



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ**

Κωνσταντίνος Θεολογίτης

Επιβλέποντες:

Τσιναράκης Γεώργιος

Ιωαννίδης Ευστράτιος

Στην Οικογένεια.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον κύριο Τσιναράκη Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια του, τις συμβουλές του και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της. Ακόμα τον κύριο Ιωαννίδη Ευστράτιο και Μαρινάκη Ιωάννη για το χρόνο που διέθεσαν κατά την διάρκεια της παρουσίασης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό διάστημα. Ακόμα τους φίλους μου Γεράσιμο, Μανώλη, Χάρη, Αντώνη, Ευγενία, Κωνσταντίνα, Χρήστο, Κώστα, Διονύση, Βανέσσα για τη βοήθεια και στήριξη που, ο καθένας με τον τρόπο του μου παρείχαν.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους του Ομίλου Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ για την παροχή από πλευράς τους όλων των απαιτούμενων πληροφοριών για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και λοιπούς εργαζομένους της εταιρείας για την άψογη συνεργασία μας.

Περίληψη

Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός των κατάλληλων δεικτών παραγωγικότητας, είτε εμπειρικά, είτε από τη βιβλιογραφία, που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της παραγωγικότητας ενός εκ των εργοστασίων του Ομίλου Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ. Οι δείκτες θα βασίζονται στην παραγωγική διαδικασία και δυναμικότητα του εργοστασίου, ενώ δείκτες οικονομικής φύσεως δε θα μελετηθούν καθόλου. Σημαντικότεροι και βασισμένοι εξ ολοκλήρου στη βιβλιογραφία θα είναι οι δείκτες ΟΕΕ (Overall Equipment Effectiveness) και ΟΦΕ (Overall Factory Effectiveness).

Αντικείμενο της υπό μελέτη εταιρείας είναι η κατασκευή και διανομή πλήρων συστημάτων δευτερογενούς συσκευασίας (μηχανές και υλικά συσκευασίας, εργαλεία χειρός για συσκευασία, τσέρκι περιόδευσης κ.α.). Η έδρα του ομίλου βρίσκεται στην Αθήνα, ενώ έχει ενεργή παρουσία σε συνολικά 18 χώρες σε Ευρώπη, Β. Αμερική και Ασία.

Εξαιτίας του εύρους εργασιών και εργοστασίων της επιχείρησης, στην εργασία αυτή θα μελετηθεί το εργοστάσιο που βρίσκεται στα Οινόφυτα, το οποίο παράγει τα ακόλουθα προϊόντα:

- Μεταλλική ταινία περιόδευσης
- Πλαστική ταινία περιόδευσης

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί η γραμμή μεταλλικής ταινίας περιόδευσης του εργοστασίου, η οποία λειτουργεί ξεχωριστά από την πλαστική.

Η υλοποίηση της παρούσας εργασίας απαιτεί φυσική παρουσία στο εργοστάσιο, που ως σκοπό την κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας, καταγραφή και μέτρηση κατάλληλων παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και μελέτη στοιχείων που καταγράφει η ίδια η εταιρεία. Στη συνέχεια θα γίνει αξιολόγηση των δεικτών και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτούς, διάγνωση πιθανών προβλημάτων της παραγωγικής διαδικασίας και τέλος, μελέτη και προτάσεις για βελτίωση παραμέτρων της παραγωγικής διαδικασίας και άρα της συνολικής απόδοσης του εργοστασίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	7
1.1 Κίνητρα.....	7
1.2 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	8
1.3 Μέθοδος Επίλυσης.....	9
1.4 Συνεισφορά της Διπλωματικής Εργασίας.....	10
1.5 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	10
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	12
2.1 Ορισμός Παραγωγικότητας.....	12
2.2 Χρησιμοποιούμενοι Δείκτες στη Βιβλιογραφία	13
2.2.1 Θεωρητικά Μοντέλα Μέτρησης Παραγωγικότητας.....	14
2.2.2 Το Μοντέλο Q4 και ο κύκλος Δυναμικού Ελέγχου	16
2.2.3 Ο δείκτης OEE – Overall Equipment Effectiveness	20
2.3 Αναφορές στη χρήση του OEE, Βελτιώσεις και επεκτάσεις	24
2.3.1 TEEP (Total Equipment Effectiveness Performance) .	24
2.3.2 PEE (Production Equipment Efficiency)	24
2.3.3 Ο OEE για το Εργοστάσιο	25
2.3.3.1 Απλοποιημένη Μέθοδος Υπολογισμού Παραγωγικότητας Εργοστασίου OFE (Overall Factory Effectiveness)	25
2.3.3.2 Σύνθετη Μέθοδος υπολογισμού OFE (Overall Factory Effectiveness)	26
2.3.3.3 Μέθοδοι Μοντελοποίησης	30
2.4 Δίκτυα Petri	31
2.4.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri.....	31
2.4.2 Συνήθη Δίκτυα Petri	33

2.4.2.1	Δομικά στοιχεία δικτύων Petri.....	33
2.4.2.2	Μαθηματικός ορισμός συνήθων δικτύων Petri....	35
2.4.2.3	Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων	35
2.4.2.4	Σημάνσεις δικτύων Petri.....	36
2.4.2.5	Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔP	37
2.5	Επεκτάσεις δικτύων Petri	38
2.5.1	Χρονικά δίκτυα Petri.....	39
2.5.2	Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri	40
2.5.3	Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri.....	41
2.6	Προσομοίωση	44
3.	Παρουσίαση Ομίλου Μ.Ι.Μαΐλλης Α.Ε.....	45
3.2	Ο Όμιλος Μ.Ι.Μαΐλλης	45
3.2.1	Ιστορικά στοιχεία και πορεία της Εταιρείας	45
3.2.2	Εγκαταστάσεις της εταιρείας στην Ελλάδα	48
3.3	Κατάλογος προϊόντων και Υπηρεσιών του Ομίλου Μ.Ι.Μαΐλλη	49
3.3.1	Μεταλλική ταινία περίδεσης (τσέρκι)	52
3.3.1.1	Κατάλογος προϊόντων (Μεταλλική ταινία περίδεσης)	53
4.	Μελέτη Περίπτωσης Εργοστασίου Παραγωγής μεταλλικής τανίας περίδεσης.	58
4.1	Σκοπός και Εργαλεία επίλυσης	58
4.1.1	Δείκτες Παραγωγικότητας που επιλέχθηκαν	58
4.1.2	Μέθοδος Συγκέντρωσης Πληροφορίας (Data Entry) για τον υπολογισμό των Δεικτών	59
4.2	Παραγωγική Διαδικασία Μεταλλικής ταινίας περιδεσης	59
4.2.1	Στάδια Παραγωγικής Διαδικασίας	59

4.2.1.1 Μονάδα Κοπής	61
4.2.1.2 Μονάδα Αποξείδωσης (Pickling Line)	64
4.2.1.3 Μονάδα Ψυχρής Έλασης	67
4.2.1.4 Patenting Line.....	69
4.2.1.5 Γραμμές 3,4,5	70
4.2.1.6 Βοηθητικός Μηχανολογικός Εξοπλισμός	75
4.2.2 Βασικές Παράμετροι λειτουργίας Εργοστασίου.....	75
4.2.2.1 Πρότυπες Δυναμικότητες παραγωγής και εργατικό προσωπικό	75
4.2.2.2 Χωρητικότητες αποθηκευτικών χώρων.....	76
4.3 Συγκέντρωση Πληροφορίας (Data Entry) για τον υπολογισμό των Δεικτών	78
4.3.1 Οργάνωση Πληροφορίας και κατηγοριοποίηση μεταβλητών	78
4.3.1.1 Ταυτότητα Προϊόντων	78
4.3.1.2 Χρονικές Μεταβλητές	80
4.3.1.3 Ελλατωματικά τελικά/ημιτέτοιμα προϊόντα	82
4.4 Υπολογισμός Δεικτών	83
4.4.1 «Παραγώμενη ποσότητα (ανα εντολή παραγωγής – Κωδικός υλικού) / Πραγματικές μηχανοώρες»	83
4.4.1.1 Διαδικασία Υπολογισμού Δείκτη	83
4.4.1.2 Φυσική σημασία και Μειονεκτήματα Δείκτη.....	85
4.4.2 «Πρότυπες Μηχανοώρες που απαιτήθηκαν για την παραγώμενη ποσότητα ανα κέντρο εργασίας / Πραγματικές Μηχανοώρες ανα Κέντρο εργασίας»	85
4.4.2.1 Υπολογισμός Δείκτη	86
4.4.2.2 Φυσική σημασία και Αποτελέσματα Δείκτη	86
4.4.3 OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	89
4.4.3.1 Υπολογισμός Δείκτη OEE.....	90
4.4.3.2 Φυσική σημασία και Αποτελέσματα Δείκτη	91

4.4.4	OTE (Overall Throughput Effectiveness) – OFE (Overall Factory Effectiveness)	92
4.4.4.1	Προσαρμογές των τύπων του OTE	92
4.4.4.2	Υπολογισμός και Αποτελέσματα του OTE - OFE	94
4.4.4.3	Σενάριο αναβάθμισης μηχανών με σκοπό την αύξηση του OFE (Overall Factory Effectiveness)	100
5.	Μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας.	107
5.1	Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την παραγωγή μεταλλικής ταινίας περίδεσης με δίκτυα Petri	107
5.1.1	Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής μεταλλικής ταινίας περίδεσης	108
5.1.1.1	Μοντελοποίηση έναρξης παραγωγικής διαδικασίας – Διαδικασίας Κοπής	124
5.1.1.2	Μοντελοποίηση διαδικασίας Αποξείδωσης (Pickling).....	125
5.1.1.3	Μοντελοποίηση διαδικασίας Έλασης	126
5.1.1.4	Μοντελοποίηση διαδικασίας Patenting ...	127
5.1.1.5	Μοντελοποίηση διαδικασίας τελικών κατεργασιών στις γραμμές 3,4,5	128
5.2	Προσομοίωση και υπολογισμός δείκτη $OFE_{simulation}$ (Overall Factory Effectiveness)	130
5.3	Συμπεράσματα	131
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	132
6.1	Ανακαιφαλέωση.....	132
6.2	Συμπεράσματα	134
6.3	Προτάσεις	135
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	137

1^ο Κεφάλαιο

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα

Με την απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης, την άνθηση του καπιταλισμού με τις (θεωρητικά) ίσες ευκαιρίες για επιτυχία, τους κύκλους της οικονομίας, αλλά και τον ερχομό της παγκοσμιοποίησης, με την τελευταία να έχει πια ως ισχυρότερο θεμέλιο της τον παγκόσμιο ιστό (Internet), έχει οικοδομηθεί ένα απαιτητικό, συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, το οποίο καθιστά τη μάχη για επιβίωση και καθιέρωση για τις εταιρείες και τους οργανισμούς μια δύσκολη, αέναη και ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία.

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, οι βασικές ανάγκες και απαιτήσεις των ανθρώπων ήταν περιορισμένες, κάτι που έκανε εύκολη τη δουλειά των περισσότερων εταιρειών. Η χαμηλή πολυπλοκότητα στην κυρίως εγχώρια αγορά και ο μεγάλος κύκλος ζωής προϊόντων χάριζαν ένα αίσθημα σιγουριάς και σταθερότητας. Αυτό ίσχυε για κάθε τομέα της βιομηχανίας που είχε να προσφέρει λύσεις μέσα από ένα συγκεκριμένο εύρος προϊόντων και υπηρεσιών, τα οποία ανανεώνονταν με πολύ μικρή συχνότητα. Για παράδειγμα στις τηλεπικοινωνίες για περίπου ένα αιώνα το βασικό προϊόν ήταν το κοινό σταθερό τηλέφωνο, το οποίο κάλυπτε την ανάγκη για απομακρυσμένη επικοινωνία. Η αγορά γύρω από το προϊόν αυτό ήταν απλή και ο κύκλος ζωής του διήρκεσε περίπου όσο η ζωή εκείνων που το προσέφεραν.

Από εκεί και μετά, άρχισαν σταδιακά να ανακύπτουν ποικίλοι παράγοντες που έφεραν μεταβολές στην μέχρι τότε κατάσταση. Μερικοί από τους κυριότερους είναι η καλπάζουσα τεχνολογική εξέλιξη, η δημιουργία παγκόσμιας αγοράς, νομοθετικοί περιορισμοί οι οποίοι ακολουθούνται από συχνές αλλαγές, αναγκαία συμμόρφωση σε διεθνή πρότυπα ποιότητας και η στροφή σε πρακτικές οι οποίες ακολουθούν μια παγκόσμια τάση προς την προστασία του περιβάλλοντος. Όλα τα παραπάνω, ενώ κατά γενική ομολογία αποδεικνύονται ωφέλιμα ως προς τη σύνθεση μιας σύγχρονης, αξιοκρατικής και ποιοτικής αγοράς και κατ'επέκταση κοινωνίας, συγχρόνως γεννούν πολυπλοκότητα, οξύ ανταγωνισμό σε μια παγκόσμια πια αρένα, και το κυριότερο, πρόσθετα κόστη τα οποία αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση του μεγέθους της εταιρείας. Μέχρι πρότεινως η μέση εταιρεία ή οργανισμός δεν είχε πολλά θέματα που θα την απασχολούσαν.

Αντίθετα, στη σημερινή πραγματικότητα οι επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων και υπηρεσιών, σε διαφήμιστικές καμπάνιες, στη διασφάλιση ποιότητας και στην εύρεση αποδοτικών μεθόδων λειτουργίας με σκοπό την ελάχιστη σπατάλη εισροών για τη μέγιστη δυνατή παραγωγή ποιοτικών εκροών, είναι ο κανόνας αν κανείς σκοπεύει να διατηρήσει ή να αυξήσει το εταιρικό του μερίδιο στην αγορά.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στο περιβάλλον που περιγράψαμε παραπάνω, ένας βασικός διαχρονικός παράγοντας που κρίνει σε μεγάλο βαθμό την προσαρμογή και επιβίωση μιας εταιρείας στις εξελίξεις της αγοράς, είναι η παραγωγικότητα. Αυτό είναι κάτι που επαγγελματίες και ερευνητές είχαν εντοπίσει ήδη από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης (Henry Fayol, Frederick Taylor, Henry Gantt κ.α.) με αποτέλεσμα να έχει εκδηλωθεί σημαντικό ενδιαφέρον αναφορικά με την κατανόηση της έννοιας αρχικά, και με την έρευνα ως προς τον υπολογισμό της στη συνέχεια. Σε αυτό το πλαίσιο κινείται και η παρούσα εργασία, η οποία ως βασικό αντικείμενο έχει την κατανόηση και τον ορισμό της πολυεπίπεδης έννοιας της παραγωγικότητας, την έρευνα και εφαρμογή τρόπων μέτρησης της που συναντώνται στη βιβλιογραφία· και στη συνέχεια την παράθεση τεχνικών με τις οποίες είναι δυνατόν να επιτευχθεί η βελτίωση και βελτιστοποίηση της σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Για να βελτιωθεί οτιδήποτε πρέπει αρχικά να οριστεί, να ποσοτικοποιηθεί, ακολούθως να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα, και στη συνέχεια να γίνει ο σχεδιασμός της κατάλληλης στρατηγικής για την αντιμετώπισή τους.

Μετά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ακολουθεί μελέτη περίπτωσης ενός εκ των εργοστασίων μιας δυναμικής ελληνικής εταιρείας που δραστηριοποιείται στη βιομηχανία δευτερογενούς συσκευασίας, κατά την οποία γίνεται υπολογισμός εξειδικευμένων δεικτών παραγωγικότητας, χρήσιμων για την εξαγωγή συμπερασμάτων που θα βελτιώσουν την παραγωγική διαδικασία. Η εν λόγω εταιρεία έχει έδρα την Αθήνα και δραστηριοποιείται στην παγκόσμια αγορά, στο χώρο της συσκευασίας. Το υπο μελέτη εργοστάσιο βρίσκεται στα Οινόφυτα Αττικής.

1.3 Μέθοδος Επίλυσης

Μετά τη συνδιαμόρφωση του θέματος σε συνεργασία με στελέχη της εταιρείας, το πρώτο βήμα ήταν η έρευνα στη βιβλιογραφία για επιστημονικά άρθρα σχετικά με το τί είναι παραγωγικότητα, πως μπορεί να υπολογιστεί και ποιές μέθοδοι χρησιμοποιούνται σήμερα για τον υπολογισμό και τη βελτίωσή της.

Μετά απο την έρευνα και την επιλογή των δεικτών που θα υπολογιστούν, σειρά είχε η προσωπική παρακολούθηση κάθε κέντρου εργασίας του εργοστασίου ξεχωριστά, με σκοπό την εξοικείωση με την παραγωγική διαδικασία και τον εντοπισμό των διαφορετικών χαρακτηριστικών και περιορισμών κάθε κέντρου. Αυτό δε θα ήταν δυνατό χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του διευθυντή παραγωγής, των εργοδηγών και των χειριστών της μονάδας.

Σειρά είχε η καταγραφή όλων των βασικών χρονικών και παραγωγικών μεταβλητών (καθυστερήσεις λόγω βλαβών, setup, όγκος παραγωγής ανα βάρδια, όγκος ελαττωματικών κλπ.) σε εύρος ενός εξαμήνου με αρχή την 1^η Οκτώβρη 2013 και τέλος τις 31 Μαρτίου 2014. Η καταγραφή έγινε με χρήση του προγράμματος MS Excel και τα δεδομένα συλλέχθηκαν απο δελτία παραγωγής κάθε βάρδιας καθώς και απο στοιχεία του εγκατεστημένου ERP προγράμματος της εταιρείας (SAP). Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών παραγωγικότητας με βασικότερους τον OEE (Overall Equipment Effectiveness), ο οποίος είναι ένας διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης που βρίσκει εφαρμογή στον υπολογισμό της παραγωγικότητας μεμονομένων μηχανών μιας γραμμής παραγωγής, και τον OFE (Overall Factory Effectiveness) που συναρτήσει των επιμέρους OEE υπολογίζει τη συνολική παραγωγικότητα του εργοστασίου. Οι δείκτες που υπολογίσθηκαν αφορούν κυρίως την αποτελεσματικότητα και απόδοση του εργοστασίου απο παραγωγικής πλευράς και καθόλου απο οικονομικής. Κανένας δείκτης σε αυτή την εργασία δεν περιέχει οικονομετρικές μεταβλητές.

Τέλος έγινε μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με χρήση χρονικών δικτύων PETRI και των επεκτάσεων τους και ακολούθησε προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων, με σκοπό την ρύθμιση χρονικών και ποσοτικών παραμέτρων του μοντέλου, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι ρεαλιστικά και αξιόπιστα. Σε επόμενο στάδιο το μοντέλο που κατασκευάστηκε χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν οι ρεαλιστικές επιπτώσεις αλλαγών συγκεκριμένων κρίσιμων παραμέτρων του μοντέλου στη συνολική αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της παραγωγικής μονάδας. Μέσω της διαδικασίας αυτής προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα και προτάσεις προς τα στελέχη του εργοστασίου.

1.4 Συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας

Η ιδέα για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας πηγάζει κυρίως από την επιθυμία μου να αποκτήσω χειροπιαστή επαφή με το αντικείμενο των σπουδών μου μέσω της συνεργασίας με μια πραγματική εταιρεία που δραστηριοποιείται στο χώρο της βιομηχανίας.

Το έργο που η εταιρεία ήθελε να εκπονηθεί αφορούσε ένα από τα 2 εργοστάσια που κατέχει στην Ελλάδα και ήταν η μέτρηση της παραγωγικότητάς του. Αυτό ικανοποιούσε την επιθυμία μου να βρεθώ σε ένα αληθινό βιομηχανικό περιβάλλον, αφού για την ολοκλήρωση του απαιτήθηκε η παρουσία μου για αρκετό διάστημα στο συγκεκριμένο εργοστάσιο. Για την παρουσίαση ενός αξιόπιστου αποτελέσματος η εταιρεία μοιράστηκε ευαίσθητα στοιχεία όπως παραγωγικές διαδικασίες, πρώτες ύλες, όγκους παραγωγής και δυνατότητες αποθηκευτικών χώρων.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται διαφορετικές προσεγγίσεις και τρόποι υπολογισμού της παραγωγικότητας με βάση τη γνωστή σε εμάς βιβλιογραφία, καθώς και η μελέτη περίπτωσης του εργοστασίου όπου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι δείκτες για τον υπολογισμό της. Η παραγωγικότητα είναι μια πολυδιάστατη έννοια, χωρίς σαφή και μονοσήμαντο τρόπο υπολογισμού. Εξαρτάται τόσο από ποσοτικούς, όσο και από ποιοτικούς παράγοντες και είναι στο χέρι του εκάστοτε ερευνητή, διευθυντή παραγωγής κλπ το πως θα την προσεγγίσει.

1.5 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το βασικό αντικείμενο της εργασίας, οι στόχοι που τέθηκαν, η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται, καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που αναμένεται προκύψουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται παρουσιάζεται η θεωρία που προέκυψε από την έρευνα στη βιβλιογραφία αλλά και αναλυτική περιγραφή μεθόδων και δεικτών υπολογισμού της υπολογισμού συμπεριλαμβανομένων και αυτών που τελικά χρησιμοποιήσαμε.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη παρουσίαση της εταιρείας, της πορείας της μέχρι τώρα, αλλά και των προϊόντων που διαθέτει στο εμπόριο με εκτενή αναφορά στα προϊόντα που παράγονται στο υπό μελέτη εργοστάσιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η παραγωγική διαδικασία της μεταλλικής ταινίας περίδεσης, παρουσιάζονται όλες οι σημαντικές ποσοτικές και χρονικές παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και ο τρόπος καταγραφής και οργάνωσης τους για τον εύκολο τελικό υπολογισμό των δεικτών. Τέλος υπολογίζονται οι δείκτες παραγωγικότητας, προτείνεται ένα σενάριο αναβάθμισης των μηχανών και ακολούθως γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση του μοντελου του εργοστασίου με δίκτυα Petri. Έπειτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντελου για κάθε σενάριο και τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά του τέταρτου κεφαλαίου με σκοπό την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας του μοντελου. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ανακεφαλαίωση της συνολικής εργασίας, καταγράφονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν αναφορικά με τη λειτουργία του εργοστασίου και γίνεται παράθεση ενδεικτικών τρόπων βελτίωσης.

2^ο Κεφάλαιο

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ορισμός Παραγωγικότητας

Η Ευρώπη σήμερα αντιμετωπίζει μια πρωτοφανή κοινωνική και οικονομική κρίση η οποία έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό εταιρείες και οργανισμούς ανεξάρτητα τον κλάδο της βιομηχανίας ή των υπηρεσιών στον οποίο δραστηριοποιούνται. Μια πολύ σημαντική μεταβλητή που θα τις καταστήσει ανταγωνιστικές και ικανές να επιβιώσουν υπο αυτές τις συνθήκες, είναι ένα υψηλό επίπεδο παραγωγικότητας.

Παραγωγικότητα είναι ο λόγος των εκροών προς το σύνολο των εισροών που δαπανήθηκαν για να παραχθούν οι συγκεκριμένες εκροές. Όταν για παραγωγή δεδομένων εκροών οι εισροές αυξάνονται, τότε η παραγωγικότητα μειώνεται και αντίστροφα. Με άλλα λόγια μας δείχνει πόσο αποδοτικά χρησιμοποιούνται οι εισροές (πχ. εργασία, κεφάλαιο, α' ύλες) σε μια οικονομία ή μια εταιρεία ώστε να μετατραπούν σε τελικά προϊόντα ή υπηρεσίες. Αυτός είναι ο πιο απλός και διαδεδομένος ορισμός της παραγωγικότητας.[1]

$$\text{Παραγωγικότητα} = \frac{\text{Σύνολο Εκροών}}{\text{Σύνολο Εισροών}}$$

Μια πολύ εύστοχη συνέχεια της παραπάνω διατύπωσης είναι ότι για να είναι κανείς παραγωγικός δεν αρκεί μόνο να είναι **αποδοτικός** «κάνοντας σωστά κάποιες ενέργειες», αλλά θα πρέπει να είναι και **αποτελεσματικός** «κάνοντας τις σωστές ενέργειες». Καταλήγουμε λοιπόν στην πρόταση ότι η παραγωγικότητα είναι το άθροισμα αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας.

Τί είναι όμως αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα? Και ακόμα πιο σημαντικό πως μπορούν να μετρηθούν? Το κύριο πρόβλημα αναφορικά με τα παραπάνω ερωτήματα είναι πως οι εν λόγω έννοιες μπορεί να είναι όχι μόνο ποσοτικές αλλά και ποιοτικές.

Ένα απλό αλλά κατανοητό παράδειγμα που μπορεί να βοηθήσει στον ορισμό αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας είναι το πόσο παραγωγικός είναι κανείς όταν βαράει μύγες. Το να τις σκοτώνει τον κάνει αποτελεσματικό. Αυτό όμως μπορεί να του πάρει είτε ώρες είτε λίγα λεπτά. Το πόσο γρήγορα τις σκοτώνει είναι αυτό που τον κάνει αποδοτικό και ο συνδυασμός των δυο, παραγωγικό.

Η παραγωγικότητα μιας εταιρείας, ενός εργοστασίου ή ενός ανθρώπου που βαράει μύγες, μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση κατάλληλων δεικτών παραγωγικότητας και να βελτιωθεί με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων βελτιστοποίησης.

$$\text{Παραγωγικότητα} = \text{Αποδοτικότητα} + \text{Αποτελεσματικότητα}$$

Μέσω του συμβόλου της πρόσθεσης στον παραπάνω τύπο, παρουσιάζεται μια σχέση συνδυασμού αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας και όχι η πρόσθεσή τους όπως τη γνωρίζουμε από τα μαθηματικά.

2.2 Χρησιμοποιούμενοι δείκτες στη βιβλιογραφία

Από την έρευνα της σχετικής βιβλιογραφίας προκύπτει μεγάλο πλήθος χρησιμοποιούμενων δεικτών. Το γεγονός αυτό σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στις διαφορετικές οπτικές που χρησιμοποιούνται για τη μελέτης παραγωγικότητας. Όπως είπαμε ως παραγωγικότητα μπορεί να θεωρηθεί ο συνδυασμός αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας, ωστόσο η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα διαφορετικών οργανισμών, εταιρειών κλπ. εξαρτώνται από διαφορετικούς παράγοντες. Η έννοια της παραγωγικότητας μιας ασφαλιστική εταιρείας μπορεί να είναι πολύ διαφορετική συγκριτικά με μιας εταιρείας που εμπορεύεται συστήματα συσκευασίας όπως είναι ο Όμιλος M.I. ΜΑΪΛΛΗ. Ανάλογα με τη φύση και τα χαρακτηριστικά των προσφερόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών, αλλάζει η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων μέτρων απόδοσης ενώ σε πολλές περιπτώσεις απαιτούνται συγκεκριμένες προσαρμογές.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά ευρήματα της έρευνας. Αρχικά παρουσιάζονται κάποια θεωρητικά μοντέλα μέτρησης(δείκτες) παραγωγικότητας, από τα οποία διαφαίνεται η προσπάθεια που γίνεται για μια πιο ολοκληρωτική προσέγγιση της έννοιας, εν συνεχεία παρουσιάζεται μια πρακτική μέθοδος αντιμετώπισης προκλήσεων παραγωγικότητας που ικανοποιεί αυτή την ανάγκη, ακολουθεί ένα καθαρά ποσοτικό μοντέλο μέτρησης παραγωγικότητας που είναι ο δείκτης *OEE* (Overall Equipment Effectiveness) καθώς και μερικές εναλλακτικές θεωρήσεις του και τέλος μια επέκτασή του, που είναι ο δείκτης *OFE* (Overall Factory Effectiveness)

2.2.1 Θεωρητικά Μοντέλα Μέτρησης Παραγωγικότητας

Σε κρατικό επίπεδο ο πιο διαδεδομένος δείκτης παραγωγικότητας είναι ο όγκος εργασίας προς το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν. Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν είναι το σύνολο των προϊόντων και αγαθών που παράγει μια οικονομία εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες.

Σε επίπεδο εταιρειών και οργανισμών προτείνονται 4 διαφορετικά μοντέλα δεικτών παραγωγικότητας [1].

Οικονομικό μοντέλο

- Καθαρά Έσοδα/Εργαζόμενο
- Καθαρά Έσοδα/stockholders equity dollars
- Καθαρά Έσοδα/Επενδύσεις σε εγκαταστάσεις

Βιομηχανικό μοντέλο παραγωγής

- Αν θεωρήσουμε την παραγωγή μιας συγκεκριμένης περιόδου ως σημείο αναφοράς, τότε προκύπτει ο δείκτης: (Παραγωγή παρούσας περιόδου/Παραγωγή περιόδου αναφοράς)
- (Ποσότητα Παραγωγής/Εργασία που δαπανήθηκε)
- (Κόστος παραγωγής/Εργασία που δαπανήθηκε)

Σύνθετο μοντέλο Παραγωγικότητας

Ένα εναλλακτικό μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί έχει ως εξής:

$$CPI = a(IS) + b(ES) + c(CS) + d(SS)$$

Όπου,

- $Investors\ Satisfaction = \frac{Καθαρό\ Κέρδος}{Συνολική\ Επένδυση}$
- $Employee's\ Satisfaction = \frac{Συνολική\ προστιθέμενη\ αξία}{Συνολικές\ ανθρωποώρες}$
- $Customer's\ Satisfaction = \frac{Συνολικές\ πωλήσεις}{Σύνολο\ πελατών}$
- $Supplier's\ Satisfaction = \frac{Συνολικές\ αγορές}{Σύνολο\ προμηθευτών}$

Οι μεταβλητές a-d είναι συντελεστές βαρύτητας κάθε μίας απο τις παραμέτρους. Ισχύει: $a + b + c + d = 1$.

Ποιοτικό μοντέλο παραγωγικότητας(QPM)

Ένα ακόμα μοντέλο δεικτών παραγωγικότητας που προτείνεται είναι το QPM, το οποίο έχει ως εξής:

$$QPM = a(PI) + b(QI) + c(PIQE) + d(PPM) + e(TMD) + f(Comp) + g(Attrition)$$

Όπου,

- PI είναι ο αριθμός των προσπαθειών για βελτίωση της παραγωγικότητας ανα έτος ανα εργαζόμενο.
- Το QI δηλώνει τον αριθμό των προσπαθειών για βελτίωση της ποιότητας ανα χρόνο ανα εργαζόμενο.
- Το PIQE είναι ο αριθμός των προσεγγίσεων που υπήρξαν όσον αφορά βελτιώσεις σε παραγωγικότητα, δημιουργικότητα, ποιότητα και αποδοτικότητα.
- Το PPM δηλώνει τον αριθμό των σχεδίων και στρατηγικών όσον αφορά την παραγωγικότητα και τη βελτίωσή της.
- Το TMD δηλώνει τον αριθμό πρωτοβουλιών εκπαίδευσης και εξέλιξης του ανθρώπινου δυναμικού που λαμβάνουν χώρα στην εταιρεία.
- Το Comp αντιπροσωπεύει τον αριθμό των παραπόνων όσον αφορά τα προϊόντα/υπηρεσίες που αντιστοιχούν ανα εργαζόμενο ανα χρόνο.
- Attrition είναι ο αριθμός των εργαζομένων που παραιτούνται ανα χρόνο.

Οι μεταβλητές a-g είναι συντελεστές βαρύτητας κάθε μιας παραμέτρου και ισχύει οτι: $a + b + c + d + e + f + g = 1$.

Τα παραπάνω μοντέλα πετυχαίνουν πολύ καλά το να παρουσιάσουν ιδέες για το πως και υπο ποιά πρίσματα μπορεί να υπολογιστεί η παραγωγικότητα (οικονομικό, παραγωγικό, ποιοτικό μοντέλο κλπ.). Ωστόσο δεν ακολουθούνται απο καμία πρακτική εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες. Άλλωστε ο δημιουργός της δημοσίευσης απο την οποία προέρχονται, αναφέρει οτι σκοπός του είναι να οξύνει την προσοχή και το ενδιαφέρον όσον αφορά την περεταίρω μελέτη, όχι μόνο για ποσοτική, αλλά και για ποιοτική μέτρηση της παραγωγικότητας.

2.2.2 Το Μοντέλο Q4 & ο Κύκλος Δυναμικού Ελέγχου

Στις περιπτώσεις δεικτών παραγωγικότητας όπου οι εισροές και εκροές είναι εύκολες στην καταγραφή τους (πχ. εργατοώρες, μηχανοώρες, κεφάλαια, όγκος παραγωγής, κέρδη κλπ.), με αντίστοιχη ευκολία υπολογίζεται και ο ζητούμενος δείκτης τον οποίο συνθέτουν.

Στη σημερινή εποχή, απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη κ άλλες μεταβλητές οι οποίες είναι πιο περίπλοκες στη μέτρησή τους, λόγω δύσκολης ποσοτικοποίησης τους. Όσον αφορά τις εισροές έχουμε το ανθρώπινο δυναμικό· οι σημερινοί εργαζόμενοι αντιμετωπίζουν ένα συχνά μεταβαλλόμενο περιβάλλον εργασίας το οποίο απαιτεί την ανα περιόδους επέκταση των γνώσεων τους. Η καινοτομία, η δημιουργικότητα, τα κίνητρα που παρέχονται, αλλά και η αφοσίωσή των εργαζομένων στο όραμα της εταιρείας είναι παράγοντες ίσης ή και μεγαλύτερης σημασίας απο το πόσοι είναι αριθμητικά. Στις εκροές αντίστοιχα έχουμε την ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών και το κατά πόσον αφήνουν ικανοποιημένους τους πελάτες. Ένας τέτοιος παράγοντας μπορεί να προσδώσει αξία σε μια εταιρεία όπως η ποσότητα σε τόνους ή τεμάχια της παραγωγής της, ή τα συμβόλαια που έχει υπογράψει με πελάτες.

Τα παραπάνω δικαιολογούν τη θεώρηση της ποσοτικής προσέγγισης της παραγωγικότητας ως λόγος εκροών προς εισροές απο πολλούς ερευνητές, ως μη ρεαλιστική και ελλειμματική. Ωστόσο η προσπάθεια για πιο ρεαλιστικούς ορισμούς έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των συνδυασμών μεταβλητών που την εκφράζουν. Αυτή τη σύγχυση ενός ολοκληρωτικού ορισμού της παραγωγικότητας, τόσο στην αντίληψη όσο και στον υπολογισμό της, προσπάθησε να ξεπεράσει μια ομάδα του ανοιχτού πανεπιστημίου της Ολλανδίας.[19] Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια πρακτική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απο κάθε manager ανεξάρτητα του βιομηχανικού τομέα που ανήκει η εταιρεία του. Βασίζεται σε ένα μοντέλο παραγωγικότητας που λαμβάνει υπόψη ποσοτικές και ποιοτικές μεταβλητές και σε ένα μηχανισμό που υποβάλλει σε έλεγχο τις διαδικασίες που διενεργούνται καθ όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του εν δυνάμει προϊόντος ή υπηρεσίας.

Το πρώτο βήμα αυτής της μεθόδου είναι να τεθούν και να απαντηθούν τέσσερα βασικά ερωτήματα:

- ✓ Ποιά πρόκληση αντιμετωπίζει η εταιρεία ή ο οργανισμός απο άποψη παραγωγικότητας?
- ✓ Ποιά είναι τα βασικά ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία που αφορούν την παραπάνω πρόκληση?

- ✓ Πως αυτή η πρόκληση παραγωγικότητας μπορεί να μεταφραστεί στη στρατηγική που θα ακολουθήσουμε?
- ✓ Πως πρέπει να επέμβουμε στην παραγωγική διαδικασία για να γίνει αυτή η στρατηγική λειτουργική?

Output quantity
Service volume
Assortment
Market share
Customer segments

Input quantity
Labour
Amount of labour
Recruitment
Job rotations
Job descriptions
Service process re-engineering
Error avoidance
Overtime
Capital
Information technology
Electronic channels
Self-service policy machines
Headquarter and office network
Telework facilities

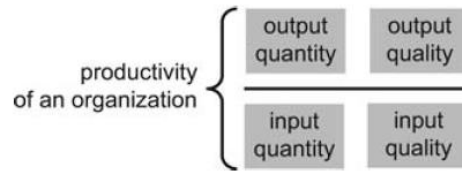
Output quality
Customer satisfaction
Customer encounter and service
Standardized services
Access time
Customer co-production
Correct insurance registers
Corporate image

Input quality
Intangible
Employee satisfaction
Expertise and skills
Performance criteria
Recruitment and retaining personnel
Personnel development programs
Teamwork
Organisation structure
Corporate culture
IT breakdowns and system errors
Tangible
Branche office locations
Branche office interiors

Εικόνα 2.1 Λίστα πιθανών ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων

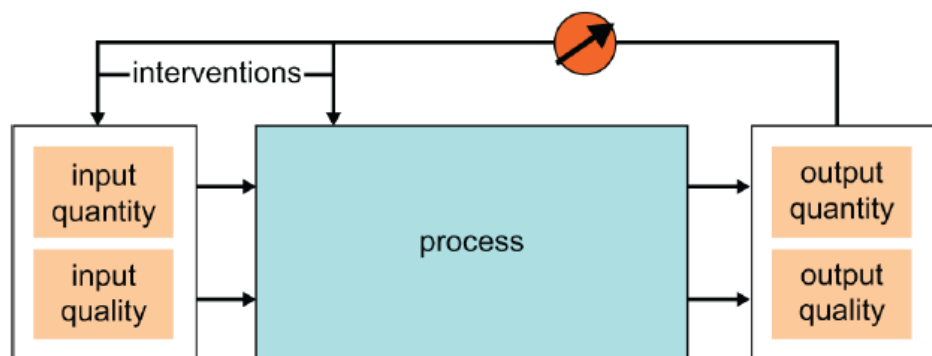
Αφού εντοπιστεί η πρόκληση παραγωγικότητας και βρεθούν οι ποσοτικοί και ποιοτικοί παράγοντες που απευθύνονται στη συγκεκριμένη πρόκληση (μοντέλο Q4), ακολουθεί ο σχεδιασμός της κατάλληλης στρατηγικής για βελτίωση παραγωγικότητας. Πιο συγκεκριμένα, κάποια πρότυπα στρατηγικών είναι:

- ❖ Αύξηση εκροών με σταθερές εισροές.
- ❖ Μείωση εισροών με σταθερές εκροές.
- ❖ Αύξηση εκροών και ταυτόχρονη μείωση εισροών.
- ❖ Αύξηση εκροών και εισροών, με την αύξηση των εισροών μικρότερη συγκριτικά με αυτή των εκροών.
- ❖ Μείωση εκροών και εισροών, με τη μείωση των εκροών μικρότερη συγκριτικά με αυτή των εισροών.



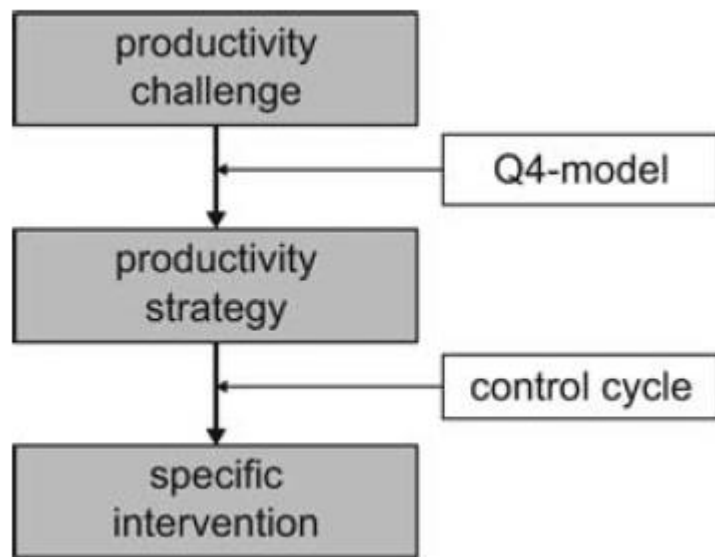
Εικόνα 2.2 Τα 4 Q's

Το τελευταίο σκέλος της μεθόδου είναι οι ενέργειες που θα καταστήσουν αυτή τη στρατηγική αποτελεσματική. Σύμφωνα με τους αρθρογράφους αυτό μπορεί να γίνει με την επέμβαση στις εισροές και εκροές, αλλά και στη διαδικασία με την οποία οι εισροές μετατρέπονται σε εκροές. Για παράδειγμα, ένας νέος προγραμματισμός παραγωγής μπορεί να αυξήσει τις εκροές κρατώντας σταθερές τις εισροές. Η μείωση σε κόστη προσωπικού αν αντισταθμιστεί από ένα καινοτόμο προγραμματισμό παραγωγής, οδηγεί σε μείωση εισροών με σταθερές εκροές. Αν κάποιος καταφέρει να μειώσει τους χρόνους παραγωγής με συνέπεια χαμηλότερα κόστη παραγωγής και συντομότερες παραλαβές από τους πελάτες, τότε έχουμε αύξηση εκροών και μείωση εισροών. Επένδυση στην εκπαίδευση προσωπικού που θα συντελέσει σε αισθητή αύξηση ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, είναι ένα παράδειγμα αύξησης των εισροών και των εκροών, με αυτή των εκροών να είναι μεγαλύτερη. Τέλος, η πρόσληψη φθηνότερου και λιγότερο εξειδικευμένου προσωπικού μπορεί να οδηγήσει στη μείωση εκροών και εισροών, με τη μείωση των εκροών να είναι μικρότερη από αυτή των εισροών.



Εικόνα 2.3 Δυναμικός κύκλος ελέγχου

Τα παραπάνω παραδείγματα είναι γενικά και προφανώς για να λάβει κανείς τέτοιες στρατηγικές αποφάσεις και να προβεί σε επεμβάσεις που θα δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, πρέπει να κατέχει άριστα τις διαδικασίες με τις οποίες οι εισροές μετατρέπονται σε εκροές. Αυτό είναι και ο λεγόμενος δυναμικός κύκλος ελέγχου (dynamic control cycle).



Εικόνα 2.4 Stepwise Approach. Εφαρμογή του Μοντέλου και του Κύκλου Δυναμικού Ελέγχου

Τα αποτελέσματά της μεθόδου, ενώ μπορεί να οφείλονται στην επέμβαση σε ποιοτικούς παράγοντες, τελικά γίνονται αντιληπτά κυρίως από τον υπολογισμό ποσοτικών παραγόντων. Όπως και παραπάνω, οι αρθρογράφοι αναγνωρίζουν τη δυσκολία υπολογισμού της παραγωγικότητας και την ελλειψη ομοφωνίας στην επιστημονική κοινότητα για το θέμα. Ο βασικός λόγος είναι ότι ενώ μπορεί να αναπτυχθεί μια πρότυπη μέθοδος υπολογισμού, το πιθανότερο είναι ότι θα είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες της εταιρείας για την οποία αναπτύχθηκε και κάθε πιθανή προσπάθεια καθιέρωσης της θα οδηγήσει σε αδυναμίες. Ακόμα και στην περίπτωση μιας μεθόδου κομμένης και ραμμένης σε μια εταιρεία, ο υπολογισμός μπορεί στην πράξη να είναι πολύ δύσκολος και οι ερευνητές να αρεστούν στον υπολογισμό διάφορων σχέσεων μεταξύ συγκεκριμένων μεταβλητών.

Το μοντέλο παραγωγικότητας Q4, είναι συμβατό με κάθε βιομηχανικό τομέα και υποστηρίζει την προσπάθεια ενός manager να τεκμηριώσει και να δώσει ουσία στην στρατηγική και τις επεμβάσεις που επιλέγει να κάνει, μεθοδευμένα και με σύστημα. Είναι μια λογική ακολουθία ερωτήσεων και απαντήσεων που μοιραία οδηγούν στον περιορισμό των εναλλακτικών πρακτικών και συνδράμουν στην επιλογή της πρακτικής που τελικά θα ακολουθηθεί.

2.2.3 Ο Δείκτης OEE – Overall Equipment Effectiveness

Ο δείκτης *OEE* (Overall Equipment Effectiveness) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1982 στο βιβλίο του Seiichi Nakajima «TPM tenkai» ως ένα άκρως σημαντικό συστατικό της μεθόδου βελτιστοποίησης TPM (Total Productive Maintenance). Η σύλληψη της μεθόδου TPM έγινε στην Ιαπωνία το 1971 από το Japan Institute for Plant Maintenance (JIPM), ενώ σε Αμερική και Ευρώπη έφτασε μερικά χρόνια αργότερα στα τέλη της δεκαετίας του 80', φέρνοντας φυσικά μαζί της και τον δείκτη *OEE*. [20] Από όλους τους δείκτες που εντοπίστηκαν στο στάδιο μελέτης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αυτός είναι ο πιο πρακτικός και γι' αυτό αποφασίστηκε από κοινού με τα στελέχη του ομίλου M.I. ΜΑΪΛΛΗ να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της παραγωγικότητας του εργοστασίου παραγωγής μεταλλικού τσερκιού στα Οινόφυτα. Εκτός από την TPM, αποτελεί τη ραχοκοκαλιά και άλλων πολύ γνωστών μεθόδων βελτιστοποίησης (TQM, Lean Manufacturing, Six Sigma κ.α.) και η χρήση του αφορά τη μέτρηση της επίδοσης των μηχανών μιας γραμμής παραγωγής ξεχωριστά. Σήμερα είναι ένας καθιερωμένος δείκτης παραγωγικότητας στη βιομηχανία. [3]

Η βασική πληροφορία που αποκτά κανείς μετά τη μέτρηση του *OEE* για μια μηχανή είναι το ποσοστό της βέλτιστης παραγωγικής ικανότητας στο οποίο αυτή δουλεύει για δεδομένο χρονικό διάστημα. Το μεγάλο του πλεονέκτημά ωστόσο, είναι ότι καθιστά ευδιάκριτες τις παραγωγικές απώλειες μιας μηχανής και συντελεί στην έγκαιρη και στοχευμένη διάγνωση του εκάστοτε προβλήματος.

Η παραγωγική ικανότητα μιας μηχανής σύμφωνα με τον *OEE* χωρίζεται σε τρεις επιμέρους παράγοντες οι οποίοι είναι η **Διαθεσιμότητά (Availability Efficiency)**, η **Αποδοτικότητά (Performance Efficiency)** και η **Ποιότητα (Quality Efficiency)** ή αλλιώς η ικανότητά της να παράγει μη ελαττωματικά προϊόντα.

Availability Efficiency

Σε μη ρεαλιστικές συνθήκες θα περίμενε κανείς ένα εργοστάσιο να λειτουργεί 365 μέρες/χρόνο, 24 ώρες/ημέρα. Στην πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει αφού κάθε εργοστάσιο έχει ένα πρόγραμμα παραγωγής, σύμφωνα με το οποίο ορίζονται κάποιες περίοδοι (πχ.εορταστικές) ή ακόμα και διαστήματα ανά βάρδια (πχ.διαλλείματα προσωπικού), όπου γνωρίζουμε ότι θα είναι μη παραγωγικός χρόνος. Εκτός από κάποιο πάγιο ετήσιο πρόγραμμα που ενδεχομένως τηρεί, είναι σίγουρο ότι διαμορφώνεται πρόγραμμα παραγωγής και μέσα στο έτος, το οποίο ανανεώνεται ανά μήνα ή ανά εβδομάδα και διαμορφώνεται ανάλογα με την ζήτηση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κάθε μηχανή μπορεί να έχει ένα δικό της ξεχωριστό πρόγραμμα, δηλαδή ξεχωριστό χρόνο λειτουργίας.

Διαθεσιμότητα της μηχανής είναι το ποσοστό του προγραμματισμένου χρόνου λειτουργίας στο οποίο λειτουργεί η μηχανή.

$$Availability = \frac{Available\ Time}{Scheduled\ Time}$$

Οι κύριοι λόγοι που μπορεί να ευθύνονται για την παύση λειτουργίας μιας μηχανής και συναντήθηκαν στο υπο μελέτη εργοστάσιο είναι οι εξής:

- Προετοιμασία μηχανής για επεξεργασία Α ύλης
- Βλάβη μηχανής
- Setup μηχανής
- Έλλειψη Α ύλης
- Έλλειψη προσωπικού

Ως Setup εννοείται ο χρόνος που απαιτείται για να γίνουν οι απαιτούμενες προσαρμογές σε μια μηχανή, ώστε αυτή να είναι ικανή να παράξει προϊόν με διαφορετικά χαρακτηριστικά με διαφορετικές γεωμετρικές, ποιοτικές και λοιπές προδιαγραφές. Για παράδειγμα αν μια μηχανή παράγει ελάσματα πλάτους 1m και στη συνέχεια ζητηθεί να αλλάξει η παραγωγή σε ελάσματα πλάτους 2m, τότε θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές στα κοπτικά εργαλεία, ώστε να κόψουν στις νέες διαστάσεις. Ο χρόνος που δαπανάται για τέτοιες ενέργειες ονομάζεται χρόνος Setup. Οι υπόλοιποι λόγοι παύσης λειτουργίας είναι κατανοητοί και δε χρήζουν περεταίρω επεξηγήσεις.

Για τον υπολογισμό της διαθεσιμότητας θα χρησιμοποιηθούν 2 μεταβλητές και αυτές είναι:

- T_T (Total Time), που είναι ο συνολικός χρόνος παρατήρησης ή ο χρόνος που η μηχανή είναι προγραμματισμένη να λειτουργήσει.
- T_U (Uptime), που είναι ο λειτουργικός χρόνος της μηχανής.

Γνωρίζοντας την τιμή των 2 ανωτέρω μεταβλητών προκύπτει ο πρώτος όρος του **OEE, Availability Efficiency (A_{eff})**:

$$A_{eff} = \frac{T_U}{T_T}$$

Performance Efficiency

Η διαθεσιμότητα της μηχανής, ενώ προσφέρει συμπεράσματα σχετικά με τις εμφανείς χρονικές απώλειες, αδυνατεί να συμπεριλάβει στον υπολογισμό καθυστερήσεις που είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν, με αποτέλεσμα να δημιουργούν «κρυμμένες καθυστερήσεις», ή αλλιώς “*hidden capacity*”. Τέτοιες καθυστερήσεις μπορεί να είναι:

- Μειωμένη ταχύτητα μηχανής λόγω φθοράς ή παλαιότητας.
- Μειωμένη ταχύτητα λόγω επεξεργασίας κακής ά ύλης.
- Μικρά σταματήματα της μηχανής λόγω φθοράς. Μπορεί να διαρκούν απο λίγα δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά και ενώ φαντάζουν ασήμαντα, αν ληφθούν υπόψη αθροιστικά να δημιουργούν σημαντικές χρονικές απώλειες.
- Χαμηλή αποδοτικότητα χειριστών μηχανής.

Γίνεται αντιληπτό ότι ενώ φαινομενικά το T_U δείχνει να είναι ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας της μηχανής, η πραγματικότητα είναι ότι για την παραγωγή της δεδομένης ποσότητας απαιτείται λιγότερος χρόνος (Net Operating Time) απο τον T_U . Αυτό προκύπτει απο τις παραπάνω «κρυμμένες» καθυστερήσεις.

Ο υπολογισμός του P_{eff} (Performance Efficiency) μπορεί να γίνει με δυο τρόπους:

$$P_{eff} = \frac{Ideal\ Cycle\ Time \times P_a}{T_U} = \frac{Net\ Operating\ Time}{T_U}$$

ή αλλιώς,

$$P_{eff} = \frac{P_a}{R_{th} \times T_U} = \frac{P_a}{P_a^{th}}$$

Όπου,

- P_{eff} , Performance Efficiency
- P_a , η παραγόμενη ποσότητα στο χρόνο T_U
- R_{th} , ο θεωρητικός ή βέλτιστος ρυθμός παραγωγής της μηχανής
- $Ideal\ Cycle\ Time = \frac{1}{R_{th}}$
- P_a^{th} , Θεωρητική παραγόμενη ποσότητα για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Quality Efficiency

Μπορεί σύμφωνα με τα παραπάνω να έχει βρεθεί ο πραγματικός χρόνος που λειτουργεί η μηχανή, αλλά η παραγωγικότητά της επηρεάζεται από ακόμα έναν παράγοντα που μπορεί να δημιουργήσει επιπλέον κόστη. Αυτός είναι η ποιότητα των προϊόντων που αυτή παράγει και υπολογίζεται εύκολα ως εξής:

$$Q_{eff} = \frac{P_g}{P_a}$$

Όπου,

- P_g , η ποσότητα των μη ελαττωματικών προϊόντων
- P_a , η συνολική παραγόμενη ποσότητα

Έχοντας υπολογίσει καθέ ένα παράγοντα ξεχωριστά, μπορεί να εξαχθεί η συνολική παραγωγικότητα της μηχανής:

$$OEE = A_{eff} \times P_{eff} \times Q_{eff}$$

Υπάρχει ένας δεύτερος και ευκολότερος τρόπος υπολογισμού του OEE , που πηγάζει από μερικές απλοποιήσεις του μαθηματικού του τύπου. Με απλά λόγια είναι ο λόγος του αριθμού των «καλών προϊόντων» που παράχθηκαν (P_g), προς τον μέγιστο αριθμό προϊόντων που θα μπορούσαν να έχουν παραχθεί στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (P_a^{th}). Αν δηλαδή η μηχανή ήταν συνεχώς διαθέσιμη, λειτουργούσε στο μέγιστο της απόδοσής της και τέλος δεν παρήγαγε κανένα ελαττωματικό προϊόν.

Οπότε,

$$OEE = \frac{P_g}{P_a^{th}}$$

Ο συγκεκριμένος τρόπος αν και πιο ευκολος, υστερεί σε ένα βασικό πλεονέκτημα το οποίο έχει ο πρώτος. Υπολογίζοντας ξεχωριστά την διαθεσιμότητα, αποδοτικότητα και ποιότητα παραγωγής της μηχανής, μπορεί εύκολα να εντοπιστεί που έγκειται το μεγαλύτερο πρόβλημα απλά κοιτώντας ποιός από τους 3 παράγοντες έχει τη χαμηλότερη τιμή. Έτσι μπορεί να γίνουν άμεσα, στοχευμένες ενέργειες για τη βελτίωση της παραγωγικής της ικανότητας.

2.3 Αναφορές στη χρήση του OEE, Βελτιώσεις και Επεκτάσεις

Τις τελευταίες δεκαετίες ερευνητές και επαγγελματίες της βιομηχανικής παραγωγής έχουν αναπτύξει διάφορες παραλλαγές και επεκτάσεις του OEE ώστε να ικανοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό, μεγαλύτερο εύρος των αναγκών των εταιρειών. Ως αποτέλεσμα έχουμε ορισμένες εναλλακτικές διατυπώσεις ή καινούργιους ξεχωριστούς δείκτες που βασίζονται πάνω στον κλασσικό OEE. Ακολουθούν οι πιο διαδεδομένες επεκτάσεις.

2.3.1 TEEP (Total Equipment Effectiveness Performance)

Αυτός ο δείκτης μετράει την παραγωγικότητα μιας μηχανής με βάση το συνολικό χρόνο που θα μπορούσε αυτή να λειτουργεί (Calendar Time) δηλαδή 24 ώρες/μέρα, 365 μέρες/χρόνο. Έχουμε:

$$TEEP = Loading \times OEE$$

Όπου,

$$Loading = \frac{\text{Προγραμματισμένος χρόνος λειτουργίας}}{\text{Calendar Time}}$$

Ο δείκτης TEEP μπορεί να φανεί χρήσιμος στη μέτρηση παραγωγικότητας για εταιρείες που βρίσκονται στην πλεονεκτική θέση να γνωρίζουν πως ότι παράγουν θα πουληθεί. Είναι επίσης ένας χρήσιμος δείκτης αφού η τιμή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά επενδύσεις για επέκταση της παραγωγικότητας. Τέτοιες επενδύσεις καλό θα ήταν να γίνονται όταν ο TEEP έχει φτάσει στην τιμή που αποτελεί το άνω όριο παραγωγικής ικανότητας της μηχανής.

2.3.2 PEE (Production Equipment Efficiency)

Αυτός ο δείκτης είναι ίδιος με τον OEE με τη διαφορά ότι έχουν εκχωρηθεί συντελεστές βαρύτητας στα επιμέρους στοιχεία που τον αποτελούν (Availability, Performance, Quality). Με αυτό τον τρόπο δίνεται στο καθένα διαφορετική σημαντικότητα.

$$PEE = w_1 A_{eff} \times w_2 P_{eff} \times w_3 Q_{eff}$$

όπου,

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

2.3.3 Ο ΟΕΕ για το Εργοστάσιο

Ο δείκτης Overall Equipment Effectiveness αν και εξαιρετικά χρηστικός στην μελέτη μηχανών ξεχωριστά, δε μπορεί να δώσει απο μόνος του σημαντικές πληροφορίες για τη συνολική παραγωγικότητα ενός εργοστασίου. Μέσα απο τη βιβλιογραφία έχει διαπιστωθεί η ανάγκη για την ανάπτυξη μιας κατανοητής και συστηματικής μεθόδου υπολογισμού και ανάλυσης της παραγωγικότητας σε επίπεδο εργοστασίου. [18]

Η παραγωγική διαδικασία απο την παραλαβή της ά ύλης μέχρι και την παραγωγή του τελικού προϊόντος είναι ένα σύνολο απο πολλές αλληλοεξαρτώμενες διαδικασίες όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ μηχανών, ανθρώπων, εργαλείων, υλικών κλπ. Ένας τέτοιος ιστός διαδικασιών και ενεργειών για να λειτουργήσει αποδοτικά απαιτεί την κατάλληλη ενημέρωση και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών τμημάτων της εταιρείας και μεταξύ των διαφορετικών σταθμών παραγωγής. Στόχος λοιπόν είναι η ανάπτυξη μιας καλά ορισμένης μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της παραγωγικότητας του εργοστασίου και όχι απλά ένας πολύ καλός δείκτης που απευθύνεται μεμονωμένα σε κάθε μηχανή.

2.3.3.1 Απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού Παραγωγικότητας Εργοστασίου OFE (Overall Factory Effectiveness)

Μια πρώτη λύση βασισμένη στην κοινή λογική είναι η παρακολούθηση του ΟΕΕ του τελευταίου σταθμού παραγωγής (n).

Η μορφή του ΟΕΕ ως:

$$OEE = \frac{P_g(n)}{P_a^{th}(n)}$$

ή αλλιώς,

$$OEE = \frac{\text{Πραγματική ποσότητα παραγωγής μηχανής (n) σε δεδομένο χρόνο } T_T}{\text{Θεωρητική ποσότητα παραγωγής μηχανής (n) σε δεδομένο χρόνο } T_T}$$

μπορεί να μετασχηματιστεί εύκολα στη μορφή του OFE:

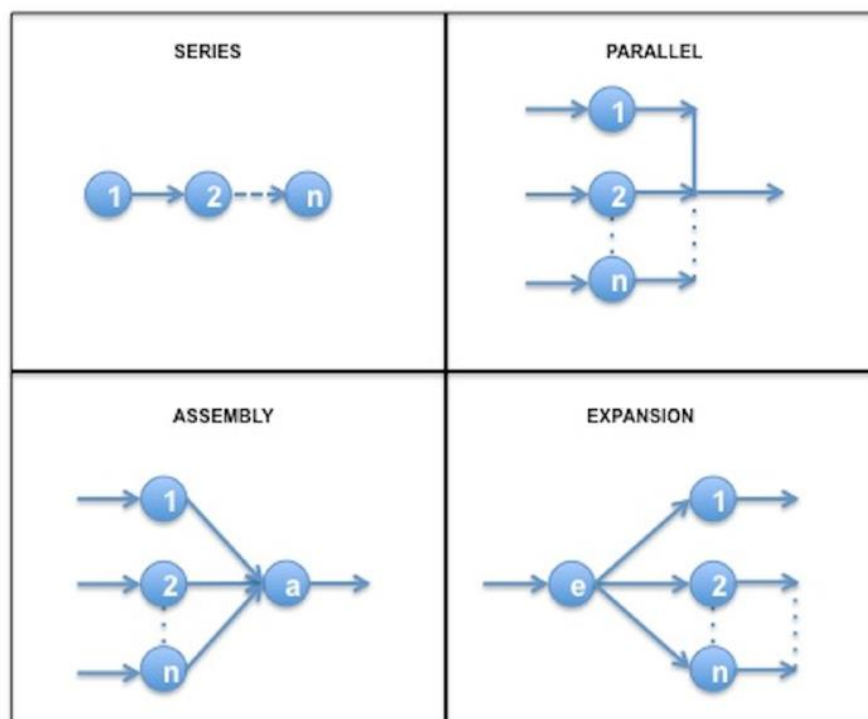
$$OFE = \frac{\text{Πραγματική ποσότητα παραγωγής εργοστασίου σε δεδομένο χρόνο } T_T}{\text{Θεωρητική ποσότητα παραγωγής εργοστασίου σε δεδομένο χρόνο } T_T}$$

Η παραπάνω λύση αν και απλή δεν δίνει πάντοτε σωστά αποτελέσματα. Ακριβώς όπως μια αλυσίδα όπου η αντοχή της είναι η αντοχή του πιο αδύναμου κομματιού της, έτσι και μια γραμμή παραγωγής περιορίζεται από τη μηχανή που λειτουργεί σαν bottleneck για όλο το εργοστάσιο· και κανείς δε μας εγγυάται ότι η πιο αργή μηχανή θα είναι πάντοτε η τελευταία της γραμμής [7].

2.3.3.2 Σύνθετη μέθοδος υπολογισμού OFE (Overall Factory Effectiveness)

Μια πιο σύνθετη, αλλά και πιο αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού παραγωγικότητας εργοστασίου έχει ως εξής:

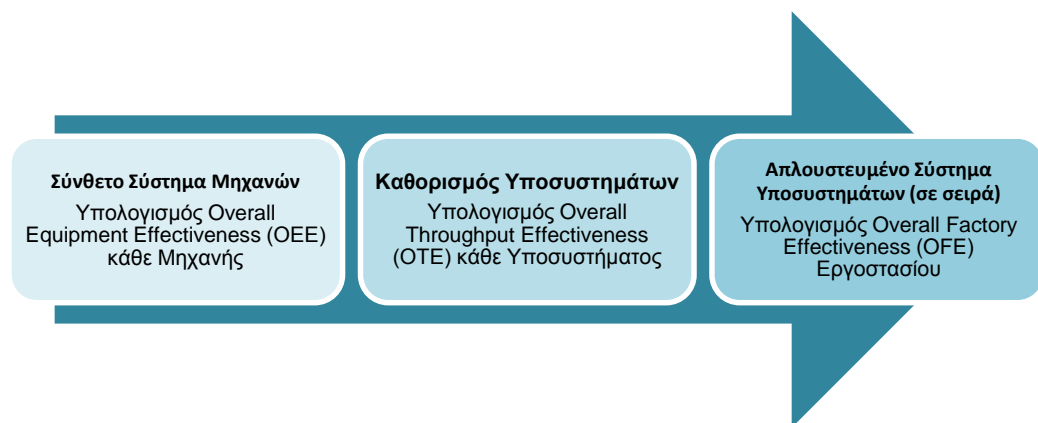
Προτείνεται μια μεθοδολογία απλοποίησης της συνολικής δομής του εργοστασίου. Για το σκοπό αυτό έχει αναγνωρισθεί μικρός αριθμός υποσυστημάτων που καθορίζονται ανάλογα με το πως είναι συνδεδεμένες οι μηχανές μεταξύ τους. Συνολικά συγκεντρώθηκαν 4 βασικά υποσυστήματα που μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, εκφράζουν όλες τις περιπτώσεις σύνδεσης που μπορεί να συναντηθούν σε ένα εργοστάσιο. Αυτά είναι σε σειρά, παράλληλα, σύστημα συναρμολόγησης και τέλος σύστημα επέκτασης.[2]



Εικόνα 2.5 Υποσυστήματα γραμμών παραγωγής

Για κάθε υποσύστημα έχει προταθεί μια μαθηματική έκφραση συναρτήσει του *OEE*, η οποία εκφράζει το δείκτη *OTE* (Overall Throughput Effectiveness).

Κάνοντας έναν παραλληλισμό, ο *OTE* είναι στην ουσία ο *OEE* του υποσυστήματος. Είναι δηλαδή ο λόγος της ποσότητας των «καλών προϊόντων» που παράχθηκαν, προς τη μέγιστη ποσότητα προϊόντων που θα μπορούσε να έχει παραχθεί στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα απο το υποσύστημα. Μετά απο τον υπολογισμό των *OTE*, το αρχικά σύνθετο σύστημά μηχανών, μετατρέπεται σ ένα απλουστευμένο σύστημα υποσυστημάτων σε σειρά απο το οποίο καλούμαστε να υπολογίσουμε την παραγωγικότητα του εργοστασίου συνολικά.



Εικόνα 2.6 Διαδικασία Υπολογισμού Παραγωγικότητας Εργοστασίου

Οι τύποι που αναπτύχθηκαν για κάθε υποσύστημα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Υποσύστημα	OTE
Σύστημα σε Σειρά	$OTE = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n-1}\{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}\}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)}\}}{\min_{i=1,2,\dots,n}\{R_{th(i)}\}}$
Σύστημα Παράλληλα	$OTE = \frac{\sum_{i=1}^n \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \{R_{th(i)}\}}$

Σύστημα Συναρμολόγησης	$OTE = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ OEE_{(i)} \times \left(\frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \right) \times Q_{eff(a)} \right\}, R_{th(a)} \times OEE_{(a)}\}}{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \right\}, R_{th(a)}\}}$
Σύστημα Επέκτασης	$OTE = \frac{\sum_{i=1}^n \min\{R_{th(e)} \times OEE_{(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{eff(i)}, R_{th(i)} \times OEE_{(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \min\{R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)}\}}$

Πίνακας 2.1 Overall Throughput Effectiveness (OTE) metrics[8]

Στη μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας η γραμμή παραγωγής αποτελείται μόνο απο υποσυστήματα σε σειρά και παράλληλα. Εφόσον εμφανίζονται μόνο αυτά τα δυο υποσυστήματα, οι τύποι θα προσαρμοστούν στα χαρακτηριστικά τους και θα παρουσιαστούν αναλυτικά βάσει αυτών. Ξεκινάμε αναφέροντας οτι οι μηχανές κάθε υποσυστήματος εκπροσωπούνται απο τη μεταβλητή $i = 1, 2, \dots, n$.

Υποσύστημα σε σειρά:

Για την κατανόηση αυτού του τύπου θα χρησιμοποιήσουμε λογικές προτάσεις ξεκινώντας απο τον τύπο του OEE για μια μηχανή (i).

$$OEE_{(i)} = \frac{\text{Πραγματική ποσότητα παραγωγής μηχανής (i) σε χρόνο } T_T}{\text{Θεωρητική ποσότητα παραγωγής μηχανής (i) σε χρόνο } T_T} = \frac{P_g(i)}{P_a^{th}(i)} \quad (1)$$

Όμως,

$$P_a^{th}(i) = R_{th(i)} \times T_T \quad (2)$$

Άρα απο (1) και (2), η πραγματική παραγόμενη ποσότητα απο τη μηχανή (i) σε χρόνο T_T θα είναι:

$$P_g(i) = OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times T_T \quad (3)$$

Αντιστοίχως η πραγματική παραγόμενη ποσότητα ενός υποσυστήματος θα είναι:

$$P_{g(subsystem)} = OTE_{(subsystem)} \times R_{th(subsystem)} \times T_T \quad (4)$$

Η πραγματική παραγόμενη ποσότητα ενός συστήματος σε σειρά είναι ίση με την παραγόμενη ποσότητα της πιο «αργής» μηχανής του. Πιο αργή είναι η μηχανή που για δεδομένο χρόνο παράγει τη λιγότερη ποσότητα συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Για να είμαστε απόλυτα σωστοί όμως, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και το Quality Efficiency των μηχανών που είναι κατάντις της πιο «αργής», το οποίο θα μειώνει εκ νέου την παραγωγικότητα του υποσυστήματος. Διαμορφώνοντας κατάλληλα τον τύπο (3) έχουμε:

$$P_{g(series)} = \min_{i=1,2,\dots,n} \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}\} \times T_T \quad (5)$$

Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση όπου πιο αργή μηχανή του υποσυστήματος είναι η τελευταία, άρα δεν έχει κατάντις μηχανές που θα επηρέαζαν εκ νέου την παραγόμενη ποσότητα. Για να καλυφθεί και αυτή η περίπτωση ο τύπος (4) γίνεται:

$$P_{g(series)} = \min\{\min_{i=1,2,\dots,n-1} \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}\}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)}\} \times T_T \quad (6)$$

Για τον υπολογισμό του ΟΤΕ χρειαζόμαστε και τη θεωρητική παραγόμενη ποσότητα του υποσυστήματος για το χρόνο T_T . Αυτή θα είναι:

$$P_{a}^{th}(series) = \min_{i=1,2,\dots,n} \{R_{th(i)}\} \times T_T \quad (7)$$

Μέσω των (6) και (7) καταλήγουμε στον τύπο του ΟΤΕ (*Overall Throughput Effectiveness*) για τα υποσυστήματα σε σειρά:

$$OTE = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n-1} \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)}\} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)}\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{R_{th(i)}\}} \quad (8)$$

Υποσύστημα παράλληλα:

Στην περίπτωση υποσυστήματος μηχανών που λειτουργούν παράλληλα, τα πράγματα είναι πολύ πιο απλά αφού η πραγματική παραγόμενη ποσότητα του υποσυστήματος είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους παραγόμενων ποσοτήτων. Ομοίως και η θεωρητική παραγόμενη ποσότητα του υποσυστήματος είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους θεωρητικών παραγόμενων ποσοτήτων.

Χωρίς περαιτέρω επεξηγήσεις ο τύπος του *OTE* (*Overall Throughput Effectiveness*) για τα υποσυστήματα μηχανων που λειτουργούν παράλληλα είναι:

$$OTE = \frac{\sum_{i=1}^n \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \{R_{th(i)}\}} \quad (8)$$

Υπολογισμός *OFE* (*Overall Factory Effectiveness*):

Απο τα *OTE* κάθε υποσυστήματος δημιουργείται ένα ισοδ σύστημα σε σειρά. Για τον υπολογισμό του *OFE* εργαζόμαστε ακριβώς όπως με τον *OTE* ενός υποσυστήματος σε σειρά. Ο τύπος θα είναι:

$$OFE = \frac{\min\{\min_{k=1,2,\dots,m-1}\{OTE_{(k)} \times R_{th(k)} \times \prod_{l=k+1}^m Q_{eff(l)}\}, OEE_{(m)} \times R_{th(m)}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{R_{th(k)}\}}$$

Σημειώνουμε ότι, $k = 1, 2, \dots, m$ είναι το κάθε υποσύστημα και ότι τα $R_{th(k)}$ και $Q_{eff(l)}$ κάθε υποσυστήματος υπολογίζονται ανάλογα με το είδος του υποσυστήματος ως εξής:

Υποσύστημα σε σειρά:

- $R_{th(k)} = \min_{i=1,2,\dots,n}\{R_{th(i)}\}$
- $Q_{eff(k)} = \prod_{i=1}^n Q_{eff(i)}$

Υποσύστημα παράλληλα:

- $R_{th(k)} = \sum_{i=1}^n R_{th(i)}$
- $Q_{eff(k)} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{eff(i)}}{n}$

Και στις δυο περιπτώσεις το $i = 1, 2, \dots, n$ υποδυκνεί τις μηχανές του υποσυστήματος k .

2.3.3.3 Μέθοδοι Μοντελοποίησης

Άλλες μέθοδοι υπολογισμού της παραγωγικότητας ενός εργοστασίου βασίζονται σε συστήματα μοντελοποίησης γραμμών παραγωγής και τη χρήση προσομοίωσης.

Μερικά απο αυτά είναι τα αναμονητικά συστήματα (queuing analysis methods), Μαρκοβιανές μέθοδοι, Δίκτυα Petri, όπως και διάφορα εμπορικά εργαλεία/λογισμικά [9].

Αυτά που θα αναλύσουμε εκτενέστερα παρακάτω είναι τα δίκτυα Petri, αφού χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής μεταλλικού τσερκιού του εργοστασίου Οινοφύτων, αλλά και για τον υπολογισμό του *OFE* μέσω προσομοιώσεων.

2.4 Δίκτυα Petri

2.4.1 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 [25].

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 [26]. 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 [27]. Επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από θεωρητικούς αλλά και από

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

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 [23].

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 [28]. 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, μεταγλωττιστές, 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 επίγεια), 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 [29]), εφαρμογές στην ιατρική και τη βιοτεχνολογία [30], μοντελοποίηση βιολογικών διαδικασιών (μεταβολικών διαδικασιών) και βιοχημεία, μοντελοποίηση οικολογικών διαδικασιών και περιβαλλοντικών θεμάτων [31].

2.4.2 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.

2.4.2.1 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 αλληλοεπιδρούν 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 [24].

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 —) 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 [32]. 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 κατάσταση.

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.

2.4.2.2 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.

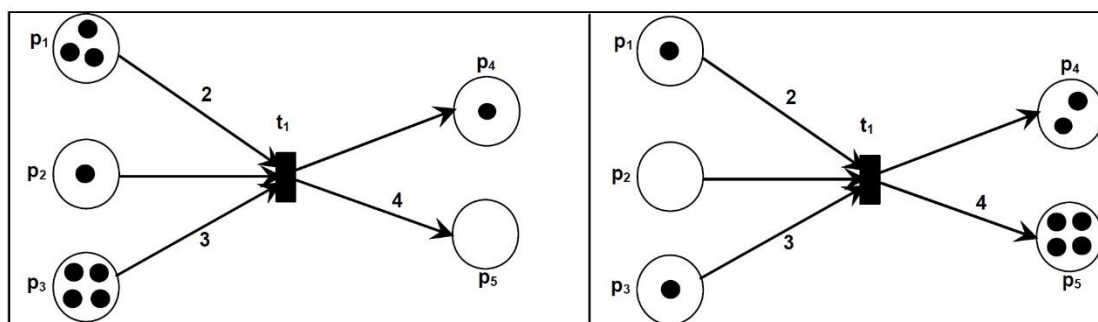
Το σύνολο των τόξων ενός δικτύου Petri A , είναι $A = I \cup O$. Το αναπαριστά το σύνολο των μη αρνητικών ακεραίων αριθμών.

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

2.4.2.3 Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων

Για να ενεργοποιηθεί μια μετάβαση, πρέπει να είναι πρώτα σε ετοιμότητα. Στα συνήθη ΔP 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 $m(p_i) > 0$ για κάθε $p_i \in P$ για το οποίο ισχύει $I(p_i, t) = 1$. Οι θέσεις εισόδου μιας μετάβασης έχουν δηλαδή την έννοια των προϋποθέσεων για την ενεργοποίηση 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 αντίστοιχων τόξων. Ο αριθμός των τελειών που αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου δeneίνεται 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.

2.4.2.4 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:

$$m_i \xrightarrow{t_j} m_{i+1}$$

2.4.2.5 Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔΡ

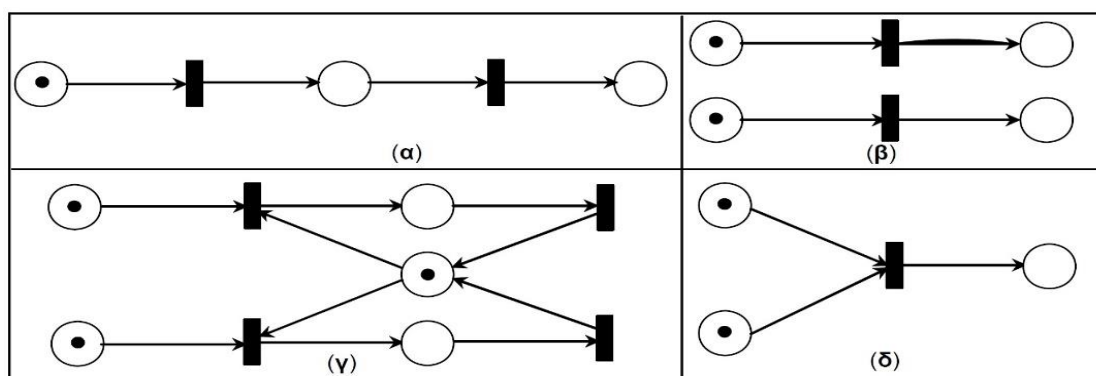
Οι πιο βασικές καταστάσεις που εμφανίζονται κατά τη μελέτη συστημάτων διακριτών γεγονότων είναι η ακολουθία γεγονότων, η παραλληλία, ο αμοιβαίος αποκλεισμός κι ο συγχρονισμός. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ΔΡ ανταποκρίνονται στις ανάγκες μοντελοποίησης τους. Δύο επιπλέον καταστάσεις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

Αδιέξοδος 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 σχεδιασμό, κι απαιτεί τον επανασχεδιασμό μέρους του συστήματος ή του μοντέλου του [33].



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

2.5 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.

2.5.1 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 [34], 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 [35]. 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 συνηθών 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 [36], [37]. 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.

2.5.2 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 (activatorarcs) και τα τόξα παρεμπόδισης (inhibitorarcs) [38] - [41]. 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 δομέςσυνήθων ΔΡ [42]. Το κύριο χαρακτηριστικό στην περίπτωση αυτή είναι η αυξημένηπολυπλοκότητα, αφού για την αντικατάσταση ενός τόξου απαιτείται ολόκληρη δομήσυνήθους δικτύου Petri. Οι επεκτάσεις τόξων βοηθούν σημαντικά την απόδοσηπροτεραιοτήτων και την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ μεταβάσεων.

2.5.3 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 [24], [43] - [45]. 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 πωςμπορούν να αναπαραστήσουν αποτελεσματικά όλα τα βασικά χαρακτηριστικάσυστημάτων διακριτών γεγονότων με αλληλεπιδρώντα συστατικά μέρη, δηλαδή τηνακολουθία γεγονότων, την παραλληλία, το συγχρονισμό, τον αμοιβαίο αποκλεισμό, τηνκατανομή κοινών πόρων, την ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων διεργασιών, την τυχαιότητα, τηνεμφάνιση 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 σεμεγάλο βαθμό τις δυνατότητες αναπαράστασης του. Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουνμεταξύ άλλων την πληρέστερη ποσοτική ανάλυση συστημάτων (χρονικά ΔΡ), τηναναπαράσταση συνεχών ή υβριδικών συστημάτων (συνεχή και υβριδικά ΔΡ), την πιοσυμπυκνωμένη αναπαράσταση συστημάτων μέσω της

σύνδεσης θέσεων διαφορετικούς τύπους τελειών, όπου κάθε τύπος τελείας συνδέεται με διαφορετικές δομέςδεδομένων (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 επεκτάσειςτόξων) 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 (mappingsupervisor), όπου η πολιτική ελέγχου υπολογίζεται από ένα ελεγκτή πραγματικού χρόνου ως συνάρτηση ανατροφοδότησης της σήμανσης του ΔΡ και ο εποπτικός έλεγχος ενσωματωμένου ελεγκτή (compiledsupervisor), όπου η πολιτική ελέγχου αναπαρίσταται στη δομή του δικτύου.

2.6 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 [46]. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλοεπιδρούν 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 εξυπηρέτησεως 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.

3^ο Κεφάλαιο

Παρουσίαση του Ομίλου Μ.Ι. Μαΐλλης Α.Ε.



3.1 Ο Όμιλος Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗΣ

Η Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗΣ κατασκευάζει και διανέμει ολοκληρωμένα συστήματα δευτερογενούς συσκευασίας, μηχανές και υλικά συσκευασίας και εργαλεία χειρός. Προσφέρει ένα ευρύ χαρτοφυλάκιο προϊόντων και υπηρεσιών, στη λίστα των οποίων συγκαταλέγονται αναλώσιμα υλικά, ολοκληρωμένες τεχνολογίες αιχμής αλλά και τεχνογνωσία, που βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλο φάσμα της αγοράς όπως στη βιομηχανία μετάλλου, ξύλου, κατασκευής, φαγητών και ποτών κ.α. Κατέχει 7 εργοστασιακές μονάδες (Ελλάδα, Γερμανία, Ιταλία, Πολωνία, Καναδά και Β.Αμερική), αλλά και γραφεία σε 18 χώρες σε Ευρώπη, Ηνωμένες Πολιτείες και Ασία.

Ιδρύθηκε το 1973 με τη μορφή Εταιρείας Περιορισμένης Ευθύνης (Ε.Π.Ε.), σαν συνέχεια της ατομικής επιχείρησης η οποία προυπήρχε απο το 1968 και μετατράπηκε σε Ανώνυμη Εμπορική και Βιομηχανική Εταιρεία (Α.Ε.Β.Ε.) το 1976. Απο τον Απρίλιο του 2003, η Εταιρεία έχει έδρα στον Δήμο Κηφισιάς Αττικής.

3.1.1 Ιστορικά Στοιχεία και πορεία της Εταιρείας

Ο όμιλος Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ ξεκίνησε τη δεκαετία του 70' απο μια μικρή παραγωγική μονάδα με ένα μόνο προϊόν (μεταλλικό τσέρκι) στοχεύοντας κυρίως στην Ευρωπαϊκή αγορά. Μετά απο μεγάλη προσπάθεια, συνέπεια και επιμονή σήμερα είναι ένας ισχυρός πολυεθνικός Όμιλος, ο μεγαλύτερος Ευρωπαϊκός στη διεθνή αγορά βιομηχανίας συσκευασίας, προσφέροντας ολοκληρωμένες λύσεις (μηχανές, service και αναλώσιμα δευτερογενούς συσκευασίας) για οποιαδήποτε βιομηχανική εφαρμογή. Διαθέτει ένα πλήρες χαρτοφυλάκιο προϊόντων με 20 παραγωγικές μονάδες σε Ευρώπη, Αμερική και φυσική παρουσία στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες και στην Αμερική, μέσω ενός εκτεταμένου δικτύου θυγατρικών εταιρειών.

Την περίοδο απο το 1998 μέχρι και το τέλος του 2002 ο Όμιλος Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ ολοκλήρωσε έναν εντυπωσιακό κύκλο ανάπτυξης, παραγματοποιώντας σημαντικές επενδύσεις και υλοποιώντας στρατηγικές εξαγορές. Το 1998 οι συνολικές πωλήσεις ήταν 58 εκ. Ευρώ ενώ το 2004 οι ενοποιημένες πωλήσεις έφτασαν τα 341 εκ. Ευρώ.

Την περίοδο 2002 – 2003 κύρια προτεραιότητα του Ομίλου Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ υπήρξε η ένταξη, η ορθολογικοποίηση και η αναδιοργάνωση των εταιρειών που εξαγοράσθηκαν. Η αναδιοργάνωση πραγματοποιήθηκε κάτω απο ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες με εντονότατη επιβράδυνση της διεθνούς οικονομίας με ορατές τις επιπτώσεις της ύφεσης και της σημαντικής ανατίμησης του Ευρώ.

Βασικοί άξονες αυτής της προσπάθειας αναδιοργάνωσης ήταν:

- Η αφομοίωση της κοινής στρατηγικής και η δημιουργία κοινής επιχειρησιακής κουλτούρας.
- Η δημιουργία κατάλληλης υποδομής (συστήματα, διαδικασίες)
- Η συμπλήρωση του χαρτοφυλακίου προϊόντων και η συνεχής βελτίωση αυτών.
- Η προώθηση νέας ταυτότητας του Ομίλου στις διεθνείς αγορές, με έμφαση στο νέο μέγεθος του, στα προϊόντα του και στις νέες δυνατότητες και δυναμικές του.
- Η αξιοποίηση σε όλα τα επίπεδα των οικονομιών κλίμακος και των συνεργιών, με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση του κόστους.

Τα θετικά αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας έγιναν ορατά το 2004. Ο όμιλος Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ πέτυχε το στρατηγικό του στόχο για 15% οργανική ανάπτυξη. Τα κέρδη αυξήθηκαν με μεγαλύτερο ρυθμό απο αυτόν των πωλήσεων, ενώ στο β' εξάμηνο βελτιώθηκε σημαντικά η ρευστότητα του Ομίλου με αντίστοιχη μείωση του καθαρού δανεισμού κατά 7 εκ. Ευρώ. Η εξέλιξη αυτή επιβεβαιώνει τόσο την στρατηγική ανάπτυξης του Ομίλου τα προηγούμενα χρόνια όσο και την επιτυχημένη προσπάθεια απορρόφησης και ολοκλήρωσης των τελευταίων 2 ετών. Η Μητρική Εταιρεία του Ομίλου πραγματοποίησε το 2004 ρεκόρ με πωλήσεις 130,0 εκ. Ευρώ έναντι πωλήσεων 94,9 εκ Ευρώ το 2003, επίδοση που αντιστοιχεί σε αύξηση 41%.

Ο Όμιλος το 2004 προχώρησε σε ιδιαίτερα σημαντικές κινήσεις.

- i. Ισχυροποίησε τη διοικητική του δομή, με στόχο την επιτάχυνση της ανάπτυξης και της κερδοφορίας,
- ii. Οργάνωσε τις ομάδες πωλήσεων με στόχο την προώθηση ολοκληρωμένων λύσεων και την προώθηση του συνόλου των προϊόντων απο κάθε θυγατρική.

Με τον τρόπο αυτό επιταχύνεται η αξιοποίηση των συμπληρωματικών δικτύων όπως αυτά διαμορφώθηκαν μετά τις σημαντικές επενδύσεις και εξαγορές έως το 2003.

- iii. Ξεκίνησε την υλοποίηση επένδυσης στην Αμερική για την παραγωγή υλικών συσκευασίας, η οποία τέθηκε σε λειτουργία τον Απρίλιο του 2005. Η επένδυση αυτή σε συνδυασμό με την ισχυρή βάση παραγωγής μηχανών που διαθέτει ήδη εκεί ο Όμιλος, δημιουργεί τις προϋποθέσεις ταχύτατης ανάπτυξης επαναλαμβάνοντας το μοντέλο ανάπτυξης που ακολουθήθηκε στην Ευρώπη.
- iv. Ολοκλήρωσε την ανάπτυξη των νέων αυτομάτων μηχανών συσκευασίας συμπληρώνοντας το χαρτοφυλάκιο των προϊόντων με τεχνολογίες αιχμής.

Παρόλη την επέκταση και ανάπτυξη που γνώρισε, από το 2008 και ύστερα ο Όμιλος Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗ βίωσε τα πρώτα σημάδια της κρίσης. Αρχικά στην Αμερική και μέσα στην ίδια χρονιά και στις ευρωπαϊκές αγορές, πολύ νωρίτερα από εταιρείες που δραστηριοποιούνται κατά κύριο λόγο στην ελληνική αγορά. Αντίδραση του Ομίλου ήταν να ξεκινήσουν διαδικασίες αναδιοργάνωσης στο πλαίσιο της οποίας ενοποιήθηκαν και σε κάποιες περιπτώσεις καταργήθηκαν θυγατρικές, μεταφέρθηκαν γραμμές παραγωγής και αναδιοργανώθηκε το δίκτυο πωλήσεων.[15]

Από τις 18 Νοεμβρίου του 2014 έπαυσε η διαπραγμάτευση των μετοχών της Εταιρείας στο Χρηματιστήριο Αθηνών. Από τον Ιούνιο του 2014 η εταιρεία Μαΐλλης πέρασε στην ιδιοκτησία του Αμερικάνικου fund Harvard Investment Group, το οποίο απέκτησε το 73% του μετοχικού κεφαλαίου και μέχρι τις 25 Νοεμβρίου του ίδιου έτους απέκτησε το 100% του μετοχικού κεφαλαίου μετά από πρόταση εξαγοράς του εναπομείνοντος ποσοστού.

Μέσα από τη συμφωνία της Εταιρείας με το «στρατηγικό επενδυτή» HIG ολοκληρώθηκε η φάση της οικονομικής αναδιάρθρωσης και δόθηκε μια οριστική λύση στο πρόβλημα υψηλού δανεισμού καθώς και στην κεφαλαιακή επάρκεια του Ομίλου, ώστε η Εταιρεία σε συνδυασμό με τα προγράμματα μείωσης του λειτουργικού κόστους και αύξησης της παραγωγικότητας, διατηρώντας έδρα και παραγωγική βάση την Ελλάδα, να θέσει θεμέλια για την περαιτέρω ανάπτυξή της.
[10]

3.1.2 Εγκαταστάσεις της Εταιρείας στην Ελλάδα

Η Εταιρεία διαθέτει 2 εργοστάσια παραγωγής στην Ελλάδα που βρίσκονται στα Οινόφυτα Βιωτοίας και στην ΒΙ.Π.Ε. Αλεξανδρούπολης αντίστοιχα.



Εικόνα 3.1 Εργοστάσιο Οινόφυτα



Εικόνα 3.2 Εργοστάσιο Αλεξανδρούπολης

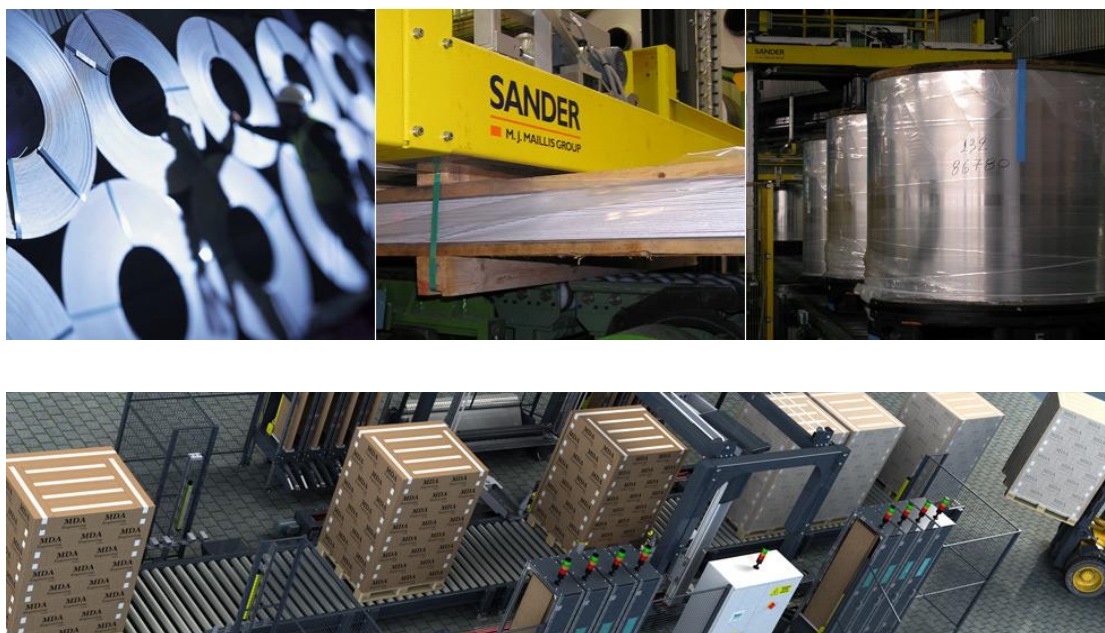
Το εργοστάσιο της Εταιρείας στα Οινόφυτα Βοιωτίας βρίσκεται σε ιδιόκτητο οικόπεδο-βιομηχανικό χώρο, συνολικού εμβαδού 72.000 τ.μ. Εντός του οικοπέδου υπάρχουν οι κτιριακές εγκαταστάσεις της Εταιρείας, συνολικού εμβαδού 23.800 τ.μ. Το συγκεκριμένο εργοστάσιο είναι το μεγαλύτερο εργοστάσιο μεταλλικής ταινίας στην Ευρώπη.

Το εργοστάσιο στην Αλεξανδρούπολη βρίσκεται σε ιδιόκτητο οικόπεδο συνολικού εμβαδού 19.300 τ.μ. εντός του οποίου υπάρχουν εγκαταστάσεις που καλύπτουν περίπου 10.000 τ.μ.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι στο εργοστάσιο στα Οινόφυτα Βοιωτίας έχει υιοθετηθεί ένας οικολογικός τρόπος λειτουργίας [14]. Απο το 2007 η Εταιρεία αποφάσισε να μετατρέψει το εργοστάσιο των Οινόφυτων σε «πράσινο εργοστάσιο» ενσωματώνοντας την τελευταία λέξη της τεχνολογίας όσον αφορά τη διαχείριση των ρύπων αλλά και την εξοικονόμηση φυσικών πόρων. Συγκεκριμένα η εταιρεία το 2007 εκπόνησε επενδυτικό πρόγραμμα 4 εκ.ευρώ ώστε να καταστήσει τη μονάδα πρότυπο όσον αφορά στην προηγμένη διαχείριση περιβαλλοντικών θεμάτων. Η περιβαλλοντική επένδυση αποτελείται από 3 κύρια συστήματα:

- a) Σύστημα Φιλτραρίσματος και ξηρού καθαρισμού Αερίων και σύστημα Αναγεννώμενης Θερμικής Οξειδωσης (RTO)
- b) Σύστημα φιλτραρίσματος και αποκονίωσης των αερίων της γραμμής θερμικής κατεργασίας (patenting).
- c) Σύστημα επεξεργασίας και ανακύκλωσης υγρών αποβλήτων

3.2 Κατάλογος προϊόντων και υπηρεσιών του Ομίλου Μ.Ι.Μαΐλλη

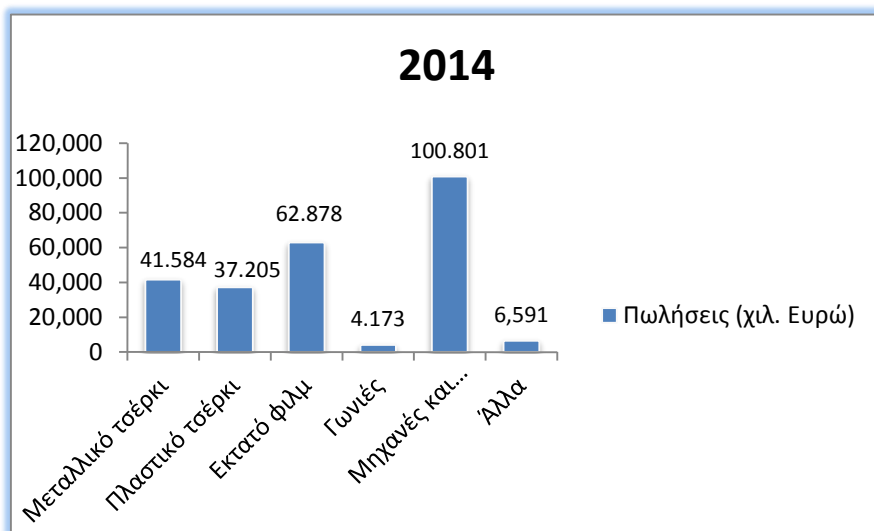


Η Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗΣ κατασκευάζει και διανέμει ολοκληρωμένα συστήματα δευτερογενούς συσκευασίας, μηχανές και υλικά συσκευασίας και εργαλεία χειρός. Προσφέρει ένα ευρύ χαρτοφυλάκιο προϊόντων και υπηρεσιών, στη λίστα των οποίων συγκαταλέγονται αναλώσιμα υλικά, ολοκληρωμένες τεχνολογίες αιχμής αλλά και τεχνογνωσία. Ο Όμιλος έχει περισσότερους από 15,000 πελάτες στη βιομηχανία της κατασκευής, ξυλείας, μετάλλου, φαγητών και ποτών και καλλυντικών. Για να αναφέρουμε μερικά παραδείγματα, ο Όμιλος Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗ είναι αποκλειστικός προμηθευτής μερικών από τις μεγαλύτερες εταιρείες παγκοσμίως όπως η US Steel, Nestlé, Coca-Cola, P&G, Henkel, Pepsi, Mars, Lafarge, ArcelorMittal και Wal-Mart. Τα προϊόντα που παράγονται από την Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗΣ σε Ελλάδα, Ευρώπη και Β. Αμερική παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 3.1:

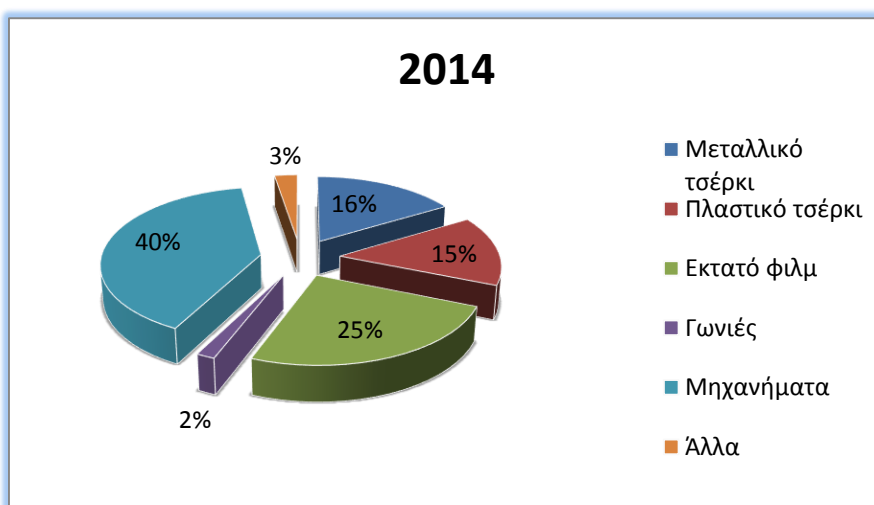
ΠΡΟΪΟΝ	ΧΩΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
a) Χαλυβδοταινία Περίδεσης (Μεταλλικό Τσέρκι)	ΕΛΛΑΔΑ
b) Πλαστική Ταινία Περίδεσης (PP – PET)	ΕΛΛΑΔΑ, ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ, ΠΟΛΩΝΙΑ, ΙΣΠΑΝΙΑ, ΓΕΡΜΑΝΙΑ
c) Εκτατό Φιλμ Συσκευασίας	ΕΛΛΑΔΑ , ΠΟΛΩΝΙΑ
d) Θερμοσυρρικτώτικό Φιλμ Συσκευασίας	ΕΛΛΑΔΑ, ΡΟΥΜΑΝΙΑ
e) Χαρτογωνιές	ΓΕΡΜΑΝΙΑ
f) Μηχανές Συσκευασίας	ΡΟΥΜΑΝΙΑ
g) Κεφαλές και Αυτόματες Μηχανές Συσκευασίας	ΓΕΡΜΑΝΙΑ
h) Κλειστικές Μηχανές Χαρτοκιβωτίων	ΙΤΑΛΙΑ
i) Μηχανές Περιτύλιξης με Εκτατό Φιλμ Συσκευασίας	ΙΣΠΑΝΙΑ, Β. ΑΜΕΡΙΚΗ
j) Φλεξοεκτυπωτικές Μηχανές αυτοκολλητών ταινιών, «dispensers»	ΙΤΑΛΙΑ
k) Θερμοσυρρικνωτικές Μηχανές Συσκευασίας	ΙΤΑΛΙΑ
l) Εργαλεία Συσκευασίας για εφαρμογές με μεταλλική και πλαστική ταινία περίδεσης	ΙΤΑΛΙΑ
m) Εξαρτήματα και Ανταλλακτικά μηχανών συσκευασίας	ΙΤΑΛΙΑ
n) Συναρμολόγηση Ολοκληρωμένων Γραμμών Συσκευασίας	Β. ΑΜΕΡΙΚΗ

Πίνακας 3.1 Προϊόντα που παράγονται απο την εταιρεία παγκοσμίως.

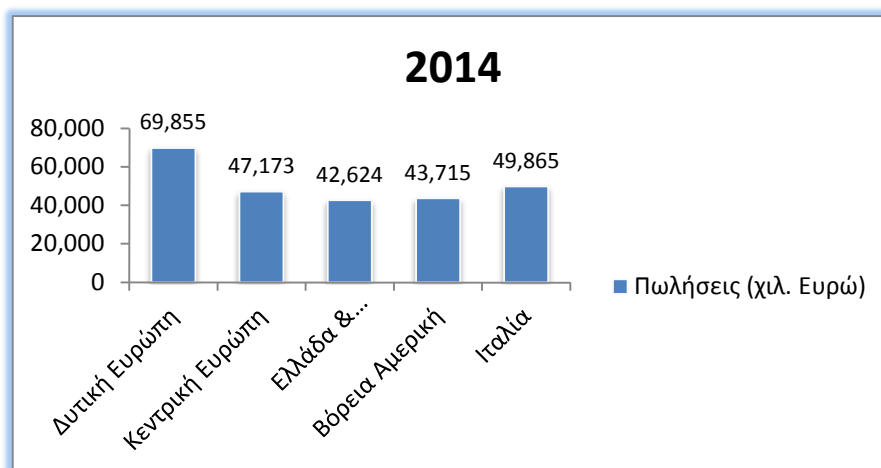
Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή πωλήσεων σε κατηγορίες προϊόντων και ανα γεωγραφικό τομέα για το έτος 2014.



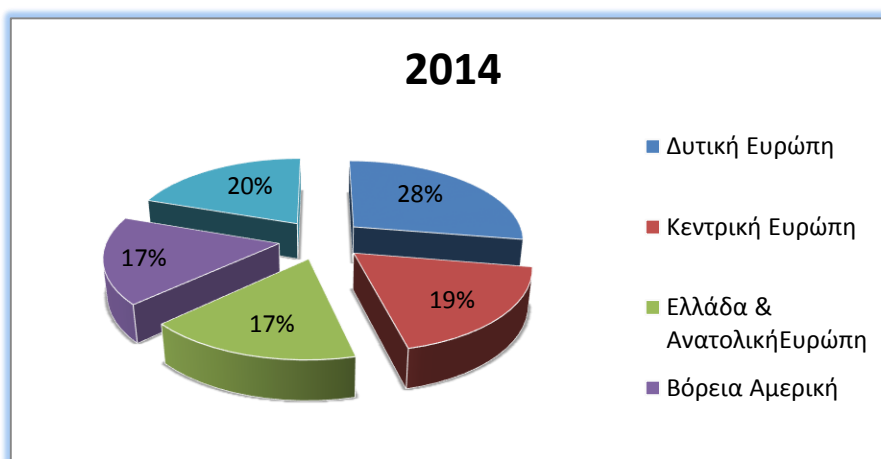
Εικόνα 3.3 Κύκλος εργασιών ανα κατηγορία προϊόντος (χιλ. Ευρώ)



Εικόνα 3.4 Κύκλος Εργασιών ανα κατηγορία προϊόντος (Ποσοστιαίες μονάδες)



Εικόνα 3.5 Κύκλος Εργασιών ανα γεωγραφικό τομέα (χιλ. Ευρώ)



Εικόνα 3.6 Κύκλος εργασιών ανα γεωγραφικό τομέα (Ποσοστιαίες μονάδες)

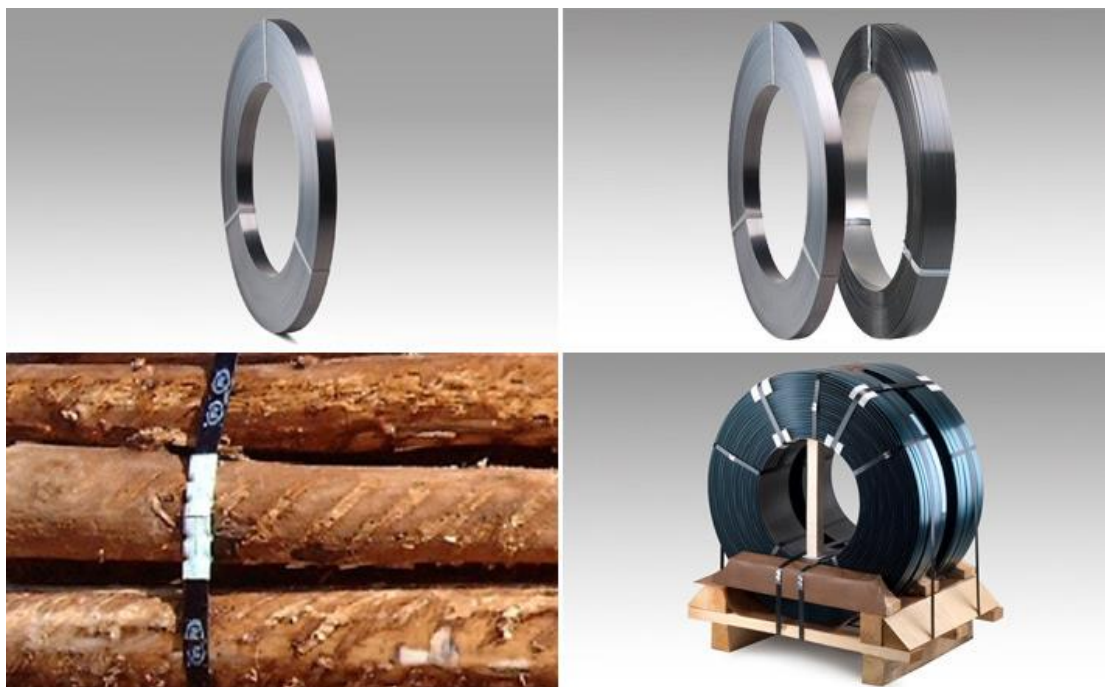
3.2.1 Μεταλλική ταινία περίδεσης (Τσέρκι)

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μεταλλική χαλυβδοταινία συσκευασίας (τσέρκι). Το συγκεκριμένο προϊόν είναι το τρίτο πιο δημοφιλές σε πωλήσεις για το 2014 στη γκάμα της εταιρείας (Εικόνα 3.3, Εικόνα 3.4).

Ο όρος «χαλυβδοταινία συσκευασίας» χρησιμοποιείται για κάθε μεταλλική ταινία περίδεσης απο χάλυβα που εξυπηρετεί στο κλείσιμο, την ασφάλιση και ενίσχυση της συσκευασίας των βαρέων βιομηχανικών προϊόντων (Εικόνα 3.7). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης C.E.N. (Committee European de Normalisation)

που έχει συσταθεί με σκοπό την καθιέρωση και τυποποίηση ευρωπαϊκών προδιαγραφών έχει χαρακτηρίσει τους εξής 3 τύπους χαλυβδοταινίας:

- a. Ψυχρής έλασης, χωρίς θερμική κατεργασία.
- b. Ψυχρής έλασης, με θερμική κατεργασία.
- c. Ψυχρής έλασης, με έντονη θερμική κατεργασία.



Εικόνα 3.7 Coils μεταλλικής ταινίας περίδεσης

3.2.1.1 Κατάλογος Προϊόντων (Μεταλλική Ταινία Περίδεσης)

Τα προϊόντα που περιγράφονται παρακάτω έχουν όλα τη μορφή της εικόνας 3.7, 3.8 και 3.9 και απο αυτές μπορεί ο αναγνώστης να κατανοήσει τί είναι το προϊόν για το οποίο μιλάμε.



Dynaflex™: Είναι χαλυβδοταινία ψυχρής έλασης, χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, βαμμένη και κερωμένη με στρογγυλεμένες άκρες. Χρησιμοποιείται για ενίσχυση συσκευασίας, ομαδοποίηση προϊόντων, παλετοποίηση και απο όλα τα μηχανήματα περίδεσης και καλύπτει απαιτήσεις μέσης αντοχής.

Παράγεται σύμφωνα με όλες τις διεθνείς προδιαγραφές και διατίθεται σε διάφορες διαστάσεις πλάτους, πάχους, χρώματος και τυλίξεως των coils. Η Μ.Ι.ΜΑΪΛΛΗΣ κατέχει το διεθνές πιστοποιητικό ποιότητας ISO 9001: 2000.



Megadyn™: Πρόκειται για χαλυβδοταινία ψυχρής έλασης απο ειδικές πρώτες ύλες, που παράγεται με ειδική τεχνολογία θερμικής επεξεργασίας. Το προϊόν αυτό παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και ιδιαίτερα έντονη δυναμική συμπεριφορά (impact resistance) και χρησιμοποιείται στις πλέον απαιτητικές εφαρμογές της βαριάς βιομηχανίας.

Megadyn Plus: Είναι προϊόν (μεσαίας περιεκτικότητας σε άνθρακα, υψηλής σε μαγγάνιο) που έχει περάσει απο ειδική θερμική επεξεργασία. Συνδυάζει εξαιρετική ποιότητα επιφάνειας και υψηλές μηχανικές ιδιότητες (επιμήκυνση, αντοχή σε κρούση). Ιδανικό για ασφαλή ομαδοποίηση προϊόντων σε βαριές βιομηχανικές εφαρμογές. Συμμορφώνεται με το EN13247:2001.

Megadyn™ USLM: Είναι μια πρώτης τάξεως, εξαιρετικά υψηλής αντοχής χαλυβδοταινία ιδανική για ασφαλή πρόσδεση και ανύψωση φορτίων. Αυτή η ποιότητα ταινίας είναι σχεδιασμένη για να ικανοποιεί τις πιο απαιτητικές βιομηχανικές εφαρμογές. Η παραγωγή του προϊόντος συμμορφώνεται με την πιστοποίηση EN13247:2001.

Οι μηχανικές ιδιότητες των παραπάνω προϊόντων συνοψίζονται στον πίνακα της εικόνας 3.8.

Τύπος Προϊόντος	Πλάτος (mm)	Πάχος (mm)	Αντοχή (N/mm ²)	Επιμήκυνση (%)
Dynaflex™	12.7-31.75	0.40-1.00	720-930 *	6%-10%
Megadyn™	12.7-31.75	0.50-1.15	980-1060	13%-16%
Megadyn™ Plus I	19.0-31.75	0.63-1.00	780-850	20%-23%
Megadyn™ Plus II	19.0-31.75	0.80-1.00	880-940	17%-20%
Megadyn™ USLM	31.75	0.80/1.12/1.27	as per EN13247:2001	

* depending on size

Πίνακας 3.2 Μηχανικές Ιδιότητες Προϊόντων

Η Εταιρεία παράγει τα προϊόντα των ανωτέρω ποιοτήτων σε ένα μεγάλο φάσμα συνδυασμών όσον αφορά:

- Την τύλιξη των προϊόντων (Ribbon, Oscillated, Jumbo, Super Jumbo) (Εικόνες 3.9, 3.10)
- Το χρώμα των προϊόντων (Μαύρο, Μπλε, Μεταλλικό) (Εικόνα 3.11)
- Το πλάτος των προϊόντων
- Το πάχος των προϊόντων



Εικόνα 3.8 Τύλιξη Ribbon και Oscillated (Απο αριστερά προς τα δεξιά).



Εικόνα 3.9 Τύλιξη Jumbo, Super Jumbo, Super Super Jumbo

Είδος Τύλιξης	Βάρος/Coil (kg)	Coil ID (mm)	Βάρος Παλέτας (kg)
Oscillated (BK, BL)	48	406	585
Oscillated (ZC)	43	406	525
Ribbon	16-50 *	300/406 *	600-1100 *
Jumbo **	220	406	680-700
Super Jumbo	450	406	900
Super Super Jumbo ***	950	406	1600-2000

* depending on size
 ** 180-240kg/coil on request
 *** 800-1000kg/coil on request

Γενικά Χαρακτηριστικά	
Χρώμα	Black / Zinc / Blue annealed (non coated)
Φινίρισμα	Κέρωμα
Edge finish	smooth treated
Pallet type	IPPC/ISPM15 compliant, Heavy Duty
External Protection	special Vci anti-corrosion stretch film
Traceability	100% - twin barcode labeling system

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά τύλιξης – Γενικά χαρακτηριστικά

Ακολουθεί πλήρης κατάλογος των προϊόντων και των συνδυασμών που διατίθενται στο εμπόριο.

Dynaflex® Steel Strapping						
Description	Width (mm)	Thickness (mm)	Finish	Winding	avr. Tensile Strength (N/mm ²)	m /kg
Dynaflex 1340	12,7	0,40	BLACK	Oscillated	880	25,1
Dynaflex 1350	12,7	0,50	BLACK, BLUE, ZINC	Oscillated	850	20,0
Dynaflex 1350R	12,7	0,50	BLUE, BLACK	Ribbon	850	20,0
Dynaflex 1360	12,7	0,60	BLACK, ZINC	Oscillated	850	16,7
Dynaflex 1650	16,0	0,50	BLACK, BLUE, ZINC	Oscillated	850	15,9
Dynaflex 1650R	16,0	0,50	BLACK, BLUE	Ribbon	850	15,9
Dynaflex 1660	16,0	0,60	BLACK, BLUE	Oscillated	850	13,3
Dynaflex 1950	19,0	0,50	BLACK, BLUE	Oscillated	850	13,4
Dynaflex 1950R	19,0	0,50	BLUE	Ribbon	850	13,4
Dynaflex 1960	19,0	0,60	BLACK, BLUE, ZINC	Oscillated	850	11,2
Dynaflex 1960R	19,0	0,60	BLACK, BLUE	Ribbon	850	11,2
Dynaflex 1980	19,0	0,80	BLACK, BLUE	Oscillated	800	8,4
Dynaflex 2580R	25,4	0,80	BLUE, ZINC	Ribbon	800	6,2
Dynaflex 2580	25,4	0,80	BLUE	Jumbo, Super Jumbo	800	6,2
Dynaflex 2590R	25,4	0,90	BLACK, BLUE	Ribbon	800	5,6
Dynaflex 3280R	31,75	0,80	BLACK, BLUE, ZINC	Ribbon	800	5,0
Dynaflex 3280	31,75	0,80	BLACK, BLUE	Jumbo, Super Jumbo	800	5,0
Dynaflex 3290R	31,75	0,90	BLUE, ZINC	Ribbon	800	4,4
Dynaflex 3290	31,75	0,90	BLUE	Jumbo, Super Jumbo	800	4,4

Other sizes, colours and winding available, subject to minimum order quantity.

Πίνακας 3.4 Πλήρης κατάλογος και χαρακτηριστικά προϊόντων Dynaflex™

Megadyn® & Megadyn Plus® Steel Strapping						
Description	Width (mm)	Thickness (mm)	Finish	Winding	avr. Tensile Strength (N/mm2)	m/kg
Megadyn 1950	19,0	0,50	BLACK	Oscillated	1030	13,4
Megadyn 1963	19,0	0,63	BLACK, BLUE, ZINC	Oscillated	1030	10,6
Megadyn 1980	19,0	0,80	BLACK, BLUE	Oscillated	1030	8,4
Megadyn Plus 2580	25,4	0,80	ZINC	Super Jumbo	920	6,3
Megadyn 3280R	31,75	0,80	BLACK, ZINC	Ribbon, S. Jumbo	1030	5,0
Megadyn 3280	31,75	0,80	BLACK, BLUE	Jumbo, S. Jumbo	1030	5,0
Megadyn Plus 3290R	31,75	0,90	BLUE	Ribbon, S. Jumbo	920	4,4
Megadyn Plus 3210R	31,75	1,00	BLACK, BLUE	Ribbon, Jumbo	920	4,0
Megadyn Plus 3210R	31,75	1,00	BLUE	S. Jumbo	920	4,0
Description	Width (mm)	Thickness (mm)	Finish	Winding	Min. Break Load (N)	m/kg
Megadyn USLM 112	31,75	1,12	BLACK	Ribbon	38.000	3,6
Megadyn USLM 127	31,75	1,27	BLACK	Ribbon	43.000	3,1

Other sizes, colours and winding types available, subject to minimum order quantity

Πίνακας 3.5 Πλήρης κατάλογος και χαρακτηριστικά προϊόντων Megadyn™ Megadyn Plus και USLM.

Steel Strap Standard Packaging - Coil winding and size						
Oscillated 13,16,19 mm	ID / OD (mm)	Coil width (mm)	avr. kg/coil	Pallet Dim (WxLxH, mm)	Coils / pallet	Pallet Weight (kg)
Blue, Black	406/600	63	46-50	670x580x130	12	590
Zinc	406/600	63	40-45	670x580x130	12	530
Ribbon	ID / OD (mm)	Coil width (mm)	avr. kg/coil	Pallet Dim (WxLxH, mm)	Coils / pallet	Pallet Weight (kg)
13mm	300/550	13	16	670x580x130	38	615
16mm	300/550	16	21	670x580x130	30	640
19mm	300/550	19	25	670x580x130	25	640
25mm	406/650	25	40	670x650x130	16 / 24	640 / 960
32mm	406/650	32	50	670x650x130	12 / 18	600 / 900
Jumbo	406/700	190	220	670x650x130	4	900
Super Jumbo	406/800-840	190	440	820x760x140	2 (vertical axis)	900
	406/800-840	190	440	905x630x140	2 (horizontal axis)	900

Super-Super Jumbo 300mm coil width available for 32mm strap (on request) : 900-1000kg/coil

Πίνακας 3.6 Χαρακτηριστικά συσκευασίας προϊόντων

4ο Κεφάλαιο

Μελέτη Περίπτωσης Εργοστασίου Παραγωγής μεταλλικής ταινίας περίδεσης

4.1 Σκοπός και Εργαλεία Επίλυσης

4.1.1 Δείκτες Παραγωγικότητας που επιλέχθηκαν

Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός της παραγωγικότητας του εργοστασίου του Ομίλου Μ.Ι.Μαΐλλη που βρίσκεται στα Οινόφυτα Βοιωτίας. Ο υπολογισμός θα υλοποιηθεί με τη βοήθεια ποσοτικών δεικτών παραγωγικότητας. Μετά απο έρευνα στη σχετική βιβλιογραφία για ποσοτικές μεθόδους υπολογισμού παραγωγικότητας, προτάθηκε μια σειρά απο δείκτες στους υπεύθυνους της εταιρείας και μετά απο αξιολόγηση επιλέχθηκαν οι εξής παρακάτω:

1. Παραγόμενη ποσότητα (ανα εντολή παραγωγής – κωδικός υλικού)/πραγματικές μηχανώρες. Ο δείκτης αυτός θα συγκριθεί με τον δείκτη: Παραγόμενη ποσότητα (ανα εντολή παραγωγής - κωδικός υλικού/ πρότυπες μηχανώρες απο φασεολόγια). Σε περίπτωση που μέσα στο εύρος του μήνα υπάρχουν παραπάνω απο μια εντολές παραγωγής για τον ίδιο κωδικό υλικού ανα κέντρο εργασίας, θα ληφθεί ο μέσος όρος τους.
2. Πρότυπες μηχανώρες που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα/ Πραγματικές μηχανώρες ανα κέντρο εργασίας.
3. Υπολογισμός του Overall Equipment Effectiveness (OEE) ανα μήνα.
4. Υπολογισμός του Overall Factory Effectiveness (OFE) ανα μήνα.

Οι δυο πρώτοι προτάθηκαν απο τους υπεύθυνους της εταιρείας, ενώ οι δυο τελευταίοι μετά απο αναζήτηση στη βιβλιογραφία. Το διάστημα ανάλυσης των δεικτών ζητήθηκε να είναι απο τον Οκτώβρη 2013 με Μάρτιο 2014. Όλοι οι δείκτες συμφωνήθηκε να υπολογιστούν ανα μήνα ενώ μονάδα μέτρησης ποσότητας να είναι ο τόνος και για τις μηχανώρες η ώρα.

4.1.2 Μέθοδος Συγκέντρωσης Πληροφορίας (Data Entry) για τον Υπολογισμό των Δεικτών

Πρωταρχικό ρόλο στον υπολογισμό των δεικτών έπαιξε ο εντοπισμός όλων των επιμέρους μεταβλητών που αποτελούν κάθε δείκτη, αλλά και η κατάστρωση μιας μεθόδου καταγραφής τους που θα καθιστούσε τον τελικό υπολογισμό εύκολο και γρήγορο.

Για τη σωστή υλοποίηση των παραπάνω ενεργειών, έπρεπε πρώτα να υπάρξει πλήρης κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας της χαλυβδοταινίας περιόδου, αλλά και του τρόπου λειτουργίας κάθε μηχανής ξεχωριστά.

4.2 Παραγωγική Διαδικασία Μεταλλικής Ταινίας Περίδεσης

4.2.1 Στάδια Παραγωγικής Διαδικασίας

Η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει με τη μεταφορά της ά ύλης απο κατάλληλο ανοιχτό χώρο εκτός του εργοστασίου μέσα στο χώρο παραγωγής. Για την παραγωγή μεταλλικής ταινίας περιόδου ά ύλη αποτελεί η χαλυβδοταινία θερμής έλασης σε μορφή κουλούρας διαμέτρου μέχρι 2000mm και βάρους 20 – 25 τόνους (Mother Coils). Η ποιότητα των Mother Coils διαφέρει ανάλογα με το τελικό προϊόν για το οποίο προορίζονται. Υπάρχουν δυο κατηγορίες ποιότητας: η ποιότητα DN (Dynaflex) και η HT (High Tensile) για μεσαίας και μεγάλης αντοχής εφαρμογές αντίστοιχα. Για τη μεταφορά τους στο χώρο παραγωγής, χρησιμοποιείται ειδικό όχημα ικανό να φέρει το βάρος τους. (Εικόνα 4.1 και 4.2)



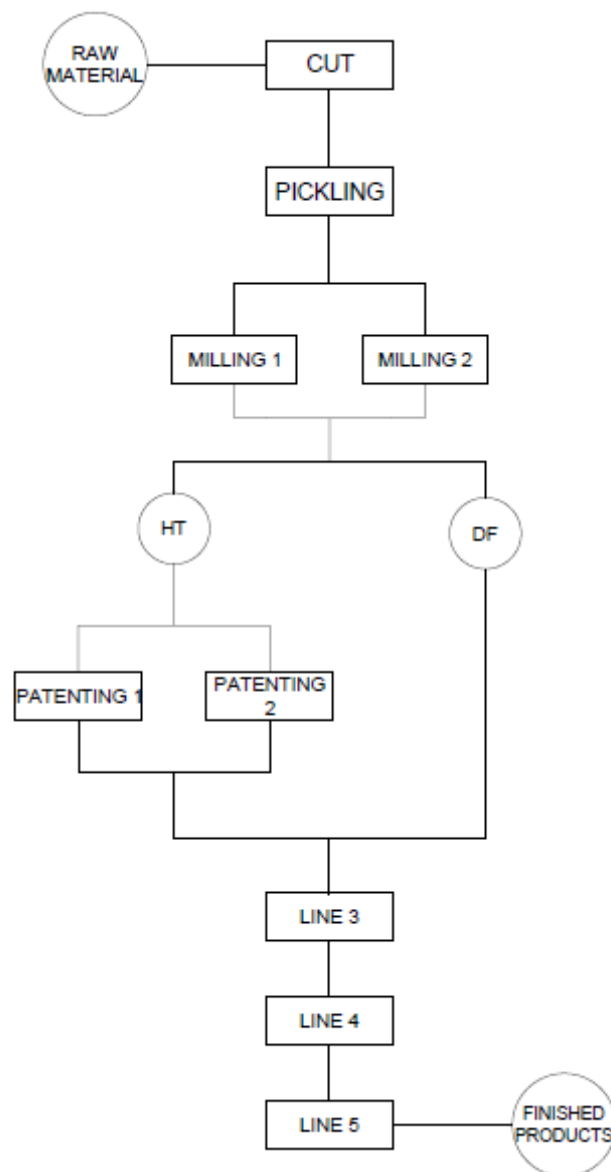
Εικόνα 4.1 Ά ύλη (Κουλούρες Χαλυβδοταινίας ψυχρής έλασης)



Εικόνα 4.2 Όχημα μεταφοράς ά ύλης

Η παραγωγική διαδικασία είναι πλήρως καθετοποιημένη. Αρχικά η Α' ύλη κόβεται στη μονάδα κοπής, σε coils πλάτους από 183mm έως 270mm. Στη συνέχεια τα κομμένα coils αποξειδώνονται ή αλλιώς καθαρίζονται στη μονάδα αποξείδωσης και ακολουθεί το στάδιο ψυχρής έλασης (υποβιβασμός πάχους) των αποξειδωμένων coils στην ειδική ελασματοουργική μονάδα (Cold Rolling Mill). Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει βαρέα κοπτικά μηχανήματα, έλαστρο ψυχράς έλάσεως κλπ. Μετά την ελασματοουργική μονάδα τα ημιέτοιμα υλικά προχωρούν στο στάδιο των τελικών Γραμμών Παραγωγής, όπου και υφίστανται επεξεργασίες κοπής, λειάνσεως των άκρων, ειδικές θερμικές επεξεργασίες, ειδικές βαφές, κέρωμα και τέλος τη συσκευασία τους. Η συσκευασία πραγματοποιείται από διατάξεις υψηλής αυτοματοποίησης που περιλαμβάνουν ρομποτ, μεταφορικές διατάξεις, αυτόματες μηχανές περίδεσης των παραγόμενων coils κλπ. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα υλικά ποιότητας High Tensile τα οποία μετά την έλαση τους (και πριν την επεξεργασία τους στη Γραμμή Παραγωγής) υπόκεινται σε μια ειδική, έντονη θερμική κατεργασία στην εγκατάσταση της Patenting Line για να αποκτήσουν τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας της μεταλλικής ταινίας περιόδου.



Εικόνα 4.3 Διάγραμμα ροής διαδικασίας παραγωγής μεταλλικού τσερκιού

4.2.1.1 Μονάδα Κοπής

Η πρώτη ύλη μεταφέρεται μέσα στο χώρο του εργοστασίου για να ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία στη Μονάδα Κοπής. Η μηχανή έχει τη δυνατότητα κοπής ρολών χάλυβα (Mother coils) έως και 1500mm πλάτος και έως 5mm πάχος. Η ά ύλη φορτώνεται στη μηχανή κοπής με τη χρήση γερανού τον οποίο χειρίζεται ο βοηθός

χειριστή της μηχανής και τοποθετείται πάνω σε μια ανέμη η οποία κατά τη διάρκεια της κατεργασίας περιστρέφεται ώστε το ρολό χάλυβα να ξετυλίγεται.

Στη συνέχεια, τα ρολά χάλυβα θερμής έλασης περνάνε με τη βοήθεια ράουλων μέσα απο περιστρεφόμενα μαχαίρια τα οποία κόβουν τη χαλυβδοταινία σε επιμέρους ταινίες μικρότερου πλάτους το οποίο κύμαίνεται απο 183 μέχρι 270mm (αναλόγως την εντολή παραγωγής που έχει δοθεί). Μετά απο τα μαχαίρια, κάθε επιμέρους ταινία με τη βοήθεια ράουλων και διαχωριστήρων καταλήγει σε μια δεύτερη ανέμη όπου και επανατυλίγεται σε ένα μικρότερο ξεχωριστό coil. Ο ρυθμός παραγωγής της μηχανής εξαρτάται άμεσα απο το βάρος της ά ύλης καθώς και απο την ποιότητά της, η οποία αν δεν αν δεν είναι εντός προδιαγραφών, μπορεί να προκαλέσει επιπλοκές και επιβράδυνση της διαδικασίας. Με το πέρας της κοπής ο βοηθός χειριστή δένει και ξεφορτώνει τα κομμένα coils, ενώ ο χειριστής ξεκινάει ταυτόχρονα τη φόρτωση νέας ά ύλης για κοπή.



Εικόνα 4.4 Μηχανή Κοπής (πλάγια – εμπρός)

Στην εικόνα 4.4 εμφανίζεται η μηχανή κοπής εν μέσω συντήρησης. Παρ 'όλο που δεν είναι σε λειτουργία, μπορούμε διακρίνεται η ανέμη φόρτωσης της ά ύλης, τα ράουλα τάνυσης και τα περιστρεφόμενα μαχαίρια, καθώς και μέρος της γερανογέφυρας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και φόρτωση της ά ύλης. Στην εικόνα 4.5 φαίνεται η ανέμη όπου καταλήγουν τα κομμένα coils καθώς και μέρος του χώρου αναμονής για τη μονάδα αποξείδωσης.



Εικόνα 4.5 Μηχανή Κοπής και χώρος αναμονής ημιέτοιμων (Πίσω μέρος)



Εικόνα 4.6 Άλλη οπτική του χώρου αναμονής για τη Μονάδα Αποξείδωσης. Στο βάθος βρίσκεται η Μονάδα Αποξείδωσης

4.2.1.2 Μονάδα Αποξείδωσης (Pickling Line)

Αφού περάσουν απο το στάδιο κοπής, τα coils μεταφέρονται στη μονάδα αποξείδωσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας η χαλυβδοταινία περνάει μέσα απο ένα «μπάνιο» διάλυματος υδροχλωρικού οξέως.

Εκεί καθαρίζεται απο κάθε ίχνος οξείδωσης και βρωμιάς που πιθανώς έχει στην επιφάνειά της και μπορεί να προκαλέσει ατέλειες στην τελική ποιότητα του προϊόντος. Η διαδικασία αποξείδωσης των coils γίνεται συνεχόμενα, δηλαδή χωρίς να απαιτείται σταματήμα της μηχανής όσο φορτώνεται νέο coil. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διπλής ανέμης στην οποία φορτώνεται η ά ύλη (στην εικόνα 4.7 υπάρχει κ άλλη μια ανέμη στην πίσω μεριά της μηχανής).



Εικόνα 4.7 Ανέμη φόρτωσης ά ύλης (Pickling Line)

Λίγο πριν ξετυλιχτεί ολόκληρο το πρώτο coil, με τη βοήθεια ενός συστήματος της μηχανής που παρεμβάλεται ανάμεσα απο την ανέμη και το μπάνιο οξέως (ΚΕΝΤ εικόνα 4.8), για περιορισμένο χρονικό διάστημα, σταματάνε να κινούνται τα τελευταία μέτρα μέχρι και την άκρη του (coil), ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει να περνάει κανονικά μέσα απο το μπάνιο οξέως. Σε αυτό το χρονικό διάστημα γίνεται συγκόλληση της άκρης του υπο κατεργασία coil, με την άκρη του coil που ακολουθεί ώστε εν συνεχεία να περάσουν μαζί μέσα απο τη μηχανή σαν ένα. Το σημείο που γίνεται η συγκόλληση «σημαδεύεται» με μια τρύπα η οποία όταν στο τέλος της αποξείδωσης

εντοπίζεται απο έναν αισθητήρα, ο οποίος ενεργοποιεί ένα μαχαίρι που κόβει και διαχωρίζει τα δυο coil. Το καθαρό coil δένεται και απομακρύνεται απο την ανέμη στην οποία είναι τυλιγμένο προς τον αντίστοιχο χώρο αποθήκευσης.



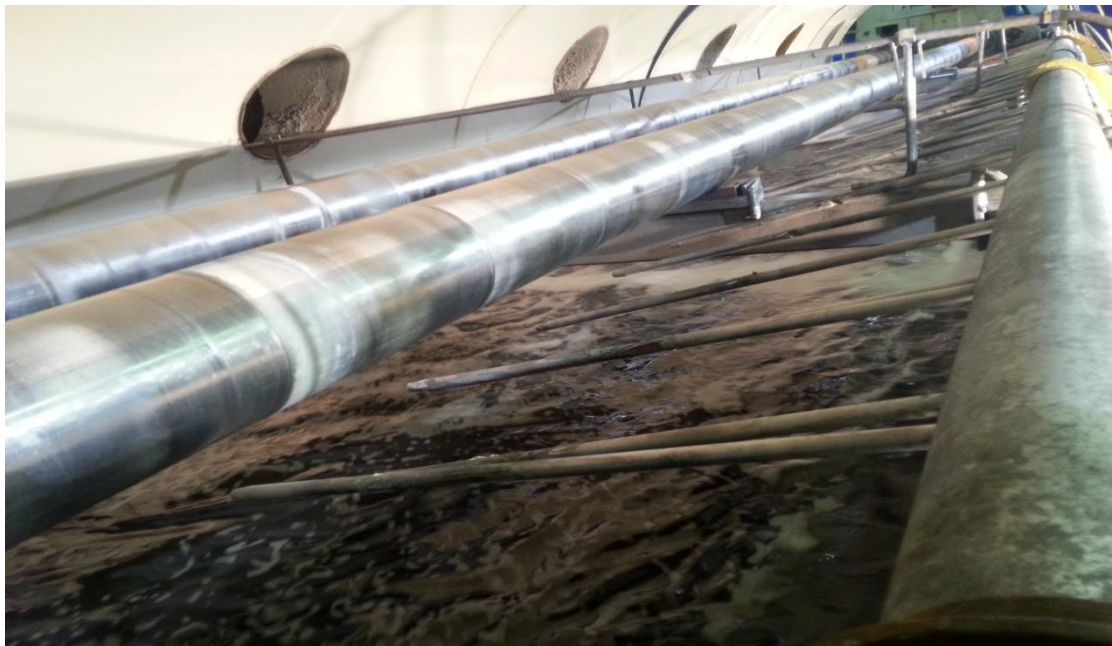
Εικόνα 4.8 Σύστημα KENT

Η ελεύθερη, μετά τον διαχωρισμό, άκρη του δεύτερου coil, προσαρμόζεται σε μία δεύτερη ανέμη (εικόνα 4.9), η οποία ξεκινά να τυλίγεται και η διαδικασία συνεχίζει κανονικά μέχρι να βρεθεί η επόμενη τρύπα.

Πολύ σημαντική προϋπόθεση για την ομαλή κατεργασία στο κέντρο αποξείδωσης είναι τα coils που έχουν περάσει απο το κοπτικό να έχουν καλή ποιότητα επιφάνειας. Αλλοιώσεις όπως κοψίματα και τσαλακώματα μπορεί να μπλοκάρουν την πορεία της ταινίας και να προκαλέσουν σταμάτημα της μηχανής, κάτι που πρέπει να αποφεύγεται, διότι όχι μόνο προκαλείται καθυστέρηση στην παραγωγή, αλλά και αν μέρος της ταινίας παραμείνει μέσα στο μπάνιο οξέως για μεγάλο χρονικό διάστημα αχρηστεύεται. Στο μπάνιο οξέως η ταινία περνάει γύρω απο τους σωλήνες που φαίνονται στην εικόνα 4.10 σε μορφή «σερπαντίνας».



Εικόνα 4.9 Ανέμες τύλιξης αποξειδωμένης ταινίας



Εικόνα 4.10 Μπάνιο οξέως (Pickling Line)

4.2.1.3 Μονάδα Ψυχρής Έλασης

Τα αποξειδωμένα coils μεταφέρονται μέσω οχημάτων clark στο χώρο που βρίσκεται η μονάδα ψυχρής ελάσεως. Με αυτή την κατεργασία επιτυγχάνεται ο υποβιβασμός του πάχους της χαλυβδοταινίας. Τα συνήθέστερα πλάτη ελασμένων coils είναι (0.50, 0.60, 0.63, 0.80, 0.90, 1.00, 1.12, 1.27) μετρημένα σε millimeters. Σημειώνεται ότι το αρχικό πάχος της ά ύλης είναι 2mm. Υπάρχουν επιλεγμένα και μόνο κατόπιν ειδικής παραγγελίας πλάτη που παράγονται σε χαμηλές ποσότητες. Στο εργοστάσιο λειτουργούν δυο εγκαταστάσεις ψυχρής έλασης. Όπως και οι προηγούμενες μηχανές, έτσι κι αυτή έχει δυο ανέμες (εικόνα 4.11 και 4.12), μία στην αρχή όπου κάθε coil φορτώνεται και ξετυλίγεται και άλλη μια στο τέλος όπου επανατυλίγεται. Η διαφορά που υπάρχει στη μονάδα ψυχρής ελάσεως είναι ότι η διαδικασία τύλιξης και επανατύλιξης ή αλλιώς κάθε «πάσο», μπορεί να επαναληφθεί ανάλογα με το επιθυμητό τελικό της χαλυβδοταινίας. Ο λόγος που η χαλυβδοταινία χρειάζεται να περάσει απο πολλαπλά πάσα είναι για να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή καταπόνηση των ράουλων που της ασκούν πίεση ώστε να υποβιβαστεί το πάχος της. Για παράδειγμα είναι πολύ μεγαλύτερη η καταπόνηση αν ο υποβιβασμός πάχους απο 2mm σε 0,50mm γίνει σε ένα μόνο πάσο, συγκριτικά με το να γίνει σε 3 ή 4.

Και σε αυτή τη μονάδα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η ποιότητα της ά ύλης καθώς και η δουλειά που έκαναν οι χειριστές του κοπτικού όσον αφορά την ποιότητα των κομμένων coils. Αν απο το στάδιο της κοπής περάσουν coils με τσαλακώματα, κοψίματα κλπ. ή απο το στάδια της αποξειδωσης περάσουν ακάθαρτα coils, τότε είναι πολύ πιθανό οι αλλοιώσεις στις επιφάνειές τους να πληγώσουν κάποια μηχανικά στοιχεία των επόμενων μηχανών όπως τα ράουλα του ελάστρου. Τα «πληγωμένα» ράουλα αντικαθίστανται και επισκευάζονται σε τóρνους απο μόνιμους μεταλλοτεχνίτες του εργοστασίου. Μετά την επισκευή τους φυλάσσονται μέχρι να χρειαστεί να αντικαταστήσουν επόμενα σπασμένα ράουλα. Κάθε ράουλο μετά απο κάποιο αριθμό επισκευών, αποκτά μία ελάχιστη διάμετρο κάτω απο την οποία είναι πια ακατάλληλο για χρήση στη μονάδα ελάσεως.



Εικόνα 4.11 Έλαστρο 1 (1^η άκρη μηχανής)



Εικόνα 4.12 Έλαστρο 1 (2^η άκρη μηχανής)

4.2.1.4 Patenting Line

Μετά τον υποβιβασμό του πάχους τους, για τα coils ποιότητας High Tensile, ακολουθεί μια έντονη θερμική επεξεργασία με σκοπό την απόκτηση μηχανικών ιδιοτήτων όπως αυξημένη ελαστικότητα, έντονη δυναμική συμπεριφορά κλπ. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα στη Μονάδα Patenting. Στο εργοστάσιο λειτουργούν δυο εγκαταστάσεις Patenting. Κατά τη συγκεκριμένη κατεργασία, η χαλυβδοταινία καθώς ξετυλίγεται περνάει μέσα από ένα «μπάνιο» μολύβδου που βρίσκεται σε θερμοκρασία κατάλληλη, αναλόγως των ιδιοτήτων που θέλουμε να προσδώσουμε στο υλικό. Η θερμοκρασία πρέπει να παρακολουθείται από τους χειριστές ανα πάσα στιγμή διότι αν δε βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα, το coil θα πρέπει να περάσει από επανακατεργασία. Σε αυτό παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και η καλή συντήρηση των μηχανών καθώς ηλεκτρονικές βλάβες μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητες μεταβολές θερμοκρασίας ή σε μη αξιόπιστη παρακολούθησή της. Τα ημιέτοιμα coils που έχουν περάσει από την Patenting Line διακρίνονται από το χαρακτηριστικό γυαλιστερό μπλε χρώμα τους (εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13 Ημιέτοιμα coils από Patenting Line

4.2.1.5 Γραμμές 3, 4, 5

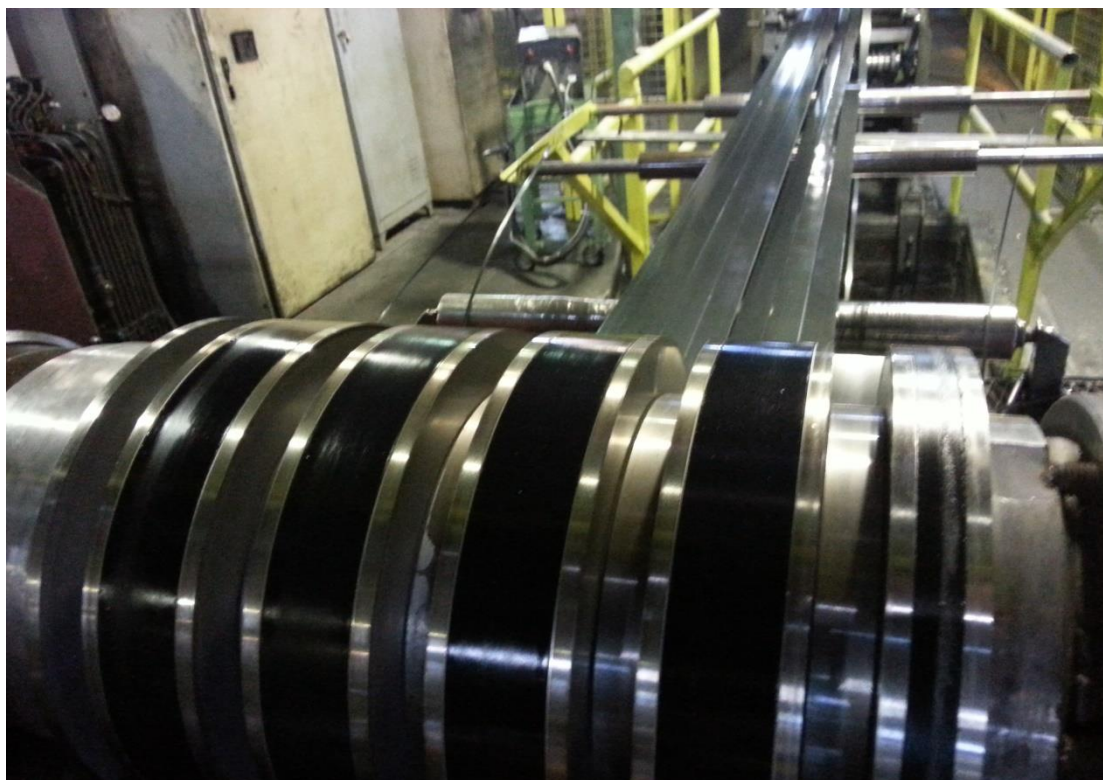
Οι τρεις γραμμές είναι ο τελευταίος σταθμός της παραγωγικής διαδικασίας. Στην έξοδό τους το προϊόν είναι έτοιμο να διατεθεί στο εμπόριο και να σταλεί στους πελάτες. Και οι τρεις γραμμές αποτελούνται από επιμέρους μονάδες κατεργασίας οι οποίες βρίσκονται σε σειρά. Αυτές είναι:

- Μαχαίρι κοπής κατά μήκος στο τελικό πλάτος (εικόνα 4.15)
- Μονάδα λειάνσεως – στρογγυλοποίησης πλευρών (άκρων)
- Μονάδα βαφής επιφάνειας
- Υψίσυχνος επαγωγικός φούρνος ανάπτησης, προηγμένης τεχνολογίας για τη θερμική επεξεργασία του προϊόντος
- Διάταξη εμβάπτισης των ταινιών σε διάλυμα κεριού
- Μονάδα τυλικτικών συγκροτημάτων (εικόνα 4.19)
- Μονάδα συσκευασίας τελικών προϊόντων. Είναι αυτοματοποιημένη και περιλαμβάνει διατάξεις ρομπότ, αυτόματων δετικών και παλεταριστικών μηχανών μεταφοράς coils και ηλεκτρονικής ζύγισης.

Η χαλυβδοταινία περνάει συνεχόμενα από κάθε μια από τις παραπάνω μονάδες χωρίς την ανάγκη για φόρτωμα και ξεφόρτωμα από τη μία στην άλλη.



Εικόνα 4.14 Ξετύλιγμα coil στην ανέμη της Γραμμής 4

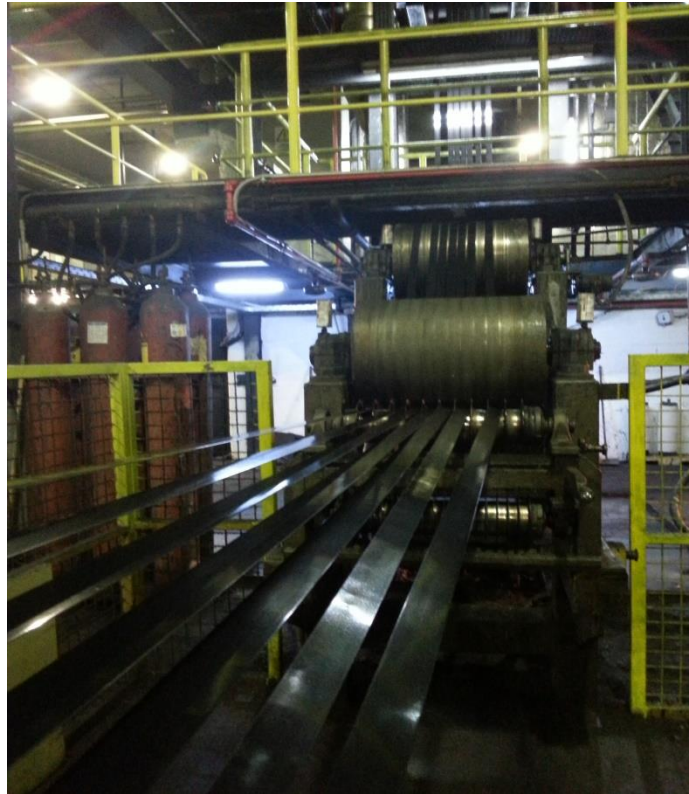


Εικόνα 4.15 Κοπή χαλυβδοταινίας στο πλάτος της

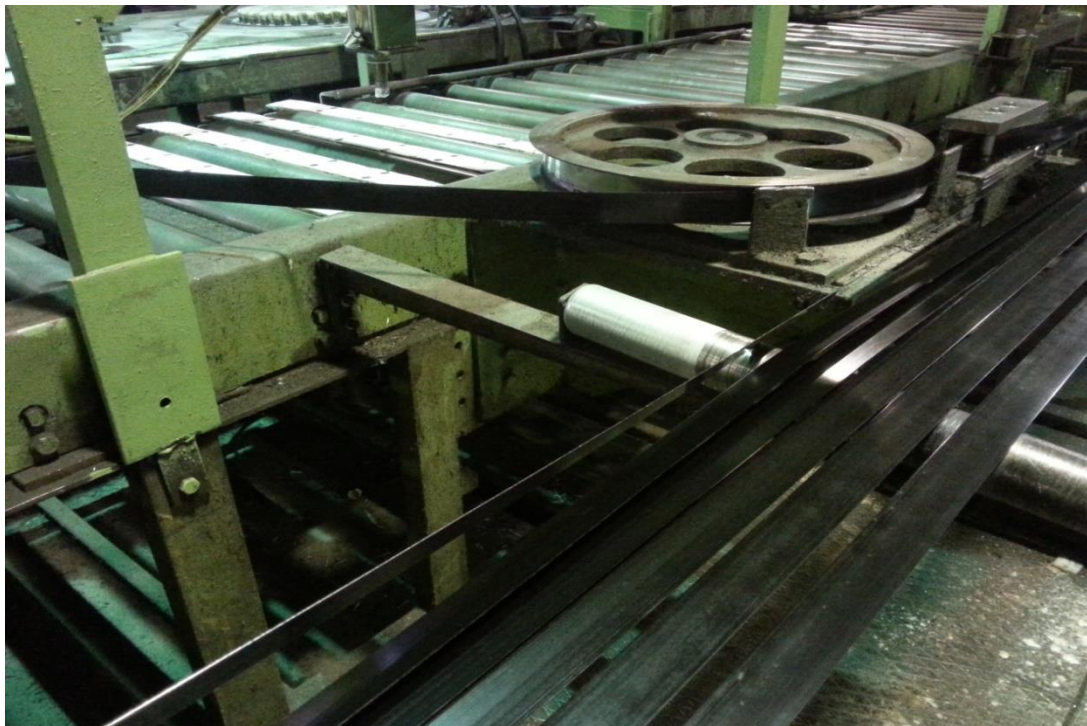
Κάθε μία απο τις τρεις γραμμές έχει τη δυνατότητα να παράγει προϊόντα όλων των διαστάσεων και ποιοτήτων. Αυτό που τις διαχωρίζει είναι οτι κάθε μία προσφέρεται για διαφορετικό είδος τύλιξης.

- Γραμμή Παραγωγής 3: Παράγει προϊόντα όλων των ποιοτήτων και διαστάσεων, τυλίξεως oscillated.
- Γραμμή Παραγωγής 4: Παράγει προϊόντα όλων των ποιοτήτων και διαστάσεων, τυλίξεως Ribbon (εικόνα 4.19).
- Γραμμή Παραγωγής 5: Παράγει προϊόντα όλων των ποιοτήτων και διαστάσεων, τυλίξεως Jumbo, Super Jumbo και Super Super Jumbo.

Λέγοντας τύλιξη ribbon, εννοούμε οτι η ταινία τυλίγεται πάνω σε «οδηγό» που το πλάτος είναι ίδιο με αυτό της ταινίας. Αντίθετα, στην τύλιξη oscillated η τύλιξη γίνεται πάνω σε οδηγό με πλάτος μεγαλύτερο απο αυτό της ταινίας. Είναι κατανοητό λοιπόν οτι η τύλιξη ribbon ενδύκνεται για coils μικρότερου βάρους και άρα ταινίες μικρότερου μήκους. Η τύλιξη oscillated ενδύκνεται για μεγαλύτερα coils όπως είναι τα Jumbo κλπ.



Εικόνα 4.16 Χαλυβδοταινία προς το στάδιο βαφής



Εικόνα 4.17 Ribbon τύλιξη στη γραμμή 4



Εικόνα 4.18 Τύλιξη Ribbon



Εικόνα 4.19 Τυλικτικό συγκρότημα γραμμής 4



Εικόνα 4.20 Συσκευασμένα και παλεταρισμένα coils



Εικόνα 4.21 Έτοιμα προϊόντα τύλιξης ribbon

4.2.1.6 Βοηθητικός Μηχανολογικός Εξοπλισμός

Εκτός των εγκαταστάσεων παραγωγής της μεταλλικής και πλαστικής ταινίας περίδεσης, στο εργοστάσιο Οινοφύτων λειτουργούν μια σειρά μηχανολογικών/ηλεκτρολογικών/ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων οι οποίες είναι απαραίτητες για τη λειτουργία των μηχανών και των εγκαταστάσεων.

- Μονάδες παραγωγής παγωμένου νερού (chiller)
- Πύργοι ψύξεως
- Μονάδες επεξεργασίας και καθαρισμού νερών (αντίστροφη όσμωση κλπ)
- Μονάδες παραγωγής πεπιεσμένου αέρα
- Μονάδες ατμοπαραγωγής με χρήση φυσικού αερίου
- Τμήμα ανάδευσης χρωμάτων
- Τμήμα κατεργασίας στοιχείων μηχανών (ράουλα, κοπτικά μαχαίρια)
- Πρέσες διαμόρφωσης μεταλλικών ελασμάτων
- Πρέσες συμπίεσης παλετοποιημένων coils
- Διατάξεις ελέγχων ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων
- Σύστημα δεδομένων παραγωγής Bar Code

4.2.2 Βασικές Παράμετροι Λειτουργίας Εργοστασίου

Μετά την παρακολούθηση και κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας και της λειτουργίας κάθε μηχανής ξεχωριστά, το επόμενο βήμα για τον υπολογισμό των δεικτών ήταν η καταγραφή όλων των σημαντικών παραμέτρων, χρονικών και ποσοτικών, που αφορούν τη λειτουργία του εργοστασίου. Τέτοιες είναι ο αριθμός του εργατικού προσωπικού, οι δυναμικότητες των μηχανών, καθώς και η χωρητικότητα των χώρων αναμονής ημιτέτοιμων προϊόντων στα διάφορα στάδια της παραγωγής.

4.2.2.1 Πρότυπες Δυναμικότητες παραγωγής και εργατικό προσωπικό

Το προσωπικό που δουλεύει στο εργοστάσιο στη γραμμή παραγωγής μεταλλικής ταινίας περίδεσης είναι μόνιμο, ενώ δεν υπάρχει καθόλου εποχικό προσωπικό. Ο αριθμός των ατόμων που εργάζονται ως χειριστές, συντηρητές, εργοδηγοί, οδηγοί κλπ. φτάνει συνολικά τα 100 άτομα.

Όσον αφορά τις ονομαστικές δυναμικότητες παραγωγής κάθε κέντρου εργασίας, οι πληροφορίες που δόθηκαν απο τον διευθυντή παραγωγής του εργοστασίου είναι οι εξής:

Κέντρο Εργασίας	Tons/hour
Μονάδα Κοπής	17,89
Μονάδα Αποξείδωσης (Pickling)	11,11
Έλαστρο 1	5,07
Έλαστρο 2	5,90
Patenting 1	4,36
Patenting 2	3,83
Γραμμή 3	4,18
Γραμμή 4	4,26
Γραμμή 5	3,71

Πίνακας 4.1 Πρότυπες δυναμικότητες παραγωγής μηχανών

4.2.2.2 Χωρητικότητες αποθηκευτικών χώρων

Οι χωρητικότητες των αποθηκευτικών χώρων μεταξύ των κέντρων εργασίας έχουν ως εξής:

- Μονάδα Κοπής – Μονάδα Αποξείδωσης: 1000 τόνοι
- Μονάδα Αποξείδωσης – Έλαστρο: 2000 τόνοι
- Έλαστρο – Γραμμές 3,4,5/ Patenting: 2000 τόνοι
- Patenting – Γραμμές 3,4,5: 1500 τόνοι

Η παραγωγή του εργοστασίου εξυπηρετεί τις ανάγκες του πελατολογίου της εταιρείας σε μεταλλικό τσέρκι σε όλο τον κόσμο. Επειδή τα νούμερα αποτυπώνουν καλύτερα την αλήθεια, να αναφερθεί εδώ ότι η αποθήκη έτοιμων προϊόντων του εργοστασίου στα Οινόφυτα έχει δυνατότητα αποθήκευσης περίπου 5.000 παλετών μεταλλικού τσερκιού, βάρους σχεδόν 3.000 τόνων.



Εικόνα 4.22 Εξωτερικός χώρος αποθήκευσης ά ύλης



Εικόνα 4.23 Χώρος αποθήκευσης ημιέτοιμων μεταξύ κέντρου αποξείδωσης και ελάστρων - Οχήματα μεταφοράς

4.3 Συγκέντρωση Πληροφορίας (Data Entry) για τον Υπολογισμό των Δεικτών

Για να γίνουν οι υπολογισμοί των δεικτών που ζητήθηκαν, απαιτήθηκε η καταγραφή ενός τεράστιου όγκου πληροφορίας (ποσότητες πρώτων υλών, ποσότητες παραγόμενων προϊόντων, καθυστερήσεις παραγωγικής διαδικασίας, αιτιολόγηση των καθυστερήσεων, αριθμός ελαττωματικών ημιέτοιμων ή τελικών προϊόντων κλπ.), καθώς και ο υπολογισμός «ενδιάμεσων» μεταβλητών (πχ. πραγματικοί ρυθμοί παραγωγής μηχανών). Γίνεται κατανοητό ότι ο όγκος της πληροφορίας είναι πολύ μεγάλος, αν σκεφτούμε ότι καταγράφονται για ένα διάστημα έξι μηνών και για συνολικά εννέα μηχανές. Η πληροφορία οργανώθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Microsoft Excel 2010 και στην εξαγωγή της βοήθησε κατά κύριο λόγο το εγκατεστημένο πληροφοριακό σύστημα της εταιρείας SAP.

4.3.1 Οργάνωση Πληροφορίας και Κατηγοριοποίηση Μεταβλητών

4.3.1.1 Ταυτότητα προϊόντων

Κάθε τόνος προϊόντος που παράχθηκε μέσα στο εξάμηνο Οκτώβρης 2013 – Μάρτιος 2014, καταγράφηκε σύμφωνα με συγκεκριμένες πληροφορίες μέσω των οποίων απέκτησε μια ταυτότητα. Αυτές οι πληροφορίες είναι οι εξής:

- **Ημερομηνία Παραγωγής.**
- **Κωδικός Υλικού,** δηλαδή ένας κωδικός αριθμός που αντιστοιχεί σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών ανάλογα με το στάδιο παραγωγής. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι το πλάτος, το πάχος, το χρώμα, η ποιότητα, το είδος τύλιξης της ταινίας κλπ.
- **Εντολή Παραγωγής,** που είναι ένας αριθμός που όπως λέει και η λέξη, αντιστοιχεί στην εντολή παραγωγής μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενός *κωδικού υλικού*. Η έκδοση των εντολών παραγωγής γίνεται από τον προγραμματιστή παραγωγής και στη συνέχεια δίνονται στους χειριστές για να προχωρήσουν στην παραγωγή που ζητήθηκε.

- **Ποσότητες αναλόμενου** και αντίστοιχα **παραγόμενου** προϊόντος. Με την αφαίρεση του παραγόμενου απο το αναλόμενο βλέπουμε την ποσότητα προϊόντος που χάνεται μετά απο κάθε κατεργασία (απόβλητο).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συγκεντρώθηκαν για κάθε μηχανή ξεχωριστά, αφού μας δόθηκε πρόσβαση στο εγκατεστημένο πρόγραμμα ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού (ERP) της εταιρείας (η εταιρεία απο το 2004 χρησιμοποιεί το πρόγραμμα SAP). Η πληροφορία στο SAP βρισκόταν σε αρκετά ακατέργαστη μορφή και μεταφέρθηκε στο Excel, όπου μετά απο παρεμβάσεις ήρθε στη μορφή της εικόνας (εικόνα 4.24).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1						Material waste (%)		Sum Ποσότητα αναλόμενου (KG)	Sum Ποσότητα παραγόμενου (KG)
2						0,69		25.275.209	25.101.232
3									
4	Ημερομηνία	Πρόελευση		Εντολή Παραγωγής	Υλικό	Χαρακτηριστικά	Διαστάσεις Παραγόμενου	Ποσότητα αναλόμενου (KG)	Ποσότητα Παραγόμενου (KG)
5	1/10/2013								
6	2/10/2013	Τουρκία		1955512	300143	HT	233x2	66214	64824
7	2/10/2013	Τουρκία		1955513	300132	HT	229x2	97606	95556
8	2/10/2013	Τουρκία		1960972	300092	DN	233x2	37482	36714
9	2/10/2013	Τουρκία		1960975	300086	DN	229x2	24558	24056
10	3/10/2013	Τουρκία		1960972	300092	DN	233x2	199904	195699
11	3/10/2013	Τουρκία		1960975	300086	DN	229x2	130976	128226
12	4/10/2013	Τουρκία		1960972	300092	DN	233x2	37494	36705
13	4/10/2013	Τουρκία		1960975	300086	DN	229x2	24566	24050
14	4/10/2013	Τουρκία		1955512	300143	HT	233x2	53860	52823
15	4/10/2013	Τουρκία		1955513	300132	HT	229x2	69240	67902
16	5/10/2013		Σάββατο						
17	6/10/2013		Κυριακή						
18	7/10/2013	Τουρκία		1955512	300143	HT	233x2	116162	113802

Εικόνα 4.24 Καταγραφή χαρακτηριστικών ημιέτοιμων προϊόντων απο τη Μονάδα Κοπής

Στο πάνω μέρος μέσα στα μπλέ πλαίσια βρίσκεται (απο αριστερά προς τα δεξιά), το ποσοστο (%) του απόβλητου προϊόντος απο την κατεργασία, η συνολική ποσότητα αναλόμενου και η συνολική ποσότητα παραγόμενου. Τα δυο τελευταία υπολογίστηκαν με τη χρήση της συνάρτησης SUBTOTAL.

Κοιτώντας καλύτερα στην (εικόνα 4.24) προκύπτει οτι σχεδόν κάθε ημερομηνία γράφεται πάνω απο μια φορές. Αυτό συμβαίνει λόγω των πολλαπλών εντολών παραγωγής που λαμβάνουν χώρα κάθε ημέρα. Με άλλα λόγια, συμβαίνει για να φαίνεται ξεκάθαρα πότε έγινε η παραγωγή μιας ποσότητας υλικού, που ανήκει σε μια συγκεκριμένη εντολή παραγωγής.

Οι παραπάνω καρτέλες του Excel αφορούν τη Μονάδα Κοπής. Η μορφή είναι η ίδια και για τις υπόλοιπες μηχανές με μόνη διαφορά οτι για τις τρεις τελικές γραμμές η στήλη «Χαρακτηριστικά» περιέχει οχι μόνο την *ποιότητα*, αλλά και το *χρώμα*, το *είδος τύλιξης* και σε κάποιες περιπτώσεις την εσωτερική και εξωτερική *διάμετρο* των coils και άλλα πιο λεπτομερή χαρακτηριστικά.

4.3.1.2 Χρονικές Μεταβλητές

Οι χρονικές μεταβλητές χωρίζονται σε τρία μέρη:

- 1) Χρόνος παρατήρησης Μηχανών (Total Time)
- 2) Καθυστερήσεις μηχανών (ανα ημέρα, μήνα κλπ)
- 3) Λειτουργικός χρόνος μηχανής (Production Time)

Το (3) «Λειτουργικός χρόνος μηχανής» (εικόνα 4.26) προκύπτει αν αφαιρέσουμε το (2) «Καθυστερήσεις μηχανων» (εικόνα 4.25) απο το (1) «Χρόνος παρατήρησης μηχανών». (Εικόνες 4.25, 4.26)

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	(Hours)		(Hours)	(Hours)	(Hours)	(Hours)				(Hours)	(Hours)
2	2.756		85	27	145	304	0	0	0	34	27
3											
4	Total Time (hrs)	SETUP (min)	SETUP SUM (min)	Ελάττ (min)	Συντήρηση (min)	Έλλειψη ά ύλης (min)	Έλλειψη έργ. Προσωπικού (min)	BAD RAW (min)	ΔΕΗ (min)	Αλλαγή μαχαυρών (min)	Διάφορες καθυστερήσεις (min)
5	0										
6	16		110	25							
7											
8		66									
9		44									
10	24									25	
11											
12	24		120	30							
13											
14		48									
15		72									
16											
17	24			90							
18											
19											

Εικόνα 4.25 Χρόνος Παρατήρησης - Καθυστερήσεις Μονάδας Κοπής.

T	U	V	W	X	Y	Z
(Hours)	(Hours)	(Hours)				
27	68	2.065				
Διάφορες καθυστερήσεις (min)	Εργασία στο μικρό κοπτικό (min)	ProductionTime (min)		Βάρδια 1	Βάρδια 2	Βάρδια 3
		0				
		825		6	5	0
		1415		6	6	4
		1290		4	3	2
		1350		5	3	6

Εικόνα 4.26 Λειτουργικός χρόνος μηχανής – Αριθμός παραγόμενων τεμαχίων

Το επόμενο στάδιο της καταγραφής των χρονικών μεταβλητών ήταν η κατηγοριοποίηση των καθυστερήσεων αναφορικά με την αιτιολογία της κάθε καθυστέρησης. Η κατηγοριοποίηση αποφασίστηκε με τη βοήθεια του Διευθυντή Παραγωγής του εργοστασίου και περιλαμβάνει δυο κατηγορίες καθυστερήσεων, τις **σταθερές** που υπάρχουν σε κάθε μηχανή, και τις **μεταβλητές** οι οποίες αφορούν κάθε μηχανή ξεχωριστά.

Οι σταθερές καθυστερήσεις στις οποίες καταλήξαμε είναι οι εξής:

- Βλάβη μηχανής
- Setup μηχανής
- Συντήρηση μηχανής
- Καθυστερήση λόγω κακής ά ύλης
- Έλλειψη ά ύλης
- Έλλειψη εργατικού προσωπικού
- Διακοπή ρεύματος
- Διάφορες καθυστερήσεις

Η τελευταία κατηγορία «Διάφορες καθυστερήσεις» αναφέρεται σε καθυστερήσεις οι οποίες είτε εμφανίζονται σπάνια, είτε εμφανίζονται αρκετά συχνά, αλλά διαρκούν ελάχιστα.

Οι μεταβλητές καθυστερήσεις ανα μηχανή έχουν ως εξής:

Μονάδα Κοπής

- *Αλλαγή Μαχαιριών.* Αφού περάσει κάποιο χρονικό διάστημα κοπής προκαλείται φθορά των μαχαιριών, τα οποία πρέπει να αντικατασταθούν ώστε να διατηρηθεί η καλή ποιότητα παραγωγής ημιέτοιμων. Το χρονικό διάστημα αλλαγής των μαχαιριών λόγω φθοράς εξαρτάται απο την ποιότητα της ά ύλης, αλλά και απο το αν η ά ύλη είναι υλικό HT (High Tensile) ή DN (Dynaflex). Το υλικό HT προκαλεί φθορά των μαχαιριών γρηγορότερα συγκριτικά με το υλικό DF.

Μονάδα Αποξείδωσης

- *Προετοιμασία μηχανής.*
- *Σπάσιμο ταινίας κατά τη διάρκεια κατεργασίας.*

Έλαστρα

- *Σπάσιμο ταινίας.*
- *Αλλαγή ράουλων εργασίας/αντιστήριξης.* Λόγω φυσικής φθοράς, κακής ά ύλης απο την κατεργασία κοπής ή απο κακό καθαρισμό στη μονάδα αποξείδωσης, η επιφάνεια της χαλυβδοταινίας προκαλεί φθορά στα ράουλα απο τα οποία περνάει με αποτέλεσμα να χρειαστεί η αντικατάστασή τους νωρίτερα απο το χρόνο φυσιολογικής φθοράς.

Μονάδα Patenting

- Σπάσιμο ταινίας.
- Φρακάρισμα ταινίας.

Γραμμές 3,4,5

- Κολλήσεις.
- Αλλαγή μαχαιριών. Αντίστοιχα με τη μονάδα κοπής, γίνεται αλλαγή μαχαιριών λόγω φθοράς του κοπτικού.

Οι εικόνες 4.24, 4.25, 4.26 είναι σε συνέχειες, δηλαδή τα στοιχεία που εμφανίζονται και στις τρεις, στην πραγματικότητα ανήκουν στο ίδιο φύλλο Excel.

Όλες οι χρονικές μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω συγκεντρώθηκαν μέσω των **δελτίων παραγωγής** του εργοστασίου. Σε κάθε μηχανή και για κάθε βάρδια αντιστοιχεί ένα δελτίο παραγωγής στο οποίο συμπληρώνονται τα ονόματα των χειριστών της μηχανής, οι αναλούμενες και παραγώμενες ποσότητες, οι εντολές παραγωγής, οι κωδικοί υλικού που παράχθηκαν, καθώς και οτιδήποτε έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της βάρδιας, το οποίο επηρέασε ή διέκοψε την παραγωγική διαδικασία, αλλά και το διάστημα για το οποίο την διέκοψε. Επίσης συμπληρώνεται η ποσότητα των κομματιών που παράχθηκαν σε βάρος και τεμάχια, και αναφέρεται αν, καθώς και ποιά απο αυτά δέχτηκαν επανεπεξεργασία.

Αυτό σημαίνει ότι μελετήθηκαν ένα ένα, δελτία παραγωγής έξι μηνών για εννέα μηχανές συνολικά, ώστε να καταγραφούν λεπτομερώς οι απαραίτητες μεταβλητές. *Είναι κατανοητό λοιπόν ότι η αξιοπιστία των μετρήσεων εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από τη σωστή συμπλήρωση των συμβάντων από τους χειριστές.*

4.3.1.3 Ελαττωματικά τελικά/ημιέτοιμα προϊόντα

Τα ελαττωματικά προϊόντα σε αυτή τη μονάδα παραγωγής αποτελούν μια ιδιάζουσα περίπτωση, αφού σε κάθε κέντρο εργασίας, αν υπάρξει ελαττωματικό προϊόν, τότε υφίσταται επανεπεξεργασία. Για παράδειγμα αν δεν έχει γίνει καλό καθάρισμα στη μονάδα αποξείδωσης ή αν η θερμοκρασία στη μονάδα Patenting δεν είναι είναι στα απαραίτητα επίπεδα, τότε το ελαττωματικό coil περνάει ξανά την ίδια κατεργασία. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε ελαττωματικά ημιέτοιμα, έχουμε όμως καθυστέρηση της παραγωγής. Αυτές οι καθυστερήσεις καταγράφονταν στα δελτία παραγωγής από τους χειριστές και συμπεριλήφθηκαν στο αρχείο excel μαζί με τις υπόλοιπες καθυστερήσεις.

4.4 Υπολογισμός Δεικτών

4.4.1 Παραγόμενη Ποσότητα (ανα εντολή παραγωγής – Κωδικός υλικού) προς πραγματικές μηχανωρές

Ο δείκτης αυτός έπρεπε να υπολογιστεί για κάθε (εντολή παραγωγής – κωδικό υλικού) που παράχθηκε μέσα στο εξάμηνο (Οκτώβρης 2013 – Μάρτιος 2014) και να συγκριθεί με τις αντίστοιχες ποσότητες προς τις πρότυπες μηχανωρές.

Ο δείκτης όμως έχει μια βασική αδυναμία στον υπολογισμό του. Η αδυναμία εντοπίζεται στο ότι δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε τις πραγματικές μηχανωρές που απαιτήθηκαν για την παραγωγή μιας ποσότητας που αντιστοιχεί σε μια (εντολή παραγωγής – κωδικό υλικού), και αυτό γιατί η συγκεκριμένη πληροφορία δεν καταγράφεται πουθενά.

4.4.1.1 Διαδικασία Υπολογισμού Δείκτη

Για να μειωθεί στο ελάχιστο το σφάλμα των πραγματικών μηχανωρών, τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στη real time παραγωγή της μηχανής. Εφόσον δε μπορεί να βρίσκεται κάποιος 24/7 για να καταγράφει χρόνους, χρησιμοποιήσαμε τα δελτία παραγωγής. Το καλύτερο θα ήταν να γίνει επεξεργασία των στοιχείων των δελτίων ανα βάρδια, παρ'όλα αυτά ο τρόπος καταγραφής των στοιχείων στο Excel έγινε ανα ημέρα και αυτό είναι το καλύτερο που μπορούσε να γίνει. Ο τρόπος υπολογισμού των πραγματικών μηχανωρών είναι προσεγγιστικός με αποτέλεσμα ο ζητούμενος δείκτης να μη μετρηθεί με απόλυτη ακρίβεια.

Ο υπολογισμός του δείκτη έγινε χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες χρονικές μεταβλητές και χαρακτηριστικά τα οποία βρίσκονται ήδη οργανωμένα ανα μηχανή. Στο αρχείο Excel έχουν χρησιμοποιηθεί φίλτρα τα οποία δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης και πρόσβασης στην επιθυμητή πληροφορία. Ο υπολογισμός έγινε ως εξής:

- Απο τη drop down λίστα του Excel επιλέχθηκε ο μήνας (m) για τον οποίο θα υπολογιστεί ο δείκτης.
- Επιλέγεται ο κωδικός υλικού για τον οποίο επιθυμούμε να υπολογίσουμε το δείκτη.

- Παρατηρήθηκε σε πόσες εντολές παραγωγής αντιστοιχεί. Μέσα στο εύρος του μήνα ενδέχεται να υπάρχουν πάνω απο μία εντολές παραγωγής για τον ίδιο κωδικό υλικού.
- Βρέθηκε πόσοι τόνοι του συγκεκριμένου κωδικού υλικού παράχθηκαν και ποιές ημέρες παράχθηκαν.
- Επιλέχθηκε κάθε μια απο αυτές τις ημέρες ξεχωριστά.
- Βρέθηκε η ποσότητα κάθε συνδυασμού «εντολής παραγωγής - κωδικού υλικού» που παράχθηκε εκείνη την ημέρα ($Tons_{ij}$, όπου i είναι η "εντολή παραγωγής - κωδικός υλικού" και j η ημέρα), καθώς και τη συνολική παραγωγή της ημέρας ($Tons_Sum_j$)
- Βρέθηκε ο λειτουργικός χρόνος της μηχανής για εκείνη την ημέρα ($Production Time_j$).
- Υπολογίστηκαν προσεγγιστικά οι πραγματικές μηχανώρες ως εξής:

$$Πραγματικές Μηχανώρες_{ij} = \frac{Tons_{ij}}{Tons_{Sum_j}} \times Production Time_j \quad (1)$$

Γνωρίζοντας τις πραγματικές μηχανώρες υπολογίστηκε ο ζητούμενος δείκτης για την ημέρα j :

$$\frac{Παραγόμενη Ποσότητα_{ij}}{Πραγματικές Μηχανώρες_{ij}} = \frac{Tons_{ij}}{\frac{Tons_{ij}}{Tons_{Sum_j}} \times Production Time_j} = \frac{Tons_{Sum_j}}{Production Time_j} \quad (2)$$

Για να υπολογιστεί ο δείκτης για όλο το εύρος του μήνα χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος του δείκτη για όλες τις ημέρες, δηλαδή:

$$\frac{Παραγόμενη Ποσότητα_m}{Πραγματικές Μηχανώρες_m} = \frac{\sum_j^{n_1} \sum_i^{n_2} Παραγόμενη Ποσότητα_{ij}}{\sum_j^{n_1} \sum_i^{n_2} Πραγματικές Μηχανώρες_{ij}} \quad (3)$$

Στη συνέχεια ζητείται σύγκριση του αποτελέσματος με τον πρότυπο ρυθμό παραγωγής της μηχανής. Διαιρούμε λοιπόν με τον πρότυπο ρυθμό, και βρίσκουμε την απόκλιση του ρυθμού παραγωγής κάθε κωδικού υλικού, απο τον πρότυπο ρυθμό παραγωγής.

4.4.1.2 Φυσική σημασία και Μειονεκτήματα Δείκτη

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, ο υπολογισμός του δείκτη έχει μια βασική αδυναμία, η οποία εντοπίζεται στο ότι δε μπορεί να γίνει αξιόπιστα ο υπολογισμός των πραγματικών μηχανωρών και κατ επέκταση του δείκτη στο σύνολό του. Όπως φαίνεται και στον τύπο (2), η τιμή του δείκτη για έναν κωδικό υλικού i που παράχθηκε την ημέρα j , καταλήγει να συμπίπτει με την δυναμικότητα παραγωγής της μηχανής για την ημέρα j .

Για να γίνει το παραπάνω πιο κατανοητό πρέπει να αναφερθεί ότι σκοπός υπολογισμού αυτού του δείκτη είναι να μετρηθεί κατά πόσον επηρεάζεται ή όχι η δυναμικότητα παραγωγής κάθε μηχανής όταν παράγει διαφορετικούς κωδικούς υλικού (δηλαδή υλικό με διαφορετικά χαρακτηριστικά, πχ. ποιότητα HT, ή πάχος 0,50mm κλπ). Με τον τρόπο που γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών μηχανωρών, δημιουργείται μία σχέση μεταξύ ποσότητας παραγωγής κωδικού υλικού και μηχανωρών η οποία είναι ίδια για **κάθε** κωδικό υλικού.

Αυτο στην πραγματικότητα δεν ισχύει, διότι **διαφορετικοί κωδικοί υλικού δεν παράγονται με τον ίδιο ρυθμό**. Για παράδειγμα 1 τόνος χαλυβδοταινίας DF συνήθως περνάει απο την κατεργασία κοπής με μεγαλύτερο ρυθμό συγκριτικά με 1 τόνο HT.

Η πρότασή μας είναι ότι για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις δυναμικότητες των μηχανών για διαφορετικούς κωδικούς υλικών, θα πρέπει είτε να υπάρξουν κάποια άτομα τα οποία θα μετράνε με μεγάλη λεπτομέρεια τους απαιτούμενους χρόνους για ορισμένο χρονικό διάστημα, είτε να εγκαταστηθεί κατάλληλο λογισμικό που θα μπορούσε να κάνει την ίδια δουλειά.[3]

4.4.2 Πρότυπες μηχανώρες που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα ανα Κέντρο Εργασίας/Πραγματικές Μηχανώρες ανα Κέντρο Εργασίας

Στον προηγούμενο δείκτη, λόγω του ότι έπρεπε να είναι διαθέσιμες ανα κωδικό υλικού, οι πραγματικές μηχανώρες δεν ήταν γνωστές. Εδώ όμως ζητάμε τις συνολικές πραγματικές μηχανώρες ανα κέντρο εργασίας ανα μήνα, η τιμή των οποίων μας είναι γνωστή.

4.4.2.1 Υπολογισμός Δείκτη (Πρότυπες μηχανώρες που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα ανα Κέντρο Εργασίας/Πραγματικές Μηχανώρες ανα Κέντρο Εργασίας)

Ο υπολογισμός του δείκτη έγινε χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες χρονικές μεταβλητές και χαρακτηριστικά τα οποία βρίσκονται ήδη οργανωμένα ανα μηχανή. Για να υπολογιστεί αυτός ο δείκτης δουλεύουμε ως εξής:

- Επιλέγεται η μηχανή για την οποία θα υπολογιστεί ο δείκτης.
- Επιλέγεται ο μήνας για τον οποίο θα υπολογιστεί ο δείκτης (m).
- Εντοπίζεται η στήλη που περιέχει το λειτουργικό χρόνο της μηχανής, δηλαδή τις πραγματικές (*actual*) μηχανώρες ($Production Time_{act}^m$).
- Εντοπίζεται η μηνιαία παραγόμενη ποσότητα ($Tons_Sum_m$).
- Λαμβάνεται ο αντίστροφος του πρότυπου ρυθμού παραγωγής (*theoretical*), ώστε οι μονάδες του να είναι hrs/tons (R_{th}).

Έχοντας αυτά τα δεδομένα αρχικά υπολογίζονται οι πρότυπες μηχανώρες που θα απαιτούνταν για την παραγόμενη ποσότητα:

$$Production Time_{th}^m = R_{th} \times Tons_Sum_m$$

Και ακολούθως ο δείκτης,

$$\begin{aligned} \frac{\text{Πρότυπες μηχανώρες για την παραγόμενη ποσότητα}}{\text{Πραγματικές μηχανώρες ανα κέντρο εργασίας ανα μήνα}} &= \frac{Production Time_{th}^m}{Production Time_{act}^m} \\ &= \frac{R_{th} \times Tons_Sum_m}{Production Time_{act}^m} \end{aligned}$$

4.4.2.2 Φυσική Σημασία και Αποτελέσματα Δείκτη (Μηχανώρες ανα Κέντρο Εργασίας / Πρότυπες μηχανώρες που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα)

Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο δείκτη εντοπίζονται κρυμμένα κόστη ή αλλιώς “hidden capacity” της μηχανής. Ουσιαστικά είναι ο ίδιος δείκτης με το *Performance Efficiency*, που αποτελεί ένα απο τα τρία μέρη του *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*), ο οποίος αναφέρθηκε ήδη στο δεύτερο κεφάλαιο και θα υπολογιστεί παρακάτω.

Υπολογίζοντας τον φαίνεται ότι, ενώ έχουμε αφαιρέσει όλες τις καταγεγραμμένες καθυστερήσεις απο τον συνολικό χρόνο παρατήρησης της μηχανής, ο λειτουργικός χρόνος που καταναλώθηκε για τη δεδομένη παραγώμενη ποσότητα δε συμπίπτει με τον πρότυπο χρόνο. Αυτό οφείλεται σε καθυστερήσεις οι οποίες δεν καταγράφονται είτε λόγω του ότι είναι πολύ μικρές σε διάρκεια (μικρά σταματήματα μηχανής κλπ.) είτε επειδή η μηχανή δε λειτουργεί στον ονομαστικό της ρυθμό. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στη φθορά της λόγω παλαιότητας, είτε διότι ρυθμίστηκε ηθελημένα να δουλεύει σε χαμηλότερη ταχύτητα, για πιο ομαλή κατεργασία μιας κακής ά ύλης. Τα αποτελέσματα του δείκτη παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2

Απο τα αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η λιγότερο αποδοτική μηχανή είναι το κοπτικό, ενώ η απόδοση των υπόλοιπων μηχανών βρίσκεται σε αρκετά έως και πολύ υψηλό επίπεδο, αφού βρίσκεται ανάμεσα στο 85% και 96%.

Το κοπτικό δείχνει να είναι η πιο φθαρμένη και παλιά μηχανή, αφού το χαμηλό αλλά αξιοπρεπές ποσοστό του μεταφράζεται σε χαμηλότερη ταχύτητα λειτουργίας απο την πρότυπη, καθώς και στο ότι η παραγωγή του διακόπτεται συχνά απο μικρά σταματήματα (minor stoppages and jams), κάτι το οποίο παρατηρήθηκε έντονα και κατά την παρουσία μου στο εργοστάσιο.

	Οκτώβρης	Νοέμβρης	Δεκέμβρης	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Εξάμηνο
Κοπτικό	0,64	0,67	0,69	0,72	0,68	0,67	0,68
Μονάδα Αποξείδωσης	0,82	0,84	0,92	0,85	0,86	0,87	0,86
Έλαστρο 1	0,88	0,83	0,92	0,82	0,93	0,84	0,87
Έλαστρο 2	0,92	0,91	0,95	0,86	0,90	0,87	0,90
Patenting 1	0,93	0,91	0,90	0,89	0,92	0,97	0,92
Patenting 2	0,92	0,82	0,86	0,82	0,89	0,92	0,87
Γραμμή 1	0,88	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,93
Γραμμή 2	0,97	0,93	0,95	0,91	1	0,96	0,95
Γραμμή 3	0,96	0,96	0,95	0,92	0,98	0,98	0,96

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα δείκτη Μηχανώρες ανα Κέντρο Εργασίας / Πρότυπες μηχανώρες

4.4.3 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Η σχετική θεωρία, αλλά και η χρησιμότητα του δείκτη *OEE* έχει ήδη παρουσιαστεί στο δεύτερο κεφάλαιο. Εδώ θα σταθούμε στο πως έγινε ο υπολογισμός του από τα διαθέσιμα δεδομένα και θα σχολιάσουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Αρχικά, για λόγους ευκολίας του αναγνώστη γίνεται μια περιλιπτική αναφορά στους τύπους των επιμέρους στοιχείων του *OEE* και εν συνεχεία παρουσιάζεται ο υπολογισμός του.

Διαθεσιμότητα (Availability Efficiency)	$A_{eff} = \frac{T_U}{T_T}$
Αποδοτικότητα (Performance Efficiency)	$P_{eff} = \frac{P_a}{R_{th} \times T_U} = \frac{P_a}{P_a^{th}}$
Ποιότητα (Quality Efficiency)	$Q_{eff} = \frac{P_g}{P_a}$
OEE (Overall Equipment Effectiveness)	$OEE = A_{eff} \times P_{eff} \times Q_{eff}$

Πίνακας 4.3 Τύποι υπολογισμού για το δείκτη *OEE*

Όπου,

- T_T (Total Time), ο συνολικός χρόνος παρατήρησης ή ο χρόνος που η μηχανή είναι προγραμματισμένη να λειτουργήσει.
- T_U (Uptime), ο λειτουργικός χρόνος της μηχανής.
- P_a , η παραγόμενη ποσότητα στο χρόνο T_U
- R_{th} , ο θεωρητικός ή βέλτιστος ρυθμός παραγωγής της μηχανής
- P_a^{th} , η θεωρητική παραγόμενη ποσότητα για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

➤ P_g , η ποσότητα των μη ελαττωματικών προϊόντων

➤ P_a , η συνολική παραγόμενη ποσότητα

4.4.3.1 Υπολογισμός Δείκτη OEE

Ο υπολογισμός του δείκτη έγινε χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες χρονικές μεταβλητές και χαρακτηριστικά, τα οποία βρίσκονταν ήδη οργανωμένα ανα μηχανή σε καρτέλες του Excel. Οι πράξεις και τα αποτελέσματα που προέκυψαν βρίσκονται επίσης σε ξεχωριστό αρχείο Excel, η μορφή του οποίου παρουσιάζεται παρακάτω:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Tu(Hours)	Tl(Hours)	Pa(Tons)	Tu(performance)	Theoretical Processing Rate (Rth)	Availability	Performance	Quality	OEE	Weighted Average OEE
2	Οκτώβρης	368	480	1.641	368	5,07	0,77	0,88	1	0,6742	0,1097
3	Νοέμβρης	414	504	1.748	414	5,07	0,82	0,83	1	0,6842	0,1169
4	Δεκέμβρης	351	445	1.630	351	5,07	0,79	0,92	1	0,7226	0,1090
5	Ιανουάριος	466	520	1.933	466	5,07	0,90	0,82	1	0,7333	0,1293
6	Φεβρουάριος	434	480	2.039	434	5,07	0,90	0,93	1	0,8380	0,1364
7	Μάρτιος	444	520	1.884	444	5,07	0,85	0,84	1	0,7145	0,1260
8	Εξάμηνο	2477	2949	10875,765	2477	5,07	0,84	0,87	1	0,7274	0,7274
9											
10											
11											

Εικόνα 4.27 Υπολογισμός δείκτη OEE για το Έλαστρο 1

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.27, τα επιμέρους στοιχεία καθώς και ολόκληρος ο OEE, έχουν υπολογιστεί για κάθε μήνα ξεχωριστά, αλλά και για όλο το εξάμηνο, ώστε να έχουμε μια συνολική εικόνα.

Οι πρώτες δύο στήλες T_U (Λειτουργικός χρόνος μηχανής) και T_T (Χρόνος παρατήρησης μηχανής) αφορούν το Availability Efficiency, το οποίο υπολογίζεται διαιρώντας τα στοιχεία τους,

$$A_{eff} = \frac{T_U}{T_T}.$$

Οι επόμενες τρεις στήλες (Production, Uptime, Theoretical Processing Rate) αφορούν το Performance Efficiency, το οποίο υπολογίζεται ως εξής (το uptime, T_U , ή αλλιώς ο λειτουργικός χρόνος μηχανής είναι ο ίδιος με αυτόν που αφορά το Availability Efficiency),

$$P_{eff} = \frac{P_a}{R_{th} \times T_U} = \frac{P_a}{P_a^{th}}$$

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια στήλη με δεδομένα που να αντιστοιχούν στο Quality Efficiency. Αυτά τα δεδομένα θα ήταν η συνολική ποσότητα

παραγωγής και η ποσότητα ελαττωματικών. Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης όμως κάθε ελαττωματικό προϊόν περνάει απο επανεπεξεργασία. Ο χρόνος που απαιτείται για την επανεπεξεργασία έχει μετρηθεί και έχει θεωρηθεί ως καθυστέρηση που μειώνει τη διαθεσιμότητα της μηχανής. Αυτό σημαίνει ότι η επιρροή του Quality Efficiency στον *OEE* βρίσκεται μέσα στο Availability Efficiency και γι αυτό για κάθε μήνα του έχει δοθεί η τιμή 1.

4.4.3.2 Φυσική σημασία και Αποτελέσματα Δείκτη *OEE*

Η φυσική σημασία του δείκτη και των επιμέρους στοιχείων του έχει αναλυθεί με λεπτομέρεια στο δεύτερο κεφάλαιο. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί εν συντομία ότι μέσω αυτού του δείκτη προκύπτει το ποσοστό της βέλτιστης παραγωγικής ικανότητας στο οποίο δουλεύει μια μηχανή, για δεδομένο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα του *OEE* βρίσκονται στον πίνακα 4.4

	Availability	Performance	Quality	OEE
Κοπτικό	74,96%	68,01%	1	50,98%
Μονάδα Αποξείδωσης	85,74%	85,81%	1	73,58%
Έλαστρο 1	83,99%	86,60%	1	72,74%
Έλαστρο 2	89,29%	90,03%	1	80,38%
Patenting 1	77,99%	91,92%	1	71,69%
Patenting 2	82,43%	87,37%	1	76,96%
Γραμμή 3	70,50%	93,27%	1	65,75%
Γραμμή 4	77,77%	95,31%	1	74,12%

Γραμμή 5	79,91%	95,76%	1	76,52%
-----------------	---------------	---------------	----------	---------------

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα OEE

Με την πρώτη ματιά είναι φανερό ότι τα ποσοστά είναι ικανοποιητικά και σε μερικές μηχανές κοντά στο World Class Performance, το οποίο είναι 85%.[5] Η μόνη εξαίρεση είναι το κοπτικό το οποίο δείχνει να έχει αρκετά χαμηλή απόδοση, η οποία οφείλεται κυρίως στο χαμηλό Performance Efficiency. Αυτά τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του OFE και στη συνέχεια για τη διάγνωση του bottleneck και θα μας δείξουν στοχευμένα που πρέπει να επεμβούμε για την καλύτερη απόδοση του εργοστασίου συνολικά.

4.4.4 OTE (Overall Throughput Effectiveness) - OFE (Overall Factory Effectiveness)

Η σχετική θεωρία καθώς και η χρησιμότητα του δείκτη OTE έχει ήδη παρουσιαστεί στο δεύτερο κεφάλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι προσαρμογές που έγιναν στους τύπους του δευτέρου κεφαλαίου, ώστε να είναι συμβατοί με τη μελέτη περίπτωσης. Ακολουθώντας παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού του δείκτη για την υπο μελέτη εγκατάσταση και τέλος γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων και πρόταση βελτίωσης της τιμής του δείκτη.

4.4.4.1 Προσαρμογές των τύπων του OTE (Overall Throughput Effectiveness)

Οι τύποι του OTE όπως παρουσιάστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο, είναι οι εξής:

- Υποσύστημα σε σειρά

$$OTE = \frac{\min\{\min_{i=1,2,\dots,n-1}\{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{eff(j)}\}, OEE_{(n)} \times R_{th(n)}\}}{\min_{i=1,2,\dots,n}\{R_{th(i)}\}}$$

- Υποσύστημα παράλληλα

$$OTE = \frac{\sum_{i=1}^n \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \{R_{th(i)}\}}$$

- Overall Factory Effectiveness (OFE)

$$OFE = \frac{\min\{\min_{k=1,2,\dots,m-1}\{OTE_{(k)} \times R_{th(k)} \times \prod_{l=k+1}^m Q_{eff(l)}\}, OEE_{(m)} \times R_{th(m)}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{R_{th(k)}\}}$$

Η παραγωγική διαδικασία του εργοστασίου Οινοφύτων παρουσιάζει μερικές ιδιαιτερότητες οι οποίες κάνουν αναγκαία τη μερική προσαρμογή των παραπάνω τύπων. Η πρώτη ιδιαιτερότητα της περίπτωσης είναι ότι κάθε μηχανή έχει το δικό της ξεχωριστό προγραμματισμένο χρόνο λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι η σταθερά T_T , μετατρέπεται στη μεταβλητή $T_{T(i)}$ με διαφορετική τιμή για κάθε μηχανή i .

Επιπλέον έγινε η παραδοχή ότι κάθε μηχανή παράγει μηδέν ελαττωματικά προϊόντα. Αυτή η παραδοχή έγινε διότι κάθε ελαττωματικό προϊόν περνάει απο επανεπεξεργασία, ο χρόνος της οποίας καταγράφεται και «χρεώνεται» στη διαθεσιμότητα της μηχανής. Με αυτό τον τρόπο το Quality Efficiency κάθε μηχανής μεταπίπτει στο Availability Efficiency, ενώ το $Q_{eff(i)}$ είναι ίσο με τη μονάδα.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω οι νέοι προσαρμοσμένοι τύποι για τους υπολογισμούς θα είναι οι εξής:

- Υποσύστημα σε σειρά

$$OTE = \frac{\min_{i=1,2,\dots,n} \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times T_{T(i)}\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{R_{th(i)} \times T_{T(i)}\}} = \frac{\min_{i=1,2,\dots,n} \{P_g(i)\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{P_a^{th}(i)\}}$$

- Υποσύστημα παράλληλα

$$OTE = \frac{\sum_{i=1}^n \{OEE_{(i)} \times R_{th(i)} \times T_{T(i)}\}}{\sum_{i=1}^n \{R_{th(i)} \times T_{T(i)}\}} = \frac{\sum_{i=1}^n \{P_g(i)\}}{\sum_{i=1}^n \{P_a^{th}(i)\}}$$

- Υπολογισμός Overall Factory Effectiveness (OFE)

$$OFE = \frac{\min_{k=1,2,\dots,m-1} \{OTE_{(k)} \times R_{th(k)} \times T_{T(k)}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m} \{R_{th(k)} T_{T(k)}\}} = \frac{\min_{k=1,2,\dots,m} \{P_g(k)\}}{\min_{k=1,2,\dots,m} \{P_a^{th}(k)\}}$$

Είναι φανερό ότι οι τύποι απλοποιούνται αισθητά. Για τα υποσυστήματα σε σειρά η φυσική σημασία του τύπου είναι η εξής:

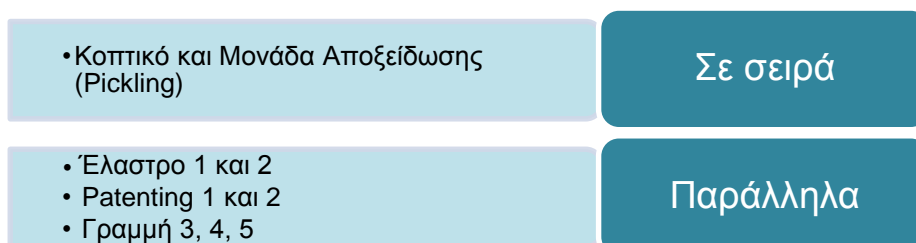
$$OTE = \frac{\text{Ελάχιστη παραγόμενη ποσότητα υποσυστήματος } (\min_{i=1,2,\dots,n} \{P_g(i)\})}{\text{Ελάχιστη θεωρητική παραγόμενη ποσότητα υποσυστήματος } (\min_{i=1,2,\dots,n} \{P_a^{th}(i)\})}$$

Και για τα υποσυστήματα μηχανών παράλληλα,

$$OTE = \frac{\text{Άθροισμα παραγόμενης ποσότητας μηχανών } (\sum_{i=1}^n \{P_g(i)\})}{\text{Άθροισμα θεωρητικής παραγόμενης ποσότητας μηχανών } (\sum_{i=1}^n \{P_a^{th}(i)\})}$$

4.4.4.2 Υπολογισμός και αποτελέσματα του ΟΤΕ (Overall Throughput Effectiveness)

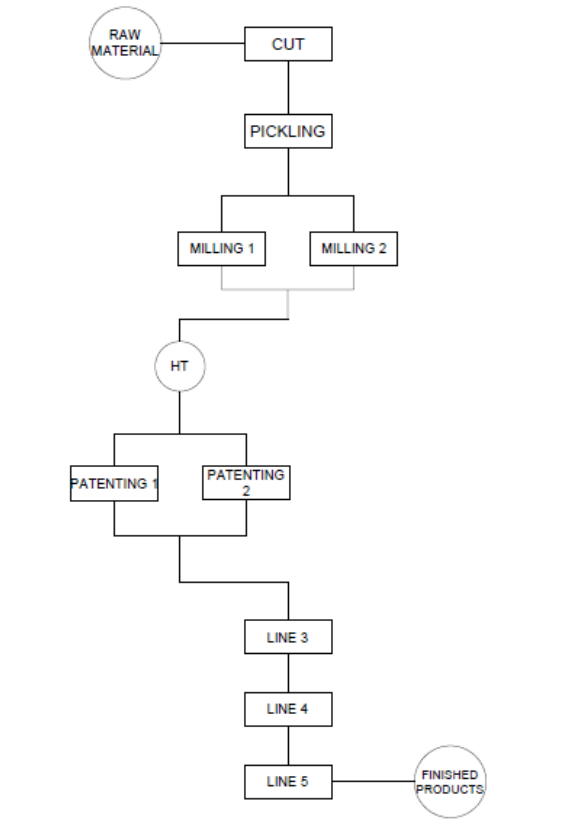
Τα υποσυστήματα που απαρτίζουν τη γραμμή παραγωγής είναι τα εξής:



Μια σημαντική ιδιαιτερότητα που παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια των υπολογισμών, ήταν η διαφορετική πορεία των ημιέτοιμων προϊόντων αμέσως μετά το στάδιο ελάσεως.

Τα προϊόντα ποιότητας High Tensile (60% συνολικής παραγωγής), περνάνε απο το Κέντρο των Patenting και στη συνέχεια απο τις Γραμμές (εικόνα 4.28), ενώ τα προϊόντα ποιότητας Dynaflex (40% συνολικής παραγωγής) πάνε απευθείας στις Γραμμές (εικόνα 4.29). Δηλαδή δημιουργούνται δυο πορείες προϊόντων και για το λόγο αυτό υπολογίστηκαν τα ΟΤΕ και στη συνέχεια το ΟFE για κάθε μια απ αυτές. Ο δείκτης ΟΤΕ για την πορεία High Tensile συμβολίζεται ως OTE_{HT} , ενώ για την πορεία Dynaflex συμβολίζεται ως OTE_{DF} . Αντιστοίχως προκύπτουν τα OFE_{HT} και OFE_{DF} .

Πορεία High Tensile

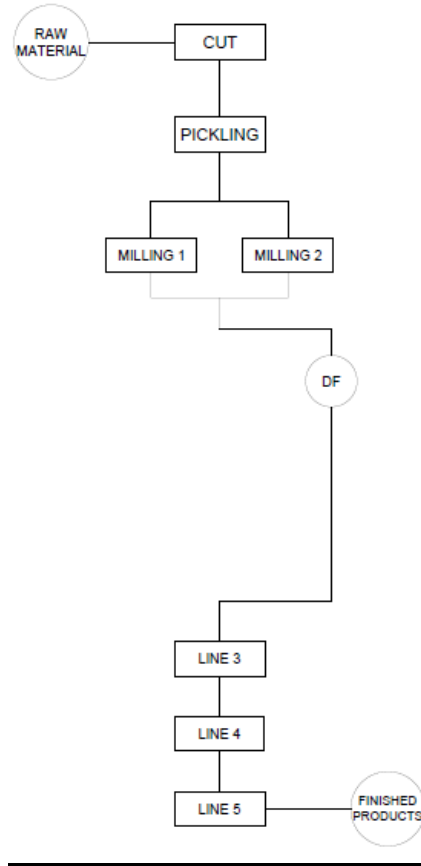


Εικόνα 4.28 Διάγραμμα ροής πορείας HT

Στους τύπους του OTE_{HT} για κάθε υποσύστημα, στον αριθμητή τοποθετούνται οι ποσότητες προϊόντος HT που παράχθηκαν απο κάθε μηχανή i , $P_g(i)_{HT}$ και στον παρονομαστή το 60% της θεωρητικής παραγώμενης ποσότητας κάθε μηχανής i , $P_a^{th}(i)_{HT} = 0,6 \times P_a^{th}(i)$. Το ποσοστό αυτό προέκυψε διότι παρατηρήθηκε ότι για το υπο μελέτη χρονικό διάστημα, στο υπο μελέτη εξάμηνο η συνολική παραγωγή του εργοστασίου αποτελούνταν κατα 60% απο προϊόν τύπου High Tensile και κατά 40% απο προϊόν τύπου Dynaflex.

- $OTE_{HT(series)} = \frac{\min_{i=1,2,...,n}\{P_g(i)_{HT}\}}{\min_{i=1,2,...,n}\{P_a^{th}(i)_{HT}\}}$
- $OTE_{HT(parallel)} = \frac{\sum_{i=1}^n\{P_g(i)_{HT}\}}{\sum_{i=1}^n\{P_a^{th}(i)_{HT}\}}$
- $OFE_{HT} = \frac{\min_{k=1,2,...,m}\{P_g(k)_{HT}\}}{\min_{k=1,2,...,m}\{P_a^{th}(k)_{HT}\}}$

Πορεία Dynaflex



Εικόνα 4.29 Διάγραμμα ροής πορείας DF

Αντίστοιχα, στους τύπους του OTE_{DF} για κάθε υποσύστημα, στη θέση του αριθμητή τοποθετούνται οι ποσότητες προϊόντος HT που παράχθηκαν από κάθε μηχανή i , $P_g(i)_{DF}$, ενώ στον παρονομαστή τοποθετείται το 40% της θεωρητικής παραγώμενης ποσότητας κάθε μηχανής i , $P_a^{th}(i)_{DF} = 0,4 \times P_a^{th}(i)$.

- $OTE_{DF(series)} = \frac{\min_{i=1,2,...,n}\{P_g(i)_{DF}\}}{\min_{i=1,2,...,n}\{P_a^{th}(i)_{DF}\}}$
- $OTE_{DF(parallel)} = \frac{\sum_{k=1}^n\{P_g(k)_{DF}\}}{\sum_{k=1}^n\{P_a^{th}(k)_{DF}\}}$
- $OFE_{DF} = \frac{\min_{k=1,2,...,m}\{P_g(k)_{DF}\}}{\min_{k=1,2,...,m}\{P_a^{th}(k)_{DF}\}}$

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν απο τους υπολογισμούς των παραπάνω τύπων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

	Υποσύστημα 1	Υποσύστημα 2	Υποσύστημα 3	Υποσύστημα 4
High Tensile	Μονάδα Κοπής Pickling (σε σειρά)	Έλαστρο 1 Έλαστρο 2 (Παράλληλα)	Patenting 1 Patenting 2 (Παράλληλα)	Γραμμή 3 Γραμμή 4 Γραμμή 5 (Παράλληλα)
$OTE_{HT(series)}$ ή $OTE_{HT(parallel)}$	$\frac{15286,119}{20384,628}$	$\frac{14880,377}{19384,628}$	$\frac{14658,559}{19795,128}$	$\frac{14262,559}{19503,348}$
$OTE_{HT} (%)$	75%	76,76%	74,05%	73,12%

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα OTE_{HT} για κάθε υποσύστημα

Η γραμμή παραγωγής για την πορεία HT είναι ισοροπημένη αφού η ποσότητα παραγωγής των μηχανών προοδευτικά μειώνεται με ελάχιστη (bottleneck) την παραγωγή του υποσυστήματος των παράλληλων γραμμών (Πίνακας 4.5). Πιο αργή μηχανή του υποσυστήματος είναι η γραμμή 3.

High Tensile	OFE_{HT} Overall Factory Effectiveness
$\frac{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_g(k)_{HT}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_a^{th}(k)_{HT}\}}$	$\frac{14262,559}{19384,628}$
$OFE_{HT} (\%)$	73,58%

Πίνακας 4.6 Αποτέλεσμα OFE_{HT}

Dynaflex	Υποσύστημα 1 Μονάδα Κοπής Pickling (σε σειρά)	Υποσύστημα 2 Έλαστρο 1 Έλαστρο 2 (Παράλληλα)	Υποσύστημα 3 Γραμμή 3 Γραμμή 4 Γραμμή 5 (Παράλληλα)
$OTE_{DF(series)}$ ή $OTE_{DF(parallel)}$	$\frac{9710,645}{13589,752}$	$\frac{9806,044}{12852,892}$	$\frac{9429,535}{13002,232}$
$OTE_{DF} (\%)$	71,45%	77,93%	72,52%

Πίνακας 4.7 Αποτέλεσμα OTE_{DF} για κάθε υποσύστημα

Απο τα παραπάνω είναι φανερό οτι η γραμμή παραγωγής για την πορεία HT δεν είναι ισοροπημένη αφού η ποσότητα παραγωγής του υποσυστήματος 2 ξεπερνάει αυτή του υποσυστήματος 1. Ωστόσο η διαφορά τους είναι πολύ μικρή για να ληφθεί υπόψη. Ελάχιστη (bottleneck) είναι και πάλι η ποσότητα που παράγει το υποσύστημα των παράλληλων γραμμων (πίνακας 4.5) με πιο αργή μηχανή τη γραμμή 3.

Dynaflex	OFE_{DF} Overall Factory Effectiveness
$\frac{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_g(k)_{DF}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_a^{th}(k)_{DF}\}}$	$\frac{9429,535}{12852,892}$
$OFE_{DF} (\%)$	73,36%

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα OFE_{DF}

Τελικά ο συνολικός δείκτης OFE για το εργοστάσιο, όπως προκύπτει απο τις επιμέρους τιμές του για την πορεία High Tensile και Dynaflex, θα είναι:

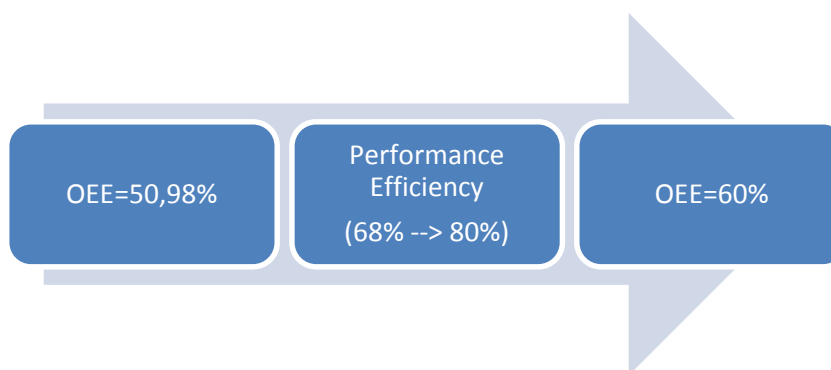
$$OFE = (0,6 \times OFE_{HT}) + (0,4 \times OFE_{DF}) = 73,5\%$$

4.4.4.3 Σενάριο αναβάθμισης μηχανών με σκοπό την αύξηση του OFE (Overall Factory Effectiveness)

Σε αυτό το σημείο γίνεται η μελέτη μιας πρότασης αναβάθμισης της παρούσας λειτουργίας των μηχανών με σκοπό την αύξηση της συνολικής απόδοσης και παραγωγικότητας του εργοστασίου, δηλαδή του OFE. Η εν λόγω αναβάθμιση κάθε μηχανής θα προκύψει από την αύξηση της τιμής του OEE (Overall Equipment Effectiveness), έχοντας ως άνω φράγμα το 85% το οποίο είναι καθιερωμένο World Class Performance benchmark. Τέλος, η αύξηση της τιμής του OEE είναι επακόλουθο της αύξησης των τιμών των επιμέρους συντελεστών του, Availability και Performance Efficiency (Αγνοείται το Quality Efficiency αφού έχουμε κάνει την παραδοχή ότι είναι πάντα ίσο με τη μονάδα). Παρακάτω παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η αναβάθμιση κάθε μηχανής και στη συνέχεια η επίδραση όλων των αναβαθμίσεων στην τιμή του OFE.

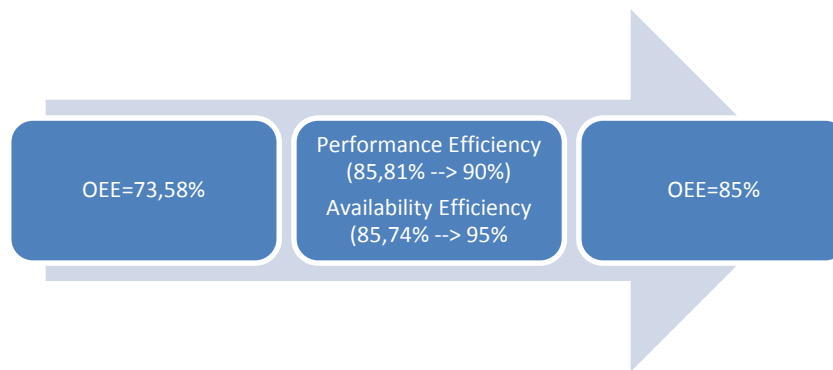
Μηχανή Κοπής

Ο δείκτης OEE για τη μηχανή κοπής έχει την τιμή 50,98%. Είναι η χαμηλότερη τιμή συγκριτικά με αυτή των υπόλοιπων μηχανών. Παρ' όλα αυτά, λόγω της αρκετά υψηλότερης πρότυπης δυναμικότητας του συγκριτικά με αυτή των υπόλοιπων μηχανών, καταφέρνει να ανταπεξέλθει στις παραγωγικές απαιτήσεις. Προτείνεται η αύξησή του OEE στο 60% η οποία θα προκύψει μέσω αύξησης του Performance Efficiency από 68% σε 80%.



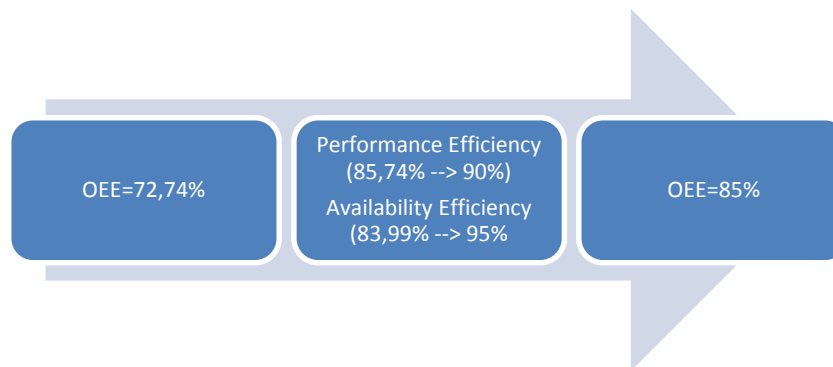
Μηχανή Αποξείδωσης (Pickling)

Ο δείκτης OEE για τη μηχανή αποξείδωσης έχει την τιμή 73,58%. Προτείνεται αύξηση του στο 85% η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Performance Efficiency από 85,81% στο 90% και του Availability Efficiency από 85,74 στο 95%.



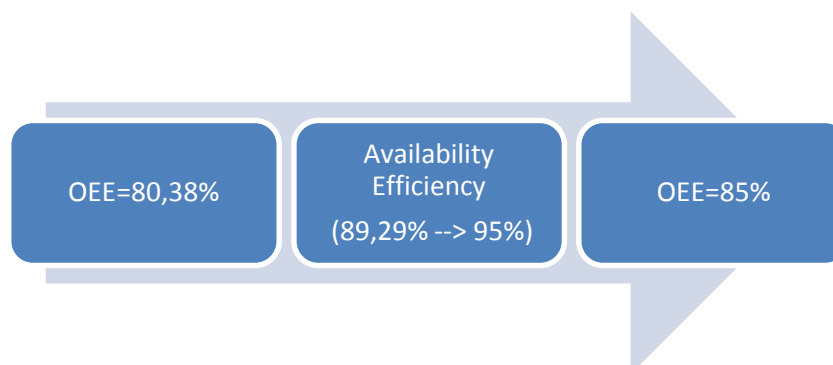
Έλαστρο 1

Ο δείκτης OEE για το έλαστρο 1 έχει την τιμή 72,74%. Προτείνεται αύξηση του στο 85% η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Performance Efficiency απο 85,74% στο 90% και του Availability Efficiency απο 83,99 στο 95%.



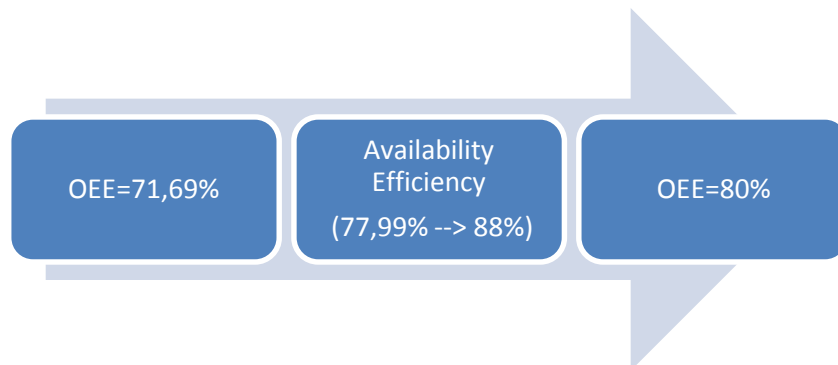
Έλαστρο 2

Ο δείκτης OEE για το έλαστρο 2 έχει την τιμή 80,38%. Προτείνεται αύξηση του στο 85% η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Availability Efficiency απο 89,29 στο 95%.



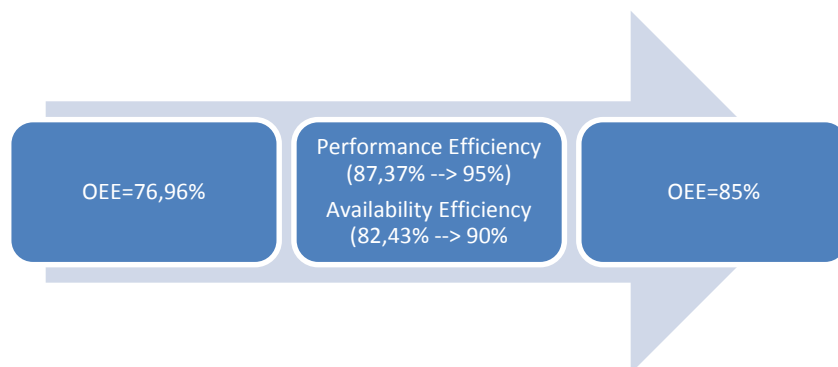
Patenting 1

Ο δείκτης OEE για την Patenting 1 έχει την τιμή 71,69%. Προτείνεται αύξηση του στο 80% η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Availability Efficiency απο 77,99 στο 88%.



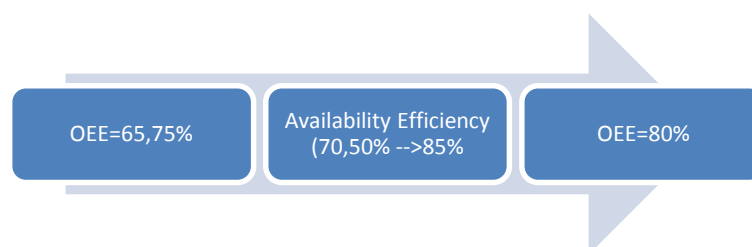
Patenting 2

Ο δείκτης OEE για την Patenting 2 έχει την τιμή 76,96%. Προτείνεται η αύξηση του στο 85%, η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Performance Efficiency απο 87,37% στο 95% και του Availability Efficiency απο 82,43% στο 90%.



Line 3

Ο δείκτης OEE για τη Line 3 έχει τιμή 65,75%. Προτείνεται η αύξηση του στο 80%, η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Availability Efficiency απο 70,50% στο 85%.



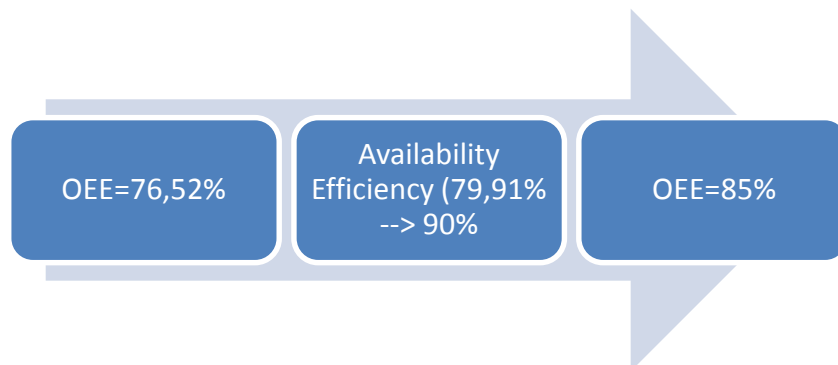
Line 4

Ο δείκτης OEE για τη Line 4 έχει τιμή 74,12%. Προτείνεται η αύξηση του στο 85%, η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Availability Efficiency από 77,77% στο 90%.



Line 5

Ο δείκτης OEE για τη Line 5 έχει τιμή 76,52%. Προτείνεται η αύξηση του στο 85%, η οποία θα υλοποιηθεί μέσω αύξησης του Availability Efficiency από 79,91% στο 90%.



Μετά τις αλλαγές του σεναρίου αναβάθμισης μηχανών και χρησιμοποιώντας τους τύπους για τα $O TE_{HT}$, $O TE_{DF}$ και $O FE_{HT}$, $O FE_{DF}$ προκύπτουν τα νέα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

	Υποσύστημα 1	Υποσύστημα 2	Υποσύστημα 3	Υποσύστημα 4
High Tensile	Μονάδα Κοπής Pickling (σε σειρά)	Έλαστρο 1 Έλαστρο 2 (Παράλληλα)	Patenting 1 Patenting 2 (Παράλληλα)	Γραμμή 3 Γραμμή 4 Γραμμή 5 (Παράλληλα)
$O TE'_{HT(series)}$ ή $O TE'_{HT(parallel)}$	$\frac{17326,93}{20384,628}$	$\frac{16387,44}{19384,628}$	$\frac{16371,354}{19795,128}$	$\frac{16321,332}{19503,348}$
$O TE'_{HT} (\%)$	85%	84,5%	82,7%	83,7%

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα $O TE_{HT}$ κάθε υποσυστήματος, για το σενάριο αναβάθμισης

High Tensile	OFE_{HT} Overall Factory Effectiveness
$\frac{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_g(k)_{HT}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_a^{th}(k)_{HT}\}}$	$\frac{16321,332}{19503,348}$
$OFE'_{HT} (\%)$	83,7%

Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα OFE_{HT} για το σενάριο αναβάθμισης.

Dynaflex	Υποσύστημα 1 Μονάδα Κοπής Pickling (σε σειρά)	Υποσύστημα 2 Έλαστρο 1 Έλαστρο 2 (Παράλληλα)	Υποσύστημα 3 Γραμμή 3 Γραμμή 4 Γραμμή 5 (Παράλληλα)
$O TE'_{DF(series)}$ ή $O TE'_{DF(parallel)}$	$\frac{11551,29}{13589,752}$	$\frac{10925}{12852,892}$	$\frac{10880,88}{13002,232}$
$O TE'_{DF} (\%)$	85%	87%	83,7%

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα $O TE_{DF}$ κάθε υποσυστήματος για σενάριο αναβάθμισης

Dynaflex	OFE_{HT} Overall Factory Effectiveness
$\frac{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_g(k)_{DF}\}}{\min_{k=1,2,\dots,m}\{P_a^{th}(k)_{DF}\}}$	$\frac{10880,88}{13002,232}$
$OFE'_{DF} (\%)$	83,7%

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα OFE_{DF} για το σενάριο αναβάθμισης

Τελικά ο συνολικός δείκτης OFE για το εργοστάσιο, μετά απο την εφαρμογή του σεναρίου αναβάθμισης, θα είναι:

$$OFE' = (0,6 \times OFE_{HT}) + (0,4 \times OFE_{DF}) = 83,7\%$$

Η γραμμή παραγωγής και σε αυτή την περίπτωση είναι ισοροπημένη με bottleneck το υποσύστημα των παράλληλων γραμμών (4.7 και 4.9) και με πιο αργή μηχανή του υποσυστήματος, τη γραμμή 3.

5^ο Κεφάλαιο

Μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας.

5.1 Μοντελοποίηση εργασιών που αφορούν την παραγωγή μεταλλικής ταινίας περίδεσης με δίκτυα Petri

Σε αυτή την ενότητα υλοποιείται το μοντέλο της γραμμής παραγωγής της μεταλλικής ταινίας περίδεσης. Η υλοποίηση και στη συνέχεια, η προσομοίωση σεναρίων του μοντέλου αυτού, πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού μοντελοποίησης και προσομοίωσης χρονικών και συνεχών δικτύων Petri, VisualObjectNet++.

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 (εποπτικός έλεγχος). Στη συνέχεια δημιουργείται μηχανισμός για την υλοποίηση των αμοιβαίως αποκλειόμενων εργασιών, επιτρέποντας έτσι την διαδοχική λειτουργία τους. Επιπλέον το μοντέλο εμπλουτίζεται με ποσοτικές παραμέτρους, που κατά κύριο λόγο αναφέρονται στους ρυθμούς παραγωγής, στις χρονικές καθυστερήσεις των (μη συνεχών) διαδικασιών, στις χωρητικότητες των αποθηκών, στα μεγέθη των παρτίδων αλλά και στα βάρη πολλαπλότητας των τόξων. Τα σενάρια που προσομοιώνονται με τη χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι τρία και για καθένα από αυτά υπολογίζεται η τιμή του *OFE (Overall Factory Effectiveness)* του εργοστασίου. Το πρώτο είναι το βασικό σενάριο στο οποίο χρησιμοποιούνται οι πραγματικοί ρυθμοί παραγωγής όπως υπολογίστηκαν μέσα από τη μελέτη της κατεγγραμμένης πληροφορίας. Το δεύτερο είναι το σενάριο αναβάθμισης των μηχανών όπου οι ρυθμοί παραγωγής είναι αυξημένοι κατάλληλα όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στο τέταρτο κεφάλαιο. Τέλος το τρίτο είναι το σενάριο πρότυπης λειτουργίας του εργοστασίου, στο οποίο χρησιμοποιούνται οι πρότυποι ρυθμοί παραγωγής όπως μας δόθηκαν από το διευθυντή παραγωγής του εργοστασίου. Και στα τρία σενάρια, όλες οι παράμετροι του μοντέλου πλύν των ρυθμών παραγωγής των μηχανών, είναι ίδιες.

Στις ποσοτικές παραμέτρους που παρουσιάζουν τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνουν, η μοντελοποίηση τους πραγματοποιήθηκε ως εξής:

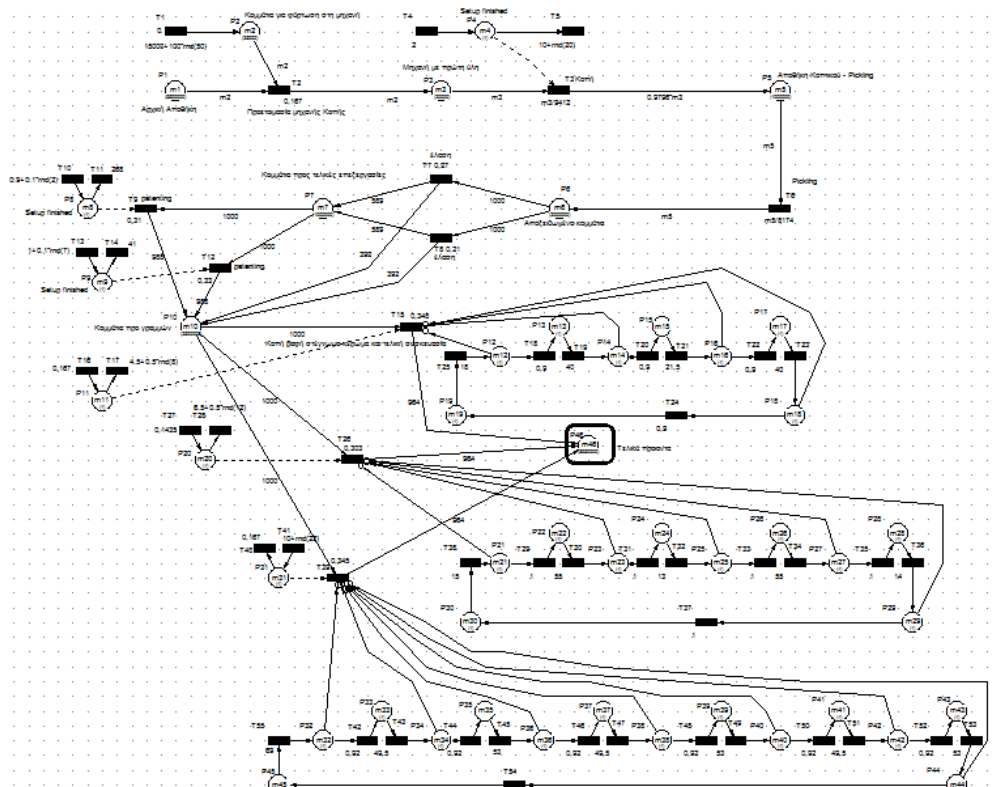
$$A = x + y * \text{rnd}(z)$$

Όπου:

- A: Η παράμετρος που παρουσιάζει τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνει
- x: Η ελάχιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος
- $x + y * z$: Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος
- $z \in \mathbb{Z}$
- Το z λαμβάνει ακέραια τιμή στο διάστημα $[0, z]$

Η τιμή που λαμβάνει το z σε κάθε περίπτωση είναι η μέγιστη δυνατή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ποικιλία αριθμών που παράγει η γεννήτρια τυχαίων αριθμών (rnd). Μεγαλύτερη ποικιλία τιμών, συνεπάγεται πιο ρεαλιστικά και αμερόληπτα αποτελέσματα λόγω της ύπαρξης τυχειότητας και στην πραγματική λειτουργία του εργοστασίου.

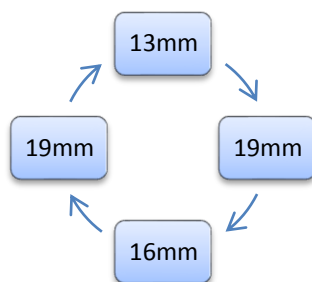
5.1.1 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής μεταλλικής ταινίας περίδεσης



Εικόνα 5.1 Το μοντέλο παραγωγικής διαδικασίας της μεταλλικής ταινίας περίδωσης

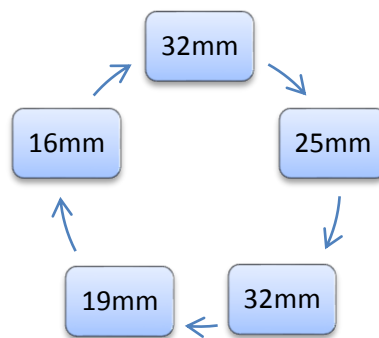
Στο μοντέλο που παρουσιάζεται στην *εικόνα 5.1*, οι μόνες καθυστερήσεις που έχουν συμπεριληφθεί στο μοντεό είναι αυτές που προκύπτουν απο τις προετοιμασίες των μηχανών (setup). Αυτό συμβαίνει διότι η διάρκεια και η συχνότητα που εκτελείται κάθε προετοιμασία μηχανής (setup) είναι παράμετροι που είτε επαναλαμβάνονται, είτε προσεγγίζουν κάποιο πρότυπο, γεγονός που καθιστά εφικτή τη μοντελοποίηση τους. Η μοντελοποίηση των Setup έγινε μετά απο τη μελέτη και ανάλυση της κατεγγραμμένης πληροφορίας με τη χρήση συγκεντρωτικών πινάκων στο Excel. Πιο συγκεκριμένα, για τις μονάδες στις οποίες εκτελούνται Setup βρήκαμε τα εξής:

- **Μονάδα Κοπής:** Στη μονάδα κοπής εκτελείται Setup αλλαγής διαστάσεων κοπής. Η ενέργεια αυτή διαρκεί κατά μέσο όρο 2 ώρες, ενώ επαναλαμβάνεται μετά απο χρόνο που κινείται στο διάστημα μεταξύ 10 και 30 ωρών ($10 + \text{rnd}(20)$).
- **Μονάδα Patenting 1:** Στη μονάδα Patenting 1 εκτελείται Setup αλλαγής θερμοκρασίας. Η διάρκεια αυτής της ενέργειας κινείται στο διάστημα μεταξύ 0,9 και 1,2 ωρών ($0,9 + 0,1 * \text{rnd}(2)$), ενώ επαναλαμβάνεται κατά μέσο όρο, ανά 268 ώρες.
- **Μονάδα Patenting 2:** Στη μονάδα Patenting 2 εκτελείται Setup αλλαγής θερμοκρασίας. Η διάρκεια αυτής της ενέργειας κινείται στο διάστημα μεταξύ 1 και 1,7 ωρών ($1 + 0,1 * \text{rnd}(7)$), ενώ επαναλαμβάνεται κατά μέσο όρο, ανά 41 ώρες.
- **Γραμμή 3:** Στη γραμμή 3 εκτελείται Setup αλλαγής χρώματος και Setup αλλαγής διαστάσεων. Η αλλαγή χρώματος διαρκεί κατά μέσο όρο 0,167 ώρες (10 λεπτά), ενώ επαναλαμβάνεται μετά απο χρόνο που κινείται στο διάστημα μεταξύ 4,5 και 19,5 ωρών ($4,5 + 0,5 * \text{rnd}(30)$). Η αλλαγή διαστάσεων διαρκεί κατά μέσο όρο 0,9 ώρες. Το πότε θα επαναληφθεί όμως, εξαρτάται απο τη διάσταση που παράγει η μηχανή. Μελετώντας τα αρχεία της εταιρείας προέκυψε οτι οι αλλαγές διαστάσεων στη γραμμή 3 έχουν την τάση να γίνονται σύμφωνα με τον εξής κύκλο:



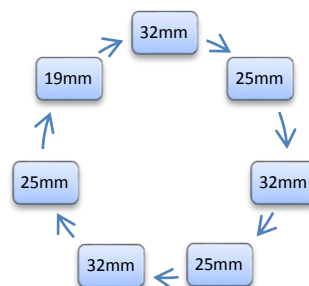
Όταν η μηχανή παράγει ταινία πλάτους 13mm, το Setup επαναλαμβάνεται κατά μέσο όρο μετά απο 17 ώρες, όταν παράγει ταινία πλάτους 19mm μετά απο 21,5 ώρες και τέλος, όταν παράγει ταινία πλάτους 16mm μετά απο 40 ώρες.

- **Γραμμή 4:** Στη γραμμή 4 εκτελείται Setup αλλαγής χρώματος και Setup αλλαγής διαστάσεων. Η αλλαγή χρώματος διαρκεί κατά μέσο όρο 0,1435 ώρες (8,5 λεπτά), ενώ επαναλαμβάνεται μετά απο χρόνο που κινείται στο διάστημα μεταξύ 6,5 και 12,5 ωρών ($6,5 + 0,5 * \text{rnd}(12)$). Η αλλαγή διαστάσεων διαρκεί κατά μέσο όρο 1 ώρα. Όμοια με τη γραμμή 3, οι αλλαγές διαστάσεων στη γραμμή 3 έχουν την τάση να γίνονται σύμφωνα με τον κύκλο:



Όταν η μηχανή παράγει ταινία πλάτους 32mm, το Setup επαναλαμβάνεται κατά μέσο όρο μετά απο 55 ώρες, όταν παράγει ταινία πλάτους 25mm μετά απο 13 ώρες, όταν παράγει ταινία πλάτους 19mm μετά απο 14 ώρες και τέλος όταν παράγει ταινία πλάτους 16mm μετά απο 15 ώρες.

- **Γραμμή 5:** Στη γραμμή 5 εκτελείται Setup αλλαγής χρώματος και Setup αλλαγής διαστάσεων. Η αλλαγή χρώματος διαρκεί κατά μέσο όρο 0,167 ώρες (10 λεπτά), ενώ επαναλαμβάνεται μετά απο χρόνο που κινείται στο διάστημα μεταξύ 10 και 32 ωρών ($10 + \text{rnd}(22)$). Η αλλαγή διαστάσεων διαρκεί κατά μέσο όρο 92 ώρες. Όμοια με τις άλλες γραμμές, οι αλλαγές διαστάσεων στη γραμμή 5 έχουν την τάση να γίνονται σύμφωνα με έναν κύκλο:



Όταν η μηχανή παράγει ταινία πλάτους 32mm, το Setup επαναλαμβάνεται κατά μέσο όρο μετά απο 49,5 ώρες, όταν παράγει ταινία πλάτους 25mm μετά απο 53 ώρες, και τέλος όταν παράγει ταινία πλάτους 19mm μετά απο 69 ώρες.

Οι υπόλοιπες καθυστερήσεις, όπως βλάβες, έλλειψη ά υλης, συντηρήσεις κλπ, παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη τυχαιότητα και γι αυτό τις εισάγουμε στο μοντέλο έμεσα, μέσα απο τους ρυθμούς παραγωγής των μηχανών. Αυτό σημαίνει οτι ενώ ο ρυθμός παραγωγής κάθε μηχανής έχει μια συγκεκριμένη τιμή, αυτή η τιμή ελαττώνεται τόσο ώστε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης να δημιουργείται η επιθυμητή καθυστέρηση στην παραγωγή. Ο πραγματικός ρυθμός παραγωγής κάθε μηχανής είναι,

$$R_{act} = \frac{\text{Παραγόμενη ποσότητα}}{\text{Λειτουργικός χρόνος μηχανής}}$$

Για να ελαττωθεί αρκεί να προστεθούν στον παρανομαστή «Λειτουργικός χρόνος μηχανής» οι καθυστερήσεις που θέλουμε να ληφθούν υπ'όψη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα προστεθούν στον παρανομαστή όλες τις καθυστερήσεις εκτός απο τις προετοιμασίες μηχανών (setup). Ο λόγος είναι οτι οι καθυστερήσεις που δημιουργούνται, εκτός απο τα setup, έχουν ήδη συμπεριληφθεί στο μοντέλο, άρα αν τις προσθέσουμε στον παρανομαστή θα μετρήσουν δυο φορές και θα καθυστερήσουν την παραγωγή περισσότερο απο το επιθυμητό.

Οι παρακάτω πίνακες επεξηγούν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του μοντέλου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασιά ή είναι διαθέσιμοι σε αυτή) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri για τη μεταλλική ταινία περίδεσης. Παρουσιάζονται οι χωρητικότητες των θέσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την προσομοίωση των σεναρίων.

Ονομασία Θέσης	Σημασία	Χωρητικότητα (κιλά)
P1	Αρχική αποθήκη ά υλών	10,000,000
P2	Ποσότητα ά ύλης προς κατεργασίας κοπής	20,000
P3	Μηχανή φορτωμένη με ά ύλη, έτοιμη για παραγωγή	20,000
P4	Ένδειξη ανενεργού setup - Κοπτικό	1
P5	Αποθήκη Κοπτικού - Pickling	1,000,000
P6	Αποθήκη Pickling - Ελάστρων	2,000,000
P7	Αποθήκη (Ελάστρων– Patenting)	1,000,000
P8	Ένδειξη ανενεργού setup – Patenting 1	1
P9	Ένδειξη ανενεργού setup – Patenting 2	1
P10	Αποθήκη (Ελάστρων - Γραμμών /Patenting - Γραμμών)	2,500,000
P11	Ανενεργό Setup αλλαγής χρώματος - Γραμμή 3	1
P12	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 3 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 13mm σε 19mm	1
P13	Ένδειξη ανενεργού setup – Γραμμή 3	1
P14	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 3 για setup αλλαγής	1

	διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 16mm	
P15	Ένδειξη ανενεργού setup – Γραμμή 3	1
P17	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 3 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 16mm σε 19mm	1
P18	Ένδειξη ανενεργού setup – Γραμμή 3	1
P19	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 3 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 13mm	1
P20	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής χρώματος – Γραμμή 4	1
P21	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 4 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 16mm σε 32mm	1
P22	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 4	1
P23	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 4 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	1
P24	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 4	1
P25	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 4 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	1
P27	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 4 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 19mm	1
P28	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων –	

	Γραμμή 4	1
P29	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 4 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 16mm	1
P30	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 4	1
P31	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής χρώματος – Γραμμή 4	1
P32	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 32mm	1
P33	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P34	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	1
P35	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P36	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	1
P37	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P38	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	1
P39	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1

P40	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	1
P41	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P42	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	1
P43	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P44	Μη διαθεσιμότητα γραμμής 5 για setup αλλαγής διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 19mm	1
P45	Ένδειξη ανενεργού setup αλλαγής διαστάσεων – Γραμμή 5	1
P46	Αποθήκη τελικών προϊόντων	10,000,000

Πίνακας 5.1 Χαρακτηρίστηκα των θέσεων για την προσομοίωση παραγωγής μεταλλικής ταινίας περίδεσης

Μετάβαση	Σημασία	Ελάχιστη καθυστέρηση (Ωρες)	Μέγιστη καθυστέρηση (Ωρες)	Ρυθμός Παραγωγής (Κιλά/Ωρες)	Ελάχιστη ποσότητα (Κιλά)	Μέγιστη Ποσότητα (Κιλά)
T1	Επιλογή mother coil για επεξεργασία	0	0	0	15,000,000	20,000,000
T2	Φόρτωση mother coil, προετοιμασία κοπτικού	0,167	0	0	0	0
T3	Κοπή	0	0	9,412	0	0
T4	Setup - αλλαγή διαστάσεων κοπής	2	0	0	0	0
T5	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων κοπής	10	30	0	0	0
T6	Αποξείδωση κομματιών - Pickling	0	0	8,174	0	0
T7	Ελαση στο έλαστρο 1	0	0	0,27(ώρες/τόνο)	0	0
T8	Ελαση στο έλαστρο 2	0	0	0,21(ώρες/τόνο)	0	0
T9	Πρόσδωση μηχ. Ιδιοτήτων στα ημιέτοιμα HT Patenting 1	0	0	0,31(ώρες/τόνο)	0	0
T10	Setup - αλλαγή θερμοκρασίας - Patenting 1	0,9	1,2	0	0	0

T11	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής θερμοκρασίας - Patenting 1	268	0	0	0	0
T12	Πρόσδωση μηχ. Ιδιοτήτων στα ημιέτοιμα HT - Patenting 2	0	0	0,33(ώρες/τόνο)	0	0
T13	Setup - αλλαγή θερμοκρασίας - Patenting 2	1	1,7	0	0	0
T14	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής θερμοκρασίας - Patenting 2	41	0	0	0	0
T15	Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 3	0	0	0,35 (ώρες/τόνο)	0	0
T16	Setup γραμμής 3 - αλλαγή χρώματος	0,167	0	0	0	0
T17	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής χρώματος.	4,5	19,5	0	0	0
T18	Setup γραμμής 3 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 13mm σε 19mm	0,9	0	0	0	0
T19	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 3	40	0	0	0	0

T20	Setup γραμμής 3 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 16mm	0,9	0	0	0	0
T21	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 3	21,5	0	0	0	0
T22	Setup γραμμής 3 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 16mm σε 19mm	0,9	0	0	0	0
T23	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 3	40	0	0	0	0
T24	Setup γραμμής 3 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 13mm	0,9	0	0	0	0
T25	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 3	18	0	0	0	0
T26	Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 4	0	0	0,30 (ώρες/τόνο)	0	0
T27	Setup γραμμής 4 - αλλαγή χρώματος	0,1435	0	0	0	0
T28	Χρόνος μέχρι το επόμενο setup αλλαγής	6,5	12,5	0	0	0

T29	χρώματος.					
	Setup γραμμής 4 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 16mm σε 32mm	1	0	0	0	0
	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 4	5	0	0	0	0
	Setup γραμμής 4 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	1	0	0	0	0
	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 4	13	0	0	0	0
	Setup γραμμής 4 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	1	0	0	0	0
	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 4	55	0	0	0	0
	Setup γραμμής 4 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 19mm	1	0	0	0	0
	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων -					

T36	Γραμμή 4	14	0	0	0	0
T37	Setup γραμμής 4 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 16mm	1	0	0	0	0
T38	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 4	15	0	0	0	0
T39	Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 5	0	0	0,345 (ώρες/τόνο)	0	0
T40	Setup γραμμής 5 - αλλαγή χρώματος	0,167	0	0	0	0
T41	Χρόνος μέχρι το επόμενο setup αλλαγής χρώματος.	10	32	0	0	0
T42	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 19mm σε 32mm	0,92	0	0	0	0
T43	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	49,5	0	0	0	0
T44	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	0,92	0	0	0	0
	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup					

T45	αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	53	0	0	0	0
T46	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	0,92	0	0	0	0
T47	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	49,5	0	0	0	0
T48	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	0,92	0	0	0	0
T49	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	53	0	0	0	0
T50	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 32mm	0,92	0	0	0	0
T51	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	49,5	0	0	0	0
T52	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 32mm σε 25mm	0,92	0	0	0	0

T53	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	53	0	0	0	0
T54	Setup γραμμής 5 - αλλαγή διαστάσεων κοπής απο 25mm σε 19mm	0,92	0	0	0	0
T55	Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων - Γραμμή 5	69	0	0	0	0

*Πίνακας 5.2 Χαρακτηρίστηκα των μεταβάσεων για την προσομοίωση παραγωγής
μεταλλικής ταινίας περίδεσης*

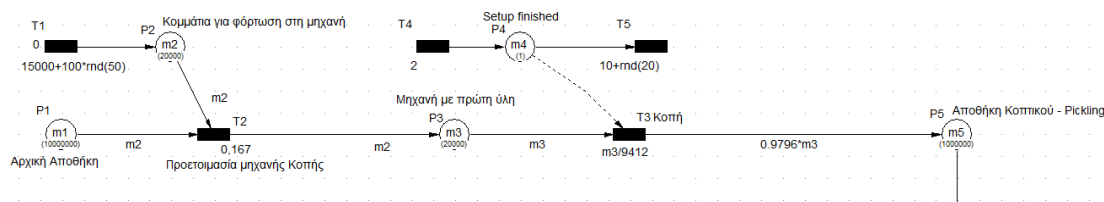
Οι τιμές που αναγράφονται στους παραπάνω πίνακες αφορούν το βασικό σενάριο και έχουν καταγραφεί μέσα από μετρήσεις κατά την παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας, μελέτη του αρχείου καταγραφών αλλά και από συνεντεύξεις που έγιναν με τους εργαζόμενους της υπο μελέτη βιομηχανίας.

Το σενάριο αναβάθμισης καθώς και το πρότυπο σενάριο λειτουργίας διαφέρουν με το βασικό μόνο στους ρυθμούς παραγωγής. Επομένως οι πίνακες θέσεων και μεταβάσεων (Πίνακες 5.1 και 5.2) είναι ακριβώς οι ίδιοι με διαφορά τους ρυθμούς οι οποίοι αλλάζουν όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

Κέντρο Εργασίας	<u>Βασικό Σενάριο</u> Tons/hour – Hours/ton	<u>Σενάριο Αναβάθμισης</u> Tons/hour – Hours/ton	<u>Πρότυπο σενάριο</u> Tons/hour – Hours/ton
Μονάδα Κοπής	9,412 – 0,106	10,73 – 0,093	17,89 – 0,056
Μονάδα Αποξείδωσης (Pickling)	8,175 – 0,122	9,44 – 0,106	11,11 – 0,09
Έλαστρο 1	3,688 – 0,27	4,31 – 0,232	5,07 – 0,197
Έλαστρο 2	4,743 – 0,21	5,015 – 0,20	5,90 – 0,169
Patenting 1	3,125 – 0,32	3,49 – 0,29	4,36 – 0,229
Patenting 2	2,9475 – 0,34	3,255 – 0,307	3,83 – 0,261
Γραμμή 3	2,748 – 0,35	3,344 – 0,30	4,18 – 0,239
Γραμμή 4	3,159 – 0,31	3,62 – 0,28	4,26 – 0,234
Γραμμή 5	2,839 – 0,345	3,153 – 0,32	3,71 – 0,269

Πίνακας 5.3 Ρυθμοί παραγωγής σεναρίων

5.1.1.1 Έναρξη παραγωγικής διαδικασίας – Διαδικασία Κοπής



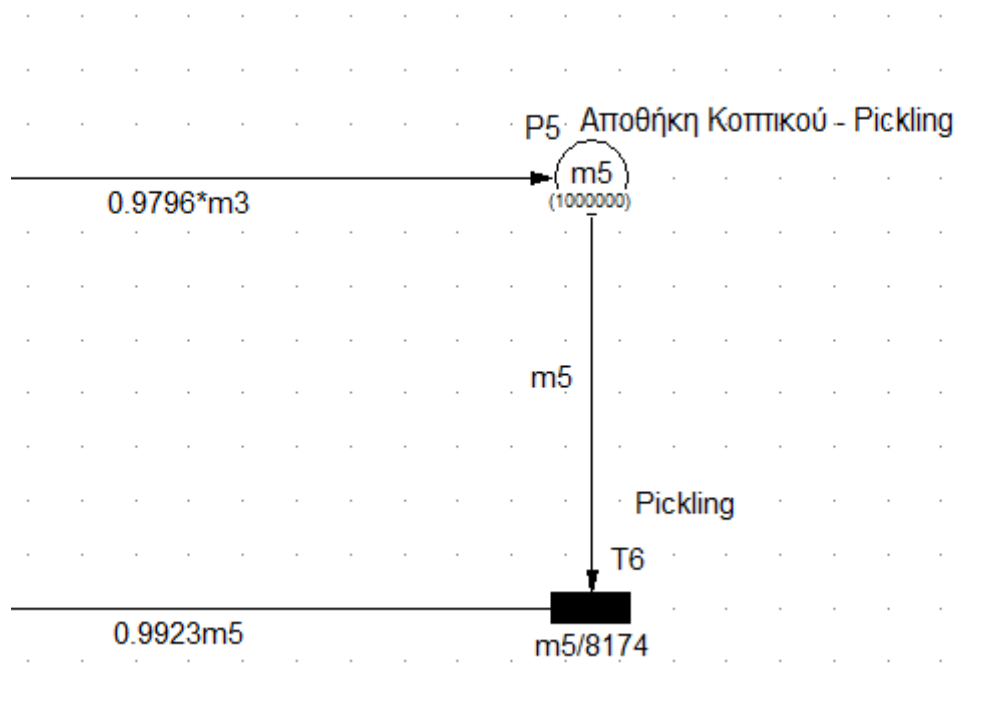
Εικόνα 5.2 Έναρξη παραγωγικής διαδικασίας, στάδιο κοπής

Η διαδικασία της κοπής ξεκινάει απο τη μετάβαση T_1 «Επιλογή Mother coil για επεξεργασία», η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια μιας τυχαίας ποσότητας ά ύλης, βάρους μεταξύ 15 και 20 τόνων, η οποία θα προχωρήσει προς την παραγωγική διαδικασία. Ακολουθεί η θέση P_2 στην οποία φαίνεται η ποσότητα που γεννήθηκε απο τη μετάβαση T_1 , την τιμή της οποίας λαμβάνει την μεταβλητή m_2 .

Η θέση P_1 μας υποδुकνεί την αποθήκη ά ύλης και έχει αρχικό απόθεμα και χωρητικότητα 10.000 τόνους. Απο τη θέση P_1 φεύγει ένα βέλος βάρους m_2 , με συνέπεια τη μείωση του αποθέματος κατά m_2 τόνους κάθε φορά. Ακολουθεί η μετάβαση T_2 «Προετοιμασία μηχανής Κοπής» κι έπειτα η θέση P_3 που δηλώνει οτι η μηχανή είναι φορτωμένη με την ά ύλη και έτοιμη για παραγωγή.

Η P_3 συνδέεται με τη μετάβαση T_3 «Κοπή» μέσω ενός βέλους πολλαπλότητας με βάρος m_3 . Εκεί γίνεται η κοπή/διαχωρισμός των Mother coil σε coils μικρότερης διάστασης. Η μετάβαση T_3 συνδέεται με ένα βέλος βάρους $0,9796 * m_3$, το οποίο μας δείχνει οτι η κατεργασία κοπής έχει κατα μέσο όρο φύρα 2,04%. Το βέλος αυτό είναι και το βέλος εισόδου της θέσης P_5 η οποία είναι η αποθήκη των ημιέτοιμων μεταξύ κοπτικού και του επόμενου κέντρου που είναι η Pickling. Ένα πολύ σημαντικό μέρος του μοντέλου στο στάδιο της κοπής είναι η καθυστέρηση που προκαλείται απο τα Setup αλλαγής διαστάσεων. Η μετάβαση T_4 «Setup - αλλαγή διαστάσεων κοπής», όπως μελετήθηκε απο την συγκεντρωμένη πληροφορία, διαρκεί 2 ώρες. Όταν το setup ολοκληρωθεί, η θέση P_4 αποκτά ένα token και με το διακεκομένο βέλος ενεργοποίησης, ενεργοποιείται η μετάβαση T_3 «Κοπή». Η T_3 παραμένει ενεργοποιημένη για διάστημα το οποίο ορίζεται απο τη μετάβαση T_5 που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 ωρών ($10 + \text{rnd}(20)$).

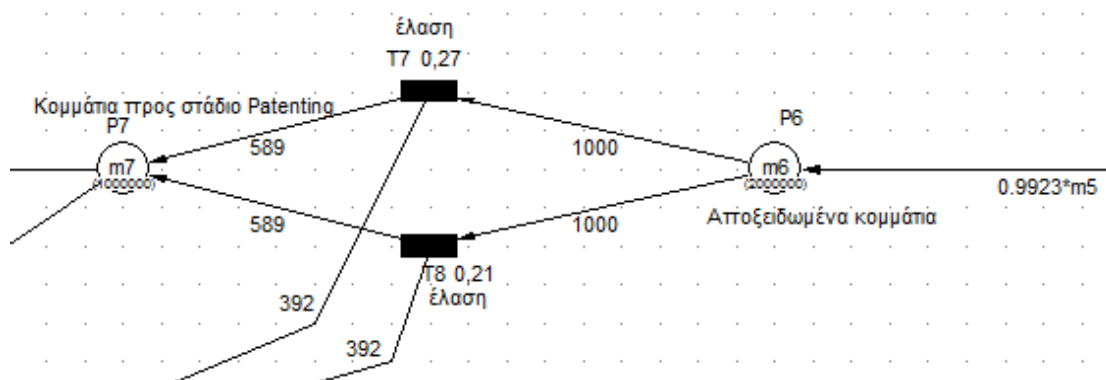
5.1.1.2 Διαδικασία Αποξείδωσης - Pickling



Εικόνα 5.3 Στάδιο Αποξείδωσης – Pickling

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3, από την αποθήκη που βρίσκεται στη θέση P_3 , τα ημιέτοιμα coils καταλήγουν στη μετάβαση T_6 «Αποξείδωση ημιέτοιμων coils – Pickling». Το βέλος που φεύγει από τη μετάβαση T_6 έχει βάρος $0.9923 * m_5$, το οποίο υποδεικνύει ότι η φύρα της επεξεργασίας αποξείδωσης είναι κατά μέσο όρο 0,77%, όπως υπολογίστηκε από την πληροφορία που συγκεντρώθηκε για το υπο μελέτη εξάμηνο.

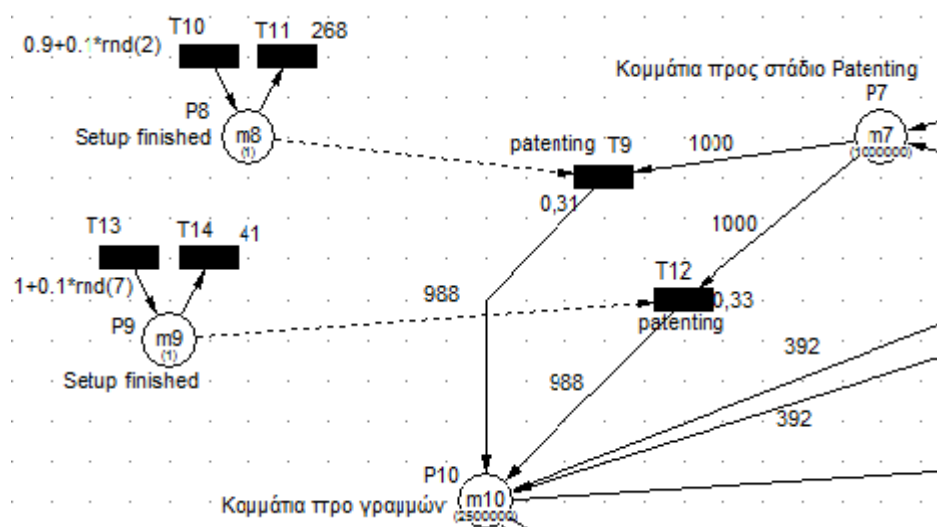
5.1.1.3 Διαδικασία Έλασης



Εικόνα 5.4 Στάδιο Έλασης

Σε αυτό το στάδιο, ξεκινώντας από δεξιά προς τα αριστερά αρχικά φαίνεται το βέλος με βάρος $0.9923 \cdot m_5$, το οποίο συνδέει τη μετάβαση T_6 της εικόνας 5.3 «Αποξείδωση ημιέτοιμων coils – Pickling» με τη θέση P_6 , η οποία είναι η αποθήκη των ημιέτοιμων προϊόντων μεταξύ των κέντρων Αποξείδωσης και Έλασης. Η Μονάδα Έλασης αποτελείται από δυο έλαστρα που λειτουργούν παράλληλα, συνεπώς τα βέλη που συνδέονται με τη θέση P_6 καταλήγουν σε καθένα από αυτά τα έλαστρα. Στο βάρος που έχουν αυτά τα δυο βέλη δόθηκε τιμή 1000 (kg). Αυτή η κίνηση έγινε ώστε να καταστεί σαφές ότι μετά το στάδιο της έλασης, το 58,9% των ημιέτοιμων περνάει στο στάδιο της Patenting, ενώ το υπόλοιπο 39,2% περνάει αμέσως στο στάδιο των τελικών γραμμών. Στις μεταβάσεις T_7 «Έλαση στο έλαστρο 1» και T_8 «Έλαση στο έλαστρο 2», οι ρυθμοί παραγωγής είναι της μορφής (ώρες/τόνο). Τα βέλη που φεύγουν από αυτές τις μεταβάσεις, σε συμφωνία με τα παραπάνω ποσοστά, έχουν βάρη 589 και 392 αντίστοιχα. Τα βέλη με βάρος 589 αποτελούν βέλη εισόδου στη θέση P_7 η οποία είναι η αποθήκη των ημιέτοιμων μεταξύ των κέντρων Έλασης και Patenting.

5.1.1.4 Διαδικασία Patenting



Εικόνα 5.5 Στάδιο Patenting

Η μοντελοποίηση του σταδίου της Patenting ξεκινάει με τα δυο βέλη που φεύγουν από τη θέση P_7 , η οποία είναι η αποθήκη ημιέτοιμων μεταξύ των μονάδων έλασης και Patenting. Τα βέλη αυτά έχουν βάρος χιλίων κιλών και καταλήγουν σε κάθε μια μηχανή Patenting αντίστοιχα. Οι μηχανές και η διαδικασία «Πρόσδωση μηχ. Ιδιοτήτων στα ημιέτοιμα HT Patenting 1,2» αναπαρίστανται από τις μεταβάσεις T_9 για την Patenting1 και T_{12} για την Patenting2.

Οι ρυθμοί παραγωγής είναι και σε αυτές τις μηχανές της μορφής (ώρες/τόνο). Η θέση P_{10} είναι η αποθήκη ημιέτοιμων που παράχθηκαν από τα κέντρα έλασης και Patenting και είναι έτοιμα να κατευθυνθούν στις τελικές κατεργασίες στις γραμμές 3,4,5.

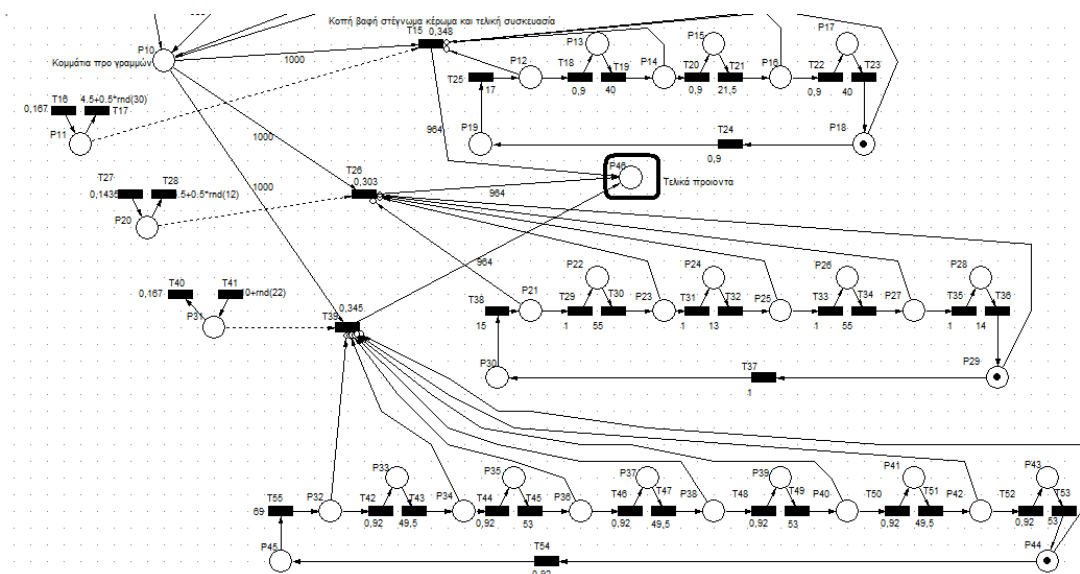
Όμοια με το στάδιο της κοπής, και στο παρών στάδιο, ανά διαστήματα παράγονται ημιέτοιμα προϊόντα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, με συνέπεια να διακόπτεται η λειτουργία της εκάστοτε μηχανής μέχρι να γίνουν οι απαραίτητες προσαρμογές (setup). Σε αυτή την περίπτωση τα χαρακτηριστικά είναι οι μηχανικές ιδιότητες και η προσαρμογή είναι η αλλαγή θερμοκρασίας στην οποία γίνεται η κατεργασία. Κάθε προσαρμογή, όπως και η διάρκειά της για κάθε μία μηχανή συμβολίζεται από τη μετάβαση T_{10} «Setup - αλλαγή θερμοκρασίας - Patenting 1» και T_{13} «Setup - αλλαγή θερμοκρασίας - Patenting 2». Όταν τελειώνει το Setup αλλαγής θερμοκρασίας για κάθε μηχανή, η θέση P_8/P_9 που ακολουθεί, γεμίζει με ένα token και μέσω του βέλους ενεργοποίησης, ενεργοποιείται η μετάβαση T_9/T_{12} και πραγματοποιείται παραγωγή. Το πόσο θα συνεχιστεί η παραγωγή καθορίζεται από

τις μεταβάσεις T_{11} / T_{14} «Παραγωγή μέχρι το επόμενο setup αλλαγής θερμοκρασίας - Patenting 1/2», οι οποίες είναι ενεργοποιημένες για συγκεκριμένο χρόνο, ο οποίος όταν ολοκληρωθεί έχουμε και πάλι setup.

Ο χρόνος που διαρκεί κάθε setup αλλά και οι χρόνοι που παρεμβάλλονται ανάμεσα στα Setup έχουν καθοριστεί μετά απο ανάλυση των δεδομένων εξαμήνου που συλλέχθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, για την Patenting 1 η διάρκεια κάθε Setup καθορίζεται απο τη συνάρτηση $0.9+0.1*rand(2)$ και ο χρόνος μέχρι το επόμενο Setup είναι κατά μέσο όρο 268 ώρες. Για την Patenting 2 η διάρκεια κάθε Setup καθορίζεται απο τη συνάρτηση $1+0.1*rand(7)$, ενώ ο χρόνος μέχρι το επόμενο Setup είναι κατά μέσο όρο 41 ώρες.

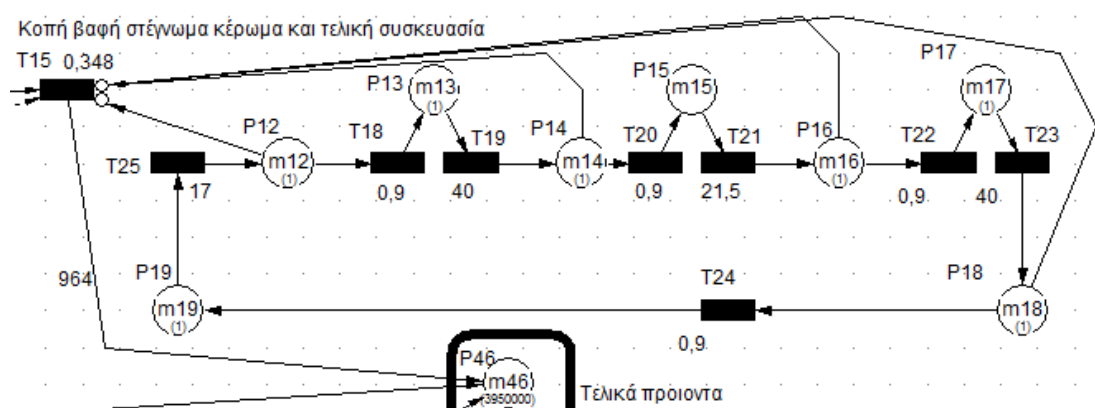
5.1.1.5 Διαδικασία τελικών κατεργασιών στις γραμμές 3,4,5

Οι τελικές κατεργασίες απο τις οποίες περνάνε τα ημιέτοιμα coils είναι κοπή, βαφή, κέρωμα και τέλος η συσκευασία τους. Αυτές οι κατεργασίες γίνονται σε κάθε μία απο τις τρεις τελικές γραμμές. Τα ημιέτοιμα προϊόντα που προορίζονται για κάθεμία απο τις τρεις γραμμές ξεκινάνε απο τη θέση P_{10} η οποία είναι και η αποθήκη τους. Οι μεταβάσεις T_{15} «Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 3», T_{26} «Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 4», και T_{39} «Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 5» αντίστοιχα, αναπαριστούν κάθε μία απο τις γραμμές και ως τιμή έχουν το ρυθμό παραγωγής τους στη μορφή (ώρες/τόνο). Στις γραμμές τα δυο βασικά χαρακτηριστικά που απαιτούν setup είναι το χρώμα και οι διαστάσεις της ταινίας περίδεσης.



Εικόνα 5.6 Στάδιο τελικών κατεργασιών στις γραμμές 3,4,5

Η μετάβαση T_{16} αναπαριστά τη διάρκεια του Setup αλλαγής χρώματος για τη γραμμή 3 (0.167 ώρες ή 10 λεπτά). Όταν τελειώσει το Setup, στη θέση P_9 που συνδέεται με την T_{16} , προστίθεται ένα token. Στην περίπτωση αυτή, μέσω του απλού βέλους ενεργοποιείται η μετάβαση T_{17} , ενώ μέσω του διακεκομένου βέλους (βέλος ενεργοποίησης), ενεργοποιείται η μετάβαση T_{15} , δηλαδή η γραμμή 3 παράγει προϊόντα. Το χρονικό διάστημα για το οποίο η παραγωγή της γραμμής δεν περιορίζεται από κάποιο Setup αλλαγής χρώματος, καθορίζεται από την τιμή της μετάβασης T_{17} ($4.5+0.5*\text{rnd}(30)$) δηλαδή μεταξύ 4,5 και 19,5 ωρών). Ακριβώς με αυτό τον τρόπο μοντελοποιούνται και τα Setup αλλαγής χρώματος των γραμμών 4 και 5.



Εικόνα 5.7 Μοντελοποίηση Setup αλλαγής διαστάσεων στη γραμμή 3

Στην εικόνα 5.7, από τη μετάβαση T_{18} μέχρι και την T_{25} μεσολαβεί ένας κύκλος από διαδοχικές μεταβάσεις και θέσεις.

Ο κύκλος αυτός αποτελεί τη μοντελοποίηση των Setup αλλαγής διαστάσεων για τη γραμμή 3 όπως παρουσιάζεται και στην παράγραφο 5.1.1. Κατ' αντιστοιχία, μοντελοποιήθηκαν τα Setup αλλαγής διαστάσεων για τις γραμμές 4 (κύκλος T_{29} με T_{38}) και 5 (κύκλος T_{42} με T_{55}). Οι μεταβάσεις T_{17} , T_{20} , T_{22} και T_{24} είναι τα Setup για κάθε αλλαγή διάστασης και ενεργοποιούνται όποτε υπάρχει token σε μια από τις θέσεις P_{12} , P_{14} , P_{16} ή P_{18} . Επίσης, όταν υπάρχει token σε κάποια από τις παραπάνω θέσεις, ενεργοποιείται και το τόξο που τις συνδέει με τη μετάβαση T_{15} «Τελικές κατεργασίες – Γραμμή 3». Αυτό είναι το «τόξο παρεμπόδισης» και παρεμποδίζει τη γραμμή από το να λειτουργεί (απενεργοποίηση μετάβασης T_{15}). Η τιμή που έχει δοθεί σε κάθε μια από τις μεταβάσεις T_{18} , T_{20} , T_{22} και T_{24} αποτελεί τη διάρκεια των Setup. Όταν αυτά εκτελεστούν, το token μεταφέρεται στη θέση που ακολουθεί, η οποία όπως φαίνεται στην εικόνα 5.6 θα είναι η P_{13} , P_{15} , P_{17} ή η P_{19} . Όποτε υπάρχει token σε μια από τις θέσεις που μόλις αναφέρθηκαν, ενεργοποιείται η μετάβαση που τη διαδέχεται η οποία θα είναι η T_{19} , T_{21} , T_{23} ή η T_{25} αντίστοιχα.

Αυτές οι μεταβάσεις δηλώνουν ότι η γραμμή είναι παραγωγική για ορισμένο διάστημα το οποίο έχει καθοριστεί, μέχρι να διακοπεί και πάλι η λειτουργία της για επόμενο setup αλλαγής διαστάσεων. Τη στιγμή που διακόπτεται η λειτουργία της γραμμής, το token περνάει στη θέση που ακολουθεί, η οποία θα είναι η P_{12} , P_{14} , P_{16} ή η P_{18} και κάπως έτσι συνεχίζει αυτός ο κύκλος μέχρι το τέλος της προσομοίωσης διακόπτοντας και ενεργοποιώντας τη γραμμή για καθορισμένα χρονικά διαστήματα που έχουν οριστεί μετά από μελέτη της σχετικής πληροφορίας. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και ο κύκλος των γραμμών 4 και 5. Τέλος, οι μεταβάσεις T_{15} , T_{26} και T_{39} συνδέονται με την τελευταία θέση P_{46} , η οποία απο τελεί την αποθήκη των τελικών προϊόντων.

5.2 Προσομοίωση και υπολογισμός OFE (Overall Factory Effectiveness)

Μετά την υλοποίηση των μοντέλων με δίκτυα Petri, σειρά είχε η προσομοίωση των σεναρίων με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό του OFE (Overall Factory Effectiveness).

Πρώτο βήμα για τον υπολογισμό του $OFE_{simulation}$ ήταν μέσα από τις κατεγγραμμένες πληροφορίες, να υπολογιστεί η μέση παραγώμενη ποσότητα ανά μήνα του εργοστασίου (P_A), για το εξάμηνο Οκτώβρης 2013 – Μάρτιος 2014. Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση του βασικού σεναρίου και μετρήσαμε πόσος χρόνος απαιτείται για την παραγωγή της μέσης μηνιαίας παραγώμενης ποσότητας, T_A .

Το επόμενο βήμα ήταν, προσομοιώνοντας το σενάριο πρότυπης λειτουργίας του εργοστασίου, να υπολογιστεί η ποσότητα P_B που παράγεται στο χρόνο T_A , κάτω από πρότυπες συνθήκες.

Έχοντας βρει τα παραπάνω, το OFE μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$OFE_{simulation} = \frac{\text{Πραγματική παραγώμενη ποσότητα εργοστασίου σε χρόνο } T_A}{\text{Θεωρητική παραγώμενη ποσότητα εργοστασίου σε χρόνο } T_A} = \frac{P_A}{P_A'}$$

Από την κατεγγραμμένη πληροφορία για το εξάμηνο Οκτώβρης 2013 – Μάρτιος 2014, προέκυψε πως η μέση παραγώμενη ποσότητα του εργοστασίου ανέρχεται στους $P_A = 3950$ τόνους. Σύμφωνα με την προσομοίωση του βασικού σεναρίου, είδαμε ότι ο χρόνος που απαιτείται για την παραγωγή αυτής της ποσότητας είναι $T_A = 640$ ώρες.

Στη συνέχεια η προσομοίωση του πρότυπου σεναρίου λειτουργίας έδειξε ότι σε 638 ώρες και κάτω από πρότυπες συνθήκες, το εργοστάσιο παράγει $P_B = 5724$ τόνους.

Άρα:

$$OFE_{simulation} = \frac{P_A}{P_B} \times 100 = \frac{3950}{5724} \times 100 = 69\%$$

Δουλεύοντας ακριβώς με τον ίδιο που περιγράφηκε βρέθηκε και το $OFE'_{simulation}$. Έγινε προσομοίωση του σεναρίου αναβάθμισης, από το οποίο προέκυψε ότι η μέση παραγόμενη ποσότητα $P_A = 3950$ τόνοι παράγεται σε χρόνο $T_A' = 538$ ώρες. Ακολουθώντας έγινε προσομοίωση του πρότυπου σεναρίου για το χρόνο T_A' , από την οποία προέκυψε ότι σε χρόνο 538 ωρών, υπό πρότυπες συνθήκες, παράγεται ποσότητα $P'_B = 4847$ τόνοι.

Άρα:

$$OFE'_{simulation} = \frac{P_A}{P'_B} \times 100 = \frac{3950}{4847} \times 100 = 81,5\%$$

5.3 Συμπεράσματα

Είναι φανερό ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζουν ελάχιστη απόκλιση με αυτά του μαθηματικού υπολογισμού. Αυτό επιβεβαιώνει τη σωστή λειτουργία του μοντέλου με δίκτυα Petri, το οποίο πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο για την προσομοίωση και άλλων σεναρίων, αλλά και να μελετηθεί με σκοπό την περαιτέρω βελτίωσή του. Κάτι ακόμα που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η διαδικασία αναβάθμισης είναι μια μακρά διαδικασία που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση των τιμών του OEE και OTE με σκοπό τον έγκαιρο και στοχευμένο εντοπισμό προβλημάτων στην παραγωγή, αλλά και την επιβεβαίωση ή μή της προόδου που γίνεται ως προς τον στόχο που έχει τεθεί.

6° Κεφάλαιο

Συμπεράσματα και Προτάσεις

6.1 Ανακεφαλαίωση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η παραγωγικότητα του εργοστασίου του Ομίλου Μ.Ι. ΜΑΪΛΛΗ που βρίσκεται στα Οινόφυτα Βοιωτίας. Το εν λόγω εργοστάσιο παράγει μεταλλική και πλαστική ταινίας περιόδου (τσέρκι). Η μελέτη παραγωγικότητας περιορίζεται στην γραμμή παραγωγής μεταλλικής ταινίας η οποία λειτουργεί ξεχωριστά από εκείνη της πλαστικής.

Αρχικά παρουσιάζονται τα κυριότερα σημεία που προέκυψαν από τη μελέτη της σχετικής με το θέμα βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, ορισμοί της παραγωγικότητας καθώς και μέθοδοι υπολογισμού και βελτίωσης της. Ακολούθως γίνεται περιγραφή της θέσης του ομίλου στην αγορά, αλλά και της εξέλιξης της θέσης αυτής με το πέρασμα των χρόνων. Ακόμα παρουσιάζονται τα προϊόντα και οι υπηρεσίες, ενώ ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη γκάμα προϊόντων που παράγει η υπό μελέτη γραμμή παραγωγής. Έπειτα, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας, αναφορά βασικών παραμέτρων της παραγωγής (χωρητικότητα αποθηκευτικών χώρων, δυναμικότητες παραγωγής κλπ.) και παρουσίαση της αναγκαίας πληροφορίας για τον υπολογισμό των δεικτών που επιλέχθηκαν. Συγκεκριμένα αποφασίστηκε να μελετηθούν οι δείκτες παραγόμενη «ποσότητα/πραγματικές μηχανώρες», «πρότυπες μηχανώρες που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα/πραγματικές μηχανώρες ανά κέντρο εργασίας», ΟΕΕ και ΟΦΕ. Ιδιαίτερα για τον ΟΦΕ αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τη γνωστή σε εμάς βιβλιογραφία είναι η πρώτη πρακτική του εφαρμογή σε πραγματικό σύστημα παραγωγής.

Σε επόμενο στάδιο γίνεται ο υπολογισμός των δεικτών, η παρουσίαση της φυσικής τους σημασίας, των αποτελεσμάτων τους και τέλος ο σχολιασμός τους. Στη συνέχεια γίνεται πρόταση αναβάθμισης της λειτουργίας του εργοστασίου, μέσω ενός σεναρίου ρεαλιστικών αλλαγών στην απόδοση των μηχανών. Με βάση τις αλλαγές που προτάθηκαν, υπολογίζεται εκ νέου η τιμή των δεικτών και με αυτό τον τρόπο προκύπτει η αύξηση της συνολικής παραγωγικότητας του εργοστασίου.

Στη συνέχεια, από την παρατήρηση της παραγωγικής διαδικασίας και από τις συνεντεύξεις με τους εργαζομένους υλοποιείται μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας με χρονικά δίκτυα Petri. Δημιουργήθηκαν τρία σενάρια λειτουργίας της γραμμής παραγωγής. Αυτά είναι το βασικό σενάριο, το σενάριο αναβάθμισης των μηχανών και τέλος το σενάριο πρότυπης λειτουργίας.

Προσομοιώθηκε η λειτουργία της γραμμής για κάθε σενάριο και καταγράφηκε ο χρόνος περάτωσης για συγκεκριμένη ποσότητα παραγωγής, αλλά και η ποσότητα παραγωγής για συγκεκριμένο χρόνο. Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκε ο δείκτης $OFE_{simulation}$ για το βασικό σενάριο και ο $OFE'_{simulation}$ για το σενάριο αναβάθμισης. Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από θεωρητικούς υπολογισμούς των αντίστοιχων μεγεθών (Κεφάλαιο 4) με σκοπό την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του μοντελου.

Ο πρώτος δείκτης που αποφασίστηκε να υπολογιστεί είναι ο δείκτης «Παραγόμενη ποσότητα (ανα εντολή παραγωγής – κωδικός υλικού)/ πραγματικές μηχανωρές». Για τον συγκεκριμένο δείκτη παρουσιάστηκε αδυναμία υπολογισμού καθώς οι πραγματικές μηχανωρές που απαιτήθηκαν για κάθε «εντολή παραγωγής – κωδικό υλικού» είναι μια μεταβλητή η τιμή της οποίας δε μπορεί να βρεθεί παρα μόνο αν γίνεται καταγραφή των αντίστοιχων χρόνων, από εργατικό προσωπικό ή κατάλληλο λογισμικό που θα εκτελεί αυτή και ενδεχομένως και άλλες πρόσθετες λειτουργίες.

Ο δεύτερος δείκτης που υπολογίστηκε ήταν ο «Πραγματικές μηχανωρές ανα κέντρο εργασίας/πρότυπες μηχανωρές που απαιτήθηκαν για την παραγόμενη ποσότητα». Όπως αποδείχτηκε αυτός ο δείκτης είναι ο ίδιος με τον ένα από τους τρεις όρους του *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*). Ο όρος αυτός είναι το *Performance Efficiency* και από τον υπολογισμό του εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι η λιγότερο αποδοτική μηχανή του εργοστασίου είναι το κοπτικό με 68%. Πρέπει να τονιστεί πως λιγότερο αποδοτική δε θεωρείται μια μηχανή που σταματάει πιο συχνά τη λειτουργία της λόγω διαφόρων ειδών καθυστερήσεων. Αυτό φανερώνει τη διαθεσιμότητα της μηχανής. Λιγότερο αποδοτική είναι η μηχανή που, όσο είναι λειτουργική, δουλεύει σε πολύ χαμηλό ποσοστό του πρότυπου ρυθμού λειτουργίας της. Για το κοπτικό, αυτό διαπιστώθηκε και κατά την παρουσία μου στο εργοστάσιο. Παρ όλα αυτά, το κοπτικό, λόγω του μεγάλου πρότυπου ρυθμού παραγωγής συγκριτικά με τις υπόλοιπες μηχανές, παραμένει αποτελεσματικό ως προς τη ζήτηση. Οι υπόλοιπες μηχανές λειτουργούν σε υψηλά ποσοστά αποδοτικότητας καθώς η μέση τιμή του δείκτη για κάθε μια βρίσκεται ανάμεσα στο 85% με 95%. Η πιο αποδοτική από όλες τις μηχανές είναι Η γραμμή 5 που λειτουργεί στο 96% της πρότυπης ικανότητας της.

Στη συνέχεια ακολούθησε ο υπολογισμός του *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*) από τον οποίο προκύπτει το ποσοστό της βέλτιστης παραγωγικής ικανότητας στο οποίο δουλεύει μια μηχανή για δεδομένο χρονικό διάστημα. Αποτελείται από τρεις επιμέρους δείκτες οι οποίοι είναι οι *Availability*, *Performance*

και Quality Efficiency. Το Quality Efficiency λόγω επανεπεξεργασίας όλων των ελαττωματικών ημιέτοιμων, λαμβάνει την τιμή 1. Ο χρόνος που απαιτείται για την επανεπεξεργασία έχει μετρηθεί και έχει θεωρηθεί ως καθυστέρηση που μειώνει τη διαθεσιμότητα της μηχανής, άρα μεταπίπτει στο Availability Efficiency. Η μηχανή με τη μικρότερη τιμή του δείκτη *OEE* είναι το Κοπτικό με ποσοστό 50,98%.

Όλες οι υπολοιπες μηχανές βρίσκονται ανάμεσα στο 71% με 80%, ποσοστά αρκετά υψηλά και κοντά στο World Class Efficiency benchmark που είναι 85%. Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι η μηχανή που είχε τις λιγότερες καθυστερήσεις πάσης φύσεως, είχε δηλαδή το υψηλότερο Availability Efficiency, είναι η μονάδα Αποξείδωσης (Pickling) με ποσοστό 85,74%.

Οι τελευταίοι δείκτες που υπολογίστηκαν είναι ο *OTE* (*Overall Throughput Effectiveness*) και στη συνέχεια ο *OFE* (*Overall Factory Effectiveness*). Σκοπός αυτών των δεικτών είναι η μέτρηση της παραγωγικότητας όλου του εργοστασίου καθώς και ο εντοπισμός της πιο αργής μηχανής (bottleneck). Απο τον υπολογισμό των *OTE* εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι για τους δεδομένους χρόνους λειτουργίας των μηχανών, το πιο αργό υποσύστημα μηχανών ήταν αυτό των παράλληλων γραμμών με πιο αργή τη γραμμή 3. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική γραμμή παραγωγής είναι ισοροπημένη καθώς δεν υπάρχει κάποια μηχανή στη μέση της γραμμής που να περιορίζει την ικανότητα των επόμενων. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης *OFE* ο οποίος έδειξε ότι το εργοστάσιο λειτουργεί στο 73,58% της πρότυπης παραγωγικής του ικανότητας. Μετά από την πρόταση αναβάθμισης των μηχανών η νέα τιμή του *OFE* ανέβηκε στο 83,7%, σχεδόν δέκα ποσοστιαίες μονάδες πάνω από το πραγματικό. Τα ίδια αποτελέσματα με πολύ μικρή απόκλιση έδειξε και η προσομοίωση του μοντέλου του εργοστασίου η οποία για το βασικό σενάριο έδωσε τιμή του *OFE* 69%, ενώ για το σενάριο αναβάθμισης έδωσε 81,5%.

6.2 Συμπεράσματα

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι το εργοστάσιο λειτουργεί ήδη σε αρκετά υψηλό επίπεδο. Αυτό προκύπτει αν δοθεί σημασία στην απόδοση των μηχανών μεμονωμένα (*OEE*), αλλά και στη συνολική απόδοση του εργοστασίου (*OFE*) που βρίσκονται κατά μέσο όρο στο 75% της πρότυπης απόδοσης. Το γεγονός ότι οι μηχανές λειτουργούν η κάθε μία με δικό της πρόγραμμα, δείχνει ότι το εργοστάσιο ακολουθεί τη πρακτική του JIT (Just In Time)

Manufacturing, που σημαίνει πως παράγει με βάση την υπάρχουσα ζήτηση. Μέσω αυτής της πρακτικής μειώνονται αισθητά τα αποθέματα που διατηρούνται και κατ' επέκταση τα αποθεματικά κόστη του εργοστασίου. Η πρακτική JIT ανήκει στη μέθοδο TPS (Toyota Production System) η οποία βασικό σκοπό έχει να ελαχιστοποιήσει οποιοδήποτε είδος «φύρας» (πχ πλεονάζον απόθεμα, μη προσοδοφόρες επενδύσεις κλπ.).

Μια ακόμα πρακτική που παρατηρήθηκε στο εργοστάσιο και υποδυναμίζει την εφαρμογή της μεθόδου TPS, είναι η ευέλικτη διαχείριση των χειριστών των μηχανών, ο αριθμός των οποίων ανα μηχανή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες της ζήτησης.[3]

Τέτοιες μεταβολές πραγματοποιούνταν μέσω εσωτερικών αλλαγών, δηλαδή μηχανές που είχαν λιγότερο φόρτο εργασίας «δάνειζαν» ένα χειριστή σε μία άλλη που τον χρειαζόταν περισσότερο.

6.3 Προτάσεις

Το συμπέρασμα της προηγούμενης παραγράφου είναι ότι η εταιρεία ακολουθεί τις πρακτικές της μεθόδου TPS (Toyota Production System) με σκοπό την ελαχιστοποίηση οποιουδήποτε πλεονάζοντος κόστους. Αυτό σε μεγάλο βαθμό εξηγεί το ήδη υψηλό επίπεδο παραγωγικότητας του εργοστασίου. Παρ' όλα αυτά, εχθρός του καλού είναι το καλύτερο και η μελέτη της συγκεκριμένης περίπτωσης δείχνει ότι υπάρχει περιθώριο βελτίωσης.

Η πρότασή μας είναι να δοθεί σημασία στις πρακτικές μίας ακόμα μεθόδου συνεχούς βελτιστοποίησης, τη μέθοδο TPM (Total Productive Maintenance). Κύριος στόχος της μεθόδου TPM είναι η μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας καθώς και της απόδοσης των μηχανών, γεγονός που εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των υπάρχοντων πόρων. Επίσης, ως στόχο έχει την εξάλειψη καθυστερήσεων που οφείλονται σε βλάβες, setup, χαμηλή ταχύτητα παραγωγής στην παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων.[21] Βασικό στοιχείο της μεθόδου αποτελεί ο δείκτης *OEE* ο οποίος λειτουργεί ως ποσοτική ένδειξη για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, την πρόοδο προς τον επιθυμητό στόχο, αλλά και προσφέρει ωφέλιμα συμπεράσματα ως προς παράγοντες που πιθανόν λειτουργούν ανασταλικά ως προς την επίτευξη του στόχου. Σε αυτό το σημείο μπορεί να προστεθεί και ο υπολογισμός του δείκτη *OFE*.

Μέσω των παραπάνω βημάτων και εφόσον η διοίκηση αποφασίσει πως είναι οικονομικά συμφέρον βάσει ανάλυσης εξόδων και κέρδους που θα προκύψουν, μπορεί να υλοποιηθεί το σενάριο αναβάθμισης των μηχανων που παρουσιάστηκε στο 4^ο Κεφάλαιο.

Κλείνοντας αναφέρονται ενδεικτικά μερικές βασικές ενέργειες που μπορούν να υλοποιηθούν σε επόμενο στάδιο ακολουθώντας τα πρότυπα της μεθόδου TPM.

- Αρχική μέτρηση δεικτών *OEE* και *OFE*.
- Καθορισμός στόχων παραγωγικότητας.
- Επαναλαμβανόμενη μέτρηση και παρακολούθηση των *OEE* και *OFE* με στόχο τη συνεχή βελτίωση ως προς την παραγωγή προϊόντων εντός των επιθυμητών προδιαγραφών, στην πρότυπη δυναμικότητα και με τη μέγιστη διαθεσιμότητα της μηχανής.
- Εγκατάσταση ενός λογισμικού υπολογισμού και παρακολούθησης του *OEE* το οποίο θα προσφέρει κατάλληλο feedback για αναγκαίες διορθωτικές κινήσεις.[3]
- Εκπαίδευση του προσωπικού στο νέο λογισμικό, καθώς και κατάλληλη εισαγωγή του στην εργασιακή εμπειρία με γνώμονα την θετική ψυχολογία και το ακμαίο ηθικό του εργαζόμενου.
- Προληπτική και όχι θεραπευτική λειτουργία. Συντήρηση των μηχανών πριν παρουσιάσουν βλάβες.
- Αφοσίωση των στελεχών στην επίτευξη των στόχων.
- Ξεχωριστή προσπάθεια ως προς την παρακίνηση των υφιστάμενων και όλων των εργαζομένων, ώστε να αφοσιωθούν στην επίτευξη των στόχων. Είναι αυτοί που βιώνουν την παραγωγική διαδικασία περισσότερο απο τον καθένα και με την απαραίτητη προσοχή μπορούν να εντοπίσουν προβλήματα έγκαιρα και με αποτελεσματικότητα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Harold Siow Song Teng (2013). Qualitative productivity analysis: Does a non-financial measurement model exist? - International Journal of Productivity and Performance Management, Vol63 (No2), 250 – 256
- [2] Samuel H. Huang, John P. Dismukes, J. Shi, Qi Su, Mousalam A. Razzak, Rohit Bodhale and D. Eugene Robinson (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis – International Journal of Productivity Research, Vol41 (No3), 513 – 527
- [3] Muthiah, K. M. N., & Huang, S. H. (2006). A review of literature on manufacturing systems productivity measurement and improvement - International Journal of Industrial Engineering, Vol1 (No 4)
- [4] Muthiah, K. M. N., Huang, S. H., & Mahadevan, S. (2008). Automating factory performance diagnostics using overall throughput effectiveness (OTE) metric. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36, pp. 811 – 824. doi: 10.1007/s00170-006-0891-x
- [5] Iannone R. and Nenni M. E. (2013). Managing OEE to Optimize Factory Performance, Operations Management, Prof. Massimiliano Schiraldi (Ed.), ISBN: 978-953-51-1013-2, InTech, DOI: 10.5772/55322. Available from: <http://www.intechopen.com/books/operations-management/managing-oeo-to-optimize-factory-performance>
- [6] K. M. N. Muthiah & S. H. Huang (2007) Overall throughput effectiveness (OTE) metric for factory-level performance monitoring and bottleneck detection, International Journal of Production Research, 45:20, 4753-4769, DOI: [10.1080/00207540600786731](https://doi.org/10.1080/00207540600786731)
- [7] Goldratt, E. M, & Cox, J. (1992). The Goal: A Process of Ongoing Improvement. North River Press; (1992)
- [10] ΕΤΗΣΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ (1 Ιανουαρίου – 31 Δεκεμβρίου 2014). (2014). Ανακτήθηκε από http://www.maillis.com/wp-content/uploads/2013/05/Notes-31.12.2014-English_Full_FINAL.pdf
- [11] Ντόκας, Α. (2014, 28 Ιουνίου). Αλλαγή σελίδας για τη Μαΐλλης. Η Καθημερινή. Ανακτήθηκε από:

<http://www.kathimerini.gr/773794/article/oikonomia/epixeirhseis/allagh-selidas-gia-th-maillhs-perase-se-amerikaniko-fund>

[12] Μαΐλλης: Το «πράσινο εργοστάσιο» στα Οινόφυτα. (2010, 25 Ιανουαρίου). Ανακτήθηκε απο: <http://www.euro2day.gr/news/enterprises/article/566252/maillhs-to-prasino-ergostasio-sta-oinofyta.html>

[13] M.J. Maillis Steel Strapping Systems. Ανακτήθηκε απο: http://www.maillis.com/wp-content/uploads/2013/08/Steel-Strapping-Leaflet_Rev03b_07-2013.pdf

[15] Φωτεινός, Φ. ΈΝΑ LOGISTICS CENTER ΓΙΑ «ΥΨΗΛΕΣ» ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ. Supply-chain.gr. Ανακτήθηκε απο: <http://www.supply-chain.gr/articles.php?artic=2236#.VjpyaStoCtY>

[16] 2004 Ετήσιο Δελτίο & Απολογισμός Χρήσης 2004.

[17] H.I.G. acquires M.J. Maillis Group. (2015, 10 Φεβρουαρίου). H.I.G. Capital News. Ανακτήθηκε απο: <http://higcapital.com/news/release/797>

[18] SCOTT, D. and PISA, R., 1998, Can overall factory effectiveness prolong Moore's Law? Solid State Technology, Vol41(No 3), 75-82

[19] De Looze, M.P., Ten Have, K., Van Rhijn, J.W., Kuijt-Evers, L.F.M., (2012). Developing the organization's productivity strategy in various sectors of industry – International Journal of Productivity and Performance Management, Vol61 (No 1), 93 - 109

[20] OEE Foundation. Ανακτήθηκε απο: <http://www.oeefoundation.org>

[21] Jitendra, K., Vimlesh, K.S., Geeta, A. (2014). Impact of TPM implementation on Indian Manufacturing Industry - International Journal of Productivity and Performance Management, Vol63 (No 1), 44 - 56

[22] Γεώργιος Τσινάρκης – Διδακτορική διατριβή, Μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής τυχαίας τοπολογίας με δίκτυα Petri, μία προσέγγιση ιεραρχικού ελέγχου, Χανιά 2007

[23] Murata T., "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", in Proc. IEEE, vol. 77, no. 4, pp.

[24] Desrochers A. and Al – Jaar R., Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems – Modeling, Control and Performance Analysis, IEEE Press, 1995.

- [25] Peterson J. "Petri nets", Computing Surveys, vol. 9, no. 3, pp. 223-252, September 1977
- [26] 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.
- [27] Zimmerman A., διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://pdv.cs.tu-berlin.de/~azi/petri.html>.
- [28] Jehng W. K., "Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems", Journal of Materials Processing Technology, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [29] Jehng W. K., "Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems", Journal of Materials Processing Technology, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.
- [30] Hofestadt R., "A petri net application to model metabolic processes", Systems Analysis Modelling Simulation, vol. 2, pp. 113 – 122, 1994.
- [31] Will J. and Heiner M., Petri nets in Biology, Chemistry and Medicine – Bibliography-, Τεχνική Έκθεση, Brandenburg University of Technology at Cottbus, 2002.
- [32] Levis A., Discrete Event Systems, Διαφάνειες, 2000.
- [33] Marsan A. M., Balbo G., Conte G., Donatelli S. and Franceschinis G., Modeling with Generalized Stochastic Petri Nets, Wiley, Series in Parallel Computing, 1995.
- [34] Petri C. A., Kommunikationen mit Automaten, 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Zuberek W. "Timed Petri Nets in Modeling and Analysis of Cluster Tools", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17, no. 5, October 2001.

- [38] Peterson J., Petri Net Theory And The Modeling of Systems, Prentice Hall Inc., 1981.
- [39] 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.
- [40] Busi N., "Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs", Theoretical Computer Science, vol. 275, no. 1, pp. 127 – 177, 2002.
- [41] Ramaswamy S. and Valavanis K., "Hierarchical Time – Extended Petri Nets (HEPN's) Based
- [42] David R. and Alla H., Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets, Springer - Verlag, 2005.
- [43] Girault C. and Valk R., Petri Nets for System Engineering, Springer, 2002.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] Βασίλης Κουϊκόγλου – Σημειώσεις μαθήματος: Προσομοίωση, Χανιά 2002http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf