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την προσομοίωση των σεναρίων.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ
P1	αποθήκη preforms	1.000.000.000(preforms)
P2	προσωρινή αποθήκευση καλά φουσκωμένων φιαλών	1.000.000.000(φιάλες)
P3	δεξαμενή νερού	1.000.000.000(ltr νερού)
P4	αποθήκη πωμάτων	1.000.000.000(πώματα)
P5	προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών	1.000.000.000(φιάλες)
P6	αναμονή laser-ετικετέζα	εξαρτάται από τη συσκευασία
P7	αναμονή ετικετέζα-συρρικνωτικό	εξαρτάται από τη συσκευασία
P8	αποθήκη shrink fillm	1.000.000.000(μέτρα shrink film)
P9	αναμονή συρρικνωτικό-χερουλιέρα	εξαρτάται από τη συσκευασία
P10	χερουλιέρα λειτουργική	1
P11	χαλασμένη χερουλιέρα	1
P12	αποθήκη χερουλιών	1.000.000.000(χερούλια)
P13	αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα	εξαρτάται από τη συσκευασία
P14	προσωρινή αποθήκευση παλετών	3 παλέτες+1 παλέτα που ετοιμάζεται
P15	αποθήκη stretch film	1.000.000.000(gr stretch film)
P16	προσωρινή αποθήκευση έτοιμων παλετών	3 παλέτες+1 παλέτα που ετοιμάζεται
P17	τελικές αποθήκες	1.000.000.000(παλέτες)

Πίνακας 10: Παρουσίαση θέσεων 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ (λεπτά της ώρας)
T1	(φουσκωτική μηχανή) έλεγχος preform & φουσκωμένων φιαλών	0,0166 (1ώρα/60λεπτά)
T2	(γεμιστική μηχανή & πωματέζα) έλεγχος στάθμης νερού & ορθού πωματισμού	0,0166
T3	(καταγραφικό laser) καταγραφή ημερομηνιών παραγωγής, λήξης	0,0166
T4	(ετικετέζα) ετικετοποίησης	0,0166
T5	τοποθέτηση shrink film	0,0166
T6	διόρθωση βλάβης χερουλιέρας	0,003(20 δευτερόλεπτα)
T7	χρόνος ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών βλαβών	16(κάθε 16 ώρες)
T8	(χερουλιέρα) τοποθέτηση χερουλιού	0,0166
T9	παλετάρισμα	χρόνος για να φτιαχτεί μία παλέτα
T10	(τυλιχτική μηχανή) τύλιγμα stretch film στην παλέτα	χρόνος για να τυλιχτεί μία παλέτα
T11	μεταφορά παλετών στην αποθήκη	χρόνος μεταφοράς δύο παλετών στην αποθήκη

Πίνακας 11: Παρουσίαση μεταβάσεων 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

Η μονάδα εμφιάλωσης νερού αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μονάδας υψηλού όγκου παραγωγής, όπου ο αριθμός των γεγονότων που συμβαίνουν στο σύστημα είναι πολύ μεγάλος και οι διάρκειες των διεργασιών πολύ σύντομες. Για το λόγο αυτό, το λεπτό σαν το μικρότερο χρόνο διακριτού γεγονότος (διακριτοποίηση της πραγματικότητας). Έτσι τα περισσότερα βάρη των τόξων διασύνδεσης έχουν προσαρμοστεί για να αναφέρονται στο πόσα κομμάτια επεξεργάζονται στο λεπτό.

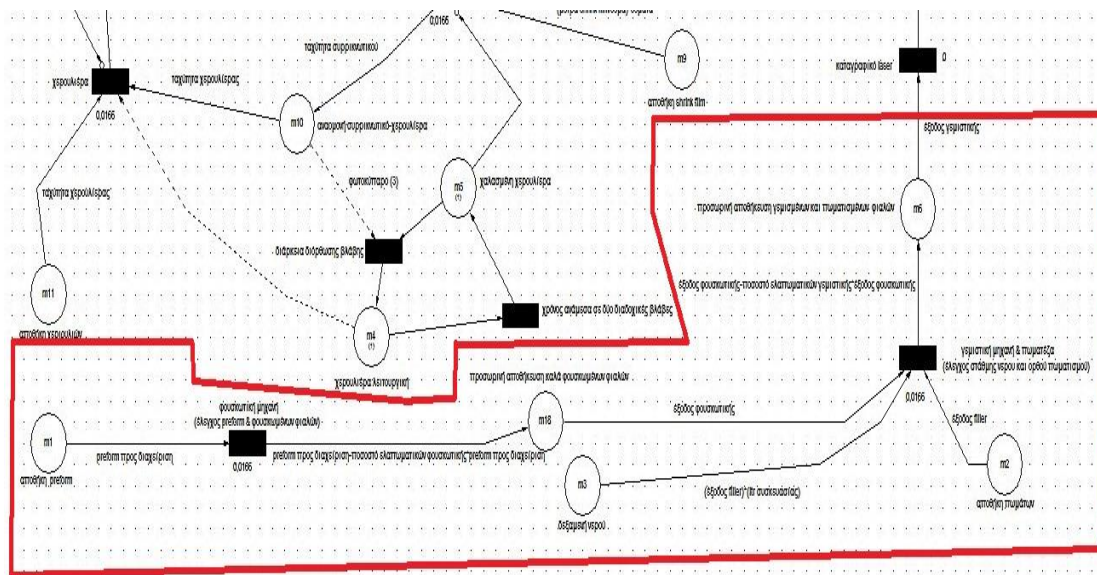
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ
I1	preforms προς διαχείριση
I2	έξοδος φουσκωτικής
I3	(έξοδος filler)*(litr συσκευασίας)
I4	έξοδος filler
I5	έξοδος filler
I6	έξοδος laser
I7	(ταχύτητα συρρικνωτικού)*(φιάλες συσκευασίας)
I8	(μέτρα shrink film)*δέματα
I9	φωτοκύτταρο (3)
I10	σήμανση απενεργοποίησης συρρικνωτικού
I11	σήμανση ενεργοποίησης χερουλιέρας
I12	ταχύτητα χερουλιέρας(δέματα/λεπτό)
I13	ταχύτητα χερουλιέρας(δέματα/λεπτό)
I14	φωτοκύτταρο (2)
I15	φωτοκύτταρο (1)
I16	συσκευασίες που απαιτούνται για μία παλέτα
I17	συσκευασίες που απαιτούνται για μία παλέτα
I18	1 παλέτα
I19	stretch film/παλέτα
I20	2 παλέτες
O1	preform προς διαχείριση-ποσοστό ελάττ.φουσκωτικής*preform προς διαχείριση
O2	έξοδος φουσκωτικής-ποσοστό ελάττ.γεμιστικής*έξοδος φουσκωτικής
O3	έξοδος γεμιστικής-ποσοστό ελάττ.laser*έξοδος γεμιστικής
O4	έξοδος laser-ποσοστό ελάττ.ετικετέζας*έξοδος laser
O5	ταχύτητα συρρικνωτικού/λεπτό
O6	ταχύτητα χερουλιέρας(δέματα/λεπτό)
O7	συσκευασίες που απαιτούνται για μία παλέτα
O8	1 παλέτα
O9	1 παλέτα
O10	2 παλέτες

Πίνακας 12: Παρουσίαση τόξων 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου



Για ευκολότερη επεξήγηση του το μοντέλο θα χωριστεί σε τέσσερα βασικά στάδια, όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 4.2 :

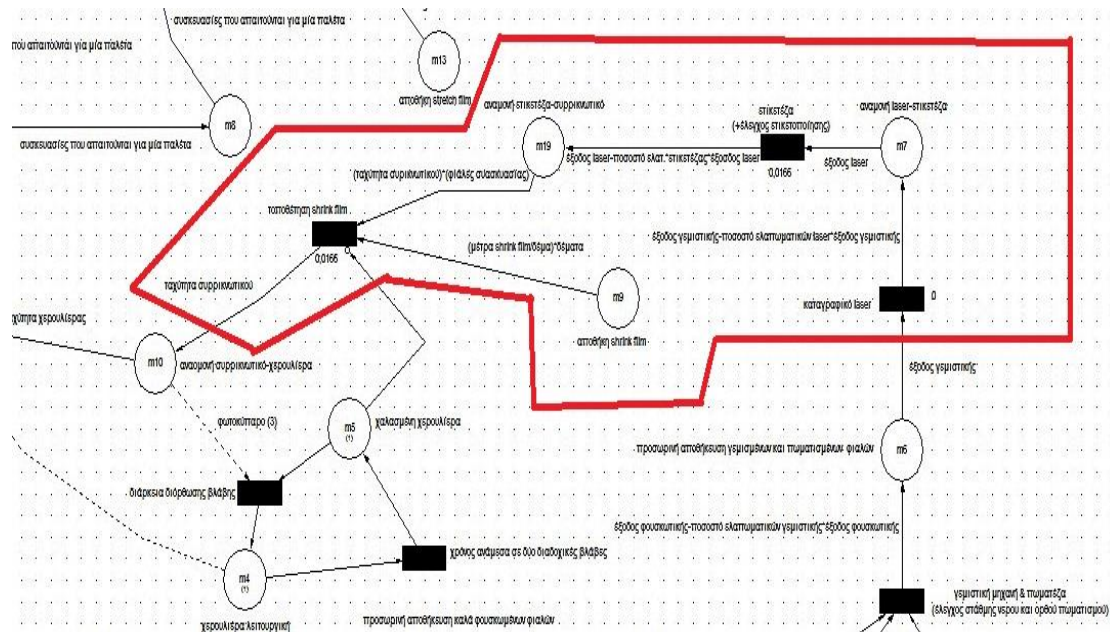
- Μονoblock (Φουσκωτική - Γεμιστική - Πωματέζα)



Εικόνα 61: 1<sup>ο</sup> στάδιο 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

Ξεκινώντας από την αποθήκη τα preforms διοχετεύονται στην είσοδο του μονoblock. Ο αριθμός των preforms προς φούσκωμα είναι επιλογή του διαχειριστή του μοντέλου. Έτσι λοιπόν τα preform έχουν εισαχθεί στο κλειστό σύστημα του μονoblock και φουσκώνονται ένα-ένα, ενώ παράλληλα γίνεται αυτόματος έλεγχος αυτών πριν φουσκωθούν αλλά και μετά για το αν φουσκώθηκαν σωστά. Επομένως η έξοδος της φουσκωτικής είναι μειωμένη κατά των αριθμό των ελαττωματικών που προαναφέρθηκαν. Υστέρα οι καλά φουσκωμένες φιάλες μεταφέρονται αυτόματα στη γεμιστική μηχανή. Για το λόγο αυτό παρεμβάλλεται στο μοντέλο μια ενδιάμεση αποθήκη άπειρης χωρητικότητας η οποία στέλνει αυτούσιες τις φουσκωμένες φιάλες για γέμισμα. Στη γεμιστική μηχανή, εκτός από το γέμισμα των φιαλών, πραγματοποιείται ένας αντίστοιχος αυτόματος έλεγχος με αυτόν στη φουσκωτική καθώς οι γεμισμένες φιάλες ελέγχονται για τη σωστή στάθμη νερού. Παράλληλα με το γέμισμα των φιαλών πραγματοποιείται και ο πωματισμός τους. Οι δύο αυτές ενέργειες στο μοντέλο παριστάνονται από μία μηχανή αφού και οι δύο διαδικασίες συμβαίνουν ταυτόχρονα. Τέλος γίνεται ένας τελευταίος αυτόματος έλεγχος ορθού πωματισμού των φιαλών. Η έξοδος του μονoblock αναφέρεται στο μοντέλο σαν προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών.

- Laser - Ετικετέζα - Συρρικνωτικό

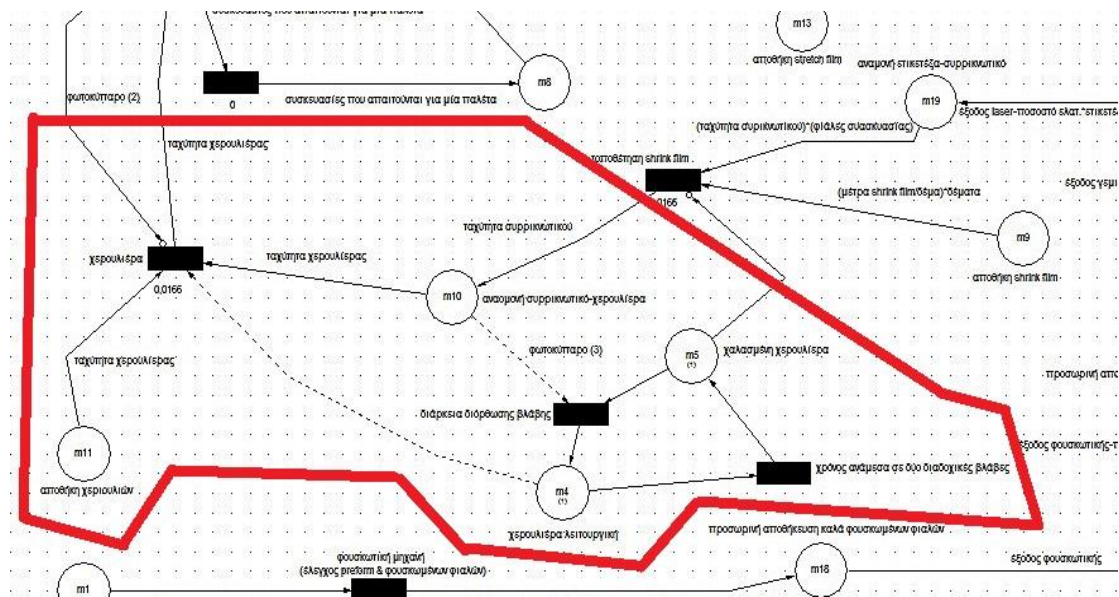


Εικόνα 62: 2<sup>ο</sup> στάδιο 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

Το δεύτερο βασικό στάδιο του μοντέλου περιλαμβάνει τις διαδικασίες της καταγραφής ημερομηνίας παραγωγής και λήξης και της ετικετοποίησης των φιαλών. Πιο συγκεκριμένα τα μπουκάκια που εξέρχονται από το μονoblock περνάνε από έναν διάδρομο στον οποίο υπάρχει το laser που τους τυπώνει την ημερομηνία παραγωγής και λήξης. Η διαδικασία αυτή δεν καθυστερεί καθόλου την ροή της παραγωγής γι αυτό και στο μοντέλο έχει εισαχθεί με μηδενική καθυστέρηση (άμεση μετάβαση). Στη συνέχεια οι φιάλες πηγαίνουν στη μεγάλη αναμονή (η χωρητικότητα της εξαρτάται από τη συσκευασία) για να φθάσουν από κει στην είσοδο της ετικετέζας όπου θα τους τοποθετηθεί η ετικέτα. Παράλληλα στη μηχανή αυτή πραγματοποιείται αυτόματος έλεγχος σωστής ετικετοποίησης με τις φιάλες που δεν τους έχει τοποθετηθεί σωστά η ετικέτα, να ξαναγυρίζουν στην αναμονή. Τέλος σειρά έχει η συσκευασία των φιαλών μέσω της τοποθέτησης του shrink film.



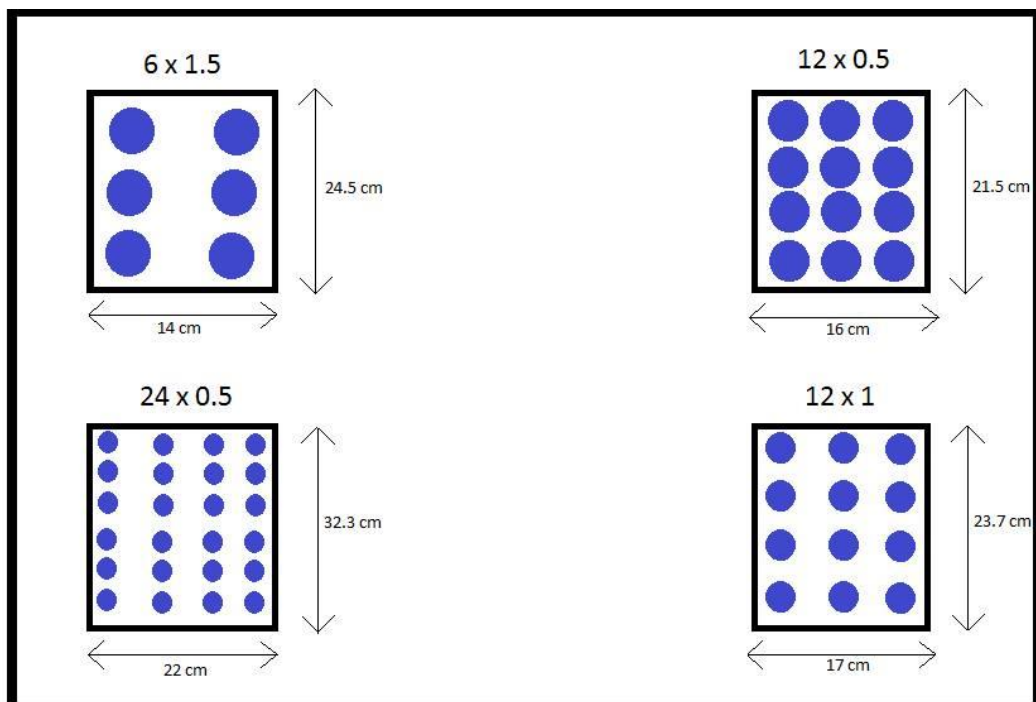
- Χερουλιέρα



Εικόνα 63: 3<sup>ο</sup> στάδιο 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

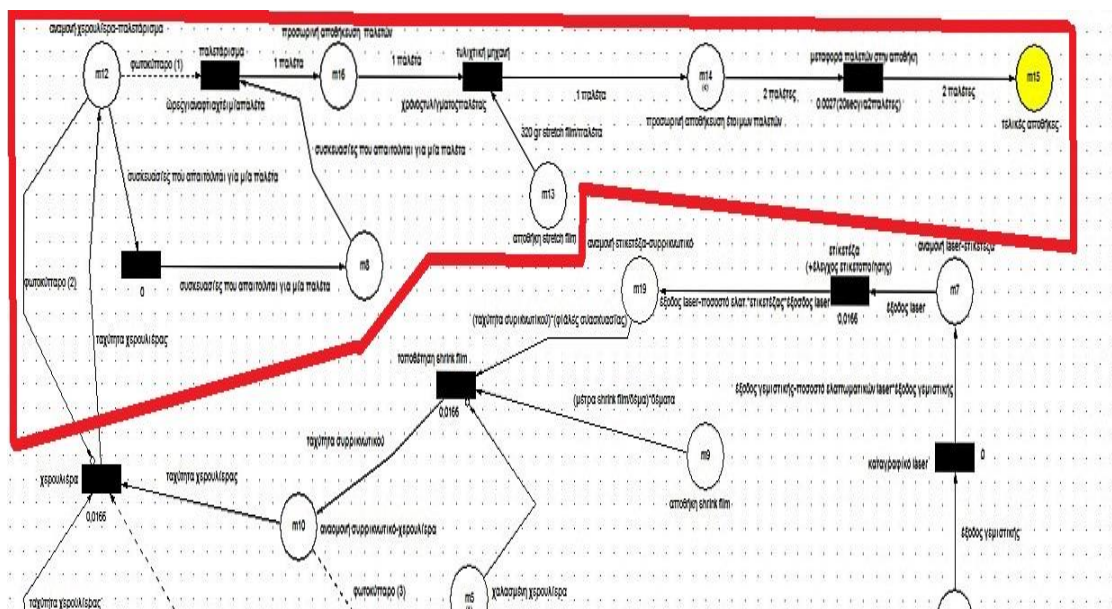
Στο συγκεκριμένο στάδιο οι συσκευασίες διασχίζουν ένα διάδρομο για να φτάσουν στην είσοδο της χερουλιέρας. Ο διάδρομος αυτός παρίσταται στο μοντέλο ως “αναμονή συρρικνωτικό-ετικετέζα” και η χωρητικότητά του εξαρτάται από τη συσκευασία. Η λειτουργία του παραπάνω διαδρόμου είναι αρκετά σημαντική καθώς η χερουλιέρα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από την αντίστοιχη ταχύτητα του συρρικνωτικού, επομένως η λειτουργία του διαδρόμου σαν προσωρινή αποθήκη συσκευασιών κρίνεται απαραίτητη.

Παράλληλα στο διάδρομο αυτό υπάρχει ένα φωτοκύτταρο το οποίο βρίσκεται σε απόσταση έξι μέτρων από τη χερουλιέρα. Όταν οι συσκευασίες φτάσουν στο ύψος του παραπάνω φωτοκύτταρου, λαμβάνει σήμα το συρρικνωτικό ότι έχει βλάβη η χερουλιέρα και σταματάει να στέλνει. Το σήμα αυτό ενεργοποιεί (βέλος ενεργοποίησης) το βρόχο διόρθωσης βλάβης της χερουλιέρας, ο οποίος επίσης ενεργοποιείται κάθε δεκαέξι ώρες (δύο βάρδιες) όπως αναφέρθηκε στα στατιστικά από τους υπεύθυνους της βιομηχανίας. Τέλος η απόσταση των έξι μέτρων έχει αντιστοιχηθεί για κάθε συσκευασία στον αριθμό που προκύπτει με τη διαίρεση της απόστασης με το οριζόντιο μήκος της συσκευασίας (εικόνες 64 και 66).



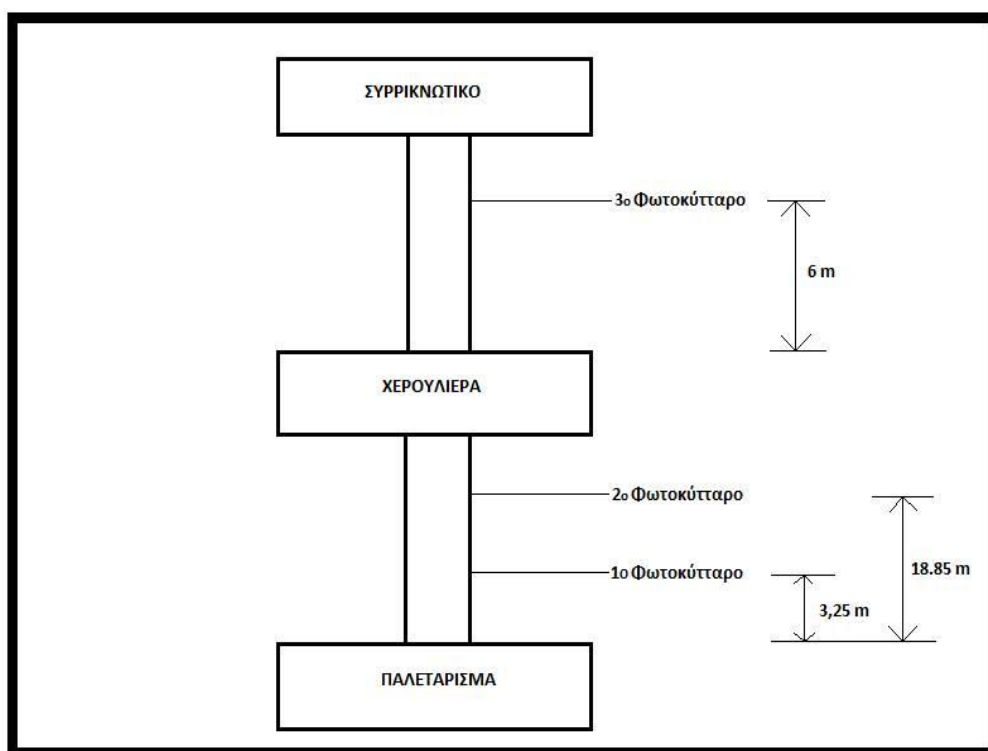
Εικόνα 64: Διαστάσεις συσκευασιών

- Παλετάρισμα - Τύλιγμα - Μεταφορά



Εικόνα 65: 4<sup>ο</sup> στάδιο 1<sup>ου</sup> γενικού μοντέλου

Στο τελευταίο στάδιο οι συσκευασίες με χερούλι πηγαίνουν στον τελικό διάδρομο (“αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα”). Στον συγκριμένο διάδρομο υπάρχουν ακόμα δυο φωτοκύτταρα. Το ένα σε απόσταση 3,25m από την μηχανή του παλεταρίσματος και το άλλο σε απόσταση 18,85m. Όταν λοιπόν τα δέματα φτάσουν στη πρώτη απόσταση ξεκινάει να λειτουργεί η διαδικασία του παλεταρίσματος, ενώ όταν φτάσουν στη δεύτερη, ειδοποιείται η χερουλιέρα ότι εμφανίστηκε βλάβη στο παλετάρισμα και σταματάει τη λειτουργία της. Η παραπάνω διαδικασία των δυο φωτοκύτταρων παριστάνεται στο μοντέλο με ένα βέλος ενεργοποίησης και ένα αντίστοιχο βέλος απενεργοποίησης. Τέλος οι συσκευασίες μετατρέπονται σε παλέτες, τυλίγεται σε αυτές το stretch film και μεταφέρονται ανά δυο στις τελικές αποθήκες.



Εικόνα 66: Παρουσίαση θέσεων φωτοκύτταρων

## 6.2 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 6x1.5

Για την υλοποίηση του παραπάνω μοντέλου, όπως και για αυτά των υπόλοιπων τύπων συσκευασιών, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της επιχείρησης που αφορούν την υπό μελέτη γραμμή παραγωγής για το έτος 2015 τα οποία μελετήθηκαν και έγινε κατάλληλη επεξεργασία τους. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι ενδείξεις των φωτοκύτταρων της γραμμής εμφιάλωσης Συγκεκριμένες χαρακτηριστικές ημέρες λειτουργίας της μονάδας (όπως έχουν παρουσιαστεί στη παράγραφο 4.2) και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή στατιστικών απαραίτητων για την ολοκλήρωση της λειτουργίας του εκάστοτε μοντέλου.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	P
1	Date and time	PREFORMS	GOOD PREFORMS	FILLER	LASER	LABELLER	PALLETIZER	ΑΠΟΘΗΚΗ		ΜΕΓΕΘΟΣ ΦΙΑΛΗΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ ΜΗΧΑΝΗΣ ΓΕΜΙΣΤΙΚΟ	ΕΛΕΓΧΟΣ (ισολέες φιάλες-preforms)
2								ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ (πλήθος)	ΦΙΑΛΕΣ (πλήθος)					
3	13/1/15 15:00	42791	42124	41702	41702	39405	6264	6384	38304	1.5	6	01:10		4487
4	13/1/15 23:00	121784	121646	121928	121912	123437	20797	20664	123984	1.5	6	00:57		-2200
5	14/1/15 15:00	106264	105851	104658	104557	103848	20327	16752	100512	1.5	6	01:32		5752
6	14/1/15 23:00	128013	127836	129042	129105	129992	21886	21588	129528	1.5	6	00:40		-1515
7	15/1/15 15:00	105486	104981	103717	103617	102591	16990	17052	102312	1.5	6	01:56		3174
8	15/1/15 23:00	103751	103852	105130	105204	106104	17948	17724	106344	1.5	6	01:11		-2593
9	16/1/15 15:00	101603	101263	100204	100108	99163	16430	17272	103632	1.5	6	01:40		-2029
10	16/1/15 23:00	835	829	1899	1988	3583	901	0	0	1.5	6	00:00		835
11		710527	708382	708280	708193	708123	121543	117436	704616				706445	5911
12	29/1/15 15:00	67667	67585	67578	67553	66456	2667	2464	59136	0.5	24	01:04		8531
13	30/1/15 15:00	105503	105204	105205	105184	105137	4398	4410	105840	0.5	24	01:22		-337
14	2/2/15 15:00	88805	88513	86014	85909	84869	3650	3465	83160	0.5	24	00:08		5645
15	2/2/15 23:00	134097	134050	136492	136554	137602	5993	5831	139944	0.5	24	00:18		-5847
16	3/2/15 15:00	118707	118650	116683	116649	115613	9512	9763	117156	0.5	12	01:15		1551
17	3/2/15 23:00	56126	56114	58135	58115	60043	5290	5016	60192	0.5	12	03:00		-4066
18		570905	570116	570107	569964	569720	31510	30949	565428				1268859	5477
19	4/2/15 15:00	74468	74321	71576	71484	69947	11283	12012	72072	1.5	6	00:52		2396
20	4/2/15 23:00	117211	78773	119512	119584	120454	20362	19530	117180	1.5	6	00:41		31
21	5/2/15 15:00	117096	154620	114154	114039	113249	18676	19236	115416	1.5	6	00:42		1680
22	5/2/15 23:00	39567	38699	41134	41199	42019	7162	6846	41076	1.5	6	01:12		-1509
23	6/2/15 15:00	94043	93885	92330	92242	90991	15008	15372	92232	1.5	6	01:41		1811
24	6/2/15 23:00	125603	125751	127305	127308	128513	21504	21158	127008	1.5	6	00:40		815

Εικόνα 67: Μορφή δεδομένων φωτοκύτταρων

ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ PREFORMS	1,1%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΟΥΣΚΤΩΤΙΚΗΣ	-0,9%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΓΕΜΙΣΤΙΚΗΣ	0,36%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ LASER	-1,69%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΤΙΚΕΤΕΖΑΣ	-2,46%

Πίνακας 13: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 6x1.5

Τα παραπάνω ποσοστά (πίνακας 13) είναι απόρροια συλλογής και ομαδοποίησης των δεδομένων που αφορούν τη συσκευασία 6x1.5. Πιο συγκεκριμένα κάθε ποσοστό του παραπάνω πίνακα παριστάνει την μέση απώλεια δύο διαδοχικών στηλών των δεδομένων. Έτσι για παράδειγμα το μέσο ποσοστό ελαττωματικών preforms έχει προκύψει από την σχέση:

$$100 * (\text{μέσος αριθμός στήλης "preforms προς διαχείριση"} - \text{μέσος αριθμός της στήλης "good preforms"}) / (\text{μέσος αριθμός στήλης "preforms προς διαχείριση"})$$

Η ίδια μαθηματική διαδικασία ακολουθείται για την εξαγωγή των υπόλοιπων στατιστικών δεδομένων ελαττωματικών. Οι αρνητικές τιμές στα παραπάνω ποσοστά είναι αποτέλεσμα της αλληλουχίας μεταξύ των βαρδιών. Για παράδειγμα όταν ξεκινάει μια νέα βάρδια μπορεί να έχουν μείνει μπουκάλια μέσα στη γραμμή από την αμέσως προηγούμενη βάρδια. Οι φιάλες αυτές όμως καταγράφονται από τα φωτοκύτταρα οδηγώντας στο παράδοξο συμπέρασμα πως ένας σταθμός δίνει περισσότερες φιάλες σε σχέση με αυτές που δέχεται. Έτσι λοιπόν η εισαγωγή των αρνητικών τιμών ως μέσου ποσοστού ελαττωματικών στο μοντέλο είναι αναγκαστική καθώς εμπεριέχει και το στατιστικό στοιχείο του μέσου αριθμού φιαλών που “ξεμένουν” στη γραμμή από προηγούμενη βάρδια.

Στους παρακάτω πίνακες (14-17) παρουσιάζονται τα δεδομένα εισαγωγής καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης πέντε βασικών σεναρίων του μοντέλου όπως αυτά προέκυψαν με βάση τη συχνότητα εμφάνισης στο πίνακα των δεδομένων των φωτοκύτταρων για τη συσκευασία 6x1.5.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ
P1	αποθήκη preforms	1.000.000.000
P2	προσωρινή αποθήκευση καλά φουσκωμένων φιαλών	1.000.000.000
P3	δεξαμενή νερού	1.000.000.000
P4	αποθήκη πωμάτων	1.000.000.000
P5	προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών	1.000.000.000
P6	αναμονή laser-ετικετέζα	2.500
P7	αναμονή ετικετέζα-συρρικνωτικό	1.900
P8	αποθήκη shrink fillm	1.000.000.000
P9	αναμονή συρρικνωτικό-χερουλιέρα	1.000.000
P10	χερουλιέρα λειτουργική	1
P11	χαλασμένη χερουλιέρα	1
P12	αποθήκη χερουλιών	1.000.000.000
P13	αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα	1.000.000
P14	προσωρινή αποθήκευση παλετών	4
P15	αποθήκη stretch film	1.000.000.000
P16	προσωρινή αποθήκευση έτοιμων παλετών	4
P17	τελικές αποθήκες	1.000.000.000

Πίνακας 14: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 6x1.5

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ (λεπτά της ώρας)
T1	(φουσκωτική μηχανή) έλεγχος preform & φουσκωμένων φιαλών	0,0166
T2	(γεμιστική μηχανή & πωματέζα) έλεγχος στάθμης νερού & ορθού πωματισμού	0,0166
T3	(καταγραφικό laser) καταγραφή ημερομηνιών παραγωγής, λήξης	0,0166
T4	(ετικετέζα) ετικετοποίησης	0,0166
T5	τοποθέτηση shrink film	0,0166
T6	διόρθωση βλάβης χερουλιέρας	0,003
T7	χρόνος ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών βλαβών	16
T8	(χερουλιέρα) τοποθέτηση χερουλιού	0,0166
T9	παλετάρισμα	0,022
T10	(τυλιχτική μηχανή) τύλιγμα stretch film στην παλέτα	0,022
T11	μεταφορά παλετών στην αποθήκη	0,0027

Πίνακας 15: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 6x1.5

Θα μελετηθούν μία σειρά από σενάρια λειτουργίας της εγκατάστασης που αναφέρονται στη χρήση διαφορετικών συνδυασμών ταχυτήτων λειτουργίας μηχανών. Επειδή στο μοντέλο οι ταχύτητες λειτουργίας των μεταβάσεων έχουν οριστεί σε όλες τις περιπτώσεις σε λεπτά της ώρας, για να αλλάξει η ταχύτητα λειτουργίας κάθε τέτοιας μετάβασης, αλλάζει ο αντίστοιχος αριθμός των τεμαχίων εισόδου προς επεξεργασία στην είσοδο της. Τα σενάρια που έχει επιλεγεί να μελετηθούν είναι ρεαλιστικά και έχουν χρησιμοποιηθεί οι καταγραφές από συγκεκριμένες βάρδιες λειτουργίας του εργοστασίου για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με την πραγματικά παραγόμενη ποσότητα.

Στον πίνακα 16 η πρώτη στήλη που παρουσιάζει τα βάρη των τόξων διασύνδεσης αναφέρεται στη χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας όπως αυτή υπολογίστηκε από τα στατιστικά στοιχεία της εταιρείας. Η επόμενη στήλη αναφέρεται στη μέση ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής εμφιάλωσης. Αντίστοιχα οι επόμενες αφορούν τα υπόλοιπα σενάρια ταχυτήτων με αύξουσα σειρά μέχρι και την τελευταία στήλη που αναφέρεται στη μέγιστη ταχύτητα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ				
I1	168	183	198	225	275
I2	167	182	197	225	274
I3	166*1.5	181*1.5	196*1.5	224*1.5	273*1.5
I4	166	181	196	224	273
I5	166	181	196	224	273
I6	169	184	199	227	278
I7	318	318	318	318	318
I8	56	56	56	56	56
I9	43	43	43	43	43
I10	1	1	1	1	1
I11	1	1	1	1	1
I12	60	60	60	60	60
I13	60	60	60	60	60
I14	134	134	134	134	134
I15	24	24	24	24	24
I16	84	84	84	84	84
I17	84	84	84	84	84
I18	1	1	1	1	1
I19	1	1	1	1	1
I20	2	2	2	2	2
O1	167	182	197	225	274
O2	166	181	196	224	273
O3	169	184	199	227	278
O4	173	183	203	233	283
O5	53	53	53	53	53
O6	60	60	60	60	60
O7	84	84	84	84	84
O8	1	1	1	1	1
O9	1	1	1	1	1
O10	2	2	2	2	2

Πίνακας 16: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 6x1.5

ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (PREFORMS)	ΕΞΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΡΔΙΑΣ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ
*87.981(ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PREFORMS)	170	170	100%
131.730(MAX PREFORMS)	226	259	87%
103.000<PREFORMS<110.00	212	212	100%
93.000<PREFORMS<98.000	186	186	100%
78.000<PREFORMS<84.000	158	158	100%

Πίνακας 17: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 6x1.5

Όπως φαίνεται και από τον τελευταίο πίνακα το μοντέλο για τη συγκεκριμένη συσκευασία παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα με μοναδική εξαίρεση το σενάριο λειτουργίας του μέγιστου αριθμού reforms προς διαχείριση. Για το συγκεκριμένο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές μιας μόνο βάρδιας οπότε αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η τυχαιότητα των αποτελεσμάτων του. Για παράδειγμα ενδέχεται η βάρδια που εμφανίστηκε ο μέγιστος αριθμός reforms να ξεκίνησε με μεγάλο αριθμό φιαλών στους επιμέρους σταθμούς της γραμμή από την αμέσως προηγούμενη βάρδια.

Ο δείκτης επαλήθευσης επιτυχής μοντελοποίησης της πραγματικότητας επομένως είναι αρκετά υψηλός, αποτελώντας το πρώτο βήμα για μελέτη εναλλακτικών σεναρίων για τη μελέτη συμπεριφοράς του εργοστασίου υπό συγκεκριμένες αλλαγές.

Στον παρακάτω πίνακα (18) παρουσιάζονται οι επί τις εκατό αυξήσεις των ταχυτήτων και οι αντίστοιχες επί τις εκατό αυξήσεις των παραγόμενων παλετών.

Ταχύτητες	168	183	198	225	275	Παλέτες	158	170	186	212	226
168	0	9%	18%	34%	64%	158	0	8%	17,7%	34%	43%
*183		0	8%	23%	50%	170		0	9%	25%	33%
198			0	14%	39%	186			0	14%	22%
225				0	22%	212				0	7%
275					0	226					0

Πίνακας 18: Αντιπαραβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 6x1.5

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται μια σχετική δυσαναλογία μεταξύ της επί τις εκατό αύξησης της ταχύτητας σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση των παραγόμενων φιαλών. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι περιπτώσεις της μετάβασης από την μέση ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής στις αμέσως επόμενες δύο. Σε αυτή τη περίπτωση η επί τις εκατό αύξηση της ταχύτητας είναι μικρότερη από την αντίστοιχη στον αριθμό των παλετών, πράγμα που αποτελεί βασικό στόχο της επιχείρησης.



### 6.3 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 12x0.5

Κατ' αντιστοιχία με παραπάνω παρατίθενται τα δεδομένα για την περίπτωση παραγωγής συσκευασιών 12x0.5

ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ PREFORMS	0,3%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΟΥΣΚΤΩΤΙΚΗΣ	1,1%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΓΕΜΙΣΤΙΚΗΣ	0,16%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ LASER	0,51%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΤΙΚΕΤΕΖΑΣ	4,87%

Πίνακας 19: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 12x0.5

Στους παρακάτω πίνακες (20-23) παρουσιάζονται τα δεδομένα εισαγωγής καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τεσσάρων βασικών σεναρίων του μοντέλου όπως αυτά προέκυψαν με βάση τη συχνότητα εμφάνισης στο πίνακα των δεδομένων των φωτοκύτταρων για τη συσκευασία 12x0.5.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ
P1	αποθήκη preforms	1.000.000.000
P2	προσωρινή αποθήκευση καλά φουσκωμένων φιαλών	1.000.000.000
P3	δεξαμενή νερού	1.000.000.000
P4	αποθήκη πωμάτων	1.000.000.000
P5	προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών	1.000.000.000
P6	αναμονή laser-ετικετζα	4.000
P7	αναμονή ετικετζα-συρρικνωτικό	3.500
P8	αποθήκη shrink fillm	1.000.000.000
P9	αναμονή συρρικνωτικό-χερουλιέρα	1.000.000
P10	χερουλιέρα λειτουργική	1
P11	χαλασμένη χερουλιέρα	1
P12	αποθήκη χερουλιών	1.000.000.000
P13	αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα	1.000.000
P14	προσωρινή αποθήκευση παλετών	4
P15	αποθήκη stretch film	1.000.000.000
P16	προσωρινή αποθήκευση έτοιμων παλετών	4
P17	τελικές αποθήκες	1.000.000.000

Πίνακας 20: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 12x0.5

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ (λεπτά της ώρας)
T1	(φουσκωτική μηχανή) έλεγχος preform & φουσκωμένων φιαλών	0,0166
T2	(γεμιστική μηχανή & πωματέζα) έλεγχος στάθμης νερού & ορθού πωματισμού	0,0166
T3	(καταγραφικό laser) καταγραφή ημερομηνιών παραγωγής, λήξης	0,0166
T4	(ετικετέζα) ετικετοποίησης	0,0166
T5	τοποθέτηση shrink film	0,0166
T6	διόρθωση βλάβης χερουλιέρας	0,003
T7	χρόνος ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών βλαβών	16
T8	(χερουλιέρα) τοποθέτηση χερουλιού	0,0166
T9	παλετάρισμα	0,049
T10	(τυλιχτική μηχανή) τύλιγμα stretch film στην παλέτα	0,022
T11	μεταφορά παλετών στην αποθήκη	0,0027

Πίνακας 21: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 12x0.5

Στον πίνακα 22 η πρώτη στήλη που παρουσιάζει τα βάρη των τόξων διασύνδεσης αναφέρεται στη μέση ταχύτητα λειτουργίας (είναι η χαμηλότερη μεταξύ των τεσσάρων σεναρίων), όπως αυτή υπολογίστηκε από τα στατιστικά στοιχεία της εταιρείας. Αντίστοιχα οι επόμενες αφορούν τα υπόλοιπα σενάρια ταχυτήτων με αύξουσα σειρά μέχρι και την τελευταία στήλη που αναφέρεται στη μέγιστη ταχύτητα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ			
I1	218	228	261	281
I2	216	228	258	279
I3	215*0.5	228*0.5	257*0.5	278*0.5
I4	215	226	257	278
I5	215	226	257	278
I6	214	224	255	276
I7	53*12	53*12	53*12	53*12
I8	12*0.84	12*0.84	12*0.84	12*0.84
I9	38	38	38	38
I10	1	1	1	1
I11	1	1	1	1
I12	36	36	36	36
I13	36	36	36	36
I14	36	36	36	36
I15	21	21	21	21
I16	133	133	133	133
I17	133	133	133	133
I18	1	1	1	1
I19	1	1	1	1
I20	2	2	2	2
O1	216	228	258	272
O2	215	226	257	278
O3	214	224	255	276
O4	204	213	241	273
O5	53	53	53	53
O6	140	140	140	140
O7	133	133	133	133
O8	1	1	1	1
O9	1	1	1	1
O10	2	2	2	2

Πίνακας 22: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 12x0.5

ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (PREFORMS)	ΕΞΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΡΔΙΑΣ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ
*104.583(ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PREFORMS)	60	61	99%
135.118(MAX PREFORMS)	82	88	93%
120.000<PREFORMS<131.00 0	70	70	100%
100.000<PREFORMS<119.00 0	64	66	97%

Πίνακας 23: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 12x0.5

Όπως παρατηρείται το μοντέλο για τη συσκευασία 12x0.5 αποδίδει σχεδόν τέλεια αποτελέσματα προβλέποντας με μεγάλη επιτυχία των αριθμό των εξαγόμενων παλετών.

Στον παρακάτω πίνακα (24) παρουσιάζονται οι επί τις εκατό αυξήσεις των ταχυτήτων και οι αντίστοιχες επί τις εκατό αυξήσεις των παραγόμενων παλετών.

Ταχύτητες	218	228	261	281	Παλέτες	60	64	74	82
*218	0	5%	20%	29%	60	0	7%	23%	37%
228		0	14%	23%	64		0	16%	28%
261			0	8%	70			0	17%
281				0	82				0

Πίνακας 24: Αντιπαραβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 12x0.5

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται αναλογία μεταξύ της επί τις εκατό (%) αύξησης της ταχύτητας σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση των παραγόμενων φιαλών, πράγμα πολύ θετικό για την λειτουργία του μοντέλου της συγκεκριμένης συσκευασίας. Ειδικότερα η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται μεταξύ της μέσης ταχύτητας, η οποία τυγχάνει να είναι η πλέον χαμηλή μεταξύ των τεσσάρων σεναρίων, και της μέγιστης.

#### 6.4 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 24x0.5

Κατ' αντιστοιχία με παραπάνω παρατίθενται τα δεδομένα για την περίπτωση παραγωγής συσκευασιών 24x0.5

ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ PREFORMS	0,4%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΟΥΣΚΤΩΤΙΚΗΣ	0,4%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΓΕΜΙΣΤΙΚΗΣ	0,19%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ LASER	1,18%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΤΙΚΕΤΕΖΑΣ	-9,17%

Πίνακας 25: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 24x0.5

Στους παρακάτω πίνακες (26-29) παρουσιάζονται τα δεδομένα εισαγωγής καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης πέντε βασικών σεναρίων του μοντέλου όπως αυτά προέκυψαν με βάση τη συχνότητα εμφάνισης στο πίνακα των δεδομένων των φωτοκύτταρων για τη συσκευασία 24x0.5.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ
P1	αποθήκη preforms	1.000.000.000
P2	προσωρινή αποθήκευση καλά φουσκωμένων φιαλών	1.000.000.000
P3	δεξαμενή νερού	1.000.000.000
P4	αποθήκη πωμάτων	1.000.000.000
P5	προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών	1.000.000.000
P6	αναμονή laser-ετικετέζα	4.000
P7	αναμονή ετικετέζα-συρρικνωτικό	3.500
P8	αποθήκη shrink fillm	1.000.000.000
P9	αναμονή συρρικνωτικό-χερουλιέρα	1.000.000
P13	αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα	1.000.000
P14	προσωρινή αποθήκευση παλετών	4
P15	αποθήκη stretch film	1.000.000.000
P16	προσωρινή αποθήκευση έτοιμων παλετών	4
P17	τελικές αποθήκες	1.000.000.000

Πίνακας 26: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 24x0.5

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ (λεπτά της ώρας)
T1	(φουσκωτική μηχανή) έλεγχος preform & φουσκωμένων φιαλών	0,0166
T2	(γεμιστική μηχανή & πωματέζα) έλεγχος στάθμης νερού & ορθού πωματισμού	0,0166
T3	(καταγραφικό laser) καταγραφή ημερομηνιών παραγωγής, λήξης	0,0166
T4	(ετικετέζα) ετικετοποίησης	0,0166
T5	τοποθέτηση shrink film	0,0166
T9	παλετάρισμα	0,0308
T10	(τυλιχτική μηχανή) τύλιγμα stretch film στην παλέτα	0,022
T11	μεταφορά παλετών στην αποθήκη	0,0027

Πίνακας 27: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 24x0.5

Στον πίνακα 28 η πρώτη στήλη που παρουσιάζει τα βάρη των τόξων διασύνδεσης αναφέρεται στη χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας όπως αυτή υπολογίστηκε από τα στατιστικά στοιχεία της εταιρείας. Η επόμενη στήλη αναφέρεται στη μέση ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής εμφιάλωσης. Αντίστοιχα οι επόμενες αφορούν τα υπόλοιπα σενάρια ταχυτήτων με αύξουσα σειρά μέχρι και την τελευταία στήλη που αναφέρεται στη μέγιστη ταχύτητα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ				
I1	187	208	240	266	284
I2	186	207	239	265	283
I3	186*0.5	203*0.5	238*0.5	264*0.5	282*0.5
I4	186	203	238	264	282
I5	186	203	238	264	282
I6	184	201	235	261	272
I7	31*24	31*24	31*24	31*24	31*24
I8	24*1.13	24*1.13	24*1.13	24*1.13	24*1.13
I14	31	31	31	31	31
I15	15	15	15	15	15
I16	63	63	63	63	63
I17	63	63	63	63	63
I18	1	1	1	1	1
I19	1	1	1	1	1
I20	2	2	2	2	2
O1	186	207	232	265	283
O2	186	203	238	264	284
O3	184	201	235	261	272
O4	201	219	256	261	304
O5	31	31	31	31	31
O6	86	86	86	86	86
O7	63	63	63	63	63
O8	1	1	1	1	1
O9	1	1	1	1	1
O10	2	2	2	2	2

Πίνακας 28: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 24x0.5


ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (PREFORMS)	ΕΞΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ
*99.823(ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PREFORMS)	66	71	93%
136.210(MAX PREFORMS)	92	93	99%
120.000<PREFORMS<135.000	86	96	90%
110.000<PREFORMS<120.000	78	81	96%
80.000<PREFORMS<99.000	60	60	100%

Πίνακας 29: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 24x0.5

Το παραπάνω μοντέλο παρουσιάζει αρκετά καλά αποτελέσματα για όλα τα σενάρια λειτουργίας της γραμμής εμφιάλωση για τη συγκεκριμένη συσκευασία. Πιο συγκεκριμένα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας από 90% και πάνω για κάθε ένα από τα πέντε βασικά σενάρια.

Στον παρακάτω πίνακα (30) παρουσιάζονται οι επί τις εκατό (%) αυξήσεις των ταχυτήτων και οι αντίστοιχες επί τις εκατό αυξήσεις των παραγόμενων παλετών.

Ταχύτητες	187	208	240	266	284
187	0	11%	28%	42%	52%
*208		0	15%	28%	37%
240			0	11%	18%
266				0	7%
284					0



Παλέτες	60	66	78	86	92
60	0	10%	30%	43%	53%
66		0	18%	30%	39%
78			0	10%	18%
86				0	7%
92					0

Πίνακας 30: Αντιπαραβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 24x0.5

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται αναλογία μεταξύ της επί τις εκατό (%) αύξησης της ταχύτητας σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση των παραγόμενων φιαλών, πράγμα πολύ θετικό για την λειτουργία του μοντέλου της συγκεκριμένης συσκευασίας. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται μεταξύ της μέσης ταχύτητας (208) και της μέγιστης.

## 6.5 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής εμφιάλωσης συσκευασίας 12x1

Κατ' αντιστοιχία με παραπάνω παρατίθενται τα δεδομένα για την περίπτωση παραγωγής συσκευασιών 12x1.

ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ PREFORMS	0,3%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΦΟΥΣΚΤΩΤΙΚΗΣ	0,3%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΓΕΜΙΣΤΙΚΗΣ	0,1%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ LASER	1,3%
ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΤΙΚΕΤΕΖΑΣ	0,4%

Πίνακας 31: Ποσοστά ελαττωματικών γραμμής εμφιάλωσης για συσκευασία 12x1

Στους παρακάτω πίνακες (32-35) παρουσιάζονται τα δεδομένα εισαγωγής καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τεσσάρων βασικών σεναρίων του μοντέλου όπως αυτά προέκυψαν με βάση τη συχνότητα εμφάνισης στο πίνακα των δεδομένων των φωτοκύτταρων για τη συσκευασία 12x1.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΘΕΣΗΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΣΗΣ
P1	αποθήκη preforms	1.000.000.000
P2	προσωρινή αποθήκευση καλά φουσκωμένων φιαλών	1.000.000.000
P3	δεξαμενή νερού	1.000.000.000
P4	αποθήκη πωμάτων	1.000.000.000
P5	προσωρινή αποθήκευση γεμισμένων και πωματισμένων φιαλών	1.000.000.000
P6	αναμονή laser-ετικετέζα	2.500
P7	αναμονή ετικετέζα-συρρικνωτικό	1.900
P8	αποθήκη shrink fillm	1.000.000.000
P9	αναμονή συρρικνωτικό-χερουλιέρα	1.000.000
P13	αναμονή χερουλιέρα-παλετάρισμα	1.000.000
P14	προσωρινή αποθήκευση παλετών	4
P15	αποθήκη stretch film	1.000.000.000
P16	προσωρινή αποθήκευση έτοιμων παλετών	4
P17	τελικές αποθήκες	1.000.000.000

Πίνακας 32: Παρουσίαση θέσεων μοντέλου για συσκευασία 12x1



ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΣΗΜΑΣΙΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ (λεπτά της ώρας)
T1	(φουσκωτική μηχανή) έλεγχος preform & φουσκωμένων φιαλών	0,0166
T2	(γεμιστική μηχανή & πωματέζα) έλεγχος στάθμης νερού & ορθού πωματισμού	0,0166
T3	(καταγραφικό laser) καταγραφή ημερομηνιών παραγωγής, λήξης	0,0166
T4	(ετικετέζα) ετικετοποίησης	0,0166
T5	τοποθέτηση shrink film	0,0166
T9	παλετάρισμα	0,0308
T10	(τυλιχτική μηχανή) τύλιγμα stretch film στην παλέτα	0,022
T11	μεταφορά παλετών στην αποθήκη	0,0027

Πίνακας 33: Παρουσίαση μεταβάσεων μοντέλου για συσκευασία 12x1

Στον πίνακα 34 η πρώτη στήλη που παρουσιάζει τα βάρη των τόξων διασύνδεσης αναφέρεται στη μέση ταχύτητα λειτουργίας όπως αυτή υπολογίστηκε από τα στατιστικά στοιχεία της εταιρείας. Αντίστοιχα οι επόμενες αφορούν τα υπόλοιπα σενάρια ταχυτήτων με αύξουσα σειρά μέχρι και την τελευταία στήλη που αναφέρεται στη μέγιστη ταχύτητα.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ ΤΟΞΟΥ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ			
I1	166	208	245	278
I2	166	208	245	278
I3	166*1	208*1	245*1	278*1
I4	166	208	245	278
I5	166	208	245	278
I6	165	205	242	275
I7	38*12	38*12	38*12	38*12
I8	38*0.96	38*0.96	38*0.96	38*0.96
I14	123	123	123	123
I15	9	9	9	9
I16	50	50	50	50
I17	50	50	50	50
I18	1	1	1	1
I19	1	1	1	1
I20	2	2	2	2
O1	166	208	245	278
O2	166	208	245	278
O3	165	205	242	275
O4	165	205	242	275
O5	38	38	38	38
O6	38	38	38	38
O7	50	50	50	50
O8	1	1	1	1
O9	1	1	1	1
O10	2	2	2	2


Πίνακας 34: Παρουσίαση τόξων διασύνδεσης μοντέλου για συσκευασία 12x1

ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ PREFORMS)	ΕΞΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΒΑΡΔΙΑΣ (ΠΑΛΕΤΕΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ
*79.771(ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ PREFORMS)	126	132	95%
133.863(MAX PREFORMS)	166	218	76%
110.000<PREFORMS<125.00	182	206	88%
90.000<PREFORMS<109.000	156	164	95%

Πίνακας 35: Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων για συσκευασία 12x1

Όπως παρατηρείται το τελευταίο μοντέλο δε παρουσιάζει τόσο καλά αποτελέσματα όσο τα προηγούμενα για τις υπόλοιπες τρεις συσκευασίες. Ειδικά στη περίπτωση του μέγιστου αριθμού preforms απέχει αισθητά από τη προσδοκώμενη τιμή. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να συμβαίνει λόγω του ότι η περίπτωση του μέγιστου αριθμού τεμαχίων (preforms) αφορά τη μελέτη μίας μόνο βάρδιας (8 ώρες), πράγμα που αυξάνει αισθητά το βαθμό τυχαιότητας σε όλες τις επιμέρους τιμές των παραμέτρου του μοντέλου. Παρ όλα αυτά το μέσο ποσοστό επιτυχίας ανέρχεται στο 88,5%, πράγμα που καθιστά το μοντέλο εν τέλει αρκετά αξιόπιστο για τη πρόβλεψη του αριθμού παλετών στη γραμμή εμφιάλωση για τη συσκευασία 12x1.

Στον παρακάτω πίνακα (36) παρουσιάζονται οι επί τις εκατό (%) αυξήσεις των ταχυτήτων και οι αντίστοιχες επί τις εκατό αυξήσεις των παραγόμενων παλετών.

Ταχύτητες	166	208	245	278		Παλέτες	126	156	182	166
*166	0	25%	48%	67%		126	0	24%	44%	32%
208		0	18%	34%		156		0	17%	6%
245			0	13%		182			0	-9%
278				0		166				0

Πίνακας 36: Αντιπαραβολή των επί τις εκατό αυξήσεων ανάμεσα στις ταχύτητες και στις παραγόμενες παλέτες για το μοντέλο της συσκευασίας 12x1

Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται μια απόκλιση μεταξύ της επί τις εκατό (%) αύξησης της ταχύτητας σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση των παραγόμενων φιαλών. Η μοναδική περίπτωση που το φαινόμενο αυτό μοιάζει να περιορίζεται εμφανίζεται στη περίπτωση αύξηση της μέσης ταχύτητας κατά 25%, όπου οι παραγόμενες παλέτες αυξάνονται κατά 24%.

## 7 Μοντελοποίηση Γραμμικού Προβλήματος

### 7.1 Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο υλοποιήθηκε η μοντελοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής, σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλες εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν το τελικό κέρδος της συγκεκριμένης βιομηχανίας κάτω από τους περιορισμούς (φυσικούς και τεχνολογικούς) που πρέπει να ισχύουν.

Συμβολισμοί :

- Δείκτης  $j$ : Μήνες του έτους  
 $j=1$  : Ιανουάριος  
 $j=2$  : Φεβρουάριος  
 $j=3$  : Μάρτιος  
 $j=4$  : Απρίλιος  
 $j=5$  : Μάιος  
 $j=6$  : Ιούνιος  
 $j=7$  : Ιούλιος  
 $j=8$  : Αύγουστος  
 $j=9$  : Σεπτέμβριος  
 $j=10$  : Οκτώβριος  
 $j=11$  : Νοέμβριος  
 $j=12$  : Δεκέμβριος
- Δείκτης  $k$ : Είδος τελικού προϊόντος(συσσκευασίας)  
 $k=1$  : 6x1.5  
 $k=2$  : 12x0.5  
 $k=3$  : 24x0.5  
 $k=4$  : 12x1
- Πίνακας  $c_{k,j}$ : Περιλαμβάνει την τιμή πώλησης ανά είδος συσκευασίας.
- Πίνακας  $z_{k,j}$ : Περιλαμβάνει την ζήτηση σε συσκευασίες τελικών προϊόντων ανά είδος και ανά μήνα του έτους, όπως αυτή έχει προκύψει από τα δεδομένα της πρόβλεψης για το έτος 2016.
- Πίνακας  $x_{k,j}$ : Περιλαμβάνει την τιμή αγοράς βοηθητικών πρώτων υλών. Οι δευτερεύουσες πρώτες ύλες έχουν ομαδοποιηθεί και αθροιστεί ξεχωριστά

για κάθε συσκευασία και μήνα. Ειδικότερα για τη περίπτωση των preforms, λόγω του ότι είναι παραπροϊόντα του πετρελαίου, το κόστος αγοράς τους πρέπει να εξαχθεί από διαδικασία πρόβλεψης βάση τιμών αγοράς προηγούμενων ετών (γενικά υπάρχει ημερήσια μεταβολή συνδεόμενη μέχρι λένα σημείο με την τρέχουσα τιμή του πετρελαίου).

- Πίνακας  $n_{k,j}$ : Περιλαμβάνει το κόστος εργατικών ανά συσκευασία, ανά μήνα του έτους. Το κόστος εργατικών υπολογίστηκε από τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6 για τον κάθε τύπο προϊόντος, κατά τις οποίες θεωρείται άμεση η εκτέλεση των εργασιών που δεν απαιτούν εργατικό δυναμικό. Τα αποτελέσματα αυτά πολλαπλασιάστηκαν με το μέσο κόστος εργατοώρας και έτσι προέκυψαν οι τιμές της συγκεκριμένης μεταβλητής.
- Πίνακας  $r_{k,j}$ : Περιλαμβάνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, ανά συσκευασία και μήνα του έτους. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε διαιρώντας το συνολικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά το έτος 2015 με την συνολική παραγωγή συσκευασιών το ίδιο έτος.
- Πίνακας  $cf_{k,j}$ : Περιλαμβάνει το κόστος επενδύόμενου κεφαλαίου (επιτόκιο) ανά κόστος αγοράς πρώτης ύλης, ανά μήνα. Το κόστος αυτό αναφέρεται στο επιτόκιο δανεισμού το οποίο μειώνεται σταθερά με την πάροδο των μηνών του έτους.
- Πίνακας  $ca_{k,j}$ : Περιλαμβάνει το κόστος αποθεματοποίησης ανά συσκευασία, ανά μήνα του έτους
- Fixed\_Costs :
  - Κόστος βλαβών και συντήρησης μηχανημάτων ανά έτος
  - Λοιπά έξοδα ανά έτος(π.χ. έξοδα αποχέτευσης, ύδρευσης κ.α.)

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ( $k,j$ )	Μήνας											
	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος
6x1.5	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή
12x0.5	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή
24x0.5	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή
12x1	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή	τιμή

Πίνακας 37: Μορφή πίνακα μεταβλητών κόστους

### Μεταβλητές Απόφασης :

- Πίνακας  $e_{k,j}$ : Περιλαμβάνει τον αριθμό συσκευασιών ανά είδος τελικού προϊόντος, ανά μήνα του έτους
- Πίνακας  $inv_{k,j}$ : Περιλαμβάνει το απόθεμα τελικού προϊόντος, ανά μήνα του έτους.

### Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\max \left[ \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^{12} [c_{k,j} * z_{k,j} - e_{k,j} * (n_{k,j} + r_{k,j} + (1 + cf_{k,j}) * x_{k,j})] - inv_{k,j} * ca_{k,j} - Fixed\_Costs \right]$$

Η προς μεγιστοποίηση αντικειμενική συνάρτηση, αναφέρεται στο ετήσιο κέρδος της βιομηχανίας. Δηλαδή από τα συνολικά έσοδα (ανά έτος) αφαιρούνται τα ετήσια έξοδα. Πιο συγκεκριμένα:

#### Έσοδα:

- $c_{k,j} * z_{k,j}$ : Έσοδα από την πώληση συσκευασιών. Πολλαπλασιάζεται η συνολική ζήτηση ανά είδος με την μοναδιαία τιμή πώλησης του εκάστοτε τύπου συσκευασίας.

#### Έξοδα:

- $e_{k,j} * (n_{k,j} + r_{k,j} + (1 + cf_{k,j}) * x_{k,j})$  : Κόστος παραγωγής συσκευασιών. Πολλαπλασιάζεται η συνολική παραγωγή ανά είδος, με τα μοναδιαία κόστη παραγωγής-εμφιάλωσης.
- $inv_{k,j} * ca_{k,j}$  : Κόστος αποθεματοποίησης συσκευασιών. Πολλαπλασιάζεται η συνολική αποθεματοποίηση ανά είδος με το αντίστοιχο μοναδιαίο κόστος αποθεματοποίησης το οποίο αναφέρεται σε λειτουργικά κόστη της αποθήκης, κόστη ασφάλειας, κόστη προσωπικού διαχείρισης κλπ.
- $Fixed\_Costs$ : Αναφέρεται στα συνολικά σταθερά ετήσια έξοδα της βιομηχανίας.

### Περιορισμοί

- Δυναμικότητα ανά είδος τελικού προϊόντος :  
Στους παρακάτω περιορισμούς ορίζεται η δυναμικότητα της υπό μελέτη βιομηχανίας αν είδος προϊόντος, ανά μήνα. Πιο συγκεκριμένα η γραμμή έχει δυναμικότητα 18.000 μπουκάλια/ώρα, οπότε πολλαπλασιάζοντας επί 8 (οχτώ ώρες η βάρδια) και επί 3 (τρεις βάρδιες τη μέρα), έχουμε την ημερήσια δυναμικότητα της γραμμής (432.000 μπουκάλια). Έτσι η μηνιαία

δυναμικότητα της γραμμής εμφιάλωσης μπορεί να υπολογιστεί αν πολλαπλασιάσουμε την ημερήσια δυναμικότητα επί τις 30 μέρες της εβδομάδας (12.960.000 μπουκάλια/μήνα). Τέλος διαιρώντας τη μηνιαία δυναμικότητα με τον αριθμό κάθε φιαλών κάθε συσκευασίας έχουμε τη δυναμικότητα της γραμμής ανά συσκευασία και μήνα.

$$e_{1,j} \leq 2.160.000 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{2,j} \leq 1.080.000 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{3,j} \leq 540.000 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

$$e_{4,j} \leq 2.160.000 \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

- Περιορισμοί μη αρνητικότητας αποθέματος :

Αναφέρονται στην μεταβλητή απόφασης  $inv_{k,j}$ .

$$inv_{k,j} \geq \text{κατώφλι (για κάθε συσκευασία και μήνα)} \quad \forall k = 1, 2, 3, 4, \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

- Εξίσωση μεταβολής αποθέματος :

Στην ουσία αυτός ο περιορισμός περιγράφει ότι ο αριθμός των συσκευασιών που παράγονται κάποιο μήνα μαζί με το απόθεμα τελικού προϊόντος του προηγούμενου μήνα, ισούται με την ζήτηση μαζί με το απόθεμα τελικού προϊόντος τον ίδιο μήνα.

$$\sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^{12} (inv_{k,j} - inv_{k,j-1} - e_{k,j} + z_{k,j}) = 0$$

- Ορισμός διακριτής μεταβλητής :

Επειδή το μέγεθος της εκάστοτε συσκευασίας για κάθε προϊόν είναι σταθερό και η παραγωγική διαδικασία δεν ξεκινάει εάν δεν έχει συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός, όλο το πρόβλημα μοντελοποιήθηκε με άγνωστο τον αριθμό των συσκευασιών και όχι των φιαλών που τις απαρτίζουν. Γι' αυτό και κρίθηκε αναγκαίο να οριστεί ότι ο αριθμός των παραγόμενων φιαλών είναι ακέραιος αριθμός.

$$e_{k,j} \in \mathbb{Z}_+ \quad \forall k = 1, 2, \dots, 4, n \quad \forall j = 1, 2, \dots, 12$$

## **7.2 Επίλυση του προβλήματος**

Το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν κατέστη δυνατόν να επιλυθεί καθώς η πρόσβαση στα κόστη της βιομηχανίας ήταν ανέφικτη. Όλα τα παραπάνω κόστη θεωρούνται απόρρητα στοιχεία της επιχείρησης και δε μπορεί κανείς να τα δημοσιοποιήσει χωρίς την έγκριση της διεύθυνσης.

## **8 Συμπεράσματα και Προτάσεις**

### **8.1 Ανακεφαλαίωση**

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται μια εκ των γραμμών εμφιάλωσης της εταιρείας ΕΤΑΝΑΠ Α.Ε. - Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά. Η συγκεκριμένη γραμμή χρησιμοποιείται για την εμφιάλωση φιαλών PET 0.5,1 και 1.5. Αρχικά παρουσιάζεται η εταιρία, η ιστορία της και η γκάμα συσκευασιών που εμφιαλώνει μαζί με οικονομικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη αγορά καθώς και την εξέλιξη της με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση των σταδίων εμφιάλωσης των συσκευασιών, των συνθηκών εκτέλεσης καθενός από τα στάδια αυτά, των πρώτων υλών (πρωτεύουσες και βοηθητικές), των χρόνων και των αναλογιών με τις οποίες εκτελούνται, μέσα από διαγράμματα ροής αλλά και με αναλυτική περιγραφή. Τόσο η παραγωγική διαδικασία όσο και τα υπόλοιπα μέρη της συγκεκριμένης μελέτης, έχουν χωριστεί βάσει των (τεσσάρων) διαφορετικών τύπων τελικού προϊόντος που παράγονται.

Βάσει των στοιχείων ζήτησης των έξι τελευταίων ετών, πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ανά τύπο συσκευασίας με χρήση εναλλακτικών μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με χρήση κατάλληλων δεικτών και επιλέχθηκε το βέλτιστο έπειτα και από έγκριση των υπευθύνων της βιομηχανίας. Τα αποτελέσματα για την ζήτηση συσκευασιών το έτος 2016 χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια της μελέτης για τον προγραμματισμό παραγωγής.

Βάσει των διαγραμμάτων αλλά και των μετρήσεων που συλλέχθηκαν, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της διαδικασίας εμφιάλωσης με χρονικά δίκτυα Petri. Στη συνέχεια προσομοιώνεται η λειτουργία του κάθε μοντέλου για κάθε ένα βασικό σενάριο λειτουργίας και καταγράφονται οι αριθμοί των εξαγόμενων παλετών για κάθε ένα τύπο συσκευασίας ανά οκτάωρο (μία βάρδια). Οι αριθμοί αυτοί συγκρίνονται με πραγματικά στατιστικά δεδομένα (αριθμούς παλετών) προηγούμενου έτους.

Η διαδικασία ελέγχου της αξιοπιστίας των μοντέλων μέσω σύγκρισης με πραγματικά δεδομένα είναι αναγκαία για να μπορούν στη συνέχεια τα μοντέλα να αξιοποιηθούν για την μελέτη άλλων σεναρίων, θεωρητικών ή μη, και των αλλαγών που θα επιφέρουν στη λειτουργία και την απόδοση της μονάδας (π.χ. μελέτη για την εγκατάσταση νέου εξοπλισμού με άλλα παραγωγικά χαρακτηριστικά). Ένα βασικό



χαρακτηριστικό των μοντέλων που έχουν υλοποιηθεί με δίκτυα Petri είναι η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους τροποποιώντας κάποιες μόνο παραμέτρους τους, δομικές ή ποσοτικές, χωρίς να απαιτείται να χτιστεί το μοντέλο από την αρχή. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως έχει κατασκευαστεί ένα ισχυρό εργαλείο για την παραπέρα μελέτη της μονάδας, τόσο στα πλαίσια μελέτης αλλά και από τους εμπλεκομένους στην παραγωγή, αφού το γραφικό τους περιβάλλον τα κάνει κατανοητά και για μη εξειδικευμένους χρήστες.

Τα παραπάνω αποτελέσματα σε συνδυασμό με επιπλέον στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της εταιρίας, χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ενός μαθηματικού γραμμικού μοντέλου η λύση του οποίου βελτιστοποιεί το ετήσιο κέρδος λειτουργίας της υπό μελέτη γραμμής εμφιάλωσης.

## **8.2 Συμπεράσματα**

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η αξιοπιστία κι η ακρίβεια των μοντέλων προσομοίωσης που υλοποιήθηκαν για κάθε ένα από τους τέσσερεις τύπους συσκευασίας ξεχωριστά. Η αξιοπιστία των μοντέλων ήταν απόρροια της σύγκρισης των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, για κάθε τύπο συσκευασίας και για κάθε επιμέρους βασικό σενάριο λειτουργίας, με πραγματικά δεδομένα. Τα πραγματικά αυτά δεδομένα ήταν εκφρασμένα σε αριθμούς εξαγόμενων παλετών. Η παραπάνω σύγκριση έδειξε πως όλα τα μοντέλα ήταν σε μεγάλο βαθμό αξιόπιστα, προβλέποντας με μεγάλη ακρίβεια τον αριθμό των τελικών παλετών σε αναλογία με τον αρχικό αριθμό preforms προς διαχείριση (ταχύτητας λειτουργίας).

Επιπλέον, από τη μελέτη διαφορετικών σεναρίων λειτουργίας της μονάδας, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τις επιθυμητές ταχύτητες λειτουργίας του εξοπλισμού, οι οποίες θα καλύψουν την αναγκαία ζήτηση και μπορούν να εξοικονομήσουν επιμέρους κόστη. Συγκεκριμένα, προκύπτει πως στην περίπτωση που οι ταχύτητες λειτουργίας των μηχανών αυξηθούν σε ένα επίπεδο πάνω από τη μέση ταχύτητα, επιτυγχάνεται ανάλογη αύξηση και της τελικής παραγωγής της μονάδας σε παλέτες προϊόντων.

### 8.3 Προτάσεις

Από τις συγκρίσεις που έγιναν για κάθε τύπο συσκευασίας και για κάθε επιμέρους σενάριο ταχύτητας σε σχέση με την αντίστοιχη επί τις εκατό (%) αύξηση του αριθμού των εξαγόμενων παλετών, αποδείχθηκε πως η μέση ταχύτητα λειτουργίας της γραμμής χρήζει αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα η μέση ταχύτητα θα μπορούσε να αυξηθεί φτάνοντας μέχρι και την αντίστοιχη ταχύτητα του αμέσως επόμενου σεναρίου λειτουργίας. Η αύξηση αυτή θα επιφέρει ανάλογη αύξηση στον αριθμό των τελικών παλετών ανά οκτάωρο και τη δυνατότητα στην επιχείρηση να γλυτώσει βάρδιες και σχετικά κόστη. Φυσικά η παραπάνω αύξηση δε μπορεί να φτάσει το σενάριο της μέγιστης ταχύτητας καθώς δεν είναι καλό η γραμμή να δουλεύει συνεχώς στο μέγιστο επίπεδο. Η λειτουργία του εργοστασίου σε μεγάλες ταχύτητες μειώνει το μοναδιαίο κόστος που αναλογεί από την εργασία του προσωπικού άρα και το τελικό μοναδιαίο κόστος.

Ακόμη η ταχύτητα στην μηχανή της ετικετοποίησης πρέπει να μειωθεί και να προσαρμόζεται κάθε φορά για κάθε τύπο συσκευασίας στη μέση ταχύτητα της γραμμής. Αυτό μπορεί να συμβεί καθώς η παραπάνω ταχύτητα έχει ρυθμιστεί σε υψηλές τιμές (315 φιάλες/λεπτό) ενώ δεν είναι αναγκαίο αφού ο τελικός αριθμός των εξαγόμενων παλετών, όπως μας έδειξαν οι προσομοιώσεις, είναι ίδιος είτε με αυτή τη ταχύτητα είτε με τη μέση ταχύτητα.

### 8.4 Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μία πολύ καλή «βάση» για την επέκταση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, εισάγοντας περισσότερα (ρεαλιστικά) στοιχεία που μπορούν να παραχωρηθούν από την βιομηχανία ETANAΠ Α.Ε.- Επιτραπέζιο Νερό Σαμαριά. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πιθανά επόμενα βήματα τα της συγκεκριμένης μελέτης:

- Μελέτη αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας με την εισαγωγή νεότερων τεχνολογιών και μηχανημάτων,
- Εναλλακτικά (ρεαλιστικά) σενάρια λειτουργίας με τον υπάρχων εξοπλισμό, (άλλοι όγκοι παραγωγής)

- Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο,
- Ανάπτυξη λογισμικού υπολογισμού του βέλτιστου πλάνου παραγωγής, λαμβάνοντας δεδομένα (απόθεμα πρώτης ύλης, ζήτησης), σε πραγματικό χρόνο
- Μελέτη για την παραγωγή επιπλέον προϊόντων (π.χ. αναψυκτικά) ή συσκευασιών στη μονάδα.

## Βιβλιογραφία

- [1] Γεώργιος Τσινάρκης – Διδακτορική διατριβή, *Μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής τυχαίας τοπολογίας με δίκτυα Petri, μία προσέγγιση ιεραρχικού ελέγχου*, Χανιά 2007.
- [2] Zhou M.C. and DiCesare F., *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [3] Peterson J. “Petri nets”, *Computing Surveys*, vol. 9, no. 3, pp. 223-252, September 1977.
- [4] Desel J. and Juhas G., “What is a Petri Net? Informal Answers for the Informed Reader”, *Unifying Petri Nets*, Ehrig H., Juhas G., Padberg J. and Rozenberg G., Eds., Springer, pp. 1-27, 2001.
- [5] Zimmerman A., διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://pdv.cs.tu-berlin.de/~azi/petri.html>.
- [6] Murata T., “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”, in *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 4, pp. 541 – 580, April 1989.
- [7] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [8] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [9] Hofstadt R., “A petri net application to model metabolic processes”, *Systems Analysis Modelling Simulation*, vol. 2, pp. 113 – 122, 1994.
- [10] Will J. and Heiner M., *Petri nets in Biology, Chemistry and Medicine –Bibliography-*, Τεχνική Έκθεση, Brandenburg University of Technology at Cottbus, 2002.
- [11] Desrochers A. and Al – Jaar R., *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems – Modeling, Control and Performance Analysis*, IEEE Press, 1995.
- [12] Levis A., *Discrete Event Systems*, Διαφάνειες, 2000.
- [13] Marsan A. M., Balbo G., Conte G., Donatelli S. and Franceschinis G., *Modeling with Generalized Stochastic Petri Nets*, Wiley, Series in Parallel Computing, 1995.
- [14] Petri C. A., *KommunikationenmitAutomaten*, Ph.D. Thesis, Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn, 1962. Also English Translation, *Communication with Automata*, Griffiss Air Force Base, New York, Tech. Rep. RADC-TR-65-377, vol. 1, Suppl. 1, 1966.
- [15] Mellado E. L. “Analysis of discrete event systems by simulation of timed Petri net models”, *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 61, pp. 53-59, 2002.
- [16] Venkatesh K. and Ilyas M. “Real-time Petri nets for modelling, controlling and simulation of Local Area Networks in Flexible Manufacturing Systems”, *Computers in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 147-162, 1995.

- [17] Zuberek W. "Timed Petri Nets in Modeling and Analysis of Cluster Tools", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 5, October 2001.
- [18] Peterson J., *Petri Net Theory And The Modeling of Systems*, Prentice Hall Inc., 1981.
- [19] Drath R., Engmann U. and Schwuchow, "Hybrid Aspects of Modeling Manufacturing Systems using Modified Petri nets", in *Proc. 5th Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Granado, Brazil, 1999.
- [20] Busi N., "Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs", *Theoretical Computer Science*, vol. 275, no. 1, pp. 127 – 177, 2002.
- [21] Ramaswamy S. and Valavanis K., "Hierarchical Time – Extended Petri Nets (HEPN's) Based. Error Identification and Recovery for Multilevel Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 26, no. 1, pp. 164 – 175, February 1996.
- [22] David R. and Alla H., *Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets*, Springer - Verlag, 2005.
- [23] Girault C. and Valk R., *Petri Nets for System Engineering*, Springer, 2002.
- [24] Valavanis K., "On the hierarchical Modeling, Analysis and Simulation of Flexible Manufacturing Systems with Extended Petri Nets", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 1, pp. 94 – 110, 1990.
- [25] Jeng M. D. and DiCesare F., "A review of synthesis techniques for Petri nets with applications to Automated Manufacturing Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 1, pp. 301-312, 1993.
- [26] Βασίλης Κουϊκόγλου – Σημειώσεις μαθήματος: Προσομοίωση, Χανιά 2002 [http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/simulation.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf).
- [27] Γεώργιος Παναγιώτου-Διπλωματική εργασία: Προβλέψεις πωλήσεων των Ι.Χ. Αυτοκινήτων σε δεκαπέντε χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2005 <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/878/1/Panagiotou.pdf>.
- [28] Γεωργία Μαργιά – Διπλωματική εργασία: Ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009 <http://invenio.lib.auth.gr/record/112902/files/MAPΓΙΑ.pdf?version=1>.
- [29] Μιχάλης Βαϊδάνης-Σημειώσεις μαθήματος: Αρχές διοίκησης και οργάνωση παραγωγής, Πρόβλεψη, Αθήνα 2005 <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3469/447/forecasting.pdf>.
- [30] Μαυρογιαννάκης Άρης - Διπλωματική εργασία: Χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου εκτροπής του ποταμού Αναποδάρη. Μελέτη της επίδρασης χρονικών παραμέτρων στη διάρκεια και στο κόστος εκτέλεσης του έργου, Χανιά 2014.
- [31] HartmutStadtler, Christoph Kilger, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 4<sup>th</sup> Edition, 2008.
- [32] HartmutStadtler, *Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing*, *European Journal of Operational Research*, vol. 94, 1995.

- [33] Γιάννης Σίσκος, *Γραμμικός Προγραμματισμός*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2000
- [34] Αντώνης Παπαδάκης, Περιβαλλοντική υγιεινή και δημόσια υγεία / εμφιαλωμένα νερά  
<https://epoptes.wordpress.com>.
- [35] Κώστας Βασίλης, Τξιδεύει το νερό του Ψηλορείτη σε Κύπρο, Ισραήλ, Γερμανία, 20/3/2016 <http://www.tovima.gr/finance/article/?aid=785805>.
- [36] Λεωνίδας Κουμάκης, Νερό: η αγορά εμφιαλωμένου νερού 2014/2015, 2/12/2105 <http://expohellas.analyst.gr/articles-el/nero-i-agora-emfiolomenou-nerou-2014-2015/>.
- [37] US-EPA Report, *Wells G & H Site Remedial Investigation report Part 1*, Woburn Massachusetts, Vol 2, p. B-34.
- [38] Pradeep Kumar Sahu, Rajesh Kumar, *Demand Forecasting For Sales of Milk Product (Paneer) In Chhattisgarh*, International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES), vol. 1, Issue-9, 2013.
- [39] Rob J. Hyndrman, Anne B. Koehler, *Another Look at Measures of Forecast Accuracy*, Department of Economics and Business Statistics, Monash University, 2005.
- [40] Drath R., Visual Object Net software package, v.2.07 a, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.ParamSoft.de/>, 2002 .
- [41] Κωνσταντίνος Βροντάκης, Αξιολόγηση αποδοτικότητας και μελέτη λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας δέρματος, Χανιά 2015