



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΟΥ MDF ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε.**

υπό

**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΥ**

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

2017

© 2017 Παπαδόπουλος Αντώνιος

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

**Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

**Πρώτος Εξεταστής** Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος  
**(Επιβλέπων)** Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

**Δεύτερος Εξεταστής** Δρ. Δημήτριος Παντελής  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Τρίτος Εξεταστής** Δρ. Γεώργιος Σαχαρίδης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά την διάρκεια της δουλειάς μου καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω γιατί μου πρόσφερε την ευκαιρία να εργαστώ με ένα αντικείμενο πολύ κοντά στα ενδιαφέροντα μου και που θα ήθελα να το ακολουθήσω στο μέλλον.

Επιπλέον, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου κκ. Παντελή και Σαχαρίδη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου, για τις πολύτιμες υποδείξεις τους καθώς και για τις γνώσεις που πρόσφεραν στα μαθήματα τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε. και τα διοικητικά της μέλη για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθώς σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπιζα κατά την διάρκεια της εργασίας ήταν έγκυρη η βοήθεια τους.

Πάνω απ' όλα είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Γιάννη και Δέσποινα, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια καθώς και την ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν κατά την περίοδο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Παπαδόπουλος Αντώνιος

# **ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΟΥ MDF ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε.**

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2017

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Καθηγητής

## **Περίληψη**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύουμε και εξετάζουμε τον προγραμματισμό της γραμμής παραγωγής επενδεδυμένου MDF της εταιρείας ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε. καθώς και βελτιστοποιούμε τον όρο του ολικού χρονικού κύκλου. Αρχικά περιγράφουμε την γραμμή παραγωγής και την λειτουργία της. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τις μετρήσεις που συλλέξαμε στο εργοστάσιο και αναφέρουμε τις παραδοχές που προέκυψαν κατά την ανάλυση του προβλήματος. Έπειτα αναλύουμε το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για τους υπολογισμούς σημαντικών όρων όπως του ενεργού χρόνου επεξεργασίας, του ενεργού συντελεστή μεταβλητότητας, του χρόνου αναμονής ουράς, το ποσοστό απασχόλησης των σταθμών εργασίας καθώς και του ολικού χρονικού κύκλου. Στην συνέχεια σχολιάζουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών και διακρίνουμε τους “επικίνδυνους” όρους. Τέλος, παρουσιάζουμε πιθανούς τρόπους βελτιστοποίησης του ολικού χρονικού κύκλου και προτείνουμε τον ιδανικό κατά την γνώμη μας.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Κίνητρο διπλωματικής εργασίας.....	10
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	11
1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας.....	12
2. Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας.....	13
2.1 Εισαγωγή της ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε.....	13
2.2 Προϊόντα παραγωγής.....	14
2.3 Περιγραφή γραμμής Παραγωγής.....	14
2.4 Περιγραφή λειτουργίας.....	19
2.5 Συμπεράσματα.....	19
3. Συλλογή δεδομένων.....	20
3.1 Παραδοχές.....	20
3.2 Μετρήσεις χρόνων επεξεργασίας, βλαβών, επισκευών και εγκατάστασης.....	20
3.3 Συμπεράσματα.....	27
4. Ανάλυση δεδομένων.....	29
4.1 Μαθηματικό μοντέλο.....	29
4.2 Αποτελέσματα υπολογισμών όλων των όρων για όλους τους σταθμούς εργασίας.....	40
4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	42
5. Τρόποι βελτίωσης του συνολικού χρονικού κύκλου.....	48
5.1 Σενάριο 1.....	48
5.2 Σενάριο 2.....	49
5.3 Σενάριο 3.....	50
5.4 Σενάριο 4.....	52
5.5 Σενάριο 5.....	53
5.6 Συμπεράσματα σεναρίων.....	54
6. Επίλογος.....	57
6.1 Σύνοψη διπλωματικής εργασίας.....	57
Παράρτημα.....	58
Βιβλιογραφία.....	59

## Κατάλογος Σχημάτων

Περιεχόμενα.....	6
Σχήμα 2.3.1: Απεικόνιση δεμάτων καπλάμα. ....	15
Σχήμα 2.3.2: 1 <sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R.....	16
Σχήμα 2.3.3: 2 <sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R.....	17
Σχήμα 2.3.4: 3 <sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R.....	18
Σχήμα 4.1.1: Απεικόνιση της μεταβλητότητας μεταξύ των σταθμών εργασίας σε σειρά.....	35
Σχήμα 4.1.2: Απεικόνιση της γραμμής παραγωγής επενδεδυμένου MDF.....	39
Σχήμα 4.3.1: Διάγραμμα ενεργών χρόνων επεξεργασίας.....	42
Σχήμα 4.3.2: Διάγραμμα χρόνων στησίματος όλων των σταθμών εργασίας.....	43
Σχήμα 4.3.3: Διάγραμμα ενεργού συντελεστή μεταβλητότητας όλων των σταθμών εργασίας.....	44
Σχήμα 4.3.4: Διάγραμμα ποσοστού απασχόλησης των σταθμών εργασίας.....	44
Σχήμα 4.3.5: Διάγραμμα χρόνου αναμονής στην ουρά των σταθμών εργασίας.....	45
Σχήμα 4.3.6: Διάγραμμα χρόνου αναμονής στην επεξεργαζόμενη παρτίδα.....	46
Σχήμα 4.3.7: Διάγραμμα χρονικού κύκλου για κάθε σταθμό.....	46
Σχήμα 5.1.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 1 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	49
Σχήμα 5.2.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 2 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	50
Σχήμα 5.3.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 3 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	51
Σχήμα 5.4.1: Διάγραμμα ολικών χρονικών κύκλων για διάφορες μεγέθη παρτίδας...53	
Σχήμα 5.5.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 5 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	53
Σχήμα 5.6.1: Διάγραμμα ολικών χρονικών κύκλων.....	56

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.2.1: Χρόνοι επεξεργασίας 1 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	21
Πίνακας 3.2.2: Χρόνοι επεξεργασίας 2 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	22
Πίνακας 3.2.3: Χρόνοι επεξεργασίας 3 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	22
Πίνακας 3.2.4: Χρόνοι επεξεργασίας 4 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	22
Πίνακας 3.2.5: Χρόνοι επεξεργασίας 5 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	23
Πίνακας 3.2.6: Χρόνοι επεξεργασίας 6 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	24
Πίνακας 3.2.7: Χρόνοι επεξεργασίας 7 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	25
Πίνακας 3.2.8: Χρόνοι στησίματος 1 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	25

Πίνακας 3.2.9: Χρόνοι στησίματος 4 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	25
Πίνακας 3.2.10: Χρόνοι στησίματος 5 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	25
Πίνακας 3.2.11: Χρόνοι στησίματος 6 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	26
Πίνακας 3.2.12: Χρόνοι στησίματος 7 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.....	26
Πίνακας 3.2.13: Χρόνοι βλαβών και επισκευών για όλους τους σταθμούς εργασίας. .....	27
Πίνακας 4.1.1: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για χρόνους κατεργασίας και στησίματος.....	29
Πίνακας 4.1.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών όρων στην περίπτωση της φυσικής μεταβλητότητας .....	31
Πίνακας 4.1.3.: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών όρων στην περίπτωση της μεταβλητότητας προβλέψιμων διακοπών.....	33
Πίνακας 4.1.4: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών παραγόντων στην περίπτωση της μεταβλητότητας των μη προβλέψιμων διακοπών.....	34
Πίνακας 4.1.5: Τιμές μέσων χρόνων και ρυθμών αφίξεων για όλους τους σταθμούς εργασίας.....	35
Πίνακας 4.1.6: Αποτελέσματα υπολογισμών των όρων <b>ca, i2, ra, ui</b> και <b>cd, i2</b> για τον 5 <sup>ο</sup> σταθμό εργασίας.....	36
Πίνακας 4.1.7: Αποτελέσματα της διαδικασίας για την εύρεση του χρονικού κύκλου. .....	38
Πίνακας 4.2.1: Αποτελέσματα βασικών όρων στην περίπτωση της φυσικής μεταβλητότητας.....	40
Πίνακας 4.2.2: Αποτελέσματα βασικών όρων στην περίπτωση της μεταβλητότητας προβλέψιμων διακοπών.....	40
Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα βασικών όρων στη περίπτωση της μεταβλητότητας μη προβλέψιμων διακοπών.....	41
Πίνακας 4.2.4: Τελικά αποτελέσματα για τους όρους <b>te, se, se2, ce</b> και <b>ce2</b> για όλους τους σταθμούς εργασίας.....	41
Πίνακας 4.2.5: Αποτελέσματα υπολογισμών των όρων <b>ca, i2, ra, ui</b> και <b>cd, i2</b> για όλους τους σταθμούς εργασίας.....	41
Πίνακας 4.2.6: Αποτελέσματα χρονικού κύκλου για όλους τους σταθμούς εργασίας. .....	41



Πίνακας 5.2.1: Τιμές απασχόλησης και συντελεστή μεταβλητότητας σταθμών 2 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	50
Πίνακας 5.3.1: Τιμές χρονικών κύκλων, απασχόλησης και συντελεστή μεταβλητότητας 5 <sup>ου</sup> ,6 <sup>ου</sup> και 7 <sup>ου</sup> σταθμού πριν και μετά την εφαρμογή του 3 <sup>ου</sup> σεναρίου.....	51
Πίνακας 5.4.1: Ολικός χρονικός κύκλος για διάφορα μεγέθη παρτίδας 5 <sup>ου</sup> ,6 <sup>ου</sup> και 7 <sup>ου</sup> σταθμού εργασίας. ....	52
Πίνακας 5.6.1: Απεικόνιση μείωσης χρονικών κύκλων. ....	54

## 1.Εισαγωγή

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

### 1.1 Κίνητρο διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού. Στόχος της είναι η εξοικείωση του φοιτητή σε πρόβλημα πραγματικών συνθηκών και η αντιμετώπιση των καθημερινών δυσκολιών των γραμμών παραγωγής ενός εργοστασίου.

Κίνητρο για την παρούσα εργασία αποτέλεσε η εξαγωγή συμπερασμάτων για τον προγραμματισμό παραγωγής της εταιρείας ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε. και συγκεκριμένα την παραγωγή επενδεδυμένου MDF. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για το επενδεδυμένο MDF και το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε.

Το επενδεδυμένο MDF πρόκειται για υψηλής αντοχής ξύλο που δημιουργείται από την ένωση δύο φύλλων καπλαμά με γυμνό MDF. Το γυμνό MDF πρόκειται για ινιοσανίδα μέσης πυκνότητας και προέρχεται από την θερμή συμπίεση ινών ξύλου, με πρόσμιξη ρητίνης. Στην πάνω και κάτω επιφάνεια προσκολλάται ο καπλαμάς ο οποίος δίνει σχήμα στο γυμνό MDF. Το επενδεδυμένο MDF αποτελεί ιδανικό υποκατάστατο του ξύλου, μπορεί να επεξεργαστεί μηχανικά με οποιοδήποτε τρόπο, να δώσει οποιοδήποτε επιθυμητό περίγραμμα, καμπύλη ή σκάλισμα και εξαιτίας της καλής και λείας επιφάνειας μπορεί να φινιρισθεί και να επενδυθεί με διάφορα επιστρώματα. Είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί σε προϊόντα επιπλοποιίας, πόρτες, κορνιζοποιεία κ.α.

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι η εύρεση βασικών όρων της γραμμής παραγωγής ενός εργοστασίου με την βοήθεια εξισώσεων που αναπτύχθηκαν από τους Hopp and Spearman [3].

## 1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια ένα μέρος της γραμμής παραγωγής της εταιρείας επεξεργάζεται σειριακά ενώ το υπόλοιπο μέρος επεξεργάζεται σε παρτίδες. Αρχικά οι πρώτες έρευνες και δημοσιεύσεις ξεκίνησαν στις αρχές του 1950 και εστίαζαν στην σειριακή επεξεργασία και στο μέγεθος των ενδιάμεσων χώρων αποθήκευσης. Στην συνέχεια, εξέτασαν και γραμμές παραγωγής όπου επεξεργάζονται σε παρτίδες.

Οι Dallery και Gershwin [5] εξέτασαν τις πιο διαδεδομένες μεθόδους και δημοσιεύσεις πάνω στα συστήματα σειριακής επεξεργασίας και συγκέντρωσαν τα πιο σπουδαία αποτελέσματα και υποθέσεις. Ανέλυσαν τις ιδιότητες και τα κύρια χαρακτηριστικά της σειριακής επεξεργασίας καθώς και τις διαφορετικές κατηγορίες που υπάρχουν.

Ο Horp [4] και οι Horp and Spearman [3], ανέλυσαν τους βασικούς όρους μίας γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, παρουσίασαν την αλληλεπίδραση των όρων αυτών, και εστίασαν στον όρο μεταβλητότητα ενός συστήματος καθώς και στην επίδραση του. Τέλος, ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό των όρων αυτών, στην περίπτωση της σειριακής επεξεργασίας καθώς και για επεξεργασία σε παρτίδες.

Οι Liberopoulos και Tsarouhas [1],[2] εξέτασαν τις γραμμές παραγωγής εργοστασίων με στόχο την βελτιστοποίηση του όγκου καθημερινής παραγωγής προϊόντων, εστιάζοντας σε τρόπους μείωσης των χρόνων βλαβών και επισκευών που επηρεάζουν την συνολική ημερήσια παραγωγή. Πρόβλεψαν ότι η προσθήκη ενδιάμεσων χώρων αποθήκευσης σε σειριακή επεξεργασία, αυξάνει την ημερήσια παραγωγή και επίσης όταν ο τεχνικός επιδιορθώνει προσεκτικά και χωρίς βιασύνη τότε αυξάνεται ο χρόνος μέχρι την επόμενη βλάβη και συνεπώς μειώνονται οι διακοπές στην γραμμή λειτουργίας.

### 1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε πέντε ενότητες που καταλαμβάνουν τα κεφάλαια 2 - 6, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο κεφάλαιο 2 αναπτύσσουμε την παραγωγική διαδικασία της εταιρείας και τα προϊόντα που παράγει. Επιπλέον, αναλύουμε την γραμμή παραγωγής της και περιγράφουμε την λειτουργία της.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζουμε μέσω πινάκων τις μετρήσεις των χρόνων επεξεργασίας, στησίματος, βλαβών και επισκευών των σταθμών εργασίας. Επιπροσθέτως αναλύουμε τις παραδοχές που προέκυψαν κατά την περίοδο των μετρήσεων για τον υπολογισμό των βασικών όρων του μαθηματικού μοντέλου.

Στο κεφάλαιο 4 παραθέτουμε το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των βασικών όρων. Επεξηγούμε τους υπολογισμούς για έναν από τους σταθμούς εργασίας και παρουσιάζουμε μέσω πινάκων τα αποτελέσματα των υπολογισμών για όλους τους σταθμούς εργασίας. Επιπλέον, μέσω διαγραμμάτων αναπτύσσουμε τα συμπεράσματα μας για τις τιμές των όρων αυτών.

Στο κεφάλαιο 5 αναλύουμε πιθανούς τρόπους βελτίωσης του ολικού χρονικού κύκλου και καταλήγουμε στον, κατά την δική μας άποψη, ιδανικό να συμβεί.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.

## **2. Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας**

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε την εταιρεία ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε. και την παραγωγή προϊόντων της. Επιπλέον, θα αναφέρουμε τις γραμμές παραγωγής της και θα εστιάσουμε, αναλύσουμε στην πιο σημαντική της. Τέλος θα περιγράψουμε την λειτουργία της και θα παραστήσουμε τα συμπεράσματα μας.

### **2.1 Εισαγωγή της ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε**

Η εταιρεία ΟΞΥΛΟΣ Α.Β.Ε.Ε., με 30ετή εμπειρία στον χώρο του ξύλου και κύρια δραστηριότητα την παραγωγή και επεξεργασία επενδεδυμένου MDF και εσωτερικών – εξωτερικών πορτόφυλλων, κατέχει μία από τις πρώτες θέσεις στο χώρο της βιομηχανίας ξύλου. Με έδρα το Αντίρριο Ναυπακτίας, σε μικρή απόσταση από την γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου, η εταιρεία βρίσκεται σε κομβικό σημείο με τους συγκοινωνιακούς άξονες της Δυτικής Ελλάδας (Ιόνια οδός – Λιμάνι Πάτρας), στην πύλη με την Ευρώπη.

Η εταιρεία τα τελευταία χρόνια έχει μεταφερθεί σε νέες ιδιόκτητες κτιριακές εγκαταστάσεις συνολικής έκτασης 16000 τ.μ. Σήμερα απασχολεί 22 εξειδικευμένους εργαζομένους στον χώρο της ξυλείας. Αξίζει να σημειωθεί η επένδυσή της σε μηχανολογικό εξοπλισμό σύγχρονης τεχνολογίας που στόχο έχει την βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και σε συνδυασμό με άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό της, παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων σε διάφορες ποικιλίες και στις πιο απαιτούμενες διαστάσεις.

Στόχος της είναι η συνεχής εξέλιξη της, με νέες καινοτόμες ιδέες στο χώρο της ξυλείας. Το τελευταίο επίτευγμα της είναι η νέα σειρά υλικών που αφορά συνδυασμούς καπλαμάδων σε πορτόφυλλα ή ντουλαπόφυλλα, είναι κάτι πρωτοποριακό για τα ελληνικά δεδομένα και τείνει να φέρει αέρα ανανέωσης στον χώρο. Τα νέα αυτά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιφάνειες για θωρακισμένες πόρτες, μεσόπορτες και πόρτες ντουλάπας. Με υπερσύγχρονο κέντρο εργασίας (Παντογράφος CNC) και πληθώρα σχεδίων είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις πιο απαιτητικές επιθυμίες του πελάτη.

Παρά την οικονομική κρίση της χώρας η εταιρεία τα τελευταία χρόνια προσπαθεί να βελτιώνεται συνεχώς στον χώρο της ξυλείας. Πρωτεύοντας ρόλος σε

αυτό το επίτευγμα είναι οι συμφωνίες με τις καλύτερες Ελληνικές εταιρείες καθώς και με εταιρείες του εξωτερικού και συγκεκριμένα της Τουρκίας, Βουλγαρίας, Αλβανίας, Κύπρου και Ελβετίας.

## 2.2 Προϊόντα παραγωγής

Αρχικά η εταιρεία παράγει επενδεδυμένο MDF ή NOBOPIAN σε όλες τις απαιτούμενες διαστάσεις με προφίλ φυσικού ή βιομηχανικού καπλαμά. Είναι ικανή να επεξεργαστεί MDF πάχους 4,6,8,16,18,25,29mm, όπως επίσης και όλες τις ποικιλίες καπλαμά (οξιά, δρυς φυσικό και βιομηχανικό, ανεγκρέ φυσικό και βιομηχανικό, καρυδιά, καρολίνα, ζεμπράνο κ.α.) .

Επιπροσθέτως, παράγει εσωτερικές πόρτες και πορτόφυλλα πορτών ασφαλείας. Με υπερσύγχρονο μηχανολογικό εξοπλισμό είναι ικανή να παράγει πόρτες από επενδεδυμένο καπλαμά καθώς και πόρτες Laminate. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε την παραγωγή κουζίνας, ντουλάπας και άλλα έπιπλα εσωτερικού χώρου. Η παρούσα διπλωματική εστιάζεται στην γραμμή παραγωγής επενδεδυμένου MDF καθώς είναι η πιο σημαντική, η πιο δύσκολη και συνάμα η πιο κερδοφόρα από τις υπόλοιπες.

## 2.3 Περιγραφή γραμμής Παραγωγής

Η παραγωγή επενδεδυμένου MDF είναι η κύρια γραμμή παραγωγής του εργοστασίου. Η εταιρεία προμηθεύεται από ελληνικά εργοστάσια φυσικό ή βιομηχανικό καπλαμά και από εργοστάσια του εξωτερικού γυμνό MDF.

Ο καπλαμάς εισέρχεται στο εργοστάσιο σε δέματα. Κάθε δέμα εισέρχεται στο 1<sup>ο</sup> μηχάνημα (κοπτικό μηχάνημα) στο οποίο γίνεται η κοπή του μήκος του δέματος. Το αρχικό μήκος του καπλαμά είναι συνήθως 3.20 μέτρα και το τελικό 3.05 μέτρα.



*Σχήμα 2.3.1: Απεικόνιση δεμάτων καπλαμά.*

Στην συνέχεια το δέμα οδηγείται στο 2<sup>ο</sup> μηχάνημα (κοπτικό μηχάνημα) μέσω ιμάντων, όπου γίνεται η διαδικασία της κοπής πλάτους του δέματος. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα γιατί ο καπλαμάς στην επιφάνεια του έχει ατέλειες, όπως ρόζους και ακανόνιστα "νερά" ξύλου. Κατά την κοπή του δέματος και στις δύο πλευρές, τοποθετείται κόλλα μέσω ενός ράουλου σε κάθε μια από αυτές. Η όλη διαδικασία της κοπής και της προσθήκης κόλλας γίνεται μηχανικά. Το μόνο που απαιτείται από τους εργαζομένους είναι η σωστή τοποθέτηση του δέματος στο πάνελ εργασίας με στόχο τον καθαρισμό των ατελειών του δέματος. Το δέμα κατά το τέλος της διαδικασίας οδηγείται μέσω ιμάντων στο επόμενο στάδιο.

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι ίσως και το πιο σημαντικό. Το δέμα μετά το πέρας της διαδικασίας αλλάζει μορφή δηλαδή γίνεται φύλλο καπλαμά. Ένα δέμα καπλαμά ισοδυναμεί με 2 φύλλα καπλαμά. Το συρραπτικό μηχάνημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαδικασία απαιτεί εξειδίκευση του χειριστή. Το δέμα περιέχει 25-30 μικρά φύλλα καπλαμά όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.1. Ο χειριστής τοποθετεί ένα ένα τα μικρά φύλλα του καπλαμά στην εισαγωγή του μηχανήματος. Η μηχανή συρράβει τα μικρά φύλλα και δημιουργεί ένα φύλλο καπλαμά διαστάσεων μεγαλύτερο από 305x185 (μήκος x πλάτος). Όταν γίνει η συρραφή ενός φύλλου καπλαμά το μηχάνημα μέσω αισθητήρων το οδηγεί με ιμάντες στην έξοδο του και το στοιβάζει σε παρτίδες μεγέθους 30 τεμαχίων. Όταν ολοκληρωθεί μία παρτίδα ένας

χειριστής ανυψωτικού μηχανήματος (κλάρκ) την οδηγεί στον χώρο αποθήκευσης δίπλα από την επόμενη εργασία

Στην συνέχεια η διαδικασία λαμβάνει μέρος σε διαμορφωμένο σταθμό εργασίας στον οποίο 2 εργαζόμενοι τοποθετούν κολλητική ταινία στις 2 μικρές πλευρές του φύλλου καπλαμά καθώς και σε ατέλειες ανάμεσα στα μικρά φύλλα οι οποίες προκύπτουν κατά την συρραφή. Η διαδικασία είναι ιδιαίτερη σημαντική καθώς μηδενίζει το ενδεχόμενο λάθους στο επόμενο στάδιο.



**Σχήμα 2.3.2: 1<sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R**

Η διαδικασία της παραγωγής συνεχίζει σε ένα υπερσύγχρονο μηχάνημα πρέσας. Στην αρχή του μηχανήματος είναι τοποθετημένο το εισαγόμενο γυμνό MDF, μετακινείται μηχανικά και τοποθετείται στην πάνω και κάτω επιφάνεια κόλλα μέσω ειδικού μηχανισμού (Σχήμα 2.3.2). Στην συνέχεια μετακινείται με κινούμενα ροδάκια τα οποία βοηθάνε στην αφαίρεση επιπρόσθετης κόλλας που προκύπτει από την προηγούμενη διαδικασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι για να γίνει σωστά και χωρίς λάθη η διαδικασία του πρεσαρίσματος, το γυμνό MDF δεν πρέπει να έχει αρκετή κόλλα



στις δύο επιφάνειες του, κάτι που συνιστά αρκετά σημαντική την προηγούμενη διαδικασία. Ακριβώς πάνω από το κινούμενα ροδάκια είναι τοποθετημένα τα φύλλα καπλαμά τα οποία έχουν προκύψει από την προηγούμενη διαδικασία όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.3.



**Σχήμα 2.3.3: 2<sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R.**

Ταυτόχρονα με την κίνηση του MDF δύο εργαζόμενοι τοποθετούν ένα φύλλο καπλαμά στο πάνελ εργασίας (το οποίο λαμβάνει χώρα αμέσως μετά το στάδιο με τα κινούμενα ροδάκια) και το γυμνό MDF μετακινείται ακριβώς πάνω στο φύλλο. Στην συνέχεια τοποθετείται άλλο ένα φύλλο καπλαμά στην πάνω επιφάνεια του MDF. Η διαδικασία συνεχίζεται μέσω του κινούμενου πάνελ το οποίο τοποθετεί το επεξεργασμένο προϊόν μέσα σε ένα θάλαμο. Στον θάλαμο γίνεται το πρεσάρισμα κατά το οποίο τα 2 φύλλα καπλαμά και το γυμνό MDF μετατρέπονται στο τελικό προϊόν το οποίο ονομάζεται φύλλο επενδεδυμένου MDF. Κατά το πρεσάρισμα η θερμοκρασία του θαλάμου είναι 130°C και η διαδικασία διαρκεί από 70 δευτερόλεπτα μέχρι 110 δευτερόλεπτα ανάλογα το πάχος του MDF. Κατά την έξοδο από τον θάλαμο το προϊόν οδηγείται μέσω του κινούμενου πάνελ στο τέλος του μηχανήματος όπου και στοιβάζεται σε παρτίδες 30 τεμαχίων. Όταν ολοκληρωθεί η παρτίδα τότε ο χειριστής ανυψωτικού μηχανήματος την μεταφέρει στο χώρο αποθήκευσης δίπλα από τον επόμενο σταθμό εργασίας (Σχήμα 2.3.4).



**Σχήμα 2.3.4: 3<sup>ο</sup> τμήμα μηχανήματος πρέσας Colombo R.**

Το επόμενο βήμα είναι η διαδικασία του κουρέματος όπου βρίσκεται σε έναν διαμορφωμένο σταθμό εργασίας. Είναι αρκετά εύκολη αλλά συνάμα αρκετά σημαντική για την ολοκλήρωση του τελικού προϊόντος. Δεν απαιτείται κάποιο μηχάνημα παρά μόνον δύο εργαζομένους. Το επενδεδυμένο φύλλο έχει ατέλειες όσον αφορά τις άκρες των πλευρών του. Αυτό συμβαίνει γιατί το φύλλο του καπλαμά είναι ελάχιστα μεγαλύτερο σε διάσταση από το γυμνό MDF. Οπότε οι επιπλέον επιφάνειες πρέπει να αφαιρεθούν για να είναι όλο ομοιόμορφο. Το κούρεμα γίνεται μέσω κοπτικών εργαλείων. Το προϊόν στοιβάζεται ξανά σε παρτίδες και μετακινείται στο επόμενο σταθμό.

Ο τελικός σταθμός είναι το τριβείο. Στην αρχή του μηχανήματος τοποθετείται η παρτίδα που έχει προκύψει από τον προηγούμενο σταθμό. Ένας εργαζόμενος τοποθετεί ένα ένα τα επενδεδυμένα φύλλα στον θάλαμο όπου γίνεται η τριβή της πάνω και κάτω επιφάνειας. Στην συνέχεια ωθούνται από αυτόν και στοιβάζονται πάλι σε παρτίδες. Όταν μία από αυτές ολοκληρωθεί απομακρύνεται στην αποθήκη των τελικών προϊόντων μέσω ανυψωτικού μηχανήματος.

## 2.4 Περιγραφή λειτουργίας

Η εταιρεία λειτουργεί 5 μέρες την εβδομάδα από Δευτέρα έως Παρασκευή. Υπάρχει μία βάρδια λειτουργίας που διαρκεί 8 ώρες. Οι εργαζόμενοι που απασχολούνται στην συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής είναι 7. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι κατά τις θερινές περιόδους οι εργαζόμενοι αυξάνονται καθώς υπάρχουν και επιπλέον βάρδιες λειτουργίας λόγω της μεγάλης ζήτησης.

## 2.5 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η εταιρεία παρά την οικονομική κρίση προσπαθεί να διατηρήσει την καλή θέση της στον χώρο της ξυλείας. Πρόκειται για έναν χώρο με μεγάλο κορεσμό αλλά οι νέες συμφωνίες και οι καινοτόμες ιδέες βοηθούν αρκετά την εταιρεία στην επίτευξη των στόχων της.

Η γραμμή παραγωγής της είναι αρκετά σύγχρονη με καινούργια μηχανήματα αλλά και με μηχανήματα σπάνια στο χώρο του ξύλου. Η συρραπτική μηχανή της προσφέρει ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι των άλλων εταιρειών καθώς είναι αρκετά σπάνια. Λόγω αυτού του μηχανήματος κατέχει μια από τις πρώτες θέσεις στην Ελλάδα όσον αφορά την παραγωγή επενδεδυμένου MDF. Η πρέσα που χρησιμοποιεί είναι υπερσύγχρονη και μάλιστα είναι ικανή να επεξεργάζεται καπλαμά και laminate( veneer and laminate press). Το συγκεκριμένο γεγονός την βοηθά στην παραγωγή άλλων προϊόντων με μία πρέσα.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι η εταιρεία επενδύει στην εξειδίκευση των εργαζομένων της. Οι σταθμοί εργασίας απαιτούν εμπειρία και γνώση για το ξύλο. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνει να ελαχιστοποιήσει ή ακόμα και να μηδενίσει το περιθώριο λάθους στο τελικό προϊόν.

### 3. Συλλογή δεδομένων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις μετρήσεις που έγιναν σε κάθε σταθμό εργασίας καθώς και τις παραδοχές που προέκυψαν κατά την συλλογή δεδομένων.

#### 3.1 Παραδοχές

Για την ευκολότερη ανάλυση των δεδομένων, αποφασίστηκε οι βάρδιες της γραμμής παραγωγής επενδεδυμένου MDF να διαρκούν 6 αντί για 8 ώρες. Η συγκεκριμένη παραδοχή έγινε γιατί μερικά από τα μηχανήματα (συρραπτική, πρέσα) χρησιμοποιούνται και για τις άλλες γραμμές παραγωγής. Σύμφωνα με τους υπεύθυνους της εταιρείας τα συγκεκριμένα μηχανήματα λειτουργούν 2 ώρες την ημέρα για την εξυπηρέτηση των άλλων γραμμών. Συρραφή και πρεσάρισμα 2 ωρών μπορεί να καλύψει όλη την ημερήσια παραγωγή πορτών.

Ο χρόνος κατεργασίας κάθε σταθμού εργασίας υπολογίστηκε από την στιγμή που το επεξεργαζόμενο προϊόν εισέρχεται στο πάνελ εργασίας έως ότου να ολοκληρωθεί η κατεργασία του. Επιπροσθέτως, ο χρόνος στησίματος (setup time) μετρήθηκε από την χρονική στιγμή όπου ο κάθε σταθμός εργασίας σταματά την λειτουργία της επεξεργασίας του, μέχρι να ξεκινήσει να ξανά επεξεργάζεται το κατεργαζόμενο υλικό. Η συγκεκριμένη παύση της κατεργασίας συμβαίνει όταν το μηχανήμα σταματά να λειτουργεί, με σκοπό να προετοιμαστεί για την συνέχεια της επεξεργασίας. Αυτό συμβαίνει λόγω ότι η εταιρεία επεξεργάζεται σε αρκετά μηχανήματα της με παρτίδες μεγέθους 30 τεμαχίων. Όταν ολοκληρώνεται μια παρτίδα μεγέθους 30 τεμαχίων οφείλεται να προετοιμαστεί κάθε σταθμός εργασίας για την εξυπηρέτηση της επόμενης. Αξίζει να σημειωθεί πως ο χρόνος παύσης διαχωρίστηκε από τον χρόνο αναμονής για επεξεργασία (idle time). Τέλος, ο χρόνος βλαβών και επισκευών δόθηκαν από τον μηχανολόγο μηχανικό της εταιρείας.

#### 3.2 Μετρήσεις χρόνων επεξεργασίας, βλαβών, επισκευών και εγκατάστασης

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα παραθέσουμε τις μετρήσεις των προαναφερθέντων χρόνων σε πίνακες. Στο σημείο αυτό να σημειώσουμε ότι όλοι οι χρόνοι αναφέρονται σε δευτερόλεπτα (sec). Επιπλέον, στους παρακάτω πίνακες το n υποδηλώνει τον αριθμό των μετρήσεων.

Οι χρόνοι κατεργασίας, για όλους τους σταθμούς εργασίας παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	36,97	28	24
2	42,33	29	82,79
3	28,87	30	80,84
4	43,31	31	47,28
5	47,22	32	28,16
6	64,31	33	38,76
7	76,45	34	37,06
8	37,08	35	59,72
9	31,71	36	78,23
10	50,58	37	53,24
11	80,03	38	21,69
12	32,96	39	36,98
13	36,8	40	20,72
14	37	41	54,29
15	76,56	42	30,61
16	40,18	43	47,28
17	30,41	44	22,91
18	73,56	45	20
19	104,4	46	29,59
20	63,18	47	75,65
21	109,95	48	37,11
22	46,27	49	25
23	64,26	50	40,05
24	38,56	51	27,02
26	22,71	52	52,14
27	22,68		

*Πίνακας 3.2.1: Χρόνοι επεξεργασίας 1<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	89,39	14	110,07
2	80,51	15	110,85
3	108,88	16	110,41
4	115,79	17	93,81
5	99,67	18	88,66
6	103,77	19	97,18
7	152,61	20	90,72
8	100,13	21	102,56
9	99,57	22	97,89
10	76,41	23	93,37

11	78,69	24	88,67
12	86,83	25	118,21
13	94,7		

*Πίνακας 3.2.2: Χρόνοι επεξεργασίας 2<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	138,02	11	131
2	188,7	12	55,03
3	217,29	13	77,59
4	72,06	14	65,59
5	142,22	15	177,81
6	261,02	16	154,17
7	146,58	17	135,24
8	115,04	18	135,98
9	81,36	19	135,55
10	165,16	20	114,49

*Πίνακας 3.2.3: Χρόνοι επεξεργασίας 3<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	21,3	21	21,5
2	19,5	22	20,22
3	19,78	23	21,33
4	20,35	24	20,36
5	21,58	26	18,1
6	19,68	27	19,45
7	19,45	28	19,69
8	19,25	29	20,46
9	20,98	30	20,11
10	22,36	31	20,06
11	18,99	32	19,65
12	19,56	33	19,69
13	21,07	34	19,88
14	20,95	35	18,7
15	18,3	36	18,9
16	20,58	37	21,7
17	18,45	38	21,03
18	18,98	39	19,83
19	19,15	40	20,06
20	19,78	41	19,75

*Πίνακας 3.2.4: Χρόνοι επεξεργασίας 4<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	176,21	28	258,75
2	323,74	29	210,89
3	188,34	30	361,6
4	185,79	31	208,32
5	226,24	32	216,75
6	221,79	33	257,95
7	230,07	34	210,95
8	278,58	35	205,42
9	259,66	36	195,83
10	233,66	37	193,91
11	284,66	38	258,23
12	289,66	39	207,29
13	211,08	40	226,6
14	194,84	41	168,75
15	189,82	42	216,73
16	193,22	43	272,78
17	206,64	44	225,79
18	269,58	45	225,61
19	305,07	46	194,7
20	280,72	47	203,36
21	201,56	48	244,03
22	226,98	49	173,49
23	182,48	50	193,71
24	219,15	51	229,07
26	232,4	52	227,68
27	213,93	53	205,46

*Πίνακας 3.2.5: Χρόνοι επεξεργασίας 5<sup>ov</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	30,49	32	29,2
2	26,64	33	30,55
3	35,56	34	25,65
4	29,16	35	35,26
5	33,05	36	29,56
6	25,57	37	32,05
7	32,42	38	25,59
8	48,18	39	32,41
9	28,86	40	38,78
10	29,43	41	29,43
11	35,35	42	28,86
12	31	43	25,44
13	31,57	44	28,41
14	25,44	45	47
15	25,74	46	39

16	28,41	47	36,95
17	47,5	48	37,47
18	33,06	49	31,24
19	37,47	50	28,54
20	30,88	51	30,25
21	28,56	52	30,14
22	31,24	53	31,25
23	28,54	54	29,75
24	30	55	28
26	29,75	56	36
27	30	57	29,69
28	31,66	58	31,25
29	33,25	59	31,71
30	31,71	60	17,25
31	18,71		

*Πίνακας 3.2.6: Χρόνοι επεξεργασίας 6<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Time(sec)	n	Time(sec)
1	22,76	32	29,47
2	29,37	33	28,45
3	22,45	34	29,04
4	29,29	35	28,65
5	28,48	36	28,95
6	28,51	37	28,64
7	28,47	38	28,48
8	28,15	39	28,96
9	28,35	40	28,35
10	32,55	41	28,47
11	28,33	42	29,15
12	28,79	43	28,47
13	29,14	44	28,95
14	28,36	45	28,69
15	29,58	46	28,47
16	29,65	47	28,36
17	29,16	48	29,01
18	28,59	49	28,55
19	28,64	50	28,47
20	28,07	51	28,34
21	28,98	52	29,65
22	29,78	53	29,87
23	29,58	54	28,56
24	28,65	55	28,74
26	28,74	56	28,62
27	28,63	57	28,59
28	28,26	58	28,77



29	28,96	59	29,14
30	28,65	60	28,77
31	28,33	61	28,33

**Πίνακας 3.2.7: Χρόνοι επεξεργασίας 7<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.**

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χρόνοι στησίματος των σταθμών εργασίας. Στον 2<sup>ο</sup> καθώς και στον 3<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας δεν υπάρχει χρόνος στησίματος.

N	Setup time(sec)
1	91.8
2	54.94
3	103.58
4	84.57
5	61.82
6	63.83
8	81.29
9	56.94

**Πίνακας 3.2.8: Χρόνοι στησίματος 1<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.**

N	Setup time(sec)
1	202,35
2	188,47
3	215,23
4	202,34
5	187,45

**Πίνακας 3.2.9: Χρόνοι στησίματος 4<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.**

N	Setup time(sec)
1	929,87
2	1065,72
3	915,47
4	1014,99
5	968,31

**Πίνακας 3.2.10: Χρόνοι στησίματος 5<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.**

N	Setup time(sec)
1	420,55
2	425,96
3	365,54
4	423,47
5	429,54
6	387,41
7	390,14

*Πίνακας 3.2.11: Χρόνοι στησίματος 6<sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.*

N	Setup time(sec)
1	365,24
2	243,69
3	320,47
4	299,47
5	381,24
6	240,12

*Πίνακας 3.2.12: Χρόνοι στησίματος 7<sup>ου</sup> σταθμού εργασίας.*

Τέλος, ο επόμενος πίνακας που ακολουθεί περιέχει τους χρόνους βλαβών και επισκευών όλων των σταθμών εργασίας. Να σημειωθεί ότι το F.i.j αναφέρεται σε τύπο βλαβών. Ο δείκτης i υποδεικνύει τον σταθμό εργασίας και ο δείκτης j στον συγκεκριμένο τύπο βλαβών. Όλοι οι τύποι βλαβών αναγράφονται σε πίνακα στο παράρτημα.

	Βλάβη(1/λι)	λι	Επισκευή(1/μι)	μι
F.1.1	1900800	5,26E-07	3600	0,000278
F.1.2	3801600	2,63E-07	7200	0,000139
F.1.3	950400	1,05E-06	7200	0,000139
F.1.4	633600	1,58E-06	1800	0,000556
F.1.5	28800	3,47E-05	1200	0,000833
F.1.6	7200	0,000139	900	0,001111
F.2.1	1900800	5,26E-07	3600	0,000278
F.2.2	3801600	2,63E-07	7200	0,000139
F.2.3	950400	1,05E-06	7200	0,000139
F.2.4	633600	1,58E-06	1800	0,000556
F.2.5	28800	3,47E-05	1200	0,000833
F.2.6	7200	0,000139	900	0,001111
F.2.7	3600	0,000278	270	0,003704
F.2.8	28800	3,47E-05	300	0,003333
F.3.1	1267200	7,89E-07	7200	0,000139
F.3.2	1900800	5,26E-07	3600	0,000278
F.3.3	1900800	5,26E-07	3600	0,000278

F.3.4	633600	1,58E-06	7200	0,000139
F.3.5	28800	3,47E-05	1200	0,000833
F.3.6	14400	6,94E-05	600	0,001667
F.4.1	28800	3,4722E-05	300	0,003333
F.4.2	14400	6,9444E-05	600	0,001667
F.5.1	28800	3,472E-05	1200	0,000833
F.5.2	3600	0,0002778	240	0,004167
F.5.3	3801600	2,63E-07	28800	3,47E-05
F.5.4	3801600	2,63E-07	14400	6,94E-05
F.5.5	1900800	5,261E-07	14400	6,94E-05
F.5.6	1900800	5,261E-07	14400	6,94E-05
F.5.7	28800	3,472E-05	3600	0,000278
F.5.8	7200	0,0001389	600	0,001667
F.6.1	316800	3,16E-06	1200	0,000833
F.6.2	14400	6,94E-05	600	0,001667
F.7.1	576000	1,74E-06	3600	0,000278
F.7.2	1900800	5,26E-07	3600	0,000278
F.7.3	3801600	2,63E-07	14400	6,94E-05
F.7.4	28800	3,47E-05	3600	0,000278

*Πίνακας 3.2.13: Χρόνοι βλαβών και επισκευών για όλους τους σταθμούς εργασίας.*

### 3.3 Συμπεράσματα

Συνοπτικά θα μπορούσαμε να σχολιάσουμε ότι οι χρόνοι επεξεργασίας των σταθμών εργασίας είναι αρκετά διαφορετικοί μεταξύ τους. Συγκεκριμένα ο σταθμός με τον μεγαλύτερο μέσο χρόνο επεξεργασίας είναι ο 5<sup>ος</sup> (πρέσα). Μάλιστα ο μέσος όρος των χρόνων αυτών είναι διπλάσιος από τον μέσο όρο των χρόνων επεξεργασίας του 3<sup>ου</sup> σταθμού εργασίας (συρραπτική μηχανή), ο οποίος είναι κατά σειρά ο δεύτερος πιο αργός σταθμός εξυπηρέτησης. Επιπλέον ο γρηγορότερος σταθμός είναι ο τελευταίος (τριβείο).

Όσον αφορά τους χρόνους εγκατάστασης, παρατηρούμε ότι απουσιάζουν από τον 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> σταθμό επεξεργασίας που έχει σαν αποτέλεσμα την μηδενική μεταβλητότητα μη προβλέψιμων διακοπών (κεφάλαιο 4). Στον 1<sup>ο</sup> σταθμό ο μέσος χρόνος εγκατάστασης είναι σχεδόν 73 δευτερόλεπτα αλλά στους υπόλοιπους σταθμούς λαμβάνει αρκετά μεγάλη τιμή που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρονικού κύκλου της συνολικής κατεργασίας της γραμμής παραγωγής.

Τέλος, οι χρόνοι βλαβών παρουσιάζονται αρκετά μεγάλοι. Σαν αποτέλεσμα η διαθεσιμότητα των σταθμών εργασίας να λαμβάνει τιμή κοντά στην μονάδα (κεφάλαιο 4). Άξιο σχολιασμού είναι το γεγονός ότι κατά την επισκευή των σφαλμάτων υπάρχει ένας διαθέσιμος μηχανολόγος.

## 4. Ανάλυση δεδομένων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζουμε το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε κατά τον υπολογισμό των τελικών χρόνων κατεργασίας και του χρονικού κύκλου. Θα αναλύσουμε με παράδειγμα τους υπολογισμούς για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας και θα απεικονίσουμε με πίνακες τα αποτελέσματα για τους υπόλοιπους σταθμούς. Τέλος, με την βοήθεια σχημάτων θα αναφέρουμε τα συμπεράσματά μας.

### 4.1 Μαθηματικό μοντέλο

Σύμφωνα με τους πίνακες της ενότητας 3.2 υπολογίζουμε τον μέσο όρο όλων των χρόνων κατεργασίας καθώς και την τυπική τους απόκλιση. Ο μέσος όρος υπολογίζεται από την σχέση

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (1)$$

και η τυπική απόκλιση από τον τύπο

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{(n - 1)}} \quad (2).$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των χρόνων κατεργασίας και στησίματος.

Σταθμοί εργασίας	μ για χρόνο κατεργασίας ( $t_o$ )	σ για χρόνο κατεργασίας ( $\sigma_o$ )	μ για χρόνο στησίματος ( $t_s$ )	σ για χρόνο στησίματος ( $\sigma_s$ )
1	47,244	22,060	73,53	17,25
2	99,574	15,697	0	0
3	135,495	51,816	0	0
4	40,025	1,403	199,168	11,51
5	227,298	39,847	978,872	62
6	31,286	5,529	406,087	24,844
7	28,636	1,302	308,371	59,348

**Πίνακας 4.1.1:** Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για χρόνους κατεργασίας και στησίματος.

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των βασικών όρων. Αρχικά υπολογίζουμε τις παραμέτρους σε περίπτωση φυσικής μεταβλητότητας. Η φυσική μεταβλητότητα (natural variability) είναι η μεταβλητότητα που υπάρχει στον φυσικό χρόνο επεξεργασίας. Επιπλέον, αποκλείει τυχαιές διακοπές λειτουργίας ή διακοπές για το στήσιμο των μηχανημάτων ή οποιαδήποτε άλλη εξωτερική επιρροή. Στον παραπάνω πίνακα ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των χρόνων κατεργασίας αναφέρονται σε φυσική μεταβλητότητα. Συγκεκριμένα υπολογίζουμε τον συντελεστή μεταβλητότητας ( $c_o$ ), τον ενεργό μέσο χρόνο επεξεργασίας ( $t_e$ ), την ενεργή τυπική απόκλιση ( $\sigma_o$ ) καθώς και τον ενεργό συντελεστή μεταβλητότητας ( $c_e$ ) με τους παρακάτω τύπους:

$$c_o = \frac{\sigma_o}{t_o} \quad (3)$$

$$t_e = t_o \quad (4)$$

$$\sigma_e = \sqrt{c_o^2 \sigma_o^2} \quad (5)$$

$$c_e = c_o \quad (6)$$

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.1.1 και με τις εξισώσεις 3,4,5,6 για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας έχουμε ότι

$$c_o = \frac{\sigma_o}{t_o} = \frac{39,847}{227,248} = 0,1753$$

$$t_e = t_o = 227,248$$

$$\sigma_e = \sqrt{c_o^2 \sigma_o^2} = \sqrt{(0,1753^2 * 39,847^2)} = 39,847$$

5 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	
$c_o$	0,1753
$\sigma_e$	39,847
$\sigma_e^2$	1587,785
$t_e$	227,298
$c_e$	0,1753

**Πίνακας 4.1.2: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών όρων στην περίπτωση της φυσικής μεταβλητότητας**

Λαμβάνοντας υπόψη την μεταβλητότητα των προβλέψιμων διακοπών (βλάβες και επιδιορθώσεις-συντηρήσεις) οι τιμές των  $t_e$ ,  $\sigma_e$  και  $c_e$ , αλλάζουν. Αρχικά υπολογίζουμε την διαθεσιμότητα  $A$  του σταθμού εργασίας από την σχέση:

$$A = \frac{m_f}{m_f + m_r} \quad (7)$$

Το  $m_f$  αναφέρεται στο μέσο χρόνο μέχρι την βλάβη και το  $m_r$  στο μέσο χρόνο επιδιόρθωσης-συντήρησης. Οι τιμές τους βρίσκονται με τη βοήθεια του πίνακα 3.2.13 και χρησιμοποιώντας τους εξής τύπους:

$$m_f = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad \text{και} \quad m_r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (8)$$

Για την εύρεση του νέου  $t_e$  και  $\sigma_e$  χρησιμοποιούμε τους τύπους:

$$t_e = \frac{t_o}{A} \quad (9)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sigma_o^2}{A^2} + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2)(1 - A)t_o}{Am_r}} \quad (10)$$

Επιπροσθέτως με την βοήθεια του συντελεστή διακύμανσης για τους χρόνους επιδιόρθωσης-συντήρησης ( $c_r$ ) υπολογίζεται η τιμή του όρου  $\sigma_r^2$ . Δηλαδή ισχύει:

$$\sigma_r = c_r m_r \quad (11)$$

Υποθέτουμε ότι ο όρος  $c_r$  λαμβάνει την τιμή 0.5 για όλους τους σταθμούς εργασίας. Ο νέος ενεργός συντελεστής μεταβλητότητας  $c_e$  ορίζεται ως:

$$c_e = \sqrt{c_o^2 + (1 + c_r^2)A(1 - A)\frac{m_r}{t_o}} \quad (12)$$

όπου στους όρους  $t_o$ ,  $\sigma_o$  και  $c_o$  εισέρχονται οι τιμές του  $t_e$ ,  $\sigma_e$  και  $c_e$  που προέκυψαν από την φυσική μεταβλητότητα. Δηλαδή για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας εργαζόμαστε ως εξής:

$$A = \frac{m_f}{m_f + m_r} = \frac{2050,4854}{2050,4854 + 139,1304} = 0,936459$$

$$t_e = \frac{t_o}{A} = \frac{227,298}{0,936459} = 242,7212$$

$$\sigma_r = c_r m_r = 0,5 * 139,1304 = 69,565$$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{\frac{\sigma_o^2}{A^2} + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2)(1 - A)t_o}{Am_r}} \\ &= \sqrt{\frac{1587,785}{0,936459^2} + \frac{(139,1304^2 + 69,565^2)(1 - 0,936459)227,298}{0,936459 * 139,1304}} \\ &= 67,02823 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_e &= \sqrt{c_o^2 + (1 + c_r^2)A(1 - A)\frac{m_r}{t_o}} \\ &= \sqrt{0,1753^2 + (1 + 0,5^2)0,936459(1 - 0,936459)\frac{139,1304}{227,298}} \\ &= 0,2761 \end{aligned}$$

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με όλα τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας στην περίπτωση της μεταβλητότητας προβλέψιμων διακοπών.

5 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	
$m_r$	139,1304
$m_f$	2050,4854
$A$	0,936459
$t_e$	242,7212
$\sigma_e$	67,02823
$\sigma_e^2$	4492,783



$c_r$	0,5
$\sigma_r$	69,565
$c_e$	0,2761
$c_e^2$	0,07626

**Πίνακας 4.1.3.: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών όρων στην περίπτωση της μεταβλητότητας προβλέψιμων διακοπών.**

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη την μεταβλητότητα των μη προβλέψιμων διακοπών οι τιμές των βασικών όρων αλλάζουν ξανά και λαμβάνουν την τελική τους τιμή. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι οι μη προβλέψιμες διακοπές αντιπροσωπεύουν διακοπές λειτουργίας οι οποίες θα συμβούν αναπόφευκτα. Σε πολλές περιπτώσεις οι διακοπές αυτές γίνονται αντιληπτές από τους εργαζομένους πριν αυτές συμβούν.

Οι σταθμοί εργασίας στους οποίους απουσιάζει η προετοιμασία-στήσιμο, η μεταβλητότητα μη προβλέψιμων διακοπών ισούται με μηδέν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι βασικοί όροι να λαμβάνουν την τελική τους τιμή στην μεταβλητότητα προβλέψιμων διακοπών και να μην χρειάζεται περαιτέρω διόρθωση στις τιμές αυτές. Όμως στην περίπτωση όπου το μηχάνημα έχει διακοπές για την προετοιμασία του απαιτείται η παρακάτω διαδικασία.

Κάθε μηχάνημα επεξεργάζεται συγκεκριμένο αριθμό επεξεργαζόμενου υλικού. Αυτός ο αριθμός παριστάνεται με τον όρο  $N_s$  και δίδεται από το εργοστάσιο. Στην συνέχεια υπολογίζονται οι όροι  $t_e$ ,  $\sigma_e$  και  $c_e$  με τους παρακάτω τύπους:

$$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s} \quad (13)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_o^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s} t_s^2} \quad (14)$$

$$c_e = \frac{\sigma_e}{t_e} \quad (15)$$

Στους τρεις παραπάνω τύπους οι όροι  $t_o$ ,  $\sigma_o$  λαμβάνουν τις τιμές των  $t_e$ ,  $\sigma_e$  που βρέθηκαν κατά την διαδικασία της μεταβλητότητας των προβλέψιμων διακοπών. Τέλος, οι όροι  $t_s$ , και  $\sigma_s$  λαμβάνουν την αντίστοιχη τιμή του πίνακα 4.1.1. Για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό θα ισχύει ότι:

$$t_e = t_o + \frac{t_s}{N_s} = 242,7212 + \frac{978,872}{30} = 275,35$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_o^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s} t_s^2} = \sqrt{4492,783 + \frac{62^2}{30} + \frac{30 - 1}{30} 978,872^2} = 188,403$$

$$c_e = \frac{\sigma_e}{t_e} = \frac{188,403}{275,35} = 0,6842$$

5 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	
$N_s$	30
$t_s$	978,872
$\sigma_s$	62
$t_e$	275,35
$\sigma_e$	188,403
$\sigma_e^2$	35495,971
$c_e$	0,6842
$c_e^2$	0,4681

**Πίνακας 4.1.4: Αποτελέσματα υπολογισμών των βασικών παραγόντων στην περίπτωση της μεταβλητότητας των μη προβλέψιμων διακοπών.**

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του ποσοστού απασχόλησης κάθε σταθμού εργασίας ( $u$ ), το τετράγωνο του συντελεστή μεταβλητότητας των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ( $c_a^2$ ) και των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αναχωρήσεων ( $c_d^2$ ). Για τον υπολογισμό του  $u$  απαιτείτε η εύρεση του ρυθμού αφίξεων  $r_a$ . Ο ρυθμός αφίξεων ισούται με  $r_a = \frac{1}{t_a}$  όπου το  $t_a$  είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αφίξεων. Σύμφωνα με την διοίκηση του εργοστασίου σε 6 ώρες (21600 δευτερόλεπτα) παράγει 150 φύλλα επενδεδυμένου MDF. Οπότε το  $t_a = \frac{21600}{150} = 144$  δευτερόλεπτα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι μετά τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας το  $t_a$  αλλάζει και λαμβάνει την τιμή 288. Αυτό συμβαίνει γιατί στο συγκεκριμένο σημείο της παραγωγής απαιτούνται 2 φύλλα καπλαμά ώστε να παραχθεί ένα φύλλο επενδεδυμένου MDF. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των  $r_a$  και  $t_a$  για όλους τους σταθμούς εργασίας.

Σταθμοί εργασίας	Μέσος χρόνος μεταξύ αφίξεων $t_a$	Ρυθμός αφίξεων $r_a$
1	144	0,00694444
2	144	0,00694444
3	144	0,00694444
4	144	0,00694444
5	288	0,00347222
6	288	0,00347222
7	288	0,00347222
8	288	0,00347222

**Πίνακας 4.1.5:** Τιμές μέσων χρόνων και ρυθμών αφίξεων για όλους τους σταθμούς εργασίας.

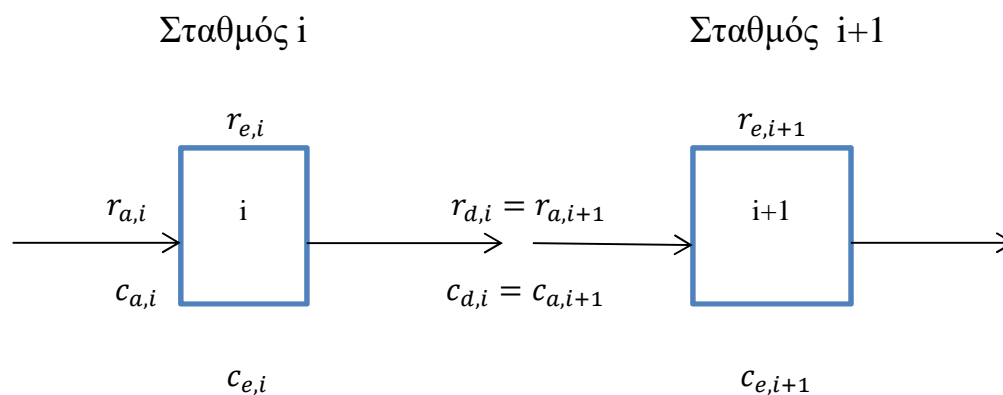
Οι τιμές των  $u$  βρίσκονται με την βοήθεια της σχέσης 16. Δηλαδή,

$$u = r_a t_e \quad (16)$$

και για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας έχουμε ότι:

$$u = r_a t_e = 0,00347222 * 275,35 = 0,9560 \text{ ή } 95,60\%.$$

Επιπροσθέτως για τον υπολογισμό του συντελεστή μεταβλητότητας των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων θεωρούμε ότι στον 1<sup>ο</sup> σταθμό παίρνει την τιμή 0. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα ο συγκεκριμένος συντελεστής θα ισούται με τον συντελεστή μεταβλητότητας των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αναχωρήσεων του προηγούμενου σταθμού.



**Σχήμα 4.1.1:** Απεικόνιση της μεταβλητότητας μεταξύ των σταθμών εργασίας σε σειρά.

Με την βοήθεια του παρακάτω τύπου γίνεται η εύρεση του  $c_{a,i}^2$

$$c_{a,i}^2 = u_i^2 c_{e,i}^2 + (1 - u_i^2) c_{a,i}^2 \quad (17)$$

και για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό προκύπτει ότι

$$c_{a,5}^2 = u_5^2 c_{e,5}^2 + (1 - u_5^2) c_{a,5}^2 = 0,956^2 * 0,6842^2 + (1 - 0,956^2) * 0,3207 = 0,455$$

5 <sup>ο</sup> σταθμός εργασίας	
$c_{a,5}^2$	0,3207
$r_a$	0,00347222
$u_5$	0,9560
$c_{a,5}^2$	0,455

**Πίνακας 4.1.6: Αποτελέσματα υπολογισμών των όρων  $c_{a,i}^2$ ,  $r_a$ ,  $u_i$  και  $c_{a,i}^2$  για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας.**

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας είναι η εύρεση του χρονικού κύκλου (cycle time) για κάθε σταθμό εργασίας. Ο χρονικός κύκλος είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός δείκτης για την παραγωγή ενός εργοστασίου καθώς υποδεικνύει τον μέσο χρόνο όπου το επεξεργαζόμενο υλικό παραμένει στο εργοστάσιο κατά την επεξεργασία του. Μικρότερος χρονικός κύκλος ισοδυναμεί με καλύτερη ποιότητα του υλικού, καλύτερες προβλέψεις και λιγότερα ελαττωματικά τεμάχια. Αρχικά υπολογίζουμε τον μέσο χρόνο ουράς. Δηλαδή, τον χρόνο που το επεξεργαζόμενο υλικό περιμένει στην ουρά του σταθμού εργασίας έως ότου αρχίσει η επεξεργασία του. Υπολογίζεται με την βοήθεια της σχέσης:

$$CT_{q,i} = \left( \frac{c_{a,i}^2 + c_{e,i}^2}{2} \right) \left( \frac{u_i}{1 - u_i} \right) t_{e,i} \quad (18).$$

Έπειτα υπολογίζουμε τον χρόνο όπου το υλικό περιμένει στο τέλος του σταθμού εργασίας για να ολοκληρωθεί η παρτίδα- τριαντάδα (wait to batch time- WTBT). Ο υπολογισμός του συγκεκριμένου όρου γίνεται με τον τύπο:

$$WTBT_i = \frac{k - 1}{2r_{a,i}} \quad (19).$$

Το επόμενο βήμα είναι η εύρεση του χρόνου αναμονής μέσα στην παρτίδα του επεξεργαζόμενου προϊόν (Wait time in a partial batch-WTIAPB). Δηλαδή, στον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας ο οποίος επεξεργάζεται σε παρτίδες των 30 τεμαχίων, ποίος είναι ο μέσος χρόνος ενός κομματιού που περιμένει μέσα στην παρτίδα μέχρι να επεξεργαστεί. Οι όροι  $CT_{q,i}$  και  $WTIAPB_i$  είναι διαφορετικοί μεταξύ τους. Ο συγκεκριμένος χρόνος βρίσκεται με την βοήθεια του τύπου:

$$WTIAPB_i = \frac{k-1}{2} t_{e,i} \quad (20).$$

Αξίζει να τονιστεί ότι οι συγκεκριμένοι χρόνοι δεν υπολογίζονται σε όλους τους σταθμούς εργασίας, αλλά μόνο σε αυτούς όπου επεξεργάζονται σε παρτίδες και για να προχωρήσει η διαδικασία στον επόμενο στάδιο απαιτείται η ολοκλήρωση της. Ο συνολικός χρονικός κύκλος είναι το άθροισμα αυτών των όρων συν τον ενεργό μέσο χρόνο επεξεργασίας. Δηλαδή:

$$CT_{ολικό} = CT_{q,i} + WTB T_i + WTIAPB_i + t_{e,i} \quad (21).$$

Για τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας έχουμε ότι:

$$\begin{aligned} CT_{q,5} &= \left( \frac{c_{a,5}^2 + c_{e,5}^2}{2} \right) \left( \frac{u_5}{1-u_5} \right) t_{e,5} \\ &= \left( \frac{0,3207 + 0,6842^2}{2} \right) * \left( \frac{0,9560}{1-0,9560} \right) * 275,35 = 2364,359 \end{aligned}$$

$$WTB T_5 = \frac{k-1}{2r_{a,5}} = \frac{30-1}{2 * 0,0034722} = 4176$$

$$WTIAPB_5 = \frac{k-1}{2} t_{e,5} = \frac{30-1}{2} * 275,35 = 3992,579$$

$$\begin{aligned} CT_{ολικό} &= CT_{q,i} + WTB T_i + WTIAPB_i + t_{e,i} \\ &= 2364,359 + 4176 + 3992,579 + 275,35 = 10808,288 \end{aligned}$$

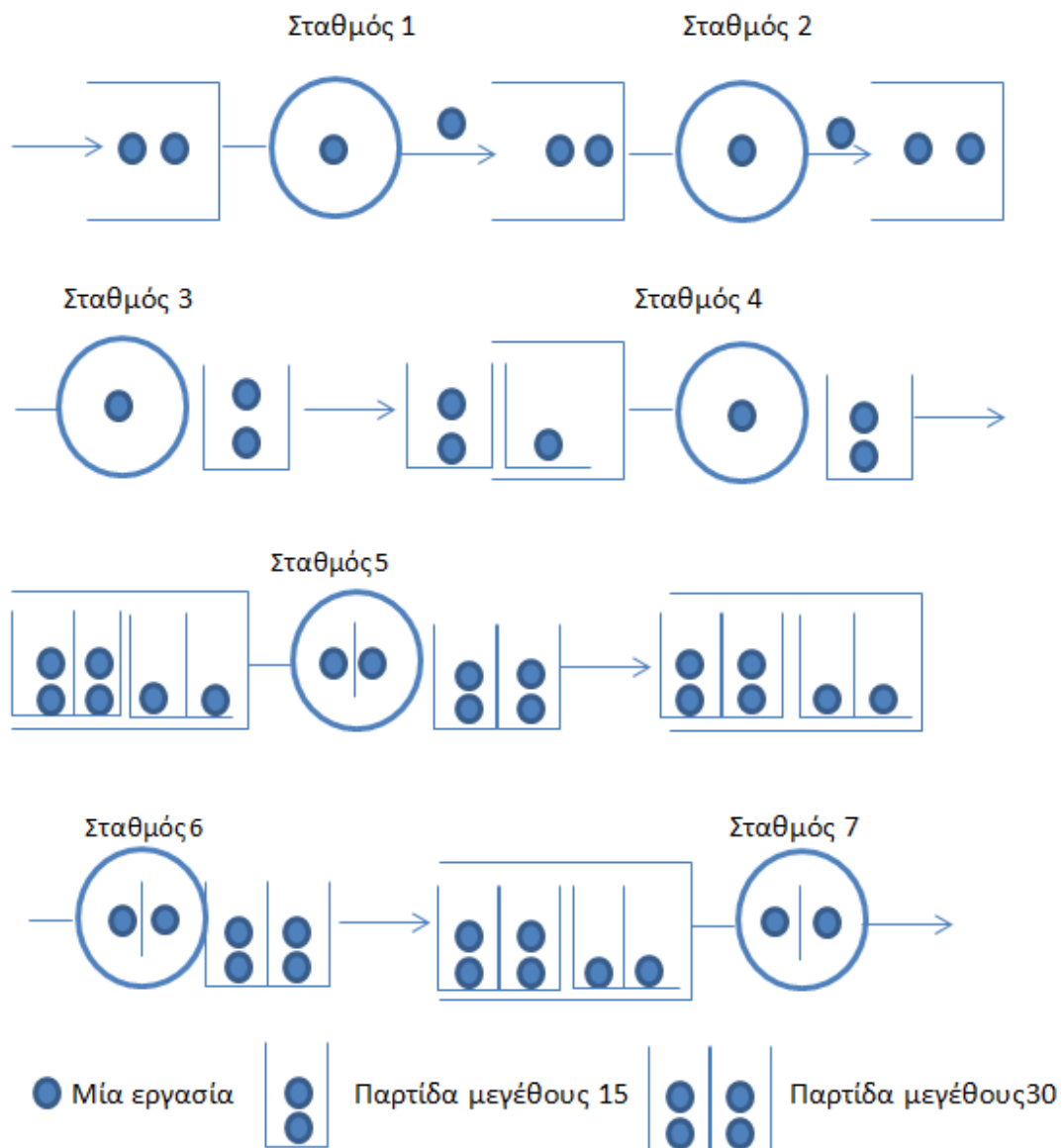
Όλοι οι παραπάνω όροι αναφέρονται σε δευτερόλεπτα. Επιπλέον, ο όρος  $k$  αναφαίρετε στο μέγεθος της παρτίδας.

5 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	
$CT_{q,i}$	2364,359
$WTBT_i$	4176
$WTIAPB_i$	3992,579
$t_{e,i}$	275,35
$CT_{ολικό,i}$	10808,2885

*Πίνακας 4.1.7: Αποτελέσματα της διαδικασίας για την εύρεση του χρονικού κύκλου.*

Στο σχήμα 4.1.2 παρουσιάζουμε σχηματικά την λειτουργία της γραμμής παραγωγής. Από το σχήμα γίνεται εύκολο αντιληπτό ότι από τον 3<sup>ο</sup> μέχρι και τον 6<sup>ο</sup> σταθμό επιβάλλεται ο υπολογισμός του όρου  $WTBT_i$  και από τον 5<sup>ο</sup> μέχρι και τον τελευταίο σταθμό υπολογίζεται ο όρος  $WTIAPB_i$  λόγω της επεξεργασίας σε παρτίδες μεγέθους 30 τεμαχίων.

Τέλος, με την βοήθεια του σχήματος φαίνεται η αλλαγή του όρου  $r_{a,i}$  από τον 5<sup>ο</sup> σταθμό και έπειτα για τον λόγο που εξηγήσαμε παραπάνω.



Σχήμα 4.1.2: Απεικόνιση της γραμμής παραγωγής επενδεδυμένου MDF.

## 4.2 Αποτελέσματα υπολογισμών όλων των όρων για όλους τους σταθμούς εργασίας.

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε μέσω πινάκων τις τιμές των βασικών όρων για όλους τους σταθμούς εργασίας.

	1 <sup>ος</sup> σταθμός	2 <sup>ος</sup> σταθμός	3 <sup>ος</sup> σταθμός	4 <sup>ος</sup> σταθμός	5 <sup>ος</sup> σταθμός	6 <sup>ος</sup> σταθμός	7 <sup>ος</sup> σταθμός
$c_o$	0,4669	0,15764	0,38244	0,03506	0,1753	0,17675	0,04547
$\sigma_e$	22,0601	15,697	51,819	1,4034	39,847	5,5298	1,302
$\sigma_e^2$	486,650	246,415	2685,292	1,9698	1587,78	30,5789	1,6956
$t_e$	47,244	99,574	135,495	40,0255	227,298	31,2861	28,636
$c_e$	0,4669	0,1576	0,3824	0,03506	0,1753	0,1767	0,04540

*Πίνακας 4.2.1: Αποτελέσματα βασικών όρων στην περίπτωση της φυσικής μεταβλητότητας.*

	1 <sup>ος</sup> σταθμός	2 <sup>ος</sup> σταθμός	3 <sup>ος</sup> σταθμός	4 <sup>ος</sup> σταθμός	5 <sup>ος</sup> σταθμός	6 <sup>ος</sup> σταθμός	7 <sup>ος</sup> σταθμός
$m_r$	327,27	99,0825	300	200	139,1304	400	1107,692
$m_f$	5648,73	2042,773	9294,865	9600	2050,4854	13773,91	26847,46
$A$	0,9452	0,9537	0,9687	0,9795	0,936459	0,9717	0,9603
$t_e$	49,98	104,403	139,868	40,859	242,7212	32,1946	29,818
$\sigma_e$	40,79	29,48	67,092	14,509	67,02823	22,0604	40,469
$\sigma_e^2$	1664,44	869,077	4501,388	210,518	4492,783	486,661	1637,789
$c_r$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$\sigma_r$	163,636	49,54	150	100	69,565	200	553,846
$c_e$	0,816	0,282	0,4796	0,3551	0,2761	0,6852	1,3572
$c_e^2$	0,666	0,0797	0,230	0,12609	0,07626	0,4695	1,8420

*Πίνακας 4.2.2: Αποτελέσματα βασικών όρων στην περίπτωση της μεταβλητότητας προβλέψιμων διακοπών.*

	1 <sup>ος</sup> σταθμός	2 <sup>ος</sup> σταθμός	3 <sup>ος</sup> σταθμός	4 <sup>ος</sup> σταθμό ς	5 <sup>ος</sup> σταθμός	6 <sup>ος</sup> σταθμός	7 <sup>ος</sup> σταθμός
$N_s$	6	0	0	15	30	30	30
$t_s$	73,539	0	0	199,168	978,872	406,087	308,3716
$\sigma_s$	17,252	0	0	11,5101	62	24,844	59,3488
$t_e$	62,238	-	-	54,1372	275,3502	45,7309	40,0974
$\sigma_e$	49,6503	-	-	51,8418	188,403	76,2948	69,42124
$\sigma_e^2$	2465,158	-	-	2687,57	35495,97	5820,898	4819,308



$c_e$	0,7977	-	-	0,9576	0,68423	1,66834	1,73131
$c_e^2$	0,6364	-	-	0,91699	0,46817	2,78336	2,99745

**Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα βασικών όρων στη περίπτωση της μεταβλητότητας μη προβλέψιμων διακοπών.**

	1 <sup>ος</sup> σταθμός	2 <sup>ος</sup> σταθμός	3 <sup>ος</sup> σταθμός	4 <sup>ος</sup> σταθμός	5 <sup>ος</sup> σταθμός	6 <sup>ος</sup> σταθμός	7 <sup>ος</sup> σταθμός
$t_e$	62,238	104,403	139,868	54,1372	275,35	45,7309	40,0974
$\sigma_e$	49,6503	29,48	67,092	51,8418	188,403	76,2948	69,42124
$\sigma_e^2$	2465,158	869,077	4501,388	2687,57	35495,97	5820,898	4819,308
$c_e$	0,7977	0,282	0,4796	0,9576	0,68423	1,66834	1,73131
$c_e^2$	0,6364	0,0797	0,230	0,91699	0,46817	2,7833	2,99745

**Πίνακας 4.2.4: Τελικά αποτελέσματα για τους όρους  $t_e$ ,  $\sigma_e$ ,  $\sigma_e^2$ ,  $c_e$  και  $c_e^2$  για όλους τους σταθμούς εργασίας**

	1 <sup>ος</sup> σταθμός	2 <sup>ος</sup> σταθμός	3 <sup>ος</sup> σταθμός	4 <sup>ος</sup> σταθμός	5 <sup>ος</sup> σταθμός	6 <sup>ος</sup> σταθμός	7 <sup>ος</sup> σταθμός
$c_{a,i}^2$	0	0,1188	0,0983	0,2226	0,3207	0,455	0,5142
$r_a$	0,00694 444	0,006944 444	0,006944 444	0,00694 444	0,00347 222	0,00347 222	0,003472 222
$u_i$	0,4322	0,7250	0,9713	0,3759	0,9560	0,1587	0,1392
$c_{d,i}^2$	0,1188	0,0983	0,2226	0,3207	0,455	0,5142	0,5623

**Πίνακας 4.2.5: Αποτελέσματα υπολογισμών των όρων  $c_{a,b}^2$ ,  $r_a$ ,  $u_i$  και  $c_{d,i}^2$  για όλους τους σταθμούς εργασίας.**

	1 <sup>ος</sup> σταθ- μός	2 <sup>ος</sup> σταθ- μός	3 <sup>ος</sup> σταθ- μός	4 <sup>ος</sup> σταθ- μός	5 <sup>ος</sup> σταθ- μός	6 <sup>ος</sup> σταθ- μός	7 <sup>ος</sup> σταθ- μός
$CT_{q,i}$	15,075	27,337	777,44 7	18,584	2364,359	13,979	11,387
$WTBT_i$	0	0	1008	1008	4176	4176	0
$WTIAPB_i$	0	0	0	378,96	3992,579	663,098	581,412
$t_{e,i}$	62,238	104,40 3	139,86 8	54,1372	275,35	45,7309	40,0974
$CT_{ολικό,i}$	77,313	131,74	1925,3 15	1459,681 2	10808,28 8	4898,808 29	632,896 4

**Πίνακας 4.2.6: Αποτελέσματα χρονικού κύκλου για όλους τους σταθμούς εργασίας.**

Ο συνολικός χρονικός κύκλος της γραμμής παραγωγής προκύπτει από το άθροισμα των χρονικών κύκλων όλων των σταθμών εργασίας. Δηλαδή, προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned}
CT_{ολικό} &= CT_{ολικό,1} + CT_{ολικό,2} + CT_{ολικό,3} + CT_{ολικό,4} + CT_{ολικό,5} + CT_{ολικό,6} \\
&\quad + CT_{ολικό,7} \\
&= 77,313 + 131,74 + 1925,315 + 1459,6812 + 10808,288 \\
&\quad + 4898,80829 + 632,8964 \\
&= 19934,04706 \text{ δευτερόλεπτα ή } 5,537 \text{ ώρες.}
\end{aligned}$$

### 4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Με την βοήθεια του σχήματος 4.3.1 παρατηρούμε την μεταβλητότητα στους ενεργούς χρόνους επεξεργασίας. Ο ενεργός χρόνος επεξεργασίας στην πρέσα είναι σχεδόν διπλάσιος από τον δεύτερο πιο μεγάλο ενεργό χρόνο όπου παρουσιάζεται στο συρραπτικό μηχάνημα. Οι συγκεκριμένοι χρόνοι είναι ιδιαίτερα μεγάλοι, σαν αποτέλεσμα την επιρροή του συνολικού χρονικού κύκλου της παραγωγής.

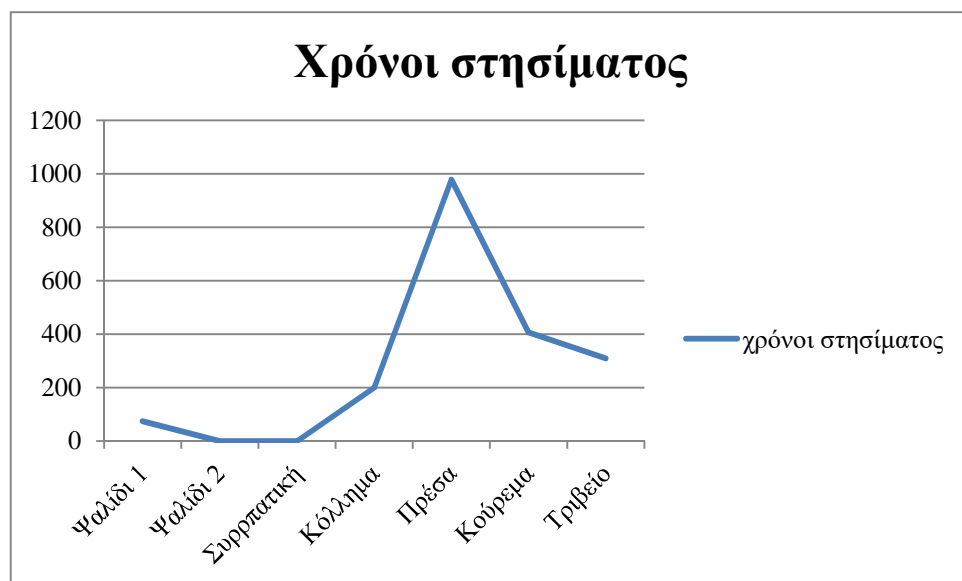


**Σχήμα 4.3.1:** Διάγραμμα ενεργών χρόνων επεξεργασίας.

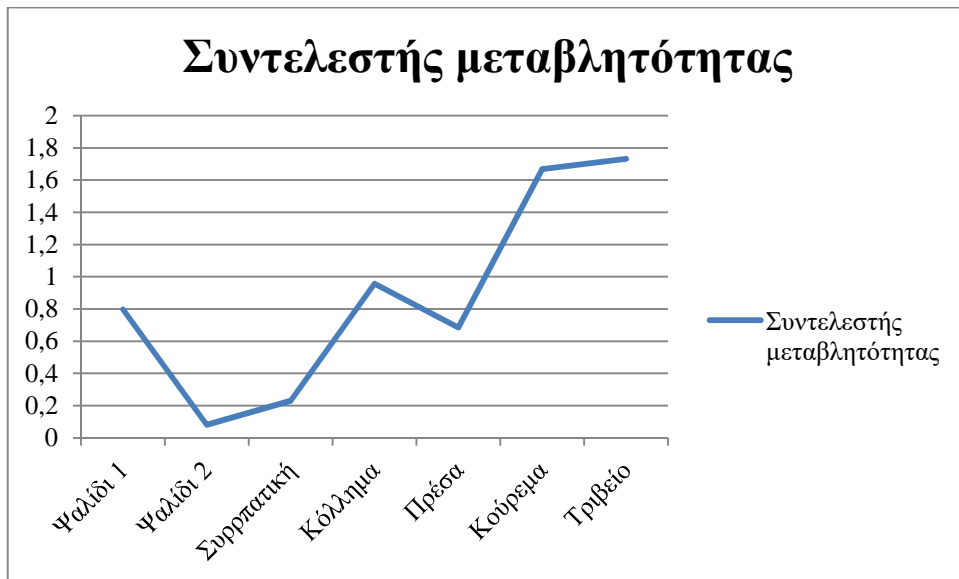
Ένας σημαντικός παράγοντας στον υπολογισμό του ενεργού χρόνου επεξεργασίας είναι ο χρόνος στησίματος του μηχανήματος. Στον 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> σταθμό δεν υπάρχει χρόνος στησίματος ως συνέπεια την μη περαιτέρω αύξηση του ενεργού χρόνου επεξεργασίας. Ειδικά στην πρέσα ο χρόνος αυτός είναι αρκετά μεγάλος (978 δευτερόλεπτα) και επηρεάζει σημαντικά στον συνολικό χρόνο. Ο χρόνος στησίματος είναι ένας παράγοντας όπου κάθε εργοστάσιο προσπαθεί να μειώσει όσο το δυνατόν

περισσότερο. Στο κεφάλαιο 5 θα παρουσιάσουμε αναλυτικά μία λύση για την μείωση του συγκεκριμένου χρόνου.

Επιπροσθέτως στο σχήμα 4.3.3 παρουσιάζουμε τις τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας. Όταν η τιμή του συντελεστή είναι μικρότερη από 0,75 ισοδυναμεί με χαμηλή μεταβλητότητα. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι στον 2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> σταθμό η τιμή είναι μικρότερη από 0,75. Τιμή μεγαλύτερη από 0,75 και μικρότερη από 1,33 ισοδυναμεί σε μέτρια μεταβλητότητα και εμφανίζεται στον 1<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> σταθμό. Τέλος, στον 6<sup>ο</sup> και 7<sup>ο</sup> σταθμό διαπιστώνουμε υψηλή μεταβλητότητα αφού οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 1,33.

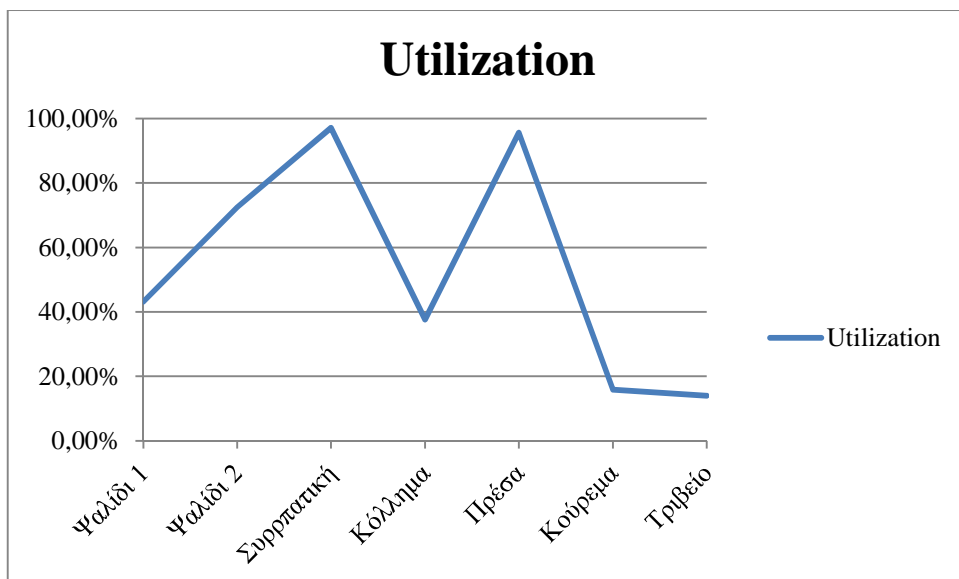


*Σχήμα 4.3.2: Διάγραμμα χρόνων στησίματος όλων των σταθμών εργασίας.*



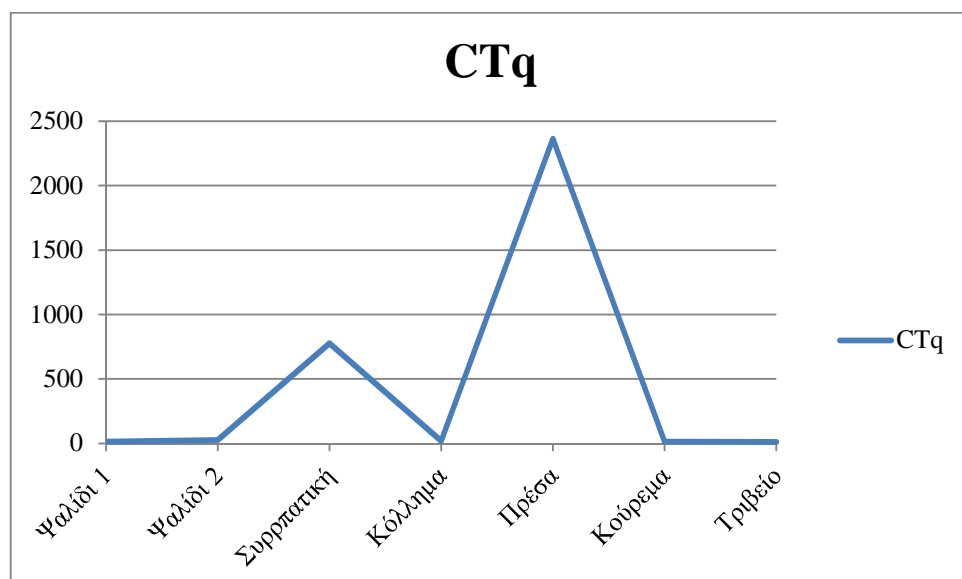
**Σχήμα 4.3.3:** Διάγραμμα ενεργού συντελεστή μεταβλητότητας όλων των σταθμών εργασίας.

Η απασχόληση των σταθμών εργασίας μελετείται από όλα τα εργοστάσια καθώς οι τιμές του δείκτη είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Από το σχήμα 4.1.4 παρατηρούμε την υψηλή τιμή του στον 3<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας (97,13% και 95,60%) καθώς και τις χαμηλές τιμές στον 6<sup>ο</sup> και 7<sup>ο</sup> σταθμό (15,87% και 13,92% αντίστοιχα). Οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν την συμφόρηση που δημιουργείτε στους συγκεκριμένου σταθμούς (σχήμα 4.3.5).



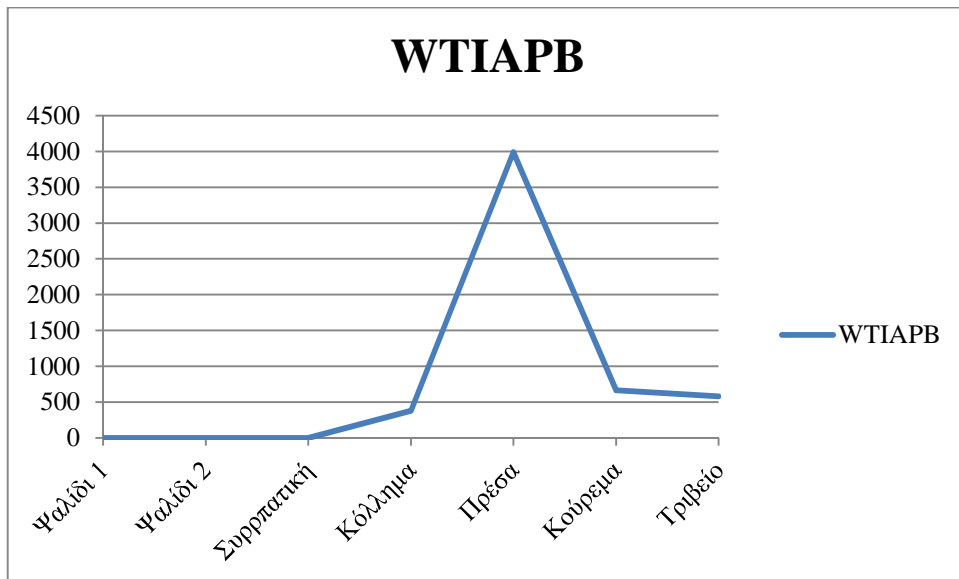
**Σχήμα 4.3.4:** Διάγραμμα ποσοστού απασχόλησης των σταθμών εργασίας.

Σε όλους τους άλλους σταθμούς ο χρόνος αναμονής στην ουρά είναι μικρότερος από 30 δευτερόλεπτα και δεν επηρεάζει τον χρονικό κύκλο των σταθμών. Ο επόμενος δείκτης προς συζήτηση είναι ο χρόνος αναμονής του τεμαχίου μέσα στην επεξεργαζόμενη παρτίδα (σχήμα 4.3.6). Ο συγκεκριμένος δείκτης λαμβάνει την



**Σχήμα 4.3.5: Διάγραμμα χρόνου αναμονής στην ουρά των σταθμών εργασίας.**

τιμή 0 στους τρεις πρώτους σταθμούς. Η τιμή στην πρέσα είναι αρκετά μεγάλη αφού είναι εξαπλάσια από τον 6<sup>ο</sup> σταθμό όπου εμφανίζεται η δεύτερη πιο μεγάλη τιμή του όρου. Οι τιμές των χρόνων αναμονής είναι αρκετά πιο μεγάλες από τους υπόλοιπους σταθμούς και αυτό έχει ως συνέπεια την σημαντική αύξηση του χρονικού κύκλου του σταθμού εργασίας.



**Σχήμα 4.3.6:** Διάγραμμα χρόνου αναμονής στην επεξεργαζόμενη παρτίδα.

Τέλος, όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρονικού κύκλου για κάθε σταθμό. Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εύλογο να θεωρήσει κάποιος ότι ο 5<sup>ος</sup> σταθμός επιβραδύνει την γραμμή παραγωγής, το οποίο αποτυπώνεται και στο σχήμα 4.3.7.



**Σχήμα 4.3.7:** Διάγραμμα χρονικού κύκλου για κάθε σταθμό.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η πολιτική της εταιρείας να επεξεργάζεται μετά τον 4<sup>ο</sup> σταθμό σε παρτίδες είναι και σωστή και λάθος. Είναι σωστή γιατί μειώνει την συνολική μεταβλητότητα της γραμμής παραγωγής αλλά είναι λάθος γιατί αυξάνεται κατά πολύ ο χρονικός κύκλος. Όμως, η πολιτική επεξεργασίας σε παρτίδες εν μέρει κρίνεται σωστή καθώς είναι αδύνατον να επιτευχθεί η σειριακή

επεξεργασία. Επιπλέον, παγκοσμίως τα εργοστάσια ξυλείας λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όσον αφορά την παραγωγή επενδεδυμένου MDF. Στο κεφάλαιο 5 θα αναλύσουμε αποτελέσματα του χρονικού κύκλου για διάφορα μεγέθη παρτίδας.

## 5. Τρόποι βελτίωσης του συνολικού χρονικού κύκλου

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε πιθανούς τρόπους βελτίωσης του ολικού χρονικού κύκλου της γραμμής παραγωγής. Θα αναφέρουμε τις αλλαγές σε σημαντικούς όρους για κάθε σενάριο και θα αναπτύξουμε τα συμπεράσματά μας. Τέλος, θα προτείνουμε το ιδανικό σενάριο για την βελτιστοποίηση του ολικού χρονικού κύκλου.

### 5.1 Σενάριο 1

Ο πρώτος τρόπος για την βελτίωση του συνολικού χρονικού κύκλου συνδέεται με την βελτίωση του χρόνου στησίματος του 5<sup>ου</sup> σταθμού εργασίας. Όπως αναφέραμε προηγουμένως ως χρόνος στησίματος θεωρήσαμε τον χρόνο όπου ο σταθμός εργασίας διακόπτει την λειτουργία του ώστε να προετοιμαστεί για την επόμενη παρτίδα προς επεξεργασία. Ο χρόνος αυτός εμπεριέχει και τους χρόνους μεταφοράς από τους χώρους αποθήκευσης.

Ο χώρος αποθήκευσης των φύλλων καπλαμά ανάμεσα στον 4<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> σταθμό βρίσκεται δίπλα από τον πρώτο. Εάν ο χώρος αποθήκευσης αλλάξει και μεταφερθεί δίπλα από τον 5<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας ο χρόνος στησίματος θα βελτιωθεί κατά 360 δευτερόλεπτα. Αυτή η αλλαγή προϋποθέτει νέους χώρους αποθήκευσης κοντά στον 5<sup>ο</sup> σταθμό. Σήμερα στο εργοστάσιο δίπλα από τον σταθμό αποθηκεύεται το γυμνό MDF.

Σύμφωνα με τον υπεύθυνο του εργοστασίου η αλλαγή έχει την δυνατότητα να συμβεί με την προϋπόθεση ότι απαιτείται μία μέρα εργασίας ώστε να γίνει εκ νέου σχεδίαση των χώρων αποθήκευσης. Επιπλέον η νέα σχεδίαση είναι πιθανό να συμβεί το Σάββατο όπου η γραμμή παραγωγής δεν λειτουργεί. Τα οφέλη στον χρονικό κύκλο της συγκεκριμένης αλλαγής φαίνονται στο σχήμα 5.1.1.





**Σχήμα 5.1.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 1<sup>ου</sup> σεναρίου.**

Ο πραγματικός συνολικός χρονικός κύκλος ισούται με 5,537 ώρες. Ο νέος συνολικός χρονικός κύκλος ισούται με 5,049 ώρες που ισοδυναμεί με μείωση της τάξεως 9,66%. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι δεν απαιτείται οικονομική επιβάρυνση της εταιρείας για την βελτίωση του χρονικού κύκλου. Επιπροσθέτως, η εταιρεία έχει την δυνατότητα να μειώσει τους χρόνους αναμονής των πελατών της ώστε να είναι πιο αξιόπιστη ως προς αυτούς.

Με την αλλαγή των χρόνων στησίματος ένας ακόμα σημαντικός δείκτης που βελτιώνεται είναι η απασχόληση του σταθμού εργασίας. Όπως δείξαμε στο κεφάλαιο 4 η απασχόληση λαμβάνει το ποσοστό 95,60% ενώ με την αλλαγή γίνεται 91,44%. Τέλος βελτίωση παρατηρείται στον συντελεστή μεταβλητότητας (0,4945 έναντι 0,6842).

## 5.2 Σενάριο 2

Ο δεύτερος τρόπος βελτίωσης του χρονικού κύκλου αφορά τον 6<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας και ειδικά τον χρόνο στησίματος του 6<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> σταθμού. Η βελτίωσή του επιτυγχάνεται με εξολοκλήρου με αλλαγή τοποθεσίας του σταθμού. Η νέα τοποθεσία του θα βρίσκεται κοντά στον 7<sup>ο</sup> σταθμό. Βελτιώνοντας τον σχεδιασμό προκύπτει μείωση στον χρόνο στησίματος κατά 240 δευτερόλεπτα και αντίστοιχη μείωση 180 δευτερολέπτων στον χρόνο στησίματος του 7<sup>ου</sup> σταθμού .

Όπως και στο προηγούμενο σενάριο η αλλαγή αυτή είναι ικανή να συμβεί, αλλά απαιτείται μία ημέρα εργασιών ώστε να επιτευχθεί ο νέος σχεδιασμός. Ο νέος και ο πραγματικός χρονικός κύκλος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 5.2.1:** διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 2<sup>ου</sup> σεναρίου.

Από το σχήμα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι δεν παρουσιάζεται μεγάλη μεταβολή στους χρονικούς κύκλους αφού οι νέοι χρονικοί κύκλοι του 6<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> σταθμού είναι αισθητά μικρότεροι από τους πραγματικούς. Ο νέος συνολικός χρονικός κύκλος λαμβάνει την τιμή 5,4725 ώρες και παρουσιάζει βελτίωση της τάξεως του 1,17%. Επίσης, η απασχόληση των σταθμών και ο συντελεστής μεταβλητότητας βελτιώνονται. Οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	6 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	7 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας
$u_i$	0,1587	0,1392
$u'_i$	0,1310	0,1183
$c_e$	1,663	1,7313
$c'_e$	0,9902	1,402

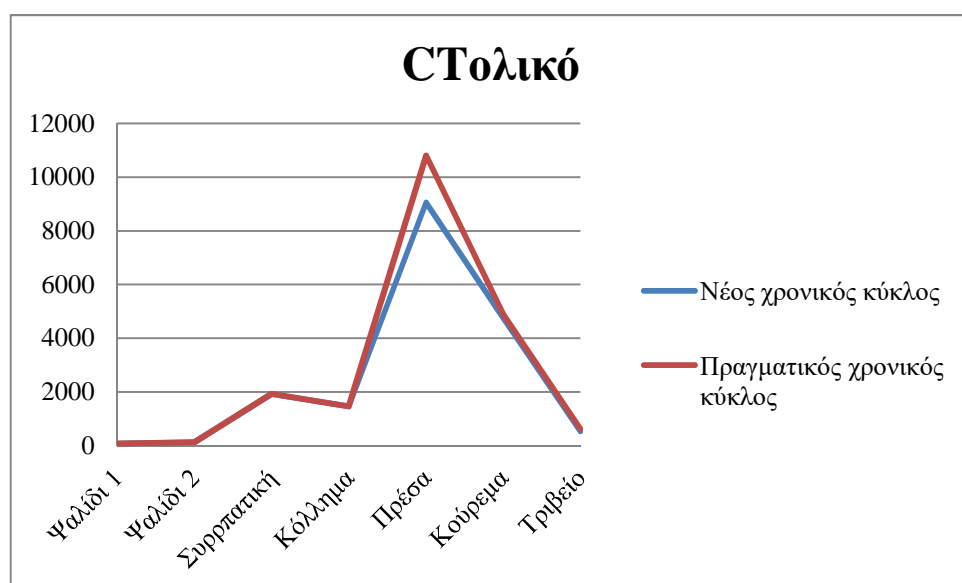
**Πίνακας 5.2.1:** Τιμές απασχόλησης και συντελεστή μεταβλητότητας σταθμών 2<sup>ου</sup> σεναρίου.

### 5.3 Σενάριο 3

Στα δύο προηγούμενα σενάρια αναφέραμε ως τρόπο βελτίωσης του συνολικού χρονικού κύκλου τον σχεδιασμό του χώρου αποθήκευσης μεταξύ 4<sup>ου</sup> και 5<sup>ου</sup> σταθμού και την αλλαγή τοποθεσίας του 6<sup>ου</sup> σταθμού. Λόγω ότι η κάθε αλλαγή

πραγματοποιείται σε μία εργάσιμη μέρα χρειάζονται δύο εργάσιμες μέρες για την ολοκλήρωση και των δύο αλλαγών. Στο παρόν σενάριο θα παρουσιάσουμε τις αλλαγές των τιμών εάν η εταιρεία αποφασίσει να εκτελέσει και τις δύο αυτές αλλαγές.

Στο σχήμα 5.3.1 φαίνεται ο νέος χρονικός κύκλος και στον πίνακα 5.3.1 οι τιμές των όρων που έχουμε περιγράψει στα δυο προηγούμενα σενάρια. Ο νέος συνολικός χρονικός κύκλος είναι 4,984 ώρες και παρουσιάζει μείωση 11,09%.



Σχήμα 5.3.1: Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 3<sup>ου</sup> σεναρίου.

	5 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	6 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας	7 <sup>ος</sup> σταθμός εργασίας
$CT_{ολικό,i}$	10808,288	4898,80829	632,8964
$CT'_{ολικό,i}$	9053,2621	4764,34926	533,6289338
$u_i$	0,9560	0,1587	0,1392
$u'_i$	0,9144	0,1310	0,1183
$c_e$	0,6842	1,663	1,7313
$c'_e$	0,4945	0,9902	1,4022

Πίνακας 5.3.1: Τιμές χρονικών κύκλων, απασχόλησης και συντελεστή μεταβλητότητας 5<sup>ου</sup>, 6<sup>ου</sup> και 7<sup>ου</sup> σταθμού πριν και μετά την εφαρμογή του 3<sup>ου</sup> σεναρίου.

## 5.4 Σενάριο 4

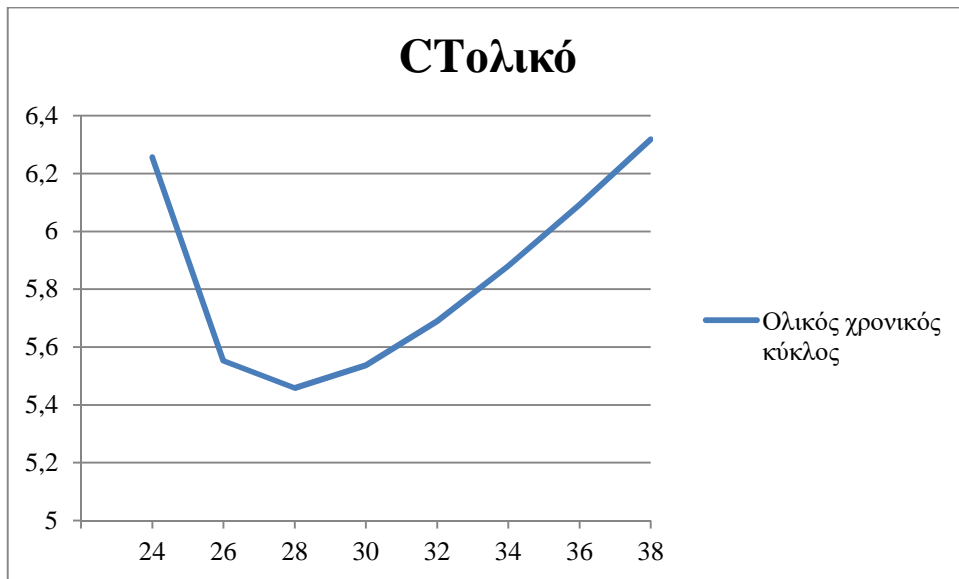
Στην ενότητα 4.3 αναφέραμε το “λάθος” της εταιρείας να επεξεργάζεται σε παρτίδες καθώς με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται κατά πολύ ο συνολικός χρονικός κύκλος. Όμως είναι αναγκασμένη να λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο καθώς είναι αδύνατο να επιτευχθεί η σειριακή επεξεργασία. Στην παρόν ενότητα θα παρουσιάσουμε ποία είναι η βέλτιστη τιμή της παρτίδας για τον 5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup> και 7<sup>ο</sup> σταθμό ώστε να επιτυγχάνεται ο ελάχιστος συνολικός χρονικός κύκλος. Εξετάζουμε το μέγεθος της παρτίδας στους συγκεκριμένους σταθμούς γιατί αυτοί παρουσιάζουν τους μέγιστους χρονικούς κύκλους.

Ο πίνακας 5.4.1 περιέχει τις διάφορες τιμές των παρτίδων καθώς και τις αντίστοιχες τιμές των ολικών χρονικών κύκλων. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι στον 4<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας η τιμή της παρτίδας θα είναι η μισή από αυτήν που αναγράφεται στον πίνακα. Στον 1<sup>ο</sup> σταθμό εργασίας ισχύει ότι  $N_s = 6$ .

$N_s$	$CT_{ολικό}$
24	6,25633
26	5,55225
28	5,45803
30	5,53723
32	5,68971
34	5,88001
36	6,0924
38	6,3188
40	6,55467

**Πίνακας 5.4.1: Ολικός χρονικός κύκλος για διάφορα μεγέθη παρτίδας 5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup> και 7<sup>ο</sup> σταθμού εργασίας.**

Από τον πίνακα 5.4.1 παρατηρούμε ότι ο ελάχιστος χρονικός κύκλος παρουσιάζεται για παρτίδα 28 τεμαχίων με τιμή 5,45 ώρες. Ο επόμενος βέλτιστος αριθμός εμφανίζεται για παρτίδα 30 τεμαχίων με τιμή 5,53 ώρες όπου είναι και το μέγεθος της παρτίδας που χρησιμοποιεί το εργοστάσιο.



**Σχήμα 5.4.1:** Διάγραμμα ολικών χρονικών κύκλων για διάφορες μεγέθη παρτίδας.

Λόγω των παραπάνω προκύπτει ότι η πολιτική της εταιρείας να επεξεργάζεται σε μεγέθη παρτίδας 30 τεμαχίων είναι εν μέρει σωστή καθώς η διαφορά της βέλτιστης τιμής με την πραγματική είναι πολύ μικρή.

### 5.5 Σενάριο 5

Η πρόσληψη ενός νέου πτυχιούχου μηχανολόγου μηχανικού είναι η τελευταία εξέταση βελτίωσης του χρονικού κύκλου. Σε κάθε βλάβη που εμφανίζεται σε έναν σταθμό εργασίας ο χρόνος επιδιόρθωσης μειώνεται κατά 50%.



**Σχήμα 5.5.1:** Διάγραμμα απεικόνισης χρονικών κύκλων 5<sup>οο</sup> σεναρίου.

Δηλαδή για την βλάβη F.3.3 (εμφανίζεται στο παράρτημα) ο χρόνος επιδιόρθωσης είναι 3600 sec και θα μειωθεί στα 1800 sec. Διορθώνοντας τους χρόνους επιδιόρθωσης για όλους τους τύπους βλαβών η τιμή του χρονικού κύκλου αλλάζει και λαμβάνει την τιμή 5,065 ώρες και παρουσιάζει μείωση 9,31%.

## 5.6 Συμπεράσματα σεναρίων

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι η μεγαλύτερη μείωση του ολικού χρονικού κύκλου εμφανίζεται στο 3<sup>ο</sup> σενάριο. Ακολουθεί το 1<sup>ο</sup> και το 5<sup>ο</sup> ενώ τα υπόλοιπα σενάρια παρουσιάζουν μικρή μείωση. Στον πίνακα 5.6.1 φαίνονται οι τιμές της μείωσης του ολικού χρονικού κύκλου.

Σενάρια	Μείωση χρονικού κύκλου (%)
1	9,66%
2	1,17%
3	11,09%
4	1,44%
5	9,31%

*Πίνακας 5.6.1: Απεικόνιση μείωσης χρονικών κύκλων.*

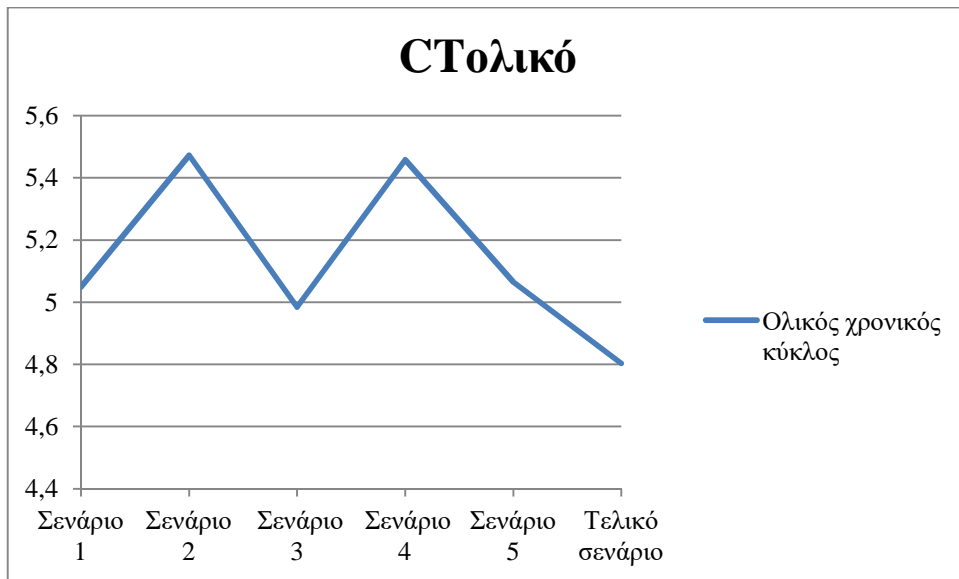
Στο σενάριο 1 η τιμή του χρονικού κύκλου μειώνεται αισθητά. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται με μία απλή αλλαγή σε ένα χώρο αποθήκευσης. Πρόκειται για μία αλλαγή αρκετά εύκολη και τα οφέλη της είναι πολλά, με σημαντικότερο όλων η μεγαλύτερη αξιοπιστία ως προς τους πελάτες της.

Στο σενάριο 2 η μείωση του χρονικού κύκλου είναι μικρή και η αλλαγή στους σταθμούς εργασίας είναι ικανή να επιτευχθεί. Όμως η σχεδίαση ενός τμήματος της συνολικής γραμμής παραγωγής ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα και συνήθως αποφεύγεται από την διοίκηση μίας εταιρείας. Παράδειγμα ενός τέτοιου προβλήματος είναι, ότι η κατάληψη ενός χώρου που δεν χρησιμοποιείται με στόχο την μικρή βελτίωση της γραμμής παραγωγής, ενδέχεται να προκαλέσει εκ νέου προβλήματα σχεδίασης σε μία πιθανή αγορά ενός μηχανήματος, με στόχο την βελτίωση μίας εκ των γραμμών παραγωγής. Εάν ο χρονικός κύκλος παρουσίαζε μεγάλη αλλαγή (μεγαλύτερη από 10%), τότε θα ήταν πρόπον να πραγματοποιηθεί, όμως σε κάθε άλλη περίπτωση η αλλαγή αυτή αποφεύγεται.

Η μεγαλύτερη βελτίωση του χρονικού κύκλου εμφανίζεται στο σενάριο 3 και προκύπτει από την ένωση των δύο προηγούμενων σεναρίων. Απαιτείται δύο εργάσιμες μέρες για να ολοκληρωθεί η νέα σχεδίαση, αλλά όπως αναφέραμε και πιο πάνω είναι δύσκολο να επιτευχθεί μία τέτοια αλλαγή. Η διαφορά στην μείωση μεταξύ 1<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> σεναρίου είναι μικρή και έχει σαν αποτέλεσμα να επιλέγεται το 1<sup>ο</sup> σενάριο.

Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στο 4<sup>ο</sup> σενάριο παρουσιάζεται μικρή μείωση στον χρονικό κύκλο. Όπως προαναφερθήκαμε η επεξεργασία σε παρτίδες έχει θετικά και αρνητικά στοιχεία. Εντούτοις, η εταιρεία είναι αναγκασμένη να λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο και προκύπτει ότι το μέγεθος της παρτίδας που χρησιμοποιεί κρίνεται σωστή. Ωστόσο κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι εάν η εταιρεία επεξεργαστεί σε μέγεθος 28 τεμαχίων ο χρονικός κύκλος βελτιώνεται και αποκτά τιμή μικρότερη από αυτήν του 2<sup>ου</sup> σεναρίου. Στον 1<sup>ο</sup> σταθμό ο όρος  $N_s$  δεν αλλάζει, στον 4<sup>ο</sup> σταθμό θα ισούται με 14 και στους υπόλοιπους με 28. Τέλος, σε αντίθεση με τα προηγούμενα σενάρια σε αυτό δεν απαιτείται καμία αλλαγή στον σχεδιασμό της γραμμής παραγωγής.

Τελευταίο εξεταζόμενο σενάριο είναι η πρόσληψη ενός πτυχιούχου μηχανολόγου μηχανικού. Η μείωση της τάξεως 9,31% κρίνεται ικανοποιητική. Από την άλλη πλευρά βέβαια απαιτείται η εύρεση ενός τέτοιου εργαζομένου με ειδικευση σε ξυλουργικά μηχανήματα. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σενάρια η πρόσληψη ενός επιπλέον εργαζομένου επιβαρύνει οικονομικά την εταιρεία. Στις μέρες μας, με την οικονομική κρίση να δυσκολεύει την λειτουργία ενός εργοστασίου, φαντάζει δύσκολο η πρόσληψη νέου προσωπικού.



**Σχήμα 5.6.1: Διάγραμμα ολικών χρονικών κύκλων.**

Ανακεφαλαιώνοντας, το 1<sup>ο</sup> σενάριο είναι το ιδανικό για την βελτίωση του χρονικού κύκλου καθώς επιτυγχάνεται επιθυμητή μείωση της τιμής του χωρίς οικονομική επιβάρυνση της εταιρείας. Επιπροσθέτως, η εταιρεία έχει την δυνατότητα να μειώσει το μέγεθος της παρτίδας στα 28 από τα 30 τεμάχια που επεξεργάζεται σήμερα. Εάν συνδυάσει το 1<sup>ο</sup> σενάριο με την μείωση της παρτίδας τότε ο χρονικός κύκλος θα έχει την τιμή 4,803 ώρες και παρουσιάζει μείωση της τάξεως 15,28%. Από τα παραπάνω συνάγεται εύλογα το συμπέρασμα πως η εταιρεία οφείλει να συνδυάσει τα δύο σενάρια για την επίτευξη ενός χαμηλού ορίου στον ολικό χρονικό κύκλο. Τα υπόλοιπα σενάρια αποφεύγονται είτε για οικονομικούς λόγους είτε γιατί η αλλαγή των σταθμών εργασίας είναι δύσκολη και ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα και δυσχέρειες.



## 6. Επίλογος

Στον παρόν κεφάλαιο συνοψίζουμε τα βασικά σημεία της διπλωματικής εργασίας, δηλαδή τον λόγο που εκπονήθηκε, την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν.

### 6.1 Σύνοψη διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού. Η συγκεκριμένη εργασία είχε ως στόχο της την εξοικείωση του φοιτητή στις καθημερινότητα μίας γραμμής παραγωγής, στα προβλήματα που παρουσιάζονται σε αυτή καθώς και στην αντιμετώπιση τους. Με την εκπόνηση της εργασίας ο φοιτητής βρίσκεται σε θέση να κατανοήσει την δουλειά ενός μηχανολόγου μηχανικού και να εισέλθει πιο ομαλά στον εργασιακό χώρο.

Στην συγκεκριμένη εργασία εμείς προσπαθήσαμε να αναλύσουμε την γραμμή παραγωγής MDF και να παρουσιάσουμε τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε στο εργοστάσιο. Εν συνέχεια, αναλύσαμε το μαθηματικό μοντέλο που ακολουθήσαμε για τον υπολογισμό των βασικών όρων με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων της γραμμής παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το excel της Microsoft.

Τέλος, με την βοήθεια του excel αναπτύξαμε σενάρια βελτιστοποίησης του ολικού χρονικού κύκλου και καταλήξαμε σε συμπεράσματα για κάθε ένα απ' αυτά.

## Παράρτημα

Εδώ παραθέτουμε τους τύπους βλαβών των σταθμών παραγωγής. Ο όρος F,i,j υποδηλώνει τον τύπο βλαβών όπου i ο σταθμός εργασίας. Μέσα στην παρένθεση παραθέτουμε την εργασία που λαμβάνει χώρα σε κάθε βλάβη.

<b>F.1.1.</b>	Βλάβη ρελέ (Αλλαγή ρελέ)
<b>F.1.2.</b>	Βλάβη λαμών κοπτικού εργαλείου (Τρόχισμα λαμών)
<b>F.1.3.</b>	Βλάβη στην κίνηση των λαμών (Λίπανση ελατηρίων)
<b>F.1.4.</b>	Αλλαγή τραπεζιού εργασίας
<b>F.1.5.</b>	Γενική επίβλεψη
<b>F.1.6.</b>	Διακοπή λειτουργίας λόγω απορριμμάτων (Καθαρισμός απορριμμάτων)
<b>F.2.1</b>	Βλάβη ρελέ (Αλλαγή ρελέ)
<b>F.2.2</b>	Βλάβη λαμών κοπτικού εργαλείου (Τρόχισμα λαμών)
<b>F.2.3</b>	Βλάβη στην κίνηση των λαμών (Λίπανση ελατηρίων)
<b>F.2.4</b>	Αλλαγή τραπεζιού εργασίας
<b>F.2.5</b>	Γενική επίβλεψη
<b>F.2.6</b>	Διακοπή λειτουργίας λόγω απορριμμάτων (Καθαρισμός απορριμμάτων)
<b>F.2.7</b>	Το δέμα καπλαμά δεν λαμβάνει κόλλα (Καθαρισμός ράουλου κόλλας)
<b>F.2.8</b>	Διακοπή λόγω μηδενικής κόλλας (Προσθήκη κόλλας)
<b>F.3.1</b>	Βλάβη αντιστάσεων (Αλλαγή αντιστάσεων)
<b>F.3.2</b>	Βλάβη ρελέ (Αλλαγή ρελέ)
<b>F.3.3</b>	Βλάβη θερμοκρασιών (Επισκευή θερμοστάτη)
<b>F.3.4</b>	Βλάβη στην κίνηση του φύλλου καπλαμά (Αλλαγή ιμάντων)
<b>F.3.5</b>	Γενική επίβλεψη
<b>F.3.6</b>	Καθαρισμός τραπεζιού εργασίας
<b>F.4.1</b>	Αλλαγή κολλητικής ταινίας
<b>F.4.2</b>	Καθαρισμός τραπεζιού εργασίας
<b>F.5.1</b>	Αλλαγή λαδιού
<b>F.5.2</b>	Διακοπή λόγω μηδενικής κόλλας (Προσθήκη κόλλας)
<b>F.5.3</b>	Αναγόμευση ράουλου κολαρίστρας
<b>F.5.4</b>	Βλάβη στην κίνηση του γυμνού MDF (Αντικατάσταση ροδάκων)
<b>F.5.5</b>	Βλάβη στην κίνηση του επενδεδυμένου MDF (Επισκευή κινούμενου πάνελ)
<b>F.5.6</b>	Βλάβη πρέσας (Αλλαγή νάιλον)
<b>F.5.7</b>	Γενική επίβλεψη
<b>F.5.8</b>	Αλλαγή θερμοκρασιών
<b>F.6.1</b>	Αντικατάσταση κοπτικών εργαλείων
<b>F.6.2</b>	Καθαρισμός τραπεζιού εργασίας
<b>F.7.1</b>	Οι επιφάνειες του επενδεδυμένου MDF δεν τρίβονται (Αλλαγή γυαλόχαρτου)
<b>F.7.2</b>	Καθαρισμός τραπεζιού εργασίας
<b>F.7.3</b>	Βλάβη στην κίνηση (Αλλαγή ιμάντων)
<b>F.7.4</b>	Γενική επίβλεψη

## Βιβλιογραφία

- [1] Liberopoulos G. και Tsarouhas P. (2002) Systems analysis speeds up Chipita's food-processing line. *Interfaces*, 32 (3), 62-76.
- [2] Liberopoulos G. και Tsarouhas, P. (2005) Reliability analysis of an automated pizza production line. *Journal of Food Engineering*, 69 (1), 79-96.
- [3] Hopp W. J. και Spearman, M. L. (2000) *Factory Physics*, 2E. McGraw-Hill, Boston, MA.
- [4] Hopp, W.J. (2007) *Supply Chain Science*. McGraw-Hill, Boston, MA.
- [5] Dallery Y. και Gershwin, S. B. (1992) Manufacturing flow line systems: a review of models and analytical methods. *Queueing Systems*, 12, 3-94.
- [6] Επενδεδυμένη ινιοσανίδα από την ελληνική εταιρεία Alfa Wood [www.alfawood.gr/epifaneies-kaplamas.html](http://www.alfawood.gr/epifaneies-kaplamas.html)
- [7] Πληροφορίες για την εταιρεία Όξιλος Α.Β.Ε.Ε. [www.oxilos.gr](http://www.oxilos.gr)
- [8] Medium Density-Fibreboard from Wikipedia, the free Encyclopedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-density\\_fibreboard](https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-density_fibreboard)
- [9] Γιαννακόπουλος Π. (2016): Προσωπική επικοινωνία στις 12 Νοεμβρίου
- [10] Παπαδόπουλος Κ. (2016): Προσωπική επικοινωνία στις 24 Οκτωβρίου
- [11] Παπαδοπούλου Κ. (2017): Προσωπική επικοινωνία στις 5 Μαρτίου